

KONCHILIK KORXONALARINING 0,4 KV KUCHLANISHLI TARMOQLARIDA ELEKTR ENERGIYASINING SIFAT KO'RSATKICHLARI VA ISROFLARINI EKSPERIMENTAL TADQIQ QILISH

M.K. Bobojanov¹, R.Ch. Karimov¹, O.S. Raximov², A.L. Haqberdiyev¹, D.Sh. Xushvaktov¹

¹Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, O'zbekiston

²Xo'jand shahridagi Politehnika instituti, Xo'jand, Tojikiston

Doi: 10.5281/zenodo.18093006

ANNOTATSIYA

Maqolada 0,4 kV kuchlanishli konchilik korxonalarining elektr tarmoqlarida elektr energiyasi sifat ko'rsatkichlari va energiya isroflarini eksperimental tadqiq qilish masalasi o'rganilgan. Respublikada ishlab chiqarish korxonalari va sexlar sonining ko'payishi natijasida tarmoqlarda bir yoki uch fazali iste'molchilarning nosimmetrik taqsimlanishi kuzatilmoqda, natijada fazalar nomutanosibligi va yuklama toklarining nosimmetrikligi hisobidan energiya isroflarini 21% gacha oshishiga olib kelmoqda. Tadqiqot jarayonida 0,4 kV kuchlanishli konchilik korxonalari tarmog'ining boshlang'ich parametrlari, bir chiziqli elektr ta'minoti sxemasi va liniya yuklama toklari aniqlandi. Elektr energiyasi sifatini baholash va isroflar darajasini aniqlash masalasi AR6-analizatori yordamida amalga oshirildi. Eksperiment natijalari kunlik iste'mol, iste'molchi-lar xususiyatlari va elektr energiyasi sifat ko'rsatkichlari bo'yicha raqamli ma'lumotlar bazasini shakllantirish imkonini berdi. Energiya isrofiga asosiy ta'sir etuvchi omillar sifatida transformator va elektr iste'molchilar quvvat-larining nomutanosibligi, fazalarning nosimmetrik yuklanishi va o'zgartiruvchi qurilmalarning yuqori garmonikalarni hosil qilinishi tarmoq sifatiga ta'siri aniqlangan. Shu asosda 0,4 kV kuchlanishli konchilik sanoati tarmoqlarida energiya isroflarini kamaytirish va elektr energiyasi sifatini yaxshilash bo'yicha chora-tadbirlar ishlab chiqish imkoniyatlari ko'rib chiqilmagan.

KALIT SO'ZLAR

O'zDSt 1044:2003 davlat standarti; 0,4 kV kuchlanishli konchilik korxonalarining elektr tarmog'i; elektr energiyasining sifat ko'rsatkichlari; energiya isroflari; fazalar nosimmetriyasi, eksperimental tadqiqot; energetik tahlil; AR6-analizatori.

KIRISH

O'zDSt 1044:2003 davlat standartiga muvofiq elektr energiyasining sifati quyidagi parametrlar bilan aniqlanadi: kuchlanishning og'ishi va tebranishi, chastotaning og'ishi va tebranishi, tok va kuchlanishlarning nosinusoidaligi, tok va kuchlanishlarning nosimmetriyasi, o'takuchlanish, impulsli kuchlanish va boshqalar [2].

Ishchi va nominal (ruxsat etilgan) kuchlanishlar orasidagi farq *kuchlanish og'ishi* deb atalib, quyidagi ifodalar orqali aniqlanadi.

$$\Delta U = U - U_{nom.}; \quad \Delta U_{\%} = \frac{U - U_{nom.}}{U_{nom.}} \quad (1)$$

bu yerda, $U_{nom.}$ - nominal kuchlanish (ruxsat etilgan), V; U - ishchi kuchlanish, V.

Uch fazali tarmoqlarda ishchi kuchlanish sifatida liniya (tarmoq) kuchlanishi qabul qilinadi. O'zDSt 1044:2003 davlat standartiga ko'ra, elektr energiyasi iste'molchilarining chiqishlaridagi kuchlanish og'ishining normal ruxsat etilgan qiymati $\pm 5\%$ ni, favqulodda holatlarda chegaraviy ruxsat etilgan qiymati esa elektr tarmog'i nominal kuchlanishining $\pm 10\%$ ni tashkil etadi. Shuning uchun "Kuchlanishning og'ishi" tushunchasiga, manba kuchlanishining 1 daqiqadan kam bo'lmagan vaqt davomida iste'molchi kuchlanishining maksimal va minimal darajalarga o'zgarishlari tushuniladi [3-9].

