

**TÜRKMEN POLITEHNIKI INSTITUTY**

**O.M.Gurbannazarow**

# **UMUMY ELEKTROTEHNIKA**

Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw kitaby

Aşgabat – 2010

**O.M. Gurbannazarow, Umumy elektrotehnika.**

Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw kitaby, Aşgabat – 2010 ý.

Elektrik energiýasyny öndürmek, daş aralyga ibermek, bölüşdürmek meselesi bilen iş çalyşýan ylmyň we tehnikanyň pudagyna elektrotehnika diýip aýdylýar.

Elektrotehnikanyň döremegi XIX asyryň birinji ýarymyna degişlidir şol döwürde elektrik hadysalaryň esasy kanunlary açylypdy. Geçen asyryň ikinji ýarymynda elektrik maşynlaryň esasy görnüşleri bolan generator hereketlendirijiler we transformatorlar oýlanyp tapylandyr. Şol döwür ilkinji elektrik stansiýalaryň gurulýan döwüridir.

Elektroenergetikanyň öňde baryjylykly ösüşi halk hojalygynyň ählikünjeginiň ösmegi üçin çäksiz mümkinçilik açýar.

Niýetlenen bu okuw kitaby ýokary okuw mekdebiniň umumy elektrotehnika dersiniň maksatnamasyna laýyklykda ýazylandyr, elektrik we elektrikdäl hünäri boýunça taýýarlanýan talyplar üçin ýönekeý we sada dilde düşnükli edilip ýazylandyr.

Bu kitap kemçiliksiz däl, şonuň üçin bu kitap barada aýdylan belliklerdir teklipleri awtor höwes bilen kabul etjekdir. Bellikleriňizi we teklipleriňizi şu aşakdaky senä iberip bilersiňiz.

Aşgabat şäheri, 1916-njy (B.Annaýew) köçesiniň 136-njy jaýy.

## SÖZBAŞY

Hormatly Prezidentimiziň ýolbaşçylygynda Garaşsyz baky Bitarap Türkmenistan döwletimiz gün – günden ösýär, özgerýär. Türkmenistanyň Prezidenti Gurbanguly Berdimuhamedowyň ilkinji permanlarynyň biri ýurdymyzda bilim we ylym ulgamyny ösdürmek barada bolupdy. Şonda orta mekdeplerinde okuwyň möhletini 10 ýyla, ýokary okuw mekdeplerinde bolsa 5 ýyla, käbir hünärler boýunça 6 ýyla çenli uzaltmak göz önünde tutulypdy. Bu kararlaryň durmuşa geçirilmegi ýaşlara berilýän bilimleriň dünýä derejesine laýyk gelmegine mümkinçilik berdi.

Hormatly Prezidentimiz tarapyndan gol çekilen “Türkmenistanda bilim ulgamyny kämilleşdirmek hakyndaky” Permany, “Bilim – terbiýeçilik baradaky edaralaryň işini kämilleşdirmek hakyndaky”, “Türkmenistanyň Ylymlar akademiýasynyň işi hakyndaky” taryhy Kararlary her bir bilim işgärleriniň täzeçe, yhlasly işlemäge ruhlandyrdy.

Hormatly Prezidentimiz özüniň ýygnaclarynda, uly Döwlet maslahatlarynda milli maksatnamada göz önünde tutulan meseleleriň çözülişleri, durmuşa geçirilişini esasy üns merkezinde saklaýar. Milli maksatnamada ilaty elektrik energiýasy bilen üpjün etmegi gowulandyrmak barada öňde goýulan wezipeleri üstünlikli durmuşa geçirmek üçin, energetika ulgamlarynda işlejek ýokary bilimli hünärmenleri dünýä derejesinde taýýarlamak esasy mesele bolup durýar.

Müňlerçe ýyllar dowamynda adamlaryň ünsi tebigatyň güýjüne akyl ýetirmäge ugrukdyrlypdyr we onuň tükeniksiz energiýareçyzsy, energiýanyň bir görnüşiniň beýleki görnüşe özgertme ýolunyň açylmagyna ugrukdyrlandyr. Biziň häzirki döwrümüzde halk hojalygynyň, dürli künjeginde we durmuşda elektrik energiýasy has giňden ulanylýar. Elektro energetikanyň çalt ösmegi elektrik energiýasynyň energiýanyň beýleki görnüşlerinden aşakdaky artykmaçlyklary goltgy berdi:

1. Energiýanyň beýleki görnüşlerine özgerdilmeginiň otnasitel ýeňilligi (mehaniki ýylylyk, şöhle, himiýa);
2. Tygşytly we örän çalt (ýagtylygyň tizligi) daş aralyga iberilmeginiň mümkinligi;
3. Elektrik gurnamalaryň dolandyrylyşynyň otnasitel ýönekeýligi we ş.m.;

## BIRINJI BÖLÜM

### Hemişelik togyň elektrik zynjyry.

Elektrotehnika nazary we amaly ylym hökmünde başda hemişelik elektrik togyň esasynda ösdi, sebäbi ilkinji elektrik togyň esasy çeşmesi hökmünde galwaniki elementler bolupdyrlar. Şol döwürde (1800-1850ýý) elektrik hadysalaryň esasy kanunlygy açyldy: elektrik zynjyryň kanuny (G. Om we Ç. Kirhgoff), elektrik togyň ýylylyk täsiri we onuň önümçilikde (praktikada) ulanylmagy (E.Lens, D.Joul, V.V.Petrow), elektromagnit induksiýa we elektromagnit güýç kanunlary (M.Faradeý, D.Makswell, E.Lens, A.Amper, B.S.Ýakobi we beýlekiler), togyň elektrohimiýa täsiri we ş.m.

Mundan beýläk elektroenergetiki enjamlaryň ösmegi we olaryň kuwwatlarynyň artmagy hemişelik elektrik togynyň toplumynyň ýetmezçiligini gitdigiçe uzak aralyga elektrik energiýasyny bermekligiň maddy kynçylygyny ýüze çykardy. Elektrik energiýasynyň daş aralyga berilmeginde maşynlaryň ýokary ýönekeýligi we beýleki artykmaçlyklary üýtgeýän elektrik togynyň toplumynyň giňden ösmegine getirdiler. Şeýlede bolsa üýtgeýän tok elektroenergetikada esasy orunlary tutýan wagty özleri üçin ýeke täk bolýan elektrik togynyň görnüşleriniň tehnologiýa şerti (elektrohimiýa) ýa-da tehniki-ykdysady (maddy) artykmaçlygyny üpjün edýän elektrik togyň görnüşini elektrik energiýasyny kabul edijiler, hemişelik elektrik togyny talap edýärler (elektrotransport, birnäçe senagat elektrik ýöredijileri). Hemişelik elektrik togynyň häzirki zaman enjamlarynyň köpüsi üçin imitlendiriş çeşmesi hökmünde üýtgeýän elektrik togy hemişelik elektrik toga dürli özgerdijileri (elektromaşyn, elektronno-ion ýarymgeçirijiler) we az mukdarda akkumlýatorlar, hemişelik elektrik togynyň generatorlary we termoelektriki batareýalar hyzmat edýärler.

$$1\text{Amper} = 1 \frac{\text{Kulon}}{\text{Sekunt}} \left(1A = \frac{1K}{1S}\right),$$

Hemişelik we üýtgeýän elektrik zynjyrynda bir (wagtyň içinde) wagtda dürli mümkin bolan ýagdaýlarda elektrik energiýasynyň üznüksiz alnyş prosesi (usuly) we energiýanyň beýleki görnüşlerine özgermegi bolup geçýär.

### **§ 1-1. Hemişelik elektrik togyň ýönekeý zynjyry.**

**Esasy düşünje.** Umumy (umuman) ýagdaýda elektrik zynjyry aşakdaky elementler toplumyndan durýar:

- 1) Elektrik energiýasynyň çeşmeleri – generatorlar;
- 2) Elektrik energiýasyny energiýasynyň beýleki görnüşlerine özgerdýän elektrik kabul edijiler;
- 3) Elektrik energiýasynyň çeşmesini elektrik kabul edijiler bilen baglanyşdyrýan gurnamalar.

Hemişelik elektrik togyň ýönekeý elektrik zynjyry, (1.1-nji çyz.) elektrik generatory G, elektrik ýükünden (elektrik kabul edijiden) Ý we G çeşmäni Ý ýük bilen birikdirýän iki simli L liniýadan durýar. L liniýa we onuň ahyryna birikdirilen Ý ýük bilelikde daşky elektrik zynjyryny döredýär.

Generatoryň E.e.h.g. täsiri astynda ýapyk zynjyryda elektrik zarýadynyň ugrukdyrylan (tertipli) hereketi goldanyp elektrik togy (I) döreýär.

Geçirijiden geçýän (I) togyň ululygy wagt birliginde (1s) geçirijiniň kese-kesiginden geçýän elektrik zarýadlaryň mukdary bilen kesgitlenýär. Egerde elektrik zynjyrdaky elektrik tok wagta görä üýtgemeyän bolsa, onda

$$I = \frac{q}{t}, \quad (1.1).$$

bu ýerde **q** – **1s** geçýän elektrik mukdary.  
Elektrik togyň ölçeg birligi Amper:

Haçanda elektrik togyň ululygy hemişelik bolman, wagta görä üýtgeýän bolsa, onda (1.1) baglanyşyk differensial görnüşde (\*) aşakdaky ýaly aňladylýar:

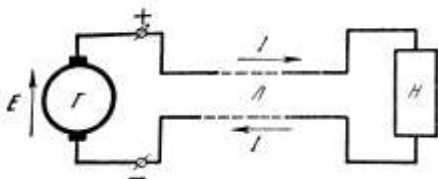
$$i = \frac{dq}{dt}$$

(\*) Üýtgeýän elektrik ululyklaryň wagtyň erkin pursatyndaky bahasyny kiçi harpda ýazmaklyk kabul edilen: el. tok **i**,

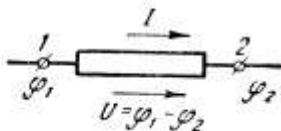
e.h.g. - **e**, naprýaženiýe **u**, kuwwat **p**.

Metal geçirijilerde elektrik togy otrisatel (elektronlaryň) zarýadlaryň hereketidir. Beýleki ýagdaýlarda (mysal üçin, elektrolitlerde) elektrik togy položitel zarýadlaryň we hereketleri ters ugra bolan otrisatel zarýadlar arkaly döredilýär. Položitel zarýadlaryň bir ugra bolan hereketleri otrisatel zarýadlaryň ters ugra bolan orun üýtgemesine deňdir. Geçirijide elektrik togyň ugryny anyklamak üçin položitel zarýatlaryň hereketleriniň ugryny hasap etmek şertlenendir.

Generatoryň e.h.g. täsiri onuň shemalarynda potentsiallaryň tapawudyny üpjün edýär. Has ýokary potentsially gysgyja položitel diýilýär we “plýus” alamaty bilen belgilenýär. Has kiçi potentsially gysgyja otrisatel diýilýär we “minus” alamaty arkaly belgilenýär. Çeşmäniň içinde elektrik togynyň ugry e.h.g. ugry bilen gabat gelýär, ýagny (-) gysgyçdan (+) gysgyja. Togyň ugry daşarky zynjyrda (+) gysgyçdan (-) gysgyja, ýagny has ýokary potensialdan has kiçi potensiala ugrykdyrylan.



1.1.çyz. Hemişelik elektrik togyň ýönekeý zynjyry.



1.2.çyz. Zynjyryň e.h.g-i saklamaýan bölegi

Zynjyrdä elektrik togynyň geçmegi energiýanyň sarp edilmegi bilen baglydyr. Zynjyre ol energiýa generator tarapyndan getirilýär(berilýär) we bu ýerde ýylylyga ýa-da energiýanyň beýleki görnüşine özgerdilýär (mehaniki iş, himiki enegiýa we beýlekilere).

Elektrik energiýasynyň gaýtalanmaýan (öňki ýagdaýyna gelmeýän) ýylylyk energiýasyna özgerdilme prosesi bolup geçýän zynjyryň elementine elektrik garşylygy diýilýär we zynjyrdä iki gysgyçly gönüburçlyk görnüşinde belgilenýär. (1.2-nji çyz)?

Elektrik hereketlendiriji güji saklamaýan elektrik zynjyrynyň bölegine serederis. Seredilýän bölekden geçýän el. togy onuň ahyrlaryndaky döredilen ( $\Phi_1$ -  $\Phi_2$ ) potensiallar tapawudy ýa-da şol böleklerdäki naprýaženiýe tarapyndan döredilendir.

Naprýaženiýanyň ugry 1-nji has ýokary potensially nokatdan has kiçi potensially 2-nji nokada diýip kabul edilýär, ýagny ol zynjyryň seredilýän bölegindäki el. togyň ugry bilen gabat gelýär.

**Omuň kanuny.** Zynjyryň bölegi üçin esasy elektroenergetiki gatnaşyk(baglanşyk) Omuň we Joule-Lensiniň kanunlary arkaly kadalaşdyrylýar:

Omuň kanunyňa görä zynjyryň bölegindäki I el. togy şol bölekäki güýjenmä göni baglanyşykdadyr:\*

$$I=U \cdot g$$

Göni baglanyşyk koeffisiýenti  $g$ -e bölegiň elektrik geçirijiligi diýilýär. Elektrik geçirijilige ters ululyk, garşylykdyr,

$$r=T/g$$

Zynjyryň böleginiň garşylygynyň bahasy san görnüşde kesgitlenýär. Garşylyk Om-da geçijilik-Simensde ölçelýär (Sim ýa-da  $1/\text{Om}$ ).



Köplenç halda zynjyryň bölegi üçin Omuň kanuny aşakdaky görnüşde aňladylýar,

$$I = \frac{U}{r}. \quad (1.2a)$$

Ýapyk elektrik zynjyrdaky (1.3-nji çyz.) her bir element (generator, liniýa simi, elektrikkabulediji) kesgitli elektrik garşylyga eýe bolýar.

Zynjyryň yzygider çatylan ähli elementleriniň üstünden bir ululykdaky (şol bir)  $I$  el. tog akýar. Ol el. togyň ululygy generatoryň  $E$  e.h.g. göni baglanyşykly we ähli zynjyryň umumy garşylygyna ters baglanyşyklydyr.

Zynjyryň bölegi e.h.g. saklamak diýip guman edilýär.

$$I = \frac{E}{r_g + r_{ul} + r_{yuk}} = \frac{E}{r_{gen} + r_{das}}, \quad (1.3)$$

bu ýerde

$r_g$  - generatoryň garşylygy;

$r_{ul}$  - liniýaň simlarynyň garşylygy;

$r_{yük}$  - ýükün (elektrigi kabul edijiniň) garşylygy; - 4 -

$r_{daş}$  - daşky zynjyryň umumy garşylygy.

$E$ —elektrik hereketlendiriji güýç hem edil  $U$  naprýaženiýe ýaly Woltda ( $W$ ) ölçelýär.

(1.3) deňlemedäki (aňlatma) Omuň kanuny ýapyk elektrik zynjyry üçindir.

Generatoryň we ýükleriň gysgyçlarynyň arasyndaky naprýženiýa (1.3) aňlatmany aşakdaky görnüşe getirip bolar (ýaryp bolar):

$$E = I \cdot r_g + I \cdot r_{ul} + I \cdot r_{yük} = I \cdot r_g + I \cdot r_{daş}. \quad (1.3a).$$

Generatoryň içki garşylygyny ýeňip geçmek üçin sarp edilýän e.h.g.-iň bölegine generatordaky naprýaženiýany peselmegi (ýitgisi) diýilýär.

$$\Delta U_g = I \cdot r_g,$$

E.h.g-iň galan bölegi bolsa generatoryň shemalaryna birikdirilen daşky zynjyryň garşylygyny ýeňip geçmek üçin harç edilýär we generatoryň gysgyçlaryndaky naprýaženiýanyň (ýitgisi) diýilýär:

$$U_g = E + I \cdot r_g = E - \Delta U_g \quad (1.4.)$$

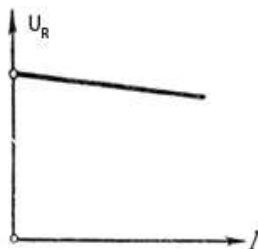
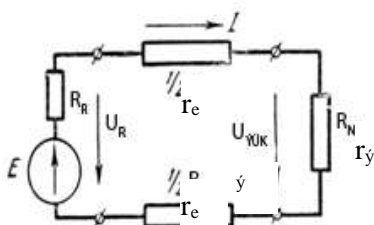
Daşky  $r_{daş}$  garşylygynyň azalmagy zynjyrdaky  $I$  el. togy artar, generatoryň gysgyçlaryndaky  $U_g$  naprýaženiýe bolsa azalýar.

Bolan  $U_g(I)^*$  baglanyşyga generatoryň daşky häsiýetnamasy diýilýär (1.4-nji çyz.)

\* Iki ululygynyň funksional baglanyşygyny bellemek üçin, mysal üçin zynjyrdaky generatoryň gysgyçlaryndaky  $U_g$  naprýaženiýanyň  $I$  toga baglylygyny, bu ýerde gelende gysgaldylan ýazgy görnüşde ulanylar:  $U_g = f(I)$  ýerine.  $U_g(I)$

Energetiki gurnamalarda ulanylýan ähli çeşmeleriň içki garşylygy düzgün boýunça daşky zynjyryň garşylygyndan bir näçe esse azdyr. Generatoryň kuwwaty näçe ýokary bolsa onda deň şertlerde onuň içki garşylygy kiçidir.

Eger-de  $r_g \ll r_{daş}$ , onda çeşmedäki ýitgini göz önünde tutmak hem bolar we  $U_g \approx E$  alynar.



1.3-nji çyz. Hemişelik el. togyň şahalanmaýan zynjyry.

1.4-nji çyz. Generatoryň daşky häsiýetnamasy.

Haçan-da generator ýukli geçiriş liniýasy bilen birikdirilen bolsa (1.3-nji çyz.), liniýa boýunça ýüklenme el. togy geçende naprýaženiýanyň bir bölegi ýitýar  $\Delta U_e = I \cdot r_e$ . Şoňa baglylykda (görä) ýüküň gysgyçlaryndaky **Ýük.** naprýaženiýe generatoryň  $U_g$  naprýaženiýesinden  $\Delta U_{ul}$  ululyk kiçidir:

$$U_{yük} = U_g - \Delta U_e = E - I(r_g + r_e).$$

Düzgün boýunça beriliş liniýa mis, alýumini we seýrek polat simyndan ýerine ýetirilýär.

Metal simlaryndan taýýarlanan geçirijileriň garşylygy onuň 1 uzynlygyna, kese-kesiginiň  $S$  meýdanyna we metalyň elektrikgeçiriji häsiýetine baglydyr.

$$r = \rho \frac{1}{S}; \quad (1.5).$$

bu ýerde :  $l$  - geçirijiniň uzynlygy, m;

$S$  - geçirijiniň kese-kesiginiň meýdany,  $\text{mm}^2$ ;

$\rho$  - geçirijiniň udel garşylygy,  $\text{Om} \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ;

Käbir geçiriji materiallar bolan mis 0,0175, alýumini 0,027, nirom 1,1  $\text{Om} \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ; ( $20^\circ\text{C}$ -da)  $\rho$  udel garşylygyň bahalaryny görkezeliň.

Udel garşylyga ters bolan ululyga udel geçirijilik

$$\gamma = \frac{\ell}{\rho};$$

diýilýär, we  $\text{m} / \text{Om} \cdot \text{mm}^2$  aňladylýar.

Metal geçirijileriň garşylygy hem temperatura baglydyr:

temperaturanyň ýokarlanmagy (artmagy) bilen  $r$  garşylyk ulalýar.

Elektrik garşylygyň temperatura baglylygy ýakynlaşýan deňlemede aňladylýar

$$r_{02} = r_{01} [1 + \alpha(Q^{02} - Q^{01})]. \quad (1.6)$$

bu ýerde  $r_{02}$  we  $r_{01}$  - geçirijiniň deňşililikde  $Q^{02}$  we  $Q^{01}$  temperaturalardaky elektrik garşylygy

$\alpha$  - temperatura koeffisiýenti.

Tejribede geçiriş (beriş) liniýanyň simlarynyň kesekesigini olardaky naprýaženiýanyň ýitgisiniň kesgitli bahadan ýokary bolmaz ýaly saýlap alýarlar (takmynan çeşmäniň naprýaženiýesiniň 5-15%).

### **§1.2. Hemişelik el. togyň ýönekeý zynjyrynyň energetiki baglansygy.**

Elektrik energiýasynyň ýylylyga özgerdilmegi. Elektrik kuwwat. Zynjyry  $r$  garşylykly böleginden  $I$  elektrik togy geçende elektrik energiýasynyň ýylylyga özgermegi bolup geçýär.

Wagt ( $t$ ) aralygynda Elektrik  $W$  energiýasynyň mukdary Joule-Lensiň kanuny boýunça kesgitlenýär.

$$W = I^2 \cdot r \cdot t. \quad (1.7)$$

$P$  kuwwat Wagat birligindäki özgerdilen energiýanyň mukdary aňladýar:

$$P = \frac{W}{t} = I^2 r; \quad (1.7a)$$

ýa-da

$$P = \frac{U^2}{r}, \quad \text{sebäbi} \quad U = I \cdot 2l^2 = \frac{U^2}{r^2} \cdot r \quad (1.7a)$$

(1.7 a) deňlemedäky  $I \cdot r$  aňlatmany  $U$  güýjenmä çalşyp elektrik energiýasynyň ýylylyk ýa-da energiýanyň beýleki görnüşine özgerme prosessiniň intensiwligini (çaltlygyny) häsiýetlendirýän  $P$  kuwwat üçin deňlemäni alarys:

$$P = U I.$$

ölçeğiň esasy birligi bolup: kuwwat üçin-watt ( $Wt$ ), elektrik energiýasy üçin – watt-sekunt ( $Wt \cdot S$ ) ýa-da Joule ( $J$ ). Tejribede köpülenç ýokarlandyrylan ölçeg birlikleri ulanylýar:

$$1 \text{ kilowatt (kWt)} = 1000Wt$$

$$1 \text{ kilowatt-sag (kWt-Sag)} = 3,6 \cdot 10^6$$

$Wt \cdot S (J).$

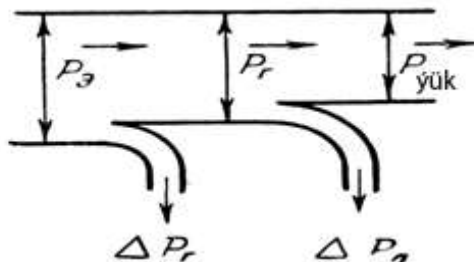
Ýönekeý zynjyrdaky (1.3 çyz.) kuwvatlaryň deňligine (balansyna) serederis.

Şonuň üçin (1.3 a) deňlemäniň hemme agzalaryny  $I$  köpeldip alarys:

$$EI = I^2 r_g + I^2 r_{ul} + I^2 \dot{y}_{\text{ük}}. \quad (1.9)$$

$E I$  köpeltme çeşmäniň öndürýän doly elektrik kuwваты  $P_e$  görkezýär.

Ol kuwvatyň  $\Delta P_g = I^2 r_g$  bölegi çeşmäniň özünde ýylylyk görnüşinde ýitýär. Çeşme tarapyndan daşky zynjyra berilýän kuwvaty  $P_e - \Delta P_g$  tapawut aňladýar. Şeýle hem kuwvatyň  $\Delta P_e = I^2 r_e$ . Bölegi limiýanyň liniýaň simlarynda ýitýär. Ýük tarapyndan galan  $P_{\text{yük}} = I^2 r_{\text{yük}} = U_{\text{yük}} \cdot I$  kuwwat ulanylýar. Seredilýän zynjyrdaky kuwvatlaryň deňligini (balansyny) energetik diagrammanyň üsti bilen görnükli görkezip bolar. (1.5 çyz.).



1.5.çyzgy. Hemişelik el. togyň ýönekeý zynjyry  
energe. diagr.

Häzirki döwüriniň elektroenergetik gurnamalaryndaky (enjamlaryndaky) el. akluw iýmitlendiriş çeşmelerindäki kuwvatyň ýitgisine oňnositel (beýle) uly däl. Kuwvatly elektrik generatorlary ýakory 0,95 ulylyga ýetýän p.t.k. eýedir.

Kabul ediljilere şol bir kuwwat  $P_{\text{yük}} = U_{\text{yük}} \cdot I$  berilende liniýadan el. tog gurnamanyň naprýaženiýesi näçe ýokary bolsa liniýadan akýan el. togy hem şonça kiçi bolar. Belli

boluşy ýaly liniýadaky kuwwatyň ýitgisi el. togyň ( $I^2$ ) kwadratyna proporsionaldyr (göni baglydyr). Şoňa görä naprýaženiýanyň artmagy, mysal 10 esse artmagy geçiş liniýadaky kuwwatyň ýitgisini 100 esse azaldýar, diýmek onuň tygşytlylygyny artdyrýar. Elektroenergetik gurnamalarda has ýokary naprýaženiýanyň ulanmagy şunuň bilen düşündirilýär.

### **§1.3. Elektrik zynjyrynyň iş ýagdaýlary (režimi).**

Elektrik zynjyrynyň we onuň (aýry) käbir elementleriniň ähli iş ýagdaýlarynyň häsiýetlilikligi hasaplanýar: 1) laýyk ýagdaý (zemin), 2) ylalaşykly ýagdaý, 3) boş iş ýagdaýy, 4) gysga çatylma ýagdaýy. Şularyň her biriniň esasy aýratynlyklaryna serederis.

**laýyk ýagdaý.** Olar üçin hasaplanan el.energ. çeşmesi ýa-da elektrik kabul edijileriň iş ýagdaýyna **laýyk diýilýär.**

Laýyk iş ýagdaýyny kesgitleýän elektrik ululyklaryna, laýyk naprýaženiýe, laýyk el. tog, laýyk kuwwat degişlidir.

Generatorlar, elektrik kabul edijiler we elektrik gurnamalaryň beýleki elementleri dürli mümkin bolan naprýaženiýe üçin dälde, doly kesgitli çäkli sanly naprýaženiýeler üçin taýýarlanylýar. Iň kiçi (laýyk) diýip atlandyrylan naprýaženiýanyň şkalasy adaty standartlarda goýulýar. Hemişelik el. togyň elektrik kabul edijileriniň köpüsi üçin: 110, 220 we 440 W laýyk naprýaženiýe kabul edilen. Laýyk naprýaženiýanyň sanlarynyň araçäklenmegi tehniki we şeýle hem ykdysady düşünjeden gelip çykýar.

laýyk  $U_e$  naprýaženiýe elektrik enjamynyň esasy ululygy hasap edilýär. Ol hökmany elektrik goraga we elektrik enjamynyň elementleriniň konstruktiv ýerine ýetirilmeginiň saýlanmagyna täsir edýär.

Elektrik generatorlaryň we elektrik kabuledijileriň laýyk el. toglarynyň bahasy köp hallarda (ýagdaýlarda) şol enjamlaryň ahyrky rugsat edilen gyzma- temperaturasyna

limitirlendirilýär. Laýykdan ýokary el. togynyň uzak wagtlap akmagy temperaturanyň rugsat edilenden artmagy generatoryň ýa-da elektrikkabul edijiniň wagtyndan öň hatardan çykmagynyň sebäbidir.

Laýyk el. togyň **I** we **U<sub>yl</sub>** naprýaženiýe bilelikde dürli elektroenergetik enjamlaryň wajyp ulylygy (parametri) bolan laýyk kuwwaty kesgitleýär. Laýyk kuwwat adaty (laýyk) iş şertlerde elektrik generatoryň daşarky zynjyra berip biljek in ýokary peýdaly kuwwatydyr. Elektrik herekete getirijileriň köpüsi üçin laýyk kuwwat-ol adaty iş şertlerde herekete getirijiniň uzak wagtlap okdaky artýan in ýokary peýdaly kuwwatydyr. Galan elektrik kabul edijiler üçin (yzak, elektrikgyzdyryjy enjamlar we beýlekiler) laýyk kuwwat – ol işin adaty iş ýagdaýyndaky olaryň peýdalanýan elektrik kuwwatydyr.

**Ylaşylan ýagdaý (düzgün).** Çeşmäniň in ýokary **P<sub>mah</sub>** kuwwaty, ýüke berýän iş düzgünine **ylaşylan diýilýär.** Haçan-da? zynjyryň daşky **r<sub>y</sub>** garşylygynyň çeşmäniň içki **r<sub>ie</sub>**, garşylygyna deň bolanda şeýle ýagdaýa ýetilýändigini görkeziris.

Çeşme tarapyndan berilýän kuwwat,

$$P = I^2 r_y = \left( \frac{E}{r_g + r_y} \right)^2 r_y. \quad (1.10)$$

**dp / dr<sub>y</sub>** - önümini nula deňläris.

$$\frac{dp}{dr_y} = E^2 \frac{(r_g + r_y)^2 - 2r_y(r_g + r_y)}{(r_g + r_y)^4} = \frac{E^2}{(r_g + r_y)^3} \cdot \frac{r_g^2 - r_y^2}{r_g + r_y} = \frac{E^2}{(r_g + r_y)^3} (r_g - r_y) = 0.$$

Bu ýerden alarys **r<sub>g</sub> = r<sub>y</sub>**

Bu gatnaşyk maksimal kuwwatyň alynmagynyň şerti bolup durýar

$$[\text{ikinci onvm } \left( \frac{d^2 p}{dr_y^2} \right)_{r_y=r_g} < 0.].$$

Çeşmäniň  $r_y$  erkin bahasyndaky peýdaly täsir koeffisiýenti

$$\eta = \frac{I^2 r_y}{I^2 (r_g + r_y)} = \frac{r_y}{r_g + r_y} = \frac{1}{\frac{r_g}{r_y} + 1} \quad (1.11)$$

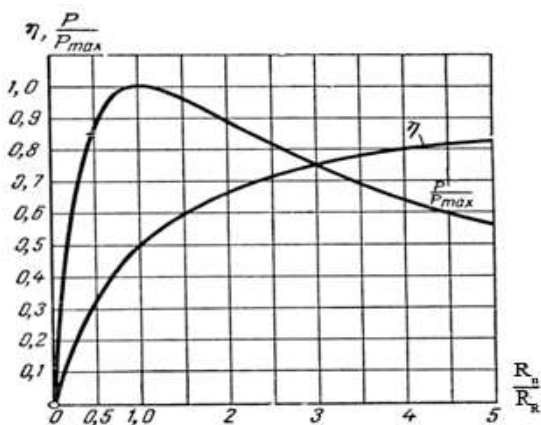
Çeşme ylalasykly ýagdaýda aşakdaky peýdaly täsir koeffisiýentinde işleýär

İň ýokary berilýän kuwwat

$$\eta = \frac{1}{1+1} = 0,5$$

$$P_{\max} = I^2 r_y = \left(\frac{E}{2r_g}\right)^2 \cdot r_g = \frac{E^2}{4r_g}; \quad (1.12).$$

Berilýän  $P/P_{\max}$  kuwwatyň we  $Z$  peýdaly täsir koeffisiýentiniň  $r_y/r_g$  ýük garşylygynyň  $0$  ulylygyna baglylyk häsiýeti (1.6 Çyz) 1 we 2 egriler bilen şekillendirilendir



1.6 çyzgy.



Nirede ýokary kuwwady almak hökmany bolanda, radioelektroniki zynjyrlarda shemalarda ylalaşyk ýagdaýy ulanylýar, ýöne **pes ( $\nu=0,5$ ) p.t. k-i** bolan iş ikinji derejeli baha eýedir.

### **Boş işiň we gysga çatylmanyň rezimi (ýagdaýy)**

Çeşmäniň iň ahyrky iş ýagdaýlary: a) boş hereketdäki ýagdaý – daşky zynjyr ýazdyrylanda (1.7 çyz.)

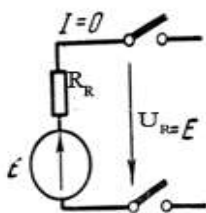
b) gysga çatma ýagdaýy (çyz 1.7) – çeşmäniň gysgyçlary az garşylygy bolan sim bilen çatylan.

Boş hereketdäki ýa-gdaýy, daşky zynjyryň ýazdyrylan ýagdaýyndaky onuň garşylygy tükeniksizlige deňdir ( **$r_{daş}=\infty$** ), **I** el. togyň ululygy nula ( **$I=0$** ) deňdir. Sebäbi şu ýagdaýda çeşmäniň içinde naprýaženiýanyň peselmegi nula deň, onda generatoryň naprýaženiýesi onuň e.h.g. deňdir ( **$U_g=E$** ). Gysga çatylma, adata el. togyny geçirýän bölegiň goragynyň hatardan çykmagynyň netijesinde bolýar. Gysga çatylma generatora näçe golaý bolsa, dörän **a b s d a** konturyň garşylygy şonçada kiçi bolar we gysga çatylmada generatoryň gysgyçlaryndaky (**I<sub>g</sub>**) el. togyň ululygy şonçada (köpdür) ýokary bolar.

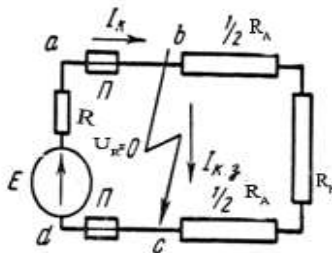
Gysga çatylmada daşarky garşylyk nula ýakyn bolýar, generatoryň el.akymy ýokary baha eýe bolýar we laýyk ýükdäki el. togy birnäçe esse ýokary bolar.

$$I_g = \frac{E}{r_g}; \quad (1.13)$$

Şeýlelikde generatoryň gysgyçlaryndaky **U<sub>g</sub>** naprýaženiýe nula deň bolýar. Gysga çatylma elektrik gurnamalara howp salyp, elektrik enjamlarynyň hatardan çykmagyna getirýär we uzak wagtlap laýyk iş ýagdaýyny bozýar. (1.8 Çyz. gorag gurluş – ereýän ereýji gorag görkezilen).



1.7.çyzgy.



1.8 çyzgy

Mysal 1.1 Elektrik hereketlendiriji güýji  $E=125 \text{ W}$  we içki garşylygy  $r_g=0,62 \text{ Om}$  bolan hemişelik togyň çeşmesi iki simly liniýa boýunça ahyrynda birikdirilen ýüki iýmitlendirýär. Liniýaň ululyklary (parametrleri): Uzynlygy  $l=100\text{m}$ , simiň kese-kesigi  $s=6\text{mm}^2$ , simlaryň udel garşylygy (mis)  $\rho=0,0175 \text{ Om} \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ , ýüküň garşylygy  $r_y = 11,3 \text{ Om}$ .

Kesgitlemeli: 1) Zynjyrdaky  $I$  el. togy, 2) generatoryň gysgyçlaryndaky  $U_g$  güýjenmäni, 3) ýüküň gysgyçlarynyň arasyndaky  $U_y$  güýjenmäni, 4) generatoryň berýän kuwwaty  $P_g$ ; 5) ýüküň  $P_y$  ulanýan kuwwatyny; 6) liniýadaky ýitgi  $\Delta P$  kuwwaty; 7) generatoryň gysgyçlarynda gysga çatylmadaky  $I_g$  el. togy.

Çözülişi. Iki simli liniýaň garşylygy.

$$r_e = \rho \frac{2e}{S} = 0,0175 \frac{2100}{6} = 0,58 \text{ Om};$$

Zynjyryň umumy garşylygy

$$r = r_g + r_{ul} + r_y = 0,62 + 0,58 + 11,3 = 12,5 \text{ Om}.$$

Zynjyrdaky tok

$$I = \frac{E}{r} = \frac{125}{1,52} = 10 \text{ A};$$

Generatoryň gysgyçlaryndaky naprýaženiýe

$$U_g = E - I \cdot r_g = 125 - 10 \cdot 0,62 = 118,8 \text{ W}$$

Ýüküň gysgyçlaryndaky naprýaženiýe

$$U_y = U_g - I r_e = 118,8 - 10 \cdot 0,58 = 113 \text{ W}$$

Genaratoryň berýän (öndürýän) kuwwaty,

$$P_g = U_g \cdot I = 118,8 \cdot 10 = 1188 \text{ Wt.}$$

Ýüküň sarp edýän kuwwaty

$$P_y = U_y I = 113 \cdot 10 = 1130 \text{ Wt.}$$

Liniýadaky kuwwatyň ýitgisi

$$\Delta p_e = I^2 r_{ul} = 10^2 \cdot 0,58 = 58 \text{ Wt.}$$

Gysga çatylma el. togy

$$I_{gys} = \frac{E}{r_g} = \frac{125}{0,62} \approx 200 \text{ A};$$

#### **§ 1.4. Ýeke-täk iýmitlendiriş çeşmesi bolan hemişelik el.togyň elektrik zynjyrynyň hasaby.**

**Çeşmeleryň we elektrik energiýasyny ulanyjylaryň birikdirilişi.** Oň seredilen ýönekeý elektrik zynjyrdaky generator, elektrik kabulediji we generatordan kabuledijä elektrik energiýasy berilýän we olary birikdirýän sim özara izigider birikdirilendirler. Şu usul energetiki nukdaý nazardan ugur alyp zynjyryň elementleri – generatory, elektrik kabul

edijileri we elektrik energiýasy berilýän liniýasy dürli häsiýetli umumy elektrik toplumyny baglaşdyrmak üçin ulanylýar. Energetik gatnaşyk boýunça toplumy biratly elementleri, mysal, generatorlar ýa-da elektrik kabuledijileri düzgün boýunça özara parallel birikdirýärler. Şular ýaly birikdiriliş usulynda elektrik energiýasyny kabul edijileriň we aýry-aýry çeşmeleriň işlemeginde we dolandyrmakda otnositel baglanşyksyzlygy gazanylýar. Şeýlede bolsa yzygider birikdirilende her bir generatory, elektrik kabul edijini, çatmak we ýazdyrmak şeýle hem olaryň her biriniň talap edýän iş şertini (režimini) kadalaşdyrmak mümkin däl. Mundan başga kabul edijileriň yzygider birikdirilende, mysal, elektrik çyzygysynyň biriniň köýmegi beýlekileriniň öçmegine getirýär.

Her generatoryň öz ýüki üçin aýratyn işlemegi generatortlaryň umumy ýük üçin özara parallel işi, bilen deňeşdirilende örän ýokary artykmaçlygy bardyr.

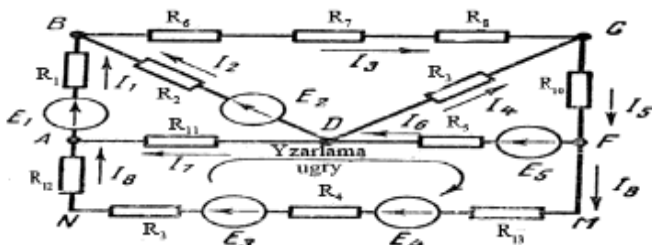
Birinjiden, kabul edijileriň iýmitleniş ygtybarlygy ýokarlanýar, sebäbi generatoryň biriniň näsazlygy üçin ýazdyrlanda öçürmän galan işleýän generatorlar has jogapkär ýükleriň elektrik üpjünçiligini üznüksiz üpjün edip bilerler.

Ikinjiden, parallel işlänlerinde ýük azalanda (mysal üçin, gije ýa-da dynç günleri) ýada generatorlaryň bir bölegi ýazdyrlanda elektrik enjamlaryň ulanylmagynyň tygşylylygyny ýokarlandyrýar.

Haçanda bir çeşme (mysal üçin, elektrohimiýa energiýany toplaýjy (akkumulýator), e.h.g.  $E = 1,25-2,4 \text{ W}$ ) gerek bolan naprýaženiýe 220 wolt da 110W bilen üpjün edip bilmedik ýagdaýynda, birgörnüşli çeşmeleriň yzygider birleşmesini ulanmaly bolar.

Birgörnüşli (birmeňzeş) kabul edijileriň (mysal üçin, elektrik çyralarynyň) yşyklarynyň yzygider çatylmasy, haçanda çeşmäniň naprýaženiýesi aýry-aýry elektrik kabul edijileriň

laýyk naprýaženiýelerinden has ýokary bolanda ulanylýar.



1.9 çyzgy

**Kirhgofyň kanunlary.** Elektrik zynjyryň derňewinde we hasabynda çesmeleriň we elektrik energiýasyny kabul ediji bilen yzygider we parallel birikdirilende emele gelen elektrik shemasynda olar ýaly shemalary nähili amala aşyrlandygyny görkezýär (1.9. çyz). Şol bir ululykda el. togyň geçýän birnäçe yzygider birikdirilen elementleri şaha emele getirýär. Kä ýagdaýlarda şahada bir element bolup biler. Käbir şahalar (mysal üçin; AB, ANMF)  $r$  garşylygy,  $E$  e.h.g. saklaýar. Beýleki şahalar (mysal üçin, AD, DC, BC) diňe  $r$  garşylyga eýedirler. Üç ýa-da ondan köp şahalaryň birleşen ýerine düwün nokady, ýa-da düwün diýilýär. Mysal üçin A nokatda üç şaha birikýär: AB, AD we ANHF.

Birnäçe şahalaryň emele getirýän ýapyk zynjyryna kontur diýilýär (mysal üçin, ABDA, ADFMNA).

Shemanyň düwün nokatlary üçin Kirhgofyň birinji kanuny, konturlar üçin – Kirhgofyň II kanunyny ulanyp bolar.

Şahalanmanyň dürli (her bir) nokadynda (düwün nokat) akyp gelýän el. togyň jemi ondan çykýan toklaryň jemine deňdir.

Egerde şahalanma nokada gelýän el. togy položitel hasap etsek, ondan çykýan toklary – otrisatel diýsek onda, Kirhgofyň birinji kanunyna şeýle kesgitleme berip bileris: düwün nokadynda toklaryň algebraiki jemi nula deňdir:

$$\Sigma I = 0$$

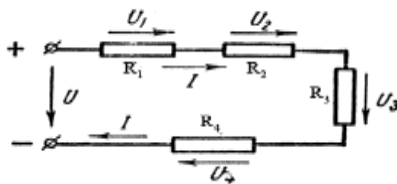
Mysal hökmünde 1.9. çyz. görkezilen elektrik shemanyň A nokady üçin Kirhgofyň I kanunynyň deňlemesini ýazarys:

$$I_7 + I_8 = I_1$$

$$I_7 + I_8 - I_1 = 0.$$

Kirhgofyň ikinji kanunyna görä, hemme ýapyk konturdaky e.h.g. algebraiki jemi şol kontura girýän ähli garşylyklardaky düzüme naprýaženiýanyň algebraiki jemine deňdir:

$$\Sigma E = \Sigma E \cdot r \quad (1.15)$$



### 1.10.çyzgy

Ýapyk kontur sagadyň diliniň aýlow ugry boýunça ýapyk kontury (ýa-da sagat diliniň aýlawynyň tersine) yzarlansa kabul edilen ugurlary bilen gabat gelýän e.h.g we el. toglary položitel, garşylykly ugrukdyrylan e.h.g.-i we el. toglary – otrisatel hasap etmelidir.

Mysal üçin, ADFMNA ýapyk kontura seredeliň (1.9. çyz). El.toglaryň we e.h.g. çyzgydaky (çyzgydaky) görkezilen ugurlary we sagat diliniň ugry şol konturyň kabul edilen aýlawynda Kirhgofyň ikinji kanunynyň deňlemesi aşakdaky görnüşli alar:

$$-E_5 + E_4 + E_3 = -I_7 r_{11} - I_6 r_5 + I_8 (r_{13} + r_4 + r_3 + r_{12}).$$

Şeýle ýazylan Kirhgofyň II kanunynyň deňlemesi käbir hasaplamalarda gaty ykjam bolup durýar,

$$\Sigma E = \Sigma U + \Sigma I \cdot r \quad (1.16)$$

Bu ýerde konturyň kesgitli böleklerine degişli bolan goşulyjylaryň bir bölegi  $I_r$ , ol böleklerdäki  $U$  naprýaženiýe bilen çalşylandyr.

### **§1.5. Yzygider birikmeli zynjyr.**

Eger-de elektrik zynjyry  $r_1, r_2, r_3, r_4$  garşylykly birnäçe yzygider birikdirilen böleklerden durýan bolsa, onda ähli bölekler (bölümçeler) boýunça şol bir  $I$  el. tog tok akar (geçer).

Zynjyryň böleginde e.h.g. çeşmesiniň bolmadyk ýagdaýynda, ähli zynjyryň gysgyçlaryna goýlan umumy naprýaženiýe zynjyryň aýry-aýry elementlerindäki düşme naprýaženiýanyň jemine deňdir (Kirhgofyň II kanuny):

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + U_4 \quad (1.17).$$

ýa-da

$$U = I_{r_1} + I_{r_2} + I_{r_3} + I_{r_4} = I(r_1 + r_2 + r_3 + r_4) = I \cdot r \quad (1.18).$$

Şu aňlatmadan görnüşi ýaly,  $r$  umumy garşylyk zynjyrda yzygider birikdirilen elementleriň garşylygyna deň, elementleriň arasyndaky naprýaženiýe olaryň garşylygyna deň, elementleriň arasyndaky naprýaženiýe olaryň garşylygyna göni baglylykda bölünýär.

Eger-de (1.18.) deňlemäni  $I$  köpeltsek, onda aşakdakyny alarys

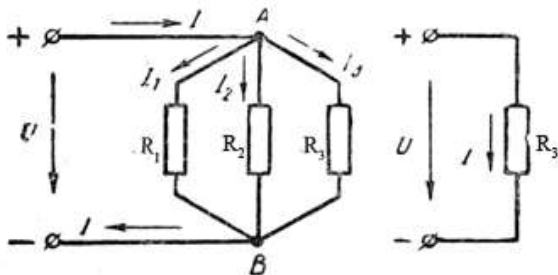
$$U \cdot I = I^2 r_1 + I^2 r_2 + I^2 r_3 + I^2 r_4 \quad (1.19).$$

ýa-da

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 \quad (1.20).$$

ýagny zynjyryň ulanýan umumy kuwwaty, aýry-aýry elementleriň ulanýan kuwwatlarynyň jemine deň.

## §1.6 Parallel birikmeli zynjyr .



### 1.11. çyzgy

Elektrik kabul edijiler parallel çatylanda (birikdirilende) (1.11-çyz.) olaryň hemmesi deň  $U$  naprýaženiýanyň astynda bolýarlar. Aýry-aýry (her bir) elektrik kabul edijileriň garşylygyna degişlilikde  $r_1 + r_2 + r_3$ , degişlilikde olaryň geçirijiligini  $g_1, g_2, g_3$ , el. togý  $I_1, I_2, I_3$  üsti bilen belgiläris.

Zynjyryň şahalanmaýan bölegindäki umumy  $I$  el. tog, aýry-aýry elektrik kabul edijileriň ulanýan el. togynyň jemine

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = \frac{U}{r_1} + \frac{U}{r_2} + \frac{U}{r_3} = U \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} \right) = U \frac{1}{r_g} \quad (1.21).$$

deňdir.

ýa – da

$$I = Ug_1 + Ug_2 + Ug_3 = U(g_1 + g_2 + g_3) = Ug_e \quad (1.22).$$

Şahalanýan zynjyryň ekwiwalent geçirijiligi onuň aýry-aýry şahalarynyň geçirijiligine deňdir:

$$\frac{1}{r_e} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} \quad (1.23)$$

ya – da

$$g_e = g_1 + g_2 + g_3 \quad (1.24).$$



Haçan-da aýratyn ýagdaýlarda zynjyr  $r_1$  we  $r_2$  iki parallel birikdirilen garşylygy saklaýan bolsa  $r_e$  ekwiwalent garşylygy (1.23) aňlatmadan gelip çykýan deňleme boýunça kesgitleme amatlydyr:

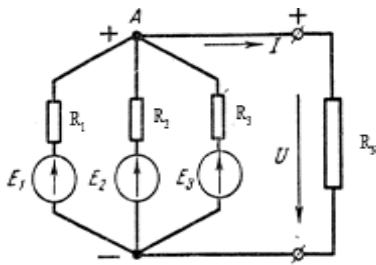
(1.21) deňlemäni  $U$  köpeldip alarys  
ýa-da

$$P_1 + P_2 + P_3 = P \quad (1.26)$$

$$\frac{U^2}{r_1} + \frac{U^2}{r_2} + \frac{U^2}{r_3} = \frac{U^2}{r_e} \quad (1.25)$$

$$\frac{r_2 + r_1 r_3}{r_1 + r_2} = r_e \quad (1.24).$$

Aýdylanlardan belli bolşy ýaly, şahalanýan zynjyrdan sarp edilýän kuwwat, aýry-aýry kabul edijileriň ýada bir ekwiwalent kabul edijiniň ulanýan kuwwatlaryň jemine deňdir. Ekwiwalent kabul edijiniň geçirijiligi hemme parallel çatylan elektrik kabul edijileriň geçirijiliginiň jemine deňdir. Şular ýaly kabul edijilerde el. akymlar hem edil kuwwatlar ýaly elmydam geçirijilige baglylykda (praporsional) bölünýärler.



### 1.12.çyzgy

Bilelikde parallel işlemek üçin birnäçe generatorlar biratly gysgyçlary özara birikdirýärler;

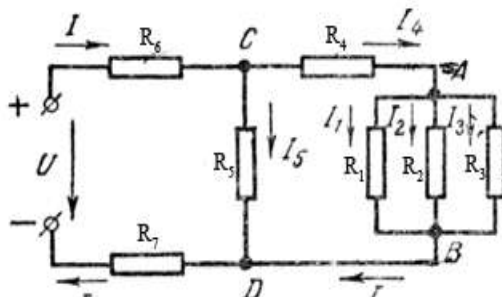
umumy düwün nokatlaryna bolsa daşky zynjyr (ýük) birikdirilýär.

Şunlukda hemme(ähli) generatorlaryň e.h.g. olaryň umumy yüklerine baglylykda (otnositel) deň ugra eýe bolarlar.

### §1.7. Bir e.h.g. we garşylyklary garyşyk çatylan zynjyryň hasaby.

Elektrik zynjyryň hasabynyň esasy meselesi – zynjyryň dürli elementlerindäki toklary we kuwwaty (generatordaky, elektrik kabul edijileriň we olary birikdirýän liniýalar), şeýle hem zynjyryň (her-bir) elementlerindäki güýjenmäni kesgitlemekdir.

Zynjyryň dürli elementleriniň häsiýetnamalary (ululyklary) we şol zynjyryda hereket edýän e.h.g. berlenleri ýagny olaryň ýaha garşylyklary ýa-da laýyk naprýaženiýeleri we kuwwatlary hasabyň başky berlenleri bolup hyzmat edýärler. Zynjyry düzýän garşylygyň üýtgemeýänligi we şol zynjyrdaky e.h.g. hemişelik (ululygy we ugry) şertlerine berlen shemadaky naprýaženiýanyň, toklaryň we kuwwatlaryň bölünmesi diňe bir bolup biler, ýagny meseläniň ýeke täk çözüsi bardyr.



1.13. çyzgy

Eger-de elektrik zynjyry yzygider we parallel birikdirilen (çylşyrymly) garşylyklardan durýan we şeýle hem bir iýmitlendiriş çeşmesini (bir e.h.g.) saklaýan bolsa, onda ol aşakdaky tertipde hasaplanýar: 1) shemany yzygider ýönekeýleşdirip umumy garşylygy tapýarlar; 2) Omuň kanuny esasynda umumy el. togy kesgitleýärler; 3) Shemada el. toglaryň we naprýaženiýeleriniň paýlanyşyny tapýarlar. Şulara

meňzeş zynjyryň hasabynyň usulyňy sanlaryň mysalynda düşündireris.

**Mysal: 1.2.**

1.13 çyzgyda şekillendirilen zynjyra seredeliň.

Başda berlenler:  $U = 220 \text{ V}$ ,  $r_1 = 10 \text{ Om}$ ,  $r_2 = 20 \text{ Om}$ ,  
 $r_3 = 60 \text{ Om}$ ,  $r_4 = 4 \text{ Om}$ ,  $r_7 = 2 \text{ Om}$ .

Shemada el. toglaryň bölünişini tapmaly.

Çözüdi. AB nokatlaryň arasyndaky ekwiwalent garşylygy kesgitleýäris.

$$\frac{1}{r_{AB}} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} = \frac{1}{10} + \frac{1}{20} + \frac{1}{60} = \frac{1}{6}; \quad r_{AB} = 6 \text{ Om}.$$

Yzygider birikdirilen  $r_{AB}$  we  $r_4$  garşylyklary goşup aşakdaky garşylygy alarys

$$r^1 = r_{AB} + r_4 = 6 + 9 = 15 \text{ Om}.$$

Öz gezeginde  $r^1$  garşylyk  $r_5$  garşylyk bilen parallel birikdirilen bolýar:

$$\frac{1}{r_{CD}} = \frac{1}{r^1} + \frac{1}{r_5} = \frac{1}{15} + \frac{1}{30} = \frac{1}{10}; \quad r_{CD} = 10 \text{ Om}.$$

Zynjyryň umumy garşylygy

$$r = r_6 + r_{CD} + r_7 = 4 + 10 + 2 = 16 \text{ Om}.$$

Umumy el. tog

$$I = \frac{U}{r} = \frac{220 \text{ V}}{160 \text{ Om}} \approx 13,75 \text{ A}.$$

C we D nokatlaryň aralaryndaky naprýaženiýe

$$U_{CD} = I r_{CD} = 13,75 \cdot 10 = 137,5 \text{ V}.$$

$r^1$  we  $r_5$  garşylyklardaky el. toglar:

$$I_4 = \frac{U_{CD}}{r^1} = \frac{137,5V}{15} = 9,17A.$$

$$I_5 = \frac{U_{CD}}{r_5} = \frac{137,5}{30} = 4,58A.$$

**A** we **B** nokatlaryň aralaryndaky naprýaženiýe

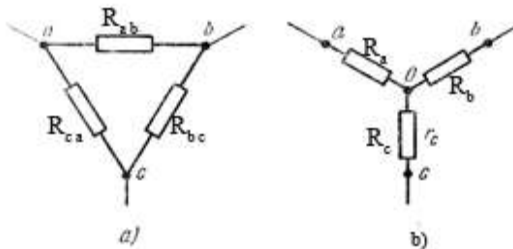
$$U_{AB}=I_4 r_{AB}= 9,17 \cdot 6=55,02 \text{ W}$$

**r1, r2 we r3** garşylyklardaky el. toglar :

$$I_1 = \frac{U_{AB}}{r_1} = \frac{55,02}{10} = 5,502 \text{ A}, \quad I_2 = \frac{U_{AB}}{r_2} = \frac{55,02}{20} = 2,751 \text{ A},$$

$$I_3 = \frac{U_{AB}}{r_3} = \frac{55,02}{60} = 0,917 \text{ A}.$$

Duş gelýän ýalňys düşüňjelerden dynmak üçin hökmany şu aşakdakylara üns bermeli. Zynjyryň hemme (ähli) yzygider birikdirilen elementlerindäki naprýaženiýeleriniň ýitgisini doly deňleşdirilýär (öwezini doldurylýar) sebäbi elektrik zynjyrynda mydama gerek ululykdaky I el. tog durýar. Elektrik shemanyň bölegindäki haýsy hem bolsa bir garşylygyň üýtgemegi umumy el. togynyň şeýle hem shemanyň aýry-aýry elementlerinden akýan el. akymyň üýtgemegine getirýär.



1.14.çyzgy.

Mysal üçin, 1.13 shemadaky  $r_3$  garşylygyň ululygynyň üýtgedilmegi ýa-da ýazdyrylmaýy hemme el. akymalaryň üýtgemegine getirýär.

### **§1.8.Üçburçlyk görnüşinde birikdirilen garşylyklaryň ekwiwalent ýyldyza özgerdilmegi.**

Elektrik zynjyrynda hasapgeçirilende yzygider we parallel birikdirilen garşylyklary ekwiwalent ululyklary bilen çalyşyryp ýeke-täk netijeleýjä getirmek bolmaýar. Şonuň üçin

$$\frac{r_{ab}(r_{bc} + r_{ca})}{r_{ab} + r_{bc} + r_{ca}} = r_a + r_b, \quad \frac{r_{bc}(r_{ca} + r_{ab})}{r_{ab} + r_{bc} + r_{ca}} = r_b + r_c, \quad \frac{r_{ca}(r_{ab} + r_{bc})}{r_{ab} + r_{bc} + r_{ca}} = r_c + r_a,$$

has çylşyrymly özgertmä ýüz tutmaly bolýar. Eger-de aýratynlykda zynjyra üçburçlygyň taraplaryny döredýän  $r_{ab}$ ,  $r_{bc}$  we  $r_{ca}$  üç garşylykdan durýan ýapyk kontur düş gelse, onda ol garşylyklary bir **O** düwün nokadyna birikdirilen  $r_a$ ,  $r_b$  we  $r_c$  garşylyklar we emele gelýän üç şöhleli ýyldyz bilen çalyşyrlýar we (1.14 b çyz.).

Bu özgertme ekwiwalent bolmalydyr ýagny zynjyryň **a** we **b**, **b** we **c**, **c** we **a** nokatlarynyň arasyndaky garşylyk degişlilikde birikmäniň iki görnüşinde hem birmeňzeş bolmalydyrlar:

Üç deňlemäni  $r_a$ ,  $r_b$  we  $r_c$  görä çözüp taparys:

$$r_a = \frac{r_{ab}r_{bc}}{r_{ab} + r_{bc} + r_{ca}}; \quad r_b = \frac{r_{bc}r_{ca}}{r_{ab} + r_{bc} + r_{ca}}; \quad r_c = \frac{r_{ca}r_{ab}}{r_{ab} + r_{bc} + r_{ca}}; \quad (1.27)$$

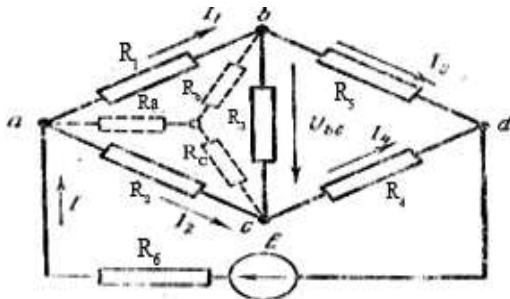
$$r_{ab} = r_a + r_b + \frac{r_a + r_b}{r_c}; \quad r_{bc} = r_b + r_c + \frac{r_b + r_c}{r_a}; \quad r_{ca} = r_c + r_a + \frac{r_c + r_a}{r_b}; \quad (1.28)$$

Ýyldyz görnüşli garşylygy  $r_{ab}$ ,  $r_{bc}$  we  $r_{ca}$  ekwiwalent üçburçlyk görnüşli garşylyga özgerdilende  $r_a$ ,  $r_b$  we  $r_c$  garşylyklaryň üsti bilen aňladylýar:

Haçan-da görkezilen özgertmede garşylyklaryň ýapyk üçburçlyk görnüşinde ýa-da ýyldyz görnüşinde energiýanyň

(e.h.g.) çeşmesi bolmadyk (ýok bolan) ýagdaýynda ulanylynyp biliner.

Elektrik zynjyrynda hasap geçirilende (1.27) özgertme deňlemäni ulanmagy Uistonyň köprüsi diýen belli atly shemanyň mysalynda serederis.



**Mysal 1.3.** 1.15 çyz. şekillendirilen. Shemanyň **bc** germewindäki el. togy kesgitlemeli. Başda berilenler:

**$E = 32 \text{ W}$ ,  $r_0 = 1 \text{ Om}$ ,  $r_1 = 10 \text{ Om}$ ,  $r_2 = 15 \text{ Om}$ ,  
 $r_3 = 25 \text{ Om}$ ,  $r_4 = 12,5 \text{ Om}$ ,  $r_5 = 25 \text{ Om}$ .**

$$r_a = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2 + r_3} = \frac{10 \cdot 15}{10 + 15 + 25} = 3 \text{ Om}; \quad r_b = \frac{r_1 \cdot r_3}{r_1 + r_2 + r_3} = \frac{10 \cdot 25}{50} = 5 \text{ Om};$$

$$r_c = \frac{r_2 \cdot r_3}{r_1 + r_2 + r_3} = \frac{15 \cdot 25}{50} = 7,5 \text{ Om};$$

**Çözülişi.** Üçburçlyk görnüşdäki  **$r_1$ ,  $r_2$  we  $r_3$**  garşylygy kwapdaş (ekwiwalent) ýyldyz görnüşli garşylyklar bilen çalyşýarys.

Zynjyryň umumy garşylygy

$$r = r_0 + r_a + \frac{(r_b + r_5)(r_c + r_4)}{r_b + r_5 + r_c + r_4} = 1 + 3 + \frac{(5 + 25)(7,5 + 12,5)}{5 + 25 + 7,5 + 12,5} = 1 + 3 + 12 = 16 \text{ Om}.$$

Shemanyň şahalanmaýan bölegindäki el. togy

$$I = \frac{E}{r} = \frac{32}{16} = 2 \text{ A}.$$

$(r_b+r_5)$  we  $(r_c+r_4)$  parallel şahalardaky el. toglar

$$I_3 = I \frac{r_c + r_4}{r_b + r_5 + r_c + r_4} = 2 \cdot \frac{20}{50} = 0,8A, \quad I_4 = I \frac{r_b + r_5}{r_b + r_5 + r_c + r_4} = 2 \cdot \frac{30}{50} = 1,2A.$$

**b we c** nokatlaryň arasyndaky naprýaženiýe

$$U_{bs} = I_3 r_3 - I_4 r_4 = 0,8 \cdot 25 - 1,2 \cdot 12,5 = 20 - 15 = 5 \text{ W.}$$

**bc** gerimdäki el. togy

$$I_{bc} = \frac{U_{bc}}{r_3} = \frac{5}{25} = 0,2A.$$

### **§1.9. Birnäçe imitlendiriş çeşmeli hemişelik el.togyň şahalanýan zynjyrynyň hasaby.**

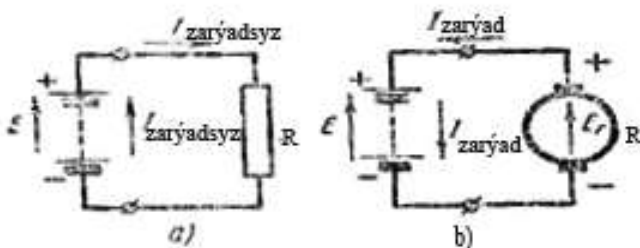
Birnäçe imitlendiriş çeşmesi bolan şahalanýan zynjyryň derňewiniň we hasabynyň köp taraply usuly bolup degişlilikde düwün nokatlary we ýapyk konturlar üçin Kirhgofyň I we II kanunlaryny gös-göni ulanmak usuly bolup durýar.

Ýöne şu usulyň ýeterlik derejedäki (sandaky) şahalarda we düwün nokatlarynda ulanmaklygy köp sanly uly deňlemeleriň hökmany özara çözülişi kynlaşýar. Kirhgofyň kanunlaryna esaslanan beýleki hasap usullaryny şol we beýleki birnäçe ýagdaýlar üçin ulanmaklyk ýerliklidir. Hasap shemanyň gurluşyna we öňde goýlan mysala baglylykda berlen ýagdaýda şol hasap usuly has ukyply hasap edilýär. (şol zynjyrda näçe dürli näbelli el. toklar). Egerde e.h.g. ululygy we olaryň ugurlary, şeýle hem çylşyrymly zynjyryň garşylygyny ululygyny Kirhgofyň kanunlaryny ulanyp şol zynjyrda näçe dürli näbelli toklar bar bolsa şonça hem baglanşyksyz deňleme düzüp bolar.

Eger-de ýekebir e.h.g. we el. toglaryň hem-de olaryň ugurlary belli bolan ýagdaýlarda şol deňlemeler ýazylyp biliner. Ýöne ol deňlemeleri düzmek üçin öňünden näbelli el. toglaryň ugurlaryny erkin položitel (+) diýip kabul edilendir.

Netijede eger-de düzülen deňlemeler toplumy çözülide tapylan el. togyň ululygynyň alamaty (+) plýus bolsa, onda ol onuň ugrunyň oň kabul edilen položitel ugur bilen gabat gelýär. Beýleki ýagdaýda el. togynyň kanuny (faktiçeski) ugry saýlanan položitel ugra tersdir.

Baglanşyksyz deňlemeleriň talap edilýän sanyny almak üçin birinden başga hemme düwün nokatlary üçin egerde düwünleriň sany  $n$ -e deň bolsa Kirhgofyň I kanunyny ulanyp, ýagny  $(n-1)$  deňleme düzmeli bolar. Ýetmeýän deňlemeleri Kirhgofyň II kanuny boýunça şeýle bir düzmelidir, ýagny her bir düzülen deňleme öňkülerden alynan bolmaly däl. Kirhgofyň deňlemesiniň kömegi bilen çylşyrymly zynjyryň hasabyny aşakdaky yzygiderlilikde geçirýärler.



#### 1.16.çyzgy.

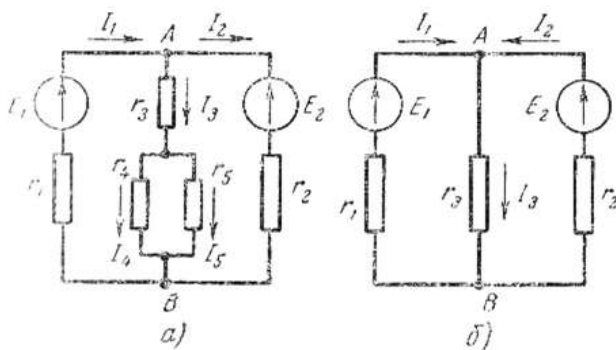
- 1) mümkin boldugyça hasap shemany yönekeýleşdirýärler (mysal, birnäçe parallel birikdirilen garşylyklary ýene ekwiwalent garşylyk bilen çalşylýar);
- 2) shemada e.h.g. belli ugryny goýýarlar;
- 3) el. toglara položitel ugur berilýär;
- 4) birinden başga galan hemme düwün nokatlary üçin Kirhgofyň I kanuny esasynda (boýunça) deňleme düzýärler;



5) ýapyk kontury sagat görkezijisiniň ugry ýada ters ugra yzarlap Kirhgofyň II kanuny boýunça ýetmeýän deňlemäni düzýärler. Şeýlelikde yzarlama ugry bilen gabat gelýän e.h.g. we el. tog položitel ol ugra gabat gelmeýän e.h.g. we el. tog otrisatel diýip kabul edilýär.

6) düzülen deňlemeleri çözüärler we näbelli el. toglary kesgitleýärler. Eger-de el. toglaryň käbir bahalary minus alamatda alynsa, onda ol şol el. toglaryň hasabyň başynda alynan şertli ugurlaryna tersdir.

Hökmany aşakdakylary bellemeli: eger-de çylşyrymly zynjyryň hasabynyň netijesinde energiýa özgerdiji gurnamalarda (elektrik maşynlarda ýa-da akumlýatorlarda) el. togyň hakyky ugry onuň e.h.g. bilen gabat gelse, onda ol seredilip geçilýän gurnamanyň elektrik kabul ediji hökmünde bolman elektrik energiýasynyň çeşmesi hökmünde işleýändiginiň şaýadydyr. Eger-de el. togyň ugry e.h.g. ters bolsa onda ol gurnamanyň elektrokabuledijidigini görkezýär. Aýdylanlary düşündirmek üçin 1.16 çyz. akkumlýatoryň razrýad (a) we razrýad (b) shemasy görkezilen (getirilen). Akumulýator (a) shemada generator hökmünde işleýär, (b) shemada ol elektrik energiýasyny kabul ediji bolup durýar. Käbir ýagdaýlarda e.h.g. el. toglara we garşylyga az owlak baha berlip biliner. Näbelli ululyklaryň umumy sanlary seredilýän shema üçin Krihgofyň kanunlary esasynda düzülýän mümkin bolan baglanşyksyz deňlemeleriň sanyna gabat gelmelidir. Şular ýaly ýagdaýlar üçin hasabyň başynda položitel ugurlara diňe bir näbelli el. toglara dilde näbelli e.h.g. (ýada güýjenmä) hem berilýär.



1.17.çyzgy.

E.h.g., napryáženíýe we elektrik. toglaryň hakyky ugurlary düzülen deňlemeler toplumy çözülende alynan (+) ýada (-) belgilere bagly bolýarlar.

**Mysal. 1.4.** 1.17 çyz. Şekillendirilen shemada elektrik.togyň bölünişigini tapmaly. Başgda berlenleri

**$E_1=72 \text{ W}$ ,  $E_2=48 \text{ W}$ ,  $r_1=30\text{Om}$ ,  $r_2=40\text{Om}$ ,**

**$r_3=6 \text{ Om}$ ,  $r_4=6 \text{ Om}$ ,  $r_5=15 \text{ Om}$ .**

Çözülişi. Başda (ilki) shemany ýönekeýleşdirýäris  $r_3$ ,

$$I_{\text{ek.}} = r_3 \frac{r_4 r_5}{r_4 + r_5} = 6 + \frac{10 \cdot 15}{10 + 15} = 12 \text{ Om.}$$

$r_4$  we  $r_5$  garşylygy çalyşýan ekwiwalent garşylygy tapýarys:

Ýönekeýleşdirilen shemada (1.17 b çyz) e.h.g.  $\mathbf{E}_1$  we  $\mathbf{E}_2$  berlen položitel ugury geçireris we näbelli  $\mathbf{I}_1$ ,  $\mathbf{I}_2$  we  $\mathbf{I}_3$  el.akuiwlaryň ugryny belläris. Şu çatga Kirhgofyň kanunlaryny ulanyp üç deňleme düzeris:

$$\begin{array}{ll} \mathbf{I}_1 + \mathbf{I}_2 = \mathbf{I}_3 & \mathbf{I}_1 + \mathbf{I}_2 = \mathbf{I}_3 \\ \mathbf{E}_1 - \mathbf{E}_2 = \mathbf{I}_2 r_2 & 72 - 48 = 3\mathbf{I}_1 - 4\mathbf{I}_3 \\ \mathbf{E}_1 = \mathbf{I}_1 r_1 + \mathbf{I}_3 r_e & 72 = 3\mathbf{I}_1 + 12\mathbf{I}_3 \end{array}$$

Şu deňlemeler toplumyny çözüp taparys:

$$\mathbf{I}_1 = 5 \text{ A}; \quad \mathbf{I}_2 = -1,5 \text{ A}; \quad \mathbf{I}_3 = 4,5 \text{ A}.$$

$\mathbf{I}_2$  el. togyň ululygyndaky alynan otrisatel belgi hakykatdan hem şol el.tog ters ugra (tarapa) ugrukdyrylandygyny aňladýar.  $\mathbf{I}_3$  el.tog  $r_4$  we  $r_5$  parallel şahalaryň arasynda şol garşylyklara ters praporsionaldyr. Hakykatda bütün shema boýunça el.tog bölünişigi 1.17a çyz. görkezilendir.

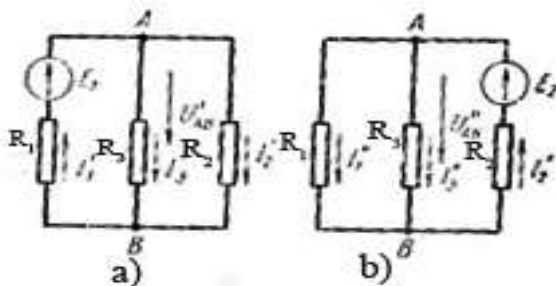
### §1.10. Üst-üste goýmak usuly (Superpozisiýa).

$$r^{11} = r_2 + \frac{r_1 r_3}{r_1 + r_3} 4 \frac{3 \cdot 12}{3 + 12} = 4 + 2,4 = 6,4 \text{ Om};$$

Seredilýän (garalýan) hasap usuly, e.h.g. hereketiň baglanyşyksyz prinsipine esaslanandyr. Şol principe görä birnäçe e.h.g. bolan zynjyryndan akýan el.toglary her bir e.h.g. aýratynlykda döredýän el.toglaryň algebraiki jemi hökmünde garamak bolar (şoňa meňzeş, mehanikada bir näçe güýçleriň täsir etmeginde jisimiň tizligini aýry-aýry güýçleriň döredýän tizlikleriniň goşulmagynyň netijesi hökmünde garamak bolar).

Birinden başga hemme e.h.g. nula deň diýip şol usulyň kömegi arkaly çylşyrymly zynjyryň hasaby amala aşyrylýar.

Şunlukda zynjyryň ähli garşylygy üýtgemän saklanýar (e.h.g. nula deňlenen iýmitlendiriş çeşmesiniň garşylygyny goşup). Alynan shema üçin hemme şahalardaky el.togy kesgitleýärler. Şeýle hasap deňelýän zynjyrda näçe e.h.g. bar bolsa şonça gezek geçirilýär. Her bir Şahadaky hakyky el.tog, tapylan bölek el.toglaryň jemi hökmünde kesgitlenýär. Jemlenende dölek el.toglaryň ugry göz önünde tutulmalydyr. Üst-üste goýma usuly diňe nirede garşylyk, olardan akýan el.toglara bagly däl bolan ýerde ulanyp bolýandygyny görkezmelidir.



1.18.çyzgy.

Olar ýaly garşylyga çyzykly diýilýär).

### Mysal 1.5.

Üst-üste goýma usuly 1.17 b çyzgyda çatga ulanyp biliner. Eger-de shemada diňe  $E_1$  e.h.g. täsir edýän bolsa (1.18 a çyz.), onda zynjyryň umumy garşylygy

$$r^1 = r_1 + \frac{r_2 r_c}{r_2 + r_c} = 3 + \frac{4 \cdot 12}{4 + 12} = 3 + 3 = 6 \text{ Om.}$$

Shemanyň şahalanmaýan bölegindäki el.tog

$$I_1^1 = \frac{E_1}{r^1} = \frac{72}{6} = 12 \text{ A.}$$

Şahalanma nokatlaryň aralaryndaky naprýaženiýe

$$U_{AB}^1 = I_1^1 \frac{r_c r_2}{r_c + r_2} = 12 \frac{12 \cdot 4}{12 + 4} = 36 \text{ V.}$$

**I<sub>2</sub><sup>1</sup> we I<sub>3</sub><sup>1</sup>** el.toglary kesgitleýäris:

$$I_2^1 = \frac{U_{AB}^1}{r_2} = \frac{36}{4} = 9 \text{ A;} \quad I_3^1 = \frac{U_{AB}^1}{r_c} = \frac{36}{12} = 3 \text{ A;}$$

Eger-de shemada diňe E<sub>2</sub> e.h.g. täsir edýän bolsa (1.18,b Çyz) onda zynjyryň umumy garşylygy

Şol shemanyň şahalanmaýan bölegindäki el.tog

$$I_2^1 = \frac{E_2}{r^{11}} = \frac{48}{6,4} = 7,5 \text{ A.}$$

**A we B** nokatlaryň aralaryndaky naprýaženiýe

$$U_{AB}^{11} = I_2^{11} \frac{r_1 r_e}{r_1 + r_e} = 7,5 \frac{3 \cdot 12}{3 + 12} = 18 \text{ W;}$$

Bölek el. toglar

$$I_1^{11} = \frac{U_{AB}^{11}}{r_1} = \frac{18}{3} = 6 \text{ A;} \quad I_3^{11} = \frac{U_{AB}^{11}}{r_c} = \frac{18}{12} = 1,5 \text{ A;}$$

Bölek el.toglary goşup we olaryň ugryny hasaba alyp, aýry-aýry şahalardaky el.toglaryň hakyky bahalaryny alarys.

$$I_3 = I_3^1 + I_3^{11} = 3 + 1,5 = 4,5 \text{ A;}$$

$$I_1 = I_1^1 - I_1^{11} = 12 - 6 = 6 \text{ A}$$

$$I_2 = I_2^I - I_2^{II} = 9 - 7,5 = 1,5 \text{ A.}$$

Alynan netijeler 1.4 mysaldaky tapylan el.toglaryň bahalary bilen gabat gelýär.

### **Kontur toklar usuly.**

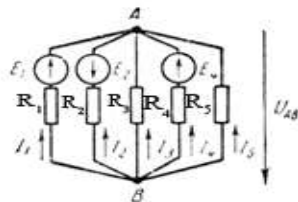
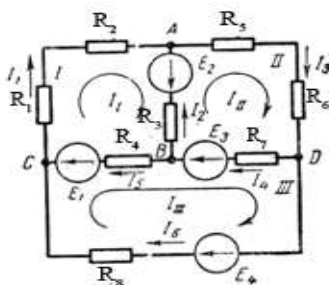
Köp sanly düwün nokatlary çylşyrymly zynjyrdaky hasap geçirilende kontur toglar usuly Krihgofyň I kanuny boýunça deňleme düzmekden boşadýar we şonuň bilen birlikde özara çözülyän deňlemeleriň umumy sanyny düýpli gysgaltmaga mümkinçilik berýär. Şol usulyň manysyny (1.19 çyz.) görkezilen **A, B, C, D** düwün nokatlary bolan çylşyrymly zynjyryň üsti bilen düşündireris. Berlen shemany toglaryň ugurlary erkin alnan I, II, III üç garşylyk kontura böleris. Egher-de şol konturlarda öz ( $I_I, I_{II}, I_{III}$ ) kontur el.toglary akýar diýip hasap etsek, onda iki garyşyk (baglanyşykly) umumy bolup durýan şahalardan alynýan toglar iki kontur toglaryň algebraiki jemine deňdir (**AB**-şahadan  $I_2 = I_{II} - I_I$ , **BC**-şahadan  $I_5 = I_I - I_{III}$  tog we **DB**-şahadan  $I_4 = I_{II} - I_{III}$  tog akýar).

Aýry konturlar üçin Kirhgofyň II kanunyny ulanyp, kontur toklaryň sanyna deň bolan deňlemeler toplumyny alarys.

$$\begin{aligned} E_1 + E_2 &= I_I(r_1 + r_2) + (I_I + I_2)r_3 + (I_I + I_{III})r_4, \\ E_3 - E_2 &= I_{II}(r_5 + r_6) + (I_{II} + I_{III})r_7 + (I_{II} - I_I)r_3, \\ E_4 - E_1 - E_3 &= I_{III} \cdot r_8 + (I_{III} - I_I)r_4 + (I_{III} - I_{II})r_7, \end{aligned}$$

Şu deňlemeleri özara çözmeklik üçin has amatly görnüşde bermek bolar:

$$\left. \begin{aligned} E_1 + E_2 &= I_I(r_1 + r_2 + r_3 + r_4) - I_{II} \cdot r_3 - I_{III} \cdot r_4, \\ E_3 - E_2 &= I_{II}(r_5 + r_6 + r_7 + r_3) - I_I \cdot r_3 - I_{III} \cdot r_7, \\ E_4 - E_1 - E_3 &= I_{III}(r_4 + r_7 + r_8) - I_I \cdot r_4 - I_{II} \cdot r_7, \end{aligned} \right\} (1.2a)$$



1.19.çyzgy. Kontur toklar usuly arkaly hasaplamak üçin zynjyryň çatgysy

1.20.çyzgy. Düwün aprýażeniýasy usuly hasaplama zynjyrynyň çatgysy

**I<sub>I</sub>, I<sub>II</sub> we I<sub>III</sub>** kontur el.togy tapyp, garnuwly **AB, BC, we DB** şahalarydaky el.toglary tapmak kyn dälir.

**Mysal 1.6.** 1.19 çyzgyda şekillendirilen shemada el.toglaryň bölünmegini tapmaly. Başda berilenler:

**E<sub>I</sub> = 10 W, E<sub>2</sub> = 10 W, E<sub>3</sub> = 110 W, E<sub>4</sub> = 120 W, r<sub>I</sub> = 5 Om, r<sub>2</sub> = 3 Om, r<sub>3</sub> = 80 Om, r<sub>4</sub> = 4 Om, r<sub>5</sub> = 3 Om, r<sub>6</sub> = 4 Om, r<sub>7</sub> = 5 Om, r<sub>8</sub> = 6 Om.**

**Çözülişi.** (1.29) deňlemä e.h.g. we zynjyryň garşylygynyň belli bahalaryny goýup we ol deňlemeleri özara çözüp, taparys (alarys)

$$\mathbf{I_I=5A, I_{II}=8A, I_{III}=4A.}$$

Seredilýän zynjyrdaky toglaryň hakyky bahalary:

$$\begin{aligned} \mathbf{I_1 = I_I = 5\ A, \quad I_2 = I_{II} - I_I = 8 - 5 = 3\ A, \quad I_3 = I_{II} = 8\ A,} \\ \mathbf{I_4 = I_{II} - I_{III} = 8 - 4 = 4\ A, \quad I_5 = I_I - I_{III} = 5 - 4 = 1\ A, \quad I_6 = I_{III} = 4\ A,} \\ \mathbf{A,} \end{aligned}$$

### §1.11. Dűwűn ara naprýaženiýe usuly.

Seredilýän hasap usuly iri dűwűn nokatlaryndan çykýan (1.20 çyz.) birnäçe parallel şahalry bolan shemalar üçin ulanmak amatlydyr (műmkindir), şeýle hem kyn bolmadyk özgertmelerden soň iki dűwűnli çatga getirilmegi műmkindir. Ähli şahalardaky el. toglaryň ugryny **B** dűwűnden **A** dűwűne diýip alarys. **A** we **B** nokatlaryň aralaryndaky  $U_{AB}$  güýjenmä dűwűn naprýaženiýesi diýip at bereris. E e.h.g-li şaha, Kirhgofýň II kanunyň ulanarys:

$$\mathbf{E}_1 = \mathbf{U}_{AB} + \mathbf{I}_1 \cdot \mathbf{r}_1$$

nirede

$$I_1 = \frac{E_1 - U_{AB}}{r_1} = (E_1 - U_{AB})g_1, (a)$$

Meñzeşlikde alarys

$$I_2 = \frac{-E_2 - U_{AB}}{r_2} = (-E_2 - U_{AB})g_2, (b)$$

$$I_3 = \frac{0 - U_{AB}}{r_3} = (-U_{AB})g_3, (w)$$

$$I_4 = \frac{E_4 - U_{AB}}{r_4} = (E_4 - U_{AB})g_4, (g)$$

$$I_5 = \frac{0 - U_{AB}}{r_5} = (-U_{AB})g_5, (d)$$

Kirhgofýň I kanuny boýunça

$$\mathbf{I}_1 + \mathbf{I}_2 + \mathbf{I}_3 + \mathbf{I}_4 + \mathbf{I}_5 = \mathbf{0}$$

ýa-da

$$(\mathbf{E}_1 - \mathbf{U}_{AB})\mathbf{g}_1 + (-\mathbf{E}_2 - \mathbf{U}_{AB})\mathbf{g}_2 - \mathbf{U}_{AB} \cdot \mathbf{g}_3 + (\mathbf{E}_4 - \mathbf{U}_{AB})\mathbf{g}_4 - \mathbf{U}_{AB} \cdot \mathbf{g}_5 = \mathbf{0}$$



Bu ýerden düwün naprýaženiýesini kesgitlemek üçin aşakdaky deňlemäni alarys: (1.30)

$$U_{AB} = \frac{E_1 \cdot g_1 - E_2 \cdot g_2 + E_4 \cdot g_4}{g_1 + g_2 + g_3 + g_4 + g_5} = \frac{\sum_1^n E_k g_k}{\sum_1^n g_n};$$

Eger-de  $E_K$  e.h.g. ugry aluwyň alynan ugryna garşy bolsa  $K$ -sanly şaha üçin  $E_K g_K$  köpeltmäni minus alamaty almarydyr. (mysal üçin 1.20 çyzgydaky ikinji şaha üçin).

