**Tema14: Transformatoryň boş iş düzgüni.**

1. Transformatoryň boş iş düzgüni üçin çalşyrma shema.
2. Birfazaly we üçfazaly transformatorlaryň boş iş tejribesini geçirmek üçin shemalar.
3. Transformatoryň boş iş häsiýetnamalary.

 Boş iş düzgüninde transformatoryň ikinji sarymyna hiç-hili ýük birikdirilmeýär, ýagny, ol açyk goýulýar. Onuň birinji sarymy bolsa, *U1* naprýaženiýeli üýtgeýän toguň setine birikdirilýär. *U1* naprýaženiýäniň täsiri netijesinde birinji sarymdan transformatoryň boş iş togy diýlip atlandyrylýan *I1* tok geçýär. Adatça bu toguň ululygy transformatorlar konstruktirlenende onuň nominal togunyň 2,5÷10 %-inden köp bolmaz ýaly edilýär, ýagny *I0=(0,025÷0,1)I1n*. Bu toguň döredýän magnit akymynyň transformatoryň ýapyk magnitgeçirijisiniň üsti boýunça geçýän bölegine baş magnit akymy diýilýär we ol *Ф* harpy bilen belgilenýär. Bu akym transformatoryň birinji we ikinji sarymlarynda *e1* we *e2* elektrik hereketlendiriji güýji indusirleýär. Magnit akymynyň, birinji sarymy gurşap alan howanyň üsti boýunça geçýän bölegine ýaýraýan magnit akymy diýilýär we *Фδ1* bilen belgilenilýär. Bu akym diňe birinji sarymyň sargylaryny kesip geçýär we ol ýerde *eδ1*elektrik hereketlendiriji güýji indusirleýär. Ýaýraýan *Фδ1*magnit akymynyň geçýän ýolunyň esasy böleginiň howanyň ýa-da mineral ýagyň üstündenligi sebäpli, onuň ululygy baş magnit akymynyň ululygyndan örän kiçidir. Şeýle-de, *Фδ1* akymy *I*0  toga göni baglydyr. Baş magnit akymy bilen *I*0 toguň arasynda bolsa, beýle göni baglanyşyk ýokdyr.

Transformatorlarda bolýan hadysalary häsiýetlendirýän ululyklaryň özara gatnaşyklaryny aýdyň görkezmek üçin, köplenç ýagdaýlarda diagramma gurulýar. Beýgeldiji transformatoryň boş iş düzgüni üçin hil taýdan gurlan diagrammasy 1.4-nji (a) suratda görkezilendir.

Diagramma gurlanda onuň daýanjy hökmünde birinji we ikinji sarymlar üçin umumy bolan amplituda ululygy

  (2.2)

görnüşde kesgitlenýän baş magnit akymy alynýar we beýleki ululyklaryň ählisi şoňa görä gurulýar:

*Фδ1*ýaýraýan magnit akymynyň geçýän ýolunyň esasy böleginiň howanyň ýa-da mineral ýagyň üstündenligi sebäpli, ol özüniň fazasy boýunça *I0* tok bilen gabat gelýär. Emma, transformatoryň magnitgeçirijisiniň ýukajyk polat plastinkalardan taýýarlanylýandygyna garamazdan, onda köwlenme toklaryň täsirinde döreýän magnit ýitgileri *Ф* baş magnit akymynyň öz fazasy boýunça *I0* tokdan örän ujypsyz δ burça yza galmagyna getirýär.

Transformatoryň sarymlarynda indusirlenýän  we  elektrik hereketlendiriji güýçleriň ululyklarynyň magnit akymynyň üýtgemek tizligine baglydygy sebäpli, olar öz fazalary boýunça -den 90º yza galýandygy aşakdaky görnüşde subut edilýär:

 (2.3)

bu ýerde degişlilikde transformatoryň birinji we ikinji sarymlarynda indusirlenýän elektrik hereketlendiriji güýjüň amplituda ululyklarydyr.

 Elektrik hereketlendiriji güýçleriň täsir ediji ululyklary degişlilikde:

. (2.4)

 elektrik hereketlendiriji güýç bolsa, öz gezeginde  ýaýraýan magnit akymyndan 90º burça yza galýar.

 Transformatoryň boş iş düzgüninde ikinji sarymyndan tok geçmeýänligi üçin onuň gysgyçlarynyň arasyndaky  naprýaženiýe ikinji sarymda indusirlenýän  elektrik hereketlendiriji güýje deňdir.

