

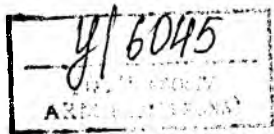
**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA
O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI**

**ABU RAYHON BERUNIY NOMIDAGI
TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI**

ELEKTR MASHINALARI

**FANINING «TRANSFORMATORLAR» QISMI
BO'YICHA KURS LOYIHASINI BAJARISHGA OID**

O'QUV-METODIK QO'LLANMA



TOSHKENT 2012

N.B. Pirmatov, Z.A. Yarmuxamedova, G.N. Mustafakulova

Elektr mashinalari fanining transformatorlar qismi bo'yicha kurs loyihasini bajarishga oid o'quv-metodik qo'llanma. / N.B. Pirmatov, Z.A. Yarmuxamedova, G.N. Mustafakulova. O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi. – T.: ToshDTU, 2012 – 117 b.

Mazkur o'quv-metodik qo'llanmada Elektr mashinalari fanining o'quv rejasiga asosan namunaviy dastur bo'yicha yozilgan.

Ushbu o'quv-metodik qo'llanmada uch fazali ikki chulg'amli kuch transformatorlarini loyihalash masalalari yoritilgan.

Mazkur qo'llanma «Elektr texnikasi, elektr mexanikasi va elektr texnologiyalari», «Elektr energetikasi» va «Kasb ta'limi (elektr energetikasi)» yo'nalishlarining talabalari uchun mo'ljallangan bo'lib, undan ishlab chiqarish korxonalarida ishlayotgan mutaxassisleri ham foydalanishlari mumkin.

Taqrizchilar: U.T. Berdiyev –Toshkent temir–yo'l
muhandislari institutining «Elektr transporti»
kafedrasi mudiri, texnika fanlar nomzodi dotsent

A.T. Imomnazarov – Toshkent Davlat Texnika
Universiteti «Elektr texnikasi, elektr mexanikasi va
elektr texnologiyalari» kafedrasi texnika fanlar
nomzodi dotsent

Kirish

Zamonaviy fan va texnikaning istiqboli har xil ishlab chiqarish jarayonlari hamda qurilmalarida elektr energiyani qo'llash bilan uzviy bog'langan.

Energetika tizimida elektr energiyani uzatish (bunda asosan ikki chulg'amli transformatorlar ishlatilib, agar iste'molchilar uchun ikki klassdagi kuchlanish talab qilingan hollarda ikkita ikki chulg'amli uch fazali transformator o'rniga bitta katta quvvatli uch chulg'amli uch fazali transformator ishlatish iqtisodiy jihatdan samarali bo'ladi); sanoat korxonalari, shaharlar, qishloq va suv xo'jaligi elektr iste'molchilari orasida energiyani taqsimlash va ularni elektr energiya bilan ta'minlash tizimida kuch transformatorlari keng qo'llaniladi.

Ikki va undan ko'p induktiv jihatdan bog'langan chulg'amlari bo'lgan va o'zgaruvchan tok elektr energiyasi parametrlarini (kuchlanish, tok, chastota, fazalar soni) elektromagnit induksiya yo'li bilan o'zgartiradigan statik elektromagnit apparatga transformator deyiladi.

O'zgaruvchan tok energiyasining faqat kuchlanishi ($U_2 \neq U_1$)-va toki ($I_2 \neq I_1$) o'zgaradigan ravishda loyihalaniib ishlab chiqilgan transformatorlar amalda keng qo'llanilmoqda (bunday holda o'zgaruvchan tokning fazalar soni, chastotasi va vaqt bo'yicha o'zgarish egriligi o'zgarmaydi).

O'zbekiston Respublikasining katta quvvatli elektr stansiyalarida kuchlanishni oshiruvchi (110, 220 va 500 kV), markaziy elektr podstansiyalarida esa kuchlanishni pasaytiruvchi katta quvvatli transformatorlar ishlatiladi.

Mustaqil davlatlar hamdo'stligi (MDH) mamlakatlarining ayrimlarida (masalan, Rossiya va Ukrainada): a) quvvati 800 MW bo'lgan generator bilan bir blokda ishlash uchun quvvati 1000 MV·A transformatorlar foydalaniladi; b) quvvati 1250 MV·A bo'lgan transformatorlar ishlab chiqarish o'zlashtirilgan; d) kuchlanishi 500 kV bo'lgan bir fazali transformatorlar guruhining maksimal quvvati 1600 MV·A ni, 750 kV kuchlanishlisi esa 1250 MV·A ni tashkil qiladi; e) kuchlanishi 1150 kV bo'lgan katta quvvatli transformatorlar o'zlashtirilgan.

Sohaviy kuch transformatorlari elektr transportida (temir yo'l metro va shahar elektr transporti ta'minotida), elektr pechlarida (masalan, Bekobod metallurgiya kombinatida); *maxsus maqsadli transformatorlar* esa elektr yoyi vositasida payvandlash, to'g'rilagich, aloqa, avtomatika va hisoblash texnikasi qurilmalarida (buriluvchi transformatorlar – elektr signalini funksional, ya'ni shakli sinusoidal bo'lgan signalga o'zgartirishda), radiotexnikada va boshqa sohalarida keng qo'llaniladi.

Transformatorlarning elektr energetika tizimsida va xo'jalik turlarining boshqa sohalarida tutgan o'rni. Elektr stansiyalaridan iste'molchilarga elektr energiyani uzatishdagi energiya isroflari va uzatish liniyasini qurish uchun sarflanadigan rangli metallar (alyuminiy va boshqalar) miqdori liniya simlaridan o'tadigan tok kuchiga bog'liq bo'ladi.

Elektr energiyaning ma'lum quvvati ($S = \sqrt{3} U \cdot I$) ni iste'molchiga uzatishda transformator yordamida kuchlanish U qanchaga oshirilsa, tok kuchi I shuncha marta kamayadi. Bunda hosil bo'ladigan afzalliklar quyidagilardan iborat:

1) liniya uchun ko'ndalang kesim yuzasi kichik bo'lgan sim tanlash mumkin bo'lib, elektr uzatish liniyasini qurishda rangli metallar tejraladi;

2) liniyadagi quvvat isroflari ($P' = 3I^2 R_L$) kamayishi tufayli iste'molchilarga elektr uzatish liniyasi orqali yetkazib beriladigan aktiv quvvat oshadi.

Elektr stansiyalaridagi sinxron generatorlar kuchlanishining kattaliklari uzoq masofada joylashgan elektr energiya iste'molchilariga elektr energiyani tejimli uzatish uchun ancha kamlik qiladi. Elektr uzatish liniyasidagi energiya isroflarini keskin kamaytirish uchun uzatilayotgan elektr energiyaning kuchlanishini ancha oshirish zarur bo'ladi. Masalan, Toshkent, Sirdaryo va Yangi Angren issiqlik elektr stansiya (IES)larida o'rnatilgan kuch transformatorlarining ayrimlari uzatilayotgan elektr energiyaning kuchlanishini 20 kV dan 500 kV ga, ya'ni 25 marta oshirib beradi. Natijada, liniya simlaridagi energiya isroflari transformersiz uzatilganiga nisbatan $25^2 = 625$ marta kamayadi, ya'ni katta iqtisodiy samaraga erishiladi.

Umumiy maqsadli kuch transformatorlari, asosan elektr energiyani uzatish va taqsimlash tizimlarida ishlatiladi. Har qaysi elektr stansiyasida kuchlanishni oshiruvchi katta quvvatli transformatorlar o'rnatilgan bo'ladi.

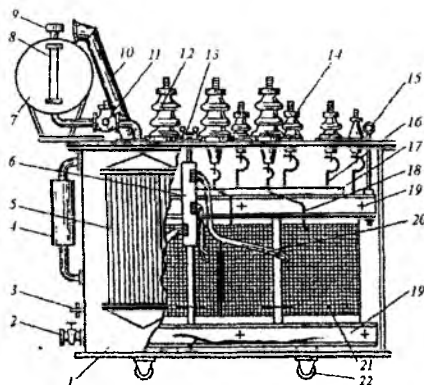
Elektr uzatish liniyasi uzoq masofali va uzatilayotgan quvvat qancha katta bo'lsa, texnik-iqtisodiy jihatdan asoslangan kuchlanish shuncha yuqori bo'ladi. Masalan, taxminan 103 MW quvvatni 1000 km masofaga uzatish uchun deyarli 500 kV kuchlanish zarur bo'ladi.

O'zgaruvchan tok iste'molchilarining ko'pchiligi 220, 380 va 660V kuchlanishlarda ishlaydi, ayrim sohalarida esa yuqori kuchlanishli o'zgaruvchan tok iste'molchilari ham mavjud, masalan, nasos stansiyalarda o'rnatilgan suv nasoslarini yuritadigan sinxron elektr motorlari 10 kV kuchlanishda; metallurgiyada qo'llaniladigan katta quvvatli faza rotorli asinxron elektr motorlari 6 kV, shu sohada ishlatiladigan yirik sinxron elektr motorlari esa 6 va 10 kV kuchlanishlarda; elektrlashtirilgan temir yo'l transportida qo'llaniladigan elektr motorlari 3,3 kV kuchlanishda ishlaydi. Shuning uchun elektr uzatish liniyasining yuqori kuchlanishi markaziy va mintaqaviy podstansiyalarda hamda elektr energiya iste'molchilariga yaqin joyda o'rnatilgan katta quvvatli transformatorlar orqali ular uchun zarur bo'lgan kuchlanish qiymatiga qadar pasaytiriladi. Shu xususda 1-rasmda, konstruksiyasi kuchlanish klassi 35 kV, quvvati esa $1000\div6300$ kV·A ga mos keladigan pasaytiruvchi kuch transformatori ko'rsatilgan.

Elektr stansiyasidan iste'molchilarga elektr energiyani uzatish jarayoni besh-olti bosqichda ikki va uch chulg'amli katta quvvatli transformatorlar va avotransformatorlar vositasida amalga oshiriladi. Shuning uchun kuch transformatorlari va avotransformatorlarining soni hamda ularning quvvati elektr energiyani uzatish masofasiga qarab elektr stansiyalaridagi elektr generatorlarining soni va o'rnatilgan quvvatiga nisbatan olti martaga qadar ko'p bo'ladi.

O'zbekiston Respublikasida kuch transformatorlari hamda maxsus transformatorlarning ayrimlari asosan Toshkent viloyatida faoliyat ko'rsatayotgan: Chirchiq transformatorsozlik zavodida («Transformator» OAJ), «ELUS» ilmiy-ishlab chiqarish korxonasi va «Aziyaelektroenergiya» ilmiy-ishlab chiqarish tashkilotlarida ishlab chiqarilmoqda. Shuni ta'kidlash lozimki, Toshkent shahrida kuch

transformatorlarini ta'mirlaydigan korxonalardan «Energota'mir» ixtisoslashtirilgan ta'mirlash ishlab chiqarish va «Rotor» ta'mirlash korxonalari ham faoliyat ko'rsatmoqda.



1-rasm. Kuchlanish klassi 35 kV quvvati 1000÷6300 kV·A konstruksiyasiga mos keladigan pasaytiruvchi kuch transformatori:

1 – bak; 2 – moy uchun ventily; 3 – zaminlash uchun qistirma; 4 – termosifonli filtr; 5 – radiator; 6 – kuchlanishni rostlash qayta ulagichi; 7 – kengaytirgich; 8 – moy ko'rsatkich; 9 – havo quritgich; 10 – chiqaruvchi (saqlovchi) quvqur; 11 – gaz rele; 12 – yuqori kuchlanishli (YUK) chulg'am uchun o'tish izolyatori; 13 – qayta ulagich dastagi; 14 – past kuchlanishli (PK) chulg'amga oid o'tish izolyatori; 15 – transformatorni ko'tarish uchun ilgich; 16 – PK chulg'amni o'tish izolyatori bilan bog'lovchi o'tkazgich; 17 – magnit o'tkazgich; 18 – YUK chulg'amni o'tish izolyatori bilan bog'lovchi o'tkazgich; 19 – yuqorigi va pastki yarmo balkalari; 20 – YUK chulg'am rostlash tarmog'ining simlari; 21 – YUK chulg'am (uning ichida PK chulg'am); 22 – aravacha g'ildiragi.

Transformatorlarning tasnifi. Bajaradigan vazifasiga ko'ra transformatorlar quyidagi turlarga bo'linadi: 1) *kuch transformatorlari*; 2) *maxsus transformatorlar*. Kuch transformatorlari o'z navbatida: umumiy maqsadli va sohaviy turlarga bo'linadi.

Elektr energiyani tejamli uzatish va iste'molchilarga taqsimlash tizimsi tarkibining asosiy qismini umumiy maqsadli uch fazali ikki va uch chulg'amli kuch transformatorlari hamda avotransformatorlari

hosil qiladi. O'ta yuqori va yuqori kuchlanishli katta quvvatli transformatorlarni transportda tashish va ularni ishlatishdagi qo'yilgan talablardan kelib chiqqan holda, uch fazali ikki chulg'amli transformatorlar o'miga teng quvvatli bir fazali ikki chulg'amli kuch transformatorlarini ma'lum sxema bo'yicha ulab ishlatiladigan *guruhli transformatorlar* ham elektr energiyani tejimli uzatish tizimsiga kiradi.

Elektr energiyani uzatish, qabul qilish hamda ishlatishga mo'ljallangan elektr tarmoqlari va uskunalarida elektr energiyani o'zgartirish (kuchlanishni oshirish yoki kamaytirish) vazifasini bajaradigan transformator ***kuch transformatori*** deyiladi. Bu toifaga quvvati $6,3 \text{ kV} \cdot \text{A}$ va undan katta bo'lgan uch va ko'p fazali (fazalar soni uchdan ko'p) transformatorlar hamda quvvati $5 \text{ kV} \cdot \text{A}$ va undan katta bo'lgan bir fazali transformatorlar kiradi.

Normal sharoitda ishlayotgan elektr tarmog'iga ulash uchun, yoxud maxsus ish sharoiti, yuklamaning xarakteri yoki ish rejimi bilan farq qilmaydigan elektr energiya iste'molchilarini bevosita ta'minlash uchun ishlab chiqarilgan transformatorlar ***umumiy maqsadli kuch transformatorlari*** deyiladi.

Fazalar soniga ko'ra transformatorlar bir, uch va ko'p fazali (sohaviy) turlarga bo'linadi.

Elektr jihatdan o'zaro ulanmagan ikki (yuqori va past kuchlanishli) chulg'am bilan ta'minlangan transformator ikki chulg'amli transformator deyiladi. Past kuchlanishli chulg'ami teng ikkiga bo'lingan kuch transformatorlarini ham ko'pincha ikki chulg'amli turkumiga kiritadi.

Agar transformator (yoki avotransformator) ning har fazasida uchta yuqori kuchlanishli (YUK), o'rta kuchlanishli (O'K) va past kuchlanishli (PK) elektr jihatdan ulanmagan (avotransformatorlarda esa YUK va O'K chulg'amlari elektr jihatdan ulangan) chulg'amlari bo'lsa, bunday holda ***uch chulg'amli*** transformator (yoki avotransformator) deyiladi.

Elektr energiyaning bir qismi birlamchi tarmoqdan ikkinchisiga chulg'amlari elektr jihatdan ulanganligi hisobiga uzatilib, boshqa qismi esa magnit maydoni orqali uzatiladigan transformatorning o'ziga xos ko'rinishi ***avotransformator*** deyiladi.

Transformator (yoki avotransformator) ning qaysi chulg'amiga elektr energiya berilsa, uni **birlamchi** chulg'am, elektr tarmog'iga yoki iste'molchiga elektr energiya uzatilgan chulg'am **ikkilamchi** chulg'am deyiladi.

Agar transformator (yoki avotransformator) birlamchi chulg'amining nominal kuchlanishi ikkilamchi chulg'am nominal kuchlanishidan kichik ($U_{IN} < U_{2N}$) bo'lsa **oshiruvchi**, katta ($U_{IN} > U_{2N}$) bo'lganida esa **-pasaytiruvchi** transformator (yoki avotransformator) deyiladi.

Elektr energiyani transformatorning qaysi chulg'amiga berilishiga qarab transformatorlarda oshiruvchi yoki pasaytiruvchi sifatida foydalanish mumkinligi uning qaytarlik xossasidir.

Kuch transformatorlariga qo'yiladigan asosiy talablar. Elektr texnika sanoatida ishlab chiqarilayotgan kuch transformatorlari ishonchlilik, tejamlilik, chidamlilik va boshqa muhim jihatlari bilan jahon bozorida yuksak raqobatbardosh bo'lishi zarur. Shu sababli mazkur transformatorlarga quyidagi *asosiy talablar* qo'yiladi, ya'ni:

- a) ishlatishda ishonchli bo'lishi;
- b) ishlab chiqarish va ishlatishda tejamli bo'lishi;
- c) isroflar standartda belgilangan me'yordan oshmasligi;
- d) parallel ulash shartlarini qanoatlantirishi;
- e) me'yordan ortiqcha qizib ketmasligi;
- f) kuchlanishni rostdlashga imkon berishi;
- g) transformatorni ishlatish jarayonida ayrim sabablarga ko'ra sodir bo'ladigan qisqa muddatli (izolyatsiya uchun xavfli bo'lgan) o'ta kuchlanishlarga va kam muddatli qisqa tutashuvlardagi transformatorning nominal tokidan ancha katta bo'lgan toklar ta'siriga bardosh berishi zarur.

Transformatorlarning tarkibiy qismlariga (magnit o'tkazgich, chulg'amlar, sovitish tizimsi, himoya qurilmalari va boshqalar) qo'yiladigan qo'shimcha talablar tegishli bandlarda keltiriladi.

1-jadvalda nominal quvvati va kuchlanishlariga bog'liq ravishda kuch transformatorlari va avotransformatorlarining gabaritlarga ajratilishi ko'rsatilgan.

Transformatorning nominal kattaliklari. Transformatorlar standart talablariga mos holda texnik shartlar bo'yicha tayyorlanadi va elektr energiyani o'zgartirish bo'yicha ma'lum vazifalarni bajarish uchun belgilanadi. Bu sharoitlardagi transformatorning ishi quyidagi

nominal kattaliklar bilan tavsiflanadi va ular elektr jihozlari kataloglarida hamda transformatorga mahkamlangan pasport taxtachada quyidagilar ko'rsatilgan bo'ladi:

1. Ikki chulg'amli transformator uchun bitta nominal to'la quvvat $S_1=S_2=S_N$ (uch chulg'amli transformatorlarda har qaysi chulg'am uchun alohida, ya'ni uchta quvvat) $V \cdot A$ yoki $kV \cdot A$ da ko'rsatiladi:

a) bir fazali ikki chulg'amli transformator uchun— $S_{1N}=U_{1N} \cdot I_{1N}$;

b) uch fazali ikki chulg'amli transformator uchun—
 $S_{1N}=\sqrt{3} U_{1N} \cdot I_{1N}=3U_{1Nf} I_{1Nf}$.

Transformatorlarda FIK juda ham katta bo'lganligidan ikki chulg'amli transformatorlarda birlamchi (S_{1N}) va ikkilamchi (S_{2N}) chulg'am nominal quvvatlari taxminan bir xil bo'ladi, ya'ni $S_{1N} \approx S_{2N}$.

1-jadval. *Kuch transformatorlari va avotransformatorlarining gabaritlari*

Gabarit raqamlari	Kuch transformatorlari va avotransformatorlarining standartda belgilangan qatorga mos keluvchi quvvat va kuchlanishlari	
	Nominal quvvati (S_N), $kV \cdot A$	Nominal kuchlanish (U_N), kV
I	$S_N < 100$	$U_N \leq 35$
II	$100 \leq S_N < 1000$	$U_N \leq 35$
III	$1000 \leq S_N < 6300$	$U_N \leq 35$
IV	$S_N \geq 6300$	$U_N \leq 35$
V	$S_N < 32\,000$	$U_N \leq 110$
VI	$32\,000 \leq S_N < 80\,000$	$U_N \leq 330$
VII	$80\,000 \leq S_N < 200\,000$	$U_N \leq 330$
VIII	$S_N \geq 200\,000$	$U_N \geq 330$

Nominal kuchlanish deganda har bitta chulg'amning liniyaviy kuchlanishi tushuniladi. Birlamchi chulg'am nominal kuchlanishi $U_{1N}=\text{const}$ bo'lganda nominal quvvatdagi ikkilamchi chulg'am kuchlanishi yuklamaning xarakteriga bog'liq bo'ladi. Shu noaniqlik bo'lmasligi uchun ikkilamchi chulg'amning nominal kuchlanishi uchun uning salt ishlashdagi qiymati qabul qilinadi, ya'ni birlamchi kuchlanish nominal U_{1N} bo'lganda $U_{2N}=U_{2(0)}$. Transformatorning

nominal toklari deganda uning nominal quvvati $S_1=S_2=S_N$ va kuchlanishlari (U_{1N} va U_{2N}) bo'yicha hisoblangan birlamchi va ikkilamchi chulg'amlarning liniyaviy qiymatlari tushuniladi va pasport taxtachasida ko'rsatilgan bo'ladi.

Bulardan tashqari: 1) nominal chastota f_N ; 2) fazalar soni m ; chulg'amlarning ulanish sxemasi va guruhi; 3) qisqa tutashuv kuchlanishi $u_{qt.(\%)}$; 4) transformatorni tayyorlagan zavodning nomi; transformatorning tayyorlangan yili; 5) transformatorning tipi; 6) tayyorlangan transformatorga to'g'ri keladigan standart nomeri; 7) sovitish usuli; 8) massasi va boshqa ayrim ma'lumotlar keltiriladi.

Uch fazali moyli kuch transformatorlarni hisoblash bo'yicha mazkur uslubiy qo'llanma, 5520200 – Elektr energetika, 5521300-Elektr texnikasi, elektr mexanikasi va elektr texnologiyalari, 5140900– Kasb ta'limi (Elektr energetika) yo'nalishida ta'lim olayotgan talabalar uchun mo'ljallangan bo'lib, u kurs loyihasini, yakka tartibdagi (individual) topshiriqlarni hisoblashda foydalaniladi.

Transformatorni hisoblash sxemasi

1. Asosiy elektr kattaliklarni aniqlash:

- a) past kuchlanish (PK) va yuqori kuchlanish (YUK) chulg'amlarining liniya, faza tok va kuchlanishlari;
- b) chulg'amlarning sinov kuchlanishlari;
- d) qisqa tutashish kuchlanishlarining aktiv va reaktiv tashkil etuvchilari;

2. Transformatorning asosiy o'lchamlarini hisoblash.

- a) magnit tizimining konstruksiyasini va tayyorlash texnologiyasining sxemani tanlash;
- b) magnit tizim induksiya sini, tunukachalarning (plastinalarning) izolyatsiya turini va po'lat listlar qalinligini va markasini tanlash;
- d) chulg'am materialini tanlash;
- e) chulg'am konstruksiyalarini oldindan taxminiy tanlash;
- f) chulg'amning asosiy izolyatsiya oraliqlarini va konstruksiyasini tanlash;
- g) U_k , P_k va P_0 larning berilgan qiymatini hisobga olib, β ning asosiy o'lchamlarini o'zaro nisbatini tanlash va transformatorning dastlabki hisobi;
- l) magnit tizimning dastlabki hisobi, chulg'am uzunligi (balandligini) va sterjen diametrini aniqlash.

3. PK va YUK chulg'amlarini hisoblash:
 - a) PK va YUK chulg'am turlarini tanlash;
 - b) PK chulg'amini hisoblash;
 - v) YUK chulg'amini hisoblash.
4. Qisqa tutashish parametrlarini aniqlash:
 - a) konstruksiya elementlaridagi qo'shimcha, chulg'amlardagi asosiy va qo'shimcha qisqa tutashish isroflarini;
 - b) qisqa tutashish kuchlanishini;
 - d) chulg'amlarning mexanik kuchlarini.
5. Magnit tizimning oxirgi hisobi. Salt ishlash parametrlarini aniqlash:
 - a) sterjen va yarmoning aktiv kesim yuzasi va paket o'lchamlari;
 - b) po'latning vazni, sterjen va yarmoning vaznlari;
 - d) salt ishlash isrofi;
 - e) salt ishlash toki.
6. Sovitish tizimini hisoblash va issiqlik hisobi:
 - a) chulg'amlarni tekshirishga oid issiqlik hisobi;
 - b) transformatorning gabarit o'lchamlarini aniqlash. Sovitish tizimini (bakni, radiatorni (sovutgichni) hisoblash;
 - d) havodan moy va chulg'am haroratlarini oshishi;
 - e) kengaytiruvchi bakning asosiy o'lchamlari va moyning massasi.

Transformatorlarning asosiy elektr kattaliklarini hisoblash

Transformatorlarni hisoblash asosiy elektr kattaliklarni aniqlashdan boshlanadi: bir faza va sterjenga to'g'ri kelgan quvvat, YUK va PK tomonlardagi nominal tok va kuchlanishning faza qiymatlari.

Transformatorning bitta fazasidagi quvvat, kVA

$$S_f = S/m. \quad (1)$$

Bitta sterjendagi quvvat

$$S' = S/s, \quad (2)$$

bunda s–transformatorning aktiv sterjenlari soni; S–transformatorning nominal quvvati kVA. Uch chulg'amli transformatorlarning nominal quvvati deganda, YUK, O'K va PK chulg'amlarining eng katta quvvati tushuniladi. Uch fazali transformatorlarning YUK O'K va PK chulg'amlarining nominal liniya toklari, A

$$I = S \cdot 10^3 / (\sqrt{3} \cdot U), \quad (3)$$

bunda S–transformatorning quvvati kVA; uch fazali transformatorlar uchun S –YUK, O'K yoki PK chulg'amlariga mos keluvchi quvvat, U – chulg'amga tegishli nominal liniya kuchlanishi (V).

Bir fazali transformatorning nominal toki, A

$$I = S \cdot 10^3 / U. \quad (4)$$

Uch fazali transformatorning bitta sterjendagi faza toki, A:

Chulg'amlar yulduz yoki zigzag ulanganda

$$I_f = I \quad (5)$$

chulg'amlar uchburchak ulanganda

$$I_f = I / \sqrt{3}, \quad (6)$$

bunda tok I (3) bo'yicha aniqlanadi.

Uch fazali transformatorlarning faza kuchlanishi, V:
chulg'amlar yulduz yoki zigzak ulanganda:

$$U_f = U / \sqrt{3}, \quad (7)$$

chulg'amlar uchburchak ulanganda:

$$U_f = U, \quad (8)$$

bunda U – chulg'amning nominal liniya kuchlanishi.

**Magnit tizimsi yassi shaklda yig'ilgan yupqa elektrotexnik
po'lat tunukalaridan iborat moy bilan sovitiladigan uch fazali
ikki chulg'amli transformatorni loyihalash**

Hisobni boshlash uchun dastlabki berilgan ma'lumotlar:
transformatorning to'la quvvati $S=1000 \text{ kV}\cdot\text{A}$; fazalar soni $m=3$;
chastotasi $f=50 \text{ Gs}$. Nominal kuchlanishlari: YUK
 $U_2 = 10000 \pm (2 \times 2,5\%) \text{ V}$; PK $U_1 = 400 \text{ V}$; sxema va ulanish guruhlari
 Δ/Y_0-11 . Kuchlanishni rostlash usuli – PBV ya'ni transformatorni
elektr tarmog'idan uzib, rostlagichning holatini o'zgartirgandan keyin,
yana elektr tarmog'iga ulash yo'li bilan bajariladigan rostlash usuli;
ish holati- davomli.

I_M variant. Transformator chulg'amlari mis simlardan yasalgan.
Transformator 11677-85 Davlat Standarti (andozasi) ga mos keladi.
Transformatorning parametrlari: qisqa tutashish kuchlanishi $u_q=5,5\%$;
qisqa tutashish quvvati $P_q=12200 \text{ W}$; salt ishlash quvvati $P_0=2100 \text{ W}$;
salt ishlash toki $i_0=1,4\%$.

II_A variant. Transformator chulg'amlari alyuminiy simlardan
yasalgan. Transformator 11677-85 Davlat Standarti (andozasi) ga
to'g'ri keladi va yuqoridagi kattaliklar bu variant uchun ham berilgan
hisoblanadi.

I. Asosiy elektr kattaliklari va izolyatsion oraliqlarni hisoblash

1.1. Bir fazadagi sterjenning quvvati:

$$S_f = S' / 3 = 1000 / 3 = 333,33 \text{ kV} \cdot \text{A}.$$

1.2. Tomonlardagi nominal (liniya) toklari:

$$\text{YUK } I_2 = S \cdot 10^3 / (\sqrt{3} \cdot U_2) = 1000 \cdot 10^3 / (\sqrt{3} \cdot 10000) = 57,7 \text{ A};$$

$$\text{PK } I_1 = S \cdot 10^3 / (\sqrt{3} \cdot U_1) = 1000 \cdot 10^3 / (\sqrt{3} \cdot 400) = 1443,4 \text{ A}.$$

1.3. PK va YUK chulg'amlaridagi faza toklari va kuchlanishlari ulanish guruhlari Δ/Y_0-11 bo'lganda:

$$I_{\Pi} = I_2 / \sqrt{3} = 57,7 / 1,732 = 33,3 \text{ A}; \quad U_{\Pi} = U_2 = 10000 = 10000 \text{ V};$$

$$I_{\Pi} = I_1 = 1443,4 = 1443,4 \text{ A}; \quad U_{\Pi} = U_1 / \sqrt{3} = 400 / 1,732 = 230,95 \text{ V};$$

chulg'amlarning sinov kuchlanishlarini 9- ilovadan topamiz: YUK uchun $U_{s2} = 35 \text{ kV}$; PK uchun $U_{s1} = 5 \text{ kV}$.

1.4. YUK chulg'amining $U_{s2} = 35 \text{ kV}$ li sinov kuchlanishi uchun 11-ilovadan izolyatsiya oraliqlarini topamiz: $a_{12} = 20 \text{ mm}$; $l_0 = 50 \text{ mm}$; $a_{22} = 18 \text{ mm}$; PK chulg'amining sinov kuchlanishi $U_{s1} = 5 \text{ kV}$ uchun 10-ilovadan $a_{01} = 15 \text{ mm}$.

Hisoblash uchun dastlabki berilgan qiymatni aniqlash

I_M variant

1.5. Ikki chulg'am orasining keltirilgan kengligi

$$(a_1 + a_2) / 3 = k \sqrt[4]{S'} \cdot 0,01 = 0,51 \sqrt[4]{333,3} \cdot 10^{-2} = 0,0218 \text{ m},$$

bunda $k = 0,51$ koeffitsient 4- ilovadan olinadi.

1.6. PK yoki YUK chulg'amining radius yo'nalishi bo'yicha o'lchami

$$a_p = a_{12} + (a_1 + a_2) / 3 = 0,020 + 0,0218 = 0,0418 \text{ m}.$$

1.7. Qisqa tutashuv kuchlanishining aktiv tashkil etuvchisi

$$u_a = P_q / (10S) = 12200 / 10 \cdot 1000 = 1,22\%.$$

1.8. Qisqa tutashuv kuchlanishining reaktiv tashkil etuvchisi

$$u_2 = \sqrt{u_k^2 - u_a^2} = \sqrt{5,5^2 - 1,22^2} = 5,36\%$$

1.9. Kuch transformatorlarini loyihalashda asosiy va birinchi darajali vazifa, uning konstruktiv sxemasini tanlashdan iborat. Zamonaviy hamma transformatorlar zavodlarda yassi magnit o'tkazgichli qilib ishlab chiqarilishi mumkin. Bunday magnit o'tkazgichlari (1-rasm) elektrotexnik po'latni tejaydi va salt ishlash tokini 10% gacha kamaytiradi va ular 1000–6300 kVA quvvatli transformatorlarida qo'llaniladi. Shuning uchun biz ham uch fazali sterjenli, yassi shaklda yig'ilgan yupqa elektrotexnik po'lat tunukalaridan iborat, chekkalari qiya tutashgan va o'rtasi to'g'ri tutashgan magnit o'tkazgichini tanlaymiz. O'zaklarni shisha tolali, yarmoli halqa esa po'lat balkalar yordamida birlashtirish amalga oshiriladi. Uyurma toklar tufayli hosil bo'ladigan energiya isroflarini kamaytirish maqsadida transformatorning magnit o'tkazgichi uchun magnit xossalari yaxshilangan 0,35 mm qalinlikdagi 3404 markali sovuq holatda jo'valangan o'rama po'latli materialdan foydalanamiz. O'zakning induksiyasi $B_s=1,6$ Tl (2-ilova); to'ldirish koeffitsienti $k_{ik}=0,925$ (3-ilova); issiqlikka chidamlilik izolyatsiyasini qoplash koeffitsienti $k_z=0,97$ (1-ilova). Po'lat bilan to'ldirish koeffitsienti: $k_s=k_{ik}k_z=0,925 \cdot 0,97=0,90$. Yarmo ko'p pog'onali, pog'onalar soni 6, yarmoning kuchaytirish koeffitsienti $k_{ya}=1,015$. Yarmodagi induksiya $B_{ya}=B_s/k_{ya}=1,60/1,015=1,58$ Tl. Magnit o'tkazgichini chekkalari egri tutashgan tirqishlari soni 4 ta, to'g'ri tutashgan esa 3 ta. To'g'ri tutashagan tirqishdagi induksiya $B''_s=B_s=1,60$ Tl, qiya tutashganda $B'_s=B_s/\sqrt{2}=1,60/\sqrt{2}=1,146$ Tl. $k_p=0,95$ deb qabul qilamiz.

7-ilovadan chulg'amdagi asosiy isrofning qisqa tutashuv isrofiga nisbatini e'tiborga oluvchi koeffitsient $k_d=0,93$ va 5-6 ilovalardan mis chulg'amlar uchun o'zgarmas koeffitsientlarni $a=1,38$ va $b=0,26$ kattalashadi. β faqatgina transformatorning o'lchamlariga ta'sir qilib qolmasdan, balki transformator aktiv qismi massalariga ham ta'sir qiladi. Shuning uchun ham $\beta=1,3-3,7$ oraliqda o'zgaradi (8-ilova).

