

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

**ISLOM KARIMOV NOMIDAGI TOSHKENT DAVLAT
TEXNIKA UNIVERSITETI**

ELEKTR ENERGIYASINING SIFAT KO‘RSATKICHLARI

fanidan 5A310201 - Elektr ta‘minoti (sanoat korxonalari va
shaharlar) mutaxassisligi talabalari uchun

USLUBIY KO‘RSATMALAR

Toshkent - 2017

UDK 621.314

Tuzuvchilar: Rasulov A.N., Bahodirov I.I. va Meliqo‘ziyev M.V.
“Elektr energiyasining sifat ko‘rsatkichlari” amaliy mashg‘ulotlar uchun uslubiy ko‘rsatma. – Toshkent: ToshDTU, 2017. - 60 b.

“Elektr energiyasining sifat ko‘rsatkichlari” fanidan amaliy mashg‘ulotlar uchun uslubiy ko‘rsatma “5A310201 - Elektr ta‘minoti” (sanoat korxonalari va shaharlar) mutaxassisligi talabalarining fanni o‘zlashtirish jarayonida olgan nazariy bilimlarini kengaytirish va mustahkamlashni o‘ziga maqsad qiladi.

Amaliy mashg‘ulotlar jarayonida talabalarning amaliy jihatdan mahoratlari o‘sib, amaliy mashg‘ulotlarni sohaga oid ma‘lumotnoma materiallaridan mustaqil foydalangan holda yechish usullarini o‘rganadilar.

Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti ilmiy-uslubiy kengashining qaroriga asosan chop etilgan.

Taqrizchilar:

Xoshimov F.A. – MChJ “Ilmiy texnik markaz” O‘zbekenergiya AJ,
“Energetika, energiya samaradorlik va energiya tejamkorlik” laboratoriya mudiri, t.f.d., professor

Taslimov A.D. – ToshDTU “Elektr ta‘minoti” kafedrası dotsenti

KIRISH

Sanoatda elektr energiyasining asosiy tavsifini o'zgartiradigan xarakterli katta quvvatdagi nochiqli, nosimmetriyali va keskin, o'zgaruvchan yuklamalarni ishlatish elektr jihozlari va elektr tarmoqlarida elektromagnit birgaligi muammolarini yuzaga keltiradi. Elektromagnit birgaligi bu – elektr energiya iste'molchilarining normal ish tartibida ishlashi va elektr tarmog'ida boshqa iste'molchilarning birgalikda ishlashini murakkablashtiradigan o'zgarishlarni qabul qilmaslik.

Yomonlashgan elektromagnit birligida birinchi navbatda elektr energiyasining sifati pasayadi. Elektr ta'minoti tizimida elektr iste'molining eng yaxshi holati, ularning bir yoki uch fazali simmetriyali, berilgan amplituda va 50 *Hz* chastotali sinusoidal shaklli kuchlanishdan ta'minlanishidir. Ammo elektr tarmoqlarida har xil elektromagnit to'siqlar ta'sirida ushbu ko'rsatkichlarning og'ishi natijasida elektr energiya qurilmalarining ishlashi yomonlashadi. Bu o'z navbatida texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlarni yomonlashtiradi.

Elektr energiyasi sifatining pasayishi ayrim elektr iste'molchilarining ishlashiga, energotizim parametrlarining to'liq me'yorida bo'lishiga salbiy ta'sir ko'rsatadi. Elektr tarmoqlarida elektr energiyasi sifatining pasayishi quyidagi salbiy oqibatlarga olib keladi:

- elektr tarmog'ining barcha elementlarida elektr energiya isrofining ortishiga;
- mashinalarning aylanuvchi qismini qo'shimcha qizishiga, izolyatsiya eskirishining tezlashishiga, elektr qurilmalari ishlash muddatining qisqarishiga;
- elektr energiyasi iste'moli va elektr qurilmalari iste'mol quvvatining oshishiga;
- releli himoya va avtomatika qurilmalarining xatolik bilan ishga tushishiga;
- teleradio apparatlarining ishlashiga, elektr boshqarish tizimi va hisoblash texnikasining ishdan chiqishiga;
- aloqa liniyasi va temir yo'llarining avtomatlashtirilgan tizimlariga salbiy ta'sir etadi;
- sanoat korxonasining xo'jalik faoliyatiga salbiy ta'sir etadi va b.q.

Elektr tizimlari o'rtasidagi elektr aloqalar elektr energiyasi sifatini pasayish salbiy ta'sirini anchaga kengaytiradi va shu bilan birga elektromagnit birligi muammolarini kuchaytiradi. Bu esa o'z navbatida

elektr energiyasi sifatini elektr ta'minotiga ulangan nuqtadan tashqari, elektr tarmog'ining barcha nuqtalarida baholash va nazorat qilish zarurligini yuzaga keltiradi.

Elektr tarmoqlarini ishlatish jarayonida elektr energiyasi sifatiga ahamiyat bermaslik, iste'molchilar elektr ta'minotini yomonlashishiga va ular ishining buzilishiga olib keladi. Shuning uchun elektr tarmoqlarining barcha nuqtalarida elektr energiyasi sifatini baholash masalalarini o'rganish energetik muhandislar tayyorlashning muhim vazifalaridan biri bo'lib hisoblanadi.

Elektr energiyasi sifatining asosiy ko'rsatkichlari tavsifi

Elektr energiyasi tovar sifatida o'zining bir qator xususiyatlariga ega. U boshqa turdagi mahsulotlarni tayyorlashda ishlatiladi va ishlab chiqarish ko'rsatkichlari, mahsulotning sifatiga katta ta'sir ko'rsatadi. Elektr energiya sifati tushunchasi boshqa turdagi mahsulot sifatidan farq qiladi, chunki elektr energiyasi sifati elektr energiya iste'molchilarining sifatli ishlashini ta'minlaydi. Ma'lumki, elektr ta'minoti tizimi elektr tarmoqlari qurilmalari va ko'pgina elektr iste'molchilari nominal kuchlanishda (bir fazali yoki simmetriyali uch fazali) sinusoidal shaklli va nominal chastotada normal ish holatida bo'ladi. Elektr stansiyalarida elektr energiya nominal qiymatlarda ishlab chiqariladi. Elektr energiya parametrlari uni elektr tarmoqlari elementlari orqali uzatishda, uni birinchi navbatda har xil noxiziqli, nosimmetriyali va keskin o'zgaruvchan tavsifli (katta quvvatli yarim o'tkazgichlar, elektr yoy pechlari, payvandlash qurilmalari, prokat stanlarining bosh yuritmalari va h.k.) iste'molchilarning iste'moli jarayonida o'zgaradi.

Shunday qilib, elektr energiyasi sifati elektr tizimi tugunlaridagi tartib parametrlari (kuchlanish va chastota) bilan tavsiflanadi. Ushbu parametrlarning nominal qiymatdan og'ishi (xususiyatiga bog'liq holda tez va uzoq vaqt bo'lishi) kuch iste'molchilari, avtomatika tizimi, telemexanika va releli himoya qurilmalari ishiga salbiy ta'sir ko'rsatadi. Elektr ta'minoti tizimining ishlash ishonchliligini pasaytiradi, elektr energiya isrofini oshiradi, chiqarilayotgan mahsulot sifatini pasaytirib, sonining kamayishiga olib keladi. Bularning barchasi elektr energiya sifati muammolarini yuzaga keltiradi va energiya sifati miqdorini baholash uchun ko'rsatkichlar tizimi zarurligini ko'rsatadi.

Asosiy me'yoriy hujjat GOST 13109-97 bo'lib, unda elektr tarmoqlaridagi barcha ishlatiladigan elektr energiyasi sifati ko'rsatkichlariga bo'lgan talablar ko'rsatilgan.

GOST 13109-97 ga asosan elektr energiya sifati ko'rsatkichlari energotizim tarmoqlarining turg'un tartibli ishlashida ishlab chiqarishning texnologik xususiyati, uzatish, taqsimlash va iste'mol qilishdagi o'zgarishlar bilan tavsiflanadi. Bularga kuchlanish va chastotaning og'ishi va tebranishi, kuchlanishning sinusoidal shaklining buzilishi, kuchlanish nosimmetriyasi kiradi. Bu ko'rsatkichlarning ruxsat etilgan qiymatlari GOST 13109-97 da ko'rsatilgan.

Ko'rsatkichlarning boshqa qismi elektr tarmoqlaridagi kommutatsiya jarayonlari, mo'ljallanadigan va atmosferadagi holatlar, avariya keyingi tartiblarda himoya vositalari va avtomatikaning ishlashida yuzaga keladigan qisqa muddatli to'siq bilan tavsiflanadi. Bunga kuchlanish impulsi, yo'qolishi va elektr ta'minotidagi uzilishlar kiradi. Elektr energiyasining ushbu sifat ko'rsatkichlari uchun GOST 13109-97 ruxsat etilgan qiymat o'rnatmaydi. Ammo ko'rsatkichlarning amplitudaviy chastotani o'zgarish vaqti o'lchanishi va elektr tarmog'i uchun qisqa muddatli to'siq yuzaga kelish ehtimoli borligi sababli statik ma'lumotlar yig'ilishi kerak.

GOST 13109-97 ga muvofiq quyidagilar elektr energiyasining asosiy sifat ko'rsatkichlari hisoblanadi:

1. Chastotaning og'ishi, $\Delta f, \text{Hz}$;
2. Chastotaning tebranishi, $\delta f, \%$;
3. Kuchlanishning og'ishi, $\Delta u, \%$;
4. Kuchlanishning tebranishi, $\delta u, \%$;
5. Kuchlanish egri chizig'ining nosinusoidallik koeffitsiyenti, $K_U, \%$;
6. Kuchlanishning nosimmetriya koeffitsiyenti, $K_{2U}, \%$.

Bu sifat ko'rsatkichlari uchun GOST 13109-97 da me'yoriy ruxsat etilgan qiymatlar kiritilgan. Bunda ikki turdagi me'yoriy ruxsat etilgan va uning chegaraviy qiymati o'rnatilgan. O'lchangan yoki hisoblangan elektr energiyasining sifat ko'rsatkichlari ruxsat etilgan chegaraviy me'yordan, shuningdek, 95% ehtimollik bilan aniqlangan ushbu ko'rsatkich qiymatlari me'yoriy ruxsat etilgan qiymatdan oshmasligi kerak.

Elektr energiyasining tegishli me'yoriy sifat ko'rsatkichlari 24 soatli hisoblash oralig'ida baholanishi kerak. Elektr energiyasining sifat ko'rsatkichlarini davom etadigan hamma vaqt oralig'ida ruxsat etilgan va o'zgaradigan qiymatlarini baholashga ruxsat etiladi. Bunda sutkaning

95% ida (yoki 22,8 soatida) sifat ko'rsatkichlari ruxsat etilgan me'yoriy qiymatdan va sutka davomida chegaraviy qiymatdan oshmasligi kerak.

Elektr energiyasi sifatini o'rganishda quyidagi ko'rsatkichlarga e'tibor berish kerak: kuchlanish va chastotaning og'ishi, kuchlanishning tebranishi, kuchlanish egri chizig'i shaklini sinusoidadan og'ishi va kuchlanish nosimmetriyasi.

1 - AMALIY MASHG'ULOT

KUCHLANISH OG'ISHINI HISOBLASH VA QIYMATINI BAHOLASH

Kuchlanishning og'ishi - bu kuchlanishning turg'un og'ish qiymati bilan tavsiflanadi. Elektr energiyasi iste'molchilari qisqichlarida kuchlanish og'ishi elektr tarmog'ining nominal kuchlanishidan $\pm 5\%$ va $\pm 10\%$ ga teng miqdordagi me'yoriy va chegaraviy ruxsat etilgan turg'un me'yor qiymati o'rnatilgan.

Qisqichlardagi ko'rsatkichlarning ruxsat etilgan qiymatlardan o'zgarishiga quyidagilar ta'sir ko'rsatadi:

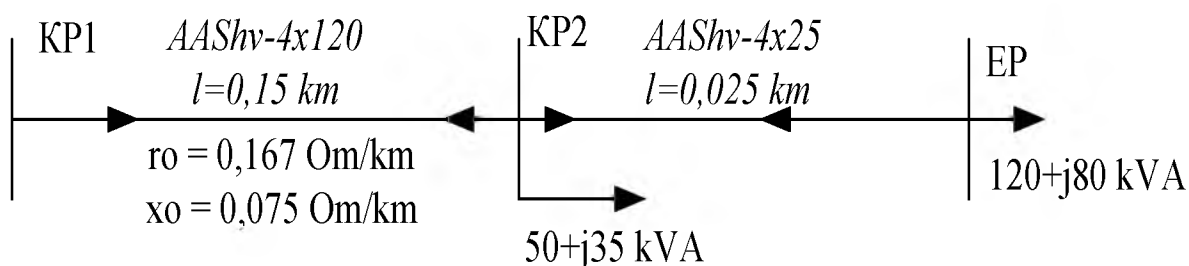
- Yuklama tokining sutkali, mavsumli va texnologik o'zgarishi;
- Generatorlar va kompensatsiya qurilmalari quvvatining o'zgarishi;
- Elektr tarmog'i sxemasi va parametrlarining o'zgarishi.

Elektr tarmog'ining har qanday tugunida kuchlanish og'ishi quyidagi ifoda yordamida aniqlanadi:

$$\Delta U = \frac{U_{NOM} - U}{U} * 100\% \quad (1.1)$$

Mustaqil yechish uchun namunali misollar

1.1-misol. 1.1-rasmda ko'rsatilgan elektr iste'molchining qisqichidagi kuchlanish og'ishini hisoblang va uni ruxsat etilgan (ГОСТ 13109-97) qiymat bilan taqqoslang. Agar zarur bo'lsa, kuchlanishni nominal qiymatga keltirish chorasini qo'llang. KP1 dagi kuchlanish 385 V deb qabul qilingan.



1.1-rasm. Kuchlanish og'ishini hisoblash sxemasi

Yechish. Kuchlanish isrofi quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$\Delta U = \frac{P * R + Q * X}{U} \quad (1.2)$$

bu yerda, R va X aktiv va induktiv qarshiliklar bo'lib, u quyidagicha aniqlanadi: $R=r_0 \cdot l$; $X=x_0 \cdot l$.

KP1-KP2 uchastka orasidagi kuchlanish isrofi:

$$\Delta U = \frac{(120 + 50) \cdot 0,167 \cdot 0,15 + (80 + 35) \cdot 0,075 \cdot 0,15}{0,38} = 14,6V$$

KP2-EP uchastkadagi kuchlanish isrofi:

$$\Delta U = \frac{120 \cdot 0,326 \cdot 0,025 + 80 \cdot 0,075 \cdot 0,025}{0,38} = 2,97V$$

Unda KP1-EP uchastkadagi kuchlanish isrofi quyidagiga teng bo'ladi:

$$\Delta U_{\Sigma} = \Delta U_{KP1-KP2} + \Delta U_{KP2-EP} = 14,6 + 2,97 = 17,57V$$

yoki

$$\Delta U_{\Sigma} = \frac{17,57}{380} \cdot 100\% = 4,62\%$$

Iste'molchi qisqichlaridagi kuchlanish quyidagiga teng bo'ladi:

$$U_{EGG} = V_{SPI} - \Delta U_{\Sigma} = 385 - 17,57 = 367,43 V$$

Iste'molchi qisqichidagi kuchlanish (1.1) ifodaga asosan kichik:

$$\Delta U = \frac{367,43 - 380}{380} \cdot 100\% = -3,3\%$$

ГОСТ 13109-97 ga asosan $\Delta U_{rux.} = \pm 5$. Shunday qilib, EP qisqichidagi kuchlanishning og'ishi ruxsatlangan oraliqda.

1.2-misol. Sex transformator podstantsiyasiga TM-400/10 turli $S_N=400$ kVA quvvatli transformator o'rnatilgan, qisqa tutashuv kuchlanishi $U_{q.t.}=4,5\%$, qisqa tutashuv quvvat isrofi $\Delta P_{q.t.}=5,5$ kVt. Transformator yuklamasi $S_{YU}=380$ kVA, $\cos\varphi=0,8$. Transformator qisqichlari $10 \pm 2 \times 2,5\%/0,4$ kV kuchlanishga ega, transformator YUK tomonidan 10,5 kV kuchlanishni ($U_I=5\%$, $U_{NI}=0$) ushlaydi.

Transformatorni $+2,5\%(U_{0I}=2,5\%$, $U_{0II}=5\%)$ shoxobcha bilan ulaganda, PK tomonidagi kuchlanishning og'ishini aniqlang.

Yechish. Berilgan yuklama va transformatorning parametrlarida transformatoridagi kuchlanish isrofini aniqlaymiz:

$$\begin{aligned} \Delta U_T &= \frac{S}{S_N} \left(\frac{\Delta P_{qt}}{S_N} \cos \varphi + U_{qt} \sin \varphi \right) \approx \frac{Q}{S_N} U_{qt} = \frac{380}{400} \left(\frac{5,5}{400} \cdot 0,8 + 0,45 \cdot 0,6 \right) = \\ &= 0,95 \cdot (1,12 + 2,7) \cdot 10^{-2} = 3,6 \cdot 10^{-2} = 3,6\% \end{aligned}$$

Berilgan +2,5% shoxobchaga ulanishda berilgan kuchlanish og'ishini hisobga olib, transformatorning PK tomonidagi kuchlanish og'ishini aniqlaymiz:

$U_{II} = V_I + V_{OII} - V_{NOMI} - V_{OI} - \Delta U_{TR} = V_I + E - \Delta U_T = 5 + 5 - 0 - 2,5 - 3,6 = 3,9\%$
ruxsatlangan oraliqda.

1.3-misol. Korxonaning BPPga TDN-16000/115 markali quvvati $S=16$ MVA, YUOR (yuklama ostida rostlovchi) qurilmaga ega, $\pm 16\%$ oraliqda rostlovchi ($\pm 9\%$ pog'onali $\pm 1,78\%$ dan) YUK tomonidan asosiy chiqishdagi nominal kuchlanish $U_{NOMI}=115$ kV ($V_{NOMI}=4,4\%$) va PK tomonidan $U_{NOMII}=11$ kV ($V_{NOMII}=10\%$), qisqa tutashuv kuchlanishi $U_{qt}=10,5\%$ transformator o'rnatilgan.

Eng katta yuklama tartibida $P_I=15$ MVt, $Q=7$ MVAr transformatorlarni YUK tomonida $U_I=118$ kV ($V_I=7,2\%$) kuchlanish ushlaniladi, PK tomondagi kerakli kuchlanish $U_I=118$ kV ($V_I=7,2\%$).

Eng kichik kuchlanish tartibida $P=5$ MVt, $Q=3$ MVAr transformatorni $U_I=115$ kV ($V_I=4,4\%$), PK tomondagi kerakli kuchlanish $U_{II}=10$ kV ($V_{II}=0\%$).

Ko'rsatilgan tartiblarda transformatorni rostlash oralig'ida YUOR $\pm 16\%$ ning to'g'riligini tekshiring.

Yechish. Eng katta va eng kichik yuklamalarda transformatoridagi kuchlanishning isrofi:

$$\Delta U_{E.Kat.} = \frac{Q * \Delta U_k}{S_{NT}} = \frac{7 * 10,5}{16} = 4,6\% \quad \Delta U_{E.Kich.} = \frac{3 * 10,5}{16} = 2\%$$

Eng katta yuklama tartibida shoxobchaning ish holatini aniqlash uchun V_{OI} qiymatini aniqlaymiz:

$$V_{II} = V_I + V_{OII} - V_{NI} - V_{II} - \Delta V_T = 7,2 + 10 - 4,4 - 5 - 4,6 = 3,2\%$$

Bunga eng yaqin standart shoxobcha $2 * 1,78\%$.

Xuddi shunday eng kichik yuklamada:

$$V_{OI} = 4,4 + 10 - 4,4 - 0 - 2 = 8\%, \text{ bunga eng yaqin shoxobcha } 4 * 1,78\%.$$

Shunday qilib, TDN-16000/115 transformatoriga o'rnatilgan YUOR qurilmasining rostlash oralig'i transformatorni PK tomonida kuchlanishning kerakli darajada ushlanishini ta'minlaydi.

Mustaqil yechish uchun misollar

1.1-misol. Rayon podstansiyasiga TDN-25000/110 markadagi transformator o'rnatilgan. Maksimal yuklamada transformatorning birlamchi chulg'aming kuchlanishi 105,8 kV ga, minimal yuklamada esa 108,5 kVga teng. Maksimal yuklamada kuchlanish yo'qotilishi - $\Delta U^I_{TR}=3,6\%$, minimalda - $\Delta U^{II}_{TR}=1,8\%$. Agar podstansiyada qarama-qarshi rostlash amalga oshirilsa, rostlash oralig'ini aniqlang.

