

**T.SH. GAYIBOV, B.M. PULATOV,
A.E. SHANAZAROV**

ELEKTR TARMOQLARI VA TIZIMLARI

MISOL VA MASALALAR TO'PLAMI



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

T.SH. GAYIBOV, B.M. PULATOV, A.E. SHANAZAROV

ELEKTR TARMOQLARI VA TIZIMLARI
MISOL VA MASALALAR TO'PLAMI

*O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi
tomonidan o'quv qo'llanma sifatida tavsiya etilgan*

O'QUV QO'LLANMA

TOSHKENT
VNESHINVESTRPROM
2022

UO'K: 621.311 (075.8)

KBK: 658. 9(2)

Gayibov T.Sh., Pulatov B.M., Shanazarov A.E. Elektr tarmoqlari va tizimlari. Misol va masalalar to'plami: O'quv qo'llanma–Toshkent., ToshDTU, 2020–175 b.

O'quv qo'llanmada elektr tarmoqlari va tizimlari bo'yicha nazariy ma'lumotlar, masalalar yechish namunalari va mustaqil yechish uchun masalalar to'plamlari keltirilgan. Ushbu fanni chuqur o'zlashtirishni ta'minlash maqsadida har bir masalani yechish batafsil tushuntirishlar, sxemalar va illyustrativ materiallar asosida amalga oshirilgan. Qo'llanma bakalavriatning 5310200 - «Elektr energetikasi(energiyani ishlab chiqarish, uzatish va taqsimlash)» yo'nalishida ta'lim oluvchi talabalar uchun mo'ljallangan.

В учебном пособии приведены теоретические сведения о электрических сетях и системах, примеры решения задач и сборник задач для самостоятельного решения. С целью обеспечения глубокого изучения курса решение каждого примера приведены подробными объяснениями, схемами и иллюстративными материалами. Методично предназначена для студентов бакалавров направления 5310200–«Электроэнергия (производство, передача и распределение энергии)».

The training manual provides theoretical information about electrical networks and systems, examples of problem solving and a collection of tasks for independent solutions. In order to provide in-depth study of the course, the solution to each example is provided with detailed explanations, diagrams, and illustrative materials. Methodically designed for undergraduate students in the field of 5310200 – Electrical energy (generation, transmission and distribution of energy).

Taqrizchilar:

Hamidov Sh.V. – XNNT KDM «Energiya» yetakchi muhandisi t.f.d.

Taslimov A.D.–ToshDTU,«Elektr ta'minoti» kafedrası professori, t.f.d.

©Toshkent davlat texnika universiteti, 2022

ISBN 978-9943-7956-0-0

©VNESHINVESTROPROM 2022

KIRISH

Ushbu qo'llanmaning maqsadi bakalavriatning «Elektr energetikasi» va unga yaqin bo'lgan boshqa yo'nalishlarida ta'lim oluvchi talabalarning elektr tarmoqlari va tizimlari bo'yicha chuqur nazariy bilim olishlarida samaradorlikni oshirishdan iboratdir. Unda fanning asosiy qismlari qamrab olingan bo'lib, elektr tarmoqlari va tizimlarini xisoblash, holatlarini tahlil qilish va boshqarish, shuningdek taraqqiyotini loyihalash jarayonida paydo bo'luvchi turli masalalarni hal etish uchun zarur nazariy ma'lumotlar, masalalar yechish namunalari, masalalar to'plami va qo'llanma ma'lumotlar keltirilgan.

Qo'llanmaning tarkibi «Elektr tarmoqlari va tizimlari» fanining dasturiga to'la mos keladi.

Qo'llanmada keltirilgan ma'lumotlarni o'zlashtirish «Oliy matematika», «Fizika», «Elektrotexnikaning nazariy asoslari», «Elektr energiyani ishlab chiqarish, uzatish va taqsimlash» kabi fanlar bo'yicha olingan bilimlarga tayanadi.

Keltirilgan ma'lumotlarni tushunishni yengillashtirish maqsadida ko'plab illyustrativ ma'lumotlardan foydalanildi, fikrni sodda tarzda bayon etishga harakat qilindi.

1. ELEKTR TARMOQ ELEMENTLARINING ALMASHTIRISH SXEMALARI VA HISOB PARAMETRLARI

1.1. Elektr uzatish liniyalarining almashtirish sxemalari va hisob parametrlari

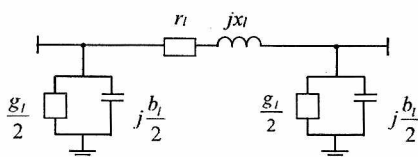
Unchalik katta bo'lmagan uzunlikdagi (300-400 km gacha) elektr uzatish liniyalari parametrlarini butun uzunlik bo'yicha bir xilda taqsimlangan deb qarash mumkin.

Uzunligi 300-400 km gacha bo'lgan liniyalarning almashtirish sxemasi umumiy holda 1.1-rasmdagi kabi Π -simon ko'rinishda tasvirlanadi. Rasmda r_l, x_l - elektr uzatish liniyasining aktiv va reaktiv qarshiliklari; g_l, b_l - elektr uzatish liniyasining aktiv va sig'im o'tkazuvchanliklari.

Aktiv qarshilik quyidagi formula bo'yicha topiladi:

$$r_1 = r_0 l, \quad (1.1)$$

bu yerda r_0 - solishtirma aktiv qarshilik, Om/km (o'tkazgichning harorati $+20^\circ \text{C}$ bo'lganda); l - uzatish liniyasining uzunligi, km.



1.1-rasm. Elektr uzatish liniyasining umumiy ko'rinishdagi almashtirish sxemasi

O'tkazgichlar va kabellarning aktiv qarshiliklari 50 Gs chastotada, ya'ni ularning o'zgarmas tokka ko'rsatuvchi qarshiligiga tengdir. Shu tufayli yuza effekti hodisasi e'tiborga olinmaydi. r_0 ning qiymatlari po'lat alyuminiy va boshqa rangli

metallardan tayyorlangan o'tkazgichlar uchun ko'ndalang kesim yuzalariga bog'liq ravishda qo'llanma jadvallarda keltirilgan. Umumiy holda, o'tkazgichning harorati 120°C dan farq qilganda, ular to'g'rilash koeffitsiyentlari kiritilgan mos formulalar bo'yicha hisoblanadi.

Reaktiv qarshilik quyidagi formula bo'yicha topiladi:

$$x_1 = x_0 l, \quad (1.2)$$

bu yerda x_0 - solishtirma reaktiv qarshilik, Om/km.

Elektr uzatish liniyasining alohida fazalaridagi reaktiv qarshiliklar umumiy holda turlicha. Simmetrik holatlarni hisoblashda x_0 ning quyidagi formula bo'yicha hisoblanuvchi o'rtacha qiymatidan foydalaniladi:

$$x_0 = 0,1441 \lg(D_{or}/r_{ot}) + 0,0157, \quad (1.3)$$

bu yerda r_{ot} - o'tkazgichning radiusi; D_{or} - faza o'tkazgichlari orasidagi o'rtacha geometrik masofa:

$$D_{or} = \sqrt[3]{D_{ab} D_{bc} D_{ca}}, \quad (1.4)$$

D_{ab}, D_{bc}, D_{ca} - mos faza o'tkazgichlari orasidagi masofalar.

Nominal kuchlanishi 330 kV va undan yuqori bo'lgan elektr uzatish liniyalarida (EULda) faza o'tkazgichlari bir nechta o'tkazgichlarga parchalanadi. Bunday EUL uchun solishtirma aktiv qarshilik quyidagicha topiladi:

$$r_0 = r_{0ot} / n_\phi,$$

bu yerda r_{0ot} - muayyan kesimdagi o'tkazgichning solishtirma qarshiligi.

Shuningdek, parchalangan o'tkazgichli liniyalar uchun (1.3) formuladagi so'nggi tashkil etuvchi $0.0157/n_\phi$ ko'rinishda bo'ladi. Bunday hollarda (1.3) formuladagi r_{ek} o'rniga quyidagi formula bo'yicha topiluvchi ekvivalent radius r_{ek} dan foydalaniladi:

$$r_{ek} = \sqrt[n_\phi]{r_{ot} a_{or}^{n_\phi - 1}}, \quad (1.5)$$

bu yerda a_{or} - bitta fazadagi o'tkazgichlar orasidagi o'rtacha geometrik masofa; n_ϕ - bitta fazadagi o'tkazgichlar soni.

Po'latalyuminiy o'tkazgichlar uchun x_0 ning qiymati liniyaning geometrik o'lchamlari (yoki nominal kuchlanishi) va o'tkazgichning kesim yuzasiga bog'liq ravishda qo'llanma jadvallardan olinishi mumkin.

EULning *aktiv o'tkazuvchanligi* ikki ko'rinishdagi aktiv quvvat isroflarini ifoda etadi: izolyatorlar orqali oqib o'tuvchi daydi toklar hosil qiluvchi isroflar va tojlanish tufayli yuz beruvchi isroflar.

Izolyatorlardagi daydi toklar qiymati juda kam bo'lib, ular tufayli yuz beruvchi isroflarni hisobga olmaslik mumkin. Tojlanish darajasi o'tkazgichdagi kuchlanish va uning radiusiga bog'liq bo'ladi. Shu sababli bu isrofning qiymatini ruxsat etilgan oraliqda tutish uchun tojlanish bo'yicha ruxsat etiluvchi eng kichik kesim yuzasi belgilangan. Unga muvofiq eng kichik kesim yuzasi 110 kV uchun 70 mm², 220 kV uchun 240 mm².

220 kV va undan past nominal kuchlanishli tarmoqlarda liniyalarning almashtirish sxemalarida aktiv o'tkazuvchanliklar juda kamligi sababli e'tiborga olinmaydi.

EULning *sig'im o'tkazuvchanligi* b_1 alohida faza o'tkazgichlari orasida va faza o'tkazgichlari bilan yer orasida hosil bo'luvchi sig'im effekti ta'sirida vujudga keladi va quyidagicha hisoblanadi:

$$b_1 = b_0 l, \quad (1.6)$$

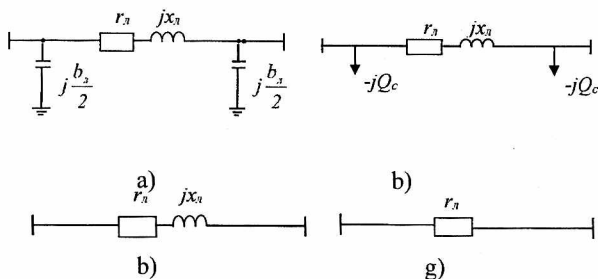
bu yerda b_0 - solishtirma sig'im o'tkazuvchanlik bo'lib, u liniyaning geometrik o'lchamlari (yoki nominal kuchlanishi) va o'tkazgichning markasiga bog'liq ravishda qo'llanma jadvaldan aniqlanishi yoki quyidagi formula bo'yicha hisoblanishi mumkin:

$$b_0 = \frac{7,58}{\lg \frac{D_{op}}{r_{or}}} \cdot 10^{-6} \quad (1.7)$$

Hisoblashlarda katta aniqlik talab etilmaydigan hollarda 110-220 kV kuchlanishli EULning sxemalari 1.2,b-rasmdagi kabi sodda ko'rinishda ifodalanadi. Bu sxemada sig'im o'tkazuvchanlik o'rniga (1.2-rasm) u ta'sirida ishlab chiqariluvchi reaktiv quvvat hisobga olinadi. Bunda EUL sig'im quvvatining yarmi quyidagicha topiladi:

$$Q_s = 3I_s U_f = 3U_f^2 \cdot \frac{1}{2} \cdot b_0 l = \frac{1}{2} U^2 b_l, \quad (1.8)$$

bu yerda U_f va U - faza va fazalararo (liniya) kuchlanishlari, kV; I_s - erga tomon oquvchi sig'im toki bo'lib, $I_s = U_f b_l / 2$.



1.2-rasm. Elektr uzatish liniyasining almashtirish sxemasi: a,b- 110-220 kV kuchlanishli havo uzatish liniyalari uchun; v- 35 kV va undan past kuchlanishli havo uzatish liniyalari uchun; g - 10 kV va undan past kuchlanishli kabelli uzatish liniyalari uchun

(1.8) dan ko‘rinadiki, EULda ishlab chiqariluvchi reaktiv quvvat (zaryad quvvati) Q_z kuchlanishning kvadratiga to‘g‘ri proporsionaldir.

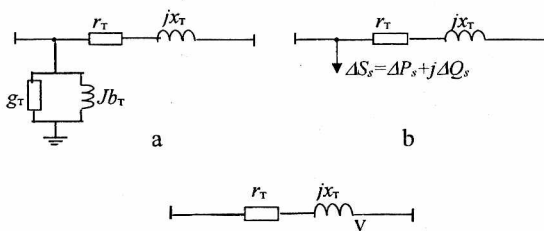
35 kV va undan past kuchlanishdagi havo EULda Q_z juda kichik bo‘lganligi sababli u va mos b_l o‘tkazuvchanlik e‘tiborga olinmaydi (1.2,v-rasm).

Kabelli EULning almashtirish sxemalari ham umumiy holda havo EULdagi kabi II-simon ko‘rinishda ifodalanadi (1.1-rasm). (1.3), (1.7) formulalardan ko‘rinib turibdiki, o‘tkazgichlarning yaqinlashishi bilan x_0 kamayadi va b_0 ortadi. Kabelli EULlarda faza o‘kazgichlari oralaridagi masofalar kam bo‘lganligi sababli x_0 havo EULdagiga nisbatan juda kam bo‘ladi. Shu sababli 10 kV va undan past nominal kuchlanishdagi kabelli EULning almashtirish sxemalarida x_0 e‘tiborga olinmaydi (1.2,g-rasm). Aktiv o‘tkazuvchanlik g_n 110 kV va undan yuqori kuchlanishli kabelli EULning almashtirish sxemalarida e‘tiborga olinadi.

1.2. Transformator va avtotransformatorlarning almashtirish sxemalari

Ikki chulg‘amli transformatorning almashtirish sxemasi umumiy holda 1.3,a-rasmdagi kabi Γ -simon ko‘rinishda tasvirlanadi.

Almashtirish sxemasining bo‘ylama qismi transformatorning aktiv va reaktiv r_T, x_T qarshiliklariga ega. Bu qarshiliklar mos ravishda transformatorning birlamchi va birlamchi chulg‘amga keltirilgan ikkilamchi chulg‘aming aktiv va reaktiv qarshiliklari yiqindisiga tengdir. Ushbu sxemada transformatsiya, ya‘ni ideal transformator mavjud bo‘lmasdan, ikkilamchi chulg‘amning qarshiliklari birlamchi chulg‘amga keltirilgan. Agar transformator bilan boqlangan tarmoq birgalikda ko‘rilsa va bunda tarmoq kuchlanishning bir xil darajasiga keltirilmagan bo‘lsa, u holda transformatorning almashtirish sxemasida ideal transformator ko‘rsatiladi.



1.3-rasm. Ikki chulgʻamli transformatorning almashtirish sxemalari:
a – umumiy holdagi Γ -simon almashtirish sxemasi; b, v- soddalashtirilgan almashtirish sxemalari

Almashtirish sxemasidagi koʻndalang shoxobcha (magnitlanish shoxobchasi) aktiv va reaktiv oʻtkazuvchanliklar g_T , b_T dan tashkil topgan. Aktiv oʻtkazuvchanlik transformatorning, odatda, poʻlatdan yasaluvchi oʻzagida magnitlovchi tok I_μ ning oqishi bilan bogʻliq holda yuz beruvchi aktiv quvvat isroflarini ifodalaydi. Reaktiv oʻtkazuvchanlik esa transformator chulgʻamlaridagi oʻzaro induksiya magnit oqimi bilan belgilanadi.

220 kV va undan past kuchlanishli elektr tarmoqlarini hisoblashda transformatorlar soddalashtirilgan almashtirish sxemalari bilan tasvirlanadi. 110, 220 kV nominal kuchlanishli elektr tarmoqlarda transformatorning almashtirish sxemasidagi magnitlanish shoxobchasi oʻrniga transformator poʻlatida (salt ishlash holatida) isrof boʻluvchi quvvat qoʻshimcha yuklama sifatida hisobga olinadi (1.3,b-rasm). 35 kV va undan past nominal kuchlanishli tarmoqlarda esa, bu isroflar juda kamligi sababli mutlaqo eʼtiborga olinmaydi (1.3,v-rasm).

Almashtirish sxemasining parametrlari transformatorning katalog (pasport) parametrlaridan foydalanib hisoblanadi. Bu parametrlarning qiymatlari har bir standart transformator uchun qoʻllanma jadvalda (shuningdek, transformatorning pasportida) keltiriladi. Ularga quyidagi parametrlar kiradi: S_n - transformatorning nominal quvvati, MVA; U_{yu}, U_{qu} - yuqori va past chulgʻamlarning nominal kuchlanishlari, kV; ΔP_s - salt ishlash holatida aktiv quvvat isrofi, kVt; I_s %- salt ishlash toki, I. dan %; ΔP - qisqa tutashuv isrofi, kVt; u %- qisqa tutashuv kuchlanishi, U_{yu} dan %. Bu maʼlumotlar boʻyicha almashtirish sxemasining barcha

parametrlarini (qarshiliklar va o'tkazuvchanliklarni), shuningdek ulardagi isroflarni topish mumkin.

Magnitlanish shoxobchasi o'tkazgichlari salt ishlash tajribasi natijalaridan foydalanib topiladi. Bunda transformator faqat salt ishlash holatidagiga teng bo'lgan quvvatni isrof qiladi:

$$\Delta \dot{S}_s = \Delta P_s + j \Delta Q_s.$$

Bundan kelib chiqib, o'tkazuvchanliklar quyidagi ifodalar bo'yicha topiladi:

$$g_r = \Delta P_s / U_N^2, \quad (1.9)$$

$$b_r = \Delta Q_s / U_N^2, \quad (1.10)$$

Transformatorlarda magnitlash toki juda kichik aktiv tashkil etuvchiga ega, shu sababli:

$$I_\mu = I_s \approx I_s'',$$

bu yerda I_s'' - I_s ning reaktiv tashkil etuvchisi.

Yuqoridagidan

$$\Delta Q_s = 3I_s'' U_f \approx 3I_s U_f = 3 \cdot \frac{I_s \% I}{100} \cdot U_f = \frac{I_s \% S_N}{100}. \quad (1.11)$$

Transformatorlarning r_r va x_r qarshiliklari qisqa tutashuv tajribasi natijalaridan foydalanib topiladi. Bu tajribada transformatorning ikkilamchi chulg'ami qisqa tutashtiriladi va birlamchi chulg'amiga har ikkala chulg'amlarda nominal toklar oqishini ta'minlovchi kuchlanish beriladi. Bu kuchlanish qisqa tutashuv kuchlanishi u_q deb yuritiladi. Qisqa tutashuv holatida u_q U_n ga nisbatan juda kichik bo'lganligi sababli magnitlanish shoxobchasida isrof bo'luvchi quvvat ham juda kichik bo'ladi va isrof bo'luvchi quvvatning barchasi chulg'amda yuz beradi, yani

$$\Delta P_q = 3I_N^2 r_T = \frac{S_N^2}{U_N^2} r_T \quad \text{va} \quad r_T = \frac{\Delta P_q U_N^2}{S_N^2}. \quad (1.12)$$

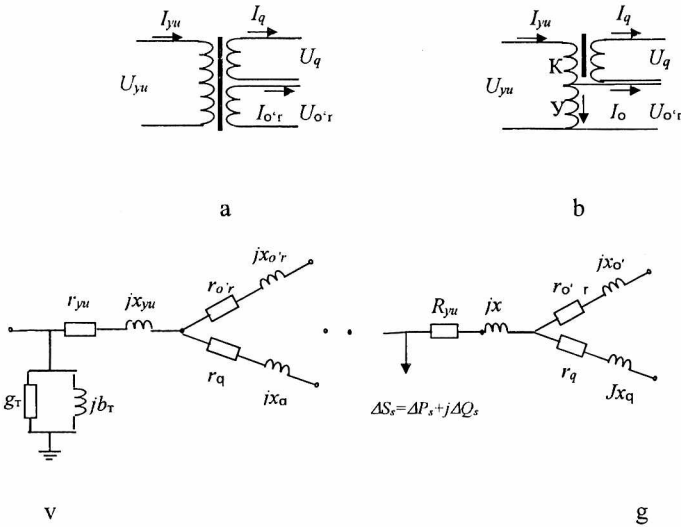
Zamonaviy katta quvvatli transformatorlarda $r_T \ll x_T$ va shu sababli $u_q \approx u''_q$.
Qisqa tutashuv tajribasidan

$$u_q = \frac{u_q \% U_N}{100} \approx \sqrt{3} I_N x_T \quad \text{va} \quad x_T = \frac{u_q \% U_N^2}{100 S_N}. \quad (1.13)$$

Uch chulg'amli transformatorlar va avtotransformatorlar. Ko'p hollarda podstansiyada uchta nominal kuchlanish – yuqori U_{yu} , o'rta U_{or} va past U_p kuchlanishlar talab etiladi. Bunday hollarda uch chulg'amli transformator yoki uch chulg'amli avtotransformatordan foydalanish iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiqdir. Uch chulg'amli transformatorning chulg'amlari o'zaro magnitik bog'lanishda bo'ladi (1.4,a-rasm). Uch chulg'amli avtotransformatorlarda esa chulg'amlar orasida magnitik bog'lanishdan tashqari elektrik bog'lanish ham mavjuddir. Ularda, odatda, o'rta chulg'am yuqori chulg'amning bir qismini tashkil etadi. Bu chulg'amlarning o'zaro umumiy bo'lgan qismi umumiy (U) va qolgan – umumiy bo'lmagan qismi ketma-ket (K) chulg'am deb yuritiladi. Shunday qilib, past chulg'am qolgan ikkala chulg'amlar bilan magnitik bog'lanishda, ketma-ket va umumiy chulg'amlar esa bir-biri bilan o'zaro elektrik va magnitik bog'lanishda bo'ladi (1.4,b-rasm). Avtotransformatorning ketma-ket chulg'ami bo'ylab I_{yu} tok oqsa, uning umumiy chulg'ami bo'ylab $I_{yu} - I_u$ tok oqadi.

Avtotransformatorning nominal quvvati deb uning normal ishlash sharoitida yuqori va o'rta kuchlanish tarmoqlaridan olishi yoki ularga uzatishi mumkin bo'lgan eng katta quvvatga aytiladi:

$$S_N = \sqrt{3} U_{yuN} \cdot I_{yuN} \quad (1.14)$$



1.4-rasm. Uch chulg'amli transformator va avtotransformatorning sxemalari:
a, b- chulg'amlarning tutashuv sxemalari; v, g- G-simon va soddalashtirilgan almashtirish sxemalari.

Bu quvvat, shuningdek, *o'tish quvvati* deb ham yuritiladi. O'tish quvvati deb avtotransformatorning past chulg'amida yuklama bo'lmagan holda yuqori kuchlanish tarmog'idan o'rta kuchlanish tarmog'iga yoki teskari yo'nalishda uzatish mumkin bo'lgan eng katta quvvatga aytiladi.

Avtotransformatorning ketma-ket chulg'ami K tip quvvatga mo'ljallanadi. Bu quvvat nominal parametrlar orqali quyidagicha ifodalanadi:

$$S_{tip} = \sqrt{3} (U_{yu} - U_{or}) I_{yu} = \sqrt{3} U_{yu} I_{yu} \left(1 - \frac{U_{or}}{U_{yu}} \right) = \alpha S_N, \quad (1.15)$$

bu yerda $\alpha = 1 - U_{or} / U_{yu}$ - afzallik koeffitsiyenti bo'lib, u S_{tip} ning S_N ga nisbatini ko'rsatadi.

Yuqoridagi tartibda umumiy chulg'amning quvvati ham tip quvvatiga teng ekanligini isbotlash mumkin. Quyi kuchlanish chulg'ami ham tip quvvati yoki undan kichik quvvatga mo'ljallanadi. U nominal quvvat orqali quyidagicha ifodalanadi:

$$S_{p.N} = \alpha_{p.N} S_N, \quad (1.16)$$

bu yerda $U_{yu} \leq 330$ kV bo'lgan hollarda $\alpha_{p.N} = 0,25; 0,4; 0,5$ bo'lishi mumkin.

$U_N > 220$ kV bo'lgan holat uchun uch chulg'amli transformator va avtotransformatorning almashtirish sxemasi 1.4,v-rasmda, $U_N \leq 220$ kV bo'lgan holat uchun esa 1.4,g-rasmda tasvirlangan. Ushbu holatda ham salt ishlashda isrof bo'luvchi quvvatlar ΔP_s va ΔQ_s ikki chulg'amli transformatorlardagidek hisoblanadi. Uch chulg'amli transformator va avtotransformatorelar uchun qisqa tutashuv isroflari va kuchlanishlari uchala chulg'amlar juftliklari uchun, ya'ni $\Delta I'_{qt(yu-o')}, \Delta P_{qt(yu-p)}, \Delta P_{qt(o'-p)}$ va $u_{qt(yu-o')}\%, u_{qt(yu-p)}\%, u_{qt(o'-p)}\%$ ko'rinishida beriladi. Har bir $\Delta I'_{qt}$ va $u_{qt}\%$ mumkin bo'lgan uchta tajribaning biriga taaluqlidir. Masalan, $\Delta P_{qt(yu-p)}$ va $u_{qt(yu-p)}$ larning qiymatlari past chulg'am qisqa tutashtirilgan, o'rta chulg'am salt holda bo'lgan, yuqori chulg'amga past chulg'am orqali nominal tok oqishini ta'minlovchi $u_{qt(yu-p)}$ kuchlanish berilgan holatda aniqlanadi. Bunday holda, xuddi ikki chulg'amli transformatorlardagidek

$$r_{yu} + r_{o'} = \frac{\Delta P_{qt(yu-o')} U_N^2}{S_{N'}^2}, \quad (1.17)$$

$$r_{yu} + r_p = \frac{\Delta P_{qt(yu-p)} U_N^2}{S_{N'}^2}, \quad (1.18)$$

$$r_{o'} + r_p = \frac{\Delta P_{qt(o'-p)} U_N^2}{S_{N'}^2}. \quad (1.19)$$

(1.17)-(1.19) tenglamalarda uchta noma'lum aktiv qarshiliklar mavjud. Ularni tizim qilib yechish asosida qarshiliklar uchun ifodalarga ega bo'lamiz:

$$r_{yu} = \frac{\Delta P_{kyu} U_N^2}{S_{yu}^2}, \quad r_{o'} = \frac{\Delta P_{qt} U_N^2}{S_N^2}, \quad r_p = \frac{\Delta P_{qt} U_N^2}{S_N^2},$$

bu yerda $\Delta P_{qt,yu}, \Delta P_{qt,o'}, \Delta P_{qt,p}$ lar quyidagi formulalar bo'yicha topiladi:

$$\Delta P_{qt,yu} = 0,5(\Delta P_{qt,(yu-o')} + \Delta P_{qt,(yu-p)} - \Delta P_{qt,(o'-p)}), \quad (1.20)$$

$$\Delta P_{qt,o'} = 0,5(\Delta P_{qt,(yu-o')} + \Delta P_{qt,(o'-p)} - \Delta P_{qt,(yu-p)}), \quad (1.21)$$

$$\Delta P_{qt,p} = 0,5(\Delta P_{qt,(yu-p)} + \Delta P_{qt,(o'-p)} - \Delta P_{qt,(yu-o')}). \quad (1.22)$$

$u_{qt,yu} \%, u_{qt,o'} \%, u_{qt,p} \%$ lar ham shu kabi hisoblanadi:

$$u_{qt,yu} \% = 0,5(u_{qt,(yu-o')} \% + u_{qt,(yu-p)} \% - u_{qt,(o'-p)} \%), \quad (1.23)$$

$$u_{qt,o'} \% = 0,5(u_{qt,(yu-o')} \% + u_{qt,(o'-p)} \% - u_{qt,(yu-p)} \%), \quad (1.24)$$

$$u_{qt,p} \% = 0,5(u_{qt,(yu-p)} \% + u_{qt,(o'-p)} \% - u_{qt,(yu-o')} \%). \quad (1.25)$$

$u_{qt,yu} \%, u_{qt,o'} \%, u_{qt,p} \%$ larning topilgan qiymatlaridan foydalanib, quyidagi formulalar bo'yicha alohida chulg'amlarning reaktiv qarshiliklari hisoblanadi:

$$x_{yu} = \frac{u_{qt,yu} \% \cdot U_N^2}{100 S_N}, \quad x_{o'} = \frac{u_{qt,o'} \% \cdot U_N^2}{100 S_N}, \quad x_p = \frac{u_{qt,p} \% \cdot U_N^2}{100 S_N}.$$

1.3. Masalalar yechish namunalari

1.1-masala. Kesim yuzasi 10 mm^2 bo'lgan mis tomirli kabeldan tayyorlangan 5 km uzunlikdagi 6 kV nominal kuchlanishli liniyaning solishtirma parametrlarini toping. Almashtirish sxemasini quring va uning hisob parametrlarini toping.

yechish. Berilgan kesim yuzali va nominal kuchlanishli kabeldan tayyorlangan liniyaning solishtirma parametrlarini qo'llanma jadvallar bo'yicha aniqlaymiz:

$$r_0 = 1,84 \text{ Om/km}, \quad x_0 = 0,11 \text{ Om/km}, \quad b_0 = 63 \cdot 10^{-6} \text{ Sm/km}.$$

Almashtirish sxemasining hisob parametrlarini topamiz:

$$r_l = 1,84 \cdot 5 = 9,2 \text{ Om};$$

$$x_l = 0,11 \cdot 5 = 0,55 \text{ Om};$$

$$b_l = 63 \cdot 10^{-6} \cdot 5 = 315 \cdot 10^{-6} \text{ Sm/km}.$$

Almashtirish sxemasida sig'ım o'tkazuvchanlikni hisobga olishning qanchalik darajada maqsadga muvofiqligini baholash uchun bu o'tkazuvchanlikda ishlab chiqariluvchi zaryad quvvatini hisoblaymiz:

$$Q_s = U^2 b = 6^2 \cdot 315 \cdot 10^{-6} = 11340 \cdot 10^{-6} \text{ MVAR} = 11,34 \text{ kVAR}.$$

Ko'rilayotgan kabel uchun qizish shartlari bo'yicha ruxsat etilgan tokni qo'llanma jadvallari bo'yicha aniqlash mumkin: 80 A.

$$S_{maks} = \sqrt{3} U_{nom} I_{maks} = \sqrt{3} \cdot 6 \cdot 80 = 830 \text{ kVA}.$$

Bunga mos ravishda,

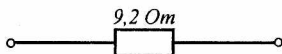
$$\frac{Q_s}{S_{maks}} = \frac{11,34 \cdot 100}{830} = 1,4\%.$$

Zaryad quvvatining hosil bo'lgan qiymati almashtirish sxemasi asosida bajariluvchi hisoblash natijalariga sezilarli ta'sir ko'rsata olmaydi. Shu sababli bu quvvatni e'tiborga olmaslik va almashtirish sxemasidan sig'ım o'tkazuvchanlikni olib tashlash mumkin.

Induktiv qarshilik uchun quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\frac{x_l}{r_l} = \frac{0,55 \cdot 100}{9,2} = 6\%$$

Bunday kichik nisbiy qiymatga ega bo'lganda induktiv qarshilikni ham almashtirish sxemasidan olib tashlash mumkin. Bunga mos holda ko'rilayotgan masala uchun liniyaning almashtirish sxemasi faqat $r_l=9,2 \text{ Om}$ (1.5-rasm) aktiv qarshilikdan iborat qilib tasvirlanishi lozim.



1.5-rasm. Elektr uzatish liniyasining almashtirish sxemasi.

1.2-masala. O'tkazgichlari oralaridagi masofa $D_{AB}=D_{BC}=4 \text{ m}$ bo'lgan II-simon tayanchlarda joylashgan, AC 150/24 markali o'tkazgichdan tayyorlangan 110 kV kuchlanishli 50 km uzunlikdagi ikki zanjirli liniyaning almashtirish sxemasini quring va parametrlarini hisoblang.

Yechish. AC 150/24 markali o'tkazgichning solishtirma aktiv qarshiligi qiymati va diametrini qo'llanma jadval bo'yicha aniqlaymiz: $r_0=0,198 \text{ Om/km}$, $d_{o'r}=2r_{o'r}=17,1 \text{ mm}$. Liniyaning o'tkazgichlari oralaridagi o'rtacha geometrik masofani topamiz:

$$D_{o'r} = \sqrt[3]{D_{AB} D_{BS} D_{AS}} = \sqrt[3]{4 \cdot 4 \cdot 8} = 5,04 \text{ m} = 5040 \text{ mm}.$$

Liniyaning solishtirma induktiv qarshiligi va solishtirma sig'im o'tkazuvchanligini hisoblaymiz:

$$x_0 = 0,144 \cdot \lg \frac{D_{o'r}}{r_{o'r}} + 0,157 = 0,144 \cdot \lg \frac{5040}{8,55} + 0,157 = 0,416 \text{ Om/km};$$

$$b_0 = 7,58 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{\lg(5040/8,55)} = 2,74 \cdot 10^{-6} \text{ Sm/km}$$

AC 150/24 markali o'tkazgich uchun $D_{o'r}=5040 \text{ mm}$ bo'lgan holatda qidirilayotgan parametrlarni qo'llanma jadvallari bo'yicha bevosita aniqlash mumkin: $x_0=0,42 \text{ Om/km}$, $b_0=2,7 \cdot 10^{-6} \text{ Sm/km}$. x_0 va b_0 larning qiymatlarini hisoblashga nisbatan qo'llanma jadvallardan foydalanib aniqlash qulay va shu

sababli ulardan foydalanish maqsadga muvofiqdir. Ko'rilayotgan holatda solishtirma parametrlarning nisbati

$$\frac{r_0}{x_0} = \frac{0,198}{0,42} = 0,471 \text{ ga teng,}$$

ya'ni $r_0 < x_0$. Bunday nisbat $U_{nom} = 110 \text{ kV}$ bo'lgan havo liniyasi uchun xarakterlidir.

Uzunligi 50 km bo'lgan ikki zanjirli liniyaning almashtirish sxemasi parametrlarini topamiz:

$$r_l = 0,5 \cdot 0,198 \cdot 50 = 4,95 \text{ Om};$$

$$x_l = 0,5 \cdot 0,42 \cdot 50 = 10,5 \text{ Om};$$

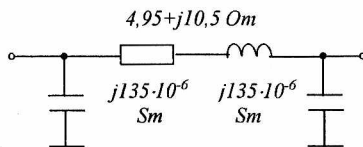
$$b_l = 2 \cdot 2,7 \cdot 10^{-6} \cdot 50 = 270 \cdot 10^{-6} \text{ Sm}.$$

Liniyaning umumiy sig'im o'tkazuvchanligida ishlab chiqariluvchi zaryad quvvatining taxminiy qiymati:

$$Q_s = 110^2 \cdot 270 \cdot 10^{-6} = 3,27 \text{ MVAR}.$$

Bunday quvvat liniyaning holatini hisoblashda e'tiborga olinishi shart.

Aktiv o'tkazuvchanlikni e'tiborga olmaslik mumkin, chunki AC 150/24 markali simning diametri $17,1 \text{ mm}$ bo'lib, u tojlanish shartlari bo'yicha minimal ruxsat etilgan diametrdan katta. Shu sababli ko'rilayotgan liniyaning almashtirish sxemasida aktiv va induktiv qarshiliklar hamda sig'im o'tkazuvchanliklar bo'lishi shart (1.6-rasm).



1.6-rasm. Elektr uzatish liniyasining II simon almashtirish sxemasi.

1.3-masala. II-simon tayanchlarda joylashib, 3 x AC 500/64 parchalangan o'tkazgichlardan tayyorlangan 500 kV kuchlanishli havo liniyasining solishtirma parametrlarini toping va uzunligi 200 km bo'lgan liniyaning almashtirish sxemasi parametrlarini hisoblang.

O'tkazgichlar gorizontaal tekislikda joylashib, fazalar oralaridagi masofa $D_{AB}=D_{BC}=12\text{ m}$; bitta fazadagi o'tkazgichlar oralaridagi masofa $a_{12}=a_{23}=a_{13}=40\text{ sm}$. Tojlanish tufayli isrof bo'luvchi yillik o'rtacha quvvatning solishtirma qiymati $\Delta P_{toj}=7,5\text{ kVt/km}$.

Yechish. AC 500/64 markali bitta sim uchun $r_{0o'r}=0,06\text{ Om/km}$; simning diametri $d_{o'r}=2\cdot r_{o'r}=30,6\text{ mm}$. Parchalangan o'tkazgich uchun

$$r_0 = \frac{1}{3} \cdot 0,06 = 0,02\text{ Om/km}$$

O'tkazgichning ekvivalent radiusi:

$$r_{ek} = \sqrt[n]{r_{o'r} \cdot a_{o'r}^{n-1}} = \sqrt[3]{15,3 \cdot 400^2} = 134\text{ mm}$$

Faza o'tkazgichlari oralaridagi o'rtacha geometrik masofa:

$$D_{o'r} = \sqrt[3]{D_{AB} D_{BC} D_{AS}} = \sqrt[3]{12 \cdot 12 \cdot 24} = 15,1\text{ m} = 15100\text{ mm}$$

Solishtirma induktiv qarshilik, sig'im va aktiv o'tkazuvchanliklarni topamiz:

$$x_0 = 0,144 \lg \frac{D_{o'r}}{r_{ek}} + \frac{r_{0o'r}}{n} = 0,144 \lg \frac{15100}{134} + \frac{0,0157}{3} = 0,295 + 0,0052 = 0,3\text{ Om/km}$$

$$b_0 = 7,58 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{\lg \frac{D_{o'r}}{r_{ek}}} = 3,68 \cdot 10^{-6}\text{ Sm/km}$$

$$g_0 = \frac{\Delta P_{toj}}{U_{nom}^2} = \frac{7,5 \cdot 10^{-3}}{500^2} = 3 \cdot 10^{-8}\text{ Sm/km}$$

1.2-masalada ko'rib o'tilgan taqsimlovchi elektr tarmoqlardan farqli ravishda 500 kV kuchlanishli elektr uzatish liniyasi uchun quyidagi nisbat xarakterlidir:

$$\frac{x_0}{r_0} = \frac{0,30}{0,02} = 15 \gg 1$$

Uzunligi 200 km bo'lgan liniyaning almashtirish sxemasi parametrlari:

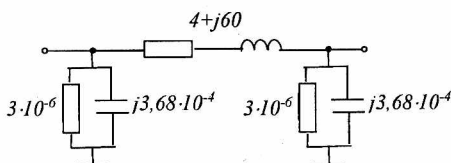
$$r_l = r_0 l = 0,02 \cdot 200 = 4 \text{ Om},$$

$$x_l = x_0 l = 0,3 \cdot 200 = 60 \text{ Om},$$

$$b_l = b_0 l = 3,68 \cdot 10^{-6} \cdot 200 = 7,36 \cdot 10^{-4} \text{ Sm},$$

$$g_l = g_0 l = 3 \cdot 10^{-8} \cdot 200 = 6 \cdot 10^{-6} \text{ Sm}.$$

Linianing almashtirish sxemasini quramiz (1.7-rasm):

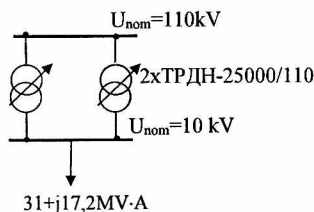


1.7-rasm. Elektr uzatish liniyasining Π simon almashtirish sxemasi.

1.4-masala. Podstansiyada nominal quvvati 25 MVA bo'lgan ikkita ТРДН tipidagi pasaytiruvchi transformatorlar o'rnatilgan (1.8-rasm). Transformatorlar uch fazali ikki chulg'amli bo'lib, quyidagi katalog (pasport) parametrlariga ega: $S_{nom}=25 \text{ MVA}$; $U_{ynN}=115 \text{ kV}$; $U_{pN}=10,5 \text{ kV}$; $u_{qt}=10,5\%$; $\Delta P_{SI}=27 \text{ kVt}$; $\Delta P_{qt}=120 \text{ kVt}$; $I_{Nl} = 0,7\%$.

Ikkita parallel holda ishlovchi transformatorlar almashtirish sxemasining yuqori kuchlanish tomoniga keltirilgan parametrlarini toping va yuklama

$S_{yuk} = 31 + j17,2 \text{ MVA}$ bo'lganda ulardagi quvvat isrofini hisoblang.



1.8-rasm. Ikkita parallel holda ishlovchi transformatorlar.

Yechish. Ikki chulg'amli transformatorning almashtirish sxemasi 1.9-rasmda ko'rsatilgan. Bitta transformator uchun uning parametrlarini topamiz:

$$r_{T1} = \frac{\Delta P_{qt} \cdot U_{yuN}^2}{S_{nom}^2} = \frac{0,12 \cdot 115^2}{25^2} = 2,54 \text{ Om};$$

$$x_{T1} = \frac{u_{qt} \cdot U_{yuN}^2}{100 \cdot S_{nom}} = \frac{10,5 \cdot 115^2}{100 \cdot 25} = 55,54 \text{ Om};$$

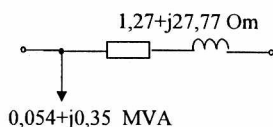
$$\Delta Q_{SI} = \frac{0,7}{100} \cdot 25 = 0,175 \text{ MVAR}.$$

Ikkita parallel holda ishlovchi transformatorlar uchun:

$$r_T = \frac{2,54}{2} = 1,27 \text{ Om};$$

$$x_T = \frac{55,54}{2} = 27,77 \text{ Om};$$

$$\Delta P_{SI} + j\Delta Q_{SI} = 2 \cdot (0,027 + j0,175) = 0,054 + j0,35 \text{ MVA}.$$



1.9-rasm. Transformatorning almashtirish sxemasi.

Almashtirish sxemasining topilgan parametrlari bo'yicha transformatoridagi quvvat isrofini hisoblaymiz:

$$\Delta P_T = \frac{P_{yuk}^2 + Q_{yuk}^2}{U_{nom}^2} r_T + \Delta P_{SI} = \frac{31^2 + 17,2^2}{110^2} \cdot 1,27 + 0,054 = 0,132 + 0,054 = 0,186 \text{ MVar};$$

$$\Delta Q_T = \frac{P_{yuk}^2 + Q_{yuk}^2}{U_{nom}^2} x_T + \Delta Q_{SI} = \frac{31^2 + 17,2^2}{110^2} \cdot 27,77 + 0,35 = 2,884 + 0,35 = 3,23 \text{ MVAR}.$$

Quvvat isrofi, shuningdek, katalog ma'lumotlari bo'yicha ham bevosita aniqlanishi mumkin:

$$\Delta P_T = 0,5 \cdot \Delta P_{qt} \cdot \frac{S_{yuk}^2}{S_{nom}^2} + 2 \cdot \Delta P_{SI} = 0,5 \cdot 0,12 \cdot \frac{(31^2 + 17,2^2)}{25^2} + 2 \cdot 0,027 = 0,132 + 0,054 = 0,186 \text{ MVar};$$

$$\Delta Q_T = 0,5 \cdot \frac{u_{qt}}{100} \cdot \frac{S_{yuk}^2}{S_{nom}} + 2 \cdot \frac{I_{SI}}{100} \cdot S_{nom} = 0,5 \cdot \frac{10,5}{100} \cdot \left(\frac{31^2 + 17,2^2}{25} \right) + 2 \cdot \frac{0,7}{100} \cdot 25 = 2,884 + 0,35 = 3,234 \text{ MVAR}.$$

Podstansiyada o'rnatilgan transformatorlardagi isroflar ularning nominal quvvatlariga nisbatan quyidagi miqdorlarni tashkil etadi:

$$\Delta P_{\Sigma} = \frac{0,186 \cdot 100}{2 \cdot 25} = 0,372\%;$$

$$\Delta Q_{\Sigma} = \frac{3,23 \cdot 100}{2 \cdot 25} = 6,46\%.$$

Bu yerdagi birinchi natija transformatorlarning FIK yuqoriligini xarakterlaydi. ΔQ_{Σ} ning nisbatan katta miqdordaligi elektr tarmoqlarida transformatorlar reaktiv quvvatni ko'p miqdorda isrof qilishini ko'rsatadi.

1.5-masala. TДTH-25000/220 tipdagi uch fazali uch chulg'amli transformator almashtirish sxemasining yuqori kuchlanish tomoniga keltirilgan parametrlarini toping.

Yechish. Qo'llanma jadvaldan TДTH-25000/220 tipdagi transformatorning katalog parametrlarini olamiz: $S_{nom}=25 \text{ MVA}$; $U_{yN}=230 \text{ kV}$; $U_{oN}=38,5 \text{ kV}$; $U_{pK}=11 \text{ kV}$; $U_{qt.Yu.O'}=12,5\%$; $U_{qt.Yu.P}=20\%$; $U_{qt.O'.P}=6,5\%$; $\Delta P_{qt}=135 \text{ kVt}$; $\Delta P_{SI}=50 \text{ kVt}$; $I_{SI}=1,2\%$,

Chulg'amlarning quvvatlari nisbati: $100/100/100\%$.

Transformatorning uch chulg'amli yulduzcha ko'rinishidagi almashtirish sxemasini (1.10-rasm) yuqori kuchlanish chulg'ami nominal kuchlanishiga keltirilgan aktiv qarshiliklarini aniqlaymiz:

$$r_{yw} = r_{o'} = r_p = \frac{\Delta P_{qt} \cdot U_{yN}^2}{2 \cdot S_{nom}^2} = \frac{0,135 \cdot 230^2}{2 \cdot 25^2} = 5,713 \text{ Om}.$$

Almashtirish sxemasi nurlari juftligining umumiy induktiv qarshiligi quyidagicha topiladi:

$$x_{yu-o'} = \frac{12,5}{100} \cdot \frac{230^2}{25} = 264,5 \text{ Om};$$

$$x_{yu-p} = \frac{20}{100} \cdot \frac{230^2}{25} = 423,2 \text{ Om};$$

$$x_{o'-p} = \frac{6,5}{100} \cdot \frac{230^2}{25} = 137,54 \text{ Om}.$$

Almashtirish sxemasining har bir nuri induktiv qarshiliklarini

$$\begin{cases} x_{yu} + x_{o'} = x_{yu-o'}; \\ x_{yu} + x_p = x_{yu-p}; \\ x_{o'} + x_p = x_{o'-p} \end{cases}$$

shartlardan foydalanib, quyidagicha topamiz:

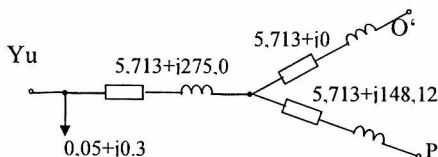
$$x_{yu} = 0,5 \cdot (264,5 + 423,2 - 137,54) = 275,08 \text{ Om};$$

$$x_{o'} = 0,5 \cdot (264,5 + 137,54 - 423,2) \approx 0;$$

$$x_p = 0,5 \cdot (137,54 + 423,2 - 264,5) = 148,12 \text{ Om}.$$

Transformatorning salt ishlash isroflarini aniqlaymiz:

$$\Delta P_{ST} + j\Delta Q_{ST} = 0,05 + j \frac{1,2}{100} \cdot 25 = 0,05 + j0,3 \text{ MVA}.$$



1.10-rasm. Hisoblangan natijalarni uch cho'lg'ramli transformatorning almashtirish sxemasida berilishi.

1.4. Mustaqil yechish uchun masalalar

1. Kesim yuzasi 25 mm^2 bo'lgan mis tomirli kabeldan qurilgan 6 kV nominal kuchlanishli 4 km uzunlikdagi elektr uzatish liniyasining almashtirish sxemasini, tarmoq holatini hisoblash maqsadida quring va hisob parametrlarini toping.

Masalani yechishda mis tomirning nominal kesim yuzasini 1 mm^2 ga keltirilgan

solishtirma aktiv qarshiligi $\rho=18,8 \text{ om.mm}^2/\text{km}$ qabul qilinsin.

2. Kesim yuzasi 50 mm^2 bo'lgan alyuminiy tomirli kabeldan qurilgan 10 kV nominal kuchlanishli 6 km uzunlikdagi elektr uzatish liniyasining almashtirish sxemasini, tarmoq holatini hisoblash maqsadida quring va hisob parametrlarini toping.

Masalani yechishda alyuminiy tomirning nominal kesim yuzasini 1 mm^2 ga keltirilgan solishtirma aktiv qarshiligi $\rho=31,5 \text{ om.mm}^2/\text{km}$ qabul qilinsin.

3. Kesim yuzasi 150 mm^2 bo'lgan mis tomirli qoqoz izolyasiyalı kabeldan qurilgan 35 kV nominal kuchlanishli 15 km uzunlikdagi elektr uzatish liniyasining almashtirish sxemasini, tarmoq holatini hisoblash maqsadida, quring va hisob parametrlarini toping.

Masalani yechishda mazkur kabel uchun solishtirma parametrlarning qiymatlari qo'llanma jadvaldan (ilovada keltirilgan) olinsin.

4. AC-50/8 markali po'lat alyuminiy simdan tayyorlangan 10 kV nominal kuchlanishli 20 km uzunlikdagi havo elektr uzatish liniyasining almashtirish sxemasini quring va hisob parametrlarini toping.