Po'latning solishtirma qarshiliklari 30- ilovadan tanlanadi:

$$p_s=1,353 \text{ W/kg}; p_{ya}=1,242 \text{ W/kg}.$$

1.10. Transformatorning asosiy koeffitsientini topamiz:

$$A = 0,5074 \sqrt{\frac{S^1 a_p k_p}{f u_p B_s^2 k_s^2}} = 0,5074 \sqrt{\frac{333,33 \cdot 0,0418 \cdot 0,95}{50 \cdot 5,36 \cdot 1,60^2 \cdot 0,90^2}} = 0,199.$$

$$A_1 = 5,633 \cdot 10^4 k_s A^3 a = 5,633 \cdot 0,9 \cdot 0,00874 \cdot 1,48 = 655,6102 \text{ kg.}$$

$$A_2 = 3,605 \cdot 10^4 k_s A^2 l_0 = 3,605 \cdot 0,9 \cdot 0,04242 \cdot 0,05 = 68,82068 \text{ kg.}$$

$$B_1 = 2,4 \cdot 10^4 k_s k_{ya} A^3 (a+b+c) = 2,4 \cdot 0,9 \cdot 1,015 \cdot 0,00874 \cdot 2,29 = 438,6893 \text{ kg.}$$

$$B_2 = 2,4 \cdot 10^4 k_s k_{ya} A^2 (a_{12} + a_{22}) = 2,4 \cdot 0,9 \cdot 1,015 \cdot 0,4242 \cdot 0,038 = 35,34309 \text{ kg.}$$

$$S_1 = K_0 \frac{S_a^2}{k_d k_s^2 B_s^2 u_a A^2} = \frac{1,2 \cdot 1000 \cdot 2,1904}{0,93 \cdot 0,81 \cdot 2,56 \cdot 1,22 \cdot 0,04242} = 263,3515.$$

$$M = 0,244 \cdot 10^{-6} \cdot k_{kz}^2 \cdot k_d \cdot k_p \cdot \frac{r}{aA} = 0,244x$$

$$x \frac{1457,805 \cdot 0,93 \cdot 0,95 \cdot 12200}{1,48 \cdot 0,20597} = 12,57747 \text{ Mpa}$$

$$k_{kz} = 1,41 \frac{100}{u_k} (1 + e^{-\pi u_a / u_p}) = \frac{1,41 \cdot 100 \cdot 1,489338}{5,5} = 38,18121.$$

$$B = \frac{2}{3} \cdot \frac{A_2 + B_2}{B_1} = \frac{2}{3} \cdot \frac{68,82068 + 35,34309}{438,6893} = 0,158295.$$

$$k_{o,q} = 2,36 \text{ (44- ilovaga qarang)}$$

$$C = A_1 / (3B_1) = 655,610206 / (3 \cdot 438,6893) = 0,498158.$$

$$k_{ir} = 1,06.$$

$$D=k_{o,s} \cdot k_{i,l} \frac{2}{3} \frac{C_1}{B_1} = \frac{2 \cdot 2,36 \cdot 1,06 \cdot 263,3515}{3 \cdot 438,6893} = 1,001164$$

$$x^5 + 0,15829545 x^4 - 0,498158 x - 1,001164 = 0$$

$$x_1 \leq 4,5 \cdot 10^6 \sqrt{2,4 \cdot 10^{-12} C_1 / (k_o \cdot P_\kappa)} = 1,062098;$$

$$B_J = x_J^4 = 1,062098 = 1,272502;$$

$$x_\sigma \leq \sqrt[3]{60/I} = \sqrt[3]{60/12,57747} = 1,683395; \quad \beta_\sigma = 1,683395^4 = 8,030522;$$

$$G_y = 0,492 \cdot 10^{-2} \cdot k_s^2 \cdot k_{ya} \cdot A^3 \cdot x^3 = 0,492 \cdot 0,9 \cdot 1,015 \cdot 0,00874 x^3 = 39,27131 x^3$$

$$P_s = 0,785 \cdot k_s \cdot A^2 \cdot x^2 = 0,785 \cdot 0,9 \cdot 0,4242 \cdot x^2 = 0,029972 x^2;$$

$$P'_z = P_s = 0,029972 x^2;$$

$$P'_z = P_s \cdot 1,14 = 0,02997183 \cdot 1,414214 x^2 = 0,042387 x^2;$$

$$P_0 = k_{p,d} p_s (G_s + 0,5 k_{p,y} G_y) + k_{p,d} p_{ya} (G_{ya} - 6 G_y + 0,5 k_{p,y} G_y) = 1,15 \cdot 1,295 x$$

$$x (G_s + 0,5 \cdot 10,18 \cdot G_y) + 1,15 \cdot 1,251 \cdot (G_{ya} - 6 G_y + 0,5 \cdot 10,18 G_y) = 1,48925 G_s +$$

$$+ 1,43865 G_{ya} + 6,271111 G_y;$$

$$Q_0 = k'_{t,d} k''_{t,d} q_s (G_c + 0,5 k_{t,y} k_{t,pl} G_y) + k'_{t,d} k''_{t,d} q_{ya} (G_{ya} - 6 G_y + 0,5 k_{t,y} k_{t,pl} G_y) +$$

$$+ k''_{t,d} \Sigma q_3 n_3 P_3 = 1,2 \cdot 1,07 \cdot 1,775 (G_c + 0,5 \cdot 42,45 \cdot 1,19 \cdot G_y) + 1,2 \cdot 1,07 \cdot 1,675$$

$$(G_{ya} - 6 \cdot G_y + 0,5 \cdot 42,45 \cdot 1,19 \cdot G_y) + 1,07 \cdot 3200 \cdot 4 \cdot 0,042387 x^2 + 1,07 \cdot 2500 x$$

$$x^3 \cdot 0,029972 x^2 = 2,2791 G_s + 2,1507 G_{ya} + 98,98258 G_y + 2985,766 x^2.$$

$$B_y = 0,87 (B_s + B_{ya}) / 2 = 0,87 \cdot (1,6 + 1,58) / 2 = 1,382.$$

$$P_s = 0,785 \cdot k_s \cdot A^2 \cdot x^2 = 0,785 \cdot 0,9 \cdot 0,03636 \cdot x^2 = 0,02569 x^2.$$

$$P'_z = P_s \cdot 1,41 = 0,0256896 \cdot 1,414214 x^2 = 0,036331 x^2.$$

Koeffitsient β ni nominal optimal qiymatini aniqlash

β	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6	2,8
$x^* = 1/\beta$	1,046635	1,087757	1,124683	1,158292	1,189207	1,217883	1,244666	1,269823	1,293569
$x^* = 1/\beta^2$	1,095445	1,183216	1,264911	1,341641	1,414214	1,48324	1,549193	1,612452	1,67332
$x^* = \sqrt[3]{\beta^3}$	1,146531	1,287052	1,422624	1,554012	1,681793	1,806413	1,928228	2,047529	2,164554
$A_1 = \frac{634,4221}{x}$	626,398	602,7174	582,9291	566,0145	551,3003	538,3194	526,7359	516,3003	506,8229
$A_2 x^2 = 67,3298 x^2$	75,38927	81,42972	87,05203	92,33263	97,32713	102,0776	106,6165	110,97	115,159
$G_0 = \frac{A_1}{x} + A_2 x^2$	701,7873	684,1471	669,9811	658,3472	648,6274	640,397	633,3524	627,2703	621,9819
$B_1 x^2 = 428,694 x^2$	502,971	564,6158	624,0897	681,7284	737,7845	792,4539	845,893	898,2289	949,5668
$B_2 x^2 = 34,91811 x^2$	38,71642	41,81851	44,70587	47,41773	49,98268	52,42228	54,75328	56,98902	59,1403
$G_m = B_1 x^2 + B_2 x^2$	541,6874	606,4343	668,7955	729,1461	787,7671	844,8762	900,6463	955,2179	1008,707
$G_k = G_0 + G_m$	1243,475	1290,581	1338,777	1387,493	1436,395	1485,273	1533,999	1582,488	1630,689
$G_y = 38,37654 x^2$	45,02579	50,54421	55,86829	61,02809	66,04621	70,9402	75,72405	80,40914	85,00489
$1,48925 G_k$	1045,137	1018,866	997,7694	980,4435	965,9684	953,7112	943,2201	934,1623	926,2865
$1,43865 G_m$	779,2986	872,4467	962,1627	1048,986	1133,321	1215,481	1295,715	1374,224	1451,176
$6,271111 G_y$	282,3617	316,9683	350,3562	382,7139	414,1831	444,8739	474,8739	504,2546	533,0751
$P_0 = 1,48925$	2106,797	2208,281	2310,288	2412,143	2513,473	2614,066	2713,809	2812,641	2910,538
$G_y = 1,43865$									
$P_s = 0,029323 x^2$	0,032832	0,035463	0,037912	0,040211	0,042387	0,044455	0,046432	0,048328	0,050152
$2,2791 G_m$	1599,443	1559,24	1526,954	1500,439	1478,287	1459,529	1443,473	1429,612	1417,559
$2,1507 G_m$	1165,007	1304,258	1438,379	1568,175	1694,251	1817,075	1937,02	2054,387	2169,426
$98,98258 G_y$	4456,769	5002,996	5529,987	6040,718	6537,424	7021,844	7495,362	7959,104	8414,003
$2921,085 x^2$	3270,743	3532,806	3776,729	4005,826	4222,511	4428,607	4625,529	4814,403	4996,142
$Q_0 =$	10491,96	11399,3	12272,05	13115,16	13932,47	14727,05	15501,38	16257,51	16997,13
$w_0 = \frac{Q_0}{108}, \%$	1,049196	1,13993	1,227205	1,311516	1,393247	1,472705	1,550138	1,625751	1,699713
$G_0 = \frac{C_1}{x^2} = \frac{269,1828}{x^2}$	240,4059	222,5726	208,1976	196,2906	186,2176	177,5515	169,9926	163,3237	157,3826
$1,03 G_0$	247,6181	229,2498	214,4436	202,1793	191,8041	182,8781	175,0924	168,2234	162,1041
$G_F = 1,03 \cdot 1,1 \cdot G_0$	255,0466	236,1273	220,8769	208,2447	197,5583	188,3644	180,3452	173,2701	166,9672
$k_{01} G_0 = 2,36 G_0$	601,91	557,2604	521,2694	491,4575	466,2375	444,54	425,6147	408,9174	394,0426
$C_{01} = G_0 + 2,36 G_0$	1845,385	1847,842	1860,946	1878,951	1902,632	1929,813	1959,613	1991,406	2024,732
$J = \frac{0,91 \cdot 18000}{2 \cdot 40} \cdot 10^4$	4,434485	4,608715	4,765164	4,907564	5,038548	5,160046	5,273521	5,380111	5,480717
$\alpha_p = Mx^3 = 14,14 x^3$	14,42047	16,18786	17,89301	19,54554	21,1527	22,72011	24,25224	25,75274	27,22463
$d = A_s = 0,2243$	0,215574	0,224044	0,231649	0,238572	0,244939	0,250845	0,256362	0,261543	0,266434
$d_{12} = a d = 1,40 d$	0,319049	0,331585	0,342841	0,353086	0,36251	0,371251	0,379416	0,387084	0,394323
$f = m_{1,7} \beta$	0,834845	0,743697	0,672825	0,615939	0,56914	0,529877	0,496402	0,467479	0,442205
$C = d_{12} + a_{12} + 2 \cdot a_2 + a_2$	0,443279	0,459202	0,4735	0,486515	0,498485	0,509589	0,51996	0,529702	0,538896

1.11. $d=0,24\text{m}$ o'zakning diametrini 3- ilovadan topamiz.

1.12. $x=d/A=0,24/0,199=1,203$; $x^2=1,448$; $x^4=2,097$.

1.13. $\beta=x^4=1,203^4=2,097$.

1.14. O'zakning aktiv kesim yuzasi:

$$P_s=0,785k_s A^2 x^2=0,785 \cdot 0,90 \cdot 0,199^2 \cdot x^2=0,02802 \cdot x^2=0,02802 \cdot 1,448=0,0406 \text{ m}^2.$$

1.15. Chulg'amning o'rtacha diametri:

$$d_{12}=aAx=1,38 \cdot 0,199 \cdot 1,203=0,331 \text{ m}.$$

1.16. Chulg'amlar uzunligi:

$$l=\pi d_{12}/\beta=3,14 \cdot 0,331/2,097=0,496 \text{ m}.$$

1.17. Sterjen balandligi:

$$l_s=l+2 l_0=0,496+2 \cdot 0,050=0,596 \text{ m}.$$

1.18. Sterjen o'qlari orasidagi masofa:

$$C=d_{12}+a_{12}+b \cdot d+a_{22}=0,331+0,020+0,26 \cdot 0,24+0,018=0,432 \text{ m}.$$

1.19. Bitta o'ram EYUKi:

$$U_0=4,44 \sqrt{\frac{P_s}{B_s}}=222 \cdot 0,0406 \cdot 1,60=14,41 \text{ B}.$$

II_A variant.

1.5. Ikkita chulg'am orasidagi keltirilgan masofa

$$(a_1+a_2)/3=1,25k\sqrt[4]{S'} \cdot 10^{-2}=0,51 \cdot 1,25\sqrt[4]{333,3} \cdot 10^{-2}=0,0272 \text{ m};$$

bunda $k=0,51$ koeffitsient 4-ilovadan olinadi.

1.6. PK yoki YUK chulg'amining radius yo'nalishi bo'yicha o'lchami

$$a_p = a_{12} + (a_1 + a_2)/3 = 0,020 + 0,0272 = 0,0472 \text{ m.}$$

(11- ilovaga qarang).

1.7. Qisqa tutashuv kuchlanishining aktiv tashkil etuvchisi

$$u_a = P_q / (10S) = 12200 / (10 \cdot 1000) = 1,22\%.$$

1.8. Qisqa tutashuv kuchlanishining reaktiv tashkil etuvchisi

$$u_p = \sqrt{u_k^2 - u_a^2} = \sqrt{5,5^2 - 1,220^2} = 5,36\%.$$

1.9. Kuch transformatorlarini loyihalashda asosiy va birinchi darajali vazifa, uning konstruktiv sxemasini tanlashdan iborat. Zamonaviy hamma transformator zavodlarida yassi magnit o'tkazgichlari ishlab chiqarilishi mumkin. Bunday magnit o'tkazgichlari (1.1-rasm) elektrotexnik po'latni tejaydi va salt ishlash tokini 10% gacha kamaytiradi va ular 1000-6300 kVA quvvatli transformatorlarida qo'llaniladi. Shuning uchun biz ham uch fazali sterjenli, yassi shaklda yig'ilgan yupqa elektrotexnik po'lat tunukalaridan iborat; chekkalari qiya tutashgan va o'rtasi to'g'ri tutashgan magnit o'tkazgichini tanlaymiz. O'zaklarni shisha tola, yarmo esa po'lat balkalar yordamida birlashtirish amalga oshiriladi. Uyurma toklar tufayli hosil bo'ladigan energiya isroflarini kamaytirish maqsadida transformatorning magnit o'tkazgichi uchun magnit xossalari yaxshilangan 0,35 mm qalinlikdagi 3404 markali sovuq holatda jo'valangan o'rama po'latli materialdan foydalanamiz. O'zakning induksiyasi $B_s=1,6$ Tl (2-ilova); to'ldirish koeffitsienti $k_{tk}=0,928$ (3-ilova); issiqlikka chidamlilik izolyatsiyasini qoplash koeffitsienti $k_z=0,97$ (1-ilova) $d=0,22$. Po'lat bilan to'ldirish koeffitsienti: $k_s=k_{tk}k_z=0,928 \cdot 0,97=0,9$. Yarmo ko'p pog'onali, pog'onalar soni 6, yarmoning kuchaytirish koeffitsienti $k_{ya}=1,1-1,02$ oraliqda bo'ladi $k_{ya}=1,02$. Yarmodagi induksiya $B_{ya}=B_s/k_{ya}=1,60/1,02=1,58$ Tl. O'zakning chekkalari egri tutashgan magnit o'tkazgichining bo'shliqlari soni 4 ta, o'rtasi to'g'riniki esa 3 ta. Bo'shliqdagi induksiya o'rtasi to'g'riniki $B''_z=B_s=1,6$ Tl,

chekkalari egri tutashgan $B'_z = B_c / \sqrt{2} = 1,6 / \sqrt{2} = 1,13$ Tl. $k_p = 0,95$ deb qabul qilamiz.

7-ilovadan chulg'amdagi asosiy isrofini qisqa tutashuv isrofiga nisbatini e'tiborga oluvchi koeffitsient $k_d = 0,93$ va 5-6 ilovalardan alyuminiy chulg'amlar uchun o'zgaras koeffitsientlarni $\alpha = 1,38 \cdot 1,06 = 1,46$ va $b = 1,25 \cdot 0,26 = 0,33$. β -chulg'amning diametri va balandligi orasidagi nisbatni beradi. β ning qiymati qancha katta bo'lsa, transformator shuncha eniga qarab kattalashadi, β ning qiymati qanchalik kichik bo'lsa, transformator bo'yiga qarab kattalashadi. β faqatgina transformatorning o'lchamlariga ta'sir qilib qolmasdan, balki transformator aktiv qismi massalariga ham ta'sir qiladi. Shuning uchun ham $\beta = 1,2-1,6$ (8-ilovadan tanlanadi).

1.10. Transformatorning asosiy koeffitsientini topamiz:

$$A = 0,5074 \sqrt{\frac{S^1_a \cdot k_p \cdot p}{f u_p \cdot B_s^2 \cdot k_s^2}} = 0,5074 \sqrt{\frac{333,33 \cdot 0,0472 \cdot 0,95}{50 \cdot 0,93 \cdot 1,60^2 \cdot 0,9^2}} = 0,205;$$

$$A_1 = 5,633 \cdot 10^4 k_s A^3 \alpha = 5,633 \cdot 0,9 \cdot 0,00846 \cdot 1,48 = 634,4221 \text{ kg};$$

$$A_2 = 3,6 \cdot 10^4 k_s A^2 l_0 = 3,605 \cdot 0,9 \cdot 0,04150 \cdot 0,05 = 67,3298 \text{ kg};$$

$$B_1 = 2,4 \cdot 10^4 k_s k_{ya} A^3 (\alpha + b + e) = 2,4 \cdot 0,9 \cdot 1,02 \cdot 0,00846 \cdot 2,29 = 428,694;$$

$$B_2 = 2,4 \cdot 10^4 k_s k_{ya} A^2 (a_{12} + a_{22}) = 2,4 \cdot 0,9 \cdot 1,02 \cdot 0,04150 \cdot 0,038 = 34,91811 \text{ kg};$$

$$S_1 = K_0 \frac{S_a^2}{k_d k_s^2 B_s^2 u_a A^2} = 269,1828 =$$

$$= \frac{1,2 \cdot 1000 \cdot 2,1904}{0,93 \cdot 0,81 \cdot 2,56 \cdot 1,22 \cdot 0,04150} = 269,1828 \text{ kg}$$

$$M = 0,156 \cdot 10^{-6} \cdot k^2_{kz} \cdot k_d \cdot k_d \cdot k_p \cdot \frac{P_s}{aA} = 0,155x$$

$$x \frac{1487,754 \cdot 0,93 \cdot 0,95 \cdot 12200}{1,48 \cdot 0,20532} = 8,296 \text{ MPa};$$

$$k_{kz}=1,14 \frac{100}{u_k} \left(1 + e^{-\pi u_a / u_p}\right) = \frac{1,41 \cdot 100 \cdot 1,504559}{5,5} = 38,57141;$$

$$B = \frac{2}{3} \cdot \frac{A_2 + B_2}{B_1} = \frac{2}{3} \cdot \frac{67,3298 + 34,91811}{426,694} = 0,159007;$$

$$k_{o,s}=2,36;$$

$$S = A_1 / (3B_1) = 634,422063 / (3 \cdot 428,694) = 0,493298;$$

$$k_{l,p}=1,06;$$

$$D = k_{o,c} k_{i,r} \frac{2}{3} \cdot \frac{C_1}{B_1} = \frac{2 \cdot 269,1828}{3 \cdot 428,694} \cdot 2,36 \cdot 1,06 = 1,047193;$$

$$x^5 + 0,15900683x^4 - 0,493298x - 1,047193 = 0;$$

$$x_j \leq 2,7 \cdot 10^6 \sqrt{12,75 \cdot 10^{-12} C_1 / (k_a \cdot P_k)} = 1,484982;$$

$$\beta_j = x_j^4 = 1,484982^4 = 4,86278;$$

$$x_\sigma \leq \sqrt[3]{25/M} = \sqrt[3]{25/8,296894} = 1,444358; \beta_\sigma = 1,444358^4 = 4,352105;$$

$$G_y = 0,492 \cdot 10^4 \cdot k_s^2 \cdot k_{ya} \cdot A^3 \cdot x^3 = 0,492 \cdot 0,9 \cdot 1,025 \cdot 0,00846 x^3 = 38,37654 x^3;$$

$$P_s = 0,785 \cdot K_s \cdot A^2 \cdot x^2 = 0,785 \cdot 0,9 \cdot 0,04150 x^2 = 0,029323 x^2;$$

$$P'_z = P_s \cdot 1,41 = 0,02932255 \cdot 1,414214 \cdot x^2 = 0,041468 x^2;$$

$$P''_z = P_s = 0,029323;$$

$$P_0 = k_{p,d} P_s (G_s + 0,5 k_{p,y} G_y) + k_{p,d} p_{ya} (G_{ya} - 6 G_y + 0,5 k_{p,y} G_y) = 1,15 \cdot 1,295 x$$

$$x (G_s + 0,5 \cdot 10,18 \cdot G_y) + 1,15 \cdot 1,251 \cdot (G_{ya} - 6 G_y + 0,5 \cdot 10,18 G_y) = 1,48925 G_s +$$

$$+ 1,43865 G_{ya} + 6,271111 G_y;$$

Koeffitsient β ni nominal optimal qiymatini aniqlash

β	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
$x = \sqrt[3]{\beta}$	1,046635	1,06779	1,087757	1,106682	1,124683	1,141858	1,158292
$x^2 = \sqrt[3]{\beta^2}$	1,095445	1,140175	1,183216	1,224745	1,264911	1,30384	1,341641
$x^3 = \sqrt[3]{\beta^3}$	1,146531	1,217468	1,287052	1,355403	1,422624	1,488801	1,554012
$\frac{A_1}{x} = \frac{634,4221}{x}$	606,154	594,145	583,2386	573,265	564,0898	555,6049	547,722
$A_2 x^2 = 67,3298 x^2$	73,7561	76,76778	79,66569	82,46183	85,16621	87,78732	90,3324
$G_c = \frac{A_1}{x} + A_2 x^2$	679,9101	670,9128	662,9043	655,7269	649,2561	643,3922	638,0544
$B_1 x^3 = 428,694 x^3$	491,5111	521,9212	551,7514	581,0531	609,8702	638,2401	666,1956
$B_2 x^2 = 34,91811 x^2$	38,25087	39,81277	41,31567	42,76578	44,16831	45,52765	46,84756
$G_{ya} = B_1 x^3 + B_2 x^2$	529,762	561,7339	593,067	623,8189	654,0385	683,7678	713,0432
$G_{s1} = G_c + G_{ya}$	1209,672	1232,647	1255,971	1279,546	1303,295	1327,16	1351,098
$G_y = 38,37654 x^2$	43,9999	46,7222	49,39254	52,01567	54,59536	57,13503	59,6376
$1,48925 G_y$	1012,556	999,1568	987,2302	976,5412	966,9046	958,1718	950,2225
$1,43865 G_{ya}$	762,1421	808,1385	853,2159	897,4571	940,9324	983,7025	1025,82
$6,271111 G_y$	275,9283	293,0001	309,7464	326,1961	342,3736	358,3001	373,994
$P_0 = 1,48925$	2050,626	2100,295	2150,193	2200,194	2250,211	2300,174	2350,036
$G_s = 1,43865$							
$P_s = 0,029323 x^2$	0,032121	0,033433	0,034695	0,035913	0,03709	0,038232	0,03934

$2,2791 G_s$	1549,583	1529,077	1510,825	1494,467	1479,719	1466,355	1454,19
$2,1507 G_{ya}$	1139,359	1208,121	1275,509	1341,647	1406,641	1470,579	1533,542
$98,98258 G_y$	4355,224	4624,684	4889,006	5148,646	5403,99	5655,373	5903,084
$2921,085 x^2$	3199,888	3330,549	3456,274	3577,584	3694,913	3808,629	3919,047
$Q_0 =$	10244,05	10692,43	11131,61	11562,34	11985,26	12400,94	12809,86
$i_0 = \frac{Q_0}{108}, \%$	1,024405	1,069243	1,113161	1,156234	1,198526	1,240094	1,280986
$G_0 = \frac{C_1}{x^2} = \frac{269,1828}{x^2}$	245,7292	236,089	227,501	219,7869	212,8077	206,4538	200,637
$1,03 \cdot G_0$	253,1011	243,1716	234,3261	226,3805	219,192	212,6474	206,6562
$G_{0'} = 1,03 \cdot 1,1 \cdot G_0$	260,6941	250,4668	241,3558	233,1719	225,7677	219,0269	212,8558
$k_{0c} G_0 = 2,36 G_0$	615,2381	591,1016	569,5998	550,2857	532,8118	516,9034	502,3398
$C_{sch} = G_0 + 2,36 G_0$	1824,91	1823,748	1825,571	1829,831	1836,106	1844,063	1853,437
$J = \sqrt{\frac{0,91 \cdot 18000}{2,4 G_0}} \cdot 10^6$	1,902996	1,94146	1,977765	2,012173	2,044902	2,076131	2,106011
$\sigma_p = M x^3 = 14,14 x^3$	9,512649	10,1012	10,67853	11,24563	11,80336	12,35242	12,89347
$d = A_s = 0,2243$	0,213226	0,217536	0,221604	0,225459	0,229126	0,232625	0,235973
$d_{12} = \alpha d = 1,40 d$	0,315574	0,321953	0,327973	0,333679	0,339107	0,344285	0,349241
$l = \pi d_{12} / \beta$	0,825753	0,77764	0,735597	0,698502	0,665497	0,635916	0,609231
$C = d_{12} + a_{12} + 2 \cdot a_{22} + a_{22}$	0,438865	0,446967	0,454615	0,461863	0,468757	0,475336	0,48163

$$Q_0 = k'_{t,d} k''_{t,d} q_s (G_s + 0,5 k_{t,u} k_{t,pl} G_y) + k'_{t,d} k''_{t,d} q_{ya} (G_{ya} - 6 G_y + 0,5 k_{t,u} k_{t,pl} G_y) + k''_{t,d} \Sigma q_3 n_3 P_3 = 1,2 \cdot 1,07 \cdot 1,775 (G_s + 0,5 \cdot 42,45 \times 1,19 \cdot G_y) + 1,2 \cdot 1,07 \cdot 1,675 (G_{ya} - 6 \cdot G_y + 0,5 \cdot 42,45 \cdot 1,19 \cdot G_y) + 1,07 \cdot 3200 \times x^4 \cdot 0,041468 x^2 + 1,07 \cdot 2500 \cdot 3 \cdot 0,029323 x^2 = 2,2791 G_s + 2,1507 G_{ya} + 98,982 \cdot 58 G_y + 2921,085 x^2;$$

$$G_y = 0,492 \cdot 10^4 \cdot k_s \cdot k_{ys} \cdot A^3 \cdot x^3 = 0,492 \cdot 0,9 \cdot 1,029 \cdot 0,00846 x^3 = 38,37654 x^3;$$

$$P_s = 0,785 \cdot k_s \cdot A^2 x^2 = 0,785 \cdot 0,9 \cdot 0,04150 x^2 = 0,029323 x^3;$$

$$P'_z = P_s \cdot 1,41 = 0,02932255 \cdot 1,414214 x^2 = 0,041468 x^2.$$

$$1.11. x = d/A = 0,22/205 = 1,072; x^2 = 1,148; x^4 = 1,318.$$

$$1.12. \beta = x^4 = 1,072^4 = 1,318.$$

1.13. O'zakning aktiv kesim yuzasi:

$$P_s = 0,785 k_s A^2 x^2 = 0,785 \cdot 0,9 \cdot 0,205^2 \cdot x^2 = 0,02979 \cdot x^2 = 0,02979 \cdot 1,148 = 0,0342 \text{ m}^2.$$

1.14. Chulg'amning o'rtacha diametri

$$d_{12} = a A x = 1,46 \cdot 0,205 \cdot 1,072 = 0,321 \text{ m}.$$

1.15. Chulg'amlar uzunligi

$$l = \pi d_{12} / \beta = 3,14 \cdot 0,322 / 1,318 = 0,765 \text{ m}.$$

1.16. Chulg'amlar uzunligi

$$l = \pi d_{12} / \beta = 3,14 \cdot 0,322 / 1,318 = 0,765 \text{ m}.$$

1.17. O'zak balandligi

$$l_s = l + 2 l_0 = 0,765 + 2 \cdot 0,050 = 0,865 \text{ m}.$$

1.18. O'zak o'qlari orasidagi masofa

$$C=d_{12}+a_{12}+bd+a_{22}=0,321+0,020+0,33\cdot0,22+0,018=0,432 \text{ m.}$$

1.19. Bitta o'ram EYUKi

$$U_{o,r}=4,44fP_sB_s=222\cdot0,0342\cdot1,60=12,15 \text{ V.}$$

Chulg'amlarni hisoblash

Past kuchlanish chulg'amini hisoblash

Transformator chulg'amlarini hisoblash past kuchlanish (PK) chulg'amlarini hisoblashdan boshlanadi. PK chulg'ami sterjen va yuqori kuchlanish (YUK) chulg'ami orasida joylashtiriladi.

PK chulg'amining bitta fazasiga to'g'ri kelgan o'ramlar soni

$$W_1 = U_n / (4,44 B_s P_s).$$

Olingan qiymat yaxlitlanadi o'ramlar soni toq yoki juft bo'lishi mumkin.

Uch fazali transformator yoki sterjen chulg'amlari parallel ulangan bir fazali transformatorlarda topilgan o'ramlar soni W_1 bitta sterjenga to'g'ri keladigan o'ramlar soni ham deyiladi. O'ramlar soni butunlangandan so'ng, bitta o'ram kuchlanishi topiladi, V

$$U_o = U_n / W_1. \quad (2.1)$$

Sterjendagi haqiqiy induksiya, Tl

$$B_s = U_o / (4,44 P_s). \quad (2.2)$$

Qolgan hisoblashlar PK chulg'amining har bir turi uchun alohida bajariladi.

1. To'g'ri burchakli simdan tayyorlangan bir va ikki qatlamli silindirsimon chulg'amni hisoblash.

Chulg'amning qatlamlari soni, odatda, ikkiga teng deb olinadi. Bitta sterjenning quvvati 6–10 kVA gacha bo'lgan transformatorlarda chulg'am bir qatlamli qilib o'raladi va ayrim hollarda yuqori quvvatli transformatorlarda uch qatlamli qilib o'raladi.

Bir qatlamdagi o'ramlar soni:

bir qatlamli chulg'am uchun W_q ,

$$W_{q1} = W_1, \quad (2.3)$$

ikkita qatlamli chulg'am uchun

$$W_{q1}=W_1/2. \quad (2.4)$$

O'ramning o'q bo'yicha taxminiy o'lchami, m

$$h_{o,1}=l_1/(W_{q1}+1). \quad (2.5)$$

O'ramning taxminiy kesimi, mm²

$$P_1''=I_1/(j_{o,1} \cdot 10^{-6}), \quad (2.6)$$

bunda $j_{o,1}$ tok zichligining o'rtacha dastlabki qiymati mis chulg'am uchun

$$j_{o,1} = 0,746 k_d \frac{P_q u_o}{Sd_{12}} 10^4 \quad (2.7)$$

yoki alyuminiy chulg'am uchun

$$j_{o,1} = 0,463 k_d \frac{P_q u_o}{Sd_{12}} 10^4 \quad (2.8)$$

formulalardan topiladi.

P_1' va $h_{o,1}$ olingan qiymatlari uchun 16 va 17-ilovalardan transformator chulg'am simlari quyidagi qoidalarga rioya qilib tanlanadi:

- a) parallel simlar soni: n_{v1} yon tomoni bilan o'ralganda 4–6 dan va qirrasini bilan o'ralganda 6–8 dan oshmasligi kerak;
- b) hamma simlarni ko'ndalang kesim o'lchamlari bir xil;
- d) o'ramning parallel simlarini radial o'lchamlari o'zaro teng;
- e) simlarning radial o'lchamlari formula, jadval yoki egriliklar (5.7§ [1]) bo'yicha topilgan q o'lchamlar chegarasidan chiqmaydi (odatda, moyli transformatorlar uchun $q \leq 1200 \text{ W/m}^2$ va kamdan-kam holatlarda $q \leq 1400 \text{ W/m}^2$) yoki ruxsat etilgan qo'shimcha isroflar (odatda 5% dan oshmaydi (45-ilovaga qarang). Quruq transformatorlarda A izolyatsiyali issiqqa chidamlilik sinfi uchun $q \leq 280 \text{ W/m}^2$ va B sinfi uchun $q \leq 320 \text{ W/m}^2$ deb qabul qilinadi.

g) chulg'am qovurg'asimon o'ralganda radial o'lchamni o'q bo'yicha o'lchamga nisbati 1,3 dan kam va 3 dan ko'p bo'lmisligi kerak;

e) chulg'amning hisoblangan balandligi $(W_{o1}+1)h_{o1}$ 1 dan 5÷15 mm ga kichik bo'lishi kerak. Tanlangan sim o'lchamlari mm da quyidagicha yoziladi:

parallel simlar soni $\times \frac{\text{izolyatsiyasiz simning o'lchamlari}}{\text{izolyatsiyali simning o'lchamlari}}$

$$n_s \times \frac{a \cdot b}{a' \cdot b'} \quad (2.9)$$

n_o –parallel simlardan iborat o'ramning to'la kesimi m^2 da quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi:

$$P_1 = n_s \cdot P_1'' \cdot 10^{-6}, \quad (2.10)$$

bunda P_1'' – bitta sim kesimi, mm^2 .

Olingan tok zichligi, A/m^2

$$J_1' = I_1 / P_1. \quad (2.11)$$

O'ramning o'q bo'yicha o'lchami m, da 2.1-rasmdan aniqlanadi:

$$h_{o1} = n_s \cdot b' \cdot 10^{-3}. \quad (2.12)$$

Chulg'amning o'q bo'yicha o'lchami, m

$$\ell_1 = h_o \cdot (W_{q1} + 1) + (0,005 + 0,015). \quad (2.13)$$

Chulg'amning radial o'lchami (2.1 va 2.2–rasmlar bo'yicha belgilanishi), m:

bir qatlamli $a_1 = a' \cdot 10^{-3}$,

ikki qatlamli $a_1 = (2a' + a_{11}) \cdot 10^{-3}$ ✓ (2.14)

Kanalning radial o'lchami a_{11} $U_1 \leq 1kV$ bo'lganda izolyatsiya shartlari bo'yicha 4 mm dan kam olinmaydi va 37-ilovadan issiqlik qaytarish shartlari bo'yicha tekshiriladi. Agar simning haqiqiy radial

o'lchami, q (yuqoriga qarang) ning chegaraviy qiymati bo'yicha topilgan chegaraviy o'lchamlariga teng yoki uning yarmidan kam bo'lsa, qatlamlar orasidagi kanal qattiq qatlamlararo izolyatsiya 0,5 mm li ikki qatlam elektroizolyatsion karton bilan almashtiriladi. Bu holatda (2.14) formulada kanal o'lchami o'rniga 1 mm qalinlikdagi qatlamlararo izolyatsiya qo'yiladi. Quruq transformatorlarda chulg'amning ikki qatlamlari orasidagi havo kanallari kengligi 37.b – ilova bo'yicha qabul qilinadi.

Kuchlanish 1 kV dan katta bo'lsa silindirsimon chulg'am kam qo'llaniladi. Bu holatda qatlamlararo izolyatsiya 4.5-§ [1]dan aniqlanadi.

Chulg'amning ichki diametri, m

$$D'_1 = d + 2a_{01} \cdot 10^{-3}. \quad (2.15)$$

Chulg'amning tashqi diametri, m

$$D''_1 = D'_1 + 2a_1. \quad (2.16)$$

PK chulg'ami va sterjen orasidagi a_{01} kanal kengligi chulg'amining izolyatsiya shartlari va 4.5 §, 4.6 § [1] lar bo'yicha sterjenni qanday presslanishiga qarab aniqlanadi. Bir qatlamli va qatlamlari orasida sovituvchi kanali bo'lmagan ikki qatlamli chulg'amlar ikkita sovituvchi yuzaga ega.

Bu holatda butun transformatorning PK chulg'amining to'la sovituvchi yuzasi

$$P_{01} = sk_3 \pi (D'_1 + D''_1) \ell_1 \quad (2.17)$$

Qatlamlari orasidagi sovituvchi kanal kengligi 37-ilova ko'rsatilganidan kam bo'lmagan ikki qatlamli chulg'am to'rtta sovituvchi yuzaga ega bo'ladi.

$$P_{01} = sk_3 \pi (D'_1 + D''_1) \ell_1 \quad (2.18)$$

bunda s – aktiv sterjenlar soni.

Chulg'amning reyka va boshqa izolyatsion detallar bilan yopiladigan qism yuzalarini hisoblovchi koeffitsient k_z . Dastlabki hisoblashlarda $k_z=0,75$ deb qabul qilinishi PK chulg'amini qisqa tutashish isroflarini aniqlagandan so'ng (7.1 § [1] qaralsin) chulg'am yuzasidagi issiqlik oqim zichligi W/m^2 topiladi:

$$q_1 = P_{asos} \cdot k_{k1} / P_{01} \quad (2.19)$$

yoki

$$q_M = \frac{107}{k_z} \cdot 10^{-10} k_d b \frac{a}{a'} J^2 \quad (2.20)$$

$$q_A = \frac{172}{k_z} 10^{-10} k_d b \frac{a}{a'} J^2 \quad (2.21)$$

ifodalardan topiladi.

Chulg'amning harorati juda ham oshib ketmasligi uchun olingan q ni qiymati 5.7 § [1] ko'rsatilgan oraliqlarga to'g'ri kelishi kerak.

PK chulg'ami uchun to'g'ri burchakli simdan tayyorlangan silindirsimon chulg'am uch va to'rt qatlamli qilib o'ralishi mumkin. Bunday chulg'amni hisoblash yuqoridagidek haqiqiy qatlamlar sonini va tegishli tuzatishlar kiritilib o'tkaziladi.

2. Vintli chulg'amni hisoblash (2.3-rasm).

Bitta yo'lli yoki ikkita yo'lli (ko'p yo'lli) chulg'amni tanlash, bitta o'ram balandligini aniqlashga bog'liq u taxminan quyidagi formulalardan aniqlanadi:

bir yo'lli chulg'am uchun

$$h_{0,1} \approx \ell_1 / (W_1 + 4) - h_{k1}, \quad (2.22)$$

tekis tarqalgan transpozitsiyali (o'rin almashish) ikki yo'lli chulg'am uchun

$$h_{0,1} \approx \ell_1 / (W_1 + 1) - h_{k1}, \quad (2.23)$$

bunda h_{k1} -o'ramlar orasidagi moyli sovutuvchi kanalning balandligi; h_{k1} taxminiy qiymati $h_{k1} \approx 0,1 a_1$, deb qabul qilinishi mumkin. $h_{k1} \geq 4$ mm bu yerda a_1 -PK chulg'amining radial o'lchami,

$$a_1 \approx k_1 \frac{a_1 + a_2}{3}, \quad (2.24)$$

ifodadan taxminiy aniqlanadi.

Bir yo'lli chulg'amning o'ramini maksimal balandligi izolyatsiyalagan chulg'am simini maksimal o'lchamiga teng bo'ladi va mis sim uchun 16,5 mm va alyuminiy sim uchun 18,5 mm dan oshmasligi kerak. Shuning uchun (2.22) ifodadan mis sim uchun $h_{o1} \leq 0,0165$ m (16,5 mm) va alyuminiy sim uchun $h_{o1} \leq 0,0185$ m (18,5 mm) olinganda bir yo'lli chulg'am qo'llaniladi. Bu formuladan $0,035 \div 0,045 \geq h_{o1} \geq 0,0155 \div 0,0185$ m ($35 \div 45 \geq h_{o1} \geq 15,5 \div 18,5$ mm) mos ravishda ikki yo'lli chulg'am qo'llaniladi h_{o1} ning aniqroq qiymati (2.23) ifodadan aniqlanadi. Ba'zi hollarda, masalan quvvati 1600 kVA PK chulg'ami 400 V va chulg'amning faza toki 2309 A bo'lsa, to'rt yo'lli chulg'am qo'llaniladi.

O'ramning taxminiy kesimi $P'_1 = I_1 = (J_{or} \cdot 10^{-6})$ topiladi.