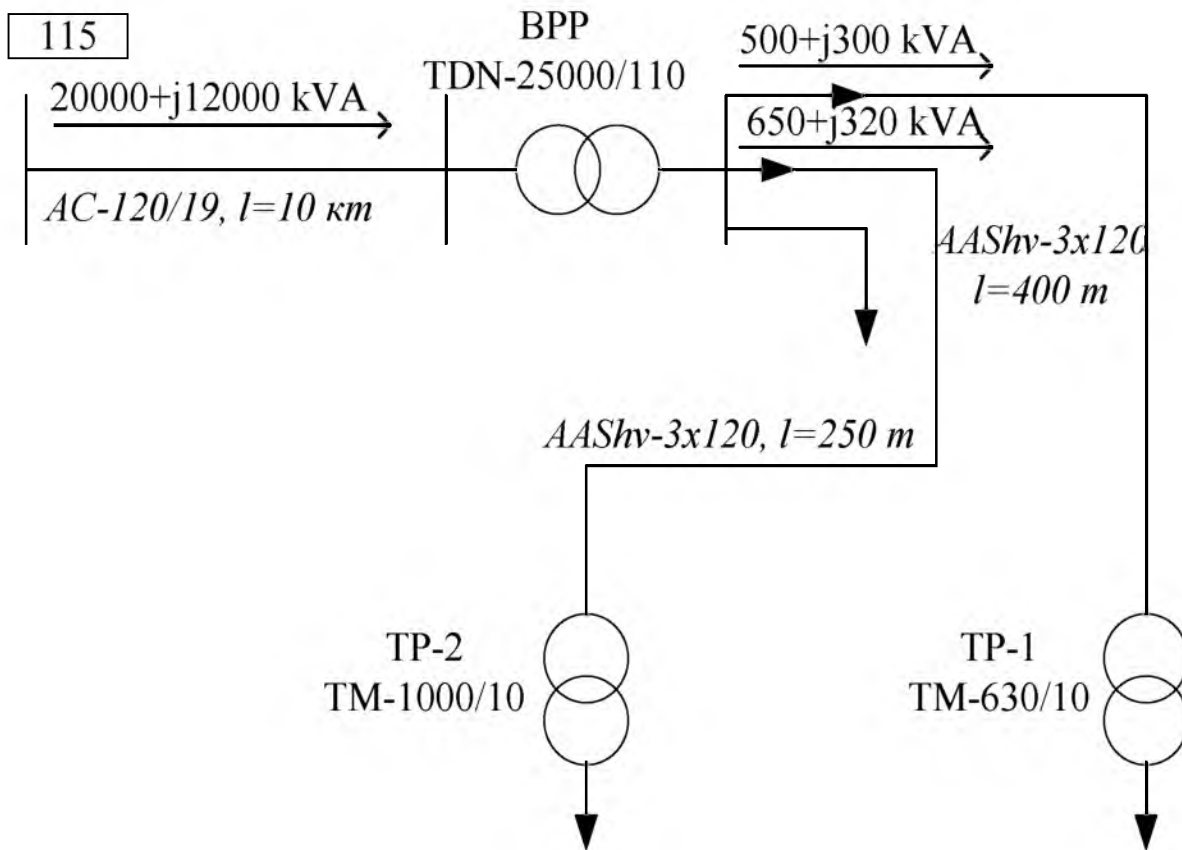
1.2-misol. (310+j320) kVA yuklamani ta'minlaydigan liniyadan tashkil topgan ($R_l=1,2 \text{ Om}$ $X_l=3,2 \text{ Om}$) tarmoq va TM-400/10 turli transformatorida ($R_T=3,5 \text{ Om}$; $X_T=11,1 \text{ Om}$) quvvat isrofini kamaytirish uchun $Q_{KB}=300 \text{ kVAr}$ quvvatli kondensator batareya o'rnatilgan. Maksimal yuklamada kondensator batareya ulanganda, transformator shoxobchasini tanlash kerakki, transformatorni PK shinasida $0 \leq V_{OI} \leq 5\%$ ta'minlansin. Sutka davomida ($\beta_1=1$; $\beta_2=0,8$; $\beta_3=0,5$; $\beta_4=0,3$;) yuklama o'zgarganida va tegishli ta'minlash markazdagi kuchlanish og'ishida ($V_{N1}=-4\%$; $V_{N2}=-1\%$; $V_{N3}=0\%$; $V_{N3}=2\%$) transformator PK shinasida kuchlanishning og'ishi tegishli oraliqda bo'lishini ta'minlash uchun kondensator batareyasi quvvatini qanday rostlashni aniqlang.

1.3-misol. Qarama-qarshi rostlash amalga oshirilgan rayon podstansiyasidan korxonaning bosh pasaytiruvchi podstansiyasi ta'minlanadi. BPP ta'minlaydigan liniyada maksimal yuklamada kuchlanish yo'qotilishi: $\Delta U^I_L=7\%$, minimalda: $\Delta U^{II}_L=2,5\%$. Ushbu podstansiya transformatorida kuchlanish yo'qotilishi maksimal yuklamada: $\Delta U^I_{TR}=5,2\%$, minimalda: $\Delta U^{II}_{TR}=1,8\%$. BPP ning shinasida qarama-qarshi rostlashni ta'minlash uchun TDN-16000/110 transformatori qaysi shoxobchada ishlashi kerak.

1.4-misol. Korxonaning bosh pasaytiruvchi podstansiyasiga TRDSN-160000/220 markali transformator o'rnatilgan bo'lib, birlamchi chulg'amda kuchlanishning og'ishi maksimal yuklamada: $V^I_l=1\%$, minimal yuklamada: $V^{II}_l=1\%$. Transformatorida kuchlanish yo'qotilishi tegishli: $\Delta U^I_{TR}=5,2\%$, minimalda: $\Delta U^{II}_{TR}=3\%$. Podstansiyada maksimal yuklamada kuchlanishni nominal qiymatdan 10% katta, minimal yuklamada esa nominalga teng holda ushlash kerak. Transformatorning rostlash oralig'ini aniqlang.

1.5-misol. Agar transformatorning YUK shinasida maksimal yuklamada kuchlanishning og'ishi: $V_I^I \leq -4\%$, minimal yuklamada: $V_I^{II} \leq 2\%$, transformatorida kuchlanish og'ishi tegishli: $\Delta U_{TR}^I = 6,5\%$ va $\Delta U_{TR}^{II} = 2,8\%$ bo'lsa, TMN-400/110 markali transformatorida qarama-qarshi rostlashga erishish mumkin.

1.6-misol. Yaqin joylashgan (TP-2) va uzoq joylashgan (TP-1) 0,38 kV shinasiga ulangan iste'molchilar qisqichlaridagi kuchlanish og'ishini ruxsat etilgan oralig'idalgini baholang (1.2-rasm).



1.2-rasm. 1.6-misolni yechish uchun sxema

Nazorat savollari

1. Kuchlanish og'ishi nima?
2. Kuchlanish og'ishi qanday formula bilan topiladi?
3. Kuchlanish isrofiga qaysi parametrlar ta'sir qiladi?

2 - AMALIY MASHG'ULOT

RUXSAT ETILGAN KUCHLANISH TEBRANISHINI BAHOLASH

Kuchlanish tebranishi deb, me'yoriy ish tartibi buzilganda, masalan katta quvvatli elektr motorlari va boshqalar ulanganda qisqa vaqtli kuchlanish o'zgarishiga aytiladi.

Kuchlanishning tebranishi keng ko'lamda kuchlanish o'zgarishi $U=(U_{MAX} - U_{MIN})/U_{NOM}$ va kuchlanishning o'zgarish chastotasi $F=m/T$ bilan tavsiflanadi. Bu yerda, m - kuchlanishning sekundiga 1% dan kam bo'lmagan o'zgarish tezligida, T - vaqt oralig'ida o'zgarishlar soni.

Ko'rsatkichlarning me'yoriy chegaradan chiqishining asosiy sabablari, quvvatning (asosan reaktiv quvvat) keskin o'zgarishi bilan bog'liq tez o'zgaruvchan ish tartibli elektr iste'molchilarni ishlatishdir. Kuchlanish tebranishini yuzaga keltiruvchi eng ko'p tarqalgan elektr iste'molchilari quyidagilar:

- Tortuvchi podstantsiyalar;
- Prokat stanlarini o'zgaruvchan yuritmalari;
- Yoyli po'lat erituvchi pechlar;
- Payvandlash qurilmalari;
- Elektroliz qurilmalari.

0,38 kV kuchlanishli elektr tarmoqlarida ulanish nuqtalaridagi ruxsatlangan kuchlanishning chegaraviy nominaldan o'zgarishi $\pm 10\%$ ga teng.

Zarbali tez o'zgaruvchan yuklama bo'lgan iste'molchilar kuchlanishining keng ko'lamda o'zgarishini hisoblashda quvvat yoki tok liniyalari qonun asosida bir xil tezlikda o'sadi yoki kamayadi deb hisoblanadi. Sanoat chastotasida kuchlanish o'zgarishining davom etish oralig'i o'tkinchi jarayonlar vaqtidan kam bo'lmaydi, deb qabul qilinadi.

Tarmoqda kuchlanishning keng tebranish qiymati quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$\sigma U_t = \frac{\Delta P * r + \Delta Q * x}{U} \quad (2.1)$$

Bu yerda, ΔP , ΔQ - yuklama o'zgargandagi eng katta va oldingi tartibdagi qiymat orasidagi farq bilan aniqlanadigan aktiv va reaktiv quvvatlarning keng tebranishi; r , x - tarmoqning aktiv va reaktiv qarshiliklari; U - elektr energiya iste'molchisi ulangan tarmoq tugunidagi kuchlanish.

Shuningdek, $\frac{\Delta P^* r}{U} \ll \frac{\Delta Q^* x}{U}$ bo'lganida $\delta U_t = \frac{\Delta Q^* x}{U}$.

$$\text{Foiz hisobida } \delta U_t = \frac{\Delta Q^* x}{U^2} * 100\% \text{ yoki } \delta U_t = \frac{\Delta Q}{S_{QT}} * 100\% \quad (2.2)$$

bu yerda, S_{QT} - tez o'zgaruvchan yuklama ulangan joydagi qisqa tutashuv quvvati.

Yoyli po'lat erituvchi pechlar uchun kuchlanishning keng tebranishi quyidagi munosabatdan aniqlanadi:

bir dona pech uchun

$$\delta U_t = \frac{S_{PT}}{S_{QT}} * 100\% \quad (2.3)$$

bu yerda, S_{PT} - pech transformator quvvati, S_{QT} - yoyli po'lat pechlari ulangan joydagi qisqa tutashuv quvvati.

Bir xil quvvatli bir nechta pechlar uchun

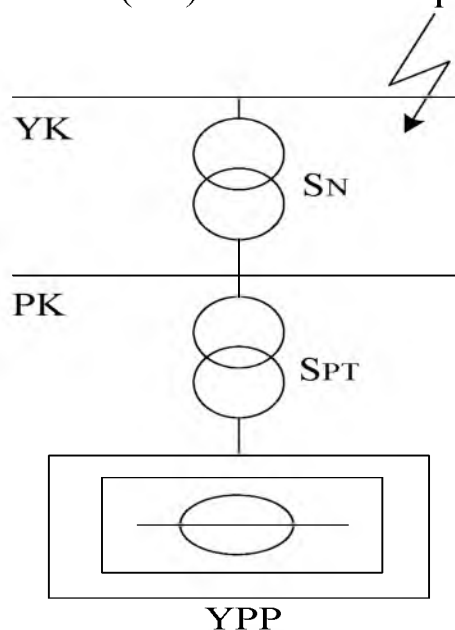
$$\delta U_t = \frac{S_{PT}}{S_{QT}} \sqrt[4]{N} * 100\% \quad (2.4)$$

bu yerda, N – bir xil quvvatli pechlar soni:

Har xil quvvatli bir nechta pechlar uchun

$$\delta U_t = \frac{S_{PT.MAX}}{S} \sqrt[4]{\frac{\sum_{i=0}^n S_{PTi}}{S_{PT.MAX}}} * 100\% \quad (2.5)$$

2.1-rasmdagi pechning ulanish sxemasida YK shinasida kuchlanishning keng tebranishi (2.5) ifodadan aniqlanadi.



2.1-rasm. Yoyli po'lat pechining ulanish sxemasi

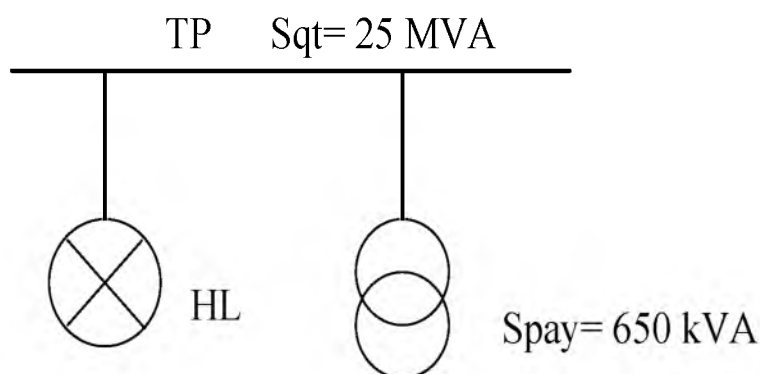
$$\sigma U_t = \frac{S_{PT}}{S_q} * \left(1 + \frac{S_{kq.t..T}}{S_{T.nom}} * \frac{U_k}{100}\right) * 100\% \quad (2.6)$$

O'rnatilgan talablarga asosan yoritish qurilmalari uchun ruxsatlangan kuchlanish tebranish kengligining to'g'ri kelishini tekshirish uchun quyidagi tengsizlik bajarilishi kerak:

$$\sum_{i=0}^n \Delta t_{di} \leq T$$

T – kuzatilayotgan umumiy tebranish vaqti; Δt_{di} - tebranish amplitudalari orasidagi eng kichik ruxsatlangan vaqt oralig'i.

2.1-misol. 2.2-rasmda ko'rsatilgan tarmoqdagi kuchlanish tebranishini baholang.



2.2-rasm. Kuchlanishning tebranishi

Payvandlashning ishlash vaqti $T_p=3$ daqiqa. Bunda kuchlanish $m=120$ marta tebranadi. Hisobiy kuchlanishning tebranish kengligi:

$$\sigma U_{tp} = \frac{S_{nay}}{S_{qt}} = \frac{0,65}{25} * 100\% = 2,6\%.$$

Kuchlanishning tebranish chastotasi teng: $F = \frac{m}{T_p} = \frac{120}{3} = 40 \text{ daqiqa}^{-1}.$

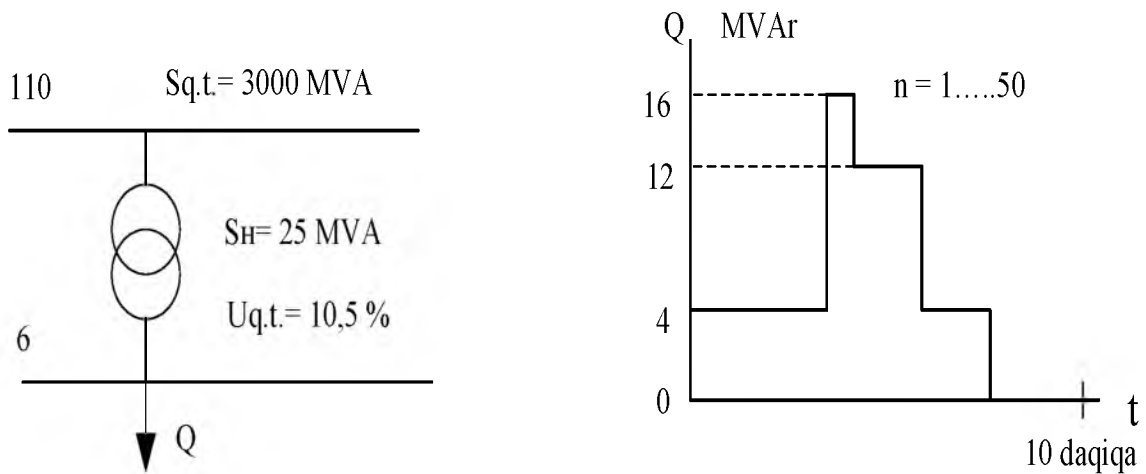
Chastotaga bog'liq kuchlanishning qayta o'zgarishini ruxsatlangan kuchlanishning tebranish egri chiziqlaridan ruxsatlangan kuchlanish tebranish kengligini aniqlaymiz. $\sigma U_{t.rux}=0,9 \%$.

$\sigma U_{t.rux} < \sigma U_{tp}$ - $0,9 < 2,6$ - ruxsat etilmagan tebranish.

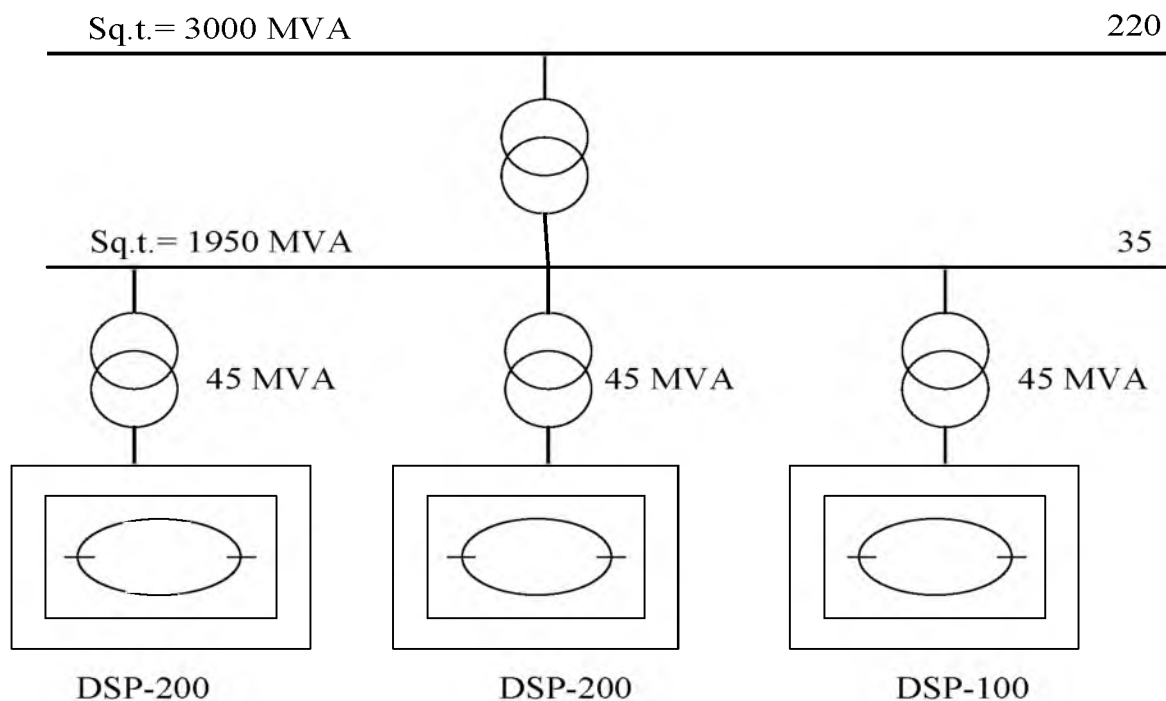
Mustaqil yechish uchun misollar

Kuchlanish tebranishini aniqlash uchun misollar.

2.1-misol. Tez o'zgaruvchan yuklama ulangan (2.4-rasm) podstantsiyaning 6 kV li shinasida (2.3-rasm) kuchlanish tebranishining ruxsat etilishini baholang. 10 daqiqa ichida kuchlanishning tebranishlar soni $n=50$.



2.3-rasm. Ulanish sxemasi 2.4-rasm. Yuklamalarning o'zgarish grafigi



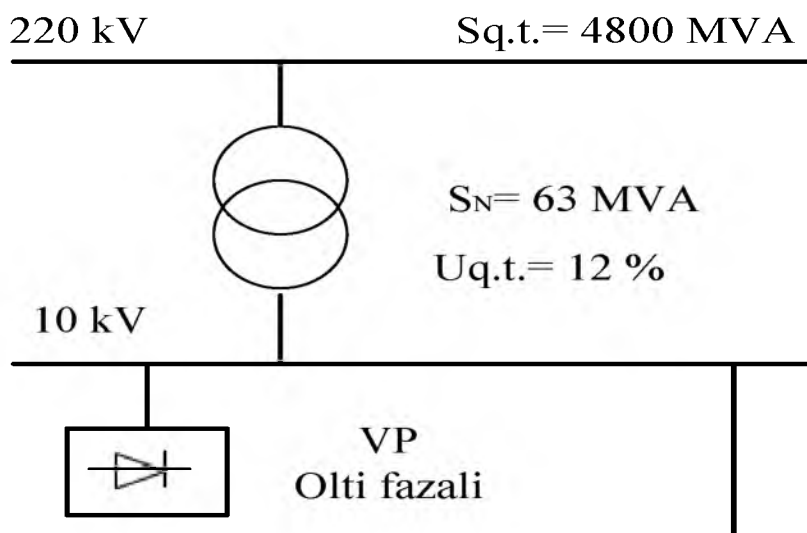
2.5-rasm. DSP larning ulanish sxemasi

2.2-misol. 35 va 220 kV shinalarda kuchlanish tebranishi mumkinligini aniqlang (2.5-rasm).

