

TAQSIMLOVCHI ELEKTR TARMOQLARIDA HOSIL BO'LADIGAN ISROFLARGA QUUVAT VA YUKLANISH KOEFFITSIENTLARINING TA'SIRI

Normamatov Doniyor Jonuzoq o'g'li

Tel.: +998 91 211 20 09

E-mail: normamatovdoniyor0101@gmail.com

Annotatsiya. Maqolada 0,4–10 kV taqsimlovchi elektr tarmoqlarida faol quvvat va energiya isroflarining shakllanishiga quvvat koeffitsienti ($\cos \varphi$) hamda yuklanish koeffitsientining ta'siri tahlil qilingan. 10 kV havo liniyasi va TM-630/10 transformatori misolida isroflarning $\cos \varphi$, yuklanish koeffitsienti va yuklanish grafigi shakliga bog'liqligi hisoblab ko'rsatilgan. Natijalarga ko'ra, $\cos \varphi$ ni 0,75 dan 0,95 ga oshirish liniyadagi yillik energiya isrofini taxminan 38 % ga kamaytiradi; transformator uchun optimal yuklanish koeffitsienti 0,41 atrofida bo'ladi. Olingan xulosalar taqsimlovchi tarmoqlarda isroflarni kamaytirish bo'yicha tadbirlarni asoslashda foydalanilishi mumkin.

Kalit so'zlar: taqsimlovchi tarmoq, quvvat isrofi, energiya isrofi, quvvat koeffitsienti, yuklanish koeffitsienti, reaktiv quvvat kompensatsiyasi, transformator.

Abstract. The paper analyses the influence of the power factor ($\cos \varphi$) and the load factor on active power and energy losses in 0.4–10 kV distribution networks. Using a 10 kV overhead line and a TM-630/10 transformer as an example, the dependence of losses on $\cos \varphi$, load factor and load-curve shape is calculated. The results show that raising $\cos \varphi$ from 0.75 to 0.95 reduces annual energy losses in the line by about 38 %, while the optimal transformer load factor is about 0.41. The conclusions can be used to justify loss-reduction measures in distribution networks.

Keywords: *distribution network, power loss, energy loss, power factor, load factor, reactive power compensation, transformer.*

Аннотация. *В статье анализируется влияние коэффициента мощности ($\cos \varphi$) и коэффициента загрузки на потери активной мощности и энергии в распределительных сетях 0,4–10 кВ. На примере воздушной линии 10 кВ и трансформатора ТМ-630/10 рассчитаны зависимости потерь от $\cos \varphi$, коэффициента загрузки и формы графика нагрузки. Показано, что повышение $\cos \varphi$ с 0,75 до 0,95 снижает годовые потери энергии в линии примерно на 38 %, а оптимальный коэффициент загрузки трансформатора составляет около 0,41.*

Ключевые слова: *распределительная сеть, потери мощности, потери энергии, коэффициент мощности, коэффициент загрузки, компенсация реактивной мощности, трансформатор.*

KIRISH

Elektr energiyasini ishlab chiqarishdan iste'molchigacha yetkazib berish jarayonida uning ma'lum qismi o'tkazgichlar va transformatorlarda issiqlikka aylanib, qaytarilmas yo'qotiladi. Bu yo'qotishlar elektr tarmoqlari isroflari deb ataladi. Isroflar nafaqat energiya yetkazib beruvchi tashkilotlarning iqtisodiy ko'rsatkichlariga, balki tarmoqning o'tkazish qobiliyatiga, kuchlanish sifatiga va jihozlarning xizmat muddatiga ham bevosita ta'sir qiladi. Shu sababli isroflarni kamaytirish energiya samaradorligini oshirishning asosiy yo'nalishlaridan biri hisoblanadi [1, 2].

Taqsimlovchi tarmoqlar (0,4–10 kV) uzunligi katta, tarmoqlangan va yuklanishlari xilma-xil bo'lgani uchun isroflarning ancha qismi aynan shu bosqichda hosil bo'ladi. Magistral tarmoqlardan farqli ravishda bu

yerda yuklanishlar ko'pincha notekis, quvvat koeffitsienti past, transformatorlar esa tez-tez nominaldan past yuklanish bilan ishlaydi. Natijada tarmoq elementlarining ish rejimi optimal rejimdan chetlashadi va qo'shimcha isroflar paydo bo'ladi [3, 4].