Chulg'amning yo'l soni aniqlangandan so'ng, o'ramning balandligi h_{o1} chulg'am sirtidagi issiq oqim zichligi q bo'yicha (2.25) yoki (2.26) formulalar yoki 2.4-rasmdagi

$$b \leq qk_z / (1,07J^2 \cdot 10^{-8}) \quad (2.25)$$

$$b \leq qk_z / (1,72J^2 \cdot 10^{-8}) \quad (2.26)$$

grafiklar yordamida tekshiriladi. Agar o'ram balandligi h_{o1} b ning yarmidan kam bo'lsa, bir yo'lli chulg'amda ikki o'ramdan so'ng radial kanallar qilish mumkin. Ikki yo'lli chulg'amda ikki guruh simlari o'rami orasidagi moyli kanalni qistirma bilan almashtirish mumkin. Agar qistirma qalinligi $2 \times 0,5$ mm, agar $h_{o1} - h_{k1} \leq b$ bo'lsa, chulg'amning mis simidagi tok zichliklari $2,2 \cdot 10^6 \div 2,5 \cdot 10^6$ A/m² dan oshmasa va alyuminiy simdagi $1,4 \cdot 10^6 \div 1,8 \cdot 10^6$ A/m² dan oshmasa vintli chulg'amni radial kanalsiz o'ramlarni bir-biriga yopishtirib

ishlatish mumkin. Agar $h_k=0$ bo'lsa, bunday chulg'amning bitta o'ram balandligi (2.22) va (2.23) formulalardan topiladi:

$$h_{o,1} \approx l_{o,1} \approx (\omega_1 + 4) - h_{k1};$$

$$h_{o,1} \approx l_{o,1} \approx (\omega_1 + 1) - h_{k1};$$

topilgan mis sim uchun $h_{o,1} \leq 0,0155$ mli (15,5 mm) va alyuminiy sim uchun $h_{o,1} \leq 0,0185$ mm li (18,5 mm) bo'lsa, bir yo'lli chulg'am olinadi. Agar (2.23) ifodadan $0,031 \div 0,037 \geq h_{o,1} \geq 0,0155 \div 0,0185$ mm ($31 \div 37 \geq h_{o,1} \geq 15,5 \div 18,5$ mm) bo'lsa, ikki yo'lli chulg'am olinadi. Bu chulg'amni qo'lanishi mumkinligi 5.7§- [1] aniqlanadi. $q = 1200 \div 1400$ W/m² ba $h_3 = 0,8$ bo'lganligi tufayli metall simning umumiy chegaraviy radial o'lchami

$$b \leq qk_z / (1,72J^2 \cdot 10^{-8}) \quad (2.25)$$

$$b \leq qk_z / (1,72J^2 \cdot 10^{-8}) \quad (2.26)$$

ifodalardan topiladi.

Radial kanalsiz bir yo'lli chulg'amning radial o'lchami b dan katta bo'lsa, ikki qatlamli ikki yo'lli vintli chulg'am qo'llaniladi. Bu holda vintli chulg'amning qatlamlari ketma-ket ulanadi va qatlamlar orasida 0,01-1 kenglikdagi moyli kanal qilinadi. O'ramlar soni nisbatan katta bo'lgan holda bir yo'lli ikki qatlamli chulg'am ishlatiladi.

Chulg'am tuzilishi uzul-kesil tanlangandan so'ng, $P'_1 \cdot 10^{-3}$ va $h_{o,1} \cdot 10^{-3}$ taxminiy qiymatiga chulg'am simi sortamenti (17 va 18 - ilovalar) dan quyidagi talablar hisobga olinib, mos sim kesimi tanlanadi.

1. Eng kam parallel simlar soni bir yo'lli chulg'amda to'rtta, ikki yo'lli chulg'amda sakkizta bo'lishi kerak.

2. Hamma parallel simlar bir xil o'lchamga va ko'ndalang kesim yuzasiga ega.

3. Radial kanalli chulg'amda simning katta o'lchami q ning ruxsat etilgan qiymati bo'yicha topilgan

$$\begin{aligned} b &\leq qk_z / (1,07J^2 \cdot 10^{-8}) \\ b &\leq qk_z / (1,72J^2 \cdot 10^{-8}) \end{aligned} \quad (2.26)$$

formulalar yoki 2.4-rasmdagi tasvirdan aniqlangan chegaraviy o'lchamdan chiqmaydi.

4. Radial kanalsiz chulg'amda radial o'lcham va radial yo'nalishidagi simlar soni ruxsat etilgan q ning va ruxsat etilgan qo'shimcha quvvat isrof darajasini hisobga olib tanlangan.

5. Tanlangan sim o'lchamlari va radial kanal bo'yicha hisoblangan qiymatiga teng.

Tanlangan sim o'lchamlari, mm da quyidagicha yoziladi:

parallel simlar soni $\times \frac{\text{isolyatsiyasiz simning o'lchamlari}}{\text{izolyatsiyali simning o'lchamlari}}$
ya'ni

$$n_{bl} \times \frac{a \cdot b}{a' \cdot b'}$$

O'ramning to'la kesimi, m^2

$$P_1 = n_s P_1'' \cdot 10^{-6}, \quad (2.27)$$

bunda P_1'' -bitta simning kesimi, m^2 17, a ilova va 17, b -ilovalardan tanlanadi.

Tok zichligi A/m^2

$$J = I_1 / P_1. \quad (2.28)$$

Bir va ikki yo'lli chulg'amlarning o'ram balandligi $h_{o,1}$ va chulg'am radial o'lchami 2.5-rasmdan aniqlanadi.

Transformator sovutilgandan so'ng bosim bilan tekshirilgan chulg'amning balandligi l_1 quyidagi formulalardan aniqlanadi: uchta transpozitsiyali bir yo'lli chulg'am uchun (2.5.a-rasm)

$$l_1 = b' \cdot 10^{-3} (W_1 + 4) + k \cdot h_k \cdot (W_1 + 3) \cdot 10^{-3} \quad (2.29)$$

Uchta transpozitsiyali va ikkita o'ramdan so'ng kanali bo'lgan bir yo'lli chulg'am uchun (2.5, b-rasm)

$$\ell_1 = b' \cdot 10^{-3} (W_1 + 4) + k \cdot \left[h_k \cdot \left(\frac{W_1}{2} + 2 \right) + \delta \cdot \frac{W_1}{2} \cdot 10^{-3} \right] \quad (2.30)$$

bunda δ - ikkilangan o'ram orasidagi qistirma qalinligi, odatda 1–1,5 mm ga teng.

Tekis tarqalgan transpozitsiyali ikki yo'lli chulg'am uchun (2.5.d – rasmdan)

$$\ell_1 = 2b' \cdot 10^{-3} (W_1 + 1) + k \cdot h_k \cdot (2W_1 + 1) \cdot 10^{-3} \quad (2.31)$$

Ikki gurux simlari orasidagi kanali bo'lmagan ikki yo'lli chulg'am uchun (2.5. e-rasm)

$$\ell_1 = 2b' \cdot 10^{-3} (W_1 + 1) + k \cdot \left[h_k \cdot W_1 + \delta (W_1 + 1) \cdot 10^{-3} \right], \quad (2.32)$$

k –chulg'am quritilib va bosim bilan tekshirilgandan so'ng g'altaklari orasidagi qistirmani kirishishini hisobga oluvchi koeffitsient. $k=0,94 \div 0,96$ deb qabul qilinadi. Bir va ikki yo'lli chulg'amning radial kanallari bo'lmagan holatidagi chulg'am balandligi $h_k=0$ bo'lgani uchun (2.29) va (2.30) ifodalardan topilishi mumkin. Chulg'amning radial o'lchami a'_1 mm da 2.5–rasmdan aniqlanadi.

Chulg'amning ichki diametri, m

$$D'_1 = d + 2a_{01} \cdot 10^{-3} \quad (2.33)$$

bunda a_{01} mm da 10–ilovadan olinadi.

Chulg'amning tashqi diametri, m

$$D''_1 = D'_1 + 2a_1 \cdot 10^{-3} \quad (2.34)$$

Sterjen va PK chulg'ami orasidagi kanal kengligi a_{01} 4.5 § va 4.6 § [1] ko'ra chulg'am izolyatsiya shartlari va sterjenni bosim bilan presslash usullaridan aniqlanadi. Qisqa tutashish isroflarini (7.1 § [1])

qarang) aniqlangandan so'ng chulg'am yuzasidagi issiq oqim zichligini topiladi. Radial kanalli chulg'am uchun q (2.35) – (2.35 d) ifodalardan topiladi va topilgan q ruxsat etilgan qiymatlar bilan solishtiriladi:

$$q_m = \frac{107JIw_q k_d}{k_z(b' + a_1)} 10^{-10} \quad (2.35)$$

$$q_A = \frac{172JIw_q k_d}{k_z(b' + a_1)} 10^{-10} \quad (2.35 a)$$

$$q_M = \frac{214JIw_q k_d}{k_z(b' + a_1)} 10^{-10} \quad (2.35 b)$$

$$q_A = \frac{344JIw_q k_d}{k_z(b' + a_1)} 10^{-10} \quad (2.35 d)$$

I– chulg'amning faza toki (bir fazali transformatorlarda sterjen toki); w_k – g'altakdagi o'ramlar soni: bir yo'lli chulg'amda 1,0; 2 yo'lli chulg'amda 0,5; k_z – yuzaning yopilish koeffitsienti $k_z=0,75$; a_1 – chulg'amning radial o'lchami, m.

Yuqori kuchlanishli (YUK) chulg'amni hisoblash

YUK chulg'amini hisoblash nominal kuchlanish va shaxoblanish kuchlanishini olish uchun kerak bo'ladigan o'ramlar sonini aniqlashdan boshlanadi. Nominal kuchlanishdagi o'ramlar soni quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$W_{N2} = W_1 \frac{U_{f2}}{U_{f1}} \quad (2.36)$$

YUK chulg'ami yulduz ulanganda rostlanuvchi kuchlanishning bitta pog'onasidagi o'ramlar soni

$$W_r = \Delta U / (U_o \sqrt{3}), \quad (2.37)$$

bunda ΔU — bitta rostlash pog'onasidagi chulg'am kuchlanishi yoki ikkita qo'shni shaxoblanishidagi kuchlanishlar farqi, V ; U_b — chulg'amning, bitta o'ramining kuchlanishi.

Odatda kuchlanishni rostlash pog'onalari o'zaro teng qilib bajariladi, shunga ko'ra pog'onalardagi o'ramlar soni ham teng bo'ladi.

Bu holatda chulg'am shaxoblanishidagi o'ramlar soni:
 ikki pog'onalida :
 kuchlanishning yuqori pog'onasi

$$W_2 = W_{N2} + W_r \quad (2.38)$$

nominal kuchlanishda W_{N2} ;
 kuchlanishning pastki pog'onasi

$$W_2 = W_{N2} - W_r. \quad (2.39)$$

To'rt pog'onalida:
 kuchlanishning yuqori pog'onalarida

$$W_2 = W_{N2} + 2W_r, \quad W_{N2} + W_r; \quad (2.40)$$

nominal kuchlanishda W_{N2} ;
 kuchlanishning pastki pog'onalarida

$$W_{N2} - W_r, \quad W_{N2} - 2W_r. \quad (2.41)$$

Uch fazali transformatorlarda yoki ikkita sterjenli chulg'amlari parallel ulangan bir fazali transformatorlarda topilgan o'ramlar soni $W_{N2} + W_r$ ekan $W_{N2} + 2W_r$ bitta sterjendagi o'ramlar soni deb hisoblanadi. Ikkita sterjen chulg'amlari ketma-ket ulangan bir fazali transformatorlarda bitta sterjenda bu o'ramlar sonining yarmi

joylashtiriladi. YUK chulg'amining balandligi l_1 ga teng qilib olinadi, ya'ni $l_1 = l_2$.

YUK chulg'amidagi tok zichligining (A/m^2) dastlabki qiymati quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$J_2 \approx 2J_0 - J_1. \quad (2.42)$$

Qisqa tutashish isroflari berilmagan holatlarda, tok zichligini topish uchun 19-ilovadan foydalanish mumkin.

YUK chulg'ami hisoblanib, sterjenga joylashtirilgandan so'ng, dastlabki qizishini baholash uchun, sovitiladigan yuzadagi issiq oqim zichligi (W/m^2) quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$q_2 = \frac{P_{asos2}}{P_{02}} \cdot k_{k2} \quad (2.43)$$

yoki (2.35)–(2.35a) ifodalardan aniqlanadi. Olingan q ning qiymati 5.7 [1] dagi ruxsat etilgan qiymatdan katta bo'lmashligi kerak.

Dumaloq simdan tayyorlangan ko'p qatlamli silindirsimon chulg'amni hisoblash (2.6 - rasm)

O'ramning taxminiy kesimi

$$P'_2 = I_2 / (J_2 \cdot 10^{-6}) \quad (2.44)$$

ifodadan aniqlanadi. Transformatorning chulg'am simining turiga va kesimiga qarab (16-ilovaga qarang) mos kesimdagi sim yoki ayrim hollarda ikkita parallel sim tanlanadi.

Tanlangan sim o'lchamlari quyidagicha yoziladi:

$$\text{sim markasi} \times \text{parallel simlar soni} \times \frac{\text{izolyatsiyasiz simning o'lchamlari}}{\text{izolyatsiyali simning o'lchamlari}}$$

$$\text{ya'ni } n_s \times \frac{d_1}{d_2}, \text{ mm.}$$

$$\text{O'ramning to'la kesimi, } m^2$$

$$P_2 = n_s \cdot P_2'' \cdot 10^{-6}, \quad (2.45)$$

bunda P_2'' bitta sim kesimi, mm^2 .

Olingan tok zichligi,

$$J_2 = I_2 / P_2 \text{ A/m}^2. \quad (2.46)$$

Qatlamdagi o'ramlar soni

$$W_{q2} = \ell_2 \cdot 10^3 / (n_s d_2') - 1. \quad (2.47)$$

Chulg'amdagi o'ramlar soni

$$n_{q2} = W_2 / W_{q2} \quad (2.48)$$

(n_{k2} —yaqin butun songacha yaxlitlanadi).

Ikkita qatlamning ishchi kuchlanishi, V

$$U_{iq} = 2W_{q2} \cdot U_o. \quad (2.49)$$

4.5-§ [1] dagi ko'rsatmalarga mos qilib, 12-ilovadan ikkita qatlamning ishchi kuchlanishi qiymatiga ko'ra, chulg'amning ikkita qatlami orasiga qo'yiladigan kabel qog'ozining umumiy qalinligi δ_{MK} va qatlamlarining soni tanlanadi.

Ko'p holatlarda sovutish shartlariga ko'ra har bir sterjen chulg'amlari orasida o'q bo'yicha moyli kanali bo'lgan ikkita konsentrik g'altak ko'rinishida bajariladi. Ichki g'altakning qatlamlar soni chulg'amning umumiy qatlamlar sonining 1/3, 2/5 qismidan oshmasligi kerak. Bu turdagi chulg'amni PK chulg'ami tomonida ishlatilsa, ikkita silindr orasidagi ichki va tashqi g'altaklarning qatlamlar soni bir xil qilib olinadi.

G'altaklar orasidagi moyli kanalning minimal kengligi α''_{22} 37-ilovadan tanlanadi. Bitta sterjenga to'g'ri keladigan quvvat 3÷6 kVA dan oshmaydigan transformatorlarda o'q bo'yicha kanali bo'lmagan bitta g'altakdan iborat chulg'am ishlatilishi mumkin.

Chulg'amning radial o'lchami, m:

ekransiz bitta g'altak

$$a_2 = \left[d_2'' \cdot n_{q2} + \delta_{Mk} \cdot (n_{k2} - 1) \right] \cdot 10^{-3} \quad (2.50)$$

ekransiz ikkita g'altakli

$$a_2 = \left[d_2' \cdot n_{q2} + \delta_{Mk} \cdot (n_{q2} - 1) + a_{22}' \right] \cdot 10^{-3} \quad (2.51)$$

20 va 35 kV kuchlanishli chulg'amlarda, chulg'amning ichki qatlamining tagiga metalli ekran o'rnatiladi. Ekran 0,5 mm qalinlikdagi alyuminiy qatlamidan iborat tutashtirilmagan silindr. Ekran chulg'amning liniya uchi bilan elektr usulda ulanadi ichki qatlamning boshi va chulg'amning ichki qatlamidan qatlamlararo izolyatsiya bilan izolyatsiyalanadi. Ekraning bunday izolyatsiyasi moyli kanal tomondan ham qo'yiladi.

Ekran bo'lgan holatdagi chulg'amning radial o'lchami quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$a_{2ekr} = a_2 + \left[\delta_{ekr} + 2\delta_{mk} \right] \cdot 10^{-3} \quad (2.52)$$

bunda $\delta_{ekr} = 0,5$ mm, a_2 (2.50) va (2.51) ifodadan δ_{mk} 12-ilovadan aniqlanadi. 35 kV li ishchi kuchlanish uchun ekran va qatlamlararo izolyatsiyaning ichki qatlamini o'zgartirish hisobiga chulg'amning radial o'lchamini 3 mm ga qo'shimcha oshirish mumkin.

PK va YUK chulg'amlari orasidagi o'q bo'yicha kanalning optimal radial o'lchami a_{12} va izolyatsion silindrning qalinligi quruq transformator uchun 4.6-§ [1] dan va moyli transformator uchun 4.5-§ [1] da chulg'amning sinov kuchlanishlariga qarab tanlanadi.

(2.52) ifodadan topilayotgan ekranli chulg'amning radial o'lchami a_{2ekr} faqat chulg'amning o'lchamlari aniqlanayotganda hisobga olinadi. Chulg'amlarning sohilma EYUKi hisoblanayotganda (2.50) ifodadan aniqlangan a_2 o'lchami hisobga kiritiladi va munosib ravishda chulg'amlar orasidagi hisoblangan moyli kanal kengligini oshirib qabul qilinadi:

$$a_{12ekr} = (a_{12}' + \delta_{ekr} + 2\delta_{mu}) \cdot 10^{-3} \quad (2.53)$$

$$P_2 = n_s \cdot P_2'' \cdot 10^{-6}, \quad (2.45)$$

bunda P_2'' bitta sim kesimi, mm^2 .

Olingan tok zichligi,

$$J_2 = I_2 / P_2 \text{ A/m}^2. \quad (2.46)$$

Qatlamdagi o'ramlar soni

$$W_{q2} = \ell_2 \cdot 10^3 / (n_s d_2') - 1. \quad (2.47)$$

Chulg'amdagi o'ramlar soni

$$n_{q2} = W_2 / W_{q2} \quad (2.48)$$

(n_{k2} —yaqin butun songacha yaxlitlanadi).

Ikkita qatlamning ishchi kuchlanishi, V

$$U_{iq} = 2W_{q2} \cdot U_o. \quad (2.49)$$

4.5-§ [1] dagi ko'rsatmalarga mos qilib, 12-ilovadan ikkita qatlamning ishchi kuchlanishi qiymatiga ko'ra, chulg'amning ikkita qatlami orasiga qo'yiladigan kabel qog'ozining umumiy qalinligi δ_{MK} va qatlamlarining soni tanlanadi.

Ko'p holatlarda sovutish shartlariga ko'ra har bir sterjen chulg'amlari orasida o'q bo'yicha moyli kanali bo'lgan ikkita konsentrik g'altak ko'rinishida bajariladi. Ichki g'altakning qatlamlar soni chulg'amning umumiy qatlamlar sonining 1/3, 2/5 qismidan oshmasligi kerak. Bu turdagi chulg'amni PK chulg'ami tomonida ishlatilsa, ikkita silindr orasidagi ichki va tashqi g'altaklarning qatlamlar soni bir xil qilib olinadi.

G'altaklar orasidagi moyli kanalning minimal kengligi a''_{22} 37-ilovadan tanlanadi. Bitta sterjenga to'g'ri keladigan quvvat 3÷6 kVA dan oshmaydigan transformatorlarda o'q bo'yicha kanali bo'lmagan bitta g'altakdan iborat chulg'am ishlatilishi mumkin.

Chulg'amning radial o'lchami, m:

ekransiz bitta g'altak

$$a_2 = [d'_2 \cdot n_{q2} + \delta_{Mk} \cdot (n_{k2} - 1)] \cdot 10^{-3} \quad (2.50)$$

ekransiz ikkita g'altakli

$$a_2 = [d'_2 \cdot n_{q2} + \delta_{Mk} \cdot (n_{q2} - 1) + a'_{22}] \cdot 10^{-3} \quad (2.51)$$

20 va 35 kV kuchlanishli chulg'amlarda, chulg'amning ichki qatlamining tagiga metalli ekran o'rnatiladi. Ekran 0,5 mm qalinlikdagi alyuminiy qatlamidan iborat tutashtirilmagan silindr. Ekran chulg'amning liniya uchi bilan elektr usulda ulanadi ichki qatlamning boshi va chulg'amning ichki qatlamidan qatlamlararo izolyatsiya bilan izolyatsiyalanadi. Ekraning bunday izolyatsiyasi moyli kanal tomondan ham qo'yiladi.

Ekran bo'lgan holatdagi chulg'amning radial o'lchami quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$a_{2ekr} = a_2 + [\delta_{ekr} + 2\delta_{mk}] \cdot 10^{-3}, \quad (2.52)$$

bunda $\delta_{ekr} = 0,5$ mm, a_2 (2.50) va (2.51) ifodadan δ_{mk} 12-ilovadan aniqlanadi. 35 kV li ishchi kuchlanish uchun ekran va qatlamlararo izolyatsiyaning ichki qatlamini o'zgartirish hisobiga chulg'amning radial o'lchamini 3 mm ga qo'shimcha oshirish mumkin.

PK va YUK chulg'amlari orasidagi o'q bo'yicha kanalning optimal radial o'lchami a_{12} va izolyatsion silindrning qalinligi quruq transformator uchun 4.6-§ [1] dan va moyli transformator uchun 4.5-§ [1] da chulg'amning sinov kuchlanishlariga qarab tanlanadi.

(2.52) ifodadan topilayotgan ekranli chulg'amning radial o'lchami a_{2ekr} , faqat chulg'amning o'lchamlari aniqlanayotganda hisobga olinadi. Chulg'amlarning sochilma EYUKi hisoblanayotganda (2.50) ifodadan aniqlangan a_2 o'lchami hisobga kiritiladi va munosib ravishda chulg'amlar orasidagi hisoblangan moyli kanal kengligini oshirib qabul qilinadi:

$$a_{12ekr} = (a'_{12} + \delta_{ekr} + 2\delta_{mu}) \cdot 10^{-3}. \quad (2.53)$$

$$D'_2 = D''_1 + 2a_{12}. \quad (2.54)$$

Chulg'amning ichki diametri (ekran bo'lgan holatda uning ichki izolyatsiyasigacha) m

Chulg'amning tashqi diametri:

$$\text{ekransiz} \quad D''_2 = D'_2 + 2a_2, \quad (2.55)$$

$$\text{ekran bilan} \quad D''_2 = D'_2 + 2a_{2\text{ekr}}. \quad (2.56)$$

Qo'shni sterjenlarning tashqi chulg'amlari orasidagi izolyatsiya oralig'i $a_{22} = a''_{22} \cdot 10^{-3}$, bunda a''_2 mm da moyli transformatorlarda 11-ilovadan topiladi.

Sovutish yuzasi m^2

$$P_{02} = c \cdot n \cdot k \cdot \pi (D'_2 + D''_2) \cdot \ell_2, \quad (2.57)$$

bunda c- magnit sistemaning sterjenlar soni.

To'g'ridan-to'g'ri silindrga o'ralgan bitta g'altak uchun 2.7, a-rasmdan $n=1,0$; $D'_2=0$; $k=1,0$.

Bitta g'altak uchun 2.7, b-rasmdan $n=1,0$; $k=0,88$

Ikkita g'altak uchun 2.7, e-rasmdan $n=1,5$; $k=0,83$ va 2.7, f-rasmdan $n=2$; $k=0,8$.

k- koeffitsient chulg'am yuzasini izolyatsion detallar bilan yopiq qismini va ichki tashqi yuzalar sonini hisobga oladi. Ichki yuza uchun $k=0,75$. Tashqi yuzaga sovutuvchi moyning bimalol yaqinlashgan holati uchun $k=1$. PK tomonida bu turdagi chulg'am qo'llanilgan holatda (2.7,v-rasm) uchun $k=0,75$; $n=2$.

To'g'ri burchakli simdan tayyorlangan ko'p qatlamli silindrsimon chulg'amni hisoblash

Quvvati 1000 kVA va undan ortiq kuchlanishi 10 va 35 kV bo'lgan moyli transformatorlarda YUK chulg'ami (ba'zi holatlarda PK cnulg'ami) sifatida bu turdagi (2.8-rasm) chulg'amlar ishlatiladi. ℓ_2 , P'_2 va J_2 aniqlangandan so'ng, umumiy kesimi P'_1 bo'lgan bir yoki ikki-uchta parallel simlarni shunday tanlash kerakki, sovutiluvchi chulg'am yuzasidagi issiq oqim zichligi o'zining ruxsat etilgan chegaraviy

qiymati $q=200\div 1400 \text{ W/m}^2$ dan oshmasligi lozim. Chulg'amning hamma o'ramlarining to'liq kesimini olish uchun lozim bo'lgan simning umumiy yig'indisi radial o'lchami

$$b = W_2 P_2 / (\ell_2 k_{o'q}). \quad (2.58)$$

$k_{o'q}$ — chulg'amning o'q bo'yicha yo'naluvchi chulg'am izolyatsiyasini hisobga oluvchi o'rtacha koeffitsient; mis uchun 0,92 va alyuminiy uchun 0,93 qabul qilinishi mumkin. $P_2 = P'_2 \cdot 10^{-6}$. PK chulg'ami uchun W_2 ni o'rniga W_1 .

Simning radial o'lchami a va 45 –ilova yordamida tanlangan chulg'amning qatlamlar soni n_{q2} , chulg'amning qo'shimcha isroflari qabul qilingan darajadan oshmaydigan qilib tanlanadi.

Simning aniq kesimi 17, a –ilovadan tanlanadi va quyidagicha yoziladi:

sim markasi $\times$ parallel simlar soni $\times \frac{\text{isolyatsiyasiz simning o'lchamlari}}{\text{izolyatsiyali simning o'lchamlari}}$
ya'ni

$$\text{sim markasi} \times n_s \times \frac{a \times b}{a' \times b'}.$$

O'ramning to'la kesimi, m^2

$$P_2 = n_s \cdot P_2'' \cdot 10^{-6}. \quad (2.59)$$

Olingan tok zichligi

$$J_2 = I_2 / P_2. \quad (2.60)$$

Qatlamdagi o'ramlar soni

$$W_{q2} = \frac{\ell_2}{n_s \cdot b'} \cdot 10^{-3} - 1. \quad (2.61)$$

Chulg'amdagi qatlamlar soni

$$n_{q2} = W_2 / W_{q2} \quad (2.62)$$

($n_{o'2}$ —yaqin katta songacha yaxlitlanadi).
Ikkita qatlamning ishchi kuchlanishi

$$U_{iq} \approx 2W_{q2} \cdot U_{o'} \quad (2.63)$$

4.5 –§ [1] dagi ko'rsatmalarga mos qilib, 12 – ilovadan ikkita qatlamning ishchi kuchlanishi qiymatiga ko'ra, chulg'amning ikkita qatlami orasiga qo'yiladigan kabel qog'ozining umumiy qalinligi δ_{mk} va qatlamlarning soni tanlanadi.

Kuchlanishi 20 va 35 kV bo'lgan chulg'amlarda, chulg'am ichki qatlami ostiga metalli ekran o'rnatiladi. Ekran – qalinligi 0,5 mm bo'lgan nomagnit metall tunukadan iborat tutashtirilmagan silindr. Ekran chulg'amning liniya uchi bilan elektr usulda ulanadi (ichki qatlamning boshi) va chulg'amning ichki qatlamidan qatlamlararo izolyatsiya bilan izolyatsiyalanadi. Ekraning bunday izolyatsiyasi moyli kanal tomondan ham qo'yiladi.

Ekransiz chulg'amning radial o'lchami, m

$$a_2 = \left[a' n_{q2} + \delta_{mk} (n_{q2} - 1) + a'_{22} n_k \right] \cdot 10^{-3}, \quad (2.64)$$

bunda a'_{22} – kanalning radial o'lchami, mm; n_q – o'q bo'yicha kanallar soni.

Ekranli chulg'amning radial o'lchami, m

$$a_{2ekr} = a_2 + 0,003, \quad (2.65)$$

bunda 20 va 35 kV kuchlanishlar uchun chulg'amning radial o'lchamini ekran va ikki qatlam qatlamlararo izolyatsiya hisobiga 0,003m (3mm) ga kattalashtiriladi.

PK va YUK chulg'amlari orasidagi o'q bo'yicha kanalning eng kichkina radial o'lchami a'_{12} va izolyatsion silindrning qalinligi moyli transformatorlar uchun 4.5-§ [1] dan chulg'amning sinov kuchlanishlariga qarab tanlanadi.

(2.63) ifodadan topilayotgan ekranli chulg'amning radial o'lchami a_{2ekr} , faqat chulg'amning o'lchamlari aniqlanayotganda hisobga olinadi. Chulg'amlarning sochilma EYUKi hisoblanayotganda (2.63)

ifodadan aniqlanadi a_2 o'lchami hisobiga kiritiladi va mos ravishda chulg'amlar orasidagi moyli kanal kengligini oshirib qabul qilinadi:

$$a_{2\text{ekr}} = (a'_{12} + 3) \cdot 10. \quad (2.66)$$

Chulg'amning ichki diametri (ekran bo'lgan holatda – uning ichki izolyatsiyasigacha), m

$$D'_2 = D''_1 + 2a_{12}. \quad (2.67)$$

Chulg'amning tashqi diametri, m;

$$\text{ekransiz } D'_2 = D'_2 + 2a_{2\text{v}}, \quad (2.68)$$

$$\text{ekran bilan } D''_2 = D'_2 + 2a_{2\text{ekr}}. \quad (2.69)$$

Qo'shni sterjen chulg'amlari orasidagi masofa 4.5- § [1] dagi ko'rsatmalari mos ravishda tanlanadi.

Rostlanuvchi shoxobchani joylashtirish sxemasi 2.9, b – rasmdan qabul qilinadi. Sovutish yuzasi m^2 , quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$P_{02} = c \cdot n \cdot k \cdot \pi (D'_2 + D''_2) \cdot \ell_2. \quad (2.70)$$

Ikkita g'altakli YUK chulg'ami uchun $n=2$; $k=0,8$.

Xuddi shunday PK chulg'ami uchun $n=2$; $k=0,75$.

Uzluksiz g'altaksimon chulg'amni hisoblash (2.10-rasm).

O'ramning taxminiy kesimi

$$P'_2 = I_2 / (J_2 \cdot 10^{-6}) \quad (2.71)$$

ifodadan aniqlanadi. O'ramning bu kesimiga chulg'am simining turiga qarab (17-ilova) mos kesimdagi to'g'ri burchakli sim yoki ikkita - to'rtta parallel sim tanlanadi. Bu holda simning katta o'lchami b ni $b \leq qk_z / (1,07J^2 \cdot 10^{-8})$, $b \leq qk_z / (1,72J^2 \cdot 10^{-8})$, $k_z=1$.

(5.6) yoki (5.7) [1] formulalardagi aniqlangan ruxsat etilgan o'lchamdan oshmaydigan qilib tanlanadi. Tanlangan o'lchamlar quyidagicha yoziladi:

sim markasi $\times$ parallel simlar soni $\times \frac{\text{izolyatsiyasiz simning o'lchamlari}}{\text{izolyatsiyali simning o'lchamlari}}$
ya'ni

sim markasi $\times n_s \times \frac{a \times b}{a' \times b'}$

Simning tanlangan kesimi $P_2'' \text{ mm}^2$.

O'ramning to'la kesimi, m^2

$P_2 = n_s \cdot P \cdot 10^{-6}$.

Tok zichligi, A/m^2

$$J_2 = I_2 / P_2. \quad (2.72)$$

Odatda, kerakli o'ram kesimiga P_2' chulg'am simlarining sortamentida tomonlari nisbati b/a turlicha bo'lgan bir necha sim kesimi mos keladi. Bu esa o'ramlarni g'altakka joylashish keng variantlarini beradi.

Chulg'amning ixcham tuzilishini olish uchun, sim sortamentidan parallel simlar soni kam bo'lgan katta kesim va b ning katta o'lchamini olish tavsiya etiladi. Bu paytda quyidagi talablar bajarilishi kerak:

1) Umumiy g'altaklar soni juft va turli g'altaklar soni to'rttadan oshmasligi kerak;

2) 35 kV li kuchlanishda bitta g'altakning ishchi kuchlanishi 800–1000 V dan oshmasligi kerak, 110 kV li kuchlanishda bitta g'altakning ishchi kuchlanishi 1500–1800 V ga, 220 kV li kuchlanishda esa 2500–3000 V ga yetishi mumkin;

3) Nominal kuchlanishi 20, 35 kV va undan yuqori bo'lganda, kuchlanishni rostlash uchun xizmat qiladigan va kuchaytirilgan izolyatsiyali o'ramlar har xil g'altaklarga joylashishi kerak; o'ramlar soni har xil bo'lgan yoki o'lchamlari bilan farq qiladigan yoki izolyatsiyasi bilan farq qiladigan g'altaklar odatda qulay hisoblash uchun har xil harflar bilan belgilanadi;

4) G'altakdagi o'ramlar soni butun yoki kasr bo'lishi mumkin, kasr holatda maxraj chulg'am aylanasiidagi reyklar soniga teng;

5) Chulg'amning umumiy balandligi l_2 quritilgan va presslangandan so'ng, PK chulg'am balandligi l_1 ga mos bo'lishi kerak.

Bu chulg'amda g'altak balandligi $h_{g'al}$ izolyatsiyali simning katta o'lchami b' ga teng. Nominal kuchlanishlari 20 kV va undan yuqori bo'lgan YUK chulg'amlarini kirish o'ranlari (g'altak) kuchaytirilgan izolyatsiyali qilinadi. Kuchaytirilgan izolyatsiya YUK chulg'amiga o'ta kuchlanish impulsi ta'siri paytida o'ramlar orasidagi zaryadsizlanishning oldini oladi.

Har bir faza chulg'aming kirish g'altaklarining ikkala uchiga kuchaytirilgan izolyatsiya qilinadi. Kirish g'altak va o'ramlarining kuchaytirilgan izolyatsiyasini hisoblash 4.5 § [1] dagi ko'rsatmalariga asosan o'tkaziladi.

Izolyatsiyasiz sim ko'ndalang kesimining katta o'lchami b tanlanganda, uning chulg'ami issiqlik chiqarish shartlariga asosan tekshiriladi. Bu o'lcham, chulg'amning qizigan yuzasidagi magnit oqimining ruxsat etilgan qiymatiga asosan (2.25) yoki (2.26) formulalardan hisoblangan o'lchamlardan katta bo'lmasligi kerak (odatda $q=1200 \div 1400$ W/m). Agar tanlangan b ning o'lchami (2.25) yoki (2.26) formuladan olingan qiymatni yarmidan ko'p bo'lmasa, qo'sh g'altakdagi radial kanalni shayba bilan almashtirish mumkin (5.6-§ [1] ga qarang).

Radial kanal balandligi h_k , quvvati 160 dan 6300 kVA gacha va ishchi kuchlanish 35 kV dan oshmaydigan transformatorlarda 4 dan 6 mm gacha, quruq transformatorlarda 10 dan 20 mm gacha o'zgaradi. Kanal qilinmaydigan qo'sh g'altaklarda kanal o'rniga shayba qo'yiladi. Shaybaning qalinligi 0,5 mm va chulg'am kuchlanishlari 110 va 220 kV va katta quvvatli transformatorlarda kanal balandligi 4 dan 10 ÷ 15 mm gacha tanlanishi mumkin. Hamma holatlarda kanal o'lchami h_k , 4.5-§ [1]dagi elektr izolyatsiya mustahkamligi shartlari bajariluvchi ko'rsatma asosida tanlanadi va 46-ilovadagi sovutish shartlari bo'yicha tekshiriladi.

Bitta sterjendagi g'altaklar soni quyidagi formuladan taxminan aniqlanadi:

$$n_{g'al2} \approx \frac{\ell_2 \cdot 10^3}{b' + h_k} \quad (2.73)$$

bunda h'_k -mm o'lchanadi.

Qo'sh g'altakdagi shaybali ikkilangan g'altak va g'altaklari orasida kanallari bo'lgan qo'sh g'altakdagi g'altaklar soni:

$$n_{g'al2} \approx \frac{2\ell_2 \cdot 10^3}{2b' + h'_k + \delta_{sh}} \quad (2.74)$$

G'altakdagi taxminiy o'ramlar soni:

$$W_{g'al2} \approx \frac{W_2}{n_{g'al2}} \quad (2.75)$$

Hamma g'altaklari orasida kanal bo'lgan chulg'am uchun, m:

$$\ell_2 = \left\{ b' \cdot n_{g'al2} + k \left[h'_k \left(n_{g'al} - 2 \right) + h'_{kr} \right] \right\} \cdot 10^{-3} \quad (2.76)$$

Shaybali ikkilangan va qo'sh g'altaklari orasida kanallari bo'lgan chulg'am uchun, m:

$$\ell_2 = \left\{ b' \cdot n_{g'al2} + k \left[h'_k \left(\frac{n_{g'al2}}{2} - 2 \right) + h'_{kp} + \frac{n_{g'al2}}{2} \cdot \delta_{sh} \right] \right\} \cdot 10^{-3} \quad (2.77)$$

Chulg'am uzilishi joyidagi va rostlanuvchi o'ramlar joylashadigan kanal balandligi h'_{kr} , 4.5-§ [1] dagi elektr izolyatsiya mustahkamligi shartlari bajariladigan ko'rsatma asosida tanlanadi. Chulg'amni bosim bilan tekshirib, quritilgandan so'ng izolyatsiyani kirishishini hisobga oluvchi koeffitsient $k=0,94 \div 0,96$.

