

FƏSİL I. ELEKTRİK SAHƏSİ

§ 1.1. Elektrik sahəsi və onun qrafik təsviri

Cisimlərin elektrik xüsusiyyətləri onlarda yüklü hissəciklərin olması ilə izah edilir. Elektronlar və protonlar adlanan belə hissəciklər mütləq qiymətə müxtəlif işarəlidirlər: elektronların yükü mənfi, protonların yükü müsbətdir. Bu hissəciklər neytronlarla birlikdə maddələrin atomlarını təşkil edir. Əgər cisimdə müsbət və mənfi yüklərin sayı bərabər olarsa, onda cisim elektriki cəhətdən neytral olur. Cisimdə müsbət yüklər, yaxud da mənfi yüklər çoxluq təşkil edərsə cisim elektriki yüklənmiş, yəni elektricləşmiş olur.

Elektricləşmiş cisimlər arasında qarşılıqlı təsir qüvvəsi var.

Müxtəlif işarəli hissəciklərlə yüklənmiş cisimlər bir-birini cəzb edir. Eyni işarəli hissəciklərlə yüklənmiş cisimlər isə bir-birini dəf edir.

Elektrik yüklərinin miqdarı qarşılıqlı təsir qüvvəsinə görə təyin edilir. Elektrik yükü Q və ya q hərfi ilə işarə olunur. Yük vahidi olaraq 1 elektronun deyil, $6,3 \cdot 10^{-18}$ elektronun yükü götürülür. Beynəlxalq Vahidlər Sistemində (BS) elektrik yükünün vahidi Kulondur (Kl). Maddənin çox kiçik hissəciyi olan elektronun yükü $e = 1,6 \cdot 10^{-19} Kl$ -dur.

Elektrik yükünün başqa vahidləri aşağıdakılardır.

$$1 mKl = 10^{-3} Kl, \quad 1 mkKl = 10^{-6} Kl,$$

$$1 nKl = 10^{-9} Kl, \quad 1 pKl = 10^{-12} Kl.$$

İngilis alimləri M.Faradey və C.Maksvelin nəzəriyyəsinə görə elektrik yükləri bir-birinə birbaşa təsir etmir. Elektrik yükü fəzada itələyici və ya cəzbedici mühit yaradır. Bu mühit elektrik sahəsi adlanır.

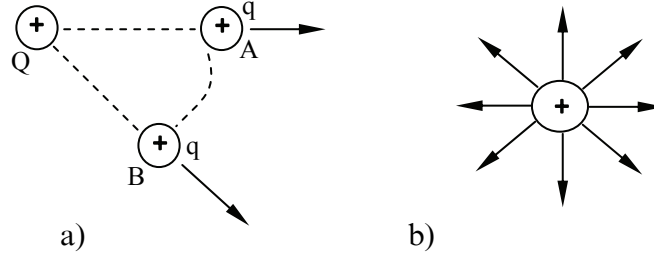
Elektrik sahəsi elektromaqnit sahəsinin iki tərəfindən biri olub, elektriki yüklənmiş hissəciyə onun yükünə mütənasib olan qüvvə təsiri ilə xarakterizə edilir.

Beləliklə, elektrik sahəsi **qüvvə** və ya **vektorlardan** ibarətdir. Bu bölmədə elektrostatik sahədə baş verən fiziki proseslərə baxacağıq.

Hərəkətsiz yüklərin elektrik sahəsinə elektrostatik sahə deyilir.

Nöqtəvi cisim elektriclənmiş elə cismə deyilir ki, onun xətti ölçüləri sahəsinə təyin etmək istədiyimiz nöqtələrdən cismə qədər olan məsafədən çox kiçik olsun.

Üfüqi səthin ixtiyari nöqtəsində yerləşdirilmiş, yükü Q olan tək hərəkətsiz nöqtəvi cismin elektrik sahəsinə nəzərdən keçirək. Səthin A nöqtəsində q yüklü sınaq cismini yerləşdirərək (şək. 1.1a). Bu halda sınaq cisminə təsir edən itələyici qüvvə qarşılıqlı təsir edən cisimlərin mərkəzlərini birləşdirən xətt üzərində olduğundan sınaq yükü radial (radius) istiqamətində yerini dəyişər (B nöqtəsində yerləşdirilmiş yüklü sınaq cismində də bu növ hal baş verir). Sınaq cismini sahənin başqa nöqtələrində yerləşdirərək təcrübəni təkrar etsək, qüvvə xətləri adlanan xətlərin köməyi ilə elektrik sahəsinin qrafik təsvirini alarıq (şək. 1.1b).

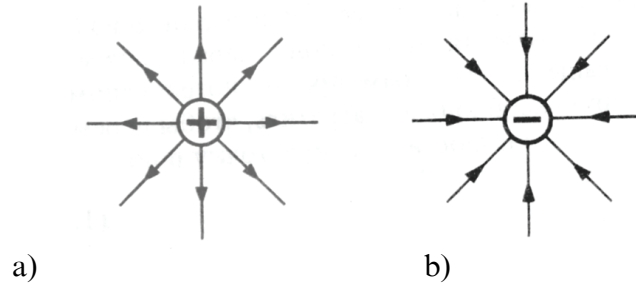


Şəkil 1.1. Tək yüklənmiş cismin elektrik sahəsi

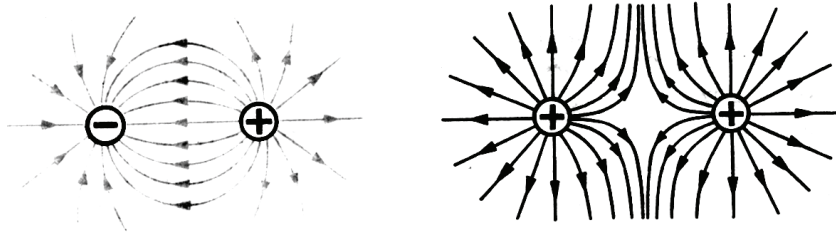
Ümumi halda sahənin verilmiş nöqtəsindəki müsbət sınaq yükünə təsir edən qüvvə vektorları bu nöqtədəki qüvvə xətlərinə toxunanla üst-üstə düşür.

Qüvvə xətləri mənzərəsi sahəni yaradan mənbəyin yükündən və formasından asılıdır. Müsbət yüklənmiş cisimlərdə qüvvə xətləri cisimdən xaricə doğru, mənfi yüklənmiş cisim-

lərdə xaricdən cismə doğru (şək. 1.2.), biri «+», digəri «-» yüklənmiş cismlərdə qüvvə xətləri «+» cisimdən «-» cismə doğru, iki eyni işarəli cisimlərdə qüvvə xətləri bir-birini itələyərək istiqamətlənirlər (şək. 1.3).



Şəkil 1.2. Müsbət və mənfi yüklənmiş tək nöqtəvi cismin elektrik sahəsinin təsviri



Şəkil 1.3. Yüklənmiş iki nöqtəvi cismin elektrik sahəsinin təsviri

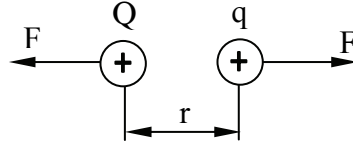
Elektrik qüvvə xətləri (e.q.x) aşağıdakı xassələrə malikdir:

1. E.q.x-ləri qapalı deyil. Onlar müsbət yükədən mənfi yükə istiqamətlənir və müsbət yükədən başlayıb mənfi yükə qurtarır.
2. E.q.x-ləri kəsilməzdir və bir-biri ilə kəsişmir. Fəzanın bir nöqtəsindən ancaq bir qüvvə xətti keçir.
3. Sahənin intensivliyi böyük olan yerlərdə qüvvə xətləri daha sıx yerləşir.

§ 1.2. Kulon qanunu. Elektrik sahə intensivliyi

Yüklənmiş nöqtəvi cisimlərin qarşılıqlı təsir qanunu fransız fiziki Ş.Kulon tərəfindən kəşf olunmuşdur.

Bu qanuna görə verilmiş mühitdə bir-birindən r məsafədə (şək. 1.4a) yerləşdirilmiş Q və q nöqtəvi yüklənmiş cisimlər arasındakı qarşılıqlı təsir qüvvəsi, cisimlərin yüklərinin hasili ilə düz, onlar arasındakı məsafənin kvadratı ilə tərs mütənasibdir. Şək. 1.4.



Şəkil 1.4. Eyni işarəli iki yüklənmiş cismin qarşılıqlı təsiri

$$F = \frac{Qq}{4\pi\xi\xi_0 r^2} \quad (1.1)$$

Burada Q və q nöqtəvi cisimlərin yükləri, Kl ; ξ – mühitin nisbi dielektrik nüfuzluğu olub, verilmiş mühitdə yüklər arasındakı qarşılıqlı təsir qüvvəsinin boşluqdakından nə qədər fərqləndiyini göstərir. (vahidsiz kəmiyyətdir); ξ_0 – elektrik sa-

biti və ya boşluğun dielektrik nüfuzluğudur, $\xi_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{F}{m}$;

r – yüklər arasındakı məsafədir.

Elektrik sahəsinin qüvvə xarakteristikası–intensivlikdir.

Sahənin verilmiş nöqtəsindəki elektrik sahə intensivliyi həmin nöqtədə yerləşən vahid müsbət yüklü sınaq cisminə təsir edən qüvvə ilə təyin edilir.

$$E = \frac{F}{q} \quad (1.2)$$

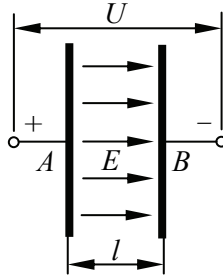
Elektrik sahə intensivliyinin vahidi

$$[E] = \left[\frac{F}{q} \right] = \frac{H}{Kl} = \frac{V}{m}$$

Kulon qanununa əsasən tək nöqtəvi yüklü cismin elektrik sahəsi üçün

$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (1.3)$$

Bütün nöqtələrində intensivliyin qiyməti və istiqaməti eyni olan sahələrə bircinsli elektrik sahəsi deyilir. Şəkil 1.5. Əks halda **qeyri-bircinsli** elektrik sahəsi alınır.



Şəkil 1.5. Bircinsli elektrik sahəsi

§ 1.3. Potensial. Elektrik gərginliyi

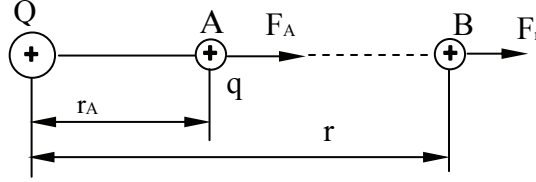
Yükü Q olan tək hərəkətsiz yüklü cisim üfüqi səthin ixtiyari nöqtəsində yerləşdirilib (şək. 1.6). Əgər A nöqtəsinə q yüklü sınaq cismi gətirilərsə, onda F_A qüvvəsinin təsiri altında o yerini dəyişər. Bu halda Q və q yüklərinin sahələrinin enerjisi hesabına müəyyən iş görülür. Yüklər arasındakı qarşılıqlı təsir qüvvəsi fasiləsiz dəyişdiyindən, sahənin gördüyü iş tapmaq üçün, yüklənmiş sınaq cisminin verilmiş nöqtədən sonsuzluğa yerini dəyişdiyi bütün yolu elementar sahələrə (Δr) bölək. Hər bir belə sahədə F_r qüvvəsini dəyişməz qəbul etsək, bu qüvvələrin elementar işi $\Delta A = F_r \Delta r$ olar.

Ümumi A işini tapmaq üçün hər bir sahədəki elementar ΔA işlərini toplamaq lazımdır.

Onda $A \approx \Sigma \Delta A = \Sigma F_r \Delta r$ olar. Bu işin dəqiq qiyməti

$$A = \int_r^\infty F_r dr = \frac{Qq}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (1.4).$$

İş vahidi Couldur (C).



Şəkil 1.6. Elektrik sahəsinin potensialının təyini

Qeyd etmək lazımdır ki, verilmiş q yükü qüvvə təsiri ilə yerini dəyişəndə potensial enerji hesabına iş görülür. Yəni, elektrostatik sahə potensiallı sahədir. Elektrik sahəsindəki yüklü cisim (və ya zərrəcik) potensial enerjiyə malikdir.

Verilmiş nöqtədə elektrik sahəsinin potensialı, həmin nöqtədə sınaq yükünün malik olduğu potensial enerjinin bu yükün miqdarına olan nisbəti ilə ölçülən kəmiyyətdir. Potensial φ (fi) hərfi ilə işarə olunur və

$$\varphi = \frac{W_p}{q} \quad (1.5)$$

olur.

BS-də potensialın vahidi Voltdur,

$$[\varphi] = 1 \frac{C}{Kl} = 1 \text{ V (Volt)}$$

Yəni 1V sahənin elə nöqtəsinin potensialına deyilir ki, 1 Kl yük həmin nöqtədə 1 C potensial enerjiyə malik olsun.

Elektrik sahəsinin potensialı skalyar kəmiyyət olub, sahənin enerji xarakteristikasıdır.

Sahənin enerji xarakteristikalarından biri də **potensiallar fərqi** və ya **gərginlikdir**.

Elektrik sahəsində sahə qüvvələri tərəfindən q yükü A nöqtəsindən B nöqtəsinə (şək 1.6) yerini dəyişəndə yolun formasından asılı olmayaraq iş görülür:

$$A = W_{p_A} - W_{p_B} = q\varphi_A - q\varphi_B = q(\varphi_A - \varphi_B)$$

$\varphi_A - \varphi_B$ – elektrik sahəsinin iki nöqtəsi arasındakı potensiallar fərqi.

Elektrik sahəsinin iki nöqtəsi arasındakı potensiallar fərqinə həmin nöqtələr arasındakı gərginlik deyilir. Gərginlik U ilə işarə edilir,

$$U = \varphi_A - \varphi_B \quad (1.6)$$

və ya $A = q \cdot U, \quad U = \frac{A}{q}$

Yəni, **potensiallar fərqi (və ya gərginlik), yükün iki nöqtə arasındakı hərəkəti zamanı elektrik sahəsinin gördüyü işin həmin yükün miqdarına olan nisbəti ilə ölçülən fiziki kəmiyyətdir.**

BS-də gərginliyin də ölçü vahidi Voltdur (V). Gərginliyin başqa vahidləri:

$$1\text{mV} = 10^{-3}\text{V}, \quad 1\text{mkV} = 10^{-6}\text{V}, \quad 1\text{nV} = 10^{-9}\text{V}, \quad 1\text{pV} = 10^{-12}\text{V} \\ 1\text{kV} = 10^3\text{V}, \quad 1\text{MV} = 10^6\text{V}, \quad 1\text{HV} = 10^9\text{V}, \quad 1\text{TV} = 10^{12}\text{V}$$

§ 1.4. Maddələrin elektrik keçiriciliyi

Elektrik sahəsinin təsiri altında maddənin (cismin) elektrik cərəyanını keçirməsi xassəsinə onun elektrik keçiriciliyi deyilir.

Maddələrdə yüklər sərbəst və bağlı yüklər olmaqla iki növə bölünür.

Sərbəst yüklər elektrik sahəsinin təsiri ilə makroskopik məsafələrə yerini dəyişə bilər. Elektrik sahəsinin təsiri ilə yalnız atomun ölçüsü tərtibində mikroskopik məsafəyə yerini dəyişə bilən yüklər bağlı yüklər adlanır.

Sərbəst yüklərin konsentrasiyasına və onların hərəkət xarakterinə görə mühitlər və maddələr üç qrupa bölünür: **keçiricilər, yarımkeçiricilər və dielektriklər.**

Naqillər çox yüksək elektrik keçiriciliyinə malikdir. Onlar iki sinfə ayrılırlar. Birinci sinfdən olan naqillərə metallar və onların ərintiləri daxildir. Metal atomlarının xarici orbitində yerləşən elektronlar atom nüvələri ilə zəif rəbitədə olurlar və bu elektronlar bir nüvənin təsir sferasından çıxıb digər nüvənin təsir sferasına daxil ola bilərlər. Bu sərbəst elektronlara keçiricilik elektronları deyilir.

İkinci sinfdən olan keçiricilərdə (turşular, duzlar, sulu məhlullar və s.) həlledicilərin təsiri altında maddənin molekulları mənfi və müsbət ionlara parçalanır, onlar da metallardakı elektronlar kimi maddənin bütün həcmi boyunca yerlərini dəyişir.

Yüklənməmiş naqili elektrostatik sahəyə gətirdikdə aşağıdakı hadisələr baş verir.

***) Naqilin səthində müsbət və mənfi işarəli yüklər yaranır. Bu hadisə elektrostatik induksiya və ya təsirlə yüklənmə hadisəsi adlanır.**

***) Naqilin daxilində elektrik sahəsinin intensivliyi sıfıra bərabərdir.**

***) naqilin bütün statik yükü onun səthində toplanır. Naqilin daxilində elektrik yükü də sıfıra bərabərdir.**

***) elektrostatik sahənin qüvvə xətləri naqilin səthinə perpendikulyardır.**

***) Naqilin səthindəki və daxilindəki bütün nöqtələrdə sahənin potensialı eyni qiymətə malikdir.**

Elektrostatik induksiya nəticəsində elektrik sahəsində yerləşdirilmiş metal örtüyün daxilində elektrik sahəsi olmur. Belə metal örtük, daxilində yerləşən cihaz və qurğuları xarici elek-

trostatik sahədən qoruyur. Texnikada çox vaxt bütöv metal örtük əvəzinə yüngül metal örtük tətbiq edilir.

Dielektriklər yalnız bağlı yüklərə malik olan materiallar və mühitlərdir. Onlarda sərbəst yüklər demək olar ki, yoxdur. Ona görə də onlar elektrik cərəyanını keçirmir. Bunlara qazlar, yağlar, bəzi mayelər (distilə edilmiş su), şüşə, slüda, çini, kəhrəba və s. daxildir.

Naqillərdən fərqli olaraq dielektriklərin daxilində sahə var. Dielektriklərin daxilində bağlı yüklərin paylanmasıdan asılı olaraq onlar iki növə bölünür: **polyar** və **qeyri-polyar** dielektriklər.

Polyar dielektriklərdə müsbət və mənfi yüklərin paylanması mərkəzləri üst-üstə düşür və onlar elektrik dipolları əmələ gətirir (H_2O , CO , SO_2 və s.).

Elektrik dipolu – modulca bərabər, işarəcə əks olan iki nöqtəvi yükədən ibarət əlaqəli sistemdir.

Qeyri-polyar dielektriklərdə bağlı yüklər simmetrik paylanır, müsbət və mənfi yüklərin paylanması mərkəzləri üst-üstə düşür H_2 , O_2 , CO_2 və s.

Dielektriki elektrik sahəsinə gətirəndə polyarlaşma hadisəsi baş verir.

Elektrik sahəsinin təsiri ilə müsbət və mənfi yüklərin əks istiqamətlərdə yerini dəyişməsi hadisəsi polyarlaşma adlanır.

Xarici sahə polyar dielektriklərdəki dipollara təsir edir və onlar sahə intensivliyi istiqamətində dönürlər.

Qeyri-polyar dielektriklərdə xarici sahənin təsiri ilə yüklənmiş hissəciklərin sahə istiqamətində yerdəyişməsi baş verir və onlar dipolların xüsusiyyətlərinə malik olurlar.

Sərbəst yükdaşıyıcılarının miqdarı xarici amillərdən (aşqarların olmasından, temperatur, təzyiq, elektrik və maqnit sahələrindən, işıqlanmadan və s.) **kəskin şəkildə asılı olan maddələr yarımkeçiricilər adlanır.** Bunlara Ge, Se, Si və s. elementlər, müxtəlif oksidlər, sulfidlər və digər kimyəvi birləşmələr daxildir.

§ 1.5. Elektrik tutumu. Kondensator. Elektrik sahəsinin enerjisi

Naqilin elektrik tutumu – onun yükləri toplamaq qabiliyyətini xarakterizə edir. Naqilə verilən Q yükü artdıqca onun potensialı yüksəlir. Bu halda Q yükü ilə φ potensialı aşağıdakı kimi bağlı olur

$$Q=C\varphi \text{ buradan}$$
$$C = \frac{Q}{\varphi} \quad (1.7)$$

Burada C – mütənasiblik əmsalı və ya naqilin elektrik tutumu adlanır.

Elektrik yüklərini və elektrik sahəsinin enerjisini toplayaraq saxlayan qurğuya kondensator deyilir.

Kondensator, nazik dielektrik qatı ilə bir-birindən ayrılmış iki paralel metal lövhədən ibarət sistem olub, böyük miqdarda elektrik yükünü toplamağa imkan verir.

Kondensatorun yükü onun lövhələrindən birindəki yükün mütləq qiymətinə bərabərdir.

Kondensatorun yükünün onun lövhələri arasındakı gərginliyə olan nisbəti ilə ölçülən sabit kəmiyyətə elektrik tutumu deyilir

$$C = \frac{Q}{U} \quad (1.8)$$

BS-də elektrik tutumunun vahidi **Faraddır** (1 F).

Farad elə kondensatorun elektrik tutumudur ki, onun yükü 1 Kİ olduqda lövhələri arasındakı gərginlik 1 V olsun.

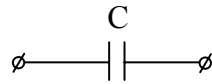
$$[C] = \left[\frac{Q}{U} \right] = 1 \frac{Kİ}{V} = 1F$$

Farad çox böyük vahiddir. Praktikada bu vahidin hissələrindən istifadə edilir.

$$1\text{mkF} = 10^{-6}\text{F}, \quad 1\text{nF} = 10^{-9}\text{F}, \quad 1\text{pF} = 10^{-12}\text{F}$$

Kondensatorun şərti işarəsi şək. 1.7-də göstərilib.

Ən sadə kondensator müstəvi kondensatordur. Onun tutumu aşağıdakı düsturla göstərilir.



Şəkil 1.7 Kondensatorun şərti işarəsi

$$C = \frac{\xi \xi_0 S}{d} \quad (1.9)$$

burada, S – bir lövhənin sahəsi, d – lövhələr arasındakı məsafədir.

Sənaye üçün müxtəlif tutumlu kondensatorlar buraxılır. Bu kondensatorlar müxtəlif parametrlərə malik olmaqla bir-birindən ölçülərinə, konstruksiyalarına (müstəvi, silindrik və s.), dielektriklərinin növünə (kağız dielektrikli, slüdalı, keramikalı elektrolitik və s.) və tezliyinə (alçaqtezlikli, yüksək tezlikli) görə fərqlənir.

Kondensatorun elektrik sahəsinin enerjisi aşağıdakı düsturla ifadə edilir:

$$W_e = \frac{QU}{2} = \frac{CU^2}{2} = \frac{Q^2}{2C} \quad (1.10)$$

§ 1.6. Kondensatorların birləşmələri

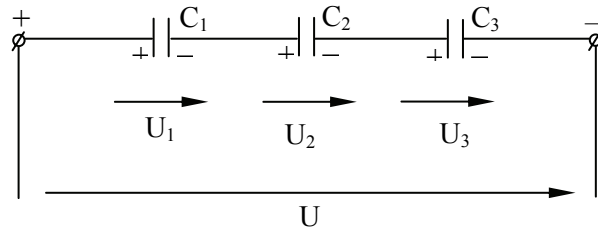
Praktikada lazım olan tutumu standart kondensatorları müxtəlif üsullarla birləşdirməklə alırlar.

Kondensatorlar üç cür birləşə bilirlər: **ardıcıl**, **paralel** və **qarışıq**.

Ardıcıl birləşmə

Kondensatorlar ardıcıl birləşdirildikdə (şək. 1.8) ayrı-ayrı kondensatorların lövhələrində toplanan elektrik yükləri qiy-mətcə bir-birinə bərabər olur.

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q$$



Şəkil 1.8. Kondensatorların ardıcıl birləşməsi

Ardıcıl birləşmiş kondensatorların lövhələri arasındakı gərginlik onların tutumlarının qiymətindən asılı olaraq müxtəlif olur. Dövrənin ümumi gərginliyi isə ayrı-ayrı kondensatordakı gərginliklərin cəminə bərabərdir.

$$U = U_1 + U_2 + U_3 \quad (1.11)$$

(1.8) düsturuna əsaslanaraq

$$U_1 = \frac{Q}{C_1}; \quad U_2 = \frac{Q}{C_2}; \quad U_3 = \frac{Q}{C_3}; \quad U = \frac{Q}{C_{\text{ekv}}}$$

Burada C_{ekv} ümumi tutumu ifadə edir.

Bu gərginlikləri (1.11.) ifadəsində yerinə yazaraq

$$\frac{Q}{C_{\text{ekv}}} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3}$$

Buradan

$$\frac{1}{C_{\text{ekv}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \quad (1.12)$$

alınar. Yəni **kondensatorların ardıcıl birləşdirilməsində ümumi (ekvivalent) tutumun tərs qiyməti ayrı-ayrı kondensatorların tutumlarının tərs qiymətlərinin cəminə bərabərdir.**

İki kondensator ardıcıl birləşəndə ümumi ekvivalent tutum

$$C_{\text{ekv}} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \quad (1.13)$$

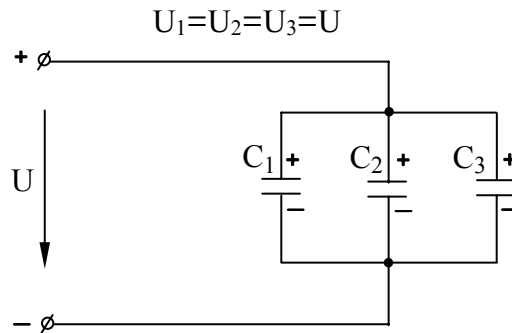
Eyni tutumlu n sayda kondensator ardıcıl birləşəndə ekvivalent tutum

$$C_{ekv} = \frac{C}{n} \quad (1.14)$$

olar.

Paralel birləşmə

Kondensatorlar paralel birləşəndə (şək. 1.9) bütün kondensatorlardakı gərginliklər eyni olur.



Şəkil 1.9. Kondensatorların paralel birləşməsi

Əgər kondensatorların tutumları müxtəlifdirsə, eyni gərginlikdə onların lövhələrində toplanan yük də müxtəlif olar. Bu halda kondensatorların ümumi yükü

$$Q=Q_1+Q_2+Q_3=UC_{ekv}. \quad (1.15)$$

Hər bir kondensatordakı yük (1.8 düsturundan)

$$Q_1=C_1U; \quad Q_2=C_2U; \quad Q_3=C_3U$$

Yüklərin qiymətlərini (1.15) ifadəsində yerinə yazsaq

$$C_{ekv}U = C_1U + C_2U + C_3U$$

Buradan

$$C_{ekv} = C_1 + C_2 + C_3 \quad (1.16)$$

alınar, yəni **kondensatorların paralel birləşməsində ekvivalent tutum ayrı-ayrı kondensatorların tutumları cəminə bərabərdir.**

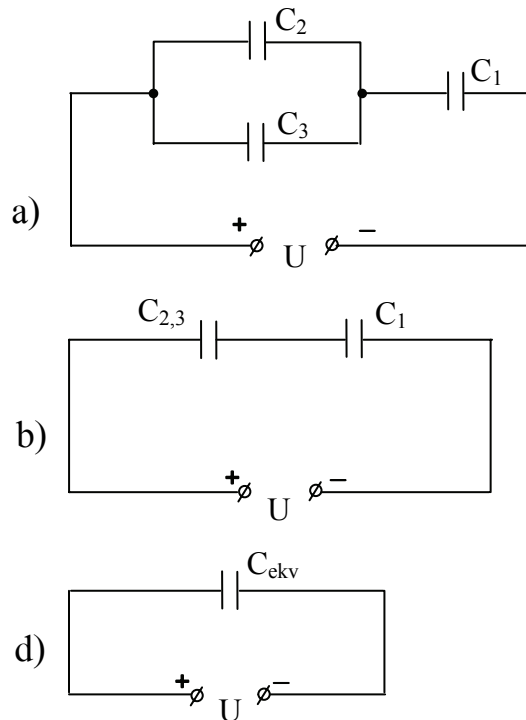
Tutumları C olan n sayda kondensator paralel birləşdirildikdə ekvivalent tutum

$$C_{\text{ekv}}=nC \quad (1.17)$$

olar.

Qarışıq birləşmə

Şək. 1.10-da kondensatorların ardıcıl və paralel birləşməsindən ibarət qarışıq birləşmə sxemi verilmişdir. Bu dövrənin ekvivalent tutumunu tapmaq üçün tutumların ardıcıl və paralel birləşməsindəki hesabat düsturlarından istifadə etmək lazımdır. Buna məsələ üzərində baxaq.



Şəkil 1.10. Kondensatorların qarışıq birləşməsi

Məsələ 1.1. Şək.1.10-dakı sxemdə $U=100V$, $C_1=8mkF$, $C_2=5mkF$, $C_3=3mkF$. Dövrənin ekvivalent tutumunu, hər bir kondensatordakı gərginliyi və yükü təyin edin.

Həlli: C_2 və C_3 kondensatorları paralel birləşib. Bu iki kondensatoru bir ekvivalent tutumla əvəz edək. (1.16) düsturuna əsasən $C_{2,3}=C_2+C_3=5+3=8mkF$

Alınan sxemdə (şək.1.10 (b)) $C_{2,3}$ və C_1 kondensatorları ardıcıl birləşib. Onları ekvivalent tutumla əvəz edək (1.13)

$$\text{düsturuna görə } C_{\text{ekv}} = C_{1,2,3} = \frac{C_1 \cdot C_{2,3}}{C_1 + C_{2,3}} = \frac{8 \cdot 8}{8 + 8} = 4 \text{ mkF}$$

Kondensatorlar sisteminin ümumi yükü

$$Q = C_{\text{ekv}} U = 4 \cdot 100 \cdot 10^{-6} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ Kl}$$

Ümumi yük C_1 və $C_{2,3}$ kondensatorlarındakı (şək. 1.10b) yükə bərabərdir,

$$Q_1 = Q_{2,3} = Q = 4 \cdot 10^{-4} \text{ Kl}$$

Kondensatorlardakı gərginlikləri təyin edək

$$U_1 = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{4 \cdot 10^{-4}}{8 \cdot 10^{-6}} = 50 \text{ V}$$

$$U_2 = U_3 = \frac{Q_{2,3}}{C_{2,3}} = \frac{4 \cdot 10^{-4}}{8 \cdot 10^{-6}} = 50 \text{ V}$$

Gərginlikləri bilərək C_2 və C_3 kondensatorundakı yükü tapaq,

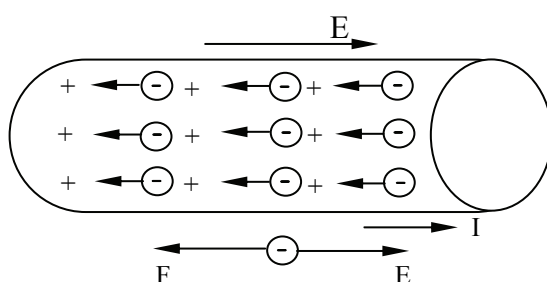
$$Q_2 = C_2 U_2 = 5 \cdot 10^{-6} \cdot 50 = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ Kl}$$

$$Q_3 = C_3 U_3 = 3 \cdot 10^{-6} \cdot 50 = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ Kl}$$

FƏSİL II. SABİT CƏRƏYANIN ELEKTRİK DÖVRƏLƏRİ

§ 2.1. Elektrik cərəyanı

Adi şəraitdə metal naqıldəki sərbəst elektronların mənfi yükünün miqdarı mütləq qiymətcə bütün ionların müsbət yükünün miqdarına bərabərdir. Yəni metal naqıl elektriki cəhətdən neytraldır. Əgər naqilin uclarında potensiallar fərqi yaratsaq (naqili e.h.q.-si mənbəyinə qoşsaq) naqildə elektronların hərəkətini nizamlayan elektrik sahəsi yaranacaq. Bu zaman sərbəst elektronlar elektrik sahə qüvvələrinin təsiri istiqamətində nizamlı hərəkət edəcək, yəni naqildə elektrik cərəyanı əmələ gələcək (şək. 2.1.).



Şəkil 2.1. Naqildə elektronların nizamlı hərəkəti

Naqildə sərbəst elektronların nizamlı (istiqamətlənmiş) hərəkətinə elektrik cərəyanı və ya sadəcə olaraq cərəyan deyilir.

Zaman ərzində qiymət və istiqamətcə dəyişməyən cərəyanaya sabit cərəyan (-), zaman ərzində qiymət və istiqamətcə dəyişən cərəyanaya dəyişən cərəyan (~) deyilir.

Elektrik cərəyanının intensivliyi cərəyan şiddəti adlanan fiziki kəmiyyətlə xarakterizə edilir.

Cərəyan şiddəti – ədədi qiymətcə naqilin en kəsiyində vahid zamanda keçən elektrik yükünün miqdarıdır. Cərəyan şiddəti $I(i)$ hərfi ilə işarə olunur.

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (2.1)$$

Əgər elektrik cərəyanı sabit elektrik sahəsi tərəfindən yaranarsa:

$$I = \frac{Q}{t} \quad (2.2)$$

BS-də cərəyan şiddətinin vahidi Amper (A) adlanır (fransız fiziki A.M.Amperin şərəfinə).

Naqilin en kəsiyində 1 san-də 1 KI elektrik yükü keçərsə, naqildəki cərəyan 1A olar.

Cərəyan şiddətinin başqa vahidləri:

$$1\text{mA} = 10^{-3} \text{ A}; \quad 1\text{mkA} = 10^{-6} \text{ A}; \quad 1\text{nA} = 10^{-9} \text{ A}; \quad 1\text{pA} = 10^{-12} \text{ A};$$

$$1\text{kA} = 10^3 \text{ A}; \quad 1\text{MA} = 10^6 \text{ A}; \quad 1\text{HA} = 10^9 \text{ A}; \quad 1\text{TA} = 10^{12} \text{ A}$$

Elektrik cərəyanının müsbət istiqaməti müsbət yüklərin hərəkət istiqaməti, yəni elektronların hərəkət istiqamətinə əks olan istiqamət qəbul olunub.

Naqildən axan cərəyan şiddətinin onun en kəsik sahəsinə olan nisbətində bərabər olan kəmiyyətə cərəyanın sıxlığı deyilir, J həfi ilə işarə edilir.

$$J = \frac{I}{S} \quad (2.3)$$

Cərəyan sıxlığının vahidi,

$$[J] = \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$$

§ 2.2. Elektrik hərəkət qüvvəsi (e.h.q)

Elektrik enerjisi mənbələrində qeyri-elektrik enerjisinin sərfi hesabına elektrik enerjisi əmələ gəlir. Xarici qüvvələrin təsiri nəticəsində mənbəyin daxilində yüklərin ayrılması pro-

sesi gedir və onun ucları arasında potensiallar fərqi (gərginlik) yaranır. Bu kənar qüvvələrin təsiri e.h.q-si adlanan kəmiyyətlə xarakterizə olunur.

E.h.q.-si müsbət elektrik yükünü qapalı dövrə boyunca hərəkət etdirən zaman kənar qüvvələrin gördüyü işin həmin yükün miqdarına olan nisbətində bərabər olan kəmiyyətdir, E hərfi ilə işarə edilir,

$$E = \frac{A_{\text{kən}}}{q} \quad (2.4)$$

E.h.q-nin vahidi Voltdur (V).

$$[E] = 1 \frac{C}{Kl} = 1 V$$

1 Kl yükü qapalı dövrə boyunca hərəkət etdirəndə 1C iş görülərsə, e.h.q-si 1V olar.

Vahid müsbət yükü dövrənin verilmiş hissəsinə aparanda görülən iş bərabər olan kəmiyyətə gərginlik deyilir.

Dövrə xarici və daxili hissələrdən ibarət olduğundan mənbəyin e.h.q-si dövrənin xarici və daxili hissələrindəki gərginliklərin cəminə bərabər olar

$$E = U_{\text{xar}} + U_{\text{dax}} \quad (2.5)$$

Bu düstur **elektrik dövrəsində enerjinin saxlanması qanununu** göstərir.

Dövrənin müxtəlif hissələrindəki gərginlikləri ancaq dövrə qapandıqda ölçmək olur. Mənbəyin sıxacları arasındakı e.h.q-si işə yalnız dövrə açıq olduqda ölçülür.

Sxemlərdə həm sabit, həm dəyişən gərginlik mənbələrində e.h.q-nin istiqamətini göstərmək lazımdır. Bununla mənbəyin hansı nöqtəsində potensialın yüksək, hansı nöqtəsində aşağı olması müəyyənləşdirilir. Mənbəyin daxilindəki ox yüksək potensiallı nöqtəyə doğru yönəlir.

E.h.q-si mənbələrinə qalvanik elementləri, akkumulyatorları, elektrik generatorlarını və s. göstərmək olar.

§ 2.3. Elektrik müqaviməti və keçiricilik. Rezistiv müqavimət

Elektrik sahəsinin təsiri ilə naqillərdə sərbəst elektronlar nizamlı hərəkət edir. Bu halda həmin sərbəst elektronlar kristal qəfəsin düyünlərindəki rəqsi hərəkət edən müsbət ionlarla toqquşur. Onda elektronların kinetik enerjisinin bir hissəsi iona keçir və onların hərəkət sürəti azalır. Yəni dövrdə sərbəst yüklərin hərəkətinə qarşı maneçilik yaranır. Bu maneçilik müqavimət adlanan fiziki kəmiyyətlə xarakterizə edilir.

Naqilin cərəyana göstərdiyi əks təsirin ölçüsü elektrik müqaviməti adlanır və R, r hərfi ilə işarə olunur.

BS-də müqavimət vahidi Om-dur və Om qanununa əsasən təyin edilir. Müqavimətin başqa vahidləri:

$$\begin{aligned} 1 \text{ mOm} &= 10^{-3} \text{ Om}; & 1 \text{ kOm} &= 10^{-6} \text{ Om}; & 1 \text{ nOm} &= 10^{-9} \text{ Om}; \\ 1 \text{ pOm} &= 10^{-12} \text{ Om}; \\ 1 \text{ kOm} &= 10^3 \text{ Om}; & 1 \text{ MOm} &= 10^6 \text{ Om}; & 1 \text{ HOm} &= 10^9; \\ 1 \text{ TOm} &= 10^{12} \text{ Om} \end{aligned}$$

Müqavimətin tərs qiymətinə keçiricilik deyilir və G, g hərfi ilə işarə olunur.

$$G = \frac{1}{R} \quad (2.6)$$

Keçiriciliyin ölçü vahidi

$$[G] = \frac{1}{\text{Om}} = \text{Sm} \text{ -dir (Simens), alman alimi Z.B.Simensin şərəfinə.}$$

Uzunluğu 1 m, en kəşik sahəsi 1 mm² olan naqilin 20°C temperaturdakı müqavimətinə xüsusi müqavimət deyilir və ρ (ro) hərfi ilə işarə edilir.

$$\rho = R \frac{S}{\ell} \quad (2.7)$$

Xüsusi müqavimətin ölçü vahidi

$$[\rho] = \frac{\text{Om} \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} = 1 \text{Om} \cdot \text{m}$$

Xüsusi müqavimətin tərs qiymətinə xüsusi keçiricilik deyilir, γ ilə işarə olunur.

$$\gamma = \frac{1}{\rho} \quad (2.8)$$

Xüsusi keçiriciliyin ölçü vahidi

$$[\gamma] = \frac{1}{\text{Om} \cdot \text{m}} \text{-dır.}$$

İstənilən naqilin müqaviməti onun uzunluğundan, en kəşik sahəsindən, materialından və temperaturundan asılıdır.

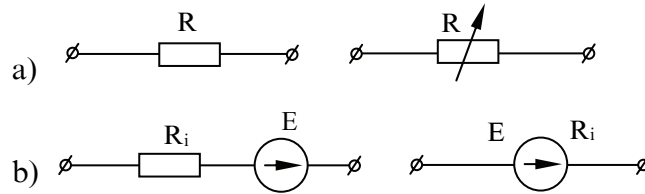
Naqildən cərəyan keçəndə istilik ayrılır. **Naqilin (cismin) elektrik enerjisini istilik enerjisinə çevirmək xüsusiyyətinə rezistiv müqavimət deyilir.**

Dövrədə elektrik enerjisini istilik enerjisinə çevirən, cərəyanı məhdudlaşdıran və ya tənzimləyən qurğuya rezistor deyilir.

Bütün mövcud fiziki cisimlər elektrik cərəyanına qarşı müqavimətə malikdir. Elektrik enerjisi mənbələrinin də müəyyən müqaviməti var.

Enerji mənbəyinin müqavimətinə daxili müqavimət deyilir, R_i (R_o) ilə işarə edilir. Sxemlərdə daxili müqavimət çox vaxt mənbəyin yanında ayrıca müqavimət kimi və ya mənbəyin üzərində işarəsi qeyd olunmaqla göstərilir.

Şək. 2.2-də rezistorların və daxili müqavimətlərin şərti işarələri göstərilir.



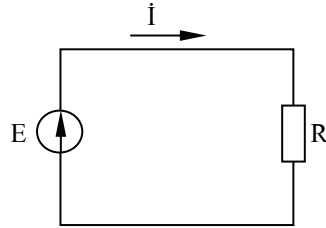
Şəkil 2.2. Rezistorların (a) və daxili müqavimətin (b) şərti işarəsi

§ 2.4. Elektrik dövrəsi və onun əsas elementləri

Elektrik dövrəsi – elektrik cərəyanının keçməsinə təmin edən elementlər toplusuna deyilir.

Elektrik dövrəsi ayrı-ayrı qurğulardan – elektrik dövrəsinin elementlərindən ibarətdir.

Sadə elektrik dövrəsi enerji mənbəyindən, işlədicidən və əlaqələndirici naqillərdən ibarətdir, Şək. 2.3.



Şəkil 2.3. Sadə elektrik dövrəsi sxemi

Enerji mənbələrində (elektrik generatorları, qalvanik elementlər, akkumulyatorlar, termoelektrik generatorlar və s.) mexaniki, istilik, kimyəvi və s. enerjilər elektrik enerjisə çevrilir.

Elektrik enerjisi işlədicilərində (elektrik mühərrikləri, elektrik qızdırıcıları, elektrik lampaları və s.) elektrik enerjisi digər enerjilərə – mexaniki, istilik və s. enerjilərə çevrilir.

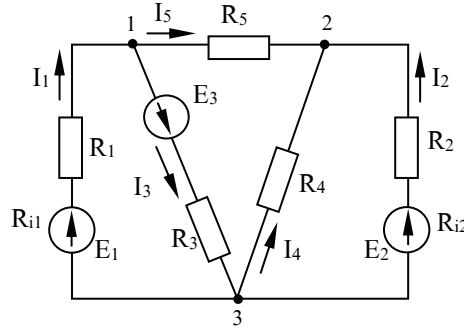
Dövrənin ötürücü elementləri mənbə və enerji qəbuledicilərini əlaqələndirir. Elektrik məfkillərindən başqa buraya dövrəni açıb-bağlayan aparatlar, elektrik parametrlərini ölçən cihazlar (ampermetrlər, voltmetrlər və s.), mühafizə qurğuları (qoruyucular), çevirici qurğular (transformatorlar) və s. daxil edilə bilər.

Enerji mənbəyi elektrik dövrəsinin daxili hissəsi; işlədicilər və birləşdirici məfkillər dövrənin xarici hissəsidir.

Elektrik dövrələri iki cür olur:

1. Birmənbəli sadə və budaqlanan elektrik dövrələri. Sadə birmənbəli dövrə şək. 2.3-də verilib. Birmənbəli budaqlanan elektrik dövrələrinə kondensatorların və rezistorların ardıcıl, paralel və ya qarışıq birləşmələri daxildir.

2. Çoxmənbəli budaqlanan mürəkkəb elektrik dövrələri. Şək. 2.4.



Şəkil 2.4. Çoxmənbəli elektrik dövrəsi

Elektrik dövrələrini təsnifat etmək olar:

* cərəyanın növünə görə – sabit cərəyan və dəyişən cərəyan dövrələri;

* elementlərinin tərkibinə görə – aktiv və passiv dövrələr; xətti və qeyri-xətti dövrələr;

* budaqlanan (paralel) və budaqlanmamış (ardıcıl) dövrələr.

Elektrik enerjisini istilik enerjisinə çevirən, R müqaviməti və G keçiriciliyi ilə xarakterizə olunan dövrə elementlərinə passiv elementlər deyilir.

Elektrik enerjisinin çevrilməsi nəticəsində e.h.q-si əmələ gətirən, sabit kəmiyyət E və daxili müqavimət Ri ilə xarakterizə olunan elementlər aktiv elementlər adlanır.

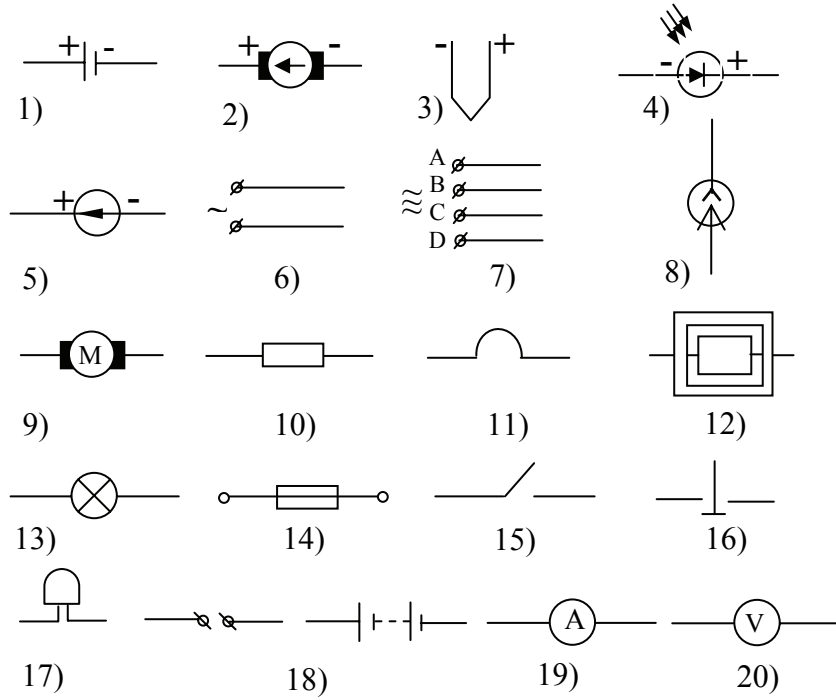
Ancaq xətti elementlərdən ibarət olan dövrələrə xətti dövrələr deyilir. Xətti elementlər dövrənin elə elementləridir ki, onların müqaviməti cərəyanın gücündən və sıxacları arasındakı gərginlikdən asılı olmadan həmişə sabitdir.

Qeyri-xətti elementlərdən ibarət dövrələr qeyri-xətti dövrələr adlanır.

Elementləri ardıcıl birləşdirilmiş dövrələr budaqlanmamış, elementləri paralel birləşdirilmiş dövrələr budaqlanan dövrələr adlanır.

Dəyişən cərəyan dövrələri özləri də fazalarının sayına görə fərqlənirlər – birfazlı və çoxfazlı.

Dövrəyə qoşulan bəzi enerji mənbələrinin, işlədicilərinin və ölçü cihazlarının şərti işarələri şəkl. 2.5-də göstərilmişdir.



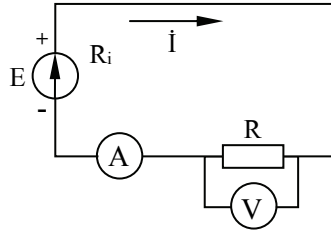
Şəkil 2.5. Mənbələrin və elementlərin şərti işarələri

- | | |
|---|--|
| 1) qalvanik element və akkumulyatorlar; | 11) qızdırıcı element; |
| 2) elektromexaniki generator; | 12) elektrik sobası; |
| 3) termoelektrik generator; | 13) elektrik lampası |
| 4) fotoelement; | 14) əriyən qoruyucu |
| 5) e.h.q-si mənbəyi; | 15) açar, düymə açar |
| 6) birfazlı dəyişən cərəyan mənbəyi; | 16) elektrik zəngi |
| 7) üçfazlı dəyişən cərəyan mənbəyi; | 17) gərginlik mənbəyinin qütbləri |
| 8) cərəyan mənbəyi | 18) qalvanik element və ya akkumulyator batareyası |
| 9) elektrik mühərriki; | 19) ampermetr |
| 10) rezistor; | 20) voltmetr |

§ 2.5. OM qanunu

1827-ci ildə alman alimi Georq Om apardığı təcrübələr əsasında aşağıdakı qanunu kəşf etmişdir.

Elektrik dövrəsinin hər hansı hissəsindəki (şək. 2.6) cərəyan şiddəti həmin hissənin ucları arasındakı gərginliklə düz, onun müqaviməti ilə tərs mütənəsibdir.



Şəkil 2.6. OM qanununun tədqiqi sxemi

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

Buradan

$$U = IR$$

Cərəyan şiddəti ilə müqavimətin hasilı gərginlik düşkü-sü adlanır.

OM qanunundan

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

Yəni, müqavimət sabit kəmiyyət olub, gərginliklə düz, cərəyan şiddəti ilə tərs mütənəsibdir.

Bilirik ki, elektrik dövrəsi iki hissədən ibarətdir: daxili və xarici. Dövrənin xarici hissəsinin müqaviməti – R, cərəyan mənbəyinin daxili müqavimət – Ri(Ro) adlanır. Onların cəmi qapalı dövrənin ümumi müqavimətidir.

$$R_{\text{üm}} = R + R_i$$

Onda qapalı dövrə üçün OM qanunu və onun riyazi ifadəsi aşağıdakı kimi alınar.

Qapalı dövrədəki cərəyan şiddəti mənbəyin e.h.q-si ilə düz, dövrənin xarici və daxili müqavimətlərinin cəmi ilə tərs mütənasibdir.

$$I = \frac{E}{R + R_i}$$

Buradan

$$E = I(R + R_i) = IR + IR_i = U + U_i$$

Yəni, mənbəyin e.h.q-si dövrənin xarici və daxili hissələrindəki gərginlik düşgünlərinin cəminə bərabərdir.

§ 2.6. Elektrik iş və güc. Elektrik enerjisinin istilik enerjisinə çevrilməsi

Əgər elektrik dövrəsi qapanarsa, onda elektrik cərəyanı əmələ gəlir. Bu halda mənbədən enerji sərf olunur. Mənbələrdə Q yükünün bütün qapalı dövrə boyunca yerdəyişməsi zamanı kənar qüvvələrin gördüyü iş $U=E$ qəbul edilərək (1. 6) düsturundan tapılır:

$$A_{\text{mənbə}} = EQ \quad (2.15)$$

$Q = It$ olduğunu nəzərə alsaq,

$$A_{\text{mənbə}} = EIt \quad (2.16)$$

alırıq.

Mənbəyin enerjisinin bir hissəsi dövrənin xarici hissəsində sərf olunur. Onda dövrənin xarici hissəsində görülən iş

$$A = UQ = UIt = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t \quad (2.17)$$

Enerjinin digər hissəsi mənbəyin daxilində itir,

$$A_i = A_{\text{mənbə}} - A = (E - U) It = U_i It \quad (2.18)$$

Enerjinin çevrilməsi prosesinin sürətini və ya işin görülmə sürətini xarakterizə edən kəmiyyətə güc deyilir. Başqa sözlə vahid zamanda görülən işə güc deyilir, P hərfi ilə işarə olunur:

$$P = \frac{A}{t} \quad (2.19)$$

Müvafiq olaraq mənbədən sərf olunan güc,

$$P_{\text{mənbə}} = \frac{A_{\text{mənbə}}}{t} = \frac{EIt}{t} = EI \quad (2.20)$$

işlədicidəki güc,

$$P = \frac{A}{t} = \frac{UIt}{t} = UI = I^2R = \frac{U^2}{R} \quad (2.21)$$

mənbəyin daxilindəki güc,

$$P_i = \frac{A_i}{t} = U_i I \quad (2.22)$$

olar.

Gücün ölçü vahidi Vattdır, (ingilis alimi D.Vattın şərəfinə)

$$[P] = 1 \frac{C}{\text{san}} = 1 \text{ Vt}$$

**Vatt 1 saniyədə 1 C iş görüldüyünü göstərir. Digər tə-
rəfdən**

$$1 \text{ Vt} = \frac{1 \text{V} \cdot 1 \text{Kl}}{1 \text{san}} = 1 \text{V} \cdot 1 \text{A} = 1 \text{VA}$$

yəni, Vatt 1 V gərginlikdə 1 A elektrik cərəyanının gücüdür.

Gücün daha böyük vahidləri aşağıdakılardır:

$$1 \text{ hVt} = (\text{hektovatt}) = 10^2 \text{Vt}$$

$$1 \text{ kVt} (\text{kilovatt}) = 10^3 \text{Vt}$$

$$1 \text{ MVt} (\text{meqavatt}) = 10^6 \text{Vt}$$

Enerjinin saxlanması qanununa görə mənbəyin gücü işlədicilərin gücü ilə itki güclərinin cəminə bərabərdir.

$$P_{\text{mənbə}} = P + P_i \quad (2.23)$$

Bu ifadə elektrik dövrlərinin **güclər balansını göstərir.**

İş Coulla ölçülür. Praktikada kilovatt-saat (kVt-saat) ölçü vahidindən istifadə edilir: 1 kVt-saat = 3600000 Vt-san.

Rus alimi E.Lens və ingilis alimi C.Coul bir-birindən xəbərsiz aşağıdakı qanunu kəşf etdilər: naqıldən cərəyan axanda istilik ayrılır; **bu istilik miqdarı cərəyanın kvadratı, naqilin müqaviməti və cərəyanın keçməsi üçün sərf olunan zamanla düz mütənasibdir.**

$$Q=I^2Rt \quad (2.24)$$

İstilik vahidi kaloridir (**kal – 1qram suyu 1°C-də qızdıranda ayrılan istilik miqdarıdır**). Hesablanmışdır ki, 1 kal = 4,187C və ya 1 C=0,24 kal. Onda

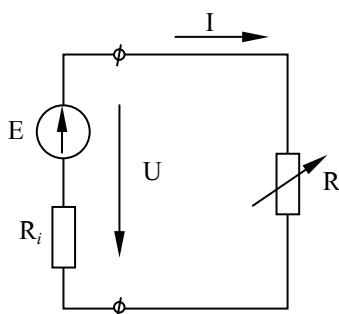
$$Q= 0,24 I^2Rt \quad (2.25)$$

olar.

§ 2.7. Elektrik dövrələrinin iş rejimləri

Elektrik dövrəsinin iş rejimi, yəni elektriki vəziyyəti onun ayrı-ayrı elementlərinin cərəyanı, gərginliyi və gücü ilə təyin edilir.

Elektrik dövrəsinin daha xarakterik iş rejimlərinə sadə bir dəyişən müqavimətli dövrə üzərinlə baxaq (Şək. 2.7).



Şəkil 2.7. Dəyişən rezistorlu dövrə

Nominal rejim

Elektrik enerjisi mənbələri və işlədicilər, köməkçi aparat və cihazlar nominal kəmiyyətlərlə xarakterizə olunurlar: 1) nominal cərəyan I_n ; 2) nominal gərginlik U_n ; 3) nominal güc P_n .

Nominal kəmiyyətlər qurğunun hazırlandığı zavod tərəfindən onların pasportunda göstərilir.

Dövrənin bu və ya digər elementinin cərəyanı, gərginliyi və gücü onun nominal qiymətlərinə müvafiq olarsa, alının iş rejimi nominal rejim adlanır.

İşçi rejim

Müxtəlif səbəblərdən elektrik dövrəsinin iş rejimi nominaldan fərqlənə bilər.

Əgər elektrik dövrəsindəki rejimin həqiqi xarakteristikaları onun elementlərinin nominal qiymətlərindən fərqlənərsə, lakin bu fərq buraxıla bilən həddə olarsa, alınan rejim işçi rejim adlanır.

İşçi rejimdə dövrədəki şəkl. 2.7 cərəyan qapalı dövrə üçün OM qanununa əsasən,

$$I = \frac{E}{R + R_i} \quad (2.26)$$

mənbəyin xarici sıxacları arasındakı gərginlik

$$U = IR = E - IR_i \quad (2.27)$$

olur.

İşlədicinin gücünün mənbəyin gücünə olan nisbətində mənbəyin faydalı iş əmsalı (f.i.ə.) deyilir.

$$\eta = \frac{P_{is}}{P_{mnbə}} \quad (2.28)$$

Mənbəyin f.i.ə-nı mənbəyin sıxacları arasındakı gərginliyin onun e.h.q-nə olan nisbəti ilə də təyin etmək olar.

$$\eta = \frac{P_{is}}{P_{mnbə}} = \frac{U}{E} \quad (2.29)$$

Yüksüz işləmə rejimi

Enerji qəbuledicisi açılında şəkl. 2.7, yəni xarici dövrənin müqaviməti $R = \infty$ olanda alınan rejim dövrənin yüksüz işləmə rejimi adlanır.

Yüksüz işləmə cərəyanı

$$I_{yi} = \frac{E}{R + R_i} = \frac{E}{\infty + R_i} \approx 0$$

Bu rejimdə dövrənin xarici sıxacları arasındakı gərginlik mənbəyin e.h.q-nə bərabər olar, $U=E$, mənbədən sərf olunan güc isə $P_{yi} = E \cdot I_{yi} = 0$ alınır.

Qısa qapanma rejimi

Əgər dövrənin xarici müqaviməti şəkl. 2.7. (enerji qəbuledicisi) sıfıra bərabər olarsa ($R=0$), dövrədə qısa qapanma iş rejimi alınır. Bu halda dövrənin qısa qapanma cərəyanı

$$I_{q-q} = \frac{E}{R_i}$$

olar.

Qısa qapanma rejimində mənbəyin və dövrənin xarici sıxacları arasındakı gərginlik sıfıra bərabərdir, belə ki, $U = I_{q-q} \cdot R = 0$ və uyğun olaraq $E = I_{q-q} \cdot R_i$, yəni e.h.q-si mənbəyin daxilindəki gərginlik düşküsünə bərabərdir.

Qısa qapanma rejimində mənbəyin sərf etdiyi güc

$$P_{q-q} = E \cdot I_{q-q} = I_{q-q}^2 R_i$$

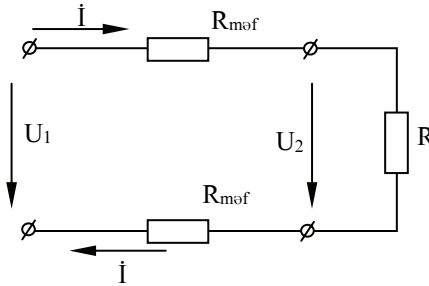
olar. Bu güc mənbəyin özünün qızmasına və zədələnməsinə səbəb olur.

Elektrik qurğularında qısa qapanma arzu edilməzdir, çünki qısa qapanma cərəyanları nominal qiymətdən bir neçə dəfə artıq olur ki, bu da cərəyan ötürən hissələrdə, elektrik qurğularında ayrılan istiliyin yüksəlməsinə və onların yanmasına səbəb olur.

Elektrik dövrələrini qısa qapanma qəzalarından mühafizə etmək üçün qoruyuculardan, avtomatik təsir edən mühafizələrdən istifadə edilir.

§ 2.8. Məftillərdə gərginlik itkisi

Elektrik enerjisi generatorndan qəbulediciyə elektrik şəbəkəsi əmələ gətirən böyük uzunluqlu məftillərlə verilir (şək. 2.8). Bu halda verilən gərginliyin bir hissəsi məftillərdə itir.



Şəkil 2.8. Elektrik veriliş xətti sxem

Enerji verilərkən məftilin U_2 ucundakı gərginlik U_1 ucundakı gərginlikdən kiçik olur. ($U_2 < U_1$). Məftilin U_1 və U_2 gərginlikləri arasındakı fərqə **gərginlik itkisi** deyilir. Onda

$$\Delta U = U_1 - U_2 \quad (2.30)$$

Gərginlik itkisini Om qanuna əsasən də tapmaq olar.

$$\Delta U = IR = 2I \frac{\ell}{\gamma S} \quad (2.31)$$

Gərginlik itkisi ΔU müəyyən qiymətdən yuxarı olmamalıdır. İşıqlanma lampaları üçün gərginliyin yol verilə bilən dəyişməsi 2%, elektrik mühərrikləri üçün isə gərginliyin nominal qiymətinin 2–5%-ni təşkil edir.

Çox vaxt gərginlik itkilərini hesablayarkən gərginlik itkisi özü verilir və məftilin lazım olan en kəsiyi təyin edilir.

(2.31) düsturuna əsasən məftilin en kəsik sahəsi

$$S = 2I \frac{\ell}{\gamma \Delta U} \quad (2.32)$$

Çox vaxt gərginlik itkisi işlədicidəki gərginliyin (U_2) faizləri vasitəsilə ifadə edilir və e hərfi ilə işarə olunur:

$$e = \frac{\Delta U}{U_2} \cdot 100\% \quad (2.33)$$

Bu düsturdan ΔU -nu (2.32) ifadəsində yerinə yazsaq

$$S = \frac{2I\ell}{\gamma U_2 e} \cdot 100\% \quad (2.34)$$

alırıq.

(2.34) düsturunun sağ tərəfinin surət və məxrəcini U_2 -yə vuraraq tapırıq:

$$S = \frac{2I\ell \cdot 100}{\gamma U_2 e} \cdot \frac{U_2}{U_2} = \frac{2P_2\ell}{\gamma U_2^2 e} \cdot 100\% \quad (2.35)$$

Buradan görünür ki, məftilin seçilmiş en kəsiyi hökmən qızmaya qarşı hesablanır. Yəni uzaq məsafələrə enerji verilmədən onun müəyyən hissəsi məftillərdə itir. Güc itkisi

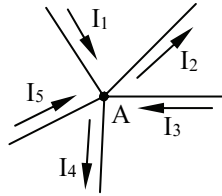
$$\Delta P = I^2 R = 2I^2 \frac{\ell}{\gamma S} \quad \text{və ya} \quad \Delta P = \Delta UI \quad (2.36)$$

Elektrik şəbəkəsinin faydalı iş əmsalı

$$\eta = \frac{P_1 - \Delta P}{P_1} = \frac{U_1 I - \Delta UI}{U_1 I} = \frac{U_1 - \Delta U}{U_1} = \frac{U_2}{U_1} \quad (2.37)$$

FƏSİL III. SABİT CƏRƏYANIN ELEKTRİK DÖVRƏLƏRİNİN HESABLANMASI

§ 3.1. Elektrik dövrəsinin konfigurasiyası. Kirxhof qanunları



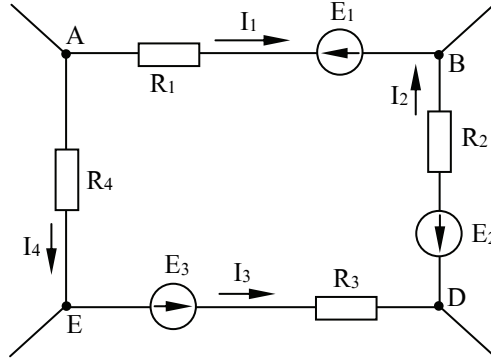
Şəkil 3.1. Elektrik dövrəsinin düyün nöqtəsi

Budaqlanan dövrələrdə aşağıdakı bölmələr var: düyün nöqtəsi, budaq və kontur.

Dövrənin üç və daha artıq sayda məftil birləşən nöqtəsinə düyün nöqtəsi və ya budaqlanma nöqtəsi deyilir (şək. 3.1).

İki düyün nöqtəsi arasında qalan, bir və ya bir neçə ardıcıl elementdən ibarət olan, cərəyanın qiyməti dəyişməyən dövrə hissəsinə budaq deyilir (şək.3.2).

Bir neçə budağın əmələ gətirdiyi qapalı yola kontur deyilir (şək.3.2).



Şəkil 3.2. Elektrik dövrəsinin konturu

Dövrənin başqa budaqlarına və ya hissələrinə birləşdirilə bilən iki xarici sıxaclı elektrik dövrə hissəsinə ikiqütblü deyilir (şək.3.3). Qidalanma mənbəyi olmayan ikiqütblü passiv, qidalanma mənbəyi olan ikiqütblü aktiv adlanır.

Elektrik dövrlərini hesablamaq üçün Om qanunu ilə yanaşı enerjinin itməməsi qanununun nəticəsi olan Q.R. Kirxhofun (Alman alimi, 1847-ci il) 1-ci və 2-ci qanunlarından istifadə edilir.

Kirxhofun birinci qanunu elektrik dövrlərində düyün nöqtələrinə tətbiq olunur və aşağıdakı kimi ifadə edilir:

düyün nöqtəsinə gələn cərəyanların cəmi, düyün nöqtəsindən çıxan cərəyanların cəminə bərabərdir (şək.3.1.)

$$I_1 + I_3 + I_5 = I_2 + I_4 \quad (3.1)$$

Düyün nöqtəsinə axan cərəyanlar müsbət, düyün nöqtəsindən çıxan cərəyanlar mənfi olarsa, (3.1) ifadəsi başqa şəkil alar.

$$I_1 + (-I_2) + I_3 + (-I_4) + I_5 = 0 \quad \text{və ya} \quad \Sigma I = 0 \quad (3.2)$$

Düyün nöqtəsindəki cərəyanların cəbri cəmi sifıra bərabərdir.

Mürəkkəb elektrik dövrlərində bir neçə qıda mənbəyindən enerji alan qapalı konturlar olur. Kirxhofun ikinci qanunu belə qapalı konturlara tətbiq olunur və belə ifadə edilir: **elektrik dövrəsinin qapalı konturunda təsir edən e.h.q-lərinin cəbri cəmi, ayrı-ayrı müqavimətlərdəki gərginlik düşkünlərinin cəbri cəminə bərabərdir.**

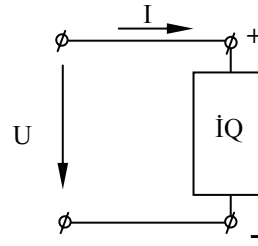
$$\Sigma E = \Sigma(IR) \quad (3.3)$$

Şək. (3.2)-dəki qapalı kontur üçün bu qanun aşağıdakı şəkildə yazılır.

$$-E_1 + E_2 - E_3 = I_1R_1 - I_2R_2 - I_3R_3 - I_4R_4$$

§ 3.2. Rezistorların (müqavimətlərin) birləşdirilməsi üsulları

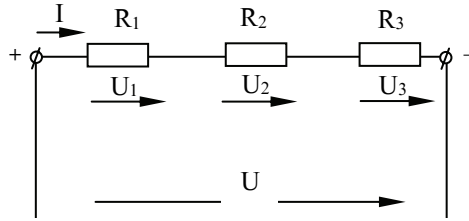
Elektrik dövrlərini hesablayarkən işlədicilərin (rezistorların) müxtəlif üsullarla birləşmə sxemlərinə rast gəlmək olur. Birmənbəli dövrlərdə çox vaxt rezistorların ardıcıl, paralel və qarışıq birləşmələri alınır. Bu birləşmələri ayrılıqda öyrənək.



Şəkil 3.3. Passiv ikiqütblü

Rezistorların ardıcıl birləşməsi.

Əgər bir neçə rezistor bir-birinin ardınca, budaqlanma olmadan qoşularsa, rezistorların ardıcıl birləşməsi alınır (şək. 3.4).



Şəkil 3.4. Rezistorların ardıcıl birləşməsi

Rezistorların ardıcıl birləşməsinin xüsusiyyətlərinə baxaq.

1. Ardıcıl birləşmənin əsas fərqləndirici xüsusiyyəti elektrik cərəyanının dövrənin bütün hissələrində eyni olmasıdır (sabit qalır), $I = \text{const}$.

2. Enerjinin saxlanma qanununa görə (Kirxhofun 2-ci qanunu) dövrənin sxacları arasındakı gərginlik, ayrı-ayrı hissələrdəki gərginliklərin cəminə bərabərdir.

$$U = \sum U \quad (3.4)$$

Şəkil 3.4-dəki dövrə üçün

$$U = U_1 + U_2 + U_3 \quad (3.5)$$

3. Om qanununa görə dövrə hissələri və bütün dövrə üçün yazıb bilərik.

$$U_1 = IR_1; \quad U_2 = IR_2; \quad U_3 = IR_3; \quad U = IR$$

Bu qiymətləri (3.5) düsturunda yerinə yazsaq alarıq

$$IR = IR_1 + IR_2 + IR_3$$

$$\mathbf{R = R_1 + R_2 + R_3} \quad (3.6)$$

Buradan görünür ki, **rezistorlar ardıcıl birləşəndə dövrənin ümumi (ekvivalent) müqaviməti onun ayrı-ayrı hissələrinin müqavimətlərinin cəminə bərabərdir.**

Ümumi halda: $R_{\text{ekv}} = \sum R$

Əgər n sayda eyni müqavimətli rezistor ardıcıl qoşularsa, ümumi müqavimət

$R_{\text{üm}} = n \cdot R$ olar.

(3.6) ifadəsinin hər iki tərəfini I^2 -na vuraq

$$I^2 R = I^2 R_1 + I^2 R_2 + I^2 R_3$$

Buradan,

$$P = P_1 + P_2 + P_3 \quad (3.7)$$

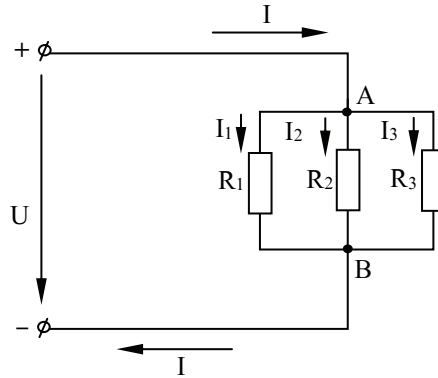
alınar.

Yəni, **dövrənin ümumi gücü bütün rezistorlardakı güclərin cəminə bərabərdir.**

(3.7) ifadəsi baxılan dövrə üçün **güclər balansı tənliyidir.**

Rezistorların paralel birləşməsi

Rezistorlar **paralel birləşəndə eyni iki düyün nöqtəsinə bir neçə rezistor qoşularaq budaqlar əmələ gətirir (şək.3.5)**



Şəkil 3.5. Rezistorların paralel birləşməsi

Bu birləşmənin xüsusiyyətlərinə baxaq.

1. Paralel birləşmənin əsas fərqləndirici xüsusiyyəti ondadır ki, burada bütün budaqlara eyni gərginlik tətbiq edilir (gərginlik sabitdir), yəni $U = const$.

2. Kirxhofun birinci qanunu paralel dövrə üçün cərəyanların saxlanması qanununun nəticəsidir. Şək. 3.5-dəki dövrənin istənilən düyün nöqtəsi üçün (budaqlanma nöqtəsi) budaqların

cərəyanlarının cəbri cəmi sıfıra bərabərdir ($\sum I=0$). Və ya düyünə gələn cərəyanların cəmi düyündən çıxan cərəyanların cəminə bərabərdir. Dövrənin A düyün nöqtəsi üçün

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad (3.8)$$

3. Om qanununa görə bütün budaqlar və ümumi dövrə üçün yazıla bilər:

$$I_1 = U/R_1 \quad I_2 = U/R_2 \quad I_3 = U/R_3 \quad I = U/R$$

Bu qiymətləri (3.8) düsturunda yerinə yazsaq alarıq:

$$\begin{aligned} \frac{U}{R} &= \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} \\ \frac{1}{R} &= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \end{aligned} \quad (3.9)$$

Buradan görünür ki, rezistorlar paralel birləşəndə dövrənin ümumi (ekvivalent) müqavimətinin tərs qiyməti, budaqlardakı rezistorların müqavimətlərinin tərs qiymətlərinin cəminə bərabərdir.

(3.9) ifadəsini keçiriciliklərlə əvəz etsək, alarıq:

$$G = G_1 + G_2 + G_3 \quad (3.10)$$

Yəni, paralel birləşmədə dövrənin ümumi keçiriciliyi, budaqların keçiriciliklərinin cəminə bərabərdir.

$$G_{\text{ekv}} = \sum G$$

Əgər n sayda eyni müqavimətli rezistor paralel qoşularsa, ümumi müqavimət

$$R_{\text{um}} = \frac{R}{n} \quad (3.11)$$

olar.

(3.9) və ya (3.10) ifadələrinin hər iki tərəfini U^2 -na vursaq, alarıq:

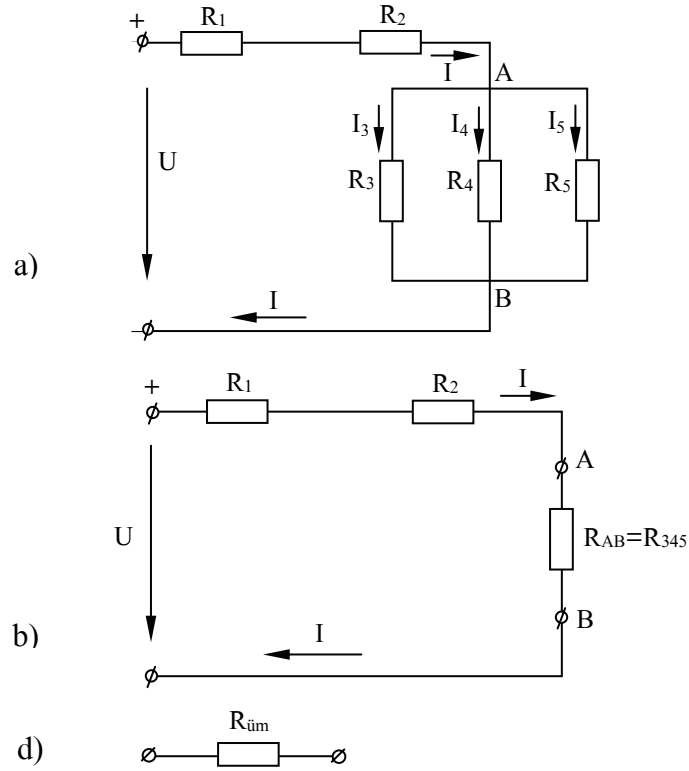
$$U^2G = U^2G_1 + U^2G_2 + U^2G_3$$

$$P = P_1 + P_2 + P_3 \quad (3.12)$$

Bu ifadə paralel birləşmə üçün **güclər balansıdır**.

Rezistorların qarışıq birləşməsi

Əgər dövrənin ayrı-ayrı hissələri ardıcıl və paralel qoşulmuş rezistorlardan ibarət olarsa, rezistorların qarışıq birləşməsi alınır. Rezistorları qarışıq birləşdirilmiş dövrələrin hesabətında sxemlərin ardıcıl sadələşdirilməsi üsulundan istifadə edilir. Şək 3.6 (a)-da təsvir olunmuş dövrənin hesabətı aşağıdakı ardıcılıqla aparılır.



Şəkil 3.6. Rezistorların qarışıq birləşməsi (a), sadələşmə sxemi (b), ümumi (ekvivalent) sxemi (d)

Əvvəlcə dövrənin budaqlanan hissəsinin keçiriciliyini təyin edirik:

$$G_{AB} = G_{3,4,5} = G_3 + G_4 + G_5 = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5}$$

Bu hissənin ümumi və ya ekvivalent müqaviməti

$$R_{AB} = \frac{1}{G_{3,4,5}} = \frac{R_3 R_4 R_5}{R_3 R_4 + R_4 R_5 + R_3 R_5}$$

Sadələşdirmədən sonra dövrə sxemi şəkl. 3.6 (b) üç ardıcıl birləşdirilmiş rezistordan ibarətdir.

Alınan dövrənin ümumi müqaviməti:

$$R_{um} = R_1 + R_2 + R_{3,4,5}$$

Om qanununa görə dövrədən axan cərəyan:

$$I = \frac{U}{R_{um}} = \frac{U}{R_1 + R_2 + R_{3,4,5}}$$

Dövrənin ardıcıl birləşdirilmiş hissələrindəki gərginliklər:

$$U_1 = IR_1; \quad U_2 = IR_2; \quad U_{AB} = U_{3,4,5} = IR_{AB} = IR_{3,4,5}$$

Paralel budaqlardakı cərəyanlar:

$$I_3 = \frac{U_{3,4,5}}{R_3}; \quad I_4 = \frac{U_{3,4,5}}{R_4}; \quad I_5 = \frac{U_{3,4,5}}{R_5} \quad \text{olur.}$$

§ 3.3. Mürəkkəb elektrik dövrlərinin hesablanması. Düyün və kontur tənlikləri üsulu

Mürəkkəb elektrik dövrləri çoxkonturludur. Bu konturlarda öz aralarında müxtəlif şəkildə birləşdirilmiş çoxlu sayda rezistorlar və e.h.q-si mənbələri olur. Mürəkkəb dövrləri hesablamaq üçün Kirxhof və Om qanunları əsasında hazırlanmış hesablama üsullarından istifadə edilir. Bu üsullardan biri düyün və kontur tənlikləri üsuludur.

Düyün və kontur tənlikləri (Kirxhof tənlikləri) üsulu ilə istənilən quruluşlu və istənilən mürəkkəblikdə elektrik dövrələrini hesablamaq mümkündür. Bu zaman e.h.q-lərinin və müqavimətlərin verilmiş qiymətlərinə görə Kirxhofun 1-ci və 2-ci qanununa əsasən müstəqil hesablama tənlikləri qurulur. Sonra həmin tənliklər birlikdə həll edilir və dövrədəki bütün cərəyanlar tapılır. Tənliklərin tərtib olunması qaydası aşağıdakı ardıcılıqla aparılır.

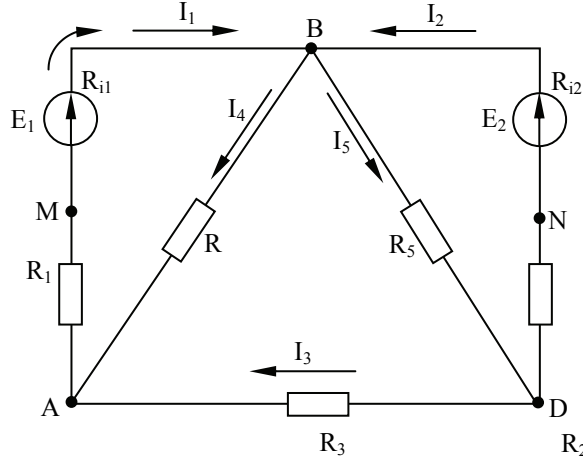
1. Dövrə sxeminə görə budaqların, düyün nöqtələrinin və konturların sayı təyin edilir.

2. Konturların şərti dolanma istiqamətləri və budaqlardan axan cərəyanların şərti müsbət istiqamətləri seçilir.

3. Dövrədəki düyün nöqtələrindən bir vahid az $(n-1)$ düyün tənliyi qurulur.

4. Qalan tənliklər Kirxhofun 2-ci qanununa əsasən bütün konturlar üçün qurulur.

5. Nəzərə almaq lazımdır ki, qurulan tənliklərin sayı dövrədəki məchul cərəyanların sayına bərabər olmalıdır.



Şəkil 3.7. Mürəkkəb elektrik dövrəsi

Şəkil 3.7-də iki mənbəli mürəkkəb dövrə təsvir edilir. Bu dövrənin ayrı-ayrı hissələrindəki cərəyanları təyin etmək tələb olunur.

Dövrədəki e.h.q-nin və rezistorların müqavimətlərinin qiymətləri verilir. Düyün və kontur tənlikləri üsulu ilə dövrənin tənliklərini quraq:

Dövrədə üç düyün nöqtəsi var ($n=3$; A, B, D). Bunlardan düyünlərin ikisi üçün düyün tənliyi qururuq:

A düyünü üçün:

$$-I_1 + I_3 + I_4 = 0 \quad (3.13)$$

B düyünü üçün:

$$I_1 + I_2 - I_4 - I_5 = 0 \quad (3.14)$$

Dövrəni hesablamaq üçün bir-birindən asılı olmayan beş tənlik (beş məchul cərəyan) lazım olduğundan çatışmayan üç tənlik Kirxhofun 2-ci qanununa əsasən bütün konturlar üçün qurulur.