Faol quvvat isrofi tok kvadratiga proporsional bo'lgani uchun uni belgilovchi ikki asosiy rejim parametri mavjud: quvvat koeffitsienti $\cos \varphi$ va yuklanish koeffitsienti. Quvvat koeffitsienti iste'molchi bilan almashinadigan reaktiv quvvat ulushini, yuklanish koeffitsienti esa element nominal quvvatidan qanchalik foydalanilayotganini tavsiflaydi. Ushbu ikki ko'rsatkichning isroflarga ta'siri sifat jihatidan yaxshi ma'lum, biroq amaliy hisob-kitoblarda ularning birgalikdagi ta'sirini miqdoriy baholash tarmoq rejimini boshqarish va kompensatsiya qurilmalarini joylashtirish masalalarida muhim ahamiyatga ega.

Tadqiqotning maqsadi taqsimlovchi elektr tarmoqlarida quvvat koeffitsienti va yuklanish koeffitsientining faol quvvat hamda energiya isroflariga ta'sirini miqdoriy baholash va isroflarni kamaytirish bo'yicha amaliy tavsiyalar ishlab chiqish.

Maqsadga erishish uchun quyidagi **vazifalar** qo'yildi: (1) isroflarni $\cos \varphi$ va yuklanish koeffitsienti orqali ifodalovchi hisobiy bog'lanishlarni umumlashtirish; (2) 10 kV liniya va 10/0,4 kV transformator uchun isroflarning ushbu parametrlarga bog'liqligini hisoblash; (3) yuklanish grafigi shaklining yillik energiya isrofiga ta'sirini baholash; (4) reaktiv quvvatni kompensatsiyalash samaradorligini aniqlash.

TADQIQOT USUL VA MATERIALLARI

Isroflarni hisoblashning asosiy bog'lanishlari

Uch fazali liniyada faol quvvat isrofi quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta P = 3 \cdot I^2 \cdot R \cdot 10^{-3}, \text{ kW} \quad (1)$$

bu yerda I — liniya toki, A ; R — liniyaning faol qarshiligi, Ω m. Tok to'la quvvat S (kVA) va liniya kuchlanishi U (kV) orqali ifodalanadi:

$$I = S / (\sqrt{3} \cdot U) \quad (2)$$

(2) ifodani (1) ga qo'yib, quvvat isrofini faol (P) va reaktiv (Q) quvvatlar orqali yozish mumkin:

$$\Delta P = (P^2 + Q^2) \cdot R / (1000 \cdot U^2) \quad (3)$$

$Q = P \cdot \operatorname{tg} \varphi$ ekanligini hisobga olsak, quvvat koeffitsientining isrofga ta'sirini aniq ko'rsatadigan ifoda hosil bo'ladi:

$$\Delta P = P^2 \cdot (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi) \cdot R / (1000 \cdot U^2) = P^2 \cdot R / (1000 \cdot U^2 \cdot \cos^2 \varphi) \quad (4)$$

Demak, uzatilayotgan faol quvvat P va kuchlanish U o'zgarmas bo'lganda, isrof $\cos^2 \varphi$ ga teskari proporsionaldir. Yuklanish koeffitsienti elementdagi to'la quvvatning nominal quvvatga nisbati sifatida aniqlanadi: $k_{yu} = S / S_{nom}$. Liniya uchun nominal rejimdagi isrof ΔP_{nom} ma'lum bo'lsa:

$$\Delta P = k_{yu}^2 \cdot \Delta P_{nom} \quad (5)$$

Transformatorlarda isrof ikki tashkil etuvchidan iborat: yuklanishga bog'liq bo'lmagan salt ishlash isrofi ΔP_{xx} (magnit o'zak isrofi) va yuklanish kvadratiga proporsional qisqa tutashuv isrofi ΔP_{qt} :

$$\Delta P_T = \Delta P_{xx} + k_{yu}^2 \cdot \Delta P_{qt} \quad (6)$$

Transformatorning foydali ish koeffitsienti (FIK) maksimal qiymatga salt ishlash va yuklanish isroflari tenglashganda erishadi. Bu shartdan optimal yuklanish koeffitsienti kelib chiqadi:

$$k_{opt} = \sqrt{(\Delta P_{xx} / \Delta P_{qt})} \quad (7)$$

$$\eta = k_{yu} \cdot S_{nom} \cdot \cos \varphi / (k_{yu} \cdot S_{nom} \cdot \cos \varphi + \Delta P_T) \quad (8)$$