Chulg'amning radial o'lchami, m

$$a_2 = a' \cdot n_s \cdot W_{g'al} \cdot 10^{-3}, \quad (2.78)$$

bunda $W_{\text{a}12}$ - g'altakdagi o'ramlar soni, yaqin butun katta songacha yaxlitlanadi; a' - simning radial o'lchami, mm.

Ichki va tashqi diametrlar shuningdek chulg'am yuzasidagi issiq oqlm zichligi q mos ravishda (2.67), (2.68), (2.35) - (2.35, f) dan aniqlanadi.

Qo'shni sterjendagi YUK chulg'amlari orasidagi masofa a_{22} 4.5 § yoki 4.6§-[1] lardagi ko'rsatmalar asosida tanlanadi.

Transformatorning chulg'amlarini tanlash va hisoblash

I_M variant. PK chulg'amni hisoblash.

2.1. Chulg'amning o'ramlari soni:

$$w_1 = U_{\text{fl}} / U_o = 230,9 / 14,41 = 16$$

$w_1 = 16$ deb qabul qilamiz.

2.2. Bitta o'ram kuchlanishi:

$$U_o = U_{\text{fl}} / w_1 = 230,9 / 16 = 14,4 \text{ V.}$$

2.3. Chulg'amdagi o'rtacha tok zichligi:

$$J_{o'r} = 0,746 k_d \frac{P_q u_o'}{S_d 12} 10^4 =$$

$$= 0,746 \cdot 0,93 \cdot 12200 \cdot 14,4 / 1000 / 0,331 \cdot 10^4 = 3,69 \text{ MA/m}$$

2.4. Dastlabki o'ram kesim yuzasi:

$$P_o' = I_1 / J_{o'r} = 1443,4 / 3,69 = 391 = 391,3 \text{ mm}^2.$$

Quvvati 1000 kV·A, kuchlanishi $U_{\text{fl}} = 231 \text{ kV}$, toki $I_{1f} = 1443,4 \text{ A}$ va o'ram kesim yuzasi $P_o' = 391,3 \text{ mm}^2$ bo'lgan PK uchun vintsimon chulg'amni 20-ilovadan tanlaymiz. Radial kanal o'lchamini $h_k = 5 \text{ mm}$ deb olamiz.

2.5. Dastlabki o'ram o'qi bo'yicha o'lchami:

$$h_o' = l / (w_1 + 1) - h_k = 496 / (16 + 1) - 5,00 = 24,2 \text{ m.}$$

2.6. Olingan P_o' va h_o' kattaliklarga qarab 17, a- ilovadan 12 ta parallel o'tkazilganlar soniga o'ramlar kesim yuzasini:

$$P_1'' = 32,9 \text{ mm}^2, n_s \times \frac{a \times b}{a' \times b'}, \text{ ya'ni } PB12 \times \frac{3,55 \times 9,5}{4,05 \times 10,0},$$

6 ta o'tkazgichdan iborat ikkita guruhga bo'lingan, o'ram guruhlari va o'ramlar orasida 5 mm li kanallar tanlaymiz.

2.7. O'ramning to'la kesim yuzasi:

$$P_1 = n_s \cdot P_1'' \cdot 10^{-6} = 12 \cdot 33,20 = 398 \text{ mm}^2.$$

2.8. Tok zichligi:

$$J_1 = I_{1f} / P_1 = 1443,4 / 398 = 3,62 \text{ MA/m}^2.$$

2.9. PK chulg'ami uzunligi:

$$L_1 = 2b \cdot 10^{-3}(w_1 + 1) + kh_k(2w_1 + 1) \cdot 10^{-3} = 2 \cdot 10,0 \cdot 10^{-3} \cdot (16 + 1) + 0,96 \cdot 0,5(2 \cdot 6 + 1) \cdot 10^{-3} = 0,421 \text{ m.}$$

2.10. Chulg'am radial o'lchamini 2.5-rasmga qarab topamiz:

$$a_1 = (n_s/2) \cdot a' = 12/2 \cdot 4,05 = 24,3 \text{ mm.}$$

2.11. Chulg'amning ichki diametri:

$$D'_1 = d + 2a_{01} = 0,240 + 2 \cdot 0,015 = 0,270 \text{ m.}$$

2.12. Chulg'amning tashqi diametri:

$$D''_1 = D'_1 + 2a_1 = 0,270 + 2 \cdot 0,0243 = 0,3196 \text{ mm.}$$

2.13. Chulg'amning o'rtacha diametri:

$$D_{o'rt} = (D'_1 + D''_1)/2 = (0,27 + 0,3196)/2 = 0,295 \text{ m.}$$

2.14. Chulg'am yuzasidagi issiqlik oqimi zichligi:

$$q = \frac{107J \cdot 10^6 I_1 w_q k_d}{k_z(b' + a_1)} 10^{-10} = \frac{107 \cdot 3,62 \cdot 10^6 \cdot 1443 \cdot 0,5 \cdot 0,93}{0,75(0,0100 + 0,0243)} 10^{-10} = 963,3 \text{ Wt/m}^2.$$

2.15. Chulg'am metallining vazni:

$$G_{01} = 28 \cdot 10^3 c D_{o'rt} w_1 P_1 = 28 \cdot 10^3 \cdot 3 \cdot 0,295 \cdot 16 \cdot 0,398 = 155 \text{ kg.}$$

2.16. O'tkazgich massasi (18-ilovadan):

$$G_{o'1} = 1,02 \cdot G_{01} = 1,02 \cdot 155 = 158 \text{ kg.}$$

YUK chulg'amni hisoblash:

2.17. 2.9-rasmda berilganidek, chulg'am 3 ta fazasining chiqish qisqichlari oxirlari 1 ta 3 fazali almashtirib ulagichga ulangan rostlash sxemasini olamiz.

YUK tomonlarida har xil kuchlanishlarni olish uchun quyidagicha ulash kerak:

Kuchlanish, V Chulg'amning shaxoblanishlari

36750	A ₂ A ₃	B ₂ B ₃	C ₂ C ₃
35875	A ₃ A ₄	B ₃ B ₄	C ₃ C ₄
35000	A ₄ A ₅	B ₄ B ₅	C ₄ C ₅
34125	A ₅ A ₆	B ₅ B ₆	C ₅ C ₆
33250	A ₆ A ₇	B ₆ B ₇	C ₆ C ₇

2.18. Nominal kuchlanishdagi YUK chulg'amining o'ramlari soni:

$$w_2 = U_2 / u_o = 10000 / 14,4 = 693.$$

2.19. Bitta pog'ona rostlanadigan o'ramlar soni:

$$w_r = \Delta U / (\sqrt{3} \cdot u_o) = 250 / (1,732 \cdot 14,4) = 10$$

bu yerda

$$\Delta U = U_1 \cdot 2,5\% = U_2 \cdot 0,025 = 10000 \cdot 0,025 = 250 \text{ V}$$

poq'ona uchun:

Kuchlanish, V	Chiqish qisqichlarida o'ramlar soni
10500	$w_2 + 2 \cdot w_r = 693 + 2 \cdot 10 = 713$
10250	$w_2 + w_r = 693 + 10 = 703$
10000	$w_2 = 693$
9750	$w_2 - w_r = 693 - 10 = 683$
9500	$w_2 - 2 \cdot w_r = 693 - 2 \cdot 10 = 673$

2.20. Chulg'amning dastlabki tok zichligi:

$$J_2 = 2 \cdot J_{0r} - J_1 = 2 \cdot 3,69 - 3,62 = 3,75 \text{ MA/m}^2.$$

2.21. Dastlabki o'ram kesimi:

$$P_2' = I_2 / J_2 = 33,34 / (3,75 \cdot 10^6) = 8,88 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 = 8,88 \text{ mm}^2.$$

Quvvati 1000 kV·A, kuchlanishi $U_{12} = 10000 \text{ V}$, toki $I_{12} = 33,3 \text{ A}$ va o'ram kesim yuzasi $P_2 = 8,9 \text{ mm}^2$ bo'lgan YUK uchun uzluksiz g'altakli to'g'ri burchakli mis sim chulg'amni 20-ilovadan tanlaymiz. 17, a-ilovadan markasi PB bo'lgan o'tkazgich tanlaymiz:

$$PB - 1 \times \frac{a \times b}{a' \times b'} \quad PB - 1 \times \frac{2,12 \times 4,5}{2,62 \times 5,0}$$

kesim yuzasi $P_2' = 1 \cdot 9,18 = 9,2 \text{ mm}^2 = 9,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$.

2.22. O'ramning to'la kesim yuzasi:

$$P_2 = 1 \cdot 9,18 = 9,2 \text{ mm}^2 = 9,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2.$$

2.23. Chulg'amning tok zichligi:

$$J_2 = I_2 / P_2 = 33,3 / (9,18 \cdot 10^{-6}) = 3,63 \text{ MA/m}^2.$$

2.24. O'zakdagi dastlabki g'altaklar soni:

$$n_g = l \cdot 10^3 / b' + h'_k = 421 / 5,0 + 5 = 42 \text{ ta g'altak}.$$

2.25. G'altakdagi dastlabki o'ramlar soni:

$$w_{g'2} = w_2 / n_{g'2} = 713 / 42 = 17.$$

G'altaklarning o'ramlar sonini umumiy taqsimi:

25 ta asosiy V g'altakda 18,0 tada 450 ta o'ram;

9 asosiy g'altakda 17 ta 153 ta o'ram;

8 ta rostalanuvchi D g'altakda 13,75 ta 110 o'ram;

E kuchaytirilgan g'altakda o'ramlar q'uyidagicha o'rnatilgan:

Jami 42 g'altaklar: 713

Chulg'amlar balandligi

$$l_2 = \{b' \cdot n_{g'2} + k[h'_k(n_{g'2} - 2) + h'_{kr}]\} \cdot 10^3 = \{5,0 \cdot 0,42 + 0,96[5(0,42 - 0,2) + 20]\} \cdot 10^3 = 0,422 \text{ mm}.$$

2.26. YUK chulg'amining radial o'lchami:

$$a_2 = a' \cdot w_g = 10^3 = 2,62 \cdot 1 \cdot 17 = 44,4 \text{ mm. } a_2 = a' \cdot n_s \cdot w_g \cdot 10^{-3} \text{ mm.}$$

2.27. Chulg'amning ichki diametri

$$D'_2 = D''_1 + 2a_{12} = 320 + 2 \cdot 20 = 359,6 \text{ mm} = 0,3596 \text{ m.}$$

2.28. Chulg'amning tashqi diametri

$$D''_2 = D'_2 + 2a_2 = 359,6 + 2 \cdot 44,4 = 448,4 \text{ mm} = 0,4484 \text{ m.}$$

2.29. Chulg'am yuzasidagi issiqlik oqimi zichligi:

$$q_2 = \frac{107 J_2 10^6 I_w q k_d}{k_z (b' + a_2)} 10^{-10} = \frac{107 \cdot 3,63 \cdot 10^6 \cdot 33,3 \cdot 17 \cdot 1,05}{0,75(5,0 + 44)} 10^{-10} =$$

$$= 622 \text{ Vt/m}^2.$$

2.30. O'tkazgich massasi (18-ilovadan):

$$G_{0,2} = 1,02 \cdot G_{02} = 1,02 \cdot 222,6 = 227 \text{ kg.}$$

$$G_{02} = 28 \cdot 10^3 \text{ sD}_{0,1} w_2 P_2 = 28 \cdot 10^3 \cdot 3 \cdot 0,404 \cdot 713 \cdot 0,0000092 = 222,6 \text{ kg.}$$

II_A variant. Kuchlanishi 10 kV va toki 57,7 A bo'lgan YUK uchun ko'p qatlamli silindrsimon to'g'ri burchakli alyuminiy sim g'altakli chulg'am; kuchlanishi 0,4 kV va toki 1443,4 A bo'lgan PK uchun silindrsimon ko'p qatlamli tasmali alyuminiy chulg'am tanlaymiz (20-ilova).

PK chulg'amni hisoblash.

2.1. Chulg'amning o'ramlari soni:

$$w_1 = U_n / u_0 = 230,9 / 12,15 = 19$$

$$w_1 = 19 \text{ deb qabul qilamiz va } u_0 = U_n / w_1 = 230,9 / 19 = 12,2 \text{ V.}$$

2.2. Chulg'amdagi dastlabki o'rtacha tok zichligi (oldindan):

$$J_1 = 0,463 k_d \frac{P q u_0}{S d_{12}} 10^4 = 0,463 \cdot 0,93 \frac{12200 \cdot 12}{1000 \cdot 0,321} 10^4 = 1,988 \text{ MA/m}^2.$$

2.3. Taxliliy o'ram kesim yuzasi:

$$P_1 = I_1 / J_1 = 1443,4 / (1,98 \cdot 10^6) = 726 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 = 726 \text{ mm}^2.$$

Quvvati 1000 kV·A, bo'lgan PK uchun kuchlanishi $U_n = 230,9 \text{ kV}$ va toki $I_1 = 1443,4 \text{ A}$ o'ram kesim yuzasi $P_1 = 726 \text{ mm}^2$ bo'lgan PK uchun silindrsimon ko'p qatlamli alyuminiy tasmali chulg'am 20-ilovadan tanlaymiz. Alyuminiy tasma o'ramlari balandligini chulg'am balandligiga teng deb olib qalinligini topamiz:

$$\delta = P_1 / l = 726 \cdot 10^{-6} / 0,765 = 949 \cdot 10^{-6} \text{ m} = 0,949 \text{ mm}.$$

Shu qalinlikka mos keladigan A6 markali GOST 13726-78 eni 860 va qalinligi $\Delta \approx 0,8 \text{ mm}$ bo'lgan alyuminiy tasma tanlaymiz.

G'altaklararo izolyatsiya K-120 markali kabel qog'ozini tanlaymiz.

2.4. O'ram kesim yuzasi:

$$P_1 = 0,767 \cdot 0,00095 = 0,000728 \text{ m}^2.$$

2.5. Tok zichligi yuzasi:

$$J_1 = I_n / P_1 = 1443,4 / 0,000726 = 1,988 \text{ MA/m}^2.$$

2.6. Alyuminiy o'tkazgich uchun umumiy yig'indi radial ruxsat etilgan sim o'lchami:

$$b \leq q k_z / (1,72 \cdot J^2 \cdot 10^{-8}), \quad q = 1200 \text{ W/m}^2, \quad k_z = 0,8 \text{ qabul qilamiz:}$$

$$b = 1200 \cdot 0,8 / (1,72 \cdot 1,988^2 \cdot 10^{12} \cdot 10^{-8}) = 14,1 \text{ mm}$$

$$b/k_z = 14,1 / 0,8 \approx 18.$$

PK chulg'amni ikkita g'altakka bo'lamiz, ichki $A = 9,0$ o'ramdan, tashqi $B = 10$ o'ram hosil bo'ladi:

$$w_1/2 = 19/2 = 9,5.$$

2.7. G'altaklar orasidagi sovutuvchi o'q kanalining eni

$$a_{11} = 0,01; \quad l = 0,01 \cdot 0,765 = 0,00765 \text{ m}.$$

2.8. G'altaklarning radial o'lchamlari:

$$A: a'_1 = (9,5 \cdot 0,8 + 12 \cdot 0,12) \cdot 10^{-3} = 9,04 \cdot 10^{-3} \approx 0,0090 \text{ m};$$

$$a'_1 = \left(\frac{w_1}{2} \cdot \Delta + U_v \cdot 0,12 \right) \cdot 10^{-3} = (9 \cdot 0,8 + 12 \cdot 0,12) \cdot 10^{-3} = 8,64 \cdot 10^{-3} \text{ m}.$$

$$B: a'_1 = (9,5 \cdot 0,8 + 12 \cdot 0,12) \cdot 10^{-3} = 9,04 \cdot 10^{-3} \approx 0,0090 \text{ m};$$

$$a''_1 = \left(\frac{w_1}{2} \cdot \Delta + U_v \cdot 0,12 \right) \cdot 10^{-3} = (10 \cdot 0,8 + 12 \cdot 0,12) \cdot 10^{-3} = 9,44 \cdot 10^{-3} \text{ m}.$$

2.9. PK chulg'amning radial o'lchami:

$$a_1 = (n_{v1}/2) \cdot a' = 0,0090 + 0,008 + 0,0090 = 0,0257 \text{ m} \quad a_1 = A: a'_1 + \Delta + B: a''_1$$

$$a_1 = a'_1 + a''_1 + \Delta = (8,64 + 9,44 + 0,8) \cdot 10^{-3} = 18,88 \cdot 10^{-3} \text{ m}.$$

2.10. Chulg'am qog'ozli- bakelitli silindrga quyidagi o'lchamda o'raladi:

$$\Theta \frac{0,260}{0,268} \times 0,96 \text{ m}.$$

2.11. Chulg'am diametrlari:

$$\text{ichki } D_1' = \cancel{D} + 2 \cdot a_{01} = 220 + 2 \cdot 15 = 250 \text{ mm} = 0,25 \text{ m};$$

$$\text{tashqi } D_1'' = D_1' + 2 \cdot a_1 = 250 + 2 \cdot 18,88 = 287,76 \text{ mm} = 0,287 \text{ m}.$$

$$D_{0,r}=(D_1'+D_1'')/2=(0,25+0,287)/2=0,2685 \text{ m.}$$

2.12. A va B g'altaklar uchun chulg'am yuzasidagi issiqlik oqimi zichligi:

$$q_A = \frac{172}{k_z} 10^{-10} k_d b \frac{a}{a'} J^2 = \frac{172}{0,8} 10^{-10}$$

$$= 1,05 \cdot 9,5 \cdot 0,00095 \cdot 1,982^2 \cdot 10^{12} = 800,5 \text{ Vt/m}^2,$$

bunda $a/a' \approx 0,5$; $k_z = 0,75$ va $k_d = 1,05$.

2.13. Chulg'am metallining massasi:

$$G_{01} = 8,47 \cdot s \cdot D_{0,r} \cdot w_1 \cdot P_1 \cdot 10^3 = 8,47 \cdot 3 \cdot 19 \cdot 0,000726 \cdot 10^3 \cdot 0,2685 = 94,11 \text{ kg.}$$

Simning massasi

$$G_{0,r1} = 1,02 \cdot G_{01} = 1,02 \cdot 94,11 = 95,99 \text{ kg.}$$

YUK chulg'amini hisoblash.

2.14. Chulg'amning o'ramlari soni:

$$w_2 = U_{f2}/U_0 = 10000/12,2 = 823.$$

2.15. Bitta pog'ona rostlanadigan o'ramlar soni:

$$w_r = \Delta U / (\sqrt{3} \cdot U_0) = 250 / (\sqrt{3} \cdot 12,2) = 11,9 \approx 12$$

5 ta pog'ona uchun:

Kuchlanish, V	Shaxoblanishdagi o'ramlar soni
10500	$w_2 + 2 \cdot w_r = 823 + 2 \cdot 12 = 847$
10250	$w_2 + w_r = 823 + 12 = 835$
10000	$w_2 = 823$
9750	$w_2 - w_r = 823 - 12 = 811$
9500	$w_2 - 2 \cdot w_r = 823 - 2 \cdot 12 = 799.$

2.16. Chulg'amdagi tok zichligi:

$$J_2 = 2 \cdot J_{0,r} - J_1 = 2 \cdot 1,984 - 1,982 = 1,986 \text{ MA/m}^2.$$

2.17. O'ram kesim yuzasi:

$$P'_2 = I_{2f}/J_2 = 33,34 / (1,986 \cdot 10^6) = 16,78 \text{ mm}^2 = 0,00001678 \text{ m}^2.$$

Quvvati 1000 kV·A, kuchlanishi $U_2 = 10000$ (35) kV, toki $I_2 = 33,34$ A va o'ram kesim yuzasi $P_2 = 16,78 \text{ mm}^2$ bo'lgan YUK uchun uziuksiz g'altakli to'g'ri burchakli alyuminiy sim chulg'amni 20-ilovadan tanlaymiz. 17, a-ilovadan markasi APB bo'lgan o'tkazgich tanlaymiz: $b = w_2 \cdot P_2 / I_2 \cdot k_{0,q} = 847 \cdot 16,78 / 767 \cdot 0,93 = 19,9 \text{ mm}$

$$PB \cdot n_s \frac{a \cdot b}{a' \cdot b'} \quad PB \cdot 1 \frac{1,60 \cdot 10,6}{2,10 \cdot 11,1}$$

2.18. O'ramning to'liq kesim yuzasi:

$$P''_2 = 1 \cdot 16,80 = 16,80 \text{ mm}^2,$$

2.19. Tok zichligi:

$$J_2 = I_2 / P_2 = 33,34 / 16,80 \cdot 10^{-6} = 1,98 \text{ MA/m}^2 = 1,98 \cdot 10^6 \text{ A/m}^2.$$

2.20. Alyuminiy o'tkazgich uchun umumiy yig'indi radial o'lchami:

$$b \leq q_{kz} / (1,72 \cdot J^2 \cdot 10^{-8}), \quad q_2 = 1200 \text{ W/m}^2 \text{ va } k_z = 0,8 \text{ qabul qilamiz:}$$

$$b_2 = 1200 \cdot 0,8 / (1,72 \cdot 1,982^2 \cdot 10^{12} \cdot 10^{-8}) = 14,2 \text{ mm}.$$

2.21. G'altak qatlamidagi o'ramlar soni:

$$w_{q2} = I_2 / n_s \cdot b' - 1 = 767 / 1 \cdot 11,1 = 68,1$$

$$n_q = w_2 / w_{q2} = 847 / 68,1 = 12.$$

2.22. Chulg'amning ikki qatlamidagi kuchlanish:

$$U_{qk} = 2 \cdot w_{q2} \cdot U_o = 2 \cdot 68 \cdot 12 = 1654 \text{ V}.$$

2.23. Ekransiz chulg'amning radial o'lchami $\delta_{mcr} = 0,36 \text{ mm}$
12-ilova

$$a_2 = a' \cdot n_{q2} + \delta_{mo} \cdot r (n_{q2} - 1) + a_{22} \cdot n_k = 2,10 \cdot 12 + 0,36(12 - 1) + 4 \cdot 5 = 50,2 \text{ mm}.$$

2.24. Chulg'am diametrlari:

$$\text{ichki ekrangacha } D_2' = D'' + 2 \cdot a_{12} = 0,3025 + 2 \cdot 0,020 = 0,3425 \text{ m};$$

ichki o'tkazgich qatlamigacha

$$D_2'' = D_2' + 2 \cdot a'_{22} = 0,3425 + 2 \cdot 0,0502 = 0,443 \text{ mm}.$$

Yuqori kuchlanishli chulg'amni to'liq sovutish yuzasi; m

$$P_{02} = c \cdot k \cdot n \cdot \pi \cdot (D_2' + D_2'') \cdot l_k = 3 \cdot 2 \cdot 0,88 \cdot 3,14(0,3425 + 0,445) \cdot 0,767 = 9,98 \text{ m}.$$

2.25. YUK va PK chulg'ami qog'ozli- bakelitli silindr o'lchami quyidagicha:

$$\theta \frac{0,370}{0,38} \cdot 0,97 \text{ m}.$$

2.26. Chulg'am metallining vazni:

$$G_{02} = 8,47 \cdot 10^3 \cdot c_{Dy} \cdot w_2 \cdot P_2 = 8,47 \cdot 10^3 \cdot 3 \cdot 0,393 \cdot 847 \cdot 0,0000168 = 142 \text{ kg}$$

$$G_{c2} = 1,02 \cdot 142 = 145 \text{ kg}.$$

2.28. Ikkita chulg'am matellining vazni:

$$G_0 = G_{01} + G_{02} = 94,11 + 142 = 236,11 \text{ kg}.$$

2.29. Ikkita chulg'am simlarining vazni:

$$G'_{cl} = G'_{c1} + G'_{c2} = 95,99 + 145 = 240,99 \text{ kg}.$$

Qisqa tutashish parametrlarini hisoblash

I_M variant mis chulg'am

PK chulg'ami uchun asosiy quvvat isrofi

$$P_{as1}=2,4 \cdot 10^{-12} J_1^2 G_M=2,4 \cdot 10^{-12} \cdot 3,62^2 \cdot 155=4875,3 \text{ W.}$$

YUK chulg'ami uchun asosiy quvvat isrofi

$$P_{as2}=2,4 \cdot 10^{-12} J_2^2 G_M=2,4 \cdot 10^{-12} \cdot 3,63^2 \cdot 222,6=7039,6 \text{ W.}$$

PK chulg'ami uchun qo'shimcha quvvat isrofi koeffitsienti

$$k_{q1}=1+0,095 \cdot 10^8 \cdot \beta_1^2 a^4 n^2=1+0,095 \cdot 10^8 \cdot 0,268 \cdot 4,5^4 \cdot 10^{-12} \cdot 6^2=1,038,$$

bunda $\beta_1^2=(bmk_p/l)^2=(7,5 \cdot 10^{-3} \cdot 48 \cdot 0,95/0,66)^2=0,518^2=0,268$;

$k_p=0,95$ – sochilma maydonning keltirilgan koeffitsienti.

O'tkazgichi to'g'ri burchakli YUK chulg'ami uchun qo'shimcha quvvat isrofi koeffitsienti

$$k_{q2}=1+0,095 \cdot 10^8 \cdot \beta_2^2 a^4 n^2=1+0,095 \cdot 10^8 \cdot 0,246 \cdot 1,4^4 \cdot 10^{-12} \cdot 22^2=1,005,$$

bunda $\beta_2^2=(bmk_p/l)^2=(5,6 \cdot 10^{-3} \cdot 62 \cdot 0,95/0,66)^2=0,493^2=0,246$.

PK chulg'am uchlarini chiqish izolyatori bilan ulovchi o'tkazgich uzunligi, Y ulangan chulg'am uchun (Δ ulangan chulg'am uchun $l_{ch}=14 \cdot l$)

$$l_{ch1}=14 \cdot l=14 \cdot 0,422=5,9 \text{ m.}$$

PK chulg'amli uchlarini chiqish izolyatori bilan ulovchi o'tkazgich og'irligi

$$G_{o1}=l_{o1} \cdot \Pi_o \cdot \gamma=5,9 \cdot 398 \cdot 10^{-6} \cdot 8900=20,89 \text{ kg.}$$

PK chulg'amli uchlarini chiqish izolyatori bilan ulovchi o'tkazgich quvvat isrofi:

$$P_{ch1}=2,4 \cdot 10^{-12} j^2 \cdot G_{chi.izol}=2,4 \cdot 10^{-12} \cdot 3,62^2 \cdot 10^{12} \cdot 20,9=657,99 \text{ W.}$$

YUK o'tkazgichning uzunligi

$$l_{ch2}=7,5 \cdot l=7,5 \cdot 0,422=3,16 \text{ m.}$$

YUK chulg'am uchlarini chiqish izolyatori bilan ulovchi o'tkazgich massasi:

$$G_{o2}=l_{o2} \cdot \Pi_o \cdot \gamma=3,16 \cdot 10,0 \cdot 10^{-6} \cdot 8900=0,282 \text{ kg.}$$

YUK chulg'am uchlarini chiqish izolyatori bilan ulovchi o'tkazgich quvvat isrofi:

$$P_{ch2}=2,4 \cdot 10^{-12} j^2 \cdot G_o=2,4 \cdot 10^{-12} \cdot 3,63^2 \cdot 10^{12} \cdot 0,282=8,9131 \text{ W.}$$

Bakning o'lchamlarini aniqlashga qadar, bak devorlaridagi va boshqa konstruktiv elementlardagi isroflarni topamiz:

$$P_b=10 \cdot k \cdot S=10 \cdot 0,025 \cdot 1000=250 \text{ W.}$$

Qisqa tutashuvning to'liq isrofi:

$$P_{q1} = P_{as1} k_{q1} + P_{as2} k_{q2} + P_{chiq1} + P_{chiq2} + P_b = 4875 \cdot 1,04 + 7039,6 \cdot 1,005 + 658 + 8,91 + 250 = 13051,6 \text{ W.}$$

YUK chulg'amining nominal kuchlanishi uchun:

$$P_q = 13051,6 - 0,05 \cdot 70748,5 = 12705,5 \text{ W}$$

yoki berilgan kattalikka nisbatan $12705,5 \cdot 100 / 12200 = 104\%$.

Qisqa tutashuv kuchlanishining aktiv tashkil etuvchisi

$$u_a = P_q / (10 \cdot S) = 12705,5 / 10000 = 1,27\%.$$

Reaktiv tashkil etuvchisi:

$$u_r = \frac{7,9 f S' \beta a_p k_p k_q}{u_o'^2} 10^{-1} = \frac{7,9 \cdot 50 \cdot 333,3 \cdot 2,10 \cdot 0,042 \cdot 0,95 \cdot 1,03}{14,4^2} 10^{-1} = 5,42\%$$

bunda $\beta = \pi d_{12} l = 3,14 \cdot 0,331 / 0,422 = 2,46$;

$$a_p = a'_{12} + (a_1 + a_2) / 3 = 0,020 + (0,024 + 0,044) / 3 = 0,043 \text{ m};$$

$$k_p = 1 - \sigma(1 - e^{-1/\sigma}) = 1 - 0,0477(1 - e^{-1/0,042}) \approx 0,95;$$

$$\sigma = \frac{\dot{a}_{12} + \dot{a}_1 + \dot{a}_2}{\pi l} = \frac{0,027 + 0,030 + 0,042}{\delta \cdot 0,660} = 0,0477;$$

$$k_q = 1 + \frac{l x^2}{m a_p k_p} = 1 + \frac{0,660 \cdot 0,083^2}{3 \cdot 0,051 \cdot 0,95} = 1,031.$$

Qisqa tutashuv kuchlanishi:

$$u_q = \sqrt{u_r^2 + u_a^2} = \sqrt{5,42^2 + 1,256^2} = 5,56\%$$

yoki berilgan kattalikka nisbatan $5,56 \cdot 100 / 5,5 = 101\%$.

YUK chulg'amidagi qisqa tutashuv barqaror toki 22-ilova yordamida:

$$I_{qb} = \frac{100 I_n}{u_q \left[1 + 100 S_n / (u_q S_k) \right]} = \frac{100 \cdot 57,7}{5,56 \left[1 + 100 \cdot 1000 / (5,56 \cdot 2500 \cdot 1000) \right]} = 1031 \text{ A.}$$

Qisqa tutashuvdagi maksimal oniy tok qiymati:

$$i_{kmax} = 1,41 k_{max} I_{qb} = 2,1 \cdot 1031 = 2165,1 \text{ A, bunda } u_r / u_a = 5,42 / 1,256 = 4,32;$$

23-ilovadan $k_m \cdot \sqrt{2} = 2,1$. Kuchning radial tashkil etuvchisi

$$F_p = 0,628 (i_{kmax} w_2)^2 \beta k_p \cdot 10^{-6} = 0,628 \cdot (2165,1 \cdot 713)^2 \cdot 2,46 \cdot 0,95 \cdot 10^{-6} = 2614941,76 \text{ H.}$$

PK chulg'ami o'tkazgichning simdagi o'rtacha qisuvchi kuchlanishi:

$$\sigma_{o'q} = \frac{F_p}{2\pi w_1 P_1} = \frac{2614941,76}{2 \cdot 3,14 \cdot 16 \cdot 391 \cdot 10^{-6}} = 66,55 \text{ MPa.}$$

YUK chulg'ami simining o'rtacha yoyilgan kuchlanishi

$$\sigma_p = \frac{F_p}{2\pi w_2 P_2} = \frac{2614941,76}{2 \cdot 3,14 \cdot 713 \cdot 10,0 \cdot 10^{-6}} = 58,4 \text{ MPa.}$$

Ruxsat etilgan 60 MPa ning 28% tashkil etadi. 2.14, d-rasm bo'yicha o'q kuchlari

$$F'_k = F_p \frac{a_p}{2l} = 2614941,76 \frac{0,051}{2 \cdot 0,660} = 10132 \text{ H;}$$

$$F''_k = F_p \frac{l_x}{l''_k m} = 2614941,76 \frac{0,099}{0,250 \cdot 0,95 \cdot 4} = 272504 \text{ H,}$$

bunda $l_x=99$ mm 2.15, a-rasmdan; 2.14, d-rasmda chulg'am joylashishi ko'rsatilgan; $m=4$; bak o'lchamlari aniqlangandan keyin $l''=0,25$ m; 2.13, b-rasmda o'q kuchlarining joylashishi ko'rsatilgan.

Chulg'amdagi maksimal qisuvchi kuchlar:

$$F_{q1} = F'_k + F''_k = 101032 + 272504 = 373536,5 \text{ H;}$$

$$F_{q2} = F'_k - F''_k = 272504 - 101032 = 171472 \text{ H.}$$

Ko'proq qisuvchi kuch PK chulg'ami balandligining o'rtasida kuzatiladi, bu yerda

$$F_{q1}=373536,5 \text{ H.}$$

O'ramlalararo qistirmadagi qisuvchi kuchlanishi:

$$\sigma_q = \frac{F_{q1}}{nab} 10^{-6} = \frac{373536,5}{12 \cdot 0,03 \cdot 0,04} 10^{-6} = 5,37 \text{ MPa,}$$

ruxsat etilgan 18–20 MPa dan kam.

Qisqa tutashuv sodir bo'lganidan $t_s=5$ sekundan so'ng:

$$\theta = \frac{670 t_k}{12,5 \left[u_q / (J \cdot 10^{-6}) \right]^2 - t_s} + \theta_N = \frac{670 \cdot 5}{12,5 (5,56/3,6)^2 - 5} + 90 = 228^\circ \text{C.}$$

Transformatorning magnit tizimini hisoblash

Po'latning vaznini va magnit tizimining o'lchamlarini aniqlash (8.1§ [1]). Sovuq holatda jo'valangan po'lat tunikachalardan yig'iladigan uch fazali yassi magnit tizim tuzilishi qabul qilindi. Po'lat tunikachalar markasi 3404, qalinligi 0,35 mm. Magnit tizimining sterjeni shisha tasmadan tayyorlangan halqa (bandash) bilan, yarmo to'sini bilan zichlashtiriladi. 25 - ilovadan paket o'lchamlari tanlanadi. 0,24 m diametrli sterjen zichlovchi tunikachalarsiz tayyorlanadi. Sterjen-kesimida pog'onalar soni 8 ta, yarmoda esa 6 ta.

25 - ilovadan sterjen va yarmo kesimlaridagi paketlar o'lchami olinadi.

Paket soni	Sterjen mm	Yarmo (ko'ndalang kesimining yarim o'lchami) mm
1	230x34	230x34
2	215x19	215x19
3	195x17	195x17
4	175x12	175x12
5	155x9	155x9
6	135x8	135x8
7	120x5	—
8	95x6	—

Paket sterjenining qalinligi 0,220 m. Yarmo (ko'ndalang kesim yarim o'lchami) mm.

Sterjen paketlarining umumiy qalinligi (yarmo kengligi) Sterjen kesimining pog'onali shakl yuzasi 29 - ilovadan

$$P_{fs}=419,0 \text{ sm}^2=0,04190 \text{ m}^2.$$

$$\text{Yarmoniki } P_{f,ya}=425,0 \text{ sm}^2=0,04250 \text{ m}^2.$$

Magnit tizimining burchak hajmi

$$V_u= 8428 \text{ sm}^3=0,008428 \text{ m}^3.$$

Sterjenning aktiv kesimi

$$P_s=k_z P_{fs}=0,97 \cdot 0,04190=0,04064 \text{ m}^2.$$

Yarmoning aktiv kesimi

$$P_{ya}=k_z P_{f,ya}=0,97 \cdot 0,04250=0,04123 \text{ m}^2.$$

Po'latning magnit tizim burchak hajmi

$$V_p = 0,97 \cdot 0,008428 \text{ m}^2 = 0,008175 \text{ m}^3.$$

Sterjen uzunligi

$$l_s = l + 2l_0 = 0,421 + 2 \cdot 0,050 = 0,521 \text{ m}.$$

Sterjen o'qlari orasidagi masofa

$$C = D_2 + a_{22} = 0,448 + 0,018 = 0,4664 \text{ m}.$$

Magnit tizimning sterjen va yarmo po'latlarining vazni hisoblanadi:

$$G_y = k_z V_u \gamma_{st} \cdot 10^{-6} = 0,008175 \cdot 7650 = 62,54$$

$$G_{ya} = G'_{ya} + G''_{ya} = 2 \cdot P_{ya} \cdot 2 \cdot C \cdot \gamma_{st} + 2 \cdot G_y = 2 \cdot 0,04123 \cdot 2 \cdot 0,4664 \cdot 7650 + 2 \cdot 62,5 = 588,32 + 125,08 = 713,40 \text{ kg}.$$

Sterjen po'latining vazni

$$G_s = G'_s + G''_s = 3 \cdot l_s \cdot P_s \cdot \gamma_{st} + 3(P_s \cdot a_{1ya} \cdot \gamma_{st} - G_y) = 3 \cdot 0,521 \cdot 0,04064 \cdot 7650 + 3(0,04064 \cdot 0,230 \cdot 7650 - 62,5) = 485,7 + 26,9 = 512,6 \text{ kg}$$

Po'latning umumiy vazni $G_{st} = G_{ya} + G_s = 713,40 + 512,6 = 1226,0 \text{ kg}$.

YUK siz ishlash isroflarini 8.2 § [1] hisoblanadi.

