

**ÓZBEKSTAN RESPUBLIKASÍ JOQARÍ HÁM ORTA
ARNAWLÍ BILIMLENDIRIW MINISTRIGI**

Berdaq atındağı Qaraqalpaq mámleketlik universiteti

N. B. PIRMATOV, T. U. SHAULEMETOV.

**ELEKTR
MASHINALARÍ**

5310700 «Elektr texnikası, elektr mexanikası hám elektr
texnologiyaları» (mashinasazlıq) baǵdarları studentleri
ushın sabaqlıq

TASHKENT
«NOSHIR»
2018

UOK: 621.314
KBK: 31.261.8
Sh 41

Elektr mashinaları: «Elektr texnikası, elektr mexanikası hám elektr texnologiyaları» (mashinasazlıq) baǵdarları studentleri ushın sabaqlıq — T.:2018. —476 b.

Professor T.Sh. Ğoyibovtıń ulıwmalıq sını astında

N.B. Pirmatov, T.U. Shaulemetov

Sabaqlıqta túrli tarawlarda keń qollanılatusın transformatorlar, asinxron, sinxron hám turaqlı tok mashinalarınıń dúzilisi, islew principi, olarda bolatusın tiykargı fizikalıq qubılıslar hám is rejimlerin bayan etiwde jetik kadrlardı tayarlaw baǵdarlamasına sáykes bolǵan jaǵdayda ámeliy kózqarastan kelip shıqqan jaǵdayda tayarlandı. Elektr mashinaları hám transformatorlardı normativ rejimde tejemli isletiw ushın áhmiyetli bolǵan ámeliy usınıslar keltirilgen.

Sabaqlıqtan texnika joqarı oqıw orınlarınń «Elektr energetikası» hám «Elektr texnika, elektr mexanika hám elektr texnologiyaları» baǵdarları studentleri, elektr energetikası tarawına tiyisli kolledjlerde tálim alıp atırǵan oqıwshılar hám de xızmet kólemindegi elektr mashinalarında kúsh transformatorlarınń ekspluataciyası hám de sazlaw menen baylanıslı qánigeler de paydalanıwı múmkin.

ISBN 978-9943-5482-6-8

© **N.B. Pirmatov,**
T.Sh. Shaulemetov 2018-j.
© **«Noshir» baspası, 2018-j.**

SÓZ BASÍ

Keleshegimizdiń negizi bolǵan joqarı dárejedegı qánigelerdi tayarlaw ushın xalıqaralıq standart talapları tiykarında islep shıǵarılǵan elektr mashinalarına tiyisli jeterli dárejede maǵlıwmatlardı óz ishine alǵan sabaqlıq hám oqıw qollanbalar jaratıw házirgi kúnniń áhmiyetli máselelerdiń biri esaplanadı.

Elektr mashinaları hám transformatorları óndiris sanaattıń túrli óndiris kárxanalarında, energetikada, transportta (aviaciya, temir jol, avtomobil, metro, tramvay, trolleybus), awıl hám suw xojalıǵında, qurılısta hám basqa tarawlarda keń qollanıladı.

Sabaqlıq texnika joqarı oqıw orınlarınıń «Elektr texnikası, elektr mexanikası hám elektr texnologiyaları» baǵdarları studentleri ushın «Elektr mashinaları» pániniń baǵdarı tiykarında jazılıp, onıń mazmunı: transformatorlar, asinxron mashinalar, sinxron mashinalar hám turaqlı tok mashinaları izbe-izlikte bayan etilgen. Jańa túrdegi elektr mashinalarına tiyisli tolıq maǵlıwmatlar kitaptıń tiyisli bólimlerinde óz sáwleleniwini tapqan. Islew principi elektromagnit indukciya qubılısına tiykarlanǵanlıǵı hám de olardaǵı elektromagnit procesleri hár tárep-leme elektr mashinalarına uqsaslıǵı sebepli transformatorlarda «Elektr mashinaları» páninde úyreniledi.

Avtorlar sabaqlıqtı tolıq analizden ótkizgen: «Taxıyatas jıllı-lıq elektr stanciyası» AJ kompaniyası ulıwmalıq máseleler boyınsha direktor orınbasarı Q.B.Tadjimurtov hám de Yu.A.Babajanovqa, TTJII nıń «Elektr transportı hám joqarı tezlikli elektr háreket quramı» kafedrası xızmetkerleri hám onıń kafedra baslıǵı, professor t.i.k. U.T. Berdiyevke, óziniń pikirleri menen sabaqlıqtıń sıpatın jaqsılawǵa járdem etken Islam Karimov atındaǵı Tashkent mámleketlik texnika universiteti elektr stanciyası, tarmaqları hám sisteması kafedrası baslıǵı, professor, t.i.d. T.Sh. Goyibovqa ózleriniń tereń minnetdarshılıǵın bildiredi.

KIRISIW

K.1. Elektr mashinaları haqqında tolıq maǵlıwmatlar

Elektr mashina mexanikalıq energiyanı elektr energiyaǵa (elektr generatorları) yamasa elektr energiyanı mexanikalıq energiyaǵa (elektr motorları) aylandıra alatuǵın elektro-mexanikalıq ózgertkish (EMÓ) esaplanadı. Elektr mashinalarında energiyanın elektro-mexanikalıq ózgettiriliwı magnit maydan tásirinde ámelge asırılıp, elektromagnit indukciya nızamına tiykarlangan; sonıń ushın olardı induktiv elektr mashinaları dep te ataladı. Ózgermeli tok kernewin ózgettirip beriwshi transformatorlar da induktiv elektr mashinalarınıń ózine tán túri esaplanadı.

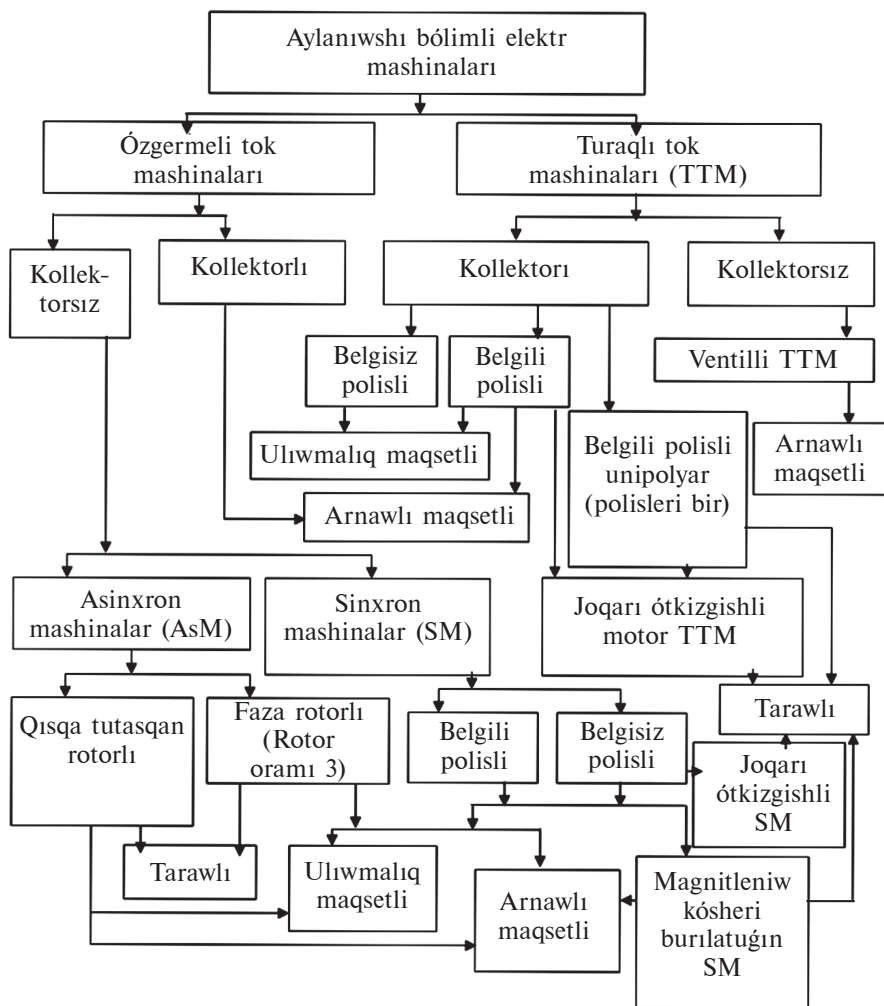
Elektr-mashinalı ózgertkishler (máselen, ózgermeli tok jiyiligin hám fazalar sanın ózgettire alatuǵın) hám az quwatlılıqlı signallar tásirine qaraǵanda úlken quwatlılıqlı obyekterdi basqarıwǵa imkan beriwshi elektr-mashinalı kúsheyttirgishler de elektro-mexanikalıq ózgertkish esaplanadı. Sanaat elektronikasınıń tez pát penen rawajlanıwı sebepli yarım ótkizgish (tranzistor, tiristor)li ózgertkishlerde kúsheyttirgishler óndiriste keń qollanılmaqta. Nátiyjede, elektr-mashinalı ózgertkishler hám de kúsheyttirgishlerdi ámelde qollanıw tarawları ádewir kemeygen.

Elektr mashinalarınıń sıpatlaması. Aylanıwshı bólegi elektr mashinaları toktıń túrine qarap ózgermeli hám turaqlı tok mashinalarına bólinedi. Ózgermeli tok elektr mashinaları **asinxron**, **sinxron** hám **kollektorlı** mashinalarına bólinedi (K.1-súwret).

Asinxron mashinalar. Dúzilisi, iske túsiriw hám texnikalıq xızmet kórsetiwdiń ápiwayılıǵı hám de joqarı isenimliliǵı sıyaqlı ayırmashılıǵı sebepli túrli xojalıq tarawlarda tiykarınan elektr motorları sıpatında qollanıladı.

Sinxron mashinalar elektr stanciyalarında sanaat jiyiligi ($f=50$ Gc) ózgermeli tok islep shıǵarıwshı generatorlar hám ǵárezsiz elektr energiya tutınıwshıları (samolyotlar, úlken kemeler h. b.) ushın joqarı jiyilikli generatorlar sıpatında qollanıladı.

Ózgermeli tok kollektorlı mashinaları tiykarınan elektr motorları sıpatında qollanıladı.



K.1-súwret. Aylanıwshı bólimi induktiv elektr mashinalarınıń sıptatlaması hám qanday maqsetlerde qollanıwına baylanıslı sxema.

Olardıń konstrukciyası quramalı hám shyotki-kollektor qurılmasınıń tez-tezden profilaktikalıq kózden ótkeriw (yamasa sazlaw) zárúrliginiń bolıp turılıwı sebepli olardan ámelde az paydalanıladı. Avtomatika qurılımlarında hám de shiyki zat xızmeti hám úy xojalıǵı elektr úskenelerinde universal, yamasa ózgermeli hám turaqlı toklarda isley alatuǵın kollektorlı mashinalar qollanıladı.

Turaqlı tok mashinaları kópshilik jaǵdaylarda elektr motorları sıpatında aylanıw jiyiligi keń kólemde ózǵertiriliwi talap etiletuǵın elektr júritpe qurılımlarında isletilip, avtomatikalıq retlew sistemalarında bolsa atqarıwshı motorlar hám taxogeneratorlar sıpatında keń paydalanıladı.

Transformator — ózgermeli tok kernewin ózǵertire alatuǵın (bul jaǵdayda jiyiligi $f = \text{const}$) statik (aylanıwshı deregi bolmaǵan) elektromagnit ózǵertkish esaplanadı. Biraq transformatordıń islew principinde elektr mashinaları sıyaqlı elektromagnit indukciya qubılısına tiykarlangan hám ózgermeli tok mashinalarındaǵı fizikalıq qubılıslar kóp tárepten transformatorǵa uqsatıǵanlıǵı ushın usı kursta transformatorlar teoriiyası negizlerin úyreniw ózgermeli tok mashinaları teoriiyasın jáne de tereńirek túsiniw alıwǵa imkan beredi.

Elektr mashinaları tómendegishe klassifikaciyalanadı, yamasa quwatlılıǵına qarap: 1) 500 W lısı — elektr mikromashinaları; 2) $0,5 < R \leq 10$ kW — az quwatlılıqlı; 3) $10 < R \leq 200$ kW — orta quwatlılıqlı; 4) quwatlılıǵı $R > 200$ kW — joqarı quwatlılıqlı; aylanıw jiyiligine qarap: a) $n = 300$ ayl/min shekem — az tezlikli; b) $n = 300 \div 1500$ ayl/min — orta tezlikli; d) $1500 < n \leq 6000$ ayl/min — joqarı tezlikli; e) $n > 6000$ ayl/min — júdá úlken tezlikli elektr mashinaları esaplanadı.

Elektr mashinalarında rotor hám stator magnit maydamlarınıń óz ara qozǵalıssız hám de elektr mashinalarınıń generator hám motor rejimlerinde islew múmkinligi elektr mashinaları teoriiyasında tiykarǵı qaǵıydalar bolıp esaplanadı.

Elektr mashinalarına qoyılatuǵın texnikalıq talaplar. Ulıwmaılıq maqsetli elektr mashinalarına qoyılatuǵın tiykarǵı talaplar standart tárepten belgilenip, olar tómendegilerden ibarat:

1) islewde isenimlilikniń joqarı bolıwı; 2) energetikalıq kórsetkishleri joqarı bolıwı; 3) gabarit ólshemleri, massası hám bahası imkanı bolǵansha minimal bolıwı; 4) konstrukciyasın islep shıǵarıwda ápiwayı hám olarǵa texnikalıq xızmet kórsetiw hám de qollanıwda ańsat bolıwı kerek.

Hárqanday elektr mashina ekspluataciyanıń anıq jaǵdaylarında (júklemenıń rejimi, ruqsat etilgen joqarı júkleme, kernew, ózgermeli tok jıyiligi, aylanıw jıyiligi, suwıtıw ortalıǵınıń temperaturası, teńiz keńliginen bálentligi, ıǵallıq hám basqalar) islewge esaplangan boladı. Bul jaǵdaylarda mashina belgilengen (dáwirli ońlawlar arasında) waqıt dawamında avariyasız hám nasazlıqlarsız nominal quwatlılıqta islewı kerek.

Mashinanıń jumısta isenimliliğin támiyinlew maqsetinde onı joybarlawda esapqa alınıwı kerek, islep shıǵarıwda joqarı sıpatlı texnologıyanı qollanıw hám isletiwın tuwrı júrgiziw (joybarlawda belgilengen rejimde hám profilaktikalıq sazlawın óz waqtında orınlaw) zárúr boladı.

K.2. Elektr mashinalarında energiyanıń elektromexanikalıq ózgerттіriliwi

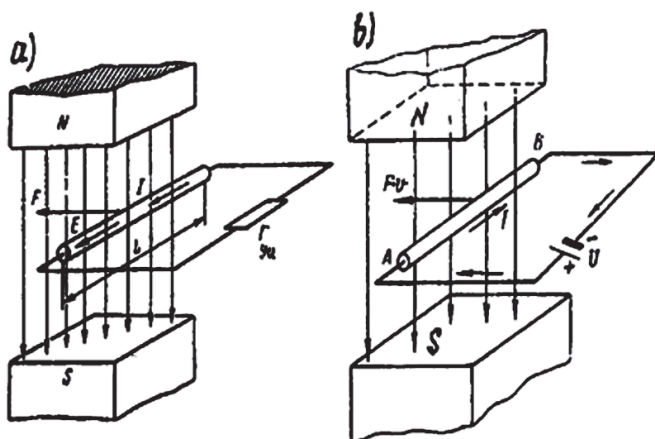
Elektr generatorınıń islew principi ullı inglis alımı Faraday oylap tapqan (1831-j.) elektromagnit indukciya nızamına tiykarlangan.

Eger ótkizgish magnit maydanda sırtqı kúsh F tásirinde háreketke keltirilse (K.2, a -súwret), ótkizgishde EQK payda boladı. Eger ótkizgish maydandı perpendikulyar ráwishte kesip ótse, payda bolǵan EQKtıń mánisi tómendegige teń boladı:

$$E = B \cdot l \cdot v \quad (K.1)$$

bunda E —ótkizgishde payda bolǵan EQK, [V]; B —magnit indukciya, [T]; l —ótkizgishtıń aktiv, yaǵnıy magnit maydannıń kesip ótetuǵın bóliminiń uzınlıǵı, [m]; v —ótkizgishtıń háreketleniw tezligi, [m/s].

Bul EQK tiń baǵdarların anıqlawda «oń qol» qaǵıydasınan (K.3, *a*-súwret) paydalanıladı. Bunıń ushın oń qoldı magnit maydandaǵı ótkizgishke parallel tutastırǵanda maydan kúsh sıızıqları barmaq tárepke baǵdarlanıp, bas barmaq ótkizgish háreketi baǵdarında ashılса, qalǵan tórt barmaqtıń ashıq kórinisi EQKtıń baǵdarın kórsetedi. Sırtqı kúsh tásirinde ótkizgish ońnan shepke háreketlendirilgende (K.2, *a*-súwret) EQK biz tárepke baǵdarlangan boladı.



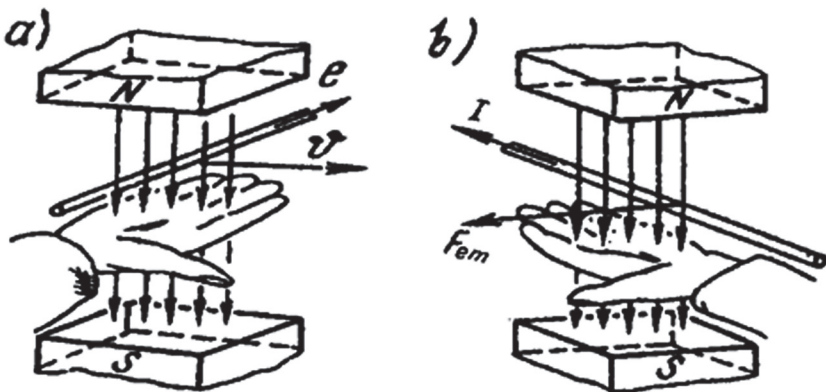
K.2-súwret. Elektr mashinalarında mexanikalıq energiyanıń elektr energiyaǵa (*a*) hám elektr energiyanıń mexanikalıq energiyaǵa (*b*) aylandırılıwına tiyisli sıızımlar.

Eger ótkizgishtiń ushları sırtqı qarsılıqqa jalǵansa, EQK tásirinde jabıq shınjırında baǵdarları EQKdiki menen birdey bolǵan tok payda boladı. Solay etip, magnit maydandaǵı ótkizgishti bul jaǵdayda eń ápiwayı generator desek boladı. (K.2, *a*-súwret).

Ótkizgishtegi tok I menen magnit maydannıń óz ara tási ri nátiyjesinde Amper nızamına tiykarlanıp ótkizgishke tásir etiwshi elektromagnit kúsh F_{em} payda boladı. Bul kúshtiń mánisi tómendegi formula menen anıqlanadı:

$$F_{em} = B \cdot l \cdot I. \quad (K.2)$$

Bul kúshitiń baǵdarların «shep qol» qaǵıydası járdeminde anıqlaw múmkin. (K.3, b-súwret). Bunıń ushın shep qoldı magnet maydandaǵı ótkizgishge parallel tutasqanda maydan kúsh sıızqları barmaq tárepke baǵdarlanıp, tórt barmaq ótkizgishtegi toktıń baǵdarı ashılса, ótkizgishke perpendikulyar ashılǵan bas barmaq elektromagnet kúshitiń baǵdarın kórsetedi. (K.3, b-súwret).



K.3-súwret. «Óń qol» (a) hám «shep qol» (b) qaǵıydaları tiykarında sıızıw.

Bul kúsh ótkizgishtiń háreketleniwine kerı baǵdarlangan bolıp, generatorda tormızlawshı tásir kórsetedi.

Ótkizgishtiń háreketi bir tegis bolǵanda sırtqı háreketlendiriwshı kúsh F elektromagnet kúsh F_{em} ke teń boladı:

$$F = F_{em}. \quad (K.3)$$

(K.3) teńlemeniniń eki bólegin ótkizgish tezligi v ǵa kóbeyt-tiremiz:

$$F \cdot v = F_{em} \cdot v. \quad (K.4)$$

(K.2) den F_{em} tıń mánisi (K.4) ke qoyıp tómendegige iye bolamız:

$$F \cdot v = B \cdot l \cdot I \cdot v = E \cdot I. \quad (K.5)$$

(K.5) teńliktiń shep bólimi ($F \cdot v$) ótkizgishti magnit maydanda háreketlendiriw ushın mexanikalıq quwatlılıǵın, oń bólimi ($E \cdot I$) bolsa shınjırında tok I payda etken elektr quwatlılıǵın kórsetedi. Solay etip, sırttan berilip atırǵan mexanikalıq quwatlılıq generatorda elektr quwatlılıqqa aylanadı.

Eger ótkizgishke sırtqı kúsh qoymay, oǵan elektr energiyaǵa derekten K.2, b -súwret kórsetilgendey baǵdardaǵı tok berilse, ol jaǵday ótkizgishke tek elektromagnit kúsh F_{em} tásir etedi. Ótkizgish usı kúsh tásirinde magnit maydanda ońnan shepke háreketlene baslaydı, ótkizgishte payda bolatuǵın EQK bolsa aldınıǵıǵa qaraǵanda (K.2, a -súwret) keri boladı. Ótkizgishke derekten qoyılǵan kernewdiń tiykarǵı bólimi ondaǵı payda bolǵan EQK penen teńlestiriledi, júdá az bolsa ótkizgishtegi kernewi túsiwi boladı, demek, K.2, b -súwrettegi elektr shınjırı ushın Kirxgoftıń II nızamı tómendegishe jazıladı:

$$U = E + I r, \quad (K.6)$$

bul jerde: r — ótkizgishtiń elektr qarsılıǵı.

(K.6) teńliktiń eki bólimin tok I ge kóbeyttiremiz:

$$UI = E I + I^2 r. \quad (K.7)$$

(K.1) formuladan EQK E niń mánisi (K.7) ge qoyıp, (K.2) de esapqa alǵan jaǵdayda tómendegini payda etemiz:

$$UI = B l v \cdot I + I^2 r = F_{em} \cdot v + I^2 r. \quad (K.8)$$

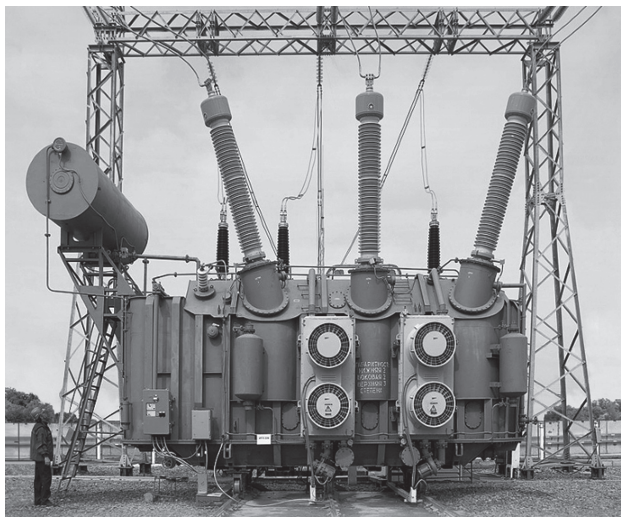
nátiyjede: ótkizgishge kiriwshi elektr quwatlılıǵınıń tiykarǵı bólimi mexanikalıq quwatlılıqqa ($F_{em} \cdot v$) aylanadı, júdá az bólimi bolsa ótkizgishtegi elektr sarplanıwın ($I^2 r$) qaplawǵa jumsaydı. Solay etip, magnit maydanǵa jaylasqan toklı ótkizgishti eń ápiwayı elektr motorı dep qaraw múmkin.

Elektr mashina islewiniń tiykarǵı shárti ótkizgishlerde magnit maydanınıń bar bolıwına baylanıslı. Bunda elektr mashina generator sıpatında da, motor sıpatında da isletiw múmkin. Elektr mashinanıń bul ózgesheligi olardıń *qaytarlıǵı* dep ataladı. (bunı rus alımı E. Lens 1833-j. oylap tapqan).

BIRINSHI BÓLIM

TRANSFORMATORLAR

Ush bólimde transformatorning orinlaytugin wazıypaları hám qollanıw tarawları; olarğa qoyılatugin talaplar; magnit sisteması hám oramlardıń dúzilisi; transformatorning teoriyası; turaqlı simmetrik hám simmetriksiz rejimlerde hám de ótiw rejimlerinde bolatugin qubılıslar transformator oramları jalğanıwının toparları hám parallel islewı; rejim hám elektr parametrlerin tájiriye jolı menen anıqlaw; ekspluatatsiyalıq xarakteristikaları; avtotransformatorlar hám ush oramlı transformatorlardıń ózine tán ózgeshelikleri bayan etilgen.



T.1-súwret. Quwatlılıǵı 250000 kV·A, kernewi 330 kV, TDC–250000/330 tipli kernewdı asırıp beriwshi ush fazalı eki oramlı transformator (Samara wálayatı, Tolyatti, Rossiya)

1-BAP. TRANSFORMATORLARǴA TIYISLI MAǴLÍWMATLAR

1.1. Transformatordıń elektr energetikada tutqan ornı

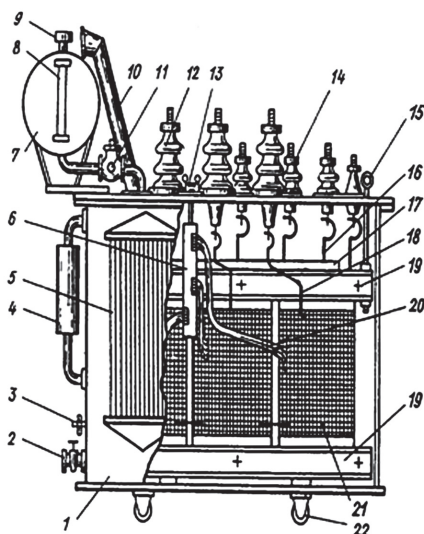
Elektr stanciyalarınan tutınıwshılardıǵa elektr energiyanı uzatıwdaǵı energiya sarpları liniya sımalarınan ótetuǵın tok kúshine baylanıslı boladı. Elektr stanciyalarındaǵı sinxron generatorlar kernewiniń shamaları ($U \leq 24 \text{ kV}$) uzaq aralıqlarda jaylasqan tutınıwshılardıǵa elektr energiyanı tejemli uzatıw ushın ádewir kemlik etedi. Elektr energiyanıń belgili quwatlılıǵın ($S = \sqrt{3} U \cdot I$) tutınıwshılardıǵa uzatıwda transformator járdeminde kernew U qansha asırılsa, tok kúshi I sonsha ese kemeyedi. Bunda: 1) liniya ushın kese-kesim maydanı biraz kishi bolǵan sım tańlanıp, elektr uzatıw liniyasın qurıwda reńli metallar tejeledi; 2) liniyadaǵı quwatlılıq sarpsı ($R' = 3I^2 r_l$) kemeyiwi sebepli tutınıwshılardıǵa jetkizip beretuǵın aktiv quwatlılıq artadı.

Ayırım jıllılıq elektr stanciyalarında ornatılǵan kúsh transformatorları uzatıp atırǵan elektr energiyanıń kernewin 20 kV dan 500 kV qa, yamasa 25 ese asırıp beredi. Nátiyjede, liniya sımalarındaǵı energiya sarpsı transformersız uzatılǵanǵa qarǵanda $25^2 = 625$ ese kemeyedi, yamasa úlken ekonomikalıq nátiyjege erisiledi.

Hárqanday elektr stanciyasında kernewdi arttırıwshı úlken quwatlılıqlı transformatorlar ornatılǵan boladı (T.1-súwret). Elektr uzatıw liniyası uzaq aralıqlı hám uzatılıp atırǵan quwatlılıq qansha úlken bolsa, texnika-ekonomikalıq tárepten kernew sonsha joqarı boladı. Máselen, 103 MW quwatlılıǵın 1000 km aralıqqa uzatıw ushın derlik 500 kV kernew zárúr boladı.

Ózgermeli tok tutınıwshılardıń kópshiligi 220, 380 hám 660 V kernewlerde, nasos stanciyalarda ornatılǵan suw nasosların júritetuǵın sinxron elektr motorları 10 kV; metallurgiyada qollanılatuǵın úlken quwatlılıqlı faza rotorlı asinxron elektr motorları 6 kV, usı tarawda isletetuǵın joqarı sinxron elektr motorları bolsa 6 hám 10 kV kernewlerde; elektrlestirilgen temir jol

transportında qollanılatusın elektr motorları 3,3 kV kernewde isleydi. Sonıń ushın elektr uzatıw liniyasınıń joqarı kernewi oraylıq hám regionlıq podstanciyalarda hám de elektr energiya tutınıwshılarga jaqın jerde ornatılğan kúsh transformatorları arqalı olar ushın zárúr bolğan kernew mánisine qarap páseyttiriledi. Bul haqqında 1.1-súwrette, konstrukciyası kernew klası 35 kV, quwatlılıǵı bolsa $1000 \div 6300$ kV·A ge sáykes keletuǵın páseyttiriwshi kúsh transformatorı kórsetilgen.



1.1-súwret. Kernew klası 35 kV quwatlılıqlı $1000 \div 6300$ kV·A konstrukciyasına sáykes keletuǵın páseyttiriwshi kúsh transformatorı.

- 1 — bak; 2 — may ushın ventıl; 3 — zaminlew ushın qıstırma;
- 4 — termosıfonlı filtr; 5 — radiator; 6 — kernewdi retlew qayta jalǵaǵıshı; 7 — keńeyttirgish; 8 — may kórsetkish; 9 — hawa qurıtqısh;
- 10 — shıǵarıwshı (saqlawshı) truba; 11 — gaz rele; 12 — JK oram ushın ótiw izolyatorı; 13 — qayta qosqısh zatı; 14 — PK oramǵa tiyisli ótiw izolyatorı; 15 — transformatordı kóteriw ushın ilǵısh; 16 — PK oramdı ótiw izolyatorı menen baylawshı ótkizgish; 17 — magnit ótkizgish;
- 18 — JK oramdı ótiw izolyatorı menen baylawshı ótkizgish;
- 19 — joqarǵı hám tómengı yarmo balkaları; 20 — JK oram retlew tarmaǵınıń sımaları; 21 — JK oram; 22 — arba dóngelegi.

Elektr stanciyasidan tutinuvshilarga elektr energiyani jetki-
ziw barisinda, ya'ni bes-alti basqishta tiykaridan eki oramli
ulken quwatlilikli transformatorlar uskenesinde amelge asiriladi.
Sonin ushin kush transformatorlarinin sani ham de olardin
quwatligi elektr energiyani uzatuv araliqlariga qarap elektr
stanciyalaridagi elektr generatorlarinin sani ornatilgan quwatli-
gina salistirganda 6 ese kop boladi.

O'zbekistan Respublikasida kush transformatorlari ham de
arnawli transformatorlardin ayirilmali tiykaridan Tashkent wala-
yatida xizmet korsetip atirgan Chirchiq transformatorsazliq
zavodinda, «ELUS (Elektr uskeneleri)» ham «Aziya elektr
energiya» ilimiy-islep shigariw karxanalarida islep shigaril-
maqta. Tashkent qalasida kush transformatorlari onlaytu-
gin karxanalardan «Energosazlaw» qanigelestirilgen onlaw-islep
shigariw ham «Rotor» sazlaw karxanalari da xizmet korsetpekte.

1.2. Transformatorlar klassifikatsiyasi, olarga qoyilatuvin tiykarig talaplar, gabaritleri ham nominal olshemleri

Transformatorlardin klassifikatsiyasi. Orinlaytuvin waziy-pasi-
na qarap transformatorlar tomondagi turlerge bolinedi: 1) kush
transformatorlari 2) arnawli transformatorlar. Kush transforma-
torlari oz nabwetinde: uliwmalig maqsetli ham tarawli turlerge
bolinedi. Elektr energiyani uzatuv, qabil etiw ham de isletiwge
arnalgan elektr tarmaqlari ham uskenelerinde elektr energiyani
ozgerttiriw (kernewdi arttiriw yamasa kemeyttiriw) waziy-pasi-
n orinlaytuvin transformatorli kush transformatorli dep ayiladi.
Bul darejege: quwatligi $6,3 \text{ kV} \cdot \text{A}$ ham onnan ulken bolgan ush
fazali transformatorlar ham de quwatligi $5 \text{ kV} \cdot \text{A}$ ham onnan
ulken bolgan bir fazali transformatorlar kiredi.

Normal jagdayda islep atirgan elektr tarmagiga jalgaw ushin,
yamasa arnawli jumis jagdaylarida, yuklemenin xarakteri yama-
sa is rejimi menen pariqalanbaytuvin energiya tutinuvshilari-
n tuwridan-tuwrli tamiyinlewge tayarlangan transformatorlardi **uliw-
malig maqsetli kush transformatorlari** delinedi. Transformatorlar

fazalar sanına qarap: bir, úsh hám kóp fazalı (tarmaqlı); oramlar sanına qarap — eki, úsh hám de kóp oramlı túrlerge bólinedi.

Eger transformatordıń hár fazasında úsh [joqarı kernewli (JK), orta kernewli (OK) hám pás kernewli (PK)] elektr tárepten jalğanbağan oramlar bolsa, bunday jaǵdayda **úsh oramlı transformator** delinedi.

Eger transformatorda $U_{1N} < U_{2N}$ bolsa **asırıwshı**, $U_{1N} > U_{2N}$ bolǵanda bolsa — **páseyttiriwshı** transformator delinedi.

Elektr energiyanı transformatordıń qaysı oramına beriliwine qarap transformatordı asırıwshı yamasa páseyttiriwshı sıpatında paydalanıw múmkinligi onıń qaytarlıq qásiyetleri esaplanadı.

Nominal quwatlılıǵı hám kernewlerine baylanıslı ráwishte kúsh transformatorları hám avtotransformatorlarınıń gabaritlerine ajıratılıwı 1.1-kestede kórsetilgen.

Kúsh transformatorlarına qoyılatuǵın tiykarǵı talaplar. Elektrotexnika sanaatında islep shıǵarılıp atırǵan kúsh transformatorları isenimlilik, tejemlilik, shıdamlılıq hám basqa zárúrli tárepleri menen dúnya bazarında joqarı básekige shıdamlı bolıwı kerek. Usı sebepli bul transformatorlarǵa tómendegi tiykarǵı talaplar qoyıladı: a) islep shıǵarıwda hám isletiwde tejemli bolıwı; b) isletiwde isenimlilik; c) sarplar standartta belgilengen normadan artpawı; d) parallel jalǵaw shártlerin qanaatlandırıwı; e) normadan artıqsha qızıp ketpewi; f) kernewdi retlewge imkan beriwı; g) transformatordı isletiw dawamında ayırım sebeplerge baylanıslı júz beretuǵın qısqa múddetli joqarı kernewlerge hám kem múddetli qısqa tutasıwdaǵı ádewir úlken bolǵan toklar tásirine shıdam beriwı kerek.

Transformatordıń nominal ólshemleri. Transformatorlar standart talaplarına tán jaǵdayda texnikalıq shártler boyınsha tayarlanadı hám elektr energiyanı ózgerttiriw boyınsha belgili wazıypalardı orınlaw ushın belgilenedi.

Bul jaǵdaylardaǵı transformatordıń jumısshı nominal ólshemleri menen xarakterlenedi hám olar elektr úskeneri kataloglarında hám de transformatorǵa bekkemlengen pasport taxtashada tómendegiler kórsetilgen boladı:

1.1-keste. Kúsh transformatorları hám avtotransformatorların gábaritleri

Gábarit sanları	Kúsh transformatorları hám avtotransformatorlardıń standartta belgilengen qatarına tuwrı keliwshi quwatlılıq hám kernewler.	
	Nominal quwatlılıǵı (S_N), kV·A	Nominal kernewi (U_N), kV
I	$S_N < 100$	$U_N \leq 35$
II	$100 \leq S_N < 1000$	$U_N \leq 35$
III	$100 \leq S_N < 6300$	$U_N \leq 35$
IV	$S_N \geq 6300$	$U_N \leq 35$
V	$S_N < 32\,000$	$U_N \leq 110$
VI	$32\,000 \leq S_N < 80\,000$	$U_N \leq 330$
VII	$80\,000 \leq S_N < 200\,000$	$U_N \leq 330$
VIII	$S_N \geq 200\,000$	$U_N \geq 330$

Transformatordıń tolıq nominal quwatlılıǵı V·A yamasa kV·A de kórsetiledi:

a) bir fazalı eki oramlı ushın — $S_{1N} = U_{1N} \cdot I_{1N}$;

b) úsh fazalı eki oramlı ushın — $S_{1N} = \sqrt{3} U_{1N} I_{1N} = 3 U_{1Nf} I_{1Nf}$.