Energiya isrofini baholash

Yillik elektr energiya isrofi eng katta yuklanishdagi quvvat isrofi va isroflar eng ko'p bo'lgan vaqt davomiyligi τ orqali topiladi [2]:

$$\Delta W = \Delta P_{max} \tau, \text{ kWh} \quad (9)$$

$$\tau = (0,124 + T_{\max}/10^4)^2 \cdot 8760, \text{ soat} \quad (10)$$

bu yerda $T_{\max}$ — eng katta yuklanishdan foydalanish soatlari, soat/yil. Yuklanish grafigining to'ldirilganlik koeffitsienti $k_g = T_{\max} / 8760$ ifodasi bilan aniqlanadi: u qanchalik past bo'lsa, grafik shunchalik notekis bo'ladi.

Reaktiv quvvat kompensatsiyasi uchun talab etiladigan kondensator batareyasi quvvati:

$$Q_{kq} = P \cdot (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2) \quad (11)$$

bu yerda φ_1 va φ_2 — kompensatsiyadan oldingi va keyingi quvvat burchaklari.

Hisoblash ob'yekti va dastlabki ma'lumotlar

Hisoblashlar uchun tipik taqsimlovchi tarmoq elementlari tanlandi: kuchlanishi $U = 10$ kV, uzunligi 8 km bo'lgan AC-70 markali havo liniyasi (solishtirma qarshiligi taxminan 0,42 Om/km, jami $R = 3,36$ Om) hamda TM-630/10 turidagi moyli transformator ($\Delta P_{xx} = 1,31$ kW, $\Delta P_{qt} = 7,6$ kW, $S_{\text{nom}} = 630$ kVA). Liniya uchun asos quvvat $S_{\text{asos}} = 2500$ kVA deb qabul qilindi. Kuchlanish tarmoq bo'ylab o'zgarmas, liniya qarshiligi esa haroratga bog'liq emas deb faraz qilindi. Hisoblashlar (1)–(11) ifodalar asosida Python muhitida bajarildi.

Hisoblash uchun qabul qilingan dastlabki ma'lumotlar 1-jadvalda umumlashtirilgan.

1-jadval. Hisoblash uchun dastlabki ma'lumotlar

Ko'rsatkich	Belgi	Qiymati
Liniya kuchlanishi	U	10 kV
Liniya uzunligi	L	8 km
Sim markasi, solishtirma qarshilik	AC-70, r_0	0,42 Om/km
Liniyaning faol qarshiligi	R	3,36 Om

Ko'rsatkich	Belgi	Qiymati
Liniyaning asos to'la quvvati	S_{asos}	2500 kVA
Transformator quvvati	S_{nom}	630 kVA
Salt ishlash isrofi	ΔP_{xx}	1,31 kW
Qisqa tutashuv isrofi	ΔP_{qt}	7,6 kW
Yillik vaqt fondi	T	8760 soat

Tadqiqot quyidagi ketma-ketlikda olib borildi: birinchi bosqichda isroflarni belgilovchi parametrlar ($\cos \varphi$, k_{yu} , T_{max}) aniqlandi; ikkinchi bosqichda (1)–(8) ifodalar bo'yicha quvvat isroflari hisoblandi; uchinchi bosqichda (9)–(10) ifodalar yordamida energiya isroflari baholandi; to'rtinchi bosqichda kompensatsiya variantlari (11) ifoda asosida taqqoslandi. Har bir bosqichda bitta parametr o'zgartirilib, qolganlari o'zgarmas ushlab turildi, bu esa har bir omilning alohida ta'sirini ajratib ko'rsatish imkonini berdi.