Sterjendagi induksiya

$$B_s = \frac{u_{o'}}{4,44 f_1 P_s} = \frac{14,434}{4,44 \cdot 50 \cdot 0,04064} = 1,60 \text{ Tl}.$$

Yarmodagi induksiya

$$B_{ya} = \frac{u_{o'}}{4,44 f_1 P_{ya}} = \frac{14,4342}{4,44 \cdot 50 \cdot 0,04123} = 1,58 \text{ Tl}.$$

1. Qiya tutashishdagi induksiya

$$B_{qiya} = B_s / \sqrt{2} = 1,60 / \sqrt{2} = 1,13 \text{ Tl}$$

O'rta sterjenning to'g'ri tutashishdagi nomagnit tirqish kesimining yuzasi mos ravishda sterjen va yarmoning aktiv kesim yuzasiga teng.

Sterjenning qiya tutashishdagi kesim yuzasi

$$P_{qiya} = \sqrt{2} \cdot P_s = \sqrt{2} \cdot 0,4064 = 0,575 \text{ m}^2.$$

Sterjen, yarmo va tutashish po'latlaridagi solishtirma isroflar 30-ilovadan aniqlanadi. 3404 markali po'latning qalinligi 0,35 mm ikkita tunikachali shixtovkada:

$$B_s = 1,60 \text{ Tl} \quad P_s = 1,295 \text{ W/kg}; \quad P_z = 990 \text{ W/m}^2;$$

$$B_{ya} = 1,58 \text{ Tl} \quad P_{ya} = 1,251 \text{ W/kg}; \quad P_z = 962 \text{ W/m}^2;$$

$$B_{qiya} = 1,13 \text{ Tl} \quad P_{qiya} = 468 \text{ W/m}^2.$$

Yassi magnit tizimining chetki sterjenlari qiya tutashishli, o'rtadagisi esa to'g'ri tutashishli, yarmo ko'p pog'onali, shpilkalar n uchun teshigi yo'q, po'lat tunikachalar qirqilgandan so'ng kuydirib yumshatiladi va g'adirlari olinib isroflarni aniqlaymiz.

8.2 § [1] asosida va 31-ilovadan

$k_{p,r}=1,05$; $k_{p,z}=1,0$; $k_{p,ya}=1,0$; $k_{pp}=1,03$; $k_{pm}=1,05$ larni qabul qilamiz.

32 ilovadan $k_{pu}=10,18$ koeffitsientni topamiz. O'shanda yuksiz ishlash isrofi

$$P_0 = \left[k_{pr} k_{pz} \left(P_p G_p + P_{ya} G'_{ya} - 4 P_{ya} G_{p,b} + \frac{P_s + P_{ya}}{2} k_{pu} G_{p,b} \right) + \right. \\ \left. + \Sigma P_z P_z \right] k_{p,ya} k_{p,p} k_{p,m} = [1,05 \cdot 0,98 (1,295 \cdot 512,6 + 1,251 \cdot 588,32 - \\ - 4 \cdot 1,251 \cdot 62,5 + \frac{1,295 + 1,251}{2} 10,18 \cdot 62,5) + 4 \cdot 0,0575 \cdot 468 + 1 \cdot 0,04064 \times \\ \times 990 + 2 \cdot 0,04123 \cdot 962] \cdot 0,98 \cdot 1,03 \cdot 1,05 = 2278 \text{ Wt}$$

yoki $2278/2100 \cdot 100 = 108\%$ berilganga nisbatan yuksiz ishlash tokini 8.3 § [1] dan hisoblanadi. 33-ilovadan solishtirma magnitlovchi quvvatlarni topamiz:

$B_s = 1,60 \text{ Tl}$; $q_s = 1,775 \text{ VA/kg}$; $q_{sz} = 19200 \text{ VA/m}^2$;

$B_{ya} = 1,58 \text{ Tl}$; $q_{ya} = 1,675 \text{ VA/kg}$; $q_{yaz} = 18000 \text{ VA/m}^2$;

$B_{qiya} = 1,13 \text{ Tl}$; $q_{qiya} = 2880 \text{ VA/m}^2$.

8.3 § [1] va 31, 35 ilovalardan koeffitsientlarni qabul qilamiz:

$k_{tr} = 1,18$; $k_{tz} = 1,0$; $k_{tp1} = 1,32$; $k_{tya} = 1,0$; $k_{tp} = 1,05$; $k_{ish} = 1,05$.

34 ilovadan $k_{tu} = 42,4$ koeffitsientni topamiz. Bu paytda yuksiz ishlashdagi magnitlovchi quvvat topiladi.

$$Q_0 = \left[k_{tr} k_{t,z} \left(q_s G_s + q_{ya} G'_{ya} - 4 q_{ya} G_{o'} + \frac{q_s + q_{ya}}{2} k_{t,u} k_{t,i} G_{o'} + 4 q_{qya} P_{z,qiya} + \right. \right. \\ \left. \left. + 2 q_{yaz} P_{ya} \right) \cdot k_{t,ya} k_{tp} k_{t,sh} \right]$$

$$Q_0 = \left[1,18 \cdot 1,05 \left(1,775 \cdot 512,6 + 1,675 \cdot 588,10 - 4 \cdot 1,675 \cdot 62,5 + \frac{1,775^2 + 1,675^2}{2} \right) \right. \\ \left. \times 42,45 \cdot 1,32 \cdot 62,5 \right) + 4 \cdot 2880 \cdot 0,0575 + 1 \cdot 19200 \cdot 0,04064 + 2 \cdot 0,04123 \cdot 18000 \cdot 1,05 \cdot$$

$$\times 1,05 \cdot 1,05 = 14361,9 \text{ B} \cdot \text{A}$$

Yuksiz ishlash toki

$$i_0 = Q_0 / (10 \cdot S) = 14363 / 10 \cdot 1000 = 1,436\% \text{ yoki } 1,436 \cdot 100 / 1,40 = 103\%$$

Yuksiz ishlash tokining aktiv tashkil etuvchisi

$$i_{0a} = P_0 / (10 \cdot S) = 2278 / 10 \cdot 1000 = 0,228\%$$

Yuksiz ishlash tokining reaktiv tashkil etuvchisi

$$i_{0r} = \sqrt{1,44^2 - 0,228^2} = 1,42\%$$

Transformatorlarda issiqlikni hisoblash

Chulg'amlarda issiqlikni hisoblash (9.5 §) [1].

Ichki harorat tafovuti (farqi)

Past kuchlanish chulg'ami uchun 2.17- rasmdan foydalanib θ_{01} ni aniqlaymiz:

$$\theta_{01} = q_1 \delta / \lambda_{iz} = 963 \cdot 0,25 \cdot 10^{-3} / 0,17 = 1,42^\circ \text{C},$$

bunda δ —simning bir tomonidagi izolyatsiya qalinligi, q_1 —chulg'am yuzasidagi issiq oqim zichligi, λ_{iz} —simning moy shimdirilgan izolyatsiyasining issiqlik o'tkazuvchanligi 34-ilovadan $\lambda_{iz} = 0,17 \text{ W}/(\text{m}^\circ \text{C})$.

Yuqori kuchlanish chulg'ami uchun 2.17- rasmdan foydalanib θ_{02} ni aniqlaymiz

$$\theta_{02} = q_2 \delta / \lambda_{iz} = 622 \cdot 0,25 \cdot 10^{-3} / 0,17 = 0,91^\circ \text{C}.$$

Chulg'amlar yuzasidagi haroratlar farqi:

Past kuchlanish chulg'ami

$$\theta_{01M1} = k_1 k_2 k_3 \cdot 0,35 q^{0,6} = 1,0 \cdot 1,1 \cdot 0,75 \cdot 0,35 \cdot 963^{0,6} = 17,8^\circ \text{C},$$

bunda $k_1 = 1,0$ tabiiy moy bilan sovutish uchun $k_2 = 1,1$ ichki PK chulg'am uchun $k_3 = 0,75$ 38-ilovadan $h_k/a = 0,21$ uchun.

Yuqori kuchlanish chulg'ami uchun

$$\theta_{02M2} = k_1 k_2 k_3 \cdot 0,35 q^{0,6} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,95 \cdot 0,35 \cdot 622^{0,6} = 15,8^\circ \text{C},$$

bunda $k_1 = 1,0$ tabiiy moy bilan sovutish uchun $k_2 = 1,0$, ichki KP chulg'am uchun, $k_3 = 0,95$ 35- ilovadan $h_k/a = 0,11$ uchun.

Chulg'amdan moyga bo'lgan haroratning to'liq o'rtacha farqi

PK chulg'am uchun $\theta_{0M, o'rt} = \theta_{01} + \theta_{0M1} = 1,42 + 17,8 = 19,23^{\circ}\text{C}$.

YUK chulg'am uchun $\theta_{0M, o'rt} = \theta_{02} + \theta_{0M2} = 0,91 + 15,8 = 16,69^{\circ}\text{C}$.

Bakning issiqligini hisoblash (9.6 §) [1]

36-ilovadan va transformatorning quvvatiga mos ravishda to'g'ri quvurli va radiatorli tekis bak tuzilishini 2.18 - rasmdan tanlaymiz. Bakning minimal ichki o'lchamlari 2.19, *a* va *b* -rasmlarda. Bog'lovchi o'tkazgichlarning izolyatsion masofasini yuqori yarmoning presslovchi balkasiga va bak devorigacha aniqlanadi.

$$B = D''_2 + (s_1 + s_2 + d_2 + s_3 + s_4 + d_1) \cdot 10^{-3}.$$

Izolyatsiya masofalari: $s_1 = 23$ mm ($u_{sim} = 35$ kV bo'lgan o'tkazgich uchun, 4 mm li qoplama, bak devorigacha bo'lgan masofa 14-ilovadan).

$s_2 = 18$ mm ($u_{sim} = 35$ kV bo'lgan o'tkazgich uchun, 4 mm li qoplama, yarmoning presslovchi balkasigacha bo'lgan masofa 14-ilovadan).

$s_3 = 25$ mm ($u_{sim} = 5$ kV bo'lgan o'tkazgich uchun, qoplamasiz, bak devorigacha bo'lgan masofa 14-ilovadan).

$s_4 = 33$ mm ($u_{sim} = 35$ kV bo'lgan o'tkazgich uchun, $u_{sim} = 35$ kV bo'lgan chulg'am uchun, qoplamasiz o'tkazgich uchun 15-ilovadan).

Bakning kengligi

$$B = 0,448 + (23 + 18 + 20 + 25 + 33 + 10) \cdot 10^{-3} = 0,58 \text{ m}.$$

Transformatorning aktiv qismi bakning markazida joylashgan holati uchun $V = 0,58$ m teng deb qabul qilamiz.

Bakning uzunligi

$$A = 2 \cdot C + B = 2 \cdot 0,47 + 0,58 = 1,51 \text{ m}.$$

Aktiv qismning balandligi

$$H_{ak} = l_s + 2h_{ya} + 0,05 = 0,522 + 2 \cdot 0,230 + 0,05 = 1,03 \text{ m}.$$

bunda l_s - sterjen balandligi, h_{ya} - yarmo balandligi, *n* - bak osti va pastki yarmo orasidagi to'qincha qalinligi.

Yuqori yarmodan bak qopqog'igacha bo'lgan masofa. Yuqori kuchlanish chulg'aming almashtirish - qayta ulagich shaxoblanish simlari yarmo ustida gorizontall joylashgan holat uchun. 40-ilovadan

$$H_{yak} = 160 \text{ mm} = 0,16 \text{ m}.$$

Bakning chuqurligi

$$H_b = H_{ak} + H_{yak} = 1,03 + 0,16 = 1,19 \text{ m}.$$

Kerakli sovutish yuzasini hosil qilish uchun 2.18-rasmdagi to'rtinchi quvurli radiatorlarni tanlash maqsadga muvofiq flanelts o'qlari orasidagi masofa $A_p=1150$ mm (42-ilovadan), quvurlar yuzasi $P_{tr}=3,533$ m² va ikkita kollektorlar yuzasi $P_{kk}=0,34$ m². Bu radiatorlarni o'rnatish uchun bak chuqurligi quyidagicha tanlanishi kerak:

$H_b = A_p + s_1 + s_2 = 1,150 + 0,085 + 0,100 = 1,335$ m, bunda s_1 va s_2 – bak devorining yuqori va pastki qirgimlaridagi flanelts o'qlari orasidagi masofa 42-ilovadan.

Ko'proq qizigan chulg'amda atrof-muhit haroratidan moyning o'rtacha ruxsat etilgan haroratining oshishi:

$$\theta_{m.o'} = 65^0 - 19,23 \approx 45,8^0 \text{C}.$$

Topilgan haroratning oshishi qabul qilinishi mumkin, chunki yuqori qatlamlardagi moy haroratining oshishi bu holda quyidagicha bo'ladi:

$$\theta_{yu.q} = 1,2\theta_{m.o'} = 1,2 \cdot 45,8 = 54,9^0 \text{C} < 60^0 \text{C}.$$

Dastlab bak devori ichki yuzasining harorat farqini $\theta_{b,i}=5^0 \text{C}$ va zaxirasini 2^0C deb qabul qilib, havo haroratidan bak tashqi devorlaridagi o'rtacha harorat oshishini aniqlaymiz:

$$\theta_{b,i} = \theta_{m.o'} - \theta_{b,i} = 45,8 - 5 - 2 = 38,8^0 \text{C},$$

bakning tanlangan o'lchamlari uchun tekis bak devorlaridagi konveksiya yuzasini hisoblaymiz:

$$P_{k.tek} = H_b [2(A-B) + \pi B] = 1,335 \cdot [2 \cdot (1,51 - 0,58) + \pi \cdot 0,58] = 4,9 \text{ m}^2.$$

Radiatorli bakning taxminiy nurlanishi yuzasi:

$$P_N = k P_{k.tek} = 1,5 \cdot 4,9 = 7,4 \text{ m}^2.$$

Berilgan qiymat $\theta_{mq} = 38,8$ uchun taxminiy kerakli konveksiya yuzasi:

$$P'_k = \frac{1,05 \cdot P_q + P_0}{2,5\theta^{1,25}} - 1,12 P_N = \frac{1,05 \cdot (12555 + 2278)}{2,5 \cdot 38,8^{1,25}} - 1,12 \cdot 7,4 = 56,13 \text{ m}^2$$

Konveksiya yuzasi quyidagilardan tuziladi:

tekis bak yuzasi $P_{b.tek} = 4,9 \text{ m}^2$

bak qopqog'ining yuzasi

$$P_{b.qop} = 0,5 \left[(A-B)(B+0,16) + \pi \frac{(B+0,16)^2}{4} \right] =$$

$$=0,5 \left[(1,51-0,58) \cdot (0,58+0,16) + \pi \frac{(0,58+0,16)^2}{4} \right] = 0,56 \text{ m}^2$$

bunda 0,5– koefitsient qopqoq yuzasini izolyator va armaturalar bilan yopilishini hisobga oladi. 0,16–bak yuqori romining ikkillangan kengligi.

Radiatorlarning konvektqiya yuzasi

$$\Sigma P_r = P'_k - P_{b.tek} - \Pi_{b.q} = 56,13 - 4,9 - 0,56 = 50,65 \text{ m}^2.$$

Radiatorlar sonini 10 ta deb qabul qilinadi

Bak devorining tekis yuzasiga keltirilgan radiatorlarni konveksiya yuzasi

$$P_{k,r} = P_{l,r} k_f + P_{kk} = 1,26 \cdot 3,53 + 0,34 = 4,8 \text{ m}^2.$$

Kerakli radiatorlar soni

$$n_p = \Sigma P_{k,r} / P_{k,r} = 50,65 / 4,8 = 10,6 \approx 10.$$

Bakning konveksiya yuzasi

$$P_{k,r} = \Sigma P_{k,r} + P_{b.tek} + P_{b.kop} = 10 \cdot 4,8 + 4,9 + 0,56 = 53,4 \text{ m}^2.$$

2.20-rasm bo'yicha nurlanish yuzasi

$$P_N = 7,4 \text{ m}^2.$$

Sovutuvchi havo haroratidan chulg'am va moy haroratining oshishini 9.7 § [1] dan aniqlaymiz. Havo haroratidan quvurlar tashqi yuzasi haroratining o'rtacha oshishi:

$$\theta_{x.o'} = \left[\frac{1,05(P_q + P_0)}{2,8P_N + 2,5P_{k,r}} \right]^{0,8} = \left[\frac{1,05(12555 + 2278)}{2,8 \cdot 7,4 + 2,5 \cdot 53,4} \right]^{0,8} = 40,1^\circ \text{C}.$$

Quvur devorlari ichki yuzasining haroratidan devor yaqinidagi moy haroratining o'rtacha oshishi:

$$\begin{aligned} \theta_{q.o'} &= 0,165 \left[\frac{1,05(P_q + P_0)}{\Sigma P_r + P_{b.tek} + 0,5P_{b.qop}} \right]^{0,6} = \\ &= 0,165 \left[\frac{1,05(12555 + 2278)}{10 \cdot 4,8 + 4,9 + 0,560} \right]^{0,6} = 4,97^\circ \text{C}. \end{aligned}$$

Havo haroratidan moyning o'rtacha haroratini oshishi:

$$\theta_{m.o'} = \theta_{x.o'} + \theta_{q.o'} = 4,97 + 40,1 = 45,11^\circ \text{C}.$$

Havo haroratidan yuqori qatlamlardagi moy haroratining oshishi:

$$\theta_{yu,q}=1,20 \cdot M_o = 1,2 \cdot 45,11 = 54,13^{\circ}\text{C} < 60^{\circ}\text{C}.$$

Havo haroratidan chulg'am haroratlarining o'rtacha oshishi:

PK chulg'ami

$$\theta_{ch1,o} = \theta_{01} + \theta_{0M1} + \theta_{M,o} = 1,42 + 17,8 + 45,11 = 64,34^{\circ}\text{C} < 65^{\circ}\text{C}.$$

YUK chulg'ami

$$\theta_{ch2,o} = \theta_{02} + \theta_{0M2} + \theta_{M,o} = 0,91 + 15,8 + 45,11 = 61,80^{\circ}\text{C} < 65^{\circ}\text{C}.$$

Yuqori qatlamlardagi moy haroratining oshishi $\theta_{yu,q} < 60^{\circ}\text{C}$ va chulg'amlardagi $\theta_{ch} < 65^{\circ}\text{C}$ ruxsat etilgan haroratdan oshmaydi va GOST talabiga javob beradi.

II_A variant alyuminiy chulg'am

PK chulg'am uchun asosiy quvvat isrofi:

$$P_{as1} = 12,75 \cdot 10^{-12} \cdot J_1^2 G_M = 12,75 \cdot 10^{-12} \cdot 1,98^2 \cdot 94,11 = 4704,09 \text{ W}.$$

YUK chulg'am uchun asosiy quvvat isrofi:

$$P_{as2} = 12,75 \cdot 10^{-12} \cdot J_2^2 G_M = 12,75 \cdot 10^{-12} \cdot 1,99^2 \cdot 142 = 7139,6 \text{ W}.$$

PK chulg'am uchun qo'shimcha quvvat isrofi:

$$k_{q1} = 1 + 0,037 \cdot 10^8 \cdot \beta_1^2 \cdot a^4 n^2 = 1 + 0,037 \cdot 10^8 \cdot 0,903 \cdot 0,8^4 \cdot 10^{-12} \cdot 26^2 = 1,008,$$

$$\text{bunda } \beta_1^2 = (bmk_p/l)^2 = (0,86 \cdot 10^{-3} \cdot 0,95/0,86)^2 = 0,005$$

$k_p = 0,95$ —sochma maydonining keltirilgan koeffitsienti.

O'tkazuvchanligi to'g'ri burchakli PK chulg'am uchun qo'shimcha quvvat isrofi koeffitsienti

$$k_{q2} = 1 + 0,037 \cdot 10^8 \cdot \beta_2^2 \cdot a^4 n^2 = 1 + 0,037 \cdot 10^8 \cdot 0,733 \cdot 2,8^4 \cdot 10^{-12} \cdot 9^2 = 1,055,$$

$$\text{bunda } \beta_2^2 = (bmk_p/l)^2 = (5,0 \cdot 10^{-3} \cdot 155 \cdot 0,95/0,86)^2 = 0,733.$$

PK chulg'am uchlarini chiqish izolyatori bilan ulovchi o'tkazgich uzunligi Y ulangan chulg'am uchun

$$l_{ch} = 7,5 \cdot l = 7,5 \cdot 0,767 = 5,75 \text{ m. } (\Delta \text{ ulangan chulg'am uchun } l_{ch} = 14 \cdot l).$$

PK chulg'am uchlarini chiqish izolyatori bilan ulovchi o'tkazgich massasi

$$G_{ch1} = l_{ch1} \cdot \Pi_{ch1} \gamma = 5,75 \cdot 728 \cdot 10^{-6} \cdot 2700 = 11,30 \text{ kg}.$$

PK chulg'amli uchlarini chiqish izolyatori bilan ulovchi o'tkazgich quvvat isrofi:

$$P_{ch1} = 12,75 \cdot 10^{-12} \cdot J^2 G_{ch1} = 12,75 \cdot 10^{-12} \cdot 1,98^2 \cdot 10^{12} \cdot 11,30 = 566,23 \text{ W}.$$

YUK chulg'am uchlarini chiqish izolyatori bilan ulovchi o'tkazgich uzunligi Δ ulangan chulg'am uchun

$$l_{ch} = 14 \cdot l = 14 \cdot 0,767 = 10,7.$$

YUK chulg'am uchlarini chiqish izolyatori bilan ulovchi o'tkazgich massasi

$$G_{ch2} = l_{ch2} \cdot \Pi_{ch} \gamma = 10,7 \cdot 16,8 \cdot 10^{-6} \cdot 2700 = 0,49 \text{ kg.}$$

YUK chulg'am uchlarini chiqish izolyatori bilan ulovchi o'tkazgich quvvat isrofi:

$$P_{ch2} = 12,75 \cdot 10^{-12} \cdot J^2 G_{ch2} = 12,75 \cdot 10^{-12} \cdot 1,99^2 \cdot 10^{12} \cdot 0,49 = 24,483 \text{ W.}$$

Bakning o'lehamlarini aniqlagunga qadar, bak devorlaridagi va boshqa konstruktiv elementlaridagi isroflarni topamiz:

$$P_b = 10kS = 10 \cdot 0,02 \cdot 1000 = 200 \text{ W.}$$

Qisqa tutashuvning to'la isrofi:

$$P_q = P_{as1} k_{q1} + P_{as2} k_{q2} + P_{ch1} + P_{ch2} + P_b = 4704,09 \cdot 1,008 + 7139,6 \cdot 1,005 + 566 + 24,5 + 200 = 12752,63 \text{ W.}$$

YUK chulg'amining nominal kuchlanishi uchun:

$$P_q = 12752,63 - 0,05 \cdot 7145,3 = 12395,37 \text{ W}$$

yoki berilgan kattalikka nisbatan $12395,37 \cdot 100 / 12200 = 101 \%$.

Qisqa tutashuv kuchlanishining aktiv tashkil etuvchisi

$$u_a = P_q / (10S) = 12395,37 / 10000 = 1,23 \%$$

Reaktiv tashkil etuvchisi:

$$u_r = \frac{7,9 f S' \beta a_p k_p k_q}{u_o^2} 10^{-1} = \frac{7,9 \cdot 50 \cdot 333,3 \cdot 1,32 \cdot 0,0429 \cdot 0,95 \cdot 1,03}{12,2^2} 10^{-1} = 4,901 \%,$$

bunda $\beta = \pi \cdot d_{12} / l = 3,14 \cdot 0,322 / 0,767 = 1,32$;

$$a_p = a_{12} + (a_1 + a_2) / 3 = 0,020 + (0,0188 + 0,050) / 3 = 0,0429 \text{ m;}$$

$$k_p = 1 - \sigma(1 - e^{-1/\sigma}) = 1 - 0,04165(1 - e^{-1/0,05}) = 0,95;$$

$$\sigma = \frac{a_{12} + a_1 + a_2}{\pi l} = \frac{0,02 + 0,01887 + 0,050}{\pi \cdot 0,679} = 0,04165;$$

$$k_q = 1,03 \quad l_x = 0.$$

Qisqa tutashuv kuchlanishi:

$$u_q = \sqrt{u_r^2 + u_a^2} = \sqrt{4,901^2 + 1,23^2} = 5,052 \%$$

yoki berilgan kattalikka nisbatan $5,052 \cdot 100 / 5,5 = 91,85 \approx 92 \%$.

YUK chulg'amidagi qisqa tutashuv barqaror toki:

$$I_{qb} = \frac{100 I_N}{u_q \left[1 + 100 S_N / (u_q S_k) \right]} = \frac{100 \cdot 33,3}{5,052 \left[1 + 100 \cdot 1000 / (5,052 \cdot 2500 \cdot 10^3) \right]} = 653,967 \text{ A}$$

Qisqa tutashuvdagi maksimal oniy tok qiymati:

$$i_{k_{\max}} = \sqrt{2} k_{\max} \cdot I_{ku} = 2,08 \cdot 655,967 = 1360,251 \text{ A},$$

bunda $u_p/u_a = 4,901/3,9 = 4,107$; $k_{\max} \sqrt{2} = 2,08$

23-ilovadan. Kuchning radial tashkil etuvchisi

$$F_p = 0,628 \cdot (i_{k_{\max}} \cdot w)^2 \beta \cdot k_p \cdot 10^{-6} = 0,628 (1360,251 \cdot 847)^2 \cdot 1,32 \cdot 0,95 \cdot 10^{-6} = 1045366,29 \text{ H}.$$

PK chulg'ami simining o'rtacha qisuvchi kuchlanishi

$$\sigma_{o'rt} = \frac{F_p}{2\pi w_1 P_1} = \frac{1045366,29}{2 \cdot 3,14 \cdot 19,726 \cdot 10^{-6}} = 12,067 \text{ MPa}.$$

YUK chulg'ami simining o'rtacha yoyilgan kuchlanishi

$$\sigma_p = \frac{F_p}{2\pi w_2 P_2} = \frac{1045366,29}{2 \cdot 3,14 \cdot 847 \cdot 16,8 \cdot 10^{-6}} = 11,689 \text{ MPa}.$$

Ruxsat etilgan 25 MPa ning $11,689 \cdot 100/25 = 46,79\%$ tashkil etadi.

2.14, a - rasmda chulg'amdan ko'rinadiki, o'q kuchlari ikkala chulg'amga ta'sir qiladi. Ko'proq qisuvchi kuch chulg'amlarning balandligi o'rtasida kuzatiladi. Eng kam radial o'lchamga ega PK chulg'aming o'rtasidagi qisuvchi kuchlanishi:

$$\sigma_q = \frac{F'_{ch}}{\pi D_{o'rt} a'} = \frac{114337,527 \cdot 10^{-6}}{\pi \cdot 0,2685 \cdot 0,0152} = 8,922 \text{ MPa}$$

$$F'_{ch} = 7,5 d_{12} \left(a_{12} + \frac{a_1 + a_2}{2} \right) (i_{k_{\max}} w_2)^2 \frac{1}{l^2} k \cdot 10^{-6} = 7,5 \cdot 0,322 \times$$

$$\times \left(0,02 + \frac{0,0188 + 0,0502}{2} \right) (1360,25 \cdot 847)^2 \frac{1}{0,767^2} \cdot 0,385 \cdot 10^{-6} = 114337,527 \text{ H}$$

$$k = \Delta_1 k_{01} + \Delta_2 k_{02} = 1,955 \cdot 0,197 + 8,333 \cdot 0 = 0,385;$$

$$\Delta_1 = 1,5/l = 1,5/0,767 = 1,955;$$

$$k_{01} = 0,33 - 1,15 a_0/l = 0,33 - 1,15 \cdot 0,0888/0,767 = 0,197;$$

$$a_0 = a_{12} + a_1 + a_2 = 0,02 + 0,188 + 0,05 = 0,0888;$$

$$\Delta_2 = 100/n_2 = 100/12 = 8,333;$$

$$k_{02} = 0;$$

$$a' = \Delta \cdot w_1 = 0,0008 \cdot 19 = 0,0152.$$

Qisqa tutashuv sodir bo'lganidan keyingi harorat $t_s = 5$ sekundan so'ng:

$$\theta = \frac{670 t_s}{5,5 \left[u_q / (J_2 \cdot 10^{-6}) \right]^2 - t_s} + \theta_N = \frac{670 \cdot 5}{5,5 (5,052 / 1,98)^2 - 5} + 90 = 198,76^\circ \text{C}.$$

Transformatorning magnit tizimini hisoblash

Po'latning vaznini va magnit tizimining o'lchamlarini aniqlash (8.1§ [1]). Sovuq holatda jo'valangan po'lat tunikachalardan yig'iladigan uch fazali yassi magnit tizim tuzilishi qabul qilindi. Po'lat tunikachalar markasi 3404, qalinligi 0,35 mm. Magnit tizimining sterjeni shisha tasmadan tayyorlangan halqa (bandash) bilan, yarmo to'sini bilan zichlashtiriladi. 25-ilovadan paket o'lchamlari tanlanadi. 0,22 m diametrli sterjen zichlovchi tunikachalarsiz tayyorlanadi. Serjen kesimida pog'onalar soni 8 ta, yarmoda esa 6 ta.

25 – ilovadan sterjen va yarmo kesimlaridagi paketlar o'lchami olinadi.

Paket soni	Sterjen mm	Yarmo (ko'ndalang kesimining yarim o'lchami) mm
1	215x23	215x23
2	195x28	195x28
3	175x15	175x15
4	155x12	155x12
5	135x9	135x9
6	120x5	120x9
7	105x4	—

Paket sterjenining qalinligi 0,192 m. Yarmo (ko'ndalang kesim yarim o'lchami) mm.

Sterjen paketlarining umumiy qalinligi (yarmo kengligi). Sterjen kesimining pog'onali shakl yuzasi 29-ilovadan

$$P_{fs} = 353,0 \text{ sm}^2 = 0,03530 \text{ m}^2.$$

$$\text{Yarmoniki } P_{fya} = 358,0 \text{ sm}^2 = 0,03580 \text{ m}^2.$$

Magnit tizimining burchak hajmi

$$V_u = 6460 \text{ cm}^3 = 0,00646 \text{ m}^3.$$

Sterjenning aktiv kesimi

$$P_s = k_z P_{fs} = 0,97 \cdot 0,03530 = 0,03424 \text{ m}^2.$$

Yarmoning aktiv kesimi

$$P_{ya} = k_z P_{f, ya} = 0,97 \cdot 0,03580 = 0,03473 \text{ m}^2.$$

Po'latning magnit tizim burchak hajmi

$$V_{p, u} = 0,97 \cdot 0,006460 \text{ m}^3 = 0,006266 \text{ m}^3.$$

Sterjen uzunligi

$$l_s = l + 2 l_0 = 0,767 + 2 \cdot 0,050 = 0,867 \text{ m}$$

Sterjen o'qlari orasidagi masofa

$$C = D_2'' + a_{22} = 0,443 + 0,018 = 0,4610 \text{ m}.$$

Magnit tizimning sterjen va yarmo po'latlarining vazni hisoblanadi:

$$G_p = k_z V_p \gamma_p \cdot 10^{-6} = 0,006266 \cdot 7650 = 47,936,$$

$$G_{ya} = G'_{ya} + G''_{ya} = 2 \cdot P_{ya} \cdot 2 \cdot C \cdot \gamma_{st} + 2 \cdot G_y = 2 \cdot 0,03473 \cdot 2 \cdot 0,4610 \cdot 7650 + 2 \cdot 47,9 = 489,85 + 95,87 = 585,72 \text{ kg}.$$

Sterjen po'latining vazni

$$G_s = G'_s + G''_s = 3 \cdot l_s \cdot P_s \cdot \gamma_{st} + 3(P_s \cdot a_{1ya} \cdot \gamma_{st} - G_y) = 3 \cdot 0,867 \cdot 0,03424 \cdot 7650 + 3(0,03424 \cdot 0,215 \cdot 7650 - 47,9) = 680,9 + 25,1 = 706,1 \text{ kg}.$$

Po'latning umumiy vazni $G_{st} = G_{ya} + G_s = 585,72 + 706,1 = 1291,8 \text{ kg}.$

Yuksiz ishlash isroflarini §8.2 [1] dan foydalanib hisoblanadi.

Sterjendagi induksiya

$$B_s = \frac{u_{o'}}{4,44 f_1 P_s} = \frac{12,1551}{4,44 \cdot 50 \cdot 0,03424} = 1,60 \text{ Tl}.$$

Yarmodagi induksiya

$$B_{ya} = \frac{u_{o'}}{4,44 f_1 P_{ya}} = \frac{12,1551}{4,44 \cdot 50 \cdot 0,03473} = 1,58 \text{ Tl}.$$

2. Qiya tutashishdagi induksiya

$$B_{qiya} = B_c / \sqrt{2} = 1,60 / \sqrt{2} = 1,13 \text{ Tl}.$$

O'rta sterjenning to'g'ri tutashishdagi nomagnit tirqish kesimining yuzasi mos ravishda sterjen va yarmoning aktiv kesim yuzasiga teng.

Sterjenning qiya tutashishdagi kesim yuzasi

$$P_{qiya} = \sqrt{2} \cdot P_s = \sqrt{2} \cdot 0,03424 = 0,0484 \text{ m}^2.$$

Sterjen, yarmo va tutashish po'latlaridagi solishtirma isroflar 30 – ilovadan aniqlanadi. 3404 markali po'latning qalinligi 0,35 mm ikkita tnikachali shixtovkada:

$$B_s=1,60 \text{ Tl}; \quad P_s=1,295 \text{ W/kg}; \quad P_z=990 \text{ W/m}^2;$$

$$B_{ya}=1,58 \text{ Tl}; \quad P_{ya}=1,251 \text{ W/kg}; \quad P_z=962 \text{ W/m}^2;$$

$$B_{qiya}=1,13 \text{ Tl}; \quad P_{qiya}=468 \text{ W/m}^2.$$

Yassi magnit tizimining chetki sterjenlari qiya tutashishli, o'rtadagisi esa to'g'ri tutashishli, yarmo ko'p pog'onali, shpilkalar n uchun teshigi yo'q, po'lat tunikachalar qisilgandan so'ng kuydirib yumshatiladi va g'adirlari olinib isroflarni aniqlash uchun (8.32) [1] ifodani qo'llaymiz.

§8.2 [1] asosida va 31 -ilovadan

$k_{pr}=1,05$; $k_{pz}=1,0$; $k_{py}=1,0$; $k_{pp}=1,03$; $k_{pm}=1,05$ larni qabul qilamiz.

32 ilovadan $k_{pu}=10,18$ koefitsientni topamiz. O'shanda yuksiz ishlash isrofi

$$P_0 = \left[k_{ir} k_{tz} \left(P_s G_s + P_{ya} G'_{ya} - 4 P_{ya} G_{pb} + \frac{P_s + P_{ya}}{2} k_{pu} G_{pb} \right) + \sum p_z n_z x \right. \\ \left. P_z \right] k_{py} k_{pp} k_{pm} = [1,05 \cdot 1,0 (1,295 \cdot 706,1 + 1,251 \cdot 489,85 - 4 \cdot 1,251 \cdot 47,9 + \\ + \frac{1,295 + 1,251}{2} 1,018 \cdot 47,9) + 4 \cdot 0,0464 \cdot 468 + 1 \cdot 0,03424 \cdot 990 + 0,03424 \cdot 962] \cdot 1,0 \cdot 1,03 \cdot 1,05 = 2374 \text{ Vt}$$

yoki $2374/2100 \cdot 100 = 113\%$ berilganga nisbatan.

Yuksiz ishlash tokini §8.3 [1] dan hisoblanadi. 33-jadvaldan solishtirma magnitlovchi quvvatlarni topamiz:

$$B_s=1,60 \text{ Tl}; \quad q_s=1,775 \text{ VA/kg}; \quad q_{sz}=19200 \text{ VA/m}^2;$$

$$B_{ya}=1,58 \text{ Tl}; \quad q_{ya}=1,675 \text{ VA/kg}; \quad q_{yaz}=18000 \text{ VA/m}^2;$$

$$B_{qiya}=1,13 \text{ Tl}; \quad q_{iya}=2880 \text{ VA/m}^2.$$

Magnit tizimning qabul qilingan tuzilishi va uni tayyorlash texnologiyasi uchun (8.43 [1]) ifodadan foydalanamiz. Buning uchun §8.3 [1] va 29, 32-ilovalardan koefitsientlarni

$k_{ir}=1,18$; $k_{tz}=1,00$; $k_{tp}=1,32$; $k_{t,ya}=1$; $k_{tp}=1,05$; $k_{tsh}=1,05$; qabul qilamiz.

35 ilovadan $k_{ty}=42,6$ koefitsientni topamiz. Bu paytda yuksiz ishlashdagi magnitlovchi quvvat topiladi.

$$Q_0 = \left[k_{ir} k_{tz} \left(q_s G_s + q_{ya} G'_{ya} - 4 q_{ya} G_{o'} + \frac{q_s + q_{ya}}{2} k_{tu} k_{tp} G_{o'} \right) \right]$$

$$+4q_{qiya}P_{z.qiya}+q_{sz}P_s+2q_{yaz}P_{ya}]\cdot k_{t,ya}k_{t,p}k_{t,sh}$$

$$Q_0=[1,18\cdot 1,00(1,775\cdot 706,1+1,675\cdot 489,85-4\cdot 1,675\cdot 47,9+\frac{1,775+1,675}{2}\cdot$$

$$\cdot 42,63\cdot 1,32\cdot 47,9)+4\cdot 2880\cdot 0,0484+1\cdot 19200\cdot 0,03424+2\cdot 0,3473\cdot$$

$$\cdot 18000]\cdot 1,00\cdot 1,05\cdot 1,05=11047,4\text{ V}\cdot\text{A}.$$

Yuksiz ishlash toki

$$i_0=Q_0/(10\cdot S)=11047/10\cdot 1000=1,105\% \text{ ёки } 1,105\cdot 100/1,4=78,9\%.$$

Yuksiz ishlash tokining aktiv tashkil etuvchisi

$$i_{oa}=P_o/(10\cdot S)=2374/10\cdot 1000=0,237\%.$$

Yuksiz ishlash tokining reaktiv tashkil etuvchisi

$$i_{or}=\sqrt{i_o^2-i_{oa}^2}=\sqrt{1,105^2-0,237^2}=1,08\%$$

Transformatorlarda issiqlikni hisoblash.