Transformatorlarda PJK júda úlken bólganlıǵınan eki oramlı transformatorda birlemshi (S_{1N}) hám ekilemshi (S_{2N}) oram nominal quwatlılıqları birdey boladı, yaǵnıy

$$S_{1N} \approx S_{2N}.$$

Nominal kernew degende hárbir oramnıń liniya kernewi túsiniledi. Ekilemshi oramnıń nominal kernewi ushın $U_{2N} = U_{2(0)}$ qabıl etiledi. Transformatordıń nominal tokları degende quwatlılıǵı $S_1 = S_2 = S_N$ hám kernewleri (U_{1N} hám U_{2N}) boyınsha esaplangan 1- hám 2- oramlardıń liniya mánisleri túsiniledi. Bulardan tısqarı: 1) nominal jiyiligi f_N ; 2) fazalar

sanı m ; 3) oramlardıń jalǵanıw sxeması hám toparları; 4) qısqa tutasıw kernewi $u_{qt.(\%)}$; 5) transformatordıń tipi; 6) standart no-meri; 7) suwıtıw usılında basqa ayırım maǵlıwmatlar keltiriledi.

Qadaǵalaw ushın sorawlar:

1. Transformatordıń áhmiyeti nelerden ibarat?
2. Transformatorlar qanday belgilerine tiykarlanıp xarakterlenedi?
3. Kúsh transformatorlarına qanday tiykarǵı talaplar qoyıladı?

2-BAP. TRANSFORMATORLARDÍŇ MAGNIT SISTEMALARÍ HÁM ORAMLARÍ

2.1. Transformatorlardıń magnit ótkizgishleri hám olardıń konstrukciyası

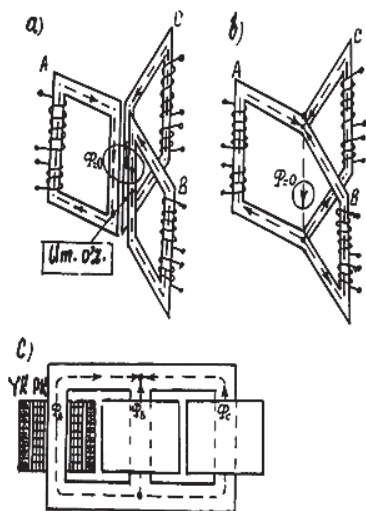
Magnit ótkizgish transformatordıń áhmiyetli bólimi bolıp, ol oramlardıń magnit baylanıslılıǵın kúsheyttiriwden tısqarı, oramları hám járdemshi bólimlerin ornatıw hám de bekkemlew ushın konstruktiv tiykar bolıp esaplanadı.

Ózgermeli tokta ($f = 50$ Hz) úyirmalı toklar esabınan bolatuǵın energiya sarpların kemeyttiriw maqsetinde transformatorlardıń magnit ótkizgishleri 0,35 hám 0,30 mm qalınlıqlardaǵı suwıq jaǵdayında tayarlanǵan anizotroplı (magnit qásiyetleri jaqsılانǵan, máselen, 3404 ÷ 3406 markalı) elektrotexnikalıq polat plastinaları arnawlı lak hám oksid perdeleri menen qaplanǵan jaǵdayında izolyaciyalanıp jıynaladı. Bunday polattı qollanıw magnit ótkizgishtegi indukciyanı $1,6 \div 1,65$ T shekem arttırıwǵa (ıssı jaǵdayında tayarlanǵan polatta bolsa magnit indukciyası $1,4 \div -1,45$ T ten asırıp bolmas edi) imkan jaratıp, transformatordıń aktiv (magnit hám elektr ótkiziwshi) materialları massasın hám de energiya sarpların keskin kemeytiriwge imkan berdi.

Magnit sistemanıń oram jaylastırılǵan bólimin «sterjen», olardı jalǵap, jawıq magnit shınjırın payda etetuǵın bólimin bolsa «yarmo» delinedi.

Úsh fazalı transformatorlardıń magnet ótkizgishleri. Úsh fazalı tok hám kernewleri magnet ótkizgishli ulıwmalıq bolǵan bir dana úsh sterjenli úsh fazalı transformator arqalı ózǵerttiriledi. Eger úsh dana bir fazalı transformatordı 2.1, *a*-súwrette kórsetilgendey jaylastırılса, onda magnet ótkizgishtiń ózeklerin konstruktiv tárepten bir ulıwmalıq ózekke almasırw múmkin. Úsh fazalı sistemada sinusoidal magnet aǵımları barlıq mánisleriniń jıyındısı nolge teń bolǵanlıǵınan ulıwmalıq ózekte magnet aǵımı bolmaydı, sonıń ushın bul ózekke zárúrlik te qalmaydı.

Usı konstrukciyanı ápiwayılastırıw ushın úsh sterjendi bir tegislikke jaylastırıp, joqarı hám tómengi yarmolar menen jalǵansa, úsh fazalı úsh sterjenli jalpaq formalı magnet ótkizgish payda boladı (2.1, *c*-súwret).



2.1-súwret. Magnet sisteması ulıwmalıq bolǵan úsh fazalı transformator konstrukciyasınıń payda etiliwine tiyisli sızımaları: *a*—úshewi birdey bir fazalı transformatorlardıń jaylastırılıwı (bunda Ul.óz — ulıwmalıq ózek); *b*—úsh fazalı simmetriyalıq transformatordıń fazalıq konstrukciyası; *c*— fazalıq konstrukciyasın ózǵerttirip payda etilgen jalpaq formadaǵı magnet ótkizgishli úsh fazalı transformator.

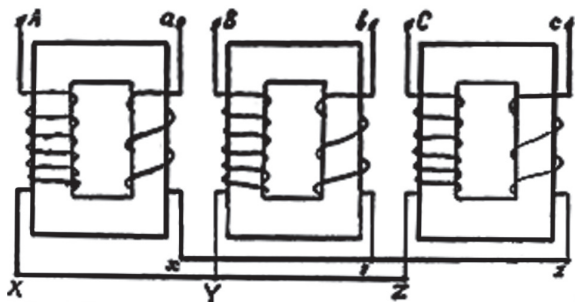
Barlıq ózek hám yarmolarıń boylama kósheri bir tegislikte jaylasqan bolsa, transformator magnit ótkizgishin jalpaq formalı (2.1,c-súwret) eger hár túrli tegisliklerde jaylasqan bolsa — materiyalıq formalı delinedi (2.1, b hám 2.3- súwretler).

Ózekleriniń yarmolar menen birigiwine qarap magnit sistemalar sterjenli, bronlı-sterjenli hám bronlı túrlerge bólinedi.

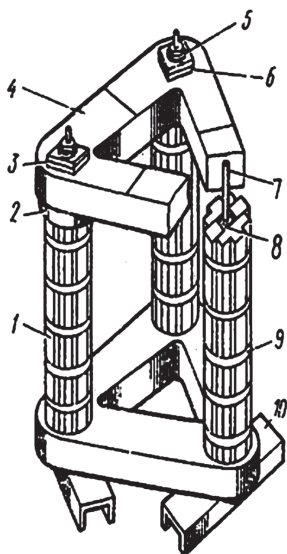
Ámeliy jumıslar ushın kerekli maǵlıwmatlar. Bir dana úsh fazalı transformatordı tayarlaw hám isletiw hám ornatiw ushın, tap sonday islerdi úsh fazalı transformator quwatlılıǵına teń keletuǵın úsh dana bir fazalı kúsh transformatorları ushın ketetuǵın qárejettiń kem bolǵanlıǵı hám úsh fazalı transformatordıń massası úsh dana bir fazalı transformatorlar massasınıń jıyındısınan $30 \div 35\%$ kemligi hám de úsh fazalı transformator iste hám oǵan xızmet kórsetiwde ekonomikalıq tárepten paydalı bolǵanlıǵı sebepli jalpaq formadaǵı magnit ótkizgishli úsh fazalı «sterjenli» kúsh transformatorları ámelde keń qollanıladı.

Magnit sisteması úsh faza ushın ulıwmalıq bolǵan kúsh transformatorları massasınıń yamasa sırtqı ólshemleriniń hád-den tısqarı úlkenligi sebepli temir jolda tasıw hám isletiw ushın ornatiwda texnikalıq imkaniyatlar shegaralangán bolǵanı ushın energetika sistemasında gruppalangán transformatorlarda paydalanıladı. (2.2-súwret).

Ózeklerdi yarmolar menen birlestiriw usılına qarap magnit ótkizgishler tutasqan hám taqlangán túrlerge bólinedi.



2.2-súwret. Bir fazalı transformatorlardıń úsh fazalı gruppası yamasa gruppalangán transformator.



2.3-súwret. Úsh
fazalı transformator
(TM—250/6)dıń fazalı
forması magnet
ótkizgishi: 1—sterjen,
2 hám 6—izolyaciya-
lawshı qıstırmalar;
3—plastına; 4—yarmo;
5—prujına; 7—shpilka;
8—izolyaciyalawshı
trubka; 9—sıǵıwshı
belbew; 10—tayansh
ústin.

Tutasqan magnet ótkizgishte ózekler hám yarmolar bólek-bólek jıynalıp, soń óz ara bir pütün etip tutastırıladı.

Taqılǵan magnet ótkizgishte ózek hám yarmo plastınaların jıynawda tutasqan magnet ótkizgishke qaraǵanda magnitsiz hawa aralıqlarınıń ádewir kemligi nátiyjesinde sald islew toginiń keskin kemeyiwı onıń ózgesheligi esaplanadı.

Ámelde fazalı formalı magnet sistemalarında qullanılmaqta (2.3-súwret). Bunday magnet sistemanıń yarmosındaǵı magnet aǵım $F_{ya} = F_{öz} / \sqrt{3}$ bolǵanlıǵınan onıń kese-kesim maydanı ózekke qaraǵanda $\sqrt{3}$ ese kemeyttiriw múmkinligi tejemli esaplanadı. Oramdı oraw texnologiyalıq procestiń qıynlıǵınan bul magnet sistemanı qullanıw, quwatlılıǵı 630 kV·A shekem bolǵan kúsh transformatorları menen sheklengen boladı.

2.2. Transformatorlardıń oramları hám olardıń konstrukciyası

Oramlar transformatordıń áhmiyetli zárúrli bólimi bolıp, olar elektr energıyanı ózgerттiriw ushın zárúr bolǵan magnet maydandı júzege keltiriwin hám

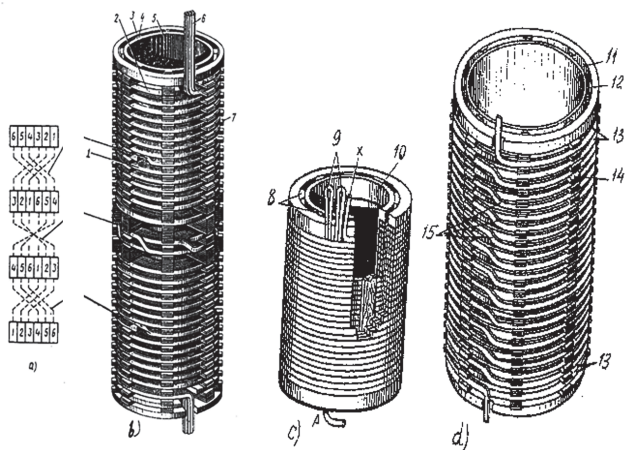
de transformatordı ámelde qullanıw ushın áhmiyetli bolǵan elektr qozǵatıwshı kúsh (EQK)lerdi payda etiwın támiyinleydi.

Oramlardı tayarlawdaǵı sarplanatuǵın materiallar bahası hám olardı oraw ushın tólenetuǵın is haqı transformator bahasınıń 50% payda etedi. Transformatordıń xızmet múddeti onıń

awır sharayatlarda isleytuǵın oramlardıń xızmet múddeti menen anıqlanadı.

Ózekte jaylasıwına qarap oramlar koncentriyalıq hám almasıwshı túrlerge bólinedi. Almasıwshı oramlarda JK hám PK katushkalar ózek bálentligi boyınsha basqışpa-basqışh óz ara almasqan boladı.

Almasıwshı oramlar tiykarınan arnawlı transformatorlar ushın qollanıladı. Ulıwmalıq maqsetli kúsh transformatorlarında da arnawlı transformatorlardıń ayırımlarında, ádette, koncentriyalıq oramlar qollanıladı. Bunda ózek jaqınına PK oram, onıń sırtına bolsa JK oram jaylastırıladı. Konstrukciyası hám ornatiw usılına qarap koncentriyalıq oramalar cilindrik, katushkalı hám vint sıyaqlı túrlerge bólinedi.



2.4-súwret. Kúsh transformatorınıń: *a*—vint sıyaqlı oramında sımlardıń orın almasıw sxeması (transpoziciya); *b*—bir jollı vint sıyaqlı orama: (1—oramlar; 2—teńlestiriwshi segmentler; 3—ústki tayansh ilgegi; 4—vertikal suwıtw kanalları; 5—izolyaciyalıq cilindr; 6—parallel sımlar; 7—qıstırma); *c*—kóp qatlamlı cilindrik oram: (8—vertikal reykarlar; 9—oram ushları; 10—izolyaciyalıq cilindr); *d*—35 kV kernew ushın úzliksiz katushkalı oram: (11—izolyaciyalıq cilindr; 12—vertikal reykarlar; 13—oramnıń kúsheyttirilgen izolyaciyalı katushkaları; 14—qıstırma; 15—sımlardıń ornın almasıw ushın ótiwler).

Úlken quwatlılıqlı transformatorlarda parallel sımıldırnı sanı birneshe onlarǵa shekem jetiwi múmkin. Sol sebepli bunday transformatorlardırnı PK oramı ushın birneshe tuwrı múyesh kesimli sımıldan parallel islengen kóp jollı vint sıyaqlı oramlar qollanıladı. Vint sıyaqlı oramda (2.4, *b*-súwret) parallel sım-lar koncentriyalıq ráwısh-te oram kósherinen hár túrli uzaqlıqta jaylasqanlıǵı sebepli ózekke jaqınıra-q jaylasqan sımılǵa qara-ǵanda onnan uzaqta jaylasqanları uzınıra-q boladı. Bul parıq sol sım-lar aktiv hám induktiv qarsılıqlardıń teńsizliginen júzege keltiriledi hám olarda tok-lar bir tegis bólistirilme-ydi.

Vint sıyaqlı oramlarda parallel sımılardaǵı toktıń bir tegis bólistiriliwi ushın bir oramdı payda etiwshi sımıldı belgili sxemada orın almasırw (transpoziciya etip) talap etiledi (2.4, *a*-súwret). Bunda hárbir sım bir oram shegarasında múmkin bol-ǵan barlıq jaǵdaylardı basqıshpa-basqısh iyelewi zárúr boladı.

Quwatlılıǵı $S_N \leq 630 \text{ kV} \cdot \text{A}$ hám kernewi $U_N \leq 35 \text{ kV}$ bol-ǵan transformatorlarda PK orama ushın domalaq kesimli sımnan islengen kóp qatlamlı cilindrli oramlar qollanıladı (2.4, *c*-súwret).

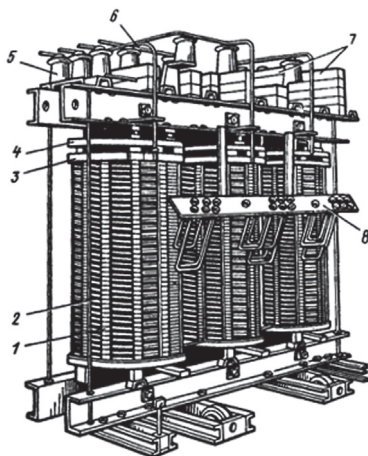
Úzliksiz katushkalı oramada bir katushkadan ekinshisine sımdı úzbesten ótiledi (2.4, *d*-súwret). Bunday oramnıń áhmiyet-liliklerine tayanış betiniń úlkenligi sebepli qısqa tutasıwda júzege keletuǵın tuwrı kúshlerge qaraǵanda úlken shıdamlılıq hám suwırw júziniń úlkenligi kiredi. Usı áhmiyetlilikleri sebepli úzliksiz oram keń kólemde qollanıladı.

Transformator oramlarınıń ushları bak qaqpasında ornatılǵan arnawlı shiyshe izolyatorlar ishinen ótken kesim maydanı biraz úlken bolǵan ótkizgishlerge jalǵanıp sırtqa shıǵarıladı.

May menen suwıtılátuǵın («maylı») hám hawa menen tábiyiy ráwısh-te suwıtılátuǵın («qurǵaq») transformatorlardırnı oramları A (105°C) qızıwǵa shıdamlılıq klasındaǵı kabel qaǵazı belbewi menen izolyaciyalangán PB markalı mıs hám APB markalı alyuminiy oraw sım-larınan hám de mıs hám alyuminiy qıstır-ǵışınan yamasa ólshemi orama bálentligine teń bolǵan folga-dan tayarlanadı. Qurǵaq transformatorlarda (2.5-súwret) «V»

hám «F» klaslarına kiriwshi izolyaciyalı oraw sımalarınan da keń qollanıladı.

Oramanıń jol qoyılatuǵın (norma) temperaturası transformator mayınıń temperaturası (105°C) menen, yamasa «A» klasındaǵı izolyaciya menen belgilengenligi sebepli, bunnan úlken temperaturaǵa mólsherlep tayarlangan izolyaciyalı material maylı transformatorlarda qollanılmaydı.



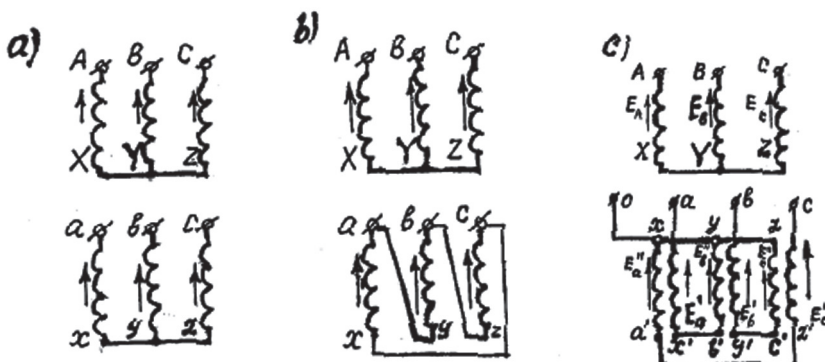
2.5-súwret. Quwatlılıǵı 320 kV·A bolǵan qurǵaq kúsh transformatorınıń qaplamasız kórinisi: [1 — vertikal tartıw shpilkası; 2 — joqarı kernewli oram; 3 — oramlardı preslew ushın shiyshe tirgek; 4 — preslewshi polat ilgek; 5 — JK qosqışlarınıń tayanış izolyatorları; 6 — JK qosqışlar; 7 — PK qosqışlardı bekkemlew ushın shiyshe tirgek; 8 — JK klemma (qısqış)lar taxtası].

Zamanagóy transformersazlıqta kernew klasları $110 \div 1200$ kV bolǵan sońǵı jıllarda islep shıǵılǵan transformatorlarda JK oramı ushın toqılma oramlar keń qollanıla basladı.

Toqılma oramda qońsı oramlar arasındaǵı kernewler parqı úzliksiz oramına qaraǵanda $n/2$ ese úlken boldı. Bunda qońsı katushkalar arasındaǵı kernew páseyedi, bunday jaǵdayda ekranlawshı oramlarda ayırım katushkalardı qosımsha izolyaciya etiwı talap etilmeydi.

2.3. Transformator hám avtotransformator oramlarınıń jalǵanıw usılları, oram ushlarınń standart boyınsha jańasha belgileniwi hám onı tájiriybede tekseriw

Úsh fazalı transformator oramlarınıń jalǵanıw usılları. Ulıwmalıq maqsetli úsh fazalı transformatorlardıń oramları tiykarınan «jıldız» (Y) (2.6, *a*-súwret) hám «úshmúyeshlik» (Δ) (2.6, *b*-súwret), ayırımları bolsa «zigzag» (Z) (2.6, *c*-súwret) usılında jalǵanadı.



2.6-súwret. Úsh fazalı transformatorlar oramlarınıń jalǵanıw usılları:
a — jıldız-jıldız (Y/Y); *b* — jıldız-úshmúyeshlik (Y/ Δ);
c — jıldız-zigzag (Y/Z).

Oramlar Y usılında jalǵanganda, liniya kernewi $U = \sqrt{3} U_f$, liniya toǵı bolsa $I = I_f$ boladı. Bul ańlatpa simmetriyalı rejim ushın tuwrı esaplanadı.

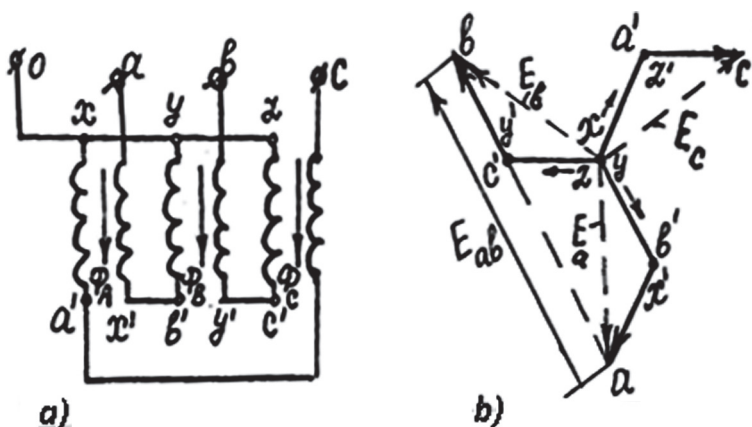
Ádette, úsh fazalı eki oramlı transformatordıń JK oramına jalǵanıw usılınıń shártli belgisi bólshek bólimi, PK oram bolsa bólshek alımı kórsetiledi (máselen, Y/Y, Y/ Δ , Y/Z). Úsh fazalı úsh oramlı transformatorlarda oramlardıń sxemaları JK/OK/PK izbe-izlikte, yamasa Y/Y/ Δ yamasa Y/ Δ / Δ kórinisinde belgilenedi.

Zigzag usılında jalǵangan ekilemshi oramlı ekige teń bólimge ajratılıp, magnit ótkizgishtiń hár túrli sterjenlerine jaylasadı

hám olar óz ara qarsı jalǵanadı. Bul jaǵdayda materiyalıq oram katushkanıń EQK vektorların geometriyalıq ayırıw nátiyjesinde payda bolatuǵın materiyalıq EQK, sol sebepli fazanı payda etiwshi hárqanday katushka EQKten $\sqrt{3}$ ese úlken boladı. (2.7. b-súwret).

Bul katushkalar sáykes ráwishte jalǵanǵan bolsa, materiyalıq oram katushkalarınń EQKleri geometriyalıq qosılıp, nátiyjeli EQK az bolıwınan ámelde katushkalardı keri jalǵaydı.

Keri jalǵanǵan katushkalardaǵı nátiyjeli EQK normal materiyalıq oramlardıń EQK ($E_f = 2E'_f$)ne qaraǵanda $2/\sqrt{3}=1,15$ ese kishi bolıwınan (E'_f — bir katushkanıń EQK) oram «Z» sxemasına jalǵanǵanda kerekli EQK E_f ti alıw ushın oraw sımı 15% kóp sarplanadı. Bul bolsa onıń kemshiligi esaplanadı.



2.7-súwret. Transformatordıń PK oramı katushkaları óz ara qarsı jalǵanǵan «zigzag» jalǵanıwınıń ámeliy sxeması (a) hám oǵan tiyisli EQKler vektor diagramması (b).

PK oramlı «Z» sxemasına jalǵanǵan transformator tómendegi unamlı ózgesheliklerge iye boladı:

1) simmetriksiz júklemede kernewdıń waqıt boyınsha ózgeriw forması transformator sald islegendegi PK oram kernew formasına jaqın boladı, demek, materiyalıq kernewler forması derlik ózgermeydi;

2) teń jelkeli zigzagta PK oramnan $1:\sqrt{3}:3$ arqalı úsh kernew alıw múmkin. Máselen, materiyalıq oramnıń járdeminde (bir jelkede) — $\underline{U}'_f = 127 \text{ V}$, bir materiyalıq oramda $\underline{U}_f = \underline{U}'_f + \underline{U}''_f 220 \text{ V}$ (bunda $\underline{U}''_f$ — PK oramnıń basqa faza tásirindegi ekinshi jelke kernew) de fazalar aralıq (liniyalıq) kernewler bolsa $U = \sqrt{3} \ U_f = 380 \text{ V}$ boladı.

PK oramı «Z» sxemasına tuwrıláp tayarlangan úsh fazalı kúsh transformatorları óndiriste simmetriksiz jüklemenıń táhiri kúshli bolğan tarawlarda (máselen, tuwrılağısh qurılmalarında hám b.) materiyalıq kernewler formasınıń derlik ózgermeytuǵınlıǵı úlken nátiye esaplanadı.

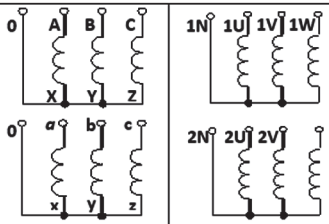
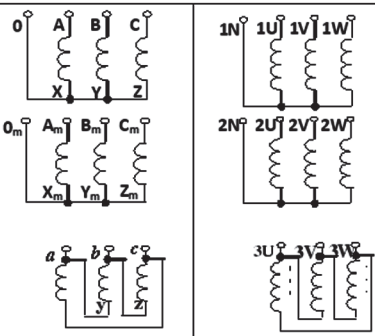
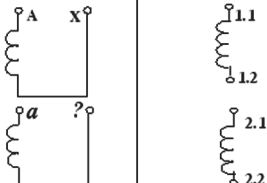
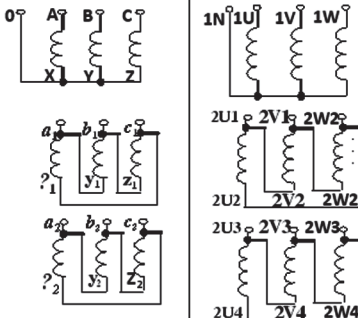
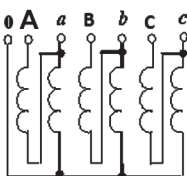
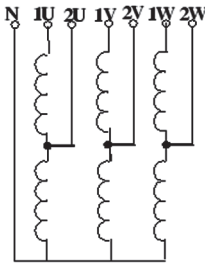
Materiyalıq oram ushlarınıń belgileniwi. Aldıńǵı standart usınısı menen bir materiyalı eki oramlı transformatorda: JK oramnıń bası hám aqırǵı ushları tiyisli — «A» hám «X», PK oramlı bolsa «a» hám «x» latin háripleri menen belgilengen; bir fazalı úsh oramlı transformatorda bolsa orta kernewli (OK) oramanıń bası hám aqırǵı ushlarına tiyisli — A_m hám X_m indeksli háripleri menen belgilengen.

Úsh fazalı eki oramlı transformatorda: JK faza oramlarınıń bası hám aqırǵı ushlarına tiyisli — «A», «V», «S» hám «X», «Y», «Z»; PK faza oramlarınıń bası hám aqırǵı ushları — «a», «v», «s» hám «x», «y», «z» háripleri menen belgilengen.

Úsh fazalı úsh oramlı transformatordıń orta kernewli (OK) faza oramlarınıń bas ushları — A_m , V_m , S_m hám aqırǵı ushları tiyisli — X_m , Y_m , Z_m háripleri menen belgilengen. Eger «juldız» jalǵanıw sxemasında neytral kósherden jalǵawshı shıǵarılǵan bolsa, joqarı hám pás kernewlerde «0», orta kernewde bolsa — «0_m». Bunda oram jalǵanıw sxemasınıń háripleri arqalı belgileniwine «N» indeksine (Y_N) qoyılǵan.

Transformator oramları ushlarınıń jańasha belgileniwi. GOST 11677–85 hám oǵan kiritilgen № 1, 2, 3, 4 ózǵertiriwler boyınsha transformator hám avtotransformator oramları ushlarınıń aldınǵı belgileniwi ornına dúnya júzilik elektrotexnikalıq komissiya talapların qanaatlandıratuǵın jańasha belgileniw qabıl etilgen. Buǵan tiyisli úlqiler 2.1-kestede aldınǵı hám jańa belgileniwler arqalı kóriniste keltirilgen.

2.1-keste. Transformator oramları ushlariniñ belgileniwine tiyisli ülgiler usınıslar (GOST 11677–85 hám oğan kiritilgen № 1, 2, 3, 4 ózgerisler tiykarında)

.01.1987 j. shekem islep shıǵarılǵan (Aldıńǵı)	1.01.1987 j. dan keyin islep shıǵarılǵan (Jańa)	Aldıńǵı Belgileniwi	Jańa Belgileniwi
1) Úsh fazalı eki oramlı 		3) Úsh fazalı úsh oramlı 	
2) Bir fazalı eki oramlı 		4) Úsh fazalı eki oramlı Avtotransformator	
Úsh fazalı PK oramı teń $(U_{11} = U_{22})$ 			

Materiyalıq oramlardıń oralıw baǵdarların anıqlaw. Transformator materiyalıq oramlardıń oralıw baǵdarların anıqlaw hám olardıń ushların belgilew óndiris ushın úlken áhmiyetke iye.

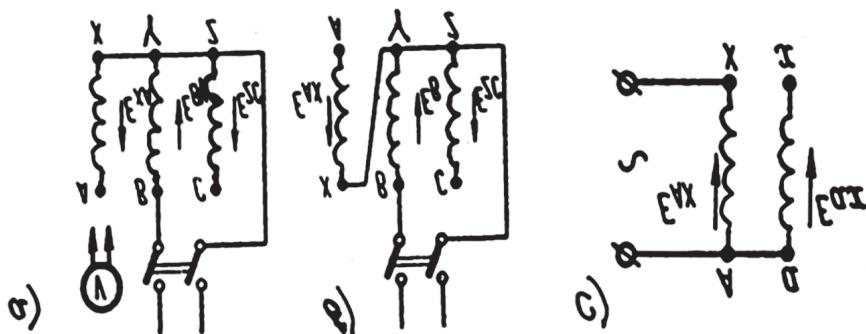
Óndiris ushın usınıslar. Oralıw baǵdarın anıqlawda materiyalıq oramdı ápiwayı katushka dep qaraladı. Katushkalar oń hám shep baǵdarlarda oralıwı múmkin.

Transformator materiyalıq oramlardıń oralıw baǵdarların tuwrı tańlaw bir fazalı kúsh transformatorlarınıń hár túrli ózeklerinde jaylasqan oram bólimlerin tuwrı jalǵaw da úsh fazalı transformator oramlarınıń berilgen jalǵanıw toparın alıwda arnawlı áhmiyetke iye boladı.

Katushka ushlarınıń belgileniwin óz ara almasırw onıń oralıw baǵdarların keri ózgerttiriw menen birdey esaplanadı.

Oram ushlarınıń belgileniwin tájiriybede tekseriw. Transformator oramlarınıń jalǵanıw toparın anıqlawda materiyalıq oram ushları belgileniwin tekseriw áhmiyetli esaplanadı.

Bunı anıqlaw ushın dáslep JK oramdı «juldız» sxeması boyınsha jalǵap (2.8, a-súwret), BY materiyalıq oramǵa páseytirilgen ózgermeli tok kernewi beriledi hám U_{BY} , E_{AX} , U_{AB} , U_{BC} kernewler hám EQK ler ólshenedi.



2.8-súwret. Transformatordıń JK oram ushları durıs (a) hám nadurıs (b) belgilengenı ushın hám de oram ushları belgileniwin tájiriybede tekseriw ushın (c) sxemalar.

Bul jaǵdayda magnit ótkizgishiniń shetki ózeklerindegi magnit aǵım orta ózek magnit aǵımınıń yarımına teń, demek, AX hám CZ materiyalıq oramlarında payda bolǵan EQK muǵdarı esabınan orta ózektegi BY materiyalıq oram EQK tıń («kernewi»nıń dese de boladı, sebebi $U_{BY} \approx E_{BY}$) yarımına teń. Oram ushları tuwrı tańlanganda A hám V yamasa V hám S klemmalarına jalǵanǵan voltmetr orta (BY) hám shetki materiyalıq oramlardan birewin (AX yamasa CZ) payda bolǵan EQK (kernew)leriniń jıyındısı, yamasa $U_{AB} = U_{BC} = U_{BY}$ ge teń bolǵan kernewdi kórsetedi.

Qadaǵalaw ushın sorawlar:

1. Magnit ótkizgishiniń dúzilisi hám áhmiyeti nelerden ibarat?
2. Magnit ótkizgishi ulıwmalıq bolǵan úsh fazalı transformatordıń magnit sisteması qanday payda etilgen?
3. Ne ushın vintli oramlardıń sımları transpoziciya etiledi?

3-BAP. TRANSFORMATORDIŇ SALD ISLEW REJIMINDEGI ELEKTROMAGNIT PROCESLER

3.1. Elektromagnit indukciya qubılısı, transformatordıń islew principi hám elektr júrgiziwshi kúshleri

Elektromagnit indukciya qubılısı transformator teoriyasınıń tiykarın payda etedi. Elektromagnit indukciya qubılısı eki formada ańlatıladı:

1) Faradey ańlatpası. «Waqıt boyınsha turaqlı bolǵan magnit maydan kúsh sıızqların qanday da bir tezlik penen kesip ótip atırǵan ótkizgishte payda bolǵan EQK tıń mánisi magnit indukciya V ǵa, ótkizgish uzınlıǵı l ge hám onıń háreket tezligi v ǵa tuwrı proporcional boladı, yamasa

$$E = lv.$$

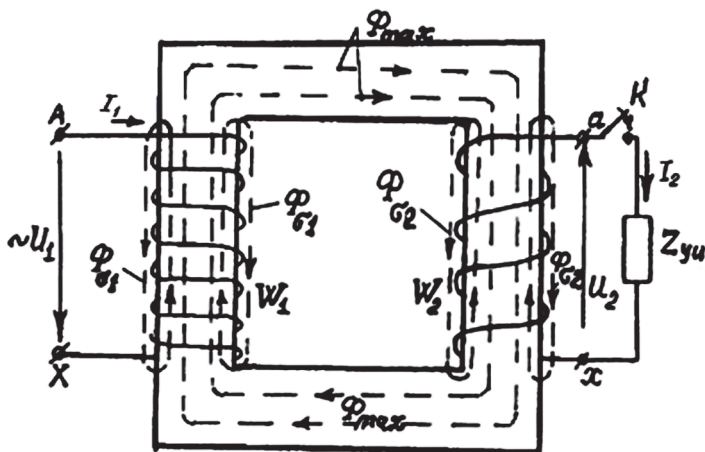
2) Maksvell ańlatpası. «Magnit aǵımı menen ilesken jabıq ótkizgishtegi EQK tıń mánisi magnit aǵımın ózgeriw tezliginiń ólshemine teń, yamasa

$$E = -dF/dt.$$

[**Esletpe:** Bundaǵı EQK nıń baǵdarı rus alımı Lens jaratqan qaǵıyda boyınsha anıqlanadı, yaǵnıy jawıq ótkizgish penen ilesetuǵın magnit aǵım $(dF/dt) > 0$ bolǵanda jawıq ótkizgishte júzege keletuǵın EQK tıń belgisi «minus» bolıp, $(dF/dt) < 0$ bolǵanda bolsa onıń belgisi «plyus» boladı].

3.1-súwrette ápiwayı bir fazalı eki oramlı kernewdi páseytti-riwshi transformator magnit ótkizgish hám onıń ózeklerine jaylastırılǵan oramlar sanı w_1 bolǵan JK (birlemshi) hám oramlar sanı w_2 bolǵan PK oramların táriyiplew ańsat bolıwı ushın olar hár túrli ózekte jaylastırılǵan jaǵdayda kórsetilgen. Real transformatorlarda magnit proporcional jaqsı támiyinlew ushın PK hám JK oramlar bir ózekte jaylastırıladı.

Islew principı. Transformator tek ózgermeli tok shınjırında isley aladı, turaqlı tokda bolsa $dF/dt = 0$ bolǵanlıǵınan oramlarda EQK júzege kelmeydi.



3.1-súwret. Bir fazalı transformatordıń elektromagnit sxeması.

Ekilemshi oramı jüklemge jalğanbağan transformatordıń birlemshi oramı özgermeli tok dereğine qosılsa, birlemshi oramnan sald islew toǵı $I_1 = I_0$ ótedi. Onıń reaktiv payda etiwshisi $I_{0,r} \approx I_0$ usı oramda magnit júritiwshi kúsh (MJK) $I_{0,r\omega_1}$ ti júzege keltirip, ol bolsa óz náwbetinde, tiykarǵı (F) hám siyrek (F_{σ_1}) bólimlerden ibarat dep qaralatuǵın özgermeli magnit aǵımın payda etedi (F_{σ_1} tolıq magnit aǵımınıń $0,1 \div 0,25\%$ payda etedi).