Eslatma. Keltirilgan natijalar maydon o'lchovlari emas, balki model hisob-kitoblari bo'lib, ular koeffitsientlar ta'sirining qonuniyatlari va tartibini ko'rsatish uchun xizmat qiladi. Real tarmoq uchun natijalar o'lchov ma'lumotlari (hisoblagichlar, yuklanish grafiklari) asosida aniqlashtirilishi lozim.

TADQIQOT NATIJALARI

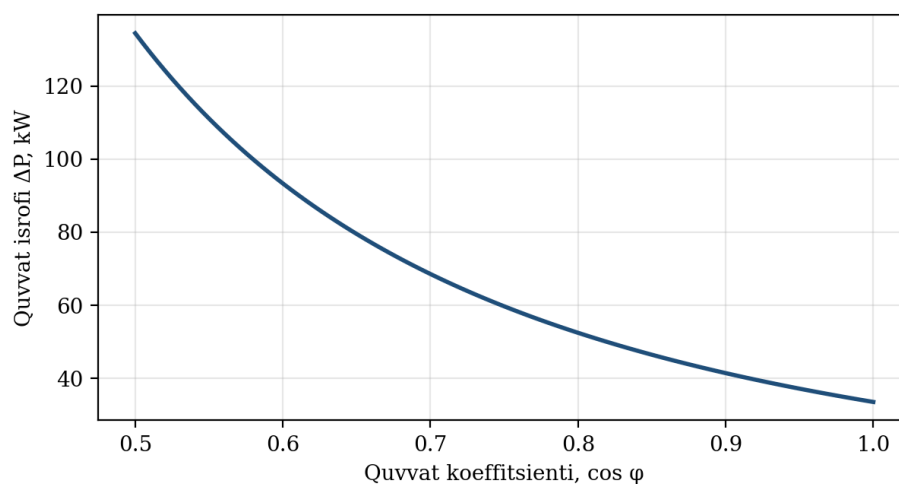
Quvvat koeffitsientining ta'siri

Liniya orqali $P = 1000$ kW faol quvvat uzatilganda $\cos \varphi$ ning 0,6 dan 1,0 gacha o'zgarishiga mos hisoblash natijalari 2-jadvalda keltirilgan.

2-jadval. $\cos \varphi$ ning liniya isrofiga ta'siri ($P = 1000 \text{ kW}$, $U = 10 \text{ kV}$)

$\cos \varphi$	$\text{tg } \varphi$	$S, \text{ kVA}$	$I, \text{ A}$	$\Delta P, \text{ kW}$	$\Delta P/P, \%$
0,60	1,333	1667	96,2	93,33	9,33
0,70	1,020	1429	82,5	68,57	6,86
0,80	0,750	1250	72,2	52,50	5,25
0,90	0,484	1111	64,2	41,48	4,15
0,95	0,329	1053	60,8	37,23	3,72
1,00	0,000	1000	57,7	33,60	3,36

Jadvaldan ko'rinib turibdiki, $\cos \varphi = 0,6$ bo'lganda isrof 93,3 kW (uzatilayotgan quvvatning 9,33 %), $\cos \varphi = 0,9$ da esa 41,5 kW (4,15 %) ni tashkil etadi. Quvvat koeffitsienti 0,7 dan 0,95 gacha oshirilsa, isrof 68,6 kW dan 37,2 kW gacha, ya'ni 45,7 % ga kamayadi. Shu bilan birga, liniya toki 82,5 A dan 60,8 A gacha pasayadi, bu esa tarmoqning qo'shimcha yuklanishlarni qabul qilish imkoniyatini kengaytiradi. Isrofning $\cos \varphi$ ga bog'liqligi chiziqli emas: $\cos \varphi$ birga yaqinlashgan sari har bir qo'shimcha 0,05 birlik oshirishning samarasi kamayib boradi (1-rasm).



1-rasm. $\cos \varphi$ ning liniyadagi isrofga ta'siri ($P = 1000 \text{ kW}$)

Yuklanish koeffitsientining liniya isrofiga ta'siri

$\cos \varphi = 0,9$ da liniya yuklanishi asos quvvatning 20 % dan 100 % gacha o'zgargandagi natijalar 3-jadvalda berilgan.