Liniya temir-beton tayanchlardan qurilib, faza o'tkazgichlari tomoni 1,5 m bo'lgan teng tomonli uchburchakning uchlarida joylashgan. O'tkazgichning solishtirma aktiv qarshiligi $r_0=0,653 \text{ Om/km}$.

5. AC-70/11 markali po'lat alyuminiy o'tkazgichdan tayyorlangan 35 kV nominal kuchlanishli 30 km uzunlikdagi havo elektr uzatish liniyasining almashtirish sxemasini quring va hisob parametrlarini toping.

Liniya o'tkazgichlari bitta gorizontal tekislikda joylashib, qo'shni fazalar o'rtasidagi masofa 3 m ni tashkil etadi. O'tkazgichning solishtirma aktiv qarshiligi $r_0=0,428 \text{ Om/km}$.

6. 110 kV nominal kuchlanishli AC-185/29 markali o'tkazgichdan tayyorlangan 45 km uzunlikdagi ikki zanjirli havo liniyasining almashtirish sxemasini quring va hisob parametrlarini toping.

Liniyaning solishtirma hisob parametrlari qo'llanma jadvaldan olinsin.

7. 220 kV nominal kuchlanishli AC-300/39 markali o'tkazgichdan tayyorlangan 55 km uzunlikdagi havo liniyasining almashtirish sxemasini quring va hisob parametrlarini toping.

Liniyaning solishtirma hisob parametrlari qo'llanma jadvaldan olinsin.

8. 330 kV nominal kuchlanishli 2xAC-500/64 markali o'tkazgichdan tayyorlangan 150 km uzunlikdagi havo liniyasining almashtirish sxemasini quring va hisob parametrlarini toping.

Liniyada tojlanish tufayli isrof bo'luvchi solishtirma aktiv quvvatning yillik o'rtacha qiymati $\Delta P_{toj}=4$ kVt/km ni tashkil etadi. Bitta fazadagi o'tkazgichlar orasidagi masofa 40 sm.

Liniyaning solishtirma hisob parametrlari qo'llanma jadvaldan olinsin.

9. Quyidagi katalog parametrlariga ega bo'lgan TM-400/10 tipdagi ikki chulg'amli transformatorning almashtirish sxemasini, tarmoq holatini hisoblash maqsadida quring va hisob parametrlarini toping:

$S_{nom}=400$ kVA, $U_{yuN}=10$ kV, $U_{pN}=0,4$ kV, $u_{qt}=4,5\%$, $\Delta P_{qt}=5,7$ kVt, $\Delta P_{SI}=1$ kVt, $I_{SI}=2,5\%$.

10. Quyidagi katalog parametrlariga ega bo'lgan ТДН-16000/35 tipdagi ikki chulg'amli transformatorning almashtirish sxemasini, tarmoq holatini hisoblash maqsadida quring va hisob parametrlarini toping:

$S_{nom}=16000$ kVA, $U_{yuN}=36,75$ kV, $U_{pN}=10,5$ kV, $u_{qt}=8\%$, $\Delta P_{qt}=90$ kVt, $\Delta P_{SI}=21$ kVt, $I_{SI}=0,75\%$.

11. Podstansiyada ikkita ТРДН-32000/110 tipdagi ikki chulg'amli transformatorlar parallel holda ishlamoqda. Ularning ekvivalent almashtirish sxemasini, tarmoq holatini hisoblash maqsadida quring va hisob parametrlarini toping.

Transformatorning katalog parametrlari qo'llanma jadvaldan olinsin.

12. Podstansiyada ikkita ТРДН-63000/220 tipdagi ikki chulg'amli transformatorlar parallel holda ishlamoqda. Ularning ekvivalent almashtirish

sxemasini, tarmoq holatini hisoblash maqsadida quring va hisob parametrlarini toping.

Transformatorning katalog parametrlari qo'llanma jadvaldan olinsin.

13. Podstansiyada ikkita ТДТН-40000/220 tipdagi uch chulg'amli transformatorlar parallel holda ishlamoqda. Ularning ekvivalent almashtirish sxemasini, tarmoq holatini hisoblash maqsadida quring va hisob parametrlarini toping.

Transformatorning katalog parametrlari qo'llanma jadvaldan olinsin.

14. АТДЦТН-125000/220/110 tipdagi uch chulg'amli avtotransformatorning almashtirish sxemasini, tarmoq holatini hisoblash maqsadida quring va hisob parametrlarini toping.

Transformatorning katalog parametrlari qo'llanma jadvaldan olinsin.

15. Quyidagi katalog parametrlariga ega bo'lgan ТДЦ-400000/500 tipdagi ikki chulg'amli transformatorning almashtirish sxemasini, tarmoq holatini hisoblash maqsadida, quring va hisob parametrlarini toping:

$$S_{nom}=400 \text{ MVA}, \quad U_{yN}=525 \text{ kV}, \quad U_{pN}=20 \text{ kV}, \quad u_{qt}=12,5\%, \quad \Delta P_{qt}=940 \text{ kVt}, \\ \Delta P_{SI}=370 \text{ kVt}, \quad I_{SI}=0,35\%.$$

16. Podstansiyada quyidagi katalog parametrlariga ega bo'lgan АТДЦТН-320000/500/220 tipdagi ikkita uch chulg'amli avtotransformatorlar parallel holda ishlamoqda. Ularning ekvivalent almashtirish sxemasini, tarmoq holatini hisoblash maqsadida quring va hisob parametrlarini toping:

$$S_{nom}=320 \text{ MVA}, \quad U_{yN}=500 \text{ kV}, \quad U_{o'N}=230 \text{ kV}, \quad U_{pN}=10,5 \text{ kV}, \quad u_{qt.Yu-O'}=10,5\%, \\ u_{qt.Yu-P}=27,5\%, \quad u_{qt.O'-P}=17\%, \quad \Delta P_{qt}=550 \text{ kVt}, \quad \Delta P_{SI}=220 \text{ kVt}, \quad I_{SI}=0,45\%.$$

Chulg'amlarning nominal quvvatlari o'rtasidagi nisbatlar: 100%/100%/37,5%.

2. TA'MINLOVCHI OCHIQ ELEKTR TARMOQLARINING HOLATLARINI HISOBLASH

2.1. Elektr uzatish liniyalarining holatlarini hisoblash, oxirida ulangan yuklama toki va kuchlanishi ma'lum bo'lgan EUL holatini hisoblash.

Ochiq elektr tarmoqlarining normal holatini hisoblash asoslari bilan tanishishni oxirida yuklama toki va kuchlanishi ma'lum bo'lgan liniya (2.1-rasm) holatini hisoblash usulini ko'rib chiqishdan boshlaymiz.

Shunday qilib, sxemasi 2.1-rasmda keltirilgan liniya 1 va 2 punktlarni tutashtirib, uning barcha hisob parametrlari, ya'ni liniya qarshiligi $Z_{12} = r_{12} + jx_{12}$, sig'im o'tkazuvchanligi b_{12} , hamda yuklama toki I_2 va kuchlanishi U_2 lar ma'lum deb faraz qilamiz.

Bunday holda holatni hisoblash natijasida aniqlanuvchi parametrlar bo'lib U_1 , I_1 - EUL boshidagi kuchlanish va tok, I_{12} - EUL ning bo'ylama qismidagi tok, ΔS_{12} - EULdagi quvvat isrofi hisoblanadi.

Bunday holatda barcha noma'lumlarning qiymatlari EULning oxiridan boshiga tomon ketma-ket ravishda aniqlanadi. Tok va kuchlanishni aniqlashda Om va Kirxkof qonunlaridan foydalaniladi.

Xisoblashni faza kuchlanishi U_f va toki I bo'yicha olib boramiz. EULning oxiridagi sig'im tokini Om qonuni bo'yicha topamiz.

$$I_{S2} = jU_{2f}b_{12}/2, \quad (2.1)$$

EULning bo'ylama qismidagi tok Kirxkofning birinchi qonuniga asoslanib topiladi topiladi:

$$I_{12} = I_2 + I_{S2}, \quad (2.2)$$

EUL boshlanishidagi kuchlanishni Om qonunidan foydalanib hisoblaymiz:

$$U_{1f} = U_{2f} + I_{12}Z_{12}, \quad (2.3)$$

EUL boshlanishidagi sig'ım toki:

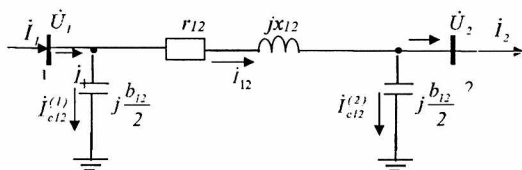
$$I_{s1} = jU_{1f}b_{12}/2, \quad (2.4)$$

EULga kirishdagi tokni Kirxgofning 1-qonuniga asosan topamiz:

$$I_1 = I_{12} + I_{s1}, \quad (2.5)$$

Uchta fazadagi quvvatlar isrofi:

$$\Delta S_{12} = 3I_{12}^2 Z_{12}, \quad (2.6)$$



2.1-rasm. Elektr uzatish liniyasi holatini hisoblash

Elektr uzatish liniyasi holatini yuklama quvvati va kuchlanishi berilganda hisoblash. Ushbu holda elektr uzatish liniyasining sxemasi, barcha hisob parametrlari va oxirida ulangan yuklamaning to'la quvvati $\dot{S}_2$ hamda kuchlanishi $\dot{U}_2$ berilgan bo'lib (2.2-rasm), holatni hisoblash natijasida liniyaning boshlanishidagi kuchlanish $\dot{U}_1$, bo'ylama qismi oxiri va boshlanishidagi quvvatlar $\dot{S}_{12}^{(2)}$, $\dot{S}_{12}^{(1)}$, quvvat isrofi $\Delta \dot{S}_{12}$, liniya boshlanishidagi quvvat $\dot{S}_1$ lar topiladi. Qizish shartlari bo'yicha talabning bajarilishini tekshirish maqsadida, ba'zan, $\dot{I}_{12}$ tokni ham topish talab etiladi.

Barcha noma'lum parametrlarni hisoblash liniyaning oxiridan boshlanishiga tomon ketma-ket ravishda Kirxgof va Om qonunlari asosida quyidagi tartibda amalga oshiriladi.

Liniyaning oxiridagi sig'im o'tkazuvchanlik hisobiga ishlab chiqariluvchi zaryad (sig'im) quvvati:

$$jQ_{s12}^{(2)} = 3\hat{I}_{s12}^{(2)}\dot{U}_2 = j\frac{1}{2}U_2^2b_{12}. \quad (2.7)$$

Liniyaning bo'ylama qismi oxiridagi quvvat (Kirxgofning birinchi qonuni bo'yicha):

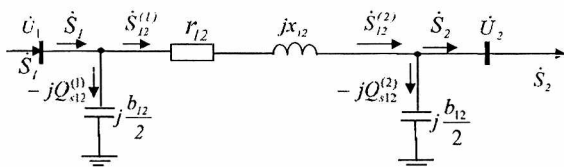
$$\dot{S}_{12}^{(2)} = \dot{S}_2 - jQ_{s12}^{(2)}. \quad (2.8)$$

Liniyadagi quvvat isrofi:

$$\Delta\dot{S}_{12} = 3I_{12}^2Z_{12} = \frac{S_{12}^{(2)2}}{U_2^2}Z_{12}. \quad (2.9)$$

Liniya almashtirish sxemasining bo'ylama qismi boshlanishidagi quvvat:

$$\dot{S}_{12}^{(1)} = \dot{S}_{12}^{(2)} + \Delta\dot{S}_{12}. \quad (2.10)$$



2.2-rasm. EUL holatini yuklama quvvati va kuchlanishi berilganda hisoblash

Liniya boshlanishidagi kuchlanish:

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_2 + \sqrt{3} \dot{I}_{12} Z_{12} = \dot{U}_2 + \frac{S_{12}^{(2)}}{U_2} Z_{12}. \quad (2.11)$$

Liniyaning boshlanishidagi zaryad quvvati:

$$Q_{s12}^{(1)} = \frac{1}{2} U_1^2 b_{12}. \quad (2.12)$$

Liniyaning boshlanishidagi to'la quvvat:

$$\dot{S}_1 = \dot{S}_{12}^{(1)} - j Q_{c12}^{(1)}. \quad (2.13)$$

EULning holatini oxirida yuklama va boshlanishida kuchlanish berilganda hisoblash (liniyaning almashtirish sxemasi, barcha hisob parametrlari va $\dot{S}_2$ hamda $\dot{U}_1$ lar berilgan). Ushbu holda liniyaning holatini hisoblash natijasida uning boshlanishidagi quvvat, oxiridagi kuchlanish, almashtirish sxemasi bo'ylama qismining oxiri va boshlanishidagi quvvatlar hamda quvvatlar isroflari topiladi.

Ushbu holda liniyaning holatini ifodalovchi tenglama egri chiziqli ko'rinishda bo'ladi va shu sababli u ketma-ket yaqinlashish usullaridan foydalanib hisoblanadi.

2-tugun uchun egri chiziqli tugun kuchlanishlari tenglamasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$Y_{22} \dot{U}_2 + Y_{12} \dot{U}_1 = \dot{I}_2(U_2) = \frac{\hat{S}_2}{\hat{U}_2}. \quad (2.14)$$

Bu tenglamani echib, noma'lum $\dot{U}_2$ ni topish va so'ngra yuqoridagi formulalar bo'yicha barcha quvvatlarni hisoblash mumkin. Biroq ochiq elektr tarmoqlari holatlarini, jumladan ushbu tarmoq holatini hisoblash uchun nisbatan sodda bo'lgan «*tkki bosqichli*» usuldan foydalanish maqsadga muvofiq. Ushbu usul bo'yicha hisoblash tartibi bilan tanishamiz.

1-bosqich. $\dot{U}_2 = \dot{U}_n$ deb qabul qilib, oldingi holatdagi tartibda quvvat oqimlari va isroflarini hisoblaymiz:

$$\begin{aligned} Q_{s12}^{(2)} &= \frac{1}{2} U^2 b_{12}; & \dot{S}_{12}^{(2)} &= \dot{S}_2 - jQ_{s12}^{(2)}; & \Delta \dot{S}_{12} &= \frac{S_{12}^{(2)2}}{U_N^2} Z_{12}; \\ \dot{S}_{12}^{(1)} &= \dot{S}_{12}^{(2)} + \Delta \dot{S}_{12}; & Q_{s12}^{(1)} &= \frac{1}{2} U_1^2 b_{12}; & \dot{S}_1 &= \dot{S}_{12}^{(1)} - jQ_{s12}^{(1)}. \end{aligned}$$

2-bosqich. 1-bosqichda topilgan quvvat oqimi $\dot{S}_{12}^{(1)}$ dan foydalanib, Om qonuni bo'yicha $\dot{U}_2$ kuchlanishni aniqlaymiz. Bunda tok $\dot{I}_{12}$ ni $\dot{S}_{12}^{(1)}$ va $\dot{U}_1$ lar orqali ifodalaymiz:

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_1 - \sqrt{3} \dot{I}_{12} Z_{12} = \dot{U}_1 - \frac{\hat{S}_{12}^{(1)}}{\hat{U}_1} Z_{12}. \quad (2.15)$$

Yuqoridagi formulalarda $\dot{U}_2$ ning o'rnida U_n foydalanilganligi sababli 1-bosqichda quvvat oqimlari va bunga mos ravishda 2-bosqichda kuchlanish $\dot{U}_2$ larning topilgan qiymatlari taxminiy bo'ladi. Ularning aniq qiymatlarini topish uchun yuqoridagi formulalarda $\dot{U}_2$ ning o'rniga uning topilgan qiymatini qo'yib hisoblashni takrorlash lozim. Takroriy hisoblashlarni bir necha marta amalga oshirib, talab etilgan aniqlikdagi natijani olish mumkin.

Bunday hisoblashlarni EHMda amalga oshirish maqsadga muvofiqdir.

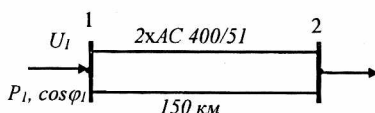
2.2. Masalalar yechish namunalari

2.1-masala. Tuman podstantsiyasining 220 kV kuchlanishli shinasidan 150 km uzunlikdagi ikki zanjirli havo liniyasi orqali yuklama ta'minlanadi (2.3-rasm). Liniya AC 400/51 ($r_0=0,075 \text{ Om/km}$; $x_0=0,42 \text{ Om/km}$; $b_2=2,70 \cdot 10^{-6} \text{ Sm/km}$) markali o'tkazgichdan tayyorlangan. Maksimal yuklama holatida liniyadan $\cos \varphi_{\text{maks}}=0,9$

bo'lgan holda $P_{Imaks}=300 \text{ MVt}$ va minimal yuklama holatida $\cos\varphi_{min}=0,95$ bo'lgan holda $P_{Imin}=100 \text{ MVt}$ quvvat uzatiladi.

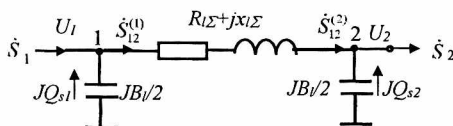
Maksimal va minimal yuklama holatlarida, hamda avariya dan keyingi holatda (bitta zanjir uzilgan) quvvatlar oqimlari, $\cos\varphi$ va liniyaning oxirlaridagi kuchlanishlarni toping.

Hisoblashlarda ta'minlovchi podstantsiya shinasidagi kuchlanish maksimal yuklama va avariya dan keyingi holatlar uchun $1,1 U_{nom}$, ya'ni 242 kV ; minimal yuklama holati uchun $1,05 U_{nom}$, ya'ni 231 kV qabul qilinsin.



2.3-rasm

Yechish. 1. Almashtirish sxemasini quramiz va uning parametrlarini topamiz (2.4-rasm).



2.4-rasm. Elektr uzatish liniyasining II simon almashtirish sxemasi

Normal holatlarni hisoblash uchun:

$$r_{l\Sigma} = \frac{r_0 l}{2} = \frac{0,075 \cdot 150}{2} = 5,62 \text{ Om};$$

$$x_{l\Sigma} = \frac{x_0 l}{2} = \frac{0,42 \cdot 150}{2} = 31,5 \text{ Om};$$

$$\frac{b_{l\Sigma}}{2} = \frac{2b_0 l}{2} = 2,70 \cdot 10^{-6} \cdot 150 = 405 \cdot 10^{-6} \text{ Sm}.$$

Avariya dan keyingi holatni hisoblashda ikkita zanjirdan birining uzilganligini hisobga olish lozim. Shu sababli

$$r_{av/k} = 2r_{\Sigma} = 11,24 \text{ } \Omega m; \quad x_{av/k} = 2r_{\Sigma} = 63,0 \text{ } \Omega m; \quad b_{av/k} = \frac{b_0 l}{2} = 202,5 \cdot 10^{-6} \text{ } Sm$$

2. Maksimal yuklama holatining parametrlarini hisoblaymiz

$$\Delta Q_l = \Delta P_l \frac{x_{\Sigma}}{r_{\Sigma}} = 11,38 \cdot \frac{31,5}{5,62} = 63,77 \text{ } MVAR;$$

$$Q_{s2} = U_2^2 \frac{b_{\Sigma}}{2} = 222,78^2 \cdot 405 \cdot 10^{-6} = 20,1 \text{ } MVAR;$$

$$S_{l \text{ maks}} = P_{l \text{ maks}} + jQ_{l \text{ maks}} = P_{l \text{ maks}} + jP_{l \text{ maks}} \operatorname{tg} \varphi_{l \text{ maks}} = 300 + j300 \cdot 0,484 = 300 + j145,29 \text{ } MV \cdot A;$$

$$Q_{l1} = U_1^2 \frac{b_{\Sigma}}{2} = 242^2 \cdot 405 \cdot 10^{-6} = 23,72 \text{ } MVAR$$

$$\dot{S}_{l2}^{(1)} = P_{l \text{ maks}} + jQ_{l \text{ maks}} + jQ_{l1} = 300 + j145,29 + j23,72 = 300 + j169,01 \text{ } MV \cdot A;$$

$$U_2 = \sqrt{\left(U_1 - \frac{P_{l2}^{(1)} r_{\Sigma} + Q_{l2}^{(1)} x_{\Sigma}}{U_1} \right)^2 + \left(\frac{P_{l2}^{(1)} x_{\Sigma} - Q_{l2}^{(1)} r_{\Sigma}}{U_1} \right)^2} =$$

$$= \sqrt{\left(242 - \frac{300 \cdot 5,62 + 169,01 \cdot 31,5}{242} \right)^2 + \left(\frac{300 \cdot 31,5 - 169,01 \cdot 5,62}{242} \right)^2} =$$

$$= \sqrt{(242 - 22,0)^2 + 35,12^2} = 222,78 \text{ } kV;$$

$$\Delta P_l = \frac{P_{l2}^{(1)2} + Q_{l2}^{(1)2}}{U_1^2} \cdot r_{\Sigma} = \frac{300^2 + 169,01^2}{242^2} \cdot 5,62 = 11,38 \text{ } MWt ;$$

$$S_{l \text{ min}} = P_{l \text{ min}} + jQ_{l \text{ min}} = P_{l \text{ min}} + jP_{l \text{ min}} \operatorname{tg} \varphi_{l \text{ min}} = 100 + j100 \cdot 0,328 = 100 + j32,8 \text{ } MV \cdot A;$$

$$\dot{S}_{l2}^{(2)} = P_{l2}^{(1)} - \Delta P_l + j(Q_{l2}^{(1)} - \Delta Q_l) = 300 - 11,38 + j(169,01 - 63,77) = 288,62 + j105,24 \text{ } MV \cdot A;$$

$$\dot{S}_2 = P_2 + jQ_2 = P_{l2}^{(2)} + j(Q_{l2}^{(2)} + Q_{s2}) = 288,62 + j(105,24 + 20,1) = 288,62 + j125,34 \text{ } MV \cdot A;$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{P_2}{\sqrt{P_2^2 + Q_2^2}} = \frac{288,62}{\sqrt{288,62^2 + 125,34^2}} = 0,92.$$

3. Minimal yuklama holatining parametrlarini hisoblaymiz:

$$Q_{s1} = U_1^2 \frac{b_{\Sigma}}{2} = 231^2 \cdot 405 \cdot 10^{-6} = 21,61 \text{ } MVAR;$$

$$\dot{S}_{l2}^{(1)} = P_{l \text{ min}} + jQ_{l \text{ min}} + jQ_{s1} = 100 + j(32,8 + 21,61) = 100 + j54,41 \text{ } MV \cdot A;$$

$$\Delta P_l = \frac{P_{l2}^{(1)2} + Q_{l2}^{(1)2}}{U_1^2} \cdot r_{\Sigma} = \frac{100^2 + 54,41^2}{231^2} \cdot 5,62 = 1,36 \text{ } MWt;$$

$$\Delta Q_l = \Delta P_l \frac{x_{\Sigma}}{r_{l\Sigma}} = 1,36 \cdot \frac{31,5}{5,62} = 7,65 \text{ MVAR};$$

$$U_2 = \sqrt{\left(231 - \frac{100 \cdot 5,62 + 54,41 \cdot 31,5}{231}\right)^2 + \left(\frac{100 \cdot 31,5 - 54,41 \cdot 5,62}{231}\right)^2} =$$

$$= \sqrt{221,13^2 + 12,31^2} = 221,47 \text{ kV};$$

$$Q_{s2} = U_2^2 \frac{b_{\Sigma}}{2} = 221,47^2 \cdot 405 \cdot 10^{-6} = 19,86 \text{ MVAR};$$

$$\dot{S}_{12}^{(2)} = 100 - 1,36 + j(54,41 - 7,65) = 98,64 + j46,76 \text{ MV} \cdot \text{A};$$

$$\dot{S}_2 = P_2 + jQ_2 = P_{12}^{(2)} + j(Q_{12}^{(2)} + Q_{s2}) = 98,64 + j(46,76 + 19,86) = 98,64 + j66,62 \text{ MV} \cdot \text{A};$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{P_2}{\sqrt{P_2^2 + Q_2^2}} = \frac{98,64}{\sqrt{98,64^2 + 66,66^2}} = 0,829.$$

4. Avariya dan keyingi holatning parametrlarini hisoblaymiz.

Avariya dan keyingi holatda bir vaqtda ikkita hodisaning yuz berishini, ya'ni bitta zanjirning uzilganligi va maksimal yuklama holatining bo'lishini hisobga olish lozim.

$$Q_{s1,av/k} = U_1^2 \frac{b_{1,av/k}}{2} = 242^2 \cdot 202,5 \cdot 10^{-6} = 11,86 \text{ MVAR};$$

$$\dot{S}_{12}^{(1)} = P_{1,av/k} + jQ_{1,av/k} + jQ_{s2,av/k} = 300 + j(145,29 + 11,86) = 300 + j157,15 \text{ MVA};$$

$$U_2 = \sqrt{\left(242 - \frac{300 \cdot 11,24 + 157,15 \cdot 63,0}{242}\right)^2 + \left(\frac{300 \cdot 63,0 - 157,15 \cdot 11,24}{242}\right)^2} =$$

$$= \sqrt{(242 - 54,84)^2 + 70,8^2} = \sqrt{187,16^2 + 70,8^2} = 200,1 \text{ kV};$$

$$\Delta P_l = \frac{300^2 + 157,15^2}{242^2} 11,24 = 22,01 \text{ MWt};$$

$$\Delta Q_l = 22,01 \cdot \frac{63,0}{11,24} = 123,38 \text{ MVAR};$$

$$Q_{s2} = 200,1^2 \cdot 202,5 \cdot 10^{-6} = 8,11 \text{ MVAR};$$

$$\dot{S}_{12}^{(2)} = 300 - 22,01 + j(157,15 - 123,38) = 277,99 + j33,77 \text{ MV} \cdot \text{A};$$

$$\dot{S}_2 = P_2 + jQ_2 = P_{12}^{(2)} + j(Q_{12}^{(2)} + Q_{s2}) = 277,99 + j(33,77 + 8,11) = 277,99 + j41,88 \text{ MV} \cdot \text{A};$$

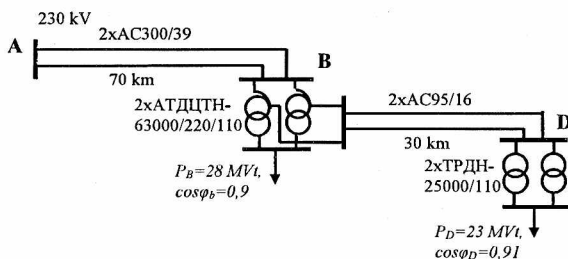
$$\cos \varphi_2 = \frac{P_2}{\sqrt{P_2^2 + Q_2^2}} = \frac{277,99}{\sqrt{277,99^2 + 41,88^2}} = 0,989.$$

Olingan natijalar bo'yicha xulosa hosil qilish mumkinki, iste'molchida minimal yuklama holatida reaktiv quvvatning ortiqchaligi va avariya dan keyingi holatda o'ta taqchilligi muammolari paydo bo'ladi.

2.2-masala. B va D yuklama podstansiyalari ikki zanjirli uzatish liniyasi orqali A podstansiyaning 220 kV kuchlanishli shinasidan ta'minlanadi. B podstansiyasida ikkita ATДЦТН-63000/220/110 tipdagi avtotransformatorlar, D podstansiyasida esa ikkita ТРДН-25000/110 tipdagi ikki chulg'amli transformatorlar parallel holda ishlaydi (2.5-rasm).

O'tkazgichlarning markalari, liniyalarning uzunliklari, A podstansiyaning shinasidagi kuchlanish, B va D podstansiyalardagi yuklamalarning maksimal qiymatlari va aktiv quvvat koeffitsiyentlari tarmoqning sxemasida keltirilgan.

Elektr tarmoqning maksimal yuklama holatini hisoblang.



2.5-rasm. Podstansiyalararo bog'langan ikki zanjirli elektr uzatish liniyasi

Yechish. Qo'llanma jadvaldan liniyaning solishtirma parametrlari hamda avtotransformator va transformatorlarning katalog parametrlarini aniqlaymiz.

Liniya AB : $AC-300/39$, $r_0=0,098\text{ Om/km}$, $x_0=0,429\text{ Om/km}$, $b_0=2,64\cdot10^{-6}\text{ Sm/km}$.

Liniya BD : $AC-95/16$, $r_0=0,306\text{ Om/km}$, $x_0=0,434\text{ Om/km}$, $b_0=2,61\cdot10^{-6}\text{ Sm/km}$.

Avtotransformator ATДЦТН-63000/220/110: $S_{nom}=63\text{ MVA}$, $U_{yN}=230\text{ kV}$, $U_{o'N}=121\text{ kV}$, $U_{pN}=11\text{ kV}$, $u_{qt,yu-o'}=11\%$, $u_{qt,yu-p}=35,7\%$, $u_{qt,o'-p}=21,9\%$,

$\Delta P_{qt,yu-o'}=215\text{ kVt}$, $\Delta P_{SI}=45\text{ kVt}$, $I_{SI}=0,5\%$.

Transformator ТРДН-25000/110: $S_{nom}=25\text{ MVA}$, $U_{yN}=115\text{ kV}$, $U_{pN}=10,5\text{ kV}$, $u_{qt}=10,5\%$, $\Delta P_{qt}=120\text{ kVt}$, $\Delta P_{SI}=27\text{ kVt}$, $I_{SI}=0,7\%$.

Liniyalar, transformatorlar va avtotransformatorlarning almashtirish sxemalari parametrlarini topamiz:

Liniya AB:

$$r_{AB} = \frac{r_0 l_{AB}}{2} = \frac{0,098 \cdot 70}{2} = 3,43 \text{ Om}, \quad x_{AB} = \frac{x_0 l_{AB}}{2} = \frac{0,429 \cdot 70}{2} = 15,015 \text{ Om},$$

$$b_{AB} = 2b_0 l_{AB} = 2 \cdot 2,64 \cdot 10^{-6} \cdot 70 = 3,766 \cdot 10^{-4} \text{ Sm}.$$

Liniya BD:

$$r_{BD} = \frac{r_0 l_{BD}}{2} = \frac{0,306 \cdot 30}{2} = 4,59 \text{ Om}, \quad x_{BD} = \frac{x_0 l_{BD}}{2} = \frac{0,434 \cdot 30}{2} = 6,51 \text{ Om},$$

$$b_{BD} = 2b_0 l_{BD} = 2 \cdot 2,61 \cdot 10^{-6} \cdot 30 = 1,566 \cdot 10^{-4} \text{ Sm}.$$

Avtotransformator podstansiyasi B:

$$\Delta \dot{S}_{sB} = \Delta P_{sB} + j\Delta Q_{sB} = 2 \cdot \left(0,045 + j \frac{I_x}{100} \cdot 63 \right) = 0,09 + j0,63 \text{ MVA},$$

$$r_{um} = \frac{\Delta P_{qt,yu-o} U_{yu}^2}{2S_{nom}^2} = \frac{0,215 \cdot 230^2}{2 \cdot 63^2} = 1,432 \text{ Om}, \quad r_{yu} = r_o = 0,5 \cdot r_{um} = 0,5 \cdot 1,433 = 0,716 \text{ Om}.$$

Ko'rilayotgan tipdagi avtotransformator uchun quyi kuchlanish chulg'aming quvvati nominal quvvatning 50% ni tashkil qilganligi sababli

$$\alpha_N = \frac{S_{pN}}{S_{nom}} = 0,5 \quad \text{va} \quad r_{qt} = \frac{r_{yu}}{\alpha_N} = \frac{0,716}{0,5} = 1,432 \text{ Om}.$$

$$u_{qt,yu} = 0,5 \cdot (u_{qt,yu-o'} + u_{qt,yu-o'} - u_{qt,o'-p}) = 0,5 \cdot (11 + 35,7 - 21,9) = 12,4\%,$$

$$u_{qt,o'} = 0,5 \cdot (u_{qt,yu-o'} + u_{qt,o'-p} - u_{qt,yu-p}) = 0,5 \cdot (11 + 21,9 - 35,7) \approx 0\%,$$

$$u_{qt,p} = 0,5 \cdot (u_{qt,yu-p} + u_{qt,o'-p} - u_{qt,yu-o'}) = 0,5 \cdot (35,7 + 21,9 - 11) = 23,3\%$$

$$x_{yu} = \frac{u_{qt,yu} U_{yuK}^2}{2 \cdot 100 \cdot S_{nom}} = \frac{12,4 \cdot 230^2}{2 \cdot 100 \cdot 63} = 52,06 \text{ Om}, \quad x_{o'} = 0, \quad x = \frac{23,3 \cdot 230^2}{2 \cdot 100 \cdot 63} = 97,83 \text{ Om}$$

Transformator podstansiyasi D:

D podstansiyadagi transformatorlarning ekvivalent almashtirish sxemasi parametrlarini 1.4-masaladagi kabi aniqlaymiz va natijada quyidagini hosil qilamiz:

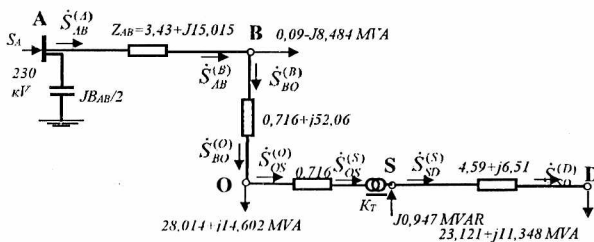
$$r_T = 1,27 \text{ Om},$$

$$x_T = 27,77 \text{ Om},$$

$$\Delta \dot{S}_{SLD} = \Delta P_{SLD} + j\Delta Q_{SLD} = 0,054 + j0,35 \text{ MV} \cdot A.$$

B podstansiyasining yulduzcha ko'rinishidagi almashtirish sxemasini nol nuqtasiga keltirilgan yuklamasini hamda D podstansiyaning, B va S tugunlarning hisobiy yuklamalarini topamiz (2.6-rasm).

B va V podstansiyalar reaktiv yuklamalarining maksimal qiymatlari:



2.6-rasm

$$Q_B = P_B \tan \varphi_B = P_B \cdot \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi_B}}{\cos \varphi_B} = 28 \cdot \frac{\sqrt{1 - 0.9^2}}{0.9} = 13,561 \text{ MVAR},$$

$$Q_D = 23 \cdot \frac{\sqrt{1 - 0.91^2}}{0.91} = 10,479 \text{ MVAR}.$$

$$\begin{aligned} \dot{S}_O = P_B + \frac{P_B^2 + Q_B^2}{U_{nom}^2} \cdot r_k + j \left(Q_B + \frac{P_B^2 + Q_B^2}{U_{nom}^2} \cdot x_k \right) &= 28 + \frac{28^2 + 13,561^2}{220^2} \cdot 0,716 + \\ + j \left(13,561 + \frac{28^2 + 13,561^2}{220^2} \cdot 52,06 \right) &= 28,014 + j14,602 \text{ MVA}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{S}_S = P_D + \frac{P_D^2 + Q_D^2}{U_{nom}^2} \cdot r_T + \Delta P_{SLD} + j \left(Q_D + \frac{P_D^2 + Q_D^2}{U_{nom}^2} \cdot x_T + \Delta Q_{SLD} - U_{nom}^2 \cdot \frac{b_{BD}}{2} \right) &= \\ = 23 + \frac{23^2 + 10,479^2}{110^2} \cdot 1,27 + 0,054 + j \left(10,479 + \frac{23^2 + 10,479^2}{110^2} \cdot 27,77 + 0,35 - 110^2 \cdot \frac{1,566 \cdot 10^{-4}}{2} \right) &= \\ = 23,121 + j11,348 \text{ MVA}, \end{aligned}$$

$$\dot{S}_B = \Delta P_{SLB} + j \left(\Delta Q_{SLB} - U_{nom}^2 \cdot \frac{b_{AB}}{2} \right) = 0,09 + j \left(0,63 - 220^2 \cdot \frac{3,766 \cdot 10^{-4}}{2} \right) = 0,09 - j8,484 \text{ MVA},$$

$$Q_S = U_{nom}^2 \cdot \frac{B_{BD}}{2} = 110^2 \cdot \frac{1,566 \cdot 10^{-4}}{2} = 0,947 \text{ MVAR},$$

Elektr tarmoqning holatini ikki bosqichdan iborat bo'lgan iteratsion usul yordamida hisoblaymiz.

1 – bosqich. $U_D = U_O = 220 \text{ kV}$ va $U_S = U_D = 110 \text{ kV}$ deb qabul qilib, liniyalar va avtotransformatrlarning hisobiy yuklamalarini aniqlaymiz:

$$\Delta \dot{S}_{SD} = \frac{P_{SD}^{(B)^2} + Q_{SD}^{(B)^2}}{U_{nom}^2} \cdot \dot{Z}_{SD} = \frac{23,121^2 + 11,348^2}{110^2} \cdot (4,59 + j6,51) = 0,252 + j0,357 MVA;$$

$$\dot{S}_{SD}^{(S)} = \dot{S}_{SD}^{(B)} + \Delta \dot{S}_{SD} = 23,121 + j11,348 + 0,252 + j0,357 = 23,373 + j11,705 MVA;$$

$$\dot{S}_{OS}^{(S)} = \dot{S}_{SD}^{(S)} - jQ_S = 23,373 + j11,705 - j0,947 = 23,373 + j10,758 MVA;$$

$$\Delta \dot{S}_{OS} = \frac{P_{OS}^{(S)^2} + Q_{OS}^{(S)^2}}{U_{nom}^2} \cdot \dot{Z}_S = \frac{23,373^2 + 10,758^2}{220^2} \cdot 0,716 = 0,01 MVA;$$

$$\dot{S}_{OS}^{(O)} = \dot{S}_{OS}^{(S)} + \Delta \dot{S}_{OS} = 23,373 + j10,758 + 0,01 = 23,383 + j10,758 MVA;$$

$$\dot{S}_{BO}^{(O)} = \dot{S}_{OS}^{(O)} + \dot{S}_O = 23,383 + j10,758 + 28,014 + j14,602 = 51,397 + j25,36 MVA;$$

$$\Delta \dot{S}_{BO} = \frac{P_{DO}^{(O)^2} + Q_{DO}^{(O)^2}}{U_{nom}^2} \cdot \dot{Z}_D = \frac{51,397^2 + 25,36^2}{220^2} \cdot (0,716 + j52,06) = 0,049 + j3,535 MVA;$$

$$\dot{S}_{DO}^{(D)} = \dot{S}_{BO}^{(O)} + \Delta \dot{S}_{BO} = 51,397 + j25,36 + 0,049 + j3,535 = 51,446 + j28,895 MVA;$$

$$\dot{S}_{AB}^{(B)} = \dot{S}_{BO}^{(B)} + \dot{S}_B = 51,446 + j28,895 + 0,09 - j8,484 = 51,536 + j20,411 MVA;$$

$$\Delta \dot{S}_{AB} = \frac{P_{AB}^{(B)^2} + Q_{AB}^{(B)^2}}{U_{nom}^2} \cdot \dot{Z}_{AB} = \frac{51,536^2 + 20,411^2}{220^2} \cdot (3,43 + j15,015) = 0,218 + j0,953 MVA;$$

$$\dot{S}_{AB}^{(A)} = \dot{S}_{AB}^{(B)} + \Delta \dot{S}_{AB} = 51,536 + j20,411 + 0,218 + j0,953 = 51,754 + j21,364 MVA;$$

$$\dot{S}_A = \dot{S}_{AB}^{(A)} - j \cdot U_A^2 \cdot \frac{B_{AB}}{2} = 51,754 + j21,364 - j230^2 \cdot \frac{3,766 \cdot 10^{-4}}{2} = 51,754 + j11,403 MVA.$$

2-bosqich. A podstansiyaning shinalaridagi kuchlanish va topilgan quvvat oqimlari bo'yicha bo'laklardagi kuchlanish isroflari va B, V podstansiyalarda va elektr tarmoqning boshqa nuqtalaridagi kuchlanishlarni hisoblaymiz:

$$U_B = U_A - \frac{P_{AB}^{(A)} \cdot r_{AB} + Q_{AB}^{(A)} \cdot x_{AB}}{U_A} = 230 - \frac{51,754 \cdot 3,43 + 21,364 \cdot 15,015}{230} = 230 - 2,17 = 227,83 kV;$$

$$U_O = U_B - \frac{P_{BO}^{(B)} \cdot r_D + Q_{BO}^{(B)} \cdot x_D}{U_B} = 227,83 - \frac{51,446 \cdot 0,716 + 28,895 \cdot 52,006}{227,83} = 227,83 - 6,75 = 221,07 kV;$$

$$U_S = \frac{U_O - \frac{P_{OS}^{(O)} \cdot r_S}{U_O}}{K_T} = \frac{221,07 - \frac{23,383 \cdot 0,716}{221,07}}{\frac{230}{121}} = \frac{221,07 - 0,08}{1,9} = 116,31 kV;$$

$$U_D = U_S - \frac{P_{SD}^{(S)} \cdot r_{BD} + Q_{SD}^{(S)} \cdot x_{BD}}{U_S} = 116,31 - \frac{23,373 \cdot 4,59 + 11,705 \cdot 6,51}{116,31} = 116,31 - 1,58 = 114,73 kV.$$

2.3. Mustaqil yechish uchun masalalar

1. Podstansiyaning 110 kV nominal kuchlanishli shinasidan $AC-185/29$ markali o'tkazgichdan tayyorlangan 80 km uzunlikdagi ikki zanjirli liniya orqali iste'molchiga uzatiluvchi quvvat $50+j20\text{ MVA}$ ni tashkil etadi. Liniya oxiridagi kuchlanish 112 kV .

Liniyadagi quvvatlar isrofi hamda uning boshlanishidagi quvvatlar oqimi va kuchlanishni toping.

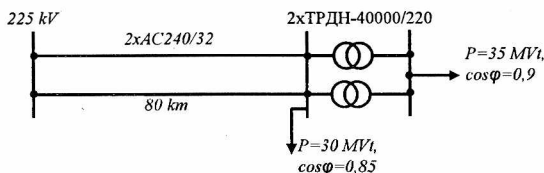
2. $AC-300/39$ markali o'tkazgichdan tayyorlangan 75 km uzunlikdagi liniyaning boshlanishidagi kuchlanish 230 kV , quvvatlar oqimi esa $60+j25\text{ MVA}$ ni tashkil etadi.

Liniyadagi quvvatlar isrofi hamda uning oxiridagi quvvatlar oqimi va kuchlanishni toping.

3. $AC-120/19$ markali o'tkazgichdan tayyorlangan 60 km uzunlikdagi ikki zanjirli liniyaning boshlanishidagi ta'minlash punktida kuchlanish 115 kV , uning oxiridagi podstansiyaning hisobiy yuklamasi (yuqori kuchlanish shinasiga keltirilgan yuklama) $30+j12\text{ MVA}$.

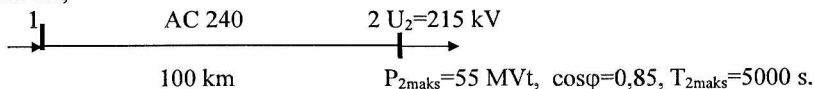
Liniyaning boshlanishidagi quvvatlar oqimi va oxiridagi kuchlanishni toping.

4. Sxemasi 2.7-rasmda keltirilgan elektr tarmoq uchun ta'minlash punktidan olinuvchi quvvat va yuklama punktlaridagi kuchlanishlarni toping.



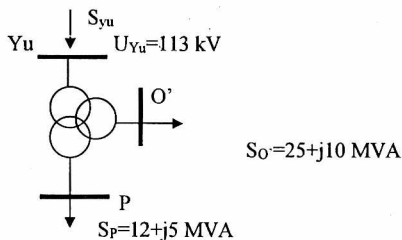
2.7-rasm. Podstansiya va ikki zanjirli elektr uzatish liniyasi.

5. Quyidagi elektr tarmoqning ekvivalent almashtirish elektr sxemasini va hisob parametrlarini aniqlang. $AC240$: $r_0=0,121\text{ Om/km}$, $x_0=0,24\text{ Om/km}$, $B_0=2,64 \cdot 10^{-6}\text{ Sm/km}$,



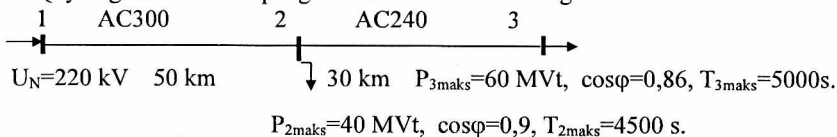
2.8.-rasm. Sodda elektr tarmoq

6. Elektr tarmoqning normal holatini hisoblang.



Transformatorning katalog ma'lumotlari: ТДТН-40000/110
 $S_{nom}=40 \text{ MVA}$, $U_{YuN}=115 \text{ kV}$, $U_{O'N}=38,5 \text{ kV}$, $U_{PN}=11 \text{ kV}$,
 $u_{qt,yu-o'}=10,5\%$, $u_{qt,yu-p}=17\%$, $u_{qt,o'-p}=6\%$, $\Delta P_{qt}=200 \text{ kVt}$, $\Delta P_{SI}=43 \text{ kVt}$,
 $I_{SI}=0,6\%$

7. Quyidagi elektr tarmoqning normal holatini hisoblang.



AC300: $r_0=0,1 \text{ Om/km}$, $x_0=0,43 \text{ Om/km}$, $B_0=2,64 \cdot 10^{-6} \text{ Sm/km}$,

AC240: $r_0=0,12 \text{ Om/km}$, $x_0=0,43 \text{ Om/km}$, $B_0=2,6 \cdot 10^{-6} \text{ Sm/km}$.

3. TAQSIMLOVCHI ELEKTR TARMOQLARINING HOLATLARINI HISOBLASH

3.1. $U_N \leq 35$ kV bo'lgan taqsimlovchi elektr tarmoqlarni hisoblashda qabul qilinuvchi soddalashtirishlar

$U_N \leq 35$ bo'lgan taqsimlovchi elektr tarmoqlarni hisoblashda qabul qilinuvchi soddalashtirishlar quyidagilardan iborat.

1) EULning sig'im (zaryad) quvvati juda kichikligi sababli xisobga olinmaydi. Natijada bunday tarmoqlarda EULning almashtirish sxemasi 1.2,v-rasmdagi ko'rinishda tasvirlanadi.

2) Nominal kuchlanishi 10 kV va undan past bo'lgan kabelli EULning reaktiv qarshiligijuda kichikligi sababli xisobga olinmaydi. Natijada ularning almashtirish sxemasi 1.2,g-rasmdagi ko'rinishda tasvirlanadi.

3) Transformatorning po'lat o'zagidagi quvvat isrofi xisobga olinmaydi. Natijada bunday tarmoqlarda ikki chulg'amli transformatorning almashtirish sxemasi 1.3,v-rasmdagi ko'rinishda tasvirlanadi.

4) Tarmoq uchastkalaridagi quvvat oqimlarini xisoblashda quvvat isroflari xisobga olinmaydi. Bunday holda ta'minlovchi punktdan quvvat uzatuvchi 1-2 liniyadagi quvvat oqimi quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$S_{12} = \sum_k^n S_k;$$

Bu yerda k-yuklamaning tartib nomeri, n-yuklamalar soni.

5) Kuchlanish tushuvining ko'ndalang tashkil etuvchisi δU etiborga olinmaydi, yani tarmoqning ayrim tugunlari orasida kuchlanishning faza bo'yicha siljishi hisobga olinmaydi. Demak, tarmoqning har qanday uchastkasida kuchlanish isrofi kuchlanish pasayishining bo'ylama tashkil etuvchisiga tengdir.

6) Kuchlanish isrofini xisoblash tarmoqdagi kuchlanishning haqiqiy qiymati bo'yicha emas balki U_N bo'yicha amalga oshiriladi:

$$\Delta U_{12} = U_1 - U_2 = \frac{P_{12}r_{12} + Q_{12}x_{12}}{U_n}.$$

Bu yerda P_{12} , Q_{12} - tarmoq shoxobchasidagi aktiv va reaktiv quvvatlar oqimi;
 r_{12} , x_{12} - shoxobchanning aktiv va reaktiv qarshiligi.

3.2. Taqsimlovchi elektr tarmoqlarda kuchlanish isrofining eng katta qiymatini hisoblash

Taqsimlovchi elektr tarmoqda ta'minlovchi manba kuchlanishi va eng kam kuchlanishli tugun kuchlanishlari orasidagi farq kuchlanish isrofining eng katta qiymati hisoblanadi. Uni hisoblash tartibi bilan sxemasi 3.1-rasmda keltirilgan tarmoq misolida tanishamiz.

Bu sxemadagi quvvatlar S_k , ta'minlovchi tugun kuchlanishi U_1 va tarmoq shoxobchalardagi qarshiliklar Z_{kj} berilgan bo'lsin. Bunda: k-shoxobcha boshlanishidagi tugun nomeri, j-shoxobcha oxiridagi tugun nomeri. Tarmoqda kuchlanish isrofining eng katta qiymatini topish talab etiladi.