Sald islep atırǵan transformatordıń EQK leri. Tiykarǵı magnit aǵımı F tıń kúsh sızıqları birlemshi hám ekilemshi oramaları menen ilesip elektromagnit indukciya qubılısına tiykarlanıp birlemshi oramda óz indukciya EQK e_1 hám ekilemshi oramda óz ara indukciya EQK E_2 lerdı payda etedi. Olardıń keń mánisleri Maksvell tárepinen elektromagnit indukciya qubılısına jańasha táriyilep kiritilgen formulası boyınsha anıqlanadı:

$$e_1 = -w_1(dF/dt) = -d\psi_1/dt; \quad e_2 = -w_2(dF/dt) = -d\psi_2/dt, \quad (3.1)$$

bunda: $\psi_1 = w_1 F$; $\psi_2 = w_2 F$ —tiyisli birlemshi hám ekilemshi oram magnit aǵımı ilesiwleri, [Vb].

Magnit aǵımınıń sinusoidal bolǵandaǵı $F = F_{\max} \sin \omega t$ mánisi (3.1)ne qoyıp differenciyalanǵannan keyin, $\cos \omega t = -\sin(\omega t - \pi/2)$ ekenligi esapqa alınsa, tómendegi natıyje kelip shıǵadı:

$$\left. \begin{aligned} e_1 &= \omega w_1 F_{\max} \sin(\omega t - \pi/2) = E_{1\max} \sin(\omega t - \pi/2); \\ e_2 &= \omega w_2 F_{\max} \sin(\omega t - \pi/2) = E_{2\max} \sin(\omega t - \pi/2), \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

bul jerde: $E_{1\max} = \omega w_1 F_{\max}$ hám $E_{2\max} = \omega w_2 F_{\max}$ —tiyisli birlemshi hám ekilemshi orama EQK leriniń maksimal mánisleri, [V].

(3.2) den tómendegi juwmaq kelip shıǵadı. Transformator oramlarındaǵı payda bolǵan E_1 hám E_2 EQK lerdıń waqıt boyınsha ózgeriw fazası magnit aǵım $F_{\max}$ nan $\pi/2$ múyeshke keshigedi, yamasa 90° qa arqada qaladı.

Elektrotexnikanıń teoriyalıq tiykarlarında belgili bolǵanday, (3.2) tegi sinusoidal formada ózgerip atırǵan EQK óziniń

maksimal mánisine $\sin(\omega t - \pi/2) = 1$ de erisedi. EQK lerdin maksimal ($E_{1\max}$ hám $E_{2\max}$) mánislerin $\sqrt{2}$ ge bolip, (3.2) ke $\omega = 2\pi f$ qoyılsa, EQK lerdin tásir etiwshi effektiv mánislerin anıqlaw formulalarına iye bolamız:

$$\left. \begin{aligned} E_1 &= E_{1\max}/\sqrt{2} = (2\pi/\sqrt{2}) \cdot f w_1 F_{\max} = 4,44f w_1 F_{\max}; \\ E_2 &= E_{2\max}/\sqrt{2} = (2\pi/\sqrt{2}) \cdot f w_2 F_{\max} = 4,44f w_2 F_{\max}. \end{aligned} \right\} \quad (3.3)$$

Siyrek magnit agım kúsh sıızqları tiykarınan magnit qarsılıǵı úlken bolǵan hawa, may, oramlarınıń mıs yamasa alyuminiy sımlarında izolyaciýalar arqalı tutasqanlıǵınan ol usı oram MQK ine tiyisli ráwishte ózgeredi.

Siyrek magnit agımı $F_{\sigma 1}$ kúsh sıızqları tek birlemshi oramları menen baylanısqa jaǵdaydaǵı agım ilesiw ($\Psi_{\sigma 1} = F_{\sigma 1} w_1$) arqalı olarda EQK $E_{\sigma 1}$ payda etedi. Onıń keń mánisi tómendegige teń:

$$e_{\sigma 1} = -w_1(dF_{\sigma 1}/dt) = -d\Psi_{\sigma 1}/dt. \quad (3.4)$$

Ol reaktiv xarakterge iye bolıp, tok i_0 ge biraz 90° ta arqada qaladı.

Siyrek EQK ($e_{\sigma 1}$) tın mánisi oramdaǵı elektr tokqa tiyisli ráwishte ózgeredi. Sol sebepli usı EQK ti oǵan ekvivalent bolǵan kernew túsiwi arqalı belgileniwi múmkin. Onıń joqarı $E_{\sigma 1}$ hám tásir etiwshi $E_{\sigma 1}$ mánisleri tómendegishe anıqlanadı:

$$e_{\sigma 1} = -j i_0 x_1; \quad E_{\sigma 1} = -j I_0 x_1, \quad (3.5)$$

bunda: x_1 — siyrek magnit agım sebepli JK oramda payda bolatuǵın induktiv qarsılıq.

Sald islew rejimi ushın (indeks «0») kernewi hám EQK ler teń salmaqlılıq teńlemesi tómendegishe jazıladı:

$$U_{1,0} = -E_1 + I_0 x_1 + I_0 r_1. \quad (3.6)$$

Kúsh transformatorınıń sald islewinde birlemshi oramdaǵı kernew túsiwi $\Delta U = j I_0 \cdot x_1 + I_0 \cdot r_1$ kernew U_{1N} nıń 0,5% artpa-

ğanlıgınan olardı itibargá almağan jaǵdayda, (3.6) ni tómendegishe jazıw múmkin:

$$U_{1.0} \approx -E_1 = w_1 dF/dt. \quad (3.7)$$

Bunnan: oramǵa berilgen kernew U_1 usı oramda payda bolǵan EQK E_1 ke massa tárepten teń, faza tárepten bolsa 180° qa jılıǵanlıǵı kelip shıǵadı.

Kernew hám EQK ler tásir etiwshi mánislerin massa tárepten analiz etilgen jaǵdaylarda $U_1 \approx E_1$ dep esaplaw múmkin boladı.

Transformator sald islegende ($I_2=0$) ekilemshi orama kernewi $U_{2.0}=E_2$ boladı. Demek,

$$U_{1.0} \approx E_1; \quad U_{2.0}=E_2. \quad (3.8)$$

Bunnan, (3.3) in de esapqa alǵan jaǵdayda tómendegi salıstırmaı teńlikti jazıw múmkin:

$$U_{1.0}/U_{2.0} \approx E_1/E_2 = w_1/w_2. \quad (3.9)$$

Bul salıstırmanı **transformaciyalaw koefficienti** (k) delinedi.

(3.9) teń ámeliy áhmiyetke iye bolǵan tómendegi juwmaq kelip shıǵadı: eger U_1 ge kernew berilgen bolsa oramlarınıń w_1 hám w_2 oramlar sanın tańlaw jolı menen kernew U_2 dıń zárúrli mánislerin alıw múmkin eken.

Transformaciyalaw koefficienti GOST boyınsha tómendegishe anıqlanadı:

$$k = E_{JK}/E_{PK} = w_{JK}/w_{RK} \approx U_{JK}/U_{PK}, \quad (3.10)$$

bundaǵı U_{JK} hám U_{PK} kernewler sald islew rejiminiń nominal mánisleri esaplanadı.

Real transformatordıń sald islew rejimin xarakterleytuǵın teńlemelerin waqıt boyınsha sinusoidal formadaǵı ózgerip atırǵan kernew, EQK hám toklar ushın kompleks formada tómendegishe jazıladı:

$$\left. \begin{aligned} \underline{U}_1 &= \underline{E}_1 + j \underline{I}_0 \cdot x_1 + \underline{I}_0 \cdot r_1, \\ \underline{U}_{2.0} &= \underline{E}_2, \\ \underline{I}_1 &= \underline{I}_0 = \underline{I}_{0,r} + \underline{I}_{0,a}. \end{aligned} \right\} \quad (3.11)$$

Áhmiyetli juwmaq. Sald islewde transformator arqalı elektr energiya jetkerilmeydı. Bunday rejimde onıń ekilemshi oram jiyiligi birdey, kernewiniń mánisi bolsa basqa ($E_2 = U_{2.0}$) bolǵan ózgermeli tok deregi wazıypasın orınlaw múmkin.

3.2. Úsh fazalı transformatorlar sald islew rejiminiń ózine tán ózgeshelikleri

3.1-bólimde bayan etilgen ulıwmalıq maqsetli bir fazalı transformatordıń teoriyası úsh fazalıda da simmetriyalı rejimi ushın tiykar bola aladı.

Ulıwmalıq jaǵdayda transformator oramlarındaǵı EQK hám toklarınıń waqıt boyınsha ózgeriwi sinusoidsız bolǵanlıǵınan tómendegi analizlerde 1-garmonika hám joqarı garmonikalardan eń úlken mániske iye bolǵanı tek 3-garmonikanıń tásiiri kórip shıǵıladı.

[Esletpe: garmonikalar tártibin kishi qawıs ishine alınǵan «(1)» yamasa «(3)» indeksler arqalı belgilengen].

EQK tıń birinshi garmonikaları:

$$\begin{aligned} e_{A(1)} &= E_{(1)\max} \sin \omega t, \\ e_{B(1)} &= E_{(1)\max} \sin (\omega t - 120^\circ), \\ e_{C(1)} &= E_{(1)\max} \sin (\omega t + 120^\circ) \end{aligned} \quad (3.12)$$

hám 3-garmonikaları:

$$\begin{aligned} e_{A(3)} &= E_{(3)\max} \sin 3\omega t, \\ e_{B(3)} &= E_{(3)\max} \sin (\omega t - 120^\circ) = E_{(3)\max} \sin 3\omega t, \\ e_{C(3)} &= E_{(3)\max} \sin (\omega t + 120^\circ) = E_{(3)\max} \sin 3\omega t. \end{aligned} \quad (3.13)$$

(3.13) nen kórinisinde, EQK lerdıń 3-garmonikaları barlıq fazalarda mánisi tárepten óz ara teń hám birdey baǵdarlangan.

EQK 3-garmonikasınıń transformator ishine tásiiri materiyalıq oramlarınıń jalǵanıw sxemasına baylanıslı boladı. Eger

úsh fazalı transformatordıń birlemshi (máseleń, JK) oramı «jıldız» sxemasına jalǵanǵan bolsa materiyalıq EQK leriniń 3-garmonikası liniyalıq EQK leriniń 3-garmonikasın payda etpeydi, sebebi «jıldız» sxemasında úshinshi hám úsh eseli garmonikalar «jıldız»ın payda etiwshi eki [1) A-X-Y-V hám 2) V-Y-Z-C] konturınıń hár qaysısı óz ara qarama-qarsı tásir etedi, yamasa materiyalıq EQK leriniń 3-garmonikaları úsh fazada da birdey baǵdarlanǵan bolǵanı ushın olardan qálegen juplıqtıń ayırması 0 ge teń boladı.

Transformator liniyalıq EQK leriniń ózgeriwliginde 3-garmonikalar bolmaǵanlıǵınan, olar liniyalıq kernew U_1 lardıń waqıt boyınsha ózgeriw formada da, tikkeley, liniyalıq (I_1) ham fazalıq (I_{f1}) toklarınıń ózgeriw formasında bolmaydı.

Magnitlewshi tok $I_{0,r}$ iniń waqıt boyınsha ózgeriw formasında 3-garmonika ($I_{0,r(3)}$)nıń joqlıǵı onı sinusoidal formaǵa jaqınlastıradı, sebebi 5 hám 7-garmonikalardıń amplitudası 1-garmonika amplitudasına qaraǵanda ádewir kishi hám de 5-garmonika keri izbe-izligin payda etedi. Bul jaǵday magnit aǵımı F tıń waqıt boyınsha ózgeriw formasın sinusoidsiz etedi, yamasa onıń quramında 3-garmonika boladı.

3-garmonika magnit aǵımları faza tárepten bir-birine teń bolǵanlıǵı sebepli úsh sterjenli magnit ótkizgishte tutasa almaydı. Bul aǵımlar transformatordı suwıtw sıpatında isletetuǵın ortalıq arqalı hám transformator baginiń metall diywalları arqalı tutasadı. Olar ótetuǵın jolınıń magnit qarsılıǵı úlken bolǵanlıǵı sebepli mánisi kishi boladı. Magnit aǵımınıń 3-garmonikası $F_{0(3)}$ transformator bagi diywallarında úyirma toktı júzege keltirip qosımsha sarplardı payda etedi. Máseleń, magnit indukciya $V=1,4$ T bolsa bul sarplar magnit ótkizgishtegi sarplardıń 10% in, $V=1,6$ T bolǵanda bolsa $50 \div 65\%$ payda etip, bul jaǵdayda transformatordıń artıqsha qızıwı óndiris ushın unamsız jaǵday esaplanadı.

Úsh fazalı transformatordıń birlemshi oramı «úshmúyesh» sxemasına jalǵanǵanda EQK tıń 3-garmonikaları úsh fazalı oramada teń tásir etip, usı oramalardıń jabıq konturında toktıń 3-garmonikasın payda etedi. Sald islew toginde 3-garmonikası

bolsa, ol jaǵdayda magnit aǵımınıń ózgeriw formasında, tiykarınan, E_1 hám E_2 EQK lerdiń waqıt boyınsha ózgeriw forması sinusoidaǵa jaqınlasadı.

Oramları Y/Y jalǵanǵan úsh fazalı transformatordıń sald islewı. Sald islew rejiminde transformatordıń birlemshi oramına sinusoidal kernew $u_1 = U_{1m} \sin \omega t$ berilgende júzege keletuǵın magnit aǵım hám payda bolatuǵın EQK E_1 hám sinusoidal formada ózgeredi. Bul jaǵdayda sald islew toginiń quramında 1-garmonikadan tısqarı joqarı garmonikalar (olardan eń úlkeni 3-garmonika) da boladı.

Eger oramalar Y sxemasına jalǵanǵanda sald islew toginiń waqıt boyınsha ózgeriw forması 3-garmonikada bolmasa magnit aǵımı sinusoidsız bolıp, bul jaǵdayda gruppalanǵan transformatorıda magnit sisteması ulıwmalıq bolǵan úsh fazalı transformatorıda hár túrli tásir kórsetedi.

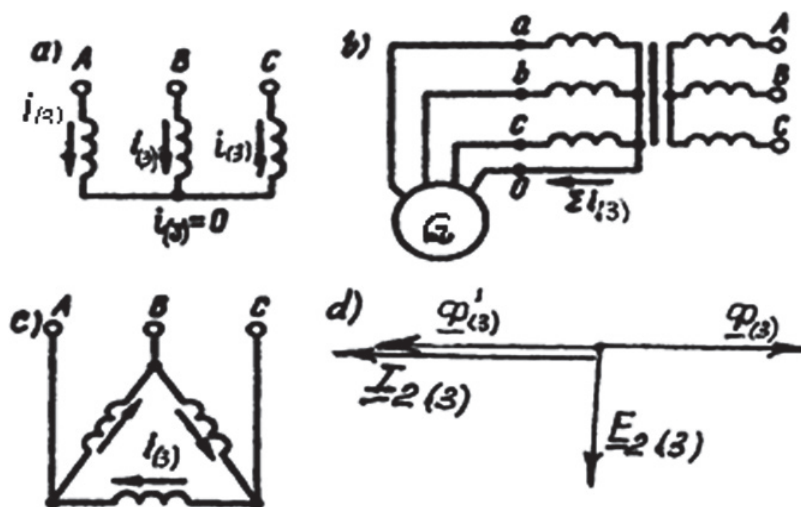
Gruppalanǵan transformatorıda magnit sistema hár fazada erkin bolǵanlıǵınan magnit aǵımınıń 3-garmonikası $F_{(3)}$ tap usı aǵımınıń 1-garmonikası $F_{(1)}$ ke uqsap magnit ótkizgish arqalı tutasadı hám usı sebepli $F_{(3)}$ tıń mánisi úlken bolıp $F_{(1)}$ tıń $15 \div 20\%$ jetedi.

Ádette, transformatorlarda magnit sisteması toyınǵan boldı, bunda $E_{(1)}$ hám $E_{(3)}$ EQK ler qosılıp, fazalıq EQK tıń joqarı mánisi (ϵ) $40 \div 50\%$, tásir etiwshi (E) mánisin bolsa $10 \div 8\%$ artadı. EQK tıń bunday artıwı ayırım jaǵdaylarda qáwipli esaplanadı. Sol sebepli gruppalanǵan transformatorlarda Y/Y jalǵanıw sxeması isletilmeydi.

Oramaları Y/Y jalǵanǵan transformatordıń fazalıq JK dıń kórinisi keskin ózgerse de liniyalıq EQK te 3-garmonika bolmay, sinusoidalǵa jaqın kóriniste qaladı.

Transformator oramları «úshmúyesh-juldız» yamasa «juldız-úshmúyesh» sxemalarına jalǵanǵanda transformatordıń sald islewı. «Juldız» sxemasına jalǵanǵanda sald islew togi quramında onıń 3-garmonikası $I_{0r(3)}$ bolmaydı (3.2, a -súwret hám sald islew toginiń ózgeriw kórinisi sinusoidaǵa jaqın boladı, nátiyjede magnit aǵımınıń waqıt boyınsha ózgeriw forması sinusoidsız boladı.

Sol sebepli magnet ağıminın tiykarǵı payda etiwshisi (1-garmonikası)nen tısqarı onıń joqarı garmonikaları da boladı.



3.2-súwret. Oramlarınń hár túrli jalǵanıw sxemalarında toklardıń 3-garmonikaları: a) – «juldız»; b) – «neytral sımı shıǵarılgan juldız» hám c) «úshmüyesh» sxemalarındaǵı baǵdarları; d) – transformatordıń qálegen oramınıń «úshmüyesh» sxemasına jalǵanǵan jaǵday ushın vektor diagramma.

Magnet ağıminıń 3-garmonikası $\underline{E}_{(3)}$ transformatordıń eki-lemshi oramı «úshmüyeshlik» sxeması boyınsha jalǵanǵanda, onıń hárbir fazasında $\underline{E}_{(3)}$ tıń 90° arqada qalatıǵın EQK tıń 3-garmonikası $\underline{E}_{2(3)}$ ti payda etedi. Bul EQK tásirinde usı oramada júzege keletıǵın toktıń 3-garmonikası $\underline{I}_{2(3)}$ EQK $\underline{E}_{2(3)}$ tıń faza tárepten derlik 90° da arqada qaladı hám úsh faza-da da baǵdarı birdey bolǵanlıǵınan jabıq shınjır boyınsha háreket etedi (3.2,s-súwret). Bul toktıń arqada qalıwına eki-lemshi oramnıń konturı úlken induktiv qarsılıqqa iyeligı sebep boladı. Tok $\underline{I}_{2(3)}$ nıń vektorı magnet aǵımı vektorı $\underline{E}_{(3)}$ ti derlik qarama-qarsı baǵdarlanǵanlıǵı sebepli (3.2,d-súwret) $\underline{I}_{2(3)}$

payda bolgan magnit agımı $\underline{F}_{(3)}$ tın bağdarı usı tok vektori boyınsha bağdarlanıp, tiykarǵı agımınıń 3-garmonikası $\underline{F}_{(3)}$ ti teńlestiredi. Bul bolsa magnit ótkizgishtegi tiykarǵı nátiyjeli agım hám fazalıq oramlarındaǵı EQK lerdin formasın sinusoidaǵa jaqınlastıradı. Solay etip, transformator oramlarınan birewin «úshmúyeshlik» sxeması boyınsha jalǵanganda magnit agımı hám EQK 3-garmonikalarınıń zıyanlı tásirinen saqlaydı.

3.3. Sald islew tájiriybesi hám xarakteristikaları

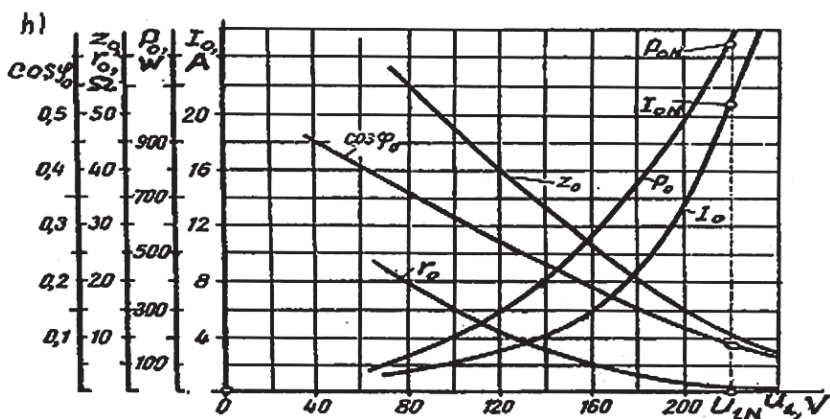
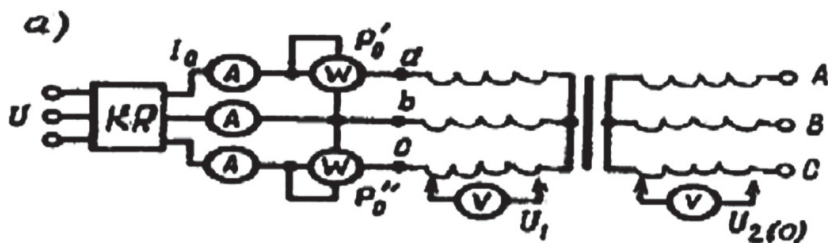
Birlemshi oramı sinusoidal kernew $[u_1 = U_{(1)\max} \cdot \sin \omega t]$ ge jalǵangan transformator din ferromagnit ózeginde magnit agımı sinusoidal ($F = F_{1\max} \cdot \sin \omega t$) ózgerse de ferromagnit ózeginin magnit toyınıwı sebepli onın magnitleniw xarakteristikası iyrek sıızıqlı bolǵanı sebepli magnitlewshi tok $I_{0,r}$ tın waqıt boyınsha ózgeriwi $I_{0,r} = f(\omega t)$ sinusoidal bolmaydı.

Sald islew tájiriybesi ekilemshi oramına júkleme jalǵanbaǵan ($I_2 = 0$) jaǵdayda 3.3, a-súwret kórsetilgen sxema boyınsha ótkiziledi. Transformator din bir oramına retlegish járdeminde beriletuǵın kernew U_1 di 0 den $U_1 = 1,2 U_{1N}$ mánisine shekem asırıp kernew U_1 , sald islew toǵı I_0 hám sald islew quwatlılıǵı R_0 ólshep alınadı hám olarǵa tiykarınan quwatlılıq koefficienti $\cos \varphi_0$ esaplanadı.

Tájiriybeden alınǵan hám esaplangan maǵlıwmatlar tiykarında qurılǵan $I_0 = f(U_1)$, $R_0 = f(U_1)$ hám $\cos \varphi_0 = f(U_1)$ baylanısların sald islew xarakteristikaları delinedi (3.3, b-súwret).

Úsh fazalı transformator da U_1 hám I_0 lardin mánisleri hár qaysı faza ushın bólek ólshep alınadı hám olardin ortasha mánisleri boyınsha sald islew xarakteristikaları qurıladı.

Ózekleri bir tegislikte jaylasqan transformator fazalarındaǵı sald islew tokları birdey bolmaydı, nege degende orta fazadaǵı magnit agım kúsh sıızıqları ótetuǵın aralıq, shetki fazalarınıń sonday aralıqlarına qaraǵanda az (2.1, c-súwret). Sol sebepli orta sterjende jaylasqan fazanın MJK hám toǵı $I_{0,V}$ shettegi fazalarǵa salıstırǵanda az ($I_{0,V} < I_{0,A} = I_{0,S}$) boladı.



3,3-súvret. Quwatlılıǵı $S_N = 100 \text{ kV}\cdot\text{A}$; $U_{1n}/U_{2n} = 6,3 / 0,22 \text{ kV}$; oramları Y/Y jalǵanǵan, úsh fazalı transformatordıń sald islew tájiriýbesin ótkiziw sxeması (a) hám sald islew xarakteristikası (b); KR kernewdiń retlegishi.

$I_0 = f(U_1)$. Transformatorǵa berilgen kernew U_1 arttırılıwı menen onıń magnit aǵımı F artadı, sebebi $U_1 \approx E_1 = 4,44 f w_1 F_{\max}$.

Kernewdiń kem mánislerinde magnit shıńır toyınbaǵan bolıp, tok kúshi I_0 tuwrı sıızıqlı ózgeredi. Kernewdiń $U_1 = (0,5 \div 0,6) U_{1n}$ mánislerinen baslap magnit ótkizgish toyına basladı hám sol sebepli transformatordıń Z_0 , x_0 hám $r_0 \approx r_m$ qarsılıqları kemeyip baradı. Nátiýjede, sald islew toginiń reaktiv payda etiwshisi $I_{0,r}$ kernew U_1 ge qaraǵanda tez artadı. (3,3, b-súvret).

Sald islew togi I_0 reaktiv ($I_{0,r}$) hám de aktiv ($I_{0,a}$) payda etiwshilerden ibarat boladı: $I_0 = I_{0,a} + I_{0,r}$. Ádette, kúsh transformatorlarında $I_0 < 0,08 I_{1N}$, onıń aktiv payda etiwshisi $I_{0,a}$ bolsa I_0 dıń $10 \div 0,5$ % payda etedi. Kúsh transformatorlarınıń nominal quwatlılıqları artqan sayın I_0 dıń nominal tokqa qaraǵanda % mánisleri kemeyip baradı.

$R_0 = f(U_1)$. Sald islep atqan transformator birlemshi oramlarınıń togi hám elektr sarpları júdá azlıǵınan birlemshi oramdaǵı elektr sarıpların itibarǵa almaǵanda, transformatorǵa berilgen aktiv quwatlılıq magnit ótkizgishtegi gisterezis hám úyirma toklar sebepli júzege keletuǵın magnit sarpların qaplawǵa sarplanadı, dep esaplanadı.

Magnit ótkizgishtegi sarplar $R_m \sim V^2$ ǵa hám jiyiliginiń shama lap 1,3-dárejesine baylanıslı boladı. $U_1 = \text{const}$ hám $f = \text{const}$ bolǵanda, magnit sarplarınıń baylanıslılıǵın tómendegishe jazıw múmkin:

$$R_m \approx R_0 = \text{sonst.} \quad (3.14)$$

Quwatlılıǵı $10 \div 1000000$ kV·A bolǵan zamanagóy kúsh transformatorlarında sald islew sarpları nominal júklemedegi quwatlılıq sarplarına qaraǵanda tiyisli $1,5 \div 0,05\%$ in payda etse de, máwsimlik (kvartalnıy) júkleme menen islep atırǵan transformatordıń jıllıq paydalı jumıs koefficienti mánisine sezilerli tásir kórsetedi, sebebi sald islew xarakteristikaları júkleme mánisine baylanıslı bolmay, balkim $R_0 \sim U_1^2$ sebepli transformatordıń tarmaqqa jalǵanǵan waqtınıń dawamlılıǵına baylanıslı boladı.

Sald islew tájiriybesinde nominal kernew (U_{1N})ge tuwrı kelgen áhmiyetli parametrlerinen sald islew togi $I_{0,N}$ hám sarpları $P_{0,N}$ standart penen normalanǵan boladı.

$\cos \varphi_0 = f(U_1)$. Quwatlılıq koefficienti $\cos \varphi_0$ úsh fazalı transformator ushın tiyisli tómendegi formula boyınsha anıqlanadı:

$$\cos \varphi_0 = P_0 / (\sqrt{3} U_1 I_0), \quad (3.15)$$

bunda P_0 — úsh fazanıń aktiv quwatlılıǵı, W.

Sald islew rejimde magnit ótkizgishtiń toyınıwı artıp barǵan sayın I_0 dıń reaktiv payda etiwshisi $I_{0,r}$ kernewge qaraǵanda tez artıp, aktiv payda etiwshisi $I_{0,a}$ bolsa biraz ózgeredi. Nátiyjede, kernew $\underline{U}_1$ hám tok I_0 vektorları arasındaǵı múyesh Φ_0 artıwı sebepli $\cos\phi_0$ kemeyip baradı.

Sald islew tájiriyesinen alınǵan maǵlıwmatlar boyınsha transformator ushın arnawlı bolǵan parametrler U_{1N} degi mánisleri tiykarında anıqlanadı:

1) transformaciyalaw koefficienti $k \approx U_{1N}/U_{2,0}$, bunda U_{1N} — JK oram nominal kernewi; $U_{2,0}$ — birlemshi oram kernewi U_{1N} degi PK oram kernewi; 2) sald islew sarpları R'_0 ; 3) sald islew toginiń mánisleri $I_{0(\%)} = (I_0/I_{1N}) \cdot 100$; 4) magnitleniwshi shınjırdıń aktiv qarsılıǵı r_0 . Transformator dıń birlemshi oram aktiv qarsılıǵı r_1 magnitlewshi shınjırdıń esaplı aktiv qarsılıǵı r_m na qaraǵanda birneshe júz ese kishi ($r_m \gg r_1$) bolǵanı ushın $r_1 \approx 0$ dep esaplanǵanda $r_0 \approx r_m$ boladı.

Transformator magnitlewshi konturınıń tolıq Z_0 , esaplı aktiv $r_m \approx r_0$ hám induktiv x_0 qarsılıqları tómendegishe anıqlanadı:

a) birlemshi oramı «Y» sxemaǵa jalǵanǵan úsh fazalı transformator ushın:

$$\underline{Z}_0 = U_1 / (\sqrt{3} I_0), \quad r_0 = P_0 / (3 I_0^2), \quad x_0 = \sqrt{Z_0^2 - r_0^2}; \quad (3.16)$$

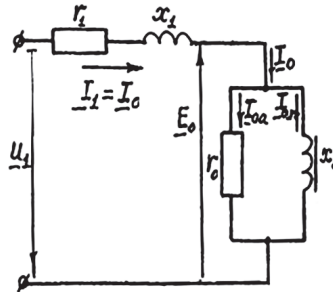
b) birlemshi oramı «Δ» sxemaǵa jalǵanǵan úsh fazalı transformator ushın:

$$\underline{Z}_0 = \sqrt{3} U_1 / I_0, \quad r_0 = P_0 / I_0^2, \quad x_0 = \sqrt{Z_0^2 - r_0^2}. \quad (3.17)$$

Transformator dıń sald islew rejimi ushın almasırw sxeması (3.4-súwret) teń kórinisinde, onıń Z_0 , r_0 , x_0 parametrleri tómendegi jıyındılardan ibarat boladı:

$$\underline{Z}_0 = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_m; \quad r_0 = r_1 + r_m; \quad x_0 = x_1 + x_m. \quad (3.18)$$

Transformator dıń birlemshi hám ekilemshi oramı qarsılıqları (r_1 hám r_2) tájiriye jolı menen oramlarına bólek-bólek turaqlı tok berip anıqlanadı.



3.4-súwret. Transformatorдың sald islew rejimi ushın almasıw sxeması.

Transformator oramlarınıń r_1 hám x_1 qarsılıqları onıń sald islew qarsılıqları (r_0 hám x_0) na qaraǵanda birneshe júz ese kishi boladı. Sol sebepli orta hám úlken quwatlılıqlı transformatorlardıń sald islewindegi almasıw sxema parametrlerin magnitlewshi kontur parametrlerine teń dep esaplaw múmkin, yaǵnıy:

$$\underline{Z}_0 \approx \underline{Z}_m; \quad r_0 \approx r_m; \quad x_0 \approx x_m.$$

Qadaǵalaw ushın sorawlar:

1. Transformatorдың islewi nege tiykarlangan?
2. Úsh fazalı transformatorlar sald islew rejiminiń ózine tán ózgeshelikleri nelerden ibarat?
3. Sald islew tájiriybesinen qanday parametrleri anıqlanadı?

4-BAP. SIMMETRIYALÍ JÚKLEME JALǴANǴAN TRANSFORMATORDAǴÍ ELEKTROMAGNIT PROCESLER

4.1. Lens qaǵıydası, júkleme jalǵanǵan transformatorдың teń salmaqılıq teńlemeleri

Eger transformatorдың ekilemshi oramına júkleme (Z_{ju}) jalǵansa (3.1-súwrette gılt «K» jalǵanǵan jaǵday), EQK E_2 tásirinde usı oramnan I_2 tok ótip, MQK $I_2 w_2$ in júzege keltiredi. Bul

MQK tiykargı magnit ağımasına keri tásir etiwden tısqarı kúsh sızıqları magnit emes jollar arqalı tek usı oramları menen ilesetuǵın siyrek magnit aǵımı F_{σ_2} ında payda etedi. Ekilemshi oram MQK $I_2 w_2$ nıń tiykargı magnit ağımasına kórsetetuǵın tásirin Lens qaǵıydası járdeminde túsindiriw múmkin.

Lens qaǵıydasınıń teoriiyası: «Ózgerip atırǵan magnit aǵımı ilesten jawıq ótkiziwshi kontur (shınıjr)da sonday baǵdardaǵı EQK payda etedi, onıń júzege keltirgen toǵı hám ol menen baylanıslı bolǵan mexanikalıq kúshler magnit aǵımınıń ózgeriwine keri tásir etedi».

Demek, eger ekilemshi oramǵa aktiv-induktiv júkleme jalǵansa, onnan ótip atırǵan toktıń reaktiv payda etiwshisi I_{2r} júzege keltirgen MQK $I_{2r} w_2$ transformatordıń birlemshi oramǵa MQK $I_0 w_1$ keri baǵdarlangan bolıp, tiykargı magnit aǵımı F ti kemeyttiriwge, aktiv-sıyımlılıqlı júklemede bolsa $I_0 w_1$ ge teń baǵdarlangan bolıp, tiykargı magnit aǵımın arttırıwǵa háreketlenedi.

Aktiv-induktiv júklemede nátiyjeli aǵımınıń kemeyiwi birlemshi oramda EQK E_1 dıń kemeyiwine alıp keledi. Nátiyjede, elektr tarmaǵınıń kernewi $U_1 = U_{1N} = \text{const}$ bolǵanlıǵınan $U_1 - E_1 = \Delta E$ sebepli payda bolǵan birlemshi oramdaǵı toktıń mánisi I_0 den I_1 shekem, yamasa júkleme toginiń magnitsizlewshi tásiri tolı kompensaciya bolǵanǵa deyin artıwına sebepshi boladı hám nátiyjede transformatordaǵı magnit aǵım óziniń dástlepki mánisine shamalap teńlesedi.

Solay etip, ekilemshi oramǵa júkleme jalǵangan transformatorda magnit aǵım F tolıq tok nızamına muwapıq birlemshi hám ekilemshi oram MQK lerdıń birgeliktegi tásiri sebepli jaratılıp, olardıń tásir etiwshisi mánisleriniń geometriyalıq jıyındısı sald islewdegi birlemshi oram MQK $I_0 w_1$ ne teń boladı:

$$I_1 w_1 + I_2 w_2 \approx I_0 w_1. \quad (4.1)$$

Bul teńleme **transformatordıń MQK leriniń teń salmaqılıq teńlemesi** delinedi. Bunda: $I_1 w_1$ —júkleme jalǵangan transformatordıń birlemshi oramında júzege keletuǵın MQK; $I_2 w_2$ —eki-

lemshi oramda payda bolatuǵın MQK; $I_0 w_1$ — sald islep atırǵan transformator birlemshi oramlardıń MQK.

(4.1) teńlemenıń eki tárepın w_1 ǵa bólemiz hám $I_2(w_2/w_1) = I'_2$ belgilewden keyin payda bolǵan teńlemenı tómendegishe jazamız:

$$I_1 \approx I_0 + (-I'_2). \quad (4.2)$$

Bul teńleme transformatordıń **toklarınıń teń salmaqlılıq teńlemesi** esaplanadı.

(4.2) den tómendegi juwmaq kelip shıǵadı: transformator birlemshi oramlarınıń toǵı I_1 , I_2 toktıń geometriyalıq jıyındısınan ibarat eken:

1) I_0 — birlemshi oramda MQK $I_0 w_1$ ti payda etip magnit ótkizgishte tiykarǵı magnit aǵımın júzege keltiredi;

2) $(-I'_2)$ — júkleme togınıń tásiiri sebepli birlemshi oramdaǵı tok usı shamada ósedi hám onıń birlemshi oramda payda etilgen $(-I'_2 w_1)$ MQK, Lens qaǵıydasına tiykarlanıp ekilemshi oram MQK $I_2 w_2$ niń tásinin kompensaciya etedi.

Nátiyjeli magnit aǵımınıń maksimal mánisi $F_{\max}$ ti anıqlawda magnit shınjırları ushın Om nızamınan paydalanamız:

$$F_{\max} = \sqrt{2}(I_1 w_1 + I_2 w_2) / r_m. \quad (4.3)$$

Magnit aǵımınıń bul mánisin (3.3) formuladan da anıqlaw múmkin.

