

**Azərbaycan Respublikası Kənd Təsərrüfatı Nazirliyi**

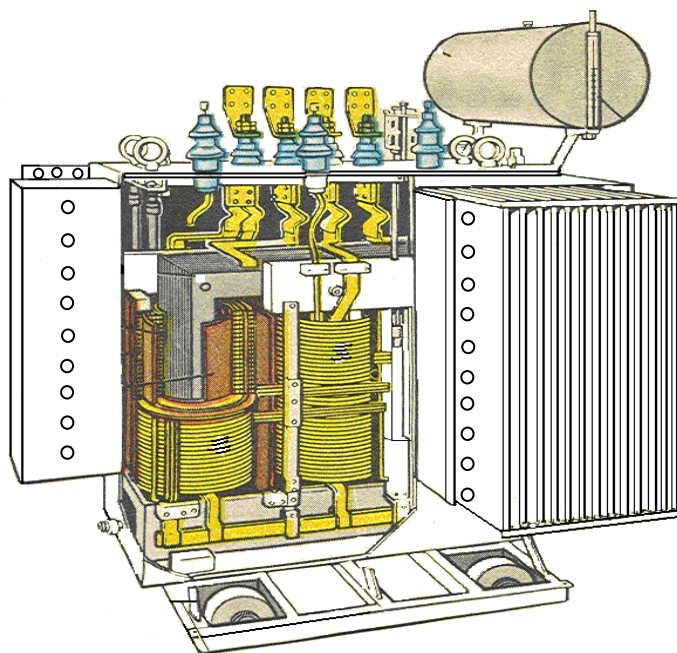
**Azərbaycan Kənd Təsərrüfatı Akademiyası**

**Y.B. ORUCOV, Q.İ. ABBASOV,  
S.M. GÖZƏLOV, N.C.ƏLƏKBƏROVA**

**ELEKTRİK MAŞINLARI**

**TRANSFORMATORLAR**

**DƏRS VƏSAİTİ**



**GƏNCƏ – 2008**

L – 104

A<sub>L</sub> – 2007

Dərs vəsaiti Azərbaycan Kənd Təsərrüfatı Akademiyasının Elmi Şurasının ( 23 noyabr 2007 ci il tarixli 03 sayılı protokolu) qərarı ilə dərs vəsaiti kimi nəşr olunması tövsiyə edilmişdir.

**Orucov Y.B. , Abbasov Q.İ.,Gözəlov S.M.,  
Ələkbərova N.C.**

Elektrik maşınları.Transformatorlar.Dərs vəsaiti. Gəncə, AKTA – nın nəşriyyatı 2008. – 140 s.

**Rəy verənlər:**Azərbaycan Kənd Təsərrüfatı Akademiyasının Elektrotexnika, elektrik təchizatı və istilik texnikası kafedrasının dosenti *Bağirov N.M.*, Elektrik enerjisinin kənd təsərrüfatında tətbiqi kafedrasının dosenti *Məmmədov O.H.*

Dərs vəsaiti Aqrar mühəndislik fakültəsinin AT 060300 Aqrar istehsalatın elektricləşdirilməsi və avtomatlaşdırılması, T 030400 Elektrik təchizatı (aqrar sahə) ixtisasları üzrə ali təhsilin bakalavr pilləsi üçün “Elektrik maşınları” fənninin proqramına əsasən tərtib edilmiş və proqramdakı “Transformatorlar” bölməsini əhatə edir.

Dərs vəsaitində əsasən hava–yağla soyudulan güc transformatorları nəzəriyyəsinin əsasları şərh olunur. Müasir transformatorların maqnit dövrləri, dolaqları, soyudulma sistemləri haqqında lazımı məlumatlar verilir və onların istismar xüsusiyyətləri təhlil edilir.

Aqrar istehsalın elektricləşdirilməsi və avtomatlaşdırılması, elektrik təchizatı ixtisası üzrə təhsil alan bakalavr – elektriclər üçün yazılmış bu dərs vəsaitindən Elektromexanika ixtisası üzrə təhsil alan tələbələr və energetika siste-

mində çalışan mühəndis – texniki işçilər də istifadə edə bilər.

## GİRİŞ

Сянайенин, няглийатын, кянд тясяррцфатынын  
вя ящалинин мяишятинин  
електрикляшдирилмяси мцхтялиф  
електротехники аваданлыгларын тятбигиня сябяб  
олмушдур. Бу аваданлыглар-дан ян чох истифадя  
едилянлярдян бири електрик машинларыдыр.  
Електрик машинлары механики енержини  
електрик енержисиня вя йа яксиня електрик  
енержисини механики енержийя, ейни за-манда  
електрик енержисини бир нювдян диэяр нювя  
чевирмя-йя хидмят едир.

Механики енержинин електрик енержисиня  
чеврилмясини щя-йата кечирян електрик  
машинлары эенераторлар адланыр. Эене-раторлар  
пар, щидравлики, газ турбинляри, дахили йанма  
мц-щяррикляри вя диэяр илкин мцщярриклярля  
фырланма щяркяти-ня эятирилир. Чох щалларда  
електрик стансийаларында истецсал олмуш  
електрик енержисини йенидян мцхтялиф машин  
вя меха-низмляри щяркятя эятирмяк цццн  
механики енержийя чевир-мяк лазым эялир. Бу  
мягсядля тятбиг олунан електрик ма-шинлары  
електрик мцщяррикляри адланыр. Мцасир  
електрик стан-сийаларында истецсал олунан  
дяйищян щярйянын узаг мяса-фяйя верилмясини  
вя онун електрик ищлядищияляриня пайланма-  
сыны тямин етмяк цццн эяггинлийин  
дяйищдирилмяси лазымдыр. Дяйищян щярйянын

эярэинлийинин дэйдидирилмясини щэйтата кечирян чевіриъиляр трансформаторлар адланыр.

Трансформатор фырланан щиссяляри олмайан статик электро-магнит апаратдыр. Лакин онларын иш принципидя вя гурулу-шунда фырланан електрик машинлары иля чохлу цмуми охшарлыглар олдуьуна эюря онлары електрик машинларына аид едир-ляр. Яслиндя трансформаторлары електрик машинлары адландыр-маг олмаз, она эюря ки, бунларда енержинин бир нювдян ди-эяр нювя чеврилмяси баш вермир. Трансформаторларда енержи бир дюврядян диэяриня ютцрцляркян формасыны дэйдидир, йя-ни щяр ики дювря цццн електрик енержиси щяклиндя галыр, лакин беля енержи ютцрцляркян дюврялярдяки эярэинлик вя тэря-йанларын нисбяти дэйдидир. Амта трансформаторларда баш ве-рян физики просеслярля фырланан електрик машинларында эедян просеслярля чохлу цмуми охшарлыглар вардыр. Бу просесляри тэсвир едян тянликляр бирбириня охшардыр. Она эюря трансформаторларын нязярийясиня електрик машинлары иля бирликдя бахырлар.

Щазырда трансформаторлардан енерэетик вя рабитя гурьула-рында, радиотехника, автоматика вя телемеханика системля-риндя, щесаблама техникасында вя с. мцхтялиф мягсядляр цццн эениш истифадя олунур.

Електрик машинлары дярс вясаитинин бу бюлмясиндя ясас щава вя йаьла соьудулан эцъ трансформаторлары нязярийя-синин ясаслары щярщ олунур. Мцасир трансформаторларын магнит дюврэляри, долаглары соьудулма системляри

щаггында ла-зыми мялумат верилиг вя онларын истисмар хцсусийятляри тя-щлил едилир. Бундан ялавя трансформаторларын техники характеристикалары верилмишдир.

## **1. ТРАНСФОРМАТОРЛАР ЩАГГЫНДА ЦМУМИ МЯЛУМАТЛАР**

### **1.1. Трансформаторларын тәуинати вя тятбиг сащяляри**

Transformator eyni tezlikdə bir gərginlikli dəyişən cərəyanı başqa gərginlikli dəyişən cərəyana elektromaqnit induksiya vasitəsilə çevirən statik elektromaqnit aparatdır.

**Transformatorların тәуинати.** Transformator vasitəsilə gərginlik artırılır və ya azaldılır, fazaların sayı və bir çox hallarda isə dəyişən cərəyanın tezliyi dəyişdirilir . Elek-trik

siqnallarının bir dolaqdan digərinə qarşılıqlı induksiya vasitəsilə ötürülməsinin mümkünlüyü 1831 – ci ildə Faraday tərəfindən kəşf edilmişdir (polad nüvəyə sarınmış dolaqların birində cərəyan dəyişən zaman digər dolaqda elektrik hərəkət qüvvəsinin, induksiyanın). Lakin praktiki işləyən ilk transformatoru məşhur ixtiraçı P.N. Yabloçkov və İ.F. Usagin birlikdə 1876 – cı ildə yaratmışlar. Bu açıq maqnit keçiricili birfazlı iki dolaqlı transformator idi. Bundan sonra qapalı maqnit keçiricili bir neçə birfazlı konstruksiyalı transformatorlar Macarıstan elektrotexnikləri O.Blati, M.Deri və K.Spernovski tərəfindən yaradılmışdır. Transformatorqayırmının və eləcə də elektromaşınqayırmının sonrakı inkişafında prof. A.Q. Stoletovun poladın maqnit xassələrinin tədqiqi və maqnit dövrlərinin hesabı istiqamətində apardığı elmi – tədqiqat işlərinin böyük rolu olmuşdur. İlk üçfazlı elektrik maşınlarının və transformatorların yaradıcısı üçfazlı və çoxfazlı dəyişən cərəyan sisteminin nəzəriyyəsini işləmiş M.O.Dolivo-Dobrovolski olmuşdur. 1891– ci ildə o, çubuqlarının hər üçü bir müstəvidə yerləşən müasir üçfazlı ikidolaqlı transformatoru ixtira etmişdir. Bu ixtiradan sonra transformatorlar geniş sürətdə inkişaf etməyə başladı. E.Arnold və M.Vidmor əsərlərində transformatorun nəzəriyyəsini əsas müddəalarını işləmişlər.

Transformator nəzəriyyəsini inkişaf etməsində və onun конструкторларының тьякмилляшдирилмясиндя Г.Н.Петровун, А. И.Волдекин, М.И.Костенконун, А.В.Сапожниковун, А.В. Трамбисскинин, В.В. Корисскинин вя с. алимлярин ясярляри буюцк рол ойнамышдыр.

**Трансформаторларын тятбиг сащяляри.** Transformator- лардан ашаьыда гейд олунан мягсядляр цццн эениш истифадя олунур.

1. Електрик тьящизаты системляриндя електрик енержисинин ютцрцлмясиндя вя пайланмасында

адятян електрик стансийа-ларында даяишян  
ъяряян эенераторлары 6...24 кВ эярэинлик-ли  
електрик енержиси щасил едир. Електирк  
енержисинин узаг мя-сафяйя йцксяк эярэинликля  
ютцрцлмяси сямярляи олдуьун-дан щяр бир  
електрик стансийасында эярэинлийи йцксялдян  
трансформаторлар гурашдырылыр. Назырда  
мцасир йцксяк эяр-эинликли електрик верилиш  
хятляри цчцн эярэинлийи 330, 500 вя 750 кВ, эцъц  
1200, 1600 МВА гядяр олан йаь иля сойу-дулан эцъ  
трансформаторлары тядбиг едирляр. Електрик  
енержиси сянайе вя кянд тясяррцфаты  
мцяссисялярия, шыщяр вя кянд йашайыш  
мянтыгялярия 220, 110, 35, 20, 10 вя 6 кВ эяр-  
эинликли щава вя кабел хятляри васитясиля  
пайланыр. Она эюря бцтцн пайлайыгы  
шыбьякялярин говшагларында эярэинлийи азал-  
дан трансформаторлар гурашдырылыр. Бундан  
ялавя алчалдыгы трансформаторлар о  
мянтыгялярдя гурашдырылыр ки, даяишян  
ъяряян тялябедиъилярин яксяриййяти 220, 380  
вя 660 В эярэинликля ишляйир. Беяликля,  
електрик енержиси електрик стансийаларындан  
тялябедиъиляря ютцрцляркян бир нечя дяфя (3...5  
дяфя) трансформаторларда трансформасийа  
олунур. Бу мягсядя тятбиг олунан  
трансформаторлар бирфазалы вя цчфазалы, ики вя  
цчдолаглы олиг.

2. Чевіриъи гурьуларда вентилярин лазым  
схемляря гошул-масынын тямин едилмясиндя,  
чевриъинин эиришиндя вя чыхы-шында  
эярэинликлярин уйьунлашдырылмасында тятбиг  
олунан трансформаторлар. Вентили  
чевіриъилярдя даяишян яряяянын сабит

Ъярйана чевірилмясиндя вя яксиня сабит ъярйанын дяйишян ъярйана чевірилмясиндя (инверторлар) эиришдя вя чыхышда эярэинликлярин нисбяти вентилярин qoşulma схемля-риндян асылыдыр. Буна эюрэ яээр чевіриџинин эиришиня стан-дарт эярэинлик верилярся, о вахт онун чыхышында гейри стан-дарт эярэинлик алыныр. Бу нюгсаны арадан галдырмаг цццн вентилярин гябул едилмиш гошулма схеминя эюрэ, стандарт чыхыш эярэинлийи иля тямин етмяк мягсядиля тятбиг олунан трансформаторлар чевіриџи трансформаторлар адланыр. Бу нюв трансформаторларын эярэинлийи 10 кВ гядяр эцџ ися мин киловатт амперя кими ола биляр. Онлар 50 Щз вя даща чох тезликдя ишляйир. Чевіриџи трансформаторлар бир, цч вя чох фазалы чыхыш эярэинлийи эениш щяддя тянзимлянян вя тян-зимлянмяйян гурулушу йериня йетирилир.

3. Мцхтялиф электромеханики гурьуларда технологи мяг-сядляр цццн: гайнаг (гайнаг трансформаторлары), электро-термики гурьуларын (соба трансформаторлары) гидаландырылма-сы вя с. Бу трансформаторларын эярэинлийи 10 кВ гядяр, эцџ ися он мин киловатт амперя чатыр, 50 Щз тезликдя ишляйир.

4. Рабитя гурьуларында, автоматика вя телемеханика ра-дио вя телевизийа апаратларынын дюврэляринин електрик енержиси иля гидаландырылмасында, айры-айры автоматика элемент-ляринин эиришиндя вя чыхышында эярэинликлярин уйьунлашдырылмасында вя с. Бу гурьуларда истифадя олунан трансформаторларыни эцџ кичик (бир неча волт



ампердян бир неча ки-ловолт амперя гядяр) эярэинлийи (алчаг эярэинликли) ися ашаьы олур, 50 Щз вя даща чох тезликлярдя ишляйир.

5. Електрик юлчц гурьуларында електрик юлчц ъищазларынын йцксяк эярэинликли вя йа ъярйанлы дюрляря гошулмасын-да, юлчц ъищазларынын юлчмя щяддляринин эенишляндирилмя-синдя, релелярин долагларынын гидаландырылмасында, тящлцкя-сизлийин тямин едилмясиндя вя с. истифадя олунур. Бу мяг-сядя истифадя олунан трансформаторлар юлчц трансформатор-лары адланыр. Електрик юлчц ъищазларынын, релелярин вя с. тяля-бат эцъц кичик олдуьундан бу нюв трансформаторларын эцъц диэяр нюв трансформаторларла мцгайисядя чох кичик олур.

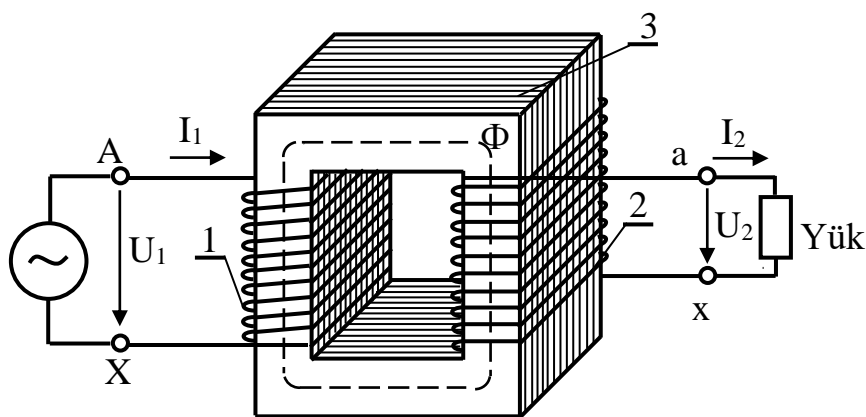
Йухарыда 1, 2, 3 сайлы бяндлярдя вя 4 сайлы бянддя эюс-тярилян трансформаторларын бир щиссяси енерэетик щябьякляр-дя вя електрик енержиси тялябедиъиляриндя електрик енержисинин чевірилмяси цццн тьяинатлы олдуьуна эюрэ эцъ трансфор-маторлары адланыр. Эцъ трансформаторларынип иш режиминин характерик хцсусиййятляри, дяйищян ъярйанын тезлийинин дя-йищмямязлийи, биринъи вя икинъи тяряф эярэинликлярин номи-нал гиймятляриндян чох аз фярглянмясидир.

Кечмиш ССРИ – нин заводлары тяряфиндян бурахылмыш эцъ трансформаторлары бир неча группа (габаритя) бюлцнмцщдцр. Ы – дян ВЬЫЫ гядяр, мясялян Ы габаритя эцъц 100 кВА гя-дяр, ЫЫ габаритя эцъц 160 – дан 630 кВА гядяр, ЫЫЫ габари-тя эцъц 1000 – дян 6300кВА гядяр оланлар вя с.

Бу дярс вьсаитиндя ясаьан эць трансформаторларынип ня-зярийьясиня вя иш режимлярия бахылыр, диэяр нюв трансформаторлар щаггында цмуми нязярийья ясасында гыса мя-лумат верилир.

## 1.2. Трансформаторун електромагнит схеми вя ишлямя принципи

Бирфазалы икидолаглы трансформаторун електромагнит схеми шьк.1.1 – дя верилмишдир. Трансформатор ферромагнит материалындан щазырланмыш гапалы магнит кечириъьисиндян (3) вя онун чубугларында йерляшдирилмиш ики ядяд (1 вя 2) долаг-



Şəк. 1.1. Birfazalı transformatorun elektromağnit sxemi

1 – birinci tərəf dolağı; 2 – ikinci tərəf dolağı; 3 – mağnit keçiricisi

дан ибарятдир. Долаглар агасында електромагнит ялагя вар-дыр. Бу ялагя дяйишьян магнит сели васитясиля йараныр. Ферро-магнит кечириъьи долаглар арасындакы магнит ялагясини эць-ляндирмяк цчцндцр.

Трансформаторун даяишян тьярйан шябьякясиндян енержи алан долабы биринти долаг (шяк. 1.1., 1 – долаг), шябьякья енержи верян долабы (шяк. 1.1., 2–долаг) ися икинти долаг адланыр.

Трансформаторларын долагларыны мцхтялиф эярэинлики шябья-кьяря гошурлар. Йцксяк эярэинлик шябьякясиня гошулан до-лаб йцксяк эярэинлик долабы(ЙЭ), алчаг эярэинлик şəbəkəsi-nə qoşulan dolaq isə алчаг эярэинлик долабы (АЭ) адланыр. ЙЭ долабынын башланьыты вя сону А,Х; АЭ долабынын баş-ланьыты вя сону а,х щярфляриля ишарялянир. Яэяр икинти тьярф эярэинлийи биринти тьярф ээрэинлийиндян аздырса беля транс-форматор алчалдыты вя йа чох оларса уцксэди-ти трансформатор адланыр. Бу вя йа диэяр долабын шябьякья qoşulmasын-дан асылы олараг щяр бир трансформатор алчалдыты вя йцксэди-ти ола биляр. Бир–бири иля електрик ялагяси олмайан ики долаг-дан ибарят олан трансформаторлар икидолаглы трансформатор адланыр. Цч вя даща чох бир – бири иля електрик ялагяси олма-йанлар ися цчдолаглы вя чохдолаглы трансформаторлар адланыр. Çохдолаглы трансформаторларын бир нечя икинти вя биринти до-лаглары ола биляр. Фазаларынын сайына эюря трансформаторлар бирфазалы, цчфазалы вя чохфазалы олур.

**Ишлямя принсипи.** Трансформаторун ишлямя принсипи гаршы-лыглы индуксийа принсипиня яасланыр. Яэяр трансформаторун долагларыдап бирини (1) даяишян эярэинлик мянбьяиня гош-саг (шяк.1.1), онда бу долагда  $I_1$  тьярйаны йарныр. Бу тья-рйан трансформаторун магнит

кечириъисиндя(3) дѣйишян магнит сели ямяля эятирир. Бу магнит сели щяр ики долаъы къ-сир вя онларда електрик щяркят гцввясини (ЕЩГ) индукси-йалайыр. Долагларда саръылар сайы мцхтялиф олдуъундан, он-ларда индуксийанын ЕЩГ – ри гиймятъя бир – бириндян фярг-лянир. Саръылар сайы чох олан долагда индуксийаланан ЕЩГ – нин гиймяти буюцк, саръылар сайы аз олан долагда ися ЕЩГ – нин гиймяти кичик олаъагдыр.

Биринъи долагда индуксийаланан ЕЩГ тяхминян тятбиг олунан эярэинлийя бярабяр вя ону там мцвазинятляшдирир. Икинъи долаъа (2) мцхтялиф електрик енержиси тялябедиъилияри гошулар. Бу гошулан тялябедиъиляр трансформаторун йцкц адланыр. Икинъи долагда индуксийаланан ЕЩГ тясинриндян  $I_2$  ъярѣяны ямяля эялир вя сыхаъларда  $U_2$  эярэинлийи йараныр. Икинъи долагда йаранан  $I_2$ ,  $U_2$  ъярѣян, эярэинлик биринъи долагда йаранан  $I_1$ ,  $U_1$  ъярѣян, эярэинликдян фярглянди-йиня эюра трансформаторда електрик енержисинин параметр-ляринин дѣйишмяси баш верир.

Йэни шѣбѣкядян биринъи долаъа верилян  $U_1$  эярэинликли вя  $I_1$  ъярѣянлы електрик енержиси магнит сащяси васитяси иля  $U_2$  эярэинликлэ вя  $I_2$  ъярѣянла икинъи долаъа ютцрцлцр.

Трансформатору сабит ъярѣян мянбѣйиня гош-маг олмаз. Яэяр трансформаторун биринъи долаъыны сабит ъярѣян мянбѣйиня гошсаг, онда онун магнит кечириъисиндя замана эюра гиймяти вя истигамяти сабит магнит сели йараныр. Бу сѣбѣбдян биринъи вя икинъи долагда



## **Şək. 1.2. Bifazalı güc transformatorunun maqnit keçiricisinin növləri:**

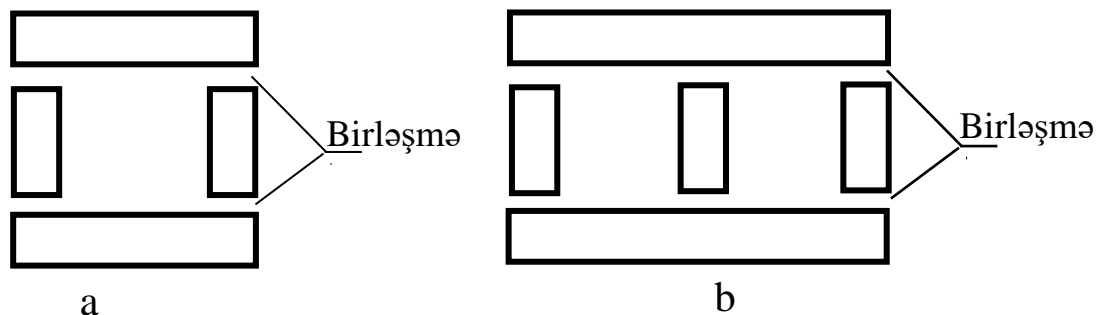
a – çubuq; b – zirehli; v – triodal; 1 – boyunduruq; 2 – çubuq;  
3 – dolaqlar; 4 – troidal maqnit keçirici

ныр. Зирещли трансформаторларла мцгайисядя бунларын кцтляси кичик вя сойудулма шяраити даща йахшыдыр.

Трансформаторларда бурульан тъяряанларын йаратдыьы итки-ляри азалтмаг цчцн онларын магнит кечириъисини бир – бирин-дян изолясийа едилмиш галынлыьы 0,28...0,3 мм электротех-ники ролад вяряглярдян йыьырлар (50 Щз тезликдя ишляйян трансформаторларда). Ролад вяряглярин изолясийа етмяк цчцн галынлыьы 0,03 мм каьыз вя йа йаьлы лак ишлядилир. Да-ща йцксяк тезликдя 400 Щз чох ишляйян трансформаторларда магнит кечириъисинин йыьылмасында галынлыьы 0,2...0,08 мм электротехники полад вяряглярин тятбиг едирляр. Вяряглярин щазырланмасында тяркибиндя 2,8...3,8 % силисум гарышыьы олан габырьайа охшар шякилли структура малик анизотроп со-йуг йайылмыш поладдан (поладын маркасы 3412 ... 3416) истифадя едирляр. Бу да онунла ялагядардыр ки, сойуг йайыл-мыш поладын йайылма истигамятиндяки магнит характери-калары исти йайылмыш полада нисбятян даща йахшыдыр.

Магнит кечириъисини уъ – уъа бирляшдирмя вя юртмя цсулу иля йыьырлар. Уъ-уъа бирляшдирмя

иля йыьылмада чцбцглар вя бойундуруглар айры – айры йыьылыр (шяк. 1.3, а;б), сонра бяр-кидиъи щиссялярин кюмяйи иля уь – уьа бирляшдирилир.



**Şək. 1.3. Birləşmə (a) və üçfazlı (b) transformatorun maqnit keçiricisinin uc – uca birləşmə üsulu ilə uylması**

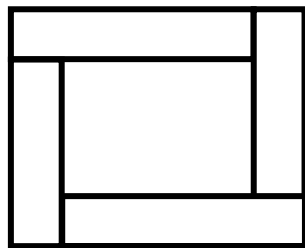
Магнит кечириъисинин бу ъцр конструксийасы долагларын чу-буглара эейиндирилмясини асанлашдырыр, беля ки, бунун цчцн йалныз цст бойундуруьу сөкмэк лазымдыр. Чубугла бойундуруьун бирляшмя йериндя вярягяляр арасы гапанманын гаршысыны алмаг цчцн изоля едиъи арагаты гурашдырылыр.

Юртмя üsulu иля йыьылмада бойундуруг вя чубуглар бц-тюв бир конструксийада, полад тябягялярин (бир тябягядя ики вя цч полад вяряг омур) бир –биринин ардынъа чатгы бир-ляшмя йерлярини юртмякля гурашдырылыр (шяк. 1.4,а;б).

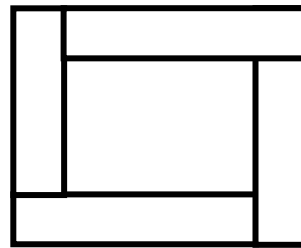
Бу ъцр йыьылмада долаьы чубуглара эейиндирмяк цчцн бойундуруьу сюкмяк вя долаг вэгэqlэг гойулдугдан сон-ра ися йенидян йыьмаг лазымдыр. Йухарыда гейд олунанлар-дан айдын омур ки, икинъи цсул биринъидян мцряккябдир, ла-кин бир сыра цстцнлцкляря маликдир:

1. Örtmä üsulu иля йыьылмада чубуг вя бойундуругларын полад тябягяляринин

бирляшдийи йер ян кичик юлчцйя чатдырыла  
 биляр. Чцнки, бир гатдаки чатгы йери, о бири  
 гатда полад тябя-гя иля юртцлцр. Уъ – уъа  
 йыьылмада ися чатгы уериндя вяря-

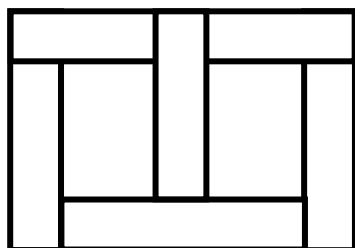


1 – ci vəziyyət

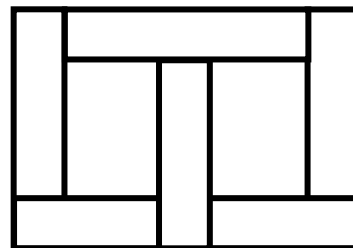


2 – ci vəziyyət

a



1 – ci vəziyyət



2 – ci vəziyyət

b

**Şək. 1.4. Bifazalı (a) və üçfazlı (b) transformatorun maqnit keçiricisinin polad təbəqələrinin örtmə üsulu ilə yığılması**

гяляр арасы гапанмадан бюйцк бурульан  
 тъяряйанлар йара-ныр, буда юз нювбясиндя  
 трансформаторун магнит кечирийи-синдя  
 иткиляри артырыр вя чатгы йерляриндя поладын  
 щяддиндя артыг гызмасына сябяб олур. Бунун  
 гаршысыны алмаг ццнн чатгы йерляриндя  
 чубугла бойундуруг арасына изоляедиьи арагаты  
 гурашдырылар. Юртмя иля йыьылмада арагатын  
 олма-масы йцксцз ишлямя тъяряйанын азалмасына  
 имкан йарадыр ;

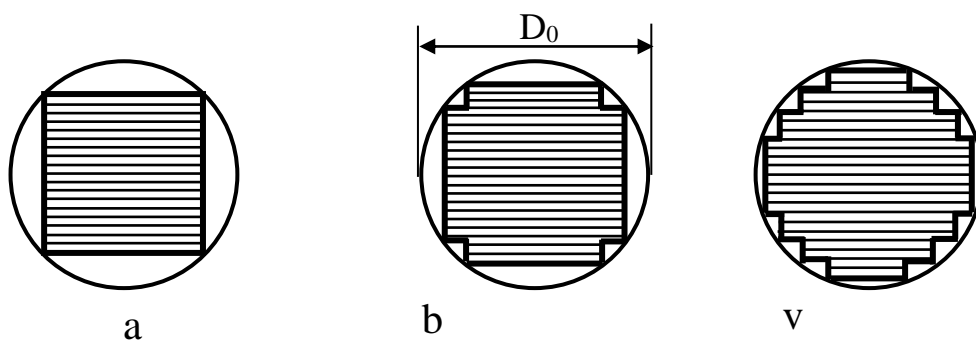
2. Örtmə üsulu иля йыьылмада магнит  
 кечирийисинин меха-ники давамлышы нязря  
 чарпаъаг дяряъядя артыр. Уъ – уъа  
 конструксийада ися чубугларын вя



бойундуругларын лазымы гайдада бирляшдирилмеси цццн нисбятян мющкям бяркидиъи щиссяляр тяляб олунур. Öртмя иля гурашдырылмада исә истифа-дя олунан бяркидиъи щиссялярин чякиси уъ – уъа гурашдырылмадакындан хейли аздыр.

Магнит кечиритьисинин юртмя цсулу иля йыьылмасынын цстцн-лцкляриня эюра эць трансформаторларын бцтцн габаритляриндя тятбиг олунур.

Эць трансформаторларын чубуьунун ен кясийи аҗағи эць-лярдя дцзбуъаглы вя йа хач шыкилли (шяк.1.5, а ; б), орта вя буюцк эцьлярдә ися пиллявари чохбуъаглы (шяк.1.5, в ) фор-масында олур (ени мцхтялиф олан полад вяряглярдян йыьы-лыр). Буюцк эцьлц трансформаторларын чубуьунун ен кяси-йиндя онун сойудулмасы цццн ени 5...6 мм олан каналлар олур. Технологи мцлащизяляря эюра бойундуруьун ен кяси-йиня чубуьун ен кясийиня нисбятян даща садя форма вери-лир.

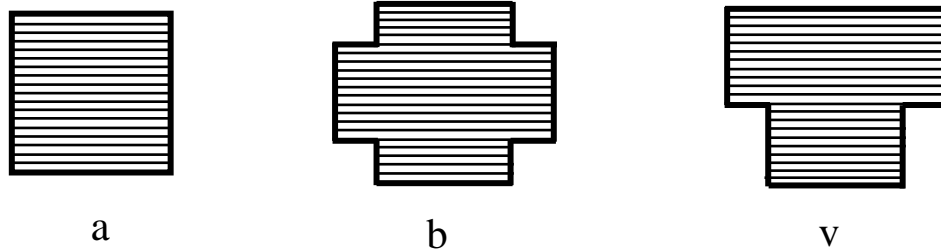


**Шяк. 1.5. Эць трансформаторларын чубуьунун ен кясийинин формалары :**

а – дцзбуъаглы; б – хач шыкилли; в – пиллявари чохбуъаглы

Бойундуруьун ен кясийи дцзбуъаглы, хач вя Т шыкилли йериня йетирилир.

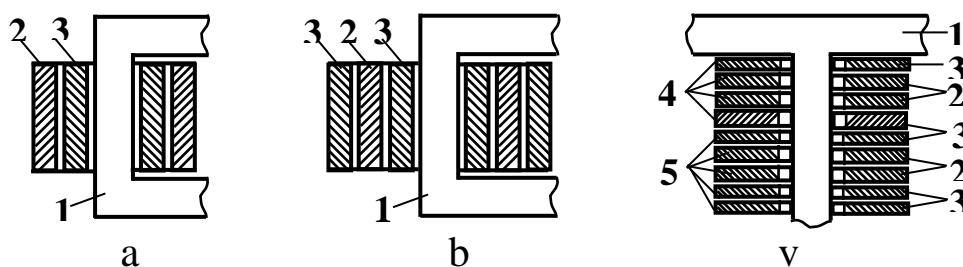
Дцзбуъаглы ен кясикли (шяк. 1.6, а) бойундуруглар ашағи эцъләрдә, хач вя Т шыкилли (шяк. 1.6,б ; в) бойундуруглар ися орта вя бюйцк эцълц трансформаторларда тятбиг едилир.



**Шяк. 1.6. Эцъ трансформаторларын бойундуругларынын ен кясийинин формалары:**

а – дцзбуъаглы; б – хач шыкилли; в – Т шыкилли

**Долаглар.** Чубугда йерляшмя цсулуна эюра трансформаторларын долаглары ясаян концентрик вя диск шыкилиндя ща-зырланыр (шяк. 1.7, а ; б). Концентрик долагларын щяр бири цилиндрик шыкилдя щазырланыр вя бир – бириня нязрян концентрик олараг трансформаторун чубуьунда йерляшдирилирляр.



**Şәк. 1.7. Transformatorun çubuqlarında dolaqların yerləş-**

### **dirilməsi:**

1 – çubuq; 2 – yüksək gərginlik dolağı; 3 – alcaq gərginlik dolağı; 4 və 5 – sarğacları qrupu

Hər bir dolaq eyni hündürlüyə malik olur. Bu növ dolaqlar ən çox çubuqlu güc transformatorlarında tətbiq olunur. Çubuğa yaxın AG dolağı yerləşdirilir, çünki, YG dolağına nisbətən AG dolağını çubuqdan izoleedilməsi asandır. Bir çox hallarda dolaqların induktiv səpələnmə müqavimətini azaltmaq üçün ikiqat konsentrik dolaqlar tətbiq olunur (şək. 1.7, a). Bu növ dolaqlarda AG dolağını sarğılar sayı eyni olan iki hissəyə bölürlər. Analoji olaraq YG dolağında bu cür hazırlayırlar.

Disk şəklində olan dolaqlarda YG və AG dolaqlarının sarğaclarını çubuğun hündürlüyü boyunca növbə ilə bir – birinin ардынъя йерляшдирирляр (шяк. 1.7, б). Бунларда щям АЭ, щям ЙЭ долаглары айры – айры дискляря бюлцнцр вя щя-мин дискляринювбя иля бир – бири-нин цзяриня йыьырлар. Ейни бир долаьа аид олан дискляр юз араларында долаьын тъяряйя-нындан асылы олараг йа ардытъыл (търяйяан шиддятли кичик олан-да), йа да паралел (търяйяан шиддятли бюйцк оlanda) бирляшди-

рилир. Диск шякилли долаьын цстцнлцйц ондадыр ки, сарьылары зә- дялянмиш бцтцн долаьы сюкцб тямир етмяк явязиня, сарьы-лары зядялянмиш диски чыхарыб, йениси иля дярщал явяз едя-ряк трансформатору тез бир заманда истисмара бурахмаг олур. Диск шякилли долаглар ясяян зирещли трансформаторлар-да тятбиг олунур. Концентрик долаглара нисбятян онларын бир сыра чагшмайан

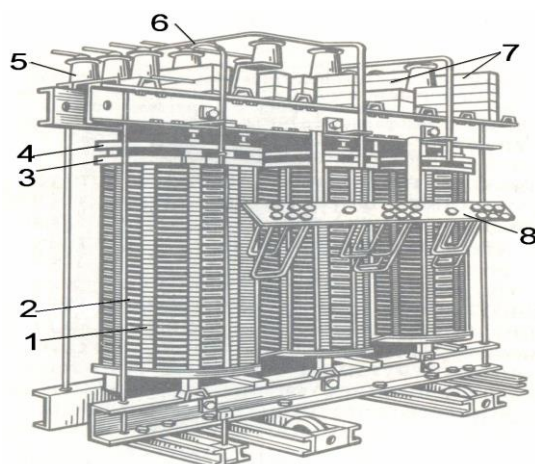
ъящятляри вар: щазырланмасы чох зящмят тя-ляб едир, гысагапанмайа дайаныглыы зяифдир, бойундуруг-лардан вя бир – биридән изоля олунмасы чятиндир.

Мцасир эць трансформаторларнда ян чох концентрик до-лаглар тятбиг олунур.

Трансформаторларын долаглары изоляедилмиш мис вя йа алү-миниум нагиллярдян щазырланыр. Алүминиум нагиллярдян ис-тифадя етдикдя онун ен кясийи 70% мис нагилляря нисбятян буюцк эютцрцлмялидир. Чцнки алүминиумун хцсуси електрик мцгавимяти буюцкдцр. Буна эюря дя алүминиум долаглы трансформаторларын габарит юлчцляри вя чякиси мис долаглы трансформаторлардан буюцкдцр. Эцьц нисбятян чох буюцк олмайан трансформаторларын долаг нагилляринин ен кясийи даиряви, буюцк эцьлц трансформаторларын долагларында тятбиг олунан нагиллярин ен кясийи ися дцзбуьаглы щазырланыр.

**Сойудулма системи.** Трансформаторун номинал эцьц вя онун конструктив йериня йетирилмяси сойудулма системин-дян чох асылыдыр. Трансформаторун эцьцнц артыран заман онун сойудулмасынын итенсивлийини дя артырмаг лазымдыр. Мцасир эць трансформаторларыни долагларында вя магнит кечириъиляриндя йаранан (иш просесиндя) истилийи ятраф мцщитя ютцрмяк цццн ашаьыдакы сойудулма цсуллары тятбиг олунур: щава иля йаьла вя йанмайан мае дїелектрик васытясиля. Щава иля сойудулан трансформаторлар гуру трансформаторлар адланыр (щяк. 1.8). Тябии щава иля сойудулмада магнит ке-чириъиси

долаглар вя трансформаторун диэяр щиссяляри онлары ящаты едян щава иля билаваситя тямасда олдуьундан, онла-рын соьудулмасы щаванын конфексийасы вя шуаланма иля баш веригь.



**Şek. 1.8. Quru transformator:**

1 – sıxııcı şaqulu millər; 2 – yüksək gərginlik dolaqları; 3 – dolaqları sıxmaq üçün farfor altlıqlar; 4 – xüsusi polad həlqələr; 5 – yüksək gərginlik dolağı çıxışlarının dayaq izolyatorları; 6 – yüksək gərginlik dolağının çı-xışları; 7 – alçaq gərginlik dolağını birləşdirmək üçün farfor altlıqlar; 8 – yüksək gərginlik dolağı sıxacları üçün lövhə

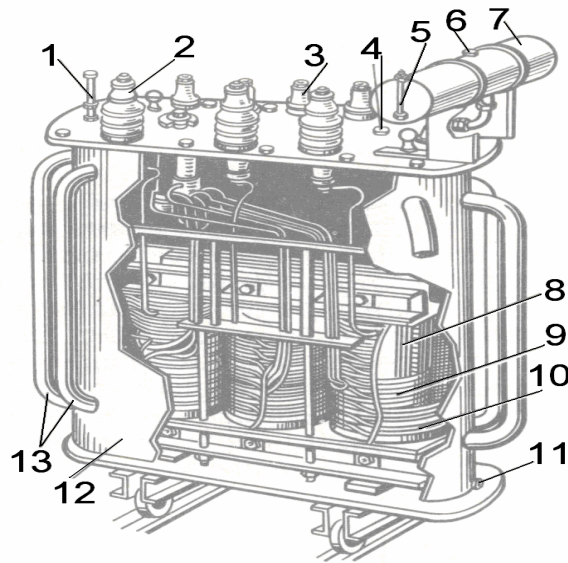
Щава иля соьудулан трансформаторлар йаньын вя партлайыш-дан тящлцкяли биналарын дахилиндя гурашдырылыр. Бунларын йаьлы трансформаторлара нисбятян истисмары даща ращатдыр. Чцнки, бу трансформаторларда периодик олараг йаьын тямиз-лянмяси вя дяйишдирилмяси ямялиййатлары арадан чыхарыл-мышдыр. Гейд едяк ки, щаванын електрик мющкямлийинин трансформатор йаьынын електрик мющкямлийиндян кичик олдуьуна эюря гуру трансформаторларда изолйасийа

аралыглары вя вентилясийа каналлары йаьлы трансформаторлара нисбятян буюцк юлцдзя щазырланыр. Щаванын истилик кечирмясинин йаь-ын истилик кечирмясиндян кичик олдуьуна эюра гуру трансформаторларын актив щиссяляринин кцтляси йаьлы трансформаторлара нисбятян буюцк олур. Щал – щазырда гуру трансформаторларын эцъц 10 МВА гядяря чатдырылмышдыр. Бу трансформаторлары гуру вя щаванын нисби нямлийи 80 % – а гядяр олан юртцлц биналарда гурашдырырлар.

Тябии щава иля сойудулан гуру трансформаторлар ачыг (Ъ), мцщафизяли (ЪЗ) вя йа кипбаьлы (ЪГ) тьяйинатлы щазыпланыр. Сойудулманын интенсивлийини артырмаг цццн вентилятор ва-ситясиля долаглара вя магнит кечириъисиня щава сели цфцрц-лцр. Щава сели иля цфцрцлян гуру трансформаторун шярти ишаряси (ЪД) эюстярилир.

Эцъ трансформаторлары, ян чох йаьла сойудулан гурулушлу щазырланыр. Бу трансформаторларын (М) юзяйи вэ уа чыхарыла билян щиссяси, йяни цзяриндя йерляшдирилмиш долагларла бирликдя магнит кечириъиси диггятля тямизлянмиш минерал трансформатор йаьы иля долу чяня гойулур (щяк. 1.9). Трансформатор йаьы долагларын вя магнит кечириъисинин истилийини алыр вя трансформаторун чянинин диварлары васитясиля хариъи мцщитя верир, трансформаторун йахшы сойудулмасына сябяб олур. Истилик ютцрмя просесини эцъляндирмяк цццн трансформаторун ютцрмя сойума сятцини мцмкцн гядяр буюцтмяк лазымдыр. Буна эюра трансформатор чянинин ди-

варларыны йа радиатор кими габырьалы, йа да бо-  
рулу щазырлайырлар.



**Şək. 1.9. Orta güclü yağlı transformator :**

1 – termometr; 2 – yüksək gərginlik dolağının çıxışları; 3 – alçaq gərginlik dolağının çıxışları; 4 və 6 – yağ doldurmaq üçün tıxaclar; 5 – səviyyə göstəricisi; 7 – genişləndirici; 8 – nüvə; 9 – alçaq gərginlik dolağı; 10 – yüksək gərginlik dolağı; 11 – yağ boşaltmaq üçün tıxaç; 12 – yağ üçün çən; 13 – yağı soyutmaq üçün borular

Трансформатор чяниня долдурулмуш йаь, йахшы сойудуъу олмагла бярабяр, щям дя йахшы изолйасийа габилиийятиня маликдир.

Трансформатор йаьы долагларын изолйасийа дяр-ъясини йцксялдир. Буна эюрә йаьын тяркиби кимйәви олагаг тямиз (туршу, гяляви, кцкцрд вя с. олматалыдыр) вя рцтц-бятсиз олмалыдыр. Буна эюрә истисмара бурахмамышдан яв-вял трансформатор йаьыны диггятля механики вя кимйәви га-

тышыглардан тямизлямяк вя гурутмаг, истисмар заманы ися онун туршулашмасынын гаршысыны алмаг лазымдыр. Бу сябяб-дян эцъц 25 кВА – дан

бюйцк трансформаторларда ясас чяндян башга бир ялавя чяндә (şяк.1.9) гурашдырылыр. Эенишляндириъи адланан бу чянин вязифяси трансформаторун ясас чяниндя олан йаъы щямишы щидростатик тязйиг алтында сахла-маг вя онун hava ilə toxunma səthini азалтмақдыр. Bu da yağın tez çirklənməsinin və nəmlənməsinin qarşısını alır. Бундан ялавя, иш заманы эенишлянян йаъын сывиййясинин галхыб – дцшмясиня имкан йаратмаг цццн йеня дя щямин чяндян истифадя олунур. Трансформаторун эенишляндириъиси онун цст гараьындан йухары, йан тяряфдя йерляшдирилир вя кичик диаметрли бору васитясиля ясас чян иля ялагяляндирилир.

Чох бюйцк эцълц 10000...63000 кВА трансформаторларда ямяля эялян истилик мигдары о гядяр эцълц олур ки, ону тя-бии сойутма цсулу иля хариъи мцщитя ютцрмяк чятин олур. Беля щалларда сцни сойудулма цсулларындан истифадя едилир.

1. Трансформаторун чяниндян, чох исти уағ насос васитя-силя чякилиб хцсуси сойудуъунун ичярисиндян кечирилир вя сойудулдугдан сонра тякран трансформаторлара верилир (МД тьяйинатлы трансформаторларда).

2. Йаъ иля сойудулан трансформатора хцсуси вентилятор васитяси иля сойуг щава вурулур вя бунунла онун сойудул-масы просеси эцъляндирилир (МД тьяйинатлы трансформаторлар-да).

Трансформатор йаъынын партлайыгы газлар щасил етмяси вя тез йана билмяси кими нюгсанларыны арадан галдырмаг цццн трансформатор йаъыны явяз едян йанмадан мае



диелек-трикдян истифады едилір. Бу тип трансформаторлар (Щ, ЩД) йанмайн майе диелектриклә там долдурулмуш кипбаьлы чянли щазырланыр. Бурада йанмайн майе диелектрик кими изолйасийа хассясиня вя сойутма габилыйятиня эюрә мине-рал трансформатор йаьына йахын лакин оксидляшмяйян вя кимйави дайаныглы совтол маддясиндян истифады едилір. Бу нюв сойудулма системли трансформаторлар (Щ, ЩД) йаньына эюрә тящлцкясиз олдуларындап юртцлц биналарда (иътимаи ха-рактерли биналар) йаньын вя партлайыш тящлцкяси олан йерляр-дя вя с. гурашдырылыр. Бунлар 160...2500 кВА эцъды, 6 вя 10 кВ эярэинликдя бурахылыр.