Düwün  $U_{AB}$  naprýaženiýesini (1.30) deňleme boýunça kesgitläp, shemadaky aýry-aýry şahalaryndaky el.toglaryň bahasyny (a) – (d) deňlemeleriň kömegi bilen tapmak kyn dälär.

**Mysal 1.7.** 1.20 çyzgydaky berlen shemada el.togynyň bölünmesini tapmaly. Başdan berlenler:

$$E_1 = 60 \text{ W}, E_2 = 50 \text{ W}, E_4 = 100 \text{ W}, r_1 = 5 \text{ Om}, r_2 = 25 \text{ Om}, \\ r_3 = 50 \text{ Om}, r_4 = 10 \text{ Om}, r_5 = 25 \text{ Om},$$

Çözülişi. Düwün naprýaženiýesi

$$U_{AB} = \frac{E_1 \cdot g_1 - E_2 \cdot g_2 + E_4 \cdot g_4}{g_1 + g_2 + g_3 + g_4 + g_5} = \frac{60 \cdot 0,2 - 50 \cdot 0,04 + 100 \cdot 0,1}{0,2 + 0,04 + 0,02 + 0,1 + 0,04} = 50V;$$

$$I_1 = \frac{E_1 - U_{AB}}{r_1} = \frac{60 - 50}{5} = 2A, \quad I_2 = \frac{-E_2 - U_{AB}}{r_2} = \frac{50 - 50}{25} = -4A,$$

$$I_3 = \frac{0 - U_{AB}}{r_3} = \frac{-50}{50} = -1A, \quad I_4 = \frac{E_4 - U_{AB}}{r_4} = \frac{100 - 50}{10} = 5A,$$

$$I_5 = \frac{0 - U_{AB}}{r_5} = \frac{-50}{25} = -2A.$$

Barlag:

$$I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 = 2 - 4 - 1 + 5 - 2 = 0.$$

### **§1.12. Generators meňzetme (ekwiwalent) usuly.**

Tejribede (Praktikada) çylşyrymly zynjyryň bir şahasyndaky, we şol şahanyň **r** garşylygynyň dürli bahalarynda el. akymynyň ululygyny tapmaklyk talap edilýär. Şeýle ýagdaýlarda generatora meňzetme (ekwiwalent) usuly has täsirlidir.

Mysal üçin, goý **rx** garşylykly **ab** şahadaky **I** el.togy kesgitlemek talap edilýär diýeliň (1.21 a çyz.) ol el.togy, **a** we **b** gysgyçly shemanyň çep böleginde ýerleşen e.h.g-ň bilelikdäki täsiridir. Kabul edilen aýdylmalara (terminalogiýa) görä (shemanyň) shemanyň şol bölegine (shemada üzňe çyzyk bilen çäklenen) aktiw iki polýuslyk diýilýär. Ol 1.21 b çyzgyda iki gysgyçly – polýusly **A** göniburçlyk görnüşinde şertli şekillendirilen. Hasap maksatlary (hasabat geçirmeklik maksady üçin) üçin shemanyň çep böleginiň gysgyçlaryna **rx** ýük garşylygy birikdirilen ýeke täk ekwiwalent (**m**)

$$I = \frac{E_c}{r_c + r}; \quad (1.31)$$

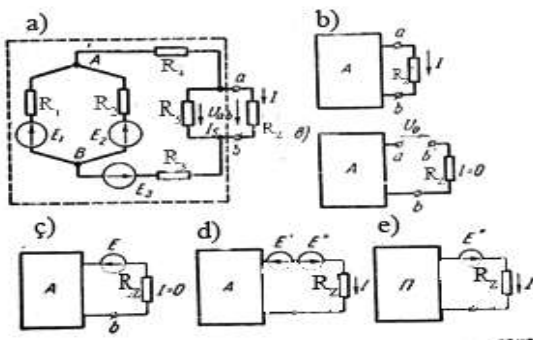
iýmitlendiriş çeşmesi ( $E_c$  e.h.g. we  $r_c$  içki garşylykly) bilen çalşyрма amatlydyr. Eger-de  $E_c$  we  $r_c$  ululyklar belli bolsa, onda gözlenýän el.tog aşadaky deňleme bilen kesgitlener.

Hakyky zynjyryň ekwiwalent generator bilen çalşylmagynyň mümkindigini görkezň we onuň  $E_c$  we  $r_c$  ululyklaryny (parametrlerini) kesgittläň.

Seredilýän zynjyry **a** nokatda üzeliň (1.21, b çyz.) **rx** zynjyrdaky **I** el.tog nula deň bolar, şeýle hem zynjyryň üzülen ýerinde **a**<sup>1</sup> we **b**<sup>1</sup> nokatlaryň arasynda  $U_0$  boş işiň naprýaženiýesi ýüze çykýar.

Eger-de  $\mathbf{a}^1$  we  $\mathbf{b}^1$  gysgyçlaryň arasynda ululygy boýunça  $U_0$  ugry boýunça garşy ugry  $\mathbf{E}^1$  e.h.g. birikdirseň (1.21, c) onda  $\mathbf{r}_x$  garşylykdaky el.akym nula deň bolup galar (deň bolar).

Zynjyra goşmaça  $\mathbf{E}^1$  e.h.g. deň we ters ugrukdyrylan  $\mathbf{E}^{11}$  e.h.g. girizilen (1.21,d). Görnüşi ýaly bu shema başlangyç (1.21, b) catga ekwiwalentdir we şonuň üçin  $\mathbf{r}_x$  garşylygyň üstünden şol  $\mathbf{I}$  el.tog geçär.



1.21 çyz. Generatorsa meňzetme usulyňyň delillendirilişi.

Üstleme prinsipinden ugur alyp (gelip çykyşy ýaly),  $\mathbf{I}$  el.akyma baglanşyksyz täsiriň netijesi hökmünde seredip (garap) bolar.

1).  $\mathbf{E}_e$  we  $\mathbf{E}^1$  (1.21, g) e.h.g. bilelikdäki täsirleri (hereketleri) netijesinde  $\mathbf{r}_x$  garşylykda el.togyň nula deň bolmagyna getirýär;

2). Elektrik hereketlendiriji güýç  $\mathbf{E}^{11} = U_0$  (1.21, e); şol e.h.g. tarapyndan döredilen el.tog hakyky  $\mathbf{I}$  el.toga deň, sebäbi beýleki e.h.g. (**obuslowlennyý**) el.toglaryň düzüjileri nula deňdir.

1.21. e çyzgydaky shemada diňe  $\mathbf{E}^{11}$  e.h.g. hereketde (täsirde) we  $\mathbf{I}$  el.akym aşakdaky deňleme arkaly kesgitlenýär.

$$\mathbf{I} = \frac{\mathbf{E}^{11}}{\mathbf{r}_c + \mathbf{r}_x} = \frac{U_0}{\mathbf{r}_c + \mathbf{r}_x}. \quad (1.32)$$

Şu aňlatmadaky  $r_e$  zynjyrdaky hemme e.h.g. nula deň bolan şertden tapylan ikepolýuslygyň hemme zynjyrynyň netijeleýji garşylygy hökmündedir, ýöne ikepolýuslyga gurýan garşylyk üýtgemän galýar. Şeýle ikepolýuslyga passiw diýmeklik kabul edilen (şertli şekili – **II** harply göniburçlyk), ýöne  $r_e$  garşylyga ikepolýuslygyň  $r_{gir}$  giriş garşylygy diýilýär.

Generators menzhetme usuly boýunça hasap geçirilen  $U_0$  we  $r_e$  ululyklary has ýönekeý hasaplamaga mümkinçilik berýän goşmaça usullary (priýomy) ulanylýar.

**Mysal 1.18.**  $r_x$  garşylyk ( $r_x^1, r_x^{11}$ ) iki bahalary üçin 1.21. a çyzgydaky shemalaryň **ab** şahasyndaky **I** el.togy tapmaly.

Başda berilenler:  $E_1 = 20 \text{ W}, E_2 = 25 \text{ W}, E_3 = 15 \text{ W}, r_1 = 10 \text{ Om}, E_2 = 10 \text{ Om}, E_3 = 3 \text{ Om}, r_4 = 2 \text{ Om}, r_5 = 15 \text{ Om}, r_x^1 = 3 \text{ Om}, r_x^{11} = 12 \text{ Om},$

Çözülişi.  $r_x$  garşylyk ýazdyrylanda **a** we **b** nokatlaryň arasyndaky  $O_0$  güýjenmäni düwün ara naprýaženiýe usuly bilen kesgitlemek amatlydyr (başga shemalarda beýleki usullar has amatly bolmagy mümkindir);

$r_s$  garşylykdaky  $I_s$  el.akymy taparys ( $r_x$  garşylyk ýazdyrylanda)

$$I_s = \frac{U_{AB} - E_3}{r_3 + r_4 + r_5} = \frac{21 - 15}{3 + 2 + 15} = 0,3A, \quad U_0 = I_s \cdot r_5 = 0,3 \cdot 15 = 4,5V.$$

Passiw **P** iki polýuslygyň  $r_{gir}$  giriş garşylygyny kesgitläris:

$$r_{1,2} = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2} = \frac{10 \cdot 10}{10 + 10} = 5 \text{ Om},$$

$$r_e = r_{gir} = \frac{(r_{1,2} + r_3 + r_4) r_5}{r_{1,2} + r_3 + r_4 + r_5} = \frac{(5 + 3 + 2) 15}{5 + 3 + 2 + 15} = 6 \text{ Om},$$

Garalýan  $\mathbf{r_x}$  şahadaky el.tog:

$$I = \frac{U_0}{r_{gir} + r_5};$$

$$I^1 = \frac{U_0}{r_{gir} + r_5^1} = \frac{4,5}{6 + 3} = 0,5 \text{ A}.$$

$$I^{11} = \frac{U_0}{r_{gir} + r_5^{11}} = \frac{4,5}{6 + 12} = 0,25 \text{ A}.$$

### **§1.13. Elektrik togyňň ýylylyk täsiri.**

#### **Simlaryň hasaby.**

Tehnikada elektrik togyňň ýylylyk täsirini ulanmak. Geçijide elektrik togyňň çykarýan ululygy, olaryň temperaturasynyň derejesini artdyrýar. Elektrik ýşgynynyň we elektrik pejiniň (ojagynyň) we beýleki gysdyryjy enjamlaryň gurluşy şulara esaslanýandyr.

Yşyk gyzdyryjysyndaky inçe sim – uly garşylygy bolan gyzdyryjy sapak, ondan akýan el.togyň üsti bilen ýokary temperatura çenli gyzdyrylýar. Häzirki zaman yşyk çyrasynyň gyzdyryjy sapagy has haýal eraýän metaldan - Wolframdan (eremek temperaturasy  $3000^0 \text{ S}$ ) taýýarlanýar. Gyzdyryjynyň sapagynyň okislenmegini ýok etmek üçin çyranýň aýna

$$U_{AB} = \frac{\frac{E_1}{r_1} + \frac{E_2}{r_2} + \frac{E_3}{r_3 + r_4 + r_5}}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3 + r_4 + r_5}} = \frac{\frac{20}{10} + \frac{25}{10} + \frac{15}{3 + 2 + 15}}{\frac{1}{10} + \frac{1}{10} + \frac{1}{3 + 2 + 15}} = 21 \text{ V}.$$

gabyndan howany aýyrýarlar, soň gyzan sapagyň dargamak prosesini haýallandyrmak üçin çyranyň aýna gabyňy inert gazy bilen doldurýarlar. Senagatyň köp pudaklarynda garşylyk pejini giňden ulanýarlar, olara gerek bolan ýylylyk, iýmitlendiriş elektrik setine birikdirilen gyzdyrylýan elementlerde bölünip çykýar. Her bir gyzdyrylýan element udel garşylygy ýokary bolan materiallardan taýýarlanan silindirli simsarymyndan durýar (nihrom, fehral we başga metal garyndylar). Rugsat edilen gyzdurma temperatura  $1000^0$  S ýetýär. Peç humundan temperaturanyň sazlanmagy birikdirilen gyzdurma elementleriň sanyny üýtgedip we olara berilýän napryaženiýanyň sazlaşyk arkaly amala aşyrylýar.

Şeýle hem terjimede gös-göni täsir edýän elektrik peje ulanylýar we olarda elektrik energiýasy gyzdyrylýan enjamlaryň özlerinde göni ýylylyga öwrülýär, mysal üçin el.tog geçirilýän (goýberýän) metalliki taýýarlyklar.

**Geçirijileriň gyzmagy.** Köp ýagdaýlarda elektrik togynyň ýylylyk täsiri zyýandyr. Elektrik maşynlarynda şeýle hem imitlendiriş çeşmelerini kabul edijiler bilen birikdirýän geçiriş liniýalaryň simlarynda elektrik togy netijesinde bölünýän ýylylyk energiýasyny peýdasyz ýitgisi hasaplanýar. Netijede ýylylygyň bölünip çykmagynda simiň temperaturasy onuň goragyna howply bolan ululyga ýetmegi mümkindir. Organiki materiallardan taýýarlanan elektrik gorag  $1000^0$  S çenli, rezin goraga  $55^0$  S çenli gyzmaga rugsat berilýär. Has ýokary temperaturada gorag çalt pytraýar.

Görkezilen temperaturalarda, daşky giňişlige (howa) ýylylyk berilme esasan konwensiýa ýoly görnüşde bolup geçýär. Aýyk (ýalaňaç) simyň sekuntaky berýän  $Q$  ýylylyk mukdary sowadylýan  $F$  üste we artyk  $\tau$  temperaturanyň ýokarlanmagyna (ýagny simyň we howanyň temperaturasynyň tapawudy) proporsionaldyr:

$$Q = \alpha \cdot F \cdot \tau = 10 \alpha \pi d l \tau [Wt], \quad (1.33)$$

Nirede  $\alpha$  - ýylylyk beriş koeffisiýenti, Wt / Sm<sup>2</sup>. grad;  
 $d$  – Simiň diametri, mm;  
 $l$  – Simiň uzynlygy, m.

Sekuntda elektrik togynyň öndürýän (çykarýan) ýylylyk mukdary,

$$Q = I^2 r = \delta^2 S^2 p \frac{l}{S} = \delta^2 pl \frac{\pi d^2}{4}, (1.34)$$

nirede  $\delta = I / s$  – el.togynyň dykzlygy, A / mm<sup>2</sup>.  
 $S$  – Simiň kese-kesiginiň meýdany, mm<sup>2</sup>.  
 $P$  – Simiň udel garşylygy, Om. mm<sup>2</sup> / m.

Durnukly temperaturada (ýylylyk deňligi) iki ýylylyk mukdary deň bolmalydyr:

$$10\alpha\pi dl\tau = \delta^2 pl \frac{\pi d^2}{4} (1.35).$$

nirede

$$\delta = \sqrt{\frac{40\alpha\tau}{pd}} (1.36).$$

Alnan deňlemeden belli bolşy ýaly çäkli mümkin gyзма temperaturanyň berilen bahasynda ýogyn geçirijide inçe geçirijilere garanda az dykzly el.togy rugsat edilmelidir. Mise garanda  $P$  udel garşylygy ýokary bolan alýumini we demir simlerinden kiçi dykzlygy bolan el.togy rugsat edilýär. Goragly simlar üçin ýylylygyň deňliginiň deňlemesi düzülen de ýylylyk beriş şertini kynlaşdyrýan goragyň gatlagynyň ýylylyk garşylygyny hasaba almalydyr. Tejribe (praktiki) hasaplamalarda dürli kese-kesikli goragly we açyk (ýalaňaç)

mümkün uzak ýükli simlaryň taýýar gözeneginden peýdalanýarlar. Eksperimental (tejribe) we nazary barlaglaryň esasynda düzülen şu gözenekler elektrik enjamlaryň (gurluşlarynyň) düzgünnamasyndaky tassyklanan norma hökmünde getirilýär. Gyzgynlyk (gyzdyrma) boýunça simyň kese-kesigi aşakdaky şerte görä kesgitlenýär.

$$I_{müm.} \geq I_{gys}$$

niredede  $I_{müm.}$  – gözenek boýunça kesgitlenýän berlen kese-kesikli sim üçin mümkin bolan ýokary el.togy.

$I_{gys}$  - uzak ýükli el.togyň iň ýokary bahasy.

#### **§1.14. Ýitgi güýjenmä görä simiň hasaby.**

Haýsy hem bolsa bir elektrikabuledijiniň laýyk işlemegi üçin gysgyçlardaky  $U$  naprýaženiýe onuň niýetlenen naprýaženiýesi ýakyn ululygyna hasaplanandyr (laýyk  $U$  naprýaženiýanyň). Elektrik enjamlaryň gurnalýş düzgünlerine laýyklykda has daş aralykdaky (uzakda) elektrikkabuledijilerde naprýaženiýanyň gýşarmasy düzgün boýunça laýykdan 5% ýokary bolmaly däl. Ýityň naprýaženiýanyň hasaby talap edilýän simiň kese-kesiginiň kesgitlenmegine ýa-da mümkin bolan gyzgyn şertine görä saýlanan simiň kese-kesiginiň barlanmagyna getirýär.

Ahyrynda  $P$  kWt ýükli  $l$  uzynlykly ikisimli liniýadaky  $\Delta U$  naprýaženiýanyň ýitgisini kesgitläris (1.22.a). Hasap geçirilende ikisimli liniýa (1.22.b çyzgyda görkezilişi ýaly) bir liniýa shema görnüşinde şekillendirmek kabul edilen.

$$\Delta U = U_1 - U_2 = I \cdot r_{ul} \quad (1.38)$$



nirede  $U_1$  we  $U_2$ -liniýaň başyndaky we ahyryndaky naprýaženiýe;

$r_{ul} = 2 l / \gamma S$  - iki simli liniýaň garşylygy

Liniýadaky el.tog

$$I = \frac{P \cdot 10^3}{U_2} \approx \frac{P \cdot 10^3}{U_{yuk}}.$$

Liniýadaky naprýaženiýanyň ýitgisiniň otnositel

$$\Delta U \% = \frac{\Delta U}{U_{yuk}} 100 = \frac{I r_{ul}}{U_{yuk}} 100 = \frac{2P \cdot l \cdot 10^5}{U_{yuk}^2 \cdot S}, \quad (1.40)$$

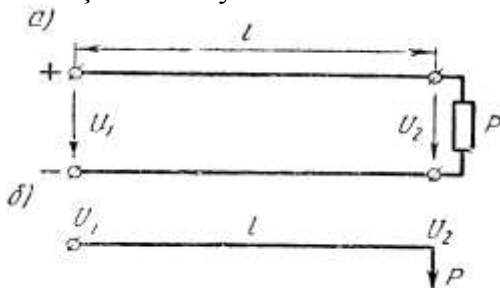
ululygy.

Haçan-da  $\Delta U \%$  berlen ýagdaýynda simiň gerek bolan kese-kesigi aşakdaky deňleme arkaly kesgittenýär.

(1.41) deňlemeden görnüşi ýaly, has ýokary  $Y_{yük}$ .

$$S = \frac{2P \cdot l \cdot 10^5}{\Delta U \% \gamma \cdot U_{yl}^2}, \quad (1.41)$$

naprýaženiýanyň ulanmagy (artmagy) simlaryň  $S$  kese-kesigini has azaltmaga we şeýle hem sim materiallaryny tygşytlamaga mümkinçilik döredýär.



1.22. çyzgy.

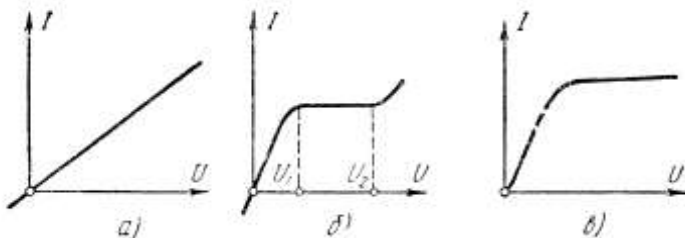
### **§1.15. Elektrik gurnamalaryň ýyllyk goragy.**

Öňki aýdylanlardan belli bolşy ýaly, gysga çatylma energoüpjünçiliginiň bozulmagyna we elektrikenjamlaryň hasapdan çykmaklaryna (bozulmagyna) getirip biler. Gysga çatylmanyň agyr netijesini çäklendirmek üçin, hökmany setiň gysga çatylma bolan bölegini ýमितlendiriş çeşmesinden çalt ýazdyrmalydyr. Onuň üçin ýörite gorag gurnamany ulanýarlar, olaryň içinde iň ýönekeýi ereýji goraglardyr.

Her bir goraýjynyň esasy elementi bolup goralýan zynjyra izygider birikdirilýän metal goýmadyr. (Köp ýagdaýlarda mis simi), (1.8 çyz seret). Gysga çatylmanyň el.togynyň ýylylyk täsiriniň astynda goýma ereýär we elektrik zynjyryny ýazdyrýar. Gysga çatylmanyň sebäbini aýyrylandan soň köýen goraýjynyň ereýän goýmasyny çalşylýar we gurnamanyň laýyk iş düzgüni (režimi) dikelýär.

### **§1.16. Hemişelik el.togyny zynjyrynda çyzyksyz garşylyk.**

Esasy düşünje. Şu wagta çenli düzümine çyzykly garşylyk durýan elektrik zynjyryna seredildi. Çyzykly  $r$  garşylygyň üstünden akýan  $I$  el.akue, oňa goýlan  $U$  güýjenmä baglylygyna – Woltamper häsiýetnamasy  $I(U)$  – koordinatanyň başyndan geçýän gýni çyzyk görnüşde bolýar (1.23, a. çyz).



1.23. çyzgy.

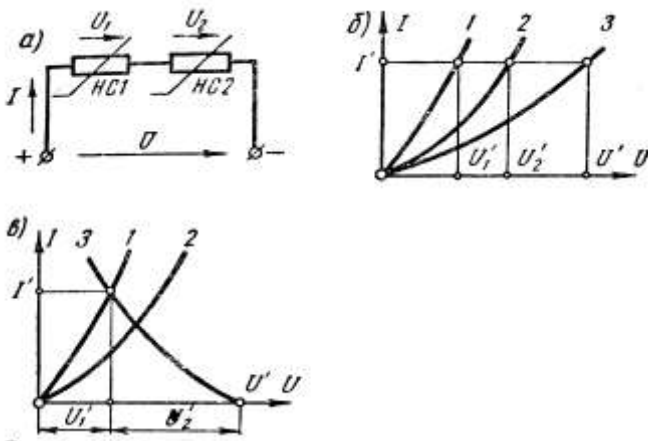
Häzirki zaman elektrik gurnamalarda (esasan awtomatikanyň shemasynda, hasap – çözüji we radiotehniki gurnamalrda) şeýle hem çyzyksyz garşylyk giňden ulanylýar. Çyzyksyz garşylygyň aýratyn tapawutlylygy onuň ululygynyň ondan akýan I el.toga ýa-da oňa goýlan U güýjenmä baglylygy bolup durýar.

Şular ýaly garşylyga ýönekeý mysal bolup ýönekeý yşyk çyrasy hyzmat edýär, sebäbi gyzma sapagyň garşylygy temperatura we şeýle hem akýan el.togyň ululygyna baglydyr.

Garşylygyň çyzykçyz häsiýeti has aýdyň ýörite çyrada – barretarda çyzgylandyrylan. Bu gysga polat ýüp görnüşinde bolup, wodorot bilen doldurylan aýna gapda ýerleşdirilendir.

Barretoryň Woltamper häsiýeti (1.23, b çyz.) goýlan naprýaženiýe  $U_1$  – den  $U_2$  - çenli üýtgände barretoryň zynjyrynda el.tog örän az üýtgeýär. Barretoryň bu häsiýeti iýmitlendiriş çeşmäniň (1.9. Mys. seret) naprýaženiýesiniň hemişelik bolmadyk şertinde elektrik zynjyrynda el.togyň durnuklylygy üçin ulalynýar. Şeýle hökmanylyk, mysal üçin käbir radiotehnik gurnamalarda ýüze çykýar.

Käbir ýarymgeçiriji materiallaryň garşylyklarynyň çyzyksyzlygynyň ýokarlygy olaryň gyzma derejeli temperaturalara baglylygy şol materiallary ölçeg shemasynda ulanmaga mümkinçilik döredýär (mysal üçin, temperaturany we gaz akymalaryň tizligini ölçemek we başg.).



1.24 çyzgy.

Çyzyksyz Woltamper häsiýete eýe bolan beýleki elementleri tehnikada ulanýarlar. Ol häsiýetnamalaryň çyzyksyzlygy temperatura dälde başga faktorlar tarapyndan getirilendir.

Woltmetr häsiýetnamasy kiçi basyşlarda gazlardaky elektrik zarýadynyň aýratynlygy bilen düşündirilýär.

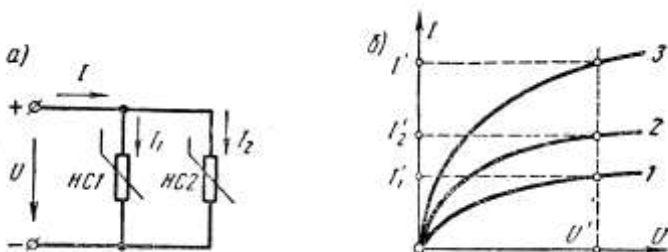
Tehnikada geçirijiligi birtaraplaýyn (baglansyksyz) bolan çyzyksyz elementler has giňden ulanylýar: elektron çyralar, ýarymgeçirijili göneldijiler we başgalar. Iki elektrodly elektron çyrasynyň Woltamper häsiýetnamasy 1.23, w çyz. görkezilen.

### **§1.17. Çyzyksyz garşylykly ýönekeý zynjyryň hasaby.**

Adaty şular ýaly zynjyrdaky hasap geçirilende Kirhgofyň kanunlaryny we berlen Woltamper häsiýetnamalaryna esaslanan grafoanalitiki usuly ulanýarlar.

Iki sany yzygider birikdirilen çyzyksyz  $\zeta_z$ ,  $\zeta_1$  we  $\zeta_2$  garşylykdan durýan zynjyra seredeliň (1.24, a çyz.). Ol garşylyklaryň Woltamper, häsiýetnamalry 1.24, b çyz. 1 we 2

görkezilen. Tutuş zynjyr boýunça şol bir **I** el.tog akýar. Umumy naprýaženiýe  $U_1$  we  $U_2$  naprýaženiýanyň jemlerine deňdir. Eger-de zynjyra goýlan  $U$  naprýaženiýe belli bolsa, onda **I** el.togyň ululygyny zynjyryň netijeleşýi Woltamper häsiýetnamasyny gurnap, kesgitläp bolar (3-nji egri). Çyzmak üçin el.togyň ol hem beýleki bahalaryna gabat gelýän 1 we 2 häsiýetli egriniň absissalaryny goşmalydyr. Alnan egriniň kömegi bilen (ulanyp)  $U^1$  naprýaženiýanyň aýry-aýry bahalary üçin zynjyrdaky **I**<sup>1</sup> el.togy tapyp bolar. Şol el.tog her bir gyzyksyz garşylyklardaky  $U_1$  we  $U_2$  güýjenmäni kesgitläp. Şuňa meňzeş usulda köp sanly garşylykdan durýan izigider zynjyrdaky hasap geçirmek mümkin. Şol garşylyklaryň käbiri çyzykly bolan ýagdaýynda, olaryň Woltamper häsiýetnamasy koordinataň başlangyjyndan geçýän gönidir.



1.25 çyzgy.

Eger-de zynjyr diňe  $\mathcal{C}_z$   $\mathcal{C}_1$  we  $\mathcal{C}_z$   $\mathcal{C}_2$  garşylykdan durýan bolsa we berlen  $U^1$  naprýaženiýede el.togyň bir bahasyny tapmak talap edilse, onda netijeleşýi Woltamper häsiýetnamany gurnamakdan hem bolar. Şeýle ýagdaýda Woltamper häsiýetnamasynyň biriniň deregine (mysal üçin 2-nji egri) wertikala görä (otnositel) onuň aýna şekilini gurýarlar – 3 egri (1.24, W çyz).

Ol egriniň koordinat başlangyjy  $U^1$  nokada üýtgedilmelidir (süžürilmelidir). 1.3. Häsiýetnamanyň kesişme nokatlary zynjyrdaky **I** el.togy ululygyny, şeýle hem zynjyr

garşylyklarynyň  $U^1_1$  we  $U^1_2$  naprýaženiýanyň ululygyny kesgitleýär.

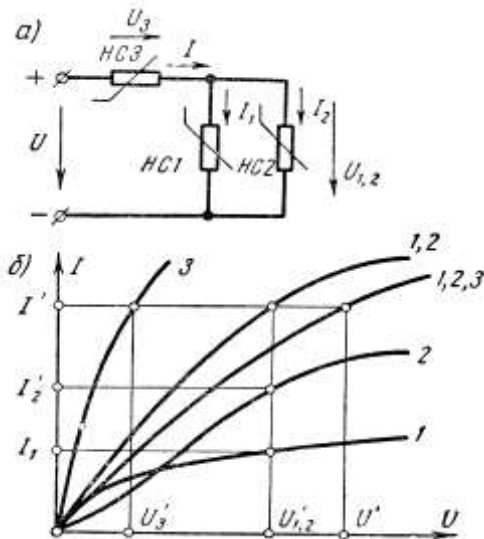
Iki we birnäçe çyzyksyz garşylyklar parallel birikdirilende (1.25, a çyzgy) zynjyryň şahalanmaýan böleginde aýry-aýry şahalardaky el.toglaryň jemine deňdir.

Şonuň üçin ähli zynjyryň netijeleýji woltamper häsiýetnamasy gurulanda gabat gelýän şol bir bahaly naprýaženiýanyň 1 we 2 egrileriniň ordinatlaryny goşmalydyr, (1.25, b çyz).

Alynan 3 egrini ulanyp,  $U^1$  goýlan naprýaženiýanyň haýsy hem bolsa bir bahasynda  $I$  umumy el.togyň ululygyny kesgitlep bolar. Şol  $U^1$  naprýaženiýe hem aýry-aýry şahalardaky  $I^1_1$  we  $I^1_2$  el.togyň bahasyny kesgitleýär.

Garyşyk birikdirilen (çatylan) ýagdaýda (1.26, a) hasap aşakdaky ýaly tertipde ýerine ýetirilýär.

- 1) Parallel birikdirilen  $\zeta_z$   $C_1$  we  $\zeta_z$   $C_2$  garşylyklary 1 we 2 egrileri goşup alynan Woltamper häsiýetnamaly 1, 2 (1.26 ,b), ýeke-täk ekwiwalent çyzyksyz  $\zeta_z$   $C_1$  garşylyk
- 2) 1, 2 we 3 egrileri goşmak arkaly alynan yzygider zynjyr üçin alynmak bilen çalşylýar. Netijeleýji 1, 2, 3 Woltamper häsiýetnamany gurýarlar.
- 3) Netijeleýji häsiýetnamanyň üsti bilen  $U^1$  umumy naprýaženiýanyň berilen bahasy üçin zynjyryň şahalanmaýan bölegindäki  $I^1$  el.togyň ululygyny kesgitleýärler.
- 4) Naprýaženiýe  $U^1_{12}$  we  $U^1_3$  naprýaženiýe  $I^1$  el.togy,  $U_{12}$  öz gezeginde 1 we 2 egrileriň kömegi bilen  $\zeta_z$   $C_1$  we  $\zeta_z$   $C_2$  şahalardaky  $I^1_1$  we  $I^1_2$  kesgitlemäge mümkinçilik berýär (döredýär).



1.26 çyzgy.

a – shema, b – Woltamper häsiýetnamalry.

**Mysal 1.9.** Ýük  $r_y$  garşylykda  $I_y$  el.togy 0,75 A derejede saklamak üçin Woltamper näsiýetnamasy 1.27, b çyz. görkezilen barreter ulanylýar.

Häsiýetnamanyň göniçyzykly bölegindäki (kesiminde) barreter el.togynyň orta bahasy  $I_{barr.} = 1 \text{ A}$ . Stablizasiýanyň başyndaky güýjenmä  $U_{b.s.} = 10 \text{ W}$ , stablizasiýanyň ahyrynda naprýaženiýe  $U_{s.ah.} = 18 \text{ W}$ , iýmitlendiriş çeşmäniň naprýaženiýesi  $U_g = 25 \pm 5 \text{ W}$ .

Shema düzmeklik talap edilýär we onuň hasabyny etmeli.  $U_g$  naprýaženiýanyň ýük garşylygynda görkezilen aralykdaky üýtgemesindeki el.togyň üýtgeme aralygyny kesgitlemeli.

**Çözülişi.** Ýagny ýük garşylygyndaky el.tog barreteriň stablizasiýa el.togundan azdyr, şonuň üçin üstünden artykmaç el.tog akmak üçin ýüke parallel  $r_1$  garşylyk çatmalydyr.





onda

$$U_2 = I_{\text{barr.}} \cdot r_2 = U_g - U_{\text{ort.}} - U_{\text{yük}} = 25 - 14 - 7,5 = 3,5 \text{ W.}$$

$$r_2 = \frac{U_2}{I_{\text{bar}}} = \frac{3,5}{1} = 3,5 \text{ Om.}$$

Zynjyriň çyzykly garşylygynyň jemi.

Ýük garşylygyndaky el.togyň üýtgame çägin

$$r = r_2 + \frac{r_1 r_{\text{yük}}}{r_1 + r_{\text{yük}}} = 3,5 + \frac{30 \cdot 10}{30 + 10} = 3,5 + 7,5 = 11 \text{ Om.}$$

kesgitlemek üçin jemlenen  $r$  çyzykly garşylygyň “aşyrlan” Woltamper häsiýetnamasyny gurmak amatlydyr. Ol häsiýetnama gabat gelyän durnukly naprýaženiýanyň orta bahasyna ( $U_{\text{ort.}} = 14 \text{ W}$ ) we rotoryň Woltamper häsiýetnamasynda ýatan  $A(U = 25 \text{ W})$  we  $B$  nokatlaryň üstünden geçýän  $U = 25 \text{ W}$  zynjyryň iş düzgüninde (režiminde) kabul edilen hasaplanyş şerte görä göni çyzyk bolýandyr.

$U_g = 30 \text{ W}$  naprýaženiýede çyzykly garşylygyň Woltamper häsiýetnamasy  $A^1$  nokadyň üstünden  $AB$ -e gönä parallel geçýär. Şol naprýaženiýede  $B^1$  häsiýetnamanyň kesişme nokady zynjyrdaky el.togy kesgitleär. Çyzgydan  $I_{\text{max.}} = 1,03 \text{ A}$  taparys. Ýymitlendiriş çeşmäniň  $U_g = 25 \text{ W}$  naprýaženiýesinde çyzykly garşylygyň häsiýetnamasy  $A^{11}$  nokadyň üstünden geçer we  $B^{11}$  nokatda  $I_{\text{min}} = 0,97 \text{ A}$  el.togy kesgitleýän baretteriň häsiýetnamasyny keser.

Zynjyrdaky el.togyň orta bahasyna görä gyşarmasy aşakdakyny düzer (berer).

$$\frac{I_{\text{max.}} - I_{\text{min.}}}{2 I_{\text{bar}}} \cdot 100 = \frac{1,03 - 0,97}{2 \cdot 1} \cdot 100 = -3\%;$$

Iýmitlendiriş çeşmäniň naprýaženiýesiniň otrisatel

$$\frac{U_g^1 - U_g^1}{2U_g} = \frac{30 - 20}{2 \cdot 25} \cdot 100 = -20\%;$$

üýtgemesinde

### **I bölüme degişli meseleler we derňew soraglary.**

1. El.togyň kabul edilen položitel ugry e.h.g. alynan položitel ugryna baglymy?
2. 220 W naprýaženiýeli sete kuwwatlary 75Wt we 25Wt we her biri 110 W güýjenmä niýetlenen iki sany izygider birikdirilen el. çyrasyny (lampa) birikdirip bolarmy? Her bir el. çyrasyny düşýän (el.çyranyň  $r_{\text{çyr.}}$  hemişelik hasap etmeli) hakyky güýjenmäni we kuwwaty kesgitlep jogaby hasaplama arkaly düşündirmeli.
3. Ýlaýyk naprýaženiýesi 220 W we 600 Wt kuwwatly elektrik peçi 110 W elektrik setine çatylan (birikdirilen). El. peçi haýsy kuwwaty ulanar (mesele çözülen de el.peçiniň garşylygyny üýtgemän galýar diýip hasap etmeli.)?
4. Eger-de: a) ýük ýazdyrylanda çeşmäniň gysgyçlarynda naprýaženiýe 120 W ýük çatylanda çeşmäniň zynjyrdan 4 A el.tog akýan bolsa garşylyklaryndaky naprýaženiýesiniň W-den şeýle hem ýüküň garşylygyny  $r_{\text{ýük}}$  we onuň sarp edýän P kuwwatyny kesgitlemeli.

Jogaby:  $r_g = 2,5 \text{ Om}$ ,  $r_{\text{ýük}} = 27,5 \text{ Om}$ ,  $P = 440 \text{ Wt}$ .

5. Zynjyrdaky el.togyň ululygyny 5 A çenli çäklendirmek üçin  $r_{\text{ýük}} = 15 \text{ Om}$  ýük garşylygy bilen izygider

birikdirmeli  $r_r$  reostatyň garşylygyny kesgitlemeli. Iýmitlendiriji setiň naprýaženiýesi  $U=120\text{ W}$ . Ýük tarapyndan peýdalanylýan kuwwaty we reostatdaky  $\Delta P$  kuwwatyň ýitgisini tapmaly.

Jogaby:  $r_r = 9\text{ Om}$ ,  $P = 375\text{ Wt}$ ,  $\Delta P = 225\text{ Wt}$ .

6. Içki garşylygy  $r_g = 2\text{ Om}$  we e.h.g.  $E = 10\text{ W}$  bolan iýmitlendiriji çeşmä  $r_{\text{yük}}$  ýük garşylygy çatylandyr. Zynjyrdaky  $I$  el.togy gysgyçlardaky  $U$  güýjenmäni, çeşme tarapyndan ýüke berilen kuwwaty,  $r_{\text{yük}}$  garşylygyň  $18\text{ Om}$ -dan  $0$ -çenli üýtgändäki çeşmäniň peýdaly täsir koeffisiýentini hasaplamaly. Görkezilen ululyklaryň  $r_{\text{yük}}$  gatnaşyga baglylyk hil egrisini gurmaly.

**$R_g + r_{\text{yük}}$**

7. Her biriniň kuwwaty  $60\text{ Wt}$  bolan  $110$  sany el.çyrasy iki symli liniýaň ahyryna çatylan. Her simiň uzynlygy  $l=40\text{ m}$ , kese-kesigi  $S=4\text{ mm}^2$ , simiň materialy – mis. Liniýaň ahyryndaky  $U_2$  naprýaženiýe el.çyrasynyň laýyk  $U_{y1} = 220\text{ W}$  naprýaženiýesine deňdir. Liniýadaky  $I$  el.togy liniýaň başyndaky  $U_1$  güýjenmäni  $\Delta P$  ýitgi kuwwaty kesgitlemeli.

Jogaby:  $I = 30\text{ A}$ ,  $U_1 = 230\text{ W}$ ,  $\Delta P = 315\text{ Wt}$ .

8. Eger-de degişlilikde generatorlaryň e.h.g.  $E_1$  we  $E_2$  we içki garşylyklary  $r_{g1}$  we  $r_{g2}$  deň bolsa hem-de umumy ýük hökmünde işleýän iki parallel çatylan generatorlaryň öz aralarynda jemleýji ýük el.togyň deň bölünýändigini subut etmeli.

9. 1.17, b çyz. shemadaky her çeşme tarapyndan öndürilýän kuwwaty, iki çeşmelerdäki kuwwatyň ýitgisini we daşarky (ekwiwalent) garşylygyň sarp edýän kuwwatyny kesgitlemeli. Kuwwatlaryň deňligini (balansyny) barlamaly.

10. Elektrik hereketlendiriji güçleri  $E_1 = 90 \text{ W}$  we  $E_2 = 81 \text{ W}$  we içki garşylyklary deň bolan  $r_{g1}=r_{g2}=0,5 \text{ Om}$  bolan iki generator garşylygy  $r_{\text{ýük}} = 2 \text{ Om}$  bolan umumy daşky garşylyk üçin parallel işleýärler. Çargyda el.toglaryň paýlanmasyny:
- a) Kirhgofyň kanunlaryny gös-göni ulanyp; b) üst-üste goýma usuly arkaly tapmaly. Alynan netijeleriň (toždestwennyý) dogrydygyna göz ýetirmeli.
- Jogaby:  $I_1 = 28 \text{ A}$ ,  $I_2 = 10 \text{ A}$ ,  $I_{\text{ýük}} = 38 \text{ A}$ .
11. Geçen meseledäki içki garşylyklary deň bolan iki generatoryň näme üçin deň bolmadyk el.toglaryň astynda bolandygyny düşündirmeli.
12. 1.17. b çyz. shemada (mysal 1.4) el.toglaryň bölünişigini:
- a) düwün naprýaženiýeler usuly; b) kontur el.togy usuly arkaly tapmaly.
13. Şeýle hem 1.18, a we b çyz. shemalardaky şahalar üçin aýratynlykda hasaplanan kuwwatlaryň jemi hökmünde üst-üste goýma usulyny ulanyp 1.17, b çyz. shemadaky kuwwatlaryň bölünmesini tapyp bolarmy? Näme üçin şeýle düzgünleriň ulanyp bolmaýandygyny düşündirmeli.
14. Näme üçin üst-üste goýma usulyny düzüminde çyzyksyz garşylygy saklaýan elektrik zynjyryň hasabynda ulanyp bolmaýar?
15. Ekwiwalent (kwapdaş) generator usulyny ulanyp, 1.20 çyz. shemada görkezilen (berilen)  $r_5$  garşylykdaky el.togyň ululygyny kesgitlemeli.
16. Iki simli liniýa boýunça  $L = 250 \text{ m}$  aralyga elektrik energiýasyny hökmany bermeli (geçirmeli, ibermeli). Eger-

de olaryň ahyrlaryndaky naprýaženiýe  $U_2=220\text{ W}$ ,  $P=16\text{ kWt}$  ýük birikdirilen liniýaň mis simlarynyň kiçi kesesigini kesgitlemeli. Liniýadaky naprýaženiýanyň peselmesi 6%-dan ýokary bolmaly däldir.

Jogaby:  $S = 50\text{ mm}^2$ .

## IKINJI BÖLÜM.

### Dielektrikler (geçirmeýänler) we kondensatorlar.

#### § 2.1. Dielektrikler.

**Elektrik meýdany.** Elektrik zynjyrynda gurşap alan giňişlikde elektrik meýdanynyň barlygy fizikadan bellidir.

Elektrik meýdanynyň esasy häsiýetnamasy naprýaženiýanyň **E** wektory hasaplanýar, onuň ululygy we ugry meýdanyň dürli nokatlarynda meýdanyň şol nokadynda ýerleşdirilen hereketsiz birlik položitel zarýada täsir edýän güýç bilen kesgitlenýär. Eger-de meýdan **q** – zarýada **F** güýç bilen täsir edýän bolsa, onda meýdanyň naprýaženiýesiniň

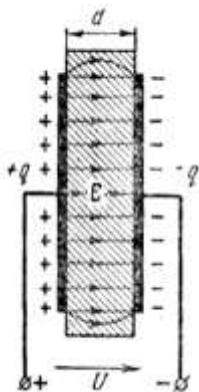
$$E = \frac{F}{q} \quad (2.1)$$

$$\frac{F}{q} \bullet d = U \quad (2.2)$$

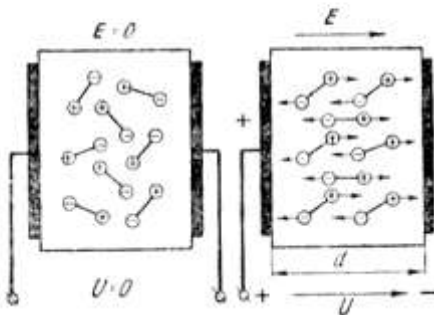
ululygy deňdir. Elektrik meýdany endiganlygy we endigan dældigi bilen tapawutlandyýarlar. Endigan meýdanyň **E** naprýaženiýesi hemme (ähli) nokatlarda birmeňzeş. Dürli atly elektrik **+q** we **-q** saklaýan tekiz kondensatoryň parallel sütüniň (plastinanyň) aralaryndaky elektrik meýdany muňa mysal bolup biler. (2.1 Çyz). Eke tak zarýadyň kondensatoryň bir sütünden beýleki sütünine ornuny üýtgedende şol sütünleriň aralaryndaky güýjenmä san taýda deň bolan işi ýerine ýetirýär. Şeýlelikde ýeke tak zarýadyň täsir edýän güýç **F/q** deňdir we kondensatoryň sütünlerine perpendikulýar ugrukdyrylan, onda niredе **d** – kondensatoryň sütünleriniň aralygy, (2.1) we (2.2) deňlemelerden alýarys.

$$E = \frac{U}{d} [W / m], \quad (2.3).$$

Ýagny meýdanyň naprýaženiýesi kondensatoryň gatlaryny aýyrýan dielektrigiň birlik galyňlygyna düşýän naprýaženiýanyň ululygy bilen kesgitlenýär.



2.1. çyzgy.



2.2. çyzgy.

Belli bolşy ýaly dielektrikler geçirijilerden olarda erkin elektrik zarýadynyň ýoklygy bilen tapawutlanýar. Dielektriki maddalarda deň mukdardaky položitel we otrisatel zarýadlar özaralarynda maýşgak baglanşykdadyrlar (2.2 çyz).

Dielektrigi elektrik meýdanyna salynanda (ýerleşdirilende) baglanşykly elektrik zarýadlaryň maýyşgak orun üýtgetmesi bolup geçýär: položiteller-meýdanyň ugryna tarap, otrisateller-ters ugra.

Dielektrikdäki elektrik meýdanynyň güýjiniň täsiri astynda molekulalaryň ýagdaýlarynyň üýtgemegine geçirmeýänleriň oklaşmagy (polýarirasiýa) diýilýär (aýdylýar).

Elektrik meýdanynyň  $E$  naprýaženiýesi dartgynlylygy näçe köp bolsa zarýadlaryň şonça hem artykmaç orun üýtgetmesi bolýar.

Meýdanyň dartgynlylygynyň peselmegi netijesinde dielektrigiň (plasmasy) geçirmeýänleriň oklaşmasy ýitýär.

**Elektrik berklik.** Eger-de elektrik meýdanyň  $E$  dartgynlygy berlen dielektrigiň kesgitli bahasyny artdyryýan bolsa, onda dielektrikdäki dürli atly zaryadlara täsir edýän güýç olary baglanşykly ýagdaýda saklaýan güýçden ýokary bolýar [(agdyklyk) edýär]. Ol bolsa dielektrigiň deşilmegine we olaryň gorag häsiýetleriniň ýitmekligine alyp barýar.

Meýdanyň dartgynlygynyň dielektrigiň deşilmeginiň başlanýan ýagdaýyndaky kiçi bahasyna onuň elektriki berkligi diýip atlandyrylýar we  $E_{\text{berk}}$  bilen belgilenýär. Käbir dielektrikler üçin  $E_{\text{berk}}$  bahasyny görkezerezis:

Howa (atmosfer. basyşda).....	30 kW / Sm
Mramor (ak daş) .....	30-50 kW / Sm
Ýagdan doýan kagyz .....	100-250 kW / Sm
Rezin .....	150-300 kW / Sm
Slýunda .....	100-900 kW / Sm

**Elektrik – aýryjy (gorag) materiallary.** Tehniki gurnamalarda ulanylýan dürli dielektriklere elektrik aýryjy materiallary diýip atlandyrmak kabul edilen. Elektrotehniki gurnamada aýryjynyň deşilmegi ähli gurnamalaryň ýa-da onuň haýsy hem bolsa bir böleginiň hatardan çykmagyna getirýär. Şonuň üçin elektrik aýryjylary materiallaryň dogry saýlanyp alynmagy elektrik enjamlaryň laýyk işlemekliginiň wajyp şertleriniň biri hasaplanýar.

Esasy talaplar – aýryjy materiallara elektrik berklikden başga, aýryjylaryň iş şerti bilen kesgitlenýän beýleki talaplar: ýylylyga durnuklylyk, çygadurnuklylyk, mehaniki berklik, (gipkiý) we ş.m. Aýryjy materiallaryň ýylylyga durnuklylygy düzgün boýunça elektrik maşynlarynyň rugsat edilýän gyzygynleri aýratyn hem ýokary baha eýe bolýar.

Elektrik maşynlarda  $100^{\circ}\text{C}$  çenli gyzdyrylma rugsat berilýän organiki aýryjy materiallar ulanylýar. Has ýokary gyzma temperaturada aýryjy çalt özüniň häsiýetini ýitirýär we elektrik maşynlarynyň hyzmat etme döwüni gysgaldýar.



Tejribede (raktikada) gaty, suwuk we gaz görnüşindäki dielektrikler ulanylýar. Gaty aýryjylar hökmünde esasynda ýatan organiki (pagtakagyz (wata), rezin kagyz, agaç) we şeýle hem organiki däl (slýuda, aýnamata we başgalar) organiki materiallary ulanýarlar. Gaty aýryjy materiallaryň hataryna şeýle hem farfar, (mermer) ak daş, plastmas enjamlar degişlidir. Suwuk dielektriklere mineral ýag, smolalar, laklar, emallar degişlidirler.

Elektroaýryjy materiallar hökmünde bolan ýokary ýylylykly çydamly organiki kremniý birleşmesiniň ulanmaklygynyň geljegi has ýokary hasaplanýar.

Organiki aýryjy materiallary ýylylyga has durnuklylyk materiallar bilen çalyşma şol bir göwrümlü maşyn olardan has uly kuwwat almaga mümkinçilik berer.

## **§ 2.2. Kondensator.**

Radiotekniki gurnamalarda we elektrotekniki shemalarda dürli görnüşdäki kondensatorlary giňden ulanýarlar. Elektroenergetiki gurnamalarda kondensatorlar olaryň tygşylylygyny galdyrmak üçin ulanylýar.

Kondensatorlaryň elektrik häsiýetnamasy. Kondensatoryň esasy tehniki häsiýetnamasy farada-da ýa-da mikrofarada-da (mkf) (+) ölçelýän C elektrik sygym we woltda (W) ölçelýän  $U_{laý}$ . laýyk naprýaženiýe hasaplanýar.

Kondensatoryň C sygymy onuň ölçegine we şekiline, şeýle hem dielektrigiň düzümine (**swoýstwa**) baglydyr. Ol

$$C = \epsilon \frac{S}{d} (f) \quad (2.3a).$$

baglanyşyk tekiz kondensator üçin has ýönekeý görnüşe eýedir.(2.1. çyz).

niredede  $\epsilon$  – kondensatoryň sütünleriniň aralygyndaky giňişligiň absolýut dielektriki syzyjylygy, f/m;

$S$  – bir sütüniň meýdany, m<sup>2</sup>;

**d** – sütünleriň arasyndaky daşlyk, m;

Kondensatorlaryň laýyk  $U_{lay}$ . naprýaženiýesi elektrik berklik, dielektrigiň galyňlygy we birnäçe beýleki ýagdaýlaryň üsti bilen kesgitleýär.

$$U_{lay} = \frac{E_{ber}}{k} \cdot d[W] \quad (2.4).$$

Tekiz kondensator üçin

niredede **E<sub>berk</sub>** – dielektrigiň elektrik berkligi (durnuklylygy), kondensatorlaryň sütünleriniň aralaryndaky **K** – ätiýaçlyk koeffisiýenti (**k>1**).

Kondensatorlaryň sütünleriniň arasyndaky **C** sygym we **U** naprýaženiýe onuň zarýadynyň ululygyny kesgitleýär:

$$q = C \cdot U(K).$$

Senagat enjamlarynda ulanylýan kondensatorlar, adaty ýuka saralan kagyz goraýjy bilen bölünen metalliki tasma görnüşinde ýerine ýetirilýär. Şeýle ýerine ýetirilme kiçi göwrümde duýarly sygymy almaga mümkinçilik berýär.

Senagat elektrik enjamlarynda ulanylýan kondensatorlar dolanan (rulon) görnüşli aýlanma we ýuka kagys dielektrigi bilen bölünen iki metalliki lenta görnüşinde ýerine ýetirilýär. Şeýle ýerine ýetirilme uly bolmadyk göwrümde esli sygym almaklyga mümkinçilik berýär.

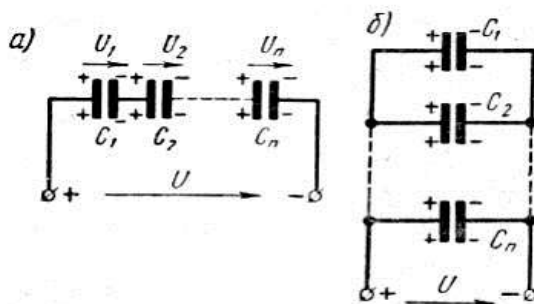
Ýeke bir kondensatorlar sygyma eýe bolman elektrik enjamlaryndaky biri birinden we ýerden aýrylan (goralan) ähli el.tog (äkidiji) geçiriji elementleriň eýedigini belläp geçmelidir.

Kä bir ýagdaýlarda şol elementleriň sygymy duýarly bolup taslanan we ýyglanan döwrümünde hasaba almaly bolýar. Mysal hökmünde elektrik geçirijiniň uzyn liniýanyň ýokary woltly maşynyň we abzallaryň simlaryny getirip bolar.

## § 2.3. Kondensatoryň we batareýalaryň birikdirilişi.

Senagatyň goýberýän standart kondensatorlary kesgitli sygyma eýe bolup, kesgitli naprýaženiýe bilen işlemäge niýetlenendir. Haçanda talap edilýän sygym standart kondensatoryň sygymy bilen gabat gelmese ýa-da kondensator ulanylýan gurluşyň naprýaženiýesi kondensatoryň laýyk naprýaženiýesinden ýokary bolsa latareýa görnüşli birikdirilen birnäçe kondensator ulanylýar.

Tejribede yzygider, parallel we garyşyk (çylşyrymly) birikdirme ulanylýar.



2.3. çyzgy.

Eger-de kondensatoryň  $U_{\text{lay}}$  naprýaženiýesi zynjyryň  $U$  naprýaženiýesinden kiçi (pes) bolsa onda hökman birnäçe kondensatory yzygider birikdirmeli. Şunlukda her bir kondensatora düşýän güýjenmäni  $U \leq U_{\text{laýyk}}$  ululyga çenli azaldyp bolar. Yzygider birikdirilende (2.3, a çyz) ähli kondensatorlaryň gatlaryndaky (sütünleriniň)  $q$  zarýadlaryndan ululygy boýunça birmeňzeşdir, ähli zynjyryň gysgyçlaryndaky umumy güýjenmä aýry kondensatorlaryň naprýaženiýeleriniň jemine deňdir:

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$$

$q = CU[K]$  – deňlemäni göz önünde tutup, alarys

$$\frac{q}{C_{um}} = \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2} + \dots + \frac{q}{C_n}$$

ya – da

$$\frac{1}{C_{um}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} \quad (2.6)$$

Seredilýän toplumdaky yzygider birikdirilen kondensatorlaryň hasaby geçirilende her bir kondensatoryň  $C_1$ ,  $C_2$ , ...,  $C_n$  sygymlaryndan kiçi bolan  $C_{um}$  sygymly eke-täk kondensator bilen çalşyp bolar.

Parallel birikdirilende (2.3, b) ähli kondensatorlardaky güýjenmä meňzeş bolar, ähli toparlardaky  $q$  zarýad bolsa aýry-aýry kondensatoryň  $q_1$ ,  $q_2$ , ...,  $q_n$  zarýadlarynyň jemine deňdir:

$$q = q_1 + q_2 + \dots + q_n.$$

(2.5) deňlemäni göz önünde tutup, alarys

$$C_{ek}U = C_1U + C_2U + \dots + C_nU$$

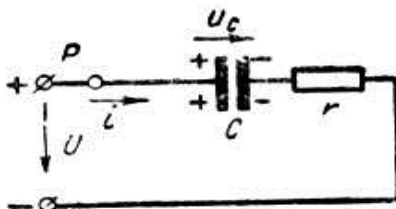
Ýa-da

$$C_{ek} = C_1 + C_2 + \dots + C_n. \quad (2.7).$$

Parallel birikdirmede  $C_{ek}$  kwapdaş sygym aýry-aýry kondensatorlaryň sygymlarynyň jemine deňdir. Belli bolşy ýaly bu usuldaky birikdirmе ýokary sygymy almak üçin ulanylýar.

Gerek bolan ululykdaky sygymy almak üçin we aýry-aýry kondensatorlardaky mümkin bolan naprýaženiýeden ýokary bolmazlyk üçin kondensatorlaryň gatyşyk birikdirmesini ulanýarlar.

**Kondensatoryň zarýady.** Kondensatoryň  $U$  hemişelik naprýaženiýeli çeşmeden zarýatlandyrma ýagdaýyna serederis. (2.4. çyz)



2.4. çyzgy. Kondensatoryň zarýady.

**A** açary çatamyzda zynjyrdan elektrik zarýadlaryň ugrukdyrylan orun üýtgemesi bolup geçýär we simlardan el.akyw akýar.

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{dU_c}{dt}, \quad (2.8).$$

nirede **dq** - kondensatorlaryň gatlaklaryndaky elektrik zarýadlaryň üýtgemesi.

**d U<sub>c</sub> – dt** wagtdaky kondensatoryň gatларыnyň aralaryndaky naprýaženiýanyň üýtgemesi.

Kondensatoryň gatларыnyň arasyndaky **U<sub>c</sub>=q/C** naprýaženiýe elektrik zarýadlaryň taplanmagyna görä artýar. Haçanda **U<sub>c</sub>** naprýaženiýe çeşmäniň **U** naprýaženiýesine deň bolsa, zynjyrdaky el.tog nula deň bolar.

(2.4. çyz.) Zynjyra Kirhgofyň II kanunyny ulanyp alarys:

$$U = U_c + i r \quad (2.9).$$

(2.8) we (2.9) aňlatmany ulanyp alarys:

$$U = U_c + r C \frac{dU_c}{dt}. \quad (2.10).$$

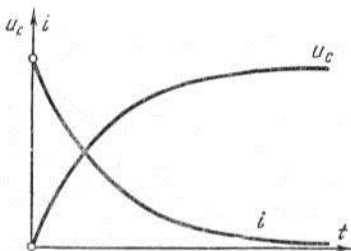
(2.10) differensial deňlemäni çözüp we  $t = 0$  pursatda  $U_c = 0$  deňligini hasaba alyp alarys

$$U_c = U(1 - e^{-\frac{t}{rc}}). \quad (2.11).$$

(2.8) we (2.11) aňlatmany ulanyp kondensatoryň zarýad el.togynyň aňlatmasyny taparys:

$$i = \frac{U}{r} e^{-\frac{t}{rc}}. \quad (2.12).$$

Kondensatoryň zarýadlanan ýagdaýynda (wagtynda) zynjyrdaky el.tog  $i = U/Z$  başlangyç bahadan ( $t=0$  bolanda)  $i=0$  çenli ( $t=\infty$  bolanda) peselýär, kondensatordaky naprýaženiýe  $U_c=0$  dan ( $t=0$  bolanda)  $U_c=U$  ( $t=\infty$ ), ýagny çeşmäniň naprýaženiýesine çenli artýar.



2.5. çyzgy.

Üýtgemäniň egrileri  $U_c(t)$  we  $i(t)$  2.25 - nji çyzgyda berlen.

**Elektrik meýdanyň energiýasy.**

$U=U_c+i r$  aňlatmanyň çep we sag bölegini  $i dt$  köpeldip,  $dt$  wagtdaky energetiki deňligiň (balansyň) deňlemesini alarys:

$$U i dt = U_c i dt + i^2 r dt \quad (2.13)$$

Köpeltmek  $U \cdot i dt$  çeşmeden  $dt$  wagta zynjyra gelýän energiýany aňladýar. Ol energiýanyň  $i^2 r dt$  bölegi  $r$  garşylyk

arkaly **ýudylýar** we ýylylyk görnüşinde saçalanýar. Energiýanyň saklanmak kanunyndan gelipçykyşy görnüşi ýaly energiýanyň  $U_c$  i dt deň bolan galan bölegi kondensator tarapyndan kabul edilip onuň garaýşynda elektrik meýdanyň energiýasy görnüşinde toplanýar. Şeýlelik bilen kondensatoryň elektrik meýdanyň energiýasynyň **dt** wagtda artmagy **d W<sub>e</sub> = U<sub>c</sub> idt** düzer. (2.8) aňlatmany hasaba alyp (göz önünde tutup), alarys

$$d W_2 = U_c i \cdot dt = C_u cduc.$$

Haçan-da  $C_u$  naprýaženiýe  $C_u=0$  –dan  $C_u=U$  çenli ýokarlansa (galsa) zarýadlanmanyň ahyrynda kondensatordaky

$$W_e = \int dW_e = \int_0^c CUcdU_c = \frac{CU^2}{2} (J) \quad (2.14).$$

toplanan energiýa aşakdaka deň bolar

Kondensator zarýadlanda zynjyryň **R** garşylygynda ýylylyk bölünýär. Kondensator  $U_c=0$  dan  $U_c=U$  güýjenmä çenli zarýadlanan wagtda ýylylyk energiýasyn **W**-yň umumy mukdary hemişelik galýar we zynjyryň garşylygynyň

$$W = \int_0^{\infty} i^2 R dt = \int_0^{\infty} \left( \frac{U}{r} e^{-\frac{t}{RC}} \right)^2 R dt = \frac{U^2}{R} \int_0^{\infty} e^{-\frac{2t}{RC}} dt = \frac{CU^2}{2}. (2.15).$$

ululygyna bagly dälendir:

(2.14) we (2.15) aňlatmadan görnüşi ýaly ýylylyga öwrülen energiýa, **R** garşylygyň ululygyna bagly däl we hemişe kondensatorda toplanan **W<sub>e</sub>** energiýa deňdir.

## 2-nji bölüme barlag soraglar we ýumuşlar (tabşyryk).

1. Eger-de  $C=20 \text{ mkf}$  sygymly kondensatory almaklyk talap edilse parafinlenen kagyz tasmanyň  $l$  hökman uzynlygyny kesgitlemeli senagat kondensatorlarynda goraýjy hökmünde ulanylýan tasmanyň ini  $a=25 \text{ sm}$ , galyňlygy  $d=0,05 \text{ mm}$ , dielektriki syzyjylygy  $\epsilon_a=3,2 \times 10^{-11} \text{ f/m}$ .

**Görkezme:** şu ýagdaýdaky kondensatora tekiz kondensator hökmünde seretmek bolar.

**Jogap:**  $l=125 \text{ m}$ .

2. Naprýaženiýesi  $U$  deň bolan sete (10) on sany bir meñzeş kondensatorlar çatylan. Kondensatorlaryň yzygider ýada parallel birikdirilmesiniň haýsy ýagdaýynda olaryň elektrik energiýasy ýokary (uly) bolar? Jogaby hasaplama bilen tassyklamaly (esaslandyrmaly).

3. Sygymlary  $C_1=200 \text{ mkf}$  we  $C_2=800 \text{ mkf}$  bolan iki kondensator yzygider birikdirilen we umumy  $200 \text{ W}$  güýjenmä çatylan. Her bir kondensatordaky güýjenmäni we onuň elektrik meýdanyndaky ätiýaçlyk energiýany kesgitlemeli.

**Jogap:**  $U_1=160 \text{ W}$ ,  $U_2=40 \text{ W}$ ,  $W_{e1}=2,56 \text{ J}$ ,  $W_{e2}=0,64 \text{ J}$ .

4. Naprýaženiýesi  $U=500 \text{ W}$  setde işlemäge niýetlenen umumy sygymy  $C=120 \text{ mkf}$  bolan birgörnüşli kondensatorlardan ( $C_1=60 \text{ mkf}$ ,  $U_{ýyl}=200 \text{ W}$ ) batareýa ýygnamaly. Kondensatorlaryň batareýa birikdiriliş shemasyny çyzmaly we şol batareýany ýygnamak üçin gerek bolan kondensatorlaryň batareýa birikdiriliş shemasyny çyzmaly we şol batareýany ýygnamak üçin gerek bolan kondensatorlaryň az (minimal) sanyny kesgitlemeli.



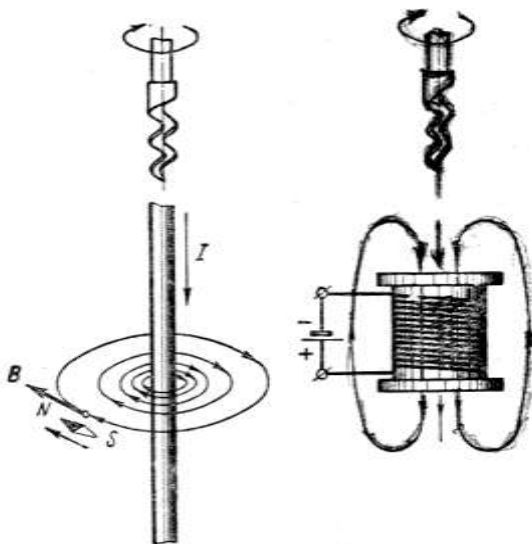
**Jogap:** Batareýa alty parallel şahalardan durmaly; her şaha yzygider üç kondensator birikdirmeli bolýar.

## ÜÇÜNJI BÖLÜM

### Magnit zynjyr we olaryň hasaby.

#### § 3.1. Magnit meýdany.

Elektrik el.toglarynyň gurşap alýan giňişliginde magnit meýdany döreýär. Göniçyzykly el.togly geçiriji we sargytlardan el.tog akýan tegek tarapyndan döredilen magnit meýdany 3.1. çyz. shema görnüşde (shematiki) görkezilen.



3.1. çyzgy.

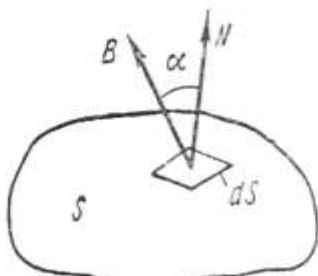
Magnit çyzyklary we olary döredýän el.tog belli (burawyň) sag tarapa bolan hereketiň düzgüni boýunça özara baglydyrlar.

Ýokary (çalt) ösüş we magnit meýdanynyň dürli nokatlarynda onuň ugryny häsiýetlendirýän esasy ululyk bolan magnit induksiýasynyň **B** wektory hasaplanýar. Ol wektor magnit çyzygyna galtaşma boýunça ugrukdyrylandyr. Wektor

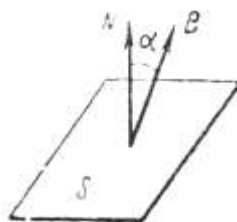
**B** ugry meýdanyň çyzygyna galtaşma boýunça ugrukdyrylandyr. Wektor **B** ugry meýdanyň seredilýän nokadynda ýerleşdirilen magnit diliniň oky bilen gabat gelýär.

Wektor **B** ululygy magnit meýdanynda ýerleşdirilen elementine täsir edýän mehaniki güýç boýunça mümkin kesgitlenip biliner. Eger-de magnit induksiýasy meýdanyň ähli nokatlarynda birmeňzeş ululyklara we ugra eýe bolsa, onda meýdana **deňölçegli ýa-da biratly** diýip atlandyrylýar.

Tegegiň ýa-da haýsy hem bolsa beýleki elektrik zynjyrynyň çalt ösüşini häsiýetlendirýän magnit induksiýasy, ýeke bir zynjyrdan akýan el.togyň ululygyna bagly bolman, ony gurşap alan sredanyň magnit häsiýetine hem baglydyr.



3.2. çyzgy.



3.3. çyzgy.

Magnit meýdanyny häsiýetlendirýän ikinji bir esasy ululyk **F** magnit akymydyr. Tükeniksiz kiçi meýdandan zow geçýän elementar (ýönekeý) magnit akymy diýip

$$dF = B \cos \alpha \, dS, \quad (3.1.)$$

ululyga aýdylýar.

nirede  **$\alpha$**  - **dS** meýdana **N** normal we **B** wektoryň ugryny arasyndaky bur **S** üste zow magnit **F** akymy aşakdaky aňlatma bilen kesgitlenýär

$$F = \oint_S dF = \oint_S B \cos \alpha \, dS \quad (3.2).$$

Eger-de magnit meýdany deňölçegli,  $S$  üst hem tekiz bolsa, onda

$$\mathbf{F} = \mathbf{B} \cdot S \cos\alpha.$$

Eger-de  $S$  tekizlik  $\mathbf{B}$  wektora perpendikulýar (dik) ýerleşen bolsa onda burç  $\alpha=0$  we magnit akym  $\mathbf{F} = \mathbf{B}S$ .

Halkara toplumynda (sistemada) magnit ululygyň ölçeg birligi hökmünde kabul edilen: magnit induksiýasy üçin – Tesla (Tl) ýa-da Weber gatnaşan metr kwadrat ( $\mathbf{Wb} / \mathbf{m}^2$ ), magnit akymy üçin - Weber (Wb).

Köp inžener hasaplamalarda magnit induksiýasyny Gaussda, magnit akymyny Maksswelde (MKS) ölçemek kabul edilen.

$$1 \text{ Tl} = 10^4 \text{ Gs}, 1 \text{ Wb} = 10^8 \text{ MKS}.$$

Magnit meýdanynda barlag geçirilende we magnit gurlyşy hasaplamakda ölçeg birligi amperde metr ( $\mathbf{A/m}$ ) bolan magnit meýdanynyň naprýaženiýesi hasaplama ululyk hem ulanylýar.

Magnit induksiýasynyň  $\mathbf{B}$  wektory we magnit meýdanynyň naprýaženiýesiniň  $\mathbf{H}$  wektory aşakdaky gatnaşyk bilen baglanşykly.

$$\mathbf{B} = \mu_0 \cdot \mathbf{H}, \quad (3.4).$$

nirede - sredanyň absolyút magnit syzyjylygy.

Ferromagnit däl materiallaryň we sredalaryň (agajyň, kagyzyň, mis, alýuminiý, howa) magnit syzyjylygy howasyz boşlugyň magnit syzyjylygyndan praktiki tapawutlanmaýar:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Çn/m} \text{ (Çenri/metr)}.$$

Ferromagnit materiallarda  $\mu$  ululygy hemişelik bolmaýar, we magnit induksiýasy  $\mathbf{B}$  ululyga bagly bolýar.

### § 3.2. Magnit zynjyry.

Köplenç ýagdaýlarda elektrik maşynlarynda we enjamlarynda magnit meýdanyny elektromagnit arkaly döredilýär (alynýar), şu maksat üçin kuwwatly hemişelik magnitlar ulanylýar.

Her bir elektromagnit belli bolşy ýaly magnitgeçirijide polat özenden (serdeçnikden) we elektrik togy geçýän goraýjyly simlardan saralan tegekden durýar. Magnit meýdanyny güýçlendirmek üçin we giňişligiň kesgitli böleginde magnit çyzyklaryny toplamak üçin, elektrik maşynlaryny we enjamlaryny magnit akymyny esasan hem ferromagnit materiallaryň üstünden geçer ýaly edip taýýarlaýarlar.

Magnit akymy ýa-da onuň bölegi käwagtlarda ferromagnit däl sredanyň üsti bilen birleşýär (tapyşýar), mysal üçin, howa elektrogoraýjy we magnit häsiýetlere howasyz boşlugyň magnit häsiýetinden az-owlak tapawutlanýan beýleki materiallar.

Magnit akymynyň çyzyklarynyň ferromagnit (polat) we ferromagnit däl (howa) – birnäçe bölümleriň toplumynda utgaşmaklaryna **magnit zynjyry** diýilýär.

#### **Doly el. togynyň kanuny.**

Magnit zynjyrynyň hasabatlarynyň esasynda doly el.togynyň kanuny ýatandyr.

Şu kanunyň matematiki aňlatmasy bolup aşakdaky deňleme hyzmat edýär. (3.4 çyz.)

$$\oint \mathbf{H} d\mathbf{l} = \oint \mathbf{H} \cos \alpha d\mathbf{l} = \sum I \quad (3.5)$$

niredede

$\mathbf{H}$  – giňişligiň berlen nokadyndaky magnit meýdanynyň naprýaženiýesiniň wektory.

$d\mathbf{l}$  – ýapyk  $l$  konturyň uzynlygynyň elementi (bölegi).

$\alpha$  -  $\mathbf{H}$  we  $d\mathbf{l}$  wektoryň ugurlarynyň aralaryndaky burç.

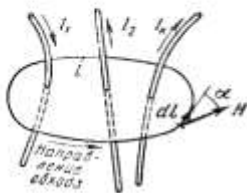
$\sum \mathbf{I}$  –  $l$  kontura girýän el.toglarynyň algebraiki jemi.

Kontura girýän  $\mathbf{I}_k$  (aralaşýan) el.tog, eger-de konturyň yzarlanýş ugry we şol el. togynyň ugry nurbatyň düzgüni bilen baglaňsygy bolsa položitel hasaplanýar.

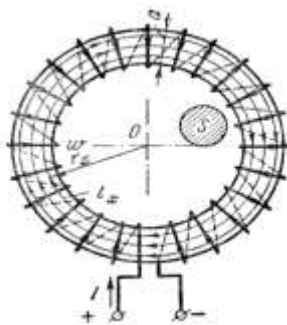
### Magnit zynjyry üçin Omuň kanuny.

Bir atly materialdan (toroid) ýapyk halka hökmünde ýerine ýetirilen ýönekeý magnit zynjyryna serederis. (3.5)

Magnitlanýan sarym halka boýunça endigan ýerleşip  $\omega$ . sarga eýedir we  $\mathbf{I}$  el.tog akýandyr. Halkanyň içinde magnit çyzyklary  $O$  nokatda merkezi bolan okly töwerekdir. (3.5) aňlatma magnitgeçirijiden geçýän magnit çyzyklaryň biri bilen gabat gelýän  $\mathbf{l}_x$  kontur üçin ulanyp biliner. 1)  $\mathbf{H}$  we  $d\mathbf{l}$  wektoryň ugry gabat gelýänligi üçin  $\alpha$  burç nula deň bolýar; 2) Konturyň ähli nokatlaryndan  $\mathbf{H}_x$  ululyk simmetriýa güýjine görä gurluşlarda birmeňzeşdirler; 3) kontura aralaşan el.toglaryň jemi  $\mathbf{I}_w$  deňdir.



3.4. çyzgy.



3.5. çyzgy.

Onda

$$\oint \mathbf{H}_x \cos \alpha \, dl = H_x \oint dl = H_x l_x = I_w. \quad (3.6).$$

bu ýerden

$$\mathbf{H}_x = I_w / l_x = I_w / 2\pi r_x \quad [\text{A/m}],$$

nirede

$l_x$  – ugry boýunça integrirlenen konturyň uzynlygy;

$r_x$  – töweregiw radiusy.

Endigan ýerleşen sarymly halkaly magnitgeçirijide ähli magnit meýdany halkynyň içinde ýygnalýar. Halkynyň daşynda magnit meýdany ýokdyr ( $H=0$ ). Bölüşdiriji sarymly halka görnüşli magnitgeçirijiniň  $\mathbf{F}$  magnit akymyny kesgitläris (3.5 çyz). Halkanyň içinde magnit meýdanynyň  $\mathbf{H}_x$  naprýaženiýesi (3.6). deňlemenden görnüşi ýaly deňdäldir we magnit çyzygyndan magnitgeçirijiniň okuna çenli bolan  $r_x$  aralyga baglydyr.

Ýöne, eger-de magnitgeçirijiniň halkasynyň  $a$  ini onuň ortaky diametrinden uly bolmasa, onda halkanyň içindäki maksimal (uly) we minimal (kiçi) ululyklaryň arasyndaky tapawut uly däldir. Şeýlelik bilen magnitgeçirijiniň ähli  $\mathbf{S}$  kesekesi üçin hasabatda (magnit meýdanynyň naprýaženiýesiniň bir bahasyny) almaklyga rugsat edilýär:

$$\mathbf{H}_{\text{ort}} = \mathbf{I} \cdot \mathbf{w} / l, \quad (3.7)$$

nirede  $l$  - orta magnit çyzygynyň uzynlygy,  $m$ .  
Şuny göz önünde tutup we

$\mathbf{F} = \mathbf{B}_{\text{ort}} \mathbf{S}$  we  $\mathbf{B}_{\text{ort}} = \mu_a \mathbf{H}_{\text{ort}}$   
gatnaşykdan alarys

$$\mathbf{F} = \mathbf{B}_{\text{ort}} \cdot \mathbf{S} = \mu_a \mathbf{H}_{\text{ort}} \mathbf{S}. \quad (3.8).$$

(3.7) we (3.8) aňlatmadan alarys

$$F = \mu_a S \frac{Iw}{l} = \frac{I \cdot w}{\frac{l}{\mu_a S}} = \frac{F}{R_m}. \quad (3.9).$$

(3.9) deňlemeden görnüşi ýaly **F** magnit akymy tegegiň w sarym sanyna we onuň üstünden akýan **I** el.toga baglydyr. Beýleki deň şertlerde **w** we **I** ululyklar näçe uly bolsa magnit akymy **F** şonçada uludyr. **Iw=F** köpeltmek hasyly magnitlanma güýji diýen ady alýar (N.S)

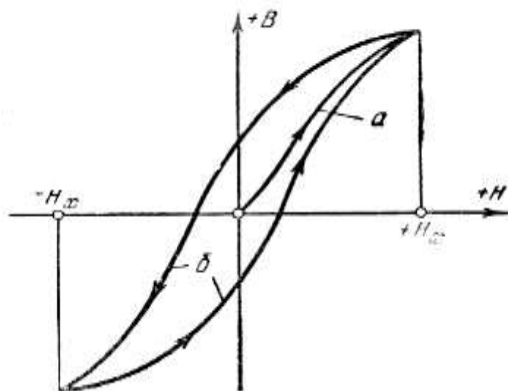
**I /  $\mu_a S = R_m$**  ululyga magnitgeçirijiniň magnit garşylygy diýip atlandyrmak kabul edilendir (el. garşylygy bilen **r = I /  $\gamma S$**  meňzeşlik).

Eger-de magnit zynjyrynda akym döredýän **F** magnitlanma güýç konturda el.togy döredýän e.h.g. täsirine meňzetsek, onda (3.9) aňlatma daşyndan hemişelik el.togyň zynjyry üçin Omuň kanunynyň aňlatmasyna meňzeş bolar. Elektrik we magnit zynjyrynyň meňzeşligi arassa howaýydyr (formalnydyr). (N.S we e.h.g. meňzeşligi ýalydyr). Bu zynjyrdaky prosesleriň düýp manysy dübünden (dürli-dürlidir) başgaçadyr.

### § 3.3. Ferromagnit materiallary we olaryň häsiýetleri.

Belli bolşy ýaly ferromagnit materiallarynyň magnit syzyjylygy **M** hemişelik däl we magnit induksiýasyna **B** çylşyrymly baglansykda bolýar. Ol bolsa öz gereginde **R<sub>m</sub>** magnit garşylygynyň hemişelik bolmazlygyna getirýär we magnit zynjyrynyň hasabyny has kynlaşdyrýar. Şonuň üçin ferromagnit bölümi saklaýan magnit zynjyrynyň hasaby özünde **B(H)** baglansygy görkezýär.