Bul jaǵdayda (3.8) ǵı $U_1 \approx E_1$ di esapqa alıp tómendegige iye bolamız:

$$F_{\max} \approx U_1 / (4,44 f w_1). \quad (4.4)$$

Demek, birlemshi oramǵa berilgen kernew U_1 hám onıń jiyiligi $f = \text{const}$ bolǵanda transformator magnit ótkizgishindegi tiykarǵı aǵım F ekilemshi oramǵa jalǵanǵan júklemeniń mánisine baylanıslı emes ekenligi transformatordıń áhmiyetli ózgesheliklerinen biri esaplanadı.

Birlemshi hám ekilemshi oramlar elektr shınjırları ushın EQK hám kernewler teń salmaqlılıq teńlemelerine tiyisli olardıń tásir etiwshi mánisleri arqalı tómendegishe belgilenedi:

$$\left. \begin{aligned} \underline{U}_1 &= -\underline{E}_1 + j\underline{I}_1 x_1 + \underline{I}_1 r_1, \\ \underline{U}_2 &= -\underline{E}_2 + j\underline{I}_2 x_2 + \underline{I}_2 r_2. \end{aligned} \right\} \quad (4.5)$$

Kúsh transformatorlarında júkleme toginiń nominal hám oǵan jaqın mánislerinde birlemshi oramdaǵı kernew túsiwi ($\Delta U_1 = I_1 r_1 + I_1 x_1$) nominal kernew U_{1N} dıń $2 \div 5\%$ artpaydı. Sol sebepli transformatorǵa júkleme jalǵanǵan rejimde de fizikalıq proceslerdi aydınlastırıw maqsetinde $\Delta U_1 \approx 0$ bolsa, (3.8) gi sıyaqlı $|U_1| \approx |E_1|$ ge iye bolamız.

Transformatordıń sald islewdegi MQK $I_0 w_1$ onıń normal júkleme menen islegendegi MQK $I_1 w_1$ dıń $0,5 \div 3,0$ (júdá kem) % payda etkenligi (4.1) teńliktegi $I_0 w_1 \approx 0$ dep qabıl etilse, procestiń fizikalıq mánisin aydınlastırıwǵa imkan jaratıladı. Bunday sheklenbede oramlardaǵı toklar, olar júzege keltirgen MQK ler óz ara teńlesetuǵın ráwishte baǵdarlangan boladı, yamasa

$$I_2 = -I_1 (w_1/w_2), \quad (4.6)$$

bunnan tómendegi teńlemenı jazıw múmkin:

$$I_1/I_2 \approx w_2/w_1. \quad (4.7)$$

(4.7) dan, JK hám PK oramlarındaǵı toklar teńligi olardıń oramları sanı teńligine keri baylanıslarda boladı, degen juwmaq kelip shıǵadı.

Zamanagóy kúsh transformatorlarınıń PJK úlken ($\eta = 0,97 \div 0,99$) bolǵanlıqtan, júkleme jalǵanǵan jaǵday ushın fizikalıq qubılıslardıń mazmunın ashıw maqsetinde birlemshi hám ekilemshi oramlarındaǵı elektr quwatlılıqların bir-birine teńlengende ($I_1 U_1 \approx I_2 U_2$) tómendegi teńlemeleri kelip shıǵadı:

$$I_1/I_2 \approx U_2/U_1, \quad (4.8)$$

demek, transformatorda toklar onıń kernewine keri baylanıslarda boladı.

4.2. Transformatorдың ekilemshi oram shamaların birlemshi oramға keltiriw hám vektor diagrammaları

Ulıwmalıq jaǵdayda transformatorдың birlemshi hám ekilemshi oram tokları, kernewleri, EQK hám qarsılıqları bir-birinen muǵdar tárepten ádewir parıqlanadı. Bul jaǵdayda transformatorдың birlemshi hám ekilemshi oramı elektr shamaların vektor diagrammada birdey masshtapta kórsetiwge imkaniyatı bolmaydı.

Bul qolaysızlıqlardı joǵaltıw ushın ózine tán esaplaw usılınan paydalanıladı, yaǵnıy birlemshi hám ekilemshi oramanıń oramlar sanı hár qıylı ($w_1 \neq w_2$) bolǵan real transformator, ekilemshi oramanıń oramlar sanı birlemshi oramanıń oramları sanına teń ($w'_2 = w_1$) bolǵan ekvivalent transformator menen almasıırıladı. Bunday transformatordı keltirilgen transformator delinedi. 4.2-súwrette bunday transformatorдың ekvivalent («a») hám almasıırıw («b») sxemaları kórsetilgen.

Keltirilgen elektr shamalardan paydalanıw transformatordaǵı elektromagnit procesti analizi apiwayılastıradı, vektor diagrammalar qurıwdı ańsatlastıradı, oramlar arasındaǵı magnit baylanıs ornına elektr baylanıs isletiletuǵın almasıırıw sxemasın qurıwǵa imkan jaratadı.

Keltirilgen transformatordaǵı barlıq elektromagnit procesler real transformatordıki menen birdey bolıwın, yamasa MQK, magnit aǵım hám de transformaciyalaw koefficienti « k » ǵa baylanıslı bolmaǵan aktiv hám reaktiv quwatlılıqlardıń turaqlı bolıwın támiyinlew kerek boladı. Bunnan, keltirilgen kernew hám toklardıń faza jılıwı turaqlı bolıwı talap etiledi. Sol maqsette «keltirilgen» ekilemshi oram elektr parametrlerin anıqlaw tártibi tómendegishe kórsetilgen.

1. Magnit aǵım F ti turaqlı etiw ushın ekilemshi oram (úsh fazalı transformator ushın fazalıq oram) MQK ($w'_2 = w_1$) bolǵan transformatorda tómendegige teń salmaqlılıqta bolıwı kerek:

$$I'_2 w'_2 = I_2 w_2. \quad (4.9)$$

Usı shárt (yamasa teńlik) orınlanıwı ushın keltirilgen hám real oramlardıń forması, demek, vertikal kesiminde birdey bolıwı kerek. Bul bolsa keltirilgen oramlardaǵı hárbir oram kesiminiń « k » ese ózgertiwge alıp keledi.

(4.9) nan «keltirilgen» oramlardıń toǵı I'_2 ni tabamız:

$$I'_2 = I_2(w_2 / w'_2) = I_2 / k, \quad (4.10)$$

bunda $k = w_1/w_2$ — transformaciyalaw koefficienti; $w'_2 = w_1$.

2. Magnit aǵımı turaqlı bolǵanda oramlardaǵı EQK oramlardıń oramları sanına tuwrı proporcional baylanısta boladı hám keltirilgen ekilemshı oramda EQK E'_2 tıń mánisi « k » ese artadı. Onıń mánisi keltirilgen hám real oramlar elektromagnit quwatlılıqların óz ara teńlep ($E'_2 I'_2 = E_2 I_2$) anıqlanadı:

$$E'_2 = E_2(I_2/I'_2) = k E_2. \quad (4.11)$$

3. Keltirilgen hám real oramlardıń tolıq quwatlılıqların shamalap óz ara teńlep ($U'_2 I'_2 \approx U_2 I_2$), onnan «keltirilgen» oram kernewi U'_2 tabıladı:

$$U'_2 = U_2(I_2 / I'_2) = k U_2. \quad (4.12)$$

4. Keltirilgen oramlardıń oramlar sanında oram kesimi « k » ese ózgergenligi sebepli onıń aktiv qarsılıǵı « k » ese úlken boladı. Usı aktiv qarsılıq (r'_2) tı anıqlawda keltirilgen hám real oramlardaǵı sarpları teńligi $[(I'_2)^2 r'_2 = I_2^2 r_2]$ teń paydalanıladı [bunda (4.10)ǵa qarap $I'_2 = I_2/K$]:

$$r'_2 = (I_2 / I'_2)^2 r_2 = k^2 r_2, \quad (4.13)$$

5. Keltirilgen oramlardıń geometriyalıq ólshemleri real oramlar menen birdey bolǵanda keltirilgen oramlardıń x'_2 induktiv qarsılıǵı oramlar sanı kvadratı $(w')^2$ na proporcional boladı. Onıń mánisi keltirilgen hám real oramlar reaktiv quwatlılıqları teńligi $[(I'_2)^2 x_2 = I_2^2 r_2]$ ten paydalanıladı:

$$x_2' = (I_2 / I_2')^2 x_2 = k^2 x_2. \quad (4.14)$$

6. Transformator ekilemshi oramlardıń keltirilgen tolıq qarsılıǵı tómendegishe anıqlanadı:

$$\underline{Z}'_2 = r_2' + x_2' = k^2 (r_2 + jx_2) = k^2 \underline{Z}_2. \quad (4.15)$$

7. Ekilemshi oram shıǵıw ushlarına jalǵanǵan júklemenin keltirilgen tolıq qarsılıǵına (4.15) ke uqsas jaǵdayda tabıladı:

$$\underline{Z}'_{ju} = k^2 \underline{Z}_{ju}. \quad (4.16)$$

Keltirilgen transformator ushın kernewlerde toklar teńlemeleri kompleks (yamasa vektor shamalar) kórinisinde tómendegishe jazıladı:

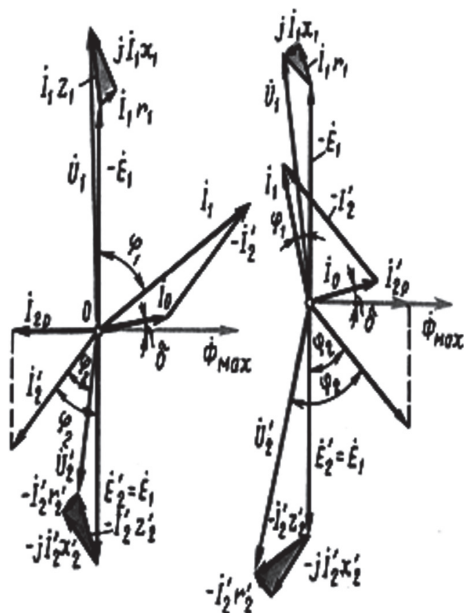
$$\left. \begin{aligned} \underline{U}_1 &= -\underline{E}_1 + \underline{I}_1 \underline{Z}_1 = -\underline{E}_1 + j\underline{I}_1 x_1 + \underline{I}_1 r_1, \\ \underline{U}'_2 &= -\underline{E}'_2 + \underline{I}'_2 \underline{Z}'_2 = \underline{E}'_2 - j\underline{I}'_2 x'_2 + \underline{I}'_2 r'_2, \end{aligned} \right\} \quad (4.17)$$

Vektor diagrammaları. (4.17) teńlemeler sisteması járdeminde júkleme jalǵanǵan keltirilgen transformatordıń vektor diagrammaların belgili masshtabta qurıp, olar járdeminde transformatordıń kernewi, EQK hám tokların anıqlaw múmkin.

Diagrammanıń qurıw izbe-izligi transformator is rejiminiń qanday ólshemlerinde berilgen hám diagrammanı qurıw onnan qanday shamalar mánisin tabıw talap etiliwine baylanıslı boladı.

Derlik, ekilemshi tok I_2' hám óndiriste kóp úshıraytuǵın aralas aktiv-induktiv júkleme qarsılıǵı $\underline{Z}'_{ju} = r_{ju}' + jx_2'$ (induktiv júklemede $x_{ju}' > 0$, sıyımlılıqlı júklemede bolsa $x_{ju}' < 0$) belgili bolǵan jaǵdayda, ekilemshi kernew U_2' , birlmshi oram EQK E_1 , magnitlewshi tok I_1 hám kernewi U_1 lerdı tabıwı talap etilgen bolsın.

Vektor diagrammanı qurıwda magnit aǵım $F_{\max}$ hám onnan 90° arqada qalatuǵın baǵdarda $\underline{E}_1 = \underline{E}'_2$ vektorı qoyıladı (4.1-súwret), sebebi waqıt boyınsha sinusoidal formada



4.1-súwret. Transformatorǵıń aktiv-induktiv (a) hám aktiv-sıyımlılıq (b) júklemeler ushın vektor diagrammaları.

ózgerip atırǵan EQKler ózleriniń nol mánislerinen magnit aǵım $\underline{F}_{\max}$ ke qaraǵanda sherek dáwir (90°)ge keshigip ótedi. Elektrotexnikanıń teoriyalıq tiykarlarına qarap eki vektor shama-dan saat belgisiniń háreketi tárepke jılıǵan vektorı arqada qalǵan esaplanadı.

Magnit ótkizgishtegi hám birlemshi oramdaǵı elektr sarplardı kompensaciyalaw ushın tok $I_{0.a}$ qa baylanısqań ráwishte ózge-retuǵın aktiv quwatlılıq ($R_0 \sim I_{0.a}$) ti elektr tarmaǵınan alǵanı sebepli transformatorǵıń sald islewı toǵı $\underline{I}_0$ magnit aǵım vektorı $\underline{F}_{\max}$ nan α múyeshke aldın keledi.

Ekilemshi oram toǵı $\underline{I}'_2$ aktiv-induktiv júklemede usı oram EQK $\underline{E}'_2$ ten Ψ_2 múyeshke, kernewı $\underline{U}'_2$ teń bolsa φ múyeshke arqada qaladı.

Bul múyeshler tómendegishe anıqlanadı:

$$\Psi_2 = \arctg(x'_2 + x'_{yu})/(r'_2 + r'_{yu}); \quad (4.18)$$

$$\varphi_2 = \arctg(X'_{yu}/r'_{yu}). \quad (4.19)$$

Ekilemshi kernew vektory $\underline{U}'_2$ in qurıw ushın $\underline{E}'_2$ vektorınan ekilemshi oramlardıń reaktiv qarsılıǵındaǵı ($j\underline{I}'_2x'_2$) hám aktiv qarsılıǵındaǵı ($\underline{I}'_2r'_2$) kernew páseyiwlerin anıqlaymız. Induktiv qarsılıǵındaǵı kernew páseyiwi ($j\underline{I}'_2x'_2$) vektory tok vektory $\underline{I}'_2$ nan 90° aldında bolatuǵın baǵdarda sızıladı. Sol sebepli $\underline{E}'_2$ vektory ushınan $\underline{I}'_2$ vektorına perpendikulyar baǵdarda ($-\underline{I}'_2x'_2$) vektorın, onıń ushınan bolsa ($-\underline{I}'_2r'_2$) vektorın $\underline{I}'_2$ vektorına parallel ráwıshte baǵdarlap, ($-\underline{I}'_2r'_2$) hám $\underline{E}'_2$ vektorları ushların birlestirgende ekilemshi oram ishki kernewler páseyiwi úshmúyeshliginiń gipotenuza ($-\underline{I}'_2\underline{Z}'_2$) sın alamız. ($-\underline{I}'_2r'_2$) vektory ushın «0» di kósher menen birlestirip $\underline{U}'_2$ vektorın anıqlaymız. Kernew vektory $\underline{U}'_2$ ekilemshi tok vektory ($\underline{I}'_2$) nan φ_2 múyeshke aldında boladı.

Bunnan keyin toklar teń salmaqlılıq teńlemesinen paydalanıp birlemshi tok vektory $\underline{I}_1$ in payda etemiz. Bunıń ushın $\underline{I}'_2$ vektorına qarama-qarsı baǵdarda ($-\underline{I}'_2$) vektorın baǵdarlaymız. $\underline{I}_0$ hám ($-\underline{I}'_2$) vektorların geometriyalıq qosıw nátiyjesinde $\underline{I}_1$ vektory payda etiledi.

Birlemshi kernewler vektory $\underline{U}_1$ in qurıw ushın $\underline{E}_1 = \underline{E}'_2$ vektorına teń hám qarama-qarsı baǵdarlanıp ($-\underline{E}_1$) vektory sızıladı. Oǵan birlemshi oram aktiv kernew páseyiwi ($\underline{I}_1r_1$) vektorın ($-\underline{E}_1$) vektory ushınan $\underline{I}_1$ tok vektorına parallel, reaktiv kernew páseyiwi ($j\underline{I}_1x_1$) vektorın bolsa $\underline{I}_1$ vektorınan 90° aldında

bolatuǵın baǵdarda qoyıladı hám onıń ushın 0 kósher menen birlestirilgende $\underline{U}_1$ vektorın beredi. $\underline{U}_1$ vektorı tok $\underline{I}_1$ dan φ_1 múyeshke aldın ketedi.

Transformatordıń ekilemshi shıńırǵa jalǵanǵan úlken sıyımlılıqlı aktiv-sıyımlılıqlı júkleme ($Z_{j\dot{u}k} = r_{j\dot{u}k} - jx_{j\dot{u}k}$) de vektor diagrammasın qurıw tártibi aldındıday boladı, biraq onıń ulıwmalıq kórinisi ádewir ózgeredi. Bul jaǵdayda $\underline{I}'_2$ tok vektorı $\underline{E}'_2$ nan $\Psi_2 = \arctg(x'_{j\dot{u}k} - x'_2)/(r'_{j\dot{u}k} + r'_2)$ múyeshke aldın ketedi.

4.3. Eki oramlı transformatordıń almasıw sxeması

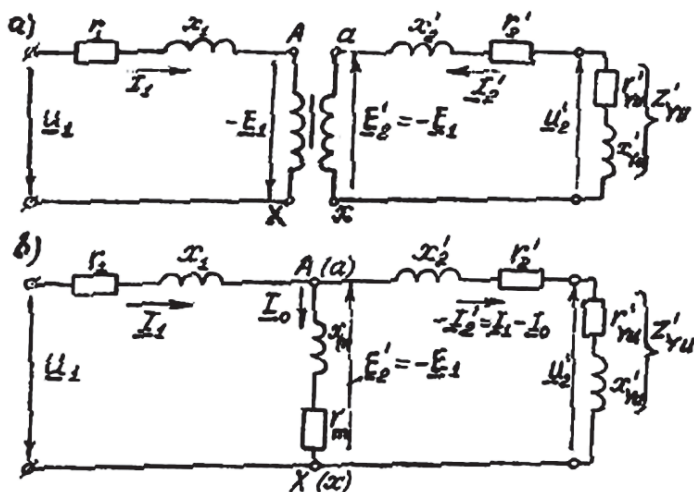
Transformatordıń elektromagnit esabın ańsatlastırıw maqsetinde onıń oramları arasındǵı magnit baylanısın elektr tárepten baylanısqa jaǵdayda kórsetiliwi (4.2, *b*-súwret) almasıw sxema dep júritiledi hám onıń dúzilisi transformator is procesin tolıq bildiretuǵın (4.17) teńlemeler sistemasına saykes keliwi kerek.

Simmetriyalıq rejimdegı úsh fazalı transformator da almasıw sxema tek bir faza ushın qurıladı.

Sald islew toǵı $\underline{I}_0 = \underline{I}_{0.a} + \underline{I}_{0.r}$ ótetuǵın magnitlewshi punkt A–X (yamasa a–x) bolıp, 4.3, *a*-súwrette birlemshi oram qarsılıqları (r_1, x_1) hám ekilemshi oram qarsılıqlarına (r'_2 hám x'_2) tiyisli oramlardan shıǵarılıp olarǵa izbe-iz jalǵanǵan.

Keltirilgen transformator da birlemshi hám ekilemshi oram EQK leri óz ara teń ($\underline{E}_1 = \underline{E}'_2$) bolǵanlıǵınan 4.2, *a*-súwrettegi «A» hám «a» kósherlerinen ibarat, sonday-aq, «X» hám «x» kósherleriniń de potencıalları birdey bolıp, magnit proporcionalı sxemadaǵı (4.2, *a*-súwret) birdey berilgen kósherlerdi elektr tárepten tutastırıp 4.2, *b*-súwrettegi sxema menen almasıwǵa imkanı beredi.

Transformatordıń sald islew rejimi ushın almasıw sxemasında (3.4-súwret) oramları elektr tárepten baylanǵan almasıw sxemada magnitlewshi konturdaǵı procesiń fizikalıq mánisin tolıq sáwlelendiriwshi aktiv hám induktiv qarsılıqlardıń parallel jalǵanǵan shıńırı kórinisinde kórsetilgen.



4.2-súwret. Transformatorıń ekvivalent hám almasıw sxemaları:
 a—oramaları magnit maydan arqalı baylanısqa ekvivalent sxema;
 b—magnitlewshi kontur qarsılıqları izbe-iz jalǵanǵan T-sıyaqlı almasıw sxeması.

Esapları ańsatlastırw maqsetinde qarsılıqları parallel jalǵan magnitlewshi shıńjırdı izbe-iz jalǵan shıńjırǵa almasıw tırıladı (4.2, b-súwret). Bunı transformatorıń T-sıyaqlı almasıw sxeması delinedi hám ol ámelde keń qollanıladı.

Almasıw sxeması tómendegi úsh punktlerden ibarat:

1) birlemshi oramnıń qarsılıǵı $\underline{Z}_1 = \sqrt{r_1^2 + x_1^2}$ hám toǵı I_1 bolǵan punkt;

2) ekilemshi oramnıń qarsılıǵı $\underline{Z}'_2 = \sqrt{(r_2')^2 + (x_2')^2}$ hám toǵı $(-I'_2)$ bolǵan punkt;

3) magnitlewshi konturıń qarsılıǵı $\underline{Z}_0 = \sqrt{r_0^2 + x_0^2}$ hám toǵı I_0 bolǵan punkt.

Almasıw sxemada $\underline{Z}_1$ hám $\underline{Z}'_2$ qarsılıqlar turaqlı dep qabıl etiledi, júkleme qarsılıǵı $\underline{Z}'_{\text{júk}}$ bolsa transformatorıń jumıs

sharayatında beriledi hám ózgerip turıwı múmkin. $U_1 = \text{const}$ bolǵanda $Z_0 = \text{const}$ dep esaplaw múmkin.

4.4. Qısqa tutasıw tájiriybesi xarakteristikaları

Birlemshi kernew U_{1N} ǵa jalǵanǵan transformatordıń ekilemshi oram tárepinen qısqa tutasıwdıń payda bolıwı avariya rejimi boladı. Bunday rejimde oramlardan ótetuǵın toklar nominal tokqa salıstırǵanda birneshe on ese úlken bolǵanlıǵınan transformator ushın qáwipli esaplanadı.

Qısqa tutasıw tájiriybesi kerekli ámeliy áhmiyetke iye esaplanadı, sebebi onnan qısqa tutasıw sarpları R'_{qt} hám kernewi U_{qt} hám de almasıw sxemanıń parametrleri anıqlanadı. Bul tájiriybeni ótkiziw ushın PK tárepinen úsh fazalıda fazalıq oram úshların qısqa tutastırıw (4.3, *a*-súwret), JK oramǵa páseyttirilip beriletuǵın kernew U_{qt} di 0 den baslap oramdaǵı toktıń mánisi nominalǵa jetkenshe asırıladı. Qısqa tutasıw $I_{qt} = I_{1N}$ toǵı bolǵandaǵı kernewdi qısqa tutasıw kernewi U_{qt} dep ataladı hám ol transformatordıń kerekli parametrlerinen biri esaplanadı. Kúsh transformatorlarında U_{qt} nominal kernew U_{1N} dıń $4,5 \div 14,5\%$ payda etedi. Bul tájiriybede kernew U_{qt} , tok I_{qt} hám qarsılıq R_{qt} ler ólshep alınadı. Bul mánislerden qısqa tutasıwdaǵı quwatlıq koefficienti $\cos\varphi_{qt}$ esaplap tabıladı. Transformatordıń qısqa tutasıw xarakteristikaları: $I_{qt} = f(U_{qt})$, $R_{qt} = f(U_{qt})$ hám $\cos\varphi_{qt} = f(U_{qt})$ 4.2, *b*-súwrette kórsetilgen.

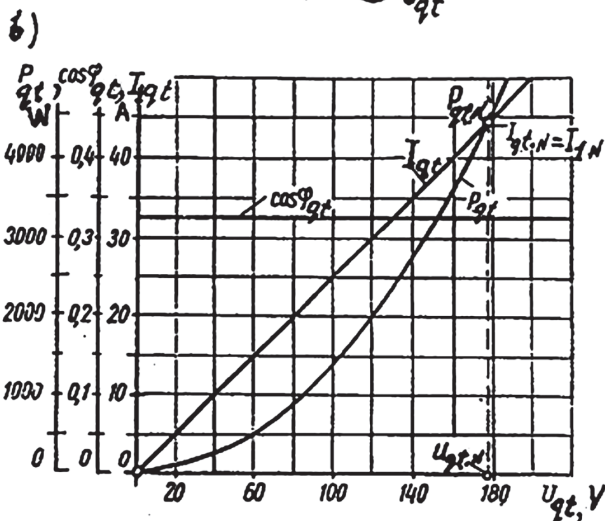
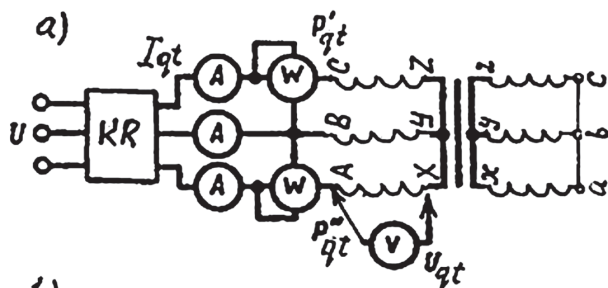
$I_{qt} = f(U_{qt})$. Bul tájiriybede kúsh transformatorları oramǵa beriletuǵın kernewdıń mánisi U_N ǵa salıstırǵanda ádewir az bolǵanlıǵınan, onıń magnit ótkizgishi toyınbaǵan boladı hám tok I_{qt} tıń ózgeriwi tuwrı sıızıqlı boladı.

$R_{qt} = f(U_{qt})$. Eki oramlı kúsh transformatorlarında, U_{qt} kishi bolǵanlıǵınan qısqa tutasıwdaǵı magnit sarpları (P'_m) U_{1N} degi magnit sarplarına qaraǵanda ádewir kishi boladı. Bul jaǵdayda magnitlewshi tok ($I_m \approx I_0$) di hám de magnit sarplardı (R'_m) itibarǵa almasa da boladı hám birlemshi oramǵa berilgen

quwatlılıq P_{qt} eki oram elektr sarplarına qaplawğa sarplanadı ($R_{qt} \approx R'_c$), dep esaplanadı.

Oramlardan nominal tok $I_{qt} = I_{1N}$ ótkendegi qısqa tutasıw sarpları $R'_{qt.N}$ transformatordıń kerekli parametrlerinen biri esaplanadı hám onı tómendegi formula arqalı esaplawı múmkin:

$$R'_{qt.N} \approx R_{e1} + P_{e2} = m I_{1N}^2 r_1 + m (I'_{2.N})^2 r'_2 = m I_{qt.N}^2 r_{qt}. \quad (4.20)$$



4.3-súwret. Quwatlılıǵı $S_N = 100 \text{ kV} \cdot \text{A}$; $U_{1N}/U_{2N} = 6,3/0,22 \text{ kV}$; oramları Y/Y jalǵanǵan, úsh fazalı eki oramlı transformatordıń qısqa tutasıw tájiriyesiniń sxeması (a) hám qısqa tutasıw xarakteristikaları (b); K.R – kernewdi retlegish.

Bul rejimdegı tiykargı energiya sarpları toktıń kvadratı (I_{qt}^2) na proporcional ráwıshte ózgergenligi sebepli qısqa tutasıw quwatlılıǵı R_{qt} dıń ózgeriwi parabola formasına jaqın boladı.

$\cos\varphi_{qt} = f(U_{qt})$. Qısqa tutasıw tájiriyesinde magnit shınjır toyınbaǵanlıǵı sebepli kernewdıń aktiv hám reaktiv payda etiwsileri arqalı turaqlı boladı, yamasa qısqa tutasıw kernewleri tuwrı múyeshli úshmúyeshlik A, V, S tıń katodları birdey qatnasta ózgerip qısqa tutasıw kernewi U_{qt} hám toǵı I_{qt} vektorları arasındaqı jılǵıw múyesh φ_{qt} turaqlı boladı. Sol sebepli quwatlılıq koefficienti $\cos\varphi_{qt}$ qısqa tutasıw rejiminde turaqlı ($\cos\varphi_{qt} = \text{const}$) bolıp, onı úsh fazalı transformatorlar ushın tájiriyaeden alınǵan qısqa tutasıw maǵlıwmatlardan paydalanıp tómendegishe anıqlanadı:

$$\cos\varphi_{qt} = P_{qt} / (\sqrt{3} U_{qt} I_{qt}). \quad (4.21)$$

Qısqa tutasıw tájiriyesinen alınǵan maǵlıwmatlar boyınsha transformator almasıw sxemasınıń parametrleri: tolıq (Z_{qt}), aktiv (r_{qt}) hám induktiv (x_{qt}) qarsılıqları tómendegishe anıqlanadı:

a) birlemshi oramı «Y» sxemasına jalǵanǵan úsh fazalı transformator ushın:

$$Z_{qt} = U_{qt} / (\sqrt{3} I_{qt}), \quad r_{qt} = P_{qt} / (3 I_{qt}^2), \quad x_{qt} = \sqrt{Z_{qt}^2 - r_{qt}^2}; \quad (4.22)$$

b) birlemshi oramı «Δ» sxemasına jalǵanǵan úsh fazalı transformator ushın:

$$Z_{qt} = \sqrt{3} U_{qt} / I_{qt}, \quad r_{qt} = P_{qt} / I_{qt}^2, \quad x_{qt} = \sqrt{Z_{qt}^2 - r_{qt}^2}. \quad (4.23)$$

Ádette, birlemshi hám keltirilgen ekilemshi oramlardıń tolıq ($\underline{Z}_1, \underline{Z}_2$), aktiv (r_1, r_2) hám induktiv (x_1, x_2) qarsılıqları tómendegige teń:

$$\underline{Z}_1 \approx \underline{Z}_2 \approx 0,5 \underline{Z}_{qt}; \quad r_1 \approx r_2 \approx r_{qt} / 2; \quad x_1 \approx x_2 \approx x_{qt} / 2, \quad (4.24)$$

dep esaplanadı.

Qısqa tutasıw kernewi U_{qt} , onıń aktiv ($U_{qt.a}$) hám reaktiv ($U_{qt.r}$) payda etiwshileri nominal kernewlerge qatnası % te tómendegishe anıqlanadı:

$$\left. \begin{aligned} u_{qt(\%)} &= (I_N \underline{Z}_{qt} / U_{1N}) \cdot 100, \\ u_{qt.a(\%)} &= (I_N r_{qt} / U_{1N}) \cdot 100, \\ u_{qt.r(\%)} &= (I_N x_{qt} / U_{1N}) \cdot 100. \end{aligned} \right\} \quad (4.25)$$

Standartqa tiykarlanıp U_{qt} hám $U_{qt.a}$ lardı anıqlawda r_{qt} hám $\underline{Z}_{qt}$ qarsılıqlar A, E, V jılılıqqa shıdamlı klastağı izolyaciyalı transformatorlar ushın 75°C orta esaplı temperaturağa tómendegishe keltiriledi:

$$r_{qt(75^\circ)} = r_{qt} [1 + 0,004(75^\circ - 9)], \quad (4.26)$$

bunda 9 — oram qarsılıǵın ólshegen waqıttaǵı temperatura.

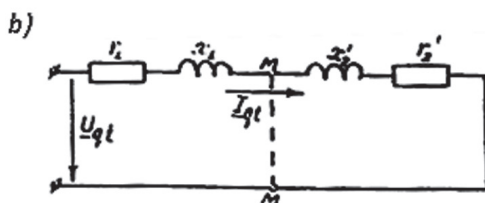
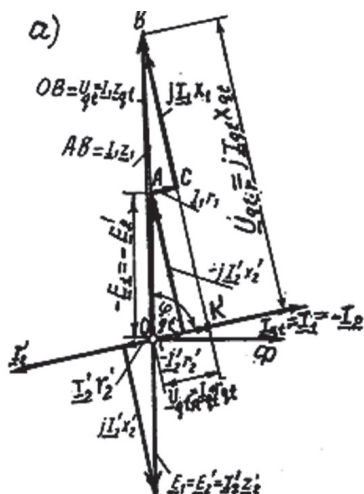
Qısqa tutasıw kernewi transformatordıń ishki qarsılıǵın belgileydi hám kernew túsiwi (ΔU)ne, qısqa tutasıw toǵı (I_{qt}) na hám sırtqı xarakteristikalarına tásir kórsetedi.

Transformatordıń qısqa tutasıwdaǵı kernew hám EQKleri hám de toklar teń salmaqlılıq teńlemeleri tómendegishe jazıladı:

$$\left. \begin{aligned} \underline{U}_1 &= -\underline{E}_1 + \underline{I}_{1qt} \underline{Z}_{1qt}; \\ 0 &= \underline{E}'_2 - \underline{I}'_{2qt} \underline{Z}'_{2qt}; \end{aligned} \right\} \quad (4.27)$$

Aktiv, induktiv hám tolıq qarsılıqlardaǵı kernew páseyiwleri vektorları qısqa tutasıw úshmúyeshligi (0VK)in payda etedi (4.4, a-súwret).

Bul rejim ushın almasıw sxema ápiwayı kóriniske iye boladı, sebebi qısqa tutasıwdaǵı kernew U_{qt} dıń nominal máni-sine qaraǵanda biraz kemliginen, (4.17)degi transformator tok-larınıń teń salmaqlılıq teńlemesinen magnitlewshi tok $I_m \approx I_0$ ti esapqa almawı múmkin. Bul jaǵdayda transformatordıń T-sıyaqlı almasıw sxemasında magnitlewshi shınjır hám onıń qarsılıqları (r_m hám x_m) shıǵarılıp taslansa, qısqa tutasıw rejimi ushın almasıw sxeması kelip shıǵadı. (4.4, b-súwret).



4.4-súwret. Transformatordıń qısqa tutasıw rejimi ushın:
a—ápiwayılastırılǵan vektor diagramması (qısqa tutasıw OBK)
hám *b*—almasıw sxeması.

Usınday sxemada birlemshi hám ekilemshi oram qarsılıqları izbe-iz jalǵanǵan bolıp, olardı qısqa tutasıwdaqı tolıq qarsılıq ($\underline{Z}_{qt} = r_{qt} + jx_{qt}$) kórinisinde de kórsetse boladı. Transformatordıń qısqa tutasıwdaqı tolıq qarsılıq $\underline{Z}_{qt}$ qa ekivalent kórinisinde ańlatıwshı ámeliy esaplarda keń qollanıladı.

Qadaǵalaw ushın sorawlar:

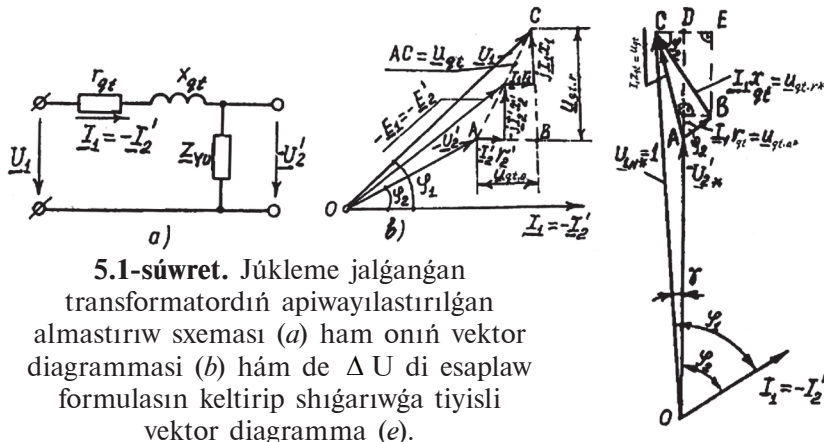
1. Transformatorǵa jalǵanǵan júkleme ózgeriwiniń tiykarǵı magnit aǵımına tásirin Lens qaǵıydası arqalı qanday túsindiriledi?
2. Keltirilgen transformator ne ushın hám onıń parametrleri real transformator nesi menen parıqlanadı?
3. Júklemege jalǵanǵan transformatordıń vektor diagrammaları qanday qurıladı?
4. Qısqa tutasıw tájiriybesi ne maqsette ótkiziledi?

5-BAP. TRANSFORMATORDIŇ EKSPLUATACIYALÍQ XARAKTERISTIKALARI

5.1. TransformatordiŇ sırtqı xarakteristikaları hám kernew ózgeriwi

4.1-súwrettegi vektor diagrammalar júkleme jalǵanǵan transformatordiŇ turaqlı rejimdegi is procesi tolıq sáwlelenedi, biraq olar boyınsha ámelde shamalı tekseriwler ushın esap ótkiziw qıyın. Sol sebepli úlken quwatlılıqlı transformatorlarda I_0 toginiń júdá kemliginen onı 0 ge teńlegende toklardıń teń salmaqılıqlıq teńlemesi ($I_1 \approx -I'_2$) hám de júkleme jalǵanǵan transformatordıń almasırw sxeması ádewir ápiwayı kóriniske iye boladı.