#### 1.4. Трансформаторун номинал кямиййятляри

Трансформаторун номинал кямиййятляри – эцъ, эярэинлик, ъярйанлар, тезлик вя с. ону щазырлайан завод тяряфиндян трансформаторун эювдясиндя бяркидилмиш лювщяъикдя эюс-тярилир. Трансформаторун завод лювщяъийиндя эюстярилян ре-жими онун номинал иш режими адланыр.

Трансформаторун номинал эцъц дедикдя онун там эцъц нязрядя тутулур: Вирфазалы трансформаторлар цчцн  $S_{nom} = U_{1nom} I_{1nom}$ , цчфазалы трансформаторлар цчцн  $S_{nom} = \sqrt{3} U_{1xnom} \times I_{1xnom}$ . Трансформаторларын файдалы иш ямсалы чох бюйцк ол-дуьундан, щяр ики долаьын эцъляри бир – бириня бярабяр гя-бул едилір:  $S_2 \approx S_1 = S_{nom}$ . Лювщядя киловольт – амперля (кВА) эюстярилир. Номинал эярэинлик дедикдя трансформаторун

щяр бир долабынын номинал эярэинлийи баша дцщцлцр. Яэяр  $U_{1xnom}=const$  онда икинъи тяряф долабынын номинал эцъдя эярэинлийи йцкцн характериндян асылы олаъагдыр. Она эюра бу гейри мцяййянкляг гуртармаг ццн икинъи тяряф долабынын номинал эярэинлийи дедикдя онун йцксцз ишлямя режиминдяки ( $I_2=0$ ) эярэинлийи баша дцщцлцр.

Номинал эцъ вя номинал эярэинлийин гиймятлярия эюра щесаблинмыш вя лювщяъикдя эюстярилмиш номинал биринъи вя икинъи тяряф долагларынын хяттъярйяанлары ( $I_{1xnom}, I_{2xnom}$ ) трансформаторларын номиналъярйяанлары адланыр. Эцъ, эяр-эинлик вяъярйяандан ялавя трансформаторун лювщяъийиндя эидаландырыъы эярэинлийин тезлийи, долагларын бирляшмя схеми вя групу, гыса гапанма эярэинлийи, иш режими (узун мцд-дятли, гыса мцддятли), там кцтляси эюстярилир.

## 2. ТРАНСФОРМАТОРУН ИШ РЕЖИМЛЯРИ

Трансформаторун истисмары заманы йцксцз ишлямя, гыса гапанма вя йцк режимляри баш веря биляр.

Йцксцз ишлямя режими трансформаторун икинъи тяряф дола-ъындан ахан тыряян сыфыр гиймятиня бярабяр олдугда йа-раныр ( $I_2 = 0$ ). Йцксцз ишлямя режими трансформатор щазыр ещтийатда олдууу заман (бу заман икинъи тяряф долаъынын ишлядиъиляр гошулмуш шыбьякя иля ялагяляндирян дювря ачары ачыг вязиййятдя олур) вя йа електрик ишлядиъилярин там фаси-ляси заманы баш верир.

Гысагапанма режими трансформаторун биринъи тяряф долаъы там эрзинлик алтында гошулдууу заман, икинъи тяряф долаъы уъларына гошулмуш йцк мцгавимятинин гиймяти сыфыра дцш-дцкдя йараныр. Бу щал трансформаторун долагларынын, чыхыш уъларынын, онлары шыбьякя иля

бирляшдирян ъяряйан дашыйан кабел вя йа шинлярин ики вя йа цч фаз арасында изолясийа мцгавимятинин позулмасы, йа да щяр щансы бир сябядян гыса дювря баш вермясиндян тюрня бияр.

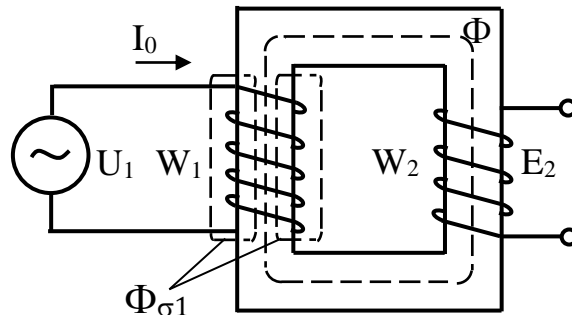
Бея гысагапанма трансформаторун истисмары заманы баш веряря буна истисмар гысагапанмасы дейилир. Бу гысагапанма нятиъясиндя трансформаторун долагларындан ахан ъяряйанлар юз номинал гитетиндян 10...20 дяфя артыг гиймят алмыш ола бияр. Бу заман трансформатор тезликля дюв-рэдян ачылмазса бюйцк гиймятли ъяряйанларын йарада біля-ъяйи термики вя динамики тясирляр нятиъясиндя, о сырадан чыхаъаг дяряъядя зядяляня бияр.

Трансформаторун ясас иш режими йцкцц режимдир. Бу режимдя трансформаторун юзцнц неъя апара билмяси, онун эярэинлийинин неъя дяйишмяси вя бу щалын диэяр тясирляри бюйцк мараг добурур вя юйрянилир. Бу гейд олуналары юйрянмяк цчцн трансформаторун бир чох кямиййятлярини (долаг мцга-вмятляри, эць итэиси вя с.) яввялъядян билмяк лазымдыр. Щямин кямиййятляри йцксцз ишлямя вя гыса гапанма режимлярини тяърцбядя йаратмагла мцяййянляшдирмяк олур. Бу тяърцбяляря уйбун режимлярин адлары верилряк йцкцц режимлярин юйрянилмяси үсүн мцяййян едилмиш кямиййятлярин бир – бири иля гаршылыглы ялагяляри аналитик (эярэинликлярин мцвазинят тянликляри васитясиля) вя графика йолла (vektor di-aqramlari vasitəsilə) мцяййянляшдирилир.

## **2.1. Трансформаторун йцксцз ишлямя режими**

Трансформаторун ikinci tərəf dolağının ucları açıq olduq-da və birinci tərəf dolağı  $f_1$  tezlikli dəyişən cərəyan mən-bəyinə qoşulan haldakı rejmi yüksüz işləmə rejimi adlanır.

Йцксцз ишлямя режиминдя баш верян просесляри юйрян-мяк цццн бирфазалы трансформаторлардан истифадя етмяк да-ща ялверишли щесаб едилір. Чцнки, бирфазалы трансформаторлар-да баш верян просесляр ясаян цчфазалы трансформаторларын щяр бир фазасында баш верян просеслярля ейнидир. Шякил 2.1 бирфазалы трансформаторун йцксцз ишлямя режиминдя електромагнит схеми верилмишдир.



**Şək. 2.1. Birqfazalı transformatorun yüksüz işləmə sxemi**

Айдынлыг цццн сарьылар сайы  $W_1$  олан биринъи тяряф долаьы вя сарьылар сайы  $W_2$  олан икинъи тяряф долаьы мцхтялиф чу-бугларда йерляшдирилмишдир. Йцксцз ишлямя режиминдя бирин-ъи тяряфдя ахан тьяряян ( $I_1 = I_0$ ) йцксцз ишлямя тьяряяны адланр. Йцксцз ишлямя тьяряянып реактив мцряккябяси магнит кечиритъисиндя гапанан  $\Phi$  ясас магнит селини

йарадыр (гейри – магнит мцщитдян кечян  $\Phi_{\sigma 1}$  сяпялянмя магнит селини нязяря алмырыг, чцнки  $\Phi \gg \Phi_{\sigma 1}$ ). Ясас магнит сели  $\Phi$  биринъи вя икинъи тяряф долагларыны кясярк щяр ики долаг-да ЕЩГ йарадыр. Фярз едяк ки,  $\Phi$  магнит сели замана эюря синусоидал ганунла дйишир:

$$\Phi = \Phi_m \sin \omega t,$$

бурада  $\Phi_m$  – магнит селинин амплитуд гиймяти;  $\omega = 2\pi f_1$  – буъаг сцряти;  $t$  – вахтдыр.

Магнит селинин дйишмяси нятиъясиндя щяр ики долагда ин-дуксийанын ЕЩГ – нин ани гиймятляри:

$$\left. \begin{aligned} e_1 &= -W_1 \frac{d\Phi}{dt} = -\omega_1 W_1 \Phi_m \cos \omega t = 2\pi f_1 W_1 \Phi_m \sin(\omega t - \pi/2); \\ e_2 &= -W_2 \frac{d\Phi}{dt} = -\omega_2 W_2 \Phi_m \cos \omega t = 2\pi f_1 W_2 \Phi_m \sin(\omega t - \pi/2). \end{aligned} \right\} (2.1)$$

Долагларын ЕЩГ – нин амплитуд гиймятляри:

$$\left. \begin{aligned} E_{1m} &= 2\pi f_1 W_1 \Phi_m; \\ E_{2m} &= 2\pi f_1 W_2 \Phi_m. \end{aligned} \right\} (2.2)$$

онда

$$\left. \begin{aligned} e_1 &= E_{1m} \sin(\omega t - \pi/2); \\ e_2 &= E_{2m} \sin(\omega t - \pi/2). \end{aligned} \right\} (2.3)$$

(2.1) вя (2.3) ifadələrindən эюрцрцк ки, трансформаторун долагларында индуксийаланан

ЕЩГ –ри магнит селиндян фа-заъа  $\pi/2$  буъабы гядяр эери галыр.

ЕЩГ – нин тясиредиъи гиймятляри:

$$\left. \begin{aligned} E_1 &= E_{1m} / \sqrt{2} = 4,44 f_1 W_1 \Phi_m; \\ E_2 &= E_{2m} / \sqrt{2} = 4,44 f_2 W_2 \Phi_m. \end{aligned} \right\} \quad (2.4)$$

Трансформаторун долагларында йаранан ЕЩГ гиймятляри сарьылар сайы иля мцтянасибдир. Бу кямиййятлярин нисбятин-дян:

$$E_1 / E_2 = W_1 / W_2 = n_t. \quad (2.5)$$

Трансформасийа ямсалы адланан мцъярряд ядяд алыныр. Трансформасийа ямсалы ващиддян щям бюйцк (алчалдыгы трансформаторларда), щям дя кичик (йцкляйиъи трансформаторларда) гиймятляр ала биляр. Трансформасийа ямсалы транс-форматору характеризя едян ясас кямиййятлярдян бири-дир. Трансформасийа ямсалыны практикада йцксцз ишлямя тя-ърцбясиндян биринъи вя икинъи тяряф долагларынын эярэинлик-лярини юлчмякля тьяин едирляр. Биринъи тяряф долаьындан ахан  $B_0$  ъяряйанын йаратдыьы эярэинлик дцшкцсц чох кичик олдуьундан, гябул едя билярик ки,  $U_1 \approx E_1$ , йцксцз ишлямя икинъи тяряф эярэинлийи  $U_2 = E_2$  олдуьундан:

$$U_1 / U_2 = W_1 / W_2 = n_t. \quad (2.6)$$

$U_1, E_1, W_1$  – кямиййятляри – ЙЭ долаьына,  $U_2, E_2, W_2$

кя-миййтляри ися АЭ долабына аиддир.

Практики мягсядляр цццн цчфазалы трансформаторларын трансформасийа ямсалынын тьяин едилмясиндя сох вахт до-лагларын хятт эярэинликляриндя иштифадя едилир:

$$n_x = U_{x1} / U_{x2}.$$

Трансформасийа ямсалынын тьяин едилмясиндя тьякъя сар-былар сайынын нисбятини билмякдян ялавя, щям дя долагла-рын бирляшмя схеминдя нязря алмаг лазымдыр.

Долаглары  $\Delta$ /Й схеми иля бирляшмиш трансформатор цццн

$$n_x = U_{x1} / U_{x2} = U_1 / (\sqrt{3}U_2) = W_1 / (\sqrt{3}W_2).$$

Йцкцз ишлямя режиминдя трансформаторун шябьякдян алдыыы  $P_0$  актив эцъц бцтцнлцкля трансформаторда йаранан ясас иткилярин юдянилмясиня сярф олунур. Трансформаторда йаранан ясас иткилярин ики мцряккябясини вардыр: долаглардакы вя магнит кечириъисиндяки иткиляр  $P_{mi}$ . Трансформаторун йц-кцз ишлямя режиминдя долаглардакы иткиляр щяддиндя артыг кичик гиймятля мликдир. Чцнки, икинъи тьяряф долабындан тьяряян ахмыр, биринъи тьяряф долабындан ися кичик гиймятли  $I_0$  тьяряяны ахыр. Она гюра практикада  $P_0 \approx P_{mi}$  гябул едилир. Дяйишян магнит селинин магнит кечириъисиндя йаратдыыы иткиляр щистересиз вя бурульанлы тьяряянларын тьясириндян йаранан иткилярдир. Трансформаторун



Йцксцз ишлямядя тьялб етдийи  $P_0$  актив эцъцня ясаян йцксцз ишлямя  $I_0$  тьяряйанын актив мцряккьябясини тьяин етмяк олар:

$$I_{0a} = P_0 / U_1 . \quad (2.7)$$

Йцксцз ишлямя тьяряйаны ики мцряккьябядян ясас магнит селини  $\Phi$  йарадан вя онунла фазаъа цст – цстя дцщян маг-нитлящдириъи (реактив) тьяряйандан  $I_{0r}$  вя ону фазаъа  $90^\circ$  га-баглайан актив тьяряйандан  $I_{0a}$  ибарятдир:

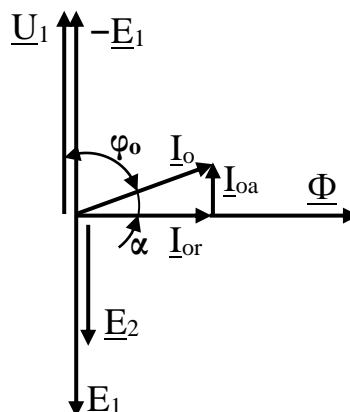
$$I_0 = \sqrt{I_{0a}^2 + I_{0r}^2} . \quad (2.8)$$

Ццфазалы трансформаторлар цццн

$$I_{0a} = P_0 / (3U_1),$$

бурада  $U_1$  – биринъи тьяряф долаъынын фаз эярэинлийидир.

Шякил 2.2 – дя йцксцз ишлямя режиміндя трансформаторун вектор диаграмы эюстярилмишдир.



## Шяк. 2.2. Трансформаторун уцксцз ишлямя режиминдә вектор диаграммы

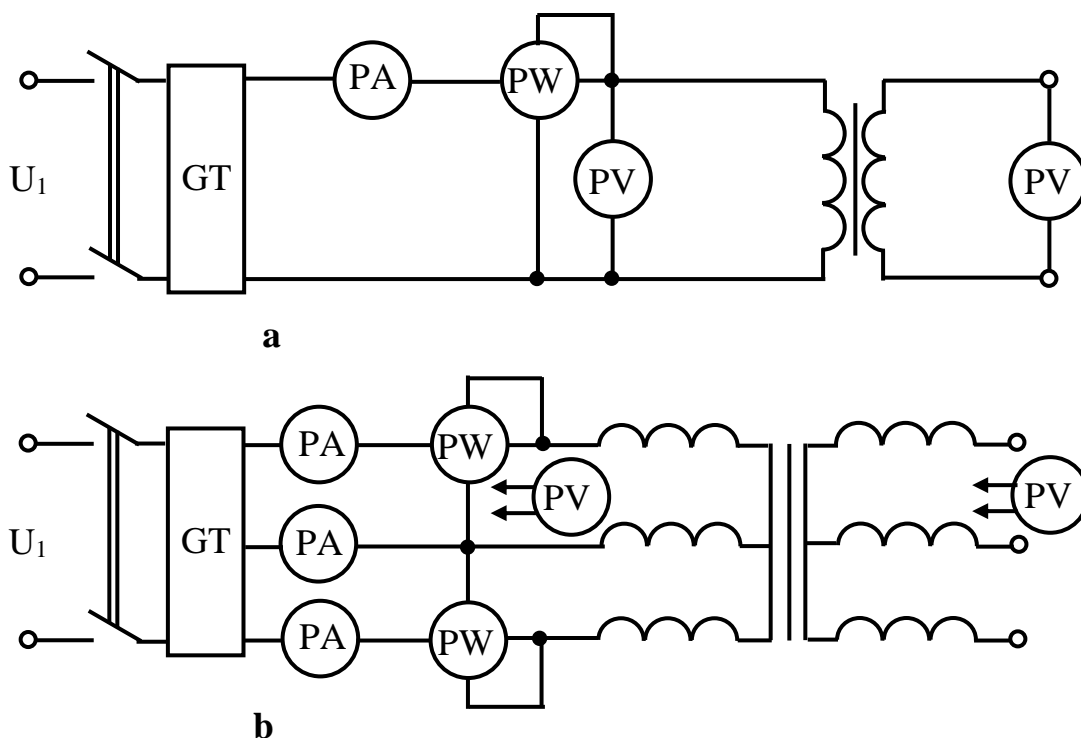
Биринъи тяряф долабында  $I_0$  тыряйанын йаратдыбы эярэинлик дцшэцсц чох кичик олдуьундан биринъи долаба тятбиг олунан эярэинлик тяхминян индуксийаланан ЕЩГ иля мцвазинятля-нир ( $U_1 \approx E_1$ )  $I_{0r} \gg I_{0a}$  чох бюйцк олдуьундан  $\varphi_0$  буъабы  $\pi/2$  йахынлашдыьундан, тосф $_0$  йцксцз ишлямядя ашабы гий-мятя малик олур.

$P_0$  эцъ итэиси вя  $I_0$  тыряйаны трансформаторун чох ящя-миййятли кямиййятляриндян биридир. Бу кямиййятлярин азал-дылмасы нятиъясиндя онун энерги итэиси вя шыбьякядян алдыбы реактив вя йцксцз ишлямя тыряйаны азалыр. Бунларын азал-масына наил олмаг цчцн трансформаторун магнит кечириъи-синин йахшылашдырылмыш магнит хассялярия малик олан (маг-нит нцфузлуъу бюйцк вя хцсуси иткиляри аз олан сойуг йайыл-мыш поладдан) электротехники полад вяряглярдян йыьмаг лазымдыр. Мцасир трансформаторларда йцксцз ишлямя эцъ ит-эиси онун номинал эцъцнцн 0,1...0,2 %, йцксцз ишлямя тыряйаны биринъи тяряф долабынын номинал тыряйанынын 0,5 ...10 % тяшкил едир. Бюйцк рягям ашабы эцълц трансформа-торлара аиддир.

**Трансформаторун йцксцз ишлямя тыърцбьаси.** Йцксцз ишлямя тыърцбьасини апармагда мягсяд

тяърцбядян алынан гиймятляря ясаян трансформаторун йцксцз ишлямя ъря-йан вя эць итэисини, трансформасийа вя йцксцз ишлямя эць ямсалыны тьяин етмякдир. Бундан ялавя йцксцз ишлямя тяърцбясиндян трансформаторун явяз схеминин магнитляш-дириъи контурунун мцгавимятини дя тьяин етмяк олар.

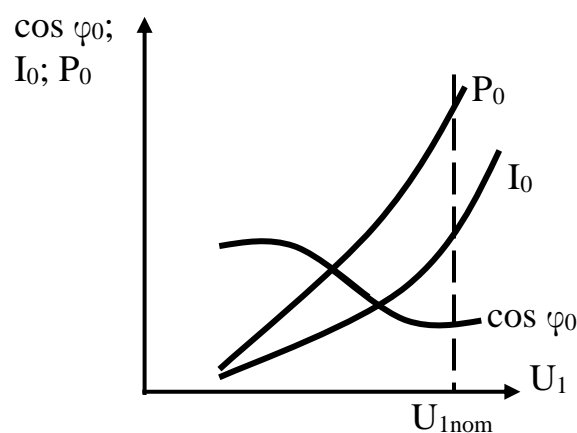
Бирфазалы вя цчфазалы трансформаторун йцксцз ишлямя тя-ърцбясини апармаг цчцн ашаьыда эюстярилян схемлярдян ис-тифадя етмяк мяслящят эюрцлцр (шякил 2.3).



**Шяк. 2.3. Бирфазалы (а) вя цчфазалы трансформаторун (б) үюксүз ишләтә тяърцбясинин схеми**

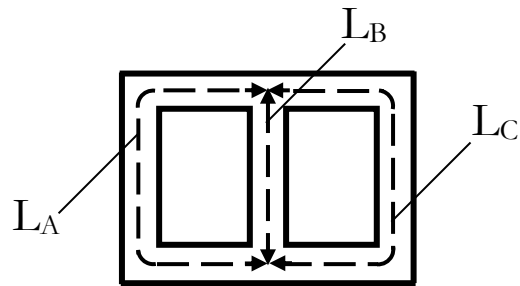
Dolaqlardan birinə (adətən AG dolağına) sinusoidal  $U_1$  gərginliyi verilir. Onun dövrəsinə ampermetrlər, voltmetr-lər və vatmetrlər qoşulur. Təcrübə zamanı ikinci dolağa voltmetr qoşulur.

Gərginlik tənzimləyicisinin (GT) köməyi vasitəsilə  $U_1$  gərginliyi tədricən 0 – dan  $U_1 = (1,1 \dots 1,2)U_{1nom}$  qədər ( $U_{1nom}$  – birinci tərəf gərginliyin nominal qiyməti) artırılır və eyni zamanda bütün cihazların göstəriciləri qeyd olunur. Ölçüdən alınmış qiymətlərə əsasən  $I_0 = f(U_1)$ ,  $P_0 = f(U_1)$  və  $\cos \varphi_0 = f(U_1)$  asılılıqları qurulur. Bu asılılıqlar transformatorun yüksüz işləmə xarakteristikası adlanır (şək. 2.4). Üçfazlı transformatorun xarakteristikasını qu-



#### Шяк. 2.4. Transformatorun уцксцз ишлямя хярактеристикалары

ранда  $U_1$  вя  $I_0$  орта гиймятлярдян истифадя едилир.  $P_0$  гүс-үнү ики ваттметрин гөстəricisinə əsasən тəyin edilirләр:  $P_0 = P' \pm P''$  (əгər ъищазларын ягрябляри бир тяряфя истигамятляниб-ся “+”, мцхтялиф тяряфляря истиқамəтлəниб-ся – “ ). Чу-буглары бир мцствидя йерляшян цфазалы трансформаторда (шяк.2.5) йцксцз ишлямə  $I_0$  ъяряяаны фазаларда ейни олмур, она эюря кi, бу нюв трансформаторлар магнит гейрисим-ме-трийасына маликдир. Йени магнит селинин щесабат узунлуьу орта чубугда  $L_B$ , йан чубуглардакi  $L_A$  вя  $L_C$  нисбятян



**Шяк. 2.5. Магнит кечириъисиндя магнит селинин щесабат**

**узунлугларынын тьяини схемі**

аздыр. Бунун нятиъясиндя чубугларда ейни магнит индукси-йасында  $B$  вя магнит эярэинлийиндя  $\Psi$  МЦГ ( $F_B = \Psi L_B$ ), тьяряян  $I_0 \approx F_B / W$  олдуъундан орта чубугда МЦГ ( $F_B$ ) вя  $I_{0B}$  тьяряяны йан чубуглардакы МЦГ ( $F_A$  вя  $F_C$ ) вя  $I_{0C}, I_{0A}$  тьяряяндан кичик олаъагдыр.

Шякил 2.4 – дән эюрцнцр ки, эярэинлик артдыгъа йцксцз иш-лямя  $I_0$  тьяряяны да яввялъя хятти ганунла артыр, сонра  $U_1$  нисбятян сярт артмаъа башлайыр. Бу онунла изащ олунур ки,  $U_1$  артмасы иля трансформаторда  $\Phi_m$  магнит селидя артыр, она эюра ки,  $U_1 \approx E_1 = 4,44 f_1 W_1 \Phi_m$  вя  $f_1 = const$  олдуъундан  $U_1 \approx \Phi_m$ . Магнит селинин сонракы артмасы нятиъясиндя магнит дюврясинин доймасы просеси баш верир вя бунун нятиъясиндя магнитляшдириъи тьяряян къскин олагаг артмаъа башлайыр. Йцксцз ишлямя эцъ итэиси  $P_0$  тяхминян  $U_1^2$  мцтянасиб олагаг даяишир.  $P_0$  – ин бу тьцр ганунла даяишмясиня сябъб магнит иткиляринин магнит кечириъисиндя ( $f_1 = const$ )  $B^2$

мүтәнасип олмасыдыр. Онда  $B \sim \Phi_m \sim U_1$  бураданда  $P_0 \sim U_1^2$  олур.

Бирфазалы трансформаторун эцъ ямсалы

$$\cos \varphi_0 = P_0 / (U_1 I_0) .$$

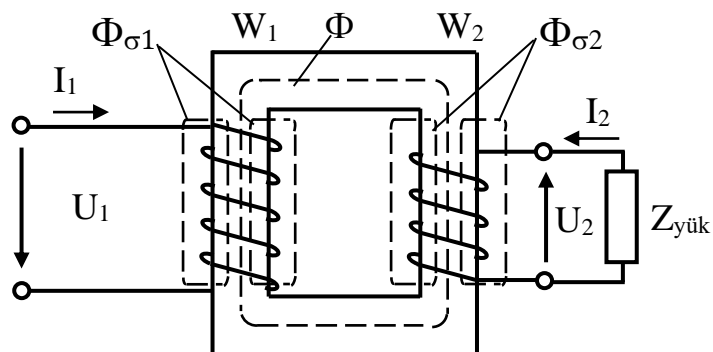
Цчфазалы трансформаторун эцъ ямсалы

$$\cos \varphi_0 = P_0 / (3U_1 I_0) .$$

$U_1$  артмасы иля эцъ ямсалы азалыр, чцнки  $I_0$  тъярйаны тез артыр, няинки  $U_1$  эярэинлийи. Буна эюра кясрин мяхряъи онун сцрятиня ( $P_0 \sim U_1^2$ ) нисбятян тез артыр.  $U_1 = U_{1nom}$  olduqда  $P_0, I_0$  вя  $\cos \varphi_0$  кямиййтляринин чох буюцк практики ящямиййти вардыр. Трансформаторун трансформасија эмсалы 2.6 – уа әsasән тәyin edilir.

## 2.2. Трансформаторун йцклц иш режімі

Трансформаторун икинъи тъярф долаъына мцхтялиф нюв тъя-лябедиъиляр (електрик мцщяррикляри, электрик собалары, ишыгландырыгылар вя с.) гошсаг онда  $E_2$  ЕЩГ – нин тјасири иля икинъи тъярф долаъынын дјуврасиндя  $I_2$  тъярйаны йаранаъагдыр (шякил 2.6). Енержинин сахланмасы ганунуна эюра, биринъи тъярф долаъындан ахан тъярйан artaraq  $I_1$ -ә бәрәбар олур. Електрик енержисинин електромагнит йолла биринъи дјуврядян икинъи дјувряйя, ютцрцлмяси просеси башланаъагдыр.



**Шяк. 2.6. Трансформаторун йцкльц режимдя схеми**

Трансформаторун беля иш режимии онун йцкльц режимии адла-ныр. Йцкльц иш режиминдя трансформаторда баш верян просес-ляри юйрянмяк цццн бирфазалы трансформатордан истифады ет-мяк даща мягсядяуйьун сайылыр, чцнки цчфа залы трансформаторун икинъи тяряф долаьына симметрик йцк гошуларса, онда трансформаторун щяр цч фазасындан ахан тяряйанлар бир – бириня бярабяр олаъаг вя щяр бир фазада баш верян просесляр бирфазалы трансформаторда баш верян просеслярля ейни олаъагдыр. Йцкльц режимдя долаглардан ахан  $I_1$  вя  $I_2$  тяряйанлары юзляринин магнит селлярини йарадыр. Бу магнит селляри топланараг трансформаторун нятиъяви магнит селини ямяля этирир. Йцкльц режимдя баш верян просеслярин юйрян-нилмясини асанлашдырмаг цццн магнит селини цч ясас магнит селиня бюлцрляр. Магнит селлярин-дян бири  $\Phi$  трансформаторун магнит кечири-ъисиндя гапаныр биринъи вя икинъи тяряф долаг-ларыны кясир. Бу магнит сели ясас магнит сели вя йа гаршылыглы индуксийа магнит сели адланыр.

Ясас магнит сели щяр ики до-лагда  $E_1$  вя  $E_2$  ЕЩГ индуксийалайыр. Йцкц режимдя ясас магнит селинин щяр ики долагдакы магнитляшдириъи гцввяля-рин бирэя тясириндян йарандыъыны нязря алсаг, йаза билля-рик:

$$\underline{I}_1 W_1 + \underline{I}_2 W_2 = \underline{F}_{12} , \quad (2.9)$$

бурада  $\underline{F}_{12}$  – нятиъяви МЩГ – дир.

Яэяр гябул етсак ки,  $\underline{F}_{12} = \underline{I}_{12} W_1$  онда

$$\underline{I}_1 W_1 + \underline{I}_2 W_2 = \underline{I}_{12} W_1 . \quad (2.10)$$

(2.10) тянлийи трансформаторун магнитляшдириъи гцввяляр тянлийи,  $\underline{I}_{12}$  ися трансформаторун магнитляшдириъи тъяряйаны адланыр. Яэяр (2.10) тянлийинин щяр ики тъяряфини  $W_1$  бюлсак онда аларыг:

$$\underline{I}_1 + \underline{I}'_2 = \underline{I}_{12} , \quad (2.11)$$

бурада  $\underline{I}'_2 = \underline{I}_2 (W_2 / W_1)$ .

Йцксцз ишлямядя  $\underline{I}_2 = 0$  (  $\underline{I}'_2 = 0$  ) онда трансформаторун биринъи тъяряф долаъындан ахан тъяряян  $\underline{I}_0$  бярабяр олур.

$$\underline{I}_1 + \underline{I}_{12} = \underline{I}_0 .$$

Ейни заманда йцксцз ишлямядя йцксцз ишлямя тъяряян  $\underline{I}_0$  магнитляшдириъи тъяряяна  $\underline{I}_{12}$



бярабар олур. Йцккц режим-дя бу ъяряянлар бир – бириндян фярглянирляр. Йцк ня гядяр буюцк оларса бу ъяряянлар арасындакы фярг дя буюцк олур. Яээр трансформаторун йцкц номиналдан буюцк дейилсе  $I_{12} \approx I_0$  гябул етмяк олар.  $\Phi_{\sigma 1}$  вя  $\Phi_{\sigma 2}$  магнит селляринин (шыкил 2.6.) щяр бири анъаг бир долабы кясдийиндян, електрик енержисини бир долагдан диэяриня ютцрцлмясиндя иштирак ет-мир. Биринъи долабы кясян  $\Phi_{\sigma 1}$  магнит сели  $I_1 W_1$  МЩГ тя-ряфиндян,  $\Phi_{\sigma 2}$  магнит сели ися  $I_2 W_2$  МЩГ тяряфиндян йа-раныр.  $\Phi_{\sigma 1}$ ,  $\Phi_{\sigma 2}$  магнит селляри уйъун олараг биринъи вя икинъи тяряф долагларынын сяпялянмя магнит селляри адланыр-лар. Сяпялянмя магнит селляринин бир щиссяси магнит кечи-риъисиндя, диээр чох щиссяси ися щавада вя йа йаьда гапаныр. Щаванын вя йаьын магнит нцфузлуьунун поладын маг-нит нцфузлуьундан бир неча дяфя кичик олдуьундан, бу щис-сялярин магнит мцгавимятинин магнит кечириъисиндя гапа-нан магнит селляринин магнит мцгавимятиндян буюцк ол-дуьундан, чох вахт практики щесабламаларда магнит кечи-риъисиндя гапанан щиссянин мцгавимятини нязяря алмырлар. Щаванын вя йаьын магнит нцфузлуьунун  $\mu_0 = const$  олду-ьундан, сяпялянмя селляри онлара уйъун олан ъяряянларла мцтянасиб олур. Бу сащядя апарылан щесабламалары садя-ляшдирмяк цццн адятян гябул едирляр ки, ясас вя сяпялян-мя магнит селляри бир – бириндян асылы олмайараг мювьуд-дур. Щяр цч магнит сели дяйишыряк трансформаторун долаг-ларында ЕЩГ йарадырлар. Бея гябул едирик ки, електрик вя магнит

кямийятляри синусоидал ганунла даяиширляр. Онда Кирхщовун икинъи ганунна эюрэ трансформаторун биринъи вя икинъи тяряф долаглары цчцн ЕЩГ – нин мцвазинят тянлийини комплекс формада йазаг:

$$\underline{U}_1 + \underline{E}_1 + \underline{E}_{\sigma 1} = \underline{I}_1 r_1; \quad (2.12)$$

$$\underline{E}_2 + \underline{E}_{\sigma 2} = \underline{I}_2 r_2 + \underline{U}_2, \quad (2.13)$$

бурада  $E_1$  вя  $E_2$  ЕЩГ – ри ясас магнит сели тяряфиндян,  $E_{\sigma 1}$  вя  $E_{\sigma 2}$  ися сяпялянмя магнит селляри тяряфиндян йараныр;  
 $r_1, r_2$  – биринъи вя икинъи тяряф долагларынын актив мцгави-мятляридир.

Йухарыда эюстярилян тянликлярэ  $\underline{U}_1$  вя  $\underline{U}_2$  уйьун олагаг трансформаторун биринъи тяряф долаьынын сыхаъларына хариъ-дян верилян эярэинлик  $\underline{U}_1 \approx \underline{E}_1$ ,  $\underline{U}_2$  ися онун икинъи тяряф долаьына гошулан  $Z_{\text{йцк}}$  мцгавимятиндяки эярэинлик дцшэц-сцдцр.

$\Phi_{\sigma 1}$  вэ  $\Phi_{\sigma 2}$ , сяпялянмя магнит селляри  $\underline{I}_1$  вя  $\underline{I}_2$  тяря-йанлары иля мцтянасиб олдуьундан  $\underline{E}_{\sigma 1}$  вя  $\underline{E}_{\sigma 2}$  ЕЩГ тяря-йанларла мцтянасибдирляр:

$$\underline{E}_{\sigma 1} = x_1 \underline{I}_1; \quad \underline{E}_{\sigma 2} = x_2 \underline{I}_2, \quad (2.14)$$

бурада  $x_1$  вя  $x_2$  – ЕЩГ – ри иля тяряйанлар арасындакы мцтянасиб-лик ямсалы вя йа уйьун олагаг биринъи вя

икинчи тараф  
 долагаларын саялганма индуктив  
 мугавиятлари адланар.

(2.14) ифадясини комплекс формада йазаг:

$$\underline{E}_{\sigma 1} = -jx_1 \underline{I}_1 ; \underline{E}_{\sigma 2} = -jx_2 \underline{I}_2 . \quad (2.15)$$

(2.12) ва (2.13) тарафларда (2.15) йериня  
 йазаг онда аларыг:

$$\underline{U}_1 = -\underline{E}_1 + \underline{I}_1 \underline{Z}_1 ; \quad (2.16)$$

$$\underline{U}_2 = \underline{E}_2 - \underline{I}_2 \underline{Z}_2 , \quad (2.17)$$

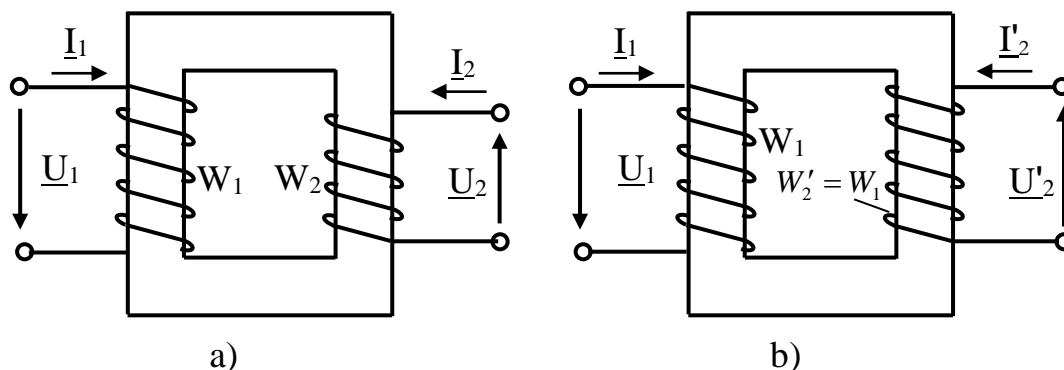
бурада  $\underline{Z}_1 = r_1 + jx_1$  ва  $\underline{Z}_2 = r_2 + jx_2$  ва уйбун оларга  
 трансфор-  
 маторун биринчи ва икинчи тараф долагаларынын  
 комплекс фор-  
 мада там мугавиятларидир.

(2.16) ва (2.17) трансформаторун электрики  
 мугавият тарафлари адланар. Бу тарафлар  
 (2.11) бирликда йцкц режим-да трансформаторун  
 яса тарафлари сайылар :

$$\left. \begin{aligned} \underline{U}_1 &= -\underline{E}_1 + \underline{I}_1 \underline{Z}_1 ; \\ \underline{U}_2 &= \underline{E}_2 - \underline{I}_2 \underline{Z}_2 ; \\ \underline{I}_1 + \underline{I}'_2 &= \underline{I}_2 . \end{aligned} \right\} \quad (2.18)$$

**Чеврилмиш трансформатор.** Трансформасийа  
 ямсалынын бю-йцк гиймятларинда  
 трансформаторун биринчи ва икинчи тараф  
 долагаларынын тарафлари, эраинликлари, ЕЦГ

– лярн вь мцгавимятлярн бнр – бнрндрьн кьскн сцртьдрьн фьрглярнрляр. Бу трансформаторда баш верьн просеслярнн кьмнййтьть юй-рнннлмьсннн чьтннлшьдрнр. Мьсьлярн, трансформаснйь ямсалы чох бьйцк олдугда вектор диаграмьнда ейнн бнр мнйгьсда трансформаторун бнрннн вь нкнннн тьррьф долагларьннн кьмнй-йтьлярннн эюстьрмьк практикн олараг мцмкцн олмур. Бу чьтннлнйь арадан галдырмаг цццн трансформаторун нкнннн тьррьф долаьнннн кьмнййтьлярннн бнрнннн тьррьф долаьнннн сарьылар сайьна этьнрнрляр. Бу чеврнлмьннн мащнййтьн ондан нбарьтдрн кн, real трансформатор трансформаснйь ямсалы ва-щндэ бьгадбьр олан ( $n_t=1$ ) эквнвалент трансформаторла явьз еднлнр (шькнл 2.7, а ; б).



**Шьк. 2.7. Real (а) вь севрнлмнш трансформаторун (б) електрнк кьмнййтьлярн**

Трансформаснйь ямсалынын ващндэ бьрабьр гьбул еднл-мьснннн мьнасы, онун нкнннн тьррьфнннн сарьылар сайьннн бн-рнннн тьррьфнннн сарьылар сайьна бьрабьрлшьдрнмьк демькднр ( $w_2 = w_1$ ). Сарьылар сайьнн  $w_2' = w_1$  бьрабьр олан

эквивалент трансформатор чеврилмиш трансформатор адланыр.

Чевирмя ямялиййатынын ики шярти вардыр: бунлардан бирин-ъиси чевирмя заманы актив вя реактив эць иткиляри джйишмяз qalır, икинъи ися эярэинлик вя тъярйан шиддяти арасындакы фа-за буъағынын ейни галмасындан ибарятдир.

Икинъи тъярфдян биринъи тъярфя *sevirilmiş* бцтцн кямий-йятлярин шярти ишарялярини щярифлярин цстцндя штрихляр гой-магла ишаря едирляр ( $E'_2, I'_2, r'_2, x'_2$  вя с.).

Чеврилмиш кямиййятлярин тъяини ( $W'_2=W_1$ ):

$$E'_2 = E_1 = E_2 \frac{W_2}{W_1} = E_2 \cdot n_t .$$

Аналоги олараг биринъи тъярфя кючцрцлмцш эярэинлик

$$U'_2 = U_2 n_t .$$

Чеврилмиш тъярйан шиддятини тъяин етмяк ццн чеврилмиш трансформаторун икинъи тъярф долаьынын МЦГ real трансфор-маторун икинъи тъярф долаьынын МЦГ бярабяр олмасы шяртиндян истифадя етмяк олар:

$$I'_2 W_1 = I_2 W_2 ,$$

бурадан

$$I'_2 = I_2 \frac{W_2}{W_1} = I_2 \frac{1}{n_t} . \quad (2.19)$$

Бу заман икинъи тяряф долабынын эцъц даяишмир:

$$U'_2 I'_2 = U_2 n_t I_2 \frac{1}{n_t} = U_2 I_2 . \quad (2.20)$$

Чеврилмиш актив вя индуктив мцгавимяти чевирмя зама-ны актив вя реактив эцъ иткиляринин сабитлийи шяртиндян таяин едирик:

$$(I'_2)^2 r'_2 = I_2^2 r_2 ; (I'_2)^2 x'_2 = I_2^2 x_2 ,$$

бу бәрәбәрликләрдән

$$r'_2 = r_2 \left( \frac{I_2}{I'_2} \right)^2 ; x'_2 = x_2 \left( \frac{I_2}{I'_2} \right)^2 ,$$

вя йа

$$r'_2 = n_t^2 r_2 ; x'_2 = n_t^2 x_2 .$$

Онда чеврилмиш трансформаторун икинъи тяряф долабынын там мцгавимяти

$$Z'_2 = n_t^2 Z_2 .$$

Яээр трансформаторун икинъи тяряф долабына гошулан йц-кцн мцгавимяти  $Z_{\text{йцк}}$  оларса, онда аналожи олараг йаза би-лярик:

$$Z'_{\text{йцк}} = n_t^2 Z_{\text{йцк}} .$$

Йухарыда эюстярилянляри нязяря алмагла севрилмиш транс-форматорун иш просесини тясвир едян тянликляр ашаьыда эюс-тярилян шякли алыр :

$$\underline{U}_1 = -\underline{E}_1 + \underline{I}_1 \underline{Z}_1 ; \quad (2.21)$$

$$\underline{U}'_2 = \underline{E}'_2 - \underline{I}'_2 \underline{Z}_1 ; \quad (2.22)$$

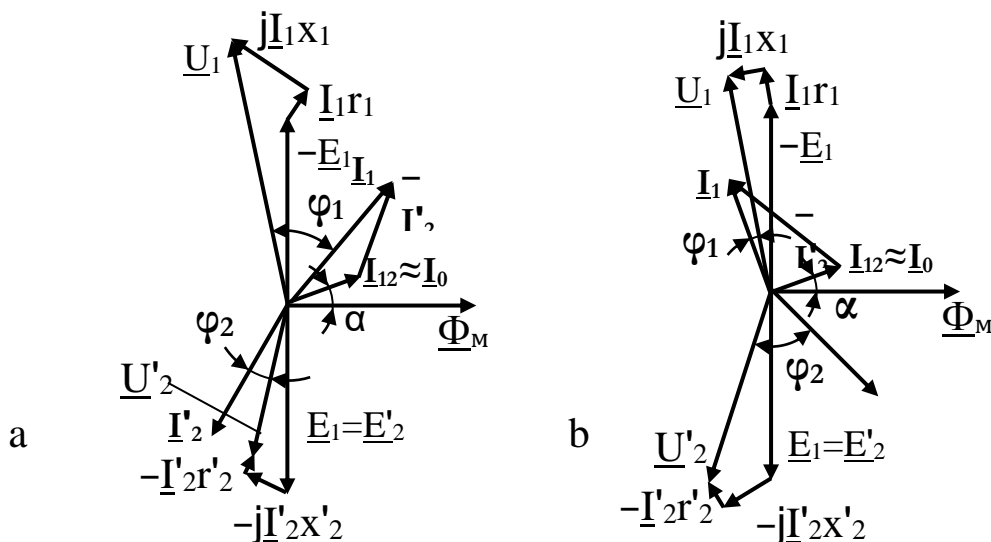
$$\underline{I}_1 + \underline{I}'_2 = \underline{I}_{12} . \quad (2.23)$$

Икинъи тяряф долаьынын чеврилмиш кямийятляри ейни за-манда щесабат цццн ялверишли трансформаторун явяз схе-мини гурмаьа имкан верир.

**Трансформаторун вектор диаграммы.** Трансформаторун вектор диаграммыны (2.21)...(2.23) комплекс тянликляр ясаьан гурурлар. Бу диаграмлар долаглардакы тярйанлар, ЕЩГ – ляривя эярэинликляр арасындакы нисбятляри эюстярир. Диаг-рамларын гурулма ардыъыллыьы ондан асылыдыр ки, щансы кямийятляр верилиб вя щансы кямийятлярин гиймятини вектор диаграммынын гурулмасы нятиъясиндя тапмаг тярляб олур. Щяк. 2.8. – дэ актив – индуктив (а) вя актив – тутум (б) характер-ли йцкдя ишляйян трансформаторун вектор диаграммы эюстярилмишдир.

Диаграм гуруларкян фярз едилir ки,  $\underline{\Phi}_m$  магнит сели мя-лумдур. Диаграмын гурулмасы  $\underline{\Phi}_m$  магнит сели векторуну абсис охунун мцсбят истигамятиндя чякилиши иля башланьыр. Сонра бу магнит селини йарадан вя  $\underline{\Phi}_m$  векторуну  $\alpha$  буъа-ьы гядяр

габаглайан  $I_{12} \approx I_0$  магнитляшдириџи џярйанын вектору гейд едилір.  $\Phi_m$  сели тџряфиндян йаранан  $E_1$  вя  $E'_2 = E_1$  ЕЩГ – лџри магнит селиндян  $90^\circ$  эери галдыглары цчцн  $E'_2 = E_1$  векторуну магнит сели векторуна нисбџтян эери галан  $90^\circ$  буџаг алтында гуруруг.



**Шџак. 2.8. Актив-индуктив (а) вя актив – тутум (б) ха-  
рактерик**

**йцкдџа transformatorun вектор диаграмлары**

Йцкцн характериндян асылы олараг  $E'_2 = E_1$  векторуна тџй-эууэп буџаь алтында  $I'_2$  џярйанын векторуну чџакирик.  $E'_2$  векторунун уџундан – ж  $I'_2$   $x'_2$  векторуну  $I'_2$  џярйан векторуна перпендикулйар олараг гейд едилір, сонра –ж  $I'_2$   $x'_2$  векторунун уџундан  $I'_2$  векторуна паралел – $I'_2$   $r'_2$  векторуна гуруруг.  $E'_2$  векторунун башлаьыџыны  $I'_2$   $r'_2$  векторунун сону илџ бирляшдиряряк  $U'_2$  икинџи тџряф эярэинлийинин векторуну алырыг. Трансформаторун џярйанлар тџнлийинџа уйџун



олараг  $I_{12}$  векторунун уьундан  $I'_2$  ъярайан векторуна паралел вя она якс истигамятдя  $-I'_2$  векторуну чяки-рик. Sonra  $I_{12}$  vektorunun başlanğıcı ilə  $-I'_2$  vektorunun son ucunu birləşdirərək трансформаторун биринци тәрэф до-лағının сәрəян  $I_1$  векторуну алırıқ. Сәрəян вектору  $I_1$  qu-rulduqdan sonra биринци дolaға тəтбиқ edilən  $U_1$  гəргинли-йи (2.21) тənliyindən uyğun olaraq üç мürəkkəбənin сəми kimi, уəни  $-E_1, I_1 r_2, ж I_1 x_2$  векторlarının сəми kimi тəyin edilir.

### **Трансформаторун явяз схеми.**

Трансформаторун бирин-ъи вя икинъи тьярəф долағлары арасында магнит ялагяси вардыр. Иш режимляринин щесабатында вя ишчи характеристикаларын гу-рулмасында магнит ялагясинин електрик ялагяси ilə явяз едилмяси ялверишли сайылыр. Чцнки, бу щалда трансформаторун ишинин тядгиги садяляшир вя онун щесабаты ися нисбятян садя електрик дювряляринин щесабаты кими апарылыр.