- A. Hamma pechlar.
- B. Bitta DSP-200.
- C. Bitta DSP-100.

Erish oralig'i 10 daqiqa. Kuchlanish tebranishi soniya ichida 0,4 marta.

2.3-misol. Agar $\delta U_{rux}=2\%$, reaktiv quvvatning o'zgarish oralig'i $\Delta Q_{max}=10$ MVar, bo'lsa, ventilli o'zgartirgich ishlaganida 10 kV li shinada kuchlanish tebranishi mumkinligini aniqlang (2.6-rasm).



2.6-rasm. Hisoblash sxemasi

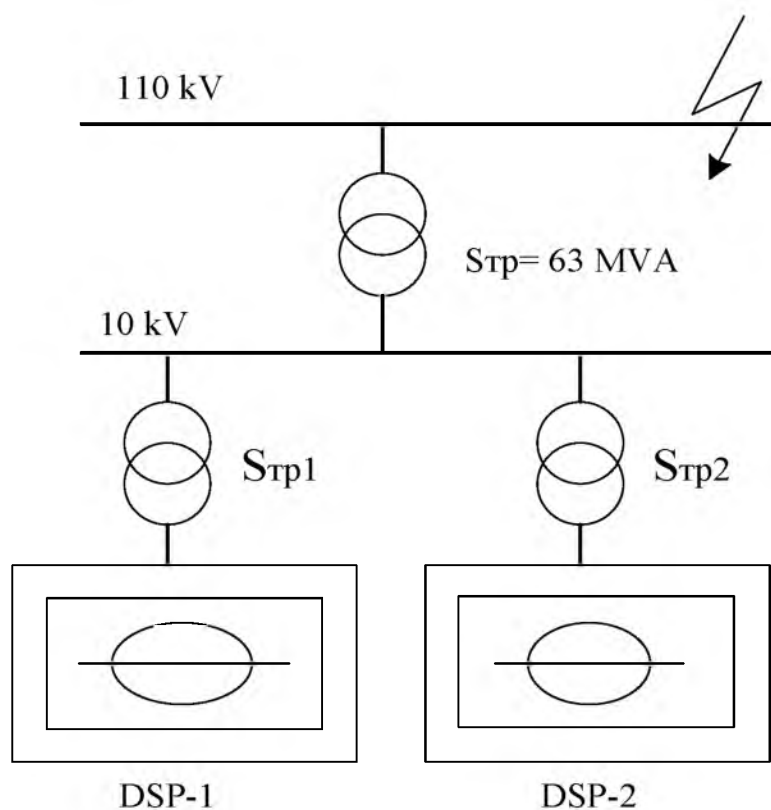
2.4-misol. 25 daqiqa ichida tarmoqda kuchlanishning 3% amplitudali 25 tebranishi, 2% amplitudali 30 tebranishi va 2,5% amplitudali 120 tebranishi kuzatildi. Ushbu tarmoqdan kommunal-maishiy iste'molchilarni bir fazalikda ta'minlanish mumkinligini baholang.

2.5-misol. 2.7-rasmda ko'rsatilgan podstansiyaning YUK va PK shinalaridagi kuchlanish tebranishini baholang.

1. Bitta DSP-1 pechi ishlaganda.
2. Ikkala DSP-1 va DSP-2 pechlari ishlaganda.

Metalning erish vaqti (TR) - 10 daq. Pech transformatorlarining quvvati $S_{TP1}=25$ MVA va $S_{TP2}=12$ MVA. Soniya ichida kuchlanishning

tebranish chastotasi $N=0,8$ marta, ta'minlovchi tarmoq uchun QT quvvati $S_{QT}=1500$ MVA.



2.7-rasm. DSP-1, DSP-2 ulanish sxemasi

Nazorat savollari

1. Kuchlanish tebranishi deb nimaga aytiladi?
2. Kuchlanish tebranishini yuzaga keltiruvchi iste'molchilar?
3. Yoyli po'lat erituvchi pechlar uchun kuchlanishning tebranishi?

3 - AMALIY MASHG'ULOT

KUCHLANISH NOSINUSOIDALLIGINI HISOBLASH

Kuchlanish egri chizig'i shakli sinusoidasining buzilish koeffitsiyentini hisoblash va uni ruxsatlangan qiymatini baholash.

Tarmoqqa nochiziqli elektr energiya iste'molchilari ulanishidan yuqori garmonika toklari yuzaga keladi. Yuqori garmonika toklarining tarmoq elementlaridan oqishidan ushbu element qarshiliklarida kuchlanish pasayishini yuzaga keltiradi, u esa asosiy kuchlanish sinusoidasi ustiga tushib, kuchlanish egri chizig'i shaklining buzilishiga olib keladi. Tarmoq kuchlanishining nosinusoidali kuchlanish egri chizig'i sinusoida shaklini buzilish koeffitsiyenti bilan tavsiflanadi.

Tarmoq kuchlanishining nosinusoidalligini yuzaga keltiruvchi eng ko'p tarqalgan elektr iste'molchilari:

- ventilli o'zgartgichlar;
- yoyli elektr pechlari;
- razryad lampalari;
- yoyli elektr payvandlash qurilmalari.

Kuchlanish sinusoida shaklining buzilish koeffitsiyenti quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$K_V = \frac{\sum_{v=2}^{\infty} U_v^2}{U_I^2} * 100\% \approx \frac{\sum_{v=2}^{\infty} U_v^2}{U_{NOM}^2} * 100\% \quad (3.1)$$

bu yerda, $U_I = \frac{U_N}{\sqrt{3}}$ tarmoqning nominal faza kuchlanishi ($f=50$ Hz da birinchi garmonika kuchlanishi); U_v - $v_{n.chi}$ garmonika kuchlanishi; v - garmonika raqami.

Garmonikaning miqdori va soni nochiziqli yuklamaning ko'rinishiga bog'liq. 6 fazali ventilli to'g'rilagich sxema o'zgartgichlari uchun 5,7,11,13; 12 fazali sxema to'g'rilagichlari uchun 11,13,23,25 garmonika hisobga olinadi. Undan ham yuqori tartibi (sonlari) quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$v=kp \pm 1 \quad (3.2)$$

Bunda, p – o'zgartgich fazalari soni; k – sonlar ketma-ketligi.

Yoyli po'lat eritish pechlari uchun 2, 3, 4, 5, 6, 7 va razryadli lampalar uchun 3, 5 garmonikalar hisobga olinadi. Sinusoidaning buzilish koeffitsiyentini baholashda kuchlanish o'zgarishi 0,1% dan

oshmasa, garmonikalar hisobga olinmaydi. Kuchlanish egri chizig'i sinusoida buzilishining ruxsatlangan qiymatlari 3.1-jadvalda keltirilgan.

3.1-jadval

U_N tarmoq kuchlanishi kV da me'yoriy ruxsatlangan qiymat				U_N tarmoq kuchlanishi kV da chegaraviy ruxsatlangan qiymat			
0,38	6-20	35	110-330	0,38	6-20	35	110-330
8,0	5,0	4,0	2,0	12,0	8,0	6,0	3,0

Kuchlanish egri chizig'ining sinusoida buzilish koeffitsiyentini hisoblashda nochiziqli yuklamani ν -garmonikali tokni generatsiya qiladigan element deb hisobga olinadi va har bir garmonikaning tartib raqamiga asosan o'zgaradigan parametrlil almashtiruv sxemasi olib boriladi. Bunda ν -garmonika uchun almashtiruv sxemasi elementlarining qarshiligi quyidagi ifodalardan aniqlanadi:

$$\text{Transformatorning qarshiligi: } X_{T(\nu)} = \nu \frac{U_k \%}{100} * \frac{U_N^2}{S_{NT}} \quad (3.3)$$

$$\text{Motorning qarshiligi: } X_{mot(\nu)} = \nu * X_{mot} \quad (3.4)$$

$$\text{Tizimning qarshiligi: } X_{tiz(\nu)} = \nu \frac{U_N^2}{S_{kt}} \quad (3.5)$$

$$\text{Reaktorning qarshiligi: } X_{p(\nu)} = \nu * X_p \quad (3.6)$$

$$\text{Kondensator batareyalari qarshiligi: } X_{kb(\nu)} = - \frac{U_N^2}{\nu Q_{PKB}} \quad (3.7)$$

$$\text{Yuklama qarshiligi: } Z_{yu(\nu)} = (0,18 + j0,24\nu) * \frac{U_N^2}{S_{yu}} \quad (3.8)$$

$$\text{EUL qarshiligi } Z_{L(\nu)} = (r_0 + j\nu x_0) * l \quad (3.9)$$

$$\nu\text{-garmonika kuchlanishi: } U_\nu = I_{(\nu)} * X_{(\nu)} \quad (3.10)$$

Bu yerda, $I_{(v)}$ - $v_{n.chi}$ garmonikaning tokli yuklamasi.

$X_{(v)-v_{n.chi}}$ garmonikaning almashtiruv sxemasining qarshiligi yoyli po'lat erituvchi pechlarni (YPEP) $v_{n.chi}$ garmonikaning tokli yuklamasi quyidagi ifodadan aniqlanadi.

Bir dona pech uchun:

$$I_{(v)} = \frac{I_{pt}}{v} \quad (3.11)$$

bu yerda, I_{pt} - pech transformatorning nominal toki;

v - garmonikaning raqam soni.

Bir xil quvvatli pechlar guruhi uchun:

$$I_{(v)guruh} = I_{(v)} * \sqrt[4]{N} \quad (3.12)$$

N-bir xil quvvatli pechlar soni;

Har xil quvvatli pechlar uchun

$$I_{(v)gur} = I_{(v)max} * \sqrt[4]{\frac{\sum_{i=1}^n S_{p.t.y}}{S_{pt.max}}} \quad (3.13)$$

O'zgaruvchan tokli yoyli va kontaktli payvandlash qurilmalari uchun v - garmonikali tok yuklamasi quyidagi ifodalardan aniqlanadi:

Bir dona payvandlash qurilmasi uchun:

$$I_{(v)} = \frac{S_{\tau} * K_{yu} * \sqrt{Q * U}}{v^2 * U_{NOM}} \quad (3.14)$$

bu yerda, S_T - payvandlash transformatorining quvvati;

K_{yu} - transformatorning yuklanish koeffitsiyenti; v - garmonika raqami.

Payvandlash qurilmalari guruhi uchun:

$$I_{(v)gur} = \sqrt{\sum_{i=1}^N I_{(v)i}^2} \quad (3.15)$$

bu yerda, N - payvandlash qurilmalarining soni; $I_{(v)i}$ - $i_{n.chi}$ qurilma uchun $v_{n.chi}$ garmonikaning nominal toki.

O'zgaruvchan tokli yoyli payvandlash uchun 5, 7, 11-garmonikalar hisobga olinadi.

$$I_{(v)} = \frac{I_{pay}}{v^2} \quad (3.16)$$

bu yerda, I_{pay} - payvandlash qurilmasining birlamchi toki.

Payvandlash qurilmalari guruhi uchun

$$I_{(v)guruh} = \sqrt{\sum_{i=1}^N I_{(v)i}^2} \quad (3.17)$$

bu yerda, N - payvandlash qurilmalarining soni.

Kondensator batareyalarini yuqori garmonikali tarmoqda ishlash mumkinligini tekshirishda, KB dan o'tayotgan hamma garmonikalarning ekvivalent toki KB ning ruxsatlangan tokidan oshmasligi kerak.

$$I_{(EIV)KB} \leq I_{ruxKB} \quad (3.18)$$

bu yerda, $I_{(EIV)KB} = \sqrt{\sum_{i=1}^v I_{(v)KB}^2}$

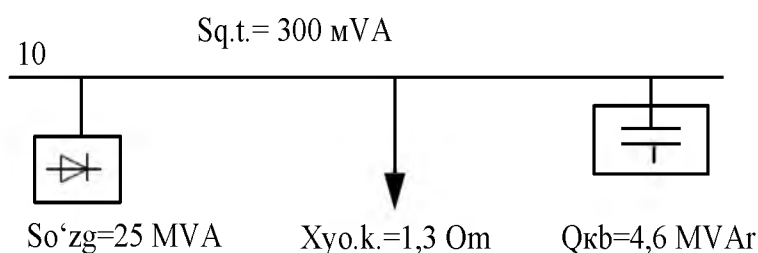
$I_{rux} = 1,3 * I_{Nom.KB}$ - kondensator batareyasining nominal toki.

Induktivli va sig'imga ega bo'lgan tarmoqda tokli rezonansi bo'lishi mumkin.

$$vX_{\varepsilon(L)} = \frac{X_{\varepsilon(c)}}{v} \quad (3.19)$$

bundan, tok rezonansi mumkin bo'lgan v garmonika raqami aniqlanadi.

3.1-misol. 3.1-rasmda ko'rsatilgan olti fazali ventilli o'zgartirgich va yuklamaning birga ishlashi mumkinligini baholang.

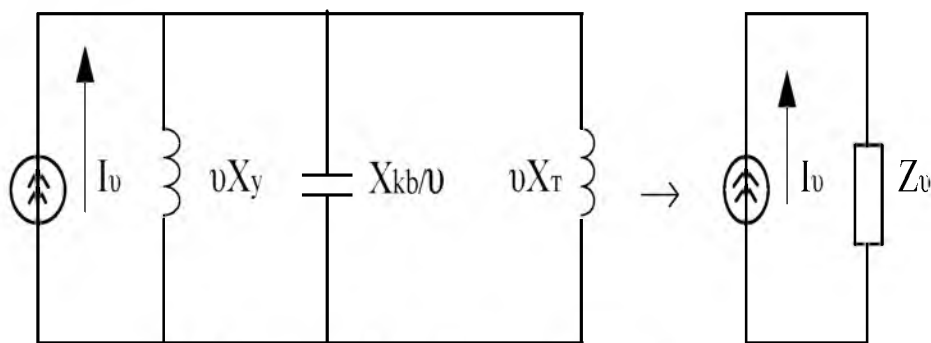


3.1-rasm. Ventilli o'zgartirgich va yuklamaning birgalikda ishlashi

Ushbu sxema uchun kuchlanish egri chizig'i shakli sinusoidasining buzilish koeffitsiyentining me'yoriy ruxsatlangan qiymati $K_U=5\%$.

Ventilli o'zgartirgich 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23 garmonikalarni generatsiya qiladi. Faqat 5, 7 va 11 ni hisobga olamiz.

Tarmoqning almashtiruv sxemasi 3.2-rasmda ko'rsatilgan.



3.2-rasm. Almashtiruv sxemasi

Almashtiruv sxemasi parametrlari: $X_{yu}=1,30 \text{ Om}$;

$$X_{KB} = \frac{U_N^2}{Q_{KB}} = \frac{6^2}{4,6} = 7,826 \text{ Om}; \quad X_{Tz} = \frac{U_N^2}{S_{qt}} = \frac{6^2}{300} = 0,12 \text{ Om}.$$

v -garmonika ($v \leq 13$) uchun faza tokining qiymatini formuladan aniqlaymiz:

$$I_v = \frac{S_{o'zg}}{\sqrt{3} U_N * v} \quad (3.20)$$

$$I_5 = \frac{25}{\sqrt{3} * 6 * 5} = 0,481 \text{ kA}; \quad I_7 = 0,343 \text{ kA}; \quad I_{11} = 0,218 \text{ kA}.$$

5-garmonika uchun tarmoqning to'liq qarshiligini aniqlaymiz:

$$Z_5 = \frac{5X_{yu} * (-\frac{X_{KB}}{5} * 5X_{Tz}) / (-\frac{X_{KB}}{5} + 5X_{Tz})}{5X_{yu} + (-\frac{X_{KB}}{5}) / (-\frac{X_{KB}}{5} * 5X_{Tz})}$$

$$Z_5 = \frac{5 * 1,3 * (-\frac{7,826}{5} * 5 * 0,12) / (-\frac{7,826}{5} + 5 * 0,12)}{5 * 1,3 + (-\frac{7,826}{5}) / (-\frac{7,826}{5} * 5 * 0,12)} = 0,848 \text{ Om}.$$

Xuddi shunga o'xshab tarmoqning 7- va 11- garmonikalari uchun to'liq qarshiliklarini aniqlaymiz:

$$Z_7 = 2,482 \text{ Om}; \quad Z_{11} = 1,716 \text{ Om}.$$

Kuchlanishning $v_{n.chi}$ tarkibiy qismining qiymati:

$$U_5 = I_5 * Z_5 = 0,481 * 0,848 = 0,408 \text{ kV}; \quad U_7 = 0,851 \text{ kV}; \quad U_{11} = 0,374 \text{ kV}.$$

Kuchlanish egri chizig'i shaklining sinusoidadan og'ish koeffitsiyentining qiymati:

$$K_U = \frac{\sqrt{U_5^2 + U_7^2 + U_{11}^2}}{\frac{U_{NOM}}{\sqrt{3}}} * 100\% = \frac{\sqrt{0,408^2 + 0,851^2 + 0,374^2}}{6 / \sqrt{3}} * 100\% = 29,3\%$$

$K_U \leq K_{U,rux}$ yuklama bilan ventilli o'zgartigichlarning birgalikda ishlashi mumkin emas.

3.2-misol. Elektrolizli ishlab chiqarishni ta'minlaydigan podstantsiya uchun filtrli kompensatsiya qurilmalarini tanlang. Dastlabki ma'lumotlar: Q.T. quvvati 185 MVA, 12-ventilli o'zgartgich quvvati 15

MVA; $U_{nom}=10,5\text{kV}$, reaktiv quvvatning me'yoriy qiymati $Q_{me'yor}=3,1\text{MVar}$; $K_{U(II)}=5,8\%$; $K_{v(13)}=4,3\%$; $K_U=7,3\%$ kondensatorning nominal kuchlanishi $U_{N.KB}=6,6\text{kV}$.

Yechish. O'zgartirgichlarning yuqori garmonika toklari:

$$I_{II} = \frac{S_{o'zg}}{\sqrt{3}U_N * v} = \frac{15000}{\sqrt{3} * 10,5 * 11} = 75\text{A}; \quad I_{13} = 63\text{A}.$$

Qurilmaga 11-garmonika chastotasiga to'g'rilangan bir dona FKQ ni qabul qilamiz. KB quvvatining reaktiv qurilma me'yoriy qiymatiga teng holda qabul qilamiz:

$$Q_r = 3,1\text{MVar}; \quad K_r = \frac{3,1}{217} = 1,42 * 10^{-2}$$

FKQ orqali oqayotgan 13-garmonika ulushini aniqlaymiz:

$$G_{13} = \frac{1}{\frac{1}{K_p * 10^{-2} * v_{11}^2} * [1 - (\frac{v_{11}}{v_{13}})^2] + 1} = \frac{1}{\frac{1}{1,42 * 10^{-2} * 11^2} * [1 - (\frac{11}{13})^2] + 1} = 0,88$$

KB tarmog'idagi yuqori garmonika toki:

$$I_{v\Sigma} = \sqrt{I_{vII}^2 + (I_{v13} * G_{13})} = \sqrt{75^2 + (63 * 0,88)} = 93\text{A}$$

FKQning KB uch fazali minimal quvvati $Q_r=3*1,2I_{v\Sigma}*U_{N.KB}=3*42*93*6,6=2210\text{kVar}<3100\text{kVar}$ bu esa KB ning ruxsatlangan o'rnatilgan quvvatini tasdiqlaydi.

FKQ ni 11-va 13-garmonikalariga o'rnatilgan filtrning KB quvvati: $3*(1,2*U_{N.KB}*I_{v11}+1,2*U_{N.KB}*I_{v12})=3*(1,2*6,6*75+1,2*6,6*63)=3279\text{kVar}>3100\text{kVar}$, ya'ni reaktiv quvvatning me'yoriy qiymatidan ancha katta.