5.1,a-súwrette transformator is procesin shamalı esaplawdı ádewir ańsatlastıradı. Bunday jaǵdaydaǵı vektor diagrammanı ápiwayılastırılǵan vektor diagramma delinedi hám ol ámelde keń paydalanıladı. (5.1,b-súwret).



Aktiv-induktiv júkleme ushın qurılǵan ápiwayılastırılǵan vektor diarammanı qurıw ushın tok $I_1 \approx -I'_2$, kernew $\underline{U}'_2$ hám olar arasındǵı múyesh Φ_2 hám de transformator oramlarınıń

qarsılıqları yamasa qısqa tutasıw kernewleri u_{qt*} , onıń aktiv ($u_{qt.a*}$) hám reaktiv ($u_{qt.r*}$) payda etiwshileri belgili bolıwı kerek.

Transformator da kernew ózgeriwi. Transformator dıń birlemshi oramına berilgen kernew $U_1 = U_{1N} = \text{const}$ hám tok jıyılıǵı ham $f = f_N = \text{const}$ bolǵanda sald islewdegi júkleme togınıń nominal mánisindegi ekilemshi oram kernewleri ayırmasına transformator kernewiniń ózgeriwi (ΔU) delinedi. Ulıwmalıq maqsetli kúsh transformatorları tiykarınan aktiv-induktiv júklemede islegenı sebepli, usınday ózgeriwi kernew túsiwi kórinisinde payda boladı. Bul shamalar transformator dı isletiwde áhmiyetli xarakteristikalar dan biri esaplanadı.

ΔU dı anıqlaw formulası birlemshi oramǵa berilgen kernewi $U_1 = U_{1N}$ hám ekilemshi oram toǵı $I'_2 = I'_{2N} = I_{1N}$ bolǵan jaǵday ushın salıstırma birliklerde qurılǵan ápiwayılastırılǵan vektor diagramma (5.1, b-súwret) dan keltirip shıǵarıladı.

Ekilemshi oram da ΔU dıń mánisi nominal kernewler ge qaraǵanda procentlerde (%) tómendegishe anıqlanadı:

$$\Delta U_{N(\%)} = 100 (\underline{U}_{2.0} - \underline{U}_2) / \underline{U}_{2.0} = 100 (\underline{U}_{1N} - \underline{U}_2) / \underline{U}_{1N}, \quad (5.1)$$

bunda, $\underline{U}'_{2.0} = \underline{U}_{1N}$ — keltirilgen transformator ushın.

Ádette, ΔU (5.1, b-súwrette — AD) qısqa tutasıw kernewiniń aktiv $u_{qt.a(\%)}$ hám reaktiv $u_{qt.r(\%)}$ payda etiwshileri arqalı procentte esaplanadı:

$$\Delta U_{\%} \approx u_{qt.a(\%)} \cos \varphi_2 + u_{qt.r(\%)} \sin \varphi_2. \quad (5.2)$$

Bul formula boyınsha júkleme nominal mániske teń bolǵandaǵı kernew túsiwin anıqlaw múmkin, júklemeniń erkin mánisi ushın bolsa (5.2) tıń oń tárepi júkleme koefficienti ($K_{j\dot{u}k} = I_2 / I_{2N}$) ne kóbeyttiriw kerek, yamasa

$$\Delta U_{\%} = K_{j\dot{u}k} (u_{qt.a(\%)} \cos \varphi_2 + u_{qt.r(\%)} \sin \varphi_2). \quad (5.3)$$

Juwmaq. (5.3) tıń kórinisinde, ekilemshi oram kernewiniń ózgeriwi júklemeniń mánisine hám xarakterine baylanıslı boladı (5.2-súwret).

$\Delta U = u_{qt}$ dıń eń úlken ózgeriwi $\varphi_2 = \varphi_{qt}$ múyeshke tuwrı keledi, sebebi bunda

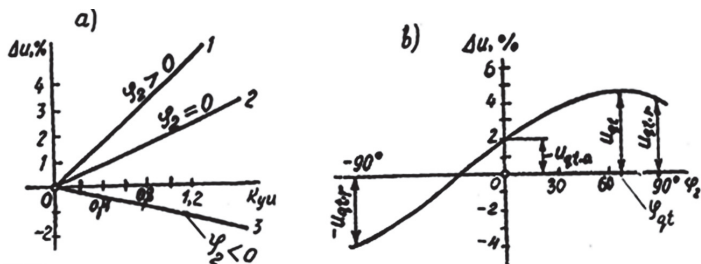
$$\cos(\varphi_2 - \varphi_{qt}) = 1.$$

Kernew ózgeriwi ΔU júklemenıń hár túrli xarakterinde tómendegilerge teń boladı:

1) real aktiv ($\varphi_2 = 0$) júklemede $\Delta U = u_{qt.a}$;

2) real induktiv hám sıyımlılıqlı ($\varphi_2 = \pm 90^\circ$) júklemelerinde bolsa

$$\Delta U = \pm u_{qt.r}.$$



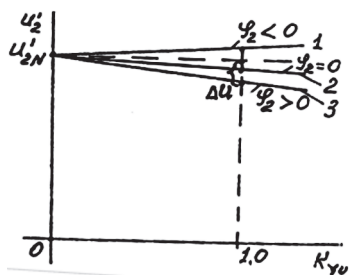
5.2-súwret. Úsh fazalı transformator (100 kV·A, 6,3/0,22 kV, $u_{qt} = 5,4\%$, $\cos \varphi_{qt} = 0,4$) ekilemshi oramında kernew ózgeriwiniń: *a*—júkleme koefficientine — $\Delta U = f(K_{j\acute{u}k})$ (1 — aktiv-induktiv, 2 — aktiv hám 3 — aktiv-sıyımlılıqlı júklemelerde tiyisli) hám *b*—júkleme xarakterine — $\Delta U = f(\varphi_2)$ baylanıslı jaǵdayda ózgeriwi.

Transformatordıń sırtqı xarakteristikaları. Birlemshi oramǵa berilgen kernew $U_1 = U_{1N}$, toginiń jıyiligi $f = f_N$ hám júklemenıń quwatlılıq koefficienti $\cos \varphi_2$ ózgermegen jaǵdayda transformatordıń ekilemshi kernewi U_2 niń usı oramnan ótetuǵın júkleme toǵı I_2 ge yamasa júkleme koefficienti $K_{j\acute{u}k}$ ge baylanıslıǵı $U_2' = f(K_{j\acute{u}k})$ — transformatordıń sırtqı xarakteristikası delinedi (5.3-súwret). Transformatordıń birlemshi oramǵa nominal kernew berip ekilemshi oramǵa júkleme jalǵanǵan ($I_2 = 0$) jaǵdaydaǵı kernew onıń EQK ke teń ($E_{2.0} = U_{2N}$) boladı ham onı ekilemshi oram nominal kernewi dep qabıl etiledi.

Júkleme jalǵanǵanda ekilemshi oramnan tok ótip Lens qaǵıydasına tiykarlanıp birlemshi oramdaǵı tokta artadı. Bul toklar oramlardıń aktiv ham induktiv qarsılıqlarında kernew páseyiwın júzege keltiredi.

Teń salmaqlılıq teńlemeden hám de aktiv-induktiv hám aktiv-sıyımlılıqlı xarakterli júklemeler ushın qurılǵan vektor diagrammalardan (4.1-súwret) kórinisinde ekilemshi oram kernewiniń ózgeriwi júkleme- niń mánisinde xarakterı tásir etedi, yamasa aktiv-induktiv júklemede tok

I_2 tıń artıwı menen kernew U_2' biraz kemeyiwi (5.3-súwret), úlken sıyımlılıqlı aktiv-sıyımlılıqlı júklemede bolsa biraz artıwı múmkin.



5.3-súwret. Transformator- dıń sırtqı xarakteristikaları:

1 — aktiv-sıyımlılıqlı;
2 — aktiv; 3 — aktiv-induktiv
júklemeler ushın.

5.2. Transformatorlarda kernewdi retlew usılları hám jolları

Transformatorlardıń jumıs procesinde ekilemshi oram kernewdi retlew zárúrligi tómendegilerge tiykarlanıp júzege keledi.

1. Elektr uzatıw liniyasındaǵı kernewdıń páseyiwinen júzege keletuǵın halda birlemshi kernew mánisi az ($5 \div 10\%$) muǵdarda ózǵertirilip, ekilemshi kernew U_2 dıń mánisin ózǵerttirmey ($U_2 = \text{const}$) turıw.

2. Birlemshi kernew $U_1 = \text{const}$ bolǵanda ekilemshi kernew U_2 dıń mánisin keń kólemde retlew.

Bul eki jagdayda da ekilemshi oram kernewi U_2 transformaciyalaw koefficienti «k» ni ózǵerttiriw jolı menen retlenedi.

1-jagdayda, U_2 di retlew ushın birlemshi oramanıń oramlar sanı w_1 di yamasa ekilemshi oramanıń oramlar sanı w_2 di ózǵerttiriw múmkin.

Máselen, tarmaq kernewin páseyttiriwshi transformatorlarda U_1 páseygende w_1 di sáykes ráwishte sonday kemeyttiriw kerek

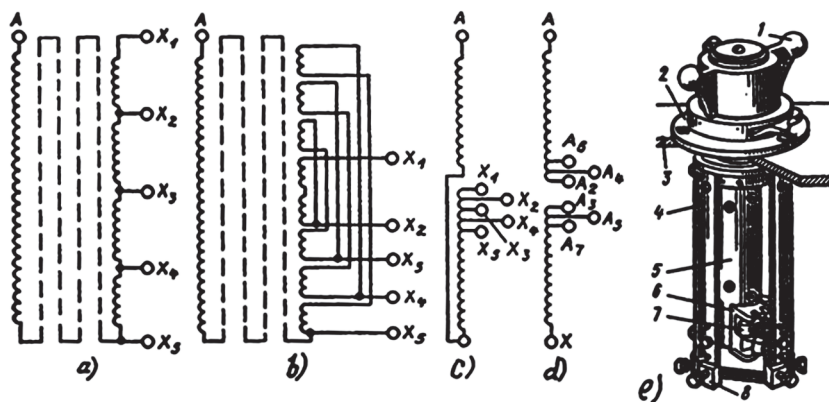
boladı, bunda bir oramğa tuwrı kelgen EQK $E_0 = E_1 \approx w_1 \approx U_1 / w_1 = \text{const}$ bolıwı, yamasa özgermey qalıwı kerek. Bunda w_2 özgermegenliginen ekilemshi oramğa EQK te özgermeydi, sol sebepli birlemshi kernew U_1 artsa, sáykes ráwishte w_1 ni arttırıw zárúr boladı.

2-jagdayda, yamasa $U_1 = \text{const}$ bolğanda ekilemshi oram kernewi U_2 ni retlew ushın $w_2 = w_{\text{júk}}$ ti ózgettiredi. Bul jagdayda w_1 di ózgettiriw múmkin emes, sebebi bunda transformator magnit ağımı F tıń mánisi ózgerip, zıyanlı jagday júzege keledi.

Kernewdi retlew úskeneleriniń tómenдеgi túrleri bar:

1. Transformatordı tarmaqtan úzip birlemshi hám ekilemshi oramlardıń retlew ushın mólsherlengen punkt basqışın ózgettiriw jolı menen.

Kernewdi retlew (GMD aymağında bunı qısqasha «PBV — pereklyushenie bez возбужdeniya» dep ayıladı). Bunıń qayta qosqış 5.4-súwrette kórsetilgen.



5.4-súwret. Joqarı kernewli oramda kernewdi retlewdiń PBV túrinde punktlerdi orınlaw sxemaları: *a, b* — kóp qatlamlı cilindrik oramlar ushın; *c, d* — kóp qatlamlı katushkalı cilindrik hám úzliksiz katushkalı oramlar ushın; *e* — úsh fazalı qayta qosqış, bunda: 1 — júritiw uslağıshı; 2 — bekkemlew flaneci; 3 — bak qaqpağı; 4 — qağaz-baketli cilindr; 5 — tayanış valınıń qağaz-baketli izolyaciyası; 6 — shıǵanaq val; 7, 8 — qozǵalıwshı hám qozǵalmaytuǵın kontaktlar.

Transformatorlı tarmaqtan úzbey onıń kernewin retlew. Bunu ĞMD aymaǵında qısqasha «RPN (regulirovanie pod nagruz-koy)» delinedi.

Oramanıń oramlar sanın ózgerttiriw kontaktlı qayta qosqısh járdeminde ámelge asırıladı. Ol baktıń ishine jaylastırıladı, basqarılatuǵın bólimi bolsa PBV túrinde bak qaqqapına shıǵarılǵan boladı. RPN túrinde qayta qosqısh arnawlı júritpe járdeminde basqarıladı.

PBV túrinde ulıwmalıq maqsetli úlken quwatlılıqlı kúsh transformatorınıń JK oram tárepinen 5 (+5, +2,5, 0, -, 5, -5%) retlew basqıshı bolıp, bunda kernew nominal mánisine qaraǵanda $\div 5 \%$ ke retlenedi.

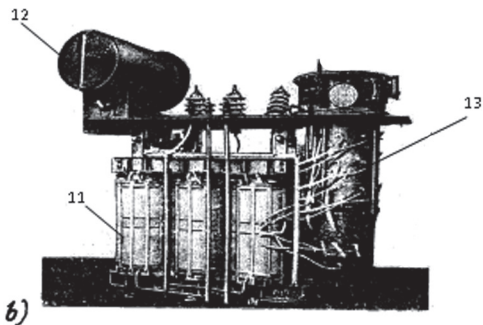
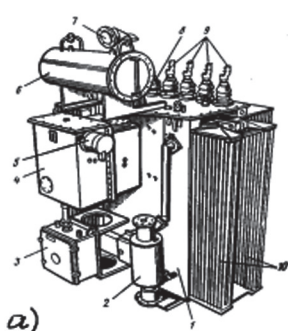
Kernewdiń JK oram tárepinen retleniwine sebep sonnan ibarat, bul jaǵdayda JK oramda pás kernewligi qaraǵanda tok ádewir kem bolıp, kontaktlardıń jumısı jeńillesedi, yaǵnıy olardıń xızmet múddeti artadı.

Kópshilik jaǵdaylarda «juldız» sxeması boyınsha jalǵanǵan hárbir faza oramınıń «nol» kósherinde orınlanadı. 5.4, *a*-súwrettegi sxema quwatlılıqlı 160 kV·A shekem bolǵan transformatorlarda, quwatlılıqlı 250 kV·A hám onnan úlken bolǵan jaǵdayda 5.4, *b*-súwrettegi sxema qollanıladı. 5.4, *c*-súwrettegi sxema nominal kernewi 38,5 kV bolǵan oramlar ushın, 5.4, *d*-súwrettegi sxema bolsa, oramnıń kernewi 220 kV shekem bolǵan transformatorlar ushın orınlanadı hám oramdı orawda onıń bir yarımı oń oralsa, ekinshi yarımı shep oraladı.

Kernewdi retlewdiń RPN túrinde tutınıwshını energiya menen támiyinlewdiń úzilmewi, onıń PBV túrine qaraǵanda úlken áhmiyetli esaplanadı, biraq RPN túrindegi qayta qosqıstıń quramalıǵı hám sonıń menen birge, bahasınıń qımbatlılıǵı onıń kemshiligi esaplanadı.

Quwatlıqlı 400 ÷ 630000 kV·A bolǵan zamanagóy transformatorlarda isletiletuǵın kernewdi retlewdiń RPN túrinde retleniwi $\pm (10 \div 16)$ procentlerde (%) ámelge asırıladı.

RPN menen támiyinlengen bir fazalı kúsh transformatorınıń sırtqı kórinisi hám úsh fazalıń aktiv bólimi 5.5-súwrette kórsetilgen.



5.5-súwret. Kernewi RPN usılında retlenetuǵın kúsh transformatorları: a) quwatlılıǵı 2500 kV·A bolǵan bir fazalı (1 — bak; 2 — termosifonlı filtr; 3 — retlew qurılmasın júritiw mexanizmi; 4 — kontaktorlar jaylastırılǵan bak; 5 — mufta; 6 — keńeyttirgish; 7 — saqlawshı truba; 8, 9 — tiyisli PK hám JK oq ótkizgishli izolyatorlar; 10 — radiatorlar); b) quwatlılıǵı 1000 kV·A, kernewi bolsa 35 kV bolǵan úsh fazalı (11 — oram; 12 — keńeyttirgish; 13 — retleniwshi punktlerdiń qayta jalǵaw qurılıması).

Qadaǵalaw ushın sorawlar:

1. Transformatorınıń sırtqı xarakteristikaların analizleń.
2. Kernew túsiwi ΔU qanday esaplanadı?
3. Transformatordıń kernewi qanday usıllar menen retlenedi?

6-BAP. TRANSFORMATOR ORAMLARINIŇ JALǴANIW GRUPPASÍ HÁM TRANSFORMATORLARDIŇ PARALLEL ISLEWI

6.1. Transformator oramlarınıń jalǵanıw gruppaların anıqlaw

6.1-súwrette bir fazalı transformatordıń bir ózeginde jaylastırılǵan eki (1 hám 2) oramın birdey magnit aǵımı (F) kúsh sızıqları tárepinen kesip ótken jaǵday kórsetilgen. Eger oramlardıń oralıw baǵdarı hám ushlarınınıń belgileniwi birdey bolsa (6.1, a-súwret), olarda payda bolǵan EQK ler (máselen, tekserilip atırǵan waqıt ushın oramnıń aqırınan basına) birdey baǵdarlangan boladı hám demek faza boyınsha tuwrı túsedı.

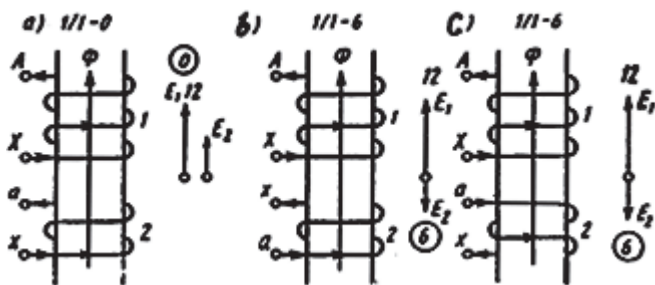
Eger usı oramlardan birewinde, máselen, PK (2) oram ushlarınıń belgileniwi almasterılsa, ondaǵı payda bolǵan EQK tıń oram ushlarına qaraǵanda baǵdarı kerisinshe ózgeredi, yamasa bul jaǵdayda «a» dan «x» qa baǵdarlanǵan bolıp, JK hám PK oramlar EQK leri E_1 hám E_2 faza boyınsha 180° qa jılıǵan boladı.

Oram ushların ózgettirmesten birden-bir (máselen, PK) oramnıń oralıw baǵdarın ózgettirgende E_1 hám E_2 EQK lerdıń óz ara jılıw fazası 180° boladı. Solay etip, JK hám PK fazalıq oramlar EQK leri arasındaǵı faza jılıwı usı oramlar ushlarınıń belgileniwine hám de oralıw baǵdarına baylanıslı boladı. Usınday oramlar bir ózekte jaylastırılǵanda bul jılıw 0 yamasa 180° qa teń bolıwı múmkin.

Úsh fazalı transformatorlarda oramlardıń jalǵanıw gruppaları JK hám PK oramlarǵa tiyisli birdey liniyalıq kernewleri vektorlarınıń óz ara jılıw múyeshin ańlatadı.

Oramlardıń jalǵanıw gruppasın ádettegi (aylanbada $1 \div 12$ sanlar kórsetilgen) saattan paydalanıp anıqlaw usılı ámelde ańsat esaplanadı (bul usıl standartta da belgilengen).

Bunıń ushın, dáslep saatlı sáwleleniwshi aylana sızılıp, onıń sanları aylanbaǵa teń bólinip belgilenedi.



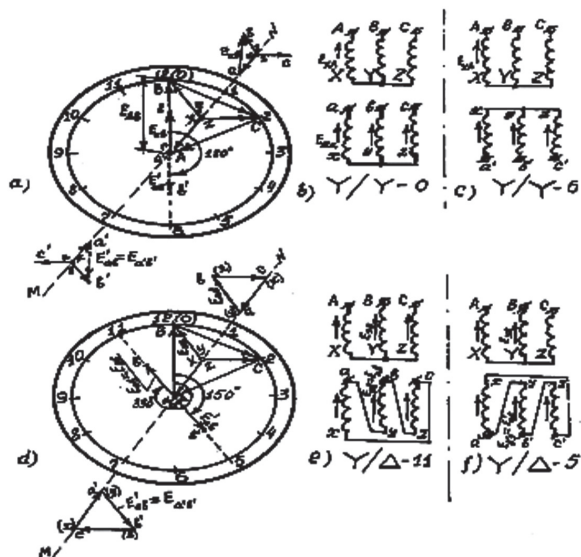
6.1-suwret. Bir fazalı transformator oramlarınıń jalǵanıw gruppasın anıqlawǵa tiyisli sızılımalar.

Úsh fazalı transformatordıń jalǵanıw gruppası JK hám PK oramlardıń liniyalıq EQK vektorları arqalı anıqlanǵanlıǵınan aylanbaǵa JK oram ushın EQK lar vektor diagrammasın sızadı.

Bunı tómendegi sxemalar ushın kórip shıǵamız:

1. Transformatordıń oramları Y/Y sxemaǵa jalǵanǵanda JK oram fazalıq EQK leriniń vektor diagramması bir-birinen faza tárepten 120° jılıǵan úsh birdey vektordan ibarat bolıp, olardıń ushları óz ara tuwrı sıızıqlar menen jalǵanǵanda tárep-leri liniyalıq (fazalar aralıq) kernewdi beretuǵın teń tárepli úshmúyesh payda boladı.

Úshmúyeshliktiń bir (máselen, A-v) tárepi JK oramnıń liniyalıq EQK vektorına model tárepten teń ($AV = E_{AV}$) hám saattıń «12» sanına turaqlı ráwishte baǵdarlangan bolıwı kerek. Sol sebepli JK oramnıń vektor diagrammasına tiyisli úshmúyeshlikti aylanba orayınan «12» sanına baǵdarlangan AV radiusın sıızıwdan baslanadı (6.2, a-súwret). Usı úshmúyeshlikke tiyisli basqa eki tárepiniń jaǵdayın anıqlaw ushın uzınlıǵı A-V radiusına teń bolǵan V-S qatardı V kósherinen ótkizemiz. A, V hám S kósherlerin óz ara tuwrı sıızıqlar menen birlestirip teń



6.2-súwret. «Jıldız-jıldız» (b, c) hám «Jıldız-úshmúyeshlik» (e, f) sxemalar ushın úsh fazalı transformator oramlarınıń jalǵanıw gruppasın anıqlawǵa tiyisli sıızımalar (a, d).

tárepli úshmúyeshlik payda etiledi. Bul úshmúyeshlik media-nalarınıń kesilisken kósherlerinen onıń ushlarına bolǵan aralıq (sızılmada vektor) JK oramı fazalıq EQK lerdi beredi.

JK oram ushın anıqlanǵan fazalıq EQK vektorları transformatordıń PK oramı ushın vektor diagrammanı qurıwda zárúr boladı.

Bunda JK hám PK oramlardıń oralıw baǵdarı hám de fazalıq oramlardıń bası hám aqırlarınıń belgileniwi birdey bolǵanında bir ózekke jaylastırılǵan oramlardıń bir faza magnit aǵımınıń kúsh sızıqları kesip ótkenligi sebepli oramlardıń EQK leri fazalıq oramlardıń aqırınan basına birdey (onı) baǵdarlanǵan jaǵdayı tekseriledi.

Ekilemshi oram liniyalıq EQK vektorı E_{ab} (bir fazalı transformatorda fazalıq EQK vektorı E_{xa}) JK oramlardıń liniyalıq EQK vektorı E_{AV} ge (bir fazalı ushın fazalıq EQK vektorı E_{xA} ge) qatnası 0 den 360° aralıǵında múyeshlerge jılıǵanı ushın 360° nı 12 ke bólgende shıqqan nátiyje (30°) jalǵanıw gruppasınıń birliǵı etip qabıl etilgen. «Juldız» sxemasına jalǵanǵan PK oram EQKleri vektor diagrammasın qurıw ushın JK oramınıń A fazalıq oramı EQK vektorı E_{xA} menen teń túsetuǵın baǵdarda járdemshi MN punktir sızıq sızıladı (6.2-súwret) hám onıń sheńberinen joqarı bóliminde birden-bir kósherin belgilep, sol kósherden PK oramınıń fazalıq EQK vektorları (E_{xa} hám E_{ub}) in JK oramı «A» hám «V» fazalarınıń tiyisli EQK vektorları (E_{xA} hám E_{yB}) ge sáykes ráwishte baǵdarlanadı. Olardıń ushların birlestirip, liniyalıq EQK vektorı E_{ab} payda etiledi. Gruppasını anıqlaw ushın usı vektordıń baǵdarın anıqlaw jeterli boladı.

PK oramı liniyalıq EQK vektorı E_{ab} nıń JK oramı liniyalıq EQK vektorı E_{AV} ǵa qatnası jılıwın anıqlaw maqsetinde PK oramı ushın qurılǵan vektor diagrammanıń E_{ab} vektorın ózine parallel ráwishte sheńberdiń ishindegi JK oramı vektor diagramması tárepke jılıtıwda onıń «a» kósheri EAV vektorınıń «A» kósheri ústine túsiwi zárúr.

E_{xA} hám E_{xa} fazalıq EQK vektorlar MN sızıǵı ústinde jatqanlıǵınan «a» kósherin «A» kósher tárepke jılıtıwda júdá qolaylılıq jaratadı.

Oramlar Y/Y jalǵanǵan jaǵday ushın qurılǵan vektor diagrammalar sol tártipte birlestirilgende PK oramnıń liniyalıq EQK vektorı E_{ab} JK oramnıń liniyalıq EQK vektorı E_{AV} menen ústpe-úst túsedi. Olardıń arasındaqı jılıw múyeshi 0 bolǵanı ushın oramlardıń jalǵanıw gruppası 0 ($0:30^\circ=0$) boladı (usınday usıldaǵı sanaq sisteması 0 den baslanıwı ushın «12» ni «0» menen almasıw usınıs etiledi). Úsh fazalı transformatordıń jalǵanıw gruppası saat baǵdarı járdeminde anıqlaw usılında PK oramlı liniyalıq EQK vektorı (E_{ab}) saat baǵdarınıń kishi mili menen belgilenedi hám oramnıń jalǵanıw gruppalarına qarap, saattıń bul mili 12(0) den 11 shekem bolǵan túrli pútin sanlardı kórsetiwı múmkin (6.2-súwret).

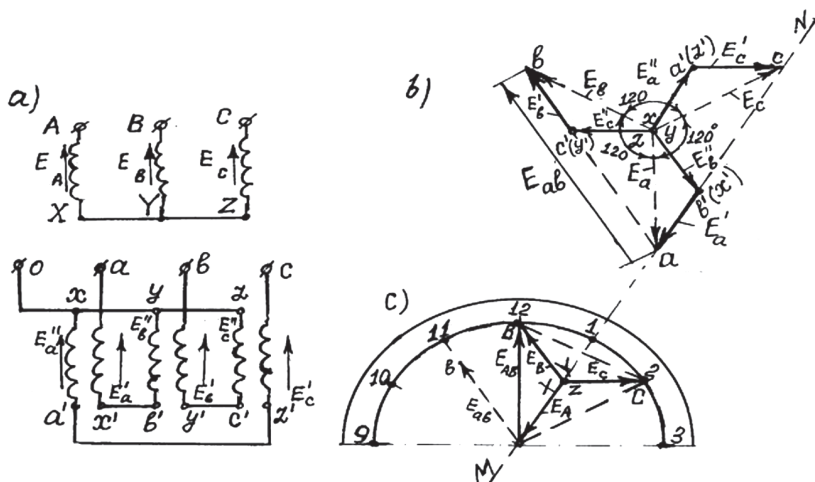
2. Transformatordıń JK oramı «jıldız», PK oramı bolsa «úshmúyeshlik» sxeması (6.2, e-súwret) boyınsha jalǵanǵanda JK oramı ózgeriw bolmaǵanlıǵı sebepli bul oram ushın vektor diagramma 6.2, a-súwrettegi menen birdey boladı (6.2, d-súwret).

Oramları birdey baǵdarda oralǵan, fazalıq oramları ushlarınıń belgileniwı hám bul oramlardaǵı EQK leriniń baǵdarlarında birdey bolǵan PK oramda liniyalıq EQK E_{ab} muǵdar tárepten sol oramı fazalıq EQK E_{ub} ne teń ($E_{ab}=E_{ub}$), keri izbeizlikte jalǵap «úshmúyeshlik» sxemasın payda etilgende bolsa $E_{ab'}=E_{b'u}$ boladı).

6.2, d-súwrettegi PK oramı ushın vektor diagrammanı qurıwda járdemshi MN sızılıǵınıń sheńberinen joqarı bóliminde birden bir kósherden JK oramınıń «V» fazalıq EQK vektorı E_{YB} ge parallel etip, oǵan tuwrı baǵdarda $E_{ab}=E_{uv}$ vektorı sızıladı. Basqa fazalardı tiyisli EQK vektorlarında sonday tártipte sızıw múmkin. Keyin bolsa PK oramı liniyalıq EQK vektorı E_{ab} in ózine parallel etip, onıń «a» kósheri JK oramı liniyalıq EQK vektorı E_{AV} nıń MN sızılıǵı ústindegi A kósheri menen ústpe-úst túskenge shekem jılıtıladı. Bul jaǵdayda E_{ab} vektor saatınıń «11» sanına baǵdarlanǵan jaǵdaydı iyeleydi. Demek, transformator oramlarınıń jalǵanıw gruppası 11 eken. E_{AV} vektorınan baslap saat miliniń aylanıwı boyınsha múyeshiti ólshew, onı 30° bolǵanda sol nátiyje ($330^\circ:30^\circ=11$) alınadı.

Óndiris ushın áhmiyetli juwmaq. Transformatorlardıń jalǵanıw gruppası tek ǵana PK oramasınıń JK oramasına salıstırǵanda oralıw baǵdarına, PK fazalıq oramlarınıń ushları qanday belgileniwine hám de olardıń jalǵanıw sxemalarına baylanıslı bolıp qalmastan, JK hám PK fazalıq oramlardı qanday izbeizlikte jalǵap «Δ» sxemasın payda etiwine baylanıslı boladı.

3. Oramlardıń oralıw baǵdarı hám úshlarınń belgileniwi birdey bolıp Y/Z sxema boyınsha jalǵanǵan (6.3, a-súwret) transformatordıń PK oramı EQK leri vektor diagrammasın (6.3, b-súwret) qurıw ushın «A» fazanıń («a-x'») hám V fazanıń («b'-u») katushkaları óz ara qarsı jalǵanǵanlıǵı sebepli olarda payda bolatuǵın EQK leri bir-birinen 120° jılıǵan hám de EQKleri keri baǵdarlanǵanlıǵınan olardı geometriyalıq ayırıw nátiyjesinde fazalıq EQK vektorları ($\underline{E}_a, \underline{E}_b, \underline{E}_c$) payda etiledi, yaǵnıy: $\underline{E}_a = \underline{E}''_b - \underline{E}'_a$, $\underline{E}_b = \underline{E}''_c - \underline{E}'_b$, $\underline{E}_c = \underline{E}''_a - \underline{E}'_c$ (6.3, b-súwret). «V» fazanıń ekilemshi («b'-u») katushkasında payda bolatuǵın EQK $\underline{E}''_b$ neytralǵa baǵdarlanǵan, sol fazaǵa tiyisli JK oramı EQK



6.3-súwret. «Juldız-zigzag» sxeması (a) ushın kúsh transformatorlarınń jalǵanıw gruppasın anıqlawǵa tiyisli vektor diagrammalar (b, c).

$\underline{E}_b$ bolsa neytralдан oram basına baǵdarlangan. Sol sebepli $\underline{E}_b''$ vektorın $\underline{E}_b$ ǵa keri baǵdarda qoyıladı hám onıń ushınan «A» fazanıń PK oramına tiyisli birinshi («a-x'») katushkası EQK vektorı $\underline{E}_a$ in JK oramınıń «A» fazalıq EQK vektorı $\underline{E}_a'$ na tuwrı baǵdarlanıp sızıladı. Keyninen $\underline{E}_a'$ vektorınıń ushın neytral kósher menen birlestirilip fazalıq EQK vektorı $\underline{E}_a$ payda etiledi. «V» hám «S» fazalıq oramlardıń tiyisli EQK vektorları $\underline{E}_b$ hám $\underline{E}_s$ ler hám de tap sonday tártipte payda etiledi (6.3, b-súwret). $\underline{E}_a$ hám $\underline{E}_b$ vektorlarınıń ushların birlestirip $\underline{E}_{ab}$ vektorınıń baǵdarı hám shamaların anıqlaymız.

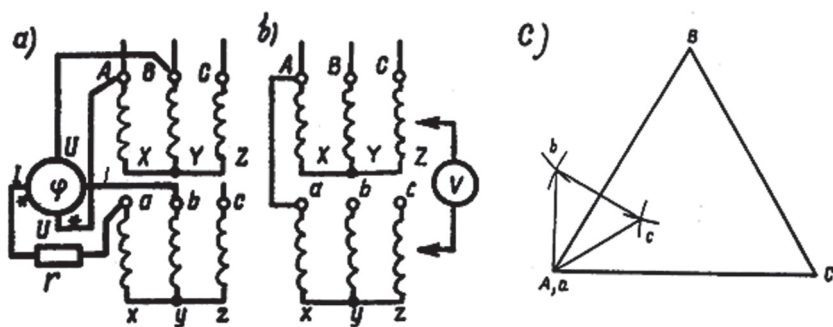
Bul vektordı ózine parallel ráwishte JK oramı ushın qurılǵan vektor diagrammanıń «A» kósherine liniyalıq vektor $\underline{E}_{ab}$ nıń «a» kósheri ústpe-úst túsetuǵın etip kóshirilgende $\underline{E}_{ab}$ vektorı saattıń «11» sanına baǵdarlanganlıǵı baqlanadı (6.3, c-súwret). Demek, berilgen sxema ushın oramlardıń jalǵanıw gruppası «11» eken.

6.2. Úsh fazalı transformator oramlarınıń jalǵanıw gruppaların tájiriybe jolı menen anıqlaw hám olardıń qollanıw tarawları

1. Jalǵanıw gruppaların tájiriybe jolı menen anıqlaw usılları

A. Fazometr usılı. Bul usıl JK hám PK oramlarınıń tuwrı liniyalıq kernewleri (yaki EQK leri) arasındaqı faza jılıw múyeshin fazometr (φ) járdeminde tuwrıdan-tuwrı ólshewge tiykarlangan (6.4, a-súwret). Fazometrdiń parallel oramı (U-U) di transformatorдын JK tárepke, izbe-iz oramı (I-I)in bolsa PK tárepke jalǵanadı. Izbe-iz jalǵangan oramlardaǵı toktı sheklew ushın onı qosımsha qarsılıq r_{qos} arqalı jalǵanadı. Keyin bolsa transformatorдын JK oramı úsh fazalı simmetriyalı kernewli elektr tarmaǵına jalǵanadı. Sonı aytıw kerek, ólshew qolaylı bolıwı ushın fazometrdiń shkalası 360° shekem bolǵanı maqsetke muwapıq esaplanadı.

B. Voltmetr usılı. Bul usılda oramlardıń liniyalıq kernewleri (yamasa EQK leri) arasındaǵı jılıw múyeshi ólshenbeydi.



6.4-súwret. Transformatordıń jalǵanıw gruppası tájiriye jolı menen fazometr (a) hám voltmetr (b) usıllarında anıqlaw sxemaları;
 c—tájiriybeli-grafik usılı ushın diagramma qurıw.

Demek, ol durıs emes usıl bolıp, JK hám PK oramlarınıń birdey atlı úshları joqarı kernew (yaki EQK) lerdı ólshewge tiykarlangan. Eger Y/Y-0 (6.4, b-súwret) jalǵanıw gruppası tekserilse JK hám PK oramlarınıń «A» hám «a» ushların sim menen jalǵap U_{vb} hám U_{ss} kernewleri ólshenedi. Ólshengen kernewler tómendegishe:

$$U_{vb} = U_{ss} = U_{ab} (k_1 - 1) \quad (6.1)$$

teńlemenı qanaatlандırса (bunda $k_1 = U_{AV}/U_{ab}$ — liniyalıq kernewlerdi transformaciyalaw koefficienti), jalǵanıw gruppası Y/Y-0 ge tuwrı keledi.