Трансформаторун долағлары арасындакы магнит ялагясинин електрики ялагя иля явяз едилмяси електрик схеми трансформаторун явяз схеми адланыр. Бу схемин структурасы еля сечилир ки, о трансформаторун иш просесини тясвир едян тянликля-ря (2.21)...(2.23) уйьун олсун. Бунун цццн бу тянликлярдя мцяййян чевирмяляр апарылмалыдыр. Долағларда  $E_1$  вя  $E_2$  ЕЩГ – ни  $\Phi$  магнит сели тьярəфиндян,  $\Phi$  магнит селини ися  $I_{12}$  магнитляшдириъи ъярайан йарадыр. Бурадан айдын олур ки, ЕЩГ иля магнитляшдириъи ъярайан арасында мцяййян ялагя вардыр. Трансформаторун вектор диаграмындан эюрцццр

ки, (бах шякил 2.8)  $\underline{E}_1$  вә  $\underline{E}'_2$  ЕЩГ - ри  $\underline{I}_{12}$  тьярйанындан фазаға эери галыр. Бу эюстярилянляри нязря алмагла  $\underline{E}_1$  вә  $\underline{E}'_2$  ЕЩГ иля  $\underline{I}_{12}$  магнитляшдириъи тьярйан арасында асылылыг комплекс формада ашаьыда эюстярилян бярабярликля ифадя олуна биляр:

$$-\underline{E}_1 = -\underline{E}'_2 = \underline{Z}_{12} \underline{I}_{12} , \quad (2.24)$$

бурада  $\underline{Z}_{12} = r_{12} + jx_{12}$  - комплекс мцтянасиблик ямсалы вә йа там

гаршылыглы индуксийа мцгавимяти адланыр.

Долагларын гаршылыглы индуксийа мцгавимиятини  $x_{12}$  маг-нит кечириъисиндя гапанан ясас магнит сели ямяля эятирир.  $r_{12}$  фиктив мцгавимят олуб, ашаьыда эюстярилян дцстурла тя-йин едилир:

$$r_{12} = P_{mi} / (mI_{12}^2) ,$$

бурада  $P_{mi}$  - магнит иткиляри;  $m$  - фазаларын сайыдыр. Адятян эць

трансформаторларында  $x_{12} \gg r_{12}$  олур.

Икинъи тьярф долаьынын эярэинлийи  $\underline{U}'_2$  ашаьыдакы кими ифа-дя олуна биляр:

$$\underline{U}'_2 = \underline{Z}'_{\text{йцк}} \underline{I}'_2 , \quad (2.25)$$

бурада  $\underline{Z}'_{\text{йцк}}$  - transformatora qoşulmuş yük мцгавимиятинин çevirilmiş qiymətidir.

(2.24), (2.25) – ни нязря алмагла (2.21)...(2.23) тьян-ликляри ашабыдакы шыкил алыр:

$$\underline{U}_1 = \underline{Z}_{12} \underline{I}_{12} + \underline{Z}_1 \underline{I}_1 ; \quad (2.26)$$

$$\underline{Z}'_{\text{йцк}} \underline{I}'_2 = -\underline{Z}_{12} \underline{I}_{12} - \underline{Z}'_2 \underline{I}'_2 ; \quad (2.27)$$

$$\underline{I}_1 + \underline{I}'_2 = \underline{I}_{12} . \quad (2.28)$$

(2.26)...(2.28) тьянликлярини бирликдэ щялл ет-сяк онда аларыг:

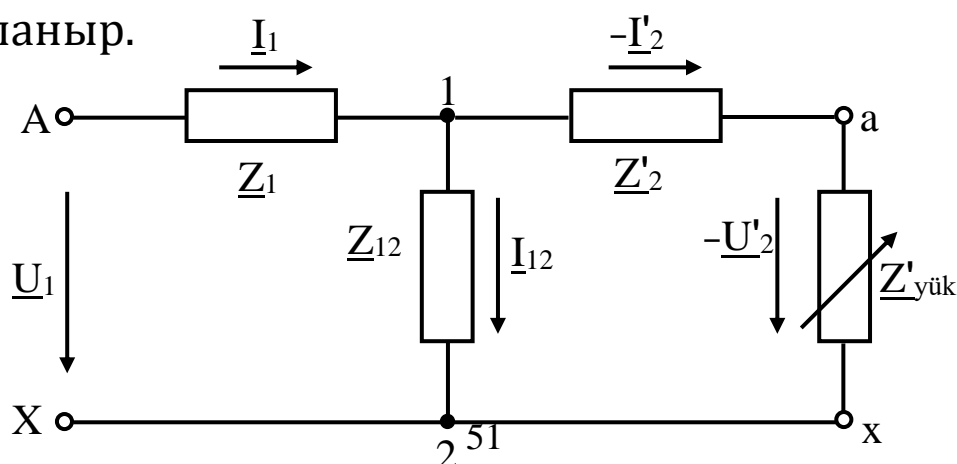
$$\underline{U}_1 = \underline{I}_1 \left[ \underline{Z}_1 + \frac{\underline{Z}_{12}(\underline{Z}'_{\text{йцк}} + \underline{Z}'_2)}{\underline{Z}_{12} + (\underline{Z}'_{\text{йцк}} + \underline{Z}'_2)} \right] = \underline{I}_1 \underline{Z}_e , \quad (2.29)$$

бурада  $\underline{Z}_e$  – эквивалент мцгавимятдир. Эквивалент мцгавимятя

дюрвянин там мцгавимятти кими бахмаг олар вя онун

схеми шыкил 2.9 – дэ верилмищдир.

Ашағда эюстярилян схем (2.26) – (2.28) тьянликлярин бц-тцн тьяляблярини юдяйир. А, 1, 2, X контуру биринъи тьяряф до-лабынын (2.26), а, 1, 2, x контуру икинъи тьяряф долабынын (2.27), 1 – 2 ися (2.28) тьянлийиня уйъун эялир. Шыкил 2.9 – дя тясвир олунан схем трансформаторун явяз схеми ад-ланыр.



## Шяк. 2.9. Трансформаторун явиз схеми

Биринъи вя икинъи тяряф долагларынын комплекс мцгави-мятляри  $Z_1 = r_1 + jx_1$  вя  $Z'_2 = r'_2 + jx'_2$  ядыди гиймятъя сабит олдуларына эюря, онлар практики олараг ъяряян вя эярэин-ликляриндя асылы олмур.  $Z_1$  вя  $Z'_2$  мцгавимятляри тяхминян бири - бириня бярабярдир ( $Z_1 \approx Z'_2$ ). Бу мцгавимятлярин ин-дуктив мцряккябляляри  $x_1$  вя  $x'_2$  адятян  $r_1$  вя  $r'_2$  актив мц-гавимятлярдян буюцк олур. Схемин 1 вя 2 нюгтялярини бир-ляшдирян гола трансформаторун магнитляшдириъи голу дейилир. Голун  $Z_{12}$  мцгавимяти ися магнитляшдириъи голун там мц-гавимяти адланыр.  $Z_{12}$  мцгавимяти  $r_{12}$  актив вя  $x_{12}$  индуктив мцряккяблялярдян ибарятдир.  $r_{12}$  вя  $x_{12}$  мцгавимятляри яса-сян А, Х сыхаъларына хариъдян верилян эярэинликдян асылы-дыр. Она эюря ки,  $U_1$  эярэинлийин артмасы иля  $E_1$  ЕЦГ - си дя артыр,  $E_1$  - ин артмасы нятиъясиндя  $\Phi$  магнит селидя артыр. Магнит селинин мцяййян гиймятиндя трансформаторун магнит кечириъисинин доймасы просеси башландыьындан  $I_{12}$  магнитляшдириъи ъяряяны  $U_1$  эярэинлийиня нисбятян тез артмаъа башлайыр. Буна эюря йаза билярик:

$$x_{12} \approx Z_{12} = E_1 / I_{12} \approx U_1 / I_{12};$$

$$r_{12} \approx P_{mi} / (mI_{12}^2) \sim (U_1 / I_{12})^2 .$$

Йухарыда гейд олунанлардан беля нятиъыйя эялмяк олар ки,  $U_1$  эярэинлийинин артмасы иля мцгавимятляр азалыр. Адя-тян трансформаторун тядгиги  $U_1 = const$  апарылдыыындан, йэни беля щалда ЕЩГ – си йцкдян чох аз асылы олдуьундан  $Z_{12} = const$  гябул етмяк олар.  $Z_1$  ,  $Z'_2$  ,  $Z_{12}$  мцгавимятляри трансформаторун явяз схеминин параметрляри адланыр.

Мцасир эць трансформаторлары цчцн бу параметрляр аша-ъыда эюстярилян ядыди гиймятляря маликдир (нисби ващид-лярля):  
 $x_{12*} \approx Z_{12*} = 10 \dots 300$ ;  $r_{12*} = 5 \dots 60$ ;  $Z_{1*} \approx Z'_{2*} = 0,015 \dots 0,07$ ;  
 $x_{1*} \approx x'_{2*} = 0,015 \dots 0,07$ ;  $r_{1*} \approx r'_{2*} = 0,0012 \dots 0,012$ .

Йухарыда эюстярилян гиймятлярдян эюрцнцр ки, магнит-лящдириъи контурун параметрляри, биринъи вя икинъи тяряф до-лаьынын параметрляриндян бир нечя дяфя буюцк олур.

Явяз схеминя эюря щесабатлар апарыларкян схемин па-раметрляри мялум олмалыдыг.  $Z'_{йцк}$  мцгавимятиня гиймят-ляр веряряк тыряйанлар, эярэинликляр, иткиляр вя диэяр кямиййятляр тыйин едилир.

Явяз схеминин параметрляри щесабат вэ йа тыърцбьа йолу иля трансформаторун йцксцз ишлямя вя гыса гапанма тыърц-бьасиндян алынмыш гиймятляря ясаян тыйин едиля биляр.

### 2.3. Трансформаторун гысагапанма режими

Икикнъи тяряф долабынын уълары гыса гапанмиş олдугда ( $U_2=0$ ) вя биринъи тяряф долабы шыбьякъяя гошулмуш щалда-кы иш режими трансформаторун гысагапанма режими адланыр.

Яээр трансформаторун гысагапанма режими онун биринъи тяряф долабына верилян номинал эярэинлик алтында баш вериб-ся, бу трансформатор цццн гяза режими адланыр, йяни долаг-лардан ахан ъяряян 15...20 дяфя номинал гиймятдян бю-йцк олуур. Бу трансформатор цццн ъидди тящлцкя тюрядир, ццн-ки беля щалларда трансформаторда щям бюйцк механики гцввяляр йараныр вя щям дя долагларын температуру щяд-дян артыг йцксяля биляр. Яээр мцщафизя системи трансфор-матору вахтында шыбьякядян ачмаса трансформатор гязайа уьрайыр.

Трансформаторун биринъи тяряф долабынын сыхаъларына ве-рилян эярэинлийи азалтмагла еля гиймятя чатдырмаг олар ки, щяр ики долагдан ахан ъяряяаплар юз номинал гиймятлярия бярабяр олсун.

Гысагапанма режиминдя долаглардан номинал ъяряян ахыдаби-лян эярэинлийя гысагапанма эярэинлийи дейилир. Бунун гиймяти адятян номинал эярэинлийин 3...15% тяшкил едир.

Гысагапанма режиминдя трансформаторун биринъи тяряф долабына верилян эярэинлик  $U_q$  номинал эярэинликдян 15 ...20 дяфя аз олдуьундан йаранан магнит сели дя  $\Phi$  чох ки-чик олуур. Буда магнитляшдириъи  $I_{12}$  ъяряяанын

щяддиндян чох азалмасына сябяб олур. Буна эюрэ  $I_{12} \approx 0$  гябул етм-як олар.

Онда гысагапанма режиміндя трансформаторун тьянликля-рини ашаьыдакы кими йазмаг олар:

$$\underline{U}_{1q} = -\underline{E}_{1q} + \underline{I}_{1q} \underline{Z}_1; \quad (2.30)$$

$$0 = \underline{E}'_{2q} - \underline{I}'_{2q} \underline{Z}'_2; \quad (2.31)$$

$$0 = \underline{I}_{1q} + \underline{I}'_{2q}. \quad (2.32)$$

(2.32) ифадясиндян эюрцнцр ки, гысагапанма режиміндя эятирилмиш трансформаторун долагларындан ахан тьярйанлар ядыди гиймятъя бир – бириня бярабяр, истигаматъя бир – бир-инин яксиня йюнялмишdir. (2.31) ифадясиндян долагларда ин-дуксийаланан ЕЩГ – ни тьяин едяк:

$$-\underline{E}'_{2q} = -\underline{E}_{1q} = -\underline{I}'_{2q} \underline{Z}'_2 = \underline{I}_{1q} \underline{Z}'_2. \quad (2.33)$$

(2.33) ифадясинин гиймятини (2.30) – дя йериня йазсаг алырыг:

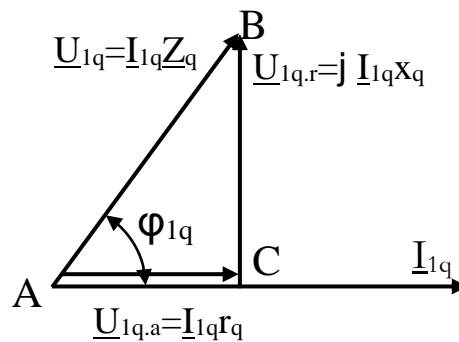
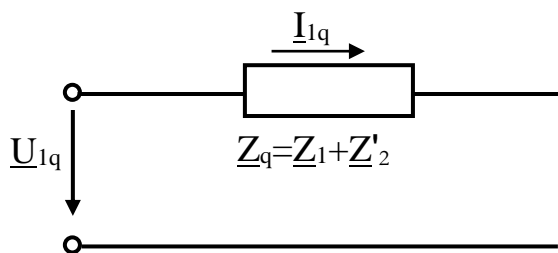
$$\underline{U}_{1q} = \underline{I}_{1q} (\underline{Z}_1 + \underline{Z}'_2) = \underline{I}_{1q} \underline{Z}_q. \quad (2.34)$$

Трансформаторун биринъи тьярф долаьынын  $\underline{Z}_1$  мцгавимяти-нин вя икинъи тьярф долаьынын эятирилмиш  $\underline{Z}'_2$  мцгавимятляри-нин сәтi гыса гапанма мцгавимяти адланыр ( $\underline{Z}_q = \underline{Z}_1 + \underline{Z}'_2$ ):

$$\underline{Z}_q = r_q + jx_q, \quad (2.35)$$

бурада  $r_q = r_1 + r'_2$ ;  $x_q = x_1 + x'_2$ .

(2.34) таянлийн шякил 2.10 – да эюстярилмиш трансформато-рун гыса гапанма режиминин явз схеминя уйбундур. Явз схеми ясасында гурулмуш вектор диаграммы шякил 2.11 – да верилмишдир.



**Шяк. 2.10. Гысагапанма режиг-  
Трансформато-  
миндя transformatorунун  
режигиндэ  
явз схеми**

**Шяк. 2.11.  
рун qисаqаранма  
вектор диаграмм**

Диаграмда актив, реактив вя там эярэинлик дцшэцляри-нин векторларындан тяшкил олунмуш АБЪ цчбуъааына гыса-гапанма цчбуъааы вя йа реактив йчбуъаг дейилир. АЪ вя БЪ катетляри уйбун олараг гысагапанма эярэинлийинин актив вя реактив мцряккяблярдир:

$$u_{qa} = U_{1q} \cos \varphi_{1q} = \frac{I_{1nom} r_q}{U_{1nom}} \cdot 100 ; \quad (2.36)$$

$$u_{qr} = U_{1q} \sin \varphi_{1q} = \frac{I_{1nom} x_q}{U_{1nom}} \cdot 100 . \quad (2.37)$$



$\varphi_{1r}$  буъабы индуктив  $x_r$  вѣ актив  $r_r$  мѣгавимятлярин бир – бириня нисбятиндян асылыдыр.

$$\varphi_{1r} = \arctan(x_q/r_q)$$

(2.38) Трансформаторун эцъц артдыгъа  $x_q$  мѣгавимяти артыр,  $r_q$  мѣгавимяти ися азалыр вѣ нятигъядя  $\varphi_{1q}$  буъабы арта-раг  $\pi/2$  – я йахынлашыр.

Трансформаторун гысагапанма эярэинлийи  $u_q$  онун ясас параметрляриндян бири олуб, % – ля трансформаторун пас-портунда гейд едилир:

$$u_q \% = \frac{U_{1q}}{U_{1nom}} \cdot 100 = \frac{I_{1nom} Z_q}{U_{1nom}} \cdot 100 \quad (2.39)$$

$u_q$  – nin mѣlum qiymѣtinѣ gѳrѣ transformatorun qѣrar-laşmış qısaqapanma сѣrѣyanı tѣyin etmѣk olar (nominal gѣrginlikdѣ):

$$I_q = 100 \cdot I_{nom} / u_q \% .$$

Яэяр гысагапанма эярэинлийини вѣ онун мѣряккъябѣля-рини нисби ващидлярля ифадя етсѣк, онда онлар уйбун нисби ващидлярля эюстярїлян мѣгавимятлярѣ бѣрабѣр олагъагдыр:

$$U_{1q*} = U_{1q} / U_{1nom} = I_{1nom} Z_q / U_{1nom} = Z_q / Z_b = Z_{q*} ;$$

$$U_{qa*} = r_{q*} ; \quad U_{qr*} = x_{q*} .$$

Йухарыда эюстярилянлярдян айдын олур ки, трансформато-рун гысагапанма эярэинлийи онун дахили мцгавимятини ха-рактеризя едир.

Трансформаторун гысагапанма тыряйаны вя хариъи ха-рактеристикасы эярэинлик дцшэцсц гысагапанма эярэинлийин-дян асылдыр. Она эюря паралел ишлямя цчцн трансформатор сечяркян щюкмян нязря алмаг лазымдыр.

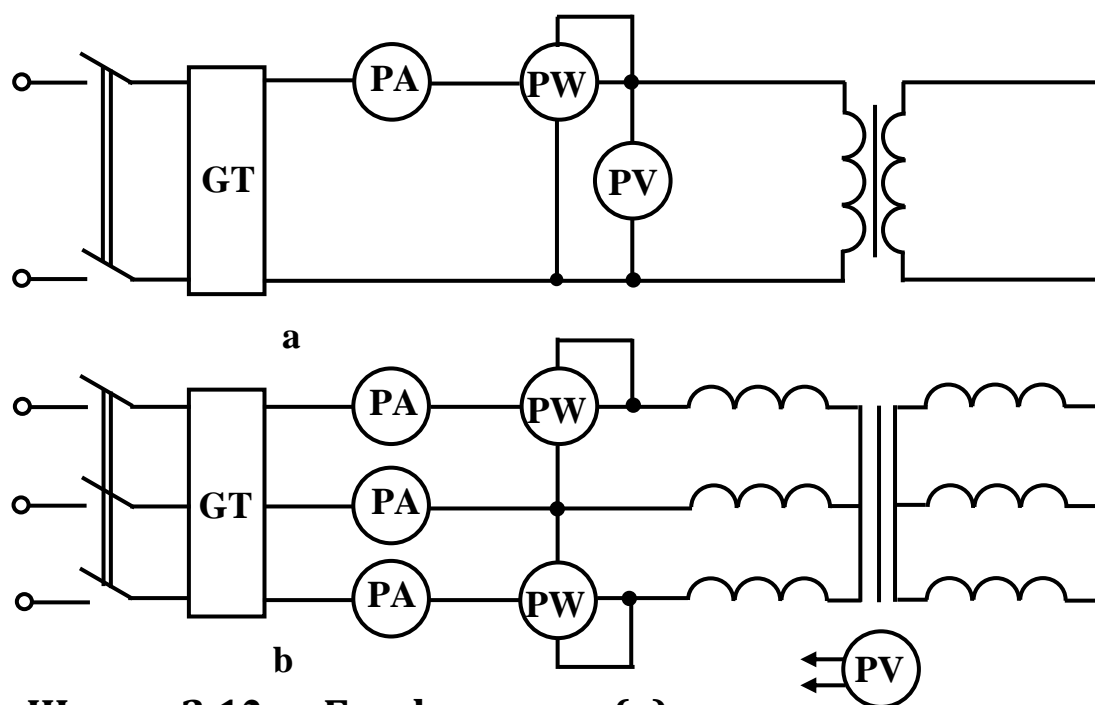
Эць трансформаторларында  $u_q = 4...15\%$  олур.

Гысагапанма режиминдя трансформаторда ямяля эялян иткиляр гыса гапанма эць иткиси адланыр. Гыса гапанма эць иткиси  $P_q$  ясаян долаглардакы електрик иткилярдян вя бурул-ъан тыряйанларын долагларда йаратдыъы ялавя бяркидиъи де-талларда, йаълы трансформаторларын чянляринин диварларында ямяля эялян иткилярдян ибарятдир.

Бу иткилярин ясас щиссясини долагларда йаранан иткиляр тяшкил едир вя номинал тыряйанларда ашаъыдакы ифадя иля тя-йин едилир:

$$P_q = m_1 I_{1nom}^2 r_1 + m_1 I_{2nom}^2 r_2 = m_1 I_{1nom}^2 r_q \quad (2.40)$$

**Гысагапанма тыърцбяси.** Трансформаторун гысагапан-ма тыърцбясини апармаг цчцн шыкил 2.12 – дя эюстярилян схемлярдян истифадя етмяк мяслящят эюрцлцр.



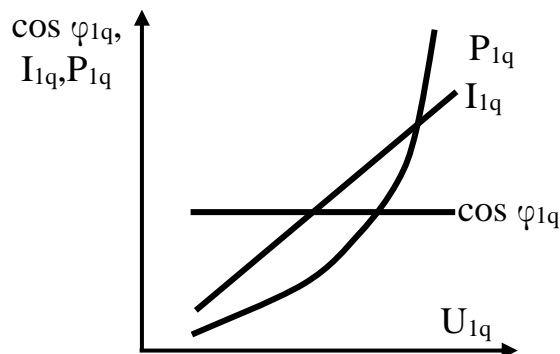
Шяк. 2.12. Бирфазалы (а) вя цчфазалы (б) transformatorun гысагапанма тяърцбясинин схеми

Тяърцбя заманы трансформаторун биринги тяряф долабына верилан эярэинлик тянзимляуиги GT васитясиля 0 – дан еля бир гиймятя qэдэр чатдырылыр ки, долаглардан ахан тыряйан-лар номинал гиймятлярия бярабяр олсун вя ейни заманда юлчц тыщазлары эюстяришляри гейд едиг.

Тяърцбя просесиндя  $r_q$  мцгавимятинин дыйишмясинин вя долагларын гызмасынын гаршысыны алмаг цчцн тяърцбя тылд апарылмалыдыр. Бундан ялавя vuna гядяр узун мцддят иш-лямямиш трансформаторун цзяриндя гысагапанма тяърцбясини апармаг мягсядяуйьун сайылтыр, чцнки бу заман долаг-ларын температуруну ятраф мцщитин температурасына бярабяр гябул етмяк олмаз.

Тяърцбядян алынмыш гиймятляря ясасян  $I_{1q} = f(U_{1q})$  ,  $P_{1q} = f(U_{1q})$  , вя  $\cos \varphi_{1q} = f(U_{1q})$  ,

асылыглары гурулур (шякил 2.13). Ву асылыглар трансформаторун гысагапанма характеристикалары адланыр.



**Шяк. 2.13. Трансформаторун гысагапанма характеристикалары**

Цчфазалы трансформаторлар цчцн бу асылыглары гураркян фаз тъярйаны вя эярэинликлярин орта гиймятиндян истифадя едилир.  $P_{1q}$  эцьц цч фазанын эцьцня бярабяр олур.

Шякил 2.13 – дө верилян асылылыгларын характеристик дъяишмяси ашаьыдакы кими изащ олунур. Индуктив мцгавимятляр  $x_1$  вя  $x'_2$  ясасян сяпялянмя магнит селляри тъярфиндян йарандыьындан вя магнит селляри щавада вя йа йаьда қапандыьына эюря гябул етмяк олар ки,  $x_q = x_1 + x'_2 = const$ . Долагларын  $r_1$  вя  $r'_2$  актив мцгавимятляринин сабит олмасына эюря  $Z_q = const$ . Онда  $I_{1q} = U_{1q} / r_q$  айдын олур ки,  $I_{1q} = f(U_{1q})$  асы-лылыьы хятти характера маликдир.

Гысагапанма эць иткиси

$$P_q = m_1 I_{1q}^2 r_q,$$

бурада  $I_{1q} \sim U_{1q}$  олдуьундан, эцъ иткиси  $U_{1q}^2$  – иля мцтянасиб олур.

$P_{1q} = f(U_{1q}^2)$ ,  $\cos \varphi_q = P_q / (m_1 U_{1q} I_{1q}) \sim U_{1q}^2 / U_{1q}^2 = const$  олдуьундан  $\cos \varphi_q U_{1q}$  эярэинлийиндьян асылы олмур.

Тяьрцбядян алынан гиймятляг имкан верирки,  $Z_q = U_{1q} / I_{1q}$  вя  $r_q = P_{1q} / (m_1 I_{1q}^2)$ , сонра ися  $x_q = \sqrt{Z_q^2 - r_q^2}$  тьяйин едяк.

Долагларын тьяйин олунмуш  $r_q$  актив мцгавимяти transfor-matorlarda tətbiq olunan izolyasiya materialının qızmaya davamlılıq sinfinə görə орта истисмар температуры олан 75°Ъ (izolyasiya sinfi A, E, B) вя йа 115°Ъ (izolyasiya sinfi F, H, C) эятирилир.

Мис долаглар цчцн

$$r_{qv} = r_q \frac{235 + v}{235 + v_0},$$

бурада  $v_0$  – тяьрцбья заманы долагларын температуры, °Ъ;

$v$  –  $r_q$  мцгавимятинин эятирилдийи температура, °Ъ.

$Z_q$  вя  $\cos \varphi_q$  – да щесабат температураина эятирилир.

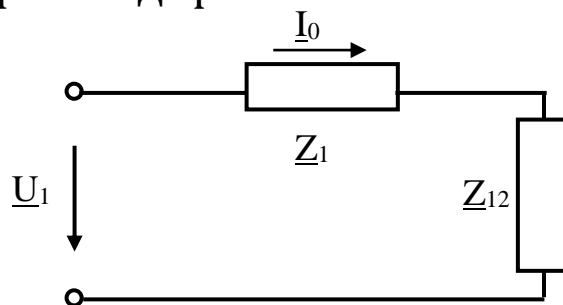
$$Z_{qv} = \sqrt{r_{qv}^2 + x_q^2}; \quad \cos_{qv} = r_{qv} / Z_{qv}.$$

(2.39) ифадясиндя  $Z_q$  – ні,  $Z_{qv}$  вѡ (2.40) – да  $r_q$  –ны вѡ  $r_{qv}$  илѡ явѡз едѡряк ээгэинлийи вѡ гѡсагапанма иткисини биринѡи тѡряф долаѡынын номинал тѡряйанында тѡйин едирлѡр.

**Трансформаторда явѡз схеминин параметрлѡринин тѡ-йини.** Трансформаторун явѡз схеминин параметрлѡрини йцк-сцз ишлѡмѡ вѡ гѡсагапанма тѡърцбѡсиндян алынан гѡймѡлѡ-рѡ эѡря тѡйин етмѡк олар. §2.3 – дѡ эѡстѡрилир ки, гѡсагпан-ма тѡърцбѡсиндян  $I_1 = I_{1nom}$  гѡймѡтиндя  $Z_q, r_q$  вѡ  $r_q$  тѡйин едилѡр.

Тѡгрибѡян гѡбул етмѡк олар ки,  $Z_1 \approx Z_2' \approx Z_q/2$ ;  $r_1 \approx r_2' \approx r_q/2$ ;  $x_1 \approx x_2' \approx x_q/2$ .

Йцксцз ишлѡмѡ режиминдя явѡз схеми шѡкил 2.14 – дѡ верилмидѡр.



**Шѡк. 2.14. Трансформаторун йцксцз ишлѡмѡдѡ явѡз схеми**

Бу схемдѡн вѡ йцксцз ишлѡмѡ тѡърцбѡсиндян алынан гѡймѡтлѡрѡ эѡря  $U_1 = U_{1nom}$  олдуѡу цццн  $Z_1 + Z_{12} = U_1 / I_0$ ;  $r_1 + r_2 = P_0 / (m I_0^2)$ , тѡйин етмѡк олар.

$Z_{12} \gg Z_1$  вѡ  $r_{12} \gg r_1$  бѡйцк олдуѡуна эѡря йѡза билѡрик:

$$Z_{12} \approx U_1 / I_0; \quad r_{12} \approx P_0 / (m_1 I_0^2)$$

$x_{12}$  мцгавимяти ися  $x_{12} = \sqrt{Z_{12}^2 + r_{12}^2}$  бярабяр олур.

Цчфазалы трансформаторлар цчцн  $Z_{12}$  вя  $r_{12}$  тыряйанын вя эярэинлийин фаз гиймятляриня эюра  $P_0$  эцъц ися цчфазанын гиймятиня эюра тыйин едилир.

### 3. ТРАНСФОРМАТОРУН ИСТИСМАР ХАРАКТЕРИСТИКАЛАРЫ ВЯ ЭЯРЭИНЛИЙИН ТЯНЗИМЛЯНМЯСИ

#### 3.1. Трансформаторун икинъи тяряф эярэинлийинин даяишмяси вяхариъи характеристикасы

Мцасир електрик шябьякяляринин эцъц чох бюйцк олдуьун-дан, трансформаторун биринъи тяряф долаьынын эярэинлийи онун йцкцндян асылы олмур. Лакин икинъи тяряф долаьынын эярэинлийи йцкцн гиймятиндян вя онун характериндян асылы олараг даяишир. Йяни трансформаторун йцклц режиминдя икин-ъи тяряф долаьынын эярэинлийи  $U_2$  йцксцз ишлямя режиминдяки  $U_{20}$  эярэинлийиндян фярглянир.

Биринъи тяряф долаьынын эярэинлийинин номинал сабит гий-мятиндя, йяни  $U_1 = U_{1nom} = const$  олдуьу щалда, икинъи тяряф долаьынын эярэинлийинин йцксцз ишлямя вя номинал йцклц режимдяки гиймятляринин тьябри фяргиня эярэинлийин даяиш-мяси дейилир.

Мцхтялиф характерли йцклярдя трансформаторун икинъи тя-ряф долаьынын эярэинлийини тьяин етмяк ццн трансформато-рун садяляшдирилмиш явяз схеминдян вя вектор



диаграмын-дан истифадя едирляр. Орта вя буюцк эцълц эцъ трансформа-торларында йцкскз ишлямя тъяряяаны номинал тъяряяана нис-бятян кичик (0,5...3% )  $I_n$  олдуьу цццн нязрядян атыларса магнитляшдиригьи контуру олмайан садяляндирилмиш явяз сх-еми алыныр.

Яэяр (2.21), (2.22) вя (2.23) тьянликляриндя  $I_{12} = 0$  йа-зыб  $I_1 = -I'_2$  вя  $E_1 = U'_2$  олдуьуну нязря алсаг,

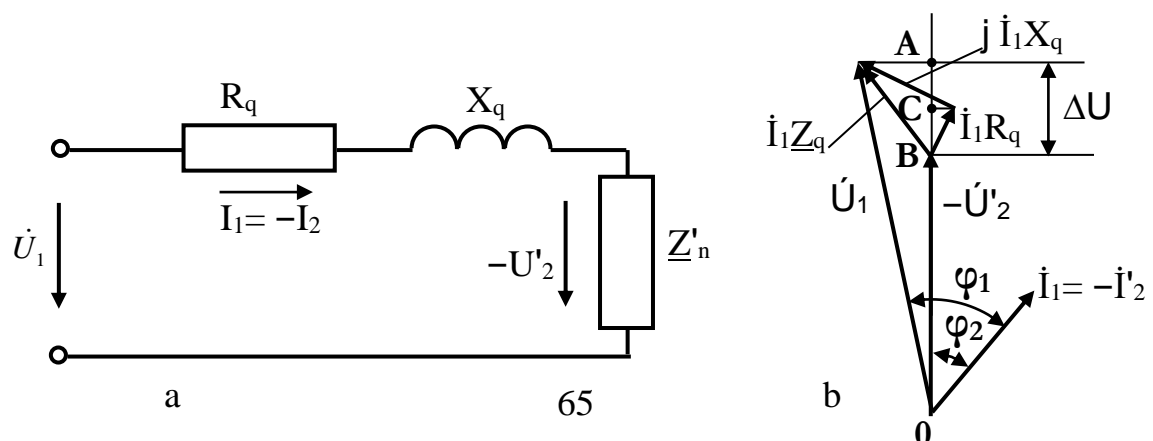
$$\underline{U}_1 = -\underline{U}'_2 + I_1 \underline{Z}_1 + I_1 \underline{Z}'_2 = -\underline{U}'_2 + I_1 \underline{Z}_q, \quad (3.1)$$

алырыг. Бу тьянлийя ясасян трансформаторун явяз схеми (а ) вя вектор диаграмы (b) шяк. 3.1- дя гюстярилмишдир.

Диаграм (шяк. 3.1,б) актив -индуктив характерли йцк цццн гурулмушдур. Диаграмда  $I_1 R_q$  вектору - чеврилмиш транс-форматорда актив эярэинлик дцшэцсц;  $I_1 X_q$  вектору - цмуми реактив эярэинлик дцшэцсц;  $I_1 \underline{Z}_q$  - там эярэинлик дцшэцсц-дцр. Онда

$$\underline{I}_1 \underline{Z}_q = I_1 R_q + j I_1 X_q . \quad (3.2)$$

Садяляшдирилмиш вектор диаграмы (шякил 3.1,б) йцкдян асылы олагаг трансформаторда икинъи тъяряф эярэинлийинин дя-



**Şək. 3.1. Transformatorun sadələşdirilmiş əvəz sxemi (a) və aktiv-induktiv yüklə vektor diaqramı**

Йишмясини тѣйин етмѣуѣ имкан верир. Адытян буну биринѣи тѣряф долабынын эярэинлийинин вя тезлийин сабитлийи шыраитин-ды щесаблаырлар  $U_1 = U_{1n}$  вя  $f_n$  шыраитинды йцксцз иш режи-миндян йцк режиминя кечяряк икинѣи тѣряф долабынын эяр-эинлийинин дѣйишмясини номинал эярэинлийя нязаряп фаизля эюстярмяк гябул едилмишдыр. Беля ки,

$$\Delta U\% = \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}} 100 = \frac{U'_{20} - U'_2}{U'_{20}} 100 . \quad (3.3)$$

Йцксцз ишлямя режиминды трансформаторун долаqlагында

эярэинлик эйшэцляри олмадыыындан  $U'_{20} = U_1$  .

Онда  $U_1 = U_{1n}$  щалы цчцн

$$\Delta U\% = \frac{U_{1n} - U'_2}{U_{1n}} 100 . \quad (3.4)$$

Вектор диаграмындан эюрцнцр ки, (шыкил 3.1, б)  $\varphi_1 - \varphi_2$  буъабы чох кичик олдуьунда  $\underline{U}_1$  векторунун модулу онун  $\underline{U}'_2$  вектору истигамятиня ендирилмиш проейксийасы иля, йяни ОА парчасы иля явяз етмяк олар. Онда тѣхмини щесабламалар цчцн  $\Delta U = \underline{U}_1 - \underline{U}'_2 = \overline{OA} - \overline{OB} = \overline{BA}$ .

Уйбун олагаг  $\dot{I}_1 R_q$  вә  $j\dot{I}_1 X_q$  векторларынын да  $\underline{U}'_2$  векто-ру истигамятиндяки проексийаларыны алсаг онда:

$$\Delta U = \overline{BA} = \overline{BC} + \overline{CA} = I_1 R_q \cos \varphi_2 + I_1 X_q \sin \varphi_2, \quad (3.5)$$

алырыг.

Номинал йцкдя (3.5) ифадяси ашаьыдакы шякли алыр :

$$\Delta U_{nom} \% = [(I_{1nom} R_q \cos \varphi_2 + I_{1nom} X_q \sin \varphi_2) / U_{nom}] \cdot 100 ;$$

вя йа

$$\Delta U_{nom} \% = u_{q.a} \% \cos \varphi_2 + u_{q.r} \% \sin \varphi_2.$$

(3.5) ифадясиндян эюрцнцр ки, трансформаторун эярэинли-йинин дяйишмяси йцкля мцтянасиб олуб  $I'_2 \approx I_1$  вя  $\varphi_2$  буьа-ьындан асылыдыр.

Трансформаторун йцк ямсалы анлайышы  $\beta = I_2 / I_{2nom} \approx I_1 / I_{1nom}$  йухарыда эюстярилян ифадядя истифадя етсаяк:

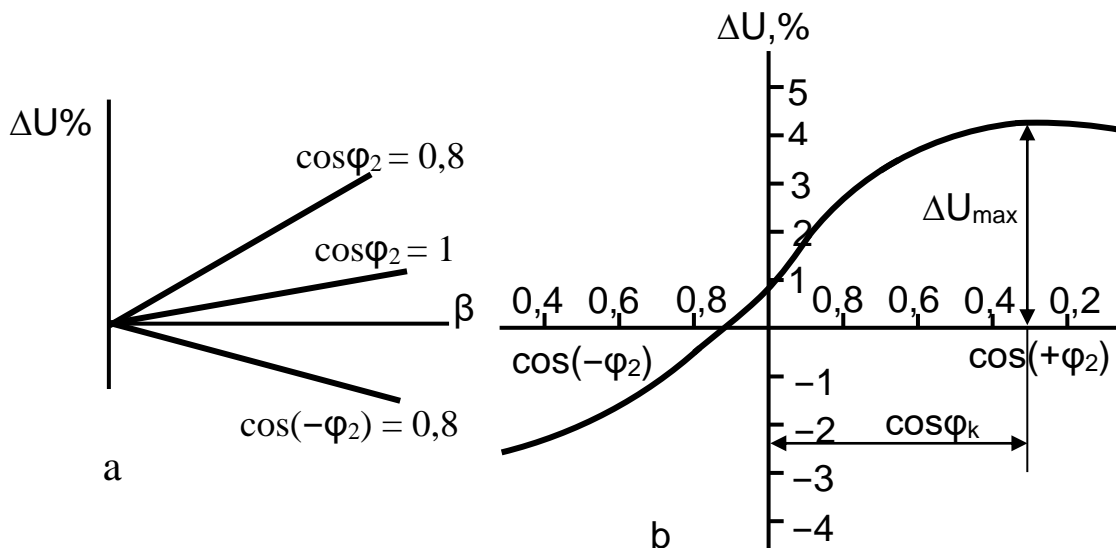
$$\Delta U \% = \beta \Delta U_{nom} \% = \beta (u_{q.a} \% \cos \varphi_2 + u_{q.r} \% \sin \varphi_2). \quad (3.6)$$

Эць трансформаторларында даща дягиг щесабламарда ашаьыдакы эюстярилян дцстурдан истифадя едилир:

$$\Delta U\% = \beta(u_{q.a}\% \cos \varphi_2 + u_{q.r}\% \sin \varphi_2) + \frac{\beta^2(u_{q.r}\% \cos \varphi_2 - u_{q.a}\% \sin \varphi_2)^2}{200} \quad (3.7)$$

(3.7) дцстурунда икинъи мцряккябянин чох кичик олду-ъундан яксяр щалларда практики щесабламаларда ону нязя-ря алмырлар. Она эюря эярэинлийин нисби дяйишмясинин щеса-баты ясаян (3.6) дцстуру иля апарылыр.

(3.6) дцстуруна ясаян  $\cos \varphi_2 = const$  шыраитиндя  $\Delta U\% = f(\beta)$  вя  $\beta = const$  шыраитиндя  $\Delta U\% = f(\cos \varphi_2)$  асылылыгларыны гурмаг олур вэ бунлар да буюцк практики ящямиййятя ма-ликдир. Бу асылылыглар шыкил 3.2 - дя эюстярилмищдир. Эюрцн- дцйц кими щялг ики щалда эярэинлийин нисби дяйишмяси йц- кцн характериндян асылыдыр. Щягицятэн,  $\Delta U\% = f(\cos \varphi_2)$



**Шяк. 3.2.** Уцкцн характериндян асылы олараг  $\Delta U - \text{nin}$  дя -

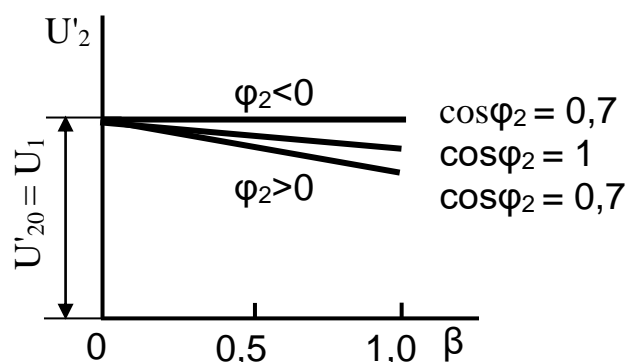
## Йишмя графикляри

асылылыыындан (шяк.3.2, б) эюрмяк олур ки, актив йцклярдя  $\Delta U\%$  кичик олуб актив – индуктив характерли уцклярдя артыр вя  $\varphi_2 - \varphi_k$  оlanda максимал гиймят алыр; актив – тутум характерли йцклярдя ися бу кямиййят мянфи дэ ола биляр.

**Трансформаторун хариъи характеристикасы.**  
 $U_1 = U_{1n} = const$ ,  $f = f_n = \text{џонст}$  вя  $\cos\varphi_2 = const$   
 шяраитиндя  $U_2 = f(I_2)$  вя йа  $U_2 = f(\beta)$   
 асылылыыына трансформаторун хариъи характеристикасы дейилир. Бу характеристикалары қурмаг цццн ашағидакі дцстурдан (3.8) истифадя етмяк олар

$$U'_2 = U_{1nom} (1 - \Delta U\% / 100) = U_{1nom} \left[ 1 - \beta (u_{q.a}\% \cos\varphi_2 + u_{q.r}\% \cdot \sin\varphi_2 / 100 - \beta^2 \cdot (u_{q.r}\% \cos\varphi_2 - u_{q.a}\% \sin\varphi_2)^2 / 20000) \right] \quad (3.8)$$

Йцк ямсалынын  $0 < \beta < 1$  гиймятляриндя хариъи характерис-тикалар практики олагаг дцзхятли алыныр (шякил 3.3). Қысага-панма эярэинлийинин вя мцряккябяляри  $u_{q.a}$ ,  $u_{q.r}$  мцяййян дяръядя трансформаторун номинал эцъцндян асылыдыр. Орта вя буюцк эцълц трансформаторларда реактив мцряккябя  $u_{q.r}$  актив мцряккябядян  $u_{q.a}$  хейли буюцкдцр. Одур ки, беля



### Шяк. 3.3. Трансформаторун хариъи характеристикалары

трансформаторларда реактив характерли йцк икинъи тяряф эяр-эинлийинин даща чох дйишмясиня сябъб олур, йяни  $\cos\varphi_2$  ня гядяр кичик олса хариъи характеристика ашаъыдан эедир. Актив – индуктив характерли йцклярдя щямищя  $U'_2 < U_1$  актив – тутум характерли йцклярдя ися  $\varphi_2$  – нин тйэууэп гий-мятляриндя  $U'_2 > U_1$  ола биляр.

### 3.2. Трансформаторун файдалы иш эмсалы

Трансформатор ишляйяркян електрик енержисинип биринъи до-лагдан икинъийя ютцрймяси заманы онда енержи иткиляри ямэля эялир. Беля ки, икинъи тяряф долаъындан алынанд эць  $P_2$ , биринъи тяряф долаъына верилян  $P_1$  эцьцндян фярглидир. Бу ики эцьцн нисбяти трансформаторун faydalı иш ямсалы (ФИЯ) ад-ланыр:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{U_2 I_2 \cos \varphi_2}{U_1 I_1 \cos \varphi_1} ; \quad (3.9)$$

вя йа

$$\eta = \frac{P_1 - \Delta P}{P_1} = 1 - \frac{\Delta P}{P_2 + \Delta P} , \quad (3.10)$$

бурада  $\Delta P$  – трансформаторда ямяля эялян иткилярин  
 ъямидир.

Иткилярин ъями биринџи вя икинџи тяряф  
 долагларынын актив мџгавимятлярдя ямяля  
 эялян електрик иткиляриндя  $\Delta P_{el1}$ ,  $\Delta P_{el2}$  вя магнит  
 кеџирисиндџе уаранан  $\Delta P_m$  – дџн (дюврџ вя щистересис  
 џяряянларынын тясириндян уаранан иткилџр)  
 ибарят-дир. Демяли,

$$P_2 = P_1 - \Delta P_{el1} - \Delta P_{el2} - \Delta P_{mi} \quad (3.11)$$

Онда (3.10) дџстуру ашаџыдакы эюстярилян  
 шякли алыр :

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P_{el1} + \Delta P_{el2} + \Delta P_{mi}} = 1 - \frac{\Delta P_{el1} + \Delta P_{el2} + \Delta P_{mi}}{P_2 + \Delta P_{el1} + \Delta P_{el2} + \Delta P_{mi}} \quad (3.12)$$

Икинџи тџрџф долаџына верилян  
 $P_{em} = P_1 - \Delta P_{el1} - \Delta P_{mi}$  эџџ-ня трансформаторун  
 дахили електромагнит эџџ дейилир. Бу эџџ  
 трансформаторун габарит юлџџлярини вя  
 кџтлясини тџйин едир.

Лайищяляндирилян трансформаторларда  
 иткиляр щесаблама йолу иля, щазыр  
 трансформаторларда ися ДЦИСТ – ин тџлябля-риня  
 уйџун олагаг йџкскџз ишлямя вя гысагапанма  
 тџърџбля-ляринин нятиџяляриня эюря тџйин  
 едилир.

Йџкскџз ишлямя тџърџблясиндя  $I_0$  џяряйяны чох  
 кичик олду-џундан биринџи тяряф долаџынын  
 електрик иткиляри нязрядян атылыр. Магнит  
 иткиляри ися бу щалда трансформаторун алдыџы

эцъя, йяни йцкскз ишлямя эцъцня  $P_0$  бярабяр гябул едилир. Мялумдур ки, магнит иткиляри магнит кечириъисиндяки индук-сийанын гиймятиндян ( $\Delta P_{mi} \equiv B^2$ ) вя дяйишян тъярйянын тезлийиндян ( $\Delta P_{mi} \equiv f^{1,2}$ ) асылыдыр. Шябьякя тъярйянын тезлийи  $f = \omega_{нст}$ , индуксийанын гиймяти йцкдян асылы олтур. Одур ки, биринъи тъярф эярэинлийинин сабит гиймятиндя ( $U_1 = \omega_{нст}$ ) магнит иткиляри трансформаторда йцккндян асылы олмайыб сабит галыр (шякил 3.4,а) вя йцкскз ишлямя эцъцня бярабяр олур  $\Delta P_{mi} \approx P_0$ .

