

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI TƏHSİL NAZİRLİYİ

A. Ə. HACIYEV, R. Q. MƏMMƏDOV

**ELEKTROTEHNİKANIN VƏ ELEKTRONİKANIN
ƏSASLARI**

D Ə R S L İ K

Azərbaycan Respublikası Təhsil
Nazirliyinin Elmi Metodik Şurası
«Elektronika və rabitə» bölməsinin
11.07.2005-ci il tarixli 06 nömrəli
iclas protokolu ilə təsdiq edilmişdir.

BAKİ- 2005

UÖTC 621.374

Tərtibçilər: t.e.n., dosent A.Ə. Hacıyev, t.e.d., professor
R.Q. Məmmədov

Rəyçilər:

1. Kazımov N. M. Sumqayıt Dövlət Universitetinin «Elektron cihazları və avtomatlaşdırma vasitələri» kafedrasının müdiri, t.e.d., professor.

2. Qasımlı T.M. Azərbaycan Dövlət Neft Akademiyasının «İnformasiya - ölçmə və hesablama texnikası» kafedrasının professoru, t. e. d.

HİSSƏ 1

ELEKTROTEKXNİKANIN ƏSASLARI

Elektrotexnika- elektrik hadisələrinin praktiki tətbiqi ilə bağlı olan proseslər haqqında olan elmdir. Bu elm sahəsi elektrik və maqnit hadisələrinin qanunauyğunluqlarını, elektrik enerjisinin hasilatı, ötürülməsi, paylanması və tətbiqini tədqiq edir. Bu texnika sahəsi elektrik enerjisinin iqtisadiyyatın bütün sahələrində, hərbi işdə və məişətdə tətbiqi ilə əlaqədardır.

1758- ci ildə rus alimi F.Epunus ilk dəfə olaraq «elektrik qüvvəsi» ilə maqnetizm arasında sıx əlaqə olduğunu söyləmişdir. 1785- ci ildə Ş.Kulon elektricləşmiş cisimlər arasındakı qarşılıqlı təsir qanununu və maqnit qütbləri arasında qarşılıqlı təsir qanunlarını müəyyən etmişdir.

1820- ci ildə H.K.Ersted elektrik cərəyanının maqnit əqrəbinə mexaniki təsirini müşahidə etmiş, A.Amper isə cərəyanlı solenoidin maqnit xassəsinə malik olduğunu kəşf etmişdir. Bu tədqiqatlar elektrik və maqnit hadisələri arasında sıx əlaqə olduğunu müəyyən etmişdir.

1831- ci ildə M.Faradey tərəfindən elektromaqnit induksiyası hadisəsi kəşf olunduqdan sonra elektrik maşınlarının yaradılmasının əsası qoyulmuşdur.

Qövs lampaları (P.N.Yablokov, 1876) və eləcə də közərmə lampaları (A.N.Lodigin, 1872 və T.Edison, 1879) vasitəsilə elektrik işıqlanma sistemləri hazırlandı. Elektrikin bu praktiki tətbiqi elektrotexnikanın inkişaf etməsinə səbəb oldu.

Üçfazlı cərəyan texnikasının yaranması elektro-energetikanın inkişafında müasir mərhələnin başlanğıcı oldu. Rus alimi M.O.Dolivo- Dobrovolskinin qısa qapanmış və faza rotorlu üçfazlı asinxron mühərriklər, üçfazlı transformatorlar, avtotransformatorlar, elektrik

enerjisinin üç və dördməftilli xəttlər sistemi haqqında yaratdığı əsərlər üçfazlı cərəyan sisteminin işlənməsinə səbəb oldu.

Elektrotexnikanın nəzəri əsaslarını maqnit və elektrik dövrləri nəzəriyyəsi və elektromaqnit sahəsi nəzəriyyəsi təşkil edir.

Maqnit və elektrik dövrlər nəzəriyyəsinin əsasını Om qanunu (1827), Çoul-Lents qanunu (1844) və Kirxhof qanunu (1847) təşkil edir.

Elektromaqnit sahəsi haqqındakı müasir elm elektromaqnit dalğalarının mövcud olduğunu və onların işıq sürəti ilə yayıldığını sübut etmiş Ç.K.Maksvellin nəzəri tədqiqatlarına əsaslanır. Bu nəzəriyyə təcrübə yolu ilə H.Herts, elektromaqnit dalğalarının alınması və yayılması təcrübəsilə P.N.Lebedev və dünyada ilk dəfə (1895) radorabitəni həyata keçirmiş A.S.Popov tərəfindən, həmçinin radiotexnikanın sonrakı inkişafı ilə təsdiq edilmişdir.

FƏSİL 1. SABİT CƏRƏYAN DÖVRƏSİ

1. 1. Elektrik dövrəsi

Məlumdur ki, yüklü hissəciklərin istiqamətləndirilmiş hərəkəti elektrik cərəyanını yaradır. Yüklü hissəciklərin fasiləsiz istiqamətləndirilmiş hərəkətini almaq üçün qapalı elektrik konturunu yaratmaq lazımdır. Bu kontur enerji hasil edən, enerji sərf edən və enerji nəql edən hissələrdən ibarət olmalıdır. Elektrotexnikada belə konturlara elektrik dövrəsi deyilir.

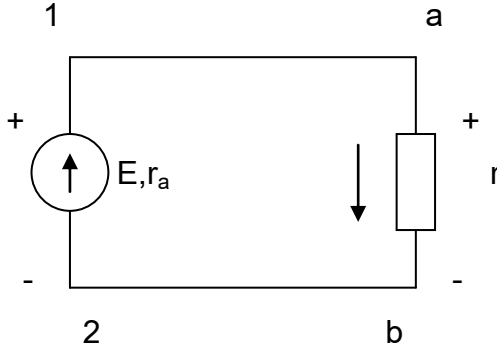
Elektrik dövrələrində elektrik enerjisi hasil edən elementləri mənbə, elektrik enerjisi sərf edən elementləri işlədici və enerjini nəql edən elementləri isə xətlər adlandırırlar.

Qeyd edilən elementlərdən başqa real elektrik dövrələrində kommutasiya aparatlarından, çevirici qurğulardan, düzləndiricilərdən, ölçmə cihazlarından və s. istifadə olunur. Elektrik dövrəsindəki hər bir elementin xüsusiyyəti onların parametrləri ilə xarakterizə olunur. Elektrik dövrəsinin real elementlərinə müqavimət (r), induktivlik (L) və tutum (C) aiddirlər. Bir parametrlə xarakterizə olunan dövrə ideal dövrə adlanır.

Şək.1.1- də qapalı elektrik dövrəsinin sxemi göstərilir. Baxılan dövrənin ab hissəsindən yüklü hissəciklər potensialın azalan istiqamətində, 1-2 hissəsində isə potensialın artan istiqamətində hərəkət edirlər. Yüklü hissəciklərin qapalı dövrədə hərəkəti ancaq xarici təsir qüvvəsi hesabına baş verə bilər. Xarici təsir qüvvəsinin intensivliyi elektrik hərəkət qüvvəsi (e.h.q.- E) ilə xarakterizə olunur.

Elektrik dövrələrindən istər cərəyan keçdikdə, istərsə də cərəyan keçmədikdə bir sıra hadisələr baş verir

ki, onların da mahiyyəti fiziki qanunlara əsasən izah olunur.



Şek.1.1. Qapalı elektrik dövrəsinin sxemi.

1.2. Elektrik cərəyanı və cərəyan şiddəti

Bütün metal cisimlərin tərkibində sərbəst hərəkət edən elektronlar vardır. Onlar atomlar arasındakı fəzada arası kəsilmədən nizamsız sürətdə hərəkət edirlər.

Metal cisimlərin daxilində elektrik sahəsi yaradılsa, mənfi yüklü hissəciklər (sərbəst elektronlar) nizamlı hərəkətə gəlir və metalın müsbət potensiallı ucuna cəzb olunacaqdır. Bu hadisə metal cisimlərin elektrik keçiriciliyi ilə xarakterizə olunur. Elektrik keçiricisi içərisində sərbəst elektronların müntəzəm istiqamətlənmiş hərəkətinə elektrik cərəyanı (I) deyilir. Elektrik cərəyanının istiqaməti şərti olaraq müsbətdən potensialdan mənfi potensiala qəbul olunur.

Cərəyanın qiyməti (I) vahid zamanda (1 saniyədə) naqilin en kəsiyindən keçən elektrik yüklərinin miqdarı ilə təyin olunur. Əgər cərəyanın qiyməti zamanla əlaqədar dəyişmirsə, onda

$$I = q/t \quad (1.1)$$

olur. Burada q - hər hansı t zaman müddətində naqilin en kəsiyindən keçən yüklərin miqdarını göstərir.

Cərəyanın qiyməti zaman keçdikcə dəyişirsə (1.1) ifadəsi aşağıdakı şəkildə yazılır:

$$i = \frac{dq}{dt}, \quad (1.2)$$

burada i - cərəyanın istənilən t anındakı qiymətidir. Bu kəmiyyət, elektrik cərəyanının qiymətini, yəni elektrik miqdarının dəyişmə sürətini göstərdiyi üçün cərəyan şiddəti adlanır.

Elektrik cərəyanının şiddətindən başqa cərəyanın sıxlığı anlayışından da istifadə edilir. Vahid zamanda keçiricinin vahid en kəsiyindən (S) keçən elektrik miqdarına cərəyanın sıxlığı (δ) deyilir. Sabit cərəyan üçün $\delta = I/S$ və dəyişən cərəyan üçün isə $\delta = di/dS$ olur.

Beynəlxalq vahidlər sistemi üzrə (S_i) cərəyanın vahidi 1 Amper (A), cərəyanın sıxlığı isə A/m^2 qəbul edilib (1 $A=1$ kl/san, yəni kulon/saniyə). Bundan başqa cərəyanın törəmə vahidləri kimi kiloamperdən (1 $kA=10^3 A$), milliampərdən (1 $mA=10^{-3} A$) və mikroampərdən (1 $mkA=10^{-6} A$) istifadə edilir.

1.3. Müqavimət və keçiricilik

Elektrik enerjisindən istifadə edilməsinə imkan yaratmaq üçün elektrik dövrələri qurulmalıdır. Elektrik dövrələri keçiricilərdən qurulur. Belə keçirici mühitdən keçən elektrik yükləri həmin mühiti təşkil edən elektron və nüvələrə toxunur və belə toxunmalardan əmələ gələn ümumi müqavimətə rast gəlinir.

Elektrik cərəyanına göstərilən xarakterli müqavimətin qiyməti keçiricinin uzunluğu ilə düz və en kəsiyinin sahəsi ilə tərs mütənəsbdir:

$$r = \rho \frac{l}{S} \quad (1.3)$$

Burada r - keçiricinin elektrik müqaviməti, Om ilə; l - keçiricinin uzunluğu, m ilə; S - keçiricinin en kəsiyinin sahəsi, mm^2 ilə və ρ - keçiricinin materialının xüsusi elektrik müqavimətidir:

$$[\rho] = [rS/l] = \text{Om} \cdot \text{mm}^2/\text{m} \quad (1.4)$$

Xüsusi müqavimətin tərs qiymətinə xüsusi keçiricilik deyilir:

$$\gamma = 1/\rho \quad [\text{m}/\text{Om} \cdot \text{mm}^2], \quad (1.5)$$

Metal naqilin elektrik müqavimətinin temperaturdan asılılığı aşağıdakı kimi ifadə olunur:

$$r_{\theta_2} = r_{\theta_1} [1 + \alpha(\theta_2 - \theta_1)] \quad (1.6)$$

burada r_{θ_2} və r_{θ_1} θ_2 və θ_1 temperaturlarda naqilin müqavimətidir; α - naqilin temperatur əmsalıdır (mis üçün 0,004- ə və alüminium üçün isə 0,00416- ya bərabərdir).

Naqillərin müqavimət vahidi Om , keçiricilik vahidi isə Simensdir (Cm).

Elektrik müqaviməti və keçiriciliyi verilən cisim üçün sabit qalır. Bu kəmiyyətlər götürülən keçiriciyə təsir edən fiziki göstəricilərin (istiliyin və təzyiqin) dəyişməsindən də asılıdır.

1.4. Gərginlik və elektrik hərəkət qüvvəsi

Hərəkət edən yüklü hissəcik mühiti keçmək üçün müəyyən enerji sərf edir. Buna görə də həmin yüklü hissəciyin, öz yoluna başlamazdan əvvəl, lazım olan qədər enerjisi olmalıdır.

Vahid yüklü bir hissəcik öz hərəkəti zamanı keçiricinin müxtəlif nöqtələrindən keçirsə o, özündə əvvəlcədən topladığı ehtiyat enerjini tədricən sərf etməlidir. Vahid yüklü hissəciyin hər bir nöqtədəki enerjisini bilmək üçün həmin nöqtədəki enerjini, əvvəlcədən məlum olan bir nöqtənin enerjisi ilə müqayisə etmək lazımdır. Həmişə sistemin yerlə əlaqədar bir nöqtəsi məlum nöqtə kimi götürülür. Buna görə də dövrənin istənilən bir nöqtəsindəki vahid yükün, yerlə əlaqədar olan başqa bir nöqtədəki vahid yükə nisbətən enerjisinə həmin nöqtənin potensialı deyilir.

Elektrik potensialının azalması və ya ona bərabər qiymətdə potensiallar fərqi dövrə hissəsinin gərginliyi adlanır.

Verilmiş dövrə hissəsində (şək.1.2) gərginlik aşağıdakı kimi tapılır:

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{12}}{q}, \quad (1.7)$$

burada φ_1 və φ_2 - 1 və 2 nöqtələrinin potensialları; q - köçürülən yükün miqdarı; A_{12} - q yükünün 1 nöqtəsindən 2 nöqtəsinə köçürülməsi üçün görülən işdir.

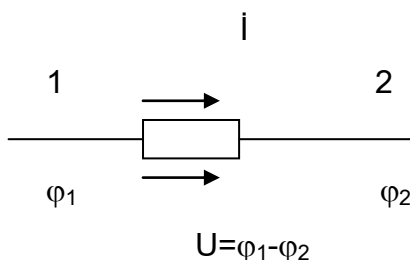
Bir Kulon yükü hərəkət etdirmək üçün mənbəyin gördüyü iş onun elektrik hərəkət qüvvəsinə (E) bərabər olur:

$$E = \frac{A}{q} \quad (1.8)$$

1 və 2 nöqtələri arasındakı gərginlik isə aşağıdakı kimi qiymətləndirilir:

$$U_{12} = \frac{A_{12}}{q} = \text{Coul} / \text{kulon} = 1 \text{ Volt} \quad (1.9)$$

Beynəlxalq vahidlər sistemi üzrə (SI) gərginliyin və e.h.q.-nin vahidi Volt (V) qəbul edilib ($1 \text{ V} = 1 \text{ Coul/Kulon}$). Bundan başqa onların törəmə vahidləri kimi kilovolt (1 kV= 10^3 V), millivolt (1 mV= 10^{-3} V) və mikrovolt (1 mkV= 10^{-6} V) istifadə edilir.



Şək.1.2. Elektrik hərəkət qüvvəsi olmayan dövrə hissəsi.

1.5. Om qanunu

Qapalı elektrik dövrlərini xarakterizə edən əsas kəmiyyətlər cərəyan şiddəti, elektrik hərəkət qüvvəsi və müqavimət arasındakı asılılığın riyazi ifadəsi ilk dəfə 1827- ci ildə Om tərəfindən verilmişdir. Odur ki, bu asılılıq Om qanunu adlanır.

Om qanununa görə dövrə hissəsindən axan cərəyan bu hissədəki gərginliklə düz mütənasibdir:

$$I = U \cdot g \quad (1.10)$$

Mütənasiblik əmsalı g dövrə hissəsinin keçiriciliyi adlanır. Keçiriciliyin tərs qiyməti

$$r = 1/g \quad (1.11)$$

kəmiyyətə dövrə hissəsinin müqavimətini göstərir. Dövrə hissəsi üçün Om qanunu belə ifadə olunur:

$$I = U/r \quad (1.12)$$

qapalı elektrik dövrəsinə ardıcıl birləşdirilmiş bütün elementlərdən eyni bir cərəyan (I) axdığından onun qiyməti aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$I = \frac{E}{r_1 + r_2 + r_3} = \frac{E}{r_1 + r_{\text{xar}}} \quad (1.13)$$

burada r_1 - generatorun müqaviməti; r_2 - birləşdirici xəttin müqaviməti; r_3 - yük müqaviməti; $r_{\text{xar}}=r_2+r_3$ - xarici dövrənin ümumi müqavimətidir.

Qapalı dövrə üçün Om qanunu belə də ifadə oluna bilər:

$$E = Ir_1 + Ir_2 + Ir_3 \quad (1.14)$$

Cərəyanla müqavimətin hasili gərginlik düşgüsü adlanır. Xarici dövrədə gərginlik düşgüsü generatorun sıxaclarındakı gərginliyə bərabərdir:

$$U = E - Ir \quad (1.15)$$

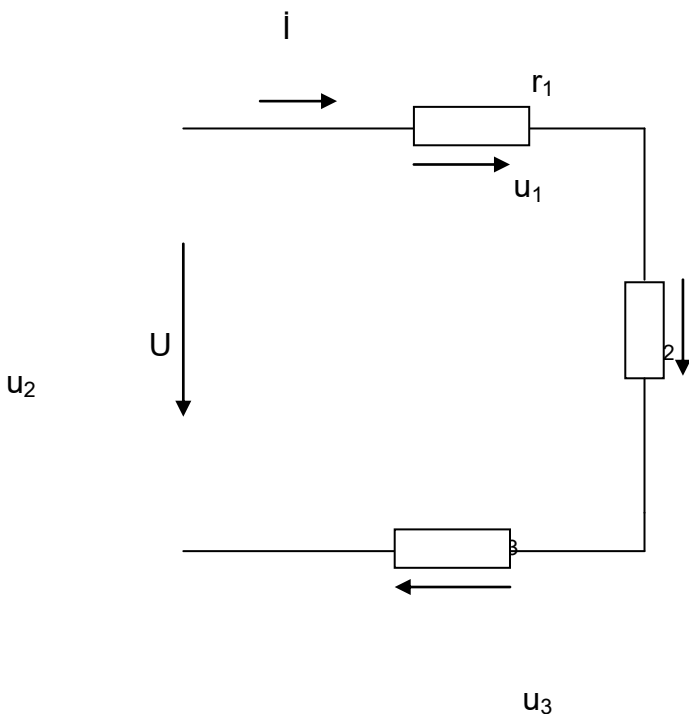
Buradan Om qanununun böyük əhəmiyyəti olan aşağıdakı nəticəsini alırıq: qapalı dövrlərdə mənbəyin

e.h.q.- si iki gərginlik düşgüsünün, mənbəyin daxili və xarici dövrədəki gərginlik düşgülərinin cəminə bərabərdir.

1.6. İşlədicilərin dövrəyə qoşulması

İşlədicilər bir- biri ilə əsasən 3 müstəqil qaydada birləşdirilir: ardıcıl, paralel və bu birləşmələrdən əmələ gələn qarışıq birləşmələr. Bu birləşmələrin hərəsinin özünə məxsus xüsusiyyəti vardır.

İşlədicilərin ardıcıl birləşməsi. Dövrələrdə bəzən işlədicilər bir- biri ilə eə əlaqələndirilir ki, onların hamısından eyni cərəyan axsın. Bu növ birləşmə ardıcıl birləşmə adlanır (şək.1.3)



Şək.1.3. Ardıcıl birləşmiş dövrə hissəsi.

Şəkildən göründüyü kimi ardıcıl birləşmiş r_1 , r_2 , r_3 və r_4 müqavimətlərindən eyni I cərəyanı axır. Bu cür dövrləri hesablamaq üçün ekvivalent müqavimətlər üsulundan istifadə edilir. Göstərilən ardıcıl birləşmə üçün ekvivalentlik üsulu aşağıdakı kimi yazılır:

$$U = Ir_e = I r_1 + I r_2 + I r_3 + I r_4 \quad (1.16)$$

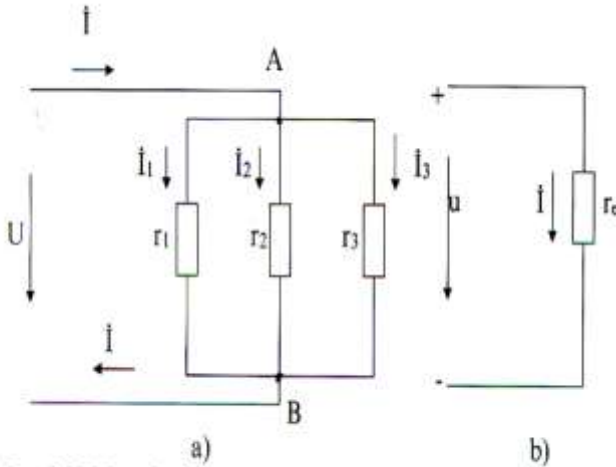
$$\text{buradan } r_e = r_1 + r_2 + r_3 + r_4 \text{ və ya } r_e = \sum_{i=1}^n r_i. \quad (1.17)$$

(1.16) ifadəsinin hər iki tərəfini I -ə vursaq,

$U\dot{I} = \dot{I}^2 r_e = \dot{I}^2 r_1 + \dot{I}^2 r_2 + \dot{I}^2 r_3 + \dot{I}^2 r_4$ və ya $P_e = P_1 + P_2 + P_3 + P_4$ alırıq.

Alınan ifadədən görünür ki, ardıcıl birləşmiş dövrənin tələb etdiyi ümumi güc ayrı-ayrı elementlərin tələb etdikləri gücün cəminə bərabərdir.

İşlədiciyə paralel birləşməsi. İşlədiciyə dövrəyə paralel birləşdirildikdə mənbədən gələn ümumi cərəyan bir neçə qola ayrılır və onların hər biri eyni gərginlik altında olur (şək.1.4).



Şək.1.4. Paralel birləşmiş dövrə hissəsi (a) və onun ekvivalent sxemi (b).

Şəkildən göründüyü kimi budaqlanmayan hissədən axan cərəyan

$$\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3 = \frac{U}{r_1} + \frac{U}{r_2} + \frac{U}{r_3} = \frac{U}{r_e} \text{ olur və ya}$$

$$I r_e = U g_e = U g_1 + U g_2 + U g_3 \quad (1.18)$$

Burada g_1 , g_2 və g_3 - uyğun olaraq, işlədicilərin keçiricilikləridir:

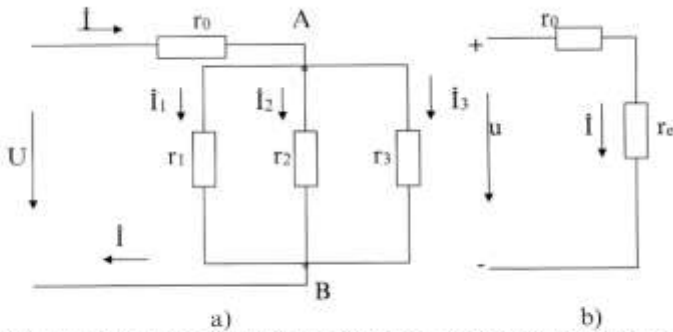
$$\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} = \frac{1}{r_e} \text{ və ya } \frac{1}{r_e} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{r_k} \quad (1.19)$$

$$g_e = \sum_{k=1}^n g_k \quad (1.20)$$

Əgər r_1 və r_2 müqavimətləri paralel qoşulubsa, onda onların ekvivalenti aşağıdakı kimi hesablanır:

$$r_e = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2} \quad (1.21)$$

İşlədicilərin qarışıq birləşməsi. İşlədicilərin həm ardıcıl, həm də paralel birləşməsindən alınmış birləşmə qarışıq birləşmə adlanır (şək.1.5).



Şək.1.5. Qarışıq birləşmiş dövrə hissəsi (a) və onun ekvivalent sxemi (b).

Bütün dövrəni 2 hissəyə bölüb hər hissəni ayrı-ayrılıqda ekvivalent müqavimətlə əvəz edək:

$$r_e = \frac{r_2 r_3}{r_2 + r_3} \quad (1.22)$$

Sonra isə bu ekvivalent müqaviməti ardıcıl qoşulmuş r_1 müqaviməti ilə toplamaqla qarışıq dövrənin ümumi müqavimətini hesablamaq olar:

$$r = r_1 + \frac{r_2 r_3}{r_2 + r_3} \quad (1.23)$$

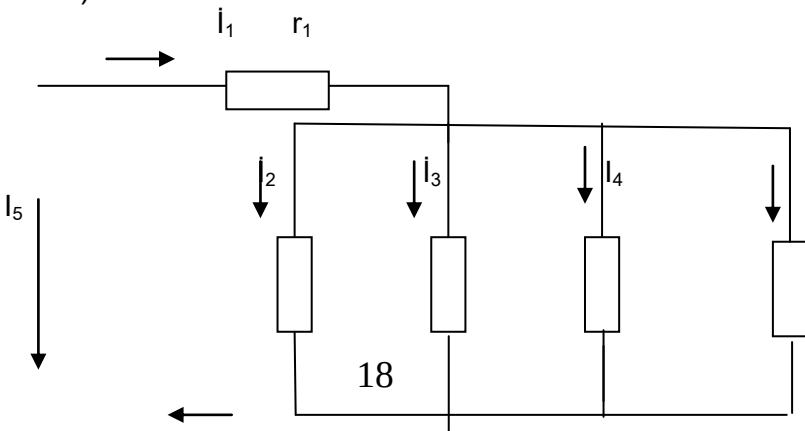
Qarışıq dövrənin gərginliyi də 2 hissəyə bölünür: $U_1 = I_1 r_1$ və $U_2 = I_1 r_e$. bu iki gərginliyin cəmi ümumi gərginliyi verməlidir: $U = U_1 + U_2$.

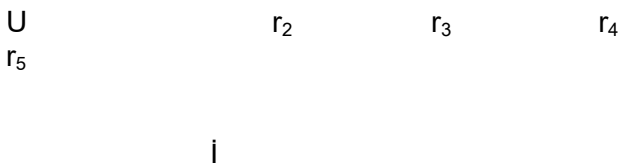
1.7. Kirxhof qanunları

Mənbə və işlədiciyə öz aralarında paralel və ardıcıl birləşdirilməsi nəticəsində yaranan mürəkkəb elektrik dövrlərini təhlil etdikdə və hesabladıqda elektrik sxemini tərtib edib bütün birləşmələri göstərmək lazımdır.

Ardıcıl birləşdirilmiş bir və ya bir neçə element budaq təşkil edir. Budaqdakı ardıcıl bağlanmış hər bir elementdən eyni cərəyan axır. Üç və üçdən çox budağın birləşdiyi yer düyün nöqtəsi adlanır.

Budaqlanmış dövrlərin müqavimətləri eyni olmadığı halda onlardan keçən cərəyan müxtəlif olur (şək.1.6).





Şək.1.6. Budaqlanan dövrə

Kirxhofun birinci qanunu belə bir budaqlanan dövrdə cərəyanın itməməsi qanununu ifadə edir: düyün nöqtəsinə gələn cərəyanların cəmi həmin nöqtədən çıxan cərəyanların cəminə bərabər olur.

$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4 + I_5, \quad (1.24)$$

və ya elektrik dövrəsinin düyün nöqtəsindəki cərəyanların cəbri cəmi sıfıra bərabərdir:

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0. \quad (1.25)$$

Kirxhofun ikinci qanunu mürəkkəb dövrlərdə gərginliklərin paylanması müəyyən edir və belə ifadə edilir: qapalı konturda elektrik hərəkət qüvvələrinin cəbri cəmi həmin konturdakı gərginlik düşgülərinin cəbri cəminə bərabərdir:

$$\sum_{k=1}^n E_k = \sum_{j=1}^m I_j r_j. \quad (1.26)$$

Konturdan keçən cərəyanların istiqamətlərini əvvəlcədən şərti olaraq seçirik. Qapalı konturu saat

əqrəbinin hərəkəti istiqamətində dolanan cərəyanlar və e.h.q.-lər müsbət, əks halda isə mənfi qəbul edilir.

1.8. Cərəyanın işi, gücü və istilik təsiri

Uclarında φ_1 və φ_2 potensialları olan keçiricidən vahid elektrik yükü keçdiyi zaman $(\varphi_1 - \varphi_2)$ qədər iş görür. Yükün miqdarı q olarsa, görülən iş $A = q(\varphi_1 - \varphi_2)$ olur. Nəzərə alsaq ki, $u = \varphi_1 - \varphi_2$ və $q = It$, onda

$$A = uit \text{ və ya } A = i^2rt \quad (1.27)$$

alırıq. Dəyişən cərəyan dövrləri üçün

$$A = \int uidt \text{ və ya } A = \int i^2 r dt \quad (1.28)$$

Elektrik işinin tənliyindən istifadə etməklə, vahid zamanda görülən işi tapmaq olar:

$$P = \frac{A}{t} \text{ və ya } P = \frac{dA}{dt}; P = UI \text{ və ya } P = ri^2 \quad (1.29)$$

Elektrik gücünün vahidi Vatt, bəzi hallarda isə VA (volt*amper) adlanır.

Elektrik cərəyanının istilik təsiri keçiricilərin qızması ilə izah olunur. Cərəyanın istilik təsirinin riyazi modeli Coul- Lents tərəfindən verilib və Coul- Lents qanunu adlanır. Qanunda belə deyilir: keçiricidən cərəyan keçdikdə ayrılan istiliyin miqdarı cərəyan şiddətinin kvadratı, keçiricinin müqaviməti və cərəyanın təsir müddəti ilə düz mütənasibdir, yəni

$$Q = k r i^2 t$$

$$(1.30)$$

burada Q- ayrılan istiliyin miqdarı (kalori ilə) və k isə mütənasıblıq əmsalıdır ($k=0,24$).

$$Q = 0,24 r i^2 t$$

$$(1.31)$$

Dövrədən keçən cərəyan şiddəti dəyişən olduqda isə alınan istilik miqdarı aşağıdakı ifadədən tapılır:

$$Q = 0,24 \int r i^2 dt$$

$$(1.32)$$

Elektrik cərəyanının istilik təsirindən texnikada geniş istifadə olunur. Bu imkan elektrik qövsünün kəşfindən sonra mümkün olmuşdur.

1.9. Elektrik dövrəsinin elementləri

1.9.1. Rezistorlar

Rezistorlar (müqavimətlər)— elektron qurğularının ən geniş yayılmış elementlərindən biridir. Bu elementlərin vasitəsi ilə elektron qurğularının prinsipial elektrik sxemləri, dövrələri və digər elementləri arasında elektrik enerjisinin paylanması və tənzimlənməsi yerinə yetirilir.

Rezistorların əsas elektrik xarakteristikası onun müqavimətidir. Verilmiş gərginlikdə naqildəki cərəyan şiddəti bu kəmiyyətdən asılıdır. Rezistorun müqaviməti elə bil ki, rezistorda cərəyanın yaranmasına onun göstərdiyi əks təsirin ölçüsüdür. Om qanununun köməyi ilə naqilin müqavimətini hesablamaq olar:

$$R = \frac{U}{I}$$

Müqavimət, rezistorun hazırlandığı materialdan və onun həndəsi ölçülərindən asılıdır:

$$R = \rho \frac{l}{s}$$

burada ρ - naqilin xüsusi müqaviməti (vahid uzunluğa və vahid en kəsiyinə malik naqilin müqaviməti); l – müqavimətin uzunluğu və s - onun en kəsiyinin sahəsidir.

Rezistorlar təyinatlarından asılı olaraq iki qrupa bölünürlər: ümumi təyinatlı rezistorlar. Onların müqavimətlərinin nominal qiymətlərinin dəyişmə diapazonu –1 Om÷10 mOm və onlarda ayrılan gücün nominal qiymətlərinin diapazonu –0.062- 100 Vt olur; xüsusi təyinatlı rezistorlar – bu tip rezistorlar da aşağıdakı tiplərə bölünürlər: böyük omlu müqavimətlər (qiymətləri 10÷100 Mom və işçi gərginlikləri 100-400 V olur); yüksək gərginlikli rezistorlar (müqavimətləri 10^{11} Om- a və işçi gərginlikləri 1-100 kV- a qədər olur); yüksək tezlikli rezistorlar (məxsusi tutumları və induktivlikləri çox kiçik olur); yüksək dəqiqlikli (presizion) rezistorlar (0.001–1% dəqiqlikli, zaman ərzində qiyməti stabil qalan, nominal qiymətləri 0.1 Om ÷10 mOm və onlarda ayrılan nominal güc 2 Vt- a qədər olur).

Müqaviməti idarə olunan rezistorlar dəyişən rezistorlar adlanır. Onlar da sazlayıcı və tənzimləyici rezistorlara bölünürlər.

Sazlayıcı rezistorlar sxemlərdə elektrik rejimlərinin sazlanmasını yerinə yetirmək üçün nəzərdə tutulurlar və onların etibarlılığı az olur (hərəkət edən hissənin 1000 dəfəyə qədər yerdəyişməsinə yol verilə bilər). Tənzimləyici rezistorlarla isə elektirik dövrələrində çoxlu sayda tənzimləmələri yerinə yetirmək olar. Belə ki, onlar

yüksək etibarlığa (hərəkət edən hissənin 5000 dəfədən çox yerdəyişməsinə yol verilə bilər) malik olurlar. Hərəkət edən hissənin yerdəyişməsi nəticəsində rezistorların müqavimətlərinin dəyişmə xarakterinə görə onlar xətti və qeyri- xətti funksional xarakteristikalı rezistorlara bölünürlər.

Rezistorların keçirici elementləri, izolyasiyalı əsasın səthinə hordurulmuş təbəqə şəklində, naqıl və ya mikronaqıl, bir də müəyyən həcmə malik konstruksiya şəklində hazırlanır. Keçirici elementlərin hazırlandığı materiala görə rezistorlar naqilli, qeyri- naqilli və metal folqalırla bölünürlər.

Konstruktiv quruluşlarına görə rezistorlar normal və tropik (bütün iqlimlər üçün) variantlarda, təcrid olunmuş və olunmamış (cərəyan keçirən hissələrə toxunmağın mümkünlüyünə görə), hermetik (ətraf mühitdən təcrid olunmuş) hazırlanırlar.

Bütün rezistorlar istilik küylərinə malik olurlar. Bu küylər yük daşııcılarının (elektronların) bərk cismin daxilində istilik hərəkəti (Braun hərəkəti) nəticəsində yaranır. Onların orta gücü Naykvist düsturuna görə tapılır:

burada k - Bolsman sabiti, T - mütləq temperatur, $\Delta f = f_2 - f_1$ - gücün ölçüldüyü tezlik zolağıdır.

İstilik küyünün gərginliyi aşağıdakı kimi tapılır:

$$P_{küy} = U_{küy}^2 / R; U_{küy} = \sqrt{4KT\Delta f}$$

Rezistorlarda istilik küylərinin gərginliyi təsadüfi xarakterə malikdirlər. Bundan başqa, rezistorlara elektrik gərginliyi verən zamanı onlarda cərəyan küyləri əmələ

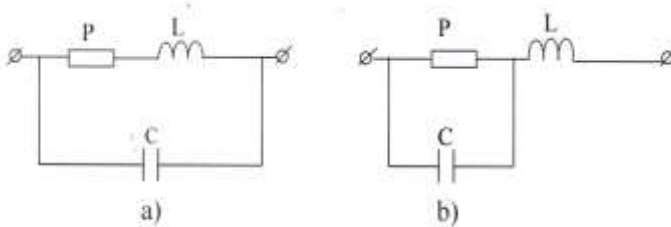
gəlir. Cərəyan küylərinin yaratdığı gərginliyin təsiredici qiyməti aşağıdakı düsturla tapılır:

$$U_{kuy} = K_1 U \sqrt{R \lg \frac{f_2}{f_1}}$$

Burada K_1 - baxılan rezistor üçün sabit parametr, U - rezistora tətbiq olunan sabit gərginlik, f_1 və f_2 isə uyğun olaraq, küynün təyin olunduğu tezlik diapazonunun aşağı və yuxarı qiymətləridir. Cərəyan küylərinin yaranmasına səbəb, elektronların həcm konsentrasiyasının və kontakt (birləşmə) müqavimətinin müvəqqəti olaraq dəyişməsidir. Məxsusi küynün səviyyəsi aşağıdakı düsturla tapılır:

$$D = \frac{U_{kuy}}{U}$$

Müəyyən edilmişdir ki, rezistoru çubuk şəkilli materialdan hazırladıqda belə onlar müəyyən induktivliyə və tutuma malik olurlar. Ona görə də rezistorun ekvivalent sxeminə R -müqavimətindən başqa C tutumu və L induktivliyi daxil olur (şək 1.7).



Şəkil 1.7. Rezistorun ekvivalent sxemi

Tutum, rezistorun metal hissələri və sxemin ona yaxın elementləri arasında yaranır. Rezistorda induktivlik tutumun paylanma xarakterinə malikdir. Lakin, sadəlik

üçün bunu nəzərə alırırlar və şəkl.1.7- də göstərilən ekvivalent sxemlərdən birindən istifadə edirlər.

Rezistorlarda induktivliyin və tutumun mövcudluğu müqavimətin reaktiv toplananının yaranmasından əlavə, onun ekvivalent aktiv toplananının dəyişməsinə də səbəb olur. Bundan başqa, naqilli rezistorlarda səth effektinin (tezlik artdıqda cərəyan naqilin səthi üzrə axmağa başlayır) yaranması nəticəsində tezliyin artması ilə onların müqavimətləri də dəyişir.

Rezistorun nisbi tezlik xətası γ aşağıdakı ifadə ilə təyin olunur:

$$\gamma = \frac{Z - R}{R} 100\%$$

Burada Z - f tezliyində rezistorun tam müqavimətidir. Adətən rezistorlar üçün L və C reaktiv parametrlərinin qiymətləri məlum olmur. Ona görə də, bir qrup rezistorlar üçün onların texniki şərtlərində ümumiləşdirilmiş zaman sabiti verilir. Sonuncu öz növbəsində nisbi tezlik xətası ilə əlaqədar olur:

$$\tau_{\max} \approx \left| \tau_L^2 - \tau_C^2 + 2\tau_L\tau_C - \omega^2 \tau_L^2 \tau_C^2 \right|; \tau_L = L/R; \tau_C = RC; \gamma \approx 50\omega^2 \tau$$

Qeyri naqilli rezistorların tezlik xarakteristikaları naqilli rezistorlara nisbətən çox yaxşıdır.

Rezistorların uzun müddət istismarı onların qocalmasına və müqavimətlərinin dəyişməsinə səbəb olur.

Rezistorların nominal müqavimətləri göstərilən 6 sıradan birinə uyğun olmalıdır (DÜİST 2825-67, 10318-80): E6, E12, E24, E48, E96 və E192.

Hər bir sıra üçün rezistorların nominal müqavimətlərinin qiymətləri 10^n -ə vurmaqla və ya bölməklə alınır (n -müsbət tam ədəd və ya sıraya daxil olan sıfıra uyğun nominal qiymətlərin ədədləridir). Bunların sayı E

hərfindən sonra gələn ədədlə müəyyən edilir. Misal üçün: E6- 1.0; 1.5; 2.2; 3.3; 4.7; 6.8 və s.

Rezistorların müqavimətlərinin nominal qiymətlərdən kənara çıxmaları faizlə göstərilməklə normallaşdırılıb.

Bütün növ rezistorların müqaviməti ona düşən gərginlikdən asılı olaraq dəyişə bilər. Buna səbəb isə rezistordakı yük daşıyıcıların konsentrasiyasının və onların hərəkətliliyinin ondakı elektrik sahəsinin gərginliyindən asılı olmasıdır. Bunu gərginlik əmsalı K_U ilə qiymətləndirirlər:

$$K_U = \frac{R_1 - R_2}{R_1} 100\%$$

burada R_1 və R_2 - rezistorun nominal gücünün 10% və 100%- li ayrılımlarına uyğun gələn müqavimətlərdir.

Rezistorların əsas parametrləri aşağıdakılardır:

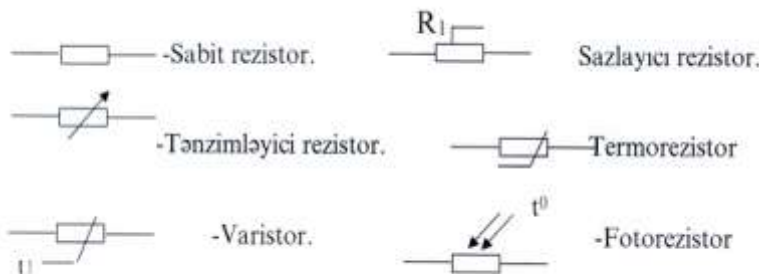
1. Müqavimətin nominal qiyməti- DÜİST 2825- 67- ə görə; 2. Müqavimətin nominal qiymətlərindən buraxıla bilən meylətməsi; 3. Ayrılan nominal güc- öz parametrlərini dəyişmədən rezistorda ayrılan gücün maksimal qiyməti; 4. İşçi gərginliyin sərhəd qiyməti- rezistorun iş qabiliyyətinin pozulmasına səbəb olmayan gərginliyin ən böyük qiyməti; 5. Müqavimətin temperatur əmsalı- temperaturun 1°S dəyişməsi nəticəsində rezistorun müqavimətinin dəyişməsinə xarakterizə edir:

$$MT\Theta = \frac{\Delta R}{R_1 \Delta t} \cdot 100\%$$

burada R_1 - normal otaq temperaturunda (20°S) rezistorun müqaviməti, Δt - rezistorun temperaturunun otaq temperaturundan fərqi və ΔR - rezistorun müqavimətinin Δt temperatur fərqinə uyğun gələn dəyişməsidir; 6. Məxsusi küylərin səviyyəsi D (mkV/V); 7.

Səpələnən nominal güc üçün ətraf mühitin maksimal temperaturu.

Rezistorların şərti işarələri şək.1.8- də verilmişdir. Rezistorların aşağıdakı növləri mövcuddur.



Şək. 1.8. Rezistorların şərti işarələri

Termorezistorlar. Müqaviməti temperaturdan asılı olaraq dəyişən rezistorlar termorezistorlar adlanır. Termorezistorlar metaldan (mis, platin, nikel) və ya yarımqeçiricilərdən hazırlanırlar. Elektron qurğularında əsasən yarımqeçirici termorezistorlardan geniş istifadə olunur.

Yarımqeçirici termorezistorların müqavimətinin mütləq temperaturdan asılılığı belə ifadə olunur:

$$R(T) = R_1(T_0)e^{\frac{B}{T} - \frac{B}{T_0}}$$

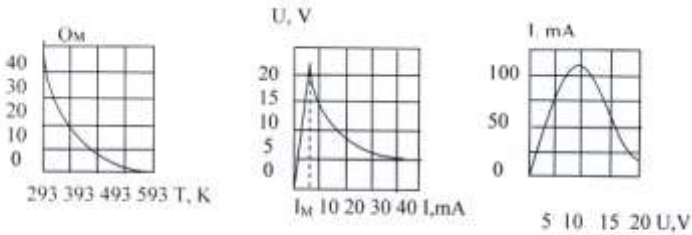
burada $R_1(T_0)$ - mütləq temperaturdakı (T_0) (adətən $T_0=293^0K$) termorezistorun müqaviməti və B - yarımqeçiricinin növündən asılı olan əmsaldır.

Termorezistordan elektrik cərəyanı keçən zamanı ayrılan istilik nəticəsində qızır və onun müqaviməti dəyişir (şək.1.9,a).

Termorezistorun temperatur xarakteristikasının qeyri- xəttiliyi nəticəsində onun volt- amper xarakteristikası da qeyri- xətti olur (şək.1.9,b). Şəkildən görüldüyü kimi kiçik cərəyanlarda termorezistorun volt-

amper xarakteristikası xətti, böyük cərəyanlarda isə qeyri-xəttidir.

Termorezistorlardan elektron dövrlərinin iş rejimlərinin parametrik termostabiləşdiricisi kimi, temperatur xətlərinin kompensasiyası üçün, temperaturun ölçülməsi və elektron dövrlərində tənzimləyici kimi istifadə olunur.



Şək.1.9. Termorezistorun xarakteristikaları. a) – temperatur b) – volt-ampər c) – pozistorun VAX

Varistorlar. Müqaviməti elektrik sahəsinin gərginliyindən asılı olaraq dəyişən müqavimətlər varistor adlanır. Varistorlar adətən silisium karbiddən hazırlanır. Varistorun volt-ampər xarakteristikası şək.1.10- da göstərilmişdir.

Şək.1.10- dan göründüyü kimi 2 xarakteristikasında mənfi diferensial müqavimətə malik olan sahələr mövcuddur. Belə volt- amper xarakteristikasına malik varistorlar neqistor adlanır. Bu varistorların volt- amper xarakteristikası aşağıdakı tənliklə aproksimasiya olunur:

$$I = \frac{U}{R_0} e^{a\sqrt{U}}$$

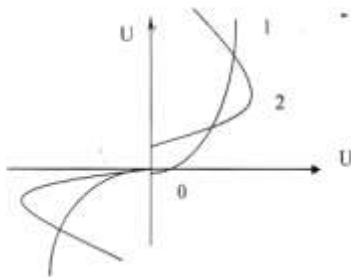
Burada a- qeyri- xəttilik əmsalı, R_0 - başlanğıc statik müqavimətdir (onun qiyməti kiçik sahə gərginliyində ölçülür və temperaturdan asılıdır).

Texniki tələbatlarda varistorun U_{nom} nominal gərginliyi, I_{nom} nominal cərəyanı və β qeyri- xəttilik əmsalı verilir:

$$R = \frac{U_{nom}}{I_{nom}} - \text{statik müqavimət}; \quad R_{dif} = \frac{\frac{\partial U_{nom}}{\partial I_{nom}}}{\frac{R}{\beta}} - \text{diferensial müqavimət}; \quad \beta = r_{dif}$$

Termorezistor və varistora malik elektrik dövrələrinin hesablanması qeyri- xətti dövrələrin hesablanması məlum metodlarına əsaslanır.

Pozistorlar. Pozistorlar- müqavimətin temperatur əmsalının müsbət olduğu yarımkeçirici termorezistordur.



Şək.1.10. Mənfi differensial müqavimətlərə varistorun (1) və neqistorun (2) volt-ampere xarakteristikaları.

1.9.2. Kondensatorlar

Kondensatorlar, rezistorlar kimi elektron dövrələrində istifadə olunan kütləvi elementlərdən biridir. Onlardan əsasən özündə elektrik sahəsinin enerjisini toplamaq və yaxud həmin enerjini qısa müddətdə digər

dövrə hissəsinə ötürməsi xassəsindən geniş istifadə olunur.

Kondensator, qalınlığı naqillərin ölçülərinə nisbətən çox kiçik olan dielektrik qatı ilə bir-birindən ayrılmış iki naqildən ibarətdir. Bu naqillərə kondensatorun köynəkləri deyilir. Naqillər sistemin mühüm xarakteristikası elektrik tutumudur. İki naqilin elektrik yükünü toplamaq xassəsini xarakterizə edən fiziki kəmiyyətə elektrik tutumu deyilir.

İki naqilin elektrik tutumu bu naqillərdən birinin yükünün, həmin naqillə onun qonşusu arasındakı potensiallar fərqiə olan nisbətində deyilir:

$$C = \frac{q}{u}$$

Kondensatorun tutumu onun həndəsi ölçülərindən və lövhələr arası fəzanı dolduran mühitin dielektrik nüfuzluğundan asılıdır.

Kondensatorların elektrik xarakteristikaları, konstruksiyası və tətbiq sahələri onların lövhələri arası fəzanı dolduran dielektrikin növündən asılıdır.

Dielektrikin növünə görə sabit kondensatorlar beş qrupa bölünür: qazaoxşar dielektrikli-hava, qaz, vakuum; maye dielektrikli; bərk qeyri-üzvi dielektrikli-keramik, şüşə-keramik, slüda və s.; bərk üzvi dielektrikli-kağız, metalkağız, floroplast; oksid dielektrikli-elektrolit, oksid-yarımkeçirici, oksid-metal.

Kondensatorlar nominal C_n və C_f tutumları ilə fərqləndirilir. Nominal tutum kondensatoru müşayiət edən sənədlərdə göstərilir, faktiki tutum isə verilmiş temperatur və məlum tezlikdə ölçülür.

Tutum dəyişməsinin buraxıla bilən həddi adətən faizlərlə verilir:

$$\Delta C_{nom} = \frac{C_f - C_{nom}}{C_{nom}} \cdot 100\%$$

Temperaturdan asılı olaraq tutumun qiymətinin dəyişməsi, tutumun temperatur əmsalı (TTƏ) ilə xarakterizə olunur α_c :

$$\alpha_c = \text{TTƏ} = \frac{1}{C} \frac{dC}{dT}$$

Bu əmsal, ətraf mühitin temperaturu 1^0K dəyişəndə kondensatorun tutumunun dəyişməsini göstərir. Kondensatorda istifadə olunan dielektrikin materialından asılı olaraq α_c (TTƏ) müsbət, sıfır və mənfi ola bilər. Onun qiyməti, verilmiş tezlikdə kondensatorun markasında hərf, rəqəm və ya rəngli kodla göstərilir. Tutumun temperatur əmsalının normalaşmış qiymətindən kənara çıxmasının buraxıla bilən qiymətinə görə kondensatorlar iki sinfə bölünürlər: A və B. A sinfindən olan kondensatorlarda α_c (TTƏ) əmsalı B sinfindən olanlardan 2-2,5 dəfə azdır.

Müəyyən α_c -yə malik tutum almaq üçün, müxtəlif tutuma və TTƏ-yə malik olan kondensatorların paralel, ardıcıl və qarışıq birləşməsindən istifadə edilir.

m kondensator paralel qoşulanda

$$\alpha_c = \frac{C_1}{C} \alpha_{c_1} + \frac{C_2}{C} \alpha_{c_2} + \dots + \frac{C_m}{C} \alpha_{c_m}$$

burada C paralel qoşulmuş kondensatorların yekun tutumudur: $C = C_1 + C_2 + \dots + C_m$

m kondensator ardıcıl qoşulanda

$$\alpha_c = \frac{C}{C_1} \alpha_{c_1} + \frac{C}{C_2} \alpha_{c_2} + \dots + \frac{C}{C_m} \alpha_{c_m}$$

Ardıcıl qoşulmuş kondensatorların yekun tutumu aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$1/C = 1/C_1 + 1/C_2 + \dots + 1/C_m$$

Kondensatorların nominallarını və TTƏ- sini seçməklə, onları ardıcıl və paralel qoşmaqla sıfır TTƏ- yə malik ölçmə kondensatorunu yaratmaq olar.

Kondensatorun sadələşdirilmiş ekvivalent sxemləri $C(\alpha)$ tutumundan, $R(\alpha)$ müqavimətindən və L_{ek} induktivliyindən təşkil olunmuşlar (şək.1.11,a və b). L_{ek} induktivliyi kondensatorun konstruksiya elementlərinin hesabına yaranır. $R(\omega)$ müqavimət enerji itkisini xarakterizə edir. Belə ki, verilmiş tezlik diapazonunda L_{ek} induktivliyinin nəzərə alınmayacaq qiymətində bu fakt real kondensatorlarda gərginliklə cərəyan arasındakı bucaq sürüşməsinin $\varphi < 90^0$ olduğunu göstərir. Halbuki, ideal kondensatorlarda cərəyan gərginlikdən 90^0 irəli gedir.

Şək.1.11,a- da göstərilən ekvivalent sxemdən istifadə etdikdə kondensatorun tam müqaviməti aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$Z(\omega) = \sqrt{R^2 + \left(\omega L_{1ek} - \frac{1}{\omega C(\omega)} \right)^2}$$

burada ω - bucaq tezliyidir ($\omega = 2\pi f$). İfadədən göründüyü kimi f_0 - dan böyük tezliklərdə ($f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi}$, ω - rezonans tezliyidir) kondensator özünü induktivlik kimi aparır. Ona görə də elektron dövrlərində kondensatorlardan elə tezlik diapazonunda istifadə edirlər ki, bu zaman L_{ek} induktivliyini nəzərə almamaq mümkün olsun. Müxtəlif növ kondensatorlar üçün maksimal tezlik diapazonu aşağıda göstərilir: hava kondensatorları- 2,5-3,6 mHz; slüda- 150-200 mHz; kağız- 50-80 mHz; disk şəkilli keramik- 200-2000 mHz; boru şəkilli keramik- 5-200 mHz.

Kondensatoru xarakterizə edən parametrlərdən biri də itki bucağının tangensidir. Bu parametr kondensatordakı elektromaqnit itkini xarakterizə edir və ondakı P aktiv gücün Q reaktiv gücünə olan nisbəti ilə təyin edilir:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{P}{Q} = \omega C_s R_s = \frac{1}{\omega C_p R_p}$$

$\operatorname{tg} \delta$ - dielektrikin növündən asılı olub, tezlikdən və zamandan, həmçinin temperaturdan və elektrik sahəsinin gərginliyindən asılı olaraq dəyişə bilər.

Kondensatora gərginlik veriləndə onda elektrik və akustik küylər yaranır. Elektrik küyləri, az hallarda boşalmalardan, tutumun təsadüfi sıçrayışla dəyişməsindən və mexaniki təsirdən pyezoelektrik effekti nəticəsində yaranır.

Kondensatorda akustik küylər, Kulon və elektrodinamik qüvvələrin təsiri nəticəsində onun lövhələrinin titrəyişi nəticəsində yaranır.

Elektrolit tipli kondensatorlardan başqa, digərləri üçün onlara gərginliyin işarəsinin əhəmiyyəti yoxdur. Elektrolit kondensatorlar qütblü və qütbşüz (K50-6) olurlar. Bu kondensatorlarda dielektrik kimi nazik metal oksid təbəqədən istifadə edilir. Oksid təbəqəsi ventil (açar) xassəsinə malik olduğundan, elektrolit kondensatorlar qütblü olurlar. Onlara gərginliyin qoşulması, elektrodlarda göstərilən qütblüyü nəzərə almaqla yerinə yetirilir. Elektrolit tipli kondensatorlarda dielektrik təbəqənin nazikliyi və dielektrik nüfuzluğunun böyük olması böyük tutumlu kondensatorların hazırlanmasına imkan verir.

Elektrolit kondensatorların əsas parametrlərindən biri I_{SC} sızma cərəyanıdır:

$$I_{SC} = K C_{nom} U_{nom} + m$$

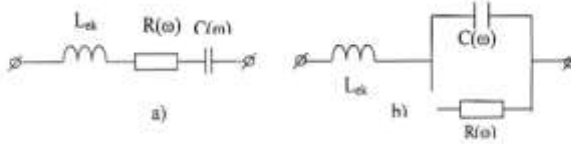
Burada: K və m - uyğun olaraq, kondensatorun növündən və tutumundan asılı olan əmsallardır ($K=10^{-4} \div 2 \cdot 10^{-6}$; $m=0 \div 10^{-2} \text{mA}$); C_{nom} , U_{nom} - uyğun olaraq, kondensatorun nominal tutumu və gərginliyidir. I_{SC} cərəyanı kondensatora sabit gərginlik verildəndən bir dəqiqə sonra təyin olunur.

Kondensatorların şərti işarələri şəkl.1.12- də göstərilmişdir.

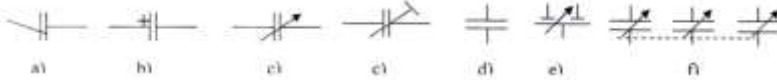
Tutumu idarə olunan kondensatorlar dəyişən və sazlayıcı kondensatorlar adlanır. Bu növ kondensatorların tutumu mexaniki və elektrik üsulları ilə dəyişdirilə bilər. Mexaniki üsulla tutumun dəyişdirilməsi kondensatorun bir qrup lövhəsinin digərinə nəzərən paralel olaraq yerdəyişməsi nəticəsində baş verir. Bu zaman bu lövhələrin bir-birini qarşılıqlı örtməsi sahəsinin və ya onlar arasında məsafənin dəyişməsi nəticəsində tutum dəyişir.

Dəyişən kondensatorda tutum qiymətinin maksimal dəyişməsi 600-5000 pF- dan çox olmur. Bu zaman tutumun dəyişmə qanunauyğunluğu lövhələrin formasının seçilməsindən asılı olaraq dəyişir.

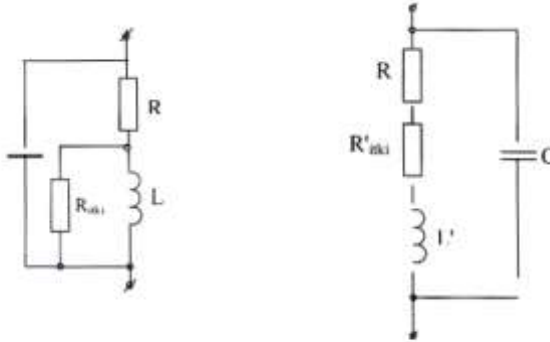
Dəyişən kondensatorlar üçün onların tutumunun maksimal C_{max} və minimal C_{min} qiymətləri, tutuma görə örtmə əmsalı $K_C=C_{\text{max}}/C_{\text{min}}$, $TT\Theta$, $\text{tg}\delta$ və tutumun dəyişmə qanunauyğunluğu böyük əhəmiyyət kəsb edir. Elektronikada, tutumu elektrik sahəsinin gərginliyindən asılı olan və qeyri- xətti qanunla dəyişən kondensatorlardan geniş istifadə olunur. Bu kondensatorların $C=q/U$ statik tutumları ilə diferensial tutumları $C_{\text{dif}}=dq/dU$ heç zaman eyni olmur. Seqnetoelektrik (spontan polyarlaşmaya malik keramik dielektrik) əsasında yaradılan qeyri- xətti kondensatorlar varikond, p-n keçidinin xassəsinə əsaslananlar isə varikap adlanır.



Şək.1.11. Kondensatorun ekvivalent sxemləri.



Şək.1.12. Burada a) sabit tutum; b) elektrolit qütblü; c) dəyişən tutum; ç) sazlayıcı kondensator; d) varikond; e) diferensial; f) çox seksiyalı kondensatordur.



Şək.1.13. İnduktivliyin ekvivalent sxemləri.

1.9.3. İnduktiv sarğacalar

Keçirici konturdan axan cərəyanla həmin konturla hüdudlanan səthdən keçən maqnit seli arasındakı mütənasıblıq əmsalına konturun induktivliyi deyilir. İnduktivlik də tutum kimi, naqilin həndəsi xarakteristikasıdır. O naqilin ölçülərindən və formasından asılıdır, lakin ondakı cərəyandan bilavasitə asılı deyildir. Bundan başqa, induktivlik naqilin yerləşdiyi mühitin maqnit xassələrindən də asılıdır.

BS- də induktivliyin vahidi Henri (H_n), şərti işarəsi isə L - dir.

İnduktiv sarğacalar, rezistor və kondensatorlar kimi elektron qurğularında geniş istifadə olunan elementlərdən (qida mənbələrində istifadə olunan drosselləri nəzərə almasaq) hesab olunmur. Kifayət qədər ölçülərə və kütləyə malik olmaları, mikrominiatur hazırlanmasında, xarakteristikaların və parametrlərinin təkrarlanmasında yaranan çətinliklər onlardan istifadə edilməsində məhdudiyyət yaradır. Buna baxmayaraq bəzi elektron qurğuları yaradanda onlarsız keçinmək mümkün olmur. Belə ki, xüsusi örtüklərdən (izolyasiya) hazırlanmış induktiv komponentlər $200-500^{\circ}S$ temperaturda daha etibarlı işləyirlər.

İnduktiv sarğacalar silindrik və ya spiralvari formaya malik sarğılardan ibarət olmaqla yanaşı birqat və ya çoxqat malik hazırlanırlar. Sarınma xarakteri induktiv sarğacın təyinatından asılı olur.

Sarğılar arası mövcud olan tutumu azaltmaq üçün qarqara (karkas) üzərində sarğı müəyyən addımla və yaxud onlar bir-birinə nəzərən paralel yox, müəyyən bucaq altında sarınırlar.

Sarğacın induktivliyini və keyfiyyət əmsalını artırmaq üçün sarğılar maqnitkeçiricili material üzərinə sarınır. Maqnitkeçiricili materialın parametrləri sabit və ya idarə olunan olurlar. Belə ki, bu materiallardan hazırlanmış qarqara daxilində ferromaqnit materialdan hazırlanmış içliklərin hərəkəti nəticəsində sarğacın induktivliyi dəyişir. İçlik kimi diamaqnitdən istifadə etmək olar və sarğacın içinə daxil olduğu zaman induktivlik azalır. Diamaqnit (mis, latun).

Alçaq tezliklərdə istifadə olunan sarğacaların maqnitkeçiricili materialları permaloydan və toroidal şəkilli

hazırlanır. Yüksək tezliklərdə isə ferritlərdən istifadə olunur.

Elektrik dövrlərinin hesabı zamanı, induktivliyin şəkl.1.13- də göstərilən ekvivalent sxemlərindən biri istifadə olunur. Şəkildə R- induktivlik dolağının aktiv müqaviməti, L- induktivliyi, R_{itki} -maqnit keçiricisində itki müqaviməti, C- sarğılar arası və hər bir sarğının tutumunu nəzərə alan ekvivalent tutumdur. Qeyd etmək lazımdır ki, L və L' , R_{it} və R'_{it} biri- birinə bərabər deyildirlər.

İnduktiv sarğacın əsas parametrlərindən biri olan keyfiyyət əmsalı, onun tam müqavimətinin xəyali hissəsi X-in aktiv hissəsi R-ə olan nisbəti kimi tapılır: $Q=X/R$. Sarğacın keyfiyyət əmsalı tezlikdən asılıdır. Əgər induktiv sarğacda ferromaqnitdən istifadə edilmirsə ($R_{itki} \rightarrow \infty$, $R'_{itki}=0$) və C tutumu olduqca kiçikdirsə, onda keyfiyyət əmsalı L_1 və r-dən asılı olub, tezlik artdıqda böyüyür.

İnduktiv sarğacın növlərindən biridə drosseldir. Drossellərin əsas təyinatı – dəyişən cərəyana böyük müqavimət, sabit və kiçik tezlikli isə cüzi müqavimət göstərməkdir. Onlarda iki yerə bölünür: alçaq və yüksək tezlikli drossellər. Alçaq tezlikli drossellər düzləndirici qurğularda döyünmələri hamarlamaq üçün süzgəc kimi istifadə olunur.

Yüksək tezlikli drossellər elektron dövrlərində yalnız nisbətən kiçik tezlikli siqnalları buraxmaq üçün nəzərdə tutulur.

İnduktiv sarğacın əsas parametrləri aşağıdakılardır: 1. Sarğacın nominal induktivliyi; 2. Sarğacın induktivliyinin meyletməsinin buraxıla bilən qiyməti; 3. İnduktiv sarğacın nominal keyfiyyət əmsalı; 4. Effektiv induktivlik; 5. Başlanğıc induktivlik; 6. Sarğacın induktivliyinin temperatur əmsalı ($iT\Theta$) aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$iT\Theta = \frac{\Delta L}{L\Delta T}$$

burada $\Delta T - \frac{\Delta L}{L}$ induktivliyinin nisbi dəyişməsinə səbəb olan temperatur diapazonudur (intervalı); 7. Sarğacın induktivliyinin temperaturdan asılılığının qeyri-stabilliyi; 8. Sarğacın keyfiyyət əmsalının temperatur əmsalı ($KT\Theta$):

$$KT\Theta = \frac{\Delta Q}{Q\Delta T}$$

İnduktiv sarğacın məxsusi tutumu; 10. Temperaturun işçi diapazonu.

Qida mənbələrində istifadə olunan drossellərin əsas parametrləri aşağıdakılardır: a) maqnitləndirici I_0 cərəyanı, b) L induktivliyi, c) sabit cərəyana görə drosselin sarğacının müqaviməti.

FƏSİL 2. MÜRƏKKƏB DÖVRƏLƏRİN HESABLANMASI ÜSULLARI

2.1. Superpozisiya prinsipi

Superpozisiya prinsipi xətti elektrik dövrələri nəzəriyyəsində çox vacib yer tutur. Belə ki, xətti elektrik dövrələrinin təhlili üsullarının əksəriyyəti bu prinsip üzərində qurulub. Əgər mənbələrin gərginlik və cərəyanlarını təsir kimi və ayrı-ayrı budaqlardakı gərginlik və cərəyanları bu təsirlərə reaksiya kimi qəbul etsək, onda superpozisiya prinsipini belə ifadə etmək olar: xətti dövrənin təsirlərin cəminə reaksiyası ayrı-ayrı təsire olan reaksiyaların cəminə bərabərdir. Bu prinsip bir və ya daha çox mənbənin təsirlərinə xətti dövrələrin reaksiyasını tapmağa kömək edir. Fərz edək ki, elektrik dövrəsinə 2 gərginlik mənbəyi təsir edir (şək.2.1,a). Bu mənbələrin hər ikisinin ayrı-ayrılıqda təsirlərinə reaksiyalarını cəmləməklə yekun reaksiyanı almaq olar:

$$i = \sum_{k=1}^n i_k; u = \sum_{k=1}^n u_k, \text{ burada } n\text{- mənbələrin ümumi sayıdır.} \quad (2.1)$$

R elementində birinci mənbənin təsirini öyrənmək üçün ikinci mənbəni qısa qapayıırıq. Bu zaman alınmış cərəyan i aşağıdakı düsturla hesablanır (şək.2.1,b):

$$i'_3 = i_1 \frac{R_2}{R_2 + R_3}, \quad \text{burada} \quad i'_1 = \frac{u_{g1}}{R_1 + R_2 R_3 / (R_2 + R_3)}. \quad (2.2)$$

R_3 elementində ikinci mənbənin təsirini öyrənmək üçün birinci mənbəni qısa qapayırıq. Bu zaman alınmış cərəyan i aşağıdakı düsturla hesablanır (şək.2.1,c):

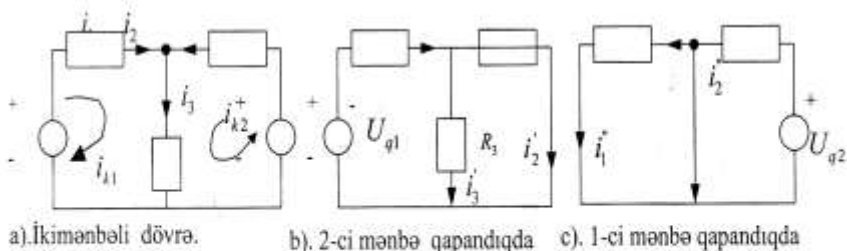
$$i_3'' = i_1' \frac{R_2}{R_1 + R_3}, \text{ burada } i_1' = \frac{u_{g2}}{R_2 + R_1 R_3 / (R_1 + R_3)} \quad (2.3)$$

Yekun cərəyan i onların cəbri cəminə bərabər olacaq. Məxsusi cərəyanların işarələri eyni olduqda onlar toplanır və əks olduqda çıxılacaq.

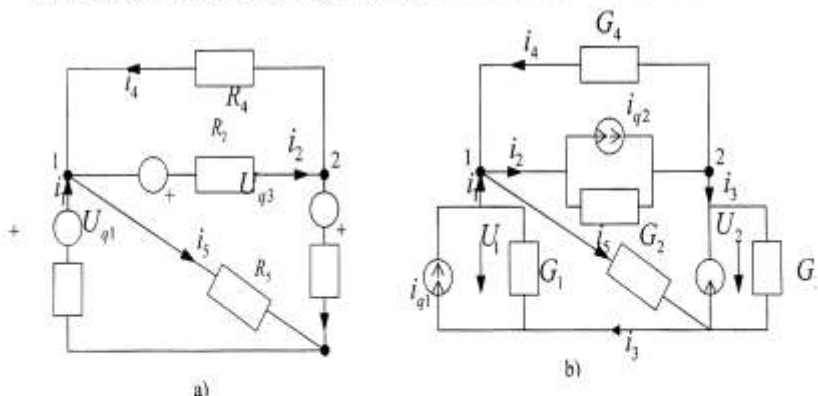
Daxili müqaviməti R olan gərginlik mənbələrində qısa qapanma, kiçik müqavimətli rezistorla əvəz olunur.

Elektrik dövrəsində cərəyan mənbəyi olduqda, onda qısa qapanma əvəzinə mənbə dövrədən ayrılır (ideal mənbə üçün). Daxili keçiriciliyi G olan real mənbələrdə isə onlar eyni keçiricilikli müqavimətlə əvəz olunur.

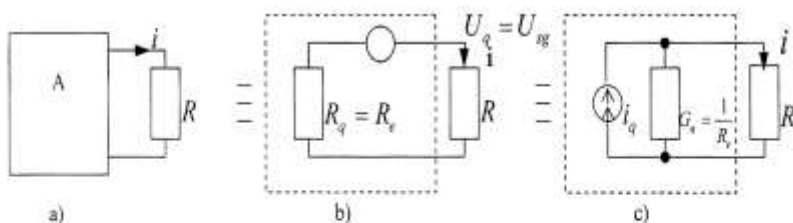
Elektrik dövrəsində mürəkkəb formalı gərginlik mənbəyi mövcuddursa, onda onun sadə formalı gərginliklərə ayırdıqda alınan təsirləri və reaksiyaları toplamaq lazımdır.



Şək.2.1. Qondarma (superpozisiya) prinsipini izah edən elektrik dövrəsi.



Şək. 2.2. Düyün potensialları üsulunun izahı üçün rezistiv sxem (a) və sxemdəki gərginlik mənbələri ekvivalent cərəyan mənbələri ilə əvəz edən sxem (b).



Şək. 2.3. Ekvivalent generator üsuluna aid aktiv ikiqütblünün sxemi (a), aktiv ikiqütblünü gərginlik mənbəyi ilə əvəzləmə (b) və aktiv ikiqütblünü cərəyan mənbəyi ilə əvəzləmə (c) sxemləri.

2.2. Kontur cərəyanları üsulu

Elektrik dövrəsinin ayrı-ayrı budaqlarındakı cərəyanları təyin etdikdə budaqların sayı qədər tənlik tərtib etmək lazım gəlir. Kontur cərəyanları üsulu həll olunan tənliklərin sayını konturların sayına qədər azaltmağa və hesabı sadələşdirməyə imkan verir. Üsulun əsasını hər bir kontura istiqaməti konturu izləmə istiqaməti ilə uyğun gələn şərti kontur cərəyanının daxil edilməsi təşkil edir. Bu zaman kontur cərəyanları üçün Kirxhofun qanunları doğru olmalıdır. Bundan sonra hər bir kontur üçün Kirxhofun cərəyanlar qanununa görə tənlik tərtib edilir.

Bu üsulun mahiyyətini şək.2.1,a- da göstərilən elektrik sxemi üzərində aydınlaşdıraraq. Bu sxemin i_{k1} və i_{k2} kontur cərəyanları üçün Kirxhofun gərginliklər qanununa görə aşağıdakı tənlikləri yazmaq olar:

$$(2.4) \quad -u_{g1} + (R_1 + R_3)i_{k1} + R_3i_{k2} = 0$$

$$(2.5) \quad -u_{g2} + (R_2 + R_3)i_{k2} + R_3i_{k1} = 0$$

Bu tənlikləri formaca dəyişməklə kontur cərəyanları üsulunun kanonik formasını almaq olar:

$$R_{11}i_{k1} + R_{12}i_{k2} = u_{k1}, \quad R_{21}i_{k1} + R_{22}i_{k2} = u_{k2} \quad (2.6)$$

burada $R_{11}=R_1+R_3$; $R_{22}=R_2+R_3$ - birinci və ikinci konturların məxsusi və ya kontur müqavimətləridir; $R_{12}=R_{21}=R_3$ konturların qarşılıqlı müqavimətləri; $u_{k1}=u_{g1}$ və $u_{k2}=u_{g2}$ - konturların verici gərginlikləridir.

Budaqlardakı həqiqi cərəyanlar kontur cərəyanlarının cəbri cəminə bərabərdir:

$$i_1=i_{k1}; \quad i_2=i_{k2}; \quad i_3=i_{k1}+i_{k2}. \quad (2.7)$$

Tənliklər sistemini həll etməklə verilmiş elektrik dövrəsini hesablamaq olur.

2.3. Düyün potensialları üsulu

Baxılan üsul Om qanunu və Kirxhofun cərəyanlar qanunu üzərində formalaşır. Üsulun mahiyyətinə şəx.2.2,a- dakı sxem əsasında baxaq. Baza düyünü kimi $U=0$ qəbul edək və $i_g = u_g / R_g$; $G_g = 1/R_g$ düsturları əsasında gərginlik mənbələrini cərəyan mənbələrinə çevirək (şəx.2.2,b):

$$i_{g1} = u_{g1} G_1; i_{g2} = u_{g2} G_2; i_{g3} = u_{g3} G_3; \\ G_1 = 1/R_1; G_2 = 1/R_2; G_3 = 1/R_3; G_4 = 1/R_4; G_5 = 1/R_5. \quad (2.8)$$

Kirxhofun cərəyanlar qanununa görə 1 və 2 düyünləri üçün tənlikləri tərtib edək:

$$-i_1 + i_2 - i_3 + i_4 = 0; \quad i_4 + i_3 - i_5 = 0 \quad (2.9)$$

Bu cərəyanlardan hər birini düyün nöqtələri və i_{g1} , i_{g2} , i_{g3} cərəyanları vasitəsilə ifadə edək:

$$i_1 = i_{g1} - u_1 G_1; i_2 = i_{g2} - (u_2 - u_1) G_2; i_3 = i_{g3} + u_2 G_3; i_4 = (u_2 - u_1) G_4; i_5 = u_1 G_5. \quad (2.10)$$

Bu qiymətləri (2.9) tənliyində yerinə qoyduqdan və qruplaşdırmadan sonra alırıq:

$$(G_1 + G_2 + G_3 + G_4) u_1 - (G_2 + G_4) u_2 = i_{g1} - i_{g2}, \\ (G_2 + G_4) u_1 + (G_2 + G_3 + G_4) u_2 = i_{g2} - i_{g3}$$

Aşağıdakı işarələməni daxil edək:

$$G_{11} = G_1 + G_2 + G_3 + G_4; \quad G_{22} = G_2 + G_3 + G_4; \\ G_{12} = G_{21} = G_2 + G_4; \\ i_{y1} = i_{g1} - i_{g2}; \quad i_{y2} = i_{g2} - i_{g3}.$$

Bu halda (2.11) və (2.12) tənlikləri aşağıdakı şəkllə düşür:

$$G_{11} u_1 - G_{12} u_2 = i_{y1}, \quad (2.13)$$

$$-G_{21} u_1 + G_{22} u_2 = i_{y2}. \quad (2.14)$$

G_{11} və G_{22} keçiricilikləri 1 və 2 düyünlərinə birləşdirilmiş bütün budaqlardakı keçiriciliklərin ədədi cəminə bərabərdir və 1 və 2 düyünlərinin xüsusi keçiriciliyi adlanır. G_{12} və G_{21} keçiricilikləri 1 və 2 düyünləri arasındakı budaqlardakı keçiriciliklərin ədədi cəminə bərabərdir və 1 və 2 düyünlərinin qarşılıqlı keçiriciliyi adlanır. i_{y1} və i_{y2} cərəyanları 1 və 2 düyününə birləşdirilmiş bütün budaqlardakı cərəyan mənbələrinin ədədi cəminə bərabərdir və 1 və 2 düyünlərinin verici düyün cərəyanları adlanır. Əgər mənbəyin cərəyanı düyün nöqtəsinə yönəlmişsə, onun işarəsi müsbət götürülür və əks halda mənfi qəbul olunur.

Sonuncu tənliklər sistemini u_1 və u_2 gərginliklərinə nəzərən həll edərək Om qanununa əsasən cərəyanları tapmaq olar.

2.4. Ekvivalent generator üsulu

Bu üsuldan bir budaqlı cərəyanı, gərginliyi və gücü tapmaq üçün istifadə edirlər. Bundan ötrü dövrənin qalan bütün hissəsinə ikiqütblü kimi baxırlar (şək.2.3,a). İkiqütblü, elektrik enerjisi mənbəyinə malikdirsə aktiv (A), əks halda passiv (P) adlanır.

Bu üsulun iki modifikasiyası var: ekvivalent gərginlik mənbəyi üsulu və ekvivalent cərəyan mənbəyi üsulu.

Birinci üsul Tevenin teoreminə əsaslanır: Xətti elektrik dövrəsinin istənilən budağının birləşdiyi aktiv ikiqütblünü, verdiyi gərginlik açıq budağın sıxaclarındakı yüksüz gediş gərginliyinə və daxili müqaviməti açılmış budaq tərəfdən passiv ikiqütblünün giriş müqavimətinə bərabər olan ekvivalent gərginlik generatoru ilə əvəz olunarsa, onda bu budaqdan axan cərəyan dəyişmir.

Bu teoremi sübut etmək üçün R elementli budağı açaq və yüksüz gediş gərginliyini təyin edək. Bu zaman R elementli budaqdakı cərəyan (şək.2.3,b) ilkin sxemdəki cərəyana nisbətən dəyişmir. Baxılan budaqdakı yekun cərəyanı superpozisiya prinsipinə görə tapmaq olar: $i = i_A + i_1 + i_2$, burada i_A - aktiv ikiqütblü ilə əlaqədar cərəyan; $i_1 - u_{g1}$ mənbəyi ilə əlaqədar cərəyan; $i_2 - u_{g2}$ mənbəyi ilə əlaqədar cərəyandır. Lakin aktiv ikiqütblünün və mənbənin (u_{g2}) gərginlikləri əks işarəli olduqları üçün $i_A + i_2 = 0$ olur. Uyğun olaraq, $i = i_1$ dövrəsindəki cərəyan ancaq $u_{g1} = u$ mənbəyinin təsiri ilə yaranır. Əgər aktiv ikiqütblünün bütün verici gərginliklərini və cərəyanlarını sıfıra bərabər qəbul etsək onda i cərəyanını tapmaq olar. Bu zaman alınan passiv ikiqütblü ayrılan sıxaclara nisbətən öz ekvivalent müqaviməti R ilə xarakterizə olunur.

Aktiv ikiqütblünü ekvivalent mənbə ilə əvəz etdikdən sonra

$$i = u_{sg} / (R + R_e)$$

alınır. Burada R_e - ni eksperimental və ya hesabat yolu ilə tapmaq olar.

İkinci üsul Norton teoreminə əsaslanır: Xətti elektrik dövrəsinin istənilən budağının birləşdiyi aktiv ikiqütblünü, verdiyi gərginlik açıq budağın sıxaclarındakı qısa qapanma cərəyanına və daxili keçiriciliyi açılmış budaq tərəfdən passiv ikiqütblünün giriş keçiriciliyinə bərabər olan ekvivalent cərəyan generatoru ilə əvəz olunarsa, onda bu budaqdan axan cərəyan dəyişmir.

Bu teoremi sübut etmək üçün ekvivalent gərginlik generatorunu (şək.2.3,b) ekvivalent cərəyan generatoruna (şək.2.3,c) çevirək:

$$G_g = 1/R_g; i_g = i_{qq} = u_{sg} G_g$$

burada i_{qq} - baxılan budağın qısa qapanma cərəyanıdır.

(2.16) düsturundan passiv ikiqütblünün parametrlərini təyin edən düstur almaq olar:

$$R_e = R_g = 1/G_g = u_{sg}/i_{qq}$$

i_{qq} və R_e parametrlərini tapdıqdan sonra axtarılan cərəyanı aşağıdakı düsturla təyin etmək olar:

$$i = i_{qq}(R_e/(R + R_e)) \quad (2.18)$$

Göründüyü kimi ekvivalent generator üsulunun hər iki növü eyni nəticə verir. Onlardan hansının istifadəsi u və ya i parametrlərinin tapılmasının sadəliyindən asılıdır.

FƏSİL 3. MAQNİT SAHƏSİ

3.1. Maqnit sahəsinin əsas kəmiyyətləri

Maqnit sahəsi istənilən anda və hər bir şəraitdə elektrik cərəyanı tərəfindən yaradılan bir fiziki hadisədir. Elektrik sahəsində olduğu kimi maqnit sahəsinin də hər bir nöqtəsində müəyyən qüvvə təsir edir. Lakin elektrik sahəsi elektrik yükündən əmələ gəlmiş üçün, ancaq elektrik yüklərinə təsir edə bilər. Maqnit sahəsi isə elektrik cərəyanından yaranır və ancaq elektrik cərəyanına təsir edə bilər.

Maqnit sahəsi elektrik cərəyanı tərəfindən yaradıldığı üçün elektrik cərəyanı olan yerdə maqnit sahəsi, maqnit sahəsi olan yerdə isə elektrik cərəyanı axtarılmalıdır. Maqnit sahəsi, onun içərisinə gətirilən başqa bir cərəyanlı keçiriciyə etdiyi təsirinə görə aşkarlanır. Oudur ki, maqnit sahəsinin öyrənilməsinə, həmişə onun başqa cisimlərdə əmələ gətirdiyi bu və ya digər xarakterli hadisələrin intensivliyini təyin etməklə yanaşmaq lazımdır.

Maqnit sahəsinə xarakterizə edən əsas kəmiyyət maqnit sahəsinin induksiya vektorudur (B). İnduksiya vektorundan qarşılıqlı təsir qüvvəsinin qiymətini və istiqamətini təyin etmək üçün istifadə edilir.

Amper qanununa görə maqnit sahəsinin cərəyanlı məftilə etdiyi təsir qüvvəsi, məftilin növündən və en kəsiyindən asılı olmayıb onun sahə içərisində qalan uzunluğundan (aktiv uzunluğundan), sahəyə görə aldığı vəziyyətdən, məftildən keçən cərəyanın şiddətindən və sahənin sıxlığından asılıdır:

$$F = B \cdot I \cdot l \cdot \sin \alpha \quad (3.1)$$

burada B - maqnit induksiya; l - məftildən keçən cərəyan, A ; l - məftilin aktiv uzunluğu, m ; α - məftillə sahənin istiqamətləri arasındakı bucaqdır.

Təsir qüvvəsinin istiqaməti həm cərəyanın, həm də sahənin istiqamətinə perpendikulyar olur və sol əl qaydası ilə müəyyən edilir (şək.3.1). (3.1) ifadəsindən maqnit induksiyasını tapmaq olar:

$$B = \frac{F}{Il \sin \alpha} \quad (3.2)$$

$I = 1 \text{ A}$, $l = 1 \text{ m}$, $\alpha = 90^\circ$ olduqda, $B \equiv F$ olur.

Maqnit induksiya vahidi BS sistemində tesladır (TI): $1 \text{ TI} = 10^4 \text{ Qs}$ (Qauss).

Maqnit sahəsinin mühit içərisində paylanmasını göstərmək üçün maqnit qüvvə xətlərindən istifadə edilir. Maqnit qüvvə xətləri konsentrik çevrələr şəklində olur, məftilə perpendikulyar yerləşən müstəvilər üzərində yerləşir və həmişə qapalı konturlar təşkil edir. İnduksiya vektoru (B) qüvvə xətlərinin istənilən nöqtəsində onlara toxunur. Qüvvə xətlərinin istiqaməti burğu üsulu ilə təyin edilir.

Burğunu, məftildən keçən cərəyan istiqaməti ilə irəli hərəkət etdirsək, onun dəstəyinin soldan sağa fırlanma istiqaməti maqnit qüvvə xəttinin istiqamətini göstərəcək.

Maqnit sahəsinə xarakterizə edən ikinci əsas kəmiyyət maqnit selidir. İnduksiya vektorunun hər hansı bir S səthi boyuncu götürülmüş selinə, yəni həmin səthdən keçən induksiya xətlərinin sayına maqnit seli deyilir (şək.3.2):

$$F = \int_S B_n dS = \int_S B \cos \alpha dS \quad (3.3)$$

Əgər götürülmüş S səthindən keçən maqnit seli dəyişmirsə o zaman maqnit seli

$$F = BS \quad (3.4)$$

Maqnit selinin vahidi Veberdir ($1 \text{ Vb} = 1 \text{ TI} \cdot \text{m}^2$).

Sarğacdən keçən elektrik cərəyanı, onun içərisində yaratdığı bircinsli maqnit sahəsini xarakterizə edən maqnit induksiya, qiymətcə sarğılardan keçən cərəyana (I), sarğılar sayına (ω - və düz sarğacın (l) uzunluğuna isə tərs mütənasibdir:

$$B = \mu \frac{\omega I}{l}, \quad (3.5)$$

burada μ - mütənasiblik əmsalı; ωl - maqnit sahəsinin gərginliyi adlanır.