Tarmoq shoxobchalaridagi quvvatlar oqimi (S_{kj}) quyidagicha aniqlanadi:

$$S_{23}=S_3; \quad S_{12}=S_2+S_3. \quad (3.1)$$

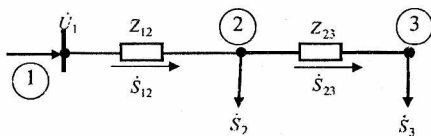
Bunda shoxobchalardagi aktiv va reaktiv quvvatlar oqimi quyidagich aniqlanadi:

$$P_{23}=P_3; \quad P_{12}=P_2+P_3. \quad (3.2)$$

$$Q_{23}=Q_3; \quad Q_{12}=Q_2+Q_3. \quad (3.3)$$

Ko'rilayotgan holda kuchlanish isrofining eng katta qiymati 1 va 3 tugunlar orasida bo'lib, u 1-2 va 2-3 shoxobchalardagi kuchlanish isroflarining yig'indisiga tengdir, ya'ni

$$\Delta U_{\text{ekst}} = \Delta U_{12} + \Delta U_{23}.$$



3.1-rasm. Taqsimlovchi tarmoq

Shoxobchalardagi kuchlanish isroflarini ulardagi quvvatlar oqimi, ularning qarshiliklari va nominal kuchlanish orqali ifodalaymiz:

$$\Delta U_{e.kat} = \frac{P_{12}r_{12} + Q_{12}x_{12}}{U_n} + \frac{P_{23}r_{23} + Q_{23}x_{23}}{U_n}. \quad (3.4)$$

Shoxobchalarning qarshiliklarini tugunlarning ekvivalent qarshiliklari orqali ifodalaymiz:

$$r_2 = r_{12}; \quad r_3 = r_{12} + r_{23}; \quad x_2 = x_{12}; \quad x_3 = x_{12} + x_{23}.$$

Demak,

$$\Delta U_{e.kat} = \frac{(P_2 + P_3)r_2 + (Q_2 + Q_3)x_2}{U_N} + \frac{P_3(r_3 - r_2) + Q_3(x_3 - x_2)}{U_N}$$

yoki

$$\Delta U_{e.kat} = \frac{P_2r_2 + Q_2x_2}{U_N} + \frac{P_3r_3 + Q_3x_3}{U_N}.$$

Paydo bo'lgan qonuniyatdan foydalanib, shoxobchalar yordamida ketma-ket ulangan n ta tugunga ega bo'lgan tarmoq uchun kuchlanish isrofining eng katta qiymatini topish formulasini hosil qilamiz:

$$\Delta U_{e.kat} = \frac{1}{U_N} \sum_{k=2}^n (P_k R_k + Q_k X_k).$$

Bu yerda: P_k , Q_k - k -tugundagi yuklama quvvati; r_k , x_k - I va k - tugunlar oralig'idagi aktiv va reaktiv qarshiliklar (k -tugunning ekvivalent aktiv va reaktiv qarshiliklari), n - tugunlar soni.

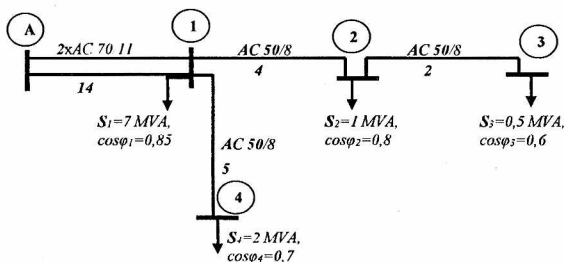
Agar elektr tarmog'ining ko'ndalang kesim yuzasi F bir xil bo'lgan liniyalardan tashkil topgan bo'lsa, u holda:

$$\Delta U_{mg.kat} = \frac{1}{U_K} (r_0 \sum_{k=2}^n P_K I_K + x_0 \sum_{k=2}^n Q_K I_K). \quad (3.5)$$

Bu yerda I_k - I va k - tugunlar orasidagi liniyalar uzunliklari yiqindisi.

3.3. Masalalar yechish namunalari

Masala. 35 kV kuchlanishli taqsimlovchi elektr tarmog'i II-simon tayanchlarda osilgan po'lat alyuminiy o'tkazgichlardan tayyorlangan liniyalardan tashkil topgan. Tarmoq bo'laklarining kilometr birligidagi uzunliklari, o'tkazgichlarning markalari, yuklamalar (MVA) va ularning quvvat koeffitsiyentlari 3.2-rasmdagi sxemada keltirilgan. Liniyaning solishtirma qarshiliklari AC 50/8 markadagi o'tkazgichli liniya uchun $r_0=0,603 \text{ Om/km}$, $x_0=0,43 \text{ Om/km}$; AC70/11 markadagi o'tkazgichli liniya uchun $r_0=0,43 \text{ Om/km}$, $x_0=0,42 \text{ Om/km}$ ni tashkil etadi. Elektr tarmoqda kuchlanish isrofining eng katta qiymatini toping



3.2-rasm. 35 kV kuchlanishli taqsimlovchi elektr tarmog'i.

Yechish. Elektr tarmoq bo'laklarining qarshiliklarini topamiz:

$$\dot{Z}_{A1} = \frac{(r_0 + jx_0) \cdot l_{A1}}{2} = \frac{(0,43 + j0,42) \cdot 14}{2} = 3,01 + j2,94 \text{ Om};$$

$$\dot{Z}_{12} = (0,603 + j0,43) \cdot 4 = 2,41 + j1,72 \text{ Om};$$

$$\dot{Z}_{23} = (0,603 + j0,43) \cdot 2 = 1,21 + j0,86 \text{ Om};$$

$$\dot{Z}_{14} = (0,603 + j0,43) \cdot 5 = 3,01 + j2,15 \text{ Om}.$$

Tarmoq yuklamalarining aktiv va reaktiv quvvatlarini aniqlaymiz:

$$S_1 = S_I (\cos \varphi_I + j \sin \varphi_I) = 7 * (0,85 + j0,526) = 5,95 + j3,68 \text{ MVA};$$

$$S_2 = I * (0,8 + j0,6) = 0,8 + j0,6 \text{ MVA};$$

$$S_3 = 0,5 * (0,6 + j0,8) = 0,3 + j0,4 \text{ MVA};$$

$$S_4 = 2 * (0,7 + j0,713) = 1,4 + j1,43 \text{ MVA};$$

A-I bosh bo'lakdagi quvvat oqimi:

$$S_{A1} = P_{A1} + jQ_{A1} = 8,45 + j6,11 \text{ MVA};$$

A-I bosh bo'lakda kuchlanish isrofi:

$$\Delta U_{A1} = \frac{8,45 \cdot 3,01 + 6,11 \cdot 2,94}{35} = 1,24 \text{ kV};$$

I-3 va *I-4* bo'laklarda kuchlanish isroflari:

$$\Delta U_{13} = \frac{0,8 \cdot 2,41 + 0,6 \cdot 1,72 + 0,3 \cdot (2,41 + 1,21) + 0,4 \cdot (1,72 + 0,86)}{35} = 0,145 \text{ kV};$$

$$\Delta U_{14} = \frac{1,4 \cdot 3,01 + 1,43 \cdot 2,15}{35} = 0,208 \text{ kV}.$$

Elektr tarmoqda kuchlanish isrofining eng katta qiymati:

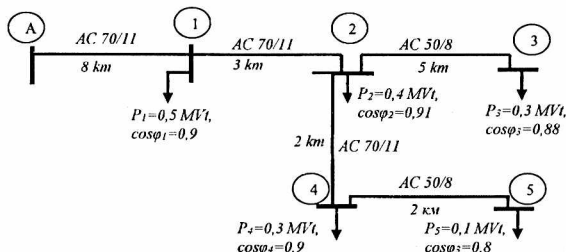
$$\Delta U_{e.kat.} = \Delta U_{A1} + \Delta U_{14} = 1,24 + 0,208 = 1,448 \text{ kV}$$

yoki nominal kuchlanishga nisbatan foiz birligida

$$\Delta U_{e.kat.} = \frac{1,448}{35} \cdot 100 = 4,14\%.$$

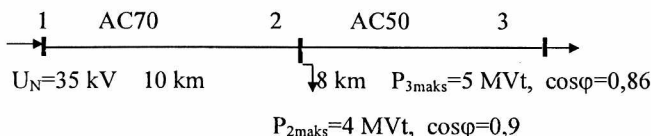
3.4. Mustaqil yechish uchun masala

1. 3.3-rasmda tasvirlangan $U_N=10\text{ kV}$ bo'lgan elektr tarmoqda quvvat isrofi va eng katta kuchlanish isrofini toping.

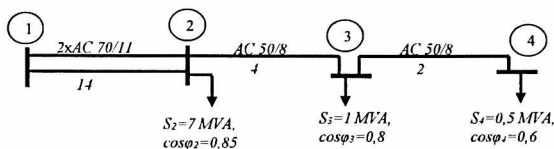


3.3-rasm. 10 kV kuchlanishli taqsimlovchi elektr tarmog'i

2. Quyidagi elektr tarmoqning quvvat isrofi va eng katta kuchlanish isrofini toping.

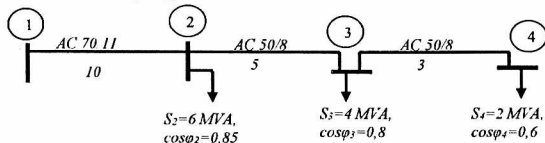


3. 3.4-rasmda tasvirlangan $U_N=35\text{ kV}$ bo'lgan elektr tarmoqda quvvat isrofi va eng katta kuchlanish isrofini toping.



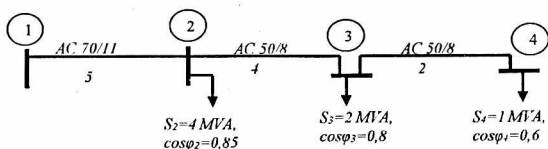
3.4-rasm. 35 kV kuchlanishli taqsimlovchi elektr tarmog'i.

4. 3.5-rasmda tasvirlangan $U_N=35\text{ kV}$ bo'lgan elektr tarmoqda quvvat isrofi va eng katta kuchlanish isrofini toping.



3.5-rasm. 35 kV kuchlanishli taqsimlovchi elektr tarmog'i.

5. 3.6-rasmda tasvirlangan $U_N=10\text{ kV}$ bo'lgan elektr tarmoqda quvvat isrofi va eng katta kuchlanish isrofini toping.



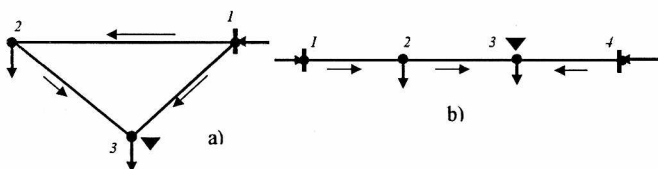
3.6-rasm. 10 kV kuchlanishli taqsimlovchi elektr tarmog'i.

4. YOPIQ ELEKTR TARMOQLARINING HOLATLARINI HISOBLASH

4.1. Sodda yopiq elektr tarmoqlarda quvvat oqimlari va tugun kuchlanishlarini hisoblash

Ikki va undan ortiq tomondan manbalanuvchi tugunlarga ega bo'lgan elektr tarmog'i yopiq elektr tarmog'i deyiladi. Ikkitadan ortiq bo'lmagan tomondan manbalanuvchi tugunlarga ega bo'lgan yopiq elektr tarmog'i sodda yopiq elektr tarmog'i deyiladi. Uch va undan ortiq tomondan manbalanuvchi tugunlarga ega bo'lgan yopiq elektr tarmog'i murakkab yopiq elektr tarmog'i deyiladi. Quyida sodda yopiq elektr tarmog'ida quvvat oqimlari va tugun kuchlanishlarini hisoblash usullari bilan tanishamiz.

4.1-rasmda misol tariqasida sodda yopiq elektr tarmoqlarining sxemalari tasvirlangan.



4.1-rasm. Sodda yopiq elektr tarmoqlari:

a – uchburchak shaklidagi sodda yopiq elektr tarmog'i; b – ikki tomondan ta'minlanuvchi elektr tarmog'i.

Halqasimon elektr tarmog'i sodda yopiq elektr tarmog'ining xususiy ko'rinishidir (4.1,a-rasm). U bitta yopiq konturdan iborat. Ta'minlovchi manba bo'lib elektr stansiyalari yoki podstansiyalarining shinalari hisoblanadi. Halqasimon sodda yopiq elektr tarmog'ini ta'minlash tugunidan ajratish orqali chekkalarida kuchlanish bir xil bo'lgan ikki tomondan ta'minlanuvchi tarmoq ko'rinishida

tasvirlash mumkin. Masalan, ushbu amalni 4.1,a-rasmda tasvirlangan tarmoq uchun bajarsak, u 4.1,b-rasmda tasvirlangan tarmoq ko'rinishiga keladi.

Sodda yopiq elektr tarmoqda quvvat oqimlarini isrofni e'tiborga olib hisoblash. Sodda yopiq elektr tarmog'i ikki tomondan ta'minlangan tarmoq ko'rinishida (masalan, 4.1,b-rasmdagi ko'rinishda) va umumiy holda uning chekkalaridagi ta'minlash tugunlarining kuchlanishlari har xil bo'lsin ($U_1 \neq U_j$).

Elektr tarmoqda quvvat oqimlarini hisoblash quyidagi algoritm bo'yicha amalga oshiriladi.

1) Kirxgofning birinchi va ikkinchi qonunlaridan foydalanib hosil qilinuvchi tenglamani yechish asosida tarmoqdagi isroflar e'tiborga olinmagan holatdagi quvvat oqimlari hisoblanadi;

2) Shoxobchalardagi quvvat oqimlarining yo'nalishlariga bog'liq ravishda quvvatlar oqimining bo'linish tuguni (nuqtasi) aniqlanadi va bu tugundan tarmoq ikkita bir tomondan ta'minlanuvchi tarmoqlarga ajratiladi;

3) Paydo bo'lgan har ikkala bir tomondan ta'minlanuvchi tarmoqlarda isroflar e'tiborga olingan holdagi quvvat oqimlari tarmoq holatini hisoblashning ikki bosqichli usulining birinchi bosqichidagi kabi hisoblanadi.

Ushbu algoritmning amalga oshirilishi sxemasini 4.1,b-rasmda tasvirlangan tarmoq misolida ko'rib o'tamiz.

1-2 shoxobchada 1-tugundan 2-tugunga tomon yo'nalishda oquvchi to'la quvvat $\dot{S}_{12}$ ni noma'lum sifatida qabul qilib, qolgan shoxobchalardagi quvvatlarni Kirxgofning birinchi qonunidan foydalangan holda ushbu noma'lum va tugunlarning quvvatlari orqali ifodalaymiz: 2-3 shoxobchada 2-tugundan 3-tugunga tomon yo'nalishda oquvchi quvvat $\dot{S}_{23} = \dot{S}_{12} - \dot{S}_2$; 3-4 shoxobchada 3-tugundan 4-tugunga tomon yo'nalishda oquvchi quvvat $\dot{S}_{34} = \dot{S}_{23} - \dot{S}_3 = \dot{S}_{12} - \dot{S}_2 - \dot{S}_3$.

Har bir i - j shoxobchadagi tokni unda oquvchi quvvat va nominal kuchlanish orqali ifodalab, Kirxgofning ikkinchi qonuni bo'yicha quyidagi tenglamani hosil qilamiz:

$$\frac{\dot{S}_{12}}{U_N} Z_{12} + \frac{\dot{S}_{12} - \dot{S}_2}{U_N} Z_{23} + \frac{\dot{S}_{12} - \dot{S}_2 - \dot{S}_3}{U_N} Z_{34} = U_I - U_4. \quad (4.1)$$

Bu tenglamadan noma'lum quvvat $\dot{S}_{12}$ ni topamiz:

$$\dot{S}_{12} = \frac{\dot{S}_2(\hat{Z}_{23} + \hat{Z}_{34}) + \dot{S}_3\hat{Z}_{34}}{\hat{Z}_{12} + \hat{Z}_{23} + \hat{Z}_{34}} + \frac{U_N(\hat{U}_1 - \hat{U}_4)}{\hat{Z}_{12} + \hat{Z}_{23} + \hat{Z}_{34}}. \quad (4.2)$$

SHu yo'l bilan 4-3 shoxobchada 4-tugundan 3-tugunga tomon yo'nalishda oquvchi $\dot{S}_{43}$ quvvat oqimi uchun ham quyidagi ifodani keltirib chiqarish mumkin:

$$\dot{S}_{43} = \frac{\dot{S}_3(\hat{Z}_{12} + \hat{Z}_{23}) + \dot{S}_2\hat{Z}_{12}}{\hat{Z}_{12} + \hat{Z}_{23} + \hat{Z}_{34}} + \frac{U_N(\hat{U}_4 - \hat{U}_1)}{\hat{Z}_{12} + \hat{Z}_{23} + \hat{Z}_{34}}. \quad (4.3)$$

Ta'minlovchi tugunlarda kuchlanishlar bir xil bo'lgan xususiy holda (4.2) va (4.3) formulalardagi ikkinchi tashkil etuvchilar nolga aylanadi.

Ta'minlovchi tugundan chiquvchi shoxobchalarda oquvchi quvvatlar uchun yozilgan (4.2) va (4.3) formulalardagi qonuniyatdan foydalanib, ularni umumiy holda ikki tomondan – 1 va n-tugunlardan ta'minlanuvchi tarmoq uchun ham yozish mumkin:

$$\dot{S}_{12} = \frac{\sum_{k=2}^{n-1} \dot{S}_k Z_{kn}}{Z_{1n}}, \quad (4.2)a$$

$$\dot{S}_{n,n-1} = \frac{\sum_{k=2}^{n-1} \dot{S}_k Z_{1k}}{Z_{1n}}. \quad (4.2)b$$

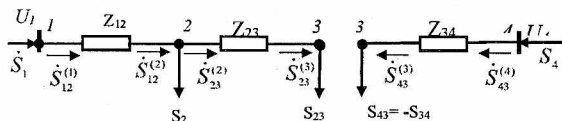
Bu yerda k -tugun nomeri; Z_{kn} , Z_{1k} – mos holda k va n hamda 1 va k tugunlar orasidagi ekvivalent to'la qarshiliklar, ya'ni bu tugunlar orasidagi shoxobchalarning to'la qarshiliklari yiqindilari.

(4.2) formuladan noma'lum quvvat $\dot{S}_{12}$ (yoki (4.3) dan $\dot{S}_{43}$) topilgandan so'ng Kirxgofning 1-qonuni bo'yicha tuzilib, yuqorida keltirilgan ifodalardan barcha shoxobchalardagi quvvat oqimlari hisoblanadi. So'ngra quvvat oqimlarining yo'nalishlari bo'yicha uning bo'linish tuguni aniqlanadi. Faraz qilaylik, ko'rilayotgan holatda quvvat oqimining bo'linish tuguni 3-tugun. U holda tarmoq 4.2,a-rasmdagi kabi ikkita bir tomondan ta'minlanuvchi tarmoqlarga ajratiladi (4.2,a-rasmda shoxobchalar mos qarshiliklari bilan tasvirlangan).

Paydo bo'lgan chap tomondagi elektr tarmoqda quvvat oqimining isrofini e'tiborga olgan holdagi taqsimlanishini hisoblash tartibi bilan tanishib o'tamiz.

2-3 shoxobchani oxirida, ya'ni 3-tugun tomonida oquvchi quvvat:

$$\dot{S}_{23}^{(3)} = \dot{S}_{23}.$$



4.2-rasm. Elektr tarmoqda quvvat oqimining isrofini hisobga olgan holda taqsimlanishi.

2-3 shoxobchada isrof bo'luvchi quvvatni hisoblaymiz:

$$\Delta \dot{S}_{23} = \frac{|\dot{S}_{23}^{(3)}|^2}{U_n^2} Z_{23} = \frac{P_{23}^{(3)2} + Q_{23}^{(3)2}}{U_n^2} Z_{23}.$$

2-3 shoxobchani boshlanishida, ya'ni 2-tugun tomonida oquvchi quvvatni topamiz:

$$\dot{S}_{23}^{(2)} = \dot{S}_{23}^{(3)} + \Delta \dot{S}_{23}.$$

1-2 shoxobchani oxirida oquvchi quvvatni 2-tugun uchun Kirxgofning birinchi qonunidan foydalanib topamiz:

$$\dot{S}_{12}^{(2)} = \dot{S}_{23}^{(2)} + \dot{S}_2.$$

1-2 shoxobchada quvvat isrofini va uning boshlanishidagi quvvat oqimini quyidagi formulalar bo'yicha hisoblaymiz:

$$\Delta \dot{S}_{12} = \frac{P_{12}^{(2)2} + Q_{12}^{(2)2}}{U_n^2} Z_{12}, \quad \dot{S}_{12}^{(1)} = \dot{S}_{12}^{(2)} + \Delta \dot{S}_{12}.3$$

1-2 shoxobchaning boshlanishida oquvchi quvvat 1-manbadan olinuvchi quvvatga tengdir, ya'ni $\dot{S}_1 = \dot{S}_{12}^{(1)}$.

Tarmoqning o'ng tomondagi bo'lagi uchun ham quvvat oqimining isrofni e'tiborga olgan holdagi taqsimlanishi shu tarzda hisoblanadi.

Ikki tomondan ta'minlanuvchi elektr tarmoqlarda kuchlanishlarning taqsimlanishini hisoblash. Ikki tomondan ta'minlanuvchi elektr tarmoqlarda kuchlanishlarning taqsimlanishini, ya'ni tugunlardagi kuchlanishlarni, yuqoridagi yondashuv asosida hisoblash uchun avvalo aytib o'tilgan hisoblashlar amalga oshirilib, quvvat oqimlarining isrofni e'tiborga olib taqsimlanishlari aniqlanadi. So'ngra ochiq tarmoqlar holatlarini ikki bosqichli usulda hisoblashning ikkinchi bosqichi amalga oshiriladi va natijada barcha kuchlanishlar topiladi. Ushbu hisoblashlarning amalga oshirish tartibi bilan yuqoridagi elektr tarmoqning chap bo'lagi misolida tanishamiz:

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_1 - \frac{S_{12}^{(1)}}{U_1} Z_{12}, \quad \dot{U}_3 = \dot{U}_2 - \frac{S_{23}^{(2)}}{U_2} Z_{23}.$$

Elektr tarmoqning o'ng bo'lagi uchun ham shu kabi hisoblashlar amalga oshiriladi. 3-tugunning haqiqiy (yakuniy) kuchlanishi sifatida uning tarmoqni ikkala bo'lagi uchun bajarilgan hisoblashlar natijasida aniqlangan qiymatlarining o'rtacha arifmetigi qabul qilinadi.

Yuqoridagilardan ko'rinadiki, elektr tarmoqda quvvat oqimlarining dastlabki taqsimlanishini aniqlash va shuningdek, isrofni e'tiborga olish jarayonidagi hisoblashlar nominal kuchlanish bo'yicha olib borilishi sababli natijalarning taqribiy

qiymatlari hosil bo‘ladi. Shu sababli ushbu usuldan elektr tarmoqlarini loyihalash maqsadlarida va boshqa – holatni hisoblashda katta aniqlik talab etilmaydigan hollarda foydalanish mumkin.

4.2. Murakkab yopiq elektr tarmoqlarda quvvat oqimlarining taqsimlanishini hisoblash

Uchta va undan ortiq tomondan ta’minlanuvchi tugunlarga ega bo‘lgan yoki ikki va undan ortiq mustaqil konturlarga ega bo‘lgan elektr tarmog‘i murakkab-yopiq elektr tarmog‘i deyiladi.

Bunday tarmoqlarda quvvat oqimlarining taqsimlanishini tarmoqdagi isrofnı e’tiborga olmasdan (taxminiy) hisoblashda kontur toki tenglamalaridan foydalanish maqsadga muvofiq.

Ushbu usulda elektr tarmog‘ining barcha mustaqil konturlari uchun Kirxgofning ikkinchi qonuni bo‘yicha tuzilgan tenglamalardan hosil bo‘lgan sistema echiladi. Bu qonunga asosan kontur shoxobchalarida kuchlanish pasayishlarining yig‘indisi undagi E.Yu.K.larning yig‘indisiga tengdir. Demak, n ta shoxobchadan iborat bo‘lgan konturda E.Yu.K. manbai bo‘lmasa, u holda tenglama quyidagi ko‘rinishda bo‘ladi:

$$\sum_{i=1}^n \dot{S}_i Z_i = 0. \quad (4.4)$$

Bu erda, Z_i , $\dot{S}_i$ - konturning i – shoxobchasi to‘la qarshiligining qo‘shmasi va undagi to‘la quvvat oqimi.

Agar (4.4) da to‘la qarshiliklar va quvvat oqimlarini $\dot{Z}_i = R_i + jX_i$, $\dot{S}_i = P_i + jQ_i$ ko‘rinishda ifodalasak, u quyidagi ikkita tenglamaga ajraladi:

$$\sum_{i=1}^n P_i R_i + \sum_{i=1}^n Q_i X_i = 0, \quad (4.4a)$$

$$\sum_{i=1}^n P_i X_i - \sum_{i=1}^n Q_i R_i = 0. \quad (4.4b)$$

(4.4a) ni quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$\sum_{i=1}^n P_i X_i \frac{R_i}{X_i} + \sum_{i=1}^n Q_i R_i \frac{X_i}{R_i} = 0. \quad (4.5)$$

Konturning shoxobchalari liniyalardan iborat bo'lib, uni bir jinsli deb qarasak, ya'ni $\frac{R_i}{X_i} = \alpha = \text{const}$ yoki $\frac{X_i}{R_i} = \frac{1}{\alpha} = \text{const}$ bo'lsa, u holda (4.5) tenglama quyidagi ko'rinishga keladi:

$$\alpha \sum_{i=1}^n P_i X_i + \frac{1}{\alpha} \sum_{i=1}^n Q_i R_i = 0. \quad (4.6)$$

(4.6) tenglamaning har ikkala tomonini α ga ko'paytirib, paydo bo'lgan tenglamani (4.4b) tenglamaga qo'shish, shuningdek, (4.6) ning har ikkala tomonini α ga bo'lib, paydo bo'lgan tenglamadan (4.4b) ni ayirish natijasida quyidagi tenglamalarni hosil qilamiz:

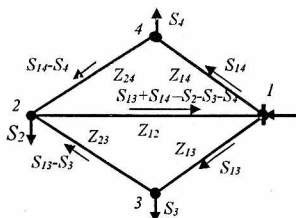
$$\sum_{i=1}^n P_i X_i = 0, \quad (4.7a)$$

$$\sum_{i=1}^n Q_i R_i = 0. \quad (4.7b)$$

(4.7a) tenglama yuklamalarining quvvatlari faqat aktiv va shoxobchalarining qarshiliklari faqat reaktiv xarakterda bo'lgan kontur uchun va (4.7b) tenglama yuklamalarining quvvatlari faqat reaktiv va shoxobchalarining qarshiliklari faqat aktiv bo'lgan kontur uchun yozilgan tenglamalardir. Demak, ushbu holda elektr tarmoqda aktiv va reaktiv quvvatlar taqsimlanishlarini alohida mustaqil sxemalar

uchun (4.7a) va (4.7b) tenglamalarni yechish asosida aniqlash mumkin. Ushbu usul «sxemalarga ajratish» usuli deb yuritiladi.

Misol tariqasida quyidagi murakkab elektr tarmoqda (4.3-rasm) quvvat oqimi taqsimlanishini aniqlash masalasini ko'rib o'tamiz.



4.3-rasm. Ikki konturlik elektr tarmog'i

Sxemasi 4.3-rasmda tasvirlangan elektr tarmoqda to'la quvvat oqimining taqsimlanishi umumiy holda har ikkila mustaqil konturlar uchun Kirxgofning 2-qonuni bo'yicha (4.4) ko'rinishida yozilgan kompleks tenglamalar sistemasini echib, noma'lumlar $\dot{S}_{13}$, $\dot{S}_{14}$ larni topish orqali amalga oshiriladi:

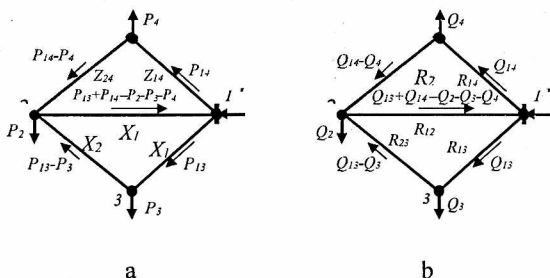
$$\begin{cases} \dot{S}_{14}Z_{14} + (\dot{S}_{14} - \dot{S}_4)Z_{24} + (\dot{S}_{13} + \dot{S}_{14} - \dot{S}_2 - \dot{S}_3 - \dot{S}_4)Z_{12} = 0, \\ \dot{S}_{13}Z_{13} + (\dot{S}_{13} - \dot{S}_3)Z_{23} + (\dot{S}_{13} + \dot{S}_{14} - \dot{S}_2 - \dot{S}_3 - \dot{S}_4)Z_{12} = 0. \end{cases}$$

«Sxemalarga ajratish» usulida esa, 4.3-rasmdagi sxema quyidagi sxemalarga ajratilib (4.4,a , 4.4,b - rasm), ular uchun yuqoridagi qonun bo'yicha tuzilgan tenglamalardan iborat bo'lgan (4.7a) va (4.7b) ko'rinishidagi haqiqiy tenglamalar sistemalarini yechish asosida aktiv va reaktiv quvvatlar oqimlari alohida hisoblanadi.

Agar mustaqil konturlarni tashkil etuvchi shoxobchalar solishtirma parametrlari bir xil bo'lgan liniyalardan iborat deb qarasak ($r_{0i} = const$, $x_{0i} = const$), u holda (4.7a) va (4.7b) tenglamalar yanada soddalashadi. Bunda qarshiliklar o'rnida mos liniyalarning uzunliklari paydo bo'ladi:

$$\sum_{i=1}^n P_i l_i = 0, \quad (4.8a)$$

$$\sum_{i=1}^n Q_i l_i = 0. \quad (4.8b)$$



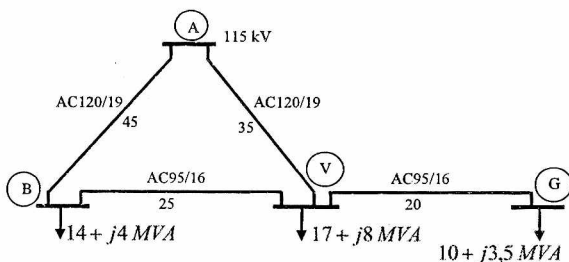
4.4-rasm. Ikki konturli elektr tarmog'i: a) aktiv quvvatlar oqimlari b) reaktiv quvvatlar oqimlari

(4.8a) va (4.8b) tenglamalardan iborat bo'lgan sistemalarni yechish orqali quvvatlar oqimlarining taqsimlanishini taxminiy hisoblashlarda, jumladan, elektr tarmoqlarni loyihalashda oqimning dastlabki taqsimlanishini hisoblashda foydalaniladi.

4.3. Masalalar yechish namunalari

4.1-masala. 110 kV kuchlanishli elektr tarmog'i A podstansiyaning kuchlanishi 115 kV bo'lgan shinasidan ta'minlanadi. Podstansiyaning yuklamalari, o'tkazgichlarning markalari, liniyalarning kilometr birligidagi uzunliklari 4.5-rasmdagi sxemada keltirilgan. Elektr tarmog'ida quvvatlarning taqsimlanishi va B, V, G podstansiyalarning shinalaridagi kuchlanishlarni toping.

Yechish. Qo'llanma jadvallardan liniyalarning solishtirma parametrlarini aniqlaymiz: AC120/19 markadagi o'tkazgichli liniya uchun $r_0=0,249 \text{ Om/km}$, $x_0=0,427 \text{ Om/km}$, $b_0=2,66 \cdot 10^{-6} \text{ Sm/km}$; AC95/16 markadagi o'tkazgichli liniya uchun $r_0=0,306 \text{ Om/km}$, $x_0=0,434 \text{ Om/km}$, $b_0=2,61 \cdot 10^{-6} \text{ Sm/km}$.



4.5-rasm. Podstansiya elektr tarmoqning sxemasi

Almashtirish sxemasining hisob parametrlari, podstansiyalarning hisobiy yuklamalarini topamiz va elektr tarmoqning almashtirish sxemasini quramiz (4.6-rasm):

$$\dot{Z}_{AB} = r_{sAV} + jx_{sAV} = (r_{0AV} + jx_{0AV}) \cdot l_{AV} = (0,249 + j0,427) \cdot 45 = 11,2 + j19,21 \text{ Om};$$

$$B_{sAB} = b_{0AV} \cdot l_{AV} = 2,66 \cdot 10^{-6} \cdot 45 = 1,197 \cdot 10^{-4} \text{ Sm}; \quad \dot{Z}_{AV} = (0,249 + j0,427) \cdot 35 = 8,71 + j14,94 \text{ Om};$$

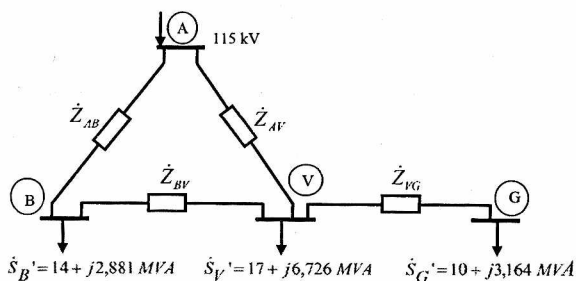
$$B_{cAV} = 2,66 \cdot 10^{-6} \cdot 35 = 0,931 \cdot 10^{-4} \text{ Sm}; \quad \dot{Z}_{BV} = (0,306 + j0,434) \cdot 25 = 7,65 + j10,85 \text{ Om};$$

$$B_{cBV} = 2,61 \cdot 10^{-6} \cdot 25 = 0,6525 \cdot 10^{-4} \text{ Sm}; \quad \dot{Z}_{VG} = (0,306 + j0,434) \cdot 20 = 6,12 + j8,68 \text{ Om};$$

$$\begin{aligned} \dot{S}_B' &= P_B' + jQ_B' = P_B + j \left(Q_V - U_N^2 \cdot \frac{B_{cAB} + B_{cBV}}{2} \right) = \\ &= 14 + j \left(4 - 110^2 \cdot \frac{1,197 \cdot 10^{-4} + 0,6525 \cdot 10^{-4}}{2} \right) = 14 + j2,881 \text{ MVA}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{S}_V' &= P_V' + jQ_V' = P_V + j \left(Q_V - U_N^2 \cdot \frac{B_{cAV} + B_{cBV} + B_{cVG}}{2} \right) = 17 + \\ &+ j \left(8 - 110^2 \cdot \frac{0,931 \cdot 10^{-4} + 0,6525 \cdot 10^{-4} + 0,522 \cdot 10^{-4}}{2} \right) = 17 + j6,726 \text{ MVA}; \end{aligned}$$

$$\dot{S}_G' = P_G' + jQ_G' = P_G + j \left(Q_G - U_N^2 \cdot \frac{B_{cVG}}{2} \right) = 10 + j \left(3,5 - 110^2 \cdot \frac{0,522 \cdot 10^{-4}}{2} \right) = 10 + j3,164 \text{ MVA}.$$



4.6-rasm. Elektr tarmoqning almashtirish sxemasi

VG liniyasida quvvat isrofi va V nuqtadagi summaviy yuklamani topamiz:

$$\Delta P_{VG} = \frac{10^2 + 3,164^2}{110^2} \cdot 6,12 = 0,055 \text{ MWt};$$

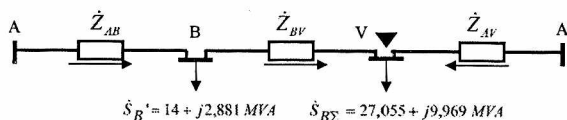
$$\Delta Q_{VG} = \frac{10^2 + 3,164^2}{110^2} \cdot 8,68 = 0,079 \text{ MVAR};$$

$$\dot{S}_{V\Sigma} = 17 + j6,726 + 10 + j3,164 + 0,055 + j0,079 = 27,055 + j9,969 \text{ MVA}.$$

Halqasimon tarmoqning ta'minlash punktida, ya'ni A podstansiyaning shinasini ochildib, chekkalaridagi kuchlanishlar qiymati va fazasi bo'yicha teng bo'lgan ikki tomondan ta'minlanuvchi tarmoq sxemasini hosil qilamiz (4.7-rasm).

AB bosh bo'lakdagi quvvat oqimini hisoblaymiz:

$$\begin{aligned} \dot{S}_{AB} &= \frac{\dot{S}_B' \cdot (\dot{Z}_{BV'} + \dot{Z}_{AV'}) + \dot{S}_{V\Sigma} \cdot \dot{Z}_{AV'}}{\dot{Z}_{AB} + \dot{Z}_{BV'} + \dot{Z}_{AV'}} = \frac{(14 + j2,881) \cdot (7,65 - j10,85 + 8,71 - j14,94) +}{11,2 - j19,21 + 7,65 - j10,85 + 8,71 - j14,94} \times \\ &\times \frac{(27,055 + j9,969) \cdot (8,71 - j14,94)}{11,2 - j19,21 + 7,65 - j10,85 + 8,71 - j14,94} = 17,011 + j4,889 \text{ MVA}. \end{aligned}$$



4.7-rasm. Quvvat oqimini taqsimlanish sxemasi.

BV bo'lakdagi quvvat oqimi:

$$\dot{S}_{BV} = \dot{S}_{AB} - \dot{S}_B' = 17,011 + j4,889 - 14 - j2,881 = 3,011 + j2,008 \text{ MVA}.$$

bo'lakdagi quvvat oqimi:

$$\dot{S}_{VA} = \dot{S}_{BV} - \dot{S}_{V\Sigma} = 3,011 + j2,008 - 27,055 - j9,969 = -24,044 - j7,961 \text{ MVA}.$$

$\dot{S}_{VA}$ quvvatning aktiv va reaktiv tashkil etuvchilari oldidagi manfiy ishoralar ularning A podstansiyadan V podstansiyaga tomon yo'nalganligini bildiradi. Aniqlangan quvvat taqsimlanishini 4.7-rasmda keltirilgan sxemada belgilaymiz. V nuqta quvvat oqimining bo'linish nuqtasi hisoblanadi.

Natijalarning to'g'riligini tekshirish uchun AV bosh bo'lakdagi quvvatni boshqa yo'l bilan hisoblaymiz:

$$\dot{S}_{AV} = \frac{(27,055 + j9,969) \cdot (11,2 - j19,21 + 7,65 - j10,85) + (14 + j2,881) \cdot (11,2 - j19,21)}{11,2 - j19,21 + 7,65 - j10,85 + 8,71 - j14,94} = 24,044 + j7,961 \text{ MVA}.$$

$\dot{S}_{AV}$ ning ikki xil yo'l bilan topilgan qiymatlarining bir xilligi hisoblashlarning to'g'riligini tasdiqlaydi.

AV bo'lakda quvvatlar isrofini topamiz:

$$\Delta P_{Al'} = \frac{24,044^2 + 7,961^2}{110^2} \cdot 8,71 = 0,462 \text{ MWt};$$

$$\Delta Q_{Al'} = \frac{24,044^2 + 7,961^2}{110^2} \cdot 14,94 = 0,792 \text{ Mvar}.$$

AV bo'lakning boshlanishidagi quvvat:

$$\dot{S}_{AB}^{(A)} = 24,044 + j7,961 + 0,462 + j0,792 = 24,506 + j8,753 \text{ MVA}.$$

BV bo'lakda quvvatlar isrofini topamiz:

$$\Delta P_{BV} = \frac{3,011^2 + 2,008^2}{110^2} \cdot 7,65 = 0,008 \text{ MВт};$$

$$\Delta Q_{BV} = \frac{3,011^2 + 2,008^2}{110^2} \cdot 10,85 = 0,012 \text{ M var.}$$

AB bo'lakning oxiridagi quvvat:

$$\dot{S}_{AB}^{(B)} = 3,011 + j2,008 + 0,008 + j0,012 + 14 + j2,881 = 17,019 + j4,901 \text{ MVA.}$$

AB bo'lakda quvvatlar isrofi:

$$\Delta P_{AB} = \frac{17,019^2 + 4,901^2}{110^2} \cdot 11,2 = 0,29 \text{ MВт};$$

$$\Delta Q_{AB} = \frac{17,019^2 + 4,901^2}{110^2} \cdot 19,21 = 0,498 \text{ M var.}$$

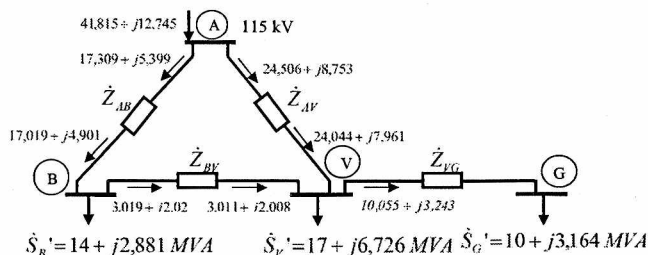
AB bo'lakning boshlanishidagi quvvat:

$$\dot{S}_{AB}^{(A)} = 17,019 + j4,901 + 0,29 + j0,498 = 17,309 + j5,399 \text{ MVA.}$$

Shunday qilib, ko'rilayotgan elektr tarmog'i A podstansiyaning shinasidan quyidagicha quvvat oladi:

$$\begin{aligned} \dot{S}_A &= \dot{S}_{AB}^{(A)} + \dot{S}_{AV}^{(A)} - jU_A^2 \cdot \frac{B_{cAB} + B_{cAV}}{2} = 17,309 + j5,399 + 24,506 + j8,753 - \\ &- j115^2 \cdot \frac{1,197 \cdot 10^{-4} + 0,931 \cdot 10^{-4}}{2} = 41,815 + j12,745 \text{ MVA.} \end{aligned}$$

Topilgan quvvat taqsimlanishi 4.8-rasmda tasvirlangan.



4.8-rasm. Quvvat oqimini taqsimlanish sxemasi

Tugunlardagi kuchlanishlarni aniqlaymiz:

$$U_B = U_A - \frac{P_{AB}^{(A)} \cdot r_{AB} + Q_{AB}^{(A)} \cdot x_{AB}}{U_A} = 115 - \frac{17,309 \cdot 11,2 + 5,399 \cdot 19,21}{115} = 112,41 \text{ kV};$$

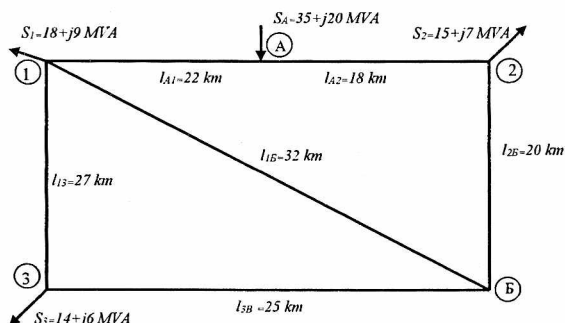
$$U_V = U_A - \frac{P_{AV}^{(A)} \cdot r_{AV} + Q_{AV}^{(A)} \cdot x_{AV}}{U_A} = 115 - \frac{24,506 \cdot 8,71 + 8,753 \cdot 14,94}{115} = 112,01 \text{ kV};$$

$$U_G = U_V - \frac{P_{VG}^{(V)} \cdot r_G + Q_{VG}^{(V)} \cdot x_{VG}}{U_B} = 112,6 - \frac{10,055 \cdot 6,12 + 3,243 \cdot 8,68}{112,6} = 111,8 \text{ kV}.$$

4.2-masala. Sxemasi quyidagi 4.9-rasmda keltirilgan bir jinsli konturlardan tashkil topgan murakkab yopiq elektr tarmoqda quvvatlar oqimining taqsimlanishini tarmoqdagi isrofini hisobga olmasdan aniqlang.

Balanslovchi tugundan tashqari barcha tugunlardagi to'la quvvatlar va liniyalarning uzunliklari sxemada keltirilgan.

Yechish. Elektr tarmoqning konturlari bir jinsli bo'lganligi uchun ulardagi quvvat oqimlarini liniyalarning uzunliklari bo'yicha hisoblaymiz.



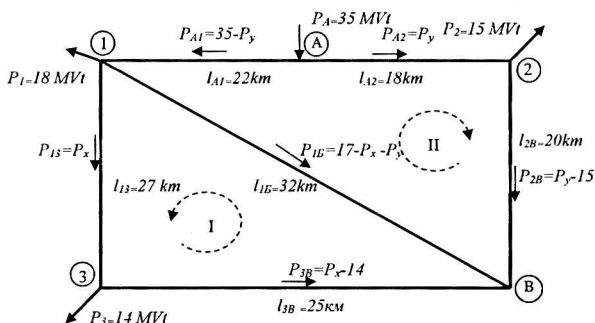
4.9-rasm. Bir jinsli konturlardan tashkil topgan murakkab yopiq elektr tarmog'i.

Hisoblashda qulay bo'lishi uchun aktiv va reaktiv quvvat oqimlarini hisoblashni alohida amalga oshiramiz.

Elektr tarmoqda aktiv quvvatning taqsimlanishini hisoblash. Tarmoqning sxemasini qayta chizib, tugunlarga aktiv quvvatarni qo'yamiz va liniyalarda quvvat

oqimlarini aniqlaymiz. Buning uchun avvalo har bir mustaqil konturning bittadan shoxobchasida (hozirgi holatda liniyasida) quvvat oqimlarini noma'lum sifatida qabul qilib, qolgan shoxobchalardagi quvvat oqimlarini ushbu ikkala noma'lum va tugunlardagi quvvatlar orqali (Kirxgofning birinchi qonunidan foydalanib) ifodalaymiz.

Birinchi konturda (I kontur) 1-3 shoxobchada 1-tugundan 3-tugunga tomon oquvchi quvvatni noma'lum sifatida qabul qilib, P_x bilan va ikkinchi konturda (II kontur) A-2 shoxobchada A-tugundan 2-tugunga tomon oquvchi quvvatni noma'lum sifatida qabul qilib, P_y bilan belgilaylik. Qolgan barcha shoxobchalardagi quvvatlar oqimlarining yo'nalishlarini ixtiyoriy qabul qilib (masalan, 4.10-rasmdagi yo'nalishlarda), ularni tugunlar uchun Kirxgofning birinchi qonunidan foydalanib ifodalaymiz.



4.10-rasm. Bir jinsli konturlardan tashkil topgan murakkab yopiq elektr tarmog'i.

Kontur quvvatlarining yo'nalishlarini ixtiyoriy qabul qilib, ular uchun Kirxgofning ikkinchi qonuni bo'yicha tenglamalar tuzamiz. Bunda shoxobchadagi quvvat yo'nalishi kontur quvvatining yo'nalishi bilan bir xil bo'lganda mos tashkil etuvchi musbat va har xil bo'lganda manfiy ishora bilan olinadi:

$$\begin{cases} 27P_x + 25(P_x - 14) - 32(17 - P_x - P_y) = 0, \\ 18P_y + 20(P_y - 15) - 32(17 - P_x - P_y) - 22(35 - P_y) = 0. \end{cases}$$

Paydo bo'lgan sistemani ixchamlab echamiz va natijada noma'lum quvvat oqimlarini topamiz: $P_x = 4,58 \text{ MVt}$, $P_y = 15,96 \text{ MVt}$.

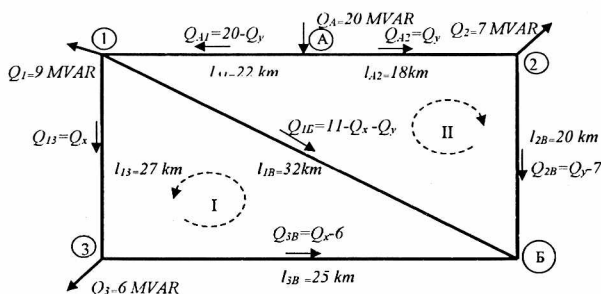
Topilgan quvvatlarni shoxobchalardagi quvvatlar oqimlarining ifodalariga (4.10-rasm) qo'yib, ularni aniqlaymiz: $P_{A2} = 15,96 \text{ MVt}$, $P_{2B} = 0,96 \text{ MVt}$, $P_{A1} = 19,04 \text{ MVt}$, $P_{13} = 4,58 \text{ MVt}$, $P_{3B} = -9,42 \text{ MVt}$, $P_{1B} = -3,54 \text{ MVt}$.

Shoxobchalardagi reaktiv quvvat oqimlarini ham shu tarzda topamiz (4.11-rasm).

$$\begin{cases} 27Q_x + 25(Q_x - 6) - 32(11 - Q_x - Q_y) = 0, \\ 18Q_y + 20(Q_y - 7) - 32(11 - Q_x - Q_y) - 22(20 - Q_y) = 0. \end{cases}$$

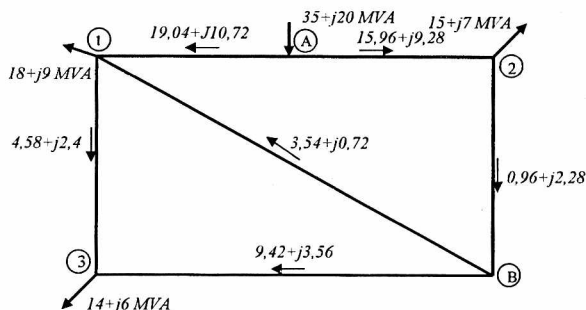
$$Q_x = 2,44 \text{ MVAR}, Q_y = 9,28 \text{ MVAR}.$$

$Q_{A2} = 9,28 \text{ MVAR}$, $Q_{2B} = 2,28 \text{ MVAR}$, $Q_{A1} = 10,72 \text{ MVAR}$, $Q_{13} = 2,44 \text{ MVAR}$, $Q_{3B} = -3,56 \text{ MVAR}$, $Q_{1B} = -0,72 \text{ MVAR}$.