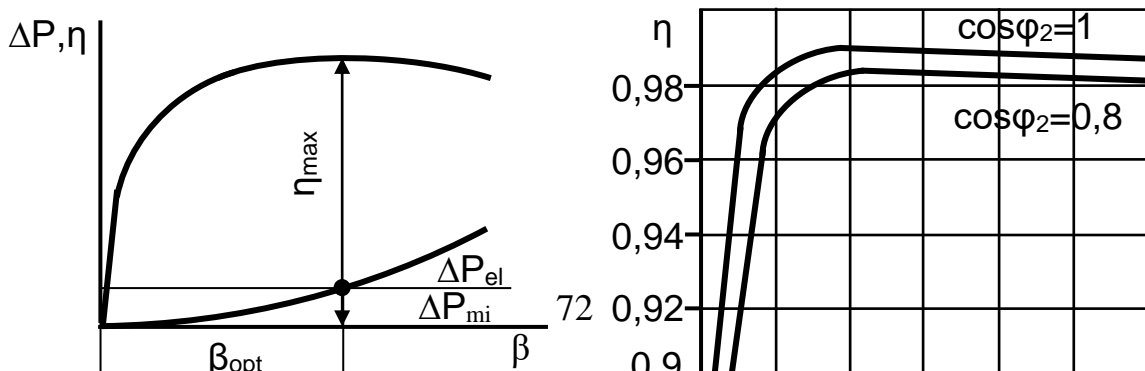
Електрик иткиляри тъярйянын квадратына мцтянасиб дяйишян иткиляр олуб, биринъи вя икинъи тъярф долагларынын електрик иткиляринин тъями кими тъяин едилир. Трансформаторун садяляш-дирилмиш явяз схеминя (бах шякил 3.1) ясаян  $I'_2 = I_1$  гябул едиб йазмаг олар :

$$\Delta P_{el} = \Delta P_{el1} + \Delta P_{el2} = I_1^2 R_1 + I_2'^2 R_2' \approx I_2'^2 (R_1 + R_2') \approx I_2'^2 R_q \quad ; \quad (3.13)$$

вя йа

$$\Delta P_{el} \approx \beta (I'_{2nom})^2 R_q \approx \beta^2 \Delta P_{el.nom}, \quad (3.14)$$

бурада  $\Delta P_{el.nom}$  – номинал йцкдя електрик иткиляринин тъямидир.





### Шяк. 3.4. Трансформаторун ФИЯ-нын йцкдян асылылыы

Демяли, електрик иткиляри  $\beta^2$  – дан асылы олараг дыйишир вя гысагапанма тыърцбьси заманы трансформаторун алдыыы но-минал эцъя бярабяр гябул едилир:

$$\Delta P_{el} = \beta^2 P_q. \quad (3.15)$$

Онда трансформаторун там иткиляри:

$$\Delta P = \Delta P_{mi} + \Delta P_{el} = P_0 + \beta^2 P_q. \quad (3.16)$$

Там иткиляр ( $\Delta P$ ) цццн (3.16) дя алынмыш гиймятляри (3.12) дя йериня йазыб нязяря алсаг ки,

$$P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_2 \approx \beta S_{nom} \cos \varphi_2.$$

Онда аларыг:

$$\eta = 1 - \frac{P_0 + \beta^2 P_q}{\beta S_n \cos \varphi_2 + P_0 + \beta^2 P_q}. \quad (3.17)$$

Бу дцстурда  $S_n, P_0$  вә  $P_q$  – трансформаторун параметрляридир. Эць трансформаторлары цчцн  $P_0$  вә  $P_q$  гиймятляри уйьун стандартларда вә каталогларда верилир.

(3.17) дцстурундан истифадя едяряк ФИЯ – нын йцкдян асылылыьыны гурмаг олар (шяк. 3.4,b). Хцсуси щалда  $\beta = 0$  файдалы эць вә ФИЯ сыфыра бярабяр олур. Трансформаторун вердийи эць артдыгьа ФИЯ – да артыр. Чцнки, цмуми енерзетик балансда сабит магнит иткляринин хцсуси гиймяти (чякиси) азалыр. Йцкцн мцяййян  $\beta_{opt}$  гиймятиндя ФИЯ максму-ма чатыр вә сонра йцкүн артмасы иля азалмаьа башлайыр. Буна сябьб долаглагда електрик иткляринин кяскин артмасыдыр. Чцнки, електрик иткляри тьряйянын квадратылэ, йяни  $\beta^2$  – на мцтянасиб артыр. ФИЯ – нын максимал гиймятиня уйьун олан оптимал йцкямсалыгь  $\beta_{opt}$  (3.17) дцстуруна ясаян  $d\eta/d\beta = 0$  шьртиндян тьяин етмяк олар. Бу щалда

$$\beta_{opt}^2 P_q = P_0 \text{ вә йа } \Delta P_{el} = \Delta P_{mi} . \quad (3.18)$$

Беяликля, трансформаторун ФИЯ йцкцн еля оптимал гий-мятиндя максимал гиймятя малик олур ки, бу щалда дяйи-щян иткляр сабит иткляря бярабяр олур. Эць трансформатор-лары цчцн (серийа иля бурахылан трансформаторлар цчцн)

$$\beta_{opt} = \sqrt{\frac{P_0}{P_q}} \approx \sqrt{0,2 \dots 0,25} \approx 0,4 \dots 0,45,$$

$\beta_{opt}$  – эюстярилмиш гиймятляри трансформаторларын лайищя-ляндирилмяси затаны минимум эятирилмиш хяръяляря эюря щесаблинмалыдыр.

Узун илляр эгзидя трансформаторларын истисмар тяърцбяси эюстярир ки, трансформаторлар ил бойу чох вахты 50...60% йцклянмиш олур. Она эюря йцкцн бу гиймятиндя, йяни  $\beta_{opt}=0,5...0,6$  гиймятляриндя ФИЯ ямсалынын максимал ол-масы мягсядя уйъундур.

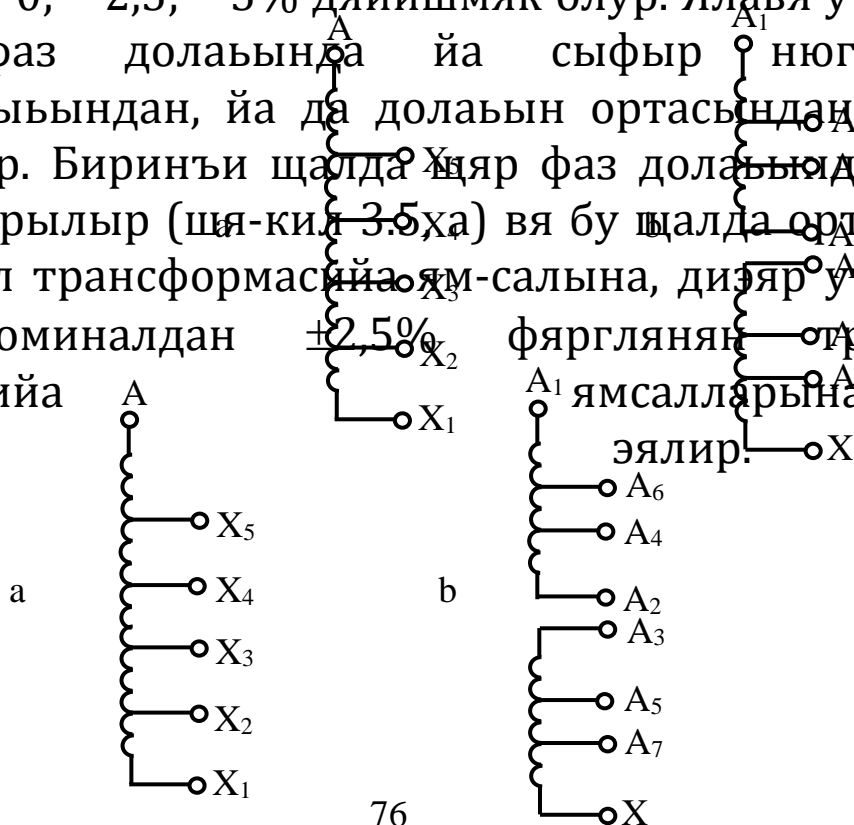
### **3.3. Трансформаторларда эярэинлийин тянзимляпмяси**

Електрик енержиси тялябедиъиляринин нормал ишлямяси цццн эярэинлийин вя тезлийин сабит олмасы лазымдыр. Бцтцн елек-трик тялябедиъиляринин номинал эярэинлийи онларын цзяриндя гурашдырылмыш лювщялярдя эюстярилир. Чалышмаг лазымдыр ки, тялябедиъиляр номинал эярэинликля тяъщиз олунсун. Транс-форматорларын истисмары заманы мцхтялиф сябъябляря эюря онларын икинъи тяряф эярэинлийи бурахылабилян нормадан ар-тыг дяйищя биляр. Бу щалын гаршысыны алмаг цццн трансформаторларда мцхтялиф тянзимляня цсуллары тятбиг едилер. Беля ки, биринъи тяряф эярэинлийини щансы истигамятдя дяйищмясиндя асылы олмайараг, икинъи тяряф эярэинлийи сабит галсын. Бу цсуллардан бири тансформаторун трансформасийа ямсалыны дяйищмякдир. Бунун цццн долаглардан щяр щансы биринин ищдя олан

сарьылар сайыны мцяййян фаизля джйиширляр. Бу тьцр джйишмя апармаг цццн долагларын бириндя, адятян, йцксяк эярэинлик долабында будагламалар апарылыр вя онларын уьлары (ялавя) чыхарылыр. Она эюря ки, бу долабын сарьылар сайы чох олдуьундан трансформасийа ямсалыны истянилян фаизля джгиг джйишмяк олур вя диэяр тяряфдян йцксяк эярэинлик долабы кичик тьряйянлы олдуьундан тяляб олунан тянзимлямя гур-ьусунун габарит юлчцляри кичик олур вя уьуз баша эялир.

Эярэинлийин тянзимлянмяси ики цсулла апарылыр: 1) йцксяк щалда; 2) йцк алтынды.

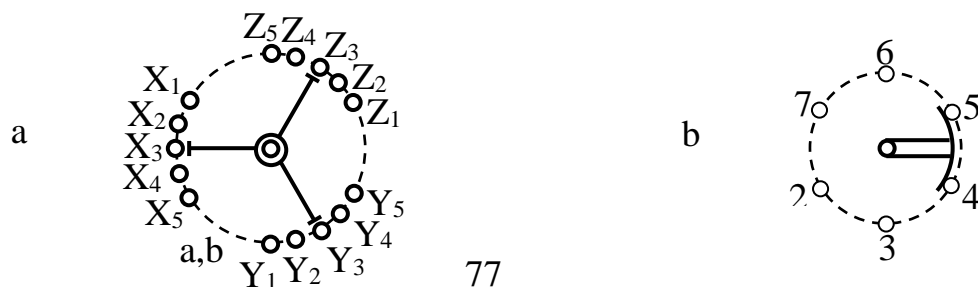
Йцксяк щалда тянзимлямя апарылдыгда трансформаторун долаглары дьврядян ачылыр вя долагларын бириндя саргылар са-йы джйишдярилдикдян сонра йенидян дьвряйя гошулур. Бу цсулла долагдан чыхарылан ялавя уьлардан щансынын гошул-масындан асылы олараг кичик орта эцълц эцъ трансформаторларында эярэинлийи (трансформасийа ямсалыны) +5; +2,5; 0; - 2,5; - 5% джйишмяк олур. Ялавя уьлар щяр фаз долабында йа сыфыр ньютяси йахынлыьындан, йа да долабын ортасында чыхарылыр. Биринтйи щалда щяр фаз долабыдан 5 уь чыхарылыр (щя-кил 3,5ха) вя бу щалда орта уь номинал трансформасийа ям-салына, диэяр уьлар ися номиналдан  $\pm 2,5\%$  фьрглянян трансформасийа ямсалларына эялир.



**Шяк. 3.5. Эярэинлийи тязимлямяк цчцн ялавя уъларг чыхарылмыш долагларын схемляри**

İkinci halda faz dolaqlarını iki hissəyə bölüb hərəsindən altı əlavə uc çıxarırlar (şək. 3.5,b). Bu əlavə ucları müəyyən qanunauyğunluqla öz aralarında бирляшдирмякля номи-налдан +2,5 вь +5% фярглянян даща дюдд трансформасийа ямсалы алмаг олур. Ялавя уълары гошмагдан ötrü биринъи щалда щяр цч фаз долабы цчцн цмуми бир чевиргяъ гойулур (шяк. 3.6,a) икинъи щалда ися щяр фаз долабынын айрыъа чеви-ргяъи олур (шяк. 3.6, б), чцнки икинъи щалда айры-айры фазалардан айрылан ялавя уълар арасында тяхминян  $0,5U_n$  гядяр эярэинлик тясир едир.

Чевирэяъляр йаьлы трансформаторларда чянин ичярисиндя йерляшдирилир. Чевиргяъ тярпянян вь тяррəптəуəп контактлы олур. Тярпянмяз контактлара будаглара айрылмыш долабын уълары бирляшдирилир. Чянин габабы цстцндя йерляшдирилмиш дястяйин кюмяйи васитясиля чевирэяъи бир вязиййятдян ди-эяр вязиййятя кечирмякля мцвафиг долабын сарьылар сайыны дяйишдирирляр.



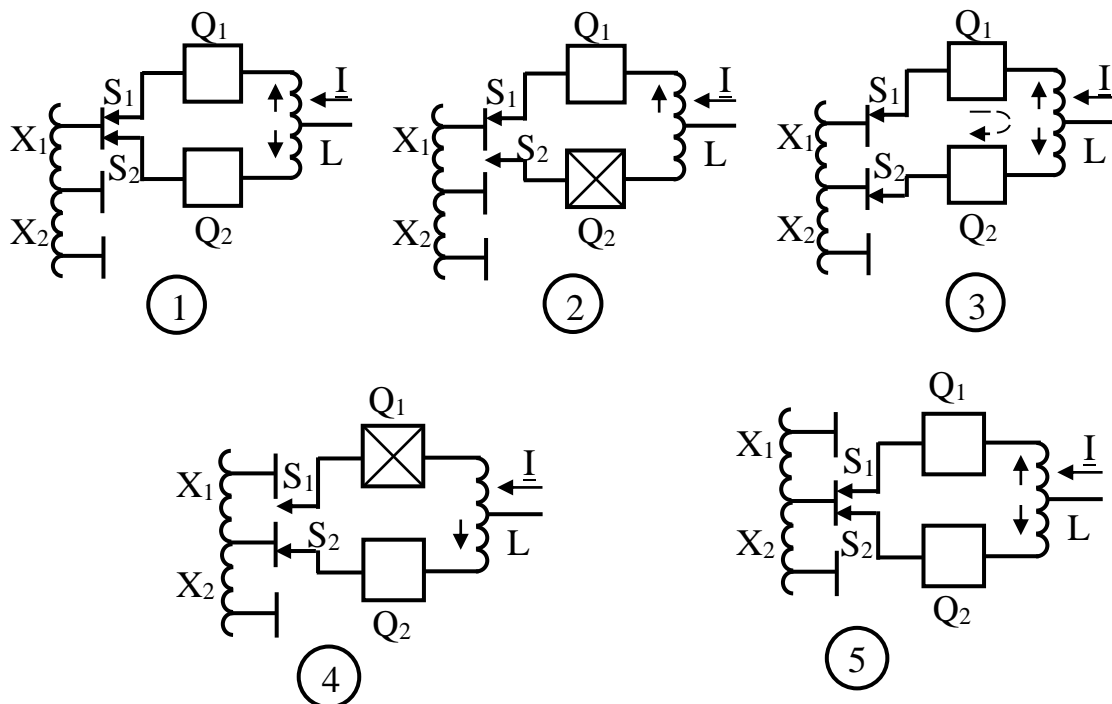
### **Шяк. 3.6. Эярэинлийи тянзимлямяк цчцн истифады олунан чевирэяълэгин схеми**

Гуру трансформаторларда ялавя уълар контакт лювщяси цзяриня чыхарылыр вя юз араларында истянилян гайдада бир-ляшдирилэ билир.

Ири сянайе вя кянд тясяррцфаты мцяссисяляриндя ишлядиъи-лярин фасиясиз електрик енержиси тяъщизатына наил олмаг цчцн трансформаторун эярэинлийинип йцк алтында тянзиминин бю-йцк ящямийяті vardır. Беля трансформаторларда йцк алтын-да эярэинлийин тянзимлянмяси  $\pm (9...16)\%$  щядляриндя апа-рылыр вя тянзимлямя просесини автоматлашдырмаг мцмкцн-дцр.

Бурада да эярэинлийин тянзимлянмяси трансформасийа ямсалынын дяйишдирилмясиня яасланыр. Лакин бу трансформаторларда тянзимлямя заманы бир ялавя уъдан диэариня кечяркян, ъярйан дювряси гирлматалыдыр. Бу мягсядя щяр фаз долаъы хцсуси чевирэяъ гурьу иля тяъщиз олунур. Ђярйан дюврясини гырмадан бир ялавя уъдан диэариня кечяркян щяр щансы аралыг вязийятдя ики гоншу уъ арасын-да галан долаг щиссяси гыса гапаныр. Гыса гапанма ъярйаныны мящдудлашдырмаг цчцн бу чевирэяъ гурьуларында ре-актор, резисторлардан вя йарымкечириъи вентилярдян истифады едирляр.

Белә чевирэяъ гурьуларындан биринин принципал схеми шы-кил 3.7 - дя эюстярилмишдир.



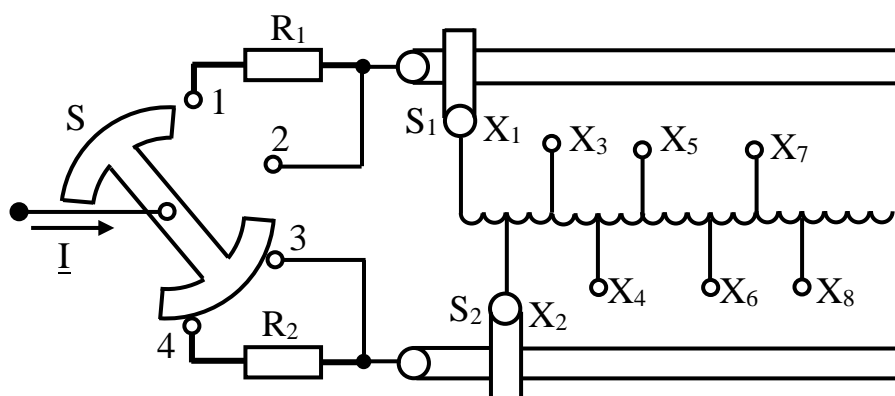
**Шяк. 3.7. Йцк алтында эярэинлийи тязимлямяк цццн реакторлу чевирэяъ гурьусунун схемляри**

Сәрэяаны мәһдудлашдырмақ үчүн бу қурғуда реактордан истифадә edilir. Бу қурғу transformatorun çәиндә yerләшdirilmіш və  $S_2$  cevirgәcindән və transformatorun әsas çәnin yan divarında quraşdırılmıш ayrıca çәндә yerләшdirilmіш  $Q_1$  və  $Q_2$  yağ ачарларындан,  $S_1$  və  $S_2$  cevirgәclәri ilә  $Q_1$  və  $Q_2$  ачарларынын ішinin uyğunlaşdırılmasını tәmin edән avtomatlaşdırılmıш aparıcı mexanizmdән ibarәtdir.

Bir ucdan digәр uca keçid beş mәрhәләdә (sәk.3.7) 1 – 2 – 3 – 4 – 5 ашағıda qeyd olunan ardıcılıqla yerinә yetirilir. Башланьыъ ишчи вязиййятиндя  $Q_1$  və  $Q_2$  контакторлары баьлы-дыр, реакторун щяр ики голу трансформатор долаьынын ялавя

уъларындан бириня, мясялян  $X_1$  уъуна гошулуб. Бу заман реакторун паралел голларындан ахан тъярйанлар гиймятъя бярабяр, истигамятъя якс олдуъундан реактор нцвясиндя магнит сели практики олагаг сыфыра бярабярдир, йяни онун ин-дуктив мцгавимяти чох кичикдир.  $X_1$  уъундан  $X_2$  уъуна кечмяк цццн яввялъя  $Q_2$  асаг1 ачылыр (тъярйан дювряси гырылмыр), чевирэяъин  $S_2$  контакты  $X_2$  уъуна кечирилир вя  $S_2$  йенидян баъланыр. Бу аралыг вязиййятдя реакторун щяр ики паралел голундан тъярйан бир истигамятдя ахыр, нцвя маг-нитлянир вя онун индуктив мцгавимяти артараг гапалы дюв-рядя тъярйанын гиймятини мящдудлашдырыр. Бундан сонра  $S_1$  ачылыр, тъярйансыз  $S_1$  контакты  $X_2$  уъуна кечирилир вя йе-нидян  $Q_1$  баъланыр. Беяликля, чевирэяъ икинъи ишчи вязиййя-тини алыр.

Йцк алтында эярэинлийи тянзимлямяк цццн тятбиг едилян башга бир чевирэяъ гурьусунун принципал схемляри шякил 3.8 - дя эюстярилмишдир.



**Шяк. 3.8. Актив мцгавимятли чевирэяъ гурьусунун схемі**



Göstərilən sxemdя тъяряян мящдудлашдырыгы элемент кими  $R_1$  вя  $R_2$  резисторларындан истифадя едилмишдир. Шякилдя эюстярилян вязиййятдя трансформатор  $X_2$  уьуна гошулмуш-дур.  $X_1$  уьуна кечмяк цццн яввялгы чевирэягы  $S_1$  кон-тактыны бу уга кечирирляр, сонра хцсуси механизмин кюмяйи иля буюцк сцрятля саат ягряби истигамятиндя дюндярилян  $S$  чевирэягы 1 вя 2 контактларыны гапайыр. 3 вя 4 контактларын ачылмасы, 1 вя 2 контактларын баьланмасы просесиндя ишчи тъяряянын дювряси гырылмыр. Аралыг ( $S$  чевирэягы йалныз 1 вя 4 контактларыны гапамыш) вязиййятдя  $R_1$  вя  $R_2$  резисторларын гызмамасы цццн  $S$  чевирэягы бир ишчи вязиййятдян диэяриня чох буюцк сцрятля (санийянин йцздя бири ярзиндя) кечирилир.

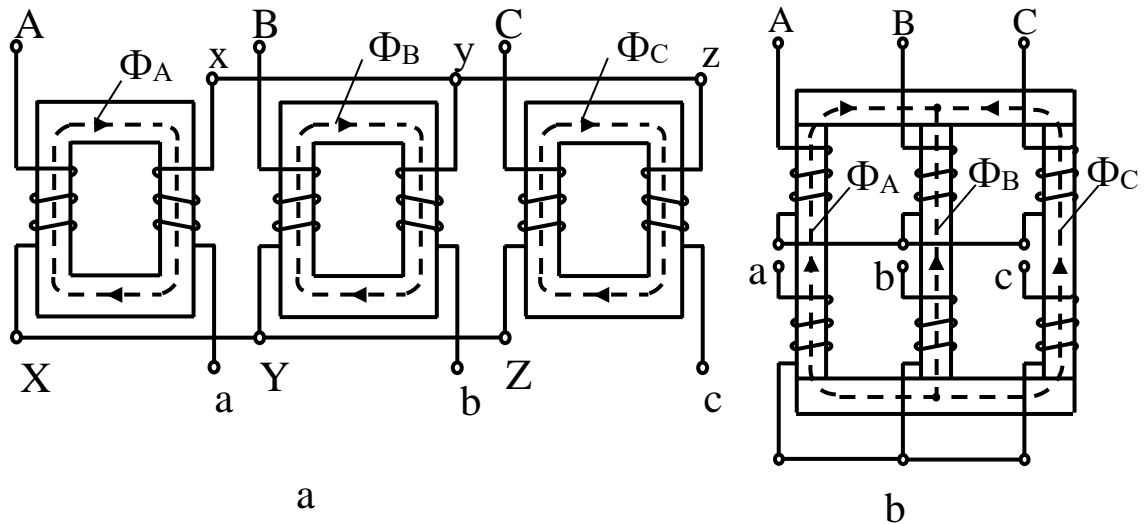
## **4. ЦЧФАЗАЛЫ ТРАНСФОРМАТОРЛАР**

### **4.1. Цчфазалы тъярйанын чеврилмяси**

Цчфазалы тъярйаны трансформасийа етмяк цчцн цч ядяд бирфазалы вя йа bir ədəd üçsubuqlu цчфазалы трансформатор-лардан истифадя етмэк олар. Олдугъа буюцк эцъляри (fazada 110 MVA – dan çох) ютцрмяк цчцн цч ядяд бирфазалы трансформаторлар tətbiq edilir. Бу онунла ясасландырылыр ки, буюцк эцълц цчфазалы трансформаторларын щазырланмасы технолозийасы вя нягл етдирилмяси чох чятиндир.

Цчфазалы сэгэуанын цч ядяд бирфазалы трансформаторлар vasitəsilə трансформасийа edilməsi sxemi şəkil 4.1,a – da göstərilmişdir. Bu halda şəbəkənin hər fazasına трансфор-маторlardan biri qoşulur. Belə sxem ilə qurulmuş trans-formatorlar yığımı

трансформаторлар qrupu adlanır. Trans-форматорлар qrupu әвәзində фазаларын һәр үcü үчүн еynı бир маqнит дөврәси олан үcfазалы, үççубуqлу трансформаторлар-дан иcтифадә еtmәк олар, çünkü белә үççубуqлу трансформатор ольүсә уығcam оlub ucuz баға gәлир.



**Шяк. 4.1. Цçфазалы трансформаторлар qrupu (a) ;  
 үçфазалы  
 үççубуqлу трансформаторлар (b)**

Цçфазалы трансформаторун магнит кечириъиси цççубуqлу щазырланыр (шякiл 4.1,b). Няр чибигда бир фазанын йцксяк вя алчаг эярэинлик долаглары йерляшдирилир. Эюстярилян кон-струксийалы трансформаторун магнит дюврәси бир гядяр гейри – симметрик алыныр, белә ки, орта фазанын вя кянар фазларын магнит гцввя хятляринин узунлууу мцхтялифдир. Орта фаза-нын магнит гцввя хятляри бир гядяр гыса олдууундан, онларын йолунда магнит мцгавимятидә нисбятян кичикдир. Йцк режиминдә бу гейри – симметрикийин тясери чох аз олуp. Белә трансформатор сыхаъларына симметрик эярэинлик верилярся вя йцк мцнтязям пайланса, фаз долагларынын щяр ццç ейни щяраитдә олар.

Буна эюря дя бирфазалы трансформаторлар цццн тяртиб едилмиш дцстурлар вя явяз схемляри ццфазалы трансфор-матор цццн дя ейни гцввядя галыр. Лакин йцкскз ишлямя режими бурада мцяййян хцсусиййятляря маликдир. Бу хцсусиййятлярдян бири магнит дюврясинин асимметриклийи иля яла-гядардыр. Щягигятян йцкскз ишлямя режиминдя  $faza\ c\grave{e}g\grave{e}-yanları$   
 $I_{AO} \approx I_{CO} \neq I_{BO}$ .

Буна сябяб айры – айры фазаларын йаратдыьы магнит селляри-нин йолунда магнит мцгавимятляринин мцхтялиф олмасыдыр. Мялум олдуьу кими магнит сели долаьа тятбиг олунан эяр-эинликдян асылыдыр. Тятбиг олунан эярэинликляр бярабяр вя симметрик, йяни  $U_A = U_B = U_C$  олса магнит селляри дя  $\Phi_A = \Phi_B = \Phi_C$  олар. Буна эюрядя ейни магнит сели шыраитиндя магнит мцгавимяти кичик олан фазапн йцкскз ишлямя тья-ряйяны да кичик олмалыдыр. Бу фярг 20...30 % олур.

Икинъи хцсусиййят магнит дюврясинин доймасы иля ялагя-дардыр. Чццнки, магнит дювряси дойдугда магнит сели  $\Phi$  иля ону йарадан магнитляшдириъи  $I_{12} \approx I_0$  яряйяны арасындакы мцтянасиблик позулур. Беля ки, магнит сели синусоидал дяйишди-йи щалда магнитляшдириъи тьяряйян гейри – синусоидал йяни зирвяли алыныр.

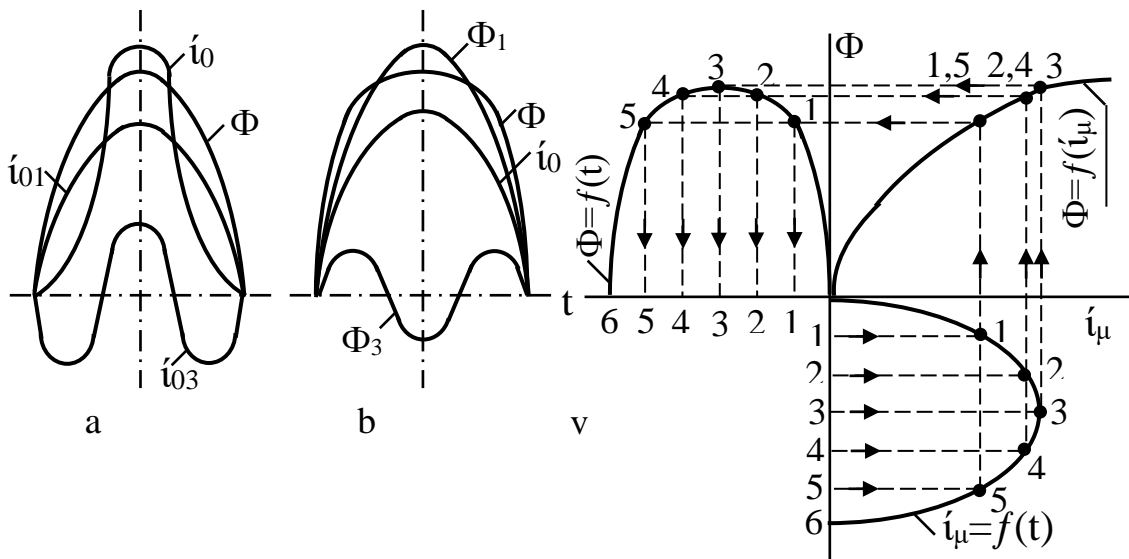
Йухарыда (бирфазалы трансформатор цццн) эюстярилдийи ки-ми беля зирвяли гейри – синусоидал яйри бцтцн тьяк сыралы щармоникалара малик олур ки, бунлагында арасында ян буюцк олан ясас щармоникадан сонра цццнъц

(гцввятлиси) щармо-никадыр.

Гейд етмяк лазымдыр ки, тъярйанларын цццнъц щармони-калары бцтцн фазаларда заман етибары иля ейни олуб цст – цстя дцщцр:

$$i_{03A} = i_{03B} = i_{03C} = i_{03m} \sin 3\omega t. \quad (4.1)$$

Бу һал долагларын бязи бирляшмя схемляриндя магнит сели яйрисинин вя еляъядя Е.Н.С яйрисинин формасына тясир эюс-тярир. Яэяр трансформаторун биринъи тъярф долабы цчбуъаг ( $\Delta$ ) вя йа нейтралы (сыфыр нюгтяси) чыхарылмыш улдуз  $Y_0$  схеми цзя бирляшдирилибся, фаза тъярйанларынын цццнъц щармони-калары сыфыр хятти иля вя йахуд цчбуъабын дахилиндя гапаныр. Демяли бу щалда йцксцз ишлямя тъярйаны  $i_0$  айры – айры фа-заларда цццнъц щармоникалара малик олуб, бирфазалы транс-форматорда олдуъу кими зирвяли алыныр, магнит сели ися синусоидал олур (щяк.4.2, а).

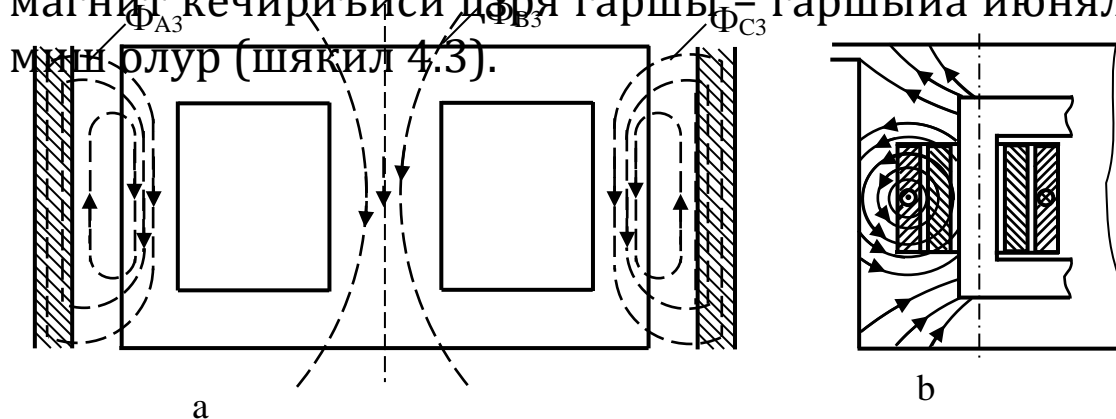


Щяк. 4.2. Долаглар  $Y_0/Y$  вя  $Y/Y$  схемлярин цзя бирляшмиш

## Һалларда үксүз ишләмә сәргәуәни и<sub>0</sub> вә магнит селинн $\Phi$ яйриляри (а - в)

Долаглар улдуз - улдуз (Й/Й) схеми цзря бирляшибся фаза тъярйанларынын цчцнъц щармоникаларынын гапанмасы цчцн дүврә олтур. Онда магнитлящдириъи тъярйан и<sub>0</sub> синусоидал, магнит селиннн яйриси ися тъящриф олунуб йастылашмыш форма-да алыныр (щяк. 4.2,б). Бу щалда магнит селинн цчцнъц щармоникалара малик олур вә белә селин индуксийаладıғи фаза Е.Н.О - лярн дя гейри - синусоидал алыныр. Магнитлящдириъи тъярйанын синусоидаллыыы щяраитиндя  $\Phi = f(t)$  яйрисинн гу-рулмасы щякил 4.2,в - дя эюстярилмищдир.

Гейд етмяк лазымдыр ки, цччубуглу трансформаторларда ямяля эялян фаза магнит селляринн цчцнъц щармоникалары  $\Phi_{A3}, \Phi_{B3}, \Phi_{C3}$  магнит кечириъиси цзря гапана билмир, чцнки онлар тъярйанларын цчцнъц щармоникалары кими аналожн ола-раг замана эюрә цст - цстя дцщцр вә беләликля, истянилян щяр биранда магнит кечириъиси цзря гаршы - гаршыа йюнял-



### **Шяк. 4.3. Üçfazlı üççubuqlu transformatorlarda maqnit sellərinin üçüncü harmonikalarının qapanması yolları**

Одур ки, цчцнъц щармоникалар чубуглардан чыхараг бо-йундуругдан –бойундуруьа щавадан кечмякля гапаныр вя бу йолда бюйцк магнит мцгавимятиня раст эялир.

Нятиъядя магнит селляринин цчцнъц щармоникалары гий-мятъя кичилир вя фаз селляри  $\Phi_{A3}$ ,  $\Phi_{B3}$ ,  $\Phi_{C3}$  цччубуглу трансформаторларда синусоидалдан аз фярглянир. Фаз магнит сел-ляринин цчцнъц щармоникалары трансформаторда ялавя эцъ иткиляри дя йарадыр. Магнит селляри вя Е.Н.О. яйриляриндя цчцнъц щармоникалар олмасын дейя цччубуглу трансформаторларда долаглардан бирини цчбуъаг схеми иля бирляшдирил-мяси мягсядя уйьундур. Долаглары Й/Δ вя Й<sub>0</sub>/Δ схем-ляри цзря гошулмуш цччубуглу трансформаторлар даща сямя-ряли сайылыр.

### **4.2. Трансформаторун долагларынын бирляшмя схемляри**

ДЦИСТ 11677 – 85 эюря бирфазалы вя цчфазалы эцъ трансформаторларынын dolaqlarının башланьыъ вя сон уълары бю-йцк вя кичик латын щярфляри иля ишаряляндирilir.

Бирфазалы икидолаглы трансформаторун ЙЭ долаьынын баш-ланьыъ уъу А буна уйьун сон уъу Х һәрифляри иля ишаря еди-лир. АЭ долаьынын башланьыъ уъу а буна уйьун сонунъу ися х щярфи иля ишарялянир. Яэяр трансформаторун цчцнъц долаьы варса онун уълары  $A_m$  вя  $X_m$  ишарялянир. Цчфазалы икидолаглы трансформаторларын ЙЭ

долагларынын башланьыъ уълары А, Б, Ъ бунлара уйъун сон уълары ися Х, Й, З щярфляри иля ишаря едилир.

АЭ долагларынын уълары ися аналожи олагаг а, б, ъ вя х, й, з цццнъц долаг варса башланьыъ вя сон уълары  $A_m, B_m, C_m$  вя  $X_m, Y_m, Z_m$  ля ишарялянир. Долагларын чыхарылмыш сыфыр нюгтяляринин уълары 0 (ЙЭ долаьы цццн) вя о (АЭ долаьы цццн) gösterilir.

Ццфазалы икидолаглы трансформаторларын ЙЭ вя АЭ долаг-лары «улдуз чыхарылмыш 0 нюгтяли», «ццбуъаг» вя «зигзаг чыхарылмыш 0 нюгтяли» схемлярдя бирляшдирилир.

Долаглары яксяр щалларда «улдуз» вя «ццбуъаг» схемин-дя бирляшдирирляр. «Улдуз» бирляшмя ян чох ЙЭ долаглары цццн, «ццбуъаг» бирляшмя ися АЭ долаглары цццн тятбиг едилир. Биринъи щалда фаза долаьына тясир едян эярэинлик, икинъи щалда фаза долаьындан ахан ъярйан хятт эярэинлийи вя хятт ъярйанындан  $\sqrt{3}$  кичик алыныр. Буна эюря биринъи щалда изолъасийа, икинъи щалда ися кечириъи материала гянаят етмяк мцмкцндцр.

«Улдуз», «улдуз чыхарылмыш 0 нюгтяли», «ццбуъаг», «зиг-заг чыхарылмыш 0 нюгтяли» бирляшмя схемлярини  $Y, Y_0, \Delta, Z_0$  символлары иля ишарялянир.

Ццфазалы трансформаторларын долагларынын бирляшмя схем-ляри кяср щяклиндя  $Y/Y_0, Y/\Delta, Y/Z_0$  вя с. ишарялянир. Кясрин суряти ЙЭ долаьынын бирляшмя схемини, мяхряъи ися АЭ долаьынын бирляшмя схемини эюстярир. Яэяр трансформато-рун цццнъц долаьы (ОЭ) варса, онда

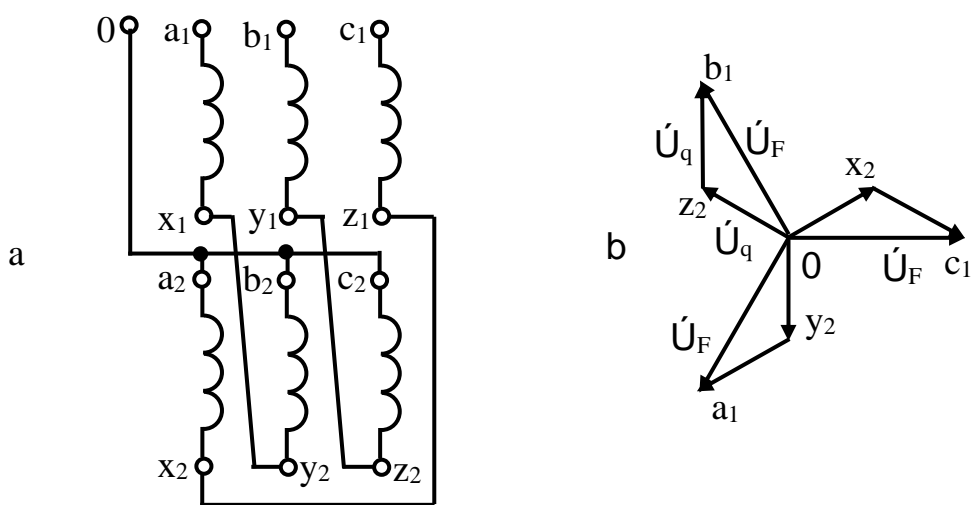


онун бирляшмя схеми  $\Delta/Y/Y_0$  шяклиндя ишарялянир.

Долагларын бирляшмя схеми сечиляркян бир сыра щаллар ня-зяря алынмалыдыр. Бязян трансформаторун икинъи тяряфиндя ики ъцр, щям хятти эярэинлик, щям дя фаза эярэинликляри алмаг лазым эялир. Мясялян, иътимаи йашайыш мянтыгялярин-дя, сянайе вя кянд тясяррцфаты мцяссисяляриндя щям ишыг йцкц,щям дя эць йцкляри олдуьундан, бурада ишлядилиан трансформаторлардан щям хятти эярэинлик, щям дя фаза эяр-эинликляри алынмалыдыр. Бу щалда долаглары  $Y/Y_0$  схеми иля бирляшмиш трансформатордан истифадя етмяк даща мягсядя уйьундур. Икинъи тяряф эярэинлийи 400В вя ондан йцксяк олан щалларда долагларын  $Y/\Delta$  бирляшмяси схеминя цстцнлцк верилир. Чцнки, бу заман трансформаторун гейри симметрик режимдя иш шяраити йахшылашыр вя йцксяк щармоникаларын тясир азалыр.

Бязян хцсуси трансформаторларда (дцзляндириъиляр цчцн тятбиг олунан вя с.) вя кянд тясяррцфаты мцяссисяляриндя ишляйян трансформаторларын АЭ долагларынын бирляшмясиндя *qeyri – simmetrik yüklənmədə faz gərginliklərin simme-trikliyini təmin etmək üçün «zigzag чыхарылмыш 0 нюгтяли» бирляшмя схеми тятбиг едилир. Бу схемдя щяр фаза долаьыны ики бярабяр щиссяляря бюлүрләр və bunları müxtəlif şubuq-larda yerləşdirirlər (şəkil 4.4). Нәр iki hissənin birləşдирилмяси еля апарылыр ки, онларын E.H.Q – ры щяндяси чыхылсын: бундан ютрц фаза долаьынын щяр бир йарысынын сонуну щямин долаьын икинъи йарысынын сонуну иля бирляшдирирляр. Бу*

схем игтисади тѳащятдѳан сѳамярѳали, чцнки ейни бир  $U_F$ , эярѳинли-ѳиндѳа Й вѳа  $\Delta$  схемляринѳа нисбѳятѳан чох долаг нагилисѳа рѳ олунур. Бу онунла изащ олунур ки, бахылан схемдѳа фѳаза  $U_F$  эярѳинлийи  $\sqrt{3}$  дѳафѳа щѳар бир долагын  $U_d$  эярѳинлийиндѳан бю-ѳцк олур. Она эюрѳа бу схемѳи мцстѳасна щалларда тѳатбиг едирляр.



**Шѳак. 4.4. Долагын зигзаг бирляшмя схемѳи ( а ) вѳа вектор диаграмѳы ( б )**

ДЦИСТ 11677 – 85 эюрѳа эцѳ трансформаторларын долагла-рында тѳатбиг олунан стандарт бирляшмя схемлярѳи тѳадвѳал 4.1 – дѳа верилмишдир.

**Тѳадвѳал 4.1**

Dolaqların birləşmə sxemi		E.N.Q vektorlarının diaqramları		Şərti işarələr
YG	AG	YG	AG	
1	2	3	4	5

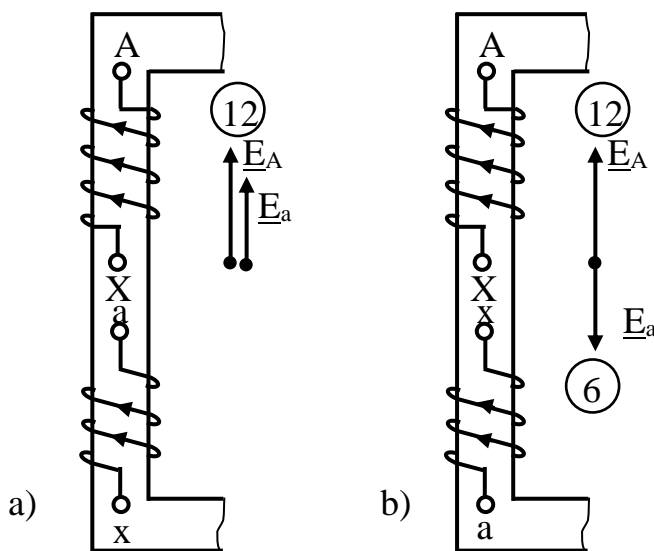
				Y/Y <sub>0</sub> - 0
1	2	3	4	5
				Y/Δ - 11
				Y <sub>0</sub> / Δ - 11
				Δ / Y <sub>0</sub> - 11
				Y/Z <sub>0</sub> - 11

### 4.3. Трансформатор долагларынын бирляш- мя групплары

Биринчи ва икинчи тараф долагларынын уйбун хятти эярэин-ликляринин векторлары арасындакы фаза фярги буьагьндан асылы олараг

трансформаторлар бир неча бирляшмя группарына айры-лыр.

Бирфазалы трансформаторларда долагларын сарынмасы истига-мятиндян вя долаг сыхаъларынын ишаря олунмасындан асылы олараг биринъи вя икинъи тяряф долагларынын эярэинлик вектор-лары йа цст – цстя дцщцр вя йа бир – биринин яксиня йюнялир, йяни бу векторлар арасындакы буъаг сыфыр вя йахуд  $180^\circ$  олур (шякил 4.5)



**Шяк. 4.5. Бирфазалы трансформаторун долагларынын бирляшмя групу**

Яэяр трансформаторун щяр ики долабы бир истигамятдя сары-ныб вя сыхаъларынын ишаряляри, йяни чыхыш сыхаъларынын нишанлан-масы симметрикдирся (шякил 4.5, а) онда бу долагларда ин-дуксийаланан ЕЩГ – ляр ейни истигамятли олур вя уйбун йцксцз ишлямя эярэинликляри фазаъа цст – цстя дцщцр. До-лаглардан биринин сарынма истигамяти вя йа фазалардан бири-нин

сыхаъларынын йери даяишдирилярся (шякил 4.5, б) биринъи вя икинъи эярэинлик, (ENQ) векторлары arasındaki фаза фярги бу-ъабы  $180^\circ$  – уэ бярабяр олар.

Долагларын йцксяк вя алчаг эярэинлик векторлары арасын-дакы буъабы  $30^\circ$  бюляряк алынмыш гиймятя ясяян трансфор-маторун бирляшмя групунун нюмрясини таяин едирляр. Сады-лик цчцн долагларын эярэинлик векторларыны саат ягрябиня бянзядирляр. Бея ки, йцксяк эярэинлик векторуну дягигя ягряби (бюйцк ягряб), алчаг эярэинлик векторуну ися саат ягряби (кичик ягряб) гябул едиб дягигя ягрябини (йцксяк эярэинлик векторуну) саат сиферблаты цзяриндяки 12 рягями цзяриня гойурлар. Бу гайда иля гурулмуш вектор диграмла-рындан (шяк. 4.5 а,б) эюрцнцр ки, бирфазалы трансформаторлар цчцн йалныз ики бирляшмя группу – 0 вя 6 нюмряли групплары алмаг мцмкцндцр. Бу групплар 1/1– 0 вя 1/1– 6 иля ишаря едилир. Республикамызда йалныз 1/1– 0 группу бирфазалы трансформаторлар истифады едилир.