Maqnit sahəsinin gərginliyi (H), vektorial bir kəmiyyət olub, istiqaməti sahənin verilmiş nöqtəsindəki induksiya vektoru istiqamətində, qiyməti isə induksiya xətti istiqamətində vahid uzunluğa düşən tam cərəyana bərabər olur:

$$B = \mu H \quad (3.6)$$

Düsturdakı asılılıq əmsalı maqnit nüfuzluğu adlanır: $\mu = B/H$. Maqnit nüfuzluq əmsalının vahidi Henri/metr (Hn/m) olur.

Adətən $\mu = \mu_0 \mu_n$ kimi göstərilir. Burada μ_0 - boşluğun maqnit nüfuzluğu və μ_n - isə verilən mühitin nisbi nüfuzluğudur.

Bütün cisimlər öz maqnit nüfuzluğuna görə diamagnet, paramagnet və ferromagnet adlanan 3 qrupa bölünür.

3.2. Tam cərəyan qanunu

Elektrik cərəyanı və maqnit sahəsi bir- biri ilə tam cərəyan qanunu vasitəsilə əlaqələndirilir. Tam cərəyan qanunu, müxtəlif istiqamətlərə yönəldilmiş cərəyanlı məftillər tərəfindən yaradılan maqnit induksiya tapmağa imkan yaradır. Eyni cinsli mühit içərisində yerləşdirilmiş müxtəlif (I_1 , I_2 və I_3) cərəyanlar tərəfindən

yaradılan maqnit selini araşdırmaq üçün həmin mühitdə qapalı bir kontur götürmək lazımdır (şək.3.3). Götürdüyümüz konturun hər bir nöqtəsində (M) müəyyən maqnit induksiyası mövcuddur. Məsələn, konturun M nöqtəsində olan maqnit induksiyası qapalı konturdan keçən cərəyanların sayından, keçiricinin formasından və M nöqtəsinin həmin keçiricilərə nisbətən yerləşdiyi vəziyyətdən asılıdır. Bu asılılığı göstərmək üçün maqnit sahəsinin gərginliyi vektorunun qapalı kontur üzrə xətti integralını götürmək lazımdır:

$$\oint Hdl = \oint H \cos \alpha dl = \sum I \quad (3.7)$$

Bu ifadəyə tam cərəyan qanunu deyilir.

Maqnit dövrlərinin hesablanmasında tam cərəyan qanunundan istifadə edilir. Maqnit sahəsinin gərginliyi vektorunun qapalı kontur üzrə götürülmüş dövrü integralına həmin konturda təsir edən maqnit hərəkət qüvvəsi (m.h.q.) adı verilmişdir.

Maqnit hərəkət qüvvəsi adətən, F hərfi ilə işarə olunur (Amperlə və ya Amper-sarğı ilə göstərilir). H və dl vektorları arasındakı bucaq sıfır olduqda tam cərəyan qanunu aşağıdakı kimi ifadə olunur:

$$\oint Hdl = \sum I = F \quad (3.8)$$

3.3. Maqnit dövrləri

Maqnit dövrləri müxtəlif markalı elektrotexniki poladlardan hazırlanır. Elektrik maşın və aparatlarının, eləcə də ölçü və mühafizə cihazlarının quruluşu həm elektrik, həm də maqnit dövrlərindən ibarətdir.

İçərisində m.h.q. təsir edən və maqnit selinə yol verən qapalı quruluşa maqnit dövrəsi deyilir. Maqnit

dövrəsi bütöv ferromağnitdən, ferromağnit ilə hava məsafələrindən ibarət ola bilər. Onlar eyni kəsikli və eyni cinsli ola bilərlər. Müxtəlif məqsədlər üçün istifadə edilən maqnit dövrləri qeyri- xətti müqavimətə malikdirlər.

Eyni ferromağnit materialdan hazırlanan e_1 və e_2 sahələrinə malik olan maqnit dövrəsinə baxaq. Materialın en kəsiyinin sahələri uyğun olaraq S_1 və S_2 qəbul edilir. Nəzərə alınır ki, hər sahənin bütün nöqtələrində maqnit induksiya eynidir. e_1 sahəsindəki maqnit induksiya $B_1 = F/S_1$, e_1 sahəsindəki maqnit induksiya isə $B_2 = F/S_2$ olur. Uyğun olaraq, həmin sahələrdəki maqnit sahəsinin gərginlikləri aşağıdakı kimi ifadə olunurlar:

$$H_1 = B_1 / (\mu_1 \mu_0) = F / (\mu_1 \mu_0 S_1); \quad H_2 = B_2 / (\mu_2 \mu_0) = F / (\mu_2 \mu_0 S_2). \quad (3.9)$$

Orta maqnit xətti ilə ($I_{or} = I_1 + I_2$) üst- üstə düşən kontura tam cərəyan qanununu tətbiq etsək:

$$F = H_1 I_1 + H_2 I_2 = I W \text{ alırıq.} \quad (3.10)$$

Burada $F = I W$ maqnit hərəkət qüvvəsidir.

H_1 və H_2 ifadələrinin qiymətlərini (3.10) tənliyində yerinə yazsaq:

$$F = I W = F * (I_1 / (\mu_1 \mu_0 S_1)) + F * (I_2 / (\mu_2 \mu_0 S_2)) = \\ FR_{m1} + FR_{m2} = U_{m1} + U_{m2}, \quad (3.11)$$

Burada $R_{m1} = I_1 / (\mu_1 \mu_0 S_1)$ və $R_{m2} = I_2 / (\mu_2 \mu_0 S_2)$ sahədəki məftilin maqnit müqaviməti; $U_{m1} = F R_{m1}$ və $U_{m2} = F R_{m2}$ - maqnit gərginlikləridir.

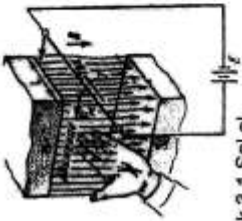
(3.11) düsturuna görə maqnit seli aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$F = I W / (R_{m1} + R_{m2}) \quad (3.12)$$

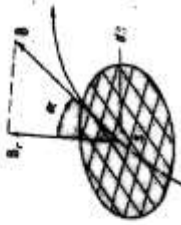
(3.12) düsturu elektrik dövrəsi üçün Om qanununa oxşadığı üçün onu maqnit dövrəsi üçün Om qanunu adlandırırlar.

BS sistemində maqnit müqavimətinin vahidi:

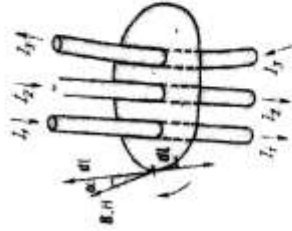
$$[R_m] = [I W] / [F] = A / V \cdot s = 1 / \Omega \cdot s = 1 / H_n \text{ olur.}$$



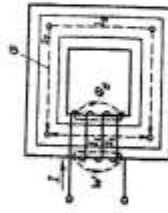
Şek.3.1.Sol al
qaydası.



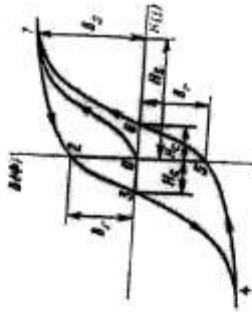
Şek.3.2.Mağnit selinin tayınlı.



Şek.3.3.Tam curreyan
qanunu.



Şek.3.4.Budaqlanmayan
mağnit dövrəsi.



Şek 3.5.Histerezis ilgeyl.

3.4. Maqnitlənmə əyrisi

Elektrik maşın və aparatlarında istifadə olunan maqnit dövrələri əsasən ferromaqnit materialdan hazırlanır. Maqnit nüfuzluğu sabit qalmayıb şəraitdən asılı olaraq dəyişən maqnit materialları ferromaqnitlər adlanır. Bu növ materiallar başqalarından 3 əsas xassəsinə görə fərqlənir: ferromaqnitlərin maqnit nüfuzluğu başqa cisimlərə nisbətən daha böyükdür; ferromaqnitlərin nüfuz əmsalı maqnit induksiyasından asılı olaraq dəyişir; ferromaqnitlər xarici təsirləndirici olmadıqda da induksiya malik olur.

Ferromaqnit materialların nüfuzluq əmsalının sahə gərginliyindən asılı olaraq dəyişməsi onun texnikada geniş istifadə olunmasına şərait yaradır. Odur ki, müxtəlif quruluşlarda istifadə olunan maqnit dövrələrinin hesabı üçün sahə gərginliyi ilə maqnit induksiya arasındakı asılılığı $B(H)$ göstərən maqnitlənmə əyrləri verilməlidir.

Periodik dəyişən maqnit sahəsində olan ferromaqnitlər maqnitlənmə- maqnitsizləşmə xassəsinə malikdir. Bu hadisələrin hər ikisini ayrı- ayrılıqda $B(H)$ əyrləri vasitəsilə göstərmək olar (şək.3.4).

Şəkildən görünür ki, koordinat sistemində maqnitsizləşmə əyrisi maqnitlənmə əyrisindən yuxarıda gedir. Maqnitsizləşmə zamanı induksiyanın sahə gərginliyindən geri qalmasına histerezis hadisəsi deyilir.

Əyridən göründüyü kimi, maqnit sahəsinin gərginliyi tədricən sıfır qiymətindən doyma qiymətinə qədər artırılır və sonra yenidən azaldılaraq sıfıra endirilir. Başlanğıc anda (0-1) sahə gərginliyinə mütenasib olaraq maqnit induksiya da artır. Maqnit sahəsinin gərginliyinin sonrakı artımı induksiyanın artımına zəif təsir göstərir və tədricən maqnitlənmə əyrisi absis oxuna paralelləşir. Ferromaqnitin bu vəziyyətinə doyma rejimi deyilir.

Maqnit sahəsi gərginliyini sıfıra endirdikdə maqnit induksiyası 1-2-3 əyrisi üzrə azalaraq 0-1 əyrisi ilə üst-üstə düşmür, yeni ferromaqnitdə 0-2 qədər qalıq induksiyası qalır.

Sonra sahənin təsir istiqaməti əksinə çevrilərək sıfırdan doyma nöqtəsinə qədər (3-4) artırılır. Beləliklə, yenidən sahə gərginliyi doyma nöqtəsindən sıfıra qədər endirilir (4-5-6). Bu dəfə alınan qalıq induksiyası 0-5 qədər olacaqdır. Nəticədə material 2 dəfə maqnitləşmə və maqnitsizləşmə əməliyyatlarına məruz qalacaqdır. Bu hadisə dövrü maqnitləşmə adlanır. Alınmış qapalı əyriyə histerezis ilgəyi adlanır.

Histerezis ilgəyi ensiz olan ferromaqnit materiallara yumşaq maqnit və enli olan materiallar isə bərk maqnit materiallar adlanır.

Yumşaq maqnit materiallarının başlanğıc və maksimal maqnit nüfuzluğu çox yüksək və koersitiv qüvvəsi az olur.

Bərk maqnit materiallar çətin maqnitləşirlər. Buna baxmayaraq onlar maqnitlənmə xassələrini uzun müddət saxlaya bilirlər. Onlarda qalıq induksiyasının və koersitiv qüvvənin qiymətləri böyükdür.

3.5. Elektromaqnit induksiyası hadisəsi

Elektromaqnit induksiyası hadisəsi prinsipcə ondan ibarətdir ki, bir keçirici maqnit qüvvə xətlərini kəsərək hərəkət etdikdə onun uclarında e.h.q. yaranır. Bu hadisə 1831- ci ildə M.Faradey tərəfindən kəşf edilmişdir. Faradeyə görə maqnit sahəsində yerləşən keçirici hər hansı üsulla maqnit xətlərini kəsdikdə onda e.h.q. yaranır.

Elektrik enerjisinin bir növdən başqa bir növə çevrilməsi, uzaq məsafələrə ötürülməsi, paylanması, informasiyanın ötürülməsi və qücün istifadə olunan

qurğuların çoxunun işləmə prinsipi elektromaqnit induksiya hadisəsinə əsaslanır.

C.Maksvell tərəfindən müəyyən edilmişdir ki, induksiyalanmış e.h.q.-nin qapalı konturda davam etmə müddəti kontura nüfuz edən maqnit selinin dəyişməsi müddətindən asılıdır.

1833-cü ildə elektromaqnit induksiya E.X.Lents tərəfindən qanun halına salınmışdır. O sübut etmişdir ki, hər hansı üsulla induksiya olunan e.h.q., onun yaradan səbəbə əks təsir göstərəcək istiqamətdə olur.

Qapalı konturda induksiyalanmış e.h.q.-nin qiyməti maqnit selinin dəyişmə sürəti ilə düz mütənəsb olur:

$$e = \frac{dF}{dt} \quad (3.13)$$

Konturdakı sarğıların sayı W qədər olarsa, onda induksiyalanmış e.h.q.-nin qiyməti

$$e = W \frac{dF}{dt} \quad (3.14)$$

olacaq. Lents qanunu nəzərə alındıqda bu ifadə aşağıdakı şəkildə olacaqdır:

$$e = -W \frac{dF}{dt} \quad (3.15)$$

Düsturdakı mənfi işarə induksiya olmuş e.h.q.-nin onu yaradan səbəbə qarşı həmişə əks təsir etməyə çalışacağını göstərir.

3.6. Qarşılıqlı induksiya və özünəinduksiya

Məlumdur ki, cərəyanlı keçiricilərin ətrafında maqnit sahəsi yaranır və cərəyanla maqnit sahəsi qarşılıqlı təsirdə olur. Cərəyan keçirən 2 məftildəki cərəyanlardan birinin qiyməti və ya istiqaməti dəyişdikdə, məftil ətrafında

yaranan maqnit sahəsi də dəyişir. Eyni hadisə ikinci məftildəki cərəyan dəyişdikdə də baş verir.

Beləliklə, qarşılıqlı təsirdə olan cərəyanlı məftillərin birində dəyişən cərəyan digər məftildə müəyyən bir e.h.q.-ni induksiylayacaqdır.

Cərəyanlı məftillərdən birinin təsirindən digərində e.h.q.-nin induksiyanması hadisəsi qarşılıqlı induksiya hadisəsi adlanır. Bu hadisəni maqnit rabitəli 2 sarğacla araşdıraq (şək.3.5).

Dövreyə qoşulmuş 1 sarğacından keçən i_1 cərəyanının yaratdığı maqnit selinin bir hissəsi ona yaxın yerləşdirilən və dövrəyə qoşulmayan 2 sarğacının sarğıları ilə kəşir.

Ferromaqnit mühit olmadıqda F_1 özünəinduksiya, F_{12} qarşılıqlı induksiya seli və buna uyğun olaraq $\psi_1 = W_1 F_1$ və $\psi_{12} = W_{12} F_{12}$ kəsişmə selləri i_1 cərəyanına mütənasib olacaqdır:

$$\psi_1 = L_{11} i_1 \text{ və } \psi_{12} = M_{12} i_1, \quad (3.16)$$

burada M_{12} - 1 və 2 sarğacları arasında qarşılıqlı induktivlikdir.

1 sarğacında i_1 cərəyanı dəyişdikdə 2 sarğacında induksiyananan e.h.q. aşağıdakı qiymətə bərabər olur:

$$e_{m2} = - \frac{d\psi_{1,2}}{dt} = -M_{12} \frac{di_1}{dt}, \quad (3.17)$$

burada e_{m2} - 2- ci sarğacdakı qarşılıqlı induksiya e.h.q.-sidir.

Birinci sarğacı dövrəyə qoşub ikinci sarğacı açıq saxladıqda, birinci sarğacdakı qarşılıqlı e.h.q.-si aşağıdakı qiymətə malik olur:

$$e_{m1} = - \frac{d\psi_{2,1}}{dt} = -M_{21} \frac{di_2}{dt}, \quad (3.18)$$

Hər iki sarğacdən axan cərəyanlar eyni zamanda dəyişərsə, onda sarğaclarda həm özünəinduksiya, həm də qarşılıqlı induksiya e.h.q.-ləri yaranur:

$$E_{L1} = -L_1 \frac{di_1}{dt}, E_{M1} = -M \frac{di_2}{dt}, E_{L2} = -L_2 \frac{di_2}{dt}, E_{M2} = -M \frac{di_1}{dt}. \quad (3.19)$$

Xüsusi maqnit selinin dəyişməsi nəticəsində qapalı konturda e.h.q.-nin yaranması hadisəsi özünəinduksiya adlanır.

Həm qarşılıqlı induksiya, həm də özünəinduksiya hadisələri konturda maqnit enerjisi ilə əlaqədar olduğu üçün onun induktivliyini xarakterizə edir. Özünəinduksiya e.h.q.-si üçün aşağıdakı ifadə doğrudur:

$$E_L = -L \frac{di}{dt}. \quad (3.20)$$

İnduktivliyin vahidi Henridir ($1 \text{ Hn} = \text{Vb/A} = \text{Vsan./A} = 1 \text{ Om} \cdot \text{san.}$). İnduktivlik vahid cərəyan şiddətinə düşən maqnit selinə (ψ) bərabərdir:

$$\psi = Li \quad (3.21)$$

Düsturdan görünür ki, cərəyan şiddətinin eyni qiymətində dövrənin induktivliyi ancaq maqnit selindən asılı olaraq dəyişə bilər.

FƏSİL 4. SİNUSOIDAL DƏYİŞƏN CƏRƏYANLAR

4.1. Sinusoidal dəyişən cərəyan elektrik hərəkət qüvvəsinin alınması

Qiymət və istiqamətcə sabit qalmayan cərəyanlara dəyişən cərəyanlar deyilir. Zamandan asılı olaraq cərəyanların dəyişmə qanunları müxtəlif ola bilər. Müasir elektrotexnikada sinus qanunu ilə dəyişən cərəyanlar daha çox istifadə edilir. Onlara sinusoidal cərəyanlar deyilir.

Elektrik dövrlərindən keçən periodik dəyişən cərəyanlar mənbələrdə (generatorlarda) induksiyaalan, həmin qanunla periodik dəyişən e.h.q.-nin təsiri ilə alınır. Ona görə də dövredəki cərəyanın dəyişmə qanunu, əsas etibarlı ilə, onu yaradan e.h.q.-nin dəyişməsindən asılı olaraq təyin olunur.

E.h.q.-nin dəyişməsini xarakterizə edən əsas kəmiyyət onun bir tam dəyişməsinin zamanı və ya vahid zamanda alınan tam dəyişmələrin sayıdır. Bir tam dəyişmənin zamanına period (T), 1 saniyədə əmələ gələn tam dəyişmələrin sayına isə tezlik (f) deyilir ($f=1/T$). Göründüyü kimi, tezlik periodun əks qiymətinə bərabər olur və Hertslə ölçülür ($1 \text{ Hs} = 1/\text{saniyə}$). Sənaye tezliyi 50 Hs qəbul edilmişdir.

Periodik dəyişən elektrik hərəkət qüvvələri generatorlarda alınır. Sinusoidal dəyişən cərəyan generatorlarının çoxunda aktiv keçiricilər hərəkətsiz, maqnit sahəsi isə hərəkətli olur. Bu maşınların sadə nümunəsi, bircinsli maqnit sahəsi içərisində sabit sürətlə fırlandırılan qapalı bir konturdan ibarətdir (şəkl.4.1).

Qapalı konturun şəkildə göstərilən istiqamətdə bərabər sürətlə fırlanması zamanı AB müstəvisindən keçən maqnit selinin qiyməti həmin müstəvinin horizontal müstəvi ilə təşkil etdiyi α bucağının kosinusundan asılı

olaraq dəyişəcəkdir. Konturun $\alpha=0$ vəziyyətindən başqa hər hansı bir qiymətində onun müstəvisindən keçən maqnit selinin qiyməti $F=F_{\max}\cos\alpha$ olacaqdır.

Kontur bərabər sürətlə fırlandığı üçün onun müxtəlif vəziyyətlərini təyin edən α , bucaqların hərəkətinin bucaq sürəti (ω) vasitəsi ilə tapılır:

$$\alpha = \omega t; \omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad (4.1)$$

Düsturdan göründüyü kimi dəyişən e.h.q.-nin tezliyi bucaq sürətindən asılıdır.

Hərəkət etdirilən konturda induksiyaalanan e.h.q., elektromaqnit induksiya qanununa əsaslanır:

$$e = -\frac{dF}{dt} = -\frac{d}{dt}(F_{\max} \cos \omega t) = \omega F_{\max} \sin \omega t \quad (4.2)$$

Əgər hərəkətli konturun sarğıları sayı W olarsa, onda induksiyaalanan e.h.q.-nin qiyməti

$$e = \omega W F_{\max} \sin \omega t \quad (4.3)$$

olur. $\alpha = 90^\circ$ olduqda e.h.q. maksimal qiymət alır:
 $E_{\max} = \omega W F_{\max}$.

İnduksiyaalanmış e.h.q.-nin hərəkət edən konturun hər hansı vəziyyətindəki ani qiyməti

$$e = E_{\max} \sin \omega t \quad (4.4)$$

olur.

Dəyişən cərəyanın təsiredici qiyməti aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (I_{\max} \sin \omega t)^2 dt} = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}} = 0,707 I_{\max} \quad (4.5)$$

$$\begin{aligned} \text{Uyğun olaraq } U &= \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}} = 0,707 U_{\max} \text{ və} \\ E &= \frac{E_{\max}}{\sqrt{2}} = 0,707 E_{\max}. \end{aligned} \quad (4.6)$$

Sinusoidal e.h.q.-nin yarım period üçün hesablanmış orta qiyməti:

$$E_{\text{or}} = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} E_{\max} \sin \omega t = \frac{2}{\pi} E_{\max} = 0,636 E_{\max} \quad (4.7)$$

Uyğun olaraq, $U_{\text{or}} = 0,636 U_{\max}$ və $I_{\text{or}} = 0,636 I_{\max}$ olur. (4.8)

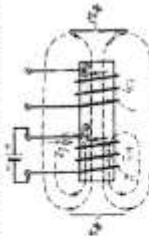
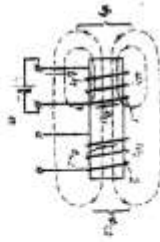
4.2. Dəyişən cərəyanın vektor diaqramı

Dəyişən e.h.q.-nin və onun qapalı konturda yaratdığı cərəyan şiddətinin qiymətləri qrafik olaraq sinusoidlər və vektorlar şəklində göstərilir (şək.4.2).

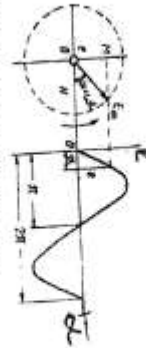
Qapalı dövrədən axan cərəyan $i = I_{\max} \sin \omega t$ qanunu üzrə dəyişir. Onun vektor diaqramını qurmaq üçün cərəyanın maksimal qiymətinə ($I_{\max}$) bərabər bir radiuslu çevrə çəkilir. OA oxunu başlanğıc qəbul edərək, ondan etibarən ölçülən bütün bucaqları maqnit seli oxunun vəziyyətləri kimi qəbul edirik.

$I_{\max}$ vektorunun şaquli ox üzərində proeksiyası (OM) başlanğıc anda cərəyanın ani qiymətini verir: $i = I_{\max} \sin \omega t$. Həmin vektoru ($I_{\max}$) sabit ω bucaq sürəti ilə saat əqrəbinin əks istiqamətində fırlatsaq, müxtəlif zaman

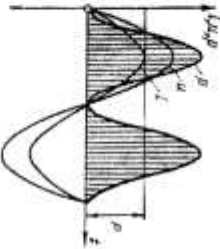
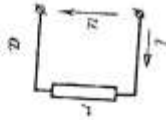
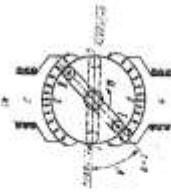
anlarında $I_{\max}$ vektorunun şaquli ox üzərində olan bütün proeksiyaları dəyişən cərəyanın (i) uyğun ani qiymətlərini verəcəkdir. Vektorun fırlanma sürəti $\omega = d\alpha/dt$ olduqda, keçilmiş bucaq məsafəsi $\alpha = \omega t$ olur.



Şek.3.6 Maqnit rabitəli dövrə.



Şək.4.2 Sinusoidal cərəyanın fırlanan vektoru.



Şək.4.3. Aktiv müqavimətli dəyişən cərəyan dövrəsi(a), dövrənin vektor diaqramı(b) və $i(t)$, $u(t)$, $P(t)$ ayrılması.

Şək.4.1 Maqnit fırlanan qapalı kontur.

Qeyd etdiyimiz kimi ω bucaq sürəti tamamilə f tezliyindən asılıdır. Vektorun 1 dövrü zamanı alınan bucaq 2π (360°), bir saniyədə f tezliyində alınan bucaq isə $2\pi f$ olur. $\omega = 2\pi f = 2\pi/T$ parametri dəyişən cərəyanın bucaq tezliyi adlanır.

Elektrik kəmiyyətləri arasındakı münasibətləri öyrənmək və onlar üzərində əməliyyatlar aparmaq üçün vektor diaqramından istifadə etmək daha əlverişlidir.

4.3. Dəyişən cərəyan dövrəsində aktiv müqavimət

Dəyişən cərəyan dövrəsinə qoşulmuş r müqaviməti aktiv müqavimət adlanır. Bu müqavimətdə elektrik enerjisi başqa növ enerjiyə (məsələn, istilik enerjisinə) çevrilir. Aktiv dövrlərdə özünəinduksiyanın təsiri az olduğundan, dövredə əlavə e.h.q. induksiya olunmur. Dəyişən cərəyan dövrlərindəki məfillərin aktiv müqaviməti sabit cərəyandakı müqavimətindən bir qədər fərqlənir. Bunun əsas səbəbi səth effekti hadisəsidir, yəni məfillin en kəsimində dəyişən cərəyanın qeyri- bərabər paylanmasıdır.

Aktiv müqavimətli dəyişən cərəyan dövrəsinə baxaq (şək.4.3,a). Bu şəkildə aktiv müqavimətli bir dövrənin sıxaclarına sinusoidal dəyişən gərginlik tətbiq olunmuşdur. Bu gərginliyin ani qiyməti dövredəki gərginlik düşgüsünə bərabərdir, yəni $u = i \cdot r$. Dövredən keçən cərəyan şiddətinin hər bir andakı qiyməti Ohm qanununa əsasən aşağıdakı düsturla təyin olunur:

$$i = U_{\max} \sin \omega t / r = I_{\max} \sin \omega t \quad (4.9)$$

Beləliklə, aktiv müqavimətli dövredən keçən cərəyan şiddəti gərginlik kimi sinus qanunu üzrə dəyişir.

Şək.4.3,b- də göstərilmiş diaqramlarda cərəyan da gərginlik kimi sinus qanunu üzrə dəyişir və hər iki kəmiyyət eyni fazada olur (şək.4.3,c):

$$I_{\max} = U_{\max}/r . \quad (4.10)$$

Bu ifadənin hər iki tərəfini $\sqrt{2}$ - yə bölsək:

$$I=U/r \quad (4.11)$$

alırıq. Beləliklə verilmiş dövrə üçün Om qanunu nəinki ani və amplitud qiymətlər üçün, həm də təsiredici qiymətlər üçün də doğrudur.

Aktiv müqavimətli dəyişən cərəyan dövrəsində ani güc

$$p = ui = I_{\max}U_{\max}\sin^2\omega t \quad (4.12)$$

kimi ifadə olunur. $p(i)$ qrafikinə görə aktiv güc sıfırdan maksimal qiymətə qədər artır və bu zaman gücün işarəsi həmişə müsbət olaraq qalır. Bu isə o deməkdir ki, aktiv yüklə elektrik enerjisi dönmədən istilik enerjisinə çevrilir.

Period ərzində dəyişən cərəyan dövrəsinin orta gücü üçün:

$$p = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{1}{T} \int_0^T u i dt = \frac{U_m I_m}{T} \int_0^T \sin^2 \omega t = \frac{U_m I_m}{2} = UI \quad (4.13)$$

və ya

$$P = UI = I^2 r \quad (4.14)$$

ifadəsini alırıq.

Dövrədən axan cərəyan və onun tələb etdiyi güc məlumdursa, dəyişən cərəyan dövrəsinin aktiv müqaviməti

$$r = \frac{P}{I^2} \quad (4.15)$$

tənliyindən tapmaq olar.

4.4. İnduktiv müqavimətli dəyişən cərəyan dövrəsi

İnduktivlik- elektrik dövrəsinin maqnit sahəsini xarakterizə edən kəmiyyət olub, dövrədən keçən elektrik cərəyanının dəyişmə sürəti ilə orada yaranan özünəinduksiya e.h.q.- si arasındakı asılılığı ifadə edən düsturda mütənəsiblik əmsalıdır.

İnduktiv müqavimət dedikdə, cərəyanın yaratdığı enerjini ancaq maqnit sahəsinə çevirən dövrə müqaviməti başa düşülür. İnduktiv müqavimət əsasən sıx sarğılı, polad nüvəli və s. dövrələrdə alınır.

Müəyyən induktivliyə (L) malik olan, aktiv müqaviməti (r) isə sıfıra bərabər olan elektrik dövrəsinə baxaq (şək.4.4,a).

Verilmiş dövrəyə dəyişən gərginlik (u) tətbiq etsək, həmin dövrədən keçən dəyişən cərəyanın yaratdığı özünəinduksiya e.h.q. aşağıdakı kimi olacaq:

$$e_L = -L \frac{di}{dt}. \quad (4.16)$$

Kirxhofun ikinci qanununu verilmiş dövrəyə tətbiq etsək və alınan ifadədə cərəyanın qiymətini yerinə yazsaq:

$$u = -e_L = L \frac{di}{dt} = WL\dot{i}_m \cos \omega t - WL\dot{i}_m \sin(\omega t + \pi/2) \quad (4.17)$$

alınır. Düsturdan görünür ki, dövrədən keçən cərəyanın sinus qanunu üzrə dəyişməsi üçün gərginlik də sinus qanunu üzrə dəyişməlidir. Lakin gərginlik, fazaca cərəyandan $\frac{1}{4}$ period qabağa düşməlidir (şək.4.4,b). Məlum olduğu kimi, sarğacılı dövrədə cərəyan vektoru gərginlik vektorundan 90^0 geri qalır (şək.4.4,c). (4.17) tənliyindəki $WL\dot{i}_m$ kəmiyyəti sarğacın çıxışlarındakı gərginliyin amplitud ($U_m = WL\dot{i}_m$) qiymətidir. Buradan cərəyanın təsiredici qiyməti aşağıdakı kimi tapılır:

$$i = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \frac{1}{\omega L} = \frac{U}{\omega L} \quad (4.18)$$

ωL - induktiv müqavimət olub X_L kimi işarə edilir və H_n ilə ölçülür:

$$X_L = \omega L = 2\pi fL \quad (4.19)$$

Göründüyü kimi, induktiv müqavimət induktivlik və tezlik ilə düz mütənasibdir.

Dövrənin ani və maksimal gücü

$$p = u i = U \sin 2\omega t \quad \text{və} \quad P = U \dot{I} = \dot{I}^2 X_L \quad (4.20)$$

düsturları vasitəsilə hesablanır.

İnduktiv sarğac bəzən reaktiv yük də adlanır. Onun reaktiv gücü aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$Q_L = U \dot{I} = \dot{I}^2 X_L \quad (4.21)$$

Bu ifadə baxılan dövrənin maksimal gücü hesab olunur.

4.5. Tutum müqavimətli dəyişən cərəyan dövrəsi

Kondensatorların, kabellərin və elektrik sahəsi yaradan qurğuların müqaviməti tutum müqavimətidir. Sabit cərəyana qarşı tutum müqaviməti sonsuz böyük, dəyişən cərəyana qarşı isə müəyyən sərhəddə malikdir. Müəyyən C tutumu olan bir dəyişən cərəyan dövrəsinə baxaq (şək.4.5,a).

Dövrəyə tətbiq edilmiş dəyişən gərginlik artan zaman, kondensatorun lövhələrinə toplanan yüklü hissəciklərin miqdarı və kondensatorun gərginliyi də fasiləsiz olaraq dəyişəcəkdir. Nəticədə xarici dövrədən müəyyən cərəyan axacaq.

Dövrəyə tətbiq olunan $u=U_m \sin \omega t$ gərginliyi artan zaman kondensatorun lövhələrində dq qədər yüklü hissəciklər toplanacaq, yəni $dq=Cdu$.

$u=u_c$ ifadəsini nəzərə alsaq, dövrədən axan cərəyan üçün yaza bilərik:

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt} = C \frac{d}{dt} (U_m \sin \omega t = WCU_m \sin(\omega t + 90^\circ)) \quad (4.22)$$

Düsturdan göründüyü kimi cərəyan da sinus qanunu üzrə dəyişir və gərginlikdən fazaca dördə bir period irəli düşür (şək.4.5,b). Tutumlu dövrədə cərəyan vektoru gərginlik vektorundan 90° irəli gedir (şək.4.5,c).

$WCU_m=I_m$ olduğunu nəzərə alaraq cərəyanın təsiredici qiymətini tapmaq olar:

$$I_m = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{U}{\sqrt{2}} \omega C = U \omega C \quad (4.23)$$

$1/\omega C$ - tutum müqavimət olub X_C kimi işarə edilir:

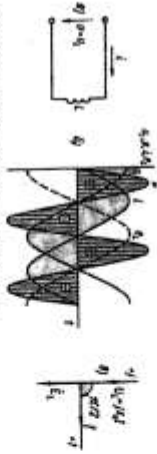
$$X_C = 1/\omega C = 1/(2\pi fC) \quad (4.24)$$

Göründüyü kimi, tutum müqaviməti tutum və tezlik ilə tərs mütənasibdir.

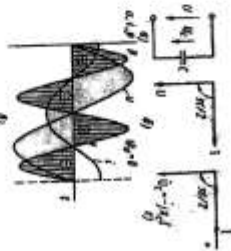
Dövrənin ani və maksimal gücü

$$p=ui=U_m \sin \omega t i_m \sin(\omega t + 90^\circ) = U \sin 2\omega t \text{ və } P=UI=I^2 X_L \quad (4.25)$$

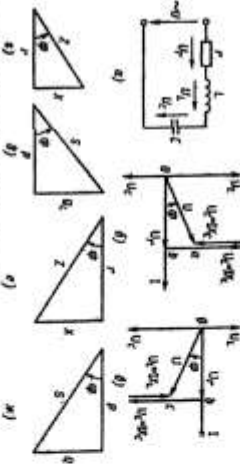
düsturları vasitəsilə hesablanır. Tutumlu dövrənin orta gücü sıfıra bərabərdir.



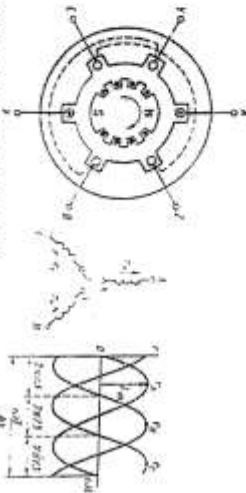
Şek.4.4. İndüktif müqaviməli dəyişən cərəyan dövrəsinin $i(t)$, $u(t)$, $p(t)$ və vektor diaqramı(s).



Şek.4.5. Tutum müqaviməli dəyişən cərəyan dövrəsi(a), dövrənin $i(t)$, $u(t)$, $p(t)$ ayrılan (b) və vektor diaqram (s).



Şek.4.6. Tam müqaviməli dəyişən cərəyan dövrəsi(a), və onun vektor diaqramları(b).



Şek.4.7. Üçfazlı generatorun quruluş sxemi (a) və üçfazlı e.h.q-ları sistemi (b).

İnduktiv müqavimətli dövrlərdə olduğu kimi, tutum müqavimətli dövrlərdə də mənbə ilə kondensatorun elektrik sahəsi arasında enerji mübadiləsi getdiyindən onun intensivliyini miqdarca qiymətləndirmək üçün reaktiv güc anlayışından istifadə edilir:

$$Q_C = UI = I^2 X_C \quad (4.26)$$

Bu ifadə baxılan dövrənin maksimal gücü hesab olunur.

4.6. Güc əmsalı və onun yaxşılaşdırılması

Dəyişən cərəyan dövrlərində işlədici kimi ya təmiz aktiv güc tələb edən elementlərdən, ya da aktiv və reaktiv güc tələb edən elementlərdən istifadə edilir. Ona görə dəyişən cərəyan mənbələrinin işlədiciyə verə biləcəyi zahiri güc aktiv və reaktiv hissələrdən ibarət olacaq:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (4.27)$$

Burada S- ümumi güc, P- aktiv güc və Q- reaktiv gücü göstərir.

Q reaktiv gücün induktivlik halda qiyməti $Q = I^2 \omega L$, tutum halında isə qiyməti $Q = I^2 / \omega C$ - yə bərabərdir. Aktiv gücün qiyməti $P = I^2 r$. Güc əmsalı $\cos \varphi = P/S =$

$1/\sqrt{1 + (P/Q)^2}$ ifadəsi ilə göstərilir.

Dəyişən cərəyan mənbələrinin istifadə olunmayan gücünü işlədiciyə faydalı gücə çevirmək üçün, işlədiciyə reaktiv güc sərfini azaltmaq lazımdır. Bu hadisəyə güc əmsalının yaxşılaşdırılması deyilir.

Güc əmsalını yaxşılaşdırmaq üçün induktiv dövrəyə tutum və tutumlu dövrəyə isə induktivlik qoşmaq lazımdır. İşlədiciyə çoxu induktiv təsirli olduqda, güc əmsalını

yaxşılaşdırmaq üçün dövrəyə qoşulan kondensatorların sayı artırılır. Aktiv və reaktiv müqavimətli dövrələrdə, cərəyan şiddəti gərginlikdən φ bucağı qədər geri qaldığından, kondensatorların köməyi ilə onları üst- üstə salaraq $\cos\varphi = 1$ -ə çatdırmaq mümkündür.

Ümumiyyətlə, güc əmsalının artırılması məsələsi xalq təsərrüfatı ilə əlaqədar olduğundan bu işə, istehsalatda böyük əhəmiyyət verilir.

4.7. Aktiv müqavimətin, induktivliyin və tutumun dəyişən cərəyan dövrəsinə ardıcıl birləşdirilməsi

İşlədiciyə ardıcıl birləşmiş dəyişən cərəyan dövrələrində, cərəyan şiddətinin təsiredici qiyməti bütün işlədiciyə üçün eyni olur, dövrəyə tətbiq edilmiş gərginlik isə ayrı- ayrı işlədiciyə arasında uyğun olaraq paylanır (şəkl.4.6,a)

Verilmiş dövrə üçün Kirxhofun ikinci qanununu tətbiq etsək alırıq:

$$u = u_a + u_L + u_C = ir + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i dt \quad (4.20)$$

Elementlərdəki gərginliklər isə aşağıdakı kimi olur:

$$u_a = r i_m \sin \omega t, u_L = \omega L i_m \sin(\omega t + \pi/2), u_C = \frac{1}{\omega C} i_m \sin(\omega t - \pi/2). \quad (4.21)$$

Bu ifadələri (2.38)-də yerinə yazsaq, alırıq:

$$u = r i_m \sin \omega t + \omega L i_m \sin(\omega t + \pi/2) + \frac{1}{\omega C} i_m \sin(\omega t - \pi/2). \quad (4.22)$$

Diaqramda, qarışıq dövredə əmələ gələn gərginlik düşgülərinin vektorları həndəsi olaraq toplanmışdır (şək.4.6,b). Burada $\dot{I}$ cərəyan vektoru bütün gərginlik düşgüsü vektorlarına istiqamət vermək üçün qəbul edilmişdir. Aktiv gərginlik cərəyanla eyni fazada olduğu üçün cərəyan vektoru üzərinə düşür, induktiv gərginlik cərəyandan 90° qabağa gedir və tutum gərginliyi isə cərəyandan 90° geri qalır.

Ümumi gərginliyin qiymətini vektor diaqramından təyin edək:

$$u = \sqrt{u_a^2 + (u_L - u_C)^2} = \dot{I} \sqrt{r^2 + (x_L - x_C)^2}, \quad (4.23)$$

Buradan

$$\dot{I} = \frac{u}{\sqrt{r^2 + (x_L - x_C)^2}} = \frac{u}{\sqrt{r^2 + x^2}} = \frac{u}{z} \quad (4.24)$$

$$z = \sqrt{r^2 + (x_L - x_C)^2} = \sqrt{r^2 + x^2} \quad (4.25)$$

z kəmiyyəti dövrənin tam müqaviməti, $x_L - x_C$ fərqi isə dövrənin reaktiv müqaviməti adlanır.

Baxdığımız şəkildəki dövrənin vektor diaqramını üçbucaq şəklində göstərdikdə alınan OAB üçbucağı gərginliklər üçbucağı adlanır. Gərginliklər üçbucağının tərəflərini cərəyan şiddətinə böldükdə müqavimətlər üçbucağı alınır.

Quraşdırılmış vektor diaqramından istifadə edərək gərginlik ilə cərəyan arasındakı faza bucağını təyin etmək olar:

$$\cos \varphi = \frac{u_a}{u} = \frac{r}{z} \quad (4.26)$$

Gərginliklər üçbucağının hər tərəfini cərəyan şiddətinə vurduqda güc üçbucağını alırıq:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (4.27)$$

Burada, p- aktiv güc Vattla (Vt), Q- reaktiv güc-voltamper reaktivlə (VAR) və S- tam güc- volt- amperlə (VA) ölçülür.

4.8. Üçfazlı dəyişən cərəyanın alınması

Bir- birindən müəyyən zaman fasiləsi qədər fərqli olan cərəyanlara çoxfazlı cərəyanlar deyilir. Onlar çoxfazlı sistemlər tərəfindən hasil olunur. Çoxfazlı sistem dedikdə, eyni tezlikli və bir-birinə nəzərən eyni faza qədər fərqli dəyişən e.h.q. təsir edən dəyişən cərəyan dövrləri toplusu nəzərdə tutulur.

Çoxfazlı sistemlərdən ən çox üçfazlı sistemlərdən istifadə edilir. Üçfazlı cərəyan sisteminin yaradılması (1891) rus alimi M.O.Dolivo- Dobrovolski ilə bağlıdır. Üçfazlı cərəyanlar başqa cərəyanlardan elektrik enerjisinin çox uzaq məsafələrə daha əlverişli ötürülməsi və onları hasil edən mühərriklərin daha sadə olması ilə fərqlənir.

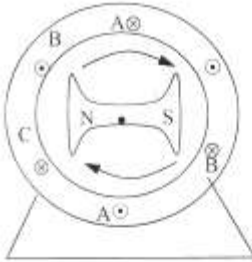
Üçfazlı cərəyan hasil etmək üçün istifadə olunan generatorlar (şək.4.7) birfazlı cərəyan generatorlardan stator dolaqlarının sayı ilə fərqlənilir. Birfazlı cərəyan hasil edən generatorların statorunda bir qapalı dövrə olduğu halda, üçfazlı generatorlarda üç ayrı- ayrı qapalı dövrə qoyulur.

Statorun yuvalarında yerləşdirilən 3 ədəd sarğı bir-birinə nəzərən 120° bucaq altında olur. Sarğılar eyni olduğundan rotor fırlanan zaman onlarda eyni tezlikli və eyni amplitudalı sinusoidal e.h.q.- lər yaranacaq. Alınan

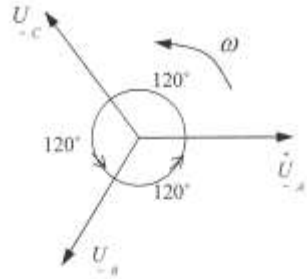
e.h.q.- lər bir- birindən fazaca üçdə bir period sürüşmüş olur.

4.9. Üçfazlı dolaqların ulduz və üçbucaq birləşməsi

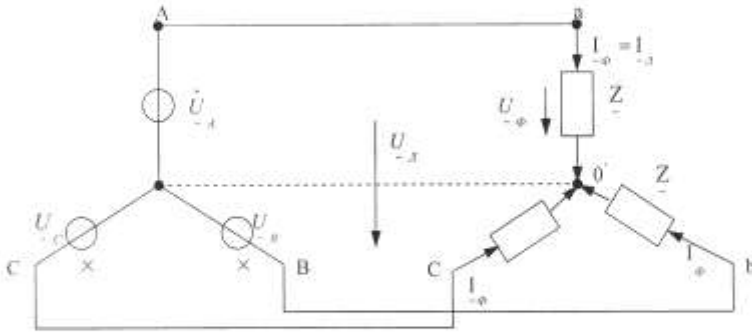
4.10. Üçfazlı cərəyanın gücü



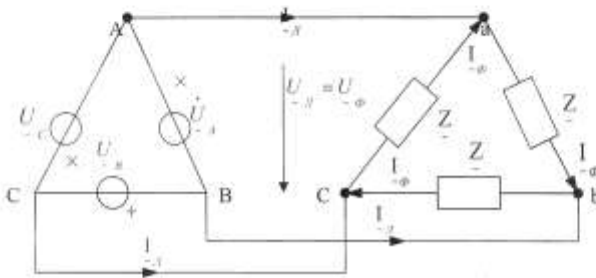
Şek. 4.7 Üçfazlı sinxron generatorun konstruktiv sxemi.



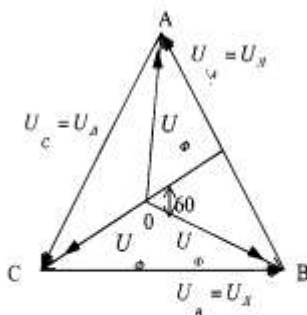
Şek. 4.8 Üçfazlı gərginliklərin vektor diaqramı.



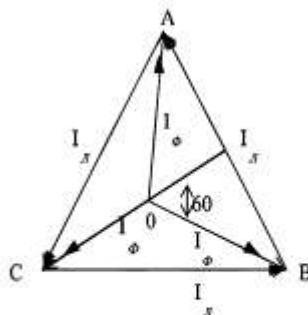
Şek.4.9 Generatorun və yükün ulduz birləşməsi.



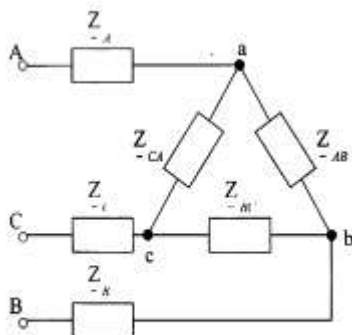
Şek.4.10 Generatorun və yükün üçbucaq birləşməsi.



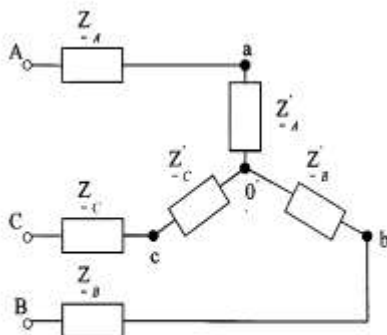
Şek.4.12. Ulduz və üçbucaq birləşməsinə gərginliklərin vektor diaqramı.



Şek.4.13. Ulduz və üçbucaq birləşməsinə cərəyanların vektor diaqramı.



Şek.4.14. Üçbucaq birləşməsinə 3 fazlı dövrənin hesabına aid sxem.



Şek.4.15. Ulduz birləşməsinə üçfazlı dövrənin hesabına aid sxem.

FƏSİL 5. ELEKTROMAQNİT QURĞULARI VƏ TRANSFORMATORLAR

5.1. Elektromaqnit qurğularının ferromaqnit materiallarının əsas xassələri

Ferromaqnit materialların maqnit nüfuzluğu (μ_m) sabit qalmayıb, maqnit induksiyaşından asılı olaraq daim dəyişir. Bu materiallara poladı, nikeli, kobaltı və onların ərıntilərini aid etmək olar.

Elektrik maşın və aparatlarında istifadə olunan ferromaqnit materialla-rın ən əhəmiyyətli xassəsi onların maqnit nüfuzluğunun sahə gərginliyindən asılı olmasıdır. Bu xassəni öyrənmək üçün sahə gərginliyi (H) ilə maqnit induksiyaş (B) arasındakı əlaqəni göstərən B(H) əyrisi qurulur.

Ferromaqnitlərin digər mühüm xassəsi onların növbə ilə maqnitlənilib- maqnitəşləməşidir. Prosesin gedışində ferromaqnit 2 dəfə maqnitlənilib- maqnitəşləşəcək. Bū hadisə dövri maqnitlənmə hadisəsi adlanır və hadisənin nəticəsi olaraq, histerezis ilgəyi adlanan qapalı bir əyri alınır.

Ferromaqnitləri maqnitləşdirən və ya maqnitəşləşdirən zamanı onların nizamlı atomları arasındakı sürtünmənin qarşıısını almaq üçün, histerezis itgisi adlanan müəyyən enerji sərf olunur. Bu enerji istiliyə çevrildiği üçün maqnitləndirilən cisim qızır.

Dövri maqnitlənmə hadisəsi zamanı yaranan koersitiv qüvvənin müxtəlifliyinə görə ferromaqnit materiallar yumşaq maqnit və bərk maqnit materiallarına bölünürlər. Birincilərdə dövri maqnitlənmə əyrisi ensiz, ikincilərdə isə enli olur.

Yumşaq maqnit materiallarında koersitiv qüvvəsi çox olur, onlar tez maqnitlənilir, yüksək maqnit nüfuzluğuna malikdirlər və təkrar maqnitlənmədə itgi az

olur. Bu materiallar aşağı tezlikli maqnit sahəsində və impuls qurğularında istifadə olunurlar.

Bərk maqnit materiallarında koersitiv qüvvə az olur və onlardan sabit maqnitlər hazırlamaq üçün istifadə edirlər.

Temperatur artdıqda materialların maqnit nüfuzluğu azalır və müəyyən bir böhran nöqtəsindən sonra (Küri nöqtəsi) ferromaqnit paramaqnitə çevrilir. Məs., Küri nöqtəsi dəmir üçün 768° , nikel üçün 365° və kobalt üçün 1131° olur.

5.2. Maqnit gücləndiriciləri

Maqnit gücləndiricisinin işləmə prinsipi ferromaqnit materialların maqnit sahəsində doyma hadisəsinə və ya onların maqnitlənmə xarakteristikasının $B(H)$ qeyri-xəttiliyinə əsaslanır.

Ən sadə maqnit gücləndiricisi işçi dolağına (ω_i) yük müqaviməti (r_y) qoşulmuş, induktivliyi tənzimlənən polad nüvəli sarğacdən və makaradan ibarətdir. Gücləndiricinin çıxış gərginliyi r_y müqavimətindən götürülür (şək.5.1,a).

İdarə dolağının girişinə (ω_i) gücləndiriləcək signal verilir. İşçi dolağa (ω_d) qoşulmuş yük müqavimətinin r_y sıxaclarında gücləndirilmiş gərginlik yaranır. $u_{\sim}$ gərginlikli dövrə gücləndirici üçün kənar enerji mənbəyi hesab olunur.

İşçi dövrədəki dəyişən cərəyan ($i_{\sim}$) aşağıdakı düsturla müəyyən olunur:

$$i_{\sim} = u_{\sim} / \sqrt{r^2 + x_i^2} \quad (5.1)$$

burada $u_{\sim}$ - maqnit gücləndiricisini qidalandıran gərginlik; r - işçi dövrənin aktiv müqaviməti; x_i - işçi dolağın induktiv müqavimətidir:

$$x_i = \omega L_i \quad (5.2)$$

İşçi dolağın induktivliyi isə aşağıdakı ifadə ilə göstərilir:

$$L_i = \frac{\omega_i^2}{\ell_n} S_n \mu_n \quad (5.3)$$

Burada ω_i - işçi dolağın sarğılar sayı; S_n , ℓ_n və μ_n - uyğun olaraq, ferromaqnit nüvənin en kəsiyinin sahəsi, orta maqnit xəttinin uzunluğu və maqnit nüfuzluğudur.

(5.2) ifadəsini (5.1) düsturunda yerinə yazsaq alarıq:

$$i_n = u_n / \sqrt{r^2 + (\omega L_i)^2} \quad (5.4)$$

Düsturdan görünür ki, işçi dövrədən və ya yük müqavimətindən axan cərəyan işçi dolağın induktivliyindən asılıdır. Nüvənin maqnit nüfuzluğu (μ_n) maqnit induksiyaşından (B) və maqnit sahə gərginliyindən (H) asılıdır.

Şək.5.1,b - də (5.4) düsturunun qrafik ifadəsi göstərilir. İdarə dolağında cərəyan dəyişdikdə yük müqavimətindəei cərəyan da dəyişir. Bu zaman yük müqavimətindəki gücün dəyişməsi idarə dolağındakı gücün dəyişməsindən dəfələrlə böyük olur.

Maqnit gücləndiricisinin gücə, cərəyana və gərginliyə görə güclənmə əmsalları uyğun olaraq aşağıdakı düsturlarla hesablanır:

$$k_p = \Delta P_{\text{çix}} / \Delta P_{\text{gir}}; k_u = \Delta U_y / \Delta U_i \text{ və } k_i = \Delta I_y / \Delta I_i, \quad (5.5)$$

burada ΔU_y , ΔU_i , ΔI_y və ΔI_i - uyğun olaraq, yükün və idarə dövrəsinin gərginlik və cərəyan artımlarıdır.

Maqnit gücləndiricilərində avtomatik qurğularda doyma drosselləri, çevirici- gücləndirici, modulyator və s. kimi istifadə olunur.

5.3. Elektromaqnit muftaları

Elektromaqnit muftaları avtomatik idarəetmə sistemlərində icra elementi kimi istifadə edilir. Onlar mühərrikin intiqalı ilə aparılan val arasında aralıq elementi olub dəyişən sürüşkənliyə malik olduqlarından, sistemin çıxış valının fırlanma tezliyini tənzimləyir. Sürtünmənin qiyməti elektromaqnit muftasının girişinə verilən gərginlikdən asılı olur.

Dəyişən sürtünmənin yaranma üsulundan asılı olaraq elektromaqnit muftaları sürtünən və sürüşən tipli olurlar.

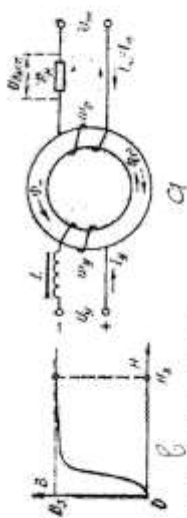
Sürtünən muftalarda, çıxış valında, fırlanma momenti sürtünmənin hesabına yaranır. Sürüşən muftalarda isə fırlanma momenti, lövbərdə yaranan cərəyana, induktordakı fırlanan maqnit selinin qarşılıqlı təsirindən yaranır.

Sürtünmə muftaları quru sürtünən və özlü sürtünən tiplərinə bölünürlər.

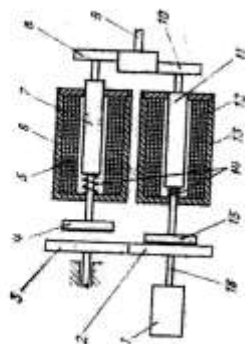
Quru sürtünən mufta, elektromaqnit friksion elementinin sıxılması yolu ilə aparılan valı mühərrik intiqalının valı ilə birləşdirən qurğudur (şək.5.2). Onun işləmə prinsipi aşağıdakı kimi izah olunur. Elektrik mühərrikinin intiqalı (1) vasitəsi ilə dişli çarxlar (2,3) sabit sürətlə fırladılır. Elektromaqnitlərin (6,13) dolaqlarına (5,12) idarəedici qurğudan verilən signal vasitəsilə mufta idarə olunur. Elektromaqnit (13) qoşulduqda onun lövbəri (11) sürtünmənin təsiri ilə hərəkət edən dairəni (15) dişli çarxa (2) sıxır. Elektromaqnit lövbəri (11) və sürtünmənin təsiri ilə hərəkət edən dairə (15) ilə möhkəm əlaqədə olan

dişli çarx (10), mühərrikin intiqalı (1) və aparıcı val (16) vasitəsilə, aparılan valı hərəkətə gətirir.

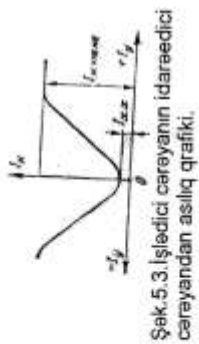
Elektromaqnit (13) açıldıqda yayın (14) köməyi ilə dairə (15) dişli çarxdan (2) aralanır. Aparılan valı (9) əks istiqamətdə fırlatmaq üçün idarəedici signal elektromaqnitin (6) dolağına (5) verilir. Dolağın (5) yaratdığı maqnit selinin təsiri altında lövbər (7) dartılaraq sürtünmənin təsiri ilə hərəkət edən dairəni (4) dişli çarxa (3) sıxır. Bu zaman sonuncu fırlanaraq hərəkəti dairə (4) və



Şek. 5.1. Mağnit güclendiricisi.



Şek. 5.2 Elektro mağnit muftası.



Şek. 5.3. İşledici carayanın idareedici carayandan asılıq qrafiki.

dişli çarx (8) vasitəsi ilə aparılan vala (9) ötürür və onu əks istiqamətdə fırladır.

Bu növ elektromaqnit muftanın üstünlüyü tələb olunan idarəedici gücün az olmasıdır. Aparılan valın fırlanma tezliyinin səlis tənzimlənməməsi muftanın nöqsanı hesab olunur.

5.4. Transformatorlar

Dəyişən cərəyan dövrəsinə qoşulmuş transformatorlar vasitəsilə dövrənin gərginliyini, cərəyan şiddətini, fazaların sayını və tezliyini dəyişmək mümkündür.

Bundan başqa, transformatorların köməyi ilə bir dövrədən digərinə elektromaqnit sahəsi vasitəsilə enerji ötürmək olur. Dəyişən cərəyanlara uyğun olaraq iqtisadiyyatın müxtəlif sahələrində birfazlı və üçfazlı transformatorlardan istifadə edilir.

Transformatorlar əsasən elektrik enerjisini uzaq məsafəyə ötürdükdə tətbiq edilir. İstifadə sahəsinə görə transformatorlar üç qrupa bölünürlər: güc transformatorları; uzlaşdırıcı transformatorlar və impuls transformatorları.

Güc transformatorları əsasən elektrik təchizat sistemlərində istifadə edilir. Onların vəzifəsi şəbəkə gərginliyinin qiymətini azaldaraq müəyyən səviyyəyə çatdırmaqdan ibarətdir. Onlardan elektron və məişət qurğularını qidalandırma bloklarında (adaptorlarda), avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemlərində, hesablama texnikasında və s. istifadə edilir.

Uzlaşdırma transformatorlarından elektron sistemlərində müxtəlif kaskadların gərginliklərini və müqavimətlərini uzlaşdırmaq üçün istifadə edilir

(həmçinin, transformatorlar sabit mənsəli maneələri və xətalı sonrakı kaskada buraxmır).

İmpuls transformatorları impuls şəklində olan cərəyan və gərginlikləri ötürmək və ya dəyişmək üçün istifadə edilir.

2 dolaqlı və bir fazalı transformatorun işləmə prinsipinə baxaq (şəkl.5.3).

Konstruktiv quruluşa dolaqlar qapalı maqnit keçiricisindən (3) və onun çubuqlarında yerləşdirilmiş birinci (1) və ikinci (2) tərəf dolaqlarından ibarətdir. Maqnit keçiricisi, dövrə cərəyan itgilərini azaltmaq üçün, qalınlığı 0,35-0,5 mm olan nazik polad vərəqlərdən hazırlanır. Bu, dolaqlar arasında maqnit əlaqəsini yaxşılaşdırmaq və konturun müqavimətini azaltmağa imkan verir.

Transformatorun dolaqlarından mənbə ilə əlaqədə olanına birincitərəf dolağı, işlədici ilə əlaqədə olana isə ikinci tərəf dolağı deyilir.

Birinci tərəf dolağının bütün kəmiyyətlərinə 1 indeksi (u_1, e_1, i_1, W_1), ikinci tərəf dolağının isə bütün kəmiyyətlərinə 2 indeksi (u_2, e_2, i_2, W_2) əlavə olunur.

Transformatorun birinci tərəf dolağı u_1 dəyişən gərginlik mənbəyinə qoşulduqda, onda yaranan i_1 cərəyanı ferromaqnit keçiricidə F_1 dəyişən maqnit seli yaradır. Bu maqnit seli birinci və ikinci dolaqları kəsərək e_1 və e_2 e.h.q.-ləri induksiyləndirir.

İkinci tərəf dolağının uclarına hər hansı $Z_{yük}$ müqaviməti qoşduqda, e_2 e.h.q.-sinin təsirindən yük müqavimətindən i_2 cərəyanı axacaq. F_1 dəyişən maqnit seli vasitəsilə birinci dolaq dövrəsindən enerji ikinci dolaq dövrəsinə ötürüləcək. İkinci dolaq cərəyanı i_2 , F_1 maqnit seli ilə üst-üstə düşən F_2 maqnit seli yaradır. Nəticədə maqnit keçiricisində hər iki dolaqla əlaqədə olan F ümumi maqnit seli yaranır.

Maksvell qanununa görə

$$e_2 = -W_2 \frac{dF}{dt} \quad (5.6)$$

e_1 və e_2 e.h.q.-ləri eyni bir maqnit selinin təsirindən yarandığı üçün onların təsiredici qiymətləri aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$E_1 = 4,44f W_1 F_m; \quad E_2 = 4,44 f W_2 F_m. \quad (5.7)$$

Alınan tənliklərdən transformatorun transformasiya əmsalını alırıq:

$$n = \frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1}{W_2} \quad (5.8)$$

Transformasiya əmsalı vahiddən böyük olduqda transformator alçaldıcı, vahiddən kiçik olduqda isə yüksəldici adlanır.

Nominal işləmə rejimində dolaqlardakı və maqnit keçiricisindəki itgi az olduğundan transformatorun faydalı iş əmsalı (f.i.ə.) 98-99%-ə yaxın olur.

Transformatorun işləmə prinsipi təhlil edildikdə onun 3 rejimi nəzərdən keçirilir: yüksüz işləmə, işçi və qısa qapanma rejimləri.

İkinci tərəf dövrəsinin açıq olması halına transformatorun yüksüz işləmə rejimi deyilir. Bu rejimdə birinci tərəf dolağından axan cərəyana yüksüz işləmə cərəyanı deyilir (I_0). Yüksüz işləmə cərəyanı birinci tərəf nominal cərəyanının (I_n) 2,5-10%-ni təşkil edir.

Transformatorun hər iki dolağındakı gərginlik düşgüsü nominal gərginliyin 5-10%-ni təşkil edir. Buna görə yüksüz işləmə üçün qəbul edilmiş $U_1 \approx E_1$ ifadəsi yüklü rejimə də aid edilə bilər.

Yüksüz işləmə rejimində transformatorun aktiv gücünü nəzərə alaraq (P) ümumi I_0 cərəyanının aktiv və reaktiv təşkiledicilərini tapmaq olar:

$$I_{0a} = \frac{P}{U_1}; \quad I_{0r} = \sqrt{I_0^2 - I_{0a}^2}. \quad (5.9)$$

Alınan ifadələrə görə transformatorun yüksüz işləmə rejiminin vektor diaqramını qurmaq olar (şək.5.4). Bu diaqramda dolaqlardakı enerji itgisi və səpələnmə maqnit seli nəzərə alınmayıb.

Yüklü işləmə rejimində transformatorun ikinci tərəf dolağı işlədicilərlə qapanır. Bu halda transformatorun ikinci tərəf dolağından keçən yük cərəyanı, yük müqavimətindən asılı olub, istiqamətcə birinci tərəf dolağından keçən cərəyanın əksinə yönələcəkdir. Eyni zamanda ikinci dolaqdan keçən cərəyan şiddətinin yaratdığı $F_2 = W_2 i_2$ maqnit hərəkət qüvvəsi (m.h.q.), birinci tərəf dolağından keçən cərəyan şiddətinin yaratdığı $F_1 = W_1 i_1$ m.h.q.-nin əksinə olur. Ona görə də ikinci tərəfin cərəyanının təsirinə maqnitsizləşdirici təsir kimi də baxmaq olar. Beləliklə, yüklü rejimə işləyən transformatorlarda təsir edən ümumi maqnit seli hər iki dolağın m.h.q.-lərinin cəmindən alınan bir kəmiyyətdir.

Əgər transformasiya əmsalı vahidə bərabər olan transformator nəzərə alınarsa, onda axırıcının cərəyanları arasındakı əlaqə aşağıdakı kimi olur:

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_1 + \dot{I}_2; \quad \dot{I}_1 = \dot{I}_0 + (-\dot{I}_2). \quad (5.10)$$

Alınan tənliyə görə vektor diaqramı qurulmuşdur (şək.5.5). Bu diaqramdan $\dot{I}_2$ yük cərəyanının maqnitsizləşdirici təsirini əvəz etmək üçün həmişə birinci tərəfdən $(-\dot{I}_2)$ maqnitsizləşdirici cərəyanın verildiyi görünür. Bu cərəyanlar qiymətcə bərabər, istiqamətcə əks olduğundan, transformatorun F_m əsas maqnit selini yaradan $\dot{I}_0$ cərəyanı sabit qalmış olur. $\dot{I}_0$ yüksüz işləmə cərəyanı transformatorun hər bir işləmə rejimində onun birinci və ikinci tərəf cərəyanlarının həndəsi cəminə bərabər olub qiymətini təxminən sabit saxlayır.

5.4.1. Üçfazlı transformatorlar

Üçfazlı dəyişən cərəyan dövrəsindən gərginliyi və ya cərəyanı transformasiya etmək üçün ya 3 ədəd birfazlı transformatorndan, ya da 1 ədəd üçfazlı transformatorndan istifadə etmək lazımdır.

Böyük güclü üçfazlı transformatorların hazırlanma texnologiyası və nəqli çox çətin olduğu üçün böyük güclərin (10000kVA- dən çox) ötürülməsində 3 ədəd birfazlı transformatorlara üstünlük verilir.

Üçfazlı transformatorunda maqnit keçirici ümumi dolaqlar ayrı- ayrı olur. Üççubuqlu maqnit keçiricisinin hər çubuğunda bir fazanın yüksək və alçaq gərginlik dolaqları yerləşdirilir.

Üçfazlı transformatorun yüksək gərginlik dolaqlarının başlanğıc ucları A,B,C və bunlara uyğun son ucları X,Y,Z hərfləri ilə işarə edilir. Alçaq gərginlik dolaqlarının ucları isə müvafiq olaraq a,b,c və x,y,z hərfləri ilə işarə edilir.

Üçfazlı transformatorların birinci və ikinci tərəf dolaqları öz aralarında ulduz (Y) və ya üçbucaq (Δ) birləşdirilir. Dörd birləşmə sxemi mövcuddur: Y/Y; Y/ Δ ; Δ /Y; Δ / Δ . Burada birinci işarə yüksək, ikinci işarə isə alçaq gərginlik tərəfə aiddir. Ən çox tətbiq olunan birləşmə sxemləri ulduz- ulduz (Y/Y) və ulduz- üçbucaq (Y/ Δ) sxemləridir. Ulduz birləşmə əsasən yüksək gərginlik, üçbucaq birləşmə isə alçaq gərginlik dolaqları üçün tətbiq olunur. Birinci halda faza dolağına təsir edən gərginlik, ikinci halda isə faza dolağından keçən cərəyan şiddəti xətt kəmiyyətlərindən $\sqrt{3}$ dəfə kiçik alınır. Bu növ birləşmə qruplarında izolyasiya və keçirici materiallara qənaət etmək mümkündür. Böyük güclü

transformatorlarda ulduz- üçbucaq birləşmə qrupundan istifadə edilir.

Üçfazlı transformatorun quruluş sxemi şəkl.5.6- da göstərilir.

Transformator simmetrik üçfazlı dövrədən qidalandıqda onun çubuqlarında, birinci dolaqlara tətbiq edilmiş u_A , u_B , u_C , faza gərginliklərinə müənasib, F_A , F_B , F_C maqnit selləri təsirləndirir. Təsirləndirilən maqnit selləri biri- birindən fazaca 120° fərqlidirlər. Fazalardakı dolaqlar simmetrik olduğuna görə təsirlənən maqnit sellərinin F_{Am} , F_{Bm} , F_{Cm} amplitud qiymətlərində biri- birinə bərabər olduğundan bu sellərin istənilən anda cəmi sıfıra bərabər olacaq. Buna görə üçfazlı transformatorlarda maqnit keçiricisini üç çubuqlu hazırlayırlar.

Üçfazlı transformatorun birləşmə qrupunu eyni adlı xətt e.h.q.- ləri arasındakı faza fərqi bucağı müəyyən edir. (şəkl.5.7)

DÜİST 401-41- ə əsasən üçfazlı transformatorlar üçün müəyyən edilmiş birləşmə qruplarından ikisi və sxemlərindən üçü cədv. - də verilmişdir.

Birləşmə qruplarının yanında yazılan 11,12 şərti rəqəmləri, tərəflərin xətt e.h.q.- ləri vektorları arasında alınan faza bucaqlarından asılıdır. Məsələn, Y/Y-12 işarəli birləşmə qrupunda transformatorun eyni fazaya aid hər iki dolağında induksiyaalanan e.h.q. vektorları bir- birinin üstünə düşdüyündən bucaq sıfır dərəcə olur. Y/Δ-11 birləşməsində isə yuxarıda qeyd edilən vektorlar biri- birindən 30° aralıdır.

Kiçik vektor $u(a)$ saati göstərən, böyük vektor $u(A)$ isə dəqiqəni göstərən əqrəb kimi qəbul etsək, o zaman 12 rəqəmi saat 12- ni, 11 rəqəmi isə saat 11- i göstərəcəkdir. Birləşmədəki «0» indeksi transformator qapağının üstünə sıfır nöqtəsinin çıxarılmasını göstərir.

5.4.2. Avtotransformatorlar

Avtotransformatorlarda dolaqlar arasında maqnit əlaqəsindən başqa elektrik əlaqəsi də mövcuddur. Adi transformatorlardan fərqli olaraq gərginlik dolağı yüksək gərginlik dolağının bir hissəsini təşkil edir (şək.5.7).

Şəkildən görüldüyü kimi A_x sıxacı giriş dövrəsinə, a_x sıxacı isə $r_{yük}$ müqavimətinə qoşulduqda alçaldıcı transformatorun sxemini alırıq. Əgər a_x sıxacı giriş dövrəsinə və A_x sıxacı isə $r_{yük}$ müqavimətinə qoşularsa, onda yüksəldici avtotransformatorun sxemini alırıq.

Alçaldıcı avtotransformatorun işləmə prinsipinə baxaq. W_{ax} dolağı eyni zamanda birinci və ikinci dolaqların bir hissəsi olduğundan, ondan I_{12} cərəyanı axır. A_x nöqtəsi üçün yaza bilərik:

$$I_2 = I_1 + I_{12} \text{ və } I_{12} = I_2 - I_1. \quad (5.11)$$

Avtotransformatorun birinci dövrəsindən ikinci dövrəsinə verilən güc keçid gücü adlanır ($S_k = U_2 I_2$). Bundan başqa maqnit sahəsinin köməyi ilə birinci dövrədən ikinci dövrəyə verilən güc hesabat gücü (S_h) adlanır.

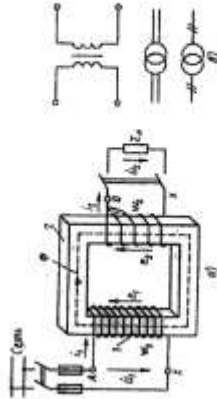
Avtotransformatorun keçid gücünü təşkiledicilərə ayırısaq, alırıq:

$$S_k = U_2 I_2 = U_2 (I_1 + I_{12}) = U_2 I_1 + U_2 I_{12} = S_e + S_h, \quad (5.12)$$

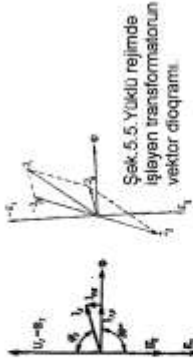
burada $S_e = U_2 I_1$ - avtotransformatorun birinci dolağından ikinci dolağına elektrik rabitəsi vasitəsilə verilən gücdür. Beləliklə avtoransformatorun hesabat gücü $S_h = U_2 I_{12}$ olur, yəni keçid gücünün bir hissəsini təşkil edir. Bu, imkan verir ki, avtotransformatorlarda en kəsiyi kiçik olan maqnit keçiricisindən istifadə olunsun.

Avtotransformatorun üstün cəhətləri aşağıdakılardır: aktiv materialın (misin və elektrotexniki poladın) az sərf olunması; çıxış gücünə görə ölçülərinin kiçik olması; maya dəyərinin aşağı olması və faydalı iş əmsalının (f.i.ə.) yüksək olması (güclü avtotransformatorlarda f.i.ə. 99,7%-ə qədərdir).

Avtotransformatorlardan adətən elektrik mühərriklərinin işəburaxma cərəyanını azaltmaq üçün, dəyişən cərəyan intiqallarında istifadə edilir. Onlar birfazlı və üçfazlı olurlar. Sonuncular adətən ulduz sxemi üzrə birləşdirilir.



Şek. 5.3. Bifazlı transformatorun sxemi (a) ve onun şartlı ıgarası (b).

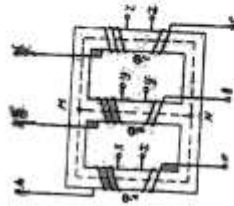


Şek. 5.5. Yüklü rejimde işleyen transformatorun vektör diogramı.

Şek. 5.4. Yükses işleme rejiminde transformatorun sadeleşmiş vektör diogramı.

Çevre indüksiyon shemaları	Açık devre shemaları		Kısaltmalar
	AN	BN	
a)			Δ/Δ
b)			Δ/Δ
c)			Δ/Δ

Şek. 5.7. Üç fazlı transformatorun birleşme şemaları.



Şek. 5.6. Üçfazlı transformatorun sxemi.

5.4.3. Ölçmə transformatorları

Dəyişən cərəyan dövrlərində istifadə olunan gərginlik və cərəyan ölçmə transformatorlarından alçaq gərginliyə və cərəyana hesablanmış ölçü cihazları vasitəsilə yüksək gərginlik dövrlərində ölçmə işləri aparmaq üçün istifadə edilir.

Ölçü transformatorları xidmətçi heyəti yüksək gərginlikdən qoruduğu kimi, işçi cihazların özünü də mühafizə edir. Eyni zamanda ölçü transformatorları cihazların ölçmə sərhədlərini xeyli genişləndirməyə imkan yaradır.

Qapalı maqnit keçiricisinin üzərində yerləşdirilmiş iki dolaqdan ibarət olan ölçü transformatorunun birinci dolaqları elektrik şəbəkəsinə, ikinci dolaqları isə ölçmə cihazına birləşdirilir. Təhlükəsizlik texnikasının tələblərinə uyğun olaraq, yüksək gərginlik şəbəkələrində, ölçmə transformatorlarının ikinci dolaqları yerlə birləşdirilir.

5.4.3.1. Gərginlik transformatorları

Gərginlik transformatoru, üzərində birinci və ikinci dolaqlar yerləşdirilmiş, ferromaqnit keçiricidə yığılmış alçaldıcı güc transformatorundan ($k = W_1/W_2$) ibarətdir (şək.5.9).

Transformatorun birinci dolağı gərginliyi ölçüləcək şəbəkəyə paralel qoşulmuş, ikinci dolağı isə ölçü cihazlarının paralel dolaqlarına birləşdirilir. Birinci tərəf nominal gərginliyi (U_1) yüksək gərginlikli qurğunun nominal gərginliyinə, ikinci tərəfin nominal gərginliyi isə 100 V götürülür.

Gərginlik transformatorunun transformasiya əmsalı $k = W_1/W_2 = U_1/U_2$ olur.

Nəzarət olunan dövrənin gərginliyinin həqiqi qiymətini almaq üçün voltmetrin göstərişini k -ya vurmaq lazımdır. Transformatorun işləmə rejimi yüksüz işləmə rejiminə yaxın olduqda, yəni dolaqlardakı gərginlik az olduqda, ölçülən gərginliyin xətası da az olur. Transformatorun yükü artdıqca, xəta da artır.

5.4.3.2. Cərəyan transformatorları

Gərginlik transformatorundan fərqli olaraq cərəyan transformatorunun birinci dolağı dövrəyə ardıcıl, ikinci dolağı isə ölçmə cihazına birləşdirilir.

Cərəyan transformatorunun dövrəyə qoşulma sxemi şəkl.5.10- da göstərilir. Sxemdə birinci dolağın sığacları x_1 və x_2 , ikinci tərəf dolağının sığacları isə $\bar{o}_1$ və $\bar{o}_2$ ilə işarə edilir. Təhlükəsiz iş şəraiti yaratmaq üçün ikinci dolaq yerlə birləşdirilir.

Birinci dolaqdan axan cərəyanın miqdarı bir neçə min amperə qədər olan cərəyan transformatorları sənaye tərəfindən istehsal edilir. Onların ikinci tərəfinin gərginliyi qiymətcə 10 V- dan çox olmur və birinci tərəf gərginliyi isə 0,1-0,01 V arasında dəyişir. Cərəyan transformatorunun ikinci tərəfinə qoşulan cihazın müqavimətinin qiyməti çox kiçik olduğundan, o, qısa qapanma rejimində işləyir. Ona görə də cərəyan transformatorlarındakı I_1 və I_2 yüksüz işləmə cərəyanından (I_0) dəfələrlə çoxdur. I_0 cərəyanı nəzərə alınmadıqda, $I_1 = kI_2$ olur. Burada k - transformasiya əmsali adlanır.

Beləliklə dövrəyə qoşulmuş ampermetr vasitəsilə I_2 cərəyanının qiymətini və transformatorun pasport göstəricilərindən k -nın qiymətini öyrənməklə I_1 cərəyanının qiyməti tapılır.

Qeyd etmək lazımdır ki, gəcginlik və cərəyan transformatorlarının transformasiya əmsalları eyni qiymətdə qalmadığından, onların nominal gərginliklərə və cərəyanlara uyğun gələn qiymətlərə ($U_{2n} = 200 \text{ V}$; $I_{2n} = 5 \text{ A}$) uyğun transformasiya əmsalları seçilir. Standart transformatorlar üçün $k_{vn} = u_1/100$ və $k_{in} = I_1/5$ şəklində yazılır.

Cərəyan transformatorunun ikinci dolağına cihaz qoşulmadıqda, o qısa qapanmalıdır. Əks halda həmişə qısa qapanma rejimində işləyən transformator yüksüz işləmə rejiminə keçir. Nəticədə birinci dolaqdan axan I_1 cərəyanı tamamilə maqnitləşdirici cərəyana çevrilir və ikinci dolaqda induksiyaalanan e.h.q. çox artır. Artan e.h.q. çox vaxt transformatorun ikinci dolağının izolyasiyasını deşir.

5.4.4. Transformatorun soyudulması

Az güclü transformatorlarda enerji itgisi azdır və transformatorun gücü artdıqca enerji itgisi də çoxalır. Buna görə də transformatorlar layihələndirildikdə əsas məsələlərdən biri transformatorun nüvəsində və dolaqlarında ayrılan istiliyin ətraf mühitə ötürülməsini təmin etməkdən ibarətdir. Bu zaman transformatorun gücünü artırmaq mümkün olur.

Transformatorun normal iş rejiminə işləmə müddətini artırmaq üçün (15-20 il) onun bəzi hissələrinin temperaturu aşağıdakı kimi olmalıdır: dolqlarda- 105°S -yə qədər; maqnit keçiricisinin üst səthində 110°S -yə qədər; yağın üst təbəqəsində 95°S -yə qədər.

Soyudulma üsullarına görə transformatorlar quru və yağlı tiplərinə bölünürlər.

Quru transformatorlar təbii hava ilə soyudulduğundan onun əsas hissələri hava ilə əlaqəli olur. Havanın istilik keçirmə əmsalı az olduğundan onun

gücünü çox artırmaq mümkün deyil (onların gücü- 10 MVA və yüksək gərginlik dolağının gərginliyi- 35 kV- a qədər).

Quru transformatorlar açıq (C), mühafizə olunmuş (CZ) və hermetikləşdirilmiş (CQ) formada hazırlanır.

Transformatorların səmərəli soyudulması üçün yüksək istilikkeçirmə və izolyasiya qabiliyyətlərinə malik olan transformator yağından istifadə edilir. Bu üsulda maqnitkeçirici, dolaqlarla birlikdə, yüksək səviyyədə təmizlənmiş transformator yağı ilə doldurulmuş qab içərisinə yerləşdirilir. Maqnitkeçirici və dolaqlar transformator yağının içərisində qaldıqlarından, bu hissələrin istiliyi yağ tərəfindən alınaraq transformator qutusunun divarları vasitəsilə xarici mühitə ötürülür.

İş zamanı bakın daxilindəki yağın genişlənməsinə imkan yaratmaq üçün genişləndirici adlanan bakdan istifadə edilir. Eyni zamanda bu bak, transformator qabında olan yağı həmişə hidrostatik təzyiq altında saxlamaq və onun səviyyəsinin hava ilə təmasının qarşısını almaq üçündür.

Böyük gücə malik olan transformatorlarda (20-1800 kVA) soyuducu bakın üst hissəsi müxtəlif formada (qabırğalı, dalğalı və s.) hazırlanaraq genişləndirilir.

Daha güclü transformatorlarda (10000-63000 kVA) soyutma süni üsullarla aparılır.

Son zamanlar yağın və partlayış təhlükəsi olan yerlərdə transformatorları soyutmaq üçün maye dielektrikdən- sovtoldan istifadə edilir.

5.5. Asinxron mühərriklər

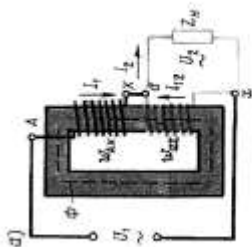
5.5.1. Asinxron mühərriklərin təyinatı və iş prinsipi

Asinxron mühərriklərdən əsasən elektrik enerjisini mexaniki enerjiyə çevirmək üçün istifadə edilir. Hazırda,

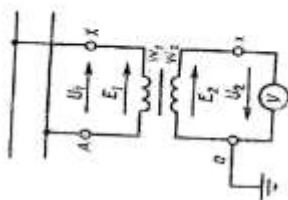
dünyada istehsal olunan, elektrik enerjisinin yarısına qədərini asinxron mühərriklər işlədir və onlardan istismarda olan mexanizmlərin əksər hissəsində elektrik intiqalı kimi istifadə edilir.

Asinxron mühərrik M.O.Dolivo- Dobrovolski tərəfindən 1889- cu ildə ixtira edilmişdir və ilk dəfə üçfazlı cərəyanın köməyi ilə fırlanan maqnit sahəsini almaq üçün istifadə edilmişdir. Bundan sonra elektrotexnikada üçfazlı cərəyandan istifadə edilməyə başlandı.

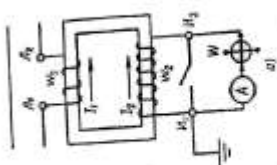
Asinxron mühərrik hərəkətsiz stator və fırlanan rotordan ibarətdir (şək.5.11,a). Dolaqlardan biri stator, digəri isə rotor üzərində yerləşdirilir. Statorla (1) rotor



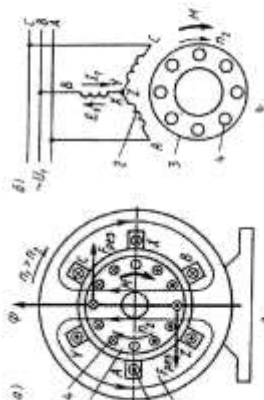
Şek. 5.8. Avtötransformatörün sxemi.



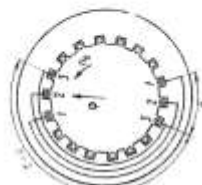
Şek. 5.9. Gərginlik transformatorunun sxemi.



Şik. 5.10. Cərəyan transformatorunun sxemi.



Şik. 5.11. Asinxron maşının elektro maqnit (a) və dövrəyə qoşulma sxemi(b).



Şik. 5.12 Birqatlı stator dolğunun yuvalarda yerləşdirilməsi sxemi.

arasındakı həva məsafəsi, dolaqlar arasındakı maqnit əlaqələrini yaxşılaşdırmaq üçün çox kiçik götürülür. Stator dolağı (2) stator çevrəsi üzrə bərabər ölçüdə yerləşdirilir. Stator dolağının fazaları AX, BY, CZ ulduz və ya üçbucaq sxemi üzrə birləşdirilərək üçfazlı cərəyan dövrəsinə qoşulur (şək.10,b). Rotorun xarici səthi üzərində uzununa yuvalar açılır və rotor dolağı (4) həmin yuvalarda yerləşdirilir. Konstruktiv quruluşca rotor dolağı qısa qapanmış dolağa və faza dolağına ayrılır.