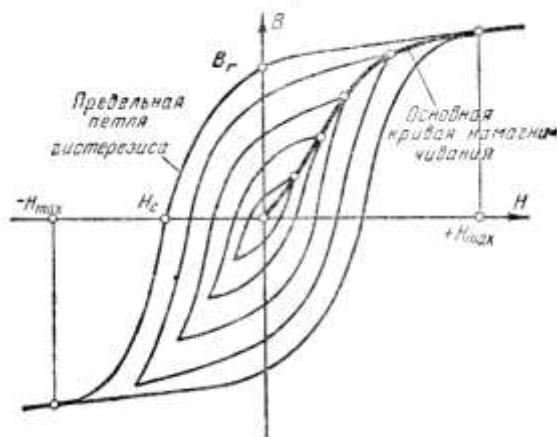




3.6. çyzgy.

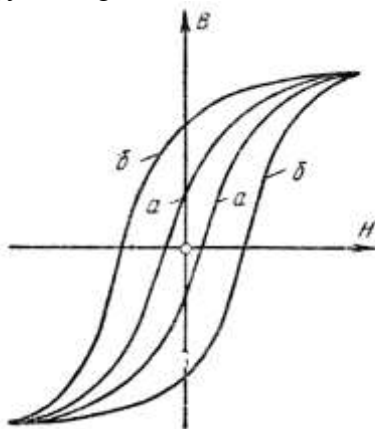
Magnitlenmäniň egrisini hökmany ýerleşdirmeli. 3.5. çyz. görkezilen meňzeş bolan bölünme (paýlanyşykly) sarymly ýapyk magnitgeçirijileriň synaglarynyň netijesinde, ol baglanşyklary tejribe üsti bilen alýarlar.

Nusganyň başlangyç magnitlenmasy başlangyç magnitlenmäniň egrisi diýilip atlandyrylýan (3.6 çyz) a egri gabat gelýär. Eger-de nusga magnit meýdanynyň naprýaženiýesi  $+H_x$  dan  $-H_x$ -a çenli aralyga üýtgände sikliki magnitlenmä sezewar edýär, onda  $B(H)$  egri ýapyk ferromagnit materiallaryň sikliki magnitlenme prosesini, energiýanyň sarp edilmegini talap edýär. Fizika kursundan belli bolşy ýaly magnitlenmäniň bir sikline sarp edilýän energiýa gisteris halkasynyň meýdanyna proporsionaldyr.



3.7 çyzgy.

Şonuň üçin öte magnitlenme şertli işleýän elektromehaniki gurluşyň magnitgeçirijilerini (mysal üçin, transformatorlaryň magnitgeçirijileri) inçe gistereris halkasyna eýe bolan ferromagnit materiallaryndan ýerine ýetirmek amatlydyr. (3.8 çyz., a egrisi).



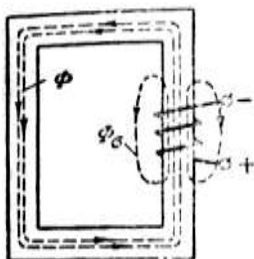
3.8. çyzgy.

Şular ýaly ferromagnit materiallara **magnit ýumşak material** diýilýär. [ýuka elektrotehniki polat we birnäçe ýörite erginler, mysal üçin öz düzüminde nikel, demir we beýleki komponentler (bölekler) saklaýan permallaý].

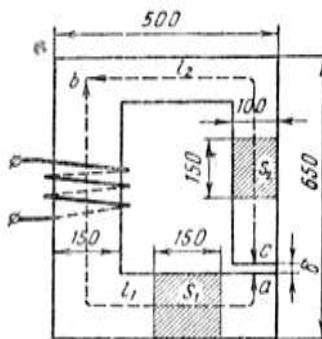
Hemişelik magniti taýýarlamak üçin, ýokary galyndyly induksiýasi we ýokary koersetiw güýji bolan giň halkaly gisterisli ferromagnit materiallary maslahat berilýär (3.8 çyz., b egrisi). Şeýle ferromagnit materiallara gatymagnit materiallar diýilýär (wolfrom, hrom we alýuminili birnäçe demir erginleri).

### § 3.4 Şahalanmaýan magnit zynjyrynda hasap (hasap geçirme).

(3.9) deňleme deň bölünen sarymly hemişelik kese-kesigi bolan halka görnüşli magnitgeçiriji üçin alynandyr. Bu deňlemäni magnitgeçirijiniň çäklenen bölümünde ýerleşen (jemlenen) magnit zynjyry üçin ulanýarlar ýaýradýarlar, magnit zynjyrynyň aýry bölümleri dürli ferromagnit we ferromagnit däl materiallardan ýerine ýetirilendir we dürli kese-kesige eýedir.



3.9.çyzgy



3.10.çyzgy.

Magnit zynjyrynyň ýakyn hasaplamalarynda, zynjyryň ähli bölümlerinde magnit akymy şol bir ululykda galýar diýip alýarlar, aslyýetinde bolsa magnit zynjyrynda şeýle hem magnitgeçiriji boýunça gitmän howada utgaşan  $\Phi_r$  ýaýramanyň akymy ýüze çykýar (3.9 çyz).

Magnit zynjyrynyň hasabynda göni we ters tabşyryklary tapawutlandyrýarlar.

**Göni tabşyryk.** Berlen: 1) magnit zynjyrynyň geometriki ölçegleri; 2) magnit zynjyry ýerine ýetirilýän ferromagnit materiallar; 3) magnit zynjyrynda döredilmeli  $\Phi$  magnit akymy. Sarymyň magnitlendiriji güýjini  $F=Iw$  tapmak talap edilýär. Şu meseläniň çözülişine 3.10 çyzgyda görkezilen magnitgeçirijä degişlilikde seredeliň.

Magnit zynjyry bir jynsly materialdan ýerine ýetirilen köp sanly meňzeş  $S$  kese-kesikli böleklere bölünendir. Ortaky magnit çyzgynyň geçýän ýoly bellenýär (çyzgyda punktir bilen görkezilen). Zynjyryň ähli böleginde magnit akymynyň hemişelik bolup galýanlygy üçin bölekleriň her birinde magnit induksiýa ( $B=\Phi/S$ ) şeýle hem magnit meýdanynyň dartgynlygy  $H$  üýtgemeyär. Bu bolsa orta magnit çyzygynyň emele getiren kontury üçin  $f H dl$  bahany ýönekeý kesgitlemäge mümkinçilik döredýär, şeýlelikde magnitlendiriji güýjüň gözlenýän ululygyny tapmaly belli bolşy ýaly  $F=f H dl$ ,  $f H dl$  integrally şoňa deň bolan çäekli integrirlemäni her bir bölegiň başlangyjy we ahyry gabat gelýän integrallaryň jemi bilen çalşyrarys.

Onda (3.10)

$$f H dl = f_a^b H_1 dl + f_b^c H_2 dl + f_c^a H_3 dl = H_1 l_1 + H_2 l_2 + H_{\text{how.}} \delta = I w.$$

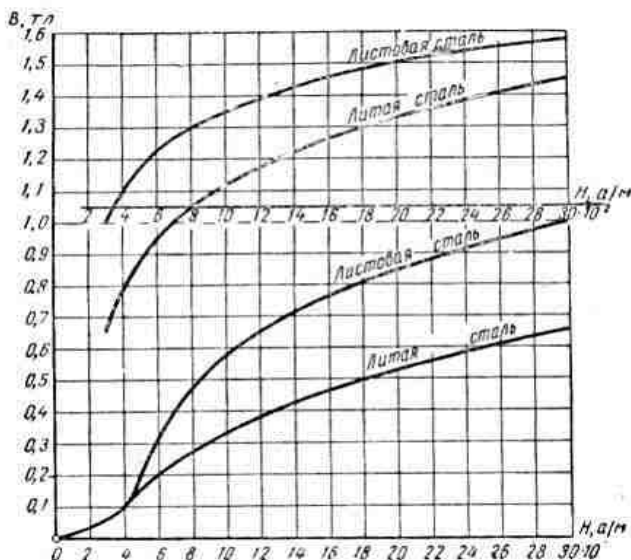
Bu ýerde  $l_1$  we  $l_2$  – zynjyryň ferromagnit bölümüniň uzynlygy, m;  
 $\delta$  – howa boşlugynyň giňligi, m.

$H_1$  we  $H_2$  ýylylyklary gabat gelýän ferromagnit materiallar üçin hil egrileriň kömegi bilen **B** magnit induksiýasynyň belli ululygy boýunça kesgitleýärler.

Howa boşlugy üçin ( $\delta$  - bölüm) magnit meýdanynyň **H<sub>how</sub>** dartgynlygynyň ululygyny aşakdaky gatnaşykdan

$$H_{\text{howa}} = \frac{B_{\text{howa}}}{\mu_0} = \frac{B_{\text{howa}}}{4\pi \cdot 10^{-7}} = 8 \cdot 10^5 B_{\text{howa}} \text{ A / m.} \quad (3.10)$$

kesgitlenýär.



3.11.çyzgy.

### Мысал 3.1.

Magnit zynjyrynyň howa boşlygynda (3.10)  $F=0,0165$  W<sub>b</sub>. magnit akymyny döretmeli. Gerek bolan sarymyň magnitlenme güýjiniň ululygyny kesgitlemeli. Magnitgeçiriji guýulan polatdan taýýarlanan (3.11 çyzgyda magnitlenmäniň hil egrisi getirilen). Magnitgeçirijiniň ululyklary (ölçegi) (mm-e) 3.10 çyzgyda görkezilen.

**Çözülişi.** Magnitgeçirijini biratly böleklere böleliň. Berlen ýagdaýda şolar ýaly üç bölüm bar ( $l_1$ ,  $l_2$  we  $\delta$ ) 3.10 çyzggy ulanyp her bir bölümüniň uzynlygyny we kesekesiginiň meýdanyny kesgitläris:

$$l_1 = 0,975 \text{ m}, \quad l_2 = 0,82 \text{ m}, \quad \delta = 0,002 \text{ m}, \quad S_1 = 0,15 \cdot 0,15 = 0,0225 \text{ m}^2,$$

$$S_2 = 0,1 \cdot 0,15 = 0,015 \text{ m}^2, \quad S_\delta = 0,1 \cdot 0,15 = 0,015 \text{ m}^2$$

Magnit zynjyrynyň her bir bölçümindäki magnit induksiýasy nyň ululygyny kesgitläris:  $B_1 = F/S$

Guýulan polat üçin magnitlenmäniň hil egrisini (3.11 çyz)

$$B_{\text{how.}} = F / S_\delta = \frac{0,0165}{0,015} = 1,1 \text{ T}$$

ulanyp (peýdalanylýan) magnit zynjyrynyň birinji ( $l_1$ ) we ikinji ( $l_2$ ) böleklerindäki magnit meýdanynyň dartgynlygyny kesgitläris.

$$H_1 = 350 \text{ A/m}, \quad H_2 = 940 \text{ A/m},$$

Howa boşlugyndaky magnit meýdanynyň dartgynlygyny (3.11) gatnaşykdan kesgitläris:

$$H_{\text{how.}} = 8 \cdot 10^5 \text{ B}_{\text{how.}} = 8 \cdot 10^5 \cdot 1,1 = 8,8 \cdot 10^5 \text{ A/m}.$$

Sargynyň gözlenýän magnitlenme güýji

$$F = H_1 l_1 + H_2 l_2 + H_{\text{howa}} \delta = 350 \cdot 0,975 + 940 \cdot 0,82 + 8,8 \cdot 10^5 \cdot 0,002 = 340 + 770 + 1760 = 2870 \text{ A}.$$

Howasyz boşlukda magnit akymyny saklamaga harç edilýär, şol wagtda boşlugyň giňligi ( $\delta$ ) magnit zynjyrynyň umumy uzynlygynyň ( $l_1 + l_2 + \delta$ ) az bölegini (0,15 %-den az) düzýär. Şu fakt ähli magnit zynjyryna mahsus hasaplanýar we elektrik maşynlarynyň konstruktorlaryny (gurujiylary;

düzüjileri) magnit zynjyrynyň howa boşlugynyň giňligini mümkin boldugyça kiçi (sargynyň magnitlenme güýjiniň aşa ulalmagyndan gutulmaklyga (dynmak)

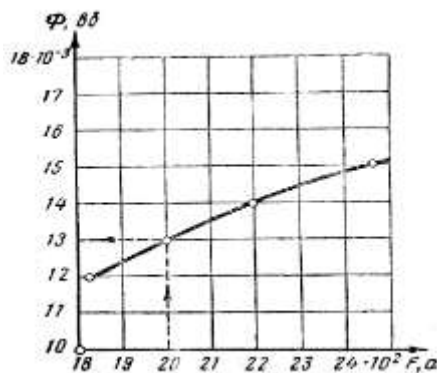
Ters tabşyryk. Berlen: 1) magnit zynjyrynyň geometriki ölçegi; 2) Ferromagnit materiallaryň häsiýetnamalary; 3) Sargynyň magnitlenme  $F$  güýji.  $\Phi(F)$  magnit akymyny kesgitlemeklik talap edilýär.

(3.9) deňlemäniň gös-göni  $\Phi$  magnit akymyny kesgitlemäge ulanmaklyk mümkin däl, sebäbi zynjyryň garşylygy hemişelik däl we onuň özi magnit akymyň ululygyna baglydyr. Bular ýaly tabşyryklary yzygider ýakynlaşma usulda şular ýaly tertipde çözüýärler. Zynjyryň magnit akymynyň erkin bahalarynyň ýany bilen berilýär we ol bahalaryň her biri üçin sargynyň gerek bolan magnitlenme güýjini, göni tabşyrygy çözülenäki ýaly edilýär. Alynýan ululyklar boýunça  $\Phi(F)$  hil egrisini gurýarlar (3-12 çyz.). Şular ýaly baglanyşykda, magnitlenme güýjüň berlen bahasy üçin magnit akymynyň ululygyny tapmak kyn däl.

**Mysal 3.2.** Eger-de sargynyň magnitlenme güýji  $F=2000a$  magnitgeçirijiniň howa boşlugynda magnit akymyny kesgitlemeli (3.10 çyz.),.  $I_1, I_2 ; \delta; S_1; S_2 ; S_\delta$  ululyklaryň bahalaryny 3.1 mysaldan almaly.

**Çözülişi.** Bellik üçin howa boşlugynyň diňe magnit garşylygyny  $R_{howa} = \delta / \mu_0 S_\delta$  hasaba alyp hem-de zynjyryň ferromagnit bölümüniň garşylygyny gözöňünde tutman (hasaba alman) oriýentir üçin ilki zynjyrdaky  $\Phi_0$  magnit akymy kesgitläris:

$$\Phi_0 = \frac{I\omega}{R_{howa}} = \frac{F}{\frac{\delta}{\mu_0 S_\delta}} = \frac{200 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 0,015}{0,002} = 0,019 Wb.$$



3.12.çyzgy.

Sebäbi ähli zynjyryň magnit garşylygy, howa boşlugynyň garşylygyna garanda az-kem ýokarydyr (uludyr), gözlenýän magnit akymy bolsa  $\Phi_0$ -dan azdyr. Hasabyň başynda  $\Phi \approx 0,8$   $\Phi_0 = 0,015 \text{ Wb}$  bahany goýarys (bereris) we degişli şol akym üçin magnitlenme güýji kesgitläris.

Zynjyryň aýry bölümlerindäki magnit induksiýalar:

$$B_1 = \frac{\Phi}{S_1} = \frac{0,015}{0,0225} = 0,67 \text{ Tl.}$$

$$B_2 = \frac{\Phi}{S_2} = \frac{0,015}{0,015} = 1,0 \text{ Tl}$$

$$B_{\text{howa}} = \frac{\Phi}{S_\delta} = \frac{0,015}{0,015} = 1,0 \text{ Tl}$$

Guýulýan poladyň magnitlenme egrisinden (3.11.çyz.) taparys (alarys)



$$H_1 = 310 \text{ A/m}, H_2 = 700 \text{ A/m}, H_{\text{howa}} = 8 \cdot 10^5 \cdot B_{\text{howa}} = 8 \cdot 10^5 \text{ A/m},$$

Sargynyň magnitlenme güýji

$$F_1 = H_1 l_1 + H_2 l_2 + H_{\text{howa}} \delta = 310 \cdot 0,975 + 700 \cdot 0,82 + 8 \cdot 10^5 \times 0,002 = 300 + 570 + 1600 = 2470 \text{ A}.$$

Soňra magnit akymlarynyň 0,014 we 0,012 Wb bahalaryny goýarys we meňzeş hasaplary geçireris. Ähli hasaplaryň netijeleri 3.1 gözenege salynan.

Gözenek 3.1.

$\Phi$ , Wb	$B_1$ , Tl	$B_2$ , Tl	$B_{\text{how.}}$ , Tl	$H_1$ , A/m	$H_2$ , A/m	$H_{\text{how.}}$ , A/m	$H_1 l_1$ , A	$H_2 l_2$ , A	$H_{\text{how.}}$ , $\sigma$ , A	$\Sigma H l =$ F, A
0,015	0,67	1,0	10	310	700	$8 \cdot 10^5$	300	570	1600	1470
0,014	0,62	0,93	0,93	264	560	$7,4 \cdot 10^5$	257	458	1480	2195
0,012	0,53	0,8	0,8	205	410	$6,4 \cdot 10^5$	200	344	1280	1824

Egri F (3.12. çyzgy) 3.1 tablisanyň berlenleri boýunça gurulan. Egriden berlen magnitlendiriji  $F=2000 \text{ A}$  magnit akymy  $F=0,013 \text{ Wb}$  gabat gelyändigini taparys. 65 sah. zynjyrdaky Magnit meýdanynda  $\Phi_k \cdot R_k$  köpeltmek hasylynyň elektrik zynjyrindaky  $I \cdot r$  köpeltmä meňzeşligine **magnit naprýaženiýesi** (naprýaženiýasy) diýilýär. (3.13) deňleme magnit zynjyr üçin Kirhgofyň ikinji kanunyny aňladýar. Bir magnitlendiriji sarymly simmetrik däl magnit zynjyryň izigiderliligini we hasaplama tertibine serederis (3.15)

### §3.5 Şahalanýan magnit zynjyryň hasaby.

Elektrik maşynlaryň we enjamlaryň konstruksiýalarynda akym bir ugurda (ýolda) galtaşman aýry akymlara dargaýan zynjyrlar köplenç duş gelýär. Şeýle magnit zynjyrlaryna şahalanýan diýilip aýdylýar (3.13, 3.14 w 3.15 çyz)

Şahalanýan magnit zynjyry simmetrikligi we simmetrik dälligi bilen tapawutlanýar.

#### **Simmetrik magnit zynjyry**

Eger-de şahalanýan magnit zynjyryny ( 3.13 çyz). iki baglanyşyksyz AA simmetrik ok boýunça bölünen diýip güman etsek, onda ol özüniň zynjyryň iş şertini ütgetmez we onuň ähli uçastogyndaky (bölümünde) magnit akymy özleriniň ululygyny saklaýarlar. Şoňa görä simmetrik magnit zynjyrynyň bir ýarymynyň hasabyny etmek ýeterlikdir. Çünki ol zynjyr şahalanmaýan hasaplanýar, onda inuň hasabyna §3.4 seredilen usul ulanylyp biliner.

Mysal. 3.3. elektrik maşynynda (3.13) magnit zynjyrynda  $\delta$  howa ýşgynynda magnit  $F=0,0625$  W6 döretmeli. Oýandyryjy 2 sarymyň magnitlendiriji F güjiniň gerek bolan ululugyny kesgitlemeli.

Maşynyň okunyň uzunlygy  $L=0,5$ m, rotoryň diýametri  $1D=0,3$ m, howa ýşgy  $\delta=0,005$ m. Magnit zynjyrynyň  $l_{pol}$  uçastogy (bölegi) guýulan polatdan ýerne ýetirilen (taýarlanan),  $l_n$  we  $l_{ya}$  polatdan ýygnaýan.

Çözgidi. Magnit geçirijini AA simmetriýa oky boýunça iki bölege böleris. Magnit zynjyryň çep ýarsynda orta magnit liniýasynyň ýoluny göreris (çyzgyda kesik çyz. bilen görkezilen). Magnit geçirijiniň ol bölegini biratly uçastoga (bölege) böleris.

Çyzgydan peýdalanylyp zynjyryň her uçastogynyň çep ýarymynyň kese-kesigini we uzynlygyny kesgitleýäris.

$$l_{pol}=1,25\text{m}, \quad 2l_n=0,36\text{m}, \quad l_{ya}=0,32\text{m},$$

$$2\delta=0,01\text{m}, S_{\text{pol}}=0,048\text{m}^2, S_n=0,038\text{m}^2, \\ S_{\text{ya}}=0,04\text{m}^2, S_{\delta}=0,07\text{m}^2.$$

Magnit zynjyrynyň her bir uçastogyn-da (seredilýän magnit zynjyrynda  $\frac{F}{2}$  akym ütgýär) magnit meýdanyň güjenmesini togta (list) we guýulan polat (3.11) üçin magnitlenmäniň egrisi boýunça we magnit induksiýasynyň ululygyny kesgitleýäris:

$$B_{\text{pol}} = \frac{F}{2S_{\text{pol}}} = \frac{0,0625}{2 \cdot 0,048} = 0,65 \text{ Te}, H_{\text{pol}} = 300 \text{ A/m} \\ B_{\text{pol}} = \frac{F}{2S_n} = \frac{0,0625}{2 \cdot 0,038} = 0,82 \text{ Te}, H_n = 185 \text{ A/m} \\ B_{\text{ya}} = \frac{F}{2S_{\text{ya}}} = \frac{0,0625}{2 \cdot 0,04} = 0,78 \text{ Te}, H_{\text{ya}} = 165 \text{ A/m} \\ B_{\text{how}} = \frac{F}{2S_{\delta}} = \frac{0,0625}{2 \cdot 0,07} = 0,445 \text{ Te}, H_{\text{how}} = 8 \cdot 10^5 B_{\text{how}} = \\ 3,56 \cdot 10^5 \text{ A/m}$$

Sarymyň gözlenýän magnitlendiriji güji

$$F=H_{\text{pol}}l_{\text{pol}}+H_n2l_n+H_{\text{how}}2\delta=300 \cdot 1,25+185 \cdot 0,36+165 \cdot 0,32+ \\ 3,56 \cdot 10^5 \cdot 0,01=4055 \text{ A}$$

Simmetrik däl magnit zynjyry. Şeýle zynjyrlaryň hasaby magnit zynjyry üçin kirhgofyň kanunyna esaslanandyr we çyzyk däl garşylykly şahalanýan elektriw zynjyryň hasabyna görnüşi (formasy) boýunça meňzeşdir. Magnit zynjyryň islän düwünde (3.14) magnit çyzyklaryň üznüksiz bolanlygy üçin magnit akymalarynyň algebraiki jemi nula deňdir:

$$\sum F = 0 \quad (3.12)$$

Magnit zynjyry üçin (3.12) gatnaşyga Kirhgofyň I kanuny diýilýär.

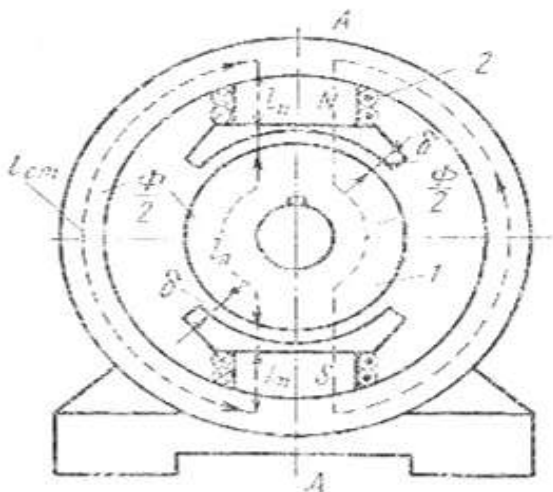
Doly togyň kanuny a b c d a kontura ulanyp bolar. Konturyň yzarlanış uguryny erkin alarys, maysal üçin sagat diliniň aýlaw uguryny. Onda ýazyp bolar:

$$F_1 - F_2 = F_1 \frac{l_1}{S_1 \mu_1} - F_2 \frac{l_2}{S_2 \mu_2} = F_1 R_1 - F_2 R_2$$

ýada

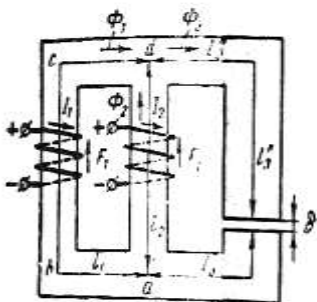
$$\sum F_k = \sum F_k R_k, \quad (3.13)$$

Bu ýerde  $F_k$ ,  $F_k$  we  $R_k$  – degişlilikde zynjyryň k uçaştogynyň, magnitlendiriji güji, magnit akymy, magnit garşylygy.

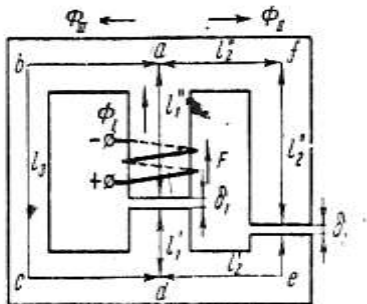


3.13.çyzgy.

Berilen diýip hasap edilýänler: a) zynjyryň geometriki ölçegi; b) ferromagnit materiallaryň magnitlenme hil egrisi; w) Sargynyň magnitlendiriji  $F$  güýji. Zynjyryň ähli bölüminiň magnit akymyny kesgitlemek talap edilýär.



3.14.çyzgy.



3.15.çyzgy.

Aýry-aýry **ad**, **abcd** we **afed** magnit garşylygyny deňişlilikde **R<sub>I</sub>**, **R<sub>II</sub>** we **R<sub>III</sub>** arkaly, şol şahalardan geçýän magnit akymalaryny **Φ<sub>I</sub>**, **Φ<sub>II</sub>** we **Φ<sub>III</sub>** üsti bilen belläris.

Magnit zynjyrynyň düwün **a** hem-de **afeda** we **abcda** konturlar üçin Kirhgofyň kanunlaryny ulanyp alarys

$$F = \Phi_I R_I + \Phi_{II} R_{II}$$

$$F = \Phi_I R_I + \Phi_{III} R_{III} \quad (a)$$

$$\Phi = \Phi_{II} + \Phi_{III}$$

Şu deňlemeler toplumy, elektrik zynjyrynda el.toglary kesgitlemek üçin (b) deňlemeler toplumyna meňzeşdirler. (3.16 çyz.)

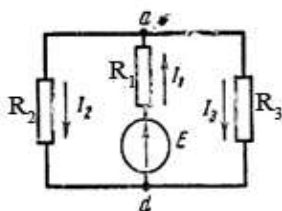
$$E = I_1 r_1 + I_2 R_2$$

$$E = I_1 r_1 + I_3 r_3 \quad (b)$$

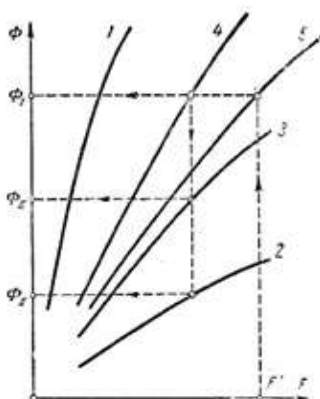
$$I_1 = I_2 + I_3$$

Haçan-da ähli ýada birnäçe garşylyklardan **r<sub>1</sub>**, **r<sub>2</sub>** we **r<sub>3</sub>** çyzyksyz bolan ýagdaý üçin (b) deňlemeler toplumynyň göçüriliş we **I<sub>1</sub>**, **I<sub>2</sub>** we **I<sub>3</sub>** el.toglaryň ululyklarynyň kesgitlenişi belli bolşy ýaly bar bolan woltamper häsiýetnamanyň esasynda grafiki (egriлер) ýoly bilen alnyp barylýar (§ 1.7 seret).

Meñzeşlikde magnit zynjyrynyň şahalaryndaky  $\Phi_I$ ,  $R_{II}$  we  $\Phi_{III}$  akymlaryň ululygyny hem kesgitleýärler. Şonuň üçin magnit akymyna birnäçe bahalar berilýär we  $\Phi$ -nyň her bir bahasy üçin oňa gabat gelýän  $F = \Phi \cdot R$  hasaplama ululygy kesgitleýärler. Soňra her bir şaha üçin – **weber-amper häsiýetnama** diýilip atlandyrylýar.  $\Phi(F)$  grafigi (egrini) gurýarlar (3.17 degişlilikde **ad**, **afed**, **abcd** bölümler üçin 1, 2 we 3 egriler).



3.16.çyzgy.



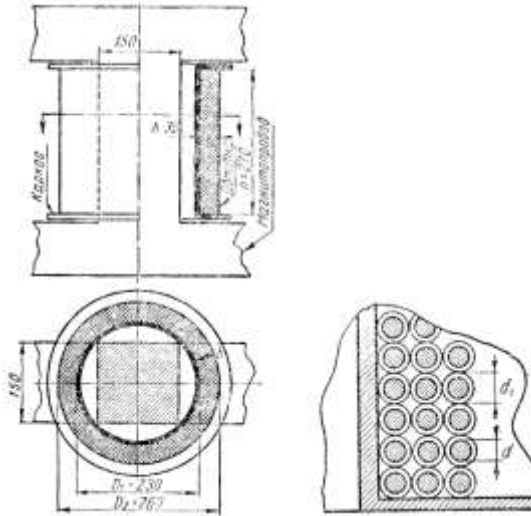
3.17.çyzgy..

Magnit zynjyrynyň iki parallel şahalaryny hasaplamada bir kwapdaş (ekwiwalent) şaha bilen çalşyp bolar. Şol şahanyň weber-amper häsiýetnamasy (4 egri) ordinatanyň 2 we 3 egrilerini jemlenme ýoly (arkaly) bilen alynýar. 1 we 4 absiss egrileri jemläp ähli magnit zynjyrynyň jemleýji weber-amper häsiýetnamasyny alarys (5 egri). Şu baglanşyklardan peýdalanyň magnit zynjyrynyň şahalanmaýan bölümindäki akymy ýagny  $\Phi_I$  akymy tapmak kyn dälär.

Şol akymyň bölekleri bolan  $\Phi_I$  we  $\Phi_{II}$  2, 3 we 4 egrileriň (3.17 çyz.) kömegi bilen tapmak bolar.

### § 3.6. Magnitlendiriji güýç boýunça tegegiň hasaby.

Magnit zynjyrynyň hasabynyň netijesinde tegegiň magnitlendiriji güýjiniň ululygy belli bolýar. Mundan soň tegegiň sargysynyň sarymlarynyň sarym sanyny we simyň kese-kesigini hasaplamak talap edilýär. Tegegiň hasabynda tegegiň sargylaryndan akmaly **I** elektrik akymynyň ýa-da tegegi iýmitlendirjek **U** naprýaženiýanyň (yzygider birikmä) berlen bolmagy mümkindir. Eger-de iş rejimleri arkaly **I** elektrik akym kesgitlenen haýsy hem bolsa bir elektrik enjamlarynyň ýa-da maşynlaryň zynjyryna tegek yzygider birikdirilse onda soňky ýagdaý dogry bolar.



3.18.çyzgy.

3.19.çyzgy.

Parallel çatylan tegegiň hasabynyň yzygiderligini konkret meselede serederis.

Berlen ölçegi (3.18 çyz.) magnit geçirijiniň bölümünde magnitlendiriji güýje  $F = 6000 \text{ A}$  bolan sarymy ýerleşdirmek

talap edilýär. Iýmitlendiriji setiň naprýaženiýesi  $U = 110 \text{ W}$ . Sarym ПБД kysymly (markaly) pagtakagyz goragly mis simyndan ýerine ýetirilen. Gurşap alan (sredanyň) daşky howanyň ýokary temperaturasy  $Q_{\text{gurş}} = 35^{\circ}\text{C}$ . Sargynyň rugsat edilen gyзма temperaturasy  $Q_{\text{gurş}} = 100^{\circ}\text{C}$ . Sargy uzak wagtlaп birikdirilmä niýetlenen bolmalydyr.

Sargy silindriki karkasa (özene) saralýar. Sargynyň h beýikligi magnit geçirijiniň we özeniň berlen ölçegleri bilen kesgitlenýär. Sargynyň ähli gatlaklarynyň b galyňlygyny aşakdaky gatnaşykdan kesgitleýäris.

$$K_o b h \delta = I \cdot w = F. \quad (3.14)$$

nirede  $K_o - b h$  meýdany, geçiriji materiallardan doldurma koefisiýenti (3.19 çyz.)

$\delta$  - el.togyň rugsat edilen dykzlygy,  $\text{A/mm}^2$ .

Başlangyç hasaplamada  $K_o = 0,5$ ,  $\delta = 1,5 \text{ A/mm}^2$  alarys,

$$b = \frac{F}{K_o h \delta} = \frac{6000}{0,5 \cdot 270 \cdot 1,5} \approx 30 \text{ mm}.$$

Sargynyň  $b \approx 30 \text{ mm}$  we özeniň mergeneginiň  $D_1 = 230 \text{ mm}$  diametri bilip, sargynyň sarymyň orta uzynlygyny kesgitläp bolar:

$$l_{\text{ort}} = \frac{\pi(D_1 + D_2 + 2b)}{2} \cdot 10^{-3} = \frac{\pi(230 + 230 + 60)}{2} \cdot 10^{-3} = 0,82 \text{ m}$$

Simyň  $d$  diametrini kesgitleýäris. Onuň üçin aşakdaky gatnaşykdan peýdalanarys.

$$F = I \cdot w = \frac{U}{r} w \quad (3.15)$$



nirede

$$r = \frac{l_{\text{ort.}} \cdot w}{\gamma \cdot S} = \frac{4 \cdot l_{\text{ort.}} \cdot w}{\gamma \cdot \pi d^2} - \text{sargynyn garsylygy } (S = \frac{\pi \cdot d^2}{4}).$$

$r$  – üçin aňlatmany (3.15) deňlemede ornuna goýup, taparys

$$d = \sqrt{\frac{4l_{\text{ort.}} \cdot F}{U\gamma \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,82 \cdot 6000}{110 \cdot 47 \cdot \pi}} = 1,1 \text{ mm.} \quad (3,16)$$

( $\gamma = 47 \frac{m}{Om \cdot mm^2}$  - 80 °C temperaturada misiň udel geçirijiligi). Maglumatnama boýunça  $d=1,12$  mm diametrli simi,

$$K_0 = \frac{\pi d^2}{4d_1^2} = \frac{\pi \cdot 1,12^2}{4 \cdot 1,39^2} = 0,51 \quad (3,17).$$

$d_1=1,39$  mm, diametrli goragly simi, simiň kese-kesigi  $s=0,98 \text{ mm}^2$  saýlap alarys.  $d$  we  $d_1$  diametrleri anyklap dolduryş koeffisiýentiniň hakyky bahasyny taparys:

Alynan  $K_0$  bahasy deslapky (öňünden alynan) alynan bilen gabat gelýär, şonuň üçin hasaba düzediş girizme gerek bolmaýar ( $K_0$  bahalarynyň has tapawutly bolanda  $b$  we  $d$  ululyklary gaýtadan geçirmek hökmandyr).

Sargytdaky el. togy.

$$I = \delta \cdot S = 1,5 \cdot 0,98 = 1,47 \text{ A.}$$

Sargyda gerek bolan sarymlaryň sany

$$w = \frac{F}{I} = \frac{6000}{1,47} \approx 4100 \quad \text{sarymlar}$$

Tegegiň gyzma şertde barlanyşy hasabyň ahyrky etaby bolup durýar. Tegegiň ulanýan  $P$  kuwwaty bütinleý ýylylyga öwrülýändigini hasaba alyp we daşky sreda çykarylýan (berilýän) ýylylyk diňe tegegiň gapdal  $S_{\text{gap}}$  üsti boýunça bolýar diýip, kabul edip, tegegiň durnukly ýylylyk ýagdaýy üçin ýylylygyň deňliginiň deňlemesini ýazyp bolar:

$$P = \alpha \cdot S_{\text{gap}} \cdot (O_{\text{teg.}} - O_{\text{daş}}) \quad (3.18).$$

( $\alpha$  ýylylyk beriş koeffisiýentini  $12 \cdot 10^{-4} \text{ Wt/Sm}^2 \cdot \text{grad}$ . deň diýip hasap ederis).

Tegegiň gapdal üsti

$$S_{\text{gap}} = \pi(D_1 + 2b)h \cdot 10^{-2} = 3,14 \cdot 290 \cdot 240 \cdot 10^{-2} \approx 2500 \text{ Sm}^2.$$

Tegegiň gyzma temperaturasynyň durnuklylygy

$$Q_{\text{teg.}} = \theta_{\text{das.}} + \frac{P}{\alpha S_{\text{gap}}} = 35 + \frac{162}{12 \cdot 10^{-4} \cdot 2500} = 35 + 54 = 89^{\circ} \text{C}.$$

Tegegiň gyzma temperaturasy rugsat edilenden ýokary geçmeýär. Eger-de  $O_{\text{teg.}} > O_{\text{rugs.}}$ ,  $\delta$  az baha berip hasaby täzedan geçirmeli. Eger-de  $O_{\text{teg.}} << O_{\text{rugs.}}$ , onda bu tegegiň geçiriji materialynyň doly ýeterlik ulanylmadygyny görkezýär. Şu ýagdaýda el. togynyň dykzlygyna başda alynan  $\delta$  bahasyndan birnäçe ýokary täze baha bermeli we ähli hasaby täzedan geçirmeli.

F we I berlen bahalarynda tegegiň hasabyny geçirmek ýeňildir. Bu ýerde sarymlaryň sarym sanlaryny aşakdaky gatnaşykdan kesgitleýärler

$$w = \frac{F}{I},$$

Simiň kese-kesigini el. togynyň kabul edilen  $\delta$  dykzlygyndan tapýarlar:

$$S = \frac{I}{\delta}.$$

Tegegiň gyzma barlagy ýokarda seredilene meňzeşdir.

### **3-nji baba barlag soraglary we mysallar.**

1. Eger-de magnitgeçirijiniň howa boşlugy 3.1 mysaldaky ýaly bolsa (3.10 çyz.), sargydyň haýsy magnitlendiriş güýji talap ediler:

a) 5mm çenli artdyrmaly; b) 0,2 mm çenli azaltmaly;  
Jogaby:  $F^I \approx 5600$  A,  $F^{II} \approx 1370$  A.

2. Eger-de sargydyň magnitlendiriji güýji  $F = 2400$  A bolsa, 3.2 mysaldaky magnitlendirijidäki  $\Phi$  togy kesgitlemeli.

Jogaby:  $14,8 \cdot 10^{-8}$  Bb.

3. Magnitlendiriji güýç  $F=6000$  A, iýmitlendiriş setiniň naprýaženiýesi  $U=220$  W bolsa magnitlendiriji tegegiň hasabyny geçirmeli (3.18 çyz. seret) [mysal işlenende sargy simlarynyň standart diametrleriniň berlenlerini ulanmaly 0,72; 0,74; 0,77; 0,8; 0,83 mm; şol diametrli simlaryň goragynyň galyňlygy 0,11mm deň].

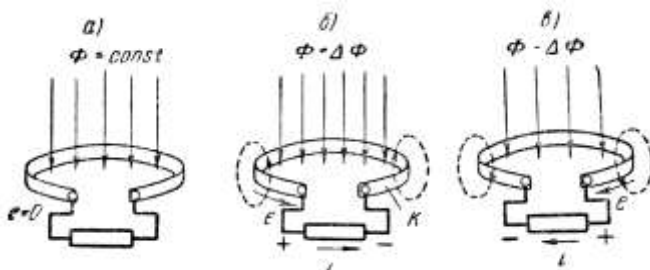
Jogap:  $d=0,8$  mm,  $I=0,75$  A,  $w=8000$  sarymlar,  $P=165$  Wt.

## DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

### Elektromagnet hadysalary we olaryň ulanylyşy.

#### § 4.1. Magnit meýdanynyň induksion we elektromehaniki täsiri.

Magnit meýdanynyň, has esasy häsiýetleriniň elektrik generatorlarynyň we hereketegetirijileriň, dürli elektro-magnit enjamlarynyň we elektrik ölçeg abzallarynyň işleýişleri induksion we elektromehaniki täsirine esaslanandyr.



4.1.çyzgy.

Magnit meýdanynyň induksion täsiri. Elektromagnet induksiýa hadysasy (1831ý. Faradeý tarapyndan açylan) haýsy hem bolsa kontury kesip geçýän  $\mathbf{F}$  magnit akymyň üýtgemeginde şol konturda e.h.g. induktirlenýär (oýandyrylýar).

$$I = - \frac{d\Phi}{dt}. \quad (4.1).$$

E.h.g. täsirinde konturda  $i$  el.tog ýüze çykýar. Şol el.togyň položitel ugryny e.h.g. ugry bilen gabat gelýär diýip kabul etmeli.

(4.1) deňlemedäki  $(-)$  alamat Lens tarapyndan elektromagnet inersiýa (prinsipine) esasyňa baglylykda girizilen. Şu principe baglylykda dürli elektrik kontury özüne

aralaşan magnit akymyny üýtgetmän saklamaga ymtylýar. Şu prinsipi göz ýetirmek üçin keseden aralaşan F akymly K kontura serederis. Üýtgemeyän magnit akymda ( $\Phi = \text{const}$ )

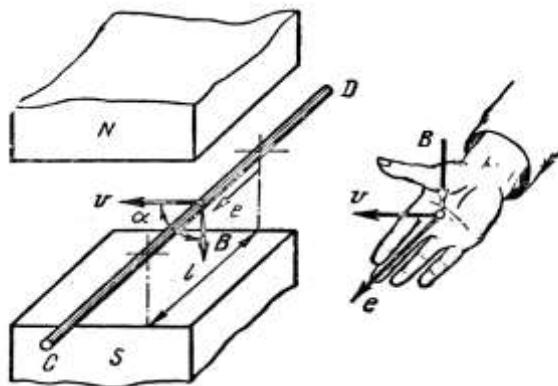
$$\frac{d\Phi}{dt} = 0 \quad \text{we şeýlelikde } l = 0 \quad (4.1 \text{ a çyz.}).$$

$\Phi$ -akym artanda (4.1.çyz) induktirlenen elektrik akymy esasy akyma ters ugrukdyrylan hususy magnit akymyny döredýär (çyzgyda urňe çyzyklar bilen görkezilen). Aşaklanda (4.1.çyz) induktirlenen elektrik akymy tarapyndan döredilen  $\Phi$ -akym azalanda akym esasy  $\Phi$ -akymyň ugry bilen gabat gelýär.

Haçan-da kontur yzygider birikdirilen  $w$  sarymlardan duranda, şol bir  $\Phi$ -akymyň aralaşmaklygy netijesinde onda induktirlenýän e.h.g.

$$l = -w \frac{d\Phi}{dt}. \quad (4.2)$$

Kontura aralaşýan  $\Phi$  magnit akymynyň üýtgemeginde magnit çyzyklary ol kontury kesýärler, ýagny akym artanda oňa girýär we akym azalanda ondan çykýar.



4.2. çyzgy.

Bir näçe ýagdaýlarda, mysal üçin magnit meýdanyň deň ölçegli çyzyklaryna perpendikulýar ýerleşen geçirijiniň göni çyzykly hereketi netijesinde geçirijide induktirlenýän e.h.g. aşakdaky deňleme boýunça kesgitlemek amatlydyr.

$$I = B \cdot l v \sin \alpha \quad (4.3)$$

Şu deňlemde şonuň ýaly hem elektromagnit induksiýa kanunynyň aňlatmasynda :

**I** - induktirlenen e.h.g., **W**;

**B** - magnit induksiýasy, **Tl**;

**l** - geçirijiniň aktiw uzynlygy, ýagny onuň magnit çyzyklaryny kesýän bölegi, **m**;

**v** - geçirijiniň meýdana otnositel hereketiniň tizligi, **m/s**;

**d** - tizligiň wektorynyň we magnit **B** induksiýasynyň wektorynyň aralaryndaky burç;

Göniçyzykly geçirijide induktirlenen **I** e.h.g. ugryny (4.2 çyz), Lensiň prinsipine esaslanan sag eliň düzgüniniň kömegi bilen kesgitlemek amatlydyr.

**Mysal 4.1.** Hemişelik magnit tegege ýakynlaşan (**a**) we magnityň tegekden daşlaşan ýagdaýynda **K** (4.3 çyz) tegekde induktirlenen e.h.g. ugryny kesgitlemeli.

**Çözülişi.** Magnit tegege ýakynlaşanda onda induktirlenýän el.tog magnita ýakynlaşýan magnit akymynyň garşysyna magnit akymyny döretmelidir.

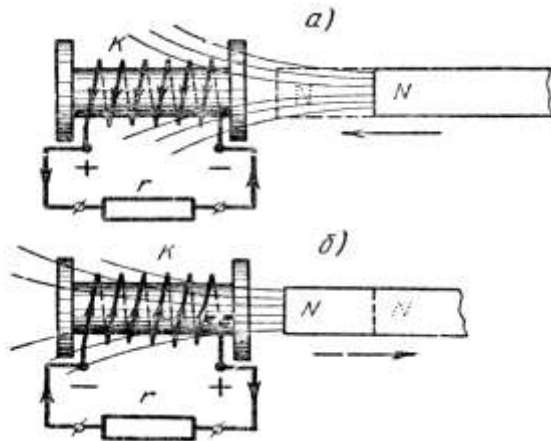
Şundan gelip çykyşy ýaly we buraw düzgünini ulanyp tegekdäki el.togyň ugryny we onuň gysgyçlaryndaky polýarnosti kesgitleýäris. Magniti tegekden daşlaşdyrylanda induktirlenen el.togyň ugry ters ugra bolar we tegegiň gysgyçlary özleriniň polýarnostlaryny üýtgederler.

## § 4.2. Elektromehaniki özara täsir.

Magnitmeýdanynda ýerleşen elektrik akymly geçirijiler, magnit güýjiň täsirine sezewar bolýarlar. Eger-de  $l$  uzynlykly göniçyzykly el.akymy akýan geçiriji deň ölçepli ( $B=\text{const}$ ) magnit meýdanynda ýerleşen we  $B$  magnit induksiýasynyň wektorynyň ugryna  $\alpha$  burç boýunça ýerleşen bolsa, onda ol geçirijä aşakdaky ýaly güýç täsir edýär

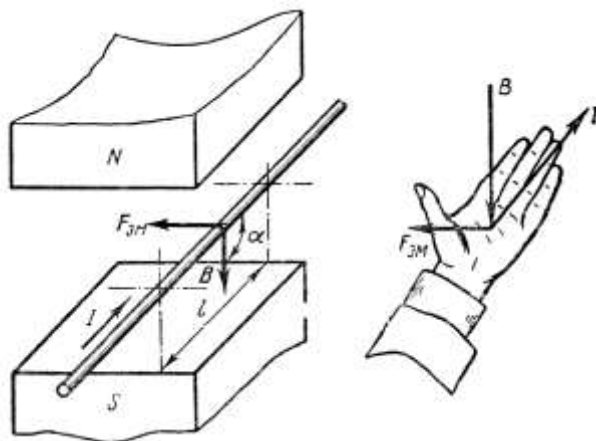
$$F_{e.m.} = B \cdot I \cdot l \cdot \sin \alpha \quad (4.4).$$

Bu baglanyşyga Amperiň elektromagnit güýçleriniň kanuny diýilýär.



4.3. çyzgy.

Haçan-da  $\alpha=90^\circ$  bolanda, ýagny haçanda geçiriji magnit güýç çyzyklarynyň ugurlaryna perpendikulýar ýerleşse  $F_{e.m.}$  güýç iň ýokary baha eýe bolar.



4.4. çyzgy.

Şu ýagdaýda (şunlukda)

$$\mathbf{F_{e.m.}} = \mathbf{B \cdot I \cdot l} \text{ (N)}, \quad (4.5).$$

niredede  $\mathbf{B}$  - magnit induksiýasy, Tl;

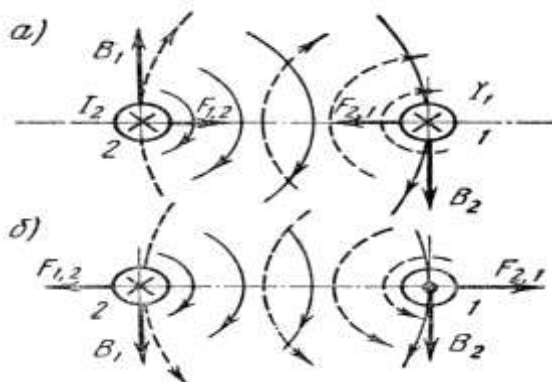
$\mathbf{I}$  - elektrik akymy, A.

$\mathbf{l}$  - geçirijiniň aktiw uzynlygy, m.

$\mathbf{F_{e.m.}}$  güýjiň ugryny çep eliň düzgüniniň kömegi bilen kesgitlemek bolar. (4.4 çyz.).

Elektrik akymyny äkidiji-geçirijileriň aralarynda hem özara täsir mehaniki güýçler ýüze çykýar.  $I_1$  we  $I_2$  elektrik toglaryň akýan parallel ýerleşen geçirijileriň (4.5 çyz.) özara täsirlerine bolan barlag praktiki gyzyklanma döredýär.





4.5.çyzgy.

Her bir 1 we 2 geçirijileriň töwereklerinde magnit meýdany döredýär. Magnit  $B_2$  induksiýasy (1 geçirijiniň okunda) diňe  $I_2$  elektrik akymy tarapyndan döredilýär, magnit  $B_1$  induksiýasy (2-nji geçirijiniň oku boýunça) diňe  $I_1$  elektrik akymy bilen döredilýär.  $I_1$  elektrik akymynyň magnit meýdanyny  $I_2$  elektrik akymy bilen özara täsirleri  $F_{1,2}$  güýji döredýär,  $I_2$  elektrik akymynyň magnit meýdanynyň  $I_1$  elektrik akymy bilen özara täsiri  $F_{2,1}$  güýji döredýär. Çep elni düzgünini ulanyp,  $I_1$  we  $I_2$  bir ugurly elektrik akymly geçirijileriň ýakynlaşýanlygyny, el.toglaryň dürli ugurlarynda geçirijileriň (simlaryň) biri-birinden daşlaşýandygyny belläp geçmek bolar.

Elektrodinamiki ölçeg abzallaryň gurluşy elektrik akymyny äkidijileriň özara täsirine esaslanandyr.

Simlaryň kese-kesigi kiçi, şeýle hem olaryň 1 ok uzynlygynyň olaryň öz aralaryndaky aralyga garanda ep-esli bolan ýagdaýlarda 1 we 2 simlaryň öz-ara täsir güýçlerini aşakdaky deňleme boýunça kesgitlep bolar:

$$F_{1,2} = F_{2,1} = F = k I_1 I_2 \frac{l}{a}. \quad (4.6)$$

Eger-de  $I_1$  we  $I_2$  elektrik toglary (toklar) Amperlerde, ölçegleri  $l$  we  $a$ -metrlerde, güýç  $F$  – Nýutonda, aňladylan bolsa, onda koeffisiýent  $k=2 \cdot 10^{-7}$  bolar.

Gysga çatylanda el akymy geçende elektrodinamiki naprýaženiýe aýratyn duýgurlydyr we howply netijesiniň (yz galdyrmagy) bolmagy mümkindir. Sebäbi güýç (zor berme) elektrik enjamlaryň we gurluşlaryň hatardan çykmaklygyna getirmegi mümkindir. Ähli elektrotehniki gurnamalaryň ygtybarly işlemegi üçin onuň elementleriniň gysga çatylmada mehaniki täsire durnuklylygy bolmagy hökmanydyr.

#### **§ 4.3. Elektrik generatorlaryň we hereketegetirijilerini iş ýetirişleri (başarjaňlyklary).**

Mehaniki energiýanyň elektrik energiýasyna özgerdilmegi. Mehaniki energiýany elektrik energiýasyna (generatorlar) we elektrik energiýany mehaniki energiýa özgerdijiler (herekete getirijiler) elektromagnit induksiýa we elektromagnit güýçleriň kanunyna esaslanandyr.

Goý daşky  $F$  mehaniki güýjiň täsiri astynda göniçyzykly geçiriji endigan magnit meýdanynda hemişelik  $v$  - tizlik bilen orun üýtgedýär diýeliň (4.6 çyz.)

Geçirijide induktirlenýän e.h.g.  $\mathbf{E} = \mathbf{B} \cdot \mathbf{l} \cdot \mathbf{v}$  we olaryň, ugruny çep elin düzgüni bilen kesgitläris. Eger-de geçirijileriň ahyry  $R_y$  daşky garşylyga utgaşdyrylan bolsa, onda geçiriji boýunça  $I$  h.g. ugryna ugurdaş bolan  $I$  elektrik togy akýar. Elektrik togly geçirijiniň we magnit meýdanynyň özara täsiri netijesinde ugry çep elin düzgüni boýunça kesgitlenýän  $F_{em}$  elektromagnit güýji ýüze çykýar. Ol güýç bolsa geçirijiniň hereketine ters ugrukdyrylandyr. Geçirijiniň deňölçegli

hereketi eger-de daşardan goýlan  $F_{\text{meh.}}$  mehaniki güýç elektromagnit güýjiň ters täsirini deňagramlaşdyrýar, ýagny haçan-da  $F_{\text{meh.}} = F_{\text{em.}} = \mathbf{B} \cdot \mathbf{l} \cdot \mathbf{I}$  bolanda.

Magnit meýdanynda geçirijiniň orun üýtgetmesine sarp edilýän mehaniki kuwwat,

$$\mathbf{P}_{\text{meh.}} = \mathbf{F} \cdot \mathbf{v} = \mathbf{B} \cdot \mathbf{l} \cdot \mathbf{I} \cdot \mathbf{v} \quad (4.7)$$

Şunlukda geçirijide elektrik kuwwaty öndürilýär

$$\mathbf{P}_{\text{e.}} = \mathbf{E} \cdot \mathbf{I} = \mathbf{B} \cdot \mathbf{l} \cdot \mathbf{v} \cdot \mathbf{I} \quad (4.8)$$

Getirilen gatnaşyk seredilen ýönekeý generatorda (öndürijide)  $\mathbf{P}_{\text{e.}} = \mathbf{P}_{\text{meh.}}$  görkezýär, ol bolsa energiýanyň saklamak kanunyna gabat gelýär.

**Mysal 4.2.** Hemişelik magnityň NS polýuslarynyň arasynda (4.6 çyz. seret) daşky güýç tarapyndan uzynlygy  $l = 0,8 \text{ m}$  we garşylygy  $R_g = 0,25 \text{ Om}$  metalliki özen hereket edýär (ornuny üýtgedýär). Geçiriji daşky  $R_y = 1,75 \text{ Om}$  garşylyk bilen ýapyk utgaşdyrylan. Eger-de örän hemişelik  $v_g = 0,25 \text{ m/s}$  tizlik bilen meýdana perpendikulýar hereket etse, meýdanyň magnit meýdanynyň induksiýasy  $\mathbf{B} = 1,2 \text{ Tl}$  ýapyk konturdaky  $I$  elektrik togy, özendä induktirlenýän e.h.g.  $E$  kesgitlemeli we zynjyryň elektrik deňligini (balansyny) barlamaly.

**Çözüşi.**

Hereket edýän özen e.h.g. oýandyrylýar (döredýär).

$$\mathbf{E} = \mathbf{B} \mathbf{l} \mathbf{v} = 1,2 \cdot 0,8 \cdot 25 = 24 \text{ W.}$$

Konturda  $E$  e.h.g. täsirinde el.togy ýüze çykýar

$$I = \frac{E}{R_g + R_y} = \frac{24}{0,25 + 1,75} = 12 \text{ A.}$$

El. togly özene elektromagnit güýç täsir edýär

$$F_{em} = B I l = 1,2 \cdot 12 \cdot 0,8 = 11,5 \text{ N.}$$

Şeýlelikde özene daşyndan  $F_{meh.} = 11,5 \text{ N}$  mehaniki güýç goýlan bolmaly, artýan kuwwat aşaky aňlatma bilen kesgitlenýär.

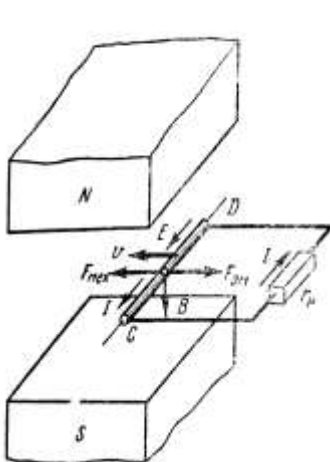
$$P_{meh.} = F_{meh.} \cdot v = 11,5 \cdot 25 = 288 \text{ Wt.}$$

Hereket edýän özende elektrik kuwwaty öndürilýär

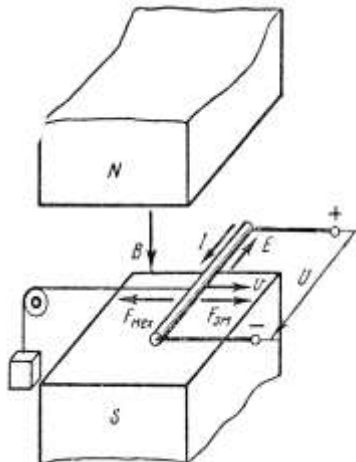
$$P_e = E I = 24 \cdot 12 = 288 \text{ Wt.}$$

Şol kuwwatyň bölegi

$$I^2 R_g = 12^2 \cdot 0,25 = 36 \text{ Wt.}$$



4.6. çyzgy.



4.7. çyzgy.

özende özeniň özünde ýylylyk görnüşde ýitýär.

$$I^2 R_y = 12^2 \cdot 1,75 = 252 \text{ Wt.}$$

ýük garşylykda bölünýär.

Kuwwatyň deňligi (balansy)

$$P_e = P_{meh.} = 288 \text{ Wt.}$$

#### **§ 4.4. Elektrik energiýasynyň mehaniki energiýa özgerdilişi.**

Eger-de deňölçegli magnit meýdanynda ýerleşdirilen geçirijä (4.7 çyz.), daşyndan  $U$  naprýaženiýe berilýär we geçirijide  $I$  elektrik togy akar.

Şeýlelik bilen  $E_{em} = B I l$  elektromagnit güýç döreýär, ol bolsa mehaniki güýji ýeňip geçmek üçin, ýagny peýdaly mehaniki işi ýerine ýetirmek üçin ulanylýar.

Eger-de ýeňip geçilen  $F_{meh.}$  mehaniki güýç  $F_{em.}$  elektromagnit güýje deň bolsa onda geçiriji magnit meýdanynda hemişelik  $v$  tizlik bilen ornuny üýtgedýär. Ornuny üýtgedýän geçirijide sag eliň düzgüni boýunça kesgitlenýän e.h.g  $E$  induktirlener. Ol e.h.g  $I$  el. togyň garşysyna (gönükdirilen) ugrukdyrylan bolýar.

Seredilip geçilýän zynjyra Kirhgofyň II kanunyny ulanyp alarys

$$U = E + I \cdot R \quad (4.9)$$

Deňligiň sag we çep bölegini  $I \cdot t$  köpelderis:

$$UI \cdot t = E \cdot I \cdot t + I^2 R t \quad (4.10)$$

Bu ýerde  $UI \cdot t$  - gurnama daşardan berilýän energiýa (daşarky çeşme);  $I^2 R t$  - berilýän energiýanyň zynjyryň gaşylygynda ýylylyga öwrülýän bölegi (ýylylyk ýitgisi);

$E \cdot I \cdot t = B I v \cdot I \cdot t = F_{meh.} \cdot v \cdot t$  - meh. energiýa özgedilen berlen energiýanyň galan bölegi (4.10) aňlatma daşky çeşme tarapyndan berilýän el energiýanyň mehaniki işe öwrülmesi bolup geçýän, seredilýän gurnamanyň energiýasynyň deňligini (balansyny) berýär. Şonuň üçin ol gurnama ýönekeý el. herekete getiriji hökmünde garap seredip bolar.

### **Mysal 4.3.**

Daşky çeşmeden iýmitlenýän uzynlygy  $l=0,75\text{m}$ , göniçyzykly metalliki özen elektromagnit güýçleriň täsiri astynda  $v = 4 \text{ m/s}$  hemişelik tizlik bilen meýdanyň çyzyklarynyň ugruna perpendikulýar hereket edýär. Meýdanyň magnit induksiýasy  $B = 1\text{Tl}$ . Özeniň iki uçlaryna daşyndan goýlan güýjenmä  $U=4\text{V}$ , özeniň artdyryan mehaniki kuwwatyny kesgitlemeli.

### **Çözülişi.**

Özende oýandyrylýan e.h.g,

$$E = B \cdot l \cdot v = 1 \cdot 0,75 \cdot 4 = 3\text{V}.$$

özendäkli elektrik togy (akymy)

$$I = \frac{U - E}{R} = \frac{4 - 3}{0,05} = 20\text{A}.$$

Öz täsiri arkaly özeni herekete getirýän elektromagnit güýç,

$$F_{em.} = B \cdot I \cdot l = 1 \cdot 20 \cdot 0,75 = 15 \text{ N}.$$

Özen tarapyndan ýaýbaňlandyrylýan (ösdürilýän) mehaniki kuwwat,

$$P_{meh.} = F_{meh.} \cdot v = 15 \cdot 4 = 60 \text{ W}.$$

## **§ 4.5. Induktiv tegekler.**

Elektrik zynjyrdan akýan elektrik akymynyň (togynyň) döredýän magnit akymyny işlän elektrik zynjyrynyň konturyňyň içine aralaşandyr (girendir). Ol akywyň ululygy konturyň görnüşine (konfigurasiýasyna) bagly bolýar we egerde elektrik zynjyry köp sarymly tegek görnüşde ýerine ýetirilen bolsa, aýratyn epesli bolýar. Şu sebäpli geçiriji materiallardan

taýýarlanan tegekler (artykmaçlykda mis we alýuminiý) nirede esli magnit meýdany talap edilyän el. maşynlarynda, abzallarda we enjamlarda ulanmak giňden orun tutýar.

Eger-de zynjyra ýakyn ferromagnit materiallar ýok bolsa, onda wagtyň islendik pursatynda zynjyryň hususy  $\Phi$  magnit togy zynjyr boýunça akýan  $i$  el. togyna proporsionaldyr.

### Öz-özünüň induksiýasynyň e.h. güýji.

Zynjyrdaky  $i$  elektrik togynyň her bir üýtgemesi şol elektrik akywynyň döreden we zynjyryň konturyňa aralaşan (пронизывающего) magnit togynyň üýtgemegine getirýär. Elektromagnit induksiýanyň umumy kanunyna degişlilikde ol öz gezeginde zynjyrdaky e.h.g. ýüze çykmagyna getirýär.

$$I_L = -w \frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d(w \cdot \Phi)}{dt} = -\frac{d\Psi}{dt} \quad (4.11).$$

Zynjyryň hususy magnit togynyň üýtgemeginden emele gelen () e.h.g. özünüň induksiýanyň e.h.g. diýilýär we  $I_L$  bilen belgilenýär.

$\Psi$ -ň üsti bilen bellenen  $w \cdot \Phi$  köpeltmä akyw galtaşmasy diýilip aýdylýar (sebäbi umumy magnit togynyň liniýasy tegege girip (aralaşyp, ähli sarymlary gabaýarlar we olaryň daşynda birleşip ýa-da tegegiň ähli sarymlary bilen galtaşýar diýip aýdylma kabul edildi)). Sarymlaryň sany  $w$  bolan tegekde oýandyrylýan e.h.g. akym galtaşmasynyň ( $dq/dt$ ) üýtgemegine tizligine proporsionaldyr.

Eger-de tegegiň aýry sarymlar toplумы aýry-aýry magnit toglary tarapyndan aralaşylýan (kesilýän) bolsa, onda umumy akym galtaşmasy aşakdaky deň bolar

$$\Psi = \sum \Phi_k \cdot w_k \quad (4.12)$$

nirede  $w_k$  - magnit  $\Phi_k$  togy tarapyndan aralaşylan tegegin sarymlarynyň bir bölegi.

Ferromagnit materiallaryň bolmadyk ýagdaýlarynda tog galtaşmasy zynjyrdaky  $i$  toga (toga) göni proporsionaldyr;

$$\Psi = L \cdot i \quad (4.13)$$

Elektrik zynjyrynyň gurluşyna, sarymlaryň sanyna şeýle hem ölçegine (ululygyna) bagly bolan  $L$  köpeltme induktiwlik diýilýär. Induktiwligiň ölçeg birligi Genri.(Gn)

(4.3) aňlatmany gözöňünde tutup (4.11) deňlemäni aşakdaky görnüşde alarys:

$$l_L = -L \frac{di^*}{dt} \quad (4.14)$$

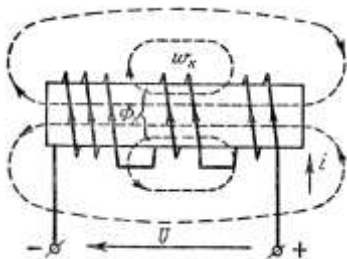
\* $l_L$  – položitel ugry hökmünde  $i$  togyň položitel ugry bilen gabat gelyän ugry kabul edilen.

(4.14) aňlatma (tok) elektrik togy artanda, haçanda  $\frac{di}{dt} > 0$ , öz-özünüň induksiýasynyň e.h.g. (toga) elektrik togyna

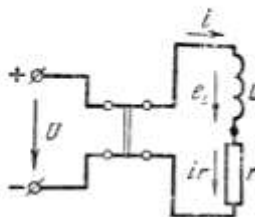
ters ugrukdyrylan, ýöne azalanda, haçanda  $\frac{di}{dt} < 0$ , öz-özünüň

induksiýasynyň e.h.g.  $l_L$  ugry el. togyň ugry bilen gabat gelyär. Şeýlelik bilen öz-özünüň induksiýasynyň e.h.g. elektrik togynyň artmagyna we peselmegine ters täsir edýär. Ol ters täsir zynjyryň  $L$  induktiwligi näçe uly bolsa şonça-da güýçlidir. Görnüşi ýaly  $L$  induktiwlik spden akýan elektrik togynyň üýtgemegine zynjyryň garşy bolma ukybyny häsiýetlendirýär.





4.8. çyzgy.



4.9. çyzgy.

### Tegegiň magnit meýdanynyň energiýasy.

Gysgyçlarynda we iki yzygider birikdirilen böleginde (4.9 Çyz.)  $U$  hemişelik naprýaženiýeli çeşmeden durýan zynjyra serederis.

Birinji bölek  $L$  induktiwlikli we ujypsyz garşylykly tegek bolup durýar.

Ikinji  $r$  garşylygy bolan bölek, onuň induktiwligi göz-öňünde tutardan az. Zynjyr çatylanda elektrik tog  $I = \frac{U}{r}$  baha ýeter (Omuň kanuny bilen kesgitlenýän) birden ýetmän öz-özünüň induksiýasynyň  $L$  e.h.g.- niň täsiri astynda ýuwaş-ýuwaşdan ýeter, sebäbi elektrik togynyň artýan wagty ol daşardan goýlan  $U$  güýjenmä garşy ugrykdyrylandyr.

Haçan-da  $t$  wagtyň erkin pursatynda öz-özünden induksiýa hadysasynyň  $L$  e.h.g. oňa täsir edende zynjyrdaky elektrik togyny  $i$  üsti bilen belgiläp we şol zynjyr üçin Kirhgofyň II kanunyny ulanyp alarys,

$$U = i \cdot r - L \frac{di}{dt} = i \cdot r + L \frac{di}{dt} \quad (4.15)$$

(4.15) aňlatmadan görnüşi ýaly, zynjyra berlen  $U$  güýjenmä goşulyjylaryň algebraiki jemi hökmünde seredip bolar:

1)  $i \cdot r - r$  - garşylykdaky naprýaženiýe;

2)  $L \frac{di}{dt} - l_L = -L \frac{di}{dt}$  öz-özünden induksiýanyň

e.h.g.-i

deň agramlaşdyran induktiwlikdäki naprýaženiýe.

(4.15) deňlemäniň iki tarapyny **idt** köpeldip alarys,

$$U \mathbf{idt} = i^2 \mathbf{rdt} + L \mathbf{idt} \quad (4.16)$$

Şu deňlemäniň çep tarapy **dt** wagtda çeşmeden zynjyra gelýän energiýadyr; deňlemäniň sag tarapynyň (**i<sup>2</sup> rdt**) bir goşulyjylarynyň şol wagtda zynjyryň  $r$  garşylygynda ýylylyk görnüşinde ýitýän energiýany aňladýar. Energiýanyň saklanmak kanunundan gelip çykyşy ýaly başga goşulyjy (**L idi = U idt - i<sup>2</sup> rdt**) **i** elektrik togy artanda **dt** wagt içinde zynjyryň magnit meýdanynda toplanýan energiýadyr. Bu energiýa çeşme tarapyndan **l<sub>L</sub>** öz-özünden induksiýanyň e.h.g. ýeňip geçmek üçin sarp edilýän işiň hasabyna alynýar. Haçanda wagtyň erkin pursatynda zynjyrdaky elektrik togy **i** baha eýe bolsa, magnit meýdanyň energiýasy

$$W_m = \int_0^i L i di = \frac{L i^2}{2} \quad (4.17)$$

Elektrik togynyň durnukly bahasynda ( $i=I$ ) magnit meýdanyň energiýasy

$$W_m = \frac{L I^2}{2} \quad (4.17a)$$

(4.17) deňleme  $L$  induktiwligiň hem zynjyryň magnit meýdanyna energiýany toplamak ukybyny häsiýetlendirýär (elektrokinetik energiýa)\*.

Zynjyryda elektrik togynyň artmagynda  $L$  e.h.g. i toga garşy ugrukdyrylandygyny belläp geçmeli; şeýlelik bilen energiýa magnit meýdanyna barýar – induktiw tegek bolsa elektrik energiýany kabul ediji hasaplanýar. Elektrik togy peselende, tersine  $L$  e.h.g. i elektrik togy bilen ugry gabat gelýär – tegegiň magnit meýdany özünde toplanan energiýany berýär.

Elektrik zynjyrynda  $L$  induktiwligiň ýüze çykmagy mehaniki sistemalarda massanyň inersiýasyna meňzeş

$$l_L = -L \frac{di}{dt}$$

gýrnüşde bolýar. Öz-özünüň induksiýasynyň e.h.g. aňlatmasyny we inersiýa güýji şeýle hem magnit meýdanynda toplanan energiýanyň aňlatmasyny  $v$  tizlik bilen hereket edýän  $m$  massanyň kinetik energiýasyny

$$[W_m = \frac{1}{2} (Li^2)] (F_{in} = -m \frac{dv}{dt}) [W_{kin} = \frac{1}{2} (mv^2)]$$

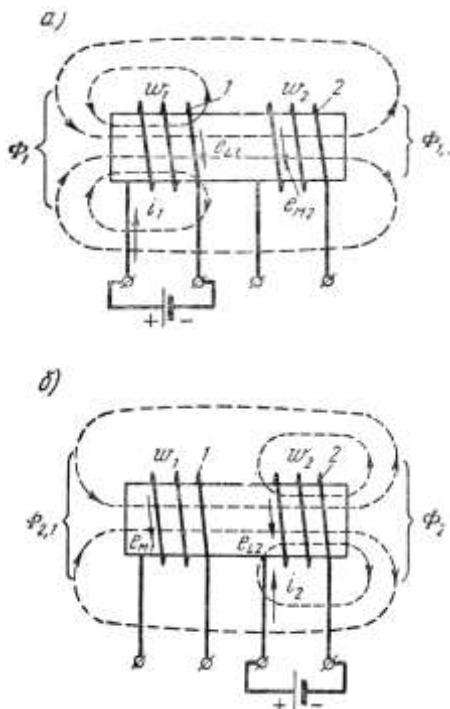
deňläp aň (ynanyň) ýetirip bolar.

Elektrik togynyň we e.h.g. hakyky (faktiçeskiý) ugry göz önünde tutulan.

#### § 4.6. Induktiv baglanyşykly elektrik zynjyry.

Eger-de  $1$  tegekdin  $i_1$  elektrik togy akýan bolsa, ýazdyrylan tegek  $2$  oňa ýakyn ýerleşen bolsa, onda  $1$  tegegiň toglarynyň magnit çyzyklary  $2$  tegege sarymlaryna aralaşar.  $1$  tegegiň  $\Phi_1$  umumy magnit togyna öz-özünden induksiýa hadysasynyň togy diýilýär, bir wagtyň özünde  $1$  we  $2$  tegegiň

sarymlaryna aralaşýan  $\Phi_{1,2}$  magnit togyna özara induksiýa togy diýilýär.



4.10.çyzgy.

Ferromagnit maddalaryň bolmadyk ýagdaýlarynda (ýa-da haçan-da magnitgeçirijide magnit çyzyklary tapyşýarlar, doýan däl)  $\Phi_1$  we  $\Phi_{1,2}$  toglar we olara gabatlaşýan  $\Psi_1 = w_1 \Phi_1$  we  $\Psi_{1,2} = w_2 \Phi_{1,2}$  i elektrik togyna proporsionaldyr;

$$\Psi_1 = L_1 \cdot i_1, \Psi_{1,2} = M_{1,2} i_1, \quad (4.18)$$

nirede  $M_{1,2-1}$  we 2 tegegiň aralaryndaky özara induktiwlik .

Elektrik togy  $i_1$  üýtgände toglaşmalary  $\Psi_1$  we  $\Psi_{1,2}$  proporsionallykda üýtgeýärler we onuň netijesinde 1 tegekte öz-özünüň induksiýasynyň e.h.g. induktirlenýär

$$l_{L_1} = -\frac{d\Psi_1}{dt} = -L_1 \frac{di_1}{dt},$$

2 – nji tegekde e.h.g.  
özara induksiýanyň e.h.g. diýmek kabul edilendir.

$$l_{M_2} = -\frac{d\Psi_{1,2}}{dt} = -M_{1,2} \frac{di_1}{dt}, \quad (4.19)$$

Öz-özünüň  $\mathbf{L}_{L1}$  induksiýanyň e.h.g. položitel ugryny burawjygyň düzgüni boýunça  $\Phi_1$  magnit togy bilen baglansykda bolar ýaly edip saýlaýarlar ( $\mathbf{i}_1$  togyň ugry ýaly).

Özara  $\mathbf{i}_1 \mathbf{L}_{M1}$  e.h.g. položitel ugryny  $\Phi_{1,2}$  magnit togly şol düzgün bilen bagly şoňa meňzeşlikde kesgitleýärler. (4.10a Çyz.)

Eger- de 2 tegegiň  $\Phi_2$  togy döredýän zynjyryndan  $L_2$  elektrik togy akýan bolsa, hem-de  $\mathbf{1}$  tegek ýazdyrylan bolsa, onda  $\Phi_{2,1}$  özara induksiýa togy ýüze çykýar (döreyär).

Tegekde  $\mathbf{i}_2$  elektrik togynyň üýtgemeginde öz-özünüň induksiýasynyň e.h.g. induktirlenýär

$$l_{L_2} = -\frac{d\Psi_2}{dt} = -\frac{d(\omega_2 \Phi_2)}{dt} = -L_2 \frac{di_2}{dt};$$

1 tegekde özara induksiýanyň e.h.g.

$$l_{M_1} = -\frac{d\Psi_{2,1}}{dt} = -\frac{d(w_1 \Phi_{2,1})}{dt} = -M_{2,1} \frac{di_2}{dt} \quad (4.20)$$

Bu ýerde  $M_{2,1} - 2$  we tegekleriň aralaryndaky özara induktiwligi.

Ýokarda görkezilen şertlerde ( $\mu = \text{const}$ ) hemişe  $M_{1,2} = M_{2,1} = M^*$  deňlik ýerine ýetirilýär. Özara induktiwlik  $M$  ( $L$  induktiwlik ýaly) Genri diýen ýlçege eýedir ( $G_n$ ).

Tegekleriň özara ýerleşişlerine baglylykda we sredanyň magnit syzyjylygyna baglylykda tegekleriň arasyndaky

induktiv baglanyşygyň derejeleri dürli bolup biler.

$\frac{\Phi_{1.2}}{\Phi_1}$  we  $\frac{\Phi_{2.1}}{\Phi_2}$  gatnaşyk näçe ýokary bolsa ol baglanyşyk

(özara täsir) şonça güýçlidir.

Şol gatnaşyklaryň orta geometriki

$$k = \sqrt{\frac{\Phi_{1.2}}{\Phi_1} \cdot \frac{\Phi_{2.1}}{\Phi_2}} = \sqrt{\frac{M^2}{L_1 L_2} \cdot \frac{\omega_1 \omega_2}{\omega_2 \omega_1}} = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} \quad (4.21).$$

tegekleriň baglanyşyk koeffisiýenti diýilýär. Ol koeffisiýent hemme wagt (elmydama) birden kiçidir (sebäbi  $\Phi_{1.2} < \Phi_1$  we  $\Phi_{2.1} < \Phi_2$ ); polat magnitgeçirijili  $k$  bire ýakyn

Bu deňligiň adalatlydygyny magnit zynjyry üçin Omuň kanunynyň formulalaryndan peýdalanyň we  $\Phi_{1.2}$  we  $\Phi_{2.1}$  toglaryň utuşma ýolunyň magnit garşylygy iki toglar üçin birmeňzeşligini kabul edip tassyklamak mümkin. Onda

$$\Phi_{1.2} = \frac{\omega_1 i_1}{Rm}, \quad \Phi_{2.1} = \frac{\omega_2 i_2}{Rm},$$

Şoňa görä

$$M_{1.2} = \frac{\Phi_{1.2} \cdot \omega_2}{i_1} = \frac{\omega_1 \omega_2}{Rm},$$

$$M_{2.1} = \frac{\Phi_{2.1} \cdot \omega_1}{i_2} = \frac{\omega_1 \omega_2}{Rm},$$

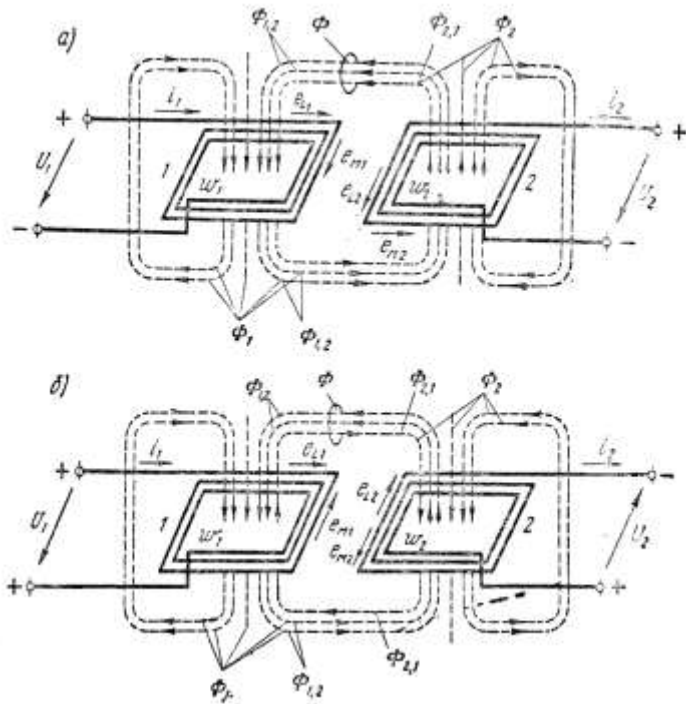
ýagny

$$M_{2.1} = M_{1.2} = M$$

Polat magnitgeçirijili transformatorlarda  $k$  bize ýakyn bolmaklygy birinji we ikinji sarymlaryň tegekleri umumy özende konzynjyrtiki ýerleşendiklerindendir.

İki tegeklerden değişlilikde  $i_1$  we  $i_2$  elektrik toglaryny akandaky umumy hadysa serederis.

$w_1$  we  $w_2$  sarymlary gurşap alan  $\Phi$  umumy magnit togy seredilip geçilen iki hadysalardaky özara induksiýanyň  $\Phi_{1,2}$  we  $\Phi_{2,1}$  toglaryň goşulmaklarynyň netijesi hökmünde görkezmek mümkin.



4.11.çyzgy.

$i_1$  we  $i_2$  elektrik toglaryň bir wagtda üýtgemeklerinde her tegekde özara induksiýa we öz-özünüň e.h.g. ýüze çykýar (döreyär):

$$l_{L1} = -L_1 \frac{di}{dt}, l_{M1} = -M \frac{di_2}{dt} \quad (4.22)$$

$$l_{L2} = -L_2 \frac{di_2}{dt}, l_{M2} = -M \frac{di_1}{dt},$$

Induktiv baglanyşykly zynjyrdy magnitlendiriş güýjiň iki täsir etjek mümkin ýagdaýlary tapawutlandyrmak gerek:

a) (4.11a) ylalaşyklykda, haçan-da  $\Phi_{1.2}$  we  $\Phi_{2.1}$  magnit toglaryň ugurlary gabat gelýärler.

Onda her bir tegekekde umumy induktirlenen e.h.g.-e deň bolar.

$$l_1 = l_{L1} + l_{M1} = -L_1 \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt},$$

$$l_2 = l_{L2} + l_{M2} = -L_2 \frac{di_2}{dt} - M \frac{di_1}{dt}; (4.23).$$

b) garşylyklaýyn (4.16), haçanda  $\Phi_{1.2}$  we  $\Phi_{2.1}$  özara induksiýa akymalarynyň ugurlary gapma – garşydyr.