Цчфазалы трансформаторларда ейни бир чубуг цзяриндя йер-ляшдирилмиш щяр ики долабын фаза ЕЩГ – ляри бирфазалы транс-форматорда олдууу кими йа цст – цстя дцщцр, йа да фазаъа бир – биринин яксиня йюнялир. Лакин цчфазалы трансформатор-ларда йцксяк вя алчаг эярэинлик долагларынын бирляшмя схе-миндян вя сарылмасы истигамятиндян асылы олараг 12 ядыд бирляшмя группу алмаг мцмкцндцр.

Бирляшмя групуну таяин етмяк цчцн ашабыдакы ики шярт ясас эютцрцлмялидир:

1) долагларын фаз ардыъыллыглары бцтцн

щалларда даяишмяз галмалыдыр;

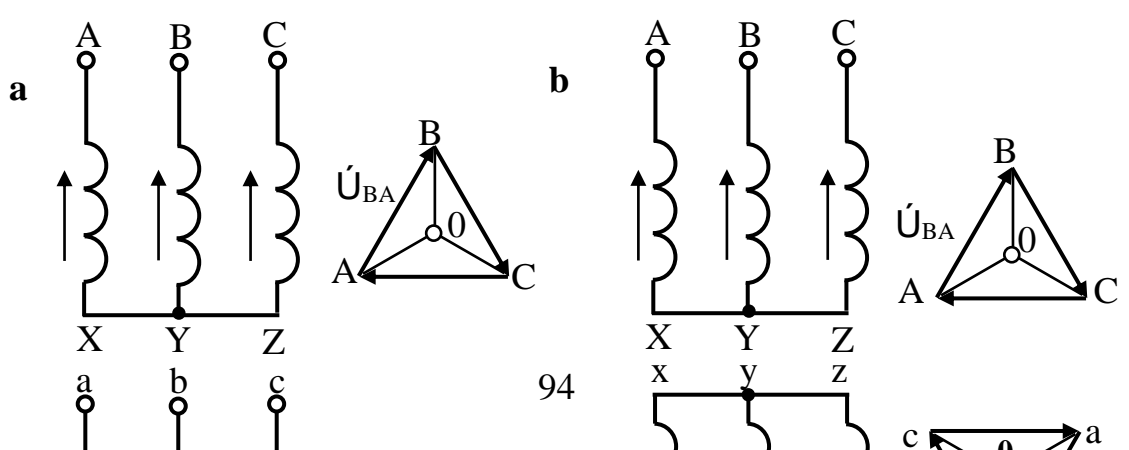
2) фаза долагларында эярэинлийин мцсбят истигамяти мя-лум олмалыдыр.

Бир неча щала бахаг:

Туаг ки, трансформаторун йцксяк эярэинлик вя алчаг эярэинлик долаглары Й/Йсхеми цзя гошулуб щяр ики долабын сарынмасы истигамяти ейнидир вя уйбун фаз долаглары цмуми бир чубуг цзяриндя йерляшдирилмишдир (щяк. 4.6, а).

Бу схема ясаян щяр ики долаг цццн гурулмуш фаза вя хятт эярэинликляринин вектор диаграмлары (щякил 4.6, а) эюс-тярилмишдир. Эюрцндцйц кими хятт эярэинликляринин ейни адлы векторлары ( $U_{BA}$  вя  $U_{ba}$  ейни истигамятдя олуб фазъа цст – цстя дцщцр), йяни уйбун хятт эярэинликляринин векторлары арасындакы буъаг 0 – дыр. Саатын сиферблаты цзяриндя бу векторлар, эюстярилян гайдаа эюря саат 12 – нй эюстярир. Одур ки, бу схем цзя гошулмуш трансформаторун бирляшмя гру-пу Й/Й – 0 иля ишаря едилир.

Яэяр бахдыьымыз схемдя алчаг эярэинлик долабынын сы-хаъларынын йери (а, б, г сыхаълары иля х, й, з сыхаъларынын йери) даяишдирился бу долабын эярэинлик векторлары фазаъа  $180^\circ$  даяишир. Беля трансформатор б сайлы бирляшмя группа мянсуб олуб Й/Й– б ишаря едилир (щякил 4.6, б).

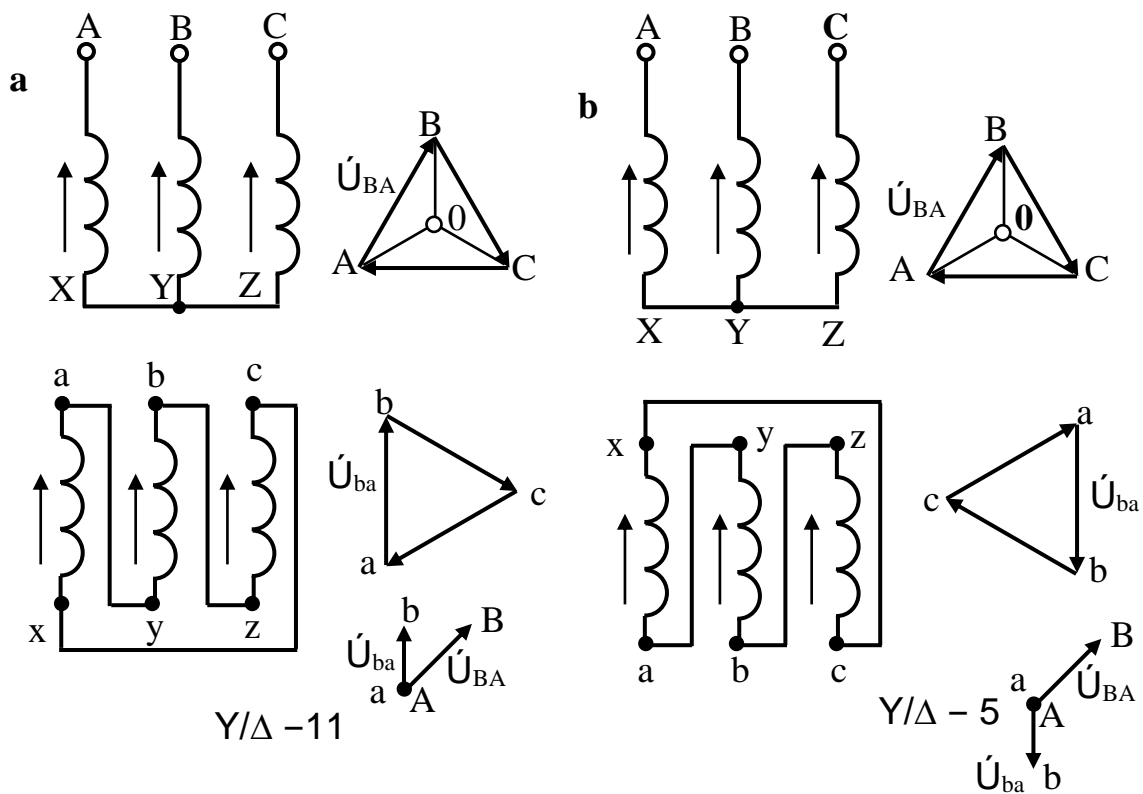


**Шяк. 4.6. Й/Й схеминдя цчфазалы трансформатор  
долагларынын  
бирляшмя группары**

Тутаг ки, долаглар Й/Δ схеми цзя гошулуб (шякил 4.7, а) вя йухарыда эюстярилян бцтцн шяртляр эюзлянилик.

Онда эярэинликлярин вектор диаграммындан (шякил 4.7) эю-рцнцр ки, бу схем ЫЫ сайлы группу верир вя беля бирляшмя группу Й/Δ – ЫЫ ишаря едилик. Яэяр бу щалда алчаг эярэинлик долаьынын сыхаьларынын йери дяйищдирился уйьун хятт эярэин-ликляринин векторлары арасындакы буьаг  $150^\circ$  омур ки, бу да 5 сайлы бирляшмя группуну верир, йяни Й/Δ – 5 (шяк. 4.7, б).

ДЦИСТ 11677 – 85 эюра МДБ юлкяляриндя истещсал олу-нан цчфазалы эцъ трансформаторлары йалныз ики ясас группа, йяни Й/У<sub>0</sub> – 0, Й/Δ – ЫЫ, У<sub>0</sub>/Δ – ЫЫ, Й/ Z<sub>0</sub> – ЫЫ, бирляшмя группларына мянсубдур.



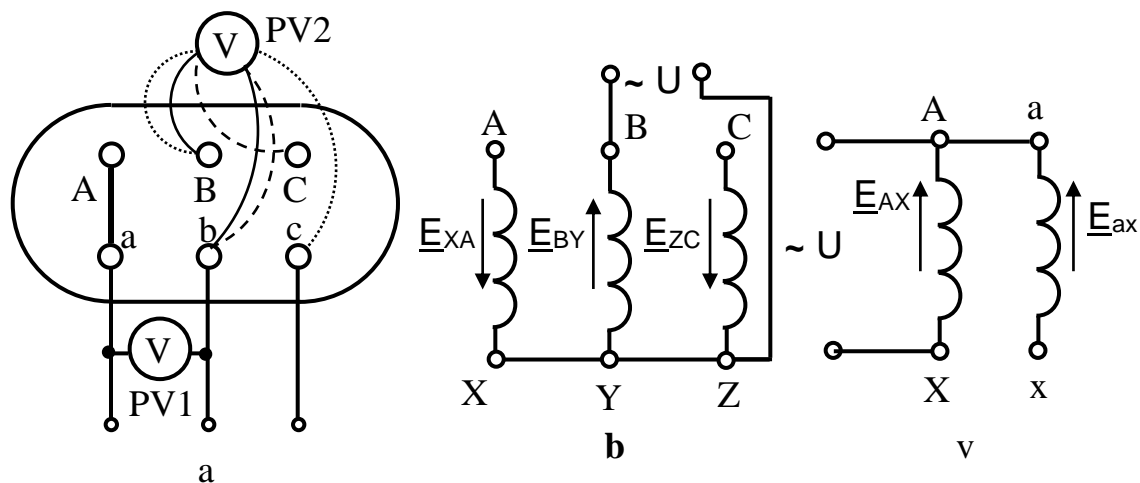
**Шяк. 4.7. Й/Δ схеминдя ццфазалы трансформаторун долагларынын бирляшмя группу**

**Долагларын бирляшмя группунун йохланмасы.** Тямирдян сонра трансформаторун йохлама сынаглары заманы долагларын бирляшмя группуну йохлайырлар. Бу заман долагларын уъларынын нишанланмасы вя йа долагларын уъларынын трансформаторун эиришляриня бирляшдирилмясинин дцзэцн йериня йетирилмяси ашкар олуна биляр.

Ццфазалы трансформаторларын долагларынын бирляшмя группуну тьяин етмяк цццн ики вольтметр цсулундан истифадя едирляр. Бу щалда трансформаторун уйьун уълары арасындакы эярэинлик юлчцлцр вя сонра щесабат гиймятляри иля



мцгайися едилир (шяк. 4.8,а), фазалардан биринин долагларынын ейниадлы уълары, мясялян А вя а, юз араларында бирляшдирилир вя трансформаторун алчаг эярэинлик долабына кичик гиймятли эярэин-лик верилир. Биринъи ПВ1 вольтметр иля гидаландырыъы  $U_1$  эяр-эинлийи, икинъи ПВ2 вольтметр иля нювбя иля АЭ вя ЙЭ долагларынын уълары арасындакы  $U_{bB}$ ,  $U_{bC}$  вя  $U_{cB}$  эярэинликляри юлчцлцр. Эярэинликлярин юлчмядян алынмыш гиймятлярини ашабыдакы ифадялярдян тьяин едилмиш гиймятлярля мцгайися едилряр:



**Шяк. 4.8.** Ики вольтметр цсулу иля долагларын бирляшмя группун тьяини (а) вя долагларын уъларынын йохланмасы схемляри (б вэ v)

Й/Й- 0 группу цчцн

$$U_{bC} = U_{cB} = U\sqrt{1-K+K^2}; \quad U_{bB} = U(K-1); \quad (4.2)$$

Й/Δ- ЫЫ группу цчцн

$$U_{bB} = U_{cB} = U\sqrt{1-\sqrt{3}K+K^2}; \quad U_{bC} = U\sqrt{1+K^2}, \quad (4.3)$$

бурада  $K = U_{AB}/U_{a6}$  – хятти трансформасийа ямсалы олуб, цчфа-

залы трансформаторун паспорт гиймятляриндя эюстярилян хятт

эярэинликляринин нисбятиня бярабярدير

**Долагларын уъларынын нишанланмасынын йохланмасы.** ЙЭ долабынын башланьыъ вя сон уъларыны тяърцби тьйин ет-мяк цчцн онун фаз долаглары улдуз бирляшдирилир, сонра фазалардан бирини  $U = 220$  В эярэинликлі шьбякьйя гошурлар. Сонра долагларын ЕЩГ – ры вя фазаларарасы эярэинликляри юл-чцрляр (шьк. 4.8, б) эюстярилян схема эюра трансформаторун магнит кечириъисинин Б фазасынын долабы йерляшян орта чубу-ьунда магнит сели кьнарларда А вя Ђ фазасы йерляшян чубуглардакы магнит селиндян ики дяфя чох олур вя бу селля-рин яксиня истигамятлянир. Яэяр долагларын уълары дцзэцн нишанланыбса Е.Н.С. вэ гьргинлик белэ оласақдыр:

$$E_{YB} \approx U; E_{XA} = E_{ZC} = 0,5U; U_{AB} = U_{BC} = 1,5U.$$

Долагларын уъларынын нишанланмасы сяцв апарылыбса онда  $U_{AB}$  вя  $U_{BC}$  эярэинликляриндян бири (вя йа шьяр икиси)  $0,5U$  –йа бярабяр олур.

АЭ долабынын уъларынын нишанланмасынын дцзэцнлцйцнцн йохланмасы шьяр бир фаза долабы цчцн нювбя иля (шьк. 4.8, в) эюстярилян схем цзря апарылыр. Долагларын уъларынын нишанланмасы дцзэцндцрся, онда мясялян А фазасы цчцн

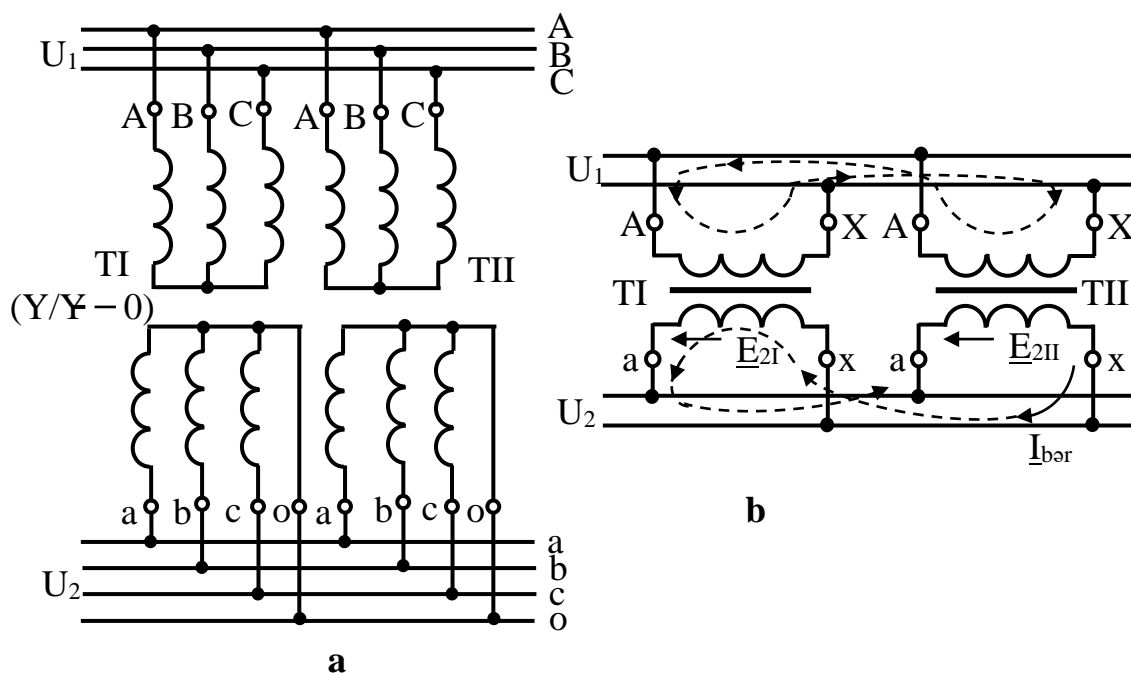
$$U_{Xx} = U_{AX} - U_{ax} \text{ olar.}$$

#### 4.4. Transformatorların паралел ишлямяси

Електрик системляриндя електрик тяъщизатынын етибарлылыны артымаг мягсяділя йцксялдиъи вя алчалдыъи йарымстансийа-ларында ики, цч вя йа даща чох трансформаторлар паралел ишы гошулур (шяк. 4.9).

Бир неча трансформаторун паралел ишлямясинин буюцк эцъ-лц бир трансформаторун ишлямяси иля мцгайисядя бир сыра техники вя игтисади цстцнлцкляри вардыр :

1) електрик тялябедиъилярин електрик енержиси иля тяъщиз олунма етибарлылы артыр, беля ки, трансформаторлардан бири-нин щяр щансы бир сябябдян ишдян чыхмасына эюря електрик тялябедиъиляри електрик енержисиндян мящрум олмурлар. Йя-ни бу заман ишдян чыхан трансформаторун йцкцнц мцвяг-гяти олараг тамамиля вя йа бир щиссясини ишляйян трансфор-маторларын йцкцня ялавя етмяк мцмкндр. Ейни заман-да йарымстансийада профилактики тямир ишляри апармаг асан-лашыр ;



**Шяк. 4.9. Үчфазалы (а) вярфирфазалы (б) трансформаторларын паралел ишлямя схеми**

2) паралел ишя гошулан трансформаторларын ещтийат эщъц тьялябедиъилияри електрик енержиси иля гидаландыран буюцк эщъ-лц бир трансформаторун эщъцндян хейли кичик олур ;

3) енерэетик системлярин йцксялдиъи вяр алчалдыгы вяр йа ра-йон трансформатор йарымстансийаларинда йцкцн азалма мцддятиндя (эцн ярзиндя йаз вяр йай мювсцмляриндя), тпансформаторларын бир щиссясини ишдяч ачырлар, бунун ня-тиъясиндя трансформаторларын йцксцз ишлямя иткиляри азалыр вяр онларын номинал эщъя гядяр йцклянмяси тьямин олунур. Бунларын щесабына йарымстансийанын игтисади тьящятъя ся-мярjali иш режими бярпа олунур ;

4) илдяч - иля (йарымстансийанын эяляъяк инкишафы иля яла-гядар) йени електрик

тялябедиъиляринин ишы гошулмасы иля ялагьдар трансформатор йарымстансийасынын эцъцнцн тядри-ъян артмасына эюра йарымстансийанын максимал эцъцня уйъун эялян буюцк эцълц трансформатор гурашдырмаг тех-ники вя игтисади къыщятдян ялверишли сайылмыр. Буна эюра дя йарымстансийада бир неча трансформаторун гурашдырылмасы вя онларын паралел ишы гошулмасы чох буюцк ящямийят късб едир.

Трансформаторлары паралел ишы гошаркъан чалышырлар ки, онла-рын щяр бири юз номинал эцъцня мцнасиб къаряйанла йцклян-син. Беля щалда паралел ишы гошулан трансформаторлардан алы-нан максимал эцъ онларын номинал эцъляринин къаминя бя-рабяр олур. Буна эюра трансформаторлары паралел ишляйя бил-мяси цчцн ашаъыдакы щяртляр йериня йетирилмялидир :

1) паралел гошулан трансформаторлары биринъи вя икинъи тя-ряф эярэинликляри бир – бириня бярабяр олмалыдыр, йяни  $U_{11} = U_{12}$  ;  $U_{21} = U_{22}$  демяли онларын трансформасийа ямсаллары бярабяр олмалыдыр :

$$n_1 = n_{11};$$

2) паралел гошулан трансформаторлары бирляшмя групплары ейни олмалыдыр;

3) паралел гошулан трансформаторлары гысагапанма эяр-эинликляри бярабяр олмалыдыр :

$$u_{q1} = u_{q11}.$$

Яээр эюстярилян шяртляр юдянилерся трансформаторлары паралел иша гошмаг олур. Тяърцбядя йалныз икинъи шярт гяти олага йериня йетирилмялидир. Биринъи вя икинъи шяртляр мц-ййян хяталарла йериня йетириля биляр.

Эюстярилян шяртлярдян щяр щансы биринин йериня йетирил-мяйян щалына бахаг.

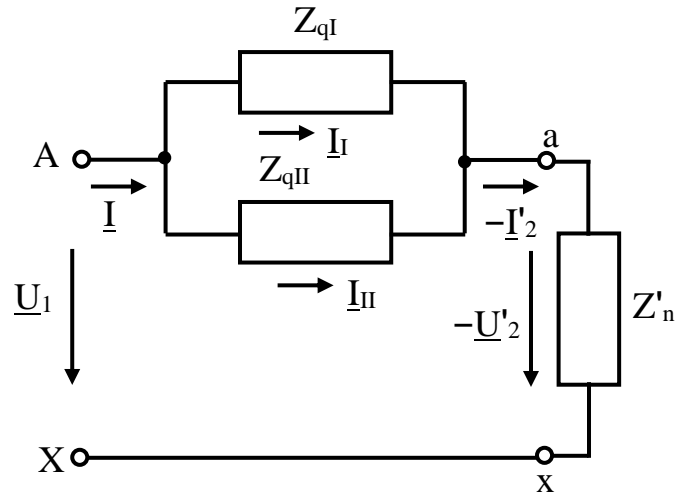
1. Тутаг ки, паралел гошулмуш ТI вя ТII трансформатор-ларын икинъи вя цццнъц шяртляри юдянилер, биринъи шярт ися юдянилмир, йяни  $U_{21} \neq U_{22}$ . Яээр икинъи тяряф эярэинликляри ейни олмаса о заман бу эярэинликляр арасында мцййян  $\Delta U = U_{21} - U_{22}$  фярг алыныр. Щямин фярг трансформаторларын икинъи долаглары дюврясиндян мцййян гиймятли бир  $Y_6$  бя-рабярлящдириъи тъяряянын ахмасына сябб олаъагдыр (щяк. 4.9). Онда паралел гошулан трансформаторларын саялящдирил-миш явяз схеминдян (Щяк. 4.10) йаза билярик:

$$I_b = \frac{U_{21} - U_{22}}{Z_{q1} + Z_{q11}}, \quad (4.4)$$

бурада  $Z_{q1}$  вя  $Z_{q11}$  – уйбун олага биринъи вя икинъи трансформато-рун гысагапанма там мцгавимятидир;

$U_{21}$  вя  $U_{22}$  – биринъи вя икинъи трансформаторларын номинал эярэинликляридир.

$Z_{q1}$  вѣ  $Z_{q11}$  ашаыда эюстярилян дцстурла щесабланыр:



**Шѣк. 4.10. Паралел ишляйян трансформаторларын садяляшдирил-миш явѣз схеми**

$$Z_{q1} = \frac{u_{q1} \cdot U_{21}}{100 \cdot I_1} ; \quad Z_{q11} = \frac{u_{q11} \cdot U_{22}}{100 \cdot I_{11}} , \quad (4.5)$$

бурада  $u_{q1}, u_{q11}$  – биринѣи вѣ икинѣи трансформаторун фаизля гысага-панта эярэинликляпидир (трансформаторларын цѣяриндяки лувщядя эюстярилир);

$I_1, I_{11}$  – биринѣи вѣ икинѣи трансформаторун номинал ѣярийан ларыдыр, А.

Яээр  $U_{21} = U_{22}, U_{21} - U_{22} = 0$ , йяни  $I_b = 0, U_{21} \neq U_{22}$  онда бярабярляндириѣи ѣярийаны (4.6) нѣзяря алмагла тѣйин етмяк олар :

$$I_b = \frac{U_{21} - U_{22}}{\frac{u_{q1} U_{21}}{100 \cdot I_1} + \frac{u_{q11} U_{22}}{100 \cdot I_{11}}}, \quad (4.6)$$

бурада  $U_{21}$  – биринъи трансформаторун номинал хятт эярэинлийи;

$I_1$  – биринъи трансформаторун номинал хятт ъяряяаны;

$U_{22}$  – икинъи трансформаторун номинал хятт эярэинлийи;

$I_{11}$  – икинъи трансформаторун номинал хятт ъяряяаныдыр.

(4.6) дцстуру имкан верир ки, щям бирфазалы, щям дя цч-фазалы трансформаторларын дюврясиндя йаранан бярабярляшдириъи ъяряяанын гиймятини тѡйин едяк.

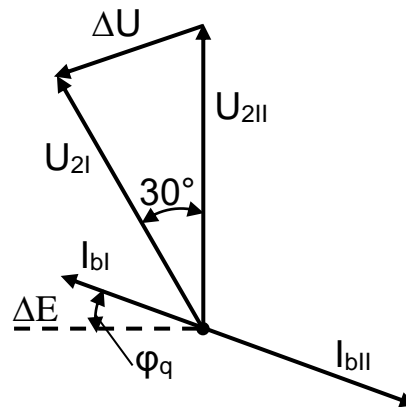
(4.6) дцстуруну цчфазалы трансформаторлар цчцн тятбиг етдикдя ашаъыдакылары нязря алмаг лазымдыр:

Эярэинликлярин бу гейри бярабярликляриндян йаранан бу ъяряян йцксцз ишлямя режиминдя эярэинлийи йцксяк олан долагдан эярэинлийи ашааѓи олан долаъа тѡряф ахыр. Трансформаторлар йцкляндикдя бярабярляшдириъи ъяряян онларын биринин йцк ъяряяанындан чыхылыр, диеяринин йцк ъяряяаны иля топланылыр. Одур ки, бу щала йол вермяк олмаз. Йяни бярабярляшдириъи ъяряян о гядяр буюцк гиймят ала биляр ки, трансформаторун долагларыны тѡццкяли дѡряъядя гыздыра биляр. Буна эюря паралел ишляйяъяк трансформаторларын трансформасийа ямсаллары арасында анъаг 0,5% фяргя йол вермяк олар.



2. Тутаг ки, паралел гошулан ики трансформаторун бирляшмя группары мцхтялифдир. Онлардан бири Й/Δ – ЫЫ, диэари ися Й/Й – 0 бирляшмя группа мянсуб олуб трансформасийа ямсаллары бярабярдир. Веля ики трансформаторун икинъи тяряф эярэинликляри цццн вектор диграмы шякил 4.11 – дя эюстярилмишдир.

Диаграмдан эюрцнцр ки, икинъи төгөф эярэинликляри гий-мятъя бярабяр олуб, фазаъа 30° фярглянир.



**Шяк. 4.11. Й/Й – 0 вя Й/Δ – ЫЫ бирляшмя группарында ися гошулан трансформаторларын икинъи тяряф эярэинликляринин вектор диаграмы**

Бунларын фярги:

$$\Delta U = 2U_2 \sin 15^\circ = 0,518U_2. \quad (4.7)$$

$\Delta U$  – нун тясириндян трансформаторлар арасында ахан бя-рабярляшдириъи тяряйанын гиймяти анъаг онларын гыса гапан-ма мцгавимятляри иля мящдудлашыр. Беля ки:

$$I_{\text{бяр}} = \frac{\Delta U}{Z_{q1} + Z_{q2}} .$$

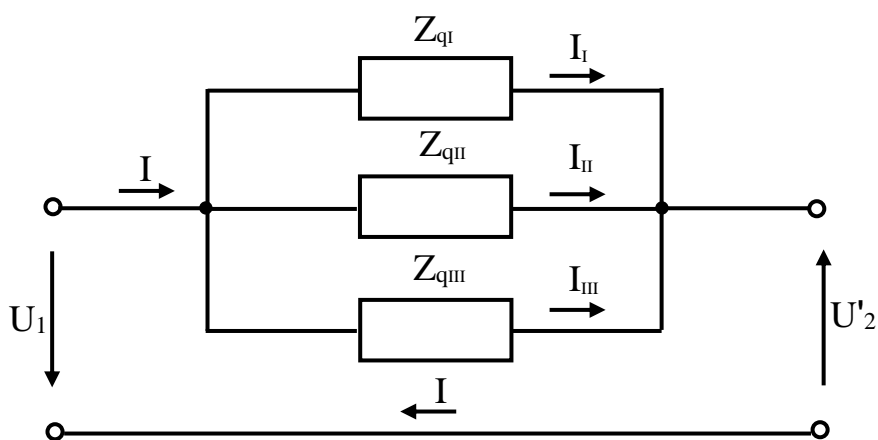
Нязря алсаг ки,  $Z_{q1*} = Z_{q*}'' = U_{q1*} = U_{q*}'' = 0,05$  , онда  
 тыря-йанын нисби гиймати:

$$I_{b*} = \frac{0,518 \cdot 1,0}{2 \cdot 0,05} = 5,18 .$$

Бея буюцк гийматли тыряян трансформатору дярщал сыра-дан чыхарыр. Одур ки, мцхтялиф бирляшмя группарына мянсуб олан трансформаторларын паралел ишлямясиня йол вермяк ол-маз.

3. Тутаг ки, паралел ишляйян трансформаторларын гысага-панма эярэинликляри мцхтялифдир ( $U_{qI} \neq U_{qII}$ ). Лакин онларын ейни бирляшмя группа мянсуб олуб, трансформасийа ям-саллары бярабярдир.

Трансформаторларын садяляшдирилмиш явяз схеминдян (шяк. 4.12)



**Шяк. 4.12.**  $u_q$  – лары мцхтялиф олан цч трансформаторун паралел

### ишинин садяляшдирилмиш схеми

$$I_I Z_{qI} = I_{II} Z_{qII} = I_{III} Z_{qIII}. \quad (4.8)$$

Мялумдур ки, паралел дюврялярдян ахан  
ъярйанлар ща-мысы дюврялярин  
мцгавимятляриня тярс мцтянасибдир:

$$I_I : I_{II} : I_{III} = \frac{1}{Z_{qI}} : \frac{1}{Z_{qII}} : \frac{1}{Z_{qIII}}. \quad (4.9)$$

(4.9) тянлийини ашаыдакы шякля салмаг олар:

$$I_I : I_{II} : I_{III} = \frac{I_{nomI}}{I_{nomI} Z_{qI}} : \frac{I_{nomII}}{I_{nomII} Z_{qII}} : \frac{I_{nomIII}}{I_{nomIII} Z_{qIII}}. \quad (4.10)$$

(4.10) ифадясинин сол тяряфини  $U_2 \cos \varphi_2$  – йя, саь  
тярйафини ися  $U_{nom}^2 / 100$  вурсаг:

$$P_I : P_{II} : P_{III} = \frac{S_{nomI}}{U_{qI}} : \frac{S_{nomII}}{U_{qII}} : \frac{S_{nomIII}}{U_{qIII}}. \quad (4.11)$$

(4.11) эюрцнцр ки, гысагапанма эярэинлийи  
кичик олан трансформатор даща чох йцклянир.

Демяли, цмуми йцкцн паралел гошулан  
трансформатор-ларын номинал эцсця мцтэнасиб  
олага пайланмасы ццн онларын гысагапанма  
эярэинликляри бярабяр олмалыдыр. Бу тялябин  
практики олага йериня йетирилмяси ццн  
паралел иш-ляйян трансформаторларын  
гысагапанма эярэинликляринин фяр-ги онларын  
орта сэвги гиймятинин  $\pm 10\%$ – дян артыг олмама-  
лыдыр.

Яэяр паралел ишляйян трансформаторларын гысагапанма эярэинликляри мцхтялифдирся, онда кичик  $u_q$  – сы, йяни кичик  $Z_q$  – сы олан трансформатор артыг йцклянир. Беля олмасын дейя паралел ишляйян трансформаторлар группунун цмуми йц-кцнц азалтмаг лазым эялир ки, бу да трансформаторларын го-йулуш эцъцндян там истифадя етмяйя имкан вермир.

Паралел ишляйян трансформаторларын гысагапанма эярэин-ликляринин  $u_{qa}$  вя  $u_{qr}$  мцряккябяляри бярабяр олмадыгда, онларын ъяряйянылары фазаѡа мцййян буѡаг гядяр фярглянир. Онда онларын цмуми йцк ъяряйяны бцтцн трансформаторларын ъяряйяныларынын вектор ѡяминя бярабяр олур ки, бу да онларын ѡябри ѡяминдян хейли кичик алыныр. демяли бу шалда да трансформаторларын номинал эцъцндян там истифадя олунмур.

Буйцк эцълц трансформаторларда  $u_{qr}$  буйцк,  $u_{qa}$  ися кичик олур. Одур ки, номинал эцъляринин нисбяти цчдян чох олан трансформаторларын паралел ишя гошулмасы мяслящят эюрцл-мцр.

## **5. TRANSFORMATORLARDA KEÇİD PROSESLƏRİ VƏ QEYRİ – SİMMETRİK İŞ REJİMLƏRİ**

Трансформаторларда кечид просесляри онун бир гярарлаш-мыш иш режиминдян диэяр гярарлашмыш иш режиминя бирдян кечдикдя баш верир. Адятян, бу кечид чох гыса мцддятдя олур, анѡаг буна бахмайараг о трансформатор цчцн чох тящлцкяли щадисялярля мцщащидя едиля биляр (долагларын щяддян артыг гызмасы, айры – айры

долаг щиссяляри арасында эярэинлийин гейри – мцнтязям пайланмасы, долаглар вя онун щиссяляри арасында буюцк механики гцввялярин йаран-масы вя с.). Буна эюрядя трансформатору лайищяляндирдик-дя, онун истисмары заманы баш вермя ещтималы олан кечид просесляри нязря алынмалыдыр.

### **5.1. Трансформаторун икинъи тяряф долабынын сыхаъларында гысагапанма режими**

Трансформаторларда гысагапанма режими яксяр щалларда щябьякянин зядялянмясиндя, икинъи тяряф дуюрсяиндяки апарат вя диэяр гурьуларын насазлыыындан, арагис ищчинин сящв щярякятиндя вя с. баш верир. Гысагапанма заманы буюцк гиймятли ъяряянлар йараныр ки, бу да долабын меха-ники зядялянмясиня вя йа онун температурунун бирдя артмасына сябьб олур, нятиъядя долабын изолъасийасы дешиля биляр.

Гысагапанма ъяряяанынын гиймятини трансформаторун са-дялящдирилмищ явяз схеминдя (щяк. 5.1,а) истифадя етмякля тьяин етмяк олар. Садялик ццн беля гябул едирик ки, щябья-кянин эярэинлийи трансформаторун ъяряяанындан асылы дейил, онда эюстярилян схем ццн ашаьыдакы дифференциал тьянлийи алырыг:

$$L_q \frac{di_q}{dt} + R_q i_q = U_{1m} \sin(\omega t + \alpha_0), \quad (5.1)$$

бурада  $L_q = (x_1 + x_2') / \omega = X_q / \omega$  – трансформаторун  
dolaqlarının

гысагапанма                      заманы                      цмуми

индуктивлийи;

$R_q = R_1 + R'_2$  - долагларын гысагапанма заманы цмуми

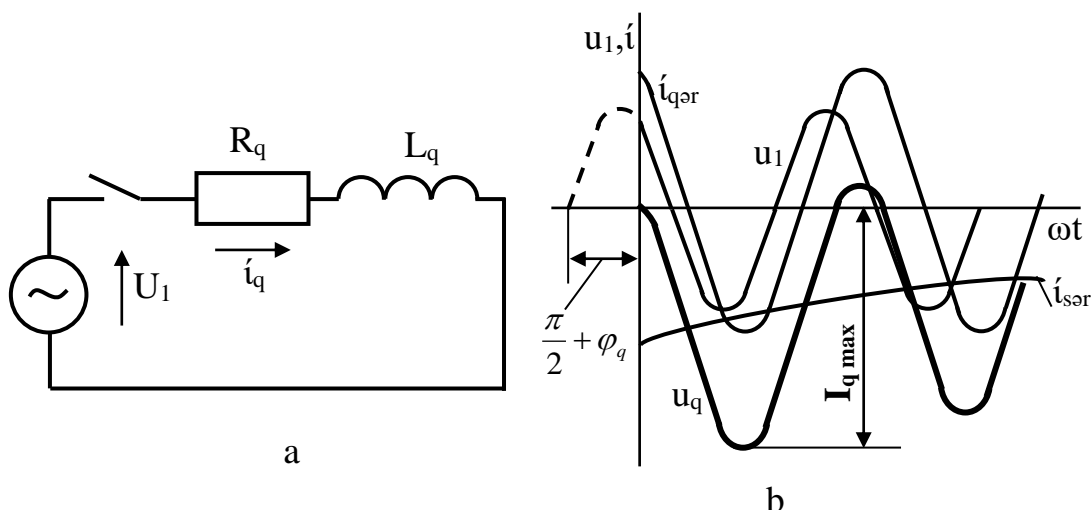
актив тцгавимяти;

$U_{1m} \sin(\omega t + \alpha_0)$  - гысагапанма моментиндя трансформа-

торун биринъи тяряф долабынын сыхаъларындакы эярэинлик;

$\alpha_0$  - гысагапанма моментиндя эярэинлийин ъари гиймятини

тяйин едян буъагдыр.



**Шяк. 5.1. Трансформаторун явяз схеми (а) вэ гысагапанма**

**заманы ъаряйанын вя эярэинлийин даяишмясини яйриляри (b)**

Електротехниканын нязяри ясаслары курсундан мялумдур ки, бу тянлийин щялли ики мцряккъябнinin ъяминдян ибарятдир:

$$i_q = i_{\text{гяр}} + i_{\text{сәр}}, \quad (5.2)$$

бурада  $i_{\text{гяр}} = (U_{1m} / Z_q) \sin(\omega t + \alpha_0 - \varphi_q) = \sqrt{2} \cdot I_{\text{гяр}} \sin(\omega t - \alpha_0 - \varphi_q)$  - гысагапанманын гярарлашмыш синусоидал

ъярайаны;

$$\varphi_q = \arctg(X_q / R_q) \quad - \quad \text{гярарлашмыш режимдә}$$

ъярайанын номи-

нал эярэинликдән эери галмасыны нязря алан  
буъагдыр;

$$i_{\text{сәг}} = C e^{-(R_q t / L_q)} \quad - \quad \text{апериодик характерли сярбәст}$$

ъярайандыр.

Интеграллама сабити  $T$  - ны тапмаг цццн  
башланьыгъ шяртля-рдян истифадя едирик.  $t = 0$   
олдугда, шяртя эюря  $i_q = 0$  олма-лыдыр. Онда йаза  
биярик ки,

$$i_q = i_{\text{гяр}} + i_{\text{сәг}} = \sqrt{2} \cdot I_{q,\text{гяр}} \sin(\alpha_0 - \varphi_q) + C = 0 ,$$

бурада  $C = -\sqrt{2} \cdot I_{q,\text{гяр}} \sin(\alpha - \varphi_q)$  .

Онда гысагапанма ярайаны

$$i_q = \sqrt{2} I_{q,\text{гяр}} \left[ \sin(\omega t + \alpha_0 - \varphi_q) - \sin(\alpha_0 - \varphi_q) e^{-(R_q t / L_q)} \right]. \quad (5.3)$$

(5.3) тянлийиндән эюрцнцр ки,  $\alpha_0 = \varphi_q$  олдугда  
гысагапан-ма ярайанын сярбәст мцряккябәси  
йаранмыр, йяни башлан-ыгъ моментдә  
гысагапанма ярайаны гярарлашмыш гиймят  
алыр. Яэяр  $\alpha_0 = \pi / 2 + \varphi_q$  оларса, бу заман  
гысагапанма я-райанын сярбәст мцряккябәси  
ян буюцк гиймят алыр.

Бу трансформатор цццн (шяк. 5.1,b) ян горхулу  
режим ад-ланыр, она эюря ки, кечид просесинин

тържяйаны тяхминян гы-сагапанма баш вердикдян йарымпериод сонра, йяни  $\omega t = \pi$  олдугда максимум гиймят алыр.

$$\alpha_0 = \pi/2 + \varphi_q \text{ в } t = \pi/\omega - \text{нын гиймятлярини (5.3)}$$

тянли-йиндя йериня йазсаг:

$$I_{q.\max} = -\sqrt{2} \cdot I_{г.гяр} \left[ 1 + e^{-(R_q/X_q)^\pi} \right], \quad (5.4)$$

бурада  $I_{q.\max}$  – гысагапанманын зярбя тържяйаныдыр.

$I_{q.\max} / (\sqrt{2} \cdot I_{г.гяр}) = k_z$  – нисбяти гысагапанма тържяйаныны зярбя ямсалы адланыр. Буюцк эцълц трансформаторларда  $R_q/X_q \approx (1/10 \dots 1/15)$  олдуьуна эюря  $k_z = 1,7 \dots 1,8$ , орта эцълц трансформаторларда  $k_z = 1,2 \dots 1,3$  олур. Кичик эцълц трансформаторларда актив мцгавимят индуктив мцгавимят-дян буюцк олдуьундан кечид просесини нязрядян атмаг олар, она эюря ки,

$$e^{-(R_q/X_q)^\pi} \approx 0.$$

Сонсуз буюцк эцълц шыбьякядян  $U_{1nom}$  эярэинликли елек-трик енегжиси иля гидаландырылан трансформаторун гярарлашмыш гысагапанма тържяйаныны онун номинал тържяйаны иля ифадя etsäk:

$$I_{q.гяр} = (U_{1nom}/Z_q)(I_{nom}/I_{nom}) = I_{nom} U_{1nom}/U_q = 100 \cdot I_{nom}/u_q. \quad (5.5)$$



Реал иш шяраитиндя трансформаторлар эцъц мящдуд олан шябьякялярдя гидаландырылдыгларындан  $I_{q.гяр}$  ъяряйаны шябьякянин реактив мцгавимятини нязря алан дцстурла щесаб-ланыр:

$$I_{q.гяр} = 100 \cdot I_{ном} / \left\{ u_q \left[ 1 + 100 \cdot S_{ном} / (u_q S_q) \right] \right\}, \quad (5.6)$$

бурада  $S_{ном}$  – трансформаторун номинал эцъц;

$S_q$  – шябьякянин гысагапанма эцъцдцр.

Орта вя буюцк эцълц трансформаторларда  $u_q = 5...15\%$  олдуьундан гярарлашмыш гысагапанма ъяряйаны номинал ъяряяндан 6...20 дяфя буюцк олур. ДЦИСТ- я эюря эцъ трансформаторлары зядялянмядян  $I_{q.гяр} = 25 \cdot I_{ном}$  ъяряяана давам эятирмялидирляр. Кичик эцълц трансформаторларда  $I_{q.гяр} / I_{ном}$  нисбяти буюцк эцълц трансформаторларла мцга-йисядя чох кичик олур.

Трансформаторун гысагапанмасынын, гысамцддяти олма-сына бахмайараг онун долагларынын температуру изолйаси-йанын зядяляньяйи щяддя чата биляр. Долагларын гысамцд-дяти гызмаларына эюря мцяййян едилмиш щядляр щяля ки, йохдур.  $200...250^\circ\text{Ъ}$  температур бурахыла билян сайылыр, амма  $200^\circ\text{Ъ}$  кянара чыхмамаг даща йахшы сайылыр. Тях-мини щесабламалара эюря долаг температурунун  $250^\circ\text{Ъ}$  – дяк чатмасына гядяр кечян мцддят  $t_r$  (сан) мис долаглар цццн ашаьыдакы дцстурла тйин олунур

:

$$t_q \approx 2,5(u_q / \Delta_q)^2. \quad (5.7)$$

Алцминиум долабын температурунун 200°Ъ чатмасына гядяр кечян мцддят:

$$t_q \approx 0,56(u_q / \Delta_q)^2, \quad (5.8)$$

бурада  $\Delta_q$  – гысагапанма заманы тъярйанын сыхлыыдыр.

Мис вя алцминиум долаглы йаьлы трансформаторларда гыса-гапанманын давамиййяти 5 сапуэдян чох олмамалыдыр. Она эюря гысагапанмаларда мцасир тъялдишляйян мцщафизя аппаратлары трансформатору шябьякядян долабын температуру-нун гызма щяддиня чатмасындан чох тез ачырлар.

## **5.2. Трансформатору шябьякяйя йцксцз гошдугда йаранан кечид просеси**

Їкинъи тъярф долабынынын сыхаъларынынын уълары ачыг щалда трансформатору шябьякяйя гошдугда онун биринъи тъярф до-лабындан йцксцз ишлямя тъярйаны ахыр, буда долабын но-минал тъярйанын бир нечя фаизини тяшкил едир. Лакин транс-форматору номинала йахын эярэинликли шябьякяйя гошдугда кечид просеси баш верир, бу мцддят ярзиндя ямяля эялян тъярйанын тьяканлары номинал тъярйандан бир нечя дяфя чох

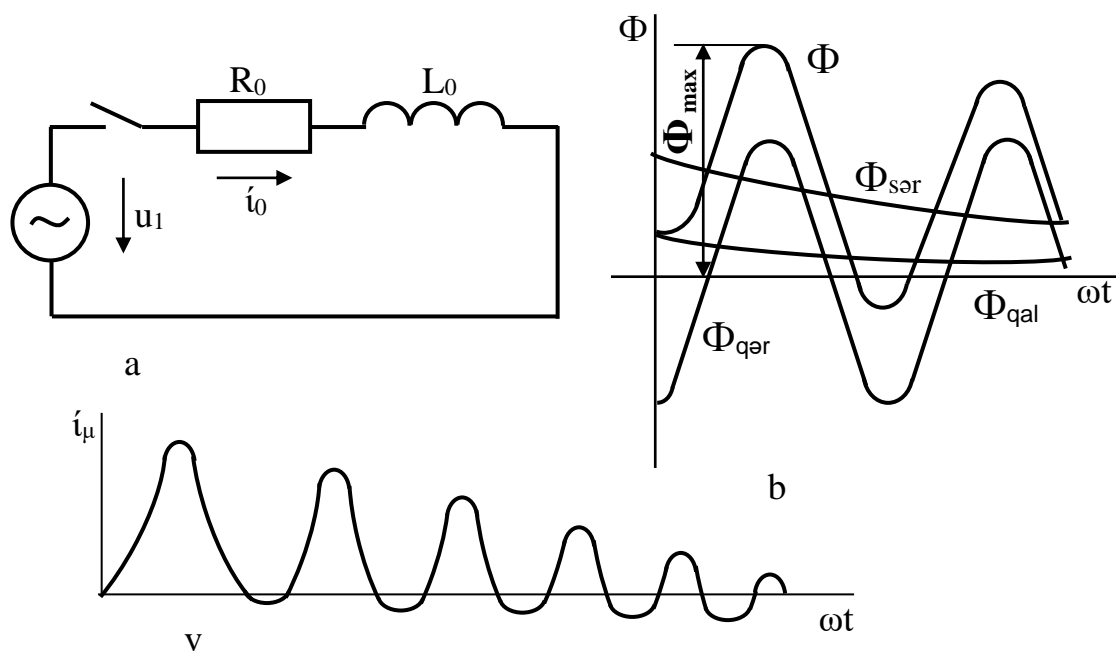
ола бияр.

Инди ися трансформаторун икинъи тьярф долабы ачыг щалда ( $I_2 = 0$ ) ону шьябьякья гошдугда тьярйанын бирдян артма-сынын сьябьялярини айдынлашдыраг.