 Kirhgofuň ikinji kanunyna görä, real transformatoryň birinji sarymyna goýlan  naprýaženiýe bu sarymda baş magnit akymy tarapyndan indussirlenen  elektrik hereketlendiriji güýji, ýaýraýan magnit akymy tarapyndan indussirlenen  elektrik hereketlendiriji güýji we onuň *R* aktiw garşylygyndaky naprýaženiýäniň peselmegini deňagramlaşdyrýar, ýagny:



 (2.5)



2.4-nji surat. Transformatoryň boş iş düzgüni üçin gurlan takyk (a) we ýakynlaşan (b) diagrammalar.

Ýaýraýan magnit akymynyň täsirinde döerýän  elektrik hereketlendiriji güýji birinji sarymyň *x1* induktiw garşylygyndaky naprýaženiýäniň peselmesi bilen çalşyryp:

 (2.6)

(2.5) deňlemäni aşakdaky görnüşde ýazyp bileris:

 (2.7)

Diagrammada  naprýaženiýe (2.7) deňlemäniň esasynda gurulýar.

 Real transformatorlarda *R1I0* we *X1I0* ululyklaryň *U1* naprýaženiýäniň örän ujypsyz bölegini düzýänligi sebäpli, köplenç ýagdaýlarda *U1≈-E1* diýip kabul edilýär we praktikada transformatoryň transformasiýa koeffisiýenti *K12=U1/U20*  görnüşde kesgitlenýär. Şu aýdylanlary hasaba alyp, transformatoryň boş iş düzgüni üçin gurlan diagramma 2.4-nji (b) suratda görkezilendir.

***Transformatoryň boş iş düzgünindäki energiýanyň ýitgileri.***

Transformatoryň magnitgeçirijilerindäki ýüze çykýan energiýanyň ýitgilerine magnit ýitgileri diýilýär we olar takmynan transformatoryň nominal kuwwatynyň 0,1÷2 % düzýär. Magnit ýitgileri gisterezis hadysasy we köwlenme toklaryň netijesinde ýüze çykýarlar. Gisterezis hadysasynyň ýüze çykarýan ýitgileri magnit akymyň *f* ýygylygyna we magnit induksiýanyň kwadratyna göni baglydyr (*Pgist→fB2)*, köwlenme toklardan ýüze çykýan energiýanyň ýitgileri *f* ýygylygyň we magnit induksiýanyň kwadratlaryna (*Pköwl→f2B2)* göni baglydyr. Senagat ýygylygynda (*f*=50 *Hz*) ulanylýan transformatorlaryň magnit geçirijileriniň aýratyn bölegindäki magnit ýitgiler elektrotehniki poladyň aktiw kese-kesiginiň meýdany (П), magnit induksiýasy (*B*) we poladyň massasy (*m*) arkaly indiki görnüşde kesgitlenilýär:



bu aňlatmada elektrotehniki poladyň *f*=50 Hz ýygylykda we *B=1Tl* induksiýadaky udel ýitgisi. Magnit akymyň we induksiýanyň ululyklarynyň transformatoryň *U1n* nominal naprýäženiýesine göni baglydygy  sebäpli transformatoryň boş iş we nominal iş düzgünlerindäki magnit ýitgiler takmynan özara deňdirler. Transformatoryň  boş iş togunyň onuň nominal tokdan örän kiçiligi *I0=(0,025÷0,1)I1n* sebäpli praktiki hasaplamalarda boş iş düzgünindäki energiýanyň ýitgileri magnit ýitgilerine deň diýip kabul edilýär. *Pm* magnit ýitgisi bolan transformator setden *P=U1nI0.a* aktiw kuwwaty alýar.

 Boş iş toguň aktiw düzüjisi:

 (2.8)

öz fazasy boýunça *U1n* naprýäženiýe bilen gabat gelýär we ol fiktiw (hakyky däl) *R12* garşylygyk arkaly

 (2.9)

görnüşde ýazylýar. (2.8) we (2.9) aňlatmalary özara deňeşdirip alarys

 (2.10)

Boş iş düzgüninde transformatoryň setden alýan *I0* togy *I0.a* aktiw we *I0.r* reaktiw düzüjilerden ybaratdyr.

 (2.11)

 (2.11) aňlatmadaky *Y0* kompleks geçirijilik özara parallel birikdirilen *R12* we

*jX12* garşylykly zynjyra degişlidir:

. (2.12)

Transformatoryň boş iş düzgünindäki magnit ýitgileri bilen baglanyşykly prossesleri görkezýän çalşyrma shemasy 2.5-nji suratda görkezilendir.



 a) b)

2.5-nji surat. Transformatoryň boş iş düzgüni üçin çalşyrma shema (a)

we onuň ýönekeýleşdirilen shemasy (b).