AMBA konturu üçün

$$E_1 = I_1(R_1 + R_{i1}) + I_4 R_4 \quad (3.15)$$

ABDA konturu üçün

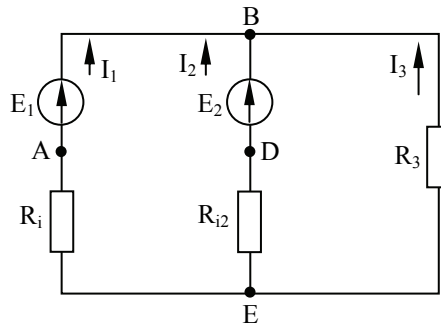
$$0 = -I_4 R_4 + I_5 R_5 + I_3 R_3 \quad (3.16)$$

BNDB konturu üçün

$$-E_2 = -I_2(R_2 + R_{i2}) - I_5 R_5 \quad (3.17)$$

Hesabatın düzgünlüyünü güclər balansını tərtib etməklə yoxlamaq olar: mənbələrin (generatorların) güclərinin cəmi, işlədicilərin gücləri cəminə bərabər olmalıdır.

Məsələ 3.1. Əgər $E_1 = 130$ V, $E_2 = 117$ V; $R_{i1} = 1$ OM, $R_{i2} = 0,6$ OM, $R_3 = 24$ OM məlumatları verilsə, (şək.3.8) təsvir edilən dövrənin bütün budaqlarından axan cərəyanları hesablayın.



Şəkil 3.8. 3.1-ci məsələyə aid dövrə sxemi.

Həlli: Cərəyanların verilmiş şərti müsbət istiqamətlərinə görə üç tənlik qururuq. Şəkildəki düyün nöqtəsindən biri üçün Kirxhofun 1-ci qanuna əsasən düyün tənliyi yazsaq:

B düyünü üçün

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

Qalan tənliklər konturlar üçün qurulur.

ABDEA konturu üçün

$$E_1 - E_2 = I_1 R_{i1} - I_2 R_{i2}$$

DBED konturu üçün

$$E_2 = I_2 R_{i2} - I_3 R_3$$

Sonuncu iki tənlikdə məlum kəmiyyətlərin ədədi qiymətlərini yerinə yazsaq, alırıq:

$$130 - 117 = 1 I_1 - 0,6 I_2$$

$$117 = 0,6 I_2 - 24 I_3$$

1-ci tənlikdən $I_3 = -I_1 - I_2$ olduğundan,

$$13 = 1 I_1 - 0,6 I_2$$

$$117 = 0,6 I_2 + 24 I_1 + 24 I_2$$

və ya

$$13 = 1 I_1 - 0,6 I_2$$

$$117 = 24 I_1 + 24,6 I_2$$

Bu tənliklərdən I_1 çıxarsaq, I_2 cərəyanını tapırıq

$$195 = -39 I_2$$

$$I_2 = -\frac{195}{39} = -5 \text{ A}$$

I_1 cərəyanını $13 = I_1 - 0,6 I_2$ tənliyindən tapırıq

$$I_1 = 13 + 0,6 \cdot (-5) = 13 - 3 = 10 \text{ A.}$$

Nəhayət I_3 cərəyanı

$$I_3 = -I_1 - I_2 = -10 + 5 = -5 \text{ A} \text{ olar.}$$

Buradan görünür ki, I_2 cərəyanının istiqaməti B nöqtəsindən E nöqtəsinə yönəlmişdir və

$$\varphi_B > \varphi_E$$

Generator rejimində işləyən E_1 mənbəyinin gücü

$$P_1 = E_1 I_1 = 130 \cdot 10 = 1300 \text{ Vt}$$

Dövrənin ayrı-ayrı müqavimətlərinin gücü

$$P_{i1} = I_1^2 R_{i1} = 100 \cdot 1 = 100 \text{ Vt}$$

$$P_{i2} = I_2^2 R_{i2} = 25 \cdot 0,6 = 15 \text{ Vt}$$

$$P_3 = I_3^2 R_3 = 25 \cdot 24 = 600 \text{ Vt}$$

2-ci mənbəyin hasil etdiyi güc

$$P_2 = E_2 I_2 = 117 (-5) = -585 \text{ Vt}$$

Bu mənbə enerji qəbuledicisi rejimində işləyir, çünki I_2 və E_2 -nin istiqamətləri bir-birinin əksinədir.

Enerjinin saxlanması qanununun nəticəsi olan güclər balansını quraq və yoxlayaq

$$\sum P_{\text{gen}} = \sum P_{\text{iş}}$$

$$P_1 + P_2 = P_{i1} + P_{i2} + P_3; 1300 + (-585) = 100 + 15 + 600$$

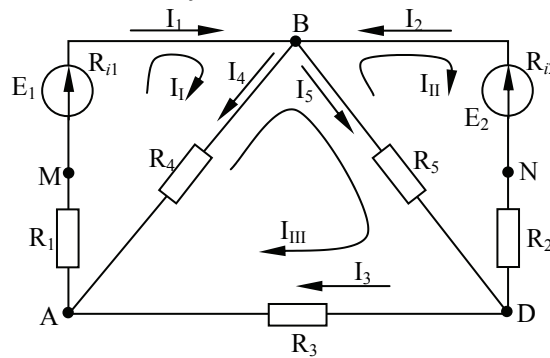
$$1300 = 100 + 15 + 600 + 585$$

$$1300 \text{ Vt} = 1300 \text{ Vt}$$

§ 3.4. Kontur cərəyanları üsulu

Kontur cərəyanları üsulunda Kirxhof tənlikləri üsuluna nisbətən az hesabat tənlikləri qurulur. Bu üsul yalnız Kirxhofun 2-ci qanununun tətbiqinə əsaslanır.

Kontur cərəyanı verilmiş kontura məxsus olan bütün budaqlardan axan vahid cərəyandır. Sxemlərdə kontur cərəyanları $I_I, I_{II}, I_{III} \dots$ işarə olunur.



Şəkil 3.9. Kontur cərəyanları üsulunun hesabatna aid dövrə

Şək. 3.9-da göstərilmiş sxem üzərində bu üsulla tənliklərin qurulmasına baxaq.

Kontur cərəyanlarının istiqaməti şərti seçilir (məs. saat əqrəbi istiqamətində). Sxemdən görünür ki, xarici budaqlardan axan həqiqi cərəyanlar kontur cərəyanlarına bərabərdir. Daxili budaqlardan axan cərəyanlar isə kontur cərəyanlarının sərfinə (cəbri cəminə) bərabər olur.

Yəni,

$$\begin{aligned} I_1 = I_I; I_2 = I_{II}; I_3 = I_{III}; \\ I_4 = I_I - I_{III}; I_5 = I_{III} - I_{II}. \end{aligned} \quad (3.18)$$

Mənbələrin daxili müqavimətlərini nəzərə almadan ($R_{i_1} = R_{i_2} = 0$)

hər bir kontur üçün Kirxhofun 2-ci qanununa əsasən tənliklər quraq:

Kontur I – AMBA üçün

$$E_1 = I_I(R_I + R_4) - I_{III}R_4 \quad (3.19)$$

Kontur II – DNBD üçün

$$-E_2 = I_{II}(R_2 + R_5) - I_{III}R_5 \quad (3.20)$$

Kontur III – ABDA üçün

$$0 = I_{III}(R_3 + R_4 + R_5) - I_I R_4 - I_{II} R_5 \quad (3.21)$$

E.h.q-ləri və müqavimətlərin verilmiş qiymətlərini yerinə yazaraq hər üç tənliyi birlikdə həll edərək kontur cərəyanları tapılır. Sonra kontur cərəyanlarının qiymətlərinə əsasən (3.18) düsturlarından istifadə edərək budaqlardan axan cərəyanların qiyməti təyin edilir.

Məsələ 3.2. Əgər $E_1 = 120$ V, $E_2 = 110$ V, $R_1 = R_2 = 1$ OM, $R_3 = 2$ OM, $R_4 = 9$ OM, $R_5 = 4$ OM olarsa, şək. 3.9-da təsvir edilən dövrənin bütün budaqlarından axan cərəyanları təyin etməli.

Həlli: Kontur cərəyanlarının istiqamətini konturun dolanma istiqamətində qəbul edərək yuxarıda göstəriləni kimi üç tənlik (3.19), (3.20), (3.21) qururuq. Məlum kəmiyyətlərin qiymətlərini yerinə yazaraq, alırıq:

1-ci kontur üçün:

$$120 = I_I(1 + 9) - I_{III} \cdot 9$$

2-ci kontur üçün:

$$-110 = I_{II}(1 + 4) - I_{III} \cdot 4$$

3-ci kontur üçün:

$$0 = I_{III}(2 + 9 + 4) - I_I \cdot 9 - I_{II} \cdot 4$$

Ardıcıl olaraq I_I və I_{II} cərəyanlarını çıxararaq I_{III} cərəyanını tapırıq:

$$I_{III} = 5,4 \text{ A.}$$

Sonra (3.19) və (3.20) ifadələrindən I_I və I_{II} -ni təyin edirik:

$$I_I = 12 + 0,9 \cdot 5,4 = 16,86 \text{ A}$$

$$I_{II} = -17,68 \text{ A.}$$

Dövrənin budaqlarından axan cərəyanları (3.18)

düsturlarından təyin edirik.

$$I_1 = I_I = 16,86 \text{ A}; \quad I_2 = I_{II} = -17,68 \text{ A}; \quad I_3 = I_{III} = 5,4 \text{ A};$$

$$I_4 = I_I - I_{III} = 16,86 - 5,4 = 11,46 \text{ A};$$

$$I_5 = I_{III} - I_{II} = 5,4 + 17,68 = 23,08 \text{ A}$$

Məsələnin həllinin düzgünlüyünü güclər balansına yoxlayaq.

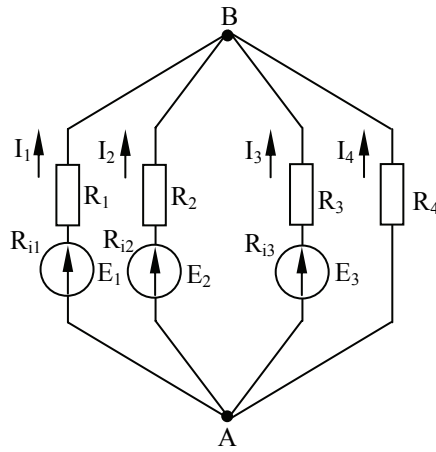
$$P_1 + P_2 = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3 + I_4^2 R_4 + I_5^2 R_5 \quad \text{və ya}$$

$$2023 + 1945 = 284 + 314 + 59 + 1179 + 2133$$

$$3968 \text{ Vt} = 3968 \text{ Vt}$$

Beləliklə, məsələnin həlli düzgün aparılıb.

§ 3.5. Düyün gərginliyi üsulu



Şəkil 3.10. İki düyünlü elektrik dövrəsi

Praktikada çox vaxt iki düyün nöqtəsi olan elektrik dövrələrinə rast gəlinir. Belə dövrələri düyün gərginliyi üsulu ilə hesablamaq daha əlverişlidir. Düyün gərginliyi üsulu digər üsullara nisbətən dövrədəki cərəyanları daha sadə şəkildə tapmağa imkan verir. Bu üsul Kirxhoffun 1-ci və Om qanunlarının sintezindən yaranır.

Şək.3.10-da verilən elektrik dövrəsində iki düyün nöqtəsi (A və B) var. Budaqlardan axan cərəyanların müsbət istiqamətini A düyünündən B düyününə doğru qəbul edərək, belə iki nöqtə arasındakı gərginliyi U ilə işarə edək. Onda

$$U = U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$$

OM qanununa görə birinci budaqdan axan cərəyan

$$I_1 = \frac{E_1 - U}{R_1 + R_{i_1}} = (E_1 - U)G_1 \quad (3.22)$$

olar.

Analoji olaraq dövrənin qalan budaqlarından axan cərəyanları da tapa bilərik:

$$I_2 = (E_2 - U)G_2; \quad I_3 = (E_3 - U)G_2;$$

$$I_4 = (0 - U)G_4 = -UG_4$$

Dövrədə iki düyün nöqtəsi olduğundan Kirxhofun 1-ci qanununu ancaq bir düyün nöqtəsinə tətbiq edək. B düyünü üçün

$$I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = 0 \quad (3.23)$$

Cərəyanların qiymətlərini bu tənlikdə yerinə yazsaq

$$(E_1 - U)G_1 + (E_2 - U)G_2 + (E_3 - U)G_3 - UG_4 = 0$$

İfadəni həll edib U -nu tapsaq:

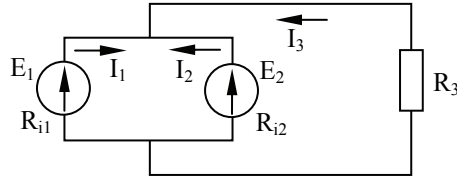
$$U = \frac{E_1G_1 + E_2G_2 + E_3G_3}{G_1 + G_2 + G_3 + G_4} \quad (3.24)$$

Ümumi halda

$$U = \frac{\sum(EG)}{\sum G} \quad (3.25)$$

Beləliklə, **düyün gərginliyi budaqların e.h.q-ri ilə uyğun budaqların keçiriciliklərinin hasillərinin cəbri cəminin, bütün budaqların keçiriciliklərinin cəbri cəminə olan nisbətində bərabərdir.**

Məsələ 3.3. Şəkil 3.11-də ikidüyünlü budaqlanmış dövrə təsvir edilir. Həmin dövrədə $E_1 = 113$ V, $E_2 = 112,5$ V; $R_{i1} = R_{i2} = 0,5$ OM, $R_3 = 10$ OM-dur. Cərəyanları tapmalı.



Şəkil 3.11. 3.3-cü məsələyə aid sxem

Əvvəlcə budaqların keçiriciliklərini hesablayaq:

$$G_1 = G_2 = \frac{1}{R_{i_1}} = \frac{1}{R_{i_2}} = \frac{1}{0,5} = 2 \text{ Sm}$$

$$G_3 = \frac{1}{R_3} = \frac{1}{10} = 0,1 \text{ Sm}$$

Düynün gərginliyini tapaq:

$$U = \frac{E_1 G_1 + E_2 G_2}{G_1 + G_2 + G_3} = \frac{113 \cdot 2 + 112,5 \cdot 2}{2 + 2 + 0,1} = 110 \text{ V}$$

Dövrənin budaqlarındakı cərəyanlar

$$I_1 = (E_1 - U)G_1 = (113 - 110) \cdot 2 = 6 \text{ A}$$

$$I_2 = (E_2 - U)G_2 = (112,5 - 110) \cdot 2 = 5 \text{ A}$$

$$I_3 = -UG_3 = (110 \cdot 0,1) = -11 \text{ A}$$

Məsələnin həllini yoxlayaq:

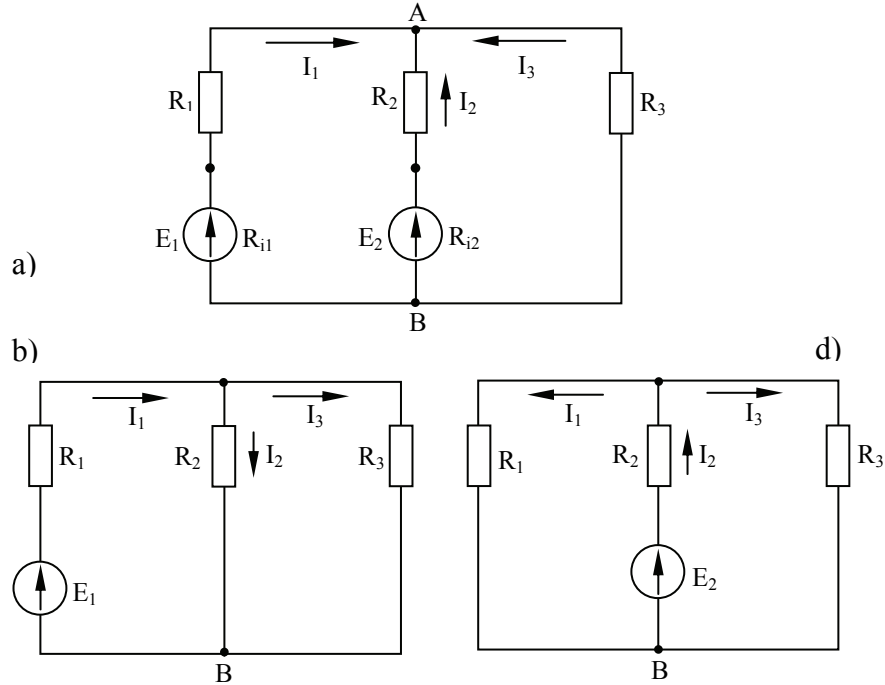
$$I_1 + I_2 + I_3 = 6 + 5 - 11 = 0$$

§ 3.6. Toplama (Superpozisiya) üsulu

Toplama üsulu ancaq xətti dövrələrə tətbiq edilir və elektrik dövrələrində enerji mənbələrinin müstəqilliyi prinsipinə əsaslanır. Bu üsula görə hər mənbə başqa mənbələrin təsirindən asılı olmayaraq budaqlarda cərəyan yaradır. Həmin cərəyanlara müstəqil cərəyanlar deyilir. Budaqlarda yaranan həqiqi cərəyanlar, istiqamətindən asılı olaraq müstəqil cərəyanların cəminə və ya fərqinə bərabər olur.

Verilmiş dövrədə (şək. 3.12 a) I_1 , I_2 , I_3 cərəyanlarının toplama üsulu ilə təyin edilməsinə baxaq.

Başlanğıcda fərz edək ki, dövrədə ancaq bir e.h.q-si E_1 mənbəyi işləyir, dövrənin bütün müqavimətləri dəyişməz qalır (şək. 12 b). Qeyd edək ki, mənbələrin daxili müqavimətləri nəzərə alınmır ($R_{i1} = R_{i2} = 0$).



Şəkil 3.12. Dövrənin toplama üsulu ilə hesablanmasına aid sxemlər

E_2 e.h.q-si mənbəyi açıldığından dövrə bir mənbəli dövrə olur. Onda dövrənin ümumi ekvivalent müqaviməti ardıcıl qoşulmuş R_1 müqavimətindən və paralel qoşulmuş iki R_2 və R_3 müqavimətlərindən ibarət olar. Yəni:

$$R_{ek} = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}$$

Dövrənin budaqlanmamış hissəsindəki cərəyan: $I_1^1 = \frac{E_1}{R_{ek}}$

A və B düyünləri arasındakı gərginlik:

$$U_{AB} = E_1 - I_1^1 R_1$$

Paralel budaqlardan axan cərəyanlar:

$$I_2^1 = \frac{U_{AB}}{R_2}; \quad I_3^1 = \frac{U_{AB}}{R_3}$$

İkinci halda dövrədə ancaq E_2 e.h.q-si mənbəyi təsir edir. E_1 e.h.q-si mənbəyi açıqdır (şək. 12 d). Hesabat analogi aparılır və budaqlarda yaranan $I_1^{11}, I_2^{11}, I_3^{11}$ müstəqil cərəyanları təyin edilir.

Dövrənin ümumi (ekvivalent) müqaviməti:

$$R_{ekv} = R_2 + \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3}$$

Dövrənin budaqlanmamış hissəsindəki cərəyan:

$$I_2^{11} = \frac{E_2}{R_{ekv}}$$

A və B düyün nöqtəsi arasındakı gərginlik:

$$U_{AB} = E_2 - I_2^{11} R_2$$

Paralel qollardan axan cərəyanlar:

$$I_1^{11} = \frac{U_{AB}}{R_1}; \quad I_3^{11} = \frac{U_{AB}}{R_3}.$$

Müstəqil (qismi) cərəyanları cəbri toplamaqla budaqlardan axan cərəyanların həqiqi qiymətləri təyin edilir.

$$I_1 = I_1^1 - I_1^{11}; \quad I_2 = I_2^{11} - I_2^1; \quad I_3 = -I_3^1 - I_3^{11}.$$

Məsələ 3.4. $E_1 = 126$ V, $E_2 = 124$ V; $R_1 = 1$ OM $R_2 = 1$ OM, $R_3 = 12$ OM, $R_{i1} = R_{i2} = 0$ olarsa, şək.3.12-də göstərilmiş dövrənin budaqlarından axan cərəyanları təyin etməli.

Həlli: E_2 e.h.q-si mənbəyinin təsirini nəzərə almadan tapırıq:

$$R_{ek} = R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = 1 + \frac{1 \cdot 12}{1 + 12} = 1,92 \text{ Om}$$

$$I_1^1 = \frac{E_1}{R_{ek}} = \frac{126}{1,92} = 65,52 \text{ A}$$

$$U_{AB} = E_1 - I_1^1 R_1 = 126 - 65,52 \cdot 1 = 60,48 \text{ V}$$

$$I_2^1 = \frac{U_{AB}}{R_2} = \frac{60,48}{1} = 60,48 \text{ A}$$

$$I_3^1 = \frac{U_{AB}}{R_3} = \frac{60,48}{12} = 5,04 \text{ A}$$

E_1 e.h.q-si mənbəyinin təsirini nəzərə almadan tapırıq:

$$R_{ek} = R_2 + \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_3} = 1 + \frac{1 \cdot 12}{1 + 12} = 1,92 \text{ Om}$$

$$I_2^{11} = \frac{E_2}{R_{ekv}} = \frac{124}{1,92} = 64,48 \text{ A}$$

$$U_{AB} = E_2 - I_2^{11} R_2 = 124 - 64,48 \cdot 1 = 59,52 \text{ V}$$

$$I_1^{11} = \frac{U_{AB}}{R_1} = \frac{59,52}{1} = 59,52 \text{ A}$$

$$I_3^{11} = \frac{U_{AB}}{R_3} = \frac{59,52}{12} = 4,96 \text{ A}$$

Budaqlardan axan cərəyanların həqiqi qiymətləri

$$I_1 = I_1^1 - I_1^{11} = 65,52 - 59,52 = 6 \text{ A}$$

$$I_2 = I_2^{11} - I_2^1 = 64,48 - 60,48 = 4 \text{ A}$$

$$I_3 = -I_3^1 - I_3^{11} = -5,04 - 4,96 = -10 \text{ A}$$

§ 3.7. Ekvivalent generator üsulu

Bəzən mürəkkəb elektrik dövrələrində hər hansı bir budaqdan axan cərəyanı təyin etmək lazım gəlir. Bu halda ekvivalent generator üsulundan istifadə edilir.

Fərz edək ki, tədqiq olunan R_{ab} rezistorlu budaq sxemin qalan hissəsinə (A düzbucaqlısının daxilindəki hissə) a və b nöqtələrində birləşdirilib (şək. 3.13 a). Yəni dövrə iki hissəyə bölünür: 1) dövrənin cərəyan təyin edilən R_{ab} müqavimətli hissəsi və ya budaq; 2) ekvivalent E_{ekv} e.h.q-si mənbəyi və ekvivalent R_{ekv} daxili müqavimətli hissə (şək. 3.13 b). Belə enerji mənbəyi ekvivalent generator və ya aktiv ikiqütblü adlanır. Əgər dövrənin ikiqütblüyə aid olan hissəsində enerji mənbəyi olmazsa, onda passiv ikiqütblü alınar.

Tədqiq olunan budaqdakı cərəyanı ekvivalent sxemdən (şək.3.13 b) məlum OM qanununa əsasən tapmaq olar.

$$I_{ab} = \frac{E_{ekv}}{R_{ekv} + R_{ab}} \quad (3.26)$$

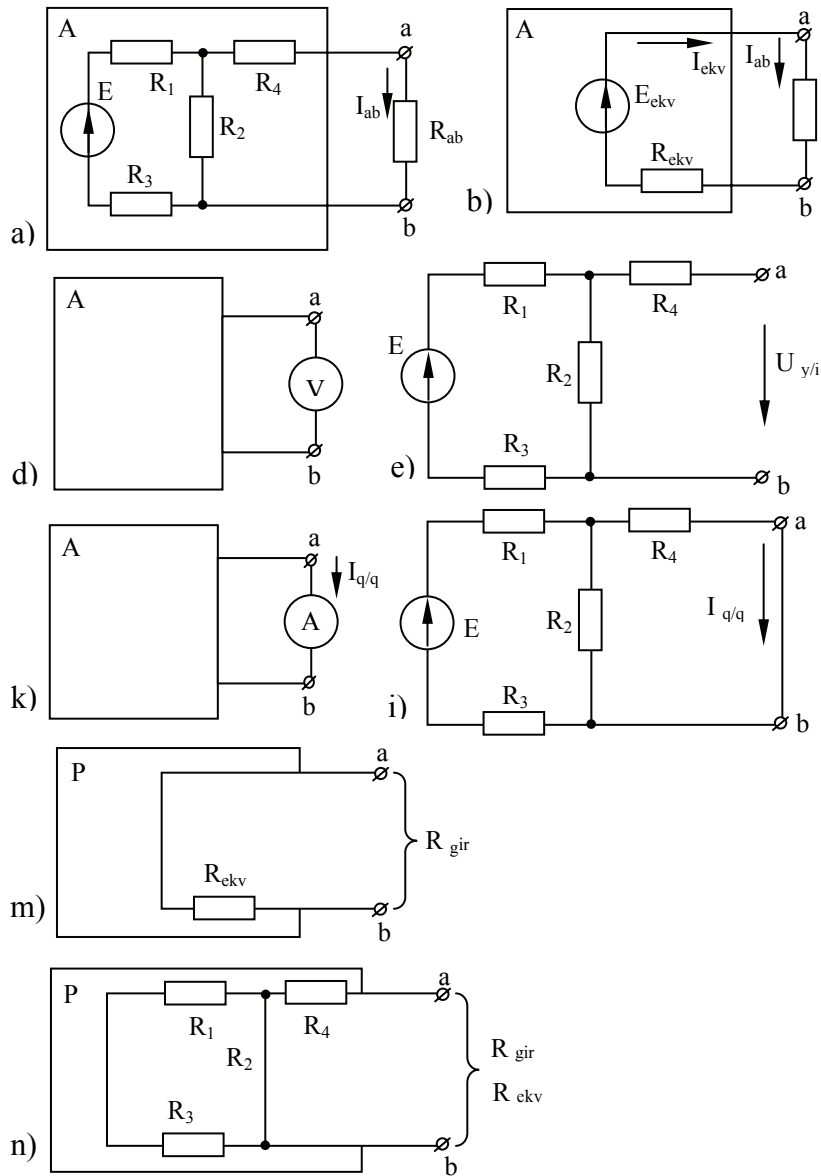
Beləliklə, I_{ab} cərəyanını təyin edəndə ekvivalent generatorun E_{ekv} e.h.q-ni və onun daxili R_{ekv} müqavimətini təyin etmək lazımdır. R_{ekv} müqavimətinə həm də aktiv ikiqütblünün giriş müqaviməti deyilir.

E_{ekv} və R_{ekv} kəmiyyətləri ekvivalent generatorun iki iş rejiminə – yüksüz işləmə və qısa qapanma rejimlərinə əsasən təyin edilir.

Tədqiq olunan R_{ab} budağını a və b nöqtələrindən ayırısaq, ekvivalent generator yüksüz işləmə rejimində işləyəcək. Bu halda a və b xarici sığacları arasındakı $U_{y/i}$ yüksüz işləmə gərginliyi (şək.3.13 b) ekvivalent e.h.q-nə E_{ekv} bərabər olar: $E_{ekv} = U_{y/i}$

Yüksüz işləmə gərginliyini həm ölçmək (şək.3.13 d), həm də hesabat yolu ilə təyin etmək (şək.3.13 e) olar. Baxılan dövrə üçün

$$U_{j/i} = IR_2 = \frac{ER_2}{R_1 + R_2 + R_3}$$



Şəkil 3.13. Ekvivalent generator üsuluna aid sxəmlər

R_4 müqaviməti hesabatda daxil deyil, çünki R_{ab} müqavimətini açanda R_4 müqavimətindəki cərəyan da sifira bərabər olar.

Ekvivalent generatorun R_{ekv} müqaviməti qısa qapanma rejiminə əsasən təyin edilir. Bu halda generatorun qısa qapanma rejimində (şək. 3.13 b) $I_{q/q}$ cərəyanı

$$I_{q/q} = \frac{E_{ekv}}{R_{ekv}}$$

olar. Buradan

$$R_{ekv} = \frac{E_{ekv}}{I_{q/q}} = \frac{U_{j/i}}{I_{q/q}}$$

$I_{q/q}$ cərəyanını ölçmək üçün (şək. 3.13 k) sxemindən istifadə edilir. Əgər real dövrənin a və b nöqtələri arasındakı qısa qapanma onun elementlərində cərəyanların təhlükəli yüksəlməsini əmələ gətirməzsə, bu sxemdən istifadə olunur. Belə təhlükə olanda ekvivalent generatorun yük cərəyanını I_{ab} və yük müqavimətindəki U_{ab} gərginlik düşküsünü ölçmək lazımdır. Onda ekvivalent müqavimət

$$R_{ekv} = (E_{ekv} - U_{ab}) / I_{ab} = (U_{y/i} - U_{ab}) / I_{ab}$$

$I_{q/q}$ cərəyanını məlum hesabat üsullarını birindən istifadə etməklə də tapmaq olar.

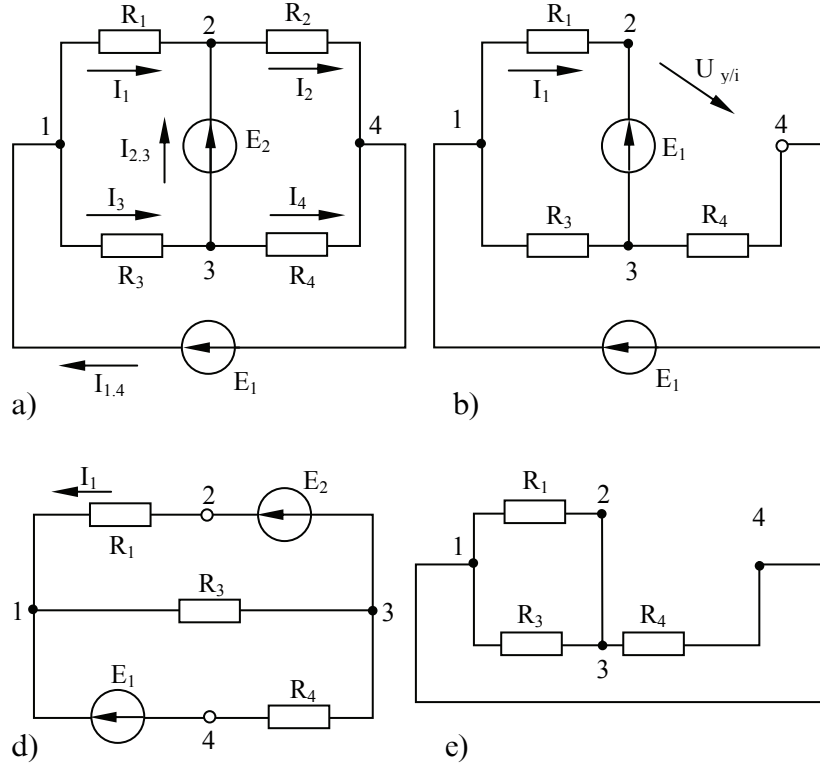
Lakin $I_{q/q}$ cərəyanının tapılması uzun bir əməliyyat olduğundan mürəkkəb sxemlərdə R_{ekv} passiv ikiqütblünün a və b nöqtələri arasındakı giriş müqaviməti kimi təyin edilir.

Hesabat sxemi almaq üçün aktiv ikiqütblünün bütün e.h.q-ləri sifira bərabər götürülür, dövrənin mənbələr birləşən nöqtələri qısa qapanır. Onda aktiv ikiqütblü passivə çevrilir.

Şək. (3.13 b)-dəki sxemdən görünür ki, $E_{ekv} = 0$ olanda R_{ekv} bu sxemin giriş müqaviməti olur. Onda passiv ikiqütblünün a və b sıxacları tərəfdəki R_{gir} giriş müqaviməti (3.13 m) ekvivalent generatorun daxili müqavimətini təyin edir. Onda hesabat sxemi Şək.3.13 n şəklini alır. Bu sxem üçün:

$$R_{\text{ekv}} = \frac{(R_1 + R_3)R_2}{R_1 + R_2 + R_3} + R_4$$

Məsələ 3.5. Şək. 3.14. $E_1 = 120 \text{ V}$, $E_2 = 100 \text{ V}$, $R_1 = 20 \text{ OM}$, $R_2 = 20 \text{ OM}$, $R_3 = 30 \text{ OM}$, $R_4 = 30 \text{ OM}$ verilir. 2-4 budağından axan cərəyanı ekvivalent generator üsulu ilə hesablayın.



Şəkil 3.14. 3.5 məsələsinə aid sxem.

Yüksüz işləmə gərginliyini təyin etmək üçün 2-4 budağını (şək. 3.14 a) açırıq. Bu budağı açandan sonra iki düyün nöqtəli 1 və 3 sxemi alınır (şək. 3.14 b).

Bu sxemi hesablamaq üçün düyün gərginliyi üsulunu tətbiq etmək məqsədəuyğundur:

$$G_1 = \frac{1}{R_1} = \frac{1}{20} \text{ Sm}; \quad G_3 = \frac{1}{R_3} = \frac{1}{30} \text{ Sm}; \quad G_4 = \frac{1}{R_4} = \frac{1}{30} \text{ Sm};$$

$$U_{1,3} = \frac{E_1 G_4 + E_2 G_1}{G_1 + G_3 + G_4} = \frac{120 \cdot \frac{1}{30} + 100 \cdot \frac{1}{20}}{\frac{1}{20} + \frac{1}{30} + \frac{1}{30}} = 77,2 \text{ V}$$

2 və 4 nöqtələri arasındakı gərginliyi tapmaq üçün I_1 cərəyanını təyin edirik:

$$I_1 = (E_1 - U_{1,3})G_1 = (100 - 77,2) \frac{1}{20} = 1,14 \text{ A}$$

$$U_2 = U_4 + I_1 R_1 + E_1$$

$$U_{ji} = U_2 - U_1 = E_1 + I_1 R_1 = 120 + 1,14 \cdot 20 = 142,8 \text{ V}$$

Ekvivalent generatorun daxili müqavimətini təyin etmək üçün verilmiş sxemdəki e.h.q-lərini sifira bərabər qəbul edirik. Şək. (3.14 e)-də göstərilmiş sxem alınır. Bu sxemdən görünür ki, 2 və 4 nöqtələrinə nəzərən passiv ikiqütblünün hər üç müqaviməti paralel qoşulub.

Onda

$$\frac{1}{R_{ekv}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} = \frac{1}{20} + \frac{1}{30} + \frac{1}{30} = \frac{7}{60}$$

$$R_{ekv} = \frac{60}{7} = 8,58 \text{ Om}$$

Tədqiq olunan budaqdan axan cərəyan Om qanununa əsasən tapılır.

$$I_2 = \frac{U_1}{R_{ekv} + R_2} = \frac{142,8}{8,58 + 20} = 5 \text{ A}$$

$$P_2 = I_2^2 R_2 = 5^2 \cdot 20 = 500 \text{ Vt}$$

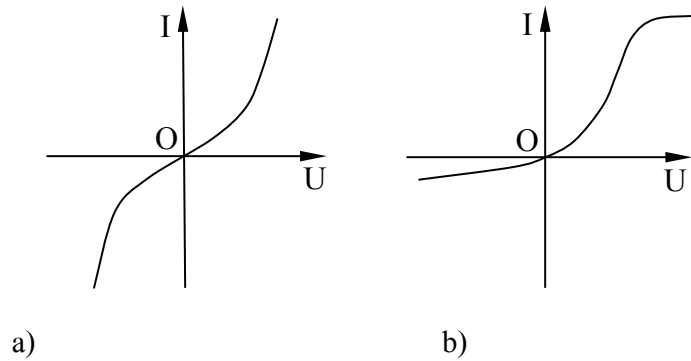
§ 3.8. Sabit cərəyan dövrlərində qeyri-xətti elementlər. Qeyri-xətti dövrlərin hesablanması

Avtomatika, elektronika və radiotexnikada gərginliklə cərəyanı qeyri-xətti asılılığa malik olan elektrik dövrəsi elementləri geniş tətbiq edilir.

Qeyri-xətti elementlər daxil olan elektrik dövrlərinə qeyri-xətti dövrlər deyilir.

Qeyri-xətti elektrik dövrlərində işlədicilərin müqaviməti gərginlikdən, cərəyandan, temperaturdan asılı olaraq dəyişir. Qeyri-xətti elementlərdə gərginlik və cərəyan arasındakı asılılığa $U=f(I)$ volt-ampere xarakteristikası deyilir. Elektrovaakum cihazları, fotoelementlər, qaz boşalmalı cihazlar, yarımqeçirici cihazlar və s. qeyri-xətti volt-ampere xarakteristikalarına malikdir.

Qeyri-xətti elementlərin volt-ampere xarakteristikaları koordinat başlanğıcına nəzərən simmetrik və ya qeyri-simmetrik olur. Şək. 3.15



Şəkil 3.15. Qeyri-xətti elementlərin simmetrik (a) və qeyri-simmetrik (b) volt-ampere xarakteristikaları

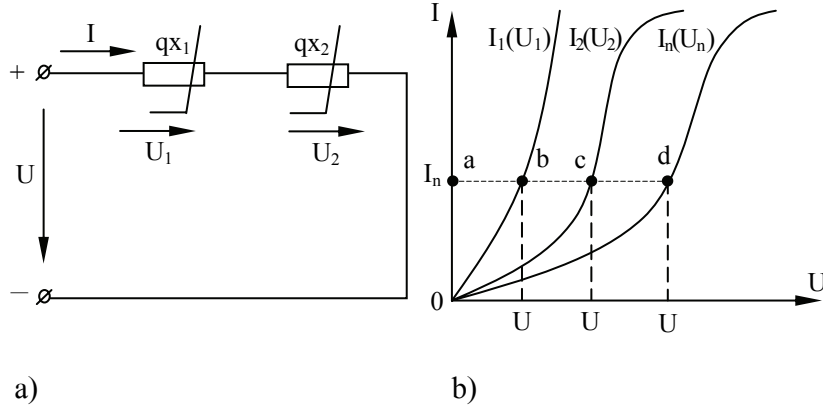
Simmetrik xarakteristikalara malik qeyri-xətti elementlərə misal olaraq elektrik lampalarını, termorezistorları, cıvə düzləndiricilərini, yarımqeçirici diod və tranzistorları, qeyri-bir-

cinsli elektrodlar arasında yaranan elektrik qövsünü və s. göstərmək olar.

Qeyri-xətti elektrik dövrlərində qeyri-xətti elementlər ardıcıl, paralel və qarışıq birləşə bilər. Bu dövrləri hesablamaq üçün qrafik və analitik üsuldən istifadə edilir.

Qeyri-xətti dövrlərin analitik üsulla hesablanması mürəkkəbdir. Ona görə də qeyri-xətti dövrləri çox zaman qrafik metodlarla hesablayırlar.

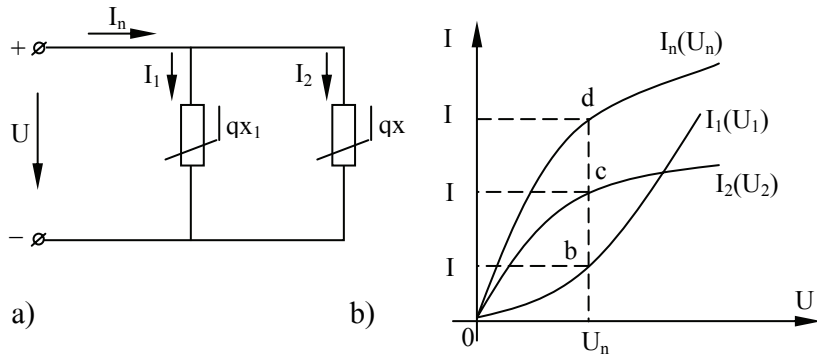
İki qeyri-xətti elementin ardıcıl birləşdirilməsi zamanı elektrik dövrəsinin ayrı-ayrı hissələrindəki cərəyanın və gərginliyin təyin olunmasına baxaq (şək. 16):



Şəkil 3.16. Qeyri-xətti elementlərin ardıcıl birləşməsi (a) və onların volt-ampere xarakteristikası (b)

Ardıcıl birləşən elementlərdə cərəyan eynidir: $I_1 = I_2 = I$. Kirxhofun 2-ci qanununa görə mənbəyin gərginliyi: $U_n = U_1 + U_2$. Dövrənin ümumi volt-ampere xarakteristikası $I_1(U_1)$ və $I_2(U_2)$ xarakteristikalarına əsasən qurulur. Bunun üçün cərəyanın ixtiyari qiymətinə uyğun elementlərdəki gərginliklər təyin edilir, cəmlənir və dövrənin ümumi $I_n(U_n)$ xarakteristikası alınır.

Qeyri-xətti elementlər paralel birləşərsə, (şək. 3.17) gərginlik: $U_1 = U_2 = U_n$, mənbədə yaranan cərəyan: $I_n = I_1 + I_2$



Şəkil 3.17. Qeyri-xətti elementlərin paralel birləşməsi (a) və volt-ampər xarakteristikası (b)

Elementlərin volt-ampər xarakteristikalarından $I_1(U_1)$, $I_2(U_2)$ istifadə edib gərginliyin verilən ixtiyari qiymətlərində elementlərdə yaranan cərəyanların ordnatları toplanır və dövrənin ümumi cərəyanı təyin edilir.

FƏSİL IV. MAQNİT SAHƏSİ

§ 4.1. Elektrik cərəyanının maqnit sahəsi. Maqnit induksiyası

Maqnit sahəsi – elektromaqnit sahəsinin iki tərəfindən biri olub elektriki yüklənmiş hissəciyə onun sürətinə və yükünə göstərdiyi qüvvə təsiri ilə xarakterizə olunur. Başqa sözlə maqnit sahəsi – hərəkətdə olan elektrik yüklərinin yaratdığı materiya növüdür. Maqnit sahəsinin mənbəyi sabit sürətlə hərəkət edən elektrik yüküdür.

Maddələr maqnit xassəli və qeyri-maqnit xassəli olur. Maqnit xassəsini uzun müddət özündə saxlayan maddələrə sabit maqnitlər və ya sadəcə olaraq maqnitlər deyilir. Sabit maqnitin daxilində nizamlı yönələn qapalı cərəyanlar olur. Sabit maqnitlər düz, naşəkilli formada olurlar və onların iki qütbü var: şimal (N, göy) və cənub (S, qırmızı).

Cərəyanlı naqıl ətrafında həmişə maqnit sahəsi yaranır. Cərəyanlı naqili əhatə edən maqnit sahəsinə, başqa cərəyanlı naqıl daxil etsək, bu naqıl maqnit sahəsinin təsir qüvvəsinə məruz qalar. Həmçinin ikinci naqılın maqnit sahəsi də birinciyə təsir edəcəkdir. Sahə qüvvəsinin təsiri ilə cərəyanlı naqıl öz yerini dəyişə də bilər. Yəni naqıldəki elektrik cərəyanı və onun ətrafında yaranan maqnit sahəsi bir-biri ilə sıx əlaqədardır.

Maqnit sahəsinin intensivliyi sahənin hər bir nöqtəsində maqnit induksiyası ilə xarakterizə olunur. Maqnit induksiyası vektorial kəmiyyətdir, maqnit sahəsinin qüvvə xarakteristikası olub, B hərfi ilə işarə edilir.

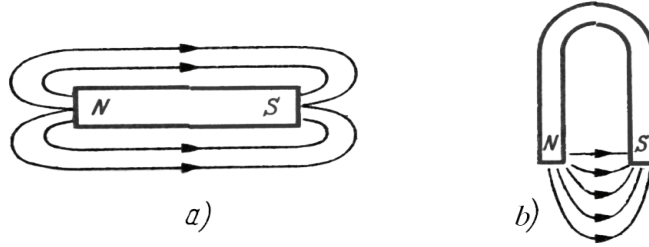
Maqnit induksiyasının modulu, maqnit sahəsinin cərəyanlı naqilə göstərdiyi maksimal təsir qüvvəsinin modulunun, naqıldəki cərəyan şiddəti ilə onun uzunluğunun hasilinə olan nisbətində bərabərdir.

$$B = \frac{F_{\max}}{I\ell} \quad (4.1)$$

BS-də maqnit induksiyasının vahidi serb alimi N.Teslanın şərəfinə tesladır (Tl).

$$[B] = \left[\frac{F_m}{I \cdot \ell} \right] = \frac{N}{Am} = \frac{Vb}{m^2} = Tl$$

Maqnit sahəsi qrafik olaraq maqnit induksiya xətləri (m.i.x.) və ya maqnit qüvvə xətləri (m.q.x.) ilə təsvir olunur. Maqnit qüvvə xətləri (m.q.x.) həmişə qapalıdır və şimal qütb-dən çıxıb cənub qütbə daxil olur. Düz və nalşəkilli sabit maqnitlərin maqnit sahəsi şəkl. 4.1-də göstərilir.

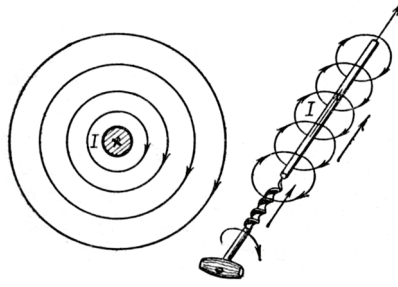


Şəkil 4.1. Düz və nalşəkilli sabit maqnitin maqnit sahəsi

Əgər düz maqnitin ətrafında bir neçə maqnit əqrəbi yerləşdirsək, əqrəblər maqnit sahəsinin təsiri istiqamətində meyil edəcək. Maqnit əqrəbləri maqnit sahəsinin qüvvə xətləri boyunca düzülür. Əqrəblərin şimal qütbləri maqnitin cənub qütbünə, cənub qütbləri maqnitin şimal qütbünə doğru istiqamətlənir. Cərəyanlı naqilin maqnit sahəsinə maqnit əqrəbi gətirildikdə də bu proses baş verir. Maqnit əqrəbinin şimal qütbünün göstərdiyi istiqamət maqnit sahəsinin qüvvə xətlərinin istiqaməti qəbul olunur.

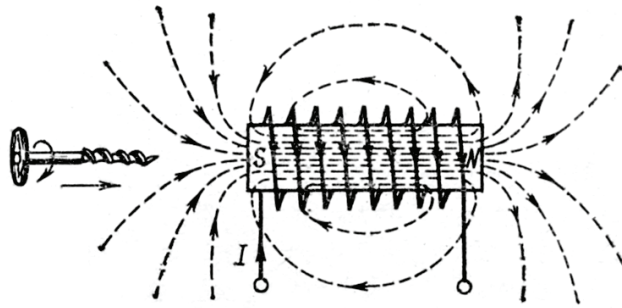
M.q.x-nin istiqaməti maqnit induksiya vektorunun istiqaməti ilə təyin olunur. Bunun üçün sağ yivli burğu qaydasından istifadə edilir.

Düzxətli cərəyanlı naqil üçün burğu qaydası: **burğunun irəliləmə hərəkəti naqildən axan cərəyanın istiqamətini, burğunun dəstəyinin fırlanma istiqaməti naqilin ətrafındakı m.q.x-nin istiqamətini göstərir** (şəkl. 4.2).



Şək. 4.2. Düz xətləli cərəyanlı naqilin maqnit sahəsi

Silindrik sarğac üçün burğu qaydası belədir: **burğunun döstəyinin fırlanma istiqaməti sarğacın sarğılarındakı cərəyanın istiqamətini, burğunun irəliləmə hərəkəti Sarğacdakı m.q.x-nin istiqamətini göstərir** (şək. 4.3).



Şək. 4.3. Cərəyanlı silindrik sarğacın maqnit sahəsi

Bütün nöqtələrində maqnit induksiyasının qiyməti və istiqaməti eyni olan maqnit sahəsi bircinsli adlanır. Əks halda qeyri-bircinsli maqnit sahəsi alınır.

§ 4.2. Maqnitlənmmə qüvvəsi, maqnit sahə intensivliyi, maqnit gərginliyi

Məlumdur ki, naqıldəki elektrik sahəsi və onun ətrafındakı maqnit sahəsi vahid elektromaqnit prosesinin ayrılmaz tərəfləridir. Elektrik cərəyanı maqnit sahəsi yaratmaq xüsusiyyətinə qadirdir. Cərəyanın bu xüsusiyyəti maqnitlənmmə qüvvəsi (m.q.) və ya maqnit hərəkət qüvvəsi (m.h.q.) adlanır və F hərfi ilə işarə edilir.

BS-də m.h.q-si maqnit sahəsini yaradan cərəyan şiddətinin qiymətinə bərabər qəbul olunur. Belə ki, düz naqıldə m.h.q-si $F = I$ -dir. Əgər cərəyan konturdan və ya sarğılarının sayı w olan sarğacdən keçərsə, onda m.h.q-si həmin sarğılar sayı ilə cərəyanın hasilinə bərabər olar. $F = I w$.

M.h.q-sinin ölçü vahidi cərəyan şiddəti kimi, Amperdir.

$$[F] = [I] = A$$

Sarğacda m.h.q-nin istiqamətini təyin etmək üçün «sağ əl» qaydasından istifadə edilir: **bu halda sağ əllə sarğac elə tutulur ki, əlin dörd barmağı sarğacın sarğılarındakı cərəyanın istiqaməti üzrə yerləşsin, onda dartılmış baş barmaq m.h.q-nin istiqamətini göstərər.**

Simmetrik sahələrdə (məs. həlqəvari sarğac, naqıl) m.h.q-si maqnit xətləri boyunca bərabər paylanır.

Maqnit keçiricisinin və ya sarğacın maqnit xətlərinin vahid uzunluğuna düşən m.h.q-nə maqnit sahə intensivliyi deyilir, H hərfi ilə işarə olunur.

$$H = \frac{F}{l} \quad (4.2)$$

Maqnit sahə intensivliyinin vahidi

$$[H] = \left[\frac{F}{l} \right] = \frac{A}{m}$$

Maqnit sahə intensivliyi maqnit sahəsinin yarandığı bir-cinsli mühidə maddənin maqnit xassələrindən asılı deyil. La-

kin verilmiş nöqtədə maqnit sahəsinin intensivliyinə cərəyanın qiymətinin və naqilin formasının təsiri nəzərə alınır.

Elektrik sahəsi üçün olan elektrik gərginliyinə analoji olaraq maqnit sahəsi üçün də maqnit gərginliyi anlayışı tətbiq olunur.

Bircinsli maqnit sahəsində eyni maqnit xətti üzərində yerləşən a və b nöqtələri arasındakı maqnit gərginliyi maqnit sahə intensivliyi ilə bu nöqtələr arasındakı məsafənin hasilinə bərabər olur, (şək. 4.4 a) U_M ilə işarə edilir.

$$U_M = H \cdot l \quad (4.3)$$

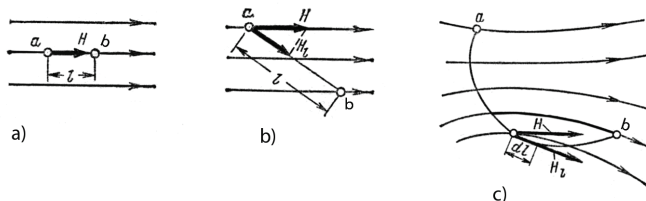
Maqnit gərginliyinin vahidi A-dir.

$$[U_M] = [Hl] = \frac{A}{m} \cdot m = A$$

Bircinsli maqnit sahəsinin eyni maqnit xətti üzərində yerləşməyən bir-birindən l məsafədə olan iki nöqtəsi arasındakı maqnit gərginliyini tapanda, əvvəlcə maqnit sahə intensivliyinin l xətti üzərindəki toplananı $H_l = H \cos \alpha$ təyin edilir (şək. 4.4. b). Onda maqnit gərginliyi

$$U_M = H_l \cdot l = Hl \cos \alpha$$

olur.



Şəkil 4.4. Sahənin iki nöqtəsi arasındakı maqnit gərginliyi

Qeyri-bircinsli maqnit sahəsində iki nöqtə arasındakı maqnit gərginliyi (a və b) bu iki nöqtə boyunca yolun elementar hissələrindəki (dl) elementar gərginliklərin cəminə bərabərdir (şək. 4.4 d).

$$U_M = \oint H_l dl$$

§ 4.3. Maqnit nüfuzluğu, maqnit seli, ilişən maqnit seli

Müxtəlif maddələrin maqnit xassələri bir-birindən fərqlənir. Maddələrin maqnit xassələrini xarakterizə etmək üçün maqnit nüfuzluğu adlanan fiziki kəmiyyətdən istifadə edilir. Mühitin mütləq maqnit nüfuzluğu nəzərə alınarsa, maqnit induksiyası ilə maqnit sahə intensivliyi arasında aşağıdakı asılılıq yaranar.

$$B = \mu_m \cdot H \quad (4.4)$$

Burada μ_m – mühitin mütləq maqnit nüfuzluğu olub, mühitin maqnit xüsusiyyətlərini xarakterizə edir.

İstənilən mühitdə cərəyanlı naqilin ətrafında yaranan maqnit sahəsinin, vakuumda yerləşən həmin naqilin ətrafında yaranan maqnit sahəsi ilə müqayisəsi göstərir ki, bəzi hallarda sahənin intensivliyi vakuuma nisbətən daha çox, digər hallarda isə daha az olur. Bu cərəyanlı naqili əhatə edən mühit və materialların müxtəlif maqnit xassələrinə malik olması ilə izah olunur.

Boşluğun mütləq maqnit nüfuzluğuna maqnit sabiti deyilir, μ_0 – işarə edilir. BS-də onun qiyməti

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Om} \cdot \text{san}}{\text{m}} \quad \text{qəbul olunub.}$$

Om-san vahidi Henri adlanır (Henri induktivlik vahididir). Onda

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Hn}}{\text{m}} \approx 125 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Hn}}{\text{m}}$$

alırıq.

Müxtəlif maddələrin mütləq maqnit nüfuzluğu maqnit sabiti ilə müqayisə edilir.

Hər hansı maddənin və ya mühitin mütləq maqnit nüfuzluğunun maqnit sabitinə olan nisbətində maddənin və ya

mühitin maqnit nüfuzluğu μ (və ya nisbi maqnit nüfuzluğu) deyilir. Onda

$$\mu = \frac{\mu_m}{\mu_0} \quad (4.5)$$

Bu əmsal mücərrəd (yəni, vahidsiz) ədəddir. Maqnit nüfuzluğunun qiymətinə görə maddələr üç qismə bölünür.

– **sahəsi vakuuma nisbətən zəif alınan materiallar və mühitlər diamaqnit materiallar və mühitlər adlanır, bunlar üçün $\mu < 1$ olur** (məsələn, Cu, Ag, bismit, təsirsiz qazlar və s.);

– **sahəsi vakuuma nisbətən güclü alınan materiallar və mühitlər paramaqnit materiallar və mühitlər adlanır, bunlar üçün $\mu > 1$ olur** (məsələn, Al, O₂, Na və s.);

– **sahəsi vakuuma nisbətən çox-çox güclü alınan materiallar və mühitlər ferromaqnit materiallar və mühitlər adlanır, bunlar üçün $\mu \gg 1$** (məsələn, dəmir və onun xəlitələri).

Ferromaqnitlər özləri də üç böyük qrupa bölünür: alçaqtezlikli elektrotexniki poladlar və xəlitələr; maqnitodielektriklər və ferritlər. Energetika aparatlarında elektrotexniki poladlar (generatorlar, transformatorlar, mühərriklər və s.); rabitə aparatlarında isə yüksək tezlikli maqnit materialları – maqnitodielektriklər və ferritlər geniş tətbiq edilir. Maqnitodielektriklərdə $\mu = 20 \div 60$, ferritlərdə $\mu = 600 \div 2000$ və daha böyük olur.

μ_m -in qiymətini (4.4) ifadəsində yerinə yazaq.

$$B = \mu_m H = \mu \mu_0 H$$

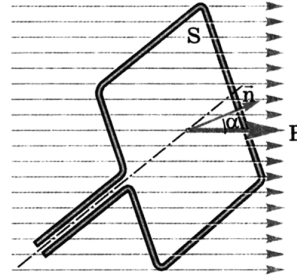
Maqnit induksiyanın vahidini bu düsturdan da təyin etmək olar.

$$[B] = [\mu \mu_0 H] = \frac{Hn}{m} \cdot \frac{A}{m} = \frac{Om \cdot \text{san } A}{m^2} = \frac{V \cdot \text{san}}{m^2} = \frac{Vb}{m^2} = Tl.$$

Burada V-san Veber (alman alimi Veberin şərəfinə) adlanır.

Maqnit induksiya vektorlarının miqdarına mütənasib olan fiziki kəmiyyətə maqnit seli deyilir, Φ hərfi ilə işarə olunur.

Bircinsli maqnit sahəsində qapalı kontur (çərçivə) yerləşdirək (şək. 4.5). Bu çərçivə ilə hüdudlanmış S sahəsindən (sahə sonsuz böyük də ola bilər) müəyyən sayda maqnit induksiya (qüvvə) xətti keçir. Həmin qüvvə xətlərinin sayı ilə mütənasib olan kəmiyyət maqnit seli adlanır.



Şəkil 4.5. Maqnit induksiya vektorunun normal toplananı

Maqnit seli üç kəmiyyətdən asılıdır.

1) Maqnit induksiya vektorlarının modulundan — B;

2) Səthin sahəsindən — S;

3) Səthin normalı ilə maqnit induksiya vektoru arasındakı α bucağının kosinusundan.

Beləliklə, **maqnit seli, maqnit induksiya vektorunun modulu, konturla hüdudlanmış səthin sahəsi və kontur müstəvisinin normalı ilə induksiya vektoru arasındakı bucağın kosinusu hasilinə bərabər olan skalyar kəmiyyətdir.**

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha \quad (4.6)$$

Maqnit seli müsbət, mənfi və sıfır ola bilər:

a) maqnit induksiya vektorları səthə perpendikulyar düşür.

Onda $\alpha = 0$, $\cos 0^\circ = 1$, $\Phi_{\text{mak.}} = BS$, yəni maqnit seli maksimal olur.

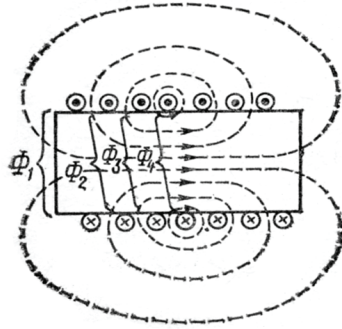
b) $\alpha < 90^\circ$ olanda $\cos \alpha > 0$ olur, maqnit seli müsbət alınır.

c) maqnit induksiya vektorları səthə paralel keçir. Onda $\alpha = 90^\circ$, $\cos 90^\circ = 0$, $\Phi = 0$ olur, yəni m.i.x-ləri səthdən keçmir.

d) $\alpha > 90^\circ$ olanda $\cos \alpha < 0$ alınır və maqnit seli mənfi olur.

BS-də maqnit selinin vahidi Veberdir.

$$[\Phi] = [BS] = \frac{V \cdot \text{san}}{m^2} \cdot m^2 = V \cdot \text{san} = \text{Vb}$$



Şəkil 4.6. Silindrik sarğacda səpələnmiş seli

Qeyri-bircinsli maqnit sahəsində əvvəlcə elementar sahələr vasitəsilə elementar maqnit selləri təyin edilir, sonra bu sellər toplanaraq verilmiş sahə üçün maqnit seli tapılır.

$$\Phi = \int B_n dS$$

Əgər maqnit seli n sayda naqili kəsib və ya sarğacın sarğalarına ilişərək keçərsə, onda həm naqillərdəki, həm də sarğacın sarğularındakı maqnit

sellərinin cəbri cəminə ilişkin maqnit seli deyilir, ψ hərfi ilə işarə edilir (şək. 4.6).

Əgər silindirik sarğacın hər bir sarğına eyni maqnit seli ilişərsə

$$\psi = \Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 = \dots = \Phi_n \text{ olar.}$$

Bu halda ilişkin maqnit seli, sarğular sayı və istənilən sarğıya ilişkin maqnit selinin hasilinə bərabərdir.

$$\psi = w \Phi \quad (4.8)$$

İlişən maqnit selinin vahidi Veberdir (Vb).

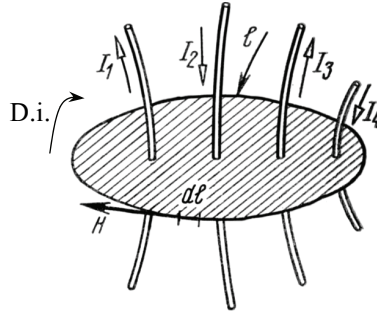
§ 4.4. Tam cərəyan qanunu

Maqnit sahə intensivliyi və cərəyan arasındakı asılılığı tam cərəyan qanunu ilə müəyyənləşdirmək olar. Maqnit sahəsi bir deyil, bir neçə cərəyanla yarana bilər.

Tam cərəyan, qapalı konturla əhatə olunan səthdən keçən və ya konturla ilişkin cərəyanların cəbri cəminə deyilir.

Konturun ixtiyari seçilmiş dolanma istiqamətini müsbət qəbul edilərək cərəyanların istiqaməti müəyyənləşdirilir. Bu halda kontura nüfuz edən cərəyanların istiqaməti burğunun irəliləmə hərəkətinin istiqaməti ilə, burğunun dəstəyinin fırlanma istiqaməti konturun müsbət dolanma istiqaməti ilə üst-üstə düşərsə, həmin cərəyanlar müsbət qəbul olunur. Verilmiş konturda şək. 4.7 I_1 və I_3 cərəyanları müsbət, I_2 və I_4 cərəyanları mənfidir. Onda kontura nüfuz edən tam cərəyan

$$\Sigma I = I_1 - I_2 + I_3 - I_4$$



Şəkil 4.7. Tam cərəyan qanununa aid kontur

Təcrübi olaraq müəyyən edilmişdir ki, **kontur boyunca maqnitlənmə qüvvəsi bu konturla əhatə olunmuş səthdən keçən tam cərəyana bərabərdir**. Bu asılılıq tam cərəyan qanunu adlanır. Beləliklə,

$$F = \Sigma I \quad \text{və ya} \quad \int H_{\perp} dl = \Sigma I \quad (4.9)$$

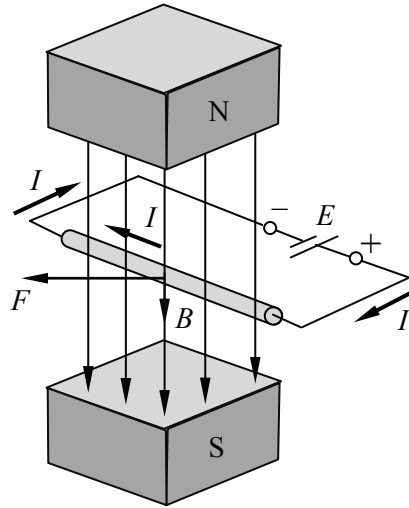
Əgər konturun bütün nöqtələrində maqnit sahə intensivliyi eynidirsə, onda tam cərəyan qanununun düsturu

$$H \cdot l = \Sigma I \quad (4.10)$$

olar.

§ 4.5. Cərəyanlı naqıl maqnit sahəsində. Elektromaqnit qüvvəsi

Uzunluğu l olan cərəyan axan düzxətli naqıl maqnit sahəsində yerləşdirilib (şək. 4.8). Naqilin yerləşdiyi maqnit sahəsi iki sahədən ibarət olur. 1) m.q.x-ləri şimal qütbədən cənub qütbə yönələn sabit maqnitin maqnit sahəsi; 2) m.q.x-ləri konsentrik çevrələr şəklində düzülən cərəyan axan naqilin ətrafındakı maqnit sahəsi.

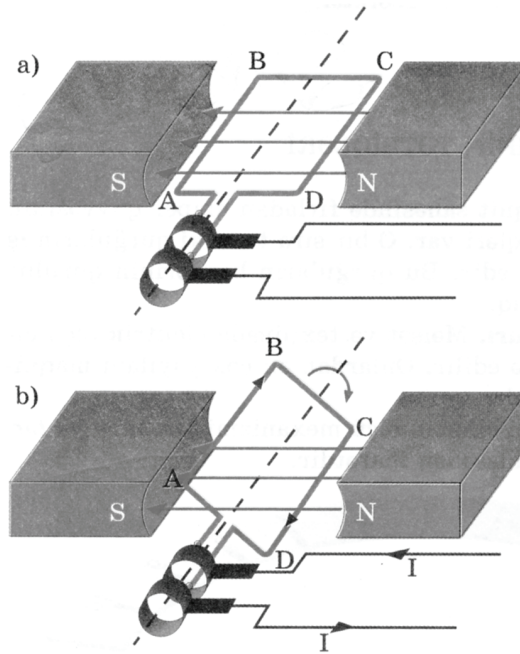


Şəkil 4.8. Cərəyanlı naqıl maqnit sahəsində

Onda naqilin bir tərəfində həm maqnitin, həm də cərəyanın yaratdığı m.q.x.-ləri eyni istiqamətdə, digər tərəfində isə əksinə yönələcək. M.q.x.-lərinin istiqaməti eyni olan tərəfdə onların sıxlığı artar, əks tərəfdə azalar. Bu halda naqilə böyük sıxlıqlı m.q.x.-ləri olan tərəfdən, kiçik sıxlıqlı m.q.x.-ləri olan tərəfə doğru itələyici mexaniki qüvvə təsir edir və naqil dönmür. Həmin qüvvəyə elektromaqnit qüvvəsi deyilir, F hərfi ilə işarə olunur.

Sabit maqnit sahəsində cərəyan axan naqıl çərçivə yerləşdiriləndə çərçivə fırlanır. Cərəyanın istiqaməti əksinə dəyişsə, çərçivə əksinə fırlanar, yəni çərçivəyə elektromaqnit qüvvəsi təsir edir (şək. 4.9). Bu qüvvənin qiyməti ilk dəfə Amper tərəfindən müəyyən edildiyinə görə ona Amper qüvvəsi də deyilir. Amper müəyyən etdi ki, **maqnit sahəsinin cərəyanlı naqilə göstərdiyi təsir qüvvəsinin qiyməti, sahənin maqnit induksiyaşından, naqilin uzunluğundan, naqildən axan cərəyanın qiymətindən, sahənin m.q.x-ləri ilə naqildən axan cərəyanın istiqaməti arasında qalan bucağın sinusundan asılıdır.**

$$F = BI l \sin \alpha \quad (4.11)$$



Şək. 4.9. Cərəyanlı çərçivə maqnit sahəsində

Əgər $\alpha = 0$ olarsa, $F = 0$ olar. Yəni cərəyanlı naqıl m.q.x-lərinə paralel yerləşir, ona Amper qüvvəsi təsir etmir.

Əgər $\alpha = 90^\circ$ olarsa, $F_{\text{mak}} = BI l$ olar. Yəni sahə naqilə maksimal qüvvə ilə təsir edir.

Ümumiyyətlə, m.q.x-ləri cərəyanlı naqilə perpendikulyar və ya müəyyən bucaq altında yönəldikdə elektromaqnit qüvvəsi yaranır.

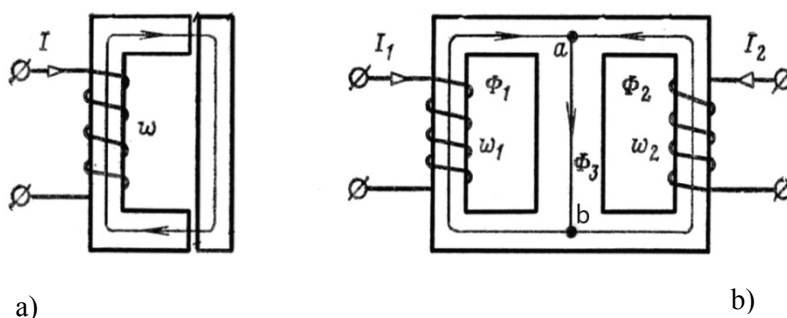
Elektromaqnit qüvvəsinin istiqaməti, «sol əl» qaydası ilə təyin edilir. Bu qayda belədir: **sol əl maqnit sahəsində elə yerləşdirilir ki, m.q.x-ləri ovuca perpendikulyar daxil olsun və əlin dörd barmağının istiqaməti naqildən axan cərəyanın istiqaməti ilə üst-üstə düşsün, onda 90° -lik bucaq altında açılan baş barmaq naqilə təsir edən elektromaqnit qüvvəsinin istiqamətini göstərir.**

FƏSİL V. MAQNİT DÖVRƏLƏRİ. ELEKTROMAQNİT İNDUKSİYASI

§ 5.1. Maqnit dövrələri və onun əsas qanunları

Ayrı-ayrı hissələri ferromaqnit materiallardan hazırlanmış maqnit seli qapanan qurğuya maqnit dövrəsi deyilir. Elektrik maşınlarında, transformatorlarda, elektromaqnit aparatları və cihazlarında maqnit dövrəsi daha mürəkkəb formaya malikdir. Əgər maqnit dövrəsi eyni bir materialdan hazırlanarsa və bütün uzunluğu boyunca eyni en kəsik sahəsinə malikdirsə, belə dövrə bircinsli adlanır. Maqnit dövrəsinin ayrı-ayrı hissələri müxtəlif materiallardan hazırlanarsa və müxtəlif uzunluğa və en kəsiyə malikdirsə, qeyri-bircinsli maqnit dövrəsi alınır.

Elektrik dövrəsi kimi maqnit dövrəsi də budaqlanan (şək. 5.1b) və budaqlanmayan (şək. 5.1a) olur. Budaqlanmayan dövrəyə maqnit induksiya boru kimi baxmaq olar. Budaqlanmayan maqnit dövrəsində maqnit seli bütün en kəsiklərdə eyni qiymətə malik olur.



Şəkil 5.1. Maqnit dövrələri
a) budaqlanmamış; b) budaqlanmış

Budaqlanan maqnit dövrələri simmetrik və qeyri-simmetrik ola bilər. Şək. 5.1b-dəki dövrə simmetrik hesab edilir, çünki onun sağ və sol hissələrinin ölçüləri eynidir və eyni materialdan hazırlanıb. Göstərilən şərtlərdən hətta biri də yerinə yetməzsə, dövrə qeyri-simmetrik olacaq.

Maqnit dövrəsinin istənilən hissəsindəki maqnit gərginliyi

$$U_M = H\ell = \frac{B}{\mu\mu_0}\ell = \frac{\Phi}{S} \cdot \frac{\ell}{\mu\mu_0} \quad \text{və ya}$$

$$U_M = \Phi R_M \quad (5.1)$$

$$R_M = \frac{\ell}{S \cdot \mu\mu_0} \quad \text{kəmiyyəti maqnit dövrəsinin maqnit müqaviməti adlanır.}$$

(5.1) düsturundan yazsaq bilərik

$$\Phi = \frac{U_M}{R_M} \quad (5.2)$$

Bu ifadə maqnit dövrəsinin hər hansı hissəsi üçün OM qanunudur. Düsturdan görünür ki, **maqnit dövrəsinin hər hansı hissəsindəki maqnit seli həmin hissənin maqnit gərginliyi ilə düz mütənasibdir**. Qeyd edək ki, OM qanunu maqnit dövrəsinin yalnız xətti hissələri üçün doğrudur.

Budaqlanan maqnit dövrələrini hesabladıqda Kirxhofun iki qanunundan istifadə edilir. Kirxhofun 1-ci qaydası maqnit seli və maqnit xətlərinin kəsilməzlik xassəsindən çıxır. Bu qaydaya görə: **budaqlanma nöqtəsində maqnit sellərinin cəbri cəmi sıfıra bərabərdir**.

$$\sum \Phi = 0 \quad (5.3)$$

Şək. 5.1.b-dəki dövrə üçün

$$\Phi_1 + \Phi_2 - \Phi_3 = 0$$

olur.

Maqnit dövrələri üçün Kirxhofun 2-ci qaydası tam cərəyan qanununa əsaslanır və aşağıdakı şəkildə ifadə edilir: **dövrənin**

ayrı-ayrı hissələrindəki maqnit gərginliklərinin cəmi maqnitlənmə qüvvələrinin cəmi cəminə bərabərdir.

$$\sum U_M = \sum F = \sum Iw \quad (5.4)$$

Şək. 5.1b-dəki dövrənin istənilən konturu üçün:

$$U_{M_1} + U_{M_3} = I_1 w_1 \quad \text{və ya} \quad U_{M_2} + U_{M_3} = I_2 w_2$$

§ 5.2. Maqnit dövrlərinin hesablanması

Budaqlanmamış dövrə. Budaqlanmayan maqnit dövrəsinin hesablanması verilmiş maqnit selinə və dövrənin ölçüsünə görə maqnitlənmə qüvvəsinin təyin edilməsindən ibarətdir.

Hesabat aşağıdakı qaydada aparılır:

- 1) orta maqnit xətti çəkilir (şək. 5.1.a);
- 2) maqnit dövrəsi hissələrə bölünür, hər bir hissənin ən kəşik sahəsi S və onların orta maqnit xətti üzrə uzunluğu təyin edilir;
- 3) maqnit selinin verilmiş qiymətinə, ayrı-ayrı hissələrin məlum ən kəşik sahələrinə əsasən hər bir hissədəki maqnit induk-siyası $B = \Phi S$ ifadəsi ilə tapılır;
- 4) maqnitlənmə əyrisindən hər bir ferromaqnit sahə üçün maqnit sahə intensivliyi təyin edilir. Hava aralığındakı və ya ferromaqnit olmayan sahənin maqnit sahə intensivliyi

$$H_0 = \frac{B_0}{\mu_0} = \frac{B_0}{125 \cdot 10^{-8}} = 0,8 \cdot 10^6 B_0$$

düsturu ilə hesablanır.

- 5) Kirxhofun 2-ci qanununa əsasən maqnit dövrəsinin ayrı-ayrı hissələrindəki maqnit gərginliklərinin cəmi axtarılan maqnitlənmə qüvvəsinə bərabər olur.

$$H_1 l_1 + H_2 l_2 + H_0 l_0 + \dots = I w$$

Maqnitlənmə qüvvəsi tapılır və sarğacın verilmiş sarğılar sayına əsasən ondan axan cərəyanı təyin etmək asanlaşır:

$$F = I w; \quad I = \frac{F}{w}$$

Budaqlanmamış maqnit dövrələrinin hesabı əksinə də aparıla bilər. Bu halda ölçüləri və materialı məlum olan maqnit dövrəsində verilmiş m.h.q-nə görə maqnit selləri və maqnit induksiyasını təyin etmək lazım gəlir.

Məsələnin həllində verilmiş dövrə (şək. 5.1a) iki hissəyə ayrılır: ferromaqnit nüvə (Φ və U_M arasında qeyri-xətti asılılıqlı) və hava aralığı (Φ və U_0 arasında xətti asılılıqlı).

Bir sıra ferromaqnit materiallar üçün qurulmuş maqnitlənmə əyriələrindən istifadə edərək dövrənin qeyri-xətti hissəsinin $\Phi(U_M)$ maqnit xarakteristikası qurulur. Bunun üçün maqnit dövrəsinin orta maqnit xəttinin uzunluğu l və nüvənin en kəsic sahəsi S təyin edilir. Sonra həmin əyridən H -n bir neçə ixtiyarı qiyməti seçilir, bu qiymətlər l -ə vurularaq maqnit gərginliyi tapılır ($U_M = Hl$); uyğun olaraq həmin əyridən B maqnit induksiyasının qiymətləri götürülür, maqnit keçiricisinin S sahəsinə vurulur, maqnit seli ($\Phi = BS$) təyin edilir. Alınan qiymətlərə görə $\Phi(U_M)$ maqnit xarakteristikası qurulur.

Kirxhofun ikinci qanununa əsasən

$$U_M + U_{OM} = I w$$

Burada,

$$U_{OM} = \Phi R_{OM} = \Phi \frac{l_0}{\mu_0 S}$$

maqnit gərginliyidir.

Yazılan tənlikdən alırıq:

$$U_M = I w - \Phi R_{OM} \quad (5.5)$$

(5.5) ifadəsi xəttidir, qrafiki təsviri düz xəttidir, iki nöqtə ilə qurmaq olur. $\Phi = 0$ qəbul etsək, $U_M = I_W$ olur. Absis oxunda I_W qiyməti ayrılır, düz xəttin bir nöqtəsi qurulur. Sonra $U_M = 0$ qəbul edilir, $\Phi_0 = \frac{I_W}{R_{OM}}$ düsturu ilə maqnit seli tapılır.

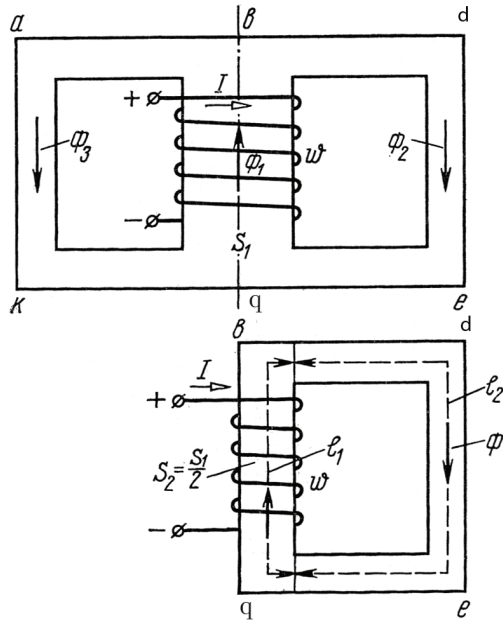
Ordinat oxunda Φ_0 -n qiymətinə uyğun parça ayrılır, düz xəttin ikinci nöqtəsi qurulur. Alınan düz xətt ferromaqnit nüvənin qeyri-xətti $\Phi(U_M)$ maqnit xarakteristikasını bir nöqtədə kəsir. Həmin nöqtənin ordinatı axtarılan maqnit selinin Φ qiymətini təyin edir. Maqnit selinin bu qiymətinə uyğun olaraq $B=\Phi/S$ ifadəsi ilə maqnit induksiyası tapılır.

Budaqlanan dövrə

Budaqlanan maqnit dövrlərinin hesablanması Kirxhof qanunlarına əsaslanır. Belə dövrlərin hesabatında elektrik dövrlərində olduğu kimi maqnit seli və konturun dolanma istiqaməti verilir.

Lakin maqnit dövrlərinin hesabatını Kirxhof tənliklər vasitəsilə birbaşa həll etmək olmur, çünki maqnitkeçiricisinin maqnit nüfuzluğu maqnit selinin qiymətindən asılı olur. Maqnit dövrləri üçün Kirxhof qanunlarının köməyi ilə qurulan tənliklər maqnitlənmə ayrıları və maqnit xarakteristikalarının köməyi ilə həll edilir.

Şək. 5.2,b verilmiş budaqlanan maqnit dövrəsinin hesablanması qaydasına baxaq. Bu dövrəni iki hissəyə bölmək olar. Çünki dövrə simmetrik olduğundan onun hər iki hissəsində eyni maqnit seli əmələ gələcək. Dövrənin orta hissəsində yaranan Φ_1 maqnit seli, iki Φ_2 və Φ_3 sellərinə bölünür. Baxılan maqnit dövrəsi simmetrik quruluşa malik olduğundan Φ_2 və Φ_3 bir-birinə bərabərdir, belə ki, $\Phi_2 = \Phi_3 = \Phi$ yazmaq olar. Beləliklə Kirxhofun 1-ci qanununa görə dövrənin orta hissəsində maqnit seli $\Phi_1=2\Phi$ olacaq.