Трансформаторун йцксцз ишлямя явяз схеминдян (шякил 5.2, а) истифадя едяряк ашаьыдакы дифференциал тьянлийи тьяртиб етмяк олар:

$$L_0 di_0 / dt + R_0 i_0 = U_{1m} \sin(\omega t + \alpha_0) . \quad (5.9)$$

Бу тьянлик структура эюря (5.1) тьянлийиня охшардыр вя ондан  $L_0$  вя  $R_0$  ямсалларына эюря ( $L_q$  вя  $R_q$  – нын явязи-ня) фьярглянир. Лакин ону истифадя етмяк олмаз, чцнки  $L_0$  поладда гапанан дьяйишян магнит сели иля тьяйин олунур вя дьяйишян кямийятдир.



**Шяк. 5.2. Трансформаторун явяз схеми (а) йцксцз трансформатору шьябьякья гошдугда магнит селинин**

(б) в я

магнитляшдириги таярланын (v) даяишмя  
яйриляри

(5.9) таянлийиндя и<sub>0</sub> даяишянинин явзяиня  $\Phi$   
даяишянини да-хил етмяк даща сямьярили  
олдуьуна эюра в я гябул етсаяк ки  $L_0 i_0 = W_1 \Phi$ , онда  
алырыг:

$$W_1 d\Phi/dt + W_1(R_0/L_0)\Phi = U_{1m} \sin(\omega t + \alpha_0). \quad (5.10)$$

Яээр фярз етсаяк ки,  $L_0 = const$  о заман бу таянлийин  
тягриби щялли мцмкцн олур. Бу щалда хята чох  
кичик олур, чцнки,  $R_0 \ll \omega L_0$ . Онда таянлийин щялли  
аналожи олараг (5.9) таянлийи-нин щялли кимидир  
:

$$\Phi = \Phi_{qer} + \Phi_{ser} = \Phi_m \sin(\omega t + \alpha_0 - \varphi_0) + C e^{-(R_0/L_0)t}, \quad (5.11)$$

$\omega L_0 \gg R_0$  олдуьундан  $\varphi_0 \approx \pi/2$  онда

$$\Phi = -\Phi_m \cos(\omega t + \alpha_0) + C e^{-(R_0/L_0)t}. \quad (5.12)$$

Интеграллама сабитини башланьыг шяртляря  
эюра таяин еди-рик:  $t = 0$ , магнит сели

$$\Phi = \pm \Phi_{qal}$$

бурада  $\Phi_{qal}$  – галыг магнит сели олуб, бязян онун гиймяти  
 $0,5 \Phi_m$

ола бияр.

Онда интеграллама сабити  $C = \Phi_m \cos \alpha_0 \pm \Phi_m$  олур.

(5.12) тьянлийиндя  $\Phi$  – нин ифадясини йериня йазсаг:

$$\Phi = -\Phi_m \cos(\omega t + \alpha_0) + (\Phi_m \cos \alpha_0 \pm \Phi_{qal}) e^{-(R_0/L_0)t}, \quad (5.13)$$

(5.13) тьянлийиндя эюрцнцр ки, трансформаторда ян ялве-ришли ишыгошулма шяраити  $\alpha_0 = \pi/2$  вя  $\Phi_{qal} = 0$

$$\Phi = \Phi_m \sin \omega t. \quad (5.14)$$

Демяли, трансформаторун ишыгошулмасынын биринги мо-ментдян дярцал гярарлашмыш режимя уйбун олан магнит сели йараныр. Трансформатору ишы гошдугда ян ялверишсиз шяраит  $\alpha_0 = 0$  олдугда алыныр. Бу заман

$$\Phi = -\Phi_m \cos \omega t + (\Phi_m + \Phi_{qal}) e^{-(R_0/L_0)t}. \quad (5.15)$$

Бу щалда трансформатор ишы гошулдугдан йарым period сонра магнит сели максимум (щяк. 5.2, б) гиймяти алыр:

$$\Phi_{\max} \approx 2\Phi_m + \Phi_{qal} \approx (2 \dots 2,5)\Phi_m. \quad (5.16)$$

Бу щцр магнит селинин йаранмасы щццн лазым олан маг-нитлящдириги тьяряян  $I_{\mu.\max}$ , гярарлашмыш йцксцз ишылямя тья-ряяанынп амплитудундан 10 вя 100 дяфя буюцк ола биляр

(шяк. 5.2, б). Бу да трансформаторун поладынын доймасы иля изащ олунур.

Цмумийятля, ишя гошма тъяряяны трансформатор цццн билаваситя тъящцкяли дейил, лакин о, трансформаторун шябя-кядян ачылмасына сябяб ола биляр.

Буна эюря мцщафизя апаратлары еля щесаблианмалыдыр ки, трансформаторун шябякядян сящв ачылмасынын гаршысы алынсын.

### **5.3. Ццфазалы трансформаторларын гейри – симметрик иш режимләги**

Трансформаторларда гейри – симметрик иш режимляри ясаян бирфазалы електрик ишлядиъиляринин фазалар арасында симметрик пайланмамасы вя трансформатордан гидаланан електрик шя-бякяляриндя гейри – симметрик гысагапанмалар баш вермя-си нятиъясиндя (бирфазлы,  $ikifazalı$ , ики фазын йерля гапанма- $s_1$  вя с.) йараныр.

Айры – айры фазаларда тъяряянларын гейри – симметриклійи фаз вя хятт эярэинликляринин гейри – симметриклииня сябяб олур. Бу да електрик ишлядиъиляринин ишиня пис тясир эюстярир.

Гейри – симметрик эярэинликдя дяйишян тъяряян мцщяр-рикляринин эцъц азалыр, електрик ишыгланмасы лампаларынын нормал иш режими писляшир вя с. Бундан ялавя трансформато-рун юзцндя ялавя иткилярин йаранмасы нятиъясиндя онун ФИЯ азалыр вя

tüəuəп йерлярдя температур хейли артыр.

Буна зюря трансформаторларын гейри – симметрик иш режим-ляринин юйрянилмяси бюйцк практики ящямийят кясб едир.

Трансформаторларын гейри – симметрик иш режимлярини юй-рянмяк цццн трансформатор нязярийясиндя бир нечя цсул-дан истифадя едилир вя бунлардан ян чох ишлядилян симметрик мцряккябяляр цсулудур. Бу цсулун мяъзи ондан ибарятдир ки, щяр щансы бир цчфазалы гейри – симметрик ъяряянлар вя йа эярэинликляр системини цмуми щалда цч симметрик ъяря-йан вя йа эярэинлик системиня фазаларын дцз, якс вя сыфыр ардыъыллыгылы системляринэ, йа да гыса olmaqdan ötrü düz, якс вя сыфыр ardıcılıqlı системляриня айырмаг олар. Щяр цч систем айры – айрылыгда мцстягил олагаг юйрянилир вя сонра гондарма цсуундан истифадя едяряк уйбун нятиъяляр тапы-лыр.

Симметрик мцряккябяляр цсулунун рийази мянасы ондан ибарятдир ки, verilmiş real kordinat системи а, б, ъ щяр щансы бир, мясялян, 1, 2, 0 координат истеми иля явяз едилир. Беля ки, бу йени координат системиндя верилмиш режимин юйрянилмяси илкин координат системиня нязярян садя олур.

Бир координат системиндян диэяр координат системиня кечмя хятти чеврилмяляр нязярийясиня яасланыр вя уйбун ялагя тянликляри васитясиля апарылыр.

Мясялян, а, б, ъ координат системиндян 1, 2, 0 координат системиня вя йа яксиня кечмя ашаъыдакы ялагя тянликляриня яасян апарылыр:

$$\left. \begin{aligned} \underline{I}_a &= \underline{I}_{a1} + \underline{I}_{a2} + \underline{I}_{a0}; \\ \underline{I}_b &= a^2 \underline{I}_{a1} + a \underline{I}_{a2} + \underline{I}_{a0}; \\ \underline{I}_c &= a \underline{I}_{a1} + a^2 \underline{I}_{a2} + \underline{I}_{a0}. \end{aligned} \right\} \quad (5.17)$$

$$\left. \begin{aligned} \underline{I}_{a1} &= \frac{1}{3}(\underline{I}_a + a \underline{I}_b + a^2 \underline{I}_c); \\ \underline{I}_{a2} &= \frac{1}{3}(\underline{I}_a + a^2 \underline{I}_b + a \underline{I}_c); \\ \underline{I}_{a0} &= \frac{1}{3}(\underline{I}_a + \underline{I}_b + \underline{I}_c). \end{aligned} \right\} \quad (5.18)$$

бурада  $a = e^{j\frac{2\pi}{3}}$ ;  $a^2 = e^{j\frac{4\pi}{3}}$ ;  $1 + a + a^2 = 0$ ;

$\underline{I}_a, \underline{I}_b, \underline{I}_c$  – гейри-симметрик тьярйанлар системи;

$\underline{I}_{a1}, \underline{I}_{b1} = a^2 \cdot \underline{I}_{a1}, \underline{I}_{c1} = a \cdot \underline{I}_{a1}$  – дцз ардыгыллыгылы симметрик

тьярйанлар системи;

$\underline{I}_{a2}, \underline{I}_{b2} = a \cdot \underline{I}_{a2}, \underline{I}_{c2} = a^2 \cdot \underline{I}_{a2}$  – якс ардыгыллыгылы симметрик

тьярйанлар системи;

$\underline{I}_{a0} = \underline{I}_{b0} = \underline{I}_{c0}$  – сыфыр ардыгыллыгылы симметрик тьярйанлар

системидир.

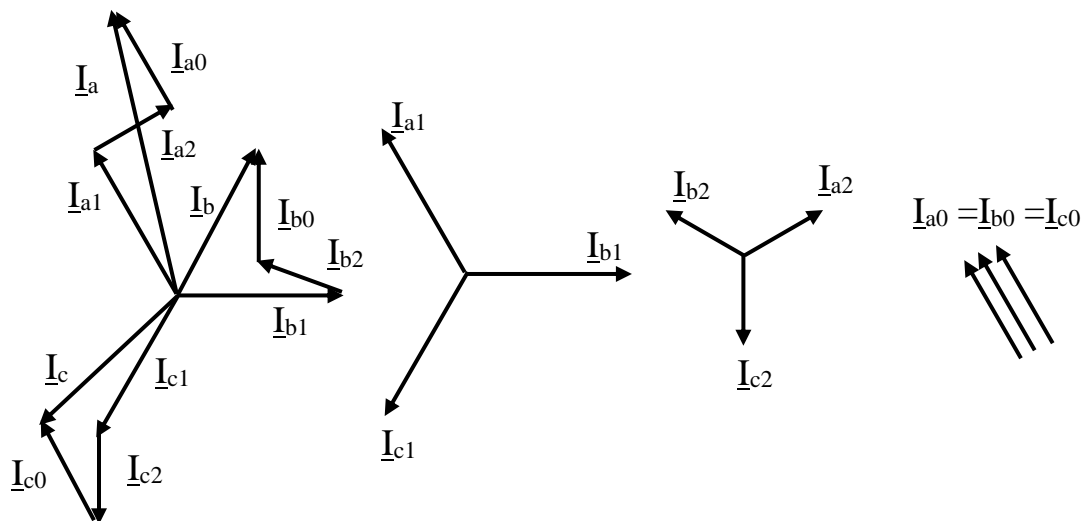
(5.17) вя (5.18) тянликлярини аналожи оларак гейри – симметрик фаза эярэинликляри системи цчцн дя йазмаг олар. Симметрик мцряккябляяр цчцн гурулмуш вектор диаграмлары шякил 5.3 – дя эюстярилмишдир.

Индии ися трансформаторун гейри – симметрик йцк режими иля таныш олаг. Беля бир режимдя трансформаторун долагла-рындан дцз, якс вя сыфыр ардыгыллыгылы сярйаулар ахир.

Дцз вя якс ардыгыллыгылы тьярйанлар цчфазалы



симметрик ыярйанлар системи олдуьундан онлар трансформаторун бир долаьындан диэариня трансформасийа олунур вя трансформаторун бу ыярйанлара нязрян юлцц апарылмасы тамамия ади симметрик режимдя олдуьу кимидир.



**Шяк. 5. 3. Гейри – симметрик ыярйанлар системинин симметрик мцрякьябяляря айрылмасы**

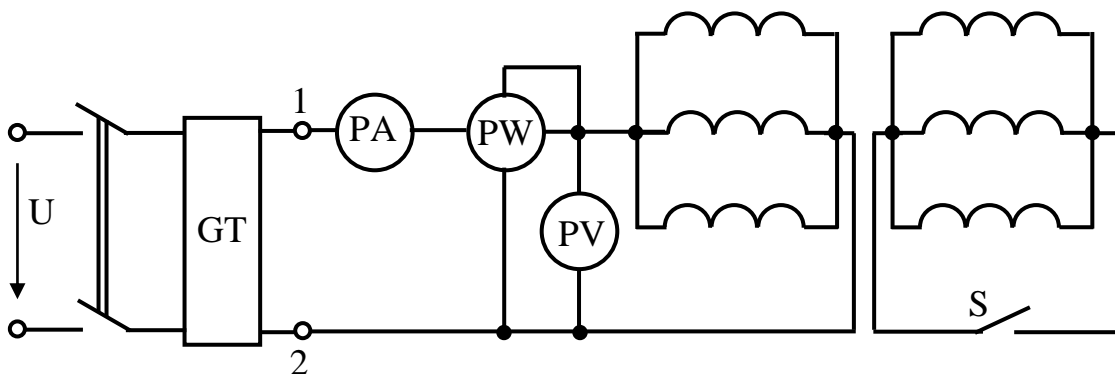
Буна эоря дя трансформаторун дцз вя якс ардыьыллыглы ыярйанлара гаршы там мцгавимятляри уйьун оларац  $Z_1$  вя  $Z_2$  симметрик йцк режиминдя олдуьу кими  $Z_q$  – йа бярабяр олур.

Сыфыр ардыьыллыглы мцрякьябяляр ццн бу фикри суйлямяк дцзэцн олмаз, чцнки, сыфыр ардыьыллыглы ыярйанларын бир долагдан диэар долаьа трансформасийа олунмасы щям трансформаторун долагларынын бирляшмя схеминдя вя щям дя трансформаторун магнит кечириъисинин гурулушундан асылы-дыр.  $Z_0 = r_0 + jX_0$  параметрляри трансформаторун ясас пара-

метрляриндян бири сайылыр вя онларын тьяини цчцн практикада щесаблама вя тьярцбья цсулларындан истифадя едилир.

Сыфыр ардыгыллыгы мўқавимәтләри тьярцбья цсулу иля тьяин етмяк цчцн долаглардан  $I_a = I_b = I_c = I_{a0}$  тьяряйанлары ахыт-маг лазымдыр.

Яээр трансформатор  $Y_0/Y_0$  бирляшмя схеминя маликдирся шяк. 5.4 – дяки схем йігілір. 1 – 2 сыхагларына еля бирфазалы дэйишян эярэинлик верилир ки, фаза долагларында ахан тьяря-йанлар номинал гиймятиндян артыг олмасын. Яээр тьярцбья  $Y_0/Y$  бирляшмя схеминя малик олан трансформаторда апа-рылырса тьярцбья заманы С ачары ачыг сахланылыр ( $Y_0/Y_0$  бир-ляшмя схеминдя С ачары бағлі сахланылмалыдыр).



**Шяк. 5.4.  $Y_0/Y_0$  бирляшмядя сыфыр ардыгыллыгы мцгавимятин тьяини схеми**

Тьярцбьянин эедишаты заманы U, Ы, П параметрляр юлчцлцр вя лазым мцгавимятляр ашагыдакы дцстурларын кюмяйи иля тьяин едилир:

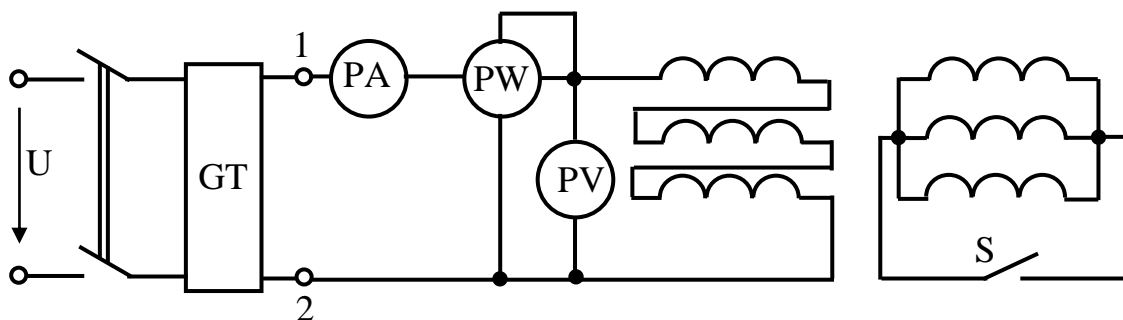
$$Z_0 = 3U/Y; r_0 = 3P/Y^2; X_0 = \sqrt{Z_0^2 - r_0^2}.$$

Чох буюк эцлц трансформаторларда  $r_0 \ll X_0$  олдуьундан адятян  $Z_1 \approx X_0$  гябул едилир.

Яэяр трансформаторун бирляшмя схеми  $Y_0/\Delta$  вя йа  $\Delta/Y_0$  оларса бу заман шякил 5.5-дя эюстярилмиш схем йыьылыр вя мцгавимятляр ашаьыдакы дцстурларын кюмяйи иля тьяин едилир:

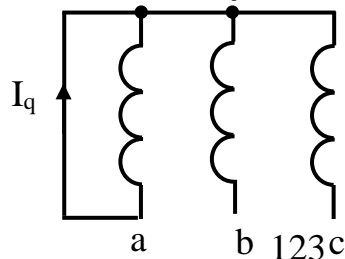
$$Z_0 = U/3Y; r_0 = P/3Y^2; X_0 = \sqrt{Z_0^2 - r_0^2}.$$

Инди ися мисал цццн бирфазалы гярарлашмыш гысагапанма режимини арашдыраг.



**Шяк. 5.5.  $Y_0/\Delta$  бирляшмядя сыфыр ардыгыллыгы мцгавимятин тьяини схеми**

Тулаг ки,  $Y/Y_0$  бирляшмя схеминя малик олан А В С трансформаторун икинъи фазасында верир а гысагапанма баш (шякил 5.6).



## Шяк. 5.6. Бирфазалы гысагапанма схеми

Илкин верилянляр :

$$I_a = I_q ; \quad I_b = I_c = 0 ; \quad U_a = 0 .$$

(5.17) систем тянликляриндян истифадя едяряк дцз, якс вя сыфыр ардыгыллыгы тъярайанлары тыйин едяк:

$$\left. \begin{aligned} I_{a1} &= \frac{1}{3}(I_a + aI_b + a^2I_c) = \frac{1}{3}I_q ; \\ I_{a2} &= \frac{1}{3}(I_a + a^2I_b + aI_c) = \frac{1}{3}I_q ; \\ I_{a0} &= \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c) = \frac{1}{3}I_q . \end{aligned} \right\}$$

(5.17) ялагя тянликляриндян истифадя едяряк йазмаг олар:

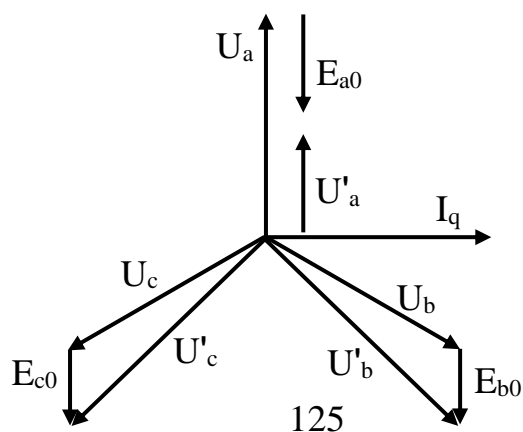
$$\begin{aligned} I_a &= I_q = I_{a0} + I_{a1} + I_{a2} = I_{a0} + I'_a ; \\ I_b &= I_{b0} + a^2I_{b1} + aI_{b2} = I_{b0} + I'_b ; \\ I_c &= I_{c0} + aI_{c1} + a^2I_{c2} = I_{c0} + I'_c . \end{aligned}$$

Билирик ки,  $I'_a$ ,  $I'_b$ ,  $I'_c$  симметрик тэряйанлари трансформато-рун икинъи тэряфиня трансформасийа олунур, буна эюра дя бу тэряйанлар тэряфиндян щяр ики долагда йарадылмыш МЩQ – ляр бир – бирини таразлайыр.

$I_{a0}$ ,  $I_{b0}$ ,  $I_{c0}$  тэряйанлары трансформаторун икинъи тэряфиня трансформасийа олунмадыгларындан юз магнит селлярини йарадыра вя бунларда фазаларда сыфыр ардыгылыгы  $E_{a0}$ ,  $E_{b0}$ ,  $E_{c0}$  Е.Н.С. – ни индуксийалайыр.

Шякил 5.7 –дян эюрандцц кими  $E_{a0}$ ,  $E_{b0}$ ,  $E_{c0}$  Е.Н.С. –ляри икинъи тэряф фаза эярэинликляринин симметриклийини по-зур, йяни гысагапанма баш верян фазанын фаза эярэинлийи азалыр.

Саьлам фазаларын фаз эярэинлийи ися гиймятъя артыр. Гейри – симметриклик дяряъяси билаваситя  $E_0$  –ын, йяни  $\Phi_0$  гиймя-тиндян асылыдыр. Мясялян, груп трансформаторунда  $E_0$  Е.Н.С. фаз эярэинлийиня бярабяр олдуьундан саьлам фазла-рын эярэинлийи  $\sqrt{3}$  дяфя артыр, йяни хятт эярэинлийиня бярабяр олур. Бу  $Y/Y_0$  схеми иля бирляшилмыш трансформаторун ян бюйцк мянфи тэщятидир.



### **Шяк. 5.7. Фаза эярэинликляри симметриклиийинин позулмасы**

Бу сябябя эюра  $Y/Y_0$  бирляшмя схеминя малик групп транс-форматорлары тяърцбядя тятбиг едилмир. Яэяр трансформатор  $Y_0/\Delta$  бирляшмя схеминя малик оларса, бу заман йухарыда эюстярилян мянфи въщят арадан эютцрцлмцш олур.

## **6. TRANSFORMATORUN XÜSUSİ NÖVLƏRİ**

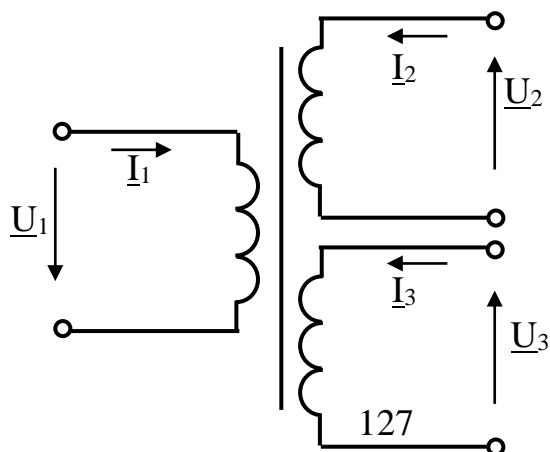
## 6.1. Чохдолаглы трансформаторлар

Чохдолаглы трансформаторларда чубуьун цзяриндя икидян чох вя сарьылар сайы мцхтялиф олан долаглар йерляшдирилер. Бу да бир трансформатордан бир нечя мцхтялиф эярэинлик ал-маьа вя гурашдырылан трансформаторларын сайыны азатмаьа имкан верир. Ву нюв трансформаторлар бирфазлы вя ццфазлы щазырланг.

Кичик эцълц чохдолаглы трансформаторлар радиотехникада вя автоматикада эениш тятбиг олунур. Бунлардан эцъ трансформаторлары кими ян чох истифадя олунанлардан бири ццдо-лаглы трансформаторлардыр.

Цмуми щалда чохдолаглы трансформаторларын долаглары мцхтялиф номинал эцъя малик олурлар вя трансформаторун цзяриндя гурашдырылмыш лювщядя эюстярилер. Трансформатор-ун номинал эцъц кими ян буюцк эцълц долаьын эцъц гябул едилер. Щохдолаглы трансформаторларын ишини тящлил едяркян тъяряянлары, эярэинликляри вя галан долагларын мцгавимят-лярини бу долаьын сарьылар сайына эятирирляр.

Чохдолаглы трансформаторун иш просесиня бир биринтъи (ян буюцк эцълц долаг) вя ики икинтъи долаьа малик олан ццдо-лаглы трансформаторун (щяк. 6.1) мисалында бахаг.



### Шяк. 6.1. Ццдолаглы трансформаторун схеми

Бея трансформаторлар ян чох енерзетик системлярдя йа-йылмышдир.

Язяр икинъи тяряф долагларын уъларыны ачыг щалда биринъи долаба зярэинлик верилирся, йцксцз ишлямя режими алынар вя трансформасийа ямсалларыны тьяин етмяк олар:

$$K_{12} = U_1 / U_2; K_{13} = U_1 / U_3; K_{23} = U_2 / U_3 .$$

Ясас магнит селини йарадан нятиъяви МЩГ  $F_0$  – си бцтцн долаглардакы МЩГ – нан щяндяси тьяминя бярабярдир:

$$\underline{F}_1 + \underline{F}_2 + \underline{F}_3 = \underline{I}_1 W_1 + \underline{I}_2 W_2 + \underline{I}_3 W_3 = \underline{F}_0 . \quad (6.1)$$

Биринъи тяряф долабына верилян зярэинлик  $U_1 = const$  гий-мятдя йцксцз ишлямядян номинала қэдәр вә ондан бир не-қә артиқ үйкләнмә режимләринә кими трансформаторун иш просесиндя ясас магнит сели вя еляъя дя МЩГ  $F_0$  практики олараг сабит галыр. Онда магнитлящдириъи тяряйанын йцксцз ишлямя тяряйанына  $I_0$  бярабяр олмасыны гябул етмяк олар:

$$F_0 = I_0 W_1 = const . \quad (6.2)$$



(6.1) ифадясини  $W_1$  бюлцб вя (6.2) нязря алсаг онда йаза билярик:

$$I_1 + I'_2 + I'_3 = I_0 ; \quad (6.3)$$

вя йа

$$I_1 = I_0 - (I'_2 + I'_3) , \quad (6.4)$$

burada  $I'_2 = I_2 W_2 / W_1$  вэ  $I'_3 = I_3 W_3 / W_1$  икинъи вя цчцнъц долаьын би-ринъи долаьын сарьылар сайына эятирилмиш ъяряянлардыр.

$I_0$  ъяряяаны номинал ъяряяанын 0,3...10% тяшкил етдийин-дян ону тяхминян  $I_0 = 0$  бярабяр гябул етсак онда алырыг:

$$I_1 \approx -(I'_2 + I'_3) . \quad (6.5)$$

(6.5) ифадясиндян эюрцнцр ки, икинъи тяряф долагларда ъя-ряян артарса онда биринъи тяряф долаьында да ъяряян арта-ъагдыр.

(6.5) бярабярлийини вя еляъядя икинъи тяряф долагларынын ейни заманда номинал йцкля ишлямядиклярини нязря ала-раг биринъи долаьы икинъи долагларын номинал эцъляринин ъя-брі ъяминдян кичик эцъя щесаблаьырлар. Бу щал ццдолаглы трансформаторун тятбигинин игтисади сямьярилиийини айдын эюстярир.

Йцк режими цчцн эярэинликлярин вя ъяряянларын мцвази-пяти тянликлярини йазсаг:

$$\left. \begin{aligned} \underline{U}_1 &= -\underline{E}_1 + \underline{I}_1 Z_1; \\ \underline{E}'_2 &= \underline{U}'_2 + \underline{I}'_2 Z'_2; \\ \underline{E}'_3 &= \underline{U}'_3 + \underline{I}'_3 Z'_3; \\ \underline{I}_1 &= -(\underline{I}'_2 + \underline{I}'_3. \end{aligned} \right\} \quad (6.6)$$

бурада  $\underline{Z}_1 = r_1 + jx_1$  – биринџи тџярџф долаџынын комплекс шыкилдя

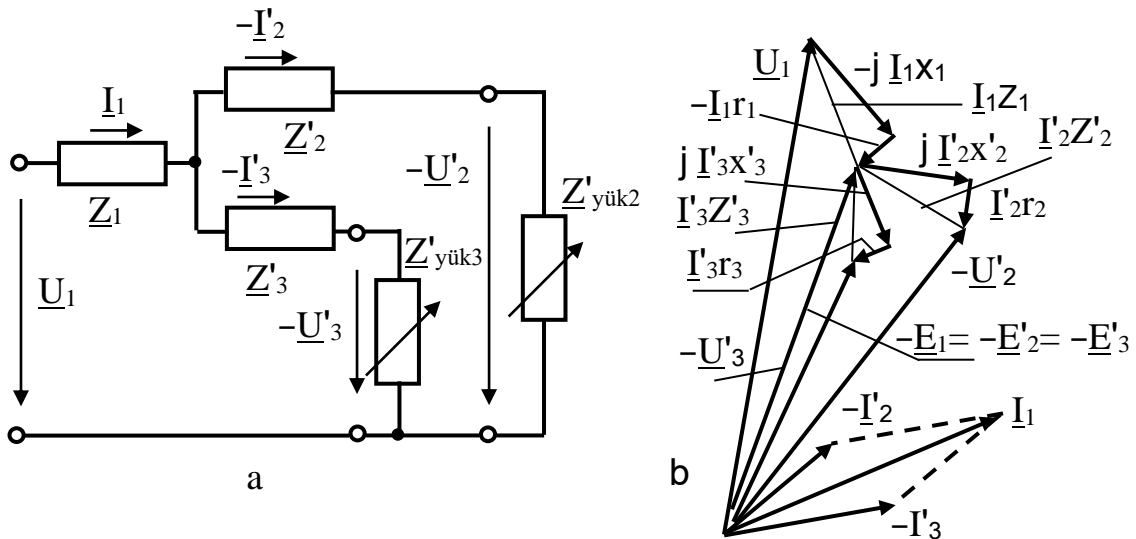
там мџгавимџяти ;

$\underline{Z}'_2 = r'_2 + jx'_2$  ,  $\underline{Z}'_3 = r'_3 + jx'_3$  – уйџун олагаг икинџи тџярџф до-лаглагынын биринџи долаџын сарџылар сайына џятирилмиш ком-плекс шыкилдя там мџгавимџятляридир.

Цџдолаглы трансформаторун (6.6) тџянликляр системинџа уй-џун олан џвџяз схеми џя вектор диаграма шыкил 6.2 – дя џю-стџярилмишдир.

џвџяз схеминдян џюрџцнџр ки, икинџи тџярџф долагларындан бирини џџџџџџ дяџишмиџи о бири икинџи долаџын џярџинлийи-нџа дя тџясир едир, беџа ки, бу щалда биринџи тџярџф долаџынын џярџинлик дџщџџџ ( $\underline{I}_1 Z_1$ ) дяџишир.

џвџяз схеминин параметрляри щесаблама џолу иџа џя џа гысагапанма тџџрџџџяриња џасџян тџџин едџля биџяр. Дола-глардан щџрџансы бирини гыса – гапайыб диџяриња џярџинлик вермякля цџ гысагапанма тџџрџџџяси апарылыр (щыкил 6.3) џя алынмыш нџџџџяляря џасџян параметрляр тапылыр:



**Шяк. 6.2. Цчдолаглы трансформаторун явз схеми (а) вя вектор диаграммы (б)**

$$\left. \begin{aligned} Z_{q12} &= Z_1 + Z'_2 = r_1 + r'_2 + j(x_1 + x'_2); \\ Z_{q13} &= Z_1 + Z'_3 = r_1 + r'_3 + j(x_1 + x'_3); \\ Z_{q23} &= Z'_2 + Z'_3 = r'_2 + r'_3 + j(x'_2 + x'_3). \end{aligned} \right\} \quad (6.7)$$

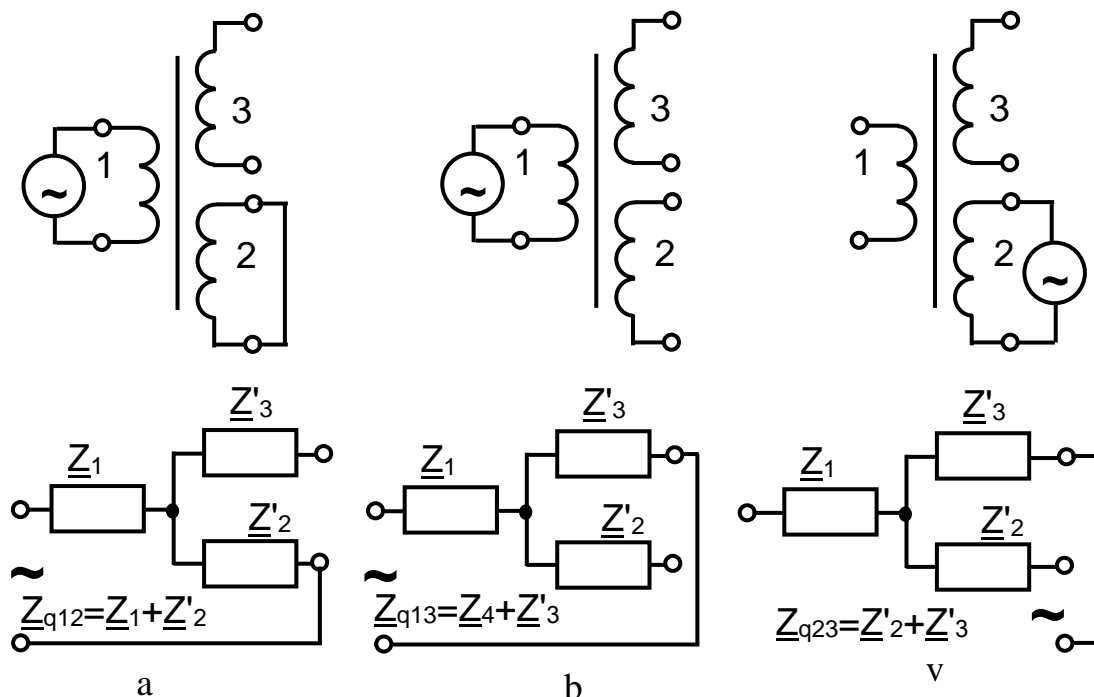
(6.7) тьянликляринин бирэя щяллиндян алырыг:

$$\left. \begin{aligned} Z_1 &= (Z_{q12} + Z_{q13} - Z_{q23}) / 2; \\ Z'_2 &= (Z_{q12} + Z_{q23} - Z_{q13}) / 2; \\ Z'_3 &= (Z_{q13} + Z_{q23} - Z_{q12}) / 2. \end{aligned} \right\} \quad (6.8)$$

Уйьун олараг  $r_1, r'_2, r'_3$ , вя  $x_1, x'_2, x'_3$  мцгавимятляри дя тьяин олуна биляр.

Гейд етмяк лазымдыр ки, явз схеминин алынмищ параме-трляри биринъи долабын икинъи тьяряф долаглары арасында йерля-щян щалы цчцн дцзэцндцр. Долагларын йерляшмя вязиййяти дяйищдикдя онларын сяпялянмя магнит селляри

дәйишдийин-дәян явз схеминин параметрлары дәйишир.



**Шяк. 6.3. Цчдолаqlı трансформаторун гысагапанма  
тяърцбясинин схемляри**

Цчфазалы цчдолаглы трансформаторлар Y/Y<sub>0</sub> /Δ-0-II вә Y/Δ/Δ-II-II , бирфазалылар ися I/I/I-0-0 бирляшмя группа-рында щазырланыр.

**6.2. Автотрансформаторлар**

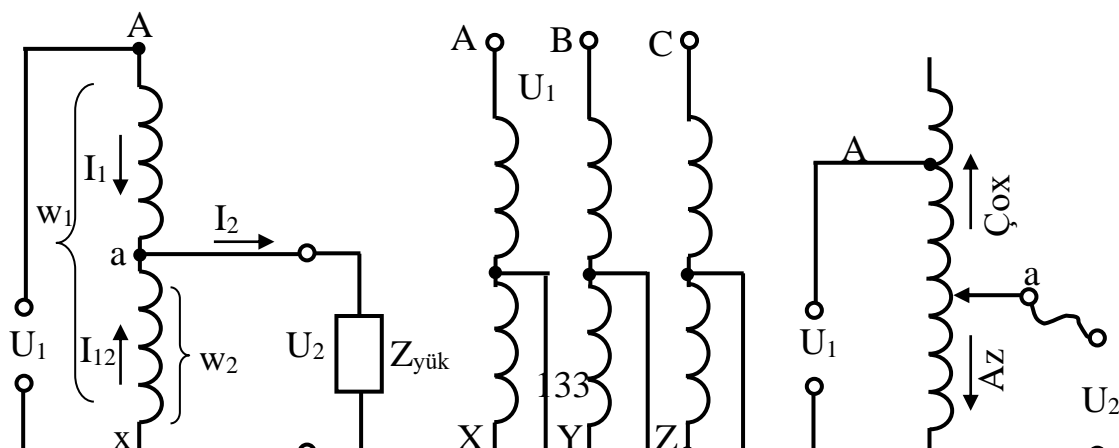
Автотрансформаторлар о трансформаторлар адланыр ки, онла-рын алчаг эярэинлик долабы иля йцксяк эярэинлик долабы ара-сында щям магнит вә щям дя електрик ялагяси вардыр. Бу сябябдәян эць биринъи дүврядян икинъийя тьякъя електромаг-нит йолла дейил вә ейни заманда електрики йолла ютцрцлцр.

Автотрансформаторун магнит дүвряси ади эцъ трансформаторунун магнит дүврясиндян фярглянмир. Лакин бурада ал-чаг эярэинлик долабы йцксяк эярэинлик долабынын бир щиссясини тяшкил едир. Долагларын гурулушу вя онларын нцвя цзя-риндя йерляшдирилмяси дя ади трансформаторларда олдуьу ки-мидир, лакин електрик ялагясиня эюра щяр ики долабын изоля-сийасы йцксяк эярэинлийя щесаблинмалыдыр.

Ади трансформаторларда олдуьу кими автотрансформаторлар да алчалдыгы вя йцксялдиьи бирфазалы вя ццфазалы ола бияр. Тутаг ки, бирфазалы алчалдыгы автотрансформаторун ишлямя схеминдя (щякил 6.4,а) бириньи тяряф долабына (А вя Х уь-ларына)  $U_1$  эярэинлийи верилиб, икиньи тяряф долабынын а вя х уьлары ися ачыгдыр. Долабын щяр бир сарьысында индуксийала-нан ЕЩГ – нин  $E = 4,44f \Phi_m$  олдуьуну билиб,  $E_1 \approx U_1$  нязя-ря алсаг, йцксяцз ишлямя режими цццн а вя х уьларында алы-нан эярэинлийи тьйин едя биярик:

$$U_2 = 4,44fW_{ax} \Phi_m = U_1 W_{ax} / W_{AX} = U_1 / k. \quad (6.9)$$

бурада  $W_{ax}$  вя  $W_{AX}$  – уйьун олага а вя х, А вя Х сыхаъларындакы сарьылар сайы;  
 $k$  – трансформасийа ямсалыдыр.



**Шяк. 6.4. Бирфазалы (а), цчфазалы (б) вятанзимлянян бирфазалы автотрансформаторун (в) принципиал схемиләри**

Йцк режиминдя, иткиляр нязярдян атылса,  $U_2 I_2 = U_1 I_1$ . Бу-радан

$$I_2 = \frac{U_1}{U_2} I_1 = k I_1. \quad (6.10)$$

Демяли, автотрансформатор долагларынын ЕЩГ вятяря-йанларын арасындакы мцнасибятляр ади эць трансформаторла-рында олдуьу кимидир.

Автотрансформаторларда биринъи тяряфдяи икинъи тяряфя, орадан да йцкя верилян гүс кечид эцьц ( $S_k$ ), икинъи дүвря-йя електромагнит сащясиля верилян щесабат эцьцндян ( $S_h$ ) фярглянир.

Йцкскз ишлямя тяряйаны нязярдян атылса дцйцн нюгтяси а цчцн (шякил 6.4,а) йазмаг олар:

$$I_2 = I_1 + I_{12}. \quad (6.11)$$

Онда кечид эцьц

$$S_k = U_2 I_2 = U_2 (I_1 + I_{12}) = U_2 I_1 + U_2 I_{12} = S_{el} + S_{em}, \quad (6.12)$$

бурада  $S_{em} = U_2 I_{12} = S_h$  – автотрансформаторун щесабат эцъц (електромагнит сациясыла икинъи тьярфя верилян эцъ);

$S_{el} = U_2 I_1$  – долаглар арасындакы електрик ялагяси иля икинъи тьярфя ютцрцлян эцъдцр.

(6.10) ифадясини нязря алсаг

$$I_{12} = I_2(1 - 1/k) . \quad (6.13)$$

Онда автотрансформаторун щесабат эцъц

$$S_h = U_2 I_{12} = U_2 I_2(1 - 1/k) . \quad (6.14)$$

Щесабат эцъцн кечид эцъцня нисбяти сярфялилик ямсалы адланыр.

$$k_s = S_h / S_k = 1 - 1/k . \quad (6.15)$$

Автотрансформаторларда материал сярфийяты, габарит юлчц-ляри вя дяйяри щесабат эцъцн гиймятиля тьяин олунур. Ади икидолаглы трансформаторларда  $S_{em} = S_h = S_k$  вә  $S_{el} = 0$  автотрансформаторларда ися ейни кечид эцъц шяраитиндя, електро-магнит эцъц (щесабат эцъц) икидолаглы трансформаторда ол-дуюндан кичик алыныр ки, бу да автотрансформаторун габарит юлчцлярини вя кцтлясини кичик щазырламаъа имкан верир.

Икинъи тьярф дюврясиня електрики йолла ютцрцлян эцъ,

$$S_{el} = U_2 I_1 = (U_2 I_2) / k = S_k / k . \quad (6.16)$$

Икидолаглы трансформаторда  $S_{el} = 0$  вь  $S_h = S_k$ .

(6.14) вь (6.15) ифадяляриндян эюрмяк олур ки, трансфор-масийа ямсалы к артдыгъа автотрансформаторун щесабат эц-ъц, йяни магнит ялагясиля верилян эцъ артыр. к артдыгъа автотрансформаторун кцтляси вь юлчцляри артараг ейни эцълц, икидолаглы трансформаторун юлчцляриня йахынлашыр. Трансфор-масийа ямсалы ващидя йахынлашдыгъа автотрансформаторун щесабат эцъц азалыр. Она эюра кцтля вь габарит юлчцляри вь эцъ иткиляринин азалмасы нюгтейи нязяриндян онун тятбиги даща сярфяли олур. Буна эюра дя трансформасийа ямсалы  $k \leq 2,5$  олан автотрансформаторлардан истифадя етмяйя чалышырлар.

Беяликля, автотрансформаторун ейни эцълц ади трансфор-маторлара нисбятян цстцнлцкляри актив материал (мис вь електротехники полад) сярфийятынын аз, ф.и.я. – нин йцксяк, габарит юлчцляринин кичик вь уъуз олмасыдыр. Бюйцк эцълц автотрансформаторларда ф.и.я. 99,7% – я чатыр. Щесабат эц-ъц ня гядяр аз оларса бу цстцнлцкляр о гядяр нязяря чар-пыр.

Автотрансформаторун ясас мянфи гъащяти онун икинъи тяряф долаьынын биринъи (ЙЭ) дювряси иля, электрики ялагясиндя ол-масыдыр.

Бея ки, АЭ долаьынын вь бу долаьа гошулан ишлядиъилярин дя изолясийасы ЙЭ долаьынын изолясийасына щесабланыр.

Автотрансформаторлар бюйцк эцълц синхрон вь



асинхрон мщярриклярин алчалдылмыш эярэинлик шыраитиндя ишы салынма-сында тятбиг edilir.

Кичик эцълц автотрансформатрлардан рабитя вя автоматика гурьуларында, радиотехникада вя лабораторийа стендляриндя истифадя олунур.

Сон вахтлар буюцк эцълц автотрансформаторлар йцксяк эярэинликли (110, 154, 220, 330, 500, 750, кВ) шыбьякляри ялагяляндирмяк цццн тятбиг едилг.

### 6.3. Юлцц трансформаторлары

Електрик юлцц ъищазларыны йцксяк эярэинликли дяйишян ъя-ряйан дюврясиня гошмаг цццн ясаян юлцц трансформаторларындан истифадя едирляр. Вунунла ъищазлар дюврядян тяърид едилмякля, онлара хидмят тящлцкясизлийи тямин едилир вя ъи-щазларын ъяряйан дашыйан щиссяляринин изолйасийасы йцнэцл-ляшдирилмиш олур.

Бундан башга юлцц трансформаторлары ъищазларын юлчмя щядлярини артырмаъа имкан верир, беля ки, кичик ъяряйан вя эярэинликляри юлчмяйя щесаблинмыш нисбятян садя ъищазлар васитясиля буюцк ъяряйан вя эярэинликляри юлчмяк олур. Бир сыра щалларда юлцц трансформаторлары йцксяк эярэинликли дювряляря релелярин долагларыны гошмагла, електрик гурьу-ларынын гяза режимляриндя мцщафизясини тямин етмиш олур.

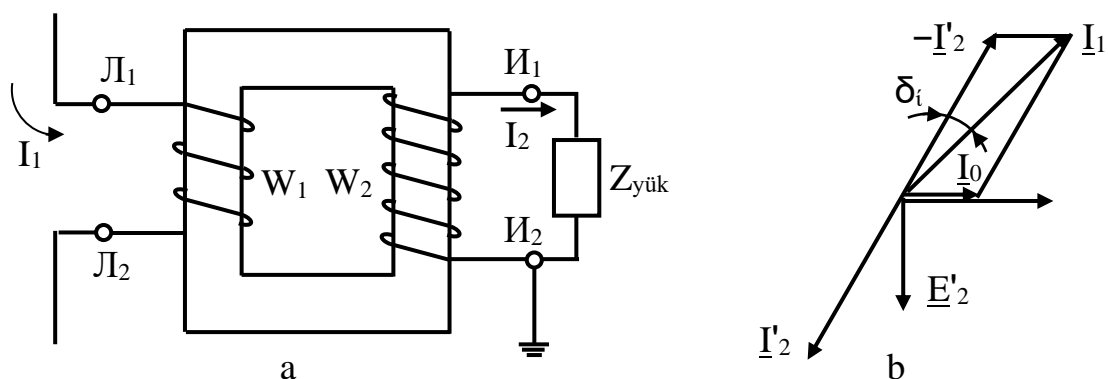
Юлцц трансформаторлары ъяряйан вя эярэинлик трансформаторларына айрылыр. Стандарт ъищазларла юлцц апармаг цццн би-ринъи тяряф

кымын гыйматиндэн асылы олмайараг тья-  
 рыйан трансформаторунун икинчи тьярф  
 тьярйаны  $1...5A$  – а гядяр, эярэинлик  
 трансформатору-нун икинчи тьярф эярэин-лийи  
 ися  $100V$  – а гядяр азалдыр. Тьярйан трансфор-  
 маторлары  $5...100 VA$ , эярэинлик трансформатор-  
 лары ися  $25...100VA$  номинал эцтя щазырланыр.