Şunuň bilen

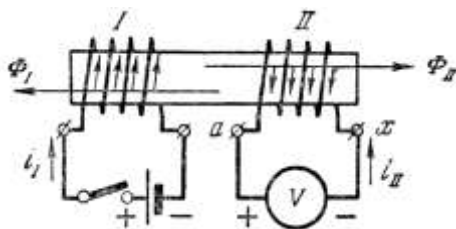
$$l_1 = l_{L1} - l_{m1} = -L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt},$$

(4.24)

$$l_2 = l_{L2} - l_{m2} = -L_2 \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_1}{dt}$$

Ýokarda ulanylan usuly peýdalanyp (§ 4.3 seret), ýagny iki elektrik zynjyry üçin Kirhgofyň ikinji kanunynyň deňlemesini düzüp we birinji deňlemäni i, dt köpeldip, induktiv baglanyşykly (tegekek) konturlaryň umumy energetiki balansyny (deňligini) alarys.





4.12. çyzgy.

Integrirlemäniň netijesinde magnit meýdanlarynyň umumy energiýa toplumy üçin deňlemäni alarys.

$$W_M = \frac{L_1 i_1^2}{2} + \frac{L_2 i_2^2}{2} \pm M i_1 i_2 \quad (4.25)$$

Şu aňlatmma “plýus” alamaty soňky goşulmalarda magnitlenme güýjiniň ylalaşykly täsirindäki ýagdaýa, “minus” alamaty magnitlenme güýjiniň garşylykly täsirindäki ýagdaýa degişlidir. Bir güýjenmäniň üýtgeýän togyny başga naprýaženiýanyň üýtgeýän (has ýokary ýa-da has kiçi (pes)) togyna özgertmek üçin niýetlenen (ulanylyan) induksion peçlerde peýdalanylýar (ulanylýar). Käbir ýagdaýlarda özara induksiýa hadysasynyň gerek bolmadyk netije bilen gutarýart (alyp barýar). Mysal üçin eger-de radiogurnamalarda şol gurnamalaryň birnäçe zynjyry daşky elektrik zynjyry bilen magnit baglanyşykda bolsa induktirlenen sebäpli (pomeh) däräp biler.

**Mysal 4.4.** umumy polat özende sarymlaryň saralyş ugurlary meňzeş bolan I we II tegekler ýerleşendirler (4.12Çyz.) [olaryň sarymlarynyň saralyş ugurlary meňzeşdirler] (ikinci warianty). Birinji tegegei hemişelik el. togyň çeşmesine çatylyan pursadynda ikinji tegekde induktirlenýän özara induksiýanyň e.h.g.  $I_{MII}$  we  $i_{II}$  elektrik togynyň ugurlaryny kesgitlemeli.

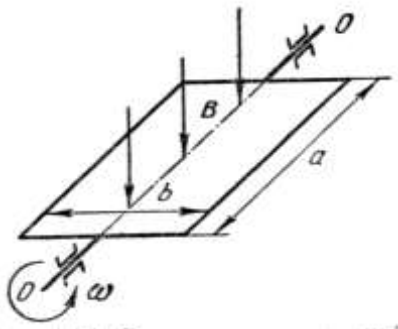
**Çözülişi:** I tegek çatylanda,  $i_I$  elektrik togynyň ösme wagt aralykda eger-de ol tegegiň zynjyry çatylyan mysal üçin

bolsa, **II** tegekde özara induksiýasynyň  $I_{II}$  e.h.g. döredilýär we  $i_{II}$  elektrik togy akýar. Birinji tegegeiň  $\Phi_I$  magnit togy çepe ugrukdyrylan (ugry buraw düzgüni boýunça kesgitlenýär)  $i_{II}$  elektrik togy tarapyndan döredilen  $\Phi_{II}$  tog şunlukda ters tarapa ugrukdyrylan, ýagny saga (elektromagnit inersiýasy prinsipine ylalaşyklykda). Şunuň bilen  $i_{II}$  elektrik togynyň we **I** tegegiň zynjyry çatylan pursatynda **II** tegegiň **a** we **x** gysgyçlaryndaky polýarlygy kesgitlenýär.

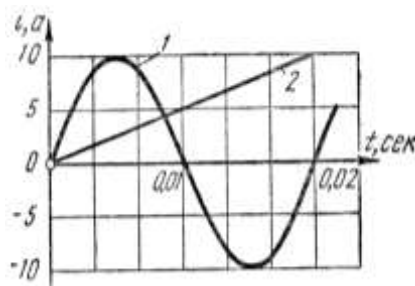
#### **4 – Bölüme degişli barlag soraglary we mysallar.**

1. Ölçeği **a x b** bolan tekiz sim çatga öz  $OO^1$  daşyndan bir atly magnit meýdanynda hemişelik burç tizligi **w** bilen aýlanýar (**B=const**). Ramkanyň oky magnit **B** induksiýasynyň wektorynyň ugryna perpendikulýardyr (4.13 Çyz).

**Kesgitlemeli:** a) Ramkany kesýän  $\Phi_m$  magnit togynyň maksimal bahasy näçe bolar; b) ramkany kesýän  $\Phi_m$  magnit togynyň ululygy wagta görä haýsy kanun boýunça üýtgär; w) ramkanyň haýsy ýagdaýynda we  $\Phi$  haýsy bahalarynda ramkada  $E_m$  maksimal e.h.g. induktirlenýär?



4.13.çyzgy.



4.14.çyzgy.

2. Bir atly magnit meýdanynda çatyk sim ramkasy aýlananda onda elektrik togy akýar we onuň ugry induktirlenen e.h.g. ugry bilen gabat gelyär. Çep elin düzgünini ulanyp (peýdalanylýp) ramkany aýlanmaga mejbur edýän mehaniki güýçlere, elektromagnit güýçleriň ters täsir edýändigini subut etmeli.

3. Diametri **D = 15 Sm** gysga silindriki tegegiň 400 sarymy bar.

**i=5A** elektrik togy akanda tegekdäki magnit induksiýasynyň orta bahasy **B<sub>ort.</sub>=0,01Te**.

Tegegiň **L** induktiwliligini kesgitlemeli.

**Jogaby. L = 14,2 mGn.**

4. 4.12 çyzgyda **L = 0,5 Gn**. induktiwlige eýe bolan tegekte elektrik togynyň üýtgemesiniň iki hil egrisi görkezilen. Her bir elektrik togynyň üýtgeme warianty üçin öz-özünüň induksiýasynyň **L(t)** e.h.g. we magnit meýdanynyň **W<sub>m</sub>(t)** energiýasynyň üýtgemesiniň hil egrisini masşapda gurmaly.

5. **I** tegekdäki **L<sub>I</sub>** öz-özünüň induksiýasynyň e.h.g. we **II** tegekdäki **L<sub>II</sub>** özara induksiýasynyň e.h.g. – iň **I** tegegi çeşmeden ýazdyrylan pursatyndaky ugryny kesgitlemeli.

## BÄŞINJI BÖLÜM

### **Sinusoýdäl elektrik togynyň elektrik zynjyry.**

Elektroenergetika başda uly bolmadyk başdan getirilen ýangyçda işleýän hemişelik togynyň stansiýasynyň esasynda ösdi. Şular ýaly her bir stansiýa çäklenen radiusly etraba hyzmat edýardi, ýada bir kärhananyň islegini kanagatlandyryardy. Elektrik energiýasynyň öndürilişiniň gymmaty ol stansiýalarda ýokary bolupdy.

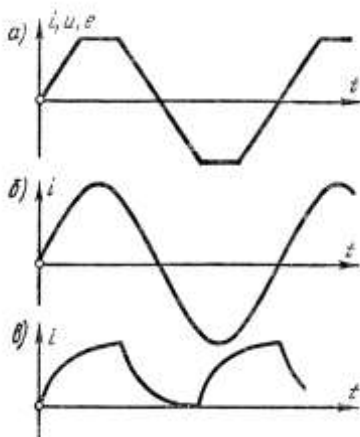
Elektrik energiýasynyň öndürilişi iri elektrik stansiýalarda tehniki artyklygyna we ykdysady peýdalylygyna üns berilmegi üpjün edip bilerdi. Ýöne hemişelik elektrik togynyň stansiýasynyň esasynda elektrik energiýasynyň öndürilişiniň mümkin dældigi elektrik energiýasynyň daş aralyga berilmeginiň kynlygy bilen baglydyr. Şeýle berilmä gerek bolan ýokary naprýaženiýanyň elektromaşin generatorlar arkaly gös-göni alnyp bolmaýanlygyndadyr. Elektrikkabel edijilerde ýokary naprýaženiýanyň ulanmagynyň gurnamalara howpsyz hyzmat etmek we beýleki tehniki sebäplere görä mümkin däl. Elektrik energiýasynyň tygşytly merkezleşdirilen öndürilmesi generatorlar, beriliş (geçiriliş) liniýalaryň we elektrikkabel edijileriň dürli naprýaženiýeleriň ulanmagyny talap edýär. Şonuň üçin (şol sebäpli) bir naprýaženiýanyň elektro energiýasynyň başga naprýaženiýanyň elektrik energiýasyna özgertmäniň hökmanlygy ýüze çykdy. Bu mesele üýtgeýän elektrik togynyň elektroenergetiki gurnamasynyň girizilmegi bilen amatly çözüldi. Üýtgeýän elektrik togynyň transformirlenmeginiň mümkinligi elektrik gurnamalarynyň her bir elementleri üçin berlen şertlerde has degişli güýjenmä eýe bolmaklyga mümkinçilik döretdi (generatorlar, beriş liniýa we elektrikkabuledijiler).

Tehniki maksatlar üçin üýtgeýän elektrik togyň ilkinji gurnamasy geçen ýüz ýyllygyň 70 – nji ýyllarynda P.N.Ýablokin tarapyndan döredildi.

### § 5.1. Üýtgeýän elektrik togy.

Üýtgeýän (sinusoýdäl) diýip ( $t$ ) wagta görä periodik üýygeýän e.h.g., güýjenmä we elektrik togyna aýdylýar (5.1Çyz). Häzirki zaman elektroenergetiki gurnamalarda ululygy we ugurlary sinusoýda kanuny boýunça periodiki üýtgeýän elektrik togy giňden peýdalanylýar. (5.1Çyz.b). Ol elektrik toglaryna sinusoýdal görnüşli diýilýär. Käbir gurnamalarda diňe özeniň ululygyny periodiki üýtgeýän elektrik togy ulanylýar (5.1Çyz.w). Şeýle elektrik toglaryna pulsirleýji diýilýär.

Üýtgeýän elektrik togyň generatorlarynda sinusoýdal kanuny boýunça üýtgeýän e.h.g. almaklyga çalyşýarlar.



5.1.çyzgy.

Elektrik hereketlendiriji güýjiň, naprýaženiýanyň we diňe elektrik toglarynyň sinusoýdal häsiýetde üýtgemegi bilen

düşündirilýär. Düzgün boýunça ol hem sinus kanuny boýunça üýtgeýär.

Generatorlarynda herekete getirijilerde we elektrotehniki gurnamalaryň beýleki elementlerinde naprýaženiýanyň we elektrik togynyň sinusoýdal üýtgemeginde energiýanyň goşmaça ýitgisi ýüze çykýar we beýleki gerek däl hadysalara gözegçilik edilýär.

Üýtgeýän ululyklaryň manysy: e.h.g., naprýaženiýe, elektrik togynyň we t wagtyň erkin pursatyndaky kuwwata – pursat bahasy diýilýär we degişlilikde  $e$ ,  $u$ ,  $i$ ,  $p$  harplar bilen belgilenilýär.

Hemişelik elektrik togy üçin kesgitlenen (bellenen) elektrik ululyklarynyň aralaryndaky esasy gatnaşyk üýtgeýän elektrik togynyň zynjyryndaky (zynjyryndaky) şol ululyklaryň pursat bahasy üçin dogrudyr (sprawedliwdir):

$$\Sigma i = 0, \Sigma e = \Sigma u, p = u \cdot i = i^2 r. \quad (5.1.)$$

Pursat bahalar üçin Kirhgofyň ikinji kanunyny ulanyp, e.h.g.  $\Sigma e$  jeminde ýeke bir çeşmäniň (generatory) e.h.g. hasaba alman, üýtgeýän el. togynyň zynjyrynda ýüze çykýan öz-özünüň  $e_i$  e.h.g. we özara  $e_m$  e.h.g. hasaba almalydyr.

Naprýaženiýanyň  $\Sigma U$  jemine diňe bir  $R$  garşylykdaky güýjenmäni goşman eýsem  $C$  kondensatordaky güýjenmäni hem hökmany goşmalydyr.

Üýtgeýän el. togynyň zynjyryndaky hadysa derňew we hasabat  $L$  induktiwlige eýe bolan elementlerden üýtgeýän el. togy akanda üznüksiz öz-özünüň e.h.g. ýüze çykýar.

Şunlukda magnit meýdandaky ätiýaçlyk energiýa

$$W_M = \frac{L i^2}{2}$$

üznüksiz üýtgeýär.

Zynjyryň sygyma eýe bolan elementlerde naprýaženiýanyň üznüksiz üýtgeýänligi üçin elektrik

$$W_E = \frac{CU_C^2}{2}$$

meýdanyndaky ätiýaç energiýa üýtgeýär.

## § 5.2. Sinusoýdal e.h.g. alnyşy.

Häzirki zaman elektrik stansiýalarda elektrik anargiýasy mehaniki hereketlendirijiler bilen herekete getirilýän üýtgeýän elektrik togynyň generatorlaryndan (esasan bug we gidrawliki turbinalar). Elektromaşyn generatorlaryň işleýşi elektromagnit induksiýa we elektromagnit güýçleriň kanunyna esaslanandyr.

Üýtgeýän elektrik togynyň generatory (5.2 a, çyz.) iki esasy bölekden durýar – aýlanýan rotordan we hereketsiz statordan.

Rotorda polýuslar ýerleşýär, ýagny ýokary bolmadyk kuwwata görä hemişelik elektrik togynyň çeşmesinden iýmitlenýän sarym elektromagnitler. Polýuslar maşynyň magnit akymyny döredýärler. Silindriki statoryň ýapjagazynda (üýtgeýän e.h.g. induktirlenýär) generatoryň esasy sarymy ýerleşýär.

5.2 a çyzgyda ýönekeýleşdirmek üçin rotoryň sarymy görkezilmedik we diňe N we S polýuslar şekillendirilen, statorda bolsa bir sarymyň iki a we b geçiriji görkezilendir.

Stator we rotor polatdan taýýarlanýar. Maşynyň ferromagnit materiallarynyň üstünden geçýän maşynlaryň  $\Phi$  magnit togy rotor bilen statory biri-birinden aýyryan iki sany uly bolmadyk howa aralygyndan (boşluk) başga özüniň ähli ýolukda ferromagnit materiallarynyň üstünden geçýär.

Rotor hemişelik burç  $w$  tizlik bilen aýlananda statoryň sarymynyň her bir geçirijisinde Faradeýiň kanuny boýunça  $\mathbf{e} = \mathbf{Blv}^*$  e.h.g. döreýär. Geçirijiniň aktiw  $l$  uzynlygy we magnit

meýdanynyň ören üýtgetmesiniň çyzykly v tizligi generatoryň iş ýagdaýynda üýtgemän galýar (hemişelik bolýar). E.h.g. üýtgame häsiýeti maşynyň howa boşlugynda B magnit induksiýasynyň bölünme kanuny bilen kesgitlenýär.

Statora ugrukdyrylan (gönükdirilen) polýus uçlarynda sinusoýdal e.h.g. almak üçin howa boşlugynyň polýusyň ortasyndan onuň gyrasyna çenli ulanar ýaly çyzgylandyrylýar. Howa boşlugynyň dürli böleklerinde magnit garşylyklarynyň deňdäldigine garap howa boşlugynyň az (kiçi) bolan polýusyň ortasynda magnit induksiýasy ýokary baha eýedir. Polýusyň gýralaryna ýakynlaşdygymyzça magnit induksiýasy Sinusyň kanuny esasynda ýuwaş-ýuwaşdan peselýär. (5.2 b çyzgy.)

Haçan-da aýlanýan rotor gorizontal ýagdaýy alan pursadyňy hasaplamanyň başlangyjy  $t=0$  alarys (5.3a Çyz.); a we b geçirijileriň ýerleşýän ýerlerinde magnit induksiýasy  $B=0$ , şonuň üçin ol geçirijilerde induktirlenýän e.h.g.  $e=0$ .

Wagtyň  $t$  erkin pursadynda rotor  $\alpha = \omega t$  burça öwürler (aýlanar) (5.3.b) a we b geçirijileriň ýerleşen ýerlerinde magnit induksiýasy  $B_m$

Sin  $\alpha$  deň bolar. Şol geçirijilerde deň ululykdaky e.h.g.  $e^1 = B_m l v \sin \alpha$  induktirlenýär. ab sarymyň iki özene her biri üçin sag elin düzgünini ulanyp şol özenlerde induktirlenýän elektrik hereketlendiriji güýçler sarymda şol bir ugur boýunça täsir edýändigine göz ýetirip bolar.

Şonuň üçin sarymdaky e.h.g. aşakdaka deň bolar.

$$e = 2e^1 = 2B_m l v \sin \alpha \quad (5.2)$$

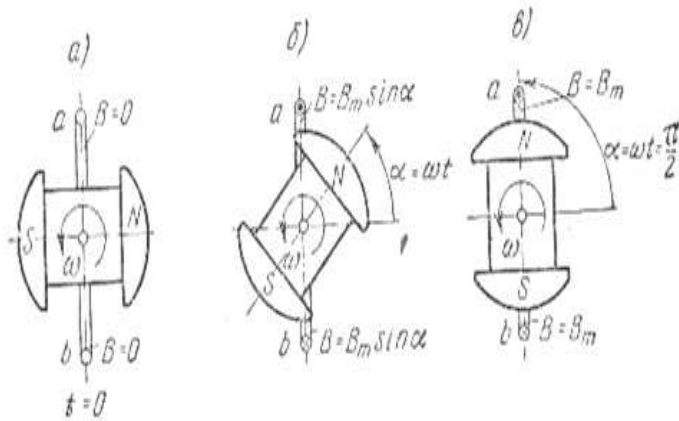
Sarymdaky e.h.g. in ýokary baha haçan-da

$$\alpha = \frac{\pi}{2} = 90^\circ$$

bolanda eýe bolar. (5.3 w).

$$E_m = 2B_m l v \quad (5.3).$$



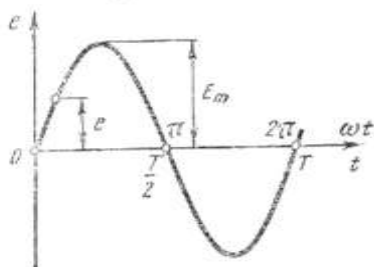


### 5.3.çyzgy

(5.2) we (5.3) deňlemelerden görnüşi ýaly we  $\alpha = \omega t$  hasap edip induktirlenen e.h.g. sinusoýdal kanuny boýunça üýtgemegini alarys

$$e = E_m \cdot \sin \omega t \quad (5.4).$$

5.4. çyzgyda rotoryň doly bir aýlawynda sinusoýdal e.h.g. üýtgemesiniň hil egrisi görkezilen.



#### 5.4 çyzgy

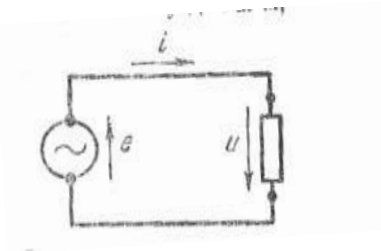
Bir sarymda döredilen (oýandyrylan) elektrikhereketlendiriji güýç (otnositelno) ýokary dälär. Has ýokary e.h.g. almak üçin statoryň sargylary yzygider birikdirilen köp sanly sarymlardan ýerine ýetirilýär.

#### § 5.3. Sinusoýdal e.h.g. naprýaženiýe we elektrik toglary.

Sinusoýdal üýtgeýän  $U=U_m \sin \omega t$  naprýaženiýe we  $i=I_m \sin \omega t$  elektrik togy üçin 5.4 Çyz. görkezilen  $e(t)$  hil egrisi gurulyp biliner.

E.h.g. , naprýaženiýanyň ýa-da elektrik togyň has ýokary pursat bahalaryna maksimal (ýokary) ýa-da ampletuda bahasy diýilýär we deňşlilikde  $E_m, U_m, I_m$  bilen belgilenýär.

Sinusoýdal ululyklar e.h.s., naprýaženiýe we elektrik togy her döwüriniň aralygynda özüniň belgisini üýtgedýär, şonda-da elektrik shemalarynda ol ululyklaryň şertli kabul edilen položitel ugurlaryny belgi bilen görkezýärler (5.5. çyz.) ýagny  $e, u, i$  ugurlary haçanda deňşli sinusoýdalar položitel ululyga eýe bolanda.



### 5.5.çyzgy

Üýtgeýän elektrik togynyň ýygylgy we periody (döwürü). Doly bir sikl gutarandaky wagt aralygyndaky sinusoýdal ululyklaryň üýtgemesine period diýilýär we  $T$  harpy bilen belgilenýär.

Wagt birligindäki (bir sekuntaly) periodlaryň sanyna ýygylgyk diýilýär we  $f$  harpy bilen belgilenýär.  $f$  we  $T$  ululyklaryň aralarynda ýönekeý baglanşyk bolýar

$$f = \frac{1}{T} \quad (5.5).$$

Ýygylgyň birligi (ýagny sekuntaky bir peroid) gers diýen ady göterýär (Gs). SNG we beýleki ýewropa döwletinde elektroenergetik gurnama üçin standart ýygylgy hökmünde  $f=50$  Gs (Amerikada 60 Gs) kabul edilen. Elektroenergetiki gurnama üçin 50-60 Gs ýygylgy esasy hökmünde saýlanmagy ýygylgyň kiçi bahalarynda (we beýleki deň şertlerde) ölçegler ulanylýar we elektrik maşynlaryň we transformatorlaryň bahalary artýar. Ondan başga-da has kiçi ýygylklarda üýtgeýän elektrik togynyň çeymesinden iýmitlenýän elektrik çyralaryndan ýagtylygynyň gyrpmasy göze ilgiç bolýar. Şeýle hem ýygylgyň artmagy, 50 Gs has ýokary bolmagy peýdaly däl, sebäbi elektrik maşynlarynda energiýanyň ýitgisi artýar

we özüniň induksiýasynyň döreýän e.h.g., elektrik sygym hadysalary üýtgeýän elektrik togynyň gurnamalarynyň işine täsiri güýçlenýär.

Elektrik aragatnaşygynyň tehnikasy we senagat elektro tehnologiýasynyň bir näçe oblasty senagat elektroenergetika we elektrik ýygynyň tehnikasyna garanda elektromagnit meýdanynyň has çalt üýtgemegine mätäçlik edýär. Telefon aragatnaşygynda ýüzlerçe we münlerçe gers ýygylyk ulanylýar. Metalliki önümleri gyzyrmak we berkitmek üçin niýetlenen elektrotehniki gurnamalarda  $10^3 - 10^6$  tertipdäki ýokary ýygylykdaky elektrik akymalary ulanylýar. Radiotehnikada ýygylyklar milliard we ondan hem ýokary gerse ýetýär.

Ýokary ýygylykly el. togyny almak üçin düzgün boýunça tizlikleri adaty 3000 aýl./min. Ýokary geçmeýän elektromagnit induksiýa prinsipinde işleýän we ilkinji hereketegetirijiler tarapyndan herekete getirilýän elektromaşyn generatorlary ulanylman, hemişelik elektrik togynyň energiýasyny ýokary ýygylykly üýtgeýän el. togynyň energiýasyny özgerdýän elektron generatorlaryny ulanýarlar.

Iki polýusly üýtgeýän el. togynyň elektromaşyn generatorynyň aýlanýan rotorynyň bir aýlawy induktirlenen e.h.g. bir periodyna laýyk gelýär (5.3 we 5.4 Çyz. seret). Senagat standart ýygylygy almak üçin rotory 50 aýl/S tizligik bilen ýagny  $n=f \cdot 60=50 \cdot 60=3000$  aýl./min. tizlik bilen aýlamalydyr.

Aýlaw tizligi kiçi bolan ilkinji hereketlendirijileriň ýuwaş hereketinde  $f=50$  Gs e.h.g. almak üçin niýetlenen köppolýusly generatorlary ulanmak bolýar. Üýtgeýän el. togynyň dörtpolýusly generatorynyň zynjyrynyň kesigi 5.6 çyz. mysal hökmünde görkezilen.

Bu ýerde rotoryň bir aýlawyna induktirlenen e.h.g. bir dälde iki peridy (döwri) laýyk gelýär, sebäbi bir aýlaw wagtda statoryň her bir geçirijisiniň gapdalyndan iki gezek demirgazyk N we iki gezek S günorta polýus geçýär. Şeýlelik bilen, döran

$$f = \frac{p \cdot n}{60} \quad (5.6)$$

e.h.g. ýgylygy ýeke bir rotoryň aýlaw  $n$  tizligine proporsional bolman  $P$  polýuslaryň jübüt sanyna hem proporsionaldyr (göni baglanyşykly):

$$n = \frac{f \cdot 60}{p} = \frac{50 \cdot 60}{2} = 1500 \text{ aýl./min.},$$

Haçan-da  $f=50$  Gs bolanda dörtpolýusly generatoryň aýlaw tizligi

Degişlilikde altypolýusly generatoryň ( $p=3$ ) aýlaw tizligi 1000aýl./min. deňdir we ş.m.

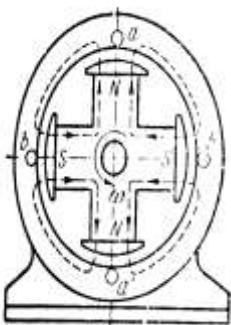
Başlangyç faza we faza süýşme. Generatora üýtgeýän e.h.g. alynýş prinsipine (ýagdaýyna) seredip geçmek bilen bir wagtyň hasaplamanyň başlangyjy hökmünde haçan-da rotor gorizontaý ýagdaýy alanda ýagny NS polýuslaryň özeni (oky) sarymyň ab tekizligine perpendikulýar bolandakysyny kabul etdik (5.3, a çyz. seret). Şunlukda (şeylelik bilen) ab sarymda induktirlenen e.h.g. başlangyç bahasynyň (şertli) nula deň bolýar.

Eger-de wagtyň hasabynyň başlangyjy ( $t=0$ ) alynan rotor ab saryma otnositel başga ýagdaýy alan bolsa, onda şu sarymda wagtyň başlangyç pursatynda e.h.g. göz açyp ýumasy bahasy nula deň dälidir.

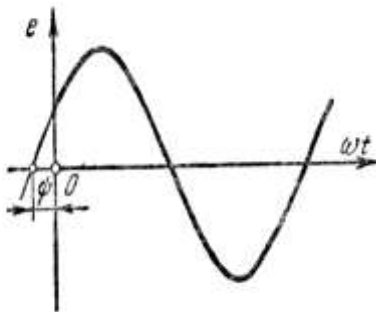
Umumy ýagdaýda induktirlenen sinusoýdal e.h.g. üçin analitik aňlatmany aşadaky deňlemäniň üsti bilen

$$e = E_m \sin(\omega t + \psi) \quad (5.7).$$

aňladylmagy mümkin



### 5.6. Çyzgy



### 5.7.Çyzgy

Wagtyň başlangyç pursatynda ( $t=0$ ), Sinusoýdal e.h.g. göz açyp ýumasy bahasyny kesgitleýän  $\psi$  ululyga **başlangyç faza** diýilýär

(5.7 çyz.) hil egride ululyk  $\psi$  koordinatanyň 0 başlangyjyna sinusoýdanyň otnositel (garanynda) süýşmesi bilen kesgitlenýär (haçan-da sinusoýda 0 nokatdan çepe gyşarsa  $\psi$  ululygyň položitel we haçan-da sinusoýda koordinatanyň başlangyjyna garanda (otnos) saga gyşarsa onda otrisatel bolýandygyna üns bermelidir).

Statorynda iki sargyt (tegek) ýerleşdirilen ikipolýusly generatoryň zynjyrynyň kesigi 5.8 a, çyzgyda görkezilen. Ol tegekler dürli sanly ( $w_1$  we  $w_2$ ) sarymlara eýedir we olaryň tekizlikleri giňişlikde  $\xi$  burça süýşirlendir. Belli bolşy ýaly olarda rotoryň aýlanýan polýuslary tarapyndan (arkaly) induktirlenýän sinusoýdal e.h.g.  $e_1$  we  $e_2$  ýokary (max) (we nul) bahalara ýetmegi bir wagtda bolmaz. Şu şertde  $e_1$  we  $e_2$  e.h.g. fazalary boýunça biri birinden süýşürilen diýilýär (5.8 b, çyz.):

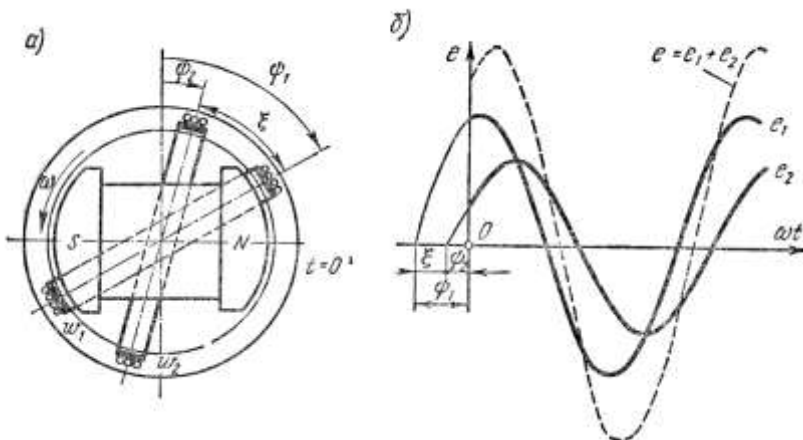
$$e_1 = E_{1m} \sin (wt + \psi_1)$$

$$e_2 = E_{2m} \sin (wt + \psi_2)$$

Ululyklar  $\psi_1$  we  $\psi_2$ ,  $e_1$  we  $e_2$  e.h.g. başlangyç fazalary hasap edilýär. Seredilýän ýagdaýda  $e_2$  e.h.g. fazasy boýunça  $e_1$  e.h.g.-den

$\xi = \psi_1 - \psi_2$  burç yza galýar, ýagny  $e_2$  e.h.g. ýokary (şeýle hem nul) baha  $\xi/w$  S<sup>e1</sup>-den giç ýetýär. Sinusoýdal üýtgeýän iki ululyklaryň ( $\xi = \psi_1 - \psi_2$ ) başlangyç fazalarynyň tapawudyna şol ululyklaryň arasyndaky fazalar süýşmesi diýilýär.

Sinusoýdal ululyklaryň başlangyç fazalarynyň wagt hasabynyň başlangyjy hökmünde alynan pursadyň saýlanmasyna baglydyr, sinusoýdal üýtgeýän ululyklaryň aralaryndaky fazalar süýşmesi başlangyç putsat saýlanmasyna bagly däl ( $t=0$ ).



5.8.Çyzgy

Sinusoýdal ululyklaryň ampletuda bahalaryny, ýygylgyny we başlangyç fazalaryny bilip, (5.7) aňlatmany ulanyp şol ululyklaryň wagtyň dürli pursaty üçin göz açyp-ýumasy wagtdaky bahasyny kesgitlemek mümkindir.

## § 5.4. Sinusoýdal el. toglarynyň we naprýaženiýeleriň täsir ediji we orta bahalary.

Haçan-da zynjyrdaky sinusoýdal e.h.g. täsir edýän bolsa, şol zynjyrdaky el. togy hem köpülenç ýagdaýda sinusoýdal kanun boýunça üýtgeýär. Sinusoýdal e.h.g. naprýaženiýe we el. togy olaryň iň ýokary (amplituda) bahalary bilen dälde olaryň orta kwadrat bahalary arkaly baha bermek kabul edilendir. Ol bolsa üýtgeýän  $i$  el. togynyň ýylylyk täsiri şeýle hem (deň ululykdaky el. togy akýan geçirijileriň elektrodinamiki özara täsiri  $b/n$ )  $t$  wagtyň islendik pursadynda el. togynyň bellenen (alnan) pursatdaky bahasynyň ikeldilenine göni baglydyr ýagny  $i^2$ .

Eger-de el. togy sinusoýdal kanun boýunça üýtgeýän bolsa, onda onuň orta ikeldilen bahasy

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (I_m \sin \omega t)^2 dt} =$$

$$= \frac{I_m}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (1 - \cos 2\omega t) dt} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0,707 I_m. \quad (5.8).$$

Orta ikeldilen bahadan bolan

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

Sinusoýdal el. togynyň täsir ediji ýa-da täsir etme (effektiw) bahalary diýmek kabul edilendir.

Bit döwrüň dowamynda sinusoýdal el. togynyň  $P$  garşylygynyň üstünden geçende onda bölünýän energiýa

$$W = \int_0^T i^2 R dt = \frac{I_m^2}{2} RT = I^2 \cdot R \cdot T.$$



Täsir ediji bahaly sinusoýdal el. togy ýylylyk täsiri boýunça şonuň ýaly baha eýe bolan hemişelik I el. togyna barabardygy bu ýerden görüňär.

Sinusoýdal I el. togynyň täsir ediji bahasynyň  $I_m$  ampletuda bahasynda  $\sqrt{2}$  esse kiçidigi (5.8) deňlemeden gelip çykýar.

Mysal, eger-de R garşylygyň üstünden  $I_m=10$  A ampletudaly üýtgeýän el. togynyň deregine

$$I = \frac{10}{\sqrt{2}} = 7,1A$$

hemişelik el. togy aksa, onda ol hem görkezilen üýtgeýän el. togynyňky (dogrusy deň wagt aralygynda) ýaly ýylylyk mukdaryny bölüp çykarardylar.

Şuňa meňzeş edip e.h.g. we naprýaženiýanyň täsir ediji bahasyny kesgitleýärler.

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}, \quad U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}. \quad (5.10).$$

Haçan-da üýtgeýän naprýaženiýanyň ýa-da üýtgeýän el. togynyň ululygy barada aýtsalar eger-de haýsydyr bir goşmaça görkezmeler bolmasa onda düzgün boýunça täsir ediji baha düşüňärler. Üýtgeýän el. togynyň gutnamalaryndaky adaty ulanylýan elektrikölçeg abzallarynyň ýüzi naprýaženiýanyň ýa-da el. togyň täsir ediji bahalaryna sazlanandyr.

El. togynyň we naprýaženiýanyň täsir ediji bahalaryny girizmekligiň ene bir amatlylygy ol hem hemişelik we üýtgeýän el. togynyň zynjyryndaky esasy kanunlygynyň aňlatmasy üçin matematiki baglansygyna meňzeşligini almaklyga mümkinçilik berýär.

Käbir ýagdaýlarda (mysal üçin, üýtgeýän el. togy hemişelik el. togyna özgerdiji göneldiji gurnamalaryň işini

takyklananda onuň belgisiniň üýtgemeyän aralygyndaky ýarym

$$E_{or.} = \frac{1}{0,5} \int_0^{0,5T} E_m \sin \omega t dt = \frac{2}{\pi} E_m = 0,636 E_m \quad (5.11).$$

döwürde Sinusoýdal üýtgeýän orta bahalaryny ) hökmany bilmelidir (ýagny ortaarifmetiki). Eger-de e.h.g.  $\mathbf{e} = \mathbf{E}_m \sin \omega t$ , onda

Değişlilikde

$$\mathbf{U}_{or.} = 0,636 \mathbf{U}_m, \quad \mathbf{I}_{or.} = 0,636 \mathbf{I}_m \quad (5.12).$$

(ýarym döwür içinde integrirlenýär, çünki doly döwürde sinusoýdal ululyklaryň orta bahasy nula deňdir).

Täsir ediji bahanyň orta baha gatnaşygyna  $K_\phi$  egriniň şekiliniň koeffisiýenti diýilýär. Sinusoýda üçin

$$K_\phi = \frac{E}{E_{or.}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \approx 1,11. \quad (5.13).$$

### § 5.5. Wektor diagrammalar. Sinusoýdal ululyklaryň goşulşy.

Üýtgeýän el. togynyň zynjyryndaky ýagdaýlary derňelende we nazary öwrenilende köpülenç bir ululykdaky we şol ýygylýkdaky ýöne dürli amplituda hem-de dürli başlangyç fazalary bolan birnäçe birjynsly sinusoýdal üýtgeýän ululyklary hökmany jemlemek zerurlygy ýüze çykýar. Şular ýaly jynsdaky mysallary analitiki we grafiki çözüp bolýar. Şular ýaly çözüdiň ýoluny iki sany e.h.g. goşuljysynda görkeziris:

$$\mathbf{e}_1 = \mathbf{E}_{1m} \sin(\omega t + \psi_1) \text{ we } \mathbf{e}_2 = \mathbf{E}_{2m} \sin(\omega t + \psi_2)$$

Jemlenen e.h.g. analitiki kesgitlenişi (kesgitleme) trigonometriki özgertmeleriniň netijesinde ýerine ýetirilýär (amala aşyrylýar):

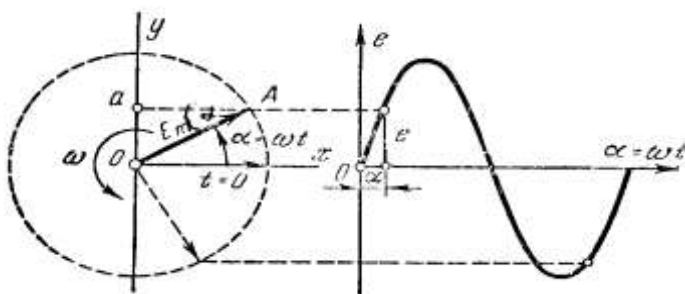
$$\mathbf{e} = \mathbf{e}_1 + \mathbf{e}_2 = \mathbf{E}_m \sin(\omega t + \psi)$$

Netijeleýji e.h.g.  $e = E_m \sin(\omega t + \psi)$  hem şol ýygylýk bilen sinusoýdal kanun boýunça üýtgeýär. Netijeleýji e.h.g. almak üçin talap edilýän goşulyjylaryň sanynyň artmagy trigonometriki özgertmäni ep-esli kynlaşdyrýar, ol bolsa bu usuly praktiki hasaplamalary üçin bu usuly amatsyz edýär.

Gurnama we grafikleriň ordinatlarynyň  $e_1(t)$  we  $e_2(t)$  (5.8, b çyz.) esaslanan grafiki çözülişi, has kynçylyk döredýär we ýeterlik takyk netije almaklygy üpjün etmeýär.

**Wektor diagrammalar.** Bu mysal (mesele) wektor diagrammalaryň kömegi bilen has ýönekeý we görnükli çözülýär. Bu ýerde her bir Sinusoýdal üýtgeýän ululyk, hereketsiz oka alynýan radius-wektoryň proeksiýasy hökmünde göz önüne getirilýär. Şol radius-wektoryň uzynlygy Sinusoýdal ululygyň amplituda bahasyna göni baglydyr (proporsionaldyr).

Şu usuly we onuň serilýän meseläni çözmekde ulanylyşyny has jikme-jik düşündireliň. Goý OA radius wektor kesgitli masşapda e.h.g. amplituda bahasyny  $e = E_m \sin \omega t$  görkezsin, ýagny  $OA = E_m$  (5.9 çyz.)



### 5.9. Çyzgy-Sinusoýdal üýtgeýän $e = E_m \sin \omega t$ e.h.g. aýlanýan wektorynyň şekili. (çyzgysy)

Wektor OA sagat diliniň hereketiniň tersine O nokadyň daşyndan hemişelik burç  $\omega$  tizligi bilen aýlanýar, we wagtyň başlangyç hasabynyň ( $t=0$ ) kabul edilen pursady  $x$  okyň

položitel ugry bilen gabat gelýär diýeliň. Wagtyň t erkin alynan pursatynda **OA** radius wektor **x** ok bilen  **$\alpha=wt$**  burçy düzer. Şol wektoryň **y** oka bolan proeksiýasy (şekili).

$$O_a = OA \sin \alpha = E_m \sin wt.$$

Şu aňlatmadan görnüşi ýaly aýlanýan OA radius wektoryň  $O_a$  radiusiýasy (çyzgyy, şekili) wagtyň berlen pursatyndaky belli masşapda e.h.g. göz-açyp öumasy salymdaky bahasyny kesgitleýär. 5.9 çyz. Sag böleginde e ululygyň üýtgemeginiň  **$\alpha=wt$**  burça baglylygynyň hil egrisini görkezeliň. Haçan-da radius-wektor özüniň aýlanýan wagtynda üçünji soňra bolsa dördünji kwadrat ( **$\alpha=180-360^0$** ) geçýär we onuň wertikal okuna proeksiýasy otrisatel bolar, ol bolsa e.h.g. ugrunyň üýtgemegine laýyk gelýär. wektoryň  **$360^0$  ( $2\pi$ )** aýlanmasy Sinusoýdal e.h.g. doly döwrüne laýyk gelýär.

Aýlanýan radius-wektoryň  $/OB/=E_m$  kömegi bilen (5.10 çyz.)meñzeşlikde kömegi bilen e.h.g.  $e=E_m \sin(wt+\psi)$  görkezmek bolar. Wagtyň hasap başlanyjy hökmünde kabul edilen pursatda, radius wektor OB x oky x oka e.h.g başlangyç fazasyna deň bolan  $\psi$  burçy düzýär. Onda **t** wagtyň erkin pursadynda OB radius wektor x oky bilen  **$\psi t+\psi$**  burçy düzer, ýöne OB wektoryň y okuna proeksiýasy aşakdaka deň bolar.

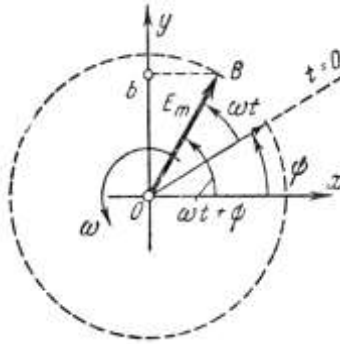
$$Ob = OB \sin(wt+\psi) = E_m \sin(wt+\psi)$$

ýagny OB kabul edilen masşapda e.h.g.  $e^*$  görkezýär. Çünki wektoryň  $2\pi$  aýlawy bir döwre gabat gelýär, döwrüň sekuntdaký sany f deň, onda wektoryň aýlawynyň burç tizligi aşakdaka deňdir

$$w = 2\pi f \text{ [rad/s]} \quad (5.14).$$

w – ululyga aýlaw ýada burç ýygylgy diýilýär.

F=50 Gs bolanda aýlaw ýygylk  $w = 314 \text{ rad/s}$ .



5.10.Çyzgy

Iki polýusly ( $p=1$ ) generatorda rotoryň giňişlikdäki doly bir aýlawy diagrammadaky wektoryň doly bir aýlawyna gabat gelýändir. Degişlilikde w aýlaw ýygylgy rotoryň aýlaw tizligine deň. Köppolýusly generatorda rotoryň bir aýlawy p döwürlere gabat gelýär, ýagny şol wagtda, wektor diagrammada p aýlawlar edýär. Şeýlelikde, w burç ýygylgy aýlawyň rotoryň burç tizliginden p esse artykdyr. (prewýşaet).

**§5.6.Wektor diagrammalaryň kömegi bilen Sinusoýdal ululyklary goşmak.** Seredilip geçilen usul iki e.h.g. goşulma ýagdaýyna ulanarlydyr.

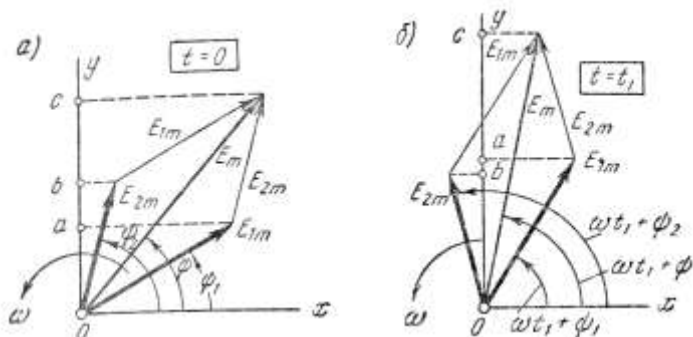
$$\mathbf{e}_1 = \mathbf{E}_{1m} \sin(\omega t + \psi_1) \text{ we } \mathbf{e}_2 = \mathbf{E}_{2m} \sin(\omega t + \psi_2).$$

Jemlenen e.h.g.  $\mathbf{e} = \mathbf{e}_1 + \mathbf{e}_2$  kesgitlemek üçin degişlilikde  $\mathbf{e}_1$  we  $\mathbf{e}_2$  e.h.g. şekillendirýän  $\mathbf{E}_{1m}$  we  $\mathbf{E}_{2m}$  wektorlar elbetde olaryň başlangyç  $\psi_1$  we  $\psi_2$  fazalaryny hasaba alyp bir çyzgyda ýerleşdirmelidir (5.11, a)

Ol wektoryň y okuna bolan  $\mathbf{O}_a$  we  $\mathbf{O}_b$  proeksiýalary degişlilikde wagtyň  $t=0$  pursatyndaky (5.11, a) we şeýle hem  $t$  (5.11, b çyz.) wagtyň beýleki dürli pursatlaryndaky  $\mathbf{e}_1$  we  $\mathbf{e}_2$  e.h.g. göz açyp-ýumasy wagtdaky bahalaryny kesgitleýär. Netijeleýji wektoryň  $\mathbf{E}_m = \mathbf{E}_{1m} + \mathbf{E}_{2m}^{**}$  şol oka bolan proeksiýasy, wagtyň şol pursatdaky umumy e.h.g. göz açyp-

ýumasý bahasyny kesgitleýär. Dogrudan hem  $\mathbf{O}_a + \mathbf{O}_b = \mathbf{e}_1 + \mathbf{e}_2 = \mathbf{O}_c = \mathbf{e}$  deňligi 5.11 çyz. görüňýär.

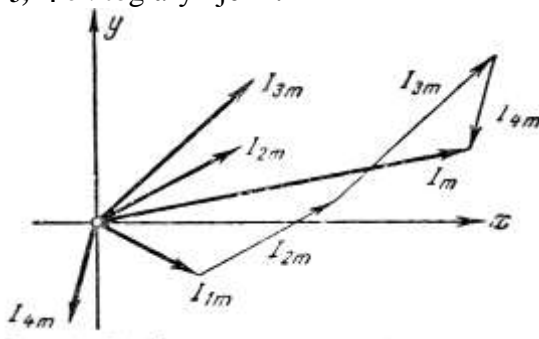
Çünki ol baglanyşyk wagtyň dürli pursaty üçin dogrydyr, onda  $\mathbf{E}_m$  wektor jemleýji e.h.g.  $\mathbf{e}$  görkezýär (aňladýar):  $\mathbf{E}_m$  wektoryň uzynlygy e.h.g. ampletuda bahasyny kesgitleýär,  $t=0$  pursatda  $\mathbf{E}_m$  wektor  $\mathbf{x}$  oky bilen e.h.g. başlangyç fazasyny kesgitleýän  $\psi$  burçy düzýär (5.11, a).



5.11 çyzgy

Wektor diagrammalaryň kömegi bilen jemleýji e.h.g. kesgitlemek: t=0 bolanda; b) —agtyň erkin pursatynda.

Şuňa meňzeş düzgün boýunça köp sanly bir atly Sinusoýdal üýtgeýän ululyklaryň jemini kesgitlep bolar, mysal üçin  $\mathbf{i}_1, \mathbf{i}_2, \mathbf{i}_3, \mathbf{i}_4$  el. toglaryň jemi.



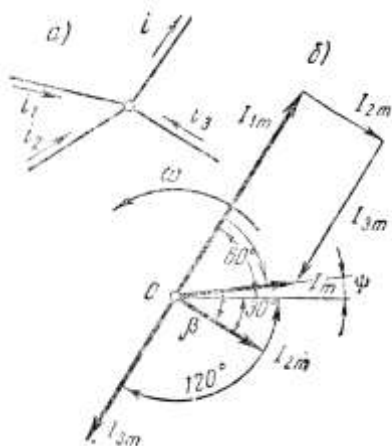
5.12. Çyzgy

Şu ýagdaýda umumy çyzgyda (5.12 çyz.) seredilýän  $\mathbf{I}_{1m}$ ,  $\mathbf{I}_{2m}$ ,  $\mathbf{I}_{3m}$ , we  $\mathbf{I}_{4m}$  toglary ýerleşdirmek gerek. Wektorlar ýerleşdirilende elbetde olaryň aralaryndaky bar bolan faza süýşmesini saklamalydyr.  $\mathbf{I}_{1m}$ ,  $\mathbf{I}_{2m}$ ,  $\mathbf{I}_{3m}$ , we  $\mathbf{I}_{4m}$  wektorlaryň geometriki goşulmalaryň netijesinde

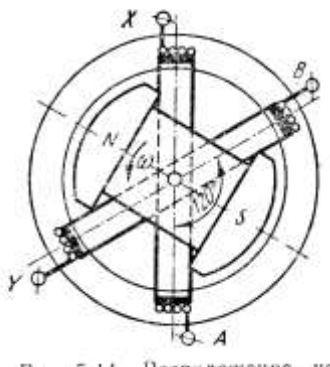
$\mathbf{i} = \mathbf{i}_1 + \mathbf{i}_2 + \mathbf{i}_3 + \mathbf{i}_4$  jemleýji togy kesgitlener.  $\mathbf{I}_m = \mathbf{I}_{1m} + \mathbf{I}_{2m} + \mathbf{I}_{3m} + \mathbf{I}_{4m}$  netijeýji wektoryň uzynlygy jemleýji  $\mathbf{i}$  togyň amplitudasyny kesgitleýär,  $\mathbf{I}_m$  wektorny (ýerleşýän ýeri)  $\mathbf{I}_{1m}$ ,  $\mathbf{I}_{2m}$ ,  $\mathbf{I}_{3m}$ ,  $\mathbf{I}_{4m}$  wektorlara garanyňda olaryň özara faza süýşmesidir. Şol bir ýygylýkdaky sinusoýdal üýtgeýän ululyklary şekillendirýän wektorlar toplumyna **wektor diagramması** diýilýär.

Wektor diagramma esasan sinusoýdal ululyklaryň täsir ediji bahalaryny we olaryň aralaryndaky faza süýşmesini kesgitlemek üçin ulanylýar, şonuň üçin diagrammalarda wektorlaryň uzynlyklaryny sinusoýdal ululyklaryň täsir ediji bahalaryna deň edilip alynsa has amatlydyr. Wektor diagramma gurulanda wektorlaryň biriniň ugruny erkin saýlap almalydyr, galan wektorlary oňa faza süýşmesine gabat gelýän burç boýunça ýerleşdirmeli. Şunlukda çyzgyda  $x$  we  $y$  oklarynyň geçirilmegi artykmaç bolup galýar.

**Mysal 5.1.** Zynjyriň 0 düwün nokadyna (5.13, a çyz.)  $\mathbf{i}_1 = 10 \sin(\omega t + 60^\circ) \mathbf{a}$ ,  $\mathbf{i}_2 = 4 \sin(\omega t - 30^\circ) \mathbf{a}$ ,  $\mathbf{i}_3 = 7 \sin(\omega t - 120^\circ) \mathbf{a}$  el. toglary akyp gelýär. Jemleýji  $\mathbf{i} = \mathbf{i}_1 + \mathbf{i}_2 + \mathbf{i}_3$  el. toglary üçin wektor diagrammany gurmaly we analitik aňlatmany tapmaly.



Çyzgy 5.13 (a) El. toglaryň shemasy (a) we wektor diagramma (5.1 mysala degişli).



Çyzgy 5.14 (b) Tegekleriň ýerleşişleri (5.2 mysala degişli).

**Çözülişi:** Diagrammada başlangyç fazany hasaba alyp  $I_{1m}$ ,  $I_{2m}$ , we  $I_{3m}$  el. toglaryň wektorlaryny (5.13, b çyz.) goýarys.

Geometriki gurluşdan peşdalanyň:

$$I_m = \sqrt{(I_{1m} - I_{3m})^2 + I_{2m}^2} = \sqrt{(10 - 7)^2 + 4^2} = 5a,$$

$$\varphi = \beta - 30^\circ, \operatorname{tg} \beta = \frac{I_{1m} - I_{3m}}{I_{2m}} = \frac{10 - 7}{4} = \frac{3}{4}, \beta = 37^\circ, \varphi = 7^\circ,$$

$$i = 5 \sin(\omega t + 7^\circ) a.$$

**Mysal 5.2.** Statorda tekizlikleri  $120^\circ$  süýşirilen (5.14 Çyz.) birmeňzeş iki tegek ýerleşdirilen.



Her bir tegekte induktirlenýän e.h.g. täsir ediji bahalary  $E_1 = E_2 = 100 \text{ W}$ . Iki tegegiň izigider birikdirilende ýüze çykyan netijeleýji e.h.g. – ñ täsir ediji bahasyny kesgitlemeli.

**Çözülişi:** A we B gysgyçlary (biri-birinden  $120^\circ$  süýşirilen) başlangyç, X we Y gysgyçlara birinji we ikinji tegekleriň ahyry diýip hasap ederis.

Her bir tegekdäki e.h.g. položitel ugryny tegegiň ahyryndan onuň başlangyjyna bolan ugryny hasap etmäni şertleşeris.

Wagtyň hasaplanýş başlangyjy hökmünde haçan-da tegegiň  $e_1$  e.h.g.-ň nul bahasynyň üstünden geçýän pursadyndaky wagtyň hasaplanýş başlangyjyny kabul ederis. Onda ony aşakdaky deňleme arkaly aňladyp bolar.

$$e_1 = 100\sqrt{2} \sin wt$$

Ikinji tegekdäki şonuň ýaly ampletuda eýe bolan ýöne

$$e_2 = 100\sqrt{2} \sin\left(wt - \frac{2\pi}{3}\right).$$

1/3 pursat yza galan e.h.g. aşakdaky deňlemäniň üsti bilen aňladylýar.

Tegegiň izigider birikdirilen iki görnüşine (wariant) seredip geçeris (serederis).

1) Eger-de birinji tegegiň X ahyryny ikinji tegegiň B başlangyjy bilen birikdirilse (5.15, a Çyz.) döreýän zynjyrda  $e_1$  we  $e_1$  e.h.g. položitel ugurlary gabatlaşýarlar.

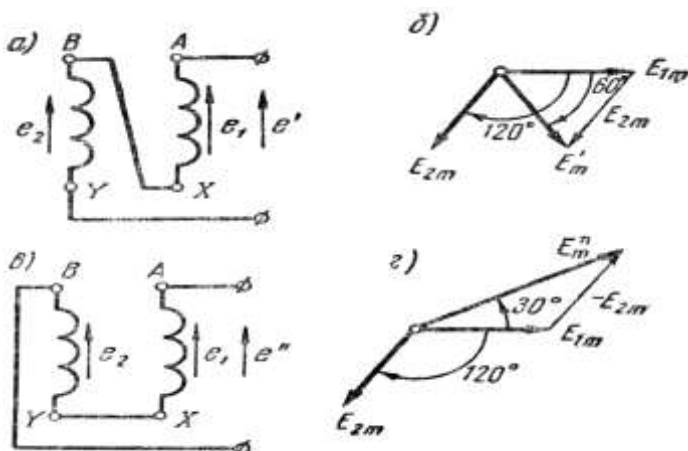
$$e^1 = e_1 + e_2 = E_{1m} \sin wt + E_{2m} \sin\left(wt - \frac{2\pi}{3}\right).$$

Onda

Wektor diagrammadan (5.15, b) aklays.

$$1E_m^1 = [E_{1m} + E_2 = E_{1m}] m = 100\sqrt{2} W.$$

$$e^1 = 100\sqrt{2} \sin\left(wt - \frac{2\pi}{3}\right) W.$$



### 5.15.Çyzgy

- 2) Haçan-da birinji tegegiň **X** başlangyjy ikinji tegegiň **V** ahyry bilen çatylanda (5.15, W) iki tegekden ybarat döreyän

$$e^{11} = e_1 - e_2 = E_{1m} \sin wt - E_{2m} \sin \left( wt - \frac{2\pi}{3} \right)$$

- 3) konturda  $e_1$  we  $e_2$  e.h.g. položitel ugurlary gapma-garşy bolýandyr.

Wektor diagrammadan (5.15,w çyz) taparys

$$[E_m^{11}] = [E_{1m} - E_{2m}] = 100\sqrt{2} \cdot \sqrt{3}W, e^{11} = 100\sqrt{6} \sin \left( wt + \frac{\pi}{3} \right) W.$$

Iki wariantda hem netijeýji e.h.g položitel ugrynyň  $e_1$  e.h.g ugry bilen gabat gelýän hökmünde kabul edilýär. Aýdylanlardan görnüşi ýaly, izigider çatylan tegekdäki netijeýji e.h.g ululygy we fazasy boýunça, şol tegekleriň özara haýsy gysgyçlar bilen çatlyandygyna bagly bolýar. Tegegiň dürli görnüşde birikdirilmeginde e.h.g  $e_1$  we  $e_2$  wagtyň

aýry pursatlarynda ugulary boýunça gabat gelýär, ýöne wagtyň beýleki pursatlarynda biri-birine (gapma-garşy) gabatlaşdyrylan ugrukdyrylan ýagdaýyna üns berilmegine mynasypdyr.

Mysal üçin birinji wariantda e.h.g **e<sub>1</sub>** we **e<sub>2</sub>** haçan-da pursatda aşakdaka deň bolar.

$$wt = \frac{5\Pi}{6}$$

$$e_1 = 100\sqrt{2} \sin\left(\frac{5\pi}{6}\right) \approx 71W, \quad e_2 = 100\sqrt{2} \sin\left(\frac{5\pi}{6} - \frac{2\pi}{3}\right) \approx 71W.$$

Ýagny umumy (zynjyrda) zynjyrda ol e.h.g-ň täsir edýän ugurlary gabat gelýär we olar arifmetiki goşulýarlar: **e = e<sub>1</sub> + e<sub>2</sub> = 71 + 71 = 142 W**. Ol bolsa seredilýän pursatda birinji tegekdäki **A** gysgyç polażitel, **X**-gysgyç minus, beýleki tegekdäki **B**-gysgyç –pilýus, **Y**-gysgyç –minus hasaplanýar.

Beýleki pursatda, mysal üçin, haçan-da  $wt = \frac{\Pi}{2}$ ; göz-açyp ýumsa wagtdaky (e.h.g).

$$e_1 = 100\sqrt{2} \sin\frac{\pi}{2} \approx 142W, \quad e_2 = 100\sqrt{2} \sin\left(\frac{\pi}{2} - \frac{2\pi}{3}\right) \approx -71W.$$

$$\mathbf{e} = \mathbf{e}_1 + \mathbf{e}_2 = \mathbf{142-71} = \mathbf{71 W}.$$

Şol pursatda **A** we **B** gysgyçlar biratly polýarlyga (plýus) **B** we **X** gysgyçlar-biratly polýarlyga (“minus”) eýedirler. Şertli saýlanyp alynan üýtgeýän e.h.g (ýada toklaryň) polażitel ugularyny gabat gelýän diller, dürli pursatdaky şol e.h.g täsir edýän ugurlaryny görkezmeýär, sebäbi e.h.g hakyky ugurlary döwürleýin üýtgeýärler we ýa-ha polażitel, ýa-da otrisatel bolýarlar.

### § 5.7. Üýtgeýän elektirik togynyň zynjyrynda aktiw garşylyk.

Üýtgeýän el. togynyň zynjyryndaky bolup geçýän hadysa köpülenç ýagdaýda hemişelik el. togynyň zynjyryndakydan has çylşyrymlydyr. Ol bolsa zynjyryň käbir elementleriniň **L** induktiwliginiň we **C** sygymynyň täsiri bilen düşündirilýär. Şol bir wagtyň özünde hemişelik elektrik togynyň zynjyrynyn işine induktiwlik we sygym diňe zynjyryň rezimi üýtgände täsir edýär (çatylanda we ýazdyrylanda, ýük üýtgände we başgalar), üýtgeýän el. togynyň zynjyrynyn işine induktiwlik we sygym üznüksiz täsir edýär. Haçan-da zynjyr gysgyçlarynda **U** sinusoýdal elektrik naprýaženiýe saklanýan energiýsynyň çeşmesinden we oňa çatylan **r** garşylykly aktiw ýük çatylan has ýönekeý ýagdaýa serederis (5.16, a çyz). Ýüküň şunyň ýaly görnüşlerine elektirik çyrasy degişli bolar, her-hili elektrik gyzdyryjy gurnamalar reostatlar we üýtgeýän elektrik togynyň zynjyrynyn olaryň induktiwligi **L** we **C** sygymalarynyň täsirini beýleki elementleri hasaba almak hem bolar.

#### Aktiw ýükli zynjyr üçin Omuň kanuny.

Seredilýän zynjyrdaky çeşmäniň naprýaženiýesi **u=U<sub>m</sub> sin wt** wagtyň dürli pursatynda ýükdäki **iR** ýitgi naprýaženiýanyň öwezini doldurýar, ýagny, **U=iR**. Şeýlelik bilen wagtyň erkin pursaty üçin Omuň kanuny dogrudyr.

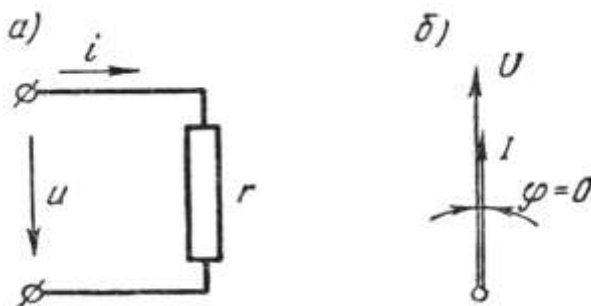
$$i = \frac{u}{R}. \quad (5.15)$$

(5.15) deňlemede **u=U<sub>m</sub> Sin wt** ornuna goýup alarys.

$$i = \frac{U_m \sin \omega t}{R} = I_m \sin \omega t \quad (5.16)$$

niredede

$$I_m = \frac{U_m}{R} \quad (5.17)$$



5.16.Çyzgy

Şeýlelik bilen, el. togy wagta görä **U** güjenme ýaly sinusaýdal kanuny boýunça üýtgeýär özem seredilýän zynjyrdada ol iki ululyk fazalary boýunça gabat gelýärler (5.16, b çyz).

Elektrik zynjyry boýunça geçýän we fazasy boýunça naprýaženiýa bilen gabat gelýän şol el. zynjyryna goýlan sinusaýdal el. okuwyna aktiw el. togy diýilýär.

Eger-de (5.17) aňlatmanyň sag we çep tarapyny  $\sqrt{2}$  bölüp alarys.

$$I = \frac{U}{R} \quad (5.18)$$

Diýmek seredilýän zynjyrdada Omyň kanuny el. togyň we naprýaženiýanyň diňe bir pursat ampletuda we täsir ediji bahalaryna ulanylyp biliner.

**Aktiv kuwwat.** Ýük tarapyndan ulanylyan kuwwat wagtyň dürli pursatynda hemişelik bolmaýar. Hakykatdan

$$P = u \cdot i = U_m I_m \sin^2 \omega t \quad (5.19)$$

Wagtyň erkin pursatynda üýtgeýän el. togynyň zynjyrynyň kuwwatynyň bahasyna islendik wagtdaky kuwwat diýilär (pursat).

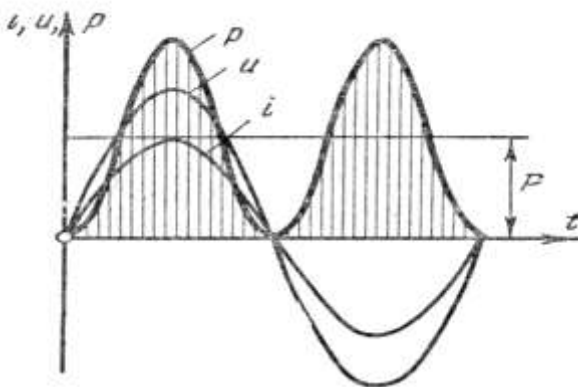
5.17 Çyzgyda naprýaženiýanyň  $u(t)$  we el. togy  $i(t)$  üýtgemeginiň grafigi, şeýle hem olara laýyk gelýän pursat kuwwatyň  $P(t)$  grafigi görkezilen.

$P(t)$  grafikden görnüşi ýaly, aktiw garşylykly zynjyrda kuwwatyň islegi nuldan maksimal (iň ýokary) baha çenli döwürleýin üýtgedýär. Şeýlelik bilen kuwwatyň belgisi wagtyň dowamynda polażitel bolup galýar. Ol bolsa aktiw garşylykda çişmeden gelýän elektirik energiýasynyň energiýanyň tersine özgermeýän başga görnüşine özgerme prosessi bolup geçýär.

Üýtgeýän el.togyň kuwwatynyň döwür içindäki kuwwatyň orta bahasy boýunça baha bermeklin we kesgitlemeklik kabul edilendir. Ol ululyga üýtgeýän el. togynyň aktiw kuwwaty diýilýär we  $P^*$  harpy bilen

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{1}{T} \int_0^T u i dt = \frac{U_m I_m}{T} \int_0^T \sin^2 \omega t dt = \frac{U_m I_m}{2} = U \cdot I. (5.20).$$

belgilenýär;



5.17 Çyzgy .

Diýmek **r** aktiw garşylykly zynjyrdaky aktiw **P** kuwwat napryäženiýanyň we el. togynyň täsir ediji bahalarynyň köpelmegi bilen kesgitlenilýär.

(5.18) we (5.20) deňlemäni ulanyp zynjyryň aktiw kuwwaty üçin başga aňlatmany alyp bolar:

$$\mathbf{P} = \mathbf{U} \cdot \mathbf{I} = \mathbf{I} \cdot \mathbf{R} \cdot \mathbf{I} = \mathbf{I}^2 \cdot \mathbf{R} \quad (5.21)$$

**R** garşylygyň üstünden geçýän **I** el. togyň ýylylyk täsiri hasaplananda (5.21) aňlatmadan peýdalanmak amatlydyr.

Eger-de zynjyrdaky **I** el. togyň we ol tarapyndan ulanylýan kuwwatyň bahasy belli bolsa üýtgeýän el. togyň zynjyryndaky **R** aktiw garşylygyň ululygyny kesgitlemek kyn dälär.

$$R = \frac{P}{I^2} \quad (5.21a)$$

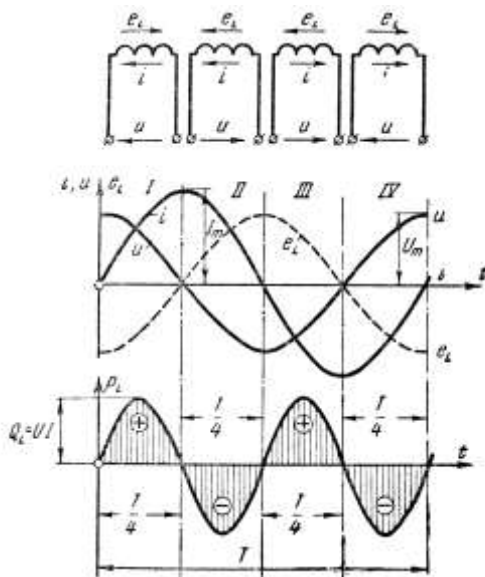
*\* Orta kuwwat gurnamanyň kuwwatynyň ölçeği hökmünde diňe bir elektrik gurluşlarda ulanylman we beýleki tehniki gurluşlarda hem ulanylýar. Mysal üçin içinden ýanýan porşenli hereketlendirijiniň kuwwaty hökmünde onuň işiniň bir siklindäki kuwwatynyň orta bahasy hasaplanýar.*

*\*Üýtgeýän el. togynyň zynjyryndaky simlaryň aktiw garşylyklarynyň bahasy şol simlaryň garşylyklaryndan hemişelik el. togynyň zynjyrynda şol simlaryň garşylyklaryndan az-owlak tapawutlanýar. Ol bolsa simyň kese-kesiginde üýtgeýän el. togynyň bölünmesiniň ..... dældigi bilen düşündirilýär (üst effekti diýen hadysa). Ýöne senagat ýygylkda  $f=50\text{Gs}$  ol tapawut ferromagnit däl materiallardan ýerine ýetirilen simlar üçin şeýle bir kiçi, ony göz önünde tutulman hem bolar.*

Birinji dörtten bir döwür içinde (**I**), haçan-da zynjyrdaky el. togy nuldandan položitel maksimuma (iň uly) çenli artanda, öz-özüni induksiýasynyň e.h.g e<sub>1</sub>we i el togynyň ugry gapmagarşydyr, ýöne **i** el togy we güýjenmäniň ugry gabat gelýär. Ol bolsa görkezilen wagty aralygynda ýük (tegek) energiýany

$$(W_m = \frac{Li^2}{2})$$

setden alýandygyny aňladýar. Setden gelýän energiýa tegekleme magnit meýdanynyň energiýasy görnüşinde toplanýar



5.19.Çyzgy

Seredilip geçýän wagty aralygynyň ahyrynda, haçanda el. togy özüniň amplituda  $I_m$  bahasyna ýetende, şeýle hem magnit meýdanynyň energiýasy maksimal bolar

$$(W_{m \max} = \frac{LI_m^2}{2}).$$

Döwrüň birinji dörtdeň bir aralygyndaky egri we absiss oky bilen çäklenen  $P_L(t)$  grafikda ştrihlenen meýdança kesgitli masştabda  $W_{m \max}$  ululygyny şekillendirýär.



Döwrün ikinji dördten birinde (II) zynjyrd a el. togy maksimal  $I_m$  bahadan nula çenli peselýär. Tegegiň öz-özünüň induksiýasynyň e.h.g  $e_L$  we akýan el. togy  $i$  ugurlary boýunça gabat gelýär ( $e_L$  e.h.g togyň peselmegine garşy durmaga çalyşýar).

Napryáženiýa  $u$  we el. togy  $i$  ters ugra ugrykdyrylandyr. Ol bolsa tegegiň elektrik energiýasynyň çeşmesi bolup, toplanan magnit meýdanynyň sete berýändigini aňladýar (soňky el. togyň azalýandygy üçin peselýändir). Haçan-da el. togy nula deň bolandaky wagt pursatynda magnit meýdanynda ondan toplanan ähli energiýa, elektrik energiýasyna öwrülýär we doly sete berler.

Döwrün üçünji (III) we dördünji (IV) böleginde ýokarda seredilenler meňzeş prosessler bolup geçýär. Döwrün üçünji bölegi aralygynda energiýa setden gelýär we tegekde magnit meýdanynyň energiýasy görnüşinde toplanýar, döwrün dördünji bölegi aralykda magnit meýdanynyň energiýasy ýene-de elektrik energiýasyna özgerýär we sete berilýär. Mundan beýläk seredilen hadysalar tegek napryáženiýanyň astynda bolmaklygyny näçe dowam etse şol bir yzygiderlikde gaýtalanar.

Şeýlelikde, idial tegekde daşky çeşme bilen we magnit meýdanynyň aralygynda energiýanyň döwürleýin alyş-beriş bolup geçýär. Orta (aktiw) kuwwat nula deň (çalyşmasy) bolýandyr: çeşme energiýa sarp etmeýär, görnüşi ýaly tegekde ýitgi bolmaýar.

Döwrün dördten bir aralygynda elektrik ýüklenmäniň ulanýan energiýasy we ony magnit meýdanynda toplaýar, indiki döwrün dördten bir ülüşinde ony doly yzyna gaýtarýar, induktiw ýa-da reaktiw ýüklenme diýilýär.

**Reaktiw kuwwat.** Çeşme we reaktiw ýüküň arasynda elektrik energiýasynyň çalyşmasynyň intensiwligine san (mukdar) baha bermek üçin reaktiw kuwwaty diýen düşünje girizilen.

$$Q_L = UL = I^2 X_L \quad (5.28)$$

Ol ululyk seredilýän zynjyrdaky pursat kuwwadyň maksimal bahasyna deňdir. (5.19 çyz).

### § 5.8. Üýtgeýän el. togyň sepinde sygym ýüklenme.

Hemişelik el. togyň zynjyryna kondensatoryň çatylmagy diňe el. togyň gysga wagt geçmegine getirýär (sekundyň üläşi aralygynda), kondensatoryň zarýadlanan prosessi gutarandan soň, ýagny haçan-da kondensatoryň  $U_c$  naprýaženiýasy daşyndan goýlan  $U$  naprýaženiýa deň bolanda, zynjyrda el. togy kesilýär.

Eger-de haýsy hem bolsa bir üýtgeýän naprýaženiýaly çeşmäniň zynjyrynda kondensator bar bolsa onda kondensatoryň sütünlerindäki  $q$  zarýad üýtgeýär. Zarýadyň  $q$  üýtgemesi el. zarýadlaryň bir wagtda orun üýtgetmeleri bilen ýagny, çeşmäniň gysgyçlary bilen kondensatory birikdirýän we çeşmäniň özünden, simlardan el. togyň geçmegi bilen baglanşyklydyr.

Üýtgeýän naprýaženiýasy  $U = U_m \sin \omega t$  çeşmesine birikdirilen  $C$  sygymly kondensotordan durýar. (5.20 çyz) Zynjyrdaky hadysa has içgin serederis. Eger-de birikdiriji simlaryň garşylygyny göz-öňünde tutulmasa we sepiň garşylygyny nula deň diýip alynsa, onda Kirhgofyň ikinji kanuny boýunça alarys.

$$U = iR + U_C = U_C \quad (5.29)$$

Wagtyň dürli pursatynda daşarky naprýaženiýa  $U$  we  $U_C$  kondensotordaky  $U_C$  naprýaženiýa biri-birine deňdiriler.

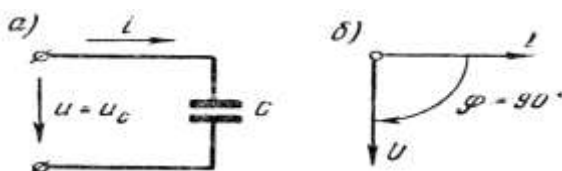
Belli  $g = C$   $U_C$  baglanyşygy hasaba alyp we (5.29) deňlemä üns bermek bilen, kondensatorly zynjyrdaky el. togy

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{dU_C}{dt} = C \frac{d}{dt} (U_m \sin \omega t) = \omega C U_m \sin \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right). \quad (5.30)$$

üçin aňlatmany alarys:

Ol el. togy kondensatoryň gysgyçlaryna goýlan  $U$  naprýaženiýa ýaly şol bir ýygylkda wagta görä sinus kanuny boýunça üýtgeýär. Zynjyrdaky I el. togy faza boýunça goýlan  $U$  naprýaženiýadan döwrüň dördten bir ülüşi öňe geçýär. (5.20, b çyz.)

Bu bolsa aşakdaky ýaly düşündirilýär. Naprýaženiýa ýokary bahasyna ýetende kondensatoryň zarýadlanmasy gutarýar, zarýad häzir başlanok we zynjyrdaky el. togy az wagtlaýyn (pursatlaýyn) nula deň bolýar. Sinusoýdal naprýaženiýanyň nul bahadan geçen pursatynda, naprýaženiýa ýokary tizlik bilen artýar (ulalýar), kondensator bolsa okgunly zarýadlanýar we şunuň hasabyna zynjyrdaky el. togy maksimal baha eýe bolýar.



5.20.Çyzgy

**Sygym garşylyk.** (5.30) aňlatmada  $wCU_m$  ululyk kondensatorly Sinusoýdal el. togynyň ampletuda bahasyny aňladýar, ýagny  $wCU_m = I_m$ . Bu ýerde el. togynyň bahasy

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = wc \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{U}{\frac{1}{wc}}. \quad (5.31).$$

Alnan aňlatmadan görnüşi ýaly,  $1/wc$  ululyk garşylygyň (Om) ululygyna eýedir. Bu ululyga sygym garşylygy diýilýär we  $X_c$  bilen belgilenýär:

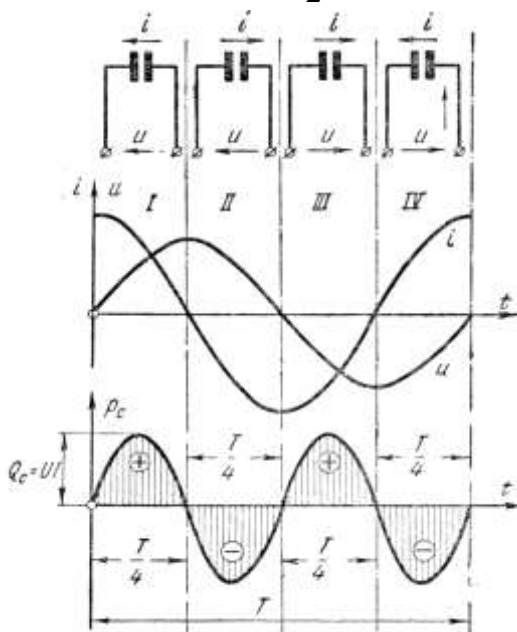
$$X_c = \frac{1}{wc} = \frac{1}{2\pi f C}. \quad (5.32).$$

Sygym garşylygy  $X_C$  sygymyň we ýygylgyň artmagy bilen peselýär. Bu tebigydyr, sebäbi şol bir  $U$  naprýaženiýadan  $I$  el.togynyň bahasy kondensatoryň  $C$  sygymy we onuň gaýtadan zaryatlanma  $f$  ýygylgy näçe köp (uly) bolsa şonça hem has duýarlydyr.

### § 5.9. Sygymly zynjyrdaky energetiki prosess.

$C$  sygymly zynjyrdaky we  $L$  induktiwlilikli zynjyrdaky pursat kuwwat ýaly ululygy we alamaty döwürleýin (ikeldilen) ýygylgyk boýunça üýtgeýär. 5.21. çyz.

$$P_C = u \cdot i = U_m \sin \omega t I_m \sin \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right) = UI \sin 2\omega t \quad (5.33).$$



5.21. Çyzgy

Pursat kuwwatyň maksimal bahasy  $UI = I^2 X_C$ . deň, döwürüň doly bir sanynda orta kuwwat (ýarymdöwürlerde) nula deň.

Döwürüň birinji çäryeginde (I), haçan-da naprýaženiýe artýar, kondensator zarýadlanýar we zynjyrdaky el. togynyň naprýaženiýa (U) bilen deň ugry bolýar – zynjyra energiýa çeşmeden gelýär we dielektrikde kondensatoryň sütünleriniň aralarynda elektrik meýdanyny döretmäge harç (sarp) edilýär. Haçan-da sinusoýdal naprýaženiýa amplituda  $U_m$  bahasyna ýeten pursatynda kondensatoryň energiýasy  $C U_m^2 / 2$  maksimal baha eýe bolar grafikde ol birinji çäryek döwürde ştrihlenen meýdan bilen kesgitlenýär.

Indiki çäryek döwürde (II) naprýaženiýanyň peselmegi (azalmagy) bilen kondensator zarýadsyzlanýar – el. zynjyry öz ugruny üýtgedýär. Kondensatorda toplanan el. meýdanynyň energiýasy çeşmä doly gaýdyp gelýär.

Üçünji we dördünji çäryek döwürde çeşme bilen kondensatoryň aralaryndan energiýa çalyşma prosessi gaýtalanýar. Umuman kondensatoryň zarýatlanmasy we zarýatsyzlanmagy energiýanyň harç edilmegini talap etmeýär (eger-de simiň R garşylygy hasaba alynmasa)

Seredilip geçilýän zynjyrdaky çeşme bilen kondensatoryň el. meýdany arasynda energiýanyň ... ara çalyşmasynyň obratimiý prosessi bolup geçýär. Elektrik ýüklenmäniň şeýle görnüşine sygymly ýa-da reaktiw diýilýär.

Şeýle-de induktiw tegekli zynjyrdaky hasap geçirlende sygym ýüklenme (kondensator) we çeşmäň arasynda energiýanyň çalt çalyşmasyna mukdar taýdan baha bermek üçin reaktiw kuwwat diýen düşünje ulanylýar:

$$Q_C = U \cdot I = I^2 X_C \quad (5.34).$$

Bu ululyk seredilip geçilýän zynjyrdaky pursat kuwwatyň maksimal bahasyna deň. (5.21 çyz.).

Ýokarda beýan edilenden görnüşi ýaly, reaktiw ýüklenme we reaktiw kuwwat induktiw şeýle hem sygym häsiýete eýe bolup bilerler.

### § 5.10. Üýtgeýän el. togynyň zynjyrynda garyşyk ýüklenme.

**R we L-li zynjyr.** Praktikada islendik tegek diňe bir **L** induktiwlige eýe bolman we ol aktiw **R** garşylyga hem eýedir. (5.22, a çyz.)\*

#### SAH-111

Şu ýagdaýda tegekden  $i = I_m \sin \omega t$  el. togy geçende (akanda) zynjyryň gysgyçlaryna goýlan  $U$  naprýaženiýa iki düzüjileriň jemidir: aktiw

$U_a = iR$  –  $R$  garşylykda we induktiw (reaktiw)

$$U_L = -L \frac{di}{dt} = L \frac{di}{dt} - L \text{ tegekde:}$$

$$U = U_a + U_L = iR + L \frac{di}{dt} = RI_m \sin \omega t + \omega LI_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}). \quad (5.35).$$

Aktiw düzüji  $U_a = iR$  fazasy boýunça **i** el. togy bilen gabat gelýär, induktiw düzüji  $U_L = -L \frac{di}{dt}$  fazasy boýunça çäryk döwür el. togyndan öňe geçýär. Wektor diagrammada (5.22, b çyz.). Şol ululyklaryň täsir ediji bahalary biri-birine iki perpendikulýar  $U_a = I \cdot R$  we  $U_L = I \cdot X_L$  wektorlar arkaly görkezilip biliner. Umumy  $U$  naprýaženiýanyň wektory zynjyrdä hökmany el. togyny goldamak üçin gerek bolan **I** el. togy,  $U_a$  we  $U_L$  wektorlaryň geometriki goşulmalaryndan alynan netijeleşji wektor arkaly kesgitlenýär:

$$U = U_a + U_L \quad (5.36).$$

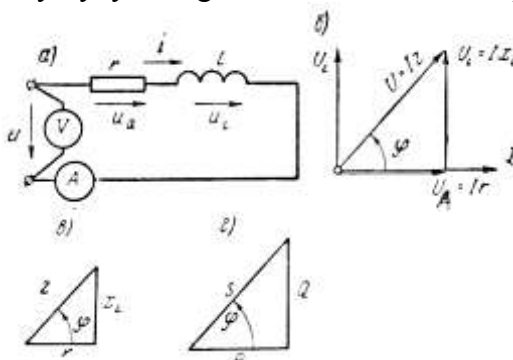
$$U = \sqrt{U_a^2 + U_L^2} = I \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} = I \sqrt{R^2 + X_L^2} \quad (5.37).$$

*Bu yerden*

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} = \frac{U}{Z} \quad (5.38).$$

Ululyk **Z** tegegiň **doly garşylygy** diýilýär.