Kuchlanishning tebranishi - kuchlanishning o'zgarish chegarasi - δU_t va analizator ulushi - P_t bilan tavsiflanadi. Elektr ta'minoti tizimida sodir bo'ladigan kuchlanishning tebranish manbai, bu quvvat iste'molchilari hisoblanib, iste'mol qilinayotgan aktiv va reaktiv quvvat-larining o'zgarishlariga bog'liqdir. Kuchlanishning o'zgarish chegarasini kattaligi har bir davrda aniqlanadigan asosiy chastota kuchlanishining o'rtacha kvadratik qiymatlarini aylanib o'tuvchi gorizontaal qismi ekstremumlarining ketma-ket keladigan qiymatlari orasidagi farq bilan aniqlanadi.

Kuchlanishning o'zgarish chegarasi - δU_t foiz hisobida quyidagi ifoda yordamida aniqlanadi [7-9]:

$$\delta U_t = \frac{|U_i - U_{i+1}|}{U_{nom.}} \cdot 100 \quad (2)$$

bu yerda, U_i , U_{i+1} - asosiy chastota kuchlanishining o'rtacha kvadratik qiymatlarini aylanib o'tuvchi gorizontaal qismida ketma-ket keluvchi ekstremumlar yoki ekstremumlarning qiymatlari.

O'zDSt 1044:2003 davlat standartiga muvofiq elektr ta'minoti tizimi kuchlanishining tebranish davomiyligi 1 daqiqadan kam, shu jumladan kuchlanishning tez o'zgarishi "*analizator hissasi*" hisoblanadi. Analizator (inglizcha "analysis" so'zining tarjimasidir) deb, kuchlanishning o'zgarishi natijasida sun'iy yoritish manbalarining yorug'lik oqimi

tebranishlarining inson tomonidan sub'ektiv qabul qilinishiga aytiladi [6-9].

Kuchlanishning o'zgarishi natijasida analizatorning qisqa muddatli hissasi - P_{st} paydo bo'ladi, u 10 daqiqa vaqt oralig'ida o'lchanadi va analizatorning uzoq muddatli hissasi - P_{lt} , elektr uzatish liniyasining belgilangan nuqtasida 2 soat oralig'ida sodir bo'ladi. 100% vaqt oralig'ida, haftada analizatorning qisqa muddatli hissasi 1,38 dan va uzoq muddatli hissasi 1,0 dan oshmasligi kerak [7-11].

10 daqiqa oralig'idagi qisqa muddatli analizator hissasi quyidagi ifoda yordamida aniqlanadi [9]:

$$P_{st} = \sqrt{k_1 P_{0,1} + k_2 P_1 + k_3 P_3 + k_4 P_{10} + k_5 P_{50}} \quad (3)$$

bu yerda, $k_1 = 0,0314 - 0,1\%$ daraja uchun; $k_2 = 0,0525 - 1,0\%$ daraja uchun; $k_3 = 0,0657 - 3\%$ daraja uchun; $k_4 = 0,28 - 10\%$ daraja uchun; $k_5 = 0,08 - 50\%$ daraja uchun.

Agar kuchlanishning umumiy tebranishlari ishning tasodifiy xususiyati bilan tavsiflanadigan bir qator keskin o'zgaruvchan yuklamalar (payvandlash, elektr dvigatellar va boshqalar) bilan bog'liq bo'lsa, ko'rib chiqilayotgan vaqt oralig'ida P_{lt} - analizatorning uzoq muddatli hissasi 10 daqiqalik qiymatlar to'plamidan kelib chiqqan holda aniqlanadi [9-10]:

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N P_{st}^3} \quad (4)$$

0,4 kV kuchlanishli konchilik korxonalarining elektr tarmoqlari uchun mos ravishda $P_{st} \leq 1$; $P_{lt} \leq 0,8$; $\delta U_t \leq 8\%$ bo'lib, ushbu me'yorlar elektromagnit moslik darajasini belgilaydi.