**Тьярйан трансформатору.** Ясаян икидолаглы  
 йцксялдичи трансформатор кими щазырланыр  
 (шяк. 6.5, а). биринчи тьярф долабы тьярйаны  
 юлчцлятяк дювряйя ардыгыл гошулур, икинчи  
 тьярф долабына ися дахили мцгавимяти чох кичик  
 олан юлчц тищазлары (амперметр, ватметрлярин,  
 сайбагларын, фазометрлярин вя с. тищазларын  
 тьярйан долаглары) бирляшдирилир. Буна эюря  
 тьярйан трансформатору практики олараг гысага-  
 пан-ма режиминя йахын иш режиминдэн ишляйир.  
 Бу щалда  $I_0$  тьярйаны  $I_1$  вя  $I'_2$  тьярйанларын-  
 дан чох кичик олдуьундан мцяй-йян дягигликля гябул  
 етмяк олар ки,

$$I_1 = I'_2 = I_2 / k. \quad (6.17)$$

Щягигятдэн ися  $I_0$  тьярйаны мцяййян гыйматя  
 малик ол-дуьуна эюря бу  
 трансформаторларда  $I_1 \neq I'_2$  вя онларын век-  
 торлары арасында  $180^\circ$  – дяк фярглянен мцяййян  
 буьаг алы-ныр (шяк. 6.5,б) ки, бу да нисби тьярйан  
 хятасынын йаранма-сына сябяб олур.



**Шяк. 6.5. Ђярйан трансформаторунун гошулма схеми (а) вя**

**вектор диаграмы (б)**

Нисби ъярйан хятасы

$$\gamma_i = [(I_2 k - I_1) / I_1] \cdot 100\% .$$

Буѡаг хятаси  $\delta_i$  – о заман мѡсбят сайылыр ки,  $I_2'$  вектору  $I_1$  вектору габагламыш олсун.

Бурахылабилян хяталарын гиймятиндян асылы олараг ъярйан трансформатору беш дягиглик синфиня айрылыр: стационар транс-форматорлар – 0,2; 0,5; 1; 3; 10, лабораторийа трансформаторлары – 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2. Бу рягямляр номинал ъярйанда ъярйана эюра бурахылабилян хятанын фаизля гий-мятини эюстярир. Буѡаг хятасы ися бу трансформаторларда 10...120 буѡ.дяг. бярабяр олур.

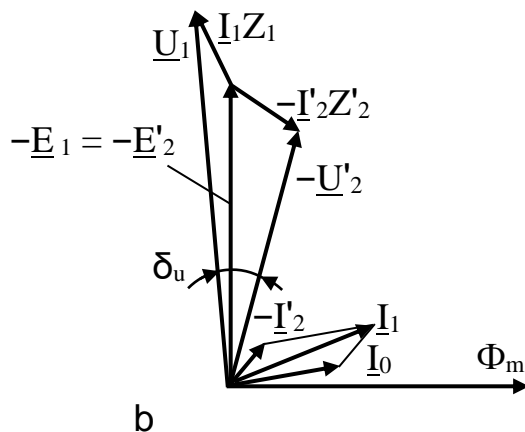
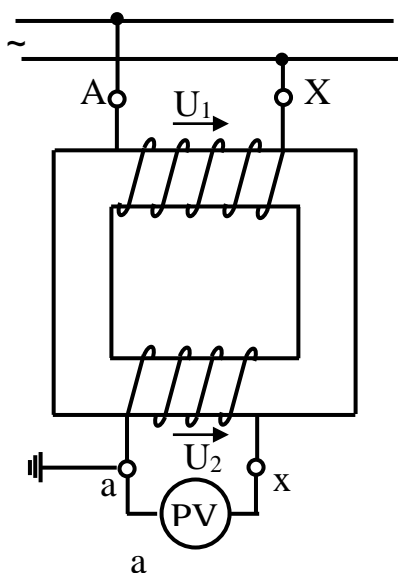
Ђярйан вя буѡаг хяталарынын гиймятини азалтмаг цѡцн ъярйан трансформаторларынын магнит кечирѡисини буюѡк ен кясикли вя йѡксяк кейфийятли поладдан щазырлайырлар ки, иш режиминдя онун магнит дуюрсяи доймамыш олсун

( $B = 0,006 \dots 0,1 T_l$  ). Бея шярәйтдә магнитләшдиреҗи җәряян чох кичик олур.

Нормал иш режиминдә җәряян трансформаторунун магнит сели чох кичик олдуьундан онун магнит дүвряси доймамыш олур. Буна әурә дә җәряян трансформаторунун икинҗи дүв-рясинин гырылмасына вә бу дүврянин ачыг галмасына йол ве-рилмир. Чцнки бу щалда икинҗи тәрәф җәряянын магнитләшди-риҗи тәсири йох олур вә трансформаторун магнит сели он вә щәттә йцз дәфләрлә артыр. икинҗи тәрәфдә щәйәт цццн тәщлц-кәли дәрәҗәдә йцксяк әрәинлик йараныр. Изолйәсийанын де-шилмәси вә магнит иткиляринин артмасы илә магнит дүвряси щәддән артыг гызыр вә нятиҗәдә трансформатор сырадан чыха биләр.

Биринҗи тәрәф әрәинлиийи вә җәряянын гиймәтиндән вә иш йериндән асылы оларәг җәряян трансформаторлары мцхтялиф гурулушларда щәзырланыр.

**Әрәинлик трансформатору.** Әрәинлик трансформаторлары икидолаглы алчалдыҗы трансформатор кими щәзырланыр (щәк.6.6,а).



**Шяк. 6.6.Эярэинлик трансформаторунун гошулма  
схеми (а) вя  
вектор диаграммы (б)**

Юлчц вя мцщафизя тищазлары трансформаторун икинъи дола-ъына паралел гошулур. Тищазларын долагларынын мцгавимят-ляри чох буюцк олдуьундан эярэинлик трансформатору прак-тики олагаг йцксцз ишлямя режиминдя ишляйир. Бу режимдя трансформаторун долагларында эярэинлик дцшэцляри нисбятян кичик олдуьундан онун хяталары да аз олур. Одур ки,  $U_1 = U'_2 = kU_2$  гябул етмяк олар. Яслиндя ися йцксцз ишлямя ты-ряйаны  $I_0$  трансформаторларда эярэинлик дцшэцсц йарадыр. Одур ки, вектор диаграммындан (шяк. 6.6, б) эюрцндцйц ки-ми,  $U'_2 \neq U_1$  вя бу эярэинликлярин векторлары арасында мцйй-йян фаза фярги алыныр. Нятиъядя юлчц апарылан заманы ашаъы-дакы хяталар йараныр:

а) нисби эярэинлик хятасы

$$\gamma_u = [(U_2 k - U_1) / U_1] \cdot 100\% ;$$

б) буъаг хятасы  $\delta_u$  эярэинлик векторларын  $U_1$  вя  $U'_2$  арасын-дакы буъагла юлчцлцр. Гейд етмяк лазымдыр ки, буъаг хята-сы ваттметрлярин, сайъаъларын, фазометрлярин юлчц нятиъяляриня буюцк тясир эюстярир,  $U'_2$  вектору  $U_1$  векторундан иряли дцшдцкдя бу хята мцсбят сайылыр.

Хяталары азалтмаг мягсядиля эярэинлик трансформаторла-рында долагларынын

мцгавимятлярини мцмкцн гядяр кичик, магнит дюврясини йцксяк кейфийятли поладдан буюцк ен-кясикли щазырлайырлар, беля ки, йцк режиминдя магнит дювря-си доймамыш олсун ( $B = 0,6 - 0,8T_l$ ). Бу щалда йцксцз иш-лямя тыряйаны  $I_0$  – чох кичик олур.

Хяталарын бурахылабилян гиймятиндян асылы олараг стаси-онар эярэинлик трансформаторлары 0,5; 1,0; вя 3,0; лабора-торийада эярэинлик трансформаторлары ися 0,05; 0,1; 0,2 вя 0,5 дягиглик синфиня айрылыр. Бу рязямляр номинал эярэин-ликдя эярэинлийя эюря бурахылабилян хятанын фаизля гиймя-тини эюстярир.

Буыаг хятасы бу трансформаторларда 20...40 буы.дяг.олур.

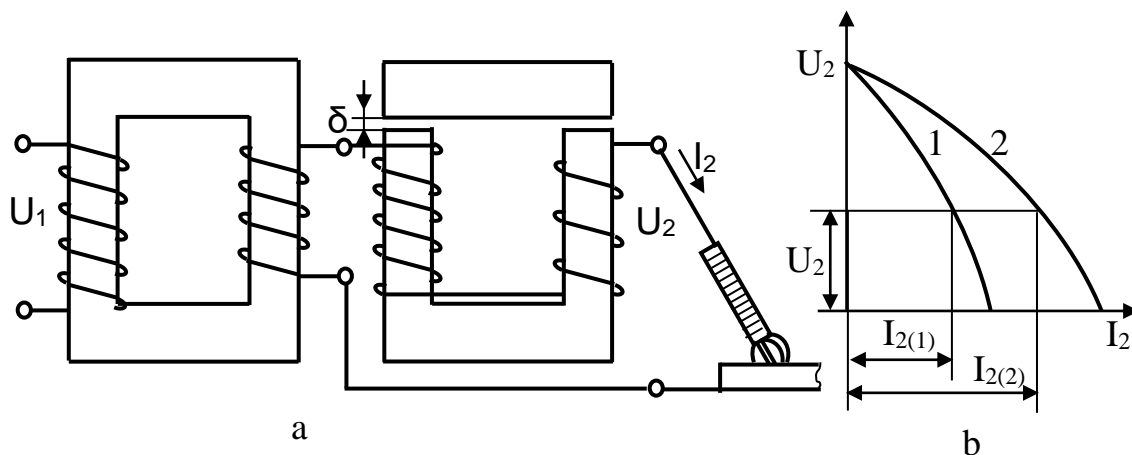
#### **6.4. Гайнаг трансформаторлары**

Гювс електрик гайнаы трансформаторунун ишинин ясас хц-сусийятти онун иш режиминин гейри – мцнтязям олмасыдыр.

Йяни трансформатор бирдян йцксцз ишлямя режиминдян гы-сагапанма режиминя вя яксиня кечярк ишляйир. Гювсцн дайаныглы вя арасыкясилмядян йанмасы цццн хариъи дюврянин мцгавимяти дяйишдикдя гайнаг тыряйанын чох аз дя-йишмяси тяляб олунур. Бунун цццн трансформаторун хариъи характеристикасы  $[U_2=f(I_2)]$  кяскин азалан олмалы вя гай-наг дювряси буюцк индуктивлийя малик олмалыдыр. Бундан ялавя иш просесиндя гысагапанма тыряйаныны мящдудлаш-дырмаг лазымдыр.

Трансформаторун икинъи тыряф дюврясиня полад нцвяли ин-дуктив саръаъ гошмагла (щяк.

6.7, а) вь сьпялянмя магнит селини артырмаг йолу иля гейд олуан тялябляри йериня йетир-мяк мцмкцндцр.



**Шяк. 6.7. Гювс електрiк гайнаы трансформатору (а) вь онун хариъи характеристикалары (б)**

Сьпялянмя магнит селини артырмаг цццн трансформаторун биринъи вь икинъи тяряф долаглары мцхтялиф чубугларда вь йа чубуьун щцндцрлцйц бойунъа мцхтялиф йерлярда йерлящди-рилир. Сьпялянмя магнит селинин артмасы иля гьсагапанма индуктив мцгавимяти  $X_q$  вь гьсагапанма эьрэинлийи  $U_q$  артыр.

Гайнаг тьряйаныни тьнзимлямяк цццн магнит дьврясин-дяки индуктив сарьаъ щава аралыглы щазырланыр. Щава аралыьы-ны  $\delta$  уйьун гурьу васитьсяля азалтдыгда сарьаъын индуктивли-йи артыр, гайнаг дьврясиндяки тьряйан азалыр.

Шякил 6.7, б -дя трансформаторун кичик (яйри 1) вь буюцк (яйри 2) ики хариъи характеристикасы эюстярилмищдир.

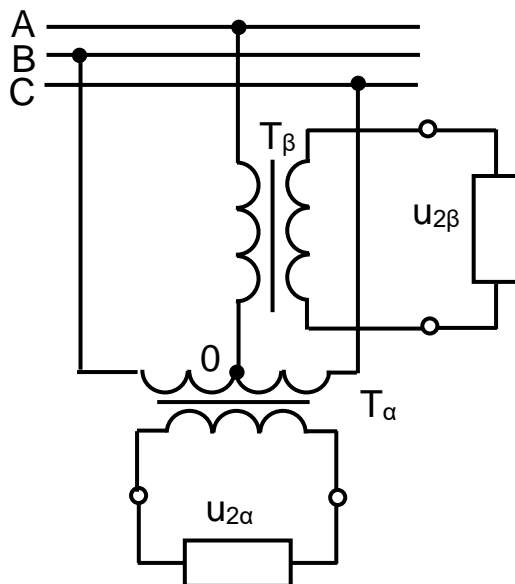
Ял иля гювс гайнаында истифадя олуан

трансформаторла-рын алчаг ээрэинлик долаанын йцксцз ишлямядя ээрэинлийи 60...75 В, номінал йцкдя ися  $U_{\text{ном}} = 30...40$  В олур.

### 6.5. Дяйишян ъяряйанын фазаларынын сайыны дэуіşdirмяк цццн трансформаторлар

Дяйишян ъяряйанлар системинин фазалар сайыны хцсуси схемлярля гошулмуш трансформаторлар васитясиля дэуіşdir-мяк олур. Цчфазалы ъяряйанлар системини икифазалыа чевир-мяк цццн ики бирфазалы мцх-тялиф трансформасийа ямсалына малик олан трансформаторлары (шяк. 6.8) эюстярилян схем цз-ря гошмаг лазымдыр.

$T_{\alpha}$  трансформаторун бириньи тьярф долаыи цчфазалы системин ики фазасынын арасына гошулур (бах шяк.6.8, Б вя Ђ фазалары-нын).

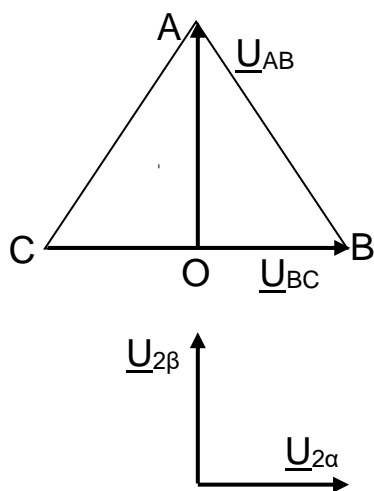


Шяк. 6.8. Цчфазалы ъяряйанын икифазлыа çevrilmə схеми



$T_\beta$  трансформаторунун биринчи таяғ долабынын бир ууу цч-фазалы системин А фазына, диээр ууу ися  $T_\alpha$  трансформатору-нун биринчи таяғ долабынын орта 0 нугтасына гошулур. Бея гошулмада  $\underline{U}_{OA}$  эярэинлийи  $\underline{U}_{BC}$  эярэинлийиня нязэрян фа-заъа  $\pi/2$  буъаг фярги гядяр йерини даяишир (шяк. 6.9). Бу буъаг фярги қәдәг дя  $T_\alpha$  вя  $T_\beta$  трансформаторларынын икинчи таяғ долагларынын эярэинликляри  $U_{2\beta}$  вя  $U_{2\alpha}$  йерлярини даяи-ширляр. Вектор диаграмындан эюрцнцр ки,

$$U_{OA} = U_{BC} \sqrt{3}/2.$$



**Шяк. 6.9. Цчфазалы таярайаны икифазлыя чевилян чевириъинин вектор диаграмы**

Яээр трансформаторларын икинчи таяғ долагларынын сарбылар сайы ейни олмасыны

гябул етсаяк вя бу долагларда ейни эяр-эинликляр алмаг ццц  $T_\beta$  трансформаторунун биринъи тяряф до-лабынын сарбылар сайыны  $\sqrt{3}/2$  дяфя  $T_\alpha$  трансформаторунун биринъи тяряф долабынын сарбылар сайы иля мцгайисядя азалт-маг лазымдыр.

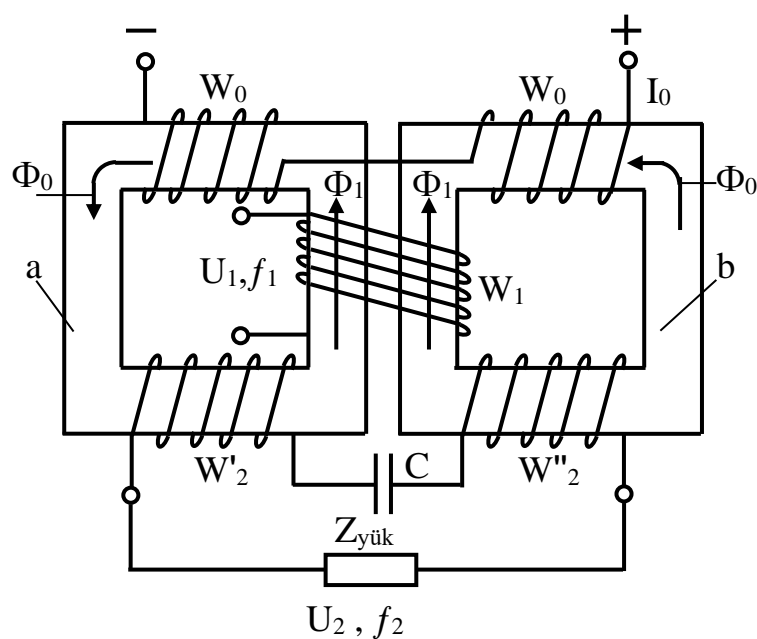
Фазаларын сайыны артырмаг цццн трансформаторлар дяйишян тыряйянын сабит тыряйяна чеврилмяси схеминдя тятбиг олу-нур.

### **6.6. Дяйишян тыряйянын тезлийини дэуишдирмяк цццн трансформаторлар**

Трансформаторлардан истифадя етмякля практикада гйда-ландырыгы эярэинлийин тезлийинин икигат вя ццгат дэуишдирил-мэси эениш тятбиг тапмышдыр.

Икигат тезлик чевриъиси ики гапалы магнит кечириъисиндя вя беш долагдан ибарятдир (шыкил 6.10, а вя б). Сарбылар сайы  $W_1$  олан биринъи тяряф долабы шяг ики магнит кечириъисинин чу-бугларында йерляшдирилир. Биринъи тяряф долабыны  $f_1$  тезликли синусоидал эярэинликли дяйишян тыряйян шябьякясиня гош-дугда бу долагдан ахан тыряйян шяр бир магнит кечириъи-синдя дяйишян МЦГ  $F_1$  йарадыр. Шяр бири юз магнит кечири-ъисиндя йерляшмиш икинъи тяряф долабынын сексийалары  $W'_2$  вя  $W''_2$  мцвафиг олагаг бирбири иля ардыгыл гошулдуъуна эюра до-лаглара илишян нятиъяви магнит сели магниткечириъисиндяки магнит

селляринин тѳаминя  $\Phi_a + \Phi_b$  бярабяр олур.

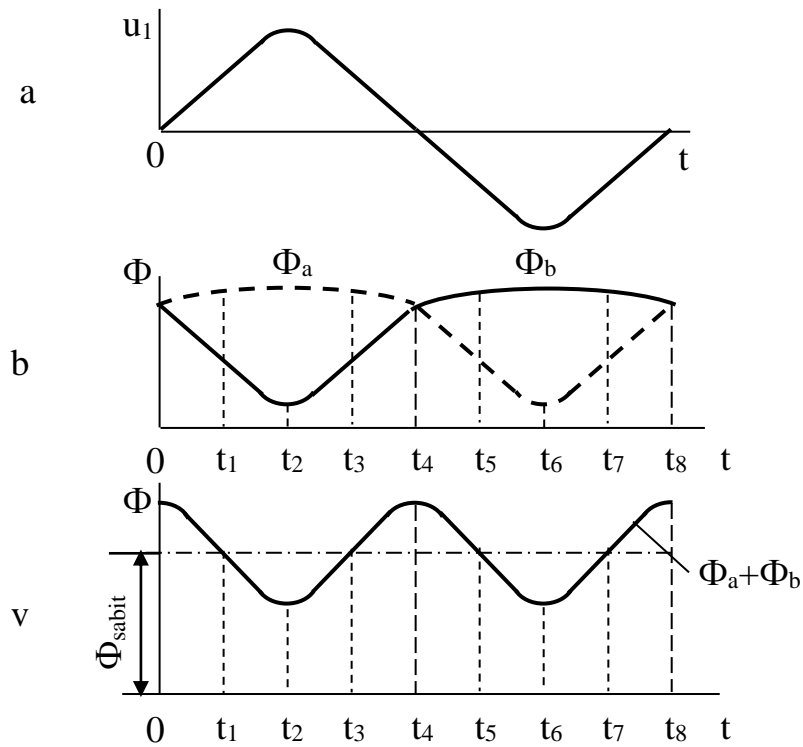


**Шяк. 6.10. Икигат тезлик чевриѳисинин електромагнит схеми**

Бундан ялавя щяр бир магнит кечирѳисиндя мцвафиг ола-раг бир-бири иля ардыѳыл гошулмуш  $W_0$  магнитляшдириѳи долаг вардыр. Бу долаглары сабит  $U_0$  эярэинлийиня гошдугда щяр бир магнит кечирѳисиндя  $F_0 = I_0 W_0$  МЩГ йараныр.

Биринѳи тярѳ долаѳыны  $f_1$  тезликли  $U_1$  синусоидал эярэинликли шябьякяйя қошдугда (Шяк.6.11,а) биринѳи йарымпериод яр-зиндя  $U_1$  эярэинлийинин а магниткечирѳисиндя йаратдыѳы  $F_1 = I_1 W_1$  МЩГ – нин истигамяти сабит тярѳянын йаратдыѳы  $F_0$  МЩГ – нин истигамятиндя олдуѳундан нятиѳяви магнит сели  $\Phi_a = \Phi_1 + \Phi_0$  бярабяр олур.

Магнит кечирѳисинин (а) доймасынын щесабына  $\Phi_a = f(t)$

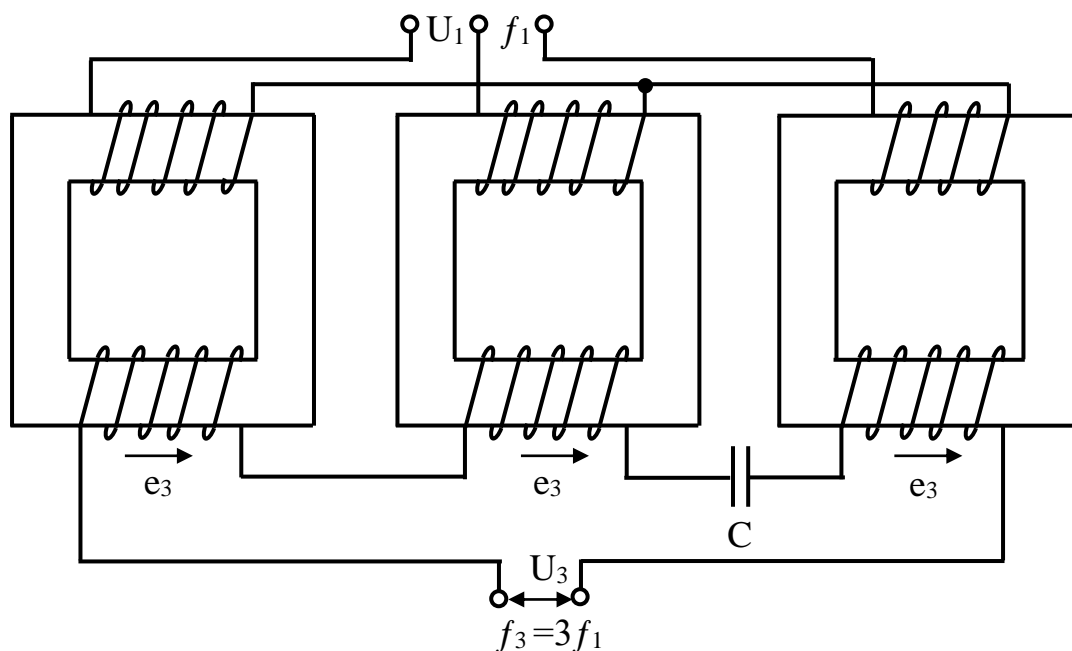


**Шяк. 6.11. Икигат тезлик чевриъисинин эярэинлик  
вя магнит  
селляринин графики**

графики йастылашмыш шякил алыр (шяк. 6.11, б). Ву йарымпери-одда (б) магнит кечириъисиндяки  $\Phi_0$  вя  $\Phi_1$  магнит селляри биг – биринэ якс тясир эюстярдикляриндян йаранан нятиъяви маг-нит сели  $\Phi_b = \Phi_0 - \Phi_1$  бярабяр олур вя  $\Phi_b = f(t)$  графиндя бу йарымпериодун ортасында чюкяклик ямяля эялир. Икинъи йа-рымпериода а магнит кечириъисиндя йаранан нятиъяви магнит сели  $\Phi_a = \Phi_1 - \Phi_0$ , б магнит кечириъисиндя ися  $\Phi_b = \Phi_1 + \Phi_0$ . Ики сексийадан ибарят олан икинъи тяряф долаъыны ( $W = W'_2 + W''_2$ )  $\Phi_a + \Phi_b$  магнит сели ящатя етдийиндян  $\Phi_a + \Phi_b = f(t)$  графиники  $\Phi_a$  вя  $\Phi_b$  магнит селляринин ординатларыны топла-магла

гурулур (шяк. 6.11, б). Бу магнит сели икинъи тяряф ЕЩГ – нин ямяля эялмясиндя иштирак етмяйян сабит мц-ряккябядян  $\Phi_{sabit}$  вя икинъи щармоникаларын айдын эюрцнян дяйишян мцряккябясиндя, щансы ки, икинъи тяряф долаьынын сексийаларында  $f_2 = 2f_1$  тезликли  $E_2$  ЕЩГ – ни индуксийала-йыр. Биринъи тяряф долаьынын електрик щярякят гцввяси  $E_1$  дя биринъи тяряф эярэинлийи  $U_1$  кими  $f_1$  тезликли олур йцклямя заманы икигат тезлик чевіриъисинин икинъи тяряф дюврясиндя йаранан эярэинлик дцщэцц компенсасийа етмяк цццн икин-ъи тяряф долаьынын сексийаларына ардыъыл конденсатор Ъ го-шурлар.

Тезлийин ццгат дяйишдирилмяси трансформаторлары шякил 6.12 эюстярилян схем цзя гошмагла щяйата кечирилир. Бу-нун цццн бирфазалы цц трансформаторун биринъи тяряф долаг-ларыны улдуз схеми цзя бирляшдириб вя онларын уъларыны  $f_1$  тезликли ццфазлы шябьякяйя гошурлар.



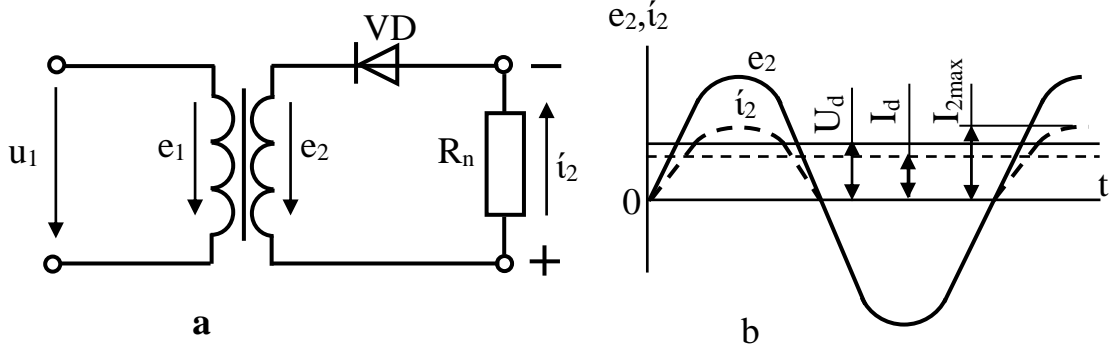
## **Шяк. 6.12. Цчгат тезлик чевриъисинин електромагнит схеми**

Бу трансформаторларын икинъи тяряф долаглары юз араларын-да ардыъыл бирляшдирилик. Бирфазалы цч трансформаторун долаг-ларынын йухарыда эюстярилян гайдада бирляшмяси нятиъясин-дя щяр фазада магнит селинин 3 – ъц щармоникалары йараныр. Бу магнит селляри икинъи тяряф долагларынын щяр бириндя цч-гат тезликли ЕЩГ – ри  $E_3$  йарадыр. Трансформаторларын икинъи тяряф долаглары ардыъыл бирляшдирилдиклярия эюря цчгат тезликли ЕЩГ – ри ъябри сәтi топланыр, ЕЩГ – нин 1 – ъи щар-моникаларынын ъями ися 0 бярабяр олур. Беяликля, икинъи тяряф долабынын чыхышларында тезлийи  $3f_1$  эярэинлийи  $U_3 \approx 3E_3$  бярабяр эярэинлик алынаъагдыр. Икинъи тяряф долабына гошулмуш конденсаторун вязифяси бундан яввялки щалда эюстярилдийи кими йцклянмя заманы эярэинлик дцщэцсцнц азалтмаъа хидмят едир.

## **6.7. Düzəndirici qurğular üçün transformatorlar**

Düzəndirici qurğuların əsas elementlərindən biri güc transformatorudur. Bu növ transformatorun işinin əsas xüsusiyyəti onların ikinci tərəf dövrəsində birtərəfli keçiriciliyə malik diodların –yarımkecirici elementlərin olmasıdır.

Bir yarımperiodlu düzəndiricili birfazalı transformatorun işləmə prinsipini izah etmək üçün şək.6.13,a – da göstərilmiş sxemdən istifadə edirlər.



**Şək. 6.13. Güc transformatorunun sxemi (a) və EHQ – nin və cərəyanın bir yarımperiodlu düzlənmədə qrafikləri (b)**

İkinci tərəf dolağından axan  $i_2$  cərəyanı bu transformatorada  $e_2$  EHQ – nin müsbət yarım dalğaları tərəfindən yarıldığından döyünən olur və ya qeyri – sinusoidaldir (şək. 6.13,b). Bu qeyri – sinusoidal cərəyanı harmonik sıralara ayırmaq olar:

$$i_2 = (I_{2max} / \pi) + (I_{2max} / 2) \sin \omega t - (2I_{2max} / 3\pi) \cos 2\omega t - [2I_{2max} / (3 \cdot 5\pi)] \cdot \cos 4\omega t - \dots, \quad (6.20)$$

burada  $I_{2max}$  –  $i_2$  cərəyanının amplitud qiyməti;  $\omega$  – bucaq tezliyidir.

Bu sıranın birinci toplananı  $I_d = I_{2max} / \pi$  – düzləndirilən cərəyanın sabit mürəkkəbəsidir.

İkinci toplanan isə  $i_{2\text{əsas}} = 0,5I_{2max} \sin \omega t$  – bucaq tezliyi  $\omega$  şəbəkənin bucaq tezliyinə bərabər olan əsas harmonikanın (birinci) dəyişən cərəyanıdır. Qalan harmonikalar ikinci tərəf cərəyanının ali harmonikalarıdır. Bu cərəyanların bucaq tezliyi əsas harmonikanın  $\omega$  tezliyindən 2,4,6 və s. dəfə çox olduğundan ali harmonikalı cərəyanların amplituda-

ları əsas harmonikadan ( $I_{2\max}/2$ ) çox kiçik olur. Buna görə onları müəyyən kiçik xətalara yol verməklə nəzərə almamaq olar.

Onda transformatorun ikinci tərəfindən axan  $i_2$  döyünən cərəyanı sabit  $I_d$  və dəyişən  $i_{2\text{əsas}}$  – mürəkkəbədən ibarət olur:

$$i_2 = I_d + i_{2\text{əsas}}. \quad (6.21)$$

Yüksüz işləmə cərəyanını nəzərə almasaq və (6.21) – ni nəzərə almaqla transformatorun MHQ – nin tənliyini aşağıdakı şəkildə ifadə etmək olar:

$$i_1 W_1 + i_2 W_2 = i_1 W_1 + I_d W_2 + i_{2\text{əsas}} W_2 = 0. \quad (6.22)$$

MHQ–nin sabit mürəkkəbəsi  $I_d W_2$  transformatorun maqnit keçiricisində  $\Phi_d$  sabit maqnit selini yaradır.  $d\Phi_d/dt=0$  olduğundan bu maqnit seli transformatorun dolaqlarında EHQ – ri yaratmadığına görə birinci tərəf dolağının  $i_1 W_1$  MHQ – si tərəfindən kompensasiya olunmur. Buna görə də  $\Phi_d$  maqnit seli transformatorun maqnit keçiricisini əlavə maqnitləndirir, bu da maqnit keçiricisinin maqnitlə doymasını gücləndirir, maqnitləşdirici cərəyan artır və beləliklə birinci tərəf cərəyanın kəskin olaraq artmasına səbəb olur. Nəticədə itkilər artır, transformatorun qızması güclənir və onun F.İ.Ə aşağı düşür. Bu səbəbdən bir yarımpériodlu düzlənmədə transformatorun girişindəki güc transformatorun çıxışındakı faydalı gücdən ( $P_d = I_d U_d$ ) 2,69 dəfə çox olur,  $P_1 = 2,69 P_d$ .

İki yarımpériodlu düzlənmədə  $R_n$  yükündən axan cərəyan dəyişən cərəyanın hər iki yarımpériodu ərzində yaran-



dığından bu halda transformatorun tələb etdiyi güc  $P_1 = 1,23P_d$  olur, bu da transformatorun iş şəraiti üçün daha əlverişlidir.

Transformatorun girişində və çıxışında güclər müxtəlif olduğunda düzləndirici qurğular üçün güc transformatorunun seçilməsi nümunəvi gücə görə aparılır. Nümunəvi güc transformatorunun birinci və ikinci tərəf dolağının nominal güclərinin orta cəbri cəminə bərabərdir:

$$S_n = 0,5(S_{1nom} + S_{2nom}) = 0,5m(U_{1nom} I_{1nom} + U_{2nom} I_{2nom}), \quad (6.23)$$

burada  $S_{1nom}$ ,  $S_{2nom}$  – uyğun olaraq transformatorun birinci və ikinci tərəf dolağının nominal güclərinin qiymətləri;  
 $m$  – fazaların sayıdır (bifazalı transformatorlar üçün  $m = 1$ , üçfazlı üçün  $m = 3$ ).

Əgər hesabat üçfazlı transformatorlar üçün aparılırsa onda (6.23) – də cərəyan və gərginliyin faza qiymətlərindən istifadə etmək lazımdır.

Secilmiş transformatorun nümunəvi gücünü aşağıdakı şəkildə də təyin etmək olar:

$$S_n = k_{n\ddot{u}} U_{d.nom} I_{d.nom},$$

burada  $k_{n\ddot{u}}$  – nümunəvi güc əmsalı;

$U_{d.nom}$ ,  $I_{d.nom}$  – uyğun olaraq sabit gərginliyin və cərəyanın tələb olunan nominal qiymətidir.

Transformatorun ikinci tərəf gərginliyinin tələb olunan nominal qiyməti,

$$U_{2nom} = k_u U_{d.nom},$$

burada  $k_u$  – gərginlik əmsalıdır.

Düzləndirmə sxemindən asılı olaraq  $k_{n\ddot{u}}$  və  $k_u$  əmsalları seçilir (cədv. 6.1).

Cədvəl 6.1.

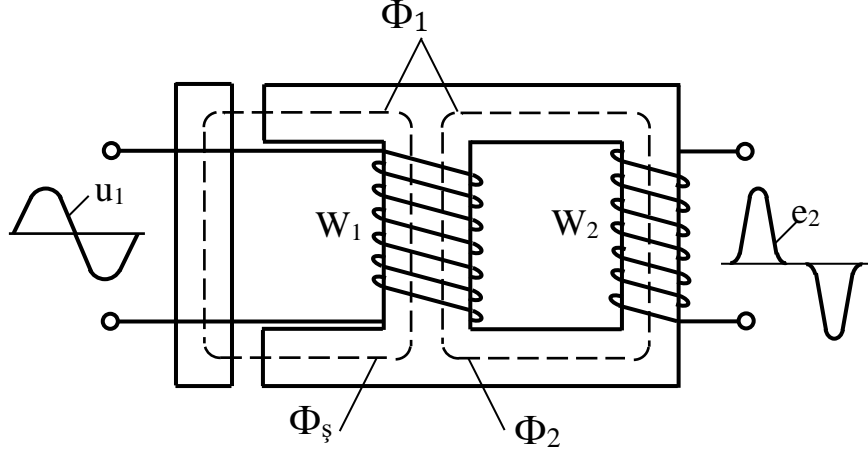
S.No	Düzləndirmə sxemi	Əmsalların qiymətləri	
		$k_u$	$k_{n\ddot{u}}$
1	Birfazlı bir yarımperiodlu	2,22	3,09
2	Birfazlı bir yarımperiodlu (körpü sxemli)	1,11	1,23
3	Birfazlı iki yarımperiodlu (sıfır nöqtəli)	1,11	1,48
4	Ücfazlı sıfır nöqtəli	0,855	1,345
5	Ücfazlı körpü sxemli	0,427	1,05

## 6.8. Pik – transformatorlar

Pik – transformatorlar sinisoidal gərginliyi pikvari formada impluslara çevirmək üçün tətbiq edirlər.

Tristorlar, triatronlar və s. yarımkeçirici qurğuları idarə etmək üçün gərginliyin pikvari impulslarla verilməsi lazımdır.

Pik – transformatorların işləmə prinsipi ferromaqnit materialın maqnitlə doyması hadisəsinə əsaslanır. Bu növ transformatorlar müxtəlif konstruksiyalarda yerinə yetirilir. Bunlardan elektron texnikasında ən geniş yayılanlarından biri maqnit şuntlu pik – transformatorudur. Maqnit şuntlu pik – transformatorun elektromaqnit sxemi şəkl. 6.14 – də verilmişdir.



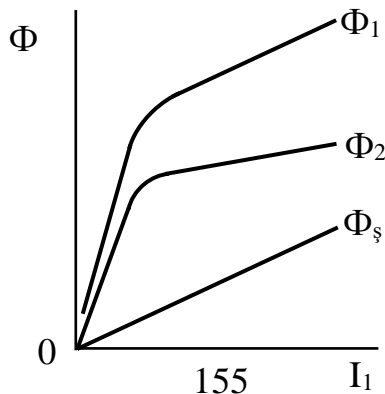
**Şək. 6.14. Maqnit şuntlu pik – transformatorun transformatorun elektromaqnit sxemi**

$W_1$  birinci tərəf dolağı transformatorun maqnit keçiricisinin böyük en kəsikli çubuğunda yerləşdiyindən çubuğun maqnitlə doyması baş vermir.

$W_2$  ikinci tərəf dolağı kiçik en kəsikli çubuğunda yerləşdiyindən  $u_1$  gərginliyinin müəyyən qiymətində çubuğun maqnitlə doyması başlanır. Üçüncü çubuq isə (maqnit şuntu) maqnit keçiricisinin qalan hissəsindən hava aralığı ilə ayrılır. Orta çubuqda yaranan  $\Phi_1$  dəyişən maqnit seli kənar çubuqlardakı  $\Phi_2$ ,  $\Phi_s$  maqnit sellərinin cəminə bərabərdir:

$$\Phi_1 = \Phi_2 + \Phi_s . \quad (6.26)$$

Şək. 6.15 – də hər üç çubuğun  $\Phi_1$ ,  $\Phi_2$ ,  $\Phi_s = f(I_1)$  maqnit xarakteristikaları göstərilmişdir.

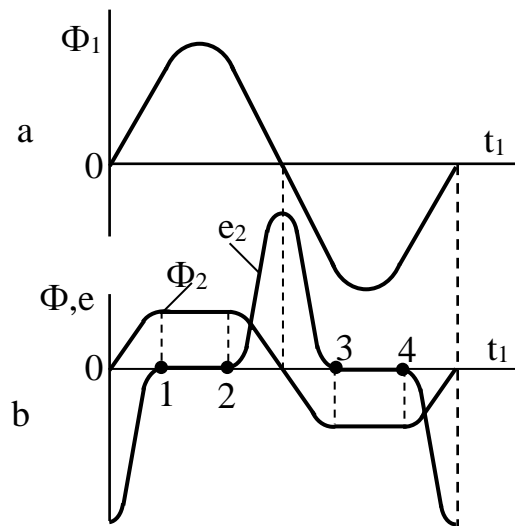


**Şək. 6.15. Pik – transformatorların çubuqlarının maqnit xarakteristikaları**

Şək.6.15.– dən görünür ki,  $\Phi_{\delta} = f(I_1)$  asıllığı düz xətlə dəyişir, çünki, hava aralığının olması, həmin çubuğun maqnitlə doymasına imkan vermir.

Transformatorun birinci tərəfinə verilən  $u_1$  gərginliyi sinusoidal olduğuna görə,  $\Phi_1$  maqnit seli də sinusoidal olur (şək. 6.16,a).

$u_1$  gərginliyinin və  $\Phi_1$  maqnit selinin kiçik cari qiymətlərində  $\Phi_1 > \Phi_2$  olur, çünki,  $\Phi_1$  maqnit selinin çox hissəsi  $W_2$  dolağı yerləşmiş çubuqdan (bax. şək. 6.14), az hissəsi isə maqnit keçiricisinin əsas hissəsindən hava ilə ayrılmış şuntndan keçərək qapanır.



**Şək. 6.16. Pik – transformatorların çubuqlarının maqnit sellərinin və ikinci tərəf dolağının E.H.Q – nin qrafikləri**

Birinci tərəf  $u_1$  gərginliyinin cari qiymətinin artması ilə

$\Phi_1$  maqnit seli də artır və ikinci tərəf dolağı  $W_2$  yerləşdirilmiş çubuğun maqnitlə doyması başlanır. Bu zamandan başlayaraq  $W_2$  dolağı yerləşdirilmiş çubuqda  $\Phi_2$  maqnit selinin artması praktiki olaraq dayanır (bax. şəkl. 2.16,b). İkinci tərəf dolağında yaranan  $e_2$  EQ – si  $\Phi_2$  maqnit selinin dəyişmə sürətilə mütənasibdir yəni  $e_2 = -W_2 \frac{d\Phi_2}{dt}$ ,  $\Phi_2 = f(t_1)$  qrafikinin 1 – 2 və 3 – 4 (bax. şəkl. 6.16, b) hissəsində  $\Phi_2$  maqnit seli praktiki olaraq dəyişməz (sabit) olduğuna görə  $e_2 = 0$ .  $\Phi_2$  maqnit seli istiqamətini (işarəsini) dəyişdiyi vaxtdan  $e_2$  EQ kəskin olaraq artır və onun qrafiki pikvari forma alır.

Pik – transformatorların energetik göstəricilərini yaxşılaşdırmaq üçün onların maqnit keçiricilərinin materiallarını yüksək maqnit nüfuzluluğuna malik nikel və dəmirin ərintilərindən hazırlayırlar.

### **Истифадя олунмуш ядыбийят**

1. Алиев И.И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию. М.: Высшая школа, 2000. – 255 с.
2. Александров Н.Н. Электрические машины и микромашины – М.: Колос, 1983. – 384 с.
3. Брускин Д.Э., Зорохович А.Е., Хвостов В.С. Электрические машины и микромашины – М.: Высшая школа, 1990. – 528 с.
4. Беспалов В.Я., Котеленец Н.Ф. Электрические машины. – М.: Издательский центр «Академия». 2007. – 320 с.
5. Вольдек А.И. Электрические машины. М.: Энергия, 1978. – 840 с.
6. Гольдберг О.Д. Электромеханика: учебник для

- студ. высш. учеб. заведений / О.Д. Гольдберг, С.П. Хелемская; под ред. О.Д. Гольдберга. – М.: Издательский центр «Академия». 2007. – 512 с.
7. Забудский Е.И. Электрические машины. Ч.1. Трансформаторы. Учебное пособие для вузов. – М.: МГАУ, 2002. – 166 с.
8. Кацман М.М. Электрические машины и электропривод автоматических устройств – М.: Высшая школа, 1987. – 335 с.
9. Копылов И.П. Электрические машины / И.П. Копылов. – М.: Высшая школа, 2004 с.
10. Osmanov S.C., Qasimova T.Q. Elektrik maşınları. I – hissə, dərslik. – Bakı, “İndiqo”, 2007. – 202 s.
11. Сукманов В.И. Электрические машины и аппараты. М.: Колос, 2001. – 296 с.
12. Токарев Б.Ф. Электрические машины. М.: Энергоатомиздат, 1990. – 624 с.
13. Электротехнический справочник. Электротехнические изделия и устройства / Под общ. ред. Профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. – М.: МЭИ, 1998.