Tegekde bu ululygy – ampermetr we woltmetr (5.22,a) abzallaryň görkezmeleri boýunça kesgitlep bolar. Üýtgeýän el. togy geçende tegegiň garşylygynyň hyýaly ulalmagy ( $z > R$ ) öz-özünüň induksiýasynyň e.h.g. reaktiw täsiri bilen düşündirilýär.



Çyzgy 5.22.

Tegekli zynjyrdaky **I** el. togynyň wektory fazasy boýunça **U** naprýaženiýadan ululygy naprýaženiýanyň üçburçlugyndan (5.22, b çyz) ýa-da şoňa meňzeş bolan garşylygyň üçburçlugyndan (5.22, b)\*\* kesgitleňýän  $\varphi$  burç yza galýar.

Naprýaženiýanyň üçburçlugyndan we garşylygyň üçburçlugyndan ulanarys:

$$\cos \varphi = \frac{U_a}{U} = \frac{R}{Z}. \quad (5.39).$$

### **R we L–li energetiki proses.**

Üýtgeýän el. togynyň **P** pursat kuwwatyny gysgyçlardaky  $U = U_m \sin(\omega t + \varphi)$  naprýaženiýanyň pursat bahalarynyň we el. togynyň  $i = I_m \sin \omega t$  (5.23 çyz.) köpeltmek hasyly hökmünde alyp bolar.

Haçan-da naprýaženiýe **u** we el. togy **i** bir ugra eýe bolanlaryndaky (grafikde şol bir belgi) wagty aralygy we

şeylelikde kuwwat položiteldir (energiýa çeşmeden gelýär), haçan-da naprýaženiýe **u** we el. togy **i** dürli ugurlara eýe bolsalar aralyklar bilen çalyşýarlar we **p** kuwwat otrisateldir (energiýanyň bir bölegi çeşmä gaýtarp gelýär). Çünki tegek ýylylyk görnüşde energiýany ýuwudýan we ýaýradýan **R** aktiw garşylyga eýedir, onda tegek tarapyndan çeşmeden alynýan energiýanyň mukdary onuň oňa gaýtaryp berýän mukdaryndan köpdür.

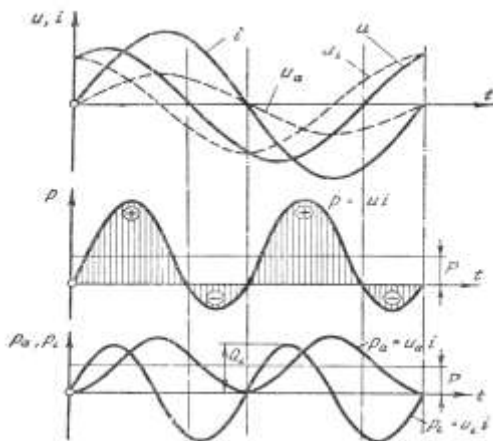
Döwür içinde tegek tarapyndan ulanylýan aktiw kuwwat, ýagny kuwwatyň orta bahasy

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{1}{T} \int_0^T U_m I_m \sin \omega t \sin(\omega t + \varphi) dt \quad (5.40)$$

Integrirlemek netijesinde, alarys:

$$P = U I \cos \varphi \quad (5.41)$$

Aşakdakylary göz öňünde turup; ýagny  $\mathbf{p} = \mathbf{u} \cdot \mathbf{i} = (\mathbf{u}_a + \mathbf{u}_L) \mathbf{i} = \mathbf{P}_a + \mathbf{P}_L$ ,  $\mathbf{p}(t)$  grafigi (hil egrini) iki grafige dargadyp bolar:  $\mathbf{P}_a(t) = \mathbf{u}_a \mathbf{i}$  we  $\mathbf{P}_L(t) = \mathbf{u}_L \mathbf{i}$  (5.23 çyz.)



5.23Çyzgy .



Olaryň birinjisi aktiw kuwwatyň üznüksiz ulanylýandygyny görkezýär, ýagny elektrik energiýanyň ýylylyk energiýasyna yzyna gaýrtarmasyz prosesde özgermesi. Ikinji grafik çeşme bilen tegegiň magnit meýdanynyň arasyndaky energiýanyň döwürleýin (periodiki yrgyldy) çalyşma prosesini görkezýär.

Sebäbi energiýa diňe tegegiň **R** aktiw garşylykda ýuwdylýar, aktiw **P** kuwwat wagt birliginde yzyna gaýtmasyz (öwrülmesiz) özgerýän energiýanyň mukdaryna deňleşmelidir. Hakykatdan-da (5.38), (5.39), we (5.41) deňlemiden  **$P=I^2 \cdot R$**  tapýarys.

Ululyk  **$Q = U_a I = U I \sin \varphi P_L(t)$**  kuwwatyň maksimal bahasyny görkezýär. Reaktiw kuwwat diýilýän bu ululyk çeşme bilen tegegiň magnit meýdanynyň arasyndaky energiýanyň çalyşma (alys-beriş) intensiwligini (çaltlygyny) häsiýetlendirýär (doly bir döwür içinde )  **$P_L$**  kuwwatyň orta bahasy nula deň).

Aýdylanlardan görnüşi ýaly, üýtgeýän el. togynyň zynjyrynda hakykatdan hem sarp edilýän **P** orta kuwwat, ýeke-bir goýlan **U** naprýaženiýanyň we el. togynyň täsir ediji bahalaryna bagly bolman olaryň aralaryndaky  **$\varphi$**  faza süýşmä hem, ýagny  **$\cos \varphi$**  ululyga baglydyr.

**Doly kuwwat we  $\sin \varphi P_L(t)$ .** Üýtgeýän el. togynyň nazarýetinde (teoriýasynda) köpülenç doly kuwwat diýip atlandyrylan hasaplama ululygy  **$S=U \cdot I$**  ulanylýar. Ol üýtgeýän el. togynyň maşynlarynyň döwürleme howpyna uçramazdan berip biljek elektrik kuwwatynyň has ýokary bahasy bilen düşündirilýär we ol maşynlaryň niýetlenen  **$U_{ylay}$**  laýyk naprýaženiýanyň we  **$I_{yl}$**  laýyk el. togynyň täsir ediji bahalary bilen kesgitlenýär. Mysal üçin, generatoryň sargytlarynyň simlarynyň kese-kesigi kesgitli el. togyna saýlanyp alynan, onuň goragy kesgitli güýjenmä niýetlenendir.

Ugradyş liniýanyň we beýleki elektrotehniki gurluşyň geçiriş ukyby hem dürli  $\cos\varphi$ -de  $U \cdot I$  köpeltme bilen kesgitlenýär.

Aktiv kuwwatyň aňlatmasyna degişli bolan  $\cos\varphi$ -köpeldijä **kuwwatyň koeffisiýenti** diýilýär.

El. togy bilen naprýaženiýanyň arasyndaky faza süýşmesi –  $\varphi$  burç näçe kiçi bolsa, kuwwat koeffisiýenti bire ýakyndyr, we beýleki deň şertlerde ondan ýokarydyr, generator tarapyndan berilen (transformator tarapyndan) ýa-da ugradyş liniýanyň geçirýän aktiv kuwwatyň ululygy ondanam ýokarydyr.

Ony mysalyň üsti bilen düşündireris. Haçan-da laýyk  $U_{yl}=0,5 \text{ kW}$  naprýaženiýede işleýän we  $I_{yl}=200 \text{ A}$  el. togyna niýetlenen elektrik energiýasynyň çeşmesi kuwwat koeffisiýenti  $\cos\varphi=1$  bolan ýüklenmäni iýmitlendirýär (mysal üçin gyzma çyrasy) ol

$P^1=U_{yl} \cdot I_{yl} \cos\varphi=100 \text{ kWt}$  aktiv kuwwaty bermäge ukyplydyr. Eger-de birikdirilen ýüklenme  $\cos\varphi^1=0,5^{***}$  kuwwat koeffisiýente eýe bolsa, onda ol çeşmeden alyp boljak aktiv kuwwat diňe  $P^1=U_{yl} \cdot I_{yl} \cos\varphi^1=50 \text{ kWt}$  düzer. Şeýlelik bilen birikdirilen ýüklenmäniň häsiýeti bilen kesgitlenýän ululyk  $\cos\varphi$  – den näçe ýokary bolsa el. anergiýasynyň çeşmesi we elektrik üpjünçiligiň toplumynyň beýleki elementleri tarapyndan şomça-da doly ulanylýar. Senagat kärhanalarynda elektrik gurnamalaryň  $\cos\varphi$  ýokarlandyrmaga ýörite ugrukdyrylan çäre görülýär.

Aktiv, reaktiv we doly kuwwatlaryň aralaryndaky baglanyşyk aşakdaky deňleme bilen kesgitlenýär

$$S = U \cdot I = I \sqrt{U_a^2 + U_L^2} = \sqrt{P^2 + Q_L^2} \quad (5.43).$$

we hil egrisi kuwwatyň üçburçlygy bilen şekillendirilýär. (5.22, g). aktiv kuwwatyň ölçeg birligi Watt (Wt) hasap edilýär ýa-da

kiloWatt (kWt), reaktiw kuwwat – reaktiw Woltamper, doly kuwwat – Wolamper (WA) ýa-da kiloWolt Amper (kWA).

**Mysal 5.3.** Naprýaženiýesi  $U=220\text{W}$  bolan üýtgeýän el. togynyň çeşmesine induktiw tegek birikdirilen. Tegekdäki el. togy  $I=5\text{ A}$ , tegegiň ulanýan kuwwaty  $P=660\text{Wt}$ : 1) Eger-de tegege goýlan naprýaženiýanyň ýygylgy  $f=50\text{ Gs}$ . bolsa onda onuň induktiwligini ; 2) öz-özünüň induksiýasynyň e.h.g.  $E_L$ ; 3) tegegiň magnit meýdanynyň maks... ätiýaç energiýasyny kesgitläň.

**Çözülişi:** Tegegiň kuwwat koeffisiýenti

$$\cos\varphi = \frac{P}{U \cdot I} = \frac{660}{220 \cdot 5} = 0,6.$$

Tegegiň doly garşylygy

$$Z = \frac{U}{I} = \frac{220}{5} = 44\text{Om}$$

Tegegiň aktiw garşylygy

$$R = Z \cos\varphi = 44 \cdot 0,6 = 26,4\text{ Om}.$$

$$(\text{ya-da } R = \frac{P}{I^2} = \frac{660}{25} = 26,4\text{ Om}).$$

Induktiv garşylyk

$$X_L = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{44^2 - 26,4^2} = 35,2\text{ Om}.$$

Tegegiň induktiwligi

$$L = \frac{X_L}{\omega} = \frac{35,2}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,112\text{ Gn} = 112\text{ M Gn}.$$

Öz – özünüň induksiýasynyň e.h.g.  
(elektrikhereketlendiriji güýç).

$$E_L = U_L = I \cdot X_L = 5 \cdot 35,2 = 176\text{ W}.$$

Tegegiň magnit meýdanynda maksimal energiýa.

$$W_{m.max.} = \frac{L I_m^2}{2} = \frac{0,112 (5\sqrt{2})^2}{2} = 2,8 \text{ J}.$$

**Zynjyrdan R we C.** (**R** we **C** – elementli zynjyr). Egerde üýtgeýän el. togynyň zynjyry **C** sygym we **R** aktiw garşylygyň (mysal üçin, kondensator we ony iýmitlendiriş çeşme bilen birikdirýän simlar) we zynjyrdan **i=I<sub>m</sub> Sin wt** el. togy akýan bolsa, onda zynjyrdan **u** naprýaženiýe jeme deň!

- 1) Zynjyrdan akýan **i=I<sub>m</sub> Sin wt** el. togy bilen fazasy boýunça gabat gelýän, **U<sub>a</sub>=iR= I<sub>m</sub> R Sin wt** aktiw düzüji, we
- 2) El. togdan çäryek döwür (period) (5.24, b çyz.) yza galýan,

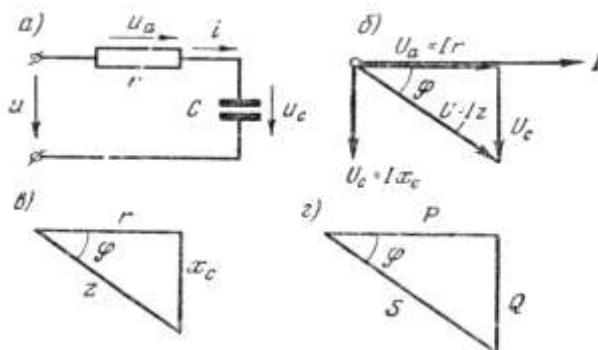
$$U_C = I_m X_C \sin\left(wt - \frac{\pi}{2}\right)$$

kondensatoryň naprýaženiýesi .

Umumy naprýaženiýanyň täsir ediji bahasy

$$U = \sqrt{U_a^2 + U_C^2} = \sqrt{(IR)^2 + (IX_C)^2} = I \sqrt{R^2 + X_C^2} = I \cdot Z.$$

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}.$$



Çyzgy 5.24.

aňlatmadan kesgitlenýän **I** el. togynyň wektory **U** naprýaženiýanyň wektoryndan fazasy boýunça  $\varphi$  burç öňe geçýär. Zynjyra goýlan  $P=U \cdot I \cos \varphi$  aktiw kuwwat **R** garşylykda ( $P=I^2 R$ ) ulylyga öwrülýär (öžgerýär). Reaktiw  $Q=U \cdot I \sin \varphi = I^2 X_c$  kuwwat çeşme we kondensatoryň elektrik

$$S = U \cdot I = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

meýdanynyň aralaryndaky energiýanyň çalyşma intensiwligini häsiýetlendirýär. Doly kuwwatyň üçburçlygyndan kesgitlenýär (5.24, g çyz.).

Naprýaženiýanyň, garşylygyň we kuwwatyň üçburçlyklary biri-birine meňzeşdir.

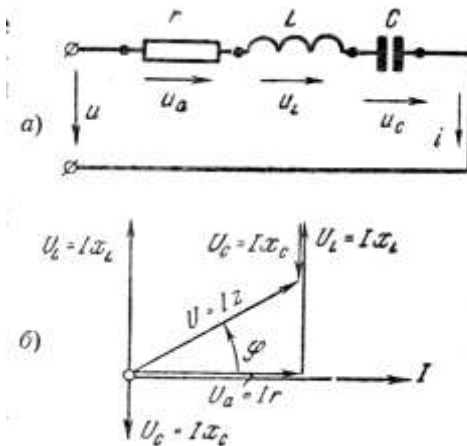
### § 5.11. Üýtgeýän el. togynyň şahalanmaýan zynjyry.

Üýtgeýän el. togynyň zynjyryndaky takykklama (analiz) we hasap geçirme usuly hasaplama shemasynyň görnüşine (şekiline) bagly bolýar, ýagny nähili birleşmeleriň yzygider, parallel ýa-da garyşyk (şylyşyrymly) – bilelikde shemanyň dürli elementlerini (bölümlerini) döredýär. Yzygider birikdirilen aktiw we reaktiw garşylykly sinusoýdal el. togynyň zynjyry has ýönekeý hasaplanýar.

**R, L we C elementli zynjyr.** Yzygider birikdirilen: aktiw garşylyk, **L** induktiw we **C** sygym elementleri saklaýan (5.25, a) zynjyr boýunça sinusoýdal el. togy geçende – zynjyryň gysgyçlaryndaky umumy **u** güýjenmä üç goşulyjydan durýan hökmünde seretmek bolar.

- 1) aktiw garşylykda düşme naprýaženiýe  $U_a = iR$ ,
- 2) öz-özünüň induksiýasynyň e.h.g. deňelýän naprýaženiýe  $U_L = -U_L$ ,
- 3) kondensatoryň gysgyçlaryna goýlan  $U_c$  naprýaženiýe:

$$U = U_a + U_L + U_c \quad (5.44).$$



Çyzgy 5.25.

Wektor diagrammada (5.25, b) görkezilen goşulyjylar, şol naprýaženiýeleriň täsir ediji bahalaryny şekillendirýän wektorlar görkezilen. Aktiw  $U_a = I \cdot R$  naprýaženiýanyň wektory **I** el. togynyň wektory bilen gabat gelyär, induktiw  $U_L = I X_L$  naprýaženiýesi **I** el. togynyň wektoryndan çäryek döwür öňe geçýär, ýöne sygym  $U_c = I X_c$  naprýaženiýanyň wektory ondan fazasy boýunça çäryek döwür yza galýar. Iki reaktiw  $U_L$  we  $U_c$

naprýaženiýeler wagtyň dürli pursatynda biri-birine garşylyklaýyn ugradylandyr.

Wektor diagrammadan kesgitlenýän umumy naprýaženiýanyň ululygy,

$$U = \sqrt{U_a^2 + (U_L + U_C)^2} = I \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (5.45).$$

Bu ýerden

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X^2}} = \frac{U}{Z} \quad (5.46).$$

Zynjyryň doly garşylygy

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + X^2}. \quad (5.47).$$

Hasaplanan ululyga  $X = X_L - X_C$  zynjyryň reaktiw garşylygy diýilýär.

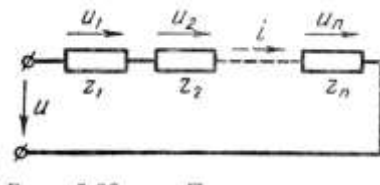
Seredilýän zynjyryň kuwwatynyň koeffisiýenti

$$\cos \varphi = \frac{U_0}{U} = \frac{R}{Z} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}. \quad (5.48).$$

Energetiki tarapdan üýtgeýän el. togynyň elementleriniň  $R$ ,  $L$ - we  $C$  her biri şol elementde mahsus bolan özboluşly hadysa eýedir. Aktiw  $R$  garşylykda energiýasynyň ýylylyk energiýasyna gaýtalanmaýan özgerme prosessi bolup geçýär: reaktiw  $L$ - we  $C$  elementler zynjyrdaky magnit we elektrik meýdanlarynda energiýanyň ätiýaçlandyrylma häsiýetini häsiýetlendirýär.

Seredilip geçilýän zynjyrdaky  $U_L$  we  $U_C$  reaktiw naprýaženiýeleriniň wektorlary (5.26,b çyz.) fazalary boýunça gapma-garşydyrlar. Şuňa baglylykda pursat kuwwatlaryň  $P_L = U_L \cdot i$  we  $P_C = U_C \cdot i$  fazalary boýunça ýarym döwür süşürilendir. Elektrik magnit meýdanlarynda energiýanyň

toplanmagy (ýygnaýmagy) döwüriniň dürli bölüminde bolup geçýär, şonuň üçin tegek we kondensator ätiýaçlanan energiýanyň döwürleýin çalyşmaga ukyplydyr. Eger-de magnit meýdanynda ätiýaçlanan maksimal anergiýa elektrik meýdanyndaky ätiýaçlanan maksimal energiýa deň bolmasa ( $W_{m \max} \neq W_{e. \max}$ ), onda artýk energiýa  $W_{m \max} - W_{e. \max}$  ýa-da, tersine  $W_{e. \max} - W_{m \max}$  döwürleýin çeşmä gaýdyp gelýär we ondan gaýtadan zynjyra berilýär.



Çyzgy 5.26.

## § 5.12. Aktiv we reaktiv garşylyklaryň izygider birikdirilmeginiň umumy ýagdaýy.

Birnäçe izygider birikdirilen bölümlü zynjyra serederis. (5.26. çyz).

Şol bölümleriň aktiv, reaktiv we doly **garşylyklaryny deňişlilikde  $R_1, R_2 \dots R_n$ ;  $X_1, X_2 \dots X_n$  we  $Z_1, Z_2 \dots Z_n$**  şol bölümlerdäki naprýaženiýeleri  $U_1, U_2 \dots U_n$  üsti bilen belgiläris.

Izygider birikdirilmede zynjyryň ähli elementleriniň üstünden olaryň häsiýetlerine we energetiki aýratynlyklaryna baglaşyksyz şol bir el. togy geçer. Şonuň üçin wektor diagramma gurulanda (5.27, b) başdaky berilen wektoryň ýerine el. togynyň  $I^*$  wektoryny kabul edýärler.

Dürli pursatda zynjyryň gysgyçlaryndaky umumy u naprýaženiýe zynjyryň aýry bölümlerindäki naprýaženiýanyň pursat bahalarynyň algebraiki jemine deň:

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n \quad (5.49).$$



Şol naprýaženiýeleriň täsir ediji bahalarynyň şekillendirýän wektorlar üçin, alarys

$$\begin{aligned} U &= U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n = IZ_1 + IZ_2 + IZ_3 + \dots + IZ_n = \\ &= IR_1 + IX_1 + IR_2 + IX_2 + \dots + IR_n + IX_n = IR + IX \end{aligned} \quad (5.50).$$

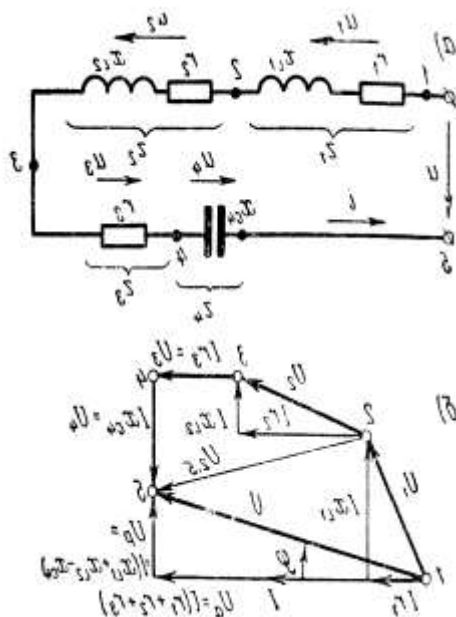
Wektor diagrammada umumy naprýaženiýanyň aktiw düzüjisi zynjyryň aýry-aýry bölümlerindäki naprýaženiýeleriň aktiw düzüjileriniň arifmetiki jemine deň:

$$U_a = IR_1 + IR_2 + \dots + IR_n = I(R_1 + R_2 + R_n) \quad (5.51)$$

Bu ýerden

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad (5.52).$$

gelip çykýar.



Çyzgy 5.27

Umumy naprýaženiýanyň reaktiw düzüjisi zynjyryň aýry-aýry bölümlerindäki induktiw we sygym naprýaženiýeleriniň tapawudyna deň:

$$U_P = \sum(IX_L) - \sum(IX_C) = I (\sum X_L - \sum X_C) = IX \quad (5.53).$$

Şoňa görä, (Şonuň üçin)

$$X = \sum X_L - \sum X_C \quad (5.54).$$

Eger-de  $\sum X_L > \sum X_C$ , onda umuman zynjyr induktiw häsiýete eýedir (el. togynyň  $I$  wektory fazasy boýunça  $U$  umumy naprýaženiýeden iza galýar). Eger-de  $\sum X_C > \sum X_L$ , onda zynjyr sygym häsiýete eýe bolýar ( $I$  wektor fazasy boýunça naprýaženiýanyň  $U$  wektoryndan öňe geçýär).

### Çünki

Ähli zynjyryň kuwwatynyň koeffisiýentini, wektor diagrammadan gelip çykyşy ýaly (5.27, b).

$$\cos \varphi = \frac{U_a}{U} = \frac{R}{Z} \quad (5.56).$$

Eger-de (5.52) we (5.54) aňlatmalary  $I^2$  köpeltsek, onda aktiw we reaktiw kuwwatlarynyň deňlemeleriniň deňligini (balansyny) alarys:

$$P = I^2 R = I^2 R_1 + I^2 R_2 + \dots + I^2 R_n = P_1 + P_2 + \dots + P_n \quad (5.57).$$

$$Q = I^2 X = I^2 (\sum X_L - \sum X_C) = \sum Q_L - \sum Q_C \quad (5.58).$$

**Mysal 5.4.** Naprýaženiýesi  $U=67$  W bolan elektrik zynjyryna (5.27 Çyz.) iki sany tegek, reostat we kondensator izygider birikdirilen.

Tegegiň garşylygy:  $R_1 = 1,5 \text{ Om}$ ,  $X_{L1} = 2,5 \text{ Om}$ ,  $R_2 = 3 \text{ Om}$ ,  $X_{L2} = 1 \text{ Om}$ ; reostatyň garşylygy  $R_3 = 2,03 \text{ Om}$ ; kondensatoryň garşylygy  $X_{C4} = 2 \text{ Om}$ .

**Kesgitlemeli:** 1) Zynjyrdaky el. togy; 2) Tegeklerdäki; reostatdaky we kondensatordaky güýjenmäni; 3) Ähli zynjyrdaky we onuň bölümlerindäki ulanylýan kuwwatlar; 4) Zynjyryň umumy  $\cos \varphi$ .

Çözülişi: Zynjyryň umumy garşylygy

$$Z = \sqrt{(R_1 + R_2 + R_3)^2 + (X_{L1} + X_{L2} - X_{C4})^2} =$$

$$= \sqrt{(1,5 + 3 + 2,03)^2 + (2,5 + 1 - 2)^2} = 6,7 \text{ Om}.$$

Zynjyrdaky el. togy

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{67}{6,7} = 10 \text{ A}.$$

Zynjyryň aýry-aýry bölümlerindäki naprýaženiýe:

$$U_1 = IZ_1 = I\sqrt{R_1^2 + X_{L1}^2} = 10\sqrt{1,5^2 + 2,5^2} = 10 \cdot 2,92 = 29,2 \text{ W}.$$

$$U_2 = IZ_2 = I\sqrt{R_2^2 + X_{L2}^2} = 10\sqrt{3^2 + 1^2} = 10 \cdot 3,16 = 31,6 \text{ W}.$$

$$U_3 = IZ_3 = IR_3 = 10 \cdot 2,03 = 20,3 \text{ W}.$$

$$U_4 = IZ_4 = IX_{C4} = 10 \cdot 2 = 20 \text{ W}.$$

Aktiw we reaktiw kuwwatlar:

$$P_1 = I^2 R_1 = 10^2 \cdot 1,5 = 150 \text{ Wt}.$$

$$P_2 = I^2 R_2 = 10^2 \cdot 3 = 300 \text{ Wt}.$$

$$P_3 = I^2 R_3 = 10^2 \cdot 2,03 = 203 \text{ Wt}.$$

$$\begin{aligned}
P &= P_1 + P_2 + P_3 = 653 \text{ Wt.} \\
Q_1 &= I^2 X_{L1} = 10^2 \cdot 2,5 = 250 \text{ War.} \\
Q_2 &= I^2 X_{L2} = 10^2 \cdot 1 = 100 \text{ War.} \\
Q_4 &= I^2 X_{C4} = 10^2 \cdot 2 = 200 \text{ War.} \\
Q &= I^2 X = Q_1 + Q_2 - Q_4 = 150 \text{ War.}
\end{aligned}$$

Zynjyryň umumy  $\cos \varphi$ .

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{6,53}{6,7} = 0,974.$$

$$\sin \varphi = \frac{X}{Z} = \frac{1,5}{6,7} = 0,244.$$

Barlag:

$$\begin{aligned}
P &= U \cdot I \cos \varphi = 67 \cdot 10 \cdot 0,974 = 653 \text{ Wt.} \\
Q &= U \cdot I \sin \varphi = 67 \cdot 10 \cdot 0,244 = 150 \text{ War.}
\end{aligned}$$

Ol zynjyryň wektor diagrammasy 5.27. b Çyz. görkezilen.

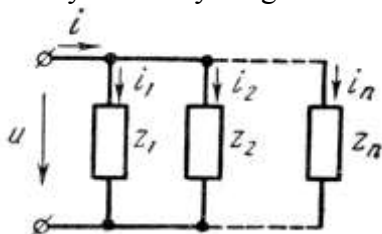
**Topografik we potensial diagrammalar barada düşünje.** Wektor diagrammada  $U_1$ ,  $U_2$  we  $U_3$  naprýaženiýeleriň wektorlaryň ýerleşiş tertibi (5.27, b çyz.) (5.27, a çyz.) shemadaky elementleriň izygiderligi gabat gelýär. Bu ýerde naprýaženiýanyň wektorlarynyň başlangyjy we ahyry we şeýle hem shemadaky degişli nokatlary şol bir san belgisi bilen bellenendir. Şeýle ýagdaýda gurulan diagramma boýunça shemanyň dürli iki nokadyň aralaryndaky güýjenmäni grafiki kesgitlemek mümkindir, mysal üçin 2 we 5 nokatlaryň aralaryndaky  $U_{2,5}$  naprýaženiýe. Şeýlelik bilen (şeýlelikde) gurnalan naprýaženiýanyň wektor diagrammasynyň görkezilen aýratynlygyna topografiki diýip atlandyrmak kabul edilen. Haçan diagramma gurnalanda shemanyň aýlaw ugruny el. togynyň kabul edilen položitel ugrynyň garşysyna alnyp barylýar, ýagny 5 nokatdan (potensialy şertli nul diýip kabul

edilen) 1 nokada (5.27, a), şeýle hem alynan topografiki wektor diagramma potensial diýilýär.

### § 5.13. Üýtgeýän el. togynyň şahalanýan zynjyry.

$$\cos \varphi_1 = \frac{R_1}{Z_1}, \cos \varphi_2 = \frac{R_2}{Z_2}, \dots \cos \varphi_n = \frac{R_n}{Z_n}.$$

Elektrik kabul edijileriňparallel birikdirilmesi. Düzgün boýunça elektrik kabul edijiler setiň umumy  $U$  naprýaženiýe parallel çatylýar. Praktikada (tejribede) köpülenç aýty-aýry elektrik kabul edijileriň ulanýan el. toglaryny we kuwwatlary şeýle hem elektrik kabul edijiler toparynyň umumy el. togyny we jemlenen kuwwaty hökmany kesgitlemeli bolýar (5.28 çyzg).



Çyzgy 5.28.

Zynjyryň şahalanmaýan böleginden wagtyň dürli pursatynda akýan umumy el. togy aýry şahalatdaky el. togynyň pursat bahalarynyň algebraiki jemine deň. (Kirhgofyň birinji kanuny).

$$i = i_1 + i_2 + \dots + i_n \quad (5.59).$$

Şol el.toglarynyň täsir ediji bahalary üçin ýazyp bileris.

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n \quad (5.60).$$

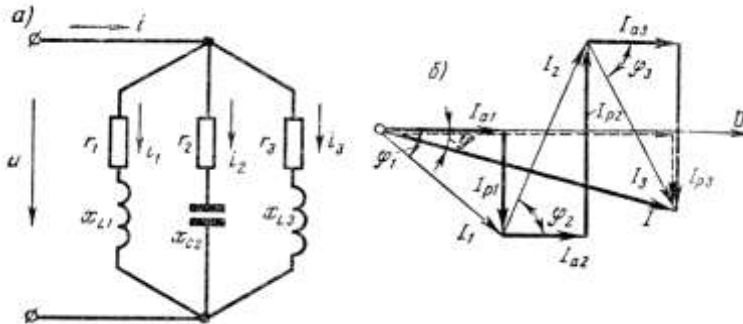
Aýry şahalardaky el. toglary aşakdaky deňlemeleriň

$$I_1 = \frac{U_1}{Z_1}, \quad I_2 = \frac{U}{Z_2}, \quad \dots \quad I_n = \frac{U}{Z_n}.$$

üsti bilen kesgitlenýär.

Aýry şahalaryň kuwwatlarynyň koeffisienti aşakdakylara deňdirler

Umumy el. togyň bahasyny (5.60) deňleme boýunça wektor diagrammalaryň kömegi bilen grafiki tapyp bolar (5.29, b)\*. Şu diagrammadan **Cosφ** bahasyny hem kesgitläp bolar.



Çyzgy 5.29

Umumy el. togyny analitiki kesgitlemek üçin her bir elektrik kabul edijiniň el. togyny iki düzüjiden durýan hökmünde goramaly:

- 1) **U** naprýaženiýe bilen fazasy boýunça gabat gelýän aktiw el. togy  **$I_a = I \cos \varphi$**  we
- 2) **U** güýjenmä görä  **$90^\circ$**  süýşirilen reaktiw el. togy  **$I_z = I \sin \varphi$** . Aktiw  **$I_a$**  düzüji berlen elektrik kabul edijiniň ulanýan aktiw kuwwatyny ( **$P = U \cdot I \cos \varphi = U \cdot I_a$** ), reaktiw düzüji  **$I_z$**  – reaktiw kuwwatyň ululygyny ( **$Q = U \cdot I \sin \varphi = U \cdot I_z$** ). Elbetde, elektrokabuledijiler (mysal, ýagtylandyryş çyralar) diňe aktiw el. togyny, beýleki elektrokabuledijiler (kondensatorlar) – diňe reaktiw el. togyny ulanýarlar.

Umumy el. togynyň aýry şahalaryndaky el. toglarynyň aktiw düzüjileriniň jemine deňligi wektor diagrammadan (5.29, b çyz.) görünýär.

$$\mathbf{I_a} = \mathbf{I_{a1}} + \mathbf{I_{a2}} + \dots + \mathbf{I_{an}} = \Sigma \mathbf{I_a}, \quad (5.61).$$

Umumy el. togynyň reaktiw düzüjileri aýry şahalaryň el. toglarynyň reaktiw düzüjileriniň algebraiki jemine deň (iza galýan – induktiw el. toglaryny – položitel, öňe geçýän – sygym el. toglaryny – otrisatel – hasap etmek kabul edilen)\*;

$$\mathbf{I_r} = \Sigma \mathbf{I_L} - \Sigma \mathbf{I_C} \quad (5.62).$$

Umumy el. togy aşakdaky aňlatmadan kesgitlenýär

$$I = \sqrt{I_a^2 + I_r^2} \quad (5.63).$$

Ähli zynjyryň kuwwatynyň koeffisiýenti

$$\cos \varphi = \frac{I_a}{I} \quad (5.64).$$

Eger-de  $\Sigma \mathbf{I_L} > \Sigma \mathbf{I_C}$ , onda umumy el. togy fazasy boýunça napryženiýeden iza galýar we zynjyr doly induktiw häsiýete eýe bolýar; eger-de  $\Sigma \mathbf{I_C} > \Sigma \mathbf{I_L}$ , onda umumy el. togy fazasy boýunça öňe geçýär we zynjyr umuman sygym häsiýeti alýar. (eýe bolýar).

(5.61) we (5.62) aňlatmalary  $\mathbf{U}$  köpeldip seredilýän zynjyrda kuwwatyň deňliginiň (balansynyň) deňlemesini alýarys:

$$\mathbf{I} = \mathbf{I_1} + \mathbf{I_2} + \dots + \mathbf{I_n} \quad (5.65).$$

$$\mathbf{Q} = \Sigma \mathbf{Q_L} - \Sigma \mathbf{Q_C} \quad (5.66).$$

Zynjyryň umumy aktiw kuwwaty aýry elektrokabuledijileriň ulanýan (peýdalanýan) aktiw kuwwatlaryň arifmetiki jemine deň, zynjyryň umumy reaktiw kuwwaty şol elektrokabuledijileriň reaktiw kuwwatlarynyň algebraiki jemine deňdir. Induktiv häsiýetli reaktiw kuwwaty  $\mathbf{Q_L}$  – položitel, sygymyň häsiýetli reaktiw kuwwatyny – otrisatel hasaplamaly.

**Mysal 5.5.**  $U=220\text{ W}$  naprýaženiýeli umumy sete iki elektrokabulediji birikdirilen (5.30 çyz.). Olaryň birinjisi iza galan el. togyny, beýlekisi - öňe gidýän (geçýän) el. togyny peýdalanýar (ulanýar).

1) Her bir kabuledijidäki el. toglary we umumy el. togy;

2) eger-de kabul edijiniň garşylyklary  $R_1 = 8\text{ Om}$ ,  $X_{L1} = 6\text{ Om}$ ,

$R_2 = 3\text{ Om}$ ,  $X_{C2} = 4\text{ Om}$ . bolsa aktiw we reaktiw kuwwaty kesgitlemeli.

**CÖZÜLIŞI.** Birinji elektrokabulediji aşakdaky ululyklara eýedir:

$$Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_{L1}^2} = \sqrt{8^2 + 6^2} = 10\text{Om}, \quad I_1 = \frac{U}{Z_1} = \frac{200}{10} = 20\text{A}.$$

$$\cos\varphi_1 = \frac{R_1}{Z_1} = \frac{8}{10} = 0,8(\text{ind.}), \quad \sin\varphi_1 = \frac{X_{L1}}{Z_1} = \frac{6}{10} = 0,6,$$

$$I_{a1} = I_1 \cos\varphi_1 = 20 \cdot 0,8 = 16\text{A}, \quad I_{r1} = I_1 \sin\varphi_1 = 20 \cdot 0,6 = 12\text{A},$$

Ikinji elektrokabul ediji aşakdaky ululyklara eýedir.

$$P_1 = UI_1 \cos\varphi_1 = 200 \cdot 20 \cdot 0,8 = 3200\text{Wt}.$$

$$Q = UI_1 \sin\varphi_1 = 200 \cdot 20 \cdot 0,6 = 2400\text{WAr}.$$

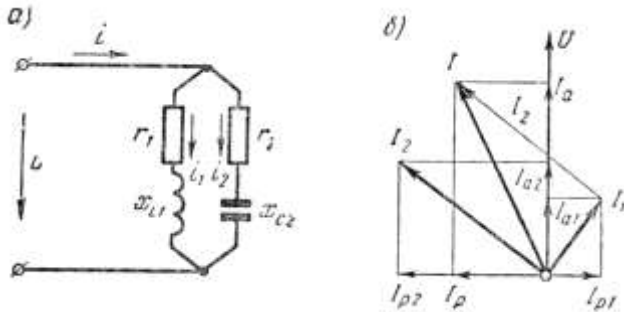
$$S_1 = UI_1 = 200 \cdot 20 = 400\text{WA}.$$



$$Z_2 = \sqrt{R_2^2 + X_{C2}^2} = \sqrt{3^2 + 4^2} = \sqrt{25} = 5 \text{ Om.}$$

$$I_2 = \frac{U}{Z_2} = \frac{200}{5} = 40 \text{ A}, \cos \varphi_2 = \frac{R_2}{Z_2} = \frac{3}{5} = 0,6 (\text{syg.}).$$

$$\sin \varphi_2 = \frac{X_{C2}}{Z_2} = \frac{4}{5} = 0,8.$$



Çyzgy 5.30 çyz. (a) shema we (b) wektor diagramma (5.5. mysala)

$$I_{a2} = I_2 \cos \varphi_2 = 40 \cdot 0,6 = 24 \text{ A},$$

$$I_{r2} = I_2 \sin \varphi_2 = 40 \cdot 0,8 = 32 \text{ A},$$

$$P_2 = UI_2 \cos \varphi_2 = 200 \cdot 40 \cdot 0,6 = 4800 \text{ Wt},$$

$$Q_2 = UI_2 \sin \varphi_2 = 200 \cdot 40 \cdot 0,8 = 6400 \text{ War},$$

$$S_2 = UI_2 = 200 \cdot 40 = 8000 \text{ WA}.$$

Zynjyryň şahalanmaýan bölegi (bölümi) üçin umumy el. togy,

$\cos \varphi$ , aktiw we reaktiw kuwwat:

$$I_a = I_{a1} + I_{a2} = 16 + 24 = 40 \text{ A},$$

$$I_r = I_{r2} - I_{a1} = 32 - 12 = 20 \text{ A (syg.)},$$

$$I = \sqrt{I_a^2 + I_r^2} = \sqrt{40^2 + 20^2} = 44,7 \text{ A},$$

$$\cos \varphi = \frac{I_2}{I} = \frac{40}{44,7} = 0,895, \quad \sin \varphi = \frac{I_r}{I} = \frac{20}{44,7} = 0,447.$$

$$\begin{aligned} P &= U \cdot I \cos \varphi = 200 \cdot 44,7 \cdot 0,895 = 8000 \text{ Wt}, \\ Q &= U \cdot I \sin \varphi = 200 \cdot 44,7 \cdot 0,447 = 4000 \text{ War}, \\ S &= U \cdot I = 200 \cdot 44,7 = 8940 \text{ WA}. \end{aligned}$$

Şeýledigine ynanmak kyn däl,  
 $Q = Q_2 - Q_1 = 6400 - 2400 = 4000 \text{ War}, \quad S \neq S_1 + S_2.$

Seredilýän zynjyr üçin wektor diagramma 5.30, b çyz. getirilen

### **Kwapdaş ekwiwalent elektrokabuledijiler barada düşünje.**

Öň alynan gatnaşyklar, parallel çatylan elektrik kabul edijileri berlen şertlerde ähli elektrik kabul edijiler toplumy ýaly şol bir aktiw **P** we şol bir reaktiw **Q** kuwwaty ....alynýan bir kwapdaş (ekwiwalent) elektrik kabul ediji bilen çalşyp bolar.

Eger-de üýtgeýän el. togynyň zynjyryna geçiriji barada düşünje girizilse kwapdaş elektrik kabul edijileriň **R<sub>kwap.</sub>** we **X<sub>kw.</sub>** garşylygy tapmak amatlydyr. Şonuň üçin **I<sub>a</sub>**, **I<sub>r</sub>** we **I** elektrik kabul edijiniň el. toglary üçin aňlatmany özgerderis:

$$I_a = I \cos \varphi = \frac{U}{Z} \cdot \frac{R}{Z} = U \frac{R}{Z^2} = Ug. \quad (5.67)$$

$$I_r = I \sin \varphi = \frac{U}{Z} \cdot \frac{X}{Z} = U \frac{X}{Z^2} = Ub. \quad (5.68)$$

$$I = \sqrt{I_a^2 + I_r^2} = U \sqrt{g^2 + b^2} = Uy. \quad (5.69)$$

Geçirijiligiň ölçegine eýe bolan **g**, **b**, **y** ululyklara

$$g = \frac{R}{Z^2} - \text{aktiw}$$

$$b = \frac{X}{Z^2} - \text{reaktiw} \quad (5.70).$$

$$y = \frac{1}{Z} = \sqrt{g^2 + b^2} - \text{doly geçirijili k diyip kabuledilen}.$$

Induktiv kabul ediji üçin **b<sub>L</sub>** = **X<sub>L</sub>** / **Z<sup>2</sup>**, sygym kabul ediji üçin

**b<sub>C</sub>** = **X<sub>C</sub>** / **Z<sup>2</sup>**. Kwapdaş (ekwiwalent) elektrokabulediji üçin ýazmak bolar.

$$\mathbf{I_a} = \mathbf{Ug_{kw}}, \mathbf{I_r} = \mathbf{Ub_{kw}}, \mathbf{I} = \mathbf{Uy_{kw}}. \quad (5.71).$$

Değişlilikde aktif, reaktif we doly geçirijiligi elektrik kabul edijiniň berlen **U** naprýaženiýesiniň, **P** aktif, **Q** reaktif we **S** doly kuwwatynyň üsti bilen kesgitleýärler:

$$\mathbf{P} = \mathbf{UI_2} = \mathbf{U^2g}, \mathbf{Q} = \mathbf{UI_r} = \mathbf{U^2b}, \mathbf{S} = \mathbf{UI} = \mathbf{U^2y} \quad (5.72).$$

Aqlatmalar bolan (5.61), (5.62), (5.67), (5.68) göz önünde tutup alarys

$$\mathbf{g_{kw(ek)}} = \mathbf{g_1 + g_2 + \dots + g_n}, \quad (5.73).$$

$$\mathbf{b_{kw(ek)}} = \mathbf{\sum b_L - \sum b_C}, \quad (5.74)$$

ýagny, kwapdaş (ekwiwalent) aktif **g<sub>kw(ek)</sub>** geçirijilik aýry şahalaryň aktif geçirijilikleriniň arifmetiki jemine deňdir, kwapdaş (ekw) reaktif **b<sub>kw(ek)</sub>** geçirijilik **b<sub>L</sub>** we **b<sub>C</sub>** reaktif geçirijiligiň arifmetiki tapawudyna deňdir.

Aňlatma (5.70) – den peýdalanyň elektrik kabuledijiniň (ekwiwalent) kwapdaş gözlenýän garşylygyny alarys:

$$R_{kw(ek)} = g_{kw(ek)} Z_{kw(ek)}^2 = \frac{g_{kw(ek)}}{y_{kw(ek)}^2},$$

$$X_{kw(ek)} = [b_{kw(ek)} Z_{kw(ek)}^2] = \left[ -\frac{b_{kw(ek)}}{y_{ek}^2} \right], \quad (5.75)$$

$$Z_{kw(ek)} = \frac{1}{y_{kw(ek)}} = \frac{1}{\sqrt{g_{kw(ek)}^2 + b_{kw(ek)}^2}}.$$

Haçan-da  $\sum b_L > \sum b_C$  bolanda  $X_{kw(ek)}$  – induktiw garşylyk

$\sum b_C > \sum b_L$  bolanda sygym garşylyk bolýandygyny belläris.

**Mysal 5.6.** Ululuklary  $R_1 = 4,6 \text{ Om}$ ,  $X_1 = 12,3 \text{ Om}$ ,  $R_2 = 2,1 \text{ Om}$ ,  $X_2 = 3,2 \text{ Om}$  bolan iki tegek parallel çatylan. Kwapdaş tegegiň ululyklaryny tapmaly.

**Çözülişi:** Tegegiň geçirijiligi aşakdaka deňdir:

$$g_1 = \frac{R_1}{R_1^2 + X_1^2} = \frac{4,6}{4,6^2 + 12,3^2} = 0,027 \frac{1}{\text{Om}},$$

$$b_1 = \frac{X_1}{R_1^2 + X_1^2} = \frac{12,3}{4,6^2 + 12,3^2} = 0,071 \frac{1}{\text{Om}},$$

$$g_2 = \frac{R_2}{R_2^2 + X_2^2} = \frac{2,1}{2,1^2 + 3,2^2} = 0,143 \frac{1}{\text{Om}},$$

$$b_2 = \frac{X_2}{R_2^2 + X_2^2} = \frac{3,2}{2,1^2 + 3,2^2} = 0,219 \frac{1}{\text{Om}}.$$

Kwapdaş (ekw) tegekleriň ululyklary:

$$\mathbf{g}_{kw(ek)} = \mathbf{g}_1 + \mathbf{g}_2 = 0,027 + 0,143 = 0,17 \text{ 1/Om},$$

$$\mathbf{b}_{kw(ek)} = \mathbf{b}_1 + \mathbf{b}_2 = 0,071 + 0,219 = 0,29 \text{ 1/Om},$$

$$y_{kw(ek)}^2 = g_{kw(ek)}^2 + b_{kw(ek)}^2 = 0,17^2 + 0,29^2 = 0,113;$$

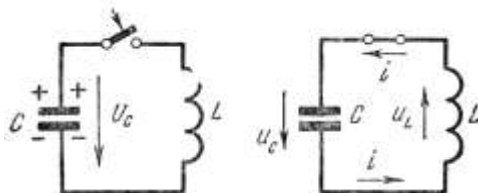
$$y_{kw(ek)} = \sqrt{0,113} = 0,336 \frac{1}{Om}, \quad r_{kw(ek)} = \frac{g_{kw(ek)}}{y_{kw(ek)}^2} = \frac{0,17}{0,113} = 1,5Om,$$

$$X_{kw(ek)} = \frac{b_{kw(ek)}}{y_{kw(ek)}^2} = \frac{0,29}{0,113} = 2,56Om,$$

$$Z_{kw(ek)} = \frac{1}{y_{kw(ek)}} = \frac{1}{0,336} = 2,97Om.$$

## § 5.14. Rezonon (gabatlaşma) hadysasy.

**Yrgyldyly kontur.** Kesgitli şertlerde **L** induktiwlikli we **C** sygymdan alnyňan elektrik zynjyrynda yrgyldynyň döremegi mümkindir. Zynjyrdaky yrgyldyly prosess elektrik we magnit meýdanlarynyň arasyndaky döwürleýin energiýanyň çalyşmasyndand ybaratdyr. Şeýle zynjyra **yrgyldyly kontur** diýilýär. Ideal konturda **R=0** bolanda yrgyldynyň döremek prosessine serederis (5.31 çyz.).



Çyzgy 5.31.

Başda  $C$  sygymly kondensator daşarky elektrik çeşmesinden  $U_c$  güýjenmä çenli zarýatlanýar. Şunlukda (şeylelikde) kondensatoryň elektrik meýdanynnda  $W_e = CU_c^2/2$  energiýa toplanýar. Soň zarýadlanan kondensator  $L$  induktiwlilik tegegi utgaşýar. Zynjyrdaky  $i$  el. togy döreýär, çünki kondensator zarýatsyzlanyp başlaýar. Kondensatoryň elektrik meýdanynyň energiýasy, tegegiň magnit meýdanynyň energiýasyna özgerýär. Haçan-da kondensator doly zarýatsyzlanan pursatynda  $w_e$  onuň  $UC$  naprýaženiýesi nula çenli düşende (peselende), zynjyrdaky el togy  $I_m$  maksimal bahasyna ýeter. Çünki elektrik meýdanynyň ähli  $W_e$  energiýasy magnit meýdanynyň  $W_m$  energiýasyna öwrülýär, onda  $W_e = W_m$ . Kondensatoryň zarýatsyzlanmagy gutarandan soň hem zynjyrdaky el. togy togtamaýar (kesilmeýär), sebäbi tegegiň öz-özünüň induksiýasynyň elektrik hereketlendiriji güýjiniň öňki ugry goldaýar. Şeýlelikde kondensatoryň zarýadlanmagy bolup geçýär. Magnit meýdanynyň energiýasy täzedan (ýende) elektrik meýdanynyň energiýasyna özgerýär. Tegekte ýitginiň ( $i^2 R = 0$ ) ýoklygy zeraly (sebäpli) kondensatoryň energiýasy başlangyç  $W_e$  bahasyna çenli artýar, zynjyrdaky el. togy nula çenli gaçýar (peselýär), kondensatoryň naprýaženiýesi bolsa  $U_c$  deň bolar.

Soňra kondensatoryň zarýatsyzlanmagy täzedan bolup geçýär  $w_e$  hadysa şol tertipde gaýtalanar.

Seredilýän ideal zynjyrdaky ýitginiň bolmaýanlygy üçin, ýüze çykyan (bolup geçýän) yrgyldyly prosess öçmän kesgitsiz uzak dowam eder. Zarýadlanan kondensatoryň, ideal tegege utgaşanda zynjyrdaky döreýän sinusoýdal üýtgeýän el. togynyň matematiki derňew (§ 9.4 seret) görkezýär.

$$i = I_m \sin \omega_0 t \quad (5.76).$$

Şu el. togynyň ýygyllygy konturyň  $L$  we  $C$  ululyklary bilen kesgitlenýär.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}, \quad (5.77).$$

$$W_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \quad (5.78).$$

Ululyk yrgyldyly konturyň hususy ýygylgy **f<sub>0</sub>** diýilip kabul edilen.

Çünki hakykatdan hem konturyň elementleri (esasan tegek) aktiw R garşylyga eýedir onda zynjyrdaky energiýanyň ýitgisi ýüze çykýar. Energiýanyň başdaky ätiýaçlynyň hasabyna konturda bolup geçýän elektromagnit yrgyldy prosessi ýuwaş-ýuwaşdan öçýär we haçan-da ähli ätiýaç energiýa gurşap alan howa giňişligine ýylylyk görnüşde ýaýrasa doly togtaýar.

Elektirik we magnit meýdanlaryň aralaryndaky energiýanyň öçmeýän yrgyldysyny goldamak (saklamak) ýagny konturda üýtgemeyän amplitudaly sinusoýdal el. togyny almak üçin kontura hökmany ýylylyk ýitgisiniň öwezini doldurýan energiýa bermeli. Kontura goşmaça energiýanyň berilmegi döwürleýin konturyň hususy yrgyldysy bilen taktada berip durulmalydyr. Ol bolsa kontura her bir döwür aralygynda olar tarapyndan ýylylyk görnüşde ýitirilýän energiýanyň mukdaryny hökmany berip durmalydygyny aňladýar. Ony eger-de yrgyldyly konturyň zynjyryna yrgyldyly konturyň hususy **f<sub>0</sub>** ýygylgyna deň bolan **f** ýygylkly üýtgeýän el. togunyň çeşmesini çatyp amala aşyrmak bolar.

Mehaniki liniýaa meňzeşlikde, liniýaa daşyndan berilýän mejbury yrgyldynyň ýygylgynyň liniýaň hususy yrgyldysy ýygylgy bilen gabat gelmegi rezonans diýen ady aldy, elektrik yrgyldyly konturda bolup geçýän prosesse hem **rezonans** diýilýär. Özünde **L** induktiwligi we **C** sygymy

saklaýan elektrik zynjyryndaky rezonansyň alamatlarynyň belli bolup şol zynjyry iýmitlendirýän çeşmäniň **u** naprýaženiýesiniň we **i** el. togynyň fazalary boýunça gabat gelmegidir.

**Tapawutlanýar: 1)** naprýaženiýanyň rezonansy haçanda çeşme (üýtgeýän el. togynyň generatory), tegek we kondensotar izigider zynjyry döredýärler (5.32 a) we **2)** el. toglaryň rezonansy, haçanda tegek we kondensator üýtgeýän el. togynyň çeşmesine görä parallel birikdirilendirler (5.32, b çyz).

**Naprýaženiýanyň rezonansy.** Haçanda  $X_L$  induktiw garşylyk sygym  $X_C$  garşylygy deň bolsa özünde  $R$ ,  $L$ ,  $C$  elementleri saklaýan şahalanmaýan zynjyrdaky rezonans aralaşýar. Hakykatdan-da, şeýle şertde zynjyryň doly garşylygy

$$r = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = R, \quad \cos\varphi = \frac{R}{Z} = 1.$$

Eger-de zynjyry izigider birikdirilen  $L$  induktiwlik we  $C$  sygymyň bahasy belli bolsa, onda naprýaženiýanyň rezonansynyň

$$X_{L_{rez.}} = 2\pi f_{rez.} L = X_{C_{rez.}} = \frac{1}{2\pi f_{rez.} C}, \quad (5.79)$$

onda

$$f_{rez.} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}. \quad (5.80).$$

ýüze çykma  $f_{rez}$  ýygylgyny kesgitläp bolar. Çünki rezonans wagtynda

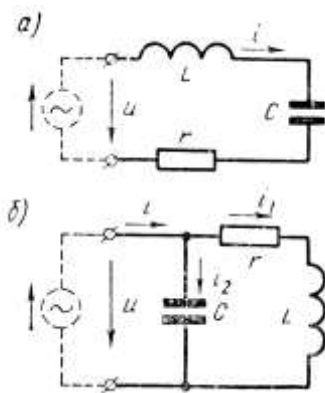
(5.77) we (5.80) aňlatmalary deňeşdirip  $f_{rez} = f_0$  göz ýetirieris.



Eger-de seredilýän zynjyryň gysgyçlarynda  $U$  güýjenmäni hemişelik saklasak we  $f$  ýygylgy ýuwaş-ýuwaşdan üýtgetsek, onda  $I$  el. togynyň ululygy üznüksiz üýtgär. Rezonans wagtynda zynjyryň  $Z_{rez} = r$  kiçi el. togy zynjyrdaky in ýokary baha ýeter (5.32, a çyz). Rezonans wagtynda  $R$  garşylykdaky  $U$  naprýaženiýe zynjyryň gysgyçlaryndaky güýjenmä deň.

$$U = I \cdot Z_{rez} = I \cdot R = U_a.$$

Induktivlikdäki  $U_L$  rez we sygymdaky  $U_{C rez}$  naprýaženiýe ululygy boýunça deň we fazalary tersdir (5.32, b).



Çyzgy 5.32.

Eger-de garşylyk  $X_{L rez} = X_{C rez} \gg R$ , onda  $U_{L rez} = U_{C rez}$  zynjyra goýlan umumy  $U$  naprýaženiýeden epesli ýokary bolar; şeýlelikde seredilip geçilýän (seredilýän) hadysa naprýaženiýanyň rezonansy (gabatlaşmasy) diýen ada eýe balýar. Zynjyryň aýry böleklerindäki naprýaženiýanyň öte geçmegi (öte naprýaženiýe) eger-de olar öňden hasaba alynmadyk bolsa, elektirik enjamlarynyň bütewi goragyna howup salýar.

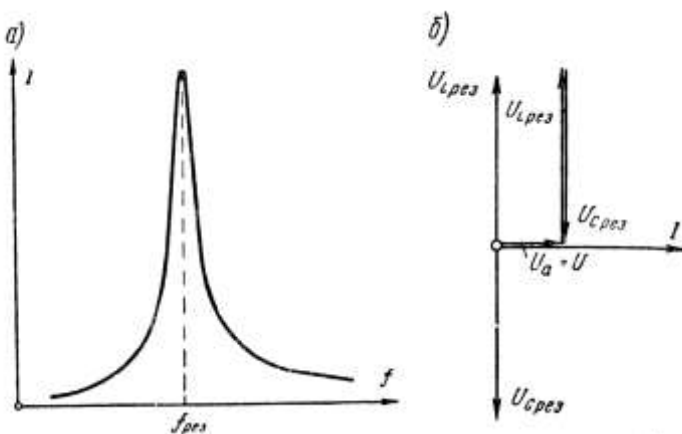
Elektrotehnikanyň birnäçe zolagynda (aralygynda) naprýaženiýanyň rezonansy peýdaly ulanylýar. Yrgyldyly konturlar, mysal, her bir radiotehniki gurluşyşlarda yrgyldyly kontur aýyrylmaz bölegini düzýär.

**Mysal 5.7.** Naprýaženiýesi  $U=100\text{ W}$  zynjyra izigider birikdirilen:

- 1) induktiwlgi  $L=71\text{ m}\mathcal{C}\mathfrak{n}$  we aktiw garşylygy  $R=5\text{ Om}$  bolan tegek.
- 2) Zynjyrdaky naprýaženiýanyň rezonansyny almak üçin  $C$  sygymy saýlap alynan kondensator ýygylak  $f = 50\text{ }\mathcal{C}\mathfrak{s}$ .

Zynjyrdaky  $I$  el. togy, tegegiň we kondensatoryň gysgyçlaryndaky  $U_{\text{teg}}$  we  $U_C$  güýjenmäni,  $C$  sygymy, zynjyr tarapyndan ulanylýan (peýdalanýan)  $P$  kuwwaty we magnit we elektrik meýdanlaryndaky maksimal ätiýaç energiýany kesgitlemeli.

**Çözlüşi:** Zynjyrdaky el akymyny kesgitleýäris:



Çyzgy 5.33

Tegegiň induktiw garşylygy

$$X_L = \omega \cdot L = 2\pi f L = 314 \cdot 71 \cdot 10^{-3} = 22,4 \text{ Om.}$$

Tegegiň doly garşylygy

$$Z_{\text{teg}} = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{5^2 + 22,4^2} = 23 \text{ Om.}$$

Tegegiň gysgyçlaryndaky naprýaženiýe

$$U_{\text{teg}} = I \cdot Z_{\text{teg}} = 20 \cdot 23 = 460 \text{ W.}$$

Kondensatordaky naprýaženiýe

$$U_C = I \cdot X_C = 20 \cdot 22,4 = 448 \text{ W.}$$

Kondensatoryň sygymy

$$C = \frac{1}{\omega X_C} = \frac{1}{314 \cdot 22,4} = 0,0001425 \text{ F} = 142,5 \text{ mkF.}$$

Kuwwat

$$P = I^2 \cdot R = 20^2 \cdot 5 = 2000 \text{ Wt.}$$

Magnit meýdanyndaky maksimal ätiýaç energiýa

$$W_{m.mah.} = \frac{LI_m^2}{2} = \frac{71 \cdot 10^{-3} (20\sqrt{2})^2}{2} = 28,5 \text{ J.}$$

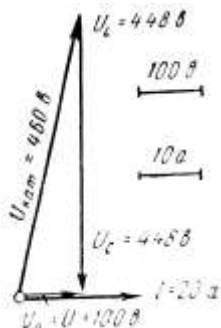
Elektrik meýdanyndaky maksimal ätiýaç energiýa

$$W_{e.mah.} = \frac{C U_{cm}^2}{2} = \frac{142,5 \cdot 10^{-6} (448\sqrt{2})^2}{2} = 28,5 \text{ J.}$$

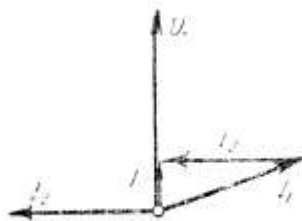
Seredilýän zynjyr üçin wektor diagramma 5.34 çyz getirilendir (görkezilendir).

**Toglaryň (toklaryň) rezonasy.** Parallel birikdirilen tegekli we kondensatorly elektrik zynjyrynda (5.32, b çyz) toglaryň (toklaryň) rezonansynyň bolmagy mümkin (ýerliklidir).

Rezonansda zynjyra goýlan  $U$  naprýaženiýe bilen zynjyryň şahalanmaýan bölegindäki  $I = I_1 + I_2$  el. togy faza boýunça gabatlaşýar. Onuň aýry şahalaryndan reaktiw düzüjileri bolan el. togy akýan (geçýän) hem bolsa zynjyr umuman özüni iýmitlendiriş çeşmä görä aktiw ýüklenme ýaly alyp barýar.



Çyzgy 5.34.



Çyzgy 5.35.

Toglaryň (toklaryň) rezonansynyň alynma şerti iki şahany  $b_L$  we  $b_C$  reaktiw geçirijilikleriniň deňligidir\*. Onda umumy el. togynyň reaktiw düzüjisi

$$I_p = U b_{kw} \text{ (ekw)}$$

• Şunlukda kwapdaş (ekwuwalent) reaktiw geçirijilik  $b_{kw} = b_L - b_C = 0$  we zynjyryň şahalanmaýan böleginde

$$I = I_a = U g_{kw} \text{ (ekw)}$$

el. togy faza boýunça  $U$  naprýaženiýe bilen gabatlaşýar (5.35 çyz).

Eger-de şahalardaky el. toglaryň aktiw düzüjileri kiçi (az) bolsa, onda zynjyryň şahalanmaýan böleginde şahalardan akýan (geçýän) el. toglardan ep-esli kiçidir.

Induktiv we sygym garşylygy saklaýan birnäçe parallel şahalaryň bolmagynda el. toglaryň rezonanslarynyň şerti bolup aşakdaky deňlik  $\Sigma \mathbf{b_L} = \Sigma \mathbf{b_C}$  hasaplanýar.

Hemişelik  $\mathbf{f}$  ýygylýkda zynjyrdaky  $\mathbf{L}$  induktiwligi ýa-da  $\mathbf{C}$  sygymy laýyk saýlamak arkaly rezonansa bolar. Haçan  $\mathbf{L}$  induktiwligiň we  $\mathbf{C}$  sygymyň ululyklary (parametri) üýtgemän galsa, zynjyr iýmitlendirýän çeşmäniň  $\mathbf{f}$  ýygylýgyny üýtgetmeklik arkaly rezonansa düzülip biliner.

Eger-de  $\mathbf{b_L} = \mathbf{b_C}$  deňlikde  $\mathbf{b_L}$  we  $\mathbf{b_C}$  geçirijilik induktiw şahanyň garşylygy ( $\mathbf{R_1}$  we  $\mathbf{X_L} = 2\pi \mathbf{f_{rez}} \mathbf{L}$ ) we sygym garşylygyň

$$R_2 \text{ we } X_C = \frac{1}{2\pi f_{rez} C}.$$

üsti bilen aňlatsak toglaryň (toklaryň) rezonansynda mümkin  $f_{rez}$  ýygylýk üçin aňlatma (alynyp bilner) alnandyr:

$$f_{rez} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \sqrt{\frac{\frac{L}{C} - R_1^2}{\frac{L}{C} - R_2^2}}. \quad (5.82).$$

El. toglarynyň rezonansy ulanylýan radiotehniki gurluşlarda  $\mathbf{R_1^2}$  we  $\mathbf{R_2^2}$  ululyklar  $\mathbf{L/C}$  gatnaşyk bilen deňeşdirilende ujypsyzdyr.

Onda

$$f_{rez.} \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}, \quad (5.82a).$$

ýagny el. toglaryň rezonans şerti naprýaženiýanyň rezonans şerti bilen gabatlaşýar (gabat gelýändir).

Toglaryň (toklaryň) rezononsy diňe bir radiotehniki gurluşlarda ulanylman: ol senagat elektroenergetiki gurnamalarda  $\cos\varphi$  oňatlaşdyr-mak üçin hem ulanylýar.

Kuwwatyň koeffisiýentini artdyrmak. Üýtgeýän el. togynyň elektrokabuledijiler diňe aktiw kuwwaty peýdalanýan hökmünde göz önüne getirmek (çoglanma çyrasy, elektrikgyzdyryjy abzallar we aktiw garşylyklardan ýerine ýetirilen peçler), ýa-da hem aktiw we hem-de reaktiw kuwwaty peýdalanýan guruluş (üýtgeýän el. togynyň elektrik-hereketlendirijiler).

Elektrikhereketlendirijiler tarapyndan ulanylýan (peýdalanýan) aktiw kuwwat olar tarapyndan peýdaly mehaniki işe özgerdilýär we az- kem ýylylyk görnüşde ýaýraýar (sargytlaryň we elektrik-hereketlendirijileriň beýleki elementleriniň gyzmagy). Elektrik energiýasynyň energiýanyň beýleki görnüşine öwrülmesiz (gaýtalanmasyz) özgermesi bilen bir hatarda bu ýerde bir wagtda üýtgeýän magnit meýdany we iýmitlendirme çeşmesiniň aralaryna energiýanyň aýlawly (öwürümlü) çalyşma prosessi bolup geçýär (herekete getirijiniň magnit meýdanynda energiýanyň döwürleýin toplanmasy we soňra onuň çeşmä gaýtarylyp berilmesi).

Eger-de hereke getiriji iýmitlendiriş çeşmeden diňe aktiw  $P$  kuwwaty alýan bolsa, ýagny  $\cos\varphi = 1$  bilen işlese, onda ol  $I = P/U$  el. togyny ulanardy (peýdalanardy). Hakykatdan bolsa üýtgeýän el. togynyň hereketlendirijisi iýmitlendiriş çeşmesi üçin aktiw we reaktiw ýüklenme bolup durýar, ýagny ol induktiw  $\cos\varphi$  bilen işleýär. Şonuň üçin hem herekete getiriji şol bir  $P$  aktiw kuwwatda galyberse-de şol bir peýdaly mehaniki işde setden ýokary ululykdaky el. togyny peýdalanýar (ulanýar):

$$I = \frac{P}{U} \cdot \frac{1}{\cos\varphi}. \quad (5.83).$$

Birinjiden  $\cos\varphi$  peselmesi çeşme bilen hereketlendirijini birikdirýän liniýaň simlarynda elektirik energiýasynyň ( $I^2 R_t$ ) ýitgisiniň we ikinjiden iýmitlendiriş çeşmäniň hökmany kuwwatyň artmagyna getirýär. Çünki mysal, eger-de hereketegetiriji  $\cos\varphi=0,7$  bilen işlese onda iýmitlendiriji liniýanda (liniýada) energiýanyň ýitgisi  $(1/\cos\varphi)^2$  proporsional artýar, ýagny iki gezek, iýmitlendiriji çeşmäniň kilowoltamperde aňladylan kuwwaty  $\cos\varphi=1$  bolsa işländäkisine garanda (deňeşdirilende) takmynan bir ýarym gezek artýar.

Eger-de heretlendirijä umumy el. togynyň reaktiw düzüjisi nula deň bolar ýaly şeýle bir sygymdaky kondensatory parallel çatylsa onda zynjyrda umumy  $\cos\varphi$  bire deň bolar. Doly kompensasiýa kondensator herektlendirijiniň reaktiw kuwwata ( $Q_c=Q_u$ ) islegimi ýapýar we setden diňe aktiw P kuwwat girýär (gelýär).

**Mysal 5.8.** Naprýaženiýesi  $U=220$  W bolan üýtgeýän el. togynyň setine aşakdaky garşylyk (aktiw-induktiv ýüklenme) ýaly berlenli birikdirilen, peýdalanýan kuwwat  $P=19,8$  kWt laýyk naprýaženiýe  $U_{laý.}=220W$ , kuwwat koffisini  $\cos\varphi=0,6$ .

**Kesgitlemeli:** 1) ýüklenmäniň peýdalanýan el. togyny;  
2) elektrik gurnamanyň umumy  $\cos\varphi$  bire çenli artdyrmaga gerek bolan kondensatorlaryň C sygymyny we reaktiw  $Q_c$  kuwwatyny;  
3) kondensatorlar birikdirilenden soňky setden peýdalanýlan umumy el. togy:

**Çözlüşi.**  $\cos\varphi=0,6$  deň bolanda ýüklenmäniň peýdalanýan el. togy,

$$I = \frac{P}{U \cos\varphi} = \frac{19,8 \cdot 10^3}{220 \cdot 0,6} = 150 A.$$

$\cos\varphi^1 = 1$  bolanda ýüklenmäniň (ýüklenmedäki)el. togy

$$I^1 = \frac{P}{U \cos\varphi^1} = \frac{19,8 \cdot 10^3}{220 \cdot 1} = 90 \text{ A.}$$

Kondensatoryň zynjyrynda.

$$I_c = I \sin \varphi = 150 \cdot 0,8 = 120 \text{ A,}$$

$$C = \frac{I_c}{\omega U} = \frac{120}{314 \cdot 220} = 0,00174 \text{ F} = 1740 \text{ mkF,}$$

$$Q_c = U \cdot I_c = 220 \cdot 120 \cdot 10^{-3} = 26,4 \text{ kVar.}$$

### **§ 5. Bölüma degişli barlag soraglary we meseleler.**

1) Sinusoýdal el. togynyň polažitel ugry diýip nämä düşünmelidir?

2) Wagtyň kesgitli pursady üçin sinusoýdal e.h.g çeşmesiniň gysgyçlarynyň polýuslaşmasyny görkezýär (görkezmeýär) bolarmy?

3) Eger-de iki sinusoýdal ululyklary şekillendirýän wektorlary  $45^\circ$  süşürilen bolsa olaryň ýygylyklary  $f^I=50 \text{ Gs}$ ; ol hem  $f^{II}=50 \text{ kGs}$  ýygylykda bolsa maksimal ululyklary bölýän wagt aralygyny kesgitlemeli.

4) Parallel üç şahalardaky el. toglaryň pursat bahalary berilen:

$$i_1=9 \sin (\omega t+30^\circ), i_2=4 \sin (\omega t-60^\circ), i_3= 6 \sin (\omega t-150^\circ).$$

Wektor diagrammadan peýdalanyň zynjyryň şahalanmaýan bölegindäki  $i$  el. togynyň ampletuda we täsir



ediji bahasyny kesgitlemeli we onuň pursat bahasyny umumy görnüşde ýazmaly.

**Jogap:  $I_m=5\text{ A}$ ,  $I=3,53\text{ A}$ ,  $i=5\text{ Sin}(wt-23^\circ)$ .**

5) Ululyklary  $U_{laý}=220\text{ W}$ ,  $I_{laý}=5\text{ A}$ ,  $f_{laý}=50\text{ Gs}$  we peýdalanýan  $P_{laý}=400\text{ Wt}$  kuwwatly üýtgeýän el. togynyň tegegini naprýaženiýesi  $U=200\text{ W}$  bolan hemişelik el. togynyň setinden hökmany ýymitlendirmeli. Tegekke laýyk bahasy  $5\text{ A}$  el. togyny almak üçin zynjyra izigider haýsy ululykdaky goşmaça garşylygy  $R_z$  (reostat) birikdirmeli (çatmaly)? Tegegiň  $L$  induktiwligi nämä deň?

**Jogap:  $P_r=24\text{ Om}$ ,  $L=0,113\text{ Gn}$ .**

6)  $X_L$  we  $X_C$  hasaplama ululyklarynyň fiziki manysyny düşündiriň. Nämä üçin  $X_L$  we  $X_C$  bahalar  $f$  ýygylga bagly bolýar?

Sinusaýdal el. togynyň zynjyryna çatylan kondesator  $U_C=U_m\text{Sin } wt$  naprýaženiýesiniň üýtgame döwürini haýsy çäryeginde energiýany peýdalanyjy (peýdalanýar), döwriň haýsy çäryeginde bolsa-energiýanyň çeşmesi bolýar.

8)  $R$ ,  $L$ ,  $C$  saklaýan zynjyryň şahalanmaýan bölegindäki energetiki prosessi düşündiriň.

9) Naprýaženiýanyň rezonansynda, haçan-da  $W_e$  ätiýaç energiýa:

a) maksimal (iň ýokary) baha; b) nul baha ýetende  $W_m$  ätiýaç energiýa nämä deňdir?

10) Zynjyrdä (5.25 a)  $U=200\text{ W}$ ,  $U_L=200\text{ W}$ ,  $U_a=120\text{ W}$ ,  $R=12\text{ Om}$ ,  $f=50\text{ Gs}$ . Zynjyryň berlen iş düzgünini (režimini) üpjün edýän  $L$  induktiwligi we sygymyň  $C^I$  we  $C^{II}$  iki bahasyny kesgitlemeli. Sygymyň tapylan bahalaryna degişli wektor diagrammany çyzmaly (çekmeli). Haýsy ýygylkda zynjyrdä naprýaženiýanyň rezonansy ýüze çykýandygyny kesgitlemeli.

**Jogap:  $L=63,5\text{ M Gn}$ ,  $C^I=795\text{ MkF}$ ,  $C^{II}=88\text{ Mkf}$ ,  
 $f_{rez}=22,5\text{ Gs}$ ,  $f^{II}=68\text{ Gs}$ .**

11) Eger-de iýmitlendirýän çeşmäniň ýygylgy  $f=50$  Gs bolsa, zynjyrda el. togynyň rezononsyny [(a) ýetmek] almak üçin tegeklere (mysal 5.6) parallel haýsy C sygymy çatmalydygyny kesgitlemeli.

**Jogap:  $C=930$  MkF.**

12) Sinusoýdal  $U=200$  W naprýaženiýeli çeşme ululyklary (parametrleri)  $R_1=6$  Om,  $X_{L1}=8$  Om,  $R_2=X_{C2}=14,1$  Om iki sany parallel şahadan durýan zynjyry iýmitlendirýär (5.30, a çyz). Şahalardaky  $I_1$  we  $I_2$  el. togy, ol el. toglaryň aktiw we reaktiw düzüjilerini, zynjyryň şahalanmaýan bölegindäki umumy I el. togy, şeýle hem  $P_1$ ,  $Q_1$ ,  $P_2$ ,  $Q_2$ ,  $P$ ,  $Q$  aktiw we reaktiw kuwwatlary kesgitlemeli. Wektor diagrammany gurmaly. Seredilýän zynjyr üçin  $R_{ek}(kw)$ ,  $X_{ek}(kw)$  we  $Z_{ek}(kw)$ , ekwiwalent (kwapdaş) shemalaryň ululyklaryny (parametrlerini) tapmaly.

**Jogap:  $I_1 = 20$  A,  $I_2 = 10$  A,  $I = 21,1$  A,  $P_1 = 2400$  Wt,  $Q_1 = 3200$  WAr,  $P_2 = 1410$  Wt,  $Q=1410$  WAr,  $P = 3810$  Wt,  $Q = 1790$  WAr,  $R_{ek}(kw) = 8,6$  Om,  $X_{ek}(kw) (L) = 4,0$  Om,  $Z_{ek}(kw) = 9,5$  Om.**

13) Eger-de her bir şahanyň aktiw we reaktiw kuwwatlary belli bolsa, birnäçe parallel çatylan elektrik kabuledijilerden durýan zynjyryň umumy  $\cos\varphi$ -ni nähili kesgitlemeli?

14) Eger-de tegege parallel kondensator çatylsa, zynjyryň şahalanmaýan böleginde el. togynyň ululygy nähili üýtgär? Üç ýagdaýa seretmeli:

**1)  $bc < b_L$ ; 2)  $bc = b_L$ ; 3)  $bc > b_L$ .**

15) Elektrik iberilýän (berilýän) liniýadan iýmitlenýän senagat  $\cos\varphi=0,6$  (...)  $P=240$  kWt aktiw kuwwaty peýdalanýar (ulanýar). Iýmitlendiriji liniýadaky simlarda kuwwatyň ýitgisi  $\Delta P_e=30$  kWt. (Kesgitlemeli): 1) Senagatyň

kuwwat koeffisiýentini  $\cos\varphi^1=0,9$  çenli artdyrmak üçin gerek bolan kondensator batareýanyň  $Q_C$  kuwwatyny;

2) liniýanyň ahyryndaky güýjenmäni üýtgemeýän diýip kondensatorlor oturdylandan soň liniýadaky  $\Delta P^1_e$  kuwwatyň ýitgisini kesgitlemeli.

**Jogap:  $Q_C=204 \text{ kWAr}$ ,  $\Delta P_e=13,4 \text{ kWt}$ .**

## ALTYNJY BÖLÜM

### Simwoliki usulda sinusoýda el. togynyň zynjyryny derňemek we hasabyny geçirmek.

Üýtgeýän el. togynyň zynjyrynda hasap geçirmegiň maksady-elektrik shemanyň dürli şahalaryndaky güýjenmäni, el. togyny we kuwwaty (aktiw we reaktiw) kesgitlemeli. Köp ýagdaýlarda diňe bir el. togynyň we naprýaženiýanyň bahalary tapmaklyk (tapyňman) olaryň aralaryndaky faza süýşmesini hem kesgitlemek talap edilýändir. Sinusoýdal el. togynyň garyşyk we çalşyrymly zynjyryna derňew we hasap geçirmek üçin kompleks sanlary ulanmaklyga esaslanan simwoliki usul has amatlydyr.

#### § 6.1 Simwoliki usul barada esasy düşüňjeler.

Tekizlikde (6.1 çyz) şekillendirilen her bir wektory onuň fiziki bahasyny baglanşyksyz kompleks sanyň üsti bilen analitiki aňlamak bolar.

$$\mathbf{A} = \mathbf{a}_1 + \mathbf{a}_2 \quad (6.1)$$

nirede

$\mathbf{a}_1$  we  $\mathbf{a}_2$  - koordinatyň göniburçly toplumynyň hakyky we hyýaly okyna  $\mathbf{A}$  wektoryň proeksiýalary.

Kompleks sanyň ýazylyşynyň üç görnüşi bilen tapawutlandyrýarlar:

algebraiki:  $\mathbf{A} = \mathbf{a}_1 + \mathbf{j}\mathbf{a}_2^*$ , (6.1 a).

trigonometriki:  $\mathbf{A} = \mathbf{a} (\cos\varphi + \mathbf{j} \sin \alpha)$ , (6.1 b).

\* [(6.1 a deňlemä düşündiriş: Elektrotehnikada  $\sqrt{-1} \mathbf{j}$  bilen belgilemek kabul edilen (matematikadan tapawutlylykda, nirede  $\sqrt{-1} \mathbf{i}$  üsti bilen belgileýärler).]

görkezijili:

$$\mathbf{A} = \mathbf{a}e^{\mathbf{j}\alpha}. \quad (6.1 w)$$

Bu ýerde

$$a = \sqrt{a_1^2 + a_2^2} \quad - \text{komplekssanyň moduly.}$$

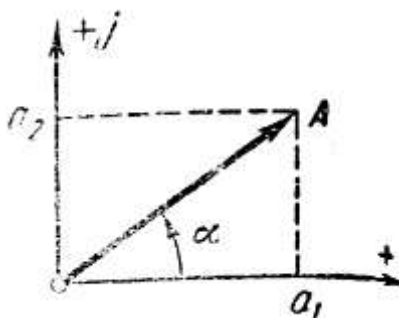
$$\alpha = \arctg \frac{a_2}{a_1} \quad - \text{komplekssanyň argumenti.}$$

Kompleks sanyň moduly şol sany şekillendirýän wektoryň uzynlygyny, argument bolsa wektoryň hakyky ululygyň okuna görä ýagdaýyny kesgitleýär.

Hakyky bölekleri deň:

$$\mathbf{a}_1 + j\mathbf{a}_2 = \mathbf{a}(\cos\alpha + j \sin\alpha) = \mathbf{a}e^{j\alpha},$$

$$\mathbf{a}_1 - j\mathbf{a}_2 = \mathbf{a}(\cos\alpha - j \sin\alpha) = \mathbf{a}e^{-j\alpha},$$

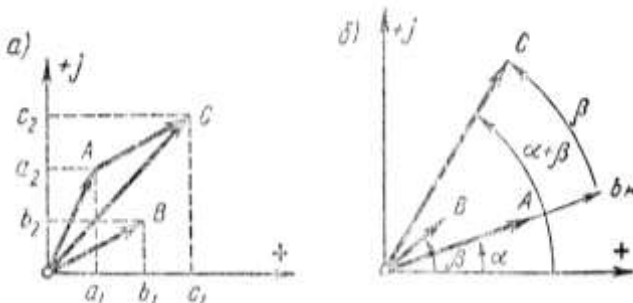


6.1 Çyzgy

Hyýaly bölekleri deň belgileri bilen tapawutlanýan iki kompleks sanlara baglanyşykly atlandyrylýar.