Şəkil 5.2. Budaqlanan simmetrik maqnit dövrəsi

Dövrəni iki bərabər hissəyə bölərək hesabat əvvəlcə bir kon-
turda, (şək. 5.2b) ardınca bütöv dövrədə aparılır, l_1 və l_2 hissələ-
rindəki maqnit induksiyları hesablanır:

$$B_1 = \frac{\Phi}{S_1} \quad \text{və ya} \quad B_2 = \frac{\Phi}{S_2}$$

Kirxhofun 2-ci qanununa əsasən maqnitlənmə qüvvəsi təyin edilir.

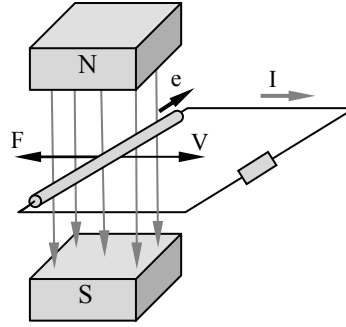
$$I w = H_1 l_1 + H_2 l_2$$

Burada H_1 və H_2 – qiymətləri maqnitlənmə əyrisindən B_1 və B_2 -yə əsasən tapılır.

§ 5.3. Elektromaqnit induksiya hadisəsi. İnduksiya elektrik hərəkət qüvvəsi. Elektromaqnitlər

1831-ci ildə ingilis alimi Maykl Faradey təcrübələrlə aşkar etdi ki, maqnit qüvvə xətləri cərəyansız naqili kəsdikdə həmin naqildə e.h.q-si əmələ gəlir. Bu hadisəyə **elektromaqnit induksiya hadisəsi** deyilir. Və yaxud **qapalı keçirici konturla hüdudlanmış səthdən keçən maqnit selinin dəyişməsi nəticəsində konturda elektrik cərəyanının yaranması elektromaqnit induksiya hadisəsi adlanır.**

Bircinsli maqnit sahəsində l uzunluqlu naqil v sürəti ilə hərəkət etdirilir. Şək. 5.3.



Şəkil 5.3. Elektromaqnit qüvvələrinin təsiri ilə naqildə elektronların yerdəyişməsi

Naqillə birlikdə hərəkət edən sərbəst elektronlara elektromaqnit qüvvələri təsir edər. Bu qüvvələrin təsiri altında elektronlar naqil boyunca hərəkət edər ki, bu da yüklərin ayrılmasına səbəb olar: naqilin bir ucunda müsbət yüklər, digər ucunda mənfi elektronlar toplanır. Yüklərin bu cür ayrılması nəticəsində naqilin ucları arasında elektrik sahəsi yaranır. Bu zaman naqilin daxilindəki hər bir yüklü hissəciyə elektromaqnit qüvvəsindən başqa, bu qüvvənin əksinə yönələn elektrik sahə qüvvəsi də təsir edir. Bu qüvvələr bərabərləşdikdə elektron-

ların hərəkəti və eləcə də yüklərin ayrılması dayanır, naqilin ucları arasında e.h.q-si induksiyanı, naqildən cərəyan axır. Bu e.h.q-nə **elektromaqnit induksiya e.h.q-si** deyilir.

Elektromaqnit induksiya e.h.q-nin qiyməti sahənin maqnit induksiyasından, naqilin hərəkət sürətindən, naqilin uzunluğundan, naqilin hərəkət sürəti ilə m.i.x-ətləri arasında qalan bucağın sinusundan asılıdır.

$$E(e) = Bvl \sin \alpha \quad (5.6)$$

B, v, l sabit kəmiyyətlər olduğundan e.h.q-nin zamanla dəyişməsi $\sin\alpha$ -la təyin edilir, ona görə də elektromaqnit induksiya e.h.q-si sinusoidal qanunla dəyişir.

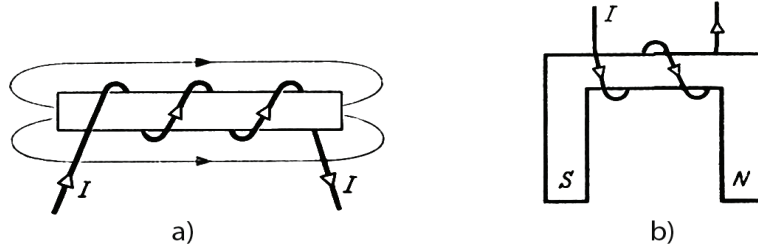
Əgər: 1) $\alpha = 0^\circ$ olarsa $\sin 0^\circ = 0$, $E(e) = 0$ olar, yəni naqil induksiya xətlərinə paralel hərəkət edər, onlarla kəsişməz.

2) $\alpha = 90^\circ$ olarsa, $\sin 90^\circ = 1$, $E(e) = Bv l$ olar, yəni naqil induksiya xətlərinə perpendikulyar hərəkət edər, induksiya e.h.q-si maksimum olar.

Elektromaqnit induksiya e.h.q-nin istiqaməti «sağ əl» qaydası ilə təyin edilir. Bu qayda belədir: **«Sağ əl» elə saxlanılır ki, m.i.x-ləri ovucun içərisinə perpendikulyar düşsün; onda baş barmaq sürət vektorunun istiqamətini, qalan dörd barmaq isə induksiyanmış e.h.q-n istiqamətini göstərir.**

Elektromaqnit induksiyası əsasında elektrik generatorları, maqnitofonlar, elektrodinamik mikrofonlar və s. işləyir.

Elektromaqnitlər – cərəyan keçirən dolaqdan və ferromaqnit nüvədən ibarət olan elektrotexniki qurğulardır. Elektromaqnitlərin nüvəsi yumşaq elektrotexniki materiallardan hazırlanır: bu ona görədir ki, cərəyan kəsildə maqnitlənmə qalmasın. Təyinatından asılı olaraq elektromaqnitlər müxtəlif formalı olurlar. Elektromaqnitlərin aşağıdakı konstruksiyaları geniş yayılmışdır. Şək. 5.4.



Şəkil 5.4. Elektromaqnitlər (a, b)

Elektromaqnitin sarğacının dolağından axan cərəyan təsirlənmə cərəyanı, dolaq isə təsirlənmə dolağı adlanır.

Elektromaqnitlər ölçü cihazlarında, relələrdə, avtomatlarda, elektrik maşınlarında, rabitə texnikasında və s. tətbiq olunur.

§ 5.4. İnduktivlik. Maqnit sahə enerjisi

Cərəyanlı qapalı kontur ətrafında ona nüfuz edən maqnit seli olur. Bu maqnit selinə özünə induksiya maqnit seli (Φ_L) deyilir. Mühitin maqnit nüfuzluğu sabit olanda özünə induksiya maqnit seli cərəyanının gücünə mütənasibdir ($\Phi_L - I$) Özünə induksiya maqnit sellərinin cəbri cəminə öz-özünə induksiya ilişən maqnit seli deyilir, ψ_L .

Mühitin maqnit nüfuzluğu sabit olanda sarğacın və ya konturun cərəyanı və öz-özünə induksiya ilişən maqnit seli arasındakı mütənasibliyə induktivlik deyilir, L ilə işarə olunur.

$$L = \frac{\psi_L}{I} \quad (5.11)$$

İnduktivlik verilmiş dövrdə cərəyanla öz-özünə induksiya ilişən maqnit selinin bağlılığını xarakterizə edir.

İnduktivliyin vahidi Henridir (Hn).

$$[L] = \left[\frac{\psi_L}{I} \right] = \frac{Vb}{A} = \frac{V \cdot \text{san}}{A} = \text{Om} \cdot \text{san} = \text{Hn}$$

İnduktivliyin başqa vahidləri:

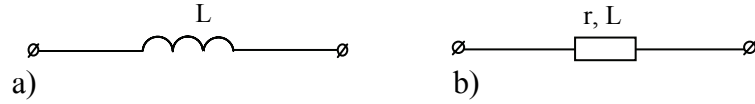
1mHn=10⁻³Hn, 1 mkHn=10⁻⁶Hn, 1nHn=10⁻⁹Hn,

1pHn=10⁻¹²Hn, 1kHn=10³Hn, 1MHn=10⁶Hn,

1HHn=10⁹Hn, 1THn=10¹²Hn

Sarğacın induktivliyi onun ölçülərindən və dolaqlarının sayından asılı olan kəmiyyətdir.

Sxemlərdə induktiv sarğacın şərti işarəsi şək. 5.7-də göstərilmişdir.



Şəkil 5.7. İdeal induktiv sarğac (a), real induktiv sarğac (b)

İnduktiviyə və müqavimətə malik olan sarğacı sabit e.h.q-li mənbəyə qoşduqda mənbəyin enerjisi əvvəlcə sarğacda cərəyanın yaradılmasına və sarğac dolaqlarının qızmasına sərf olunur. Sarğacda cərəyan sıfırdan müntəzəm artaraq qərarlaşmış qiymətə çatır. Cərəyan artdıqca dövrəni əhatə edən mühitdə maqnit sahəsi yaranır və dövrəni qidalandıran mənbəyin sərf etdiyi enerjinin bir hissəsi həmin sahədə toplanır. Cərəyan şiddəti sabit qiymətə çatdıqdan sonra maqnit sahə enerjisi sabit qiymət alır və mənbəyin enerjisi ilə bərabərləşir. Bu proses zamanı istiliyə keçən enerji sarğacın maqnit sahə enerjisindən çevrilir. Elektrik yüklərinin hərəkəti ilə yaranan maqnit sahəsinin enerjisi kinetik enerjiyə malikdir və aşağıdakı düsturla hesablanır.

$$W_m = \frac{LI^2}{2} = \frac{\Psi I}{2} \quad (5.12)$$

§ 5.5. Öz-özünə induksiya elektrik hərəkət qüvvəsi

Kontur və sarğacda cərəyanın dəyişməsi öz-özünə induksiyanın ilişən maqnit selinin dəyişməsinə səbəb olur. Öz-özünə induksiyanın ilişən maqnit seli artıb və ya azalanda e.h.q-si yaranır.

Kontur cərəyanının dəyişməsi nəticəsində həmin konturda e.h.q-si yaranması hadisəsi öz-özünə induksiya hadisəsi adlanır. Öz-özünə induksiya e.h.q-si

$$e_L = -\frac{d\Psi_i}{dt} = -\frac{d(Li)}{dt} = -L\frac{di}{dt} \quad (5.13)$$

düsturu ilə təyin olunur.

Buradan görünür ki, öz-özünə induksiya e.h.q-si induktivlik və konturda cərəyanın dəyişmə sürəti ilə mütənasibdir.

Öz-özünə induksiya e.h.q-nin istiqaməti rus alimi Emil Lens tərəfindən 1833-cü ildə kəşf olunmuş qanunla təyin olunur. Bu qaydaya görə **öz-özünə induksiya e.h.q-nin yaratdığı induksiya cərəyanı elə istiqamətə yönəlir ki, onun yaratdığı maqnit sahəsi bu cərəyanı yaradan maqnit sahəsinin dəyişməsinə əks təsir göstərir.** Lens qaydasına əsasən

cərəyan artanda $\frac{di}{dt} > 0$ olanda öz-özünə induksiya e.h.q-si

mənfi olur (yəni cərəyanın əksinə yönəlir), $\frac{di}{dt} < 0$ olanda

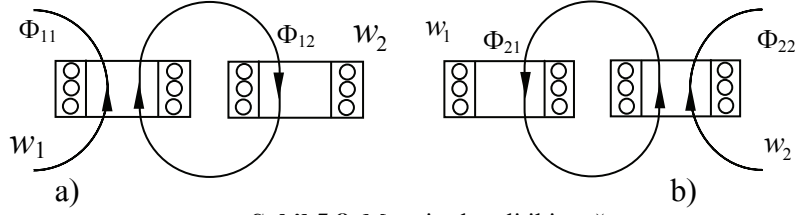
e.h.q-si müsbət olur (yəni cərəyanla istiqaməti eynidir).

§ 5.6. Qarşılıqlı induktivlik. Qarşılıqlı induksiya e.h.q-si

Elektromaqnit induksiyasının təsirlərindən biri qarşılıqlı induksiyadır. Qarşılıqlı induksiya maqnit selləri bir-birinə nüfuz edən sarğacların dolaqlarında e.h.q-si yaranmasından ibarətdir.

Əgər cərəyanlı iki kontur və ya sarğac bir-birinə yaxın yerləşərsə, onda birinci sarğacın maqnit selinin bir hissəsi (Φ_{12}),

ikincinin sarğlarına (şək. 5.8a), ikinci sarğacın maqnit selinin bir hissəsi (Φ_{21}) isə birincinin sarğlarına nüfuz edir (şək. 5.8b). Belə konturlar və sarğaclar induktiv və ya maqnit əlaqəli adlanır.



Şəkil 5.8. Maqnit əlaqəli iki sarğac

Birinci konturdakı i_1 cərəyanının yaratdığı Φ_{12} maqnit selinin ikinci kontura nüfuz etməsi hesabına, sarğalar sayı w_2 olan ikinci konturda alınan ilişən maqnit seli

$$\Psi_{12} = w_2 \Phi_{12}$$

olur. Analoji olaraq ikinci konturdakı i_2 cərəyanının yaratdığı Φ_{21} maqnit selinin birinci kontura nüfuz etməsi hesabına w_1 sarğılı birinci konturda alınan ilişən maqnit seli

$$\Psi_{21} = w_1 \Phi_{21}$$

İkinci konturun ilişən maqnit selinin birinci konturun cərəyanına olan nisbətində konturun qarşılıqlı induktivliyi deyilir, M_{12} ilə işarə edilir.

$$M_{12} = \frac{\Psi_{12}}{i_1} = w_2 \frac{\Phi_{12}}{i_1} \quad (5.14)$$

Eyni qayda ilə

$$M_{21} = \frac{\Psi_{21}}{i_2} = w_1 \frac{\Phi_{21}}{i_2} \quad (5.15)$$

Hər iki kontur üçün həmişə aşağıdakı bərabərlik doğrudur.

$$M_{12} = M_{21} = M \quad (5.16)$$

Qarşılıqlı induktivliyin vahidi induktivlikdə olduğu kimi Henridir (Hn).

Qarşılıqlı induktivlik sarğacların sarğılar sayından, onların forma və ölçülərindən, qarşılıqlı yerləşdirilməsindən, mühitin maqnit nüfuzluğundan asılıdır.

(5.14) və (5.15) düsturlarından

$$\Psi_{12} = Mi_1 \text{ və } \Psi_{21} = Mi_2$$

Birinci sarğacda cərəyan dəyişəndə qarşılıqlı induksiyanın ilişən maqnit seli dəyişir və elektromaqnit induksiya qanununa əsasən ikinci sarğacda öz-özünə qarşılıqlı induksiya e.h.q-si yaranır.

$$e_{m_1} = -\frac{d\psi_{12}}{dt} = -M \frac{di_1}{dt} \quad (5.17)$$

Analoji olaraq

$$e_{m_2} = -\frac{d\psi_{21}}{dt} = -M \frac{di_2}{dt} \quad (5.18)$$

Qarşılıqlı induktivlik sarğacların induktivliyi vasitəsilə də ifadə olunur.

$$M = \sqrt{L_1 \cdot L_2}$$

Səpələnmə selləri olduğundan sarğacların maqnit rabitəsi tam olmur ($\Phi_{12} < \Phi_1$). Bu halda qarşılıqlı induktivlik $\sqrt{L_1 L_2}$ -dən kiçik olacaq. Rabitə əmsalı nəzərə alınarsa

$$M = K\sqrt{L_1 \cdot L_2} \quad (5.19)$$

olar. K – rabitə əmsalıdır.

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}} \quad (5.20)$$

Rabitə əmsalının qiyməti 0-dan 1-ə qədər dəyişir. Səpələnmə selini sıfıra qədər azaltmaq mümkün olmadığından, rabitə əmsalı həmişə vahiddən kiçik olar.

FƏSİL VI. ELEKTROMAQNİT SAHƏSİ

§ 6.1. Elektromaqnit sahəsi haqqında ümumi məlumat

Zamana görə dəyişən elektrik sahəsi öz ətrafında dəyişən maqnit sahəsi yaradır və ya əksinə zamana görə dəyişən maqnit sahəsi ətraf mühitlə dəyişən elektrik sahəsi əmələ gətirir. Yəni elektrik və maqnit sahələrinin qüvvə xətləri biri digərini əhatə edir.

Elektrik və maqnit sahələri bir-biri ilə bütünlüklə bağlı olduğundan onlara ümumi bir sahə kimi baxmaq lazımdır. Belə sahələrə **elektromaqnit sahələri** deyilir.

Elektromaqnit sahəsi – elektrik yükləri və elektrik cərəyanları arasında qarşılıqlı təsiri təmin edən materiya növüdür.

Elektromaqnit sahəsi, sürəti $3 \cdot 10^8$ m/san -ə yaxın olan fotonlar (ışıq şüası) şəklində də mövcuddur. Bu sahə boşluqda (vakuumda) və ya istənilən mühitdə əmələ gələn elektrik və maqnit sahələrindən ibarət olan qüvvə sahəsidir.

Dəyişən elektromaqnit sahəsinin fəzada yayılması **elektromaqnit dalğaları** adlanır.

Elektromaqnit dalğalarının təbiəti, xassələri və yayılma sürəti haqqında ilk dəfə XX əsrin ortalarında ingilis alimi C.Maksvell fərziyyələr irəli sürdü. Bu fərziyyələrə görə elektromaqnit dalğası elektrik sahəsinin E-intensivlik və maqnit sahəsinin, H-intensivlik vektorlarının dəyişməsi ilə xarakterizə olunur.

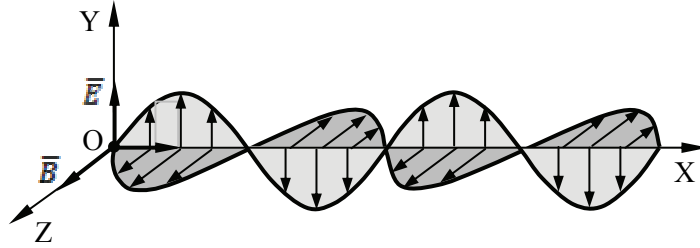
İstənilən mühitdə elektromaqnit dalğalarının yayılma sürəti Maksvell düsturu ilə təyin edilir.

$$v = \frac{c}{\sqrt{\xi\mu}} \quad (6.1)$$

Burada ξ – mühitin dielektrik nifuz əmsalı, μ – mühitin maqnit nifuz əmsalı,
c – işığın vakuumda yayılma sürətidir.

C.Maksvellin nəzəri mülahizələrini 1886-cı ildə alman alimi H.Hers təcrübü olaraq sübut etdi. O, elektromaqnit dalğalarının şüalandırılmasına və onların şüalanma mənbəyindən müxtəlif məsafələrdə qəbuluna nail oldu.

C.Maksvell nəzəri, H.Hers işə təcrübü olaraq sübut etdilər ki, elektromaqnit dalğalarında elektrik sahəsinin intensivlik vektoru \vec{E} və maqnit sahəsinin intensivlik vektoru $\vec{H}(\vec{B})$ həm bir-birinə, həm də dalğanın yayılma istiqamətinə perpendikulyar olan eninə dalğalardır.



Şəkil 6.1 \vec{E} və \vec{H} vektorlarının dalğanın yayılma istiqamətinə perpendikulyar olan müstəvi üzrə dəyişməsi

Aparılan təcrübələr nəticəsində elektromaqnit dalğalarının aşağıdakı xassələri aşkar edildi.

1. Elektromaqnit dalğaları enerjiyə və impulsa malikdir;
2. Vakuumda elektromaqnit dalğalarının yayılma sürəti işıq sürətinə ($c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/san}$) bərabərdir. Mühitdə elektromaqnit dalğalarının yayılma sürəti $v = c/n$ -dir.
 n – sındırma əmsəlidir.

Elektromaqnit dalğasının rəqs tezliyi (f), dalğanın uzunluğu (λ) və yayılma sürəti arasında aşağıdakı asılılıq var:

$$c = \lambda \cdot f \quad (6.2)$$

3. Elektromaqnit dalğaları qayıtmaya və sınımaya məruz qalır.
4. Elektromaqnit dalğalarının bir hissəsi keçirici naqillərdə udulur və onlarda sürətlə dəyişən elektrik cərəyanı yaradır.

§ 6.2. Elektromaqnit sahəsinin əsas tənlikləri

Bilirik ki, elektromaqnit sahəsi elektrik və maqnit sahələri arasındakı rabitə nəticəsində əmələ gəlir. Buna görə də elektromaqnit sahəsini xarakterizə edən tənliklərdə həm elektrik, həm də maqnit sahəsinə aid olan kəmiyyətlər iştirak etməlidir.

Elektromaqnit sahəsinin C.Maksvell tərəfindən təklif edilmiş iki tənliyi var.

Birinci tənlik maqnit sahəsi ilə elektrik cərəyanı arasındakı qırılmaz rabitəni göstərən tam cərəyan qanunudur.

$$\oint_l \vec{H} \cdot d\vec{l} = i \quad (6.3)$$

İfadədən görünür ki, **kontur boyunca maqnit gərginliyinin vektoru bu konturdan keçən cərəyanların cəminə bərabərdir.**

Bu ifadəyə **Maksvellin və ya elektromaqnit sahəsinin birinci tənliyi deyilir.**

Maksvellin ikinci tənliyi elektromaqnit induksiya qanunundan alınır.

$$\oint_l \vec{E} \cdot d\vec{l} = e \quad (6.4)$$

İfadədən görünür ki, **elektrik sahə gərginliyi vektorunun istənilən qapalı kontur boyunca götürülmüş xətti inteqralı, həmən konturda əmələ gələn e.h.q.-nin cəminə bərabərdir.**

Hər iki tənlik inteqral şəkildən başqa diferensial, analitik, simvolik şəkildə də ifadə olunur.

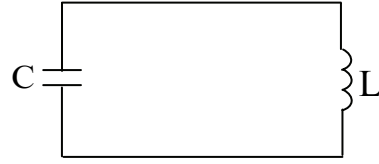
§ 6.3. Elektromaqnit rəqsləri. Rəqs konturu.

Elektrik dövrlərində elektrik yükünün, gərginliyin və cərəyan şiddətinin periodik dəyişməsi elektromaqnit rəqsləri adlanır.

Elektromaqnit rəqslərinin baş verdiyi ən sadə elektrik dövrəsi rəqs konturudur.

Rəqs konturu ardıcıl birləşdirilmiş kondensator, sarğac və müqavimətdən ibarət elektrik dövrəsidir.

Ən sadə rəqs konturu kondensator və sarğacdən ibarətdir (şək.6.2).



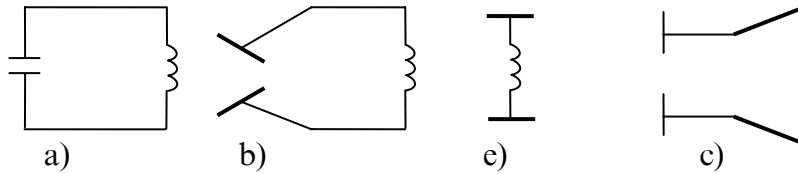
Şəkil 6.2. Rəqs konturu

Rəqs konturu açıq və qapalı olur. Qapalı rəqs konturunda L və C parametrləri toplanır. Ona görə də onların

ətrafında əmələ gələn sahələr elektromaqnit sahəsi olur, dövrənin ayrı-ayrı hissələrində elektrik və maqnit sahələri olur. Qapalı (adi) rəqs konturunda elektrik və maqnit sahələrinin qarşılıqlı çevrilməsi, yəni kondensator və sarğacdə cəmlənməsi prosesləri gedir. Bu səbəbdən rəqs konturundan kənardə elektromaqnit sahəsi müşahidə olunmur.

Elektromaqnit rəqslərini almaqdan ötrü konturda yaranan rəqslərin məxsusi tezliyini ($\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$) yüksəltmək lazımdır.

Tezliyi L və C parametrlərini azaltmaqla yüksəltmək olar. Bunu əsas götürən H.Hers ilk dəfə açıq rəqs konturu hazırladı. O qapalı rəqs konturunun formasını dəyişərək kondensatorun lövhələrinin sahəsini kiçiltməklə və sarğacı aradan götürməklə iki düz xətt parçasından ibarət olan açıq rəqs konturunu və ya Hers vibratorunu yaratdı. (Şək.6.3)



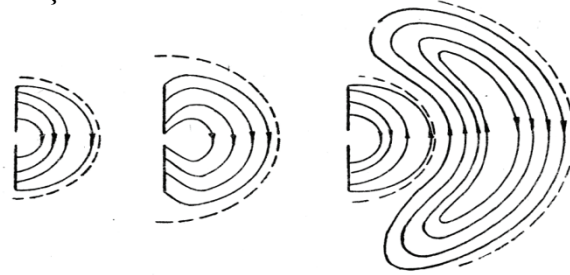
Şəkil 6.3. Rəqs konturu və Hers vibratoru

Açıq rəqs konturunda tutum və induktivlik çox kiçik olduğundan, yaranan rəqslərin tezliyi yüksəkdir. Bundan başqa L və C parametrləri xətt boyunca müntəzəm paylandığından xətt ətrafında əmələ gələn sahə elektromaqnit sahəsidir.

Açıq rəqs konturunda rəqsləri almaq üçün hər iki xətt parçasının arasında qılgılcım məsafəsi (kiçik hava aralığı) qoyulur, xətlərə yüksək gərginlik verilir. Bu zaman kəsikdə qılgılcımlı boşalma alınır, dövrə qapanır və rəqslər yaranır. Rəqslərin sönməməsi üçün periodik olaraq rəqs konturuna enerji vermək lazımdır.

Açıq rəqs konturunun hər vahid uzunluğunun parametrləri L və C ilə işarə edilir. Bu konturda elektrik kəmiyyətləri ancaq zaman etibarı ilə deyil, həm də xəttin uzunluğundan asılı olaraq dəyişir. Çünki vibratorda hərəkət edən elektrik yükləri mühtəzəm paylanmış tutuma görə hər yerdə sabit qalmır, mərkəzdən uzaqlaşdıqca azalır. Cərəyan şiddəti uclarda sıfır, mərkəzdə maksimum olur. Vibrator parçaları arasında gərginlik mərkəzdə azalıb sıfıra bərabər olur.

Vibrator periodik dolub-boşalanda ondan elektrik xətləri ayrılır və fəzada yayılmağa başlayır. Potensiallar fərqi artanda elektrik sahəsi genişlənir. Potensiallar fərqi azalması qüvvə xətləri yenə də genişlənməkdə davam edir və bir-birinə birləşib qapanmağa başlayır. Potensiallar fərqi sıfıra bərabər olanda qüvvə xətləri qapanıb antendən ayrılır. Potensiallar fərqi öz işarəsini dəyişib təkrar yüklənməyə başlayanda yeni qüvvə xətləri yaranır və antendən ayrılmış qüvvə xətlərini, yəni dalğaları irəli hərəkətə məcbur edir. Şək. 6.4



Şəkil 6.4. Elektrik qüvvə xətlərinin yayılması

Bu qayda ilə vibrator periodik olaraq dolub boşalır, ondan dalğalar ayrılır və ətrafa yayılır.

FƏSİL VII. DƏYİŞƏN CƏRƏYANA AİD ƏSAS ANLAYIŞLAR

§ 7.1. Dəyişən cərəyan, alınması və əsas göstəriciləri

Həyatımızın bütün sahələrində dəyişən cərəyan geniş tətbiq olunur. Elektrik enerjisinin demək olar ki, hamısı dəyişən cərəyan enerjisi kimi istehsal olunur. Sənayedə (elektrokimya), nəqliyyatda, rabitədə və s. zəruri olan sabit cərəyanı dəyişən cərəyanı düzləndirmək yolu ilə alırlar.

Dəyişən cərəyanın əsas üstünlüyü transformatorlar vasitəsilə müxtəlif gərginliklər araraq onu istənilən məsafələrə ötürməyin mümkün olmasıdır.

Qiymət və istiqamətcə dəyişərək bərabər zaman aralığında (period, T) eyni bir ardıcılıqla təkrar olunan cərəyana dəyişən cərəyan deyilir.

Dəyişən cərəyan dövrlərində e.h.q-si, cərəyanlar və gərginliklər sinusoidal qanunla dəyişdiyindən belə dövrləri sinusoidal (və ya kosinusoidal) cərəyan dövrləri də adlandırırlar. Belə cərəyanların titrəməsi harmonik titrəmədir.

Elektrik enerjisinin alınması, ötürülməsi və istifadə olunması dəyişən cərəyan qurğuları və avadanlıqlarının köməyi ilə həyata keçirilir. Bunun üçün generatorlardan, transformatorlardan, elektrik veriliş xətlərindən və dəyişən cərəyanın paylayıcı şəbəkələrindən istifadə olunur.

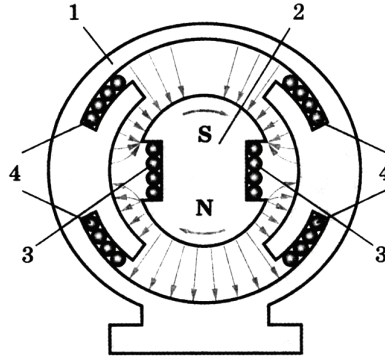
Sinusoidal e.h.q-si və cərəyanlar sinxron generatorlar vasitəsilə istehsal olunur. Sinxron generatorlarda mexaniki enerji (istilik, qaz, hidravlik və s.) elektrik enerjisinə çevrilir. Generatorların iş prinsipi elektromaqnit induksiya qanununa əsaslanır.

Generatorun hərəkətsiz hissəsi – stator (1) elektrotexniki polad lövhələrdən hazırlanır. Statorun daxili səthindəki novlarda lövbər dolağı (4) yerləşdirilir. Generatorun fırlanan hissəsi – rotor (2) elektromaqnitdən ibarətdir. Şək. 7.1. Onun do-

lağına (3) sabit cərəyan generatorundan təsirlənmə (oyadıcı) enerjisi verilir. Rotorun fırlanması zamanı stator dolaqlarını kəsən maqnit seli periodik olaraq dəyişir. Statorun dolağını kəsən maqnit sahəsi və dolaq müstəvisinin normalı ilə maqnit induksiya vektoru arasındakı α -bucağı daim dəyişir. Nəticədə dolaqdan keçən maqnit seli də fasiləsiz dəyişir. Statorun dolaqlarındakı maqnit selinin dəyişməsi induksiya e.h.q-nin yaranmasına səbəb olur. Bu induksiya e.h.q.-dir.

$$e = E_m \sin \omega t \quad (7.1)$$

olur.



Şəkil 7.1. Dəyişən cərəyan generatorunun sxemi

Burada, ω kəmiyyəti 2π radian ərzində rəqslərin sayı və ya rotorun vahid zamanda döndüyü bucaq olub, bucaq sürəti adlanır, vahidi san^{-1} -dir

e – induksiya e.h.q-nin ani, E_m – maksimal (amplitud) qiymətidir.

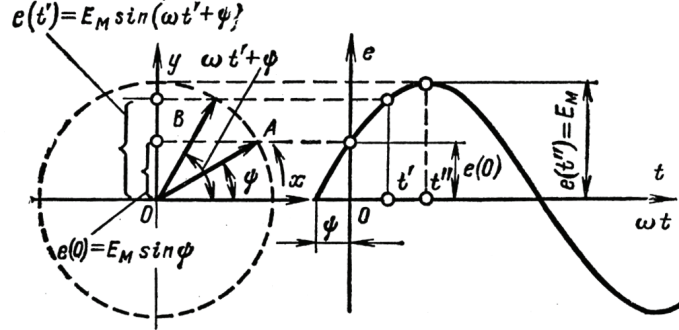
(7.1) ifadəsindən görünür ki, generatorda istehsal olunan e.h.q-si sinusoidal qanunla dəyişir. Əgər generatorun sığaclarına yük qoşularsa, ondan sinusoidal qanunla dəyişən cərəyan axar və generatorun sığacları arasındakı gərginlik də sinusoidal qanunla dəyişər.

$$u = U_m \sin \omega t \quad (7.2)$$

$$i = I_m \sin \omega t \quad (7.3)$$

Dəyişən cərəyanın yaranmasına səbəb maqnit sahəsinin dəyişməsi nəticəsində statorda yaranan burulğanlı elektrik sahəsinin təsiri. Ölkəmizdə istehsal olunan dəyişən cərəyanın tezliyi 50 Hs-dir. Müasir elektrik generatorlarının f.i.ə-li yüksəkdir – 98%.

Dəyişən (sinusoidal) cərəyanın zaman və ya dalğa diaqramları (cərəyan, gərginlik, e.h.q-si) şəkl.7.2-də göstərilib.



Şəkil 7.2. Dəyişən cərəyan kəmiyyətlərinin zaman qrafiki

Dəyişən cərəyanı kəmiyyətcə xarakterizə etmək üçün aşağıdakı göstəricilərdən istifadə edilir:

1) dəyişən cərəyan kəmiyyətlərinin ani qiymətləri: kəmiyyətlərin hər hansı andakı qiymətlərinə onların ani qiymətləri deyilir və kiçik hərflərlə işarə olunur: e, i, u.

2) dəyişən cərəyan kəmiyyətlərinin maksimum və ya amplitud qiymətləri: kəmiyyətlərin period ərzindəki ani qiymətlərinin ən böyüyünə onların maksimum (amplitud) qiymətləri deyilir, E_M , I_M , U_M -lə işarə edilir.

3) dəyişən cərəyanın periodu: fiziki kəmiyyətin tam təkrarına sərf olunan ən kiçik zaman müddətinə period deyilir, T hərfi ilə işarə olunur, vahidi – saniyədir (san.).

4) tezlik: Vahid zamandakı periodların (rəqslərin) sayına və ya periodun tərsi olan kəmiyyətə tezlik deyilir, f hərfi ilə işarə edilir.

$$f = \frac{1}{T} \quad (7.4)$$

Tezlik vahidi Hersdir.

$$[f] = \left[\frac{1}{T} \right] = \frac{1}{\text{san}} = \text{Hs}$$

Tezliyin başqa vahidləri:

$$1\text{kHs} = 10^3 \text{Hs}, \quad 1\text{MHs} = 10^6 \text{Hs},$$

$$1\text{HHs} = 10^9 \text{Hs}, \quad 1\text{THs} = 10^{12} \text{Hs}.$$

Bir period ərzində bucaq sürəti 2π -yə bərabər dəyişir. Onda tezlik, period və bucaq sürəti arasındakı asılılıq

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad (7.5)$$

olar.

5) **kəmiyyətlərin başlanğıc faza bucağı və ya başlanğıc fazası: başlanğıc anda dəyişən cərəyan kəmiyyətlərinin (e, i, u) qiymətlərini müəyyən edən elektrik bucağına başlanğıc faza bucağı və ya başlanğıc faza deyilir.** Məs. $e_1 = E_m \sin(\omega t + \varphi_1)$ və $e_2 = E_m \sin(\omega t + \varphi_2)$ kəmiyyətlərinin $t = 0$ andakı qiymətləri

$$e_{10} = E_m \sin(\omega \cdot 0 + \varphi_1) = E_m \sin \varphi_1$$

$$e_{20} = E_m \sin(\omega \cdot 0 + \varphi_2) = E_m \sin \varphi_2$$

alınır. Burada φ_1 və φ_2 bucaqları başlanğıc faza bucaqlarıdır.

6) **eynitezlikli iki sinusoidal kəmiyyətin başlanğıc fazalarının fərqinə fazalar fərqi bucağı deyilir.**

$$\varphi_{12} = \varphi_1 - \varphi_2 \quad (7.6)$$

§ 7.2. Sinusoidal kəmiyyətlərin qrafik təsviri

Sinusoidal dəyişən kəmiyyətlər zamanın istənilən anında onların ani qiymətlərini göstərən sinusoidalarla və ya fırlanan vektorlarla təsvir olunur.

Sinusoidaların ordinatı müəyyən miqyasda kəmiyyətlərin ani qiymətlərini, absisi isə zaman hesabının başlanğıcından ke-

çən zaman fasilələrini göstərir. Belə təsvir amplitudu, başlanğıc fazanı və periodu tapmağa imkan verir.

Sinusoidal kəmiyyətlər vektorlarla təsvir olunanda vektorun uzunluğu miqyasla sinusoidanın amplitudunu göstərir, absis oxunun müsbət istiqaməti ilə vektor arasındakı bucaq başlanğıc anda başlanğıc fazaya bərabər olur; vektorun fırlanma sürəti bucaq tezliyinə bərabərdir. Sinusoidal kəmiyyətlərin ani qiymətləri fırlanan vektorun ordinat oxu üzərindəki proyeksiyaları ilə ifadə olunur.

Məs.: $e = E_m \sin(\omega t + \varphi)$ e.h.q-si verilib: onu ($t = 0$) başlanğıc anında absis oxunun müsbət istiqamətinə nəzərən φ bucağı altında yerləşən OA vektoru ilə göstərmək olar; vektorun qiyməti müəyyən miqyasla E_m amplituduna bərabərdir. Vektor müsbət istiqamətdə (saat əqrəbinin əksinə) ω bucaq sürəti ilə fırlananda onun ordinat oxu üzərindəki proyeksiyaları e.h.q-nin ani qiymətlərini ifadə edir, şəkl. 7.2.

Qrafikdən görünür ki, $t = 0$ halında $e_0 = E_m \sin \varphi$ alınır və OA vektorunun proyeksiyası həmin qiymətə bərabər olur. t^1 anında $e^1 = E_m \sin(\omega t^1 + \varphi)$ olur və OB vektoru alınır.

Zamanın başlanğıc anında eynitezlikli sinusoidal kəmiyyətləri təsvir edən bir neçə vektor çoxluğuna vektor diaqramı deyilir.

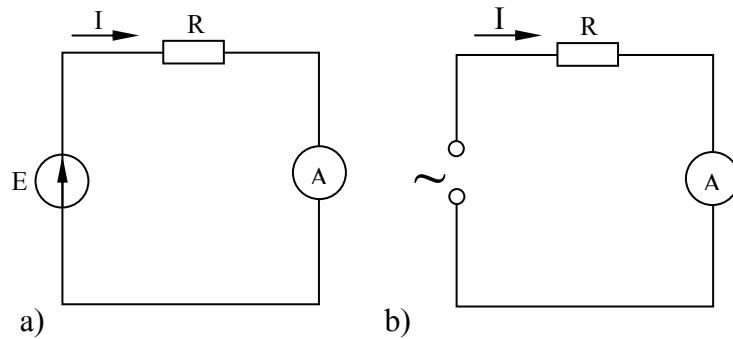
Vektor diaqramında ancaq eynitezlikli kəmiyyətlər vektorlarla təsvir olunur, yəni vektorların fırlanması eyni bucaq sürəti ilə olur. Sinusoidal dəyişən kəmiyyətləri müqayisə edərkən zamanın başlanğıcını ixtiyari seçmək olar, yəni vektorlardan birini ixtiyari istiqamətləndirmək olar; qalan vektorları birinciyə nisbətən müvafiq fazalar fərqi bucaqlarına bərabər bucaqlar altında yerləşdirmək lazımdır. Müsbət bucaqları saat əqrəbi hərəkətinin əksi istiqamətində ayırırlar.

§ 7.3. Dəyişən cərəyan kəmiyyətlərinin təsiredici qiymətləri

Dəyişən cərəyan kəmiyyətləri onların təsiredici qiymətləri ilə xarakterizə edilir. Dəyişən cərəyan dövrlərində ölçü cihazlarının – ampermetrin, voltmetrin və s. ölçdüyü kəmiyyətlər onların təsiredici qiymətləri olur.

Dəyişən cərəyanın təsiredici qiyməti elə sabit cərəyanın qiymətinə bərabərdir ki, həmin cərəyanın period müddətində hər hansı müqavimətdən ayırdığı istilik miqdarı dəyişən cərəyandakına bərabər olsun. Təsiredici qiymətlər I , U , E ilə işarə olunur.

Tərifdən görünür ki, dəyişən cərəyan sabit cərəyanla istilik təsirinə görə müqayisə edilir. Eyni bir rezistor eyni gərginlikli həm dəyişən, həm də sabit gərginlik mənbəyinə qoşulanda onlardan period müddətində eyni miqdarda istilik ayrılır. Şək. 7.3.



Şəkil 7.3. Dəyişən cərəyanın təsiredici qiymətinin təyininə aid dövrə sxemləri

Cərəyanın təsiredici və amplitud qiymətləri arasındakı münasibəti tapaq.

Dəyişən və sabit cərəyanın period müddətində rezistorda ayırdığı istilik miqdarı:

$$Q = I^2 RT \quad \text{və} \quad Q = \int_0^T i^2 R dt$$

$$I^2 RT = \int_0^T i^2 R dt \quad \text{və ya} \quad I^2 = \frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt$$

Buradan cərəyanın təsiredici qiyməti:

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} \quad (7.7)$$

Analoji olaraq gərginlik və e.h.q-nin təsiredici qiymətləri:

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt} \quad E = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T e^2 dt}$$

Sinusoidal cərəyanın ani $i = I_m \sin \omega t$ qiymətini (7.7) düsturunda yerinə yazaraq həll etsək alarıq.

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0,707 I_m \quad (7.8)$$

Analoji olaraq

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0,707 U_m; \quad E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = 0,707 E_m$$

Cərəyan, gərginlik və e.h.q-si əyrilərinin sinusoidadan kənara çıxması K_a amplitud əmsalı ilə xarakterizə edilir.

Cərəyanın (gərginlik və e.h.q-nin) amplitud qiymətinin təsiredici qiymətə olan nisbətində amplitud əmsalı deyilir.

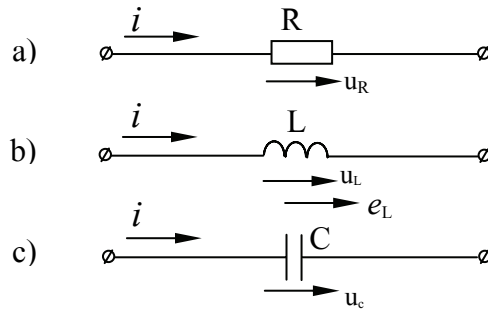
$$K_a = \frac{I_m}{I} = 1,41 \quad (7.9)$$

Sinusoidaya nisbətən daha iti forması olan əyrilər üçün $K_a > 1,41$; daha küt formalı əyrilər üçün $K_a < 1,41$ olar.

FƏSİL VIII. BUDAQLANMAMIŞ DƏYİŞƏN CƏRƏYAN DÖVRƏLƏRİ

§ 8.1. Dəyişən cərəyan dövrlərinin əsas xüsusiyyətləri

Passiv elektrik dövrləri rezistorlardan, kondensatorlardan və induktiv sarğaclardan ibarətdir (şək. 8.1). Rezistorlar elektrik müqavimətinə – R , kondensatorlar – tutuma C , sarğacları – induktivliyə L malikdir. Elektrik cərəyanı keçəndə rezistorlar enerji toplamır, kondensatorlar və sarğacları isə enerjini toplayır. Kondensatorlara tətbiq olunan gərginlik elektrik sahəsi, sarğaclardan axan cərəyan maqnit sahəsi əmələ gətirir. Ona görə də rezistorlar enerjitutumsuz, kondensator və sarğacları isə enerjitutumlu elementlər adlanır. Rezistorlarda elektrik enerjisi heç bir sahə yaratmadan geri dönməyən istilik enerjisinə çevrilir. Kondensator və induktiv sarğaclarda geri dönmə sahə əmələ gəlir, lakin istilik ayrılır. Kondensator və induktiv sarğacları enerjitoplayıcı elementlərdir.



Şəkil 8.1. Elektrik dövrəsinin passiv elementləri

Naqilin sabit cərəyana göstərdiyi müqavimətə omik müqavimət, həmin naqilin dəyişən cərəyana göstərdiyi müqavimətə aktiv müqavimət deyilir (şək. 8.1a). Qeyd edək ki, naqilin aktiv müqaviməti həmişə onun omik müqavimətindən

böyük olur. Bu dəyişən maqnit sahəsinin mövcudluğu ilə izah edilir. Doğrudan da, sabit cərəyan dövrəsində naqıl özünün zamanla dəyişməyən, onun müqavimətinə təsir etməyən məxsusi maqnit sahəsi ilə əhatə olunur; dəyişən cərəyan dövrəsindəki naqıl məxsusi döyünən maqnit sahəsinin təsiri altında qalır, bu da aktiv müqavimətin yüksəlməsinə səbəb olur.

Om qanununa tabe olan aktiv müqavimət xətti müqavimətdir. Volt-amper xarakteristikası düz olmayan aktiv müqavimət qeyri-xətti aktiv müqavimət adlanır.

Verilmiş cərəyanda müəyyən maqnit sahə enerjisi toplamaq qabiliyyəti elementin induktivliyi ilə xarakterizə edilir (şək. 8.1b). **Ferromaqnit nüvəsiz sarğac xətti induktivliyə malikdir**, gərginlik və cərəyan dəyişəndə onun induktivliyi sabit qalır, lakin öz-özünə induksiya ilə bağlı maqnit seli cərəyanının dəyişməsi ilə xətti dəyişir. **Ferromaqnit nüvəli tam maqnitlənmiş sarğac qeyri-xətti induktivliyə malikdir**. Gərginlik və cərəyan dəyişəndə onun induktivliyi dəyişir, lakin öz-özünə induksiya ilə bağlı maqnit seli cərəyanının dəyişməsindən asılı olaraq qeyri-xətti dəyişir.

Verilmiş gərginlikdə müəyyən elektrik sahə enerjisi toplamaq qabiliyyəti elementin tutumu ilə xarakterizə edilir (şək. 8.1c). **Elektrik tutumuna elektrik enerjisi toplayıcısı kimi baxmaq olar**. Elə kondensatorlar var ki, elektrik sahə intensivliyi dəyişəndə onların lövhələri arasındakı izolyasiya maddəsinin dielektrik nüfuzluğunun qiyməti həmişə sabit qalır. Belə kondensatorlarda gərginlik və ya yük qiymətə dəyişərsə, tutum dəyişməz-xətti qalar. Kondensatorların böyük əksəriyyəti xətti tutuma malikdir. Lakin qeyri-xətti tutuma malik kondensatorlar da var. Bunlarda kondensatorun lövhələri arasındakı dielektrikin dielektrik nüfuzluğu gərginlik dəyişəndə qiymətə dəyişir (seqnetodielektrik).

Bütün dəyişən cərəyan dövrləri paylanmış R , L və C parametrlidir: aktiv müqavimət, induktivlik və tutum bütün dövrə boyunca paylanır.

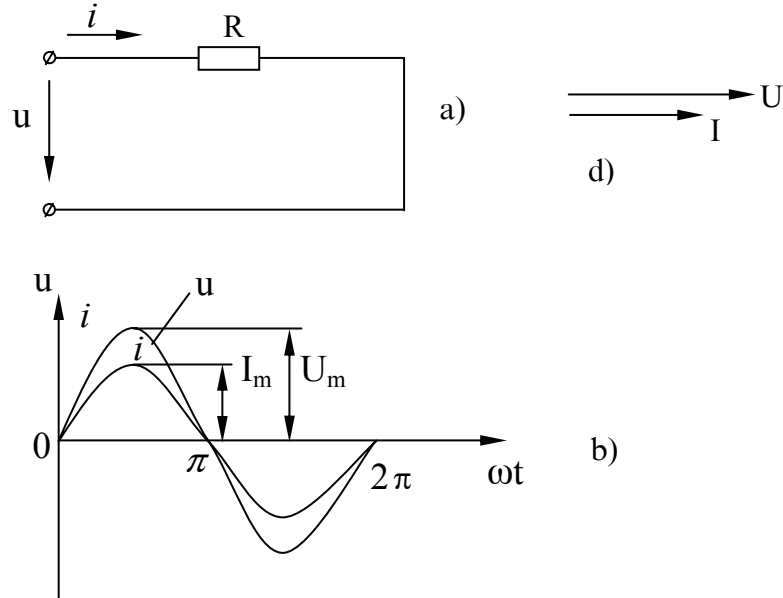
§ 8.2 Aktiv müqavimətli dövrə

Elektrik enerjisini istilik enerjisinə çevirən müqavimətlər sobalar, məişət qızdırıcısı cihazları, rezistorlar və s.cihazlar əvəz sxemlərində adətən R müqaviməti ilə göstərilir.

Şək. 8.2 a-da təsvir olunan sxem üçün R müqaviməti və sinusoidal qanunla dəyişən gərginlik verilib.

$$u = U_m \sin \omega t \quad (8.1)$$

Dövrədən axan cərəyanı və dövrənin gücünü tapmaq tələb olunur:



Şəkil 8.2. Aktiv müqavimətli dövrə (a), onun zaman (b) və vektor (d) diaqramı

Cərəyanın ani qiyməti Ohm qanununa əsasən tapılır:

$$i = \frac{u}{R} = \frac{U_m}{R} \sin \omega t = I_m \sin \omega t \quad (8.2)$$

Burada, $I_m = U_m/R$ – cərəyanın amplitud qiymətidir.

Cərəyan və gərginlik düsturlarından görünür ki, hər iki əyrinin başlanğıc fazası eynidir. Belə ki, **aktiv müqavimətli dövrdə cərəyan və gərginlik fazaca üst-üstə düşür** (şək. 8.2. b.d).

Cərəyanın təsiredici qiymətini tapaq

$$\frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{U_m}{\sqrt{2} \cdot R}$$

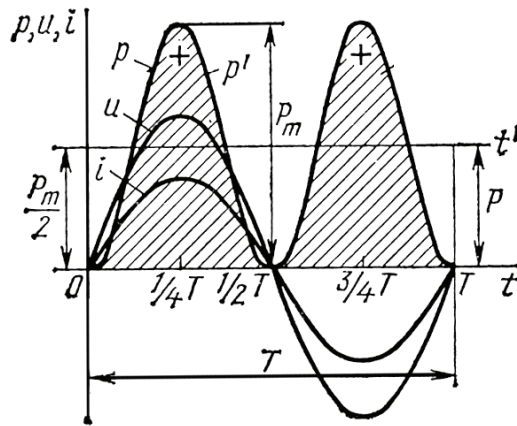
Buradan

$$I=U/R; \quad U=IR; \quad R=U/I$$

Cərəyan və gərginliyin dəyişən qiymətlərində işlədiciyə elektrik enerjisinin çevrilməsi sürəti, yəni onun gücü də dəyişir: **ani güc cərəyan və gərginliyin ani qiymətlərinin hasilinə bərabərdir:**

$$p=ui=U_m \sin \omega t \cdot I_m \cdot \sin \omega t = U_m I_m \sin^2 \omega t = UI - UI \cos^2 \omega t \quad (8.3)$$

Ani güc əyrisi şək. 8.3-də göstərilib. Qrafikin analizində görünür ki, period müddətində cərəyan və gərginlik işarəsini dəyişsə də güc müsbət qalır. Bu gərginlik və cərəyanın fazaca üst-üstə düşməsi hesabına alınır və rezistorlu dövrdə elektrik enerjisi istilik enerjisinə çevrilir. Onda elektrik enerjisi aktiv enerji adlanır.



Şəkil 8.3. Aktiv müqavimətli dövrənin güc qrafiki

Period müddətindəki aktiv güc ani gücün sabit toplanmasına bərabərdir. (8.3) ifadəsini həll etsək

$$P=UI=I^2R=U^2/R \text{ alarıq.} \quad (8.4)$$

Düstürdən görünür ki, müqavimətli dövrdə aktiv güc gərginlik və cərəyanın təsiredici qiymətlərinin hasilinə bərabərdir.

Aktiv gücün vahidi Vattdır (Vt)

Başqa vahidləri kVt, MVt və s.

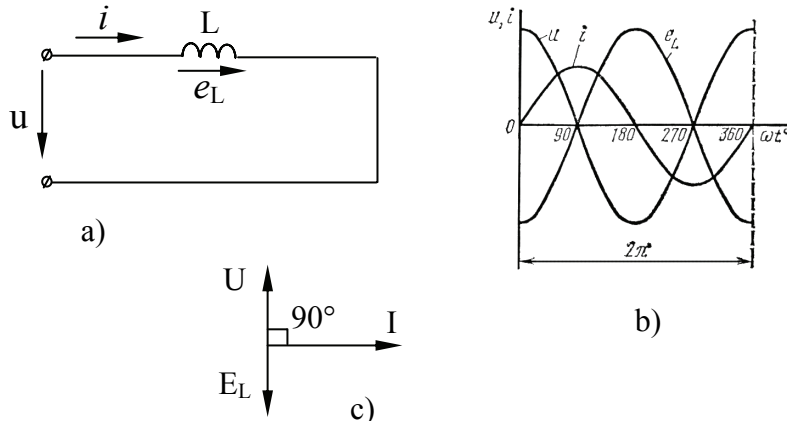
§ 8.3. İnduktivli dövrə

Ancaq induktivlikdən ibarət olan ideal dövrə olmur, çünki sarğac, elektrik veriliş xətləri və s. qurğular induktivlikdən (L) başqa aktiv müqavimətə (R) malikdir. Real dövrlərdəki fiziki prosesləri aydınlaşdırmaq üçün ideal sarğac (R=0) olan dövrəyə baxaq.

Tutaq ki, induktivliyi L məlum olan və cərəyanı sinusoidal qanunla dəyişən dövrə verilib.

$$i=I_m \sin \omega t \quad (8.5)$$

Dövrdəki gərginliyi və gücü tapmaq tələb olunur.



Şəkil 8.4. İnduktivli dövrə (a), onun zaman (b) və vektor (c) diaqramı

Dəyişən cərəyan sarğacda öz-özünə induksiya e.h.q-si əmələ gətirir. Aktiv müqavimət olmayanda sarğaca tətbiq olunan gərginlik ancaq öz-özünə induksiya e.h.q-si ilə tarazlaşır. Buna uyğun olaraq, zamanın istənilən anında Kirxhofun ikinci qanununu dövrəyə tətbiq etmək olar.

$$u + e_L = 0; \quad u = -e_L$$

Bilirik ki, $e_L = -L \frac{di}{dt}$; onda gərginlik

$$u = L \frac{di}{dt} = L \frac{dI_m \sin \omega t}{dt} = LI_m \omega \sin(\omega t + \pi/2) = U_m \sin(\omega t + \pi/2) \quad (8.6)$$

Buna əsasən

$$e_L = E_m \sin(\omega t - \pi/2) \quad (8.7)$$

olar.

(8.5) və (8.6) ifadələrindən görünür ki, **induktivli dövrədə cərəyan gərginlikdən fazaca 90° ($\pi/2$) geri qalır**. Onda dövrənin zaman və vektor diaqramı şəkl. 8.4 b, c-dəki kimi alınar.

Gərginliyin təsiredici qiyməti (8.6) düsturundan amplitud gərginlik $\omega LI_m = U_m$ ifadəsindən təyin edilir.

$$\omega L \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}. \quad \text{Buradan}$$

$$U = I\omega L = IX_L \quad X_L = \omega L = 2\pi fL \quad I = \frac{U}{X_L} \quad (8.8)$$

Cərəyan və gərginliyin təsiredici qiymətləri arasındakı mü-tənasiblik əmsalı, induktivliklə bucaq sürətinin hasilinə bərabərdir, X_L hərfi ilə işarə olunur, **reaktiv induktiv müqavimət** və ya **induktiv müqavimət** adlanır.

İnduktiv müqavimət O_m -la ölçülür.

$$[X_L] = \left[\frac{U}{I} \right] = \frac{V}{A} = O_m$$

(8.8) ifadəsi **induktivli dövrə üçün O_m qanunudur**.

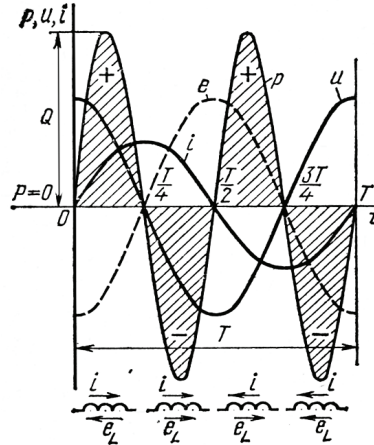
Düsturdən görünür ki, **induktivli dövrədəki cərəyanın təsiredici qiyməti gərginliyin təsiredici qiymətinin induktiv müqavimətə olan nisbətində bərabərdir.**

Dövrənin ani gücü

$$p = ui = U_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \cdot I_m \sin \omega t = U_m I_m \cos \omega t \cdot \sin \omega t =$$

$$= \frac{U_m I_m}{2} \sin 2\omega t = UI \sin 2\omega t \quad (8.9)$$

İfadədən görünür ki, induktivli dövrədə ani güc ikiqat tezliklə dəyişir və ani gücün dəyişmə qrafiki şəkl. 8.5 göstərilib.



Şəkil 8.5. İnduktivli dövrədə ani gücün qrafiki

İnduktivli dövrədə period ərzində orta (aktiv) güc $P=0$ olur. Onda induktivli dövrədə elektrik enerjisinin başqa növ enerjiyə çevrilməsi (istilik, mexaniki) baş vermir. Maqnit sahəsində enerjinin yığılması və azalması harmonik qanunla dəyişir. Bu prosesin əsas xarakteristikası reaktiv gücdür. Reaktiv güc Q hərfi ilə işarə edilir

$$Q = U \cdot I = I^2 X_L \quad (8.10)$$

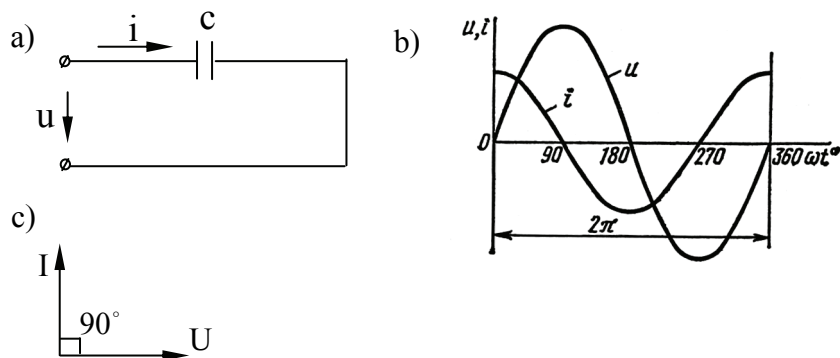
Reaktiv gücün vahidi Volt-Amper reaktivdir (Var). Digər vahidləri
 $1 \text{ kVar} = 10^3 \text{ Var}$; $1 \text{ MVar} = 10^6 \text{ Var}$

§ 8.4. Tutumlu dövrə

Dəyişən gərginlik olduqda kondensator periodik olaraq dolub-boşalır və dövrədən cərəyan keçir. Ancaq itkisiz kondensatordan ibarət olan dəyişən cərəyan dövrəsinə baxaq. Dövrəyə sinusoidal gərginlik tətbiq olunur. Şək. 8.6 (a)

$$u = U_m \sin \omega t \quad (8.11)$$

Dövrədəki cərəyanı və gücü tapmaq tələb olunur.



Şəkil 8.6. Tutumlu dövrə (a), onun zaman (b) və vektor diaqramı (c)

Sahənin təsiri altında dövrədəki cərəyan kondensatorun lövhələrindəki yükün dəyişmə sürətinə mütənasib olur. $Q = Cu$ olduğunu nəzərə alsaq, kondensatordan axan cərəyan

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{d(Cu)}{dt} = C \frac{du}{dt} = C \frac{d(U_m \sin \omega t)}{dt} = \quad (8.12)$$

$$C \omega U_m \cos \omega t = I_m \sin(\omega t + \pi / 2)$$

olar.

Cərəyan və gərginlik düsturlarından görünür ki, **tutumlu dövrədə gərginlik cərəyandan fazaca dördü bir period (90°) geri qalır.** Şək (8.6 b, c) dövrənin zaman və vektor diaqramları göstərilib.

(8.12) ifadəsindən cərəyanın amplitud qiyməti $I_m = \omega C U_m$ -dir. Cərəyanın təsiredici qiymətini təyin edək.

$$\frac{I_m}{\sqrt{2}} = \omega C \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

$$I = \omega C U = \frac{U}{\frac{1}{\omega C}} = \frac{U}{X_c} \quad (8.13)$$

Burada $X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$ **reaktiv tutum müqaviməti** və ya **tutum müqaviməti** adlanır, vahidi Ω -dur.

(8.13) düsturundan görünür ki, tutumlu dövrədə **cərəyanın təsiredici qiyməti gərginliyin təsiredici qiymətinin tutum müqavimətinə olan nisbətində bərabərdir.**

(8.13) **ifadəsi tutumlu dövrə üçün Ω qanunudur.**

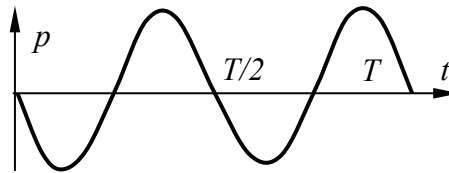
Tutumlu dövrədə ani güc

$$p = ui = U_m \sin \omega t \cdot I_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) = -UI \sin 2\omega t \quad (8.14)$$

İfadədən görünür ki, induktivli dövrədə olduğu kimi tutumlu dövrədə də ani güc iki qat tezliklə dəyişir (işarəcə əksinə). İnduktivli dövrədə olduğu kimi bu dövrədə də aktiv güc $P=0$ olur.

Mənbə ilə kondensator arasındakı enerji mübadiləsi reaktiv güclə xarakterizə edilir.

$$Q = UI = U^2 X_c \quad (8.15)$$



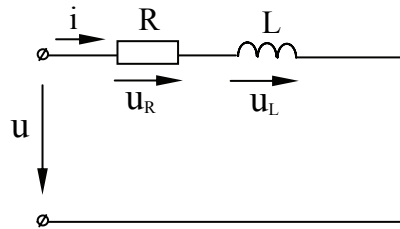
Şəkil 8.7. Tutumlu dövrədə ani güc qrafiki

§ 8.5. Aktiv müqavimətli və induktivli (real sarğaclı) dövrə

Real sarğac idealdan onunla fərqlənir ki, dəyişən cərəyan onda maqnit sahəsində enerjinin dəyişməsi ilə deyil, həm də elektrik enerjisinin digər enerjiyə çevrilməsi ilə müşayiət olunur. Çox vaxt sarğacın sarğılarında elektrik enerjisinin bir hissəsi istilik enerjisinə çevrilir. Yəni real sarğaclarda iki proses gedir. Ona görə də belə sarğacların əvəz sxemi aktiv və reaktiv elementlərdən (R və L) ibarət göstərilir. R və L dövrəsi hər hansı elektrik maşınının, aparatın və cihazın sarğacını təmsil edir.

R və L elementləri ardıcıl qoşulmuş dövrə verilib şəkl. 8.8 və dövrədən sinusoidal cərəyan axır: $i = I_m \sin \omega t$.

Dövrədəki gərginlik və gücü tapmaq tələb olunur.



Şəkil 8.8. Aktiv müqavimətli və induktivli dövrə

Sxemdən görünür ki, dövrənin sınaqlarındakı gərginlik zamanın istənilən anında iki toplanandan ibarətdir.

Aktiv müqavimətdəki gərginlik: $u_r = U_{Rm} \sin \omega t$

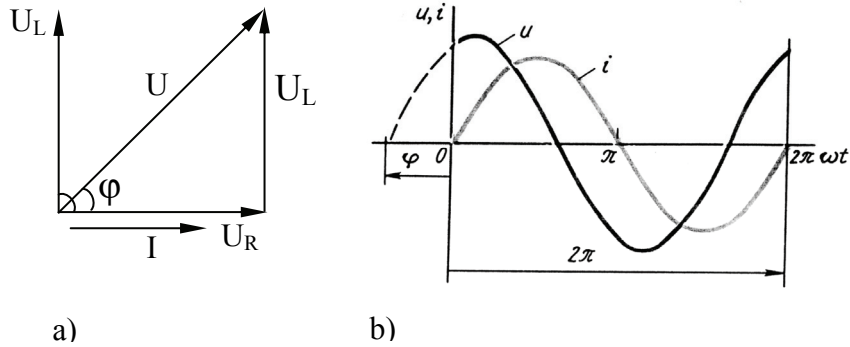
İnduktivlikdəki gərginlik: $u_l = U_{Lm} \sin(\omega t + \pi/2)$.

Bu gərginliklərə əsasən dövrənin vektor diaqramını quraq. Bunun üçün əvvəlcə I vektorunu, sonra onunla fazaca üst-üstə düşən U_R vektorunu ayırırıq. U_L vektorunu I vektoruna müsbət bucaq altında perpendikulyar istiqamətdə çəkirik. U_R və U_L vektorlarının qəpəyicisi dövrənin tam gərginliyini verir. **Diaqramdan görünür ki, U gərginliyi I cərəyanını $\varphi > 0$, lakin**

$\varphi < 90^\circ$ bucağı altında, yəni hər hansı φ bucağı qədər qa-
baqlayır. Şək. 8.9 a,b. Belə ki,

$$u = U_m \sin(\omega t + \varphi) \quad (8.16)$$

olur.



Şəkil 8.9. RL dövrəsinin vektor (a) və zaman diaqramı (b)

U_R, U_L və U vektorları gərginliklər üçbucağını əmələ gətirir. Bu üçbucaqdan Pifagor teoreminə əsasən alırıq.

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2}$$

Lakin $U_R = IR, U_L = IX_L$ olduğundan

$$U = \sqrt{(IR)^2 + (IX_L)^2} = I\sqrt{R^2 + X_L^2}$$

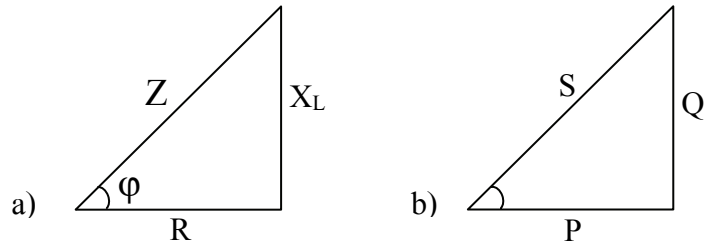
Buradan

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} = \frac{U}{Z} \quad (8.17)$$

$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$ dövrənin **tam müqaviməti**, (7.17) ifadəsi

RL dövrəsi üçün Om qanunudur.

Gərginliklər üçbucağının bütün tərəflərini cərəyanə bölsək və vursaq, müqavimətlər və güclər üçbucaqları alınar. Şək. 8.10a,b. Bu üçbucaqların tərəflərini vektorlar hesab etmək olmaz, çünki müqavimətlər və güclər zamanın funksiyası deyil.



Şəkil 8.10. Müqavimətlər (a) və güclər (b) üçbucağı

Gərginliklər (şək. 7.9a) və müqavimətlər (şək. 7.10a) üçbucaqlarından təyin olunur:

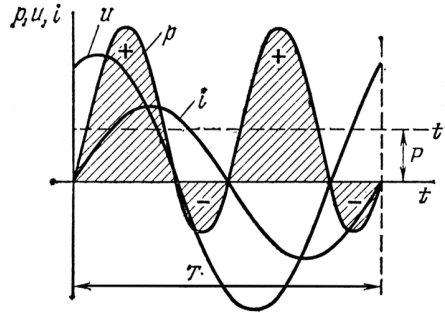
$$\cos \varphi = \frac{U_R}{U} = \frac{R}{Z}; \quad \sin \varphi = \frac{U_L}{U} = \frac{X_L}{Z}$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{U_L}{U_R} = \frac{X_L}{R} \quad (8.18)$$

Dövrənin ani gücü

$$p=ui=U_m \sin(\omega t+\varphi) \cdot I_m \sin \omega t=UI \cos \varphi - UI \cos(2\omega t+\varphi) \quad (7.19)$$

Ani güc əyrisi şək. 8.11-də göstərilib. (8.19) ifadəsindən görünür ki, ani güc iki gücün cəminə bərabərdir: $UI \cos \varphi$ – sabit güc və ikiqat tezliklə dəyişən – $UI \cos(2\omega t+\varphi)$ gücü. Gücün dəyişən toplananı harmonik qanunla dəyişir, ona görə də onun perioddakı orta qiyməti sifira bərabərdir.



Şəkil 8.11. Ani güc qrafiki

Perioddakı orta və ya aktiv güc ani gücün sabit toplananına bərabər olub aktiv müqavimətdəki enerji sərfini xarakterizə edir, yəni $P=U_R I$ olur. Vektor diaqramından $U_R=U \cos \varphi$ olduğundan

$$P=UI \cos \varphi \quad (8.20)$$

Reaktiv güc induktivliklə mənbə arasındakı enerji mübadiləsinin intensivliyini xarakterizə edir:

$$Q=UI \sin \varphi \quad (8.21)$$

Tam güc cərəyan və gərginliyin təsiredici qiymətlərinin hasilinə bərabərdir, S hərfi ilə işarə edilir.

$$S=UI=I^2 Z \quad (8.22)$$

Və ya güclər üçbucağından şəkl. 7.10b

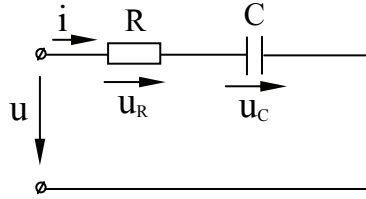
$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (8.23)$$

Tam gücün vahidi Volt-Amperdir (VA).

Başqa vahidləri: $1\text{kVA}=10^3\text{VA}$, $1\text{MVA}=10^6\text{VA}$

§ 8.6. Aktiv müqavimətli və tutumlu dövrə

Ardıcıl R və C elementli dövrədə hesabət analoji olaraq R və L elementli dövrədəki kimi aparılır. Aktiv müqavimət və tutumdan ibarət dövrə verilib Şəkl. 7.12, dövrədən sinusoidal cərəyan axır:



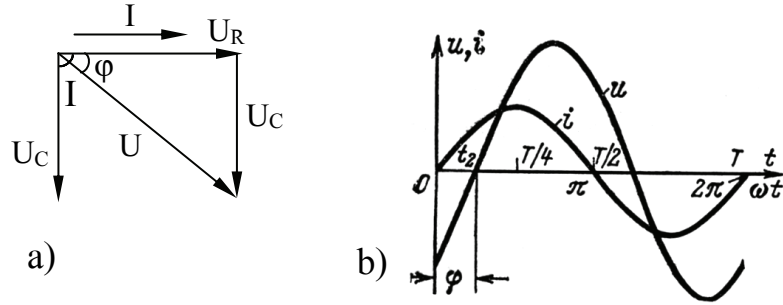
Şəkil. 8.12 Aktiv müqavimətli və tutumlu dövrə

$i=I_m \sin \omega t$. Bilirik ki, aktiv müqavimətdəki gərginlik $u_R = U_{Rm} \sin \omega t$ -dir. Tutumdakı gərginlik cərəyandan fazaca

$\frac{\pi}{2}$ (90°) bucağı qədər geri qalır: $u_c = U_{cm} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$. Göstəri-

lən ifadələrə əsasən dövrə üçün vektor diaqramı quraq. Bunun üçün əvvəlcə I vektorunu, sonra onunla fazaca üst-üstə düşən U_R vektorunu ayırırıq. U_C vektorunu I vektoruna mənfi bucaq altında perpendikulyar istiqamətdə çəkirik. U_R və U_C vektorlarının qapayıcısı dövrənin tam gərginliyini verir. Diaqramdan görünür ki, gərginlik cərəyandan fazaca φ bucağı qədər geri qalır. Şəkl. 8.13 a, b, yəni,

$$u = U_m \sin(\omega t - \varphi) \quad (7.24)$$



Şəkil 8.13. RC dövrəsinin vektor (a) və zaman (b) diaqramı

Alınan gərginliklər üçbucağından:

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_C^2}, \quad U_R = IR, \quad U_C = IX_C$$

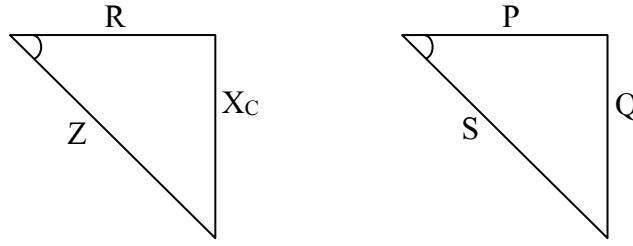
$$U = \sqrt{(IR)^2 + (IX_C)^2} = I\sqrt{R^2 + X_C^2}$$

buradan

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X_C^2}} = \frac{U}{Z} \quad (8.25)$$

$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$ dövrənin **tam müqaviməti** (8.25) ifadəsi **dövrə üçün Om qanunudur.**

Gərginliklər üçbucağının bütün tərəflərini cərəyana bölsək və vursaq müqavimətlər və güclər üçbucağı alınar. Şək. 8.14a,b.



Şəkil 8.14. Müqavimətlər (a) və güclər üçbucağı (b)

Gərginliklər və müqavimətlər üçbucaqlarından

$$\begin{aligned}\cos \varphi &= \frac{U_R}{U} = \frac{R}{Z}; \\ \sin \varphi &= \frac{U_C}{U} = \frac{X_C}{Z}; \\ \operatorname{tg} \varphi &= \frac{U_C}{U_R} = \frac{X_C}{R}\end{aligned}\quad (8.26)$$

Dövrənin ani gücü

$$\begin{aligned}p &= ui = U_m \sin(\omega t - \varphi) \cdot I_m \sin \omega t = \\ &UI \cos \varphi - UI \cos \varphi (2\omega t - \varphi)\end{aligned}\quad (8.27)$$

Perioddakı orta və ya aktiv güc ani gücün sabit toplananına bərabər olur, aktiv müqavimətdəki enerji sərfini xarakterizə edir,

$$P = UI \cos \varphi$$

Reaktiv güc tutumla mənbə arasındakı enerji mübadiləsinin intensivliyini xarakterizə edir,

$$Q = UI \sin \varphi$$

Dövrənin tam gücü . Şək. 8.14.(b)

$$S = UI = I^2 Z = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

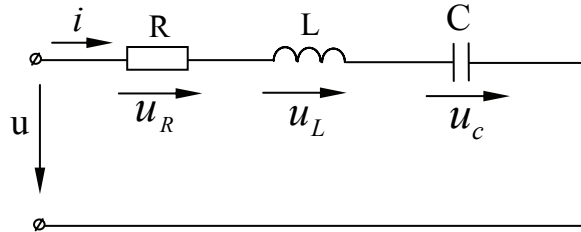
§ 8.7. Aktiv müqavimətli, induktivli və tutumlu dövrə

Aktiv müqavimətli, induktivli və tutumlu dövrə sinusoidal gərginlik mənbəyinə birləşdirilib, dövrədən sinusoidal cərəyan axır. Şək. 8.15. $i = I_m \sin \omega t$

Onda aktiv müqavimətdəki gərginlik: $u_R = U_{Rm} \sin \omega t$;

İnduktivlikdəki gərginlik: $u_L = U_m \sin(\omega t + \pi/2)$;

Tutumdakı gərginlik: $u_C = U_{Cm} \sin(\omega t - \pi/2)$.



Şəkil 8.15. Aktiv müqavimətli, induktivli və tutumlu dövrə

Dövrənin sığacları arasındakı ümumi gərginliyin ani qiyməti bu gərginliklərin cəminə bərabərdir.

$$u = u_R + u_L + u_C = U_{Rm} \sin \omega t + U_{Lm} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) + U_{Cm} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

Tutumdakı gərginlik induktivlikdəki gərginliyin əksinə dəyişdiyindən onların cəbri cəmi dövrənin gərginliyinin reaktiv toplananını verir,

$$\begin{aligned} u_r = u_L + u_C &= U_{Lm} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) + U_{Cm} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) = \\ &= U_{mr} \sin\left(\omega t \pm \frac{\pi}{2}\right) \end{aligned} \quad (8.28)$$

(8.28.) ifadəsindən görünür ki, gərginliyin reaktiv toplananı onun aktiv toplananını ya fazaca $\frac{\pi}{2}$ qədər qabaqlaya bilər, ya da fazaca ondan $\frac{\pi}{2}$ qədər geri qalır. Belə dövrlərdə üç hal ola bilər.

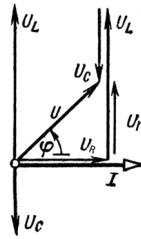
1. $X_L > X_C$ ($U_L > U_C$). Bu hal üçün vektor diaqramı quraq Şək. 8.16 a. Diaqramdan görünür ki, dövrənin ümumi gərginliyi cərəyanı fazaca φ bucağı qədər qabaqlayır, yəni dövrə induktiv xarakterli olur. Onda

$$u = u_R + u_r = U_m \sin(\omega t + \varphi)$$

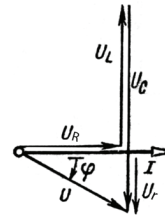
Bu gərginliyin təsiredici qiyməti

$$\begin{aligned} U &= \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2} = \\ &= \sqrt{(IR)^2 + ((IX_L - IX_C)^2} = \\ &= I\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = IZ \end{aligned}$$

Burada $X = X_L - X_C$ dövrənin ümumi reaktiv müqavimətidir; onda dövrənin tam müqaviməti $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$ olar.



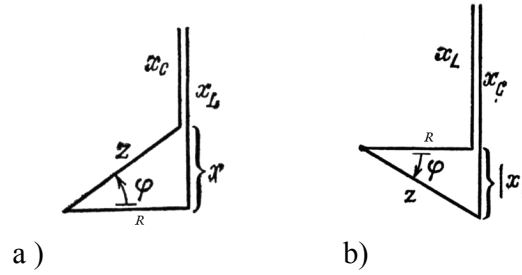
a)



b)

Şəkil 8.16. $X_L > X_C$ halı üçün (a) və $X_L < X_C$ halı üçün (b) vektor diaqramları

Bu müqavimətlərə əsasən məlum üsulla gərginliklər üçbucağından müqavimətlər üçbucağı qurulur. Şək. 8.17.(a)



Şəkil 8.17. $X_L > X_C$ halı üçün (a) və $X_L < X_C$ halı üçün (b) müqavimətlər üçbucağı

Gərginliklər və müqavimətlər üçbucaqlarından

$$\cos \varphi = \frac{U_R}{U} = \frac{R}{Z}; \quad \sin \varphi = \frac{U_L - U_C}{U} = \frac{X_L - X_C}{Z};$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{U_L - U_C}{U_R} = \frac{X_L - X_C}{R}$$

Gərginliklə cərəyan arasındakı faza sürüşməsi bucağı müsbətdir ($\varphi > 0$).

2. $X_L < X_C$ ($U_L < U_C$). Bu hal üçün vektor diaqramı Şək. 8.16 (b) və müqavimətlər üçbucağı Şək. 8.17 (b) təsvir olunub. Diaqramdan görünür ki, ümumi gərginlik cərəyandan fazaca φ bucağı qədər geri qalır, faza sürüşmə bucağı mənfidir ($\varphi < 0$).

Dövrənin reaktiv müqaviməti tutum xarakterli olur. Birinci hal üçün olan hesabət düsturları ikinci hal üçün də dəyişməz qalır.

3. $X_L = X_C$ ($U_L = U_C$) halına sonrakı paraqrafda baxılacaq.

$X_L > X_C$ və $X_L < X_C$ halları üçün aktiv, reaktiv və tam güclər məlum düsturlarla hesablanır:

$$P = UI \cos \varphi; \quad Q = UI \sin \varphi;$$

$$S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Hesabatlarda reaktiv güc müxtəlif işarələr alır: induktiv güc-müsbət, tutum gücü mənfi olur. Buna uyğun olaraq $\varphi > 0$ olanda $Q > 0$, $\varphi < 0$ olanda $Q < 0$ alınır.

Aktiv güc istənilən halda müsbətdir. Tam güc də həmişə müsbət olur.

§ 8.8. Budaqlanmamış dövrənin rezonans iş rejimi. Gərginliklər rezonansı

Aktiv müqavimətli, induktivli və tutumlu ardıcıl birləşdirilmiş dəyişən cərəyan dövrələrinin iş rejimlərinə baxanda qeyd etdik ki, bu dövrələrdə $X_L = X_C$ olan hal üçün də iş rejimi var. Bu halda elektrik dövrəsi rezonans iş rejimində işləyir, dövrənin reaktiv gücü sıfıra bərabərdir, cərəyan və gərginlik fazaca üst-üstə düşür. Verilmiş dövrə üçün gərginliklər rezonansı enerji mənbəyinin müəyyən tezliyində əmələ gəlir. Bu tezliyə **rezonans tezliyi** (ω_r) deyilir.