3-jadval. Yuklanish koeffitsientining liniya isrofiga ta'siri ($\cos \varphi = 0,9$)

k_{yu}	S, kVA	P, kW	ΔP , kW	$\Delta P/P$, %
0,2	500	450	8,4	1,87
0,4	1000	900	33,6	3,73
0,6	1500	1350	75,6	5,60
0,8	2000	1800	134,4	7,47
1,0	2500	2250	210,0	9,33

Natijalar (5) ifodaning kvadratik xarakterini tasdiqlaydi: yuklanish 2 barobar oshganda (0,4 dan 0,8 gacha) mutlaq isrof 33,6 kW dan 134,4 kW gacha, ya'ni 4 barobar ortadi. Nisbiy isrof ($\Delta P/P$) esa yuklanishga to'g'ri proporsional o'sadi: $k_{yu} = 0,2$ da 1,87 % dan $k_{yu} = 1,0$ da 9,33 % gacha. Demak, liniyani nominalga yaqin yuklash uzatilayotgan har bir kilovatt-soat uchun nisbatan ko'proq isrof bilan bog'liq.

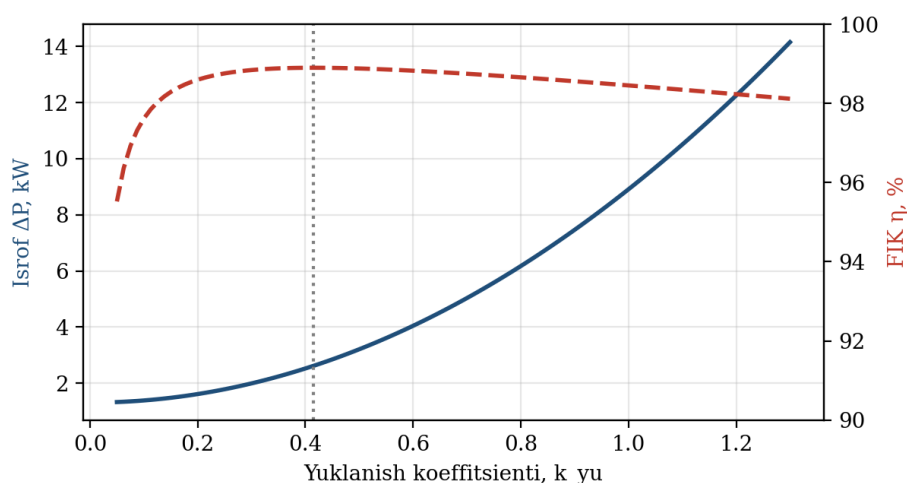
Transformatoridagi isroflar va optimal yuklanish

TM-630/10 transformatori uchun (6) va (8) ifodalar bo'yicha hisoblash natijalari 4-jadvalda keltirilgan.

4-jadval. TM-630/10 transformatorining isroflari va FIK ($\cos \varphi = 0,9$)

k_{yu}	ΔP_T , kW	$\Delta P_T/P$, %	η , %
0,1	1,39	2,44	97,61
0,2	1,61	1,42	98,60
0,3	1,99	1,17	98,84
0,4	2,53	1,11	98,90
0,5	3,21	1,13	98,88
0,6	4,05	1,19	98,82
0,8	6,17	1,36	98,66
1,0	8,91	1,57	98,45
1,2	12,25	1,80	98,23

(7) ifodaga ko‘ra optimal yuklanish koeffitsienti $k_{opt} = \sqrt{1,31/7,6} \approx 0,41$ bo‘lib, bu nuqtada transformator isrofi 2,62 kW, FIK esa 98,90 % ni tashkil etadi. Past yuklanishlarda ($k_{yu} = 0,1$) isrofning asosiy qismini salt ishlash isrofi tashkil etadi va nisbiy isrof 2,44 % gacha oshadi; nominal yuklanishda ($k_{yu} = 1,0$) isrof 8,91 kW, nisbiy isrof esa 1,57 % ga teng. Shuningdek, 20 % ortiqcha yuklanishda ($k_{yu} = 1,2$) isrof 12,25 kW gacha o‘sadi (2-rasm).