Statorun dolaqlarından üçfazlı dəyişən cərəyan buraxdıqda onun içərisində fırlanan maqnit sahəsi yaranır. Sahənin fırlanma sürəti aşağıdakı qiymətə bərabər olur: $n_1 = 60f_1/p$, burada p - cüt qütblərin sayıdır.

Stator sahəsinin qüvvə xətləri rotordan keçdikdən sonra qapandığından, hərəkət edən qüvvə xətləri, rotorun özünü və onun üzərində yerləşdirilmiş məftilləri kəsir. Nəticədə rotorda dövrə cərəyanları, məftillərdə isə induksiyalanmış e.h.q. əmələ gəlir. Bu qüvvələrin yaratdığı fırladıcı moment, rotorda cərəyan induksiyaedən səbəbin əksinə istiqamətlənəcəkdir. Maqnit selinin rotora görə aldığı nisbi yerdəyişmə cərəyan yaradır. Rotor cərəyanının aktiv təşkilədiciləri fazaca induksiyaalanan e.h.q. ilə üst- üstə düşür, ona görə şəkildəki şərti işarələr (o və o) eyni zamanda cərəyanın istiqamətini göstərir.

Maqnit sahəsindəki cərəyanlı naqilə, istiqaməti sol əl qaydası ilə təyin olunan, elektromaqnit qüvvəsi təsir edir. Rotorun bütün məftillərinə təsir edən elektromaqnit qüvvələrinin cəmi (F) elektromaqnit momenti (M) yaradır. Əmələ gələn moment maqnit seli ilə rotor arasındakı nisbi sürəti azaltmağa çalışacaqdır, yəni fırladıcı moment rotoru maqnit sahəsinin fırlandığı istiqamətdə fırladacaqdır. Rotorun oxuna xaricdən müqavimət momenti təsir etdiyindən rotorun sürəti, həmişə fırlanan maqnit

sahəsinin sürətindən bir qədər kiçik olur. Bu səbəbdən rotor məftilləri fırlanan sahənin qüvvə xətləri ilə görüşüb onları kəsə bilir.

Asinxron mühərrikin xarakterik xüsusiyyəti- maqnit sahəsinin fırlanma sürəti (n_1) ilə rotorun fırlanma sürəti (n_2) arasında fərqi olmasıdır (asinxron- eyni sürətli olmayan deməkdir). Çox vaxt fırlanan sahənin sürəti sinxron, rotorun sürəti isə asinxron adalanır. Bu sürətlərin fərqi ($\Delta n = n_1 - n_2$) sahənin rotora nəzərən sürəti adlanır. Qeyd edilən sürətin sinxron sürətə olan nisbəti mühərrikin sürüşməsi (S) adlanır:

$$S = (n_1 - n_2) / n_1 ; S\% = ((n_1 - n_2) / n_1) * 100. \quad (5.13)$$

Asinxron mühərrikin iş rejimini təyin edən əsas elementlərdən biri sürüşmədir. Mühərrikin yüklənməsindən asılı olaraq sürüşmənin qiyməti 3%-dən 6%-dək dəyişir. Çox yüklənmiş mühərriklərdə sürüşmə çox, az yüklənmişlərdə isə az olur.

Asinxron mühərriklərdə stator dolağı, elektrotexniki polad vərəqlərdən yığılmış, içiboş silindrin daxili səthində açılmış yuvalarda yerləşdirilir və üçfazlı cərəyan şəbəkəsindən bəslənərək fırlanan maqnit sahəsi yaradır.

Stator dolağı yaranan maqnit selinin stator çevrəsi üzrə paylanması sinusoidal olmasını və maqnit selinin qiymətinin maksimuma çatdırılmasını təmin etməlidir. Bu məqsədlə, hər fazaya aid dolağını bir neçə yuva arasında paylamaq lazımdır. Maqnit selinin stator çevrəsi üzrə paylanması sinusoidalığa yaxınlaşmasını təmin etmək üçün, dolaqlar yerləşdirilən yuvalar, bir- birinə yaxın yerləşdirilməlidirlər. Üçfazlı birqatlı stator dolağının yuvalarda yerləşdirilməsi şəkl.5.11- də göstərilmişdir.

Şəkildən göründüyü kimi, üç faza dolağının hər biri 2 seksiyadan, hər seksiya isə iki məftildən ibarətdir. Hər bir məftil stator üzərində bir yuva tutduğundan, yuvaların sayı məftillərin sayına bərabər olmalıdır. Bu halda bütün stator çevrəsi bölünür (360^0) və hər qütbün payına düşən hissə 180^0 qütb bölgüsü adlanır.

Qütb bölgüsündə yerləşən yuvaların sayı $Q = z/2p$, burada z - stator çevrəsi üzrə paylanmış məftillərin sayı, p - cüt qütblərin sayıdır.

Hər fazaya düşən yuvaların sayı $q = Q/m = z/2pm$, burada m - fazaların sayını göstərir. $Z = 12$, $p = 5$, $m = 3$ olduqda $Q = 12/2 = 6$ alınır.

Asinxron mühərrikin stator dolağı sarğaclar şəklində hazırlanır. Hər sarğac bir neçə seksiyaya, seksiyalar isə sarğılara ayrılır. Quruluşuna görə dolağın yerləşdiyi yuvalar açıq və yarımaçıq şəkildə hazırlanır.

Konstruksiyasına görə asinxron mühərriklər qısa qapanmış rotorlu və faza rotorlu olurlar. Qısa qapanmış dolaqlı asinxron mühərriklərdən son zamanlar daha çox istifadə olunur. Rotorun xarici səthi üzərində açılmış yuvalarda yerləşdirilən qapalı dolaqda induksiyalanmış rotor cərəyanı fırladıcı momentin yaranmasında əsas rol oynayır.

Qısa qapanmış rotorun dolağı iki tərəfdən bir- birinə paralel qoyulan halqalar (2) arasında bərkidilən mis və ya alüminium (1) çubuqlardan ibarətdir. Bu çubuqlar rotor səthində açılmış yuvalarda yerləşdirilir. Çubuqlardan axan rotor cərəyanı, qoyulan halqalar vasitəsilə qısa qapanır. Onlara qısa qapanmış mühərriklər deyilir.

Faza rotorlu asinxron mühərriklərdə isə rotorun səthi üzərində açılmış yuvalarda, bir- birindən izolyasiya edilmiş, 3 ədəd eyni faza (dolaq) yerləşdirilir. Stator dolağında olduğu kimi fazalar arasındakı yerdəyişmə 120^0 təşkil edir. Fazaların sarğacları ulduz birləşdirilir.

Rotor dolağının sərbəst qalmış 3 ucu isə val üzərində yerləşmiş kontakt halqalarına (1) birləşdirilir. Onlar bir-birindən və valdan izole edilmişdir.

Kontakt halqalarına sıxılan tərpənməz fırçalarla (2), rotorun hər fazasını, üçfazlı işəsalıcı reostata (r_r) qoşmaq olar. Rotor dolağının aktiv müqavimətini reostat vasitəsilə artırıqda, işəburaxma cərəyanı azalır və mühərrikin işə buraxılması asanlaşır. Bundan başqa rotor dövrəsinin aktiv müqavimətinin azaldılması, mühərrikin fırlanma sürətinin tənzimlənməsinə imkan yaradır. Rotoru faza dolaqlarına malik olan üçfazlı mühərriklərə çox vaxt kontakt halqalı mühərriklər deyilir.

5.5.2. Asinxron mühərrikin ekvivalent sxemi

Ekvivalent sxemin köməyi ilə asinxron mühərriklərin güc itgisini, gərginlik düşgüsünü və cərəyanı təyin etmək olar. Bu zaman nəzərə alınmalıdır ki, fırlanan rotorun dolaqlarındakı cərəyanın təsiredici qiyməti və tezliyi rotorun fırlanma tezliyindən asılıdır.

Transformator prinsipi ilə işləyən asinxron mühərriki də ekvivalent sxem ilə əvəz edilə bilər. Mühərrikin T-şəkilli dördqütblü əvəzetmə sxemi şəkl.5.13- də göstərilmişdir. Əvəzləmə sxemi stator və rotor dolaqlarının, eyni zamanda, onları əlaqələndirən maqnit sahəsinin parametrlərindən ibarətdir.

Əvəzləmə sxemini qurmaq üçün ilk növbədə rotor dolağının parametrlərini stator dolağına nəzərən çevirmək lazımdır (aktiv və induktiv müqavimətləri).

Fırlanan rotorun elektrik əvəzləmə sxemindən rotor cərəyanını tapmaq olar:

$$I_r = E_{rS}/Z_r = E_{rS}/\sqrt{r_r^2 + x_{rS}^2} \quad (5.14)$$

$$X_{rS} = 2\pi f_1 L_r = 2\pi f_1 L_{rS} = x_r S_3 \quad (5.15)$$

burada burada x_r - rotor dolağının induktiv müqavimətidir. Düsturlardakı E_{rs} və x_{rs} - in qiymətlərini yerinə yazsaq:

$$I_2 = sE_r / \sqrt{r_r^2 + (sx_r)^2} \quad (5.16)$$

$$I_2 = E_r / \sqrt{(r_r / s)^2 + (x_r)^2} \quad \text{alırıq.} \quad (5.17)$$

Burada E_r və x_r dəyişmir, R_r/s aktiv müqaviməti isə sürüşmədən (s) asılı olaraq dəyişir.

Sxemdən göründüyü kimi, stator dövrəsinin parametrləri (x_1 və r_1) yenə də ardıcıl birləşdirilir və dövrəyə U gərginliyi tətbiq edilir. Əvəzləmə sxeminə maqnitləşdirici konturun müqavimətləri r_0 və x_0 ilə göstərilir.

5.5.3. Asinxron mühərrikin işə qoşulması və mexaniki xarakteristikası

Mühərriklərin işə qoşulma xüsusiyyəti hər şeydən əvvəl onların dövrədən aldıkları cərəyanların və fırladıcı momentin qiymətləri ilə xarakterizə olunur.

Bəzi işçi maşınlar (məsələn, ventilyatorlar) işə qoşulma prosesinin başlanğıcında çox kiçik müqavimət momenti yaradır və sürət artdıqca çoxalır. Digər qrup maşınlar isə (kompresorlar, xırdalayıcılar və s.) nominal momentə qədər, bəzən ondan çox, işə qoşulma momenti tələb edirlər. Buna görə asinxron mühərriklərin işə qoşulma üsulları seçildikdə, onun uzunmüddətli və müntəzəm işləməsi, işə qoşulma sxeminin mürəkkəbliyi və səmərəli olması nəzərə alınmalıdır.

Qısa qapanmış rotorlu asinxron mühərrikləri bilavasitə işə salmaq mümkündür, yəni üçqütblü açarlar vasitəsilə mühərrikin stator dolağı bilavasitə üçfazlı

dövrə ilə əlaqələndirilir. Üsulun sadə olmasına baxmayaraq, işə qoşulma zamanı gərginlik düşgüsünün artması nəticəsində mühərrikin gücü məhdudlaşdırılır. Bunun səbəbi, başlanğıc anda, işə qoşulma cərəyanının qiymətinin artmasıdır ($k_q = I_q/I_n = 4:7$).

İşə qoşulma cərəyanının (I_q) azaldılması üçün mühərrikin sıxaclarındakı gərginliyi azaltmaq lazımdır. Bu məqsədlə ulduz- üçbucaq açarı vasitəsilə işə qoşulma üsulu tətbiq edilir (şək.5.14).

Bu üsul normal iş rejimində stator dolağı üçbucaq qoşulacaq mühərriklər üçün tətbiq edilə bilər. Nəticədə mühərrikin hər faza dolağına düşən gərginlik $\sqrt{3}$ dəfə, işə qoşulma momenti isə 3 dəfə azalacaq.

Mühərrik normal sürətini aldıqdan sonra A2 açarı sürətlə «üçbucaq» vəziyyətinə keçirilərək işə qoşulma prosesini sona çatdırırlar.

Gərginliyi azaltmaqla işə qoşulma üsulu, gücü 20 kVt- a qədər olan mühərriklər üçün daha səmərəlidir. Böyük güclü mühərrikləri, gərginliyi azaltmaqla işə qoşduqda ya reaktiv müqavimətdən, ya da avtotransformatorlardan istifadə edilir.

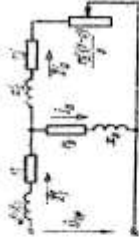
Rotorun fırlanma sürətinin (n_2), fırladıcı momentdən (M) asılılığına asinxron mühərrikin mexaniki xarakteristikası deyilir. Ayrı- ayrı iş mexanizmlərini hərəkətə gətirmək üçün asinxron mühərriklər seçildikdə onun mexaniki xarakteristikasından istifadə edilir. Məsələn bəzi dəzgahlarda, yükün artmasına baxmayaraq, rotorun fırlanma sürətinin dəyişməz qalması tələb olunur. Buna görə dəyişən yük altında işləyən işçi maşınlarında yükün dəyişməsinə uyğun olaraq mühərrikin fırlanma sürətinin dəyişməsi tələb olunur.

Bu səbəbdən intiqal üçün mühərrik seçdikdə onun mexaniki xarakteristikası böyük rol oynayır. Fırlanma sürətinin fırladıcı sürətdən asılılığı şək.5.15- də verilmişdir.

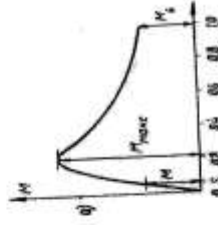
Bu asılılıq n_2 (M) və $M(S)$ kimi işarə edilir və hər ikisi birləşdirilərək bir əyri kimi göstərilir.

Xarakteristikadan göründüyü kimi mühərrikin başlanğıc momenti $M_{baş}$, rotorun fırlanma sürəti sıfır və sürətlər arasındakı sürüşmə vahidə bərabər olduqda alınır. Başlanğıc moment həmişə müəyyən qiymətə malik olduğuna baxmayaraq kiçik qiymətlərdə mühərrik işləmir. Mühərrikin maksimal momenti (M_{max}) onun böhran sürüşməsinə (S_b) uyğun gələn momentdir. Sürətlər arasında sürüşmə olmadıqda ($n_1 = n_2$) fırladıcı moment sıfır bərabər olur. Belə bir hal mühərrikin itgisiz işləməsinə uyğun gəlir.

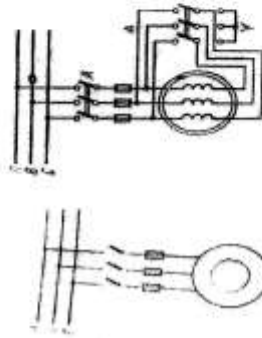
Asinxron mühərrikin nominal iş rejimini təmin etmək üçün əsas tələblərdən biri onun hansı mexanizmi işlədəcəyini qabaqcadan bilməkdir. Bu məqsədlə asinxron mühərrikin mexaniki xarakteristikasına icra mexanizminin mexaniki xarakteristikası ilə birgə baxmaq lazımdır.



Şek. 5.13. Asinxron m  henkinin ekvivalent sxemi.



Şek. 5.15. Asinxron m  henkinin mexaniki xarakteristikasi.



Şek. 5.14. Asinxron m  henkinin i   qo  lma sxemleri.

5.6. Sinxron maşınlar

5.6.1. Sinxron maşınların təyinatı və iş prinsipi

Sinxron maşınlardan, başlıca olaraq, üçfazlı dəyişən cərəyan mənbəyi kimi istifadə edilir. Onlar istilik, hidravlik və atom elektrik stansiyalarında, teplovozlarda və təyyarələrdə tətbiq olunur.

Sinxron maşınlar generator və mühərrik rejimində işləyən üçfazlı dəyişən cərəyan maşınlarıdır. Sinxron generatorun konstruksiyası əsasən intiqalın növünə görə təyin edilir. Bundan asılı olaraq onlar turbin, hidravlik və dizel generatorlarına ayrılır. Gücü 100 kVt- dan çox olan və sabit fırlanma sürətinə malik olan mexanizmlərdə (kompessorlarda, ventilyatorlarda, nasoslarda və s.) sinxron maşınlardan mühərrik kimi istifadə edilir. Məişət elektrik cihazlarında, idarəetmə sistemlərində və s. sahələrdə müxtəlif konstruksiyalı sinxron maşınlardan geniş istifadə olunur.

Sinxron maşının sxemi şəkl.5.12- də göstərilmişdir. Asinxron maşınlarda olduğu kimi sinxron maşının da statorunda (1) üçfazlı dolaq (3) yerləşdirilir. Sabit cərəyanla qidalanan rotor dolağı (4) maşında maqnit seli yaratdığından təsirlənmə dolağı adlanır. Sabit cərəyan mənbəyi ilə fırlanan maqnit dolağı, kontakt halqaları (5) və fırçalar 6 vasitəsilə əlaqələndirilir (şəkl.5.16,b).

Rotor müəyyən sürətlə fırlandıqda təsirlənmə seli stator dolağının məftillərini kəsərək onlarda f_1 tezlikli dəyişən e.h.q. yaradır:

$$f_1 = Pn_2/60 \quad (5.18)$$

Əgər stator dolağını hər hansı yükə qoşsaq, onda bu dolaqda axan çoxfazlı cərəyan fırlanan maqnit sahəsi yaradır. Bu sahənin fırlanma sürəti aşağıdakı düsturla müəyyən olunur:

$$n_1 = 60f_1/P \quad (5.19)$$

$n_1 = n_2$ olduğundan yuxarıdakı düsturlardan görünür ki, stator dolağında yaranan fırlanan maqnit selinin fırlanma sürəti rotorun fırlanma sürəti ilə eynidir-sinxrondur. Buna görə də bu cür maşınlar sinxron maşınlar adlanır.

Sinxron maşınlarda əsas maqnit seli yaradan hissə təsirlənmə sistemi, e.h.q. induksiyaalan hissə isə lövbər adlanır. Beləliklə, göstərilən sxemdə stator- lövbər kimi, rotor isə təsirlənmə dolağı kimi təsvir edilir.

Qərarlaşmış işləmə rejimində sinxron maşınlar aşağıdakı xarakterik xüsusiyyətlərə malikdirlər: istər generator, istərsə də mühərrik rejimində işləyən sinxron maşının rotorunun fırlanma sürəti (n_2) maqnit selinin fırlanma sürətinə (n_1) bərabərdir; lövbər dolağında induksiyaalan e.h.q.-nin dəyişmə tezliyi rotorun fırlanma tezliyi ilə mütənasibdir; təsirlənmə dolağında e.h.q. induksiyaalanmır; təsirlənmə dolağında yaranan m.h.q. maşının işləmə rejimindən asılı deyil və təsirlənmə cərəyanı ilə müəyyən edilir.

5.6.2. Sinxron generatorun xarakteristikaları

Sinxron generatorların işləmə prinsipini təhlil etməklə maşının müxtəlif xarakteristikalarını çıxarmaq olar.

Yüksüz işləmə xarakteristikası. Sabir sürətlə fırlanan maşının əsas maqnit sahəsi tərəfindən yaranan e.h.q. (E_0) ilə onun təsirlənmə cərəyanı (I_t) arasındakı asılılıq sinxron maşının yüksüz işləmə xarakteristikası adlanır.

Təsirlənmə cərəyanının kiçik qiymətlərində maqnit seli az olduğundan, maşının polad içliyi doyma həddinə çatmır və onun maqnit müqaviməti kiçik olur. Bu halda maqnit seli, statorla rotor arasındakı hava məsafəsindəki

maqnit müqaviməti ilə təyin edildiyi üçün bu hissədə yüksüz işləmə xarakteristikası düz xətt formasında olur (şək.5.17). Selin artması nəticəsində polad içliklərdə maqnit müqaviməti də artır. Poladdakı induksiyanın 1,7-1,8 Tl- dən böyük qiymətlərində polad içliyin maqnit müqavimətinin sürətlə artması nəticəsində yüksüz işləmə xarakteristikası qeyri- xətti alınır. Sinxron maşının normal iş rejimi elə seçilməlidir ki, təsirlənmə cərəyanının kiçik dəyişmələri (ΔI_t) e.h.q.- yə təsir etməsin. Bu rejim xarakteristikanın doyma hissəsinə uyğun gəlir. Həmin hissənin doyma əmsalı $k_d = ab/bc = 1,1-1,2$ olur. Xarakteristikanın 1 hissəsi doyma olmadıqda maşının işləmə prinsipinə, 2 hissəsi isə maşının maqnit dövrəsində doymanın olması halına uyğun gəlir.

Yüksüz işləmə xarakteristikasından mühərrikin təsirləndirmə cərəyanı təyin edilir.

Sinxron generatorun xarici xarakteristikası.

Təsirləndirmə cərəyanı I_t , yerdəyişmə bucağı φ , tezlik f_1 və rotorun fırlanma sürəti n_2 dəyişmədikdə U gərginliyinin I_y yük cərəyanından asılılığına xarici xarakteristika deyilir.

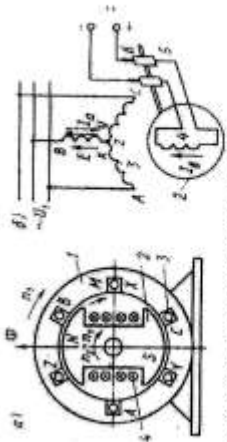
Sinxron maşının ən böyük gərginliyi onun yüksüz işləmə rejimində alınır. Maşının yükü tədricən artdıqca stator reaksiyasının təsirindən gərginlik azalır.

Şək.5.18- da aktiv ($\varphi=0$), aktiv- induktiv ($\varphi>0$) və aktiv- tutum ($\varphi<0$) təbiətli yüklərdə sinxron maşının xarici xarakteristikası verilmişdir. Bu xarakteristikalar $E_0 = \text{const}$ və ya $I_t = \text{const}$ hallarında çıxarılıb, yəni hər bir əyri yük dəyişdirdə $\cos\varphi$ - nin dəyişməz qaldığı hala uyğundur.

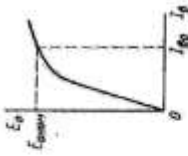
Xarici xarakteristikalar vasitəsilə sinxron maşının istənilən rejimi və istənilən qiymətli yükü üçün gərginliyin dəyişməsinə təyin etmək mümkündür. Bunun üçün maşının yüksüz işləmə gərginliyinin (U_0) hər hansı yük rejiminə aid gərginlik itgisini $\Delta U = U_0 - U_n$ şəkildə tapmaq mümkündür.

Yüksüz işləmə rejimindən nominal yüklənmə rejiminə keçdikdə gərginliyin faizlə dəyişməsi aşağıdakı düsturla xarakterizə olunur:

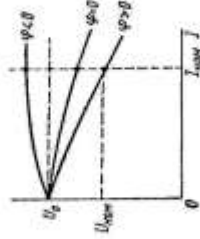
$$\Delta U = \frac{U_0 - U_n}{U_n} 100\% \quad (5.20)$$



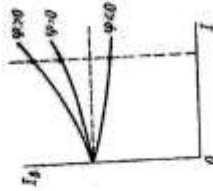
Şek.5.16. Sinxron maşının quruluşu və işəsalma sxemi.



Şak.5.17. Sinxron generatorun yüksüz işləmə xarakteristikası.



Şek.5.18. Sinxron generatorun xarici xarakteristikası.



Şak.5.19. Sinxron maşının tənziqlənmə xarakteristikası.

Adətən sinxron generatorlar aktiv- induktiv təbiətli yüklərdə işləyir. Bu hallarda $\cos\varphi=0,9-0,85$ arasında və gərginlik isə 25-35% arasında dəyişir. Generatorun U gərginliyini sabit saxlamaq üçün xüsusi təsirləndirici cərəyan tənzimləndiricisindən istifadə olunur.

Sinxron generatorun tənzimləyici xarakteristikası. Güc əmsalını və gərginliyi sabit saxlamaqla təsirləndirici cərəyanın (I_t) yük cərəyanından (I_y) asılılığına tənzimləyici xarakteristika deyilir (şək.5.19).

Sinxron generatorun tənzimləmə xarakteristikası göstərir ki, yük cərəyanının dəyişən qiymətlərində təsirləndirici cərəyanı necə dəyişmək lazımdır ki, onun gərginliyi dəyişməsin.

Xarakteristikadan göründüyü kimi generatorun gərginliyini dəyişməz saxlamaq üçün yük çoxaldıqca ($\varphi=0$ və $\varphi>0$ olduqda) təsirləndirici cərəyanı artırmaq, $\varphi<0$ olduqda isə azaltmaq lazımdır.

Hazırda avtomatik gərginlik tənzimləyicilərinin köməyi ilə generatorların gərginliyi tənzimlənir.

5.6.3. Sinxron mühərriklərin iş prinsipi və işə salınması

Şəbəkəyə paralel qoşulmuş sinxron maşının rotoruna tormozlayıcı moment təsir göstərdikdə o, avtomatik olaraq mühərrik rejiminə keçir. Bu rejimdə maşın şəbəkədən aktiv güc tələb edir və fırlanan elektromaqnit momenti yaranır. Rotorun fırlanma sürətinin şəbəkənin tezliyi ilə əlaqədar olaraq dəyişməz qalması ($n_2 = n_1 = 60 f_1/P$) sinxron mühərrikin əsas istismar xüsusiyyətini xarakterizə edir.

Sinxron mühərrikin işləmə prinsipi maqnit sahəsi ilə cərəyanlı keçiricinin qarşılıqlı təsirinə əsaslanır. Rotorun

maqnit sahəsi içərisində yerləşdirilmiş stator dolağına dəyişən cərəyan verildikdə, onun məftillərinə mexaniki qüvvələr təsir edir. Bu qüvvələrin tangensial toplananları fırladıcı moment yaradır. Fırladıcı moment tormozlayıcı momentə bərabər olduqda rotor sabit sinxron sürətlə fırlanmağa başlayacaq.

Gizli qütblü sinxron maşınlar üçün elektromaqnit momenti aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$M = \frac{mUE_0}{\omega X_{ch}} \sin \theta = M_{\max} \sin \theta, \quad (5.21)$$

burada $M_{\max}$ - maksimal momenti göstərir. Mühərrik rejimi üçün (5.21) düsturundakı $\theta < 0$ olur. Odur ki, sinxron generatordan fərqli olaraq sinxron mühərrikdə rotor qütbləri statorun fırlanan sahə qütblərindən geri qalır.

Mühərrikin valına təsir göstərən mexaniki yük artdıqca onun fırladıcı momenti mexaniki qüvvələrin momentini daha tarazlaşdırı bilmir. Ona görə də rotorun tormozlanması nəticəsində θ' bucağı artmağa başlayır. Yük momentinin qiyməti maksimal momentin qiymətindən az olduqda mühərrik normal işləmə rejimində işləyir. Adətən sinxron mühərriklərdə nominal moment (M_{nom}) maksimal momentin yarısından az olur ($M_{\text{nom}} = 0,5M_{\max}$), buna uyğun olaraq $\theta = 20^\circ - 30^\circ$ olur.

Sinxron mühərrikin vektor diaqramı qurulduqda (şək.5.20) dolaqların aktiv müqaviməti nəzərə alınmadığından mühərrikin elektromaqnit gücü (P_{em}) onun elektrik gücünə (P_{el}) bərabər götürülür:

$$P_{\text{em}} = P_{\text{el}} = \frac{UE_0}{X} \sin \theta \quad (5.22)$$

Elektromaqnit güc və fırladıcı moment düsturlarından görüldüyü kimi mühərrikin həm elektrik gücü, həm də fırladıcı momenti θ bucağının dəyişməsindən asılıdır.

Vektor diaqramı qurulduqda əvvəlcə U_c və $-U_c$ vektorları qurulur və onların üzərində aktiv təşkiledicilər ilə üst-üstə düşdüyündən I cərəyanı vektoru qurulur.

Sinxron mühərriki işə salmaq üçün onun rotorunu hər hansı üsulla sinxron sürətə qədər qovmaq lazımdır. Hazırda sinxron mühərriklər asinxron üsulla işə salınır. Bu məqsədlə onun rotorunda «dələ qəfəsi» şəklində, qısa qapanmış işəsalma dolağı yerləşdirilir. Nəticədə, xüsusi işəsalma dolağı olan sinxron mühərrik adi qısa qapanmış dolağı olan asinxron mühərrik kimi işə salınır (şək.5.27).

Bu zaman sinxron mühərrikin stator dolağı şəbəkəyə, təsirlənmə dolağı isə r_s əlavə müqavimətlə əlaqələndirilir. Rotor dolağına başlanğıc anda sabit cərəyan verilmir. Belə rejimdə sinxron mühərrik asinxron mühərrik kimi işləyərək öz sürətini sinxrona yaxınlaşdırır. Mühərrik sinxron sürətə çatdıqdan sonra təsirlənmə dolağı r_s əlavə müqavimətdən ayrılaraq sabit cərəyan dövrəsinə qoşulur və nəticədə mühərrik sinxronluğa daxil olur. Bundan sonra mühərrik normal iş rejiminə başlayır.

Bu üsulun əsas nöqsanı işə salma cərəyanının qiymətinin nominal cərəyanın qiymətindən 5-7 dəfə çox olmasıdır. Belə artıq cərəyana xarici dövrə davamsız olduqda, mühərriki işə salmaq üçün avtotransformatordan istifadə etmək məsləhət görülür.

5.7. Elektrik intiqalı

5.7.1. Elektrik intiqalı haqqında ümumi məlumat

Avtomatlaşdırma və idarəetmə elementlərindən, icra mexanizmindən, əlaqələndirici vasitələrdən, ötürücü mexanizmdən və elektrik mühərrikindən ibarət olan elektromexaniki qurğu elektrik intiqalı adlanır.

İntiqallardan iqtisadiyyatın bütün sahələrində texnoloji əməliyyatları yerinə yetirmək üçün istifadə edilir. İstehsal maşın və mexanizmləri əsasən elektrik intiqalı vasitəsilə hərəkətə gətirilir (şək.5.18).

Elektrik intiqalının elektrik hissəsi elektrik mühərrikindən, idarəetmə aparatından və istehsal maşın-mexanizmindən ibarətdir.

Xidmət olunan istehsal maşınlarının sayından və mexaniki ötürmənin mərhələsindən asılı olaraq elektrik intiqalları qrup, fərdi və çoxmərhələli növlərə bölünür.

Qrup elektrik intiqallarında, transmissiya sistemi vasitəsilə ayrı-ayrı işçi maşına mexaniki enerji bir elektrik mühərriki vasitəsilə verilir. Bu növ elektrik intiqalının bir sıra texniki- iqtisadi nöqsanları olduğundan (mürəkkəb quruluşlu, aşağı f.i.ə. və s.) olduğundan istifadə olunmur.

Fərdi elektrik intiqalında hər bir işçi mexanizmi hərəkətə gətirmək üçün fərdi elektrik mühərrikindən istifadə olunur. Nəticədə aralıq ötürmələrin quruluşu sadələşir, itgilər azalır və işçi maşınların fırlanma sürəti elektrik üsulu ilə tənzimlənir. Bu növ intiqallar iqtisadiyyatda çox geniş istifadə olunur.

İşçi mexanizm müstəqil təsir göstərən bir neçə icra orqanından ibarət olduqda, yəni işçi maşının manqaları arasında əlaqə olmadıqda, çox mühərrikli elektrik intiqalından istifadə edilir. Bu zaman işçi maşının kinematikası sadələşir, qovşaqların sayı azalır və enerji sərfi azalır.

5.7.2. Elektrik intiqalı üçün mühərrikin seçilməsi

Elektrik intiqalı üçün mühərrikin düzgün seçilməsi nəticəsində yüksək iqtisadi və energetik göstəricilər əldə etmək olar. İntiqal üçün elektrik mühərriki seçdikdə, təkcə onun nominal gücü ilə məhdudlaşmaq olmaz. Eyni zamanda, mühərrikin işləmə rejimi, işçi maşın və icra mexanizmlərinin işləmə şəraiti də nəzərə alınmalıdır.

Buna görə də, mühərrik seçildikdə bir- biri ilə əlaqədə olan bir sıra məsələlər həll olunmalıdır: intiqalın tipinin seçilməsi (tənzimlənən və ya tənzimlənməyən); elektrik mühərrikinin növünün seçilməsi (cərəyanın və ya gərginliyin növünə görə, nominal fırlanma sürətinə görə); birləşmə sxeminin növünə görə; konstruktiv quruluşa görə (açıq, mühafizəli, bağlı, kip bağlı və s.) və iqtisadi göstəricilərinə görə.

Beləliklə istifadə olunan elektrik intiqalı bütün texniki- iqtisadi göstəricilərə cavab verməli, uzun müddətli və etibarlı işləməli, sadə kontsruksiyaya malik olmalıdır.

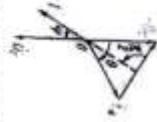
Qısa qapanmış rotorlu asinxron mühərrik göstərilən tələblərə daha çox cavab verir.

5.7.3. Elektrik intiqalının iş rejimləri

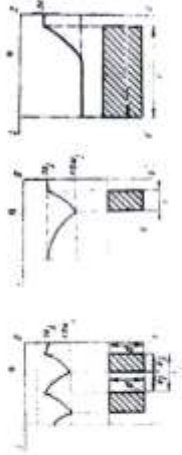
Elektrik mühərrikinin normal işləmə müddəti onun üçün nəzərdə tutulmuş iş rejimindən asılıdır. İstifadə olunan istehsal maşınları və mexanizmləri iş rejiminə görə 3 qrupa bölünür: uzunmüddətli, qısamüddətli və təkrar-qısamüddətli.

Uzunmüddətli iş rejimində elektrik maqşınının və elektrik intiqalının bütün hissələrinin temperaturu müəyyən vaxtdan sonra qərarlaşmış (T_q) səviyyəyə çatır və intiqalın işləmə müddəti bu temperaturdan asılı olur

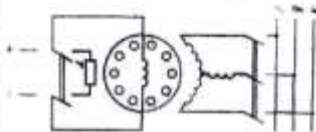
(şek.5.22). Su nasosları, ventilyatorlar, kompresörler və s. uzunmüddətli rejimdə işləyirlər.



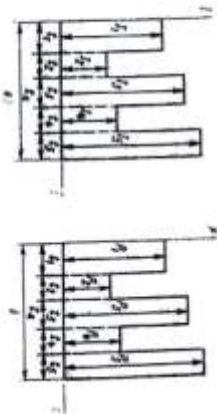
Şek.5.20. Sinxron mühərrik vektor diaqramı.



Şek.5.22. Elektrik itqalının iş rejiminin qrafikləri: a. uzunmüddətli, b. qismamüddətli, c. təkrar qismamüddətli.



Şek.5.21. Sinxron mühərrik asinxron metodu ilə işəsalınma sxemi.



Şek.5.23. Elektrik itqalının yük diaqramı: a. Ekvivalent cərəyan üçün; b. ekvivalent güc üçün.

Qısamüddətli iş rejimində elektrik intiqalı az müddətdə işçi vəziyyətdə olur və bu müddət ərzində onun temperaturu qərarlaşmış qiymətə çatmır. Fasilələrdə isə intiqalın temperaturu ətraf mühitin temperaturuna qədər azalır. Bu mühərriklərin yüklənmə müddəti 10, 30, 60 və 90 dəqiqə olur. Qısa müddətli iş rejimi təyyarələrin təkərlərində və aralanan körpülərdə istifadə edilir (şək.23,b).

Təkrar- qısamüddətli iş rejimində (5.19,c) iş periodları müntəzəm olaraq fasilələrlə əvəz olunur və heç bir periodda (t_p) elektrik intiqalının temperaturu qərarlaşmış qiymətə çatmır. Fasilə zamanı (t_0) elektrik intiqalı heç bir periodda ətraf mühitin temperaturuna ($T_{\text{ətr}}$) qədər soyuya bilmir. Mühərrikin bir iş tsikli $t_t = t_p + t_0$ olur. Təkrar- qısamüddətli rejim nisbi işəqoşulma müddəti ilə xarakterizə olunur və faizlə ifadə olunur:

$$n_b = \frac{t_p}{t_p + t_0} 100\% \quad (5.23)$$

Bunun standart qiymətləri 15, 25, 40 və 60% müəyyən edilir. Bir tsiklin davaətmə müddəti isə 10 dəqiqədən çox olmamalıdır.

5.7.4. Elektrik mühərrikinin gücünün seçilməsi

Elektrik mühərriki seçildikdə intiqalın həm qərarlaşmış, həm də keçid rejimlərindəki yük nəzərə alınmalıdır. Digər tərəfdən elektrik mühərriki seçildikdə onun işəqoşulma üsulu və artıqyüklənmə qabiliyyəti əsas götürülməlidir.

Uzunmüddətli iş rejimində işçi mexanizmin yükü sabit ola bilər və ya müəyyən qanunla dəyişə bilər. Birinci halda elektrik mühərrikinin temperaturu sabit, ikinci halda isə yükədən asılı olacaqdır.

Dəyişməz yük üçün elektrik mühərriki kataloqlardan seçildikdə mexanizmin yükü (P_1) və onun f.i.ə.- si nəzərə alınmalıdır ($P_n = P_1/\eta$). Seçilən mühərrikin gücü $P_n \geq P_1$ olmalıdır.

İşçi mexanizmlərin çoxunda yük sabit qiymətdə qalmadığından mühərrikin gücünün seçilməsi üçün yük qrafikindən istifadə edilir. Mühərrikin gücünün düzgün seçilməsi üçün $T_{\max} \leq T_b$ şərti ödənilməlidir, burada $T_{\max}$ və T_b - uyğun olaraq, mühərrikin maksimal və buraxıla bilən temperaturlarıdır. Lakin $T_{\max}$ qiymətini hesablamaq çətin olduğu üçün təcrübədə mühərrikin gücü seçildikdə bu üsuldən istifadə edilmir.

İstənilən iş rejimi üçün mühərrik seçildikdə orta kvadrat üsulu ən sərfəli üsul hesab olunur.

Bu üsulun əsasını, bir iş tsikli ərzində mühərrikin orta güc itgisinin (ΔP_{or}) nominal yükləmədəki itgidən az olması ($\Delta P_{or} \leq \Delta P_{nom}$) təşkil edir:

$$\Delta P_{nom} \geq \Delta P_{or} = \frac{\Delta P_T}{t_T} = \frac{\sum_{i=1}^k \Delta P_i t_i}{t_T} \quad (5.24)$$

burada ΔP_T - bir tsikl ərzindəki güc itgisi; ΔP_i - t_i - müddətindəki güc itgisi (mühərrik sabit yüklə işlədiyi müddətdə). Müəyyən qanunla dəyişən yüklər üçün mühərrik seçildikdə ekvivalent cərəyan, ekvivalent güc və ya ekvivalent moment üsulundan istifadə edilir (şək.5.20).

Ekvivalent cərəyanlar üsulunda ayrı- ayrı bölmələrdəki həqiqi yük cərəyanları ($I_1, I_2, \dots, I_n$), dəyişməz qiymətli ekvivalent cərəyanla (I_{ekv}) əvəz edilir. Ekvivalent cərəyanın yaratdığı itgilər aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$I_{ekv}^2 = \frac{(I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots + I_n^2 t_n) r}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}, \quad (5.25)$$

burada r - mühərrik dövrəsinin aktiv müqavimətidir. Bu düsturdan I_{ekv} cərəyanını tapmaq olar.

$\Delta P_{ekv} \leq \Delta P_n$ və ya $\Delta I_{ekv} \leq \Delta I_n$ olduqda mühərrikin qızma şərtləri ödənilir.

Fırlanma momenti (M) cərəyanla mütənasib qəbul edilən mühərriklər üçün güc seçdikdə momentin yük diaqramından $M(t)$ istifadə edilir:

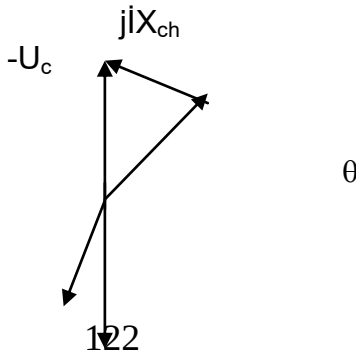
$$M_{ekv}^2 = \frac{(M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + M_n^2 t_n)}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}, \quad (5.26)$$

Sürəti az dəyişən intiqallar üçün nominal gücü (P_n) ekvivalent gücünə (P_{ekv}) bərabər və ya ondan böyük olan mühərrik seçilir:

$$P_{ekv}^2 = \frac{(P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + \dots + P_n^2 t_n)}{t_T}, \quad (5.27)$$

İşçi maşın və mexanizm üçün mühərrikin gücü seçildikdən sonra onun artıq yüklənmə xüsusiyyəti yoxlanılaraq artıq yüklənmə əmsalı təyin edilir: $k_a = M_{max.b}/M_{nom}$.

Əgər $I(t)$, $M(t)$ və $P(t)$ yükləri əyri xətti olarsa, onda onları ekvivalent pilləli qrafiklə əvəz etmək olar.



Şək. Sinxron mühərrikin vektor diaqramı

6. ELEKTRİK ÖLÇMƏLƏRİ VƏ CİHAZLARI

6.1. Ölçmə prosesi haqqında ümumi anlayış

Xüsusi texniki vasitələrin təcrübə yolu ilə fiziki kəmiyyətin qiymətinin tapılmasına ölçmə deyilir. «Elm ölçməyə başlanan andan başlayır. Dəqiq elmləri ölçüsüz təsəvvür etmək olmaz». Bu sözlər böyük rus alimi D. İ. Mendeleyevə məxsusdur. Ölçmələrin elmi əsaslarını metrologiya fənni təşkil edir.

Ölçmənin nəticəsi verilmiş ölçülən fiziki kəmiyyətin xassələri haqqında miqdarı informasiya verən, fiziki kəmiyyət üçün qəbul edilmiş vahidlərin sayıdır. Ölçmənin əsas düsturu aşağıdakı kimidir:

$$X = A_x/X_v, \quad (6.1)$$

burada X - ölçülən kəmiyyətin ədədi qiyməti; A_x - ölçülən kəmiyyət; X_v - ölçmə vahididir.

Fiziki kəmiyyətin qiyməti fiziki obyektin və ya fiziki sistemin xassələrinin, onların vəziyyətləri və onlarda gedən proseslərin miqdar xarakteristikasıdır. Uzunluq, kütlə, zaman, boru kəmərinə qazın təzyiqi, kondensatorun tutumu, cismin elektrik müqaviməti və s. fiziki kəmiyyətlərdir.

Ölçmələr ümumi qəbul olunmuş vahidlərdə verinə yetirilməlidir. Bizim ölkədə 1963- cü ildə SI adlı Beynəlxalq vahidlər sistemi qəbul olunmuşdur (DÜİST 9867-61). Bu sistemdə 7 əsas vahid qəbul olunmuşdur və qalan vahidlər (törəmə vahidlər) onların vasitəsilə ifadə olunurlar. Əsas vahidlər bunlardır: kütlə- kiloqram (kq);

uzunluq- metr (m); zaman- saniyə (s); cərəyan şiddəti- Amper (A); termodinamik temperatura- Kelvin (K); işıq şiddəti- kandela (Kd); maddə miqdarı- mol (mol). Cədv.6.1- də ən çox yayılmış elektrik və maqnit kəmiyyətlərinin törəmə vahidləri verilmişdir.

Fiziki kəmiyyətlərin vahidləri maddiləşməlidir, yəni onun ölçüsü zamanda sabit qalmalı və xarici təsirlərdən asılı olmamalıdır. Fiziki kəmiyyətlər xüsusi ölçmə vasitələrində- etalonlarda və ölçülərdə maddiləşdirilir.

Fiziki kəmiyyətlərin dəqiq canlanan vahidlərinin olması müxtəlif yerlərdə, vaxtlarda və vasitələrin köməyi ilə aparılan ölçmələrin vahidliyini (eyniliyini) təmin etməyə imkan verir.

Ölçmələr zamanı istifadə olunan və normalaşdırılmış metroloji xassələrə malik olan texniki vasitələr ölçmə vasitələri adlandırılır. Ölçmə vasitələrinin aşağıdakı növləri mövcuddur: ölçülər, ölçmə cihazları, ölçmə çeviriciləri, ölçmə qurğuları və ölçmə sistemləri.

Ölçü, verilmiş ölçüdə olan fiziki kəmiyyəti əvvəlcədən müəyyən olunmuş dəqiqliklə canlandıran ölçmə vasitəsidir. Ölçülər birölçülü, çoxölçülü və ölçülər toplusu şəklində olurlar. Birölçülü ölçü ancaq bir ölçüdə olan fiziki kəmiyyəti canlandırır (məs., normal element, sabit tutumlu kondensator, sabit müqavimətli rezistor, sabit induktivlikli sarğac, çəki daşı və s.). Çoxölçülü ölçü müxtəlif ölçülü eyni fiziki kəmiyyətlərin qiymətlər silsiləsini canlandırır (məs., dəyişən tutumlu kondensator, induktivlik variometri, dəyişən müqavimətli rezistor, millimetrlik bölgüləri olan xətkəş və s.). Ölçülər toplusu eyni adlı fiziki kəmiyyətləri canlandırmaq üçün ölçülər komplektinin qiymətlərinin xüsusi qiymətlərini özündə əks etdirir (məsələn, müqavimətlər, tutumlar və induktivliklər mağazaları, çəki daşları toplusu və s.). Bu ölçülər həm ayrı- ayrıqda, həm də birlikdə istifadə oluna bilərlər.

Ölçülər mağazası- konstruktiv olaraq birləşdirilmiş ölçülər toplusudur.

Ölçmə cihazları ölçülən kəmiyyətin qiymətləri haqqında, müşahidəçiyə əlverişli formada olan informasiya siqnallarını formalaşdıran ölçmə vasitələridir. Ölçmə cihazları müxtəlif əlamətlərə görə təsnif olunurlar. Göstərişləri ölçülən kəmiyyətin fasiləsiz funksiyası olan ölçmə cihazları analoq ölçmə cihazları, əksinə- fasiləli şəkildə olarsa, rəqəm ölçmə cihazları adlanırlar. Sonuncuların göstərişləri rəqəm şəklində olur.

Ölçmə cihazları göstərici tipli (göstərişləri yalnız operator tərəfindən oxuna bilər) və qeydedici tipli (göstəriş müxtəlif informasiya daşıyıcıları üzərində qeyd oluna bilər) olurlar.

Fiziki kəmiyyətlərin ölçmə nəticəsinin alınması üçün ölçü hökmən iştirak etməlidir. Giriş gəmiyyəti bir istiqamətdə girişdən çıxışa qədər çevrilən, birbaşa təsirli cihazların əksəriyyətində ölçü rolunu xüsusi qurğu oynayır. Sonuncu, cihaz hazırlanan zaman ölçünün köməyi ilə kalibrlənir.

Ölçmə cihazları stasionar və səyyar olurlar. Stasionar cihazların quraşdırma yerində sərt bərkidilməsi üçün xüsusi korpusları olur. Səyyar cihazlarda isə belə bir korpus olmur.

6.2. Elektrik ölçmə qurğuları

Elektrik ölçmə qurğuları ölçmənin aparılması üçün lazım olan funksional və konstruktiv cəhətdən birləşmiş ölçmə vasitələrinin və köməkçi qurğuların toplusudur. Ölçmə qurğusu müəyyən ölçmə üsulunu reallaşdırır və ölçmə xətasını qiymətləndirməyə imkan verir.

Ölçmə vasitələrini onların qurğularının xarakter əlamətlərinə, işləmə prinsipinə və təyinatına görə təsnif edirlər.

İnformasiya- ölçmə sistemləri informasiya mənbələrindən ölçmə informasiyasını avtomatik olaraq çevirən, toplayan, uzun məsafəyə ötürən, emal edən və digər əməliyyatları yerinə yetirən qurğuların toplusuna deyilir.

İnformasiya- ölçmə qurğuları 4 növ olurlar: ölçmə sistemləri. Onlar yuxarıda təsvir olunan funksiyaları yerinə yetirir və informasiyanı göstərici və ya qeydedici cihaza ötürür; avtomatik nəzarət sistemləri. Bunlar nəzarət olunan parametrlərin müəyyən sərhəddən kənara çıxması haqqında informasiya verir; texniki diaqnostika sistemləri. Bu sistemlər obyektlərin və ya proseslərin nasazlığının səbəblərini aydınlaşdırmağa və onların tapılmasına imkan verir; obrazları tanıma sistemləri. Bunlar müəyyən obyektlərin və ya proseslərin etalon obyektlərə və ya proseslərə uyğun gəlməsini təyin etmək üçündür.

Ölçmə sistemləri öz aralarında rabitə kanalı vasitəsilə birləşdirilmiş ölçmə vasitələrinin və köməkçi qurğularının toplusudur. İstehsalatda və elmi- tədqiqat işlərində çoxlu sayda kəmiyyətlər haqqında informasiya almaq zərurəti yaranır. Bunların hər birindən ötrü ölçmə çeviricisi qoymaq əlverişli deyil. Bundan başqa bu informasiyanı emal etmək lazım olur. Bu hallarda ölçmə sistemlərindən istifadə edilir. Onların vəzifəsi bir sıra informasiya mənbələrindən ölçmə informasiyasının avtomatik olaraq alınması, həmçinin ötürülməsi, emalı və bu və ya digər formada təqdim olunmasından ibarətdir.

Çox uzaq məsafədə yerləşən obyektlərə xidmət edən ölçmə sistemləri teleölçmə sistemləri adlanır. Bu

sistemlərdə ölçmə informasiyasının ötürülməsi üçün məftillərdən və radiokanallardan istifadə edilir.

Informasiyanın operatora təqdim olunması imkanı nəzərdə tutulan ölçmə sistemlərinə informasiya- ölçmə (DÜİST 8.437-81) və ya ölçmə informasiya sistemləri deyilir. Ölçmə sistemlərinin tərkibinə kompüter daxildirsə, onda onları ölçmə- hesablama kompleksləri adlandırırlar.

Avtomatik nəzarət sistemləri texnoloji prosesləri müşahidə etmək üçün nəzarət olunan parametrlərin verilmiş nominal qiymətlərdən fərqlənməsini siqnalizasiya edir. Onları 2 qrupa ayırmaq olar: məlumatların zaman ərzində dəyişməyən parametrlərinə və zaman ərzində dəyişən fiziki kəmiyyətlərə avtomatik nəzarət sistemləri.

Obrazları tanıma sistemləri. İnsanın ali əsəb sisteminin ayrı- ayrı işləmə funksiyalarının təzahürünün modelləşdirilməsi problemi ilk növbədə tanıma məsələsinin formallaşdırılması ilə bağlıdır. Bu zaman insan ətraf mühitin çoxlu sayda vəziyyətlərinin qəbulu və obyektlərin və ya hadisələrin xarakteristikalarının konkret qiymətlərinin toplusunun hər hansı bir təsnifat sinfində, xassələrinin yaxınlığına görə birləşdirilməsi baş verir. Uyğun təsnifat məsələlərinin dairəsi çox genişdir: texniki və tibbi diaqnostika, proqnozlaşdırma məsələlərində müxtəlif fiziki təbiətli proseslərin təsnifatı, görmə və eşitmə obrazlarının tanınması, məqsədəuyğun idarəetmələrin seçilməsi üçün mürəkkəb sistemlərin vəziyyətlərinin tanınması və s.

Obrazların tanınması nəzəriyyəsində obyektlərin təsnifat əlamətləri dedikdə obyektin və ya hadisənin hər hansı bir üsulla ölçülən və ya təsvir olunan, sonra isə kodlaşdırılmış xassələri başa düşülür. Çoxluq təşkil edən obyektlərin müəyyən xassələrinin ümumiliyi əsasında birləşməsinə təsnifat sinifləri deyilir.

Təsvir- baxılan obyektin hər hansı fəzaya (əlamətlərin fəzasına) əks olunması deməkdir. Obraz-təsnifat obyektlərinin təsnifat əlamətlərinin yaxınlığına görə xarakterizə olunan təsvirlər çoxluğudur. Ayrı- ayrı obraza (və ya obyektlər sinfinə) $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ əlamətlər toplusu ilə xarakterizə olunan X təsvirlərinin ayrıca bir faktor- elementi uyğun gəlir.

Tanım- obyektin (təsvirin) təsnifat əlamətlərinə görə bu və ya digər təsnifat sinfinə aid edilməsi prosesidir.

Ölçmə çeviriciləri ölçülən kəmiyyət haqqında olan informasiyanı münasib formaya çevirmək, ötürmək, emal etmək və yadda saxlamaq üçün istifadə olunan ölçmə vasitələridir. Lakin bu siqnalları operator vizual şəkildə müşahidə edə bilmir.

Ölçmə çeviricilərinin girişində çevrilməyə məruz qalan kəmiyyət (x), çıxışında isə çevirmə funksiyası $y=f(x)$ ilə əlaqədar olan çıxış kəmiyyəti olur.

Ölçmə çeviriciləri aşağıdakı qruplara bölünürlər: elektrik kəmiyyətini elektrik kəmiyyətinə çeviricilər (məs., elektrik kəmiyyətlərini rəqəm koduna çeviricilər, gərginlik-tezlik və gərginlik- period çeviriciləri və s.); qeyri- elektrik kəmiyyətlərini elektrik kəmiyyətinə çeviricilər (onları vericilər adlandırırlar) (məsələn, termoelektrik çeviriciləri, termorezistorlar, tenzorezistorlar, fotoçeviricilər və s.); maqnit kəmiyyətlərini elektrik kəmiyyətinə çeviricilər (məsələn, induksion, qalvanomaqnit və kvant çeviriciləri); elektrik kəmiyyətlərini qeyri- elektrik kəmiyyətinə çeviricilər (elektromexaniki cihazların ölçmə mexanizmləri).

Təyinatından asılı olaraq ölçmə çeviriciləri miqyas çeviricilərinə (kəmiyyətin qiymətini dəyişdirmək üçün) və kəmiyyətin cinsini dəyişən çeviricilərə bölünürlər. Birincilərə gərginlik bölücüləri, şuntlar, ölçmə

transformatorları, ölçmə gücləndiriciləri və s. aiddirlər. Bu çeviricilərin köməyi ilə qiyməti mövcud olan cihazın ölçmə diapazonuna uyğun gəlməyən (çox kiçik və ya çox böyük) kəmiyyətlərin ölçmək olur.

6. 3. Ölçmələrin növləri (birbaşa, dolay və birgə)

Ölçülən kəmiyyətin alınma üsullarından asılı olaraq birbaşa, dolay və birgə ölçmələr mövcuddur.

Birbaşa ölçmələr zamanı nəticə (y) kəmiyyətin özünün (x) ölçülməsi ($y=x$) ilə alınır (məsələn, ampermetrlə cərəyanın, voltmetrlə gərginliyin, vattmetrlə gücün ölçülməsi və s.).

Dolay ölçmələr zamanı nəticə (y) ölçmə zamanı alınan bir və ya bir neçə kəmiyyətdən ($x_1, x_2, \dots, x_n$) hesablama yolu ilə tapılır ($y=f(x_1, x_2, \dots, x_n)$). Məsələn, müqavimət R gərginliyin (U) və cərəyanın (I) ölçülən qiymətlərindən istifadə etməklə Ohm qanunu əsasında tapılır.

Birgə ölçmələr dəyişən şəraitdə aparılan birbaşa və dolay ölçmələr əsasında aparılır. Ölçmələr nəticəsində tənliklər sistemi qurulur və bu sistemi həll etməklə axtarılan nəticə tapılır. Məsələn, naqilin müəyyən temperaturdakı müqavimətini birgə ölçmələr nəticəsində tapmaq olar. Fərz edək ki, naqilin müqaviməti ilə temperatura arasında aşağıdakı asılılıq mövcuddur: $R_t = R_{20}[1 + \alpha(t-20) + \beta(t-20)^2]$, burada R_{20} , α və β - uyğun olaraq, normal temperaturda ($+20^\circ\text{C}$) naqilin müqaviməti və naqilin materialından asılı olan əmsallardır. Müxtəlif temperaturalarda naqilin müqavimətlərini ölçüb aşağıdakı tənliklər sistemi qurulur:

$$R_{t1} = R_{20}[1 + \alpha(t-20) + \beta(t-20)^2] \quad (6.2)$$

$$R_{t2} = R_{20}[1 + \alpha(t-20) + \beta(t-20)^2] \quad (6.3)$$

$$R_{t3} = R_{20}[1 + \alpha(t-20) + \beta(t-20)^2]$$

Alınan tənliklər sistemindən R_{20} , $R_t = R_{20}$, α və β parametrlərini tapmaq olar.

6.4. Ölçmə üsulları

Bilavasitə qiymətləndirmə və müqayisə tipli ölçmə üsulları mövcuddur.

Bilavasitə ölçmə üsulu zamanı nəticə giriş kəmiyyətinin ölçülməsindən alınır və heç bir əlavə əməliyyat aparılmır. Məsələn, cərəyanın ampermetrlə ölçülməsi, gərginliyin voltmetrlə ölçülməsi və s. Bu üsul sadəliyinə və nəticənin tez alınmasına görə fərqlənir. Lakin bu zaman dəqiqlik yüksək olmur və ölçmə cihazının xətası ilə təyin olunur. Burada mürəkkəb strukturlu ölçmə cihazları nəzərə alınmır.

Müqayisə üsulunda ölçülən kəmiyyət ölçü kimi qəbul olunmuş bir kəmiyyətlə müqayisə edilir. Müqayisə üsuluna sıfır, diferensial, əvəzetmə və üst- üstə salma üsulları aiddirlər.

Sıfır üsuluna körpü və kompensasiya üsulları daxildir. Bu üsullar zamanı nümunəvi kəmiyyətlə ölçülən kəmiyyət arasındakı fərq sıfıra gətirilir. Bu zaman ölçülən kəmiyyətin qiyməti nümunəvi kəmiyyətin qiymətinə bərabər olur. Fərqi sıfır olduğunu göstərən cihaz sıfır indikatoru olduğu üçün ondan yüksək dəqiqlik deyil, yüksək həssaslıq tələb olunur. Odur ki, bu üsulun dəqiqliyi nümunəvi kəmiyyətin tapılma dəqiqliyindən asılı olur.

Diferensial (fərq) ölçmə üsulu ilə nümunəvi kəmiyyətlə ölçülən kəmiyyət arasındakı fərq ölçülür. Bu

üsuldan istifadə etdikdə ölçmə cihazının öz dəqiqliyindən yüksək dəqiqlikli ölçmələr aparılır. Bunun səbəbini izah edək. Fərz edək ki, qiyməti 90 V olan gərginliyi ölçmə həddi 100 V və dəqiqlik sinfi 1,0 olan voltmetrlə ölçürük. Bu zaman ölçmənin mütləq xətasının maksimal qiyməti $100 \cdot 0,01 = 1 \text{ V}$ olur. 100 V- luq nümunəvi gərginlik olduqda ölçmə diapazonu daha kiçik, $100 - 90 = 10 \text{ V}$ olan həmin dəqiqlik sinifli voltmetr götürmək olar. Bu zaman mütləq xətanın maksimal qiyməti $10 \cdot 0,01 = 0,1 \text{ V}$ olur. Göründüyü kimi ölçmə cihazının dəqiqlik sinfi dəyişmədiyi halda ölçmənin dəqiqliyi xeyli artdı.

Əvəzetmə üsulu ilə ölçmə belə aparılır: ölçülən kəmiyyət uyğun cihazlar vasitəsilə ölçmə dövrəsinə qoşulur və dövrədə müəyyən rejim yaradılır. Sonra ölçülən kəmiyyət əvəzinə dövrəyə nümunəvi ölçü qoşulur və əvvəlki rejimi alana qədər tənzimlənir. Bu hal ölçülən gərginlik ilə nümunəvi ölçü bərabərləşənə qədər davam etdirilir və nümunəvi ölçünün qiyməti ölçülən kəmiyyətin qiyməti kimi qəbul edilir.

Üst- üstə salma üsulu zamanı şkalanın müəyyən bölgülərinin və ya siqnallarının üst- üstə düşməsindən istifadə edilir.

Müqayisə üsullarından ölçmə dəqiqliyini artırmaq üçün istifadə edilir.

6.5. Ölçmə vasitələrinin struktur sxemləri

Ölçmə vasitələri ayrı- ayrı blokların birləşməsindən, çevirmə üsulundan, metroloji xassələrindən və tətbiq sahəsindən asılı olaraq aşağıdakı struktur sxemlər əsasında qurulurlar: düz çevirmə sxemi (şək.6.1); kompensasiyalı çevirmə sxemi (şək.6.2); kombinasiyalı çevirmə sxemi (şək.6.3).

Bu sxemlərdə $DÇ_1, DÇ_2, \dots, DÇ_n$ - düz çevirmə dövrəsindəki ayrı- ayrı bloklar, $k_1, k_2, \dots, k_n$ - onların çevirmə əmsalları, x və y - giriş və çıxış siqnalları, $x_1, x_2, \dots, x_{n-1}$ - aralıq siqnallar, $\Theta\Theta_1, \Theta\Theta_2, \dots, \Theta\Theta_m$ - əks əlaqə dövrəsinin blokları, $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m$ - əks əlaqə dövrəsinin bloklarının ötürmə əmsallarıdır.

Düz çevirmə dövrəsinin ümumi çevirmə əmsalı (həssaslığı) aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$S = \frac{\partial x_n}{\partial x} = \frac{\partial x_1}{\partial x} \frac{\partial x_2}{\partial x_1} \dots \frac{\partial x_n}{\partial x_{n-1}} = k_1 \cdot k_2 \dots k_n \quad (6.5)$$

İstismar müddətindən, xarici və daxili amillərin təsirindən asılı olaraq ölçmə vasitələrinin bloklarının ötürmə əmsalları dəyişir ($\Delta k_1, \Delta k_2, \dots, \Delta k_n$) və multiplikativ xəta əmələ gəlir. Bu dəyişmə kiçik olduğu üçün onların ikinci və üçüncü tərtibli törəmələri nəzərə alınmadıqda ümumi çevirmə əmsalının dəyişməsi aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{\Delta k_1}{k_1} + \frac{\Delta k_2}{k_2} + \dots + \frac{\Delta k_n}{k_n} \quad (6.6)$$

Çevirmə əmsalının dəyişməsindən çıxış siqnalı da dəyişir:

$$\Delta x_n = x_n' - x_n = (S + \Delta S)x - Sx = \Delta Sx$$

Bu zaman giriş siqnalının ölçülməsinin mütləq xətası aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$\Delta x = \frac{\Delta x_n}{S} = \frac{\Delta S}{S} x \quad (6.8)$$

burada $\Delta S/S$ - nisbi multiplikativ xəta olur. Beləliklə multiplikativ xəta çevirmə əmsalının dəyişməsindən əmələ gəlir və onu həssaslıq xətası da adlandırırlar.

Faydalı signalın üzərinə maneələrin əlavə olunmasından yaranan xəta additiv xəta adlanır. Bu xəta ötürmə xarakteristikasını özünə paralel olaraq yuxarı və ya aşağı sürüşdürür. Additiv xətanın qiyməti giriş signallarına ötürmə xarakteristikasının Δx_{01} , Δk_{02} , ..., Δk_{0n} sürüşməsi qədər xarici signal əlavə etməklə təyin edilir. Düz çevirməli sxemin yekun additiv xətası aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$\Delta x_0 = \frac{\Delta x_{01}}{k_1} + \frac{\Delta x_{02}}{k_1 k_2} + \dots + \frac{\Delta x_{0n}}{k_1 k_2 \dots k_n} \quad (6.9)$$

Düz çevirməli sxemlərdə ayrı-ayrı blokların xətalarının toplanması yüksək dəqiqlikli ölçmə cihazının yaradılmasını çətinləşdirir. Odur ki, bu məqsədlə kompensasiyalı ölçmə sxemlərindən istifadə edilir.

Kompensasiyalı ölçmə sxemlərində əks əlaqə dövrəsinin çıxış signalı aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$x_m = \beta x_n = \beta_1 \beta_2 \dots \beta_m x_n, \quad (6.10)$$

burada β - əks əlaqə dövrəsinin ümumi ötürmə əmsalı, β_1 , β_2 , ..., β_m - əks əlaqə dövrəsinin ayrı-ayrı bloklarının ötürmə əmsallarıdır.

Düz əlaqə dövrəsinin girişindəki müqayisə blokuna eyni təbiətli və əks işarəli x və x_m signalları təsir edir və onun çıxışında onların fərqi alınır ($\Delta x = x - x_m$).

Burada iki növ kompensasiya mövcuddur: tam kompensasiya- bu halda $\Delta x = 0$ olur; natamam kompensasiya- bu halda $\Delta x \neq 0$ olur;

Natamam kompensasiyalı sxemlərdə çıxış- giriş asılılığı aşağıdakı kimi olur:

$$x_n = (x - x_m) \cdot k. \quad (6.11)$$

$x_m = x_n * \beta$ olduğunu nəzərə alsaq yuxarıdakı ifadə belə bir şəkil alır:

$$x_n = (x - x_m) * k = (x - x_n * \beta) = x * k - x_n * \beta * k \quad (6.12)$$

Sonuncu ifadədən belə yazmaq olar:

$$x_n(1 + k * \beta) = x * k \quad (6.13)$$

$$x_n = \frac{x * k}{1 + k * \beta} \quad (6.14)$$

Əgər $k\beta \gg 1$ şərti ödənilərsə, onda $x_n = x/\beta$ olur, yəni çıxış signalı düz əlaqə dövrəsinin ötürmə əmsalının (k) qeyri- stabilliyindən asılı olmur. Odur ki, əks əlaqə dövrəsinin əsas vəzifəsi ölçmə vasitələrinin dəqiqliyini artırmaqdan ibarətdir.

Tam kompensasiya zamanı $x = x_m$ olduğu üçün $x_n = 0$ olur.

6.6. Ölçmə vasitələrinin xarakteristikaları

Ölçmə vasitələrinin ümumi xarakteristikalarına onların xətalı, göstərişin variasiyası, giriş parametrinə həssaslıq, güc, giriş signalı mənbəyindən tələb olunan güc, göstərişin qərarlaşması vaxtı, ölçmə diapazonu və etibarlılıq daxildir.

Bölgünün qiyməti dedikdə şkala üzrə 2 qonşu cisgi arasındakı məsafə nəzərdə tutulur. Hesabat rəqəm şəklində olduğu üçün bu fərq iki qonşu hesabat arasındakı qiymətinə, yəni hesabatın kiçik mərtəbəsinin vahid qiymətinə bərabər olur. Bölgünün qiyməti çoxhədli cihazlarda ölçmə həddləri ilə bağlı olur. Belə ki, hər bir ölçmə həddində bölgünün öz qiyməti olur.

Həssaslıq dedikdə ölçmə cihazının reaksiya verdiyi ölçülən kəmiyyətin minimal qiyməti nəzərdə tutulur.

Rəqəm cihazının həssaslığı ən kiçik ölçmə həddindədir və bölgünün qiymətinə bərabər götürülür.

Ampermetrlərin və voltmetrlərin giriş müqaviməti. Cihaz ölçmə dövrəsindən mümkün qədər az enerji götürməlidir. Əks halda ölçmə cihazı ölçmə dövrəsindəki prosesləri təhrif edə bilər. Bundan ötrü onun giriş müqaviməti mümkün qədər böyük olmalıdır. Əgər ölçmə cihazının girişində bölücü və ya attenuator varsa, onda cihazın giriş müqaviməti bu bölücülərin müqavimətləri ilə təyin olunur. Giriş bölücüsü olmayan tarazlaşma çevirməli cihazlarda onun giriş müqaviməti tarazlaşma prosesində dəyişilə bilər. Odur ki, bu faktı ölçmə vaxtı nəzərə almaq lazımdır. Əgər $U_x > U_k$ (və ya $U_x < U_k$) olarsa, onda müqayisə qurğusunun giriş dövrəsində $(U_x - U_k)$ fərqinə mütənasib olan cərəyan (şək.6.4) axa bilər:

$$I_{gir} = k (U_x - U_k) \quad (6.15)$$

Giriş müqaviməti dəyişdikdə cərəyan da dəyişir. Kompensasiya anında giriş müqaviməti maksimal qiymətə bərabər olur (girişdə bölücü yoxdursa). Girişdə bölücü olduqda isə, bütün ölçmə prosesi zamanı, giriş müqaviməti bölgünün müqavimətinə bərabər olaraq sabit qalır.

Cihazın cəldişləməsi (işləmə sürəti, çevirmə vaxtı, çevirmə tezliyi). Bu parametrlər cihazın bir ölçməyə sərf etdiyi zamanı xarakterizə edir.

Ölçmə vaxtı dedikdə cihazın işə qoşulması anı ilə ölçmə nəticəsinin alınması anı arasındakı zaman intervalı nəzərdə tutulur. Ölçmə vaxtı məlum olduqda, tərs asılılıq vasitəsilə cihazın cəldişləməsini, yəni 1 saniyədəki ölçmələrin sayını təyin etmək olur. Laboratoriya ölçmə qurğularının ölçmə sürəti böyük

olmur və rəqəm tablosundan operatorun informasiyanı oxumaq qabiliyyəti ilə təyin olunur. Adətən bu imkan bir neçə saniyə ərzində bir ölçməyə bərabər olur.

Əgər cihaz rəqəm qeydedicisi ilə təchiz olunubsa, onda cihazın sürəti qeydedicinin sürəti ilə məhdudlaşır. Bu da 1 saniyədə onlarla və yüzlərlə ölçmə deməkdir.

Analoq- rəqəm çeviriciləri məntiq qurğuları ilə işlədiyi üçün onların sürəti bir saniyədə 1000 və ya 10000 ölçməyə (yüzlərlə kHs və ya mHs) bərabər olmalıdır. Çünki onlar bu sürətlə gələn informasiyanı yadda saxlamalı və emal etməlidirlər.

Statik rejimdə (cihazın girişində və çıxışında ölçülən kəmiyyət zaman ərzində dəyişməzlər) cihazların əsas xarakteristikaları $Y=F(X)$ olur, burada Y və X - çıxışda və girişdə ölçülən kəmiyyətin qiymətləridir.

$F(X)$ funksiyasının analitik ifadəsi çevirmə funksiyası adlanır. Bu funksiya bəzən qrafik və ya cədvəl şəklində də verilə bilər. $Y=KX$ xətti asılılığı zamanı K kəmiyyətini çevirmə əmsalı adlandırırlar.

Çevirmə diapazonu. Hər çevirici, onun girişindəki kəmiyyət aşağı və yuxarı adlandırılan müəyyən hədlərdən kənara çıxmıqda ($[X_{\min}, X_{\max}]$) öz funksiyasını yerinə yetirir və saz hesab olunur. Aşağı və yuxarı hədlər müsbət və mənfi qiymətlər ala bilərlər. Bu hədlər arasındakı cəbri fərqi mütəlak qiyməti ($|X_{\max} - X_{\min}|$) çevirmə diapazonu adlanır.

Çeviricinin həssaslığı. Əgər girişdəki X kəmiyyətini ΔX qədər dəyişsək, çeviricidə keçid prosesi başlayır və qurtardıqdan sonra çıxış Y kəmiyyəti ΔY qədər dəyişir. $S=\Delta Y/\Delta X$ çeviricinin həssaslığı adlanır.

Xətti statik xarakteristika zamanı həssaslıq sabit olur və bu zaman həssaslıqla çevirmə əmsalı anlayışı eyniləşir. Əks halda, çevirmə əmsalı ΔX intervalında orta

həssaslıq kimi baxılmalıdır. Limitə keçməklə müəyyən bir nöqtədə həssaslığı alırıq: $S = dY/dX$, yəni müəyyən bir nöqtədə çeviricinin həssaslığı çevirmə funksiyasının birinci törəməsi olur.

Həssaslıq astanası. Çox hallarda çevirmə xarakteristikasının ayrılığı çox kiçik olduğu üçün, kifayət qədər böyük ΔX intervalında funksiyanı xəttləşdirmək mümkündür. Bu intervalda orta həssaslıq $S = \Delta Y/\Delta X$ olur.

Nəzəri olaraq, çeviricinin həssaslığı ΔX intervalı kiçildikdə dəyişməz qalmalıdır. Lakin bəzi səbəblər üzündən interval ΔX azalaraq δX_{astana} astana qiymətinə çatdıqda çıxış kəmiyyəti və həssaslıq azalır və sıfıra enir. Yəni, çevirici tamamilə həssaslığını itirir. Beləliklə çevirmə funksiyasının eni $2\delta Y_{astana}$ olan qeyri- müəyyənlik zonası yaranır. δY_{astana} kəmiyyəti çeviricinin çıxışa görə həssaslıq astanası, δX_{astana} kəmiyyəti isə girişə görə həssaslıq astanası adlanır. Normativ sənədlərdə $2\delta Y_{astana}$ kəmiyyətini Y kəmiyyəti üzrə qeyri- həssaslıq zonası adlandırırlar.

Sıfır sürüşməsi. Şək.6.5 - dən göründüyü kimi, $X=0$ olduqda çıxış kəmiyyəti Y sıfır olmaya da bilər və $+\delta Y_{astana}$ qiymətindən $-\delta Y_{astana}$ qiymətinə qədər ala bilər. Buna sıfır sürüşməsi deyilir və bütün normativ sənədlərdə qeyd olunur.

Çeviricinin dinamik diapazonu. Şək.6.6- da sıfır ətrafında çeviricinin astana həssaslığı hesab olunan δ_0 kəmiyyəti qeyd olunub. Qrafikdən görünür ki, $0 < X < \delta_0$ olduqda çıxışdakı kəmiyyət $-\delta Y_{astana}$ - dən $+\delta Y_{astana}$ - yə qədər qiymət ala bilər. Bu zaman çıxışda alınan müsbət və ya mənfi kəmiyyət vasitəsilə giriş kəmiyyəti haqqında düzgün məlumat almaq olmur. Buna görə də cihazın dinamik diapazonu anlayışından istifadə olunur:

$$d = 20 \lg \frac{X_{\max}}{\delta_0} \quad (6.16)$$

Sənədlərdə adətən şkalanın işçi hissəsi göstərilir, Bu hissədə cihazın xətası dəqiqlik sinfi ilə xarakterizə olunan qiyməti aşmır.

6.7. Göstərici cihazların ölçmə dövrələri və mexanizmləri

Elektromexaniki ölçmə cihazları əsas 3 hissədən ibarətdir: **ölçmə dövrəsi (ÖD); ölçmə mexanizmi (ÖM) və göstərici qurğu (GQ).**

Ölçmə dövrəsi ölçülən kəmiyyəti ölçmə mexanizminə effektiv təsir edə bilən başqa bir kəmiyyətə çevirir (məsələn, şuntlar, əlavə müqavimətlər, düzləndirici sxemlər, ölçmə transformatorları və s.). Bu çeviricilərin köməyi ilə qiyməti mövcud olan cihazın ölçmə diapazonuna uyğun gəlməyən (çox kiçik və ya çox böyük) kəmiyyətlərini ölçmək olur.

Əlavə müqavimətlər voltmetrlərə ardıcıl olaraq qoşulur və onun ölçmə həddini artırmaq üçün istifadə edilir. Bu zaman əlavə müqavimətin R_a qiyməti belə seçilir:

$$R_a = R_v(n-1) \quad (6.17)$$

burada R_v - voltmetrin daxili müqaviməti, n -voltage ölçmə həddini artırma əmsalındır.

Şuntlar ampermetrlərin ölçmə həddini artırmaq üçündür və onlara paralel qoşulur. Bu zaman şuntun müqavimətinin qiyməti belə seçilir:

$$R_s = R_a/(m-1) \quad (6.18)$$

burada R_a - ampermetrin daxili müqaviməti, m-ampermetrin ölçmə həddini artırma əmsalıdır.

Gərginlik bölücüləri gərginliyin qiymətini mütənasib olaraq azaltmaqla ölçmə dövrəsinə vermək üçündür. Bu zaman bölücünün çıxış gərginliyinin qiyməti belə seçilir:

$$U_{\text{çix}} = U_{\text{gir}} \cdot R_2 / (R_1 + R_2) \quad (6.19)$$

Ölçmə gücləndiriciləri zəif ölçmə siqnallarını mütənasib olaraq gücləndirmək üçündür və bunun üçün elektron cihazları əsasında yaradılmış gücləndiricilərdən istifadə edilir.

Ölçmə mexanizmi birbaşa ölçmələr aparır və adətən müəyyən diapazonlu qiymətə və tezliyə malik olan gərginliyi və ya cərəyanı hərəkət edən hissənin bucaq yerdəyişməsinə çevirir. Ölçmə mexanizmləri cərəyanı və ya gərginliyi bucaq yerdəyişməsinə çevirmək üçün istifadə edilir. Onlar hərəkətsiz və hərəkət edən hissələrdən ibarət olur. Hərəkət edən hissə hər 2 ucundan elə bərkidilir ki, o, hərəkət edən hissə ilə qarşılıqlı təsir nəticəsində yalnız fırlana bilsin. Bu təsir elektrik və maqnit xarakterli ola bilər. Odur ki, hərəkət edən və etməyən hissələrin kəmərləşməsi asılı olaraq maqnitoelektrik, elektromaqnit, elektrodinamik, ferrodinamik, elektrostatik və induksiya tipli ölçmə mexanizmləri mövcuddur.

Elektrik ölçmə cihazları göstərişləri oxuma və qeyddetmə imkanından asılı olaraq **göstərici və qeydedici cihazlara** bölünürlər. Əgər qeydedici ölçmə cihazı göstərişləri diaqram formasında qeyd edirsə, belə cihazlara **özüyazan cihazlar** deyilir. Göstərişləri rəqəm formasında çap etməyə imkanı olan qeydedici cihazlar **çapedicilər** adlanır.

6.8. Elektromexaniki ölçmə mexanizmləri

6.8.1. Maqnitoelektrik ölçmə mexanizmləri

Maqnitoelektrik ölçmə mexanizmlərində hərəkətsiz hissə sabit maqnit şəklində hazırlanır. Hərəkət edən hissə isə oxdan, onun üzərində quraşdırılmış çərçivədən və əqrəbdən ibarətdir. Çərçivə dolaqlardan ibarətdir və ölçülən kəmiyyət (yəni cərəyan) onun girişinə verilməlidir. Daimi maqnitin maqnit sahəsi ilə çərçivədən keçən cərəyanın yaratdığı elektrik sahəsinin qarşılıqlı təsirindən fırlanma momenti yaranaraq oxu və onun üzərinə bərkidilmiş əqrəbi cərəyanın qiymətinə mütənasib olan bucaq qədər döndərir.

Oxun daim fırlanmasının qarşısını almaq üçün xüsusi yaylar vasitəsilə əks moment yaradılır və ox müəyyən bir vəziyyətdə dayanır.

(6.20)

Maqnitoelektrik ölçmə mexanizmlərinin üstünlükləri aşağıdakılardır: onun həssaslığı dönmə bucağından asılı deyil və bütün şkala boyu sabitdir, yəni müntəzəm şkalaya malikdir; daimi maqnit güclü maqnit sahəsi yaratdığı üçün (0,2-0,3 Tl) xarici maqnit və elektrik sahələrinin təsiri çox azdır; dəqiqliyi başqa ölçmə mexanizmlərinə nisbətən çox yüksəkdir (0,1 sinifli); yüksək həssaslığa malik olduğu üçün ondan sıfır indikatorları hazırlamaq olur; güc sərfi çox kiçikdir (nanovatta qədər); çevirmə funksiyası xəttidir; böyük fırladıcı momentə malikdir; böyük keyfiyyət əmsalına malikdir.

Maqnitoelektrik ölçmə mexanizmləri ölçmə texnikasında çox geniş istifadə olunur. Onların əsas

nöqsanı ancaq sabit cərəyanı və ya gərginliyi ölçmək qabiliyyətidir.

6.8.2. Elektromaqnit ölçmə mexanizmləri

Bu sistemli ölçmə mexanizmlərinin maqnetoelektrik ölçmə mexanizmlərindən fərqi ondan ibarətdir ki, hərəkət etməyən hissə daimi maqnit əvəzinə sarğac şəklində hazırlanır və ölçülən kəmiyyətlə elektrik rabitəsində olur. Hərəkət edən hissədə isə çərçivə əvəzinə ferromaqnit materialdan hazırlanmış içlik yerləşdirilir.

Sarğaca cərəyan verildikdə onun içərisində elektrik sahəsi yaranır və ferromaqnit materiala təsir edərək onu özünə tərəf çəkir. Bunun nəticəsində ox dönür və əqrəbi də döndərir.

$$\alpha = \frac{1}{2W_{\alpha}} I^2 \frac{dL}{d\alpha} \quad (6.21)$$

burada W_{α} - xüsusi əks təsir momenti, Φ - ölçülən cərəyanın təsiredici qiyməti, L - içliyin vəziyyətindən asılı olaraq sarğacın induktivliyi, $dL/d\alpha$ - oxun dönmə bucağından asılı olaraq sarğacın induktivliyinin dəyişməsidir.

Elektromaqnit ölçmə mexanizmlərinin müsbət cəhətləri aşağıdakılardır: hərəkət edən hissənin yerdəyişmə bucağının işarəsi dolaqdakı cərəyanın istiqamətindən asılı olmadığı üçün onlar həm sabit, həm də dəyişən cərəyan dövrlərində işlədilə bilər; onlar dəyişən cərəyanın təsiredici (effektiv, orta, kvadratik) qiymətlərini ölçürlər; konstruksiyanın sadəliyi; artıq yüklənmə qabiliyyəti.

Elektromaqnit ölçmə mexanizmlərinin mənfi cəhətləri aşağıdakılardır: ölçmə şkalası müntəzəm deyil, yəni dönmə bucağı ilə ölçülən cərəyan arasında xətti

asılılıq yoxdur; onlar kiçik dəqiqliyə (dəqiqlik sinfi 0,2-yə qədər olur) və həssaslığa malikdirlər.

6.8.3. Elektrodinamik ölçmə mexanizmləri

Elektrodinamik ölçmə mexanizmlərində hərəkət edən və etməyən hissələr hər ikisi sarğac şəklində hazırlanır və hər ikisinə giriş cərəyanı verilir.

Sarğaclara cərəyan verildikdə onların içərisində elektrik sahələri yaranır və onların qarşılıqlı təsiri nəticəsində ox dönür və əqrəbi də döndərir:

$$\alpha = \frac{1}{W_{\alpha}} I_1 I_2 \cos \varphi \frac{dM_{1,2}}{d\alpha} \quad (6.22)$$

burada I_1 , I_2 və φ - uyğun olaraq, birinci və ikinci sarğacdən keçən cərəyanlar və onların arasındakı fazalar fərqi, $M_{1,2}$ - birinci və ikinci sarğaclar arasındakı fırlandırıcı momentdir.

Elektrodinamik ölçmə mexanizmləri dəyişən cərəyan dövrlərində ölçmə aparmaq üçün ən dəqiq cihaz (dəqiqlik sinfi 0,1) hesab olunur.

Onların mənfi cəhətləri nisbətən çox güc sərf etmələri (0,1 Vt), zərbəyə, silkələnməyə və titrəyişə həssasdırlar.

6.8.4. Ferromaqnit ölçmə mexanizmləri

Qeydedici cihazlarda titrəyişin və silkələnmənin çox olduğu şəraitdə ferrodinamik ölçmə mexanizmləri istifadə olunur. Bu mexanizmlərdə elektrodinamik ölçmə mexanizmlərindən fərqli olaraq hərəkətsiz sarğacın maqnit sahəsini gücləndirmək üçün onun içliyi maqnitiumşaq materialdan hazırlanır.

Ferrodinamik ölçmə mexanizmlərinin elektrodinamik ölçmə mexanizmlərinə nisbətən üstünlüyü xarici

maqnit sahələrinin təsirinə az həssaslığı, kiçik xüsusi güc sərfi (0,025 Vt), böyük fırladıcı momentə malik olması və bunun da nəticəsində mexaniki təsirlərə davamlılığıdır. Onların mənfi cəhəti isə ferromaqnit içliyin olması səbəbindən histerezis ilgəyi ilə əlaqədar əlavə xətlərin yaranmasıdır. Bu xətləri azaltmaqdan ötrü çox vaxt böyük maqnit nüfuzluğuna və kiçik itgilərə malik olan permalloy tipli ferromaqnit materialdan istifadə edilir. Onların dəqiqlik sinifləri 0,2; 1,0; 1,5; 2,5 olur.