İnduktivli və tutumlu hissələrin ardıcıl birləşdiyi elektrik dövrələrində induktiv və tutum müqavimətləri bərabər olanda ($X_L = X_C$) alınan rejim gərginliklər rezonansı adlanır.

R, L və C dövrəsində (itkili kontur) gərginliklər rezonansı zamanı baş verən fiziki proseslərə baxaq. Şək. 8.15. Rezonans şərtinə görə $X_L = X_C, X = 0, \operatorname{tg}\varphi = X/R = 0, X_L = \omega L, X_C = 1/\omega C$ olur. Mənbəyin tezliyi konturun məxsusi titrəmə tezliyinə bərabər olduğundan: $\omega = \omega_r$

$$\omega_r L = \frac{1}{\omega_r \cdot C}$$

Buradan rezonans tezliyini tapmaq

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad ; \quad f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (8.30)$$

Bu ifadə U.Tomson (ingilis alimi) düsturu adlanır, konturun məxsusi tezliyinin L və C parametrlərdən asılılığını təyin edir.

Gərginliklər rezonansı zamanı dövrənin vektor diaqramı və müqavimətlər üçbucağı şəkl. 8.18 a.b-də göstərilir.



Şəkil 8.18. $X_L=X_C$ olanda vektor diaqramı (a) və müqavimətlər üçbucağı(b)

Vektor diaqramına və Om qanununa əsasən R , L və C dövrəsində gərginliklər rezonansının əlamətlərini qeyd edək:

a) dövrənin müqaviməti minimumdur $Z=R$ və təmiz aktivdir;

b) cərəyan fazaca mənbəyin gərginliyi ilə üst-üstə düşür və maksimum qiymətə çatır;

c) İnduktiv sarğacdakı gərginlik kondensatordakı gərginliyə bərabərdir və onların hər birindəki gərginlik dövrənin sıxacları arasındakı gərginlikdən çox dəfə yüksək ola bilər.

Fiziki cəhətdən bu onunla izah olunur ki, gərginliklər rezonansı zamanı mənbəyin gərginliyi ancaq konturdakı itkilərin yerini doldurmağa sərf olunur.

Rezonans zamanı reaktiv elementlərin müqaviməti

$$X_L = X_C = \omega_r L = \frac{1}{\omega_r C} = \frac{\sqrt{LC}}{C} = \sqrt{\frac{L}{C}} = Z_d \quad (8.31)$$

olur. Burada $Z_d = \sqrt{\frac{L}{C}}$ konturun dalğa və ya xarakteristik müqaviməti adlanır.

Sarğacdakı və ya kondensatordakı gərginliyin dövrənin sıxacları arasındakı gərginliyə olan nisbətində, başqa sözlə

konturun dalğa müqavimətinin rezistiv müqavimətə olan nisbətinə konturun keyfiyyəti deyilir. Q hərfi ilə işarə edilir:

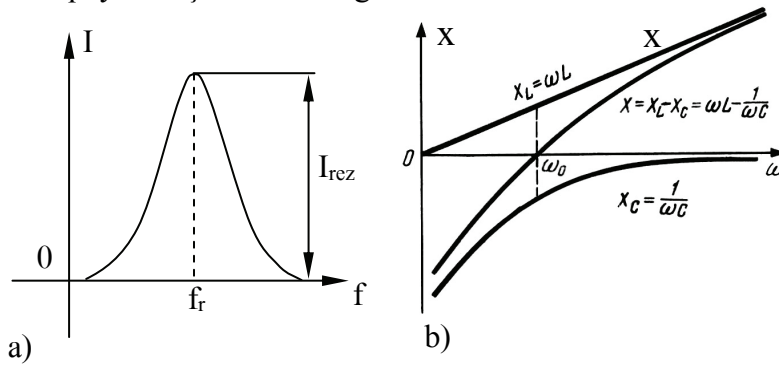
$$Q = \frac{U_L}{U} = \frac{U_C}{U} = \frac{X_L}{R} = \frac{X_C}{R} = \frac{Z_d}{R} \quad (8.32)$$

Keyfiyyətin tərs qiymətinə sönmə deyilir, d hərfi ilə işarə olunur.

$$d = \frac{1}{Q} \quad (8.33)$$

Ardıcıl dövrədə gərginliklər rezonansını iki yolla — enerji mənbəyinin sabit tezliyində L və C parametrlərini dəyişməklə (bunlardan birini və ya hər ikisini birlikdə); 2) L və C sabit olanda enerji mənbəyinin tezliyini dəyişməklə almaq olar:

Gərginliklər rezonansında cərəyanın rezonans əyrisi və reaktiv elementlərin müqavimətlərinin mənbəyin tezliyindəki asılılıq əyriləri şəkl. 8.19-da göstərilir.



Şəkil 8.19. Ardıcıl konturun rezonans əyrisi(a) və reaktiv elementlərin müqavimətlərinin konturun tezliyindən asılılığı (b)

b)

Rezonans əyrisi konturun məxsusi tezliyi dəyişməyəndə cərəyanın təsiredici qiymətinin mənbəyin tezliyindən asılılığını xarakterizə edir. Bu asılılıq R, L və C dövrəsi üçün Ohm qanunu ilə təyin edilir. Doğrudan da $I = \frac{U}{Z}$, burada

$$z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + \left(2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}\right)^2} \quad (8.34)$$

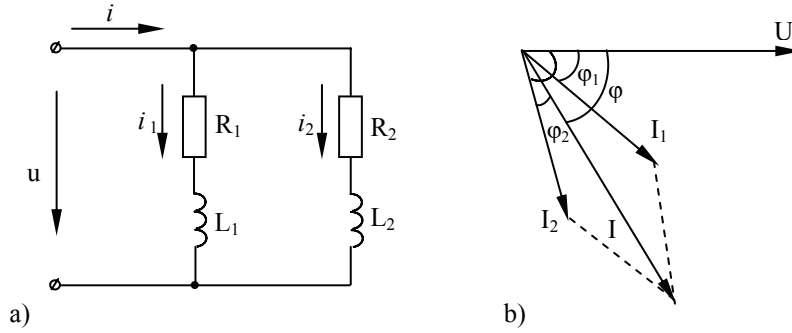
Şək. 8.19 (b)-də reaktiv müqavimətlərin mənbəyin tezliyindən asılılıq qrafikləri göstərilir. Bu qrafikin və 8.34 ifadəsinin analizi göstərir ki, aşağı və yüksək tezliklərdə reaktiv müqavimət böyükdür, konturdakı cərəyan azdır. Rezonans tezliyinə (f_r) yaxın tezliklərdə reaktiv müqavimət az, konturun cərəyanı böyük olur. Bu halda konturun keyfiyyəti nə qədər böyük olarsa, konturun rezonans əyrisi o qədər iti alınır.

FƏSİL IX. BUDAQLANAN DƏYİŞƏN CƏRƏYAN DÖVRƏLƏRİ

§ 9.1. İkiqollu budaqlanan dövrələrin hesablanması

Budaqlanan dəyişən cərəyan dövrələrini hesablamaq üçün üç üsuldən istifadə edilir: analitik üsul, qrafoanalitik üsul və keçiriciliklər üsulu.

Analitik üsul. Aktiv və induktiv müqavimətli iki paralel budaqdan ibarət olan dövrəyə sinusoidal gərginlik verilib, $u=U_m \sin \omega t$ şəkl. 9.1. Budaqlardan və dövrədən axan cərəyanları, aktiv, reaktiv və tam gücləri təyin edək.



Şəkil 9.1. İkiqollu budaqlanan dövrə sxemi (a) və onun vektor diaqramı (b)

Birinci və ikinci qoldan axan cərəyanların ani qiymətləri

$$i_1 = \frac{U_m}{Z_1} \sin(\omega t - \varphi_1) = I_{m1} \sin(\omega t - \varphi_1)$$

$$i_2 = \frac{U_m}{Z_2} \sin(\omega t - \varphi_2) = I_{m2} \sin(\omega t - \varphi_2)$$

Bu cərəyanların təsiredici qiymətləri

$$I_1 = \frac{U}{Z_1} = Uy_1 \quad \text{və} \quad I_2 = \frac{U}{Z_2} = Uy_2 \quad (9.1)$$

Burada $Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_{L_1}^2}$ və $Z_2 = \sqrt{R_2^2 + X_{L_2}^2}$ paralel qolların tam müqavimətləridir,

$$y_1 = \frac{1}{Z_1} \quad \text{və} \quad y_2 = \frac{1}{Z_2} \quad (9.2)$$

tam müqavimətlərin tərs qiymətləri olub, qolların tam keçiriciliyi adlanır.

I_1 və I_2 cərəyanları gərginlikdən φ_1 və φ_2 bucaqları qədər geri qalır. Onda

$$\operatorname{tg}\varphi_1 = \frac{X_{L_1}}{R_1} \quad \text{və} \quad \operatorname{tg}\varphi_2 = \frac{X_{L_2}}{R_2}$$

Dövrənin budaqlanmamış hissəsindən axan ümumi cərəyan

$$i = i_1 + i_2 = I_m \sin(\omega t - \varphi_1) + I_m \sin(\omega t - \varphi_2) = I_m \sin(\omega t - \varphi)$$

Gərginlik və cərəyanların ani qiymətlərinə görə vektor diaqramı qurulur, şəkl. 9.1 (b). Vektor diaqramından tam cərəyan paralleloqram qaydasına əsasən təyin edilir.

$$I = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + 2I_1 I_2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2)} \quad (9.3)$$

Tam cərəyan gərginlikdən φ bucağı qədər geri qalır və onun tangensi belə hesablanır.

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{I_1 \sin \varphi_1 + I_2 \sin \varphi_2}{I_1 \cos \varphi_1 + I_2 \cos \varphi_2} \quad (9.4)$$

Birinci və ikinci budağın aktiv gücü:

$$P_1 = UI_1 \cos \varphi_1 \quad \text{və} \quad P_2 = UI_2 \cos \varphi_2$$

Bütöv dövrdə sərf olunan aktiv güc: $P = UI \cos \varphi$.

Birinci və ikinci budağın reaktiv gücü:

$$Q_1 = UI_1 \sin \varphi_1 \quad \text{və} \quad Q_2 = UI_2 \sin \varphi_2$$

Bütöv dövrdə reaktiv güc: $Q = UI \sin \varphi$

Uyğun olaraq tam elektrik gücləri:

$$S_1 = UI_1; \quad S_2 = UI_2; \quad S = UI$$

Qrafoanalitik üsul. Böyük dəqiqlik tələb olunmayanda budaqlanan dövrələrdə qrafoanalitik üsulla hesablama istifadə edilir.

İki paralel qoldan ibarət dövrənin belə üsulla hesablanmasına baxaq. Şək. 9.1 (a).

Dövrənin sığacları arasındakı U gərginliyi və onun f tezliyi veriləndə, budaqların R_1 və R_2 müqavimətləri, L_1 və L_2 induktivlikləri məlum olduqda əvvəlcə budaqların tam müqavimətləri təyin edilir.

$$Z_1 = \sqrt{R_1^2 + (\omega L_1)^2} \quad \text{və} \quad Z_2 = \sqrt{R_2^2 + (\omega L_2)^2}.$$

Sonra budaqlardan axan cərəyanların təsiredici qiymətləri tapılır.

$$I_1 = \frac{U}{Z_1} \quad \text{və} \quad I_2 = \frac{U}{Z_2}$$

Hər bir budaqdan axan cərəyanla dövrənin sığacları arasındakı gərginliyə nəzərən faza bucaqlarının tangensləri

$$\operatorname{tg}\varphi_1 = \frac{X_{L_1}}{R_1} \quad \text{və} \quad \operatorname{tg}\varphi_2 = \frac{X_{L_2}}{R_2}$$

olur. Loqarifm xətkəsi ilə və ya triqonometrik cədvəldən uyğun φ_1 və φ_2 bucaqları təyin edilir.

Gərginlik və cərəyan üçün münasib miqyas seçərək istənilən istiqamətdə məs. üfüqi istiqamətdə U gərginlik vektorunda φ_1 və φ_2 bucaqları altında uyğun I_1 və I_2 cərəyan vektorlarını ayırırıq.

Aktiv müqavimətli və induktivli budaqlardakı cərəyanlar gərginlikdən fazaca geri qaldığından cərəyan vektorları gərginlik vektorlarına nəzərən saat əqrəbi istiqamətində döndərilir.

Cərəyan vektorları üçbucaq və ya paralelqram qaydasına əsasən toplanaraq dövrənin budaqlanmamış hissəsindəki I cərəyanı hesablanır. Miqyas bütün cərəyanlar üçün eyni olduğundan, bu vektorun uzunluğunu ölçməklə də I cərəyanının təsiredici qiymətini təyin etmək olar. U və I arasındakı faza bucağı birbaşa vektor diaqramından transportirlə ölçülərək tapılır.

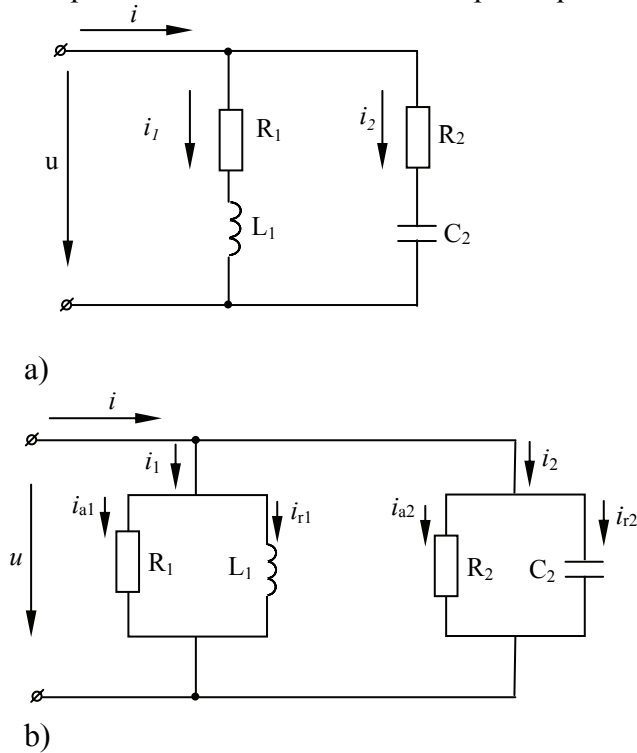
Qalan bütün parametrlər (P , Q , S) məlum düsturlarla hesabat yolu ilə təyin edilir.

§ 9.2. Budaqlanan dövrələrin keçiriciliklər üsulu ilə hesablanması

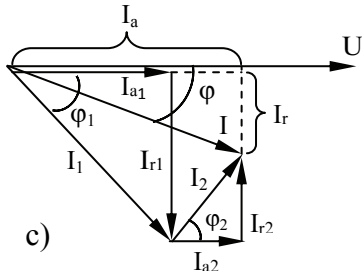
Paralel qolların sayı çox olduqda budaqlanan dövrələri hesablamaq üçün keçiriciliklər üsulundan istifadə edilir. Bu üsul analitik yolla dəqiq hesabat aparmağa imkan verir.

Keçiriciliklər üsulu ilə hesabatda hər bir budaqdakı cərəyan şərti olaraq iki toplanana ayrılır: aktiv və reaktiv. Buna uyğun olaraq istənilən işlədici qoşulmuş budaq iki paralel elementli ekvivalent sxemlə əvəz edilir.

Budaqlanan dövrələrin keçiriciliklər üsulu ilə hesabatna şəkl. 9.2 a,b-də göstərilmiş dövrə və onun ekvivalent sxemi üzərində baxaq. Əvvəlcə dövrənin vektor diaqramı qurulur. Şəkl. 9.2c.



i_2
 C_2



Şəkil 9.2. Budaqlanan dövrə (a), onun ekvivalent sxemi (b) və vektor diaqramı (c)

Keçiricilər üsulu ilə hesabatda cərəyanların aktiv toplananı fazaya görə qolların ümumi gərginliyinə uyğun seçilir. Vektor diaqramından istifadə edərək aktiv cərəyanları tapmaq olar:

$$I_{a1} = I_1 \cos \varphi_1 = \frac{U}{Z_1} \cdot \frac{R_1}{Z_1} = U \frac{R_1}{Z_1^2} = UG_1 \quad (9.5)$$

Burada $G_1 = \frac{R_1}{Z_1^2}$ birinci qolun aktiv keçiriciliyidir,

$\cos \varphi_1 = \frac{R_1}{Z_1}$ müqavimətlər üçbucağından tapılır.

Analoji olaraq

$$I_{a2} = I_2 \cos \varphi_2 = U \frac{R_2}{Z_2^2} = UG_2$$

Ümumi aktiv cərəyan

$$I_a = I_{a1} + I_{a2} = UG_1 + UG_2 = U(G_1 + G_2) = UG$$

$G = G_1 + G_2$ tam aktiv keçiricilikdir.

Cərəyanın reaktiv toplananı gərginliyə nəzərən $+\frac{\pi}{2}$ və ya

$-\frac{\pi}{2}$ bucağı qədər dönmüş olur.

Cərəyanların reaktiv toplananlarını təyin edək.

$$I_{r1} = I_1 \sin \varphi_1 = \frac{U}{Z_1} \cdot \frac{X_{L1}}{Z_1} = U \frac{X_{L1}}{Z_1^2} = UB_1 \quad (9.6)$$

$$I_{r_2} = I_2 \sin \varphi_2 = U \frac{X_{C_2}}{Z_2^2} = UB_2$$

$$I_r = I_{r_1} + I_{r_2} = UB_1 + UB_2 = U(B_1 + B_2) = UB$$

$$B_1 = \frac{X_{L_1}}{Z_1^2}; \quad B_2 = \frac{X_{C_1}}{Z_1^2}; \quad B = B_1 + B_2$$

B_1, B_2, B qolların və dövrənin reaktiv keçiricilikləridir.

Hər bir qoldakı cərəyan və onun toplananları bir-biri ilə düzbucaqlı üçbucağın – cərəyanlar üçbucağının tərəfləri arasındakı münasibət kimi əlaqələnilir.

$$I_1 = \sqrt{I_{a_1}^2 + I_{r_1}^2} = \sqrt{(UG_1)^2 + (UB_1)^2} = U\sqrt{G_1^2 + B_1^2} = UY_1$$

$$I_2 = \sqrt{I_{a_2}^2 + I_{r_2}^2} = \sqrt{(UG_2)^2 + (UB_2)^2} = U\sqrt{G_2^2 + B_2^2} = UY_2$$

Dövrənin tam cərəyanı

$$I = \sqrt{I_a^2 + I_r^2} = U\sqrt{G^2 + B^2} = UY$$

$$Y_1 = \sqrt{G_1^2 + B_1^2} \text{ – birinci qolun tam keçiriciliyi;}$$

$$Y_2 = \sqrt{G_2^2 + B_2^2} \text{ – ikinci qolun tam keçiriciliyi;}$$

$$Y = \sqrt{G^2 + B^2} \text{ – dövrənin tam keçiriciliyidir.}$$

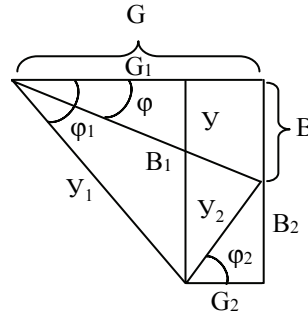
Tam aktiv keçiricilik:

$$G = G_1 + G_2$$

Tam reaktiv keçiricilik:

$$B = B_1 + B_2$$

İfadələrdən görünür ki, hər bir cərəyanı paralel dövrəyə tətbiq olunan gərginliyə bölsək, uyğun keçiricilikləri alırıq. Bu isə cərəyanlar üçbucağının keçiriciliklər üçbucağına çevrilməsi deməkdir: Şək. 9.3.



Şəkil 9.3. Dövrənin keçiriciliklər üçbucağı

$$G_1 = \frac{I_{a_1}}{U}; \quad G_2 = \frac{I_{a_2}}{U}; \quad G = \frac{I_a}{U}$$

$$B_1 = \frac{I_{r_1}}{U}; \quad B_2 = \frac{I_{r_2}}{U}; \quad B = \frac{I_r}{U}$$

$$Y_1 = \frac{I_1}{U}; \quad Y_2 = \frac{I_2}{U}; \quad Y = \frac{I}{U}$$

Dövrənin elektrik güclərini keçiriciliklərlə ifadə edək:
Aktiv güc:

$$P = UI \cos \varphi = UI \frac{G}{Y} = UIZG = U^2G$$

Reaktiv güc:

$$Q = UI \sin \varphi = UI \frac{B}{Y} = UIZB = U^2B$$

Tam güc:

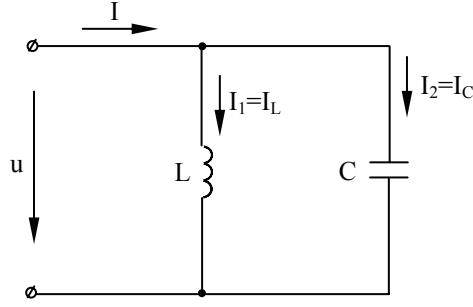
$$S = UI = U \frac{U}{Z} = U^2Y \quad \text{və ya}$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = U^2 \sqrt{G^2 + B^2} = U^2Y$$

§ 9.3. Budaqlanan dövrələrdə cərəyanlar rezonansı

Paralel konturlu dövrənin budaqlanmamış hissəsindəki cərəyan fazaca mənbəyin gərginliyi ilə üst-üstə düşəndə baş verən hadisəyə cərəyanlar rezonansı deyilir.

Məlumdur ki, cərəyanla gərginlik o vaxt fazaca eyni olar ki, dövrədə ancaq təmiz aktiv keçiricilik olsun, reaktiv keçiricilik isə sıfıra bərabər alınsın. Başqa sözlə, paralel dövrədə $B_L = B_C$ olanda ($B=0$ olur) cərəyanlar rezonansı yaranır.



Şəkil 9.4. İnduktivli və kondensatorlu paralel dövrə

İki cür konturda cərəyanlar rezonansına baxaq: a) ideal konturda; b) real konturda.

a) **İdeal itkisiz rəqs konturunda cərəyanlar rezonansı**, şəkl. 9.4.

İdeal paralel rəqs konturunda $R_1=R_2=0$ olduğu üçün $G_1=G_2=0$ olur və konturda güc itkisi alınmır. Qolların reaktiv keçiriciliklərinin bərabərliyində, $B_L=B_C$ olanda cərəyanlar rezonansı baş verir. Bu zaman

$$B_1 = B_L = \frac{1}{X_L} = \frac{1}{\omega L} \quad \text{və} \quad B_2 = B_C = \frac{1}{X_C} = \omega C \quad \text{olduğundan}$$

$$\omega L = \frac{1}{\omega C} \quad \text{olur.}$$

Yəni, verilmiş konturda rezonansı induktivliyi (L), tutumu (C) və tezliyi (ω) seçməklə almaq olar. Aşağıdakı istənilən nisbətə seçilməsi ilə cərəyanlar rezonansı baş verir.

$$L = \frac{1}{\omega^2 C}; \quad C = \frac{1}{\omega^2 L}; \quad \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \omega_r \quad (9.7)$$

ω – gərginlik mənbəyinin tezliyi;

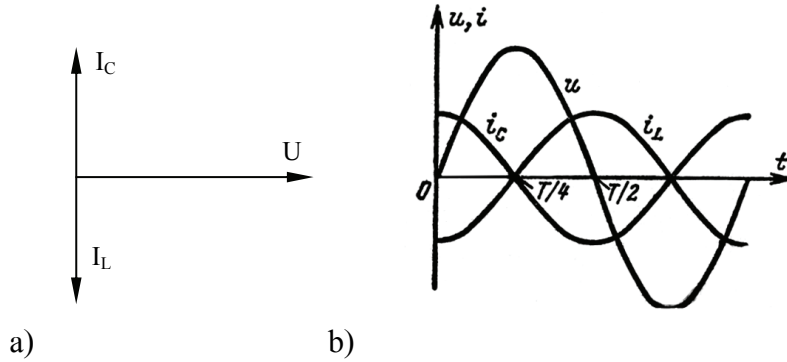
ω_r – rəqs konturunun məxsusi tezliyidir.

Bu konturda cərəyanın aktiv toplananı $I_a = UG = 0$, reaktiv keçiricilik $B = B_L - B_C = B_1 - B_2 = 0$ olur, konturun tam keçiriciliyi $Y = \sqrt{G^2 + B^2} = 0$; tam müqavimət $Z = \frac{1}{Y} = \frac{1}{0} = \infty$

Deməli, ideal konturda ümumi cərəyan $I = UY = 0$ alınır. Lakin paralel qollardan cərəyanlar axır, yəni

$$I_L = UB_L = I_C = UB_C$$

Bu cərəyanlar (I_L və I_C) əks fazada dəyişir ki, bu da vektor və dalğa diaqramından görünür, şəkl. 9.5.



Şəkil 9.5. İdeal kontur üçün vektor (a) və zaman (b) diaqramları

u , i_L və i_C zaman əyrilərinə əsasən dövrdə gedən energetik prosesləri araşdıraq. Periodun birinci $\frac{1}{4}$ -də ($t = 0 \div \frac{T}{4}$)

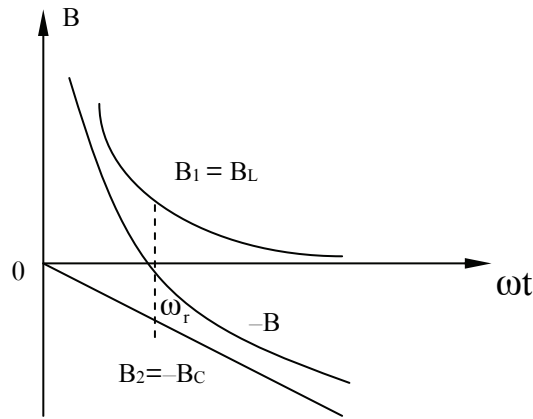
$u = U_{Cm}$ olur, kondensatorda enerji toplanır. $W_{Cm} = \frac{CU_{Cm}^2}{2}$;

sarğaclardakı enerji isə $W_{Lm} = \frac{L \cdot I_m^2}{2} = 0$

Periodun 2-ci $\frac{1}{4}$ -də $\left(t = \frac{T}{4} \div \frac{T}{2}\right) u = U_{Cm} = 0$, kondensatordakı enerji $W_{Cm} = 0$ olur, yəni kondensator boşalır və elektrik enerjisi sarğacda maqnit sahə enerjisinə çevrilir: $i_L = I_{Lm}$; $W_{Lm} = \frac{LI_m^2}{2}$.

Bu proses periodik olaraq kontur daxilində davam edir. $B_L = B_C$ olduğundan $LI^2 = CU^2$ və ya $W_{Lm} = W_{Cm}$ olur. Onda mənbə ilə ideal kontur arasında enerji mübadiləsi olmur, çünki $I = UY = 0$ alınır.

Dövrənin keçiriciliklərinin tezlik xarakteristikaları Şək. 9.6 göstərilmişdir.

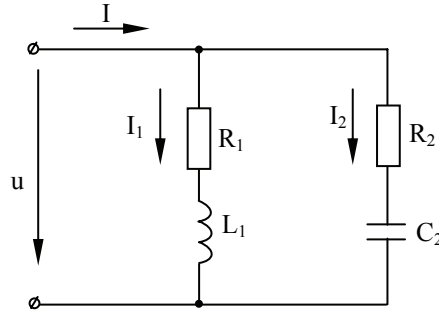


Şəkil 9. 6. Şək.9.4-də təsvir olunmuş dövrənin reaktiv keçiriciliklərinin tezlikdən asılılığı

Tezlik $\omega = 0$ qiymətindən başlayaraq $\omega = \omega_r$ olana qədər dəyişdikdə $Y = B > 0$, yəni dövrə induktiv xarakterli olur və tezlik ∞ -dan 0-a qədər azalır. $\omega = \omega_r$ olanda cərəyanlar rezonansı alınır. $B = 0, I = 0, I_1 = I_2 = UB_L = I_2 = I_C = UB_C$ olur. Tezlik ω_0 -dan ∞ -a qədər artdıqda ümumi keçiricilik 0-dan $-\infty$ qədər dəyişir.

b) Real (itkili) rəqs konturunda cərəyanlar rezonansı.

Budaqlarında R_1 , L və R_2 , C elementləri qoşulmuş iki paralel qoldan ibarət itkili konturda cərəyanlar rezonansına baxaq. Şək. 9.7.



Şəkil 9.7. Aktiv müqavimətləri, induktivliyi və tutumu olan budaqlanan dövrə

Dövrənin sınaqlarına sinusoidal $u = U_m \sin \omega t$ gərginlik tətbiq edildikdə budaqlardan və budaqlanmamış hissədən axan cərəyanlar

$$I = UY = U\sqrt{G^2 + B^2}$$

$$I_1 = U\sqrt{G_1^2 + B_1^2}$$

$$I_2 = U\sqrt{G_2^2 + B_2^2}$$

Burada

$$G_1 = \frac{R_1}{Z_1^2}; \quad B_1 = B_L = \frac{X_L}{Z_1^2}; \quad G_2 = \frac{R_2}{Z_2^2}; \quad B_2 = B_C = -\frac{X_C}{Z_2^2};$$

$$G = G_1 + G_2; \quad B = B_1 + B_2$$

Rezonans şərti $B_L = B_C$ olduğundan faza sürüşmə bucağı

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{B}{G} = \frac{B_L - B_C}{G} = \frac{0}{G} = 0 \quad \text{və} \quad \varphi = 0$$

Onda dövrədən axan ümumi cərəyan

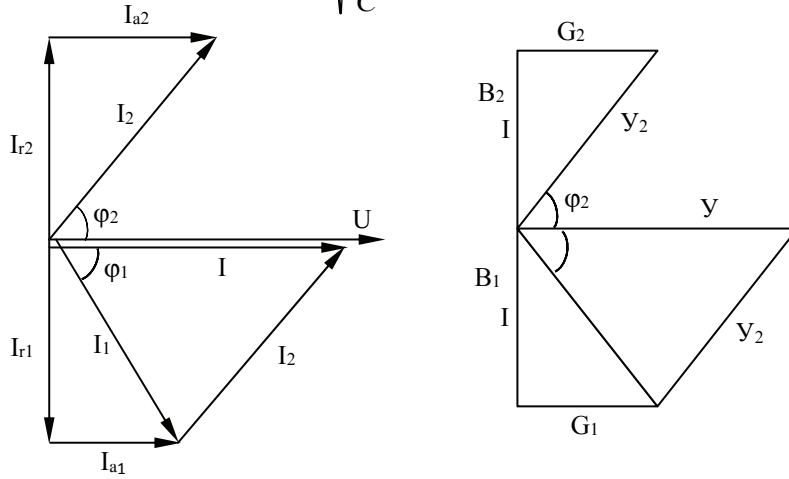
$$I = UY = U\sqrt{G^2 + B^2} = UG \quad \text{və} \quad \text{ya} \quad I = I_a = UG$$

olur, yəni ümumi cərəyan aktiv cərəyana bərabərdir, ən kiçik qiymət alır və gərginliklə eyni fazada dəyişir. Şək. 9.8.

Rezonans şərtinə görə, $\frac{\omega L}{R_1^2 + (\omega L)^2} = \frac{\frac{1}{\omega C}}{R_2^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}$, bura-

dan rezonans tezliyi

$$\omega_r = \sqrt{\frac{1}{LC}} \cdot \sqrt{\frac{\frac{L}{C} - R_1^2}{\frac{L}{C} - R_2^2}} \quad (9.8)$$



a)

b)

Şəkil 9.8. Şək.9.7-də təsvir olunmuş dövrənin vektor diaqramı (a) və keçiriciliklər çoxbucaqlısı (b)

Rezonans halında hər bir qoldakı reaktiv güc qiymətcə bərabərdir: $Q_1 = U^2 B_1$, $Q_2 = -U^2 B_2$.

Onda dövrənin tam reaktiv gücü

$$Q = Q_1 + Q_2 = U^2 (B_1 - B_2) = 0 \quad (9.9)$$

Bu onu göstərir ki, kontur ilə cərəyan mənbəyi arasında enerji mübadiləsi yoxdur.

Hər iki qolda aktiv müqavimətlərin (R_1 və R_2) olması mənbədən gələn enerjinin istiliyə çevrilməsinə səbəb olur. Daha doğrusu, cərəyanlar rezonansı zamanı qida mənbəyi dövrəni ancaq aktiv güclə təmin edir və dövrə tam aktiv müqavimət xarakterlidir.

$$Y = \sqrt{G^2 + B^2} = G, \quad Z = \frac{1}{Y} \quad (9.10)$$

Cərəyanlar rezonansı halında dalğa keçiriciliyi

$$Y_d = \frac{1}{Z_d} = \sqrt{\frac{C}{L}} \quad (9.11)$$

Rezonans zamanı reaktiv keçiriciliklər:

$$\omega_r C = \frac{1}{\omega_r L} = \frac{C}{\sqrt{LC}} = \sqrt{\frac{C}{L}} = Y_d$$

Onda $I_L = I_C = U Y_d$

Cərəyanlar rezonansında induktiv və ya tutum cərəyanının dövrənin budaqlanmamış hissəsindəki cərəyana nisbəti dalğa keçiriciliyinin aktiv keçiriciliyə olan nisbətində bərabərdir.

$$\frac{I_L}{I} = \frac{I_C}{I} = \frac{Y_d}{G}$$

$\frac{Y_d}{G}$ – nisbəti böyük olduqca rezonans baş verən paralel dövrənin keyfiyyəti yüksək olar. Bu halda konturun keyfiyyət əmsalı

$$Q = \frac{Y_d}{G} = \frac{\sqrt{\frac{C}{L}}}{G} = \frac{R}{\omega_r L} = \omega_r RC \quad (9.12)$$

Cərəyanlar rezonansının əlamətləri aşağıdakılardır:

1) konturun müqaviməti (Z) maksimumdur və təmiz aktivdir;

2) dövrənin budaqlanmamış hissəsindəki cərəyan mənbəyin gərginliyi ilə fazaca üst-üstə düşür və minimal qiymətə çatır;

3) sarğacdakı reaktiv cərəyan kondensatordakı reaktiv cərəyanla bərabər olur və bu cərəyanlar mənbəyin cərəyanından dəfələrlə böyük ola bilər.

Fiziki cəhətdən bu onunla izah olunur ki, konturda kiçik itkilər (R az olduqda) olduqda mənbəyin cərəyanı ancaq bu itkilərin yerini doldurmağa sərf olunur. Konturun cərəyanı isə sarğacla kondensator arasındakı enerji mübadiləsinə səbəb olur.

Qeyd etmək ki, cərəyanlar rezonansı hadisəsi gərginliklər rezonansı hadisəsindən mürəkkəb və çoxşəkillidir.

§ 9.4. Güc əmsali və onun əhəmiyyəti

Elektrik maşınları, aparatlar və başqa qurğular xarakterizə edilir:

1) nominal cərəyanla – I_n , uzun müddət axanda buraxıla bilən qızma əmələ gətirir;

2) nominal gərginliklə – U_n , maşın və cihazlar ona hesablanır və hazırlanır;

3) nominal tam güclə – S_n , U_n və I_n -n hasilinə bərabərdir

$$S_n = U_n \cdot I_n$$

Nominal gərginlik və cərəyanda $\cos\varphi=1$ olduqda generatorun gücündən tam istifadə olunur (rezonans zamanı), çünki bu halda aktiv güc ən böyükdür və nominal tam gücə bərabərdir.

$$P = U_n I_n \cos \varphi_n = U_n I_n = S_n \quad (9.13)$$

Burada $\cos \varphi$ – güc əmsalıdır.

$\cos \varphi \neq 1$ olanda nominal gərginlik və cərəyanla işləyən generator $\cos \varphi$ -nın qiymətinə mütənasib aktiv güc verir. Qiyməti enerji qəbuledicilərindən asılı olan $\cos \varphi$ – azalanda generatorun gücündən tam istifadə edilə bilmir.

Enerji qəbuledicilərinin, generatorların qoyulmuş nominal güclərindən tam istifadə etmək üçün qurğuların güc əmsalını $(0,95 \div 1)$ həddində yüksəltmək lazımdır. $\cos \varphi$ -nın bu qiymətdən az olması elektrotexniki qurğuların reaktiv güclərinin artmasını göstərir.

Əgər qurğuların reaktiv gücü sifira bərabər deyilsə, onda ,
 $\frac{Q}{P} = \operatorname{tg} \varphi \neq 0$ güc əmsalı $\cos \varphi < 1$ olur. İşlədicilərin reaktiv gücü nə qədər böyük olarsa, onlarda cərəyan da bir o qədər böyük olar.

Reaktiv gücün azaldılmasına praktikada dəyişən cərəyan mühərriklərinin və transformatorların gücünün düzgün seçilməsi, onların artıq yüklənmə və yüksüz işləmə olmadan istismar edilməsi ilə nail olunur.

Reaktiv gücün elektrik avadanlıqlarının seçilməsi və istismarı ilə azaldılması təbii azaldılma adlanır.

Nə vaxt ki, təbii azaltma qurğunun reaktiv gücünün optimal qiymətini təmin etməzsə, onun kompensasiyası üçün süni üsullardan istifadə edilir.

Belə üsullardan biri işlədiciyə paralel olaraq kondensatorlar batareyasının qoşulmasıdır. Kondensatorlar batareyasının tutumunu və gücünü təyin etmək üçün mənbəyin gərginliyi, qurğunun kompensasiyaya qədərki (Q_1) və kompensasiyadan sonrakı (Q_2) reaktiv gücləri məlum olmalıdır.

Kondensatorlar batareyasının gücünü $O_C = Q_1$ qoyanda $Q_2 = 0$ olur və tam kompensasiya alınır, şəbəkədə reaktiv cərəyan olmur.

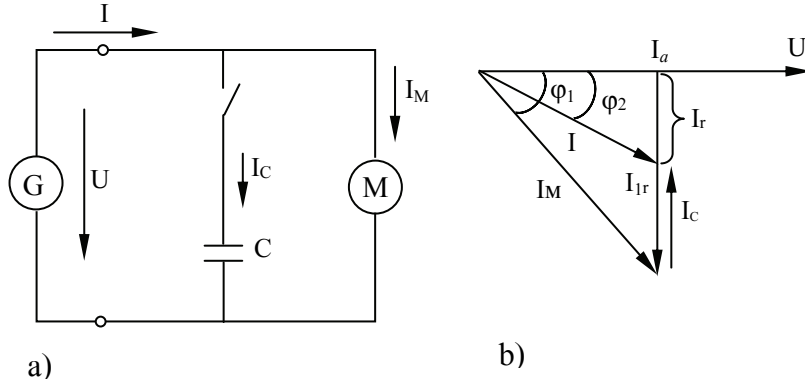
Kondensatorlar batareyasının gücü

$$Q_C = Q_1 - Q_2$$

tutumu isə

$$C = \frac{Q_C}{\omega U^2} \quad (9.16)$$

Reaktiv gücün kondensatorların köməyi ilə kompensasiyasının mahiyyəti şəx. 9.9 (b)-ki vektor diaqramından görünür.



Şəkil 9.9. Reaktiv gücün kompensasiya sxemi (a) və vektor diaqramı (b)

Kondensator qoşulana qədər keçirici məftillərdəki və mühərrikdəki cərəyan I_M gərginlikdən φ_1 bucağı qədər geri qalır. Kondensator qoşulandan sonra tutum cərəyanı I_C mühərrikin cərəyanının reaktiv toplananının bir hissəsini kompensasiya edir. Nəticədə məftillərdən cərəyanı I qədər, faza sürüşmə bucağı isə φ_2 bucağı qədər azalır.

FƏSİL X. ELEKTRİK DÖVRƏLƏRİNİN KOMPLEKS ÜSULLA HESABLANMASI

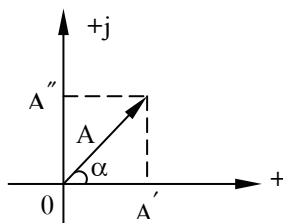
§ 10.1. Əsas anlayışlar

Məlum tezlikli dəyişən cərəyanın istənilən andakı qiymətini təyin etmək üçün iki ədəd məs. cərəyanın amplitudu və arqumenti verilməlidir. Lakin dəyişən cərəyanın qiymətini iki kəmiyyət ilə yox, bir kompleks ədəd ilə də tapmaq olar.

Həqiqi ədədlə mənfi ədədin kvadrat kökündən ibarət olan xəyali ədədin cəminə kompleks ədəd deyilir.

$$\underline{A} = A' + jA'', \text{ burada } j = \sqrt{-1}.$$

Riyaziyyatdan məlumdur ki, hər bir A vektoruna kompleks müstəvidə bir kompleks ədəd uyğun olur. Kompleks müstəvinin absis oxunda kompleks ədədin həqiqi hissəsi, ordinat oxunda xəyali hissəsi göstərilir. Şək. 9.1.



Şəkil 10.1. Vektorun kompleks ədədlərlə təsviri

Kompleks ədədlər ya üzərində nöqtə qoyulmaqla, $\dot{U}, \dot{I}, \dot{E}$ və ya altından xətt çəkilməklə $\underline{Z}, \underline{Y}$ göstərilir.

Vektorun uzunluğu və ya modulu:

$$A = \sqrt{(A')^2 + (A'')^2} \quad (10.1)$$

arqumenti isə

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{A''}{A'} \quad (10.3)$$

ifadələrdən təyin edilir.

Kompleks ədədlər üç şəkildə göstərilə bilər.

$$\text{Cəbri şəkildə: } \underline{A} = A' + jA'' \quad (10.4)$$

$$\text{Trigonometrik şəkildə: } \underline{A} = |A| \cos \alpha + j|A| \sin \alpha \quad (10.5)$$

Ustlü (qüvvət) şəkildə:

$$\underline{A} = |A| \cos \alpha + j|A| \sin \alpha = |A|(\cos \alpha + j \sin \alpha) = |A|e^{j\alpha}$$

burada $(\cos \alpha + j \sin \alpha) = e^{j\alpha}$, Eyler düsturudur.

§ 10.1. Kompleks ədədlər üzərində əməllər

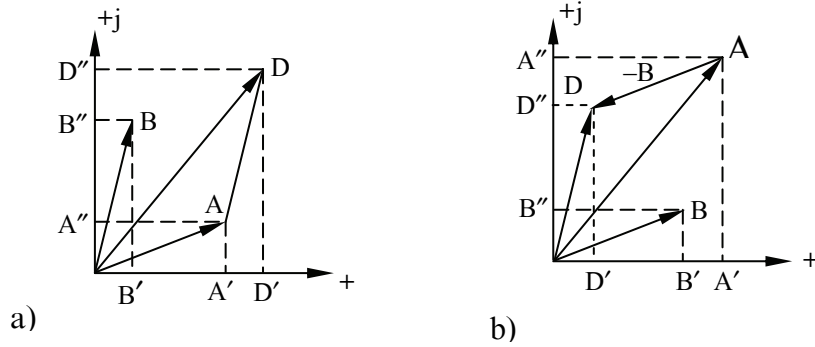
Kompleks ədədlər üzərində cəbri əməliyyatlar aparmaq mümkündür.

1) Kompleks ədədlərin toplanması və çıxılması.

Bu əməliyyatlar cəbri şəkildə aparılır. **İki (və daha çox) kompleks ədədi toplamaq və çıxmaq üçün onların həqiqi hissələrini bir, xəyali hissələrini də bir yerdə toplamaq və çıxmaq lazımdır.** Məs.:

$$D = A + B = (A' + jA'') + (B' + jB'') = (A' + B') + j(A'' + B'') = D' + jD'' \quad (10.7)$$

$$D = A - B = (A' + jA'') - (B' + jB'') = (A' - B') + j(A'' - B'') = D' + jD'' \quad (10.8)$$



Şəkil 10.2. İki vektorun toplanması (a) və çıxılması (b)

Bu cəbri əməliyyatları kompleks müstəvidə göstərək. Şək. 10.2.

2) Kompleks ədədlərin vurulması və bölünməsi

Kompleks ədədləri vurduqda və böldükdə, onların modullarını ayrıca vurmaq və bölmək, arqumentlərini isə toplamaq və çıxmaq lazımdır.

$$|A| = |A|e^{j\alpha}; \quad |B| = |B|e^{j\beta}$$

$$D = A \cdot B = |A \cdot B| \cdot e^{j(\alpha+\beta)} = |AB|e^{j\gamma} \quad (10.9)$$

$$D = \frac{A}{B} = \frac{|A|e^{j\alpha}}{|B|e^{j\beta}} = \frac{|A|}{|B|} e^{j(\alpha-\beta)} = \left| \frac{A}{B} \right| e^{j\gamma} \quad (10.10)$$

3) Kompleks ədədin qüvvətə yüksəldilməsi

Kompleks ədədi qüvvətə yüksəltmək üçün əvvəlcə ədədin modulunu həmin dərəcədə qüvvətə yüksəltmək, arqumentini isə həmin dərəcəyə vurmaq lazımdır.

$A = |A|e^{j\alpha}$ -ni b dərəcədə qüvvətə yüksəldək:

$$(A)^b = A^b \cdot e^{jb\alpha} \quad (10.11)$$

4) Kompleks ədəddən kök almaq

Kompleks ədəddən kök almaq üçün onun modulundan ayrılıqda kök alınır, arqumenti isə kökün dərəcəsinə bölünür.

$$A = |A|e^{j\alpha} \quad A = \sqrt{|A|} \cdot e^{j\alpha/2} \quad (10.12)$$

§ 10.3. Elektrik dövrlərinin əsas tənliklərinin kompleks şəkildə ifadəsi

Cərəyan şiddəti, gərginlik, müqavimət və keçiriciliyi simvolik şəkildə göstərməklə əsas hesabat tənliklərini kompleks şəkildə yazmaq olar.

Bilirik ki, kompleks tam müqavimət

$$\underline{Z} = \frac{\dot{U}}{\dot{I}}$$

Düsturdan

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{\underline{Z}} \quad (10.13)$$

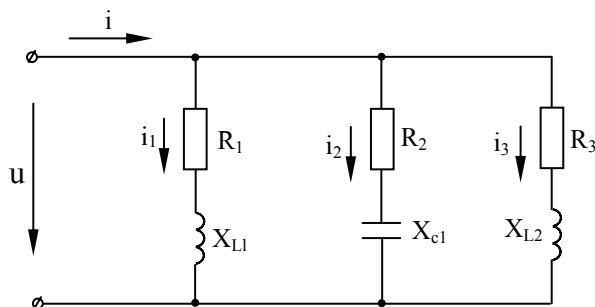
alırıq. Bu tənlik **Om qanununun kompleks şəklidir.**

Kirxhofun birinci qanununa əsasən **elektrik dövrlərində budaqlanma (düyun) nöqtəsindəki kompleks cərəyanların cəbri cəmi sifıra bərabərdir.**

$$\sum \dot{I} = 0 \quad (10.14)$$

Tənlikləri Kirxhofun birinci qanununa görə kompleks şəkildə tərtib etmək üçün cərəyanların şərti müsbət istiqamətlərini seçmək lazımdır. Düyun nöqtəsinə gələn cərəyanların işarəsi müsbət, düyun nöqtəsindən çıxan cərəyanların işarəsi mənfi qəbul edilir.

Şək. 10.3 sxemi üçün yazı bilərik:



Şəkil 10.3. Budaqlanan elektrik dövrəsi

$$i - i_1 - i_2 - i_3 = 0 \quad \text{və ya} \quad i = i_1 + i_2 + i_3$$

$$\text{Kompleks şəkildə} \quad \dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3$$

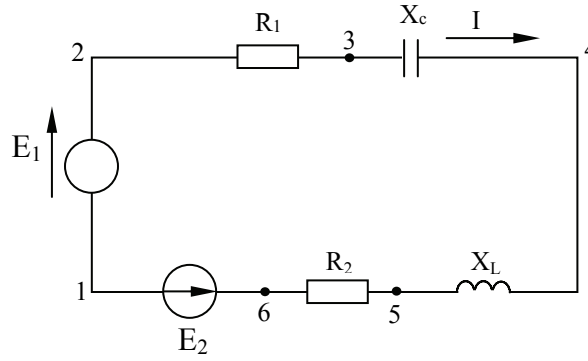
Yəni, budaqlanma nöqtəsinə daxil olan kompleks cərəyanların cəmi, budaqlanma nöqtəsindən çıxan kompleks cərəyanların cəminə bərabərdir.

Kirxhofun ikinci qanununa əsasən istənilən qapalı konturda kompleks e.h.q.-lərinin cəbri cəmi kompleks gərginlik düşkülərinin cəbri cəminə bərabərdir.

$$\sum \dot{E} = \sum \dot{I} Z \quad (10.27)$$

Şək. 10.4-dəki sxem üçün yazı bilərik:

X_c



Şək.10 .4 Bir neçə mənbəli qapalı kontur

$$iR_1 + u_C + u_L + iR_2 = e_1 - e_2$$

Kompleks şəkildə

$$\dot{I}R_1 + \dot{I}(-jX_C) + \dot{I}jX_L + \dot{I}R_2 = \dot{E}_1 - \dot{E}_2$$

FƏSİL XI. QARŞILIQLI İNDUKTİVLİKLİ ELEKTRİK DÖVRƏLƏRİ

§ 11.1. Konturların maqnit rəbitəsi

Əvvəlki fəsilərdən bilirik ki, elektrik dövrələrinin elementləri bir-biri ilə ümumi maqnit seli ilə əlaqələnə bilər və elementlərdən birində cərəyanın dəyişməsi digər elementdə e.h.q-si əmələ gətirir. Dövrənin elementlərinin belə qarşılıqlı təsiri induktiv rəbitə (və ya maqnit rəbitəsi) adlanır.

Maqnit rəbitəli konturlar və ya sarğacalar iki cür qoşula bilər: uyğun və qarşılıqlı.

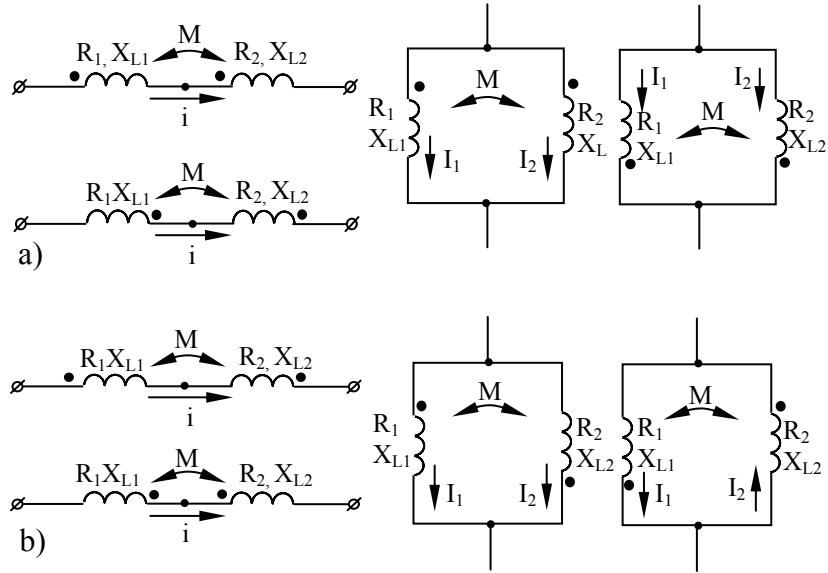
Əgər iki sarğacın maqnitlənmə qüvvəsi (m.h.q-si) üst-üstə düşərsə, onda sarğacaların qoşulması uyğun adlanır. Bu istiqamətlər üst-üstə düşməyəndə birləşmə qarşılıqlı (əks) adlanır.

Sarğaclardakı m.h.q-nin istiqaməti «burğu» qaydası ilə təyin edilir. Cərəyanların istiqamətlərini və ya sarğacın birində sarğıkların sarınma istiqamətini dəyişməklə uyğun və ya qarşılıqlı birləşmə almaq olar.

Uyğun qoşulmada hər iki sarğacdakı cərəyanlar eyniadlı sıxaqlara doğru istiqamətlənir, onlarda öz-özünə induksiya və qarşılıqlı induksiya maqnit selləri istiqamətcə üst-üstə düşür, yəni bu sellər toplanır və qarşılıqlı induksiya əmsalı (M) müsbət olur.

Qarşılıqlı qoşulmada sarğaclardakı cərəyanlar əks adlı sıxaqlara doğru istiqamətlənir, öz-özünə induksiya və qarşılıqlı induksiya maqnit selləri bir-birinin əksinə olur, maqnit selləri çıxılır, qarşılıqlı induksiya əmsalı (M) mənfi olur.

Əvəz sxemlərində qarşılıqlı induksiya M hərfi ilə göstərilir. Uyğun və qarşılıqlı qoşulmalarını ayırmaq üçün, sarğacaların başlanğıcları nöqtə (●) və ya ulduz (*) işarələri ilə qeyd edilir. Şək. 11.1.



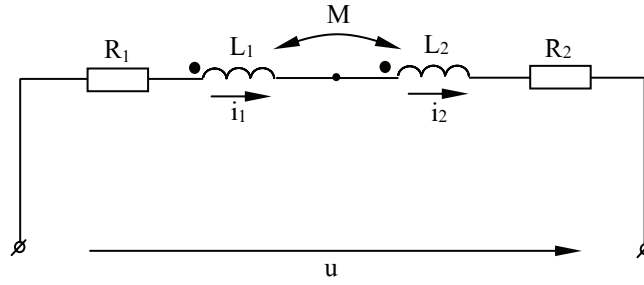
Şəkil 11.1. İnduktiv rabitəli sarğacaların uyğun (a) və qarşılıqlı (b) qoşulması

§ 11.2. Qarşılıqlı induktivlikli ardıcıl dövrə

Qarşılıqlı induktivlikli elektrik dövrlərinin hesablanması əsas xüsusiyyəti ondan ibarətdir ki, burada R , L , C parametrlərinə dördüncü M parametri də əlavə olunur.

Bundan başqa nəzərə almaq lazımdır ki, dövrənin eyni bir elementində qarşılıqlı induksiya və öz-özünə induksiya e.h.q-ləri üst-üstə və ya əksinə istiqamətlənə bilərlər.

Qarşılıqlı induktivli budaqlanmamış dövrləri hesablamaq üçün Kirxhofun ikinci qanununa əsasən tənliklər qurmaq lazımdır. Şək. 11.2.



Şəkil 11.2. Sarğacların uyğun ardıcıl qoşulması

$$u = u_{R_1} + u_{L_1} \pm u_{M_{(2-1)}} \pm u_{M_{(1-2)}} + u_{L_2} + u_{R_2}$$

və ya

$$u = i_1 R_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} \pm M_{2,1} \frac{di_2}{dt} \pm M_{1,2} \frac{di_1}{dt} + L_2 \frac{di_2}{dt} + i_2 R_2$$

Dövrə budaqlanmamış olduğundan $i_1 = i_2 = i$ olur.

$$u = i(R_1 + R_2) + \frac{di}{dt} (L_1 + L_2 \pm M_{21} \pm M_{12}) \quad (11.1)$$

Qarşılıqlıq prinsipinə görə:

$$M_{21} = M_{12} = M \quad \text{olur.}$$

Onda:

$$u = i(R_1 + R_2) + \frac{di}{dt} (L_1 + L_2 \pm 2M) \quad (11.2)$$

M-in qarşısındakı «+» və «-» işarələri sarğacların qoşulması ilə təyin edilir. Əgər sarğaclər uyğun qoşularsa, işarə «+», sarğaclər qarşılıqlı qoşularsa işarə «-» olur.

Uyğun qoşulmada

$$L_{\text{ekv.uyg.}} = L_1 + L_2 + 2M \quad (11.3)$$

Qarşılıqlı qoşulmada

$$L_{\text{ekv.qar.}} = L_1 + L_2 - 2M \quad (11.4)$$

Dövrəyə tətbiq olunan gərginlik sinusoidal olduğundan (10.2) düsturunu kompleks şəkildə yazaq.

$$\begin{aligned}\dot{U} &= \dot{I}(R_1 + R_2) + j\omega(L_1 + L_2 \pm 2M)\dot{I} = \\ &= \dot{I}(R_{ekv} + j\omega L_{ekv}) = \dot{I}(R_{ekv} + jX_{ekv})\end{aligned}$$

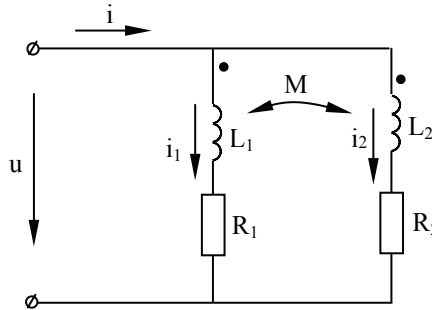
Buradan

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{R_{ekv} + jX_{ekv}} = \frac{\dot{U}}{\underline{Z}_{ekv}} \quad (11.5)$$

alırıq.

§ 11.3. Qarşılıqlı induktivlikli paralel dövrə

Müqavimətləri R_1 , R_2 , induktivlikləri L_1 , L_2 və qarşılıqlı induktivliyi M olan iki sarğac paralel birləşdirilmiş dövrə verilib. Şək. 11.3.



Şəkil 11.3. Qarşılıqlı induktivlikli paralel dövrə

Sxemdən görünür ki, eyniadlı sığaclara nəzərən hər iki sarğacdakı cərəyanın istiqaməti eynidir, ona görə də qarşılıqlı induktivliklə bağlı gərginlik düşküsü müsbət olur. Onda

$$\begin{aligned}\dot{U} &= R_1 \dot{I}_1 + jX_1 \dot{I}_1 + jX_M \dot{I}_2 \\ \dot{U} &= R_2 \dot{I}_2 + jX_2 \dot{I}_2 + jX_M \dot{I}_1\end{aligned} \quad (11.6)$$

$\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2$ olduğundan, bu tənliklər sistemini həll edərək alırıq:

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_1 &= \frac{\underline{Z}_2 - \underline{Z}_M}{\underline{Z}_1 \underline{Z}_2 - \underline{Z}_M^2} \cdot \dot{U} & \dot{I}_2 &= \frac{\underline{Z}_1 - \underline{Z}_M}{\underline{Z}_1 \underline{Z}_2 - \underline{Z}_M^2} \cdot \dot{U} \\ \dot{I} &= \frac{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 - 2\underline{Z}_M}{\underline{Z}_1 \underline{Z}_2 - \underline{Z}_M^2} \cdot \dot{U} \end{aligned} \right\} \quad (11.7)$$

Sonuncu bərabərlikdən verilmiş dövrənin giriş kompleks müqaviməti tapılır.

$$\underline{Z}_{gir} = \frac{U}{I} = \frac{\underline{Z}_1 \underline{Z}_2 - \underline{Z}_M^2}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 - 2\underline{Z}_M} \quad (11.8)$$

Ekvivalent induktivlik

$$L_{ekv.par} = \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 + L_2 \pm 2M} \quad (11.9)$$

Sarğacların qarşılıqlı qoşulmasında cərəyanlar analoji olaraq təyin edilir. Fərq ancaq onda ibarətdir ki, (11.6) tənliklərində qarşılıqlı induktivlik toplananlarının işarələri mənfi olur.

FƏSİL XII. ÜÇFAZALI SİSTEMLƏR

§ 12.1. Üçfazlı sistemlər haqqında ümumi məlumat

Dəyişən cərəyanın üçfazlı sistemi 1891-ci ildə rus mühəndisi M.O.Dolivo-Dobrovolski tərəfindən ixtira edilmişdir. O vaxtdan elektrik enerjisinin verilməsi və paylanması bütün dünyada tətbiq olunur. Bu sistemin əsas üstünlükləri aşağıdakılardır: 1) Üçfazlı sistemdə xətlərin sayı iki dəfə, onlara sərflənən mis və ya alüminium məftillərin çəkisi, xətlərdə yaranan gərginlik və güc itkiləri azalır; 2) eyni ümumi güclə işləyən üç ədəd birfazlı generatorla müqayisədə üçfazlı generator sadə, ucuz və qənaətlidir; 3) üçfazlı cərəyanlar sistemi üç hərəkətsiz sarğacın köməyi ilə fırlanan maqnit sahəsi almağa imkan verir ki, bu da üçfazlı mühərrikin istehsalını və istismarını asanlaşdırır; 4) bərabər yüklənmədə birfazlı generatordan fərqli olaraq, üçfazlı generator intiqal mühərrikinin valı üzərində sabit moment yaradır.

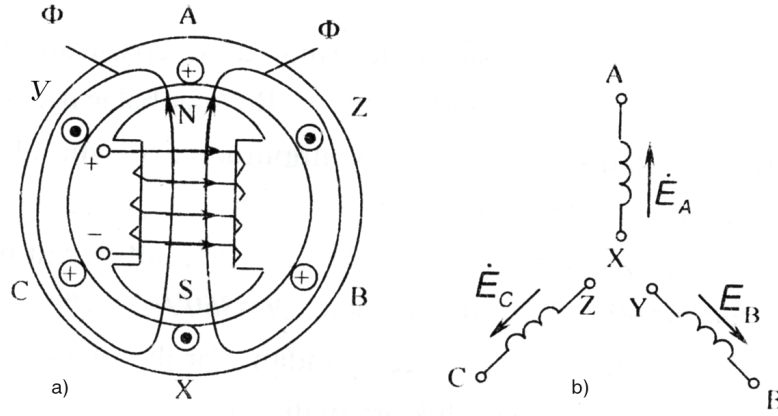
Eynitezlikli, eyni e.h.q-li, müxtəlif başlanğıc fazalı üç dəyişən e.h.q-si sisteminə üçfazlı sistem deyilir.

Üçfazlı sistemin ayrı-ayrı dövrləri qısaca olaraq fazalar adlanır.

Üçfazlı elektrik dövrəsi enerji mənbəyindən (üçfazlı generator və ya transformator), bir və ya üçfazlı işlədicidən ibarət olur. Elektrik stansiyalarında üçfazlı e.h.q-si sinxron generatorlardan alınır. Şək.12.1.

Generatorun tərpənməz stator hissəsində sarğılar sayı eyni olan və bir-birindən 120° fərqlənən üç faza dolaqları yerləşir. Faza dolaqlarının başlanğıcları A, B, C, sonları X, Y, Z hərfləri ilə işarə edilir.

Generatorun quruluş sxemində hər faza dolağı bir sarğıdan ibarət göstərilir. Həqiqi generatorda isə faza dolaqlarında sarğılar sayı çox olur.



Şəkil 12.1. Sadə üçfazlı generatorun quruluş sxemi (a) və sxemdəki faza dolaqlarının təsviri (b)

Generatorun fırlanan – rotor hissəsində sabit cərəyan mənbəyindən qidalanan təsirlənmə dolağı yerləşir. Sabit cərəyanın təsirindən yaranan maqnit seli Φ , rotorun və statorun nüvəsindən və hava aralığından keçərək qapanır. Su elektrik stansiyalarında generatorun rotoru su turbinləri, istilik elektrik stansiyalarında buxar turbinləri vasitəsilə hərəkətə gətirilir. Bu halda təsirləndirici maqnit seli rotor ilə birlikdə fırlanır. Onda stator və rotor arasındakı hava aralığında maqnit seli sinusoidal qanunla dəyişir. Elektromaqnit induksiya qanununa əsasən dəyişən maqnit seli, tərpənməz statorun faza dolaqlarının sarğılarını kəsir və bu dolaqlarda sinusoidal e.h.q.-ləri yaradır. A faza dolağında induksiya olunan e.h.q.-nin ani qiyməti

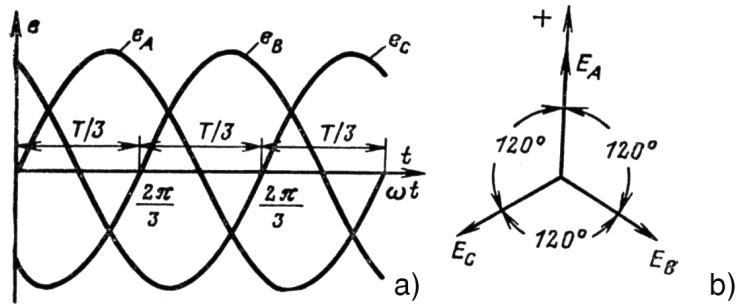
$$e_A = E_m \sin \omega t \quad (12.1)$$

B və C fazalarında induksiya olunan e.h.q.-ləri $2\pi/3$ (120°) və $4\pi/3$ (240°) qədər geri qalır. Bu e.h.q.-nin ani qiymətləri:

$$e_B = E_m \sin(\omega t - 2\pi/3) \quad (12.2)$$

$$e_C = E_m \sin(\omega t - 4\pi/3) = E_m \sin(\omega t + 2\pi/3)$$

Şək.12.2 a üçfazlı generatorun e.h.q-nin ani qiymətlərinin zamandan asılı dəyişmə qrafiki göstərilib.



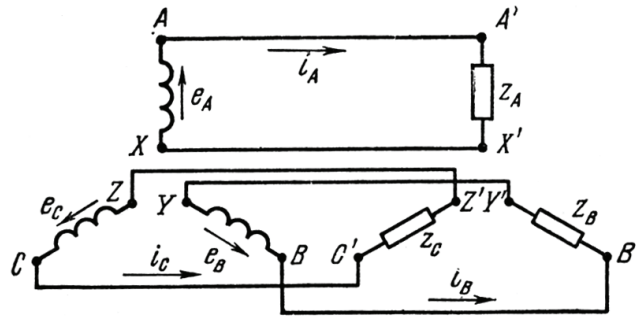
Şəkil 12.2. Üçfazlı generatorun e.h.q-lərinin dalğa (a) və vektor diaqramı (b)

Generatorun faza dolaqlarında sarğılar sayı bərabər olduğundan onlarda induksiyaalan e.h.q-nin maksimum qiymətləri:

$$E_{mA} = E_{mB} = E_{mC} = E_m = \omega W \Phi \quad \text{olur.}$$

Bu səbəbdən generatora simmetrik üçfazlı mənbə deyilir və generatorunda e.h.q-ləri bərabər olur. Şək. 12.2 (b)

Üçfazlı generatorun hər bir dolağı iki məfilla ayrılıqda enerji qəbuledicisinə birləşdirilərsə, **əlaqəsiz üçfazlı sistem** alınar. Şək. 12.3.



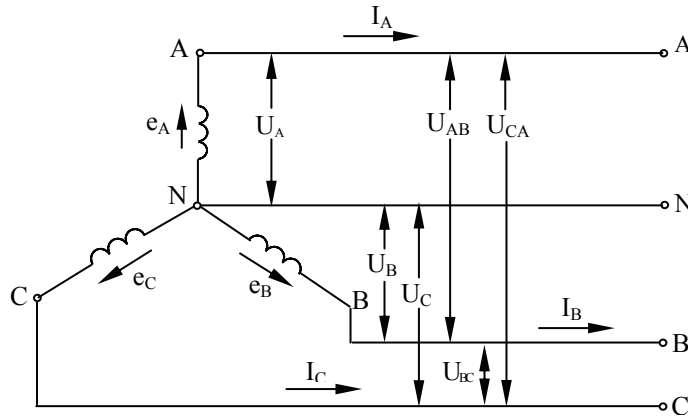
Şəkil 12.3. Əlaqəsiz üçfazlı dövrə

Əlaqəsiz üçfazlı dövrədə generatorun faza dolaqlarına işlədicilər 6 xətt vasitəsilə qoşulur. Xətlərin sayı çox olduğundan, xətlərdə mis və ya alüminiumun çəkisi, gərginlik və güc itkiləri artır, f.i.ə. azalır. Bu sistemin iqtisadi göstəriciləri aşağı olduğundan ondan istifadə edilmir. Praktikada generator dolaqlarının λ (ulduz) və Δ (üçbucaq) birləşdirilmiş əlaqəli sistemləri geniş tətbiq edilir.

§ 12.2. Generator dolaqlarının ulduz birləşdirilməsi

Generator dolaqlarının ulduz (λ) birləşməsində dolaqların sonları X, Y, Z bir nöqtədə birləşdirilir. Bu nöqtəyə **sıfır nöqtəsi** və ya **neytral nöqtə** (N) deyilir. Neytral nöqtəni işlədicilərin neytral nöqtəsi (N') ilə birləşdirən məftilə **neytral** və ya **sıfır məftili** deyilir. Dolaqların A, B, C başlanğıclarına işlədicilərə gedən üç xətti məftil qoşulur. Belə sistemə üçfazlı dördməftilli sistem deyilir. Şək. 12.4.

Neytral və xətti məftillər arasındakı (yəni dolaqların başlanğıcları ilə sonları arasındakı) gərginliklərə faza gərginliyi deyilir, U_A , U_B və U_C və ya ümumi şəkildə U_f ilə işarə edilir.



Şəkil 12.4. Generator dolaqları ulduz birləşmiş üçfazlı sistem

Xətti məftillər arasındakı (yəni generator dolaqlarının başlanğıcları arasındakı) gərginliklərə xətti gərginlik deyilir, U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} və ya ümumi şəkildə U_x ilə işarə edilir.

Faza və xətti gərginliklər arasındakı münasibəti təyin edək:

Üçfazlı dördməftilli dövrdə xətti gərginliklərin ani qiymətləri uyğun faza gərginliklərinin ani qiymətlərinin fərqinə bərabərdir.

$$u_{AB} = u_A - u_B; \quad u_{BC} = u_B - u_C; \quad (12.3)$$

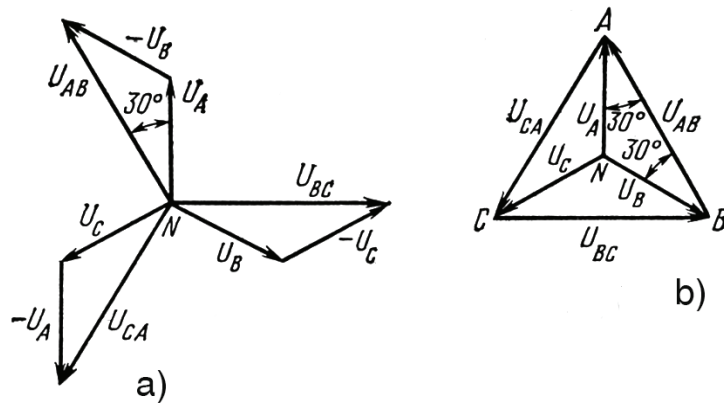
$$u_{CA} = u_C - u_A$$

u_A , u_B , u_C gərginlikləri sinusoidal qanunla dəyişir, eyni tezliyə malikdirlər. Buna uyğun olaraq u_{AB} , u_{BC} , u_{CA} -da sinusoidal dəyişir. Onda kompleks xətti gərginliklər

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B; \quad \dot{U}_{BC} = \dot{U}_B - \dot{U}_C; \quad (12.4)$$

$$\dot{U}_{CA} = \dot{U}_C - \dot{U}_A$$

olar. Yəni, xətti gərginlik vektorları faza gərginlik vektorlarının fərqinə bərabərdir, şəkl. 12.5 a. Onları həm analitik (12.4) düsturlarla, həm də vektor diaqramı vasitəsilə təyin etmək olar.



Şəkil 12.5. Generator dolaqlarının λ birləşməsində xətti və faza gərginliklərinin vektor diaqramı (a və b)

Vektor diaqramından görünür ki, iki qonşu faza gərginlik vektorları uyğun xətti gərginlik vektoru ilə birlikdə qapalı üçbucaq əmələ gətirir, şəkl. 12.5 a,b. Gərginliklər simmetrik olduğundan bu üçbucaq bərabəryanlı olur: bucaqları 30° , 30° və 120° -dir. Bu üçbucaqlardan

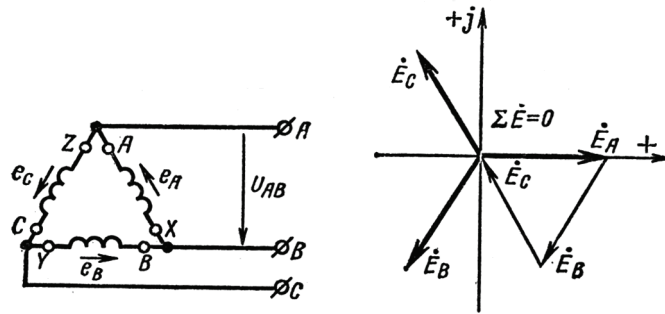
$$\frac{1}{2}U_x = U_f \cos 30^\circ$$

$$U_x = 2U_f \cos 30^\circ = 2U_f \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3}U_f \quad (12.5)$$

yəni xətti gərginlik faza gərginliyindən $\sqrt{3} \approx 1,73$ dəfə böyük olur.

§ 12.3. Generator dolaqlarının üçbucaq birləşdirilməsi

Generator dolaqları üçbucaq birləşəndə birinci dolağın sonu (X), ikinci dolağın başlanğıcı (B) ilə, ikinci dolağın sonu (Y) üçüncü dolağın başlanğıcı (C) ilə, üçüncü dolağın sonu (Z) birinci dolağın başlanğıcı (A) ilə birləşdirilir. Şəkl. 12.6



Şəkil 12.6. Generator dolaqlarının üçbucaq birləşməsi (a) və vektor diaqramı (b)

Üçbucaq birləşmədə xətti məfillər arasındakı gərginliklər (xətti gərginliklər) eyni zamanda faza gərginlikləri olur, yəni

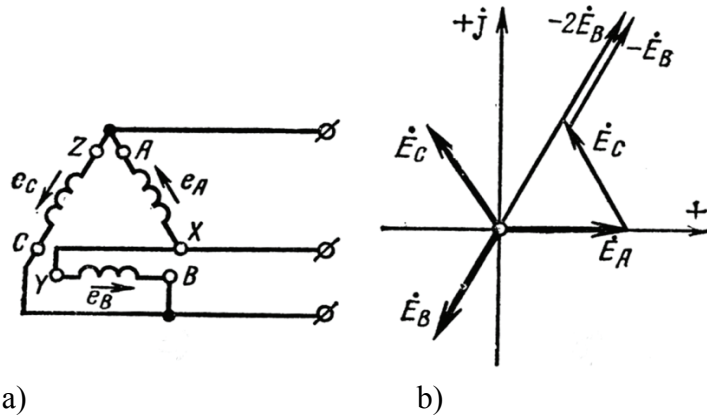
$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_A; \quad \dot{U}_{BC} = \dot{U}_B; \quad \dot{U}_{CA} = \dot{U}_C$$

Generator dolaqları üçbucaq birləşəndə qapalı kontur əmələ gəlir. Simmetrik e.h.q-si sistemi və açıq xarici dövrə olduqda Şək.12.6 belə konturda cərəyan olmur, çünki istənilən anda simmetrik e.h.q-lərinin cəmi sifira bərabərdir.

$$\dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C = 0;$$

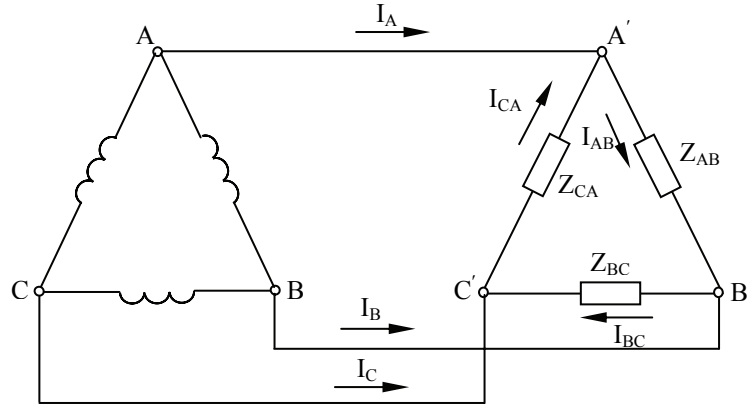
Generator dolaqlarının səhv üçbucaq birləşdirilməsi çox təhlükəlidir. **Əgər birinci dolağın sonu (X), ikincinin sonu (Y) ilə, üçüncü dolağın başlanğıcını (C), ikincinin başlanğıcını (B) ilə birləşdirilərsə**, E_B e.h.q.-si digər e.h.q-ləri ilə toplanmır, onların cəmindən çıxılır. Nəticədə qapalı konturdakı e.h.q-si mütləq qiymətcə iki dəfə artar, bu da qısa qapanmaya səbəb olar. Şək. 12.7.

$$E_A + E_B + E_C = (E_A + E_C) - E_B = -2E_B$$



Şəkil 12.7. Generator dolaqlarının səhv üçbucaq birləşdirmə sxemi (a) və onun vektor diaqramı (b)

Üçbucaq birləşdirilmiş işlədicilərin hər fazası xətti gərginlik altında olur. Bu halda işlədicilərdən müsbət istiqamətləri şərk. 12.8 göstərdiyi kimi i_{AB} , i_{BC} , i_{CA} faza cərəyanları axır.



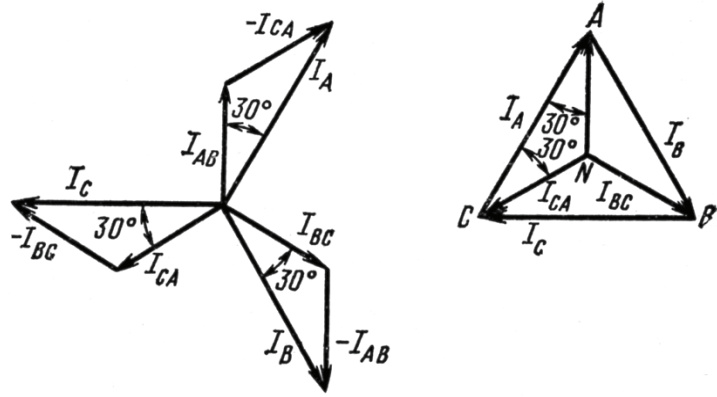
Şəkil 12.8. Enerji qəbulediciləri üçbucaq birləşdirilmiş üçfazlı dövrə

Həm mənbəyin A,B,C nöqtələri, həm də işlədicilərin A', B', C' nöqtələri elektrik düyünləri (düyün nöqtələri) olduğundan faza cərəyanları xətti $\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$, cərəyanlarından fərqlənir. A', B', C' düyünləri üçün Kirxhofun birinci qanununa əsasən yazmaq olar:

$$\begin{aligned}\dot{I}_A &= \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA} \\ \dot{I}_B &= \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB} \\ \dot{I}_C &= \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC}\end{aligned}\quad (12.6)$$

Simmetrik yüklənmədə bütün fazalarda cərəyanlar eynidir. Xətti cərəyan vektorlarının ulduzu, vektorların fırlanmasının əksinə olaraq faza cərəyan vektorlarının ulduzuna nəzərən 30° sürüşür.

Xətti cərəyanların təsiredici qiymətləri vektor diaqramındakı Şək. 12.9. bərabəryanlı üçbucaqlardan təyin edilir.