Basqa gruppalar ushın bolsa tómendegi teńlemeler boyınsha tekseriledi:

$$Y/Y-6 \text{ gruppası ushın} — U_{vb} = U_{ss} = U_{ab'} (k_1 + 1), \quad (6.2)$$

$$Y/\Delta-11 \text{ gruppası ushın} — U_{vb} = U_{ss} = U_{ab} \sqrt{1 - \sqrt{3} + k_\ell + k_\ell^2} \quad (6.3)$$

$$Y/\Delta-5 \text{ gruppası ushın} — U_{vb} = U_{ss} = U_{ab'} \sqrt{1 - \sqrt{3} + k_\ell + k_\ell^2} \quad (6.4)$$

(6.2÷6.4) teńlemelerde U_{ab} hám $U_{a'b'}$ — PK oram liniyalıq kernewleri.

Eger ólshengen kernewler keltirilgen formulalardı qanaatlандırmasa, demek, transformator oramlarınıń ushları nadırıs belgilengen boladı.

D. Tájiriye — grafik usılı. Transformatordıń jalǵanıw gruppasın bul usılda anıqlaw ushın JK hám PK oramlardıń birdey atlı (máseleń, «A» hám «a») qısqışların óz ara birlestirip (6.4, b-súwret) transformatordıń JK oramların simmetriyalı úsh fazalı kernew dereğine qosılıp, liniyalıq hám de U_{vb} , U_{ss} , U_{sb} hám U_{vs} kernewleri ólshenedi.

Alınǵan nátiyjeler boyınsha tańlangan masshtabta JK oramınıń liniyalıq kernewler teń tárepli úshmúyeshi qurıladı. Bul úshmúyeshliktiń V hám S kósherlerinen cirkul menen U_{vb} hám U_{sb} radiuslarında 2 keńlik sızılsa kesiliskeń kósherleri olardıń PK oramları liniyalıq kernewleri úshmúyeshliginiń «v» ushın payda etedi. Eger U_{ss} hám U_{bs} radiuslarında keńlik sızılsa, izlenip atırǵan úshmúyeshliktiń «s» ushın beredi.

Sxemada «A» hám «a» ushlar óz ara jalǵanǵanıń olardıń potencialları birdey boladı. Anıqlanǵan «a», «b», «s» kósherleri birlestirilip, PK oramı liniyalıq kernewler úshmúyeshligi "abs" in payda etemiz.

Eger joqarıda belgilengen qaǵıydaǵa tiykarlanıp JK oramı liniyalıq kernewler úshmúyeshliginiń AV tárepi saattıń 12 sanına baǵdarlansa, PK oramı liniyalıq kernewler úshmúyeshliginiń «ab» tárepi jalǵanıw gruppasını anıqlaydı.

2. Transformator oramları jalǵanıw gruppalarınıń qollanıw tarawları

A) Y/Y₀—0. JK oramı «juldız», PK oramı bolsa neytral (0) sımı sırtqa shıǵarıılǵan «juldız» sxemasına jalǵanǵan 0-gruppalı quwatlılıǵı úlken bolmaǵan, kernewi bolsa 10/0,4 yamasa 6/0,4 bolǵan transformatorlar elektr tutınıwshıları jaqtılıq hám kúsh elektr úskelerinen ibarat bolǵan aralas júklemeler ushın isletiledi. Bunda elektr motorları liniyalıq kernewlerge, jaqtılıq

hám úy xojalıǵında hám de kúndelikli xızmet kárxanalarındaǵı elektr ásbaplar tiykarınan faza kernewlerine jalǵanadı. Bul sxemanı $\Delta/Y-11$ gruppalı jalǵanıw sxeması menen almasıw múmkin. Transformatordıń oramları bul sxemaǵa jalǵanganda fazalarınń júklemesi simmetriyalı emes bolǵanda da biraz jaqsı isleydi. Bul bolsa usınday jalǵanıw gruppasınıń áhmiyetliligi esaplanadı.

B) $Y/\Delta-11$. JK oramı «juldız», PK oramı bolsa «úsh-múyeshlik» sxemasına jalǵangan 11-gruppalı transformatorlar pás kernewli 400 V tan úlken bolǵan (6/0,525; 10/0,525; 35/10; 35/6 kV) jaǵdaylarda isletiledi.

D) $Y_0/\Delta-11$. JK oramı neytral (0) sımı sırtına shıǵarılgan «juldız», PK oramı bolsa «úshmúyeshlik» sxemasına jalǵangan 11-gruppalı transformatorlar $U_{YK} \leq 110$ kV bolǵan kernewlerde isletiledi.

Oramdı «juldız» (Y) sxemaǵa jalǵaw joqarı kernewlerde qolaylı esaplanadı, sebebi oramǵa beriletuǵın fazalıq kernew (U_f) liniyalıq kernewden (U) $\sqrt{3}$ ese kishi boladı. Bul bolsa oramdı tayarlawda izolyaciyalı material az sarplanıp, transformatordıń bahası kemeyedi.

PK oramlardı kópshilik jaǵdaylarda « Δ » sxemasına jalǵaydı. Bunday sxemada transformator fazalarındaǵı júkleme nadurıs bolsa da jaqsı isleydi. Onnan tısqarı, « Δ »ke jalǵanganda oramnıń fazalıq toǵı $I_f = I/\sqrt{3}$, yaǵnıy kem bolıp, oram oraw sımınıń kesim maydanın azıraaq tańlawǵa imkan beredi. Demek, bul jaǵdayda da oram bahası biraz arzan boladı.

$Y/Y-0$ jalǵanıw gruppasında magnit aǵımınıń tiykarǵı payda etiwshisi $F_{(1)}$ den tısqarı onıń 3-garmonikası $F_{(3)}$ te júzege keledi. Transformatordıń konstruktiv elementlerinde $F_{(3)}$ payda etilgen úyirmalı toklar oni normadan artıqsha qızdırıp jiberedi. Sol sebeplerge (kemshiliklerge) baylanıslı $Y/Y-0$ sxema kem qollanıladı.

Öndiris mıtájliklerine qarap $Y/Y-0$; $\Delta/Y-11$; $Y/\Delta-11$; $Y_0/\Delta-11$ hám de arnawlı buyırtpalar tiykarında $Y/Z-11$ jalǵanıw gruppaları tayarlanadı. Bulardan Y/Δ yamasa Δ/Y sxemaǵa

tiyisli jalǵanıw gruppası áhmiyetli esaplanadı. Sol sebepli standart Δ/Y —11 jalǵanıw gruppası usınıs etilgen.

3. Transformator oramlarınıń jalǵanıw gruppalarına tiyisli ámeliy jumıs ushın kerekli bolǵan juwmaqlar

1) bir fazalı transformatorда tek 0 ham 6-gruppalarдı alıw múmkin. Bir fazalı eki oramlı transformatorlar standart boyınsha tek I/I-0 jalǵanıw gruppalarına qarap tayarlanadı;

2) oram fazalarınń bak qaqpаǵındaǵı standart boyınsha belgileniw izbe-izligi («A-V-S» hám «a-b-s») ózgerttirilmegende Y/Y—0 sxeması 0 yamasa 6-jup gruppaların beredi;

3) maylı transformator oramlarınıń bak ishinde jalǵanǵan Y/Y-0 sxemasın ózgerttirmegen jaǵdayda PK fazalıq oramlardıń úshların shepten ońǵa («a-b-c»; «c-a-b»; «b-c-a») jılıtıp belgileniwi nátiyjesinde 0-gruppadan 4 hám 8-gruppalarдı payda etiw múmkin. (Esletpe: hárbir jılıtıp belgilewde birdey atalǵan EQK $120^\circ=4\times 30^\circ$ múyeshke burıladı, demek, gruppanıń nomeri de tórtke ózgeredi);

4) Y/Y-6 jalǵanıw sxemasına ótiw ushın transformator bagi ishindegi nól payda etilgen sımdı fazalıq oramlardıń basına kóshiriw zárúr boladı (bul jaǵdayda PK oramnıń barlıq EQK leri JK oramı EQK lerine biraz keri, yaǵnıy 180° baǵdarlanadı).

5) Y/Y-6 jalǵanıw sxemasında shepten ońǵa jılıtıp belgilew nátiyjesinde 6-gruppadan 10 hám 2-gruppalar payda etiledi.

6) Y/ Δ yamasa Δ/Y sxemalarında transformator baginiń qaqpаǵına shıǵarılǵan úsh fazalı oram qısqaqlarınıń standart boyınsha (A-V-S hám a-b-s) jaylastırılıwı ushın 1, 5, 7 hám 11-taq gruppalarдı alıw múmkin. 3 hám 9-taq gruppalarдı payda etiw ushın bolsa fazalar belgileniwin (máselen, PK oram tárepinen) ózgerttiriw zárúr boladı;

7) Δ/Δ sxemaları 0, 2, 4, 6, 8 hám 10-jup gruppaların beredi;

8) Y/Z sxemalarında oram qısqaqları joqarıda kórsetilgendey (A-V-S hám a-b-s) izbe-izlikte jaylastırılǵanda 1, 5, 7 hám 11-gruppaların alıw múmkin;

9) JK yamasa PK oramlardıń tiyisli X, Y, Z yamasa x, y, z aqırların olardıń basları sıpatında paydalanıp, yaǵnıy birdey kernewli fazalı oram bası hám aqırların almasırap belgilewde tek «juldız» sxeması ushın gruppasını altıǵa ózgerttiredi.

10) «úshmúyeshlik» yamasa «zigzag» sxemaları ushın hár bir fazalı oram bası hám aqırların óz ara almasırap belgilewde oramnıń oralıw baǵdarları menen bir waqıtta fazalar aralıq jalǵanıw izbe-izliginde ózgergenligi sebepli gruppasını aldındıday altıǵa emes, bálkim basqasha ózgerttiredi;

11) úsh fazalı eki oramlı transformatorlardıń barlıq jalǵanıw gruppalarınan tómendegi: $Y/Y_0 - 0$, $Y/\Delta - 11$, $Y_0/\Delta - 11$, $Y/Z - 11$ jalǵanıw sxemaları hám gruppaların óndiris ushın standart usınıs etilgen.

6.3. Transformatorlardıń parallel islewi

Eki (yamasa onnan kóp) transformatorlardıń birlemshi oramları bir elektr tarmaǵınan (derekten) energiya menen támiyinlenip, ekilemshi oramları bolsa ulıwmalıq tutınıwshıǵa (yamasa tarmaqqa) jalǵanǵan jaǵdaydaǵı jumısın transformatorlardıń parallel islewi delinedi.

Transformatorlardı parallel isletiw tutınıwshılardı elektr energiya menen úziksiz támiyinlewde úlken ámeliy áhmiyetke iye esaplanadı. Máselen, parallel islep atırǵan transformatorlardan birewinen avariya jaǵdayı payda bolsa yamasa sazlaw ushın onı derekten ajıratqanda da energiya támiyinleniwi úzilmeydi, sebebi bul jaǵdayda tutınıwshılar elektr energiyasını parallel islep atırǵan basqa transformatorlardan aladı.

Podstanciyanıń ulıwmalıq júklemesi artqanda parallel islep atırǵan transformatorlardıń sanı arttırılıp, júkleme kemeygende bolsa transformatorlardıń bir bólimi tarmaqtan ajıratıp qoyıladı. Transformatorlar júklemesiniń usı tárizde optimallanıwı, olardıń energetikalıq kórsetkishlerinde (FIK ham $\cos \phi$)dı jaqsılaydı.

Transformatorlardı parallel islewge jalǵaw shártleri. Transformatorlardı parallel islewge jalǵawda olardıń oramlarında teńlestiriwshi toklardıń júzege kelmewi hám ulıwmalıq júkleme

parallel jalğanğan transformatorlardıń quwatlılıǵına teń jagdayda bólistiriliwi zárúr boladı. Bunıń ushın tómendegi shártler orınlanıwı talap etiledi:

1) parallel jalğanatuǵın hám islep turǵan transformatorlardıń birlemshi nominal kernewleri óz ara teń ($U_{1,N(I)} = U_{1,N(II)} = \dots$) hám de ekilemshi nominal kernewleri de teń bolıwı, yaǵnıy liniyalıq transformaciyalaw koefficientleri (k_i) birdey bolıwı kerek:

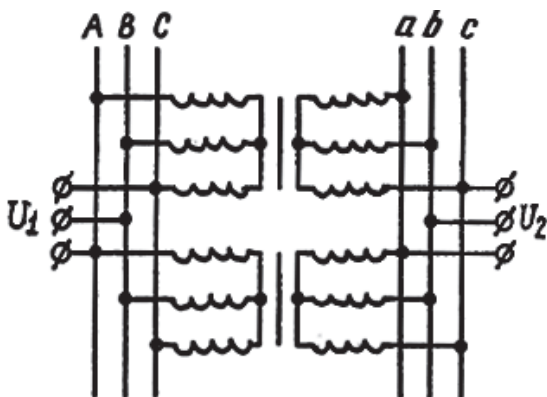
$$k_{I,I} = k_{I,II} = k_{I,III} = \dots \quad (6.5)$$

2) parallel jalğanatuǵın hám islep turǵan transformatorlardıń qısqa tutasıw kernewleri birdey bolıwı kerek, yaǵnıy

$$u_{qt,I} = u_{qt,II} = u_{qt,III} = \dots \quad (6.6)$$

3) transformatorlar oramlarınıń jalğanıwı bir gruppaga tiyisli bolıwı áhmiyetli esaplanadı.

Eki bir fazalı kúsh transformatorların parallel islewge jalǵaw sxeması 6.5, *a*-súwrette hám parallel islewge jalğanğan eki úsh fazalı kúsh transformatorınıń sxeması 6.5, *b*-súwrette kórsetilgen.



6.5-súwret. Parallel islewge jalğanğan eki dana úsh fazalı kúsh transformatorınıń sxeması.

Transformaciyalaw koefficientleri k_i , olardıń ortasha arifmetikalıq mánislerinen parqı $\pm 0,5\%$ shekem, qısqa tutasıw ker-

newleri u_{qt} bolsa (± 10)% shekem parıqlı bolğan jaǵdaylarda transformatorlardı parallel isletiw múmkinligi standartda belgilengen. Onnan tısqarı parallel isleytuǵın transformatorlar nominal quwatlılıqlarınıń parqı úsh ese kóterilmewi kerek, sebebi transformatordıń qısqa tutasıw kernewi u_{qt} onıń nominal quwatlılıǵı hám kernewi artqanı sayın artıp baradı.

Oramlarınıń jalǵanıw gruppaları hár túrli bolğan jaǵdayda transformatorlardı parallel jalǵaw múmkin emes, sebebi bul jaǵdayda olardıń oramlarınan mánisleri qısqa tutasıw toginiń mánisine jetkeninde teńlestiriwshi toklar ótedi. Bul bolsa transformatorlar ushın qáwipli esaplanadı.

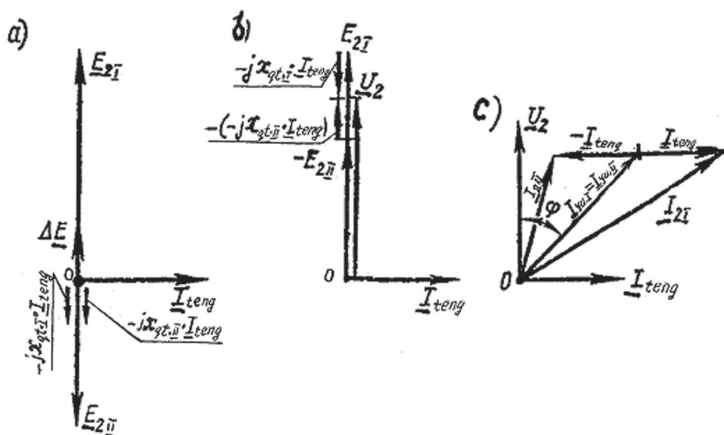
Joqarıda kórsetilgen shártlerden birewi tolıq orınlanbaǵan jaǵdaylarda transformatorlardıń parallel islewin kórip shıǵamız.

Transformaciyalaw koefficientleri hár túrli bolğan transformatorlardıń parallel islewi. Parallel islep atırǵan transformatorlar ekilemshi oramlarındaǵı EQK leri ($E_{2.I}$, $E_{2.II}$) qarama-qarsı jalǵanǵan bolǵanı ushın vektor diagrammada olardıń vektorları óz ara keri baǵdarlap sızıladı (6.6, *a*-súwret). Eger transformatorlardıń birlemshi oramı EQK leri shártke muwapıq teń bolsa, onda transformaciyalaw koefficientleri $k_{\ell.I} < k_{\ell.II}$ bolǵanda ekilemshi oramı EQK leri $E_{2.I} > E_{2.II}$ boladı hám qarama-qarsı baǵdarlangan bul EQK lerdıń vektor jıyındısı sebepli nátiyjeli EQK $\Delta E = E_{2.I} + E_{2.II}$ payda bolıp, ol transformatorlar oramları arasında teńlestiriwshi tok $I_{teń}$ ti júzege keltiredi:

$$I_{teń} = \Delta E / (\underline{Z}_{qt.I} + \underline{Z}_{qt.II}), \quad (6.7)$$

bul jerde $\underline{Z}_{qt}$ — tolıq qısqa tutasıw qarsılıǵı; «I» indeks birinshi transformatorǵa, indeks «II» bolsa ekilemshi transformatorǵa tiyisli. Ádette úlken quwatlılıqlı transformatorlarda ($x_{qt.I} + x_{qt.II}$)» ($r_{qt.I} + r_{qt.II}$) bolǵanlıǵınan $r_{qt.I}$ hám $r_{qt.II}$ qarsılıqların itibarǵa almasa da boladı.

Bul jaǵdayda teńlestiriwshi tok $I_{teń}$ EQK ΔE teń sherek dáwir (90°) de arqada qaladı. Bul tok mánisi úlken bolğan EQK $E_{2.I}$ ge qatnası induktiv bolıp, mánisi kishi bolğanı EQK $E_{2.II}$ ge qatnası bolsa sıyımlılıqlı esaplanadı (6.6, *a*-súwret).



6.6-súvret. Transformaciyalarav koefficientleri hár túrli bolğan eki dana kúsh transformatorınıń parallel islewine tiyisli vektor diagrammalar: (a — sald islewdegi vektor-diagramma; b — ekilemshı oram kernewlerin anıqlaw; c — I hám II transformatordıń tokların anıqlaw).

Júklemel jalǵanǵanda $I_{\text{teń}}$ tok júklemel toǵı $I_{\text{júk}}$ na geometriyalıq qosıladı. Ekilemshı oram EQK $E_{2,I}$ onıń kernewi $U_{2,I}$ den úlken ($E_{2,I} > U_{2,I}$) bolǵan 1-transformator (T_I) toǵı tómendegige teń:

$$I_{2,I} = I_{\text{ju},I} + I_{\text{teń}}.$$

Eger tekserilip atırǵan waqıtta 1-transformatorında $I_{\text{teń}}$ tok oramı basınan onıń aqırına ótip atırǵan bolsa, 2-transformatorında bolsa ol oram aqırınan onıń basına shekem ótedi hám sol sebepli 2-transformator (T_{II}) dıń toǵı tómendegige teńleme menen anıqlanadı, yaǵnıy

$$I_{2,II} = I_{\text{ju},II} + I_{\text{teń}}. \quad (6.6, c\text{-súvret}).$$

$I_{\text{teń}}$ toginiń tásiiri sebepli transformatorlarda toklar teńsizligi ($I_{2,I} > I_{2,II}$) payda boladı. Bunday jaǵdaylarda 1-transformator T_I joqarı júklenip, eki transformator T_{II} dıń júklemesi bolsa normadan kem boladı.

Transformator (T_I) ekilemshi oramında $\underline{I}_{teñ}$ togi júzege keltirgen kernew páseyiwi ($-jx_{qt.II} \cdot \underline{I}_{teñ}$) EQK $\underline{E}_{2.II}$ ke qarama-qarsı baǵdarlangan, transformator (T_{II}) ekilemshi oramında teñlestiriwshi tok sebepli júzege kelgen kernew páseyiwi vektory ($-jx_{qt.II} \cdot \underline{I}_{teñ}$) bolsa EQK vektory $\underline{E}_{2.II}$ menen teñ baǵdarlangan. Nátiyjede, transformatorlardıń ekilemshi oramlarında $\underline{E}_{2.I} \gg \underline{U}_2 > \underline{E}_{2.II}$ bolǵan jaǵdayda ulıwmalıq kernew $\underline{U}_2$ turaqlı boladı (6.6, b-súwret).

Qısqa tutasıw kernewi birdey bolmaǵan transformatorlardıń parallel islewı. Eger $k_{\ell.I} = k_{\ell.II}$ hám oramlarınıń jalǵanıw gruppaları birdey bolıp, qısqa tutasıw kernewleri teñ bolmaǵan ($u_{qt.I} \neq u_{qt.II}$) eki dana transformatordı parallel islewge jalǵanganda júkleme asırılsa, qısqa tutasıw kernewi kem bolǵan transformator ekinshisine qatnası aldın nominal quwatlılıǵına erisedi. Ulıwmalıq, parallel islep atırǵan transformatorlar arasında júkleme olardıń qısqa tutasıw kernewlerine kerı teńliklerge bólinedi:

$$(SI/SI_N) : (SI_I/SI_{I.N}) = u_{qt.II} / u_{qt.I}. \quad (6.8)$$

T_{II} di da nominal quwatlılıqqa shekem júklew maqsetinde ulıwmalıq júkleme jáne de arttırılǵanda T_I dıń júklemesi normaldan artıp ketedi. Bul bolsa ámeliy jumıs ushın unamsız jaǵday esaplanadı. Parallel isletiletuǵın transformatorlar nominal quwatlılıqlarınıń ayırması 3:1 ten úlken bolmawı kerek.

Demek, qısqa tutasıw kernewleri hár túrli bolǵan transformatorlardı parallel isletiwde olardıń ornatilǵan quwatlılıqtan tolıq paydalanıp bolmaydı eken.

Eger sırtqı xarakteristikaları belgili bolsa, berilgen ekilemshi oram kernewi shaması boyınsha parallel islep atırǵan transformatorlardıń toǵın grafik usılda anıqlaw múmkin (6.7-súwret).

Ulıwmalıq júkleme jalǵanganda qısqa tutasıw kernewi u_{qt} úlken bolǵan transformatordıń kernew páseyiwi kóp bolıp, onıń sırtqı xarakteristikası abscissalar kósherine kóbirek awadı. Eger ordinatası nominal kernewge teñ bolǵan kósherden abscissalar kósheri ótkizilgen parallel sızıq sırtqı xarakteristikaları menen

$$I_{\text{teñ}} = \Delta E / (Z_{\text{qt.I}} + Z_{\text{qt.II}}). \quad (6.10)$$

Eger, máselen, islep atırğan eki transformatordıń quwatlılıqları birdey hám salıstırma birliklerdegi tolıq qısqa tutasıw qarsılıqlarında kernewleri $Z_{\text{qt.I}} = Z_{\text{qt.II}} = u_{\text{qt.I}} = u_{\text{qt.II}} = 0,05$ bolsa, onda $I_{\text{teñ}}/I_N$ salıstırma tómendegige teñ boladı: $I_{\text{teñ}} = 0,52 / (2 \cdot 0,05) \approx 5,2$. Demek, sald islew rejimde de $I_{\text{teñ}}$ tok nominal tokqa qatnası 5,2 ese úlken boladı. Bul bolsa qısqa tutasıw jaǵdayı menen birdey esaplanadı. Demek, hár túrli gruppadaǵı transformatorlardı parallel islewge jalǵaw múmkin emes eken.

Qadaǵalaw ushın sorawlar:

1. Úsh fazalı transformatorda jalǵanıw gruppası qalay anıqlanadı?
3. Jalǵanıw gruppası tájiriye jolı menen qalay anıqlanadı?
4. Transformatorlardı parallel isletiwdiń áhmiyeti nelerde?
5. Qanday shártler orınlanganda transformatorlardı parallel jalǵaw múmkin?

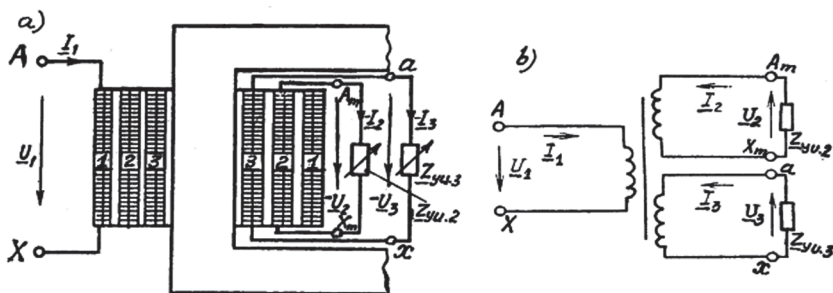
7-BAP. ÚSH ORAMLI TRANSFORMATORLAR. AVTOTRANSFORMATORLAR

7.1. Úsh oramlı transformatorlar

Úsh oramlı transformatorda ózekke ornatılǵan óz ara elektrik jalǵanbaǵan úsh oramı boladı. Eger transformator páseyttiriwshi bolsa, olardan eń JK oramı birlemshi oram boladı, qalǵan ekewi bolsa ekilemshi oramı esaplanadı.

Úsh oramlı transformatordıń islew principi eki oramlı ápiwayı transformatordıń islew principinen pariq bolmaydı.

Birlemshi oramǵa ózgermeli tok berilgende magnit ótkizgishte ózgermeli magnit aǵım payda bolıp, onıń kúsh sıızıqları ekinshi hám 3-oramlardı kesip ótiwi sebepli, olarda teñ ráwishte E_2 hám E_3 EQK ler payda boladı. Ekinshi hám 3-oramlarǵa júkleme jalǵanǵan usı oramlardaǵı EQK ler tásirinde olarǵa sáykes bolǵan I_2 hám I_3 toklar ótip, oramlardıń shıǵıw ushlarındaǵı tiyisli U_2 hám U_3 kernewler júzege keledi (7.1-súwret).



7.1-súwret. Úsh oramlı páseyttiriwshi transformator ózeginde oramlardıń jaýlastırılıwı (a) hám principal sxeması (b).

Úsh oramlı transformatordıń magnit júritiwshi kúshleri teń salmaqlılıq teńlemesi tómendegishe jazıladı:

$$\underline{I}_0 w_1 \approx \underline{I}_1 w_1 + \underline{I}_2 w_2 + \underline{I}_3 w_3. \quad (7.1)$$

Bul teńlemenıń shep ham oń tárepın w_1 ǵa bólip, $\underline{I}_2 \cdot w_2 / w_1 = \underline{I}'_2$ hám $\underline{I}_3 \cdot w_3 / w_1 = \underline{I}'_3$ belgileniwler kiritkennen ke-yin úsh oramlı transformator toklarınıń teń salmaqlılıq teńlemesin payda etemiz:

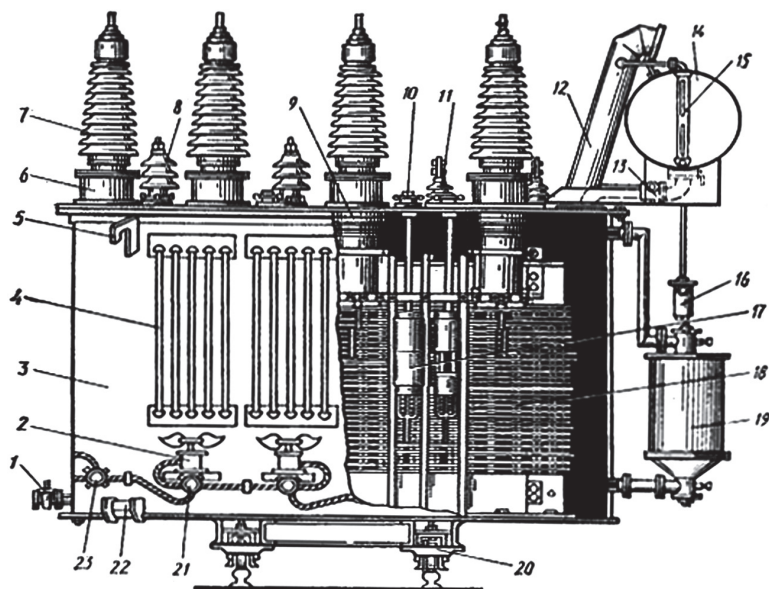
$$\underline{I}_0 \approx \underline{I}_1 + \underline{I}'_2 + \underline{I}'_3. \quad (7.2)$$

Úlıwma maqsetli úsh oramlı kúsh transformatorları úlken quwatlılıqları ($6300 \div 80\,000 \text{ kV} \cdot \text{A}$)na hám joqarı kernewler ($35 \div 220 \text{ kV}$)ge mólsherlep tayarlanadı. 7.2-súwrette sonday transformatorlardan TDT-16000/110 tipi kórsetilgen.

Bunday transformatorlarda sald islew toǵı $\underline{I}_0$ nominal tok $\underline{I}_{\text{IN}}$ dıń júdá kishi bólimi ($0,5 \div 1,2\%$)ti payda etilgenliginen, onı itibargá almaǵan ($\underline{I}_0 \approx 0$) jaǵdayda, úsh oramlı transformator toklarınıń teń salmaqlılıq teńlemesi tómendegishe jazıladı:

$$\underline{I}_1 \approx -(\underline{I}'_2 + \underline{I}'_3). \quad (7.3)$$

Úsh oramlı transformatordıń áhmiyetliligi sonnan ibarat, ayırım jaǵdaylarda elektr stanciyasında yamasa transformator podstanciyasında kernewi hár túrli bolǵan eki dana eki oramlı

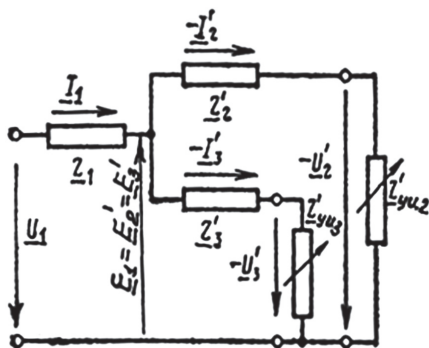


7.2-сүврет. Quwatlılığı 16 MVA, 110 / 38,5 / 11 kV, TDT-16000/110 tipli úsh fazalı úsh oramlı transformator: (1 – kran; 2 – ventilyator; 3 – bak; 4 – radiator; 5 – ilgish; 6 – tok transformatorı menen ótiw flaneci; 7 – joqarı kernew ushın ótiw izolyatorı; 8 – orta kernew (38,5 kV) ótiw izolyatorı; 9 – 110 kV ótiw izolyatorınıń qaғaz-baklı cilindri; 10 – PBV qayta qosqısh júritpesi; 11 – pás kernew (11 kV) ótiw izolyatorı; 12 – shıǵarıw trubası; 13 – gaz relesi; 14 – keñeytirgish; 15 – may kórsetkish; 16 – hawa keptirgish; 17 – JK oram qayta qosqıshı; 18 – JK oram (110 kV); 19 – termosıfonlı filtr; 20 – transformatordı jılıtıw ushın arba; 21 – bólistiriw qutısı; 22 – domkrat ornatiw ushın ilgek; 23 – tiykargı qutı.

kúsh transformatorı ornına bir úsh oramlı transformator isletiw múmkin. Bul jaǵdayda transformator ornatiw ushın kishi jer talap etiledi, energiya sarpları biraz kemeyedi hám podstanciya bahası arzanlasadı.

Úsh oramlı transformatorда тураqlı elektromagnit procesleri eki oramlı transformatorǵa uqsas jaǵdayda tómendegi teńlemeler sisteması arqalı belgilenedi:

$$\left. \begin{array}{ll} a) \underline{U}_1 = -\underline{E}_1 + \underline{I}_1 \underline{Z}_1; & b) \underline{U}_2 = \underline{E}'_2 - \underline{I}'_2 \underline{Z}'_2; \\ c) \underline{U}_3 = \underline{E}'_3 - \underline{I}'_3 \underline{Z}'_3; & d) \underline{I}_0 = \underline{I}_1 + \underline{I}'_2 + \underline{I}'_3, \end{array} \right\} \quad (7.4)$$



7.3-suwret. Ush oramlı transformatorđın almasıwıw sxeması.

bul jerde: $\underline{Z}_1 = r_1 + jx_1$, $\underline{Z}'_2 = r'_2 + jx'_2$, $\underline{Z}'_3 = r'_3 + jx'_3$ — transformator oramlarınıń tiyisli tolıq qarsılıqları; $\underline{I}'_2 = \underline{I}_2 \cdot w_2 / w_1$ hám $\underline{I}'_3 = \underline{I}_3 \cdot w_3 / w_1$ — birlemshi oramanıń oramlar sanına keltirilgen ekinshi hám 3-oram tokları. Sald islew togi $\underline{I}_0 \ll \underline{I}_{IN}$ bolǵanlıǵınan magnitleniw punktleri esapqa almaǵan jaǵdayda úsh oramlı transformatorđın almasıwıw sxeması 7.3-súwrette kórsetilgen. Usınday sxema transformator

torđın parametrleri belgili bolǵanda da júklemenıń qarsılıqları berilgen bolsa transformator oramlarınıń tokları hám kernewlerin hám de olardaǵı sarplardı anıqlawǵa imkan beredi.

Ekilemshi oramları arasındaǵı magnit baylanıs olardıń óz ara bir-birine tásir etiwine sebepshi boladı. Máselen, 2-oram togi $\underline{I}_2$ niń ózgeriwinen tek onıń kernewi $\underline{U}_2$ ózgerip qalmastan, birlemshi oram togi $\underline{I}_1$ hám 1-oram tolıq qarsılıǵındaǵı kernew túsiwi ($\underline{I}_1 \underline{Z}_1$) diń ózgeriwi sebepli 3-oram kernewi $\underline{U}_3$ diń mánisine de tásir etedi. Úsh oramlı transformatorđın transformaciyalaw koefficientleri ($k_{1,2}$, $k_{1,3}$, $k_{2,3}$) onıń sald islew tájiriyesinen anıqlanadı:

$$\left. \begin{array}{l} k_{1,2} \approx U_1 / U_2, \quad k_{1,3} \approx U_1 / U_3, \\ k_{2,3} \approx U_2 / U_3 = (U_2 / U_1) / (U_3 / U_1) = k_{1,3} / k_{1,2} \end{array} \right\} \quad (7.5)$$

Úsh oramlı transformator da qısqa tutasıw tájiriyesin ótkiziw tártibi eki oramlı transformator tájiriyesinen parıqlanbaydı.

Standart boyınsha zamanagóy úsh oramlı kúsh transformatorlarında oramlardıń quwatlıqları hárbirewi 100% quwatlılıqqa mólsherlep tayarlanadı. Bunda transformator 100% quwatlılıǵı ekilemshi oramlardan birewine beredi yamasa bul quwatlılıǵı ekinshi hám 3-oram quwatlılıqlarınıń jıyındısına teń boladı.

Oramlardıń ózekke jaylastırıw izbe-izligi transformator qısqa tutasıw kernewleri mánisine tásir etedi. Máselen, TDTN-40000/220 tipli úlken quwatlılıqlı transformatorda oramlar ózekte PK-OK-JK izbe-izlikte jaylastırılǵanda olardıń qısqa tutasıw kernewleri $u_{qt.(1.2)} = 12,5$, $u_{qt.(1.3)} = 22,0$ hám $u_{qt.(2.3)} = 9,5\%$ teń boladı.

Standart usınısı menen úsh fazalı úsh oramlı transformatorlarda $Y_n/Y_n/\Delta - 0 - 11$ yamasa $Y_n/\Delta/\Delta - 11 - 11$, bir fazalı úsh oramlı transformatorda bolsa $I/I/I - 0 - 0$ gruppalar isletiledi.

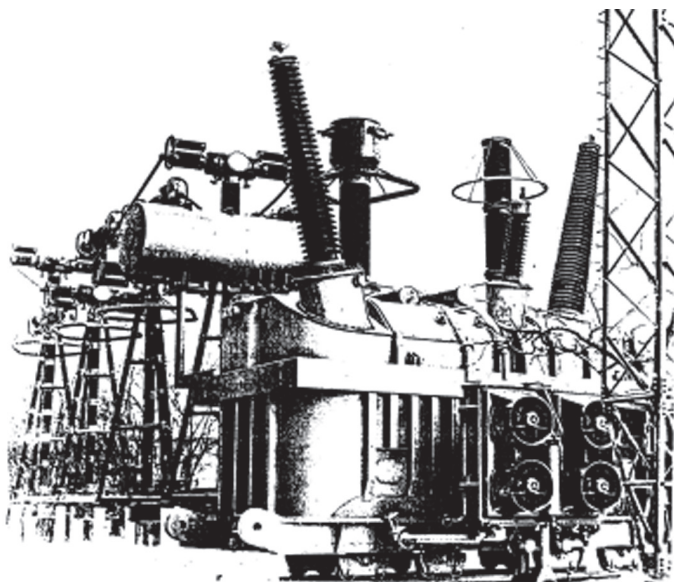
7.2. Avtotransformatorlar

Oramları elektromagnit baylanıstan tısqarı elektr baylanısqa da iye bolǵan transformatordıń bir túrine **avtotransformator** dep ataladı.