Praktiki hasaplamalarda 2.5-nji (a) suratdaky shemanyň ýerine 2.5-nji (b) suratdaky shemany ulanmak has amatlydyr. Bu shemada transformatoryň boş iş düzgünine onuň birinji sarymynyň doly garşylygy:

 (2.13)

*X0* garşylyga transformatoryň birinji sarymyň baş induktiw garşylygy diýilýär. *R0* garşylyk bolsa transformatoryň magnit ýitgilerini görkezýän fiktiw garşylykdyr. 2.5-nji (b) suratdaky çalşyrma shemadan peýdalanyp magnit ýitgileri *Pm=R0I02*, *U1* naprýäženiýesiniň aktiw we reaktiw düzüjilerini *R0I0* we *X0I0* görnüşde ýazyp bileris. *U1*naprýäženiýe bilen *I0* toguň arasyndaky baglanyşyk:

. (2.14)

 Transformatoryň magnit ýitgilerini, transformasiýa koefisiýentini, çalşyrma shemanyň magnitlendiriji şahasynyň *R0*; *X0* elementleriniň ululyklaryny kesgitlemek we onuň magnit hem-de boş iş häsiýetnamalaryny derňemek üçin boş iş tejribesi geçirilýär.

 Bir we üçfazaly transformatorlarda boş iş tejribeleri geçirmek üçin niýetlenen shemalar 2.6-njy suratlarda görkezilendir.

 Boş iş tejribäni geçirmek üçin transformatoryň ikiji sarymyna diňe *PV2* woltmetr birikdirilýär we awtotransformator arkaly onuň birinji sarymyna *U1=0*-dan başlap tä *U1=U1n* çenli naprýaženiýeleriň dürli ululyklaryna goýulýar. Elektrik ölçeg abzallaryň *U1* naprýaženiýäniň dürli ululyklarynyň degişli görkezmeleri alynýar we olar boýunça transformatoryň *I0=f(U); P0=f(U1); cosφ=f(U)* boş iş häsiýetnamalary gurulýar (2.7-nji surat).

*U1=U1n* naprýäženiýede elektrik ölçeg abzallaryň görkezmeleri boýunça transformatoryň *Г* görnüşli çalşyrma shemasynyň magnitlendiriji şahasynyň *R0* we *X0* elementleriniň garşylyklary kesgitlenilýär. Shemadan görnüşi ýaly, transformatoryň ikinji sarymyna ýük birikdirilmedik wagty (*I2=0*) zynjyryň giriş garşylygy:

 Bir fazaly transformator üçin: ;

 Üçfazaly transformator üçin:, bu aňlatmada: .

 Magnitlendirji şahanyň aktiw garşylygy:

Birfazaly transformator üçin: ;

Üçfazaly transformator üçin: ; bu aňlatmada: .

 Şahanyň reaktiw garşylygy: .



2.6-njy surat. Birfazaly (a) we üçfazaly (b) transformatorlaryň boş iş tejribesini geçirmek üçin shemalar.



2.7-nji surat. Transformatoryň boş iş häsiýetnamalary.

*R0; X0; X12; R12* garşylyklaryň we *I0* boş iş toguň *U1* naprýäženiýe baglanşygynyň grafigi 2.8-nji suratda görkezilendir.

2.8-nji surat. Çalşyrma shemanyň *R0; X0; X12* garşylyklarynyň we

*I0* boş iş toguň *U1* naprýaženiýä baglanyşyklary.

2.8-nji suratdaky grafiklerden görnüşi ýaly *R0* we *X0*garşylyklaryň ululyklary *U1* naprýaženiýä baglydyr: *X0=X12* garşylyklar *U1/I0* gatnaşyga, *R0* garşylyk bolsa (*U1/I0*)2 gatnaşygyň kwadratyna baglydyr. *R12* garşylygyň ululygy *U1* naprýaženiýä bagly däl diýen ýalydyr.