Iki kompleks sanlaryň algebraiki  $\mathbf{A} = \mathbf{a}_1 + j\mathbf{a}_2$  we  $\mathbf{B} = \mathbf{b}_1 + j\mathbf{b}_2$  goşulmasyna  $\mathbf{A}$  we  $\mathbf{B}$  (6.2a çyz.). Şol kompleks sanlaryň ornuny tutýan (..) wektorlaryň geometriki goşulmalary gabat gelýär:

$$\mathbf{C} = \mathbf{A} + \mathbf{B} = (\mathbf{a}_1 + j\mathbf{a}_2) + (\mathbf{b}_1 + j\mathbf{b}_2) = (\mathbf{a}_1 + \mathbf{b}_1) + j(\mathbf{a}_2 + \mathbf{b}_2) = \mathbf{C}_1 + j\mathbf{C}_2$$



## 6.2Çyzgy. Wektorlaryň a) goşulma we b) köpeltme operasiýasy.

Kompleks **A** sany hakyky **d** sana köpeldilmegi **A** wektoryň uzynlygynyň koordinat okuna görä onuň ýagdaýy üýtgetmesiz artýanlygyny aňladýar:

$$\mathbf{A}d = a\mathbf{e}^{i\alpha} d = a d \mathbf{e}^{i\alpha} = C\mathbf{e}^{i\alpha} = C.$$

**A** we **B** wektory şekillendirýän iki kompleks sanyň köpeltmek hasylyna gabat gelýän täze **C** (6.2 b, çyz) wektora hem kompleks sandyr.

Wektor **C** almak üçin **A** wektoryň uzynlygyny **b** gezek artdyrmaly we dörän täze wektory **β** burça öwürmeli (aýlamaly).

Kompleks **A** sanyň kompleks  $\mathbf{e}^{i\beta}$  sana köpeldilmegi **A** wektoryň polažitel ugra **β** burç öwürilmegi gabat gelýär (ýagny sagat diliniň tersine),  $\mathbf{e}^{-i\beta}$  köpeldilmegi wektoryň ters ugra **β** burç aýlawyny aňladýar (sagat diliniň ugryna). Şonuň üçin  $\mathbf{e}^{\pm i\beta}$  köpeldijä **aýlawyň operatory** diýilýär.

$$e^{\pm j\frac{\pi}{2}} = \cos\frac{\pi}{2} \pm j \sin\frac{\pi}{2} = \pm j, \quad (6.2).$$

onda **A** kompleks sanyň **+j** köpeldilmegi, şonuň bilen birlikde

$e^{j\pi/2}$  köpeldilişi ýaly  $\mathbf{A}$  wektoryň polajitel ugra  $90^\circ$  aýlanmagyna deňdir,  $-j$  köpeldilmegi  $\mathbf{A}$  wektoryň ters ugra  $90^\circ$  aýlawyny aňladýar.

## § 6.2 Omuň we Kirhgofyň kanunlary. Simwoliki görnüşde Kuwwatyň aňlatmasy.

Sinusoýdal üýtgeýän ululygy şekillendirýän wektor, w burç tizligi bilen aýlanýanlygy üçin wektor bilen hakyky ululygyň okynyň arasyndaky burç wagtyň funksiýasy hasalanýar:  $\mathbf{L}=\boldsymbol{\varphi}+\mathbf{wt}$ . Üýtgeýän el. togynyň zynjyrynda simwoliki usulda hasaplamada bolar ýaly  $t=0$  wagtyň pursaty üçin ähli sinusoýdal e.h.g. naprýaženiýeleriň, el. toglarynyň

$$I=\frac{I_m}{\sqrt{2}}e^{j\varphi_1}=I(\cos\varphi_1+j\sin\varphi_1) \quad (6.3)$$

wektorlary bir görnüşde tekizlikde şekillendirmeklik kabul edilendir. Şol wektorlary şekillendirýän kompleks sanlary  $E$ ,  $\dot{U}$ ,  $I$  harplar bilen

belgileýärler we e.h.g., naprýaženiýanyň we el. togynyň **kompleks täsir ediji bahalary** diýilýär. Mysal üçin, sinusoýdal el. togynyň  $\mathbf{i}=\mathbf{Im Sin (wt+\boldsymbol{\varphi}_i)}$  kompleks täsir bahasyny aşakdaky aňlatma görnüşinde berilýär

E.h.g. we naprýaženiýanyň kompleks täsir ediji bahalary üçin şoňa meňzeş ýazylyp biliner:

$$I=\frac{E_m}{\sqrt{2}}e^{j\varphi_e}=E(\cos\varphi_e+j\sin\varphi_e) \quad (6.4)$$

$$\dot{U}=\frac{U_m}{\sqrt{2}}e^{j\varphi_u}=U(\cos\varphi_u+j\sin\varphi_u) \quad (6.5)$$

Omuň kanuny simwoliki görnüşde. (Simwoliki şekilde Omuň kanuny).

Aktiw **R** induktiw **X<sub>L</sub>** we sygym **X<sub>C</sub>** garşylygy saklaýan sinusoýdal **I** el. tog akýan zynjyryň ülüşine (bölegine) serederis. Şol üleşiň (bölegiň) gysdgyçlaryndaky **U** naprýaženiýanyň wektory, wektor bilen ugry gabat gelýän **I·R** wektoryň, **I**- wektordan 90<sup>0</sup> öňe geçýän (öryän) **jI** **X<sub>L</sub>** wektor we **I** wektordan 90<sup>0</sup> yza galýan - **jI** **X<sub>C</sub>** wektoryň goşulma netijesinde alynýar.

$$U = IR + jI X_L - jI X_C = I (R + j X_L - j X_C) \quad (6.6)$$

Bu ýerden

$$I = \frac{U}{R + jX_L - X_C} = \frac{U}{Z} \quad (6.7).$$

Alynan aňlatmany zynjyryň üleşi üçin Omuň simwoliki görnüşde ýazylan kanuny göz önüne getirip bolar. Ululyk **Z=R+j(X<sub>L</sub>-X<sub>C</sub>)=R+jX** zynjyryň üleşiniň (böleginiň) simwoliki şekilde aňladylýan doly garşylygydyr. Doly **Z** garşylyk hem beýleki kompleks sanlar ýaly görkeziji şekilinde berilendir;

$$Z = z \cdot e^{j\varphi} \quad (6.8)$$

Ol sanyň moduly **Z=√R<sup>2</sup>+X<sup>2</sup>** üleşiň (bölegiň) doly garşylygynyň ululygyny kesgitleýär.

Doly geçirijiligi kompleks şekilinde ýazarys:

$$Y = \frac{I}{U} = \frac{I}{Z} = \frac{I}{R + j\chi} = \frac{R - j\chi}{R^2 + \chi^2} = \frac{R}{Z^2} - j \frac{\chi}{Z^2} = g - jb, \quad (6.9)$$

nirede **g** - aktiw geçirijilik;

**b** – reaktiw geçirijilik.

Haçan-da reaktiw garşylyk induktiw häsiýete (**X<sub>L</sub>>X<sub>C</sub>**) eýe bolsa, doly **Y** geçirijilik üçin kompleks sanyň hyýaly bölegi (üleşi) minus alamata eýedir (mysal üçin, **Y=0,03-j0,05**



**Om**) reaktiw garşylygyň ( $X_C > X_L$ ) sygym häsiýetinde kompleks sanyň hyýaly bölegi (ülüş) položitelidir (mysal üçin,  $Y = 0,02 + j0,06 \text{ Om}^{-1}$  Kirhgofyň kanunlary kompleks görnüşde (formada).

Elektrik zynjyrynyň islenen düwün nokadynda el. togynyň pursat bahasy üçin  $\Sigma i = 0$  şert ýerine ýetirilýär. Şeýlelikde 6.4 çyz. şekillendirilen shemanyň A düwün üçin sinusoýdal el. toglarynyň pursat bahalarynyň  $i$ ,  $i_1$ ,  $i_2$  we  $i_3$  algebraiki jemi nula deňdir. Kirhgofyň birinji kanunyny aňladýan şol gatnaşygyň simwoliki görnüşi, aşakdaky deňlemä gabat gelýär.

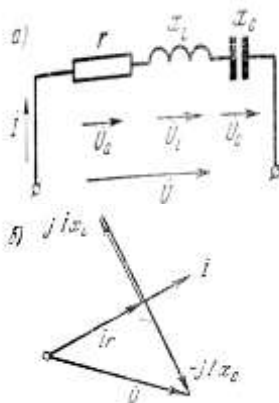
$$\Sigma I = I_1 + I_2 - I_3 = 0 \quad (6.10)$$

Elektrik zynjyrynyň islendik konturynda e.h.g. we naprýaženiýanyň pursat bahasy üçin Kirhgofyň II kanunyny aňladýan  $\Sigma e = \Sigma u$  gatnaşyk saklanýar.

e.h.g. sinusoýdal bolanda we şol gatnaşygyň simwoliki görnüşdäki ýazgysy aşakdaky deňlemä gabat gelýändir.

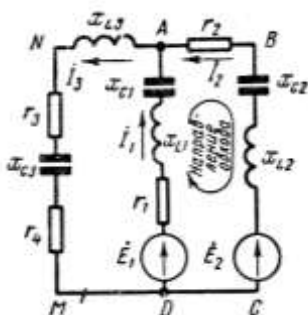
$$\Sigma E = \Sigma U = \Sigma IZ \quad (6.11)$$

Komleks E e.h.g., U naprýaženiýe we I el. togy (6.11) deňlemäniň düzümine “plýus” alamaty bilen girmelidir, eger-de şol ululyklaryň kabul edilen položitel ugurlary erkin alynan konturyň izarlanýan ugry bilen gabat gelse we “minus” alamaty bilen, haçan-da ol ugurlar garşylyklaýyn bolsalar.



6.3Çyzgy.

a) b)



6.4Çyzgy.

ABCDА (6.4 çyzgy.) kontura ulanylmaly (6.11) deňleme aşakdaky görnüşi alar:

$$\mathbf{E}_1 - \mathbf{E}_2 = \mathbf{I}_1(\mathbf{R}_1 + j\mathbf{X}_{L1} - j\mathbf{X}_{C1}) = \mathbf{I}_2(\mathbf{R}_2 - j\mathbf{X}_{C2} + j\mathbf{X}_{L2}) = \mathbf{I}_1\mathbf{Z}_1 - \mathbf{I}_2\mathbf{Z}_2. \quad (6.12)$$

El. togy  $\mathbf{I}_2$  (6.12) deňlemede “minus” alamaty bilen alynan, sebäbi onuň ugry konturyň izarlanýan ugryna tersdir.

Sinusoýdal el. togynyň kuwwatynyň aňlatmasy kompleks görnüşde  $\mathbf{U}$  güýjenmäni  $\mathbf{I}$  el. togynyň meňzeş kompleks aňlatmasyna köpeldilende doly kuwwatyň kompleks aňlatmasyny alarys\*:

$$\begin{aligned} \mathbf{UI} &= \mathbf{U}e^{j\varphi_1} \mathbf{I}e^{-j\varphi_2} = \mathbf{UI}e^{j(\varphi_1 - \varphi_2)} = \mathbf{UI}e^{j\varphi} = \\ &= \mathbf{UI}(\cos\varphi + j\sin\varphi) = \mathbf{P} + j\mathbf{Q} = \mathbf{S}. \end{aligned} \quad (6.13)$$

El. togynyň  $\mathbf{I} = \mathbf{U}e^{j\varphi}$  kompleks täsir ediji bahasyna  $\mathbf{I} = \mathbf{I}e^{-j\varphi}$  meňzeş kompleks san gabat gelýär.

$\mathbf{UI}$  köpeltmäniň hakyky bölegi (ülüş) aktiw  $\mathbf{P}$  kuwwaty hyýaly bölegi bolsa ( $j$  - köpeldijisiz) –  $\mathbf{Q}$  reaktiw kuwwaty kesgitleýär. Hyýaly bölegiň (ülüşiniň) alamaty ýüklenmäniň häsiýeti bilen kesgitleýär: induktiv ýüklenmede hyýaly bölek

“plýus” alamatly sygym ýüklenmede – “minus” alamaty bolýar.

UI köpeldilmä deň  $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$  modul zynjyryň doly kuwwatyny kesgitleýär.

### § 6.3. Üýtgeýän el. togynyň zynjyrynyň simwoliki usulda hasaby.

**Bir iýmit çeşmeli zynjyryň hasaby.** Garşylyklar  $Z_1, Z_2, \dots, Z_n$  izygider birikdirilende olaryň her birinden şol bir el. togy  $I$  akýar. Şol zynjyryň gysgyçlaryndaky naprýaženiýe

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n = IZ_1 + IZ_2 + \dots + IZ_n = I(Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n) \quad (6.14)$$

Zynjyryň umumy garşylygy

$$Z = \frac{U}{I} = Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n \quad (6.15)$$

Birnäçe  $Z_1, Z_2, \dots, Z_n$  garşylygy parallel birikdirilende olaryň her birine şol bir  $U$  naprýaženiýe goýlandyr. Zynjyryň şahalanmaýan bölegindäki el. togy

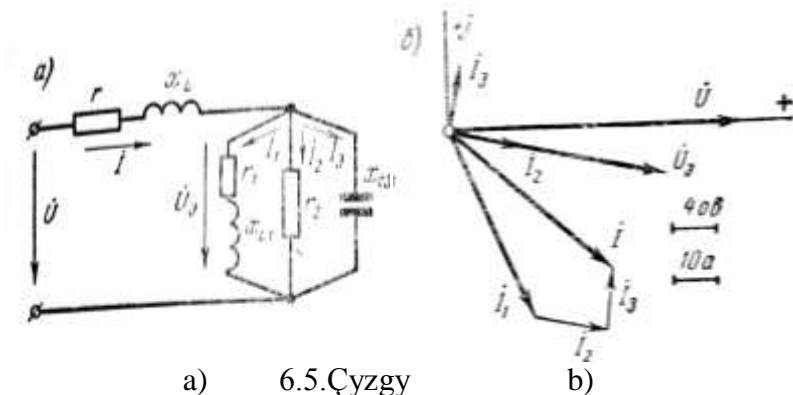
$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n = \frac{U}{Z_1} + \frac{U}{Z_2} + \dots + \frac{U}{Z_n} = U(Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n) \quad (6.16)$$

Zynjyryň umumy geçirijiligi

$$Y = \frac{I}{U} = Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n \quad (6.17)$$

Iki  $Z_1$  we  $Z_2$  garşylyk parallel birikdirilendäki hususy ýagdaýda olaryň ekwiwalent (meñzeş) garşylyklary aşakdaky deňleme boýunça kesgitleýär.

$$Z = \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad (6.18).$$



a) 6.5.Çyzgy

b)

Alynan (6.15), (6.17) we (6.18) deňlemeleriň gurluşy (strukturasy) hemişelik el. togynyň zynjyrynda umumy garşylygy we geçirijiligi kesgitlemek üçin niýetlenen aňlatmalara meňzeşdir. Çylşyrymly üýtgeýän el. togynyň hasabyny käbir ýagdaýlarda garşylyklaryň üçburçlugyny ekwiwalent (meňzeş) üç şöhleli ýa-da tersine özgertmäni ulanyp ýönekeýleşdirmek mümkindir. Onuň üçin (1.27) we (1.28) deňlemeleri ulanylýar we olardaky  $R$  garşylygy kompleks şekilli (görnüşde) aňladylan  $Z$  doly garşylyklar bilen çalyşýarlar.

**Mesele 6.1.** Üýtgeýän el. togynyň 6.50 çyzgyda çylşyrymly zynjyrynda simwoliki usulda hasap geçirmeli.

Zynjyryň parametrleri (ululyklary):  $R=0.8 \text{ Om}$ ,  $X_L=1,6 \text{ Om}$ ,  $R_1=3 \text{ Om}$ ,  $X_{L1}=4 \text{ Om}$ ,  $R_2=12,5 \text{ Om}$ ,  $X_{C3}=16,7 \text{ Om}$ ,  $U=268 \text{ W}$ .

**Çözülişi.** Zynjyryň şahalanýan böleginiň  $Z_{\text{kwap.}}$  kwapdaş garşylygyny kesgitleýäris:

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} = \frac{1}{3 + j4} + \frac{1}{12,5} + \frac{1}{-j16,7} = \frac{3 - j4}{25} + 0,08 + j0,06 =$$

$$= 0,12 - j0,16 + 0,08 + j0,06 = 0,2 - j0,10 \text{ Om}^{-1}.$$

$$Z_{kwap} = \frac{1}{0,2 - j0,1} = \frac{0,2 + j0,1}{0,05} = 4 + j2 \text{ Om.}$$

Umumy naprýaženiýanyň wektoryny hakyky ok boýunça ugrukdyrýars, onda **U=268 W.**

Zynjyryň şahalanmaýan böleginde el. togy

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{268}{4,8 + j3,6} = \frac{268(4,8 - j3,6)}{36} = 35,8 - j26,8 A.$$

$$I = \sqrt{35,8^2 + 26,8^2} = \sqrt{2000} = 44,7 A.$$

Liniýanyň ahyrynda naprýaženiýe.

$$U_{kwap} = I Z_{kwap} = (35,8 - j26,8)(4 + j2) = 143,2 - j107,2 + j71,6 + 53,6 = 196,8 - j35,6 \text{ W,}$$

$$U_{kwap} = \sqrt{196,8^2 + 35,6^2} = 200 W.$$

Özbaşdak elektrik kabul edijilerdäki el. togy:

$$I_1 = \frac{U_{kwap}}{Z_1} = \frac{196,8 - j35,6}{3 + j4} = 17,9 - j35,75; I_1 = \sqrt{17,9^2 + 35,75^2} = 40 A.$$

$$I_2 = \frac{U_{kwap}}{Z_2} = \frac{196,8 - j35,6}{12,5} = 15,75 - j2,85; I_2 = \sqrt{15,75^2 + 2,85^2} = 16 A.$$

$$I_3 = \frac{U_{kwap}}{Z_3} = \frac{196,8 - j35,6}{-j16,7} = 2,15 + j11,8; I_3 = \sqrt{2,15^2 + 11,8^2} = 12 A.$$

Barlag:

$$I_1 + I_2 + I_3 = 17,9 - j35,75 + 15,75 - j2,85 + 2,15 + j11,8 = 35,8 - j26,8 = I.$$

Zynjyryň doly kuwwaty:

$$S = UI^* = 268 (35,8 + j 26,8) = 9600 + j 7200 \text{ BA},$$

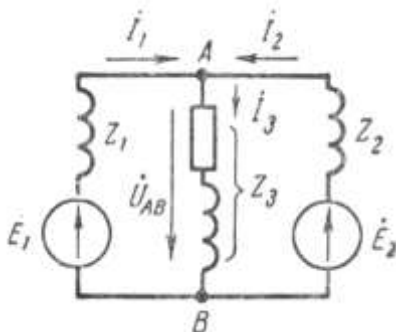
$$P = 9,6 \text{ kWt}, \quad Q = 7,2 \text{ kWAr}.$$

Seredilýän zynjyryň wektor diagrammasy 6,5, b çyzygyda getirilen (görkezilen).

#### § 6.4. Birnäçe imit çesmeli çylşyrymly zynjyryň hasaby.

Omuň we Kirhgofyň kanunynyň aňladýan deňlemeler, hemişelik we üýtgeýän el. togynyň el. zynjyrynlary üçin birmeňzeşdir. Ol bolsa sinusoýdal el. togynyň zynjyry üçin hemişelik el. togynyň çylşyrymly zynjyrynyň hasabat usulyny birinji bölümdä seredilen, ulanmaga mümkinçilik berýär: düwün nokatlara we konturlara, kontur el. toglary usuly, üst-üste goýma usuly, düwün naprýaženiýe we kwapdaş generatoryna. Kirhgofyň kanunlaryny gös - göni ulanma usuly.

Bu ýerde zynjyryň hasabynyň tertibi. Hemişelik el. togynyň zynjyrynyň hasabatyndaky ýaly galýar ýöne e.h.g. güýjenmäni, el. togyny we garşylyga kompleks ululyk hökmünde seretmeli we hasaplamany simwoliki usulda geçirmeli.



Çyzygy 6.6.

**Mesele 6.2.** Iki sany  $E_1=E_2=1000$  W sinusoýdal e.h.g. el. maşyny umumy ýüklenmä işleýärler (6.6 çyz.). Elektrik maşynynyň sargylarynyň garşylygy deň:  $Z_1=Z_2=j$  20 Om (sargydyň aktiw garşylygy kiçi (az) we ony göz önünde tutmasaň hem bolar). Ýüklenmäniň garşylygy  $Z_3=5+j$  8,66 Om.  $E_2$  e.h.g. fazasy boýunça  $E_1$ -den  $30^0$  yza galýar. Shemada paýlanma el. togyny tapmaly.

**Çözülişi.** Döwün naprýaženiýe usulyny ulanarys. Elektrik hereketlendiriji güýjiň  $E_1$  wektoryny hakyky ululygyň oky boýunça ugrukdyrarsy. Onda

$$E=1000 \text{ W}, E_2=1000e^{-j30^\circ}=1000(0,866-j 0,5)=886-j 500 \text{ W}.$$

$$Y_1=Y_2=\frac{1}{j2}=-j0,5 \text{ Om}^{-1},$$

$$Y_3=\frac{1}{5+j8,66}=\frac{5-j8,66}{25+75}=0,05-j0,0866=0,1e^{-j60^\circ}.$$

Geçirijilikler:

$$U_{AB}=\frac{E_1Y_1+E_2Y_2}{Y_1+Y_2+Y_3}=\frac{1000(-j0,5)+(886-j500)(-j0,5)}{-j0,5-j0,5+0,05-j0,0866}=846-j269 \text{ W}.$$

A we B döwün nokatlaryň arasyndaky naprýaženiýe.

$$I_1=\frac{E_1-U_{AB}}{Z_1}=\frac{1000-846+j269}{j2}=134,5-j77 \text{ A},$$

$$I_2=\frac{E_2-U_{AB}}{Z_2}=\frac{886-j500-846+j269}{j2}=-115,5-j10 \text{ A},$$

$$I_3=U_{AB}Y_3=(846-j269)(0,05-j0,0866)=19-j87 \text{ A}.$$

### § 6.5. Aýlaw (töwerek) diagrammasy barada düşünje.

Üýtgeýän el. togynyň zynjyry bolanda käwagtlar käbir zynjyryň gysgyçlarynda  $U$  naprýaženiýanyň üýtgedmek ýagdaýynda we kesgitli çäkde zynjyryň haýsy bolsa bir garşylygynyň üýtgände el. ululyklaryň ( $P$ ,  $I$  we başg.) häsiýetini we üýtgame çäginä hökmany anyklamak ýüze çykýar. Şu ýumuşy çözmeklik üçin aýlaw diagrammasy diýilenini ulanmaklyk amatlydyr.

Garşylyklar  $R$  we  $X_L$  izigider birikdirilen el. zynjyryna serederis (6.7 syr.)

Şolar ýaly zynjyr üçin

$$U = I \cdot R + j I X_L \quad (6.19)$$

Naprýaženiýanyň  $IR$  we  $I X_L$  wektorlary göniburçly OAK üçburçlygyň katetiniň özüni görkezýär, onuň gipetenuzasy bolsa ululygy boýunça üýtgeýän  $U$  naprýaženiýanyň wektory hasaplanýar. Seredilýän zynjyryň hemişelik  $R$  garşylygynda we induktiw  $X_L$  garşylygyň nuldan tükeniksiz üýtgände  $I$  el. togynyň bahasynyň, aktiw  $P$  kuwwatyň we reaktiw  $Q$  kuwwatyň nähili üýtgejekdigini anyklarys.

Ýarymgeçirijiligiň diametri diýip  $IR$  wektoryň ahyrynyň orun üýtgedýän OK gipetenuza aýdylýar.  $X_L = 0$ ,  $U = IR$  bolanda A nokat K nokat bilen gabat gelýär.  $X_L \rightarrow \infty$  zynjyrdä el. togy peselýär, nokat  $IR \rightarrow 0$ , A nokat bolsa O nokada ýakynlaşýar. Sebäbi garşylyk  $R = \text{const}$ , onda käbir  $m_i$  masştabda OA kesimiň uzynlygy zynjyrdaky el. togynyň ululygyny kesgitleýär.

Masştab  $m_i$  aşakdaky gatnaşykdan kesgitlemek kyn

$$\frac{U}{R} = OK \cdot m_i.$$



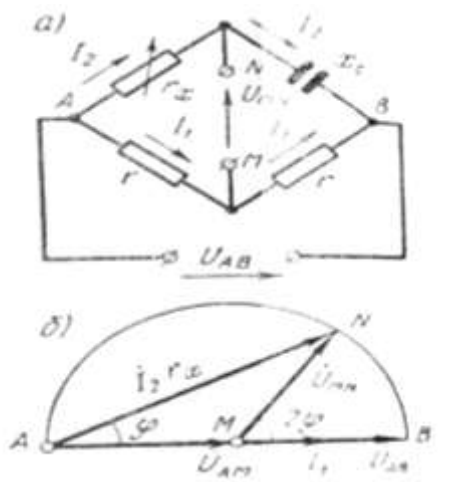
OM kesim el. togynyň I cosφ aktiw düzüjilerine proporsional, m<sub>p</sub> masştabda zynjyryň aktiw kuwwatyny kesgitleýärler, sebäbi U=const.

$$\frac{U^2}{R} = OK \cdot m_p.$$

Eger-de OK kesim kăbir  $m_{\Omega}$  masşabda zynjyryň aktiw R garşylygyny görkezýär, onda KN kesim şol masşabda  $X_L$  induktiw garşylygyň ululygyny berýär, sebäbi  $KN=OK \cdot \tan \varphi$ .

$$\mathbf{R} = \mathbf{OK} \cdot \mathbf{m}_\Omega$$

213



Çyzgy 6.8.

Indi käbir elektrik gurlyşlarda peýdalanýan fazalaýjy diýip aýdylýanyň shemasyna serederis (6.8 a çyz.).

Köpri shemasynyň eginlerine iki deň ululykdaky aktiw R garşylygy we .... çäklerde üýtgedip bolýan sygym  $X_c$  garşylygy we  $R_x$  aktiw garşylygy çatylandyr. Bu shema giriş gysgyçlarda üýtgemez  $U_{AB}$  naprýaženiýede çykyş gysgyçlarda ululygy boýunça hemişelik ýöne fazasy boýunça  $U_{AB}$  güýjenmä otnositel (görä) 0-dan  $180^\circ$  çenli dürli  $\varphi$  burça süşürilen  $U_{MN}$  naprýaženiýe alarlar.

Shemanyň bu häsýetini analitiki töwerek (aýlow) diagrammanyň kömegi bilen düşündirip bolar.

AMNA kontur üçin Kirhgofyň II kanunynyň deňlemesini ýazarys:

$$I_1 R + U_{MN} - I_2 R = 0.$$

Bu ýerde:

$$U_{MN} = I_2 R_X - I_1 R = \frac{U_{AB}}{R_X - jX_C} R_X - \frac{U_{AB}}{2R} R = \frac{U_{AB}}{Ze^{-j\varphi}} R_X - \frac{U_{AB}}{2} =$$

$$= \frac{U_{AB}}{2} (2e^{j\varphi} \cos\varphi - 1) = \frac{U_{AB}}{2} (2e^{j\varphi} \frac{e^{j\varphi} + e^{-j\varphi}}{2} - 1) = \frac{U_{AB}}{2} e^{j2\varphi}. \quad (6.20)$$

$R_X$  garşylyk 0-dan  $\infty$  üýtgände I el. togynyň wektory we  $U_{AB}$  naprýaženiýanyň arasyndaky  $\varphi$  burç  $90^0$ -dan 0-çenli üýtgeýär.  $U_{MN}$  we  $U_{AB}$  naprýaženiýanyň wektorlarynyň aralaryndaky faza süýşmesi  $2\varphi$  deň bolup degişlilikde  $180^0$ -dan 0-a çenli üýtgeýär.

Bu ýagdaýy töwerek diagramasynyň kömegi bilen görnükli illýustrirlenýär (6.8 b çyz).

$I_1$  el. togynyň wektory faza boýunça  $U_{AB}$  naprýaženiýanyň wektory bilen gabat gelyär.  $U_{AM}$  naprýaženiýe AM bölümde (ülüşde)  $\frac{1}{2}U_{AB}$  deň. El. togynyň  $I_2$  wektory naprýaženiýanyň  $U_{AB}$  wektoryndan fazasy boýunça  $\varphi$  burç ozýar (öňe geçýär). Garşylyk  $R_X$  üýtgände wektoryň ahyry  $I_2 R_X$  ýarym töwerek boýunça orun üýtgedýär. Diagrammadan görnüşi ýaly naprýaženiýe  $U_{MN}$  ululygy  $|U_{AB}/2|$  boýunça hemişelik bolup galýar we  $U_{AB}$  güýjenmä görä (otnositel) faza boýunça  $2\varphi$  burça süýşürilendir.

## **§ 6.6 Üýtgeýän el. togynyň zynjyrynda özara induktiwlilik.**

Simwoliki usul şeýle hem induktiw baglanyşykly elemeti saklaýan üýtgeýän el. togynyň hasabyny ýönekeýleşdirmäge mümkinçilik berýär. E.h.g we naprýaženiýanyň deňliginiň kontur deňlemesi düzülende şu ýagdaýlar üçin hökmany özara induksiýanyň e.h.g hasaba

almaly (ýa-da degişlilikde şol e.h.g deňagrmlaşdyrýan güýjenmäni).

Kä ýagdaýlarda özara induktiw baglanşykly iki zynjyr şol bir wagtyň özünde gös-göni elektrik baglanşygda eýedir.

Iki induktiw baglanşykly tegekleriň (6.9, a we b çyzgy) izigider birikdirilen shemasyna serederis.

Tegekleriň ylalaşykly çatylan ýagdaýynda (6.9, a çyzgy)  $e_L$  we  $e_{L2}$  öz-özünüň induksiýasynyň e.h.g. we  $e_{m2}$  we  $e_{m1}$  özara induksiýanyň e.h.g. položitel ugurlary iki tegekdən geçýän (§4.4. seret) i el. togynyň ugry bilen gabat gelýärler

Kirhgofyň ikinji kanuny boýunça

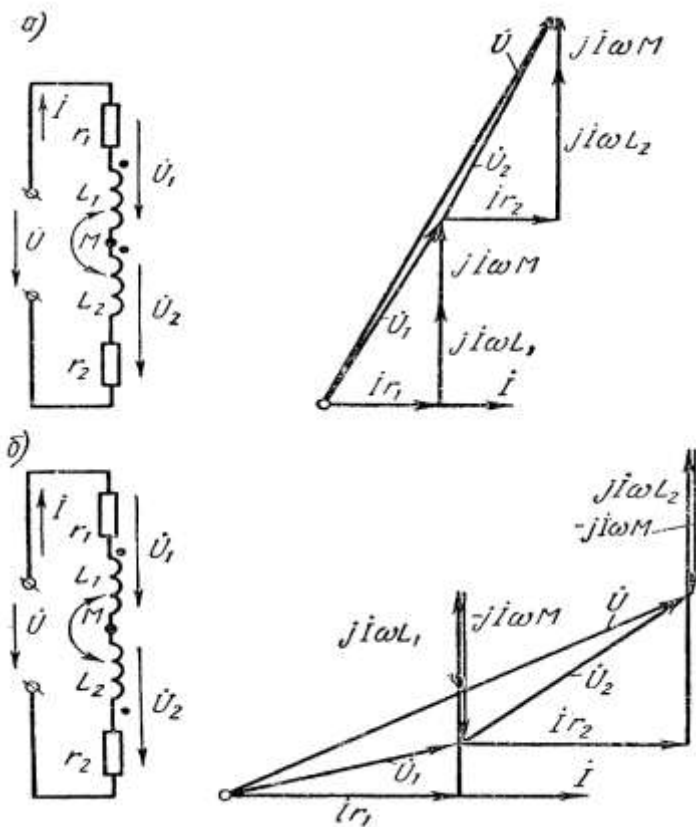
$$e_{L1} + e_{M1} + e_{L2} + e_{M2} = iR_1 + iR_2 - u;$$

$$\begin{aligned} U &= iR_1 + iR_2 + L_1 \frac{di}{dt} + L_2 \frac{di}{dt} + 2M \frac{di}{dt} = \\ &= i(R_1 + R_2) + (L_1 + L_2 + 2M) \frac{di}{dt} \end{aligned} \quad (6.21).$$

Tegekler garşylykly çatylanda (6.9, b çyzgy) kontur yzarlananda özara induksiýasynyň e.h.g. “minus” alamaty bilen alynýar:

$$e_{L1} + e_{L2} - e_{M1} - e_{M2} = iR_1 + iR_2 - u ,$$

$$\begin{aligned} u &= iR_1 + iR_2 + L_1 \frac{di}{dt} + L_2 \frac{di}{dt} - 2M \frac{di}{dt} = \\ &= i(R_1 + R_2) + (L_1 + L_2 - 2M) \frac{di}{dt}. \end{aligned} \quad (6.22)$$



Çyzgy 6.9.

Aňlatma (6.21) we (6.22) iki izygider birikdirilen induktiw baglansýkly tegekler  $\mathbf{R}_{kw} = \mathbf{R}_1 + \mathbf{R}_2$  aktiw garşylyga eýe bolan we induktiwligi  $\mathbf{L}_{kw} = \mathbf{L}_1 + \mathbf{L}_2 \pm 2\mathbf{M}$  bolan tegege kwapdaş dyr (ekwiwalentdir). Şeýlelik bilen özara induktiwligi bolanda ylalaşykly çatylanda umumy induktiwlik ýokarlanýar we tegekler garşy çatylanda azalýar (kiçelýär).

Kirhgofyň ikinji kanunynyň (6.21) we (6.22) deňlemesini kompleks şekilinde umumy aňlatmada görkezip (berip) bolar.

$$\mathbf{U} = \mathbf{I}(\mathbf{R}_1 + \mathbf{R}_2) + \mathbf{j} \mathbf{I} \mathbf{w} (\mathbf{L}_1 + \mathbf{L}_2 \pm 2\mathbf{M}) \quad (6.23).$$

Bu ýerden zynjyrdaky el. togy

$$I = \frac{U}{(R_1 + R_2) + j\omega(L_1 + L_2 \pm 2M)}. \quad (6.24).$$

Iki biri-birine bagly tegekleriň ylalaşykly we garşylykly çatylan ýagdaý üçin wektor diagramma 6.9 a,b çyzgyda şekillendirilen.

**Mysal 6.3.** Woltmetr, ampermetr we watmetr arkaly umumy naprýaženiýe, zynjyrdaky el. togy we isleg bildirilýän (talap edilýän) kuwwat ölçelendir: tegekler ylalaşykly çatylanda (6.9, a çyzga seret)  $U=200 \text{ W}$ ,  $I_{\text{ylal.}}=3,5 \text{ A}$ ,  $P_{\text{ylal.}}=320 \text{ Wt}$ ;

b) tegekleriň garşylykly çatylan ýagdaýynda  $U=200 \text{ W}$ ,  $I_{\text{garş.}}=6,8 \text{ A}$ ,  $P=1210 \text{ Wt}$ .

Eger-de ýygylýk  $f=50 \text{ Gs}$  bolsa ölçeg maglumatlary boýunça tegegiň özara  $M$  induktiwligini kesgitlemeli,

**Çözülişi:** a) ylalaşykly shema üçin:

$$Z_{\text{ylal.}} = \frac{U}{I_{\text{ylal.}}} = \frac{200}{3,5} = 57 \text{ Om}, \quad R = \frac{P_{\text{ylal.}}}{I_{\text{ylal.}}^2} = \frac{320}{3,5^2} = 26,1 \text{ Om},$$

$$X_{\text{ylal.}} = \sqrt{Z_{\text{ylal.}}^2 - R^2} = \sqrt{57^2 - 26,1^2} = 50,8 \text{ Om}.$$

b) garşylykly shema üçin:

$$Z_{gars} = \frac{U}{I_{gars}} = \frac{200}{6,8} = 29,4 \text{ Om}, \quad R = \frac{P_{gars}}{I_{gars}^2} = 26,1 \text{ Om}.$$

$$X_{gars} = \sqrt{Z_{gars}^2 - R^2} = \sqrt{29,4^2 - 26,1^2} = 13,5 \text{ Om}.$$

(6.24) aňlatmadan görnüşi ýaly

$$X_{ylal} - X_{gars} = 4 \text{ wM}.$$

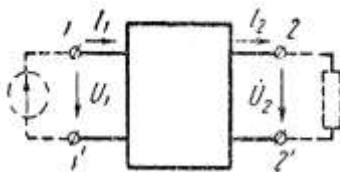
Bu ýerden

$$M = \frac{X_{ylal} - X_{gars}}{4w} = \frac{50,8 - 13,5}{4 \cdot 314} = 0,03 \text{ Gn} = 30 \text{ mGn}.$$

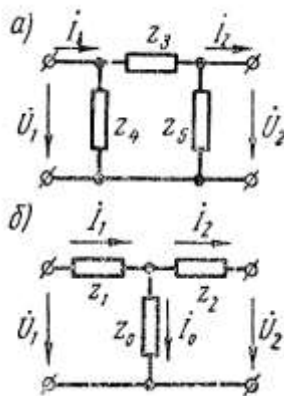
### § 6.7. Dörtpolýuslyklar.

Iýmitlendiriş çeşmesinden ýüklenmä energiýa berilende dürli geçiriji zynjyr ulanylýar. Ýönekeý mysal bolup geçirij liniýalaryň simlarydyr, baglaşdyryjy bogunlar has çylşyrymly görnüşi bolup transformatorlar we beýleki gurluşlar hasaplanylýar. Iýmitlendiriş çeşmesiniň  $1^1-1^1$  we energiýany kabul edijileriň iki çykyş  $2-2^1$  gysgyçlaryna birikdirilýän şeýle görnüşli iberiji gurluşlara **dörtpolýuslyklar diýilýär.** (6.10 çyzgy).

Mundan beýläk passiw dörtpolýuslyklara serediler, ýagny olar ýalylar özlerinde haýsy-da bolsa energiýanyň çeşmesini saklamaýarlar.



Çyzgy 6.10.



Çyzgy 6.11.

Passiw dörtpolýuslyklara iberiş (ugradylýan) liniýasyndan, transformatorlardan başga şeýlede köpri shemalary, kesgitli ýygýlykly el. togyny geçirýän elektrik süzujileri we beýleki gurnamalar degişlidir.

Erkin sanly hemişelik liniýa garşylyklardan durýan, islendik passiw dörtpolýuslyklaryň shemasyny kwapdaş özgertmeleriň kömegi bilen üçburçlyga çatylan üç  $Z_3$ ,  $Z_4$ ,  $Z_5$  garşylyklara, (6.11, a çyzgy) ýada ýyldyz görnüşde çatylan  $Z_0$ ,  $Z_1$ ,  $Z_2$  üç garşylyga (6.11, b) getirip bolar.

Şeýlelik bilen alynan kwapdaş elektrik shemasyna degişlilikde  $\Pi$ -görnüşli ýa-da T-görnüşli dörtpolýuslyklaryň çalyşma shemasy diýilýär.

Dörtpolýuslyklar üçin  $U_1$  güýjenmäni we  $I_1$  el. togyny shemanyň girişinde,  $U_2$  güýjenmäni we  $I_2$  el. togy bilen shemanyň çykyşynda baglaşdyrýan iki liniýanyň baglylygyny dikeltmek bolar (6.11, b).

Aýdalyň shemanyň çykyşynda  $U_2$  naprýaženiýe we ýüklenmäniň  $I_2$  el. togy berlen we dörtpolýusnigiň kwapdaş shemasynyň  $Z_1$ ,  $Z_2$ ,  $Z_0$  garşylyklary belli diýelin. Shemanyň girişindäki güýjenmäni  $U_1$  we el. togyny  $I_1$  ululyklarynyň üsti



bilen aňladarys. Onuň üçin Kirhgofyň birinji we ikinji kanunlarynyň deňlemelerini ulanarys (peýdalanarys).

$$I_1 = I_2 + I_o = I_2 + \frac{U_2 + I_2 Z_2}{Z_o} = \frac{1}{Z_o} U_2 + (1 + \frac{Z_2}{Z_o}) I_2. \quad (6.25).$$

$$\begin{aligned} U_1 &= I_1 Z_1 + I_2 Z_2 + U_2 = (\frac{U_2}{Z_o} + I_2 + I_2 \frac{Z_2}{Z_o}) Z_1 + I_2 Z_2 + U_2 = \\ &= (1 + \frac{Z_1}{Z_o}) U_2 + (Z_1 + Z_2 + \frac{Z_1 Z_2}{Z_o}) I_2. \end{aligned} \quad (6.26).$$

Ýazgyny gysgaltmak üçin belgiläp alarys.

$$\begin{aligned} \mathbf{I}_1 &= \mathbf{C} \mathbf{U}_2 + \mathbf{D} \mathbf{I}_2. \\ \mathbf{U}_1 &= \mathbf{A} \mathbf{U}_2 + \mathbf{B} \mathbf{I}_2. \end{aligned} \quad (6.28).$$

Bu baglansyga dörtpolýuslyklaryň deňlemesi A, B, C we D koeffisiýentlere - **dörtpolýuslyklaryň hemişeligi** diýilýär. Bu koeffisiýentleriň hemişelik ýygylýkdaky bahalary dörtpolýuslygyň çykyşyndaky ne ýüklenmä ne-de güýjenmä bagly bolman, diňe dörtpolýuslygyň elementleriniň\* aktiw we

$$1 + \frac{Z_1}{Z_o} = A, Z_1 + Z_2 + \frac{Z_1 Z_2}{Z_o} = B, \frac{1}{Z_o} = C, 1 + \frac{Z_2}{Z_o} = D, \quad (6.27)$$

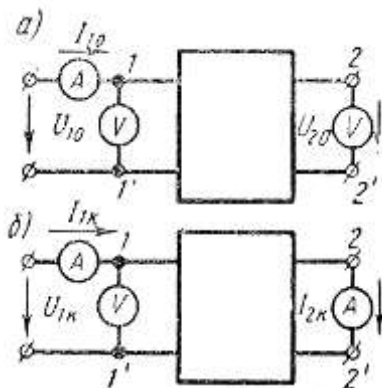
reaktiw garşylyklaryň we şol elementleriň özara birikdirme shemasynyň bahalary bilen kesgitlenýär.

Koeffisiýentler A we D (6.27) görnüşi ýaly nul ölçege (razmernost), B garşylyk ölçege, C-geçirijilik ölçege eýedirler. Şol koeffisiýentleriň arasynda aşakdaky ýaly baglansygy bardyr.

$$AD - BC = 1 \quad (6.29)$$

Dörtpolýuslugyň hemişeligi boş iş we gysga çatylma tejribesiniň netijesinde eksperiment arkaly kesgitlenip biliner.

Boş iş tejribesinde (6.12, a çyzgy) 2-2<sup>1</sup> çykyş gysgyçlary ýazdyrylan, 1-4<sup>1</sup> gysgyçlara bolsa  $U_{10}$  naprýaženiýe berilýär.



Çyzgy 6.12.

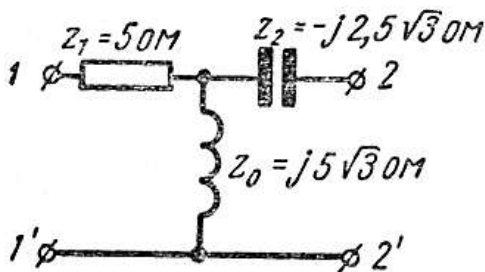
Dörtpolýuslyga gelýän  $I_{10}$  el. togyna boş iş ýagdaýyndaky el. togy diýilýär. Sebäbi seredilýän režimde el. togy  $I_2=0$ , onda ol bahany (6.28) deňlemä goýup, alars

$$I_{10} = CU_{20}, \quad U_{10} = AU_{20} \quad (6.30)$$

Boş iş tejribesinde (6.12, b çyzgy) 2-2<sup>1</sup> çykyş gysgyçlary ampermetriň (garşylygy diýseň kiçi) üsti bilen gysga çatylýar. 1-1<sup>1</sup> gysgyçlara  $U_{1K}$  naprýaženiýe berilýär, dörtpolýuslygyň zynjyryndan  $I_{1K}$  we  $I_{2K}$  el. togy akýar. Çünki ampermetriň garşylygy ujypsyz kiçi, onda  $U_{2K}=0$ . Şu režim üçin (6.28) deňlemäni ulanyp, alarys

$$I_{1K} = DI_{2K}, \quad U_{1K} = BI_{2K} \quad (6.31)$$

Dörtpolýuslygyň zynjyryna çatylan ölçeg abzallarynyň (ampermetr, Woltmetr, Wattmetr, fazometr) görkezýänleriniň üsti bilen  $U_{10}$ ,  $U_{20}$ ,  $U_{1K}$  we naprýaženiýe  $I_{10}$ ,  $I_{1K}$ ,  $I_{2K}$ , el. toglary üçin kompleks aňlatmalary tapylyp biliner. Soňra bolsa (6.30) we (6.31) deňlemelerden derňelýän dörtpolýusnigiň hemişeliginiň kompleks bahalary kesgitlenendir.



6.13.Çyzgy

A, B, C, D koeffisiýentleriň san bahalaryny goýuşdyryp we dörtpolýuslygyň (6.28) deňlemesini ulanyp  $U_2$  we  $I_2$  çykyşdaky ululyklaryň islendik bahalarynda  $U_1$  we  $I_1$  giriş ululyklary we tersine girişdäki ululyklaryň berlen  $U_1$  we  $I_1$  bahalarynda çykyşdaky  $U_2$  we  $I_2$  ululyklary kesgitläp bolar. Şeýlelikde dörtpolýuslygyň içinde ýerleşýän şahalardaky naprýaženiýeleri we el. toglary hasaplamaklygyň zerurlygy ýok.

**Mysal. 6.4.** Näbelli garşylykly passiw dörtpolýuslygyň boş iş we gysga çatma ýagdaýlarynda tejribesinden naprýaženiýanyň we el. toglaryň (toklaryň) bahalary kesgitlenen:

$$U_{10} = 200W, I_{10} = 20e^{-j60^\circ} A, U_{20} = 100\sqrt{3}e^{j30^\circ} W,$$

$$U_{1K} = 200W, I_{1K} = 20e^{j60^\circ} A, U_{2K} = 40e^{j60^\circ} A,$$

A, B, C, D koeffisiýentleri we  $Z_1$ ,  $Z_2$ , we  $Z_0$  garşylygyny dörtpolýuslygyň T-görnüşli çalyşma shemasyny kesgitlemeli.

A, B, C, D koeffisientleri we dörtpolýuslygyň T-görnüşli çalyşma shemanyň  $Z_1$ ,  $Z_2$  we  $Z_0$  garşylygyny kesgitlmeli.

**Çözülişi.** Dörtpolýuslygyň hemişeligini kesgitläris:

$$A = \frac{U_{10}}{U_{20}} = \frac{200}{100\sqrt{3}e^{j30^\circ}} = \frac{2}{\sqrt{3}}e^{j30^\circ}, \quad C = \frac{I_{10}}{U_{20}} = \frac{20e^{-j60^\circ}}{100\sqrt{3}e^{j30^\circ}} = \frac{1}{5\sqrt{3}}e^{-j90^\circ},$$

$$B = \frac{U_{1K}}{I_{2K}} = \frac{200}{40e^{j60^\circ}} = 5 \cdot e^{-j60^\circ}, \quad D = \frac{I_{1K}}{I_{2K}} = \frac{20e^{j60^\circ}}{40e^{j60^\circ}} = 0,5.$$

(6.27) deňlemäni ulanyp çalyşma shemasynyň garşylygyny kesgitläris:

$$C = \frac{1}{Z_0}; \quad Z_0 = \frac{1}{C} = 5\sqrt{3}e^{j90^\circ} = j5\sqrt{3}Om,$$

$$A = 1 + \frac{Z_1}{Z_0}, \quad Z_1 = (A - 1)Z_0 = \left(\frac{2}{\sqrt{3}}e^{-j30^\circ} - 1\right)5\sqrt{3}e^{j90^\circ} = 10e^{j60^\circ} - 5\sqrt{3}e^{j90^\circ} =$$

$$= 10(\cos 60^\circ + j\sin 60^\circ) - j5\sqrt{3} = 5 + j5\sqrt{3} - j5\sqrt{3} = 5Om,$$

$$D = 1 + \frac{Z_2}{Z_0}, \quad Z_2 = (D - 1)Z_0 = (0,5 - 1)j5\sqrt{3} = -j2,5\sqrt{3}Om.$$

6.13 Çyzgy gözegçilik edilýän dörtpolýuslygyň T-görnüşli (şekilli) çalyşma shemasy berilen.

## 6. Bölüm üçin barlag soraglary we meseleler.

1. Kompleks sanlar barada iş geçirilende kompleks sanlaryň ol ýada beýleki görnüşdäki (şekildäki) ýazgylardan, peýdalanmak amatlydyr.

2. Elektrik zynjyryndan  $I_a$  we  $I_{rak}$  aktiw we reaktiw düzüjileri bolan I el. togynyň kompleks aňlatmanyň hakyky we hyýaly bölegine seredip bolarmy ?

**Jogap:** Eger-de şol bölekde hakyky ok boýunça goýlan naprýaženiýanyň wektory diňe hususy ýagdaýda.

3. Eke-täk elektrik çeşmeli şahalanmaýan zynjyryň hasaby üçin kompleks sanlardan ulanmaklyk ýerliklidir.

4. Kompleks garşylyk  $8+j6$  Om deň. Aktiw we reaktiw geçirijiligi kesgitlemeli.

**Jogap:**  $g=0,08$  Om<sup>-1</sup>,  $b_L=0,06$  Om<sup>-1</sup>.

5. Kompleks geçirijilik  $V=1,41+j1,73$  Om<sup>-1</sup>. Aktiwwe sygym garşylygy kesgitlemeli.

**Jogap:**  $R=0,282$  Om,  $X_C=0,346$ .

6. Berlen kompleks aňlatma boýunça naprýaženiýe

$$U = 50 + j 50\sqrt{3} \text{ W} \quad \text{we} \quad I = 4\sqrt{3} - j 4 \text{ A.}$$

elektrik zynjyrynyň bölegindäki el. togynyň aktiw we reaktiw düzüjilerini kesgitlemeli.

**Jogap:**  $I_A=0$ ,  $I_{reak}=8$  A (ind)

7. 5.5. mysaly (5.30,a) simwoliki usulda çözmeli.

8. Üst-üste goýma prinsipini ulanyp 6.2 mysaly simwoliki usulda çözmeli.

## ÝEDINJI BÖLÜM

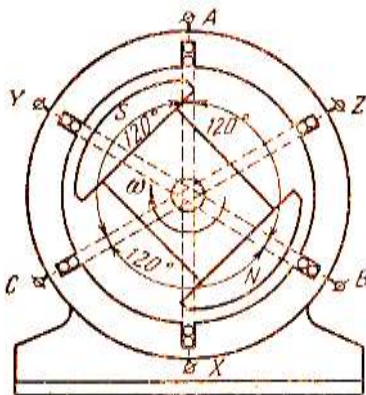
### Üçfazly togyň elektrik zynjyry. Üçfazly tok we onuň alnyşy.

#### § 7.1.Üçfazly togyň toplумы we onuň artykmaçlygy.

Üýtgeýän togyň senagat elektroenergetika enjamlarynyň giňden ulanyşy 1891-nji ýyldan soň M.O.Doliwo-Dobrowolskiý tarapyndan üçfazly toklaryň toplумы işlenip düzüldi we praktikada özleşdirilip başlady. Üýtgeýän togyň bu toplumynyň işlenip düzülmeginde öň, hemişelik toga garanda elektrik energiýany daş aralyga berilmeginde oňa garanda senagat enjamlarynda yza galýardy. Sebäbi ýönekeý we ygtybarly üýtgeýän togyň hereketlendirijilerini döretmek şowsuz bolup galdy.

Şeýle hereket getirijini bir wagtda bir ýygylkly özara üýtgeýän togyň faza süýşmesi bolan birnäçe zynjyryny ulanyp döretmek mümkinçiligi boldy. Üçfazly togyň simmetriki toplумы has ýönekeý we praktiki amatlysy bolup galdy. Şu toplumda üç zynjyr özara baglanşykda bolup, olaryň her birinde çeşme tarapyndan sinusoýdal elektrik herekete getirijini oýandyryr. Olar ýaly zynjyrlarda elektrik herekete getirijiniň ululuklary boýunça özara deňdirler we ýygylklary boýunça gabat gelýärler, ýöne biri-birinden fazalary boýunça döwüriniň üçden birine süýşendirler. Hemme (ähli) üç zynjyryň elektrik herekete getirijisi ýa-da aýdylyşy ýaly üç faza elektrik üç fazaly togyň generatorynda alynýar. Kabul edilen bir fazaly üýtgeýän togyň ýönekeý zynjyryna garanynda üç fazaly toplумыň ýönekeý we ygtybarly hereketlendirijisini almak mümkinçiliginden başga birnäçe beýleki artykmaçlyklary bardyr (berýär). Aýratyn hem üç fazaly togyň geçirij liniýanyň simynyň agramy ara üç fazaly togyň generatory şoňa meňzeş bir fazaly togyň enjamyndan has tygşytladyr.

**Üç fazaly togyň alnyşy.** Üç fazaly togyň generatorynyň gurluşy 7.1-nji çyzgyda görkezilen.



7.1-nji çyzgy. Üç fazaly togyň generatorynyň shemasy.

Öň seredilen bir fazaly iki polýusly generatordan tapawutlykda (5.2-nji çyzgy) üç fazaly generatoryň statorynyň ýarçygy giňişlikde biri-birinden  $120^\circ$  süşürilen üç sany bir meňzeş tegek ýerleşdirilen. Rotor aýlananda (N-S polýus) statoryň her bir tegeginde sinusoýdal elektrik herekete getiriji induktirlenýär. Ol sarymlaryň meňzeşligi (tozdesttwenligi) üçin olardan alynýan elektrik herekete getiriji ampletuda bahasy ýygylgy boýunça deňdir, ýöne fazalary boýunça biri-birinden otnositel döwrüň üçden birine süşürilendir.

Üç fazaly generatoryň sarymlarynyň uçlaryny aşakdaky ýaly başlangyjy A, B, C, olara degişli bolan ahyrky uçlary – X, Y, Z harpy bellemek kabul edilendir. A- X, B-V we C- Z sarymlarda induktirlenen elektrik herekete getiriji  $\dot{E}_A$ ,  $\dot{E}_B$  we  $\dot{E}_C$  ýagny  $\dot{E}_B$ -e  $\dot{E}_A$ -dan,  $\dot{E}_C$  hem  $\dot{E}_B$  - den üçden bir döwür iza galar ýaly edilip uçlaryň belgileri şol hasap arkaly amala aşyrylýar. Wagtyň momentiniň hasabatynyň başlangyjy hökmünde, haçanda A-X sarymda elektrik herekete getiriji  $I_A$  nula deň bolandakysyny kabul edip aşakdaky başlangyjy ýazarys:

$$\left. \begin{aligned} l_A &= E_{mA} \sin \omega t \\ l_B &= E_{mB} \sin (\omega t - 120^\circ) \\ l_C &= E_{mC} \sin (\omega t - 240^\circ) \end{aligned} \right\} 7.1.$$

7.1. (deňlemelere degişli  $e(t)$  egriler (grafiklar) 7.2-nji çyzgyda görkezilen.

Eger-de A fazanyň elektrik herekete getiriji  $E_A$  simwoliki görnüşde ýazsak onda B we C fazalaryň elektrik herekete getiriji degişlilikde aşakdakylara deňdirler:

$$\begin{aligned} \dot{E}_B &= \dot{E}_A e^{-j120^\circ} \\ E_C &= E_A e^{-j240^\circ} = E_A \cdot e^{120^\circ} \end{aligned}$$

$\dot{E}_{mA}$ ,  $E_{mB}$  we  $E_{mC}$  elektrik herekete getiriji wektor diagrammasy (7.3-nji çyzgy) simmetriki üç şöhleli ýyldyz görnüşde bolýar.

Şular ýaly toplum (sistema) üçin aşakdaky gatnaşyklar adalatlyfyr (dogrydyr):

$$\dot{E}_{mA} + \dot{E}_{mB} + \dot{E}_{mC} = 0$$

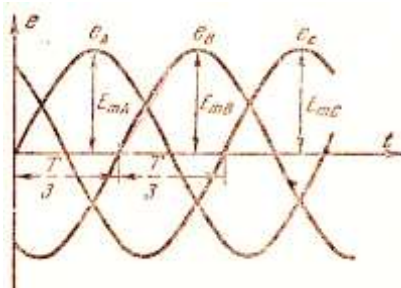
Dogrudan hem ululuklary boýunça deň we fazalary  $\dot{E}_{mA} + \dot{E}_{mB} + \dot{E}_{mC} = 0$  boýunça üçden bir döwür üç wektoryň geometriki jemi nula deň.

Üç fazaly generatoryň elektrik herekete getiriji pursat bahalarynyň jemi (7.2) aňlatmadan görnüşi ýaly nula deňdir:

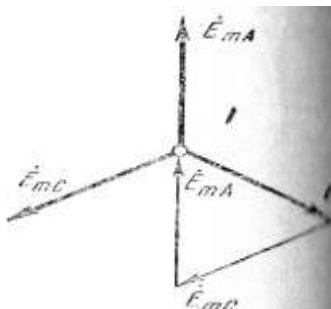
$$e_A + e_B + e_C = 0$$

Bu kanuna laýyklygy (7.2-nji çyzgy seret) egrilerden izarlamak (barlamak) kyn dälendir.





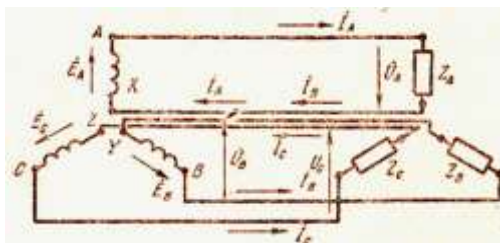
7.2-nji çyzgy. Üç fazaly toplumlaryň elektrik herekete getiriji egrileri.



7.3-nji çyzgy. Üç fazaly toplumlaryň elektrik herekete getiriji wektor diagrammlary.

### § 7.2.Üç fazaly togyň baglanşyksyz toplumy.

Eger-de üç fazaly generatoryň her bir sarymyna iki simiň kömegi bilen  $Z_A$ ,  $Z_B$  we  $Z_C$  ýüklenme garşylygy (7.4-nji çyzgy) birikdirilse onda üç elektrik baglanşyksyz bir fazaly togyň zynjyry dörrär.



7.4 çyzgy.

Bu ýerde bir naprýaženiýalary boýunça simmetriki üç fazaly toplumyna serederis, ýagny şeýle topluma ýüklenmeleriniň gysgyçlaryndaky täsir ediji naprýaženiýalary  $U_A$ ,  $U_B$  we  $U_C$  ululuklary boýunça deň yöne fazalary boýunça biri-birine garanda (otnositel) üçden bir döwür süşürilendir.

Her bir dörän üç zynjyrdaky togyň şeýle hem kuwwatyň koeffisiýentini aşakdaky deňlemeleri ulanyp tapyp bolar:

$$I_A = \frac{U_A}{Z_A}, I_B = \frac{U_B}{Z_B}, I_C = \frac{U_C}{Z_C},$$

$$\cos \varphi_A = \frac{Z_A}{Z_A}, \cos \varphi_B = \frac{Z_B}{Z_B}, \cos \varphi_C = \frac{Z_C}{Z_C}.$$

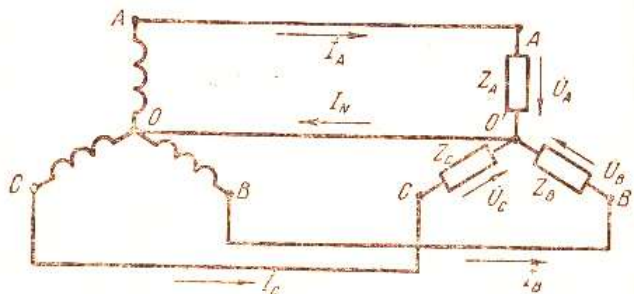
Generatoryň elektrik herekete getirijisi, naprýaženiýanyň we toklaryň položitel diýip kabul edilen ugurlaryň 7.4-nji çyzgyda dil (strelko) görnüşde belgilenen. Ähli zynjyrdan ol ugurlaryň saýlanmagy bir görnüşde (bir syhly) ýerine ýetirilmelidir. Adaty tok üçin položitel ugry generatordan kabul edijä bolan ugur, generatoryň elektrik herekete getiriji üçin – X,V we Z sarymlaryň ahylaryndan olaryň A,B we C başlangyjy bolan ugury kabul edýärler.

Başlangyçsyz üç fazaly zynjyr, üç aýry ýüklenmäni iýmetlendirmek üçin alty sim talap edýär. Şonuň üçin bir fazaly

zynjyr bilen deňeşdirilende simlaryň agramynda hiç hili peýda alynmady. Seredip geçilen shema real gurnamalarda ulanylmaýar. Üç fazaly gurnamalarda aýry- aýry fazalaryň zynjyrlary üç fazaly shema boýunça bir topluma birleşýärler.

### § 7.3. “Ýyldyz” shema boýunça birikdirme.

**Dörtsimli toplum.** Eger-de generatoryň sarymlarynyň ahyryny umumy O nokada birikdirsek, üç kabul edijiniň gysgyzlaryny umumy O' nokada birikdirsek (7.5-nji çyzgy), onda üç ýüklenmeli garşylykly üç fazaly generatory birikdirmek üçin bary ýogy dört sim talap edilýär.



7.5 çyzgy.

Degişlilikde O we O' nokatlar generatoryň nul (bitarap) nokady we ýüklenmäniň nul (bitarap) nokady diýilýär. A-A, B-B, C- C simlara liniýa simlary diýilýär, O we O' nokatlary baglaşdyrýan sima nul ýa-da (neýtral) bitarap simlary diýilýär. Ýäze çykýan çatga üç fazaly togyň dörtsimli toplumu ýa-da nul simli ýyldyz görnüşli birikme diýilýär.

Her bir liniýa we nulsimlaryň aralaryndaky naprýaženiýa faza naprýaženiýasy diýip,  $U_A$ ,  $U_B$  hem-de  $U_C$  harpy bilen belgilemek kabul edilen. Liniýa A we B, B we C, C we A simlarynyň aralaryndaky naprýaženiýa liniýa naprýaženiýasy diýilýär we  $U_{AB}$ ,  $U_{BC}$  we  $U_{CA}$  harplary bilen belgilenýär.

Ýüklenmelerini  $\dot{Z}_A$ ,  $\dot{Z}_B$  we  $\dot{Z}_C$  garşylyklaryna faza naprýaženiýasy berilen (goýlan).

Üç fazaly zynjyrlarda liniýa  $I_e$  we  $I_f$  toklary tapawutlanýarlar. Liniýa simlaryndan akýan  $I_A$ ,  $I_B$  we  $I_C$  toklaryna liniýa toklary diýilýär. Generatoryň sarymlaryndan ýa-da ýüklenmeleriniň garşylyklaryndan akýan toklara faza toklary diýilýär. Generatoryň her bir faza sarymlary ýyldyz görnüşde birikdirilen kabul edijileriň liniýa we faza özara yzygider birikdirilendir.

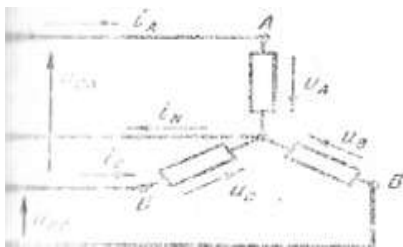
Liniýa togy faza togyna deň:

$$I_e = I_f \quad (7.6)$$

Nul simdan akýan tok  $I_N$  bilen belgilenýär. Baglanşyksyz toplumy (7.4-nji çyzgy) dörtsimli toplum (7.5-nji çyzgy) bilen çalyşmak generatoryň faza naprýaženiýasynyň ululugyna täsir etmeýär, şonuň üçin toklar  $I_A$ ,  $I_B$  we  $I_C$  şol we beýleki toplumlarda bir meňzeş bolup galýarlar. Deňlemeler (7.4) we (7.5) dörtsimli toplum üçin hem adalatlydyr (dogrydyr). Krihgofyň I kanunyny O' nokada ulanyp (nokat üçin ulanyp) we 7.5 - nji çyzgyda görkezilen toklaryň položitel ugurlaryny kabul edip alarys.

$$\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C \quad (7.7)$$

Ýagny nul simdaky tok liniýa toklary jemläp kompleks görnüşde aňladyp, ýa-da  $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_C$  toklary geometriki goşup kesgitlenýär.



7.6 çyzgy.

Saýlanyp alynan ýüklenmeleriň garşylyklaryndaky faza naprýaženiýalary položitel ugurlary 7.6 çyzgyda diller arkaly görkezilendir. Mysal üçin parsat naprýaženiýa, A we B liniýa simlaryň aralaryndaky  $U_{AB}$  naprýaženiýa A we B nokatlaryň aralaryndaky zynjyryň bölümindäki pursat naprýaženiýalaryň algebraiki jemine deňdir:

$$U_{AB} = U_A + (-U_B) \quad (7.8)$$

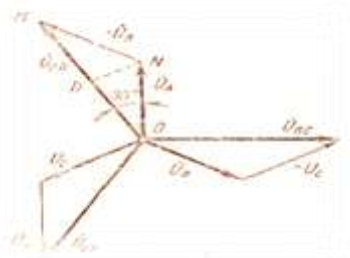
Naprýaženiýa  $U_B$  (7.8) aňlatmada “minus” alamaty bilen alynan, sebäbi ol naprýaženiýanyň täsiriniň ugruny A nokadyndan B nokada zynjyryň yzarlanma ugruna kabul edilen ters ugry alynandyr. Naprýaženiýanyň täsir ediji bahasyna geçip, (7.8) aňlatmanyň deregine (ýerine) aşakdakyny ýazmalydyr.

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B \quad (7.9)$$

Şuňa meňzeş  $U_{BC}$  we  $U_{CA}$  liniýa naprýaženiýa üçin aşakdaky baglanyşygy alyp bolar:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{BC} &= \dot{U}_B - \dot{U}_C, \\ \dot{U}_{CA} &= \dot{U}_C - \dot{U}_A \end{aligned} \quad (7.9 \text{ a})$$

Liniýa naprýaženiýalaryň wektorlarynyň gurluşy 7.7 çyzgyda görkezilen.



7.7 çyzgy.

Diagrammadan görnüşi ýaly, ähli üç liniýa naprýaženiýalar ululuklary boýunça özara deň we biri-birine garanda fazalary  $120^\circ$  boýunça süşürlendir. Deňtaraply DMN üçburçlukdan taparys:

$$DM = 20 \cos 30^\circ ON$$

$$\begin{array}{lll} \text{Ýöne} & OM = U_{AB} = U_e & \text{onda} \\ ON = U_A = U_f & & \end{array}$$

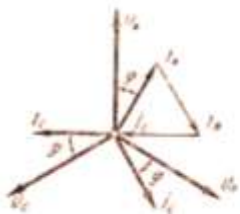
$$\text{Görnüşi ýaly ;} \quad U_e = \sqrt{3} U_f \quad (7.10)$$

Ýagny ýyldyz görnüşde birikdirilende liniýa naprýaženiýasy faza naprýaženiýasyndan  $\sqrt{3}$  göterim köpdür.

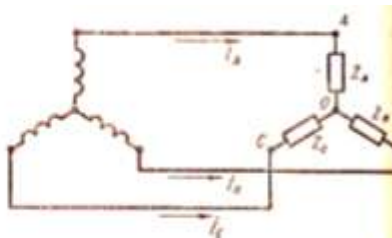
Üçfazly gurnamalarda käbir fazalaryň ýükini bir meňzeş etmäge çalyşýarlar. Şunlukda nul simda tok adaty her birliniýa toklaryndan azdyr. Şulardan ugur alyp nul simda kese – kesigini takmynan liniýa simlaryň kese – kesiginiň ýarsyny deň edip alýarlar. Bu bolsa dört simli toplumyň simlarynyň (jemleýji) baglanşyksyz üçfazly togyň alty simly toplumynyň simlaryny umumy agramlaryny düpli azatlatmaga alyp barýar.

#### § 7.4.Üç simly toplum (sistema).

Fazalaryň simmetriki ýüklenmelerinde (deňölçegli), ýagny her bir faza çatylan ýüklenme garşylyklary, birmeňzeş ( $Z_A = Z_B = Z_C$ ) bolanda, ähli fazalardaky toklaryň wektorlary ululuklary boýunça deň we özleriniň naprýaženiýalaryna otnositel şol bir burça süşürlendir.



7.8 çyzgy.

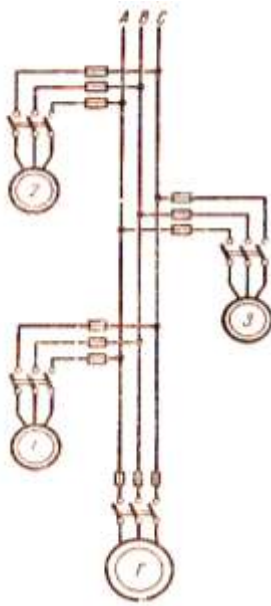


7.9 çyzgy.

Simmetriki ýagdaýa degişli wektor diagramma 7.8-nji çyzgyda görkezilendir. Nul simda tok (bolmaýar) ýokdur ( $I_N=0$ ) sebäbi liniýa toklaryň jemi nula deňdir. Simmetriki ýüklenmede nul simiň gerek bolmaýar we generatorlardan kabul ediljilere energiýanyň berilmegi üç sim arkaly amala aşyrylýar. Üç sim arkaly beriliş shema 7.9-nji çyzgyda görkezilen (berilen). Ähli üç fazalarda her biriniň döreden simmetriki ýüklenme döredilýän şeýle kabul edijileri imitlendirmek üçin diňe üç simly elektrik seti ýerine ýetirilýär (mysal üçin elektrik hereketlendirijiler). Ýagtylandyryş ýüklenmäni iýmitlendirmek üçin çyraný ýyldyz görnüşde çatylanda (birikdirilende) elektrik setini dörtsimly edip ýerine ýetirmeli, sebäbi bu ýerde fazanyň ýüklenmeleriniň deňlidiniň bir kuwwatly beýleki bir kuwwatly çyralara çalşylanda ýa-da ol ýa-da beýleki faza çatylanlary ýazdyrylanda bozulmagy mümkindir. Liniýa simlarynyň aralaryndaky naprýaženiýa praktiki ululyklary boýunça deň bolup galýarlar ( $U_{AB}=U_{BC}=U_{CA}$ ) we simmetriki ýagdaýlarda fazalary boýunça  $120^\circ$  özara süşürilendir. Diňe fazalaryň ýüklenmeleriniň simmetriki ýagdaýynda üç simli setde faza naprýaženiýalary ululuklary boýunça bir meňzeşdir. Eger-de şu setde haýsy hem bolsa sebäbe görä aýry-aýry fazalaryň ýükleriniň deňligi bozulsa, onda ýüklenmäniň nokady we liniýa simynyň aralaryndaky naprýaženiýa ýagny kabul edijileriň faza naprýaženiýalary  $U_A$ ,  $U_B$  we  $U_C$  deň bolmazlar (däldirler).

Şeýlelikde ýokarda görkezilen  $U_e = \sqrt{3}U_f$  gatnaşygy diňe fazlaryň ýüklenmesi simmetriki bolanda üç simli setde dogrudyr.

Üç gat jaýyň yşyklandyryş ýüklenmesini iýmitlendirmek üçin dörtsimly setiniň shemasy mysal hökmünde 7.10-njy çyzgy, üç fazaly elektrik hereketlendirijiler toplumyny iýmitlendirmek üçin üç simli setiň shemasy 7.11-nji çyzgyda görkezilen.



7.10-njy çyzgy. Dörtsimly  
yşyklandyryjy setiň shemasy.

7.11-nji çyzgy. Üç fazaly togyň üç  
simly güýçlendiriji setini shemasy.

Seti öte yüklenmelerden we gysga çatymadan goramak üçin ereýji goraýjylaryň goýulma ýerlerini çyzgylarda görkezilen. Nul simda ereji goraýjylary oturdylmagyna ýol berilmeli däl, sebäbi fazalaryň yüklenmeleriniň simmetriki däl ýagdaýda şol goraglaryň ýanmagy hatardan çykmagy



sebäpli ýokarlanan naprýaženiýa çyra şikes ýetirmedine getirer, şeýlelikde ol ýüklenmäniň bir fazalaryň astynda bolar. (7.3 we 7.4-nji mysallara seret)

Ýyldyz görnüşde çatylanda üçfazaly zynjyryň kuwwaty. Üçfazaly toplumyň her bir fazasynyň aktiw we reaktiw kuwwaty aşakdaky deňlemeler arkaly tapmak mümkindir:

$$P_A = U_A I_A \cos \varphi_A, \quad P_B = U_B I_B \cos \varphi_B, \quad P_C = U_C I_C \cos \varphi_C \quad (7.11)$$

$$Q_A = U_A I_A \sin \varphi_A, \quad Q_B = U_B I_B \sin \varphi_B, \quad Q_C = U_C I_C \sin \varphi_C \quad (7.12)$$

Aýry fazalaryň kuwwatlarynyň jemi bilen üçfazaly toplumynyň umumy kuwwaty kesgitlenýär:

$$P = P_A + P_B + P_C, \quad (7.13)$$

$$Q = Q_A + Q_B + Q_C \quad (7.14)$$

Simmetriki ýäklenmelerde  $P_A = P_B = P_C = P_f$ ,  
 $Q_A = Q_B = Q_C = Q_f \quad \varphi_A = \varphi_B = \varphi_C = \varphi$

Onda

$$\begin{aligned} P &= 3P_f I_f = 3U_f I_f \cos \varphi \\ Q &= 3Q_f I_f = 3U_f I_f \sin \varphi \\ S &= 3Q_f I_f \end{aligned} \quad (7.15)$$

Üçfazaly toplumyň kuwwatyny (7.15) deňlemeler faza togyň we faza naprýaženiýasynyň üsti bilen aňladýarlar. Kăwagtlar liniýa togynyň we naprýaženiýany ulugyny ulanyp

kuwwaty kesgitlemek amatly bolýar. Ýyldyz görnüşde çatylanda  $I_e = I_f$  we  $U_e = \sqrt{3} U_f$  hasaba alyp, alarys:

$$P = 3P_f \quad I_f = 3U_f I_f \cos \varphi$$

$$Q = 3Q_f \quad I_f = 3U_f I_f \sin \varphi \quad (7.16)$$

$$S = 3Q_f I_f$$

### § 7.5.Ýyldyz görnüşde çatylan üçfazaly sepiň hasaby. Simmetriki ýüklenmede üçsimli toplumyň hasaby.

Üçfazanyň simmetrik ýüklenmesinde ( $Z_A = Z_B = Z_C = Z$ ) üçfazaly üçsimliň hasaby praktiki birfazaly sepiň hasabyna gabat getirilýär.

Faza naprýaženiýasy  $U_f = \frac{U_e}{\sqrt{3}}$  berilen  $U_e$  liniýa

naprýaženiýasy arkaly ýüklenmäniň kesgitleýär, soňra bolsa  $Z$  ýüklenmäniň belli garşylygy iýmitlendiriji simlardaky togy

kesgitleýärler:  $I_e = I_f = \frac{U_e}{Z}$ . Tok bilen faza

naprýaženiýasynyň aralaryndaky faza süýşme sim  $\cos \varphi = \frac{r}{z}$  deňleme arkaly kesgitleýärler. Ulanylýan kuwwaty (7.15) we (7.16) deňlemeler arkaly tapýarlar.

Seredilip geçilýän naprýaženiýanyň we toklaryň wektor diagrammasy 7.8-nji çyzgyda getirilen (görkezilen).

Mysal 7.1. Liniýa naprýaženiýasy  $U_e = 380V$  bolan üçfazaly sete sarymlary ýyldyz görnüşde çatylýan

hereketegetiriji birikdirilen. Hereketegetirijiniň  $\cos \varphi = 0,8$  bolanda ulanyňan kuwwaty  $P=5.3$  kWt. Kegitlemeli: 1) ulanylyňan I togyň täsir ediji bahasy; 2) hereketegetirijiniň ulanylyňan Q reaktiw kuwwaty; 3) wagtyň dürli pursatlary üçin her bir fazadaky toklaryň göz açyp ýumasy wagtyň bahalary.

Çözülişi: Togyň täsir ediji bahasy.

$$I_e = \frac{P \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_e \cos \varphi} = \frac{5300}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0.8} = 10A$$

Reaktiwlik kuwwat

$$Q = \sqrt{3} U_e I_e \sin \varphi = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 10 \cdot 0.6 = 3960VAR = 3,96RVAR$$

7.12-nji çyzgy. Shemalar we wektor diagrammalar. (7.1 mysala deňişli). Toklaryň gaz-açyp ýumasy wagtdaky bahalary  $i_A$ ,  $i_B$  we  $i_C$ :

a) haçanda A fazadaky tok položitel maksimuma ýetende (7.12-nji a çyzgy)

$$i_A = I_m = 10\sqrt{2} = 14.2 A ;$$

$$i_B = I_m \sin (-30^\circ) = 10\sqrt{2} \sin (-30^\circ) = -7,1 A ;$$

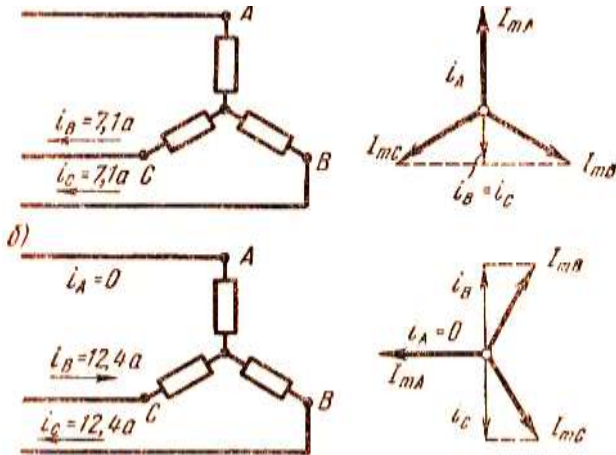
$$i_C = I_m \sin (-150^\circ) = 10\sqrt{2} \sin (-150^\circ) = -7,1 A ;$$

b) haçanda A fazanyň togy nolyň üstünden geçendäki wagtyň pursady üçin (7.12-nji b çyzgy)

$$i_A = 0,$$

$$i_B = I_m \sin(-60^\circ) = 10\sqrt{2} \sin(-60^\circ) = -12,4 \text{ A}$$

$$i_C = I_m \sin(-60^\circ) = 10\sqrt{2} \sin(-60^\circ) = -12,4 \text{ A}$$



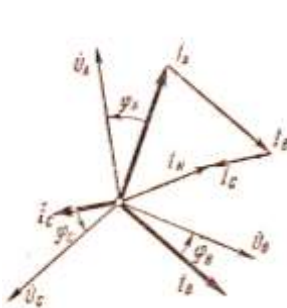
7.12-nji çyzgyda faza toklaryň hakyky ugurlarynyň strelka (dil) arkaly görkezilendihini belläp geçeliň.

Simmetriki däl ýüklenmede dörtsimli sistemanyň liniýaň (toplumyň) hasaby. Üç fazaly sistemada simmetriki däl ýüklenmede toklar we naprýaženiýalar hem bozulýar. Üç fazaly dörtsimli zynjyrlardaky ýakynlaşma hasaplamalarda köpülenç halatlarda ýüklenmelerini gysgyçlaryndaky faza naprýaženiýalaryň az bolan simmetriki dälligi göz önünde tutulmaýar we fázalary boýunça  $120^\circ$  yza galýarlar we  $U_f$  deňdir.

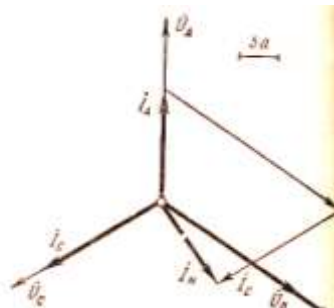
Her faza üçin togyň bahasy we faza süýşmesini belli bolan deňlemeler üsti bilen kesgitlenýär:

$$I_A = \frac{U_f}{r_A}, I_B = \frac{U_f}{r_B}, I_C = \frac{U_f}{r_C},$$

$$\cos \varphi_A = \frac{r_A}{r_A}, \cos \varphi = \frac{r_B}{r_B}, \cos \varphi_c = \frac{r_C}{r_C}$$



7.13 çyzgy.



7.14 çyzgy

Nul simdaky togy kesgitlemek üçin wektor diagrammany gurýarlar (7.13 çyz.).

$I_A, I_B$  we  $I_C$  faza toklaryň geometriki goşulmagy netijesinde  $I_N$  togyň wektoryny grafiki tapýarlar (7.7 deňlemä seret). Zynjyryň kuwwatyny (7.11) deňleme boýunça kesgitleýärler.