Ferromaqnit ölçmə mexanizmlərindən stasionar və qeyri- stasionar dəyişən cərəyan cihazları, həmçinin böyük fırladıcı moment tələb olunan qeydedici cihazlarda istifadə olunur.

6.8.5. Elektrostatik ölçmə mexanizmləri

Bu tipli ölçmə mexanizmlərində hərəkət edən və etməyən elektrik yüklü lövhələrin qarşılıqlı təsirindən istifadə olunur. Lövhələr arasında cərəyan axmadığı üçün elektrostatik ölçmə mexanizmlərindən gərginlikləri və potensialları ölçmək üçün voltmetrlər və böyük giriş müqavimətli elektrometrlər hazırlanır.

Elektrostatik ölçmə mexanizmlərində dönmə bucağı aşağıdakı ifadə ilə tapılır:

$$\alpha = \frac{1}{2W_{\alpha}} U^2 \frac{dC}{d\alpha} \quad (6.23)$$

İfadədən göründüyü kimi, elektrostatik voltmetrlər həm sabit, həm də dəyişən cərəyanda işləyirlər və şkala kvadratik xarakterli olur. Şkalanı müntəzəm etmək üçün dönmə bucağının dəyişməsindən asılı olaraq tutumun dəyişmə qanununu müəyyənləşdirmək olur. Cihazın xüsusi güc sərfi çox kiçikdir (sabit cərəyanda sıfıra bərabərdir). Böyük tezlik diapazonunda işlədilir və xüsusi hallarda 0,05 dəqiqlik sinfinə qədər dəqiqlik alınə bilər.

6.8.6. İnduksiya ölçmə mexanizmləri

İnduksiya ölçmə mexanizmi bir və ya bir neçə tərpənməz elektromaqnitdən və alüminium diskli şəklinlə hərəkət edən hissədən ibarətdir.

Disklin mustəvisinə perpendikulyar yönəlmiş dəyişən maqnit selləri diskli kəsərək, onda burulğan cərəyanları yaradır. Sellərlə diskdəki cərəyanların qarşılıqlı təsirindən hərəkət edən hissənin yerdəyişməsi baş verir:

$$M = s f F_1 F_2 \sin \psi \quad (6.24)$$

Momentnin bu ifadəsi induksiya ölçmə mexanizmləri üçün ümumidir və ondan aşağıdakı nəticələri çıxarmaq olar: fırlanma momenti yaratmaq üçün ən azı 2 dəyişən maqnit seli və ya bir selin fazaca və ya fəzada sürüşdürülmüş 2 təşkiledicisi olmalıdır; fırlanma momenti maksimal qiymətini sellər arasındakı faza bucağı 90° olduqda alır; disklin elektrik müqaviməti nə qədər kiçik olarsa, moment bir o qədər kiçik olar; disklin müqaviməti aktiv olduqda, moment tezlikdən xətti asılıdır.

6.9. Əsas elektrik kəmiyyətlərinin ölçülməsi

6.10. Körpü üsulu ilə ölçmələr

Körpü sxemləri vasitəsilə müqaviməti, tutumu, induktivliyi, itgi bucağını, qarşılıqlı induktivliyi və tezliyi ölçmək mümkündür. Onlardan həmçinin qeyri- elektrik kəmiyyətlərini də ölçmək olur.

Körpü üsulunun əsas üstünlükləri onun, ölçülən kəmiyyəti qiyməti qabaqcadan yüksək dəqiqliklə məlum olan etalonla müqayisə etdiyi üçün, yüksək həssaslığa və dəqiqliyə malik olmasıdır (şək.6.7).

Şəkilə a, b, v, q nöqtələri körpünün təpələri, ab, bv, vq, qa budaqları körpünün qolları, av - qidalandırma diaqonalı, bq - indikator (çıxış) diaqonalı, U - qidalandırma mənbəyi (sabit və ya dəyişən), Sİ- sıfır indikatorudur. Sİ kimi körpülərdə sabit cərəyanda həssas maqnetoelektrik qalvanometrləri və ya mikroampermetrləri, dəyişən cərəyanda isə vibrasiyalı qalvanometrlər, elektron göstəriciləri və s. istifadə olunur. Körpülər tezlikdən asılı və tezlikdən asılı olmayan olurlar. Nəticənin alınmasına görə isə körpülər tarazlaşmış və tarazlaşmamış olurlar.

Qalvanometr dövrəsinin açın halında b və q nöqtələri arasındakı gərginlik:

$$U_{bq}=U_{aq}-U_{ab}=U\left(\frac{R_1}{R_1+R_2}-\frac{R_1}{R_3+R_4}\right)=U\left(\frac{R_1R_3+R_1R_4-R_1R_2-R_2R_3}{(R_1+R_2)(R_3+R_4)}\right)=U\left(\frac{R_1R_3-R_2R_3}{(R_1+R_2)(R_3+R_4)}\right)$$

Körpünün tarazlaşması üçün $U_{bq}=0$ olmalıdır. Bunun üçün aşağıdakı şərt yerinə yetirilməlidir:

$$R_1R_4=R_2R_3 \quad (6.25)$$

Dəyişən cərəyan körpüləri üçün (bu zaman qollardakı aktiv müqavimətlər R kompleks müqavimətlər ilə əvəz olunmalıdır) oxşar hesablamalar aparmaqla aşağıdakı şərti tapmaq olar:

$$Z_1Z_4=Z_2Z_3 \quad (6.26)$$

Kompleks ifadələri açılış formasında yazdıqda aşağıdakı şərtləri almaq olar:

$$Z_1Z_4=Z_2Z_3 \quad (6.27)$$

$$\varphi_1+\varphi_4=\varphi_2+\varphi_3 \quad (6.28)$$

burada Z_1 , Z_2 , Z_3 və Z_4 - körpünün qollarındakı kompleks müqavimətlərin modulları; φ_1 , φ_2 , φ_3 və φ_4 -

uyğun qollardakı cərəyanın gərginliyə görə sürüşmə bucağıdır.

Axırıncı ifadədən görünür ki, körpünün tarazlaşması üçün onun qollarındakı yüklərin xarakterinə fikir vermək lazımdır. Aktiv müqavimətlərdə $\varphi=0$, induktivliklərdə $\varphi=90^0$, tutumlarda isə $\varphi=-90^0$ olduğunu nəzərə almaqla qollardakı yükün xarakterini seçmək olar. Məsələn, 1- ci və 4- cü qollara aktiv müqavimətlər qoşulubsa, onda digər 2 əks qollardan birinə induktivlik, digərinə isə tutum qoşulmalıdır.

Körpülərin xətaları qollardakı müqavimətlərin hazırlanma dəqiqliyindən və sıfır indikatorunun həssaslığından asılıdır. DÜİSTə görə körpülər aşağıdakı dəqiqlik siniflərinə malik ola bilərlər: 0,005; 0,01; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 2,0.

Körpü ilə ölçü apardıqda onun 3 qoluna məlum yüklər, bir qoluna isə parametri ölçülən element qoşulur. Tarazlaşma alındıqdan sonra (6.27) və ya (6.28) şərtlərindən istifadə etməklə axtarılan kəmiyyət tapılır.

6.11. Kompensasiya ölçmə üsulu

Kompensasiya ölçmə üsulunun mahiyyəti elektrik cəhətdən əlaqəsi olmayan iki gərginliyin və ya e.h.q.-nin, və ya 2 ayrı-ayrılıqda tənzimlənən cərəyanların tarazlayıcı indikatora əks istiqamətdə qoşulmasından ibarətdir.

Şək 6.8- də ən yayılmış kompensatorun sxemi verilmişdir. Bu sxemdə ölçülən U_x gərginliyi ona qiymətcə bərabər və işarəcə əks olan U_k gərginliyi ilə kompensasiya edilir. U_k gərginlik düşgüsü I cərəyanı vasitəsilə R_k kompensasiyaedici nümunəvi müqavimətində yaradılır. R_k müqavimətinin qiyməti o vaxta qədər davam etdirilir ki, $U_k = U_x$ olsun (maqnitoelektrik sistemli qalvanometrin (Q) göstərişi sıfıra bərabər olsun). Bu vəziyyətdən sxemin ölçmə obyektindən güc sərfi sıfıra bərabər olur.

Bu ölçmə üsulu yüksək dəqiqlik təmin edir və üsulu reallaşdıran qurğulara kompensatorlar və ya potensiometrlər deyilir. Kompensatorlarda yüksək dəqiqliyi normal elementin e.h.q.-si vasitəsilə əldə edirlər. Normal elementlər zaman ərzində sabit və 200°S temperaturada qiyməti 1,01865 V olan e.h.q. istehsal edirlər. Onların daxili müqaviməti 500-1000 Om və dolub-daşma cərəyanı 1 mKA- dır. Otağın temperaturasının dəyişməsi ilə normal elementin də e.h.q.-si (E_t) aşağıdakı düsturla dəyişir:

$$E_t = E_{20} - 0,00004(t-20) - 0,000001(t-20)^2 \quad (6.29)$$

Normal elementin e.h.q.-sinin yüksək dəqiqliklə təyin olunması və maqnitoelektrik sistemli qalvanometrlərin yüksək dəqiqliyi sayəsində

kompensatorlar sabit cərəyan dövrlərində çox yüksək ölçmə dəqiqliyi təmin edirlər.

Dəyişən cərəyan dövrlərində yüksək dəqiqlik təmin edən gərginlik mənbəyi və ölçmə mexanizmi olmadığından dəyişən cərəyan kompensatorları adi ölçmə cihazlarından fərqlənmirlər.

6.12. Ölçmə cihazlarının və çeviricilərinin xətaları

Ölçmə prosesi zamanı ölçmə cihazının dəqiqliyindən və metodikanın düzgünlüyündən asılı olmayaraq ölçülən kəmiyyət həqiqi qiymətdən fərqli olur. Ölçmənin xətası xarici faktorların təsirindən (temperaturanın dəyişməsindən, titrəyişdən, xarici elektrik və maqnit sahələrindən), metodik və alət xətalarından, hesabatin qeyri- dəqiqliyindən və s. yaranır. Xətaların qiymətləndirilməsini təhlil edək.

Fərz edək ki, çevirici $Y_n = F_n(X)$ nominal çevirmə funksiyasına malikdir. Müxtəlif səbəblər üzündən çeviricinin real çevirmə funksiyası nominaldan fərqlənir və $Y = F(X)$ olur. Çeviricinin girişinə X_1 kəmiyyəti verildikdə onun çıxışında $Y_n = F_n(X_1)$ əvəzinə $Y_1 = F(X_1)$ kəmiyyəti alınır. $\Delta_y = Y_1 - Y_n$ fərqi çevirmənin mütləq xətası adlanır. Bu xətaya bəzən çıxışdakı xəta da deyirlər.

Mütləq xətanın əks işarə ilə götürülmüş qiymətinə düzəliş ($\Delta_{düz} = -\Delta$) deyilir. Onu ölçülən kəmiyyətin üstünə əlavə etməklə kəmiyyətin daha dəqiq qiymətini ($x_h = x_0 + \Delta_{düz}$) tapmaq olar.

Nisbi xətanın qiyməti (δ) ölçmənin mütləq xətasının giriş kəmiyyətinin həqiqi qiymətinə (x_n) olan nisbətinin faizlə ifadə olunmuş qiymətinə bərabərdir:

$$\delta = (\Delta / x_h) * 100\%. \quad (6.30)$$

Praktikada giriş kəmiyyətinin həqiqi qiymətini təyin etmək mümkün olmadığı üçün nisbi xətanı aşağıdakı düsturla təyin edirlər:

$$\delta = (\Delta/x_0) \cdot 100\%. \quad (6.31)$$

Ölçmə nəticəsi həqiqi qiymətdən böyük olarsa xəta müsbət, əks halda isə mənfi olur.

Nisbi xəta ölçünü xarakterizə etdiyi üçün onun vasitəsilə ölçmə cihazını xarakterizə etmir. Odur ki, ölçmə cihazlarını xarakterizə etmək üçün gətirilmiş xəta anlayışından istifadə edilir.

Gətirilmiş xəta mütləq xətanın ən böyük qiymətinin cihazın normalaşdırılmış (nominal) qiymətinə olan nisbətinin faizlərlə ifadə olunmuş qiymətinə deyilir:

$$\gamma_{\text{get}} = (\Delta X' / X_n) \cdot 100\% \quad (6.32)$$

burada X_n - cihazın şkalasının işçi hissəsinin ən böyük qiyməti götürülür.

Normal iş şəraitində təyin olunmuş ən böyük gətirilmiş xəta cihazın əsas xətası adlanır. Normal şərait dedikdə ətraf mühitin temperaturası 20^0S və ya cihazın sənədlərində göstərilmiş temperatura, xarici elektrik və maqnit sahələrinin olmaması, gərginliyin və tezliyin nominal qiymətləri, cihazı qidalandıran dəyişən cərəyanın əyrisinin sinusoidal forması və s. nəzərdə tutulur.

Cihazın əsas xətası ancaq onun mənfi cəhətlərindən asılı olur. Cihazın dəqiqlik sinfi onun əsas xətasına görə təyin edilir (əsas xətanın ən böyük buraxıla bilən qiymətinin faizlərlə ifadə olunur). DÜİST 1845-59- a əsasən ölçmə cihazları 8 dəqiqlik sinfinə bölünürlər: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0.

Əlavə xətlər xarici təsirlərin (temperaturanın, təzyiqin, manelərin və s.) normal qiymətlərindən kənara çıxması üzündən ölçmə vasitələrində yaranan xətlərdir.

Ölçülən kəmiyyətin zamandan asılı olaraq dəyişməsinə görə statik və dinamik xətlər mövcuddur. Statik xətlər zaman ərzində dəyişməyən kəmiyyəti ölçən zaman yaranır. Dinamik xəta- dinamik rejimdəki xəta ilə baxılan zaman anında ölçülən kəmiyyətin qiymətinə uyğun olan statik xəta arasındakı fərqdır.

Ölçmə xətlərinin dəyişməsindən asılı olaraq sistematik, təsadüfi və kobud xətlər mövcuddur.

Sistematik xətlər ölçmə zamanı öz qiymətini və işarəsini sabit saxlayır və ya müəyyən qanunla dəyişirlər. Sistematik xətlərə metodik, alət, subyektiv və s. xətlər aiddirlər. Onları aradan qaldırmaq və ya azaltmaq mümkündür. Sistematik xətlərin təbiətini öyrənmək, uyğun düzəlişlərin daxil edilməsi, ölçmə metodunun və avadanlığının düzgün seçilməsi, həmçinin başqa üsullar sistematik xətləri azaltmağa imkan verir.

Kobud xətlər (səhvlər) gözlənilməyən dəfələrlə böyük olan xətlərə deyilir. Onların yaranma səbəbləri göstərişin düzgün götürülməməsi, sxemlərdə və ölçmə cihazlarında olan nasazlıqdır. Kobud xətləri aradan qaldırmaq üçün onları yaradan səbəblər ləğv olunmalıdır. Kobud xətləri adətən nəzərdən atırlar.

Ölçmə vasitələrinin və çeviricilərinin ölçmə xətlərinin 2 təşkilədici var: tətbiq olunan ölçmə vasitəsinin xətlərindən asılı olan alət xətası və ölçmə üsulunun təkmil olmamasından irəli gələn metodik xəta.

Alət xətlərinə ölçmə cihazının xətləri, şkalanın düzgün dərəcələnməməsi, cihazın düzgün yerləşdirilməməsi, bir cihazın digərinə təsiri, rezistiv gərginlik bölücüsünün müqavimətlərinin düzgün seçilməməsi üzündən yaranan xətlər aiddirlər.

Alət xətlərinin digər qrupuna əlavə və dinamik xətlər aiddirlər. Bu xətlər təsiredici faktorların təsirindən, giriş signalının informativ olmayan parametrlərinin təsirindən və ölçülən kəmiyyətin dəyişməsinin təsirindən yaranı bilər.

Metodik xəta ölçmə üsulunun təkamil olmaması və ölçmənin əsasını təşkil edən hadisənin təsviri üçün istifadə olunan düsturun dəqiq olmaması üzündən yaranır. Bunlara həmçinin ölçmə vasitəsinin ölçmə obyektinə təsiri ilə əlaqədar olan xətlər də aiddirlər. Məsələn, gərginliyi ölçülən mənbənin daxili müqavimətində gərginlik düşgüsü baş verir və onun çıxış gərginliyi ölçülən gərginlikdən kiçik olur. Voltmetr çıxış gərginliyini ölçdüüyü üçün metodik xəta baş verir. Müqavimətin voltmetr və ampermetr üsulu ilə ölçülməsi zamanı da cihazların qoşulmasından asılı olaraq metodik xəta baş verir. Məsələn, voltmetr birbaşa müqavimətə paralel qoşulduqda, ampermetrin göstərişi tək cə müqavimətdən keçən cərəyanı deyil, həm də voltmetrdən keçən cərəyanı özündə əks etdirəcək. Ampermetr birbaşa müqavimətə ardıcıl qoşulduqda, voltmetrin göstərişi tək cə müqavimətdə düşən gərginliyi deyil, həm də ampermetrdə düşən gərginliyi özündə əks etdirəcək. Hər iki halda cihazların dəqiqliyindən asılı olmayaraq metodik xəta yaranacaq. Bu xətanı azaltmaq üçün ölçülən müqavimətin qiyməti ilə cihazların daxili müqavimətlərini müqayisə etməklə metodik xətası minimal olan sxemi seçmək lazımdır.

Subyektiv (şəxsi) sistematik xətlər müşahidəçinin fərdi xüsusiyyətləri ilə əlaqədardır. Onlar insanın hissiyyat orqanlarının təkamil olmaması səbəbindən yaranır. Bu xətlərə parallaks (əqrəbin göstərişinə 90^0 -dən fərqli bucaq altında baxmaq) və s. daxildirlər. Rəqəm ölçmə cihazlarında subyektiv xətlər olmur.

Təsadüfi xətlər zaman ərzində həm qiymətini, həm də işarəsini təsadüfi qaydada dəyişən xətlər nəzərdə tutulur. Odur ki, onları təyin etmək mümkün deyil. Onlar bir fiziki kəmiyyəti bir neçə dəfə ölçdükdə aşkarlanır. Təsadüfi xətlərin səbəblərini dəqiq aşkarlamaq mümkün deyil. Odur ki, onları ehtimal nəzəriyyəsinin və riyazi statistikanın üsulları vasitəsilə nəzərə alırırlar.

Əksər hallarda təsadüfi xətlər normal paylanma qanununa- Qauss qanununa tabe olunur. Bunun əsasında fərz olunur ki, təsadüfi xətlər aşağıdakı qanunauyğunluqlara tabedirlər: mütləq qiymətə görə bərabər olan xətlərin ehtimalları eynidir; mütləq qiymətə görə kiçik olan xətlərin böyük qiymətli xətlərə nisbətən ehtimalları daha böyükdür; mümkün son hədd hesab olunan müəyyən qiymətdən böyük olan xətlərin yaranma ehtimalı sıfır bərabərdir; bərabər dəqiqlikli ölçmələrin təsadüfi xətlərinin orta ədədi qiyməti ölçmələrin sayı artdıqca sıfır yaxınlaşır.

Təsadüfi xətlərin normal paylanma qanunu (şəkl.6.9) aşağıdakı düsturla ifadə olunur:

$$N(\Delta) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(a_i - A)^2 / (2\sigma^2)} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\Delta^2 / (2\sigma^2)} \quad (6.33)$$

Burada $N(\Delta)$ - təsadüfi xətlərin normal paylanmasının ehtimal sıxlığı; Δ - təsadüfi xəta, yəni sistematik xəta olmadıqda kəmiyyətin ölçülən qiymətilə (a_i) həqiqi qiyməti (A) arasındakı fərq; e - natural loqarifmlərin əsası; σ - aşağıdakı düsturla təyin olunan, təkrar ölçmələrin orta kvadratik xətası:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A_i)^2}{n}}, \quad (6.34)$$

burada n - ölçmələrin sayıdır.

Düsturlardan göründüyü kimi, orta kvadratik xətanın azalması ilə kiçik xətaların sayı artır və uyğun olaraq, ölçülən kəmiyyətin həqiqi qiymətə yaxınlaşma dərəcəsi yüksəlir.

Ölçmə nəticələrinin emalı. Fərz edək ki, sisteməlik və kobud xətlər aradan qaldırılıb. Ölçmənin nəticəsinə ancaq təsadüfi xətlər daxildir. Onların düzgün uçuotu ölçmənin dəqiqliyini artırmağa imkan verir və ölçmənin nəticəsi ölçülən kəmiyyətin həqiqi qiymətinə daha yaxın olur. Eyni bir A kəmiyyətini n dəfə təkrar ölçürük. Ölçülən kəmiyyətin ən dəqiq qiyməti təkrar ölçmələrin nəticələrinin orta ədədi qiymətinə bərabər olur (Qauss qanunu bu əsasdan çıxarılıb):

$$A_{or} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n} \quad (6.35)$$

Burada a_i - ayrı- ayrı ölçmələrin nəticəsi, n- təkrar ölçmələrin sayıdır.

Hər bir ölçmənin nəticəsinin orta ədədi qiymətdən meylətməsi (fərqi) qiymətinə və işarəsinə görə aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$A_i - A_{or} = U_i \quad (6.36)$$

burada U_i - qalıq xətləridir. Onlar üçün aşağıdakı ifadələr xarakterikdir:

$$\sum_{i=1}^n U_i = 0 \quad \text{və} \quad \sum_{i=1}^n U_i^2 = \min \quad (6.37)$$

Bütün meylətmələrin kvadratları cəminə görə ölçmələrin sırasının orta kvadratik xətasının qiymətlərini hesablayırlar. Hesablama (6.34) düsturundan alınan aşağıdakı ifadəyə görə aparılır:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n U_i^2}{n-1}}, \quad (6.38)$$

Orta kvadratik xəta nə qədər kiçik olarsa, ölçmə dəqiqliyi də o qədər yüksək olur.

Ölçmənin dəqiqliyini həmçinin ölçmə sırasını ehtimal xətası ilə xarakterizə etmək olar:

$$\varepsilon = \frac{2}{3} \sigma \quad (6.39)$$

burada ε - elə bir qiymətdir ki, bütün xətlərin yarısı mütləq qiymətinə görə bu qiymətdən böyük, digər yarısı isə bundan kiçikdir.

Praktik ölçmələr zamanı 3σ - dan böyük olan xətlər $p=1/370$ ehtimalı ilə rast gəlinir, yəni təxminən rast gəlinmir. 3σ - ya bərabər olan xəta ölçmə sırasının ən böyük mümkün xətası adlanır. Ölçmələrin nəticəsi aşağıdakı şəkildə yazılır:

$$A = A_{\text{orta}} \pm \sigma \quad \text{və ya} \quad A = A_{\text{orta}} \pm \varepsilon \quad (6.40)$$

Ölçmələrin dəqiqliyini artırmaq üçün, ölçmələrin sayını artırmaq, daha dəqiq ölçmə üsulu və ya cihazı seçmək və ölçmə şəraitini həqiqi şəraitə yaxınlaşdırmaq lazımdır.

6.14. Elektron ölçmə cihazları

Elektron ölçmə qurğuları çoxlu sayda çeviricidən ibarət olan mürəkkəb qurğudur. Onlar müəyyən formalı elektrik rəqslərinin generasiyası, bir növ cərəyanın başqa növ cərəyana çevrilməsi, güclənmə və s. funksiyaları yerinə yetirir.

Elektron ölçmə cihazlarının elektromexaniki ölçmə cihazlarından fərqi ondan idarətdir ki, onların giriş dövrəsinə müxtəlif elektron ölçmə çeviriciləri qoşulur (məsələn, zəif giriş siqnallarını gücləndirmək üçün gücləndiricilər, dəyişən gərginliyin amplitud qiymətini ayırmaq üçün amplitud detektorları, dəyişən gərginliyin orta qiymətini ölçmək üçün düzləndirici körpülər, böyük tezlik diapazonunda stabil və dəqiq ölçmələr aparmaq üçün düzləndirici sxemlər və s.).

Elektron ölçmə cihazları 4 əsas qrupa bölünürlər: siqnalların parametrlərini və xarakteristikalarını ölçən cihazlar (elektron voltmetrləri, tezlikölçənlər, ossiloqraflar, spektr analizatorları və s.); elektrik və elektron sxemlərinin parametrlərini və xassələrini, həmçinin aktiv və passiv ikiqütblü və dördqütblülərin xarakteristikalarını ölçən cihazlar (məsələn, müqavimət, tutum, induktivlik, elektron lampaları və tranzistorların parametrlərini ölçən cihazlar); müxtəlif səviyyəli, formalı və tezlikli siqnallar mənbəyi olan ölçmə generatorları; ölçmə sxemlərinin elementləri (məsələn, faza fərq adıcıları, atenuatorlar-siqnal zəiflədiciləri və s.).

Elektron ölçmə cihazlarının elektromexaniki cihazlara nisbətən aşağıdakı üstünlükləri var: giriş müqaviməti çox böyük olduğu üçün ölçülən dövrədən az enerji sərf edir; daha geniş tezlik diapazonuna malikdirlər; daha yüksək cəldişləməyə malikdirlər; həssaslığı daha yüksəkdir. İnteqral sxemlərin texnologiyası inkişaf etdikcə onların dəqiqliyi, stabilliyi və etibarlılığı daha da artır və ölçüləri, çəkisi və enerji sərfi daha da azalır.

Elektron ölçmə cihazlarının nöqsanları göstərişlərin ölçülən cərəyanın və ya gərginliyin formasından asılılığı, qida mənbəyinə olan tələbat və nisbətən baha olmalarıdır.

6.15. Rəqəm ölçmə cihazları

Rəqəm ölçmə texnikası nisbətən yeni və sürətlə inkişaf edən sahədir. İlk rəqəm ölçmə qurğuları (RÖQ) elektromexaniki tipli idilər, yəni onların qurulmasında elektron lampalarından və elektromaqnit relelərdən istifadə olunurdu. Sonralar tranzistor və diod əsaslı elementlərdən, daha sonra isə integral sxemlərdən daha çox istifadə edilməyə başlandı. Bu da RÖQ- in etibarlılığını, işləmə sürətini və dəqiqliyini artırmağa, güc sərfini və ölçülərini azaltmağa imkan vermişdir.

RÖQ- in üstünlüklərinə nəticənin qeyd olunmasının əlverişli və obyektiv olması, yüksək həllətmə qabiliyyəti zamanı ölçmənin diapazon genişliyi, mexaniki keçid elementlərinin olmaması hesabına yüksək işləmə sürəti (adi əqrəbli cihazlardan fərqli olaraq) və başqa xüsusiyyətlər daxildir. Mənfi cəhətləri isə onların istehsal texnologiyasının nisbətən mürəkkəbliyi və baha olmasıdır.

RÖQ müasir ölçmə texnikasına qoyulan tələblərə, yeni ölçmə prosesinin avtomatlaşdırılması və zəruri dəqiqliyi saxlamaqla ölçmə sürətinin artırılmasına tam cavab verir.

Hal- hazırda geniş diapazonlu texniki xarakteristikalara malik olan RÖQ buraxılır (voltmetrlər, ampermetrlər, aktiv müqavimətləri, tutumları və induktivlikləri ölçənlər, tezlikölçənlər, fazaölçənlər, sayğaclar, saatlar və s.). Onlardan ən çox yayılmışı rəqəm voltmetrləridir və onlar bəzi hallarda 0,001%- dən də az götürülmüş xətəyə malik olurlar. Rəqəm çeviricilərinin isə işləmə sürəti saniyədə bir neçə milyon çevirməyə çatır.

RÖQ- lərin girişindəki kəmiyyətlər zamana və qiymətinə görə fasiləsiz ola bilərlər. Odur ki, fasiləsiz

siqnalları rəqəm formasına çevirmək üçün analoq- rəqəm çeviricilərindən (ARÇ) istifadə edilir.

ARÇ- nin girişində ölçülən analoq kəmiyyəti, çıxışında isə rəqəm kodu olur. Bu rəqəm kodu (adətən ikilik kod) kompüterə emal üçün daxil olur. Texnoloji obyektlərin idarəetməsini həyata keçirmək üçün kompüterin çıxışına rəqəm- analoq çeviricisi (RAÇ) qoşulur. Bu çevirici, girişinə verilən rəqəmi analoq siqnalına çevirərək texnoloji obyektin idarəetmə orqanlarına təsir edir. ARÇ- nin çıxışına rəqəm indikatorları qoymaqla hesabatı əlverişli şəkildə aparmaq olur. Hal- hazırda ARÇ- lər ayrıca blok şəklində (bir kristalda) hazırlanır.

RÖQ daxilində qida mənbəyi, çıxışında isə rəqəm indikatoru olan bir cihazdır və rəqəm qeydedicisinin qoşulması üçün xüsusi çıxışa malikdirlər.

Rəqəm- analoq çeviriciləri rəqəm idarəli sistemlər şəklində müstəqil əhəmiyyətə malikdirlər (məs., proqramla idarə olunan dəzgahlar).

Dəqiqliyinə, işləmə sürətinə və etibarlılığına görə RÖQ analoq ölçmə cihazlarından çox üstündürlər (cədv.G.1).

Dəqiqlik.

Cədv. G.1.

Dəqiqlik sinfi	Analoq ölçmə qurğuları	Rəqəm ölçmə qurğuları
Aşağı	1,5-2,5	0,5-0,2
Orta	0,5-1,0	0,1-0,06
Yüksək	0,1-0,2	0,01-0,005

RÖQ dəqiqlik sinfi 0,001-0,0005 olan yoxlayıcı qurğuların yaradılması üçün istifadə olunur.

İşləmə sürəti. RÖQ işləmə sürətinə görə geniş spektrə malikdirlər. Qeydedici cihazların işləmə sürəti saniyədə bir neçə min ölçməyə çatır və qeydedicinin sürəti ilə məhdudlaşır. Ölçmə fasiləsiz deyil nöqtələr üzrə aparılırsa, onda işləmə sürəti saniyədə yüzlərlə ölçmə əməliyyatına çatır. Orta işləmə sürətli RÖQ- də saniyədə on minlərlə, yüksək işləmə sürətli RÖQ- də saniyədə milyonlarla və çox yüksək işləmə sürətli RÖQ- də saniyədə yüzlərlə milyon ölçmə əməliyyatları aparılır.

Ölçmə prosesinin avtomatlaşdırılması. Bu zaman avtomatik olaraq ölçmənin diapazonu və işarə seçilir. Cihaz sıfır vəziyyətinə gətirilir və kalibrlənir.

RÖQ- in daha bir üstün cəhəti parallax xətasının olmaması və miniatürləşməyə daha qabiliyyətli (yəni integral sxemlərin tətbiqinə) olmasıdır. Bu zaman onların etibarlılığı artır, çəkisi və güc sərfi azalır.

6.16. Fasiləsiz kəmiyyətlərin diskret formada təqdimi

Ümumiyyətlə kəmiyyətlər aşağıdakı kimi təsvir olunurlar:

1. Analoq şəkildə bu zaman kəmiyyətlər zamana və qiymətinə görə fasiləsiz olurlar (şək.6.10,a). Bu kəmiyyət üzərində zamana görə diskretləşdirmə əməliyyatı aparmaq olar.

2. Diskret şəkildə- bu zaman kəmiyyət diskret zaman anında fasiləsiz qiymətə malik olur (şək.6.10,b). Zaman oxunda iki qonşu hesabat nöqtəsi arasındakı məsafə diskretləşmə addımı adlanır (t_d). Buna stroboskop prinsipi və ya zaman darvazaları deyilir. Zaman intervalı kiçik olduqda kəmiyyətin bərpa olunma dəqiqliyi də artır. Dinamik ölçmələrdə diskretləşmə addımını dəqiq seçmək lazımdır. Əks halda informasiya itgisi çox böyük ola bilər (şək.6.10,c). Praktikada diskretləşdirmə addımını seçmək üçün **Kotelnikov teoremindən** istifadə olunur. Bu

teoremə görə diskretləşdirmə addımı aşağıdakı düsturla hesablanmalıdır:

$$t_d = \frac{1}{2F_m}, \quad (6.41)$$

burada F_m - giriş siqnalının tezlik spektrindəki ən böyük tezlikdir.

3. Səviyyəyə görə kvantlama zamanı kəmiyyət ancaq 2 diskret qiymət ala bilər (şək.6.10,d). Bu zaman fasiləsiz kəmiyyətə ən yaxın kvantlama pilləsinin nömrəsi verilir. İki qonşu pillə arasındakı məsafəyə kvantlama addımı deyilir. Aydındır ki, fasiləsiz kəmiyyətlərin kvantlanması xətaya gətirib çıxarır. Fərz edək ki: $\Phi_{kv}^{\forall} = \forall_{kv} / 2$. Bəzi hallarda kəmiyyətə ən yaxın aşağı və ya yuxarı pillənin nömrəsi verilir. Bu zaman $\forall_{kv}^0 = \forall_{kv}$ olur. Kvantlama xətasını mümkün qədər azaltmaq olar. Bu xətanın nisbi qiyməti belə hesablanır:

$$\forall_{kv}^0 = \forall_{kv} / A_{\max} * 100 \% \quad (6.42)$$

burada $A_{\max}$ - kvantlanan kəmiyyətin maksimal qiymətidir.

RÖQ- də kvantlama səviyyələrinin sayı (diapazondakı bölgülərin sayı) anlayışı vardır:

$$N = A_{\max} / \forall_{kv} + 1 \quad (6.43)$$

Düsturda dəyişiklik aparsaq:

$$\forall_{kv}^0 = (1 / N) * 100 \% \quad (6.44)$$

Hər bir ölçülən kəmiyyət kvantlama səviyyəsinin nömrəsini yazmaqla kodlaşdırılır və fasiləsiz kəmiyyət rəqəm şəklində təsvir olunur.

4. Zaman ərzində kvantlama və diskretləmə (şək.6.10,e). Bu zaman hesabat müəyyən zaman anında aparılır və kvantlama əməliyyatı yerinə yetirilir. Bu iki əməliyyatın olması rəqəm ölçmə qurğularının əlaməti hesab olunur. Ümumilikdə, RÖQ- də ölçülən kəmiyyət üzərində idarəetmə blokunun idarəçiliyi altında diskretləmə, kvantlama və kodlaşdırma əməliyyatları aparılır.

6.17. Fasiləsiz kəmiyyətlərin koda çevrilməsi üsulları

Fasiləsiz kəmiyyətlərin koda çevirmək üçün bir neçə üsul mövcuddur:

1. Ölçülən x kəmiyyətində q kvantının neçə dəfə yerləşməsi yoxlanılır. Əgər bu ədəd $n+1$ -ə çatdıqda x ölçüsünü ötüb keçirsə, onda x ölçüsünün qiyməti $n \cdot q$ -yə bərabər götürülür. Bu metod ardıcıl xarakterlidir.

2. Fərz edək ki, vahid elementar ölçü yoxdur və bunun əvəzində böyük ölçü M vardır. Onda ölçülən kəmiyyətin özünü böyük ölçüdə n dəfə yerləşdirməklə ölçülən kəmiyyəti tapmaq olar. Ölçülən kəmiyyətin qiyməti $x = M/n$ olacaqdır. Bu metod da ardıcıl xarakterlidir.

3. Fərz edək ki, q , $2q$, $4q$ və $8q$ çəkilərində kvantlar mövcuddur. Onlar vasitəsilə ölçülən x kəmiyyəti belə ölçülür. Əvvəlcə ölçülən kəmiyyət x ən böyük kvantla müqayisə olunur. Əgər $8q < x$ olarsa, onda onu saxlayıb üstünə digər çəki ($4q$) əlavə olunur. Bundan sonra alınan çəki ilə ölçülən kəmiyyəti yenidən müqayisə edirlər. Fərz edək ki, alınan çəki x kəmiyyətindən böyükdür, onda əlavə çəkini ($4q$) atıb, onun yerinə ondan kiçik çəkini ($2q$) əlavə edirlər və yenidən müqayisəni təkrar edirlər. Fərz edək ki, bu dəfə cəm ölçülən kəmiyyətdən kiçik oldu. Bu

zaman $2q$ artımı saxlanılır və q artımı əlavə olunur. Bu qayda ilə ölçülən x kəmiyyəti təyin olunur. Müqayisənin nəticəsi simvollar vasitəsilə belə yazılır: «kiçikdir»- 1 simvolu ilə, «böyükdür»- 0 simvolu ilə. Etalonla 4 çəki olduğu üçün nəticə 4 mərtəbəli kodla ifadə olunacaq. Ümumi kombinasiyaların sayı (sıfır nəzərə alınmazsa) isə 15 olacaqdır (ardıcıl metoddakı 1023- ün əvəzinə). Göründüyü kimi burada ölçmə sürəti xeyli yüksək olur.

4. Əvvəlki üsuldən fərqli olaraq $8q$, $4q$, $2q$ və q çəkiləri kod maskası şəklində hazırlanır. Bu maskanın sütunları ikilik mərtəbələrə uyğun gəlir. Hər sütunda elektrik xassələrinə görə müxtəlif hissələr bir- birini əvəz edir (məs., keçirici- dielektrik və ya şəffaflıq- qeyri-şəffaflıq). Ən kiçik mərtəbədə bu sahənin uzunluğu q kvantına bərabərdir. Əgər ölçülən x kəmiyyəti keçirici hissədə bu sahəni kəsirsə, onda ona 1, izolyator hissəni kəsirsə, ona 0 qiyməti verilir. Bu üsul əsasən həndəsi parametrlərin ölçülməsi üçün istifadə edilir. Metodun əsas xarakterik xüsusiyyəti bütün mərtəbələrdə eyni zamanda ölçmənin aparılmasıdır.

5. Bu üsulda da əvvəlcədən bütün kod kombinasiyaları hazırlanır. Ancaq ölçmənin nəticəsi başqa cür formalaşdırılır: x kəmiyyəti ilə kvanta mütənasib olan bütün etalonlar (yəni, $q, 2q, \dots, Nq$) eyni zamanda müqayisə olunurlar və bu çoxluq arasında elə bir altçoxluq axtarılır ki, onlar x - dən kiçik olsun. Bundan ötrü bu altçoxluq üçün müqayisə nəticələrinə 1, qalanlara isə 0 yazılır. Əgər bu ardıcılıqda bütün sıfırları atsaq, onda qalan vahidlər x kəmiyyətinin N kodunu təşkil edir. Üsulun üstünlüyü ölçmənin eyni zamanda aparılmasına görə işləmə sürətinin maksimal olmasıdır.

6.18. Rəqəm ölçmə qurğularının təsnifatı.

Bütün cihazlar kimi rəqəm ölçmə qurğuları da birbaşa və tarazlaşma çevirməli olurlar.

Birbaşa çevirməli cihazları şək.6.11- də göstərilir. Bəzi çeviricilərdə yerli xarakterli əks əlaqə olur. Bu cür cihazların ümumi xarakteristikası- nisbi sadəlik, orta səviyyəli dəqiqlik və yüksək işləmə sürətidir.

Tarazlaşan çevirməli cihazların xarakterik cəhəti ümumi mənfi əks əlaqənin olmasıdır (şək.6.12). Ayrıca çeviricilərdə yerli xarakterli əks əlaqə ola bilər. Əks əlaqə bloku üçün giriş signalı rəqəm, çıxış signalı isə analoq şəklində olur, yəni bu blok rəqəm- analoq çeviricisi kimi işləyir. Bu cihazlar nisbətən baha və mürəkkəb, lakin yüksək dəqiqliyə malik olurlar. Əks əlaqənin olması keçid prosesi yaratdığı üçün işləmə sürəti kiçik olur. Dəqiqliyin daha da artırılması cihazın mürəkkəbləşməsi və işləmə sürətinin azalması hesabına həyata keçirilir.

6.18.1. Birbaşa çevirməli rəqəm ölçmə qurğuları.

1. Fəza çevirməli cihazlar. Bu cür cihazlarda ölçülən kəmiyyət fəza, xətti və ya bucaq yerdəyişməsinə çevrilirlər. Axırıncılar isə kod maskalarının və ya kod disklərinin köməyi ilə rəqəm koduna çevrilirlər (şək.6.13). Bu zaman ox üzərində müəyyən qayda üzrə kodlaşdırılmış və sektorlara bölünmüş kod diski yerləşdirilir. Hərəkətsiz oxuyucu disk kodu tanıyaraq rəqəm koduna çevirir. Kod diskləri rəqəm idarəli dəzgahlarda müxtəlif alətlərin dəqiq koordinasiyası və integral sxemlərin avtomatlaşdırılmış layihələndirilməsi üçün işlədilir.

2. Tezlik- zaman qruplu cihazlar. Bu cihazlarda ölçülən parametrlər əvvəlcədən rəqslərin tezliyinə çevrilir və rəqəm üsulu ilə müəyyən interval ərzində rəqslərin sayı

hesablanır. Bu cihazlara integrallayıcı cihazlar deyilir. Bu zaman ölçmənin nəticəsi ölçmə vaxtı ərzində giriş kəmiyyətinin integral qiymətinə mütənasib olur. Bu tip cihazların maneələrə davamlılığı böyük olur. Bu prinsipdə orta dəqiqlik sinifli rəqəm voltmetrləri (xətası 0,05% olur) qurulur. Onlar nisbətən sadə, lakin məhdud işləmə sürətli olurlar.

Rəqəm tezlikölçənləri də tezlik çevirməsi prinsipinə aiddirlər. Onlar universal olub, zaman parametrlərini ölçürlər. Rəqəm tezlikölçənləri başqa cihazlar içərisində ən dəqiqidir. Bu dəqiqlik cihaza qoşulmuş kvars generatorunun rəqslərinin çox yüksək dəqiqliyi və stabilliyi hesabına alınır (qeyri- stabillik 10^{-8} - 10^{-12} olur).

3. Zaman çevirməli cihazlar. Bu cihazlarda analoq kəmiyyəti içərisi nümunəvi tezlikli impulslarla doldurulmuş mütənasib zaman intervalına çevrilir. Bu impulsar sayılaraq kodlaşdırılır və nəticə rəqəm şəklində göstərilir. Bu prinsip əsasında rəqəm voltmetrləri daha çox qurulur. Onlar nisbətən sadə quruluşa, orta dəqiqlik sinfinə, orta işləmə sürətinə və orta maya dəyərinə malik olurlar.

Bu prinsip əsasında integrallayıcı voltmetrlər, elektrik dövrələrinin (R, L və C) və zaman parametrlərini (T, f və ϕ) ölçən cihazlar qurulur.

4. Rəqəm- impuls kodlayıcı cihazları. Bunlarda analoq kəmiyyəti impulsların dəyişən sayına çevrilir. Rəqəm sayğacı onların sayını rəqəm şəklində verir. Bu cihazlar həmçinin kod diskləri əsasında qurulur və onlardan əsasən avadanlığın fırlanan hissələrinin dövrlər sayını ölçmək üçün istifadə olunur. Bu prinsipdən elektrik kəmiyyətlərinin ölçülməsində həssas cihazlar qurmaq üçün istifadə edilir.

5. Amplitud çevirməli cihazlar. Bu cihazlarda işləmə alqoritmi naməlum yükün tərəzidəki yüklər toplusu vasitəsilə ölçülməsi prinsipinə əsaslanır. Əvvəlcə ən

böyük çəki daşı qoyulur və naməlum yüklə çəki daşı arasındakı fərqi qiymətindən və işarəsindən asılı olaraq ya çəki daşı götürülür, ya da yenisi əlavə olunur. Müəyyən olunmuş alqoritmlə eyni bir ölçülər toplusu tərtib olunur ki, naməlum kəmiyyəti tarazlaşdırma bilsin. Adətən, bu cür ölçülər toplusu 2-lik say sistemində çəki üstünlüyünə malik olurlar. Naməlum kəmiyyəti tarazlaşdıran ölçülər toplusuna uyğun olaraq, ikilik kodunu təşkil edək: «1» dərəcəsinə- çəki daşı toplusudur, «0»- da isə yox. Müqayisə prosesi elektron cihazı vasitəsilə aparılır: «Hə»- toplusı artıqdır, «yox»- toplusı azdır.

Bu cür ardıcıl işləyən cihazlardan başqa amplitud analizatorları adlanan və paralel işləyən cihazlar da bu qrupa daxildir. Bu cihazlar ensiz impulsların cəld ölçülməsi üçün tətbiq olunur. Onların şkalasında ölçülərin tam toplusu olur. Ölçülən kəmiyyət A ölçü ilə birbaşa müqayisə və onun hansı ölçülər arasında yerləşməsi ilə təyin olunur. Məsələnin şərtindən asılı olaraq ona böyük və ya kiçik ölçülərin qiyməti verilir. Beləliklə, bir müqayisə vaxtında ölçülən kəmiyyətin bütün ölçülərlə müqayisəsi və nəticənin alınması baş verir. Bu cür cihazlar ən cəld işləyəndirlər. Mənfi cəhətləri isə böyük avadanlıq sərfəsinin olmasıdır. Çünki bu cihazlarda bütün şkala üzrə n sayda müqayisə qurğusu olmalıdır. Bundan başqa bu cihazları yüksək dəqiqlik tələb olunmadıqda tətbiq edirlər. İntegral texnologiya imkan verir ki, bir kristalda şkala üzrə 2 qradasiyaya malik olan bir üsul reallaşdırılsın (yəni 255 ölçü və müqayisə qurğuları). Emitter əlaqəli məntiq əsasında hazırlanmış sxemin işləmə sürəti 35 mHz-saniyədə 35 milyon çevirmədir. Bu cür cəldişləyən sxemlər rəqəmli radiolokasiyada və rəqəm televiziyasında işlədilir.

Bu sxemlərin texnologiyası Arsenid Qalliumdan olan elementlərdir. Bu zaman 8 qHs tezlik almaq mümkündür. Onların köməyi ilə minimal, kiçik və orta dəqiqlikli çox cəldişləyən cihazlar yaratmaq mümkündür.

6.18.2. Tarazlaşma çevirməli rəqəm ölçmə qurğuları

Bu cihazların əsas əlaməti ümumi mənfi əks əlaqə dövrəsinin olmasıdır. Çıxış kodu rəqəm- analoq çeviricisi RAÇ vasitəsilə giriş kəmiyyəti ilə eyni fiziki təbiətli kəmiyyətə çevrilir və müqayisə olunur. Bu cihazların daha bir neçə əlamətləri var.

1. Zaman ərzində tarazlaşmanın getməsinə görə.

Bu əlamətə görə cihazlar ardıcıl və paralel- ardıcıl müqayisə növlərinə bölünürlər. Bunlara nümunə olaraq xətkəş vasitəsilə uzunluğun ölçülməsini göstərmək olar. Bu proses zaman ərzində açılmışdır. Ölçü bir dənədir, müqayisələrin sayı isə N - dir (**şək.6.14,b**). Əgər hər hansı müqayisəyə bir ölçü sərf olunursa, onda ölçmənin ümumi vaxtı $N \cdot t$ olacaqdır (t - bir müqayisə vaxtıdır).

Beləliklə, zaman ərzində tarazlaşan kəmiyyət zaman ərzində açılır. Bu cihazların müsbət cəhəti az vəsait sərfi, mənfi cəhəti isə ölçmə vaxtının böyük olmasıdır. Bu cihazlarda 0,1% xətanı təmin etmək üçün qradasiyaların sayı 1000 olmalıdır.

2. Birincinin əksinə olan üst- üstə düşmə metodu- paralel metod (şək.6.14,c). Bu zaman ölçülən kəmiyyət eyni t zamanında ölçülərin bütün şkalası ilə müqayisə olunur. Bu metodun realizasiyası üçün N ölçü və N müqayisə qurğusu olmalıdır. Müqayisə vaxtı ilə ölçmə vaxtı bir- birinə bərabər olur. Bu cihazların üstün cəhəti minimal ölçmə vaxtına malik olmaları və mənfi cəhəti isə çoxlu vəsait sərfidir.

3. Paralel- ardıcıl metod. Bu metod əvvəlki metodlar arasında aralıq mövqe tutur.

Fərz edək ki, 10^3 qradasiyalı diapazonda ölçmə aparmaq lazımdır, yəni ölçülən kəmiyyətin maksimal qiyməti 10^3 vahiddir (şək.6.15). 3 ölçü toplusu var (9- yüzliklər toplusu, 9- onluqlar toplusu və 9- birliklər toplusu). t_1 momentində ölçülən kəmiyyət yüzliklərin ölçüləri ilə müqayisə olunur və onun yüzlik qiyməti tapılır. t_2 anında ölçülən kəmiyyət onluqların ölçüləri ilə müqayisə olunur və onun onluq qiyməti tapılır. Daha sonra isə t_3 anında ölçülən kəmiyyət birliklərin ölçüləri ilə müqayisə olunur və onun birlik qiyməti tapılır. Beləliklə verilmiş halda 116 vahid alınır. Bu üsulda müqayisə qurğularının sayı 27 olur (ölçmə, müxtəlif vaxtlarda getdiyi üçün onların sayını 9- a qədər azaltmaq olar).

Bu üsulda ölçmə vaxtı $3 \cdot t_{müq}$ olur. Nümunədən görünür ki, ölçmə vaxtı paralel üsuldakına nisbətən 3 dəfə çox, ardıcıl üsuldakına nisbətən 333 dəfə az olur. Lakin deyildiyi kimi paralel üsulda ölçmələrin sayı 1000 olmalıdır. Beləliklə bu üsulun çox mühüm üstünlüyü aydın olur.

Bu üsulla cəldişləyən analoq- rəqəm çeviriciləri qurulur. Bu zaman mərtəbələr üzrə ardıcıl (100-10-1), mərtəbənin daxilində isə paralel müqayisələr gedir (birbaşa tarazlaşan üsul da adlandırırlar).

Bu əlamətlərdən başqa, izləyici və açılış tarazlaşması cihazları daxil olan təsnifat əlaməti geniş yayılıb.

Açılış tarazlaşması cihazları hələ müharibədən əvvəl Sovet alimi F. Temnikov tərəfindən təklif olunmuşdur. Onları dinamik kompensasiyalı cihazlar da adlandırırlar. Burada kompensasiyaedici kəmiyyət zaman ərzində müəyyən proqram üzrə dəyişir və ölçülən

kəmiyyətin özünü neçə aparmağından çox asılıdır (şək.6.16). Kompensasiyaedici kəmiyyət cihaz tərəfindən verilir və pilləvari dəyişir. Cihazdakı sayğac ölçülən kəmiyyətə uyğun olan pillələrin miqdarını sayır, onları koda çevirir və ölçmənin nəticəsi indikasiya olunur. Hər açılışın əvvəlində cihaz sıfır vəziyyətinə qaytarılır. Kompensasiyaedici kəmiyyət ölçülən kəmiyyətdən böyük olduqda müqayisə qurğusu signal verərək sayğacın işini dayandırır.

Üsulun dinamik səhvi ondan ibarətdir ki, ölçmənin nəticəsi nəticənin çıxarılması momentinə bağlanılır. Ölçülən kəmiyyətin dəyişməsi bir pillənin qiymətindən kiçik olmamalıdır.

İzləyici tarazlaşan cihazlarda kompensasiyaedici kəmiyyət əvvəlcə ölçülən kəmiyyəti tapır və onu izləməyə başlayır. Əgər ölçülən kəmiyyət kvantlama addımından böyükdürsə, onda bir pillə əlavə olunur və ya çıxılır. Odur ki, dəyişmə sürəti yuxarıdakı şərti ödəməlidir, yəni ölçülən kəmiyyətin ölçmə sürəti kvantlama xətasının ölçmə vaxtına olan nisbəti ilə məhdudlaşır.

Bu cihazlarda ölçmənin nəticəsi zamana bağlı olmadığından onların sxemlərinə xüsusi taymerlər (zaman vericiləri) qoşulur. Axırıncılar nəticənin qeyd olunma vaxtını təyin edirlər (şək.6.17).

6.19. Ölçmə qurğularının dəqiqliyinin normalaşdırılması

Deyildiyi kimi gətirilmiş xəraya görə cihaza DYİST-lə müəyyən olunmuş dəqiqlik sinfi verilir: $(1;2;3) \cdot 10^{-8}$, burada $8 = 1,2,3, \dots$ RÖQ üçün bu rəqəmlər cihazın xətasını əks etdirmir. Çünki, ancaq bu cihazlara kvantlama xətası adlanan spesifik xəta məxsusdur. Ona görə də onların dəqiqliyi iki toplanandan ibarət olan

düsturla qiymətləndirilir. Bu düsturu çıxarmaq üçün məlum olmalıdır ki, bütün xətlər additiv və multiplikativ adlanan növlərə bölünürlər.

Additiv xəta dedikdə cihazın xarakteristikasının qeyri- stabilləşdirici faktorların təsiri altında özünə paralel olaraq yerdəyişməsi nəzərdə tutulur (şək.6.18,a). Bu şəkildə N , ölçmə nəticəsində alınan impulsların sayıdır. Bu xətlər həm də sıfır sürüşməsi və ya lüft də adlandırılır. Additiv xəta ölçülən kəmiyyətin qiymətindən asılı deyil.

Multiplikativ xəta zamanı (şək.6.18,b) ölçülən kəmiyyət xətanın qiymətinə təsir edir və cihazın xarakteristikasının dikliyi dəyişir.

Bir üzvlü düstur əqrəbli cihazlara xas olan additiv xətanı qiymətləndirir. Bu xətanı yaradan səbəblərə elektromexaniki sistemlərdəki lüftləri, dayaqdardakı sürtünmə qüvvələrini və s. göstərmək olar.

RÖQ- də hər iki xətanı nəzərə almaq lazımdır. Bu zaman cihazın yekun mütləq xətası ($*_s$) aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$*_s = *_a + *_m = (X_{nom} * \gamma_a + X_{\ddot{o}} * \gamma_m) / 100. \quad (6.45)$$

burada $*_a$, $*_m$, γ_a və γ_m - uyğun olaraq, additiv və multiplikativ xətlərin mütləq və nisbi qiymətləridir.

Yekun nisbi xəta aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$\begin{aligned} \gamma_s &= (*_s / X) * 100\% = \gamma_m + (\gamma_a * X_{nom}) / X = \gamma_m + (\gamma_a * X_{nom}) / X + \gamma_a - \gamma_a = \\ &= \gamma_m + \gamma_a + \gamma_a * (X_{nom} / X - 1). \end{aligned} \quad (6.46)$$

Əgər aşağıdakı əvəzləmələri aparsaq: $a = \gamma_m + \gamma_a$; $d = \gamma_a$, onda yazı bilərik ki,

$$\gamma_{orta,s} = s + d * (X_{nom} / X - 1). \quad (6.47)$$

Bu iki üzvlü düstur RÖQ-ün xətarını tapmağa imkan verir.

RÖQ-ün dəqiqlik sinfi s/d ($s>d$) rəqəmləri ilə işarələnir. Onlar aşağıdakı sıradan secilirler: $s,d=(10;6;5;3;2;1,5)*10^{-8}$, burada $8 = 1,2,3, \dots$

Belə bir nümunəyə baxaq. Fərz edək ki, cihazın dəqiqlik sinfi $0,5/0,2$ - dir. Onda $d = \gamma_a = 0,2$ və $\gamma_m = 0,5 - 0,2 = 0,3$ olur. Bunu qrafik şəklində göstərsək (şək.6.19) $X_{\max}/X_{\min} = D$ olur. Burada D rəqəm ölçmə qurğularının diapazonudur və adətən 10- a bərabər olur.

Əgər additiv xəta multiplikativ xətdən çox böyükdürsə, onda multiplikativ xəta nəzərə alınmır və yekun xəta additiv xəta ilə müəyyən olunur. Bu zaman yekun xəta bütün şkala boyu ölçülən kəmiyyətdən asılı deyildir.

Əgər additiv xəta multiplikativ xətdən çox kiçikdirsə, onda additiv xəta nəzərə alınmır və yekun xəta multiplikativ xəta ilə müəyyən olunur.

Əgər additiv xəta multiplikativ xətəyə bərabərdirsə, onda xətanın dəyişmə əyrisi hiperbolanı xatırladır və bu zaman çalışırlar ki, əyrinin müstəvi hissəsi mümkün qədər çox olsun.

Dəqiqlik sinfinə görə cihazları müqayisə edək. Fərz edək ki, iki cihazın dəqiqlik sinifləri $0,5/0,2$ və $0,2/0,1$ - dir. Bu cihazlardan hansının yaxşı obduğunu tapmaq üçün integral kriteridən istifadə edilir. Bu zaman cihazın şkalası boyu orta xəta tapılır. Bu xəta aşağıdakı düsturla tapılır:

$$\gamma_{\text{orta},s} = \frac{\int_{x_{\min}}^{x_{\max}} p(x) * \gamma_s * dx}{(6.48)}$$

burada $p(x)$ - şkala üzrə ölçülən parametrin paylanma sıxlığıdır.

Əgər ölçülən kəmiyyət müntəzəm paylanırsa (şək.6.20), onda ehtimal integralı vahidə bərabər olur:

$$P(x) = 1 / (X_{\max} - X_{\min}), \quad (6.49)$$

$$\gamma_{\text{orta},s} = \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} (\gamma_m + (\gamma_a X_{\text{nom}}) / X) P(x) dx = (\gamma_m + (\gamma_a X_{\text{nom}}) / (X_{\max} - X_{\min})) \gamma_a \ln D = \gamma_m + \gamma_a \ln D$$

Bu düsturlardan istifadə edərək cihazların orta xətalarnı tapaq. Birinci cihaz üçün $\gamma_{\text{orta},s} = 0,3 + 0,2 \cdot \ln 10 = 0,3 + 0,2 \cdot 2,35 = 0,3 + 0,47 = 0,77\%$. İkinci cihaz üçün isə $\gamma_{\text{orta},s} = 0,1 + 0,1 \cdot \ln 10 = 0,1 + 0,1 \cdot 2,35 = 0,1 + 0,235 = 0,335\%$. Deməli ikinci cihazın orta xətası daha azdır.

Bundan başqa dəqiqlik sinfinə görə analoq və rəqəm cihazlarını da müqayisə etmək olar. Fərz edək ki, 0,2 / 0,1 dəqiqlik sinifli rəqəm və 0,2 dəqiqlik sinifli analoq cihazlarını fərqləndirmək lazımdır. Rəqəm ölçmə cihazının orta xətası təyin olunduğu kimi 0,335% olur. Analıq cihazının isə multiplikativ xətası olmadığı üçün $\gamma_{\text{orta},s} = \gamma_a \cdot \ln D = 0,2 \cdot 2,35 = 0,47\%$ olur. Göründüyü kimi rəqəm ölçmə cihazı daha dəqiqdir.

Ən çox yayılmış elektrik və maqnit kəmiyyətlərinin törəmə vahidləri

Cədvəl.6.1.

Kəmiyyət	Vahidi	Azərbaycanca	Beynəlxalq	Başqa vahidlərlə ifadə olunma
İş, enerji, istilik miqdarı	Coul	C	J	nm (nyuton*metr)
Güc	Vatt	Vt	W	C/s (Coul/ saniyə)
Elektrik miqdarı	Kulon	Kl	C	A*s (Amper*saniyə)
Elektrik gərginliyi, potensiallar fərqi, e.h.q.	Volt	V	V	Vt/A (Vatt/Amper)
Elektrik sahəsinin xüsusi	Volt/me	V/m	V/m	-

gərginliyi	tr			
Elektrik müqaviməti	Om	Om	Ω	V/A
Elektrik keçiriciliyi	Simens	Sm	S	1/Om
Elektrik tutumu	Farad	F	F	KI/V
Maqnit induksiyası seli	Veber	Vb	Wb	V*san. (Volt*saniyə)
İnduktivlik və qarşılıqlı induktivlik	Henri	Hn	H	
Maqnit induksiyası	Tesla	TI	T	
Maqnit sahəsinin xüsusi gərginliyi	Amper/ metr	A/m	A/m	
Maqnit hərəkət qüvvəsi	Amper	A	A	
Tezlik	Hers	Hs	Hz	1/san.

6.20. Ölçmə qurğularının maneələrə davamlılığı

Maneələr dedikdə, ölçülən signalı təhrif edən müxtəlif təsirlər nəzərdə tutulur. Maneəyə davamlılıq dedikdə isə, cihazın maneələrin təsirinə qarşı durmaq bacarığı, yəni ölçülən signalı düzgün canlandırmaq qabiliyyəti nəzərdə tutulur.

Maneəyə davamlılıq "maneələri ləğvetmə dərəcəsi" parametri ilə korreksiya olunur:

$$P = 20 \lg \frac{U_{c+m}}{U_c} \quad [\text{db}] \quad (6.50)$$

burada: U_{c+m} – maneə ilə birgə qəbul olunan signalın gərginliyi; U_c – maneəsi ləğv olunan signalın gərginliyidir.

Maneəyə davamlılıq adətən signalla toplanan maneələrə, yəni additiv maneələrə normalaşırlar. Ümumiyyətlə isə maneələrin impuls və fluktuasiya növləri olur.

İmpuls maneələri dedikdə istənilən təsadüfi momentdə amplitudanın, fazanın, tezliyin və uzunluğun təsadüfi qiymətləri şəklində yaranan maneələr nəzərdə tutulur.

DÜİST-ə görə maneələrə davamlılıq impuls maneələrinə normalaşdırılır. Lakin, ona qarşı müxtəlif tədbirlər görülür (məsələn, maneələrin olmadığı və ya minimal olduğu momentlərdə ölçmələrin aparılması – "pəncərə" yaradılması).

Fluktuasiya maneələrinə müxtəlif təsadüfi proseslər daxildir. 20-60 Hs tezliklərdə harmonik maneəni buna numunə göstərmək olar. Bu cür maneələrə davamlılıq DÜİST üzrə normalaşdırılır.

Cihazın giriş dövrəsinin sxeminə baxaq (şək.6.21). Sxemə daxili müqavimətli signal mənbəyi, cihazın giriş müqaviməti, signal mənbəyi ilə cihazın girişini birləşdirən naqillərin müqaviməti, cihazın izolyasiyasının müqaviməti, cihazın və signal mənbəyinin yerlə birləşdirmə nöqtələri arasındakı müqavimət və maneənin ekvivalent e.h.q. –si daxildir.

Maneələr normal və ümumi növlərə bölünürlər. Normal növlü maneələr cihazın girişində, cihazı signal mənbəyi ilə birləşdirən naqillərdə xarici elektromaqnit sahələrinin təsiri hesabına yaranır. Naqillərin parametrləri və yerləşdirilməsi tam identik olduqda e.h.q.-lər kompensasiya olunurlar. Lakin, real şəraitdə belə olmadığı üçün cihazın girişində $e_H = e_{H1} - e_{H2}$ e.h.q. –si təsir edir.

Ümumi tipli maneələr isə cihazın və signal mənbəyinin yer nöqtələrinin potensialları fərqindən yaranır (e_0). Bu maneənin həm sabit, həm də dəyişən mürəkkəbəsi ola bilər. Bu e.h.q. cihazın girişində ümumi tipli maneənin normal mürəkkəbəsinə yaradır. Superpozisiya prinsipinə görə konturda ümumi cərəyan yaranır:

$$i = \frac{e_0}{r_2 + r_0 + z_H} \quad (6.51)$$

$R_{gir} \gg r_1 + r_0 + R_x$ olduqda r_2 - də düşən gərginlik bütünlüklə cihazın girişinə tətbiq olunur, yəni:

$$i = r_2 i_0 = \frac{e_0 r_2}{r_2 + r_0 + z_H} \quad (6.52)$$

Buradan görünür ki, bu maneə növü z_H –dən asılı olur. Ona görə də, siqnal mənbəyi yerlə birləşdirilibsə, cihazı yerlə birləşdirmək tövsiyə olunmur. Yəni, əgər A nöqtəsi yerlə birləşdirilibsə, onda $z_H=0$ olur və e_{HO} artır. Bu zaman yekun maneə $e_H=e_H+e_{HO}$ olur.

6.1. Maneələrle mübarizə üsulları

Ümumi növlü maneələrle mübarizə aşağıdakı üsullarla aparılır: cihazın giriş hissəsinin düzgün qurulması yolu ilə; ekranlama; qalvanik ayrılma; yerlə birləşdirmə nöqtələrinin düzgün seçilməsi.

Ümumi növlü maneələri ləğv etmək dərəcəsi aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$P_0 = 20 \lg \frac{e_0}{e_{NO}} \text{ [db]}. \quad (6.53)$$

Normal növlü maneələrle mübarizə üçün 4 üsul mövcuddur.

1. Süzmə üsulu. Cihazın girişində maneələri ləğv etmək üçün süzgeçlər (adətən RC) qoyulur. Bu, cihazın işləmə sürətini azaldır. Şəbəkə maneələrini (50 Hz) süzmək üçün passiv süzgeçlər çox böyük olduğundan adətən, aktiv süzgeçlərdən istifadə edirlər. Bu usuldan digərləri ilə yanaşı istifadə edirlər.

2. Kompensasiya üsulu. Bu üsulda cihaz üçün maneəni ayırma kanalı (MAK) (şəkl.6.22) yaradılır. Bu kanalda maneə işarəsini dəyişərək giriş siqnalı ilə

toplanır. Nəticədə ideal halda, maneə tamamilə kompensasiya olunur. Real halda isə qismən kompensasiya gedir. Bu üsul cihazın işləmə sürətini azaltmır. Adətən, bu üsul birinci üsulla birgə istifadə olunur.

3. Ölçmə nəticələrinin statistik emalı. Giriş kəmiyyətini n dəfə ölçərək onların riyazi gözləməsini və digər statistik momentlərini tapırlar. Bunun nəticəsində maneələr qismən ləğv olunur. Özü də təkrar ölçmələrin sayı n nə qədər çox olarsa, maneələrin ləğv olunması o qədər yaxşı olur.

Əvvəllər, hesablama qurğusunun tətbiq olunması zərurətinə görə bu üsul mürəkkəb hesab olunurdu. Mikroprosessorla qoşulmuş ölçmə cihazlarının inkişafı ilə əlaqədə bu üsul geniş tətbiq olunmağa başlamışdır.

4. Maneələrin integrallanması. Bu cür cihazlara integrallayan cihazlar deyilir. Ölçmənin nəticəsi çevirmə vaxtı ərzində signalın orta qiymətinə (integral qiymətinə) mütənəsib olur. Fərz edək ki, cihazın girişinə ölçülən signal və sinusoidal maneə təsir edir. Cihazda bu signalın ölçmə müddəti ərzində integrallanması gedir:

$$u = u_m + U_m \sin \omega t \quad (6.54)$$

$$U_{orta} = \frac{1}{t_i} \int_0^{t_i} u dt = u_x + \frac{U_m}{\omega t_i} (1 - \cos \omega t_i) \quad (6.55)$$

Alınan 2 mürəkkəbdən ikincisi maneə gərginliyinin orta qiyməti ($U_{m.orta}$) olur. Müəyyən çevirmələr aparıldıqda:

$$U_{m.opma} = \frac{U_m}{2\pi f t_i} * 2 \sin^2 \frac{2\pi f t_i}{T} \quad (6.56)$$

Maneənin ləğv olunması dərəcəsi aşağıdakı kimi tapılır:

$$\alpha = \frac{U_m}{U_{m.orta}} = \frac{\pi \frac{t_i}{T}}{\sin^2 \frac{\pi t_i}{T}}; \quad \Pi_{orta} = 20Lg \frac{U_m}{U_{m.orta}} \quad (6.57)$$

α parametrinin t_0 –dən necə asılı olmasına baxaq. T , $2T$, $3T$,... zaman momentlərində (şək. 6.23) α parametri sonsuzluğa yaxınlaşır. Ölçmə zamanı $t_0=nT$ ($n=1,2,3,\dots$) olduqda maneələr tamamilə yox olur. Çünki, period ərzində integral sıfıra bərabərdir (şək. 6.24). Təcrübədə isə şəbəkə tezliyinin (5%) qeyri – stabilliyi üzündən bu şərti ödəmək çox çətindir. Bundan ötrü, şəbəkənin tezliyinə nəzarət edən xüsusi sxemlər qurulmalıdır.

FƏSİL 7. ƏSAS ELEKTRİK DÖVRƏLƏRİ

7.1. İkiqütblülər

İkiqütblülər iki sıxacı (iki qütbü) olan qurğulardır. Onlardan biri giriş sıxacıdır və mənbəyə qoşulur. Digəri isə çıxış sıxaqlarıdır və digər elektrik dövrəsinə qoşulur.

Ümumi şəkildə ikiqütblünü şəkl.7.1,a- dəki kimi göstərilir. İkiqütblülər çıxışdakı gərginliyin və cərəyanın girişdəki gərginlikdən və cərəyandan asılılığına görə xətti və qeyri- xətti olurlar. Bu, onların tərkibindəki elementlərin xətti və ya qeyri- xətti olmasından asılıdır.

İkiqütblülər passiv və ya aktiv olurlar. Passiv ikiqütblülərin tərkibində aktivlərdən fərqli olaraq elektrik enerjisi mənbəyi olmur. Aktiv ikiqütblüyə nümunə olaraq tranzistoru, passivlərə isə R, L, C, LC, RC və RLC sxemlərini göstərmək olar (şəkl.7.1,b).

İkiqütblülərin nəzəriyyəsinin əsas məsələsi onun giriş və çıxış gərginlikləri və cərəyanları (U_1 , U_2 , i_1 , i_2) arasındakı asılılıqları (ikiqütblünün ötürmə tənliklərini) tapmaqdır. Tənliklərdəki kəmiyyətlərə isə ikiqütblünün parametrləri deyilir. İkiqütblülər nəzəriyyəsinin köməyi ilə ötürmə tənliklərinə əsasən ikiqütblünün sxemini sintez və təhlil etmək mümkündür.

7.2. Dördqütblülər

Dördqütblülər iki cüt sıxacı (dörd qütbü) olan qurğulardır. Onlardan ikisi giriş sıxaqlarıdır və mənbəyə qoşulur. Digər ikisi isə çıxış sıxaqlarıdır və yükə qoşulur.

Ümumi şəkildə dördqütblünü şəkl. 7.2- dəki kimi göstərilir. Dördqütblünün girişinə (1-1) verdiyi gərginliyi U və daxili müqaviməti Z olan elektrik enerjisi mənbəyi qoşulur. Çıxış sıxaqlarına (2-2) isə müqaviməti Z olan yük qoşulur. Giriş sıxaqlarındakı gərginlik U və çıxış sıxaqlarındakı isə U olur. Giriş sıxaqlarından i , çıxış

sıxaclarından isə i cərəyanları axır. Mənbə və yük kimi başqa dördqütblü də iştirak edə bilər.

Dördqütblülər çıxışdakı gərginliyin və cərəyanın girişdəki gərginlikdən və cərəyandan asılılığına görə xətti və qeyri- xətti olurlar. Bu, onların tərkibindəki elementlərin xətti və ya qeyri- xətti olmasından asılıdır.

Dördqütblülər passiv və ya aktiv olurlar. Passiv dördqütblülərin tərkibində aktivlərdən fərqli olaraq elektrik enerjisi mənbəyi olmur. Aktiv dördqütblüyə nümunə olaraq gücləndiriciləri, passivlərə isə LC və ya RC sxemlərini göstərmək olar.

Dördqütblülərin nəzəriyyəsinin əsas məsələsi onun giriş və çıxış gərginlikləri və cərəyanları (U_1, U_2, i_1, i_2) arasındakı asılılıqları (dördqütblünün ötürmə tənliklərini) tapmaqdır. Tənliklərdəki kəmiyyətlərə isə dördqütblünün parametrləri deyilir.

Dördqütblülər nəzəriyyəsinin köməyi ilə ötürmə tənliklərinə əsasən dördqütblünün sxemini sintez və təhlil etmək mümkündür.

Dördqütblünün giriş müqaviməti $Z_{g.1} = U_1 / I_1$ tənliyi ilə təyin olunur. Dördqütblünün giriş müqaviməti təkcə dördqütblünün xassələrindən deyil, həmçinin xarici dövrənin (yükün) xassələrindən də asılıdır. Bu sözlər çıxış müqavimətinə də aiddir. Ona görə də dördqütblünün parametrlərini təyin etdikdə fiksasiya olunmuş vəziyyətlərdən istifadə edirlər. Bunlara yüksüz gediş və qısa qapanma rejimləri aiddirlər.

Məsələn, çıxış sıxaclarını yükdən açıqda yüksüz gediş rejimində onun giriş müqavimətini ($Z_{y.g.1}$) və ya giriş sıxaclarını mənbədən açıqda yüksüz gediş rejimində onun çıxış müqavimətini ($Z_{y.g.2}$) təyin edirlər. Eynilə çıxış sıxaclarını qısa qapadıqda qısa qapanma rejimində onun giriş müqavimətini ($Z_{q.q.1}$) və ya giriş sıxaclarını qısa qapadıqda qısa qapanma rejimində onun çıxış

müqavimətini ($Z_{q,q,2}$) təyin edirlər. Bu parametrlərin təyin olunması, xüsusilə dördqütblü «qara yeşik» şəklində təqdim olunduqda, çox vacibdir.

Dördqütblünün aşağıdakı ötürmə funksiyalarından istifadə olunur: $H_u = U_2/U_1$ - gərginliyə görə kompleks ötürmə əmsalı (aktiv dördqütblülərdə, məsələn, gücləndiricilərdə gərginliyə görə güclənmə əmsalı adlanır); $H_i = \dot{I}_2/\dot{I}_1$ - cərəyana görə kompleks ötürmə əmsalı (aktiv dördqütblülərdə- cərəyana görə güclənmə əmsalı adlanır); $H_z = U_2/\dot{I}_1$ - kompleks ötürmə müqaviməti; $H_Y = \dot{I}_2/U_1$ - kompleks ötürmə keçiriciliyidir.

7.3. Elektrik süzgəcləri

Süzgəc dedikdə, müəyyən tezlikli siqnalları çıxışa ötürərək başqa tezlikli siqnalları zəiflədən elektron qurğuları nəzərdə tutulur. Aktiv süzgəclər dedikdə isə tərkibində gücləndirici element olan süzgəclər nəzərdə tutulur.

Süzgəclərin ən çox yayılmış növləri aşağı tezlikli, yuxarı tezlikli, zolaqlı və çəpərləyən süzgəclərdir. Süzgəclərin əsas xarakteristikası onun ötürmə əmsalının giriş siqnalının tezliyindən asılılığıdır (şək.7.3 və şək.7.4). Ötürmə əmsalı dedikdə, məlum olduğu kimi çıxış siqnalının amplitudasının, giriş siqnalının amplitudasına olan nisbəti nəzərdə tutulur.

Aşağı tezlikli süzgəclər (ATS) müəyyən f kəsmə tezliyinə qədər olan tezlikli siqnalları buraxıb, ondan yüksək tezlikli siqnalları saxlayırlar (şək.7.4,b). ATS- ə klassik nümunə inteqratorlardır. Sxemin süzülmə xüsusiyyəti kondensatorun dolub- boşalması ilə əlaqədardır. Kondensator ətalətli element olduğu üçün yüksək tezlikli siqnallara reaksiya verə bilmir. Ona görə də yüksək tezlikli siqnallar inteqrallanır. Kəsilmə tezliyinin

qiyməti RC elementlərinin qiymətindən asılıdır. Kəsilmə tezliklər artdıqca, müqavimətin sabit qiymətində tutumun qiyməti azalmalıdır. Ona görə də elektron sxemlərinə çox yüksək tezlikli siqnalların sxemə təsirini azaltmaq üçün həmin dövrlərdə sxemin ümumi nöqtəsi arasında kiçik tutumu nə qədər böyük götürürlərsə, kəsilmə tezliyi də o qədər az olar. Məs., qida mənbələrində şəbəkənin yaratdığı döyünməni azaltmaq üçün yüzlərlə və bəzən minlərlə mF tutumlu kondensator çıxışa paralel olaraq qoşulur.

Kəsilmə tezliyini təyin etmək üçün RC dövrəsinin zaman sabitinin $\theta = RC$ düsturundan istifadə etmək lazımdır. R müqavimətini girişdəki cərəyanın qiymətinə görə seçməklə C tutumu tapılır və standarta uyğun nominal qiymət götürülür və buna görə də kəsilmə tezliyi tapılır. Çıxışla giriş arasında kondensator qoyulduğu üçün aşağı tezlikli siqnallar bir başqa çıxışa ötürülə bilmir. Burada cərəyan kondensatorun lövhələrində dəyişən işarəli potensialların yaranması hesabına əmələ gəlir. Ona görə də tezlik nə qədər yüksək olarsa, cərəyan da o qədər böyük olar. Cərəyanın qiymətinə tutumun və müqavimətin qiymətləri də təsir edir. Tutum nə qədər kiçik olarsa, kəsilmə tezliyi də o qədər böyük olar. RC2 dövrəsi inteqrallayıcı kimi f - dən yüksək tezlikləri buraxmır.

Yuxarı tezliklər süzgeçlərində isə RC dövrəsi diferensiallayıcı rolunu oynayır və f_k tezliyindən aşağı tezlikləri zəiflədərək yuxarı tezlikləri çıxışa ötürür (şək.7.4,a).

Birlikdə bu iki süzgeç f_{k1} və f_{k2} tezlikləri arasında olan tezlikləri buraxır, digərlərini isə süzür. Burada f_{k1} kəsilmə tezliyini yuxarı tezliklər süzgeci, f_{k2} kəsilmə tezliyini isə aşağı tezliklər süzgeci yaradır (şək.7.4,v).

Çəpərləyici süzgəc f_{k1} və f_{k2} tezlikləri arasında olan tezlikləri zəiflədərk digərələrini isə çıxışa ötürürlər. Burada f_{k1} kəsilmə tezliyini aşağı tezliklər süzgəci, f_{k2} kəsilmə tezliyini isə yuxarı tezliklər süzgəci yaradır (şək.7.3,q).

Süzgəclər elektrotexnikada, elektronikada və b. sahələrdə maneələrin ləğv olunmasında geniş istifadə olunur.

7.4. Avtorəqs dövrləri

Xarici faktorların təsiri olmadan yaranan elektrik rəqslərinə avtorəqslər deyilir. Onları yaradan qurğulara isə avtorəqs generatorları deyilir. Sadə adlandırılan generatorlar elektronikada və elektronikanın tətbiq olduğu əksər sahələrdə çox geniş istifadə olunur. Alınan rəqslər sinusoidal və qeyri- sinusoidal ola bilər. Onlar qeyri- xətti rezonans gücləndiricilərindən və əks əlaqə blokundan ibarətdir (şək.7.5). Birinci bloka bipolyar tranzistorlu, sahə tranzistorlu və ya əməliyyat gücləndiricili kaskad və RC və ya LC rəqs konturu daxildir. Əks əlaqə dövrəsinin vəzifəsi düz əlaqə dövrəsinin çıxışındakı gərginliyi müəyyən qiymətlə və ya işarə ilə aktiv elementin girişinə verməkdən ibarətdir.

Avtorəqslərin yaranma mexanizmi belədir. Məlum olduğu kimi hər bir rəqs konturunda

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad \text{və ya} \quad f = \frac{1}{2\pi\sqrt{RC}} \quad (7.1)$$

tezlikli məxsusi rəqslər yaranır. Həmin tezlikli rəqslər üçün konturun daxili müqaviməti çox kiçik olduğu üçün onların çıxış qiymətləri böyük olur. Həmin çıxış rəqsləri aktiv element tərəfindən gücləndirilərək, əks əlaqə ilə əlavə enerji şəklində yenidən rəqs konturuna qaytarılır. Beləliklə, rəqs konturunda rəqslərin güclənməsi baş verir. Lazımi səviyyəyə çatdıqda, yəni əlavə olunan enerji və rəqs konturunda olan enerji itgisi

bərabərləşdikdə artım azalır. Sonradan əks əlaqənin verdiyi enerji konturda olan itgiyə bərabər olur. Bu zaman parametrləri stabil olan avtorəqslər alınır. Bundan ötrü generatorlarda amplitudlar balansı olmalıdır. Yəni düz və əks əlaqə dövrlərinin ötürmə əmsalları elə bir qiymət almalıdırlar ki, əlavə olunan enerji generatorda olan enerji itgisinə bərabər olsun. Əlavə olunan enerji itgisinin yerini doldurması üçün əks əlaqə signalının da işarəsi fazalar balansı şərtini ödəməlidir:

$$k_{düzə} \times k_{əə} = 1 \quad (7.2)$$

$$\phi_{düz} + \phi_{əks} = 360^\circ \quad (7.3)$$

Bu şərtlər yerinə yetirildikdə, stasionar rəqslər alınır. Generatorun parametrləri rəqs konturunun elementlərinin qiymətləri ilə xarakterizə edilir. Ona görə də dəqiq generatorlar qurulduqda, rəqs konturunun keyfiyyətinə çox fikir verilir.

Ən sadə generator RC rəqs konturu olan generatordur. Çünki induktivlik böyük həcmə malik olduğu üçün dəqiqlik vacib olmayan sxemlərdə keyfiyyət əmsalının böyük olduğuna baxmayaraq istifadə olunmur. Odur ki, keyfiyyət əmsalını artırmaq üçün təbii və süni rezonatorlardan (məs., kvarsdan) istifadə olunur. Kvarsın ekvivalent sxeminin tərkibində induktivlik L , dinamik $C1$ və statik $C2$ tutumlar və itgini xarakterizə edən R müqaviməti olan iki paralel budaq vardır. Birinci budağa L , $C1$ və R elementləri, ikinci budağa isə $C2$ elementi daxildirirlər.

Statik tutum kvarsın elektrodları arasındakı təbii tutum hesab olunur. Bu dövrdə ardıcıl və paralel rezonans hadisələri baş verə bilər. Ardıcıl rezonans L və $C1$ elementləri olan ardıcıl dövrdə, paralel rezonans isə L və $C2$ elementləri olan paralel dövrdə olur. Həmin parametrlər kvarsın ölçülərindən asılıdır. Məlum

düsturlarla kvarsın ölçüləri seçilir və lazım olan tezliklər yüksək stabililiklə alınır.

Kvarsın daha bir üstünlüyü ondan ibarətdir ki, ondan yüksək harmonikalı rəqslər də yüksək stabililiklə alınır. Bu da onun ölçülərini kiçik götürməyə imkan verir. Bundan başqa yüksək tezliyin alınması kvarsın ölçüləri ilə tərs mütanasibdir. Kvarsın xassələri temperaturdan asılı olduğu üçün çox yüksək stabililik tələb olunan sxemlərdə kvarslar xüsusi termostatlarda yerləşdirilir.

Aktiv süzgəclərlə generatorların ümumi fərqi generasiya şərtlərinin yerinə yetirilməsindən ibarətdir. Uyğun sxemlərin əks əlaqə əmsalını dəyişməklə onları süzgəc və ya generator kimi işlətmək mümkündür.

7.5. Kəsilməz və impuls siqnallarının elementar RC-dövrələrlə çevrilməsi

Dördqütblü adlandırılan bütün radiotexniki və elektrik qurğuları (gücləndiricilər, gecikdirmə xətləri, birləşdirmə kabelləri və s.) tezliyi məhdud buraxma zolağına malikdir. Sxemlərin keçid və bloklayıcı tutumları, transformatorların birinci tərəf dolaqlarının induktivliyi kimi parametrlər məhdud qiymətə malik olduqlarına görə kiçik tezlikli təşkiledicilərin sxemdən keçməsinə çətinləşdirirlər. Parazit tutumlar, daxili müqavimətlər, səpələnmə induktivlikləri öz növbəsində yüksək tezlikli təşkiledicilərin keçməsinə məhdudlaşdırırlar. Bunun nəticəsində hər hansı sxemin girişinə verilən impulsların forması dördqütblüdən keçdikdən sonra aşağı və yüksək tezliklərdəki tezlik və faza təhrifləri nəticəsində müəyyən dəyişikliklərə uğrayır.

Adətən dördqütblünün işləməsinə eksperiment nəticəsində yoxlamaq üçün impuls siqnalları generatorundan və ossilloqrafdan istifadə olunur. Sınaq

qurğusunun girişinə impulsar verilir, çıxış impulslarının formasına isə ossiloqrafın ekranında nəzarət olunur.