Transformatorda birlemshi oramnan ekilemshi oramǵa tolıq energiya elektromagnit arqalı berilse, avtotransformator (AT)da tolıq energiyanıń bir bólimi usı jol menen uzatılıp, energiyanıń basqa bólimi bolsa onıń birlemshi hám ekilemshi shıńjırları elektr tárepten jalǵanǵanlıǵı arqalı tuwrıdan tuwrı beriledi. Bul ATda elektr energiyanı uzatıw usılınıń ózine tán ózgesheligi esaplanadı.

AT lar kernewdi páseyttiriwshi hám arttırıwshi, bir fazalı hám úsh fazalı, eki oramlı hám úsh oramlı túrlerge bólinedi. Eger Avtotransformator oramlarınıń «AX» ushların tarmaqqa jalǵap, onıń «ax» bólimine tutınıwshi jalǵansa — páseyttiriwshi avtotransformator (7.4-súwret), eger de «ax» bólimin tarmaqqa jalǵap, «AX» ushlarına tutınıwshi jalǵanǵanda — arttırıwshi avtotransformatorı boladı.

Kem quwatlılıqlı (máselen, kernewdi retlegish) avtotransformatorınıń bir oramı bolıp, onıń bir bólimi ekilemshi (yaki



7.4-súwret. Elektr energetikası sistemasında ekspluatatsiya ushın ornatılğan úlken quwatlı joqarı kernewli bir fazalı avtotransformator.

birlemshi) oram wazıypasın orınlaydı. Bul jaǵdayda oram sırtınan súykeliwshi kontaktlar járdeminde ekilemshi orama oramları sanın ózgerттіrip kernew retlenedi. Úlken quwatlılıqlı joqarı kernewli avtotransformatorlar ushın oramlardıń bunday konstrukciyası tuwrı kelmeydi, sebebi kontaktlar úlken tok júklemesine shıdam bere almaydı. Sol sebepli úlken quwatlılıqlı avtotransformatorlarda elektr tárepten jalǵanǵan ózekte birdey bálentlikte jaylastırılǵan eki oram boladı (7.5-súwret).

Avtotransformatordı óndiriste orınlaytuǵın wazıypası kózqarastan úyreniw áhmiyetli orın iyeleydi, sebebi bunda olardıń ózine tán ózgeshelikleri tolıq ráwishte payda boladı.

Islew principi. Avtotransformatordıń sald islew rejimindegi elektromagnit process ádettegi transformatorдан parıqlanbaydı. Júkleme jalǵanbaǵan páseyttiriwshi avtotransformatordıń (7.4-súwret) «AX» oramına (oramlar sanı W_{AX}) ózgermeli kernew

U_1 berilgende onnan sald islew togi $I_{0.A}$ ótip, transformatordağı sıyaqlı óz-indukciya EQK E_1 ni payda etedi. Sald islewde usı oramnıń júklemge jalǵanatuǵın (oramlar sanı W_{ax}) bólimindegi EQK E_{ax} kelip shıǵıwına qarap óz-indukciya EQK bolıp, E_{AX} tıń bir bólimin payda etedi. (**Esletpe:** Transformator ekilemshi oramında bolsa óz ara indukciya EQK payda boladı).

Sald islew rejiminen avtotransformatordıń transformaciyalaw koefficienti k_A , sald islew togi $I_{0N.A}$, sarpları $R_{0N.A}$ hám almas-tırıw sxemasınıń parametrlerin anıqlaw múmkin.

Avtotransformatordı transformaciyalaw koefficienti k_A tómende-gishe anıqlanadı:

$$k_A = E_{YK} / E_{PK} = w_{AX} / w_{ax} \approx U_1 / U_2. \quad (7.7)$$

Páseyttiriwshi avtotransformatorga júklemge jalǵanganda oramnıń birlemshi shınjırınan I_1 , ekilemshi shınjırına bolsa $I_2 > I_1$ tok ótedi. Bul jaǵdayda avtotransformatordıń MQK teń salmaqlılıq teńlemesi tómendegishe jazıladı:

$$\underline{I}_1 w_1 + \underline{I}_2 w_2 = \underline{I}_0 w_1. \quad (7.8)$$

Bul jerde $\underline{I}_0$ — «A-X» oramnıń ótiwshi magnitlewshi tok.

$\underline{I}_1 = \underline{I}_0 - \underline{I}_2 / k_A$ tok oramnıń tek «A-a» bóliminen ótip, eki oram ushın ulıwmalıq bolǵan «a-x» bóliminen bolsa $\underline{I}_1$ hám $\underline{I}_2$ toklardıń geometriyalıq jıyındısına teń bolǵan

$$\underline{I}_{ax} = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 = \underline{I}_0 - \underline{I}_2 \cdot k_A + \underline{I}_2 = \underline{I}_0 + \underline{I}_2 (1 - 1/k_A) \quad (7.9)$$

tok ótedi. I_1 hám I_2 toklar faza tárepten derlik 180° bolǵanı se-bepli ($I_0 \approx 0$) olardı algebralıq ayırma kórinisinde jazıw múmkin:

$$\underline{I}_{ax} = \underline{I}_2 - \underline{I}_1. \quad (7.10)$$

Bunday kóriniste, páseyttirilgen avtotransformator oramnıń ulıwmalıq bólimi «a-x» boyınsha ótip atırǵan tok $\underline{I}_{ax}$ birlemshi shınjır togi I_1 ge keri, ekilemshi shınjır togi I_2 menen bolsa tuwrı baǵdarlanǵan boladı.

Eger avtotransformatordıń transformaciyalaw koefficienti 1 ge jaqın bolsa, I_1 hám I_2 toklar bir-birinen kem pariqlanbay, olardıń

ayırması kishi mánisti payda etedi. Bul jaǵday avtotransformator oramınıń ulıwmalıq ($a-x$) mánisin kese-kesim maydanı kishi bolǵan sınnan tayarlawǵa imkan beredi.

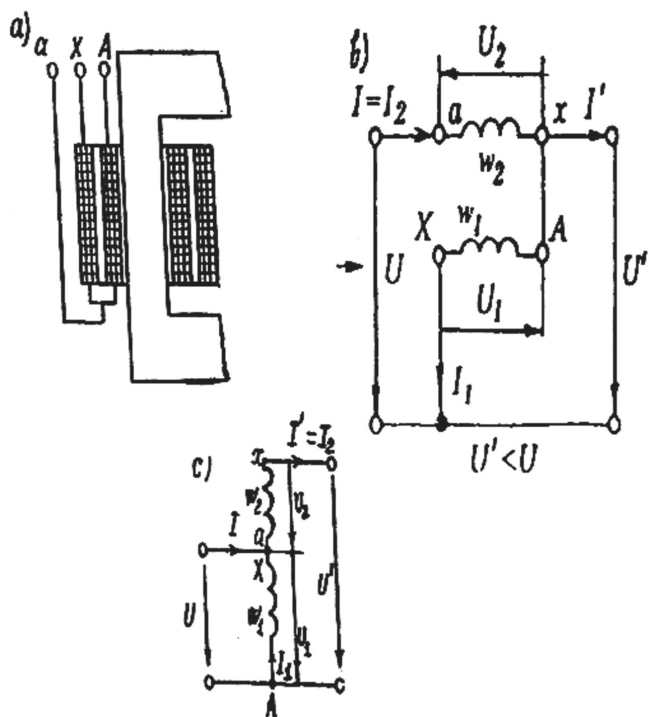
Avtotransformatorda oram ekilemshi shıńjırdıń shıǵıwdaǵı tolıq quwatlılıq S_2 ni «ótiwshi quwatlılıq (S_{ot})» delinedi. Bunnan tısqarı, birlemshi shıńjırdan ekilemshisine magnit maydanı arqalı uzatılatuǵınlıǵı sebepli ($S_h = S_{em}$) quwatlılıq ta bar boladı. Bunı esaplı quwatlılıq dep aytıluwına sebep sonnan ibarat, avtotransformatordıń gabarit ólshemleri hám awırılıǵı usı quwatlılıq shamalıǵına baylanıslı boladı.

Demek, avtotransformatorda esaplı quwatlılıq ótiwshi quwatlılıqtıń bir bólimin payda etip, qalǵan bólimi bolsa elektr baylanıs esabınan oramnıń birlemshi shıńjırınan ekinshisine uzatıladı, yaǵnıy:

$$S_{ot} = S_e + S_h. \quad (7.11)$$

Úlken quwatlılıq avtotransformatorlar is procesiniń ózine tán qásiyetleri. Úlken quwatlılıqlı avtotransformatorlarda elektr tárepten jalǵanǵan eki (parallel hám izbe-iz) oramı boladı. 7.5, s -súwrette PK (U) kiriw tarmaǵınan kernewi asırılǵan ($U' > U$) shıǵıw tarmaǵına elektr energiyanı uzatıwda isletiletuǵın bir fazalı arttırıwshı avtotransformatordıń principial sxeması kórsetilgen. Avtotransformatorda oramlar sanı w_1 bolǵan bir oramı (kórilip atırǵan jaǵdayda PK) elektr tarmaqqa parallel jalǵanıp, oramlar sanı w_2 bolǵan ekinshi oramı bolsa oǵan izbe-iz jalǵanadı.

Elektr energetika sistemaların baylawshı úlken quwatlılıqlı avtotransformatorlarda oramlardı «birlemshi» hám «ekilemshi» dep atalıwshı shártli rawishtegi túsinikler esaplanadı, sebebi bunday avtotransformatorlardıń qaysı oramına energiya kiritiliwin, qaysı birinen bolsa onıń shıǵarılıwın ajratıp alıwıń ilajı bolmaydı. Sol sebepli JK yamasa PK tarmaq kernewine tuwrıdan-tuwrı jalǵanǵan oramnıń «ulıwmalıq (yamasa parallel)» oram dep, energiya deregine yamasa tutınıwshıǵa izbe-iz jalǵanǵan oramdı bolsa «izbe-iz» oram dep atalsa maqsetke muwapıq boladı. Ulıwmalıq oram ushlarınıń bası hám aqırların «A»,



7.5-súwret. Úlken quwatlı AT ózeginde oramalardıń jaylastırılıwı (a) hám arttırıwshı AT dıń principal sxeması (b) hám de oramınıń bir bólimi ekilemshı oram wazıypasın orınlaytuǵın az quwatlılıqlı bir fızalı páseyttiriwshı AT dıń principal sxeması (c).

«X», oǵan tiyisli shamalardı «1» indeksi menen, izbe-iz oram ushlarınń bası hám aqırılardıń «a», «x», soǵan tiyisli shamalardı bolsa «2» indeksi menen belgileymiz. Bul oramlar ózekte biriniń sırtına ekinshısı qosılıp jaylastırıladı (7.5, a-súwret).

$$\underline{U'} = \underline{U} + \underline{U}_2. \quad (7.12)$$

AT dıń izbe-iz oramı kiriw hám shıǵıw tarmaqları menen kontaktı bolǵanı sebepli onıń izolyacıyası JK tarmaq kernewi (U')ne mólsherlep esaplanıwı kerek.

Avtotransformatordagi tiykargı elektromagnit proceslerdi aydınlastırıw maqsetinde ondağı kem mánisli sald islew sarpları, kernew páseyiwleri hám magnitlewshi tokti itibargá almağan jaǵdayda tómendegi teńlikti jazıw múmkin:

$$U/U' = E_1 / (E_1 + E_2) = 1 / (1 + 1/k_w), \quad (7.13)$$

bul jerde

$$k_w = E_1 / E_2 = w_1 / w_2 \quad (7.14)$$

—Avtotransformatorda oramalardıń oramları sanlarınıń teńligi arqalı ańlatılǵan transformaciyalaw koefficienti.

Solay etip, kernewdi ózǵerttiriw (kóbeytiw yamasa páseytiriw) xarakteri ádettegi kúsh transformatorında oramalar oramları sanlarınıń teńlik arqalı anıqlansa, kúsh avtotransformatorida bul xarakter oramlardı elektr jalǵaw sxemasına baylanıslı boladı. Álbette, U/U' teńlikke oramalar oramları sanlarınıń salıstırması da tásir etedi. Sonıń ushın avtotransformatorda eki transformaciyalaw koefficientiniń parqına barıw shárt:

1) oramalardıń oramları sanlarınıń teńligi (7.14) menen anıqlanatuǵın transformaciyalaw koefficienti k_w ;

2) sald islewde ($I' = I_2 = 0$) avtotransformatorga kiriwdegi (U) hám onnan shıǵıwdagi (U') tarmaq kernewleri shamalıqlarınıń teńligi menen anıqlanatuǵın transformaciyalaw koefficienti k_U :

a) páseytiriwshi avtotransformator ushın (7.5, b -súwret) —

$$k_U = 1 + 1/k_w > 1. \quad (7.15)$$

b) arttırıwshi avtotransformator ushın (7.5, s -súwret) —

$$k'_U = U/U' = k_w / (1 + k_w) < 1; \quad (7.16)$$

Avtotransformatordıń turaqlı is rejimi elektromagnit procesleri tómendegi teńlemeler sisteması menen xarakterlenedi:

$$\left. \begin{array}{ll} a) \underline{U}_1 = \underline{E}_1 - \underline{I}_1 \underline{Z}_1, & b) \underline{U}_2 = \underline{E}_2 - \underline{I}_2 \underline{Z}_2, \\ c) \underline{I}_1 + \underline{I}_2 / k_w = \underline{I}_0, & d) \underline{E}_1 = \underline{E}_2 k_w. \end{array} \right\} \quad (7.17)$$

Avtotransformatordı islep shıǵarıw ushın materiallar sarpı, onıń gabaritleri hám bahası ádettegi transformatordaǵı sıyaqlı elektromagnit quwatlılıq S_{em} arqalı anıqlanadı.

Kiriwdegi (U) hám shıǵıwdaǵı (U') tarmaq kernewleri teńligi $U'/U = 1,25 \div 2,5$ bolǵan jaǵdaylarda avtotransformatordı elektr energetika sistemalarında úlken quwatlılıqlı elektr tarmaq-lardı biriktiriwde ózǵerttirgish sıpatında qollanılǵanda úlken pay-da beredi.

Avtotransformatordıń ekilemshi tárepindegi kernew ózgeriwi eki oramlı transformator ushın isletilgen formulalar boyın-sha esaplanadı, sebebi avtotransformatordıń almasıw sxeması transformatorǵa uqsas bolıp, tek parametrleriniń kishiligi menen parıqlanadı.

Úlken quwatlılıqlı avtotransformatordarda $PJK \eta = 99,5 \div 99,7\%$ teń.

Ush fazalı eki oramlı AT dıń fazalıq oramları «juldız» sxeması boyınsha jalǵanadı; úsh oramlı úlken quwatlılıqlı AT dıń PK oramı bolsa «úshmúyesh» sxeması boyınsha jalǵanadı.

Ush oramlı AT da PK oramnıń tiykarǵı wazıypası elektr uzatıw liniyasın toktıń 3-garmonikasınan qorgawdan ibarat. Onı bólek tarmaqqa jalǵap derek sıpatında isletip bolmaydı; tek ayırım jaǵdaylarda elektr támiyinlew sisteması quwatlılıq koeffi-cienti $\cos \phi$ di arttırıw maqsetinde sinxron kompensator yamasa zárúr bolǵanda reaktor jalǵaw múmkin.

AT lardıń áhmiyetlikleri tómendegilerden ibarat:

1) aktiv (mıs, elektrotexnikalıq polat) hám izolyaciyalıq mate-riallar kem sarplanadı; 2) gabarit ólshemleri biraz kishi; 3) PJK biraz úlken, bahası bolsa arzan. Kúsh AT ları úlken quwatlılıqlı sinxron hám asinxron motorlardı iske túsiriwde hám de joqarı hám oǵada joqarı kernewli elektr uzatıw liniyalarında bir-birine jaqın, máselen, 110 hám 220 kV; 220 hám 500 kV kernewli elektr sistemalardı baylanıstırıwda qollanıladı.

AT dıń transformaciyalaw koefficienti $k_w > 2,5$ bolsa she-shiwshi esaplanatuǵın tómendegi kemshiliklerge iye boladı:

1) páseyttiriwshi AT da I_{qt} nıń úlken bolıwı; 2) joqarı kernew tárepiniń pás kernew tárepi menen elektr tárepten

jalğananlıǵı sebepli, pütün oram izolyaciyasınıń júdá úlken elektr bekkemlikke iye bolıwdı talap etedi; 3) páseyttiriwshi úlken quwatlılıqlı AT lardı pás kernew tarmaǵınıń sımları menen jer arasında qáwipsiz isletiw shártlerine ulıwma tuwrı kelmeytuǵın úlken kernew payda boladı.

Qadaǵalaw ushın sorawlar:

1. Úsh oramlı transformator qalay isleydi?
2. Úsh oramlı transformatordıń qanday áhmiyetlikleri bar?
3. Avtotransformatorlardıń ózine tán ózgeshelikleri nelerden ibarat?

8-BAP. EKI ORAMLÍ TRANSFORMATORLARDÍŇ SIMMETRIKSIZ IS REJIMLERI. TRANSFORMATORLARDA ÓTIW PROCESLERI

8.1. Eki oramlı transformatorlardıń simmetriksiz is rejimleri

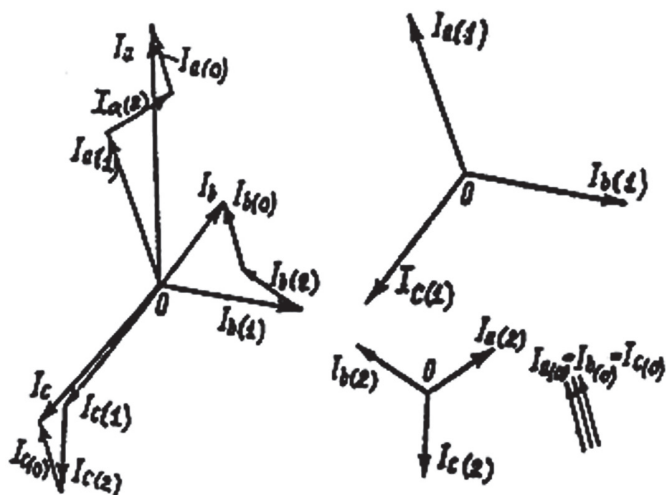
Úsh fazalı transformatorlardı elektr támiyinlew sistemalarında isletiw procesinde simmetriksiz is rejimleri tez ushırap turadı. Buǵan transformator fazalarına jalǵanatuǵın bir fazalı tutınıwshılardıń hár túrli bólistiriliwi, yaǵnıy fazalarǵa jalǵanatuǵın elektr jaqtılandırıw lampaları júkleniwiniń tuwrı emesligi, úlken quwatlılıqlı bir fazalı tutınıwshılardıǵa kiretuǵın kepserlew transformatorları, indukciyalıq peshler, simmetriksiz qısqa tutasıwlar sebepten boladı. Fazalardaǵı júkleme toǵınıń simmetriksiz bolıwı liniya hám faza kernewlerin de simmetriksiz etip, tutınıwshılardıǵa unamsız tásir etedi. Máselen, ózgermeli tok motorına simmetriksiz kernew berilse, onıń quwatlılıǵı kemeyedi; elektr jaqtılandırıw lampalarınıń jaqtılıǵı jamanlasadı hám basqalar. Transformatordıń ózinde bolsa qosımsha sarplar payda bolıp, onıń PJK kemeyedi hám qızıwı artadı. Sol sebepli transformatordıń simmetriksiz rejimlerin úyreniw úlken ámeliy tásir etedi.

Simmetriksiz payda etiwshiler usılı. Simmetriksiz is rejimlerin tekseriwde simmetrik payda etiwshiler usılınan

paydalanıladı. Birlemshi oram kernewleri simmetrik bolıp, úlken quwatlılıqlı elektr tarmağına jalğanğan úsh fazalı transformatordıń ekilemshi tokları simmetriksiz bolǵanda simmetriksiz úsh fazalı toklar, kernewler hám magnit aǵımları sistemasın úsh simmetrik sistema, yaǵnıy fazalarınıń tuwrı, kerı hám nol izbe-izliklerge ajratıw múmkin (8.1-súwret).

Transformator simmetriksiz júkleme menen islegende fazalıq toklarınıń mánisi hár túrli boladı hám olardıń fazalar aralıq jılıw múyeshi 120° qa teń bolmaydı.

8.1-súwret: $\underline{I}_a, \underline{I}_b, \underline{I}_c$ — simmetriksiz toklar sisteması; $\underline{I}_{a(1)}, \underline{I}_{b(1)}, \underline{I}_{c(1)}$ — tuwrı izbe-izlikli simmetrik toklar sisteması (bundaǵı toklardıń modeli óz ara teń); $\underline{I}_{a(2)}, \underline{I}_{b(2)}, \underline{I}_{c(2)}$ — kerı izbe-izlikli simmetrik toklar sisteması (bundaǵı toklar da model tárepten óz ara teń hám olardıń fazalar izbe-izligi kerı); $\underline{I}_{a(0)}, \underline{I}_{b(0)}, \underline{I}_{c(0)}$ — nol izbe-izlikli toklar sisteması (bunda toklar model tárepten teń bolıp, óz ara jılıw múyeshi bolsa 0° ge teń, yaǵnıy fazalarına tán túsedi).



8.1-súwret. Simmetriksiz toklar sistemasın simmetriyalı payda etiushilerge ajratıw.

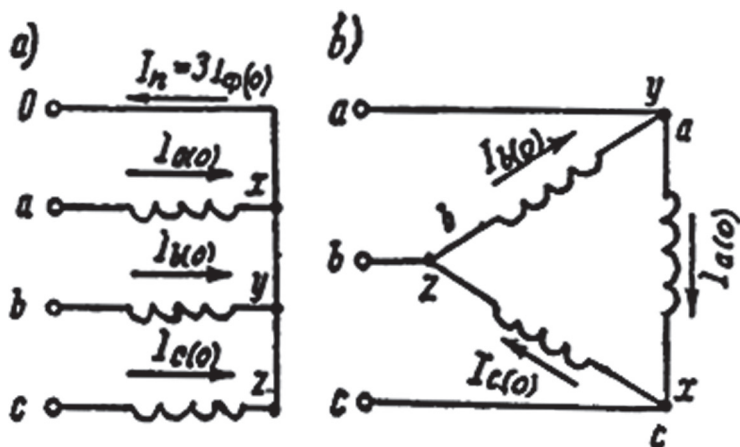
Nol izbe-izlikli toklardın mánisi barlıq fazalarda óz ara teń hám baǵdarları birdey bolǵanı sebepli, bunday kontur tek transformator oramı «juldız (Y)» sxemasına jalǵanıp nol sımı sırtına shıǵarılǵan bolǵanda bar boladı. Bul jaǵdayda fazalardıń nol izbe-izlikli tokları nol sımı arqalı tutasadı (8.2, *a*-súwret). Oramnıń nol sımındaǵı toǵı I_n fazanıń nol izbe-izlikli toǵı $I_{f(0)}$ ge qaraǵanda úsh ese úlken boladı:

$$\underline{I}_n = \underline{I}_a + \underline{I}_b + \underline{I}_c = 3 \underline{I}_{f(0)}. \quad (8.1)$$

Eger transformatordıń nol kósheri jerge qosılǵan bolsa, nol sımı wazıypasın jer orınlawı múmkin.

Nol sımlı Y jalǵanıwdan basqa barlıq jalǵanıw sxemalarında ekilemshı oram liniyalıq tokları quramında nol izbe-izlikli payda etiwshileri bolmaydı hám bunda simmetriksiz toklar sistemasın simmetrik toklar sistemasına ajratqanda tuwrı hám keri izbe-izlikli toklar boladı.

Nol izbe-izlikli toklar bolmaǵanda simmetrik payda etiwshileri usılınan paydalanbastan, hárbir fazalıq oramdı erkin transformator sıpatında bólek qaraw múmkin.



8.2-súwret. «Nol sımlı juldız» (a) hám «úshmúyesh» (b) sxemaları boyınsha jalǵanǵan oramlarda nol izbe-izlikli toklar.

Ekilemshi oramında nol izbe-izlikli tokları bolğan simmet-riksiz jükleme. Bunday jağday tek ekilemshi oram Y sxemasına jalğanıp, nól sımı sırtına shıǵarılǵanda júzege keledi. Bul tok-lardıń transformator islerine tásiri birlemshi oram qanday (Y yamasa Δ) sxemaǵa jalǵanǵanlıǵı menen baylanıslı boladı. Tómente usı variantlardı bólek analizleybiz.

1. Birlemshi oram Y ke, ekilemshi oram bolsa «nol sımlı juldız (Y_0)» sxeması boyınsha jalǵanǵanda ekilemshi oramnıń keltirilgen tokları tómendegilerge teń boladı:

$$\left. \begin{aligned} \underline{I}'_a &= \underline{I}'_{a(1)} + \underline{I}'_{a(2)} + \underline{I}'_{(0)}; \\ \underline{I}'_b &= \underline{I}'_{b(1)} + \underline{I}'_{b(2)} + \underline{I}'_{(0)}; \end{aligned} \right\} \quad (8.2)$$

Birlemshi oram Y sxemaǵa jalǵanǵanlıǵınan nol izbe-izlik tutasatúǵın kontur bul sxemada bolmaydı, hám usı sebepli, ekilemshi oramdaǵı nol izbe-izlikli toklar birlemshi oramǵa tranformaciyalanbaydı, yaǵnıy joqarı kernewli oramda $\underline{I}'_{(0)} = 0$ boladı. Transformatordıń ekilemshi oramdaǵı $\underline{I}'_{(a)}, \underline{I}'_{(b)}, \underline{I}'_{(c)}$ hám $\underline{I}_A, \underline{I}_V, \underline{I}_S$ toklar hárbir fazada qálegen waqıtta óz ara teń hám qarama-qarsı baǵdarlanǵan bolǵanı ushın, olar payda etken MQKler óz ara teń salmaqqa iye boladı hám sol sebepli, transformator ózeginde magnit aǵımın payda etpeydi. Nol izbe-izlikli $\underline{I}'_{(0)}$ toklar tek ekilemshi oramnan ótedi hám magnit tárepten hesh nárese menen teń salmaqqlanbaǵanlıǵı sebepli olar magnitlewshi toklar bolıp, transformatorda qosımsha magnit aǵımın $F_{(0)}$ di payda etedi. Bul magnit aǵımlar barlıq fazalarda birdey hám fazaları tuwrı keledi.

Ush sterjenli transformatorda $F_{(0)}$ ózekten ótip, magnit qar-sılıǵı úlken bolǵan aralıqlar arqalı tutasadı hám sol sebepli, onıń mánisi kishi boladı.

Nol izbe-izlikli tokları hám magnit aǵımlarınıń payda bolıwı transformatordıń magnit toyınıwı arqalı payda bolatuǵın 3-garmonika tokları hám magnit aǵımlarınıń payda bolıwına uqsasa da, olar arasında úlken paraqları da bar, yaǵnıy:

a) olardıń payda bolıw tábiyatı túrli esaplanadı. Nól izbe-izlikli tokları júkleme toginiń simmetriksizliginen payda bolsa, 3-garmonika togi bolsa magnitleniw xarakteristikasınıń iyrek sızıqlı bolǵanlıǵınan sonday boladı;

b) nól izbe-izlikli tokları waqıt ótiwi menen tarmaq jiyiligine teń bolǵan jiyilikte ózgeredi, 3-garmonika tokları bolsa oǵan qaraǵanda 3 ese úlken ($f_3 = 3 f_1$) jiyiligi menen ózgeredi.

Oramları Y/Y_0 sxema boyınsha jalǵanǵan transformator kernewleri úshmúyeshiniń «awırlıq orayı» dep atalatuǵın 0 kósherde Y/Y_0 sxemadaǵı simmetriksiz júklemede usı oraydan jılıydı. Bul jılıwdıń shamalıǵı nól izbe-izlikli tokları faza oramınıń tolıq qarsılıǵı $\underline{Z}_{(0)}$ de payda etken $I_{(0)}\underline{Z}_{(0)}$ kernew túsiwine teń. (8.3-súwret).

$\underline{I}'_{(0)} = 0$ bolsa diagramma 0 kósherde bolıp, $\underline{I}'_{(0)} \neq 0$ bolǵanda bolsa, bul kósher qanday da bir $0'$ kósherge jılıydı. Buǵan sebep Y/Y_0 sxemaǵa jalǵanǵan transformator ekilemshi oramdaǵı nól izbe-izlikli tokları birlemshi oram tárepinen teń salmaqaspay, ózekti qosımsha magnitleydi hám eki oramda nól izbe-izlikli $E_{(0)}$ EQK lerdi payda etedi. Olar birlemshi oramdaǵı tuwrı izbe-izlikli EQK ler menen qosıladı:

$$\underline{E}_A = \underline{E}_{A(1)} + \underline{E}_{(0)}; \quad \underline{E}_V = \underline{E}_{V(1)} + \underline{E}_{(0)}; \quad \underline{E}_S = \underline{E}_{S(1)} + \underline{E}_{(0)}. \quad (8.3)$$

Bul jaǵdayda birlemshi oram liniyalıq kernewleri sisteması simmetrik jaǵdayda qalsa da birlemshi hám ekilemshi oramlar fazalıq kernewlerdiń teńsizligi sezilerli dárejede artadı. (8.3-súwret). Bul bolsa bir fazalı energiya tutınıwshıları ushın zıyanlı esaplanadı. Sol sebepli nól sımınan ótetuǵın toktıń mánisi $I_n \leq 0,25I_{2N}$ bolıwı kerek.

Ekilemshi oram liniyalıq kernewlerge nól izbe-izlikli tokları tásir etpey, olarda simmetriktiń buzılıwı tek keri izbe-izlikli toklardıń bar bolǵanlıǵı arqalı júzege keledi.

2. Birlemshi oram Δ , ekilemshi oram bolsa Y_0 sxeması boyınsha jalǵanǵanda birlemshi oram ishinde jabıq kontur payda bolıp, onda nól izbe-izlikli tokları ushın ótetuǵın jol bar

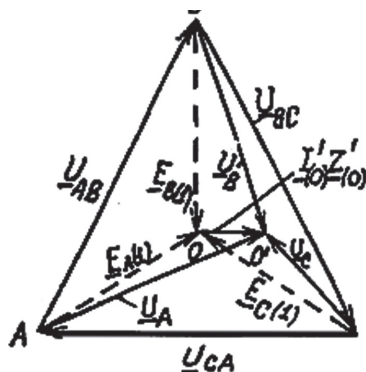
bolğanlıǵınan tek usı konturda aylanadı (8.2, *b-súwret*), yaǵnıy liniyaǵa shıqpaydı. «Úshmúyesh» sxemasında liniyalıq toklar eki qońsı fazalıq toklardıń ayırmasına teń bolğanlıǵınan nol izbe-izlikli toklar liniyada payda bolmaydı. Demek, Δ/Y jalǵanıw sxemasında ekilemshi oramdaǵı toktıń úsh payda etiwshilerinde birlemshi oramǵa transformaciya boladı. Nol izbe-izlikli toklar payda etken nátiyjeli magnit aǵımı tek tarqalǵan aǵımlardan ibarat boladı. Bunda transformator kernewleri úshmúyeshligi «awırlıq orayı»nıń jılıwı onsha sezilerli bolmaydı.

Oram Y sxemasına jalǵanǵanda liniyalıq kernewi U , Δ sxemasına jalǵanǵanda bolsa liniyalıq toǵı I eki faza tokları yamasa kernewleri mánisleriniń geometriyalıq ayırmasına teń bolğanlıǵınan hám de bunda nol izbe-izlikli toklar barlıq fazalarda baǵdarı birdey bolǵanı ushın olar joq bolıp ketedi. Sol sebepli birlemshi oramnıń liniyalıq toǵında hám ekilemshi oramnıń liniyalıq kernewinde nól izbe-izlikli payda etiwshileri bolmaydı.

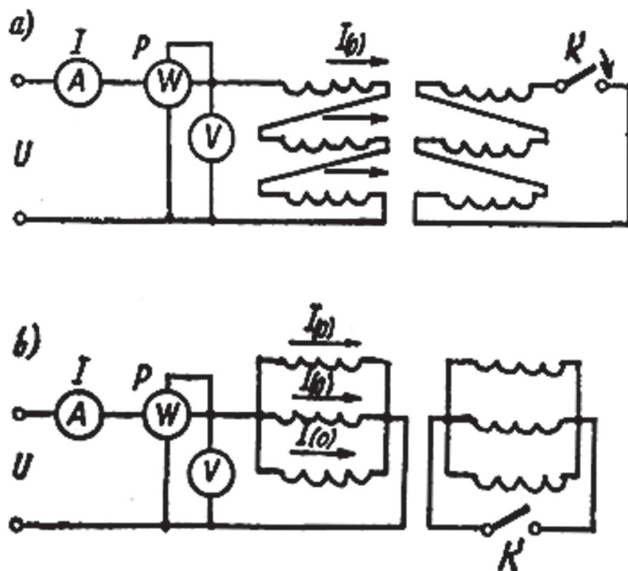
Transformatordıń nol izbe-izlikli qarsılıqların tájiriyebe jolı menen anıqlaw. Transformatordıń nól izbe-izlikli qarsılıǵı $Z_{(0)}$ dı tájiriybede anıqlawda oramda $I_a = I_b = I_c = I_{(0)}$ toklardı jaratıw kerek boladı. Bunıń ushın transformatordıń birlemshi hám ekilemshi oram fazaları izbe-iz (8.4, *a-súwret*) yamasa parallel (8.4, *b-súwret*) jalǵanıp bir fazalı derekten ózgermeli tok beriledi.

Ekilemshi oram fazaları izbe-iz jalǵanǵanda qosqısh «K» qosılǵan bolıp, parallel jalǵanǵanda bolsa ol ashıq bolıwı kerek (8.4-súwret).

Tájiriybeden alınǵan maǵlıwmatlar tiykarında $Z_{(0)}$, $r_{(0)}$ hám $x_{(0)}$ qarsılıqlar tómendegishe anıqlanadı.



8.3-súwret. Oramları Y/Y_n sxemaǵa jalǵanǵanda nol izbe-izlikli toklardıń tásirinen transformatorında fazalıq kernewler sistemasınıń buzılıwın kórsetiwshi vektor diagramma.



8.4-súwret. Nol izbe-izlikli qarsılıqlardı tájiriyyede anıqlawğa tiyisli sxemalar: *a* — izbe-iz; *b* — parallel.

Tájiriyye 8.4, a-súwrettegi sxema boyınsha ótkizilgende:

$$Z_{(0)} = U/(3I), \quad r_{(0)} = R/(3I^2), \quad x_{(0)} = \sqrt{Z_{(0)}^2 - r_{(0)}^2}, \quad (8.4)$$

8.4, b-súwrettegi sxema boyınsha ótkizilgende bolsa:

$$Z_{(0)} = 3U/I, \quad r_{(0)} = 3R/I^2, \quad x_{(0)} = \sqrt{Z_{(0)}^2 - r_{(0)}^2}. \quad (8.5)$$

Ekilemshi oramdı izbe-iz jalǵaw jolı menen tájiriyye ótkiziw biraz áhmiyetli esaplanadı, sebebi bul jaǵdayda fazalıq toklardıń teńligi barlıq jaǵdaylarda támiyinlenedi.

Transformatordıń nol izbe-izlikli tokları bolmaǵan simmetriksiz júkleme. Eger transformatordıń ekilemshi oramında nol sımı shıǵarıлмаǵan bolsa simmetriksiz júklemede de nol izbe-izlikli toklar $I_{(0)}$ bolmaydı. Bul nátiyjege transformatordıń oramları Δ/Y , Y/Δ , Y/Y , Δ/Δ sxemalarına jalǵanganda erisiledi.

Bul sxemalarda birlemshi hám ekilemshi oramlarındaǵı fazalarınǵı toǵı magnit tárepten óz ara teńlenedi hám kernewler úshmúyeshiniń «0» kósheri bul jaǵdayda óz jaǵdayın ózǵerttir-meydi.