4.11-rasm. Bir jinsli konturlardan tashkil topgan murakkab yopiq elektr tarmog'i.

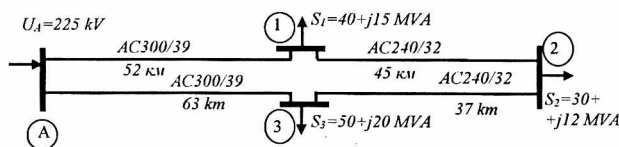
Shoxobchalardagi to'la quvvat oqimlarining aniqlangan qiymatlarini 4.12-rasmdagi sxemada keltiramiz.



4.11-rasm. Bir jinsli konturlardan tashkil topgan murakkab yopiq elektr tarmog'i.

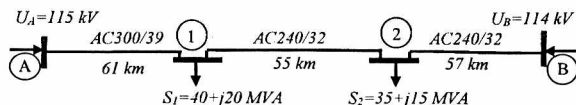
4.4. Mustaqil yechish uchun masalalar

1. Quyidagi elektr tarmoqda (4.13-rasm) isrofnı hisobga olgan holda quvvat oqimining taqsimlanishi va podstaniyalarning shinalaridagi kuchlanishlarnı aniqlang.



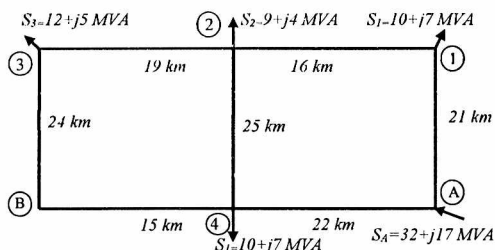
4.13-rasm. Isrofnı hisobga olgan holda quvvat oqimining taqsimlanishi

2. Sxemasi 4.14-rasmda tasvirlangan elektr tarmoqda isrofnı hisobga olgan holda quvvat oqimining taqsimlanishi va tugunlardagi kuchlanishlarnı toping.



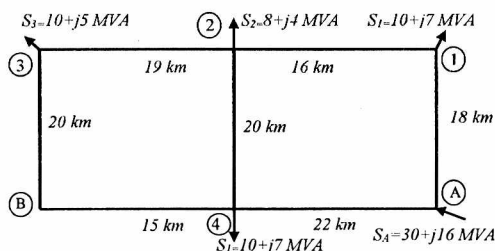
4.14-rasm. 115 kV elektr tarmog'i

3. Sxemasi 4.15-rasmda keltirilgan bir jinsli konturlardan tashkil topgan murakkab yopiq elektr tarmoqda quvvatlar oqimining taqsimlanishini tarmoqdagi isrofini hisobga olmasdan aniqlang.



4.15-rasm. bir jinsli konturlardan tashkil topgan murakkab yopiq elektr tarmog'i

4. Sxemasi 4.16-rasmda keltirilgan bir jinsli konturlardan tashkil topgan murakkab yopiq elektr tarmoqda quvvatlar oqimining taqsimlanishini tarmoqdagi isrofini hisobga olmasdan aniqlang.



4.16-rasm. bir jinsli konturlardan tashkil topgan murakkab yopiq elektr tarmog'i

5. ELEKTR TARMOQLARIDA KUCHLANISHNI ROSTLASH

5.1. Umumiy tushunchalar

Elektr tarmoqning kuchlanishi doimo yuklama, ta'minlash manbaining ish holatlari, zanjirning qarshiligi o'zgarishi bilan o'zgarib turadi. Kuchlanishning oqishi har doim ham ruxsat etilgan minimal va maksimal qiymatlar oraliqida bo'lavermaydi. Shu sababli elektr tarmoqning turqun ishlashi va iste'molchilarni sifatli elektr energiya bilan ta'minlash uchun undagi kuchlanishning qiymatini nazorat qilib turish va zarurat bo'lganda uni rostlash lozim.

Kuchlanishni rostlash deb elektr sistemasining xarakterli nuqtalarida kuchlanish darajasini maxsus texnik vositalar yordamida talabga muvofiq o'zgartirish jarayoniga aytiladi.

Kuchlanishni rostlash usullari ta'minlash markazida (TM) amalga oshiriladigan *markazlangan* va bevosita iste'molchilarda amalga oshiradigan *mahalliy* usullarga bo'linadi.

Kuchlanishni mahalliy rostlashni guruhli va individual usullarga bo'lish mumkin. Guruhli rostlash iste'molchilar guruhi uchun, individual rostlash asosan maxsus maqsadlarda amalga oshiriladi.

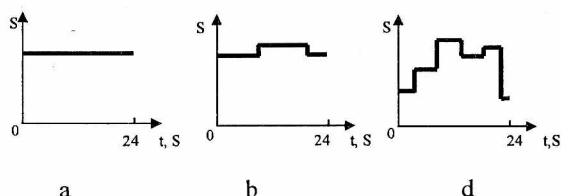
Yuqorida ko'rsatilgan kuchlanishni rostlash tiplarini yuklamaning o'zgarishi xarakteriga bog'liq ravishda bir nechta tiplarga ajratish mumkin. Masalan, kuchlanishni markazlashgan rostlashda uchta nimtipni ajratish mumkin. Bular, kuchlanishni stabillash; kuchlanishni ikki pog'onali rostlash va kuchlanishni qarama-qarshi rostlashdir.

Kuchlanishni *stabillash* amalda yuklamasi o'zgarmaydigan iste'molchilar uchun, masalan, kuchlanish darajasi bir xilda tutib turilishi lozim bo'lgan uch smenali korxonalar uchun qo'llaniladi, Bunday iste'molchining yuklama grafigi 5.1,a-rasmda ko'rsatilgan.

Ayon ifodalangan ikki pog'onali yuklama grafigiga ega bo'lgan iste'molchilar (5.1,b-rasm), masalan, bir smenali korxonalar uchun *ikki pog'onali rostlash*

qo'llaniladi. Bunda sutka davomida yuklama grafigiga mos ravishda kuchlanishning ikkita darajasi tutib turiladi.

Yuklama sutka davomida o'zgaruvchan bo'lgan hollarda *qarama-qarshi rostlash* amalga oshiriladi (5.1,d-rasm). Yuklamaning har bir qiymatiga kuchlanish va kuchlanish isrofining mos qiymatlari to'g'ri keladi. SHu sababli yuklama o'zgarishi bilan kuchlanish ham o'zgaradi. Bunda kuchlanishning oqishi ruxsat etilganidan ortib ketmasligi uchun uni yuklamaga bog'liq ravishda rostlab turish lozim.



5.1-rasm. Yuklama grafiglari: a- o'zgarmas; b – ikki pog'onali; d – ko'p pog'onali.

Yuklama nafaqat sutka davomida, balki yil davomida ham o'zgaradi. Masalan, yil davomida eng katta yuklama kuzgi-qishki mavsum davrida, eng kichik yuklama esa yozgi davrda bo'ladi. Qarama-qarshi rostlash kuchlanishni nafaqat yuklamaning sutka davomida o'zgarishi bo'yicha, balki sezon davomida ham o'zgarishi bo'yicha rostlashdan iboratdir. U elektr stansiyalari va podstansiyalari shinalaridagi kuchlanish darajasini eng katta yuklama davrida oshirilgan holatda, eng kichik yuklama davrida esa kamaytirilgan holatda tutib turishni nazarda tutadi.

5.2. Kuchlanishni qarama-qarshi rostlash

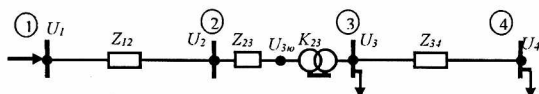
Kuchlanishni qarama-qarshi rostlash elektr tarmoqlarda juda keng qo'llaniladi. Shu sababli ushbu usul bilan yaqinroq tanishish maqsadida sxemasi 5.2-rasmda tasvirlangan tarmoqni ko'rib o'tamiz. Unda Z_{12} 1 va 2 punktlar orasidagi liniyaning

qarshiligi; Z_{23} – 2- va 3- punktlar orasidagi tuman podstansiyasidagi ikki chulg'amli transformatorning qarshiligi; K_{23} – ideal transformatorning transformatsiyalash ko'effitsiyenti; Z_{34} – 3- va 4- punktlar orasidagi liniya qarshiligi; U_1 - ta'minlash markazi shinasidagi kuchlanish; U_2 - tuman podstansiyasining birlamchi – yuqori (YuK) shinasidagi kuchlanish; U_{3yu} - tuman podstansiyasi ikkilamchi – past (PK) shinasidagi kuchlanishning yuqori tomonga keltirilgan qiymati; U_3 - tuman podstansiyasining ikkilamchi – past (PK) shinasidagi kuchlanish; U_4 – iste'molchilardagi kuchlanish.

Sxemada ko'rsatilgan nuqtalardagi kuchlanishlar pastdagicha aniqlanadi:

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{12}, \quad U_{3yu} = U_2 - \Delta U_{23}, \quad U_3 = \frac{U_{3yu}}{K_{23}}, \quad U_4 = U_3 - \Delta U_{34}, \quad (5.1)$$

bu yerda ΔU_{12} , ΔU_{23} , ΔU_{34} – mos shoxobchalardagi kuchlanish isroflari.



5.2-rasm. Elektr tarmoqda kuchlanishni qarama-qarshi rostlash

Minimal yuklamalar holatida 1-2 liniya va 2-3 transformatorlarda kuchlanish isrofining kamayishi natijasida 3- va 4- punktlarda ulangan iste'molchilarda kuchlanishning ortishi, maksimal yuklamalar holatida esa kuchlanish isrofining ortishi natijasida iste'molchilardagi kuchlanishning kamayishi kuzatiladi. Bunda birinchi holatda iste'molchilardagi kuchlanishlar maksimal ruxsat etilgan qiymatdan katta va ikkinchi holatda minimal ruxsat etilgan qiymatdan kichik bo'lishi mumkin. Bunday hollarda kuchlanishni rostlash ehtiyoji paydo bo'ladi.

Minimal yuklamalar holatida U_3 imkonni boricha U_n ga yaqin qiymatgacha kamaytiriladi. Bu holatda K_{23} ning shunday standart qiymati tanlanishi lozimki, natijada pastdagi shart bajarilsin:

$$U_3 \geq U_n. \quad (5.2)$$

Maksimal yuklamalar holatida U_3 ni imkoni boricha $1,05-1,1U_n$ ga yaqinroq qiymatgacha orttiriladi. Bu holatda K_{23} ning shunday standart qiymati tanlanishi lozimki, bunda pastdagi shart bajarilsin:

$$U_3 \geq (1,05 \div 1,1) U_n. \quad (5.3)$$

Shunday qilib, ta'minlash markazidan uzoqdagi 4- va unga yaqindagi 3-punktlardagi iste'molchilarda kuchlanishlar ruxsat etilgan chegaraga kiritiladi. Maksimal va minimal yuklamalar holatlaridagi bunday rostlashda kuchlanish mos ravishda oshiriladi va pasaytiriladi. SHu sababli bunday rostlash qarama-qarshi rostlash deb ataladi.

5.3. Pasaytiruvchi podstansiyalarda kuchlanishni rostlash

Pasaytiruvchi podstansiyalarning transformatorlaridagi kuchlanishni rostlash qurilmalari ikki turga bo'linadi: a) qo'zqatishsiz almashlab ulash (QAU) qurilmasi; b) yuklama ostida rostlash (YuOR) qurilmasi. Odatda, rostlovchi shoxobchalar transformatorning kichik ishchi tok oquvchi yuqori chulg'ami tomonida o'rnatiladi. Buning natijasida almashlab ulash qurilmasining ishlashi engillashadi.

5.2-rasmda tasvirlangan sodda sxemani ko'rib o'tamiz.

Podstansiyaning YuK shinasidagi kuchlanish U_2 elektr stansiyasi generatorlarining chiqishidagi kuchlanish U_1 dan 1-2 liniyadagi kuchlanish isrofi qiymati ΔU_{12} ga, podstansiya PK shinasidagi YuKga keltirilgan kuchlanish U_{3yu} esa U_2 dan transformator qarshiligidagi kuchlanish isrofi ΔU_{23} ga kichik

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{12}, \quad U_{3yu} = U_2 - \Delta U_{23}.$$

Podstansiya PK shinasidagi kuchlanishning haqiqiy qiymati pastdagicha topiladi:

$$U_3 = \frac{U_{3yw}}{K_{23}} = U_{3yw} \frac{U_{qN}}{U_{shox}}, \quad (5.4)$$

bu yerda $K_{23} = \frac{U_{shox}}{U_{qN}}$ - transformatorning transformatsiyalash koeffitsiyenti; U_{shox}

- YuK chulg'ami rostdash shoxobchasining kuchlanishi; U_{qn} - PK chulg'amining nominal kuchlanishi.

Transformatsiyalash koeffitsiyentini o'zgartirib, podstansiyaning PK tomonidagi kuchlanish U_3 ni o'zgartirish mumkin. Barcha podstansiyalarda kuchlanishni rostdash vositalari aynan shu prinsipda ishlaydi.

Qarama-qarshi rostdash shartlari (5.2) va (5.3) bo'yicha

$$V_{\max}^{xox} \% = 5\%; \quad V_{\min}^{xox} \% = 0,$$

bu yerda $V_{\max}^{xox} \%$, $V_{\min}^{xox} \%$ - maksimal va minimal yuklamalar holatlari uchun xohlangan kuchlanish oqishining nominal kuchlanishga nisbatan foizlari.

Bularga mos ravishda

$$U_{3,\max}^{xox} = U_n + V_{\max}^{xox}; \quad U_{3,\min}^{xox} = U_n + V_{\min}^{xox}.$$

PK tomonidagi kuchlanishning haqiqiy qiymati (5.4) ifodadan topiladi.

Tarmoqning maksimal va minimal elektrik holatlarini hisoblash natijasida har ikkala holat uchun QK tomonidagi kuchlanishning YuK tomoniga keltirilgan qiymatlari $U_{3yw,\max}$ va $U_{3yw,\min}$ topiladi. Ular bo'yicha maksimal va minimal yuklama holatlari uchun transformator yuqori chulg'amida xohlanuvchi rostdash shoxobchasi aniqlanadi:

$$U_{shox,max} = U_{3yu,max} \cdot \frac{U_{qu}}{U_{3,xox,max}}; \quad U_{shox,min} = U_{3yu,min} \cdot \frac{U_{qN}}{U_{3,xox,min}}. \quad (5.5)$$

(5.5) bo'yicha aniqlangan xohlanuvchi shoxobchalar kuchlanishlari (5.2) va (5.3) shartlarni bajaruvchi eng yaqin standart qiymatlarga yaxlitlanadi.

QAULi transformatorlarda QAU qurilmasi hozirgi davrda asosiy va to'rtta qo'shimcha shoxobchali qilib ishlab chiqariladi. Bunday transformator chulg'amining sxemasi 5.3-rasmda keltirilgan. Asosiy shoxobcha kuchlanishi transformator yuqori chulg'amining nominal kuchlanishidir (U_{yuu}). Bu shoxobchaga mos keluvchi transformatsiyalash koeffitsiyenti nominal transformatsiyalash koeffitsiyenti deb yuritiladi. To'rtta yordamchi shoxobchalardan foydalanilganda transformatsiyalash koeffitsiyenti nominaldan mos ravishda +5; +2,5; -2,5 va -5% ga farq qiladi. Transformatorning ikkilamchi (sxemada - past) chulg'ami unga ulangan tarmoqning ta'minlash markazi hisoblanadi.

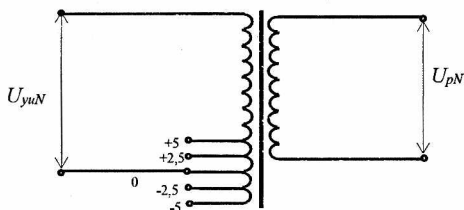
Shu sababli transformatorlarda ikkilamchi chulg'amning nominal kuchlanishi tarmoqning nominal kuchlanishiga nisbatan kattadir. Bu farq kichik quvvatli transformatorlar uchun 5% va qolganlari uchun 10% ni tashkil etadi. Faraz qilaylik, asosiy shoxobchadan foydalanilganda birlamchi shoxobchaga tarmoqning nominal kuchlanishiga teng kuchlanish berilmoqda va salt ishlash holatida QK tomonidagi kuchlanish $1,05U_{n,t}$. Bunda qo'shimcha kuchlanish 5%. QAULi transformator shoxobchasini o'zgartirib yaxlitlangan qiymatlari pastdagicha bo'lgan qo'shimcha kuchlanishni olish mumkin:

Birlamchi chulg'am shoxobchasi, %: +5 +2,5 0 -2,5 -5

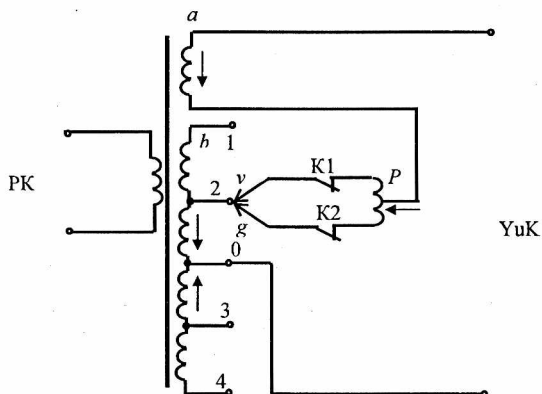
Salt ishlash holatida PK

tomonidagi kuchlanish ($U/U_{n,t}$): 1 1,025 1,05 1,075 1,1

Qo'shimcha kuchlanish, %: 0 2,5 +5 +7,5 +10



5.3-rasm. QAULi transformatorning chulg'amlari sxemasi



5.4-rasm. YuORli transformatorning chulg'amlari sxemasi

QAULi transformatorning rostlash shoxobchalarini almashlab ulash uchun avvalo uni tarmoqdan ajratish talab etiladi. Bunday almashlab ulashlar kam – yuklamalarni sezonli o'zgarishlarini mo'ljallab amalga oshiriladi. Shu sababli sutka davomidagi maksimal va minimal yuklama holatlarida (masalan, kunduzi va tunda) QAULi transformator bitta rostlovchi shoxobcha va shunga mos yagona transformatsiyalash koeffitsiyenti bilan ishlaydi. Bunda kuchlanishni qarama-qarshi rostlash talablarini amalga oshirish, ya'ni (5.2) va (5.3) shartlarni bajarish mumkin emas.

O'rnatilgan YuOR qurilmali **kuchlanishni yuklama ostida rostlovchi** transformatorlar QAULi transformatorlardan almashlab ulovchi maxsus qurilma va shuningdek shoxobchalar sonining ko'pligi, diapazonining kattaligi bilan farq qiladi. Masalan, YuK chulg'aming asosiy shoxobchasi kuchlanishi 115 kV bo'lgan transformator har biri shoxobchasidagi kuchlanish qo'shni shoxobchadagi kuchlanishlardan 1,78% dan farq qiluvchi 18 ta rostlash darajali $\pm 16\%$ rostlash diapazoniga ega.

5.4-rasmda YuORli transformator chulg'amlarining sxemasi tasvirlangan. Bu transformatorning YuK chulg'ami ikki qismdan – rostlanmaydigan *a* va rostlanadigan *b* qismlardan tashkil topgan. Rostlanadigan qismining 1-4 qo'zqalmas kontaktlarida bir qator shoxobchalar mavjud. 1, 2 shoxobchalar asosiy chulg'am o'ramlari bilan bir xil yo'nalishdagi o'ramlar qismiga mos keladi (tokning yo'nalishi 5.4-rasmda strelkalar yordamida ko'rsatilgan). 1, 2 shoxobchalar ulanganda transformatorning transformatsiyalash koeffitsiyenti oshadi. 3, 4 shoxobchalar asosiy chulg'am o'ramlariga nisbatan qarama - qarshi yo'nalishdagi o'ramlar qismiga mos keladi. Ularning ulanishi transformatsiyalash koeffitsiyentini kamaytiradi, chunki ular asosiy chulg'am o'ramlari bir qismining ta'sirini kompensatsiyalaydi. Transformator YuK chulg'aming asosiy chiqish joyi bo'lib 0 nuqta hisoblanadi.

Asosiy chulg'am o'ramlari bilan bir xil va qarama - qarshi yo'nalishdagi o'ramlar soni bir xil bo'lmazligi mumkin. Chulg'amning rostlovchi qismida qo'zqaluvchi *v* va *g*, qo'zqalmas K1 va K2 kontaktlardan hamda *R* reaktorlardan tashkil topgan almashlab ulovchi qurilma mavjud. Reaktorning o'tasi transformator chulg'aming rostlanmaydigan *a* qismi bilan tutashgan. Normal sharoitda YuK chulg'ami toki reaktor chulg'aming ikkala yarimlariga teng taqsimlanadi. Shu sababli bunday holatda reaktorda magnit oqimi va shuningdek kuchlanish isrofi kam bo'ladi.

Faraz qilaylik, qurilmani shoxobcha 2 dan shoxobcha 1 ga almashlab ulash talab etiladi. Bunda kontaktor K1 uziladi. Qo'zqaluvchan kontakt *v* shoxobcha kontakti 1

ga o'tkaziladi va K1 kontakt qayta ulanadi. SHunday qilib, chulg'amning 1, 2 seksiyalari R reaktorning chulg'ami orqali yopiq ulanib qoladi. Bu vaqtda reaktorning induktivligi chulg'amning 1, 2 seksiyasidagi kuchlanish ta'sirida hosil bo'luvchi tenglashtiruvchi tokni cheklaydi. SHundan so'ng kontaktor K2 uziladi, qo'zqaluvchan kontakt 2 shoxobcha kontakti 1 ga o'tkaziladi va K2 kontakt qayta ulanadi.

YuOR yordamida transformatorning shoxobchasini va transformatsiyalash koeffitsiyentini sutka davomida yuklama ostida o'zgartirish orqali qarama-qarshi rostlash talabi (5.2), (5.3) ni bajarish mumkin.

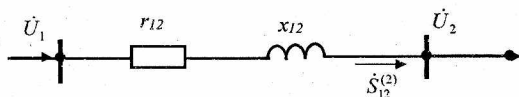
Liniya rostlagich transformatorlari (LRT) va ketma-ket rostlovchi transformatorlar kuchlanishni alohida EULda yoki EUL guruhlarida rostlash uchun qo'llaniladi. Shunday qilib, ular kuchlanishni yuklama ostida rostlamaydigan transformatorlardan foydalanilgan mavjud tarmoqlarni qayta qurishda qo'llaniladi. Bunday hollarda podstantsiya shinasida kuchlanishni rostlash uchun LRT rostlanmaydigan transformator bilan ketma-ket ulanadi. Chiqib ketuvchi EULlarda kuchlanishni rostlash uchun LRTlari bevosita EULlariga ketma-ket ulanadi.

LRT yordamida kuchlanishni bo'ylama, ko'ndalang va bo'ylama-ko'ndalang rostlash mumkin.

5.4. Kuchlanishni tarmoqning qarshiligini o'zgartirib rostlash

(5.1) formulalardan ko'rinadiki, iste'molchidagi kuchlanish tarmoqdagi kuchlanish isrofi qiymatiga bog'liqdir. Kuchlanish isrofi esa o'z navbatida tarmoq qarshiligiga bog'liq. Masalan, 5.5-rasmda tasvirlangan tarmoqdagi kuchlanish pasayishining bo'ylama tashkil etuvchisini pastdagicha aniqlash mumkin:

$$\Delta U_{12} = \frac{P_{12}^{(2)} + Q_{12}^{(2)} X_{12}}{U_2}. \quad (5.6)$$



5.5-rasm. Kuchlanishni tarmoqning qarshiligini o'zgartirib rostdlash

Bu yerda $P_{12}^{(2)}$, $Q_{12}^{(2)}$, U_2 - EUL oxiridagi quvvat oqimlari va kuchlanish; r_{12} , x_{12} - EULning aktiv va reaktiv qarshiliklari.

Taqsimlovchi va ta'minlovchi tarmoqlar uchun aktiv va reaktiv qarshiliklarning nisbatlari turlicha bo'ladi. Taqsimlovchi tarmoq liniyalarida, asosan, aktiv qarshilik reaktiv qarshilikka nisbatan katta, ya'ni $r_0 > x_0$ bo'ladi. SHu sababli bunday tarmoqlar uchun (5.6) formulada suratning asosiy tashkil etuvchisi $R_{12}^{(2)} r_{12}$ bo'lib hisoblanadi.

Ta'minlovchi elektr tarmoqlarda esa aksincha $x_0 > r_0$ va shu sababli ΔU_{12} asosan EUL o'tkazgichining ko'ndalang kesimiga kam darajada bog'liq bo'lgan reaktiv qarshilik bilan belgilanadi. Reaktiv qarshilikni o'zgartirish uchun EUL ga ketma-ket tarzda kondensatorlar ulash lozim. EULda kondensatorlar ulashdan oldingi kuchlanish pasayishining bo'ylama tashkil etuvchisi (5.6) bo'yicha aniqlanadi. Faraz qilaylik, EULning oxirida kuchlanish ruxsat etilganidan past (5.6-rasm):

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{12} < U_{2rux}$$

EULga kondensatorlarni shunday ulaymizki, buning natijasida U_2 ruxsat etilgan U_{2rux} gacha oshsin.

Bunda yuqoridagi ifodani pastdagicha yozish mumkin:

$$U_{2rux} = U_1 - R_{12}^{(2)} r_{12} + Q_{12}^{(2)} (x_{12} - x_k) / U_{2rux} \quad (5.7)$$

Bu yerda x_k -kondensatorlarning ekvivalent qarshiligi

Kondensatorlarni EULda ketma-ket ulash bo'ylama kompensatsiyalash deb yuritiladi. Bo'ylama kompensatsiyalovchi qurilma (BKQ) EULda induktiv qarshilik va kuchlanish isrofini kompensatsiyalash imkonini beradi.

Shunday qilib, kompensatsiyalashgacha va kompensatsilashdan keyingi holatlarda tarmoq oxiridagi kuchlanish vektori (kompleks kuchlanish) uchun pastdagi ifodalar o'rinlidir:

$$\begin{aligned} U_2 &= U_1 - \sqrt{3} I_{12} (r_{12} + jx_{12}), \\ U_{2\text{rux}} &= U_1 - \sqrt{3} I_{12} (r_{12} + jx_{12}) - \sqrt{3} I_{12} (-jx_k). \end{aligned} \quad (5.8)$$

Bu yerda I_{12} -EUL toki. Hisoblash nuqtai nazaridan $j\sqrt{3} I_{12} x_k$ ni manfiy kuchlanish yoki tarmoqqa kiritiluvchi qo'shimcha e.y.u.k sifatida qarash mumkin

$U_1, U_{2\text{rux}}, r_{12}, x_{12}, P_{12}^{(2)}, Q_{12}^{(2)}$ ni bilgan holda (5.7) dan x_k ni _oppish hamda lozim bo'lgan ketma-ket va parallel ulanuvchi kondensatorlarning sonini tanlash mumkin. Bunda kondensatorlardagi kuchlanish U_k va tok I_k pastdagilarga tengdir:

$$U_k = \sqrt{3} I_{12} X_k, \quad I_k = I_{12} = \frac{S_{12}}{\sqrt{3} U_k}. \quad (5.9)$$

Agar bitta kondensatorning nominal kuchlanishi $U_{k.\text{nom}} < \frac{U}{\sqrt{3}}$, bo'lsa, u holda bir nechta kondensatorlar ketma-ket ulanishi lozim. Ketma-ket ulanuvchi kondensatorlar soni pastdagi ifoda bo'yicha topiladi:

$$N = \frac{U_k}{\sqrt{3} U_{k.\text{nom}}}. \quad (5.10)$$

Kondensatorning pasportida beriluvchi nominal quvvati Q_k bo'yicha nominal tokni aniqlash mumkin:

$$I_{k.\text{nom}} = \frac{Q_k}{U_{k.\text{nom}}}. \quad (5.11)$$

Agar $I_{k.\text{nom}} < I_k$ bo'lsa, kondensatorda o'ta kuchlanish yuz berishining oldini olish uchun m ta kondensator parallel ulanishi lozim.

Bunda

$$m = \frac{I_k}{I_{k.no0}}. \quad (5.12)$$

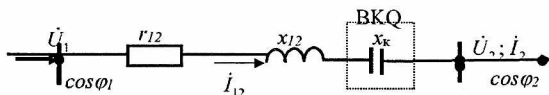
BKQ sig'im qarshiligini EUL induktiv qarshiligiga nisbatan foizlardagi qiymati kompensatsiyalash foizi deb ataladi va u pastdagicha topiladi:

$$C = \frac{x_k}{x_{12}} \cdot 100. \quad (5.13)$$

Amalda EUL reaktiv qarshiligini qisman kompensatsiyalash qo'llaniladi (ya'ni $S < 100\%$ bo'ladi). Yuklamalarni bevosita ta'minlaydigan taqsimlovchi tarmoqlarda o'ta kuchlanish vujudga kelishi mumkinligini bartaraf etish maqsadida, odatda, to'la yoki ortiqcha kompensatsiyalash ($C \geq 100\%$) qo'llanilmaydi.

BKQni qo'llash tarmoqda kuchlanish holatini yaxshilash imkonini beradi. Biroq, kuchlanishning ortishi BKQ orqali o'tuvchi tokning qiymati va fazasiga bog'liqdir. Ushbu sabablarga ko'ra BKQ yordamida rostdash imkoniyatlari cheklangan. BKQni o'ta yuklangan radial EULlarda kuchlanish oqishini kamaytirish uchun qo'llash eng samaralidir.

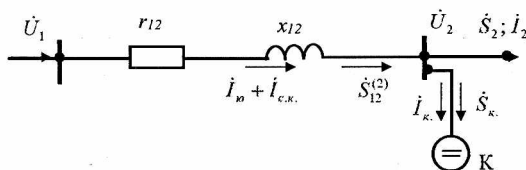
Ta'minlovchi tarmoqlarda BKQlardan foydalanish murakkab va qimmatdir. Bunday tarmoqlarda qisqa tutashuv davrida o'ta kuchlanishdan himoyalaniish uchun maxsus tadbirlarni qo'llash lozim. BKQ nafaqat kuchlanishni rostdash uchun, balki EULning o'tkazuvchanlik qobiliyatini oshirish maqsadida ham qo'llaniladi.



5.6-rasm. Kuchlanishni bo'ylama kompensatsiyalash orqali rostdash

5.5. Kuchlanishni reaktiv quvvat oqimini o'zgartirib rostdlash

(5.6) formuladan ko'rinadiki, kuchlanish isrofi tarmoqdagi aktiv va reaktiv quvvat oqimlariga bog'liq. EUL orqali oquvchi aktiv quvvat iste'molchining quvvati bilan belgilanadi. Shu sababli kuchlanishni rostdlash uchun aktiv quvvat oqimini o'zgartirish mumkin emas. Ta'minlovchi tarmoqlarda reaktiv qarshilik aktiv qarshilikka nisbatan katta bo'lganligi uchun quvvat oqimlarini o'zgartirib rostdlashda kuchlanish isrofiga $Q_{12}^{(2)}x_{12}$ kuchli ta'sir ko'rsatadi. Yuqorida tarmoqning reaktiv qarshiligini o'zgartirish orqali ushbu ko'paytmani o'zgartirish va shu tariqa kuchlanishni rostdlash usulini ko'rib o'tdik. Bu ko'paytmani ikkinchi ko'paytuvchi tarmoqdagi reaktiv quvvat oqimini o'zgartirish (kompensatsiyalash) orqali ham o'zgartirish mumkin. Ushbu usulning ma'nosi bilan sxemasi 5.7-rasmda keltirilgan elektr tarmoqda kuchlanishni rostdlash misolida tanishamiz.



5.7-rasm. Kuchlanishni reaktiv quvvatni kompensatsiyalash orqali rostdlash

Reaktiv quvvat kompensatori ulanishdan oldin EUL oxiridagi kuchlanish pastdagicha aniqlanadi:

$$U_2 = U_1 - \frac{P_{12}^{(2)}r_{12} + Q_{12}^{(2)}x_{12}}{U_2} = U_1 - \frac{P_2r_{12} + Q_2x_{12}}{U_2}, \quad (5.14)$$

Faraz qilaylik, U_2 ruxsat etilganidan kichik. EUL oxiriga kompensator ulangandan so'ng bu kuchlanish pastdagicha aniqlanadi:

$$U_2 = U_1 - \frac{P_2r_{12} + (Q_2 - Q_k)x_{12}}{U_2}, \quad (5.15)$$

Kompensatorning kuchlanishni ruxsat etilgan qiymatini ta'minlaydigan quvvatini topamiz. Buning uchun (5.15) formulada liniya oxiridagi kuchlanish uning xohlangan qiymatiga tenglashgan (ya'ni $U_2 = U_{2\text{nox}}$) deb hisoblaymiz va (5.15) dagi U_1 o'rniga uning (5.14) dan olingan ifodasini qo'yamiz. Natijada kompensator quvvati uchun pastdagi ifodaga ega bo'lamiz:

$$Q_k = \frac{(U_{2\text{nox}} - U_2)[U_{2\text{nox}}U_2 - (P_2r_{12} + Q_2x_{12})]}{U_2x_{12}}, \quad (5.16)$$

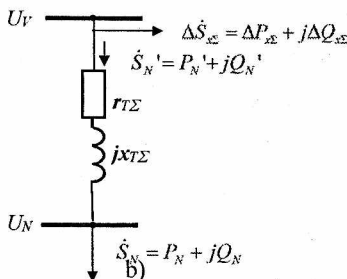
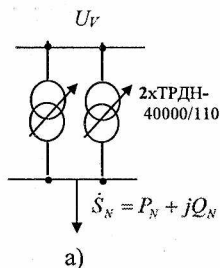
Agar $I/U_{2\text{nox}} \approx I/U_2$ deb qabul qilsak, bu ifoda yanada soddalashadi:

$$Q_k = \frac{U_{2\text{nox}} - U_2}{x_{12}} \cdot U_{2\text{nox}}. \quad (5.17)$$

Amaliy hisoblashlarda Q_k (5.17) formula bo'yicha topiladi.

5.6. Masalalar yechish namunalari

5.1-masala. Kuchlanishni pasaytiruvchi podstansiyada rostlash diapazoni $\pm 9 \times 1,78\%$ bo'lgan YuOR qurilmasiga ega ikkita ТРДН-40000/110 tipdagi ikki chulg'amli transformatorlar o'rnatilgan (5.8-rasm). Ikkita parallel ulangan transformatorlarning ekvivalent qarshiliklari quyidagicha: $r_{T\Sigma} = 0,7 \text{ Om}$, $x_{T\Sigma} = 17,35 \text{ Om}$.



5.8-rasm. a-Kuchlanishni pasaytiruvchi podstansiya sxemasi b- Kuchlanishni pasaytiruvchi podstansiyaning ekvivalent almashtirish sxemasi.

Maksimal, minimal va yuklama maksimal bo'lganda avariya dan keyingi holatlarida podstansiyaning yuqori kuchlanish shinasidagi kuchlanish qiymatlari

pastdagicha: $U_{maks}=112,5 \text{ kV}$; $U_{min}=113,7 \text{ kV}$; $U_{av/k}=102 \text{ kV}$. Ushbu holatlarda yuklamaning quvvatlari pastdagi miqdorni tashkil etadi (5.8b-rasm):

$$P_{maks}=P_{av/k}=64,91 \text{ MVt}; \quad Q_{maks}=Q_{av/k}=28,68 \text{ MVAR};$$

$$P_{min}=22,47 \text{ MVt}; \quad Q_{min}=8,96 \text{ MVAR}.$$

Kuchlanishni qarama-qarshi rostlash shartlariga mos ravishda past tomonda kuchlanishni rostlash uchun zarur bo'lgan rostlovchi shoxobchani tanlang.

Yechish. Transformatorlarga kirish joyidagi quvvat oqimlarini aniqlaymiz (5.9-rasm):

$$P_{maks}' = P_{av/k}' = P_{maks} + \Delta P_{T,maks} = P_{maks} + \frac{P_{maks}^2 + Q_{maks}^2}{U_{nom}^2} \cdot r_{T\Sigma} = 64,91 + \frac{64,91^2 + 28,68^2}{110^2} \cdot 0,7 = 65,2 \text{ MVt};$$

$$Q_{maks}' = Q_{av/k}' = Q_{maks} + \Delta Q_{T,maks} = Q_{maks} + \frac{P_{maks}^2 + Q_{maks}^2}{U_{nom}^2} \cdot x_{T\Sigma} = 28,68 + \frac{64,91^2 + 28,68^2}{110^2} \cdot 17,35 = 35,9 \text{ MVAR};$$

$$P_{min}' = P_{min} + \Delta P_{T,min} = P_{min} + \frac{P_{min}^2 + Q_{min}^2}{U_N^2} \cdot r_{T\Sigma} = 22,47 + \frac{22,47^2 + 8,96^2}{110^2} \cdot 0,7 = 22,5 \text{ MVt};$$

$$Q_{min}' = Q_{min} + \Delta Q_{T,min} = Q_{min} + \frac{P_{min}^2 + Q_{min}^2}{U_{min}^2} \cdot x_{T\Sigma} = 8,96 + \frac{22,47^2 + 8,96^2}{110^2} \cdot 17,35 = 9,8 \text{ MVAR};$$

Maksimal yuklama holatida past tomondagi kuchlanishning yuqori tomonga keltirilgan qiymatini aniqlaymiz:

$$U_{qt,maks}' = \sqrt{\left(U_{yu,maks} - \frac{P_T' r_{T\Sigma} + Q_T' x_{T\Sigma}}{U_{yu,maks}} \right)^2 + \left(\frac{P_T' x_{T\Sigma} - Q_T' r_{T\Sigma}}{U_{yu,maks}} \right)^2} =$$

$$= \sqrt{\left(112,5 - \frac{65,2 \cdot 0,7 + 35,9 \cdot 17,35}{112,5} \right)^2 + \left(\frac{65,2 \cdot 17,35 - 35,9 \cdot 0,7}{112,5} \right)^2} = 107,01 \text{ kV}.$$

Past tomondagi kuchlanishning xohlangan qiymatini qarama-qarshi rostlash shartlariga muvofiq $U_{qt,maks}^{xox} = 1,05 U_{nom} = 10,5 \text{ kV}$ qabul qilib, uni ta'minlash uchun lozim bo'lgan xohlangan shoxobchani tanlaymiz:

$$U_{shoxmaks}^{xox} = \frac{U_{qt.maks} \cdot U_{N.N.}}{U_{qt.maks}^{xox}} = \frac{107,01 \cdot 10,5}{10,5} = 107,01 \text{ kV};$$

$$n_{shox}^{xox} = \frac{U_{shoxmaks}^{xox} - U_{yu.nom}}{\Delta U_{rost}^0} = \frac{107,01 - 115}{0,0178 \cdot 115} = -3,9;$$

shoxobcha nomeri $n = -4$;

$$U_{maks.shox.st.} = U_{yu.nom} - n \cdot 0,0178 \cdot U_{yu.nom} = 115 - 4 \cdot 0,0178 \cdot 115 = 106,81 \text{ kV}.$$

Ushbu shoxobcha tanlanganda past tomonidagi kuchlanishning haqiqiy qiymatini xohlangan qiymatga mos kelishini tekshiramiz:

$$U_{qt.maks}^{xak} = \frac{U_{qt.maks} \cdot U_{qt.N.}}{U_{maks.shox.st.}} = \frac{107,01 \cdot 10,5}{106,81} = 10,52 \text{ kV} \approx 10,5 \text{ kV}.$$

Minimal yuklama holati uchun ham hisoblashni shu tarzda amalga oshiramiz:

$$U_{qt.min}' = \sqrt{\left(U_{yu.min} - \frac{P_{min}' r_{T\Sigma} + Q_{min}' x_{T\Sigma}}{U_{yu.min}} \right)^2 + \left(\frac{P_{min}' x_{T\Sigma} - Q_{min}' r_{T\Sigma}}{U_{yu.min}} \right)^2} =$$

$$= \sqrt{\left(113,7 - \frac{22,5 \cdot 0,7 + 9,8 \cdot 17,35}{113,7} \right)^2 + \left(\frac{22,5 \cdot 17,35 - 9,8 \cdot 0,7}{113,7} \right)^2} = 112,12 \text{ kV}.$$

Kuchlanishni qarama-karshi rostlash shartlariga muvofiq ushbu holat uchun past tomondagi kuchlanishning xohlangan qiymatini $U_{q.min}^{xox} = 1,0 \cdot U_{q.nom} = 10,0 \text{ kV}$ qabul qilamiz.

U holda,

$$U_{shox.min}^{xox} = \frac{U_{qt.min} \cdot U_{qt.nom}}{U_{qt.min}^{xox}} = \frac{112,12 \cdot 10,5}{10} = 117,73 \text{ kV};$$

$$n_{shox}^{xox} = \frac{U_{shox.min}^{xox} - U_{yu.nom}}{\Delta U_{rost}^0} = \frac{117,73 - 115}{0,0178 \cdot 115} = 1,33; \quad n = 1.$$

$$U_{min.shoxst.} = U_{yu.nom} + n \cdot 0,0178 \cdot U_{yu.nom} = 115 + 1 \cdot 0,0178 \cdot 115 = 117,05 \text{ kV}.$$

Tekshirish:

$$U_{qt.min}^{xox} = \frac{U_{qt.min} \cdot U_{qt.N}}{U_{min.shoxst.}} = \frac{112,12 \cdot 10,5}{117,05} = 10,06 \text{ kV} \approx 10 \text{ kV}.$$

Avariyadan keyingi holat uchun hisoblashlarni amalga oshiramiz:

$$U_{qt.av/k} = \sqrt{\left(102 - \frac{65,2 \cdot 0,7 + 35,9 \cdot 17,35}{102}\right)^2 + \left(\frac{65,2 \cdot 17,35 - 35,9 \cdot 0,7}{102}\right)^2} = 96,06 \text{ kV};$$

$$U_{shox.av/k}^{xox} = \frac{96,06 \cdot 10,5}{10,5} = 96,06 \text{ kV};$$

$$n_{shox}^{xox} = \frac{96,06 - 115}{0,0178 \cdot 115} = -9,25; \quad n = -9.$$

$$U_{qt.av/k.shoxst.} = U_{yu.nom} - n \cdot 0,0178 \cdot U_{yu.nom} = 115 - 9 \cdot 0,0178 \cdot 115 = 96,58 \text{ kV}.$$

Tekshirish:

$$U_{qt.av/k}^{xox} = \frac{96,06 \cdot 10,5}{96,58} = 10,44 \text{ kV} \approx 10,5 \text{ kV}.$$

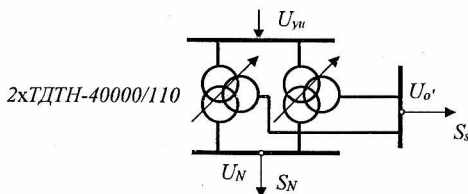
5.2-masala. Pasaytiruvchi podstansiyada ikkita TДTH-40000/110 tipdagi uch chulg'amli transformatorlar parallel holda o'rnatilgan (5.10-rasm). 35 kV kuchlanishli tomonida kuchlanishni roslash uchun transformatorlar liniyaga chiqish joylarida roslash diapazoni $\pm 2 \times 2,5\%$ bo'lgan QAU qurilmalari bilan ta'minlangan. 10 kV kuchlanishli past tomonida kuchlanishni roslash uchun transformatorlarning yuqori tomoniga chiqish joylarida o'rnatilgan roslash diapazoni $\pm 9 \times 1,78\%$ bo'lgan YuOR qurilmalari xizmat qiladi.

Maksimal va minimal yuklama holatlarida podstansiyaning o'rta va past tomonlaridagi yuklamalar pastdagicha:

$$\begin{aligned}\dot{S}_{s,max} &= 25 + j10 \text{ MVA}; & \dot{S}_{N,max} &= 15 + j8 \text{ MVA}; \\ \dot{S}_{s,min} &= 14 + j7 \text{ MVA}; & \dot{S}_{N,min} &= 10 + j6 \text{ MVA}\end{aligned}$$

110 kV kuchlanishli tarmoqning maksimal va minimal yuklama holatlarini hisoblash natijasida podstansiyaning yuqori tomonida pastdagi kuchlanishlar aniqlangan: $U_{yu,max}=112 \text{ kV}$; $U_{yu,min}=114 \text{ kV}$.

Podstansiyaning o'rta va past tomonlarida kuchlanishni qarama-qarshi rostlash shartlariga muvofiq rostlash uchun mos rostlovchi shoxobchalarni tanlang.



5.10-rasm. Uch chulg'amli transformatorlar parallel holda o'rnatilgan sxemasi

Yechish. Transformatorning katalog parametrlari bo'yicha ekvivalent almashtirish sxemasining hisob parametrlarini topamiz (5.11-rasm).

$$\Delta P_{x\Sigma}=0,1 \text{ MVt}, \quad \Delta Q_{x\Sigma}=0,72 \text{ MVAR};$$

$$r_{v\Sigma}=r_{s\Sigma}=r_{n\Sigma}=0,47 \text{ Om}; \quad x_{v\Sigma}=17,7 \text{ Om}; \quad x_{s\Sigma}=0; \quad x_{n\Sigma}=10,3 \text{ Om}.$$

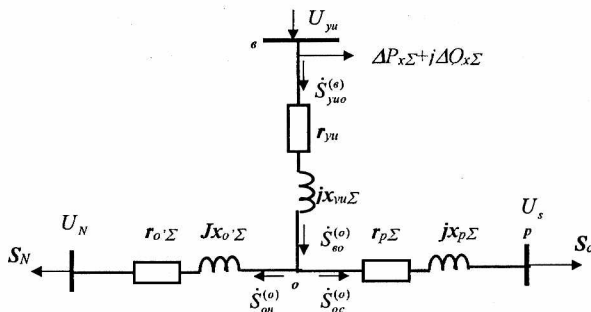
Elektr tarmoqning maksimal yuklama holatini ikki bosqichli usul yordamida hisoblash asosida o'rta va past tomondagi kuchlanishlarning yuqori kuchlanish darajasiga keltirilgan qiymatlarini topamiz.