Chastotaning og'ishi - elektr ta'minoti manbai kuchlanishining asosiy chastotasi qiymati-ning nominal (ruxsat etilgan) qiymatidan farqi sifatida aniqlanib, quyidagi ifoda bilan topiladi:

$$\Delta f = f - f_{nom}. \quad (5)$$

bu yerda, f - O'zDSt 1044:2003 davlat standarti talablariga muvofiq 10 sekund vaqt oralig'ida o'lchangan chastotaning haqiqiy qiymati, Gs; f_{nom} - nominal (ruxsat etilgan) chastota, Gs.

O'zDSt 1044:2003 davlat standarti bo'yicha Respublika energetika tizimidagi chastotaning nominal qiymati 50 Gs deb qabul qilingan bo'lib, chastotaning og'ishi bir haftada 95% vaqt oralig'ida $\pm 0,2$ Gs chastotadan va bir haftada 100% vaqt oralig'ida $\pm 0,4$ Gs chastotadan oshmasligi talab qilinadi [7-13].

Kuchlanish nosinusoidal - bu kuchlanish egri chizig'i shaklining sinusoidalini buzilish darajasi bilan tavsiflanadi. Shuningdek, kuchlanish egri chizig'i shaklining buzilish koeffitsienti - k_{ne} % kattaligi bilan tavsiflanib, asosiy chastota kuchlanishi - U_1 ga yoki nominal (ruxsat etilgan) kuchlanishning yuqori garmonikasining amaldagi qiymati - U_v ga nisbati bilan aniqlanadi:

$$k_{ne} = \frac{\sqrt{\sum_{v=2}^n U_v^2}}{U_1} \cdot 100 \approx \frac{\sqrt{\sum_{v=2}^n U_v^2}}{U_{nom}} \cdot 100 \quad (6)$$

bu yerda, U_v - v -garmonika kuchlanishining ta'sir etuvchi qiymati, V; n - hisobga olinadigan garmonikalar soni.

0,4 kV kuchlanishli elektr tarmog'i uchun k_{ne} - nosinusoidal koeffitsientining ruxsat etilgan qiymati $k_{ne} = 8\%$ ga va chegaraviy qiymati $k_{ne} = 12\%$ ga teng bo'lib, O'zDSt 1044:2003 davlat standarti talablariga muvofiq, kuchlanishning v -garmonik tashkil etuvchi koeffitsiyenti qiymatlari quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$K_{U(v)} = \frac{U_v}{U_1} \cdot 100 \quad (7)$$

Kuchlanish nosimmetriyasi asosiy chastota parametrlari bo'yicha stabillashmaydi. Agar faza kuchlanishlarining amplitudalari va ularning siljishi teng bo'lsa, u holda kuchlanish simmetrik bo'ladi. Agar parametrlardan birida buzilish sodir bo'lsa, u holda bu kuchlanish nosimmetrik ekanligini anglatadi. Kuchlanish nosimmetriyasini baholash uchun simmetrik tashkil etuvchilar usulidan foydalaniladi va sinusoidal (o'zgaruvchan) kuchlanish tizimi uchta simmetrik tashkil etuvchilarga bo'linadi: to'g'ri, teskari va nol ketma-ketlik. Mazkur metodika asosida, kuchlanishlar nosimmetriyasini baholash uchun elektr energiyasining sifat ko'rsatkichlari ham o'rnatilgan [7-14]:

- 0,4 kV kuchlanishli konchilik korxonalarining elektr tarmog'idagi teskari ketma-ketlik kuchlanishining nosimmetriya koeffitsiyenti quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$K_{2U} = \frac{U_{2(1)}}{U_{1(1)}} \cdot 100\% = \frac{U_{2(1)}}{U_{nom}} \cdot 100\% \quad (8)$$

- 0,4 kV kuchlanishli to'rt simli elektr tarmog'i uchun nol ketma-ketlikdagi nosimmetrik kuchlanish koeffitsiyenti quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$K_{0U} = \frac{\sqrt{3} U_{0(1)}}{U_{1(1)}} \cdot 100\% = \frac{U_{0(1)}}{U_{nom,f}} \cdot 100\% \quad (9)$$

bu yerda, $U_{2(1)}$ va $U_{0(1)}$ - nol va teskari ketma-ketlikdagi kuchlanishlar, V; $U_{1(1)}$ - to'g'ri ketma-ketlikdagi fazalararo kuchlanish, V.