Mysal 7-2. Liniýa naprýaženiýa  $U_e = 220\text{V}$  bolan üç fazaly dörtsimli sete  $r_A = 100\text{m}$ ,  $r_V = 50\text{m}$ ,  $r_a = 7,50\text{m}$  ýyldyz görnüşinde birikdirilen. Kesgitlemeli: 1)  $I_A, I_B, I_C$ ; 2) üç fazaly sistemanyň  $P$  aktiw kuwwatyny; 3) Nul simdaky tok  $I_N$ .

Çözülişi. Faza naprýaženiýasy:

$$U_f = \frac{U_e}{\sqrt{3}} = \frac{220}{\sqrt{3}} = 127\text{ V}$$

Liniýa

togy:

$$I_A = \frac{U_f}{r_A} = \frac{127}{10} = 12,7\text{ A}, I_B = \frac{U_f}{r_B} = \frac{127}{5} = 25,4\text{ A}.$$

$$I_C = \frac{U_f}{r_C} = \frac{127}{7,5} = 16,9 \text{ A.}$$

Kuwwatlar

$$P_A = U_f I_A = 127 \cdot 12,7 = 1613 \text{ W}_t$$

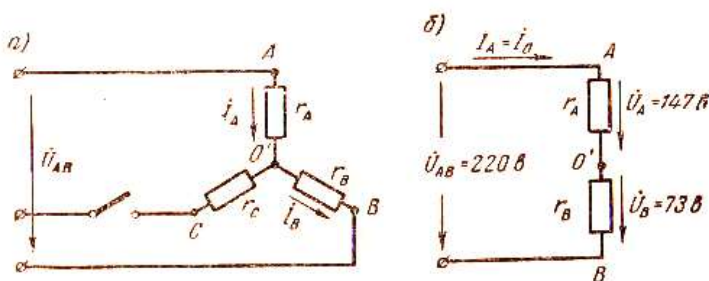
$$P_B = U_f I_B = 127 \cdot 25,4 = 3227 \text{ W}_t$$

$$P_C = V_f I_C = 127 \cdot 16,9 = 2150 \text{ W}_t$$

$$P = P_A + P_B + P_C = 1613 + 3227 + 2150 = 6990$$

$$W_t = 6,99 \text{ kW}_t$$

$I_N$  togy kesgitlemek wektor diagrammany gurýarys (7,14 çyz), we şol boýunça grafiki  $T=108\text{A}$  togy ýükleýäris.



7.15 çyzgy.

Mysal 7.3. Eger-de nul sim bolmanda,  $r_e$  N ýüklenme ýazdyrylanda 7.2 mysalyň san berlenleriniň (arkaly) üsti bilen kesgitlemeliL: 1) Liniýa toklary  $I_A$  we  $I_B$ ; 2) faza naprýaženiýasy  $U_A$  we  $U_B$  7.15 çyzgy. Başdaky (a) we hasap (b) shemasy (7.3 mysala degişli).

Çözülişi. Birikdirme shemasy mysalyň degişli şertine görä 7.15 çyz. (berilen) görkezilen. Çyzgydan görnüşi ýaly  $r_A$  we  $r_B$  garşylyklar bir fazaly zynjyra yzygider birikdirilen.  $r_C$  garşylykdaky tok nula deň. Onda

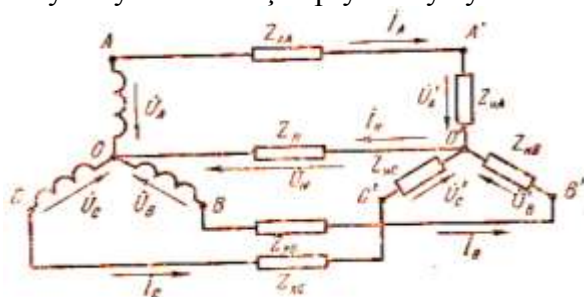
$$I_A = I_B = \frac{U_{AB}}{r_A + r_B} = \frac{220}{10 + 5} \approx 14,7 \text{ A.}$$

$$U_A = I_A \cdot r_A = 14,7 \cdot 10 = 147 \text{ v}, V_B = I_B \cdot r_B = 14,7 \cdot 5 \approx 73 \text{ v}$$

Alynan netije  $r_A$  garşylanda  $V_A$  faza naprýaženiýasy zynjyr laýyk işländäki ýagdaýa görä ( $U_f=127\text{v}$ ) artykdygyny görkezýär. Eger-de laýyk 127 v naprýaženiýa niýetlenen ýşyk çyralary çatylan bolsalar, onda nul simyň ýoklugy sebäpli olar ýokarlandyrylan naprýaženiýanyň täsirine düşerdiler we çalt hatardan çykardylar (köýerdiler). Şu mysal goragy nul simda goýmaklygyň rugsat edilmeyänligini tassyklaýar.

## § 7.6. Kompleks sanlary ulanyp hasaplama usuly.

Aýry fazalaryň ýüklenmeleriniň ýeterlik derejede deňsizligi we aýratyn hem nul simyň ýoklygy sebäpli kabul edijilerde naprýaženiýanyň simmetriýasy bozulýar. Aýry fazalaryň ululyklary bir meňzeş naprýaženiýaly.



7.16 çyzgy.

Simmetriki üçfazaly generator ýyldyz görnüşde ýüklenme birikdirilen diýip aýdalyň (guman edeliň). Generatoryň nul nokady we ýüklenme nul sim bilen baglydyr. (7.16 çyz.). dörtsimly sistema O we O' düwün nokatly

çylşyrymly zynjyr hökmünde goramak bolar we ony hasaplamak üçin düwün naprýaženiýasy ulanylýar.

Belgileýäris:

$\dot{U}'_A, \dot{U}'_B, \dot{U}'_C$  -generatoryň gysgyçlaryndaky faza naprýaženiýalary;

$Z_A, Z_B, Z_C$ -aýry fazalaryň doly garşylygy (liniýa simlarynyň garşylygyny goşup).

$Y_A, Y_B, Y_C$ -aýry fazalaryň doly geçirijiligi;

$Z_n$ -nol simyň garşylygy;

$Y_n = \frac{1}{Z_n}$  -nol simyň geçirijiligi.

Düwün naprýaženiýasy, ýagny ýüklenmäniň O' nul nokady bilen generatoryň O nul nokadynyň aralaryndaky naprýaženiýany aşakdaky deňleme boýunça kesgitleýäris.

$$\dot{U}_N = \dot{U}_{O'O} = \frac{\dot{U}_A Y_A + \dot{U}_B Y_B + \dot{U}_C Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C + Y_N} \quad (7.17)$$

Bu deňleme iki düwün nokatly hemişelik togyň zynjyry üçin alnan (1.30) aňlatma gabat gelýär.

$\dot{U}_N$  naprýaženiýany bilip nul we liniýa simlaryndaky toklary kesgitlemek üçin deňmeleri alarys

$$\left. \begin{aligned} i_A &= (\dot{U}_A - \dot{U}_N) Y_A, \\ i_B &= (\dot{U}_B - \dot{U}_N) Y_B, \\ i_C &= (\dot{U}_C - \dot{U}_N) Y_C, \\ i_N &= \dot{U}_N Y_N \end{aligned} \right\} \quad (7.18)$$



Ýüklenmeleriň garşylyklaryndaky naprýaženiýalar:

$$\begin{aligned}\dot{U}_A &= i_A Z_{\dot{y}A}, \\ \dot{U}_B &= i_B Z_{\dot{y}B}, \\ \dot{U}_C &= i_C Z_{\dot{y}C}\end{aligned}\quad (7.19)$$

(7.18) we (7.19) deňlemeleri ulanyp hem-de liniýa simlaryň garşylyklaryny hasaba alman (göz önünde tutman) generator we ýüklenmäniň aralaryndaky faza naprýaženiýanyň gatnaşyklaryny alarys.

$$\begin{aligned}\dot{U}'_A &= \dot{U}_A - \dot{U}_N, \\ \dot{U}'_B &= \dot{U}_B - \dot{U}_N, \\ \dot{U}'_C &= \dot{U}_C - \dot{U}_N\end{aligned}$$

Simmetriki ýüklenmede, ýüklenme bilen generatoryň nul nokatlaryň aralaryndaky  $\dot{U}_N$  naprýaženiýa (7.17) deňlemeden görnüşi ýaly nula deň bolýar. Dogrudan hem şu ýagdaýda  $Y_A + Y_B + Y_C = Y$  we

$$\dot{U}_N = \frac{Y(\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C)}{3Y + Y_N} = \frac{Y \cdot 0}{3Y + Y_N} = 0$$

Mysal 7.4 mysaldaky san bahalara esaslanyp nul sim üzülen ýagdaýda A, B, C fazalara çatylan ýşyk çyralarynyň gysgyçlaryndaky hakyky naprýaženiýany kesgitlemeli.

Çözülişi. Liniýa simlaryň garşylygy ýşyk çyralaryň garşylyklary bilen deňeşdirilende azdyrlar, onda  $Z_A \approx r_A = 10$

Om,  $Z_B \approx r_B = 5 \text{ Om}$ ,  $Z_C \approx r_C = 7,5 \text{ Om}$  diýip kabul etmek bolar.

Wektor  $\dot{U}_A$  hakyky ok boýunça ugrukdyrars. Onda çeşmäniň faza naprýaženiýalary üçin aşakdaky ýaly ýazyp bolar.

$$\dot{U}_A = 127 V,$$

$$\dot{U}_B = 127 e^{-j 120^\circ} = 127 (-0,5 - j 0,5 \sqrt{3})$$

$$\dot{U}_C = 127 e^{-j 240^\circ} = 127 (-0,5 + j 0,5 \sqrt{3})$$

Aýry-aýry fazalaryň geçrijiligi:

$$Y_A = \frac{1}{z_A} = \frac{1}{10} = 0,1 \text{ Om}^{-1}$$

$$Y_B = \frac{1}{z_B} = \frac{1}{5} = 0,2 \text{ Om}^{-1}$$

$$Y_C = \frac{1}{z_C} = \frac{1}{7,5} = 0,133 \text{ Om}^{-1}$$

Nul simyň ýok wagty (sim bolmadyk ýagdaýynda):

$$Y_N = \frac{1}{\infty} = 0$$

O we O' nokatlaryň aralaryndaky naprýaženiýe :

$$\dot{U}_N = \frac{\dot{U}_A Y_A + \dot{U}_B Y_B + \dot{U}_C Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C} =$$

$$= \frac{127(0,1 + [-0,5 - j 0,5\sqrt{3}] 0,2 + (-0,5 + j 0,5\sqrt{3}) 0,133)}{0,1 + 0,2 + 0,133} = 19,6 - j 17,1 V$$

$$\dot{U}_N = \frac{\dot{U}_A Y_A + U_B Y_B + \dot{U}_C Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C} =$$

$$= \frac{127(0,1 + [-0,5 - j 0,5\sqrt{3} 0,2 + (-0,5 + j 0,5\sqrt{3})0,133]}{0,1 + 0,2 + 0,133} = 19,6 - j 17,1V$$

Ýüklenmäniň gysgyzlaryndaky faza naprýaženiýalary:

$$\dot{U}'_A = \dot{U}_A - \dot{U}_N = 127 + 19,6 + j 17,1 = 146,6 + j 17,1V$$

$$\dot{U}'_B = \dot{U}_B - \dot{U}_N = 127(-0,5 - j 0,5 \sqrt{3}) + 19,6 + j 17,1 = 43,9 - j 92,9 V$$

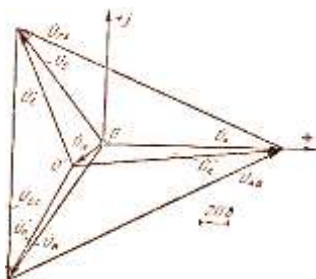
$$\dot{U}'_C = \dot{U}_C - \dot{U}_N = 127(-0,5 - j 0,5 \sqrt{3}) + 19,6 + j 17,1 = 43,9 - j 127,1 V$$

$$U'_A = \sqrt{146,6^2 + 17,1^2} = 147 V$$

$$U'_B = \sqrt{43,9^2 + 92,9^2} = 103 V$$

$$U'_C = \sqrt{43,9^2 + 127,1^2} = 134 V$$

Az urnalan (ýüklenme) fazalarda  $U'_A$  we  $U'_C$  çyralardaky (lampalardaky) nominal naprýaženiýadan ýokarydyr, şonuň üçin A we C fazalara çatylan çyralar (lampalar) çalt köýüp biler.



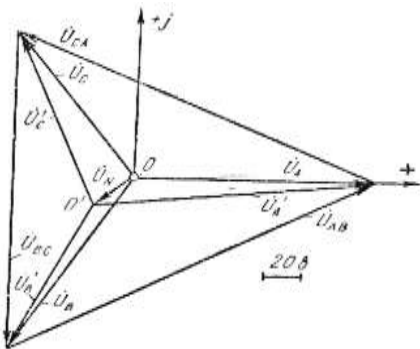
7.17 çyzgy.

7.4 mysalyň wektor diagrammasy 7.17 çyzgyda getirilen. Getirilen O nokat generatoryň nul nokadyna  $U'_A$ ,  $U'_B$  we  $U'_C$  wektorlaryň ahyry-zynjyryň A,B we C nokatlaryna gabat gelýär. O nokatdan  $U'_N$  wektor goýlan, onuň O' ahyry ýüküň O' nul nokady bilen gabat gelýär. Diagrammada O' nokady  $U'_A$ ,  $U'_B$  we  $U'_C$  wektorlaryň ahyryny birikdirýän kesim  $U'_A$ ,  $U'_B$  we  $U'_C$  naprýaženiýalary görkezýär. Wektorlar  $U'_{AB}$ ,  $U'_{BC}$  we  $U'_{CA}$  zynjyryň liniýa (liniýa) naprýaženiýasyny şekillendirýär. Simmetriki ýükde O' nokat diagrammada wektorlaryň O başlangyjy bilen gabat gelýär. Ýüküň simmetrik dällygi ýüze çykanda wektorlaryň O başlangyja görä O' nokada süýşýär.

Bu hadysa neýtralyň bitarap süýşmesi diýilýär. Nul simiň garşylygy adaty her bir fazanyň ýüküniň garşylygyndan köp esse kiçidir, ýagny  $Y_N$  simiň geçirijiligini aýry fazalaryň  $Y_A$ ,  $Y_B$ ,  $Y_C$  geçirijiligini duýarly ýokarlandyrýar. Bu bolsa, nul sim bolan ýagdaýynda  $U_N$  ululyk bir näçe gezek peselýär, faza naprýaženiýalary  $\dot{U}_A$ ,  $\dot{U}_B$  we  $\dot{U}_C$  şeýle şertlerde ýeterlik simmetriklige ýakyn üçfazaly toplumy döredýär.

## § 7.7. Üçburçlyk shema boýunça birikdirilişi.

Elektrik kabuledijileriň üçburçlyk birikdirilişi. Eger-de üçfazly togyň setine (7.18 çyz.) her jübüt liniýa A-B, B-C, C-A simlarynyň aralaryna üç  $Z_{AB}$ ,  $Z_{BC}$  we  $Z_{CA}$  garşylygy çatylsa onda liniýa naprýaženiýalaryň täsiri astynda ol garşylyklaryň her birinden tok akyp başlar. Üçfazly sete garşylygyň şeýle görnüşde birikdirilmegine üçburçlyk görnüşde birikdirilmesi diýilýär. (7.18 çyz. Kabuledijileriň üçburçlyk görnüşde birikdirilişi). Ýüklenme garşylyklary bolan  $Z_{AB}$ ,  $Z_{BC}$  we  $Z_{CA}$  üçburçlyk görnüşde birikdirilende ol garşylyklardan  $I_{AB}$ ,  $I_{BC}$  we  $I_{CA}$  toklar akýarlar. Ol toklara faza toklary diýilýär. Iýmitlendiriji setiň simlaryndan liniýa simlaryndan akýan  $I_A$ ,  $I_B$  we  $I_C$  toklara liniýa toklary diýilýär. Faza we liniýa toklar üçin položitel ugur 7.18 çyz. näýza (dili) görnüşde kabul edilen (görkezilen).



7.18 çyzgy.

Ýüklen  $Z_{AB}$ ,  $Z_{BC}$  we  $Z_{CA}$  garşylyklaryna goýlan naprýaženiýasy seredilýän shemada liniýa simlarynyň arasyndaky naprýaženiýa, ýagny  $U_e$  liniýa deň. Şonuň üçin üçburçlyk görnüşde birikdirilende  $U_e = U_f$ .

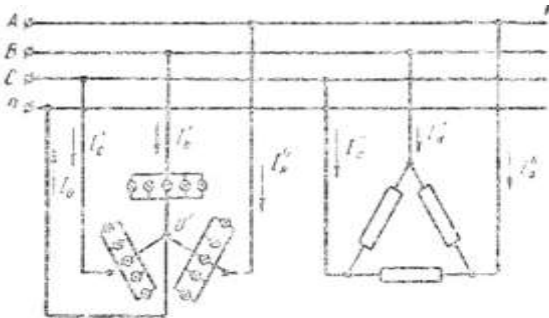
Üçfazly sete çatylýan (birikdirilýän) elektrik kabul edijileriň birikdiriliş shemasynyň saýlanmagy iýmitlendiriji

setiň liniýa naprýaženiýasyny we kabul edijileriň naprýaženiýasyna görä çözülýär. Mysal üçin, setiň liniýa naprýaženiýasy 220W deň bolsa, onda laýyk naprýaženiýalary 220W bolan üçburçlyk görnüşde, laýyk 127W naprýaženiýaly kabul edijiler ýyldyz görnüşde birikdirmeli. Elbetde (gürrüňsiz) elektrikkabuledijileriň her fazalarynyň çäklerinde (mysal üçin, çyralar) üç fazanyň kabul edilen birikdirme shemalaryna baglanşyksyz parallel birikdirýär.

Üçfazly gurnamalarda ýükleriň bir bölegi ýyldyz, beýleki bölegi bolsa üçburçlyk görnüşlerde birikdirilişleri seýrek däl. Mysal üçin, liniýa naprýaženiýasy  $U_e = 380 \text{ W}$  dörtsimly topluma elektrik çyralar (lampalar)

$$U_f = \frac{U_e}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ W}$$

faza naprýaženiýasyna ýyldyz görnüşde, üçfazly hereketegetirijiler we gyzdyryjy enjammlar  $U_e = 380 \text{ W}$  liniýa naprýaženiýasyna çatylandyr. (7.19).



7.19-njy çyzgyda. Kabuledijileriň ýyldyz we üçburçlyk görnüşde garyşykly birikdirilişi.

Bir setde ululyklary boýunça iki dürli naprýaženiýanyň ( $U_e$  we  $U_f$ ) bolamgy üçfazaly toplumyň ýeke bir artykmaçlygyny görkezýär (bolup durýar).

### **§ 7.8.Üçfazaly imitleniş çeşmäniň üçburçlyk görnüşde birikdirilişi.**

Üçsimly zynjyry imitlendirmek üçin üçfazaly çeşmäniň sarymlarynyň ýyldyz ýa-da üçburçlyk görnüşde birikdirilmeleri mümkindir. (7.20).

Soňky shemada her bir faza sarymyň başlangyjy tertip boýunça indikiniň ahyry bilen birikdirilýär, galan üç sarym ýapyk kontury döredýär. Şol konturda faza elektrik hereketegetirjini  $e_A$ ,  $e_B$  we  $e_C$  ugurlary gabat gelyärler. A, B we C umumy gysgyçlara ýüki iýmitlendirýän üçfazaly set birikdirilýär. Her bir jübit gysgyçlaryň aralarynda liniýa naprýaženiýasy çeşmäniň faza naprýaženiýasyna ( $U_e = U_f$ ) deň.

Ýük bolmadyk ýagdaýda AB CA ýapyk konturda tok döremeýär, sebäbi şol konturda netijeleyji hökmünde täsir edýän (işleýän) elektrik hereketegetirjini  $e = e_A + e_B + e_C$  wagtyň dürli pursatynda nula deň (7.3 deňlemä seret).

Düzgün boýunça elektromaşyn generatorlaryň sarymlary ýyldyz görnüşde birikdirilýär. Kabul edijileriň imitlenýän üçfazaly transformatorlarynyň sarymlary ýyldyz şöhle hem üçburçlyk görnüşde birikdirilme kabul edilendir.

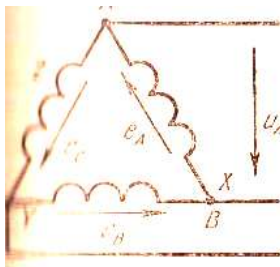
### **§ 7.9.Üçburçlyk görnüşde birikdirilende faza we liniýa toklary.**

Liniýa  $U_e = U_f$  berlen ululugynda we ýük garşylyklaryň belli ululyklarynda aýry-aýry faza toklaryny we kuwwat koeffisientlerini hasap edip kesgitläp bolar:

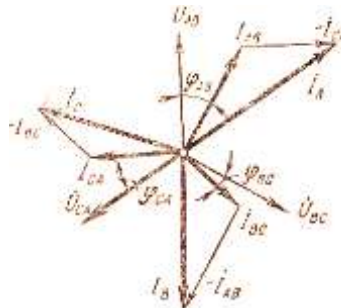
$$I_{AB} = \frac{U_e}{Z_{AB}}, \quad I_{BC} = \frac{U_e}{Z_{BC}}, \quad I_{CA} = \frac{U_e}{Z_{CA}} \quad (7.20)$$

$$\cos \varphi_{AB} = \frac{r_{AB}}{Z_{AB}}, \quad \cos \varphi_{BC} = \frac{r_{BC}}{Z_{BC}}, \quad \cos \varphi_{CA} = \frac{r_{CA}}{Z_{CA}} \quad (7.21)$$

7.21 çyzgyda  $\dot{U}_{AB}$ ,  $\dot{U}_{BC}$ ,  $\dot{U}_{CA}$  naprýaženiýalaryň,  $\dot{I}_{AB}$ ,  $\dot{I}_{BC}$ ,  $\dot{I}_{CA}$  faza toklaryň we  $\dot{I}_A$ ,  $\dot{I}_B$ ,  $\dot{I}_C$  liniýa toklaryň wektor diagrammasy berlendir (görkezilendir).



7.21-nji çyzgy.



7.22 çyzgy.

Liniýa toklary  $\dot{I}_{AB}$ ,  $\dot{I}_{BC}$ ,  $\dot{I}_{CA}$  faza toklaryna deň dældigi 7.18 çyzgydaky shemada görünýändir (gelip çykýar). Liniýa we faza toklarynyň baglanşygy anyklamak üçin toklaryň kabul edilen položitel ugurlaryny hasaba alyp A,B,C şahalanýan nokatlar üçin Kirhgofyň I kanunynyň deňlemesini düzeris:

$$\begin{aligned} \dot{I}_A + \dot{I}_{CA} &= \dot{I}_{AB}, & \dot{I}_B + \dot{I}_{AB} &= \dot{I}_{BC}, \\ \dot{I}_C + \dot{I}_{BC} &= \dot{I}_{CA}, \end{aligned} \quad (7.22)$$



Bu ýerden:

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_A &= \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{AB}, \\ \dot{I}_B &= \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{BC}, \\ \dot{I}_C &= \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{CA}, \end{aligned} \right\} \quad (7.23)$$

Alnan aňlatmadan görnüşi ýaly, her bir liniýa toklaryň wektory deňişli faza toklarynyň wektorlarynyň tapawudy deňdir.

(7.23) deňlemäniň sag we çep böleklerini goşup alarys, ýagny simmetriki jemi nula deňdir.

Geometriki ýol arkaly (7.23) awlatma  $\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$ , (7.21 çyz.) toklary tapmaga mümkinçilik berýär.

Simmetriki ýükde  $I_{AB} = I_{BC} - I_{CA} = I_f$  we  $\varphi_{AB} = \varphi_{BC} - \varphi_{CA} = \varphi$ . Liniýa toklary şeýle ýagdaýda özara ( $I_A = I_B - I_C = I_e$ ) deňdirler we dogry üçşöhleli ýyldyzy döredýärler (7.22çyz.).

Simmetriki ýükde liniýa we faza toklaryň ululyklarynyň aralaryndaky gatnaşygy OMN deňýanly üçburçlykdan tapyp bolar.

$$I_e = \sqrt{3} I_f \quad (7.25)$$

Üçburçlyk görnüşde birikdirilende üçfazaly zynjyryň kuwwaty.

Kabuledijileriň üçburçlyk görnüşde birikdirilende ýyldyz görnüşde birikdirilendäki deňleme arkaly üçfazaly toplumyň kuwwatyny kesgitleýärler. Aýry-aýry fazalaryň kuwwatlaryny aşadaky deňlemeler arkaly tapylýarlar:

$$P_{AB} = U_{AB} I_{AB} \cos \varphi_{AB}, \quad P_{BC} = U_{BC} I_{AB} \cos \varphi_{BC}, \\ P_{CA} = U_{CA} I_{CA} \cos \varphi_{CA},$$

$$Q_{AB} = U_{AB} I_{AB} \sin \varphi_{AB}, \quad Q_{BC} = U_{BC} I_{AB} \sin \varphi_{BC}, \\ Q_{CA} = U_{CA} I_{CA} \sin \varphi_{CA},$$

Üçfazly toplumyň umumy kuwwaty aýry-aýry fazalaryň kuwwatlarynyň jemi bilen kesgitlenýär.

$$P = P_{AB} + P_{BC} + P_{CA} \quad (7.28)$$

$$Q = Q_{AB} + Q_{BC} + Q_{CA} \quad (7.29)$$

Simmetriki ýükde aýry-aýry fazalaryň kuwwatlary öz-ara deňdirler, onda

$$\left. \begin{aligned} P &= 3 P_f = 3 U_f I_f \cos \varphi, \\ Q &= 3 Q_f = 3 U_f I_f \sin \varphi, \\ S &= 3 U_f I_f \end{aligned} \right\} (7.30)$$

Üçburçlyk görnüşde birikdirilende  $U_e = U_f$  we  $I_e = \sqrt{3} I_f$  görnüşde tutup (7.30) baglaşygyny özgerdip, liniýa toklarynyň we liniýa naprýaženiýalaryň üsti bilen aňladylan kuwwatlar üçin deňlemäni layp bolar.

$$\left. \begin{aligned} P &= \sqrt{3} U_e I_e \cos \varphi, \\ Q &= \sqrt{3} U_e I_e \sin \varphi, \\ S &= \sqrt{3} U_e I_e \end{aligned} \right\} \quad (7.30)$$

Ýüklenme garşylyklarynyň ýyldyz görnüşden üçburçlyk görnüşine ýa-da tersine (mysal, üçfazly elektrik peçleriň gyzdyryjylaryň) temperaturalaryny sazlamak üçin gaýtadan ulaşmak) gaýtadanlaşdyрма hökmany düş gelýär. Ýmitlendiriji setiň şol bir naprýaženiýasynda üçburçlyk görnüşde birikdirilende peýdalanylýan kuwwaty şol gaşylyklaryň ýyldyz görnüşde birikdirilendäki peýdalanylýan kuwwatyndan üç esse köpdür. Dogrydan hem, ýyldyz görnüşde birikdirilende:

$$I_{f\lambda} = \frac{U_e}{\sqrt{3}Z} \text{ we } P_\lambda = 3I_{f\lambda}^2 r = \frac{U_e^2}{Z^2} r$$

Üçburçlyk görnüşde birikdirilende

$$I_{f\Delta} = \frac{U_e}{Z} \text{ we } P_\Delta = 3I_{f\Delta}^2 r = \frac{3U_e^2}{Z^2} r$$

Bu ýerden

$$\frac{P_\Delta}{P_\lambda} = 3$$

### 7.10. Peýdalanyjylaryň (kabeledijileriň) üçburçlyk görnüşde birikdirilende üçfazaly zynjyryň hasaby.

Köplenç käbir elektrik kabul edijiler iýmitlendiriji çeşmäniň gysgyzlyryna birikdirilmän, gös-göni üçfazaly setiň simlaryna birikdirilýär.

Hasap geçirilende hem liniýa naprýaženiýasy hem peýdalanyjlarda simmetrik toplum hökmünde özüni görkezýär.

Simmetriki ýüklerde ( $Z_{AB}=Z_{BC}=Z_{CA}=Z$ ) toklar hemme fazalarda deňdir we aşadaky deňlemeler boýunça kesgitlenýär.

$$I_f = \frac{U_f}{Z_f} = \frac{U_e}{Z_f}$$

Liniýa toklary hem deňdirler:

$$I_A = I_B = I_C = I_f \sqrt{3}$$

Hemme fazalar üçin kuwwatyň koeffisiýenti bir ululykdyr.ö

$$\cos \varphi = \frac{r_f}{Z_f}$$

Peýdalanylýan kuwwat (7.30) we (7.31) deňlemeler boýunça hasaplanylýar.

Simmetriki ýüklenme ýagdaýy üçin wektor diagramma 7.22 çyz. getirilen (görkezilen).

Simmetriki däl ýükde ilki faza  $I_{AB}, I_{BC}, I_{CA}$  toklaryň we olara degişli faza süýşmesi  $\varphi_{AB}, \varphi_{BC}, \varphi_{CA}$

kesgitlenilýär. Ondan soňra wektor diagrammany ulanyp (7.23) deňleme boýunça kesgitlenilýän  $I_A, I_B, I_C$  liniýa toklaryň ululyklaryny grafiki tapyp bolýar.

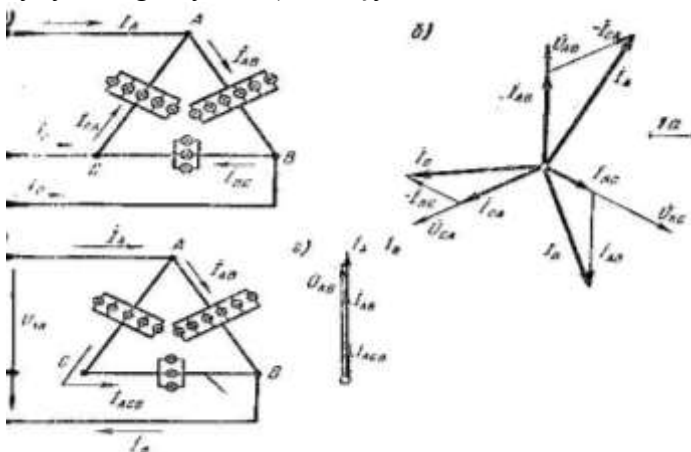
Eger-de  $U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}$  naprýaženiýa we ýüklenme  $Z_{AB}, Z_{BC}, Z_{CA}$  garşylyk simwoliki formada aňladylan bolsa, onda faza we liniýa toklary diagrammany gurmazdan analitiki hasaplanyp bilner.

Mysal 7.5.

Liniýa naprýaženiýasy  $U_{yl}=220$  W we her birine laýyk kuwwaty  $P_{yl}=100$  Wt bolan elektrik çyralary üçburçlyk görnüşde birikdirilen. A we B we B we C we A hem C çyralaryň sany degişlilikde:  $n_1=6, n_2=3$  we  $n_3=5$  (7.23 a çyz)

Kesgitlemeli. 1) Laýyk iş ýagdaýynda üç fazaly zynjyryň faza we liniýa toklaryny şeýle hem kuwwatyny; 2) C simyň goragy köýünde zynjyrdaky toklary, çyralary toparynyň naprýaženiýasyny we toplumyň kuwwatyny.

Çözülişi. Laýyk iş režiminde režiminde faza kuwwatyny we faza toklarynyň kesgitleýäris. (7.23a çyz)



7.23 çyzgy.

$$P_{AB}=P_{yI} \quad n_1=100 \cdot 6=600 \text{ Wt}, \quad I_{AB} = \frac{P_{AB}}{U_{AB}} = \frac{600}{220} = 2.73A.$$

$$P_{BC}=P_{yI} \cdot n_2=100 \cdot 3=300 \text{ Wt}, \quad I_{BC} = \frac{P_{BC}}{U_{BC}} = \frac{300}{220} = 1.37A.$$

$$P_{CA}=P_{yI} \cdot n_3=100 \cdot 5=500 \text{ Wt}, \quad I_{CA} = \frac{P_{CA}}{U_{CA}} = \frac{500}{220} = 2.37A.$$

Zynjyryň umumy kuwwaty

$$P=P_{AB}+P_{BC}+P_{CA}=600+300+500=1400 \text{ Wt}$$

Wektor diagrammadan (7.23,6) alarys.

$$I_A=4,3A, \quad I_B=3.65A, \quad I_C=3,2A.$$

C fazanyň simynyň uzak halýnda zynjyr işlände (7.23,w) (AB we ACB) ikisany parallel bir fazaly zynjyr alarys. AB şaha birikdirilen çyralar zynjyryň laýyk iş ýagdaýyndaky ýaly şol bir şertde bolýar. Şonuň üçin  $P_{AB}=600 \text{ Wt}$  we  $I_{AB}=2,73A$ . ACB şahadaky toklary kesgitlemek üçin laýyk kuwwatdan naprýaženiýadan ugur alyp,  $r_{BC}$  we  $r_{CA}$  ýükleriň ýakynlaşan şahalaryny taparys:

$$r_{BC} = \frac{U_{yI}^2}{P_{BC}} = \frac{220^2}{300} = 161 \text{ Om}, \quad r_{CA} = \frac{U_{yI}^2}{P_{CA}} = \frac{220^2}{500} = 97 \text{ Om}.$$

ACB şahadaky tok

$$I_{ACB} = \frac{U_{AB}}{r_{BC}+r_{CA}} = \frac{220}{161+97} = 0,85A.$$

7.23 çyz. Zynjyryň normal işländäki shema (a) we wektor diagramma (b); (C faza shema (w) we wektor diagramma (g) simini üzük ýagdaýynda (7.5mysala) CB we AC bölümçeleryndaky naprýaženiýa:

$$U_{AC}=I_{ACB} \quad r_{CA}=0.85 \cdot 97=83 \quad W, \quad U_{CB}=I_{ACB} \\ r_{BC}=0.85 \cdot 161=137W.$$

Şu bölümçelera birikdirilen çyralar peseldilen naprýaženiýada “ýanar.”

ACB şahalaryň kuwwaty

$$P_{ACB}=U_{AB} I_{ACB}=220 \cdot 0.85=187Wt$$

Ähli zynjyryň kuwwaty

$$P=P_{ab}+P_{ACB}=600+178=787Wt$$

Iýmitlendiriji A we B Simlardaky toklar

$$I_A=I_B=I_{AB}+I_{ACB}=2.73+0.85=3.58A.$$

Seredilýän ýagdaý üçin wektor diagramma 7.23,g çyz.

### **§7.11.Üç fazaly toguň setlerinde zeminlenme.**

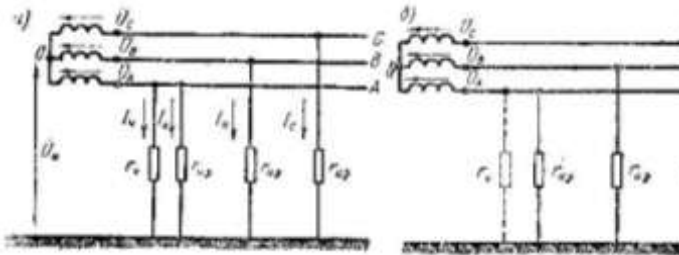
Elektrik görkezmeler (gurnamalar) guralanda we taslamada ensplutasiýa ulanylýan wagtynda elektrik togynyň heläkçiligini aýyrmak üçin dürli çäreler göz-öňünde tutulýar.Şeýle çärelere tokgeçiriji bölegiň goragynyň (izalýasiýanyň) ygtybarlygy güýändir ,gurnamanyň tok geçmeýän metal böleginde elektrik hereketlendirijileri, elektrik enjamlary korpuslary naprýaženiýanyň ýüze çykmagy we goragyň bitewliginiň barylýan ýagdaýynda elektrik togy bilen heläkçilige uçramanyň howpyny aýyryjy tehniki serişdeleriň ulanylmagy girýändir.

### **§ 7.12.Üç fazaly togyň üç simli setleriň eksplutasiýasyna howupsyzlygynyň üpjün edilmegi.**

Ýer bilen elektrik setiniň dürli simlarynyň arasynda mydama aktiw geçirijilikbardyr, sebäbi simlaryň goragy (izolýasiýa) gutarnykly däl.

Nul nokady goragly üç fazaly sete serederis(7.24,a çyz.) Liniýanyň uzynlygynyň ugry boýunça deň bölünen aýry – aýry fazalaryň goraglarynyň geçirijiligini nul nokadynyň ýer hasap

edilýän ýyldyz görnüşde birikdirilen ýük hökmünde şertli seredip bolar.



7.24 çyzgy.

Adamynyň adamyň garşa haýsy hem bolsa (mysal üçin bir faza) A faza gataşan ýagdaýynda ol şol fazanyň gorag garşylygyna  $r_{gor}$  parallel birikdirilen bolýar, shemanyň ýere görä simmetriýasy bozulýar.

Goragly neýtrally (birtaraply) setini bir fazasyna onuň galtaşmasy wagtynda adamynyň teniniň üstünden geçýän  $I_{ad}$  toguň aňlatmasyny (7.17) we (7.18) deňlemeleri ulanyp bolar.

$$I_{ad} = \frac{U_f}{r_{ad} + \frac{1}{3}r_{gor}} \quad (7.32)$$

Deňlemeden görnüşi ýaly ,goragyň garşylygy näçe ýokary bolsa gurnamanyň haýsy hem bolsa bir fazasyna onuň galtaşan ýagdaýynda adamynyň üstünden geçýän  $I_{ad}$  toguň ululygy şonça zadyr. Şonuň üçin  $I_{ad}$  togy kiçelmek üçin setiň goragynyň garşylygyny ýeterlik ýokary derejede hökmany saklamalydyr.

Köplenç ýagdaýda tejribede  $r_{g\ddot{or}}$  ýetilme bahasynda  $I_{ad}$ . Toguň ulylygy howuplydygyny belläp geçmelidir.

Neýtraly goragly bilen Setiň bir fazasynyň goragy bozulan ýagdaýynda,mysal üçin B faza ýere gysga çatylanda (7.24 b çyz) şol fazanyň we ýeriň naprýaženiýasy nula deň bolýar. Her iki goragy bozulmanyň A we C fazalaryň ýere görä

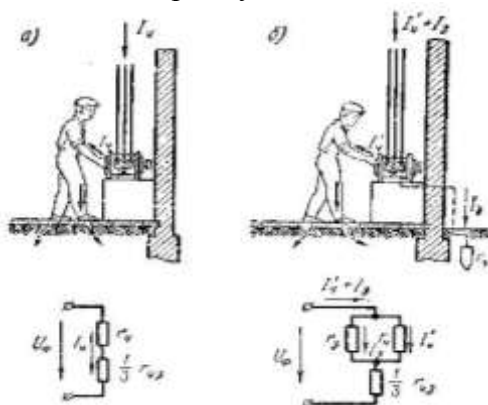


napryaženiýasy  $\sqrt{3}$  esse artýar we setiň liniýa napýaženiýasyna deň bolýar. Adamynyň teniniň üstünden geçýän tok,

$$I_{ad} = \frac{U_f \sqrt{3}}{r_{ad}} \quad (7.33)$$

görülip oturylsa howly eken.

Gorag zeminlenmesi – napryaženiýanyň astynda laýyk durmaýan elektrik enjamlarynyň metal böleklerine hyzmat ediji işgärleriň galtaşma howupsyzlygyny üpjün edilmegi tok geçiriji bölegiň ykjam goragy bilen bir hatardadyr, has effektiv çäre gorag zeminlenmesi bolup durýar.



### 7.25 çyzgy.

Gorag zeminlenme napryaženiýanyň astynda laýyk ýagdaýda durmaýan elektrik enjamlarynyň metal bölejikleriniň ýer bilen elektrik birleşmesiniň öňdengörüjiligi görkezýär. Ýer bilen birikdirilme gös-göni toprak bilen goltaşmada bolýan demir turba we beýleki simlaryň kömegi bilen amala aşyrylýandyr.

Gorag zeminlenmäniň ähmiýetini düşündirmek üçin 7.25 çyz serederis. Gorag zeminlenmäniň ýok wagty (7.25,a) statoryň faza sarymynyň birinde elektrik goragyň böwsülmesi bolanda elektrik hereketlendirijiniň korpusyna gatlaşan adam, 7.24, çyz şekillendirilen degişli shemanyň şertine gabat gelýär.

Deňleme (7.32) boýunua kesgitlenýän adamynyň teninden geçýän tok adam üçin hatda örän ýokary derejeli goragly setde hem howpsyz dälär. Hereketlendirijiniň korpusynyň ýer bilen ygtybar (7.25,b çyz) birikdirilmesi bilen elektrik hereketlendiriji adamynyň galtaşmasynyň howuplylygyny peseldýär. Eger-de adam şu ýagdaýda sarymyň bir fazasynyň goragy böwsüliş ýagdaýynda hereketlendirijiniň korpusyna gatlaşa onuň bilen zeminlenme parallel çatylan bolýar.

*Aňlatma (7.32) bilen meňzeşlikde ýazyp bolar.*

$$I_{ad} + I_{zem} = \frac{U_f}{r_{ek} + \frac{1}{3}r_{iz}} \quad (7.34).$$

bu ýerde  $I_{ad}$  – zeminlenme bar bolanda  $r_{ad}$  garşylykly adamynyň teninden akýan tok:

$I_{zem} - r_{zem}$  garşylykly zeminlenmäniň üstünden akýan tok.

$$r_{ek} = \frac{r_{ed} \cdot r_{zem}}{r_{ad} + r_{zem}};$$

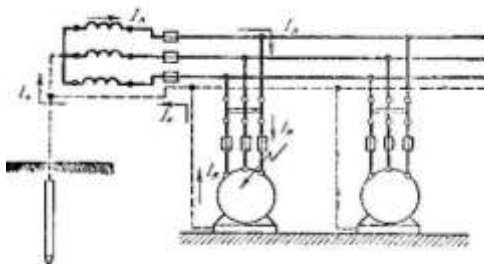
$r_{zem}$  – zeminlenmäniň garşylygy.

7.25-nji çyzgyda şekillendirilen elektrik zynjyr shemasy (7.32) we (7.34) deňlemelere gabat gelýär. Umumy ( $I_{ad} + I_{zem}$ )  $> I_{ad}$  togyň az mukdarda artmagy ýeterlik kiçi garşylykly (tejribede  $r_{zen} < r_{ad}$ ) zeminlenme bolan ýagdaýynda adamynyň teniniň üstünden geçýän  $I_{ad}$  tok, zeminlenme bolmadyk ýagdaýyndaky adamynyň teninden geçýän  $I_{ad}$ . Tokdan kän esse kiçidir. Garşylyk  $r_{zem}$ . ululygy ekspluatasiýanyň düzgüni boýunça 4 Om – dan ýokary bolmaly dälär. Şeýlelikde  $I_{ad}$  tok ýeterlik kiçi bolýar we adamynyň saglygy üçin howply dälär.

Üç fazaly togyň dört simlisetinde zeminlenme. Biz şu wagta çenli üç fazaly nul nokatly üç simli sete seredip geçdik. Elektrik gurnamalaryň düzgüni boýunça, 380/220W we 220/127W dört simli setde iýmitlendiriji çeşmäniň

(generatorlar we trasformatorlar) nul nokatly zeminlenme, ýagny gaty uly bolmadyk garşylygyň üsti bilen ýere birikdirilen bolmalydyr. Şeýle zeminlenme işçi diýip kabul edilýär. Liniýa simlarynyň goragynyň ýere otnositel garşylygyna garamazdan dört simly setde dürli liniýa simlarynyň we aralygyndaky naprýaženiýa faza naprýaženiýasyndan ýokary bolmaýar. Şeýle ýagdaýda haçanda fazalaryň biriniň goragynyň garşylygy in az ululyga çenli azalanda (simiň yere galtaşmasy), bir fazaly gysga çatlymanyň  $I_k$  togy hatardan çykan ereýän gorag oturtmasynyň köýmegine getirýär we awariý enjamlaryň tok geçirýän goragyň bozulmagy netijesinde naprýaženiýa astynda bolýan metal bölegine adamynyň galtaşma howpyny çäklendirmek üçin dört simly enjamlaryň şol bölegi [elektroherketlendirijileriň we apparatlar (esbölümler) zeminlenýän polat simlary bilen we nul simiň zolagy bilen onda belli bolşy ýaly iýmitlendiriş çeşmäniň zeminlenen nul nokady bilen hemişe birikdirilendir.

Käwagtlar elektrik hereketlendirijileriň we apparatlaryň togy äkitmeýän (geçirmeýän) metal böleginiň zeminlenen nul sim bilen öňden göz önünde tutulyp birikdirilmegine nullanma diýilýär. Fazalaryň biiniň goragynyň böwsilmegi netijesinde \* ýokary togyň ýüze (çykmagy görmegi ýerine ýetirilýär,\* hatardan çykan ýerine ýakyn ýerleşen goragyň ereýän oturtmasynyň köýmegi (hatardan çykmagy) ýokary togyň döremegine getirýär. Goragyň ygtybar işlemegini üpjün edýän ↓(7.26 çyz).



7.26 çyzgy.

### 7-nji bölüm üçin barlag soraglar we meseleler.

1. Üç fazaly togyň üç we dört simli toplumy tejribede haýsy ýagdaýlar üçin ulanylýar? Mysal getiriň.
2. Üýtgemeyän garşylykly simmetriki elektrik kabuledijiler ýyldyz shemada “üçburuçlyk” shemada birikdirilende liniýa toklary näçe esse artýar?
3. Simmetriki ýüklenmede üç fazaly toplumyň pursat kuwwatlarynyň jeminiň hemişelik ululykdygyny subut ediň?

$$P_a + P_b + P_c = U_a i_a + U_b i_b + U_c i_c = 3U_l I_f \cos \varphi.$$

4 Simmetriki üç fazaly zynjyra üçburuçlyk görnüşde birikdirilen  $Z = 9 + j12 \text{ Om}$  ýüklenme.

Iýmitlendiriji setiň liniýa naprýaženiýasy 220 W. Ýüklenmäniň faza we liniýa toklaryny şeýle hem aktiw we reaktiw kuwwatlaryny kesgitlemeli.

Jogaby:  $Y_t = 14,7 \text{ A}$ ,  $Y_e = 25,4 \text{ A}$ ,  $P = 5,8 \text{ kW}$ ,  $Q = 7,7 \text{ kVAR}$

5. Görkezilen üç fazaly ýüklenmäni ýyldyz görnüşde birikdirilende şol ululyklary kesgitlemeli.

Jogap:  $I_f = I_l = 8,5 \text{ A}$ ,  $P = 1,93 \text{ kW}$ ,  $Q = 2,57 \text{ K VAR}$ .

6. Nul sim ýok  $r_B$  ýüklenme ýazdyrylan (şertde ýagdaýda 7,2 mysal çözmeli.)

7. Liniýa A simi ýüzük ýagdaýda 7,5 mysaly çözmeli.

8. Ýyldyz görnüşinde birikdirilen simmetriki däl ýüklenme naprýaženiýasy  $U_f = 220 \text{ W}$  bolan özem ýyldyz görnüşde birikdirilen simmetriki üç fazaly çeşmeden iýmitlenýär. Ýüklenmäniň aýry-áýry fazalarynyň garşylygy:  $Z_A = 30 + j40 \text{ Om}$ ,  $Z_B = 30 - j40 \text{ Om}$ ,  $Z_C = 20 + j20 \text{ Om}$  bolup nul sim ýok bolanda ýüklenmäniň garşylyklaryndaky  $U_A$ ,  $U_B$  we  $U_l$  naprýaženiýalary we  $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_C$  toklar  $U_N$  neýtralýň (bitarabyň) naprýaženiýasyny simwdiki usul arkaly kesgitlemeli. Liniýa simlarynyň garşylygyny göz önünde tutmaly däl.

$$\begin{aligned}\text{Jogap: } U_N &= 103,5 + j 51,5 \text{ W}; & I_A &= 0,57 - j 2,48 \text{ A}; \\ U_A &= 116,5 - j 51,5 \text{ W}; & I_B &= 1,30 - j 6,31 \text{ A}; \\ U_B &= -213,5 - j 241,5 \text{ W}; \\ U_C &= -213,5 + j 138,5 \text{ W} & I_C &= 187 + j 8,79 \text{ A}.\end{aligned}$$

Ýyldyz görnüşde birikdirilen üç topar çyra we liniýa naprýaženiýasy 220 W üç fazaly togyň setinden iýmitlenýär. Her bir çyranyň garşylygy 161 Om A fazalar topary parallel birikdirilen 120 sany çyradan, B faza topary-75 çyradan we C faza topary-10 çyradan durýar. Nul simyň iki 1)  $r_N=1$  Om; 2)  $r_N=0,25$  Om garşylygynyň bahasy üçin dürli fazalarda çyralardaky naprýaženiýany we bitaraplygynyň süýşmesini hasaplamaly. Birinji görnüşi (wariýanty) üçin wektor diagrammany gurnamaly. Liniýa simlaryň garşylygyny göz – öňünde tutmaly däl.

$$\text{Jogap: } U_A^I = 205 \text{ W}; \quad U_B^I = 237 \text{ W}; \quad U_C^I = 212 \text{ W}; \quad U_A^n = 213 \text{ W};$$

10. Nul simly üç fazaly sete birikdirilen. 1)  $\cos\varphi=0,6$  (özbaşdak) (hereketlendirijileriň sarymlary üçburçlyk görnüşde birikdirilen) bolanda umumy sarp edýän kuwwatly  $P=150$  kWt üç fazaly hereketlendirijiler; 2)  $P_A''=20$  kwat,  $P_B''=15$  kWt,  $P_C''=10$  kWt, ( $\cos\varphi''=1$ ) kuwwatlary bolan dört simly sete ýyldyz görnüşde birikdirilen üç sany bir fazaly elektrik gyrdyryjylary; 3) Kuwwaty  $Q_C'''=60 \text{ KWAP}$  bolan üç fazaly simmetriki kondensator batereýalary üçburçlyk görnüşde birikdirilen.

Iýmitlendiriji setiň liniýa naprýaženiýasy  $U_I=380$  W

Iýmitlendiriji setiň simlaryndaky  $I_A$   $I_B$   $I_C$   $I_N$  toklary kesgitlemeli.

Görkezme: Limwdiki usuly we wektor diagrammany peýdalanyň (ulanyp) her bir kabuledijileriň liniýa toklaryny tapmagy we her fazalar üçin ol toklary goşmaklygy hödürlenýär.

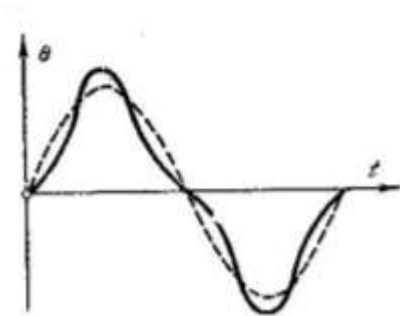
$$\text{Jogap: } I_A=383 \text{ A}, I_B=363 \text{ A}, I_C=346 \text{ A}, I_N=39 \text{ A}$$

## SEKIZINJI BÖLÜM.

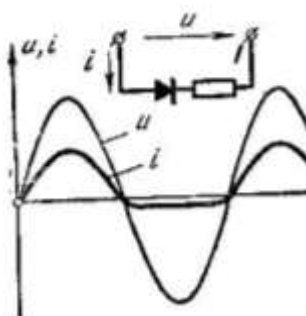
### Sinusoýdal däl togyň elektrik zynjyry.

#### § 8.1. Periodiki sinusoýdal elektrik ululyklary.

Sinusoýdal däl e.h.g we toklaryň döreýşi. Öňki bölümlarda meňzeş ýygyllykly sinusoýdal üýtgeýän toklary, naprýaženiýalary we e.h.g elektrik zynjyryna seredilipdi. Ýöne tejribede (amaly) e.h.g. naprýaženiýanyň we toklaryň periodiki egrilerimiň azda kände sinusoýdadan tapawutlanýar. Şular ýaly hadysalarynyň esasy sebäbine gararys.



8.1 a çyzgy.



8.1 b çyzgy.

Elektromaşyn generatorynda üýtgeýän e.h.g.-ň alnyş usuly (prinsipine) seredilende, statoryň we rotoryň arasyndaky howa boşlugy magnit induksiýasynyň sinusoýdal paýlanmagyny üpjün etmäge ymtylýar. Real generatorda mydama doly gazanylmaýar, sebäbi statoryň sarymynda oýandyrylýar e.h.g. beýle bir berk sinusoýdal bolmazlygy mümkin bolup biler (8.1 a çyz.).

Haçanda zynjyrdaky sinusoýdal e.h.g. täsir edýän wagty ondan sinusoýdal däl togyň akmagy mümkindir sebäbi naçyryk garşylygy saklaýandyr. Şular ýaly zynjyrdaky togyň ululygy

goýlan naprýaženiýa propersional däl, şonuň üçin sinusoýdal naprýaženiýada togyň egrisi sinusoýdal görnüşde bolman biler. Aýratyn hem bu hadysa göneldiji elementli zynjyrdaky göze aýdyň görünýär. Belli bolşy ýaly ýarym geçirijili göneldijiler togy diňe bir tarapa geçirýär özem beýleki tarapa garaňda has oňat geçirýär. Şol sebäpli togyň egrisi sinusoýdadan güýçli tapawutlanýandyr. (8.1 b çyz.).

## § 8.2. Sinusoýdal däl ululygyň garmoniki düzüjilere dargamagy.

Sinusoýdal däl toklaryň zynjyryndaky hadysalary barlamak Fkrýemiň teoremasyna esaslandyr, şoňa görä (esaslanyp) her bir wagtyň periodiki  $F(wt)$  funksiýasyny (umumy görnüşde) umuman  $A_0$  hemişelik düzüjilerini jemi we birnäçe sinusoýdal (garmoniki) ösýän (artýan) kratnyň ýygylýan hökmünde seretmek bolar:

$$F(wt) = A_0 + A_{1m} \sin(wt + \psi_1) + A_{2m} \sin(2wt + \psi_2) + A_{3m} \sin(3wt + \psi_3) + \dots$$

Barlanylýan sinusoýdal däl ululygyň w ýygylýanyna deň bolan sinusoýdal  $A_{1m} \sin(wt + \psi_1)$  ýygylýan esasy garmonika diýilýär. Çalan kelte gysga ýygylýan Sinusoýda  $2w, 2w, \dots kw$  ikinji, üçünji, ... k tertipli garmoniki ýa-da ýokary garmonikaly diýilýär.

Elektrik zynjyrdaky derňew geçirilende  $\Psi_1, \Psi_2, \Psi_3, \dots$  garmoniki düzüjileriniň başlangyç fazalary nula deň bolan sinusoýdal däl ululyklara ýygynlyk (operirowat) etmeli bolýar. Onda

$$F(wt) = A_0 + A_{1m} \sin wt + A_{2m} \sin 2wt + A_{3m} \sin 3wt + \dots (8.2)$$

Döwür içinde generatoryň e.h.g. egrisiniň orta ordinatosy düzgün boýunça nula deň. Ol seredilýän periodiki funksiýanyň  $A_0$  hemişelik düzüjileriniň ýoklugyny aňladýar.

Käbir ýagdaýlarda sinusoýdal däl elektrik ululyklar (mysal üçin çoýun özenli tegekdäki tok) diňe tak garmonikleri saklaýar:

$$F(wt) = A_{im} \sin wt + A_{2m} \sin 3wt + \dots \quad (8.3)$$

### § 8.3. Sinusoýdal däl ululyklaryň orta we täsir ediji bahalary.

Sinusoýdal däl togyň täsir ediji bahasy diýip (şeýle hem sinusoýdal tok üçin) onuň orta kwadrat bahasyna düşünilýär:

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} \quad (8.4)$$

i- togy garmoniki setir görnüşde aňladyp

$$I^2 = I_0^2 + I_{1m}^2 \sin^2 (wt + \varphi_1) + I_{2m}^2 \sin^2 (2wt + \varphi_2) + \dots$$

alarys

$$I^2 = \frac{1}{T} \int_0^T [I_0^2 + I_{1m}^2 \sin^2 (wt + \varphi_1) + I_{2m}^2 \sin^2 (2wt + \varphi_2) + \dots] dt$$

Interirlemäniň netijesinde aşakdakyny alarys:

$$I^2 = I_0^2 + \frac{I_{1m}^2}{2} + \frac{I_{2m}^2}{2} + \dots = I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + \dots \quad (8.5) \quad \text{ýa-da}$$

$$I = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + \dots}$$

E.h.g . we napryaženiýäniň täsir ediji bahasyny degişlilikde aňlatmak bolar:

$$E = \sqrt{E_0^2 + E_1^2 + E_2^2 + \dots}, \quad U = \sqrt{U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + \dots} \quad (8.6)$$



Sinusoýdal däl ululyklaryň täsir ediji bahasyndan başga käwagtlar absolyút bahada alnan olaryň orta bahalarynyň seredýärler. Naprýaženiýäniň  $U = F(t)$  egrisi üçin orta bahasy

$$U_{orta} = \frac{1}{T} \int_0^T (U) dt. \quad (8.7)$$

Perýodiki  $F(\omega t)$  funksiýanyň sinusoýdada gyşarma derejesini kesgitlemek üçin indiki koeffisiýentlerden peýdalanylýar. (kf) egriniň görnüşi (şekilli) we (ka) amplitudalar: Egriniň şekiliniň koeffisiýenti täsir ediji bahanyň ululygynyň onuň orta bahasynyň gatnaşygy hökmünde kesgitlenýär:

$$K_{f(s)} = \frac{U}{U_{ort}} \left( \text{ýada } \frac{I}{I_{ort}} \right) \quad (8.8)$$

Egriniň amplitudasynyň koeffisiýenti diýip ululygyň maksimal bahasynyň onuň täsir ediji baha bolan gatnaşygyna düşünilýär.

$$K_a = \frac{U_{max}}{U} \left( \text{ýada } \frac{I_{max}}{I} \right) \quad (8.9)$$

Koeffisiýentler  $k_s$  we  $k_a$  egri näçe ýiti bolsa şonçada ulydyr. Sinusoýdal üçin  $k_s=1,11$  we  $K_a = \sqrt{2}$  deňligini ýatladýarys.

#### **§ 8.4. Sinusoýdal däl togyň zynjyrynyň kuwwaty.**

Sinusoýdal däl tokda aktiw kuwwat edil sinusoýdal tok üçin kesgitlenýär, ýagny döwür üçinde kuwwatyň orta bahasy hökmünde:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u i dt. \quad (8.10)$$

Eger-de zynjyrynyň haýsy hem bolsa bir böleginde togyň we naprýaženiýäniň üýtgemeginiň grafigi belli bolsa,

onda ol egrileriniň degişli ordinatolaryny köpeldip pursat  $p = u \cdot i$  kuwwat grafigini we ol boýunça  $P$  aktiw kuwwaty kesgitleäris.

Haçanda  $u$  we  $i$  ululyklar Furýenyň setirleri görnüşde berlen bolsa, onda ol setirleriň köpeldilme netijesinde we (8.10) deňleme boýunça aktiw kuwwat üçin aňlatmany alýarys:

$$P = U_0 I_0 + U_1 I_1 \cos \varphi_1 + U_2 I_2 \cos \varphi_2 + \dots + U_k I_k \cos \varphi_k. \quad (8.11)$$

Kä ýagdaýlarda barlagy we hasabaty ýeňleşdirmek (ýönekeýleşdirmek) üçin naprýaženiýäniň we togyň sinusoýdal egrilerini ekwiwalent sinusoýdallar bilen çalyşýarlar. Çalyşylýan sinusoýdal we ekwiwalent sinusoýdallaryň täsir ediji bahalary deň bolar ýaly edip çalyşýarlar. Beýle çalyşma diňe sinusoýdal üýtgeýän ululyklarda ulanylýan wektor diagrammalarynda peýdalanmaga mümkinçilik döredilýär. Elektrik zynjyrynyň böleginde sinusoýdal däl togyň we naprýaženiýäniň ululyklary ekwiwalent sinusoýdal  $u$  we  $i$  ululyklar bilen çalyşylanda  $P = U \cdot I \cos$  deňleme boýunça hasaplanan kuwwat zynjyryň şol böleginiň hakyky ulanýan (peýdalanýan, sarp edýän) aktiw kuwwatyna deň bolar ýaly edip  $u$  we  $i$  wektorlary öburça ozara süşürilmeli. Berlen (şu) ýagdaýda  $\cos \varphi$  diňe hasaplanan ululykdyr.

### **§8.5. Sinusoýdal däl togyň elektrik zynjyrynyň hasaplaşyk geçirmek we barlamak.**

Sinusoýdal däl naprýaženiýalarda zynjyryň hasabyny geçirmek. Haçanda zynjyryň gysgyçlaryndaky  $u$  naprýaženiýa wagtyň sinusoýdal däl funksiýasynda perýodiki bolsa goşma usuly ulanyp  $t$  wagtyň dürli pursatynda şol zynjyrdaky  $i$  togyň naprýaženiýanyň her garmonikasynyň aýratynlykda döreden bölejik toklaryň jemi hökmünde kesgitlep bolar.

Goý mysal üçin yzygider birikdirilen  $r$  garşylykly  $L$  induktiwlikli we  $C$  sygymly elektrik zynjyryna hemişelik düzüjili, esasy sinusoýdaly we üçünji garmonikany saklaýan naprýaženiýa berlen bolsa:

$$u = U_0 + U_{1m} \sin \omega t + U_{3m} \sin 3\omega t \quad (8.12).$$

Yzygider birikdirilen kondensatory saklaýan seredilýän zynjyrdaky  $U_0$  naprýaženiýanyň hemişelik düzüjisi döretmeýär, sebäbi hemişelik tokda sygym garşylyk tükeniksizlige deň. Sinusoýdal düzüjilere degişli bolan ýagdaýda olar üçin geçen bölümde seredilen üýtgeýän togyň umumy kanunlaryny ulanyp bolar (bliner).

Birinji garmonika:

$$i_1 = I_{1m} \sin(\omega t + \varphi_1)$$

$$I_{1m} = \frac{U_{1m}}{\sqrt{r^2 + (\omega l - \frac{1}{\omega c})^2}}, \quad \tan \varphi_1 = \frac{\omega l - \frac{1}{\omega c}}{r}.$$

Üçünji garmonika:

$$i_3 = I_{3m} \sin(3\omega t + \varphi_3)$$

$$I_{3m} = \frac{U_{3m}}{\sqrt{r^2 + (3\omega l - \frac{1}{3\omega c})^2}}, \quad \tan \varphi_3 = \frac{3\omega l - \frac{1}{3\omega c}}{r}.$$

Dürli garmonikalaryň toklary üçin reaktiw garşylyk hasaplananda ýygylýan  $X_L$  induktiw garşylygyň göni proporsional  $X_C$  sygym garşylygyň ters proporsionaldygyny hökman hasaba almalydyr. Sebäbi üçünji garmonika esasy sinusoýdal bilen deňeşdirilende üçeldilen ( $3\omega$ ) ýygylýa eýedir, onda üçünji garmonikanyň togy üçin induktiw garşylyk  $3\omega l$ -e deňdir. Sygym garşylyk bolsa  $\frac{1}{3\omega C}$  deň. Görnüşi ýaly her garmonik üçin faza süýşmesi  $\varphi$  dürli bolar.

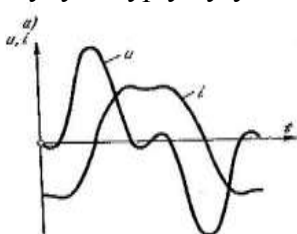
Zynjyrdaky hakyky tok goşulma usuly boýunça kesgitlenýär:

$$i = i_1 + i_3.$$

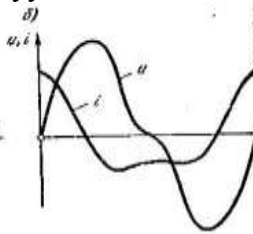
### § 8.6. Togyň egrisiniň şekiline (görnüşine) L we C elementleriň täsiri.

Togyň egrisiniň (şekiline) görnüşine elektrik zynjyrynyň parametrleriniň täsirine jikme-jik (birin-birin) serederis. Diňe aktiw r garşylyga eýe bolan zynjyrdaky ähli garmonikalar üçin doly garşylyk birmeňzeşdir we togyň  $i(t)$  egrisini üçin  $u(t)$  naprýaženiýanyň egrisine meňzeşdir.

Haçanda zynjyr diňe L induktiwligi saklanýan bolsa, zynjyryň induktiw garşylygy  $X_L = \omega L$  garmonikalaryň tertibine proporsional artýar. Şonuň üçin togyň egrisiniň ýokary garmonikalarynyň otnositel bahalary artmagy bilen çala peselýär we togyň egrisiniň görnüşini boýunça naprýaženiýanyň egrisine görä sinusoýda  $i(t)$  egriniň görnüşine tımarlap has ýakynlaşýar (8.2 a çyzg.). Şoňa baglylykda induktiwlik togyň ýokary garmonyny basyp ýatyrýar diýýärler.



8.2 a çyzgy.



8.2 b çyzgy.

Eger-de zynjyr diňe C sygyma eýe bolsa, onda zynjyryň sygym garşylygyny  $X_C = \frac{1}{\omega C}$  garmonikanyň tertibine proporsional azaldýar. K näçe uly bolsa zynjyryň garşylygy şonça kiçi we

ýokary garmonika togyň egrisinde has aýdyň görkezilendir. Şonuň üçin sinusoýdadan togyň egrisi naprýaženiýanyň egrisine görä epesli ýokary tapawutlanýar (8.2 b çyz). Başgaça aýdamyzda sygym basmarlaman onuň tersine ýokary garmonikany saýlaýar (aýyýar).

### **§ 8.7.Ýokary garmonikalaryň (ýygyrt-ýygyrtlygyn) rezonansy.**

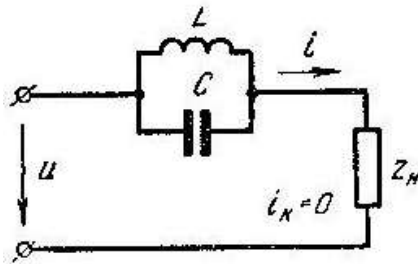
Aktiw garşylykdan başga induktiwligi we sygymy eýe bolan sinusoýdal däl togyň şahalanmaýan zynjyrynda  $k_w L = \frac{1}{k_w c}$  L we C parametrleriň (ululyklaryň)  $k_w L = \frac{1}{k_w c}$  garşylyklarynyň bolmagy mümkindir. Şu ýagdaýda k-garmonik (ýygyrt-ýygyrt) üçin naprýaženiýanyň rezonansy bolýar we tok şol garmonikada (ýygyrt-ýygyrtlykda) beýleki garmonikalaryň togyna garaňda örän uly ululyga eýe bolmagy mümkindir. Zynjyryň induktiw we sygym böleginde (uçastogynda) zynjyra goýlan naprýaženiýa garanynda ol hem örän uly bolup biler. Induktiv we sygymy saklaýan şahalar parallel birikdirilende ol şahalaryň reaktiv geçirijiklerini bir garmonika üçin deň bolmaklygynyň mümkinligini ýatdan çykaryp bolmaz. Şu ýagdaýda şol garmonika üçin zynjyrdaky togyň rezonansy ýüze çykýar.

### **Elektrik süzujileri (filtirleri) barada düşünje.**

Togyň egrisiniň görnüşine L induktiwligiň we C sygymyň täsir edip biljek ukybyna olaryň elektrik sürüjide (filitrinde) ulanmaklyga şert döredildi. Haçanda çeşmeden alynýan naprýaženiýanyň egrisiniň berlen görnüşinde elektrik kabul edijidäki togyň egrisiniň görnüşini üýtgetmelige isleg bolanda elektrik süzüji (filter) iýmitlendiriji çeşme we energiýany kabul edijiniň aralarynda çatýarlar (birikdirýärler)

Çaý, mysal üçin çeşmäniň  $u(t)$  naprýaženiýasynyň egrisinde  $k$  garmonika bar,  $i(t)$  togyň egrisinde ol garmonika gerek däl we ony hökmany minumuma getirmelidir.

Ol maksada ýetmek üçin çeşme bilen ýüklenmäniň arasynda kontury süzüji izigider birikdirýärler emele getirýän parallel birikdirilen tegek we kondensator (8.3çyz)



8.3 çyzgy.

Kontur rezonansa sazlananda (düzülende) onuň garşylyk garmonika üçin takmyn nula deňdir (ýagny garşylyk örän uludyr). Şeýle (filtir) sürüji  $k$ -i garmonikanyň togyny kabul edijä geçirmeýär.

Elektrotehnikada ýokarda görkezilen sürijiden başgada (filtirler) sürüjiler ulanýarlar, mysal üçin göneldilen togyň \* pulsasiýasyny azaltmak üçin göneldiji shemalarda ulanýarlar, mysal üçin göneldiji shemalarda ulanylýanlar.

Mysal 8.1 zynjyr yzygider birikdirilen aktiw  $r=L$  Om garşylyk, induktiwligi  $L=50$  m Gs we sygymy  $C=40$  mkf durýar.

Zynjyryň gysgyçlaryndaky naprýaženiýa  $u=320 \sin wt + 75 \sin (swt+28^\circ)+38 \sin (5wt - 43^\circ)$  W, ýygylýk  $w=314$  rad/s.

Zynjyryň naprýaženiýanyň togynyň täsir ediji bahasyny, aktiw kuwwatyny we  $\cos \varphi$  kesgitlemeli.

Çözülişi. Reaktiw we doly garşylygy  $w$ ,  $3w$  we  $5w$  ýygylýklar üçin hasaplarýs.

$$\begin{aligned}
X_{L11} &= wL = 314 \cdot 0,05 = 15,7 \text{ Om}, \\
X_{L3} &= 3 wL = 47,1 \text{ Om}, \\
X_{L5} &= 5 wL = 78,5 \text{ Om}, \\
X_{cl} &= \frac{1}{wc} = \frac{10^6}{314 \cdot 45} = 70,7 \text{ Om}, \\
X_{c3} &= \frac{1}{3wc} = 23,6 \text{ Om}, \quad X_{c5} = \frac{1}{5wc} = 14,1 \text{ Om}, \\
Z_1 &= \sqrt{r^2 + (X_{L1} - X_{c1})^2} \\
&= \sqrt{40^2 + (47,1 - 23,6)^2} = 68 \text{ Om}, \\
Z_3 &= \sqrt{r^2 + (X_{L5} - X_{c5})^2} \\
&= \sqrt{40^2 + (78,5 - 14,1)^2} = 76 \text{ Om}.
\end{aligned}$$

Aýry toklaryň garmonikleriniň amplitudasyny kesgitleýäris:

$$\begin{aligned}
I_{im} &= \frac{U_{im}}{Z_1} = \frac{320}{68} = 4,71A, \quad I_{3m} = \frac{U_{3m}}{Z_3} = \frac{75}{46,5} = 1,62A, \\
I_{5m} &= \frac{U_{5m}}{Z_5} = \frac{38}{76} = 0,5A,
\end{aligned}$$

Togyň we naprýaženiýanyň täsir ediji bahalaryny hasaplaýarys:

$$\begin{aligned}
U &= \sqrt{U_1^2 + U_3^2 + U_5^2} = \sqrt{\left(\frac{320}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{75}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{38}{\sqrt{2}}\right)^2} \\
&= 234 \text{ W}. \\
I &= \sqrt{I_1^2 + I_3^2 + I_5^2} = \sqrt{\left(\frac{4,71}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{1,62}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{0,5}{\sqrt{2}}\right)^2} = 3,54A.
\end{aligned}$$

Zynjyryň aktiw kuwwatyny  $\cos \varphi$  kesgitleýäris:

$$\begin{aligned}
P &= U_1 I_1 \cos \varphi_1 + U_3 I_3 \cos \varphi_3 + U_5 I_5 \cos \varphi_5 \\
&= \frac{320}{\sqrt{2}} \cdot \frac{4,71}{\sqrt{2}} \cdot \frac{40}{68} + \frac{75}{\sqrt{2}} \cdot \frac{1,62}{\sqrt{2}} \cdot \frac{40}{46,5} + \frac{38}{\sqrt{2}} \cdot \frac{0,5}{\sqrt{2}} \cdot \frac{40}{76} \\
&= 441 + 52 + 5 = 498 \text{ Wt},
\end{aligned}$$

$$\cos\varphi = \frac{P}{U \cdot I} = \frac{498}{234 \cdot 3,54} = 0,6.$$

### 8 bölüme barlag mysallary we soraglary.

1. Sinusoýdal däl ululyklaryň täsir ediji bahalary onuň aýry garmonikalarynyň ýygylgyna baglymy?
2. Sinusoýdal däl tokly zynjyrlarda  $\cos \varphi$  şertli düşünjä näme aýtmak bolar?
3. 8.1 mysaldaky aktiw kuwwaty  $P = I^2 \cdot R$  deňleme boýunça kesgitlemeli we hasaplamanyň netijesini öň mysal işlenip alnan P-ň bahasyn bilen deňeşdirmeli.
4. Yzygider birikdirilen  $R=20\text{m}$  garşylyk we  $C=100\text{ mkf}$  sygymly zynjyrdan tok akýar.

$$i = 2 \sin \left( 500t + \frac{\pi}{3} \right) + 2 \sin 1000t \text{ A.}$$

Kondensatordaly täsir edýän naprýaženiýany kesgitlemeli.

Jogap :  $U_c = 31,7 \text{ W.}$



## DOKUZYNJY BÖLÜM.

### Elektrik zynjyrynda geçiş prosesleri.

#### § 9.1. Esasy düşünje.

##### Kommutirlenmegiň kanunlary.

Bir durnukly (stasionar) režimden beýleki režime geçilende (elektriki, mehaniki, ýylylyk we başgalar) dürli fiziki sistemalar ýüze çykýan proseslere geçýän ýa-da durnuklanmadyk prosesler diýilýär.

Elektrik zynjyrynda geçiş prosesi onyň iş režimi üýtgände ýagny zynjyr çatylanda ýa-da ýazdyrylanda R,L,C ululyklaryň üýtgemegi bolup geçýär. Elektrik zynjyrynda geçiş prosesini döredýän görkezilen täsir, kommutirleme diýen ada eýe bolýar.

Zynjyryň her bir ýagdaýyna (L induktiwlige we C sygyma eýe bolan umumy ýagdaý) kesgitli magnit meýdanynyň ( $W_m = \frac{Li_L^2}{2}$  we elektrik meýdanynyň ( $W_e = \frac{Cu_C^2}{2}$  kesgitli ätiýaç energiýasy degişlidir. Elektrik zynžyryň elementleri bilen bagly bolan ol ätiýaç energiýalar zynžyryň dürli ýagdaýlarda we iş režimlerinde meňzeş däl. Meýdanynyň energiýasyny ahyrky ululygyna çenli ütgemek üçin hökmany bir näçe wagt gerek\*. Şonuň üçin tegekdäki  $i_L$  we kondensatordaky  $U_e$  napýraženiýanyň bökme görnüşinde ütgemegi mümkindäl. Ol bolsa bir durnukly ýagdaýdan başga gecmeklik çalt bolman bir näçe wagtyň dowamynda bolýandygyny aňladýar.

Elektrik zynžyrynda geçiş prosesleri beýleki fiziki sistemalara garanynda adaty örän çalt geçýär we sekundyň ülüşleriniň dowamynda geçip gutarýar.

Induktiwligi bolan zynžyrdaky tok böküp ütgäp bilmez we geçiş prosesiniň başlangyç pursadynda ( $t=0$ ) özüniň öňki

ähmiýetini saklamagyna kommutasiýanyň birinji kanuny diýilýär.

Kondensatoryň gysgyçlaryndaky napýraženiýa göz – açyp ýumasy salymda ahyrky ululygyna birden ýetip bilmez we  $t=0$  pursatda geçişdäki ähmiýetini saklaýan meňzeşlik prinsipine kommutasiýanyň ikinji kanuny diýilýär.

### **Geçiş proseslerini derňemekligiň umumy prinsipleri.**

Elektrik zynjyrynda geçiş proseslerine matematiki barlag, Kirhgofyň kanunlarynyň hem durnukly we hem durnuksyz režimlere ulanylyp bolýandygyna esaslanýandyr.

Duwun nokatlary we ýapyk konturlar üçin Kirhgofyň kanunlaryny ulanyp, geçiş prosesleri üçin çyzykly differensial deňlemeleri alyp bolar. Şol deňlemeler (bilen) (arkaly) seredilip geçilýän prosesleriň wagtyň dürli pursadynda, toklaryň we napýraženiýalaryň bahalaryny kesgitleýärler.

Integrirlemegiň hemişelik aňladmasyny kommutirlemegiň kanunlary bilen kesgitlenilýän araçäk şertlerden tapýarlar.

Differensiýal deňlemeleriň çözlüşini yönekeýleşdirmek we olaryň derňewini ýeňilleşdirmek üçin geçiş prosesse erkin we mežbury – iki reziniň goşulmagynyň netijesi hökmünde seretmek kabul edilen. Onda degişlilikde zynjyrdaky tok iki goşulyşmanyň jemi hökmünde görkezilýär: ýagny geçiş prosessi gutaranda zynjyrdä diňe geçiş prosesiniň dowamynda mežbury  $i_{mež}$ , erkin  $i_{erk}$  toklaryň akmaklygy amala aşyrylýar:

\*Duýdansyz  $W$  energiýanyň bökmek görnüşde üýtgemegi çeşmäniň kuwwatynyň  $P = \frac{dw}{dt} = \infty$  deňgüýçlidir, bu bolsa fiziki mümkin däl.

$$i = i_{erk} + i_{mež} .$$

Erkin tok ýuwaş – ýuwaşdan öçýän we ( $t = \infty$ ) durnukly režimde nula deň bolýar. Onda

$$i_{t=\infty} = i_{me}; . \quad (9.1)$$

Togyň mežbury we erkin dürüjleriniň hasabynda daýanyp bar bolan real uluklaryň aýry düzüjiler dälde, netijeleýji toklardygyny (ýada napýraženiýa) hökmany ýgatlamalydyr.

Aşakda hemişelik parametrli birnäçe ýönekeý zynjyrlardaky geçiş proseslere seredilýär.

## § 9.2 Induktivligi bolan zynjyrdaky geçiş prosesleri.

Hemişelik  $U$  napýraženiýa birikdirlişi  $R$  we  $L$  elementli zynjyryň

Seredilýän (9.1 çyz) zynjyr üçin alarys:

$$L \frac{di}{dt} + iR = U . \quad (9.2)$$

Aňlatma (9.1) gözöňünde tutup (9.2) deňlemäni aşkdaky görnüşde ýazyp bolar:

$$L \frac{d}{dt} (i_{mez} + i_{erk}) + (i_{mez} + i_{erk})R = U . \quad (9.3).$$

Sebäbi durnukly režimde  $i_{erk} = 0$ , onda

$$L \frac{di_{mez}}{dt} + i_{mez}R = U . \quad (9.4).$$

Goýlan  $U$  napýraženiýanyň ululygy hemişelik bolanda mežbury tok  $i_{mez} = const$ , şeýlelikde,

$$L \frac{di_{mez}}{dt} = 0 , \quad i_{mez} = \frac{U}{r} ,$$

(9.3) den (9.4) aýryp, alarys

$$L \frac{di_{erk}}{dt} + i_{erk} R = 0 \quad (9.5).$$

Differensial (9.5) deňleme çözüdi aşakdaky aňlatma hasaplanýar

$$i_{erk} = A e^{pt}. \quad (9.6).$$

A ululygyň bahasyny başlangyç şert bilen kesgitlenýär:

$$(t_{mez} + i_{erk})_{t=0} = i_{t=0} = 0 \quad (\text{kommütirlenmäniň birinji kanuny}).$$

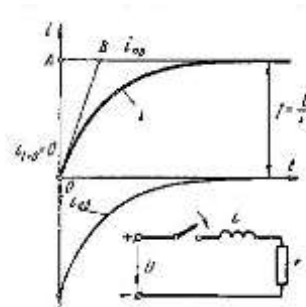
Buýerde

$$i_{erk(t=0)} = -i_{mez} = -\frac{U}{R}.$$

Wagtyň  $t=0$  aňlatma (9.6) pursady üçin ulanyp alarys

$$i_{erk(t=0)} = -\frac{U}{R} = A e^{p0} = A.$$

Ululyk  $P$  hasiýetnama deňlemeden kesgitlenilýär:



9.1 Çyz. Hemişelik napýraženiýa çatylan tegek.

$$P = -\frac{R}{L}, \quad (9.7)$$

Şeýlelik- de

$$i_{erk} = \frac{U}{R} \cdot e^{-\frac{R}{L}t} = \frac{U}{R} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (9.8)$$

Zynjyrdaky hakyky tok

$$i = i_{mez} + i_{erk} = \frac{U}{R} = \frac{U}{R} e^{-\frac{t}{\tau}} = \frac{U}{R} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad (9.9)$$

Zynjyrdaky mežbury, erkin we hakyky tonlaryň egrileri 9.1 çyz. şekillendirlendir, Erkin toguň görkeziji funksiýa boýunça öçýändigini (9.8) deňleme görkezýär. Geçiş prosessiň geçiş tyzlygyny aşakdaky

$$\tau = \frac{L}{R} = -\frac{1}{p}, \quad (9.10)$$

wagyt ölçegi bolan ululyk bilen kesgitleýärler. Bu ululyga zynjyryň hemişelik wagty diýmek kabul edilen\*

Wagtyň F hemişeligi grafiki  $i(t)$  egra AB galtaşmаныň uzynlygy bilen kesgitleýär.