1-bosqich. O'rta kuchlanish chulg'amlarida quvvatlar isrofi:

$$\Delta \dot{S}_{o',maks} = \frac{P_{o',maks}^2 + Q_{o',maks}^2}{U_{nom}^2} \cdot (r_{o\Sigma} + jx_{o\Sigma}) = \frac{25^2 + 10^2}{110^2} \cdot 0,47 = 0,028 \text{ MVt}.$$

$o-s$ shoxobchanning boshlanishidagi quvvatlar oqimi:

$$\dot{S}_{os}^{(o)} = \dot{S}_{s.maks} + \Delta \dot{S}_{s.maks} = 25 + j10 + 0,028 = 25,028 + j10 \text{ MVA}.$$



5.11-rasm. Uch chulg'amli transformatorlarning ekvivalent almashtirish sxemasi

Past kuchlanish chulg'amlaridagi quvvatlar isrofi va $o-n$ shoxobchanning boshlanishidagi quvvatlar oqimini ham shu tarzda topamiz

$$\Delta \dot{S}_{N.maks} = \frac{P_{N.maks}^2 + Q_{N.maks}^2}{U_{nom}^2} \cdot (r_{N\Sigma} + jx_{N\Sigma}) = \frac{15^2 + 8^2}{110^2} \cdot (0,47 + j10,3) = 0,011 + j0,232 \text{ MVA};$$

$$\dot{S}_{oN}^{(o)} = \dot{S}_{N.NB} + \Delta \dot{S}_{N.maks} = 15 + j8 + 0,011 + j0,232 = 15,011 + j8,232 \text{ MVA}.$$

$v-o$ shoxobchanning oxiridagi quvvatlar oqimi:

$$\dot{S}_{vo}^{(o)} = \dot{S}_{os}^{(o)} + \dot{S}_{oN}^{(o)} = 25,028 + j10 + 15,011 + j8,232 = 40,039 + j18,232 \text{ MVA}.$$

Yuqori kuchlanish chulg'amlaridagi quvvatlar isrofi:

$$\Delta \dot{S}_{yu.maks} = \frac{P_{yu}^{(o)2} + Q_{yu}^{(o)2}}{U_{nom}^2} \cdot (r_{yu\Sigma} + jx_{yu\Sigma}) = \frac{40,039^2 + 18,232^2}{110^2} \cdot (0,47 + j17,7) = 0,075 + j2,831 \text{ MVA}.$$

$v-o$ shoxobchanning boshlanishidagi quvvatlar oqimi:

$$\dot{S}_{yu}^{(e)} = \dot{S}_{yu}^{(o)} + \Delta \dot{S}_{yu.nb} = 40,039 + j18,232 + 0,075 + j2,831 = 40,114 + j21,063 \text{ MVA};$$

2-bosqich. Berilgan kuchlanish $U_{y\mu maks}$ va topilgan quvvatlar oqimlari bo'yicha alohida chulg'amlarda kuchlanish isroflari hamda o'rta va past tomonlaridagi kuchlanishlarning yuqori kuchlanish darajasiga keltirilgan qiymatlarini topamiz:

$$\Delta U_{yu} = \Delta U_{yuo} = \frac{P_{yuo}^{(e)} \cdot r_{yu\Sigma} + Q_{yuo}^{(e)} \cdot x_{yu\Sigma}}{U_{yuH}} = \frac{40,114 \cdot 0,47 + 21,063 \cdot 17,7}{112} = 3,5 \text{ kV};$$

$$U_{o.maks} = U_{yu.maks} - \Delta U_{yu} = 112 - 3,5 = 108,5 \text{ kV};$$

$$\Delta U_{o'} = \Delta U_{o'o'} = \frac{P_{o'o'}^{(o)} \cdot r_{o'\Sigma} + Q_{o'o'}^{(o)} \cdot x_{o'\Sigma}}{U_{o.maks}} = \frac{25,028 \cdot 0,47}{108,5} = 0,11 \text{ kV};$$

$$U_{c.maks}' = U_{o.maks} - \Delta U_{o'} = 108,5 - 0,11 = 108,39 \text{ kV};$$

$$\Delta U_N = \Delta U_{oN} = \frac{P_{oN}^{(o)} \cdot r_{N\Sigma} + Q_{oN}^{(o)} \cdot x_{N\Sigma}}{U_{o.maks}} = \frac{15,011 \cdot 0,47 + 8,232 \cdot 10,3}{108,5} = 0,85 \text{ kV};$$

$$U_{N.maks}' = U_{o.maks} - \Delta U_N = 108,5 - 0,85 = 107,65 \text{ kV};$$

Elektr tarmoqning minimal yuklama holatini ham shu tarzda hisoblab, o'rta va past tomondagi kuchlanishlarning yuqori kuchlanish darajasiga keltirilgan qiymatlarini topamiz:

1-bosqich.

$$\Delta \dot{S}_{o'.min} = \frac{P_{o'.min}^2 + Q_{o'.min}^2}{U_{nom}^2} \cdot (r_{o'\Sigma} + jx_{o'\Sigma}) = \frac{14^2 + 7^2}{110^2} \cdot 0,47 = 0,01 \text{ MVA}.$$

$$\dot{S}_{os}^{(o)} = \dot{S}_{s.min} + \Delta \dot{S}_{s.min} = 14 + j7 + 0,01 = 14,01 + j7 \text{ MVA}.$$

$$\Delta \dot{S}_{N.min} = \frac{P_{N.min}^2 + Q_{N.min}^2}{U_{nom}^2} \cdot (r_{N\Sigma} + jx_{N\Sigma}) = \frac{10^2 + 6^2}{110^2} \cdot (0,47 + j10,3) = 0,005 + j0,116 \text{ MVA};$$

$$\dot{S}_{oN}^{(o)} = \dot{S}_{N.min} + \Delta \dot{S}_{N.min} = 10 + j6 + 0,005 + j0,116 = 10,005 + j6,116 \text{ MVA}.$$

$$\dot{S}_{yuo}^{(o)} = \dot{S}_{o'o'}^{(o)} + \dot{S}_{oN}^{(o)} = 14,01 + j7 + 10,005 + j6,116 = 24,015 + j13,116 \text{ MVA}.$$

$$\Delta \dot{S}_{yu.min} = \frac{P_{yuo}^{(o)2} + Q_{yuo}^{(o)2}}{U_{nom}^2} \cdot (r_{yu\Sigma} + jx_{yu\Sigma}) = \frac{24,015^2 + 13,116^2}{110^2} \cdot (0,47 + j17,7) = 0,029 + j1,096 \text{ MVA.}$$

$$\dot{S}_{yuo}^{(e)} = \dot{S}_{yuo}^{(o)} + \Delta \dot{S}_{yu.min} = 24,015 + j13,116 + 0,029 + j1,096 = 24,044 + j13,145 \text{ MVA;}$$

2-bosqich.

$$\Delta U_{yu} = \Delta U_{yuo} = \frac{P_{yuo}^{(e)} \cdot r_{yu\Sigma} + Q_{yuo}^{(e)} \cdot x_{yu\Sigma}}{U_{yu.min}} = \frac{24,044 \cdot 0,47 + 13,145 \cdot 17,7}{114} = 2,14 \text{ kV;}$$

$$U_{o.min} = U_{yu.min} - \Delta U_{yu} = 114 - 2,14 = 111,86 \text{ kV;}$$

$$\Delta U_{o'} = \Delta U_{oo'} = \frac{P_{oo'}^{(o)} \cdot r_{o'\Sigma} + Q_{oo'}^{(o)} \cdot x_{o'\Sigma}}{U_{o.min}} = \frac{14,01 \cdot 0,47}{111,86} = 0,06 \text{ kV;}$$

$$U_{o'.min} = U_{o.min} - \Delta U_{o'} = 111,86 - 0,06 = 111,8 \text{ kV;}$$

$$\Delta U_N = \Delta U_{oN} = \frac{P_{oN}^{(o)} \cdot r_{N\Sigma} + Q_{oN}^{(o)} \cdot x_{N\Sigma}}{U_{o.min}} = \frac{10,005 \cdot 0,47 + 6,116 \cdot 10,3}{111,86} = 0,61 \text{ kV;}$$

$$U_{N.min} = U_{o.min} - \Delta U_N = 111,86 - 0,61 = 111,25 \text{ kV;}$$

Maksimal yuklama holatida past tomonda kuchlanishning xohlangan qiymati

$U_{N.maks}^{xox} = 1,05 \cdot U_{nom} = 10,5 \text{ kV}$ ni ta'minlash uchun YUOR qurilmasining mos rostlovchi shoxobchasini tanlaymiz:

$$U_{shox.maks}^{xox} = \frac{U_{N.maks} \cdot U_{pN}}{U_{N.maks}^{xox}} = \frac{107,65 \cdot 10,5}{10,5} = 107,65 \text{ kV;}$$

$$n_{shox.maks}^{xox} = \frac{U_{shox.maks}^{xox} - U_{ynN}}{\Delta U_{rost}^0} = \frac{107,65 - 115}{0,0178 \cdot 115} = -3,59.$$

$n_{shox.maks} = -4$ qabul qilamiz.

$$U_{shox.maks.st} = U_{ynN} - n_{shox.maks} \cdot 0,0178 \cdot U_{ynN} = 115 - 4 \cdot 0,0178 \cdot 115 = 106,812 \text{ kV.}$$

Tekshirish:

$$U_{N.maks}^{xoh} = \frac{U_{N.maks} \cdot U_{pN}}{U_{shox.maks.st}} = \frac{107,65 \cdot 10,5}{106,812} = 10,58 \text{ kv.}$$

Minimal yuklama holatida past tomonda kuchlanishning xohlangan qiymati $U_{N,\min}^{xox} = 1,0 \cdot U_{nom} = 10 \text{ kV}$ ni ta'minlash uchun YUOR qurilmasining mos rostlovchi shoxobchasini ham shu tarzda tanlaymiz:

$$U_{N,\min}^{xox} = 1,0 \cdot U_{nom} = 10 \text{ kV}.$$

$$U_{shox,\min}^{xox} = \frac{U_{N,\min} \cdot U_{pN}}{U_{p,\min}^{xox}} = \frac{111,25 \cdot 10,5}{10} = 116,81 \text{ kV};$$

$$n_{shox,\min}^{xox} = \frac{U_{shox,\min}^{xox} - U_{yuN}}{\Delta U_{rost}^0} = \frac{116,81 - 115}{0,0178 \cdot 115} = 0,88.$$

$n_{shox,\min} = 1$ tanlaymiz.

$$U_{shox,\min,st} = U_{yuN} - n_{shox,\min} \cdot 0,0178 \cdot U_{yuN} = 115 + 0,0178 \cdot 115 = 117,047 \text{ kV}.$$

Tekshirish:

$$U_{N,\min}^{xox} = \frac{U_{N,\min} \cdot U_{pN}}{U_{shox,\min,st}} = \frac{111,25 \cdot 10,5}{117,047} = 9,98 \text{ kV}.$$

Maksimal va minimal yuklama holatlari uchun QAU qurilmasining o'rtacha rostlovchi shoxobchasini tanlaymiz:

$$U_{o'}^{xox} = 1,1 \cdot U_{o',nom} = 1,1 \cdot 35 = 38,5 \text{ kV};$$

$$U_{s,shox}^{xox} = \frac{(U_{shox,maks,st} + U_{shox,\min,st}) \cdot U_{o'}^{xox}}{U_{o',maks} + U_{o',\min}} = \frac{(106,812 + 117,047) \cdot 38,5}{(108,39 + 111,8)} = 39,142 \text{ kV};$$

$$n_{shox}^{xox} = \frac{U_{o',shox}^{xox} - U_{o',N}}{\Delta U_{rost}^0} = \frac{39,142 - 38,5}{0,025 \cdot 38,5} = 0,67.$$

$n_{shox} = 1$ qabul qilamiz.

$$U_{s,shox,st} = U_{o',N} - n_{shox} \cdot 0,025 \cdot U_{o',N} = 38,5 + 0,025 \cdot 38,5 = 39,462 \text{ kV}.$$

Tekshirish:

$$U_{c,maks}^{xox} = \frac{U_{o',maks} \cdot U_{o',shox,st}}{U_{yuN}} = \frac{108,39 \cdot 39,462}{106,812} = 40,04 \text{ kV}.$$

$$U_{o'.\min}^{xox} = \frac{U_{o'.\min} \cdot U_{o'.shoxst.}}{U_{shoxmin.st}} = \frac{111,8 \cdot 39,462}{117,047} = 37,69 \text{ kV}.$$

5.3-masala. Pasaytiruvchi podstansiyada ikkita ATDIQTTH – 125000/220/110 tipdagi avtotransformatordlar joylashgan. O'rta tomonda kuchlanishni rostlash uchun har bir avtotransformatordan chiqish joylarida rostlash diapazoni $\pm 6 \times 2\%$ bo'lgan YuOR qurilmasi o'rnatilgan. Past tomonida kuchlanishni rostlash uchun past chulg'amlariga ketma-ket tarzda rostlash diapazoni $\pm 10 \times 1,5\%$ bo'lgan liniya rostlagich transformatorlari ulangan. Elektr tarmoqning maksimal, minimal va 220 kV kuchlanishli tarmoqda yuz bergan avariya dan keyingi holatlarini hisoblash natijasida o'rta va past tomonidagi kuchlanishlarning yuqori tomonga keltirilgan qiymatlari pastdagilarga teng: $U_{o'.maks}' = 225,4 \text{ kV}$; $U_{q.maks}' = 220,7 \text{ kV}$; $U_{o'.min}' = 221,5 \text{ kV}$; $U_{q.min}' = 219,3 \text{ kV}$; $U_{o'.av/k}' = 200,7 \text{ kV}$; $U_{q.av/k}' = 195,8 \text{ kV}$.

Podstansiyaning o'rta va past tomonlarida kuchlanishni rostlash uchun transformatorlarning rostlovchi shoxobchalarini tanlang.

Yechish. Maksimal yuklama holatida o'rta tomondagi kuchlanishning xohlangan qiymatini $U_{o'.maks}^{xox} = 1,1 \cdot U_{nom} = 121 \text{ kV}$ qabul qilib, YuORning mos rostlovchi shoxobchasini aniqlaymiz:

$$U_{o'.shoxmaks}^{xox} = \frac{U_{yu.N.} \cdot U_{o'.maks}^{xox}}{U_{o'.maks}'} = \frac{230 \cdot 121}{225,4} = 123,46 \text{ kV};$$

$$n_{shoxmaks}^{xox} = \frac{U_{o'.shoxmaks}^{xox} - U_{o.N.}}{\Delta U_{rost}^0} = \frac{123,46 - 121}{0,02 \cdot 121} = 1,02.$$

$p_{shox.maks} = 1$ qabul qilamiz.

Demak, standart shoxobcha kuchlanishi

$$U_{o'.shoxst} = U_{o.N.} + n_{shoxmaks} \cdot 0,02 \cdot U_{o.N.} = 121 + 0,02 \cdot 121 = 123,42 \text{ kV}$$

O'rta tomondagi kuchlanishning haqiqiy qiymatini tekshiramiz:

$$U_{o'maks}^{xak} = \frac{U_{o'maks} \cdot U_{o'shoxet}}{U_{oN}} = \frac{225,4 \cdot 123,42}{230} = 120,95 \text{ kV}.$$

Paydo bo'lgan qiymat hohlangan qiymatga ruxsat etilgan darajada juda yaqin.

Maksimal yuklama holatida past tomonda kuchlanishni qarama-qarshi rostlash shartidan kelib chiqib, $U_{n,maks} = 1,05 \cdot U_{nom} = 10,5 \text{ kV}$ kuchlanish tutib turilishi shart. Bunday kuchlanishni tutib turish uchun lozim bo'lgan qo'shimcha e.y.u.k.ning qiymatini pastdagi shartdan topamiz:

$$U_{q,maks}^{xox} = 10,5 = \frac{U_{q,maks} \cdot U_{pN}}{U_{yuN}} + \Delta e_{maks}^{xox}.$$

Demak,

$$\Delta e_{maks}^{xox} = \frac{230 \cdot 10,5 - 220,7 \cdot 11}{220,7} = -0,06 \text{ kv}.$$

Bunga mos ravishda

$$n_{maks}^{xox} = \frac{-0,06}{0,015 \cdot 11} = -0,36$$

bo'lganligi uchun $n_{maks} = 0$ tanlaymiz.

Tekshirish:

$$U_{p,maks}^{xak} = \frac{U_{p,maks} \cdot (U_{pN} + 0,015 \cdot n_{maks} \cdot U_{pN})}{U_{oN}} = \frac{220,7 \cdot 11}{230} = 10,55 \text{ kV} \approx 10,5 \text{ kV}.$$

Shu kabi hisoblashlarni minimal yuklama va avariya dan keyingi holatlar uchun ham amalga oshiramiz.

O'rta tomonda kuchlanishni rostlash:

$$U_{o'min}^{xox} = 115 \text{ kV};$$

$$U_{shoh\ min}^{xox} = \frac{115 \cdot 230}{221,5} = 119,41 \text{ kV};$$

$$n_{shohmin}^{xox} = \frac{119,41 - 121}{0,02 \cdot 121} = -0,65; \quad n_{shohmin} = -1;$$

$$U_{o'shohst} = 121 - 0,02 \cdot 121 = 118,58 \text{ kV};$$

$$U_{o'min}^{xox} = \frac{221,5 \cdot 118,58}{230} = 114,2 \text{ kV} \approx 115 \text{ kV}.$$

Past tomonida kuchlanishni rostdash:

$$U_p^{xox} = 1,0 U_{nom} = 10 \text{ kV},$$

$$\Delta e_{min}^{xox} = \frac{U_{yuN} U_p^{xox} - U_{p,min} U_{pN}}{U_{p,min}} = \frac{230 \cdot 10 - 219,3 \cdot 11}{219,3} = -0,51 \text{ kV};$$

$$n_{min}^{xox} = -\frac{0,51}{0,015 \cdot 11} = -3,1; \quad n_{min} = -3.$$

$$U_{N,min}^{xox} = \frac{219,3 \cdot (11 - 3 \cdot 0,015 \cdot 11)}{230} = 10,02 \text{ kV} \approx 10 \text{ kV}.$$

220 kV kuchlanishli tarmoqda yuz bergan avariya dan keyingi holatda 110 kV kuchlanishli tarmoqning holatini o'zgartirmaslikka harakat qilamiz, va shu sababli o'rta tomondagi xohlangan kuchlanishni $U_{o'av/k}^{xox} = 1,1 U_{nom} = 121 \text{ kV}$ qabul qilamiz.

$$U_{shoxav/k}^{xox} = \frac{121 \cdot 230}{200,7} = 138,66 \text{ kV}; \quad n_{shoxav/k}^{xox} = \frac{138,66 - 121}{0,02 \cdot 121} = 7,3$$

Bunda bo'lganligi uchun $n=6$ tanlaymiz.

Demak,

$$U_{o'shoxst} = 121 + 6 \cdot 0,02 \cdot 121 = 135,52 \text{ kV}$$

$$U_{o'av/k}^{xox} = \frac{200,7 \cdot 135,52}{230} = 118,25 \text{ kV}.$$

$$\text{Past tomonida } U_N^{xox} = 1,05 U_{nom} = 10,5 \text{ kV},$$

$$\Delta e_{av/k}^{xox} = \frac{230 \cdot 10,5 - 195,8 \cdot 11}{195,8} = 1,33 \text{ kV};$$

$$n_{av/k}^{xox} = \frac{1,33}{0,015 \cdot 11} = 8,06; \quad n_{av/k} = 8.$$

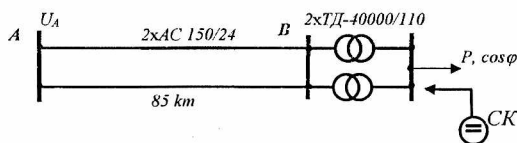
Tekshirish:

$$U_{q'av/k}^{xox} = \frac{195,8 \cdot (11 + 8 \cdot 0,015 \cdot 11)}{230} = 10,49 \text{ kV} \approx 10,5 \text{ kV}.$$

5.4-masala. Pasaytiruvchi B podstantsiya temir-beton tayanchlarda joylashgan $AC 150/24$ markali o'tkazgichdan tayyorlangan 110 kV kuchlanishli 85 km

uzunlikdagi ikkita parallel liniyalar orqali ta'minlanadi (5.12-rasm). B podstansiyada $QAU-110 \pm 2 \times 2,5\%$ qurilmasiga bo'lgan ikkita TД-40000/110 tipdagi ikki chulg'amli transformatorlar joylashgan. A podstansiyasining ta'minlovchi shinasidagi maksimal va minimal yuklama holatlaridagi kuchlanishlar: $U_{Amaks}=117 \text{ kV}$; $U_{Amin}=115 \text{ kV}$. Aktiv quvvat ko'effitsiyenti $\cos\varphi=0,85$ bo'lib, maksimal va minimal yuklamalar $P_{maks}=45 \text{ MVt}$, $P_{min}=22 \text{ MVt}$. Holat o'zgarganda elektr uzatmaning sxemasi o'zgarmaydi.

Podstansiyada kuchlanishni qarama-qarshi rostdashni ta'minlovchi sinxron kompensatorning minimal quvvatini aniqlang.



5.12-rasm. Pasaytiruvchi podstansiya va ikkita parallel liniyalar orqali ta'minlanish sxemasi

Yechish. Elektr tarmoqning almashtirish sxemasini quramiz (5.13-rasm) va uning parametrlarini topamiz.

Liniya AB – o'tkazgich AC 150/24, $r_0=0,198 \text{ Om/km}$, $x_0=0,42 \text{ Om/km}$, $b_0=2,7 \cdot 10^{-6} \text{ Sm/km}$:

$$r_{AB} = \frac{0,198 \cdot 85}{2} = 8,42 \text{ Om},$$

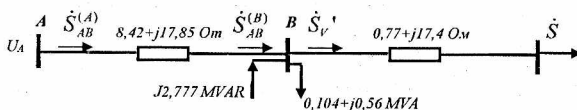
$$x_{AB} = \frac{0,42 \cdot 85}{2} = 17,85 \text{ Om},$$

$$B_{AB} = 2 \cdot 2,7 \cdot 10^{-6} \cdot 85 = 4,59 \cdot 10^{-4} \text{ Sm},$$

$$\frac{Q_{AB}}{2} = 110^2 \cdot \frac{4,59 \cdot 10^{-4}}{2} = 2,777 \text{ M var}.$$

B podstansiyaning transformatorlari – transformatorning katalog ma'lumotlari bo'yicha podstansiyadagi ikkita transformatorning ekvivalent almashtirish sxemasi parametrlarini hisoblaymiz:

$$\Delta S_x = \Delta P_x + j\Delta Q_x = 0,104 + j0,56 \text{ MVA}, r_T = 0,77 \text{ Om}, x_T = 17,4 \text{ Om}.$$



5.13-rasm. Pasaytiruvchi podstansiya va liniyalarning ekvivalent almashtirish sxemasi

Elektr tarmoqning maksimal va minimal yuklama holatlarini hisoblash asosida podstansiyaning past tomonidagi kuchlanishlarning yuqori tomoniga keltirilgan qiymatlari - $U_{n,max}$, $U_{n,min}$ larni topamiz.

Maksimal yuklama holati:

$$\dot{S}_B' = \dot{S}_{maks} + \Delta \dot{S}_T = 45 + j45 \cdot \frac{\sqrt{1-0.85^2}}{0.85} + \frac{45^2}{110^2 \cdot 0.85^2} \cdot (0.77 + j17.4) = 45.178 + j31.918 \text{ MVA},$$

$$\dot{S}_{AB}^{(B)} = 45.178 + j31.918 + 0.104 + j0.56 - j2.777 = 45.282 + j29.701 \text{ MVA},$$

$$\dot{S}_{AB}^{(A)} = 45.282 + j29.701 + \frac{45.282^2 + 29.701^2}{110^2} \cdot (8.42 + j17.85) = 47.322 + j34.027 \text{ MVA},$$

$$U_B = 117 - \frac{47.322 \cdot 8.42 + 34.027 \cdot 17.85}{117} = 108.4 \text{ kV},$$

$$U_{p,max}' = 108.4 - \frac{45.178 \cdot 0.77 + 31.918 \cdot 17.4}{108.4} = 102.96 \text{ kV}.$$

Minimal yuklama holati:

$$\dot{S}_B' = \dot{S}_{min} + \Delta \dot{S}_T = 22 + j22 \cdot \frac{\sqrt{1-0.85^2}}{0.85} + \frac{22^2}{110^2 \cdot 0.85^2} \cdot (0.77 + j17.4) = 22.043 + j14.597 \text{ MVA},$$

$$\dot{S}_{AB}^{(B)} = 22.043 + j14.597 + 0.104 + j0.56 - j2.777 = 22.147 + j12.38 \text{ MVA},$$

$$\dot{S}_{AB}^{(A)} = 22.147 + j12.38 + \frac{22.147^2 + 12.38^2}{110^2} \cdot (8.42 + j17.85) = 22.595 + j13.33 \text{ MVA},$$

$$U_B = 115 - \frac{22.595 \cdot 8.42 + 13.33 \cdot 17.85}{115} = 111.05 \text{ kV},$$

$$U_{p,min}' = 111.05 - \frac{22.043 \cdot 0.77 + 14.597 \cdot 17.4}{111.05} = 108.57 \text{ kV}.$$

Kuchlanishni berilgan oraliqda rostlab turish maqsadida transformatorning sinxron kompensatorni ishlash shartlari bo'yicha optimal transformatsiyalash koeffitsiyentini aniqlash uchun pastdagi ifodadan foydalanamiz:

$$U_{shoh} = \frac{(U_{p,maks} + U_{p,min}) \cdot U_{pN}}{(U_{p,maks,xoh} + U_{p,min,xoh})} = \frac{(102,96 + 106,57) \cdot 10,5}{(10,5 + 10)} = 107,32 \text{ kV},$$

$$n = \frac{107,32 - 121}{0,025 \cdot 121} = -4,52.$$

$n_{st} = -2$ va unga mos keluvchi standart shoxobcha $U_{shokst} = 121 - 2 \cdot 0,025 \cdot 121 = 114,95 \text{ kV}$ ni tanlaymiz. Bunda past kuchlanish shinasidagi kuchlanishlar pastdagicha bo'ladi:

maksimal yuklama holatida

$$U_{p,maks,xoq} = \frac{102,96 \cdot 10,5}{114,95} = 9,4 \text{ kV};$$

minimal yuklama holatida

$$U_{p,min,xoq} = \frac{108,57 \cdot 10,5}{114,95} = 9,92 \text{ kV}.$$

Sinxron kompensator yordamida rostlanishi lozim bo'lgan kuchlanish oqishini aniqlaymiz:

maksimal yuklama holatida

$$\Delta U_{sk,maks} = 10,5 - 9,4 = 1,1 \text{ kV};$$

minimal yuklama holatida

$$\Delta U_{sk,min} = 10 - 9,92 = 0,08 \text{ kV}.$$

Maksimal yuklama holatida sinxron kompensatorning lozim bo'lgan quvvatini pastdagi shartdan foydalanib topamiz:

$$\frac{U_{shokst}}{U_{pN}} \cdot \Delta U_{sk,maks} = \frac{Q_{sk,maks} \cdot (x_{AB} + x_T)}{U_{p,maks,xoh} \cdot \frac{U_{shokst}}{U_{pN}}}$$

$$Q_{sk.maks} = \frac{1,1 \cdot 10,5}{35,25} \left(\frac{114,95}{10,5} \right)^2 = 39,27 \text{ MVAR}.$$

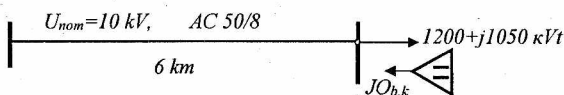
Minimal yuklama holati uchun ham sinxron kompensatorning lozim bo'lgan quvvatini shu kabi hisoblaymiz:

$$Q_{sk.min} = \frac{0,08 \cdot 10}{35,25} \left(\frac{114,95}{10,5} \right)^2 = 2,72 \text{ MVAR}.$$

Maksimal yuklama holati bo'yicha *KC 50000-1* tipdagi sinxron kompensator tanlaymiz.

5.5-masala. Bosh pasaytiruvchi podstansiyadan *5 km* masofada joylashgan podstansiya *AC 50/8* markali o'tkazgichdan tayyorlangan yoqoch tayanchlardagi havo liniyasi orqali ta'minlanadi. O'tkazgichlar tomoni *1750 mm* bo'lgan teng tomonli uchburchakning uchlarida joylashgan. Liniyadan uzatiluvchi quvvat *1200+j1050 kVA* (5.14-rasm).

Liniyada kuchlanish isrofini *5%* gacha kamaytirish uchun yuklamaga parallel holda ulanishi lozim bo'lgan kondensatorlar batareyasining quvvatini toping.



5.14-rasm. Elektr uzatish liniyasining kondensator batareya bilan parallel ishlash sxemasi

Yechish. Qo'llanma jadvaldan *AC 50/8* markali o'tkazgichdan tayyorlanib, faza o'tkazgichlari orasidagi o'rtacha geometrik masofa $D_{o\tau}=1750 \text{ mm}$ bo'lgan *10 kV* kuchlanishli liniyaning solishtirma qarshiliklarini aniqlaymiz:

$$r_0 = 0,603 \text{ OM/}\kappa\text{M}, x_0 = 0,388 \text{ OM/}\kappa\text{M}.$$

1. Liniyada kuchlanish isrofining kondensatorlar batareyasini o'rnatishdan oldingi qiymati:

$$\Delta U = \frac{Pr_L + Qx_L}{U_{nom}} = \frac{1200 \cdot 0,603 \cdot 5 + 1050 \cdot 0,388 \cdot 5}{10} = 565,5V > \Delta U_{mx} = 500V,$$

2. Kondensatorlar batareyasini o'rnatish natijasida liniyadagi kuchlanish isrofi $\Delta U_{rx}=500 V$ ni tashkil etishi lozim. Demak,

$$\Delta U = \frac{Pr_L + (Q - Q_{b,k})x_L}{U} = \Delta U_{rx},$$

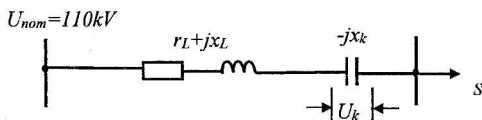
Bu munosabatdan kondensatorlar batareyasining quvvatini topamiz:

$$Q_{b,k} = \frac{U(\Delta U - \Delta U_{rx})}{x_L} = \frac{(565,5 - 500) \cdot 10}{5 \cdot 0,388} = 337,6 \text{ kVAR}.$$

Nominal quvvati 400 kVAR bo'lgan kondensatorlar batareyasini tanlaymiz.

5.6-masala. Pasaytiruvchi podstantsiya ta'minlash markazi bilan uzunligi 20 km bo'lgan 35 kV kuchlanishli $AC 95/15$ markali o'tkazgichdan tayyorlangan bir zanjirli liniya orqali bog'langan. Podstansiyaning hisobiy maksimal yuklamasi $S_2=12+6 \text{ MVA}$. Iste'molchilarning ishlash shartlari bo'yicha bu yuklamada liniyadagi kuchlanish isrofi 7% dan ortiq bo'lmasligi shart. Kuchlanish isrofini kamaytirish uchun liniyaning har bir fazasiga ketma-ket tarzda 40 kvar quvvatli $0,66 \text{ kV}$ kuchlanishli bir fazali standart kondensatorlardan ($KC2A-0,66-40$) iborat bo'lgan kondensatorlar batareyasini ulash ko'zda tutilgan (5.15-rasm).

Kondensatorlar batareyasida talab etilgan kondensatorlar soni, batareyaning nominal kuchlanishi va o'rnatilgan quvvatini aniqlang.



5.15-rasm. Elektr uzatish liniyasining kondensator batareya bilan parallel ishlash ekvivalent almashtirish sxemasi

Yechish. Ko‘rilayotgan havo liniyasi almashtirish sxemasining solishtirma va hisob parametrlarini aniqlaymiz:

$$r_0 = 0,314 \text{ Om/km}; \quad r_l = r_0 l = 0,314 \cdot 20 = 6,28 \text{ Om};$$

$$x_0 = 0,42 \text{ Om/km}; \quad x_l = x_0 l = 0,42 \cdot 20 = 8,4 \text{ Om}.$$

Kondensatorlarsiz liniyadagi kuchlanish isrofini topamiz:

$$\Delta U = \frac{P \cdot r_l + Q \cdot x_l}{U_{nom}} = \frac{12 \cdot 6,28 + 6 \cdot 8,4}{35} = \frac{125,76}{35} = 3,6 \text{ kV}.$$

Masalaning sharti bo‘yicha ruxsat etilgan kuchlanish isrofi:

$$\Delta U_{ruh} = \frac{7}{100} \cdot 35 = 2,35 \text{ kV}.$$

Liniyada kuchlanish isrofini 2,35 kV gacha kamaytiruvchi kondensatorlarning qarshiligini pastdagi tenglamadan topamiz:

$$2,35 = \frac{12 \cdot 6,28 + 6 \cdot (8,4 - x_k)}{35},$$

$$x_k = 7,22 \text{ Om}.$$

Berilgan hisobiy yuklamada liniya toki:

$$I_L = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{3} U_{nom}} = \frac{\sqrt{12^2 + 6^2}}{\sqrt{3} \cdot 35} \cdot 10^3 = 221 \text{ A}.$$

KC2A-0,66-40 tipdagi kondensatorning nominal toki

$$I_{K,nom} = \frac{S_{k,nom}}{U_{k,nom}} = \frac{40000}{660} = 60,6 \text{ A},$$

Bundan har bir fazada parallel holda ulanuvchi kondensatorli shoxobchalarning soni $m = 221/60,6 = 3,6$ dan katta bo‘lishi lozimligi kelib chiqadi.

Demak, ularning sonini 4 ta qabul qilamiz.

KC2A-0,66-40 tipdagi kondensatorning qarshiligini aniqlaymiz:

$$x_{k,nom} = \frac{U_{k,nom}}{I_{k,nom}} = \frac{660}{60,6} = 10,9 \text{ Om}.$$

Har bir kondensatorli shoxobchada ketma-ket ulanuvchi kondensatorlar soni n ni shoxobchalar soni va bitta kondensatorning qarshiligi bo‘yicha topamiz:

$$\frac{10,9n}{4} = 7,22, \quad \text{demak} \quad n = \frac{4 \cdot 7,22}{10,9} = 2,6.$$

$p=3$ ta etib tanlaymiz.

Shunday qilib, liniyaning uchta fazasidagi kondensatorlarning umumiy soni

$$p_{\Sigma}=3 \cdot 4 \cdot 3=36 \text{ ta};$$

kondensatorlar batareyasining o'rnatilgan quvvati

$$Q_{b.k.nom}=36 \cdot 40 \cdot 10^{-3}=1,44 \text{ MVAR};$$

kondensatorlar batareyasining nominal kuchlanishi

$$U_{b.k.nom}=0,66 \cdot 3=1,98 \text{ kV};$$

kondensatorlar batareyasining nominal toki

$$I_{b.k.nom}=60,6 \cdot 4=242,4 \text{ A}.$$

Kondensatorlar batareyasining umumiy qarshiligi:

$$x_k=(10,9 \cdot 3)/4=8,175 \text{ Om}.$$

Bunda liniyadagi kuchlanish isrofi

$$\Delta U = \frac{12 \cdot 6,28 + 6 \cdot (8,4 - 8,175)}{35} = 2,19 \text{ kV},$$

bo'lib, u maksimal ruxsat etilgan qiymatdan kichikdir.

5.7. Mustaqil yechish uchun masalalar

1. Kuchlanishni pasaytiruvchi podstansiyada rostdlash diapazoni $\pm 8x1,5\%$ bo'lgan YuOR qurilmasiga ega ikkita ТРДЦН-63000/220 tipdagi ikki chulg'amli transformatorlar parallel holda ishlaydi. Elektr tarmoqning maksimal va minimal yuklamali holatlarini hisoblash natijasida podstansiyaning yuqori shinasidagi kuchlanishning aniqlangan qiymatlari mos holda $U_{maks}=222 \text{ kV}$ va $U_{min}=223 \text{ kV}$. Ushbu holatlar uchun podstansiyaning yuklamasi $S_{maks}=70+j30 \text{ MVA}$ va $S_{min}=30+j10 \text{ MVA}$.

Podstansiyaning past tomonidagi kuchlanishni qarama-qarshi rostdlash shartlariga muvofiq rostdlash uchun mos rostdlovchi shoxobchalarni aniqlang.

2. Kuchlanishni pasaytiruvchi podstansiyada ikkita ТДТН-63000/110 tipdagi uch chulg'amli transformatorlar parallel holda ishlaydi. Podstansiyaning o'rta tomonida kuchlanishni rostdlash uchun transformatorlar ushbu tomonga chiqish joylarida rostdlash diapazoni $\pm 2x2,5\%$ bo'lgan QAU qurilmasi bilan jihozlangan. Past

tomonda kuchlanishni rostlash uchun transformatorlarning yuqori chulg'amidan chiqish joylariga o'rnatilib, rostlash diapazoni $\pm 9 \times 1,78\%$ bo'lgan YuOR qurilmasi xizmat qiladi. Chulg'amlarning nominal quvvatlari nisbati: $100\%/100\%/100\%$.

O'rta va past kuchlanish tomonlaridagi yuklamalar pastdagicha:

$$\dot{S}_{o',maks} = 45 + j22 \text{ MVA}; \quad \dot{S}_{p,maks} = 40 + j18 \text{ MVA};$$

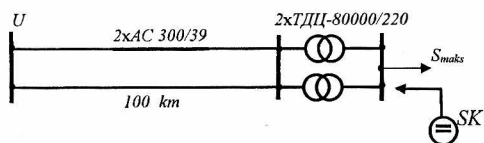
$$\dot{S}_{o',min} = 22 + j10 \text{ MVA}; \quad \dot{S}_{p,min} = 19 + j9 \text{ MVA}$$

220 kV kuchlanishli tarmoqning maksimal va minimal holatlarini hisoblash natijasida podstansiyaning yuqori shinasida aniqlangan kuchlanishlar $U_{yu,maks}=224 \text{ kV}$ va $U_{yu,min}=226 \text{ kV}$.

Podstansiyaning o'rta va past tomonlarida kuchlanishni rostlang.

3. Kuchlanishni pasaytiruvchi podstansiya AC300/39 markali o'tkazgichdan tayyorlangan 220 kV kuchlanishli 100 km uzunlikdagi ikki zanjirli liniya orqali ta'minlanadi (5.16-rasm). Podstansiyada ikkita TДЦ-80000/220 tipdagi ikki chulg'amli transformatorlar parallel ishlaydi. Ular rostlash diapazoni $\pm 2 \times 2,5\%$ bo'lgan QAU qurilmasigi ega. Liniya boshlanishidagi ta'minlovchi podstansiya shinasidagi kuchlanishlar maksimal va minimal yuklama holatlarida $U_{maks}=222 \text{ kV}$ va $U_{min}=224 \text{ kV}$. Podstansiyadagi maksimal va minimal yuklamalar pastdagicha: $S_{maks}=90+j40 \text{ MVA}$ va $S_{min}=50+j20 \text{ MVA}$.

Podstansiyaning past tomonida kuchlanishni qarama-qarshi rostlashni ta'minlovchi sinxron kompensatorning minimal quvvatini aniqlang.

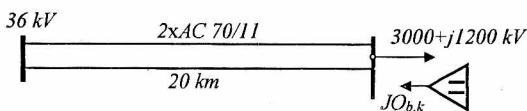


5.16-rasm. Podstansiyaning past tomonida kuchlanishni qarama-qarshi rostlashni ta'minlovchi sinxron kompensator bilan bog'liq sxemasi

4. Kuchlanishni pasaytiruvchi asosiy podstansiyadan 40 km masofada joylashgan podstansiya AC70/11 markali o'tkazgichdan tayyorlangan 35 kV

kuchlanishli ikki zanjirli havo liniyasi orqali ta'minlanadi. Liniya orqali iste'molchiga uzatiluvchi quvvat $3200+j1700 \text{ kVA}$ (5.17-rasm).

Agar ta'minlash punktidagi kuchlanish 36 kV bo'lsa, u holda iste'molchi punktida 35 kV kuchlanishni ta'minlash uchun yuklamaga parallel tarzda ulanishi lozim bo'lgan kondensator batareyasining quvvatini aniqlang.



5.17-rasm. Elektr uzatish liniyasining kondensator batareya bilan parallel ishlash sxemasi

5. Kuchlanishni pasaytiruvchi asosiy podstansiyadan 10 km masofada joylashgan podstansiya $AC50/8$ markali o'tkazgichdan tayyorlangan 6 kV kuchlanishli havo liniyasi orqali ta'minlanadi. Liniya orqali iste'molchiga uzatiluvchi quvvat $500+j200 \text{ kVA}$.

Elektr tarmoqda kuchlanish isrofini 5% gacha kamaytirish uchun iste'molchiga parallel tarzda ulanishi lozim bo'lgan kondensator batareyasining quvvatini aniqlang.

6. Kuchlanishni pasaytiruvchi podstansiya ta'minlash markazidan $AC70/11$ markali o'tkazgichdan tayyorlangan 15 km uzunlikdagi liniya orqali ta'minlanadi. Liniyada kuchlanish isrofi 5% dan oshmasligini ta'minlash uchun tarmoqqa ketma-ket tarzda nominal quvvati 40 kVAR bo'lgan $0,66 \text{ kV}$ nominal kuchlanishli $KC2A-0,66-40$ tipdagi kondensatorlardan yig'ilgan kondensator batareyasini ulash nazarda tutilgan.

Kondensator batareyasidagi kondensatorlar soni, batareyaning umumiy quvvati va undagi kuchlanish isrofini aniqlang.

7. Kuchlanishni pasaytiruvchi podstansiya ta'minlash markazi bilan $AC185/29$ markali o'tkazgichdan tayyorlangan 15 km uzunlikdagi 35 kV kuchlanishli havo liniyasi orqali tutashgan. Podstansiyaning maksimal hisobiy yuklamasi $15+j7 \text{ MVA}$ ni tashkil etadi. Yuklamaning ishlash shartlaridan kelib chiqqan holda ushbu liniyada

kuchlanishning isrofi 5% dan oshmasligi lozim. Kuchlanish isrofi yuqoridagi ruxsat etilgan qiymatdan oshgan taqdirda har bir fazaga ketma-ket tarzda quvvati 40 kVAR, nominal kuchlanishi 0,66 kV bo'lgan KC2A-0,66-40 tipdagi bir fazali transformatorlarni ulash nazarda tutilgan.

Kondensator batareyasining kondensatorlari soni, batareyaning nominal kuchlanishi va quvvatini aniqlang.

6. ELEKTR TARMOQLARIDA QUVVAT VA ENERGIYA ISROFLARINI HISOBLASH

6.1. Elektr tarmoqlarida energiya isroflarini yuklama grafigi va maksimal isroflar vaqti bo'yicha hisoblash

Elektr tarmoqning har qanday elementida elektr energiya isrofi yuklamaning xarakteri va ko'rilayotgan vaqt jarayonida uning o'zgarishiga bog'liq. O'zgarmas yuklama bilan ishlab, ΔP aktiv quvvat isrofiga ega bo'lgan EULda t vaqt davomida isrof bo'luvchi energiya pastdagicha aniqlanadi:

$$\Delta W = \Delta P t. \quad (6.1)$$

Yuklamasi yil davomida o'zgarib turuvchi elektr tarmog'ida yillik energiya isrofini turli usullar yordamida hisoblash mumkin. Mavjud barcha usullarni ularda foydalaniluvchi matematik modelga bog'liq ravishda ikkita katta guruhga bo'lish mumkin. Bular – aniq va ehtimoliy-statistik usullardir.

Elektr energiya isrofini hisoblashning eng aniq usuli bu shoxobchalarning yuklama grafiglari bo'yicha hisoblashga asoslangan. Bunda hisoblash yuklama grafigining har bir pog'onasi uchun quvvat isroflarini aniqlash va ularning yig'indisini topishni ko'zda tutadi. Bu usul ba'zan grafik interpolyasiyalash usuli deb ham yuritiladi.

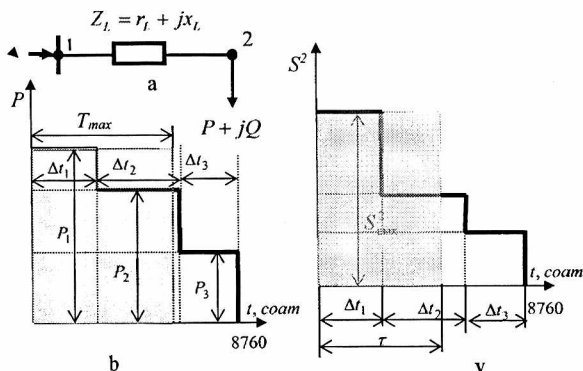
Yuklama grafiglari sutkalik va yillik bo'lishi mumkin.

Sutkalik grafiglar yuklama quvvatlarini sutka davomida, yillik grafiglar esa yil davomida o'zgarishini ifodalaydi. Yillik grafig bahorgi-yozgi va kuzgi-qishki davrlar uchun xarakterli sutkalik grafiglar asosida quriladi. Yillik energiya isrofini hisoblashda davomiylik bo'yicha yuklama grafiglaridan foydalaniladi. Bunday grafigni hosil qilish pastdagi tartibda amalga oshiriladi. Bu grafigning boshlang'ich ordinatasi maksimal yuklamaga teng qilib qabul qilinadi. Sutkalik grafiglar bo'yicha turli tipdagi sutkalar sonini hisobga olib (shanba, yakshanba, dushanba, ish kuni)

yuklamaning har bir qiymati uchun bir yil davomidagi soatlar soni aniqlanadi. Avvalo, yuklama maksimal bo'lgan vaqt davomiyligi, so'ngra yuklama quvvatining boshqa qiymatlari uchun (kamayib borish tartibida) vaqt davomiyligi aniqlanadi.

Yillik yuklama grafigi bo'yicha yillik energiya isrofini aniqlash mumkin. Buning uchun har bir holat uchun quvvat va energiya isroflari aniqlanib, ular qo'shiladi. Misol tariqasida sxemasi 6.1,a-rasmda keltirilgan elektr tarmoqning uch pog'onali yuklama grafigini (6.1,b-rasm) olamiz. Yuklama P_1 bo'lgan holatda EULdagi quvvat isrofi pastdagicha hisoblanadi:

$$\Delta P_1 = \frac{S_1^2}{U_1^2} r_l. \quad (6.2)$$



6.1-rasm. Elektr energiya isrofini yuklama grafigi va maksimal isroflar vaqti bo'yicha aniqlash

a – EULning sxemasi; b – uch pog'onali yuklama grafiglari; v – uch pog'onali S^2 grafigi

Elektr energiya isrofini ushbu holat uchun quvvat isrofini shu holatning davomiylik vaqtiga ko'paytirish orqali topamiz:

$$\Delta W_1 = \Delta P_1 \Delta t_1 . \quad (6.3)$$

Qolgan holatlar uchun ham elektr energiya isrofi shu tartibda topiladi. Yuklama P_2 bo'lgan holat uchun

$$\Delta P_2 = \frac{S_2^2}{U_2^2} r_L , \quad (6.4)$$

$$\Delta W_2 = \Delta P_2 \Delta t_2 ; \quad (6.5)$$

yuklama P_3 bo'lgan holat uchun

$$\Delta P_3 = \frac{S_3^2}{U_3^2} r_L . \quad (6.6)$$

$$\Delta W_3 = \Delta P_3 \Delta t_3 . \quad (6.7)$$

Yuqoridagilardan kelib chiqib, N ta pog'onaga ega bo'lgan ko'p pog'onali yuklama grafigining i -pog'onasi uchun quvvat va energiya isroflari pastdagi formulalar bo'yicha aniqlanadi:

$$\Delta P_i = \frac{S_i^2}{U_i^2} r_L, \quad i = 1, \dots, N, \quad (6.8)$$

$$\Delta W = \sum_{i=1}^N \Delta P_i \Delta t_i . \quad (6.9)$$

Bu yerda Δt_i -yuklama grafigining i -poqonasi davomiyligi.

Δt_i vaqt davomida ikki chulg'amli transformatoridagi quvvat va energiya isroflari pastdagicha hisoblanadi:

$$\Delta P_i = \Delta P_{\kappa} \left(\frac{S_{2i}}{S_{\text{max}}} \right)^2 + \Delta P_s ; \quad (6.10)$$

$$\Delta W_i = \left[\Delta P_{\kappa} \left(\frac{S_{2i}}{S_{nom}} \right)^2 + \Delta P_s \right] \Delta t_i. \quad (6.11)$$

Bu yerda ΔP_{qt} , ΔP_{sish} - mos ravishda transformatorning qisqa tutashuv holatida chulg'amlarida (misida) va salt ishlash holatida o'zagida (po'latida) isrof bo'luvchi aktiv quvvatlar; S_{2i} - transformatorning ikkilamchi tomonida grafikning i - pog'onasi yuklamasi; S_{nom} - transformatorning nominal quvvati.

κ ta bir xil transformatorlar parallel ishlaganda N ta pog'onali yuklama grafigining i - pog'onasida isrof bo'luvchi quvvat va yillik energiya isrofi mos ravishda pastdagi formulalar bo'yicha hisoblanadi:

$$\Delta P_i = \frac{1}{k} \Delta P_{qt} \left(\frac{S_{2i}}{S_{nom}} \right)^2 + k \Delta P_{sish}; \quad (6.12)$$

$$\Delta W = \left[\Delta P_{qt} \left(\frac{S_{2i}}{S_{nom}} \right)^2 + \Delta P_{sish} \right] \Delta t_i. \quad (6.13)$$

Isroflarni yuklama grafigi bo'yicha aniqlash usulining afzalligi – katta aniqlikdir. Ammo elektr tarmoqning barcha shoxobchalarini yuklamalari haqida ma'lumotlar etarli bo'lmaganda ushbu usulni qo'llab bo'lmaydi.

Isroflarni aniqlashning eng sodda usullaridan biri *maksimal isroflar vaqti* dan foydalanishga asoslangan. Bu usulga muvofiq, tarmoqning barcha holatlari ichidan quvvat isrofi eng katta bo'lgan holati aniqlanadi. Bu holatni hisoblab, unga mos keluvchi maksimal quvvat isrofi ΔP_{max} topiladi. Yil davomidagi energiya isrofi maksimal quvvat isrofini maksimal isroflar vaqti τ ga ko'paytirib topiladi:

$$\Delta W = \Delta P_{ekat} \tau. \quad (6.14)$$

Maksimal isroflar vaqti shunday vaqtqi, agar bu vaqt davomida o'zgarmas maksimal yuklama bilan ishlanganda isrof bo'luvchi energiya yil davomida yuklama grafigi bo'yicha ishlanganda isrof bo'luvchi energiyaga teng bo'ladi, ya'ni,

$$\Delta W = \Delta P_1 \Delta t_1 + \Delta P_2 \Delta t_2 + \dots + \Delta P_N \Delta t_N = \Delta P_{\max} \tau, \quad (6.15)$$

bu yerda N - yuklama grafigi poqonalari soni.

Elektr energiya isrofi va iste'molchi tomonidan qabul qilingan elektr energiya orasida pastdagi tartibda bog'lanishni o'rnatish mumkin.

Iste'molchi tomonidan qabul qilingan energiya:

$$W = P_1 \Delta t_1 + P_2 \Delta t_2 + \dots + P_N \Delta t_N = \sum_{i=1}^N P_i \Delta t_i = P_{\max} T_{\max}, \quad (6.16)$$

bu yerda $P_{\max}$ -yuklamaning maksimal quvvati.

Maksimal yuklama vaqti $T_{\max}$ shunday vaqtqi, bu vaqt davomida maksimal yuklama bilan ishlovchi iste'molchi tarmoqdan olgan energiyasi bir yil davomida u yuklama grafigi bo'yicha ishlab tarmoqdan olgan energiyaga teng bo'ladi, ya'ni

$$P_{\max} T_{\max} = \sum_{i=1}^N P_i \Delta t_i, \quad T_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^N P_i \Delta t_i}{P_{\max}}. \quad (6.17)$$

$S^2 = f(t)$ grafikni quramiz (6.1,v-rasm). Faraz qilaylik, yuklama grafigining i -pog'onasida quvvat isrofining taxminiy qiymati nominal kuchlanish bo'yicha topiladi, ya'ni (6.8) ning o'rniga pastdagi ifodadan foydalanamiz:

$$\Delta P_i = \frac{S_i^2}{U_{nom}^2} r_L.$$

Agar $r_L / U_{nom}^2 = const$ ekanligini e'tiborga olsak, Δt_i vaqt davomida isrof bo'luvchi energiya ma'lum masshtabda $S_i^2 \Delta t_i$ ga, ya'ni tomonlari Δt_i va S_i^2 ga teng bo'lgan to'g'ri to'rtburchakning yuzasiga teng bo'ladi. Demak, ko'rilayotgan holatda elektr energiya isrofi ma'lum masshtabda 6.1,v- rasmdagi ajratib ko'rsatilgan figuraning yuzasiga tengdir.