Chulg'amlarda issiqlikni hisoblash (9.5 § [1]).

Ichki harorat tafovuti (farqi)

Past kuchlanish chulg'ami uchun 2.17- rasmdan foydalanib θ_{01} ni aniqlaymiz

$$\theta_{01}=q_1\delta/\lambda_{iz}=800\cdot 0,25\cdot 10^{-3}/0,17=1,18^{\circ}\text{C},$$

bunda δ -simning bir tomonidagi izolyatsiya qalinligi, q_1 -chulg'am yuzasidagi issiq oqim zichligi, λ_{iz} -simning moy shimdirilgan izolyatsiyaqining issiqlik o'tkazuvchanligi 36-ildovadan $\lambda_{iz}=0,17\text{W}/(\text{m}^{\circ}\text{C})$.

Yuqori kuchlanish chulg'ami uchun 2.17- rasmdan foydalanib θ_{02} ni aniqlaymiz

$$\theta_{02}=q_2\delta/\lambda_{iz}=719\cdot 0,25\cdot 10^{-3}/0,17=1,06^{\circ}\text{C}$$

Chulg'amlar yuzasidagi haroratlar farqi:

Past kuchlanish chulg'ami $\theta_{01M1}=0,285q^{0,6}=0,285\cdot 800^{0,6}=15,7^{\circ}\text{C}$, bunda $k_1=1,0$ tabiiy moy bilan sovutish uchun $k_2=1,1$ ichki PK chulg'am uchun $k_3=0,285$ 38-ildovadan $h_k/a=0,10$ uchun.

Yuqori kuchlanish chulg'ami uchun

$$\theta_{02M2}=k_1k_2k_30,35q^{0,6}=1,0\cdot1,0\cdot1,00\cdot0,35\cdot719^{0,6}=18,1^{\circ}\text{C}$$

bunda $k_1=1,0$ tabiiy moy bilan sovutish uchun $k_2=1,0$, ichki KP chulg'am uchun, $k_3=1,00$ 35-ilovadan $h_k/a=0,10$ uchun.

Chulg'amdan moyga bo'lgan haroratning to'liq o'rtacha farqi

$$\text{PK chulg'am uchun } \theta_{0M.o'rt}=\theta_{01}+\theta_{0M1}=1,18+15,7=16,91^{\circ}\text{C}.$$

$$\text{YUK chulg'am uchun } \theta_{0M.o'rt}=\theta_{02}+\theta_{0M2}=1,06+18,1=19,17^{\circ}\text{C}.$$

Bakning issiqligini hisoblash (§9.6[1])

36-ilovadan va transformatorning quvvatiga mos ravishda to'g'ri quvurli va radiatorli tekis bak tuzilishini 2.18-rasmdan tanlaymiz. Bakning minimal ichki o'lchamlari 2.19, a va b - rasmlarda. Bog'lovchi o'tkazgichlarni izolyatsion masofasini yuqori yarmoning presslovchi balkasiga va bak devorigacha aniqlanadi.

$$B=D''_2+(s_1+s_2+d_2+s_3+s_4+d_1)\cdot10^{-3}.$$

Izolyatsiya masofalari: $s_1=23$ mm ($u_{sim}=35$ kV bo'lgan o'tkazgich uchun, 4 mm li qoplama, bak devorigacha bo'lgan masofa 14-ilovadan).

$s_2=18$ mm ($u_{sim}=35$ kV bo'lgan o'tkazgich uchun, 4mm li qoplama, yarmoning presslovchi balkasigacha bo'lgan masofa 14-ilovadan).

$s_3=25$ mm ($u_{sim}=5$ kV bo'lgan o'tkazgich uchun, qoplamasiz, bak devorigacha bo'lgan masofa 14-ilovadan).

$s_4=33$ mm ($u_{sim}=35$ kV bo'lgan o'tkazgich uchun, $u_{sim}=35$ kV bo'lgan chulg'am uchun, qoplamasiz o'tkazgich uchun 15-ilovadan).

Bakning kengligi

$$B=0,443+(23+18+20+25+33+10)\cdot10^{-3}=0,57\text{ m}.$$

Transformatorning aktiv qismi bakning markazida joylashgan holati uchun $B=0,57$ m teng deb qabul qilamiz.

Bakning uzunligi

$$A=2C+B=2\cdot0,46+0,57=1,49\text{ m}.$$

Aktiv qismning balandligi

$$H_{ak}=l_s+2h_{ya}+0,05=0,867+2\cdot0,215+0,05=1,35\text{ m},$$

bunda l_s –sterjen balandligi, h_{ya} -yarmo balandligi, n-bak osti va pastki yarmo orasidagi to'sincha qalinligi.

Yuqori yarmodan bak qopqog'igacha bo'lgan masofa Yuqori kuchlanish chulg'amining almashlab – qayta ulagich shaxoblaniq simlari yarmo ustida gorizontal joylashgan holat uchun. 40-ilovadan

$$H_{yak}=160 \text{ mm}=0,16 \text{ m.}$$

Bakning chuqurligi

$$H_b = H_{ak} + H_{yak} = 1,35 + 0,16 = 1,51 \text{ m.}$$

Kerakli sovutish yuzasini hosil qilish uchun 2.18-rasmdagi to'g'ri quvurli radiatorlarni tanlash maqsadga muvofiq flanets o'qlari orasidagi masofa $A_p = 1400 \text{ mm}$ (~~42~~-ilovadan), quvurlar yuzasi $P_{tr} = 4,333 \text{ m}^2$ va ikkita kollektorlar yuzasi $P_{kk} = 0,34 \text{ m}^2$. Bu radiatorlarni o'rnatish uchun bak chuqurligi quyidagicha tanlanishi kerak.

$$H_b = A_p + s_1 + s_2 = 1,40 + 0,085 + 0,100 = 1,585 \text{ m,}$$

bunda s_1 va s_2 – bak devorining yuqori va pastki qirgimlaridagi flanets o'qlari orasidagi masofa 39-ilovadan.

Ko'proq qizigan chulg'amda atrof-muhit haroratidan moyning o'rtacha ruxsat etilgan haroratining oshishi:

$$\theta_{m.o'} = 65^0 - 19,17 \approx 45,8^0 \text{C.}$$

Topilgan haroratning oshishi qabul qilinishi mumkin, chunki yuqori qatlamlardagi moy haroratining oshishi bu holda quyidagicha bo'ladi:

$$\theta_{yu.q} = 1,2 \cdot \theta_{m.o'} = 1,2 \cdot 45,8 = 55,0^0 \text{C} < 60^0 \text{C.}$$

Dastlab bak devori ichki yuzasining harorat farqini $\theta_{b,i} = 5^0 \text{C}$ va zahirasini 2^0C deb qabul qilib, havo haroratidan bak tashqi devorlaridagi o'rtacha harorat oshishini aniqlaymiz:

$$\theta_{b,i} = \theta_{m.o'} - \theta_{b,i} = 45,8 - 5 - 2 = 38,8^0 \text{C,}$$

bakning tanlangan o'lchamlari uchun tekis bak devorlaridagi konvektsiya yuzasini hisoblaymiz:

$$P_{k.tek} = H_b [2(A-B) + \pi B] = 1,585 \cdot [2 \cdot (1,49 - 0,57) + \pi \cdot 0,57] = 5,8 \text{ m}^2.$$

Radiatorli bakni taxminiy nurlanishi yuzasi:

$$P_N = k P_{k.tek} = 1,5 \cdot 5,8 = 8,9 \text{ m}^2.$$

Berilgan qiymat $\theta_{M,q}$ uchun taxminiy kerakli konvektsiya yuzasi:

$$P'_k = \frac{1,05 \cdot P_q + P_0}{2,5 \theta^{1,25}} - 1,12 P_N = \frac{1,05 \cdot (13266 + 2374)}{2,5 \cdot 38,6^{1,25}} - 1,12 \cdot 8,6 = 58,10 \text{ m}^2.$$

Konvektsiya yuzasi quyidagilardan tuziladi:

tekis bak yuzasi $P_{b.tek} = 5,8 \text{ m}^2$;

bak qopqog'ining yuzasi

$$P_{b,qop} = 0,5 \left[(A - B)(B + 0,16) + \pi \frac{(B + 0,16)^2}{4} \right] = 0,5[(1,49 - 0,57) \cdot (0,57 + 0,16) + \pi \frac{(0,57 + 0,16)^2}{4}] = 0,546 \text{ m}^2,$$

bunda 0,5-koeffitsient qopqog yuzasini izolyator va armaturalar bilan yopilishini hisobga oladi. 0,16 -- bak yuqori romining ikkillangan kengligi.

Radiatorlarning konvektsiya yuzasi

$$\Sigma P_{kr} - P'_{kr} - P_{b,tek} - P_{b,qop} = 58,10 - 5,8 - 0,546 = 51,79 \text{ m}^2.$$

Bak devorining tekis yuzasiga keltirilgan radiatorlarni konvektsiya yuzasi

$$P_{kr} = P_{kr} \cdot k_r + P_{kk} = 1,26 \cdot 4,3 + 0,34 = 5,8 \text{ m}^2.$$

Kerakli radiatorlar soni

$$n_r = \Sigma P_{kr} / P_{kr} = 51,79 / 5,8 = 8,93 \approx 8.$$

Bakning konvektsiya yuzasi

$$P_{kr} = \Sigma P_{kr} + P_{b,tek} + P_{b,qop} = 8 \cdot 5,8 + 5,8 + 0,546 = 52,7 \text{ m}^2$$

2.20-rasm bo'yicha nurlanish yuzasi

$$P_N = 8,9 \text{ m}^2.$$

Sovutuvchi havo haroratidan chulg'am va moy haroratining oshishini §9.7-[1] aniqlaymiz. Havo haroratidan quvurlar tashqi yuzasining haroratining o'rtacha oshishi:

$$\theta_{x,o'} = \left[\frac{1,05(P_q + P_0)}{2,8P_N + 2,5P_{kr}} \right]^{0,8} = \left[\frac{1,05(13266 + 2374)}{2,8 \cdot 8,6 + 2,5 \cdot 52,7} \right]^{0,8} = 40,5^\circ \text{C}.$$

Quvur devorlari ichki yuzasining haroratidan devor yaqinidagi moy haroratining o'rtacha oshishi:

$$\theta_{q,o'} = 0,165 \left[\frac{1,05(P_q + P_0)}{\Sigma P_r + P_{b,tek} + 0,5P_{b,qop}} \right]^{0,6} = 0,165 \left[\frac{1,05(13266 + 2374)}{8 \cdot 5,8 + 5,8 + 0,546} \right]^{0,6} = 5,17^\circ \text{C}$$

Havo haroratidan moyning o'rtacha haroratini oshishi:

$$\theta_{M,o'} = \theta_{x,o'} + \theta_{q,o'} = 5,17 + 40,5 = 45,71^\circ \text{C}.$$

Havo haroratidan yuqori qatlamlardagi moy haroratining oshishi:

$$\theta_{yu,q}=1,2 \cdot \theta_{m,o}=1,2 \cdot 45,71=54,85^{\circ}\text{C} < 60^{\circ}\text{C}.$$

Havo haroratidan chulg'am haroratlarining o'rtacha oshishi:

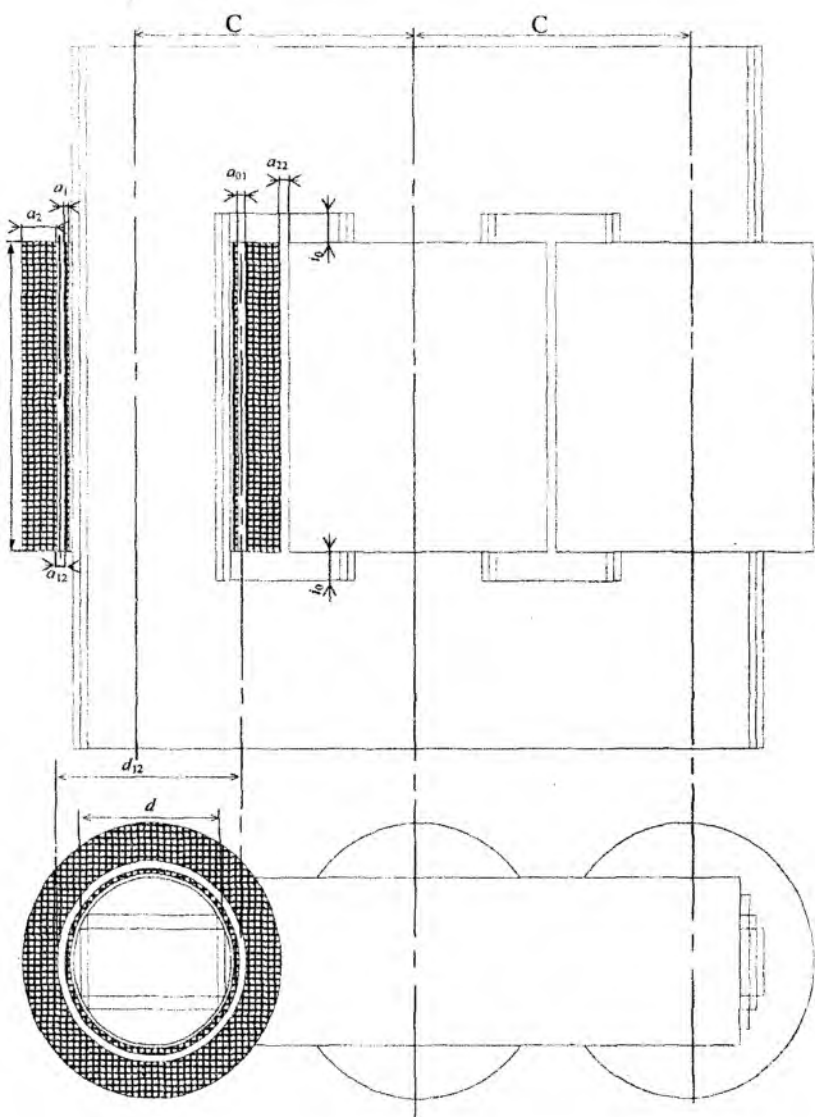
PK chulg'ami

$$\theta_{ch1}=\theta_{01}+\theta_{0M1}+\theta_{M,o}=1,18+15,7+45,71=62,62^{\circ}\text{C} < 65^{\circ}\text{C}.$$

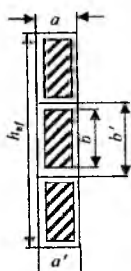
YUK chulg'ami

$$\theta_{ch2}=\theta_{02}+\theta_{0M2}+\theta_{M,o}=1,06+18,1+45,71=64,88^{\circ}\text{C} < 65^{\circ}\text{C}.$$

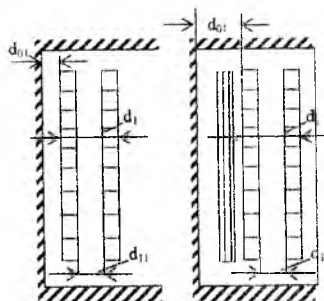
Yuqori qatlamlardagi moy haroratining oshishi $\theta_{yu,q} < 60^{\circ}\text{C}$ va chulg'amlardagi $\theta_{ch} < 65^{\circ}\text{C}$ ruxsat etilgan haroratdan oshmaydi va GOST talabiga javob beradi.



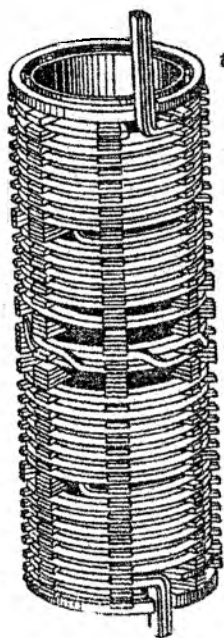
1.1-rasm. Transformatorning asosiy o'lchamlari.



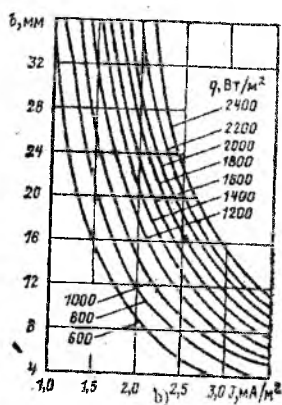
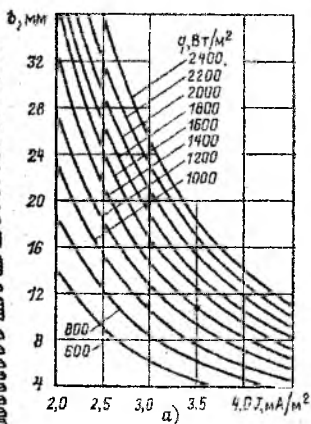
2.1-rasm. O'ramning balandligini aniqlash.



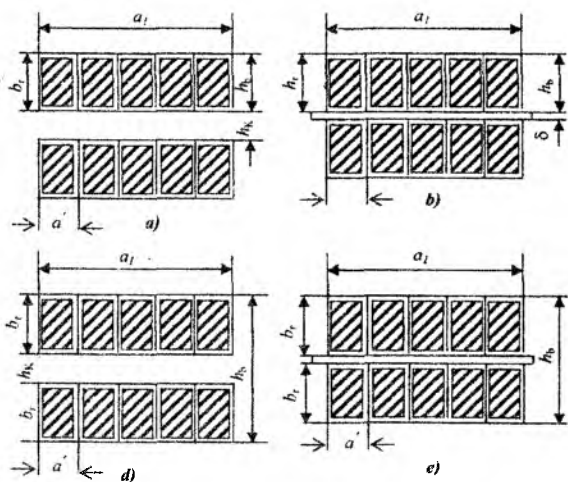
2.2-rasm. Chulg'amning radial o'lchamlarini aniqlash.



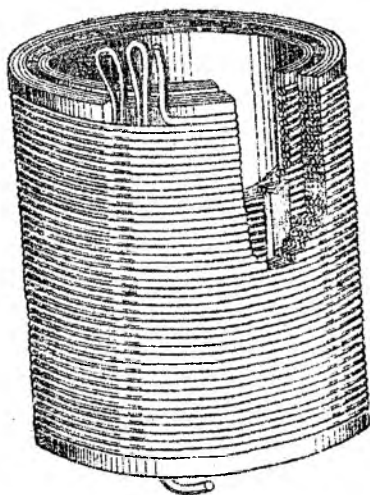
2.3-rasm. Bir yo'lli parallel vintsimon chulg'am.



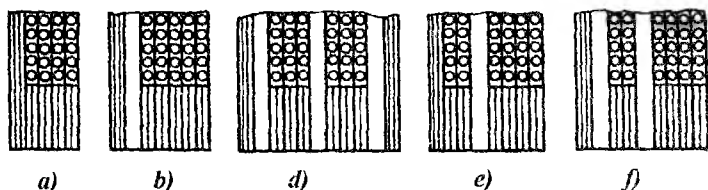
2.4-rasm. Simi to'g'ri burchakli kesim yuzasiga ega bo'lgan g'altakli, vintsimon va silindrsimon chulg'amlarning b o'lchamini berilgan q va J yordamida taxminiy aniqlash grafigi.



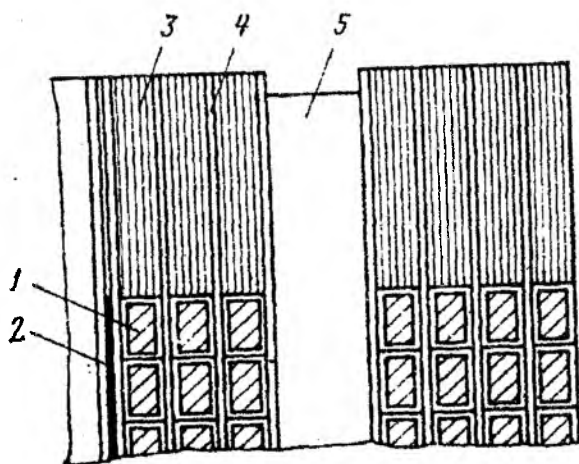
2.5-rasm. O'ramning o'q bo'yicha va vintsimon chulg'amning radial o'lchamlarini aniqlash.



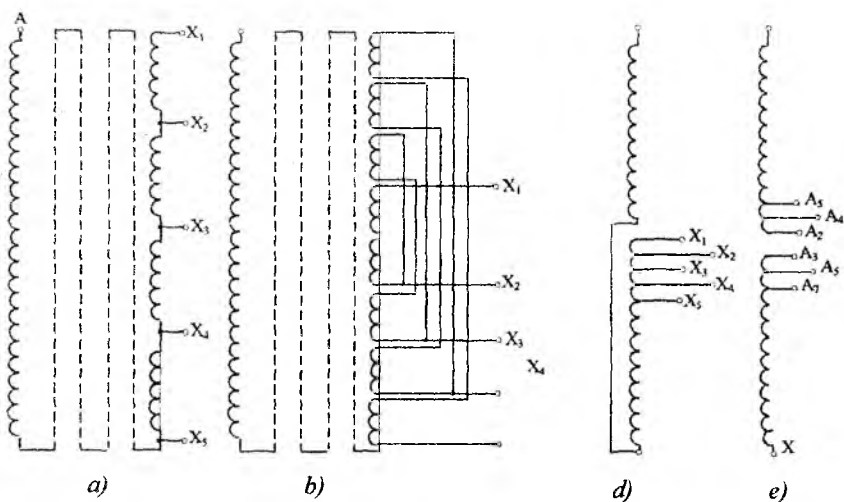
2.6-rasm. Dumaloq kesim yuzasiga ega bo'lgan ko'p g'atlamli silindrsimon chulg'am.



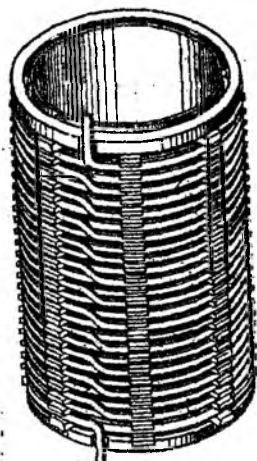
2.7-rasm. Ko'p q'atlamli silindrsimon chulg'amning turli xil variantlari: a) YUK chulg'ami silindrda; b) YUK chulg'ami reyskalarda; d) PK chulg'ami; e) YUK chulg'ami kanalli silindrda; f) YUK chulg'ami kanalli reyskalarda.



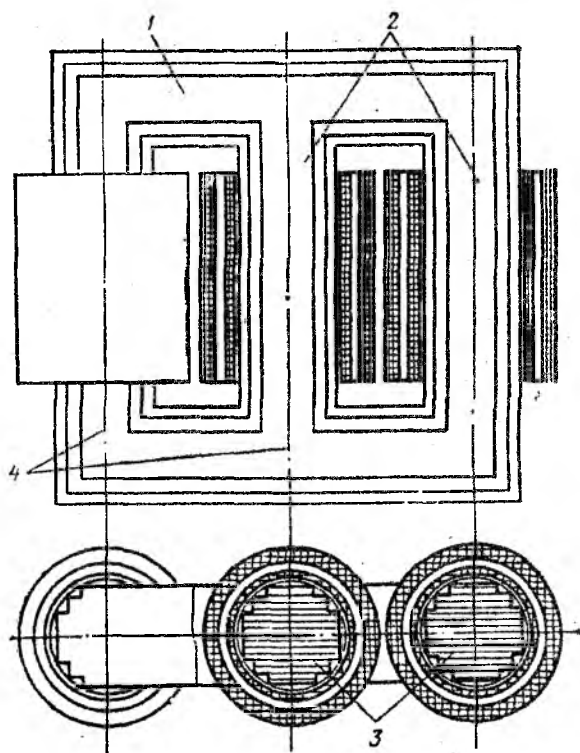
2.8-rasm. Simi to'g'ri burchakli kesim yuzasiga ega bo'lgan ko'p qatlamli silindrsimon chulg'am tirsak qismining qirgimi: 1— chulg'am simi; 2— elektr statik ekran; 3— qatlamning qog'oz—bakelitli tayanch halqasi; 4— kabel qog'ozli qatlamlararo izolyatsiya; 5—elektr izolyatsiya kartonli reyka.



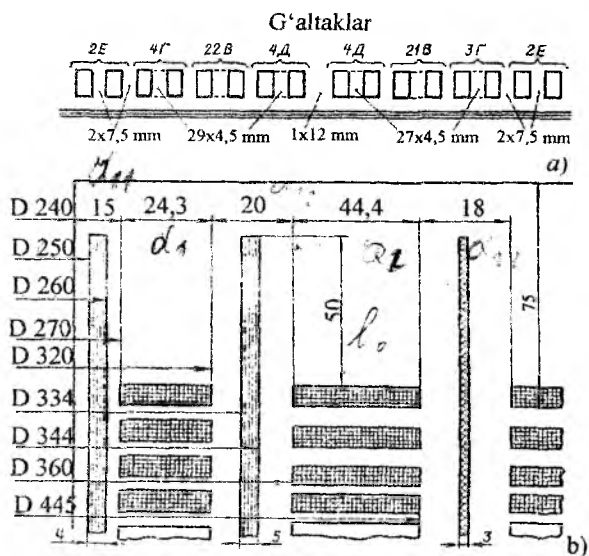
2.9-rasm. Kuchlanishni rostdash uchun transformatorni tarmoqdan uzilgan holatda, ya'ni qo'zg'atishsiz YUK chulg'amidagi turli xil ulanish sxemalarining shoxobchalari.



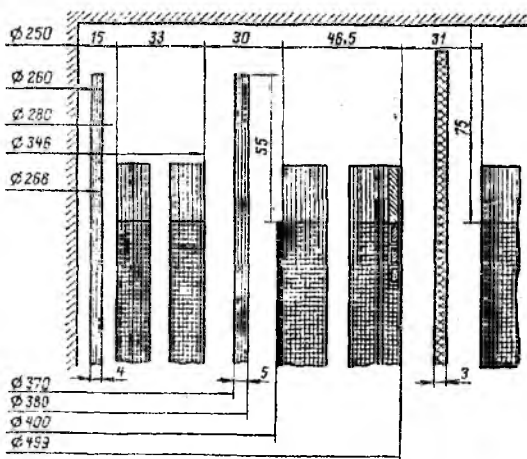
2.10-rasm. Uzluksiz g'altaksimon chulg'am.



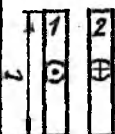
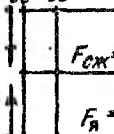
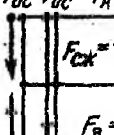
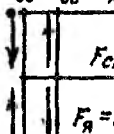
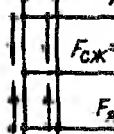
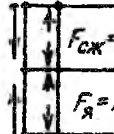
2.11-rasm. Uch fazali ikki chulg'amli transformatorning magnit tizimi: 1— yarmo; 2—sterjen; 3— sterjenning kesim yuzasi; 4— magnit tizimning burchagi.



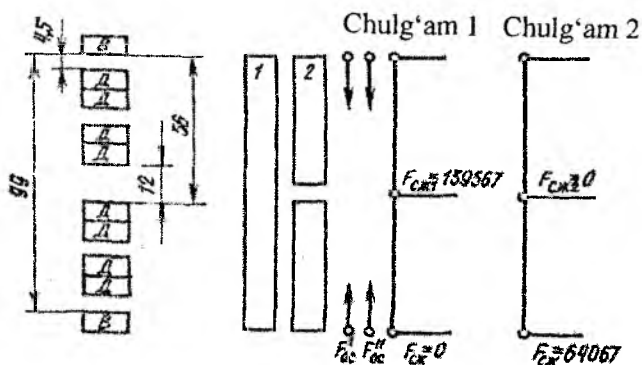
2.12-rasm TM-1000/10 tipli transformatorning chulg'amlari (mis chulg'am).



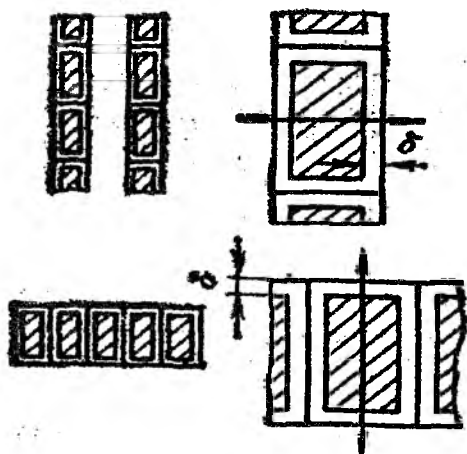
2.13-rasm. Transformatorning chulg'amlarining asosiy o'lchamlari.

	$F_{oc}'' > F_{oc}'$		
	Chulg'am 1	Chulg'am 2	
a)	 $F_{oc}' F_{oc}'' = 0 \quad F_A = 0$ $F_{cx} = F_{oc}'$ $F_A = 0$	 $F_{oc}' F_{oc}'' = 0 \quad F_A = 0$ $F_{cx} = F_{oc}'$ $F_A = 0$	—
b)	 $F_{oc}' F_{oc}'' \quad F_A = F_{oc}''$ $F_{cx} = F_{oc}' + \frac{F_{oc}''}{2}$ $F_A = 0$	 $F_{oc}' F_{oc}'' \quad F_A = 0$ $F_{cx} = F_{oc}' + \frac{F_{oc}''}{2}$ $F_A = F_{oc}''$	—
d)	 $F_{oc}' F_{oc}'' \quad F_A = 0$ $F_{cx} = F_{oc}' + F_{oc}''$ $F_A = 0$	 $F_{oc}' F_{oc}'' \quad F_A = F_{oc}'' - F_{oc}'$ $F_{cx} = 0$ $F_A = F_{oc}'' - F_{oc}'$	Chulg'am 2 $F_{oc}' > F_{oc}''$ $F_A = 0$ $F_{cx} = F_{oc}' - F_{oc}''$ $F_A = 0$
e)	 $F_{oc}' F_{oc}'' \quad F_A = F_{oc}'' - F_{oc}'$ $F_{cx} = 0$ $F_A = F_{oc}'' - F_{oc}'$	 $F_{oc}' F_{oc}'' \quad F_A = 0$ $F_{cx} = F_{oc}' + F_{oc}''$ $F_A = 0$	Chulg'am 1 $F_{oc}' > F_{oc}''$ $F_A = 0$ $F_{cx} = F_{oc}' - F_{oc}''$ $F_A = 0$
h)	 $F_{oc}' F_{oc}'' \quad F_A = 0$ $F_{cx} = F_{oc}'' + \frac{F_{oc}'}{2}$ $F_{cx} = F_{oc}'$ $F_{cx} = F_{oc}'' + \frac{F_{oc}'}{2}$ $F_A = 0$	 $F_{oc}' F_{oc}'' \quad F_A = F_{oc}'' - \frac{F_{oc}'}{2}$ $F_{cx} = F_{oc}'' + \frac{F_{oc}'}{2}$ $F_A = F_{oc}'' - \frac{F_{oc}'}{2}$	Chulg'am 2 $F_{oc}' > F_{oc}''$ $\frac{F_{oc}'}{2} \quad F_A = 0$ $F_{cx} = F_{oc}'$ $F_A = 0$

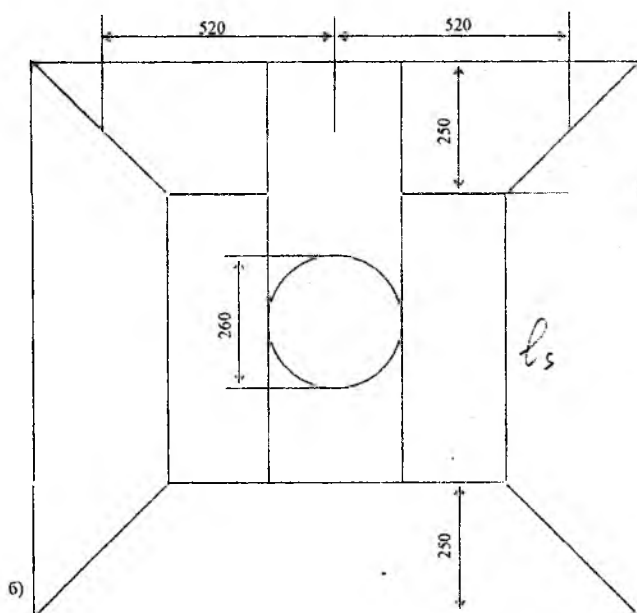
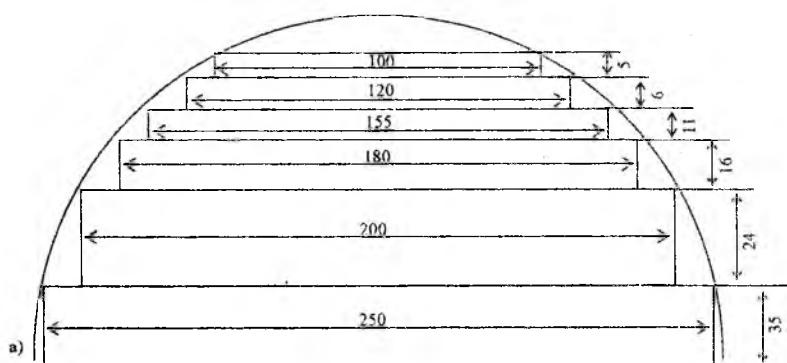
2.14-rasm. Chulg'amlar turli xil joylashgan holatdagi siquvchi o'q bo'yicha kuchning tarqalishi.



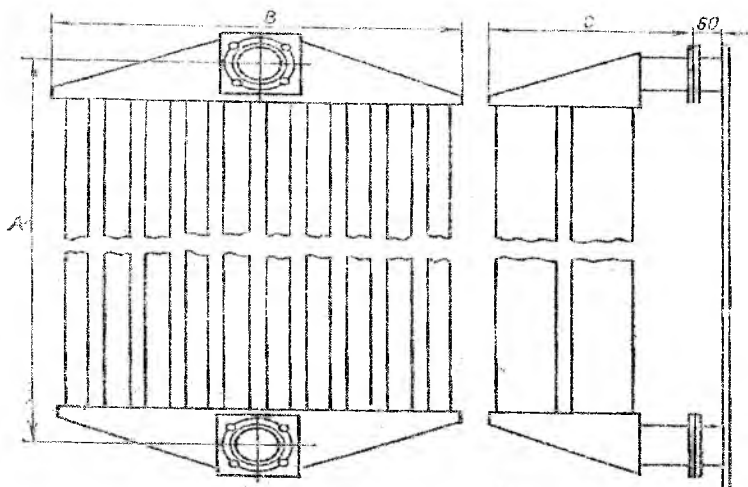
2.15-rasm. TM-1000/10 tipli transformatorning chulg'amlaridagi (mis chulg'am) mexanik kuchlar.



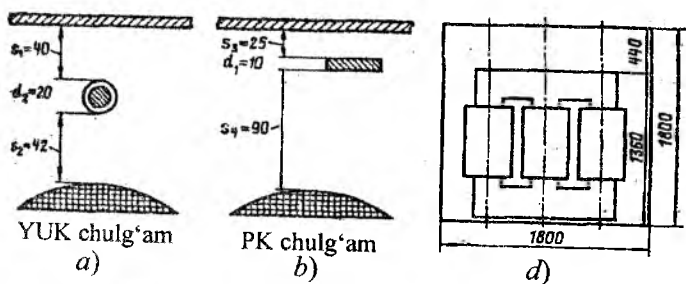
2.17-rasm. Simining kesim yuzasi to'g'ri burchakli bo'lgan chulg'amlardagi temperaturaning ichki o'zgarishini hisoblashga oid chizma.



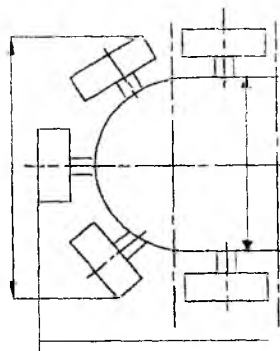
2.16-rasm. TM 1000/10 markali transformator:
a) yarmo va sterjen kesim yuzasi; b) magnit tizimining
asosiy o'lchamlari.



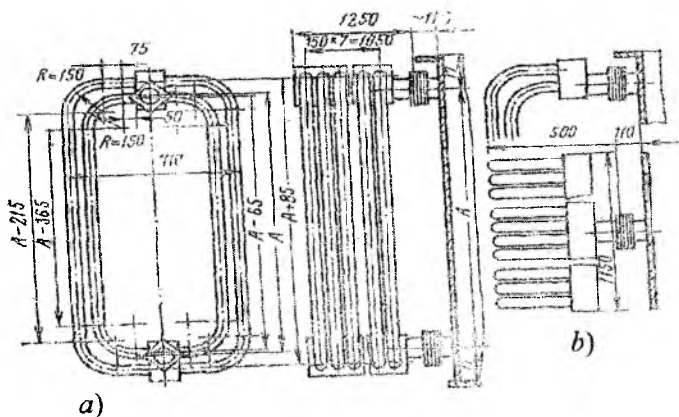
2.18-rasm. To'g'ri turbali radiator.