12-garmonikali FKQning $K_r=1,42*10^2$, 11- va 13- garmonika toklari bilan yuklangan bo'ladi.

$$G_{13} = \frac{1}{\frac{1}{1,42*10^{-2}*12^2} * \left[1 - \left(\frac{12}{11}\right)^2\right] + 1} = 1,13,$$

$$G_{13} = \frac{1}{\frac{1}{1,42*10^{-2}*11^2} * \left[1 - \left(\frac{12}{13}\right)^2\right] + 1} = 0,96.$$

FKQ orqali o'tadigan yuqori garmonika toklari:

$$I_{v\Sigma} = \sqrt{(75 * 1.13) + (63 * 0.96)} = 104 \text{ A}$$

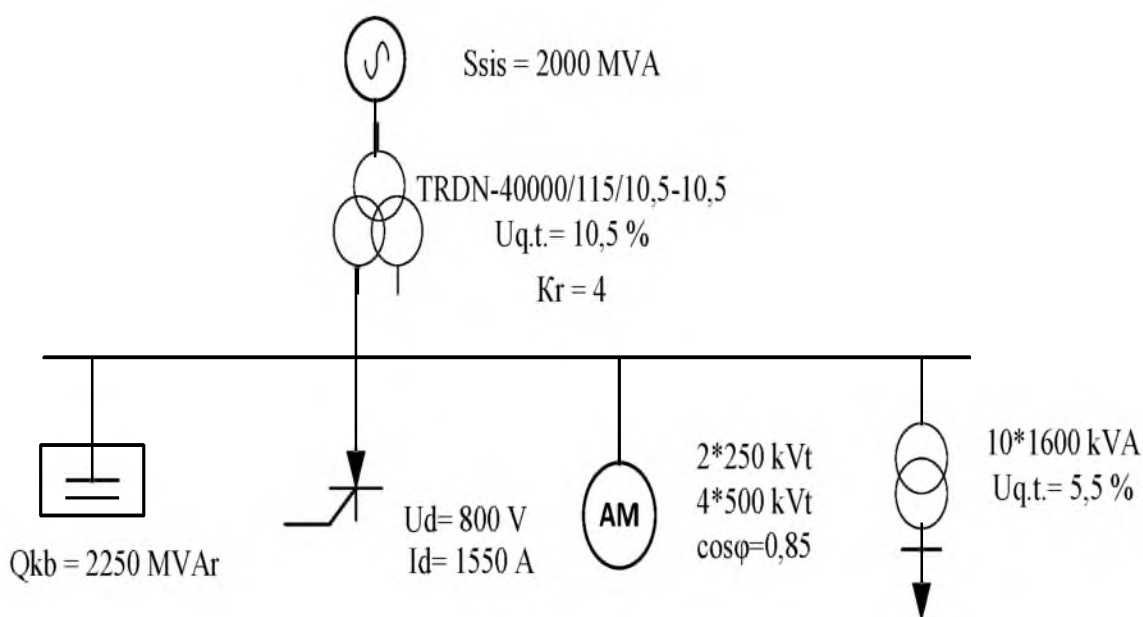
FKQ ni KB sining minimal quvvati:

$$Q_r = 3 * 1,2 * 104 * 6,6 = 2474 \text{ kVAr} < 3100 \text{ kVAr}$$

Shunday qilib, 12-garmonika chastotasiga to'g'rilangan FKQ ni o'rnatish mumkin. 11-garmonikali FKQ o'rnatish varianti afzal, chunki KB ning tok bo'yicha yuklanishi $(104/93-1)*100*12\%$ ga kam, harorat tartibi va ishlatish vaqti bo'yicha yaxshi natijalar beradi.

Mustaqil yechish uchun misollar

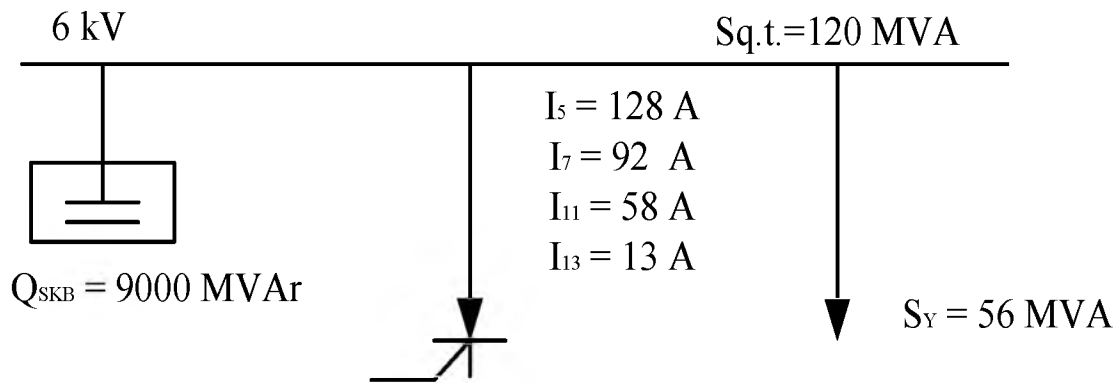
Yuqori garmonikani aniqlash uchun misollar



3.3-rasm. Garmonika raqamini aniqlash uchun sxema

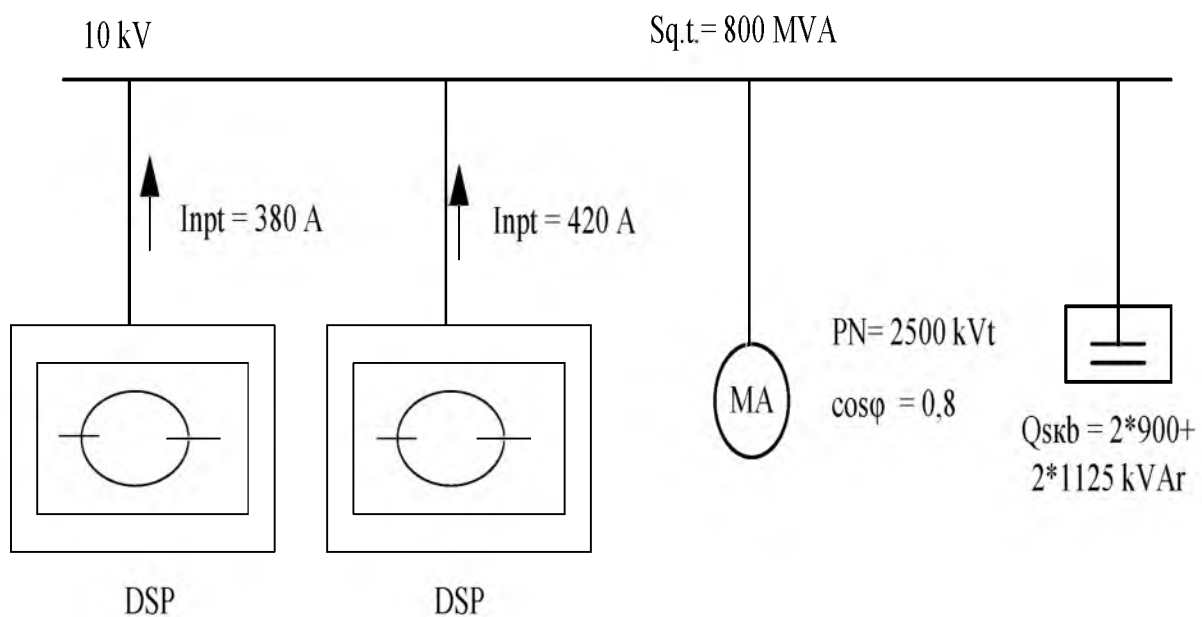
3.1-misol. 3.3-rasmda keltirilgan sxema uchun tok rezonansi bo'ladigan garmonika raqamini, kuchlanish egri chizig'i sinusoida shaklining buzilish koeffitsiyentini aniqlang.

3.2-misol. 3.4-rasmda keltirilgan sxema uchun yuqori garmonika darajasini hisoblash uchun almashtiruv sxemasini tuzing, TP shinasidagi K_U ni aniqlang va SKB ning ulangan va uzilgan holatida TP shinasidan S_{YUK} yuklamasining ishlashi mumkinligiga xulosa keltiring.



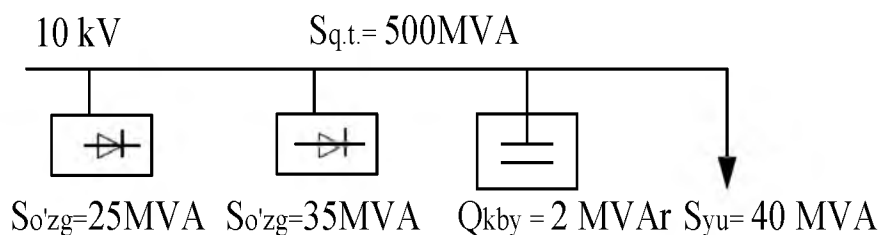
3.4-rasm. Yuqori garmonika darajalarini hisoblash uchun sxema

3.3-misol. 3.5-rasmda keltirilgan sxema uchun kuchlanish egri chizig'i sinusoidasi shakli buzilishini baholang va rezonansi bo'lishi mumkin bo'lgan garmonika raqamini aniqlang. TP-10 kV shinasiga ulangan SKB tok bo'yicha o'ta yuklanishiga tekshiring.



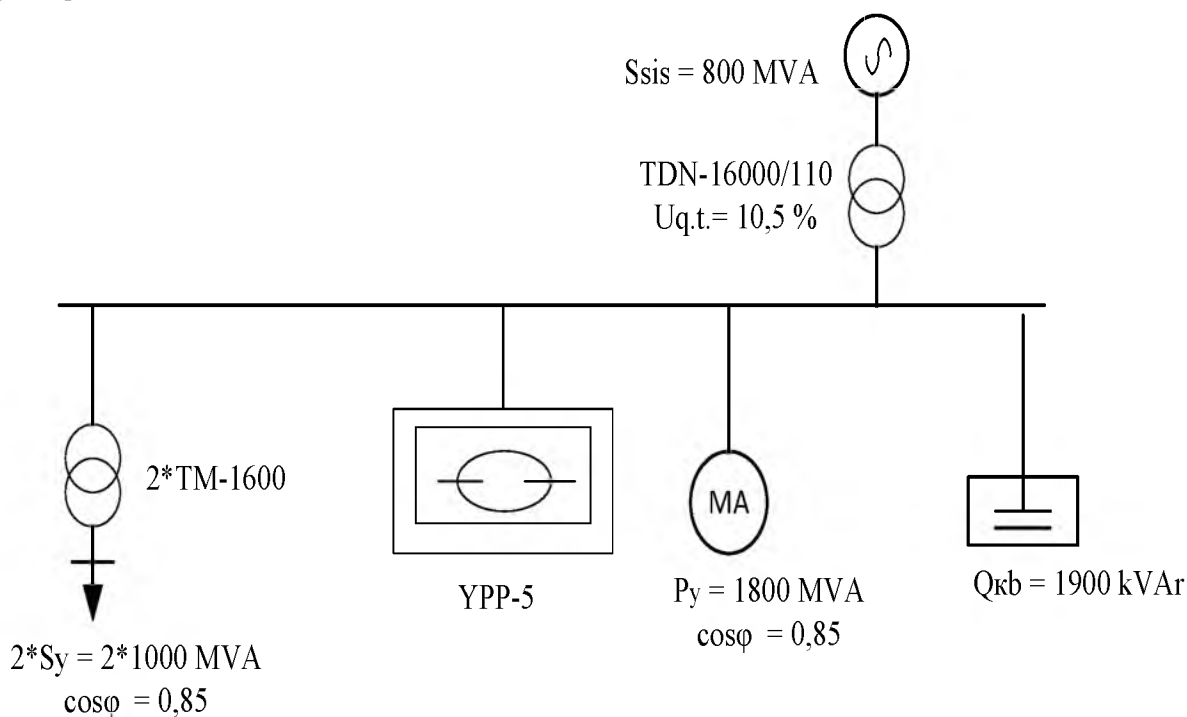
3.5-rasm. Garmonika raqamini hisoblash uchun sxema

3.4-misol. 3.6-rasmda ko'rsatilgan ikkita olti fazali ventilli o'zgartgichlarning TP-10 kV shinadagi yuklamaga ta'sirini baholang. O'zgartgichlar generatsiya qiladigan tok tarkibiga 5, 7, 11, 13-garmonikalar kiradi.



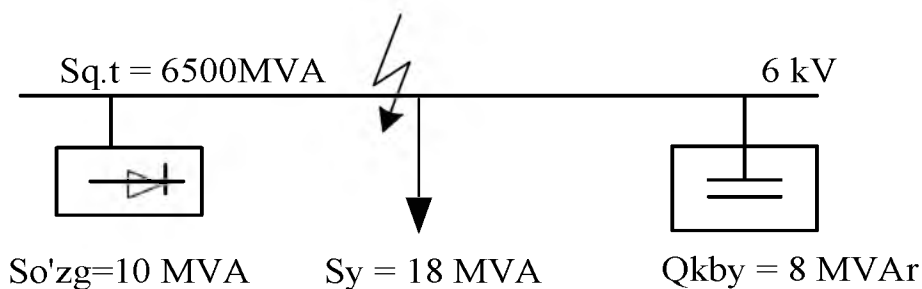
3.6-rasm. Hisoblash uchun sxema

3.5-misol. 3.7-rasmda ko'rsatilgan sxema uchun 10 kVli TP shinasidagi kuchlanish egri chizig'i shaklining buzilish ko'effitsiyentini aniqlang va YOPP (yoyli po'lat eritish pechi) generatsiya qiladigan tok garmonikalari $I_3=10\text{A}$, $I_5=50\text{A}$, $I_7=30\text{A}$ ni tashkil etsa, TP ga $Q_{KB}=1900$ kVar quvvatli kondensator batareyalari ulash mumkinligiga xulosa qiling.



3.7-rasm. Hisoblash uchun sxema

3.6-misol. 3.8-rasmda ko'rsatilgan sxema uchun ventilli o'zgartirgich (olti fazali to'g'rilagich) va yuklamani birgalikda ishlashi mumkinligini baholang. Tok rezonansi mumkin bo'lgan garmonikani aniqlang. Kuchlanish egri chizig'i sinusoidaning buzilish ko'effitsiyentini hisoblashda 5- va 7- garmonikalarni hisobga oling.



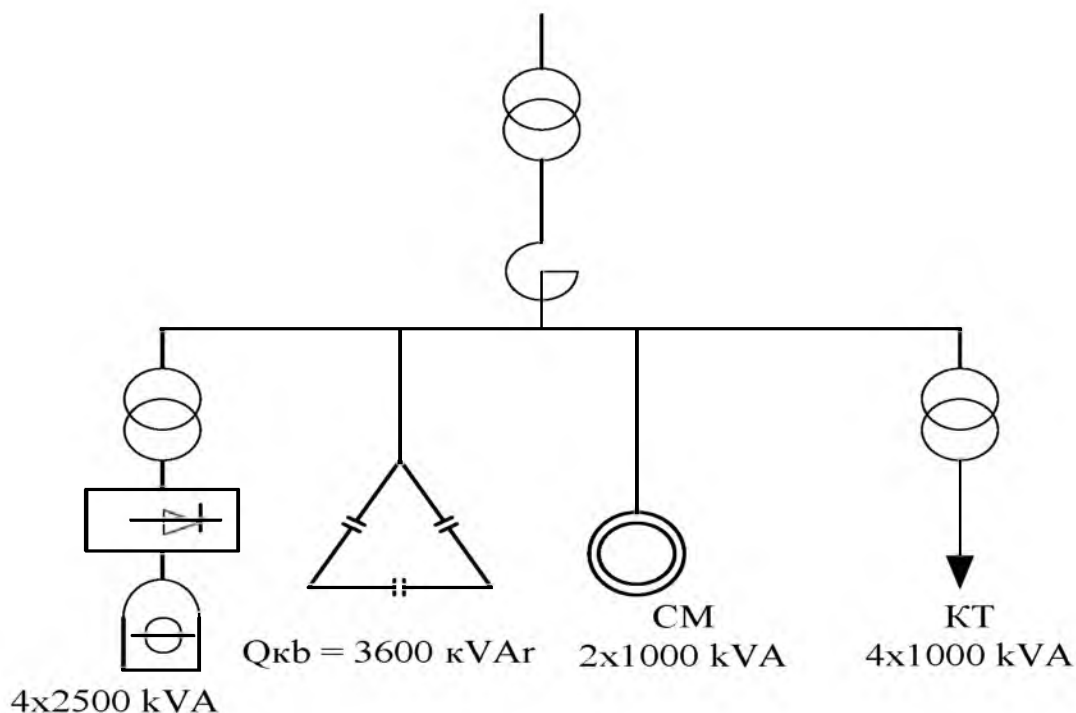
3.8-rasm. Hisoblash uchun sxema

Elektr energiyaning sifat ko'rsatkichlarini hisoblash uchun misollar

3.7-misol. Elektr po'lat eritish sexini ta'minlaydigan podstansiya shinasini seksiyaning teskari ketma-ketlik qarshiligini aniqlang. Podstansiya sxemasi 3.9-rasmda keltirilgan.

Yoyli vakuumli pechning dastlabki ma'lumotlari: $U_1=0,4$; $\cos\varphi_1=0,8$; SM $U_2=5$; $\cos\varphi_2=0,9$ (oldinga o'tgan); KB. $U_3=1$; $\cos\varphi_3=0$; boshqa yuklamalar $U_4=5$; $\cos\varphi_4=0,9$ (U -elementlarning o'tkazuvchanligi).

Yechish: Teskari ketma-ketlik qarshiligi Z_2^* (nominal quvvatga keltirilgan nisbiy birlikda).



3.9-rasm. Podstansiyaning sxemasi

$$Z_2^* = \frac{\sqrt{(4 \cdot 2,5 \cdot 0,8 + 2 \cdot 1 \cdot 0,9 + 4 \cdot 1 \cdot 0,9)^2 + (4 \cdot 2,5 \cdot 0,6 - 3,6 - 2 \cdot 1 \cdot 0,44 + 4 \cdot 1 \cdot 0,44)^2}}{\sqrt{(4 \cdot 2,5 \cdot 0,8 + 2 \cdot 1 \cdot 0,6 \cdot 5 + 4 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 5)^2 + (4 \cdot 2,5 \cdot 0,6 \cdot 0,4 - 3,6 \cdot 1 - 2 \cdot 1 \cdot 0,44 \cdot 5 + 4 \cdot 1 \cdot 0,44 \cdot 5)^2}} = 0,45 \text{ Om}$$

Teskari ketma-ketlik qarshiligining argumenti:

$$\text{arc}Z_2^* = \frac{4 \cdot 2,5 \cdot 0,6 \cdot 0,4 - 3,6 \cdot 1 - 2 \cdot 1 \cdot 0,44 \cdot 5 + 4 \cdot 1 \cdot 0,44 \cdot 5}{4 \cdot 2,5 \cdot 0,8 \cdot 0,4 + 2 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 5 + 4 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 5} = 6^\circ$$

Ushbu yuklama tuguni uchun to'liq qarshilikning teskari ketma-ketligi:

$$Z_2^* \approx 0,45 \cdot e^{j6^\circ} \approx j0,40 = jx_2$$

3.8-misol. Oldingi misolda ko'rsatilgan podstantsiya ET dan ta'minlanadi. 6 kV li shinadagi QT quvvati $S_{QT}=180$ MVA. Podstansiyaga bir fazali pechning ulanishidan hosil bo'lgan teskari ketma-ketlik toki $I_2=0,2$ A, $X_q^*=1$. E_2 ni aniqlangan.

Yechish. Teskari ketma-ketlikning ekvivalent qarshiligi:

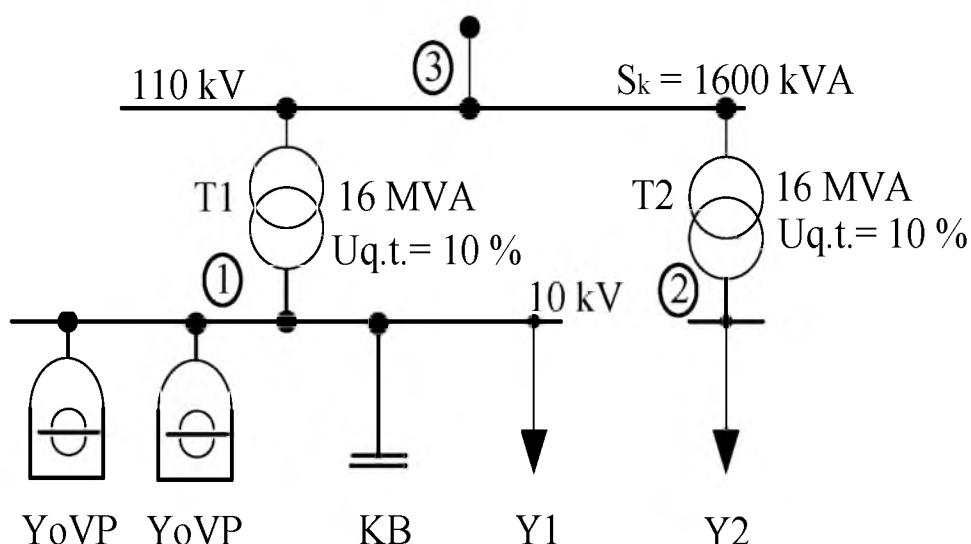
$$x_{2\Sigma}^* = \frac{x_2^* \cdot x_k^*}{x_2^* + x_k^*} = \frac{1 \cdot 0,45}{1,45} = 0,3$$

Nosimmetriya koeffitsiyenti:

$$E = 0,3 \cdot 0,2 = 0,06 = 6\%$$

3.9-misol. 3.10-rasmni 10 kV va 110 kV shinasida E_2 ni aniqlang. 10 kVli shinaning 1-tuguniga EVP ulangan bo'lib, quvvati 6 MVA; $U_1=0,42$; $\cos\varphi_1=0,85$; $Q_{KB}=8$ MVAr; $U_2=1$; $\cos\varphi_2=0$; yuklama quvvati 5 MVA; $U_3=5$; $\cos\varphi_3=0,8$; 2-tugunga 12 MVA li yuklama ulangan, $Z_2^*=0,5+j0,55$. 110 kVli shinada Q.T. quvvati 16 MVA 1-tugunga quvvati 5 MVA li bir fazali shakli qayta eritish pechining ulanishidan teskari ketma-ketlik toki $I_2^*=1,5$ A ni tashkil etadi.