τ uchun yuqorida keltirilgan ta'rifga muvofiq

$$S_{\max}^2 \tau = \sum_{i=1}^N S_i^2 \Delta t_i, \quad \tau = \frac{\sum_{i=1}^N S_i^2 \Delta t_i}{S_{\max}^2}. \quad (6.18)$$

Pik qurinishidagi yuklama grafiklari uchun τ ning qiymati pastdagi empirik formula bo'yicha topilishi mumkin:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_{max}}{10000} \right)^2 \cdot 8760. \quad (6.19)$$

(6.19) formuladan yil uchun maksimal isroflar vaqtini topishda (ya'ni $T = 8760$ soat bo'lganda) foydalanish mumkin. Bunga nisbatan kichik vaqt davomi uchun hisoblash aniqligini oshirish maqsadida (6.19) o'rniga pastdagi ifodadan foydalanish maqsadga muvofiq:

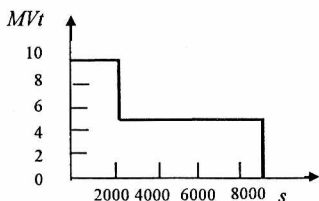
$$\tau = 2T_{max} - T + \frac{T - T_{max}}{1 + \frac{T_{max}}{T} - \frac{2P_{min}}{P_{max}}} \left(1 - \frac{P_{min}}{P_{max}} \right)^2. \quad (6.20)$$

Shuningdek τ ni aniqlashda ko'plab turli xarakterdagi yuklama grafiklari uchun hisoblash yo'li bilan aniqlangan $\tau = f(T_{ekat}, \cos \varphi)$ tipik bog'lanishlardan ham foydalanish mumkin.

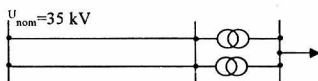
6.2. Masalalar yechish namunalari

6.1-masala. 6.2-rasmda keltirilgan 35 kV kuchlanishli elektr uzatmada yillik energiya isrofini berilgan yuklama grafigi (6.3-rasm) va maksimal isroflar vaqti τ bo'yicha hisoblang.

Elektr uzatish liniyasining uzunligi 15 km, solishtirma parametrlari $r_0 = 0,28 \text{ Om/km}$, $x_0 = 0,43 \text{ Om/km}$. Har bir transformatorning nominal quvvati 6300 kVA ($\Delta P_{SI} = 9,2 \text{ kVt}$, $\Delta P_{qi} = 46,5 \text{ kVt}$). $\cos \varphi = 0,9$.



6.2-rasm



6.3-rasm

Yechish. Yuklama maksimal bo'lgan holatdagi quvvatlar isrofini hisoblaymiz:

$$\Delta P_T = 0,5 \cdot \Delta P_K \cdot \left(\frac{P_{maks}}{S_{nom} \cos} \right)^2 + 2 \cdot \Delta P_K = 0,5 \cdot 46,5 \cdot \left(\frac{10}{6,3 \cdot 0,9} \right)^2 + 2 \cdot 9,2 = 72,17 + 18,4 = 90,57 \text{ kVt};$$

$$\Delta P_L = \frac{S_{maks}^2}{U_{nom}^2} \cdot r_L = \frac{\left(\frac{10}{0,9} \right)^2}{35^2} \cdot \frac{0,28 \cdot 15}{2} \cdot 10^3 = 211 \text{ kVt};$$

$$\Delta P_\Sigma = \Delta P_T + \Delta P_L = 90,57 + 211 = 301,57 \text{ kVt};$$

$$\Delta P_\Sigma = \frac{\Delta P_\Sigma}{P_N} = \frac{301,57 \cdot 100}{10000} = 3\%.$$

Bu yerda $\Delta P_T, \Delta P_L$ - transformatorlar va liniyalardagi aktiv quvvat isroflari;
 $\Delta P_\Sigma, \Delta P_\Sigma$ - elektr tarmoqdagi haqiqiy va foiz birligidagi umumiy aktiv quvvat isrofi.

1) Yillik energiya isrofini yuklama grafigi bo'yicha aniqlaymiz:

$$\Delta W = (72,17 + 211) \cdot 2000 + 0,5^2 (72,17 + 211) \cdot 6760 + 18,4 \cdot 8760 = 1200 \cdot 10^3 \text{ kVt} \cdot \text{soat}.$$

Yil davomida iste'molchiga uzatiluvchi energiya:

$$W = 10 \cdot 2000 + 5 \cdot 6760 = 53,8 \cdot 10^3 \text{ MVt} \cdot \text{soat}.$$

Yillik energiya isrofining uzatiluvchi energiyaga nisbatini aniqlaymiz:

$$\Delta W = \frac{1200 \cdot 10^3 \cdot 100}{53800 \cdot 10^3} = 2,23\%.$$

Shunday qilib, ushbu holatda energiya isrofi uzatiluvchi energiyaga nisbatan 2,23% ni tashkil etadi.

2) Yillik energiya isrofini maksimal isroflar vaqti τ bo'yicha aniqlaymiz. Bunda τ ning qiymatini soddalashtirilgan formula bo'yicha topamiz:

$$T_{maks} = \frac{W}{P_{maks}} = \frac{53,8 \cdot 10^3}{10} = 5380 \text{ soat};$$

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_{maks}}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{5380}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 3840 \text{ soat};$$

$$\Delta W = (71,17 + 211) 3840 + 18,4 \cdot 8760 = 1248 \cdot 10^3 \text{ kVt} \cdot \text{soat};$$

$$\Delta W = \frac{1248 \cdot 10^3 \cdot 100}{53800 \cdot 10^3} = 2,32\%.$$

3) τ ning qiymatini tipik egri chiziqlar bo'yicha ham topish mumkin. Biz ko'rib chiqayotgan – maksimal yuklamadan foydalanish vaqti $T_{maks}=5380$ soat va $\cos\varphi=0,9$ bo'lgan holat uchun ushbu egri chiziqlar bo'yicha $\tau=3650$ soat ekanligini aniqlaymiz (qo'llanmadan). U holda yillik energiya isrofi pastdagi miqdorni tashkil etadi:

$$\Delta W = (72,17 + 211) \cdot 3650 + 18,4 \cdot 8760 = 1195 \cdot 10^3 \text{ kVt}\cdot\text{s},$$

$$\Delta W_{\%} = \frac{1195 \cdot 10^3 \cdot 100}{53800 \cdot 10^3} = 2,22\%.$$

6.2-masala. 5.2-masalada berilgan podstansiyaning o'rta va past tomonidagi iste'molchilar uchun maksimal yuklamadan foydalanish vaqtlari mos ravishda $T_{o',maks}=5800$ soat va $T_{p,maks}=4500$ soat ni tashkil etadi.

Ushbu podstansiyada yillik energiya isrofini toping.

Yechish. 5.2-masalani yechishning birinchi bosqichidagi kabi amallarni bajarib, maksimal yuklama holatida transformatorlarning past, o'rta va yuqori chulg'amlaridagi pastdagi isroflarni topamiz:

$$\Delta R_{p,maks}=0,011 \text{ MVt}, \quad \Delta R_{o',maks}=0,028 \text{ MVt}, \quad \Delta R_{yu,maks}=0,075 \text{ MVt}.$$

Ko'rilayotgan masalada iste'molchilar uchun maksimal yuklamadan foydalanish vaqti berilganligi sababli yillik energiya isrofini maksimal isroflar vaqtidan foydalanib hisoblaymiz.

Yuqori kuchlanish chulg'ami uchun maksimal yuklamadan foydalanish vaqtining pastdagi formula bo'yicha hisoblanuvchi qiymatidan foydalanamiz:

$$T_{yu,maks} = \frac{P_{o',maks} T_{o',maks} + P_{p,maks} T_{p,maks}}{P_{o',maks} + P_{p,maks}} = \frac{25 \cdot 5800 + 15 \cdot 4500}{25 + 15} = 53125 \text{ soat}$$

Yuqori, o'rta va past chulg'amlar uchun maksimal isroflar vaqtini hisoblaymiz:

$$\tau_{yu} = \left(0,124 + \frac{T_{yu.maks}}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{5312,5}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 3761 \text{ soat},$$

$$\tau_{o'} = \left(0,124 + \frac{T_{o'.maks}}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{5800}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 4312 \text{ soat},$$

$$\tau_p = \left(0,124 + \frac{T_{p.maks}}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{4500}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 2886 \text{ soat}.$$

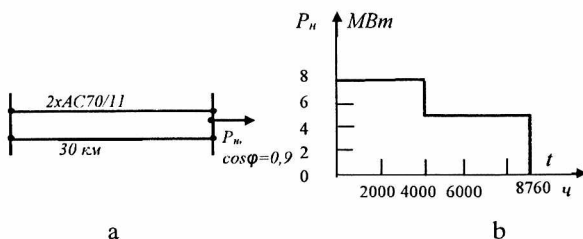
Podstansiyada yillik energiya isrofi va uning yil davomida uzatiluvchi energiyaga nisbati:

$$\begin{aligned} \Delta W &= 8760 \Delta P_{o'} + \Delta P_{yu.maks} \tau_{yu} + \Delta P_{o'.maks} \tau_{o'} + \Delta P_{p.maks} \tau_p = \\ &= 8760 \cdot 0,1 + 0,075 \cdot 3761 + 0,028 \cdot 4312 + 0,011 \cdot 2886 = \\ &= 1310,56 \text{ MVi} \cdot \text{soat} = 1310560 \text{ kVi} \cdot \text{soat}, \end{aligned}$$

$$\Delta W = \frac{1310560 \cdot 100}{(25 \cdot 5800 + 15 \cdot 4500) \cdot 10^3} = 0,62\%.$$

6.3. Mustaqil yechish uchun masalalar

1. AC70/11 markali o'tkazgichdan tayyorlangan 30 km uzunlikdagi 35 kV nominal kuchlanishli ikki zanjirli liniyadan ta'minlanuvchi iste'molchining (6.4,a-rasm) davomiylik bo'yicha yillik yuklama grafigi 6.4,b-rasmda keltirilgan.



6.4-rasm. a- ikki zanjirli elektr uzatish liniyasi, b-yillik yuklama grafigi

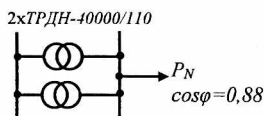
Iste'molchining maksimal yuklamadan foydalanish vaqti, liniyada yillik energiya isrofi va maksimal isroflar vaqtini toping.

Liniyaning 1 km uzunligi uchun hisob parametrlari qo'llanma jadvaldan olinsin.

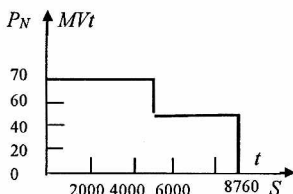
2. Podstansiyada ikkita TRДH-40000/110 tipdagi transformatorlar parallel holda ishlab (6.5,a-rasm), davomiylik bo'yicha yillik yuklama grafigi 6.5,b-rasmda tasvirlangan iste'molchini ta'minlaydi.

Transformatorlarda isrof bo'luvchi yillik energiya isrofi va maksimal isroflar vaqtini toping.

Transformatorning katalog parametrlari qo'llanma jadvaldan olinsin.



a



b

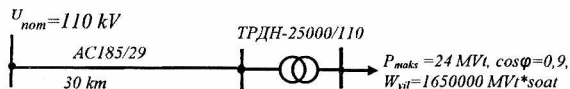
6.5-rasm. a- parallel holda ishlovchi transformator, b-yillik yuklama grafigi

3. Sxemasi 6.6-rasmda keltirilgan elektr tarmoqdan ta'minlanuvchi iste'molchining maksimal yuklamasi 24 MVt bo'lib, u yil davomida $1650000\text{ MVt}\cdot\text{soat}$ elektr energiyani iste'mol qiladi.

Elektr tarmoqda yillik energiya isrofini toping.

Liniyaning solishtirma hisob parametrlari va transformatorning katalog parametrlari qo'llanma jadvaldan olinsin.

Liniyaning sig'im o'tkazuvchanligi hisobga olinmasin.

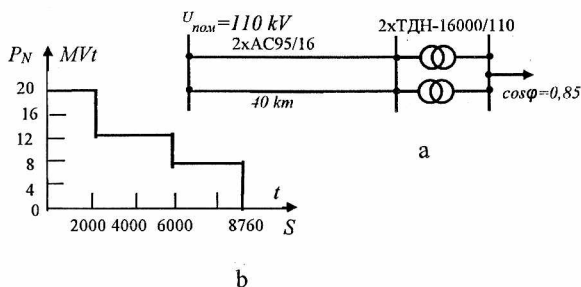


6.6-rasm. Elektr uzatish liniyasi va transformator.

4. Sxemasi 6.7,a-rasmda keltirilgan elektr tarmoqdan ta'minlanuvchi iste'molchining yuklama grafigi 6.7,b-rasmda tasvirlangan.

Bir yil davomida iste'mol qilinuvchi va tarmoqda isrof bo'luvchi elektr energiyalar, maksimal yuklamadan foydalanish vaqti va maksimal isroflar vaqtini toping.

Liniyaning sig'im o'tkazuvchanligi hisobga olinmasin.



6.7-rasm. a- ikki zanjirli elektr uzatish liniyasi va podstantsya, b-yillik yuklama grafiklari

7. ELEKTR UZATISH LINIYALARI O'TKAZGICHLARINING KESIM YUZALARINI TANLASH

7.1. O'tkazgichning kesim yuzasini tokning iqtisodiy zichligi bo'yicha tanlash

O'tkazgichning kesim yuzasi EULning muhim parametridir. EUL o'tkazgichi kesim yuzasining ortishi bilan uni qurishdagi xarajatlar va ulardan olinadigan chegirmalar ortib boradi. Shu bilan bir qatorda ularda elektr energiya isrofi va uni qoplash uchun sarf bo'luvchi yillik xarajatlar kamayib boradi.

EUL uchun o'tkazgichning keltirilgan xarajatlar funksiyasi

$$Z(F) = r_n K + I \quad (7.1)$$

ning minimal bo'lishini ta'minlaydigan kesim yuzasi iqtisodiy kesim yuzasi deb ataladi va u F_{iq} ko'rinishida belgilanadi.

EUL uchun keltirilgan xarajatlar o'tkazgichning kesim yuzasiga bog'liqligini tahlil qilamiz.

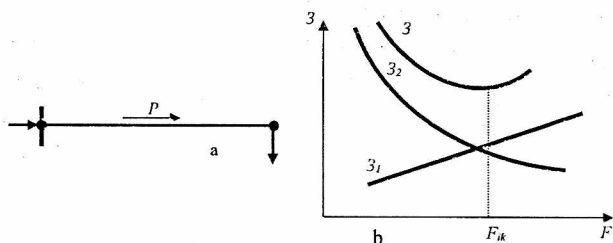
EUL ni qurish uchun sarf qilinuvchi kapital xarajatlar uning uzunligiga bog'liq:

$$K = k_0 l \quad (7.2)$$

Bu yerda l - EULning uzunligi, km; k_0 - EUL uchun solishtirma kapital xarajat bo'lib, u o'tkazgichning kesim yuzasiga bog'liq ravishda pastdagicha aniqlanadi:

$$k_0 = a + vF \quad (7.3)$$

bu yerda a - EULning 1 km uzunligi uchun kesim yuzasiga bog'liq bo'lmagan kapital xarajatlar (liniyalarni qurish, trassalarni tayyorlash; botqoqliklarni quritish va h.k. ishlar uchun sarf bo'luvchi xarajatlar); vF - solishtirma kapital xarajatning o'tkazgich kesim yuzasiga proporsional bo'lgan qismi (metall, tayanch, armatura va h.k. lar bilan bog'liq bo'lgan xarajatlar).



7.1-rasm. Keltirilgan xarajatlarning EUL o'tkazgichlari kesim yuzasiga bog'liqligi:

a - bir zanjirli EUL; b - keltirilgan xarajatlar va ularni tashkil etuvchilarining o'tkazgich kesim yuzasiga bog'liq ravishda o'zgarishi

Yillik foydalanishdagi qo'shimcha xarajatlar I amortizatsion chegirmalar I_a , xizmat ko'rsatish xarajatlari I_x va yil davomida isrof bo'luvchi energiyani qoplash xarajatlari I_{dw} larning yig'indisidan iboratdir:

$$I = I_a + I_x + I_{dw}.$$

Amortizatsiya va xizmat ko'rsatish xarajatlari o'tkazgichning kesim yuzasiga bog'liq bo'lib, pastdagicha aniqlanadi:

$$I_a + I_x = \alpha_e K = \alpha_e (a + vF)I, \quad (7.4)$$

bu yerda α_e - amortizatsiya va xizmat ko'rsatish xarajatlari uchun yillik chegirma.

I_{dw} o'tkazgichning kesim yuzasiga bog'liq holda pastdagicha ifodalanadi:

$$I_{dw} = \beta \Delta W = \beta \Delta R_{max} \tau = \beta 3 I_{tax}^2 r_l \tau = \frac{3 \beta I_{max}^2 \rho l \tau}{F}. \quad (7.5)$$

Bu yerda I_{ax} - EULning maksimal ishchi toki; ρ - o'tkazgich materiallarining solishtirma qarshiligi; β - birlik elektr energiya isrofining narxi; τ - maksimal isroflar vaqti.

(7.2) va (7.5) ni (7.1) ga qo'ysak, pastdagiga ega bo'lamiz:

$$Z(F) = (a + vF)(p_n + \alpha_e)l + \frac{3\beta I_{\text{max}}^2 \rho l \tau}{F} = Z_1(F) + Z_2(F). \quad (7.6)$$

7.1-rasmda bir zanjirli EUL sxemasi (7.1,a-rasm) va u uchun keltirilgan xarajatlar, hamda uni tashkil etuvchilarining o'tkazgich kesim yuzasiga bog'lanish egri chiziqlari ko'rsatilgan (7.1,b-rasm).

$Z(F)$ funksiyani F bo'yicha minimumligining zaruriy shartidan foydalanib, o'tkazgichning iqtisodiy kesim yuzasi uchun formulani hosil qilamiz:

$$\frac{\partial Z}{\partial F} = (p_n + \alpha_e)l - \frac{3\beta I_{\text{max}}^2 \rho l \tau}{F_{\text{uk}}^2} = 0$$

$$F_{\text{uk}} = I_{\text{max}} \sqrt{\frac{3\beta \rho \tau}{(p_n + \alpha_e)l}}. \quad (7.7)$$

Tokning iqtisodiy zichligi – EULda oquvchi maksimal tokning o'tkazgich iqtisodiy kesim yuzasiga nisbatidir:

$$j_{iq} = \frac{I_{\text{max}}}{F_{\text{us}}}. \quad (7.8)$$

(7.7) va (7.8) dan

$$j_{iq} = \sqrt{\frac{(p_n + \alpha_e)l}{3\beta \rho \tau}} \quad (7.9)$$

kelib chiqadi.

Bu yerda (7.9) faqat j_{iq} ning ma'nosini tushunish uchun keltirilgan bo'lib, u j_{iq} ni hisoblash uchun foydalanilmaydi.

EUTQga muvofiq j_{iq} o'tkazgichning turi va maksimal yuklamadan foydalanish vaqti T_{max} ga bog'liq holda tanlanadi.

Amalda EUL kesim yuzasini tanlash uchun avvalo qo'llanma jadvaldan j_{iq} tanlanadi, so'ngra iqtisodiy kesim yuzasi pastdagicha hisoblanadi:

$$F_{iq} = \frac{I_{max}}{j_{iq}}. \quad (7.10)$$

(7.10) dan aniqlangan F_{iq} standart kesim yuzasiga yaxlitlanadi.

Tahlil shuni ko'rsatadiki, kesim yuzasining F_{iq} dan oqishi keltirilgan xarajatlarning sezilarli o'zgarishiga olib kelmaydi, chunki $Z=f(F)$ bog'lanish aniq ifodalangan minimumga ega emas. (7.10) dagi I_{max} - normal holatdagi maksimal tokdir. j_{iq} ni topishda avariya dan keyingi holat toki hisobga olinmaydi. Chunki bunday holatlar qisqa vaqt davomida amal qiladi.

Tokning iqtisodiy zichligi bo'yicha tanlangan kesim yuzalari issiqlik, ruxsat etilgan kuchlanish isrofi ΔU_{rux} va mexanik mustahkamlik bo'yicha tekshirib ko'riladi. Agar j_{iq} bo'yicha tanlangan o'tkazgichning kesim yuzasi boshqa shartlar bo'yicha talab etilgan kesim yuzasidan kichik bo'lsa, bu shartlar bilan belgilangan eng katta kesim yuzasini tanlash lozim.

Pastdagi tarmoqlarda kesim yuzasini tokning iqtisodiy zichligi bo'yicha tanlash mumkin emas: 1 kV gacha kuchlanishli va maksimal yuklama vaqti 4000-5000 soat bo'lgan sanoat korxonalarining elektr tarmoqlari; 1000 V gacha kuchlanishli alohida elektr qabul qilgichlarga chiquvchi shoxobchalar, sanoat korxonalari, yashash va jamiyat binolarining yoritish tarmoqlari; vaqtinchalik va shuningdek 3-5 yil muddatga xizmat qiladigan elektr qurilmalar tarmoqlari. So'nggi yillarda 35 kV va undan yuqori nominal kuchlanishli havo EUL o'tkazgichlarining kesim yuzalarini tokning iqtisodiy zichligi bo'yicha tanlash tavsiya etilmaydi. Amalda 35-750 kV kuchlanishli havodagi EUL o'tkazgichlarining kesim yuzalari tok va quvvatning iqtisodiy intervallari bo'yicha tanlanadi.

1 kV va undan yuqori kuchlanishdagi kabelli EULda tokning iqtisodiy zichligi bo'yicha tanlangan kesim yuzalari issiqlik, ruxsat etilgan kuchlanish, kuchlanishning oqishi va qisqa tutashuv toklarida termik chidamlilik bo'yicha tekshiriladi.

j_{iq} bo'yicha kabelli EUL o'tkazgichlarining kesim yuzalarini tanlashda faqat (7.8) dagi kabi I_{max} dan emas, balki EULdan foydalanish jarayonida yuklama o'zgarishini hisobga oluvchi hisobiy tok yuklamasidan, shuningdek, maksimal yuklamadan foydalanishdagi soatlar sonidan ham foydalanish tavsiya etiladi. Hisobiy tok yuklamasi shuningdek 35-750 kV kuchlanishli havodagi EUL kesim yuzasini iqtisodiy intervallar bo'yicha tanlashda ham foydalaniladi.

7.2. Havo EUL o'tkazgichi kesim yuzasini iqtisodiy intervallar bo'yicha tanlash

Kesim yuzasini tokning iqtisodiy zichligi bo'yicha tanlash nafaqat EULni qurishdagi kapital mablag'ni, balki elektr energiya isrofini ham hisobga olish imkonini beradi. Ushbu afzalliklarga qaramasdan kesim yuzasini tokning iqtisodiy zichligi bo'yicha tanlash ma'lum xatoliklarga olib keladi. Birinchidan, j_{iq} uchun (7.9) ifoda kapital mablag'ning EUL uzunligiga to'g'ri chiziqli bog'lanishini ko'zda tutadi. To'g'ri chiziqli bog'lanish unifikatsiyalangan tayanchlardan foydalanuvchi EULlarni yalpi qurishga o'tish bilan buziladi. Ikkinchidan, j_{iq} uchun ifodani hosil qilishda keltirilgan xarajatlar ifodasi (7.6) da kesim yuzasi uzluksiz deb hisoblangan. Amalda esa kesim yuzasi diskret ravishda o'zgaradi va shu sababli uni (7.7) shartidan topish ma'lum xatolikka olib keladi. Uchinchidan, (7.6) ifodada maksimal tok I_{max} o'zgarmas deb hisobga olingan. Amalda bunday emas. Har xil EULlar uchun I_{max} har xildir va (7.6) da I_{max} ni o'zgaruvchan deb hisoblash lozim. Bunday holda iqtisodiy kesim yuzasi nafaqat Z ning F bo'yicha hosilasini nolga tenglik sharti (7.7) dan, balki Z ning eng katta tok bo'yicha hosilasining ham nolga tenglik shartidan topilishi lozim.

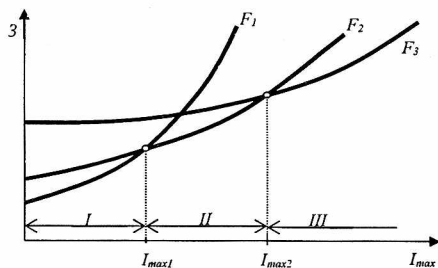
Liniya o'tkazgichi yuzini tanlashning yuqorida ko'rsatilgan kamchiliklardan bartaraf bo'lgan usullaridan biri «iqtisodiy intervallar usuli» deb yuritiladi.

O'tkazgich kesim yuzasini tanlash uchun tok yuklamalarining iqtisodiy intervallari pastdagicha aniqlanadi. 35-750 kV li havo EUL ning turli xil standart yuzali o'tkazgichlari uchun keltirilgan xarajatlarning EUL toki I_{max} ga bog'lanish grafiklari quriladi. Har bir kesim yuzasi uchun keltirilgan xarajatlar aniqlanadi. (7.6) ni pastdagicha yozish mumkin:

$$Z = (r_n + \alpha_e)K + ZI_{ekat}^2 r_1 \tau \beta \quad (7.11)$$

7.2-rasmda keltirilgan xarajatlarning liniya maksimal tokiga bog'lanishlari kesim yuzasi F_1 , F_2 va F_3 ga teng bo'lgan holatlar uchun ko'rsatilgan. Bunda $F_3 > F_2 > F_1$.

F_1 va F_2 egri chiziqlarning kesishish nuqtasi yuzalar F_1 va F_2 bo'lgan variantlarda keltirilgan xarajatlar teng bo'ladigan I_{max1} maksimal tokni aniqlaydi. Agar EUL toki I_{max1} dan kichik bo'lsa, u holda eng kichik xarajatlar F_1 kesim yuzasiga to'g'ri keladi, ya'ni aynan shu kesim yuzasini tanlash iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiqdir. Agar tok I_{max1} va I_{max2} oraliqida bo'lsa, ikkinchi kesim yuza F_2 , I_{max2} dan katta bo'lsa, uchinchi kesim yuza F_3 iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq bo'ladi.



7.2-rasm. Iqtisodiy intervallarni qurish

Tokning iqtisodiy intervallaridan foydalanilganda EULning maksimal toki tushunchasini aniqlashtirish kerak. O'tkazgichlarning yuzalarini tokning pastdagi formula bo'yicha aniqlanuvchi hisobiy yuklamasi bo'yicha tanlash lozim.

$$I_h = I_{tax} \alpha_i \alpha_t, \quad (7.12)$$

bu yerda I_{tax} - foydalanishning beshinchi yilida EULning normal holatdagi toki. U ta'minlovchi va taqsimlovchi tarmoq EULlari uchun elektr sistemasining maksimal yuklamali holatini hisoblash natijasida aniqlanadi; α_i - EUL yillar davomida foydalanishda yuklama o'zgarishini hisobga oluvchi koeffitsiyent; α_t - uning maksimal yuklamadan foydalanish vaqti T_{tax} va energetika sistemasi maksimumiga to'g'ri kelishi K_m ni hisobga oluvchi koeffitsiyent.

110-220 kV kuchlanishli EUL uchun α_i ning qiymati 1,05 ga teng qilib, bundan yuqori kuchlanishdagi EUL uchun esa bu koeffitsiyent qiymati jadvaldan olinadi.

35-750 kV kuchlanishli EULning kesim yuzalari uchun tokning iqtisodiy intervallari qo'llanma jadvallarda keltirilgan. Bunday jadvallar barcha standart kesim yuzalari va har xil regionlar uchun tuzilgan.

7.3. Taqsimlovchi elektr tarmoqlarida EUL o'tkazgichining kesim yuzasini ruxsat etilgan kuchlanish isrofi bo'yicha tanlashning xarakterli xususiyatlari

Taqsimlovchi elektr tarmoqlarida ruxsat etilgan kuchlanish isrofi deb uning shunday qiymatiga aytiladiki, bunda kuchlanishni rostdash natijasida elektr qabul qilgichdagi kuchlanish oqishi DavSt da belgilangan texnik ruxsat etilgan qiymatlardan oshib ketmaydi. Taqsimlovchi elektr tarmog'ida ruxsat etilgan kuchlanish isrofi doimo maksimal kuchlanish isrofidan kichik bo'lmasligi, ya'ni pastdagi shart bajarilishi lozim:

$$\Delta U_{tax} \leq \Delta U_{rux} \quad (7.13)$$

Ta'minlash manbai kuchlanishi taxminan o'zgarmasdir. Agar $\Delta U_{max} \leq \Delta U_{rux}$ bo'lsa, u holda chekka tugundagi kuchlanish qiymati ruxsat etilmaydigan darajada bo'ladi. 0,38-20 kV kuchlanishli taqsimlovchi elektr tarmoqlarda EUL o'tkazgichining kesim yuzasi (7.13) ning bajarilish shartidan kelib chiqib tanlanadi.

Agar loyihalashtirishda EUL o'tkazgichining kesim yuzasi F ni oshirsak, aktiv va reaktiv qarshiliklar hamda bunga mos ravishda, maksimal kuchlanish isrofi kamayadi, chunki

$$\Delta U = \frac{Pr + Qx}{U_N}. \quad (7.14)$$

O'tkazgichlarning solishtirma aktiv qarshiligi kesim yuzasiga teskari proporsional ravishda o'zgaradi, reaktiv qarshiligi esa, kesim yuzasiga zaif bo'lgan. Ta'minlovchi elektr tarmoqlarida F ning o'zgarishi bilan x_0 kam o'zgaradi va $x_0 > r_0$. Bunday tarmoqlarda U ni rostlash imkoniyatlari ko'p va ΔU ni kamaytirish uchun F ni o'zgartirish iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq emas. SHu sababli F ni tanlashda (7.13) hisobga olinmaydi. Taqsimlovchi elektr tarmoqlarida esa $r_0 > x_0$. Kesim yuzasi ortganda r_0 va bunga mos ravishda kuchlanish isrofi jadal kamayadi. Bunday tarmoqlarda kuchlanishni rostlash imkoniyatlari ko'p emas va shu sababli F ni tanlash (7.13) shartni bajarish zarurligidan kelib chiqib amalga oshiriladi.

0,38-20 kV taqsimlovchi elektr tarmoqlarida kesim yuzalarini tanlashning xarakterli xususiyatlari F ni tanlashda iqtisodiylik, ruxsat etilgan kuchlanishlar va o'tkazgichni qizishi shartlarini hisobga olish lozimligi bilan belgilanadi. 1 kV gacha kuchlanishli tarmoqlarda yuqorida ko'rsatilgan holatlardan tashqari va 6-20 kV kuchlanishli tarmoqlarda o'tkazgichning kesim yuzasi iqtisodiylik (j_{iq}), ruxsat etilgan kuchlanish ΔU_{rux} va issiqlik shartlari bo'yicha aniqlanadi.

Shuni belgilash lozimki, o'tkazgichning kesim yuzasini turli shartlar bo'yicha aniqlashda bir xil natijani beruvchi bir nechta algoritmlardan foydalanish mumkin. Birinchi algoritim o'tkazgich kesim yuzasini avvalo bitta eng asosiy shart, masalan j_{iq} bo'yicha tanlash va so'ngra uni boshqa shartlar, masalan issiqlik va h.q. shartlar bo'yicha tekshirishni nazarda tutadi. Ikkinchi algoritim esa standart kesim yuzalarini,

avvalo, har bir shart bo'yicha aniqlash va so'ngra ulardan eng kattasini tanlashni nazarda tutadi. Odatda, nisbatan soddaroq bo'lgan birinchi algoritim qo'llaniladi.

EUL kesim yuzasini ruxsat etilgan kuchlanish isrofi bo'yicha tanlash tarmoq faqat bitta uchastkaga ega bo'lganda etarlicha soddadir. Bunday holda (7.14) bo'yicha aniqlanuvchi ruxsat etilgan kuchlanish o'tkazgich kesim yuzasini belgilaydi. Tarmoq bir nechta uchastkalardan tashkil topgan holat uchun kesim yuzalarini to'g'ridan-to'g'ri ΔU_{rx} bo'yicha tanlash mumkin emas. Bunday hollarda tarmoq uchun F ni tanlashda (7.13) dan tashqari bilvosita iqtisodiy shartlarni ifodalovchi qo'shimcha shartlar ham qo'yilishi lozim. Bu shart, masalan davomida bir nechta yuklamalar bo'lgan EUL uchun bir xil kesim yuzasini tanlashning maqsadga muvofiqligi, qator hollarda butun EUL bo'yicha metall sarfi yoki quvvat isrofining minimumligi bo'lishi mumkin. Kuchlanishni tanlashning barcha uchala ko'rib chiqilgan usullari ruxsat etilgan kuchlanish isrofi bilan belgilanadi. Ulardan har biri (7.13) va taqsimlovchi tarmoqlarda kesim yuzasini tanlashda ushbu usulni qo'llanish sohasini belgilovchi yana bir shartni qanoatlantiradi.

Har bir shart bajarilgan holda kesim yuzasini ruxsat etilgan kuchlanish isrofi bo'yicha tanlashni tahlil qilamiz.

Kesim yuzasini EULning barcha uchastkalarida bir xil bo'lishi sharti bo'yicha tanlash ($F_{kj}=const=F$). Bu shart shahar elektr tarmoqlarida o'tkazgich va kabellarning kesim yuzalarini tanlashda qo'llaniladi. O'tkazgichlar kesim yuzalarining tengligi elektr tarmoq yoki uning uchastkalarini qurish va montaj qilish uchun eng qulay sharoitni vujudga keltiradi. Bunday tizim bir-biriga yaqin joylashgan ko'p miqdordagi yuklamalarga ega bo'lgan EULLar uchun alohida afzalliklarga ega.

EUL tuzilishi va o'tkazgichlarining markalari aniqlangan (kesim yuzasidan tashqari). k - tugun quvvati S_k , tugunlar oralaridagi masofa l_{kj} , ruxsat etilgan kuchlanish isrofi ΔU_{rx} ma'lum.

EULda eng katta kuchlanish isrofi pastdagicha topiladi:

$$\Delta U_{i, k, n} = \sum_{k=1}^m \frac{P_{kj} r_{kj} + Q_{kj} x_{kj}}{U_n} = \frac{\sum_{k=1}^m P_{kj} r_{kj}}{U_n} + \frac{\sum_{k=1}^m Q_{kj} x_{kj}}{U_n}, \quad (7.15)$$

bu yerda k -EUL uchastkasining boshlanishidagi tugun nomeri; j -EUL uchastkasining oxiridagi tugun nomeri; r_{ki} , x_{ki} -EUL uchastkasining qarshiliklari; R_{kj} , Q_{kj} -EUL uchastkasidagi aktiv va reaktiv quvvat oqimlari.

EULda ruxsat etilgan kuchlanishni ikkita tashkil etuvchi ko'rinishida ifodalaymiz:

$$\Delta U_{rux} = \Delta U_{rux,a} + \Delta U_{rux,r}. \quad (7.16)$$

bu yerda $\Delta U_{rux,a}$ - birinchi tashkil etuvchi bo'lib, u go'yo aktiv qarshilikdagi ruxsat etilgan kuchlanish isrofidir; $\Delta U_{rux,r}$ - (7.16) dagi ikkinchi tashkil etuvchi, ya'ni reaktiv qarshilikdagi ruxsat etilgan kuchlanish isrofi.

Faraz qilaylik, eng katta kuchlanish isrofi ruxsat etilgan kuchlanish isrofiga teng, ya'ni:

$$\Delta U_{rux} = \Delta U_{rux,a} + \Delta U_{rux,r} = \frac{\sum_{k=1}^m P_{kj} r_{kj}}{U_n} + \frac{\sum_{k=1}^m Q_{kj} x_{kj}}{U_n}; \quad (7.17)$$

bundan

$$\Delta U_{rux,a} = \frac{\sum_{k=1}^m P_{kj} r_{kj}}{U_n}; \quad \Delta U_{rux,r} = \frac{\sum_{k=1}^m Q_{kj} x_{kj}}{U_n}; \quad (7.18)$$

Kesim yuzasi o'zgarishi bilan solishtirma reaktiv qarshilik x_0 kam darajada o'zgaradi. Shu sababli taqsimlovchi tarmoqlar uchun, EUL uchastkalarida kesim yuzasi bir xil bo'lganda, kesim yuzasini tanlash pastdagi tartibda amalga oshiriladi:

a) x_0 uchun qiymat qabul qilinadi, masalan havo EUL uchun $x_0=0,4$ Om/km, 6-10 kV va 1 kV gacha kabelli EUL uchun esa mos ravishda 0,09 va 0,06 Om/km;

$$b) \Delta U_{rux.r} = \frac{\sum_{\kappa=1}^m Q_{\kappa j} x_{\theta} I_{\kappa j}}{U_n}; \text{ hisoblanadi};$$

v) $\Delta U_{rux.a} = \Delta U_{rux} - \Delta U_{rux.r}$. bo'yicha ruxsat etilgan kuchlanishning ko'ndalang tashkil etuvchisi aniqlanadi.

g) kesim yuzasi F aniqlanadi.

EUL aktiv qarshiligidagi ruxsat etilgan kuchlanish isrofi:

$$\Delta U_{rux.a} = \frac{\sum_{\kappa=1}^m P_{\kappa j} r_{\theta} I_{\kappa j}}{U_n}.$$

$$\text{Bu formulada } r_{\theta} = \frac{\rho}{F} = \frac{I}{\gamma F};$$

bu yerda ρ - o'tkazgichning hisobiy solishtirma qarshiligi; γ - o'tkazgichning hisobiy solishtirma o'tkazuvchanligi.

So'nggi ikkita ifodadan

$$\Delta U_{rux.a} = \frac{\sum_{\kappa=1}^m P_{\kappa j} I_{\kappa j}}{\gamma F U_n} = \frac{I}{\gamma F} \sum_{\kappa=1}^m \sqrt{3} I_{\kappa j} I_{\kappa j} \cos \phi_{\kappa j}. \quad (7.19)$$

(7.19) dan kesim yuzasini pastdagicha aniqlash mumkin:

$$F = \frac{\sum_{\kappa=1}^m \sqrt{3} I_{\kappa j} I_{\kappa j} \cos \phi_{\kappa j}}{\gamma \Delta U_{rux.a}}. \quad (7.20)$$

Topilgan kesim yuzasi F eng yaqin standart kesim yuzasiga yaxlitlanadi va so'ngra u uchun (7.13) shartning bajarilishi tekshiriladi. Agar bu shart bajarilmasa, u holda kesim yuzasini oshirish lozim.

Kesim yuzasini quvvat isrofining minimumlik sharti bo'yicha tanlash. SHuni ko'rsatish mumkinki, quvvat isrofining minimumligi tok zichligining o'zgarmaslik holatiga to'g'ri keladi, ya'ni bunda EULning barcha uchastkalarida tok zichligi bir xil bo'ladi:

$$j_{\Delta U} = \frac{I_{kj}}{F_{kj}} = \text{const};$$

bu yerda $j_{\Delta U}$ - ruxsat etilgan kuchlanish isrofi bo'yicha tanlanuvchi tok zichligi. Bu qo'shimcha shart sanoat korxonalarining elektr ta'minoti sistemasi tarmoqlarida kesim yuzalarini tanlashda foydalaniladi. Bunday tarmoqlarda EUL nisbatan qisqa va yuklamalar nisbatan katta, ya'ni metall sarfi kam, elektr energiya isrofi esa ko'p. Sanoat tarmoqlarida quvvat va elektr energiya isrofini kamaytirish alohida ahamiyatga ega.

Ushbu holatda farq shundan iboratki, uchastkalarda kesim yuzalari F_{kj} har xil, biroq tok zichligi $j_{\Delta U}$ bir xil.

Taqsimlovchi elektr tarmoqlari EULning barcha uchastkalarida tok zichligi bir xil bo'lganda hisob pastdagi tartibda olib boriladi:

a) $x_0 = 0,4$ Om/km qabul qilinadi;

b) (7.18) va (7.16) ifodalar bo'yicha $\Delta U_{\text{rux.r}}$ va $\Delta U_{\text{rux.a}}$ hisoblanadi.

v) ruxsat etilgan kuchlanish bo'yicha tokning zichligi $j_{\Delta U}$ topiladi va so'ngra EULning barcha uchastkalari uchun kesim yuzasi aniqlanadi. (7.19) ifodadan tokning zichligi ruxsat etilgan kuchlanish bo'yicha pastdagicha aniqlanadi:

$$j_{\Delta U} = \frac{\Delta U_{\text{rux.a}} \gamma}{\sqrt{3} \sum_{k=1 \atop j=2}^m I_{kj} \cos \varphi_{kj}}$$

Topilgan tok zichligi bo'yicha hisobiy kesim yuzasi pastdagicha oson aniqlanadi:

$$F_{kj} = \frac{I_{kj}}{j_{\Delta U}}.$$

Hisoblangan kesim yuzasi eng yaqin standartga yaxlitlanadi. EUL uchastkalarining aktiv va reaktiv qarshiliklari r_{kj} , x_{kj} lar aniqlanadi. (7.14) bo'yicha

eng katta kuchlanish isrofi hisoblanadi va u (7.13) shart bo'yicha tekshirib ko'riladi. Agar bu shart bajarilmasa, kesim yuzasi oshiriladi.

Kesim yuzasini EULni qurish uchun o'tkazgich materiali sarfining minimumlik sharti bo'yicha tanlash. Bu qo'shimcha shart metall iqtisodi elektr energiya iqtisodiga nisbatan muhimroq bo'lgan kam yuklanmagan hollarda, xususan, qishloq elektr tarmoqlarini loyihalashda foydalaniladi. n -ta yuklamaga ega bo'lgan holatda oxirgi $(n-1)$ - uchastka EULning kesim yuzasi pastdagi formula bo'yicha hisoblanadi:

$$F_{(n-1)n} = \frac{\rho \sqrt{P_{(n-1)n}}}{\Delta U_{\text{max}} U_N} \sum_{k=1}^n l_{kj} \sqrt{P_{kj}},$$

bu yerda $F_{(n-1)n}$, $P_{(n-1)n}$ - oxirgi $(n-1)n$ - uchastkaning kesim yuzasi va undagi quvvat oqimi; R_{kj} , l_{kj} - kj uchastkadagi quvvat oqimi va uchastkaning uzunligi; ρ - o'tkazgichning hisobiy solishtirma qarshiligi.

Qolgan uchastkalarining kesim yuzalari pastdagi munosabatlar asosida topilishi mumkin:

$$\frac{F_{12}^2}{P_{12}} = \frac{F_{23}^2}{P_{23}} = \dots = \frac{F_{(n-2)(n-1)}^2}{P_{(n-2)(n-1)}} = \frac{F_{(n-1)n}^2}{P_{(n-1)n}}.$$

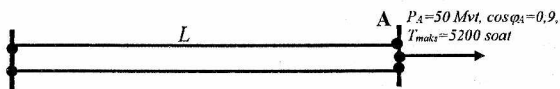
Tanlash jarayonining navbatdagi ishi, yuqorida ko'rilgan holatlardagidek, topilgan kesim yuzalarini eng yaqin standartlariga yaxlitlash, ularni (7.13) shart bo'yicha tekshirish va bu shart bajarilmagan taqdirda tanlangan kesim yuzasini oshirishni nazarda tutadi.

7.4. Masalalar yechish namunalari

7.1-masala. 7.3-rasmda loyihalashtirilayotgan 110 kV kuchlanishli elektr tarmoqning A yuklama podstantsiyasini ta'minlash sxemasi ko'rsatilgan. Maksimal

yuklama, maksimal yuklamadan foydalanish vaqti va aktiv quvvat koeffitsiyentlari rasmda keltirilgan.

L liniyaning o'tkazgichlari kesim yuzasini tokning iqtisodiy zichligi bo'yicha tanlang va uni tojlanishga isrof va atrof-muhit harorati $+15^{\circ}\text{C}$ bo'lganda qizish shartlari bo'yicha tekshiring.



7.3-rasm. 110 kV kuchlanishli Elektr tarmoq sxemasi

Yechish. Liniyaning maksimal tokini topamiz:

$$I_{L, maks} = \frac{P}{2 \cdot \sqrt{3} U_{nom} \cdot \cos \varphi_A} = \frac{50}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 110 \cdot 0,9} = 0,146 \text{ kA}$$

Markaziy Osiyo sharoitida $T_{maks}=5200 \text{ soat}$ bo'lgan holat uchun tokning iqtisodiy zichligini qo'llanma jadvali bo'yicha aniqlaymiz: $j_{iq}=1,3 \text{ A/mm}^2$.

O'tkazgichning hisobiy kesim yuzasini topamiz:

$$F = \frac{I_{Nb}}{j_{ek}} = \frac{146}{1,3} = 111,92 \text{ mm}^2.$$

Standart kesim yuzasi $F_{st} = 120 \text{ mm}^2$ bo'lgan, ya'ni $AC120$ markali o'tkazgich tanlaymiz.

110 kV kuchlanishli havo liniyasi uchun tojlanishga bo'luvchi isroflar shartlari bo'yicha eng kichik kesim yuzasi 70 mm^2 bo'lganligi uchun tanlangan kesim yuzasi tojlanish shartlari talablariga javob beradi.

Uzoq vaqt davomida ruxsat etilgan toklarni havoning harorati bo'yicha to'g'rilashni hisobga olib pastdagi formuladan aniqlaymiz:

$$I_{rux} = I_{jad} \cdot k_t,$$

bu yerda I_{jad} - tanlangan kesim yuzasidagi o'tkazgich uchun havoning me'yorlangan haroratida uzoq vaqt davomida ruxsat etilgan tok bo'lib, uning qiymati qo'llanma jadvaldan olinadi; k_t - to'g'rilovchi koeffitsiyent bo'lib, ko'rilayotgan holat uchun u 1,1 ga teng.

Shunday qilib,

$$I_{rux} = I_{jad} \cdot k_t = 390 \cdot 1,1 = 432,9 \text{ A}.$$

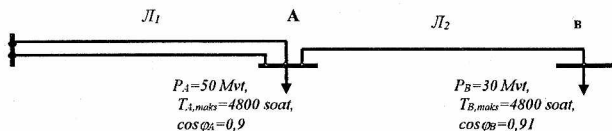
Eng katta tok yuklamasi liniyaning bitta zanjiri uzilgan holda kuzatiladi:

$$I_{av/k} = 146 \cdot 2 = 292 \text{ A} < I_{rux}.$$

Demak, tanlangan o'tkazgich avariya dan keyingi holatlarda qizish shartlarini qanoatlantiradi.

7.2-masala. 7.4-rasmda loyihalashtirilayotgan 110 kV kuchlanishli elektr tarmoqning A va B yuklama podstansiyalarining ta'minlanish sxemasi ko'rsatilgan. Bu podstansiyalar uchun maksimal yuklama, maksimal yuklamadan foydalanish vaqti va aktiv quvvat koeffitsiyentlari rasmda keltirilgan.

L_1 va L_2 liniyalar o'tkazgichlarining kesim yuzalarini iqtisodiy intervallar bo'yicha tanlang va L_1 liniyasining o'tkazgichini atrof-muhit harorati $+15^{\circ}\text{S}$ bo'lgan holatda qizish shartlari bo'yicha tekshiring.



7.4 -rasm. EULda quvvat taqsimlanishi

Yechish. L_1 va L_2 liniyalarning har birida oquvchi maksimal tok:

$$I_{L2, \text{maks}} = \frac{30 \cdot 10^3}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 110} = 79 \text{ A.}$$

$$I_{L1, \text{maks}} = \frac{80 \cdot 10^3}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 110} = 210 \text{ A}$$

L_1 va L_2 liniyalarning har bir zanjirining hisobiy tok yuklamasini pastdagi formuladan aniqlaymiz:

$$I_x = I_{\text{maks}} \alpha_i \alpha_T,$$

bu yerda α_i – iqlatishning har yilida yuklamaning o'zgarib borishini hisobga oluvchi koeffitsiyent; 110 – 220 kV kuchlanishli liniyalar uchun u 1,05 ga teng deb qabul qilinadi;

α_T – maksimal yuklamadan foydalanish soatlari soni T_{maks} va uning energetika tizimi maksimal yuklamasi bilan mos kelish koeffitsiyenti k_m .

Biz ko'rayotgan holat uchun qo'llanma jadvallari bo'yicha $\alpha_T = 0,8$ ekanligini aniqlaymiz.

U holda

$$I_{L2, x} = 79 \cdot 1,05 \cdot 0,8 = 66,36 \text{ A};$$

$$I_{L1, x} = 210 \cdot 1,05 \cdot 0,8 = 176,4 \text{ A.}$$

Po'latalyuminiy o'tkazgichlar uchun tok yuklamalarining iqtisodiy intervallar jadvallari bo'yicha pastdagilarni tanlaymiz:

$$L_2 \text{ liniyasi uchun } F_{L2} = 70 \text{ mm}^2, L_1 \text{ liniyasi uchun } F_{L1} = 150 \text{ mm}^2.$$

Tanlangan o'tkazgichlarni avariya dan keyingi holatlar uchun qizish shartlari bo'yicha tekshiramiz.