Şəkil 12.9. İşlədicilərin üçbucaq birləşməsində cərəyanların vektor diaqramı

$$\frac{I_A}{I_{AB}} = \cos 30^\circ; \quad I_A = 2 I_{AB} \cos 30^\circ = \sqrt{3} \cdot I_{AB}$$

Ümumi şəkildə

$$I_x = \sqrt{3} I_f \quad (12.7)$$

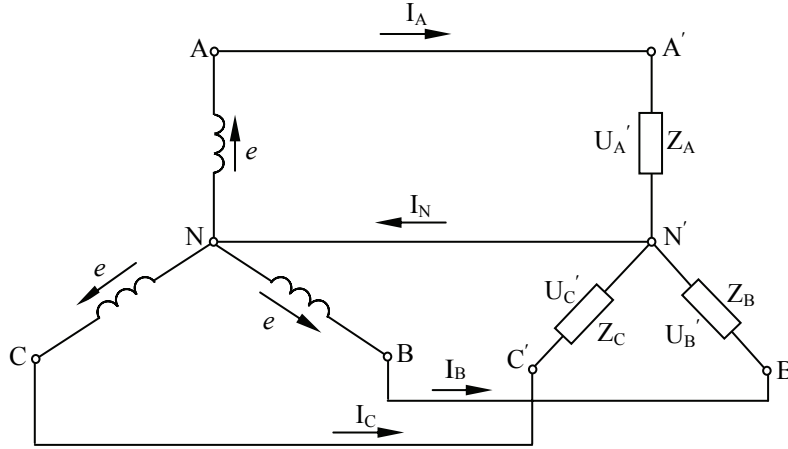
İfadədən görünür ki, **simmetrik yüklənmiş üçbucaq birləşmədə xətti cərəyanlar faza cərəyanlarından $\sqrt{3}$ dəfə böyük olar.**

§ 12.4. Simmetrik üçfazlı dövrələrin hesablanması

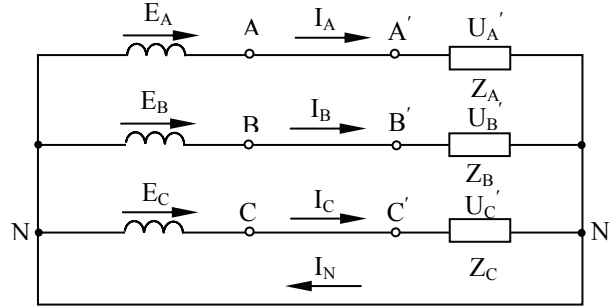
Ulduz və üçbucaq birləşdirilmiş üçfazlı dövrələri hesablamada məqsəd işlədicilərdəki faza cərəyanlarını və xətti məftillərdəki cərəyanları, eləcə də işlədicilərin güclərini təyin etməkdən ibarətdir.

Ulduz birləşmə

Enerji qəbulediciləri ulduz birləşdirilmiş simmetrik dövrədə işlədicilərin kompleks müqavimətləri bərabərdir ($Z_A = Z_B = Z_C = Z$) və onların sıxacları arasında simmetrik xətti gərginliklər sistemi təsir edir. Şəkil 12.10.



a)



b)

Şəkil 12.10. Dördnaqilli üçfazlı elektrik dövrəsi (a, b)

Simmetrik dövrlərdə bir fazanın hesabətını aparmaq kifayətdir, çünki bütün fazalarda cərəyanlar və güclər bərabərdir.

Xətti gərginlik məlum olduqda faza gərginliyi tapılır:

$$U_f = \frac{U_x}{\sqrt{3}}$$

Faza cərəyanı xətti cərəyanla bərabərdir və $I_f = I_x = U_f / Z$.

Üçbucaq birləşmə (Şək. 12.8)

Üçbucaq birləşmədə faza gərginliyi $U_f = U_x$ olur. Fazadakı cərəyan

$$I_f = \frac{U_f}{Z};$$

xətti cərəyan

$$I_x = \sqrt{3} \cdot I_f \text{ olur.}$$

Güclərin təyin edilməsi

Simmetrik üçfazlı dövrdə hər bir fazanın gücü birfazlı dəyişən cərəyan dövrlərindəki hesabata düsturları ilə tapılır. Belə dövrlərdə faza gərginlikləri, cərəyanlar və onlar arasındakı faza sürüşmə bucağı eyni olur, ona görə də dövrənin gücünün təyin edilməsində aşağıdakı düsturlardan istifadə edilir.

$$\begin{aligned} P &= 3U_f I_f \cos \varphi \\ Q &= 3U_f I_f \sin \varphi \\ S &= 3U_f I_f \end{aligned} \quad (12.8)$$

Ulduz birləşmədə:

$$I_f = I_x; \quad U_f = \frac{U_x}{\sqrt{3}}$$

Üçbucaq birləşmədə:

$$I_f = \frac{I_x}{\sqrt{3}}; \quad U_f = U_x$$

olduğunu nəzərə alsaq, güclər cərəyan və gərginliklərin xətti qiymətləri vasitəsilə aşağıdakı düsturlarla hesablanır.

$$\begin{aligned}
P &= \sqrt{3} \cdot U_x I_x \cos \varphi \\
P &= \sqrt{3} \cdot U_x I_x \sin \varphi \\
S &= \sqrt{3} \cdot U_x I_x
\end{aligned}
\tag{12.9}$$

§ 12.5. Mənbə və işlədiciləri ulduz və üçbucaq birləşmiş qeyri-simmetrik üçfazlı dövrələrin hesablanması

Fazalarındakı müqavimətlər kompleksi qeyri-bərabər olan üçfazlı dövrə qeyri-simmetrik olur.

Qeyri-simmetrik üçfazlı dövrələri hesablamaq üçün onun sxemindən və qeyri-simmetrikliyindən asılı olaraq müxtəlif üsullar tətbiq edilir.

Şək.12.10 görünür ki, ulduz birləşdirilmiş üçfazlı sistem iki düyün nöqtəsi N və N' olan elektrik dövrəsidir. Bu halda ən əlverişli hesabat üsulu düyün gərginliyi üsuludur.

Cərəyanların təyin edilməsi

Əvvəlcə müqaviməti Z_N olan neytral məftilli dövrənin hesablanması ümumi halına baxaq. Bu halda bəzi sadələşdirmələr aparaq: xətti və faza məftillərinin müqavimətlərini sıfıra bərabər qəbul edək. Əgər göstərilən müqavimətləri sıfıra bərabər qəbul etmək olmazsa, onlara işlədici kimi baxmaq lazımdır.

Belə sadələşmə zamanı mənbənin və işlədicilərin xətti sıxaclarının (məs. A və A') potensiallarını eyni qəbul etmək olar. Onda N və N' nöqtələri arasındakı gərginlik və ya düyün gərginliyi

$$U_N = \frac{E_A Y_A + E_B Y_B + E_C Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C + Y_N}
\tag{12.10}$$

işlədicilərin fazalarındakı gərginlik

$$\dot{U} = \dot{E}_A - \dot{U}_N; \quad \dot{U}_B = \dot{E}_B - \dot{U}_N; \quad \dot{U}_C = \dot{E}_C - \dot{U}_N \quad (12.11)$$

və faza cərəyanları:

$$\dot{I}_A = \dot{U}_A / \underline{Z}_A; \quad \dot{I}_B = \dot{U}_B / \underline{Z}_B; \quad \dot{I}_C = \dot{U}_C / \underline{Z}_C \quad (12.12)$$

sıfır məftilindəki cərəyan

$$\dot{I}_N = \dot{U}_N / \underline{Z}_N \quad (12.13)$$

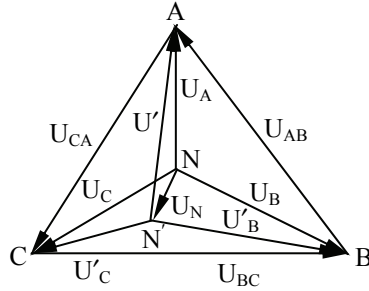
N və N' düyün nöqtələri üçün Kirxhofun birinci qanununa əsasən yazıla bilər

$$\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = \dot{I}_N \quad (12.14)$$

Neytral məftil olmayan ulduz birləşdirilmiş üçfazlı dövrənin hesabını da bu üsulla aparmaq olar.

Neytralin yerdəyişməsi

Şək.12.11-də şək.12.10-dakı üçfazlı ulduz birləşdirilmiş dövrənin qeyri-simmetrik yüklənmədə topoqrafik diaqramı təsvir olunub.



Şəkil 12.11. Qeyri-simmetrik yüklənmədə topoqrafik diaqram (ulduz birləşmə)

Sıfır məftilinin müqaviməti olanda ($Z_N \neq 0$) topoqrafik diaqramda işlədicinin sıfır nöqtəsi mənbəyin sıfır nöqtəsi ilə üst-üstə düşür, yəni $U_N \neq 0$ olur. U_N gərginliyinə neytralin

yerdəyişmə gərginliyi deyilir. Neytralın yerdəyişməsi zamanı U'_A, U'_B, U'_C gərginlikləri qeyri-simmetrik alınır.

U_N – neytralın yerdəyişmə gərginliyi nə qədər böyük olarsa, müxtəlif fazalara birləşdirilmiş qəbuledicilərin sıxaclarındakı gərginliklər də bir-birindən bir o qədər kəskin fərqlənər; ona görə də praktik işlərdə U_N -i sıfıra qədər azaltmağa cəhd edirlər. U_N -nin sıfıra bərabər olmasını iki üsulla almaq olur.

1) Əgər ayrı-ayrı fazaların yükünü bərabərləşdirsək, onda qəbuledicinin sıxaclarındakı gərginliklər simmetrik olar. Faza yükləri bərabər olanda $\underline{Y}_A = \underline{Y}_B = \underline{Y}_C = \underline{Y}_N$.

Yük bərabər paylandıqda (12.10) düsturundan $U_N=0$ alınır və neytral naqıldəki cərəyan şiddəti və keçiricilik

$$\dot{I}_N=0; \quad \underline{Y}_N = 0$$

Bu halda dördüncü naqıl istifadəsiz qalır; enerji qəbuledicisini üç naqillə generatora birləşdirmək olar ki, bu da üçfazlı üçnaqilli dövrə təşkil edir.

2) $Y_N=\infty$ olduqda, yəni neytral naqıl kiçik müqavimətli ($Z_N=0$) hazırlandıqda qəbuledicinin sıxaclarındakı gərginliklər simmetrik olar, ayrı-ayrı fazanın yükündən asılı olmayaraq neytralın yerdəyişməsi baş verməz.

Enerji qəbulediciləri iki qrupa bölünür. Birinci qrupa simmetrik dolağa malik, fazaların yükünün bərabərliyini təmin edən üçfazlı elektrik mühərriklərini daxil etmək olar. Bu mühərriklər ulduz birləşmiş üçfazlı dövrəyə neytral naqilsiz birləşdirilir.

İkinci qrup qəbuledicilərə faza yüklərinin bərabərliyini təmin edə bilməyən elektrik lampaları, qızdırıcı cihazlar və s. qəbuledicilər daxildir. Belə enerji qəbulediciləri neytral naqillə ulduz birləşdirir.

Fazaların müqavimətləri eyni olmadıqda (qeyri-simmetrik) hər hansı səbəbdən neytral xətt qırılarsa və ya açılarsa ($Y_N=0$), qəbuledicilərin fazalarındakı gərginliklər $\dot{U}_A, \dot{U}_B,$

U_C bir-birindən və generatorun nominal faza gərginliklərindən çox fərqlənər ki, bu da neytralin yerdəyişməsinə gətirib çıxarar və işlədicilər yanar (bu səbəblən neytral xətdə qoruyucu qoyulmur.). Ona görə də qeyri-simmetrik sistemdə mütləq neytral xətt olmalıdır.

Dövlət standartına görə qeyri-simmetrik üçfazlı dövrlərdə neytral məftildəki I_N cərəyanı xətti məftillərdə yaranan cərəyanlardan çox az olur. Buna görə də neytral xəttin en kəşik sahəsi xətti naqillərin en kəşiyindən kiçik (2-3 dəfə) alınır və çox vaxt neytral naqıl poladdan hazırlanır.

Güclərin təyin edilməsi

Qeyri-simmetrik yüklənmədə hər fazanın gücləri ayrılıqda təyin edilir. Məs.:A fazası üçün:

$$P_A = U_A I_A \cos \varphi_A; \quad Q_A = U_A I_A \sin \varphi_A; \quad S_A = U_A I_A$$

Analoji olaraq o biri fazaların gücləri də təyin edilir.

Bütün üçfazlı dövrənin aktiv gücü fazaların aktiv güclərinin cəminə bərabərdir:

$$P = P_A + P_B + P_C = \sum P_f \quad (12.15)$$

Bütün dövrənin reaktiv gücü fazaların reaktiv güclərinin cəbri cəminə bərabərdir:

$$Q = Q_A + Q_B + Q_C = \sum Q_f \quad (12.16)$$

Üçbucaq birləşdirilmiş qeyri-simmetrik üçfazlı dövrlərin hesablanması

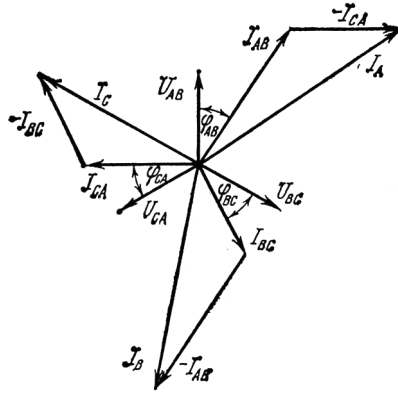
Əgər məftillərin müqavimətləri nəzərə alınmazsa, üçbucaq birləşdirilmiş mürəkkəb dövrlərin hesabı xeyli sadələşər. Bu halda qəbuledicilərin faza gərginlikləri mənbəyin müvafiq gərginliklərinə bərabər, yəni sistem simmetrik olar.

Qəbuledicilərə tətbiq olunan faza gərginlikləri məlum olduqda qeyri-simmetrik dövrlərdə hər fazadakı cərəyanlar ayrı-ayrılıqda Om qanununa əsasən hesablanır.

$$\dot{I}_{AB} = \dot{U}_{AB} / \underline{Z}_{AB}; \quad \dot{I}_{BC} = \dot{U}_{BC} / \underline{Z}_{BC}; \quad \dot{I}_{CA} = \dot{U}_{CA} / \underline{Z}_{CA} \quad (12.17)$$

Burada \underline{Z}_{AB} , \underline{Z}_{BC} , \underline{Z}_{CA} fazaların tam müqavimətləridir.

Xətti cərəyanlar qrafiki olaraq vektor diaqramından şək. 12.12. təyin edilir. Üçbucaq birləşdirilmiş üçfazlı qeyri-simmetrik dövrlərdə güc (12.15) və (12.16) düsturları ilə hesablanır.



Şəkil 12.12. Qeyri-simmetrik yüklənmədə vektor diaqramı (üçbucaq birləşmədə)

FƏSİL XIII. QEYRİ-SİNUSİDAL CƏRƏYAN VƏ GƏRGİNLİKLƏR

§ 13.1. Qeyri-sinusoidal cərəyan və gərginliklər, onların ifadələri

Sinusoidal cərəyan və gərginlikdən fərqlənən bütün periodik cərəyan və gərginliklər qeyri-sinusoidal olur. Sinusoidal siqnallarda olduğu kimi qeyri-sinusoidal kəmiyyətlər də periodla (T), cərəyan və gərginliyin forması ilə xarakterizə edilir.

Qeyri-sinusoidal cərəyan və gərginliklərin əmələ gəlmə səbəbi həm generatorlar, həm də enerji qəbulediciləri ola bilər. Generatorlarda e.h.q-si əyrisinin formasının pozulmasına səbəb stator və rotor nüvələrində çöküntü və dişlərin olması nəticəsində hava aralığında maqnit induksiyasının qeyri-sinusoidal paylanmasıdır.

Elektrik dövrəsinin ayrı-ayrı hissələrində (baxmayaraq ki, mənbəyin gərginliyi sinusoidaldir) qeyri-xətti volt-ampere xarakteristikalı elementlər olanda, ferromaqnit nüvəli sarğac və transformatorlarda maqnit seli ilə maqnitlənmə cərəyanı arasında qeyri-xəttilik olanda qeyri-sinusoidal cərəyan və gərginliklər yaranır.

Əyani olaraq qeyri-sinusoidal funksiyalar qrafiklərlə təsvir edilir. Hesabatlar aparanda onların analitik-ifadələri tələb olunur. Qeyri-sinusoidal periodik funksiyaların analitik ifadələri Furiye sıralarının köməyi ilə alınır.

Furiye sırasına görə ixtiyari qeyri-periodik dəyişən kəmiyyəti (e.h.q-si, gərginlik, cərəyan) sabit bir kəmiyyətlə (zaman-dan asılı olmayan) müxtəlif tezliyə malik sinusoidal (harmo-nik) kəmiyyətlər sırasının cəmi kimi göstərmək olar.

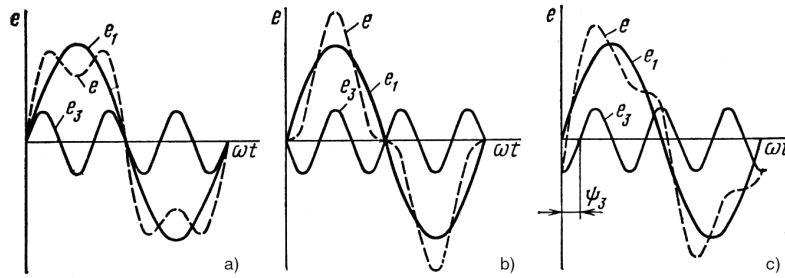
$$y = A_0 + A_1 \sin(\omega t + \varphi_1) + A_2 \sin(2\omega t + \varphi_2) + A_3 \sin(3\omega t + \varphi_3) + \dots + A_n \sin(n\omega t + \varphi_n) \quad (13.1)$$

burada, A_0 – sabit toplanan; $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ harmonik toplananların amplitudları; $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \dots, \varphi_n$ harmonikaların başlanğıc fazalarıdır.

Periodu (tezliyi) verilən qeyri-sinusoidal kəmiyyətin perioduna bərabər olan harmonik-toplanana birinci və ya əsas harmonika deyilir. Bütün qalan toplananlar yüksək harmonikalar adlanır: tezliyi əsas harmonikanın tezliyindən iki dəfə böyük olan harmonika «2-ci harmonika», «üç dəfə böyük olan 3-cü harmonika» və s. adlanır.

Şək.13.1. a, b, c-də iki sinusoidal toplanandan təşkil olunmuş qeyri-sinusoidal e.h.q-si ayrılırları göstərilmişdir. Bu ayrılar bir-birindən üçüncü harmonikaların başlanğıc fazalarına görə fərqlənir.

- a) $e=e_1+e_3=E_{1m}\sin \omega t+E_{3m}\sin 3 \omega t$
b) $e=e_1+e_3=E_{1m}\sin \omega t+E_{3m}\sin(3 \omega t-180^\circ)$
c) $e=e_1+e_3=E_{1m}\sin \omega t+E_{3m}\sin(3 \omega t-\varphi_3)$



Şəkil 13.1. Birinci və üçüncü harmonikadan ibarət qeyri-sinusoidal e.h.q.-si ayrılırları

Trigonometriyadakı iki bucağın cəmi düsturundan istifadə edərək (13.1) ifadəsini çevirmək olar. Bu halda hər bir harmonika ya ancaq «0» başlanğıc fazalı müvafiq tezlikli sinusoidadan, ya da hər biri «0» başlanğıc fazalı sinusoida və kosinusoidadan ibarət olar. Onda qeyri-sinusoidal gərginlik ümumi şəkildə aşağıdakı kimi olur.

$$\begin{aligned}
u(\omega t) = & U_0 + U_{1m} \sin(\omega t + \varphi_1) + U_{2m} \sin(2\omega t + \varphi_2) + \\
& + U_{3m} \sin(3\omega t + \varphi_3) + \dots + U_{nm} \sin(n\omega t + \varphi_n) = \\
& U_0 + U_{1m}^1 \sin \omega t + U_{2m}^1 \sin 2\omega t + U_{3m}^1 \sin 3\omega t + \quad (13.2) \\
& + \dots + U_{nm}^1 \sin n\omega t + U_{1m}^{11} \cos \omega t + U_{2m}^{11} \cos 2\omega t + \\
& + U_{3m}^{11} \cos 3\omega t + \dots + U_{nm}^{11} \cos n\omega t
\end{aligned}$$

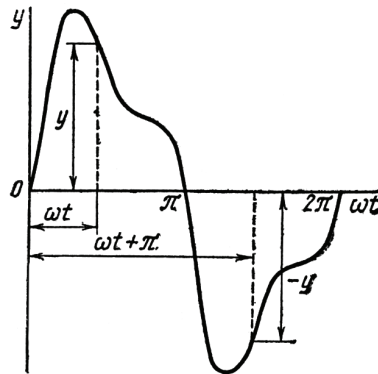
§ 13.2. Periodik qeyri-sinusoidal əyrilərin növləri

Periodik qeyri-sinusoidal funksiyalar çox vaxt simmetrik olur. Qeyri-sinusoidal əyrilərin simmetrikliliyi onların analitik ifadəsini asanlaşdırır. Bu funksiyaların aşağıdakı növləri var.

1) Absis oxuna nəzərən simmetrik əyri

Əgər periodik əyrinin bir-birindən yarım periodla fərqlənən ixtiyari iki absisinə uyğun gələn ordınatlar qiymətcə bərabər, işarəcə əksdirsə Şək. 13.2, belə periodik əyriyə absis oxuna nəzərən simmetrik əyri deyilir və belə əyrilər aşağıdakı tənliyi ödəyir.

$$y(\omega t) = -y(\omega t + \pi) \quad \text{və ya} \quad i(\omega t) = -i(\omega t + \pi) \quad (13.3)$$



Şəkil 13.2. Absis oxuna nəzərən simmetrik əyri

Belə ayrıların absis oxu üzrə periodun yarısı qədər sürüşdürülmüş mənfi yarım dalğası, onun absis oxuna nəzərən müsbət yarım dalğasının inikasını təsvir edir.

Absis oxuna nəzərən simmetrik ayrılar sabit toplanana və cüt tərtibli yüksək harmonikaya malik olmur. Bu ayrı ancaq tək harmonikalardan ibarətdir.

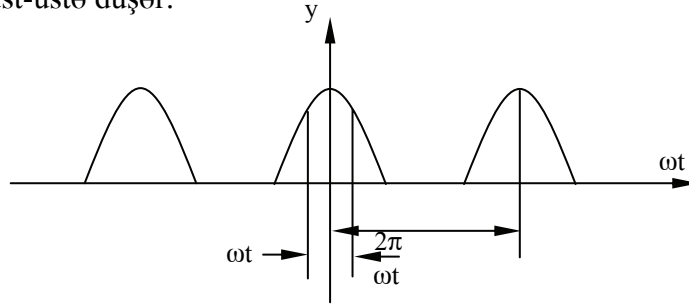
$$i(\omega t) = I_{1m}^1 \sin \omega t + I_{3m}^1 \sin 3\omega t + I_{5m}^1 \sin 5\omega t + \dots + I_{1m}^{11} \cos \omega t + I_{3m}^{11} \cos 3\omega t + I_{5m}^{11} \cos 5\omega t + \dots \quad (13.4)$$

2) Ordinat oxuna nəzərən simmetrik əyri

Ordinat oxuna nəzərən simmetrik əyriyədə argumentin işarəsinin dəyişməsi ilə funksiyanın qiyməti və işarəsi dəyişmir və belə əyriyə aşağıdakı tənliyi ödəyir. Şək. 13.3.

$$y(\omega t) = y(-\omega t) \quad \text{və ya} \quad i(\omega t) = i(-\omega t) \quad (13.5)$$

Ordinat oxuna nəzərən simmetrik əyriyə misal olaraq biryarımperiodlu düzlənmə əyrisini göstərmək olar. Bu əyrini ordinat oxu üzrə qatlasaq, qatlanan hissə qatlanmayan hissə ilə üst-üstə düşər.



Şəkil 13.3. Ordinat oxuna nəzərən simmetrik əyri

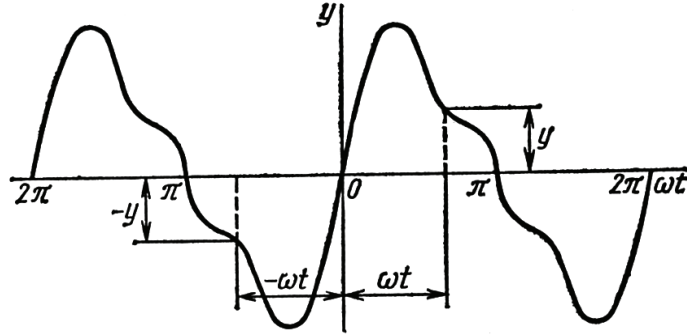
Ordinat oxuna nəzərən simmetrik əyriyədə bütün sinusoidal toplananlar sifira bərabərdir. Bu əyri sabit toplanan və başlanğıc fazaları sifir olan kosinusoidalardan ibarətdir.

$$i(\omega t) = I_0 + I_{1m} \cos \omega t + I_{2m} \cos 2\omega t + I_{3m} \cos 3\omega t + \dots + I_{nm} \cos n\omega t \quad (13.6)$$

3) Kordinat başlanğıcına nəzərən simmetrik əyri

Əgər periodik əyrinin qiymətə bərabər, işarəcə əks olan iki ixtiyari absisinə uyğun gələn ordinatlar qiymətə bərabər, işarəcə əks olarsa, onda belə əyriyə kordinat başlanğıcına nəzərən simmetrik əyri deyilir. Şək. 13.4. Bu əyri aşağıdakı tənliyi ödəyir.

$$y(\omega t) = -y(-\omega t) \text{ və ya } i(\omega t) = -i(-\omega t) \quad (13.7)$$



Şəkil 13.4. Kordinat başlanğıcına nəzərən simmetrik əyri

Kordinat başlanğıcına nəzərən simmetrik əyridə arqumentin qiyməti dəyişəndə funksiyanın işarəsi dəyişir, qiyməti dəyişmir. **Belə əyrilər sabit toplanana və kosinusoidaya malik olmur. Onlar ancaq başlanğıc fazaları sıfır olan sinusoidal toplananlardan ibarətdir.**

$$i(\omega t) = I_{1m} \sin \omega t + I_{2m} \sin 2\omega t + I_{3m} \sin 3\omega t + \dots \quad (13.8)$$

Sinusoidal, üçbucaq, düzbucaqlı şəkilli əyriyərin hər birində iki simmetriya var: absis oxuna nəzərən və kordinat başlanğıcına nəzərən.

§ 13.3. Qeyri-sinusoidal cərəyan və gərginliyin təsiredici qiymətləri

Qeyri-sinusoidal cərəyan və gərginlikli elektrik dövrlərini hesabladıqda cərəyan, gərginlik və gücün qiymətləri təyin edilir. Bu zaman qeyri-sinusoidal cərəyan və gərginliklərin təsiredici qiymətlərindən istifadə edilir.

Bilirik ki, sinusoidal elektrik dövrlərində cərəyan və gərginliyin təsiredici qiymətləri

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt}; \quad I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt}$$

düsturları ilə hesablanır.

Bu düsturlardan istifadə edərək qeyri-sinusoidal cərəyan və gərginliyin qiymətini təyin edək. Qeyri-sinusoidal gərginlik

$$u = U_0 + u_1 + u_2 + u_3 + \dots = U_0 + U_{1m} \sin(\omega t + \varphi_1) + U_{2m} \sin(2\omega t + \varphi_2) + U_{3m} \sin(3\omega t + \varphi_3) + \dots$$

olduğundan onun təsiredici qiyməti aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (U_0 + u_1 + u_2 + u_3 + \dots)^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \{U_0 + U_{1m} \sin(\alpha + \varphi_1) + U_{2m} \sin 2\alpha + \varphi_2 + U_{3m} \sin 3\alpha + \varphi_3 + \dots\}^2 dt}$$

Orta mətərizə daxilində olan çoxhədlini kvadrata yüksəldərək hər bir həddi ayrılıqda inteqrallasaq, qeyri-sinusoidal gərginliyin təsiredici qiymətini alarıq.

$$U = \sqrt{U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2} \quad (13.9)$$

Burada

U_0 – sabit toplanan; $U_1^2 = U_{1m}^2/2$, $U_2^2 = U_{2m}^2/2$, $U_3^2 = U_{3m}^2/2$ və s. sinusoidal toplananların təsiredici qiymətinin kvadratlarıdır. Analoji olaraq cərəyan üçün də yazı bilərik.

$$I = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2} \quad (13.10)$$

Qeyri-sinusoidal əyrilər təhrif əmsalı ilə xarakterizə edilir.

Təhrif əmsalı cərəyan və ya gərginliyin əsas harmonikasının onların təsiredici qiymətlərinə olan nisbətində bərabərdir.

Gərginlik üçün təhrif əmsalı

$$K_u = \frac{U_1}{\sqrt{U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + \dots}} \quad (13.11)$$

Cərəyan üçün təhrif əmsalı

$$K_i = \frac{I_1}{\sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + \dots}} \dots \quad (12.12)$$

Sinusoidal əyri üçün $K_t=1$; üçbucaq formalı əyri üçün $K_t \approx 0,99$, düzbucaqlı formalı əyri üçün $K_t \approx 0,9$ olur.

§ 13.4. Qeyri-sinusoidal cərəyanın gücü

Qeyri-sinusoidal cərəyanın orta və ya aktiv gücü sinusoidal cərəyanda olduğu kimi bir periodda sərf olunan enerjinin period müddətinə olan nisbəti ilə ölçülür.

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u i dt \quad (13.13)$$

Bu düsturda qeyri-sinusoidal cərəyan və gərginliyin qiymətlərini yerinə yazmaq

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T [U_0 + U_{1m} \sin(\alpha + \varphi_1) + U_{2m} \sin(2\alpha + \varphi_2) + U_{3m} \sin(3\alpha + \varphi_3) + \dots] \\ [I_0 + I_{1m} \sin(\alpha + \varphi_1 - \psi_1) + I_{2m} \sin(2\alpha + \varphi_2 - \psi_2) + I_{3m} \sin(3\alpha + \varphi_3 - \psi_3) + \dots] dt$$

Orta mötərizə daxilindəki çoxhədliləri bir-birinə vuraraq inteqrallama aparılsa alınar.

$$P = U_0 I_0 + U_1 I_1 \cos \varphi_1 + U_2 I_2 \cos \varphi_2 + \dots + U_n I_n \cos \varphi_n = P_0 + P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n \quad (13.14)$$

Beləliklə, **qeyri-sinusoidal cərəyanın orta və ya aktiv gücü sabit güclə ayrı-ayrı harmonikaların aktiv güclərinin cəminə bərabərdir.**

§ 13.5. Qeyri-sinusoidal cərəyan və gərginlikli dövrlərin hesablanması

Xətti işlədicilər qoşulmuş dövrəyə tətbiq olunan qeyri-sinusoidal gərginlik (və ya e.h.q-si) bir sıra sinusoidal harmonikalardan ibarət olanda dövrədən axan cərəyan da bir o qədər sayda harmonik cərəyandan ibarət olacaq. Onda istənilən bu daqdan axan cərəyanı harmonikaları toplamaqla, superpozisiya prinsipinə əsasən təyin etmək olar.

Dövrənin aktiv müqaviməti (R) bütün harmonikalarda eyni olur. Dövrənin induktiv müqaviməti (X_L) müxtəlif harmonikalar üçün müxtəlifdir. Bu müqavimət harmonikanın sıra nömrəsi ilə düz mütənasib olaraq artır, belə ki,

$$X_{Ln} = n\omega L \quad (13.15)$$

Müxtəlif harmonikalar üçün tutum müqaviməti (X_C) də müxtəlif olub, harmonikanın sıra nömrəsi ilə tərs mütənasib olaraq dəyişir. Yəni

$$X_{Cn} = \frac{1}{n\omega C} \quad (13.16)$$

Tutaq ki, dövrə aktiv müqavimətə (R), induktivliyə (L) və tutuma (C) malikdir. n -ci harmonika üçün dövrənin tam müqaviməti

$$Z_n = \sqrt{R^2 + \left(n\omega L - \frac{1}{n\omega C} \right)^2} \quad (13.17)$$

Uyğun harmonikanın cərəyanının amplitud qiyməti

$$I_{nm} = \frac{E_{nm}}{Z_n} = \frac{E_{nm}}{\sqrt{R^2 + \left(n\omega L - \frac{1}{n\omega C}\right)^2}} \quad (13.18)$$

olar, burada E_{nm} e.h.q.-nin n-ci harmonikasının amplitududur.

Aktiv müqavimət dəyişmədiyindən harmonikanın sıra nömrəsi dəyişəndə ancaq reaktiv müqavimətlər dəyişir. Onda e.h.q.-si (gərginlik) və cərəyan arasındakı faza sürüşməsi aşağıdakı münasibətdən təyin edilir.

$$\operatorname{tg}\varphi_n = \frac{X_n}{R} = \frac{n\omega L - \frac{1}{n\omega C}}{R} \quad (13.19)$$

Aktiv müqavimət bütün harmonikalarda eyni olduğundan dövrədə cərəyan və gərginlik amplitudlarının nisbəti bütün harmonikalar üçün dəyişməz qalır, yəni, aktiv müqavimətli dövrənin cərəyan əyrisi gərginlik əyrisinə oxşayır.

R və L olan dövrədə harmonikanın sıra nömrəsi artdıqca dövrənin tam müqaviməti artır, yəni cərəyan harmonikasının amplitudunun gərginlik harmonikası amplituduna olan nisbəti azalır. Aktiv müqavimətə və induktiviyə malik olan dövrədə cərəyan və gərginlik əyriləri oxşar deyildir; cərəyan əyrisi sinusoiddən gərginlik əyrisinə nisbətən az fərqlənir.

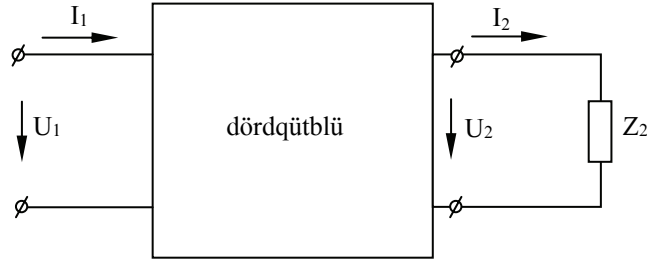
R və C olan dövrədə harmonikanın sıra nömrəsi artdıqca, dövrənin tam müqaviməti azalır, cərəyan harmonikası amplitudunun gərginlik harmonikası amplituduna olan nisbəti artır. Yəni, aktiv müqavimətə və tutuma malik olan dövrədə cərəyan və gərginlik əyriləri oxşar deyildir; cərəyan əyrisi sinusoiddən gərginlik əyrisinə nisbətən çox fərqlənir.

Əgər dövrə R, L və C-yə malik olarsa, onda dövrə yüksək harmonikalardan biri ilə rezonans yarada bilər: belə harmonika üçün ümumi müqavimət ən kiçik olur və bu cərəyan əyrisində daha kəskin ifadə olunur.

FƏSİL XIV. DÖRDQÜTBLÜLƏR

§ 14.1. Dördqütblülər haqqında məlumat və onların əsas tənlikləri

İki giriş və iki çıxış sıxacına malik iki cüt sıxacı olan dövrə hissəsinə dördqütblü deyilir. Şək. 14.1. Belə dövrə hissələrinə transformatorları, süzgəcləri, tranzistorları, ikiməftilli elektrik verilmiş xətlərini və s. göstərmək olar.



Şəkil 14.1. Dördqütblü

Dördqütblünün giriş sıxaclarına qida mənbəyi, çıxış sıxaclarına işlədici (yük) birləşdirilir. Giriş sıxacları arasındakı cərəyan və gərginliyə giriş cərəyanı (I_1) və giriş gərginliyi (U_1), çıxış sıxacları arasındakı cərəyana və gərginliyə çıxış cərəyanı (I_2) və çıxış gərginliyi (U_2) deyilir.

Beləliklə, dördqütblü dövrənin iki hissəsini bir-biri ilə birləşdirir: bunlardan biri **verici** (generator), digəri **qəbul-edicidir** (yük).

Əgər dördqütblünün giriş gərginliyi ilə çıxış cərəyanı arasındakı asılılıq düz mütənasıbdırsa, belə dördqütblüyə xətti dördqütblü deyilir. Əks halda qeyri-xətti dördqütblü alınır.

Tərkibində mənbə olan dördqütblüyə aktiv dördqütblü deyilir. Bunlara misal olaraq gücləndiriciləri göstərmək olar. Əgər dördqütblünün tərkibində mənbə olmazsa, belə dördqütblüyə passiv dördqütblü deyilir. Bunlara misal olaraq, transformatorları, süzgəcləri və s. göstərmək olar.

Bundan başqa dördqütblülər simmetrik və qeyri-simmetrik olur: simmetrik dördqütblü elə dördqütblüdür ki, onun yüksüz işləmə və qısa qapanma giriş müqavimətləri giriş və çıxış sıxaclarına nəzərən eynidir. Bu şərt ödənməsə, qeyri-simmetrik dördqütblü alınır.

Dördqütblülərin sxemindən və onlarda gedən fiziki proseslərdən asılı olmayaraq bütün dördqütblülərdə giriş gərginliyi və giriş cərəyanı, çıxış gərginliyi və çıxış cərəyanının funksiyalarıdır. Bu funksional asılılığı təyin etmək üçün dördqütblü-

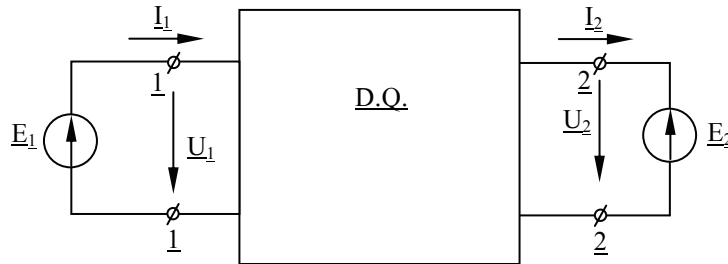
nün birinci tərəf kompleks gərginlik və cərəyanını \dot{U}_1, \dot{I}_1 ,

ikinci tərəf kompleks gərginlik və cərəyanını \dot{U}_2, \dot{I}_2 ilə işarə

edək; burada $\dot{U}_1 = \dot{E}_1; \dot{U}_2 = \dot{I}_2 \underline{Z}_2$ olur.

Əgər dördqütblünün ikinci tərəf sıxaclarına \underline{Z}_2 müqaviməti

məti əvəzinə $\dot{E}_2 = -\dot{U}_2$ olan e.h.q-si mənbəyi qoşularsa, dördqütblünün iş rejimində heç nə dəyişməz. Şək. 14.2.



Şəkil 14.2. Dördqütblünün tənliklərini təyin etmək üçün sxem

Bu cür əvəzləmədən sonra giriş və çıxış kəmiyyətləri arasındakı asılılığı təyin etmək üçün toplama üsulundan istifadə etmək olar.

2-2 sıxacları qısa qapananda (E_2 mənbəyi çıxarılır) qismi cərəyanları E_1 e.h.q-si mənbəyi yaradır. Onların qiymətləri U_1 gərginliyi ilə mütənəşib olur.

$$\dot{I}_1 = \underline{Y}_{1,1} \dot{U}_1; \quad \dot{I}_2 = \underline{Y}_{2,1} \dot{U}_1$$

E_2 mənbəyi olanda və 1-1 sıxacları qısa qapananda qismi cərəyanların qiyməti U_2 gərginliyindən asılı olur.

$$\dot{I}_1 = -\underline{Y}_{1,2} \dot{U}_2; \quad \dot{I}_2 = -\underline{Y}_{2,2} \dot{U}_2;$$

Burada: $\underline{Y}_{1,1}$, $\underline{Y}_{2,2}$ – giriş keçiricilikləri; $\underline{Y}_{2,1}$, $\underline{Y}_{1,2}$ – qarşılıqlı keçiriciliklərdir.

Qarşılıqlıq prinsipinə görə qarşılıqlı keçiriciliklər bərabərdir: $\underline{Y}_{2,1} = \underline{Y}_{1,2}$.

Toplama prinsipinə əsasən tapırıq:

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_1^1 + \dot{I}_1^{11}, \quad \dot{I}_2 = \dot{I}_2^1 + \dot{I}_2^{11}$$

və ya

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_1 &= \underline{Y}_{1,1} \dot{U}_1 - \underline{Y}_{1,2} \dot{U}_2 \\ \dot{I}_2 &= \underline{Y}_{2,1} \dot{U}_1 - \underline{Y}_{2,2} \dot{U}_2 \end{aligned} \right\} \quad (14.1)$$

Bu tənliklər sistemini \dot{U}_1, \dot{I}_1 nəzərə alınaraq həll etsək alarıq:

$$\dot{U}_1 = \underline{A} \dot{U}_2 + \underline{B} \dot{I}_2 \quad (14.2)$$

$$\dot{I}_1 = \underline{C} \dot{U}_2 + \underline{D} \dot{I}_2$$

Alınan düsturlara dördqütblünün tənlikləri deyilir. Buradakı A, B, C, D dördqütblünün əmsalları və ya parametrləri adlanır:

$$A = \underline{Y}_{2,2} / \underline{Y}_{2,1}; \quad B = 1 / \underline{Y}_{2,1}$$

$$C = \frac{\underline{Y}_{1,1}\underline{Y}_{2,2} - \underline{Y}_{1,2}\underline{Y}_{2,1}}{\underline{Y}_{2,1}}; \quad D = \underline{Y}_{1,1} / \underline{Y}_{2,1}$$

Dördqütblünün əmsalları arasında aşağıdakı əlaqə var:

$$AD - BC = 1 \quad (14.3)$$

Əgər giriş və çıxış sıxaclarının yerləri dəyişdirilərsə, dördqütblünün tənlikləri belə alınır:

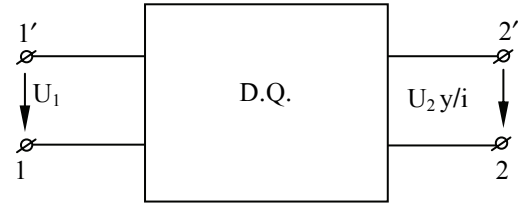
$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_2 &= \underline{D}\dot{U}_1 + \underline{B}\dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 &= \underline{C}\dot{U}_1 + \underline{A}\dot{I}_1 \end{aligned} \right\} \quad (14.4)$$

(14.2) və (14.4) tənliklərindən görünür ki, giriş və çıxış sıxaclarının yerləri dəyişəndə dördqütblünün tənliklərində A və D əmsalları yerlərini dəyişir. A və D əmsallarının bərabərliyi dördqütblünün hər iki tərəf sıxacları arasında eyni dövrənin olduğunu göstərir. Yəni dördqütblü simmetrikdir.

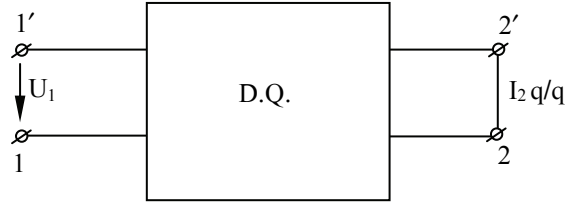
§ 14.2. Dördqütblünün iş rejimləri

Praktika üçün ən çox maraq dördqütblünün yüklü iş rejimidir. Lakin dördqütblünün parametrlərini təyin etmək üçün əvvəlcə onun yüksüz işləmə və qısa qapanma rejimlərinə baxaq.

Yüksüz işləmə rejimində dördqütblünün çıxış sıxacları arasında şəkl. 14.3a, $\dot{I}_2 = 0$; $\dot{U}_2 = \dot{U}_{2y/i}$ olur. İkinci tərəf sıxaclarının qısa qapanması şəkl. 14.3 b zamanı $\dot{U}_2 = 0$; $\dot{I}_2 = \dot{I}_{2q/q}$ olur.



a)



b)

Şəkil 14.3. Yüksüz işləmə (a) və qısa qapanma (b) təcrübəsinin sxemləri

(14.2) düsturlarından yazıla bilər.

$$\dot{U}_{1y/i} = \underline{A} \dot{U}_{2y/i}; \quad \dot{I}_{1y/i} = \underline{C} \dot{U}_{2y/i}; \quad (14.5)$$

$$\dot{U}_{1q/q} = \underline{B} \dot{I}_{2q/q}; \quad \dot{I}_{1q/q} = \underline{D} \dot{I}_{2q/q}$$

Bu ifadələrdən dördqütblünün parametrlərini göstərmək imkanı yaranır:

$$\underline{A} = \dot{U}_{1y/i} / \dot{U}_{2y/i}; \quad \underline{B} = \dot{U}_{1q/q} / \dot{I}_{2q/q}; \quad (14.6)$$

$$\underline{C} = \dot{I}_{1y/i} / \dot{U}_{2y/i}; \quad \underline{D} = \dot{I}_{1q/q} / \dot{I}_{2q/q}$$

1–1' sığacları tərəfdən qidalananda dördqütblünün yüksüz işləmə və qısa qapanma rejimlərindəki giriş müqavimətləri

$$\underline{Z}_{1y/i} = \frac{\dot{U}_{1y/i}}{\dot{I}_{1y/i}} = \frac{\underline{A}}{\underline{C}}; \quad \underline{Z}_{1q/q} = \frac{\dot{U}_{1q/q}}{\dot{I}_{1q/q}} = \frac{\underline{B}}{\underline{D}} \quad (14.7)$$

Dördqütblü 2-2' sığaclarından qidalananda yüksüz işləmə və qısa qapanma rejimlərindəki giriş müqavimətləri

$$\underline{Z}_{2y/i} = \frac{\dot{U}_{2y/i}}{\dot{I}_{2y/i}} = \frac{\underline{D}}{\underline{C}}; \quad \underline{Z}_{2q/q} = \frac{\dot{U}_{2q/q}}{\dot{I}_{2q/q}} = \frac{\underline{B}}{\underline{A}}$$

Dördqütblünün girişində gərginlik və cərəyan (14.2) iki toplanandan ibarətdir. (14.5) düsturunu nəzərə alsaq, dördqütblünün əsas tənliklərini belə yazmaq olar:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= \underline{A}\dot{U}_2 + \underline{B}\dot{I}_2 = \dot{U}_{1y/i} + \dot{U}_{1q/q} \\ \dot{I}_1 &= \underline{C}\dot{U}_2 + \underline{D}\dot{I}_2 = \dot{I}_{1y/i} + \dot{I}_{1q/q} \end{aligned} \quad (14.8)$$

Bəzi hallarda dördqütblünün işçi rejimi birinci tərəf sığaclarındakı (\underline{Z}_{1gir}) və ikinci tərəf sığaclarındakı (\underline{Z}_{2gir}) giriş müqavimətləri ilə xarakterizə edilir. Onda

$$\underline{Z}_{1gir} = \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_1} = \frac{\underline{A}\dot{U}_2 + \underline{B}\dot{I}_2}{\underline{C}\dot{U}_2 + \underline{D}\dot{I}_2}$$

$\dot{U}_2 = I_2 \underline{Z}_2$ olduğundan

$$\underline{Z}_{1gir} = \frac{\underline{A}\underline{Z}_2 + \underline{B}}{\underline{C}\underline{Z}_2 + \underline{D}} \quad (14.9)$$

burada, \underline{Z}_2 – ikinci tərəfdəki yükün müqavimətidir.

İkinci tərəf sığaclarındakı giriş müqavimətini (14.4) ifadələrindən təyin edirik.

$$\underline{Z}_{2gir} = \frac{\dot{U}_2}{\dot{I}_2} = \frac{\underline{D}\dot{U}_1 + \underline{B}\dot{I}_1}{\underline{C}\dot{U}_1 + \underline{A}\dot{I}_1}$$

$\dot{U}_1 = I_1 \underline{Z}_1$ olduğundan

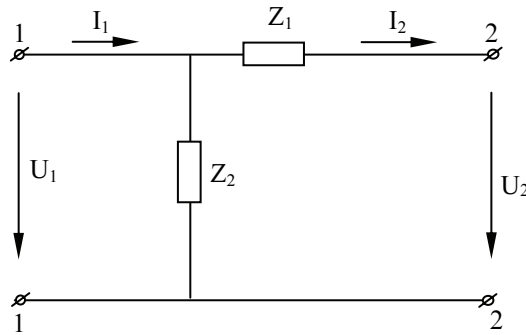
$$\underline{Z}_{2\text{gir}} = \frac{D\underline{Z}_1 + \underline{B}}{C\underline{Z}_1 + \underline{A}} \quad (14.10)$$

§ 14.3. Dördqütblünün əvəz sxemləri

Hesabatlarda dördqütblülərin Γ , T və Π şəkilli əvəz sxemlərindən istifadə edilir.

Γ şəkilli əvəz sxemi

$\dot{I}_2, \dot{U}_2, \underline{Z}_1$ və \underline{Z}_2 məlum olarsa Γ şəkilli dördqütblünün ötürmə tənliklərini tapmaq. Bunun üçün \dot{U}_1 və \dot{I}_1 -in qiymətlərini təyin etmək lazımdır. Sxemə əsasən şək. 14.4.



Şəkil 14.4. Dördqütblünün Γ şəkilli əvəz sxemi

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= \dot{I}_2 \underline{Z}_1 + \dot{U}_2 \\ \dot{I}_1 &= \frac{\dot{U}_1}{\underline{Z}_2} + \dot{I}_2 \end{aligned} \right\}$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_2 \frac{Z_1}{Z_2} + \frac{\dot{U}_2}{Z_2} + \dot{I}_2 = \dot{I}_2 \left(1 + \frac{Z_1}{Z_2} \right) + \frac{\dot{U}_2}{Z_2}$$

Buradan:

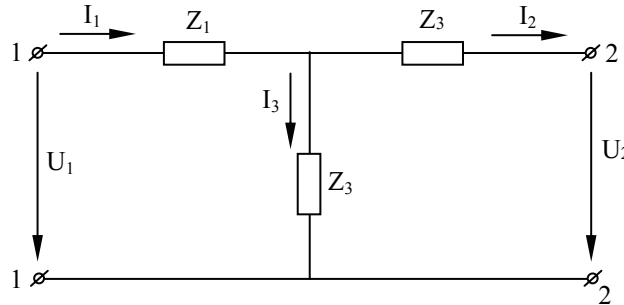
$$A = 1; \quad B = \underline{Z}_1; \quad C = \frac{1}{\underline{Z}_2}; \quad D = 1 + \frac{\underline{Z}_1}{\underline{Z}_2}$$

Əgər ötürmə əksinə, yəni sağdan sola doğru olarsa, A və D parametrlərinin qiymətləri öz yerini dəyişəcəkdir.

$$A = 1 + \frac{\underline{Z}_1}{\underline{Z}_2}; \quad B = \underline{Z}_1; \quad C = \frac{1}{\underline{Z}_2}; \quad D = 1$$

T şəkilli əvəz sxemi

Dördqütblünün ulduz birləşdirilmiş üç budağı T şəkilli əvəz sxemini əmələ gətirir. Şək. 14.5



Şəkil 14.5. Dördqütblünün T şəkilli əvəz sxemi

Bu sxem üçün girişdəki cərəyan

$$\begin{aligned} \dot{I}_1 &= \dot{I}_2 + \dot{I}_3 = \dot{I}_2 + \frac{U_2 + \dot{I}_2 Z_2}{Z_3} \\ \dot{I}_1 &= \dot{U}_2 / Z_3 + \dot{I}_2 (1 + Z_2 / Z_3) \end{aligned} \quad (14.11)$$

Girişdəki gərginlik

$$\underline{U}_1 = \dot{I}_1 \underline{Z}_1 + \dot{I}_2 \underline{Z}_2 + \dot{U}_2$$

\dot{I}_1 -n (14.11)-dəki qiymətini bu düsturda yerinə yazaq:

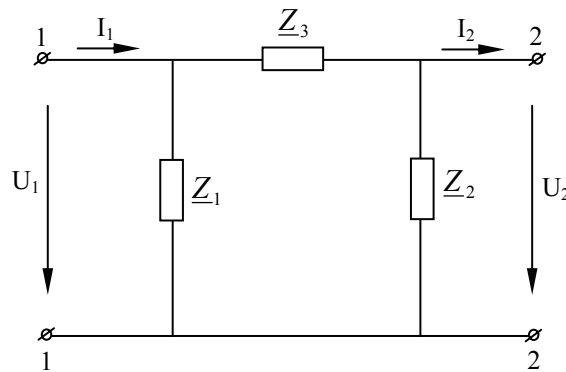
$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= \left[\frac{\dot{U}_2}{\underline{Z}_3} + \dot{I}_2 \left(1 + \frac{\underline{Z}_2}{\underline{Z}_3} \right) \right] \underline{Z}_1 + \dot{I}_2 \underline{Z}_2 + \dot{U}_2 = \\ &= \dot{U}_2 \left(1 + \frac{\underline{Z}_1}{\underline{Z}_3} \right) + \dot{I}_2 \left(\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \frac{\underline{Z}_1 \underline{Z}_2}{\underline{Z}_3} \right) \end{aligned} \quad (14.12)$$

Buradan:

$$\begin{aligned} \underline{A} &= 1 + \frac{\underline{Z}_1}{\underline{Z}_3}; & \underline{B} &= \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \frac{\underline{Z}_1 \underline{Z}_2}{\underline{Z}_3} \\ \underline{C} &= \frac{1}{\underline{Z}_3}; & \underline{D} &= 1 + \frac{\underline{Z}_2}{\underline{Z}_3} \end{aligned} \quad (14.13)$$

Π-şəkilli əvəz sxemi

Əvəz sxemindəki ulduz birləşməni üçbucaq birləşmə ilə əvəz etsək, Π-şəkilli əvəz sxemi alınır. Şək. 14.6



Şəkil 14.6. Dördqütblünün Π şəkilli əvəz sxemi

Bu sxemin giriş kəmiyyətlərini ifadə edək.

$$\dot{U}_1 = \left(\dot{I}_2 + \frac{\dot{U}_2}{\underline{Z}_2} \right) \underline{Z}_3 + \dot{U}_2$$

və ya

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_2 \left(1 + \frac{\underline{Z}_3}{\underline{Z}_2} \right) + \dot{I}_2 \underline{Z}_3 \quad (14.14)$$

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_1}{\underline{Z}_1} + \dot{I}_2 + \frac{\dot{U}_2}{\underline{Z}_2} = \left(\frac{1}{\underline{Z}_1} + \frac{1}{\underline{Z}_2} + \frac{\underline{Z}_3}{\underline{Z}_1 \underline{Z}_2} \right) \dot{U}_2 + \left(1 + \frac{\underline{Z}_3}{\underline{Z}_2} \right) \dot{I}_2 \quad (14.15)$$

Burada

$$\begin{aligned} \underline{A} &= 1 + \frac{\underline{Z}_3}{\underline{Z}_2}; & \underline{B} &= \underline{Z}_3; \\ \underline{C} &= \frac{1}{\underline{Z}_1} + \frac{1}{\underline{Z}_2} + \frac{\underline{Z}_3}{\underline{Z}_1 \underline{Z}_2}; & \underline{D} &= 1 + \frac{\underline{Z}_3}{\underline{Z}_2}. \end{aligned} \quad (14.16)$$

FƏSİL XV. ELEKTRİK DÖVRƏLƏRİNDƏ KEÇİD PROSESLƏRİ

§ 15.1. Kommutasiya qanunları

Biz bundan əvvəlki fəsillərdə sabit və dəyişən cərəyan dövrələrində gedən qərarlaşmış proseslərə (rejimlərə) baxdıq.

Qərarlaşmış rejimdə elektrik dövrəsinin bütün hissələrində cərəyan və gərginliklər böyük zaman müddətində sabit qalır və ya periodik dəyişir.

Elektrik qurğularının istismar şəraitinə və işin xarakterinə görə və ya başqa səbəblərdən elektrik dövrələrində rejim dəyişir. Bir qərarlaşmış rejimdən digərinə keçmək üçün müəyyən keçid periodu tələb olunur ki, bu müddətdə elektrik dövrəsinin cərəyan və gərginliklərinin qiyməti dəyişir və bu kəmiyyətlər yeni rejimin şəraitinə uyğunlaşır.

Keçid prosesləri dövrələrdə e.h.q-nin, dövrəyə tətbiq olunmuş gərginliyin və ya dövrənin parametrlərinin – müqavimətin, induktivliyin və ya tutumun dəyişməsi nəticəsində yaranır.

Keçid proseslərinin bilavasitə yaranmasının səbəblərinə daxildir: rejimlərin kommutasiya dəyişməsi, yəni qidalanma mənbəyinin, enerji qəbuledicilərinin qoşulması və açılması; elektrik dövrəsinin hissələrində qısa qapanma; elektrik mühərriklərinin mexaniki yüklənmələri və s.

Bir qərarlaşmış rejimdən digərinə keçəndə baş verən elektromaqnit proseslərinə keçid prosesləri deyilir.

Keçid prosesləri zamanı dövrələrdə olan cərəyan və gərginliklərə keçid cərəyanı və keçid gərginlikləri deyilir.

Elektrik dövrələrində keçid prosesləri saniyənin onda biri və yüzdə biri müddətində baş verir.

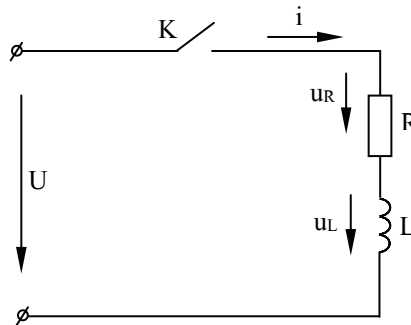
Elektrik dövrələrində keçid prosesləri zamanı baş verən fiziki prosesləri öyrənmək üçün kommutasiya qanunlarını bilmək lazımdır.

Kommutasiyanın birinci qanunu

Kommutasiyanın birinci qanunu induktivliyə malik olan dövrlərə tətbiq olunur.

Qanuna əsasən induktivlikdən keçən cərəyan sıçrayışla dəyişə bilməz. Ona görə də induktivlikdən keçən cərəyanın ani qiyməti keçid prosesinin əvvəlində ondan qabaqkı qərarlaşmış rejimdə olduğu kimi qalır.

Açar açıq olanda dövrdən keçən cərəyan (i), aktiv gərginlik (u_R) və induktiv gərginlik (u_L) sifıra bərabər olur. Şək.15.1. Açar qapanandan dövrdə keçid prosesi yaranır. Bu vaxt sarğacdən keçən cərəyan tədricən artaraq $i = I$ qiymətinə çatır, aktiv və induktiv gərginliklər artır. Onda Kirxhofun ikinci qanununa əsasən yaza bilərik.



Şəkil 15.1. Kommutasiyanın birinci qanununa aid dövrə

$$U = u_R + u_L = iR + L \frac{di}{dt} \quad (15.1)$$

(15.1) tənliyi dövrdə gərginlik balansını ifadə edir: tətbiq olunan gərginliyin bir hissəsi müqavimətdəki gərginlik düşkü-sününün (iR) kompensasiyasına, digər hissəsi cərəyan dəyişəndə öz-özünə induksiya e.h.q-nin əmələ gəlməsinə sərf olunur.

Qərarlaşmış rejimdə açarın bağlı vəziyyətində dövrdən keçən cərəyan sabit qalır, yəni cərəyanın dəyişmə sürəti sifıra

bərabərdir: $\frac{di}{dt} = 0$, ona görə də induktiv gərginlik də sıfıra bərabər olur $u_L = 0$. Mənbəyin gərginliyi tamamilə aktiv müqavimətə tətbiq olunur və dövrədən keçən cərəyan Ohm qanununa əsasən:

$$I_{qor} = I = U/R \quad (15.2)$$

Tutaq ki, keçid müddəti sıfıra bərabərdir ($t = 0$) və cərəyan anı olaraq 0-dan son qiymətinə – I-yə qədər artmışdır. Bu zaman cərəyanın dəyişmə sürəti sonsuzluğa bərabər olur $\left(\frac{di}{dt} = \infty\right)$. Lakin bu (14.1) tənliyinin ziddinədir. Çünki mənbəyin gərginliyi U – son qiymətdir. Cərəyanın sıçrayışla artması o deməkdir ki, maqnit sahə enerjisi də sıçrayışla 0-dan $W_M = LI^2/2$ -yə qədər artır. Buna sonsuz böyük gücə malik olan mənbə tələb olunur, $P = \frac{dW_M}{dt} = \infty$, bu da fiziki olaraq mümkün deyil.

Kommutasiyanın birinci qanunundan görünür: açar bağlandıqdan sonra başlanğıc anda ($t = 0$) cərəyan dövrədə sıfıra bərabərdir ($i_0 = 0$), müqavimətdəki gərginlik düşküsü $i_0 R = 0$, induktiv gərginlik mənbəyin gərginliyinə bərabərdir $U_{0L} = U$ və elə bil ki, dövrə induktivliklə bağlıdır.

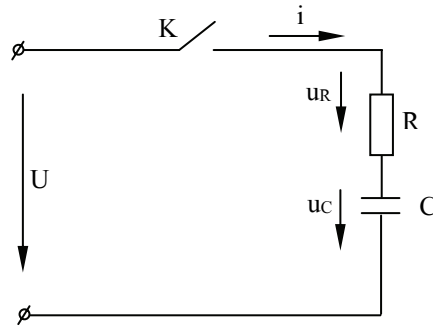
Kommutasiyanın ikinci qanunu

Kommutasiyanın ikinci qanunu tutuma malik olan dövrələrə tətbiq edilir.

Qanuna görə tutumdakı gərginlik sıçrayışla dəyişə bilməz. Ona görə də tutum gərginliyi keçid müddətinin əvvəlində ondan qabaqkı qərarlaşmış rejimdə olduğu kimi qalır.

Açarın açıq vəziyyətində Şək. 15.2. dövrədən keçən cərəyan (i), aktiv (iR) və tutum (u_C) gərginlikləri sıfıra bərabər

olur. Açar qapananda dövrədə keçid prosesi yaranır, kondensatorun gərginliyi artmağa başlayır. Bu o vaxta qədər davam edir ki, $u_c = U$ olur, yəni kondensator dolur, dövrədəki cərəyan dəyişir, bu da rezistordakı gərginliyin dəyişməsinə səbəb olur.



Şəkil 15.2. Kommutasiyanın ikinci qanununa aid dövrə

Keçid prosesinin istənilən anında dövrənin vəziyyəti Kirxhofun ikinci qanunu ilə xarakterizə edilir.

$$U = u_R + u_c = iR + u_c \quad (15.3)$$

Dövrədəki cərəyan kondensatordakı gərginliyin dəyişmə sürətinə mütənasib olur.

$$i = C \frac{du_c}{dt} \quad (15.4)$$

Bunu nəzərə alsaq,

$$U = u_c + RC \frac{du_c}{dt} \quad (15.5)$$

alınar.

Deməli dövrəyə tətbiq olunan gərginlik iki hissəyə ayrılır: bunlardan biri rezistiv müqavimətdəki gərginlik düşküsünü $\left(RC \frac{du_c}{dt} \right)$ kompensasiya edir, digəri kondensatordakı gərginliyə bərabərdir.

Qərarlaşmış rejimdə açarın bağlı vəziyyətində kondensatordakı gərginlik dəyişmir, belə ki, kondensatordakı gərginliyin dəyişmə sürəti sıfıra bərabərdir $\frac{du_c}{dt} = 0$. Ona görə də

dövrədən axan cərəyan sıfıra bərabərdir ($i_{q\ddot{e}r} = 0$). Rezistor-dakı gərginlik də sıfıra bərabər olur və mənbəyin gərginliyi bütünlüklə kondensatora tətbiq edilir. $U_{C_{q\ddot{e}r}} = U$, yəni dövrə kondensator vasitəsilə bağlanıb.

Tutaq ki, açar bağlandıqı anda kondensatorun gərginliyi sıçrayışla 0-dan U-ya qədər dəyişir, $\frac{du_c}{dt} = \infty$ olur və bu (15.3) bərabərliyinin əksinə çıxır. Bundan başqa elektrik sahə enerjisi də sıçrayışla 0-dan $W_e = \frac{CU^2}{2}$ qədər artar. Enerjinin belə sıçrayışla artması sonsuz böyük güclü mənbə tələb edir ki, bu fiziki olaraq mümkün deyil.

Kommutasiyanın ikinci qanunundan belə nəticə çıxır: keçid prosesinin əvvəlində ($t = 0$) kondensatorun gərginliyi sıfıra bərabərdir, yəni kondensator qısa qapanmış kimidir; rezistor-dakı gərginlik mənbəyin gərginliyinə bərabərdir $i_0 R = U$; dövrədən axan cərəyan $I_0 = U/R$ -dir.

Keçid prosesinə iki prosesin cəminin nəticəsi kimi baxılır: birincisi — yeni məcburi rejim, kommutasiyadan sonra ani baş verir; ikincisi — sərbəst rejim, dövrənin əvvəlki məcburi rejimdən yeni məcburi rejimə keçməsinə təmin edir.

Sərbəst rejim kommutasiyadan sonra maqnit və elektrik sahələrində yığılmış enerjilərin dövrənin yeni məcburi rejiminə uyğun gəlməməsi səbəbindən əmələ gəlir. Həmin uyğunsuzluq tədricən azaldığına görə sərbəst cərəyan və gərginliklər tədricən sıfır qiymətinə qədər azalır.

Beləliklə, keçid prosesi müddətində dövrənin keçid (həqiqi) cərəyanı iki cərəyanın: yeni məcburi cərəyanın və sərbəst cərəyanın cəminə bərabərdir.

$$i = i_{m\ddot{e}c} + i_{s\ddot{e}r} \quad (15.6)$$

Analoji olaraq:

$$u = u_{m\ddot{e}c} + u_{s\ddot{e}r} \quad (15.7)$$

§ 15.2. Müqavimət və induktivli dövrdə keçid prosesi

Müqavimət və induktivli budaqlanmamış dövrəni (şək. 15.1.) sabit cərəyan mənbəyinə qoşan zaman öz-özüə induksiya e.h.q-nin təsiri nəticəsində dövrdəki cərəyan tədricən sıfırdan məcburi (qərarlaşmış) qiymətə qədər artır $i_{qər} = U/R = I$.

Baxılan dövreyə Kirxhofun ikinci qanununu tətbiq edərək aşağıdakı tənliyi alırıq:

$$U = iR + L \frac{di}{dt}$$

Cərəyanın (15.6) daki qiymətini yerinə yazsaq ($i = i_{məc} + i_{sər}$)

$$U = (i_{məc} + i_{sər})R + L \frac{d(i_{məc} + i_{sər})}{dt} \quad (15.8)$$

Məcburi rejimdə $i_{sər} = 0$ olduğundan:

$$U = i_{məc}R + L \frac{di_{məc}}{dt} \quad (15.9)$$

(15.8) və (15.9) ifadələrini tərəf-tərəfə çıxsaq alırıq:

$$0 = i_{sər}R + L \frac{di_{sər}}{dt}$$

Buradan

$$i_{sər} = -\frac{L}{R} \cdot \frac{di_{sər}}{dt} = -\tau \frac{di_{sər}}{dt} \quad (15.10)$$

Burada, τ – dövrənin zaman sabitidir. **Zaman sabiti keçid prosesinin müddətini xarakterizə edir, vahidi saniyədir (san).**

Baxılan dövrə üçün: $\tau = \frac{L}{R}$

(15.10) düsturundan

$$\frac{di_{sər}}{i_{sər}} = -\frac{dt}{\tau}$$

Bu ifadəni inteqrallayaraq həll etsək, sərbəst cərəyan:

$$i_{\text{sör}} = -Ie^{-\frac{t}{\tau}} \quad (15.11)$$

və keçid prosesi cərəyanı:

$$i = i_{\text{məc}} + i_{\text{sör}} = I - Ie^{-\frac{t}{\tau}} = I\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \quad (15.12)$$

Keçid prosesində rezistordakı gərginlik

$$u_R = iR = IR\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) = U\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \quad (14.13)$$

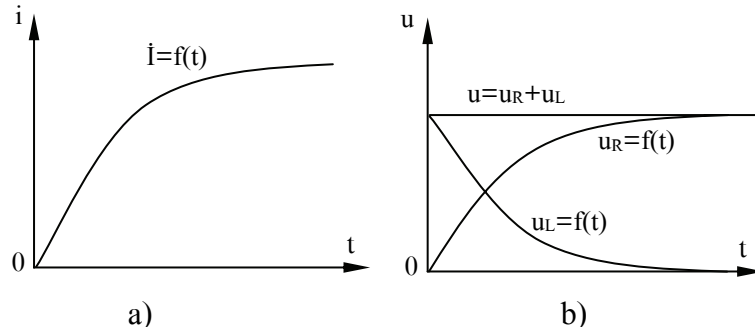
İnduktivlikdəki gərginlik

$$u_L = U - u_R = U - U\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) = Ue^{-\frac{t}{\tau}} \quad (15.14)$$

Öz-özünə induksiya e.h.q-si

$$e_L = -u_L = -Ue^{-\frac{t}{\tau}} \quad (15.15)$$

R və L dövrəsi üçün cərəyanın dəyişmə əyrisi, u_R və u_L gərginlik əyriləri şəkl. 15.3. göstərilmişdir.



Şəkil 15.3. R və L dövrəsi üçün cərəyanın dəyişmə əyrisi (a) və gərginlik əyriləri (b)

Bilirik ki, enerji tutumsuz elementlərin (məs. rezistor) müqaviməti ona tətbiq olunan gərginliyin və ya ondan axan cərəyanın formasından asılı olmur. Enerji tutumlu elementlərin (sarğac, kondensator) müqaviməti onlara tətbiq olunan gərginliyin və ya onlardan axan cərəyanın formasından asılı olur.

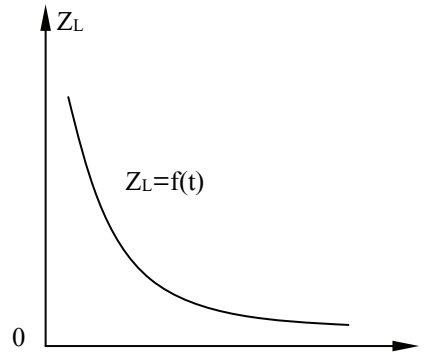
Verilmiş dövrdə induktiv müqavimətin dəyişmə qanununu təyin etmək üçün ani induktiv gərginliyi, ani cərəyana bölmək lazımdır.

$$Z_{L(t)} = \frac{u_{L(t)}}{i_L(t)} = \frac{Ue^{-\frac{t}{\tau}}}{\frac{U}{R}\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)} = \frac{R}{e^{-\frac{t}{\tau}} - 1} \quad (15.16)$$

$$t = 0 \text{ olanda } Z_{L0} = \frac{R}{e^0 - 1} = \frac{R}{1 - 1} = \frac{R}{0} = \infty$$

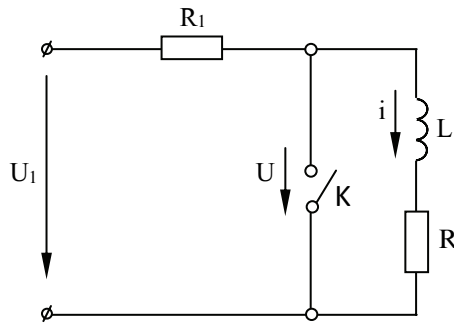
$$t = \infty \text{ olanda } Z_{L\infty} = \frac{R}{e^\infty - 1} = \frac{R}{\infty} = 0$$

İfadələrdən görünür ki, açar vurulana qədər ($t=0$, kommutasiyadan qabaq) dövrdə qərarlaşmış rejim var, induktiv müqavimət 0-a bərabərdir. Açar vurulandan sonra ($t \neq 0$, kommutasiyadan sonra) induktiv müqavimət təkanla ∞ -a qədər artır. Daha sonra müəyyən zamandan sonra ($t = 3 \div 5\tau$) tədricən 0-a qədər azalır (şək. 15.4.)



Şəkil 15.4. İnduktiv müqavimətin dəyişmə qrafiki

§ 15.3. Müqavimətli və induktivli dövrlərdə qısa qapanma



Şəkil 15.5. R və L dövrəsində qısa qapanma

Əgər müqavimətli və induktivli dövrə sabit gərginlik mənbəyinə qoşularsa, qısa qapanma zamanı dövrdəki cərəyan ani yox olmur. (R müqaviməti mənbəyin qısa qapanmasına yol vermir). Maqnit sahəsində toplanan bütün enerji R müqavimətində istiliyə çevrilənə qədər dövrə-

dən cərəyan axır. Şək. 15.5.

Qısa qapanmış hissədə qidalanma mənbəyi olmadığından baxılan hal üçün (15.18) tənliyi belə yazılır.

$$0 = iR + L di/dt \quad (15.17)$$

Keçid prosesi zamanı

$$i = i_{m\acute{o}c} + i_{s\acute{o}r}$$

olduğundan

$$0 = (i_{m\acute{o}c} + i_{s\acute{o}r})R + Ld(i_{m\acute{o}c} + i_{s\acute{o}r})/dt \quad (15.18)$$

olar. Baxılan halda yeni məcburi cərəyan $i_{m\acute{o}c} = 0$, çünki kon- turda qidalanma mənbəyi yoxdur.

Beləliklə, keçid prosesi zamanı dövrdə ancaq sərbəst cərəyan qalır. $i = i_{s\acute{o}r}$ və uyğun olaraq

$$0 = i_{s\acute{o}r}R + L di_{s\acute{o}r}/dt \quad (15.19)$$

alınır. Buradan

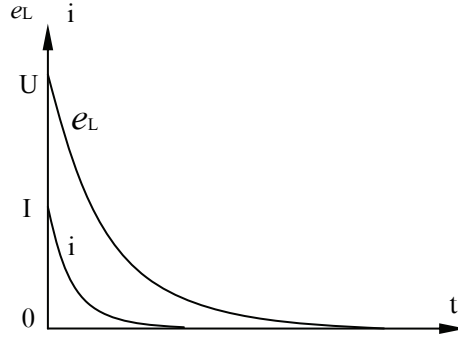
$$di_{s\acute{o}r}/i_{s\acute{o}r} = -Rdt/L = -dt/\tau$$

Alınan diferensial tənliyi həll etsək:

$$i = i_{\text{sor}} = I e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (15.20)$$

alarıq.

Alınan düsturdan görünür ki, cərəyan başlanğıc anda ən böyük qiymətə malik olur, sonra isə demək olar ki, sıfıra qədər azalır. Şək. 15.6.



Şəkil 15.6. Qısa qapanma zamanı R və L dövrəsinin cərəyan və e.h.q-si öyriləri

Keçid prosesi müddətində cərəyanın dəyişməsi nəticəsində dövrədə öz-özünə e.h.q-si induksiyanır.

$$e_L = -\frac{Ldi}{dt} = LI \frac{1}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}} = \quad (15.21)$$

$$I R e^{-\frac{t}{\tau}} = U e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Dövrə hissəsi qısa qapananda öz-özünə induksiya e.h.q-si

$$e_L(0) = U e^0 = U$$

olur, yəni öz-özünə induksiya e.h.q-si dövrə hissəsinin sıxac-ları arasındakı gərginliyə bərabərdir və ən böyük qiymətini alır.

§ 15.4. Müqavimətli və tutumlu dövrədə keçid prosesi

Kondensatorun sıxaclarındakı gərginlik onun lövhələrində toplanan yüklə mütənasibdir: $U_C = \frac{Q}{C}$. Kommutasiya qanunu-
na görə kondensatordakı gərginlik onun dolduğu anda ($t = 0$)
sıfıra bərabərdir, yəni $u_C(0) = 0$. Açar vurulandan sonra Şək.
15.2. kondensator dolmağa başlayır və dolmanın sonunda qə-
rarlaşmış rejimdə kondensatordakı gərginlik $u_{C\ m\acute{a}c} = U$ olur,
keçid prosesi zamanı kondensatordakı gərginlik iki toplanan-
dan ibarətdir: məcburi gərginlik ($u_{C\ m\acute{a}c}$) və sərbəst gərginlik
($u_{C\ s\acute{e}r}$). Onda

$$u_C = u_{C\ m\acute{a}c} + u_{C\ s\acute{e}r} = U + u_{C\ s\acute{e}r} \quad (15.22)$$

Kirxhofun ikinci qanununa görə şək. 15.2-dəki dövrə üçün

$$U = iR + u_C \quad (15.23)$$

Bilirik ki,

$$i = \frac{dQ}{dt} = C \frac{du_C}{dt}$$

Bunu (15.23) tənliyində yerinə yazaq:

$$U = RC \frac{du_{C\ s\acute{e}r}}{dt} + u_C \quad (15.24)$$

Nəzərə alsaq ki, $u_C = U + u_{C\ s\acute{e}r}$, (15.24) düsturunu belə
yaza bilərik.

$$U = RC \frac{du_{C\ s\acute{e}r}}{dt} + U + u_{C\ s\acute{e}r} \quad (15.25)$$

Sonuncu ifadədən sərbəst proses üçün alırıq:

$$\frac{du_{C\ s\acute{e}r}}{u_{C\ s\acute{e}r}} = - \frac{dt}{RC}$$

Burada $\tau = RC$ **müqavimətli və tutumlu dövrənin zaman sabitidir.**

Alınan ifadəni inteqrallayaraq alarıq

$$u_{C_{sər}} = Ue^{-\frac{t}{\tau}} \quad (15.26)$$

Onda kondensatordakı gərginlik:

$$u_c = U - u_{C_{sər}} = U - Ue^{-\frac{t}{\tau}} = U\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \quad (15.27)$$

Keçid prosesinin cərəyanı:

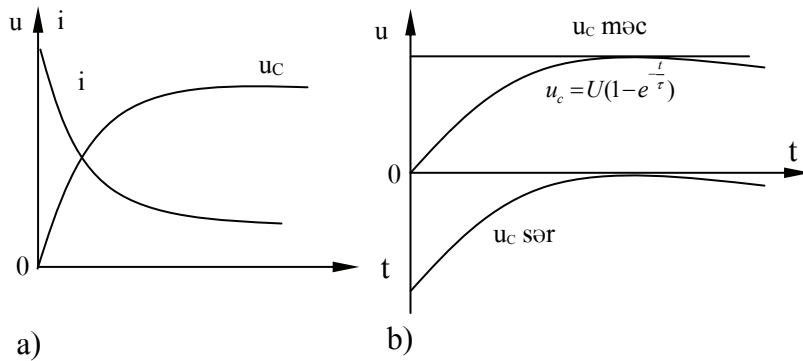
$$i = C \frac{du_c}{dt} = C \cdot \frac{1}{\tau} Ue^{-\frac{t}{\tau}} = Ie^{-\frac{t}{\tau}} \quad (15.28)$$

$$\text{Burada } I = \frac{CU}{\tau} = \frac{U}{R}$$

Keçid prosesində rezistordakı gərginlik:

$$u_R = iR = Ue^{-\frac{t}{\tau}} \quad (15.29)$$

Şək. 15.7-də kondensatordakı cərəyan və gərginliklərin dəyişmə qrafikləri göstərilmişdir.



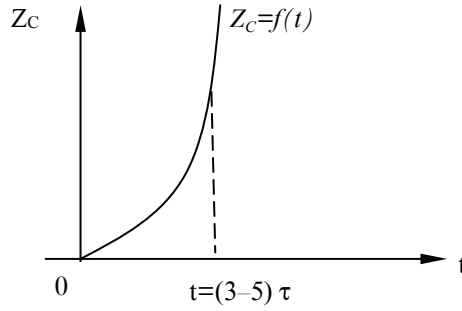
Şəkil 15.7 Kondensatordakı cərəyan (a) və gərginliklərin (b) dəyişmə qrafikləri

Keçid prosesində tutum müqaviməti

$$Z_C(t) = \frac{U_C(t)}{i_C(t)} = \frac{U \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)}{\frac{U}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}} = R e^{-\frac{t}{\tau}} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) = R \left(e^{-\frac{t}{\tau}} - 1\right) \quad (15.30)$$

$$t = 0 \text{ olanda } Z_C(0) = R(e^0 - 1) = R(1 - 1) = 0$$

$$t = \infty \text{ olanda } Z_C(\infty) = R(e^\infty - 1) = \infty$$



Şəkil 15.8. Tutum müqavimətinin dəyişmə əyrisi

Beləliklə, açar vurulana qədər tutum elementinin müqaviməti ∞ – a bərabərdir.

Kommutasiyadan sonra ilk anda bu müqavimət sıfıra düşür və sonra yenidən təkanla ∞ – a qədər artır. Şək. 15.8.