Yechish. 1-tugundagi 10 kVli seksiya shinasining teskari ketma-ketlik qarshiligi.



3.10-rasm. Elektrotermik sexining elektr ta'minot sxemasi

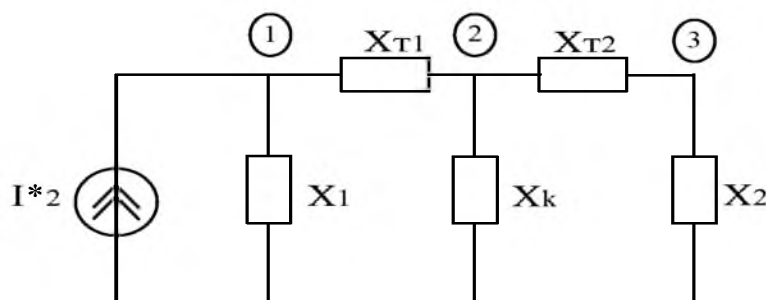
$$|\dot{Z}_2^*| = \frac{\sqrt{(6 \cdot 0,85 + 5 \cdot 0,8)^2 + (6 \cdot 0,53 - 8 \cdot 1 + 5 \cdot 0,6)^2}}{\sqrt{(6 \cdot 0,85 \cdot 0,42 + 5 \cdot 0,8 \cdot 5)^2 + (6 \cdot 0,53 \cdot 0,42 - 8 \cdot 1 \cdot 1 + 5 \cdot 0,6 \cdot 5)^2}} \\ = \frac{\sqrt{9,1^2 + 1,82^2}}{\sqrt{22,14^2 + 8,33^2}} = \frac{9,28}{23,66} = 0,39$$

Z_2^* qarshilikning argumenti:

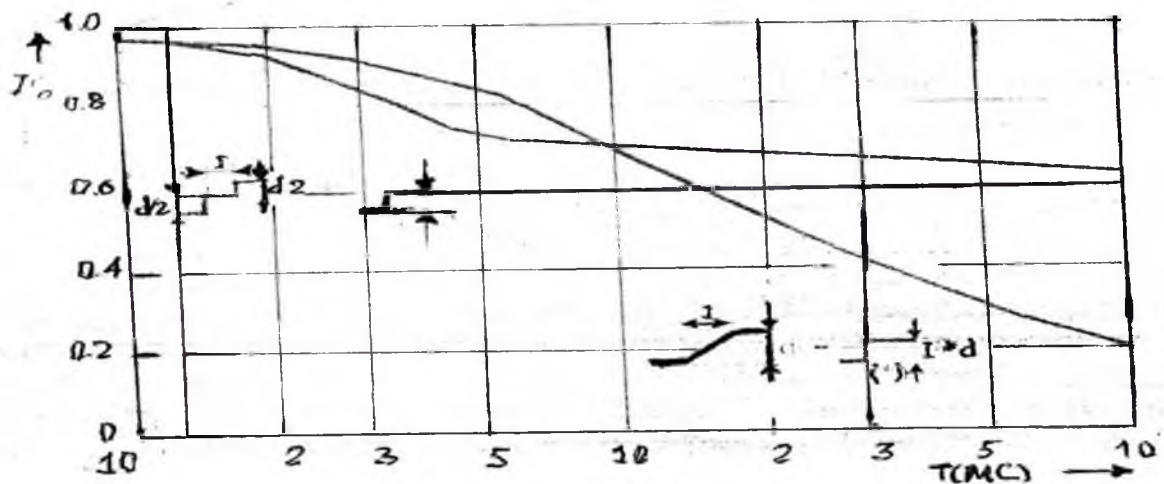
$$\varphi_2 = \arctg\left(\frac{8,33}{22,14}\right) = 20,6^\circ,$$

1-tugundagi 10 kVli seksiya shinasining teskari ketma-ketlik qarshiligi kompleksi $Z_2^* = 0,144 + j0,37$.

Ko'rsatilgan sxemada faqat reaktiv qarshiligini hisobga olib kuchlanish nosimmetriyasini hisoblaymiz. Teskari ketma-ketlik almash-tirish sxemasi 3.11-rasmda keltirilgan.



3.11-rasm. Tarmoq uchastkalarini almashtirish sxemasi



3.12-rasm. K_n pog'onasi va erishganlik uchun F_0 koeffitsiyent qiymati

$S_B=1500$ MVAli bazali quvvatda 1-tugunni 10 kVli shinaning nisbiy birlikda teskari ketma-ketlik qashiligi $X_I=0,37$.

Transformatorlarning qarshiligi:

$$X_{T1} = X_{T2} = \frac{U_k * S_B}{100 * S_{nom}} = \frac{9,28}{100 * 16} = 0,0058$$

Tizimning qarshiligi:

$$X_K = \frac{S_B}{S_K} = \frac{9,28}{1600} = 0,0058$$

2-tugundagi 10 kVli shinaning teskari ketma-ketlik qarshiligi:

$$X_2 = 0,55 * \frac{9,28}{12} = 0,43$$

Manbaning teskari ketma-ketlik qarshiligi:

$$I_2^* = 1,5 * \frac{5}{9,28} = 0,81$$

1-tugun. Teskari ketma-ketlikning ekvivalent qarshiligi:

$$X_{2\Sigma} = \frac{X_1 * (X_{T1} + \frac{(X_{T2} + X_2) * X_K}{X_{T2} + X_2 + X_K})}{X_1 + X_{T1} + \frac{(X_{T2} + X_2) * X_K}{X_{T2} + X_2 + X_K}} = 0,054$$

Nosimmetriya koeffitsiyenti:

$$E_2 = X_{2\Sigma} * I_2^* = 0,054 * 0,81 = 0,044 = 4,4\%$$

3-tugun. Teskari ketma-ketlik koeffitsiyenti:

$$X_{2\Sigma} = \frac{(X_{T2} + X_2) * X_K}{X_{T2} + X_2 + X_K} = 0,0057$$

Transformator T1 dagi teskari ketma-ketlik toki:

$$I_{2(T1)}^* = I_2^* * \frac{X_1}{X_1 + X_{T1} + \frac{(X_{T2} + X_2) * X_K}{X_{T2} + X_2 + X_K}} = 0,8 * \frac{0,37}{0,43} = 0,70$$

Teskari ketma-ketlik koeffitsiyenti:

$$E_2 = X_{2\Sigma} * I_{2(T1)}^* = 0,0057 * 0,70 = 0,004 = 0,4\%$$

2-tugun. Teskari ketma-ketlik qarshiligi:

$$X_{2\Sigma} = X_2 = 0,43$$

T2 transformatoridagi teskari ketma-ketlik toki:

$$I_{2(T2)}^* = I_{2(T1)}^* * \frac{X_K}{X_K + X_{T2} + X_2} = 0,70 * \frac{0,0058}{0,49} = 0,0082$$

Teskari ketma-ketlik koeffitsiyenti:

$$E_2 = X_{2\Sigma} * I_{2(T2)}^* = 0,43 * 0,0082 = 0,0035 = 0,35\%$$

3.10–misol. “Slyabing” ko‘rinishidagi prokat stanining elektr tarmog‘idagi ruxsatlangan KT ni aniqlang. Reaktiv quvvat o‘zgarishi 3.11-rasmda keltirilgan. 10 kV tarmoqdagi QT quvvati 300 MVA.

Yechish. Yuklama grafigiga qarab KT kengligini aniqlaymiz:

$$U_{d1} = \delta U_1 = \frac{\delta Q_1}{S_K} * 100\% = \frac{39}{300} * 100\% = 13\%$$

($t_1 = 0$ s kuchlanish o‘zgarishining davomiyligi).

($t_1 = 0,6$ s kuchlanish o‘zgarishining davomiyligi).

$$d_2 = \delta U_2 = \frac{\delta Q_2}{S_K} * 100\% = \frac{12}{300} * 100\% = 4\%$$

Ko'rsatilgan holda QT to'g'ri burchakli ($t_l=0$) va shuningdek, uch burchakliga ($t_l \neq 0$) ega bo'lib, QT ning ekvivalent kengligini aniqlashda ularni to'g'ri burchakli holatga keltirish zarur.

$$F_1 * d_l = 1 * 13 = 13\%$$

$$F_2 * d_2 = 0,27 * 4 = 1,08\%$$

Bu yerda, F_l – 3.12-rasmda keltirilgan impulsning davomiyligi t_l ga bog'liq qiyalangan QT uchun ekvivalentlik koeffitsiyenti. Kuchlanishning har bir o'zgarishi uchun fliker jadalligi:

$$P_{st1} = \frac{F_1 * d_1}{d_0} = \frac{13}{2,75} = 4,73$$

$$P_{st2} = \frac{F_2 * d_2}{d_0} = \frac{1,08}{2,75} = 0,39$$

Bu yerda, d_0 – bog'liq minut ichida r , takrorlanadigan QT ning ruxsat etilgan kengligi ko'rilayotgan $r=1$. 2.2-rasmga asosan, $d_0=2,75$.

3.12-rasmdagi yuklamalar grafigida ko'rsatilgan holdagi FJ keltirilgan.

Butun grafik uchun FJ

$$P_{st1} = \sqrt{\sum_{t=1}^{t=s} P_{sti}^S} = 10,28$$

Shuningdek, $P_{st} > 1$ QT darajasi ruxsat etilgandan yuqori.

3.11-misol. Oldingi misol uchun 110 kVli shinadagi ruxsat etilgan KT aniqlangan. 110/10 kV transformator 40 MVA quvvatga ega. QT kuchlanishi $U_{qt}=10,5\%$.

Yechish. $S_B=40$ MVA deb qabul qilamiz. Transformator qarshiligi:

$$X_T = \frac{U_K}{100} * \frac{S_B}{S_{NOM}} = \frac{10,5}{100} * \frac{40}{40} = 0,105$$

Tizim va transformator qarshiliklarining yig'indisi:

$$X_T + X_K = \frac{S_B}{S_K} = \frac{40}{300} = 0,133$$

Tizimning qarshiligi: $X_K = 0,133 - 0,105 = 0,028$

110 kV shinada F.J. tarqalish koeffitsiyenti:

$$K_U^{(110)} = \frac{X_K}{X_T + X_K} = \frac{0,028}{0,133} = 0,21$$

110 kV shinada flikerning jadallashishi:

$$P_{st}^{(110)} = P_{st}^{(10)} * K_u^{(110)} = 10,28 * 0,21 = 2,2$$

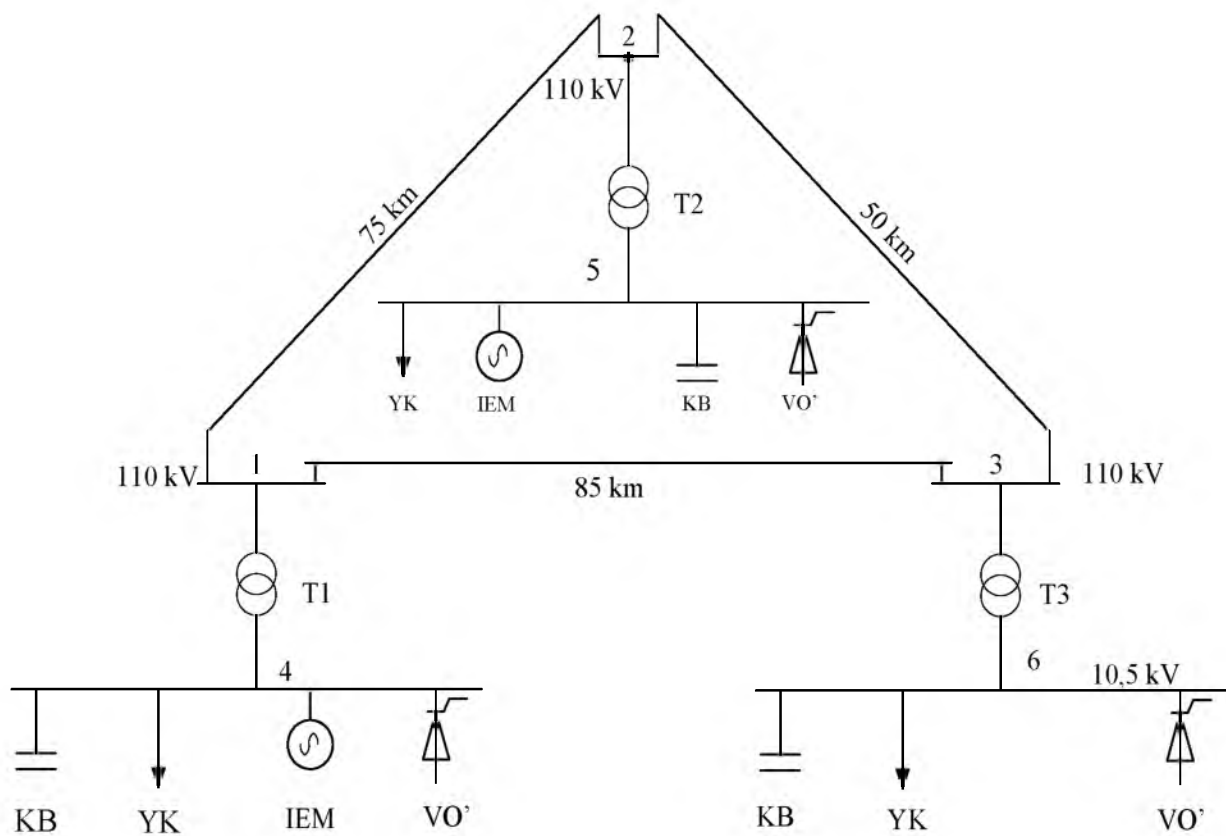
$P_{st}^{(110)} > 1$ bo'lganligi uchun QT darajasi ruxsat etilganidan yuqori.

3.12-misol. 3.13-rasmda keltirilgan sxema uchun tarmoq shoxobchalaridagi Yu.G toklarini hisoblang, 10 kV va 110 kV shinalarda K_{ns} ni aniqlang.

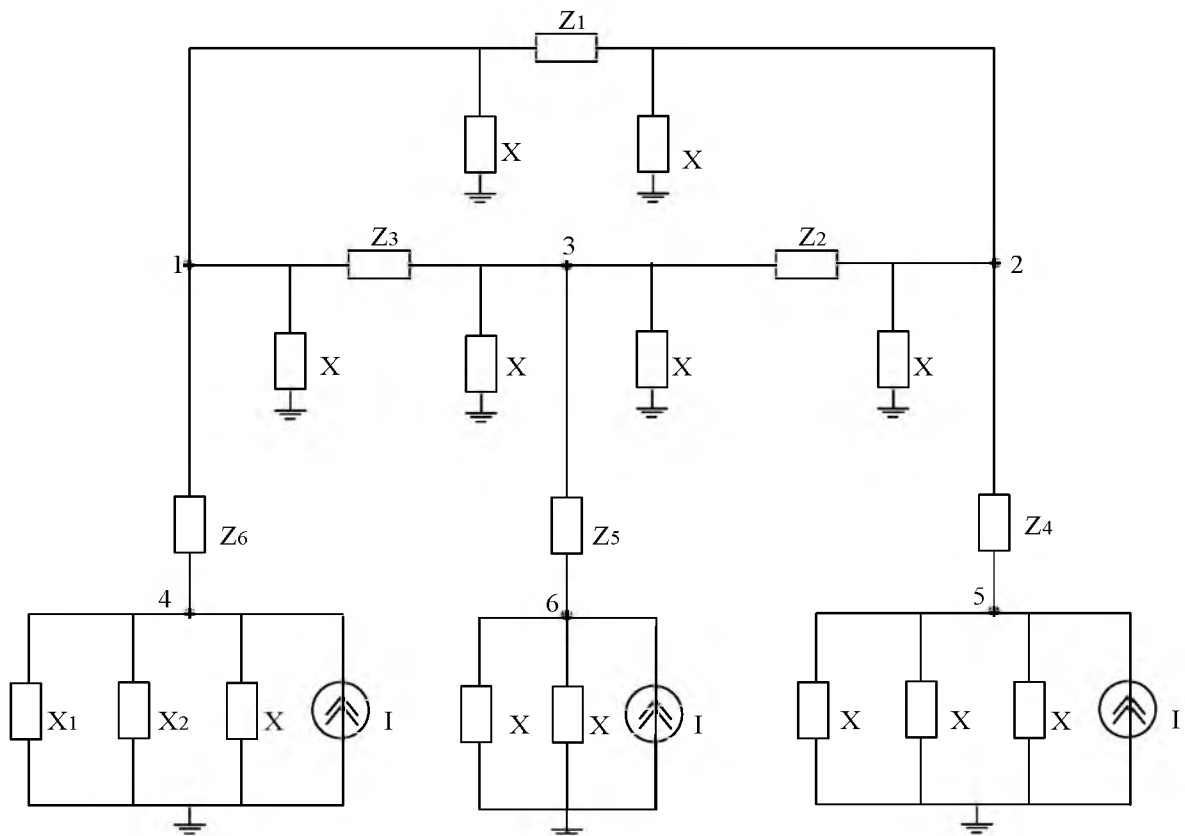
Dastlabki ma'lumotlar 1-tugun. Transformatorlar quvvati $S_{TR} = 63$ MVA; 115/10,5 kV; $U_{q.t} = 12\%$; $\Delta P_{q.t} = 250$ kVt; IEM ning quvvati 50 MVA; $X'_d = 0,15$; yuklama quvvati 30 MVA; KB quvvati 30 MVA; VO'-6 fazali quvvati 25 MVA; asosiy garmonika tokining fazasi $\varphi = 10^\circ$.

2-tugun. Transformator 125 MVA; 115/10,5 kV; $U_{q.t} = 12\%$; $\Delta P_{q.t} = 400$ kVt; IEM ning quvvati 100 MVA; $X'_d = 0,15$; yuklama quvvati 40 MVA; KB quvvati 50 MVA; VO'-6 fazali quvvati 30 MVA; asosiy garmonika tokining fazasi $\varphi = 20^\circ$.

3-tugun. Transformator 40 MVA; 115/10,5 kV; $U_{q.t} = 12\%$; $\Delta P_{q.t} = 170$ kVt; yuklama quvvati 10 MVA; KB quvvati 20 MVA; VO'-12 fazali quvvati 15 MVA; asosiy garmonika tokining fazasi $\varphi = 30^\circ$. Uzatuvchi liniyaning parametrlari $x_0 = 0,4$ Om/km; $v_0 = 3 * 10^{-6}$ Om/km; $\gamma_0 = 0,12$ Om/km.



3.13–rasm. Sanoat elektr tizimi tugunlariga ulangan sanoat yuklamalarining ta'minot sxemasi



3.14-rasm. v -garmonika uchun almashtirish sxemasi

Yechish. 1. v-garmonika uchun almashtirish sxemasi 3.14-rasmda ko'rsatilgan. 1–6 raqamlar bilan tegishli tugunlar ko'rsatilgan.