2-rasm. TM-630/10 transformatorida isrof va FIKning yuklanish koeffitsientiga bog‘liqligi ($\cos \varphi = 0,9$)

FIK egri chizig‘i $k_{yu} = 0,3-0,6$ oralig‘ida deyarli tekis (98,8 % dan yuqori) bo‘ladi. Bu transformatorni ushbu oralig‘da ishlatish iqtisodiy jihatdan eng maqbul ekanini bildiradi.

Yuklanish grafigi shaklining ta’siri

Bir xil eng katta isrofda yillik energiya isrofi isroflar eng ko‘p bo‘lgan vaqt davomiyligi τ ga bog‘liq. (10) ifoda bo‘yicha hisoblangan qiymatlar 5-jadvalda keltirilgan.

5-jadval. T_{max} va yuklanish grafigining to‘ldirilganligiga qarab τ qiymati

T_{max} , soat	$k_g = T_{max}/8760$	τ , soat
2000	0,228	920

$T_{\max}$, soat	$k_g = T_{\max}/8760$	τ , soat
3000	0,342	1575
4000	0,457	2405
5000	0,571	3411
6000	0,685	4592
7000	0,799	5948

$T_{\max}$ 3000 soatdan 6000 soatgacha oshganda τ qiymati 1575 soatdan 4592 soatgacha, ya'ni qariyb 2,9 barobar ko'payadi. Boshqacha aytganda, bir xil eng katta yuklanishda grafigi tekis (kunduzgi va kechki yuklanish farqi kichik) bo'lgan tarmoqda yillik energiya isrofi ancha yuqori bo'ladi. Shu bois isrofni baholashda faqat eng katta quvvat emas, balki yuklanish grafigining shakli ham hisobga olinishi shart.

Reaktiv quvvat kompensatsiyasining samaradorligi

$P = 1000$ kW, $T_{\max} = 4500$ soat ($\tau = 2886$ soat) bo'lgan holat uchun $\cos \varphi$ ni 0,75 dan 0,85 va 0,95 gacha oshirishning yillik energiya isrofiga ta'siri 6-jadvalda ko'rsatilgan.

6-jadval. Kompensatsiyaning yillik energiya isrofiga ta'siri ($P = 1000$ kW)

$\cos \varphi$	$\Delta P_{\max}$, kW	ΔW , kWh/yil	Kamayish, %
0,75	59,73	172 403	0,0
0,85	46,51	134 224	22,1
0,95	37,23	107 453	37,7

$\cos \varphi$ ni 0,75 dan 0,95 gacha oshirish uchun (11) ifodaga ko'ra $Q_{kq} \approx 553$ kvar quvvatli kondensator batareyasi talab etiladi. Bunda liniyadagi yillik isrof 172 403 kWh dan 107 453 kWh gacha kamayadi, ya'ni yiliga taxminan 64 950 kWh (37,7 %) energiya tejraladi. $\cos \varphi = 0,85$ ga erishishning o'zi isrofni 22,1 % ga kamaytiradi.

cos φ va yuklanish koeffitsientining birgalikdagi ta'siri

Amalda ikkala koeffitsient bir vaqtda o'zgaradi, shuning uchun ularning birgalikdagi ta'sirini baholash muhim. Liniyaning asos faol quvvati $P_{asos} = 2250$ kW ($S_{asos} = 2500$ kVA, $\cos \varphi = 0,9$) deb olinib, yuklanish koeffitsienti $k_{yu} = P/P_{asos}$ va $\cos \varphi$ ning turli qiymatlarida (4) ifoda bo'yicha hisoblangan isroflar 7-jadvalda keltirilgan.