Boş iş tejribä transformator gurnalan wagtynda onuň magnitgeçirijisiniň taýýarlanylyşyna tehniki gözegçilik etmegiň serişdesi hökmünde hem seredilýär. Ýagny *I0* toguň we magnit ýitgileriň ululyklary arkaly transformatoryň magnitgeçirjisi üçin ulanylan materialyň hiline, serdeçnigiň kese-kesiginiň meýdanynyň we transformatoryň birinji sarymynyň sargy sanlarynyň dogry saýalnylyp alynyşyna baha berilýär. Şeýle-de shemadaky woltmetrler arkaly transformatoryň transformasiýa koeffisiýenti kesgitlenilýär:



Üçfazaly transformatoryň boş iş häsiýetnamalaryny gurmak üçin *U1* faza naprýäženiýeleriň we *I0* faza toklaryň ortaça ululyklary alynýar. *P0* kuwwat bolsa wattmetrleriň görkezmeleri boýunça *P0=P1±P1* görnüşde hasaplanýar („+“ alamat wattmetrleriň peýkamjygy saga gyşaran ýagdaýy, „−“ alamat watmetrleriň peýkamjygynyň biriniň çepe gyşaran ýagdaýy).

Sterženleri bir tekizlikde ýerleşýän üçfazaly transformatorlaryň magnit sistemasynyň simmetriýasynyň ýoklugy sebäpli olaryň faza toklary özara birdeň bolmaýarlar. Ýagny, transformatoryň aralyk sterženi üçin magnit akymyň hasaplama *ℓB* uzunlygyň çetki sterženleriň *ℓA* we *ℓC* uzunlyklaryndan gysga bolmagy sebäp bolýar. 2.8-nji suratdaky *I0=f(U1)* baglanyşygyň grafiginden görnüşi ýaly *I0* tok ilki başda  naprýaženiýä görä göniçyzykly baglanyşyk boýunça ösýär.

Soňra  tok  naprýaženiýä görä has çalt ösüp başlaýar. Bu hadysa magnit akymyň  naprýäženiýä göni baglydygy (*U1n≈E1=4,44w1fФm*) we magnit akymynyň ululygynyň ösmegi bilen magnit zynjyrynyň magnit taýdan doýgun ýagdaýa barýanlygy bilen düşündirilýär. Ýagny, magnit zynjyrynyň doýgun ýagdaýda bolmagy magnit akymyny döretmek üçin gerek bolýan magnitlendiriji toguň has çalt ösmegine getirýär.

Kuwwat koefisiýentiniň *cosφ=f(U1)* grafiginden görnüşi ýaly naprýaženiýäniň ösmegi bilen *cosφ0*  ululygyň peselmegi *I0* toguň *U1*naprýäženiýden has çalt ösýänligi bilen düşündirilýär. Magnitgeçirijisi ferromagnit materiallardan taýarlanylýan transformatorlaryň magnit taýdan doýgun ýagdaýa barmagy, *Ф* magnit akym bilen boş iş toguň *I0r* magnitlendiriji düzüjisiniň arasynda göni baglanyşygyň saklanylmazlygyna getirýär. Bu bolsa öz gezseginde *Ф* we *I0*ululyklarynyň biriniň wagta görä sinusoidaloidal kanun boýunça üýtgände beýleki biriniň bu kanun boýunça üýtgemezligine sebäp bolýar.

Goý, birfazaly transformatorlaryň birinji sarymyna sinusoidaloidal *U1* naprýäženiýe goýlan bolsun. *Ф* magnit akym *U1*naprýäženiýe göni baglydygy sebäpli, ol hem wagta görä sinusoidaloidal kanun boýunça üýtgeýär. *I0* magnitlendiriji toguň *I0r* reaktiw düzüjisiniň wagta görä üýtgeýşine düşünmek üçin 2.9-njy suratda görkezilen grafikden peýdalanylyň.

Koordinatalar sistemanyň birinji kwadrantyna *Ф* magnit akymyň *I0r* magnitlendiriji toguň reaktiw düzüjisine bolan baglanyşygynyň, ikinji kwadrantda magnit akymynyň wagta görä (*Ф=f(t)*) üýtgeýişiniň grafikleri görkezilen.



2.9-njy surat. Birfazaly transformatoryň magnit häsiýetnamasy (1), magnit akymyň (2) we magnitlendiriji toguň (4) wagta görä üýtgeýiş grafikleri.

*I0r* toguň wagta görä üýtgeýişini bilmek üçin *Ф=f(t)* grafikden *Ф* magnit akymyň dürli wagt pursatlaryna degişli ululyklary *Ф=f(t)* baglanyşygy geçirýäris. Soňra şol wagt pursatlaryna degişli *I0r* toklary dördünji kwadranta geçirip *I0r=f(t)* baglanyşyk alynýar.

Alnan *I0r=f(t)* baglanyşygyň grafiginden görnüşi ýaly, *I0r* tok wagta görä sinusoidaloidal kanun boýunça üýtgemeýär.