2. $S_B=100$ MVA da. Nisbiy birlikda asosiy garmonika uchun almashtirish sxemasidagi asosiy elementlarning qarshiligi:

$$X_1 = \frac{S_B}{S_{KB}} = \frac{100}{30} = 3,33$$

$$X_2 = X'' * \frac{S_B}{S_N} = 0,35 * \frac{100}{30} = 1,17$$

$$X_3 = X_d'' * \frac{S_B}{S_{nom}} = 0,15 * \frac{100}{50} = 0,3$$

$$X_4 = \frac{1}{2} * \frac{1}{b_o * L} * \frac{S_B}{U_{o'r}^2} = \frac{1}{2} * \frac{1}{3 * 10^{-6} * 85} * \frac{100}{115^2} = 15,0$$

$$X_5 = \frac{1}{2} * \frac{1}{b_o * L} * \frac{S_B}{U_{o'r}^2} = \frac{1}{2} * \frac{1}{3 * 10^{-6} * 75} * \frac{100}{115^2} = 16,8$$

$$X_6 = \frac{U_k}{100} * \frac{S_B}{S_{nom}} = \frac{12}{100} * \frac{100}{63} = 0,19$$

$$r = \frac{\Delta R_{k,z}}{S_{nom}} * \frac{S_B}{S_{nom}} = \frac{0,25}{63} * \frac{100}{63} = 0,006$$

$$X_7 = X_0 * L * \frac{S_B}{U_{o'r}^2} = 0,4 * 85 * \frac{100}{115^2} = 0,28$$

$$r^* = r_0 * L * \frac{S_B}{U_{o'r}^2} = \frac{0,25}{63} * \frac{100}{63} = 0,006$$

$$X_8 = X_4 = 15,0$$

$$X_9 = \frac{1}{2} * \frac{1}{b_o * L} * \frac{S_B}{U_{o'r}^2} = \frac{1}{2} * \frac{1}{3 * 10^{-6} * 50} * \frac{100}{115^2} = 25,2$$

$$X_{10} = X_0 * L * \frac{S_B}{U_{o'r}^2} = 0,4 * 75 * \frac{100}{115^2} = 0,23 \quad r_{10} = 0,07$$

$$X_{11} = X_0 * L * \frac{S_B}{U_{o'r}^2} = 0,4 * 50 * \frac{100}{115^2} = 0,15$$

$$r_{11} = 0,12 * 50 * \frac{100}{115^2} = 0,05$$

$$X_{12} = \frac{U_k}{100} * \frac{S_B}{S_{nom}} = \frac{12}{100} * \frac{100}{32} = 0,38$$

$$r_{12} = \frac{0,17 * 100}{40 * 40} = 0,01$$

$$X_{13} = X'' * \frac{S_B}{S_{nom}} = 0,35 * \frac{100}{10} = 3,5$$

$$X_{14} = \frac{S_B}{S_{KB}} = \frac{100}{20} = 5,0$$

$$X_{15} = X_9 = 25,2$$

$$X_{16} = X_5 = 16,8$$

$$X_{17} = \frac{U_k}{100} * \frac{S_B}{S_{nom}} = \frac{12}{100} * \frac{100}{125} = 0,096$$

$$r_{17} = \frac{0,4}{125} * \frac{100}{125} = 0,002$$

$$X_{18} = X'' * \frac{S_B}{S_{nom}} = 0,35 * \frac{100}{40} = 0,88$$

$$X_{19} = X_d'' * \frac{S_B}{S_{nom}} = 0,15 * \frac{100}{100} = 0,15$$

$$X_{20} = \frac{S_B}{S_{KB}} = \frac{100}{50} = 2,0$$

3. 6 fazali VO' uchun tok garmonikalari $v=5, 7, 11, 13, 17, 23, 25$.

12 fazali VO' uchun tok garmonikalari $v=11, 13, 23, 25$.

$$I_{1v} = \frac{S_{VO'}}{S_{bv}} (\cos \varphi + j \sin \varphi);$$

$$I_{1v} = \frac{0,25}{v} (\cos 10^0 + j \sin 10^0);$$

$$I_{2v} = \frac{0,15}{v} (\cos 20^0 + j \sin 20^0);$$

$$I_{3v} = \frac{0,3}{v} (\cos 30^0 + j \sin 30^0);$$

Pastda o'zgarishlarning garmonik toklari qiymatlari nisbiy birlikda keltirilgan.

v	5	7	11	13	17	19	23	25
I_{1v}	0,05	0,036	0,023	0,019	0,015	0,013	0,011	0,010
I_{2v}	0,03	0,021	0,014	0,012	0,009	0,008	0,007	0,006
I_{3v}	0,00	0,000	0,027	0,023	0,000	0,000	0,013	0,012

4. Shoxobchalardagi YU.G toklarini tugun kuchlanishlari usulida aniqlaymiz. Buning uchun tenglamalar tizimini yechish zarur.

$$G_{11}\varphi_1 + G_{12}\varphi_2 + G_{13}\varphi_3 + G_{14}\varphi_4 = 0$$

$$G_{21}\varphi_1 + G_{22}\varphi_2 + G_{23}\varphi_3 + G_{25}\varphi_5 = 0$$

$$G_{33}\varphi_3 + G_{32}\varphi_2 + G_{35}\varphi_5 + G_{36}\varphi_6 = 0$$

$$G_{41}\varphi_1 + G_{44}\varphi_4 = J_{44}$$

$$G_{52}\varphi_2 + G_{55}\varphi_5 = J_{55}$$

$$G_{63}\varphi_3 + G_{66}\varphi_6 = J_{66}$$

YU.G ni hisoblash 2.1-rasmda keltirilgan algoritmlar asosida amalga oshiriladi. Sxema tugunlardagi kuchlanishning hisoblari 3.1-jadvalda keltirilgan.

3.1-jadval

Nisbiy birlikda sxema tugunlaridagi kuchlanish

v	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	U_6
5	0,108	00,43	$4,831 \cdot 10^{-3}$	0,167	0,023	0,053
7	0,033	0,056	0,019	0,031	0,09	0,015
11	$7,096 \cdot 10^{-3}$	$7,454 \cdot 10^{-3}$	$6,774 \cdot 10^{-3}$	$8,071 \cdot 10^{-3}$	$9,399 \cdot 10^{-3}$	$4,813 \cdot 10^{-3}$
13	0,019	0,023	$5,218 \cdot 10^{-3}$	$7,225 \cdot 10^{-3}$	$5,236 \cdot 10^{-3}$	$4,857 \cdot 10^{-3}$
17	$1,002 \cdot 10^{-3}$	$1,445 \cdot 10^{-3}$	$6,819 \cdot 10^{-4}$	$3,304 \cdot 10^{-3}$	$3,225 \cdot 10^{-3}$	$5,343 \cdot 10^{-3}$
19	$5,243 \cdot 10^{-4}$	$5,599 \cdot 10^{-4}$	$1,07 \cdot 10^{-4}$	$2,557 \cdot 10^{-3}$	$2,453 \cdot 10^{-3}$	$6,604 \cdot 10^{-3}$

23	$1.971 \cdot 10^{-4}$	$2.147 \cdot 10^{-4}$	$4.312 \cdot 10^{-4}$	$1.682 \cdot 10^{-3}$	$1.578 \cdot 10^{-3}$	$1.204 \cdot 10^{-3}$
25	$1.371 \cdot 10^{-4}$	$1.196 \cdot 10^{-4}$	$2.73 \cdot 10^{-4}$	$1.408 \cdot 10^{-3}$	$1.311 \cdot 10^{-3}$	$1.006 \cdot 10^{-3}$

% hisobida sxema tugunlaridagi K_{ns} :

$$K_{ns1} = 11,477; \quad K_{ns3} = 2,097; \quad K_{ns5} = 9,343;$$

$$K_{ns2} = 7,438; \quad K_{ns4} = 17,055; \quad K_{ns6} = 5,546.$$

3.13-misol. 6 fazali $V.O'$ ulangan. Podstansiyaning 10 kVli shinasidagi kuchlanishning nosinusoidallik koeffitsiyentini aniqlang. Transformator quvvati $S_T=10$ MVA; $Q.T$ kuchlanishi $U_{q.t}=9,5\%$; 10 kVli shinadagi $Q.T$ quvvati $S_{q.t}=300$ MVA; $V.O'$ quvvati $S_{V.O'}=8,8$ MVA; $\cos\varphi=0,8$; boshqarish burchagi $\alpha=20^\circ$; kommutatsiya burchagi $\gamma=12^\circ$. Yechish. $V.O'$ quvvati $S_{V.O'}$ ga keltirilgan E.T ning 10 kV shinasidagi qarshiligi:

$$X_K = \frac{S_{VO'}}{S_K} = \frac{8,8}{300} = 0,029$$

$V.O'$ transformatorining qarshiligi:

$$X_T = \frac{U_K}{100} * \frac{S_{VO'}}{S_T} = \frac{9,5}{100} * \frac{8,8}{10} = 0,084$$

Kommutatsiya impulsning nisbiy qiymati:

$$\Delta U^* = \frac{X_K}{X_T + X_K} = \frac{0,029}{0,029 + 0,084} = 0,26$$

2–ifodaga asosan,

$$K_{ns} = 0,96 * \Delta U * \sin(\alpha + \frac{\gamma}{2}) * \sqrt{\gamma} = 0,96 * 0,26 * \sin(20 + \frac{12}{2}) * \sqrt{12 \frac{\pi}{180}} = 0,05 = 5\%$$

Nazorat savollari

1. Kuchlanishining nosinusoidalligini yuzaga keltiruvchi eng ko'p tarqalgan elektr iste'molchilari?
2. Transformator va tizim qarshiligi qanday topiladi?
3. Kuchlanish sinusoida shaklining buzilish koeffitsiyenti qanday topiladi?

4 - AMALIY MASHG'ULOT

KUCHLANISH NOSIMMETRIYASINI HISOBLASH

Teskari ketma-ketlik bo'yicha nosimmetriya koeffitsiyentini hisoblash va nosimmetriyani baholash.

Elektr ta'minoti tizimining nosimmetriya tartibi shunday tartibki, unda elektr tarmog'ida bir yoki hamma fazalarining ishlash sharti bir xil bo'lmaydi.

Nosimmetriya qisqa va uzoq vaqtli nosimmetriyaga bo'linadi. Qisqa vaqtli nosimmetriya ko'pincha elektr tarmoqlaridagi QT, simlarning uzilishi va yer bilan tutashuvi, bir fazali A.Q.U. da fazaning o'chishi kabi avariya jarayonlari bilan bog'langan. Uzoq vaqtli nosimmetriya elektr tarmog'i elementlarida nosimmetriyaning bo'lishi yoki elektr ta'minoti tizimiga nosimmetriyali elektr iste'molchilarining ulanishidan yuzaga keladi. Ushbu iste'molchilar qatoriga yoritish uskunalari, bir fazali elektr payvandlash qurilmalari, yoyli po'lat eritish pechlari, elektr shlakli qayta eritish qurilmalari, o'zgaruvchan tokli elektr yuritgichlar kiradi. Fazada nosimmetriyali yuklamaning bo'lishi teskari va nol ketma-ketlik toklarini yuzaga keltiradi. Ushbu toklar tarmoq elementlaridan oqib, tegishli teskari va nol ketma-ketlik kuchlanishning pasayishini yuzaga keltiradi va to'g'ri ketma-ketlik sanoat chastotasida qo'shib, tarmoq nosimmetriyasiga olib keladi.

Kuchlanish nosimmetriyasi quyidagi ko'rsatkichlar bilan tavsiflanadi:

- Kuchlanish nosimmetriyasining teskari ketma-ketlik koeffitsiyenti;
- Kuchlanish nosimmetriyasining nol ketma-ketlik koeffitsiyenti.

0,38 kV li nominal kuchlanishdagi 4 simli elektr tarmoqlariga umumiy ulanadigan nuqtalardagi kuchlanish nosimmetriyasi teskari ketma-ketlik bo'yicha me'yoriy va chegaraviy ruxsatlangan qiymatlar tegishli 2,0 va 4,0 % ga teng.

Teskari ketma-ketlik bo'yicha nosimmetriya koeffitsiyenti:

$$K_{2U} = \frac{U_2}{U_{nom}} * 100\% \quad (4.1)$$

bu yerda, U_2 -kuchlanishning teskari ketma-ketligining amaldagi qiymati.

$$U_2 = I_{2EKV} * Z_{EKV} \quad (4.2)$$

bu yerda, I_{2EKV} - yuklama nosimmetriyasidan yuzaga keladigan teskari ketma-ketlikning ekvivalent toki.

$Z_{2\Sigma}$ -tarmoq teskari ketma-ketlik qarshiliklari yig'indisi.

Bir fazali yuklama liniya kuchlanishiga ulanganda teskari ketma-ketlik toki va tokning boshlang'ich fazasi quyidagi munosabatdan aniqlanadi:

$$I_2 = \frac{\sqrt{3}}{6} * \sqrt{3I_{AB}^2 + (I_{AB} - 2I_{BC})^2} \quad (4.3)$$

$$\psi_2 = \arctg \frac{\sqrt{3}I_{AB}}{I_{AB} - 2I_{BC}} - \varphi_N \quad (4.4)$$

yoki quvvat orqali

$$I_2 = \frac{\sqrt{3}}{6U_K} * \sqrt{3S_{AB}^2 + (S_{AB} - 2S_{BC})^2} \quad (4.5)$$

$$\psi_2 = \arctg \frac{\sqrt{3}S_{AB}}{S_{AB} - 2S_{BC}} - \varphi_N \quad (4.6)$$

bu yerda, φ_N - yuklamaning faza burchagi.

Umumiy holatda qarshilikning teskari ketma-ketligini shina seksiyasi yoki tizimiga nisbatan

$$Z_{2*} = \frac{\sqrt{(\sum_{i=1}^n S_{Ni} * \cos \varphi_i)^2 + (\sum_{i=1}^n S_{Ni} * \sin \varphi_i)^2}}{\sqrt{(\sum_{i=1}^n S_{Ni} * Y_i * \cos \varphi_i)^2 + (\sum_{i=1}^n S_{Ni} * Y_i * \sin \varphi_i)^2}} \quad (4.7)$$

bu yerda, S_{Ni} , φ_i - ulangan i -liniyali yoki noliniyali yuklama qismining nominal quvvati va faza burchagi; Y_i - i - ulanishning to'liq o'tkazuvchanligining nisbiy qiymati.

$$\arg Z_{2*} = \arctg \frac{\sum_{i=1}^n S_{Ni} * Y_i * \sin \varphi_i}{\sum_{i=1}^n S_{Ni} * Y_i * \cos \varphi_i} \quad (4.8)$$

Ko‘pincha teskari ketma-ketlik bo‘yicha kuchlanish nosimmetriya koeffitsiyentini aniqlashda tarmoq almashtiruv sxemasining elementlari o‘tkazuvchanlik ko‘rinishida amalga oshiriladi.

$$Y_2 = \frac{1}{Z_2} \quad (4.9)$$

Bunda almashtiruv sxemasi elementlarining teskari ketma-ketlik qarshiliklari quyidagi ifodalardan aniqlanadi:

- Tizim qarshiligi:
$$X_{2S} = \frac{U_N^2}{S_T} \quad (4.10)$$

- Kondensator batareya qarshiligi:
$$X_{2KB} = \frac{U_N^2}{Q_{KB}} \quad (4.11)$$

- Simmetriyali yuklama qarshiligi:
$$Z_{2n} = Z_{2n} * \frac{U_{nN}^2}{S_{sim}} \quad (4.12)$$

bu yerda, $Z_{2n}=(0,18+j0,24)$, $U_N=6$ kV va 10 kV, $Z_{2n}=(0,19+j0,36)$ $U_N=35$ kV va 110 kV bo‘lganda.

- Motor qarshiligi:
$$X_{2MOT} = X_{MOT} * \frac{U_N^2}{S_{MOT}} \quad (4.13)$$

bu yerda, $X_{MOT}^* = \frac{1}{K_{u.T}}$; $K_{u.T}$ ishga tushirish tokining karraligi.

- O‘zgartgich qarshiligi:
$$X_{2o'zg} = 2,5 * \frac{U_n^2}{S_{o'zg}} \quad (4.14)$$

bu yerda, $S_{o'zgar.}$ -o‘zgartgich iste’mol qiladigan quvvati. YOPP rudotermik pechlar.

$$X_{2p} = U_{nom}^2 / S \quad (4.15)$$

- Yoritgich yuklamalari:
$$Z_{2n} = 4 * U_{nom}^2 / P$$

P-yuklama quvvati.

Fazalararo kuchlanish nosimmetriyasi teskari ketma-ketlik, faza nosimmetriyasi esa nol ketma-ketlik tashkil etuvchilarning mavjudligidan hosil bo‘ladi. Kuchlanishning to‘g‘ri – U_1 , teskari – U_2 , nol – U_0 ketma-ketlik simmetrik tashkil etuvchilari quyidagi ma’lum ifodalar asosida aniqlanadi.

$$U_1 = \frac{1}{3}(U_A + aU_B + a^2U_C) \quad (4.16)$$

teskari ketma-ketlik

$$U_2 = \frac{1}{3}(U_A + a^2U_B + aU_C) \quad (4.17)$$

nol ketma-ketlik

$$U_0 = \frac{1}{3}(U_A + U_B + U_C) \quad (4.18)$$

bu yerda, (U_A, U_B, U_C) –tarmoqlarning faza kuchlanishlari.

$$a = e^{\frac{j2\pi}{3}} = \frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \quad \text{– faza ko'paytmasi deb ataluvchi son.}$$

$$a^2 = e^{\frac{j2\pi}{3}} * e^{\frac{j2\pi}{3}} = \frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

Nosimmetriya koeffitsiyenti elektr energiya sifatining me'yorlashgan ko'rsatkichi bo'lib, GOCT-13/09-97 ga asosan, har qanday uch fazali simmetrik iste'molchilar qisqichlarida $K_{nsm.v} \leq 2\%$ ga uzoq vaqtli ruxsat etilgan.

GOCT 13109-97 ga asosan, teskari ketma-ketlik kuchlanishi U_2 liniyali kuchlanishlar U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} orqali quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$U_2 = \sqrt{\frac{1}{12}[(\sqrt{3}U_{AB} - \sqrt{4U_{BC}^2 - (\frac{U_{BC}^2 - U_{AC}^2}{U_{AB}} + U_{AB})^2 + (\frac{U_{BC}^2 - U_{AC}^2}{U_{AB}})^2})]} \quad (4.19)$$

1% kam xatolik bilan quyidagi ifodadan aniqlash mumkin:

$$U_2 = \frac{2}{3}\sqrt{(\Delta U_{BC} - \Delta U_{CA})^2 + \Delta U_{BC} * \Delta U_{CA}} \quad (4.20)$$

bu yerda, $\Delta U_{BC} = U_{BC} - U_{CA}$; $\Delta U_{CA} = U_{CA} - U_{AB}$.

GOCT 13109-97 ga asosan kuchlanishning to'g'ri ketma-ketligi U_I quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$U_1 = \frac{1}{3}(U_{AB} + U_{BC} + U_{CA})$$

Hisoblashda asosiy kuchlanishning teskari ketma-ketligi ifodaga asosan aniqlanadi:

$$U_2 = I_{2\Sigma} * Z_{2\Sigma} \quad (4.21)$$

bu yerda, $I_{2\Sigma}$ -yuklamalar nosimmetriyasidan yuzaga kelgan teskari ketma-ketlikning ekvivalent toki; $Z_{2\Sigma}$ -tarmoq teskari ketma-ketligining ekvivalent qarshiligi.

Bir fazali yuklamaning U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} liniyali uchta kuchlanishga ulanganida teskari ketma-ketlik toki I_2 va uning boshlang'ich fazasi φ_{I2} quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$I_2 = \frac{\sqrt{3}}{3} \sqrt{I_{AB}^2 + I_{BC}^2 + I_{CA}^2 - I_{AB} * I_{BC} - I_{BC} * I_{CA} - I_{CA} * I_{AB}} \quad (4.22)$$

$$\varphi_{I2} = \arctg \frac{\sqrt{3}I_{AB} + I_{BC} - 2I_{CA}}{I_{AB} - I_{BC}} - \varphi_n \quad (4.23)$$

To'liq quvvatda berilganda:

$$I_2 = \frac{\sqrt{3}}{3U_{NOM}} \sqrt{S_{AB}^2 + S_{BC}^2 + S_{CA}^2 - S_{AB} * S_{BC} - S_{BC} * S_{CA} - S_{CA} * S_{AB}} \quad (4.24)$$

$$\varphi_{I2} = \arctg \frac{\sqrt{3}S_{AB} + S_{BC} - 2S_{CA}}{S_{AB} - S_{BC}} - \varphi_n \quad (4.25)$$

Liniyali kuchlanish AB va BC ga ikki bir fazali yuklama ulanganida ifodani quyidagi ko'rinishga o'zgartirishi mumkin:

$$I_2 = \frac{\sqrt{3}}{3U_{NOM}} \sqrt{S_{AB}^2 + S_{BC}^2 - S_{AB} * S_{BC}} \quad (4.26)$$

$$\varphi_{I2} = \arctg \frac{\sqrt{3}S_{AB} + S_{BC}}{S_{AB} - S_{BC}} - \varphi_n \quad (4.27)$$

Fazasi φ_N bo'lgan bir fazali yuklama juft liniya kuchlanishiga ulanganda, teskari ketma-ketlik tokining boshlang'ich fazasi φ_{I2} quyidagi oraliqda bo'ladi:

$$\begin{aligned}
AB \text{ va } BC & \text{ ----- } 30^\circ - \varphi_N \leq \varphi_{I2} \leq 150^\circ - \varphi_N ; \\
BC \text{ va } CA & \text{ ----- } 150^\circ - \varphi_N \leq \varphi_{I2} \leq 270^\circ - \varphi_N ; \\
CA \text{ va } AB & \text{ ----- } 270^\circ - \varphi_N \leq \varphi_{I2} \leq 30^\circ - \varphi_N .
\end{aligned}$$

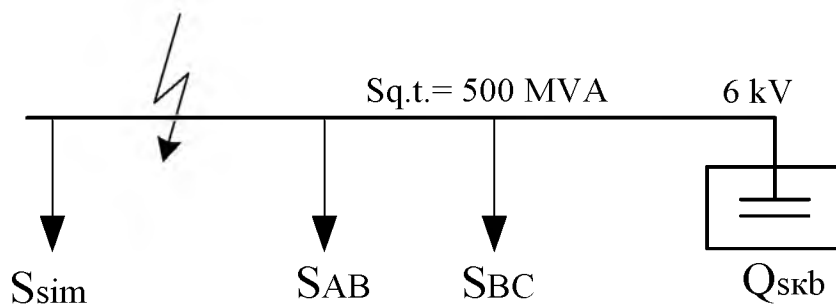
ET asosiy tarmoqlariga ulangan korxonaning taqsimlovchi tarmoqlarining 6-10 kV shinalaridagi Q.T. quvvati $S_{q.t} \geq 200$ MVA da $Z_{2\Sigma} = X_Q$ qabul qilish mumkin. Bu yerda, $X_Q = U_{NOM}^2 / S_Q$.