To'g'ri, teskari va nol ketma-ketlikdagi kuchlanishlar quyidagi ifodalar bilan aniqlanadi:

$$\begin{aligned} U_{1(1)} &= \frac{1}{3}(U_A + aU_B + a^2U_C); \\ U_{2(1)} &= \frac{1}{3}(U_A + a^2U_B + aU_C); \\ U_{0(1)} &= \frac{1}{3}(U_A + U_B + U_C) \end{aligned} \quad (10)$$

bu yerda, U_A, U_B, U_C - elektr tarmog'i fazalarining kuchlanishi, V; $a = e^{j2\pi/3}$ - uch fazali tizim operatorlari.

Kuchlanishning pasayishi, bu elektr tarmog'ining ma'lum nuqtalarida kuchlanishning nominal (ruxsat etilgan) - U_{nom} qiymatining to'satdan 10% dan ortiq pasayishi bilan xarakterlaydi. Shuningdek, kuchlanish pasayishining asosiy sababi sifatida ochiq taqsimlovchi qurilmalarning uzatish liniyasi yoki shinasiga yashin tushishi ham asos bo'lishi mumkin. Bu holda, qisqa tutashuv jarayoni sodir bo'lib, bunda

elektr uskunalarning himoya qurilmalari (tok releasi, kuchlanish releasi va boshqalar) va avtomatik tizimlar (avtomatik qayta ulagich - APV, zaxiradagi manbani avtomatik ulagich - AVR, tok bo'yicha avtomatik yuksizlantirgich - ATR, chastota bo'yicha avtomatik yuksizlantirgich - AChR) ishga tushadi.

Kuchlanishning pasayish chuqurligi (kuchlanishning minimal qiymati) - δU_n bilan hamda pasayish vaqtining davomiyligi - Δt_n orqali tavsiflanib, quyidagi ifoda yordamida hisoblanadi:

$$\delta U_n = \frac{U_{nom} - U_{min}}{U_{nom}} \cdot 100\% \quad (11)$$

bu yerda, U_{nom} - uch fazali elektr tarmog'ining nominal kuchlanishi, V; U_{min} - elektr tarmog'ining nazorat nuqtasidagi qoldiq yoki minimal kuchlanish, V.

Ishonchlik nuqtai nazardan, ishdan chiqish vaqtining davomiyligi kuchlanishning tiklanish vaqti - t_t va kuchlanish buzilishining boshlanish vaqti - t_b o'rtasidagi farq sifatida hisoblanadi:

$$\Delta t_p = t_t - t_b \quad (12)$$

O'zDSt 1044:2003 davlat standartiga muvofiq, elektr tarmog'idagi kuchlanishni pasayish vaqtining davomiyligi 1 daqiqadan oshmasligi kerak.

Vaqtinchalik o'takuchlanish deb, kommutatsiya (ulab-uzish) yoki qisqa tutashuv paytida elektr ta'minoti tizimida yuzaga keladigan, davomiyligi 10 ms vaqtdan ortiq bo'lgan va $1,1U_{nom}$ dan yuqori elektr tarmog'i nuqtasida kuchlanishning ko'tarilishi tushuniladi.

Elektr energiyasi sifat ko'rsatkichlari doirasida iste'molchi kuchlanishining O'zDSt 1044:2003 davlat standarti talablariga mos kelmasligi elektr tarmog'ida qo'shimcha aktiv quvvat isrofiga olib keladi. Nosinusoidal kuchlanish hisobidan transformatorlarda toklarni yuqori garmonikasi sababli paydo bo'ladigan qo'shimcha isroflar, quyidagi ifoda bilan aniqlanadi [9-14].

$$\Delta P_{\Sigma v.g.tr.} = 3 \sum_{n=2}^n I_{(n)}^2 r_1 k_{r(n)} \quad (13)$$

bu yerda, $I_{(n)}$ - n -garmonikaning elektr toki, A; r_1 - asosiy chastotadagi aktiv qarshilik, Om; $k_{r(n)}$ - tok o'tkazuvchi qismlar aktiv qarshiligining n -garmonikada o'zgarish koeffitsiyenti. Hisoblashlarda $k_{r(5)} = 2,1$; $k_{r(7)} = 2,5$; $k_{r(11)} = 3,2$; $k_{r(37)} = 6,08$; $k_{r(39)} = 6,24$.