2.19-rasm. TM 1000/10 markali transformator:
a va *b* – YUK chulg'amidan bak devorigacha bo'lgan asosiy
masofalarni aniqlash; *d*– transformatorning aktiv qismini
bakda joylanishi.



2.20-rasm. TM 1000/10 markali transformator:
bak devorida radiatorlarning joylanishi.



2.21-rasm. Bukilgan turbali radiator:
a) trubalar soni $2 \times 2 \times 16 = 64$ bo'lgan ikkitali radiator;
b) trubalar soni $1 \times 2 \times 16 = 32$ bo'lgan bittali radiator.

ILOVALAR

1-Ilova

**Sovuq jo'valangan po'latning to'ldirish koeffitsienti k_z
GOST 21427,1-83, 0,5 MPa li bosimda**

Po'lat markasi	Qalinligi, mm	Izolyatsiya qoplamasi turi	k_z
3404, 3405, 3406, 3407, 3408	0,35	Issiqlikka chidamlilik	0,97
	0,30		0,96
3405, 3406, 3407, 3408	0,27		0,95
3404, 3405, 3406, 3407, 3408	0,35	Issiqlikka chidamlilik va bir marta laklangan	0,965
	0,30		0,955
3405, 3406, 3407, 3408	0,27		0,945

2-Ilova

Transformator sterjenlaridagi tavsiya etilgan induksiya B, Tl

Po'lat markasi	Transformator quvvati S, kVA		
	16 gacha	25-100	160 dan yuqori
Moyli transformatorlar			
3411, 3412, 3413	1,45-1,50	1,50-1,60	1,55-1,65
3404, 3405, 3406, 3407, 3408	1,50-1,55	1,55-1,60	1,55-1,65
Quruq transformatorlar			
3411, 3412, 3413	1,35-1,40	1,40-1,45	1,45-1,55
3404, 3405, 3406, 3407, 3408	1,40-1,45	1,50-1,55	1,50-1,60

Zamonaviy uch fazali moyli transformatorlarning sterjenlar kesimidagi pog'onalar

Ko'rsatkich		Kanaliz sterjenlar kesimi							
Transformator quvvati S, kV·A		6 gacha		16	25	40-100		160-630	
Dastlabki sterjen diametri d, m		0,08 gacha		0,08	0,09	0,10-0,14		0,16-0,18	0,20 0,22
Zichlovchi plastinkasiz	Pog'onalar soni	1	2	3	4	5	6	6	7 8
	Koeffitsient k_{kr}	0,636	0,786	0,851	0,861	0,890	0,91-0,92	0,913	0,918 0,928
Zichlovchi plastinkali	Pog'onalar soni	—	—	—	—	—	—	—	6 7
	Koeffitsient k_{kr}	—	—	—	—	—	—	—	0,884 0,901

Ko'rsatkich		Sterjenlar xalsa bilan zichlashtiriladi, 0,36 m diametrdan katta sterjenlar kesimining bo'y lama kanallari bo'ladi							
Transformator quvvati S, kV·A		1000-1600		2500-6300		19000	16000	25000	32000 80000
Dastlabki sterjen diametri d, m		0,24-0,26	0,28-0,30	0,32-0,34	0,36-0,38	0,40-0,42	0,45-0,50	0,53-0,56	0,60-0,67 0,71-0,75
Zichlovchi plastinkasiz	Pog'onalar soni	8	8	9	9	11	14	15	16 16
	Koeffitsient k_{kr}	0,925	0,928	0,929	0,913	0,922	0,927	0,927	0,929 0,931
Zichlovchi plastinkali	Pog'onalar soni	7	7	8	8	10	13	14	15 15
	Koeffitsient k_{kr}	0,900	0,9-0,91	0,912	0,89-0,90	0,907	0,912	0,914	0,918 0,920

Eslatma. 1: k_{kr} koeffitsientda sterjen kesimidagi sotuvchi kanallar hisobga olingan.

2. Jadval bir fazali yoki uch chulg'amli transformatorlar uchun qo'llanilganda quvvatni 1,5 ga ko'paytirish kerak.

3. Fazoviy magnit tizimda k_{kr} ni 0,02ga kamaytirish kerak.

GOST bo'yicha qisqa tutashish quvvat isrofi va mis chulg'amli, moyli, uch fazali ikki chulg'amli transformatorni 3.28 ifodadagi k koeffitsient quvvatlari

Transformator suvvati kV·A	Kuchlanish kV		
	10	35	110
250 gacha	0,63	0,65-0,58	—
400-630	0,53	—	—
1000-6300	0,51-0,43	0,52-0,48	—

10000-80000	—	0,48-0,46	0,68-0,58
-------------	---	-----------	-----------

Eslatma: 1. Alyuminiy simdan tayyorlangan chulg'amlarda jadvaldan yoki eslatma 3 dan olingan k ni 1,25ga ko'paytirish kerak.

2. Past kuchlanish chulgami alyuminiy tasmadan tayyorlanganda k qiymatini alyuminiy simli chulg'amdagi kabi olinadi.

3. Quvvati 10–160 kVA bo'lgan mis chulg'amli quruq transformatorlarda $k = 0,8 - 0,74$, quvvati 160–1600 kVA kuchlanishi 10 kV $k = 0,58-0,48$ deb olinadi.

4. Kuchlanishi 110 kV bo'lgan uch chulg'amli transformatorlarda k 35 kV lidan olinadi.

5. RPN li transformatorlarda jadvaldan olingan k ni 1,1ko'paytirish kerak.

5-IIova

Mis chulg'amlar uchun $a=d_{12}/d$ ni dastlabki qiymatlari

Transformator quvvat kV·A	Qisqa tutashish quvvat isrofi	Yuk chulg'am sinfi uchun a qiymatlari, kV da		
		10	35	110
630 gacha	1,2 P_K GOST	1,33	1,37	—
	bo'yicha	1,36	1,40	—
	P_K GOST bo'yicha	1,40	1,44	—
	0,8 P_K GOST bo'yicha	—	—	—
1000 dan 6300 gacha	1,2 P_K GOST	1,35	1,37	—
	bo'yicha	1,38	1,40	—
	P_K GOST bo'yicha	1,42	1,44	—
	0,8 P_K GOST bo'yicha	—	—	—
100000 yuqori	1,2 P_K GOST	—	1,38	1,40
	bo'yicha	—	1,40	1,45
	P_K GOST bo'yicha	—	1,44	1,48
	0,8 P_K GOST bo'yicha	—	—	—

Eslatma: Alyuminiy simi chulg'am uchun jadvaldan olingan a ni 1,06ga ko'paytirish kerak.

GOST bo'yicha qisqa tutashish suvvat isrofi va mis chulg'amli, moyli, ikki chulg'amli transformator uchun $b=2a_2/d$ dastlabki qiymatlari

Transformator quvvati kV·A	Kuchlanish, kV		
	10	35	110
100 gacha	0,55	—	—
100-630	0,46-0,40	—	—
1000-6300	0,26-0,24	0,32-0,28	—
6300-63000	—	0,26	0,35

Eslatma: 1. Alyuminiy simi chulg'am uchun jadvaldan olingan b ni 1,25 ga ko'paytirish kerak. 2. RPN li transformatorlarda kuchlanishi 35 kV da jadvaldan olingan b ni 1,2 ga va 110 kV li kuchlanishda 1,75 ga ko'paytirish kerak.

Uch fazali transformatorlarning (3.47) ifodadagi k_d koeffitsient qiymati

Transformator quvvati, kVA	100 gacha	160-630	1000-6300	10000-16000	25000-63000	80000-100000
k_d	0,97	0,96-0,93	0,93-0,85	0,84-0,82	0,82-0,81	0,81-0,80

Eslatma: 1. Quvvatlari 10 -160 kVA bo'lgan quruq transformatorlarda $k_d=0,99-0,96$ va quvvati 250- 1600 kVA gacha bo'lganda k_d 0,92-0,86.

8-Ilova

 β ning tavsif etilgan siymatlari

a) Moyli transformatorlar

Transformator quvvati kV·A	Alyuminiy			Mis		
	6 va 10 kV	35 kV	110 kV	6 va 10 kV	35 kV	110 kV
25-100	1,2-1,6	—	—	1,8-2,4	—	—
160-630	1,2-1,6	1,2-1,5	—	1,8-2,4	1,8-2,4	—
1000-6300	1,3-1,7	1,2-1,6	—	2,0-2,6	1,8-2,4	—
2500-80000	—	1,1-1,3	1,1-1,3	—	1,7-2,0	—
	—	—	—	—	1,3-1,6	1,6-2,0
						1,5-1,8

b) Quruq transformatorlar

Transformator quvvati kV·A	Alyuminiy			Mis		
	1 kV dan	6 va 10 kV	—	1 kV dan	6 va 10 kV	—
10-160	1,1-	—	—	1,6-2,2	—	—
160-630	1,5	1,2-1,6	—	—	1,8-2,4	—
1000-630	—	1,1-1,3	—	—	1,6-2,0	—
	—	—	—	—	—	—

Eslatma: 1. Jadvalda ko'rsatilgan β ning qiymatlari kuchlanishlari 6, 10, 35 va 110 kVli uch fazali moyli transformatorlar uchun va zamonaviy quruq transformatorlarga tog'ri keladi.

2. Yuqoridagi qiymatlar $B_s=1,6-1,65$ Tl bo'lgan moyli va $B_s=1,4-1,6$ Tl bo'lgan quruq transformatorlarga va po'lat markasi 3404 va 3405, qalinligi 0,35 va 0,30 mm larga to'g'ri keladi.

9-Ilova

Sanoat chastotasi 50 Gts bo'lgan moyli kuch transformatorlarning sinov kuchlanishlari

Kuchlanish kV	3	6	10	15	20	35	110	150	220	330	500
Ishchi kuchlanish,	3,6	7,2	12,0	17,5	24	40,5	126	172	252	363	525

kV											
Sinov kulanish U_s , kV	18	25	35	45	55	85	200	230	325	460	630

Eslatma: 1. Ishchi kulanishi 1 kV gacha bo'lgan quruq va moyli transformatorlarning sinov kuchlanishi $U_c = 5$ kB.

10-Ilova

Asosiy izolyatsiya. Konstruktiv talablarni hisobga olgan holda PK chulg'amini minimal izolyatsion masofalari

Transformator quvvati kV-A	U_{sin} PK uchun, kV	Yarmondan PK gacha l_{01} , mm	Sterjendan PK gacha, mm			
			δ_{01}	a_{01}	a_{01}	t_{01}
25-250	5	15	Karton 2 X 0,5 shuning o'zi	—	4	—
400-630	5*	YUK ni chulg'amini sinov kuchlanishi bo'yicha topilganiga teng	4	—	5	—
100-2500	18; 25		4	6	15	18
630-1600	va 35		4	6	15	25
2500-6300	18; 25 va 35		4	8	17,5	25
	45					
630 dan yuqori	55		5	10	20	30
630 dan yuqori	85		5	13	23	45
Hamma quvvatlar			6	19	30	70

* $U_{sin} = 5$ kV bo'lgan vint simon chulg'am uchun o'Ichamlar keyingi qatordan 1000- 2500 kVA bo'lgan quvvatdan olinadi.

11-Ilova

Asosiy izolyatsiya. Konstruktiv talablarni hisobga olgan holda Yuk chulg'amini minimal izolyatsion masofalari

Transformator quvvati S, kV-A	U_{sin} YUK (O'K), kV	Yarmondan YUK gacha, mm		YUK (O'K) va PK orasida mm		Tsilindr chiqishi u_{12} , mm	YUK (O'K) va PK orasida mm	
		l_{02}	δ_{02}	a_{12}	δ_{12}		a_{12}	δ_{22}
25-100	18; 25 va 35	20	—	9	2,5	10	8	—
160-630	18; 25 va 35	30	—	9	3	15	10	—
1000-6300	18; 25 va 35	50	—	20	4	20	18	—
630 dan yuqori	45	50	2	20	4	20	18	2
630 dan yuqori	55	50	2	20	5	30	20	3
160-630	85 (eslatma.1)	75	2	27	5	50	20	3
1000-6300	85 (eslatma.1)	75	2	27	5	50	30	3
10000 dan yuqori	85	80	3	30	6	50	30	3

Eslatma: Tsilindr simon chulg'amlar uchun minimal izolyatsiya masofasi $a_{12}=27$ mm. Izolyatsiyali chulg'amlar uchun $a_{12}=30$ mm olinishi mumkin.

12-Ilova

Ko'p qatlamli silindrsimon chulg'amlarning normal qatlamlararo izolyatsiyasi

Chulg'amning ikki qatlamidagi yig'indi ishchi kuchlanishi	List qalinligiga nisbatan kabel qog'ozining qatlam soni, mm	Chulg'am chekkasidagi qatlamlararo izolyatsiya chiqishi, (bir tomonga) mm
1000 gacha	2 x 0,12	10
dan 1001 gacha 2000	3 x 0,12	16
dan 2001 gacha 3000	4 x 0,12	16
dan 3001 gacha 3500	5 x 0,12	16
dan 3501 gacha 4000	6 x 0,12	22
dan 4001 gacha 4500	7 x 0,12	22
dan 4501 gacha 5000	8 x 0,12	22
dan 5001 gacha 5500	9 x 0,12	22

Eslatma: 1. Jadval qiymatlari 630 kVA gacha bo'lgan transformatorlarga keltirilgan. 1000 kVA va undan katta quvvatli transformatorlarda izolyatsiyani 4x0,12 mm chiqish izolyatsiyasini 20 mm dan katta qilib tanlanadi.

13-Ilova

Yuqori kuchlanish chulg'amini rostlovchi chulg'amlari joylashgan joydagi kanalning h_{kr} minimal o'lchamlari

YUK kuchlanish sinfi, kV	Rostash sxemasi 4.10 rasm bo'yicha	Uzilgan joydagi izolyatsiya		Kanal o'lchami, mm
		Izolyatsiya turlari	4.11. Rasm bo'yicha.	
6	a	Moyli kanal	a	8
	b	Moyli kanal	a	12
10	a	Moyli kanal	a	10
	b	Moyli kanal	a	18
	a	Burchakli va oddiy shaybalar	b	6
	b	Burchakli va oddiy shaybalar	b	18
35	v va g	Moyli kanal	a	12
	a	Moyli kanal	a	25
	b	Burchakli va oddiy shaybalar	b	20

	a	Burchakli va oddiy shaybalar	v	25
110	g	Shaybali to'siqli moyli kanal	g	30

14-Ilova

O'lovchi o'tkazgichdan dan zaminlangan qismlargacha bo'lgan minimal ruxsat etilgan izolyatsiya masofalari

ning sinov kuchlanishi, kV	Bir tomondagi izolyatsiya qalinligi mm	Sterjen diametr mm	Chulg'am yoki tekis bak devoridagi oralig'i, mm			Zaminlangan qism oralig'i mm		
			S _N	S _K	S	S _N	S _K	S
25 dan	0	△6	15	10	25	15	5	20
	0	▽6	12	10	22	12	5	17
	2	—	0	10	20	10	5	15
35	0	△6	23	10	33	20	5	25
	0	▽6	18	10	28	17	5	22
	2	—	10	10	20	12	5	17
45	0	△6	32	10	42	28	5	33
	0	▽6	27	10	37	25	5	30
	2	—	15	10	25	18	5	23
55	0	△6	40	10	55	33	5	38
	0	▽6	35	10	45	32	5	37
	2	—	22	10	32	25	5	30
85	2	—	40	10	50	45	5	50
	4	—	30	10	40	37	5	42
	6	—	25	10	35	35	5	40
100	5	—	40	10	50	45	10	55
200	20	12	75	20	95	160	10	170*
	20	12	75	20	95	160	10	170*

* Zaminlangan qism izolyatsiyalanmagan

* Zaminlangan qism qalini 3 mm bo'lgan elektr izolyatsiya kartoni bilan izolyatsiyalangan.

15-Ilova

O'lovchi o'tkazgichdan chulg'amgacha bo'lgan minimal ruxsat etilgan izolyatsiya masofalari

S, nov kuchlanishi, kV		Bir tomonlama izolyatsiya salinigi, mm	Ulovchi o'tkazgichning izolyatsion masofasi s_i , mm		ruxsat etilgan yig'indi s_k , mm	Minimal hisoblangan masofa s , mm	
Chulg'am uchun	O'lovchi o'tkazgichning		Kirish g'altagigacha	Asosiy g'altaklar gacha		Kirish g'altagigacha	Asosiy g'altaklar gacha
25 gacha	25 gacha	Yo'q 2	-	15 10	10 10	-	25 20
35	35 gacha	Yo'q 2	-	23 10	10 10	-	33 20
55	35 gacha	Yo'q 2	-	40 20	10 10	-	50 30
85	35 gacha	Yo'q 2	-	80 40	10 10	-	90 50
200	100 gacha	3 6 8	205 150 125	230 170 140	20 20 20	225 170 145	250 100 160
200	200	20	80	90	15	95	165

16-Ilova

APB va PB markali alyuminiy va mis simdan tayyorlangan yumaloq chulg'amlarni kesim yuzasini nominal o'lchamlari, ikki tomonlama izolyatsiya $2\delta=0,30$ (0,40) mm

Diametr, mm	Kesim yuzasi, mm ²	Massaning oshishi, %	Diametr, mm	Kesim yuzasi, mm ²	Massaning oshishi, %	Diametr mm	Kesim yuzasi, mm ²	Massaning oshishi, %
PB- Markali mis			2,00	3,14	3,0	4,00	12,55	1,5
			2,12	3,53	3,0	4,10	13,2	1,5
1,28	1,094	6,0	2,24	3,94	3,0	4,25	14,2	1,5
1,25	1,23	5,5	2,36	4,375	2,5	4,50	15,9	1,5
			2,50	4,91	2,5	4,75	17,7	1,5
			2,65	5,515	2,5	5,00	19,63	1,5
PB- Markali mis			2,80	6,16	2,5	5,20	21,22	1,5
APB - markali alyuminiy			3,00	7,07	2,5	APB - markali alyuminiy		
1,32	1,37	5,0						
1,40	1,51	5,0						
1,50	1,77	4,5	3,15	7,795	2,0	5,30	22,06	1,5
1,60	2,015	4,0	3,35	8,81	2,0	6,00	28,26	1,5
1,70	2,27	4,0				8,00	50,24	1,0
1,80	2,545	3,5	3,55	9,895	2,0			
1,90	2,805	3,5	3,75	11,05	1,5			

Eslatma: 1. APB va PB markali simlarning hamma diametrlarini ikki tomonlama izolyatsiya qalinligi $2\delta=0,30$ (0,40); 0,72 (0,82); 0,96 (1,06) va 1,2 (1,35) mm; 2,24 va undan katta diametrli simlarni izolyatsiyasi shuningdek 1,68 (1,83); 1,92 (2,07); 3,75 va undan katta

diametrli sim esa shuningdek 2,88 (3,08); 4,08 (4,33) va 5,76 (6,11) mm izolyatsiyali qilib chiqariladi.

2. Nominal izolyatsiya qalinligi qavssiz ko'rsatilgan.

3. Izolyatsiya hisobiga simning vaznini oshishi, mis sim uchun berilgan. APB markali alyuminiy sim uchun jadvaldagi vazn oshishini qiymatlarini 3,3 ga ko'paytirish kerak

4. Kuchaytirilgan izolyatsiyali PB va APV markali simlarning vazn oshishini 16 jadvaldagi eslatma 3. hisobga olib, 5.4 jadval [1] dan qabul qilinadi.

5. PSD va PSDK markali simlar 1,18 dan 5 mm gacha bo'lgan diametrdan va APSD va APSDK markali sim esa 1,32 dan 5 mm gacha ishlab chiqariladi.

17-Ilova

PB va APB markali alyuminiy va mis simdan tayyorlangan chulq'amlarni izolyatsiya va kesim yuzasini nominal o'lchamlari, (a va b o'lchamlar mm da, kesim yuzasi mm²) PB markali mis sim $-b=17-18$ mm o'lchamli simdan tashqari jadvalning hamma o'lchamlari APB markali alyuminiy sim – yo'g'on chiziqdan yuqoriga va o'ng tomondagi jadvaldagi hamma o'lchamlar

a \ b	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,12	2,24	2,36	2,5	2,65	2,8	3	3,15	3,35	3,55	3,75	4	4,25	4,5	4,75	5	5,3	5,6
4,00	5,69	5,79	6,19	6,44	6,84	7,24	7,64	8,12	8,60	8,89	9,45	10,1	10,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4,50	6,09	6,54	6,99	7,29	7,74	8,19	8,64	9,18	9,72	10,1	10,7	11,4	12,1	13,0	13,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5,00	6,79	7,29	7,79	8,14	8,64	9,14	9,64	10,2	10,8	11,3	12,0	12,7	13,5	14,5	15,2	16,2	17,2	-	-	-	-	-	-	-	-
5,60	7,63	8,19	8,75	9,16	9,72	10,3	10,8	11,5	12,2	12,7	13,5	14,3	15,1	16,3	17,1	18,2	19,3	20,1	21,5	-	-	-	-	-	-
6,30	8,61	9,24	9,87	10,4	11,0	11,6	12,2	13,0	13,8	14,3	15,2	16,2	17,1	18,4	19,3	20,6	21,8	22,8	24,3	25,9	27,5	-	-	-	-
7,10	9,73	10,4	11,2	11,9	12,4	13,1	13,8	14,7	15,5	16,2	17,2	18,3	19,3	20,3	21,8	23,2	24,7	26,1	27,5	29,3	31,1	32,9	34,6	-	-
8,00	11,0	11,8	12,6	13,2	14,0	14,8	15,6	16,6	17,6	18,3	19,5	20,7	21,9	23,5	24,7	26,3	27,9	29,1	31,1	33,1	35,1	37,1	39,2	41,5	43,9
9,00	12,4	13,3	14,2	14,9	15,8	16,7	17,6	18,7	19,8	20,7	22,0	23,3	24,7	26,5	27,8	29,6	31,4	32,9	35,1	37,4	39,6	41,9	44,1	46,8	49,5
10,0	13,8	14,8	15,8	16,6	17,6	18,6	19,6	20,8	22,0	23,1	24,5	26,0	27,4	29,5	31,0	33,0	35,0	36,6	39,1	41,6	44,1	46,6	49,1	52,1	55,1
11,2	15,5	16,6	17,7	18,7	19,8	20,9	22,0	23,4	24,7	25,9	27,5	29,1	30,8	33,1	34,7	37,0	39,2	41,4	43,9	46,7	49,5	52,3	55,1	58,5	61,9
12,5	-	18,5	19,8	20,9	22,1	23,4	24,6	26,1	27,6	29,0	30,7	32,6	34,5	37,0	38,8	41,3	43,8	46,0	49,1	52,3	55,4	58,5	61,6	65,4	69,1
14,0	-	-	-	21,3	22,6	23,8	25,2	26,6	28,1	29,7	31,3	33,1	35,0	37,0	39,0	41,5	43,6	46,4	49,2	52,0	55,1	58,6	61,1	65,6	69,1
16,0	-	-	-	-	24,8	26,2	27,6	29,1	31,0	33,5	36,0	38,7	41,5	43,6	46,4	49,2	52,0	55,1	58,6	61,1	65,6	69,1	73,3	77,5	81,7
18,0	-	-	-	-	-	28,8	30,4	32,0	34,0	36,0	38,7	41,5	43,6	46,4	49,2	52,0	55,1	58,6	61,1	65,6	69,1	73,3	77,5	81,7	85,9

Eslatma: 1. PB va APB markali simlarning hamma diametrlarini ikki tomonlama izolyatsiya qalinligi $2\delta=0,45$ (0,5); 0,55 (0,62); 0,72 (0,82) 0,96 (1,06) 1,2 (1,35) 1,35 (1,5) 1,68 (1,83) 1,92 (2,07) mm izolyatsiyali ishlab chiqariladi.

2. Nominal izolyatsiya qalinligi qavssiz ko'rsatilgan. G'altak o'lchamlarini qavsdagi izolyatsiya qalinligidan hisoblanadi.

3. PBU markali mis sim o'lchamlari $a=1,8-5,6$ mm, $b=6,7-18$ mm izolyatsiya qalinligi $2\delta=1,35$ (1,45); 2 (2,20); 2,48 (2,63); 2,96 (3,16); 3,60 (3,80); 4,08 (4,28); 4,40 (4,65) mm qilib ishlab chiqariladi.

18-Ilova

Ikki tomonlama izolyatsiya qalinligi $2\delta=0,45$ mm bo'lganda PB markali mis va APB markali alyuminiyni sim izolyatsiyadagi hisobiga to'g'ri burchakli simlarining massasini foizdagi taxmiini oshishi

a, mm b, mm	1,40-1,80	1,90-2,65	2,80-3,75	4,0-7,0
3,75-7,50	3,5	3	2,5	2
8,0-18,0	2,5	2	2,0	1,5

19-Ilova

GOST bo'yicha qisqa tutashish quvvatlari olingan zamonaviy transformatorlar uchun chulg'amdagi o'rtacha tok zichligi J , MA/m^2

a) Moyli transformatorlar

Transformator quvvati kV·A	25-40	63-630	1000-6300	10000-16000	25000-80000
Mis	1,8 – 2,2	2,2 – 3,5	2,2 – 3,5	2,0 – 3,5	2,0 – 3,5
Alyuminiy	1,1 – 1,8	1,2 – 2,5	1,5 – 2,6	1,5 – 2,6	—

b) Quruq transformatorlar

Transformator quvvati kV·A	10-160; 0,5 kV		160-1600; 10 kV	
	Ichki PK	Tashqi PK	Ichki PK	Tashqi PK
Mis	2,0 – 1,4	2,2 – 2,8	2,0 – 1,2	2,0 – 2,8
Alyuminiy	1,3 – 0,9	1,3 – 1,8	1,4 – 0,8	1,4 – 2,0

Eslatma: 1. Qisqa tutashish isroflari GOST dagidan katta bo'lgan transformatorlar uchun tok zichligi moyli transformatorlarda mis chulg'ami uchun $4,5 \text{ MA/m}^2$ va alyuminiy simi uchun $2,7 \text{ MA/m}^2$ gacha va quruq transformatorlarda esa – mos ravishda 3 va 2 MA/m^2 gacha tanlanishi mumkin. 2. Alyumin tasmadan chulg'am uchun tok zichligi alyuminiy simdagi kabi tanlanadi.

Moyli transformator chulg'amlarining har xil turlarini qo'llash chegaralari va asosiy xususiyatlari

Chulg'am turi	Saysi tomonida so'llanishi		Asosiy	Asosiy kamchiliklari	Chulg'am materiali	Qo'llash chegaralari					Parallel simlar soni	Kuchlanishni ro'st qilish sxemasi
	Asosiy	Qo'llash ma'muri				transformator sur'ati bo'yicha S, kV·A	sterim-dagi tok bo'yicha I, A	kuchlanish bo'yicha U, kV	o'tqazish qobiliyati bo'yicha P, MW			
To'g'ri burchakli simdan tayyorlangan bir va ikki qatlamli silindrsimon chulg'am	PK	YUK	Yaxshi sovutiladi va ishlab chiqarish texnologiyasi oddiy	Mexanik mustahkamligi kam	Mis	630 gacha	15-18 dan 800 gacha	6 gacha	5,04 dan 250 gacha	1 dan 4-8 gacha	—	
					Alyuminiy	630 gacha	10-13 dan 800 gacha	6 gacha	5,04 dan 250 gacha			
To'g'ri burchakli simdan tayyorlangan ko'p qatlamli silindrsimon chulg'am	PK	YUK	Ishlab chiqarish texnologiyasi oddiy, magnit sistemani to'ldirishi yaxshi	Radial kanallari bo'lgan chulg'amlarga solishtirganda sovutish yuzasining kamligi	Mis	630 dan 80000 dan	15-18 dan 1000-1200 gacha	10 va 35	5,04 dan 400 gacha	1 dan 4-8 gacha	Rasm. 6.6, a, b	
					Alyuminiy	16000-25000 gacha	10-13 dan 1000-1200 gacha	10 va 35	6,39 dan 500 gacha			
Alyuminiy ehtidan tayyorlangan ko'p qatlamli silindrsimon chulg'am	PK	—	Ishlab chiqarish texnologiyasining oddiyliigi, yaxshi sovutilishi magnit sistemani to'ldirishi yaxshi	Radial yo'nalishda mexanik mustahkamligini kamligi	Alyuminiy	160-1000 gacha	100 dan 1500 gacha	10	100 dan 1000 gacha	1 dan 1 gacha	—	
Yumaloq simdan tayyorlangan ko'p qatlamli silindrsimon chulg'am	YUK	PK	Ishlab chiqarish texnologiyasining oddiyliigi,	Quvvat oshishi bilan mexanik mustahkamligining kamayishi va issiqlik uzatishning yomonlashishi	Mis	630 gacha	0,3-0,5 dan 80-100 gacha	35 gacha	1,094 dan 42,44 gacha	1 2	Rasm. 6.6, a, b	
					Alyuminiy	630 gacha	2-3 dan 125-135 gacha	35 gacha	1,37 dan 50,24 gacha	1 1		
To'g'ri burchakli simdan tayyorlangan bir va ko'p yo'lli vintli chulg'am	PK	—	Mexanik mustahkamligi yuqori izolatsiyaning ishoniligi yaxshi sovutilishi	Silindrsimon chulg'anga nisbatan narxining balandligi	Mis	160 dan va undan yuqori	300 dan va undan yuqori	35 gacha	75-100 dan va undan yuqori	4 12-16 va undan yuqori	—	
					Alyuminiy	100 va undan yuqori	150-200 dan yuqori	35 gacha	75-100 dan va undan yuqori			
To'g'ri burchakli simdan tayyorlangan uziksiz g'altaksimon chulg'am	YUK	PK	Mexanik va elektr mustahkamligining yuqoriligi, yaxshi sovutilishi	O'rnatilgan g'altak yarmini o'tkazish lozimligi	Mis	160 dan va undan yuqori	15-18 dan va undan yuqori	3 dan 110-220 gacha	5,04 dan va undan yuqori	1 3-5	Rasm. 6.6, v, g	
					Alyuminiy	100 dan va yuqori	10-13 dan va yuqori	3 dan 110-220 gacha	6,39 dan va yuqori			

21-Ilova

(7.25) ifodadagi k koeffitsient qiymatlari

Quvvat kVA	1000 gacha	1000- 4000	6300- 10000	16000- 25000	40000- 63000
k	0,015-0,02	0,025- 0,04	0,04- 0,045	0,045- 0,053	0,06- 0,07

22-Ilova

Elektr tarmog'idagi qisqa tutashish quvvatini aniqlash (7.38) ifodadagi S_k .

Yuqori kuchlanish, kV	6-10	10-35	110	150	220	330	500
Elektr tarmog'idagi qisqa tutashish quvvati,	500	2500	15000	20000	25000	35000	50000

Eslatma: 1. Bir fazali transformatorlar uchun jadvaldan olingan S_k ni qiymatini uchga bo'lish kerak

23-Ilova

u_p/u_a ning turli qiymatlaridagi $k_{\max}\sqrt{2}$ ning qiymati

u_p/u_a	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0
$k_{\max}\sqrt{2}$	1,51	1,63	1,75	1,95	2,09
u_p/u_a	5,0	6,0	8,0	10,0	14 и более
$k_{\max}\sqrt{2}$	2,19	2,28	2,38	2,46	2,55

Paketlar o'lchami – tunukachalar kengligi a va paketlar qalinligi b mm. Chulg'am sterjenga Xalqasiz zichlantiriladigan zichlovchi tunikalarsiz, magnit tizim uchun (n_s va n_{ya} –sterjen va yarmo kesimidagi pog'onalar soni; a_{ya} –yarmoning tashqi chetki paketining kengligi; k_{kr} –sterjen doirasini to'ldiruvchi koeffitsent).

Sterjen diametr	n_s	k_{kr}	n_{ya}	a_{ya} , mm	Sterjendagi paketlar o'lchami $a \times b$, mm,					
0,080	4	0,863	3	55	75x14	65x9	55x6	40x5	-	-
0,085	5	0,895	4	50	80 x 14	70x10	60x6	50x4	40x4	-
0,090	5	0,891	4	55	85 x 15	75x10	65x6	55x4	40x5	-
0,095	5	0,887	4	50	90 x 15	80x10	65x9	50x5	40x4	-
0,100	6	0,917	5	55	95 x 16	85x10	75x7	65x5	55x4	40x4
0,105	6	0,912	5	50	100x16	90x11	80x7	65x7	50x4	40x4
0,110	6	0,905	5	65	105x16	95x11	85x7	75x6	65x4	40x7
0,115	5	0,903	4	65	105x25	95x9	85x6	65x9	40x3	-
0,120	6	0,928	5	60	115x18	105x11	90x10	75x8	60x6	40x4
0,125	6	0,915	5	65	120x18	105x16	95x6	85x6	65x7	40x6
0,130	6	0,918	5	65	125x18	110x16	100x8	80x9	65x5	40x6
0,140	6	0,919	5	65	135x19	120x17	105x10	85x9	65x7	40x5
0,150	6	0,915	5	85	145x19	135x13	120x13	105x9	85x8	55x7
0,160	6	0,913	5	85	155x20	135x23	120x10	105x7	85x7	55x7
0,170	6	0,927	5	85	160x28	145x17	130x10	110x10	85x8	50x8
0,180	6	0,915	5	95	175x21	155x25	135x13	120x8	95x9	65x8

Eslatma: 1. Zichlovchi tunukachali magnit tizimda sterjenning oxirgi – ettinchi yoki sakkizinchi paketini chiqarib tashlash kerak.

2. Yarmoning tashqi chetki paketi a_{ya} kenglikka va zichlovchi tunukachalari bo'lmasa uchta (5-7 yoki 6-8) chetki paket qalinligi yig'indisiga teng qalinlikka yoki zichlovchi tunukachalar bo'lsa ikkita (5-6 yoki 6-7) chetki paket qalinligi yig'indisiga teng qalinlikka ega bo'ladi.

Sterjen paketlarining o'Ichami – tunikachalar kengligi a va va paketlar qalinligi b , mm. Sterjen shisha halqa bilan zichlashtiriladigan, zichlovchi tunikachalari bo'lgan va bo'lmagan magnit tizim uchun (n_s va n_{ya} – sterjen va yarmo kesimidagi pog'onalar soni, a_{ya} – yarmoning tashsi chetki paketining kengligi, kkr – sterjen doirasini to'ldiruvchi koeffitsient).

sterjen diametri d, m	sterjen				Yarmo		Sterjen paketlari salinligi a, mm, tunikachalar kengligi a, mm							
	Zichlovchi tunikacha siz		Zichlovchi tunikachali		n_{ya}	a_{ya} m	1	2	3	4	5	6	7	8
	n_s	k_s	n_s	k_s										
0,19	7	0,927	6	0,889	5	100	180x30	165x17	145x14	130x8	115x7	100x5	75x7	—
0,20	7	0,918	6	0,885	5	120	195x22	175x26	155x15	135x11	120x6	105x5	75x7	—
0,21	7	0,922	6	0,890	5	130	200x32	180x22	160x14	145x8	130x6	110x8	90x6	—
0,22	8	0,929	7	0,901	6	120	215x23	195x28	175x15	155x12	135x9	120x5	105x4	75x7
0,23	8	0,933	7	0,907	6	130	220x34	205x19	185x16	165x12	145x9	130x5	115x5	90x6
0,24	8	0,927	7	0,902	6	135	230x34	215x19	195x17	175x12	155x9	135x8	120x5	95x6
0,25	8	0,925	7	0,909	6	140	240x35	220x24	200x16	180x12	155x11	140x6	120x6	100x5
0,26	8	0,924	7	0,900	6	155	250x35	230x25	215x13	195x13	175x10	155x8	120x9	105x6
0,27	8	0,930	7	0,901	6	155	260x36	240x25	215x20	195x13	170x11	155x5	135x7	105x8
0,28	8	0,927	7	0,903	6	175	270x37	250x26	230x17	215x9	195x11	175x9	135x13	105x7
0,29	8	0,927	7	0,899	6	165	280x37	260x27	235x21	210x15	180x13	165x6	145x6	115x8
0,30	8	0,930	7	0,912	6	175	295x28	270x37	250x18	230x13	215x8	175x8	135x16	105x6

Sterjen paketlarining o'lchami – tunukachalar kengligi a va paketlar salinligi b , mm. Sterjen shisha halqa bilan zichlashtiriladigan, zichlovchi tunukachalari bo'lgan va bo'lmagan magnit tizim uchun (n_s va n_{ya} –sterjen va yarmo kesimidagi pog'onalar soni, a_{ya} –yarmoning tashqi chetki paketining kengligi, k_{kr} –s10terjen doirasini to'ldiruvchi koeffitsient).

sterjen diametri d, m	sterjen				yarmo		Sterjen paketlari qalintigi <i>b</i> , mm, runukachalar kengligi <i>a</i> , mm																	
	Zichlovchi tunukachasi <i>z</i>		Zichlovchi tunukachali		<i>n_{ya}</i>	<i>a_{ya}</i> , m																		
	<i>n_s</i>	<i>k_{kr}</i>	<i>n_s</i>	<i>k_{kr}</i>																				
							368	360	350	335	325	310	295	275	250	230	215	200	170	155	135			
0.37 0.38	1 0 1 0	0.920 0.913	9 9	0.902 0.899	8 8	200 215	- 47(3)	37(3) -	- 27	38 -	- 24	23 12	11 10	12 -	12 23	9 -	- 13	10 -	10 -	- 15	7 6	- -		
							<i>a</i> , mm li tunukachalar kengligida																	
							380	365	325	310	290	265	240	210	180	140	-	-	-	-	-	-		
0.39	1 0	0.925	9	0.904	8	210	41(3)	37	27	10	12	13	11	10	9	9	-	-	-	-	-	-		
							<i>a</i> , mm li tunukachalar kengligida																	
							410	395	368	350	325	295	270	250	215	195	175	155	-	-	-	-		
0.40 0.42	1 1 1 1	0.920 0.926	10 10	0.910 0.906	8 8	215 250	- 46(3)	54(3) 38	24 17	18 15	20 17	19 16	12 12	9 7	12 12	6 6	6 -	4 9	- -	- -	- -	- -		

sterjen diametri d, m	sterjen				yarmo		Sterjen paketiari qalinligi b, mm, tunukachalar kengligi a, mm															
	Zichlovchi tunukachasi z		Zichlovchi tunukachali		n _{ya}	a _{ya} , m																
	n _s	k _{kr}	n _s	k _{kr}																		
							310	300	295	280	270	250	250	245	230	215	210	195	190	160	155	135
0.31	9	0.930	8	0.905	7	190	-	39	-	28	-	18	-	10	9	-	10	-	9	10	-	7
0.32	9	0.928	8	0.911	7	195	40	-	22	-	24	-	14	-	11	7	-	8	-	12	-	5
							a, mm li tunukachalar kengligida															
							325	320	310	295	275	270	265	250	245	230	225	205	195	165	155	135
0.33	9	0.932	8	0.900	7	205	-	40	-	34	17	-	9	-	11	-	10	9	-	11	-	106
0.34	9	0.931	8	0.913	7	195	50	-	19	15	-	19	-	12	-	10	-	-	14	-	11	-
							a, mm li tunukachalar kengligida															
							350	340	325	315	295	280	270	260	250	235	230	215	195	180	155	135
0.35	9	0.938	8	0.903	7	215	-	41	-	35	18	11	-	12	-	13	-	9	-	11	-	127
0.36	9	0.913	8	0.894	7	195	42(3)	-	35	-	26	-	16	-	10	-	9	-	13	-	9	-

Eslatma: 1. Zichlovchi tunukachali magnit tizimda tunukachalar kengligi a kichik bo'lgan sterjenning oxirgi paketini chiqarib tashlash kerak.