Təcrübə göstərir ki, bu cür yoxlama üçün P -şəkilli formaya malik olan (düzbucaqlı) impulslardan istifadə etmək məqsədə uyğundur. Bu, P- şəkilli impulsların həm aşağı, həm də yüksək tezlikli spektral təşkiledicilərlə zəngin olması, alınan nəticələrin daha əyani olması və bu cür impulsarı yaratmağın nisbətən sadə olması ilə əlaqədardır. Həm də müəyyən olunmuşdur ki, əgər çıxış P- şəkilli impulsar kiçik təhriflərlə alınarsa, o halda digər formalı impulsar daha kiçik təhriflərlə alınır.

Aşağı tezliklərdə məhdudlanmanın çıxış P- şəkilli impulsların formasına təsirini müəyyən etmək üçün aşağı tezlikli siqnalları məhdudlaşdıran sadə sxemə baxaq (diferensiaslama dövrəsi) (şək. 7.7,a).

Əgər bu sxemin girişinə sinusoidal gərginlik ($U_1 \sin \omega t$) versək, o halda giriş gərginliyinin tezliyi

1

azaldıqda $X_C = \frac{1}{\omega C}$ müqaviməti artır və çıxış gərginliyi azalır. Sxemin işləməsini iki cəhətdən- tezlik və impuls təsiri nöqtəyi- nəzərindən təhlil edək. Məlumdur ki, bu sxemin ötürmə əmsalının modulu

$$K = \frac{U_2}{U_1} = \frac{\omega RC}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}} \quad (7.4)$$

Şək.7.7,b- də (7.4) tənliyi əsasında qurulmuş $K=f(\omega)$ asılılığının qrafiki (tezlik xarakteristikası) göstərilmişdir. Qrafikdən göründüyü kimi tezlik kiçik qiymətlərə doğru dəyişdikdə tezlik xarakteristikası sürətlə sıfıra doğru əyilir.

İndi də sxemin (şək.7.7,a) girişinə P- şəkilli impuls (şək.7.7, c) verək. Bu halda sxemin çıxışındakı gərginlik aşağıdakı düsturla təyin edilir:

$$U_2(t) = U e^{-\frac{t}{RC}} \quad (7.5)$$

Şək.7.7,q- də çıxış impulsunun forması göstərilmişdir. İmpulsun 0-t_i hissəsində «təpəsinin» aşağı düşməsi (ab hissəsi) baş verir. Bu aşağı düşmə C kondensatorunun R rezistoru vasitəsilə boşalması nəticəsində yaranır (bu halda giriş sıxaclarının impuls mənbəyinin daxili müqaviməti ilə qısa qapadığı fərz olunur). Əgər mənbənin daxili müqavimətinin R-ə görə çox kiçik olduğunu fərz etsək və müşahidə anını t=t_i nöqtəsinə keçirsək, o halda kondensatorun boşalmasını aşağıdakı ifadə ilə müəyyən etmək olar:

$$U_2(t) = \Delta U_2 e^{-\frac{t}{RC}} \quad (7.6)$$

Beləliklə, tezlik xarakteristikasının aşağı tezliklərdə əyilməsi impulsun «təpəsinin» aşağı düşməsinə səbəb olur və arxa cəbhəsinin dikliyinə təsir etmir. «Təpənin» nisbi aşağı düşmə qiyməti belə müəyyən olunur:

$$\delta = \frac{\Delta U_2}{U} = \frac{U_2(0) - U_2(t)}{U_2(0)} = \frac{U - Ue^{-\frac{t_i}{RC}}}{U} = 1 - e^{-\frac{t_i}{RC}} \quad (7.7)$$

Təcrübədə impuls gücləndiriciləri üçün əksər hallarda $\delta \ll 1$, ona görə də $X \ll 1$ olduqda təxmini $1 - e^{-x} \approx x$ asılılığına əsasən yazmaq olar:

$$\delta = \frac{\Delta U_2}{U} \approx \frac{t_i}{RC} \quad (7.8)$$

Tezlik xarakteristikasının əyilməsini impulsun «təpəsinin» aşağı düşməsi ilə əlaqələndirmək üçün (7.8)

ifadəsindən $RC = \frac{t_i}{\delta}$ qiymətini (7.4) düsturunda yerinə yazsaq:

$$K = \sqrt{1 + \left(\omega t_i / \delta \right)^2} \quad (7.9)$$

Adətən tezlik xarakteristikasının ω_a aşağı həddini

$$K = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0.707$$

səviyyəsində müəyyən etmək qəbul olunur. Bu halda

$$\frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{\omega t_i / \delta}{\sqrt{1 + (\omega t_i / \delta)^2}} \quad (7.10)$$

buradan $\omega_a t_i / \delta = 1$, yəni aşağı tezlik həddi ω_a (0.707 səviyyəsində) və təpənin» aşağı düşməsi aşağıdakı asılılıqlarla əlaqələnilir:

$$\omega_a = \delta / t_i; \quad f_a = \omega_a / 2\pi = 0.16 \delta / t_i \quad (7.11)$$

(7.10) ifadəsindən görünür ki, ω_a həddi nə qədər böyükdürsə, yeni aşağı tezlik təhrifləri hissəsi nə qədər çoxdursa, bir o qədər δ nisbi aşağı düşmə böyük alınur.

Dördqütblünün buraxma zolağının yuxarı həddi ilə impulsun forması arasında əlaqəni müəyyən etmək üçün şəkl.7.8,a- da göstərilmiş sxemdən istifadə edək.

Bu sxemin girişinə sinusoidal $U_1 \sin \omega t$ gərginliyi verdikdə ötürmə əmsalinin modulu

$$K = \frac{U_2}{U_1} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}} \quad (7.12)$$

Bu ifadə əsasında qurulmuş qrafik çıxış signalının yüksək tezliklər hissəsində aşağı əyildiyini göstərir (şəkl.7.8,q). Yüksək tezliklərdə əyilmə impulsun ön ($t_{\text{öc}}$) və arxa (t_{ac}) cəbhələrinin təhrifinə səbəb olur. Tezlikdən asılı olaraq əyilmə ilə çıxış signalının ön cəbhəsinin müddəti arasında əlaqəni müəyyən etmək üçün ön cəbhənin müddəti aşağıdakı tənlikdən təyin edilir:

$$0.1U = U(1 - e^{-\frac{t_1}{RC}}); \quad 0.9U = U(1 - e^{-\frac{t_2}{RC}});$$

$$t_{\text{öc}} = t_2 - t_1 = RC \ln 0.1 + RC \ln 0.9. \quad (7.13)$$

Buradan $t_{\text{oc}}=2.2RC$.

$RC= t_{\text{oc}}/2.2$ - nin qiymətini (7.12) ifadəsində yerinə yazsaq və yüksək tezliklərdə buraxma zamanı ω_j -ni $\frac{1}{\sqrt{2}}=0.707$ səviyyəsində qəbul etsək, alarıq:

$$\frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega_j t_{\text{oc}} / 2.2)^2}} ;$$

$$\text{buradan } \omega_j = 2.2/t_{\text{oc}}; f_j = \frac{2.2}{2\pi t_{\text{oc}}} = \frac{0.35}{t_{\text{oc}}} . \quad (7.14)$$

Beləliklə, aşağıdakı qaydanı həmişə yadda saxlamaq lazımdır: xarakteristikanın aşağı tezliklərdə əyilməsi impulsun «təpəsinin» aşağı düşməsinə, yüksək tezliklərdə əyilməsi isə impulsun ön və arxa cəbhəsinin müddətinin artmasına səbəb olur.

FƏSİL 8. PAYLANMIŞ PARAMETRLİ DÖVRƏLƏR

8.1. Paylanmış parametrlə dövrələr haqqında ümumi məlumat

İndiyə qədər L , C və R elementlərindən ibarət elə dövrələrə baxılırdı ki, onların parametrləri müəyyən nöqtələr ətrafında toplanmışdı: induktivlik makarada (makaranın maqnit sahəsinin enerjisi onun maqnit keçiricisində lokallaşmışdır); tutum kondensatorunda toplanıb (elektrik sahəsinin enerjisi kondensatorun lövhələri arasında lokallaşmışdır); aktiv müqavimət rezistorda toplanıb (rezistorda elektrik enerjisinin istiliyə çevrilməsi rezistorun çərəyan keçirən təbəqəsində həyata keçirilir). Bu çür parametrlə dövrələrə toplanmış parametrlə dövrələr deyilir.

Lakin bütün dövrələri həmişə toplanmış parametrlə dövrələr şəklində göstərmək mümkün deyil. Məsələn, rabitə xəttində, fiderdə, antennada, dalğaötürəndə və s. elektromaqnit enerjisinin ötürülməsini hesablayan zaman

nəzərə alınmalıdır ki, elektrik və maqnit sahələri bu qurğuların bütün uzunluğu boyu paylanmışdır və elektromaqnit enerjisinin istiliyə çevrilməsi həmçinin qurğunun bütün uzunluğu boyu baş verir. Bu dövrlərdə qurğunun bütün uzunluğu boyu paylanmış induktivliklərə, tutumlara və aktiv müqavimətlərə rast gəlirik. Ona görə də bu dövrlərə paylanmış parametrlili dövrlər deyilir.

Bu dövrlərdə sonlu kiçik sahənin çıxışındakı gərginlik və cərəyan girişdəki gərginlik və cərəyandan həm qiymətinə görə, həm də fazasına görə fərqlənilir. Odur ki, paylanmış dövrlərin istənilən nöqtəsindəki gərginlik və cərəyan həm zamanın, həm də fəza koordinatlarının (məsələn, dövrənin başlanğıcından həmin nöqtəyə qədər olan məsafənin) funksiyası olur.

Qeyd edək ki, dövrlərin paylanmış və ya toplanmış parametrlili növlərinə bölünməsi şərtidir. Çünki, eyni bir dövrə işlədiyi tezlikdən asılı olaraq həm toplanmış, həm də paylanmış parametrlili sistem kimi baxıla bilər. Həqiqətən, əgər dövrənin girişində sinusoidal gərginlik mövcuddursa, elektromaqnit rəqslərinin yayılma sürətinin sonlu olduğuna görə (ışığın sürətinə yaxındır) rəqslər bir period ərzində $L = \frac{c}{f} T = \frac{c}{f}$ qədər məsafə qət edəçəklər (burada, c - işığın sürəti, f - rəqslərin tezliyidir).

Odur ki, məsafə nə qədər böyük olarsa, rəqslərin son nöqtəyə geçikməsi də o qədər böyük olaçaqdır. Dövrənin uzunluğu rəqslərin perioduna nisbətən çox böyük olarsa, bu dövrə paylanmış parametrlili sistem olur və çıxış gərginliyi və cərəyanı zamandan və məsafədən asılı olur.

Dövrənin uzunluğu rəqslərin periodundan kiçikdirsə, onda geçikmə baş vermir və çıxışdakı gərginlik və ya cərəyan ancaq zamanın funksiyası olur. Bu dövrlərə toplanmış parametrlili dövrlər deyilir. Məsələn, uzunluğu 30 sm olan koaksial kabel maksimal tezliyi 8,5

mHs olan televiziya siqnalları üçün toplanmış parametrlı ($l=s/f=3\cdot 10^8/(8,5\cdot 10^6)=35\text{ m}$), desimetrli dalğalar üçün isə (l- onlarla santimetrə cətır) paylanmış parametrlı sistem olur. Uzunluğú 1 km olan koaksial kabel isə televiziya siqnalları üçün də paylanmış parametrlı sistem olur.

Paylanmış parametrlı dövrələr elektrotexnikada və radioteleviziya texnikasında cox geniş yayıldığı üçün onların təhlilinə baxaq.

8.2. Bircins uzun xətlərin paylanmış parametrləri

Uzun xəttlər müxtəlif konstruksiyaya malikdirlər. Məsələn, iki məftilli hava xətti paralel, izolyasiyasız 2 məftildən ibarətdir. Onlar izolyatorlar vasitəsilə xüsusi dayaqalara birləşdirilir. Simmetrik kabel dövrəsi 2 biri-birinə burulmuş izolyasiyalı məftillərdən ibarətdir. Koaksial kabel silindrin içərisində yerləşdirilmiş fasiləsiz kəsikli məftildən ibarətdir.

Uzun xəttlər elektrik xassələri vahid xətt uzunluğuna gətirilmiş ilkin parametrlərlə (məftil rabitəsi zamanı xəttin 1 kilometrə nisbətən və radio rabitəsi zamanı xəttin 1 metrə nisbətən) xarakterizə olunurlar.

İlkin parametrlər aşağıdakılardır: xəttin vahid uzunluğunun aktiv müqaviməti R (Om/km və ya Om/m), xəttin vahid uzunluğunun induktivliyi L (Hn/km və ya Hn/m), xəttin vahid uzunluğunun tutumu S (F/km və ya F/m) və xəttin vahid uzunluğunun izolyasiyasının keçiriciliyi (Çm/km və ya Çm/m). Məsələn, iki məftilli xəttin müqaviməti $R=2\Delta l/S=2000\Delta/Br^2$ [Om/km], burada p - 20ES temperaturda məftilin materialının xüsusi müqaviməti [$\text{Om}\cdot\text{m}/\text{mm}^2$]; l - xəttin uzunluğu [m]; S -məftilin en kəsiyi sahəsi [mm^2]; r - məftilin radiusudur [mm].

20ES- dən fərqli temperaturlarda məftilin müqaviməti aşağıdakı kimi hesablanır: $R_t=R[1+\Phi_t(T-20E)]$, burada Φ_t - temperatur əmsalı [$1/\text{dərəcə}$] və T -temperaturdur. Belə ki, 1 km uzunluqlu və 4 mm diametrlı mis məftilin 20ES temperaturda $f = 0$ tezliyi üçün müqaviməti 2,84 Om/km-dir.

Səth effektinin olması (tezlik artdıqda cərəyanın məftilin daxili təbəqələrindən onun səthinə qovulması)

tezliyin artması ilə aktiv müqavimətin artmasına gətirib çıxarır.

İnduktivlik L vahid uzunluqlu kontura ilişən maqnit selinin bu seli yaradan çərəyana olan nisbətidir. Xəttin induktivliyi xariçi və daxili intuktivliklərdən toplanır. Xariçi induktivlik xəttin həndəsi ölçüləri ilə təyin olunur və tezlikdən asılı deyil. Daxili induktivlik isə məftillərin materialından, onların diametrindən və tezlikdən asılıdır.

Səth effekti tezlik artdıqça daxili induktivliyi azaldır. Məsələn, iki məftilli mis dövrənin kilometrlik induktivliyi $L=4[\ln(l_{\text{məf.}}/r+k_{\text{s.e.}})]/10^4$ düsturuna görə məftillərin radiusu $r=2$ mm, məftillər arasındakı məsafə $l_{\text{məf.}}=200$ mm, $f=10$ Hs (maqnit nüfuzluluğu $\gamma=1$ və səth effekti əmsalı $k_{\text{s.e.}}=1,8$) olduqda, $1,89$ mHn/km olur.

Tutum Ç vahid uzunluqlu xəttə düşən elektrik yükünün xəttin məftilləri arasındakı gərginliyə olan nisbətidir. İki məftilli xəttin tutumu $\text{Ç}=\gamma/36\ln(l_{\text{məf.}}/r)$ mF/km olur, burada γ - məftillər arasındakı fəzada olan materialın dielektrik nüfuzluluğudur. Məsələn, iki mis məftilli hava dövrəsinin kilometrlik tutumu məftillərin radiusu $r=2$ mm, məftillər arasındakı məsafə $l_{\text{məf.}}=200$ mm olduqda (havanın dielektrik nüfuzluluğu $\gamma=1$) $7,4$ nF/km olur.

Keciriçilik G izolyasiyanın təkmil olmaması ilə əlaqədardır və vahid uzunluqlu xəttin məftilləri arasındakı izolyasiyanın keciriciyliyinə aktiv toplananını təşkil edir. Hava xətlərində izolyasiyanın keciriciyliyi iqlim şəraitindən (rütubətdən, temperaturdan və s.), izolyatorların səthinin təmizliyindən və s. asılıdır.

İzolyasiyanın keciriciyliyi tezlik artdıqça artır (xüsusilə kabel dövrələri üçün). Buna səbəb dielektrikdə itgilərin artmasıdır. Hava dövrələri üçün $G=G_0+k_{\text{itgi}}*f$ [Çm/km] olur, burada H_0 - sabit çərəyanda izolyasiyanın keciriciyliyi, k_{itgi} - dəyişən çərəyanda dielektrikdə yaranan itgiləri nəzərə alan əmsal, f - tezlikdir.

Kabel dövrələri üçün $G=G_0+Ttg^*$ [Çm/km] olur, burada tg^* - dielektrik itgiləri buçağının tangensidir.

İlkin parametrləri daxil etdikdən sonra birçins uzun xətlər anlayışını dəqiqləşdirmək olar. Birçins dedikdə elə xətlər nəzərdə tutulur ki, onların ilkin parametrləri onun bütün uzunluğu boyu dəyişməsin.

HİSSƏ 2. ELEKTRONİKANIN ƏSASLARI

FƏSİL 9. ELEKTRONİKANIN İNKİŞAFININ QISA TARİXİ

9. 1. Elektronikanın predmeti

İnsan cəmiyyətinin inkişafının müasir mərhələsi elektronikanın insanların həyat və fəaliyyətinin bütün istiqamətlərinə artma sırası ilə nüfuz etməsi ilə bağlıdır. Elektronika sahəsində olan nailiyyətlər əhəmiyyətli dərəcədə mürəkkəb elmi- texniki problemlərin uğurla həllinə, elmi tədqiqatların effektivliyinin artmasına, yeni maşın və avadanlığın yaranmasına, effektiv texnologiyaların və idarəetmə sistemlərinin işlənməsinə, informasiyanın toplanması və emalı proseslərinin inkişafına kömək edir.

Elektron elmi və texnikası çərçivəsində, elmi tədqiqatların predmeti elektron və digər yüklü hissəciklərin elektromaqnit sahələri ilə qarşılıqlı təsiri qanunlarının öyrənilməsi və bu qarşılıqlı təsirin informasiyanın ötürülməsi, toplanması, yadda saxlanması və emalı, eyni zamanda digər zəruri problemlərin həll olunması məqsədi ilə elektromaqnit enerjisinin çevrilməsində istifadə olunan elektron cihazlarının yaradılmasıdır. Elektronun həddən artıq kiçik ətalətə malik olması, həm elektron cihazının işçi sahəsində (makrosahələrdə), həm də atom daxilindəki sahələrdə

(mikrosahələrdə) molekullarla və ya kristal qəfəslərlə onun qarşılıqlı təsirindən 10^{12} Hs tezliyə qədər elektromaqnit rəqslərinin qenerasiyası, çevrilməsi və qəbulu üçün, həmçinin infraqırmızı, görünən, rentgen və qammaşüalanmalarının (10^{12} - 10^{20} Hs) qəbulu və çevrilməsi üçün istifadə etməyə imkan verir. Elektromaqnit spektrinin öyrənilməsi elektronikanın inkişafının xarakterik xüsusiyyətidir.

Elektron proseslərinin və hadisələrinin öyrənilməsinin nəticələri, həmçinin, elektron cihazlarının və qurğularının yaradılması metodlarının işlənməsi, elektron texnikasının müxtəlif vasitələrində özünü göstərir. Bu tətbiq 2 istiqamətdə gedir: müxtəlif təyinatlı elektron cihazlarının yaradılması, onların istehsal texnologiyası və sənaye istehsalı; elektron cihazları əsasında insanın elmi və praktiki fəaliyyətinin müxtəlif sahələrində istifadə olunan və mürəkkəb məsələləri həll etməyə qadir olan avadanlıqların yaradılması.

9.2. Elektronikanın təsnifatı və inkişaf perspektivləri

Elektronika özündə 3 əsas tədqiqat sahəsini birləşdirir: vakuum elektronikasi, bərk cisimli elektronika və kvant elektronikasi. Bu sahələrdən hər biri iş prinsipi yaxın olan elektron cihazlarının işlənməsi üçün fundamental əhəmiyyətə malik müxtəlif fiziki- kimyəvi hadisələri və proseslərin tədqiqini, həmçinin bu cür cihazların hazırlanması və hesablanması üsullarını özündə birləşdirir.

9.2.1. Vakuum elektronikasi

Vakuum elektronikasi sahəsindəki əsas tədqiqatların aşağıdakı istiqamətləri mövcuddur: elektron emissiyası (xüsusilə, termo- və fotoemissiya, tunel emissiyası); elektronların və ionların selinin formalaşdırılması və bu selin idarə olunması; rezonatorların, yavaşıcı sistemlərin və enerjinin daxilətmə və xaricətmə qurğularının köməyi ilə elektromaqnit sahələrinin formalaşdırılması; katod lüminessensiyası; yüksək dərəcəli vakuumun fizikası və texnikası (onun alınması, saxlanması və ölçülməsi); elektron cihazlarının işlənməsi və hazırlanma texnologiyası ilə əlaqədar istilik-fiziki proseslər; elektrodların və izolyatorların səthindəki fiziki- kimyəvi proseslər; səthlərin emalı texnologiyası (o cümlədən elektron, ion və lazer emalı); qazboşalma cihazlarının daxilində qazın optimal tərkibinin, təzyiqinin alınması və saxlanması və s.

Vakuum elektronikasının inkişafının əsas istiqamətləri aşağıdakı növ elektrovakuum cihazlarının yaradılması ilə əlaqədardır; elektron lampaları (diodlar, triodlar, tetrodlar, pentodlar və s.); ən yüksək tezlikli (ƏYT) elektrovakuum cihazları (maqnetron, klistron, qaçan və əks dalğalar lampaları və s.); güclü relyasiyalı cihazlar (girotronlar, ubitronlar və s.); difraksiya hadisələri əsasında işləyən cihazlar; elektron- şüa və fotoelektron cihazlar (kineskoplar, vidikonlar, superortikonlar, elektronoptik çeviricilər, fotoelektron vurucuları və s.); qazboşalma cihazları (tiratronlar, qazboşalma indikatorları və s.); rentgen boruları və s.

9.2.2. Bərk cisimli elektronika

Bərk cisimli elektronika, elektronikanın bir bölməsidir. O, bərk cisimlərdə gedən elektron proseslərini öyrənməklə yanaşı həm də həmin proseslərin

geniş tezlik diapazonunda (sabit cərəyandan rentgen və γ - şüalanmasına qədər), elektromaqnit enerjisinin çevrilməsi ilə məşğul olur.

Bərk cisimli elektronikanın praktiki vəzifəsi- elektromaqnit rəqslərinin generasiyası, gücləndirilməsi, indikasiyası, elektromaqnit enerjisi sellərinin idarə olunması, yaddaş, emal və əksolunma qurğularında hesab və məntiq əməllərinin yerinə yetirilməsi üçün istifadə olunan elektron bərk cisimli cihazların və qurğuların yaradılmasıdır.

Elektrovakuum cihazlarına nisbətən bərk cisimli elektron cihazlarının bir sıra üstünlükləri var: kiçik ölçüləri; aşağı işçi gərginliyi; daha yüksək etibarlılığı və uzun ömrü, zərbələrə və titrəyişə davamlılığı, ucuzluğu və s.

Bərk cisimlərdə elektronların həddən artıq konsentrasiyası atom örtüklərində lokallaşdırılmış elektronlar üçün (10^{22} - 10^{24} sm^{-3}), hərəkət edən elektronlar üçün (10^{18} - 10^{22} sm^{-3}) bu tip cihazların praktiki olaraq məhdudiyyət olmadan miniaturlaşdırılması üçün imkan yaradır. Bu zaman ölçülər mikrometrin hissələrinə qədər azala bilər.

Bərk cisimli elektronika aşağıdakı bölmələrdən ibarətdir; yarımkeçiricilər elektronikasi- yarımkeçirici maddələrdə elektron proseslərini öyrənir və onların əsasında elektron cihazları və qurğuları yaradır; maqnitoelektronika- maqnit materiallarındakı elektronlarla elektromaqnit sahələrinin qarşılıqlı təsirini öyrənir və onların əsasında elektromaqnit enerjisinin sellərinin idarə olunması üçün bərk cisimli elektron cihazları və qurğuları, həmçinin maqnit domenləri əsasında yaddaş qurğuları yaratmaqla məşğul olur; dielektrik elektronikasi- dielektriklərdə, xüsusilə dielektrik təbəqələrində elektron proseslərinin öyrənilməsi ilə məşğul olur. Bu öyrənmədən həm metal kontaktlar vasitəsilə dielektrik təbəqəsinə

elektronların injeksiyasına əsaslanan cihazlar yaratmaq üçün, həm də onların digər bərk cisimli elektron cihazları üçün istifadə edirlər; xüsusi bərk cisimli cihazlar pyezoelektriklərin, seqnetoelektriklərin və piroelektriklərin əsasında yaradılır.

Bərk cisimli elektronikada maqnit yarımkeçiricilərinin, şüşəyə bənzər yarımkeçiricilərin, yarımmetal-ların, kompozisiyalı materialların, xüsusilə müxtəlif yarımkeçiricilərin epitaksial təbəqələrindən təşkil olunmuş heterostrukturların tətbiqi artır. İstifadə olunan fiziki hadisələrin və cihazların hazırlanması prinsiplərinin xüsusiyyəti bərk cisimli elektronikada aşağıdakı istiqamətlərin ayrılmasına səbəb oldu: çox yüksək tezlikli bərk cisimli elektronika; optoelektronika- bərk cisimlərdə elektronlarla optik diapazonlu elektromaqnit şüalanması-nın qarşılıqlı təsirini öyrənir və bunun əsasında cihazlar və qurğular hazırlayır (şüalanmanın mənbəyi və qəbuledicisi, optronlar, çox yüksək sürətli EHM- lərin elementləri, lif-optik rabitə xətləri, informasiyanın emalı və əks olunması qurğuları və s.); akustoelektronika- akustik dalğalarla və rəqslərlə bərk cisimlərin elektronlarının qarşılıqlı təsirini öyrənir və bunun əsasında miniatür bərk cisimli, xüsusilə informasiyanın analoq şəklində emalı üçün cihazlar hazırlayır.

Krioelektronika- elektromaqnit sahələrinin aşağı temperaturalarda bərk cisimlərdəki yük daşıyıcıları ilə qarşılıqlı əlaqəsi əsasında işləyən elektron cihazlarını ha-zırlayır. Bərk cisimli elektronika aşağıdakı məsələləri həll edir: bərk cisimli materialların (yarımkeçirici, dielektrik, maqnit və s.) xassələrinin öyrənilməsi; materialların strukturunun xüsusiyyətlərinin və qarışıqlarının bu xassələrə təsiri; müxtəlif materialların təbəqələri arasındakı bölmədə sərhədlərin və səthlərin xassələrinin öyrənilməsi; kristalda müxtəlif tipli keçiricilikli epitaksiya,

diffuziya, ion daxiledilməsi (implantasiyası) və b. sahələrin yaradılması; yarımkeçirici materiallar əsasında plazma zəhərlənməsi, optik, elektron, ion və rentgen litoqrafiyası metodlarının köməyi ilə dielektrik və metal təbəqələrinin alınması; geterokeçidlərin və ya çoxtəbəqəli strukturların yaradılması; dinamik qeyri- bircinsliliyin tədqiqi; mikron və submikron ölçülü funksional qurğuların, həmçinin bu parametrlərin ölçülməsi metodlarının yaradılması.

Bərk cisimli elektronikanın əsas istiqaməti yarımkeçiricilər elektronikasıdır. Bu istiqamət müxtəlif tipli yarımkeçirici cihazların; yarımkeçirici diodların, tranzistorların, tiristorların müxtəlif integrasiya dərəcəli analoq və rəqəm integral sxemlərinin, optoelektron cihazlarının (ışıq diodlarının, fotodiodların, fototranzistorların, optronların, işıq və fotodiodların matrislərinin) işlənməsi və hazırlanması ilə məşğul olur.

Yarımkeçiricilər elektronikası yarımkeçirici materiallarda elektromaqnit sahəsi ilə elektronların qarşılıqlı münasibətini tədqiq etməklə və bu münasibətdən elektromaqnit enerjisinin çevrilməsi üçün istifadə edilən elektron cihazları və qurğuları yaradılması ilə məşğul olur.

Yarımkeçirici elektronikanın köməyi ilə xalq təsərrüfatının bütün sahələrində istifadə olunan kiçik qabaritli, yüksək etibarlıqlı, enerjini az tələb edən yarımkeçirici cihazlar və qurğular yaradılmışdır.

Yarımkeçiricilər elektronikasının inkişafı yarımkeçiricilər fizikasında və bərk cisimlərin kvant nəzəriyyəsidəki fundamental nailiyyətlərin sayəsində mümkün olmuşdur. Yarımkeçiricilər elektronikasının işinin əsasında aşağıdakı elektron prosesləri və xassələr durur; hərəkətli yük daşıyıcılarının iki tipinin eyni zamanda mövcudluğu (mənfi- keçiricilik elektronlarının və müsbət deşiklərin) iki tipli- elektron və deşik elektrik keçiriciliyinin

yanması; qarışıq atomlarının tipindən və konsentrasiyasından elektrik keçiriciliyinin tipinin və qiymətinin güclü asılılığı; yarımkəçiricilərin xassələrinin işıq, istiliyin, elektrik və maqnit sahələrinin, mexaniki gərginliyin təsirinə yüksək həssaslığı; yarımkəçiricilərin hissələrinin sərhəddində müxtəlif tipli elektrik keçiriciliyinin və ya metal- yarımkəçirici kontaktında praktiki olaraq bir istiqamətli keçiriciliyə malik olan elektron- deşik keçidinin (p-n keçidi) və ya Şottki baryerinin yaranması; p-n keçidlərinə cərəyanın keçməsi istiqamətində gərginlik tətbiq etdikdə yük daşıyıcılarının əsas hesab olunduğu hissələrdən qeyri- əsas hesab olunan digər hissələrə injeksiyası qabiliyyəti; potensial baryerdən içərisindən daşıyıcıların tunel keçidi; güclü elektrik sahəsində yük daşıyıcılarının ləvin çoxalması; daşıyıcıların effektiv kütlələrini və hərəkətiliyini dəyişməklə, bir energetik zondan digərinə keçməsi (Qann effekti əsasında) və b.

Yarımkəçiricilər elektronika üçün vacib əhəmiyyətə tranzistor effekti (açıq keçidin cərəyanı ilə bağlı keçidin cərəyanını idarə etmək), həmçinin yarımkəçiricinin nazik təbəqəsinin (kanalın) keçiriciliyinin sahə ilə modulyasiyası malikdirlər.

Bu effektlər əsasında əsas tipli yarımkəçirici cihazlar, bipolyar və sahə tranzistorları işləyirlər.

Bərk cisimli elektronikanın başqa əsas istiqamətləri- akustik dalğalarla kondensə olunmuş mühitdə keçiricilik elektronları ilə (akustoelektronika), optik diapazonun elektromaqnit dalğalarının bərk cisimlərdəki elektronlarla (optoelektronika), elektromaqnit sahələrinin aşağı temperaturalarda bərk cisimlərdəki yük daşıyıcıları ilə (krioelektronika) qarşılıqlı əlaqəsi əsasında işləyən elektron cihazlarının, həmçinin, pyezoelektrik effekti əsasında (pyezoelektronika), bərk cisimlərdə maqnit

hadisələri əsasında işləyən elektron cihazlarının yaradılmasıdır.

9.2.3. Kvant elektronikası

Kvant elektronikası, bərk cisimlərin atomlarının və molekullarının məcburi şüalanması effekti əsasında elektromaqnit rəqslərinin generasiyası və güclənməsi üçün üsulların və qurğuların yaradılması ilə əlaqədar olan problemlərlə məşğul olur. Kvant elektronikasının ən əsas istiqamətləri- optik kvant generatorlarının (lazerlərin), kvant gücləndiricilərinin, molekulyar gücləndiricilərin və s. yaradılmasıdır. Kvant elektronikasını başqa elektron cihazlarından fərqləndirən əsas cəhətlər onların rəqslərinin tezliklərinin yüksək stabilliyə malik olması, məxsusi küylərin aşağı səviyyədə olması, şüalanma impulsunda böyük enerjinin olmasıdır. Bu üstün cəhətlər yüksək dəqiqlikli məsafəölçənlərin, tezliyin kvant standartlarının, kvant giroskoplarının, çoxkanallı optik rabitə sistemlərinin, uzaq kosmik rabitələrin, real təyinatlı texnoloji avadanlığın, tibbi sistemlərin və başqa qurğuların yaradılması üçün istifadə oluna bilər.

9.3. Krioelektronika

Krioelektronika (kriogen elektronikası), elektronika-nın kriogen temperaturlarında (120EKelvindən aşağı), bərk cisimlərdə yük daşıyıcıları ilə elektromaqnit sahəsinin qarşılıqlı təsirinin spesifik effektlərini və bu effektlər əsasında işləyən elektron cihazlarının və qurğularının yaradılmasını tədqiq edən bir istiqamətdir.

Müasir krioelektronikanın aşağıdakı bölmələri mövcuddur: krioelektron materialşünaslıq- krioelektron materialların alınması və onların elektrik- fiziki

xassələrinin öyrənilməsi ilə məşğul olur; çox yüksək tezlikli krioelektronika; ifrat keçiricilikli krioelektronika ifrat keçiricilik, cozefson effekti, bir rabitəli ifrat keçiricilərdə maqnit selinin kvantlanması hadisələri əsasında işləyən krioelektron cihazların hazırlanması ilə məşğul olur; hesablama texnikası üçün integral krioelektronikası yuxarıda adı çəkilən hadisələrdən təbəqə strukturlu integral sxemlərin qurulmasında istifadə edir (bu zaman çox böyük həcmli yaddaş qurğuları, sürətli çevirgəclər və digər qurğular yaratmaq olur); infraqırmızı krioelektronika infraqırmızı dalğalar diapazonunda işləyən krioelektron blokların və sistemlərin yaradılması ilə məşğul olur.

Krioelektronikanın fiziki əsaslarını kriogen temperaturlarında ifrat keçiricilərdə, yarımkeçiricilərdə, keçiricilərdə və dielektriklərdə baş verən müxtəlif hadisələr və effektlər təşkil edir.

İfrat keçiricilik, bəzi keçirici materiallarda müəyyən aşağı kritik temperaturlarda elektrik müqavimətinin sıçrayışla yox olmasına deyilir (1911, Kamerling- Onnes X.).

Krioelektronika üçün ən əsas effektlərdən biri ifrat keçiricilikdir. Bu hadisənin praktiki tətbiqi cozefson effekti ilə bağlıdır. Bu effektin mahiyyəti iki ifrat keçiricini ayıran nazik dielektrik təbəqəsindən ifrat keçirici cərəyanın axmasından ibarətdir.

Bəzi dielektriklər kriogen temperaturlarında dielektrik nüfuzluluğunun tətbiq olunan gərginlikdən kəskin asılılığı ilə xarakterizə olunur. Bu hadisənin əsasında tutumu elektriklə idarə olunan kondensator yaratmaq olar.

9.4. Pyezoelektronika

Pyezoelektronika (pyezo- yunanca sıxmaq, təzyiq etmək c elektronika) elektronikanın bir bölməsi olub, pyezoelektrik effekti əsasında təsir edən cihazların və funksional qurğuların işlənməsi və praktiki istifadəsi ilə məşğul olur.

Pyezoelektronika 1888- ci ildən sonra pyezoelektrik effekti kəşf olunduqdan sonra tədqiq olunmağa başlanmışdır.

Pyezoelektrik effekti mexaniki deformasiyanın təsiri altında dielektriklərin polyarlaşması hadisəsinə (düz pyezoeffekt) və elektrik gərginliyinin təsiri altında dielektriklərdə mexaniki deformasiyanın yaranması (əks pyezoeffekt) hadisələrinə deyilir. Bu effektlər ilk dəfə 1880- ci ildə fransız alimi P. Kuri tərəfindən seqnet duzları kristallarında tapılmışdır. Pyezoelektrik effektinin mövcudluğunun əsas şərti dielektrikin strukturunda simmetriya mərkəzinin olmamasıdır (polyar istiqamətlərin olması). Pyezoelektrik effektinə malik olan dielektriklərə pyezoelektriklər deyilir. Pyezoelektrik effekti bəzi yüksək müqavimətli yarımkeçiricilərdə də müşahidə olunur. Bu maddələrə pyezoyarımkeçiricilər deyilir.

9.5. Elektronikanın inkişaf perspektivləri

Elektronikanın bütün istiqamətlərinin inkişafı elektromaqnit rəqslərinin spektrinin yeni- yeni sahələrinin praktik öyrənilməsi, generasiya olunan rəqslərin güc səviyyələrinin artırılması, elektron cihazlarının əsas parametrlərinin (məxsusi küylərin səviyyələrinin azaldılması, qənaətcillik, işləmə sürəti, etibarlılıq, ölçülər, kütlə və s.) yaxşılaşdırılması ilə müşahidə olunur. Lakin bu proses qeyri- bərabər sürətlə

baş verdiyindən, o, həm elmin və texnikanın inkişafından, həm də praktik tələbatdan asılı olur.

Elektron avadanlıqlarının təkmilləşdirilməsi və onların texniki- iqtisadi göstəricilərinin artırılması element bazasının inkişafı ilə birbaşa asılılıqdadır. Lakin bu o demək deyildir ki, yarımkəçirici cihazlar vakuum cihazlarını tam aradan çıxarır. Hər bir elektron cihazının öz üstünlüyü və spesifik tətbiq sahəsi olduğu üçün onların hər birinin inkişafı çox vacibdir. Bu zaman həmin elektron cihazlarının inkişafı onların texniki- iqtisadi göstəricilərinin yaxşılaşması ilə birgə getməlidir.

FƏSİL 10. VAKUUM ELEKTRONİKASI

10.1. Elektron lampaları

Elektron lampalarının və digər qurğularının konstruksiyasının əsasını elektron emissiyası hadisəsi təşkil edir. Elektron emissiyası elektronların bərk və bəzi maye cisimləri tərk edərək vakuum və ya qaz mühitinə çıxması hadisəsidir.

cisimləri qızdırmaqla (termoelektron emissiyası), elektromaqnit dalğaları ilə təsir etməklə (fotoelektron emissiyası), onların səthini mexaniki emal etməklə (ekzoelektron emissiyası), yüklü zərrəciklərlə bombardman etməklə (ikinci elektron emissiyası-dinatron effekti) elektronlara, cismi tərk etmək üçün lazım olan əlavə enerjini verməklə elektron emissiyasını yaratmaq olar. Bunlardan başqa çox güclü elektrik sahəsinin təsiri ilə də elektron emissiyasını (avtoelektron emissiyasını- tunel emissiyasını) almaq olar. Sürətləndirici elektrik sahəsinin çıxış işinin azalması doyma cərəyanının artmasına səbəb olur (Şottki effekti). Elektron emissiyası mənbəyi kimi metallar, yarımkəçiricilər və maye civə işlədilir.

Elektron lampaları şüşə, metal- şüşə, metal-keramika və ya keramikadan hazırlanmış və içərisində vakuum (10^{-7} mm civə sütunu) yaradılmış, həmçinin elektrodlar (anod, katod və torlar) yerləşdirilmiş qapalı hermetik balondan ibarətdir. Zəif güclü lampaların anodu Ni, Mo və Ta əsaslı materialdan, güclü elektron lampalarının anodu isə mis və ya kovardan (tərkibində 18% co və 29% Ni olan Fe əsaslı ərinti) və katodu adətən volframdan hazırlanır.

10.1.1. Elektrovakuum diodları

Diod (di- iki c elektrod)- elektrik cərəyanını birtərəfli keçirən ikielektrodlu elektrovakuum və ya yarımkeçirici cihazdır. Elektrovakuum diodunun bilavasitə və ya dolayı yolla qızdırılan katod (elektron mənbəyi) və anod (elektron qəbuledicisi) elektrodları olur. Bilavasitə qızdırılan katodlar gecəriyən metaldan hazırlanır və ondan keçən elektrik cərəyanı ilə qızdırılır. Bilavasitə qızdırılan katodlar sərf olunan gücün və katodun qızmasına lazım olan vaxtın azlığına görə əlverişlidir. Lakin bu zaman katoda sabit cərəyan verilməlidir. Çünki, dəyişən cərəyanda katodun temperaturu və buna uyğun olaraq emissiya cərəyanı dəyişən cərəyanın tezliyi ilə dəyişir. Odur ki, onlardan səyyar (batareya və ya akumulyatorla işləyən) cihazlarda istifadə edilir (şek.10.1).

Qızdırılan katodlu diodlarda qızdırıcının iki, katodun isə bir sıxacı olur. Bu cür katodların kütləsi və istilik tutumu böyük olur. Ona görə də, qızdırıcı dəyişən cərəyanla qidalandırıldıqda (U_q) katodun temperaturu sabit və emissiya cərəyanı stabil olur. Lakin, bu halda tələb olunan güc çox olur (2-4 V_t və daha çox). Katodun qızma vaxtı da nisbətən çox (1-2 dəq.) olur. Anod materialı kimi yüksək temperatura davamlı olan Ni, Mo və Ta götürülür.

Elektrovakuum diodlarının anodunda müsbət (U_a), katodunda isə mənfi gərginlik olduqda diodun anodundan elektron cərəyanı keçir, içərisinə qaz, hidrogen və ya cive buxarı doldurulmuş diodlarda isə elektron və ya ion cərəyanları əmələ gəlir. Əks halda isə bu diodlarda cərəyan olmur.

Diodlardan əsasən dəyişən cərəyanın düzləndirilməsi, detektirləmə, tezliyin çevrilməsi və artırılması, elektrik dövrlərinin dəyişdirilməsi məqsədi ilə radiotexnikada və digər sahələrdə istifadə olunur.

Diodların istifadəsi zamanı onun parametrləri və volt- amper xarakteristikası əsas götürülür. Diodun əsas xarakteristikası anod xarakteristikasıdır ($Q_q = \text{const}$ olduqda $I_a = f(U_a)$) (şək.10.2).

Anod xarakteristikasını ilkin (OA), artan (AB) və doyan sahələrə bölmək olar. İlkin sahədə cərəyanın olması onunla əlaqədardır ki, qızdırılan katoddan çıxan elektronların bir hissəsi anodun tormozlayıcı qüvvəsinə üstün gəlib anoda çatır və qiyməti milliampereyin yüzdə bir hissələri qədər olan cərəyan əmələ gətirir. Anoda 0,5-0.7 V mənfi gərginlik verildikdə anodun ilkin cərəyanı kəsilir. Anod cərəyanı anodla katod arasındakı məsafənin kvadratının tərs qiyməti ilə mütənasibdir:

$$I_a = k U_a^{3/2} \quad (10.1)$$

burada k- elektrodların formasından və elektrodlar arasındakı məsafədən asılı olan əmsaldır.

Katoddan çıxan elektronların hamısı anoda çatdıqdan sonra doyma başlayır və cərəyan sabit qalır.

Diodların işçi xassələrini müəyyən edən əsas parametrləri aşağıdakılardır: lampanın volt- amper xarakteristikasının dikliyi, daxili müqaviməti və anodun səpəlmə gücü.

Birinci parametr $Q_q = \text{const}$ olduqda aşağıdakı düsturla müəyyən olunur:

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_a} \quad (10.2)$$

Diodun daxili müqavimətini aşağıdakı kimi tapmaq olar:

$$R_i = \frac{1}{S} = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} \quad (10.3)$$

Anodun buraxıla bilən səpələnmə gücü $P_a = U_a I_a$ olur.

Real diodların volt- amper xarakteristikasının dikliyi 1-50 mA/V və daxili müqaviməti 20-1000 Om olur.

10.1.2. Elektrovakuum triodları

Triod (tri- üç c elektrod)- üç elektrodlu elektron lampasıdır. Elektrodları bilavasitə və ya dolayı yolla qızdırılan katod, anod və idarəedici tordur (şək.10.3).

Triodun iş prinsipi belədir. Tor və anod dövrlərinin və qızdırıcının bir sıxacları ümumi nöqtəyə bağlanır. Ümumi nöqtə yerlə birləşdirilir və potensialı sıfıra bərabər qəbul olunur. Digər elektrodların potensialı ümumi nöqtəyə görə hesablanır.

Diodla triodun fərqi ondan ibarətdir ki, tor- katod gərginliyi hesabına anod cərəyanının qiyməti arta və ya azala bilər. Tor gərginliyi sıfıra bərabər olduqda triod özünü diod kimi aparır. Torun gərginliyi mənfi olduqda katoddan çıxan elektronlar tordan çətin keçirlər və anod cərəyanı azalır. Torun gərginliyinin bağlayıcı qiymətində anod cərəyanı sıfıra bərabər olur.

Torun gərginliyi müsbət olduqda onun elektrik sahəsi anodun elektrik sahəsi ilə üst- üstə düşür və anod cərəyanı artır. Bu zaman elektronların bir hissəsi tora düşərək tor cərəyanı (I_t) yaradır. Tor gərginliyinin müəyyən qiymətində anod cərəyanı doyma halına çatır. Bu zaman tor cərəyanı da artır. Tor və anod cərəyanlarının cəmi katoddakı emissiya cərəyanına bərabər olur.

Tor cərəyanını azaltmaq üçün tora mənfi sürüşmə gərginliyi verilir. Odur ki, tordakı gərginliyi kiçik diapazonda dəyişməklə anod cərəyanını sıfırdan doyma qiymətinə qədər dəyişmək olar (şək.10.4).

Anod (U_a) və tor (U_t) potensialları ilə anod cərəyanı (I_a) arasındakı əlaqə həm analitik, həm də qrafik şəkildə verilə bilər. Analitik ifadə aşağıdakı tənliklə ifadə olunur:

$$I_a = k(U_t - U_a)^{3/2} \quad (10.4)$$

burada D - torun nüfuzluğunu təyin edən parametrlər və k - elektrodların formasından asılı olan əmsaldır.

Triod lampalarının əsas parametrləri aşağıdakılardır: gücləndirmə əmsalı μ , volt- amper xarakteristikasının dikliyi S və lampanın daxili müqaviməti R_i .

Triodun güclənmə əmsalı anod cərəyanının sabit qiymətində aşağıdakı düsturla təyin olunur:

$$\mu = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_t} \quad (10.5)$$

Triodun volt- amper xarakteristikasının dikliyi anod gərginliyinin sabit qiymətində aşağıdakı düsturla təyin olunur:

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_t} \quad (10.6)$$

Triodların güclənmə əmsalının asılı olduğu konstruktiv parametrlər torun nüfuzluğudur ($D = 1/\mu$). Torun nüfuzluğunun artması ilə güclənmə əmsalı azalır.

Hər üç parametrlər volt- amper xarakteristikasının eyni bir nöqtəsinə aid edilərsə, onda $\mu = R_i S$ tənliyi lampanın daxili tənliyi adlanır.

Triodlar az, orta və böyük gücə malik olan generator lampası və ya qəbuledici- gücləndirici lampa kimi istifadə olunur. Miniatur və nüvistor növləri daha çox yayılmışdır. Triodlar ifrat yüksək tezlik diapazonunda işləmək üçündür və halqavari çıxışlı (rezonatorlara və ya

radiodalğaötürənlərə asan birləşdirmək üçün) elektrodları olur.

10.1.3. Elektrovakuum tetrodları

Triod lampalarının əsas çatışmayan cəhəti idarəedici torla anod elektrodları arasındakı keçid tutumunun çox və güclənmə əmsalının az olmasıdır. Triodun volt- amper xarakteristikasını yaxşılaşdırmaq üçün tetrod lampalarından istifadə edirlər.

Tetrod [tetra- dörd c elektrod]- katod, anod, idarəedici və ekranlayıcı torları olan 4 elektrodlu elektron lampasıdır. Yüzlərlə mHs- ə qədər tezliklərdə qəbuledici-gücləndirici lampa və ya generator lampası kimi istifadə edilir (şək.10.5).

Tetrod lampasının kontstruksiyası triodun konstruksiyasından anodla idarəedici tor arasında yerləşdirilmiş ikinci torun- ekranlayıcı torun olması ilə fərqlənir. Bu elektrod anodun elektrik sahəsinin idarəedici tora və katoda təsirini azaldır. Ekranlayıcı torun yerləşdirilməsi lampanın güclənmə əmsalını azaldır.

Ekranlayıcı torun yerləşdirilməsi sayəsində trioda nisbətən bir neçə dəfə az keçid tutumu alınır, bu da yüksək tezliklərdə işlədikdə çox vacibdir və anod cərəyanını azaltmadan və anod- tor xarakteristikasını anod gərginliyinin sabit qiymətlərində böyük tor gərginlikləri tərəfinə sürüşdürmədən güclənmə əmsalını bir neçə min dəfə artırmağa imkan verir (şək.10.6).

Tetrodların çatışmayan cəhəti anod cərəyanının ikinci emissiya- dinatron adlanan effektindən asılı olmasıdır. Dinatron effektinin yaranması lampanın gücləndirmə rejimini təhrif edir. Ekranlayıcı torun anoda nisbətən daha yüksək müsbət potensiala malik olduğu halda ikinci elektronlar anoddan ekranlayıcı tora gedərək

anod cərəyanını azaldır. Belə təhrifləri aradan qaldırmaq üçün anod ilə ekranlayıcı tor arasındakı fəzada potensialın azaldılması lazımdır.

10.1.4. Elektrovakuum pentodları

Pentod [penta- beş c elektrod]- katod, anod, idarəedici, ekranlayıcı və qoruyucu (antidinatron) torlarından ibarət 5 elektrodlu elektron lampasıdır (şək.10.7). Tetrodun anod xarakteristikasının əyilməsi anoda çatan sürətli elektronların təsiri ilə onun səthindən 2- ci elektron emissiyası (dinatron effekti) nəticəsində baş verir. Bu hal lampanın işinə mənfi təsir göstərir. Pentodlarda dinatron effektini aradan qaldırmaq üçün ekranlayıcı torla anod arasında qoruyucu tor yerləşdirilir. Pentodlardan alçaq və yüksək tezlikli elektrik rəqslərini generasiya etmək, gücləndirmək və başqa məqsədlər üçün istifadə edilir.

Pentod tetroddan, güclənmə əmsalinin və daxili müqavimətinin çox olması, keçid tutumunun isə az olması ilə fərqlənir.

Pentodun daha bir üstün cəhəti anod mənbəyinin aşağı gərginliyində, təhrif olunmadan, siqnalı gücləndirməkdir.

Pentodun əsas parametrləri aşağıdakılardır:

1. Volt- amper xarakteristikasının dikliyi anod, ikinci və üçüncü torların gərginliklərinin sabit qiymətində aşağıdakı düsturla təyin olunur:

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_{t1}} \quad (10.7)$$

2. Lampanın daxili müqavimətini birinci, ikinci və üçüncü torların gərginliklərinin sabit qiymətində aşağıdakı kimi tapmaq olar:

$$R_i = \frac{\frac{\Delta U}{a}}{\frac{\Delta I}{a}} . \quad (10.8)$$

3. Güclənmə əmsalı $\mu=R_i S$ düsturu ilə təyin olunur.

Elektrodlararası gərginlikdən və dövrəyə qoşulma sxemlərindən asılı olaraq pentod müxtəlif rejimlərdə işləyə bilər. Lampanın 20 növdən çox xarakteristikası var. Onlardan təcrübədə ən çox istifadə olunanı anod xarakteristikasıdır (şəkl.10.8).

10.2. Elektron- şüa və fotoelektron cihazları

Elektron- şüa cihazlarının (EŞc) işləmə prinsipi, bir nazik dəstəyə (elektron şüasına) fokuslanan, intensivliyinə və fəzada vəziyyətinə görə idarə olunan, cihazın mişeni (ekranı) ilə qarşılıqlı təsirdə olan elektron selinin istifadəsinə əsaslanır. Elektron dəstəsi elektron proyektoru tərəfindən formalaşdırılır və intensivliyinə görə idarə olunur. Elektron şüasının ekranda vəziyyətinin dəyişməsi meyletdirici sistemlə yerinə yetirilir. Mişenin fiziki keyfiyyətindən asılı olaraq elektrik və işıq siqnalları formasında təqdim olunmuş informasiyanın müxtəlif çevrilmələri baş verir.

Elektron- şüa cihazlarında elektron şüası müəyyən olunmuş qanunla meyl edərək (açılış) ekranın lokal işıqlanmasını təmin edir və ya onun miqdarı optik xassələrini dəyişir (ışıq buraxması, əksəlmə və s.). Bununla da elektrik siqnallarının zaman ardıcılığını görünən iki ölçülü təsvirə çevirir. Bu cür elektron- şüa cihazları informasiyanın əks olunması və ya qəbul edici qurğuları kimi istifadə edirlər.

Elektron- şüa cihazlarının əsas nümayəndələri kineskoplar (televiziya qəbul edicilərinin baş elementi),

indikator elektron- şüa cihazları (radiolokasiya sistemlərində, EHM- in displeylərində), ossiloqrafik elektron-şüa cihazları (ölçmə texnikasında) geniş istifadə edilir.

Qəbuledici elektron- şüa cihazlarının mişen materialı kimi ya elektron həyəcanlandırması zamanı işıq şüalandıran maddələr (məs., lüminofor), ya da işıqlapanlı elektron- şüa cihazlarında olduğu kimi şüa ilə idarə olunan işıq modulyasiyalı mühit istifadə edilir. İnformasiya ya birbaşa elektron- şüa cihazlarının ekranında, ya da (proyeksiyalı elektron- şüa cihazlarında) ayrıca əksətmə və ya şəffaf ekranda əks olunur.

Görünən təsvirli və yaddaşlı elektron- şüa cihazlarının, uzun müddət, bir dəfə yazılmış informasiyanı dəfələrlə canlandırmaq qabiliyyəti olur.

Yüksək işləmə sürəti, böyük informasiya tutumu və enerjinin çevrilməsinin yüksək effektivliyi elektron- şüa cihazlarının iqtisadiyyatın çox sahələrində geniş istifadəsinə imkan yaratdı (real zaman miqyasında böyük həcmli informasiyanı çevirmək və əks etdirmək üçün).

10.2.1. Kineskoplar

Kineskop, televiziya təsvirlərini canlandırmaq üçün qəbuledici elektron- şüa cihazıdır. Kineskop ağ- qara və rəngli təsvirlərin bilavasitə cihazın ekranında və ya təsvirləri xarici ekrana proyektləndirdikdə müşahidə etmək üçün tətbiq olunur.

Monoxrom (adətən ağ- qara) və rəngli kineskoplar mövcuddur. Kineskop, içərisində vakuum yaradılan (şək.10.9) kolbadan ibarətdir. Kolbanın ekran adlanan tərəfində daxili tərəfdən lüminofor təbəqə ilə örtülüb. Kolbanın əks tərəfində isə elektron dəstəsi formalaşdıran elektron proyektoru yerləşir. Fokuslanmış (adətən

elektrostatik sistem vasitəsilə) elektron şüasının düşdüyü nöqtələrdə ekran işıqlanır. Nöqtənin işıqlığı, düşən elektron dəstəsinin intensivliyindən, rəngi isə ekranı formalaşdıran zaman istifadə olunan lüminoforun tərkibindən asılıdır. Elektron dəstəsinin intensivliyi idarəedici elektroda (modulyatora) verilən videosiqnala uyğun olaraq dəyişir. Meylətmə sistemi (adətən maqnit) vasitəsilə modulyasiya olunmuş elektron dəstəsi, verici televiziya cihazının rastrı ilə sinxronizasiya olunmuş, düzbucaqlı rastrla açılır. Bu zaman lüminessent ekranda verilən təsvir sətir- sətir və kadr- kadr işıqlanır. İnsan görməsinin ətaləti sayəsində ekranda tərpənməz təsvir görünür.

Elektron dəstəsinin meylətməsi sahəsində potensialın sabitliyini təmin etmək üçün kolbanın daxilində yan tərəfə və boğaz hissəsinə anodun sıxaclarına birləşdirilən elektrik keçiricilikli təbəqə çəkilir. Bu təbəqə ilə kolbanın xaricinə çəkilən keçirici təbəqə yüksək gərginlikli düzləndiricinin süzgəcinin kondensatorunu əvəz edir. Təsvirin işıqlığını artırmaq üçün və ion ləkəsinin yaranmasını aradan qaldırmaq üçün (ekranın mərkəzində mənfi ionlar selinin təsiri ilə lüminoforun yanmasını) lüminoforun səthinə elektronlar üçün şəffaf olan alüminium təbəqəsi tozlandırılır (0,05-0,3 mkm qalınlıqlı). Hərəkət edən obyektləri canlandırmaq üçün işıqlanma müddəti 0,01- 0,1 san. olan lüminoforlar götürülür. Ağa yaxın rəngin ekranda alınması üçün işıqlandıqda əlavə rəng verən iki lüminoforun tozşəkilli qarışığından istifadə edilir. Lüminofor kimi gümüşlə aktivləşdirilmiş sink sulfiddən (göy işıqlanma) və gümüşlə və ya mislə aktivləşdirilmiş sink- kadmium sulfiddən (sarı işıqlanma) istifadə olunur.

10.2.1.1. Rəngli elektron - şüa borusu

Elektronikanın inkişafı onun müxtəlif sahələrində yeni nailiyyətlərin əmələ gəlməsinə səbəb oldu. Bu nailiyyətlərdən biri televiziya təsvirlərini təbii rənglərində verməkdən ibarətdir. Rəngli televiziya təsvir daha aydın və dəqiq alınır. Çünki, ağ- qara ekranda təsvirin eyni parlaqlığa və müxtəlif rəngə malik olan qonşu elementləri biri- birinə qarışır, rəngli ekranda isə onlar ayrı- ayrı görünürlər.

1766- cı ildə İ. Nyuton aşağıdakı kəşfi etmişdir: ağ rəng dəstəsini şüşə prizmadan buraxdıqda, çıxan dəstə işıq bənövşəyidən (dalğa uzunluğu- 400-450 mm) qırmızıya (dalğa uzunluğu- 600-700 mm) qədər olan fasiləsiz rənglər spektrini özündə əks etdirəcək. Əgər müxtəlif rəngli işıq sellərini biri- birinə qarışdırsaq, onda yekun rəng onların hər ikisindən fərqlənəcək. Məsələn, yaşıl və qırmızı rənglərini qarışdırmaqla sarı rəngi, yaşıl, qırmızı və göy rəngləri qarışdırmaqla ağ rəngi almaq olar. Yekun rəng göz tərəfindən yeni bir ton kimi qəbul olunur. Çünki, göz, mürəkkəb rəngin ayrı- ayrı tərkib hissələrini görmək imkanına malik deyil.

Normal insan gözü 180- a qədər rəngi seçə bilir. Lakin, insan gözü ücrəngli xassəyə malik olduğu üçün, onlar rəngli təsvirləri ötürmək üçün zəruri deyil. Bu xassənin mahiyyəti ondan ibarətdir ki, üç əsas rəngi (yaşıl, qırmızı və göy) müəyyən proporsiyada qarışdırdıqda insan gözünün qəbul etdiyi istənilən rəngi almaq olar. Odur ki, bütün rəngləri ötürməyə ehtiyac yoxdur. Adı çəkilən 3 rəng ona görə seçilir ki, onlar vasitəsilə daha çox rəng almaq olur. Bundan başqa, bu rənglərdən heç birini başqa rəngləri qarışdırdıqda almaq olmur. Standarta görə qırmızı rəngi R, yaşılı- G və göyü isə- B hərfi ilə işarə edirlər.

Rəngli televiziyada rəngli təsvirləri almaq üçün eyni vaxtlı və növbəli üsullardan istifadə olunur. Əgər eyni zamanda ekrana 3 mənbədən qırmızı, yaşıl və göy rəngli şüaları göndərsək, onda 3 biri- birini örtən dairedən ibarət fiqur alınır. İki- iki örtülən sahələrdə narıncı- sarı, göy-yaşıl və purpur rəngləri alınır. 3 rəngin düzgün proporsiyada toplanması ağ rəngi verir. Bu üsul eyni vaxtlı adlanır.

Rənglərin növbəli toplanması prinsipi ondan ibarətdir ki, ağ rəng mənbəyinin qarşısında işıq süzgəcləri olan fırlanan disk qoyulur. Bu zaman ekranda rənglərin növbə ilə toplanması baş verir. Diskin fırlanması sürəti çox böyük olmalıdır ki, ekranda rənglərin dəyişməsi bilinməsin.

Texniki- iqtisadi göstəricilərinin yaxşı olduğuna görə rənglərin eyni vaxtlı toplanmasından istifadə edirlər.

Hal- hazırda qəbul olunan təsvirin keyfiyyətini saxlamaqla ötürülən tezliklər zolağını standart qədər azaltmaq üçün texniki üsullar tapılmışdır. Bundan ötrü 3 videosignal ayrıldıqdan sonra onlar 3 proeksiyalanan elektron- şüa borusunun idarəetmə elektrodlarına verilir. Bu elektron- şüa borularının lüminoforları 3 əsas rənglərdən birini işıqlandırır.

Rəngli EŞC- nin quruluşu şəkl.10.10- də verilmişdir. Onun ekranı «qırmızı», «yaşıl» və «göy» tipli, mozaika şəklində yerinə yetirilmiş, yüz minlərlə katodlüminoforlardan ibarətdir. Bu o deməkdir ki, elektrik şüasının təsirindən həmin katodlüminofor uyğun rənglə işıqlanır. Nöqtəvi katodlüminoforlar R, G və B rəngli 3 nöqtədən ibarət qrupları təşkil edirlər. Bu qruplar sətir boyu sisteməlik olaraq təkrar olunurlar. Növbəti sətirdə katodlüminoforlar başqa ardıcılıqla elə düzülür ki, 3 müxtəlif rəngdən ibarət olan (lüminofor triadaları) üçbucaqları əmələ gətirirlər.

Bu ekrana uyğun olaraq elektron- şüa borusunda 3 ayrıca elektron proyektoru olur. Onlardan hər biri bir rəngi işıqlandırmaq üçündür. Elektron şüalarından hər biri ekrana çataraq lüminofordakı öz nöqtəsinə düşməsindən ötrü ekrandan müəyyən məsafədə kölgə maskası yerləşdirilir. Maskə elektron şüalarını buraxmaq üçün çoxlu sayda deşiklərdən ibarət olan sferik formalı 0,15 mm qalınlıqlı metal vərəqdən düzəldilir. Deşiklərin sayı lüminofor triadalarının sayına bərabər olur. Deşikləri elə yerləşdirirlər ki, müxtəlif bucaqlar altında keçən 3 elektron şüalarından hər biri açılış zamanı ancaq öz katodlüminoforunu işıqlandırır. Məsələn, «qırmızı» siqnallarla modulyasiya olunan elektron şüası ancaq «qırmızı» katodlüminoforu qıcıqlandırır, «göy» işıqın elektron şüası- ancaq «göy» katodlüminoforu, «yaşıl» işıqın elektron şüası- ancaq «yaşıl» katodlüminoforu qıcıqlandırır. Bu şüaların intensivliyi biri- birindən asılı olmayan uyğun E_R , E_G , E_B gərginliklərinin elektron- şüa borusunun idarəedici elektroduna verilməsi ilə idarə olunur. Bu zaman sətirlər və kadrılar üzrə açılış, bütün şüalar üçün bir ümumi meyletmə sistemi ilə eyni zamanda yerinə yetirilir.

Lüminoforların bir triadasını 3 proyektorun elektron şüaları ilə eyni zamanda bombardman etdikdə rənglər qarışır və yekun rəng hər bir şüanın enerjisindən asılı olur. Məsələn, sarı rəngi, qırmızı və yaşıl rənglərin toplanması hesabına almaq olar. Bu zaman göy rəngin enerjisi çox az olmalıdır. Əgər qırmızı rəngin enerjisi artarsa, onda ekran qızarmağa başlayır və s. Şüaların enerjisinin mütənasibliyinə riayət etdikdə ağ rəng alınır. Bu cür elektron- şüa borusuna 3 rəng siqnalı verildikdə, onda hər bir şüa digər şüalardan asılı olmayaraq, ekranda öz ilkin rəngində təsvir yaradacaq. Bu ilkin

təsvirlər toplanaraq onların nisbətindən asılı olaraq rəngli və ya ağ- qara təsvir yaradacaq.

Rənglərin düzgün canlandırılması elektron- şüa borusunda maskanın olmasından çox asılıdır. Odur ki, maskaların iş prinsipini araşdıraraq. Üçrəngli elektron- şüa borusunun elektron optikası elə qurulub ki, maskanın üzərindəki bir nöqtədə bütün 3 şüalar görüşsünlər. Nəticədə, açılışların təsirindən elektron şüaları ardıcıl olaraq maskanın bütün dəşiklərindən keçirlər. Odur ki, eyni zamanda maskanın dəşiyinin bilavasitə arxasında yerləşən 3 nöqtəvi katodluminioforu qıcıqlandırır. Maska olmasaydı, şüalardan hər biri sətirlər və kadrılar üzrə hərəkət edərək «öz» nöqtələrindən başqa, digər rənglərin də nöqtələrini qıcıqlandırardı. Bu da rənglərin düzgün canlanmamasına səbəb olardı. İdeal rəngli elektron- şüa borusu hazırlamaq çətin olduğu üçün sonuncunun boğaz hissəsində təsvirləri mərkəzləşdirmə maqnitləri (1,2,3) qoyulur. Bu korreksiyaedici maqnitlər sistemi maskanın bütün səthində şüaların görüşməsinə (1), təsvirin təmizliyini (2) və əlavə olaraq göy şüanın yerdəyişməsinə (3) təmin edirlər. Şüaların düzülməsi elektromaqnitlərinin konstruksiyası şəkl.10.11- də göstərilmişdir. Üç ədəd P şəkilli nüvəyə şüaların sətir və kadr düzlənməsi makaraları geydirilir. Bu makaraları televizorun uyğun blokundan parabolik formalı kadr və sətir tezlikli cərəyanlar daxil olur. Bundan başqa, nüvənin uyğun yuvalarına diametrinə görə maqnitlənmiş sabit maqnitlər (7) taxılır. Ucluqların (8) daxilində sabit və dəyişən maqnit sahələrinin güc xəttlərinin istiqaməti elə olmalıdır ki, elektron şüaları (9) borunun boğazının radiusu üzrə əlavə meyletmə alsın. Sabit maqnitləri döndərməklə elektron şüalarını ekranın bir nöqtəsinə salmaq olar (statik düzlənmə), lakin ekranın kənarlarında şüalar yenə ayrılırlar. Sətir və kadr tezlikli cərəyanların

amplitudunu dəyişməklə ekranın kənarlarında da şüaları görüşdürmək olar (dinamik düzlənmə). Göy şüanı üfqə istiqamətdə hərəkət etdirən maqnit (3) bütün 3 şüanı daha dəqiq görüşdürmək üçündür.

Rəngin təmizliyi maqnitləri (2) elektron şüalarının «özgə» katodlüminofora düşməsinin qarşısını alır (məsələn, «qırmızı» şüanın «göy» katodlüminofora, «göy» şüanın «yaşıl» katodlüminofora və s.).

Rəngli elektron- şüa borularının mənfi cəhətləri ağ- qara borulara nisbətən şüaların daha güclü olmasıdır. Belə ki, maska elektronların xeyli hissəsini nəhaqdan tutub saxlayır. Məsələn, ağ- qara boruda şüanın cərəyanı 100 mK və ikinci anodun gərginliyi 16 kV olduğu halda, rəngli elektron- şüa borularında həmin parametrlər 600 mK və 25 kV olur.

10.2.1.2. Elektron ossiloqrafları

Elektron- şüa ossiloqrafları (EŞO) əsasən tezdeyişən prosesləri müşahidə və qeyd etmək üçün tətbiq olunurlar. Bununla bərabər EŞO- ları tədqiq edilən siqnalların parametrlərinin təyini üçün də istifadə edirlər.

Elektron ossiloqrafının əsas üstünlükləri onun böyük giriş müqavimətinə, kiçik ətalətliliyə və yüksək həssaslığa malik olmasıdır. Bu da öz növbəsində onların ölçmə məqsədi ilə istifadəsinə imkan verir. Dəyişən gərginliyin tezliyinin və periodunun ölçülməsini buna misal gətirmək olar. Elektron ossiloqrafının müxtəlif tipli olmalarına baxmayaraq onları, tədqiq olunan siqnalların xarakterinə görə, iki struktur sxem üzrə təsvir etmək olar. Kəsilməyən siqnalları müşahidə və tədqiq etmək üçün istifadə olunan ossiloqrafın struktur sxemi şəkl.10.12- də göstərilmişdir.

Şəkildən görüldüyü kimi tədqiq olunan siqnal şüanı şaquli istiqamətdə meylətdirmə kanalının Y girişinə verilir.

Giriş kaskadı 1 ossiloqrafın tədqiq olunan obyektə minimal təsirini və onun həssaslığının tənzim oluna bilməsini təmin etməlidir.

Giriş kaskadının çıxışından signal, güclənmə əmsalı ossiloqrafın həssaslığının ən böyük qiymətini müəyyən edən, 2 gərginlik gücləndiricisinə verilir. Gücləndiricini elektron- şüa borusu ilə əlaqələndirmək üçün 3 çıxış parafaz gücləndiricidən istifadə olunur. Parafaz güclənməni tətbiq etməkdə məqsəd meyletdirici lövhələrin tutuma malik olması ilə əlaqədar olaraq signalın səciyyəvi pozulmalarını, həmçinin lövhələrin orta potensiallarının boruda elektronların hərəkət sürətinə təsirini azaltmaqdır.

Ossiloqrafın 4 açılış generatorunun yaratdığı xətti dəyişən gərginlik şüanı üfqə istiqamətdə 5 meyletdirmə gücləndiricisi ilə gücləndirilir və 6 çıxış parafaz gücləndiriciyə verilir. Borunun ekranında tərpənməz təsvir almaq üçün açılış generatorunun tezliyi geniş tezlik diapazonunda tənzim oluna bilər. Horizontal meyletdirmə gücləndiricisinin tənzim olunması üfqə ox üzrə təsvirin miqyasını dəyişməyə imkan verir. Şüanın əks istiqamətdə hərəkəti vaxtı ekranın işıqlanması üçün açılış generatorunun diferensiəllənmiş gərginliyi borunun parlaqlıq modulyatoruna (Z girişi) verilir. Bu cür ossiloqraflarda açılış generatoru tezliyin qeyri-stabilliyindən təsviri uzun müddət tərpənməz saxlaya bilmir. Ona görə də tədqiq olunan signalın tezliyi ilə açılış generatorunun tezliyi arasında tam nisbət almaq üçün generator tədqiq olunan signalla sinxronlaşdırılır. Sinxronlaşdırıcı signal ossiloqrafın 7 sinxronlaşdırma qovşağında yaranır. Tənzimləmə bəndi borunun ekranında təsvirin miqyasını dəyişmək, lazım olan parlaqlıq və fokuslamayı seçmək üçündür. Ossiloqrafların bəndləri 8 stabiləşdirilmiş qida mənbəyindən qidalanır.

Ossiloqrafların iş prinsipi ilə tanış olmaq üçün kiçik ölçülü universal C1-73 tipli ossiloqrafın iş prinsipini açıqlayaq. Bu ossiloqraf 0÷5 mHz tezlikli dəyişən elektrik siqnallarının formasını müşahidə etməyə, onların amplitudunu 0.02 V- dan 120 V- a qədər (1:10 bölücüsü ilə 350 V- a qədər) və zaman intervalını $0.4 \cdot 10^{-6}$ saniyədən 0.5 saniyəyə qədər ölçməyə imkan verir. Ossiloqrafın şaquli meylectirmə traktının 0.01; 0.02; 0.05; 0.1; 0.5; 1; 2; 5; 10 və 20 V/bölgü kalibrələnmiş meylectirmə əmsallarının əsas xətası $\pm 7\%$ - dən artıq deyildir. 0.1; 0.5; 1; 2; 5; 10; 20; 50; 100; 200; 500; $1 \cdot 10^3$; $2 \cdot 10^3$; $5 \cdot 10^3$; $1 \cdot 10^4$; $2 \cdot 10^4$ və $5 \cdot 10^4$ mksan/böl kalibrələnmiş açılış əmsallarının əsas xətası $\pm 7\%$ - dən artıq olmur.

Zaman intervalını ölçdükdə ölçmə dəqiqliyi EŞB- nin ekranında ölçülən intervalın uzunluğu böyüdükcə artır. Ölçülən interval iki kəmiyyətin hasili ilə müəyyən olunur: ekranda üfqə ox istiqamətində ölçülən zaman intervalının bölgülərlə uzunluğunun «UzunluqZaman/ bölgü» çevirgəcinin verilmiş vəziyyətində zamanın qiymətinin bölgüyə nisbətində hasilinə görə.

Siqnalın tezliyini onun periodunu ölçməklə müəyyən etmək olar.

Amplitudanı ölçdükdə siqnalı şkalanın lazım olan bölgüləri ilə, dəstəklərin köməyi ilə, üst- üstə salırlar və təsvirin şaquli istiqamətdə açılışını bölgülərdə təyin edirlər. Ölçülən siqnalın qiyməti təsvirin bölgülərlə ölçülmüş qiymətinin «Volt/bölgü» çevirgəcinin rəqəm işarəli göstərişinə hasilinə bərabərdir.

10.2.2. Verici elektron- şüa cihazları

Verici elektron- şüa cihazları (verici televiziya borusu) işıq təsvirlərini televiziya videosiqnalına çevirirlər. Verici elektron- şüa cihazları televiziya traktının, verilən təsviri qəbul edən, əsas giriş elementi və uyğun olaraq verici televiziya kameralarının əsas qurğusudur. Verici elektron- şüa cihazlarının iş prinsipi fotoeffekt hadisəsinə əsaslanır və 2 mərhələdən ibarətdir. Birinci mərhələdə işıq təsvirinə uyğun olaraq potensial relyefi şəklində elektron təsviri yaradılır. İkinci mərhələdə isə bu təsvirin elementləri nizamlı şəkildə kommutasiya olunur. Beləliklə bu cihazlar həmçinin fotoelektron cihazlara da aiddirlər. Xarici fotoeffekt zamanı çeviricidə işıqəhəssas element kimi fotokatod işlədilir. O, işıqlanma zamanı elektronlar buraxır. Daxili fotoeffekt zamanı mişeni işıqlandırdıqda onun elektrik keçiriciliyi dəyişir. Verici elektron- şüa cihazlarında təsvirin elementlərinin kommutasiyası mişenin bütün səthini ardıcıl olaraq elektron şüası ilə yoxlayır. Bu zaman mişenin səthi televiziya rastrını yaradan yüzrlərlə sətirə ayrılır. Bu zaman sətir təsvirin ayrı- ayrı elementar sahələrinin ardıcılığı kimi baxılır (şək.10.13).

Videosiqnalın formalaşmasına görə birbaşa (ani) təsirli və yükü toplayan verici elektron- şüa cihazları mövcuddur.

Birinci tip cihazlarda verilən təsvirin elementar hissəciyinə uyğun olan elektrik siqnalının qiyməti işıqəhəssas elementin həmin anda lokal işıqlığının ani qiymətinə mütənasib olur.

İkinci tip cihazlarda bütün təsvirin verilməsi zamanı (verilən kadrın) işıqəhəssas elementin hissəciyinin işıqlanmasının integral qiymətinə mütənasib olur. Bu zaman ərzində mişenin üzərində fotoeffekt sayəsində

obyektin işıqlanmasına uyğun yüklərin və potensialın paylanması (potensial relyefi) yaranır.

Əsas əlamətlərinə görə müasir verici elektron- şüa cihazları aşağıdakı növlərə bölünürlər: superortikonlar xarici fotoeffektdə işləyirlər. Onlar üçün təsvirin köçürülməsi seksiyasının, ikitərəfli mişenin və ikinci- elektron vurucusu ilə gücləndirilən siqnalın əks şüa vasitəsilə çıxarılmasının olması xarakterikdir. Vidikonlar daxili fotoeffektə əsaslanan iş prinsipinə malikdirlər və yükü toplayan verici elektron- şüa cihazlarıdır. Bu tip verici elektron- şüa cihazlarında işıqəhəssas element və potensial relyefi daşıyan element fotokeçirici mişendə yerləşdirilir. Elektrik siqnalı mişenin tərkibinə daxil olan siqnal elementindən çıxarılır. Supervidikonlar vidikonlardan təsvirin köçürülməsi seksiyasının olması ilə, deməli, fotokatodla potensial relyefinin daşıyıcısının funksiyalarının bölünməsi ilə fərqlənirlər. Pirovidikonlar isə vidikonlardan əsasən mişenə görə fərqlənirlər. Onlarda təsvirin ayrı- ayrı hissələrinin istilik şüalanmasının mişenə təsirindən yaranan temperaturdan asılı olaraq mişenin xassələrinin dəyişməsi baş verir. Dissektorlar birbaşa təsirli xarici fotoeffektə əsaslanan iş prinsipinə malikdirlər və fotokatoddan çıxan elektron selinin təsvirin köçürülməsi seksiyasında açılışına və ikinci- elektron vurucusu ilə gücləndirməsinə görə fərqlənirlər.

Verici elektron- şüa cihazlarının inkişafı mövcud televiziya sistemlərinin imkanlarını təyin edir. Superortikonlar və vidikonlar sənaye televiziya sisteminin erasını açdı. Plümbikonlar rəngli televiziya sisteminin inkişafına imkan verdi. Supervidikonlar isə kosmik aparatlarda geniş istifadə edilir. Perspektivdə 2000 xətdən çox ayırma qabiliyyətli verici elektron- şüa cihazlarının yaradılması əsas götürülür.

10.3. Qazboşalması cihazları

Qazboşalması cihazları (ion cihazları) qaz boşalması hadisəsi əsasında işləyən elektrovakuum cihazlarıdır.

Sadə qazboşalması cihazı diod olub (közərmiş və ya soyuq katodlu), elektrodları, içərisinə inert qaz və ya civənin buxarı doldurulmuş şüşə və ya keramik balona yerləşdirilir (şək.10.14).

cihazın elektrodlarına gərginlik verildikdə közərmiş katoddan çıxan elektronlar anoda doğru öz yolunda balonu dolduran qazın atom və ya molekulaları ilə toqquşur və ona öz enerjisini verirlər. Tətbiq olunan gərginliyin müəyyən qiymətində elektronların enerjisi atomların həyəcanlanması və ionlaşması üçün kifayət olur. Bu zaman qaz boşalması başlayır. Yaranan müsbət ionlar elektronların mənfi fəza yükünə kompensasiya edirlər. Ona görə də bu cihazlar adi elektrovakuum cihazlarına nisbətən daha az daxili müqavimətə malikdirlər və onlarla kA cərəyan buraxırlar. Qazboşalması cihazlarında boşalma momentini əlavə elektrodların (torların və ya yandırıcı elektrodların) köməyi ilə idarə etmək olar (şək.10.15).

Qazboşalması cihazlarında alovlu, qövs, qığılcımlı və tac boşalmasından istifadə edirlər.

Qeyri- müstəqil qövs boşalmalı qazboşalması cihazı (qazotronlar, tiratronlar, tasitronlar və b.) közərmə katodlu inert qazla və ya hidrogenlə doldurulmuş cihazdır. Bu cihazların əsas nümayəndəsi tiratronlardır.

Tiratron- katod, anod, bir və ya bir neçə idarəedici elektrodu (toru) olan alovşuz (soyuq katodlu) və ya qövs boşalmalı (közərdilən katodlu) ion cihazıdır. İmpuls tiratronları, əsasən, güclü elektrik cərəyanı impulsları hasil etmək üçün istifadə olunur. İmpuls tiratronunun

doldurulmasında ($25-95 \text{ n/m}^2$ təzyiqində) hidrogen, deuterium və onların qarışığından istifadə olunur. Kiçik cərəyanlarda və alçaq anod gərginliklərində ($10-50 \text{ mA}$, $150-300 \text{ V}$) közərmə boşalmalı tiratronlardan (KBT- dan) istifadə olunur (əsasən, hesablama texnikasının və avtomatikanın alçaq tezlikli qurğularında). İnformasiyanın vizual təsvirində indikator KBT- ların tətbiqi perspektivlidir. Relelərdə, cərəyan düzləndiricilərində və çeviricilərdə tətbiqinə görə tiratronlar, demək olar ki, tamamilə yarımkeçirici cihazlarla əvəz olunmuşlar.

Müstəqil qövs boşalmalı qazboşalması cihazlarının ya maye metaldan katodu, ya da özü közərən katodu olur. Qövs boşalması cihazları məhdud tətbiqə malikdirlər (məs., impuls sxemlərində, qaynaq aparatlarında cərəyan kommutatoru kimi). Əhəmiyyətli dərəcədə yarımkeçirici cihazlar tərəfindən sıxışdırılıb.

Alovlu qazboşalması cihazlarının soyuq (Mo və ya Ni əsaslı) katodu olur və balonları təzyiqi onlarla qPa olan inert qazların qarışığı ilə doldurulur. cərəyan şiddəti onlarla mA- dən çox olmur. Bu cihazlarda katoddan elektronların emissiyası katoda müsbət yüklənmiş ionların, fotonların və qazın həyəcanlanmış atomlarının dəyməsi nəticəsində yaranır. Onların iş prinsipi alovlu boşalmanın xassələrindən istifadəyə (cərəyanın dəyişməsinin geniş diapazonunda elektrodlarda gərginlik düşgüsünün sabitliyi) əsaslanır. Onlardan gərginlik stabilizasiyası sxemlərində, aşağı dəqiqlikli dövrlərdə və indikatorlarda istifadə edilir.

Qılgıclımlı qazboşalması cihazlarında qısa müddətli alovlu və ya qövs boşalması istifadə olunur. Bu boşalma adətən közərməmiş eyni tipli elektrodlar arasında baş verir. Elektrodlar adətən gecəriyən metaldan (məs., volframdan) hazırlanır. cihazın elektrodlarına qazda qısa müddətli (nanosaniyənin hissələri qədər) qılgıclım yarada

biləcək gərginlik verirlər. Bu zaman cihazın daxili müqaviməti yüzlərlə mOm- dan Om- un müəyyən hissələrinə qədər azalır. Bu cihazlardan müxtəlif qurğuların və rabitə xətlərinin ildırım zamanı yaranan gərginlik artımından qorunması üçün istifadə edilir.

Tac boşalmalı qazboşalma cihazları iki elektrod arasındakı elektrik sahəsinin güclü qeyri- bircinsliyi ilə fərqlənilir. Elektrodların koaksial forması zamanı anodlardakı gərginlik katodlardakına nisbətən dəfələrlə çoxdur. Bu şəraitdə ionlaşma yalnız anod ətrafında baş verir.

Qazboşalma lampalarının başqa bir qrupu çox yüksək tezlikli qazboşalma cihazlarıdır. Onların iş prinsipi yüksək və çox yüksək tezlikli elektromaqnit sahələrinin, gərginliyi astana qiymətindən böyük olan xarici gərginlik mənbəyinin təsiri ilə yaranan qaz boşalmasının plazmasının qarşılıqlı təsirinə əsaslanır.

Qaz boşalmasının bütün növləri işıqlanma ilə müşayiət edilir. Qazboşalma işıq mənbələri geniş yayılmışdır. Onların xarakterik xüsusiyyəti şüalanmanın təyin olunmuş spektral tərkibə malik olmasıdır. Boşalma zamanı həyəcanlanmış qaz atomları (molekulları) özlərindən müəyyən enerjili işıq kvantı buraxaraq qısa müddətdən sonra normal vəziyyətə qayıdılar. Bu cihazlardan məlum dalğa uzunluğuna malik işıq etalonları kimi istifadə etmək olar. Güclü ultrabənövşəyi şüalanma verən qazboşalma işıq mənbəyi məlumdur.

Son vaxtlarda qazboşalma texnikasının, optikanın və radiotexnikanın nailiyyəti olan qazboşalmalı lazerlər yaranmışdır. Onlar spektrin ultrabənövşəyidən infraqırmızıya qədər olan diapazonunda koherent elektromaqnit şüalanması mənbəyi kimi istifadə edilir. Qazboşalma lazerlərində aktiv mühit qaz boşalmasının təsiri altında həyəcanlanır. Bu hadisə atomların və molekulların öz aralarında, ionlarla və elektronlarla

toqquşması nəticəsində baş verir. Enerji səviyyələrinin keçidlərinin tipinə görə qazboşalma lazerləri atomlu, ion və molekulyar lazerlərə bölünürlər. Qazboşalma lazerlərini qaz mühitlərinə görə ayırırlar. Atomlu lazerlər- helium- neon lazerləri, ion lazerləri- arqon və kripton lazerləri və s. adlanır. Qazboşalma lazerlərinin əsasında kvant optik generatorları hazırlanır. Dalğa uzunluğunun geniş diapazona (100 nm- 700 mkm) və şüalanma gücünə (10^{-4} - 10^6 Vt fasiləsiz rejimdə, 1 - 10^{12} Vt- impuls rejimində) malikdirlər.