Uzoq vaqt davomida ruxsat etilgan toklar harorat bo'yicha to'g'rilovchi koeffitsiyent k_t ni hisobga olib pastdagicha aniqlanadi:

$$I_{\text{rux}} = I_{\text{jad}} k_t.$$

$$\text{Biz ko'rayotgan holatda } k_t = 1,11.$$

U holda

$$I_{rux, l2} = 265 \cdot 1,11 = 294 \text{ A};$$

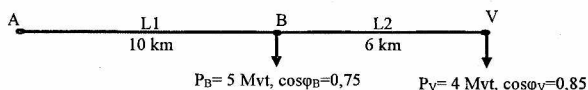
$$I_{rux, l1} = 450 \cdot 1,11 = 500 \text{ A}.$$

L_1 liniyasida eng katta tok yuklamasi liniyaning bitta zanjiri uzilgan holatda kuzatiladi:

$$I_{av/k, l1} = 210 \cdot 2 = 420 \text{ A} < I_{rux, l1}.$$

Demak, tanlangan o'tkazgichlar avariyadan keyingi holatlarda qizish shartlari bo'yicha talablarga javob beradi.

7.3-masala. B va V punktlarda joylashgan iste'molchilar A podstansiyaning shinasidan po'latalyuminiy o'tkazgichdan tayyorlangan bitta 35 kV kuchlanishli liniya orqali ta'minlanadi. $\cos \varphi = 0,75$ bo'lgan holda 5 MVt quvvat iste'mol qiluvchi B punkt A podstansiyasidan 10 km masofada joylashgan. O'z navbatida $\cos \varphi = 0,85$ bo'lgan holda 4 MVt quvvat iste'mol qiluvchi V podstansiyasi B punktdan 6 km masofada joylashgan (7.5-rasm). Har ikkala iste'molchi uchun ham maksimal yuklamadan foydalanish vaqti yiliga 3000 soat ni tashkil etadi.



7.5-rasm. EULning quvvat taqsimlanishi

Po'latalyuminiy o'tkazgichlarning kesim yuzalarini 5% ga teng bo'lgan (butun tarmoq uchun tokning zichligi o'zgarmas bo'lishidan kelib chiqqan holda aniqlangan) ruxsat etilgan kuchlanish isrofi bo'yicha tanlang.

Yechish. L_1 liniyasi bo'yicha iste'molchilarning yuklamalari va quvvat oqimini aniqlaymiz:

$$S_B = 5 + j5 \cdot \frac{\sqrt{1-0,75^2}}{0,75} = 5 + j4,41 \text{ MV} \cdot \text{A};$$

$$S_V = 4 + j4 \cdot \frac{\sqrt{1-0,85^2}}{0,85} = 4 + j2,48 \text{ MV} \cdot \text{A};$$

$$S_{II} = 5 + 4 + j(4,41 + 2,48) = 9 + j6,89 \text{ MV} \cdot \text{A}.$$

Elektr tarmoqda ruxsat etilgan kuchlanish isrofini aniqlaymiz:

$$\Delta U_{rux} = 0,05 \cdot 35 = 1,75 \text{ kV}.$$

Birinchi yaqinlashishda uzunlik birligidagi induktiv qarshilikni $x_0 = 0,41 \text{ Om/km}$ qabul qilib, tarmoqda induktiv qarshilik bilan belgilanuvchi kuchlanish isrofini hisoblaymiz:

$$\Delta U_p = \frac{6,89 \cdot 0,41 \cdot 10 + 2,48 \cdot 0,41 \cdot 6}{35} = 0,981 \text{ kV},$$

Demak, aktiv qarshiliklarda ruxsat etilishi mumkin bo'lgan kuchlanish isrofi pastdagiga teng:

$$\Delta U_{a.rux} = \Delta U_{rux} - \Delta U_r = 1,75 - 0,981 = 0,769 \text{ kV}.$$

Alyuminiyning solishtirma qarshiligini $\rho = 31,5 \text{ Om} \cdot \text{mm}^2/\text{km}$ deb hisoblab, tokning kuchlanish isrofi topilgan $\Delta U_{a.rux}$ teng bo'lishini ta'minlaydigan zichligini aniqlaymiz. Buning uchun avvalo stansiya va 1 punkt orasidagi liniyaning quvvat koeffitsiyentini aniqlaymiz:

$$\cos \phi_{L1} = \frac{9}{\sqrt{9^2 + 6,89^2}} = 0,794,$$

demak,

$$j = \frac{\Delta U_{a.rnr}}{\sqrt{3 \cdot \rho \cdot (I_{AB} \cdot \cos \varphi_{L1} + I_{BV} \cdot \cos \varphi_{L2})}} = \frac{769}{\sqrt{3 \cdot 31,5 \cdot (10 \cdot 0,794 + 6 \cdot 0,85)}} = 1,08 \text{ A/mm}^2.$$

Har ikkala yuklama uchun $T_{maks}=3000$ soat bo'lganda liniyalar uchun tokning iqtisodiy zichligi $j_{iq}=1,3 \text{ A/mm}^2$. $j_{iq}>j$ bo'lganligi uchun o'tkazgichlarning kesim yuzalarini tanlashda belgilovchi bo'lib ruxsat etilgan kuchlanish isrofini ta'minlash talablariga javob beruvchi shartlar hisoblanadi.

Demak, L_1 liniya uchun:

$$F_1 = \frac{S_{L1}}{\sqrt{3} \cdot U_N \cdot j} = \frac{\sqrt{9000^2 + 6890^2}}{\sqrt{3} \cdot 35 \cdot 1,08} = 173,1 \text{ mm}^2,$$

L_2 liniya uchun:

$$F_2 = \frac{\sqrt{4000^2 + 2480^2}}{\sqrt{3} \cdot 35 \cdot 1,08} = \frac{3740}{\sqrt{3} \cdot 35 \cdot 1,14} = 71,9 \text{ mm}^2.$$

Standart markadagi o'tkazgichlarni qabul qilamiz: L_1 liniya uchun AC185; L_2 liniya uchun AC95.

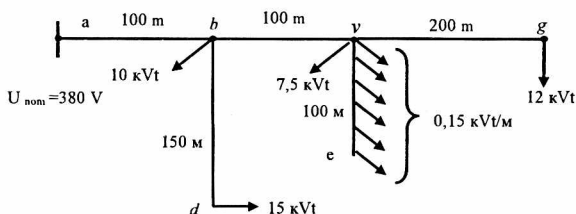
Ushbu markadagi o'tkazgichlardan qurilgan liniyalarning uzunlik birligi uchun hisob parametrlari pastdagicha: $r_0=0,162 \text{ Om/km}$, $x_0=0,413 \text{ Om/km}$ va $r_0=0,306 \text{ Om/km}$, $x_0=0,434 \text{ Om/km}$.

Tanlangan o'tkazgichlar uchun kuchlanish isrofining eng katta qiymatini aniqlaymiz:

$$\Delta U_{e.kat} = \frac{(9 \cdot 0,162 + 6,89 \cdot 0,413) \cdot 10 + (4 \cdot 0,306 + 2,48 \cdot 0,434) \cdot 6}{35} = 1,624 \text{ V. Demak,}$$

$\Delta U_{e.kat} < \Delta U_{rnx}$, va shu sababli qabul qilingan markadagi o'tkazgichlar masalaning shartini qanoatlantiradi.

7.5-masala. 7.6-rasmda loyihalashtirilayotgan 380 V kuchlanishli elektr tarmog'ining sxemasi ko'rsatilgan. Tarmoqda mis tomirli kabellardan foydalanish ko'zda tutilgan. *ag* magistralda bir xil kesim yuzali kabeldan foydalanishga qaror qilingan. Tarmoqning alohida liniyalari uzunliklari (m), shuningdek, yuklamalar (kVt) rasmda keltirilgan.



7.6-rasm. Elektr uzatish liniyasi.

Kabellarning kesim yuzalarini ruxsat etilgan kuchlanish isrofi bo'yicha tanlang. $\Delta U_{rux} = 5\%$ qabul qiling.

Yechish. Kabelning induktiv qarshiligini nolga teng deb qabul qilamiz. Bunday holda kuchlanish isrofi yuklamalarning aktiv quvvatlari va liniyalarning aktiv qarshiliklari bilan belgilanadi. Ushbu masalada ruxsat etilgan kuchlanish pastdagiga teng:

$$\Delta U_{rux} = \frac{5}{100} \cdot 380 = 19V.$$

Kabelning kesim yuzasini tanlashda ushbu qiymat e'tiborga olinishi lozim. *Ag* magistral uchun kesim yuzasini aniqlaymiz (mis uchun solishtirma qarshilik $\rho = 18,8 \text{ Om} \cdot \text{mm}^2/\text{km}$):

$$F_{\Delta r} = \frac{\rho \cdot (P_{ab} I_{ab} + P_{bv} I_{bv} + P_{vg} I_{vg})}{\Delta U_{rux} \cdot U_{nom}} = \frac{18,8 \cdot [(10+15) \cdot 0,1 + (15+7,5) \cdot 0,2 + 12 \cdot 0,4] \cdot 10^3}{19 \cdot 380} = 30,8 \text{ mm}^2.$$

Kesim yuzasi 35 mm^2 bo'lgan kabelni qabul qilamiz. Uning uchun $r_0 = 0,602 \text{ Om/km}$. *g*, *v* va *b* nuqtalargacha kuchlanishning haqiqiy isrofini hisoblaymiz:

$$\Delta U_{Ae} = \frac{r_0 \cdot (P_{Ab} I_{Ab} + P_{bv} I_{bv} + P_{vg} I_{vg})}{U_{nom}} = \frac{0,602 \cdot [(10+15) \cdot 0,1 + (7,5+15) \cdot 0,2 + 12 \cdot 0,4] \cdot 10^3}{380} = 18,7 < \Delta U_{rux};$$

$$\Delta U_{Ae} = \frac{0,602 \cdot [(10+15) \cdot 0,1 + (7,5+15+12) \cdot 0,2] \cdot 10^3}{380} = 14,8 \text{ V};$$

$$\Delta U_{Af} = \frac{0,602 \cdot (10+15+7,5+15+12) \cdot 0,1 \cdot 10^3}{380} = 9,4 \text{ V}.$$

ve shoxobcha uchun ruxsat etilgan kuchlanish isrofi va kabelning unga mos keluvchi kesim yuzasini topamiz (bunda bir tekis taqsimlangan yuklamali shoxobchani o'rtasida qo'yiluvchi jamlangan yuklama bilan almashtiriladi):

$$\Delta U_{ve rux} = 19 - 14,8 = 4,2 \text{ V},$$

$$F_{ve} = \frac{18,8 \cdot 15 \cdot 0,05 \cdot 10^3}{4,2 \cdot 380} = 9,1 \text{ MM}^2.$$

Standart kesim yuzasi 10 mm^2 ($r_0 = 2,10 \text{ Om/km}$) bo'lgan kabelni qabul qilamiz va e nuqtagacha haqiqiy kuchlanish isrofini hisoblaymiz:

$$\Delta U_{Ae} = 14,8 + \frac{2,1 \cdot 0,05 \cdot 10^3}{380} = 14,8 + 4,15 = 18,95 \text{ B} \approx \Delta U_{rux}.$$

bd shoxobcha uchun ham shu kabi hisoblashlarni amalga oshiramiz.

Ruxsat etilgan kuchlanish isrofini hisoblaymiz:

$$\Delta U_{bd rux} = 19 - 9,4 = 9,6 \text{ V},$$

kabelning kesim yuzasini topamiz:

$$F_{bd} = \frac{18,8 \cdot 15 \cdot 0,15 \cdot 10^3}{9,6 \cdot 380} = 11,6 \text{ MM}^2.$$

Standart kesim yuzasi 16 mm^2 ($r_0 = 1,32 \text{ Om/km}$) bo'lgan kabelni tanlaymiz va d nuqtagacha haqiqiy kuchlanish isrofini topamiz:

$$\Delta U_{Ad} = 9,4 + \frac{1,32 \cdot 15 \cdot 0,15 \cdot 10^3}{380} = 9,4 + 7,82 = 17,2 \text{ V}.$$

7.6-masala. Maksimal yuklamasi 3200 kVt va $\cos\varphi=0,8$ bo'lgan qurilayotgan zavodni tuman podstantsiyasining 10 kV kuchlanishli shinasidan uchta mis tomirli kabellardan quriluvchi ikkita liniya orqali ta'minlash ko'zda tutilgan. Har ikkala kabel ham transheyada bir-biridan 100 mm masofada yotqiziladi. Trassa bo'yicha er qatlaminig eng yuqori o'rtacha oylik harorati 20°S . Zavoddagi texnologik jarayon elektr ta'minotining uzluksizligini talab etganligi sababli bitta kabel ishdan chiqqan taqdirda to'liq quvvat ikkinchi kabel orqali uzatilishi shart. Maksimal yuklamadan foydalanish vaqti 4000 soat.

Kabellarning tomirlari kesim yuzalarini aniqlang.

Yechish. Loyihalashtirilayotgan elektr tarmog'ining normal ish holatida kabellardan oquvchi toklarni hisoblaymiz:

$$I_{e.kat} = \frac{3200}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,8} = 115 \text{ A}.$$

$T_{maks} = 4000 \text{ soat}$ bo'lganda mis tomirli va qoqoz izolyasiyalı kabellar uchun tokning iqtisodiy zichligi $j_{iq} = 2,5 \text{ A/mm}^2$, shu sababli kabel tomirining kesim yuzasi pastdagicha aniqlanadi:

$$F_{ek} = \frac{115}{2,5} = 46 \text{ mm}^2.$$

Kabelning ushbu qiymatga yaqin bo'lgan standart kesim yuzasi 50 mm^2 ga teng.

Har birining kesim yuzasi 50 mm^2 bo'lgan ikkita kabelni yotqizishning qizish shartlari bo'yicha ruxsat etilganligini tekshiramiz.

Harorati 15°C bo'lgan erning tagida yotqizilgan bunday kesim yuzali bitta kabel uchun uzoq vaqt davomida ruxsat etilgan eng katta tok 180 A ni tashkil etadi. Bu

qiymat EUTQ (ПУЭ) da keltirilgan ruxsat etilgan toklar jadvalida belgilangan. Bu yerdapastdagi to'g'rilashlarni e'tiborga olamiz: urning tagida yonma-yon yotqiziluvchi kabellarning soni bo'yicha; urning harorati va avariya bartaraf etish vaqtida ruxsat etilgan o'ta yuklanish bo'yicha.

EUTQdagi jadvallarga muvofiq birinchi to'g'rilash koeffitsiyenti 0,9, ikkinchisi esa 0,94 ga teng ekanligini aniqlaymiz. Uchinchi to'g'rilash koeffitsiyenti kabelning avariya oldingi holatidagi yuklanish koeffitsiyenti aniqlangandan so'ng topilishi mumkin. Ikkita bir vaqtda ishlovchi kabellar uchun uzoq vaqt davomida ruxsat etilgan tokni aniqlaymiz:

$$I_{rux}=0,90\cdot0,94\cdot180=152\text{ A.}$$

$I_{e.kat}=0,68I_{rux}$, ya'ni $I_{rux}>I_{e.kat}$, bo'lganligi sababli loyihalashtirilayotgan liniyaning normal ish holatida tomirlarining kesim yuzasi 50 mm^2 bo'lgan kabellarda tomirlarning harorati ruxsat etilgan eng katta qiymatdan kichik bo'lib, 60°S ni tashkil etadi.

Maksimal va bitta kabel ishdan chiqqan holatda ruxsat etilgan eng katta toklar o'rtasidagi nisbatni aniqlaymiz. Kabellarning normal ish sharoitlaridagi yuklanishi bo'yicha topilgan avariya holatida ruxsat etilgan o'ta yuklanishi 1,25 ni tashkil etadi.

Bunday holda

$$I_{rux}=0,94\cdot1,25\cdot180=211\text{ A,}$$

$$I_{e.kat.av}=2\cdot115=230\text{ A, demak } I_{rux}<I_{e.kat.av}.$$

Aniqlangan munosabat ko'rsatadiki, kesim yuzasi 50 mm^2 bo'lgan kabellar avariya holatida to'liq quvvatning uzatilishini ta'minlay olmaydi.

Tomirlarining kesim yuzasi 70 mm^2 bo'lgan kabellarni yotqizish imkoniyatini ko'rib chiqamiz. Bunday bitta kabel uchun urning harorati 20°S va avariya holatida mumkin bo'lgan o'ta yuklanishda ruxsat etilgan tok pastdagiga teng:

$$I_{rux}=0,94\cdot1,25\cdot215=252\text{ A.}$$

Bu tok zavodning to'liq quvvati bilan belgilanuvchi eng katta tokdan kattadir. Demak, tomirlarining kesim yuzasi 70 mm^2 bo'lgan kabellar liniyaning normal va

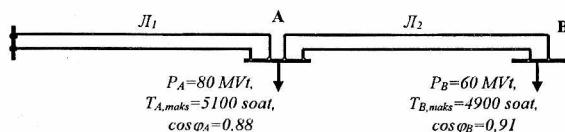
avariya holatlarida ishlash sharoitlarini qanoatlantiradi. SHu sababli loyihalashtirilayotgan liniya uchun ular tanlanishi lozim.

7.5. Mustaqil yechish uchun masalalar

1. 110 kV nominal kuchlanishli ikki zanjirli havo liniyasi orqali ta'minlanuvchi iste'molchining maksimal yuklamasi 40 MVt, aktiv quvvat koeffitsiyenti 0,9 va maksimal yuklamadan foydalanish vaqti 5500 soat.

Liniya o'tkazgichini tokning iqtisodiy zichligi bo'yicha tanlang va uni tojlanish va atrof-muhitning harorati $+20^{\circ}\text{S}$ bo'lgan holatda qizish shartlari bo'yicha tekshiring.

2. Sxemasi 7.7-rasmda tasvirlangan 220 kV nominal kuchlanishli elektr tarmoq havo liniyalarining o'tkazgichlarini tokning iqtisodiy zichligi bo'yicha tanlang. Tanlangan o'tkazgichlarni tojlanish sharti va atrof-muhitning harorati $+20^{\circ}\text{S}$ bo'lgan holatda qizish shartlari bo'yicha tekshiring.

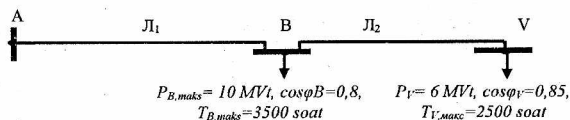


7.7-rasm. EULning quvvat taqsimlanish sxemasi

Iste'molchilarning maksimal yuklamalari, aktiv quvvat koeffitsiyentlari va maksimal yuklamadan foydalanish vaqtlari sxemada keltirilgan

3. Sxemasi 7.8-rasmda tasvirlangan 35 kV nominal kuchlanishli elektr tarmoqning havo liniyalari o'tkazgichlarini tokning iqtisodiy zichligi bo'yicha tanlang.

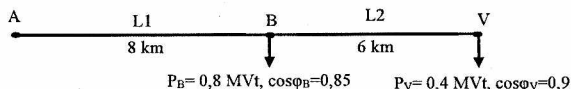
Iste'molchilarning maksimal yuklamalari, aktiv quvvat koeffitsiyentlari va maksimal yuklamadan foydalanish vaqtlari sxemada keltirilgan.



7.8-rasm. EULning quvvat taqsimlanish sxemasi

4. B va V punktlarda joylashgan iste'molchilar A podstansiyaning shinasidan bitta 10 kV nominal kuchlanishli havo liniyasi orqali ta'minlanadi (7.9-rasm). Iste'molchilarning maksimal yuklamalari va aktiv quvvat koeffitsiyentlari hamda punktlar oralaridagi masofalar sxemada keltirilgan. Har ikkala iste'molchilar uchun maksimal yuklamadan foydalanish vaqti 2800 soat.

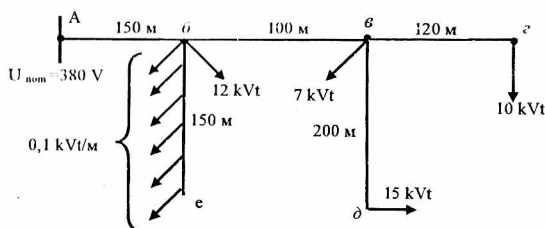
Liniya o'tkazgichlarining kesim yuzalarini 5% ga teng bo'lgan ruxsat etilgan kuchlanish isrofi bo'yicha, butun tarmoqda tokning zichligi o'zgarmas bo'lishi shartidan kelib chiqib, tanlang.



7.9-rasm. EULning quvvat taqsimlanish sxemasi

5. Sxemasi 7.10-rasmda tasvirlangan 380 V nominal kuchlanishli elektr tarmoqni mis tomirli kabellardan qurish nazarda tutilib, uning *ad* magistralida bir xil kabelni qo'llashga qaror qilingan. Alohida liniyalarning uzunliklari va yuklamalarning qiymatlari sxemada keltirilgan.

Kabellarning kesim yuzalarini kuchlanish isrofining ruxsat etilgan qiymati bo'yicha tanlang. Kuchlanish isrofining ruxsat etilgan qiymati $\Delta U_{rux} = 5\%$ qabul qilinsin.



7.10-rasm. EULning quvvat taqsimlanish sxemasi

6. Maksimal yuklamasi 3,5 MVt, aktiv quvvat koeffitsiyenti $\cos\varphi=0,75$ va maksimal yuklamadan foydalanish vaqti 4500 soat bo'lgan elektr iste'molchisini uchta mis tomirli kabellardan tayyorlangan 10 kV nominal kuchlanishdagi ikki zanjirli kabel liniyasi orqali ta'minlash nazarda tutilgan. Kabellar umumiy transheyada oralarida 100 mm masofa qoldirib yotqizilishi shart. Trassa davomida tuproqning eng yuqori o'rtacha oylik harorati $+20^{\circ}\text{S}$. Iste'molchida ishlab chiqarish jarayoni elektr ta'minotining uzilib qolmasligini talab etadi. SHu sababli kabellardan biri ishdan chiqqan taqdirda iste'molchiga barcha quvvatni ikkinchi kabel orqali uzatish ta'minlanishi shart.

Kabel tomirlarining kesim yuzasini tanlang.

8. ELEKTR TARMOQLARIDA QUUVAT VA ENERGIYA ISROFLARINI KAMAYTIRISH TADBIRLARI

Elektr tarmoqlarida isroflarni kamaytirish yoqilqini iqtisod qilishning muhim manbalaridan biridir.

Elektr energiya isroflarini tahlil qilishda isrof quyidagi turlarga ajratiladi:
isrofning hisobiy qiymati;
isrofning hisobiy yoki texnik qiymati;
tijoriy isroflar.

Elektr energiya isrofini kamaytirish uchun ko'plab tadbirlar ishlab chiqilgan bo'lib, ulardan eng optimalini tanlash masalasi murakkab bo'lganligi uchun ularni klassifikatsiyalash, ya'ni turlarga ajratishga ehtiyoj hosil qildi. Bunday tadbirlar asosan uch guruhga bo'linadi: tashkiliy, texnik va elektr energiyani hisobiy va texnik hisobga olish tizimlarini takomillashtirish tadbirlari.

Tashkiliy tadbirlarni joriy qilish hech qanday qo'shimcha kapital xarajatlarni talab etmaydi. Texnik tadbirlar esa kapital xarajatlarni talab etadi.

8.1. Ta'minlovchi elektr tarmoq holatini reaktiv quvvat, kuchlanish va transformatsiyalash koeffitsiyentlari bo'yicha optimallashtirish

Ushbu parametrlar bo'yicha optimallashtirish elektr energiya isrofini kamaytirishning asosiy tashkiliy tadbirlaridan biridir. Optimallashtirish masalasi elektr tarmoqning, barcha texnik shartlar bajarilgani holda, isrof eng kichik bo'luvchi barqaror holatini aniqlashdan iboratdir.

Bu masalani yechishda barqaror holatning tenglamasi ko'rinishidagi va nazorat qilinuvchi kattaliklarning o'zgarish oraliqlariga qo'yilgan tengsizlik ko'rinishidagi chegaraviy shartlar hisobga olinadi. Maqsad (optimallashtiriluvchi) funksiya bo'lib, tarmoqdagi aktiv quvvat isrofi funksiyasi ΔR hisoblanadi.

Optimallashtirish masalasini yechishda barcha tugunlarning, shu jumladan rostdash vositalariga ega bo'lmagan yuklama tugunlarining kuchlanishlari, generatsiyalovchi

manbalarning reaktiv quvvatlari, transformatorlarning transformatsiyalash koeffitsiyentlari, shuningdek, nazorat qilinuvchi liniyalarning toklari bo'yicha chegaraviy shartlar hisobga olinadi. SHunday qilib, ushbu masala matematik ko'rinishda, umumiy holda, pastdagicha ifodalanadi:

$$\Delta P \rightarrow \min \quad (8.1)$$

$$\left. \begin{aligned} W'_i &= P_i - P_{is} = 0, \quad i = \Gamma + H; \\ W''_i &= Q_i - Q_{is} = 0, \quad i \in \Gamma_1 + H \end{aligned} \right\}; \quad (8.2)$$

$$U_{i,\min} \leq U_i \leq U_{i,\max}, \quad i \in \Gamma + H; \quad (8.3)$$

$$Q_{i,\min} \leq Q_i \leq Q_{i,\max}; \quad i \in \Gamma - \Gamma_1; \quad (8.4)$$

$$K_{Tl,\min} \leq K_{Tl} \leq K_{Tl,\max}; \quad l \in T_a; \quad (8.5)$$

$$\left. \begin{aligned} K'_{Tl,\min} &\leq K'_{Tl} \leq K'_{Tl,\max} \\ K''_{Tl,\min} &\leq K''_{Tl} \leq K''_{Tl,\max} \end{aligned} \right\} \quad l \in T_K; \quad (8.6)$$

$$P_{l,\min} \leq P_l \leq P_{l,\max} \quad l \in L_P; \quad (8.7)$$

$$I_{l,\min} \leq I_l \leq I_{l,\max} \quad l \in L_I; \quad (8.8)$$

Bu yerda $P_i, Q_i, P_{is}, Q_{is} - i$ – tugunning hisoblanuvchi va berilgan aktiv va reaktiv quvvatlari; $U_i, U_{i,\min}, U_{i,\max} - i$ – tugundagi kuchlanish, hamda uning berilgan minimal va maksimal chegaraviy qiymatlari; $K_{Tl}, K'_{Tl}, K''_{Tl} - l$ – shoxobchadagi transformator kompleks transformatsiyalash koeffitsiyentining moduli, haqiqiy va mavhum qismlari; $P_l, I_l -$ aktiv quvvat oqimi va toki nazorat qilinuvchi l – shoxobchaning hisoblanuvchi aktiv quvvati va toki; $G, N -$ generatsiya va yuklama tugunlari to'plamlari; $G_I -$ reaktiv quvvati rostanmaydigan generatsiya tugunlari to'plami; $T_a, T_K -$ rostanadigan haqiqiy va kompleks transformatsiyalash koeffitsiyentlariga ega bo'lgan shoxobchalar to'plamlari; $L_P, L_I -$ aktiv quvvat oqimi va toki nazorat qilinuvchi shoxobchalar to'plamlari.

(8.1)–(8.8) masalani yechishning eng qulay usuli uni Lagranj funksiyasini tuzish orqali shartsiz optimallashtirish masalasiga keltirishga asoslangan. Bunda erksiz noma'lumlar bo'yicha va funksional chegaraviy shartlarni jarima funksiyasi

yordamida, tenglik ko‘rinishidagi chegaraviy shartlarni esa, noma’lum Lagranj ko‘paytuvchilari orqali hisobga olib, pastdagi shartsiz optimallashtirish masalasi hosil qilinadi:

$$L = \Delta P + III + \sum_{i \in G + Yu} \lambda_i' W_i' + \sum_{i \in G_1 + Yu} \lambda_i'' W_i'' \quad (8.9)$$

Bu yerda $III = \sum_{i \in G + Yu} III_{U_i} + \sum_{i \in G} III_{Q_i} + \sum_{i \in L_p} III_{P_i} + \sum_{i \in L_f} III_{I_i}$ bo‘lib, u mos chegaraviy shart

bajarilganda nolga teng va buzilganda buzilish darajasiga proporsional tarzda tez o‘rtuvchi jarima funksiyalarining yig‘indisi; λ_i', λ_i'' - noma’lum Lagranj ko‘paytuvchilari.

Optimallashtiruvchi parametrlarning qiymatlari, masalan optimal kuchlanishlar, (8.9) funksiya minimumligining zaruriy shartidan hosil qilingan pastdagi tenglamalar sistemasini yechish asosida topiladi:

$$\begin{cases} \frac{\partial L}{\partial P_i} = W_i' = P_i - P_{iz} = 0; & i \in G + Yu, \\ \frac{\partial L}{\partial Q_i} = W_i'' = Q_i - Q_{iz} = 0; & i \in G_1 + Yu, \end{cases} \quad (8.10)$$

$$\begin{cases} \frac{\partial L}{\partial \delta_i} = \frac{\partial F}{\partial \delta_i} + \sum_{j \in G + Yu} \lambda_j' \frac{\partial W_j'}{\partial \delta_i} + \sum_{j \in G_1 + Yu} \lambda_j'' \frac{\partial W_j''}{\partial \delta_i} = 0; & i \in G + Yu, \\ \frac{\partial L}{\partial U_i} = \frac{\partial F}{\partial U_i} + \sum_{j \in G + Yu} \lambda_j' \frac{\partial W_j'}{\partial U_i} + \sum_{j \in G_1 + Yu} \lambda_j'' \frac{\partial W_j''}{\partial U_i} = 0; & i \in G_1 + Yu, \end{cases} \quad (8.11)$$

$$\begin{cases} \frac{\partial L}{\partial U_i} = \frac{\partial F}{\partial U_i} + \sum_{j \in G + Yu} \lambda_j' \frac{\partial W_j'}{\partial U_i} + \sum_{j \in G_1 + Yu} \lambda_j'' \frac{\partial W_j''}{\partial U_i} = 0; & i \in G - G_1. \end{cases} \quad (8.12)$$

bu yerda P_i, Q_i, P_{iz}, Q_{iz} - i -tugunning hisobiy va berilgan aktiv va reaktiv quvvatlari; U_i, δ_i - i -tugun kompleks kuchlanishining moduli va fazasi.

Hisoblashlarni qulaylashtirish maqsadida har bir yaqinlashishda yuqoridagi sistemani yechish uchta - (8.10), (8.11), (8.12) podsystemalarni ketma-ket tarzda yechish asosida amalga oshiriladi. (8.10) podsystemani yechish natijasida barcha

tugunlar kuchlanishlarining fazalari va modullari (kuchlanishi optimallashtiruvchi tugundan tashqari); (8.11) podsystemani yechish natijasida noma'lum Lagranj ko'paytuvchilari va (8.12) podsystemani yechish natijasida reaktiv quvvat manbaiga ega bo'lgan tugunlarning optimal kuchlanishlari modullari topiladi.

Yopiq konturlarning nojinslilikini kamaytirish. Elektr iste'molchilarini ta'minlashda yuqori ishonchlilikni ta'minlash maqsadida yopiq tarmoqlardan foydalaniladi. Bundan tashqari yopiq tarmoqlardan foydalanilganda, isroflarni ochiq tarmoqlardagiga nisbatan kamaytirish imkoniyatlari paydo bo'lishi mumkin.

Yopiq tarmoq bir jinsli bo'lganda ulardan iste'molchilarga quvvat uzatish eng kam isroflarda amalga oshadi. Bunday tarmoqlar konturni tashkil etuvchi shoxobchalarning aktiv va reaktiv qarshiliklarining nisbatlari bir xilligi bilan xarakterlanadi, ya'ni

$$\frac{x_i}{r_i} = \text{const}.$$

Nojinsli (bir jinsli bo'lmagan) yopiq elektr tarmoqlarda konturni tashkil etuvchi shoxobchalarning qarshiliklari nisbatlari turlichadir. Bunday tarmoqlarda quvvatlarning tabiiy taqsimlanishi to'la qarshilik $z=r+jx$ bo'yicha amalga oshadi.

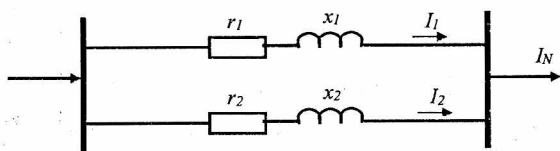
Yopiq tarmoqda quvvatning undagi isrofnı eng kam bo'lish holatiga mos keluvchi iqtisodiy taqsimlanishi uni faqat aktiv qarshilik bo'yicha taqsimlanishi bilan bir hil bo'ladi.

Nojinsli yopiq elektr tarmoqda quvvatlar oqimining iqtisodiy taqsimlash imkoniyatlarini o'rganish uchun bir konturli yopiq tarmoqni ko'rib o'tamiz (8.1, a-rasm).

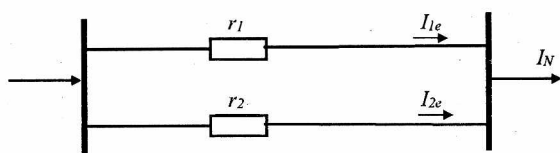
Sxemalarda ko'rsatilgan I_1, I_2, I_{1e}, I_{2e} toklar konturda quvvatlar tabiiy va iqtisodiy taqsimlangan holatlarga mos kelib, mazkur tarmoq uchun ularning qiymatlari Kirxgofning birinchi va ikkinchi qonunlaridan foydalanib, pastdagicha hisoblanishi mumkin:

$$I_1 = I_n \cdot \frac{r_2 + jx_2}{r_1 + r_2 + j(x_1 + x_2)}, \quad I_2 = I_n \cdot \frac{r_1 + jx_1}{r_1 + r_2 + j(x_1 + x_2)},$$

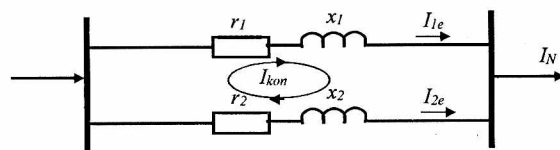
$$I_{13} = I_n \cdot \frac{r_2}{r_1 + r_2}, \quad I_{23} = I_n \cdot \frac{r_1}{r_1 + r_2}.$$



a



b



d

8.1-rasm. Bir konturli yopiq tarmoq: a- bir konturli yopiq tarmoq, b- iqtisodiy taqsimlangan bir konturli yopiq tarmoq, d- tenglashtiruvchi tokli bir konturli yopiq tarmoq

Agar 8.1,a-rasmda tasvirlangan konturda tarmoqning nojinsiligi tufayli tenglashtiruvchi tok I_{kon} oqadi deb hisoblasak (8.1,d-rasm), u holda tabiiy va iqtisodiy taqsimlanish holatlari uchun toklar pastdagi ifodalar bilan boqlangan:

$$I_1 = I_{1e} + I_{kon}; \quad I_2 = I_{2e} - I_{kon}.$$

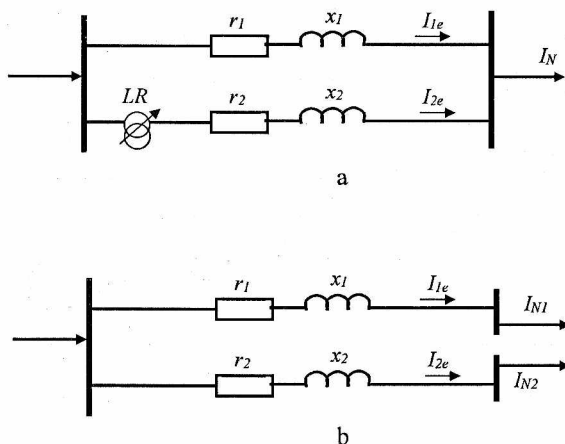
Shunday qilib, yopiq elektr tarmoqlarda quvvat isrofini minimallashtirish uchun ularda tenglashtiruvchi toklarni nolga keltirish lozim. Bu tarmoqning nojinsililigini

kamaytirish yoki tenglashtiruvchi toklarni kompensatsiyalash orqali amalga oshiriladi.

Tarmoqning nojinsililigini kamaytirish o'tkazgichlarning kesim yuzalarini o'zgartirish va BKQ (bo'ylama kompensatsiyalovchi qurilma) ulash orqali amalga oshirilishi mumkin.

Tenglashtiruvchi kontur toklarini kompensatsiyalash ikki yo'l bilan amalga oshirilishi mumkin:

- 1) kompensatsiyalovchi tenglashtiruvchi toklarni hosil qilish orqali (konturda quvvat oqimini rostdlash);
- 2) tenglashtiruvchi toklarning yo'lini uzish orqali (tarmoq konturlarini ochish orqali) (8.2,b-rasm).



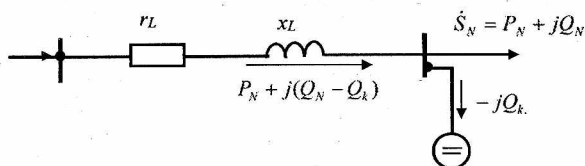
8.2-rasm. a- transformatsiyalash koeffitsiyentlari hisobiga olgan xolda, b- tarmoq konturlarini ochish orqali sxemasi

Kompensatsiyalovchi tenglashtiruvchi toklarni hosil qilish konturlarga qo'shimcha EYuK kiritish orqali amalga oshiriladi. O'z navbatida qo'shimcha EYuK liniya rostdlagichlari hisobiga, ya'ni kuchlanishni bo'ylama-ko'ndalang rostdlash yoki muvozanatlashmagan transformatsiyalash koeffitsiyentlari hisobiga hosil qilinadi (8.2,a-rasm).

Ta'minlovchi elektr tarmoqlarda qo'shimcha EYuKning qiymatini yoki konturni ochish nuqtasini aniqlash uchun uning holatini optimallashtirish masalasi echiladi. Buning uchun yuqorida keltirilgan algoritmdan foydalanish samaralidir.

8.2. Taqsimlovchi elektr tarmoqlarda quvvat va energiya isrofini kamaytirish

Taqsimlovchi elektr tarmoqlar ta'minlovchi tarmoqlardan farqli ravishda doimo ochiq holda ishlaydi. Shu sababli ularda isrofini kamaytirishning eng samarali va keng foydalaniluvchi usuli reaktiv quvvatni kompensatsiyalashga asoslangan. Ushbu usul bo'yicha isrofini kamaytirish imkoniyatlari bilan sxemasi 8.3-rasmda tasvirlangan bitta liniyadan iborat bo'lgan tarmoq misolida tanishamiz.



8.3-rasm. Ochiq elektr tarmog'i

Ma'lumki, reaktiv quvvati kompensatsiyalanmagan liniyada aktiv quvvat isrofi pastdagicha aniqlanadi:

$$\Delta P = \frac{P_N^2 + Q_N^2}{U_N^2} \cdot r_L .$$

Liniyaning oxirida ulangan iste'molchilarning yonida kompensatsiyalovchi qurilma ulangandan so'ng yuklamaning umumiy (kompensator bilan birga hisoblanganda) aktiv quvvat koeffitsiyenti $\cos\phi$ oshadi va liniyadagi aktiv quvvat isrofi kamayadi:

$$\Delta P = \frac{P_N^2 + (Q_N - Q_k)^2}{U_N^2} \cdot r_L.$$

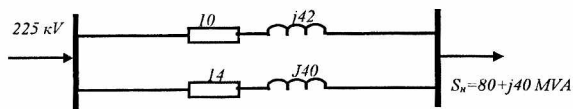
Kompensatorning tarmoqdagi quvvat isrofini eng kam bo'lishini ta'minlovchi optimal quvvatni isrof funksiyasi minimumligining zaruriy sharti, ya'ni u bo'yicha xususiy hosilaning nolga tengligidan foydalanib topish qulaydir:

$$\frac{\partial \Delta P}{\partial Q_k} = -\frac{2(Q_N - Q_k)}{U_N^2} \cdot r_L = 0.$$

SHunday qilib, ko'rilayotgan tarmoq uchun $Q_{k,opt} = Q_N$. Demak, ushbu holatda yuklamaning reaktiv quvvati kompensator yordamida to'la kompensatsiyalanganda (liniya orqali iste'molchiga faqat aktiv quvvat uzatilganda) tarmoqdagi aktiv quvvat isrofi minimal bo'ladi.

8.3. Masalalar yechish namunalari

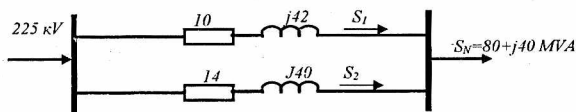
8.1-masala. Sxemasi 8.4-rasmda keltirilgan yopiq elektr tarmoqda quvvatlar oqimining tabiiy va iqtisodiy taqsimlanishini hisoblang. Tarmoqning minimal isroflar bilan ishlash holatini konturni ochish orqali ta'minlang.



8.4-rasm. Yopiq elektr tarmog'i

Yechish. Tarmoqning shoxobchalarida quvvat oqimining taqsimlanishini Kirxgofning birinchi va ikkinchi qonunlaridan foydalanib topamiz.

Tabiiy taqsimlanishni va bu holatdagi aktiv quvvat isrofini hisoblaymiz (8.5-rasm):



8.5-rasm. Tarmoqning shoxobchalarida quvvat oqimining taqsimlanishi

$$\dot{S}_1 = \frac{\hat{Z}_2}{\hat{Z}_1 + \hat{Z}_2} \cdot \dot{S}_N = \frac{14 - j40}{10 - j42 + 14 - j40} \cdot (80 + j40) = 38,6 + j21,86 \text{ MVA},$$

$$\dot{S}_2 = \frac{\hat{Z}_1}{\hat{Z}_1 + \hat{Z}_2} \cdot \dot{S}_N = \frac{10 - j42}{10 - j42 + 14 - j40} \cdot (80 + j40) = 41,4 + j18,14 \text{ MVA},$$

$$\Delta P = \frac{P_1^2 + Q_1^2}{U_N^2} \cdot r_1 + \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_N^2} \cdot r_2 = \frac{38,6^2 + 21,86^2}{220^2} \cdot 10 + \frac{41,6^2 + 18,14^2}{220^2} \cdot 14 = 1,007 \text{ MVt}$$

Iqtisodiy taqsimlanishni va bu holatdagi aktiv quvvat isrofini hisoblaymiz:

$$\dot{S}_{1s} = \frac{r_2}{r_1 + r_2} \cdot \dot{S}_N = \frac{14}{24} \cdot (80 + j40) = 46,67 + j23,33 \text{ MVA},$$

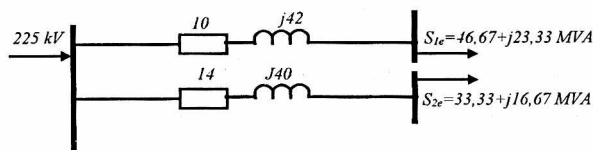
$$\dot{S}_{2s} = \frac{r_1}{r_1 + r_2} \cdot \dot{S}_N = \frac{10}{24} \cdot (80 + j40) = 33,33 + j16,67 \text{ MVA},$$

$$\Delta P_e = \frac{P_{1e}^2 + Q_{1e}^2}{U_n^2} \cdot r_1 + \frac{P_{2e}^2 + Q_{2e}^2}{U_n^2} \cdot r_2 = \frac{46,67^2 + 23,33^2}{220^2} \cdot 10 + \frac{33,33^2 + 16,67^2}{220^2} \cdot 14 = 0,962 \text{ MVt}$$

Shunday qilib, ushbu elektr tarmog'ida quvvat oqimining iqtisodiy taqsimlanishi natijasida aktiv quvvat isrofi

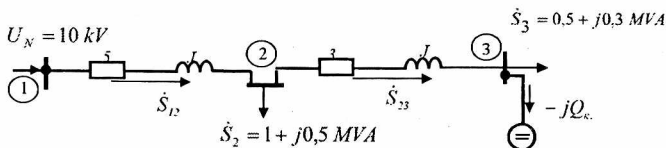
$$\Delta\Delta P = \Delta P - \Delta P_e = 1,007 - 0,962 = 0,045 \text{ MVt ga, ya'ni } 4,5\% \text{ ga kamayadi.}$$

Ushbu iqtisodiy holatni ta'minlash uchun konturni yuklama tugunida 8.6-rasmدا tasvirlangan ko'rinishda ochamiz.



8.6-rasm. Yopiq elektr tarmog'i

8.2-masala. Sxemasi 8.7-rasmda keltirilgan ochiq elektr tarmoqning chekka punktidagi iste'molchisida ulanuvchi reaktiv quvvat kompensatorning tarmoqdagi isrofining minimal bo'lishini ta'minlovchi optimal quvvatini toping.



8.7-rasm. Ochiq elektr tarmoq

Yechish. 1-2 va 2-3 shoxobchalardagi quvvatlar oqimlarini 2- va 3- tugunlar uchun Kirxgofning birinchi qonunidan foydalanib ifodalaymiz:

$$\dot{S}_{12} = 1,5 + j(0,8 - Q_k),$$

$$\dot{S}_{23} = 0,5 + j(0,3 - Q_k).$$

Elektr tarmoqdagi aktiv quvvat isrofini kompensatorning noma'lum quvvati orqali ifodalaymiz:

$$\Delta P = \frac{P_{12}^2 + Q_{12}^2}{U_n^2} \cdot r_{12} + \frac{P_{23}^2 + Q_{23}^2}{U_n^2} \cdot r_{23} = \frac{1,5^2 + (0,8 - Q_k)^2}{10^2} \cdot 5 + \frac{0,5^2 + (0,3 - Q_k)^2}{10^2} \cdot 3$$

Kompensatorning optimal reaktiv quvvatini aktiv quvvat isrofi funksiyasi minimumligining zaruriy shartidan foydalanib topamiz:

$$\frac{\partial \Delta P}{\partial Q_k} = -\frac{2(0,8 - Q_k)}{100} \cdot 5 - \frac{2(0,3 - Q_k)}{100} \cdot 3 = 0,$$

$$Q_{k,opt} = \frac{0,08 + 0,018}{0,1 + 0,06} = 0,612 \text{ MVAR} = 612 \text{ kVAR}.$$

Reaktiv quvvatni kompensatsiyalashdan olinuvchi samarani baholash uchun dastlabki va kompensatorni ulashdan keyingi holatlardagi aktiv quvvat isroflarini solishtiramiz.

Dastlabki tarmoq uchun:

$$\Delta P = \frac{1,5^2 + 0,8^2}{10^2} \cdot 5 + \frac{0,5^2 + 0,3^2}{10^2} \cdot 3 = 0,155 \text{ MVt};$$

Reaktiv quvvati kompensatsiyalangan tarmoq uchun:

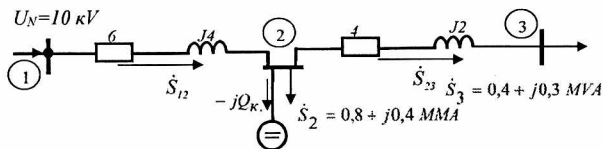
$$\Delta P_e = \frac{1,5^2 + (0,8 - 0,612)^2}{10^2} \cdot 5 + \frac{0,5^2 + (0,3 - 0,612)^2}{10^2} \cdot 3 = 0,117 \text{ MVt}.$$

Shunday qilib tarmoq oxirida reaktiv quvvatni optimal kompensatsiyalash natijasida undagi isrof

$$\Delta \Delta P = \Delta P - \Delta P_e = 0,155 - 0,117 = 0,038 \text{ MVt} = 38 \text{ kVt ga, ya'ni } 24,5\% \text{ ga kamayadi.}$$

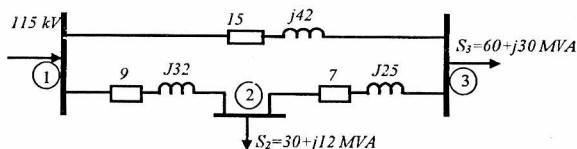
8.4. Mustaqil yechish uchun masalalar

1. Sxemasi 8.8-rasmda keltirilgan elektr tarmoqda kompensatorning reaktiv quvvatini isrofini minimal bo'lish sharti bo'yicha aniqlang.



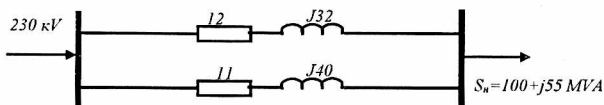
8.8-rasm. Ochiq elektr tarmoq

2. Sxemasi 8.9-rasmda keltirilgan yopiq elektr tarmoqda quvvatlar oqimining tabiiy va iqtisodiy taqsimlanishini hisoblang. Tarmoqning minimal isroflar bilan ishlash holatini konturni ochish orqali ta'minlang.



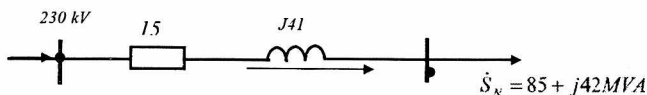
8.9-rasm. Yopiq elektr tarmoq

3-masala. Sxemasi 8.10-rasmda keltirilgan yopiq elektr tarmoqda quvvatlar oqimining tabiiy va iqtisodiy taqsimlanishini hisoblang. Tarmoqning minimal isroflar bilan ishlash holatini konturni ochish orqali ta'minlang.