Geciş prosessi nukdaý nazary boýunça tükeniksiz uzak dowam edýär. Haçanda  $i$  tok durnukly  $I = \frac{U}{R}$  aňlatmanyň 99% düzende prosess praktiki doly gutaran diýip hasap edýärler. Ol haçanda  $t \approx 4,6\tau$  bolanda dogrydyr.

Mysal 9.1. Garşylygy  $R = 0.2$  we induktiwlighi  $L = 0.1 \text{ G}_n$  bolan tegek napýraženiýasy  $U = 100 \text{ V}$  bolan hemişelik toguň zynjyryna çatylýar. Wagtynyň dürli pursaty üçin zynjyrdaky  $i$  togyň bahasyny kesgitlemeli.

Çözülişi. Tegek çatylandan soň wagtyň erkin pursatyndaky  $i$  togy (9.9) deňleme boýunça taparys:

$$i = \frac{U}{R} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) = \frac{100}{0.2} (1 - e^{-2t}) a.$$

Aşakdaky tablisa hasabatynyň netijelerini geçiriş

$t, s$	0	0.1	0.25	0.5	1	1.5	2	2.5	$\infty$
$e^{-2t}$	1	0.81	0.60	0.36	0.13	0.04	0.01	0.00	0
....	0	8	6	7	5	9	8	7	50
$i, A$ ....		91	125	316	432	475	491	496	0

Wagtyň hemişeligi  $\tau = \frac{L}{R} = \frac{0,1}{0,2} = 0,5 \text{ s}$ . Tablisadan

görnüşü ýaly,  $t = 5\tau = 2 \sim 5 \text{ s}$  wagt soň tok durnukly bahasyna ýeterlik ýakyn (1% tapawutlykda) ululyga praktiki ýetýär.

### **Hemişelik togyň zynjyrynyň R,L uçastogunda (bölümçesinde – böleginde) gysga çatylma.**

Rubilnik P ýazdyryjylanda Zynjyrdan  $I_1 = \frac{U}{R_1 + R_2}$  tok

akýar (9.2,a çyzgyda). Rubilnik çatylan pursatynda ( $t = 0$ ) AB uçastokdaky napýraženiýa nula deň bolýar. Magnit

meýdanyndaky  $\left( \frac{LI_1^2}{2} \right)$  ätiýaç energiýanyň hasabyna ALB

uçastokdaky tok birden ýitmeýär, ol öz özüniň induksiýanyň e.h.g hasabyna bir näçe wagytlap saklanyp galýar. Ýapyk ALBA kontur üçin Kirhgofyň ikinji kanunyň deňlemesini ýazarys:

$$e_L - iR_1 = 0$$

$$L \frac{di}{dt} + iR_1 = 0 \quad (9.11)$$

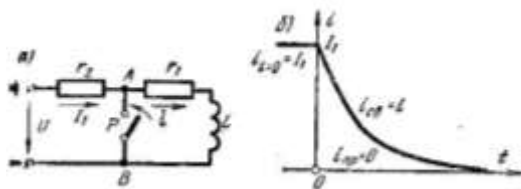
Durnukly režimde ALB uçastokda tok nula deň ( $i_{mez} = 0$ ). Şonuň üçin  $i = i_{erk} + i_{mez} = i_{erk}$  we (9.11) deňleme aşakdaky görnüşü alýar.

$$L \frac{di_{erk}}{dt} + i_{erk} R_1 + 0$$

ol (9.5) deňlemä meňzeşdir.

Deňlemäniň (9.11) çözüdi aşakdaky aňlatma hasaplanýar

$$i_{erk} = Ae^{PT} = Ae^{-\frac{R_1}{L}t} \quad (9.12)$$



9.2 çyzgy. Tegekli hemişelik toguň zynjyrynda gysga çatylma.

a) – Shema; b) -  $i(t)$  egrisi.

Ululyk A – ñ bahasy başlangyç şertden kesgitlenýär:

$$i_{erk}(t=0) = i_{\tau=0} = I_1 = \frac{U}{R_1 + R_2} .$$

Başgaça (9.12) – den  $i_{erk(t=0)} = A$  alarys. Şeýlelikde ,

$$A = \frac{U}{R_1 + R_2} .$$

Zynjyrdaky tok

$$i = i_{erk} = \frac{U}{R_1 + R_2} e^{-\frac{t}{\tau}} = I_1 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (9.13)$$

$$\left( \tau = \frac{L}{R_1} = -P \right).$$

Tok  $i(t)$  ölçme egrisi 9.2, b çyzgyda görkezmelidir.

**Induktivlikli zynjyryň ýazdyrylmagy.** Imitlendirýän çeşmeden R we L elementi bolan zynjyry imitlendirýän çeşmeden ýazdyrlanda toguň çalt kesilmegine päsgel berýän samoinduksiýanyň e.h.g ýüze çykýar. Zynjyr ýazdyrylan pursatynda ýazdyryjy gurnamanyň kontaktlarynyň arasynda (rubilnik we başgalar) magnit meýdanynda ätiýaçlanan energiýanyň hasabyna goldanýan elektrik uçguny döreýär. Kontaklaryň we dugalaryň (uçgunlaryň) geçiş garşylygy togyň ölçme tizligini kesgitleýär.

Eger – de zynjyryň L induktivligi has ýokary bolsa. we togyň peselmegi ýeterlik çalt bolup geçse, onda ýüze (döreýän) çykýan samainduksiýanyň e.h.g  $e_L = -L \frac{di}{dt}$  zynjyra goýlan napýraženiýadan birnäçe esse ýokary bolýar.

Şeýle görnüşdäki napýraženiýa, howuply hasaplanýar, sebäbi goragyň böwsülmegine getirip biler.

Eger – de induktivligi bolan şaha parallel  $R_0$  aktiw garşylyk çatylsa, onda zynjyr ýazdyrlanda ýüze çykýan napýraženiýanyň ýokarlanmagyny çäklendirip bolar. Garşylyk  $R_0$  - da energiýa  $W_m$  ýuwaş – ýuwaşdan bölünip çykar, togyň peselme prosessi has dowamly bolar we onuň esasynda ýüze çykýan  $e_L$  e.h.g peseler.



## Ütgeýän togyň setine R We L elementli zynjyryň çatylyşy.

Sinusoýda  $U = U_m \sin(\omega t)$  napýraženiýaly sete R garşylygy we L induktiwligi saklaýan zynjyr birikdirilende, zynjyrdaky hökman sinusoýda togy döremeli. (ýüze çykmalý)

$$i_{me} = \frac{U_m}{Z} \sin(\omega t + \psi - \varphi). \quad (9.14)$$

Geçiş režimi wagtynda zynjyrdaky goşmaça görkeziji funksiýanyň kanuny boýunça nula çenli peselýän (öçýän) goşmaça erkin tok akýar:

$$i_{erk} = A \cdot e^{Pt} = A \cdot e^{-\frac{R}{L}t}. \quad (9.15)$$

Çünki zynjyryň birikdirilen pursatynda tok nula deňdir:

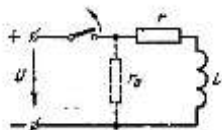
$$i_{t=0} = i_{erk(t=0)} + i_{mez(t=0)} = 0,$$

Onda

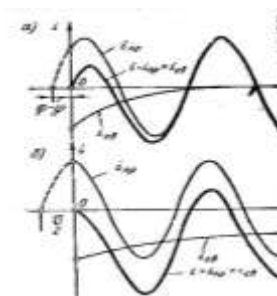
$$i_{erk(t=0)} = A = -i_{mez(t=0)} = -\frac{U_m}{R} \sin(\psi - \varphi)$$

Şonlukda,

$$i_{erk} = -\frac{U_m}{Z} \sin(\psi - \varphi) e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (9.16)$$



9.3. çyzgy. Tegegiň ýazdyryjysy.



9.4. çyzgy. Tegekleriň. sinusoýda napýraženiýa çatylandaky  $i_{mez}(t)$ ,  $i_{erk}(t)$ ,  $i(t)$  egriler.

Zynjyrdaky hakyky tok (9.4 a çyzgy) sinus kanuny boýunça periodiki üýtgeýän

mežbury, we ugry boýunça hemişelik, bolup geçiş peridy wagtyda nula çenli gaçýan a periodik erkin toklardan durýar:

$$i = i_{mez} + i_{erk} = \frac{Um}{z} \sin(\omega t + \psi - \varphi) - \frac{Um}{z} \sin(\psi - \varphi) e^{-\frac{t}{\tau}} . \quad (9.17)$$

Eger – de zynjyryň birikdirilmegi haçan mežbury tok nuldandan ( $\psi - \varphi = 0$ ) geçende bolup geçýän bolsa, onda erkin tok ýüze çykmaýar we zynjyryda göni durnukly režim başlanýar.

Egerde zynjyryň birikdirilmegi sinusda  $i_{mez}$  togy ( $\psi - \varphi = 90^\circ$ ) maksimumdan geçende amala aşyrylýan bolsa geçiş režimdäki umumy  $i$  tok ýarym periotda özüniň has ýokary bahasyna ýeter we  $\tau = \frac{L}{R}$  ululygynyň ýeterlik bahasynda durnukly režimde togyň ampletulasy takmynan 2 esse ýokary bolýar:

$$i_{\max} \approx 2 \frac{Um}{z} . \quad (9.4\text{çyzgy})$$

Şeýle amatsyz fakt bilen käbir elektrotehniki gurnamalaryň (generatorlar, elektrik enjamlaryň tok geçiriji bölekleri) hasabynda ylalaşmaly bolýar.

### § 9.3. Sygymly zynjyryda geçiş prosesleri.

Hemişelik  $U$  napýraženiýa  $R$  we  $C$  elementli zynjyryň birikdirilişi (çatlyşy). Sygym we aktiw garşylykly (9.5 çyzgy) zynjyr üçin, alarys.

$$iR + Uc = U . \quad (9.18)$$

$i = \frac{da}{dt} = C \frac{dU_c}{dt}$  hasaba alyp, aşakdaky deňlemäni alarys

$$RC \frac{dU_c}{dt} + U_c = U. \quad (9.19)$$

Zarýatlanma prosessi gutaranda kondensatordaky  $U_c$  naprýaženiýa setiň  $U$  naprýaženiýasyna deň bolar.

Geçiş prosessi döwüründe (wagtda) kondensatordaky  $U_c$  naprýaženiýa iki düzüjiden: durnukly (mežbury)  $U_{c_{mež}}$  naprýaženiýadan we erkin  $U_{c_{erk}}$  naprýaženiýadan duran hökmünde seretmek bolar.

$$U_c = U_{c_{mež}} + U_{c_{erk}}.$$

Aňlatma (9.20) esasynda (9.19) deňlemäni aşakdaky görnüşinde görkezmek (almak) bolar:

$$RC \frac{d}{d\tau} (U_{c_{mež}} + U_{c_{erk}}) + U_{c_{mež}} + U_{c_{erk}} = U \quad (9.21)$$

(9.21) deňlemäni  $U_{c_{mež}} = U$  goýup, alarys

$$RC \frac{dU_{c_{erk}}}{dt} + U_c = 0 \quad (9.22)$$

Ol diferensial deňlemäniň çözgidi diýip aşakdaky aňlatma hasaplanýar.

$$U_{c_{erk}} = Ae^{pt} \quad (9.23)$$

A Ululygy bahasyny başlangyç şertli kesgitlenýär:

$$(U_{c_{mež}} + U_{c_{erk}})_{t=0} = 0 \quad (\text{kommütirlenmäniň ikinji (II) kanuny.})$$

bu ýerde

$$U_{c_{erk}(t=0)} = -U_{c_{mež}} = -U$$

Wagtyň  $t=0$  pursady üçin (9.23) aňlatmany ulanyp aşakdakyny alarys

$$U_{c_{erk}(t=0)} = -U = Ae^{p \cdot 0} = A$$

Häsiýet (özboluşly)  $pRC + 1 = 0$  deňlemenden  $p$  ululygy kesgitlenýär:

$$P = -\frac{1}{RC} \quad (9.24)$$

Şeýlelikde

$$U_{C_{erk}} = -Ue^{-\frac{t}{RC}} = -Ue^{-\frac{t}{\tau}}.$$

Wagtyň hemişeligi

$$\tau = RC = -\frac{1}{p}. \quad (9.25)$$

Zarýad prosesinde (wagtynda) kondensatordaky naprąženiýa

$$U_C = U_{C_{mez}} + U_{C_{erk}} = U - Ue^{-\frac{t}{RC}} = U \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad (9.26)$$

Tok üçin aňlatmany (9.26) deňlemäni ulanyp tapmak kyn dälir.

$$i = C \frac{dU_C}{dt} = \frac{U}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}. \quad (9.27).$$

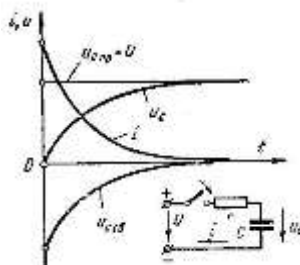
Egriler  $U_{C_{mez}}(t)$ ,  $U_{C_{erk}}(t)$

we  $i(t)$  9.5 çyzgyda şekillendirilendir.

R Çalşyrylygy üsti bilen kondensatoryň razrýatlanmagy.

Egerde  $U$  naprýąženiýa çenli razrýatlanan kondensator,  $R$  garşyly bilen çatylsa (9.6 çyzg)

onda kondensator zarýatsyzlanyp başlaýar. Zynjyrdan  $i =$



$C \frac{dU_c}{dt}$  zarýatsyzlanma togy tä .  $We = \frac{CU^2}{2}$  . energiýa R garşylykda doly ýylylyga öwrülýänçä akar.

Dörän kontur üçin kirhgofyň ikinji kanunynyň deňlemesini ýazarys:

$$iR + U_c = 0 \quad (9.29)$$

(9.28) we (9.29) deňlemeleri ulanyp, alarys

$$Rc \frac{dU_c}{dt} + U_c = 0 \quad (9.30)$$

Razrýadlanma prosessiniň ahyrynda kondensatorlardaky naprýaženiýa nula deň, şonuň üçin  $U_{c_{erk}} = U_c$  . onuň üçin geçiriş prosessiniň islendik (pursatynda)  $U_{c_{erk}} = U_c$  .

Deňleme (9.30) çözüdi aşakdaky aňlatma bolar

$$U_c = U_{c_{erk}} = Ae^{pt} \quad (9.31)$$

Başlangyç pursatda A bahasyny  $U_{c(t=0)} = A \cdot e^{p \cdot 0} = A = U$  (9.32) kesgitleýäris

Häsiýetnama (özboluşly) deňlemeden P ulululyga kesgitleýäris

$$P = -\frac{1}{Rc} \quad (9.33)$$

Diýmek

$$U_c = U_{c_{erk}} = Ue^{-\frac{t}{RC}} = Ue^{-\frac{t}{\tau}} \quad (9.34)$$

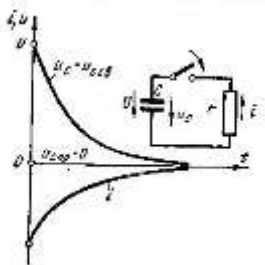
$$i = C \frac{dU_c}{dt} = -\frac{U}{R} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (9.35)$$

Kondensatordaky  $U_c$  naprýaženiýanyň ütgemesi we razrýadlanma  $i$  togynyň egrisi 9.6 çyz. (getiren) görkezilen. Kondensatoryň zarýatlanma we razrýatlanma prosessi R

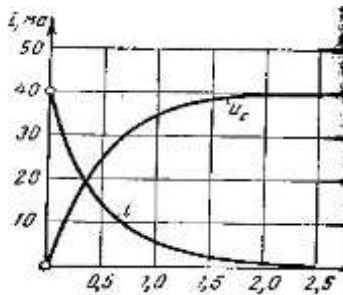
garşylyk we  $C$  sygym näçe uly bolsa şonçada ol prosessler haýal geçer.

Mysal 9.2.

Napraženiýasy  $U=200V$  bolan hemişelik togyň zynjyryna  $R=5000\text{ Om}$  garşylyk bilen yzygider birikdirilen  $C=100\text{mk}$ ... sygymly kondensator çatylan. Wagtyň dürli pursady üçin zynjyrdaky kondensatordaky  $U_c$  naprýaženiýanyň we zarýat  $q$  togyň bahasyny kesgitlemeli.



Garşylyk  $R$  arkaly  $C$  kondensatoryň zarýatsyzlanmagy 9.6Çyzgy.



Kondensator çatylandaky  $i(t)$  we  $U_c(t)$  egriler. 9.7 çyzgy.

### Cözüdi.

Kondensator çatylandan soň  $t$  wagtyň erkin pursatynda  $U_c$  we  $i$  absalýut bahasyny (9.26) we (9.27) deňlemeler boýunça taparys.

$\tau = RC = 5000 \cdot 100 \cdot 10^{-6} = 0.5S$ , deňligini göz – önünde tutup alarys.

$$U_c = U \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) = 200(1 - e^{-2t}) V,$$

$$i = \frac{U}{R} e^{-\frac{t}{\tau}} = \frac{200}{5000} e^{-2t} = 0,04 e^{-2t} A.$$

Hasabyň netijesini aşakdaky tablisa geçireris (ýazarys):

Tablisa

$I, \text{sek}$	0	0,1	0,25	0,5	1	1,5	2	2,5	
$e^{-2i}$	1	0,8	0,60	0,3	0,1	0,04	0,0	0,0	0
$\dots$	0	18	6	67	35	9	18	07	20
$u_C, \text{e}$	4	36,	78,8	126	173	190,	196	198	0
$\dots$	0	4	24,2	,6	5,4	2	,4	,6	0
$i, \text{ma}$		32,		14,		2,0	0,7	0,3	
$\dots$		7		7					

Egriler  $U_C(t)$  we  $i(t)$  9.7 çyzgyda şekillendirilen (görkezilen)

#### § 9.4. Induktivlik L we R garşylygyň üsti bilen kondensatoryň zarýatsyzlanmagy.

Goý  $U$  naprýaženiýa çenli zarýatlanan kondensator R we L elementli zynjyra çatylan diýeliň (9.8) çyzgy). Ol kondensatordaky togy kesgitlemek üçin aşakdaky deňlemeden peýdalanalyň  $U_L + U_a + UC = 0$  :

$$L \frac{di}{dt} + iR + \frac{q}{c} = 0 \quad (9.36)$$

Deňleme (9.36) t wagyta görä differensirläp ikinji tertipdäki differensial deňlemäni alarys:

$$L \frac{d^2 i}{dt^2} + R \frac{di}{dt} + \frac{1}{c} i = 0 \quad (9.37)$$

Ol deňlemäniň çözüdi aşakdaky aňlatma hasaplanýar

$$i = A_1 e^{p_1 t} + A_2 e^{p_2 t} \quad (9.38)$$

Şu aňlatmada  $P_1$  we  $P_2$  (harakteristiki) özboluşly deňlemäniň kökidir.

$$LP^2 + RP + \frac{1}{C} = 0 . \quad (9.39)$$

$$P_{1,2} = -\frac{R}{2L} \pm \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC}} \quad (9.40)$$

$$\frac{R}{2L} = \beta \text{ we } \frac{1}{LC} = \omega_0^2 \text{ belgiläris. Onda .} \quad (9.41)$$

$$P_{1,2} = -\beta \pm \sqrt{\beta^2 - \omega_0^2} = -\beta \pm \nu \wp$$

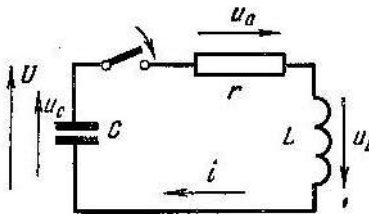
Integrirlemegiň  $A_1$  we  $A_2$  hemişelikleri  $i_{t=0} = 0, U_C(t=0) = U$  (kommutirlenmegiň I we II kanunlary) başlangyç şertlerden kesgitlenilýär.

$$i_{t=0} = A_1 + A_2 = 0 . \quad (9.38a)$$

$$U_{L(t=0)} + U_{a(t=0)} + U_{C(t=0)} + L \left( \frac{di}{dt} \right)_{t=0} + U = 0 \quad (9.36a)$$

Bu ýerden

$$\left( L \frac{di}{dt} \right)_{t=0} + U = 0$$



9.8 çyzgy.



Aňlatma (9.38) differensirläp we

$$\left(\frac{di}{dt}\right)_{t=0} = -\frac{U}{L} \quad (9.36 \text{ B})$$

hasap edip wagtyň  $t=0$  pursaty üçin aşakdakyň alarys

$$-\frac{U}{L} = A_1 P_1 + A_2 P_2 \quad (9.42)$$

Deňlemeler (9.38) we (9.32) bilelikde çözüp hem-de (9.41) aňlatmany göz önünde tutup, taparys

$$A_1 = -\frac{U}{2\wp L}, \quad A_2 = -\frac{U}{2\wp L}. \quad (9.43)$$

Geçiş prosessiň häsiýeti bu zynjyryň  $r$ ,  $L$ ,  $C$  parametrlerini özara gatnaşyklaryna baglydyr we  $P_1$  we  $P_2$  karakteristik deňlemeleriniň kökleri bilen kesgitlenýär.

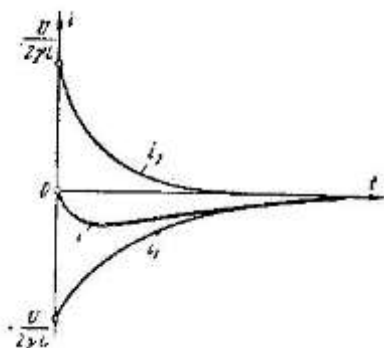
**Kondensatoryň aperiodik zarýadsyzlanmagy.**

Bardy-geldi, haçanda  $\left(\frac{R}{2L}\right)^2 > \frac{1}{LC}$

$\left(\gamma_{agny}, R > 2\sqrt{\frac{L}{C}}\right)$ , karakteristik deňlemäniň köki özem /

$P_2 / > / P_1 /$  bolanda maddylyk we otrisatel eken. Zynjyrda  $i$  tok görkezijili funksiýanyň kanuny boýunça öçýän  $i_1$  we  $i_2$  toklaryň jemi hökmünde özünü görkezýär (alyp barýar) (9.9).

Ol toklaryň başlangyç bahalary absalýut ululyklary boýunça meňzeşdir we alamatlary boýunça garşylyklydyr;



9.9. çyzgy.

$$i_1(t=0) = A_1 = -\frac{U}{2\phi L},$$

$$i_2(t=0) = A_2 = -\frac{U}{2\phi L}. \quad (9.44)$$

Tok  $i_2$  tok  $i_1$ -den çaly öçýär. Umumy tok  $i = i_1 + i_2$  başlangyç pursatda nula deň, soňra käbir maksimal baha ýetýär u ondan soň sygrymy üýtget soňra ýuwaş-ýuwaşdan nula çenli peselýär. Kondensatoryň şeýlr razrýadlanma häsiýetine operiodiki diýilýär.

### Kondensatoryň yrgyldyly zarýadsyzlanmagy.

Bardy-geldi haçanda  $\left(\frac{r}{2L}\right)^2 < \frac{1}{LC}$  (ýagny,  $r < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ ),

harakteristiki deňlemäniň köki baglansykly kompleks sandyr.

Aňlatmada (9.40)  $\beta = \frac{r}{2L}$  we  $w = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{r}{2L}\right)^2}$ , belgiläp, alarys

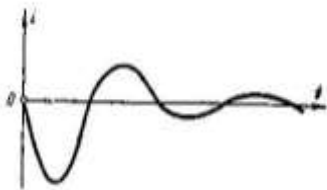
$$P_1 = -\beta + jw, \quad P_2 = -\beta - jw, \quad (9.45)$$

$$A_1 = -\frac{U}{2jwL}, \quad A_2 = -\frac{U}{2jwL},$$

Bahalar bolan  $P_1$  we  $P_2$ , şeýlede  $A_1$  we  $A_2$  (9.38) deňlemede goýarys:

$$i = -\frac{U}{2jwL} \left[ e^{(-\beta + jw)t} + e^{(-\beta - jw)t} \right] = -\frac{U}{2jwL} (e^{jw t} - e^{-jw t}) e^{-\beta t} = -\frac{U}{2jwL} e^{-\beta t} \cdot 2j \sin w t = \left( \frac{U}{WL} \sin w t \right) e^{-\beta t}.$$

Çyzgy 9.10  $i(t)$  egrisi berilen. Togyň başlangyç bahasy nula deň. Tok görkezijili funksiýanyň kanuny boýunça üýtgeýän amplitudaly sinusoýda kanuny boýunça üýtgeýär.



9.10 Çyzgy

Kondensatoryň şeýle yrgyldyly zarýadlanma häsiýetine öçýän diýilýär. Idial konturda ( $r=0$ )  $\beta$  we  $w$  şu  $\beta=0$ ,  $w=w_0$  bahalary kabul edýärler. Togyň aňlatmasy aşakdaky görnüşe eýedir.

$$i = -\frac{U}{\omega_0 L} \sin \omega_0 t \quad (9.47)$$

Zynjyrdan üýtgemeyän ampletudaly tok akyp geçýär. Ol togyň ýygylgy

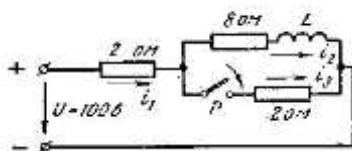
$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (9.48)$$

konturyň öçmeýän hususy yrgyldysynyň ýygylgydyr.

### 9-Bölüme degişli barlag soraglary we meseleler.

1. Wagtyň hemişeliginiň zynjyryň parametrlerine a)  $r$  we  $L$  b)  $r$  we  $C$  (şeýle hem geçiş prossini uzynlygy) baglylygynyň fiziki manysy düşündiriň:

2. Ulylygy ýokary induktiwlige we aktiw  $R_t=400$  Om garşylygy bolan tegek hemişelik togyň setiniň gysgyçlaryna birikdirilen. Tegege garşylygy  $R_u=400$  Om bolan woltmetr parallel çatylan.



9.11. çyzgy.

Tegegi woltmetr bilen bile setden ýazdyrylan pursatynda woltmetriň gysgyçlarynda naprýaženiýanyň näçe esse artýandygyny hasaplap kesgitlemeli (woltmetriň induktiwligini

hasapetmän) Jogap 10 esse.

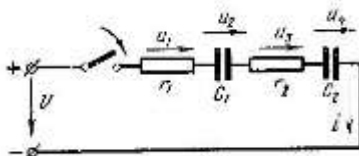
3. Yzygider zynjyr (9.11 çyzgy)  $U=45$  W hemişelik naprýaženiýa çatylýar. Wagtyň  $t=0$  we  $t=\infty$  pursatlarynda  $u_1, u_2, u_3$  we  $u_4$  naprýaženiýalaryň bahalaryny kesgitlemeli. Zynjyryň parametrlerini  $R_1=15$  Om,  $R_2=30$  Om,  $C_1=10$  mkf,  $C_2=20$  mkf.

Jogaby:  $t=0$  bolanda  $u_1=15$  W,  $u_2=0$ ,  $u_3=30$  v,  $u_4=0$ ,  
 $t=\infty$  bolanda  $u_1=0$ ,  $u_2=30$  W,  $u_3=0$ ,  $u_4=15$  W.

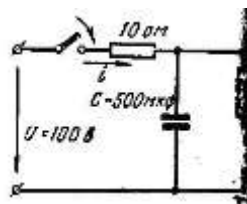
4. Naprýażeniýasy  $U=100\text{W}$  bolan hemişelik togyň çeşmesi we 9.12 çyzgyda şekillendirilen zynjyr birikdirilen. Shemada tok paýlanmany tapmaly a) Prubilmik ýazdyrlanda; b) rubilnigiň çatylan pursatynda.

Jogap a)  $i_1 = 10\text{A}$ ,  $i_2 = 10\text{A}$ ,  $i_3 = 0$ ; b)  $i_1 = 30\text{A}$ ,  $i_2 = 10\text{A}$ ,  $i_3 = 20\text{A}$ .

5. Naprýażeniýasy  $U=100\text{W}$  bolan hemişelik togyň çeşmesine 9.13 çyzgyda şekillendirilen zynjyr birikdirilen. Zynjyryň şahalanmaýan bölegindäki togy kesgitlemeli; a)  $t=0$  pursatynda; b)  $t=\infty$  pursatynda



9.12. Çyzgy.



9.13. Çyzgy.

## ONUNJY BÖLÜM

### Üýtgeýän togyň zynjyrynda WAH-y çyzykdäl (liniýasyz) elementler.

Häzire çenli üýtgeýän togyň zynjyrynda R,L,C ululyklary W (parametrleri) akýan togyň ululygyna ýa-da berilýan naprýaženiýa bagly bolmadyklaryna seredip geçdik. Olar ýaly zynjyra çyzykly (liniýaly) diýilýär. Praktikada togyň (naprýaženiýanyň) ululygyn (parametrleri) ululyklary ýa-da ugruň R,L,C bolan liniýasyz elementli zynjyrlar giňden ulanylýar.

Eger-de elektrik zynjyrda bir WAH-y çyzykdäl (liniýasyr) element bolsa onda ol zynjyryň WAH-y çykdäldir.

WAH-y çyzykdäl elemente degişlidirler:

- a) Magnit doýulma şertlerde işleän ferromagnit özenli induktiw tegek;
- b) Elektron we ion abzallary;
- w)magnit syzyjylygy, goýlan naprýaženiýa bagly bolan segnetodielektrikli kondensatorlar.

WAH-Y çyzykdäl elementler üýtgeýän togy hemişelige (göneldijiler), naprýaženiýany we togy stablizirmek, elektrik signallarynyň kuwwatyny güýçlendirmek we ş.m. üçin niýetlenen guramalarda ulanylýar.

Mundan beýläk (aşakda) L induktiwliginiň, WAH-yň çyzykdäldiginiň akýan toga baglylygyny şertlendirilen elementlere serederis.

Häzirki zaman elektrotehnikasynda şol elementkeriň roly ýylgeldigçe artýar.

### 10.1. Ferromagnit özenli tegek.

Howa ýada beýleki ferromagnit däl materiallaryň üsti bilen magnit akymalaryň bütünleýin galtaşýan induktiw tegegi saklaýan zynjyrlaryndaky prosesslere garanda, demir özenli tegegi saklaýan üýtgeýän togyň zynjyrlaryndaky fiziki prosesser (ösüşler) özünde birnäçe aýratynlyklary saklaýar. Ol aýratynlyklar ýene bir magnit geçirijili induktiw zynjyryň hasabyny kynlaşdyrman şeýle hem elektrik enjamlaryň we üýtgeýän togyň maşynynyň tehniki häsiýetnamasyny we tilsimatlarynyň ýerine ýetirilişine ýeterlik täsir edýänligidir.

#### Demir özenli tegegiň mahbit akymy we e.h.g

Tegegiň magnit akymynyň (ýa-da beýleki ferromagnit materialy) üsti bilen galtaşan ýagdaýynda  $F$  akym we  $i$  magnitleme togyň arasyndaky baglanyşygyň egrisini şekili (görnüşü)  $B(H)$  (3.7 çyzga seret) magnitlenmäniň esasy egrisiniň şekiline (görnüşine) meňzeşdir, sebäbi  $F \equiv B$  we  $H \equiv i$

Kiçi doýulmada, ýagny  $F(i)$  häsiýetnamasynyň başlangyç bölümünde, magnit meýdanynyň akymy magnitlenme togyna proposional diýip hasap edip bolar. Tok  $i$ -iň ýokarlanmagynda magnit doýulmasy bolýar we  $F$  degişlilikde kiçi bolýar.

Magnit akymy  $F$  we  $i$  togyň arasyndaky göniçyzykly baglanyşygynyň bozulmasy tegegiň induktiwliginiň

$$L = \frac{wF}{i} = \operatorname{tg} \alpha$$

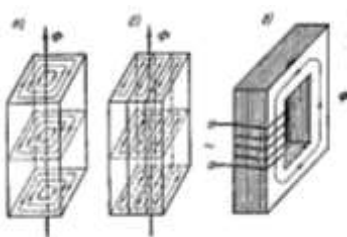
hemişelik ululyk bolmagyny bes edýär; ol indi magnitlenme togynyň ululygyna bagly bolýar. Magnit doýma näçe köp bolsa  $L$  induktiwlik şonçada azdyr (edil magnit syzyjylyk ýaly).

Induktiwlik  $L$  hemişelik bolmadyk ýagdaýyna üýtgeýäni togyň tegekde oýandyrya öz-özüniň induksiýasynyň e. e.h.g.  $e = -L \frac{di}{dt}$  deňleme boýunça kesgitlenmän,

$$e = -w \frac{dF}{dt}. \quad (10.1)$$

deňleme boýunça kesgitlense ferromagnit özenli tegegi saklaýan zynjyr üçin hem dogry bolar.

Alnan magnitlendiriji  $i(t)$  togyň egrisi wagtyň sinusoýda däl perýodiki funksiýasy hasaplanýar.



### 10.3. çyz. magnit geçirijide köwlenme togyň döremegi

Magnit akym sinusoýda bolanda magnitlendiriji togyň egrisi doýma we gistereris hadysasynyň esasynda sinusoýdan ep – esli tapawutly egrä eýýedir. Ütgeýän togyň zynjyrynda derňew we hasap geçirmegi ýönekeýleşdirmek üçin ferromagnit özenli tegegi saklaýan sinusoýda bolmadyk magnitlendiriji togy, ekwiwalent sinusoýda tok bilen çalşýarlar (§ 8.1 seret).

### **Magnit ýitgisi.**

Ütgeýän magnit akymy akymyň okuna perpendikulýar (10.3 a çyzgy) tekizlikde galtaşýan (Fuko togy) kowlenme togy, polat özende induktirlenýär. Ol toklar poladyň gyzmagyna getirip, şol bir wagtyda elektromagnit gurnamalaryň p.t.k. we ýüklenme başarjaňlygyny peseldýär. Haçanda magnit geçiriji biri – birnden aýry – aýry garalan galyňlygy 0,3 – 0,5 mm (10.3 b çyz) listlerden ýygналansa energiýanyň ýitgisiniň polat magnitgeçirijide ep –esli



azalýandygyny barlaglar görkezdi. Magnit toplumy (sistemasy) akym magnit geçiriji ýygnalan listleriň ugry boýunça ugrukdyrylar ýaly edip ýerne ýetirilen (10.3, w. çyz)

Köwlenme toklardan başgada energiýanyň ýitgisi, poladyň perodiki magnitlenmesinde gisteris hadysasy bilen şertlenen, ütgýän magnit akymynda polat magnitgeçirijide ýitgi ýüze çykýar. Poladyň ýörüte hilini (elektrotehniki polat) ulanyp ol ýitgileriň azalmagyny gazanýarlar. Köwlenme toklardan we gisterisden ýitginiň jemine, magnit ýitgisi ýada polatdaky ýitgi diýilýär. Ol ýitgileriň ululygyny empiriki deňleme boýunça kesgitläp bolar

$$\Delta P_m = [\tau_b f^2 B_m^2 + \tau_g f B_m^2] C, \quad (10.7)$$

Bu ýerde  $f$  – poladyň magnitlenme ýygylygy,  $C$ ;  $\tau_b$  we  $\tau_g$  – (ekspermental) tejribe arkaly kesgitlenýän we ferromagnit materialyň häsiýetine bagly bolan koffisient;

$B_m$  – maksimal akym;

$C$  - magnit geçirijiniň agramy

Magnit ýitgi (10.7) aňlatmadan görnüşi ýaly ýygylygyň artmagy bilen artýar: Olar  $B_m$  maksimal induksiýanyň kwadratyna diýmek  $F_m$  magnit maksimal akymynyň kwadratyna proporsionaldyr, onda

$$B_m \equiv F_m: \text{göra}$$

$$\Delta P_m \equiv F_m^2 \quad (10.7 \text{ a})$$

Magnit ýitgini köpülenç tejribe üsti bilen kesgitleýärler.

Magnit geçirijidäki ýitgini ýapmak üçin sarp edilýän energiýa, magnitlenýän sarymy imitlendirýän çeşmeden gelýär.

Şeýlelik bilen polat özenli tegegiň zynjyrynda prosesin energetik aýratynlygy kesgitlenýär.

### **Tegegiň $R \approx 0$ bolandaky wektor diagrammasy.**

Polat özeni tegege oturdulandan öň we soky ýagdaýynda wektor diagramma serederis. Özeniň bolmadyk (ýok) wagty we ujypsyz wagtyaktiw  $R$  garşylykda, ol göz

ögünde tutulmaýar we özendäki magnit ýitgisi  $\Delta P_m$  hemde tegegegiň sarymynda  $\Delta P_e$  ýitgi bolmaýar. Diýmek seredilýän idial ýagdaýda setden aktiw kuwwaty ulanmaýarlar (peýdalanylmaýar):

$$P = U \cdot I \cos \varphi = 0.$$

Tok  $I$  fazasy boýunça  $U$  naprýaženiýadan  $90^\circ$  yzagalýar; magnit akymy  $F$  fazasy boýunça  $I$  tok bilen gabat gelýär (10.4, a çyz.).

Eger – de şol bir tegegi polat magnitgeçirijide ýerleşdirilse, we wagytda hem onuň sarymlarynyň aktiw  $R$  garşylygyny nula deň diýip alsak, anda aktiw kuwwat nula deň bolmaz, sebäbi elektrik zynjyry ( $R \approx 0$  şerti kabul edilmegine garamazdan) Polat magnitgeçirijidäki ýitgisini (doldurmak) ýapmak üçin (ýapmak üçin) energiýany berýär.

Tegekden akýan sinusoýda däl togy ekwiwalent sinusoýda  $I_0$  togy bilen çalyşma, polat özenli (10.4, b) tegek üçin wektor diagrammany gurmaklyga mümkinçilik berýär.

Ol diagramma öňkünden: 1 – njiden tegekde togyň ululygy ep– esli az; ikinjiden  $I_0$  togyň wektory  $U$  naprýaženiýanyň wektoryndan, otnositel  $\varphi_0$ ,  $90^\circ$  – dan kiçi  $\varphi_0$  burça süşürilenligi bilen tapawutlanýar.

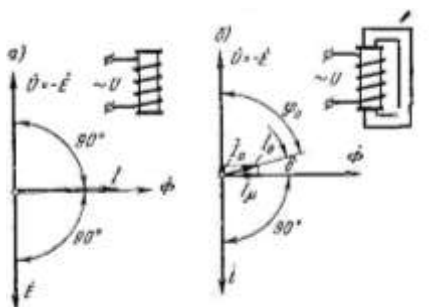
$I_0$  togyň wektory we magnit  $F$  akymynyň arasyndaky  $\delta = 90^\circ - \varphi_0$  burçda magnit ýitgi burçy diýilýär, sebäbi ol polatdaky ýitgi bilen düşündirilýär.

$I_0$  toga iki dürüjileriň jemi hökmünde seredip bolar:

- 1) Fazasy boýunça  $U$  naprýaženiýa bilen gabat gelýän aktiw  $I_a = I_0 \cos \varphi_0 = I_0 \sin \delta$ ,
- 2) Faza boýunça magnit  $F$  akymy bilen gabat gelýän reaktiw  $I_\mu = I_0 \sin \varphi_0 = I_0 \cos \delta$ .

Aktiw duzüji, polatdaky ýitgi bilen düşündirilýär:

$$I_a = \frac{P}{U} = \frac{\Delta P_m}{U}.$$



10.4 çyz. özensiz Tegek (a) we özenli (b) polatdyň wektor diýagrammasy.

Şeýle hem reaktiw  $I_\mu$  duzujä magnitlendiriji tok diýilýär. Polat özenli bolan ýagdaýda şeýle magnit akymy döretmek üçin, özensiz tegekli zynjyrdaky I toga garanda ululygy boýunç  $I_\mu$  ululykdan, az tok talap edilýär.

### Haçanda $R \approx 0$ bolanda tegegiň çalyşma (ornuna goýma) shemasy.

Elektrik enjamlarda we maşynlarda prosessler derňelende esasy kanunalaýyk (adalatly) we energetiki gatnaşygyny (baglanşygy) çyzgylandyryan shemalardan peýdalanmak amatlydyr. Şular ýaly shemalara çalyşma shemalar diýmek kabul edilelndir.

Örän kiçi aktiw garşylykly we polat özenli tegekler ulanylan ýagdaýda çalyşma shema  $Z_0 = \frac{U}{I_0}$  garşylykly elekktrik zynjyr (10.5 çyz) hökmünde bolýar. Sebäbi  $I_0$  tok goýlan (berilýän)  $U$  naprýaženiýadan fazasy boýunça  $\varphi_0$  burç yza galýar, onda  $z_0$  aktiw garşylyga  $R_0$  we  $\chi_0$  reaktiw garşylykdan durýar diýip seretmek bolar.

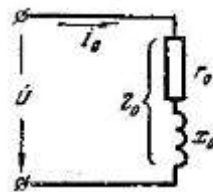
Ululyklar bolan  $Z_0$   $R_0$   $X_0$  bahalaryny tegege çatylan abzallaryň görkezýänleri boýunça tapýarlar:

$$Z_0 = \frac{U}{I_0} \quad R_0 = \frac{P_0}{I_0^2}, \quad X_0 = \sqrt{Z_0^2 - R_0^2}$$

Garşylyklar  $Z_0$ ,  $R_0$  we  $X_0$  hasaplanma ululyklardyr hasaplanýar belläp geçmeli sebäbi shemada tegegiň ulanýan doly  $S_0 = I_0^2 Z_0$ , aktiw  $P_0 = I_0^2 R_0$ , we reaktiw  $Q_0 = I_0^2 X_0$ , kuwwatlary çyzgylandyryan

### Tegegiň $R \neq 0$ çalyşma shemasy we wektor diagramma

Haçanda tegegiň aktiw garşylygy ( $R \neq 0$ ) göz önüne tutmazlyk mümkin bolmadyk ýagdaýyndaky polat özenli tegege serederis. Tegege goýlan naprýaženiýa  $\dot{U}$  idi diňe öz-özünüň induksiýasynyň E.e.h.g. deňleşdirmän hatda aktiw garşylykdaky düşme naprýaženiýanyň öwezini doldurmakdyr:



$$\dot{U} = -\dot{E} + \dot{I}_0 R. \quad (10.8)$$

10.5 Çyzgy  
Tegegiň çalyşma  
shemasy.

Haçanda polat özenli zynjyryň (10.6,b çyzgy) wektory gurylanda başlangyç hökmünde magnit akymynyň wektory kabul edilse ýeňil düşýär.

Polat özende magnit ýitgisi sebäpli  $I_0$  togyň wektory fazasy boýunça  $F$  magnit akymynyň wektoryndan  $\phi$  burç öňe geçýär.

Akym  $F$  tarapyndan induktirlenen  $E$  e.h.g. ondan dördten bir period yza galýar. Tegegiň aktiw garşylygyndaky düşme naprýaženiýa  $I_0 R$  fazasy boýunça  $I_0$  tok bilen gabat gelýär.

Wektorlar  $-E$  we  $I_0 R$  geometriki jemlenmegi bilen goýlan  $U$  naprýaženiýanyň wektoryň kesgitleýärler.

Seredilip geçilýän ýagdaý üçin çalyşma shema 10.6, a çyz. görkezilendir.

Tegegiň harçlanýan (peýdalanýan) aktiw  $P$  kuwwat tegegiň sarymyndaky elektrik ýitgini we polat özendä magnit ýitgini ýapmak üçin sarp edilýär:

$$P = U \cdot I_0 \cos \varphi = \Delta P_e + \Delta P_m = I_0^2 R + I_0^2 \cdot R$$

Tegegi alynýan (ulanylýan) reaktiw kuwwaty aşakdaky aňlatma bilen kesgitleýär.

$$Q = U \cdot I_0 \sin \varphi = I_0^2 X_0.$$

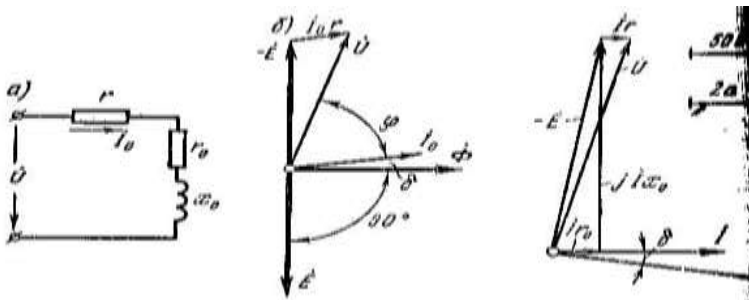
Mysal 10.1. Naprýaženiýasy  $U^1=50\text{v}$  hemişelik togyň çeşmesine polat özenli tegegi birikdirilende zynjyrdä  $I^1=25\text{ A}$  tok akýar.

Şol bir tegegi naprýaženiýasy  $U=220\text{v}$  üýtgeýän togyň seti bilen imitlendirilge zynjyrdan  $I=5\text{A}$  tok akýar we tegek  $P=275\text{ w}$  kuwwaty ulanýar (peýdalanýar).

Kesgitlemeli:

- 1) elektrik we magnit ýitgini:
- 2) Çarşylyklar  $R, Z, R_0, X_0$ .

Wektor diagrammany gurma ly. Çözülşi. Tegegiň sarymnyň garşylygy



10.6. çyz. Aktiv Rgarşylyk  
hasaba alnandaky polat  
tegeginini çalyşma shemasy (a)  
we wektor (b) diagrammasy

10.7. çyz. Wektor  
diagramma(10.1 mysala)

$$R = \frac{U^1}{I^1} = \frac{50}{12,5} = 40 \text{ Om}$$

Üýtgeýän togyň zynjyryna tegegek çatylanda  
(birikdirilende) elektrik ýitgisi.

$$\Delta P_e = I^2 \cdot R = 5^2 \cdot 4 = 100 \text{ W}_t,$$

Magnit ýitgisi

$$\Delta P_m = P - P_e = 275 - 100 = 175 \text{ W}_t.$$

Çalyşma shemanyň garşylygy.

$$Z = \frac{U}{I} = \frac{220}{5} = 44 \text{ Om}, R_0 = \frac{\Delta P_m}{I^2} = \frac{175}{5^2} = 7 \text{ Om}.$$

$$X_0 = \sqrt{Z^2 - (R + R_0)^2} = \sqrt{44^2 - 11^2} = 42,6 \text{ Om}.$$

Wektor diagrammany gurmak üçin (10.7 çyz.) I togyň  
wektoryny aýryp goýarys.

Wektor – E we ondan  $90^\circ$  süýşürilen, I wektor  $IR_0$  we  $jIX_0$  wektorlaryň jemine U wektory kesgitleýär. Wektor U  $IR_0$ ,  $IR$  we  $jIX_0$  wektorlaryň jemine kesgitleýär.

## § 10.2. Ferrorezonanas hadysalary.

Polat özenli tegegi we kondensatory saklaýan üýtgeýän togyň şahalanmaýan zynjyrlarynda möhüm (düýpli) manysy bolan rezonans hadysalaryň birnäçe aýratynlygyna gözegçilik edilýär. Şular ýaly zynjyrlarda rezonans tegegiň we kondensatoryň parametrlerini hiç-hili sazlamazdan ýada togyň ýygylgyny üýtgemezden diňe goýlan naprýaženiýanyň ululygyny üýtgemek bilen alyp bolar.

Sebäbi bu aýratynlyklar tegegiň ferromagnit özeniniň (okunyň) doýma derejesiniň ululygyna täsir edýänligi bilen düşündirilýär, onda şular ýaly elektrik zynjyryndaky rezonans hadysasy naprýaženiýanyň ferrorezonans we togyň ferrorezonans hadysasy diýen ady aldylar.

Derňewi ýönekeýleşdirmek üçin tegekdäki elektrik we magnit ýitgini göz-öňünde tutman bolar diýip çak edilýär we Sinusoýdasy däl üýtgeýän ululyklary ekwiwalent sinusoýda ululyk bilen çalşylandyr.

### Naprýaženiýanyň ferrorezonansy

Polat özenli tegekden we kondensatordan duran şahalanmaýan zynjyr  $R=0$  şertde, zynjyra goýlan  $U$  naprýaženiýa absalýut ululygy boýunça tegekdäki  $U_L$  induktiw naprýaženiýanyň we kondensatordaky  $U_C$  sygym naprýaženiýanyň tapawudyna deňdir.

Sebäbi  $U_L$  naprýaženiýa magnit  $F_m(U_L=E_L=4,44f\omega F_m)$  akymynyň amplitudasyna göni proporsionaldyr, onda tegegiň wolt amper häsiýetnamasy magnitlenmaniň egrisine meňzeşdir.

Kondebsatoryň  $U_C = I \cdot \frac{1}{\omega C}$  aňlatma bilen kesgitlenýän wolt – amper häsiýetnamasy göni çyzyk bolýar. Wolt – amper  $U_L(I)$  we  $U_C(I)$  hasiýetnama boýunça  $U$  umumy naprýaženiýanyň  $I$  toga baglylygyny gurarsy (10.8 çyz).

Gurulan  $U(I)$  egriden görnüşi ýaly şol bir daşky  $U_A$  naprýaženiýada  $I_1, I_2$  we  $I_3$  toklaryň gabat gelýän zynjyryň dürli üç režimi mümkindir. Tok  $I_1$  we  $I_2$  fazalary boýunça  $U$  naprýaženiýadan yza galýarlar (sebäbi  $U_L > U_C$ ),  $I_3$  tok bolsa tersine fazasy boýunça  $U$ -naprýaženiýadan öňe geçýär ( $U_C > U_L$ ).

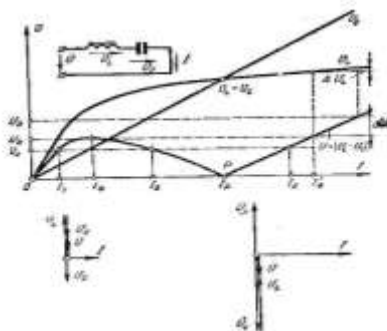
Egerde zynjyryň daşky naprýaženiýasyny nul-dan  $U_B$  ýakyn ululyga çenli ýuwaş-ýuwaşdan köpeltsek onda tok nuldán  $I_B$  ululyga ýakyn bolan baha artar. Haçanda daşky naprýaženiýa ilki  $U_B$  baha ýetip, soňra ondan ýokary bolsa, tok böküş görnüşli  $I_B$  bahadan  $I_B$  ululyga çenli artar, özem ol indi naprýaženiýadan galman fazasy boýunça  $U$  naprýaženiýadan öňe geçýär [beýle hadysa kä wagyt bozma (galdyrma)] hadysasy diýilýär.

Absissa okunda ýatan  $P$  nokat naprýaženiniň ( $U_L = U_C$ ) rezonansyna gabat gelýär. Mysal egerde  $I_3$  tokly režimde zynjyryň  $U$  naprýaženiýasy kem – kemden azalanda şeýle ýagdaý ýüze çykýar.

Tok  $I_2^{\text{ä}}$  gabat gelýän režim, düzgün boýunça durnuksyzdyr:  $U$  naprýaženiýanyň ol ýada beýleki tarapa ujypsyz ütgemeği  $I_1$  ýada  $I_3$  tokda, iki durnukly režimiň birine geçmegine getirýar.

Daşky  $U$  naprýaženiýanyň ep-esli üýtgemeginde tegekdäki  $U_L$  naprýaženiýa  $I > I_p$  tokda hemişelik (serdeçnigiň doýma hadysada) diýen ýaly galýar.





### 10,8 Çyzgy. Naprýażeniýanyň ferre rezansy

\*Naprýażeniýanyň ferromagnit stabilizatorlar gurnamasy şeýle hadysa esaslandyr.

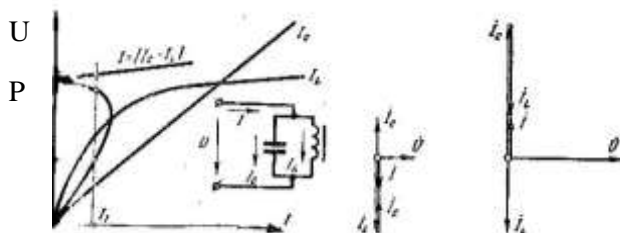
\*Imitlendiriş setiň naprýażeniýasynyň üýtgeýän ýagdaýynda, tegege parallel çatylan (birikdirilen) kabul ediljilerde, naprýażeniýany hemişelik saklamak üçin niýetlenen naprýażeniýanyň ferromagnit stabilizatoryň gurnamasy şeýle hadysa esaslanandyr. Ýerine ýetirilen (10.8. çyz.) gurnamada setiň naprýażeniýasynyň  $U_B$ -dan  $U_D$ -çenli üýtgemegiňde stabilizatoryň çykyşynda,  $U_L$  naprýażeniýasynyň ujypsyz çäkde üýtgeýändigini görnýär

**Toklaryň ferre rezonansy.** Polat özenli tegek we kondensator parallel birikdirilende, zynjyryň şahalanmaýan bölegindäki (uçastogyndaky) reaktiw tok tegekdäki  $I_L$  we kondensatordaky  $I_C$  togyň arifmetiki tapawudy hasaplanýar.

Belli  $I_L$  ( $U$ ) we  $I_C$  ( $U$ ) egriler boýunça  $I$  umumy togyň berlen (goýlan)  $U$  naprýażeniýa bagly boglan egrisini gurmak kyn dälär.

Şol bir  $I_1$  tok režimiň amala aşyrylmagynyň nähili bolup geçendigine baglylykda, gysgyçlardaky naprýażeniýanyň dürli üç aňlatmasynda 10.9 çyz. görnüşi ýaly kadalaşýar. (ýagny

goýlan naprýaženiýasynyň haýsy ugur boýunça bolup geçýänligine)



## 10.9 Çyz. Toklaryň rezonansy.

Toklaryň rezonansy  $I_L$  we  $I_C$  toklar deň bolan ýagdaýynda bolýar (P nokat).

### § 10.3. Drossel tegegi.

Elektrik zynjyrynda togyň ululygyny sazlamak üçin, aktiw garşylygyň çatylmagy energiýanyň goşmaça ýitmegine alyp barýar. Ol ýitgiler aýratyn hem ýokary tokly zynjyryda mesemälidir, şeýle hem haçanda reostat çatylan zynjyryň işiniň dowamlygy uzak bolan ýagdaýda oňnositel ýokarydyr. Şeýle ýagdaýlarda üýtgeýän togyň zynjyryna reostatyň ýerine sazlanýan induktiw garşylyk drossel çatylsa has amatly bolmagy mümkindir.

Kiçi aktiw garşylykly ferromagnit özeni bilen üpjün edilen tegege drossel diýip aýtmak bolar. Praktikada drosseliň iki görnüşi ulanylýar.

- a) howa boşlygy bilen sazlanýan drossel
- b) doýma drosseller

**Howa deşik boşlugy bilen sazlanýan drossel.** Howa boşlugy bilen sazlanýan drosseliňi shemasynyň gurluşy 10.10, a çyz. görkezilen. Magnit zynjyrdä  $\delta$  howa (deşiginiň) ululygy 2 mohowigiň aýlanmagy bilen üýtgeýär, şonuň bilen boşlugynyň ferromagnit serdeçnikdäki (özenli) 1 sarymyň  $L$  induktiwligi ululygy hem üýtgeýär.

Onuň bilen bir hatarda drosseliň  $z$  garşylygy hem üýtgeýär.  $Z$  we  $\delta$  aralaryndaky baglanşygy kesgitleýäň.

Drosseliň sarymyna berlen (goýlan)  $U$  naprýaženiýa praktiki bütünleýin öz- özüniň induksiýasynyň  $E \cdot e \cdot n \cdot g$  bilen doly deňleşýär (deňagramlylykda bolýar), sebäbi sarymyň aktiw garşylygy oňnositel kiçi bolýar.

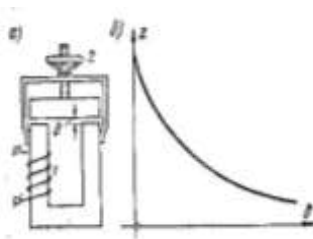
Şonuň üçin

$$U = e = 4,44 w f F m \quad (10.9)$$

Magnit  $\Phi_m$  akymyň amapletudasy we tegekden akýan togyň  $I_m = \sqrt{2} I$  ampletudasy, aşakdaky gatnaşyk bilen baglanşykdadyr

$$\Phi_m = \frac{\sqrt{2} I w}{R_m} \quad (10.9)$$

Bu ýerde  $R_m$  – magnitgeçirijiniň we howa boşlugynyň magnit garşylygy.



10.10 çyzgy. Howa boşlygy bilen sazlanýan drossel.  
A – shema; b – baglanşyk  $z$  ( $\delta$ ) egrisi.

Deňlemeler (10.9) we (10.10) alarys

$$z = \frac{U}{I} = \frac{4.44 \sqrt{2} w^2 f}{R_m} = \frac{6,28 w^2 f}{R_m} \quad (10.11)$$

Howa boşlugy bolan ýagdaýda ( $\delta \neq 0$ ) polat magnit geçirijiniň uly bolmadyk magnit garşylygyny hasaba alman, diňe howa boşlugynyň magnit garşylygyny hasaba almak bolar. Onda magnit garşylygy howa boşlugynyň  $\delta$  ululygyna goni proporsional bolar:

$$R_m = \frac{\delta}{\mu_a S}$$

Emma togyň garşylygy

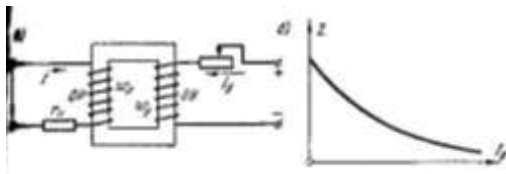
$$Z = \frac{6,28 w^2 f}{\delta} \mu_a S$$

$\delta$  ululyga ters proporsional

baglanşygyň egri  $z(\delta)$  10.10b çyzgyda görkezilen.

Uýtgeýan togyň elektrik peçleriniň zynjyrynda, kebşirleýji transformatorlarda we beýleki elektrikkabuledijilerde togy uýtgetmek üçin howa boşlugy bilen sazlanýan drossel tegekleri ulanylýar.

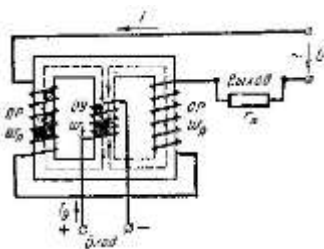
**Doýma drosselleri.** Polat (okly) özenli tegegiň garşylygyny şeýle hem magnitgeçirijiniň poladynyň magnit doýma derejesini uýtgetmek bilen sazlap bolar. Onuň üçin (okly) özenli magnitgeçirijide OP esasy (işçi) sarymdan başga (10.11,a),.....(DS) dolandyryjy diýilýän sarymy hökman ýerleşdirmeli



10.11.çyzgy. Magnitlendiriji drosseliň prinsipiýal shemasy (a) we  $z(I_d)$  baglanşyk egrisi (b) (bruny).

Aýlawly  $w_{i\dot{z}}$  bolan işçi sarym sazlanýan WAH-y edri bolan (çyzykdäl) garşylykdyr we ütgeýän togyň zynjyryna yzygider birikdirilen. Aýlawly  $w_{dol}$  bolan dolandyryjy sarym özeni hemişelik  $I_{dol}$  tok bilen magnitlendirmek üçin hyzmat

edýär. Şol togyň ululygyna ýagny özeniň magnitlenme derejesine bagly bolýar. Tok  $I_{dol}$  näçe köp bolsa magnitgeçirijiniň polady şonçada güýçli magnitlenýar we magnit syzyjylyk şonçada az bolýar (§10.çyz). Şoňa baglylykda (görade)  $R_m$  magnit garşylyk ulalýar, we işçi sarymyň  $Z$  garşylygy kiçelýär (10.11 deň.seret). Onda dolandyryjy sarymdaky  $I_{dol}$  togyň ulalmagy (ýokarlanmagy)  $Z$  garşylygyň kiçelmegine we ýüklenme  $R_{yük}$  garşylykda  $I$  togyň ulalmagyna



10.12 çyzgyda görkezilen.

alyp barýar. Tersine,  $I_{dol}$  hemişelik togyň (kiçelmegi)

peselmegi  $Z$  garşylygyň ulalmagyna we  $I$  ýüklenme togyň peselmegine alyp barýar.

Haçanda  $I_{dol}=0$   $Z$  garşylyk maksimal baha eýe bolýar. Dolandyryjy  $I_{dol}$  toga  $Z$  garşylygyň baglansygy ( $U=const$ ) grafiki 10.11,b. görkezilen. Garşylyk  $Z$  diňe bir  $I_{dol}$  toga bagly bolman, işçi saryma goýlan  $U$  üýtgeýän naprýaženiýa hem baglydygyny bellemek gerek.

Drosseliň 10.11,a çyzgyda görkezilen shemasynyň ýetmezçiligi bolup,  $I$  togy döredýän magnit akymyň ütgýän düzüjisi, diňe bir işçi sarymda ütgýän e.h.g. oýandyрман, dolandyryjy sarymda hem oýandyрýar. Dolandyryjy sarymda e.h.g. ýüze çykmagy drosseliň işini kynlaşдырýar

(erbetleşdirýär) we onuň praktikada ulanylmagynda-da bir näçe kynçylyklary döredýär. Beýle ýetmezçiliklerden drossel belli derejede mahrumdyr, ol bolsa

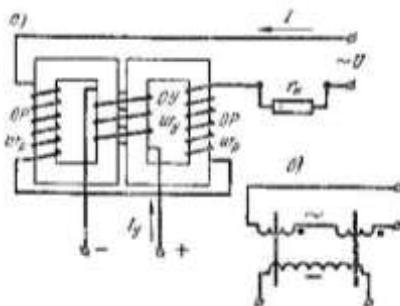
Drosseliň işçi sarymy üç özenli magnitgeçirijiniň gyraky özeninde ýerleşdirilen yzygider birikdirilen iki (seksiýasyndan) bölümden durýar. Dolandyryjy sarym magnitgeçirijiniň (ortaky) aralyk özeninde ýerleşendir. İşçi sarymyň her bir bolümiň döredýän magnit akymy aralyk magnitgeçirijiniň özende ters ugra eýedir. Şonuň üçin ol akymlaryň dolandyryş sarymyna induksion täsiri ýeterlik çäklendirilendir. Dolandyryjy sarymdaky harçlanýan kuwwat işçi sarymyň zynjyryndaky sarp edilýän kuwwat bilen deňeşdirilende ujypsyzdyr. Elektrik hereketlendirijiniň, elektrik peçleriň (gyzdyrjylaryň), elektrik ýşyklandyryjy gurnamalaryň we beýleki elektrik kabuledijileriň zynjyrlarynda togyň ululygyny sazlamak üçin rostatyň deregine (ýerine) magnitlenji droseli ulanmak, energiýenyň ep-esli tygşytlanmagyna getirýär, we awtomatiki dolandyryş sistemasynda birnäçe amatlylygy döredýär.. Hemişelik tok arkaly özen magnitlendirilende doýma drosseliň induktiwligini üýtgetmekligi häsiýeti magnit güýçlendirijileriň täsirine esaslanandyr.

#### **§10.4. Magnit guýşlendirijiler.**

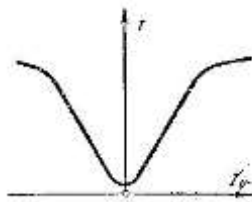
Dürli fiziki ululyklara (temperatura, basyş, tizlik we başg.) dürli gurnamalar arkaly gözegçilik edilýär: termopora, termoölçeýji garşylyk, tahometor we başgalar. Bu gurnama adaty gowşak elektrik signal (mysal üçin termoparyň e.h.g ujypsyz üýtgemegi) arkaly gözegçilik edilýän ululygyň üýtgemegi barada signal berýär. Gözegçilik edilýän ululyklary, berlen derejede saklamak üçin niýetlenen sazlaýjy gurnamalary, herekete getirmek üçin köp köpülenç ýagdaýlarda siguallaryň kuwwaty ýeterlik dälidir.

Pes elektrik signallaryny ep-esli uly kuwwatlara özgertmek üçin dürli güýçlendiriji gurnamalar, şonuň bilen bir hatarda magnit güýçlendirijiler ulanylýar. Islendik signalyň kuwwaty güýçlendirijide diňe daşky energiýanyň hasabyna güýçlendirilmegi mümkindir.

Üoneneý magnit güýçlendiriji işçi sarymyna ýüklenme  $r_y$  garşylygy çatylan magnitlenme özüni drossel hökmünde görkezýär (10.12 çyzgy). Güýçlendirilýän elektrik signalynyň berilýän dolandyryjy  $W_{da}$  sarymynyň gysgyçlary, güýçlendirijiniň girelge hasaplanylýar. Güýçlendirijiniň çykalgasy bolup ýüklenme  $R_y$  garşylykdaky gysgyçlar hyzmat edýär. Güýçlendirijiniň energiýasynyň daşky çeşmesi diýip üýtgeýän togyň  $U$  naprýaženiýaly zynjyryna aýdylýar.



10.13.Çyzgy. Iki magnitgeçirijili magnit güýçlendiriji.  
a)gurluşy; b)-şertli belgilenşi.



10.14.Çyzgy.“Girelge-Çykalga”magnit güýçlendirijiniň häsiýetnamasy

Magnit güýçlendiriji adaty 10.12 çyzgyda görkezilişi ýaly üç özendе (okda) ýerine ýetirilmän, (10.13, a çyz.) iki bölekleyin magnitgeçirijilerde ýerine ýetirilendir. Işçi sarymyň her bölümi özüniň magnitgeçirijisinde ýerleşendir, dolandyryjy sarym bolsa iki magnitgeçirijini hem özüne alýandyr. Elektrik shemalarda magnit güýçlendirijiniň şertli şekili 10.13, b çyzgyda görkezilendir. Girelge-çykalga baglanşykly diýip aýdylýan  $I(I_{dol})$  egri 10.14 çyzgyda görkezilen. Dolandyryjy sarymdaky  $I_d$  tok üýtgände ýüklenme  $R_i$  garşylykdaky  $I$  tok hem üýtgeýär. Şeýlelikde  $R_{yük}$  garşylykdaky  $\delta P_{çyk}$ . Kuwwatyň üýtgemegi dolandyryjynyň zynjyrdaky  $\Delta P_{gir}$ . Kuwwatyn üýtgemeginden ep-esli ýokarydyr (artykdyr)

Aşakdaky ululyga kuwwat boýunça magnit güýçlendirijiniň

$$\text{koeffisienti diýilýär. } k_p = \frac{\Delta P_{çyk}}{\Delta P_{gir}} \quad (10.12)$$

Görkezilişi ýaly güýçlenmäniň effekti energiýanyň başga (keseki) çeşmesinden alynyp kuwwatyň hasabyna gazanylýar.

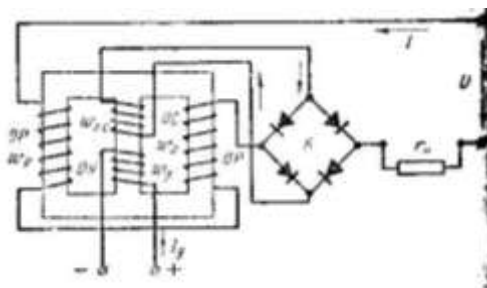


Magnit güşlendirijiler kuwwat boýunça güşlendiriji kaffisient bilen bir hatard, tok ki boýunça we naprýaženiýa ku boýunça häsýetlenýär:

$$k_i = \frac{\Delta I}{\Delta I_{dol}}, \quad k_u = \frac{\Delta U}{\Delta U_{dol}}. \quad (10.13) \text{ Bu ýerde } \Delta I \text{ we}$$

$\Delta I_{dol}$  – degişlilikde ýüklenmäniň zynjyrynda we dolandyrmanyň zynjyrynda toklaryň artmagy.

$\Delta U$  w  $\Delta U_{dol}$  .\_. degişlilikde ýüklenmäniň gysgyçlarynda we dolandyrmanyň sarymyndaky naprýaženiýanyň artmagy.



10.15 Çyzgy. Tok boýunça ters baglanşykly. Magnit güýçlendiriji.

Seredilip geçilen shema otnasitel uly bolmadyk güýçlendiriji koeffisienti almaga mümkinçilik berýär. Magnit güýçlendirijilerde güýçlendiriji koeffisienti artdyrmak üçin köpülenç ters baglanşygy ulanýarlar, olaryň kömegi bilen güýçlendirijiniň çykalgasyndan energiýanyň bir bölegini täzeden onuň girelgesine berýärler.

Tok boýunça daşarky ters baglanşyk diýip aýdylýan uç özenli magnit geçirijiniň shemasy 10.15 çyzgyda getirilip görkezilen. Güýçlendirijiniň dolandyryjy elementi ters

baglansýykly (TB) goşmaça sarym bilen üpjün edilen, ol hem edil dolandyryjy sarym (DS) ýaly magnitgeçirijiniň ortaky özeninde (onuňda) ýerleşdirilýär. Ters baglansýygyň sarymy göneldiji B arkaly (üsti bilen) işçi zynjyr birikdirilýär, çünki güýçlendirijiniň çykalgasy üýtgeýän tokda ýerine ýetirilýär, (BS) sarym onuň magnitlemegini goşmaça üpjün etmelidir. Ters baglansýygyň sarymyndan ýüklenmäniň göneldilen togy akýar. Güýçlendirijiniň girelgesine gelip (gowuşýan) duşýan signal artanda (Ugur naprýaženiýa we  $I_{dol}$  tok), ýüklenme I togy artýar (ösýär).

Ters baglansýygyň sarymyndan magnitlenme bir wagtda güýçlenýär we, ol ýüklenme togyň ýene ep-esli köp artmagyna getirýär. Tersine girelge ululyklaryň ( $U_{gir}$ ,  $I_{dol}$ , we  $P_{gir}$ ) duýdansyz peselenje ýüklenme togy peselýär. Ters baglansýygyň sarymy tarapyndan döredilýän magnitlenme peselýär we güýçlendirijiniň ýüklenme togynyň mundan beýläk peselmegine alyp barýar.

Güýçlendiriji  $K_p$  koeffisientiň artmagyna ýardam edýär, seredilip geçilen ters baglansýyga polażitel diýilýär. Praktikada käwagtlar güýçlendiriji koeffisientiň peselmegine getirýän otrisatel ters baglansýygyň ulanylmagy güýçlendirijiniň işiniň durnuklygyny ýokarlandyrýar.

Magnit güýçlendirijiler awtomatik dolandyрма sistemalarda giňden ulanylýar. Beýleki görnüşdäki güýçlendirijilere garanda olar güýçli titreme şertde (ynamdar) ygtybarly işi, hyzmatynyň ýönekeýligi we praktiki tükeniksiz, çäksiz gulluk etmeklige bilen tapawutlanýarlar.

## Edebiýatlar

1. Türkmenistanyň Konstitusiýasy. Aşgabat, 2008.
2. Gurbanguly Berdimuhamedow. Ösüşiň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. I tom. Aşgabat, 2008.
3. Gurbanguly Berdimuhamedow. Ösüşiň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. II tom. Aşgabat, 2009.
4. Gurbanguly Berdimuhamedow. Garaşsyzlyga guwanmak, Watany, Halky söýmek bagtdyr. Aşgabat, 2007.
5. Gurbanguly Berdimuhamedow. Türkmenistan – sagdynlygyň we ruhubelentligiň ýurdy. Aşgabat, 2007.
6. Türkmenistanyň Prezidenti Gurbanguly Berdimuhamedowyň Ministrler Kabinetiniň göçme mejlisinde sözlän sözi. (2009-njy ýylyň 12-nji iýuny). Aşgabat, 2009.
7. Türkmenistanyň Prezidentiniň “Obalaryň, şäherleriň, etrapdaky şäherçeleriň we etrap merkezleriniň ilatynyň durmuş-ýaşayyş şertlerini özgertmek boýunça 2020-nji ýyla çenli döwür üçin” Milli maksatnamasy. Aşgabat, 2007.
8. “Türkmenistany ykdysady, syýasy we medeni taýdan ösdürmegiň 2020-nji ýyla çenli döwür üçin Baş ugry” Milli maksatnamasy. “Türkmenistan” gazetiniň, 2003-nji ýylyň, 27-nji awgusty.
9. “Türkmenistanyň nebitgaz senagatyny ösdürmegiň 2030-njy ýyla çenli döwür üçin Maksatnamasy”. Aşgabat, 2006.
10. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Изд-во «Высшая школа». 1967 г.
11. Сергеев П.С. Электрические машины. Изд-во «Энергия», 1965 г.
12. Туричин А.М. Электрические измерения Госенергоиздат, 1961 г.

13. Чиликин М.Г. Электрический привод. Изд-во «Энергия», 1965 г.
14. Мучник и Л.Ф. Тапоронов «Обща Электротехника» м, 1967 г.
15. Справочное пособие по электротехнике и основам электроники. Под.ред. А.В. Нетуцила – М. Высшая школа, 1986 г.
16. М. Rejebow “Elektrik zynjygy”. 1994 ý.

# MAZMUNY

## BIRINJI BÖLÜM

### Hemişelik togyň elektrik zynjyry.

§ 1.1. Hemişelik elektrik togyň ýönekeý zynjyry.....	10
§ 1.2. Hemişelik el. togyň ýönekeý zynjyrynyň energetiki baglanşygy.....	16
§ 1.3. Elektrik zynjyrynyň iş ýagdaýlary (režimi).....	18
§ 1.4. Ýeke-täk iýmitlendiriş çeşmesi bolan hemişelik el.togyň elektrik zynjyrynyň hasaby.....	23
§ 1.5. Yzygider birikmeli zynjyr.....	27
§ 1.6. Parallel birikmeli zynjyr .....	28
§ 1.7. Bir e.h.g. we garşylyklary garyşyk çatylan zynjyryň hasaby.....	30
§ 1.8. Üçburçlyk görnüşinde birikdirilen garşylyklaryň ekwiwalent ýyldyza özgerdilmegi.....	33
§ 1.9. Birnäçe imitlendiriş çeşmeli hemişelik el.togyň şahalanýan zynjyrynyň hasaby.....	35
§ 1.10. Üst-üste goýmak usuly (Superpozisiýa).....	39
§ 1.11. Döwür ara naprýaženiýe usuly.....	44
§ 1.12. _Generatora meňzetme (ekwiwalent) usuly.....	46
§ 1.13. Elektrik togynyň ýylylyk täsiri. Simlaryň hasaby.....	49
§ 1.14. Ýitgi güýjenmä görä simiň hasaby.....	52
§ 1.15. Elektrik gurnamalaryň ýylylyk goragy.....	54
§ 1.16. Hemişelik el.togyň zynjyrynda çyzyksyz garşylyk.....	54
§ 1.17. Çyzyksyz garşylykly ýönekeý zynjyryň hasaby.....	56

## IKINJI BÖLÜM.

### Dielektrikler (geçirmeýänler) we kondensatorlar.

§ 2.1. Dielektrikler.....	66
§ 2.2. Kondensator.....	69
§ 2.3. Kondensatoryň we batareýalaryň birikdirilişi.....	71

## ÜÇÜNJI BÖLÜM

### Magnit zynjyr we olaryň hasaby.

§ 3.1. Magnit meýdany.....	78
§ 3.2. Magnit zynjyry.....	81
§ 3.3. Ferromagnit materiallary we olaryň häsiýetleri.....	84
§ 3.4 Şahalanmaýan magnit zynjyrynda hasap (hasap geçirme).....	87
§ 3.5 Şahalanýan magnit zynjyryň hasaby.....	94
§ 3.6. Magnitlendiriji güýç boýunça tegegiň hasaby.....	99

## DÖRDÜNJI BÖLÜM

### Elektromagnit hadysalary we olaryň ulanylyşy.

§ 4.1. Magnit meýdanynyň induksion we elektromehaniki täsiri.....	104
§ 4.2. Elektromehaniki özara täsiri.....	107
§ 4.3. Elektrik generatorlaryň we hereketetirijilerini iş ýetirişleri (başarjaňlyklary).....	110
§ 4.4. Elektrik energiýasynyň mehaniki energiýa özgerdilişi.....	113
§ 4.5. Induktiv tegekler.....	114
§ 4.6. Induktiv baglanyşykly elektrik zynjyry.....	119

## BÄŞINJI BÖLÜM

### Sinusoýdal elektrik togynyň elektrik zynjyry.

§ 5.1. Üýtgeýän elektrik togy.....	129
§ 5.2. Sinusoýdal e.h.g. alnyşy.....	131
§ 5.3. Sinusoýdal e.h.g. naprýaženiýe we elektrik toglary.....	134
§ 5.4. Sinusoýdal el. toglarynyň we naprýaženiýeleriň täsir ediji we orta bahalary.....	140
§ 5.5. Wektor diagrammalar. Sinusoýdal ululyklaryň goşulşy.....	142
§ 5.6. Wektor diagrammalaryň kömegi bilen Sinusoýdal ululyklary goşmak.....	145
§ 5.7. Üýtgeýän elektirik togynyň zynjyrynda aktiw garşylyk.....	152
§ 5.8. Üýtgeýän el. togyň sepinde sygym ýüklenme.....	158
§ 5.9. Sygymly zynjyryda energetiki prosess.....	160
§ 5.10. Üýtgeýän el. togynyň zynjyrynda garyşyk ýüklenme.....	162
§ 5.11. Üýtgeýän el. togynyň şahalanmaýan zynjyry.....	169
§ 5.12. Aktiw we reaktiw garşylyklaryň izygider birikdirilmeginiň umumy ýagdaýy.....	172
§ 5.13. Üýtgeýän el. togynyň şahalanýan zynjyry.....	177
§ 5.14. Rezonon (gabatlaşma) hadysasy.....	185

## ALTYNJY BÖLÜM

Simwoliki usulda sinusoýda el. togynyň zynjyryny  
derňemek we hasabyny geçirmek.

§ 6.1. Simwoliki usul barada esasy düşüňjeler.....	200
§ 6.2. Omuň we Kirhgofyň kanunlary. Simwoliki görnüşde Kuwwatyň aňlatmasy.....	203
§ 6.3. Üýtgeýän el. togynyň zynjyrynyň simwoliki usulda hasaby.....	207
§ 6.4. Birnäçe imit çeşmeli çylşyrymly zynjyryň hasaby.....	210
§ 6.5. Aýlaw (töwerek) diagrammasy barada düşüňje.....	212
§ 6.6. Üýtgeýän el. togynyň zynjyrynda özara induktiwlik.....	215
§ 6.7. Dörtpolýuslyklar. ....	219

## ÝEDINJI BÖLÜM

Üçfazly togyň elektrik zynjyry.

Üçfazly tok we onuň alnyşy.

§ 7.1. Üçfazly togyň toplumy we onuň artykmaçlygy.....	226
§ 7.2. Üç fazaly togyň baglanşyksyz toplumy.....	229
§ 7.3. “Ýyldyz” shema boýunça birikdirme.....	231
§ 7.4. Üç simly toplum (sistema).....	234
§ 7.5. Ýyldyz görnüşde çatylan üçfazly sepiň hasaby. Simmetriki ýüklenmede üçsimli toplumyň hasaby.....	238
§ 7.6. Kompleks sanlary ulanyp hasaplama usuly.....	243
§ 7.7. Üçburçlyk shema boýunça birikdirilişi.....	249
§ 7.8. Üçfazly imitleniş çeşmäniň üçburçlyk görnüşde birikdirilişi.....	251



§ 7.9. Üçburçlyk görnüşde birikdirilende faza we liniýa toklary.....	251
§ 7.10. Peýdalanyjylaryň (kabeledijileriň) üçburçlyk görnüşde birikdirilende üçfazly zynjyryň hasaby.....	256
§ 7.11. Üç fazaly toguň setlerinde zeminlenme.....	259
§ 7.12. Üç fazaly togyň üç simli setleriň eksplutasiýasyna howupsyzlygyň üpjün edilmegi.....	259

## SEKIZINJI BÖLÜM

### Sinusoýdal däl togyň elektrik zynjyry.

§ 8.1. Periodiki sinusoýdal elektrik ululyklary.....	266
§ 8.2. Sinusoýdal däl ululygyň garmoniki düzüjilere dargamagy.....	267
§ 8.3. Sinusoýdal däl ululyklaryň orta we täsir ediji bahalary.....	268
§ 8.4. Sinusoýdal däl togyň zynjyrynyň kuwwaty.....	269
§ 8.5. Sinusoýdal däl togyň elektrik zynjyrynyň hasaplaşyk geçirmek we barlamak.....	270
§ 8.6. Togyň ergisiniň şekiline (görnüşine) L we C elementleriň täsiri.....	272
§ 8.7. Ýokary garmonikalaryň (ýygyrt-ýygyrtlygyň) rezonansy.....	273

## DOKUZYNJY BÖLÜM

### Elektrik zynjyrynda geçiş prosesleri.

§ 9.1. Esasy düşünje.....	277
§ 9.2. Induktivligi bolan zynjyryda geçiş prosesleri.....	279
§ 9.3. Sygymly zynjyryda geçiş prosesleri.....	286
§ 9.4. Induktivlik L we R garşylygyň üsti bilen kondensatoryň zarýatsyzlanmagy.....	291

## ONUNNJY BÖLÜM

Üýtgeýän togyň zynjyrynda WAH-y çyzykdäl (liniýasyz)  
elementler.

§ 10.1. Ferromagnit özenli tegek.....	299
§ 10.2. Ferrorezonanas hadysalary.....	307
§ 10.3. Drossel tegegi.....	310
§ 10.4. Magnit güýçlendirijiler.....	314
Edebiýatlar .....	319