10.4. Rentgen boruları

Rentgen boruları- rentgen şüaları almaq üçün işlədilən elektrovakuum cihazıdır.

Rentgen şüalarını, dalğa uzunluğu 10^{-4} Anqstremdən 10^3 Anqstremədək olan ionlaşdırıcı elektromaqnit şüalanmasını 1895- ci ildə Rentgen kəşf etmişdir və X- şüaları adlandırmışdır. O, elektromaqnit dalğaları şkalasında spektrin qamma- şüalanma ilə ultrabənövşəyi şüalanma arasındakı dalğalar diapazonunda yerləşir.

Rentgen borusu və bəzi izotoplar rentgen şüaları mənbəyidir. Mənbəyi radioaktiv izotoplar olan rentgen şüalarının intensivliyi rentgen borusu vasitəsilə alınan rentgen şüalarının intensivliyindən olduqca azdır.

Rentgen borusunun əsas elementləri katod (elektron mənbəyi), anod (antikatod- rentgen şüaları mənbəyi) və daxilində vakuum yaradılmış borudur. Rentgen şüaları- sürətli elektronların (enerjisi 10^4 - 10^6 ev) anod maddəsi atomları ilə qarşılıqlı təsiri zamanı tormozlanması (kəsilməz spektrli tormozlanma şüalanması) və anodun elektronlarla bomdardman edilməsi nəticəsində atomun daxili elektron təbəqələrindəki elektron keçidləri hesabına (xətti spektrli xarakteristik rentgen şüalanması) yaranır. Rentgen

boruları aşağıdakı xüsusiyyətlərə malikdirlər: katoddan elektronların çıxarılmasına görə- termoelektron, avtoelektron və 2- ci elektron emissiyalı, həmçinin beta radioaktiv elektron mənbəli; şüalanma mənbəyinə görə- fasiləsiz və impuls rejimli; elektronların anod üzərinə fokuslanmasına görə- elektrostatik, maqnit və elektromaqnit; anodun soyudulması üsuluna görə- su, yağ və hava axını ilə soyudulan. Termoelektron emissiyalı, anodu su ilə soyudulan elektronların fokuslanması elektrostatik üsulla aparılan rentgen borularından daha çox istifadə olunur. Anod olaraq Au, Ag, Ti, Cr, Fe, Co, Ni, Cu, W və Mo- dən istifadə edilir. Rentgen borusunun əsas parametrləri aşağıdakılardır: sürətləndirici gərginlik- (1-500 kV), elektron cərəyanı- (0,01-1 A), sərf etdiyi güc- (0,002-60 Vt), f.i.ə. - 0,1-7,5 % olur.

Kəsilməz rentgen spektri sürətli elektronların hədəf atomları ilə toqquşması nəticəsində yaranır (tormozlanma şüalanması). Tormozlanma rentgen spektri bütöv spektrdir, rentgen borusunda anodla katod arasındakı potensiallar fərqi artırıldıqda bütöv spektrin intensivliyi azalır və bunun fonunda xarakteristik (xətti) spektr yaranır. Xətti spektr hədəf atomunun ionlaşması hesabına olur. Rentgen şüaları gözlə görünmür və göstərdikləri müxtəlif təsirlərin təhlilinə görə şüaların varlığı və xassələri haqqında məlumat almaq olar. Adi işığa nisbətən rentgen şüasının udulma əmsalı çox kiçikdir, metaldan, qeyri- metaldan və üzvi toxumalardan keçə bilər. Onlar bu zaman eyni məsafədə müxtəlif mühitlərdə yayılarkən mühit tərəfindən müxtəlif cür udulur. Bu səbəblərdən rentgen şüalarından texnikada və tibbdə çox geniş istifadə olunur. Rentgen şüaları həmçinin atomun, molekulun və kristalın quruluşunu təhlil etməyə imkan verir.

FƏSİL 11. YARIMKEÇİRİCİ DİODLAR

Yarımkeçirici diodlar yarımkeçiricilər elektronikaşının ən sadə elementləri hesab olunurlar. Yarımkeçirici diod fiziki cəhətdən 2 yarımkeçirici materialın bir- birinə lehimlənməsindən əmələ gəlir. Bu materialların birində elektronların artıqlığı (akseptorlar), digərində isə elektron (donorlar) çatışmazlığı olur. Bunlardan birinə elektron (p), digərinə isə dəşik keçiriciliyi (n) deyilir. Bu 2 təbəqənin arasında bir keçid zonası yaranır və ona p-n keçidi deyilir. Yarımkeçirici diodların iş prinsipi ilə tanış olaq.

Seçilmiş 2 yarımkeçirici təbəqə bir-birinə lehimləndikdən sonra keçidin içərisində elektronların və dəşiklərin diffuziyası baş verir (şək.11.1). Diffuziya hadisəsinin müəyyən mərhələsində elektronların və dəşiklərin hərəkəti dayanır. Ona görə də bu təbəqələrə sabit gərginlik verildikdə həmin gərginliyin müəyyən qiymətindən başlayaraq elektronların katoddan (akseptordan) anoda (donora) doğru hərəkəti başlayır. Keçidin müqaviməti böyük olduğu üçün ilk mərhələdə bu hərəkət zəif olur. Gərginlik artdıqca elektronların hərəkət sürəti artmağa başlayır, bu asılılıq eksponenta üzrə davam edir və gərginliyin müəyyən qiymətində keçidin fiziki cəhətdən dəşilməsi baş verir (şək.11.2).

Bu xarakteristikaya diodun volt- amper xarakteristikasının düz hissəsi deyilir. Dioda verilən sabit gərginliyin işarəsini dəyişdikdə elektronlar və dəşiklər bir-birini əks etdiyi üçün keçiddən cərəyan axmır.

Yarımkeçirici diodlar aşağı tezlikli, yüksək tezlikli, çox yüksək tezlikli və impuls tipli olurlar. Onların yüksək tezliklərdə normal işləməsi üçün p-n keçidi və yarımkeçirici materialı xüsusi olaraq hazırlanmalı və hissəciklər daha mütəhərrik olmalıdır. İmpuls rejimində isə yarımkeçirici diodların impulsun formasını təhrif

etməməsi üçün p-n keçidinin elektron tutumu kiçik olmalıdır. Diodlar eksponensial xarakteristikaya malik olduqları üçün onlardan funksional çevirici kimi də istifadə etmək olar (şək.11.3).

Yarımkeçirici diodların tipləri, onların şərti işarələri və volt- amper xarakteristikaları cədv.11.1- də təqdim olunmuşdur.

11.1. Düzləndirici diodlar

Diodun ən böyük tətbiqi onun düzləndirici kimi istifadə olunmasıdır. Düzləndirici dedikdə, dəyişən gərginlik mənbəyindən sabit cərəyan almaq üçün onu bir istiqamətli cərəyana çevirmək nəzərdə tutulur.

Diodun uclarına sinusoidal gərginlik verildikdə müsbət yarımperiod ərzində p-n keçidindən cərəyan axacaq, mənfi yarımperiod ərzində isə cərəyan axmayacaq (şək.11.4,a,b). Bu cür düzləndiricilərə bir yarımperiodlu düzləndiricilər deyilir.

Zaman diaqramından göründüyü kimi bu cür düzləndiricilərin səmərəliliyi kiçik olur. Ona görə ki, sinusoidun ancaq bir yarımperiodundan istifadə olunur. Ona görə də 2 və ya 4 dioddan istifadə etməklə iki yarımperiodlu düzləndiricilər düzəldilir (şək. 11.5, a, b).

Şək.11.5,a- da birinci yarımperiod ərzində VD1, VD3 diodları açıq və VD2 və VD4 diodları isə bağlı olur. İkinci yarımperiodda isə əksinə. Lakin hər iki yarımperiod ərzində yükə eyni istiqamətdə cərəyan keçir. Bu sxemin effektivliyi çox böyükdür. Lakin göründüyü kimi 4 dioddan istifadə olunur. Diodların sayına qənaət etməkdən ötrü başqa sxemdən istifadə etmək olar.

Bu zaman güc transformatorunun ikinci dolağından orta nöqtə çıxarılır və sıfır xətti kimi qəbul olunur. Sxemdən göründüyü kimi transformatorun ikinci dolağının

kənar nöqtələrinə düz istiqamətdə qoşulmuş iki dioddan növbə ilə hərəsi bir yarımperiodda açıq olur.

Diodların ikinci tətbiq sahəsi onun siqnalları işarəsinə görə buraxmaması ilə əlaqədardır. Məs., sxemin girişinə verilən düzbucaqlı impulsun arxa cəbhəsini ayırıb çıxışa ötürmək lazımdırsa, onda şəkl.11.6-də göstərilmiş sxemdən istifadə etmək olar. Ön cəbhəsini buraxmaq üçün isə diod tərsinə qoşulmalıdır.

Yarımkeçirici diodların istismar imkanlarını təyin etmək üçün onların pasportunda $20\forall 5ES$ temperaturda ölçülən və bütün diodlar üçün ümumi olan bəzi parametrlər verilir: $I_{düz}$ (düz cərəyan)- düz istiqamətdə gərginlik tətbiq olunduqda dioddan keçən cərəyan; I_v (ən böyük düzlənən cərəyanın orta qiyməti)- uzun müddət dioddan axdıqda onun normal işini poza bilməyən cərəyan (sxemdə tətbiq olunan yüklə tutum mürəkkəbəsi olduqda I_v - nin qiyməti az götürülür); $I_{əks}$ (əks cərəyan)- əks gərginlik tətbiq olunduqda dioddan keçən cərəyan; $U_{əks}$ (əks gərginlik)- uzun müddət dioda tətbiq olunduqda onun normal işini poza bilməyən ən böyük gərginlik; $U_{deş}$ (deşilmə gərginliyi)- dioda tətbiq olunduqda onun əks cərəyanının sürətlə artımı başlayan ən kiçik əks gərginlik; f_{max} (maksimal iş tezliyi)- düzlənən gərginliyi 0,1 mHs tezlikdə düzlənən gərginliyin 0,7 hissəsini təşkil edən tezlikdir.

Az güclü diodların nöqtəvi və müstəvi növləri mövcuddur.

11.2. Stabilitronlar

Diodun düz xarakteristikasından görünür ki, elektrodlara verilən gərginlik artdıqca p-n keçidindən keçən cərəyanın qiyməti eksponenta üzrə artır (bu halda anoda müsbət, katoda isə mənfi gərginlik verilir). Dioda verilən gərginliyin işarəsini dəyişdikdə, gərginliyin qiyməti

sıfırdan başlayaraq artdıqca, dioddan çox kiçik bir cərəyan axır. Həmin cərəyan keçiddə olan elektronların və deşiklərin istilik hərəkəti nəticəsində yaranır. Gərginliyi artırmaqda davam etdikdə, elə bir hədd olur ki, bu zaman p-n keçidi əks istiqamətdə tam açılır və gərginliyin qiyməti artdıqca cərəyanın qiyməti sabit qalır. Bu zaman stabiltronun çıxışa verdiyi gərginlik sabit qalır. Bu xassədən gərginliyi stabilləşdirmək üçün istifadə edirlər. Xüsusi hazırlanmış diodlar yükə paralel olaraq əks istiqamətdə qoşulur (şək. 11.2), dioda verilən gərginlik stabilləşdirmə gərginliyindən böyük olduqda, çıxışda axırncıya bərabər gərginlik alınır.

Məlumdur ki, hər hansı bir elementdən elektrik cərəyanı keçdikdə istilik ayrılır (coul- Lents qanunu). Ona görə də yükün müqaviməti kiçik olduqda stabilitrondan keçən cərəyan p-n keçidini yandıra bilər. Odur ki, stabilitrondan kiçik güclü stabilizatorlar kimi və ya daha mürəkkəb stabilizatorlar üçün etalon gərginliyi mənbəyi kimi istifadə olunur.

Stabilitronların stabilləşdirmə gərginliyi, onun materialından və p-n keçidinin ölçülərindən asılıdır. Odur ki, stabilləşdirmə gərginlikləri müxtəlif olan stabilitrondan hazırlanır. Çox güc tələb olunan dövrlərdə stabilitrondan istilik deşilməsindən qorumaq üçün onları xüsusi metal radiatorlara bərkidirlər. Stabilitrondan qoşulan yük müəyyən qiymətdən yuxarı olmamalıdır. Əks halda stabilitron stabilləşmə rejiminə keçə bilmir və çıxış gərginliyi az və dəyişkən olur. Yük düzgün seçildikdə stabilitronun çıxış gərginliyi çıxışdakı yükün dəyişməsindən asılı olmayaraq sabit qalır.

Stabilitronun əsas parametrləri bunlardır: nominal stabilləşmə gərginliyi (bu qiymətdə stabilitron açılır); nominal stabilləşdirmə cərəyanı (stabilitron həmin qiymətə hesablanır və bu cərəyan stabilitrondan işləmə

diapozonunun ortasında yerləşir); minimal stabilləşdirmə cərəyanı (stabilləşdirmə diapozonunun ən kiçik qiyməti); stabilləşmə cərəyanının maksimum qiyməti (stabilləşdirmə rejiminin ən yüksək həddidir və bundan sonra stabiltron düzgün işləmir); stabiltronun dinamik müqaviməti (stabiltronun normal açıq vəziyyətində onun müqavimətidir).

Stabilizatorlar gərginlik məhdudlayıcısı kimi də işlədilə bilər. Tutaq ki, sinusoidal gərginliyin amplitudası signalın maksimal qiymətinə bərabər olan düzbucaqlıya oxşar formaya çevirmək lazımdır. Müsbət yarımdalğa ərzində VD1 stabiltronu stabiltron kimi, VD2 stabiltronu isə diod kimi fəaliyyət göstərəcək (şək.11.7) və tərsinə, mənfi yarımdalğa zamanı VD1 diod kimi, VD2 isə stabiltron kimi işləyəcək. Beləliklə çıxışda amplitudası stabilləşdirmə gərginliyinə bərabər olan impulsar ardıcılığı alınacaq.

11.3. Varikaplar

Varikap, yarımkeçirici diod olub, elektron-deşik keçidinin tutumu tətbiq olunan sürüşmə gərginliyinin qiymətindən qeyri- xətti olaraq asılıdır.

Varikap kimi, yarımkeçirici keçidin ancaq baryer tutumu aşkar olunan əks sabit sürüşmə rejimində işləyən yarımkeçirici diod işlədilir. Varikapın əsas parametrləri: nominal (ilkin) tutum, keyfiyyət əmsalı, tutuma görə örtmə əmsalıdır.

Nominal tutumu sürüşmə gərginliyinin minimal qiymətində (-1 Voltdan -6 Volta qədər) ölçürlər. Onun qiyməti yarımkeçiricinin materialından və keçidin sahəsindən asılıdır və pikofaradın hissələrindən yüzlərlə pikofarada qədər olur.

Varikapın keyfiyyət əmsalı, əks gərginliyin və ya tutumun verilmiş qiymətində və siqnalın tezliyində, varikapın reaktiv müqavimətinin onun itgi müqavimətinə olan nisbətidir. Varikapları çox yüksək tezliklərdə işlədirlər.

Örtmə əmsalı, işçi gərginliklər diapazonunda keçidin tutumunun dəyişməsinə göstərir (adətən 2- 20 dəfə).

Varikapların tutumu istilikdən çox asılı olduğu üçün tutumun temperatur əmsalından istifadə edilir. Bu əmsal, temperatur bir dərəcə dəyişdikdə tutumun nə qədər dəyişdiyini göstərir.

Varikapları elektriklə idarə olunan kiçik qiymətli dəyişən tutumlar kimi istifadə etmək çox əlverişlidir. Çünki eyni element ənənəvi üsulla hazırlandıqda, ölçüsü xeyli böyük olur.

Varikapların əsas parametrləri bunlardır: C_v (varikapın tutumu)- verilmiş əks gərginlikdə varikapın sıxacları arasındakı tutum; Q_v (varikapın keyfiyyəti)- verilmiş tezlikli dəyişən siqnalda varikapın reaktiv müqavimətinin verilmiş tutumda və ya əks gərginlikdə itgi müqavimətinə olan nisbətidir: $Q_v = 1/\operatorname{tg}\alpha$, burada α - itgi bucağıdır.

11.4. Şottki diodları

Şottki diodlarının iş prinsipi Şottki effektinə əsaslanır. Bu effektə görə, emitterin səthində elektronları sürətləndirən xarici elektrik sahəsinin gərginliyini artırıqda termoelektron emissiyasının doyma cərəyanının sıxlığı çoxalır. Bu effektin əsasında xarici elektrik sahəsinin təsiri altında elektronların emissiya işinin azalması durur. Şottki effekti metal-yarımkeçirici kontaktından cərəyan axdıqda da baş verir.

Diodların strukturu metalla yarımkeçirici arasında yaranan Şottki keçidindən ibarətdir. Şottki keçidini düz istiqamətdə dövrəyə qoşduqda, yarımkeçiricinin əsas yuk

daşıyıcılarının metala doğru hərəkəti nəticəsində düz cərəyan əmələ gəlir. Başqa işarəli daşıyıcılar isə yarımkeçirici üçün qeyri- əsas daşıyıcılar keçiddə olan yüksək maneəyə görə metaldan yarımkeçiriciyə keçə bilmir.

Kontakt zonasında (elektron- deşik keçidində olduğu kimi) potensial baryeri yaranır. Onun hündürlüyünün dəyişməsi xarici elektrik sahəsinin təsiri altında baş verir. Şottki diodlarında qeyri- əsas daşıyıcıların toplanması az təsir edir və kontaktdan keçən cərəyan əsas yük daşıyıcıları ilə əlaqədardır. Şottki diodlarının ardıcıl müqaviməti daha kiçik olduğu üçün onlar daha yüksək tezliklərdə işləyə bilirlər.

Şottki diodlarının digər xüsusiyyətləri onların metalının tipini seçməklə potensial baryerin istənilən hündürlüyünü almaq imkanı, kiçik birbaşa sürüşmələr zamanı volt- amper xarakteristikasının çox qeyri- xəttiliyi, kiçik inersiyası (10 saniyəyə qədər), yüksək tezlik küylərinin aşağı səviyyəsi, inteqral sxemlərlə texnoloji birgəliyi və hazırlanma sadəliyidir.

Şottki diodlarından detektor, lavin- uçuşlu, parametrik, qarışdırıcı və vurucu diodlar kimi, həmçinin foto- və işıq diodları kimi istifadə olunur. Potensial baryərə tətbiq olunan gərginliyin dəyişməsi ilə yarımkeçiricinin optik xassələrinin dəyişməsi sayəsində bu diodlardan optik modulyator kimi istifadə olunur. Onlardan monolit inteqral sxemlərdə də istifadə edilir.

11.5. Tunel diodları

Tunel diodu- ensiz potensial çəpərə malik yarımkeçirici kristal əsasında hazırlanmış iki elektrodlu elektron cihazıdır. Tunel diodlarında p-n keçidinin qalınlığı başqa diodlara nisbətən yüz dəfələrlə kiçik olur.

Aşqarların konsentrasiyası çox böyük olan p-n keçidi əsasında düzəldilmiş tunel diodunun iş prinsipi tunel effektinə əsaslanır.

Tunel effekti- tam enerjisi (E) potensial (V) çəpərin hündürlüyündən kiçik olan mikrohissəciklərin potensial çəpərdən keçməsi hadisəsinə əsaslanır. Tunel effekti kvant təbiətli hadisədir və qeyri- müəyyənlik münasibətinə əsasən izah olunur. Klassik fizikaya əsasən tam enerji potensial enerji ilə kinetik enerjinin cəminə bərabərdir:

$$E = V + p^2 / (2m_0) \quad (11.1)$$

$E < V$ olduqda kinetik enerji mənfi, hissəciyin impulsu (p) isə xəyali alınır. Deməli hissəcik $E < V$ sahəsində ola bilməz. Kvant mexanikasında isə qeyri- müəyyənlik münasibətinə görə zərrəciyin koordinatı (potensial enerjisi) və impulsu (kinetik enerjisi) eyni zamanda müəyyən qiymət ala bilmir. Yəni, tam enerji potensial və kinetik enerjilərin cəminə bərabər olmur. Tunel effekti çəpərin şəffaflıq əmsalı ilə $D = I_d / I_0$ ilə xarakterizə olunur (I_0 - çəpərin üzərinə düşən və I_d isə çəpərdən keçən zərrəciklər selidir). Tunel effekti bir çox fiziki hadisələri (alfa- parçalanmanı, atomların elektrik sahəsində ionlaşmasını, metal və yarımkəçiricilərdən elektron emissiyasını, cozefson effektini və s.) izah etməyə imkan verir.

Tunel diodunda volt- amper xarakteristikasının mənfi müqavimət hissəsi olur (şək.11.8). Şəkildən görüldüyü kimi, tunel dioduna gərginlik verildikdə, müəyyən diapazonda cərəyanın qiyməti artır, lakin müəyyən həddən sonra gərginliyin artması cərəyanın azalmasına səbəb olur. Deməli, tunel diodu müəyyən hissələrdə müsbət və mənfi müqavimətlərə malik olur.

Tunel diodlarından elektrik rəqslərinin yüksək tezlik gücləndiricilərində aktiv element kimi, çevirici qurğularda, generatorlarda və s. istifadə olunur.

Tunel diodlarının əsas parametrləri bunlardır: $I_{\max}$ (maksimal cərəyan)- volt-ampere xarakteristikasının maksimumuna uyğun gələn cərəyan; $I_{\min}$ (minimal cərəyan)- volt- ampere xarakteristikasının minimumuna uyğun gələn cərəyan; $U_{\max}$ ($U_{\min}$) (maksimal (minimal) gərginlik)- volt- ampere xarakteristikasının maksimumuna (minimumuna) uyğun gələn cərəyan; $R_{\sim}$ (mənfi differensial müqavimət)- $R_{\sim} = dU/dI$; U (maksimal çevirmə gərginliyi)- dioddan alınan gərginlikdir.

11.6. Qann diodları

Qann diodlarının iş prinsipi Qann effektinə əsaslanır.

Qann effekti, N- şəkilli volt- ampere xarakteristikası olan yarımkeçirici nümunədə cərəyanın periodik yüksək tezlikli rəqslərinin yaranmasıdır. N- şəkilli volt- ampere xarakteristikası olan yarımkeçirici nümunədə müəyyən astana qiymətini aşan elektrik sahəsi gərginliyində (E), cərəyanın orta sıxlığı, E - nin artması ilə azalmağa başlayır. Bu da volt- ampere xarakteristikasının mənfi diferensial keçiricilik hissəsinə uyğun gəlir. Yükün sıxlığının lokal fluktuasiyası, artaraq elektrik domeninin yaranmasına gətirir. Bu domen cərəyanın istiqamətində domendən kənardakı elektronların dreyf sürətinə yaxın olan sürətlə yerini dəyişir. Domenin daxilində sahə daha çoxdur, xaricində isə astana qiymətindən aşağıdır. Ona görə də, domenin kontakt elektroduna çıxışı cərəyanın kəskin artmasına səbəb olur. Bundan sonra nümunədəki sahə yenidən astana qiymətindən artıq olur və proses təkrarlanır. cərəyanın rəqs tezliyi domenin nümunədə uçuşu vaxtının əks qiymətinə mütənəssib olur.

11.7. Fotoelektron diodları

Fotoelektron diodları (fotodiodlar) fotoeffektə malik olan yarımkeçiricilər əsasında hazırlanır. Bu effektin mahiyyəti ondan ibarətdir ki, bəzi materialların üzərinə işıq şüası düşdükdə, onlarda kiçik fotocərəyanlar yaranır. Bu effektin əsasında müxtəlif işığahəssas qurğular hazırlanır.

Fotodiodların əsas parametrləri aşağıdakılardır: θ (zaman sabiti)- fotodiod işıqlandırıldıqda zaman sabiti ərzində yaranan fotocərəyan dayanıqlı vəziyyətdə olan cərəyanın 63%- i qədər olmalıdır; I_f (fotocərəyan)- fotodiodu işıqlandırdıqda ondan keçən cərəyan; R_q (qaranlıq müqaviməti)- işıqlanma olmadıqda fotodiodun müqaviməti; K (integral həssaslıq)- $K = I_f / F$, burada F - fotodioda düşən işıq selidir.

11.8. Işıqlanan diodlar

Fotodiodların əksinə olaraq elə yarımkeçirici materiallar var ki, onlardan cərəyan keçdikdə özlərindən işıq buraxırlar. Bu materiallar əsasında işıq diodları hazırlanır. Onlara əks istiqamətdə gərginlik tətbiq olunduqda özündən işıq buraxır.

Işıqlanan diodların yarımkeçirici keçidi (elektron-deşik və ya metal- yarımkeçirici kontakt) olur. Bu keçiddən cərəyan keçdikdə spektrin müxtəlif sahələrində optik şüalanma baş verir.

Işıqlanan diodların iş prinsipi injeksiyalı elektrik lüminessensiyası hadisəsinə əsaslanır. Şüalanma qeyri- əsas tarazlaşmamış yük daşıyıcılarının (keçiricilik elektronlarının və deşiklərin) spontan rekombinasiyası nəticəsində yaranır. Bu yük daşıyıcıları yarımkeçirici keçidin yaxınlığında yarımkeçiriciyə tətbiq olunmuş gərginliyin hesabına injeksiya olunurlar. Bu hissəyə

ışığılanan diodların aktiv sahələri deyilir. Bu şüalanma koherent deyil. Lakin şüalanmanın istilik mənbələrindən fərqli olaraq daha dar spektrə malik olur (spektrin eni 0,05 mkm- dən kiçik olur). Bunun nəticəsində şüa berrəngli kimi görünür. Şüanın rəngi yarımkəçirici materialdan və ya qarışığın tipindən asılıdır.

İşıqlanan diodların əsas parametrləri çevirmənin f.i.ə. (k) hesab olunur. Onun qiyməti şüalanma enerjisinin elektrik enerjisinə olan nisbəti ilə ölçülür (spektrin görünən hissəsində işləyən diodlar üçün 0,8-10,2 % olur). Işıq diodlarının digər vacib parametri onun ətalətidir (ışıq diodunun impuls təsirlənməsi zamanı şüalanma gücünün artan və azalan vaxtları arasında ölçülür). Işıq diodlarının materiallarında qeyri- əsas daşıyıcıların davamiyyət müddəti kiçik olduğu üçün onların ətaləti çox az olur (mikrosaniyənin onluq hissələrindən kiçik). Odur ki, onlar digər işıq mənbələrindən ətalətinə görə çox yaxşıdırlar.

FƏSİL 12. BİPOLYAR TRANZİSTORLAR

Tranzistorlar ilk dəfə 1948- ci ildə təklif olunub. Tranzistorlar 3 elektrodlu (emitter, baza və kollektor) və 2 keçidli yarımkeçirici cihazdırlar. Emitter elektronları və ya dəşikləri bazaya istiqamətləndirir, kollektor isə onları öz dövrəsinə cəlb edir. Elektron lampaları ilə müqayisədə emitter katoda, baza idarəedici tora, kollektor isə anoda uyğun gəlir. Emitter və kollektor eyni, baza isə əks keçiriciliyə malikdirlər. Ona görə də tranzistorlar p-n-p və ya n-p-n keçiriciliklərinə malikdirlər. Yarımkeçirici tranzistorların lampalı tiriodlardan fərqi odur ki, lampada gedən proseslər gərginliklə, tranzistorda isə cərəyanla idarə olunur.

Tranzistor bir-birinə əks istiqamətdə qoşulmuş 2 dioddan ibarətdir (şək.12.1.a,b,v) (şək.12.2- də göstərilən n-p-n tipli tranzistor isə bunun tərsinə olmalıdır). Tranzistorda olan keçidlərə emitter – baza və baza – kollektor keçidləri deyilir. Gərginlik emitter – baza keçidinə açılma istiqamətində, baza- kollektor keçidinə isə bağlanma istiqamətində verilir. Dövrəyə gərginlik verildikdə əsas yükdaşıyıcılarının istiqamətlənmiş hərəkəti nəticəsində emitter – baza dövrəsindən cərəyan axır. cərəyanın dövrəsi belə olur. cE_{baza} , baza, emitter, - E_{baza} . Baza – kollektor dövrəsində isə qeyri- əsas yükdaşıyıcılarının hərəkəti sayəsində kiçik əks cərəyan axır. Bu cərəyanın isə dövrəsi belədir: cE_k , kollektor, baza, - E_k . Beləliklə, emitter- baza və baza– kollektor keçidləri hər biri özünü ayrıca diod kimi aparır. Hər iki dövrəyə gərginlik verildikdə, hər iki keçiddən cərəyan axır və emitter cərəyanı baza cərəyanı ilə kollektor cərəyanının cəminə bərabər olur (şək.12.3).

Beləliklə, emitterin əsas yükdaşıyıcılarının hesabına kollektorda cərəyan yaranır. Bu onunla izah olunur ki,

emitter- baza keçidinə gərginlik düz istiqamətdə tətbiq olunduğu üçün, emitter- baza keçidinin potensial maneəsi azalır və yukdaşıyıcılarının konsentrasiyasının müxtəlifliyi nəticəsində emitterin elektronları bazaya, bazanın dəşikləri isə emitterə doğru hərəkət edirlər. Baza-kollektor keçidinə verilən gərginliyin sayəsində kollektor həmin yukdaşıyıcılarını öz dövrəsinə toplayır. Elektron lampalarında olduğu kimi, tranzistorlarda bazaya verilən gərginliyin qiyməti kiçik və bazanın həcmi az olmalıdır.

12.1. Bipolyar tranzistorların iş prinsipi

Dövrə açıq olduqda, emitter dövrəsindən cərəyan axmır (şək. 12.3). Bu zaman kollektor dövrəsindən əks cərəyan adlanan kiçik bir cərəyan axır və I_{kbo} ilə işarə olunur. Bu cərəyanın kiçik olmasının səbəbi ondan ibarətdir ki, kollektor keçidinin əks sürüşməsi zamanı potensial çəpər çox hündür olur və kollektorun əsas daşıyıcıları- dəşiklər və bazanın müstəqil elektronları üçün keçilməz olur. Kollektorda qarışıqlar bazaya nisbətən daha güclü və kollektorda bazaya nisbətən qeyri- əsas daşıyıcılar xeyli kiçik olduğu üçün kollektorun əks cərəyanı əsasən qeyri- əsas daşıyıcılar hesabına yaranır (istilik rəqsləri sayəsində bazada generasiya olunan dəşiklər və kollektorda generasiya olunan elektronlar sayəsində).

Dövrənin qapanması emitter dövrəsində cərəyan əmələ gəlməsinə səbəb olur. Çünki, bu zaman emitter keçidi düz istiqamətdə sürüşdüyü üçün emitterdən bazaya keçən dəşiklər və bazadan emitterə keçən elektronlar üçün potensial çəpər azalır. Biz ancaq dəşikləri nəzərə alırıq, çünki kollektor cərəyanının artmasını onlar yaradır (dəşiklər bazaya injeksiya olunurlar).

Adi tranzistorun bazasında elektrik sahəsi olmadığı üçün injeksiya olunan dəşiklərin sonrakı hərəkəti diffuziya prosesi ilə təyin olunur. Tranzistorun bazasının qalınlığı rekombinasiyaya qədər dəşiyin azad qaçışının uzunluğundan dəfələrlə kiçik olduğu üçün, injeksiya olunan dəşiklərin böyük hissəsi kollektor keçidinə çatır və bunun nəticəsində kollektor cərəyanı artır. Ancaq dəşiklərin çox kiçik bir hissəsi bazanın elektronları ilə rekombinasiya edir. Odur ki, kollektor keçidindən keçən cərəyanın qiyməti emitter keçidindən keçən cərəyanın qiyməti ilə təyin olunur.

Baxılan tranzistorların xarakterik xüsusiyyəti, iki müxtəlif tipli yük daşıyıcılarının (elektronların və dəşiklərin) mövcudluğu və tranzistorun işində yaxından iştirakıdır. Ona görə də bu cihazlar bipolyar (iki işarəli) tranzistorlar adlanırlar.

12.2. Bipolyar tranzistorların qoşulma sxemləri

Bipolyar tranzistorlar dördqütblü kimi də göstərilə bilər. Bu zaman onun 2 girişi və 2 çıxışı olmalıdır. Bundan başqa məlumdur ki, dördqütblülərin çıxış və giriş qütblərindən biri ümumi olduğu üçün tranzistorları da sxemə qoşmaqdan ötrü onun bir elektrodunu ümumi hesab etmək lazımdır (şək. 12.4,a,b,v).

1-ci sxem ümumi emitterli, 2-ci ümumi bazalı, 3-cü isə ümumi kollektorlu sxemlərdir. 1-ci sxemdə giriş gərginliyi baza- emitter gərginliyinə, çıxış gərginliyi isə kollektor- emitter gərginliyinə uyğun gəlir.

Bu sxemlərin fərqli cəhətlərini ayırd edək.

Ümumi bazalı sxemdə cərəyan idarə olunmadığı üçün güclənmə ancaq gərginliyə görə ola bilər. cərəyanı isə gücləndirmək olmur və gücə görə güclənmə əmsalı kiçik olur. Tranzistorun giriş müqaviməti az olur ($0,1 \div$

100 Om), çıxış müqaviməti isə çox böyük olur. Yük müqaviməti artdıqca giriş müqaviməti də artır.

Ümumi emitterli sxemdə həm gərginliyi, həm də cərəyanı gücləndirmək olur. Ona görə də gücə görə gücləndirmə əmsalı və giriş müqaviməti böyükdür. Yük müqaviməti artdıqda, giriş müqaviməti azalır.

Ümumi kollektorlu sxemlərdə giriş müqaviməti çox böyük olur, çıxış müqaviməti isə daha kiçikdir. Gərginliyi gücləndirə bilmir, cərəyanı isə gücləndirir. Bu sxemlərdən kiçik çıxış müqaviməti tələb olunduqda istifadə edilir.

12.3. Bipolyar tranzistorların iş rejimləri

Tranzistorlar 3 rejimdə işlədilir. Açıq, bağlı və aktiv. Açıq rejimə doyma rejimi də deyilir. Doyma rejimində hər 2 keçid açıq olur və onlardan böyük cərəyan axır, keçidlərin müqaviməti sıfıra yaxındır və tranzistor doyma rejimində olduğu üçün giriş signalının təsirindən onun vəziyyəti dəyişmir.

Bağlı rejimdə tranzistorun hər 2 keçidi bağlıdır və giriş- çıxış müqavimətləri çox böyükdür, keçidlərdən ancaq kiçik istilik cərəyanları axır. Odur ki, giriş signalı tranzistorun vəziyyətini dəyişmir.

Aktiv rejimdə emitter- baza keçidi açıq olur, kollektor keçidi isə əks tərəfə sürüşdüüyü üçün bağlıdır. Giriş signalının təsirindən bu keçidlərin vəziyyəti dəyişə bilər.

Elektrodlarındakı gərginliyə görə n-p-n tipli ümumi emitterli sxem üzrə qoşulmuş ($U_e=0$) tranzistorun iş rejiminin tapılmasına baxaq (şək.12.4,a):

A). U_b (bazanın potensialı) $=c0,6$ V; U_k (kollektorun potensialı) $=c0,2$ V;

B). U_b (bazanın potensialı) $=-1$ V; U_k (kollektorun potensialı) $=c10$ V;

c). U_b (bazanın potensialı) = 0,65 V; U_k (kollektorun potensialı) = 5 V.

Həlli. Tranzistorun p-n keçidlərindəki gərginlikləri hesablayaq.

a). $U_{eb} = U_e - U_b = 0 - 0,6 = -0,6 \text{ V} < 0$; $U_{kb} = U_k - U_b = 5 - 0,6 = 4,4 \text{ V} > 0$; $U_{ke} = U_k - U_e = 5 - 0 = 5 \text{ V}$; $U_{be} = U_b - U_e = 0,6 - 0 = 0,6 \text{ V}$; $U_{ke} < U_{be}$; $U_{eb} < 0$, $U_{kb} > 0$ və $U_{ke} < U_{be}$ olduqda tranzistor doyma rejimində olur;

b). $U_{eb} = U_e - U_b = 0 - (-1) = 1 \text{ V} > 0$; $U_{kb} = U_k - U_b = 10 - (-1) = 11 \text{ V} > 0$; $U_{ke} = 10 - 0 = 10 \text{ V}$; $U_{be} = 0,6 - 0 = 0,6 \text{ V}$; $U_{eb} > 0$, $U_{kb} > 0$ olduqda tranzistor bağlı rejimində olur;

c). $U_{eb} = U_e - U_b = 0 - 0,65 = -0,65 \text{ V} < 0$; $U_{kb} = U_k - U_b = 5 - 0,65 = 4,35 \text{ V} > 0$; $U_{eb} < 0$, $U_{kb} > 0$ olduqda tranzistor aktiv rejimində olur.

Ümumi emitterli sxem üzrə qoşulmuş tranzistorun aktiv iş rejimində baza cərəyanı giriş, kollektor cərəyanı isə çıxış olur. Kirxhofun birinci qanununa görə $I_e = I_k + I_b$; $I_k = \beta I_e$ olduğu üçün $I_b = I_e(1 - \beta)$. $\beta \approx 1$ olduqda baza cərəyanı emitter və kollektor cərəyanlarından dəfələrlə kiçik olur.

Baza cərəyanının kiçik dəyişməsi çıxış (kollektor) cərəyanının çox dəyişməsinə səbəb olur. Kaskad idarə etmək üçün kiçik idarəedici cərəyan tələb olunur. Bu zaman kaskadın cərəyanına görə güclənmə əmsalı böyük olur:

$$\alpha = I_k / I_b = \beta I_e / (I_e(1 - \beta)) = \beta / (1 - \beta). \quad (12.1)$$

Bu əmsal ümumi emitterli sxemdə tranzistorun cərəyanına görə statik güclənmə əmsalı adlanır: $\beta \rightarrow 1$ olduqda $\alpha \gg 1$ olur.

p-n-p tipli tranzistorlarda rejimlər analogi olaraq yaranır. Lakin orada işarələr tərsinə götürülməlidir və bazada qeyri-əsas daşıyıcılar dəyişir.

12.4. Bipolyar tranzistorların əsas parametrləri

Bipolyar tranzistorların əsas parametrləri aşağıdakıdır (cədv.12.1): kollektor- baza gərginliyi (U_{kb}); kollektor-emitter gərginliyi (U_{ke}); kollektor, baza və emitter cərəyanları (I_k , I_b , I_e).

Əks cərəyanları göstərmək üçün indeksin axırına «o» əlavə olunur.

İmpuls rejimində bu parametrləri digərlərindən fərqləndirmək üçün indeksin sonuna «m» əlavə edilir.

12.5. Bipolyar tranzistorların volt- amper xarakteristikaları

Tranzistorların bütün rejimləri haqqında və onların parametrləri arasındakı əlaqəni volt- amper xarakteristikaları əsasında almaq olur. Bu xarakteristikaların köməyi ilə tranzistorların əsas gərginlik və cərəyanları, onların stabilliyini və sürüşmə dövrəsinin parametrlərini təyin etmək olar. Adətən 2 statik xarakteristikadan istifadə edilir: giriş və çıxış xarakteristikaları.

Giriş xarakteristikası, çıxış gərginliyinin müəyyən qiymətində giriş cərəyanının giriş gərginliyindən asılılığını göstərir (şək.12.5). Bu xarakteristikanın əsas məqsədi tranzistorun giriş dövrəsinə, müqavimətini, onun açılma gərginliyini və giriş dövrəsinin sərf etdiyi gücü öyrənməkdir. Giriş xarakteristikası diodun düz xarakteristikasına oxşayır. Çıxış gərginliyinin qiyməti sıfırdan böyük olduqda giriş xarakteristikaları çıxış gərginliyindən asılı deyil. Tranzistorların bir çox hallarda mənfi cəhət hesab olunan xüsusiyyəti ondan ibarətdir ki, keçidin temperaturu dəyişdikdə, giriş xarakteristikası da uyğun olaraq sürüşür.

Çıxış xarakteristikaları tranzistron qoşulma üsulundan asılı olaraq giriş cərəyanının qeyd olunmuş qiymətində çıxış cərəyanının çıxış gərginliyindən asılılığını göstərir.

P-n-p tipli bipolyar tranzistorun çıxış volt- amper xarakteristikaları ailəsi şəkl.12.6- da göstərilir.

Baxılan p-n-p tipli tranzistorlar üçün kollektor- baza mənfi gərginliyi absis oxunun sağ hissəsində götürülür. Bu gərginliklərə uyğun gələn çıxış xarakteristikası sağ yuxarı kvadrantda kiçik artımla təxminən üfqə vəziyyətdə gedir. Bunu izah etmək üçün tranzistorun potensial diaqramına baxaq (şəkl.12.7) (rənglərlə kasıblaşan təbəqələr ayrılıb).

Kollektor və emitterdə qatışıqlar daha çox olduğu üçün kasıblaşan təbəqələr daha çox bazaya toplaşmışdır.

Bazanın effektiv qalınlığı W_{eff} onun ümumi qalınlığından W kiçikdir. Kollektorun mənfi gərginliyinin artması kollektor keçidindəki kasıblaşan təbəqəni genişləndirir və uyğun olaraq bazanın effektiv qalınlığını azaldır. Bu hadisə Erli effekti adlanır. Bazanın qalınlığının modulyasiyası kollektorun mənfi gərginliyi ilə çıxış xarakteristikasının azca artmasına gətirir. Kollektor cərəyanı bu zaman artır, çünki deşiklərin kiçik bir hissəsi bazada elektronlarla rekombinasiya nəticəsində itir.

12.6. Ümumi emitterli bipolyar tranzistorun dəyişən cərəyana görə yük xəttinin qurulması

1. Verilmiş U_o , I_o qiymətlərinə görə çıxış xarakteristikasında $O(U_o, I_o)$ nöqtəsini tapırıq və həmin nöqtə kaskadın sakitlik nöqtəsi olur.

2. Horizontal ox üzərindəki $M(U_o, I_o, R_{bo})$ nöqtəsini tapmaq üçün $U_o = 10V$ nöqtəsindən sağda $I_o R_j = 9,25 \cdot 1230 = 11,38B$ nöqtəsini qeyd edirik. O və M

nöqtələrindən keçən xəttə $R_b = 1230 \text{ Om}$ üçün yük xətti deyilir (şək.12.6). Bu xətt ilə çıxış xarakteristikasının kəsişmə nöqtələrində N və P nöqtələrini qeyd edək. N nöqtəsi üçün $I_{b\min} = 1,1 \text{ mA}$, P nöqtəsi üçün isə $I_{b\max} = 0,1 \text{ mA}$ cərəyanları üçün çəkilmiş xarakteristikaları üzərindədir: $H(U_{\text{çixmin}} \cdot U_{\text{çixmax}})$; $K(U_{\text{çixmax}} \cdot U_{\text{çixmin}})$.

Şəkildən görüldüyü kimi bu koordinatları təyin etmək olar.

3. Çıxışda olan siqnalın amplitud qiymətlərini tapmaq üçün həmin kəmiyyətlərdən istifadə edərək aşağıdakı nöqtələri tapırıq:

$$U_{\text{çixm}} = (U_{\text{çixamax}} - U_{\text{çixmin}}) / 2 = (19 - 1,8) / 2 = 8,6 \text{ B}$$

$$I_{\text{çixm}} = (I_{\text{üdamax}} - I_{\text{çixmin}}) / 2 = (16 - 2) \cdot 10^{-3} / 2 = 4 \text{ mA}$$

4. Tranzistorun çıxışa verdiyi dəyişən gücü tapılır:

$$R_b = U_{\text{çix.m}} \cdot I_{\text{çix}} / 2 = 8,6 \cdot 7 \cdot 10^{-2} / 2 = 0,3 \text{ Vt}$$

5. Tranzistorun dəyişən cərəyana görə çıxış müqaviməti belə tapılır:

$$R_{\text{çix.tr}} = \frac{U_{\text{çix.m}}^2}{2P} = \frac{8,6^2}{2 \cdot 0,03} = 1230 \text{ Om}$$

6. Bundan sonra tranzistorun giriş xarakteristikasına aid olan parametrlər tapılır. Bundan ötrü $I_{\text{gir max}}$, I_{girmin} , I_o gir, $U_{\text{gir max}} - U_{\text{girmin}}$, $I_{\text{gir m}}$ parametrləri təyin edilir (şək.12.5).

7. I_{girmin} , və I_{girm} cərəyanları N və P nöqtələrinin yerləşdiyi çıxış xarakteristikasının hansı I_b qiymətində çıxarıldığına əsasən təyin olunur:

$$I_{\text{girmin}}, \text{ --- "N" --- } I_{\text{gir b}} = 1,1 \text{ mA}$$

$$I_{girm}, \text{ --- "P" --- } I_{gir1} = 0,1 \text{ mA.}$$

8. Giriş xarakteristikasında $I_{gir \text{ max}}$, I_{girm} cərəyanlarına uyğun "1" və "6" nöqtələrini qurub, U_{girm} və $U_{gir \text{ max}}$ gərginliklərini tapırıq.

Giriş siqnalının ən böyük qiyməti belə tapılır:

$$\begin{aligned} I_{girm} &= I_{\text{ö}} / \beta \\ U_{\text{çixm}} &= U_{\text{öamax}} - U_{\text{çixmin}} \\ I_{\text{çixm}} &= I_{\text{öamax}} - I_{\text{çixmin}} \end{aligned}$$

9. Sıfır vəziyyətində tranzistorun giriş cərəyanı tapılır:

$$I_{o \text{ gir}} = (1,02 - 1,05)I_{\text{ö}1}$$

10. Bundan sonra isə tranzistorun dəyişən cərəyana görə giriş müqaviməti tapılır:

$$R_{\text{çix tr}} = (U_{\text{öamax}} - U_{\text{çixmin}}) / (I_{\text{öamax}} - I_{\text{çixmin}}) = 2U_{\text{gir t}} / 2I_{\text{gir t}} = 200 \text{ Om}$$

Beləliklə, bipolyar tranzistorun dəyişən cərəyana görə yük xətti və bu xətlə əlaqədar əsas parametrlər bu qayda ilə təyin olunur.

12.7. Gücləndirici rejimində bipolyar tranzistorun iş prinsipi

P-n-p tipli tranzistor gücləndirmə rejimində işlədiyi zaman emitter keçidi buraxma istiqamətində qoşulur və dəşikləri bazaya injeksiya edir (şək.12.3). Oradan dəşiklər əksinə sürüşmüş kollektor dövrəsinə düşür. Tranzistorun bazasının eni W dəşiklərin diffuziya uzunluğundan L_p kiçik olduğu üçün onların

konsentrasiyası emitterdən injeksiya olunan deşiklərin bazadan uçuşu zamanı demək olar ki dəyişmir (şək.12.7). Beləliklə, kollektorun və emitterin deşik cərəyanları təxminən bərabər olur ($I_{pk} = I_{pe}$). Kollektor keçidinin doyma cərəyanı I_{pk} cərəyanına nisbətən çox kiçik olduğu üçün onu nəzərə almamaq olar. Kollektor keçidi əks istiqamətdə sürüşdüyü üçün onun müqaviməti çox böyükdür və onun yük dövrəsinə kollektor cərəyanını dəyişdirməməklə böyük müqavimət qoşmaq olar. Bu zaman, yük müqaviməti kollektorun müqavimətindən xeyli kiçik olmalıdır. Bununla əlaqədar olaraq emitter və kollektor dövrlərində cərəyanın eyni qiymətdə dəyişməsi, müqaviməti kiçik olan emitter keçidindəki gərginlik düşgüsünün azca dəyişməsi yük müqavimətində gərginlik düşgüsünün xeyli dəyişməsinə səbəb olur ($U = I_{pk} * R_y$). Giriş və çıxış müqavimətlərinin kəskin fərqlənməsi nəticəsində tranzistor gücə görə güclənməni həyata keçirir.

12.8. Bipolyar tranzistorlu bir kaskadlı dəyişən cərəyan gücləndiricisi

Gücləndirici kaskadın (şək.12.8) iş prinsipi belədir. Sxemdə cərəyanların və gərginliklərin sabit mürəkkəblərinin olması tranzistorun baza cərəyanında, və bundan asılı olaraq kollektor cərəyanında dəyişən mürəkkəbənin əmələ gəlməsinə səbəb olur. R_y yük müqavimətində düşən gərginlik hesabına kollektorda dəyişən mürəkkəbə yaranır və c_{a2} vasitəsilə kaskadın çıxışına- yük dövrəsinə verilir.

Sxemin əsas elementləri aşağıdakılardır: qida mənbəyi- E_k , idarəedici element- tranzistor VT və kollektor müqaviməti R_k . Bu elementlər gücləndiricinin əsas dövrəsini əmələ gətirir. İdarə olunan baza dövrəsindən axan cərəyanın hesabına sxemin çıxışında gərginliyin güclənməsi baş verir. Qalan elementlər köməkçi rol oynayır. Kondensatorlar c_{a1} və c_{a2} ayırıcı kimi istifadə olunurlar. Kondensator c_{a1} kaskadın giriş dövrəsinin $E_k - R_1 - R_q$ dövrəsi üzrə giriş signalın mənbəyi ilə şuntlanmasının qarşısını alır və durğunluq rejimində baza gərginliyinin U_{bp} bu mənbənin daxili müqavimətindən (R_q) asılı olmamasını təmin edir. Bu kondensatorun funksiyası yük dövrəsinə dəyişən mürəkkəbələr buraxmaq və sabit mürəkkəbələr buraxmamaqdır. Rezistorlar R_{b1} və R_{b2} kaskadın durğunluq rejimini yaratmaqdan ibarətdir. Rezistor R_e mənfəi əks əlaqə yaradır və temperatur dəyişdikdə kaskadın durğunluq rejimini stabiləşdirmək üçün istifadə edilir.

Sxemin əsas parametrlərinin hesablanması aşağıdakı kimi aparılır:

Kaskadın hesablanması orta tezliklər diapazonu üçün aparılır və bu zaman parametrlərin tezlikdən asılılığı

nəzərə alınmır. Dəyişən cərəyana görə hesabat aparmaq üçün n parametrlərdə tranzistorun əvəzolunma sxemini qəbul etmək olar.

Dəyişən cərəyana görə qida mənbəyinin müqaviməti $R_q=0$ götürülür. Giriş signalı sinusoid hesab olunur.

Gücləndiricinin güclənmə əmsalını bilərək R_k -nin qiymətini tapmaq olar:

$$K_1 = \Xi \theta (R_k 2 R_y) / R_y$$

Bu ifadəni çevirməklə alarıq:

$$R_k 2 R_y = R_k \Xi R_y / (R_k c R_y); K_1 = \Xi \theta R_y / (R_k c R_y); R_k = k_1 R_y / (\Xi - k_1).$$

Verilənləri yerinə qoymaqla alarıq:

$$R_k = 10 \cdot 10^4 / (60 - 10) = 2 \cdot 10^3 \text{ Om}.$$

Qida mənbəyinin gərginliyi $c12 \text{ V}$ olduqda kollektordakı gərginliyi $c6 \text{ V}$ qəbul edilsə, onda kollektor cərəyanını tapmaq olar:

$$I_k = U_k / R_k = 6 / 2000 = 3 \cdot 10^{-3} \text{ A} = 3 \text{ mA}.$$

Gərginlik düşgüsünü $U_{ep} = 1 \text{ V}$ qəbul etsək ($I_k = I_e = 3 \text{ mA}$ olduğu üçün), onda

$$R_e = U_{ep} / I_e = 1 / 0,003 = 333 \text{ Om}.$$

Baza və emitter arasındakı gərginlik düşgüsünü $U_{bep} = 0,6 \text{ V}$ qəbul edək. Onda $U_{be} = 1c0,6 = 1,6 \text{ V}$ olur.

Qida gərginliyi 12 V olduğu üçün R_1 müqavimətindəki gərginlik $U_1 = 12 - 0,4 = 10,4 \text{ V}$.

$$I_{ob} = I_k / \Xi = 0,003 / 60 = 0,05 \text{ mA},$$

$$I_{ok} = (2-5)I_{ob} = 5 \cdot 0,05 \text{ mA} = 0,25 \text{ mA}.$$

R_1 və R_2 müqavimətlərini hesablayaq.

$$R_1 = U_1 / I_{ok} = 10,4 \text{ V} / 0,25 \text{ mA} = 41,6 \text{ kOm}$$

$$R_2 = U_{be} / I_{ok} = 1,6 \text{ V} / 0,25 \text{ mA} = 6,4 \text{ kOm}$$

Sxemin giriş müqavimətini təyin edək.

$$R_{gir} = R_1 \parallel R_2 \parallel r_{gir}, \text{ burada } r_{gir} = r_b c(1 \ominus) r_e,$$

$$r_e = v_T / R_e = 260 \cdot 10^{-3} / 333 = 0,76 \cdot 10^{-3} \text{ Om}.$$

$$r_b > r_e = 100-400 \text{ Om}. r_b = 100 \text{ Om qəbul etsək}$$

$$r_{gir} = 1/R_1 \parallel 1/R_2 \parallel 1/r_{gir} = 10,2 \text{ kOm}$$

C_{a1} və C_{a2} kondensatorlarının tutumlarını tapaq: $k_1 k_2 = 0,7$ olduğundan $k_1 = k_2 = 0,84$ qəbul etsək:

$$X_{ca1} = R_{gir} / k = 10,2 \text{ kOm} / 0,84 = 12,14 \cdot 10^3$$

$$C_{a1} = 1 / T X_{ca1} = 0,26 \cdot 10^{-6} \text{ F} = 0,26 \text{ mkF};$$

$$X_{ca2} = R_{yük} / k = 10 \text{ kOm} / 0,84 = 11,904 \cdot 10^3$$

$$C_{a2} = 1 / T X_{ca2} = 0,13 \cdot 10^{-4} \text{ F} = 13 \text{ mkF}.$$

Gücləndirici kaskadın prinsipial elektrik sxemini qurmaq üçün onun elementlərini, yəni 3 rezistoru, 2 kondensatoru və tranzistoru seçmək lazımdır.

Rezistorları müqavimətin qiymətinə, səpələnmə gücünə və qabaritinə görə seçmək lazımdır:

$$R_k = 2 \text{ kOm}; R_1 = 42 \text{ kOm}; R_2 = 6,4 \text{ kOm};$$

$$P_{Rk} = I_k^2 \cdot R_k = 9 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^3 \text{ Vt} = 18 \cdot 10^{-3} = 18 \text{ mVt};$$

$$P_{R1} = I_1^2 \cdot R_1 = 0,25^2 \cdot 10^{-6} \cdot 42 \cdot 10^3 \text{ Vt} = 2,5 \cdot 10^{-3} = 2,5 \text{ mVt};$$

$$P_{R2} = I_2^2 \cdot R_2 = 9 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^3 \text{ Vt} = 18 \cdot 10^{-3} = 18 \text{ mVt};$$

$$P_{max} = 0,250 \text{ Vt}; D = 3 \text{ mm}; L = 7 \text{ mm}$$

FƏSİL 13. SAHƏ TRANZİSTORLARI

Müxtəlif sahələr üçün yükdaşıyıcılarının işarəsi müxtəlif olan və yarımkeçiricinin həm p-, həm də n-sahəsi olan bipolyar tranzistorlardan fərqli olaraq, sahə tranzistorları unipolyar tranzistorlardır. Sahə tranzistorlarında cərəyan, bütün cərəyan keçirici sahələrdə əsas azad yükdaşıyıcılar tərəfindən yaradılır. Buna görə də, sahə tranzistorları universal cihaz olub, elektron qurğularının böyük bir qismində istifadə edilir. Sahə tranzistoru cüzi miqdarda cərəyan sərf etdiyi üçün onu gərginliklə idarə olunan cihaz adlandırmaq olar. Odur ki, sahə tranzistorlarının gücləndirmə xassələri elektron lampalarında olduğu kimi, xarakteristikanın dikliyi ilə xarakterizə olunur. Sahə tranzistoru hər ucundan omik çıxışı olan yarımkeçirici kanaldan ibarətdir. Kanalin səthində əks tərəflərdən cərəyanın istiqamətinə paralel olan p-n keçidi əmələ gəlir. Daşıyıcıların öz yoluna başladıkları sıxac istok (İ), son nöqtə isə stok (S) adlanır. P-n keçidinin 3- cü sıxacı zatvor (Z) adlanır. Zatvorun yaratdığı elektrik sahəsi kanaldakı yükdaşıyıcıların sıxlığının, yəni cərəyanın qiymətini dəyişir. İdarəetmə əks istiqamətdə sürüşmüş p-n keçidi vasitəsilə olduğu üçün kanal ilə idarəedici elektrod arasında olan müqavimət çox böyükdür.

Sahə tranzistorlarının əsas 2 tipindən istifadə olunur: p-n keçidli sahə tranzistoru (şək.13.1) və təçrid olunmuş zatvorlu sahə tranzistorları (MDY tranzistorları) (şək.13.2).

P-n keçidli və p-tipli sahə tranzistorlarının kəsiyi şək.13.1,a- da, onların şərti işarəsi isə şək.13.1,b- də göstərilir. P- tipli yarımkeçirici kanalın aşağı hissəsi istok çıxışı (İ) ilə, yuxarı hissəsi isə stok çıxışı (S) ilə düzləndirməyən omik kontaktlara malikdirlər. Azad əsas

yükdaşıyıcıların sonlu konsentrasiyası nəticəsində istokla stok arasında stok cərəyanı i_s axa bilər. P- tipli elektrik keçiricilikli sahə n- tipli elektrik keçiricilikli sahə ilə sərhəddədir. Onların sərhəddində p-n keçidi yaranır. Bu keçidə bağlayıcı gərginlik verdikdə (istoka- mənfi və n-sahəyə müsbət), potensial baryeri yüksəltmək olar və p-təbəqənin daşıyıcılarının az olduğu sahəni genişləndirmək olar. Bunun nəticəsində stok cərəyanı azalmağa başlayacaq və müəyyən qiymətdə sıfıra bərabər olacaq. N- sahə ilə omik kontaktda olan və p-n keçidə idarəedici gərginlik vermək üçün yaradılan idarəedici elektrod zatvor (Z) adlanır. cihazın iş prinsipinə görə xarici gərginlik stok cərəyanını ancaq azalda bilər. Bu cür rejim yoxsullaşma rejimi adlanır. Göründüyü kimi, idarə olunan p-n keçidli sahə tranzistorlarında zatvor p-n keçidini özündə əks etdirir.

Şottki baryerli sahə tranzistorlarında isə düzləndirici metal- yarımkeçirici kontaktı əks etdirir (şək.13.3,a). Bu tip sahə tranzistorlarının şərti işarəsi şək.13.3,b- də göstərilir. Hər iki halda zatvora gərginlik tətbiq olunduqda fəza yükü sahəsinin qalınlığı dəyişir. Bu zaman kanalın keçirici kəsiyi dəyişir və uyğun olaraq, sahə tranzistorlarının işçi cərəyanı da dəyişir. Düz sürüşmə zamanı fəza yükünün sahəsinin eni azalır, kanalın keçirici kəsiyi artır və uyğun olaraq işçi cərəyan da artır. Bu rejimə kanalın «varlanması» rejimi deyilir. Lakin idarəedici gərginliyin qiyməti zatvordan kanalın sahəsinə düz cərəyanın axması üzündən qadağan olunmuş zonanın təxminən eninin yarısı ilə məhdudlaşır (Silisium materialı üçün 0,6 eV və GaAs üçün isə 0,7 eV).

Zatvorda əks sürüşmə zamanı fəza yükü sahəsi kanal sahəsinə yayılır, bununla da kanalın keçirici kəsiyi azalır və uyğun olaraq, işçi cərəyanlar azalır (kanalın «yoxsullaşması» rejimi).

Zatvorda gərginliyin müəyyən qiymətində (bağlanma gərginliyi) fəza yükü sahəsi kanalı örtür və işçi cərəyanın qiyməti ancaq sızma cərəyanları ilə təyin olunur. Bu rejimə isə kanalın sızma rejimi deyilir.

Birinci qrupdan olan sahə tranzistorları əsasən kA-nalın yoxsullaşması rejimində işləyirlər. Bu, idarəedici gərginliklərin böyük diapazonunda işləmək imkanını təmin edir.

MDY tranzistorlarına üzən zatvorlu və təcrid olunmuş zatvorda yükü toplanan tranzistorlar daxildirlər.

MDY quruluşlu sahə tranzistorlarında zatvor kanaldan nazik izolyasiya təbəqəsi (0,05-0,20 mkm) ilə ayrılır və istənilən işarəli gərginliyin tətbiq olunmasını təmin edir.

Çox nazik izolyasiya təbəqəsi olduqda, sahənin kanala girməsi və təsir etməsi çətin deyil. Ancaq bu zaman zatvordan keçən cərəyan xeyli azalır və zatvora tətbiq olunan gərginliyin işindən asılı olmur (p-n keçidli tranzistordan fərqli olaraq).

Əgər kanal texnoloji üsulla yaradılıbsa (əsasən n keçiricilikli qoşulmuş kanal) (şək.13.2,a), stokdakı işçi cərəyanın qiyməti zatvordakı gərginlikdən əks asılılığa malikdir. İstokla stok arasında gərginlik tətbiq etdikdə və zatvorda gərginlik olmadıqda kanaldan yoxsullaşmış cərəyan axır. Bu stokun ilkin cərəyanıdır və onu zatvorla istok arasındakı gərginliyin qiymətini və işarəsini dəyişməklə idarə etmək olar. Zatvor- istok gərginliyinin müəyyən müsbət qiymətində n kanallı və mənfi qiymətində p kanallı sahə tranzistorunda stok cərəyanı kəsilir. Bağlanmış tipli sahə tranzistorlarında zatvorda gərginlik olmadıqda stokla istok arasındakı cərəyan çox kiçik olur. N- tipli texnoloji üsulla qoşulmuş kanallı MDY sahə tranzistorlarının şərti işarəsi şək.13.2,b- də göstərilir.

Əgər kanal zatvora verilmiş gərginliklə yaranıbsa (induksiyalanmış kanal) (şək.13.4,a), onda zatvora verilən gərginliyin müəyyən qiymətində stok cərəyanı sıfıra bərabər olur. Gərginliyin qiyməti artdıqca stok cərəyanı da artır (kanalın varlanması rejimi). N kanallı tranzistorun zatvoruna istoka nisbətən mənfi gərginlik verildikdə (p kanallı tranzistor üçün müsbət) stokla istok arasında axan cərəyan artır. İnduksiyalanmış n kanallı MDY sahə tranzistorlarının şərti işarəsi şək.13.4,b- də göstərilir.

Sahə tranzistorları elektron lampalarının bərk cisimli analoglarıdır. Onlar analogi elektrik parametrləri sistemi ilə xarakterizə olunurlar: xarakteristikasının dikliyi- 0,1-5000 mA/V; bağlanma gərginliyi- 0,6-20 V; sabit cərəyana görə giriş müqaviməti- 10^{11} - 10^{16} Om.

İdarə olunan keçidli sahə tranzistorları tezliyin geniş diapazonunda, infraaşağı tezlikdən infrayüksək tezliklərə qədər, küylərin (əsasən istilik küylərinin) səviyyəsinin ən kiçik olduğu tranzistorlardır.

Horizontal kanallı sahə tranzistorlarının səpələnmə gücü onlarla Vatta, şaquli kanallılarda isə yüzlərlə vatta çatır. Onların mənfi cəhəti keçid tutumunun böyük olmasıdır. Odur ki, böyük güclənmə tələb olunduqda tranzistorun keçid tutumunu neytrallaşdırmaq lazım gəlir.

Şaquli kanallı sahə tranzistorlarını yüksək deşilmə gərginliyinə (1000 V) və signalın təhrifinin aşağı səviyyəsinə görə audiosistemlərin çıxış qurğularında istifadə edirlər.

Metal- yarımkeçirici keçidli sahə tranzistorları yüksək işçi tezliklərinə malikdirlər (GaAs materiallı üfqı kanallı sahə tranzistorlarının gücə görə güclənməsinin maksimal tezliyi 100 QHs- dir).

Sahə tranzistorları xətti rejimdə (ötürmə xarakteristikasının xətti hissəsində) və impuls rejimində (ötürmə xarakteristikasının qeyri- xətti hissəsində)

işləyirlər. Xətti rejimdə sahə tranzistorlarının çıxış signalının forması giriş signalının formasını təkrar edir və onun cərəyanını, gərginliyini və ya gücünü dəyişə bilər.

İmpuls rejimində sahə tranzistorlarının çıxış signalı girişdəkinə nisbətən təhrif olunur. Bunun səbəbi sahə tranzistorlarının volt- amper xarakteristikasının dikliyinin işçi cərəyanının qiymətindən asılı olmasıdır. Yüksək tezliklərdə bu təhriflər elektrodların və kanalın tutumlarının tətbiq olunan gərginlikdən asılı olması ilə də təyin olunur.

13.1. Sahə tranzistorlarının qoşulma sxemləri

Sahə tranzistorlarının qoşulma sxemləri aşağıdakılardır (şək.13.5).

Sahə tranzistorlarını fəal qeyri- simmetrik dördqütblü kimi təsəvvür edirlər. Bundan ötrü onun bir elektrodu giriş və çıxış dövrləri üçün ümumi olmalıdır. Tranzistorun hansı elektrodunun yerə birləşməyindən asılı olaraq onların ümumi zatvorlu, ümumi istoklu və ümumi stoklu sxemləri olur.

Ümumi istoklu qoşulma sxemlərində (şək.13.5,a) gücə görə daha böyük güclənmə almaq olur və çox geniş istifadə edilir. Bu sxemli sahə tranzistorunun giriş müqaviməti çox böyük, giriş tutumu da nisbətən böyük olur və güclənmə əmsalı artıqda çoxalır.

Ümumi stoklu sxemin (şək.13.5,b) giriş və çıxış müqavimətləri çox böyük olur və gərginliyi gücləndirə bilmir. Kaskadın giriş tutumu nisbətən kiçikdir və stok-zatvor tutumu ilə xarakterizə olunur.

Ümumi zatvorlu sxemin (şək.13.5,v) kiçik giriş müqaviməti olur, cərəyanı gücləndirə bilmir və gərginliyə görə güclənməsi çox böyükdür. Bu qoşulma sxemi az istifadə olunur və əsasən küyün səviyyəsini azaltmaq üçün işlədilir.

13.2. Sahə tranzistorlarının əsas parametrləri

Qoşulmasından asılı olaraq sahə tranzistorlarının aşağıdakı parametrləri var: S – keçid xarakteristikasının dikliyi- stok cərəyanının dəyişən toplananının onu doğuran zatvor –istok dəyişən gərginliyinə olan nisbətidir; I_{si} - stokun likin cərəyanı- zatvorla istok bilavasitə birləşdikdə və stok- istok gərginliyinin müəyyən qiymətində stok cərəyanıdır; I_z - zatvor cərəyanı- stokla istok birləşdikdə və müəyyən istok- zatvor gərginliyində zatvordan axan cərəyanın sabit toplananıdır; $U_{bağ}$ – bağlanma gərginliyi- stok cərəyanı çox kiçik olduqda zatvorla istok arasındakı gərginlik; U_{ast} astana gərginliyi- varlanmış kanallı tranzistorun zavtor- istok gərginliyi bu qiymətə catanda çox kiçik stok cərəyanı axır; I_{ast} – astana cərəyanı- stok cərəyanının elə bir qiymətidir ki, bu zaman kanalın elektrik keçiriciliyi kəsilir; I_{smax} - stok cərəyanının maksimal qiymətidir; U_{smax} , U_{zsmx} , U_{zimax} - sahə tranzistorunun elektrodları arasındakı maksimal gərginlikdir (bu qiymətlərdən sonra tranzistor işləmir); P_{max} - - maksimal buraxıla bilən səpələnmə gücüdür (bu qiymətdən sonra sahə tranzistorları işdən çıxa bilər); $T_{or,max}$ və $T_{or,min}$ - tranzistorun işlədiyi mühitin buraxıla bilən maksimal və minimal temperaturlarıdır.

13.3. Sahə tranzistorlarının volt- amper xarakteristikaları

Bu xarakteristikalar özlərində sahə tranzistorlarının rejimləri və onların parametrləri arasınca olan bütün əlaqələri haqqında olan informasiyanı əks etdirir. Məlumdur ki, sahə tranzistorları haqqında olan bəzi ilkin məlumatlar xüsusi məlumat kitablarından götürülməlidir.

Lakin ayrı- ayrı sxemlərdə tətbiq olunma imkanları haqqında olan informasiya, onların volt- amper xarakteristikasından təyin edilir. Bu xarakteristikalar əsasında həmçinin tranzistorun sürüşmə dövrəsi, rejimin stabilliyi, cərəyanın və gərginliyin geniş diapazonda dəyişməsi zamanı tranzistorun işləmə effektivliyi hesablanır. Adətən 2 növ statik volt- amper xarakteristikalarından istifadə olunur: stok- zatvor (keçid) və stok- istok (çıxış) volt- amper xarakteristikaları.

Stok- zatvor xarakteristikası stok cərəyanının zatvor –istok gərginliyindən asılılığını göstərir (şək.13.6).

Xarakteristikadan görüldüyü kimi zatvor- istok gərginliyinin sıfır qiymətində keçid açıq olur və stok cərəyanı çox böyük olur. Zatvor- istok gərginliyi müsbət istiqamətdə artdıqda, keçid bağlanmağa başlayır və stok cərəyanı azalır. Zatvor-istok gərginliyinin qiyməti müəyyən qiymətə çatdıqda, keçid tam bağlanır və stok cərəyanı sıfır olur (yoxsullaşma rejimli sahə tranzistorlarında).

Varlanma rejimli sahə tranzistorlarında isə tərsinə, zatvor- istok gərginliyinin müəyyən kiçik qiymətində keçid bağlı olur və stok cərəyanı çox kiçik olur. Zatvor- istok gərginliyi müsbət istiqamətdə artdıqda, keçid açılmağa başlayır və stok cərəyanı artır. Zatvor-istok gərginliyinin qiyməti müəyyən qiymətə çatdıqda, keçid tam açılır və stok cərəyanı maksimal qiymətə çatır.

Çıxış xarakteristikası zatvor- istok gərginliyinin müəyyən qiymətində stok cərəyanının stok- istok gərginliyindən asılılığını göstərir (şək.13.7).

13.4. Sahə tranzistorlarının yük xətlərinin qurulması

Sahə tranzistorlu rezistor kaskadı üçün sabit və dəyişən cərəyanların yük xətlərini çəkək (şək.13.8,a,b). Stok cərəyanının sabit mürəkkəbəsi R müqavimətindən axır. Ona görə də stok dövrəsinin sabit cərəyana görə yük müqaviməti $R_4 = R$ olur, yəni $R_4 = 12,7 \text{ kOm}$ (sahə tranzistorunun parametrləri şəkildə verilir). Çıxış xarakteristikalarının ailəsinin üfqı xəttində kaskada tətbiq olunmuş $E = 12 \text{ V}$ nöqtəsini və şaquli ox üzərində $I_4 = E / R_4 = 4,4 \text{ mA}$ nöqtəsini qeyd edirik. Bu nöqtələri birləşdirməklə sabit cərəyana görə yük xəttini (AB xəttini) alırıq. Zətvordakı sürüşmə gərginliyi $U_{oz} = -1 \text{ V}$ olduğu, AB xətti ilə $U_z = -1 \text{ V}$ üçün statik xarakteristikanın kəsişmə nöqtəsi durğunluq nöqtəsi (O nöqtəsi) olacaq. Bu nöqtədə $I_0 = 2 \text{ mA}$; $U_0 = E - I_0 R_0 = 12 - 2 \cdot 10^{-3} \cdot 2,7 \cdot 10^3 = 12 - 5,4 = 6,6 \text{ V}$.

Dəyişən cərəyana görə yük xəttini qurmaq üçün çıxış dövrəsinin dəyişən cərəyana görə yük müqavimətini R_j təyin edək. Stok cərəyanının dəyişən mürəkkəbəsinin 2 yolu var- R müqaviməti, qida mənbəyi, və R_{yc} dövrəsi. Ayırıcı c kondensatorunun tutumunu böyük götürdükdə onun müqaviməti siqnalın tezliyi üçün çox kiçik olur və $R_j = R // R_y$:

$$R_j = R * R_y / (R + R_y) = 2700 * 5000 / (2700 + 5000) = 1750 \text{ Om}.$$

Ona görə də dəyişən cərəyana görə yük xətti (OD xətti) O nöqtəsindən və üfqı ox üzərindəki D nöqtəsindən keçir. Bu nöqtənin absisi

$$U_0 \text{ c} I_0 R_j = 6,6 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 1750 = 10,1 \text{ Om olur}.$$

Uyğun olaraq, $R \# R_j$ olur. Əgər kaskadın girişinə $U_{gir.m} = 0,5 \text{ V}$ amplitudalı sinusoidal e.h.q. verilərsə, yük xəttinin kənar işçi nöqtələri (H və M nöqtələri) onun statik xarakteristikalarla kəsişmə nöqtəsində olaçaq:

$$U_{oz} - U_{gir.m} = -1 - 0,5 = -0,5 \text{ V},$$

$$U_{oz} - U_{gir.m} = -1 - 0,5 = -1,5 \text{ V}.$$

Bu nöqtəni üfqə oxa proektləndirdikdə: $2U_{çix.m} = 8,8 - 3,7 = 5,1 \text{ V}$ olur. Buradan

$$2I_{çix.m} = 2U_{çix.m}/R_j = 2,9 \text{ mA},$$

$$2I_{nm} = 2U_{çix.m}/R = 1,02 \text{ mA},$$

$$P_j = 0,125 \cdot 2U_{çix.m} \cdot 2I_{çix.m} = 1,845 \text{ mVt},$$

$$P_y = 0,125 \cdot 2U_{çix.m} \cdot 2I_{nm} = 0,65 \text{ mVt}.$$

Kaskadın güclənmə əmsalı aşağıdakı kimi tapılır:

$$k = U_{çix.m} / I_{çix.m} = 5.1$$

13.5. Sahə tranzistorlu açarın hesabı

Sahə tranzistorunda qurulmuş rezistor yüklü açarın prinsipial elektrik sxemi şəkl.13.9,a- da göstərilir. Açarın bağlanması üçün tranzistorun zatvora verilən gərginliyi U_z astana gərginliyindən (U_{ast}) kiçik olmalıdır. Bu vəziyyətdə R_0 rezistorundan p-n keçidinin əks cərəyanı axır: $I_{qalıq}=10^{-9}-10^{-10}$ A. Qalıq cərəyanın bu cür kiçik qiymətində $I_0 \cdot R_0$ gərginliyi çox kiçikdir və hesab etmək olar ki, bağlı açarın çıxış gərginliyi $U_{max} = E_0$ olur. Volt - amper xarakteristikasında açarın bağlı vəziyyətinə A nöqtəsi uyğun gəlir (şəkl. 13.9,b).

Açarı açmaq üçün zatvora $U_z > U_{ast}$ gərginliyi vermək lazımdır. Bu gərginlik mümkün qədər çox olmalıdır ki, qalıq gərginliyi az olsun. Şəkl. 13.9,b- də bu vəziyyət V nöqtəsi ilə göstərilir. Açıq açarın işçi cərəyanı (doyma cərəyanı) sxemin xarici elementləri ilə təyin olunur:

$$I_{sn} = (E_0 - U_{qalıq}) \cdot R_s = E_s / R_s$$

Qalıq gərginliyi isə belə təyin olunur:

$$U_{qalıq} = E_0 / (b(U_z - U_{ast}) \cdot R_s)$$

burada b- tranzistorun xüsusi dikliyidir (adətən $b=0,1 \text{ mA/V}^2$ olur).

Volt- amper xarakteristikasının dik hissəsində tranzistorun müqaviməti belə hesablanır:

$$R_0 = 1 / (U_{zi} - U_{ast}) \cdot b.$$

Nümunə. $E_0=12$ V olduqda KP301B tranzistoru üçün açar sxemini hesablamalı.

Bu tip tranzistorlar üçün astana gərginliyi $U_{ast}=5$ V olur. Buna görə də tranzistoru bağlamaq üçün $U_z < U_{ast}$ olmalıdır. Bu zaman açarın çıxış gərginliyi 12 V olacaq.

Açarın açıq olması üçün $U_z > 5$ V olmalıdır. Bu zaman $I_{sn} = E_s / R_s$. Fərz etsək ki, $I_{sn} = 15$ mA, onda $R_s = E_s / I_{sn} = 800$ Om olacaq. Digər parametrlər isə aşağıdakı kimi hesablanır:

$$U_{qalıq} = E_0 / (b(U_z - U_{ast}) * R) = 12 / (0,1 * (10 - 5) * 800) = 3 \text{ V};$$
$$R_0 = 1 / (U_{zi} - U_{ast}) * b = 2 \text{ kOm}.$$

Beləliklə açar sxeminin əsas parametrləri və elementləri təyin olundu.

FƏSİL 14. TİRİSTORLAR

14.1. Tiristorlar haqqında ümumi məlumat

Tiristor, p-n-p-n tipli çoxtəbəqəli strukturlu yarımkeçirici monokristal əsasında hazırlanmış yarımkeçirici cihazdır. Bu cihazların 3 və ya daha çox elektron-deşik keçidi olur. Tiristorlar elektrik ventilinə xassələrinə malikdirlər (şək.14.1).

Adətən tiristorların 3 elektrodu olur. Onlardan ikisi (katod və anod) monokristalın kənar sahələri ilə kontaktda olur. Üçüncü elektrod (idarəedici) isə aralıq təbəqələrin biri ilə kontaktda olur. Bu cür idarə olunan tiristorlara triod tiristoru və ya trinistor deyilir. Ancaq iki elektrodu (katod və anod) olan və idarə olunmayan tiristora isə diod tiristoru və ya dinistor deyilir.

Tiristorların volt- amper xarakteristikası S- şəkilli görünüşə malikdir (şək.14.2). Tiratronlarla müqayisədə tiristorlar asanlıqla bağlı vəziyyətdən (aşağı keçiricilikdən- volt- amper xarakteristikasındakı A nöqtəsindən) açıq vəziyyətə (yüksək keçiriciliyə və ya diferensial müqavimətin sıfıra yaxın qiymətli V nöqtəsinə) və ya tərsinə keçə bilirlər. Volt- amper xarakteristikasının SD sahəsi tiristorun mənfi diferensial müqavimətli vəziyyətinə uyğun gəlir. İki dayanıqlı vəziyyətə və həmçinin aşağı səpələnmə gücünə malik olması tiristorların müxtəlif qurğularda istifadəsinə şərait yaradır.

Əgər tiristorun anoduna (xarici p- təbəqəsinə) katoda (xarici n- təbəqəyə) nisbətən müsbət potensial verilərsə, onda kənar elektron-deşik keçidləri (P_1 və P_3) düz istiqamətdə sürüşmüş olurlar. P_2 mərkəzi keçidi isə əks istiqamətdə sürüşür. P_1 və P_3 keçidləri vasitəsilə P_2 keçidinə söykənən sahələrə qeyri- əsas yük daşıyıcıları injeksiya olunurlar. Bu zaman P_2 keçidinin müqaviməti azalır və ondan keçən cərəyan artır.

Anod gərginliyinin artması ilə tiristordan keçən cərəyan əvvəlcə yavaş- yavaş artır (volt- amper xarakteristikasındakı OA hissəsi). Bu rejimdə P_2 keçidinin müqaviməti hələ böyük olur. Bu da tiristorun bağlı vəziyyətinə uyğun olur. Tiristora verilən gərginliyin artması ilə P_2 keçidinə tətbiq olunan gərginliyin payı azalır və P_1 və P_3 keçidlərinə düşən birbaşa gərginlik artır. Bu da tiristordan keçən cərəyanın artmasına və P_2 keçidinə qeyri- əsas daşıyıcıların injeksiyası güclənir. Çevrilmə gərginliyi adlanan qiymətdə (onlarla və yüzrlərlə V) (volt- amper xarakteristikasındakı S nöqtəsi), tiristor yüksək keçiricilikli vəziyyətə keçir. Bu zaman tiristordakı cərəyan xarici mənbəyin gərginliyi və xarici dövrənin müqaviməti ilə təyin olunur.

14.2. Tiristorun ekvivalent sxemi

Tiristorun sıçrayışla çevrilməsi prosesini izah edək. Bu zaman P_1 və P_3 keçidləri p-n-p (T_1) və n-p-n (T_2) tranzistorlarının toplananlarının emitter keçidləri kimi baxılmalıdır. P_2 keçidi isə ümumi kollektor kimi qəbul olunur. Özü də T_2 -nin bazası T_1 -in kollektoru ilə və T_1 -in bazası isə T_2 -nin kollektoru ilə birləşdirilir (şək. 14.3).

Xarici dövrədən axan cərəyan (I_1) birinci və ikinci tranzistorların emitter cərəyanları olur (I_{e1} və I_{e2}). Onunla bərabər bu cərəyan iki kollektor cərəyanlarının və kollektor keçidinin əks cərəyanının (I_0) cəminə bərabər olur: $I = I_{k1} + I_{k2} + I_0 = \nabla_1 I_{e1} + \nabla_2 I_{e2} + I_0$. Bu düsturda ∇_1 və ∇_2 - uyğun olaraq tranzistorların emitter cərəyanlarını ötürmə əmsallarıdır. $I = I_{e1}$ və $I = I_{e2}$ olduğu üçün $I = I_0 / (1 - \nabla_1 - \nabla_2)$ olur. Kiçik cərəyanlarda əmsallar vahiddən kiçik və $I = I_0$ (birinci tranzistor dayanıqlı vəziyyətdə) olur. cərəyan artdıqca əmsalların qiyməti artır və uyğun olaraq I

cərəyanı da artır. Bu cərəyanın qiyməti qoşulma cərəyanına bərabər olduqda, əmsalların cəmi vahidə yaxın olur və tiristorun açıq vəziyyətə keçməsinə və cərəyanın kəskin artmasına səbəb olur. Tiristorların keçid gərginliyi ikinci tranzistorun ləvin dəşilməsi gərginliyinə yaxın, lakin ondan kiçik olur. Əmsalların cəmi vahiddən böyük olduqda (volt- amper xarakteristikasında B nöqtəsi) tranzistorların bütün keçidləri doyma rejiminə keçir. Tiristordan keçən cərəyan xarici dövrənin müqaviməti ilə məhdudlaşır. Gərginlik isə 1-2 V olur.

Tiristordan keçən cərəyanı azaltdıqda müəyyən qiymətdə (volt- amper xarakteristikasında D nöqtəsi) tiristor bağlanır və keçiriciliyi aşağı düşür (şək.14.2).

Açıq vəziyyətdə minimal cərəyan saxlama cərəyanı adlanır (idarəedici elektrodan keçən cərəyan sıfır olduqda). Əgər ($I = I_{\text{saxlama}}, \forall_1 \text{ c } \forall_2 = 1$ və ikinci tranzistorun mərkəzi keçidində gərginlik sıfır olduqda, tiristor açıq vəziyyətdə uzun müddət qala bilər (hətta idarəedici cərəyanın qiyməti sıfıra bərabər olduqda). Çünki, bu halda tranzistor bir- birini doyma rejimində saxlayırlar (ikinci tranzistorun kollektor cərəyanı birinci tranzistorun baza cərəyanıdır və tərsinə). $\forall_2$ - nin cərəyandan artan asılılığı P_2 emitter keçidini şuntladıqda daha da artır. Şuntlayıcı rezistor istehsal zamanı yaradılır.

İdarəedici elektrodun dövrəsinə cərəyan verildikdə, tranzistor güclənməsi effekti nəticəsində, tiristordan keçən ümumi cərəyan artır. $\forall_1$ və $\forall_2$ cərəyanları artdığından tiristor çevrilmə gərginliyinin kiçik qiymətlərində açıq vəziyyətə keçir. Tiristor qoşulduqda gücə görə güclənmə əmsalı 10^5 -ə çatır. Əgər anoda katoda nisbətən mənfi gərginlik tətbiq olunarsa, onda tiristordan keçən cərəyan əks istiqamətdə sürüşmüş və ardıcıl qoşulmuş P_1 və P_3 keçidlərinin müqavimətləri ilə təyin olunur.

Tiristorlar təyinatına və iş prinsipinə görə bağlanan (idarəedici elektrod dövrəsi üzrə qoşulan), sürətli, impuls,

simmetrik və ya iki istiqamətli (ikiterəfli keçiricilikli), fototiristorlar, binistorlar və b. siniflərə bölünürlər.