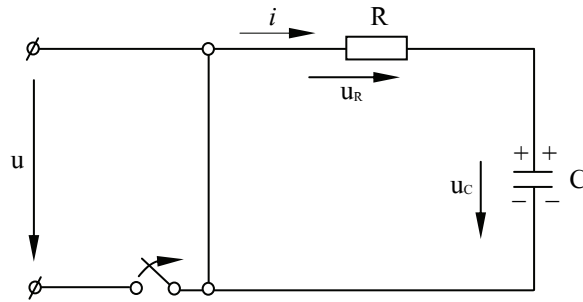
§ 15.5. Müqavimətli və tutumlu dövrədə qısa qapanma

Müqavimətli və tutumlu dövrənin sıxacları arasındakı gərginlik iki toplanandan ibarətdir: tutumdakı gərginlik (u_C) və müqavimətdəki (u_R) gərginlik. Qısa qapanma olanda dövrədə Şək. 15.9. qidalanma mənbəyi olmur, ona görə də $u_{C\text{ məc}} = 0$, $i_{\text{məc}} = 0$ və $u_C = u_{C\text{ sər}}$, $i = i_{\text{sər}}$ olur. Kirxhofun ikinci qanuna əsasən dövrənin tənliyi:

$$0 = iR + u_C \text{ və ya } iR = -u_C$$

cərəyanı isə:

$$i = -u_C/R \quad (15.31)$$



Şəkil 15.9. Kondensatorun rezistor vasitəsilə boşalması

Mənfi işarəsi göstərir ki, kondensator boşalanda dövrənin cərəyanı dolma cərəyanının əksinədir.

Beləliklə, cərəyanın $i = dq/dt = Cdu_C/dt$ qiymətini (15.31) tənliyində nəzərə alsaq:

$$Cdu_C/dt = -u_C/R.$$

Buradan kondensatordakı gərginlik üçün diferensial tənliyi alırıq:

$$du_C/u_C = -dt/RC = -dt/\tau$$

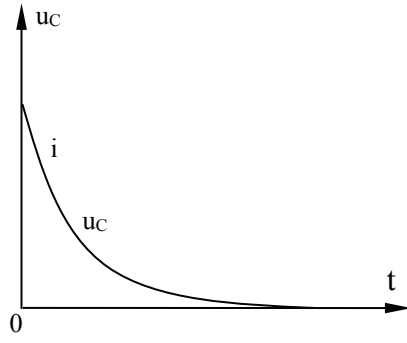
Tənliyin sağ və sol tərəflərini inteqrallasaq alırıq:

$$u_C = u_{C_{s\ddot{o}r}} = Ue^{-\frac{t}{\tau}} \quad (15.32)$$

Dövrədəki cərəyan (boşalma)

$$i = i_{C_{s\ddot{o}r}} = -\frac{u_C}{R} = -Ie^{-\frac{t}{\tau}} \quad (15.33)$$

Cərəyan və gərginlik əyriləri şək. 15.10-də göstərilib.



Şəkil 15.10. Kondensator boşalanda cərəyan və gərginlik əyriləri

torda istilik enerjisinə çevrilir.

Başlanğıc anda kondensatordakı gərginlik özünün ən böyük qiymətində olur, sonra isə artma funksiyası qanunu ilə azalır. Konturdakı cərəyan ilk anda ($t = 0$) təkanla 0-dan U/R qiymətə kimi, sonra isə kondensatordakı gərginliyə mütənasib olaraq dəyişir.

Dolmuş kondensatorun bütün elektrik sahə enerjisi boşalma müddətində rezis-

FƏSİL XVI. ELEKTRİK SÜZGƏCLƏRİ

§ 16.1. Süzgülərin təsnifatı

Elektrik süzgüləri elə dördqütblülərə deyilir ki, onlarda müəyyən tezlik zolağında sönmə kiçik, başqa tezlik zolağında sönmə böyük olsun. Başqa sözlə müəyyən zolaqda tezlik az, digər zolaqda çox zəiflənilə bilər.

Zəifləmə az olan tezlik diapozonu buraxma zolağı, zəifləmə böyük olan tezlik diapozonu sönmə (saxlama, ləngitmə) zolağı adlanır. Bu zolaqlar arasında keçid zolağı olur. Süzgül mənbə ilə işlədici arasında qoşulur.

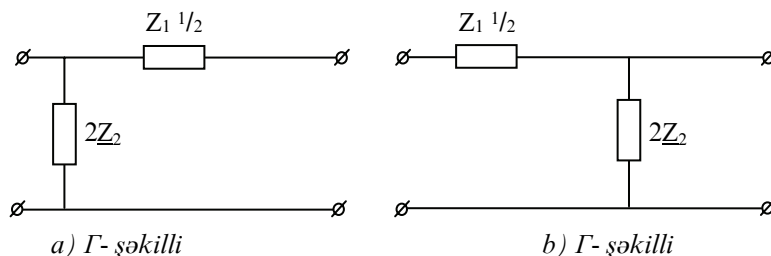
Süzgülər rabitə, cihazqayırma, avtomatika və s. sahələrdə istifadə edilir. Göstəricilərinə görə süzgülər aşağıdakı siniflərə bölünürlər.

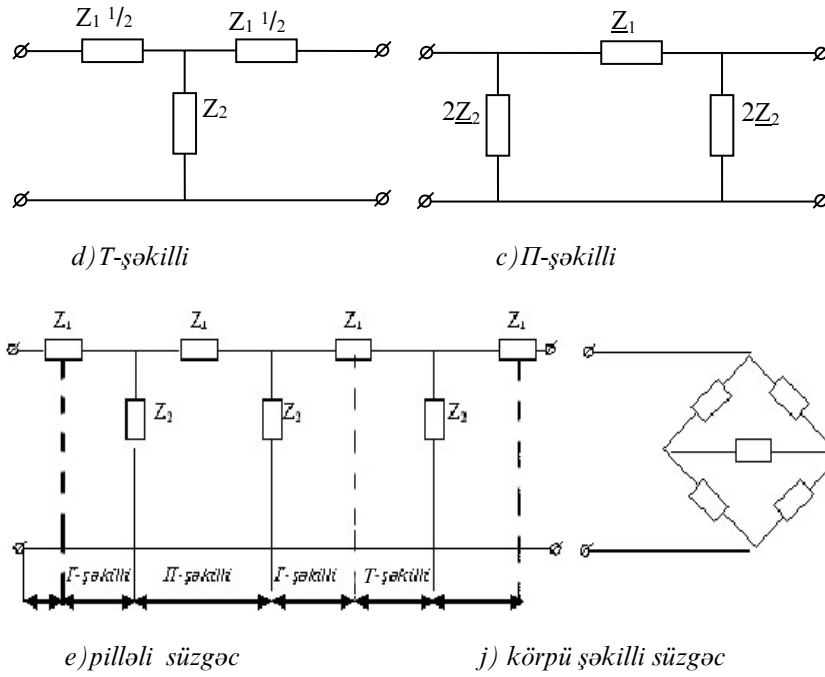
1) Tezliyi buraxma zolağına görə: alçaq tezlikli süzgülər (ATS), yüksək tezlikli süzgülər (YTS), zolaqlı süzgülər (ZS), çəpərləyici süzgülər (ÇZ).

2) Konfigurasiyasına görə süzgülər pilləli və körpü şəkilli, pilləli süzgülər özləri də Γ , Π , T şəkilli olur. (Şəkil 16.1)

3) Elementlərin tipinə görə; induktiv və tutumdan ibarət (LC) passiv; müqavimət və tutumdan ibarət (RC) passiv; müqavimət və tutumdan ibarət (ARC) aktiv; kvarslı, rəqəmli və s.

4) Xarakteristikalarına görə süzgülər sadə “k” tipli və yüksək keyfiyyətli “m” tipli olurlar.





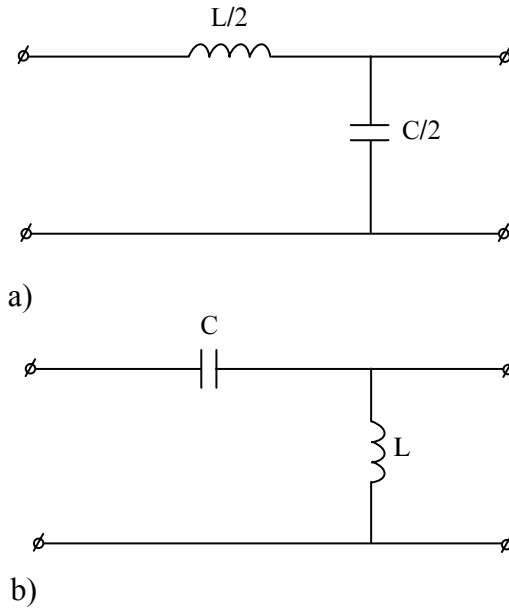
Şəkil 16.1. Γ(a.b), T(d), Π(c) şəkilli, pilləli (e) və körpüşəkilli (j) süzgəclər

Alçaq tezlik süzgəci (ATS) sıfırdan müəyyən kəsmə tezliyinə ($\omega_{\text{kös}}$) qədər kiçik tezlikləri buraxır. (Şək.16.2a)

ATS-də elementin induktiv müqaviməti alçaq tezliklərdə azalır. Tezlik artdıqca uzununa budağın müqaviməti artır, eninə budaqdakı müqavimət azalır, sönmə əmsalı kiçik olur. Belə süzgəclərdə rezonans tezliyinə kəsmə tezliyi deyilir və bu dövrə üçün

$$\omega_{\text{kös}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{L}{2} \cdot \frac{C}{2}}} = \frac{2}{\sqrt{LC}} \quad f_{\text{kös}} = \frac{1}{\pi\sqrt{LC}} \quad (16.1)$$

olur.



Şəkil 16.2. Γ-şəkilli ATS (a) və YTS (b)

Yüksək tezlik süzgəcində (YTS) (Şək.16.2 ,b) elementin tutum müqaviməti yüksək tezliklərdə azalır. Tezlik artdıqca uzununa budağın müqaviməti azalır, eninə budağın müqaviməti artır, sönmə əmsalı böyük olur. Bu süzgəclərdə

$$\omega_{\text{kös}} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad f_{\text{kös}} = \frac{1}{\pi\sqrt{LC}} \quad (16.2)$$

Γ – şəkilli süzgəclərdə sönmə

$$a = 0,5 \text{Arch} \left[2 \left(\frac{f}{f_{\text{kös}}} \right)^2 - 1 \right] \quad (16.3)$$

T və Π şəkilli süzgəclərdə sönmə 2 dəfə böyük olur.

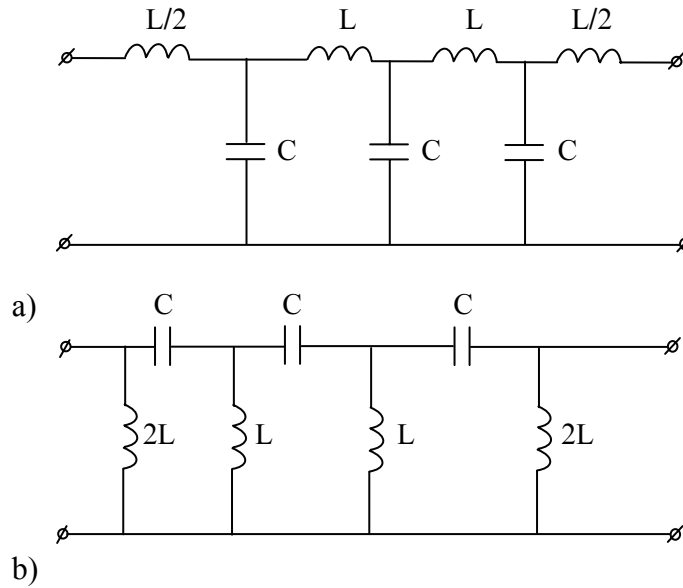
T və Π şəkilli ATS-də xarakteristik müqavimətlər aşağıdakı düsturlarla hesablanır

$$Z_{x(T)} = \sqrt{L/C} \cdot \sqrt{1 - (f/f_{\text{kös}})^2} \quad (16.4)$$

$$Z_{x(\Pi)} = \frac{\sqrt{L/C}}{\sqrt{1 - (f/f_{\text{kös}})^2}} \quad (16.5)$$

Şəkil 16.3 (a)-da üçpilləli T şəkilli ATS-ci, Şəkil 16.3 (b)-də üçpilləli Π şəkilli YTS-i göstərilmişdir. Hər iki süzgəc eyni pillədən ibarət olduğundan süzgəclərin kəsmə tezliyi ayrı-ayrı pillələrin kəsmə tezliyi ilə təyin edilir. Hər iki süzgəcdə T və Π şəkilli pillənin sönməsi

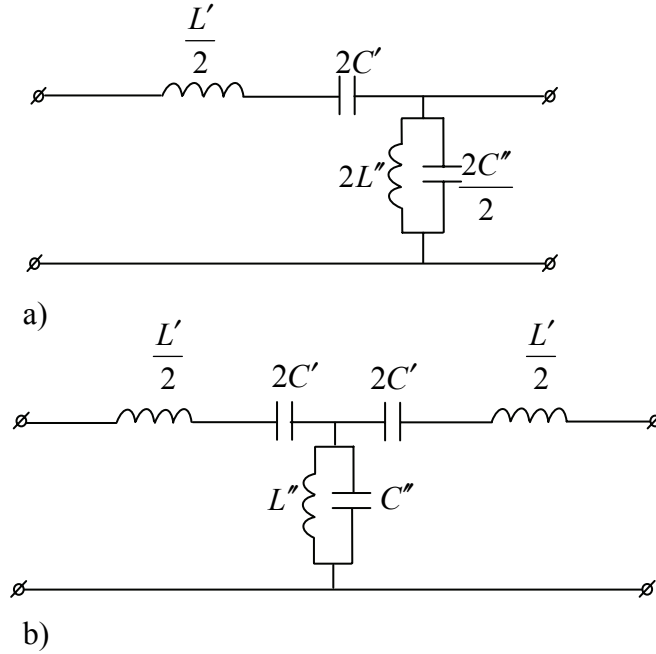
$$a = \text{Arch} \left[1 - 2 \left(\frac{f_{\text{kös}}}{f} \right)^2 \right] \quad (16.6)$$



Şəkil 16.3. T(a) və Π(b) şəkilli pilləli süzgəclər

Zolaqlı süzgəclərdə $\omega_{\text{aş}} \div \omega_{\text{yük}}$ tezlik diapazonunda sönmə -az, qalan tezliklərdə böyük olur. Zolaqlı süzgəclər özündə həm alçaq, həm də yüksək tezlik süzgəclərinin xüsusiyyətlərini birləşdirir.

Şəkil 16.4 Γ (a) və T (b) şəkilli zolaqlı süzgəclər göstərilir.



Şəkil 16.4. Γ (a) və T(b) şəkilli zolaqlı süzgəclər

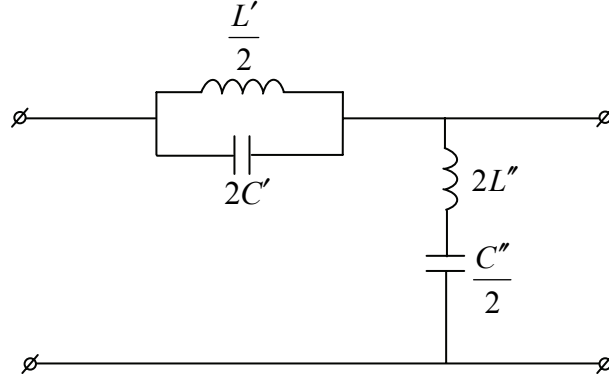
Asanlıqla görmək olar ki, $\frac{L'}{2}$ və $\frac{C''}{2}$ elementləri ATS-ni $2C'$ və $2L''$ elementləri isə YTS –ni əmələ gətirir.

Zolaqlı süzgəcin elementləri elə seçilir ki, aşağıdakı şərt ödənilsin.

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L'C'}} = \frac{1}{\sqrt{L''C''}}$$

Çəpərləyici süzgəclər elə süzgəclərdir ki, (Şəkil 16.5) onlarda $\omega_{al} \div \omega_{yük}$ tezlik diapazonunda sönmə böyük, qalan diapazonlarda kiçik olur.

Süzgəclərin sırası alçaq və yüksək tezlik süzgülərində olan reaktiv elementlərin sayına bərabərdir. n-sıralı süzgülərdə baş verən proseslər həmən sıra dərəcəli diferensial kompleks tənliklərlə göstərilir. Məsələn; 2-sıralı süzgülərdən, tənlik 2-ci dərəcədən 3-sıralı süzgülərdə tənlik 3-cü dərəcədən və s. təsvir olunur.



Şəkil 16.5. Çəpərləyici süzgülər

§ 16.2. k və m tipli süzgülər

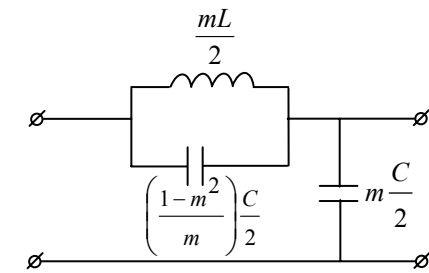
Bütün passiv LC süzgülərin vahid xüsusiyyətləri var: uzununa çiyin müqaviməti ilə eninə çiyin müqavimətinin hasilı həqiqi kəmiyyətdir, tezlikdən asılı deyil. Belə süzgülər **k**-tipli süzgülər adlanır. (Şəkil 16.6) **Bu süzgülərin**

$k = \sqrt{\frac{L}{C}}$ **parametri süzgülənin xarakteristik müqaviməti adlanır.**

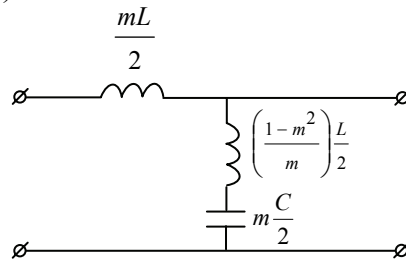
Bütün k tipli süzgülərin aşağıdakı çatışmayan xüsusiyyətləri vardır: tezlikdən asılı olaraq xarakteristik müqavimətin çox dəyişməsi, sönmə xarakteristikasının dikliyinin az olması.

k- tipli süzgəclər üstünlüklərə də malikdir; konstruksiyasının sadəliyi, kəsmə tezliyindən uzaq tezlik diapazonunda faza xarakteristikasının dəyişməsi, ATX-nin artmasının monotonluğu və s.

Buraxma zolağında xarakteristik müqavimətin bərabərliyini yaxşılaşdırmaq və süzgəcin amplitud xarakteristikasının dikliyini artırmaqdan ötəri ardıcıl və ya paralel birləşdirilmiş törəmə bəndlərdən istifadə edilir. Bu bəndlərdə kəsmə tezliyi **k**-bəndində olduğu kimi qalır, rezonans tezliyi isə bir deyil iki olur. Bunun üçün **k** tipli bəndə ya bir tutum, ya da bir induktivlik əlavə edilir. (Şəkil 16.6 b) Alınan bənd **m** tipli bənd adlanır və **k** tipli bəndin eynidir. Bu, o deməkdir ki, **m** tipli bənd sıfır tezlikdə **k** tipli bəndin xarakteristik müqavimətiyə malikdir. Bunlarda kəsmə tezliyi də eyni olmalıdır.



a)



b)

Şəkil 16.6. k (a) və m (b) tipli süzgəclər

Deyilənlərdən görünür ki, k -bəndinin malik olduğu elementlərə m çoxaldıcısı, 2-ci rezonans tezliyi almaq üçün əlavə edilmiş elementlərə isə $(1-m)^2/m$ çoxaldıcı qoyulmalıdır.

Alınan dövrlərdə baş verən fiziki proseslərə baxaq. Sxemdə paralel kontur

$$\omega_{\infty} = \frac{2}{\sqrt{LC(1-m^2)}} = \frac{\omega_{\text{kös}}}{\sqrt{1-m^2}}$$

tezliyində cərəyanlar rezonans əmələ gətirir. Bilirik ki, paralel rezonans zamanı itkisiz konturda giriş müqaviməti ∞ -a bərabərdir. Onda ω_{∞} -tezliyində ötürmə əmsalı sıfır, sönmə isə ∞ -a bərabər olar. Ona görə də ω_{∞} -a **sonsuz sönmə tezliyi** deyilir. Əgər ω_{∞} -tezliyi $\omega_{\text{kös}}$ tezliyi ilə üst-üstə düşərsə $m=0$, $\omega_{\infty} = \infty$ olarsa, $m=1$ olar. Təcrübü olaraq $m < 0,4$ olanda konstruksiya cəhətdən süzgəc hazırlamaq olmur. $m=0,6$ bəndli süzgəclər çox geniş yayılmışdır.

“ m ” tipli süzgəclərin çatışmazlıqları konstruksiyasının daha mürəkkəb olması, böyük tezliklərdə sönmənin düşməsi, müxtəlif qiymətli bir neçə “ m ” bəndinin birləşdirilməsinin vacibliyi və s. m -tipli süzgəclər Γ , Π , T -şəkilli bəndlərdən ibarət ola bilər.

§ 16.3. Hamarlayıcı süzgəclər

Elektrik aparatlarını qidalandırmaq üçün çox vaxt sabit cərəyan mənbəyindən istifadə edilir. Bu halda düzlənmə sxemləri tətbiq edilir. Düzlənmə sxeminin çıxışında düzlənmiş gərginliyin tərkibində sabit toplanandan əlavə dəyişən (döyünən) toplananı da olur. Həmin toplananı aradan qaldırmaq üçün düzləndirici ilə yük arasında hamarlayıcı süzgəclər qoşulur.

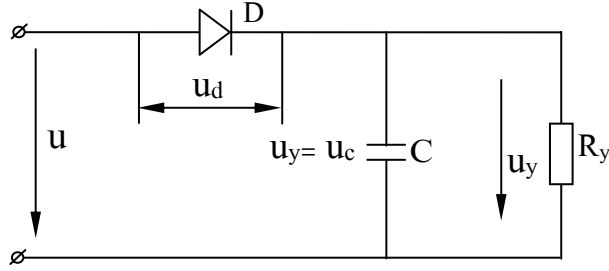
Süzgəcin işi döyünmələrin hamarlama əmsalı q ilə xarakterizə olunur, hansı ki, verilən süzgəcdən siqnal keçən zamanı döyünmənin neçə dəfə azaldığını göstərir.

$$q = \frac{K_{II}}{K'_{II}}$$

K_{II} və K'_{II} – əvvəldə və sonda signalın döyünmə əmsalıdır.

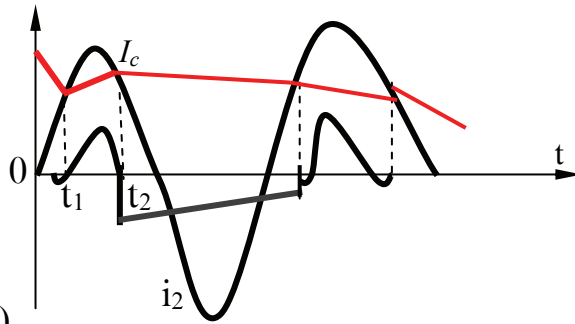
Süzgəcdə döyünmə əmsalı kiçik olduğu üçün, düzləndirilmiş gərginliyin sabit toplananlarında nəzərə çarpacaq qədər itki olmamalıdır.

Hamarlayıcı süzгәclər tutumlu, induktivli, induktiv-tutumlu, tutum-rezistorlu süzгәclərə ayrılır. Ən sadə süzгәc tutumlu süzгәclərdir. Onlar yükə R_y paralel bağlanmış C kondensatorundan ibarətdir. (Şəkil 16.12)



a)

u, u_y, i_y



b)

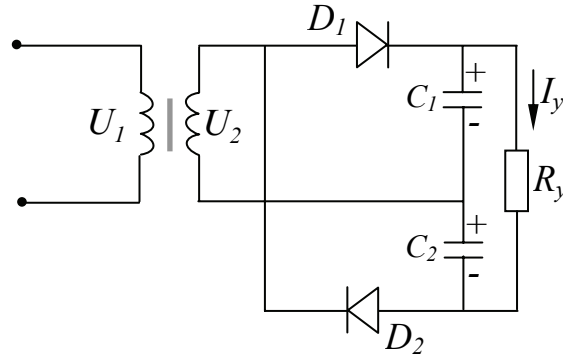
Şəkil 16.12. Tutumlu süzгәcin sxemi (a), gərginlik və cərəyanın qrafiki(b)

Süzgəcin işi kondensatorun xüsusiyyətinə əsaslanır, o elektrik enerjisini cəld yığır və nisbi olaraq yavaş-yavaş yükə ötürür.

Diodda olan gərginlik kondensatorda və mənbədə olan gərginliklərin fərqi bərabərdir, müsbət yəni, $u_d = u - U_c$ olarsa, onda diod açıq olar və C dolar. Bunu yuxarıda 16.12 (b) şəklindəki qrafikdə t_1 -dən və t_2 -yə qədər olan zaman intervalında görmək olar.

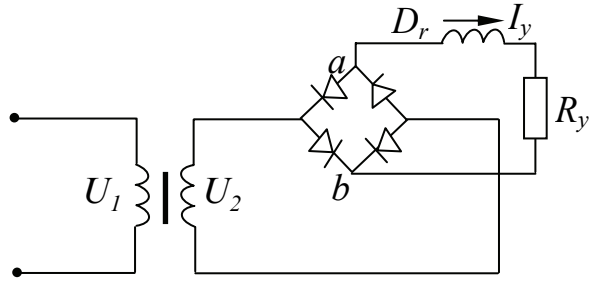
Belə ki, D diodunun müqaviməti çox kiçik olduğu üçün kondensator u -ya qədər dola bilər. Sonra $u - U_c < 0$ olduqda, diod bağlıdır və kondensator R_y yükünə yavaş-yavaş o vaxta qədər boşalacaq ki, mənbənin gərginliyi u yenidən U_c -dən böyük olsun. Boşalma vaxtı $\tau = CR_y$ zaman sabitindən asılıdır. Zaman sabiti kondensatorun gərginliyin hansı vaxtda 2,72 dəfə azaldığını göstərir.

Tutumlu süzgəclərdən bir qayda olaraq kiçik güclü düzləndiricilərdə istifadə edirlər. Şəkildə gərginliyi ikiqat artıran tutum süzgəcli düzləndiricinin sxemi verilmişdir. Şəkil (16.13)



Şəkil 16.13. Gərginliyin ikiqat artırılması

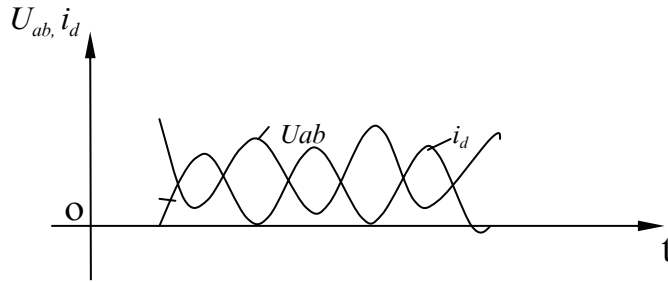
a



Şəkil 16.14. Düzəndiricili dövrədə induktivli süzgəcin cəmi

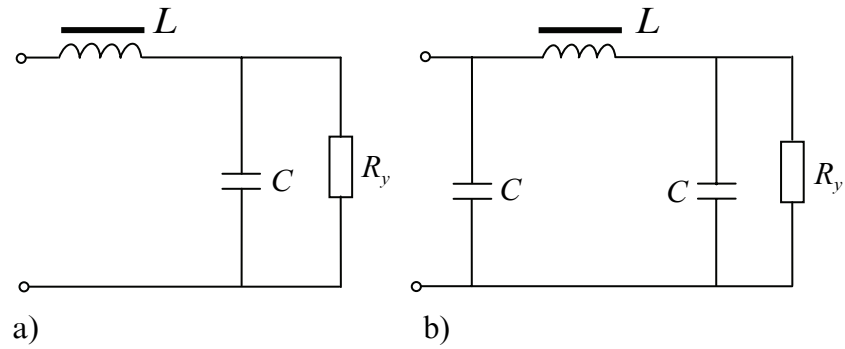
D_1 diodu açıq olduqda gərginliyin bir yarım periodunda C_1 kondensatoru u_2 qiymətinə qədər dolur. Bu zaman ərzində D_2 diodu bağlı olur. İkinci yarımperiodda D_2 açılır, C_2 kondensatoru dolmağa başlayır. D_1 diodu bağlanır. Sxemdə kondensatorun R_y yükünə boşalması çox yavaş-yavaş gedir.

Böyük cərəyanlı düzəndiricilərdə (Şəkil 16.14) induktivli süzgəclərdən istifadə olunur. Induktivli süzgəclər iki yarımperiodlu düzəndiricilərdə effektiv işləyir. Belə ki, bu süzgəclərdə özünə induksiyanın yaranması nəticəsində a və b nöqtələri arasındakı gərginliyin sıfır anında i_y cərəyanı sıfıra düşmür və döyünmə əmsalı nəzərə çarpacaq qədər azalır. (Şəkil 16.15)



Şəkil 16.15. İnduktivli süzgəcli ikiyarımperiodlu düzəndiricidə cərəyan və gərginlik qrafiki

Təcrübələrdə əsasən kombinə edilmiş süzgəclərdən istifadə edilir. (şəkil16.16). Bu süzgəclər yüklə cərəyanı yaxşı hamarlayırlar. Onların çıxışındakı gərginlik harmonikaların toplananlarının cəmi kimi təyin edilir. (dəyişən gərginlik) İnduktivlik və tutum süzgəclərinə bölüşdürücülər kimi baxmaq olar. Bölüşdürücünün induktiv müqavimətində dəyişən toplananın böyük bir hissəsi, tutum müqavimətində isə sabit toplananın böyük bir hissəsi ayrılır.



Şəkil 16.16. Kombinə edilmiş süzgəcin sxemi
a) Γ -şəkilli b) Π -şəkilli

FƏSİL XVII. PAYLANMIŞ PARAMETRLİ DÖVRƏLƏR

§ 17.1. Ümumi anlayış

Keçmiş fəsillərdə toplanmış parametrli, yəni aktiv müqavimət (R), induktiv (L), tutum (C) elementləri müstəqil olaraq müəyyən hissəyə toplanan dövrlərə baxdıq. Bu parametrlər dövrlərdə ardıcıl və paralel birləşə bilər, sxemin müxtəlif hissələrində müxtəlif effektlər verir. Elektrik enerjisi rezistorda istilik, induktivlikdə maqnit sahəsi, kondensatorda elektrik sahəsi yaradır. **Belə dövrlərə toplanmış parametrli dövrlər deyilir.**

Lakin elektrik veriliş xətlərində göstərilən parametrlər (R,L,C) məfəllərin uzunluğu boyunca paylandığından onlara toplanmış parametrli dövrə kimi baxmaq olmaz. Belə dövrlərə **paylanmış parametrli dövrlər** deyilir.

Paylanmış parametrli dövrlər elə dövrlərə deyilir ki, onlarda müqavimət, keçiricilik, induktivlik və tutum dövrə boyunca paylanır.

Budaqlanmamış (ardıcıl) paylanmış parametrli dövrlərin müxtəlif kəsiklərində cərəyan eyni olmur. Bunun bir neçə səbəbi var: birincisi onun ayrı-ayrı hissələrində izolyasiyanın keçiriciliyidir ki, bu da həmən hissələrdən cərəyanın axması (axma cərəyanları) ilə əlaqədardır; ikincisi ayrı-ayrı hissələr arasında tutumun olmasıdır ki, bu da dəyişmə cərəyanı ilə əlaqədardır.

Axma cərəyanı gərginliklə, dəyişmə cərəyanı tezliklə mütənasib olur. Tezlik və gərginlik artdıqca onların təsiri də cox olur, yəni axma və dəyişmə cərəyanı dövrə hissəsinin uzunluğu boyunca artır.

Paylanmış parametrli dövrlərə bütün uzun xətlər daxildir. Uzun xətlərə elektrik enerjisini ötürən elektrik veriliş

xətləri (EVX), informasiyanı ötürən xətlər (elektrik rabitəsi) aiddir.

Xəttin vahid uzunluğuna düşən R , L , C , G kəmiyyətləri onun birinci parametrləri adlanır.

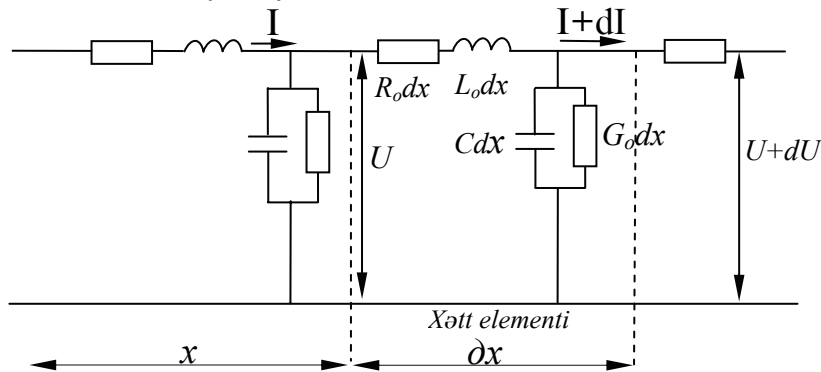
Bu parametrlər xəttin həm konstruksiyasından və hündürlüyündən, həm də tezlikdən asılıdır.

§ 17.2. Bircinsli xəttin tənlikləri

İstənilən uzun xətlər onların vahid uzunluğuna düşən dörd birinci parametrlərlə (R, L, C, G) xarakterizə olunur. Xətlərin aktiv müqaviməti və induktivliyi onun uzununa parametrləri, izolyasiyasının keçiriciliyi və tutumu eninə parametrləri adlanır.

Əgər birinci parametrlər bütün xətt boyunca bərabər paylansa, belə xətlərə bircinsli xətt deyilir.

Paylanmış parametrləli dövrələri araşdırdıqda onların əvəz sxemlərindən istifadə edilir. (Şəkil 17.1) Bu zaman uzun xəttə sonsuz kiçik Δx elementlərinin cəmi kimi baxılır. Onun parametrləri bunlardır: düz və əks naqillərdə aktiv müqavimət $R_0 dx$, induktivlik $L_0 dx$ və izolyasiya keçiriciliyi $G_0 dx$. Bu parametrlər xəttin başlanğıcından müxtəlif məsafələrinə yerləşir.



Şəkil 17.1. Uzun xəttin əvəz sxemi

Mənbənin gərginliyi sinusoidal olduqda elementin başlanğıcındakı gərginlik və cərəyanı \dot{U}, \dot{I} , sonundakı gərginlik və cərəyanı $\dot{U} + d\dot{U}, \dot{I} + d\dot{I}$ ilə işarə edək. Onda dx elementindəki gərginlik, elementin başlanğıcı və sonundakı gərginliklər fərqi kimi və ya elementin aktiv və induktiv müqavimətlərindəki gərginlik düşgülərinin cəmi kimi göstərilə bilər.

$$\dot{U} - (\dot{U} + d\dot{U}) = -d\dot{U} = \dot{I}R_o dx + \dot{I}j\omega L_o dx$$

Eyni qayda ilə elementdən ayrılan cərəyanı elementin başlanğıcı və sonundakı cərəyanların fərqi kimi və ya axma və yerdəyişmə cərəyanlarının cəmi kimi göstərmək olar.

$$\dot{I} - (\dot{I} + d\dot{I}) = -d\dot{I} = \dot{U}G_o dx + \dot{U}j\omega C_o dx$$

Hər iki ifadəni elementin uzunluğuna (dx) bölsək birincisi xəttin diferensial tənliyini alarıq.

$$-\frac{d\dot{U}}{dx} = (R_o + j\omega L_o)\dot{I} = \underline{Z}_o \dot{I} \quad (17.1)$$

$$-\frac{d\dot{I}}{dx} = (G_o + j\omega C_o)\dot{U} = \underline{Y}_o \dot{U} \quad (17.2)$$

Burada $\underline{Z}_o = R_o + j\omega L_o$ vahid uzunluqdakı kompleks müqavimət, $\underline{Y}_o = G_o + j\omega C_o$ vahid uzunluqdakı keçiricilikdir. Nəzərə almaq lazımdır ki, burada \underline{Z}_o və \underline{Y}_o kəmiyyətləri arasında tərs mütənəsb asılılıq yoxdur.

Hər iki ifadəni diferensiallayıb həll etsək alarıq

$$U = Ae^{-\gamma x} + Be^{\gamma x} \quad (17.3)$$

Burada U – xəttin başlanğıcından x məsafədəki gərginlikdir;

A və B -sabit kəmiyyətlər olub, xəttin başlanğıcındakı mənbəyin rejimindən və xəttin sonundakı yükün qiymətindən asılıdır.

γ – dalğanın yayılma əmsalı olub, aşağıdakı düsturla təyin edilir.

$$\gamma = \sqrt{\underline{Z}_o \underline{Y}_o} = \sqrt{(R_o + j\omega L_o)(G_o + j\omega C_o)} \quad (17.4)$$

Yayılma əmsalı gərginliyin xətt boyunca dəyişməsinə xarakterizə edir. (17.1) tənliyindən

$$I = -\frac{dU}{dx} \cdot \frac{1}{\underline{Z}_o}$$

Bu ifadəni U -nün qiymətini yerinə yazaraq həll etsək, cərəyan

$$I = \frac{\gamma}{\underline{Z}_o} (Ae^{-\gamma x} - Be^{\gamma x}) = \frac{Ae^{-\gamma x} + Be^{\gamma x}}{\frac{\underline{Z}_o}{\gamma}}$$

olar. Burada $\frac{\underline{Z}_o}{\gamma} = \underline{Z}_d$ qəbul etsək, xəttin başlanğıcından x məsafədəki cərəyanın ifadəsini alarıq.

$$I = \frac{A}{\underline{Z}_d} e^{-\gamma x} - \frac{B}{\underline{Z}_d} e^{\gamma x} \quad (17.5)$$

$\gamma = \sqrt{\underline{Z}_o \underline{Y}_o}$ olduğundan

$$\underline{Z}_d = \frac{\underline{Z}_o}{\gamma} = \frac{\underline{Z}_o}{\sqrt{\underline{Z}_o \underline{Y}_o}} = \sqrt{\frac{\underline{Z}_o}{\underline{Y}_o}} = \sqrt{\frac{R_o + j\omega L_o}{G_o + j\omega C_o}} \quad (17.6)$$

\underline{Z}_d -nin vahidi Om olub, **xəttin dalğa və ya xarakteristik müqaviməti** adlanır.

A və B sabitlərini təyin edək. Tutaq ki, xəttin başlanğıcında, yəni $x=0$ olanda U_1 və I_1 kəmiyyətləri bizə məlumdur. Onda (17-3) və (17.5) ifadəsindən

$$A+B=U_1; \quad A-B=I_1 \underline{Z}_d$$

alarıq. Buradan

$$A = \frac{U_1 + I_1 Z_d}{2} \quad (17.7)$$

$$B = \frac{U_1 - I_1 Z_d}{2} \quad (17.8)$$

alarıq.

Xəttin əvvəlindəki kompleks gərginliyin kompleks cərəyana olan nisbəti xəttin giriş müqaviməti adlanır. $-Z_{gir}$.

$$Z_{gir} = \frac{U_1}{I_1} \quad (17.9)$$

Elektromağnit dalğalarının yayılma əmsalı aşağıdakı kimi də göstərilə bilər.

$$\gamma = \alpha + j\beta$$

Bu əmsal elektromağnit prosesinin iki tərəfini xarakterizə edən iki toplanana malikdir: α -həqiqi toplanan, **sönmə əmsalı**, β -xəyali toplanan, **faza əmsalı** adlanır.

Həqiqi toplanan α – düşən və ya qayıdan gərginlik və cərəyan dalğasının xətt boyunca hər vahid uzunluğundakı zəifləməni xarakterizə edir. Buna **sönmə əmsalı deyilir** və **$m, km-lə$** ölçülür.

Xəyali toplanan β -aralarındakı məsafə bir uzunluq vahidinə (**m, km**) bərabər olan xəttin iki nöqtəsindəki düşən və ya qayıdan dalğanın gərginliklərinin (cərəyanlarının) faza sürüşmə bucağını təyin edir. β – **faza əmsalı adlanır** və radian bölünsün uzunluq vahidi ilə ölçülür. Dalğa uzunluğu, gərginliyin və ya cərəyanın fazası hər bir anda bir-birinə nəzərən 2π bucağı qədər sürüşən iki qonşu nöqtələr arasındakı məsafədir.

$$\beta\lambda = 2\pi$$

Buradan dalğa uzunluğu

$$\lambda = \frac{2\pi}{\beta} \quad (17.10)$$

olar.

Gərginlik və ya cərəyan dalğasının xətt boyunca yer-dəyişmə sürətinə **faza sürəti deyilir və dalğa uzunluğunun pe-rioda olan nisbəti ilə təyin edilir**. Yəni

$$v_f = \frac{\lambda}{T} = \lambda f \quad (17.11)$$

və ya

$$v_f = \frac{2\pi}{\beta} \cdot f = \frac{\omega}{\beta} \quad (17.12)$$

Yayıma əmsalı, sönmə əmsalı və faza əmsalı xəttin ikinci parametrləridir.

§ 17.3. Düşən və qayıdan dalğalar.

Sabit cərəyanın bircinsli xətti

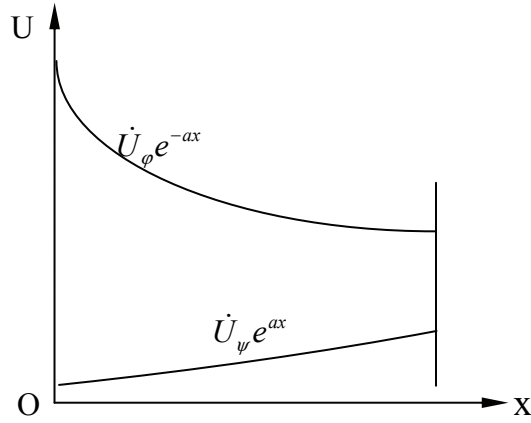
Xəttin başlanğıcından x məsafədə gərginlik tənliyini (17.3) nəzərdən keçirək. γ, A, B kompleks kəmiyyətləri: $\gamma = \alpha + j\beta$, $A = \dot{U}_\varphi$, $B = \dot{U}_\psi$ olduqda gərginlik tənliyi aşağıdakı kimi alınır.

$$\dot{U} = \dot{U}_\varphi e^{-\alpha x} \cdot e^{j\beta x} + \dot{U}_\psi e^{\alpha x} \cdot e^{j\beta x}$$

Bu tənlikdən görünür ki, iki toplanandan ibarət olan gərginlik xətt üzrə sinusoidal qanunla paylanır və onun bütün qiymətləri (maksimal və sıfır qiymətləri də daxil olmaqla) xətt boyunca Δx məsafəsində sürüşür. Sonrakı hər zaman fasiləsində gərginlik dalğası yenə də xətt boyunca Δx məsafəsi qədər sürüşür, daim yerini dəyişir və qaçır. Yəni gərginlik dalğasının birinci toplananı xəttin başlanğıcından sonuna doğru hərəkət edir ki, **bu dalğaya düz** və ya **düşən dalğa deyilir**.

Gərginliyin ikinci dalğası birinci dalğadan amplitud qiyməti ilə, hərəkət istiqaməti (xəttin sonundan başlanğıcına doğru) və sönmənin xəttin sonundan başlanğıcına doğru artması ilə fərqlənir. Belə gərginlik **dalğası əks** və ya **qayıdan dalğalar adlanır**. Aşağıdakı qrafikdə (şək.17.2) düşən və

qayıdan dalğaların bircinsli xətt boyunca dəyişməsi göstərilmişdir.



Şək.17.2. Bircinsli xətdə düşən və qayıdan gərginlik dalğalarının modullarının dəyişmə əyriyələri

Sabit cərəyanın bircinsli xəttinin tənliyini qurduqda cərəyanın tezliyini sıfıra bərabər götürmək lazımdır. $\omega = 0$ qəbul etsək sabit cərəyan xətti üçün aşağıdakı tənliklər alınır.

a) qayıtma əmsalı $-\gamma$ sönmə əmsalına $-\alpha$ bərabər olar.

$$\gamma = \alpha = \sqrt{R_o G_o} \quad (17.14)$$

b) faza əmsalı $\beta = 0$,

c) xəttin dalğa müqaviməti

$$Z_d = \sqrt{\frac{R_o}{G_o}} \quad (17.15)$$

§ 17.4. İtkisiz dəyişən cərəyan xətti

Bəzi hallarda xəttlərdə aktiv müqavimət $R_o \ll \omega L_o$ və naqillər arasındakı axma keçiriciliyi $G_o \ll \omega C_o$ olur. Belə

xəttlərə **itkisiz xəttlər** deyilir. İtkisiz xəttlərə yüksək tezlikli rabitə xəttlərini, gərginliyi çox da yüksək olmayan (35 kV-a qədər) elektrik veriliş xəttlərini göstərmək olar. Xətdəki itkiləri nəzərə almasaq $R_o = 0$ və $G_o = 0$ götürsək aşağıdakıları alarıq;

a) sönmə əmsalı $\alpha = 0$

b) faza əmsalı

$$\beta = \omega \sqrt{L_o C_o} \quad (17.16)$$

c) xəttin dalğa müqaviməti

$$Z_d = \sqrt{\frac{L_o}{C_o}} \quad (17.17)$$

d) yayılma əmsalı

$$\gamma = j\beta = j\omega \sqrt{L_o C_o} \quad (17.18)$$

Bilirik ki, ikinaqillli bircinsli hava xəttində naqillər arasındakı bir km -ə düşən tutum.

$$C_o = \frac{\pi \xi \xi_o}{\ln \frac{a}{r_o}} \left[\frac{F}{km} \right] \quad (17.19)$$

Burada, r_o – naqilin radiusu

a – naqillərin oxları arasındakı məsafədir.

Bu xəttlərin 1 km -ə düşən induktivlik

$$L_o = \frac{\mu \mu_o}{\pi} \ln \frac{a}{r_o} \left[\frac{H}{m} \right] \quad (17.20)$$

Onda itkisiz hava xətti üçün faza sürəti

$$v_f = \frac{1}{\sqrt{L_o C_o}} = \frac{1}{\sqrt{\xi_o \mu_o}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\xi \mu}} \quad (17.21)$$

İtkisiz kabel üçün $\frac{1}{\sqrt{\xi_o \mu_o}} = c$ olduğundan

$$\vartheta_f = c \frac{1}{\sqrt{\xi\mu}} \quad (17.22)$$

alırıq. Burada c – işıqın vakuumdakı sürəti olub $c = 3 \cdot 10^8 \frac{m}{san}$ -yə bərabərdir.

Hava üçün $\mu = 1$ $\xi = 1$ olduğundan hava xəttinin faza sürəti

$$\vartheta_f = c = 300000 \frac{km}{san}$$

alınar.

Buradan görünür ki, itkisiz hava xətti üçün dalğanın yayılma sürəti işıq sürətinə bərabərdir. Kabel üçün $\mu = 1$ $\xi \neq 1$ olduğundan dalğanın yayılma sürəti işıq sürətindən kiçik olur.

§ 17.5. Qayıtma əmsalı. Durğun dalğalar

Uzun xətlərdə elektromaqnit prosesinin analizində qayıtma əmsalı anlayışı xüsusi əhəmiyyət kəsb edir.

Qayıtma əmsalı (n) dalğanın kompleks qayıtma gərginliyinin (və ya cərəyanının) kompleks düşmə gərginliyinə (və ya cərəyanına) olan nisbətində bərabərdir.

$$n = \frac{U_{qay}}{U_{düş}} = \frac{1_{qay}}{1_{düş}} \quad (17.23)$$

Müqaviməti Z_y olan yükdəki cərəyan I_2 olduqda, xəttin sonundakı gərginlik düşən və qayıdan gərginlik dalğalarının cəminə bərabərdir.

$$\dot{U}_2 = U_{2düş} + \dot{U}_{2qay} = I_2 \dot{Z}_y \quad (17.24)$$

Analoji olaraq xəttin sonundakı yükədən keçən cərəyan düşən və qayıdan cərəyanların fərfinə bərabərdir.

$$I_2 = I_{\text{düş}} - I_{\text{qay}} \quad (17.25)$$

(17.24) tənliyində hər gərginliyi IZ_d hasili ilə əvəz edib, (17.25) tənliyinin hər iki tərəfini Z_y vuraraq, birlikdə həll etsək qayıtma əmsalını tapa bilərik.

$$\begin{aligned} I_{\text{düş}} Z_d + I_{\text{qay}} Z_d &= I_2 Z_y \\ I_{\text{düş}} Z_y + I_{\text{qay}} Z_y &= I_2 Z_y \\ n = \frac{I_{\text{düş}}}{I_{\text{qay}}} &= \frac{Z_y - Z_d}{Z_y + Z_d} \end{aligned} \quad (17.26)$$

Qarşı-qarşıya düşən və qayıdan dalğaların toplanmasından alınan dalğalara durğun dalğalar deyilir. İtkisiz xəttlərdə durğun dalğalar yüksüz işləmə, qısa qapanma rejimlərində və xəttin sonunda ancaq reaktiv yük olduqda yarana bilər. Göstərilən hallarda elektromaqnit enerjisi xəttin özündə və qəbuledicidə istifadə olunur. Tutaq ki, açıq xəttin sonunda gərginlik vektoru kompleks müstəvinin həqiqi oxu üzrə istiqamətlənir, yəni gərginliyin başlanğıc fazası sıfıra bərabərdir, yəni

$$U_2 = U_2$$

Bu halda xəttin gərginlik və cərəyanının ani qiymətlərini aşağıdakı ifadələrlə göstərmək olar.

$$u = U_{2m} \cos \beta x \sin \omega t$$

$$i = \frac{U_{2m}}{Z_d} \sin \beta x \cos \omega t$$

Ifadələrdən görünür ki, gərginlik və cərəyan xəttin müəyyən nöqtələrində maksimuma, bəzi nöqtələrində sıfıra bərabər olur. Cərəyan və gərginliyin maksimum qiymətlər aldığı nöqtələrə **qabarma nöqtələri** sıfır aldığı nöqtələrə **düyün nöqtələri** deyilir.

FƏSİL XVIII. TRANSFORMATORLAR

§ 18.1. Transformatorların vəzifəsi və tətbiq sahələri

Transformatorlar statik elektromaqnit qurğu olub, sabit tezlikdə bir gərginlikli dəyişən cərəyanı başqa gərginlikli dəyişən cərəyana çevirmək üçün istifadə edilir. Gərginliyin yüksəldilməsi yüksəldici transformatorların köməyilə, azaldılması alçaldıcı transformatorlar vasitəsilə həyata keçirilir.

Transformatorlar energetikada, rabitə texnikasında, avtomatikada, ölçmə texnikasında və s. sahələrdə tətbiq edilir.

Transformatorlar vəzifəsinə görə aşağıdakılara bölünürlər: energetik sistemlərdə böyük güclərin ötürülməsində istifadə edilən, elektrik mühərriklərini və işıqlandırma şəbəkələrini qidalandıran güc transformatorları (bələ transformatorların gücü 400 kVA-dan böyük olur); qaynaq aparatlarını, elektrik sobalarını və s. işlədiciləri qidalandıran xüsusi transformatorlar; ölçmə texnikasında istifadə olunan (ölçü cihazlarını qoşmaq üçün) ölçü transformatorları, radiocihazlarda istifadə olunan radiotransformatorlar.

Fazalarının sayına görə transformatorlar **birfazalı** və üçfazlı olurlar. Rabitə texnikasında istifadə edilən transformatorlar alçaq və yüksək tezlikli olurlar.

Transformatorlar sadə, etibarlı və səmərəli aparatdır. O, hərəkətli hissələrə və sürüşkən kontakt birləşmələrinə malik deyil, onun faydalı iş əmsalı (f.i.ə) 99%-ə çatır.

§ 18.2. Transformatorların quruluşu

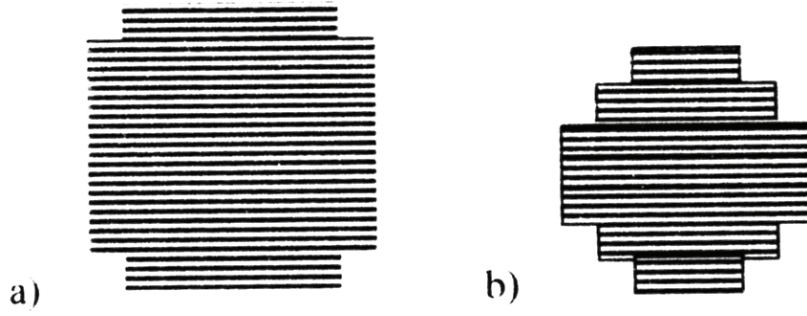
Transformatorlar qapalı maqnitkeçiricidən – nüvədən və onun üzərində oturdulmuş dolaqlardan ibarətdir. Radiotexniki sxemlərdə istifadə edilən kiçik güclü yüksək tezlikli transformatorlarda maqnitkeçirici hava mühitindən ibarət olur.

Transformatorlar çubuq və zirehli nüvəli olur. Çubuq nüvəli transformatorlarda dolaqlar nüvəni, zirehli nüvəli transformatorlarda, əksinə nüvə dolağı əhatə edir. Zirehli transformatorlarda sarğacın dolaqları mexaniki zədələnmələrdən yaxşı mühafizə olunur. Maqnitkeçiricinin boyunduruq adlanan yuxarı hissəsi çubuqlara dolaqlar (sarğac) oturdulduqdan sonra bərkidilir. Hava boşluğunun olmaması üçün çubuqlar və boyunduruq çox kəp birləşdirilir.

Kiçik güclü transformatorlarda preslənmiş halqalardan və ya uzun lentlərdən sarınmış maqnitkeçiricilərdən (nüvələr) istifadə edilir. Bu nüvələrdə hava boşluğu olmur, ona görə də səpələnmə səli azdır. Yüksək tezliklərə hesablanmış transformatorlarda halqalı nüvələr çox vaxt izolyasiya lakları ilə qarışdırılmış ferromaqnit tozundan preslənərək hazırlanır.

Nüvə qalınlığı $0,35 \pm 0,5$ mm olan xüsusi yüksək elektromaqnit keçiriciliyinə malik elektrotexniki polad vərəqlərdən hazırlanır. Nüvəni polad vərəqdən hazırlamaqda məqsəd orada dəyişən maqnit selinin təsirindən yaranan burulğanlı cərəyanları (Fuko cərəyanları) azaltmaqdır. Polad vərəqlər bir-birindən istiyədavamlı lak və ya xüsusi kağızla izolyasiya edilir. Ən sadə və ucuz başa gələn izoləedici vasitə, poladın səthinin qızdırılma yolu ilə oksidləşməsindən yaranan təbəqə ilə örtülməsidir. Bəzi hallarda həmin vərəqlərin bir üzünü yağlarda həll olmayan xüsusi sintetik laklarla $0,04 \pm 0,06$ mm qalınlığında örtülür.

Transformatorun nüvəsi kvadrat və ya çoxpilləli çoxbucaqlı formada hazırlanır. Şək. 18.1.



Şəkil 18.1. Transformatorun kvadrat(a) və çoxpilləli (b) formalı nüvələri

Kvadrat formalı en kəsiyinə malik nüvə ancaq kiçik güclü transformatorlarda işlədilir. Böyük güclü transformatorlarda çoxbucaq formalı nüvələr tətbiq edilir.

Transformatorların dolaqları mis məftildən hazırlanır, eyni bir və ya müxtəlif çubuqlarda, yanaşı və ya bir-birinin altında qoyulur. Nəzərə almaq lazımdır ki, dolaqlar bir-birinin altında qoyulanda çubuğa əvvəlcə alçaq gərginlik dolağı, ondan yuxarıda yüksək gərginlik dolağı yerləşdirilir.

Transformatorun qidalanma mənbəyinə qoşulmuş dolağına birinci tərəf dolağı, yükə və ya işlədiciyə qoşulan dolağına ikinci tərəf dolağı deyilir. İkinci tərəf dolağının gərginliyi U_2 , birinci tərəf dolağının U_1 gərginliyindən kiçik olarsa, transformator alçaldığı, böyük olduqda isə yüksəldici transformator adlanır.

Transformatorun birinci tərəf dolağı bir gərginliyə hazırlanır, ikinci tərəfdə isə müxtəlif sarğılar saylı bir neçə dolaq yerləşdirilə bilər. Bu da qiymətcə müxtəlif ikinci tərəf gərginliyi almağa imkan verir. Belə transformatorlar çoxdolaqlı transformatorlar adlanır.

Radiotexniki qurğularda, avtomatika, idarəetmə sistemlərində istifadə edilən çox dolaqlı transformatorların dolaqlar sayı üçdən çox olur.

Transformatorlar işləyəndə dolaqlardan cərəyan axması nəticəsində, nüvənin artıq maqnitlənməsi və burulğanlı cərəyanların təsirindən istilik ayrılır. Bu səbəbdən transformatorlarda soyutma sistemindən istifadə edilir. Kiçik güclü (gücü 10 kVA-ya qədər) transformatorlar quru transformatorlar adlanırlar, çünki onlarda hava ilə soyudulma kifayət edir.

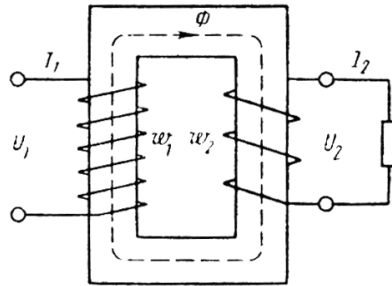
Güclü transformatorlarda yağ soyudulması tətbiq edilir. Bu transformatorlarda nüvə dolaqlarla birlikdə transformator yağı doldurulmuş bak da yerləşdirilir. Burada yağ yalnız istiliyi götürmür, o həm də yaxşı dielektrikdir. Yağ transformatorları işdə etibarlıdır, həmin gücə malik olan quru transformatorlarla müqayisədə kiçik ölçülərə və kütləyə malikdir. Temperatur yüksələndə yağın həcmi dəyişir. Bu zaman artıq yağ transformatorda qoyulan yağgenişləndiricilər tərəfindən udulur. Temperatur azalanda isə yağ yağgenişləndiricidən baka qayıdır.

§ 18.3. Bifazalı transformatorun iş prinsipi. Transformasiya əmsali

Transformatorun iş prinsipi elektromaqnit induksiya qanununun təsirindən ibarət olan qarşılıqlı induksiya hadisəsinə əsaslanır.

Ən sadə transformator – bifazalı iki dolaqlı transformatorun iş prinsipinə baxaq.

Transformatorun birinci tərəf dolağı U_1 dəyişən gərginlikli qidalanma mənbəyinə qoşulanda bu dolaqdan I_1 cərəyanı axır Şək. 18.2. Həmin cərəyan maqnitkeçiricidə dəyişən



Şəkil 18.2. Bifazalı transformatorun prinsipial sxemi

maqnit seli əmələ gətirir. Maqnit seli ikinci dolağın sarğılarına nüfuz edərək onları kəsir və bu dolaqda E_2 e.h.q-si induksiylayır.

Elektromaqnit induksiya qanununa görə transformatorun dolaqlarında yaranan e.h.q-ləri

$$e_1 = -w_1 \frac{d\Phi}{dt}; \quad e_2 = -w_2 \frac{d\Phi}{dt} \quad (18.1)$$

Nüvədə yaranan maqnit seli sinusoidaldir.

$$\Phi = \Phi_m \sin \omega t$$

Onda:

$$e_1 = -w_1 \frac{d(\Phi_m \sin \omega t)}{dt} = -\omega w_1 \Phi_m \cos \omega t = -\omega w_1 \Phi_m \sin(\omega t - 90^\circ) = E_{1m} \sin(\omega t - 90^\circ) \quad (18.2)$$

Eyni qayda ilə:

$$e_2 = E_{2m} \sin(\omega t - 90^\circ) \quad (18.3)$$

Deməli, transformatorun dolaqlarında induksiylanan e.h.q-ləri maqnit selindən zaman etibarı ilə 1/4 period, fazaca 90° geri qalır.

E.h.q-nin amplitud qiymətləri:

$$\begin{aligned} E_{1m} &= \omega w_1 \Phi_m \\ E_{2m} &= \omega w_2 \Phi_m \end{aligned} \quad \text{olur.} \quad (18.4)$$

E.h.q-lərinin təsiredici qiymətləri belə olar.

$$\begin{aligned} E_1 &= 4,44 f w_1 \Phi_m \\ E_2 &= 4,44 f w_2 \Phi_m \end{aligned} \quad (18.5)$$

burada f – dəyişən cərəyanın tezliyi; w_1, w_2 – dolaqların sarğılar sayıdır.

Transformatorun e.h.q-lərinin nisbətində transformasiya əmsalı deyilir:

$$K = \frac{e_1}{e_2} = \frac{w_1}{w_2} = \frac{E_1}{E_2} \quad (18.6)$$

Adətən, transformatorada f.i.ə. yüksək olur. (0,97÷0,99) Bu halda nüvədə yaranan polad itkiləri və dolaqlardakı mis itkiləri nəzərdən atılır və dolaqlarda olan tam güclər $S_1=S_2$ olar. Burada:

$$S_1=U_1I_1; \quad S_2=U_2I_2$$

$$U_1I_1=U_2I_2; \quad \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

alırıq. Onda transformasiya əmsalı belə alınır:

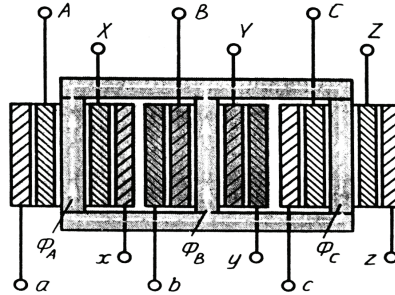
$$K = \frac{e_1}{e_2} = \frac{w_1}{w_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (18.7)$$

Transformatorun pasportunda transformasiya əmsalı yüksək nominal gərginliyin alçaq nominal gərginliyə olan nisbətilə təyin edilir

$$K = \frac{U_{yn}}{U_{an}} \quad (18.8)$$

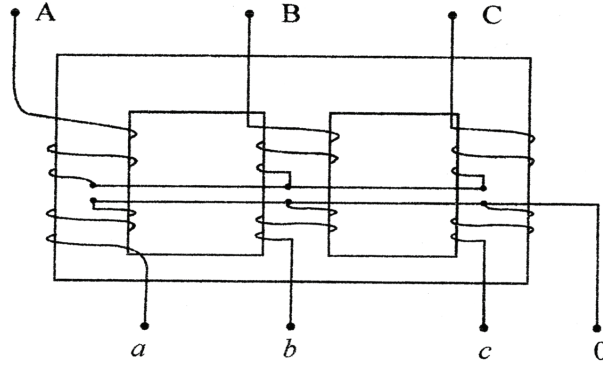
§ 18.4. Üçfazlı transformatorlar

Üçfazlı dövrlərdə, elektrik veriliş xətlərində üsfazlı güc transformatorlarından istifadə edilir. Üçfazlı transformatorun nüvəsinin üç çubuğu var, onların hər birinə bir fazanın iki dolağı yerləşdirilir. Şək. 18.3.



Şəkil 18.3. Üçfazlı transformatorun nüvəsində dolaqların oturdulması

Üçfazlı transformatorlar adətən gücü 60000 kVA qədər olan qurğularda tətbiq edilir. Üçfazlı transformatorun prinsipl sxemi Şək. 18.4-də göstərilib.



Şəkil 18.4 Üçfazlı transformatorun prinsipl sxemi

Üçfazlı transformatorun iş prinsipi və elektromaqnit prosesləri analogi olaraq birfazlı transformatorunda olduğu kimidir. Üçfazlı transformatorun əsas xüsusiyyəti transformasiya əmsalının dolaqların birləşmə üsulundan asılı olmasıdır.

Üçfazlı transformatorun dolaqları dörd sxem üzrə birləşdirilir: ulduz (λ), sıfır çıxışla ulduz (λ_0), üçbucaq (Δ), sıfır çıxışla ziqzaq.

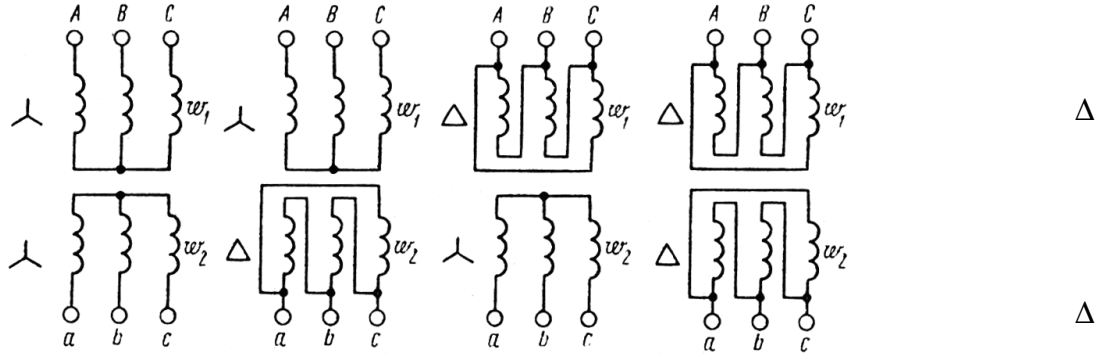
Transformatorun dolaqlarının birləşmə sxemi kəsr ilə işarə edilir. Kəsrin surətində yüksək gərginlikli dolaqların, məxrəcində alçaq gərginlikli dolaqların birləşmə sxemləri göstərilir. Məsələn, λ/Δ göstərir ki, yüksək gərginlikli dolaqlar λ , alçaq gərginlikli dolaqlar Δ sxemi üzrə birləşdirilib. Ziqzaq birləşməsi ancaq xüsusi təyinatlı transformatorlarda (məs. düzləndiricilər üçün transformatorlarda) tətbiq edilir.

Transformator dolaqlarının çıxışları aşağıdakı kimi işarə olunur; yüksək gərginlikli dolaqlar üçün – dolaqların başlan-

ğicları A, B, C, sonları X, Y, Z; alçaq gərginlikli dolaqlar üçün – dolaqların başlanğıcları a, b, c, sonları x, y, z.

Ulduz birləşməsində xətti gərginlik faza gərginliyindən böyük ($U_x = \sqrt{3}U_f$), dolaqların üçbucaq birləşməsində xətti gərginlik faza gərginliyinə bərabər olur ($U_x=U_f$).

Üçfazlı transformatorlarda dolaqların birləşmə üsulları (standartlaşdırılmış) aşağıdakı kimidir, Şək. 18.5.



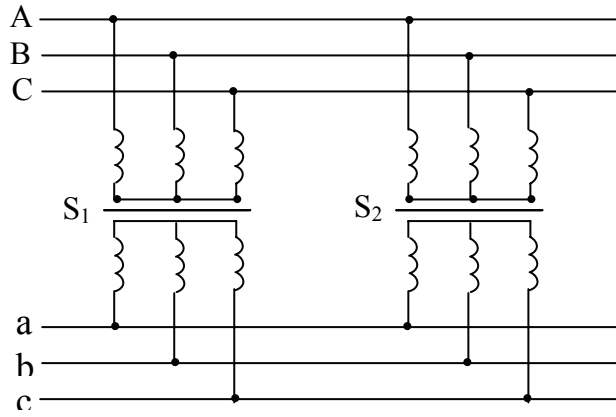
Şəkil 18.5. Üçfazlı transformatorun dolaqlarının birləşmə üsulları

Təcrübədə böyük güclərin verilməsində bir neçə transformatorun paralel işləməsindən istifadə edilir. Transformatorlar o zamar paralel işləyirlər ki, onların birinci tərəf dolaqları bir nöqtəyə (dozdurucu şəbəkəyə), ikinci tərəf dolaqları başqa bir nöqtəyə (paylayıcı şinlərə) qoşulmuş olsun. Şək. 18.6.

Transformatorların paralel işləməsi aşağıdakı üç şərt yerinə yetdikdə mümkün olur:

1) Paralel işləyən transformatorların birinci və ikinci tərəf gərginlikləri müvafiq olaraq bərabər olmalıdır, yəni onların transformasiya əmsalları eyni olmalıdır.

$$U_{I} = U_{II} = U_{III} = \dots; K_I = K_{II} = K_{III} = \dots; U_{2I} = U_{2II} = U_{2III} = \dots$$



Şəkil 18.6. İki üçfazlı transformatorun paralel işləməsinin elektrik sxemi

2. Paralel işləyən transformatorlar eyni birləşmə qrupuna mənsub olmalıdır.

Bu şərt yerinə yetməzsə, transformatorların ikinci tərəf xətti gərginlikləri arasında faza fərqi yaranacaq və transformatorların dövrələrində ΔU gərginlik fərqi əmələ gələcək, bu da, böyük qiymətli bərabərləşdirici cərəyanın meydana çıxmasına səbəb olacaq.

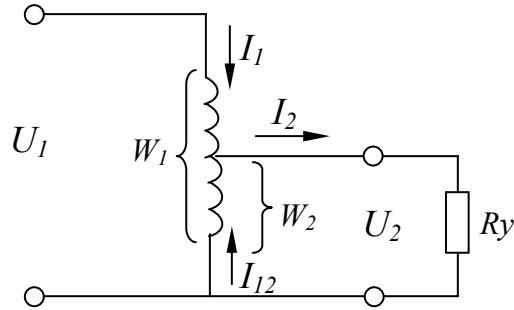
3. Transformatorlarda qısa qapanma gərginlikləri bir-birinə bərabər olmalıdır.

$$U_{q/qI} = U_{q/qII} = U_{q/qIII} = \dots$$

Bu şərt ödənməsə transformatorlar arasında yük cərəyanları qeyri-bərabər paylanacaq.

§ 18.5. Avtotransformatorlar və ölçü transformatorları

Avtotransformatorlarda birinci dolağın bir hissəsi ikinci dolaq kimi istifadə edilir. Bu səbəbdən onun dolaqları arasında maqnit əlaqəsindən başqa elektrik əlaqəsi də olur. Şək. 18.7.



Şəkil 18.7. Avtotransformatorun prinsipial sxemi

Buna uyğun olaraq birinci dövrədən ikinci dövrəyə enerji həm maqnitkeçiricidə qapanma, həm də, bilavasitə məftillərlə verilən maqnit selinin köməyi ilə ötürülür.

Transformatorlarda olduğu kimi avtotransformatorların da transformasiya əmsalı məlum düsturlarla hesablanır.

$$K = \frac{w_1}{w_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

Avtotransformatorun dolağının birinci və ikinci dövrəyə daxil olan ümumi hissəsindən əksinə istiqamətlənmiş I_1 və I_2 cərəyanları keçir. $I_{1,2} = I_1 - I_2$

Kiçik transformasiya əmsalında bu cərəyanlar bir-birindən qiymətə az fərqlənir və w_2 dolağını nazik məftildən hazırlamaq mümkün olur. Beləliklə, $k=0,5 \div 2$ olanda xeyli miqdarda misə qənaət edilir. Böyük transformasiya əmsalında avtotransformatorun bu üstünlüyü itir, çünki I_1 və I_2 qarşılıqlı

cərəyanları axan ümumi dolaq bir neçə sarğı azalır, cərəyanlar fərqi isə artır.

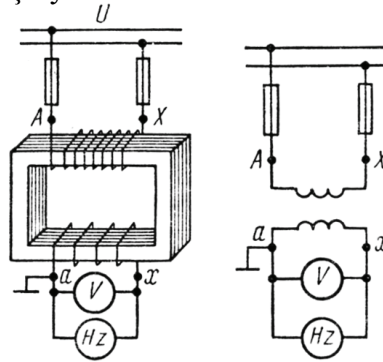
Birinci və ikinci dövrənin elektriki birləşməsi avtotransformatorun istismar vaxtı təhlükəliliyini artırır. Belə ki, alçalıcı avtotransformatorada izolyasiyanın zədələnməsi nəticəsində işçi operator birinci dövrənin yüksək gərginliyi altına düşə bilər.

Avtotransformatorlar güclü dəyişən cərəyan mühərriklərinin işə buraxılmasında, işıqlanma şəbəkələrində gərginliyin tənzimlənməsində və s. hallarda istifadə edilir.

Ölçü transformatorları iki növ olur: cərəyan ölçü transformatorları; gərginlik ölçü transformatorları.

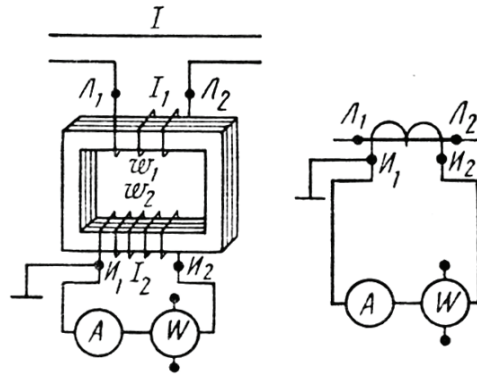
Cərəyan və gərginlik ölçü transformatorlarından ölçü cihazlarının, avtomatik tənzimləmə aparatlarının qoşulmasında və yüksək gərginlikli dövrlərin mühafizəsində istifadə edilir. Onlar ölçmə qurğularının kütləsini və ölçülərini azaltmağa, xidmət heyətinin təhlükəsizliyini yüksəltməyə, dəyişən cərəyan cihazlarının ölçü həddini genişləndirməyə imkan verir.

Gərginlik ölçü transformatorları voltmətrlərin və ölçü cihazlarının gərginlik dolaqlarının qoşulması üçün xidmət edir (Şək. 18.8). Bu dolaqlar böyük müqavimətə malik olduğundan və az güc sərf etdiyindən, gərginlik transformatorları yüksüz işləmə rejimində işləyir.



Şəkil 18.8. Gərginlik ölçü transformatorunun qoşulma sxemi və şərti işarəsi

Cərəyan ölçü transformatorları ampermetrlərin və ölçü cihazlarının cərəyan sarğaclarının qoşulması üçün istifadə edilir. Şək. 18.9. Bu sarğacla çox kiçik müqavimətə malik olduğundan cərəyan transformatorları praktiki olaraq qısa qapanma rejimində işləyir.



Şəkil 18.9. Cərəyan ölçü transformatorunun qoşulması sxemi və şərti işarəsi

Cərəyan transformatorunun maqnitkeçiricisində yekun maqnit seli birinci və ikinci dolaqlarda əmələ gələn maqnit sellərinin fərqinə bərabərdir. Transformatorun normal iş şəraitində bu fərq böyük deyil. Lakin ikinci dolağın dövrəsi açılanda nüvədə ancaq birinci dolağın maqnit seli olur ki, bu da maqnit selləri fərqini artırır. Nəticədə nüvədəki itkilər kəskin artır, transformator yanaraq sıradan çıxır. Bundan başqa ikinci dövrənin açılmış uclarında böyük e.h.q-si əmələ gəlir, bu da operatorun işi üçün təhlükəlidir. Ona görə də ölçü cihazlarını qoşmadan cərəyan transformatorlarını xəttə birləşdirmək olmaz. Xidmət heyətinin təhlükəsizliyi üçün ölçü transformatorunun qabı torpaqlanmalıdır.

FƏSİL XIX. DƏYİŞƏN CƏRƏYAN MAŞINLARI

§ 19.1. Dəyişən cərəyan maşınlarının vəzifəsi, tətbiq sahələri

Elektrik enerjisi üçfazlı cərəyanlar sisteminin köməyi ilə alınır, verilir və istifadə olunur. Elektrik stansiyalarında mexaniki enerji elektrik enerjisinə generatorlar vasitəsilə çevrilir. Mexaniki güc qurğularında elektrik enerjisini mexaniki enerjiyə çevirmək üçün asinxron mühərriklərdən istifadə edilir.

1989-cu ildə rus mühəndisi M.O.Dolevo-Dobrovolski tərəfindən asinxron mühərrikləri ixtira edildi. Asinxron mühərriklərin iş prinsipi fırlanan maqnit sahəsinə əsaslanır, onlar mühərrik kimi geniş istifadə olunur və müasir elektrik intiqalının əsasını təşkil edir. Bu maşınlar 10kV-a qədər (127, 220, 380, 500, 660, 3000, 6000, 10000 V) gərginliklərə hazırlanır.

Asinxron mühərriklərin tətbiq sahələri çox genişdir. Məişət elektrik qurğularında (soyuducu, tozsoran, paltaryuyan maşın və s.) adətən, birfazlı asinxron mühərriklərdən istifadə edirlər. Üçfazlı asinxron mühərriklərdən iri avadanlıqların intiqallarında (ekskavatorlarda, dəyirmanlarda, daşyonan maşınlarda, metalkəsən dəzgahlarda və s.) istifadə edilir. Yüksək tezlikli (200, 400 Hz və daha çox) asinxron mühərrikləri xüsusi sahələrdə tətbiq edilirlər.

§ 19.2. Asinxron mühərrikin quruluşu və iş prinsipi

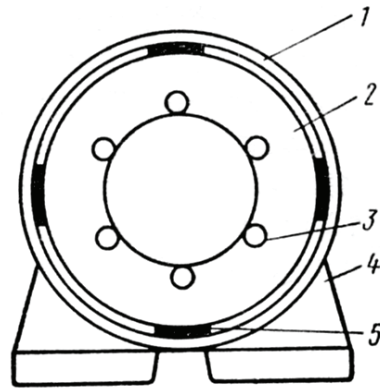
İstənilən elektrik maşınları kimi asinxron mühərriklər də iki əsas hissədən ibarətdir: stator və rotor.

Stator (latın sözü – sto olub, «dayanıram» deməkdir) hərəkətsiz hissədir, içi boş silindr şəklində maqnitkeçirici (2) bərkidilmiş çuqun gövdədən (1) ibarətdir. Burulğanlı cərəyanları

azaltmaq üçün maqnitkeçirici bir-birindən lakla izolə edilmiş nazik ($0,35 \pm 0,5$ mm) elektrotexniki poladlardan yığılır. Statorun daxili səthində açılmış yuvalarda dolaqlar (3) oturdulur. Şək. 19.1. İkiqütblü maşınlar stator dolaqları bir-birindən 120° fərqlənən üç sarğacdən, dördqütblü maşınlar bir-birindən 60° fərqlənən altı sarğacdən, altıqütblü maşınlar bir-birindən 40° fərqlənən doqquz sarğacdən və s. ibarətdir.

Rotor (latın sözü roto olub, «fırladıram» deməkdir) mühərrikin fırlanan (hərəkətli) hissəsi olub bir-birindən oksid təbəqəsi ilə izolə edilmiş nazik elektrotexniki poladlardan yığılır. Rotor statorun içərisində yerləşir və onlar arasında nazik hava boşluğu olur. Rotorun üzərində açılmış yuvalarda rotor dolaqları oturdulur. Bu dolaqların birləşməsinə görə asinxron mühərriklər iki cür olur: qısa qapanmış rotorlu və faza rotorlu. «Dələ qəfəsi» adlanan qısa qapanmış dolaq çılpaq, böyük en kəsikli mis və ya alüminium çubuqlardan hazırlanır, rotorun yuvalarında yerləşdirilir, hər iki tərəfindən həmin materialdan hazırlanmış halqalar ilə qaynaq edilməklə qısa qapanır. Qısa qapanmış dolaq rotordan üzolə edilmir. Kiçik güclü mühərriklərdə bu dolağı alüminiumdan yüksək təzyiqlə altında tökmə üsulu ilə hazırlayırlar.