110 kv kuchlanishli tarmoq tugunlari $Z_{2\Sigma}$ va $|Z_{2\Sigma}|$ qiymatlari 4.1-jadvalda keltilgan.

4.1-jadval

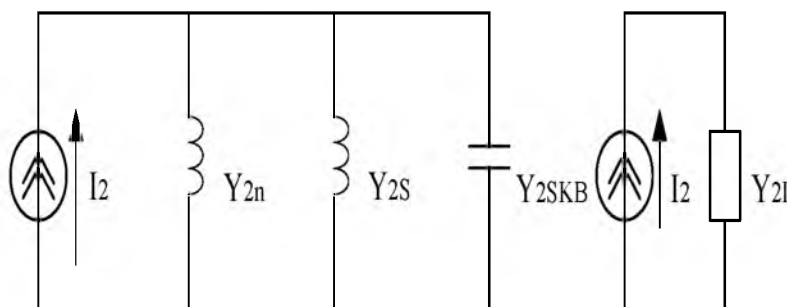
Ishlab chiqarish	$Z_{2\Sigma}$	$ Z_{2\Sigma} $
Prokat sex	0,51+j0,68	0,85
Mashinasozlik korxonasi	0,33+j0,49	0,59
Sanoat markazi	0,50+j0,68	0,83
Rangli materiallar korxonasi	0,49+j0,52	0,72
Qog'oz ishlab chiqarish korxonasi	0,15+j0,29	0,38
Kimyo korxonasi	0,21-j0,46	0,51
Tortuvchi podstantsiya	1,12+j0,36	1,24

4.1-misol. Taqsimlash qurilmasi shinasiga quyidagi yuklamalar (4.1-rasm) uch fazali simmetrik $S_{sim} = 25$ MVA quvvatli, ikki, bir fazali $S_{AB} = 11$ MVA va $S_{BC} = 9$ MVA quvvatli, har xil fazalar orasidagi kuchlanishga va $Q_{SKB} = 10$ MVar quvvatli statik kondensator batareyasi ulangan. Taqsimlovchi qurilma shinasidagi qisqa tutashuv quvvati $S_{QT} = 500$ MVA. Kuchlanishning teskari ketma-ketlik nosimmetriya koeffitsiyentini aniqlash va uni ruxsatlangan oraliqdaligini baholash talab etiladi.



4.1-rasm. T.Q shinasida yuklamalarning joylashishi

Kuchlanishning nosimetriya hisobi tarmoqning teskari ketma-ketligi almashtiruv sxemasida (4.2-rasm) amalga oshiriladi, bunda nosimetriya manbai (bir fazali yuklama) teskari ketma-ketlik toki I_2 bilan, sxema elementlari (simmetrik yuklama, SKB, tizim) teskari ketma-ketlik o'tkazgichlari bilan belgilandi. Tarmoqning almashtiruv sxemasi 4.2-rasmda ko'rsatilgan.



4.2-rasm. Almashtiruv sxemasi

Almashtiruv sxemasi parametrlari:

$$Y_{2c} = \frac{S_T}{U_n^2} = \frac{500}{6^2} = 13,89 Sm$$

$$Y_{2n} = \frac{1}{Z_{2n}} * \frac{S_{sim}}{U_n^2} = \frac{1}{(0,18 + j0,24)} * \frac{25}{6^2} = 1,39 - j1,85 Sm$$

$$Y_{2SKB} = -\frac{Q_{NBB}}{U_n^2} = -\frac{10}{6^2} = -0,27 Sm$$

Teskari ketma-ketligi o'tkazuvchanliklari yig'indisi:

$Y_{2\Sigma} = Y_{2N} + Y_{2s} - Y_{2SKB} = (1,39 - j1,85) + 13,89 - 0,27 = (15,01 - j1,85) Sm$.
 $|Y_{2\Sigma}| = 15,038 Sm$ liniya kuchlanishiga (U_{AB} va U_{BC}) ulangan bir fazali (ekvivalent) yuklama quvvati:

$$S_{bir.faz} = \sqrt{3S_{AB}^2 + (S_{AB} - 2S_{BC})^2} = \sqrt{3*11^2 + (11 - 2*9)^2} = 20,3 MVA$$

Bir fazali yuklamaning teskari ketma-ketlik toki quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$I_2 = \frac{\sqrt{3}S_{bir\ faz}}{6U_n} = \frac{\sqrt{3} * 20,3}{6 * 6} = 0,976 kA$$

Teskari ketma-ketlik kuchlanishi:

$$U_2 = \frac{I_2}{|Y_{2\Sigma}|} = \frac{0,976}{15,038} = 0,0649 kV$$

Teskari ketma-ketlik nosimmetriya koeffitsiyenti:

$$K_{2U} = \frac{U_2}{U_{nom}} * 100\% = \frac{0,0649}{6} * 100\% = 1,08\%$$

Ushbu sxema uchun kuchlanish teskari ketma-ketligini ruxsatlangan nosimmetriya koeffitsiyenti $K_{2U_{rux}}=2\%$.. Shunday qilib, $K_{2U_{rux}} > K_{2U}$ uch fazali va bir fazali yuklamalar birgalikda ishlashi mumkin.

4.2-misol. Energetika tizimining rayon podstantsiyasidan ta'minlanadigan 6 kV li elektr eritish sexi tarmog'iga $S_{o'z}=5$ MVA, $\cos\varphi=0,866$, bir fazali shlakli eritish uskunasi ulangan. Ulanish tugunidagi qisqa tutashuv quvvati $S_{qt}=136$ MVA. Kompensatsiya sharti bo'yicha zarur quvvat $Q_{KU}=5$ MVar. Bir fazali yuklama B va C fazalarga ulangan: $P_{BC}=4,33$ MVt, $Q_{BC}=2,5$ MVar, $\varphi=30^\circ$. Kuchlanishning teskari ketma-ketligini aniqlang va zarur bo'lsa simmetriyalash qurilmasini tanlang.

Yechish. Kuchlanishning nosimmetriya koeffitsiyentlarini aniqlaymiz:

$$\lambda = \frac{\sqrt{3}}{2}(P_{AB} - P_{CA}) - \frac{1}{2}(Q_{AB} - Q_{CA}) + Q_{BC} = \frac{\sqrt{3}}{2}(0 - 0) - \frac{1}{2}(0 - 0) + 2,5 = 2,5$$

$$\beta = \frac{1}{2}(P_{AB} - P_{CA}) - \frac{\sqrt{3}}{2}(Q_{AB} - Q_{CA}) + P_{BC} = 4,33; \quad \bar{\sigma}u = (u_I - u_{nom}) / u_{nom} = 0$$

(qabul qilamiz $u_I = u_{nom}$).

$$\Psi_u = \arctg\left(\frac{B}{\lambda}\right) = \arctg\left(\frac{4,33}{2,5}\right) = 60^\circ;$$

$$\varepsilon_2 = (1 + \partial u) \sqrt{\lambda^2 + \beta^2} \frac{e^{j\Psi_u}}{S_K} = (1 - 0) * \sqrt{2,5^2 + 4,33^2} e^{j60^\circ} / 136 = 0,0368 e^{j60^\circ}.$$

olingan qiymatdan ko'rinadiki, ε_2 ruxsatlangan qiymatdan 1,84 marta katta, shuning uchun simmetriyalovchi uskuna (SQ) o'rnatish zarur. SQ parametrlarini aniqlaymiz.

Qabul qilamiz $V_l=0$, $\varepsilon_2=\varepsilon_{2rux}=0,02$ va quyidagi yordamchi matematik hisoblardan aniqlaymiz:

$$A = \frac{\varepsilon_{2rux} \cos \psi_u}{1 + \partial u_{rux}} = 0,02 * 0,5 / (1 + 0) = 0,01;$$

$$B = \varepsilon_{2rux} \sin \psi_u / (1 + \partial u_{rux}) = 0,0178;$$

$$C = BS_K + S_{AB} \cos(60^\circ - \psi_{AB}) - P_{BC} + S_{CA} \cos(60^\circ + \psi_{CA}) = 1,98;$$

$$D = -AS_K + S_{AB} \sin(60^\circ - \psi_{AB}) + Q_{BC} - S_{CA} \sin(60^\circ + \psi_{CA}) = 1,14.$$

SQ elementlarining reaktiv quvvatini aniqlaymiz:

$$Q_{AB} = \frac{1}{3} [\sqrt{3}C - D - Q_{cy}(1 - A - \sqrt{3}B)] = \frac{1}{3} [\sqrt{3}(-1,98) - 114 - (-5)(1 - 0,001 - \sqrt{3} * 0,0173)] = -0,077$$

$$Q_{BC} = -\frac{1}{3} [3D - Q_{cy}(1 + 2A)] = -\frac{1}{3} [2 * 1,14 - (-5)(1 + 2 * 0,01)] = -2,46;$$

$$Q_{CA} = \frac{1}{3} [\sqrt{3}C + D + Q_{cy}(1 - A + \sqrt{3}B)] \\ = \frac{1}{3} [\sqrt{3}(-1,98) + 1,14 + (-5)(1 - 0,01 + \sqrt{3} * 0,0173)] = -2,46$$

$$Q_{cy} = Q_{AB} + Q_{BC} + Q_{CA} = -(0,077 + 2,46 + 2,46) \approx -5000 \text{ kBAp}$$

Kuchlanish nosimmetriyasini to'liq kompensatsiya qilish uchun elementlarning o'rnatilgan quvvatini nisbatan qisman kompensatsiya qilish talab etiladi.

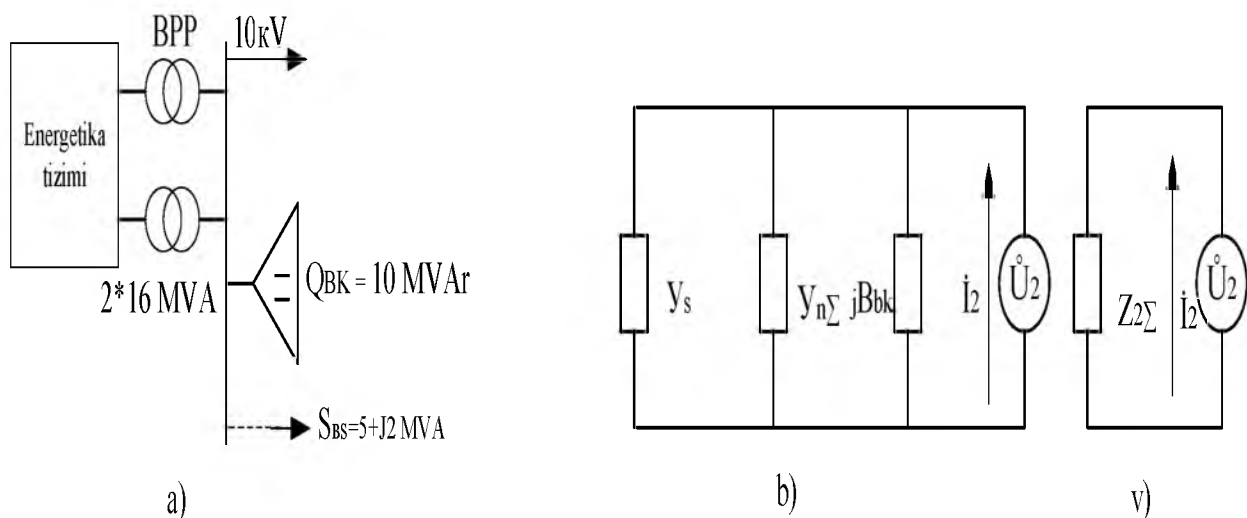
Generatsiya qilinayotgan $Q_{CK}=5000$ kVAr quvvatda $\varepsilon_2=0$ $S_{o'r}=83,3$ kVA $\varepsilon_2=0,02$ da $S_{o'r}=5000$ kVA.

4.3-misol. Sanoat korxonasi energetika tizimiga ulangan bosh pasaytiruvchi podstantsiyaning 10 kV shinasidan ta'minlanadi (4.3a-rasm). BPP ga har biri 16 MVA quvvatli ikki transformator o'rnatilgan. Transformatorlar parallel ishlaydi. Eng katta yuklama tartibida korxona yuklamalarining yig'indisi $S_{yu\Sigma}=20+j18$ MVA, tarmoqqa rostlanmaydigan 10 MVar quvvatli kondensator batareyalari o'rnatilgan. Eng kam yuklama tartibida korxonaning to'liq quvvati $10+j10$ MVA ni tashkil etadi. Bu tartibda transformatorlarning biri o'chiriladi. Yuklama fazalar bo'yicha simmetrik taqsimlangan 10 kV li taqsimlovchi tarmoqning uzunligi nisbatan kichik.

Korxonaning ta'minlaydigan tizim quvvati anchagina katta, 10 kVli shinalardagi Q.T quvvati $S_{q,t}=200$ MVA. Korxona BPP ga yaqin B,C

fazalar orasiga o'zgaras bir fazali $S_{bc}^I = 5 + j2$ MVA quvvat ulash talab qilinadi.

Yechish. Ko'rsatilgan yuklamani ulash mumkinligini tekshirish uchun aniqlash kerak: a) kuchlanishning teskari ketma-ketligi va kuchlanish nosimmetriyasi; b) eng katta va eng kichik yuklamada BPP transformatori fazalaridagi tokning teskari ketma-ketligi va toklarning yig'indisi; v) tarmoqda aktiv quvvatning ko'payishini, taqsimlash tarmog'ining uzunligi katta bo'lmagani uchun, hamma yuklama BPP ni 10 kV li shinalariga ulangan deb faraz qilish mumkin. Hisoblash nisbiy birlikda olib boriladi. Yozishni soddalashtirish uchun belgilash "X" ni tushirib qoldiramiz. Ba'zi qiymatlar uchun tarmoqning nominal kuchlanishi 10 kV va bir transformatorning quvvati $S_T = 16$ MVA qabul qilinadi.



4.3-rasm. a) tarmoqning prinsipial sxemasi; b) teskari ketma-ketlikning almashtiruv sxemasi; v) teskari ketma-ketlik almashtiruv sxemasini keltirish

Kuchlanish nosimmetriyasini aniqlash. 4.3b-rasmda teskari ketma-ketlik sxemasi ko'rsatilgan. U uchta parallel shoxobcha o'tkazuvchanlik Y_c bilan ta'minlash sistemasining ekvivalent shoxobchasi; o'tkazuvchanligi $Y_{N\Sigma}$ bilan qurilayotgan korxonaning taqsimlash tarmog'i va o'tkazuvchanlik B_{KB} bilan kondensator batareyalari almashtiriladi.

Nol ketma-ketlik ko'rilayotgan sxemada yo'q, chunki nol ketma-ketlik yuzaga kelmaydi. Shoxobcha teskari ketma-ketlik qarshiligi uning to'g'ri ketma-ketlik qarshiligiga teng, ta'minlovchi tarmoq va

transformatorning aktiv qarshiligi nolga teng deb qabul qilinadi. Tizim shoxobchasining ekvivalent qarshiligi X_c BPP 10 kV shinasidagi qisqa tutashuv quvvati S_{QT} dan aniqlanadi:

$$X_c = \frac{S_T}{S_Q} = \frac{16}{200} = 0,08$$

Tizim shoxobchasining o'tkazuvchanligi:

$$Y_c = \frac{1}{0 + j0,08} = -j12,5$$

Korxona 10 kV li simmetrik yuklamasining teskari ketma-ketlik ekvivalent qarshiligi va uning umumiy quvvatidan taxminan aniqlanadi:

$$S_{H\Sigma} = \frac{\sqrt{20^2 + 18^2}}{16} = 1,69Z_{2H} = (0,18 + j0,24)/1,69 = 0,106 + j0,142$$

6-10 kV li tarmoqqa ulangan yuklama uchun $Z_{2x} = 0,18 + j0,24$

4.4b - rasmdagi simmetrik yuklamali shoxobchaning o'tkazuvchanligi:

$$Y_{N\Sigma} = \frac{1}{0,106 + j0,142} = 3,40 - j4,50$$

Kondensator shoxobchasining sig'im o'tkazuvchanligi:

$$B_{KB} = \frac{Q}{S_{TP}} = \frac{10}{16} = 0,625$$

To'liq sxema uchun teskari o'tkazuvchanlik ekvivalent moduli ularning ayrim o'tkazuvchanliklarining yig'indisidan aniqlanadi:

$$Y_{2\Sigma} = |-12,5 + 3,4 - j4,5 + j0,625| = |3,4 - j16,38| \approx 16,7$$

Teskari ketma-ketlik sxemasining ekvivalent qarshiligi:

$$Z_{2\Sigma} = \frac{1}{Y_{2\Sigma}} = \frac{1}{16,7} = 0,06$$

Nosimmetrik yuklama S_{BC} ikki faza o'rtasiga ulanadi. Ushbu yuklama I_2 tokining teskari ketma-ketligi, modul bo'yicha to'liq toki I_{BC} dan $\sqrt{3}$ marta kichik, I_{BC} - nisbiy birlikda $I_{BC} = S_{BC}$. Bundan tashqari, bir fazali yuklamaning to'liq toki simmetrik yuklama yuzaga keltiradigan tokdan $\sqrt{3}$ marta, to'liq quvvatdan 3 marta kichik.

Shunday qilib, teskari ketma-ketlik tokining nisbiy qiymati teng bo'ladi:

$$I_2 = \frac{3 * S_{BC}}{\sqrt{3} * S_b * \sqrt{3}} = \frac{\sqrt{5^2 + 2^2}}{16} = 0,338$$

Teskari ketma-ketlik kuchlanishining absolyut qiymati nisbiy birlikda teng:

$$U_2 = I_2 * Z_{2\Sigma} = 0,338 * 0,06 = 0,0203$$

Nominal kuchlanishning 2% yaqin qiymatini tashkil etadi. Teskari ketma-ketlikning olingan qiymati $U_{2D}=2\%$ elektr motorlar qisqichlari uchun ruxsat etiladi. (ГОСТ-13109). Korxona elektr yoritish iste'molchilari uchun nominal kuchlanishdan og'ishi -2,5 dan +5% gacha ruxsatlanadi. Kuchlanish teskari ketma-ketligining bo'lishi kuchlanish to'g'ri ketma-ketligining ruxsatlangan og'ishini tegishli holda kamaytiradi. Ko'rilayotgan holatda U_2 ni kamaytirish uchun maxsus choralar ko'rish talab etilmaydi. Ko'p hollarda korxona taqsimlash tarmoqlari parametrlarining mahalliy sharoitlariga qarab U_2 juda katta bo'lib, uni kondensatorlar yordamida kamaytirish mumkin.

BPP transformatorlari fazalariga nosimmetrik yuklamalar ulangandan keyin tokning to'g'ri va teskari ketma-ketliklari qo'shib aniqlanadi. Simmetrik yuklamada, ulangan BK ni hisobga olib toklarning to'g'ri ketma-ketligi matritsasi teng bo'ladi:

$$I_{N\Sigma} = \left(\frac{20 - j18}{16} + j\frac{10}{16} \right) S_1 = (1,25 - j0,5) |1a^2 a|.$$

Faza A uchun kuchlanishning to'g'ri ketma-ketligi argumenti nolga teng deb qabul qilindi. Nosimmetrik yuklama B va C fazalar orasiga ulanganda, kuchlanish kompleksining argumenti ushbu yuklamada:

$$-\frac{\pi}{2} U_{BC} = |e^{-j\pi/2}| = -j1.$$

Bir fazali nosimmetrik yuklama matritsasini yozishda A faza toki nolga teng. B faza - I_{bc} ga va C faza - I_{bc} ga teng deb hisoblaymiz. $S_{b,f}=101-11$.