7-jadval. Liniya isrofi ΔP , kW ($\cos \varphi$ va k_{yu} birgalikda)

k_{yu}	$\cos \varphi = 0,7$	$\cos \varphi = 0,8$	$\cos \varphi = 0,9$	$\cos \varphi = 1,0$
0,2	13,9	10,6	8,4	6,8
0,4	55,5	42,5	33,6	27,2
0,6	125,0	95,7	75,6	61,2
0,8	222,2	170,1	134,4	108,9
1,0	347,1	265,8	210,0	170,1

Jadvaldan ko'rinadiki, eng yaxshi ($k_{yu} = 0,2$; $\cos \varphi = 1,0$) va eng yomon ($k_{yu} = 1,0$; $\cos \varphi = 0,7$) rejimlar orasidagi isrof farqi 51 barobarga yetadi: 6,8 kW ga nisbatan 347,1 kW. Nominal yuklanishda ($k_{yu} = 1,0$) $\cos \varphi$ ni 0,7 dan 0,9 gacha oshirish isrofni 347,1 kW dan 210,0 kW gacha, ya'ni 39,5 % ga kamaytiradi, $k_{yu} = 0,4$ da esa shu tadbirning mutlaq samarasi 21,9 kW ni tashkil etadi. Demak, kompensatsiya tadbirlari yuklanishi yuqori bo'lgan liniyalarda mutlaq hisobda eng ko'p energiya tejaydi, nisbiy samara (foizda) esa yuklanishga bog'liq emas va faqat $\cos \varphi$ ning o'zgarishi bilan aniqlanadi.

Bu natija tarmoqdagi tadbirlarni ustuvorlashtirishda foydali: dastlab yuklanishi yuqori va $\cos \varphi$ past bo'lgan liniyalar (odatda sanoat iste'molchilari ulangan fiderlar) kompensatsiya va qayta konfiguratsiya uchun tanlanishi, past yuklangan, ammo $\cos \varphi$ yaxshi bo'lgan fiderlarda esa asosiy e'tibor transformatorlarning salt ishlash isrofini kamaytirishga qaratilishi maqsadga muvofiq.

MUHOKAMA

Olingan natijalar quvvat va yuklanish ko'effitsientlarining isroflarga ta'siri bir-birini to'ldirishini ko'rsatadi. Isrof tok kvadratiga bog'liq, tok esa ham uzatilayotgan faol quvvatga, ham reaktiv tashkil etuvchiga bog'liq. Shuning uchun past $\cos \varphi$ da tarmoq elementlari bir xil foydali quvvat uchun ko'proq tok o'tkazadi va (4) ifodaga ko'ra isrof $1/\cos^2\varphi$ qonuniyati bilan o'sadi. Yuklanish ko'effitsienti esa isrofni kvadratik, nisbiy isrofni esa chiziqli o'zgartiradi. Ikkala parametr yomonlashganda isroflar bir-birini kuchaytiradi: past $\cos \varphi$ da yuklanish oshsa, qo'shimcha isrof kvadratik qonun bo'yicha tez o'sadi.

Liniya va transformator uchun yuklanish ko'effitsientining ta'siri sifat jihatidan har xil. Liniyada isrof faqat yuklanishga bog'liq bo'lgani uchun yuklanishni kamaytirish va uni tarmoq bo'ylab tekis taqsimlash (masalan, tarmoqni qayta konfiguratsiya qilish orqali) isrofni kamaytiradi. Transformatorlarda esa yuklanishning juda past bo'lishi ham, juda yuqori bo'lishi ham maqbul emas: past yuklanishda salt ishlash isrofi, yuqori yuklanishda esa qisqa tutashuv isrofi ustun bo'ladi. Bu holat quvvati ortiqcha tanlangan transformatorlarning ($k_{yu} < 0,2$) isrof nuqtayi nazaridan nomaqbulligini tushuntiradi. Biroq transformator quvvatini faqat k_{opt} bo'yicha tanlash to'g'ri emas: yuklanishning mavsumiy o'sishi, ortiqcha yuklanish chegarasi va ishonchlilik talablari ham hisobga olinishi kerak [5].

Kompensatsiya masalasida iqtisodiy samaradorlik $\cos \varphi$ ning birga yaqinlashishi bilan kamayishi muhim: 0,75 dan 0,85 gacha oshirish isrofni 22,1 % ga kamaytirsa, keyingi 0,10 birlik oshirish qo'shimcha 15,6 % ni beradi, ammo kondensator quvvati sezilarli ko'payadi. Shu sababli kompensatsiya quvvatini texnik-iqtisodiy hisob bilan, odatda $\cos \varphi \approx 0,92-0,95$ atrofida tanlash maqsadga muvofiq. Kompensatsiya

qurilmalarini iste'molchiga imkon qadar yaqin o'rnatish liniyadagi reaktiv tok oqimini kamaytirib, eng katta samara beradi [1, 6].