Faza rotorlu mühərriklərdə rotorun faza dolağı stator dolağı kimi üçfazlı hazırlanır, ulduz sxemi üzrə birləşdirilir, ucları üç ədəd misdən hazırlanmış, bir-birindən və valdan izolə olunmuş kontakt halqalarına birləşdirilir. Kontakt halqalar üzərinə fırçalar yerləşdirilir. Fırçalar fırça saxlayan mexanizmdə oturdulur və yaylarla kontakt halqalara sıxılır. Fırlanan halqalar



Şəkil 19.1. Asinxron mühərrikin quruluşu

vasitəsi ilə rotor dolağına işəsalma və tənzimləmə reostatı qoşulur. Faza rotorlu asinxron mühərriklərin konstruksiyası mürəkkəb olduğundan onlardan xüsusi hallarda, məsələn, neft sənayesində, qazma aqreqatlarında, qaldırıcı kranlarda və s. istifadə edilir.

Asinxron mühərrikin iş prinsipi fırlanan maqnit sahəsindən istifadə olunmasına əsaslanır. Mühərriki üçfazlı cərəyan şəbəkəsinə qoşanda maşında fırlanan maqnit sahəsi yaranır, sahənin maqnit qüvvə xətləri içliyi və rotor dolağının sarğacını kəsir. Elektromaqnit induksiya qanununa görə rotor dolağında e.h.q-si induksiyanlanır. İnduksiyanlanan e.h.q-nin təsiri altında rotorda cərəyan əmələ gəlir.

Amper qanununa görə yaranan cərəyanın və fırlanan maqnit sahəsinin təsiri altında rotora mexaniki qüvvələr (isti-qaməti «sol əl» qaydası ilə təyin edilən) təsir edir. Lens prinsipinə əsasən bu qüvvələr induksiyanlanan cərəyanı yaradan səbəbi, yəni rotor dolağı çubuqlarının maqnit qüvvə xətləri ilə kəsilməsini aradan qaldırmağa çalışır. Beləliklə, əmələ gələn mexaniki qüvvələr rotor çubuqlarının maqnit qüvvə xətləri ilə kəsilmə sürətini azaldaraq rotoru fırlanan maqnit sahəsi istiqamətində fırladacaq və bu icra mexanizminə ötürüləcək.

Asinxron mühərriklərin iş prinsipinə görə stator və rotorun maqnit sahələri müxtəlif fırlanma sürətinə (tezliyinə) malikdir. Rotorun sürətinə asinxron sürət (n_2) deyilir.

Rotorun fırlanmasını tormozlayan qüvvələr böyük olmazsa, onda rotorun fırlanma sürəti sahənin fırlanma sürətinə yaxınlaşır. Mühərrikin valındakı mexaniki yüklər artanda rotorun fırlanma sürəti azalır, rotor dolaqlarında cərəyanlar artır, bu da mühərriki fırladan momentin artmasına gətirib çıxarır. Asinxron mühərriklərdə rotorun fırlanma sürəti (n_2) statorun fırlanma sürətindən (n_1) kiçik olmalıdır: $n_2 < n_1$.

Statorun fırlanan maqnit sahəsinin sürəti ilə rotorun fırlanma sürəti arasındakı fərqə mütləq sürüşmə deyilir:

$$\Delta n = n_1 - n_2 \quad (19.1)$$

Mütləq sürüşmənin statorun maqnit sahəsinin sürətinə olan nisbətində mühərrikin nisbi sürüşməsi və ya sadəcə sürüşmə deyilir, s hərfi ilə işarə olunur.

$$s = \frac{\Delta n}{n_1} = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad \text{və ya} \quad s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \cdot 100\% \quad (19.2)$$

Sürüşmə maşının yüklənməsindən asılıdır. Mühərrikin yükü artarsa, rotorun sürəti azalır, Δn və s artır. Nominal yükləndə asinxron mühərrikdə sürüşmə $1,5 \div 6$ % təşkil edir, mühərriki işə salan anda $n=0$ və $s=1$ olur.

Əgər rotorun sürəti statorun maqnit sahəsinin sürətinə bərabər olarsa ($n_1=n_2$) fırlanan maqnit seli rotor dolağının sarğılarını kəsməz, dolaqda e.h.q-si və cərəyan, mühərrikin valında fırladıcı moment yaratmaz və mühərrik işləməz. Bu səbəbdən asinxron mühərriklərdə $n_2 < n_1$, $s > 0$ olur. Asinxron sözü qeyri-sinxron, yəni müxtəlif sürətli deməkdir.

Başqa maşınlar kimi asinxron mühərriklər də dönəndir. $0 < s < 1$ olanda maşın mühərrik rejimində işləyir, ($n_2 < n_1$). Əgər xarici mühərriklə rotor sinxron sürətdən böyük sürətlə fırladılsa, $n_2 > n_1$ olar və maşın dəyişən cərəyan generatoru kimi işləyər, sürüşmə mənfi alınar. Dəyişən cərəyan asinxron generatorları praktikada istifadə olunmur.

§ 19.3. Stator və rotor dolaqlarında e.h.q-si. Rotor dolağında cərəyanlar

Fırlanan maqnit sahəsində rotor hərəkətsiz olanda stator və rotorun hər fazasında e.h.q-si yaranır.

$$E_1 = 4,44 f_1 w_1 \Phi K o_1 \quad (19.3)$$

$$E_2 = 4,44 f_2 w_2 \Phi K o_2 \quad (19.4)$$

Mühərrik işləyəndə onun valındakı yükədən asılı olaraq fırlanan rotorun sürəti n_2 və sürüşmə s dəyişir. Ona görə də roto-

run e.h.q-nin tezliyi $f_2 = f_1 s$ müxtəlif qiymətlərə malik ola bilər. Buna uyğun olaraq fırlanan rotorun hər fazasındakı e.h.q-si də dəyişir. Onun qiyməti

$$E_2 = 4,44 f_2 w_2 \Phi K O_2 = 4,44 f_1 w_2 \Phi K O_2 s \quad (19.5)$$

sürüşmə ilə mütənasibdir. Fırlanan rotorun e.h.q-ni hərəkətsiz rotorun e.h.q-si vasitəsilə ifadə etmək olar. Bu e.h.q-nin nisbəti:

$$\frac{E_{2n}}{E_2} = \frac{f_2}{f_1} = \frac{f_1 s}{f_1} = s$$

Buradan

$$E_{2n} = E_2 \cdot s \quad (19.6)$$

alırıq.

Doğrudan da, rotorun e.h.q-si mühərrikin iş prosesində böyük sərhəddə dəyişir: $s=1$ olanda $E_{2n} = E_2$, $s=0$ olanda $E_{2n} = 0$ alırıq.

Rotorun fazasındakı cərəyanın təsiredici qiyməti və $\cos \varphi_2$ belə təyin edilir:

$$I_{2n} = \frac{E_{2n}}{\sqrt{R_2^2 + X_{2n}^2}}; \quad \cos \varphi_{2n} = \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + X_{2n}^2}} \quad (19.7)$$

§ 19.4. Asinxron mühərrikin fırlanma momenti

İstənilən dəyişən cərəyan elektrik mühərrikinin fırlanma momenti onun maqnit seli və cərəyanın aktiv toplananı ilə təyin edilir:

$$M = c I_2 \Phi \cdot \cos \varphi_{2n} \quad (19.8)$$

Burada c – sabit kəmiyyətdir, mühərrikin konstruksiyasından asılıdır, $\varphi_{2n} - I_{2n}$ cərəyanının maqnit selinə nəzərən dönmə bucağıdır.

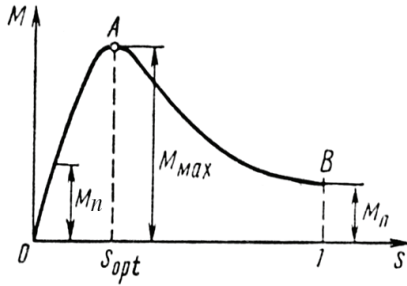
Fırlanma momentinin mühərrikin sürüşməsindən asılılığını təyin etmək üçün moment düsturunda I_2 və $\cos \varphi_2$ -nin qiymətlərini yerinə yazaq:

$$M = c\Phi \frac{sE_{2n}}{\sqrt{R_2^2 + (sX_{2n})^2}} \cdot \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + (sX_{2n})^2}} =$$

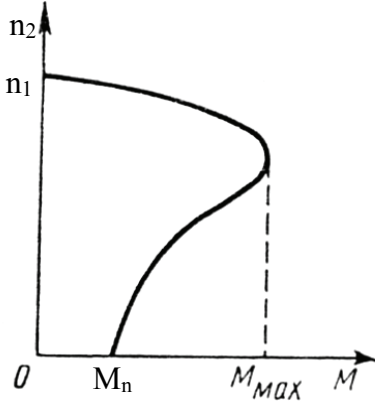
$$= c\Phi \frac{E_{2n} \cdot R_2}{R_2^2 / s + sX_{2n}^2} \quad (19.9)$$

$s=0$ olanda fırlanma momenti yox olur, $s=\infty$ olanda da fırlanma momenti sıfıra bərabər olur. Beləliklə, sürüşmə sıfırdan artdıqca fırlanma momenti artır, maksimuma çatır, lakin s -in sonradan ∞ -a qədər artmalarında fırlanma momenti yenedən sıfıra çatmağa çalışır. Sürüşməyə müxtəlif qiymətlər verməklə $M=f(s)$ asılılığını qurmaq olar. Şək. 19.2. Qrafik üç fırlanma momentinə ayrılır: nominal fırlanma momenti M_n , maksimum moment M_{\max} və işəburaxma momenti $M_{\text{iş.bur}}$. Nominal moment sürüşmənin $s=3\div 5\%$ -nə, maksimum moment $s=10\div 14\%$ -nə, işəburaxma momenti $s=100\%$ -nə müvafiq olur. Adətən, asinxron mühərrik elə hesablanır ki, maksimum moment nominaldan 2-3 dəfə çox, işəburaxma momenti isə təxminən nominala bərabər olsun. İşəburaxma momentinin qiymətinin böyük olması asinxron mühərrikin əsas çatışmaz-

lıqlarından biridir. $\vec{M} = f(s)$ əyrisi iki hissəyə bölünür: OA və AB. 0-dan A nöqtəsinə qədər olan hissə asinxron mühərrikin dayanıqlı iş rejiminə uyğundur: yüklənmə momenti artdıqda mühərrikin fırlanma tezliyi ləngiyir (azalır), sürüşmə artır və qrafikdən görüldüyü kimi fırlanma momenti yüksəlir. Fırlanma momenti tormozlama momentinə bərabər olanda yeni tarazlıq vəziyyəti alınır. Bu halda mühərrik azalmış tezliklə dayanıqlı fırlanır.



Şəkil 19.2. Asinxron mühərrikin fırlanma momentinin sürüşmədən asılılıq əyrisi



Şəkil 19.3. Asinxron mühərrikin mexaniki xarakteristikası

mühərrikin fırlanma sürəti azalır.

Asinxron mühərrikin fırlanma sürəti qidalanma gərginliyindən asılıdır. Çünki fırlanma momenti qidalanma gərginliyinin kvadratı ilə mütənəsbdir. Ona görə də qidalanma gərginliyinin həтта böyük olmayan titrəmələri mühərrikin fırlanma momentinin və sürətinin nəzərə çarpan dəyişmələrinə səbəb olur.

AB hissəsi mühərrikin dayanıqsız iş rejiminə uyğundur: yüklənmə momenti artanda sürüşmə yüksəlir, fırlanma momenti azalır, sürüşmə daha çox artır və s. Mühərrik dayanır və tez qızmağa başlayır,

çünki $s=1$ olanda onun işəburaxma cərəyanı nominal qiymətindən 6-7 dəfə çox olur.

Mənbəyin tezliyi və qidalanma gərginliyi sabit olanda mühərrikin fırlanma sürətinin n_2 onun valındakı fırlanma momentindən asılılığına mexaniki xarakteristika deyilir – $n_2 = f(M)$. Şək. 19.3. Bu xarakteristika təcrübə yolu ilə çıxarıla bilər və $M = f(s)$ əyrisindən asan alınır. Yüklənmə momenti artdıqca mü-

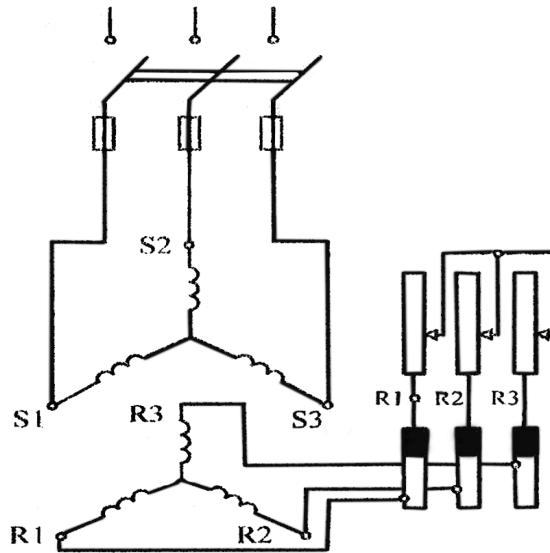
hərrikin fırlanma sürəti zəif azalır. Əgər yüklənmə momenti maksimuma yüksəlsə, onda dalğavari şəkildə sıfıra qədər

§ 19.5. Asinxron mühərrikin işə buraxılması

Asinxron mühərrikləri işə buraxanda $\cos\varphi$ çox az, işəburaxma cərəyanı öz nominal qiymətindən 5-7 dəfə çox olur ki, bu da mühərriklərin güclü qızmasına və sıradan çıxmasına səbəb olur.

Bilirik ki, asinxron mühərrikin işəburaxma momenti böyük deyil. Mühərriki mənbəyə qoşanda işəburaxma momentinin təsiri altında rotor fırlanmağa başlayır, sürüşmə azalır, fırlanma momenti sürətlə artır, proses qeyri-dayanıqlı iş rejiminə uyğun olur (Şək. 19.2. 1 – S_{opt} sahəsi), bu hal tez qurtarır və xarakteristikanın dayanıqlı rejimə uyğun olan hissəsinə keçir. Burada rotorun fırlanma sürəti yüksəldikcə fırlanma momenti azalır və sürətin artması tez kəsilir. Rotor sahənin fırlanma sürətindən az sürətlə dayanıqlı sürətlə fırlanmağa başlayır.

Faza rotorlu mühərriklərdə işəburaxma periodunda rotor dolağı dövrəsinə qoşulan reostatın köməyi ilə işəburaxma momenti artırılır. Şək. 19.4.



Şəkil 19.4. Faza rotorlu asinxron mühərrikin işəsalma reostatının qoşulma sxemi

İşəsalma başlayanda işəsalma momenti maksimum olur (M_{\max}). Mühərrikin sürəti artdıqca onun momenti azalır. Momentin hər bir azalmasında reostatın dəstəyini ikinci, üçüncü və s. pilləyə keçirərək onun müqaviməti azaldılır. Rotor nominal sürət alanda reostatın dəstəyi «0» vəziyyətində olur, reostat dövrədən açılır.

Bu üsulun mənfi cəhətləri mürəkkəb olması, sürətliliyi və işəsalma müddətində elektrik enerjisi itkilərinin olmasıdır.

Qısa qapanmış rotorlu asinxron mühərriklər bir neçə üsulla işə buraxılır.

1) Kiçik güclü mühərriklərdə (30÷50 kVt) birbaşa şəbəkəyə qoşulma üsulu tətbiq edilir. Mühərrik şəbəkəyə qoşulan anda onun stator dolağında böyük qiymətli işəsalma cərəyanı yaranır. İcra mexanizminin ətalət momenti böyük olmadığı üçün mühərrikin fırlanma sürəti qərarlaşmış qiymətinə tez çatır, işəsalma cərəyanı azalır, stator dolağı həddindən çox qızdır.

Birbaşa işəsalmada mənbədə cərəyanın təkənlə artması şəbəkədə gərginlik düşküsü yarada bilər.

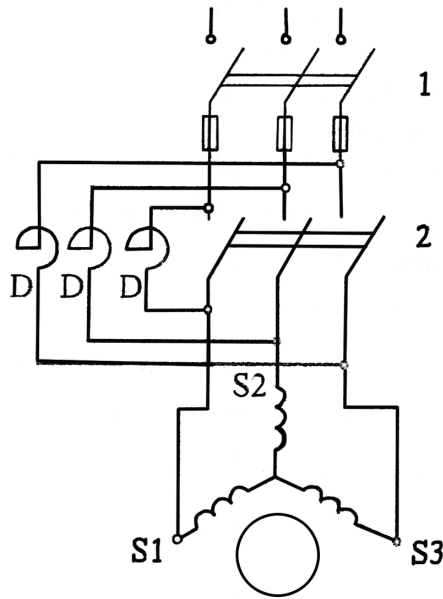
2) Alçaldılmış gərginlikdə işəsalmada iki üsuldən istifadə edilir.

Mühərriki şəbəkəyə qoşan anda çevirici «ulduz vəziyyətinə» qoyulur. Bu zaman xətti cərəyan üç dəfə azalır. Mühərrikin rotoru öz qərarlaşmış sürətinə çatandan sonra, çevirici tez «üçbucaq» vəziyyətinə keçirilir və mühərrikin dolaqları nominal gərginlik altında olur.

Nəzərdən keçirilən üsulda işəsalma momenti də üç dəfə azalır. Ona görə də valında böyük yük momenti olan mühərriklərdə bu üsuldən istifadə edilmir.

b) Drossellərlə işəsalma üsulu. Şək. 19.5.

Mühərrik bu üsulla işə salınanda açar 2 açıq vəziyyətdə saxlanıb açar 1 vurulur. Onda stator dolağına drossel vasitəsi ilə cərəyan verilir. Drossellərdə gərginlik düşküsü yaranır və stator dolağına alçaldılmış gərginlik verilir. Rotorun sürəti qərar-



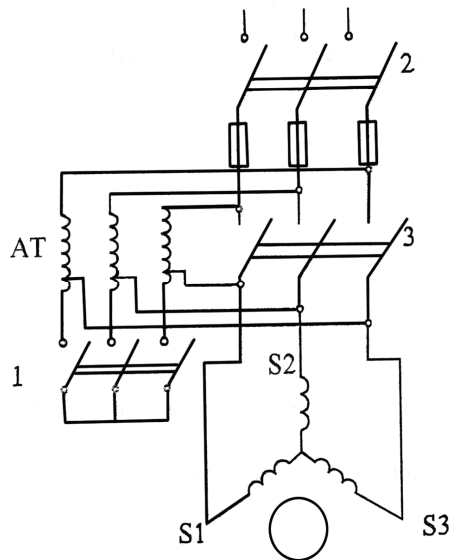
Şəkil 19.5. Drossellər vasitəsilə asinxron mühərrikin işə salınması üsulu

laşmış qiymətinə çatan-
dan sonra 2 açarı vurulur,
mühərrikə nominal
gərginlik verilir.

c) Alçaldıcı avtotransformatorla işəsalma üsulu. Şək. 19.6.

Əvvəlcə açar 1 vurulur, avtotransformatorun dolaqları «ulduz» sxemi üzrə qoşulur, sonra 2 açarı qoşulur, mühərrikə

$U_1=(0,5\div 0,6)U_{nom}$ gərginlik verilir. Mühərrikin sürəti qərarlaşmış qiymətini alandan sonra 1 açarı açılır, avto transformator drosselə çevrilir, stator dolağındakı gərginlik müəyyən qədər yüksəlir və $U_2=(0,7\div 0,8)U_{nom}$ olur. Nəhayət, 3 açarını qoşmaqla mühərrikə şəbəkənin tam gərginliyi U_{nom} verilir.



Şəkil 19.6 Asinxron mühərrikin avtotransformatorlu işəsalma üsulu

İşəsalma cərəyanının azalması baxımından avtotransformatorlu üsul drossel üsuldan daha yaxşıdır. Lakin işəsalma cihazlarının mürəkkəbliyi və bahalı olması bu üsulun mənfi cəhətidir.

§ 19.6. Asinxron mühərrikin güc əmsali və f.i.ə.

Asinxron mühərriklərdə rotor və stator dolaqlarındakı itkilər, maqnitkeçiricidəki itkilər, mexaniki və əlavə enerji itkiləri cəmlənir.

Dolaqlardakı itkilər P_m (misdəki itkilər) cərəyanın kvadratı ilə mütənasibdir və mühərrikin yükü dəyişəndə tamamilə dəyişir. Maqnitkeçiricidəki burulğanlı cərəyanlar və histerezis itkiləri (poladdakı itkilər) P_p yükdən asılı olmur, çünki yük dəyişəndə mühərrikin maqnit seli dəyişmir. Mexaniki itkilər – P_{mex} yastıqlarda sürünmə səbəbindən və mühərrikin fırlanan hissələrində alınır. Əlavə itkilər – $P_{əl}$ maqnitkeçiricinin dişli quruluşu nəticəsində maqnit selinin döyünməsi və s. amillər nəzərə alınmaqla təyin edilir.

İtkiləri təyin etmək üçün yüksüz işləmə və qısa qapanma rejimləri qoyulur.

Yüksüz işləmə rejimində poladdakı itkilər və mexaniki itkilər təyin edilir: $P_{y.iş} = P_p + P_{mex}$.

Yüksüz işləmə gücü elektrik mühərrikini qidalandıran sıxaclara qoşulan vatmetrlə ölçülür. Qısa qapanma təcrübəsi hərəkətsiz rotor və alçaldılmış qidalanma gərginliyində aparılır. Qısa qapanma rejimində misdəki itkilər təyin edilir: $P_{q/o} = P_m$. Bu güc də vatmetrlə ölçülür. Mühərrikin f.i.ə-lı aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$\eta = \frac{P_1 - (P_m + P_p + P_{mex} + P_{əl})}{P_1} \quad (19.10)$$

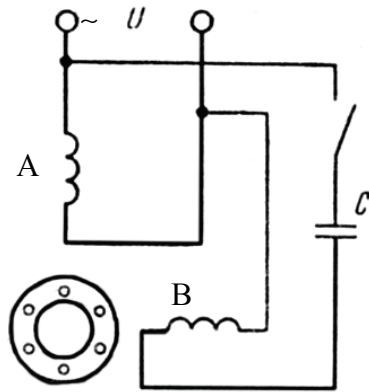
Burada P_1 – mühərrikin mənbədən aldığı gücdür.

Asinxron mühərrikin f.i.ə. yükdən asılıdır. Nominal iş rejimində bu əmsal $\eta = 0,9 \div 0,95$ olur.

Asinxron mühərrikin əsas xarakteristikası onun güc əmsəlidir – $\cos\varphi$. O göstərir ki, mənbədən daxil olan tam gücün hansı hissəsi itkilərə sərf olunur, hansı hissəsi mexaniki iş çevrilir. Mühərrikin güc əmsalı yükdən asılıdır, normal iş rejimində $0,7\div 0,9$ qiymətə çatır, yüksüz işləmə rejimində $0,2\div 0,3$ qədər azalır.

§ 19.7. Bifazalı asinxron mühərriki

Bifazalı asinxron mühərrikin statorunda bifazalı dolaq yerləşdirilir.



Şəkil 19.7. İşəsalma dolağı olan bifazalı asinxron mühərrikin sxemi

İşəsalma momenti yaratmaq üçün mühərrikdə fırlanan maqnit sahəsi əmələ gəlməlidir. Bu məqsədlə statorunda iki dolaq yerləşdirilir. İşçi dolaq (A) və əlavə işəsalma dolağı (B). Dolaqların oxları bir-birindən 90° fərqlənir. Şək. 19.7.

Bundan başqa statorun hər iki dolağındakı cərəyanlar (I_A və I_B) bir-birinə nəzərən fazaca sürüşdürülməlidir.

Ona görə də işəsalma dolağı dövrəsinə faza sürüşdürən element (kondensator) qoşulur. Şək.19.7.

Bu elementin qoşulması nəticəsində əlavə dolaqdakı cərəyan əsas dolaqdakı cərəyana nəzərən fazaca sürüşdürülmüş olur. Yəni, ikifazlı fırlanan maqnit sahəsi rotoru fırladır. Mühərrikin sürəti normal qiymətə çatanda işəsalma dolağı rele vasitəsilə dövrədən açılır. Beləliklə işəsalma zamanı mühərrik ikifazlı iş rejimində bifazalı olur.

Bifazalı asinxron mühərriklər məişət cihazlarında geniş tətbiq edilir. Onların gücü 500 Vt-dan böyük olmur.

Şəkil 19.7. İşəsalma

§ 19.8. Sinxron generatorlar

Sinxron maşınların rotoru statorun fırlanan maqnit sahəsi ilə sinxron fırlanır (onların adı buradan götürülür). Rotorun və maqnit sahəsinin fırlanma sürəti eyni olduğundan rotor dolaqlarında cərəyanlar induksiyanlanır. Bu səbəbdən də rotor sabit cərəyan mənbəyindən qidalanır.

Sinxron generatorlardan əsasən elektrik stansiyalarında elektrik enerjisi istehsal etmək üçün istifadə edilir. Müasir sinxron generatorların gücü 1500 MVA-a çatır.

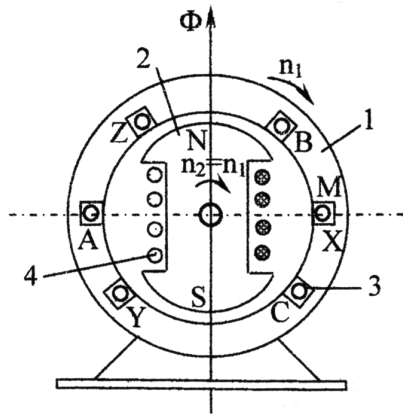
Sinxron mühərriklərin tətbiq sahələri asinxron mühərrikləri ilə müqayisədə geniş deyil. Lakin bəzi sahələrdə məsələn, metallurjiyada onlardan istifadə edilir.

Sinxron maşınlar əsas iki hissədən: stator və rotordan ibarətdir. Onun statorunun quruluşu asinxron maşının statorundan fərqlənir. Statorun içliyi bir-birindən izolə olunmuş elektrotexniki polad lövhələrdən yığılır.

Sinxron generatorun rotoru aşkar qütblü və qeyri-aşkar qütblü olur. Aşkar qütblü generatorlar hidroelektrik stansiyalarda yavaş gedən turbinlərlə, qeyri-aşkar qütblü generatorlar istilik elektrik stansiyalarında buxar və ya qaz turbinləri ilə hərəkətə gətirilir.

Kiçik güclü dizel generatorları aşkar qütblü olur, onların fırlanma sürəti 500÷1500 dövr/dəq-dir.

Şək. 19.8-də sinxron generatorun sadələşdirilmiş sxemi göstərilmişdir. Sinxron generatorun statorunun (1) daxili səthi üzərində açılmış yuvalarda üçfazlı dolaqlar (3) yerləşdirilmişdir. Sabit cərəyan mənbəyindən təsirlənmə dolağına (4) gərginlik verilir və generatora təsirlənmə maqnit sahəsi yaranır (rotor dolağı fırçalar və kontakt halqaları vasitəsilə xarici sabit cərəyan mənbəyi ilə birləşdirilir). Rotor (2) n_2 sürəti ilə fırlandıqda, onun təsirlənmə maqnit seli statorun dolaqlarını kəsir və onun fazalarında dəyişən e.h.q-si induksiyanlayır. Stator dolaqlarına yük qoşulanda cərəyan axır. Sinxron generatorlarda stator və rotorun maqnit sahələri eyni sürətlə fırlandığından $n_1=n_2$ olur.



Şəkil 19.8. Sinxron generatorun sxemi

Sinxron generatorda e.h.q-si induksiyaalanan və yük cərəyanı axan dolaq – lövbər dolağı, üzərində təsirlənmə dolağı yerləşən hissə induktor adlanır. Yəni stator – lövbər, rotor – induktordur.

Generatorda induksiyaalanan e.h.q-sinin tezliyi $f = pn/60$ olur; burada p – rotorun cüt qütblər sayı, $n/60$ rotorun saniyədəki dövrlər sayıdır; $p=1$ olduqda rotorun hər bir fırlanması induksiyaalanan dəyişən cərəyanın bir tam dövrünə (bir perioda) uyğundur; p – artdıqca müvafiq olaraq rotorun bir dəfə fırlanmasında induksiyaalanan cərəyanların periodlarının sayı da artır.

Sinxron generatorlarda müxtəlif təsirlənmə üsullarından istifadə edilir. Maşın təsirləndiricili sinxron generatorlar daha geniş yayılıb. Bu maşın sinxron generatorla eyni val üzərində oturdulmuş sabit cərəyan generatorudur. Maşın təsirləndirici ilk mühərrik vasitəsilə hərəkətə gətirilir. Təsirləndiricinin çıxış sınaqları fırçalar və həlqələr vasitəsilə sinxron generatorun rotor dolaqlarına birləşdirilir.

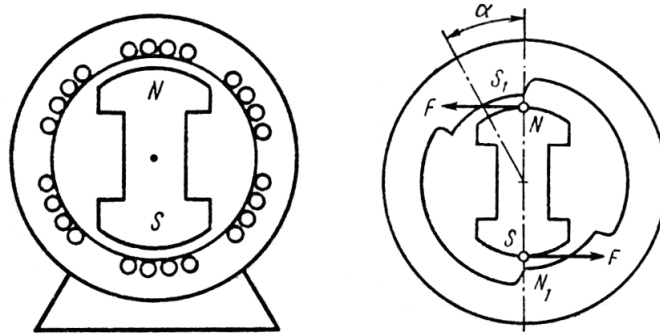
Yarımqeçirici və ya mexaniki düzləndiricilər vasitəsilə öz-özünə təsirləndirilən generatorlar da tətbiq olunur.

Sinxron generatorların əsas xarakteristikası onun xarici xarakteristikasıdır. Bu xarakteristika tezlik, güc əmsalı və təsirlənmə cərəyanı sabit olanda generatorun sınaqları arasındakı gərginliyin yüklənmə cərəyanından asılılığını göstərir. $U=f(I)$, $\cos \varphi = \text{const}$, $I_t = \text{const}$, $f = \text{const}$.

§ 19.9. Sinxron mühərriklər

Sinxron mühərriklərin statorunun quruluşu asinxron mühərrikin statorunun quruluşu ilə eynidir. Sinxron mühərrikin rotoru elektromaqnit və ya sabit maqnitdən ibarətdir. Şək. 19.9.a

Sinxron mühərriklərin iş prinsipi belə izah edilir. Şək. 19.9b N_1S_1 maqnitinin içərisində NS maqnit yerləşdirilir. Əgər N_1S_1 maqnitini fırlandırılarsa, o öz ardınca NS maqnitini çəkər. Stasionar rejimdə hər iki maqnitin fırlanma sürəti eynidir. NS maqnitinin valına mexaniki yük qoşaq. Bu yük çox olduqca NS maqnitinin oxu N_1S_1 maqnitinin oxundan daha çox geri qalar. Bir neçə yüklənmədən sonra maqnitlər arasındakı dartma qüvvəsi dəf olunur və rotor dayanır.



Şəkil 19.9. Sinxron mühərrikin sxemi (a) və onun iş prinsipinin izahı (b)

b)

Real mühərriklərdə N_1S_1 maqnitinin sahəsi statorun fırlanan maqnit sahəsi ilə əvəz edilir. Bu zaman rotor ya statorun sahəsi ilə ondan α bucağı qədər geri qalmaqla sinxron fırlanır, ya da artıq yükləndikdə dayanır (sinxronlaşdırmadan düşür). Beləliklə, yükdən asılı olmadan rotor həmişə statorun maqnit sahəsinin sürətinə bərabər sabit sürətlə fırlanır: $n_2=n_1=60 f/p$.

Fırlanma sürətinin sabitliyi – sinxron mühərrikin mühüm üstünlüyüdür və bu texnikanın bir çox sahələrində məsələn, səsin yazılması və səsləndirilməsində tələb olunur. Sinxron mühərriklərin çatışmazlığı – işəburaxmanın çətinliyidir: sinxron mühərriki işə buraxmaq üçün statorun maqnit sahəsi tərəfindən rotoru fırlatmaq lazımdır. Bunun üçün çox vaxt rotorda ayrıca xüsusi qısa qapanmış dolaq tətbiq edilir. İşəburaxma anında mühərrik asinxron mühərrik kimi işləyir. Rotorun fırlanma sürəti statorun fırlanma sürətinə çatanda rotor sinxronlaşır və mühərrik sinxron işləyir. Bu halda qısa qapanmış dolağın cərəyanı kəsilir, çünki rotorun maqnit sahəsi, statorun maqnit sahəsinə bərabərdir və rotor dolaqları maqnit qüvvə xətləri ilə kəsilir.

FƏSİL XX. SABİT CƏRƏYAN MAŞINLARI

§ 20.1. Sabit cərəyan maşınlarının vəzifəsi və quruluşu

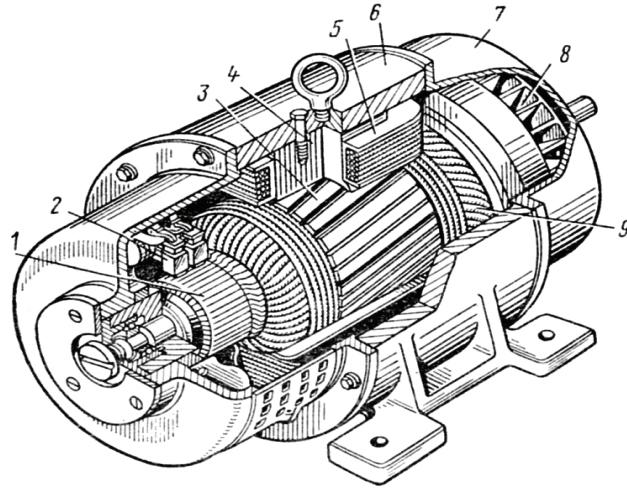
Vəzifəsinə görə sabit cərəyan maşınları generatorlara və mühərriklərə bölünür. Generatorlar elektrik enerjisi istehsal edir; mühərriklər mexaniki fırlanma momenti yaradır ki, bu da müxtəlif mexanizmlərin və nəqliyyat vasitələrinin hərəkəti üçün istifadə olunur.

Sabit cərəyan maşınları (SCM) dönəndir. Yəni eyni bir maşın hər generator, həm də mühərrik kimi işləyə bilər. Ona görə də SCM-nin quruluşuna ümumi şəkildə baxmaq lazımdır.

Sabit cərəyan mühərrikləri daha çox tətbiq edilir. Onlardan avtomatika qurğularının intiqallarında, şaxta liftləri, yayma dəzgahları, ağırlıqaldıran mexanizmlər, nəqliyyat vasitələri və s. mexanizmlərin intiqallarında istifadə olunur. SC mühərrikləri dəyişən cərəyan mühərriklərinə nisbətən müəyyən üstünlüklərə malikdir: asan işə salınır və sürəti geniş diapazonda tənzimlənir. Çatışmazlıqları isə: az etibarlıdır, dəyəri yüksəkdir, konstruksiyası mürəkkəbdir.

Axırıncı illərdə yeni konstruksiyalı S.C.mühərrikləri yaradılmışdır. Bunlarda mexaniki kollektor yarımkeçirici elementli kontaktsiz kommutator ilə əvəz olunmuşdur, lakin belə mühərriklərin gücü çox kiçikdir (500 Vt).

Sabit cərəyan maşınları hərəkətli və hərəkətsiz hissələrdən ibarətdir. Hərəkətli (fırlanan) hissə – rotor, hərəkətsiz hissə – stator adlanır. Maşının e.h.q-si induksiyaalan hissəsini – lövbər, təsirlənmə maqnit sahəsi əmələ gələn hissəsini – induktor adlandırmaq qəbul edilmişdir. Qaydaya görə s.c.maşınlarında stator – induktor, rotor isə – lövbər kimi xidmət edir. Şək. 20.1.



Şəkil 20.1. Sabit cərəyan maşınının quruluşu

S.C.maşınlarının statoruna (6) gövdə də deyilir. Gövdə maqnitkeçirici materialdan hazırlanır və iki funksiyanı yerinə yetirir. Bunlar birincisi maşının təsirlənmə maqnit seli keçən maqnitkeçiricidən; ikincisi maşının bütün detalları yerləşdirilən əsas konstruksiya detalından ibarətdir. Gövdənin içərisində əsas və əlavə qütblər bərkidilir. Əsas qütblər nüvədən (4), qütb ucluqları və dolaqlardan (5) ibarətdir. Nüvə nazik polad lövhələrdən hazırlanır. Lövhələrin qalınlığı 1-2 mm-dir. Onlar bir-birindən oksid qatı ilə izolə olunur.

Dolaq mis məftildən hazırlanır. Əsas qütblərdən başqa böyük güclü maşınlarda kiçik ölçülü əlavə qütblər də qoyulur. Əlavə qütblərin dolaqları lövbər dolaqlarına (9) ardıcıl birləşdirilir.

Lövbər polad valdan, üzərində dolaq olan nüvədən (3) və kollektordan (1) ibarətdir. Burulğanlı cərəyanları və onlarla bağlı istilik itkilərini azaltmaq üçün lövbərin nüvəsi qalınlığı $0,35 \pm 0,5$ mm olan elektrotexniki polad təbəqələrdən yığılır.

Təbəqələr bir-birindən lakla izolə olunur. Nüvənin üzərində uzununa yuvalar vardır, həmin yuvalara lövbər dolağı yerləşdirilir. Lövbər dolaqları kollektor listləri ilə birləşdirilir.

Kollektor maşının ən mürəkkəb hissəsi olub, mikanit araqatı ilə ayrılmış yüksək keyfiyyətli misdən hazırlanmış trapes şəkilli təbəqələrdən yığılır. Mis təbəqələrin üzəri xüsusi emal edilir ki, bu da onların dayanıqlığını yüksəldir. Təbəqələrə lövbər dolağının ucları qaynaqla bərkidilir. Kollektorla elektriki kontakt fırçalar (2) vasitəsilə yaradılır. Fırçalar fırça saxlayan mexanizmdə yerləşdirilir və yayla kollektora sıxılır. Fırçalar qrafitdən hazırlanır. Lazım olan xüsusiyyəti (elektrik keçiriciliyini, müqaviməti) almaqdan ötrü fırçaya metal tozları (mis, qurğuşun) əlavə edilir.

S.c.maşınlarında lövbərin valında oturdulmuş ventilyatorla (8) hava soyutması aparılır. Güclü maşınlar üçün hidrogen və su soyutma sistemlərindən istifadə edilir.

§ 20.2. Sabit cərəyan maşınlarının iş prinsipi

İstənilən elektrik maşınının işi biri mexaniki, digəri elektromaqnit qüvvələrinin yaratdığı, bir-birinə qarşı istiqamətlənmiş iki fırlanma momentinin qarşılıqlı təsiri ilə xarakterizə edilir. Bundan başqa generator və mühərrikin işi mənbəyin gərginliyi və lövbər dolağında yaranan e.h.q.-nin qarşılıqlı təsiri ilə xarakterizə olunur.

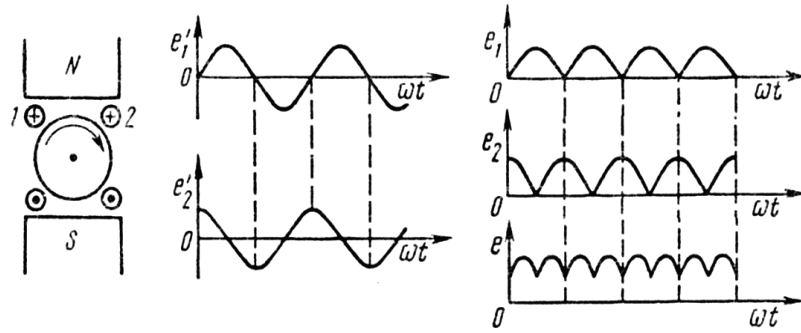
Sabit cərəyan generatoru

Generatorda mexaniki hərəkətin enerjisi elektrik enerjisinə çevrilir. Generatorun lövbəri hər hansı kənar mühərrik vasitəsilə təsirlənmiş maqnit sahəsində fırladılır. Fırlanma nəticəsində lövbər dolağının sarğılarına nüfuz edən maqnit seli dəyişər və onda maqnit selinin dəyişmə sürətinə mütənasib e.h.q-

si induksiylayar: $e = w \frac{d\Phi}{dt}$, burada w – dəyişən Φ maqnit selinin nüfuz etdiyi sarğuların sayı, $d\Phi/dt$ maqnit selinin dəyişmə sürətidir.

Real sabit cərəyan generatorunda lövbərin hər bir sarğısına nüfuz edən maqnit seli periodik dəyişir. Müvafiq olaraq lövbər dolağının hər bir sarğısındakı e.h.q-sinin qiymət və istiqaməti də dəyişir. Sabit e.h.q-si almaq üçün generator mexaniki düzləndirici – kollektorla təchiz edilir. E.h.q-nin istiqaməti dəyişəndə kollektor avtomatik olaraq dolaq sarğılarının uclarını çevirir. Lövbər dolağının bir sarğısında induksiylanan sinusoidal e.h.q-si kollektorun köməyi ilə döyünən e.h.q-nə e_1^1 çevrilir, şək. 20.2.

Birinci dolağa nəzərən 90° bucaq altında olan ikinci dolaqda induksiylanan e.h.q-si e_2^1 fazaca e_1^1 -i 90° qabaqlayır. e_1^1 və e_2^1 və onların düzlənmiş e_1 və e_2 əyriləri şək. 20.2-də göstərilir.



Şəkil 20.2. Bir sarğıda induksiylanan e.h.q.-nin ωt – dən asılılığı

Generatorun çıxış sıxaclarına e_1 və e_2 e.h.q-nin cəminə bərabər olan e.h.q-si verilir. Yekun e.h.q-si (e) e_1 və e_2 -yə görə xeyli az döyünməyə malikdir. Sarğular sayı çox olanda

yekun e.h.q-nin döyünməsi nəzərə alınmayacaq dərəcədə az olacaq. Bu halda generator qiymət və istiqamətcə sabit gərginlik emal edəcək.

Generatorun sıxacları açıq olanda maşın yüksüz işləyir, lövbər dolağındakı cərəyan $I_l = 0$ olur. Onda əsas maqnit sahəsinə ni maqnit qütbləri yaradır. Generatora elektrik yükü qoşulanda, yəni yüklü rejimdə, lövbər dolağından cərəyan axır və yaranan maqnit sahəsi əsas maqnit sahəsi ilə qarşılıqlı təsirdə olur.

Lövbərin maqnit sahəsinin maşının maqnit sahəsi ilə qarşılıqlı təsiri lövbər reaksiyası adlanır.

Generatorun yüksüz işləmə rejimində əsas maqnit seli hesabına lövbər dolağında E_0 e.h.q-si yaranır. Yüklü rejimdə lövbər reaksiyası nəticəsində yaranan E e.h.q-si E_0 -dan kiçik olur. Lövbər dolağından cərəyan axır və bu dolaqda $I_l R_l$ gərginlik düşküsü əmələ gəlir. Onda generatorun sıxacları arasındakı gərginlik belə olur.

$$U = E - I_l R_l \quad (20.1)$$

Sabit cərəyan mühərriki

Sabit cərəyan maşını elektrik şəbəkəsinə qoşulanda lövbər dolağından cərəyan axır. Bu halda təsirlənmiş maqnit sahəsində yerləşən lövbər dolaqlarına Amper qanununa görə mexaniki qüvvələr təsir edir. Həmin qüvvələr lövbərin valında fırladıcı M momenti yaradır və lövbər fırlanmağa başlayır.

Mühərrikin fırlanan valından müxtəlif mexanizmlərin intiqallarını hərəkətə gətirmək üçün istifadə edilir: qaldırıcı və daşıyıcı vasitələrin tikiş maşınlarının, dəzgahların və s.

Mühərrikin lövbər dolağı təsirlənmiş maqnit sahəsində fırlananda elektromaqnit induksiya qanununa əsasən lövbər dolağında e.h.q-si əmələ gəlir. Bu e.h.q-nin istiqaməti təbiiq olunan şəbəkə gərginliyinin əksinə olur. Ona görə də onu əks

e.h.q-si ($E_{\text{əks}}$) adlandırılır. Həmin əks e.h.q-si mənbədən verilən elektriki güc sərfini tənzimləyən amildir.

Elektromaqnit induksiya qanununa görə əks e.h.q-si lövbər dolağına nüfuz edən maqnit selinin dəyişmə sürətinə mütənəsibdir. Həqiqətən lövbərin fırlanma tezliyi azalarsa, əks e.h.q-si də azalar.

Əgər mühərrikin valında mexaniki yük olmazsa (mühərrik yüksəz işləyir), mühərrikin fırlanma momentinə ancaq sürtmə momentləri mane olur və lövbərin fırlanma tezliyi maksimum qiymətə çatır. Bu halda əks e.h.q-si mənbəyin gərginliyini bütünlüklə kompensasiya edir və lövbər dolağı vasitəsilə minimal cərəyan axır. Uyğun olaraq mənbədən sərf olunan güc də minimal olur.

Mexaniki yük qoşulanda lövbərin fırlanma tezliyi azalır, uyğun olaraq əks e.h.q-nin qiyməti də azalır. Mühərrikin mənbədən aldığı cərəyan və güc artır.

Beləliklə, əks e.h.q-si mənbədən daxil olan gücü tənzimləyən drosselin funksiyasını yerinə yetirir.

Sabit cərəyan mühərriki üçün gərginlik düsturunu yazaq:

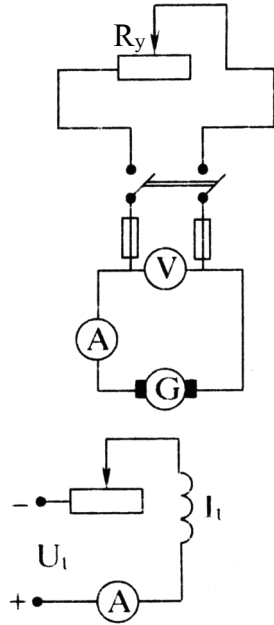
$$U = E + I_l R_\ell \quad (20.2)$$

Buradan, lövbər cərəyanı

$$I_l = \frac{U - E}{R_\ell} \quad (20.3)$$

§ 20.3. Müstəqil təsirlənən sabit cərəyan generatorları

Təsirlənmə dolağına sabit cərəyan verilməsi üsullarına görə, sabit cərəyan maşınları aşağıdakı siniflərə bölünür: xaricdən (müstəqil) təsirlənən və özündən təsirlənən sabit cərəyan generatorları. Müstəqil təsirlənən s.c. generatorları özləri də maqnitoelektrik və elektromaqnit təsirlənən maşınlarla ayrılır. Şək. 20.3.



Şəkil 20.3. Müstəqil təsirlənən s.c.g-nun sxemi

Elektromaqnit təsirlənən generatorlarda təsirlənmə dolağı ilə lövbər dolağı arasında maqnit əlaqəsi olur. Təsirlənmə dolağına cərəyan kənar bir mənbədən verilir. Bu üsulun mənfi cəhəti ondadır ki, burada başqa mənbədən istifadə edilir. Ona görə də belə təsirlənmə ancaq güclü maşınlarda istifadə olunur.

Maqnitoelektrik üsulu ilə təsirlənmədə əsas qütblər sabit maqnitlərdən hazırlanır, generatorda təsirlənmə dolağı olmur. Bu üsul ancaq kiçik güclü generatorlarda tətbiq edilir. Müstəqil təsirlənən s.c. generatorunun əsas xüsusiyyəti əsas qütblərin maqnit sellərinin və təsirlənmə cərəyanının generatorun yükündən asılı olmamasıdır.

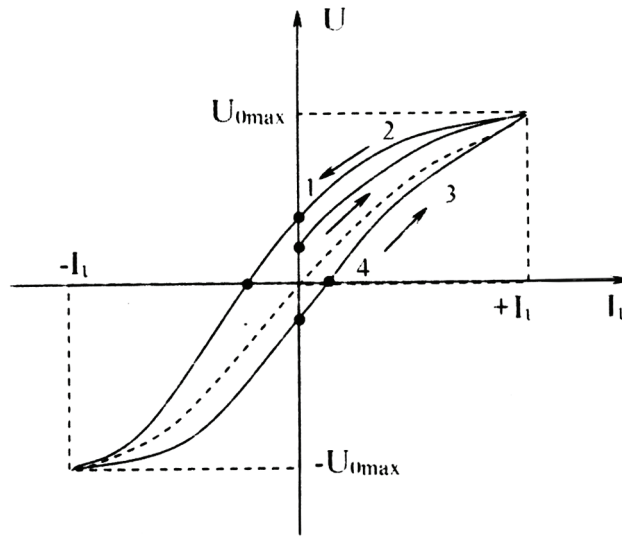
Elektrik maşınlarının işini xarakterizə edən fiziki kəmiyyətlər öz aralarında xarakteristikalar adlanan müəyyən asılılıqlarla bağlıdır.

Müstəqil təsirlənən s.c. generatorunun əsas xarakteristikaları aşağıdakılardır.

1) Yüksüz işləmə xarakteristikası – lövbərin sabit fırlanma tezliyində və yük olmadıqda generatorun e.h.q-nin təsirlənmə cərəyanından asılılığı. $E = f(I_t), I = O_1 n = const$. Şək. 20.4.

Yüksüz işləmə xarakteristikası generatorun maqnit sisteminin histerezes ilgəyinin bir hissəsini göstərir. Yəni yüksüz işləmə xarakteristikası maqnit keçiricinin xüsusiyyətlərini təsvir edir.

Nə qədər ki, ilk maqnitlənmədən sonra koersitiv qüvvələr maqnitkeçiricidə azca (cüzi) maqnit seli saxlayır, təsirlənmə cərəyanı sıfır olsa da, e.h.q-si sıfıra bərabər ola bilmir. Bu, qalq e.h.q-si adlanır: $E_0 = E \quad I_t = 0$.

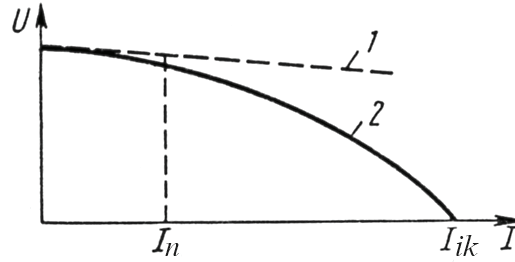


Şəkil 20.4. Müstəqil təsirlənən generatorun yüksüz işləmə xarakteristikası

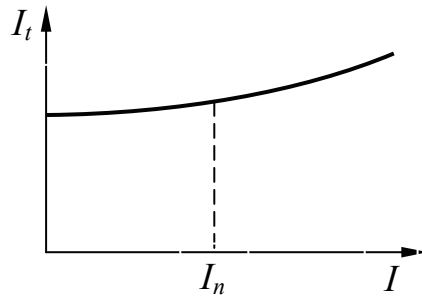
Xarakteristikanın əyilməsi maqnitkeçiricinin doyması ilə izah edilir. Nominal təsirlənmə cərəyanı elə seçilir ki, yüksüz işləmə xarakteristikasının əyilən hissəsinə uyğun olsun (I_m).

2) Xarici xarakteristika – təsirlənmə dövrəsinin müqaviməti sabit olanda və sabit fırlanma tezliyində generatorun sıxacları arasındakı gərginliyin yük cərəyanından asılılığını göstərir:

$$U = f(I), n = \text{const}, R_t = \text{const. Şək. 20.5.}$$



Şəkil 20.5. Müstəqil təsirlənən generatorun xarici xarakteristikaları: lövbər reaksiyasının maqnetsizləşmə təsiri olmayanda (1) və olanda (2)



Şəkil 20.6. Müstəqil təsirlənən generatorun tənzimləmə xarakteristikası

Lövbər reaksiyasının maqnetsizləşmə təsiri olmayanda xarakteristika $U = E - IR_t$ tənliyi ilə qurulur və demək olar ki, düz xətt verir. Lövbər reaksiyasının maqnetsizləşmə təsiri olanda və maqnit sistemi doyanda yük artanda generatorun e.h.q-si azalır. Buna görə də generato-

run gərginliyi düz xətt qanununa nəzərən daha tez azalır.

Xarici xarakteristika yük dəyişəndə generatorun gərginliyinin hansı sərhədlərdə dəyişdiyini təyin etməyə imkan verir.

3) Tənzimləmə xarakteristikası – generatorun sıxacları arasındakı gərginlik sabit olduqda və sabit fırlanma tezliyində təsirlənmə cərəyanının yük cərəyanından asılılığıdır:

$$I_t = f(I), n = const, U = const . \text{ Şək. 20.6.}$$

Təsirlənmə xarakteristikası göstərir ki, təsirlənmə cərəyanını necə dəyişdirmək lazımdır ki, generatorun yükü dəyişəndə onun sıxacları arasındakı gərginlik sabit qalsın.

Yük cərəyanı artdıqca generatorun gərginliyi azalır. Onu sabit saxlamaqdan ötrü e.h.q-ni artırmaq lazımdır. Sabit fırlanma tezliyində buna maqnit selinin, eləcə də təsirlənmə cərəyanının artırılması ilə çatmaq olar.

Müstəqil təsirlənən generatorlar, avtomatika sxemlərində, mühərrik-generator aqreqatlarında, məsafədən fırlanma tezliyini ölçən taxogeneratorlar kimi tətbiq olunur.

§ 20.4. Özündən təsirlənən sabit cərəyan generatorları

Özündən təsirlənən sabit cərəyan generatorlarında təsirlənmə dolağına cərəyan maşının özündən, yəni lövbərdən verilir. Bu səbəbdən lövbər və təsirlənmə dolaqları arasında həm elektrik, həm də maqnit rabitəsi olur.

Təsirlənmə dolağının sxemdə qoşulmasından asılı olaraq özündən təsirlənən generatorlar paralel, ardıcıl və qarışıq təsirlənən olur.

Paralel təsirlənən generatorlar

Paralel təsirlənən generatorlarda təsirlənmə dolağı lövbərə paralel qoşulur. Şək. 20.7. Bu generatorlarda təsirlənmə cərəyanı lövbər cərəyanının $5\div 10\%$ -ni təşkil edir: $I_t = (0.05\div 0.1)I_l$.

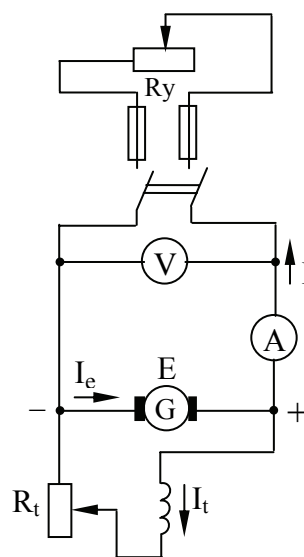
Generatorun lövbər cərəyanı yük və təsirlənmə cərəyanlarına ayrılır: $I_l = I + I_t$

Paralel təsirlənən generatorun yüksüz işləmə xarakteristikası müstəqil təsirlənən generatorun yüksüz işləmə xarakteristikasının analoqudur (eynidir): $E = f(I_t), I = 0, n = const$.

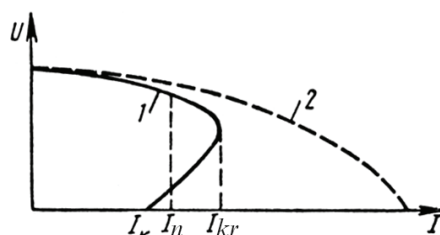
Paralel təsirlənən generatorun xarici xarakteristikasında yük cərəyanı artanda generatorun sıxacları arasındakı gərginlik daha kəskin düşür (müstəqil təsirlənən generatorlara nəzərən):

$$U = f(I), n = const,$$

$$R_t = const$$



Şəkil 20.7. Paralel təsirlənən s.c.generatoru



Şəkil 20.8. Paralel təsirlənən generatorun xarici xarakteristikası: özünə təsirlənmədə (1), müstəqil təsirlənmədə (2)

Generatorun sıxacları arasındakı gərginlik düşküsi üç səbəbdən olur: 1) maşında lövbər reaksiyası nəticəsində maqnit induksiyasının orta qiymətinin azalması; 2) generatorun daxilindəki gərginlik düşküsinin yük cərəyanına mütənasib artması; 3) təsirlənmə dövrəsinə tətbiq olunan gərginliyin azalması.

Generatorun yük cərəyanı O_M qanunu ilə təyin edilə bilər: $I = U/R_y$ burada U – generatorun sıxacları arasındakı gərginlik, R_y – yük müqaviməti.

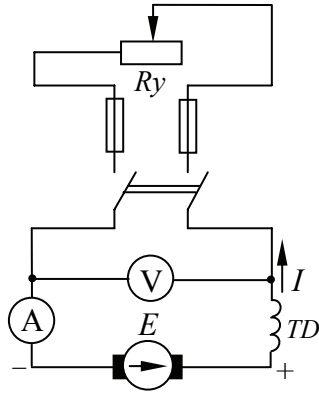
Xarici xarakteristikanı çıxaranda R_y müqavimətinin azalması hesabına I cərəyanı artır. Cərəyan artanda generatorun sıxacları arasındakı gərginlik azalır. Uyğun olaraq R_y müqavimətinin azalması ilə eyni zamanda U da azalır. Yük cərəyanının bir neçə qiymətində U -nun azalma sürəti R_y azalma sürəti ilə müqayisə edilir və O_M qanununa görə cərəyanın artması dayanır. Cərəyanın mümkün olan bu maksimal qiyməti kritik I_{kr} cərəyan adlanır. R_y müqavimətinin sonrakı azalmasında U gərginliyi nisbətən tez düşür və yük cərəyanı da azalmağa başlayır. Ona görə də paralel təsirlənən s.c. generatorlarında qısa qapanma qorxulu deyil. Belə generatorun qısa qapanma cərəyanı I_q/q adətən nominal cərəyandan az olur və ancaq qalıq maqnitlənmə hesabına yaranır. Bu halda generatorun sıxacları arasındakı gərginlik və təsirlənmə dövrəsinə verilən gərginlik qısa qapanma zamanı sifira bərabərdir.

Paralel təsirlənən generatorun təsirlənmə xarakteristikası yük cərəyanlarının işçi sərhədlərində müstəqil təsirlənən generatorun tənziqlənmə xarakteristikası kimi alınır.

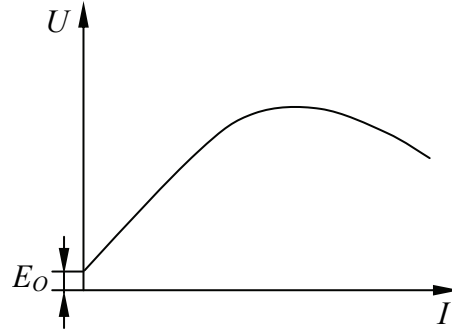
Paralel təsirlənən generatorlardan hərəkət edən obyektlərdə: gəmilərdə, təyyarələrdə, maşınlarda və s. bort qida mənbəyi kimi istifadə edilir.

Ardıcıl təsirlənən sabit cərəyan generatoru

Ardıcıl təsirlənən generatorunda təsirlənmə dolağı ilə lövbər dolağı ardıcıl birləşdirilir. Şək. 20.9. Təsirlənmə dolağında yaranan gərginlik lövbər gərginliyinin $5 \div 15\%$ -ni təşkil edir.



Şəkil 20.9. Ardıcıl təsirlənən s.c.generatoru



Şəkil 20.10. Ardıcıl təsirlənən s.c.generatorunun xarici xarakteristikası

$$U_1 = (0,05 \div 0,15)U_l \quad U = U_t + U_l$$

Bu generator üçün $I = I_t = I_l$

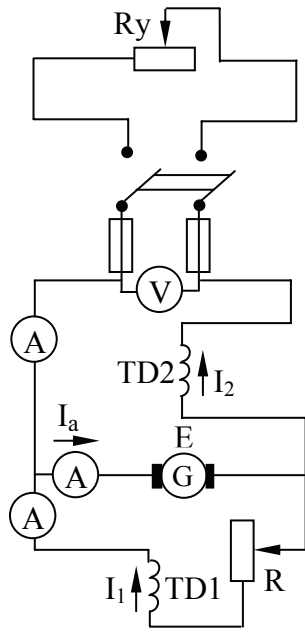
Təsirlənmə sisteminin maqnit xüsusiyyətlərini göstərən yüksüz işləmə xarakteristikasını ancaq müstəqil təsirlənmədə çıxarmaq olar.

Generatorun xarici xarakteristikası şəkl. 20.10-da göstərilib. Maqnit sistemi doymamışdan yük cərəyanı artdıqca maqnit sel və generatorun e.h.q-si artır. Lakin maqnit keçiricinin doyma həddində e.h.q-nin artması zəifləyir, lövbər reaksiyasının maqnitləşmə təsiri isə daha da güclənməkdə davam edir. Ona görə də maksimal qiymətinə çatmış gərginlik azalmağa başlayır.

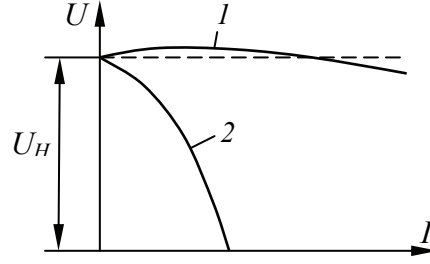
Ardıcıl təsirlənən generatorlar çox az istifadə edilir.

Qarışıq təsirlənən sabit cərəyan generatoru.

Bu generatorlarda iki təsirlənmə dolağı olur: biri lövbər dolağına paralel, digəri ardıcıl qoşulur. Şəkl. 20.11. Bu iki dolaq bir-birilə uyğun və ya qarşılıqlı birləşdirilə bilər.



Şəkil 20.11. Qarışıq təsirlənən sabit cərəyan generatoru



Şəkil 20.12. Qarışıq təsirlənən generatorun xarici xarakteristikası, təsirlənmə dolaqlarının uyğun (1) və qarşılıqlı (2) birləşmələrində

Dolaqları uyğun birləşdirilmiş generatorlarda yük dəyişəndə gərginlik, demək olar ki, dəyişmir. Bu onunla izah olunur ki, yük cərəyanının dolaqda yaratdığı maqnit seli, cərəyan artdıqca lövbər reaksiyasının təsirini və generatorun daxilindəki gərginlik itkisinin artmasını kompensasiya edir.

Dolaqları uyğun birləşən generatorlardan yük geniş həddə dəyişəndə, qidalanma gərginliyinin yüksək stabilliyi tələb edilən hallarda istifadə olunur.

Qarşılıqlı birləşdirilmiş generatorlar sərt enən xarici xarakteristikaya malikdir. Yük cərəyanı artanda qarşılıqlı maqnit seli maşını maqnitləşdirir və generatorun gərginliyi kəskin düşür. Şək. 20.12. Belə maşınlar qaynaq generatorları kimi istifadə olunur.

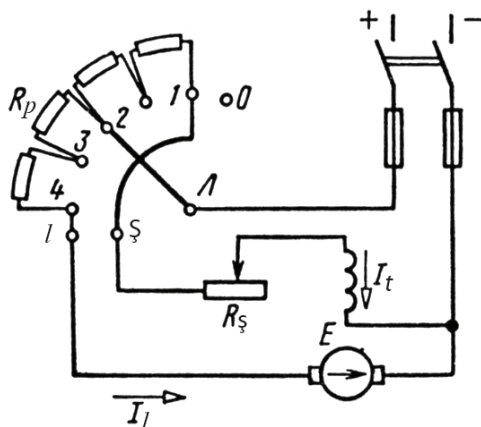
§ 20.5. Müstəqil və paralel təsirlənən sabit cərəyan mühərrikləri

Paralel təsirlənən mühərriklərdə həm təsirlənmə dolağı, həm də lövbər dolağı mənbəyin sabit gərginliyinə qoşulur. Təsirlənmə dolağı ayrı sabit cərəyan mənbəyindən də qidalana bilər (müstəqil). Hər iki halda təsirlənmə cərəyanı lövbər cərəyanından asılı olmur.

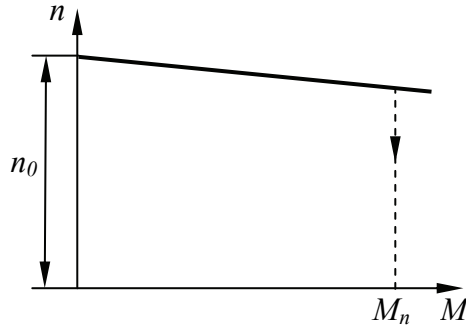
Sabit cərəyan mühərriklərinin işə salınmasına baxaq.

Mühərrik işə salınan anda onun sürəti $n=0$ olduğundan $E=0$ olur. Onda işəsalma anında mühərrikin lövbər dolağından keçən cərəyan: $I_l = U / R_l$ olar. R_l çox kiçik olduğundan, işəsalma cərəyanı çox yüksəlib, nominal cərəyandan $10 \div 20$ dəfə böyük olur. İşəsalma cərəyanının çox böyük olması müəyyən zərərli təsirlər yarada bilər. Çünki nə lövbər dolaqları, nə onun fırçaları və kollektor bu cərəyana hesablanmır. Ona görə yalnız gücü $0,6$ kVt-a qədər olan mühərrikləri birbaşa şəbəkəyə qoşmaqla işə salmaq mümkündür. Bu mühərriklərin lövbər dolağının müqaviməti böyük olduğundan işəsalma cərəyanı nominal cərəyandan $3 \div 5$ dəfə çox olur.

Orta güclü mühərrikləri işə salmaq üçün işəsalma cərəyanını azaltmaq məqsədilə işəsalma reostatından istifadə



Şəkil 20.13. Paralel təsirlənən s.c.mühərrikinin şəbəkəyə qoşulma sxemi



Şəkil 20.14. Müstəqil və paralel təsirlənən mühərriklərin mexaniki xarakteristikası

olunur. Mühərrik işə salınarkən işəsalma reostatı bütövlükdə dövrəyə qoşulur və işəsalma cərəyanını $I_{is} = U / R_l + R_{ismex}$ olur. Şək. 20.13.

Mühərrik sürətləndikcə reostat dövrədən çıxarılır və işəsalmanın sonunda $R_{is}=0$ olur. Paralel və qarışıq təsirlənən s.c mühərriklərini

işə salarkən tənzimləmə reostatını tamamilə dövrədən çıxarmaq lazımdır ($R_t=0$). Bu zaman maqnit seli maksimum qiymət alır və mühərrik kiçik cərəyanda lazımi fırladıcı momentə malik olur.

Güclü s.c mühərriklərini işə salmaq üçün işəsalma reostatının tətbiqi məqsədə uyğun deyil, çünki bu halda o çox böyük ölçüdə alınır. Belə mühərriklərdə gərginliyi azaltmaqla reostatsız işəsalma üsulundan istifadə edilir.

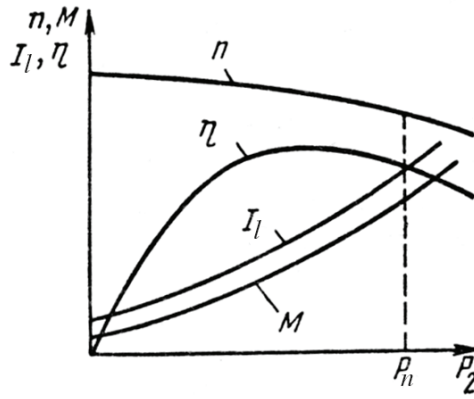
Mühərrikin valındakı momentin qiyməti dəyişdikdə onun sürəti də dəyişir. Sürətin momentdən asılılığını müəyyən edən xarakteristikaya $n=f(M)$ mexaniki xarakteristika deyilir. Şək.20.14.

Xarakteristikadan görünür ki, tormoz momenti geniş sərhəddə (0-dan nominala qədər) dəyişəndə mühərrikin fırlanma tezliyi nəzərə çarpmayacaq dərəcədə dəyişir. Yəni göstərilən mühərriklər xətti mexaniki xarakteristikaya malikdir.

$U=const$, $I_t=const$ olduqda fırlanma sürətinin (n), fırladıcı momentin (M), lövbər cərəyanının I_l və faydalı iş əmsalının (η) mühərrikin valındakı faydalı gücdən (P_2) asılılıqlarına mühərrikin işçi xarakteristikaları deyilir.

Sürətin mühərrikin valındakı gücdən asılılıq əyrisinə $n=f(P_2)$ sürət xarakteristikası deyilir. Şək. 20.15.

Faydalı güc artdıqca (P_2) fırlanma momenti artır, fırlanma tezliyi azalır. Fırlanma momentinə mütənasib olaraq lövbər cərəyanı da artır. Maşın elə layihə olunur ki, ən böyük f.i.ə-na nominaldan bir qədər az yüklənmədə çatmaq olsun.



Şəkil 20.15. Müstəqil və paralel təsirlənən s.c. mühərrikinin işçi xarakteristikaları

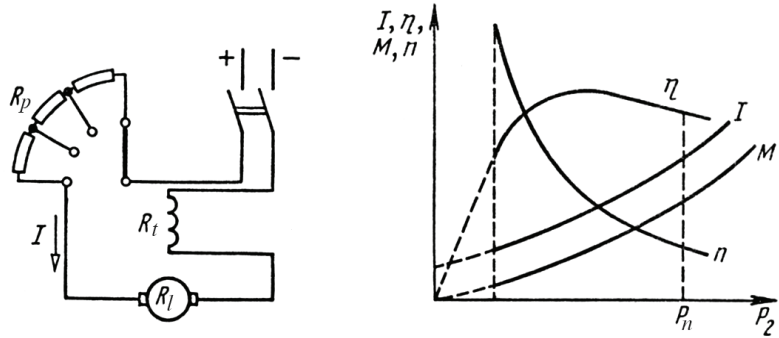
§ 20.6. Ardıcıl və qarışıq təsirlənən sabit cərəyan mühərrikləri

Ardıcıl təsirlənən mühərriklərdə təsirlənmə dolağı lövbər dolağı ilə ardıcıl birləşdiyindən maqnit seli cərəyanla mütənasibdir. Mühərrikin fırlanma momenti isə cərəyanın kvadratı ilə mütənasib olur. Şək. 20.16.

Ardıcıl təsirlənən mühərriklər üçün yüksüz işləmə rejimi qorxuludur, çünki onun valındakı fırlanma momenti 0-a qədər azalanda fırlanma tezliyi məhdudiyət olmadan yüksəlir və mühərrik dağılmağa gedir.

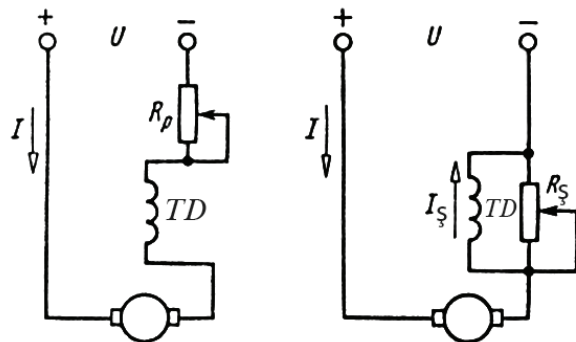
Ardıcıl təsirlənən mühərrikin fırlanma tezliyini ya verilən gərginliyi 20.17a, ya da təsirlənmə dolağını şuntlayaraq maqnit selini dəyişməklə tənzimləmək olar. Şək. 20.17 b. İkinci üsul səmərəlidir.

Fırlanma momentinin cərəyandan iki qat asılılığı nəticəsində bu mühərriklər böyük üstünlüyə malikdir.



Şəkil 20.16. Ardıcıl təsirlənən s.c.mühərriki: a) sxemi; b) işçi xarakteristikaları

Belə ki, o böyük iş buraxma momenti yarada bilir ki, bu da nəqliyyatda elektriki intiqalları üçün çox əhəmiyyətlidir (buna görə elektrik qatarı dayanacaqdan sonra cəld sürət toplaya bilər). Lakin fırlanma tezliyinin yükədən asılılığı kəskin təzahür etdiyindən və «dağılma» təhlükəsi belə mühərriklərin tətbiq sahələrini məhdudlaşdırır.



Şəkil 20.17. Ardıcıl təsirlənən mühərrikin fırlanma tezliyinin tənzimləmə sxemləri:

- a) verilən gərginliyin dəyişdirilməsi ilə;
- b) təsirlənmə dolağının şuntlanması ilə

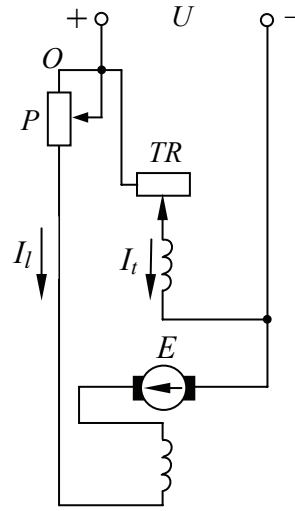
Qarışıq təsirlənən elektrik mühərrikləri göstərilən çatışmazlıqlardan məhrumdur. Bu mühərriklərin xarakteristikaları paralel və ardıcıl təsirlənən mühərriklərin xarakteristikaları arasında orta vəziyyət tutur. Şək. 20.18.

Qarışıq təsirlənən mühərrikin ardıcıl və paralel təsirlənmə dolaqları uyğun birləşəndə fırlanma momenti böyük alınır. Təsirlənmə dolaqları qarşılıqlı birləşəndə mühərrik sərt mexaniki xarakteristikaya malik olur. Yük artdıqca ardıcıl təsirlənmə dolağında maqnit seli artır və paralel dolağın maqnit selindən çıxılır, ümumi təsirlənmə seli azalır. Bu halda mühərrikin fırlanma tezliyi nəinki azalır, hətta arta bilər. Bu və digər halda paralel dolaqda maqnit selinin olması mühərrikin yükü olmayanda «dağılma» rejimini aradan qaldırır.

Qarışıq təsirlənən mühərrikin fırlanma tezliyinin tənzimlənməsi paralel dolaqdakı **tənzimləyici reostatla** həyata keçirilir.

Qarışıq təsirlənən mühərriklər dartzı və kran mühərriklərində, eləcə də kompressorların, nasosların və s. intiqalları üçün tətbiq olunur.

Sabit cərəyan maşınları səmərəlidir. Nominal yüklənmədə onların f.i.ə.-li 75% və daha böyük olur. Gücü 100 kVt olan maşınlarda f.i.f.-di 92,1%-ə çatır.



Şəkil 20.18. Qarışıq təsirlənən s.c.mühərrikinin elektrik sxemi

Şəkil 20.18.
təsirlənən s.c.
kinin elektr

FƏSİL XXI. ELEKTRİK ÖLÇMƏLƏRİ VƏ CİHAZLARI

§ 21.1. Elektrik ölçmələri haqqında ümumi məlumat

Ölçmə – ölçülən fiziki kəmiyyətin bir neçə qiymətinin həmin kəmiyyətin vahid qəbul olunmuş qiyməti ilə müqayisəsinin öyrənilməsi prosesinə deyilir. Başqa sözlə fiziki kəmiyyətin qiymətinin təcrübə yolu ilə təyin edilməsi ölçmə adlanır.

Fiziki kəmiyyət texniki vasitələrlə – ölçmə vasitələri ilə ölçülür. Ölçü cihazı ölçmə vasitəsi olub, ölçülən informasiya siqnallarını müşahidəçinin qəbul edə biləcəyi şəkə salır. Ölçü cihazları yüksək dəqiqliyə və etibarlılığa, ölçmə sisteminin avtomatlaşdırılması və göstərişlərin uzaq məsafələrə ötürülməsi və s. imkanlara malikdir. Bu səbəbdən onlardan əl və ya avtomatik sistemlərdə, texnoloji və sənaye qurğularının parametrlərinin verilmiş səviyyədə saxlanması proseslərində geniş istifadə edilir.

Ölçmə nəticələri ümumi qəbul olunmuş vahidlərlə ifadə edilir. Bunun üçün Beynəlxalq Vahidlər Sisteminin (BS) vahidlərindən istifadə edilir.

Fiziki kəmiyyətlərin vahidləri **əsas və törəmə vahidlərə** bölünür. Əsas vahidlər bir-birindən asılı olmur, törəmə vahidlər isə təcrübə yolu ilə kəşf olunmuş qanunlar və ya müxtəlif fiziki kəmiyyətləri əlaqələndirən tənliklər əsasında qəbul edilir.

Hazırda BS-ə daxil olan dörd əsas vahid var: metr(m) kiloqram (kq), saniyə (san) və amper (A). Əsas vahidlərdən istifadə edərək başqa kəmiyyətlərin törəmə vahidləri təyin edilir. Məsələn, $i = dQ/dt$ düsturundan $dQ=i \cdot dt$ olur; burada Q – elektrik yükü, t – zaman, i –cərəyan şiddətidir. Bilirik ki, cərəyan şiddəti A-lə, zaman saniyə ilə ölçülür. Onda elektrik yükünün vahidi A·san olar. Bu vahid Kulon (Kl) adlanır.

Elektrotexnika və elektronikada əsas və törəmə vahidlərlə yanaşı sabit çoxaldıcı ilə bağlı olan vahidlərdən də geniş istifadə edilir. Çoxaldıcı həm böyük, həm də kiçik ola bilər. Bu çoxaldıcılara xüsusi adlar verilir: 10^{-3} – milli (m), 10^{-6} – mikro (mk), 10^{-9} – nano (n), 10^{-12} – piko (P), 10^3 – kilo (k), 10^6 – meqa (M), 10^9 – heqa (H), 10^{12} – tera (T),

§ 21.2. Ölçmənin növləri və metodları

Nəticələrin alınması üsulundan asılı olaraq ölçmənin iki növü var: birbaşa və dolay.

Fiziki kəmiyyətin qiymətinin cihazın göstərişinə əsasən təyin edilməsinə birbaşa ölçmə deyilir.

Buna cərəyanın ampermetrlə, elektrik enerjisinin sayğacla, gərginliyin voltmetrlə və s. ölçülməsi daxildir.

Axtarılan kəmiyyətin qiymətinin, həmin kəmiyyətlə birbaşa ölçmədən alınan kəmiyyətlər arasındakı məlum asılılıqlardan təyin edilməsinə dolay ölçmə deyilir.

Buna elektrik müqavimətinin tapılmasını göstərmək olan: voltmetr və ampermetrin göstərişinə əsasən elektrik müqaviməti $R=U/I$ düsturu ilə təyin edilir.

Ölçmə vasitələri və ölçmə üsullarından asılı olaraq elektrik ölçmə metodları **bilavasitə qiymətləndirmə və müqayisə metodlarına bölünür.**

Bilavasitə qiymətləndirmə metodunda ölçülən kəmiyyətin qiyməti bilavasitə ölçü cihazlarının göstərişinə əsasən təyin edilir: Məsələn, gərginliyin voltmetrlə, cərəyanın ampermetrlə və s. ölçülməsi.

Müqayisə metodunda ölçülən kəmiyyət nümunəvi ölçü kimi götürülmüş kəmiyyətlə müqayisə edilir.

Müqayisə metoduna aşağıdakılar daxildir: a) Sıfır metodu; b) deferensial metod; q) əvəzetmə metodu.

Sıfır metodu zamanı ölçülən kəmiyyətin təsirinin nəticə effekti ölçü cihazının sıfır göstərişində alınır. Bu metoda kompensasiya və körpü metordları aiddir.

Deferensial (fərq metodu) metodunda ölçülən kəmiyyət ilə nümunəvi kəmiyyət arasındakı fərq ölçülür.

Əvəzetmə metodunda ölçülən kəmiyyət məlum nümunəvi kəmiyyətlə əvəz edilir. Bu zaman məlum kəmiyyətin dəyişməsi yolu ilə ölçülən kəmiyyətin qiymətinin nümunəvi ölçünün qiymətinə bərabər olmasına nail olunur.

§ 21.3. Ölçmə xətaları

Mütləq dəqiq cihazlar olmadığından hər bir ölçmə vasitəsi xətalara xarakterizə olunur. Xarakterinə görə xətalara mütləq, nisbi və gətirilmiş xətalara bölünür.

Mütləq xəta Δ – cihazın göstərişi A ilə ölçülən kəmiyyətin həqiqi qiyməti A_h arasındakı fərqə bərabərdir.

$$\Delta = A - A_h \quad (21.1)$$

Mütləq xətanın Δ cihazın göstərişinə (A) olan nisbətində nisbi xəta (δ) deyilir. Nisbi xəta faizlə ifadə edilir.

$$\delta = \pm \frac{\Delta}{A} \cdot 100\% \quad (21.2)$$

Ölçmə nəticəsi həqiqi qiymətdən artıq olarsa, nisbi xəta müsbət, əks halda mənfi olar.