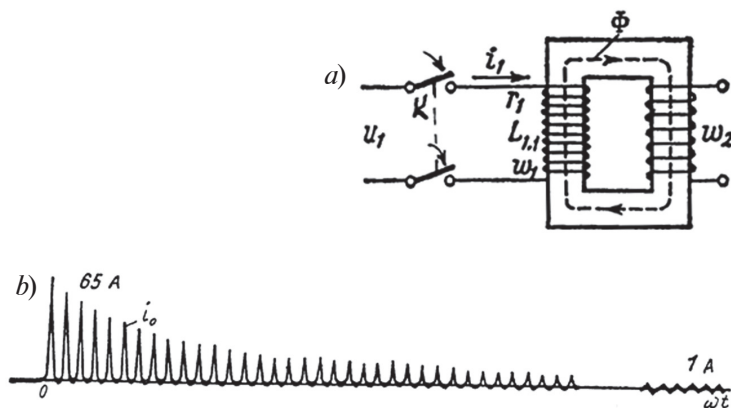
Standartqa tiykarlanıp, eger keri izbe-izlik payda etiwshisi tuwrı izbe-izlik payda etiwshisiniń 5% artpasa, onda úsh fazalı kernew hám toklar sisteması ámeliy tárepten simmetrik esaplanadı.

8.2. Transformatorlarda ótiw procesleri

Júklemel jalǵanbaǵan transformatorlı elektr tarmaǵına qosıw

Eger transformatorlıń ekilemshi oramına júklemel jalǵanbaǵan bolsa, turaqlı is jaǵdayında birlemshi oramnan sald islew toǵı ótedi (bul tok nominal toktıń júdá kem bólimin payda etedi).

Eger transformator elektr tarmaǵına tuwrıdan-tuwrı qosılsa, ótiw procesi payda bolıp, ondaǵı toktıń mánisi nominal tok I_{IN} ge qaraǵanda birneshe ese artadı hám qısqa waqıt ishinde turaqlı mániske shekem kemeydi (8.5, b-súwret).



8.5-súwret. Júklemel jalǵanbaǵan orta quwatlılıqlı bir fazalı transformatorlı elektr tarmaǵına tuwrıdan tuwrı qosıw sxeması (a) hám bul processtegi tok ossillogramması (b).

Ótiw procesindegi transformator kernewleri teń salmaqılıq teńlemesi tómendegishe jazıladı:

$$u_1 = i_0 r_1 + w_1 \, dF/dt. \quad (8.6)$$

Bul teńleme iyrek sızıqlı boladı, sebebi polat ózektegi magnit aǵım F tıń sald islew toǵı i_0 ge qaraǵanda ózgeriwi tuwrı sızıqlı emes. Magnit aǵım F óziniń maksimal mánisine transformatordı elektr tarmaǵına jalǵaǵannan keyin $\omega t \approx \pi$ ge erisedi. Ótiw procesinde magnit aǵımınıń ósiwi magnitlewshi toktiń kóbeyiwine sebep boladı. Transformator magnitleniw xarakteristikasınıń iyrek sızıqlı bolǵanlıǵınan ótiw procesinde I_0 toginiń ósiwi magnit aǵımınıń kóbeyiwine biraz sebepshi boladı.

Transformatordı elektr tarmaǵına tuwrıdan-tuwrı qosıwdıń dáslepki waqıtta magnitlewshi toktiń keskin artqandaǵı keń mánisi onıń nominal toǵı I_{IN} mánisine qaraǵanda $(2 \div 5)$ ese, sald islew toginiń turaqlı rejimdegi mánisten bolsa $(100 \div 120)$ ese úlken boladı.

Transformatordıń ekilemshi oramı tosattan qısqa tutasıwı. Transformatordıń ekilemshi oramı $U_1 = U_{IN}$ de tosattan qısqa tutassa ondaǵı toktiń mánisi nominal tok I_{IN} qa qaraǵanda $(15 \div 20)$ ese úlken boladı. Bul jaǵdaydaǵı tokti urıwshı tok ($i_{lqt.z} = i_{lqt.max}$) dep ataladı hám tómendegishe anıqlanadı:

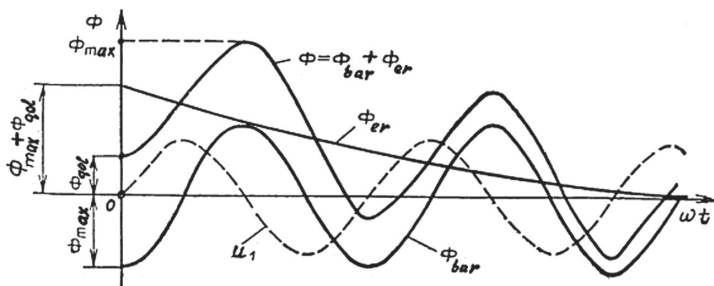
$$I_{lqt.3} = -I_{lqt.max} [1 + e^{-\pi/}] \quad (8.7)$$

bunda T_{qt} —sóniwdiń waqıt turaqlılısı, yaǵnıy qısqa tutasıwdaǵı toktiń erkin payda etiwshisi sóniwine ketken waqıt (8.6-súwret).

(8.7) da orta qawıstıń ishindegi san bolsa urıwshı tok koefficienti $K_{z.max}$ boladı hám ol T_{qt} tıń mánisine baylanıslı jaǵdayda $(1 \div 2)$ aralıqta ózgeredi. Úlken quwatlılıqlı transformatorlar ushın $K_{z.max} = 1,7 \div 1,8$ ge, kem quwatlılıqlı transformatorlar ushın bolsa, bul koefficient $1,2 \div 1,3$ ge teń.

Kem quwatlılıqlı transformatorlar ushın waqıt turaqlılısı $T_{qt} = 0,006$ s., úlken quwatlılıqlı transformatorlar ushın bolsa ol $0,05$ s. qa teń.

Ótiw procesiniń dawamlılıǵı shamalap $t = (3 \div 4) T_{qt}$ s. qa teń. Demek, transformatorlardıń kem quwatlısında ótiw procesi tok



8.6-súwret. Nominal kernew menen islep atırǵan transformatordıń ekilemshi oramı tosattan qısqa tutasqandaǵı toktıń waqt boyınsha ózgeriw grafıgı.

ózgeriwiniń bir dáwirge shekem, úlken quwatlılıqlarda bolsa (6÷8) dáwirge shekem dawam etedi.

Urıwshı tok $I_{lqt.z}$ tıń transformator nominal togi amplitudasına qaraǵanda tómendegige teń:

$$I_{lqt.max} / (\sqrt{2} I_{1N}) = (100 / u_{qt.(\%)}) K_{z.max} = 27 \div 12 \quad (8.8)$$

(úlken mánisler kem quwatlılıqlı kúsh transformatorlarına tuwrı keledi).

Qısqa tutasıwda transformator oramlarına tásir etetuǵın elektromagnit kúshler urıwshı toklardıń kvadratına sáykes ráwishte ózgeriw nátiyjesinde, bul kúshler normal is rejimindegi kúshlerge qaraǵanda $729 \div 144$ ese artadı. Bul kúshler óziniń baǵdarın ózerttirmegen jaǵdayda $2f = 2 \cdot 50 = 100$ Hz jiyilik penen pulslenedi. Bunday qısqa múddetli úlken kúshlerge oramlar shıdam beriwı ushın olar isenimli bekkemleniwı kerek.

Ámelde transformatordıń qorǵanıw qurılımaları tok ózgeriwiniń 3, 4 dáwirinen keyin iske túsip, transformatordı elektr tarmaǵınan úzip qoyıwı kerek.

Qadaǵalaw ushın sorawlar:

1. Simmetriksiz júkleniw qalay payda boladı?
2. Simmetrik payda etiwshiler usılın túsindirip beriń.
3. Nól izbe-izlikli toklar qanday sxemalarda júzege keledi?
4. Nól izbe-izlikli qarsılıqlar tájiriybede qanday anıqlanadı?

9-BAP. ARNAWLÍ MAQSETLÍ TRANSFORMATOR QURÍLMALARÍ

9.1. Arnawlı maqsetli kúsh transformatorlarına tiyisli maǵlıwmatlar

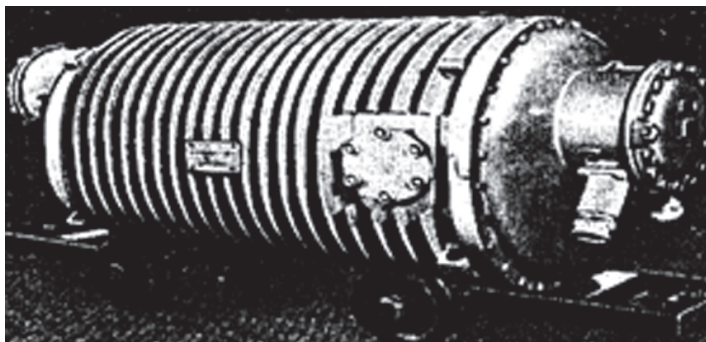
Elektrotexnologiya hám ózgerttirgish qurılımlarınıń is rejimleri talaplarınan kelip shıqqan jaǵdayda olardı elektr energiya menen támiyinlewshi transformatorlarınıń konstrukciyası ózine tán ózgesheliklerine iye boladı. Sol sebepli elektrotexnologiya hám quwatlılıq ózgerttirgish qurılımlarında qollanılatuǵın transformatorlardı, keyin arnawlı maqsetli kúsh transformatorları dep ataymız.

Házirgi waqıtta ózgermeli tokti turaqlı tokqa tuwrılaw tiykarınan statik ózgerttirgish agregatları járdeminde ámelge asırıladı. Olardıń da tiykarǵı quramın arnawlı maqsetli transformatorlar payda etedi.

Tómendegi tarawlardagı elektrotexnologiyalardıń tuwrılaǵısh qurılımlarında qollanılatuǵın arnawlı maqsetli kúsh transformatorlarına:

a) reńli metallurgiyada elektroliz qurılımları tuwrılaǵıshları ushın toǵı 63 kA hám kernewi 850 V bolǵan TTSNP—80000/20 tipli; b) ximiya sanaatında — toǵı 50 kA hám kernewi 850 V bolǵan TTSNP—40000/10 tipli; d) qara metallurgiyada —eleklew mashinalarınıń tiristorlı elektr júritpeleri ushın quwatlılıǵı $2500 \div 3200$ kV·A bolǵan transformatorlar seriyası, elektr doǵalı polat eritiw pechleri ushın (máselen, Bekobod metallurgiya kombinatında) PBV hám RPN qayta qosqısh qurılımları menen támiyinlengen tipleri isletiledi. Quwatlılıǵı 100 MV·A ge shekem bolǵan elektr pechi transformatorlarınıń ekilemshi kernewi 1000 V tan aspaydı, bundaǵı ekilemshi toklar bolsa 100 kA hám onnan úlken boladı.

Kómir shaxtalarındaǵı elektr motorların energiya menen támiyinlew ushın quwatlılıǵı 160 kV·A kernewi 6 kV bolǵan TSV—160/6 tipli atılıwdan qorǵanılgan transformator (9.1-súwret)



9.1-súwret. Quwatlılıǵı $160 \text{ kV} \cdot \text{A}$, kernewi 6 kV bolǵan TSV-160/6 tipli atılıwdan qorǵanılgan transformator.

hám de quwatlılıǵı $250 \text{ kV} \cdot \text{A}$ bolǵan TSVI-250/6 tipli transformator podstanciyaları qollanıladı.

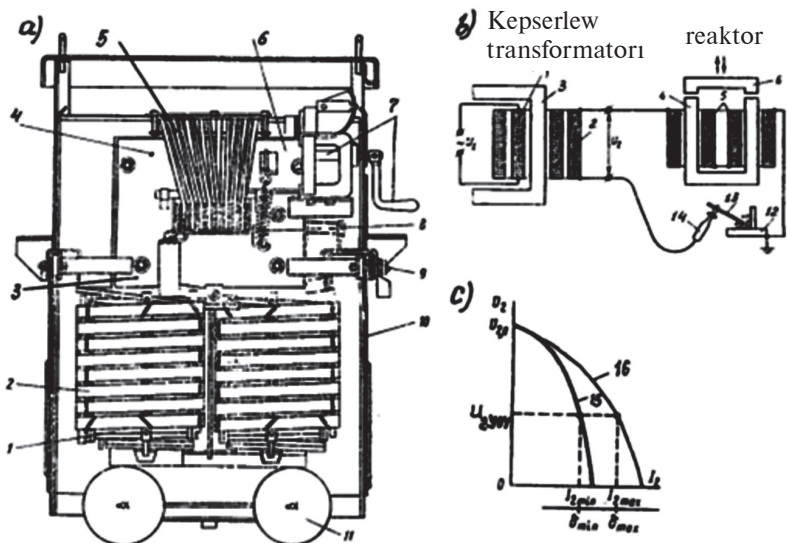
Neft alıwdaǵı shóktirilgen elektr nasosları asinxron motorların 380 V kernewli elektr energiya menen támiyinlewde TMPN-160/2,05 tipli transformator qollanıladı.

9.2. Elektr doǵa tásirinde kepslerlew ushın transformatorlar

Elektr doǵa arqalı kepslerlew ushın qollanılatuǵın arnawlı maqsetli transformatorlardı ádette kepslerlew transformatorları dep júritiledi.

Kepslerlew transformatorları kernewi 220 yamasa 380 V bolǵan elektr energiyanı metaldı doǵalı kepslerlew ushın zárúr bolǵan sald islewdegi kernewi 60 V bolǵan elektr energiyaǵa ózgerttirip beredi. Reaktor (drossel)—magnit shınjırı hawa aralıǵın ózgerttiriw jolı menen kepslerlew toǵın retlewge arnalǵan.

Metaldı kepslerlewde STN-500-1 tipli kepslerlew transformatorı (9.2, b-súwret) ámelde kóp qollanıladı: $U_1=380$ hám 220 V , $U_{2,0}=60 \text{ V}$, kepslerlew toǵı 500 A , bul tok retlew procesinde 800 A ge shekem artıwı múmkin. Shıǵıwındaǵı quwatlılıǵı 15 kW , tarmaqtan alınatuǵın quwatlılıǵı $33 \text{ kV} \cdot \text{A}$.



9.2-súwret. STN-500-1 tipli keperlew transformatorınıń dúzilisi (a) hám istin principal sxeması (sxemada reaktor ajıratıp kórsetilgen) (b): [1, 2 – tiyisli JK hám PK oramlar; 3 – magnit ótkizgish; 4, 6 – reaktor magnit sistemasınıń qozǵalmaytuǵın (4) hám qozǵalıwshı (6) bólimleri; 5 – reaktor oramı; 7 – qozǵalıwshı bólimin háreketke keltiriw ushın tutqıshlı júritiwshi vint; 8 – qozǵalıwshı bóliminiń tıtırawın kemeyttiriw ushın prujına; 9 – ekilemshı oram hám reaktor oramı qısqushı; 10 – kojux; 11 – dóngelek; 12 – keperlenetuǵın detal; 13 – elektrod; 14 – tokli sımnıń izolyacion tutqıshı]; keperlew transformatorınıń sırtqı xarakteristikaları (c): [minimal (1) hám maksimal (2) boslıqlar (zazorlar) ushın; $U_{2.doga}$ – elektr doǵasınıń turǵın janıwı ushın zárúrli kernew].

9.3. Tuwrılǵısh hám avtomatika qurılımları ushın transformatorlar

Tuwrılǵısh qurılımları ushın transformatorlar. Tuwrılǵısh qurılımları reńli metallurgiyada (máselen, Almalıq hám Nawayı kombinatları), ximiya sanaatında (Fergana, Chirchiq hám Nawayı kombinatları) texnologiyalıq procesi, qara metallurgiyada

(Bekabat metallurgiya kombinatı) bolsa eleklew mashina (stan)ları elektr júritpelerin turaqlı tok penen támiyinlewde, elektrotermiyada, elektrlestirilgen temir jol hám qala elektr transportlarında, úlken quwatlılıqlı turbogenerator hám gidro-generatorlar qozǵatıwshı sistemasında hám baqsa ayırım tarawlarda paydalanıladı.

Úlken quwatlılıqlı tuwrılaǵısh qurılımaları bolsa elektr tarmasına arnawlı maqsetli kúsh transformatorları arqalı jalǵanadı.

Ózgerttirgish agregatı arnawlı maqsetli kúsh transformatorları ekilemshi oram fazaları sanına qarap—bir, úsh, altı, 12 hám 24 fazalı (24 fazalını bir transformatorında tek kópır sxemasında payda etiw múmkin) túrlerge bólinedi.

Tuwrılaǵısh sxemalarında qollanılatuǵın transformatorlardıń ekilemshi oramına tokti tek bir baǵdarda ótkizetuǵın ventiller jalǵanadı. Bunday transformatordıń ózine tán qásiyetlerinen biri sonnan ibarat boladı, onıń túrli fazalarına jalǵanǵan ventiller náwbetpe-náwbet islegenligi sebepli, ayırım fazalarında júkleme mánisiniń birdey bolmaǵanlıǵı esaplanadı.

Bunday transformator oramlarınan sinusoidsız toklar ótedi. Toktıń joqarı garmonikaları tómendegishe sebeplerge baylanıslı payda boladı:

1) ekilemshi oramnıń ayırım fazalarına jalǵanǵan ventiller togi ózinen dáwirdiń tek bir bóliminde ǵana ótkiziwi;

2) tuwrılaǵıstıń turaqlı tok tárepine induktivligi úlken bolǵan tegislewshı drossel jalǵanǵanlıǵı sebepli transformator oramlarındaǵı toktıń waqıt boyınsha ózgeriw forması tuwrı múyeshke jaqın bolıwı.

Ózgerttirgish qurılımaları arnawlı maqsetli kúsh transformatorlarda, ulıwmalıq jaǵdayda, I_1 hám I_2 toklardıń tásir etiwshı mánisleri joqarı garmonikalar tásirinde hár túrli bolıwı nátiyjesinde S_{1N} hám S_{2N} esaplaw quwatlılıqları hár túrli boladı. Sonıń ushın ventilli tuwrılaǵısh transformatorınıń «tiplik quwatlılıǵı» túsiniǵi kiritiledi (tiplik quwatlılıq — ózgerttirgish qurılıması transformatorınıń tipine tiyisli bolǵan quwatlılıq).

Ózgerttirgish qurılımalarınıń arnawlı maqsetli kúsh transformatorlarınıń tiplik quwatlılıq tuwrılaw sxemasına baylanıslı

jaǵdayda (máselen, 6 fazalı tuwrılaǵısh sxemasında) (9.3-súwret) tómendegishe anıqlanadı:

$$S_{\text{tip}} = 0,5 (S_{1N} + S_{2N}) = 1,26 R_{dN}, \quad (9.1)$$

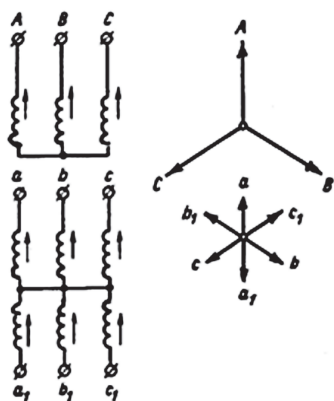
bunda $S_{1N} = 3I_{1N}U_{1f,N} = 1,045R_{dN}$, $S_{2N} = 6I_{2N}E_{2f,N} = 1,48R_{dN}$, $[R_{dN} = U_{dN}I_{dN}$ — tuwrılaǵıstıń turaqlı tok tárepindegi (shıǵıwdaǵı) quwatlıǵı].

I_{1N} hám I_{2N} — tiyisli tarmaq hám ventil oramlarınıń tokları;
 U_{1N} hám $E_{2f,N}$ — tarmaq hám ventil oramlarınıń tiyisli fazalıq kernewi hám EQK.

Tiplik quwatlılıq koefficienti — $K_{\text{tip}} = S_{\text{tip}}/R_{dN}$. Tuwrılaǵısh qurılısı ushın transformator tańlawda bul koefficient belgili bolıwı kerek.

Júklem nominal bolǵanda transformatordıń tiplik quwatlılıǵı S_{tip} , onıń shıǵıw quwatlılıǵı R_{dN} den úlken ($S_{\text{tip}} > R_{dN}$) boladı.

Arnawlı maqsetli kúsh transformatorınıń quwatlılıǵına hám qollanıw tarawına baylanıslı jaǵdayda onıń tuwrılǵan kernewi 6V tan birneshe mın voltqa shekem, tuwrılǵan tok bolsa 2A den 200 kA shekem bolıwı múmkin.



9.3-súwret. Úsh fazalı kernewler sistemasın altı fazalıǵa ózerttiriw sxeması hám onıń vektor diagramması.

Ózerttirgish qurılısı úsh fazalı transformatorlarınıń tarmaq oramların «jıldız»ǵa, ayırım jaǵdaylarda bolsa «úshmúyesh»ke jalǵanadı; ventil oramları «jıldız», «qos jıldız» (tuwrı hám kerı), «úshmúyesh-jıldız», «zigzag» sxemalarǵa jalǵanadı. Qos jıldızdıń neytralları teńlestiriwshi reaktor arqalı jalǵanadı. Bunda tarmaq oramı úsh fazalı tarmaqqa jalǵanganda ventil oramı tárepinen tuwrılaǵıstıń jalǵanıw sxemasına baylanıslı jaǵdayda úsh, altı (9.3-súwret) yamasa 12% tuwrılaǵıshqa imkan tuwıladı.

Tuwrılaǵıstıń altı fazalı sxemaları tiykarınan quwatlılıǵı 250 ÷ 4000 kW

bolğan ózgeritirgish agregatlarında, onnan úlken quwatlılarında bolsa 12 fazalı sxemalar qollanıladı.

Avtomatika qurılımaları ushın transformatorlar

1. Impulsi transformatorlar. Bunday transformatorlar impulsi texnika qurılımalarında elektr impulsi amplitudasın hám polisligin ózgerittiriw, júkleme shınjırı toginiń turaqlı payda etiwshisin joǵaltıw sıyaqlı wazıypalardı orınlaw ushın qollanıladı. Impulsi transformatorlar tok (yamasa kernew) impulsiniń qayta magnitleniwi rejiminde isleydi.

Bunday transformatorlarǵa qoyılatuǵın tiykargı talap — transformaciyalanǵan kernew impulsiniń forması imkan bolǵansha buzılmawı kerek.

2. Pik-transformatorlar. Elektron texnikasında basqarılatuǵın ventil (máselen, tiristor)di restlew ushın kernew impulsi keskin ótkir (pik tárizli) formada bolıwı kerek. Bunday impulslerdi sinusoidal ózgerip atırǵan kernew berilgen pik-transformator járdeminde alıw múmkin.

Pik-transformator — ózegi magnit tárepten kúshli toyingan ádettegi eki oramlı transformator esaplanadı. Sol sebepli transformatordıń ekilemshi oramında pik (qır, shoqqı)sıyaqlı formadaǵı kernew U_2 payda boladı. Magnit aǵım F hám tok i_1 nol mánisinen ótiw waqtında ekilemshi kernew maksimum (U_{2max}) mániske erisedi.

3. Stabillestiriwshi transformatorlar. Bunday transformatorlar elektr júritpede hám avtomatikalıq retlew sistemalarında retlenetuǵın shamanıń birinshi quramı boyınsha keri baylanısın payda etiw ushın gruppalamshı buwınlar sıpatında tez-tez paydalanıladı. Transformatordıń bunday sıpatta paydalanılıwı, ekilemshi oram kernewi U_2 nıń magnit aǵımı ózgeriw tezligi (dF/dt)ǵa tuwrı bolǵanlıǵına tiykarlangan.

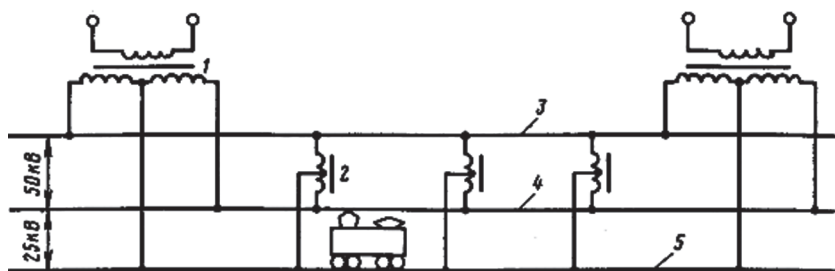
4. Jiyilikti ózgeritiriw ushın transformator. Ózgermeli tok jiyiligin eki hám úsh ese arttırıw ushın transformator sxemaları keń qollanıлмақта.

Jiyilikli úsh ese arttırıw ushın transformator sxemaları f_1 jiyilikli úsh fazalı tarmaqqa jalǵanǵan transformator ózekleriniń kúshli toyınıwı arqalı payda bolatuǵın úshinshi garmonikadan paydalanıwǵa tiykarlanǵan. Bunday jaǵdayda EQK tıń úshinshi garmonikaları úlken mániske iye bolıp, ekilemshi oramdı «ashıq úshmúyesh» kóriniske ótkizilse úsh ese úlken ($f_3=3f_1$) bolǵan jiyilikli kernew dereğine iye bolamız.

9.4. Elektrlestirilgen temir jol hám qala elektr transportları ushın kúsh transformatorlarınıń ózine tán ózgeshelikleri

Elektrlestirilgen temir jol transportı (máselen, elektrovoz) ushın kúsh transformatorları. Elektrlestirilgen temir jol transportı joqarı texnika-ekonomikalıq kórsetkishlerge iye hám ekologiyalıq tárepten taza bolǵan transport esaplanadı. Sol sebepli GMDA mámleketlerinde, sonday-aq Ózbekstanda elektrlestirilgen temir jol hám de qala elektr transportları keń rawajlanbaqta.

Elektrlestirilgen temir jol transportında tartıw («tiykarǵı támiyinlewshi») transformatorınıń tiykarǵı wazıypası elektr tarmaǵı kernewi U dı tartıw elektr motorı ushın zárúr bolǵan kernewge deyın kemeyttirip beriwden ibarat (9.4-súwret).



9.4-súwret. Elektrlestirilgen temir jolınıń 2×25 elektr támiyinlew sisteması tartıw podstanciyasındaǵı ekilemshi oramı bólingen bir fazalı arnawlı maqsetli kúsh transformatorı: (1 — bir fazalı kúsh transformatorı; 2 — bir fazalı kúsh AT; 3 — elektr energıyanı támiyinlewshi arnawlı liniya; 4 — kontakt tarmaǵı; 5 — rels tarmaǵı).

2×25 kV sistemalı tartıw transformator podstanciyalarında bir fazalı kúsh transformatorları qollanıladı. Olardıń ekilemshı oramı hár qaysısı 25 kV kernewli izbe-iz jalǵanǵan eki sekciyadan ibarat bolǵan (9.5-súwret). Sekciyalar bunday jalǵanǵanda kontakt tarmaǵın 50 kV kernew menen támiyinlewge imkan beredi. Bul kernew temir jol boylap arnawlı AT punktlerinde jaylastırılǵan liniya AT ları járdeminde retlep turıladı.

Qala elektr transportı kúsh transformatorları. Qala elektr tarmaqları ózgesheliklerinen kelip shıqqan jaǵdayda bunday arnawlı maqsetli kúsh transformatorlarınıń birlemshı kernewi 6; 6,3; 10 hám 10,5 kV boladı.

Tramvay-trolleybuslardı elektr energiya menen támiyinlewshi transformatorlardıń ekilemshı oramı kernewi $U_2=600$ V bolǵan TMP-800/10; TMP-1600/10 hám TMP-3200/10 tipleri isletiledi.

Ekilemshı oram kernewi $U_2=825$ V, quwatlılıǵı 3200 kV·A ge shekem bolǵan TMP-1600/10, TMP-3200/10 hám TSZP tipindegi qurǵaq arnawlı maqsetli kúsh transformatorları **metro-politen** elektr támiynatı ushın isletiledi.

9.5. Elektr ólshew sxemaları ushın transformatorlar

Bunday transformatorlar ózgermeli tok shınjırında elektr ólshew ásbapları (voltmetr, ampermetr, wattmetr hám basqa)nıń ólshew shegaraların keńeyttiriw hám joqarı kernew tarmaqlarında usı ásbaplar menen islew qáwipsizligin támiyinlew maqsetlerinde isletiledi. Bunnan tısqarı, releli qorǵanıw ásbapların jalǵawda da paydalanıladı. Bunday transformatorlardı «ólshew transformatorları» delinedi. Olardıń quwatlılıǵı 5 V·A den bir neshe júz kV·Age shekem boladı. Ólshew transformatorları kernew hám toklardı ózgerttirgende qátelik múmkin bolǵansha kem bolıwınıń zárúrligi olarǵa qoyılatuǵın tiykarǵı talapları boladı.

Kernewdi ólshew sxemaları ushın transformatorlar. Bunday transformatorlar kernewi $0,38 \div 1150$ kV bolǵan ózgermeli tok tarmaqları kernewin ólshew sxemalarında isletiledi. Sol sebepten olardı «kernew transformatorları» delinedi. Usı transformator páseyttiriwshi bolıp, birlemshı oramda kernew nominal

(másele, 3; 6; 10; 35; 110 kV hám basqa) bolǵanda ekilemshi kernewi 100, $100/\sqrt{3}$ yamasa $100/3$ V bolatuǵın etip orınlanadı. Onıń ekilemshi shıńjırına voltmetr hám de watt-metr, jiyilik ólshegish, energiya esaplaǵısh (schetchik) hám fazometrlerdiń kernew oramları jalǵanadı.

Bul ólshew ásbaplarınıń elektr qarsılıǵı úlken (shamalap 1000 Ω) bolıp, kernew transformatorlarınıń is rejimi sald islew rejimine jaqın boladı. Bul jaǵdayda $\underline{U}_1 = \underline{E}_1$; $U_0 = E_{2N}$, dep esaplaw múmkin boladı, biraq $E_1 = (w_1/w_2) E_2$ bolǵanı ushın

$$U_1 = (w_1/w_2) U_2 = k U_2, \quad (9.2)$$

bunda $k = w_1/w_2$ — transformaciyalaw koefficienti.

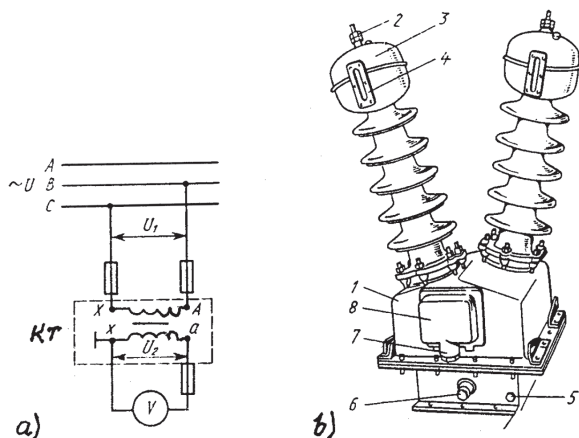
Kernew transformatorınıń qáteligi birlemshi (U_1) hám eki-lemshi (U_2) oram kernew vektorları arasındaqı jılıw fazasına baylanıslı jaǵdayda ózgeredi. Kóshirilmeytuǵın kernew transformatorların úsh (0,5; 1 hám 3), laboratoriya kernew transformatorların bolsa 4 (0,05; 1; 0,2; va 0,5) anıqlıq klasına bóledi.

Kernew transformatorları bir fazalı hám úsh fazalı etip tayarlanadı. Kernew $U = 3000$ V shekem qurǵaq etilip, $U > 3000$ V bolǵanda bolsa maylı (may menen suwıtılatuǵın) etiledi. 9.5-súwrette NOM-35 tipli kernew transformatorı (b) hám onı tarmaqqa jalǵaw sxeması (a) kórsetilgen.

Elektr qáwipsizligin támiyinlew maqsetinde transformator ekilemshi oramınıń shıǵıw ushlarınan biri hám transformator qaplaması (kojuxi) jerlenedi, yaǵnıy jerge tutastırıladı.

Toktı ólshew sxemaları ushın transformatorlar. Bunday transformatorlar úlken mánisli toklardı ápiwayı ampermetr menen ólshew ushın hám de wattmetr, energiya esaplaǵısh hám fazometrlerdiń tok oramların jalǵawda qollanıladı. Sol sebepten olardı «tok transformatorları» delinedi. Tok transformatorınıń birlemshi oramı kesim beti úlken bolǵan ótkizgish (sterjen)nen jasalıp, tarmaqqa izbe-iz jalǵanadı (9.6-súwret).

Oramalardaǵı oramlar sonday tańlanadı, bunda birlemshi oramnıń toǵı nominalǵa teń bolǵanda, ekilemshi shıńjırdaǵı tok 5 A bolatuǵın etip orınlanadı.



9.5-súwret. Kernewi 35 kV bolǵan tarmaqqa arnalǵan NOM-35 tipli kernew transformatorın tarmaqqa jalǵaw sxeması (a) hám onıń sırtqı kórinisı (b): (1 – korpus; 2 – joqarı kernewli tarmaqtan jalǵanatuǵın sım ushın qisqış; 3 – ótiw izolyatorınıń keńeytirtirgishi; 4 – may kórsetkish; 5 – jerge kómiw ushın bolt; 6 – maydı tógiw ushın qınlı tesik; 7 – ekilemshi oram ushları shıǵarılǵan izolyaciyalıq taxtaydın qaqpası hám 8 – ólshew ásbaplarına sım jalǵaw ushın shtucer (ushlarına rezba ashılǵan biriktiriwshi bólim).

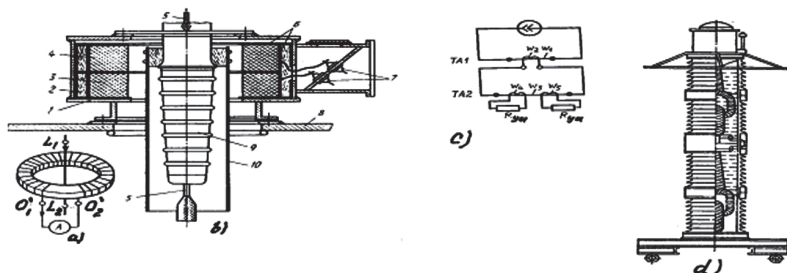
Tok transformatorlarınıń is rejimi qısqa tutasıw rejimine jaqın bolıp, olar ushın toklar teńlemesi tómendegishe jazıladı:

$$\underline{I}_1 = -\underline{I}'_2 = -(w_2 / w_1) \underline{I}_2 = \underline{I}_2 / k. \quad (9.3)$$

Demek, ekilemshi tok $\underline{I}_2$ hám transformaciyalaw koefficienti k belgili bolǵanda birlemshi tok $\underline{I}_1$ ti anıqlaw múmkin eken.

Tok transformatorların 5 a anıqlıq klasına bóledi: stacionar (kóshpeytuǵın) túrleri — 0,2; 0,5; 1; 3 hám 10, laboratoriya tok transformatorları bolsa — 0,01; 0,02; 0,05; 0,1 hám 0,2. Bul keltirilgen sanlar toktıń nominal mánisindegi tok qáteligi esaplanadı.

Nominal kernew $U \geq 220$ kV bolǵanda tok transformatorı kaskad sxeması boyınsha, yaǵnıy eki basqışlı jaǵdayda orın-



9.6-súwret. Kernewi 110 kV bolǵan kush transformatorı bakiniń ishine ornatılǵan tok transformatorınıń jalǵanıw sxeması (a): L_1 hám L_2 — birlemshi oram ushları; O_1 ha'm O_2 — ekilemshi oram ushları; b) tok transformatorınıń konstrukciyası: 1 — kiritkishtiń ótiw flaneci (birlestiriwshi bólimi); 2 — qara qayınnan islengen plastina; 3, 4 — tok transformatorları; 5 — birinshi oram wazıypasın orınlawshı ótkizgish; 6 — elektrokarton izolyaciya; 7 — ekilemshi oram ótiw izolyatorı qısqıshı; 8 — bak qaqpası; 9 — may toltırılǵan kiritgish; 10 — qaǵaz-bak elitli cilindr.

lanadı (9.6,d-súwret). Bul súwrette kórsetilgen kaskadlı tok transformatorınıń hárbir basqıshın kernewi $250/\sqrt{3}$ kV bolǵan tok transformatorın payda etedi.

Birinshi basqıshtaǵı ekilemshi oram ekinshi basqıstıń birlemshi oramın tok penen támiyinleydi. Joqarı kernewde eki basqıshlı tok transformatorınıń bir basqıshına qaraǵanda bahasınıń 2 ese azlıǵı onıń áhmiyetligi bolsa, kaskad sxemada oramlar qarsılıqlarınıń ósiwi sebepli tok transformatorı qáteliginiń kóbeyiwi bolsa onıń kemshiligi esaplanadı. Tok transformatorın tarmaqqa jalǵawda onıń qaplaması hám 2-oramınıń shıǵıw ushlarınan biri jerge jalǵanadı.

Qadaǵalaw ushın sorawlar:

1. Kepserlew transformatorınıń dúzilisi hám islew principin aytıń.
2. Elektrlestirilgen temir jol transportı kúsh transformatorın aytıń.
3. Elektr ólshew sxemaları ushın transformatordıń áhmiyeti?
4. Avtomatikalıq qurılmalarda qanday arnawlı transformatorlar qol-lanıladı?