Onlardan tənzimlənən qida mənbələrində (məs., elektrik intiqallarında), güclü impuls generatorlarında, sabit cərəyan elektrik enerjisinin ötürülməsi xətlərində, avtomatik idarəetmə sistemlərində və s. sahələrdə istifadə olunurlar.

FƏSİL 15. ANALOQ ELEKTRONİKASI

Analoq elektronikasında siqnalların qəbulu, çevrilməsi, emalı və verilməsi gərginliyin və ya cərəyanın fasiləsiz olaraq dəyişməsi vasitəsilə yerinə yetirilir. Analoq elektronikasının istənilən elementinin çıxış siqnalı giriş siqnalının fasiləsiz funksiyasıdır. Analoq elektronikasının əsas elementlərindən biri gücləndiricilərdir.

15.1. Gücləndiricilərin qurulmasının əsasları

Gücləndiricilərin əsas vəzifəsi qida mənbəyinin enerjisi hesabına giriş siqnalının gücünü artırmaqdır. Gücləndiricilərdə az güclü giriş siqnalı, qida mənbəyinin enerjisini, lazım olan yükə ötürülməsini idarə edir.

Gücləndiricilərə aktiv dördqütblü kimi baxmaq olar (şək.15.1). Onun giriş və çıxış dövrəsinin əksər halda bir ümumi nöqtəsi olur. Bu nöqtəyə «yer» və ya «torpaqlanmış nöqtə» deyilir. Giriş siqnalı mənbəyi U_{gir} kimi verici və ya daxili müqaviməti R_0 olan digər gücləndirici ola bilər. Gücləndiricinin çıxış tərəfini isə E gərginlik mənbəyi və öz daxili müqaviməti $R_{çix}$ kimi göstərmək olar. Strukturuna görə gücləndiricilər bir və ya çox kaskadlı ola bilərlər. Belə kaskadların arasındakı dövrələr (əlaqələr) gücləndirilən siqnalların xarakterindən asılı olaraq müxtəlif cür ola bilər ($RÇ$ - əlaqəli, transformatorlu, qalvanik (birbaşa), optoelektronlu və s.).

Gücləndiricilərin əsas parametrləri ilə tanış olaq:

1. Gücləndirmə əmsalı- gücləndiricinin çıxışındakı artımın girişindəki artımdan necə dəfə çox olduğunu göstərir. Beləliklə, cərəyana, gərginliyə və gücə görə güclənmə əmsalları mövcuddur:

$$k_i = I_{\text{çix}}/I_{\text{gir}}; k_u = U_{\text{çix}}/U_{\text{gir}}; \quad (15.1)$$

$$k_p = P_{\text{çix}}/P_{\text{gir}} \text{ və ya } k_p = E^2 R_{\text{gir}}/4U_{\text{gir}} R_{\text{çix}} \quad (15.2)$$

n ardıcıl qoşulmuş kaskadlı gücləndiricinin ümumi güclənmə əmsalı belə təyin olunur:

$$k_{\text{üm}} = \prod_{i=1}^n k_i. \quad (15.3)$$

Loqarifmik vahidlə isə (desibellə)

$$k_u (\text{db}) = 20 \lg(U_{\text{çix}}/U_{\text{gir}}) = 20 \lg k \text{ və } k_{\text{üm}} (\text{db}) = \sum_{i=1}^n k_i (\text{db}). \quad (15.4)$$

Gücləndirmə zamanı çıxışla giriş arasında faz sürüşməsi baş verir.

15.2. Gücləndiricilərdə təhriflər

Çıxış signalı formasının giriş signalına nəzərən dəyişməsi signalın formasının təhrifi adlanır. Təhriflər 2 növ olur: qeyri- xətti və xətti.

Qeyri- xətti təhriflər gücləndirici elementlərin özünün, transformatorların və s. xarakteristikalarının qeyri- xəttiliyi ilə əlaqədar olub, signalın formasını dəyişdirir ki, bu da çıxış signalı tərkibində yeni yüksək tezliklərin yaranmasına səbəb olur. Qeyri- xətti təhriflər yalnız giriş signalının amplitudundan asılı olub, onun tezliyindən asılı deyil. Belə təhriflərin yaranması (şək.15.2) ilə izah olunur.

Xətti təhriflər ötürmə əmsalının (Ξ -nin) və ya digər reaktiv elementlərin tezlikdən asılılığı ilə əlaqədardır və signalın amplitudundan asılı deyil.

Əgər gücləndiricinin ötürmə əmsalı reaktivlikdən asılı deyilsə və onun girişindəki signal $U_{gir} = U \sin Tt$ olarsa, onda $U_{çix} = k U_{gir}$ olar. Reaktivlikdən asılı olarsa, onda

$$U_{çix} = K(T) U \sin(Tt + \varphi), \quad (15.5)$$

burada $K(T)$ - reaktiv elementləri nəzərə almaqla olan gücləndirmə əmsalı; φ - çıxış və giriş signalı arasındakı faza sürüşməsidir.

Bundan başqa mürəkkəb spektral tərkibə malik signalın müxtəlif tezlikli toplananları müxtəlif cür gücləndiriləcək və onların faza sürüşməsi də müxtəlif olacaq. Bu isə tezlik və faza təhrifləri yaradır. Bu zaman çıxış signalı belə təyin edilir:

$$U_{çix}(t) = K_p(T) U_p \sin(T_p t + \varphi_p), \quad (15.6)$$

Təcrübədə gücləndirmə əmsalının modulunun və arqumentinin tezlikdən asılılığı ayrılıqda göstərilir. Bu zaman amplitud- tezlik (ATX) və faza- tezlik (FTX) xarakteristikaları (uyğun olaraq, $K=f(T)$ və $\varphi=f(T)$) istifadə olunur (şək.15.3).

Xarakteristikanın qeyri-xəttiliyini qiymətləndirmək üçün tezliklərin təhrif əmsalından (M) istifadə edilir ($M=K_0/K$).

Çoxkaskadlı sxemlər üçün $M = M_1 M_2 \dots M_n$ olur. Tezlik təhriflərini bəzən belə də qiymətləndirirlər: $\gamma K(\text{db}) = K_0(\text{db}) - K(\text{db})$. ATX-yə görə sərhəd tezliklərini və buraxma zolağını təyin etmək olar.

Gücləndiricilərin əsasən geniş zolaqlı və seçici tipləri istifadə olunur.

Gücləndiricilərin daha bir sıra göstəricilərini bilmək çox vacibdir: f.i.ə.- ni, dinamik diapazonunu, məxsusi küylərin səviyyəsini, sabilliyini, işləmə dayanıqlığını, maneəyə davamlılığını və s.

15.3. Gücləndiricilərdə əks əlaqə

Gücləndiricilər girişə verilən kəmiyyəti müəyyən bir əmsal daxilində gücləndirir. Bu xüsusiyyət çox zaman müəyyən xətlər yaradır. Cihazlarda istifadə olunan xətti gücləndiricilərə tələbat çox böyükdür. Bu tələblər ondan ibarətdir ki, additiv və multiplikativ xətlər, həmçinin tezlik xətləri çox kiçik olsun.

Additiv xəta dedikdə, giriş gərginliyi sıfıra bərabər olduqda, çıxışda mövcud olan sıfırdan fərqli sabit gərginlik nəzərdə tutulur. Bu xəta gücləndiricinin ötürmə xarakteristikasını şaquli istiqamətdə özünə paralel olaraq yerdəyişməyə məruz qoyur.

Multiplikativ xətlər isə gücləndiricinin və ya istənilən çeviricinin güclənmə əmsalının hansı səbəbdənsə ideal qiymətdən fərqlənən zaman çıxış parametrlərinin dəyişməsi nəzərdə tutulur. Multiplikativ xətanı yaradan səbəblər elektron qurğusunun işlədiyi mühitdə temperaturun öz nominal qiymətindən fərqlənməsi, otaqdakı rütubətin dəyişməsi, havanın təzyiqinin dəyişməsi, şəbəkədəki gərginliyin dəyişməsi hesabına, qida gərginliyinin nominal qiymətdən fərqlənməsi, cihaza elektrik və maqnit sahələrinin zərərli təsiri və digərləri ola bilər. Bu təsirləri aradan qaldırmaqdan ötrü bir sıra tədbirlər həyata keçirilir. Məs., temperaturun təsirini azaltmaq üçün elektron qurğularına həmin təsiri kompensasiya edən əlavə hissələr qoyulur. Multiplikativ xəta gücləndiricinin ötürmə

xarakteristikasının dikliyini və uyğun olaraq güclənmə əmsalını dəyişir.

Bundan başqa gücləndiricilərin ötürmə xarakteristikaları tezlikdən asılı olaraq dəyişə bilər. Bu dəyişməyə tezlik xətası deyilir. Tezlik xətasının yaranmasına səbəb gücləndiricinin tərkibində kompleks müqaviməti tezlikdən asılı olan elementlərin, məsələn tutumun və induktivliyin, olmasıdır. Tezlik xətalərini azaltmaq üçün geniş zolaqlı xətti gücləndiricilərdən istifadə olunur.

Qida mənbəyinin gərginliyinin dəyişməsi də gücləndiricinin ötürmə funksiyasını formaca və miqdarca dəyişə bilər. Odur ki, onun təsirini azaltmaq üçün qida gərginliyinin sabilliyi yüksək səviyyədə olmalıdır.

Elektrik və maqnit sahələrinin təsirini azaltmaq üçün ekranlamadan və digər tədbirlərdən istifadə olunur. Məs., temperatur xətasını minimallaşdırmaqdan ötrü həssas orqan termostatlarda yerləşdirilə bilər. Bütün bu tədbirlər isə cihazların strukturunun mürəkkəbləşməsinə səbəb olur. Ona görə də elektron qurğularının geniş imkanlarını nəzərə alaraq, bu xətaləri sxemotexniki yollarla minimallaşdırmaq mümkündür.

Bu yollardan biri gücləndiricilərə əks əlaqənin qoşulmasından ibarətdir. Əks əlaqə mənfi və ya müsbət ola bilər. Mənfi əks əlaqə çıxışla inversləyən giriş arasında olaraq gərginliyin qiymətini dəyişərək girişə verir və ondan müəyyən hissəni çıxır:

$$U_{\text{cix}} = kU_{\text{gir}} / (1 + k\Xi) \quad (15.7)$$

Burada Ξ - əks əlaqə əmsalıdır.

Əks əlaqə əmsalı dedikdə, girişə verilən gərginliyin və ya cərəyanın sxemin çıxışında olan gərginliyə və ya cərəyana olan nisbəti nəzərdə tutulur. $\Xi = 0$ olduqda, U_{cix}

$= kU_{\text{gir}}$ olur. Yəni əks əlaqə olmur. Ξ -nin sıfırdan böyük qiymətlərində çıxış gərginliyi giriş gərginliyinin k -ya hasilindən fərqlənir. Bu sxemin üstün cəhəti ondan ibarətdir ki, hər hansı bir səbəb üzündən güclənmə əmsalı dəyişirsə, onda özündə xətanı cəmləyən çıxış gərginliyinin bir hissəsi yenidən girişə verilərək ondan çıxılır və beləliklə, həmin xətanı müəyyən qədər kompensasiya edir. Əks əlaqə dövrəsinin seçilməsi ilə multiplikativ xətanı tələb olunan qiymətə gətirmək olar. Bundan əlavə xarici təsirlər hər 2 dövrəyə təsir etdiyi üçün kompensasiyaedici təsir yaranır.

Əks əlaqə dövrləri gərginliyə görə və cərəyana görə ola bilər. Gərginliyə görə əks əlaqə yük gərginliyindən birbaşa olaraq götürülür. Cərəyana görə əks əlaqədə isə gücləndiricinin çıxışında yükün yaratdığı cərəyanın bir hissəsi girişə ötürülür.

Bundan başqa əks əlaqə ardıcıl, ardıcıl- paralel və paralel ola bilər. Ardıcıl (paralel) əlaqə zamanı əks əlaqə yük müqavimətinə ardıcıl (paralel) olaraq qoşulur. Ardıcıl- paralel əlaqə zamanı isə həm ardıcıl, həm də paralel əks rabitədən istifadə olunur. Bu əks əlaqələrin üstünlükləri elektron qurğularının işləmə şəraitindən asılıdır. Ona görə də müəyyən məqsədlər daxilində bu və ya digər əks əlaqə dövrlərindən istifadə olunur. Bir halı qeyd etmək lazımdır ki, əks əlaqə əmsalı maksimal qiymətə malik olduqda, sxemin güclənmə əmsalı vahidə bərabər olur. Bu cür sxemlərə gərginlik təkrarlayıcısı deyilir.

15.4. Gücləndiricilərdə mənfi əks rabitə

Gücləndiricilərdə təhrifləri azaltmaq və digər göstəriciləri yaxşılaşdırmaq üçün (stabilitiyi artırmaq, gücləndirmə əmsalını yaxşılaşdırmaq, giriş müqavimətini

artırmaq və s.) mənfəət əlaqələrindən istifadə edilir (şəkl. 15.4).

Mənfəət əlaqələrinin məqsədi çıxış signalının müəyyən qisminin girişə əks işarə ilə verilməsindən ibarətdir. Mənfəət əlaqələr lokal (ayrı-ayrı kaskadlar üçün) və qlobal (çoxkaskadlı gücləndiricini tam əhatə edən) ola bilərlər. Çıxışda əks əlaqə signalının əldə edilməsindən asılı olaraq gərginliyə görə, cərəyana görə və qarışıq əks əlaqə mövcuddur.

Girişə çıxışdan alınmış signalın verilməsinə görə (şəkl.15.5) ardıcıl və paralel əks əlaqələri fərqləndirirlər:

$$U_{\text{çix}} = K \cdot \Delta U \quad (15.8)$$

$$\Delta U = U_{\text{gir}} - U_{\text{əə}} \quad (15.9)$$

$$U_{\text{əə}} = U_{\text{çix}} \cdot \Xi \quad (15.10)$$

(15.9) ifadəsinin qiymətini (15.8) tənliyində yerinə yazsaq,

$$U_{\text{çix}} = K \cdot U_{\text{gir}} - K \cdot U_{\text{əə}} = K \cdot (U_{\text{gir}} - U_{\text{əə}}) \quad (15.11)$$

olur. (15.11) tənliyində (15.10) ifadəsini nəzərə alsaq:

$$U_{\text{çix}} = K \cdot U_{\text{gir}} - K \cdot \Xi \cdot U_{\text{çix}} \quad \text{və ya} \quad (1 + K\Xi) \cdot U_{\text{çix}} = K \cdot U_{\text{gir}} \quad (15.12) \quad \text{olur.}$$

Burada K- əks əlaqəsiz gücləndiricinin gücləndirmə əmsalı; $\Xi = 0 \div 1$ - isə əks əlaqə əmsalıdır və çıxış signalının hansı hissəsinin girişə ötürülməsini göstərir. Bu zaman əks əlaqəli gücləndiricinin gücləndirmə əmsalı K belə təyin olunur:

$$K_{\text{əə}} = K / (1 + K\Xi) \quad (15.13)$$

Beləliklə, əks əlaqə əmsalı gücləndiricinin xarakteristikalarını stabilləşdirməklə yanaşı onun güclənmə əmsalını da azaldır. Odur ki, əks əlaqə əmsalının seçilməsi çox vacib məsələdir.

15.5. Əməliyyat gücləndiriciləri haqqında ümumi məlumat

Yarımkeçiricilər texnikasının sonrakı inkişafı onların ölçülərinin mikrominiaturləşməsi ilə bağlıdır. Bu sahədə çox böyük nailiyyətlər əldə edilmişdir. Analoq texnikasında ən böyük nailiyyətlərdən biri universal və çox yüksək texniki- iqtisadi xassələrə malik olan sabit cərəyan gücləndiricilərinin hazırlanmasıdır. Bu tələblərə diferensial və balans sxemi şəklində qurulmuş əməliyyat gücləndiriciləri (ƏG) malikdirlər. Onların giriş müqaviməti çox böyük (10 kOm- dan yuxarı), çıxış müqaviməti çox kiçik (1 kOm- a qədər), ötürmə əmsalı çox böyük (minlərlə dəfə) və additiv xətası çox kiçik olmalıdır. Universallığı isə onunla bağlıdır ki, giriş siqnalları üzərində müxtəlif riyazi əməliyyatlar aparmaq mümkün olur.

Əməliyyat gücləndiriciləri strukturca giriş, aralıq və son kaskadlardan ibarətdir. Giriş kaskadı belə bir sxematik əsasda qurulmuşdur. Bu sxemdə elementlər eyni olduğu üçün, sonrakı kaskadın girişinə eyni təsir göstərməlidirlər. Lakin bu elementlər arasında gizli fərq olduğu üçün onların ötürülməsində azca fərq olur. Güclənmə əmsalının çox böyük olduğunu nəzərə alsaq, bu gizli fərq çox böyük additiv xəta yarada bilər. Ona görə də xüsusi sürüşmə dövrəsi tətbiq etməklə, paralel kanallardakı simmetrikiyi bərpa edirlər. Əməliyyat gücləndiricilərinin çıxış kaskadı isə emitter təkrarlayıcısı

olur. Burada gərginlik emitterdən alındığı üçün bazadakı gərginliyi təkrar edir.

Bu kaskadın üstünlüyü, onun çıxış müqavimətinin çox kiçik və cərəyana görə güclənmə əmsalının böyük olmasıdır. Göründüyü kimi əməliyyat gücləndiricilərinin 2 girişi olmalıdır.

Onlardan birinə signal verdikdə, çıxışdakı signal girişdəki signalın işarəsini təkrar edir. Bu cür girişə inversləməyən giriş deyilir. Digər girişdəki signalın işarəsi çıxışdakı signalın işarəsi ilə əks fazada olur. Ona görə də bu girişə inversləyən giriş deyilir və onlara təsir edən zərərli signalılar sxemdə çıxılaraq, biri- birini kompensasiya edir. Buna görə də əməliyyat gücləndiricilərinin maneələrə davamlılığı çox böyük olur.

Əməliyyat gücləndiriciləri 2 prinsipdə qurula bilər: daxilində kondensatorların olmaması və MDM (modulyator- demodulyator) prinsipindən istifadə olunması.

İkinci prinsipə girişdəki sabit cərəyan başqa bir yüksək tezlikli cərəyanı modulyasiya edir və dəyişən gərginliyə çevrilir, lazım olan qədər gücləndirilir və sonradan yenidən demodulyasiya edilərək sabit cərəyana çevrilir. Modulyasiya hər hansı bir signalın parametrlərinin dəyişdiyi qanunla başqa bir signalın parametrlərindən birinin dəyişməsi prosesinə deyilir. Bu modulyasiya amplituda modulyasiyasıdır. Demodulyasiya isə modulyasiya olunmuş signalın ilkin signalın alınması prosesidir. Ona görə də əməliyyat gücləndiricilərinin strukturu açıq xarakterli və müxtəlif tipli yarımkeçirici elementlərdən ibarət olduğu üçün müxtəlif tipli təsirlərə məruz qalır. Məs., temperaturun artması və ya giriş gərginliyinin öz- özünə dəyişməsi çıxışdakı gərginliyi arzu olunmaz şəkildə dəyişə bilər.

Bundan başqa gücləndiriciləri generasiya rejimində işlətmək üçün, onun güclənmə əmsalını süni olaraq son-Suzluğa qədər qaldırmaq lazım olur. Bundan ötrü əks rabitəli sxemdən istifadə edilir. Bu sxemlər düz rabitəli sxemlərdən fərqli olaraq, çıxışdakı siqnalın müəyyən hissəsini girişə verir. Hansı girişə verildiyindən asılı olaraq, həmin girişdə giriş siqnalı ilə əks əlaqə siqnalının toplanması və ya çıxılması gedə bilər. Birinci hala müsbət, ikinci hala isə mənfi əks rabitə deyilir. Mənfi əks rabitədə çıxış siqnalının bir hissəsi girişdə çıxıldığı üçün əməliyyat gücləndiricisinin güclənmə əmsalına sabillik verir. Müsbət əks rabitədən isə əsasən generatorların qurulması üçün istifadə edilir:

$$U_{\text{çix}} = (U_{\text{gir1}} - U_{\text{gir2}}) * K \quad (15.14)$$

Əməliyyat gücləndiricilərinin çıxış- giriş asılılığını təhlil etdikdə, məlum olur ki, giriş siqnalının müəyyən qiymətinə qədər əməliyyat gücləndiricilərinin güclənmə əmsalı çox böyük və sabitdir. Həmin qiymətdən başqa bir qiymətə qədər qeyri- xəttidir və kiçikdir. Bundan sonra isə üfqı hissə başlayır. Üfqı hissədə güclənmə olmur. Ona görə də amplitud məhdudlaşdırıcısı hazırlamaq üçün xarakteristikanın həmin hissəsindən istifadə edilir. Əməliyyat gücləndiriciləri 2 işarəli siqnalları gücləndirdiyi üçün bipolyar gərginliklə qidalanır (+E,-E,0).

15.6. Əməliyyat gücləndiriciləri əsasında qurulmuş sadə sxemlər

Əməliyyat gücləndiriciləri və onun strukturu onların əsasında elementar analoq çeviricilərinin qurulmasına imkan verir. Bunlardan bir neçəsinə baxaq:

1. Fərq gücləndiriciləri (şək.15.6), onun ayrı- ayrı girişlərinə verilən gərginliklərin fərfini gücləndirərək çıxışa ötürür:

$$U_{\text{çix}} = (U_{\text{gir1}} - U_{\text{gir2}}) * K \quad (15.15)$$

Göründüyü kimi, $U_{\text{gir1}} = U_{\text{gir2}}$ olduqda $U_{\text{çix}} = 0$ olmalıdır. Bu prinsipdən istifadə edib analoq texnikasında fərq gücləndiriciləri qurmaq olar:

$$U_{\text{çix}} = i_{\text{gir1}} * R_{\text{əə}} / R1 - i_{\text{gir2}} * R_{\text{əə}} / R2 \quad (15.16)$$

$R1$ və $R2$ müqavimətlərini düzgün seçməklə çıxan və çıxılanın istənilən əmsalını almaq mümkündür.

2. Cəmləyici gücləndiricilər, onların bir girişinə verilən ayrı- ayrı gərginliklər Kirxhofun cərəyanlar qanununa görə cəmlənir (şək.15.7). Buradan göründüyü kimi $R1$ və $R2$ müqavimətlərini dəyişməklə toplananların işarələrini dəyişmək mümkündür:

$$U_{\text{çix}} = i_{\text{gir1}} * R_{\text{əə}} / R1 + i_{\text{gir2}} * R_{\text{əə}} / R2 \quad (15.17)$$

3. İnversləyici gücləndiricilər girişdə olan gərginliyin işarəsini dəyişib çıxışa ötürürlər (şək.15.8):

$$U_{\text{çix}} = -K * U_{\text{gir}} \quad (15.18)$$

4. İnversləməyən gücləndiricilərin məqsədi girişdə olan gərginliyin işarəsini dəyişmədən onun qiymətini dəyişməklə çıxışa ötürməkdən ibarətdir (şək. 15.9).

$$U_{\text{çix}} = K * U_{\text{gir}} \quad (15.19)$$

5. Gərginlik təkrarlayıcısında çıxış gərginliyinin qiyməti və işarəsi girişdəki gərginliyin qiymətinə və işarəsinə nisbətən dəyişməz qalır:

$$U_{\text{çix}} = U_{\text{gir}} \quad (15.20)$$

Bu kaskadların işlədilməsində məqsəd kaskadın çıxış müqavimətinin minimuma endirmək və giriş signalını gücə görə gücləndirməkdir (şək. 15.10).

6. İnteqrallayıcı sxemlər (şək. 15.11):

$$U_{\text{çix}} = \frac{1}{RC} \int U_{\text{gir}} dt + U_0 \quad (15.21)$$

Göründüyü kimi inteqrallayıcının inteqrallama xarakteristikası R və C elementlərinin qiymətlərindən asılı olur. Bu sxemlərə aktiv inteqrallayıcılar deyilir. Məlum olduğu kimi aktiv çeviricilərin passivlərdən fərqi ondan ibarətdir ki, onların çıxışında girişdə olduğundan daha çox güc, gərginlik və ya cərəyan almaq olar.

7. Diferensiallayıcı sxemlər (şək. 15.12). Bu sxemlərin əsas məqsədi girişdə olan elektrik signalının törəməsinə uyğun olaraq çıxışda elektrik signalını almaqdan ibarətdir.

$$U_{\text{çix}} = \frac{1}{RC} \frac{dU_{\text{gir}}}{dt} \quad (15.22)$$

Bu sadə sxemlər analoq elektronikasının əsasını təşkil edir.

15.7. Aktiv süzgeçlər

Elektrik süzgeci müxtəlif tezlikli elektrik rəqslərini ayırmaq üçündür. Odur ki, süzgeç dedikdə girişinə

Süzgəclərin konstruksiyası və iş prinsipi əsasən işçi tezliklər diapazonu və tezlik xarakteristikasının tələb olunan görünüşü ilə təyin olunur. Yüzlərlə mHz- ə qədər tezliklər diapazonunda rezistorlardan, kondensatorlardan və induktivlik makaralarından ibarət olan xətti passiv dördqütblüləri çox geniş istifadə olunur. Bu sxemlərin istifadəsi elementlərin reaktiv müqavimətlərinin dəyişən cərəyanın tezliyindən asılılığına əsaslanır.

Aktiv süzgəclər daha artıq faydalı iş əmsalına malik olduqlarına görə onlardan daha çox istifadə olunur.

Yüksək süzmə qabiliyyətinə pyezoelektrik süzgəclər malikdirlər. Onların işçi tezliklər diapazonu yüzlərlə Hz-dən 1 QHz- ə qədərdir. Pyezoelektrik süzgəclərin süzmə qabiliyyəti onun daxilində tutumun, induktivliyin və rezistorun olması ilə izah olunur.

Xüsusi qrupa daxil olan rəqəm süzgəcləri integral sxemlərində və ya mikroprosessorlarda hazırlanır. Rəqəm süzgəcləri aşağıdakı alqoritm üzrə işləyirlər. Giriş analoq signalı diskretləşdirici vasitəsilə impulsar ardıcılığına çevrilir. Bu impulsların amplitudları giriş analoq signalının formasını təkrar edir və sonuncunun ani qiymətlərini xarakterizə edir. Bundan sonra analoq signalının ani qiymətləri analoq- rəqəm çeviricisi vasitəsilə yaxın diskret qiymətlə əvəz olunur. Bütün emal əməliyyatları hesablama qurğusu vasitəsilə yerinə yetirilir. Bundan sonra rəqəm- analoq çeviricisi alınmış diskret signalı yenidən çıxış analoq signalına çevirir. Kompüter texnikasının və texnologiyasının inkişafı ilə əlaqədar olaraq rəqəm süzgəcləri elm və texnikada çox geniş istifadə olunur.

№öçýýüëýð ðääëîðåõîëëääå âý åëåëððîîëëääå ýí ýáíèø éåëûëîûø åëåëððîí ãóðüöëåðînäåí ûàñåå îëóíóð.

Ílâ ýþðý äý àèòèâ ñöçýýúëýðèí ñàçèèìýñè ùàääûíââ ÷îëó îâîîäèàð îþâúóääóð.

15.8. Elektrik rəqsləri generatorları

Elektrik rəqsləri generatoru müxtəlif formalı elektrik enerjisini elektrik (elektromaqnit) rəqslərinin enerjisinə çevirən qurğulara deyilir. Elektrik rəqslərinin generasiyası adətən sabit cərəyan mənbələrinin enerjisinin elektron cihazları vasitəsilə çevrilməsi yolu ilə yerinə yetirilir. İstifadə olunan elektron cihazlarının tipindən asılı olaraq elektron lampalı, yarımkeçirici cihazlı, maqnetron cihazlı, qazboşalmalı cihazlı (tiratron generatorları) generatorlar, həmçinin kvant generatorları (lazerlər və mazerlər) mövcuddur.

Elektrik rəqslərinin formasına görə sinusoidal (harmonik) rəqslər generatorları, düzbücaqlı impuls generatorları və xüsusi formalı rəqslər generatorları istifadə olunurlar. Aşağı və yuxarı tezliklər generatorları kimi toplanmış parametrlı (rezistorlu, tutumlu və induktivlikli) generatorlardan istifadə olunur. Bu elementlərdə elektrik və maqnit sahələri ayrı-ayrı fəzada yerləşirlər. Daha yüksək tezliklərdə paylanmış parametrlı generatorlardan istifadə edilir.

Elektrik rəqsləri generatorlarının zəruri elementləri enerji mənbəyi, elektrik rəqslərinin yarandığı və saxlandığı dövrlər (passiv dövrlər) və qida mənbəyinin enerjisini elektrik rəqslərinin enerjisinə çevirən aktiv elementdir. Aktiv element kimi adətən idarəedici və ya əlaqə dövrəsi (əks əlaqə dövrləri) olan elektron cihazları istifadə edilir (şək.15.5). Əgər passiv dövrəyə verilən enerji bu dövrədə itən enerjiden böyükdürsə, onda bu dövrədə yaranan istənilən rəqsi proses artacaq. Əgər itən enerji daxil olan enerjiden

çoxdursa, onda rəqslər sönür. Elektrik rəqsləri generatorlarının stasionar rejiminə uyğun gələn energetik tarazlıq, elementlərdə qeyri- xətti xassəli sistemin olması zamanı mümkündür. Əks halda, elektrik rəqsləri generatorlarında ya artan amplitudalı, ya da sönən rəqslər yaranır və stasionar elektrik rəqslərinin yaranması mümkün deyil.

Əgər elektrik (elektromaqnit) rəqslərinin yarandığı və saxlandığı dövrlər rəqs xassələrinə malikdirsə (məsələn, rəqs konturu, rezonator və s.), onda generasiya olunan rəqslərin tezliyi və forması bu dövrlərin məxsusi rəqslərinin tezliyi və forması ilə təyin olunur.

15.8.1. Harmonik rəqslər generatorları

Əgər elektrik rəqsləri generatorunun rəqs konturunda olan itgilər azdırsa (rəqs konturunun keyfiyyət əmsalının yüksək olması səbəbindən), onda elektrik və ya elektromaqnit rəqslərinin forması sinusoidaya yaxındır və onları təxmini harmonik rəqslər generatorları və ya tomson generatorları adlandırırlar.

Bu cür generatorlara nümunə olaraq rəqs konturundan, idarəedici dövrəli aktiv elementdən (elektron lampası və ya bipolyar tranzistor) və qida mənbəyindən ibarət olan sxemləri göstərmək olar. Konturda itgi üzündən rəqslərin sönməməsi üçün həmin tezlikli və müəyyən fazalı döyünmə cərəyanı vasitəsilə kontura enerji vermək lazımdır. Bu idarəedici dövrəli aktiv element vasitəsilə yerinə yetirilir. Konturdan aktiv elementin girişinə verilən dəyişən cərəyan onun çıxışında döyünmə cərəyanı yaradır və əks əlaqə dövrəsini düzgün seçdikdə aktiv elementin çıxışından girişinə verilən gərginlik rəqs konturunun itirdiyi enerjiyə bərabər

olacaqdır. Əlavə olunan enerji itirilən enerjiden çoxdursa, onda rəqslərin amplitudu artacaq. Lakin aktiv elementin volt- amper xarakteristikasının qeyri- xəttiliyi səbəbindən onun güclənmə əmsalı azalmağa başlayacaq və sistemdə generasiya olunan rəqslərin stasionar amplitudası yaranacaqdır.

Generasiya etdikləri rəqslərin tezliyi və forması rəqs konturunun özü ilə təyin olunan elektrik rəqsləri generatorları avtogeneratorlar və avtorəqs sistemləri adlanır. Onların generasiya etdikləri rəqslər isə avtorəqslər adlanır. Rəqs konturunun itirdiyi enerji qida mənbəyinin hesabına dolur. Aktiv elementlə rəqs konturu arasındakı əlaqə rezistiv, induktiv avtotransformator və ya tutum xarakterli ola bilər.

15.8.2. Relaksasiyalı generatorlar

Elektrik rəqsləri generatorlarının çox böyük hissəsində rəqslərin yarandığı və saxlandığı passiv dövrlər rəqs xassələrinə malik deyillər (çox itgili dövrlər, aperiodik dövrlər, məsələn, RC və ya LR dövrləri) . Bu cür generatorlarda hər period ərzində çoxlu miqdarda enerji itirilir və yenidən əlavə olunur. Bu zaman generasiya olunan rəqslərin periodu passiv dövrlərdə relaksasiya (tarazlığın yaradılması) vaxtı ilə təyin olunur.

Rəqslərin forması isə həm passiv dövrədən, həm də aktiv elementdən asılı olur. Elektronikada relaksasiyalı impuls generatorları (blokinq- generatorlar və multivibratorlar), mişarvari gərginlik generatorları, sinusoidal rəqslər generatorları (RC- generatorları, Qann generatorları) geniş istifadə olunurlar.

Şək.15.18- dəki sinusoidal rəqslərin RC- generatorunun rəqs dövrəsi yoxdur. Lakin aktiv elementin

idarəetmə dövrəsini seçməklə RC dövrəsinin relaksasiya vaxtı ilə təyin olunan tezlikli harmonik rəqslər almaq olar. Oxşar generatorlarda hər periodda tam enerji mübadiləsi gedir. Qida mənbəyinin gərginliyi olmadıqda rəqslər yox olur. Bu generatorların köməyi ilə yüzlərlə kilohersə qədər tezlikləri almaq olur. RC- generatorları adətən etalon rəqslər mənbəyi kimi istifadə olunur.

15.8.2.1. İmpuls generatorları

Sabit gərginlik mənbəyinin enerjisini elektrik impuls-larının enerjisinə çevirən qurğulara impuls generatorları deyilir. İmpuls qurğularından fərqli olaraq impuls generatorları çevirici deyil və o yalnız impulsları hasil edir. Düzbucaqlı impuls generatorları forması düzbucaqlıya yaxın olan siqnalları formalaşdırırlar. Bu cür generatorlara relaksasiyalı generatorlar deyilir. Generatorların 0 və 1 vəziyyətlərini formalaşdıran vəziyyətlərinə dayanıqlılıq deyilir. Dayanıqlı və kvazi dayanıqlı vəziyyətlər mövcuddur. Kvazi «təxmini» və ya «guya» mənasındadır. Dayanıqlı vəziyyətdə generator uzun müddət dayana bilər. Onu bu vəziyyətdən çıxarmaq üçün buraxıcı siqnal lazımdır. Kvazi dayanıqlı vəziyyət isə generatorun strukturundan və başqa amillərdən asılı olaraq daha az müddətə ola bilər. Bu müddət qurtardıqdan sonra qurğu xaricdən heç bir təsir olmadan digər dayanıqlı vəziyyətə keçə bilər. Bu vəziyyətlərdən asılı olaraq generatorlar bistabil, monostabil və astabil növlərə bölünürlər.

Bistabil generatorlar 2 tarazlıq vəziyyətinə malikdirlər. Qida gərginliyi qoşulduqdan sonra generator bu vəziyyətlərdən birində eyni ehtimalla ola bilər. Generatoru digər vəziyyətə keçirməkdən ötrü ona xaricdən siqnal vermək lazımdır. Siqnal verilmədikdə, generator həmin vəziyyəti uzun müddətə yadında

saxlayır. Digər vəziyyətə keçməkdən ötrü ona işəsalma signalı vermək lazımdır. Monostabil generatorlara tormozlanmış və ya gözləyici generatorlar aiddir. Astabil generatorlarda isə dayanıqlı vəziyyət olmur. Onlar 2 kvazi dayanıqlı vəziyyətə malikdirlər. Yəni qida gərginliyi qoşulduqdan sonra kvazi dayanıqlı vəziyyətlər sonsuz olaraq bir-birini əvəz edir. Bu generatorların işləməsi üçün xaricdən signal vermək lazım deyil. Bu sadə gücləndiricilər 2 kaskaddan ibarətdir. Bu kaskadlar növbə ilə 1 və 0 dayanıqlı vəziyyətlərinə keçərək impulsları yaradır. Generatorun 2 çıxışı ola bilər. Bu impulslar tranzistorların kontaktlarından götürülür və işarəcə bir-birinin əksinə olur. Təbiətdə identik heç nə olmadığı kimi, zavodda istehsal olunmuş eyni tipli tranzistorlar da eyni deyil. Ona görə də hər 2 tranzistor eyni vəziyyətdə olmasına baxmayaraq, qida mənbəyi qoşulduqda onlardan biri açılmağa, digəri isə bağlanmağa meylli olur. Tutaq ki, gərginlik verilən anda VT_1 açıqdır (şək.15.18). VT_2 isə bağlıdır. Bu zaman C_1 kondensatoru E gərginliyinə qədər dolur, C isə boşalır. Bundan sonra C_2 -nin dolması və C_1 -in boşalması baş verir. Bu onunla əlaqədardır ki, S_1 -in dolma gərginliyi tranzistorun bağlanma gərginliyinə bərabər olduqda, VT bağlanmağa başlayır. VT_1 -in gərginliyi artmağa başladığı üçün kondensator göstərilən dövrə üzrə dolmağa başlayır. Bu da VT_2 -ni açmağa məcbur edir. Beləliklə, C_2 kondensatorunun gərginliyi astana gərginliyinə çatana qədər VT_1 bağlı vəziyyətdə, VT_2 isə açıq vəziyyətdə qalır. Bundan sonra proses təkrar olunmağa başlayır. Gözləyici generatorları yaratmaqdan ötrü avtorəqsli generatorların kaskadları arasındakı əlaqəni kəsmək lazımdır. Bu zaman buraxıcı impuls kaskadların birinə təsir edərək kondensatoru dolub boşalmağa məcbur edir və generator yenidən tormozlanmış vəziyyətə keçir. Bəzi

hallarda əks əlaqə transformator vasitəsilə yaradıla bilər. Bunlara blokinq- generatorlar deyilir. Multivibratorun zaman parametrlərinin qiyməti R_{k1} , C_2 , və R_{k2} , C_1 parametrlərinin qiymətindən asılıdır. Tezliyi artırmaq üçün kondensatorların tutumunu azaltmaq lazımdır. Lakin hər bir sxemin öz sərhəd tezliyi var. Bu tezlik tranzistorun işləmə tezliyi ilə məhdudlaşır.

15.8.2.2. Xətti dəyişən gərginlik generatoru

Xətti dəyişən gərginlik generatoru amplitudu zaman ərzində xətti qanunla dəyişən elektrik siqnallarının (gərginliyin) formalaşmasını təmin edir. Bu tip generatorlar elektron- şüa cihazlarının açılış sistemlərində, analoq hesablama maşınlarında, ölçmə generatorlarında və digər elektron avadanlıqlarında istifadə olunur. Xətti dəyişən gərginlik generatorlarının əksəriyyətinin iş prinsipi kondensatorun dolmasına və ya boşalmasına əsaslanır.

Dolma cərəyanının stabilləşdirmə üsuluna görə xətti dəyişən gərginlik generatorları 4 qrupa bölünürlər: kondensatorun dolması sabit cərəyan mənbəyindən məhdudlaşdırıcı rezistor vasitəsilə yerinə yetirilən; cərəyana görə mənfəi əks əlaqəli tranzistoru, cərəyanı stabilləşdirən ikiqütblü kimi istifadə edilən; kondensatorun dolma dövrəsində gərginliyə görə mənfəi və ya müsbət əks əlaqəli gücləndiricilərdə istifadə edilən. Əks əlaqəli gücləndirici kimi adətən əməliyyat gücləndiriciləri istifadə olunur.

Xətti dəyişən gərginlik generatorlarının çıxış siqnalları düz və əks gedişlərin uzunluğu, xəttin ilkin mailliyi, qeyri- xəttlilik əmsalı və qida gərginliyinin istifadəsi əmsalı ilə xarakterizə olunurlar.

Ən sadə xətti dəyişən gərginlik generatorunda (şək.15.19) çıxış gərginliyi $0 < t < 9$ intervalında $U_{\text{çix}} = E(1 - \exp(-t/T))$ qanunu üzrə dəyişir, burada $T = RC$ -kondensator dolmasının zaman sabitidir. Bu sxemin üstünlükləri- qurğunun sadəliyi və kifayət qədər yaxşı xəttilik, mənfi cəhəti isə qida gərginliyindən istifadə əmsalının kiçik olmasıdır.

15.8.3. Daxili əks əlaqəli elektrik rəqsləri generatorları

Yuxarıda göstərilən sxemlərdə əks əlaqə xarici elementlər vasitəsilə yerinə yetirilir. Lakin daxili əks əlaqəli generatorlar da mövcuddur. Onlar N şəkilli volt-ampere xarakteristikası (şək.11.8) olan yarımkeçirici diodlar (Tunel və Qann diodları) vasitəsilə yerinə yetirilir.

Tunel diodunda qurulmuş avtogeneratorun sxemi şək.15.20- də göstərilir. Sürüşmə gərginliyi vasitəsilə işçi nöqtə diodun volt- ampere xarakteristikasının orta nöqtəsində götürülür. Mənbəni generatorda yaranan dəyişən cərəyandan qorumaq üçün C_{bl} tutumla qapayırıq.

Tunel diodunu mənfi keçiriciliyin $G(u)$ və tutumun C_d paralel birləşməsi ilə əvəz etməklə (şək.15.21) generatorun dəyişən cərəyana görə ekvivalent sxeminə keçək (şək.15.22). Ekvivalent sxemin tutumu $C = C_k + C_d$ olur.

Tunel diodlu generator Tomson generatoru kimi işləyir və onu xarici əlaqəli generator kimi təhlil etmək olar.

15.9. Komparatorlar

Komparatorların (müqayisə qurğularının) vəzifəsi ölçmə prosesini idarə etmək məqsədi ilə ölçülən və nümunəvi kəmiyyətlər arasındakı fərğin qiymətini və işarəsini aşkar etməkdən ibarətdir. Funksional sxemi şəkl.15.23,a- də göstərilən komparatorun iş prinsipinə baxaq.

Komparatorlar aşağıdakı parametrlərlə xarakterizə olunurlar: işləmə astanası (komparatorun həssaslığı). Bu parametr ölçülən və nümunəvi kəmiyyətlər arasındakı fərğin komparatorun çıxışında signal əmələ gətirə bilən minimal qiymətidir; komparatorun işləmə zamanı- komparatorun girişinə signalın verilmə momenti ilə onun çıxışında signalın yaranma momenti arasındakı zaman fasiləsidir.

Komparatorun ideal xarakteristikası şəkl.15.23,b- də göstərilir. Göründüyü kimi, ideal xarakteristika rele xarakteristikasıdır və astana gərginliyini sıfıra yaxınlaşdırmağa çalışırlar. Lakin, bütün elektron sxemlərində təsadüfi xarakter daşıyan küy effekti, daxili və xarici maneələr olduğu üçün komparatorun işləmə vaxtını dəqiq təyin etmək mümkün deyil. Odur ki, həmişə işləmə zonası verilir və bu zonanın sağ ucu işləmə astanası kimi qəbul olunur. çünki bu qiymətdə komparator həmişə işləyir.

Bəzi komparatorlarda histerezis hadisəsi olur (şəkl.15.24). Bu zaman işləmə nöqtəsi U_1 ilə buraxma nöqtəsi U_b üst- üstə düşmür. Bu faktora küy effektlərini nəzərə almaqla baxmaq olar. Göründüyü kimi işləmə və buraxma zonalarının olması labüddür. Odur ki, elementlərin işləmə sürətindən asılı olmayaraq komparatorun cəldliyi məhdud olur. Ona görə də, çıxış signalının cəbhələri maili olurlar və signalın bir səviyyədən digərinə keçməsi üçün vaxt tələb olunur. Bu keçid nanosaniyələrlə, bəzən də mikrosaniyələrlə ölçülür.

3. Komparatorların vacib xarakteristikalarından biri onun daxili müqavimətidir. Onun 2 girişi olduğu üçün hər giriş üzrə ayrıca daxili müqavimətinə və differensial müqavimətinə baxılır. Bəzi komparatorlarda daxili müqavimət giriş signallarının fərqindən asılı olduğu üçün dəyişən olur.

15.9.1. Komparatorların dinamik xarakteristikaları

Komparatorların dinamik xassələrini tədqiq etmək üçün fərz edək ki, giriş U_x və nümunəvi U_n gərginliklərini müqayisə edirik. Hər hansı t_0 zamanında bu gərginliklər bərabər olur, lakin müqayisə qurğusu heç bir signal vermir. Signalın alınması üçün bu gərginliklərin fərqinin mütləq qiyməti astana gərginliyindən böyük və ya ona bərabər olmalıdır. Bu andan başlayaraq çıxış səviyyəsinin formalaşmasının keçid prosesi başlayır (t_1 zamanı). Çıxış gərginliyi ani olaraq dəyişə bilməz, o, müəyyən əyri üzrə dəyişir. Komparator, çıxışdakı gərginliyin səviyyəsi normal səviyyənin 0,9 hissəsinə çatdıqda (t_2 nöqtəsi) işləyir. Bu zaman $t_0 - t_1$ intervalı cəldisləməyə aid deyildir. $t_2 - t_1$ zamanı isə işləmə zamanı adlanır. Beləliklə $U_n \geq U_x$ olduqda histerezis hadisəsinə uyğun olaraq komparatorun çıxışında yüksək potensial yaranır.

Komparatoru ilkin vəziyyətinə qaytarmaq üçün onun girişlərindəki gərginliklər fərqinin işarəsi dəyişilməlidir. Bu zaman müqayisə qurğusu əks tərəfə işləyir və nəticədə zaman buraxma vaxtını müşahidə edirik.

Komparatorların işləmə periodu onların işləmə vaxtı ilə işəburaxma vaxtının cəminə bərabər olur, özü də işləmə vaxtı işəburaxma vaxtından böyük olduğu üçün onların işləmə tezliyini daim nəzərə almaq lazım gəlir.

15.9.2. Komparatorların tipləri

Komparatorları 3 tipə bölmək olar: regenerativ, birbaşa güclənməli və impuls tipli.

Birinci tip qurğulara müsbət əks əlaqəli Şmidt triggerlərini, blokinq- generatorları və gözləyici multivibratorları nümunə göstərmək olar. Bu sxemlərdə girişlərdəki gərginliklər fərqi astana gərginliyindən böyük olduqda regenerativ proses gedir və çıxışdakı gərginliyin səviyyəsi dəyişir.

Gözləyici blokinq- generator və ya multivibrator deyilən bəzi sxemlərdə işləmə zamanı impulsların generasiyası yaranır. Odur ki, bu sxemlərə generator müqayisə qurğuları deyilir.

Bu sxemlərin işləmə sürəti çox böyük (mikrosaniyənin onluq hissələri) və astana gərginliyi (onlarla və yüzlərlə mV) nisbətən yüksəkdir. Astana gərginliyini azaltmaq üçün bu sxemlərin girişinə gücləndirici qoşmaq olar. Bu sxemlərdən əsasən astana elementləri kimi istifadə olunur.

Birbaşa güclənməli komparatorlarda çıxış gərginliyi girişlərin fərqinə düz mütənasib ($U_{\text{çix}} = k \cdot (U_x - U_n)$) olur. Əgər k çox böyük olarsa, onda $|\Delta U| > |\Delta U'|$ olduqda çıxış gərginliyi yüksək müsbət səviyyəyə və əksinə olarsa, çıxış gərginliyi yüksək mənfi səviyyəyə malik olur. Ona görə də U' - i işləmə astanası hesab etməklə girişə görə işləmə astanasının gətirilmiş qiymətini təyin etmək olar:

$$U' = U_n / k \quad (15.25)$$

Belə sxemlərin birbaşa istifadəsi çox çətindir, çünki gücləndiricilər öz- özünə generasiya edə bilirlər. Odur ki, ötürmə əmsalını dəyişmək üçün onun sxemində əks əlaqə dövrəsi əlavə olunur. Bu da işləmə astanasını azaldır.

İntegral şəklində gərginlikləri müqayisə etmək üçün komparatorlar deyilən xüsusi sxemlər mövcuddur. Onlarda müsbət və mənfi əks əlaqələrin kombinasiyasından istifadə etməklə bu generasiyanı aradan qaldırırlar. Həmçinin sıfır dreyfini də aradan qaldırmaq üçün xüsusi metodlardan istifadə etmək lazım gəlir. Onlardan ikisini qeyd etmək olar: avtomatik olaraq sıfıra gətirmə və MDM- kanalından istifadə (MDM- modulyator- demodulyator deməkdir) metodları.

Birinci qrupdan olan üsuldən istifadə etdikdə dreyf 100 və daha çox dəfə azalır. Lakin mənfi cəhəti onun aşağı işləmə sürətinə malik olmasıdır. Belə ki, ölçmələr 2 takt ərzində aparılmalıdır və çevirgəc işlədikdə keçid prosesinin qurtarmasını gözləmək lazımdır.

Birbaşa güclənməli komparatorlarda sıfır dreyfi ilə mübarizə yollarından biri MDM- kanalından istifadə etməkdir. Burada idarəedici impuls generatoru modulyatorda (M) və demodulyatorda (DM) sabit gərginliyi dəyişənə çevirmək üçün çevirgəci kommutasiya edir. İmpulsun tezliyi verici generator tərəfindən təyin olunur. Giriş signalı sxemin girişinə verilir və sxemdə impulsların sabit mürəkkəbələri aradan qaldırılır və nəticədə m dəfə gücləndirilmiş impulsalar alınır. Bu signal demodulyasiya olunduqdan sonra girişdəki signalın m dəfə gücləndirilmiş gərginliyini alır. Demodulyator kimi sadə yarımkeçirici analoq açarı götürmək olar. f tezlikli impulsalar daxil olduqda açar qapanır. Dəyişən cərəyan gücləndiricisinin tətbiqi sıfır dreyfini azaltmağa imkan verir. Burada giriş gərginliyinə açarın özünün küyləri əlavə olunur. Bundan başqa açar ideal olmadığı üçün onun açıq və bağlı vəziyyətlərində daxili müqavimətləri uyğun olaraq sıfır və sonsuzluğa bərabər olmur. Odur ki, bu gərginlikləri işləmə astanası ilə məhdudlaşdırırlar. Bu

üsulla işləmə astanasını onlarla və yüzlərlə mikrovoltla çatdırmaq olur.

Üsulun mənfi cəhəti demodulyasiya olunma ilə əlaqədar olaraq işləmə sürətinin nisbətən kiçik olmasıdır. Bundan başqa sxemdəki süzgəc də sxemin ətalətini artırır və işləmə sürətini azaldır.

Bu üsuldən işləmə sürətinə yüksək tələbat olmayan və çox yüksək dəqiqlik tələb olunan yerlərdə istifadə olunur.

İmpuls komparatorları. Bu qurğularda müqayisə olunan parametrlərin zaman seleksiyası baş verir və onların arasındakı fərqi qiyməti və işarəsi təyin olunur. Bu qurğular çox böyük həlletmə qabiliyyətinə (yüzlərlə mikrovolt) və yüksək işləmə sürətinə malik olurlar. Ölçmə vaxtı tarazlaşma sxemlərində yaranan maneələrin təsirini azaltmaq üçün zaman stroblaşdırması tətbiq olunur (ancaq ölçmə vaxtında sxem aktivləşir).

Ölçülən U_x kəmiyyəti ikilik sistemdə qeyri- bərabər pillələrlə verilən kompensasiyaedici qiymətlə tarazlaşdırılır. Müqayisə qurğusu bütün vaxtlarda müqayisə etmir. Müqayisə ancaq xüsusi zaman strobları vaxtı aparılır.

FƏSİL 16. RƏQƏM ELEKTRONİKASININ ƏSASLARI

16.1. Məntiq cəbrinin əsasları

Analoq siqnallarından fərqli olaraq, diskret siqnallar əsasında daha sadə elektron qurğuları yaradılır. Bu elektron qurğularının ikili xarakterindən irəli gəlir. Yəni istənilən diskret elektron qurğusunun çıxışı 2 dayanıqlı vəziyyətə malik olur. Bu həm qurğuların etibarlılığını artırır, həm də qurğuları standartlaşdırmağa imkan verir. Ona görə də informasiya proseslərinin intensivləşdiyi bir dövrdə insan əməyini yüngülləşdirmək və texnoloji prosesləri daha effektiv idarə etmək məsələsi ortaya çıxdıqda, bəzi mənfiliklərinə görə analoq elektronasından imtina edilir. Analoq elektron qurğularının və analoq hesablama maşınlarının əsas mənfiliyi ondan ibarətdir ki, onların həm dəqiqliyi kiçik olur, həm də onlar universal olmur. Daha effektiv vasitələr axtarışında məntiq cəbri deyilən yeni bir elm ortaya çıxdı. Məntiq cəbrinin mahiyyəti ondan ibarətdir ki, təbiətdə baş verən hadisələrə 2 qiymət verilir: «doğru» (1) və «yalan» (0). Ona görə də diskret elektron qurğularının çıxışı girişdəki gərginliyin qiymətindən diskret sürətdə asılı olaraq 1 və 0 qiymətlər alır.

Məntiq cəbrinin əsas elementar əməliyyatları «məntiqi vurma», «məntiqi toplama» və «məntiqi inkaretmə»dir (şək.16.1,a,b,v).

1. «Məntiqi vurma» (konyuksiya) 2 və ya daha çox hadisənin eyni zamanda baş verməsi ehtimalının əks olunmasını xarakterizə edir («İ», «AND», « $\vee\theta$ »). Bu əməliyyatın yerinə yetirilməsi cədvəli belədir:

$$1 \cap 1 = 1; 1 \cap 0 = 0; 0 \cap 1 = 0; 0 \cap 0 = 0.$$

2. Məntiqi toplama 2 və ya daha çox hadisələrdən heç olmasa birinin baş vermə ehtimalını göstərir («VƏ YA», «İLİ», «OR»):

$$1 \cup 1 = 1; 1 \cup 0 = 1; 0 \cup 1 = 1; 0 \cup 0 = 0.$$

3. Məntiqi inkar hər hansı bir məntiqi hadisənin əksini xarakterizə edir («DEYİL», «YOX», «NET», «NO»):

$$\overline{1} = 0; 0 = 1.$$

Məntiqi toplamaya bəzən dizyunksiya məntiqi, vurmaya konyuksiya məntiqi, inkara isə inversiya deyilir: məntiqi vurma: $S = A \cap V$; məntiqi toplama: $S = A \cup V$; məntiqi inkar: $S = A$; $A \cup V = A, V$; $C = A, B = A + B$.

Bütün girişlərdə vahid signal olarsa, çıxışda «0» alınar. Qalan hallarda isə fərqli nəticə olur. Girişlərin hər hansı birində vahid signal olarsa, çıxışda vahid olmalıdır. Girişlərdən birindən istifadə edilməzsə, o biri girişə verilən signalın çıxışında onun inkarı alınmalıdır. Bu zaman istifadə olunmayan giriş birinci halda o biri giriş birləşdirilir, ikinci halda həmin giriş havada saxlanılır, üçüncü halda isə müqavimət vasitəsilə gərginlik mənbəyinin müsbət qütbünə birləşdirilir.

16.2. Məntiq cəbrinin əsas qanunları

Məntiq cəbrinin əsas qanunları məntiq dəyişənləri arasında funksional asılılıqların bərabərliyini təyin edir.

1. Yerdəyişmə (kommutativ) qanunu:

$$a+b=b+a \text{ və ya } a \cap b = b \cap a.$$

2. Assosiativ qanun:

$$(a+b)+s=a+(b+s); (a \cap b) \cap s = a \cap (b \cap s).$$

3. Paylanma (distributiv) qanunu:

$$a \cap (b+c) = (a \cap b) + (a \cap c);$$

$$(a \cap b) \cap (a \cap c) = a \cap (b \cap c).$$

4. De Morqanın inversiya qanunu:

$$a+b = b \cup a; a \cap b = b+a.$$

$$5. \text{ Əkslik qanunu: } a \cap a = 0.$$

$$6. \text{ Üçüncünün ləğv olunması qanunu: } a + a = 1.$$

Verilmiş qanunlar əsasında eyni güclü çevrilmələr sistemi xidmət edir:

$$a = a,$$

$$a + 1 = 1,$$

$$a \cap 1 = a,$$

$$a + 0 = a,$$

$$a \cap 0 = 0,$$

$$a \cap a \cap \dots \cap a = a,$$

$$a + a \cap b = a,$$

$$a \cap (a + b) = a,$$

$$a + a \cap b = a + b$$

$$a \cap b + a \cap c + b \cap c = a \cap b +$$

$$a \cap c$$

$$a + a + \dots + a = a,$$

$$a \cap b + a \cap c + b \cap c = a \cap b +$$

$$b \cap c$$

Məntiqi funksiyaların yoxlanması üçün dəyişənlərə 0 və 1 qiymətlər verməklə düzgünlük cədvəli tərtib etmək olar.

16.3. Məntiq sxemlərinin bəzi tipləri

Tranzistor məntiqi, məntiq əməllərinin və diskret informasiyanın digər çevrilmələrini elektron qurğuları vasitəsilə reallaşdırma üsulları toplusudur. Bu zaman elektron qurğuları bipolyar və sahə tranzistorları əsasında qurulurlar. Bu sxemlər rəqəm inteqral sxemləri şəklində yerinə yetirilir.

Rəqəm inteqral sxemləri 3 tipə bölünürlər: birinci tip sxemlər ümumi emitterli bipolyar tranzistor əsasında qurulmuş invertorlar əsasında reallaşdırılır; ikinci tip sxemlər çevirici tranzistorları ümumi bazalı sxem üzrə qoşulmuş cərəyan çeviriciləri əsasında qurulur; üçüncü tip sxemlər ümumi kollektorlu sxem üzrə qoşulmuş bipolyar tranzistorlu emitter təkrarlayıcıları əsasında qurulur.

Birinci tip rəqəm integral sxemlərinə rezistor- - tranzistor məntiqi (RTM); diod- tranzistor məntiqi (DTL), tranzistor- tranzistor məntiqi (TTM), Şottki diodları və tranzistorları olan tranzistor- tranzistor məntiqi (TTMŞ) və integral injeksiyalı məntiq (İİM və ya İ²M).

Bu sxemlərin bəzilərini nəzərdən keçirək.

1. Rezistor- tranzistor məntiqi (şək.16.2) «VƏ YA- YOX» əməliyyatını yerinə yetirir. Girişlərdən hər hansında «1» potensialı olduqda həmin girişə qoşulmuş tranzistor açılır və çıxış potensialı «0» qiyməti alır. RTM kiçik budaqlanma əmsalına, maneəyə davamlı olmadığına və yüksək olmayan sürətinə görə elektronikada geniş istifadə edilmir.

2. Diod- tranzistor məntiqi (şək.16.3) «VƏ- YOX» əməliyyatını yerinə yetirir. Girişlərdən hər hansında «1» potensialı olduqda həmin girişə qoşulmuş tranzistor açılır və çıxış potensialı «0» qiyməti alır. VD1-3 diodları «VƏ» əməliyyatını, VT tranzistoru isə «YOX» əməliyyatını yerinə yetirirlər. VD2 və VD4 diodları tranzistorun normal açılıbbağlanmasını təmin edir. DTM- in maneəyə davamlılığı yüksəkdir. Lakin işləmə sürəti kiçik olduğu üçün sürəti az olan sistemlərdə, məsələn, avtomatika sistemlərində və rəqəm proqram idarəetməli texnoloji avtomatlarda istifadə edilir.

Rəqəm elektronikasında ən çox TTM və TTMŞ tipləri yayılmışdır.

3. Tranzistor- tranzistor məntiqi (şək.16.4) adi və çoxemitterli tranzistorlar əsasında yığılır və «VƏ- YOX» əməliyyatını yerinə yetirir. TTM elementi «VƏ» əməliyyatını yerinə yetirən çoxemitterli tranzistordan (VT₁) ibarət giriş kaskadından, adi tranzistorlu (VT₂) fazaayırıcı kaskadından («VƏ YA» əməliyyatını yerinə yetirir), VT₃ və VT₄ tranzistorlarında yığılmış ikitəktli (parafaz) çıxış gücləndiricisindən ibarətdir. 1 və 2 nöqtələrinə

genişləndirici qoşulduqda məntiq elementi «2VƏ-VƏ YA-YOX» məntiq əməliyyatını yerinə yetirir.

Girişlərdən hamısında «1» potensialı olduqda həmin girişə qoşulmuş çoxemitterli tranzistor VT_1 açılır və çıxış potensialı «0» qiyməti alır. Əks halda çoxemitterli tranzistor VT_1 bağlı olduğu üçün onun kollektorundan VT_2 tranzistorunun bazasına cərəyan verilmir və sonuncu da bağlı olur. Bu zaman bazasına cərəyan verilən VT_3 tranzistoru açılır, bazasına cərəyan verilməyən VT_4 isə bağlanır. Bununla da çıxışda vahid potensiala uyğun gərginlik yaranır.

TTM sxemlərinin fərqli cəhətləri, sürəti praktiki cəhətdən azaltmadan böyük tutuma işləmək qabiliyyəti, maneəyə davamlı olması və az güc sərf etməsidir.

4. TTMS tipli sxemlər (şək. 16.5) adi tranzistorlarda qurulmuş TTM tipli sxemlərdən yüksək işləmə sürəti və gücü daha az sərf etməsi ilə fərqlənirlər. İşləmə sürətini artırmaq üçün doyma rejimində işləyən tranzistorun doyma dərəcəsini azaltmaq üçün (doyma rejimindən bağlı rejimə daha tez keçmək üçün) onun kollektor- baza keçidi Şottki diodu vasitəsilə şuntlanır. Doyma olmayan rejimdə Şottki tranzistorlarının işləməsi onun «baza- emitter» keçidlərində gərginlik düşgülərini artırır və bununla da, statik rejimdə sərf olunan cərəyanı (bununla da məntiq elementinin sərf etdiyi gücü) azaldır.

5. İnteqral injeksiyalı məntiq funksional inteqrallaşmış invertorlar əsasında qurulur (şək.16.6). O, p-n-p tipli tranzistordan (VT_1 - cərəyan generatoru) və n-p-n tipli tranzistordan (VT_2 - invertor) ibarətdir. Onlar bir kristalda elə yığılırlar ki, VT_1 - in baza sahəsi VT_2 - nin emitter sahəsi ilə, həmçinin VT_1 - in kollektor sahəsi VT_2 - nin baza sahəsi ilə üst- üstə düşür. VT_1 - in injektor adlanan emitter sahəsi yük müqaviməti vasitəsilə qida gərginliyinə birləşir. VT_1 çoxemitterli tranzistor ola bilər,

VT2- nin isə adətən elementin məntiq çıxışları adlanan bir neçə kollektoru olur.

Bu tipli məntiq elementlərinin yüksək işləmə sürətinin səbəbi parazit tutumların kiçik olması, baza sahəsində yüklərin toplanmasının olmaması və siqnalın səviyyələri arasında fərqi kiçik olmasıdır.

Yığılma sıxlığına görə (1 mm^2 sahədə 1000 element) bipolar tranzistorlarda qurulmuş integral injeksiyalı məntiq elementləri MDY strukturlu elementlərdən, sərf olunan gücə görə isə KMDY elementlərindən üstünlüklər. Bu xassələrinə görə integral injeksiyalı məntiq elementləri yüksək integrasiyalı sxemlərin hazırlanmasında, o cümlədən, mikroprosessor komplektlərinin və yarımkeçirici yaddaş qurğularının reallaşdırılmasında istifadə olunurlar.

Rəqəm integral sxemlərinin ikinci sinfi emitter əlaqəli tranzistor məntiqi (EƏTM) elementləridir. Onlar yüksək işləmə sürətinə və böyük yükləyi qabiliyyətinə görə çox geniş istifadə olunurlar (şək.16.7). «VƏ YA -YOX/VƏ YA» funksiyasını yerinə yetirən elementə VT₁,...,VT₄- birinci cərəyan çeviricisinin tranzistorları, VT₅- ikinci cərəyan çeviricisinin tranzistoru, VT₆ və VT₇- çıxış emitter təkrarlayıcılarının tranzistorları, U_q- qida gərginliyi, U_{sür}- sürüşmə gərginliyi, U_{day}- dayaq gərginliyi, R_y- yük müqaviməti daxildir.

Emitter əlaqəli tranzistor məntiqi elementinin işləmə sürətinin artması onun tranzistorlarının doymayan rejimdə işləməsi ilə əlaqədardır. çıxışdakı emitter təkrarlayıcıları yüklənin tutumunun dolması prosesini sürətləndirir. Siqnalın yayılmasının gecikmə vaxtının azalması çıxış siqnalının səviyyələri arasındakı fərqi azalması hesabına əmələ gəlir. Lakin sonuncu, elementin maneəyə davamlılığını azaldır.

Üçüncü sinfə daxil olan rəqəm inteqral sxemləri emitter təkrarlayıcılarında qurulur və müstəqil olaraq istifadə olunmur. Onları emitter əlaqəli tranzistor məntiqi sxemlərində çıxış kaskadı kimi istifadə olunur.

Bipolyar tranzistorlu rəqəm inteqral sxemləri sahə tranzistorlu rəqəm inteqral sxemlərinə nisbətən daha yüksək işləmə sürətinə malikdirlər. Lakin onların integrasiya dərəcəsi az və sərf etdiyi güc daha çoxdur. Unipolyar tranzistorlarda qurulmuş inteqral injeksiya məntiqi sxemləri istisna təşkil edir. Onlar böyük integrasiya dərəcəsinə, az güc sərfinə və yüksək işləmə sürətinə malikdirlər.

Tranzistor məntiqi rəqəm inteqral sxemlərinin əsas texniki parametrləri aşağıdakılardır:

Məntiqin tipi	Signalın 1 məntiq elementinə 1 məntiq elementinin düşən gecikmə vaxtı, ns	statik səpələnmə
güc, mVt		
RTM	10-50	1-
30		
DTM	10-50	1-
30		
TTM	6-30	2-
20		
TTMŞ	3-10	2-
20		
EƏTM	0,5-2	2-
25		
i ² M		<5
<0,2		

16.4. Məntiq elementlərinin əsas parametrləri

Məntiq elementləri aşağıdakı əsas parametrləri ilə xarakterizə olunurlar:

1. Sərfetmə gücü- məntiq sxeminin 2 vəziyyətində («0» və «1») qida mənbəyindən istifadə etdiyi gücün orta qiymətinə bərabərdir;

$$P_{\text{sərf}}=0,5(P_{\text{sərf}}^0+P_{\text{sərf}}^1)$$

Burada $P_{\text{sərf}}^0$ və $P_{\text{sərf}}^1$ - uyğun olaraq, çıxışda 0 və 1 olduqda məntiq elementinin mənbədən götürdüyü gücdər.

Müasir məntiq sxemlərinin orta sərfetmə gücü 300 mVt- dan nanovatlara qədər olur.

2. Siqnalın yayılması zamanı ləngimənin orta qiyməti və ya sxemin cəldisləməsi- onun dinamik parametrləri ilə təyin olunur: $t^{1,0}$ - məntiq elementinin «1»- dən (yüksək potensialdan) «0»- a (aşağı səviyyəyə) keçid müddəti; $t^{0,1}$ - məntiq elementinin «0»- dan «1»- ə keçid müddəti; $t^{1,0}_{\text{ləng}}$ - qoşulmanın ləngimə müddəti; $t^{0,1}_{\text{ləng}}$ - açılmanın ləngimə müddəti; $t^{0,1}_{\text{yay.ləng}}$ - açılma zamanı siqnalın yayılmasının ləngimə müddəti; $t^{0,1}_{\text{yay.ləng.or}}$ - siqnalın yayılmasının orta ləngimə müddəti; $f_{\text{iş}}$ - işçi tezliyidir (şəkl.16.8).

Adətən, məntiq elementində siqnalın ləngiməsi $t_{\text{ləng}} = 0,5(t_{\text{cəb}}+t_{\text{kəs}})$.

İfrat yüksək cəldlikli sxemlərin ləngimə vaxtı 5 ns- dən kiçik olur. Yüksək cəldlikli sxemlərin ləngimə vaxtı 5-10 ns, orta cəldlikli sxemlərin ləngimə vaxtı 10-100 ns, aşağı cəldlikli sxemlərin ləngimə vaxtı 100 ns- dən böyük olur.

3. Maneəyə davamlılıq- maneənin girişdəki maksimal qiymətidir. Bu qiymətlərdə element öz normal işini davam etdirir ($U = 0,1-1$ V).

4. Sxemin iki vəziyyəti üçün çıxış gərginlikləri- sxemin məntiqi «0» və «1» vəziyyətlərində çıxış gərginlikləridir. Bəzi seriyalı mikrosxemlər üçün (133,155, 134, və s.) $U = 0,3-0,5$ V və $U = 2,3-2,5$ V olur.

5. Girişə görə ümumiləşdirmə əmsalı (m)- integral sxemin məntiqi girişlərinin maksimal sayına bərabərdir (adətən $m=2-10$ olur).

6. çıxışa görə budaqlanma əmsalı (n) və ya yüklənmə əmsalı çıxışa eyni zamanda qoşula bilən analoji qurğuların maksimal sayına bərabərdir (adətən $n=2-50$ olur).

FƏSİL 17. KVANT ELEKTRONİKASININ ƏSASLARI

17.1. Kvant elektronikasısı haqqında ümumi məlumat

Kvant elektronikasısı- fizikanın bir sahəsi olub, elektromaqnit rəqslərinin gücləndirilməsi və generasiyası üsullarını, həmçinin kvant gücləndiriciləri və generatorlarının xassələrini öyrənir. Bu üsullar məcburi şüalanma (xarici elektromaqnit sahəsinin təsiri ilə maddənin atom və molekullarının enerji kvantları şüalandırması) hadisəsinə əsaslanır.

Atomun və ya molekulun daxili enerjisi yalnız enerji səviyyələri adlanan müəyyən diskret qiymətlər ala bilər. Atom bir enerji səviyyəsindən digərinə keçdikdə udulan və ya şüalanan fotonun tezliyi Bor şərtindən təyin olunur:

$$\Lambda = (E_2 - E_1) / h, \quad (17.1)$$

burada h - Plank sabiti, (E_2 və E_1 - uyğun olaraq enerji səviyyələri).

Atom foton udduqda həyəcanlanır, nisbətən yüksək enerji səviyyəsinə keçir (şək. 17.1,a) və xarici təsir olmadıqda foton buraxmaqla (spontan şüalanma) yenidən əvvəlki hala qaydır (şək. 17.1,b). Həyəcanlanmış atom xarici fotonun təsiri ilə də foton buraxa bilər (şək. 17.1,v). Məcburi fotona həmin dalğa uzunluqlu bir foton da əlavə olunur və atom normal hala qaydır.

Məcburi şüalanma ilə ifrat yüksək tezlik diapazonunda (0,34- 10 mm) elektromaqnit dalğalarını gücləndirmək və generasiya etmək də olar. Mazer cihazlarının iş prinsipi buna əsaslanır.

17.2. Optik kvant generatorları

Optik kvant generatorları (lazerlər)- təsirlə şüalanma vasitəsilə optik diapazonda monoxromatik elektromaqnit dalğaları generasiya edən cihazlardır.

Lazerlər, içərisində həyəcanlanmış atomlara malik olan maddə (fəal mühit) olan rezonatorlardan ibarətdir. Adətən, həyəcanlanmış atomlar nisbətən az enerjili səviyyəyə bir- birindən asılı olmayaraq özbaşına keçirlər. Buna görə də atom qrupunun buraxdığı işıq qeyri-koherent olur. Lazerlərdə isə bu keçid nizamlı olur. Atom rəqslərinin fazaya görə belə nizamlanması rezonatorla və təsirlə şüaburaxma vasitəsilə əldə edilir.

Həyəcanlanmış atom nisbətən az enerjili səviyyəyə işıq kvantının təsiri ilə keçdikdə, onun buraxdığı fotonun tezliyi və fazası təsiredici fotonun tezlik və fazasına bərabər olur. Bu, işığı koherent gücləndirməyə imkan yaradır. Işığın gücləndirilməsi üçün yuxarı enerji səviyyəsindəki atomların sayı aşağı enerji səviyyəsindəki atomların sayından böyük olmalıdır. Atomlar sisteminin belə halı məskunluq adlanır.

Lazerlərdəki aktiv mühit invers məskunluq halına malik atom sistemidir. Onlarda adətən rezonator rolunu bir- birinə paralel iki müstəvi (Fabri- Pero interferometri tipli) güzgü sistemi oynayır. Fəal mühit yaratmaq üçün müxtəlif üsullardan istifadə edilir. Optik doldurma daha geniş yayılmışdır. Şəkildə üçvalentli xrom ionlarının yaqut (təqribən 0,05 % + xrom Cr^{3+} aşqarı vurulmuş Al_2O_3) kristalındakı enerji səviyyələri göstərilmişdir. Güclü işıq mənbəyi vasitəsilə Cr^{3+} ionları əsas haldan (E_1) həyəcanlanmış halların təşkil etdiyi 1 və 2 enerji zolağına keçirilir (optik doldurma). Nisbətən qısa müddətdə (10^{-8} san.) bu ionlar şüalanmasız keçidə məruz qalaraq E_1 və E_2 səviyyələrinə düşür, enerji fərqi isə kristal qəfəse verilir. Cr^{3+} ionlarının E_2 və E' səviyyələrində yaşamaq müddəti 10^{-3} saniyədir. Bu müddətdən sonra onlar

yenidən əsas səviyyəyə qayıdır (E_1) və termodinamik tarazlıq bərpa olunur. $E_1 \rightarrow E_2$ və $E'_1 \rightarrow E_1$ keçidləri spektrin qırmızı sahəsində şüalanmaya uyğundur. Spektrin göy və yaşıl sahələrində çox böyük intensivliyə malik olan işıq mənbəyi ilə yaqut kristalını işıqlandırdıqda Cr^{3+} ionları E'_2 və E_2 səviyyələrinə toplanır və bu səviyyələr əsas enerji səviyyəsinə (E_1) nəzərən invers məskunluğa malik olur, yəni yaqut kristalında fəal mühit yaranır. Bu mühit yaqutun $E_2 \rightarrow E'_2$ və $E'_2 \rightarrow E_1$ keçidlərində işləyən və $\lambda=0,7$ mkm dalğa uzunluqlu işıq generasiya edən ilk lazer qurmağa imkan vermişdir.

İşçi maddəsi bərk cisim (kristal, şüşə), maye və qaz olan kəsilməz və ya impuls rejimində işləyən lazerlər yaradılmışdır. Bu lazerlərdə fəal mühit yaratmaq üçün optik doldurma üsulu ilə yanaşı digər üsullardan da, məs., qaz boşalmasından (qaz lazerlərində), cərəyan daşıyıcılarının p-n keçidə injeksiyasından (yarımkeçirici lazerlərdə) və s.-dən istifadə edilir.

Qısa və ifrat qısa lazer impulsları kondensə olunmuş sistemlərdə baş verən qısa müddətli (10^{-3} s.) relaksasiya proseslərini tədqiq etməyə imkan verir. Lazerlərdə şüalanmanın yüksək effektiv temperatura malik olması və bu şüalanmanın çox kiçik həcmə fokuslanmasının mümkünlüyü, maddələrin çox yüksək temperatura qədər qızdırılmasına imkan yaradır (plazmanın qızdırılması, termonüvə reaksiyaları, rentgen şüalarının nöqtəvi mənbəyinin alınması və s.). Güclü lazerlərdən texnoloji proseslərdə (qaynaq, kəsmə və s.), biologiyada və təbabətdə (incə cərrahiyyə əməliyyatlarında və müalicədə) istifadə olunur. Lazerlər vasitəsilə informasiyanı holoqrafiya üsulu ilə qeydə almaq və saxlamaq mümkündür.

FƏSİL 18. OPTİK ELEKTRONİKANIN ƏSASLARI

Optik elektronika, elektronikanın maddələrdə (əsasən, bərk cisimlərdə) optik diapazonlu elektromaqnit rəqslərinin ($3 \cdot 10^{11}$ – $3 \cdot 10^{17}$ Hz) elektronlarla qarşılıqlı təsiri effektinin istifadəsini və bu effektlərdən informasiyanın generasiyası, ötürülməsi, saxlanması, emalı və əks olunması üçün istifadə edilən optik elektron cihaz və qurğuların yaradılması metodlarını əhatə edən bir bölməsidir.

Optoelektronikada şərti olaraq, fotonikanı (ancaq optik şəkildə təqdim olunmuş informasiyanın generasiyası, ötürülməsi, saxlanması, emalı və əks olunması təyinatlı qurğuların yaradılması üçün metodların tədqiqi), radiooptikanı (radiofizikanın prinsiplərinin və metodlarının optikaya tətbiqi) və optronikanı (daxili optik əlaqəli elektron qurğularının, optron sxemlərinin yaradılması metodlarının tədqiqi) qeyd etmək olar.

18.1. Optik elektronikanın fiziki əsasları

Optoelektronikanın inkişafı kvant elektronikasının, yarımqəçiricilər elektronikasının, bərk cisimlər fizikasının və optikanın fundamental yeniliklərinin sayəsində mümkün olmuşdur.

Optoelektronikada istifadə olunan optik diapazon 0,2–20 mkm həddindədir. Lakin əksər müasir optoelektron cihazlar və qurğular 0,5–1,5 mkm dalğa uzunluğu diapazonunda işləyir.

Optoelektron qurğuların iş prinsipi aşağıdakı effektlərin istifadəsinə əsaslanır: lüminessensiya (elektrik, katod, foto-lüminessensiya); elektrik, maqnit və akustik-optik effektlər (məs., Kerr, Pokkels, Faradey və akustik-optik difraksiya effektləri); fotoelektrik hadisələri (məs.,

fotoelektrik effekti); izotrop və anizotrop mühitlərdə optik şüalanmanın yayılması hadisəsi (məs., lifli və inteqral-optik işıqötürənlərində); qeyri- xətti optik hadisələri.

Optoelektronikanın elektrovakuum və yarımkeçiricilər elektronikasası ilə müqayisədə üstünlükləri informasiyanın generasiyası, ötürülməsi, saxlanması, emalı və əks olunması təyinatlı cihaz və qurğularda optik şüalanmanın istifadəsindədir. Bu üstünlüklər optik şüalanma kvantlarının- fotonların elektrik neytrallığı ilə; işıq rəqslərinin yüksək tezliyə malik olması ilə (10^{15} Hz-ə qədər) və uyğun olaraq, optik şüalanma dalğalarının uzunluğunun kiçik qiymət alması ilə (əsasən 1 mkm-ə qədər); işıq şüasının kiçik yayınmaya (təxminən $1'$) və kifayət qədər iti fokuslanma imkanına malik olması ilə əlaqədardır.

Fotonların elektrik neytrallığı optik rabitə kanallarının elektromaqnit sahələrinin təsirinə məruz qalmasını (mənzərəyə davamlılıq, çarpaz maneələrin olmaması və s.); daxili optik əlaqəli optoelektron qurğularında tam qalvanik ayrılmanı; optik şüalanma selinin informasiyanın böyük massivlərini paralel emal etməyə imkan verən ikili (fəza və zaman) modulyasiyasını təmin edir.

İşıq dalğalarının yüksək tezliyi optik rabitə kanallarının yüksək informasiya tutumunu təmin edir. Optik şüalanmanın dalğa uzunluğunun kiçik qiyməti informasiyanın optik yazılmasının yüksək sıxlığını təmin edir. İşıq şüalarının iti bucaq altında fokuslanması qabiliyyəti onun enerjisini fəzanın istənilən nöqtəsinə kiçik itgilərlə ötürülməsinə şərait yaradır.

18.1. Optik şüalanmanın kvant əsasları

Optik şüalanma geniş mənada işıq deməkdir. Optik şüalanma digər tərəfdən uzunluğu 10 nm-dən 0,1 mm-ə

qədər şərti sərhədli diapazonda yerləşən elektromaqnit dalğalarıdır. Bu dalğaların tezliyi $3 \cdot 10^{16}$ - $3 \cdot 10^{12}$ Hz tezliklər diapazonuna uyğun gəlir. Optik şüalanmaya insan gözünün qəbul edə bildiyi görünən işıqdan əlavə həm də infraqırmızı və ultrabənövşəyi şüalanma da aiddir.

Optik şüalanma bir neçə əlamətlərə görə təsnif olunur. Məs., onun yaranma təbiətinə görə (istilik və lüminessent şüalanmaları), spektral tərkibinə görə (ağ və monoxromatik işıq), elektrik və maqnit vektorlarının nizamlanma istiqamətinə görə (təbii, xətti elliptik və qismən polyarlaşmış), koherentlik dərəcəsinə görə (koherent və qeyri-koherent), şüalanma selinin yayılmasına görə (istiqamətlənmiş, diffuz və qarışıq) ayrılırlar. Optik şüalanmanın tədqiqi bütün fiziki səviyyələrdə- atomdan tutmuş planetlərə qədər- baş verən hadisələr haqqında geniş informasiya almaq olar. Optik şüalanmanın tətbiq sərhədləri güclü koherent optik şüalanma mənbələrinin- lazerlərin yaranması ilə xeyli genişlənmişdir.

18.2. Fotonlar

Foton elektromaqnit şüalanmasının (başqa sözlə işığın) kvantı olub, vahid spinə ($\hbar$ - Plank sabitinin vahidlərində) və sıfır kütləyə malik olan neytral elementar hissəcikdir. O, yüklü hissəciklər arasındakı elektromaqnit qarşılıqlı təsirinin daşıyıcısıdır. Boşluqda foton istənilən ətalətli hesabat sistemində nəzərdən işıq sürəti ilə ($c=3 \cdot 10^8$ m/san) yayılır. $\hbar\omega$ -yə bərabər enerjiyə (ω - elektromaqnit şüalanması rəqslərinin tezliyidir) və $\hbar\omega/c$ impulsuna malikdir.

Fotonların hissəcik kimi xassələri daha qabarıq şəkildə optik və qısa dalğalar diapazonundan yuxarıda onların digər hissəciklərlə qarşılıqlı təsirində görünür.

Fotonları optik şüalanmaya nəzərən işıq kvantları, qamma- şüalanmaya nəzərən isə qamma- kvant adlandırırlar.

18.3. Lüminessensiya effektləri

Lüminessensiya maddədə hər hansı bir enerjinin hesabına yaranan optik şüalanma olub, istilik şüalanması üzərində artıqlığı əks etdirir və təsirlənmə müddətindən işıq rəqslərinin periodundan çox olan bir müddətdə davam edir. Lüminessensiyanın şüalanması infraqırmızı, görünən və yaxın ultrabənövşəyi diapazonlarda yerləşir. Lüminessensiya anlayışı maddənin vəziyyətinin tarazlıqdan əhəmiyyətsiz (zəif) fərqlənməsində tətbiq oluna bilər. Yüksək intensivlikli lüminessensiya istilik şüalanmasının çox kiçik qiymətlərində istənilən temperaturda, o cümlədən otaq temperaturunda mümkündür. Odur ki, lüminessensiyanı çox vaxt soyuq şüalanma adlandırırlar.

Təsirləndirmə üsullarından asılı olaraq elektrik lüminessensiyasını (elektrik sahəsi ilə təsirləndirmə), katod lüminessensiyasını (elektron dəstəsi ilə təsirləndirmə) və fotolüminessensiyanı (optik şüalanması vasitəsilə təsirləndirmə) fərqləndirirlər.

Elektrik və katod lüminessensiyalarını ağ- qara və rəngli kineskoplarda, elektron- optik çeviricilərdə, müxtəlif rəqəm indikatorlarında və displeylərdə, işıq diodlarında istifadə edirlər.

Fotolüminessensiya lüminessent lampalarında, nüvə hissəciklərinin sintilyasiya sayğaclarında öz tətbiqini tapmışdır.

Bunlardan başqa, təsirlənməsi rentgen şüaları, sürətləndirilmiş ionlar, α - hissəciklər, mexaniki deformasiyalar, kimyəvi reaksiyalar və radikalların rekombinasiyası vasitəsilə olan lüminessensiya mövcuddur.

Lüminessensiyanın əsas fiziki xarakteristikaları aşağıdakılardır: təsirləndiricinin növü və parametrləri

(məs., katod lüminessensiyasında elektronların enerjisi, lüminessensiyanın intensivliyinin spektral paylanması (lüminessensiyanın spektri), energetik çıxış (şüalanmanın dəyişməsinin mütləq qiymətinin təsirləndiricinin dəyişməsinin mütləq qiymətinə olan nisbəti), kvant çıxışı (şüalananan kvantların sayının təsirlənmədə istifadə olunan hissəciklərin (elektronların, ionların və s.) sayına olan nisbəti), təsirlənmənin qoşulması və qurtarması zamanı relaksasiya zaman sabitləri.