Mütləq xətanın (Δ) ölçülən kəmiyyətin normallaşdırılmış qiymətinə (A_n) olan nisbətində gətirilmiş xəta (μ) deyilir.

$$\mu = \pm \frac{\Delta}{A_n} \cdot 100\% \quad (21.3)$$

Normallaşdırılmış qiymət verilmiş cihazın yuxarı ölçü həddinə bərabər qəbul edilir.

Yaranma şəraitinə görə ölçmə xətalari **əsas və əlavə olur**.

Əsas xəta – bu normal istismar şəraitində istifadə olunan ölçmə vasitəsinin xətasıdır (xarici mühitin temperaturu, nəmlik, atmosfer təzyiqi, qidalanma gərginliyi və tezliyi, xarici elektrik və maqnit sahələri və s.).

Əlavə xəta – bu ölçmə vasitəsinə təsir edən amillərdən birinin normal qiymətdən meyillənməsindən yaranan xətaadır.

İstismar xarakterinə görə xətalər **sistematik və təsadüfi olur**.

Sistematik xətalər – eyni bir kəmiyyətin təkrar ölçülməsində sabit qalan, ya da müəyyən qanunla dəyişən xətalardır.

Təsadüfi xətalər – eyni bu kəmiyyətin təkrar ölçülməsində təsadüfi olaraq dəyişən xətalardır. Onları təcrübə yolu ilə dəyişmək olmur.

Ölçmə vasitələrinin dəqiqlik səviyyəsi dəqiqlik sinfi ilə xarakterizə edilir. Ölçü cihazları üçün aşağıdakı dəqiqlik sinifləri var: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5 2,5; 4,0.

§ 21.4. Elektrik kəmiyyətlərinin ölçmə vasitələri

Ölçmə zamanı istifadə olunan və verilmiş metroloji xarakteristikalara malik olan texniki qurğulara elektrik kəmiyyətlərinin ölçmə vasitələri deyilir.

Ölçmə vasitələrinə daxildir: ölçü, ölçü çeviriciləri, ölçü cihazları və qurğuları.

Ölçü verilmiş fiziki kəmiyyətin qiymətini təcəssüm etdirir.

Elektrik kəmiyyətlərinin əsas ölçülərinə daxildir: e.h.q-si, elektrik müqaviməti, induktivlik, elektrik tutumu və s. **Yüksək sinifli ölçü nümunəvi adlanır.** Onlar işçi ölçüləri və ölçü cihazlarını yoxlamaq və dərəcələmək üçündür.

Elektrik çeviriciləri elektrik siqnalını ötürmək, sonradan çevirmək, izləmək və yadda saxlamaq üçün münasib formada siqnalın yaranması üçün ayrılmışdır.

Elektrik çeviricilərinə elektrik şuntları, əlavə müqavimətlər, gərginlik bölüşdürücüləri, qeyri-elektrik kəmiyyətlərini elektrik kəmiyyətlərinə çevirənlər (termorezistor, induktiv çevirici və s.) aiddir.

Elektrik ölçü cihazları müşahidəçinin bilavasitə qəbul edə biləcəyi formada siqnal yaradan ölçü vasitəsidir. Bunlara ampermetr, voltmetr, vattmetr və s. daxildir.

Elektrik ölçmə qurğuları – ölçmənin səmərəli təşkili üçün olan funksional və konstruktiv cəhətdən birləşmiş ölçmə vasitələri və köməkçi qurğular cəminə deyilir.

Bütün ölçü vasitələrini, xüsusən elektrik ölçü cihazlarını aşağıdakı əlamətlərə görə klassifikasiya etmək olar: alınan informasiyanın növünə, ölçmə metoduna, informasiyanın verilməsi və təqdim olunmasına görə.

Alınan informasiyanın növünə görə elektrik ölçü cihazları **elektrik** (cərəyan, gərginlik, güc və s.) və **qeyri-elektrik** (temperatur, təzyiq, nəmlik və s.) kəmiyyətlərini ölçmək üçün cihazlara; ölçmə üsuluna görə – **birbaşa qiymətləndirmə və müqayisə cihazlarına** (ölçmə körpüləri və kompensatorlar); informasiyanın təqdim olunmasına görə **analoq** və **diskret** (rəqəmli) cihazlarına bölünürlər.

Elektrik ölçü cihazlarının əsas xarakteristikalarına aiddir: nəmlik, göstərişlərin variasiyası (dəyişməsi), həssaslıq, sərf olunan güc, göstərişlərin qərarlaşma müddəti və etibarlılıq.

Variasiya ölçülən kəmiyyətin eyni bir qiymətində cihazın göstərişləri arasındakı ən böyük fərkdir.

Əqrəbin (göstəricinin) yerdəyişməsinin törəməsinin ($\Delta\alpha$), ölçülən kəmiyyətin törəməsinə (Δx) olan nisbətində cihazın həssaslığı deyilir.

$$S = \frac{\Delta\alpha}{\Delta x} \quad (21.4)$$

Əgər həssaslıq sabit olarsa (şkala bərabər ölçülüdür), onda həssaslıq $S=\alpha/x$ düsturu ilə təyin edilir.

Həssaslığın tərs qiymətinə $\left(C = \frac{1}{S}\right)$ cihazın sabiti deyilir (bölgünün qiyməti).

Sərf olunan güc – dövrəyə qoşulan cihazın sərf etdiyi gücdür.

Cihazda sərf olunan güc dövrənin iş rejimini dəyişdirir, nəticədə ölçmə xətalari artır. Ona görə də az güc sərfi cihazın üstünlüyüdür.

Göstərişlərin qərarlaşma müddəti – ölçü cihazını qoşandan əqrəbin qərarlaşmış qiymətdən 1,5%-dən çox fərqləndiyi vəziyyətinə qədərki aralıq zamandır. Hərəkət edən cihazlar üçün qərarlaşma vaxtı ən çox 4 saniyə olur.

Etibarlılıq – elektrik ölçü cihazlarının müəyyən iş şəraitində qoyulmuş müddət ərzində öz xarakteristikalarını saxlamaq qabiliyyətidir.

§ 21.5. Elektromexaniki ölçmə cihazları haqqında ümumi məlumat

Elektrik ölçmə cihazlarının böyük qrupunu elektromexaniki cihazlar təşkil edir. Elektromexaniki cihazlar üç əsas hissədən: ölçmə dövrəsi, ölçmə mexanizmi və göstərici qurğudan ibarətdir. Ölçmə dövrəsi ölçülən x kəmiyyətini ölçmə mexanizminə təsir edən başqa bir y kəmiyyətinə çevirir. Elektrik kəmiyyəti y (məs. cərəyan və ya gərginlik) birbaşa ölçmə mexanizminə təsir edir. (onu giriş kəmiyyəti adlandırırlar). Ölçmə mexanizmindəki elektrik enerjisi hərəkətli hissənin yerdəyişmə enerjisinə çevrilir. Bu bucaq yerdəyişməsi olduğundan cihazda təsir edən qüvvələr yox, momentlər nəzərdə tutulur. Ölçmə mexanizminə elektriki kəmiyyətləri mexanikiyə çevirən hissə kimi baxılır və elektromexaniki çevirici adlandırılır.

Hərəkətli hissəyə təsir edən fırlandırıcı moment M ölçülən kəmiyyətin funksiyasıdır: $M=f(x)$. Lakin cihazda fırlandırıcı momentin əksinə istiqamətlənmiş (yaylar və ya asqılar tərəfindən) əks təsir momenti $M_{\text{əks}}$ də yaranır. Ölçmə mexanizminin hərəkətli hissəsi müvazinət halı yaranana qədər dönür. Müvazinət halında fırladıcı və əks təsir momentləri bir-birinə bərabər olur.

$$M=M_{\text{əks}}$$

Əks təsir momentinin qiyməti hərəkətli hissənin dönmə bucağına mütənəsbdir.

Ölçülən kəmiyyətlərin qiymətləri analoq və ya rəqəmlərlə təsvir edilə bilər. Bu baxımdan ölçü cihazları analoq və rəqəm cihazlarına ayrılır. Analıq cihazları şkalaya və göstəriciyə (əqrəbə) malik olur. Şkala üzərində qısa xətlər şəklində qeydlər edilir. **Qonşu qeydlər arasındakı intervala bölgü deyilir. Şkalalar müntəzəm və qeyri-müntəzəm ola bilər.**

Şkalada göstərişlərin ən kiçik qiyməti başlanğıc, ən böyük qiyməti sonuncu adlanır. Başlanğıc və sonuncu qiymətlər arasındakı sahəyə cihazın göstəriş diapazonu deyilir.

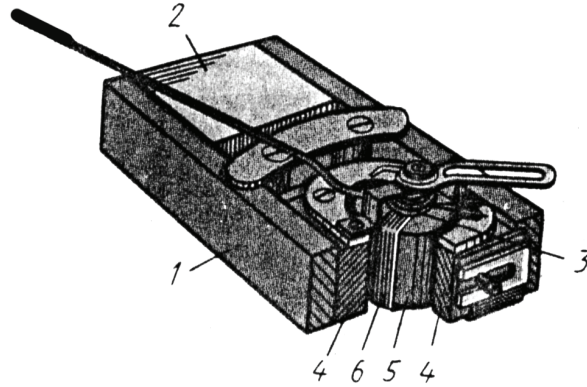
Ölçülən kəmiyyətin qiyməti əqrəbin köməyi ilə hesablanır. Əqrəb ölçmə mexanizminin hərəkətli hissəsinə möhkəm bərkidilir.

Elektromexaniki cihazlarda adi və güzgülü şkalalardan başqa işıq şüalı göstəricilər də geniş tətbiq olunur.

Fırlanma momentinin yaranmasının əsasını təşkil edən fiziki hadisələrdən asılı olaraq aşağıdakı ölçü mexanizmləri var: maqnetoelektrik, elektromaqnit, elektrodinamik, induksiya və elektrostatik.

§ 21.6 Maqnitoelektrik mexanizmlər və cihazlar

Maqnitoelektrik mexanizm sabit maqnitdən (2), maqnitkeçiricidən (1), qütb ücluqlarından (4) və silindir nüvədən (5) ibarətdir. Nüvə və qütb ücluqları arasındakı işçi aralıqda B induksiya muntəzəm radial maqnit sahəsi yaranır. İzolə edilmiş nazik məftildən hazırlanmış hərəkətli sarğac (6) işçi aralıqda yerləşdirilir və oxlara bərkidilir. Ölçülən cərəyanın daxil olduğu sarğacın dolaqlarının ucları spiral yaylarla (3) elektriki birləşdirilir. Cərəyan olanda dolağın aktiv l uzunluqlu sarğısına Amper qanununa əsasən F qüvvəsi təsir edir. Şək. 21.1.



Şəkil 21.1. Maqnitoelektrik ölçmə mexanizmi

$$F = BIwl, \quad (21.5)$$

burada w – dolağın sarğılar sayıdır.

Sarğacın hər iki aktiv tərəfinə təsir edən qüvvənin təsiri altında fırlanma momenti yaranır və sarğac dönmür.

$$M = 2F \frac{b}{2} = BlbwI = BS wI = \Phi wI = \psi I \quad (21.6)$$

burada, b və s sarğacın eni və sahəsidir. ($S = bl$); Φ – maqnit seli; ψ – cihazın ilişən maqnit selinə bərabər olan sabitidir.

Axırıncı ifadədən görünür ki, fırlanma momenti cərəyanla düz mütənasibdir. $M=M_{\text{oks}}$ ifadəsini nəzərə alsaq, dönmə bucağı α da cərəyanla düz mütənasib olar.

$$\alpha=S_1 \cdot I$$

burada, S_1 – cərəyanla ölçmə mexanizminin həssaslığıdır – sabit kəmiyyətdir.

Maqnitoelektrik ölçmə mexanizmlərindən ibarət olan maqnitoelektrik cihazları sabit cərəyanları, gərginlikləri, müqavimətləri və s. ölçmək üçün tətbiq edilir.

Maqnitoelektrik ampermetrlər və voltmetrlər yüksək dəqiqliyə, müntəzəm şkalaya malikdir.

Bu cihazların çatışmazlıqları: dəyişən cərəyan dövrlərində istifadə oluna bilmir, artıq yüklənməyə həssasdır və göstərişləri ətraf mühitin temperaturundan asılıdır.

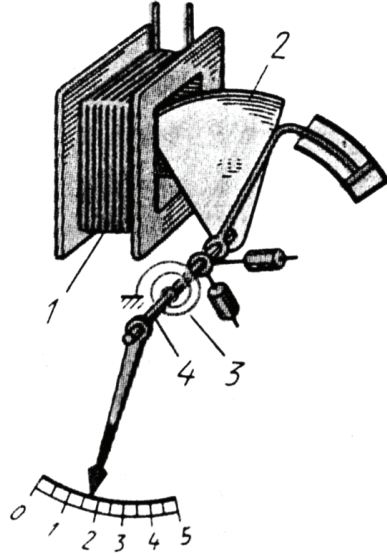
Maqnitoelektrik cihazları yüksək həssaslığa malikdir, ona görə də onlar körpü və kompensasiya dövrlərində sıfır indikatorları kimi geniş tətbiq edilir. Onlar həm də elektrik stansiyalarında və başqa energetik müəssisələrdə laboratoriya və şit cihazları kimi istifadə olunur.

§ 21.7. Elektromaqnit mexanizmlər və cihazlar

Elektromaqnit mexanizm hərəkətsiz sarğacdan (1) və oxa (4) bərkidilmiş yumşaq maqnit materialından hazırlanmış hərəkətli lövhədən (2) ibarətdir. Şək. 21.2. Sarğacdan cərəyan keçəndə, ferromaqnit lövhəni maqnitləndirən maqnit sahəsi yaranır və lövhə sarğacın daxilinə doğru çəkilir. Bu halda yaranan fırlanma momenti cərəyanın kvadratı ilə mütənasib olur: $M=c_1 I^2$. Əks təsir momenti $M_{\text{oks}}=c_2 \alpha$ spiral yayla (3) əmələ gəlir. $M=M_{\text{oks}}$ bərabərliyini nəzərə alsaq

$$\alpha=c I^2 \quad (21.7)$$

olur, burada c_1 və c_2 sabit əmsallardır.



Şəkil 21.2. Elektromağnit ölçmə mexanizmi

Elektromağnit cihazları elektromağnit ölçmə mexanizmləri əsasında qurulur, dəyişən və sabit cərəyan dövrlərində ampermetr, voltmetr, fazometr və s. kimi cihazlar ölçmə aparmaq üçün istifadə edilir. Onlar dəyişən cərəyan dövrlərində tətbiq olunan geniş yayılmış şit cihazlarından (quruluşunun sadəliyinə görə) biridir: cərəyan aparan hissəsi yoxdur, müəyyən dərəcədə artıq yüklənməyə dözür. Əsas dəqiqlik sinifləri: 0,2; 0,5; 1,0 və 1,5-dir. Bu cihazların çatışmazlıqları bunlardır: yüksək olmayan dəqiqlik, böyük xüsusi güc

sərfi, məhdud tezlik diapazonu, həssaslıq və xarici maqnit sahəsinin təsiri.

§ 21.8. Elektrodinamik mexanizmlər və cihazlar

Elektrodinamik mexanizm Şək. 21.3. hərəkətsiz (4) və hərəkətli (3) sarğaclardan, porşen (2) və kameradan (1) ibarətdir. Hərəkətli sarğac hərəkətsiz sarğacın iki seksiyası daxilində ox ətrafında dönə bilər. Sarğaclarda I_1 və I_2 cərəyanları olanda hərəkətli sarğacı (3) döndərməyə cəhd edən elektromağnit qarşılıqlı təsir qüvvələri əmələ gəlir. Nəticədə fırlanma momenti yaranır.

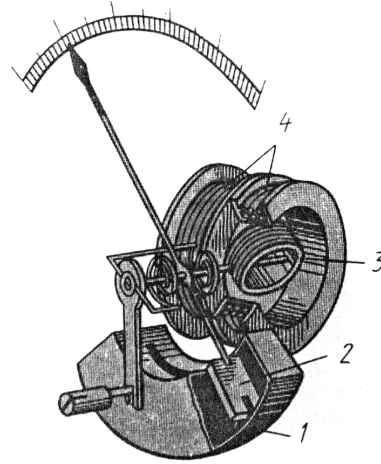
$$M = k I_1 I_2 \quad (21.8)$$

Sinusoidal cərəyanlarda $i_1=I_{1m} \sin\omega t$ və $i_2=I_{2m} \sin(\omega t-\varphi)$ elektrodinamik mexanizmin fırlanma momenti sarğaclardakı cərəyanların təsiredici qiymətlərinin və onlar arasındakı bucağın kosinusunun hasililə düz mütənəşib olur. Ölçü mexanizminin hərəkətli hissəsinin dönmə bucağı aşağıdakı düsturla ifadə edilir.

$$\alpha=k_1 I_1 I_2 \cos \varphi \quad (21.9).$$

Elektrodinamik cihazlar sabit və dəyişən cərəyan dövrlərində cərəyanı, gərginliyi və gücü ölçmək üçün istifadə edilir. Onlar yüksək dəqiqlikləri ilə fərqlənir, göstərişləri cərəyan və gərginlik ayrılmasının formasından asılı olmur. Əsas dəqiqlik sinifləri 0,1; 0,2 və 0,5-dir.

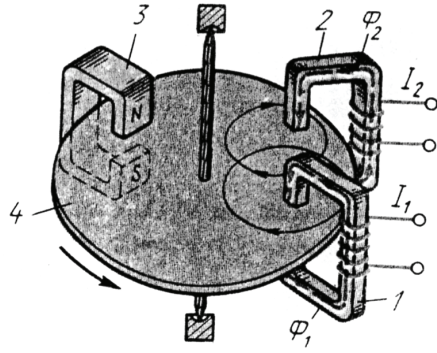
Bu cihazların çatışmazlıqlarına nisbətən aşağı həssaslığı, böyük xüsusi güc sərfi, xarici maqnit sahəsinin təsiri və məhdud tezlik diapazonu daxildir.



Şəkil 21.3. Elektrodinamik ölçü mexanizmi

§ 21.9. İnduksion mexanizmlər və cihazlar

İnduksion mexanizm dolaqları olan iki hərəkətsiz maqnit-keçiricidən (1) və (2) və oxa bərkidilmiş hərəkətli alüminium diskdən ibarətdir (4). Şək. 21.4. I_1 və I_2 sinusoidal cərəyanların yaratdığı və diske nüfuz edən Φ_1 və Φ_2 maqnit selləri fəzada qarışır. Bu şəraitdə diskdə qaçan maqnit sahəsi əmələ gəlir və onun təsiri altında disk fırlanır. Sabit maqnit (3) tormoz-



Şəkil 21.4. İnduksion ölçü mexanizmi

lama momenti yaratmaq üçün xidmət edir. Fırlanma momentinin orta qiyməti:

$$M = kwI_1I_2 \sin \varphi \quad (21.10)$$

İnduksion mexanizmlər fazasından olan ölçü cihazları birfazlı və üçfazlı dəyişən cərəyan enerji sayğacları kimi istifadə edilir. Sayğaclar 1,0; 2,0; 2,5 dəqiqlik sinfində buraxılır.

§ 21.10 Elektrostatik mexanizmlər və cihazlar

Elektrostatik mexanizm elektrodlar rolunu yerinə yetirən izolə edilmiş iki metal lövhədən ibarətdir. Şək. 21.5. Hərəkətsiz lövhəyə (1) bir işarəli potensial, hərəkətli lövhəyə (2) isə başqa işarəli potensial verilir. Hərəkətli lövhə göstərici ilə birlikdə oxa bərkidilir və elektrik sahə qüvvəsinin təsiri altında lövhələr arasında dönmür. Sabit gərginlikdə lövhələr arasındakı fırlanma momenti yüklə mütənasibdir ($q=CU$).

$$M = kq^2 = kC^2U^2 \quad (21.11)$$

Sinusoidal gərginlikdə ($u=U_m \sin \omega t$) mexanizmin hərəkətli hissəsi momentin orta qiymətinə reaksiya verir, yəni:

$$M = k_1U^2 \quad (21.12)$$

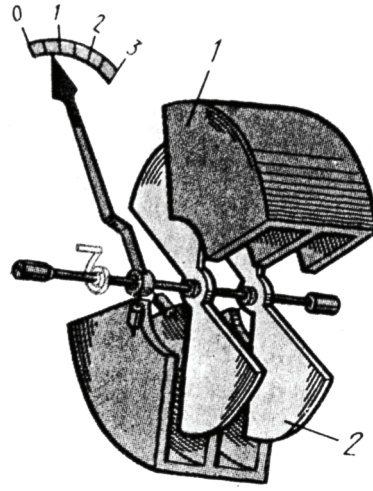
U – gərginliyin təsiredici qiymətidir.

Elektrostatik cihazlar sabit və dəyişən cərəyan voltmetrləri kimi istifadə edilir.

Elektrostatik voltmetrlər kiçik xüsusi enerji sərfinə, geniş tezlik diapazonuna, xarici maqnit sahələrinə və temperatur dəyişmələrinə həssas olmamasına, göstərişlərinin ölçülən gərginliyin formasından asılı olmamasına görə fərqlənir.

Bu cihazların çatışmazlığı nisbətən aşağı həssaslığıdır. Əsas dəqiqlik sinifləri: 0,5; 1,0 və 1,5-dir.

Elektrostatik cihazlar xarici maqnit sahələrindən elektrostatik ekranla izolə olunur.



Şəkil 21.5. Elektrostatik ölçü mexanizmi

§ 21.11. Elektron analoq cihazları

Elektron analoq cihazları müxtəlif elektron çeviriciləri və maqnitoelektrik cihazın birləşməsindən ibarət olur və müxtəlif kəmiyyətləri (gərginlik, tezlik, faza və s.) ölçmək üçün istifadə edilir. Elektromexaniki cihazlardan fərqli olaraq onlar böyük giriş müqavimətinə və yüksək həssaslığa malikdir.

Elektron voltmetrlərinin tərkibində yüksəkomlu rezistiv gərginlik bölüşdürücüsü, gərginlik gücləndiricisi, maqnitoelektrik ölçü cihazı olur. Giriş qurğusu voltmetrin yüksək giriş müqavimətinin və ölçmə həddinin dəyişməsinə təmin edir. Gücləndirici cihazın həssaslığını yüksəltməyə xidmət edir. O, amplitud xarakteristikasının stabilliyini və yüksək xəttliliyini təmin etməlidir. Əgər voltmetr dəyişən cərəyanı ölçmək üçün

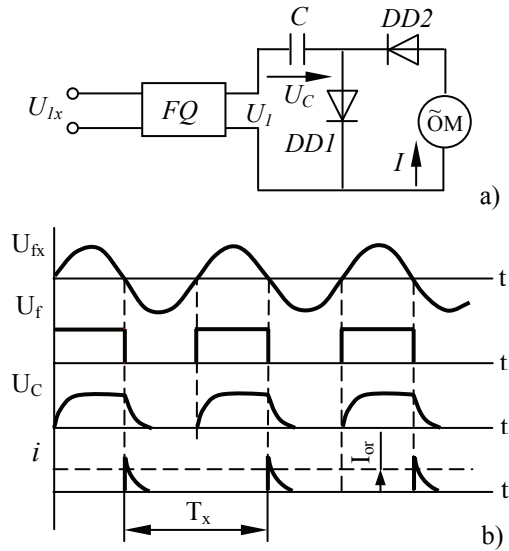
ayrılıbsa, onda sxemdə dəyişən gərginliyi sabitə çevirən çevirici nəzərə alınmalıdır.

Müasir elektron voltmetrlər 10-larla meqom səviyyəsində giriş müqavimətinə, 1 mV-dan 1000 V-a qədər ölçmə diapazonuna, 1–6% səviyyədə ölçmə xətasına malikdir.

Elektron tezlikölçəninin struktur sxemi şək. 21.6 verilir. Formallaşdırıcı qurğu FQ məchul tezlikli (f_x) giriş gərginliyini (U_{fx}) həmin tezlikli sabit amplitudlu düzbucaqlı impulslara (U_f) çevirir. İmpulslar olanda C kondensatoru DD1 diodu vasitəsilə dolur, impulsar olmadıqda kondensator DD2 diodu və maqnitoelektrik ölçü mexanizmi $\tilde{O}M$ vasitəsilə boşalır. Period müddətində $\tilde{O}M$ -i vasitəsilə axan boşalma cərəyanının orta qiyməti I_{or} elektrik yükünün miqdarı ilə mütənəşib olur,

$$I_{or} = qf_x = CU_f f_x \quad (21.3)$$

burada, U_f kondensator dolana qədərki gərginlikdir.

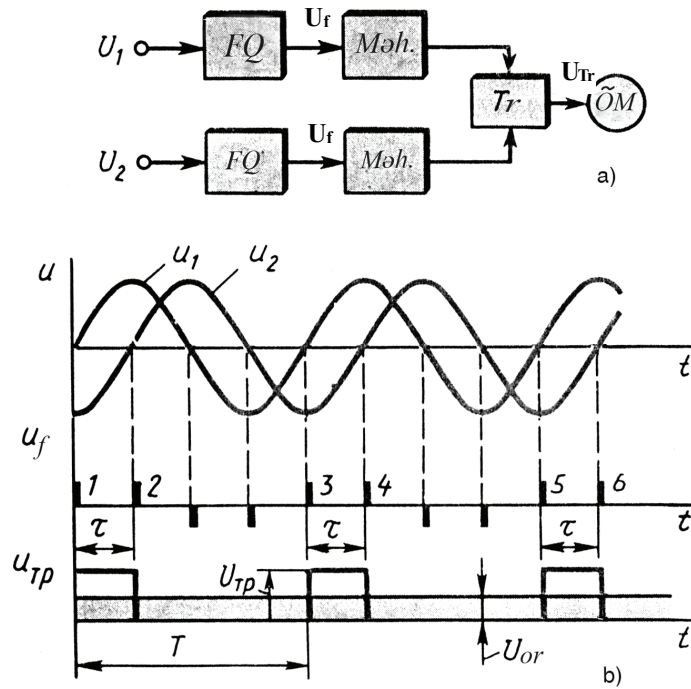


Şəkil 21.6. Elektron tezlikölçəninin struktur sxemi

Əgər C və U_f sabitdirsə, onda maqnitoelektrik cihazdan axan cərəyan ölçülən tezliklə xətti bağlı olar. Onda cihazın şkalasını tezliyin (f_x) ölçü vahidlərilə dərəcələmək olar.

Sənayedə tezliyin ölçü diapazonu sinusoidal siqnallar üçün $10\text{Hz} \div 500\text{kHz}$; düzbucaqlı impulslar üçün $10\text{Hz} \div 20\text{kHz}$ olan kondensator tezlikölçənləri buraxılır. Bu cihazların əsas ölçmə xətası $\pm 2\%$ -dir.

Elektron fazometrinin struktur sxemi şəkl. 21.7-də verilib.



Şəkil 21.7. Elektron fazometrinin struktur sxemi

Tədqiq olunan U_1 və U_2 gərginlikləri, formalaşdırıcı qurğu və mənfi işarəli siqnalları buraxmayan məhdudlaşdırıcı ($M\acute{o}h$)

qoşulmuş identik iki kanala daxil olur. FQ-nin çıxışında cəbhəsi u_1 və u_2 gərginliklərinin sıfırdan keçmə anlarına uyğun olan itiuclu U_f impulsları alınır. İmpulslar arasındakı τ intervaları, u_1 və u_2 arasındakı φ faza sürüşməsi ilə mütənasibdir. Əgər τ intervalına tədqiq olunan gərginliklərin period (T) bölüşdürücüsü kimi yanaşsaq $\varphi = \frac{\tau}{T} \cdot 360^\circ$ olar.

Məhdudlaşdırıcıların çıxışında alınan müsbət impulsları triqqlər (U_{Tr}) idarə edilir. u_2 çıxış gərginliyinin impulsları U_{Tr} sabit amplituda və φ -dən asılı olaraq müxtəlif τ -ya malikdir. Çıxış cihazı kimi maqnitoelektrik ölçmə mexanizmi (\tilde{M}) istifadə olunur. Bu cihaz daxil olan siqnalın orta qiymətini qeyd edir: $I_{or} = \frac{\tau}{T} \cdot \frac{U_{Tr}}{R_{ol}}$, burada R_{ol} – ölçmə mexanizminin müqavimətidir.

Nəticədə:

$$\varphi = \frac{360R_{ol}}{U_{Tr}} \cdot I_{or} \quad \text{alarıq.} \quad (21.14)$$

§ 21.12. Rəqəm ölçü cihazları

Rəqəm ölçü cihazlarının iş prinsipi fasiləsiz ölçülən siqnalın diskret formaya çevirilməsinə və rəqəmlərlə təsvir edilməsinə əsaslanır.

Rəqəm cihazları giriş qurğusundan, analoq-rəqəm çevricisindən və rəqəm hesablama qurğusundan ibarətdir. Giriş qurğusu böyük giriş müqavimətini təmin etmək, ölçmə həddini dəyişmək və giriş siqnalının polyarlığını təyin etmək üçün ayrılıb.

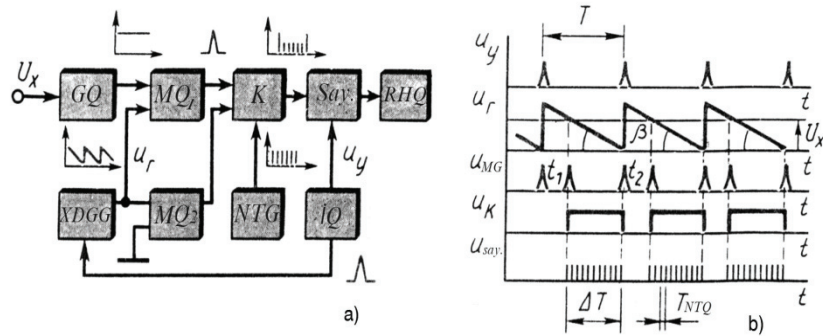
Analoq-rəqəm çevricisi diskret siqnalı ölçülən kəmiyyətə mütənasib olan elektrik kodu şəklində analoq kəmiyyətinə

çevirir. Ölçmə nəticəsi rəqəm hesablama qurğusunun tablosunda qeyd olunur.

Rəqəm qurğularının üstünlükləri geniş diapazonlu siqnallarda kiçik ölçmə xətasının $(0,1 \pm 0,01)\%$ olması; yüksək cəld təsir etmə; ölçü nəticələrinin rəqəm şəklində verilməsi; rəqəm çap edən qurğunun köməyi ilə ölçülən informasiyanın sənədli qeydiyyatının mümkünlüyündən ibarətdir.

Çatışmazlıqlarına sxem və konstruksiyasının mürəkkəbliyi, bahalı olması, analoq cihazlarına nəzərən az etibarlı olması aiddir.

Rəqəm cihazları içərisində rəqəm voltmetrləri böyük qrup təşkil edir. Şək. 21.8 Voltmetrlərdə ölçülən U_x gərginliyi, müddəti nümunəvi tezlik generatorunu (NTG) dolduran impulsların sayı ilə təyin edilən ΔT zaman intervalında çevrilir. Voltmetr yüksək giriş müqavimətini təmin edən giriş qurğusuna (GQ); xətti dəyişən gərginlik generatoruna (XDGG); sayğacı (Say) sıfırlaşdırıcı idarəedici qurğuya (İQ); U_x və U_r xətti gərginlik düşküləri bərabərliyində, eləcə də $U_x=0$ olanda siqnallar hasil edən MQ_1 və MQ_2 müqayisə qurğularına; ΔT müddətində $f_{NTG}=1/T_{NTG}$ tezlikli impulsları NTG-dən sayğaca buraxan K açarına; ölçü nəticələrini qeydə alan rəqəm hesablama qurğusuna (RHQ) malikdir.



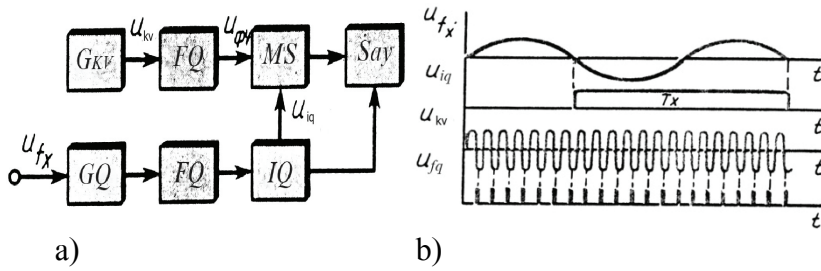
Şəkil 21.8. Rəqəm voltmetrinin strukturu

Rəqəm voltmetrində

$$U_x = \frac{N}{f_{\text{NTG}}} \text{tg}\beta = KN \quad \text{və ya} \quad N = \frac{1}{K} U_x \quad (21.15)$$

Beləliklə, sayğacda impulsların miqdarını qeyd edən rəqəm hesablama qurğusunun göstərişi U_x ölçülən gərginliyin qiymətinə mütənasib olacaq.

Rəqəm tezlikölçəninin struktur sxemi şəkl. 21.9 göstərilir.

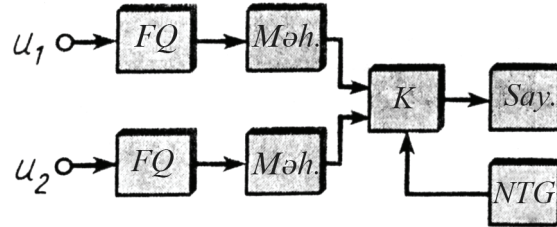


Şəkil 21.9. Rəqəm tezlikölçəninin struktur sxemi

Giriş qurğusu (GQ) tezlikölçənin f_x tezliyini ölçülən signal mənbəyinə uyğunlaşdırmaq və formalaşdırıcı qurğunun (FQ) normal işləməsindən ötrü, gərginliyi lazım olan qiymətə qədər gücləndirmək və ya zəiflətmək üçün ayrılıb. Elektron açarı olan müvəqqəti selektor (MS) kvart stabilizasiyalı G_{KV} generatordan U_{KV} gərginliyinin tezliyinə uyğun olan impulsları elektron sayğacına buraxır. Müvəqqəti selektorun idarə etdiyi U_{iq} signalı idarə qurğusunda (IQ) formalaşır. O, həm də impulsların (T_x) sayma zamanı bitəndə sayğacı sıfır vəziyyətinə atır. Əgər T_x müddətində N ədəd tezlik impulsları sayılırsa, ölçülən tezliyin orta qiyməti belə təyin edilir.

$$f_x = 1/T_x = f_{KV}/N \quad (21.16)$$

Rəqəm fazometrlərində FQ-nun və məhdudlaşdırıcının funksional vəzifəsi elektron fazometrlərində olduğu kimidir. Şək. 21.10. K açarı ölçülən faza sürüşməsinə mütənasib olan τ zaman müddətində açılır. Sayğac vasitəsilə nümunəvi tezlik generatorunda NTG qeyd olunan impulsların sayı $N = \tau/T_0$ olur, burada $T_0 = 1/f_0$ impulsların periodudur.



Şəkil 21.10. Rəqəm fazometrinin struktur sxemi

Nəzərə alsaq ki, $\varphi = \frac{\tau}{T} 360^\circ$ alarıq:

$$\varphi = 2\pi f T_0 N = 2\pi \frac{T_0}{T} N \quad (21.17)$$

§ 21.13. Cərəyan və gərginliyin ölçülməsi Sabit və dəyişən cərəyanın ölçülməsi

Elektrik dövrəsinin hər hansı bir elementində cərəyanı (I) ölçmək üçün onunla ardıcıl olaraq cərəyanı ölçən ampermetr qoşulur.

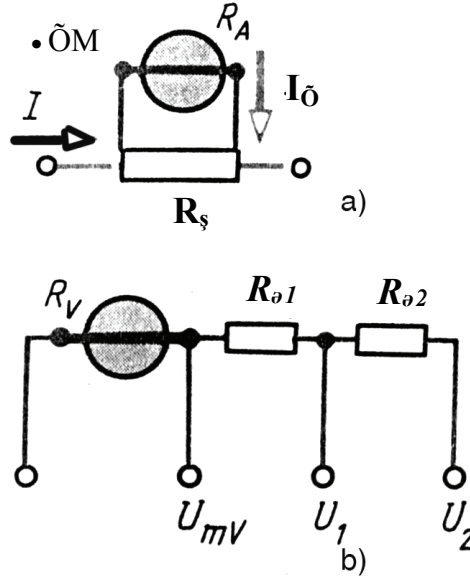
Kiçik sabit cərəyanları (10^{-3} A-dən az) ölçəndə birbaşa və dolayı ölçmə üsullarından istifadə edilir. Birbaşa ölçmədə cərəyan bilavasitə qiymətləndirmə cihazları – maqnitoelektrik milliampmetrlərlə ölçülür.

Daha dəqiq və nisbətən mürəkkəb üsul olan dolayı ölçmədə ölçmə dövrəsinə məlum müqavimətli rezistor (R_0) qo-

şulur və ondakı gərginlik düşgüsü (U_0) kompensasiya üsulu ilə ölçülür. Axtarılan cərəyan $I=U_0/R_0$ düsturu ilə (dövrə hissəsi üçün OM qanunu) tapılır.

$10^{-3} - 10^2$ A sabit cərəyanları bilavasitə qiymətləndirmə cihazları ilə maqnitoelektrik, elektromaqnit, elektrodinamik sistemli milliampmetr və ampmetrlərlə, eləcə də elektron analoq və rəqəm cihazları ilə ölçürlər.

Böyük sabit cərəyanları (100 A-dən yuxarı) ölçmək üçün adətən maqnitoelektrik sistemli ampmetrlərdən istifadə edilir. Bu halda ölçmə mexanizminə () paralel olaraq şuntlar birləşdirilir. Şək. 21.11a.



Şəkil 21.11. Şuntun (a) və əlavə müqavimətin (b) qoşulma sxemləri (struktur sxemi)

Şuntun müqaviməti $R_s = R_{ol} \cdot (n - 1)$ münasibətindən seçilir, burada R_{ol} – ölçmə mexanizminin dolağının müqavimətidir;

$$n = \frac{I}{I_{ol}} - \text{şuntlama əmsalıdır. } I - \text{ölçülən cərəyan, } I_{ol} - \overline{OM} - \text{nə}$$

buraxıla bilən cərəyandır.

Dəyişən cərəyanları ölçəndə cərəyanın hansı qiymətinin ölçüldüyünü bilmək vacibdir: amplitud və ya orta. 100 mka-ə qədər olan dəyişən cərəyanları adətən rəqəm mikroampermetrləri ilə ölçürlər. 100 mka-dən böyük cərəyanlar düzləndirici mikroampermetrlərlə ölçülür. 10mA–100A diapazondakı dəyişən cərəyanları ölçmək üçün 10 KHz-ə qədər tezlik diapazonunda işləyən elektromaqnit, elektrodinamik və düzləndirici cihazlardan və 100 mHz-ə qədər tezliklərdə işləyən termodinamik cihazlardan istifadə edilir. Böyük dəyişən cərəyanları ölçü transformatorlarından istifadə edərək ölçürlər.

Dəyişən cərəyanlar dolayısı üsulla da ölçülə bilər. Bu halda ölçmə dövrəsinə ardıcıl olaraq nümunəvi rezistor qoşulur və voltmetrlə ondakı gərginlik düşküsi ölçülür. Sonra Om qanununa əsasən cərəyanlar təyin edilir.

§ 21.14. Sabit və dəyişən gərginliyin ölçülməsi

E.h.q.-ni və dövrənin hər hansı hissəsindəki gərginliyi ölçəndə Voltmetr bu hissəyə paralel qoşulur.

1–1000 mkV diapazonunda sabit gərginliyi ölçəndə rəqəm mikrovoltmetrləri və sabit cərəyan kompensatorlarından istifadə edilir. 10 mV–100 V-a qədər gərginliklərin qiyməti maqni-toelektrik, elektromaqnit, elektrodinamik sistemli cihazlarla, elektron analog və əlavə müqavimətdən istifadə etməklə rəqəm voltmetrləri ilə ölçülür.

Əlavə müqavimətli $R_{\text{öl}}$ voltmetrin qoşulma sxemi şəkl. 21.11(b) verilir. Onların müqaviməti $R_{\text{öl } 1,2} = R_V(m_{1,2} - 1)$ ifadəsindən təyin edilir, burada R_V – voltmetrin daxili müqaviməti; $m_{1,2} = U_{12} / U_{mv}$ – miqyas əmsalidir.

Bir neçə kilovolt sabit gərginlikləri ölçmək üçün əsasən elektrostatik voltmetrlər tətbiq edilir.

Kiçik dəyişən gərginliklər (1 volta qədər) düzləndirici sistem cihazlarının köməyi ilə, analog və rəqəm elektron voltmetrləri ilə ölçülür.

10KHz-ə qədər tezlik-diapozonlu (vahiddən 100 volta qədər) dəyişən gərginlikləri ölçmək üçün elektromaqnit, elektrodinamik və düzləndirici sistemli cihazlarından istifadə edilir. 10mHz-ə qədər tezlik diapazonunda gərginlik elektrostatik və termoelektrik sistemli cihazlarla, rəqəm voltmetrləri ilə ölçülür.

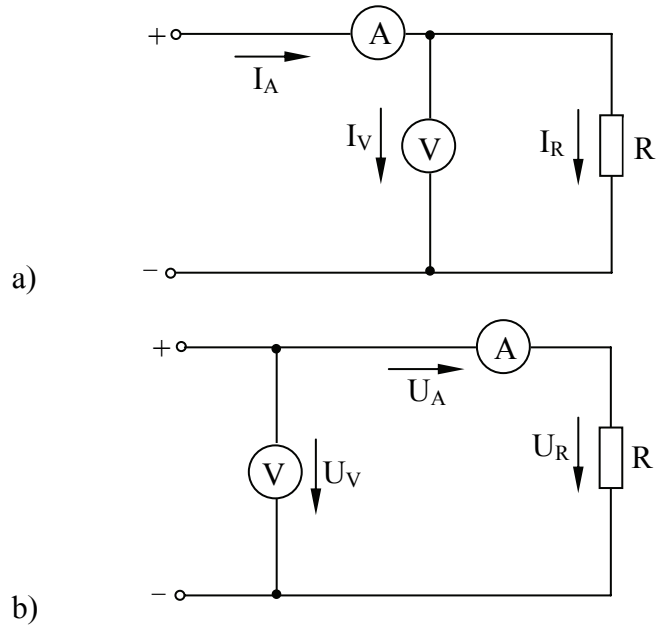
Böyük qiymətli dəyişən gərginlikləri (kilovoltndan yuxarı) də həmin cihazlarla ölçürlər, lakin burada ölçü gərginlik transformatorlarından istifadə edilir.

§ 21.15. Elektrik gücünün və enerjinin ölçülməsi

Elektrik dövrlərində gücü birbaşa və dolay üsulla ölçürlər. Birbaşa ölçmədə vatmetrlərdən, dolay üsulda ampermetr və voltmetrdən istifadə olunur.

Sabit cərəyan dövrlərində gücün ölçülməsi

Sabit cərəyan dövrlərində gücü ölçmək üçün vatmetrlər nisbətən az tətbiq edilir, əsasən ampermetr–voltmetr üsulundan istifadə edilir, Şəkl. 21.12 ampermetrlə cərəyanın (I) və voltmetrlə gərginliyin (U) qiyməti təyin edilir, sonra $P=UI$ düsturu ilə güc hesablanır.



Şəkil 21.12. Sabit cərəyan dövrlərində gücün ampermetr və voltmetr üsulu ilə ölçülməsi sxemləri

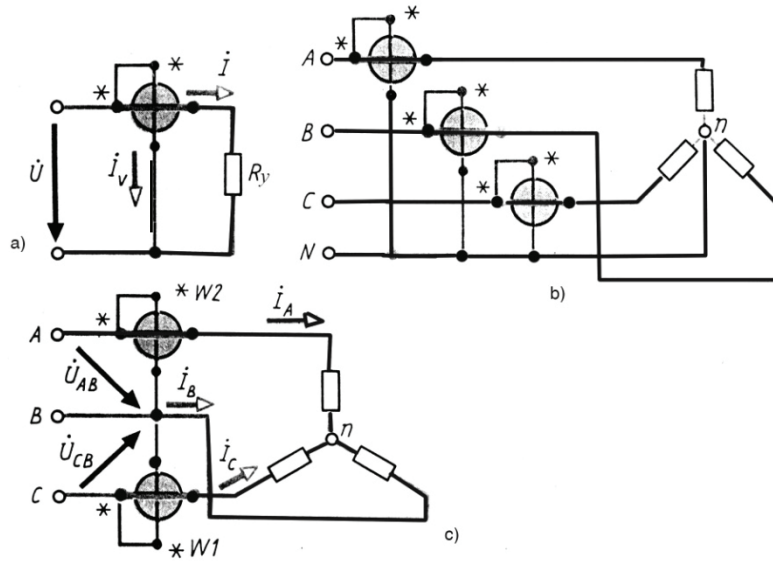
Cihazların daxili müqavimətlərinin təsiri nəticəsində yaranan xətalara azaltmaq üçün şəkl.21.12a-dakı sxemə kiçik R müqaviməti, şəkl. 21.12b-dəki sxemə böyük R müqaviməti qoşulur.

Birfazlı dəyişən cərəyan dövrlərində gücün ölçülməsi

İşlədicinin tam gücü S ampermetr–voltmetr üsulu ilə ölçülür: $S=UI$, burada U və I gərginlik və cərəyanın təsiredici qiymətləridir.

İşlədicilərin aktiv $P=UI \cos \varphi$ və reaktiv $Q=UI \sin \varphi$ gücləri vatmetrlərin köməyi ilə ölçülür.

Birfazlı dövrələrdə aktiv gücün vatmetrlə ölçülməsi şəkl. 21.13a verilmiş sxem üzrə aparılır. Vatmetrin cərəyan dolağı işlədici R_y ilə ardıcıl, gərginlik dolağı isə işlədici ilə paralel qoşulur.



Şəkil 21.13. Birfazlı və üçfazlı dövrələrdə gücün ölçülməsi sxemləri

Birfazlı dövrələrdə reaktiv gücü hər hansı bir tədqiqat aparanda laboratoriyalarda reaktiv vatmetrlərlə xüsusi sxem üzrə ölçürlər. Reaktiv vatmetrin adi vatmetrdən fərqi onun paralel dövrəsinə əlavə induktiv və ya tutum müqavimətinin qoşulmasıdır.

Üçfazlı dövrələrdə gücün ölçülməsi

Simmetrik yüklənmiş üçfazlı dövrələrdə işlədiciyə tam gücünü ampermetr-voltmetr üsulu ilə və ya bir fazaya vattmetr qoşmaqla ölçmək olur. Bu halda güc aşağıdakı düsturla hesablanır.

$$S = \sqrt{3}UI$$

burada, U və I xətti gərginlik və cərəyanın təsiredici qiymətləridir.

İşlədicilərin qeyri-simmetrik yüklənməsində tam güc $S=S_A+S_B+S_C$ olur, burada S_A , S_B , S_C fazalardakı işlədicilərin tam gücləridir.

Dördməftilli üçfazlı dövrlərdə aktiv gücü ölçəndə dövrdə üç vatmetr (hər fazaya) qoşulur. Şək. 21.13b. Bu zaman işlədicilərin ümumi aktiv gücü vatmetrlərin göstərişlərinin cəminə bərabər olur:

$$P=P_A+P_B+P_C$$

Üçfazlı üçməftilli dövrlərdə aktiv gücün iki vatmetr üsulu ilə ölçülməsi (şək. 21.13 c) geniş tətbiq edilir. Vatmetrlərin göstərişlərinin cəmi belə ifadə olunur.

$$P = U_{AB} I_A \cos(U_{AB} I_A) + U_{CB} I_C \cos(U_{CB} I_C) = \alpha_{W1} + \alpha_{W2}$$

Simmetrik yüklənmədə bu cəm

$$P = \sqrt{3}UI \cos \varphi \quad \text{olur.}$$

Reaktiv güc də iki vatmetr üsulu ilə ölçülə bilər. Bu halda reaktiv güc cihazların göstərişlərinin cəbri fərqinə bərabərdir.

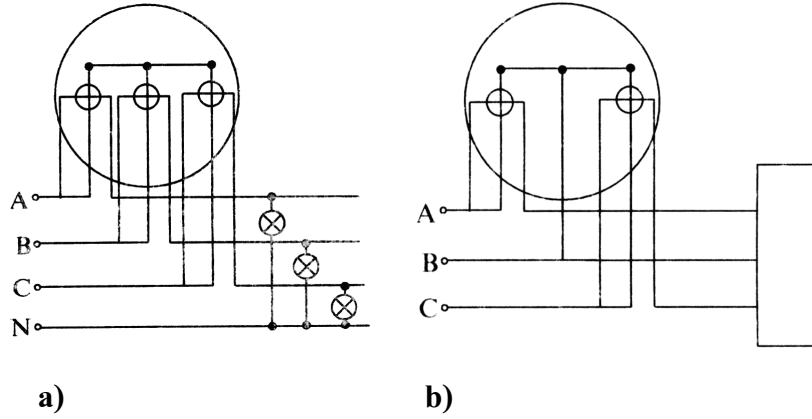
$$UI \sin \varphi = \frac{Q}{\sqrt{3}}$$

$$Q = \sqrt{3} (\alpha_{W1} - \alpha_{W2}) \quad (21.18)$$

Aktiv və reaktiv enerjinin ölçülməsi

Birfazlı dəyişən cərəyan dövrlərində aktiv enerji induksion sayğaclarla ölçülür. Bu sayğacların qoşulması sxemi vatmetrlərdə olduğu kimidir. Aktiv enerji Vt -san, və ya KVt -saatla ölçülür.

Üçfazlı dövrlərdə aktiv enerjini ölçmək üçün üçelementli və ikielementli sayğaclardan istifadə edilir. Şək. 21.14 a,b.



Şəkil 21.14. Üçelementli (a) və ikielementli sayğacın qoşulması sxemi

Birfazlı dövrlərdə reaktiv enerji hesablamalarla təyin edilir. Üçfazlı dövrlərdə reaktiv enerji üçfazlı üçelementli reaktiv sayğacın köməyi ilə qeydə alınır.

§ 21.16. Tezliyin və faza sürüşməsinin ölçülməsi

Tezliyin ölçülməsi

Tezliyi ölçmək üçün birbaşa və dolaylı ölçmə üsullarından istifadə edilir.

Aşağı tezlik (2kHz-ə qədər) sahələrində tezliyi ölçmək üçün elektromaqnit və elektrodinamik sistemli elektromexaniki tezlik ölçənlər tətbiq edilir. Yüksək tezlikləri ölçmək üçün analoq və rəqəm elektron tezlikölçənlərdən istifadə olunur.

Tezlik çox vaxt osilloqrafla, Lissaj fiquru üzrə ölçülür. Bunun üçün ikişüalı osilloqrafın girişlərindən birinə ölçülən f_x tezliyinin gərginliyi verilir, digər girişinə isə məlum f_0 tezliyi-

nin gərginliyi verilir. İki qarşılıqlı perpendikulyar və harmonik qanunla dəyişən f_x və f_0 tezliklərinə uyğun olan gərginliklərin təsiri altında elektron şuası ekranda bəzi mürəkkəb əyrilər cızır. Əgər tezliklərin nisbəti tam ədədlə ifadə olunarsa, əyri hərəkətsiz alınar.

Tezliklərin nisbətini təyin etmək üçün müşahidə olunan fiqurda şaquli və üfüqi xətləri kəsən nöqtələrin sayını hesablamaq lazımdır.

Faza sürüşməsinin ölçülməsi:

Müxtəlif növlü dördqütblülərin tətbiqində, verilmiş tezlik diapazonunda iki gərginlik arasındakı faza sürüşməsi bilavasitə qiymətləndirmə və müqayisə üsulları ilə təyin edilir. Faza sürüşməsi radian və ya dərəcələrlə ifadə olunur.

Faza sürüşməsinin ölçmək üçün elektrodinamik (alçaq tezliklərdə), elektron, rəqəm fazometrləri və osilloqraf (yüksək tezliklərdə) daha geniş yayılmışdır. Elektron-şüa osilloqrafının köməyi ilə iki gərginlik arasındakı faza sürüşməsinin qiyməti ellepis metodu ilə təyin edilə bilər.

§ 21.17. Elektrik dövrəsi elementlərinin parametrlərinin ölçülməsi

Elektrik dövrəsinin parametrlərinə R – aktiv müqavimət, L – induktivlik, C – tutum, M – qarşılıqlı induktivlik və s. daxildir. Bunlar birbaşa və dolaylı üsulla ölçülür.

Elektrik müqavimətinin ölçülməsi

Elektrotexniki qurğuların elektrik müqavimətini şərti olaraq kiçik (1 Om -a qədər), orta ($1 \div 10^5 \text{ Om}$) və böyük (10^5 -dən böyük) müqavimətlərinə bölmək olar. Kiçik müqavimətləri ölçmək üçün ampermetr-voltmetr və körpü metodlarından istifadə

edilir. Orta müqavimətləri ölçmək üçün ampermetr-voltmetr, bilavasitə qiymətləndirmə (ommetrlər), körpü (birqat körpülər) və kompensasiya üsulları tətbiq olunur. Böyük müqavimətləri ölçmək üçün meqometrlə realizə olunan bilavasitə qiymətləndirmə metodu tətbiq edilir.

Ampermetr-voltmetr metodu kiçik və orta müqavimətləri ölçmək üçün tətbiq olunan ən sadə üsullardan biridir.

Şək. 21.12a-da göstərilən sxem kiçik müqavimətləri ölçmək üçün təklif olunur, çünki bu halda $I_A \approx I_R$ olduğundan R-lə müqayisədə voltmetrin müqaviməti çox böyükdür və $I_V \ll I_R$ bərabərliyi doğru alınır. Şək. 21.12 b-dəki sxemi yaxşı olar ki, orta müqavimətləri ölçəndə tətbiq edilsin, çünki bu halda $U_V \approx U_R$ olur və ampermetr müqavimətinə nisbətən çox kiçik daxili müqavimətə malik olur. Ölçülən müqavimət

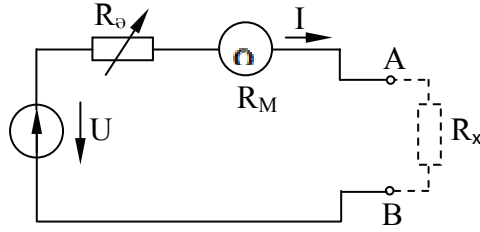
$$R = U_V / I_A$$

düsturundan tapılır.

Bu metodun çatışmazlığı ölçü cihazlarının daxili müqavimətləri üzündən xətalara yaranmasından ibarətdir.

Bilavasitə qiymətləndirmə üsulu ommetrin köməyi ilə realizə edilir. Şək. 21.15, Ommetr şkalası Om-la dərəcələnməmiş maqnitoelektrik ölçü mexanizmindən \overline{OM} , gərginlik qidalanma mənbəyindən, əlavə rezistordan (R_θ) təşkil olunur. Cihazın ölçülən müqavimətə R_x birləşdirilən A və B çıxış sıxacları var. Dövrədə cərəyan $I = U / R_\theta + R_m + R_x$, burada R_θ , R_m və R_x müvafiq olaraq əlavə rezistorun, ölçü cihazının və ölçülən obyektin müqavimətləridir. Cihazın əqrəbinin dönmə bucağı aşağıdakı düsturla təyin edilir:

$$\alpha = S_1 I = S_1 U \frac{1}{R_\theta + R_m + R_x}$$



Şəkil 21.15. Müqavimətin ommetrlə ölçülməsi sxemi

A və B sıxaqları açıq olanda ($R_x = \infty$) dönmə bucağı $\alpha = 0$, A və B sıxaqları qısa qapananda ($R_x = 0$) dönmə bucağı maksimum olur: Ommetrin şkalası əksinədir, sıfır göstərişi sağda yerləşir.

Ommetrlər praktikada əlverişlidir, lakin şkalalarının qeyri-bərabərliyi və qidalanma mənbəyinin qeyri-stabilliyinə görə böyük xətalara malikdirlər. Xətaları aradan qaldırmaq üçün ommetrlərdə loqometrik ölçü mexanizmlərindən istifadə edilir. Loqometrik mexanizmlər bazasında qurulmuş cihazlara meqometrlər deyilir. Bu cihazlarda qidalanma mənbəyi kimi 500 və 1000 V gərginlikli əllə hərəkətə gətirilən balaca generatorndan istifadə edilir. O, əsasən böyük müqavimətləri ölçməyə xidmət edir. 10^9 Om-dan böyük müqavimətləri ölçmək üçün elektron cihazlarından Teraommetrlərdən istifadə olunur.

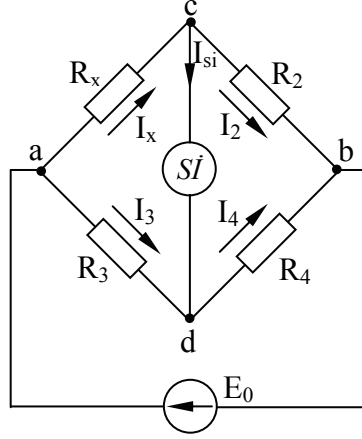
Müqavimətləri ölçmək üçün körpü üsulundan da geniş istifadə edilir.

Birqat (dördçiyinli) körpü (şək. 21.16) dörd çiyindən və iki diaqonaldan ibarətdir. Körpünün bir çiyinə ölçülən R_x müqaviməti qoşulur, qalan üç çiyinə R_2 , R_3 və R_4 müqavimətli rezistorlar birləşdirilir. Körpünün bir diaqonalına (a və b sıxaqları arasında) E_0 e.h.q-li qidalanma mənbəyi, digər diaqonalına (c və d sıxaqları arasında) körpünün bərabərlik göstəricisi funksiyasını yerinə yetirən sıfır indikatoru (S.İ.) qoşulur. c və d düyünlərinin potensialları bərabər olarsa, indikatordakı cərəyan

$I_{si}=0$ olur və körpü tarazlıq vəziyyətində yerləşir. Bu zaman aşağıdakı münasibətlər düzgündür: $I_1=I_2$ $I_3=I_4$; $R_x I_1=R_3 I_3$ və $R_2 I_2=R_4 I_4$. Sonuncu iki ifadəni hədbəhəd bölsək alarıq:

$$R_x/R_2=R_3/R_4 \text{ və ya } R_x R_4=R_2 R_3 \quad (21.19)$$

Bu körpünün bərabərlik tənliyidir.



Şəkil. 21.16. Müqavimətin körpü üsulu ilə ölçülməsi sxemi

Sonuncu ifadədən

$$R_x = R_2 \frac{R_3}{R_4} \quad (21.21)$$

alınır. Burada R_2 çiyini müqayisə çiyini, R_3 və R_4 çiyinləri isə nisbət çiyinləri adlanır.

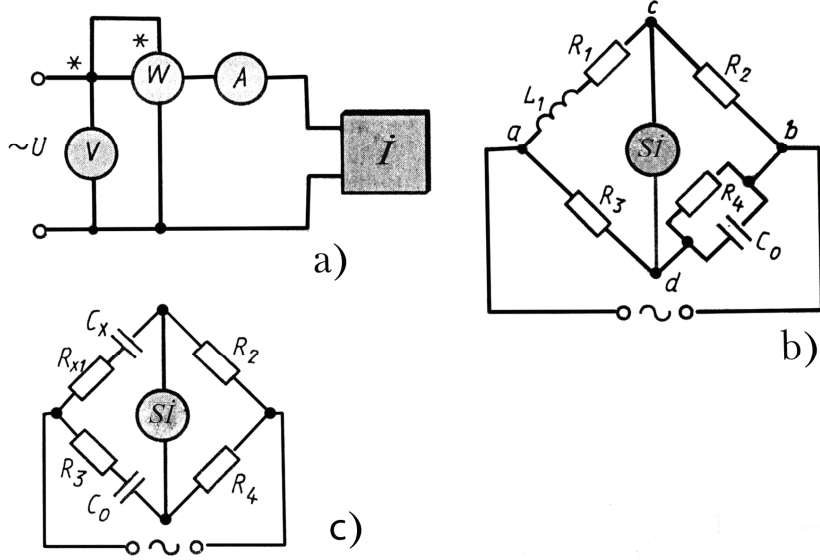
Bir qat körpü ancaq orta müqavimətləri ölçmək üçün işlədilir.

Müqavimətləri yüksək dəqiqliklə ölçmək üçün kompensasiya metodundan istifadə edilir. Sabit cərəyan kompensatoru qoşulmuş ölçü dövrəsi iki pozisiya çeviricilərindən nümunəvi rezistor (R_0), qidalanma mənbəyi E və ölçülən R_x müqavimətindən ibarət olur.

İnduktivlik və tutumun ölçülməsi

İnduktivlik L və tutum C əsasən dolay üsulla ampermetr, voltmetr və vatmetrin köməyi ilə ölçülür. Daha dəqiq nəticə almaq üçün körpü üsulu da tətbiq olunur.

Ampermetr-voltmetr-vatmetr metodu passiv ikiqütblünün parametrlərinin təyin edilməsində ən əlverişli üsuldür. Şək. 21.17 (a).



Şəkil 21.17. İnduktivlik və tutumun ölçülməsi sxemləri

Cərəyanın, gərginliyin və gücün təsiredici qiymətlərinin ölçü nəticələrinə əsasən aşağıdakı düsturlarla tam aktiv və reaktiv müqavimətlər təyin edilir.

$$Z=U/I; R=P/I^2; X = \sqrt{Z^2 - R^2}$$

Əgər ölçülən kəmiyyət induktivlikdirsə, onda induktivlik $L_X=X_L/\omega$, əgər tutumdursa $C_X=1/\omega X_2$ kimi tapılır.

İnduktivlik və tutumu ölçmək üçün körpü üsulu daha geniş tətbiq edilir.

Şək. 21.17b. körpünün çiyinlərinin kompleks müqavimətləri

$$\underline{Z}_1 = R_1 + f\omega L_1; \quad \underline{Z}_2 = R_2; \quad \underline{Z}_3 = R_3; \quad \underline{Z}_4 = \frac{1}{1/R_4 + f\omega C_0}$$

Bu ifadələri körpünün ümumi bərabərlik tənliyində yerinə yazsaq, sarğacın R_1 və L_1 parametrlərini təyin etmək olar:

$$R_1 = R_2 R_3 / R_4; \quad L_1 = C_0 R_2 R_3$$

Şək. 21.17 c kiçik itkili R_x müqavimətinə malik kondensatorun C tutumunu ölçmək üçün körpü sxemi verilib. Körpünün ümumi bərabərlik tənliyində ($\underline{Z}_1 Z_4 = \underline{Z}_2 \underline{Z}_3$) çiyinlərin parametrlərini yerinə yazsaq, C_x və R_x tapmaq olar.

$$C_x = C_0 R_4 / R_2; \quad R_x = R_2 R_3 / R_4 \quad (21.22)$$

**ƏSAS ELEKTRİK VƏ MAQNİT KƏMIYYƏTLƏRİNİN
İŞARƏSİ VƏ VAHİDLƏRİ**

Sıra №	Kəmiyyətin adı	İşarəsi	Ölçü vahidlərinin adı	İşarəsi
1	2	3	4	5
1.	Elektrik yükü	Q, q	Kulon	Kl
2.	Elektrik sahə intensivliyi	E	Volt/metr	V/m
3.	Mütləq, dielektrik nüfuzluğu; Elektrik sabiti; Nisbi dielektrik nüfuzluğu	ϵ_m	Farad/metr	F/m
		ϵ_0	Farad/metr	F/m
		ϵ	Adsız	-
4.	Potensial Elektrik gərginliyi Elektrik hərəkət qüvvəsi	ϕ		
		U (u)	Volt	V
		E(e)		
5.	Elektrik cərəyanı	I(i)	Amper	A
6.	Cərəyanın sıxlığı	J	Amper/kvadrat millimetr	A/mm ²
7.	Elektrik müqavimət və ya aktiv müqavimət; Reaktiv elektrik müqaviməti Tam elektrik müqaviməti	R(r)		
		X	Om	Om
		Z		
8.	Xüsusi müqavimət	ρ	Om.metr	Om.m.
9.	Elektrik keçiriciliyi və ya aktiv keçiricilik; Reaktiv keçiricilik Tam keçiricilik	G(g)		
		B(b)	Simens	Sm
		Y(y)		
10.	Xüsusi keçiricilik	γ	1/Om.metr	1/Om.m.
11.	Elektriki iş	A	Coul və ya Vatt. san.	C, Vt.san.

12.	Elektrik gücü və ya aktiv güc Reaktiv güc Tam güc	P Q S	Vatt Volt.Amper.reaktiv Volt-Amper	Vt VAr VA
13.	Elektrik tutumu	C	Farad	F
14.	Maqnit induksiyası	B	Tesla	T
15.	Maqnit hərəkət qüvvəsi və ya maqnitlənmə qüvvəsi; Maqnit gərginliyi	F U _m	Amper	A
16.	Maqnit sahə intensivliyi	H	Amper/metr	A/m
17.	Mütləq maqnit nüfuzluğu; Maqnit sabiti; Nisbi maqnit nüfuzluğu	μ_m μ_o μ_G	Henri/metr Adsız	Hn/m -
18.	Maqnit seli İlişən maqnit seli	Φ Ψ	Veber	Vb
19.	İnduktivlik Qarşılıqlı induktivlik	L M	Henri	Hn
20.	Period	T	Saniyə	San.
21.	Tezlik	f	Hers	Hs

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Z.İ.Kazımzadə «Elektrotexnikanın nəzəri əsasları», 2010
2. F.İ.Seyidov «Elektrik dövrələri nəzəriyyəsinin əsasları», 2003
3. T.V.Qurbanov «Elektrotexnika», 2005
4. T.M.Əliyev, R.M.Mirsəlimov, T.Ə.Həsənov «Elektrik ölçmələri», 1986
5. N.N.Mansurov, V.S.Popov «Nəzəri elektrotexnika», 1964
6. F.İ.Seyidov, F.N.Rəhmanov, G.Ş.Salayev, A.Ə.Əhmədov «Elektrotexnikanın nəzəri əsaslarından məsələlər», 1999

Rus dilində

1. Касаткин А.С., Немцов М.В. «Электротехника», Москва, 2003 г.
2. В.П.Попов «Основы теории цепей», Москва, 2003 г.
3. В.С.Попов «Теоритическая электротехника», 1978 г.
4. Ф.Е.Евдокимов «Теоретические основы электротехники», 1981 г.
5. И.А.Данилов, П.М.Иванов «Общая электротехника с основами электротехники», 1989 г.
6. О.В.Леонова, В.М.Сафонов «Основы электротехники и электрические измерения», 1973 г.
7. А.Я.Шихин, Н.М.Белюсова и др. «Электротехника», 1989 г.
8. В.С.Попов «Электрические измерения», 1974 г.
9. И.Н.Добротворский «Теория электрических цепей», 1989 г.
10. В.Н.Малиновски «Электрические измерение», 1982 г.
11. А.Агсакова, Е.К.Разумовская «Сборник задач по теории электрических цепей», 1987 г.
12. М.Ю.Зайчик «Сборник задач и упражнений по теоретической электротехники», 1978 г.
13. «Теоритические основы электротехники». Сборник задач, Питер, 2004 г.
14. Вессонов Л.А. «Теоритические основы электротехники» Москва, 1999 г.
15. П.Н.Новиков, В.Я.Кауфман «Задачник по электротехнике с основами электротехники», Москва, 1985 г.

M Ü N D Ə R İ C A T

Giriş.....	3
------------	---

FƏSİL I. ELEKTRİK SAHƏSİ

§ 1.1. Elektrik sahəsi və onun qrafik təsviri.....	5
§ 1.2. Kulon qanunu. Elektrik sahə intensivliyi.....	8
§ 1.3. Potensial. Elektrik gərginliyi.....	9
§ 1.4. Maddələrin elektrik keçiriciliyi.....	11
§ 1.5. Elektrik tutumu. Kondensator. Elektrik sahəsinin enerjisi	14
§ 1.6. Kondensatorların birləşmələri	15

FƏSİL II. SABİT CƏRƏYANIN ELEKTRİK DÖVRƏLƏRİ

§ 2.1. Elektrik cərəyanı	20
§ 2.2. Elektrik hərəkət qüvvəsi (e.h.q.)	21
§ 2.3. Elektrik müqaviməti və keçiricilik. Rezistiv müqavimət.....	23
§ 2.4. Elektrik dövrəsi və onun əsas elementləri.....	25
§ 2.5. Om qanunu.....	28
§ 2.6. Elektrik iş və güc. Elektrik enerjisinin istilik enerjisə çevrilməsi	29
§ 2.7. Elektrik dövrlərinin iş rejimləri.....	31
§ 2.8. Məftillərdə gərginlik itkisi.....	34

FƏSİL III. SABİT CƏRƏYANIN ELEKTRİK DÖVRƏLƏRİNİN HESABLANMASI

§ 3.1. Elektrik dövrəsinin konfigurasiyası. Kirxhof qanunları	36
§ 3.2. Rezistorların (müqavimətlərin) birləşdirilməsi üsulları.....	37
§ 3.3. Mürəkkəb elektrik dövrlərinin hesablanması. Düyün və kontur tənlilər üsulu	42
§ 3.4. Kontur cərəyanlar üsulu.....	46
§ 3.5. Düyün gərginliyi üsulu	48
§ 3.6. Toplama (Superpozisiya) üsulu	50
§ 3.7. Ekvivalent generator üsulu	54
§ 3.8. Sabit cərəyan dövrlərində qeyri-xətti elementlər. Qeyri-xətti dövrlərin hesablanması.....	59

FƏSİL IV. MAQNİT SAHƏSİ

§ 4.1. Elektrik cərəyanının maqnit sahəsi. Maqnit induksiyası	62
§ 4.2. Maqnitlənmə qüvvəsi, maqnit sahə intensivliyi, maqnit gərginliyi	65
§ 4.3. Maqnit nüfuzluğu, maqnit seli, ilişən maqnit seli	67
§ 4.4. Tam cərəyan qanunu	70
§ 4.5. Cərəyanlı naqıl maqnit sahəsində. Elektromaqnit qüvvəsi....	72

FƏSİL V. MAQNİT DÖVRƏLƏRİ. ELEKTROMAQNİT İNDUKSİYASI

§ 5.1. Maqnit dövrələri və onun əsas qanunları	75
§ 5.2. Maqnit dövrələrinin hesablanması	77
§ 5.3. Elektromaqnit induksiya hadisəsi. İnduksiya elektrik hərəkət qüvvəsi. Elektromaqnitlər	81
§ 5.4. İnduktivlik. Maqnit sahə enerjisi.....	83
§ 5.5. Öz-özüne induksiya elektrik hərəkət qüvvəsi.....	85
§ 5.6. Qarşılıqlı induktivlik. Qarşılıqlı induksiya	85

FƏSİL VI. ELEKTROMAQNİT SAHƏSİ

§ 6.1. Elektrik sahəsi haqqında ümumi məlumat.....	88
§ 6.2. Elektromaqnit sahəsinin əsas tənlikləri.....	90
§ 6.3. Elektromaqnit rəqsləri. Rəqs konturu.....	90

FƏSİL VII. DƏYİŞƏN CƏRƏYANA AİD ƏSAS ANLAYIŞLAR

§ 7.1. Dəyişən cərəyan, alınması və əsas göstəriciləri	93
§ 7.2. Sinusoidal kəmiyyətlərin qrafik təsviri	96
§ 7.3. Dəyişən cərəyan kəmiyyətlərinin təsiredici qiymətləri	98

FƏSİL VIII. BUDAQLANMAMIŞ DƏYİŞƏN CƏRƏYAN DÖVRƏLƏRİ

§ 8.1. Dəyişən cərəyan dövrələrinin əsas xüsusiyyətləri	100
§ 8.2. Aktiv müqavimətli dövrə.....	102
§ 8.3. İnduktivli dövrə	104

§ 8.4. Tutumlu dövrə	107
§ 8.5. Aktiv müqavimətli və induktivli (real sarğaclı) dövrə	109
§ 8.6. Aktiv müqavimətli və tutumlu dövrə	112
§ 8.7. Aktiv müqavimətli, induktivli və tutumlu dövrə.....	115
§ 8.8. Budaqlanmamış dövrənin rezonans iş rejimi. Gərginliklər rezonansı.....	118

**FƏSİL IX. BUDAQLANAN DƏYİŞƏN
CƏRƏYAN DÖVRƏLƏRİ**

§ 9.1. İkiqollu budaqlanan dövrələrin hesablanması	122
§ 9.2. Budaqlanan dövrələrin keçiriciliklər üsulu ilə hesablanması	125
§ 9.3. Budaqlanan dövrələrdə cərəyanlar rezonansı	128
§ 9.4. Güc əmsalı və onun əhəmiyyəti	135

**FƏSİL X. ELEKTRİK DÖVRƏLƏRİNİN KOMPLEKS
ÜSULLA HESABLANMASI**

§ 10.1. Əsas anlayışlar	138
§ 10.2. Kompleks ədədlər üzərində əməllər	139
§ 10.3. Elektrik dövrələrinin əsas tənliklərinin kompleks şəkildə ifadəsi	140

**FƏSİL XI. QARŞILIQLI İNDUKTİVLİKLİ
ELEKTRİK DÖVRƏLƏRİ**

§ 11.1. Konturların maqnit rabitəsi	143
§ 11.2. Qarşılıqlı induktivlikli ardıcıl dövrə	144
§ 11.3. Qarşılıqlı induktivlikli paralel dövrə	146

FƏSİL XII. ÜÇFAZALI SİSTEMLƏR

§ 12.1. Üçfazlı sistemlər haqqında ümumi məlumat	148
§ 12.2. Generator dolaqlarının ulduz birləşdirilməsi	151
§ 12.3. Generator dolaqlarının üçbucaq birləşdirilməsi	153
§ 12.4. Simmetrik üçfazlı dövrələrin hesablanması	156
§ 12.5. Mənbə və işlədiciləri ulduz və üçbucaq birləşmiş qeyri-simmetrik üçfazlı dövrələrin hesablanması	159

**FƏSİL XIII. QEYRİ-SİNUSOIDAL CƏRƏYAN
VƏ GƏRGİNLİKLƏR**

§ 13.1. Qeyri-sinusoidal cərəyan və gərginliklər, onların ifadələri	164
§ 13.2. Periodik qeyri-sinusoidal əyrilərin növləri.....	166
§ 13.3. Qeyri-sinusoidal cərəyan və gərginliyin təsiredici qiymətləri	169
§ 13.4. Qeyri-sinusoidal cərəyanın gücü.....	170
§ 13.5. Qeyri-sinusoidal cərəyan və gərginlikli dövrələrin hesablanması	171

FƏSİL XIV. DÖRDQÜTBLÜLƏR

§ 14.1. Dördqütblülər haqqında məlumat və onların əsas tənlikləri	173
§ 14.2. Dördqütblünün iş rejimləri	176
§ 14.3. Dördqütblünün əvəz sxemləri	179

**FƏSİL XV. ELEKTRİK DÖVRƏLƏRİNDƏ KEÇİD
PROSESLƏRİ**

§ 15.1. Kommutasiya qanunları	183
§ 15.2. Müqavimət və induktivli dövrədə keçid prosesi	188
§ 15.3. Müqavimətli və induktivli dövrələrdə qısa qapanma	191
§ 15.4. Müqavimətli və tutumlu dövrədə keçid prosesi.....	193
§ 15.5. Müqavimətli və tutumlu dövrədə qısa qapanma	195

FƏSİL XVI. ELEKTRİK SÜZGƏCLƏRİ

§ 16.1. Süzgəclərin təsnifatı	198
§ 16.2. K və m tipli süzgəclər	203
§ 16.3. Hamarlaşdırıcı süzgəclər.....	205

**FƏSİL XVII. PAYLANMIŞ PARAMETRLİ
DÖVRƏLƏR**

§ 17.1. Ümumi anlayış.....	210
§ 17.2. Bircinsli xəttin tənlikləri	211
§ 17.3. Düşən və qayıdan dalğalar. Sabit cərəyanın bircinsli xətti.....	215

§ 17.4. İtkisiz dəyişən cərəyan xətti.....	216
§ 17.5. Qayıtma əmsalı. Durgun dalğalar.....	218

FƏSİL XVIII. TRANSFORMATORLAR

§ 18.1. Transformatorların vəzifəsi və tətbiq sahələri.....	220
§ 18.2. Transformatorların quruluşu.....	221
§ 18.3. Birfazlı transformatorun iş prinsipi. Transformasiya əmsalı.....	223
§ 18.4. Üçfazlı transformatorlar.....	225
§ 18.5. Avtotransformatorlar və ölçü transformatorları.....	229

FƏSİL XIX. DƏYİŞƏN CƏRƏYAN MAŞINLARI

§ 19.1. Dəyişən cərəyan maşınlarının vəzifəsi, tətbiq sahələri.....	232
§ 19.2. Asinxron mühərrikin quruluşu və iş prinsipi.....	232
§ 19.3. Stator və rotor dolaqlarında e.h.q.-si. Rotor dolağında cərəyanlar.....	235
§ 19.4. Asinxron mühərrikin fırlanma momenti.....	236
§ 19.5. Asinxron mühərrikin işə buraxılması.....	239
§ 19.6. Asinxron mühərrikin güc əmsalı və f.i.ə.....	242
§ 19.7. Birfazlı asinxron mühərriki.....	243
§ 19.8. Sinxron generatorlar.....	244
§ 19.9. Sinxron mühərriklər.....	246

FƏSİL XX. SABİT CƏRƏYAN MAŞINLARI

§ 20.1. Sabit cərəyan maşınlarının vəzifəsi və quruluşu.....	248
§ 20.2. Sabit cərəyan maşınlarının iş prinsipi.....	250
§ 20.3. Müstəqil təsirlənən sabit cərəyan generatorları.....	253
§ 20.4. Özündən təsirlənən sabit cərəyan generatorları.....	257
§ 20.5. Müstəqil və paralel təsirlənən sabit cərəyan mühərrikləri.....	261
§ 20.6. Ardıcıl və qarışıq təsirlənən sabit cərəyan mühərrikləri.....	263

**FƏSİL XXI. ELEKTRİK ÖLÇMƏLƏRİ
VƏ CİHAZLARI**

§ 21.1. Elektrik ölçmələri haqqında ümumi məlumat.....	266
§ 21.2. Ölçmənin növləri və metodları.....	267
§ 21.2. Ölçmə xətalari	268
§ 21.4. Elektrik kəmiyyətlərinin ölçmə vasitələri.....	269
§ 21.5. Elektromexaniki ölçmə cihazları haqqında ümumi məlumat.....	271
§ 21.6. Maqnitoelektrik mexanizmlər və cihazlar.....	273
§ 21.7. Elektromaqnit mexanizmlər və cihazlar.....	274
§ 21.8. Elektrodinamik mexanizmlər və cihazlar.....	275
§ 21.9. İnduksion mexanizmlər və cihazlar.....	276
§ 21.10. Elektrostatik mexanizmlər və cihazlar	277
§ 21.11. Elektron analoq cihazları	278
§ 21.12. Rəqəm ölçü cihazları.....	281
§ 21.13. Cərəyan və gərginliyin ölçülməsi. Sabit və dəyişən cərəyanın ölçülməsi.....	284
§ 21.14. Sabit və dəyişən gərginliyin ölçülməsi	286
§ 21.15. Elektrik gücünün və enerjinin ölçülməsi.....	287
§ 21.16. Tezliyin və faza sürüşməsinin ölçülməsi	291
§ 21.17. Elektrik dövrəsi elementlərinin parametrlərinin ölçülməsi	292