2. Yarmoning tashqi chetki paketi a_{yo} kenglikka va zichlantiruvchi tunukachalari bo'lmagan sterjenning uchta (0,31 – 0,39 m diametr) yoki to'rtta (0,40 – 0,42 m diametr) chetki paketlar yig'indisiga teng qalinlikka ega. Zichlantiruvchi tunukachalar bo'lganda esa yarmoning birlashtirilgan paketlarining soni bittaga kamaytiriladi. Qavs ichida sovutuvchi kanallar kengligi ko'rsatilgan mm.

27-Ilova.

Sterjen paketlarining O'lchami - tunukachalar kengligi a va paketlar salinligi b , mm. Sterjeni shisha tasma halqa bilan zichlantiriladigan, zichlovchi tunukachalari bo'lgan va bo'lmagan magnit tizim uchun (n_s va n_{ya} –sterjen va yarmo kesimidagi pog'onalar soni, a_{ya} –yarmoning tashqi chetki paketining kengligi, k_{kr} –sterjen doirasini to'ldiruvchi koeffitsient).

sterjen diametri d, m	sterjen				yarmo		Sterjen paketlari qalinligi b, mm, tunukachalar kengligi a, mm																			
	Zichlovchi tunukachasi z		Zichlovchi tunukachali		n _{st}	a _{ya} , m																				
	n _{st}	k _{kr}	n _{st}	k _{kr}			520	505	485	465	440	425	410	385	368	350	325	310	295	270	250	230	215	195	175	
0,45	14	0,930	13	0,913	11	250	-	-	-	-	-	47	27	19	23	13	12	14	8	7	10	7	6	-	6	8
0,48	14	0,933	13	0,916	11	250	-	-	-	59(3)	37	15	14	18	10	10	12	7	6	9	7	-	9	-	9	9
0,50	14	0,925	13	0,911	11	270	-	-	61	31(6)	27	13	11	16	10	9	12	-	12	9	6	-	9	-	8	8
0,53	15	0,927	14	0,913	12	296	51	29	27	20	20	10	10	14	8	9	10	-	11	8	-	10	-	8	-	-
a, mm li tunukachalar kengligida																										
							580	560	540	520	505	485	465	440	410	385	368	350	325	295	270	250	230	195	-	-
0,56	15	0,928	14	0,917	12	295	-	-	74	30(6)	17	19	16	17	18	12	8	7	10	10	7	-	7	-	-	-
0,60	16	0,934	15	0,918	13	325	17	31	22	20	12	14	13	15	15	11	7	6	9	9	-	11	0	11	-	-
a, mm li tunukachalar kengligida																										
							650	630	615	600	580	560	540	520	485	465	440	410	385	350	310	270	230	215	-	-
0,63	16	0,928	15	0,920	12	350	-	-	68	28	27	21	18	-	26	13	11	13	14	10	13	12	1	7	6	6
0,67	16	0,929	15	0,915	12	385	81	33	19	16	19	16	14	13	-	20	-	21	13	9	11	12	0	-	11	11
a, mm tunukachalar kengligida																										
0,71	16	0,932	15	0,922	11	425	-	-	73	45	25	21	26	15	13	12	19	19	16	14	11	10	9	-	8	8
0,75	16	0,932	15	0,918	11	465	75	38	28	27	19	16	22	13	-	22	17	17	15	13	9	10	-	12	-	-

1. **Eslatma:** 1. Zichlovchi tunukachali magnit tizimda tunukachalar kengligi a , kichik bo'lgan sterjenning oxirgi paketini chiqarib tashlash kerak.

2. Yarmoning tashqi chetki paketi a_{ya} kengligi va zichlantiruvchi tunukachalari bo'lmagan sterjenning to'rtta (0,45 – 0,6 m diametrlri), beshta (0,63 – 0,7m diametrlri) va oltita (0,71 – 0,75 m diametrlri) chetki paketlar yig'indisiga teng qalinlikka ega. Zichlantiruvchi tunukachalar bo'lganda esa yarmoning birlashtirilgan paketlarining soni bittaga kamaytiriladi.

Sterjen kesim yuzasi P_{fs} , yarmo kesim yuzasi P_{fya} va zichlovchi tunukachalari bo'lmagan yassi shixtovkali magnit tizimining burchak hajmi V_u 8.2 jadvaldagi paket o'lchamlari uchun.

d,m	$P_{fs} \cdot \text{sm}^2$	$P_{fya} \cdot \text{sm}^2$	$v_u \cdot \text{sm}^2$	d,m	$P_{fs} \cdot \text{sm}^2$	$P_{fya} \cdot \text{sm}^2$	$v_u \cdot \text{sm}^2$
0,08	43,3	44,8	280,8	0,12	104,9	106,5	1050
0,085	50,8	51,6	356,4	0,125	112,3	115,3	1194
0,095	56,7	58,2	426,4	0,13	121,3	124,9	1299
0,09	62,9	63,7	488,0	0,14	141,5	144,0	1620
0,10	72,0	73,2	596,8	0,15	161,7	165,9	2040
0,105	79,3	80,1	683,0	0,16	183,5	188,3	2470
0,11	86,2	89,7	790,2	0,17	208,5	214,1	2908
0,115	93,9	95,4	812,8	0,18	232,8	237,6	3452

Sterjen kesim yuzasi P_{fs} , yarmo kesim yuzasi P_{fya} va zichlovchi tunukachalari bo'lgan hamda bo'lmagan yassi shixtovkali magnit tizimining burchak hajmi V_u 8.3 jadvaldagi paket o'lchamlari uchun.

d,m	Zichlovchi tunukachalarsiz			Zichlovchi tunukachali		
	$P_{fs} \cdot \text{sm}^2$	$P_{fya} \cdot \text{sm}^2$	$v_u \cdot \text{sm}^2$	$P_{fs} \cdot \text{sm}^2$	$P_{fya} \cdot \text{sm}^2$	$v_u \cdot \text{sm}^2$
0,19	262,8	267,3	4118	252,3	253,3	4012
0,20	288,4	296,2	4811	277,9	273,4	4685
0,21	319,2	327,2	5680	308,4	311,6	5522
0,22	353,0	360,5	6460	342,5	343,7	6334
0,23	387,7	394,0	7482	376,9	378,4	7342
0,24	419,3	425,6	8428	407,9	409,4	8274
0,25	456,2	462,6	9532	446,2	448,6	9392
0,26	490,6	507,1	10746	478,0	488,5	10550
0,27	532,6	543,4	12018	515,8	518,6	11758
0,28	570,9	591,1	13738	556,2	566,6	13480
0,29	612,4	622,8	14858	594,0	596,4	14554
0,30	657,2	675,2	16556	644,6	654,2	16336
0,31	702,0	715,8	18672	683,0	689,4	18312
0,32	746,2	762,4	20144	732,7	743,9	19880
0,33	797,1	820,2	22382	770,1	779,2	21828
0,34	844,8	860,8	23732	832,6	837,4	23416
0,35	903,6	927,6	26814	868,6	876,0	26118
0,36	929,2	948,8	27944	910,3	917,5	27574
0,37	988,8	1003,8	30606	969,8	975,8	30228
0,38	1035,8	1063,4	33074	1019,6	1037,6	32716
0,39	1105,2	1123,6	35966	1080,0	1085,8	35438
0,40	1155,6	1167,6	39550	1143,2	1150,4	39284
0,42	1282,9	1315,0	46220	1255,0	1270,0	45528
0,45	1479,2	1500,2	56560	1451,2	1460,2	55860
0,48	1688,9	1718,7	68274	1657,4	1670,1	67424
0,50	1816,4	1843,9	76604	1788,4	1800,7	75846
0,53	2044,8	2077,8	92752	2013,6	2030,6	91832
0,56	2286,2	2316,7	107900	2258,9	2275,4	107120
0,60	2639,4	2690,9	133770	2596,5	2618,4	133370
0,63	2892,5	2958,3	154240	2869,1	2916,3	153340
0,67	3273,9	3397,7	186170	3226,6	3273,0	184350
0,71	3688,0	3797,8	222880	3651,2	3729,8	221310
0,75	4115,7	4251,8	262210	4055,7	4140,2	259430

Po'latdagi R va shixtovkali tutashish doirasidagi R solishtirma isroflar GOST bo'yicha tayyorlangan 3404 va 3405 markali sovuq holatda jo'valangan po'latlar uchun va chet elda ishlab chiqarilgan M6X va M4X markali po'latlar uchun, turli induksiyada va chastotasi 50 Gts da po'lat qalinligi 0,35, 0,3 va 0,28 m li.

V, Tl	$p, \text{Vt/kg}$				$p_3, \text{Vt/m}^2$	
	3404 0,35 mm	3404 0,30 mm	3405 0,30 mm	M4X, 0,28 mm	Bitta tunukachali	Ikkita tunukachali
0,20	0,028	0,025	0,023	0,018	25	30
0,40	0,093	0,090	0,085	0,069	50	70
0,60	0,190	0,185	0,130	0,145	100	125
0,80	0,320	0,300	0,280	0,245	170	215
1,00	0,475	0,450	0,425	0,370	265	345
1,20	0,675	0,635	0,610	0,535	375	515
1,22	0,697	0,659	0,631	0,555	387	536
1,24	0,719	0,683	0,652	0,575	399	557
1,26	0,741	0,707	0,673	0,595	411	578
1,28	0,763	0,731	0,694	0,615	423	589
1,30	0,785	0,755	0,715	0,635	425	620
1,32	0,814	0,779	0,739	0,658	448	642
1,34	0,843	0,803	0,763	0,681	461	664
1,36	0,872	0,827	0,787	0,704	474	686
1,38	0,901	0,851	0,811	0,724	497	708
1,40	0,930	0,875	0,835	0,750	500	730
1,42	0,964	0,906	0,860	0,778	514	754
1,44	0,998	0,937	0,869	0,806	526	778
1,46	1,032	0,968	0,916	0,834	542	802
1,48	1,066	0,999	0,943	0,862	556	826
1,50	1,100	1,030	0,970	0,890	570	850
1,52	1,134	1,070	1,004	0,926	585	878
1,54	1,168	1,110	1,038	0,962	600	906
1,56	1,207	1,150	1,074	1,000	615	934
1,58	1,251	1,190	1,112	1,040	630	962
1,60	1,295	1,230	1,150	1,080	645	990

1,62	1,353	1,278	1,194	1,132	661	1017
1,64	1,411	1,326	1,238	1,184	677	1044
1,66	1,472	1,380	1,288	1,240	695	1071
1,68	1,536	1,440	1,344	1,312	709	1098
1,70	1,600	1,500	1,400	1,380	725	1125
1,72	1,672	1,560	1,460	1,472	741	1155
1,74	1,744	1,620	1,520	1,564	757	1185
1,76	1,824	1,692	1,588	1,660	773	1215
1,78	1,912	1,772	1,664	1,760	789	1245
1,80	2,000	1,860	1,740	1,860	805	1275
1,82	2,090	1,950	1,815	1,950	822	1305
1,84	2,180	2,040	1,890	2,040	839	1335
1,86	2,270	2,130	1,970	2,130	856	1365
1,88	2,360	2,220	2,060	2,220	873	1395
1,90	2,450	2,300	2,150	2,400	890	1425
1,95	2,700	2,530	2,390	2,530	930	1500
2,00	3,000	2,820	2,630	2,820	970	1580

Eslatma: 1. Qalinligi 0.35 mm li 3405 markali pýlatning solishtirma isrofini qalinligi 0.35 mm li 3404 markali pýlat ustunidan qabul qilinadi.

2. Qalinligi 0.35 mm li M6X markali po'latning solishtirma isrofini shu qalinlikdagi 3404 markali po'lat ustunidan olinadi.

31-Ilova

Sterjen va yarmoni zichlashtirish usullari va salt ishlash toki va isrofiga zichlashtirish usulini hisobga olish koeffitsientlari

$k_{p,p}$ va $k_{t,p}$

S, kVA	Zichlashtirish usullari		Kuydirilgan po'lat		Kuydirilmagan po'lat	
			k_{pp}	K_{mp}	κ_{pp}	K_{mn}
630 gacha	Chulg'am bo'lmagan xolda preslash	Xalqasiz yarmo balkalari	1,03	1,045	1,02	1,04
1000 – 6300	Shisha tasmadan qilingan xalqalar	Xalqasiz yarmo balkalari	1,03	1,05	1,025	1,04
10 000 dan	Shisha	Xalqali	1,04	1,06	1,03	1,05

yuqori	tasmadan qilingan Xalqalar	yarmo balkalari				
--------	----------------------------------	--------------------	--	--	--	--

32-Ilova

Chastotasi 50 Gts va $B=0,9 \div 1,7$ Tl, turli markali po'latdan tayyorlangan yassi shixtovkali magnit tizim tunukachalarini qiya va to'g'ri tutashish burchak sonlari har xil bo'lgan koeffitsient k_{pu} qiymati.

Tutashish burchaklari soni		Po'latlar markasi va uning qalinligi						
Qiya burchak	To'g'ri burchak	3412, 0,35 mm	3413, 0,35 mm	3404, 0,35 mm	3404, 0,30 mm; 3405 0,35 mm	3405, 0,30 mm	M6X, 0,35 mm	M4X, 0,28 mm
Uch fazali magnit tizimi (uch sterjenli)								
6	-	7,48	7,94	8,58	8,75	8,85	8,38	9,10
5	1	8,04	8,63	9,38	9,60	9,74	9,16	10,10
4	2	8,60	9,33	10,18	10,45	10,64	9,83	11,10
-	6	10,60	11,57	12,74	13,13	13,52	12,15	14,10
Bir fazali magnit tizimi (ikki sterjenli)								
4	-	4,60	4,88	5,28	5,40	5,44	5,16	5,60
-	4	6,40	7,18	7,84	8,08	8,32	7,48	8,80

33-Ilova

Chastotasi 50 Gts va turli induksiylalarda 3404 va 3405 markali sovuq holatda jo'valangan po'lat uchun shixtovkali tutashish q_z zonasi va po'latning to'la solishtirma magnitlovchi quvvati q

V, Tl	Po'lat markasi va uning qalinligi				q_z VA/m ²	
	3404 0,35 mm	3404 0,3 mm	3405 0,35 mm	3405 0,3 mm	3404	3405
0,20	0,040	0,040	0,039	0,038	40	40
0,40	0,120	0,117	0,117	0,115	80	80
0,60	0,234	0,230	0,227	0,223	140	140
0,80	0,375	0,371	0,366	0,362	280	280
1,00	0,548	0,540	0,533	0,525	1000	900
1,20	0,752	0,742	0,732	0,722	4000	3700
1,22	0,782	0,768	0,758	0,748	4680	4160
1,24	0,811	0,793	0,783	0,773	5360	4620
1,26	0,841	0,819	0,809	0,799	6040	5080
1,28	0,870	0,844	0,834	0,824	6720	5540
1,30	0,900	0,870	0,860	0,850	7400	6000
1,32	0,932	0,904	0,892	0,880	8200	6640
1,34	0,964	0,938	0,924	0,910	9000	7280
1,36	0,996	0,972	0,956	0,940	9800	7920
1,38	1,028	1,006	0,988	0,970	10600	8560
1,40	1,060	1,040	1,020	1,000	11400	9200
1,42	1,114	1,089	1,065	1,041	12440	10120
1,44	1,168	1,139	1,110	1,082	13480	11040
1,46	1,222	1,188	1,156	1,123	14520	11960
1,48	1,276	1,238	1,210	1,161	15560	12880
1,50	1,330	1,289	1,246	1,205	16600	13800
1,52	1,408	1,360	1,311	1,263	17960	14760
1,54	1,486	1,431	1,376	1,321	19320	15720
1,56	1,575	1,511	1,447	1,383	20700	16800
1,58	1,675	1,600	1,524	1,449	22100	18000
1,60	1,775	1,688	1,602	1,526	23500	19200
1,62	1,958	1,850	1,748	1,645	25100	20480
1,64	2,131	2,050	1,894	1,775	26700	21760
1,66	2,556	2,289	2,123	1,956	28600	23160

1.68	3,028	2,681	2,435	2,188	30800	24680
1.70	3,400	3,073	2,747	2,420	33000	27000
1.72	4,480	4,013	3,547	3,080	35400	28520
1.74	5,560	4,953	4,347	3,740	37800	30840
1.76	7,180	6,364	5,551	4,736	40800	33000
1.78	9,340	8,247	7,161	6,068	44400	35000
1.80	11,500	10,130	8,770	7,400	48000	37000
1.82	20,240	17,670	15,110	12,540	5200	39800
1.84	28,980	25,210	21,450	17,680	56000	43600
1.86	37,720	32,750	27,790	22,820	60000	47400
1.88	46,460	40,290	34,130	27,960	64000	51200
1.90	55,200	47,830	40,740	33,100	68000	55000
1.95	89,600	82,900	76,900	70,800	80000	65000
2.00	250,000	215,000	180,00	145,000	110000	75000

34-Ilova

Chastotasi 50 Gts, 3404 va 3405 markali pp'latdan tayyorlangan yassi shixtovkali magnit tizim tunukachalarini qiya va to'g'ri tutashish burchak sonlari har xil bo'lgan koeffitsient k_{tu} qiymati, 0,35 va 0,30 mm

Tutashish burchaklar soni		Induksiya V, Tl				
Qiya	To'g'ri	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
Uch fazali magnit tizim (uchta sterjen)						
6	-	26,0	27,95	27,95	26,0	22,10
5*	1*	32,25	34,83	35,20	33,25	27,85
4	2	38,5	41,7	42,45	40,5	33,66
	6	58,5	64,7	65,6	64,7	52,0
Bir fazali magnit tizim (bitta sterjen)						
4	-	16,0	17,2	17,2	16,0	13,6
-	4	36,0	39,2	40,4	39,2	32,0

35-Ilova

Sovuq jo'valangan po'lat uchun ikkinchi paketdagi plastina kengligi a_2 ga bog'liq bo'lgan magnit tizim burchaklardagi magnitlovchi quvvatni oshishini hisobga oluvchi koeffitsient $k_{t,pl}$ qiymati

V, Tl	Ikkinchi paket tunukachasi kengligi a_2 , m							
	0,05	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70
0,8 - 1,00	1,30	1,25	1,20	1,17	1,15	1,14	1,13	1,12
1,10 va 1,90	1,40	1,27	1,21	1,18	1,16	1,15	1,14	1,13
1,20 va 1,80	1,50	1,30	1,22	1,19	1,47	1,16	1,15	1,14
1,30 va 1,70	1,70	1,38	1,25	1,21	1,18	1,17	1,16	1,15
1,40 va 1,60	2,00	1,50	1,35	1,25	1,20	1,19	1,18	1,16
1,70	3,00	2,00	1,50	1,35	1,30	1,25	1,20	1,18

36-Ilova

Izolyatsiya va boshqa materiallarning solishtirma issiqlik o'tkazuvchanligi λ

Material	λ , Wt/(m · °C)
Quruq kabel qog'ozi	0,12
Moyli kabel qog'ozi	0,17
Lak shimdirilgan kabel qog'ozi	0,17
Elektr izolyatsiya kartoni	0,17
Lakotkani elektroizolyatsionnoy	0,25
Getinaks	0,17—0,175
Tekstolit	0,146—0,162
Steklotekstolit	0,178—0,182
Bakelit laki va boshqa laklar	0,3
Konvektsiya bo'lmagan holatagi moy	0,1
Paketlardagi elektrotexnik po'lat:	
Tunukachalar bo'yicha	22,3
Ko'ndalang tunukachalar	4,75—4,85
Po'latning issiqqa chidamlilik koeffitsienti	0,8
Mis	390
Alyuminiy	226

a. Moyli transformatorlarning chulg'amlardagi sovutuvchi kanallarning minimal kengligi

Vertikal kanallar				Gorizontal kanallar	
Kanal uzunligi mm,	chulg'am-chulg'am mm,	chulg'am-tsilindr mm,	chulg'am-sterjen mm,	Kanal uzunligi mm,	chulg'am-chulg'am mm,
300 gacha	4-5	4	4-5	40 gacha	4
300-500	5-6	5	5-6	40-60	5
500-1000	6-8	5-6	6-8	60-70	6
1000-1500	8-10	6-8	8-10	70-80	7

b. Quruq transformatorlarning vertikal kanallari, Chulg'am yuzasidagi issiqlik oqim zichligi va haroratning oshishi ruxsat etilgan qiymati bo'yicha kanal kengligi tanlanadi,

Izolyatsiya sinfi	Harorat oshishining ruxsat etilgan qiymati, C^0	Issiqlik oqim zichligi kanal kengligidagi mm, issiqlik oqim zichligi Vt/m^2 ,		
		7	10	15
A	60	160	300	380
E, B	75-80	230	450	550
F	100	300	600	720
H	125	380	800	950

d. Quruq transformatorlarning gorizontal kanallari. Chulg'am yuzasidagi issiqlik oqim zichligi va haroratning oshishi ruxsat etilgan qiymati bo'yicha kanal kengligi tanlanadi,

Izolyatsiya sinfi	Harorat oshishining ruxsat etilgan qiymati, C^0	Issiqlik oqim zichligi kanal kengligidagi mm, issiqlik oqim zichligi Vt/m^2 ,		
		8	12	15
A	60	280	380	450
E, B	75-80	320	420	540
F	100	420	540	720
H	125	580	720	1000

38-Ilova

(9.20) ifodadagi k_z koeffitsient qiymati

h_k/a	0,07- 0,08	0,08- 0,09	0,1	0,11- 0,12	0,13- 0,14	0,15- 0,19	0,2 va undan yuqori
k_z	1,10	1,05	1,0	0,95	0,90	0,85	0,80

39-Ilova

Moyli kuch transformatorlarining bak turlari

Bak turlari	Rasm	Sovutish turlari	Quvvat bo'yicha qo'llash turlari kV·A
Tekis devorli bak	—	M	25—40 kBA gacha
Devori to'liqinsimon ko'rinishli bak	9,14	M	40—63 dan 630 gacha
Bukilgan sovutish turbalari payvandlangan bak	9, 15	M	40—63 dan 1600 gacha
Quvurlari to'g'ri radiatorli bak	9,16	M	100 dan 6300 gacha
Quvurlari egri radatorli bak	9,17	M	2500 dan 10000 gacha
Qo'shimcha sovutiladigan quvurlari egri radatorli bak	9,6	D	10000 dan 80000 gacha
Moy majburiy tashqaridan esa havo majburiy haydaladigan sovutkichli bak	—	DS	63000 dan 80 yundan yuqori

40-Ilova

Yarmodan bak qopqog'igacha bo'lgan minimal masofa

YUK chulg'ami kuchlanishi, kV	Minimal masofa, mm	Eslatma
6, 10	160	-
20	300	-
35	400	Bak qopqog'i va yarmo orasida gorizontal joylashgan shoxoblanish qayta ulagichida
110	500	Kuchlanishi 110 kV bo'lgan yuqori kuchlanish izolyatorlari bak devori va yarmo orasiga joylashtiriladi

41-Ilova

Diametri 51 mm bo'lgan quvur va oval 20x72 mm quvurlar uchun (9,28) ifodadagi k_f koeffitsient qiymatlari

Yuza formasi	Tashqaridan havo majburiy haydalmaydi						Tashqaridan havo majburiy haydaladi		
	Tekis devor	Tribalar				Radiador		Tekis devor	2.21 rasm bo'yicha radiator
		Bir qatorli	Ikki qatorli	Uch qatorli	To'rt qatorli	2.18 rasm bo'yicha	2.21 rasm bo'yicha		
k _r	1,0	1,4	1,4-0,96 =1,344	1,4-0,93 =1,302	1,4-0,9 =1,26	1,26	1,4	1,6	1,4-1,6 =2,24

42-Ilova

To'g'ri quvurli radiatorlarning asosiy ma'lumotlari 9,16 rasm bo'yicha

O'lcham A, mm	Yuza P _{k, tr} , m ²	Massa, kg	
		Po'lat	moy
Bir qatorli turbalar			
710	0,746	12,9	8,5
900	0,958	12,9	10,9
Ikki qatorli turbalar			
710	2,135	34,14	24
900	2,733	41,14	30
1150	3,533	50,14	38
1400	4,333	53,94	46
1615	4,961	67,14	53
1800	5,613	73,94	57
2000	6,253	81,98	64
2200	6,893	89,18	72
2400	7,533	95,68	78

Eslatma: 1. $P_{k, tr}$ —quvurlarning konveksiya yuzasi, $P_{k, k}$ —ikkita kollektorning konveksiya yuzasi bir qatorli quvurda 0,15 m² va ikki qatorlida 0,34 m²ga teng.

2. Bak devorlarini pastki va yuqoriga qirqimidan radiator flanets o'qlarigacha bo'lgan minimal oralig'i s_1 s_2 mos ravishda 0,085 va 0,10m.

Quvurli radiatorlarning asosiy ma'lumotlari 2,21 rasm bo'yicha

O'lcham A, mm	Bir qatorli radiator			Ikki qatorli radiator		
	$P_{k\ tr}, m^2$	G_{st}, kg	G_m, kg	$P_{k\ tr}, m^2$	G_{st}, kg	G_m, kg
1880	11,45	205	161	22,9	380	275
2000	12,1	215	169	24,15	401	291
2285	13,55	236	184	27,05	442	321
2485	14,55	249	194	29,1	468	341
2685	15,6	264	204	31,15	499	362
3000	17,2	285	219	34,35	540	393
3250	18,45	302	232	36,9	575	418
3750	21,0	337	258	42,0	644	469
4000	22,3	352	269	44,6	675	492
4250	24,6	373	284	47,2	716	521

Eslatma: 1. Kollektor yuzasi P_k bir qatorlida 0,72 va ikki qatorlida 0,66 m^2 G_{st} moysiz radiator vazni; G_m radiatoragi moy vazni.

Taxminiy qiymatlar $s_0, s_{st}, k_{o,s}$ ifodalarda

Quvvati kV·A	Kuchlanish sinfi kV	Chulg'am materiali Metall obmotok	Rostlash turi	$s_0, so'm/kg$	$s_{st}, so'm/kg, po'lat$ markasi uchun			$k_{o,s}, po'lat$ markasi uchun		
					3404	3405	3406	3404	3405	3406
25-630	10	aluminium	PBV	1,85	1,02	1,08	1,15	1,81	1,71	1,61
100-630	35		PBV	1,95	1,02	1,08	1,15	1,84	1,81	1,70
1000-16000	10 va 35		PBV	2,50	1,06	1,14	1,19	2,36	2,19	2,10
1000-6300	35		RPN	2,50	1,06	1,14	1,19	2,36	2,19	2,10
6300-16000	110		RPN	2,75	1,08	1,17	1,21	2,55	2,35	2,27
2500-6300	110	mis	RPN	2,50	1,17	1,27	1,32	2,14	1,97	1,90

Qo'shimcha isroflari 5%, 10%, 15%, 20% dan oshmaydigan va kesim yuzasi to'g'riburchakli silindirsimon chulg'am simlarining taxminiy radial o'lchamlari

Chulg'am qavatlarining soni	Misli chulg'am				Alyuminli chulg'am			
	Qo'shimcha isroflar				Qo'shimcha isroflar			
	5%	10%	15%	20%	5%	10%	15%	20%
1	9,0	10,6	11,8	13,2	11,8	13,2	15,0	16,0
2	6,3	7,5	8,5	9,0	8,0	10,0	10,6	11,8
3	5,3	6,3	6,7	7,5	6,7	8,0	8,5	9,5
4	4,5	5,3	6,0	6,3	5,6	6,7	7,5	8,0
5	4,0	4,75	5,3	5,6	5,0	6,0	6,7	7,5
6	3,75	4,5	4,75	5,3	4,75	5,6	6,0	6,7
7	3,35	4,0	4,5	4,75	4,5	5,0	5,6	6,0
8	3,35	3,75	4,25	4,5	4,0	4,75	5,6	5,6
9	3,15	3,55	4,0	4,25	3,75	4,5	5,0	5,6
10	3,0	3,55	4,0	4,25	3,75	4,5	5,0	5,6
11	2,8	3,15	3,75	3,75	3,55	4,0	4,5	4,75
12	2,65	3,15	3,35	3,75	3,35	3,75	4,5	4,75
13	2,5	3,0	3,35	3,55	3,0	3,75	4,0	4,5
14	2,36	3,0	3,15	3,35	3,0	3,55	3,75	4,0
15	2,36	2,8	3,0	3,35	3,0	3,55	3,75	4,0
16	2,24	2,65	3,0	3,15	2,8	3,35	3,75	4,0

Moyli transformatorlar uchun chulg'amdagi sovitish kanalining minimal eni

Vertikal kanallar				Gorizontal kanallar	
Kanal uzunligi, mm	Chulg'am-chulg'am, mm	Chulg'am-silindr, mm	Chulg'am-sterjen, mm	Kanal uzunligi, mm	Chulg'am-chulg'am, mm
300 gacha	4-5	4	4-5	40 gacha	4
300-500	5-6	5	5-6	40-60	5
500-1000	6-8	5-6	6-8	60-70	6
1000-1500	8-10	6-8	8-10	70-80	7

Transformatorni loyihalash uchun topshiriq variantlari

№	Nominal quvvat, kV·A	Chulg'am kuchlanishi, Kv	Isroflar, Vt			Qisqa tutashish kuchlanishi		Yuksiz ishlash toki
			Yuksiz ishlash	Qisqa tutashish				
				*	**	*	**	
1	25	10	130	600	690	4,5	4,7	3,2
2	40	10	175	880	1000	4,5	4,7	3,0
3	63	10	240	1280	1470	4,5	4,7	2,8
4	100	10	330	1970	2270	4,5	4,7	2,6
5	100	35	420	1970	2270	6,5	6,8	2,6
6	160	10	510	2650	3100	4,5	4,7	2,4
7	160	35	620	2650	3100	6,5	6,8	2,4
8	250	10	740	3700	4200	4,5	4,7	2,3
9	250	35	900	3700	4200	6,5	6,8	2,3
10	400	10	950	5500	5900	4,5	4,7	2,1
11	400	35	1200	5500	5900	6,5	6,5	2,1
12	630	10	1310	7600	8500	5,5	5,5	2,0
13	630	35	1600	7600	8500	6,5	6,5	2,0
14	1000	10*	2100	12 200	11600	5,5	5,5	1,4
		35	2000	12 200	11600	6,5	6,5	1,4
15	1600	10*	2800	18000	16500	5,5	5,5	1,3
		35	2750	18000	16500	6,5	6,5	1,3
16	2500	10*	3900	25000	23500	5,5	5,5	1,0
		35	3900	26000	23500	6,5	6,5	1,0
17	4000	10	5200	—	33500	7,5	7,5	0,9
		35	5300	—	33500	7,5	7,5	0,9
18	6300	10	7400	—	46500	7,5	7,5	0,9
		35	7500	—	46500	7,5	7,5	0,8
19	10000	35*	12300	—	65000	7,5	7,5	0,8
20	16000	35*	17800	—	90000	8,0	8,0	0,6
				—				
21	80000	15,75	58000	—	280000	10,0	10,0	0,45

Eslatma: 1, «*» beligi bilan quvvati 25-250 kV·A, chulg'amlari $Y/Y_n = 0$, $\Delta/Y_n = 11$ ulangan va quvvati 400 hamda 630 kV·A, chulg'amlari esa $Y/Y_n = 0$, $\Delta/Y_n = 11$ ulangan transformatorlarning qisqa tutashish quvvat isroflari va qisqa tutashish kuchlanishlari belgilangan.

2, «**» beligi bilan quvvati 25-250 kV·A, chulg'amlari Y/Z_n – 11 ulangan va quvvati 400 hamda 630 kV·A, chulg'amlari esa Δ/Y_n – 11, ulangan transformatorlarning qisqa tutashish parametrlari belgilangan.

3, Quvvati 400 hamda 630 kV·A, PK chulg'ami 0,4 va 0,69 kV bo'lgan (RPN) transformatorlarning qisqa tutashish quvvat isroflari Ilovada ko'rsatilgan qiymatlardan 10% ga ortiq bo'ladi.

4, Quvvati 1000 – 6300 kV·A bo'lgan transformatorlarning salt ishlash va qisqa tutashish parametrlari (PBV, RPN) Ilovada ko'rsatilgan qiymatlar qabul qilinadi, Faqatgina kuchlanishi RPN rostlanadigan transformatorlarning salt ishlash quvvat isroflari Ilovada ko'rsatilgan qiymatlardan 5–5,5% ga ortiq bo'ladi.

5, Ilovada ko'rsatilgan qisqa tutashish quvvat isroflari va qisqa tutashish kuchlanishlarining qiymatlari asosiy shaxobchadagi qiymatga to'g'ri keladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

Asosiy adabiyotlar

- 1, Тихомиров П,М, Расчет трансформаторов, –М,: Энергоатомиздат, 1986, –528 б,
- 2, Салимов Ж,С,, Пирматов Н,Б,, Бекчанов Б,Э, Трансформаторлар ва авотрансформатор, – Т,: «VEKTOR-PRESS» нашриёти, 2009–224 б,
- 3, Аншин В,Ш,, Худяков З,И, Сборка трансформаторов, –М,: Высшая школа, 1991, –288 б,
- 4, Гончарук А,И, Расчет и конструирование трансформаторов, –М,: Энергоатомиздат, 1990, –256 б,

Qo'shimcha adabiyotlar

- 1, Каталог продукции, Трансформаторное оборудование ОАО «Уралэлектро-тяжмаш», –Екатеринбург, «Электротяжмаш», 2003, –35 б,
- 2, Каталог продукции, Научно-производственной организации «АзияЭлектро-Энергия», www.Aziya77@mail.ru
- 3, Каталог продукции Чирчикского трансформаторного завода, www.chtz.biz,
- 4, Pirmatov N,B, Transformatorlarni ishlab chiqarish texnologiyasi, –Т,: «Cho'lpon», 2006, –56 б,
- 5, [http://www.ielectro.ru /document 3215/Aboute.html](http://www.ielectro.ru/document/3215/Aboute.html) (Трансформаторы силовые и измерительные, Справочник,Том 1–3),

MUNDARIJA

Kirish.....	3
Transformatorlarning asosiy elektr kattaliklarini hisoblash	11
Magnit tizimsi yassi shaklda yig'ilgan yupqa elektrotexnik po'lat tunukalaridan iborat moy bilan sovitildigan uch fazali ikki chulg'amli transformatorni loyihalash	13
Chulg'amlarni hisoblash	25
Yuqori kuchlanishli chulg'amni hisoblash	35
Dumaloq simdan tayyorlangan ko'p qatlamli silindrsimon chulg'amni hisoblash	36
To'g'ri burchakli simdan tayrlangan ko'psatlamli silindrsimon chulg'amni hisoblash	40
Uzlkusiz g'altaksimon chulg'amni hisoblash	43
Transformatorning chulg'amlarini tanlash va hisoblash	46
Qisqa tutuashish parametrlarini hisoblash	53
Transformatorning magnit tizimini hisoblash	56
Transformatorida issiqlikni hisoblash	59
Ilovalar	73
Foydalanilgan adabiyotlar	117

Bosishga ruhsat etildi 17.07.2012 y. Bichimi 60x84 1/16.
Shartli bosma tabog'i 6,98. Nusxasi 50 dona. Buyurtma № 400.

TIPU bosmaxonasida chop etildi. Toshkent sh,
Arabalar ko'chasi 54. tel: 246-63-84.