Amaliy tavsiyalar quyidagilardan iborat: tarmoq yuklanishini muntazam monitoring qilish va $\cos \varphi$ past bo'lgan iste'molchilarni aniqlash; transformatorlarni yuklanish grafigiga mos quvvat bilan almashtirish yoki past yuklangan transformatorlarni o'chirib, yuklanishni jamlash; 0,4 kV tarmoqlarda fazalar bo'yicha yuklanishni tenglashtirish; kondensator batareyalarini (tartibga solinadigan) joylashtirish; isroflar hisobida yuklanish grafigining shaklini hisobga olish.

Tadqiqotning **cheklovlari**: model tarmoq bo'ylab kuchlanishni o'zgarmas, yuklanishni esa bitta nuqtaga jamlangan deb hisoblaydi; liniya qarshiligining haroratga bog'liqligi, yuqori garmonikalar, faza yuklanishlari nosimmetrikligi va yorilish (korona) kabi qo'shimcha isroflar hisobga olinmagan. Keyingi tadqiqotlarda real tarmoq o'lchovlari asosida tarmoq bo'ylab taqsimlangan yuklanishli modellardan foydalanish maqsadga muvofiq [7, 8].

XULOSA

Taqsimlovchi tarmoqda faol quvvat isrofi uzatilayotgan quvvat va kuchlanish o'zgarmas bo'lganda $\cos^2 \varphi$ ga teskari proporsional. $P = 1000$ kW bo'lgan 10 kV liniyada $\cos \varphi$ ni 0,7 dan 0,95 gacha oshirish quvvat isrofini 45,7 % ga kamaytiradi. Liniyadagi mutlaq quvvat isrofi yuklanish koeffitsientining kvadratiga, nisbiy isrof esa unga to'g'ri proporsional. Yuklanish 0,4 dan 0,8 gacha oshganda isrof 4 barobar ko'payadi. Transformator isrofi ikki tashkil etuvchidan iborat bo'lib, TM-630/10 uchun optimal yuklanish koeffitsienti taxminan 0,41; FIK $k_{yu} = 0,3-0,6$ oralig'ida 98,8 % dan yuqori bo'ladi. Yuklanishi 0,2 dan

past transformatorlarda nisbiy isrof sezilarli oshadi. Yillik energiya isrofi yuklanish grafigining shakliga bog'liq: $T_{\max}$ 3000 dan 6000 soatgacha oshganda τ qariyb 2,9 barobar ko'payadi. Reaktiv quvvat kompensatsiyasi ($\cos \varphi$ 0,75 dan 0,95 gacha) ko'rib chiqilgan liniyada yillik energiya isrofini taxminan 65 000 kWh ga (37,7 %) kamaytiradi. Kompensatsiya quvvatini texnik-iqtisodiy asosda tanlash tavsiya etiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: руководство для практических расчетов. – М.: ЭНАС, 2009. – 456 с.
2. Железко Ю.С., Артемьев А.В., Савченко О.В. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях: руководство для практических расчетов. – М.: НИЦ ЭНАС, 2002. – 280 с.
3. Идельчик В.И. Электрические системы и сети. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 592 с.
4. Kersting W.H. Distribution System Modeling and Analysis. – Boca Raton: CRC Press, 2017. – 625 p.
5. Файбисович Д.Л. (ред.). Справочник по проектированию электрических сетей. – М.: ЭНАС, 2012. – 376 с.
6. Кудрин Б.И. Электроснабжение. – М.: Академия, 2012. – 352 с.
7. Короткевич М.А. Эксплуатация электрических сетей. – Минск: Вышэйшая школа, 2014. – 350 с.
8. IEEE Std 1459-2010. IEEE Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal,

Nonsinusoidal, Balanced, or Unbalanced Conditions. – New York: IEEE, 2010.

9. Jumayeva, M. (2025). The role of youth in scientific development. Eurasian Journal of Entrepreneurship and pedagogy, 3(1), 48-51.

10. Mukarrama, J., Jasurbek, A., & Kamoliddin, S. (2022). Teaching listening skills in English.