Unda nosimmetrik yuklama toklaridan transformator chulg'amlaridagi tok matritsasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$I_{NC} = \frac{\sqrt{3}S_{bc}}{U_{bc}} * S_{BF} = \sqrt{3} * \frac{(5-j2)}{16 * j1} - |01-1| = \sqrt{3}(0,125 + j0,312) |0-j1|.$$

Nosimmetrik yuklamadan toklarning tegishli simmetrik tashkil etuvchilari:

$$I_{NCS} = S^{-1} I_{NC} = \frac{\sqrt{3}}{3} |111aa^21a^2a| * |0-11| X (0,125 + j0,312) = |-jj0|(0,125 + j0,312).$$

Transformator fazalaridagi toklar simmetrik va nosimmetrik yuklamalar uchun to'g'ri ketma-ketlik toklarining yig'indisi va

nosimmetrik yuklamada teskari ketma-ketlik toklari bilan aniqlanadi. Bunda transformator har xil ulanish sxemasiga egaligini hisobga olish kerak: birlamchi betaraf nuqtasi yerlangan yulduz shaklida, ikkilamchi esa uchburchak shaklida. Shuning uchun to'g'ri ketma-ketlik va teskari ketma-ketlik toklari yig'indisida oldinga o'tuvchi P/6 faza bo'yicha o'zgarishi kerak:

$$I_T = [(1,25-j0,5)-j(0,125+j0,312)]|1a^2a| + j(0,125+j0,312)|1aa^2|e^{j\pi/6} = |1,23-j0,674-1,12-j1,31-0,12-j1,98|.$$

Modul bo'yicha transformator yuklamalarining faza toklari teng: $I_T = |1,4*1,72*1,98|.$

Shunday qilib, transformator uchala faza yuklamalari har xil, ammo ularning ikkala transformator nominal quvvat qiymati 2 dan oshmaydi.

Eng kam quvvat tartibida bitta transformator o'chirilgan. Simmetrik yuklama tartibida quvvat quyidagiga teng: $S_{N\Sigma} = 10+j10=10 \text{ MVA}$ (ulangan BK hisobga olib).

Transformatorning fazalaridagi toklari:

$$I_T = [0,625-j(0,125+j0,312)]|1a^2a|.$$

$$I_T = [0,625-j(0,125+j0,312)]|1a^2a| + |-0,332-j0,049-0,208-j0,264+0,124+ +j0,313| = |0,605-j0,174-0,377-j1,006-0,230+j1,19|.$$

yoki modul bo'yicha $I_T = |0,62*1,07*1,21|.$

Eng kam yuklama tartibida faza C 20 % ga o'ta yuklangan, B fazasi esa 7 %. Ushbu holatda transformator ishlashi mumkinligini, bu tartibning uzoq vaqtliligini mahalliy sharoitlar hal qiladi.

Nosimmetriyani aniqlash uchun namunali misollar

4.1-misol. $\cos\varphi=1$ bo'lgan 3 MVA va 5 MVA li bir fazali pechlar 6 kV li U_{AB} va U_{BC} liniyalari kuchlanishlarga ulangan. 6 kV li shinadagi $S_K=180 \text{ MVA}$. ε_z ning qiymatini aniqlang. Agar zarur bo'lsa, CK ning parametrlarini hisoblang.

Yechish. Nosimmetriyalik yuklamaning teskari ketma-ketlik toki:

$$I_z = I_{z\Sigma} = \frac{\sqrt{3}}{3U_{nom}} \sqrt{S_{AB}^2 + S_{BC}^2 - S_{AB} * S_{BC}} = \frac{\sqrt{3}}{3*6} \sqrt{3000^2 + 5000^2 - 3000 * 5000} = 419 \text{ A}$$

$$\varphi_z = \varphi_{z\Sigma} = \arctg \frac{\sqrt{3}}{3} \frac{S_{AB} + S_{BC}}{S_{AB} - S_{BC}} = \arctg \frac{\sqrt{3}}{3} \frac{3+5}{3-5} = 113^\circ.$$

Teskari ketma-ketlik koeffitsiyenti:

$$\varepsilon_z = \frac{\sqrt{3} * I_z * U_{nom}}{S_k} 100\% = \frac{\sqrt{3} * 419 * 6}{180 * 10^3} * 100\% = 2,4\%.$$

Nosimmetriyani to'liq yo'qotish uchun kerak KB quvvati:

$$Q_{\Sigma} = \sqrt{3} U_{nom} I_z (\sqrt{3} * \sin \varphi_{2\Sigma} - \cos \varphi_{2\Sigma}) = 3 * 419 * 6 (\sqrt{3} \sin 113^\circ - \cos 113^\circ) = 8,64 \text{ MVar}$$

KB quvvatining taqsimlanishi:

$$Q_{BC} = \frac{2}{3 - \sqrt{3} \operatorname{ctg} \varphi_{2\Sigma}} Q_{\Sigma} = \frac{2}{3 - \sqrt{3} \operatorname{ctg} 113^\circ} * 8,64 = 4,63 \text{ MVar}.$$

$$Q_{CA} = 8,64 - 4,63 = 4,01 \text{ MVar}.$$

Yechim to'g'riligini tekshirish.

CK teskari ketma-ketlik toki:

$$I_{zCK} = \frac{\sqrt{3}}{3 * U_{nom}} \sqrt{Q_{BC}^2 + Q_{CA}^2 - Q_{BC} * Q_{CA}} = \frac{\sqrt{3}}{3 * 6} \sqrt{4,63^2 + 4,01^2 - 4,63 * 4,01} = 4,19 \text{ A}$$

Tokning boshlang'ich fazasi:

$$\varphi_{zCK} = \arctg \frac{\sqrt{3}}{3} \frac{2Q_{CA} - Q_{BC}}{Q_{BC}} - \varphi_{CK} = \arctg \frac{\sqrt{3}}{3} \frac{2 * 4,01 - 4,63}{4,63} + 90^\circ = 293^\circ.$$

$$\varphi_{zCK} - \varphi_z = 293^\circ - 113^\circ = 180^\circ.$$

CK parametrlarining to'g'ri tanlanganligini tasdiqlaydi.

4.2-misol. Oldin keltirilgan misol uchun filtrli kompensatsiya qurilmasini $K_{NC}=7,6\%$ tanlang.

Garmonika manbai 12 fazali BO'. BO' generatsiya qiladigan $I_{11}=145 \text{ A}$, $I_{13}=122 \text{ A}$. Yu.G ning nisbiy qiymati $U_{11}^*=5,8\%$, $U_{13}^*=4,9\%$.

Yechish. Oldingi misol yechimidan KB quvvatini simmetriyalash sharti bilan tanlaymiz. $Q_{BC}=4,63 \text{ MVar}$, $Q_{CA}=4,01 \text{ MVar}$.

Tanlangan KB filtrlar tarkibiga kiradi, BC va CA kuchlanishlarga ulanadi va $\nu_p=11$ chastotaga to'g'rilanadi.

13-garmonikaning qoldiq kuchlanishini aniqlash uchun P_{BC} va P_{CA} koeffitsiyentlarning qiymatlarini aniqlaymiz:

$$K_{pBC} = \frac{Q_{BC}}{S_K} = \frac{4,63}{180} = 2,57 * 10^{-2};$$

$$K_{pCA} = \frac{Q_{CA}}{S_K} = \frac{4,01}{180} = 2,22 * 10^{-2};$$

$$P_{BC} = \frac{1}{1 + \frac{3K_{pBC}\nu_p^2}{1 - \nu_q^2}} = \frac{1}{1 + \frac{3 * 2,57 * 10^{-2} * 11^2}{1 - (\frac{11}{13})^2}} = 0,03;$$

$$P_{CA} = \frac{1}{1 + \frac{3K_{pCA}\nu_p^2}{1 - \nu_q^2}} = \frac{1}{1 + \frac{3 * 2,22 * 10^{-2} * 11^2}{1 - (\frac{11}{13})^2}} = 0,034.$$

13-garmonikaning qoldiq kuchlanishi:

$$U_{13AB}^* = \frac{\sqrt{3(P_{BC}^2 + P_{CA}^2 + P_{BC}P_{CA})}}{1 + P_{BC} + P_{CA}} * U_{13}^* = \frac{\sqrt{3(0,03^2 + 0,034^2 + 0,03 * 0,034)}}{1 + 0,03 + 0,034} * 4,9 = 0,44\%;$$

$$U_{13BC}^* = \frac{P_{BC}\sqrt{3(1 + P_{CA} + P_{CA}^2)}}{1 + P_{BC} + P_{CA}} * U_{13}^* = \frac{0,03\sqrt{3(1 + 0,034 + 0,034^2)}}{1 + 0,03 + 0,034} * 4,9 = 0,24\%;$$

$$U_{13CA}^* = \frac{P_{CA}\sqrt{3(1 + P_{BC} + P_{BC}^2)}}{1 + P_{BC} + P_{CA}} * U_{13}^* = \frac{0,034\sqrt{3(1 + 0,03 + 0,03^2)}}{1 + 0,03 + 0,034} * 4,9 = 0,27\%.$$

Filtrning har bir yelkasidan oqadigan tokning ulushi:

$$\sigma_{13,11}^{BC} = \frac{1 + 0,5(P_{CA} + P_{CA}^2)}{1 + P_{BC} + P_{CA}} = \frac{1 + 0,5(0,034 + 0,034^2)}{1 + 0,03 + 0,034} = 0,96;$$

$$\sigma_{13,11}^{CA} = \frac{1 + 0,5(P_{BC} + P_{BC}^2)}{1 + P_{BC} + P_{CA}} = \frac{1 + 0,5(0,03 + 0,03^2)}{1 + 0,03 + 0,034} = 0,95.$$

Filtr orqali oqadigan Yu.G toklarining yig'indisi:

$$I_{\nu\Sigma}^{BC} = \sqrt{I_{11}^2 + (I_B \sigma_{13.11}^{BC})^2} = \sqrt{145 + (122 * 0,96)^2} = 1,86 A;$$

$$I_{\nu\Sigma}^{CA} = \sqrt{I_{11}^2 + (I_B \sigma_{13.11}^{CA})^2} = \sqrt{145 + (122 * 0,95)^2} = 1,86 A.$$

KB quvvati quyidagi shartni qoniqtirishi kerak:

$$Q_{BC(CA)} \geq 1,2 U_{NOMKB} * I^{BC(CA)} = 1,2 * 6 * 0,186 = 1,3 \text{ MVAr}.$$

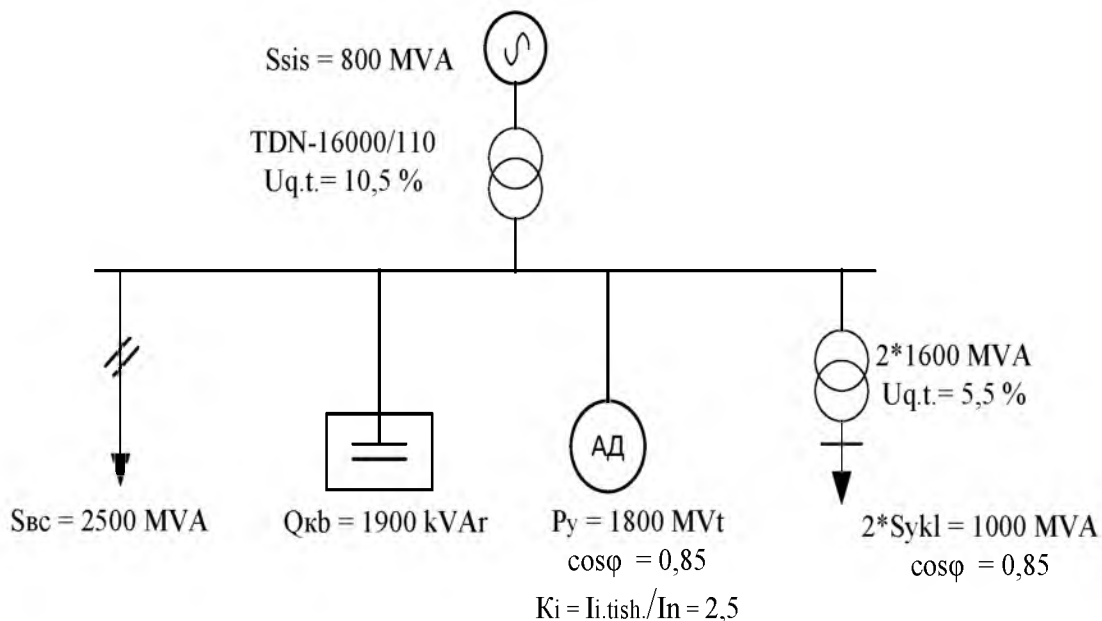
Shunday qilib, KB da tok bo'yicha o'ta yuklanish bo'lmaydi.

Mustaqil yechish uchun misollar

Nosimmetriyani aniqlash uchun misollar

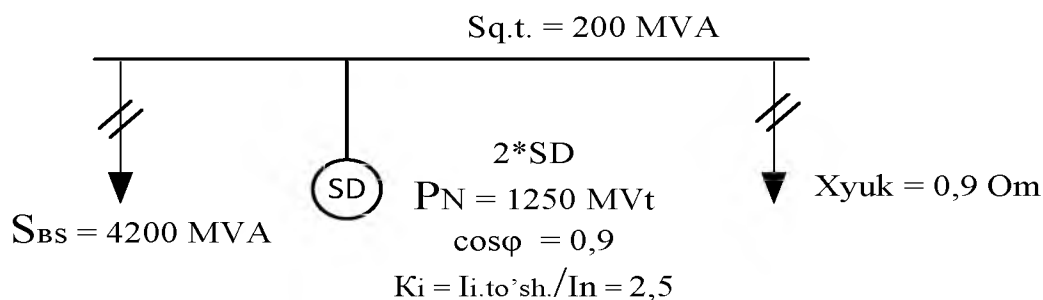
4.1-Misol. Podstansiyaning 10 kVli shinasiga quyidagi yuklamalar ulangan: uch fazali $S_N=55 \text{ MVA}$; bir fazali $S_{AB}=14,5 \text{ MVA}$; bir fazali $S_{AC}=8,5 \text{ MVA}$. Teskari ketma-ketlikda kuchlanish nosimmetriyasini aniqlang (10kvli shinadagi Q.T. quvvati $S_{qt}=320 \text{ MVA}$). Ushbu shinaga $Q_{KB}=20 \text{ MVAr}$ li kondensator batareyalarini ulash mumkinligini baholang.

4.2-misol. 4.4-rasmda ko'rsatilgan sxema uchun 10 kV li shinada kuchlanish nosimmetriyasining teskari ketma-ketligini aniqlang va uni ruxsatlangan qiymat bilan taqqoslang.



4.4-rasm. Hisoblash uchun prinsipial sxema

4.3-misol. 4.5-sxema uchun nosimmetriyaning ruxsat etilishini baholang.



4.5-rasm. Nosimmetriyani aniqlash uchun prinsipial sxema

4.4-misol. Termik sexning taqsimlash punkti TP-10 kV ga bir fazali qarshilik pechi $P_{BC}=2500$ kVt ulangan. 10 kV li ushbu shinaga yana uch fazali yuklama $P_{YU}=5000$ kVt, $Q_{YU}=5000$ kVAr va $Q_{KB}=2700$ kVAr ulangan. Kuchlanishning teskari ketma-ketlik nosimmetriya koeffitsiyentini aniqlang. GOCT 1309-97 ruxsatlangan K_{2U} bilan taqqoslang, agar kerak bo'lsa, 10 kV tarmoqda kamaytirish chora-tadbirlarini ishlab chiqing.

4.5-misol. Taqsimlash qurilmasiga quyidagi yuklamalar ulangan (1.3-rasm): uch fazali simmetrik quvvat $S_{sim}=30$ MVA har xil faza ulangan ikkita bir fazali $S_{AB}=16$ MVA, $S_{BC}=25$ MVA, $Q_{SKB}=28$ MVAr li statik kondensator batareyasi ulangan. Taqsimlovchi qurilma shinasidagi qisqa tutashuv quvvati $S_{QT}=1500$ MVA Kuchlanishning teskari ketma-ketligi nosimmetriya koeffitsiyentini aniqlash va uni ruxsatlanganligini baholash uchun talab etiladi.

Nazorat savollari

1. Kuchlanish nosimmetriyasi qanday ko'rsatkichlar bilan tavsiflanadi?
2. Teskari ketma-ketlik bo'yicha nosimmetriya koeffitsiyenti nima?
3. Kuchlanishning nosimmetriya hisobi qanday?

Nazorat savollari

1. Elektr energiyaning sifat ko'rsatkichlari deganda nima tushuniladi?
2. FOCT bilan elektr energiyaning qanday ko'rsatkichlari me'yorlanadi?
3. Elektr energiya sifat ko'rsatkichlarining buzilish sabablarini ayting?
4. Sifatsiz elektr ta'minotidan iqtisodiy zararni baholash nimadan iborat bo'ladi?
5. Qanday hisobiy oraliqda ES me'yoriy ko'rsatilgan ko'rsatkichlarning to'g'ri kelishi baholanadi?
6. Qaysi holatda elektr tarmog'ining umumiy ulangan tugunidagi kuchlanishning o'rnatilgan og'ishi FOCT talablariga javob beradi?
7. Qaysi ko'rsatkichlar bo'yicha kuchlanishning nosinusoidalligi va nosimmetriyasi tavsiflanadi?
8. Kuchlanish va chastotaning og'ishi elektr iste'molchilarning ishlashiga qanday ta'sir qiladi?
9. FOCT bo'yicha kuchlanish va chastotaning og'ishiga qanday talablar qo'yiladi?
10. Kuchlanishning tebranishini keltirib chiqaradigan manbalarni ayting? Har xil iste'molchilarning ishlashiga kuchlanishning tebranishi qanday ta'sir ko'rsatadi?
11. Kuchlanishning tebranishiga FOCT bo'yicha qanday talab qo'yiladi?
12. FOCT bo'yicha kuchlanish nosimmetriyasiga qanday talablar qo'yiladi?
13. Elektr iste'molchilarining ishlashiga nosimmetriya qanday ta'sir ko'rsatadi?
14. FOCT bo'yicha kuchlanish nosinusoidalligiga qanday talablar qo'yiladi?
15. Elektr iste'molchilarining ishlashiga kuchlanish nosinusoidalligi qanday ta'sir ko'rsatadi?
16. Kondensator batareyalarining yuqori garmonika toklari bilan o'ta yuklanishini qanday baholash mumkin?
17. Elektr tarmog'idagi yuklamalarni almashtirish sxemasida qanday ko'rsatish mumkin?
18. Induktivlik va sig'imga ega bo'lgan elektr tarmog'ida qaysi holatda tok rezonansi yuzaga keladi? Rezonans yuzaga kelishi mumkin bo'lgan garmonika raqamini qanday aniqlash mumkin?
19. Qanday tadbirlar elektr energiya sifatini oshiradi?

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. **Zelenko I and Sayenko Y** “Economic aspects of the problem of higher harmonics in power supply EPN 98” Zielona Gora S. 59-67.
2. **Qodirov T.M., Alimov X.A.** Sanoat korxonalarining elektr ta'minoti. O'quv qo'llanma - Toshkent: 2006.
3. **Жежеленко И.В.** Высшие гармоники в системах электроснабжения промышленных предприятий – М: Энергоатомиздат, 2000.
4. **ГОСТ 13109-97.** Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Изд-во стандартов, 1997.
5. **Кудрин Б.И.** Основы электроснабжения промышленных предприятий/Б.И.Кудрин[и др.]. – М.: Энергоатомиздат, 2003.
6. **Кочкин В.И.** Применение статических компенсаторов реактивной мощности в электрических сетях энергосистем и предприятий/В.И.Кочкин, О.П.Нечаев. - М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2000.
7. **Карташов И.И.** Качество электроэнергии в системах электроснабжения. Способы его контроля и обеспечения учеб. пособие/И.И.Карташов.-М.:изд-во МЭИ, 2001.

MUNDARIJA

KIRISH.....	3
1-AMALIY MASHG‘ULOT KUCHLANISH OG‘ISHINI HISOBLASH VA QIYMATINI BAHOLASH.....	7
2-AMALIY MASHG‘ULOT RUXSAT ETILGAN KUCHLANISH TEBRANISHINI BAHOLASH.....	12
3-AMALIY MASHG‘ULOT KUCHLANISH NOSINUSOIDALLIGINI HISOBLASH.....	18
4-AMALIY MASHG‘ULOT KUCHLANISH NOSIMMETRIYASINI HISOBLASH.....	39
FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI.....	57

Muharrir: Sidikova K.

Musahhih: Miryusupova Z.