### ƏLAVƏLƏR

Йцксяк эярэинлийи 10 (6) кВ олан ТМ вя ТСЗ серийалы эць трансформаторлары

Ъядвял  
1

Трансформаторун таркасы	Эцьц, кВА	Эярэинлийи, кВ		Гыса қапна қярэйілігі, %	Эць иткиляри, кВт		Йцксякшишлямя тьягуаны, %	Габарит өлчдляр, мм	Кцтляси, Т
		YG	AG		Йцксякшишлямя	Гысақар апма			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ТМ 25/10	25	10; 6	0,4; 0,69	4,5	0,135	0,6	3,2	1120х 460х 122	0,38 0

TM 40/10	40	10; 6	0,4; 0,69	4,5	0,19	0,88	3	1120x 480x 127	0,48 5
TM 63/10	63	10; 6	0,4; 0,69	4,5	0,265	1,28	2,8	1120x 560x 140	0,6
TM 100/10	100	10; 6	0,4; 0,69	4,5	0,365	1,97	2,6	1200x 800x 147	0,72
TM 160/10	160	10; 6	0,4; 0,69	4,5	0,565	2,65	2,4	1290x 1020x 16	1,1
TM 250/10	250	10; 6	0,4; 0,69	4,5	0,82	3,7	2,3	1310x 1050x 17	1,42 5
TM 400/10	400	10; 6	0,4; 0,69	4,5	1,05	5,5	2,1	1400x 1080x 19	1,9
TM 630/10	630	10; 6	0,4; 0,69	5,5	1,56	7,6	2,0	1750x 1275x 21	3,0
TM 1000/ 10	1000	10	0,4	5,5	2,45	12,2	1,4	2700x 1750x 30	5,0
TM 1600/ 10	1600	10	0,4	5,5	3,3	18	1,3	450x 2300x 34	7,0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
TM 2500/ 10	2500	10	0,4	5,5	4,6	25	1	3500x 2260x 36	8,0
TM 4000/ 10	4000	10	0,4	5,5	6,4	33,5	0,9	3900x 3650x 39	13,2
TM 6300/ 10	6300	10	0,4	5,5	9,0	46,5	0,8	4300x 3700x 40	17,3
TC3- 160/ 10	160	10	0,4	5,5	0,7	2,7	4	1800x 950x 170	1,4

ТСЗ-250/10	250	10	0,4	5,5	1,0	3,8	3,5	850х1000х18	1,8
ТСЗ-400/10	400	10	0,4	5,5	1,3	5,4	3,0	2250х1000х21	2,4
ТСЗ-630/10	630	10	0,4	5,5	2,0	1,3	1,5	2250х1100х23	2,8
ТСЗ-1000/10	1000	10	0,4	5,5	3,0	11,2	1,5	2400х1350х22	3,4
ТСЗ-1600/10	1600	10	0,4	5,5	4,2	16,0	1,5	2650х1350х32	4,6

Йцксяк эярэинлийи 35, 110 кВ олан ТМ, ТДЦ, ТРДНЦ серийалы эць трансформаторлары Ъядвял 2

Транс-форматорун типі	u <sub>к</sub> , %	İtkilər, кВт		I <sub>0</sub> , %	Kütləsi, ton		Габарит юлчцлары, мм		
		P <sub>0</sub>	P <sub>q</sub>		Tam	Yağ	Щцн-дцр-лцц	Узун-луьу	Ени
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ТМ-100/35	6,5	0,465	1,970	2,6	1,3	—	2200	1330	900
ТМ-160/35	6,5	0,700	2,65	2,4	1,7	—	2260	1400	1000
ТМ-250/35	6,5	1,00	3,70	2,3	2,0	—	2320	1500	1250
ТМ-400/35	6,5	1,35	5,50	2,1	2,7	—	2500	1650	1350
ТМ-630/35	6,5	1,90	7,60	1,5	3,5	—	2750	2100	1450



ТМ-1000/35	6,5	2,75	12,2	1,5	6,0	2,02	3150	2700	1510
ТМ-1600/35	6,5	3,65	18,0	1,4	7,1	2,43	3400	2650	2300
ТМ-2500/35	6,5	5,1	25,0	1,1	9,6	2,70	3800	3800	2450
ТМ-4000/35	7,5	6,7	33,5	1,0	13,2	4,10	3900	3900	3650
ТМ-6300/35	7,5	9,4	46,5	0,9	17,4	4,80	4050	4300	3700
ТМ-10000/35	7,5	14,5	65,0	0,8	21,8	5,20	4350	3000	3760
ТД-16000/35	8,0	21,0	90,0	0,6	31,3	8,20	4860	3950	3970
ТД-40000/35	8,5	36,0	165,0	0,4	52,3	—	5700	5300	4400
ТДЦ-80000/35	9,5	60,0	280,0	0,3	78,6	11,9	6100	5950	4550
ТМН-2500/110	10,5	6,5	22,0	1,50	24,5	10,15	4090	5150	3540
ТМН-6300/110	10,5	11,5	48,0	0,80	37,3	14,7	5150	6080	3170
ТДН-10000/110	10,5	15,5	60,0	0,70	38,0	12,9	5380	5900	4270
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ТДН-16000/110	10,5	24,0	85,0	0,70	54,5	19,1	6300	6910	4470
ТРДН 25000/110	10,5	30,0	120,0	0,70	67,2	20,0	5820	6580	4650
ТРДН									

32000/ 110	10,5	40,0	145,0	0,7	—	—	—	—	—
ТРДН 40000/ 110	10,5	50,0	160,0	0,65	91,2	27,0	6190	6930	4850
ТРДЦ Н 63000 /110	10,5	70,0	245,0	0,60	107,2	28,5	6500	8300	4400
ТРДЦ Н 80000 /110	10,5	85,0	310,0	0,60	—	—	—	—	—
ТРДЦ Н 12500 0/110	10,5	120,0	400,0	0,55	—	—	—	—	—

Yüksək gərginliyi 0,66 kV – a qədər olan ümumi təyinatlı quru  
mühafizəli üçfazlı güc transformatorları

Cədvəl 3

Транс- форма- торун тиpi	Транс- форм- а- тору н nomi- nal gücü, KVA	$u_k$ , %	İtkilər, Вт		$I_0$ ,%	Транс- форм- а- тору н kütlə- si, kq	Габарит юлчцляри, мм		
			$P_0$	$P_q$			Щцн - дцр- лцй ц	Узун- лубу	Ен и
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ТЪ- 10/0,66	10	4,5	90	280	7,0	150	650	700	440
ТЪ- 16/0,66	16	4,5	125	400	5,8	180	680	760	480
ТЪ- 25/0,66	25	4,5	180	560	4,8	240	720	820	520
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ТЪ- 40/0,66	40	4,5	250	800	4,0	320	820	890	540
ТЪ-	63	4,5	355	1090	3,3	440	920	970	580

63/0,66									
ТЪ-100/0,6 6	100	4,5	500	1500	2,7	580	980	1060	520
ТЪ-160/0,6 6	160	4,5	710	2060	2,3	800	1150	1150	680

Birfazalı transformatorlar

Cədvəl 4.

Tipi	$S_n$ , KVA	$U_{1n}$ , V	$U_{2n}$ , V	$I_0$ , %	$U_{q,q}$ , %
ОСМ-0,063	0,063			24	12,0
ОСМ-0,10	0,1	220	12;24	24	9,0
ОСМ-0,16	0,16	380	36;42	23	7,0
ОСМ-0,25	0,25	660	110	22	5,45
ОСМ-0,4	0,4		220;14	20	4,5
ОСМ-0,63	0,63		29;56; 130;260	19	3,5
ОСМ-1,0	1,0		Düzləndi- ricilər üçün	18	2,5

Търяйан трансформаторлары

Cədvəl 5

Типи	$U_n$ , кВ	Йериня йетирил мя варианты	$I_{ном}$ , А	$C_n$ , В, А	
				Юлчц до- лабы	Мцща физя долаь ы
1	2	3	4	5	6
ТШ - 0,5	0,5	0,5/П	14000	—	—
ТНШ-0,60 6	0,6 6	3	1600;2500	—	—
ТНШЛ-0,66	0,6 6	0,5	800;1000;1500 2000;3000; 4000;5000	20	—

1	2	3	4	5	6
ТШН-0,66	0,6 6	3	100;150	5	—
		1	200	5	—
		0,5	300;400	5	—
		0,5	600;800;1000	10	—
ТЛМ-6	6	1/П	300;400	10	15
		0,5П	600;800;1000; 1500	10	15
ТОЛК-6	6	1	20;30;40;50;80; 100;150;200; 300;400;600	30	—
ТПЛМ-10	10	П;0,5/П П/П	5;10;15;20;30 40;50;75;100; 150;200;300;400;	10	15
ТПОЛ-10	10	8;0,5/П П/П	600;800;1000 1500	10	15
ТОЛ-10	10	0,5/П П/П	30;50;100;150 200;300;400; 600; 800;1000;1500	10	15
ТЛ-10	10	0,5/Р	50;100;150;200; 300;400;600; 800;1000	10	15
		0,5/Р/Р	1500;2000;3000	20	30
ТПЛ-10К	10	0,5/П П/П	10;15;30;50; 100;150;200;300 400;600;800;1000 1500	10	15

### Эярэинлик трансформаторлары

Сэдвэл 6

Типи	У <sub>н</sub> , В		С <sub>н</sub> , ВА		С <sub>мах</sub> , ВА
	БЦ	ЦЦ	1	0,5	
1	2	3	4	5	6
НОС-0,5	380	100	50	25	100
	500	100	50	25	100
НОМ-6	3000	100	50	30	240
	6000	100	75	50	400
НОМЭ-6	6000	100	75	50	400
НТМК-10	10000	100	200	120	960
НТМИ-10-60	10000	100; 100/3	200	120	960
НОЛ-08-10	1000	100	150	75	640
	11000	100-110			

3НОЛ-06-10	10000/√3 10000/√3	100/3 100/3-100	150	75	640
1	2	3	4	5	6
НОМ-15	13800 15750 18000	100	150	75	640
3НОМ-15-63	60000/√3 10000/√3 13800/√3 15750/√3	100/√3 100/√3	75 150	50 75	400 640

## МЦНДЭРИЪАТ

Эириш.....	
<b>3</b>	
<b>1. Трансформаторлар цаггында үтүмү</b>	
<b>мәлуматлар.....</b>	<b>5</b>
1.1. Трансформаторларын тәуинати вә тәтбиг	
сащәләри .....	5
1.2. Трансформаторун електромагнит схеми вә	
ишләмә	
принсипи	
.....	8
1.3. Трансформаторун ясас конструктив	
щиссяляри.....	11
1.4. Трансформаторун номинал кямийятляри	
.....	20
<b>2. Трансформаторун иш режимляри</b>	
.....	<b>22</b>
2.1. Трансформаторун йцксцз ишлямя режими	
.....	23
2.2. Трансформаторун йцклц иш режими	
.....	31
2.3. Трансформаторун гысагапанма режими	
.....	44
<b>3. Трансформаторун истисмар характери-</b>	
<b>калары вә</b>	
<b>эярэинлийин тязимлянмяси</b>	
.....	<b>53</b>
3.1. Трансформаторун икинъи тярәф	
эярэинлийинин	

.....	дәйишмяси вә хариъи характеристикасы	53
.....	3.2. Трансформаторун файдалы иш әмсалы	58
.....	3.3. Трансформаторларда әярәинлийин тәнзимләнмәси	57
.....	<b>4. Цчфазалы трансформаторлар</b>	<b>68</b>
.....	4.1. Цчфазалы тәряйянын чеврилмяси	68
.....	4.2. Трансформатор долагларынын бирләшмә схемләри	72
.....	4.3. Трансформатор долагларынын бирляшмя групплары	75
.....	4.4. Трансформаторларын паралел ишлямяси	81
.....	<b>5. Трансформаторларда кечид просесляри вә гейри симметрик иш режимляри</b>	<b>89</b>
.....	5.1. Трансформаторун икинъи тәряф долаъынын сыхаъларында қысагапанма режими	89
.....	5.2. Трансформатору шябьякяйя йцксцз ишя гошдугда йаранан кечид просеси	93
.....	5.3. Цчфазалы трансформаторларын гейри симметрик иш режимляри	96
.....	<b>6. Трансформаторларын хцсуси нювляри</b>	<b>104</b>

6.1. Чохдолаглы трансформаторлар .....	104
6.2. Автотрансформаторлар .....	108
6.3. Юлчц трансформаторлары .....	112
6.4. Гайнаг трансформаторлары .....	116
6.5. Дяйишян ъряйанын фазаларынын сайыны дяйишмяк цццн трансформаторлар .....	117
6.6. Дяйишян ъряйанын тезлийини дяйишмяк йчцн трансформаторлар .....	119
6.7. Düzləndirici qurğular üçün transformatorlar .....	123
6.8. Pik – transformatorlar .....	127
Ядябиййат .....	130
Ялавяляр .....	131



## **Dərs vəsaiti**

**Orucov Yaşar Behbud oğlu  
Abbasov Qiyas İmran oğlu  
Gözəlov Səyad Məmməd oğlu  
Ələkbərova Nailə Cabbar qızı**

## **Elektrik maşınları Tansformatorlar**

Nəşryyatın redaktoru: Ş.N.Qənbərova  
Korrektor: R.S. Kərimova

Yığılmağa verilmişdir 14/XII 2007 ci il  
Çapa imzalanmışdır 04/0I 2008 ci il  
Kağız formatı 210 x297 1/4 . Uçot nəşr vərəqi 7.  
Kağız № 1 Tiraj 150 Sifariş – 40 .  
Qiyməti müqavilə yolu ilə.

Azərbaycan Kənd Təsərrüfatı Akademiyasının mətbəsi.  
Gəncə şəhəri.

SN <sub>o</sub>	Səh.		SN <sub>o</sub>	Səh.	
1	140 – 1 2 – 139		19	104 – 37 38 – 103	
2	138 – 3 4 – 137		20	102 – 39 40 – 101	
3	136 – 5 6 – 135		21	100 – 41 42 – 99	
4	134 – 7 8 – 133		22	98 – 43 44 – 97	
5	132 – 9 10 – 131		23	96 – 45 46 – 95	
6	130 – 11 12 – 129		24	94 – 47 48 – 93	
7	128 – 13 14 – 127		25	92 – 49 50 – 91	
8	126 – 15 16 – 125		26	90 – 51 52 – 89	
9	124 – 17 18 – 123		27	88 – 53 54 – 87	
10	122 – 19 20 – 121		28	86 – 55 56 – 85	
11	120 – 21 22 – 119		29	84 – 57 58 – 83	
12	118 – 23 24 – 117		30	82 – 59 60 – 81	
13	116 – 25 26 – 115		31	80 – 61 62 – 79	
14	114 – 27 28 – 113		32	78 – 63 64 – 77	
15	112 – 29 30 – 111		33	76 – 65 66 – 75	
16	110 – 31 32 – 109		34	74 – 67 68 – 73	
17	108 – 33 34 – 107		35	72 – 69 70 – 71	

18	106 – 35 36 – 105			140,1 2,139 peçat	
----	----------------------	--	--	----------------------	--

## ƏLAVƏLƏR

Йцксяк эярэинлийи 10 (6) кВ олан ТМ вя ТСЗ серийалы эць трансформаторлары

Ъядвял

1

Транс- форма- торун тарка- сы	Эцьц, кВА	Эярэин- лийи, кВ		Гыса қанма эярэинліуі%	Эць иткиля- ри, кВт		Йцкссз ишля мя ъярайаны,	Габарит өл- чдлары, мм	Кцтляси, Т
		ЙЭ	АЭ		Йцкссз	Гыса қарап- ма			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ТМ 25/10	25	10; 6	0,4; 0,69	4,5	0,135	0,6	3,2	1120x460 x122	0,380
ТМ 40/10	40	10; 6	0,4; 0,69	4,5	0,19	0,88	3	1120x480 x127	0,485
ТМ 63/10	63	10; 6	0,4; 0,69	4,5	0,265	1,28	2,8	1120x560 x140	0,6
ТМ 100/10	100	10; 6	0,4; 0,69	4,5	0,365	1,97	2,6	1200x800 x147	0,72
ТМ 160/10	160	10; 6	0,4; 0,69	4,5	0,565	2,65	2,4	1290x 1020x16	1,1
ТМ 250/10	250	10; 6	0,4; 0,69	4,5	0,82	3,7	2,3	1310x 1050x17	1,425
ТМ 400/10	400	10; 6	0,4; 0,69	4,5	1,05	5,5	2,1	1400x 1080x19	1,9
ТМ 630/10	630	10; 6	0,4; 0,69	5,5	1,56	7,6	2,0	1750x 1275x21	3,0
ТМ 1000/10	1000	10	0,4	5,5	2,45	12,2	1,4	2700x 1750x30	5,0
ТМ 1600/10	1600	10	0,4	5,5	3,3	18	1,3	450x 2300x34	7,0
ТМ 2500/10	2500	10	0,4	5,5	4,6	25	1	3500x 2260x36	8,0
ТМ 4000/10	4000	10	0,4	5,5	6,4	33,5	0,9	3900x 3650x39	13,2
ТМ 6300/10	6300	10	0,4	5,5	9,0	46,5	0,8	4300x 3700x40	17,3

ТС3-160/10	160	10	0,4	5,5	0,7	2,7	4	1800x950x170	1,4
ТС3-250/10	250	10	0,4	5,5	1,0	3,8	3,5	850x1000x18	1,8
ТС3-400/10	400	10	0,4	5,5	1,3	5,4	3,0	2250x1000x21	2,4
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ТС3-630/10	630	10	0,4	5,5	2,0	1,3	1,5	2250x1100x23	2,8
ТС3-1000/10	1000	10	0,4	5,5	3,0	11,2	1,5	2400x1350x22	3,4
ТС3-1600/10	1600	10	0,4	5,5	4,2	16,0	1,5	2650x1350x32	4,6

Йцксяк эярэинлийи 35, 110 кВ олан ТМ, ТДЦ, ТРДНЦ серийалы эць трансформаторлары

Ъядвял 2

Трансформаторун тип	ц <sub>к</sub> ,%	Иткиляр , кВт		Ы <sub>0</sub> , %	Кцтляси, ton		Габарит юлчцляри, мм		
		П <sub>0</sub>	П <sub>г</sub>		Там	Йаьн	Щцн-дцр-лцйц	Узун-луьу	Ени
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ТМ-100/35	6,5	0,465	1,970	2,6	1,3	—	2200	1330	900
ТМ-160/35	6,5	0,700	2,65	2,4	1,7	—	2260	1400	1000
ТМ - 250/35	6,5	1,00	3,70	2,3	2,0	—	2320	1500	1250
ТМ-400/35	6,5	1,35	5,50	2,1	2,7	—	2500	1650	1350
ТМ - 630/35	6,5	1,90	7,60	1,5	3,5	—	2750	2100	1450
ТМ-1000/35	6,5	2,75	12,2	1,5	6,0	2,02	3150	2700	1510
ТМ-1600/35	6,5	3,65	18,0	1,4	7,1	2,43	3400	2650	2300
ТМ-2500/35	6,5	5,1	25,0	1,1	9,6	2,70	3800	3800	2450
ТМ-4000/35	7,5	6,7	33,5	1,0	13,2	4,10	3900	3900	3650
ТМ-6300/35	7,5	9,4	46,5	0,9	17,4	4,80	4050	4300	3700
ТМ-10000/35	7,5	14,5	65,0	0,8	21,8	5,20	4350	3000	3760

ТД-16000/35	8,0	21,0	90,0	0,6	31,3	8,20	4860	3950	3970
ТД-40000/35	8,5	36,0	165,0	0,4	52,3	—	5700	5300	4400
ТДЦ-80000/35	9,5	60,0	280,0	0,3	78,6	11,9	6100	5950	4550
ТМН-2500/110	10,5	6,5	22,0	1,50	24,5	10,15	4090	5150	3540
ТМН-6300/110	10,5	11,5	48,0	0,80	37,3	14,7	5150	6080	3170
ТДН-10000/110	10,5	15,5	60,0	0,70	38,0	12,9	5380	5900	4270
ТДН-16000/110	10,5	24,0	85,0	0,70	54,5	19,1	6300	6910	4470
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ТРДН – 25000/110	10,5	30,0	120,0	0,70	67,2	20,0	5820	6580	4650
ТРДН – 32000/110	10,5	40,0	145,0	0,7	—	—	—	—	—
ТРДН – 40000/110	10,5	50,0	160,0	0,65	91,2	27,0	6190	6930	4850
ТРДЦН 63000/110	10,5	70,0	245,0	0,60	107,2	28,5	6500	8300	4400
ТРДЦН 80000/110	10,5	85,0	310,0	0,60	—	—	—	—	—
ТРДЦН 125000/110	10,5	120,0	400,0	0,55	—	—	—	—	—

Yüksək gərginliyi 0,66 kV – a qədər olan ümumi təyinatlı quru mühafizəli üçfazlı güc transformatorları

Cədvəl 3.

Трансформаторун типляри	Трансформаторун номинал эцъц, кВА	u <sub>к</sub> , %	Иткиляр, БТ		и <sub>0</sub> , %	Трансформаторун кцтля сi,кq	Юлчцляри, мм		
			П <sub>0</sub>	П <sub>г</sub>			Щцн-дцр-ццц	Узун-луьу	Ени
ТЪ- 10/0,66	10	4,5	90	280	7,0	150	650	700	440
ТЪ- 16/0,66	16	4,5	125	400	5,8	180	680	760	480

ТЪ- 25/0,66	25	4,5	180	560	4,8	240	720	820	520
ТЪ- 40/0,66	40	4,5	250	800	4,0	320	820	890	540
ТЪ- 63/0,66	63	4,5	355	1090	3,3	440	920	970	580
ТЪ- 100/0,66	100	4,5	500	1500	2,7	580	980	1060	520
ТЪ- 160/0,66	160	4,5	710	2060	2,3	800	1150	1150	680

### Бирфазalı трансформаторлар

Сәдвәл 4.

Типі	S <sub>n</sub> , KVA	U <sub>1n</sub> , V	U <sub>2n</sub> , V	I <sub>0</sub> , %	U <sub>q,q</sub> , %
1	2	3	4	5	6
ОСМ-0,063	0,063			24	12,0
ОСМ-0,10	0,1	220	12;24	24	9,0
ОСМ-0,16	0,16	380	36;42	23	7,0
ОСМ-0,25	0,25	660	110	22	5,45
ОСМ-0,4	0,4		220;14	20	4,5
ОСМ-0,63	0,63		29;56;130;260	19	3,5
1	2	3	4	5	6
ОСМ-1,0	1,0		Дүзләндирісіләр үчүн	18	2,5

### Түрлән трансформаторлары

Сәдвәл 5

Типи	U <sub>n</sub> , кВ	Йериня йетирил-мя варианты	I <sub>ном</sub> , А	C <sub>n</sub> , В, А	
				Юлчц долабы	Мцщафиз долабы
1	2	3	4	5	6
ТШ -0,5	0,5	0,5/П	14000	—	—
ТШШ-0,60	0,66	3	1600;2500	—	—
1	2	3	4	5	6
ТШШЛ-0,66	0,66	0,5	800;1000;1500 2000;3000;4000;5000	20	—

ТШН-0,66	0,66	3 1 0,5 0,5	100;150 200; 300;400 600;800;1000	5 5 5 10	— — — —
ТЛМ-6	6	1/П 0,5П	300;400 600;800;1000;1500	10 10	15 15
ТОЛК-6	6	1	20;30;40;50 80;100;150;200; 300;400;600	30	—
ТПЛМ-10	10	П;0,5/П П/П	5;10;15;20;30 40;50;75;100;150; 200;300;400;	10	15
ТПОЛ-10	10	8;0,5/П П/П	600;800;1000 1500	10	15
ТОЛ-10	10	0,5/П П/П	30;50;100;150; 200;300;400; 600; 800;1000;1500	10	15
ТЛ-10	10	0,5/Р  0,5/Р/Р	50;100;150;200 300;400;600; 800;1000; 1500;2000;3000	10  20	15  30
ТПЛ-10К	10	0,5/П П/П	10;15;30;50; 100;150;200;300; 400;600;800;1000; 1500	10	15

### Ээрэинлик трансформаторлары

Сәдвәл

6

Типи	У <sub>н</sub> , В		С <sub>н</sub> , ВА		С <sub>мах</sub> , ВА
	БЩ	ЩЩ	1	0,5	
НОС-0,5	380	100	50	25	100
	500	100	50	25	100
НОМ-6	3000	100	50	30	240
	6000	100	75	50	400
НОМЭ-6	6000	100	75	50	400
НТМК-10	10000	100	200	120	960
НТМИ-10-60	10000	100; 100/3	200	120	960
НОЛ-08-10	1000	100	150	75	640
	11000	100-110			

ЗНОЛ-06-10	10000/ $\sqrt{3}$ 10000/ $\sqrt{3}$	100/3 100/3-100	150	75	640
НОМ-15	13800 15750 18000	100	150	75	640
ЗНОМ-15-63	60000/ $\sqrt{3}$ 10000/ $\sqrt{3}$ 13800/ $\sqrt{3}$ 15750/ $\sqrt{3}$	100/ $\sqrt{3}$ 100/ $\sqrt{3}$	75 150	50 75	400 640

## МЦНДЭРИЪАТ

Эириш.....	3
<b>1. Трансформаторлар цаггында үтүмү мэлуматлар .....</b>	<b>5</b>
1.1. Трансформаторларын тэуинати вэ тэтбиг сащэлэри .....	5
1.2. Трансформаторун електромагнит схеми вэ ишлэмэ принсипи .....	8
1.3. Трансформаторун ясас конструктив щиссяляр.....	10
1.4. Трансформаторун номинал кямиййятляри .....	19
<b>2. Трансформаторун иш режимляри .....</b>	<b>20</b>
2.1. Трансформаторун йцксцз ишлямя режими .....	21
2.2. Трансформаторун йцклц иш режими .....	28



2.3. Трансформаторун гысагапанма режими .....	40
<b>3. Трансформаторун истисмар характери- калары вь</b>	
<b>    эярэинлийин тьнзимлянмяси</b> .....	49
3.1. Трансформаторун икинъи тьряф эярэинлийинин дяйишмяси вь хариъи характеристикасы .....	49
3.2. Трансформаторун файдалы иш эмсалы .....	53
3.3. Трансформаторларда эярэинлийин тэнзимлэнмэси .....	57
<b>4. Цчфазалы трансформаторлар</b> .....	63
4.1. Цчфазалы тьряйянын чеврилмяси .....	63
4.2. Трансформатор долагларынын бирлэшмэ схемлэри .....	66
4.3. Трансформатор долагларынын бирляшмя груплары .....	70
4.4. Трансформаторларын паралел ишлямяси .....	75
<b>5. Трансформаторларда кечид просесляри вь гейри</b>	
<b>    симметрик иш режимляри</b> .....	83
5.1. Трансформаторун икинъи тьряф долаъынын сыхаъларында гысагапанма режими .....	83
5.2. Трансформатору шьбякьяйя йцксцз ишя гошдугда	

йаранан кечид просеси .....	87
5.3. Цчфазалы трансформаторларын гейри симметрик иш режимляри .....	90
<b>6. Трансформаторларын хцсуси нювляри</b> .....	<b>97</b>
6.1. Чохдолаглы трансформаторлар .....	97
6.2. Автотрансформаторлар .....	101
6.3. Юлчц трансформаторлары .....	105
6.4. Гайнаг трансформаторлары .....	108
6.5. Дяйишян ъряйянын фазаларынын сайыны дяйишмяк цчцн трансформаторлар .....	110
6.6. Дяйишян ъряйянын тезлийини дяйишмяк үчцн трансформаторлар .....	111
6.7. Düzləndirici qurğular üçün transformatorlar .....	115
6.8. Pik – transformatorlar .....	118
Ядябиййат .....	122
Ялавяляр .....	123

**Dərs vəsaiti**

**Orucov Yaşar Behbud oğlu  
Gözəlov Səyad Məmməd oğlu  
Abbasov Qiyas İmran oğlu  
Ələkbərova Nailə Cabbar qızı**

# Elektrik maşınları

## Tansformatorlar

Nəşryyatın redaktoru: Ş.N.Qənbərova

Korrektor: R.S. Kərimova

Yığılmağa verilmişdir 25/XII 2007 ci il

Çapa imzalanmışdır 03/XII 2007 ci il

Kağız formatı 210 x297 1/4 . Uçot nəşr vərəqi 7.

Kağız № 1 Tiraj 150 Sifariş – 40 .

Qiyməti müqavilə yolu ilə.

Azərbaycan Kənd Təsərrüfatı Akademiyasının mətbəsi.  
Gəncə şəhəri.

### ƏLAVƏLƏR

Йцксяк эярэинлийи 10 (6) кВ олан ТМ вя ТСЗ серийалы эць  
трансформаторлары

Ъядвял

1

Транс- форма - торун мар- касы	Эцьц,кВА	Эярэин- лийи, кВ		Гыса қапна қярэинліуі, %	Эць итки- ляри, кВт		Йцксяишлямя ъягэуаны, %	Габарит өлчцляри, мм	Кцтляси, Т
		YG	AG		Йцкся ишлямя	Гысақар анна			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

TM 25/10	25	10; 6	0,4; 0,69	4,5	0,135	0,6	3,2	1120x 460x 122	0,38 0
TM 40/10	40	10; 6	0,4; 0,69	4,5	0,19	0,88	3	1120x 480x 127	0,48 5
TM 63/10	63	10; 6	0,4; 0,69	4,5	0,265	1,28	2,8	1120x 560x 140	0,6
TM 100/10	100	10; 6	0,4; 0,69	4,5	0,365	1,97	2,6	1200x 800x 147	0,72
TM 160/10	160	10; 6	0,4; 0,69	4,5	0,565	2,65	2,4	1290x 1020x 16	1,1
TM 250/10	250	10; 6	0,4; 0,69	4,5	0,82	3,7	2,3	1310x 1050x 17	1,42 5
TM 400/10	400	10; 6	0,4; 0,69	4,5	1,05	5,5	2,1	1400x 1080x 19	1,9
TM 630/10	630	10; 6	0,4; 0,69	5,5	1,56	7,6	2,0	1750x 1275x 21	3,0
TM 1000/ 10	1000	10	0,4	5,5	2,45	12,2	1,4	2700x 1750x 30	5,0
TM 1600/ 10	1600	10	0,4	5,5	3,3	18	1,3	450x 2300x 34	7,0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
TM 2500/ 10	2500	10	0,4	5,5	4,6	25	1	3500x 2260x 36	8,0
TM 4000/ 10	4000	10	0,4	5,5	6,4	33,5	0,9	3900x 3650x 39	13,2
TM 6300/ 10	6300	10	0,4	5,5	9,0	46,5	0,8	4300x 3700x 40	17,3

ТС3-160/10	160	10	0,4	5,5	0,7	2,7	4	1800х 950х 170	1,4
ТС3-250/10	250	10	0,4	5,5	1,0	3,8	3,5	850х 1000х 18	1,8
ТС3-400/10	400	10	0,4	5,5	1,3	5,4	3,0	2250х 1000х 21	2,4
ТС3-630/10	630	10	0,4	5,5	2,0	1,3	1,5	2250х 1100х 23	2,8
ТС3-1000/10	1000	10	0,4	5,5	3,0	11,2	1,5	2400х 1350х 22	3,4
ТС3-1600/10	1600	10	0,4	5,5	4,2	16,0	1,5	2650х 1350х 32	4,6

Йцксяк эярэинлийи 35, 110 кВ олан ТМ, ТДЦ, ТРДНЦ серийалы эцъ  
Трансформаторлар

Ъядвьял 2

Транс- форм- а- торун тиpi	ц <sub>к</sub> , %	İtkilər, кВт		I <sub>0</sub> ,%	Kütləsi, ton		Габарит юлчцля- ри, мм		
		P <sub>0</sub>	P <sub>q</sub>		Там	Yağ	Щцн- дцр- лцйц	Узун- лубу	Ени
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ТМ-100/35	6,5	0,46 5	1,97 0	2,6	1,3	—	2200	133 0	900
ТМ-160/35	6,5	0,700	2,65	2,4	1,7	—	2260	1400	1000
ТМ-250/35	6,5	1,00	3,70	2,3	2,0	—	2320	1500	1250
ТМ-400/35	6,5	1,35	5,50	2,1	2,7	—	2500	1650	1350

ТМ - 630/3 5	6,5	1,90	7,60	1,5	3,5	—	2750	2100	1450
ТМ- 1000/ 35	6,5	2,75	12,2	1,5	6,0	2,02	3150	2700	1510
ТМ- 1600/ 35	6,5	3,65	18,0	1,4	7,1	2,43	3400	2650	2300
ТМ- 2500/ 35	6,5	5,1	25,0	1,1	9,6	2,70	3800	3800	2450
ТМ- 4000/ 35	7,5	6,7	33,5	1,0	13,2	4,10	3900	3900	3650
ТМ- 6300/ 35	7,5	9,4	46,5	0,9	17,4	4,80	4050	4300	3700
ТМ- 10000/ 35	7,5	14,5	65,0	0,8	21,8	5,20	4350	3000	3760
ТД- 16000/ 35	8,0	21,0	90,0	0,6	31,3	8,20	4860	3950	3970
ТД- 40000/ 35	8,5	36,0	165,0	0,4	52,3	—	5700	5300	4400
ТДЦ- 80000/ 35	9,5	60,0	280,0	0,3	78,6	11,9	6100	5950	4550
ТМН- 2500/1 10	10,5	6,5	22,0	1,50	24,5	10,1 5	4090	5150	3540
ТМН- 6300/ 110	10,5	11,5	48,0	0,80	37,3	14,7	5150	6080	3170
ТДН- 10000/ 110	10,5	15,5	60,0	0,70	38,0	12,9	5380	5900	4270
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ТДН- 16000/ 110	10,5	24,0	85,0	0,70	54,5	19,1	6300	6910	4470
ТРДН									

25000 /110	10,5	30,0	120,0	0,70	67,2	20,0	5820	6580	4650
ТРДН 32000/ 110	10,5	40,0	145,0	0,7	—	—	—	—	—
ТРДН 40000/ 110	10,5	50,0	160,0	0,65	91,2	27,0	6190	6930	4850
ТРДЦ Н 63000 /110	10,5	70,0	245,0	0,60	107,2	28,5	6500	8300	4400
ТРДЦ Н 80000 /110	10,5	85,0	310,0	0,60	—	—	—	—	—
ТРДЦ Н 12500 0/110	10,5	120,0	400,0	0,55	—	—	—	—	—

Yüksək gərginliyi 0,66 kV – a qədər olan ümumi təyinatlı quru  
mühafizəli üçfazlı güc transformatorları

Сədvəl 3

Транс- форма- торун тиpi	Транс - форм а- тору н nomi- nal gücü, KVA	u <sub>k</sub> , %	İtkilər, Вт		I <sub>0</sub> ,%	Транс - форм а- тору н kütlə- si, kq	Габарит юлчцляри, mm		
			P <sub>0</sub>	P <sub>q</sub>			Щцн - дцр- лцй ц	Узун- лұбу	Ен и
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ТЪ- 10/0,66	10	4,5	90	280	7,0	150	650	700	440
ТЪ- 16/0,66	16	4,5	125	400	5,8	180	680	760	480
ТЪ- 25/0,66	25	4,5	180	560	4,8	240	720	820	520
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10



ТЪ-40/0,66	40	4,5	250	800	4,0	320	820	890	540
ТЪ-63/0,66	63	4,5	355	1090	3,3	440	920	970	580
ТЪ-100/0,66	100	4,5	500	1500	2,7	580	980	1060	520
ТЪ-160/0,66	160	4,5	710	2060	2,3	800	1150	1150	680

Birfazalı transformatorlar

Cədvəl 4.

Tipi	S <sub>n</sub> , KVA	U <sub>1n</sub> , V	U <sub>2n</sub> , V	I <sub>0</sub> , %	U <sub>q,q</sub> , %
ОСМ-0,063	0,063			24	12,0
ОСМ-0,10	0,1	220	12;24	24	9,0
ОСМ-0,16	0,16	380	36;42	23	7,0
ОСМ-0,25	0,25	660	110	22	5,45
ОСМ-0,4	0,4		220;14	20	4,5
ОСМ-0,63	0,63		29;56; 130;260	19	3,5
ОСМ-1,0	1,0		Düzləndiricilər üçün	18	2,5

Търяйан трансформаторлары

Cədvəl 5

Типи	U <sub>n</sub> , кВ	Йериня йетирилмя варианты	Ы <sub>ном</sub> , А	C <sub>n</sub> , В, А	
				Юлц долабы	Мцща физядолабы
1	2	3	4	5	6
ТШ - 0,5	0,5	0,5/П	14000	—	—
ТНШ-0,60	0,66	3	1600;2500	—	—
	0,6	0,5	800;1000;1500	20	

ТНШЛ-0,66	6		2000;3000; 4000;5000		—
1	2	3	4	5	6
ТШН-0,66	0,6	3	100;150	5	—
	6	1	200	5	—
		0,5	300;400	5	—
		0,5	600;800;1000	10	—
ТЛМ-6	6	1/П	300;400	10	15
		0,5П	600;800;1000; 1500	10	15
ТОЛК-6	6	1	20;30;40;50;80; 100;150;200; 300;400;600	30	—
ТПЛМ-10	10	П;0,5/П П/П	5;10;15;20;30 40;50;75;100; 150;200;300;400;	10	15
ТПОЛ-10	10	8;0,5/П П/П	600;800;1000 1500	10	15
ТОЛ-10	10	0,5/П	30;50;100;150	10	15
		П/П	200;300;400; 600; 800;1000;1500		
ТЛ-10	10	0,5/Р	50;100;150;200; 300;400;600; 800;1000	10	15
		0,5/Р/Р	1500;2000;3000	20	30
ТПЛ-10К	10	0,5/П П/П	10;15;30;50; 100;150;200;300 400;600;800;1000 1500	10	15

### Эярэинлик трансформаторлары

Сэдвэл 6

Типи	У <sub>н</sub> , В		С <sub>н</sub> , ВА		С <sub>мах</sub> , ВА
	БЩ	ЩЩ	1	0,5	
1	2	3	4	5	6
НОС-0,5	380	100	50	25	100
	500	100	50	25	100
НОМ-6	3000	100	50	30	240
	6000	100	75	50	400
НОМЭ-6	6000	100	75	50	400
НТМК-10	10000	100	200	120	960
НТМИ-10-60	10000	100; 100/3	200	120	960

НОЛ-08-10	1000 11000	100 100-110	150	75	640
ЗНОЛ-06-10	$10000/\sqrt{3}$ $10000/\sqrt{3}$	$100/3$ $100/3-100$	150	75	640
1	2	3	4	5	6
НОМ-15	13800 15750 18000	100	150	75	640
ЗНОМ-15-63	$60000/\sqrt{3}$ $10000/\sqrt{3}$ $13800/\sqrt{3}$ $15750/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$ $100/\sqrt{3}$	75 150	50 75	400 640

## ӨЛАҮӨЛӨР

Йцксяк эярэинлийи 10 (6) кВ олан ТМ вя ТСЗ серийалы эць

Транс-фор-	Эцьц,	Эярэин-лийи, кВ	Гыса цапн	Эць итки-ляри, кВт	Йцкс цз	Габарит	Кцтл яси, Т
------------	-------	-----------------	-----------	--------------------	---------	---------	-------------

трансформаторлар

матогрун маркасы		YG	AG		Йцкцз ишлпя	Гыса қа- рап- ма			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ТМ 25/10	25	10; 6	0,4; 0,69	4,5	0,135	0,6	3,2	1120x 460x x122	0,380
ТМ 40/10	40	10; 6	0,4; 0,69	4,5	0,19	0,88	3	1120x 480x 127	0,485
ТМ 63/10	63	10; 6	0,4; 0,69	4,5	0,265	1,28	2,8	1120x 560x 140	0,6
ТМ 100/ 10	100	10; 6	0,4; 0,69	4,5	0,365	1,97	2,6	1200x 800x 147	0,72
ТМ 160/ 10	160	10; 6	0,4; 0,69	4,5	0,565	2,65	2,4	1290x 1020x 16	1,1
ТМ 250/ 10	250	10; 6	0,4; 0,69	4,5	0,82	3,7	2,3	1310x 1050x 17	1,425
ТМ 400/ 10	400	10; 6	0,4; 0,69	4,5	1,05	5,5	2,1	1400x 1080x 19	1,9
ТМ 630/ 10	630	10; 6	0,4; 0,69	5,5	1,56	7,6	2,0	1750x 1275x 21	3,0
ТМ 1000/ 10	1000	10	0,4	5,5	2,45	12,2	1,4	2700x 1750x 30	5,0
ТМ 1600/ 10	1600	10	0,4	5,5	3,3	18	1,3	450x 2300x 34	7,0


ТМ 2500/10	2500	10	0,4	5,5	4,6	25	1	3500х 2260х36	8,0
ТМ 4000/10	4000	10	0,4	5,5	6,4	33,5	0,9	3900х 3650х39	13,2
ТМ 6300/10	6300	10	0,4	5,5	9,0	46,5	0,8	4300х 3700х40	17,3
ТСЗ- 160/10	160	10	0,4	5,5	0,7	2,7	4	1800х95 0х170	1,4
ТСЗ- 250/10	250	10	0,4	5,5	1,0	3,8	3,5	850х100 0х18	1,8
ТСЗ- 400/10	400	10	0,4	5,5	1,3	5,4	3,0	2250х 1000х21	2,4
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ТСЗ- 630/10	630	10	0,4	5,5	2,0	1,3	1,5	2250х 1100х23	2,8
ТСЗ- 1000/10	1000	10	0,4	5,5	3,0	11,2	1,5	2400х 1350х22	3,4
ТСЗ- 1600/10	1600	10	0,4	5,5	4,2	16,0	1,5	2650х 1350х32	4,6

Йцксяк ээрэинлийи 35, 110 кВ олан ТМ, ТДЦ, ТРДНЦ серийалы эцъ  
трансформаторлары

Ъядвял 2

Трансфор- маторун типи	цк, %	Иткиляр , кВт		Ы <sub>0</sub> , %	Кцтляси, ton		Габарит юлчцляри, мм		
		П <sub>0</sub>	П <sub>Г</sub>		Там	Йаьн	Щцн- дцр-	Узун- луьу	Ени

							лцйц		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ТМ-100/35	6,5	0,46 5	1,970	2,6	1,3	—	2200	1330	900
ТМ-160/35	6,5	0,700	2,65	2,4	1,7	—	2260	1400	1000
ТМ - 250/35	6,5	1,00	3,70	2,3	2,0	—	2320	1500	1250
ТМ- 400/35	6,5	1,35	5,50	2,1	2,7	—	2500	1650	1350
ТМ - 630/35	6,5	1,90	7,60	1,5	3,5	—	2750	2100	1450
ТМ-1000/35	6,5	2,75	12,2	1,5	6,0	2,02	3150	2700	1510
ТМ-1600/35	6,5	3,65	18,0	1,4	7,1	2,43	3400	2650	2300
ТМ-2500/35	6,5	5,1	25,0	1,1	9,6	2,70	3800	3800	2450
ТМ-4000/35	7,5	6,7	33,5	1,0	13,2	4,10	3900	3900	3650
ТМ-6300/35	7,5	9,4	46,5	0,9	17,4	4,80	4050	4300	3700
ТМ- 10000/35	7,5	14,5	65,0	0,8	21,8	5,20	4350	3000	3760
ТД- 16000/35	8,0	21,0	90,0	0,6	31,3	8,20	4860	3950	3970
ТД- 40000/35	8,5	36,0	165,0	0,4	52,3	—	5700	5300	4400
ТДЦ- 80000/35	9,5	60,0	280,0	0,3	78,6	11,9	6100	5950	4550
ТМН- 2500/110	10,5	6,5	22,0	1,50	24,5	10,15	4090	5150	3540
ТМН- 6300/110	10,5	11,5	48,0	0,80	37,3	14,7	5150	6080	3170
ТДН- 10000/110	10,5	15,5	60,0	0,70	38,0	12,9	5380	5900	4270
ТДН- 16000/110	10,5	24,0	85,0	0,70	54,5	19,1	6300	6910	4470
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ТРДН – 25000/110	10,5	30,0	120,0	0,70	67,2	20,0	5820	6580	4650
ТРДН – 32000/110	10,5	40,0	145,0	0,7	—	—	—	—	—
ТРДН – 40000/110	10,5	50,0	160,0	0,65	91,2	27,0	6190	6930	4850
ТРДЦН 63000/110	10,5	70,0	245,0	0,60	107,2	28,5	6500	8300	4400
ТРДЦН 80000/110	10,5	85,0	310,0	0,60	—	—	—	—	—
ТРДЦН	10,5	120,0	400,0	0,55	—	—	—	—	—



125000/110									
------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Yüksək gərginliyi 0,66 kV – a qədər olan ümumi təyinatlı quru mühafizəli üçfazlı güc transformatorları

Cədvəl 3.

Трансформаторун типляри	Трансформаторун номинал эцъц , кВА	u <sub>к</sub> , %	Иткиляр, БТ		и <sub>0</sub> , %	Трансформаторун кцтля сi,кq	Юлчцляри, мм		
			П <sub>0</sub>	П <sub>г</sub>			Щцн-дцр-лцц	Узун-луьу	Ени
ТЪ- 10/0,66	10	4,5	90	280	7,0	150	650	700	440
ТЪ- 16/0,66	16	4,5	125	400	5,8	180	680	760	480
ТЪ- 25/0,66	25	4,5	180	560	4,8	240	720	820	520
ТЪ- 40/0,66	40	4,5	250	800	4,0	320	820	890	540
ТЪ- 63/0,66	63	4,5	355	1090	3,3	440	920	970	580
ТЪ- 100/0,66	100	4,5	500	1500	2,7	580	980	1060	520
ТЪ- 160/0,66	160	4,5	710	2060	2,3	800	1150	1150	680

#### Birfazlı transformatorlar

Cədvəl 4.

Типи	S <sub>n</sub> , KVA	U <sub>1n</sub> , V	U <sub>2n</sub> , V	I <sub>0</sub> ,%	U <sub>q,q</sub> , %
1	2	3	4	5	6
ОСМ-0,063	0,063			24	12,0
ОСМ-0,10	0,1	220	12;24	24	9,0
ОСМ-0,16	0,16	380	36;42	23	7,0
ОСМ-0,25	0,25	660	110	22	5,45
ОСМ-0,4	0,4		220;14	20	4,5
ОСМ-0,63	0,63		29;56;130;260	19	3,5

1	2	3	4	5	6
ОСМ-1,0	1,0		Düzləndiricilər üçün	18	2,5

Ђырайан трансформаторлары

Сədvəl 5

Типи	У <sub>н</sub> , кВ	Йериня йетирил-мя варианты	Ы <sub>ном</sub> , А	С <sub>н</sub> , В, А	
				Юлчц до-лабы	Мцщафиз я долабы
1	2	3	4	5	6
ТШ –0,5	0,5	0,5/П	14000	—	—
ТНШ-0,60	0,66	3	1600;2500	—	—
1	2	3	4	5	6
ТНШЛ-0,66	0,66	0,5	800;1000;1500 2000;3000;4000;5000	20	—
ТШН-0,66	0,66	3	100;150	5	—
		1	200;	5	—
		0,5	300;400	5	—
		0,5	600;800;1000	10	—
ТЛМ-6	6	1/П	300;400	10	15
		0,5П	600;800;1000;1500	10	15
ТОЛК-6	6	1	20;30;40;50 80;100;150;200; 300;400;600	30	—
ТПЛМ-10	10	П;0,5/П	5;10;15;20;30	10	15
		П/П	40;50;75;100;150; 200;300;400;		
ТПОЛ-10	10	8;0,5/П П/П	600;800;1000 1500	10	15
ТОЛ-10	10	0,5/П П/П	30;50;100;150; 200;300;400; 600; 800;1000;1500	10	15
ТЛ-10	10	0,5/Р	50;100;150;200 300;400;600; 800;1000;	10	15
		0,5/Р/Р	1500;2000;3000	20	30
ТПЛ-10К	10	0,5/П П/П	10;15;30;50; 100;150;200;300; 400;600;800;1000; 1500	10	15

Типи	У <sub>n</sub> , В		С <sub>n</sub> , ВА		С <sub>max</sub> , ВА
	БЩ	ЩЩ	1	0,5	
НОС-0,5	380	100	50	25	100
	500	100	50	25	100
НОМ-6	3000	100	50	30	240
	6000	100	75	50	400
НОМЭ-6	6000	100	75	50	400
НТМК-10	10000	100	200	120	960
НТМИ-10-60	10000	100; 100/3	200	120	960
НОЛ-08-10	1000	100	150	75	640
	11000	100-110			
ЗНОЛ-06-10	10000/√3	100/3	150	75	640
	10000/√3	100/3-100			
НОМ-15	13800	100	150	75	640
	15750				
	18000				
ЗНОМ-15-63	60000/√3	100/√3	75	50	400
	10000/√3		150	75	640
	13800/√3				
	15750/√3				

### Истифадя олунмуш ядъбийят

1. Сукманов В.И. Электрические машины и аппараты. М.: Колос, 2001.
2. Брускин Д.Э., Зорохович А.Е., Хвостов В.С. Электрические машины и микромашины – М.: Высшая школа, 1990.
3. Токарев Б.Ф. Электрические машины. М.: Энергоатомиздат, 1990.

4. Александров Н.Н. Электрические машины и микромашины – М.: Колос, 1983.
5. Вольдек А.И. Электрические машины. М.: Энергия, 1978.
6. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины. Учебник для вузов. М.: Энергия, 1980.
7. Кацман М.М. Электрические машины и электропривод автоматических устройств – М.: Высшая школа, 1987.
8. Сергеевков Б.Н., Киселев В.М., Акимова Н.А. Электрические машины. Трансформаторы. М.: Высшая школа, 1989.
9. Алексенко Г.В. Параллельная работа трансформаторов и автотрансформаторов. – М-Л.: Энергия, 1967.
10. Костенко М.П., Пиотровски Л.М. Електрик машинлары. Биринъи щисся, Бакы, Маариф няшриййаты, 1969.
11. Мансуров З.Й. Електрик машинлары вя аппаратларынын сынааы. Биринъи щисся (дярс вясаити), Гәпсә, 1975.
12. Электротехнический справочник. Электротехнические изделия и устройства / Под общ. ред. Профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. – М.: МЭИ, 1998.
13. Алиев И.И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию. М.: Высшая школа, 2000.