18.4. Elektrooptik, maqnitooptik və akustooptik effektlər

Elektrooptika optikanın bölməsi olub, elektrik sahəsinin maddənin optik xassələrinə təsirini öyrənir. Kvant sistemlərində (atomlarda, molekularda və s.) elektrik sahəsinin təsiri altında energetik səviyyələrin, sahə gərginliyinin kvadratına və ya (dahi güclü sahələrdə) onun birinci dərəcəsinə (Ştark effekti) mütənasib olan parçalanması baş verir. Optik izotrop maddələrdə (mayelərdə, şüşələrdə və s.) elektrik sahələri şüanın sahə gərginliyinin kvadratına mütənasib olan ikiqat sınımasına (Kerr effekti) gətirib çıxarır. Simmetriə mərkəzinin olmadığı pyezoelektrik kristallarında ikiqat sına elektrik sahəsinin amplitudasına mütənasib olmalıdır (Pockels effekti).

Elektrooptik hadisələri optik şüalanmanı idarə etmək üçün istifadə edilir (məsələn, amplitud və faza modulyasiyası, işıq dəstələrinin yayılma istiqamətini dəyişmək və qısa işıq impulslarının yaradılması üçün). Lazerlərin yaradılması optik tezlikli elektrik sahələrində çoxlu sayda elektrooptik hadisələrini müşahidə etməyə imkan verir. Bunun sayəsində optikanın yeni sahələri, o

cümlədən qeyri- xətti optika və holografiya meydana çıxmışdır.

Maqnit optikası optikanın bölməsi olub, maqnit sahəsinin maddənin optik xassələrinə təsirini öyrənir. Maqnit sahəsinin təsiri altında atomların energetik səviyyələrinin və spektral xətlərin uyğun parçalanması (Zeeman effekti) baş verir. Bunun nəticəsi olaraq mühitin sınma göstəricilərində və məxsusi dalğalar üçün udulma əmsallarında fərq əmələ gəlir. Xətti polyarizə olunmuş işığın uzununa yayılması zamanı polyarizasiya müstəvisinin fırlanması (Faradey effekti) müşahidə olunur, sağ və sol dairəvi polyarizasiyalı dalğalar fərqli udulurlar (maqnit dairəvi dixroizm). Eninə yayılan zaman maqnit ikiqat şüa sınması (Kotton- Muton effekti) baş verir və sahəyə paralel və perpendikulyar xətti polyarizasiyalı dalğalar müxtəlif udulurlar (maqnit xətti dixroizm).

Akustik optika, bərk cisimlərdə və mayələrdə optik diapazonlu elektromaqnit dalğalarının akustik (səs) dalğalarla qarşılıqlı təsirini öyrənən elm sahəsidir. Akustik optikanın əsas nəticələrindən biri mühitdə akustik dalğaların yayılması zamanı onun optik şüalanma xarakteristikasının dəyişməsidir. Mühitdə akustik dalğaların yayılması bu mühitin sınma göstəricisinin periodik dəyişməsinə səbəb olur. Səs sürəti ilə hərəkət edən və akustik dalğaların uzunluğuna bərabər olan periodlu difraksiya qəfəsinə oxşar struktur əmələ gəlir.

18.5. Daxili və xarici fotoelektrik hadisələri

Fotoelektrik hadisələri elektrik hadisələri (elektrik keçiriciliyinin dəyişməsi, elektronların emissiyası, e.h.q.-nin yaranması və s.) olub, elektromaqnit dalğalarının, xüsusilə işığın təsiri altında maddələrdə baş verir.

Fotoelektrik hadisəsi, maddə tərəfindən udulan elektromaqnit şüalanması kvantının $h\omega$ enerjisi elektronun daha böyük enerjili kvant keçidinə sərf olunduqda yaranır. Fotoelektrik hadisəsinin baş vermə xarakteri fotonun enerjisi və maddənin xarakter enerjiləri (atomların və ya molekulların təsirlənmə enerjisi, onların ionlaşma enerjisi, elektronların çıxış enerjisi və s.) arasındakı nisbətdən asılı olur. Məsələn, əgər əgər bərk cisimdə (metalda, yarımkəçiricidə) və ya mayədə udulan fotonun enerjisi elektronların səth potensial maneəsini aşmağa kifayətdirsə, onda fotoelektron emissiyası (xarici fotoeffekt) yaranır; qazlarda $h\omega$ enerjisinin kifayət qədər böyük qiymətlərində ionizasiya mümkündür (fotoionlaşma hadisəsi). Qeyri- metal cisimlərdə $h\omega$ enerjisinin kiçik qiymətlərində (yarımkəçiricilərdə və dielektriklərdə) elektromaqnit şüalanması enerjisinin udulması yükün tarazlaşmayan daşıyıcılarının (keçiricilik elektronları və deşiklər) əmələ gəlməsinə səbəb olur. Bu zaman onların elektrik keçiriciliyi dəyişir və e.h.q. əmələ gəlir (daxili fotoeffekt). Kristallarda daxili fotoeffektə fotodielektrik effekti (ışığın təsirindən dielektrik nüfuzluğunun dəyişməsi), fotoakustik hadisələri (optik şüalanmanın təsirindən kristallarda akustik dalğaların generasiyası), fotoelastiklik və digər effektlər əlaqəlidir.

Fotoelektrik hadisələri daha çox yarımkəçirici materiallarda daxili fotoeffektə bağlıdır. Yarımkəçiricilərdə tarazlaşmamış yük daşıyıcılarının hərəkətinin xarakteri müxtəlif faktorlardan asılıdır: daxili və xarici elektrik və maqnit sahələrinin paylanması, tarazlaşmış və tarazlaşmamış daşıyıcıların qatılığın qradienti, xüsusi elektrik keçiriciliyinin anizotropiyası və s.. Bu faktorların müxtəlif kombinasiyası fotovoltaiq və fotokeçiricilik effektlərinə gətirib çıxarır.

Fotovoltaiik effekt- yük daşıyıcılarının təsirlənən cütlərinin fəza bölünməsi ilə əlaqədar olaraq işıqlandırılan kristalda elektrodlar arasında e.h.q. (foto e.h.q.) əmələ gəlməsidir. Bircinsli yarımkeçiricilərdə bu bölünmə, elektronların və deşiklərin diffuziya əmsallarının müxtəlifliyi (Dember effekti), xarici maqnit sahəsinin təsiri (fotomaqnit effekti) və ya işıqla təsirlənən daşıyıcıların, anizotrop keçiriciliyi olan kristallarda baş kristalloqrafik oxlara bucaq altında diffuziyası ilə əlaqədardır (fotopyezoelektrik effekti).

Qeyri- bircins maddələrdə (məs., elektron- deşik keçidli, geterokeçidli, metal- yarımkeçirici kontaktlı) cütlərin fəza bölünməsi qeyri- bircinsliklə yaradılan elektrik sahəsində olur (ventil fotoeffekti).

Fotokeçiricilik- elektromaqnit şüalarının təsiri ilə keçiricilik zonasında elektronların və ya valent zonasında deşiklərin qatılığının (qatılıq fotokeçiriciliyi) artması ilə, həmçinin yük daşıyıcılarının hərəkətliliyinin dəyişməsi ilə əlaqədar olaraq yarımkeçirici materialın elektrik keçiriciliyinin dəyişməsidir.

18.6. Optik şüalanmanın izotrop və anizotrop mühitlərdə yayılması

Optik sistemin işıqötürəni işığın istiqamətlənmiş ötürülməsi üçündür. Açıq fəzada işıq enerjisinin ötürülməsi üçün birbaşa görmə sahəsi həddində və işığın atmosferdə udulması, yayılması və şüalanmanın ilkin ayrılması ilə əlaqədar olan itgilərlə mümkündür. Işıqötürəndən istifadə işıq enerjisinin itgilərini azaldır və əyri xətt üzrə işıq enerjisini ötürməyə imkan verir. Konstruksiyasına görə işıqötürənlər linzalı, lifli, planar, zolaqlı və başqa tipli olurlar.

Linzalı işıqötürən- boru içərisində yerləşdirilmiş linzalar ardıcılığı sistemidir. Linzalar vasitəsilə işıq dəstəsinin dalğa cəbhəsinin periodik təshihə baş verir. Təshihəedici kimi müəyyən formalı güzgülər istifadə olunur.

Lifli işıqötürən optik cəhətdən şəffaf materialdan (məsələn şüşə) hazırlanan çevik ipdir. Onun içəri hissəsi xarici hissəsinə nisbətən çox böyük sındırma əmsalına malikdir. Ona görə də lifdə yayılan işıq şüaları (lifin oxu ilə şüa arasındakı bucaq kifayət qədər kiçik olduqda) xarici hissə (qabıq) ilə daxili hissə arasındakı sərhəddə tam daxili əksolmaya məruz qalır və şüa daxilə qalaraq xaricə çıxmır. Lifli işıqötürənlərdə optik şüalanmanın istiqamətlənmiş yayılması tam daxili əksolunma hadisəsinə əsaslanır. Işıqötürən təbəqənin qalınlığı işıq dalğasının uzunluğuna yaxın olduqda optik şüalanma məhdud dalğalar toplusu şəklində işıqötürən üzrə yayılır. Bu dalğalar işıqötürənin parametrlərindən asılı olan elektrik və maqnit sahələrinin eninə paylanmalarına malikdirlər. Bu sahələrə uyğun gələn dalğa tipləri moda adlandırılır. Bu cür işıqötürənlər həmçinin optik dalğaötürən adlandırılır. Lifin diametrini və sındırma əmsallarının fərqi kifayət qədər kiçik götürməklə işıqötürəni bir modalı rejimdə işlətmək olar.

İşıqötürənlərin ən perspektiv tipləri- lifli, planar və zolaqlı tipləridir. Lifli işıqötürənlər lifli- optik əlaqə xətlərində, işıqötürənin jəqutu üzrə mozaikalı təsvirlərin ötürmə xətlərində (onları çox jilalı işıqötürənlər adlandırılır), əlçatmaz yerlərdə materialların lazer emalı zamanı, güclü optik şüalanmanın ötürülməsi xətlərində (texnikada və təbabətdə), optik prosessorlarda, müxtəlif fiziki sahələrin vericilərində və b. sahələrdə istifadə olunurlar. Planar və zolaqlı işıqötürənlər integral optik sistemlərdə, optik informasiyanın emalı qurğularında,

optik şüalanmanın miniatür mənbələrində və işıq modulyatorlarında istifadə olunurlar.

İşıqötürənlərin vacib xarakteristikalarından optik itgilərin qiymətini və buraxma zolağını göstərmək olar. Müasir kvars işıqötürənlərində 1,55 mkm dalğa uzunluğunda itgilər minimal olur və 0,2 dB/km təşkil edir. Maksimal şəffaflıq və buraxma zolağının eni kvars şüşəsi əsaslı bir modalı lifli işıqötürənlər üçün 1-1,6 mkm dalğa uzunluqları diapazonuna uyğun gəlir.

Lifli- optik kabel- müdafiə qabığında yerləşdirilmiş möhkəmləndirici elementləri olan bir və ya bir neçə lifli işıqötürəndir. Bu kabellər liflərin sayına görə birjilalı və çoxjilalı, lifli işıqötürənin tipinə görə birmodalı və çoxmodalı, pilləli və qradient tipli, nazik və qalın tipli olurlar.

Funksional təyinatına görə optik şüalanmanın enerjisini (ışıqlandırıcı tipli- bir neçə metr uzunluqlu), təsvirləri (yüzrlə metr uzunluqlu) və signal informasiyasını (bir neçə kilometr uzunluqlu) ötürən lifli optik işıqötürən kabellər mövcuddur.

Lifli optik rabitənin əsas üstünlükləri informasiya ötürülməsinin yüksək sürəti (1 km məsafəyə 1-10 qiqabit/saniyə), kiçik itgiləri (0,85; 1,3 və 1,55 mkm dalğanın sönməsi uyğun olaraq 2–3; 0,5–1 və 0,3–0,5 dB/km təşkil edir), yüksək maneəyədavamlılıq, kiçik qabarit ölçüləri və kütləsidir.

Əsas mənfi cəhəti- işıqötürən lifin optik şüalanmasının udulmasının artması nəticəsində yaranan ionlaşdırıcı şüalanmanın təsirindən itginin artmasıdır.

18.7. Optoelektronikanın funksional elementləri

Əsas optoelektron elementlərinə koherent (əsasən yarımkeçirici lazerləri) və qeyri- koherent (əsasən

işıqlanan diodları) optik şüalanma mənbələrini, optik mühitləri (aktiv və passiv), optik şüalanma qəbuledicilərini (məs., fotodiodları, fototranzistorları, fotorezistorları), həmçinin optik elementləri (məs., linzaları, prizmaları, güzgüləri, polyarizatorları), lifli- optik elementlərini (məs., qutları, fokonları, selfokları) və integral- optik elementləri (məs., integral- optik güzgüləri, süzgeçləri) aid etmək olar.

İndikatorların (yarımkeçirici, qazbolşalma, maye kristallı, vakuum lüminessent və s.) iş prinsipi lüminessent və ya elektrooptik effektlərin istifadəsinə əsaslanır və informasiyanın vizual əksolunması üçün işlədilir. Ən təkmil indikatorlar müstəvi displeylər olub, rəqəmləri, hərfləri, qrafikləri, həmçinin hərəkət edən təsvirləri əks etdirmək üçün işlədilir.

Optik təsvirlərin adekvat videoimpulsar ardıcılığına çevrilməsi çoxelementli fotoqəbuledicilər vasitəsilə həyata keçirilir (məs., yük əlaqəli cihazlar, kremnikonlar, skanistorlar). Bu cihazların iş prinsipi təsviri formalaşdıran optik şüalanma enerjisinin ardıcıl oxunan (skanlanan) elektrik siqnallarına çevrilməsinə əsaslanır. Bu fotoqəbuledicilər verici telekameralarda, süni görmə sistemlərində və s. istifadə olunur.

Elektron qurğularının ayrı- ayrı hissələri arasındakı tam qalvanik ayrılmanı təmin edən əlaqə (optik rabitə) optronlar vasitəsilə yaradılır.

Optron- ümumi gövdədə yerləşdirilmiş və bir- biri ilə optik rabitəli işıq şüalandırıcısı və fotoqəbuledicidən ibarət olan cihazdır. Optrondan əsasən radioelektronikada (əsasən hesablama və ölçmə texnikasında və avtomatikada) ayrı- ayrı hissələrinin rabitəsi, həmçinin elektrik dövrlərinin kontaktsiz idarə olunması üçün istifadə edilir. Optronun şüalandırıcısında giriş elektrik siqnalları işıq siqnallarına çevrilərək optik kanalla

fotoqəbulediciyə verilir. Burada o, yenidən elektrik siqnallarına çevrilir. Şüalandırıcı kimi yarımkeçirici işıqlanan diod, optik kanalın aralıq mühiti kimi yapışqan, şüşə, hava və s., fətoqəbuledici kimi isə fotorezistor, fotodiod, fototranzistor, fototiristor və s. tətbiq edilir. Fotoqəbuledicinin tipi optronun çıxış xarakteristikalarını müəyyənləşdirir.

İnformasiyanı ötürmək üçün lif- optik rabitə xəttindən istifadə etmək olar. Onların iş prinsipi lifli işıqötürücülər üzrə optik şüalanma enerjisini ötürməyə əsaslanır. Bu cür rabitə xətləri 200 km- ə qədər məsafəyə informasiyanın reetranslyatorsuz 10 bit/saniyə sürəti ilə ötürülməsini təmin edir.

Müxtəlif fiziki parametrlərin ölçülməsi məqsədi ilə çevrilməsi lif- optik vericilər vasitəsilə yerinə yetirilir. Onların iş prinsipi nəzarət olunan parametrlərin təsiri altında optik şüalanmanın optik həssas elementdən keçdikdə keçid şəraitinin dəyişməsinə əsaslanır. Lif- optik vericilərin istifadəsi nəticəsində fırlanmanın bucaq sürəti, xətti təcil, temperatur, təzyiq, cərəyan şiddəti və s. tipli fiziki parametrləri ölçmək olar.

İnformasiyanın optik emalı üçün analoq və rəqəm optik prosessorları işlədilir. Bu cür prosessorlar çox böyük informasiya massivlərini paralel emal etməklə elektron emalına nisbətən (EHM- lərin köməyi ilə) xeyli yüksək sürətlə işləyirlər. Lakin, texniki çətinlik və məhdud tətbiq sahəsi onun istifadə olunmasını məhdudlaşdırır.

İnformasiyanın optik yazılışı optik yaddaş mühitinin parametrlərinin (məs., əksətdirmə və ya buraxma əmsalı) optik şüalanmanın təsiri altında dəyişməsinə əsaslanır. Bu yazılış informasiyanın yazılarının yüksək sıxlığını (10^9 bit/sm - ə qədər) və böyük informasiya massivlərini yazmaq və oxumaq imkanını (eyni zamanda 10^4 - 10^6 bitə qədər) təmin edir.

18.8. Koherentlik

Koherentliyin mənası latıncadan tərcümədə əlaqədə olmaq və əlaqəli deməkdir. Koherentlik- iki və ya daha çox rəqs dalğa sisteminin və ya başqa proseslərin xassəsi olub onlar toplandıqda bir- birini gücləndirmək və ya zəiflətmək qabiliyyətinə deyilir.

Rəqslər o vaxt tam koherent olurlar ki, onların faza fərqi müşahidə nöqtəsində zaman ərzində sabit qalır və bu rəqslər toplandıqda yekun rəqsin amplitudunu və intensivliyini təyin edir. Sadə halda, eyni tezlikli 2 harmonik rəqslər toplandıqda yekun rəqsin amplitudası və orta (müşahidə vaxtı ərzində) intensivliyi aşağıdakı düsturlarla hesablanır:

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos \Delta\varphi} ,$$
$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1I_2 \cos \Delta\varphi}$$

burada A_1 , A_2 I_1 və I_2 - uyğun olaraq toplanan rəqslərin amplitudları və orta intensivlikləridir.

$\Delta\varphi$ - dən asılı olaraq yekun rəqsin amplitudu və ya orta intensivliyi rəqslərin ayrılıqda amplitudların (orta intensivliklərin) cəmindən böyük ($0 \leq \Delta\varphi \leq 2\pi$ olduqda) və ya kiçik ($\pi/2 \leq \Delta\varphi \leq \pi$ olduqda olduqda) ola bilər.

Real rəqsi proseslərdə rəqslərin amplitudu, tezliyi və fazası zaman ərzində xotik olaraq fasiləsiz dəyişə bilər.

Əgər $\Delta\varphi$ kifayət qədər yavaş dəyişərsə (müşahidə vaxtına nisbətən) onda rəqslər qismən koherent olurlar və $0 \leq \Delta\varphi \leq 2\pi$ intervalında eyni ehtimalla təsadüfi olaraq istənilən qiyməti alırsa, onda rəqslər qeyri- koherent olurlar. Qeyri- koherent rəqslərin istənilən nöqtədə yekun

rəqsinin orta intensivliyi hər iki rəqsin orta intensivliklərinin cəminə bərabər olur. Eyni polarizasiya olunmuş eyni tezlikli iki müstəvi monoxromatik dalğalar tamamilə koherent olur (dalğaların interferensiyası). Asılı olmayan təbii işıq mənbələrinin şüalandırdığı qeyri-monoxromatik dalğalar qeyri- koherent olur.

18.9. Optik şüalanma qəbulediciləri

Optik şüalanma qəbuledicilərinin optik şüalanmanın təsiri altında vəziyyəti dəyişir və bu şüalanmanı aşkar etmək üçün işlədilir. Optik şüalanma optik şüalanma qəbuledicilərinin həssas elementi ilə qarşılıqlı əlaqəyə girir və nəticədə şüalanma enerjisi enerjinin başqa bir növünə (istilik, elektrik, mexaniki və b.) çevrilir.

Enerjinin çevrilməsi mexanizminə görə istilik, fotoelektrik, fotokimyəvi və ponderomotor (mexaniki) optik şüalanma qəbulediciləri mövcuddur.

İstilik optik şüalanma qəbuledicilərində enerjinin udulması həssas elementin temperaturunun artmasına səbəb olur və bu da həssas elementin müxtəlif parametrlərini dəyişir (məsələn, elektrik keçiriciliyini, polarizasiyanı və s.). Bu tipli qəbuledicilərin ən çox yayılanları metal və yarımkeçirici bolometrlər və termometrlərdir. Bolometrlərin iş prinsipi şüalanma selinin təsiri altında metal və ya yarımkeçirici nümunənin temperaturunun artması ilə onun elektrik müqavimətinin dəyişməsinə əsaslanır. Termoelementlərdə isə şüalanmanın təsirindən materialın temperaturu qalxır və termoelektrik e.h.q.- si əmələ gəlir.

Optik- akustik və pnevmoelektrik qəbuledicilərində (qaz və ya maye) ya udan mühitin həcmnin artması qeyd olunur, ya da optik şüalar udulan zaman akustik dalğalar (səs) müşahidə olunur.

Piroelektrik optik şüalanma qəbulediciləri seqnetoelektrik (pyezoelektrik) materialdan hazırlanır. Optik şüalanma ilə qarşılıqlı təsirin nəticəsində onların səthində statik elektrik yükləri əmələ gəlir.

Fotoelektrik şüalanma qəbulediciləri (fotoelektron cihazları) elektrik vakuum və ya yarımkəçirici cihazlar olub, optik diapazonlu elektromaqnit şüalanması enerjisini elektrik enerjisinə və ya görünməyən şüalardakı təsvirləri (məs., infraqırmızı) görünən təsvirlərə çevirir. Fotoelektron cihazları informasiyanı (o cümlədən, təsvir şəklində verilən informasiyanı) çevirmək, toplamaq, saxlamaq, ötürmək və canlandırmaq üçün istifadə olunur. Fotoelektron cihazlarının iş prinsipi xarici (fotoelektron emissiyası), daxili (fotokeçiricilik) və ventil fotoeffektlərinin istifadəsinə əsaslanır. Fotoelektron cihazlarına müxtəlif fotoelementlər, fotoelektron vurucular, fotorezistorlar, fotodiodlar, elektron-optik çeviriciləri, təsvirin parlaqlıq gücləndiriciləri, həmçinin verici elektron- şüa cihazları aiddirlər.

Bu cihazların iş prinsipi fotokeçiriciliyə (fotorezistiv effekti) əsaslanır. Fotokeçiricilik elektromaqnit şüalanmasının təsiri altında yarımkəçiricinin elektrik keçiriciliyinin dəyişməsidir. Adətən fotokeçiricilik işığın təsirindən hərəkətci yük daşıyıcılarının qatılığının artması (qatılıq fotokeçiriciliyi) ilə əlaqədardır. Bu bir neçə prosesin nəticəsində yaranır: fotonlar elektronları valent zonasından qopardaraq onları keçiricilik zonasına tullayır. Bu zaman eyni zamanda keçiricilik elektronlarının və dəşiklərin sayı artır (məxsusi fotokeçiricilik).

Ponderomotor optik şüalanma qəbulediciləri işıq təzyinə reaksiya verir. Bu reaksiyanı ölçmək üçün döən tərəzilər, həmçinin tutum, pyezoelektrik və b. çeviricilər istifadə olunur. Bu qəbuledicilərdən çox az imtidadə edilir.

Çünki onlar, vibrasiyalara və ətraf mühitin temperaturuna həssasdırlar.

Fotokimyəvi optik şüalanma qəbuledicilərinə fotoqrafiyada istifadə edilən bütün fototəbəqələrin növləri aiddirlər. İstilik və fotoelektrik qəbuledicilərindən fərqli olaraq fotokimyəvi qəbuledicilər fototəbəqə nəinki şüanın fotokimyəvi təsirini cəmləyir, o, həmçinin uzun müddət ərzində onu yadda saxlamaq qabiliyyətinə malikdir.

Optik şüalanma qəbuledicilərinə canlıların gözləri də daxildir. İnsanın gözünün həssas olduğu spektr sahəsi (0,4-0,8 mkm) görünən sahə adlanır. İnsan gözü-maksimal həssaslığı 555 nm olan selektiv qəbuledicidir.

18.10. İnformasiyanın optik yazılışı

İnformasiyanın optik yazılışı zamanı optik şüalanmadan istifadə edilir və optik yaddaş qurğularında yazılış- saxlama - oxuma dövrünün bir hissəsini təşkil edir. İnformasiyanın optik yazılışı bitlər üzrə (ardıcıl) və holoqrafik (paralel) üsullarından ibarətdir.

Bitlər üzrə yazılış zamanı informasiyanın hər bitinə dəyişilmiş optik xassəyə malik olan informasiya daşıyıcısının bir elementar nöqtəsi uyğun gəlir. Bitlər izrə optik yazılış qurğusu lazerdən, işıq modulyatorundan, teleskopdan, obyektivdən, məlumat daşıyıcısından və məlumat daşıyıcısını və ya işıq şüasını idarə edən qurğudan ibarətdir. Lazer şüalanmasını yazılışı informasiyaya uyğun olaraq işıq modulyatoru idarə edir. Lazer dəstəsinin genişlənməsini teleskop həyata keçirir. Yazılışın yüksək sıxlığı (10^7 - 10^8 bit/sm²) bir bit informasiyanın yazıldığı sahənin azaldılması yolu ilə (1 mkm- ə qədər) təmin olunur. Bu da kiçik rasxodimostlu lazer dəstələrinin və geniş aperturlu obyektivlərin köməyi ilə optik şüalanmanın fokuslanması yolu ilə əldə edilir.

Optik yaddaş mühiti kimi tezəriyən metal nazik plyonkalardan (qalınlığı 200-800 mm) istifadə edilir. Onlar yalnız birdəfəlik yazılışı təmin edir və informasiyanın binar paylanması qeyd edir. Lakin 7 qradasiya tonunu yazmağa imkan verir.

Holoqrafik optik yazılış zamanı informasiya bir neçə min bit həcmli ayrı- ayrı massivlərə bölünür (səhifələrə). Səhifələr səhifənin yığılması qurğusu vasitəsilə tərtib edilir. Bu vəzifəni işığın fəza- zaman modulyatoru (məsələn, elektrikle idarə olunan) yerinə yetirir. Hər səhifə ayrıca holoqrama yazılır (məsələn, kvazifurye-holoqramı).

Optik yazılışın holoqrafik üsulu informasiyanın saxlanması üçün yüksək etibarlılığını və optik yaddaş mühitinin lokal defektindən yaranan maneələrdən davamlılığını (belə ki, giriş səhifəsinin hər biti haqqında informasiya holoqramın bütün sahəsi üzrə paylanmışdır) təmin edir. Bu yazılış növü həm də yüksək sıxlığı (10^6 bit/sm²) ilə fərqlənir.

18.11. Optik disk

Optik disk- fokuslaşdırılmış lazer şüası vasitəsilə informasiyanın yazılması və canlandırılması təyinatlı məlumat daşıyıcısıdır. Ənənəvi informasiya yazılışı üsullarına nisbətən (məsələn, mexaniki və maqnit) optik disklərdən istifadə etməklə optik yazılış üsullarının aşağıdakı prinsiplial üstünlükləri var: lazer şüasının diametri 1mkm olan ləkəyə fokuslamaq imkanından irəli gələn yüksək səthi yazılış sıxlığına (10^8 bit*sm⁻²-yə qədər) nail olmaq; yazılış- canlanma prosesində daşıyıcı ilə oxuyucu qurğu arasında mexaniki kontaktın olmaması hesabına daşıyıcının etibarlılığının çox yüksək olması; informasiyanı çox tez oxumaq imkanı (0,1 san.); bir neçə

yüz Mbit*san⁻¹ sürətlə informasiyanı çoxkanallı paralel emal etmək imkanının olması; Optik disk səthinə nazik işçi təbəqə (işığahəssas və ya oşıqqaytaran), həmçinin əlavə (adqezli, müdafiə, interferensiya və b.) təbəqələr çəkilmiş sərt əsasdan (adətən optik şəffaf) ibarətdir. Siqnallar konsentrik və ya spiral cığırlara yazılır. İşçi rejimdə cığıra fokuslanmış lazer şüası fırlanan optik diskin radiusu uzununu yerini dəyişir.

Mövcud optik disklərini 3 qrupa bölmək olar: ancaq canlandırmaq təyinatlı sabit siqnaloqramlı optik disklər; istifadəçinin özü tərəfindən bir dəfə yazılan və alınan siqnaloqramı dəfələrlə canlandırılan optik disklər; dəfələrlə yazılmağa və silinməyə icazə verən optik disklər.

FƏSİL 19. MİKROELEKTRONİKANIN ƏSASLARI

Mikroelektronika elektronikanın bir istiqaməti olub mikrominiatür quruluşlu cihaz və qurğuların yaradılması və onların hazırlanmasında qrup texnologiyasının istifadəsi ilə əlaqədardır. Mikroelektronikanın məhsullarında miniatürləşmə, ayrılmaz sürətdə, elementar cihazların birləşməsini təmin edir.

19.1. İnteqral elementlər

Elektron qurğularının daha mürəkkəb texniki məsələlərin həllində istifadəsi, onların elektrik sxemlərinin daim mürəkkəbləşməsinə səbəb olur. Elektron texnikası inkişafının təhlili göstərir ki, hər 10 il ərəfəsində elektron qurğularının mürəkkəbliyi təqribən 10 dəfə artır. İllər keçdikcə elektron qurğularının işləmə sürəti artmaqda davam etmişdir.

Eyni zamanda elektron qurğularının qabarit ölçüləri də azalmışdır. Bu da bir mikrosxemdə 10^5 - a qədər elementin yerləşdirilməsinə imkan vermişdir. Böyük sayda aktiv elementləri olan yeni elektron qurğularının yaradılması mikroelektronika əsasında mümkün olmuşdur.

Mikroelektronika- elektronikanın yeni elmi- texniki istiqaməti olub, olduqca kiçik (mikrominiatür) ölçülü və həcmli elektron qurğularının yaradılması problemini əhatə edir. Belə qurğular da öz növbəsində yüksək etibarlılığa, ucuz qiymətə, yüksək cəldişləməyə və eləcə də az güc sərfətmə qabiliyyətinə malik olur.

Başqa sözlə, mikroelektronikada iki əsas məsələ nəzərdə tutulur:

1. Elektron sxemlərinin və qurğularının maksimal dərəcədə etibarlılığını təmin etmək;

2. Elektron sxemlərinin və qurğularının qiymətini ucuzlaşdırmaq.

Bu iki əsas məsələ ilə əlaqədar olaraq integral mikrosxemlərin hazırlanması və istifadəsi diskret elementlərdə yığılmış elektron aparatlarına nisbətən kütləsinin, həcmnin və eləcə də sərf olunan gücünün dəfələrlə azaldılmasına səbəb olur.

Mikroelektronikanın əsas konstruktiv- texniki prinsipi elementlərin integrasiyasıdır. Bu isə o deməkdir ki, bir mürəkkəb elementin tərkibində çoxlu sayda sadə elementlərin (diodların, tranzistorların, rezistorların və s.) birləşməsi təmin edilir. Belə birləşmə nəticəsində alınan mürəkkəb mikroelement integral mikrosxem (İMS) adlanır.

İntegral mikrosxem- tərkibində ən azı 5 aktiv (diod, bipolyar və ya sahə tranzistorları) və passiv elementləri (rezistorlar, kondensatorlar, drossellər) olan mikroelektron məmulatdır. Bu elementlərin hamısı vahid texnoloji prosesdə hazırlanır, öz aralarında elektrik cəhətdən birləşir, ümumi gövdəyə yerləşdirilir və ayrılmaz bir bütövlük təşkil edir.

İntegral mikrosxemlərin integrasiya baxımından iki əsas parametri mövcuddur: yerləşdirmə (qablaşdırma) sıxlığı və integrasiya dərəcəsi.

Qablanma sıxlığı- integral mikrosxemdəki elementlər sayının (çıxışların həcmi çıxmaq şərtlə) integral sxemin həcminə olan nisbəti deməkdir.

İntegrasiya dərəcəsi- integral mikrosxemə daxil olan elementlərin sayını göstərir. Əgər integral mikrosxemə ona qədər element daxildirsə, onda bu sxemləri birinci dərəcəli integrasiyaya malik İMS, 10 elementdən 100 elementə qədər daxildirsə- ikinci dərəcəli integrasiyaya

malik İMS, 100- dən 1000- ə qədər element daxildir-sə-
üçüncü dərəcəli integrasiyaya malik İMS (böyük integral
sxemlər- BİS) adlanır.

19.2. Mikroelektronikanın element bazası

İnteqral sxemlərin, diskret elementlər əsasında qurulmuş elektron qurğularından ən vacib fərqi, onların hazırlanma texnologiyasından ibarətdir. Bu texnologiya inteqral sxemlərin elementlərinin qrup halında formalaşdırma proseslərinin müəyyən ardıcılığını nəzərdə tutur. İnteqral sxemlərin tərkibinə daxil olan funksional sxemotexniki elementlərin sayından, təyinatından, hazırlanma texnologiyasından və cəldişləməsindən (siqnalı gecikdirmə vaxtından) asılı olaraq spesifik adları olur.

Baza əlamətinə görə inteqral sxemlərin vahid təsnifatı yoxdur. Onlar eyni tipli matrislərdən, elektron qurğusunun hissəsi və ya ayrıca bloklarından, o cümlədən mikroprosessorlardan və ya mikro- EHM- dən ibarət ola bilərlər.

İnteqral sxemlərdən ən çox yayılanları monolit tipli yarımkeçirici inteqral sxemlərdir. Onların tərkibinə daxil olan elementlərin sayından asılı olaraq kiçik inteqrasiyalı (bir kristalda 10^2 elementə qədər), orta inteqrasiyalı (bir kristalda 10^3 elementə qədər), böyük inteqrasiyalı (bir kristalda 10^4 elementə qədər), çox böyük inteqrasiyalı (bir kristalda 10^5 elementə qədər) və ultraböyük inteqrasiyalı inteqral sxemlər (bir kristalda 10^6 elementə qədər) siniflərinə bölünürlər.

Tarixən inteqral sxemlərin ilk sinfi hibrid tipli inteqral sxemlər (HİS) olmuşdur. Onların yığılması zamanı, sxemin passiv elementlərinin vahid dövründə, miniatur yarımkeçirici aktiv elementləri (diodları və tranzistorları) asma element kimi istifadə edirdilər. Xarici əlamətlərə görə diskret komponentlərdən yığılmış cihazlarla monolit inteqral sxemlər arasında aralıq mövqe tutan HİS indiye qədər elektronikada geniş istifadə olunur. Bəzi hallarda isə, məsələn ən yüksək tezlikli qurğularda, tutum və

induktiv elementli radiotexniki qurğularda, həmçinin integral sxemlərin formalaşdırılması zamanı onun parametrlərini sazlamaq üçün HİS- lər çox üstündürlər. HİS- in təkmilləşdirilməsi bir əsas üzərində passiv elementlərin və keçiricilərin nəinki yarımkeçirici cihazların ayrı- ayrı kristallarının, həmçinin monolit integral sxemlərin kristallarının (mikroyığım adlanır) birləşdirilməsi istiqamətində gedir.

Monolit yarımkeçirici integral sxemlərin integrasiya dərəcəsinin artırılması elementlərin yerləşdirilməsi sıxlığının artması, onların xətti ölçülərinin azalması və ayrı- ayrı integral sxemlərin kristalının sahəsinin nisbi artımı ilə müşahidə olunur.

Mürəkkəbliyin artması ilə yerinə yetirdiyi funksiyaların sayının integral sxemlərin sahəsinə olan nisbəti artır. Mürəkkəb integral sxemlərin istehsal qiymətinin nisbətən artmasına baxmayaraq ayrı- ayrı funksiyaların maya dəyəri getdikcə azalır (integral sxemlərin yerinə yetirdiyi əməliyyatların). Integral sxemlərin elementlərinin yerləşdirilməsi, sıxlığının artması və onların xətti ölçülərinin azalması, signalın gecikdirmə vaxtının azalmasına və cəldişləməsinin elementar məntiq qurğusuna (ventil adlanır) olan nisbətinin artmasına kömək edir. Sxem daxili qaynaq birləşmələrinin olmaması, materialların bircinsliyi və integral sxemlərin konstruksiyasının kompaktlığı (bütövlüyü) elektron avadanlığının etibarlılığını artırır.

Avadanlığın konkret tətbiqindən asılı olaraq integral sxemlərə sərf olunan gücə görə, temperatur rejiminə görə, radiasiyaya davamlılığına görə və s. tələblər qoyula bilər.

19.3. Mikroelektronikanın texnologiyası

Mikroelektronikanın məhsulları çox sürətli layihələndirmə və sənaye istehsalı tempinə malikdirlər. Mikroelektronikanın texnologiyası fasiləsiz olaraq bərk cisimlər fizikasının, kimyanın, tətbiqi riyaziyyatın və digər təbiət elmlərinin son nailiyyətlərinə uyğun olaraq təkmilləşir. Hal- hazırda mikroelektronikanın ixtiyarında çoxlu sayda fiziki- kimyəvi metodlar (monokristalların yaradılması, onların kəsilməsi, lövhələrin hamarlanması, epitaksiya, diffuziya və oksidləşmə, kimyəvi zəhərləmə, plazma- kimyəvi və ion- şüa emalı və s.) vardır. Bu metodlar yüksək dərəcəli dəqiqliklə və lokallıqla fərqlənirlər.

Mikron və submikron ölçülü inteqral sxemlərin istehsalı mikrolitoqrafiya proseslərinin köməyi ilə həyata keçirilir. Bu proses nəticəsində verilmiş miqyasda inteqral sxemlərin topologiyasının təsvirini orijinaldan (şablondan) yarımkeçirici lövhəyə və ya başqa əsasa köçürülür. Tələb olunan ayırma qabiliyyətində, məhsuldarlıqdan və məsrəfdən asılı olaraq işıq spektrinin görünən və ultrabənövşəyi sahələrində işləyən fotolitoqrafiya, rentgen litoqrafiyası və elektron- şüa litoqrafiyası istifadə oluna bilər. Sonuncu üsul 0,2 mkm xətti ölçülü inteqral sxemlərin elementlərini formalaşdırmağa imkan verir.

Hibrid inteqral sxemlərinin formalaşdırılması proseslərinin və əməliyyatlarının toplusu nazik və qalın təbəqələrin istifadəsi ilə əlaqədar 2 istiqamətə bölünən təbəqə texnologiyasını təşkil edir.

Nazik təbəqəli texnologiyanın xarakterik fərqli cəhəti vakuumda materialların lokal və bütöv nazik təbəqələrinin çökdürülməsi üsullarının geniş istifadəsidir. Qalın təbəqəli hibrid inteqral sxemlərinin elementləri lokal çəkilmə və xüsusi pastaların yandırılması yolu ilə formalaşdırılır. Təbəqəli texnologiya, xüsusi təyinatlı inteqral sxemlərin kiçik seriyalı istehsalına, həmçinin parametrlərinin dəqiq

sazlanması vacib olan sadə inteqral sxemlərin hazırlanmasına uyğun gəlir. Bu texnologiya əsasında sadə və bəha olmayan, birinci növbədə xətti (analoq) inteqral sxemlər hazırlanır.

Monolit yarımkeçirici inteqral sxemlərin formalaşdırılmasının baza texnologiyası planar texnologiyadır. Bu texnologiyaya görə inteqral sxemlərin əsas kütləsi, o cümlədən məntiq (rəqəm) inteqral sxemləri hazırlanır.

Planar texnologiyanın köməyi ilə tərkibində milyona qədər element olan və xətti ölçüləri 0,5 mkm-ə qədər olan mürəkkəb inteqral sxemlər formalaşdırılır. Bu texnologiyanın xarakter xüsusiyyəti mikrolitoqrafiyanın dəfələrlə istifadəsindən ibarətdir. Bunun nəticəsində legirləmə, zəhərləmə (ayırılma), izolyasiya etmə və metallaşdırma proseslərinin kombinasiyasından sonra hamarlanmış yarımkeçirici lövhənin səth təbəqəsində BİS və UBİS kristallarının onlarla və yüzlərlə kristalları formalaşır. Odur ki, planar texnologiya standart məhsulların geniş seriyalı istehsalı üçün çox əlverişlidir. Onların konstruksiyasını və istehsal texnologiyasını tez-tez dəyişmək iqtisadi cəhətdən səmərəli deyil. Baza matris kristallarının və ya universal ventillər matrisinin hazırlanması prinsiplərinin işlənməsi matrislərdə elementlərin fərdi kommutasiyası və təsəvvürlə sxem yarımfabrikatda tələb olunan konfigurasiyalı və təyinatlı inteqral sxemləri hazırlamağa imkan verir.

Mikroelektronikanın texnologiyasının inkişafı materialların fiziki- kimyəvi emalı üsulların canlandırma və ayırma (lokallıq) qabiliyyətlərinin artırılması istiqamətində gedir. Ənənəvi legirləmə (diffuziya və epitaksiya) üsullarının əvəzinə sonradan termik və lazer yandırma ion legirləməsi istifadə edilir. Lövhələrin dəqiq zəhərlənməsi və səthin təmizlənməsi əvəzinə plazma-kimyəvi və ion- şüa prosesləri istifadə edilir.

Mikroelektronikanın texnologiyasında materialların lazer emalı üsulları və fiziki- kimyəvi proseslərin stimulyasiyası daha çox istifadə edilir. Həmçinin, integral sxemlərin submikron elementlərinin formalaşdırılması üçün dəqiq və məhsuldar maskasız üsulların aktiv axtarışı gedir. Müasir texnologiyada çox yüksək vakuumlu (10^{-8} - 10^{-10} Pa) proseslər daha əhəmiyyətli rol oynayırlar.

Mikroelektronikanın prosesləri üçün xüsusi texnoloji və nəzarət- ölçmə avadanlıqlarının işlənməsi və inkişafı çox yüksək tələbatdır. İstismar şəraiti və məhsulun xarakteri bu avadanlığa çox yüksək tələbat (yüksək etibarlılıq, dəqiqlik, minimal çirkləndirmək qabiliyyəti, maksimal avtomatlaşdırma dərəcəsi, modernizasiya olunmuş avadanlığa adaptasiya olunmaq dərəcəsi) qoyur.

ƏDƏBİYYAT

1. Hübətov R.T. Elektronika (2 hissədə). Ali məktəblər üçün dərs vəsaiti.- Bakı, Maarif, 2000.
2. Hübətov R.T. Bərk cisimli elektronika. Ali məktəblər üçün dərs vəsaiti.- Bakı, Maarif, 2000.
3. Bakalov V.N. i dr. Osnovı teorii glektriçeskix üepey i glektroniki. Uçebnik dlə vuzov.- M.: Radio i svəzğ, 1989.- 528 s.
4. Bəkirova L.R. «Elektronikanın və mikroelektro- nikanın əsasları» fənnindən laboratoriya işlərini yerinə yetirmək üçün metodik vəsait.- Bakı: ADNA-nın nəşri, 2004.
- 5.Qerşunskiy B.S. Osnovı glektroniki i mikroglek- troniki: Uçebnik-Moskva: Vıssəə şkola,1989-423 s.
6. Qusev V.Q., Qusev Ö.M. Glektronika. - M.: Vıssəə şkola, 1991.- 622 s.
7. Davudov B. B., Daşdəmirov K. M. Radioelektronikanın əsasları. Dərs vəsaiti.- Bakı: BDU- nun nəşri, 1992. - 294 s.
8. Erofeev Ö.N. İmpulğsnaə texnika.- M.: Vıssəə şkola, 1984.
9. Əliyev R.M., Məmmədov R.Q., Muratov İ.X. «İnformasiya- ölçmə texnikasında elektrotexniki və elektron elementləri» fənnindən məşğələləri yerinə yetirmək üçün metodik göstərişlər, 1 hissə.- Bakı: Az.DNA- nın nəşri, 1993.- 52 s.
10. Əliyev R.M., Məmmədov R.Q., Muratov İ.X. «İnformasiya- ölçmə texnikasında elektrotexniki və elektron elementləri» fənnindən məşğələləri yerinə yetirmək üçün metodik göstərişlər, 2 hissə.- Bakı: Az.DNA- nın nəşri, 1995.- 52 s.
11. Manaev E.İ. Osnovı radioglektroniki.- M.: Radio i svəzğ, 1985.

12. Məmmədov R.Q., Əlizadə C.H. «Elektronikanın və mikroelektronikanın əsasları» fənnindən kurs işlərini yerinə yetirmək üçün metodik vəsait.- Bakı: Az. DNA- nın nəşri, 2002.- 62 s.

13. Fərəcov V.C. Yarımkeçirici integral sxemlər. Dərs vəsaiti.- Bakı: Az.TU- nun nəşri, 1996.

14. Terexov V.A. Elektron cihazlarına aid məsələlər: ali məktəblər üçün dərs vəsaiti.- Bakı, Maarif, 1988.- 288 s.

15. Çekulaev M.A. Sbornik zadaç i uprajneniy po impulʹsnoy texnike.- M.: Vışşə şkola, 1989.- 280 s.

16. Glektronika: Gnüklopediçeskiy slovarğ / Ql. red. V. Q. Kolesnikov.- Moskva: Sovetskaə gnüklopediə, 1991.- 688 s.

17. Ənsen Y. Kurs üifrovoy glektroniki: v 4- x kn. Per. s qollandskoqo.- M.: Mir, 1987.

ƏLAVƏLƏR

Ə1. Elektrotexnikanın əsaslarına aid çalışmalar

Çalışma 1. Şək.Ə.1.- də göstərilən sxemin a və s sıxaclarına sonsuz böyük daxili müqaviməti olan voltmetr qoşulub. Əgər a- dan s- ə $I = 10$ A cərəyan axırsa voltmetrin göstərişi -18 V və s- dən a- ya $I=10$ A cərəyan axırsa voltmetrin göstərişi -20 V olur. R və E- ni tapın.

Cavab: $R = 0,1 \text{ Om}$; $E = 19 \text{ V}$.

Çalışma 2. Şək.Ə.2.- də təsvir olunmuş rezistiv dövrə sxeminin budaqlarının cərəyanlarını Kirxhof

tənlikləri üsulu ilə hesablamalı.

Cavab:

$$\begin{aligned}-i_1 + i_3 + i_4 &= 0; \\ -i_2 - i_3 + i_5 &= 0; \quad -i_4 + i_5 = 0; \\ -u_{g1} + R_1 i_1 + R_3 i_3 + R_5 i_5 &= 0; \\ u_{g2} + R_2 i_2 - R_3 i_3 + R_4 i_4 &= 0; \\ -u_{g2} - R_2 i_2 + R_6 i_6 - R_5 i_5 &= 0\end{aligned}$$

tənliklər sisteminin həlli.

Çalışma 3. Şək.Ə.3- dəki sxemin $E_1=80$ V, $E_2=64$ V, $R_1=6$ Om, $R_2=4$ Om, $R_3=3$ Om, $R_4=1$ Om olan budaqlarındakı cərəyanları tapın.

Cavab: $\dot{I}=14$ A, $\dot{I}=-15$ A, $\dot{I}=-1$ A.

Çalışma 4. Şək.Ə.4- dəki sxem üzrə «absea» konturu üçün potensial diaqramı qurmalı.

Cavab: 0 V, -60 V, 4 V, 3 V, 0 V.

Çalışma 5. Şək. Ə.5- də təsvir olunan dövrənin cərəyanlarını superpozisiya üsuluna əsasən təyin etməli.

Cavab:

$$i=i_{g1} \cdot (R_2+R_{g2}) / (R_2+R_{g2}+R_3) + i_{g1} \cdot U_{g2} / (R_2+R_{g2}+R_3) .$$

Çalışma 6. Şək.Ə.6- dakı sxemin R_3 müqavimətindən keçən cərəyanı ekvivalent gərginlik generatoru üsulu ilə tapmalı.

Cavab:

$$i_3=u_{sg}/(R_3 +R_e), \text{ burada } R_e = R_1 R_2 / (R_1 + R_2).$$

Çalışma 7. Şək. Ə.6- dakı sxemin R_3 müqavimətindən keçən cərəyanı ekvivalent cərəyan generatoru üsulu ilə tapmalı.

Cavab:

$$i_3=(u_{g1} / R_1 + u_{g2} / R_2) \cdot R_e / (R_3 + R_e), \text{ burada } R_e = R_1 R_2 / (R_1 + R_2).$$

Çalışma 8. Şək.Ə.7- də göstərilən dövrə üçün güc balansını tərtib etməli.

Cavab:

$$u_{g1}i_1 + u_{g2}i_g = u_1i_1 + u_2i_2 + u_3i_3 + u_4i_4 + R_1i_1^2 + R_2i_2^2 + R_3i_3^2 + R_4i_4^2.$$

Çalışma 9. Şək.Ə.8- dəki sxemin budaqlarındakı cərəyanları mütenasib kəmiyyətlər üsulu ilə təyin etməli.

Çalışma 10. Şək.Ə.1- dəki sxemlərin cərəyanlarını kontur cərəyanları üsulu ilə təyin etməli.

Çalışma 11. Şək.Ə.2- dəki sxemlərin cərəyanlarını superpozisiya üsulu ilə təyin etməli ($R_1=2\text{ Om}$, $R_2=4\text{ Om}$, $R_3=6\text{ Om}$, $I_k=5\text{ A}$ və $E=20\text{ V}$).

Çalışma 12. Şək.Ə.3- dəki sxemlərin paralel budaqlarını bir ekvivalent budaqla əvəz etməli.

Çalışma 13. Şək.Ə.4- dəki sxemlərin cərəyanlarını düyün potensialları üsulu ilə təyin etməli.

Çalışma 14. Şək.Ə.2- dəki körpü sxeminin diaqonalından keçən cərəyanı ekvivalent generator üsulu ilə təyin etməli ($R_1=R_4=1\text{ Om}$, $R_2=4\text{ Om}$, $R_3=2\text{ Om}$, $R_5=2\text{ Om}$ və $E=10\text{ V}$).

Çalışma 15. Şək.Ə.2- dəki körpü sxeminin R_5 müqavimətinin hansı qiymətində onda maksimal güc ayrılır və nəyə bərabərdir ($R_1=R_4=1\text{ Om}$, $R_2=4\text{ Om}$, $R_3=2\text{ Om}$ və $E=10\text{ V}$)?

Ə2. Elektronikanın əsaslarına aid çalışmalar

Ə2.1. Diodlu düzləndiricilərin hesablanması

Şək.1.1.a- da VD diodundan və R yük rezistorundan ibarət olan biryarımperiodlu düzləndiricinin sxemi verilir. Giriş signalının müsbət dalğasında anoduna müsbət və katoduna mənfi potensial verilən VD diodu açılır. Bu

zaman giriş gərginliyi çıxışa ötürülür. Giriş signalının mənfi dalğasında anoduna mənfi və katoduna müsbət potensial verilən VD diodu bağlanır və giriş gərginliyi çıxışa ötürülmür (şək.1.1,b). Period ərzində çıxışa verilən döyünmə cərəyanının orta qiyməti $I_{or}=I_m/B$ olur. Bu sxemdə döyünmə çox olduğu üçün, adətən, çıxışa hamarlayıcı C tutumu qoşulur. Girişə verilən gərginliyin müsbət dalğasında tutum dolur və mənfi dalğada isə boşalır. Tutumun dolma vaxtı $\tau_d = R_d C$, boşalma vaxtı isə $\tau_b = R_y C$ düsturları ilə təyin olunur. Düzlənmənin effektiv olması üçün C tutumu elə seçilir ki, $\tau_d \ll T/2$ və $\tau_b \gg T/2$ (T- giriş signalının periodudur) olsun. Yəni, kondensator tez dolmalı və gec boşalmalıdır.

Nümunə. Verilir: $U_{gir} = 10$ V; $f = 50$ Hz, $R_y = 2000$ om. Tələb olunur: Diodu və kondensatoru seçməli?

Həlli. Giriş signalının periodu $T = 1/f = 20$ ms olur. Girişdəki gərginliyə və tələb olunan cərəyana görə diodun tipini D312 qəbul edirik. Bu diod üçün $R_{düz} = U_{düz} / I_{düz} = 0,5 / (10 \cdot 10^{-3}) = 50$ Om və $R_{əks} = U_{əks} / I_{əks} = 10 / (10 \cdot 10^{-6}) = 1$ mOm. Onda birinci düstura görə $C \ll 10$ ms/50 və ikinci düstura görə $C \gg 10$ ms/2000 olmalıdır. Bu iki şərtə uyğun olaraq 200 mkF $\gg C \gg 5$ mkF arasında seçilməlidir. $C = 50$ mkF hər iki şərti ödəyir. Kondensatorun buraxıla bilən gərginliyi isə giriş gərginliyinin maksimal qiymətindən 3 dəfə böyük götürülməlidir. Bu qiymətlərə görə kondensatorun tipi seçilir. Çıxışdakı gərginliyin və cərəyanın qiymətləri aşağıdakı kimi tapılır.

Çıxışdakı gərginliyin ən böyük və orta qiymətləri $U_{cix.m} = 0,5 U_{gir.m} = 5$ V və $U_{cix.o} = U_{gir.m} / B = 3,18$ V olur.

Çıxışdakı cərəyanın isə orta və maksimal qiymətləri $I_{cix.o} = U_{cix.o} / R_y = 1,59$ mA və $I_{cix.max} = I_{cix.o} \cdot B = 4,8$ mA olur.

Yükdəki cərəyanın orta qiyməti $I_{yük} = 0,5 I_{yük.max} = 2,4$ mA olur.

Ə2.2. Stabilizasiya parametrik gərginlik stabilizatorunun hesabı

Tapşırıq: D818E stabilizatoru əsasında parametrik gərginlik stabilizatorunun elementlərini hesablamaq; girişdəki gərginliyin minimal və maksimal qiymətlərini tapmaq.

Verilir: stabilizasiya gərginliyi- 9 V; nominal yük cərəyanı- 10 mA; giriş gərginliyinin qeyri- stabilliyi- 10%; stabilizasiya əmsalı- 20.

Qeyd: stabilizatorun keçən cərəyandan asılı olaraq onun diferensial müqavimətinin dəyişməsinə nəzər almaq lazımdır.

Stabil olmayan giriş gərginliyinin maksimal qiymətini tapmaq üçün, elektrotexnikanın qanunları əsasında bu sxemləri təsvir edən tənliklər sistemini tərtib etmək lazımdır. Çıxış və giriş gərginliklərinin dəyişmələri aşağıdakı düsturla əlaqələndirilir:

$$U_{st} = U_{gir.st} * (r_d * R_y) / (R_b + r_d * R_y)$$

U_{st} - çıxış gərginliyinin dəyişməsi, V; $U_{gir.st}$ - giriş gərginliyinin dəyişməsi, V; r_d - stabilizatorun diferensial müqaviməti, Om; R_b - ballast müqaviməti, Om; R_y - yük müqaviməti, Om.

$R_y \gg r_d$ olduqda bu düsturu sadələşdirmək olar:

$$U_{st} = U_{gir.st} * (r_d / R_b)$$

Onda stabilləşdirmə əmsalı K_{st} üçün yazmaq olar:

$$K_{st} = (U_{gir.st} / U_{gir.st}) / (U_{st} / U_{st}) = (U_{st} * R_b) / (U_{gir.st} * r_d)$$

Digər tərəfdən gərginliklərin qiyməti üçün yazmaq

olar:

$$U_{\text{gir.st}} = U_{\text{st}} + U_{\text{Rb}}$$

burada U_{Rb} - ballast müqavimətdə düşən gərginlikdir. Om qanununa görə

$K_{\text{st}} = (U_{\text{st}} * R_b) / (U_{\text{girst}} * r_d)$, $U_{\text{gir.st}} = U_{\text{st}} + (I_y + I_{\text{st}}) * R_b$
 r_d və I_{st} əvəzinə verilən stabiltron üçün orta qiymətləri qəbul etsək, onda giriş gərginliyinin maksimal qiymətini və ballast rezistorunun nominal müqavimətini tapmaq olar.

Stabiltron kimi D818E tipli silisiumlu kiçik güclü presizion stabiltron istifadə olunur. Onun əsas parametrləri aşağıdakılardır: stabilləşmə gərginliyi- 8,55-9,45 V; gərginliyin temperatur əmsalı (stabilləşdirmə cərəyanı 10 mA olduqda)- + 0,001 %/ ES; stabilizasiya gərginliyinin dəyişməsi- $\nabla 16$ mV; stabilləşdirmə cərəyanının minimal və maksimal cərəyanları- 3 mA və 33 mA; səpələnmə gücü- T#50ES olduqda 300 mVt və T#125ES olduqda 100 mVt; ətraf mühitin temperaturu- - 60ES- dən 125ES- yə qədər; stabiltronun diferensial müqavimətinin ondan keçən cərəyanın qiymətindən asılılığı şəkl.2.2- də, 50ES-125ES intervalında səpələnmə gücünün aldığı qiymətlər şəkl.2.3- də göstərilir.

Zəruri istismar ehtiyatı yaratmaq üçün hesabat zamanı stabilizasiya əmsalı 22- yə bərabər götürülür, stabilləşdirmə cərəyanı isə 8-28 mA (buraxıla bilən 3-33 mA qiymətlərində). Beləliklə hesabat belə aparılır:

$$I_{\text{orta}} = (8 + 28) / 2 = 18 \text{ mA}, r_{d,\text{orta}} = (r_d * 8 \text{ mA} + r_d * 28 \text{ mA}) / 2 = 9,5 \text{ Om}$$

Tənliklər sistemi aşağıdakı şəkildə yazılır:

$$U_{\text{girst}} = 9 + 28 \cdot 10^{-3},$$

$$22 = 9 \cdot R_b / (U_{\text{girst}} \cdot 9,5)$$

Bu tənliyin həlli $U_{\text{girst}} = 26 \text{ V}$ və $R_b = 600 \text{ Om}$ - dur. Verilmiş qeyri- stabilliyin 10% olduğunu nəzərə alsaq, $U_{\text{girst}} = (24 \pm 2,4)$ və R_b - nin qiyməti dəqiqləşdirilir:

$$R_b = (U_{\text{girst}} - U_{\text{st}}) / (I_{\text{st}} + I_y) = (24 - 9) / (18 + 10) = 0,536 \text{ kOm}.$$

Yaxın olan nominalları nəzərdən keçirsək, $R_b = 560 \text{ Om}$ nominalını seçərik. Bu zaman stabiltronun minimal və maksimal cərəyanları belə tapılır:

$$I_{\text{stmin}} = (U_{\text{girst,min}} - U_{\text{st}}) / R_b = I_y = 12,5 \text{ mA},$$

$$I_{\text{stmax}} = (U_{\text{girst,max}} - U_{\text{st}}) / R_b = I_y = 21 \text{ mA}.$$

Bu qiymətlər buraxıla bilən diapazona (3-33 mA) daxil olduğu üçün hesabat qəbul olunur.

Maksimal cərəyan zamanı stabiltronun səpələnmə gücü belə tapılır:

$$P_{\text{stab,max}} = U_{\text{st}} \cdot I_{\text{stmax}} = 190 \text{ mVt}$$

və xarakteristika üzrə 90ES- ye uyğun gəlir.

Ballast müqavimətində səpələnən gücün maksimal qiyməti belə tapılır:

$$P_{R_b} = I_{\text{max}}^2 \cdot R_b = 0,55 \text{ Vt},$$

və ballast müqavimətinin bu tələblərə cavab verən tipi təyin olunur: 560+10%, MLT-1.

Ballast müqaviməti stabilləşdirmə əmsalına təsir edir:

$$K_{st,min} = U_{st} \cdot R_{b,min} / (U_{girst,max} \cdot R_{d,max}) = 19,1.$$

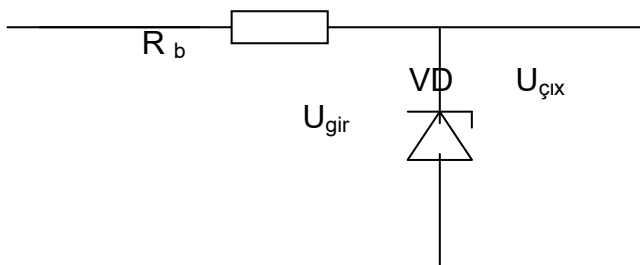
Stabilitronun seçilən tipi D818E kiçik GTƏ (gərginliyin temperatur əmsalı) = 0,001%/1ES ilə fərqlənir və temperaturun dəyişməsinə dayanıqlıdır. Nisbi xətanın dəyişməsi:

$$\Delta U_{st} / U_{st} = 0,001\%/1ES \cdot 150ES = 0,15 \%,$$

və nominal orta qiymətdə $\Delta U_{st} = 0,03 \text{ V}$ stabilləşdirmə əmsalının azalması belə tapılır:

$$K_{st}(t) = (\Delta U_{girst} / U_{girst}) / (\Delta U_{st} / U_{st} + \Delta U_{st}(t) / U_{st}) = 10 \% / (0,33 \% + 0,15\%) = 20,7$$

Beləliklə, tələb olunan parametrlər hesablandı və elementlər seçildi.



Şək. 2.1. Parametrik gərginlik stabilizatorunun prinsipial elektrik sxemi.

Ə3. Yoxlama sualları

Ə3.1. Elektrotexnikanın əsaslarından yoxlama sualları

1. Müqavimətlərin ardıcıl, paralel, qarışıq, üçbucaq

və ulduz birləşməsi neçə olur?

2. Om qanununu e.h.q. mənbəyi olan dövrə hissəsi üçün yazın.

3. Kirxhofun qanunlarını deyın və onların ifadəsini yazın.

4. Bir neçə mənbəyi olan elektrik dövrəsinin hesablanması üsullarının mahiyyətini izah edin: Kirxhofun qanunlarının birbaşa tətbiqi üsulları; kontur cərəyanları və düyün potensialları üsulları.

5. Ekvivalent generator üsulu nə vaxt tətbiq olunur və mahiyyəti nədən ibarətdir?

6. Sabit cərəyan qeyri-xətti dövrələrinin hesablanması hansı üsullarla aparılır?

7. E.h.q mənbəli sxemdən cərəyan mənbəli sxemə necə keçmək olar?

8. Sinusoidal cərəyanın ani, amplitud, orta və effektiv qiymətləri nə deməkdir və necə hesablanır?

9. Period, tezlik, bucaq tezliyi, ilkin faza və faza sürüşməsi nə deməkdir?

10. Ardıcıl birləşdirilmiş r və L elementlərindən ibarət olan və girişinə $u = U_m \sin(\omega t + \varphi_u)$ gərginliyi verilən dövrədə cərəyanın ani qiymətini təyin edin.

11. Gərginliklər rezonansının yaranma şərtləri, onların reallaşdırılma üsulları. Vektor diaqramı.

12. Cərəyanlar rezonansının yaranma şərtləri, onların reallaşdırılma üsulları. Vektor diaqramı.

13. Sinusoidal cərəyanın elektrik dövrəsinin hesablanmasının kompleks (simvol) üsulu.

14. Güc əmsalı ($\cos\varphi$) nədən asılıdır və onu nəyə görə artırmaq lazımdır?

15. Üçfazlı sistemin bir fazalıdan üstünlüyü nədədir?

16. Üçfazlı sistemin aktiv, reaktiv və tam gücünün tapılma düsturlarını yazın.

17. Ulduz və üçbucaq birləşdirilmədə gərginliklərin və çərəyanların faza və xətti qiymətləri (simmetrik yük üçün) arasındakı münasibətləri yazın.

18. Maqnitlənmə əyrisi nəyə lazımdır?

19. Maqnit seli, maqnit induksiyası və maqnit sahəsinin gərginliyi nədir və hansı vahidlərlə ölçülür?

20. Ferromaqnit materiallarda histerezis ilgəyi nədir və onun üzərində xarakter nöqtələri (qalıq maqnit induksiyasını və koersitiv qüvvəni) göstərin.

21. Birbaşa və dolaylı ölçmələr arasındakı fərq nədən ibarətdir?

22. Ölçmə üsullarına tərif verin.

23. Cihazın vəzifəsi nədən ibarətdir?

24. Ölçmə çeviricilərinin vəzifəsi nədən ibarətdir?

25. Analox və diskret cihazlar arasındakı fərq nədən ibarətdir?

26. Statik və astatik cihazlar arasındakı fərq nədən ibarətdir?

27. Statik və astatik cihazların çıxış ölçmə kəmiyyəti nəyə mütənasibdir?

28. Cihazların əsas xarakteristikaları hansılardır?

29. DÜİST 16263-70-ə görə analox və rəqəm cihazlarının xətalı necə normalaşdırılır?

30. Ölçmə xətalının hansı növləri mövcuddur?

31. Sistematik xətalın azaldılması üçün hansı üsullar mövcuddur?

32. Təsadüfi xətal nədir, onlar necə aşkar olunurlar və nəzərə alınırlar?

33. Elektromexaniki cihazlar nədir?

34. Fırladıcı moment üçün ifadə necə yazılır?

35. Cihazların şkalalarında hansı şərti işarələr qoyulur və onlar nəyi göstərir?

36. Elektromexaniki cihazlarda hansı sakitləşdiricilərdən istifadə edilir və onların quruluşu nədən ibarətdir?

37.İstiliyin maqnitoelektrik sistemli cihazların göstərişinə təsiri və onları kompensasiya olunması üsulları nədən ibarətdir?

38.Düzləndiricili cihazlarda temperatur və tezlik xətlərinin kompensasiya üsulları hansılardır?

39.Nəyə görə termoelektrik cihazlarını yüksək tezliklərdə işlətmək olar?

40.Elektron voltmetrinin iş prinsipini izah edin.

41.Elektromaqnit sistemli cihazların sabit və ya dəyişən cərəyanda göstərişlərinin hansının daha dəqiq olduğunu tapın.

42.Astatik cihazların göstərişinə bütün xarici maqnit mənbələri təsir etmir?

43.Elektromaqnit sistemli ampermetrlərin ölçmə həddini dəyişmək üçün nəyə görə şuntlardan istifadə edilmir?

44.Elektrodinamik cihazların sabit və dəyişən cərəyanlardakı göstərişləri çoxdur və bu fərq necə aradan qaldırılır?

45.Elektrodinamik cihazlara hansı xarici faktorlar təsir edir və onları necə aradan qaldırmaq olar?

46.Ferrodinamik cihazların üstün və mənfi cəhətləri nədən ibarətdir?

47.Elektrostatik voltmetrlərin ölçmə hədlərini əlavə müqavimətlər qoşmaqla artırmaq olarmı?

Ə3.2. Elektronikanın əsaslarından yoxlama sualları

1. Elektronların emissiyası və çıxış işi nədir?
2. Termoelektron emissiyasının mahiyyəti nədən ibarətdir?
3. Fotoelektron emissiyasının mahiyyəti nədən ibarətdir?

4. Elektrovakuum cihazlarının katodlarının quruluşu və vəzifəsi nədən ibarətdir?

5. Dolayı və düz yolla qızdırılan katodların konstruksiyalarının xüsusiyyətləri.

6. Vakuum diodunun quruluşu və iş prinsipi nədən ibarətdir?

7. Vakuum triodunun quruluşu və iş prinsipi nədən ibarətdir?

8. Vakuum tetrodunun quruluşu və iş prinsipi nədən ibarətdir?

9. Vakuum pentodunun quruluşu və iş prinsipi nədən ibarətdir?

10. Triodun idarəedici torunun vəzifəsi nədən ibarətdir?

11. Ekranlayıcı torun vəzifəsi nədən ibarətdir?

12. Antidinatron torunun vəzifəsi nədən ibarətdir?

13. Vakuum triodunun statik parametrləri: güclənmə əmsalı, anod- tor xarakteristikası, daxili müqaviməti.

14. Elektron- şüa borularının quruluşu, vəzifəsi və iş prinsipi.

15. Elektron ossiloqraflarının quruluşu, vəzifəsi və iş prinsipi.

16. Televizor ilə ossiloqrafın oxşar və fərqli cəhətləri.

17. Elektrik cərəyanının qazla doldurulmuş fəzadan keçməsi haqqında.

18. Qaz boşalmasının formaları.

19. Tiratronun quruluşu və iş prinsipi.

20. Təmiz yarımkeçiricinin atomdaxili quruluşu.

21. Qarışıqlar yarımkeçiricinin keçiriciliyinə necə təsir edir?

22. Yarımkeçiricilərin elektron (n tipli) keçiriciliyi.

23. Yarımkeçiricilərin deşik (p tipli) keçiriciliyi.

24. Elektron- deşik keçidindən cərəyanın keçməsi

prosesi.

25. Nöqtəvi və müstəvi diodların quruluşu, xassələri və fərqli cəhətləri.

26. Bipolyar tranzistorun quruluşu və iş prinsipi.

27. Biolyar tranzistorla vakuum triodunun oxşar və fərqli cəhətləri.

28. Sahə tranzistorunun quruluşu və iş prinsipi.

29. Sahə tranzistoru ilə vakuum triodunun oxşar və fərqli cəhətləri.

30. Sahə tranzistoru ilə bipolyar tranzistorun oxşar və fərqli cəhətləri.

31. Cərəyana, gərginliyə və gücə görə güclənmə əmsalı nədir?

32. Dəyişən cərəyanın düzləndirilməsi prinsipini izah edin.

33. Gücləndirici kaskadın güclənmə əmsalı necə təyin olunur?

34. Güc və gərginlik gücləndiricilərinin prinsipial fərqi.

35. Gücün gücləndirilməsi nəyin hesabına baş verir?

36. Generatorların iş prinsipi nədən ibarətdir?

37. Generatorlarda amplitud balansı nə deməkdir?

38. Generatorlarda fazalar balansı nə deməkdir?

39. Süzgəclərin iş prinsipi nədən ibarətdir?

40. Aşağı tezliklər süzgəcinin iş prinsipi nədən ibarətdir?

41. Yuxarı tezliklər süzgəcinin iş prinsipi nədən ibarətdir?

42. Zolaqlı süzgəcin iş prinsipi nədən ibarətdir?

43. Çəpərləyici süzgəcin iş prinsipi nədən ibarətdir?

MÜNDƏRİCAT

səh.

HİSSƏ 1. ELEKTROTEKHNİKANIN ƏSASLARI.....	
FƏSİL 1. SABİT CƏRƏYAN DÖVRƏSİ.....	
1.1. Elektrik dövrəsi.....	
1.2. Elektrik cərəyanı və cərəyan şiddəti.....	
1.3. Müqavimət və keçiricilik.....	
1.4. Gərginlik və elektrik hərəkət qüvvəsi.....	
1.5. Om qanunu.....	
1.6. İşlədicilərin dövrəyə qoşulması.....	
1.7. Kirxhof qanunları.....	
1.8. Cərəyanın işi, gücü və istilik təsiri.....	
1.9. Elektrik dövrəsinin elementləri.....	
FƏSİL 2. MÜRƏKKƏB DÖVRƏLƏRİN HESABLANMASI	
ÜSULLARI.....	
2.1. Superpozisiya prinsipi.....	
2.2. Kontur cərəyanları üsulu.....	
2.3. Düyün potensialları üsulu.....	
2.4. Ekvivalent generator üsulu.....	
FƏSİL 3. MAQNİT SAHƏSİ.....	
3.1. Maqnit sahəsinin əsas kəmiyyətləri.....	
3.2. Tam cərəyan qanunu.....	
3.3. Maqnit dövrələri	

3.4. Maqnitlənmə əyrisi.....	
3.5. Elektromaqnit induksiyası hadisəsi.....	
3.6. Qarşılıqlı induksiya və özünəinduksiya	
FƏSİL 4. SİNUSOİDAL DƏYİŞƏN CƏRƏYANLAR.....	
4.1. Sinusoidal dəyişən cərəyan elektrik hərəkət qüvvəsinin alınması.....	
4.2. Dəyişən cərəyanın vektor diaqramı.....	
4.3. Dəyişən cərəyan dövrəsində aktiv müqavimət.....	
4.4. İnduktiv müqavimətli dəyişən cərəyan dövrəsi.....	
4.5. Tutum müqavimətli dəyişən cərəyan dövrəsi	
4.6. Güc əmsalı və onun yaxşılaşdırılması	
4.7. Aktiv müqavimətin, induktivliyin və tutumun dəyişən cərəyan dövrəsinə ardıcıl birləşdirilməsi.....	
4.8. Üçfazlı dəyişən cərəyanın alınması.....	
4.9. Üçfazlı dolaqların ulduz və üçbucaq birləşməsi.....	
4.10. Üçfazlı cərəyanın gücü.....	
FƏSİL 5. ELEKTROMAQNİT QURĞULARI VƏ TRANSFORMATORLAR.....	
5.1. Elektromaqnit qurğularının ferromaqnit materiallarının əsas xassələri.....	
5.2. Maqnit gücləndiriciləri.....	
5.3. Elektromaqnit muftaları.....	
5.4. Transformatorlar.....	

5.4.1. Üçfazlı transformatorlar.....	
5.4.2. Avtotransformatorlar.....	
5.4.3. Ölçmə transformatorları.....	
5.4.3.1. Gərginlik transformatorları.....	
5.4.3.2. Cərəyan transformatorları.....	
5.4.4. Transformatorun soyudulması.....	
5.5. Asinxron mühərriklər.....	
5.5.1. Asinxron mühərriklərin təyinatı və iş prinsipi.....	
5.5.2. Asinxron mühərrikin ekvivalent sxemi.....	
5.5.3. Asinxron mühərrikin işə qoşulması və mexaniki xarakteristikası.....	
5.6. Sinxron maşınlar.....	
5.6.1. Sinxron maşınların təyinatı və iş prinsipi.....	
5.6.2. Sinxron generatorun xarakteristikaları.....	
5.6.3. Sinxron mühərriklərin iş prinsipi və işə salınması.....	
5.7. Elektrik intiqalı.....	
5.7.1. Elektrik intiqalı haqqında ümumi məlumat.....	
5.7.2. Elektrik intiqalı üçün mühərrikin seçilməsi.....	
5.7.3. Elektrik intiqalının iş rejimləri.....	
5.7.4. Elektrik mühərrikinin gücünün seçilməsi.....	
FƏSİL 6. ELEKTRİK ÖLÇMƏLƏRİ VƏ CİHAZLARI.....	
6.1. Ölçmə prosesi haqqında ümumi anlayış.....	
6.2. Elektrik ölçmə qurğuları.....	
6.3. Ölçmələrin növləri (birbaşa, dolayı və birgə).....	
6.4. Ölçmə	

üsulları.....	
6.5. Ölçmə vasitələrinin struktur sxemləri.....	
6.6. Ölçmə vasitələrinin xarakteristikaları.....	
6.7. Göstərici cihazların ölçmə dövrləri və mexanizmləri.....	
6.8. Elektromexaniki ölçmə mexanizmləri.....	
6.8.1. Maqnitoelektrik ölçmə mexanizmləri.....	
6.8.2. Elektromaqnit ölçmə mexanizmləri.....	
6.8.3. Elektrodinamik ölçmə mexanizmləri.....	
6.8.4. Ferromaqnit ölçmə mexanizmləri.....	
6.8.5. Elektrostatik ölçmə mexanizmləri.....	
6.8.6. İnduksiya ölçmə mexanizmləri.....	
6.9. Əsas elektrik kəmiyyətlərinin ölçülməsi.....	
6.10. Körpü üsulu ilə ölçmələr	
6.11. Kompensasiya ölçmə üsulu	
6.12. Ölçmə cihazlarının və çeviricilərinin xətalı.....	
6.14. Elektron ölçmə cihazları.....	
6.15. Rəqəm ölçmə cihazları.....	
6.16. Fasiləsiz kəmiyyətlərin diskret formada təqdimi.....	
6.18. Rəqəm ölçmə qurğularının	

təsnifatı.....	
6.18.1. Birbaşa çevirməli rəqəm ölçmə qurğuları.....	
6.18.2. Tarazlaşma çevirməli rəqəm ölçmə qurğuları.....	
6.19. Ölçmə qurğularının dəqiqliyinin normalaşdırılması.....	
6.20. Ölçmə qurğularının maneələrə davamlılığı.....	
6.21. Maneələrle mübarizə üsulları.....	
FƏSİL 7. ƏSAS ELEKTRİK DÖVRƏLƏRİ.....	
7.1. İkiqütblülər.....	
7.2. Dördqütblülər.....	
7.3. Elektrik süzgəcləri.....	
7.4. Avtorəqs dövrələri.....	
7.5. Kəsilməz və impuls siqnallarının elementar RC- dövrələrlə çevrilməsi.....	
FƏSİL 8. PAYLANMIŞ PARAMETRLİ DÖVRƏLƏR.....	
8.1. Paylanmış parametrlə dövrələr haqqında ümumi məlumat.....	
8.2. Birçins uzun xətlərin paylanmış parametrləri.....	
HİSSƏ 2. ELEKTRONİKANIN ƏSASLARI.....	
FƏSİL 9. ELEKTRONİKANIN YARANMASI VƏ İNKİŞAFI.....	
9.1. Elektronikanın predmeti.....	
9.2. Elektronikanın təsnifatı və inkişaf perspektivləri.....	
9.2.1. Vakuüm elektronikası.....	
9.2.2. Bərk cisimli	

elektronika.....	
9.2.3. Kvant elektronikas.....	
9.3. Krioelektronika.....	
9.4. Pyezoelektronika.....	
9.5. Elektronikanın inkişaf perspektivləri.....	
FƏSİL 10. VAKUUM ELEKTRONİKASI.....	
10.1. Elektron lampaları.....	
10.1.1. Elektrovakuum diodları.....	
10.1.2. Elektrovakuum triodları.....	
10.1.3. Elektrovakuum tetrodları.....	
10.1.4. Elektrovakuum pentodları.....	
10.2. Elektron- şüa və fotoelektron cihazları.....	
10.2.1. Kineskoplar.....	
10.2.1.1. Rəngli elektron- şüa borusu.....	
10.2.1.2. Elektron ossiloqrafları.....	
10.2.2. Veriçi elektron- şüa cihazları.....	
10.3. Qazboşalması cihazları.....	
10.4. Rentgen boruları.....	
FƏSİL 11. YARIMKECİRİÇİ DİODLAR.....	
11.1. Düzləndirici diodlar.....	
11.2. Stabilizatorlar.....	
11.3. Varikaplar.....	
11.4. Şottki diodları.....	

11.5. Tunel diodları.....	
11.6. Qann diodları.....	
11.7. Fotoelektron diodları.....	
11.8. İşıqlanan diodlar.....	
FƏSİL 12. BİPOLYAR TRANZİSTORLAR.....	
12.1. Bipolyar tranzistorun iş prinsipi.....	
12.2. Bipolyar tranzistorların qoşulma sxemləri.....	
12.3. Bipolyar tranzistorların iş rejimləri.....	
12.4. Bipolyar tranzistorların əsas parametrləri.....	
12.5. Bipolyar tranzistorların volt- amper xarakteristikaları.....	
12.6. Ümumi emitterli bipolyar tranzistorun dəyişən cərəyana görə yük xəttinin qurulması.....	
12.7. Gücləndirici rejimində bipolyar tranzistorun iş prinsipi.....	
12.8. Bipolyar tranzistorlu bir kaskadlı dəyişən cərəyan gücləndiricisi.....	
FƏSİL 13. SAHƏ TRANZİSTORLARI.....	
13.1. Sahə tranzistorlarının qoşulma sxemləri.....	
13.2. Sahə tranzistorlarının əsas parametrləri.....	
13.3. Sahə tranzistorlarının volt- amper xarakteristikaları.....	
13.4. Sahə tranzistorlarının yük xətlərinin qurulması.....	
13.5. Sahə tranzistorlu acarın hesabı.....	

FƏSİL 14. TİRİSTORLAR.....	
14.1. Tiristorlar haqqında ümumi məlumat.....	
14.2. Tiristorun ekvivalent sxemi.....	
FƏSİL 15. ANALOQ ELEKTRONİKASI.....	
15.1. Gücləndiricilərin qurulmasının əsasları.....	
15.2. Gücləndiricilərdə təhriflər.....	
15.3. Gücləndiricilərdə əks əlaqə.....	
15.4. Gücləndiricilərdə mənfi əks əlaqə.....	
15.5. Əməliyyat gücləndiriciləri haqqında ümumi məlumat.....	
15.6. Əməliyyat gücləndiriciləri əsasında qurulmuş sadə sxemlər...	
15.7. Aktiv süzgeçlər.....	
15.8. Elektrik rəqsləri generatorları.....	
15.8.1. Harmonik rəqslər generatorları.....	
15.8.2. Relaksasiyalı generatorlar.....	
15.8.2.1. İmpuls generatorları.....	
15.8.2.2. Xətti dəyişən gərginlik generatoru.....	
15.8.3. Daxili əks əlaqəli elektrik rəqsləri generatorları.....	
15.9. Komparatorlar.....	
15.9.1. Komparatorların dinamik xarakteristikaları.....	
15.9.2. Komparatorların tipləri.....	
FƏSİL 16. RƏQƏM ELEKTRONİKASININ ƏSASLARI.....	

16.1. Məntiq çəbrinin əsasları.....	
16.2. Məntiq çəbrinin əsas qanunları.....	
16.3. Məntiq sxemlərinin bəzi tipləri.....	
16.4. Məntiq elementlərinin əsas parametrləri.....	
FƏSİL 17. KVANT ELEKTRONİKASININ ƏSASLARI.....	
17.1. Kvant elektronikasına haqqında məlumat.....	
17.2. Optik kvant generatorları.....	
FƏSİL 18. OPTOELEKTRONİKANIN ƏSASLARI.....	
18.1. Optoelektronikanın fiziki əsasları.....	
18.2. Optoelektron qurğuları.....	
18.3. Ortronlar.....	
18.5. Işıq ötürüçüləri.....	
FƏSİL 19. MİKROELEKTRONİKANIN ƏSASLARI.....	
19.1. İntegral elementlər.....	
19.2. Mikroelektronikanın element bazası.....	
19.3. Mikroelektronikanın texnologiyası.....	
ƏLAVƏLƏR.....	
Ə1. ELEKTROTEKXNİKANIN ƏSASLARINA AİD CALIŞMALAR.....	
Ə2. ELEKTRONİKADAN CALIŞMALAR.....	
Ə2.1. Diodlu düzləndiricilərin hesablanması.....	
Ə2.2. Stabilizasiya parametrik gərginlik stabilizatorunun hesabı.....	
Ə2.3. n-p-n tipli tranzistorda stabil cərəyan generatorunun hesablanması.....	

Ə.3. YOXLAMA SUALLARI.....	
Ə3.1. Elektrotexnikanın əsaslarından yoxlama sualları.....	
Ə3.2. Elektronikanın əsaslarından yoxlama sualları....	
ƏDƏBİYYAT.....	

ÖN SÖZ

Elmin və texnikanın indiki və gələcək inkişafı elektrotexnikanın və elektronikanın inkişaf səviyyəsi ilə çox əlaqəlidir. Bu mənada elektrotexnikanın və elektronikanın əsaslarının öyrənilməsi və onların elm və texnikanın müxtəlif sahələrində tətbiq olunması çox vacibdir. Elektrotexnikanın və elektronikanın əsasında yaradılmış cihazlar və qurğular iqtisadiyyatın müxtəlif sahələrində çox geniş istifadə edilir.

Elektrotexnikanın və elektronikanın əsas elementləri iqtisadiyyatın müxtəlif sahələrində müxtəlif tipli gücləndiricilər, aktiv süzgəclər, sinusoidal rəqslər və impulsar generatorları, dəyişən gərginlik çeviriciləri, gərginlik və cərəyan stabilizatorları, komparatorlar, analoq- rəqəm və rəqəm- analoq çeviriciləri və s. köməkçi qurğular şəklində istifadə edilir. Bu qurğular yarımkeçirici diodlar, bipolyar və sahə tranzistorları, tiristorlar və digər elementlər əsasında qurula bilirlər.

Ona görə də elektrotexnikanın və elektronikanın elementləri əsasında müxtəlif qurğuların qurulmasının nəzəri və praktik məsələlərinin öyrənilməsi çox vacib məsələdir.

Dərsləkdən elektrotexnikanı və elektronikanı öyrənmək istəyən tələbələr, magistrantlar və aspirantlar, həmçinin «Elektrotexnikanın və elektronikanın əsasları» fənnindən mühazirə və məşğələ dərslərini aparan müəllimlər istifadə edə bilərlər.

Müəlliflər