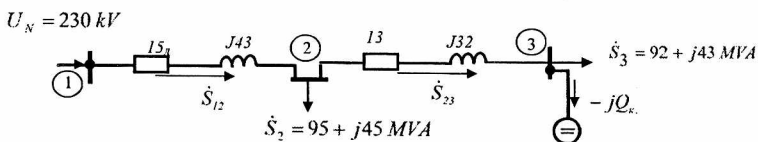
8.10-rasm. Yopiq elektr tarmoq

4-masala. Sxemasi 8.11-rasmda keltirilgan yopiq elektr tarmoqda quvvatlar oqimining tabiiy va iqtisodiy taqsimlanishini hisoblang. Tarmoqning minimal isroflar bilan ishlash holatini konturni ochish orqali ta'minlang.



8.11-rasm. Ochiq elektr tarmog'i

5-masala. Sxemasi 8.12-rasmda keltirilgan ochiq elektr tarmoqning chekka punktidagi iste'molchisida ulanuvchi reaktiv quvvat kompensatorning tarmoqdagi isrofning minimal bo'lishini ta'minlovchi optimal quvvatini toping.



8.12-rasm. Ochiq elektr tarmoq

1. HAVO VA KABELLI ELEKTR UZATISH LINIYALARINING TEXNIK MA'LUMOTLARI

I.1-jadval

35 va 110 kV nominal kuchlanishdagi po'latalyuminiy o'tkazgichli havo liniyalarining hisobiy ma'lumotlari (100 km uchun)

O'tkazgichning nominal kesim yuzasi, mm ²	r ₀ , oOm, +20° C da	35 kV	110 kV		
		x ₀ , Om	x ₀ , Om	b ₀ , 10 ⁻⁴ , Sm	q ₀ , MVAR
70/11	42,8	43,2	44,4	2,55	3,40
95/16	30,6	42,1	43,4	2,61	3,50
120/19	24,9	41,4	42,7	2,66	3,55
150/24	19,8	40,6	42,0	2,70	3,60
185/29	16,2	-	41,3	2,75	3,70
240/32	12,0	-	40,5	2,81	3,75

220-1150 kV nominal kuchlanishdagi po'latalyuminii o'tkazgichli havo liniyalarining hisobiy ma'lumotlari (100 km uchun)

O'tkazgichning nominal kesim yuzasi, mm ²	Fazadagi o'tkazgichlarning soni	r ₀ , Om, +20°C da	220 kV			330 kV			500 kV			750 kV			1150 kV				
			x ₀ , Om	b ₀ , 10 ⁻⁴ Sm	q ₀ , MVAR	x ₀ , Om	b ₀ , 10 ⁻⁴ Sm	q ₀ , MVAR	x ₀ , Om	b ₀ , 10 ⁻⁴ Sm	q ₀ , MVAR	x ₀ , Om	b ₀ , 10 ⁻⁴ Sm	q ₀ , MVAR	x ₀ , Om	b ₀ , 10 ⁻⁴ Sm	q ₀ , MVAR	x ₀ , Om	b ₀ , 10 ⁻⁴ Sm
240/32	1	12,1	43,5	2,60	13,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
240/39	2	6,0	-	-	-	33,1	3,38	40,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
240/56	5	2,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
300/39	1	9,8	42,9	2,64	14,1	-	-	-	-	-	-	30,8	3,76	211,5	-	-	-	-	-
300/48	2	4,8	-	-	-	32,8	3,41	40,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
300/66	3	3,4	-	-	-	-	-	-	31,0	3,97	99,2	-	-	-	-	-	-	-	-
330/43	5	2,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28,8	4,11	231,2	-	-	-	-	-
330/43	3	2,9	-	-	-	-	-	-	30,8	3,60	90,0	-	-	-	-	-	-	-	-
400/51	8	1,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
400/51	1	7,5	42,0	2,70	14,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	3,75	-	-	-	32,3	3,46	41,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	2,5	-	-	-	-	-	-	30,6	3,62	90,5	-	-	-	-	-	-	-	-
	5	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
400/93	4	1,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
500/64	1	6,0	41,3	2,74	14,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	3,0	-	-	-	32,0	3,50	42,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	2,0	-	-	-	-	-	-	30,4	3,64	91,0	-	-	-	-	-	-	-	-
	4	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30,3	3,9	219,4	-	-	-	-	-

I.3-jadval

Havo liniyalari po'lat alyuminiy o'tkazgichlarining diametrlari va uzoq vaqt dovomida ruxsat etilgan toklari

Kesim yuzasi, mm ²	70/11	95/16	120/19	150/24	185/29	240/32	240/39
Diametr, mm	11,4	13,5	15,2	17,1	18,8	21,6	21,6
Tok, A	265	330	390	450	510	605	610

Kesim yuzasi, mm ²	240/56	300/39	300/48	300/66	330/43	400/51	500/64
Diametr, mm	22,4	24,0	24,1	24,5	25,2	27,5	30,6
Tok, A	610	710	690	680	730	825	945

I.4-jadval

Qog'oz izolyasiyalı kabellarning hisobiy ma'lumotlari (1 km uchun)

Tomining kesim yuzasi, mm ²	r ₀ , Om		6 kV		10 kV		20 kV		35 kV	
	Mis	Alyuminiy	x ₀ om	q ₀ , KV·AR	x ₀ om	q ₀ , KV·AR	x ₀ om	q ₀ , KV·AR	x ₀ om	q ₀ , KV·AR
10	1,84	3,1	0,11	2,3	-	-	-	-	-	-
16	1,15	1,94	0,102	2,6	0,113	5,9	-	-	-	-
25	0,74	1,24	0,091	4,1	0,099	8,6	0,135	24,8	-	-
35	0,52	0,89	0,087	4,6	0,095	10,7	0,129	27,6	-	-
50	0,37	0,62	0,083	5,2	0,09	11,7	0,119	31,8	-	-
70	0,26	0,443	0,08	6,6	0,086	13,5	0,116	35,9	0,137	86
95	0,194	0,326	0,078	8,7	0,083	15,6	0,110	40,0	0,126	95
120	0,153	0,258	0,076	9,5	0,081	16,9	0,107	42,8	0,120	99
150	0,122	0,206	0,074	10,4	0,079	18,3	0,104	47,0	0,116	112
185	0,099	0,167	0,073	11,7	0,077	20,0	0,101	51,0	0,113	115
240	0,077	0,129	0,071	13,0	0,075	21,5	0,098	52,8	0,111	119
300	0,061	0,103	-	-	-	-	0,095	57,6	0,097	127
400	0,046	0,077	-	-	-	-	0,092	64,0	-	-

110 va 220 kV nominal kuchlanishdagi moy to'ldirilgan va plastmassa izolyatsiyali kablarning hisobiy ma'lumotlari
(1 km uchun)

Tomining kesim yuzasi, mm ²	Moy to'ldirilgan						Plastmassa izolyatsiyali					
	I ₀ , Om	110 kV		220 kV		I ₀ , Om	110 kV		220 kV			
		x ₀ Om	q ₀ , kVAR	x ₀ Om	q ₀ , kVAR		x ₀ Om	q ₀ , kVAR	x ₀ Om	q ₀ , kVAR		
150	0,122	0,200	1180	0,160	3600	-	-	-	-	-	-	
185	0,099	0,195	1210	0,155	3650	-	-	-	-	-	-	
240	0,077	0,190	1250	0,152	3780	-	-	-	-	-	-	
270	0,068	0,185	1270	0,147	3850	0,092	0,120	450	0,120	1100	-	
300	0,061	0,180	1300	0,145	3930	-	-	-	-	-	-	
350	0,051	0,175	1330	0,140	4070	0,086	0,116	755	0,116	1900	-	
400	0,046	0,170	1360	0,135	4200	-	-	-	-	-	-	
425	0,042	0,165	1370	0,132	4260	-	-	-	-	-	-	
500	0,037	0,160	1420	0,128	4450	0,060	0,110	830	0,110	2100	-	
550	0,032	0,155	1450	0,124	4600	-	-	-	-	-	-	
625	0,029	0,150	1500	0,120	4770	0,048	0,1	1040	0,1	2600	-	
700	0,026	0,145	1550	0,116	4920	-	-	-	-	-	-	
800	0,022	0,140	1600	0,112	5030	0,040	0,1	1250	0,1	3700	-	

10 va 20 kV kuchlanishli uch fazali ikki chulg'amli transformatorlar

Tip	S _{nom} kVA	Katalog ma'lumotlar			Hisobiy ma'lumotlar					
		Chulg'amlarning nom. kuchlanish. kV		U _n , %	ΔP _q , kVt	ΔP _{fe} , kVt	I _{sc} , %	R _n , Ω	X _n , Ω	ΔQ _r , kVAr
		YuK	PK							
TMH(TM)-4000/10	4,0	10,5	6,3(3,15)	6,5	33,5	5,98	0,9	0,24	1,8	36
TMH(TM)-6300/10	6,3	10,5	6,3(3,15)	6,5	46,5	8,33	0,8	0,13	1,14	50,4
TD-10000/10	10	10,5	6,3(3,15)	7,5	92	29	3,0	0,1	0,82	300
TDH-10000/10	10	10,5	6,3(3,15)	14,4	96	28	4,00	0,1	1,6	400
TDHC-10000/10	10	10,5	6,3(3,15)	-	-	-	-	-	-	-
TDHC-16000/10	16	10,5	6,3	-	-	-	-	-	-	-
TM – 630/20	0,63	20	0,4; 6,3; 10,5	6,5	6,3	2,45	1,97	7,0	45,5	12,4
TMH – 630/20	0,63	20	6,3; 10,5	6,5	7,6	2,0	2,0	8,5	45,5	12,6
TMH(TM)-1000/20	1,0	20	0,4; 0,63; 10,5	6,5	11,9	2,75	1,5	5,24	29,2	15
TMH(TM)-1600/20	1,6	20	0,63; 10,5	6,5	17,2	3,65	1,4	2,96	17,8	22,4
TMH(TM)-2500/20	2,5	20	6,3; 11	6,5	24,2	5,1	1,1	4,7	11,4	27,5
TMH(TM)-4000/20	4,0	20	6,3; 10,5	7,5	33,5	6,7	1,0	0,91	8,3	40
TMH(TM)-6300/20	6,3	20	6,3; 10,5	7,5	46,5	9,4	0,9	0,52	5,2	56,7
TDH-25000/20	25	20	6,3/10,5	9,5	145	29	0,7	0,1	1,6	175
TDH-32000/20	32	20	6,3/10,5	11,5	180	33	0,7	0,08	1,6	224
TDH-40000/20	40	20	6,3/6,3	14	225	39	0,65	0,06	1,55	260
TDH-63000/20	63	20	10,5/10,5	11,5	280	55	0,6	0,03	0,88	378
TM - 63/20	0,063	10	0,23; 0,4	5,3	1,47	0,29	2,8	164,0	370	1,76
TM(TM)-100/20	0,1	20	0,23; 0,4	6,65	2,12	0,46	4,16	94,5	293	4,16
TM(TM)-160/20	0,16	20	0,23; 0,4	6,65	2,8	0,66	2,4	49,5	182	3,84

Eslatma: 1. TM va TD tipidagi transformatorlar rostdash qurilmasiga ega emas. TMH, TDH va TDH tipidagi transformatorlar

yuqori tomonida rostdash diapazoni +10x1,5% dan -8x1,55 gacha bo'lgan YuOR qurilmasiga ega. 2. Past chulg'amli parchalangan TDH tipidagi transformatorlar uchun $X_{TV}=0$; $X_{K1}=X_{K2}=2X_{TR}$.

Tip	S _{nom} kVA	Rostlash chegaralari	Katalog ma'lumotlar						Hisobiy ma'lumotlar		
			YuK	PK	U _q , %	ΔP _q , kVt	ΔP _s , kVt	I _s , %	R _T , Om	X _T , Om	ΔQ _s , kVAR
ТРДЦН-63000/110	63	± 9×1,78 %	115	6,3/6,5; 6,3/10,5; 10,5/10,5	10,5	260	59	0,6	0,87	22	410
ТРДЦН-80000/110	80	± 9×1,78 %	115	6,3/6,3; 6,3/10,5; 10,5/10,5	10,5	310	70	0,6	0,6	17,4	480
ТРДЦНК-80000/110	80	± 9×1,78 %	115	6,3/6,3; 6,3/10,5; 10,5/10,5	10,5	245	59	0,6	0,8	22	378
ТДЦ-80000/110	80	± 2×2,5 %	121	6,3; 10,5;13,8	10,5	310	70	0,6	0,71	19,2	480
ТРДЦН-125000/110	125	± 9×1,78 %	115	10,5/10,5	10,5	400	100	0,55	0,4	11,1	687,5
ТДЦ-125000/110	125	± 2×2,5 %	121	10,5; 13,8	10,5	400	120	0,55	0,4	11,1	687,5
ТДЦ-200000/110	200	± 2×2,5 %	121	13,8; 15,75;18	10,5	550	170	0,5	0,23	7,7	1000
ТДЦ-250000/110	250	± 2×2,5 %	121	15,75	10,5	640	200	0,5	0,15	6,1	1250
ТДЦ-400000/110	400	± 2×2,5 %	121	20	10,5	900	320	0,45	0,08	3,8	1800

Eslatma: 1. YuOR qurilmasi past kuchlanish tomonida bo'lgan ТМН-2500/110 va yuqori kuchlanish tomonida QAU qurilmasi bo'lgan ТДЦ tipidagi transformatorlardan tashqari barcha transformatorlarda kuchlanishni rostdash yuqori kuchlanish chulg'aminin neytralida joylashgan YuOR qurilmasi yordamida amalga oshiriladi.

110 kV kuchlanishli uch fazali uch chulg'amli transformatorlar

Tip	S _{nom} kVA	Katalog ma'lumotlar						
		Chulg'amlarning nom. kuch. kV			U _q , %			
		YuK	O'K	PK	Yu - O'	Yu - P	O' - P	
TMTH - 6300/110	6,3	115	38,5	6,6; 11	10,5	17	6	
TДTH - 10000/110	10	115	38,5	6,6; 11	10,5	17	6	
TДTH - 16000/110	16	115	38,5	6,6; 11	10,5	17	6	
TДTH - 25000/110	25	115	11; 38,5	6,6; 11	10,5	17,5	6	
TДTHЖ - 25000/110	25	115	38,5; 27,5	6,6; 11; 27,5	17	10,5	6	
TДTH - 40000/110	40	115	11; 22; 38,5	6,6; 11	10,5(17)	17(10,5)	6	
TДTHЖ - 40000/110	40	115	27,5; 38,5	6,6; 11; 27,5	10,5(17)	17(10,5)	6	
TДTH - 63000/110	63	115	38,5	6,6; 11	10,5	17	6	
TДЦTH - 80000/110	80	115	38,5	6,6; 11	10,5(17)	17(10,5)	6	
TMTH - 6300/110	58	14	1,2	9,7	225,7	0	131,2	
TДTH - 10000/110	76	17	1,1	5	142,2	0	82,7	
TДTH - 16000/110	100	23	1,0	2,6	88,9	0	52	
TДTH - 25000/110	140	31	0,7	1,5	56,9	0	35,7	
TДTHЖ - 25000/110	140	45	0,7	1,5	56,9	33	0	
TДTH - 40000/110	200	43	0,6	0,8	35,5	0(22,3)	22,3(0)	
TДTHЖ - 40000/110	200	63	0,8	0,8	35,5	0(20,7)	20,7(0)	
TДTH - 63000/110	290	56	0,7	0,5	22,0	0	13,6	
TДЦTH - 80000/110	390	82	0,8	0,4	17,7	0(10,3)	10,3(0)	

Eslatma: Yuqori chulg'amida YuOR $\pm 8 \times 1,5\%$ qurilmasiga ega bo'lgan TДTHЖ-40000 transformatoridan tashqari barcha transformatorlar yuqori chulg'amining neytralida YuOR $\pm 9 \times 1,78\%$ qurilmasiga ega.

220 kV kuchlanishli uch fazali ikki chulg' amlı transformatorlar

Tip	S_{nom} kVA	Rostlash chegaralari	Katalog ma'lumotlar			Hisobiy ma'lumotlar					
			Chulg' amlarning nom. kuch. kV		U_q %	ΔP_s kVt	ΔP_s kVt	$I_{s\phi}$ %	$R_{T\phi}$ Om	$X_{T\phi}$ Om	ΔQ_s kVAR
			YuK	PK							
TP/II-40000/220	40	$\pm 8 \times 1,5\%$	230	11/11; 6,6/6,6	12	170	50	0,9	5,6	158,7	360
TP/III-63000/220	63	$\pm 8 \times 1,5\%$	230	6,6/6,6; 11/11	12	300	82	0,8	3,9	100,7	504
TP/II-80000/220	80	$\pm 2 \times 2,5\%$	242	6,3; 10,5; 13,8	11	320	105	0,6	2,9	80,5	480
TP/III-100000/220	100	$\pm 8 \times 1,5\%$	230	11/11;	12	360	115	0,7	1,9	63,5	700
TP/II-125000/220	125	$\pm 2 \times 2,5\%$	242	10,5; 13,8	11	380	135	0,5	1,4	51,5	625
TP/III-160000/220	160	$\pm 8 \times 1,5\%$	230	11/11; 38,5	12	525	167	0,6	1,08	39,7	960
TP/II-200000/220	200	$\pm 2 \times 2,5\%$	242	13,8; 15,75; 18	11	580	200	0,45	0,77	32,2	900
TP/II-250000/220	250	-	242	13,8; 15,75	11	650	240	0,45	0,55	25,7	1125
TP/II-400000/220	400	-	242	13,8; 15,75; 20	11	880	330	0,4	0,29	16,1	1600
TI-630000/220	630	-	242	15,75; 18	12,5	1300	380	0,35	0,17	11,6	2200
TI-1000000/220	1000	-	242	24	11,5	2200	480	0,35	0,2	6,7	3500

Eslatma: Kuchlanishni rostlash yuqori chulg' amlning neytralida amalga oshiriladi.

220 kV kuchlanishli uch fazali uch chulg'amli transformatorlar va avtotransformatorlar

Tip	S ^{nom} , MVA	Rostlash chegaralari	Katalog ma'lumotlari					
			Chulg'amlarning nom. kuch. kV			U _g , %		
			YuK	O'K	PK	Yu - O [*]	Yu - P	O [*] - P
TДТН - 25000/220	25	±12×1%	230	38,5	6,6; 11	12,5	20	6,5
TДТНЖ - 25000/220	25	±8×1,5%	230	27,5; 38,5	6,6; 11; 27,5	12,5	20	6,5
TДТН - 40000/ 220	40	±12×1%	230	38,5	6,6; 11	12,5	22	9,5
TДТНЖ - 40000/ 220	40	±8×1,5%	230	27,5; 38,5	6,6; 11; 27,5	12,5	22	9,5
ATДТН - 63000/220/110	63	±6×2%	230	121	6,6; 11; 27,5; 38,5	11	35,7	21,9
ATДТН - 125000/220/110	125	±6×2%	230	121	6,6; 11; 38,5	11	45	28
ATДТН - 200000/220/110	200	±6×2%	230	121	6,6; 11; 15,75; 38,5	11	32	20
ATДТН - 250000/220/110	250	±6×2%	230	121	10,5; 38,5	11,5	33,4	20,8

II.7 – jadvalning davomi

Tip	Katalog ma'lumotlari					Hisobiy ma'lumotlar							
	ΔP_{at} kVt				$I_{s\phi}$ %	$R_T, \Omega m$			$X_T, \Omega m$			ΔQ_{Σ} , kVAR	
	Yu-O'	Yu-P	O' - P	- P		YuK	O'K	PK	YuK	O'K	PK		
	135	-	-	-	50	1,2	5,7	5,7	5,7	275	0	148	300
	135	-	-	-	50	1,2	5,7	5,7	5,7	275	0	148	300
	220	-	-	-	55	1,1	3,6	3,6	3,6	165	0	125	440
	240	-	-	-	66	1,1	3,9	3,9	3,9	165	0	125	440
	215	-	-	-	45	0,5	1,4	1,4	2,8	104	0	195,6	315
63000/220/110													
ATДЦТН-	305	-	-	-	65	0,5	0,55	0,48	3,2	59,2	0	131	625
125000/220/110													
ATДЦТН-	430	-	-	-	125	0,5	0,3	0,3	0,6	30,4	0	54,2	1000
200000/220/110													
ATДЦТН-	520	-	-	-	145	0,5	0,2	0,2	0,4	25,5	0	45,1	1250
250000/220/110													

Eslatma: 1. Avtotransformatorlar uchun past chulg'aning quvvati nominal quvvatining 50% ga teng. 2. Kuchlanishni rostlash yuqori chulg'aning neytralidagi YuOR $\pm 8 \times 1,5\%$; $\pm 12 \times 1\%$ yoki o'rta chulg'am tomonidagi YuOR $\pm 6 \times 2\%$ hisobiga amalga oshiriladi.

III ILOVA

III.1-jadval

Elektr iste'molchilarida kuchlanishning ruxsat etilgan oqishi

Elektr iste'molchisining turi va vazifasi	Kuchlanishning eng katta ruxsat etilgan oqishi, %	
Elektr motorlari	+10	-5
Jamoat binolari, sanoat korxonalari va tashqi proyektor qurilmalarining yoritish chiroqlari	+5	-2,5
Qolgan elektr qabul qilgichlar	+5	-5

III.2-jadval

6-110 kV kuchlanishli kondensator batareyalari

Batareyaning nominal kuchlanishi, U_{nom} , kV	O'rnatilgan quvvati, MVAR	Kuchlanish turlicha bo'lganda beruvchi quvvati, MVAR		Parallel shoxobchalar soni	Bitta shoxobchada ketma-ket ulangan kond. soni	Kondensatorlar ning umumiy soni
		I, IU_{nom}	U_{nom}			
6	2,9/6	2,4/4,9	2,0/4,1	4	4	48
10	5/10,5	3,8/7,9	3,2/6,5	4	7	84
35	17,3/36	13,5/28	11,2/23,2	4	24	288
110	52/108	44,5/93	36,8/77	4	72	861

Eslatma: Suratda KC2-1,05-60, maxrajda esa – KCK2-1,05-125 tipdagi kondensatorli batareyalar uchun ma'lumotlar keltirilgan.

Kondensator qurilmalarining asosiy xarakteristikalar

Qurilmaning tipi	Nominal kuchlanishi, kV	Ichki qurilma		Solishtirma isroflar, kVT/kVAR
		Quvvati, kVAR		
KKY-0,38-1	0,38	80		0,0045
KKY-0,38-3	0,38	160		0,0045
KKY-0,38-4	0,38	160		0,0045
KKY-0,38-5	0,38	280		0,0045
KKY -6-1	6	330		0,003
KKY -6-2	6	500		0,003
KKY -10-1	10	330		0,003
KKY -10-2	10	500		0,003
Tashqi qurilma				
KYH-6-2	6	420		0,003
KYH-10-2	10	400		0,003

Sinxron kompensatorlar

Tip	Nominal ko'rsatkichlar			Isroflar, kVt
	S_{nom}, MVA	U_{nom}, kV	I_{nom}, kA	
KC-10000-6	10	6,3; 10,5	0,87	250
KC-16000-6	16	6; 11	-	355
KC-25000-11	25	-	-	370
KC-32000-11	32	-	-	525
KCB-50000-11	50	10,5(11)	2,36	750
KCB-100000-11	100	10,5(11)	5,25	1300
KCB-160000-15	160	15	5,86	1750

GLOSSARIY

Almashtirish sxemasi – muayyan tarmoq elementining shunday grafik tasviriki, unda ushbu element originali uchun xarakterli bo‘lgan barcha fizik xususiyatlar o‘z aksini topadi.

Elektr energetika tizimi – issiqlik va elektr energiyalarini ishlab chiqarish, uzatish, taqismlash va o‘zgartirish uchun xizmat qiluvchi umumiy ish holatiga ega bo‘lgan sun‘iy tizim.

Elektr tizimi – elektr energiyani ishlab chiqarish, uzatish, taqismlash va o‘zgartirish uchun xizmat qiluvchi umumiy ish holatiga ega bo‘lgan sun‘iy tizim. Elektr tizimi elektr energetika tizimining qismi hisoblanadi.

Elektr tarmog‘i – elektr tizimining muayyan xududdagi qismi bo‘lib, u elektr energiyani uzatish, o‘zgartirish va taqismlash uchun xizmat qiladi.

Ochiq elektr tarmog‘i – barcha punktlari elektr energiya bilan faqat bitta yo‘nalishdan ta‘minlanuvchi elektr tarmog‘i.

Yopiq elektr tarmog‘i – har bir punkti elektr energiya bilan kamida ikkita yo‘nalishdan ta‘minlanuvchi elektr tarmog‘i.

Sodda yopiq elektr tarmog‘i – punktlari ikkitadan ortiq bo‘lmagan yo‘nalishdan elektr energiya bilan ta‘minlanuvchi yopiq elektr tarmog‘i.

Murakkab yopiq elektr tarmog‘i – ikkitadan ortiq yo‘nalishdan elektr energiya bilan ta‘minlanuvchi punktlarga ega bo‘lgan yopiq elektr tarmog‘i.

Xalqasimon elektr tarmog‘i – yagona ta‘minlash markaziga ega bo‘lib, bita konturdan tashkil topgan yopiq elektr tarmog‘i.

Radial elektr tarmog‘i – har bir elektr iste‘molchisini ta‘minlash markazi bilan alohida tutashtiruvchi ochiq elektr tarmog‘i.

Magistral elektr tarmog‘i – Ta‘minlash markazini bir yo‘nalishdagi bir nechta iste‘molchilar bilan ketma-ket tutashtiruvchi ochiq elektr tarmog‘i.

Rezervlangan ochiq elektr tarmog‘i – ikkita o‘zaro parallel zanjirlardan tashkil topgan yoki almashlab ulash amalga oshirilganda ikkinchi yo‘nalish orqali ta‘minlanib, 1- va 2-toifadagi iste‘molchilarga elektr energiya uzatish uchun xizmat qiluvchi ochiq elektr tarmog‘i.

Elektr tizimini vujudga keltiruvchi elektr tarmog‘i – o‘ta yuqori nominal kuchlanishlarda ishlovchi katta quvvatli elektr stansiyalari va tizimlarini o‘zaro bog‘lab, yagona boshqariluvchi ob‘ket sifatida faoliyat ko‘rsatuvchi birlashgan energetik tizimni hosil qiluvchi elektr tarmog‘i.

Ta‘minlovchi elektr tarmog‘i – elektr tizimini vujudga keltiruvchi tarmoqlarni va qisman elektr stansiyalarining 110-220 kV nominal kuchlanishli shinalarini taqsimlovchi elektr tarmoqlarining ta‘minlash markazlari bilan bog‘lovchi elektr tarmog‘i.

Taqsimlovchi elektr tarmog‘i – elektr iste‘molchilariga bevosita ulanib, ularni ta‘minlash markazlari bilan bog‘lovchi va elektr energiyani qisqa masofalarga uzatish uchun xizmat qiluvchi elektr tarmog‘i.

O‘tkazgichlari parchalangan elektr uzatish liniyasi – har bir fazasida ikki yoki undan ortiq o‘tkazgich o‘rnatiluvchi elektr uzatish liniyasi.

Chulg‘amlari parchalangan transformator – nominal kuchlanishi bir xil bo‘lgan ikki yoki undan ortiq chulg‘amga ega bo‘lgan transformator.

Elektr tarmog‘i almashtirish sxemasining hisobiy parametri – elektr tarmog‘ining almashtirish sxemasini ta‘riflovchi va qiymati uning holatiga bog‘liq bo‘lmagan parametr.

Elektr tarmog'ining holat parametrlari – elektr tarmog'ining maayyan paytlagi holatini belgilovchi parametrlar.

Elektr tarmog'ining barqarorlashgan holati – elektr tarmog'ining holat parametrlari amaliy ravishda o'zgarmas yoki juda kam o'zgaruvchan bo'lgan holati.

Elektr tarmog'ining avariya holati – elektr tarmog'ining holat parametrlarini qiymatlari avariya ro'y berganda ruxsat etilmagan miqdorda bo'lgan ish holati.

Elektr tarmog'ining avariya dan keyingi holati – elektr tarmog'ining avariya bartaraf etilganidan keyingi barqarorlashgan holati.

Elektr tarmog'ining maksimal (minimal) ish holati – elektr tarmog'ining umumiy yuklama eng katta (eng kichik) bo'lgan paytdagi ish holati.

Podstansiyaning hisobiy yuklamasi – tugundagi pasaytiruvchi podstansiyaning quyi va o'rta tomonidagi yuklamalar hamda transformatoridagi quvvat isrofi yig'indisidan iborat bo'lgan yuklama.

Elektr tarmog'ida kuchlanishning pasayishi – elektr tarmog'i elementi uchlaridagi kuchlanishlarning kompleks qiymatlarini ayirmasi. (Kuchlanishlar o'rtasidagi geometrik ayirma).

Kuchlanish pasayishining bo'ylama (ko'ndalang) tashkil etuvchisi – kuchlanish pasayishining haqiqiy (mavhum) qismi.

Elektr tarmog'ida kuchlanish isrofi – elektr tarmog'i elementi uchlaridagi kuchlanishlarning modullari ayirmasi.

Elektr qurilmasining nominal kuchlanishi – generator, transformator, elektr tarmoqlari va iste'molchilarining normal ishlashi uchun mo'ljallangan kuchlanish.

Transformator – ikki yoki undan ortiq o'zaro induktiv bog'langan chulg'amlarga ega bo'lib, bir yoki bir nechta o'zgaruvchan tok tizimlarini elektromagnit induksiya orqali boshqa bir yoki bir nechta tok tizimlariga aylantirish uchun xizmat qiluvchi statik elektromagnit qurilma.

Kuch transformatori – elektr tarmoqlarining energiya qabul qilish va undan foydalanish qurilmalarida qo'llaniluvchi transformator.

Rostlovchi transformator – elektr tarmog'i yoki kuch transformatoriga tarmoqdagi yoki agregatdagi kuchlanishni rostlash maqsadida ulanuvchi transformator.

Avtotransformator – ikkita yoki undan ortiq chulg'amlari o'zaro galvanik bog'langan va umumiy qismga ega bo'lgan transformator.

Elektr uzatish liniyasi – elektr energiyasini uzatish uchun xizmat kiluvchi qurilmalar majmuyi.

Ta'minlovchi elektr uzatish liniyasi – muayyan elektr tarmog'ini energiya bilan ta'minlovchi va o'zidan ajralib chiquvchi shoxobchaga ega bo'lmagan elektr uzatish liniyasi.

Havodagi elektr uzatish liniyasining yashindan himoyalovchi trosi – elektr uzatish liniyasining faza o'tkazgichlari ustida yashinning bevosita urilishidan himoyalash uchun o'rnatilgan va erga bevosita yoki uchqun oralig'i orqali ulangan sim.

Havodagi elektr uzatish liniyasining tayanchi – havodagi elektr uzatish liniyasining simlari va troslarini bir-biriga, erga yoki suvga nisbatan ma'lum masofada tutib turuvchi qurilma.

Izolyator – turlicha elektr potentsiallar ostidagi elektr qurilmalar yoki ularning alohida qismlarini elektr izolyasiyalash va mexanik mahkamlash uchun xizmat qiluvchi elektrotexnik qurilma.

Elektr uzatish liniyasining izolyatori – elektr uzatish liniyalari va elektr stansiyalarida ishlatilish uchun mo'ljallangan izolyator.

Elektr uzatish liniyasining armaturasi – quyidagi vazifalardan biri yoki bir nechtasini bajaruvchi qurilma: o'tkazgichlar, yashindan himoyalovchi troslar va boshqa osmalarni havodagi elektr uzatish liniyalarining tayanchlariga va taqsimlovchi qurilmalarga osish va mahkamlash; o'tkazgichlarni ulash, taranglash va belgilangan masofada tutib turish; o'tkazgichlar va troslar titrashini so'ndirish; izolyator shodalarini elektr yoyi ta'siridan himoyalash; shtirli izolyatorlarni o'rnatish va ularga o'tkazgichlarni mahkamlash.

Ko'p (bir) tolali sim – ko'ndalang kesim yuzasi doira shaklida bo'lgan bir nechta (bitta) simdan tashkil topgan sim.

Po'lat-aluminiy sim – ichki simlari (o'zagi) po'latdan va tashqilari aluminiydan tayyorlangan ko'p tolali sim.

Oraliq tayanch – havodagi elektr uzatish liniyasi trassasining to'g'ri qismida o'rnatilib, simlarni osib qo'yish uchun mo'ljallangan tayanch.

Anker tayanch – havodagi elektr uzatish liniyasining turli injenerlik inshootlari bilan kesishish, tugash, burilish kabi muhim nuqtalarida hamda to'g'ri qismida bir nechta oraliq tayanchlaridan keyin joylashtirilib, simlar qat'iy mahkamlanadigan tayanch.

Kabel – umumiy germetik qobiqqa ega bo'lgan ko'p tolali sim yoki o'zaro izolyasiyalangan bir nechta simlar birligi.

Kabel izolyasiyasi – kabelda tok o'tkazuvchi simlarni bir-biridan va tashqi himoya qobig'idan izolyasiyalash uchun xizmat qiluvchi material.

Kabel o'zagi – kabelning qobig'i yoki ekrani ichida joylashuvchi qismi.

Kuch kabeli – elektr energiyasining sanoat chastotasidagi tokda uzatuvchi kabel.

Shimdirilgan qog'oz izolyasiyali kabel – izolyasiyasi ko'p qatlamli qog'oz va shimdiriluvchi izolyasion birikmadan tashkil topgan kuch kabeli.

Qovushqoq shimdiriluvchi birikmali kabel – moy-kanifol yoki qovushqoqligi shunga o'xshash izolyasion birikma shimdirilgan qog'oz izolyasiyali kuch kabeli.

Izolyasiyasi moysizlangan kabel (izolyasiyasi quritilgan kabel) – birikmaning shimilishidan qolgan qismi butunlay yoki qisman quritish yo'li bilan yo'qotiluvchi shimdirilgan qog'oz izolyasiyali kabel.

Zirhlangan kabel – tashqi mexanik ta'sirdan himoyalovchi po'lat tasma yoki simlardan tashkil topgan zirhga ega bo'lgan kabel.

Moy to'ldirilgan quvurdagi kabel – bosimli moy bilan to'ldirilgan quvurda joylashgan kabel.

Gaz to'ldirilgan ichki bosimli kabel (Gaz to'ldirilgan kabel) – Moysizlangan yoki oldindan shimdirilgan qog'oz yoki plastmassa izolyasiya tarkibiga kiruvchi gaz tomonidan xosil qilingan qo'shimcha bosim ostidagi kabel.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Safarov A.M., Gayibov T.Sh., Sulliyev A.X. Elektr tarmoqlari va tizimlari: o'quv qo'llanma. O'zbekiston Respublikasi Oliy va O'rta maxsus ta'lim vazirligi. Toshkent. Tafakkur bo'stoni. 2013.-224 b.
2. Gayibov T.Sh. Elektr tarmoqlari va tizimlari /O'quv qo'llanma. – T.: «Voris-nashriyot». 2010g. 160 b.
3. Гайибов Т.Ш. Электр тармоклари ва тизимлари. Мисол ва масалалар тўплами. –Т.: ТошДТУ, 2006.
4. T.Sh. Gayibov, H.F. Shamsutdinov, B.M. Pulatov Elektr tarmoqlari va tizimlari fanidan kurs loyihasini bajarish uchun uslubiy qo'llanma.- Toshkent: ToshDTU, 2015-57b.
5. Electric Power Systems/ B.M.Weedy, B.J.Cory, N.Jenkins, J.B.Ekanayake, G.Strbac.- 5th ed., UK, A John Wiley and Sons, 2012.
6. J. Duncan Glover, Mulucutla s. Sarma, Thomas J. Overbye. Power System Analysis and Design/Fifth edition.- Australia, Brazil, Japan, United Kingdom, USA. CANGAGE Learning. 2010.
7. Arthur R. Bergen/ Power Systems Analysis / 2000.

Qo'shimcha adabiyotlar

8. Мирзиёв Ш.М. Танқидий таҳлил, қатъий тартиб-интизом ва шахсий жавобгарлик – ҳар бир раҳбар фаолиятининг кундалик қондаси бўлиши керак. Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамасининг 2016 йил якунлари ва 2017 йил истиқболларига бағишланган мажлисидаги Ўзбекистон Республикаси Президентининг нутқи. // Халқ сўзи газетаси. 2017 йил 16 январь, №11.
9. Мирзиёев Ш.М. Эркин ва фаровон, демократик Ўзбекистон давлатини биргаликда барпо этамиз. Ўзбекистон Республикаси Президентининг лавозимига киришиш тантанали маросимига бағишланган Олий Мажлис палаталарининг қўшма мажлисидаги нутқи. –Т.: “Ўзбекистон” НМИУ, 2016. – 56 б.
10. Мирзиёев Ш.М. Буюк келажакимизни мард ва олижаноб халқимиз билан бирга курамиз. - Т.: “Ўзбекистон” НМИУ, 2017. – 488 б.
11. Ўзбекистон Республкасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида. - Т.:2017 йил 7 февраль, ПФ-4947-сонли Фармони.
12. Лыкин А.В. Электрические системы и сети: Конспект лекций. Ч.1 – Изд-во YUNE Новосибирск,2000.- 83 с.

13. Лыкин А.В. Электрические системы и сети: Конспект лекций. Ч.1 – Изд-во YUNE Новосибирск, 2001.- 92 с.

14. Сычев П.В., Федин В.Т. Электрические сети энергетических систем Учеб. Пособие.-Мн.: Университетская, 1999. – 255 с.

Internet saytlar

15. www.ZiyoNet.uz

16. www.uzenergy.uzpak.uz

17. www.energystrategy.ru

18. www.Knigainfo.ru

19. www.twirpx.com

KIRISH.....	3
1. ELEKTR TARMOQ ELEMENTLARINING ALMASHTIRISH SXEMALARI VA HISOB PARAMETRLARI.....	4
1.1 Elektr uzatish liniyalarining almashtirish sxemalari va hisob parametrlari ..	4
1.2 Transformator va avtotransformatorlarning almashtirish sxemalari	8
1.3. Masalalar yechish namunalari.....	14
1.4 Mustaqil yechish uchun masalalar	22
2. TA'MINLOVCHI OCHIQ ELEKTR TARMOQLARINING HOLATLARINI HISOBLASH.....	26
2.1. Elektr uzatish liniyalarining holatlarini hisoblash, oxirida ulangan yuklama toki va kuchlanishi ma'lum bo'lgan EUL holatini hisoblash.	26
2.2. Masalalar yechish namunalari.....	30
2.3. Mustaqil yechish uchun masalalar	38
3. TAQSIMLOVCHI ELEKTR TARMOQLARINING HOLATLARINI HISOBLASH.....	40
3.1. $U_N \leq 35$ kV bo'lgan taqsimlovchi elektr tarmoqlarni xisoblashda qabul qilinuvchi soddalashtirishlar	40
3.2. Taqsimlovchi elektr tarmoqlarda kuchlanish isrofining eng kata qiymatini xisoblash.....	41
3.3. Masalalar yechish namunalari.....	43
3.4. Mustaqil yechish uchun masala	45
4. YOPIQ ELEKTR TARMOQLARINING HOLATLARINI HISOBLASH.....	47
4.1. Sodda yopiq elektr tarmoqlarda quvvat oqimlari va tugun kuchlanishlarini hisoblash.....	47
4.2. Murakkab yopiq elektr tarmoqlarda quvvat oqimlarining taqsimlanishini hisoblash.....	52
4.3. Masalalar yechish namunalari.....	55
4.4. Mustaqil yechish uchun masalalar	63
5. ELEKTR TARMOQLARIDA KUCHLANISHNI ROSTLASH	65
5.1. Umumiy tushunchalar	65
5.2. Kuchlanishni qarama-qarshi rostdash	66
5.3. Pasaytiruvchi podstantsiyalarda kuchlanishni rostdash.....	68
5.4. Kuchlanishni tarmoqning qarshiligini o'zgartirib rostdash.....	73
5.5. Kuchlanishni reaktiv quvvat oqimini o'zgartirib rostdash.....	77
5.6. Masalalar yechish namunalari.....	78
5.7. Mustaqil yechish uchun masalalar	96

6. ELEKTR TARMOQLARIDA QUUVAT VA ENERGIYA ISROFLARINI HISOBLASH.....	100
6.1 Elektr tarmoqlarida energiya isroflarini yuklama grafigi va maksimal isroflar vaqti bo'yicha hisoblash.....	100
6.2. Masalalar yechish namunalari.....	105
6.3. Mustaqil yechish uchun masalalar.....	108
7. ELEKTR UZATISH LINIYALARI O'TKAZGICHLARINING KESIM YUZALARINI TANLASH.....	111
7.1. O'tkazgichning kesim yuzasini tokning iqtisodiy zichligi bo'yicha tanlash	111
7.2. Havo EUL o'tkazgichi kesim yuzasini iqtisodiy intervallar bo'yicha tanlash	115
7.3. Taqsimlovchi elektr tarmoqlarida EUL o'tkazgichining kesim yuzasini ruxsat etilgan kuchlanish isrofi bo'yicha tanlashning xarakterli xususiyatlari.....	117
7.4. Masalalar yechish namunalari.....	123
7.5. Mustaqil yechish uchun masalalar	134
8. ELEKTR TARMOQLARIDA QUUVAT VA ENERGIYA ISROFLARINI KAMAYTIRISH TADBIRLARI.....	137
8.1. Ta'minlovchi elektr tarmoq holatini reaktiv quvvat, kuchlanish va transformatsiyalash ko'effitsiyentlari bo'yicha optimallashtirish.....	137
8.2. Taqsimlovchi elektr tarmoqlarda quvvat va energiya isrofini kamaytirish.....	143
8.3. Masalalar yechish namunalari.....	144
8.4. Mustaqil yechish uchun masalalar	147
I-ILOVA	149
II – ILOVA	153
III ILOVA	163
GLOSSARY.....	164
FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR	168

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. СХЕМА ЗАМЕЩЕНИЯ И РАСЧЁТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ...	4
1.1. Схема замещения и расчётные параметры ЛЭП.....	4
1.2. Схемы замещения и расчётные параметры трансформаторов и автотрансформаторов.....	8
1.3. Примеры решения задачи.....	14
1.4. Задачи для самостоятельного решения.....	22
2. РАСЧЕТ РЕЖИМОВ РАЗОМКНУТОЙ ПИТАЮЩЕЙ СЕТИ..	26
2.1. Расчет режима линии электропередачи, расчет режима линии электропередачи при заданном токе нагрузки и напряжений.....	26
2.2. Примеры решения задачи.....	30
2.3. Задачи для самостоятельного решения.....	38
3. РАСЧЕТ РЕЖИМОВ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ.....	40
3.1. Принимающие упрощение при расчете разомкнутых распределительных сетей $U_{ном} \leq 35$ кВ.....	40
3.2. Расчет максимальной значений потери напряжений в распределительной сети.....	41
3.3. Примеры решения задачи.....	43
3.4. Задачи для самостоятельного решения.....	45
4. РАСЧЕТ РЕЖИМОВ ЗАМКНУТЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ.....	47
4.1. Расчет потоков мощности и узловых напряжений в простых замкнутых электрических сетях.....	47
4.2. Расчет распределения мощности в сложных замкнутых электрических сетях.....	52
4.3. Примеры решения задачи.....	55
4.4. Задачи для самостоятельного решения.....	63
5. РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ.....	65
5.1. Общие понятие.....	65
5.2. Встречноерегулированиенапряжения.....	66
5.3. Регулирование напряжения на понижающих подстанциях.....	68
5.4. Регулирование напряжения изменением сопротивлениясети.....	73
5.5. Регулирование напряжения изменением потоков реактивной мощности.....	77
5.6. Примеры решения задачи.....	78
5.7. Задачи для самостоятельного решения.....	96
6. РАСЧЕТ ПОТЕРИ МОЩНОСТИ И ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ.....	100

6.1.	Расчет потери мощности в электрических сетях по графику нагрузки и с использованием времени максимальных потерь.....	100
6.2.	Примеры решения задачи.....	105
6.3.	Задачи для самостоятельного решения.....	108
7.	ВЫБОР СЕЧЕНИЯ ПРОВОДНИКОВ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ.....	111
7.1.	Выбор сечения по экономической плотности тока.....	111
7.2.	Выбор сечения воздушных линий по экономическим интервалам.....	115
7.3.	Характерные особенности выбора поперечного сечения ЛЭП провода в распределительной сети по допустимому напряжению.....	117
7.4.	Примеры решения задачи.....	123
7.5.	Задачи для самостоятельного решения.....	134
8.	МЕРОПРИЯТИЯ ПО УМЕНЬШЕНИЮ ПОТЕРИ МОЩНОСТИ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ.....	137
8.1.	Оптимизация режима питающей сети по напряжению, реактивной мощности и коэффициентам трансформации.....	137
8.2.	Снижения потери мощности и энергии в распределительных сетях.....	143
8.3.	Примеры решения задачи.....	144
8.4.	Задачи для самостоятельного решения.....	147
	ПРИЛОЖЕНИЯ – I.....	149
	ПРИЛОЖЕНИЯ – II.....	153
	ПРИЛОЖЕНИЯ – III.....	163
	ГЛОССАРИЙ.....	164
	ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА	168

CONTENTS

INTRODUCTION.....	3
1. EQUIVALENT CIRCUIT AND CALCULATING PARAMETERS OF ELEMENTS OF ELECTRIC POWER SYSTEM.....	4
1.1. Equivalent circuit and calculated parameters of the power transmission line.....	4
1.2. Equivalent circuit and calculated parameters of transformers and autotransformers.....	8
1.3. Examples of solving the problem.....	14
1.4. Tasks for an independent solution.....	22
2. CALCULATION OF OPENED NETWORK MODES.....	26
2.1. Calculation of the power transmission line, calculation of the power transmission line at a given load current and voltage.....	26
2.2. Examples of solving the problem.....	30
2.3. Tasks for an independent solution.....	38
3. CALCULATION OF MODES OF DISTRIBUTION NETWORKS	40
3.1. Accepting simplification in the calculation of open distribution networks $U_{nom} \leq 35$ kV.....	40
3.2. Calculation of the maximum values $U_{nom} \leq 35$ kV of voltage loss in the distribution network.....	41
3.3. Examples of solving the problem.....	43
3.4. Tasks for an independent solution.....	45
4. CALCULATION OF THE MODES OF THE CLOSED ELECTRIC NETWORKS.....	47
4.1. Calculation of power flows and nodal voltages in simple closed electric networks.....	47
4.2. Calculation of power distribution in complex closed electrical networks.....	52
4.3. Examples of solving the problem.....	55
4.4. Tasks for an independent solution.....	63
5. VOLTAGE REGULATION IN ELECTRIC NETWORKS.....	65
5.1. General concepts.....	65
5.2. Counter voltage regulation.....	66
5.3. Voltage regulation at step-down substations.....	68
5.4. Voltage regulation by changing the resistance of the network.....	73
5.5. Voltage regulation by changing reactive power flows.....	77
5.6. Examples of solving the problem.....	78
5.7. Tasks for an independent solution.....	96
6. CALCULATION OF LOSS OF POWER AND ENERGY IN ELECTRIC NETWORKS.....	100

6.1. Calculation of power loss in electric networks according to the load schedule and using the time of maximum losses.....	100
6.2. Examples of solving the problem.....	105
6.3. Tasks for an independent solution.....	108
7. SELECTION OF THE SECTION OF THE CONDUCTORS OF THE LINE ELECTRIC TRANSMISSIONS.....	111
7.1. The choice of the cross section for the economic current density.....	111
7.2. The choice of the cross-section of overhead lines at economic intervals.....	115
7.3. Characteristic features of the choice of the cross section of the power transmission line wires in the distribution network for the permissible voltage.....	117
7.4. Examples of solving the problem.....	123
7.5. Tasks for an independent solution.....	134
8. ACTIONS TO REDUCE LOSS POWER AND ELECTRICITY ON ELECTRIC NETWORKS.....	137
8.1. Optimization of the supply network mode in terms of voltage, reactive power and transformation ratios.....	137
8.2. Reducing the loss of power and energy in distribution networks.....	143
8.3. Examples of solving the problem.....	144
8.4. Tasks for an independent solution.....	147
APPENDICES-I	149
APPENDICES-II.....	153
APPENDICES-III.....	163
GLOSSARY.....	164
REFERENCES.....	168

T.SH. GAYIBOV, B.M. PULATOV,
A.E. SHANAZAROV

**ELEKTR TARMOQLARI VA TIZIMLARI
MISOL VA MASALALAR TO‘PLAMI**

Muharrir: S.Hoshimov
Musahhih: S.Alimboyeva
Sahifalovchi: A. Hidoyatov

Nashriyot litsenziyasi №AI 242,04.7.2013 y.
Offset qog‘ozi. Bosishga ruxsat etildi 25.01.2022.
Formati 60x84 1/16. Garnitura «Times New Roman».
Bosma taboq 11 Adadi 50. nusxa. Buyurtma № 014.

«VNESHINVESTPROM» mas’uliyati cheklangan jamiyati.
100011, Toshkent shahri, Navoiy ko‘chasi, 30.
Tel./faks:(+99871) 244-75-75