Elektr uzatish liniyalarida toklarning yuqori garmonikalaridan paydo bo'ladigan qo'shimcha isroflar (13) ifodaga muvofiq aniqlanadi va bunda n -garmonika chastotasida tok o'tkazuvchi qismlar aktiv qarshiligining o'zgarish koeffitsiyenti - $k_{r(n)} = \sqrt{n}$.

Konchilik sanoatining 0,4 kV kuchlanishli nol simli elektr tarmoqlarida nol ketma-ketlik toklarining nosimmetrikligidan kelib chiqadigan qo'shimcha isroflarni o'rganish zarur. Shundan, (13) ifodaga muvofiq, tarmoq fazalarining nosimmetrik yuklamalarini hisobga olgan holda radial elektr tarmoqlarida quvvat isroflarini hisoblash ifodasi quyidagi ko'rinishga bo'ladi:

$$\Delta P_{EUL} = k_{ui} I_{ei}^2 r_{ei} k_{qi} \quad (14)$$

bu yerda, k_{ui} - tarmoq uchastkasi fazalari soni koeffitsiyenti; r_{ei} - tarmoq uchastkasining aktiv qarshiligi, Om; k_{qi} - fazalarning notekis yuklanishidan kelib chiqadigan qo'shimcha isroflarni hisobga oluvchi koeffitsiyent:

$$k_q = N_{kv}^2 \left(1 + 1,5 \frac{r_{og}}{r_{fg}} \right) - 1,5 \frac{r_{og}}{r_{fg}},$$

bu yerda, r_{og} , r_f - nol va faza simlarining qarshiliklari, Om; $N_{kv}^2 = 3 \frac{I_A^2 + I_B^2 + I_C^2}{(I_A + I_B + I_C)^2}$ - faza toklarining notekis taqsimlanish koeffitsiyenti; I_A , I_B , I_C - elektr tarmog'ining alohida fazalarining o'lchanadigan toklari, A.

(13) va (14) ifodalarga ko'ra, elektr tarmog'idagi aktiv energiyaning kunlik isroflari quyidagiga teng:

$$\Delta W = (\Delta P_{\Sigma v.g.tr.} + \Delta P_{LEP}) \cdot 24 \quad (15)$$

$$\Delta W_{\%} = \frac{\Delta W}{W} \cdot 100\% \quad (16)$$

bu yerda, W - aktiv energiyaning kunlik iste'moli, kVt·soat; $\Delta W_{\%}$ - aktiv energiyaning kunlik isrofi, %.

MATERIAL VA USULLAR.

0,4 kV kuchlanishli tarmoqlarda elektr energiyasi sifat ko'rsatkichlarining energiya isroflariga ta'sirini baholash uchun Respublikamizning Surxondaryo viloyati Boysun tumani Rabot qishlog'ining past kuchlanish xarakterli elektr tarmog'ida eksperimental tadqiqotlar o'tkazildi (tadqiqot ob'ekti sifatida). Tadqiqot jarayoni "Elektr energiyasining miqdor va sifat ko'rsatkichlari analizatorlari - AR6" kompleks raqamli elektron o'lchov asbobi yordamida amalga oshirildi.

Ushbu AR6-analizatori "Circutor Grup" (Ispaniya) firmasi tomonidan ishlab chiqarilgan bo'lib, O'zDSt 1044:2003 davlat standartiga muvofiq elektr energiyasining asosiy sifat ko'rsatkichlarini, shuningdek, uch fazali to'rt simli elektr tarmog'ida tok, kuchlanish, quvvat va elektr energiyasi kabi alohida fazalarning boshqa elektr parametrlarini o'lchash hamda qayd etish imkonini beradi. Mazkur o'lchov qurilmasini elektr tarmoqlarida monitoring va energiya auditini o'tkazish uchun ham ishlatish mumkin. Tadqiqot natijalarini qayta ishlash tartibi AR6-analizatori "Dasturiy majmualarni ishga tushirish va sozlash tartibi" qo'llanmasida keltirilgan.

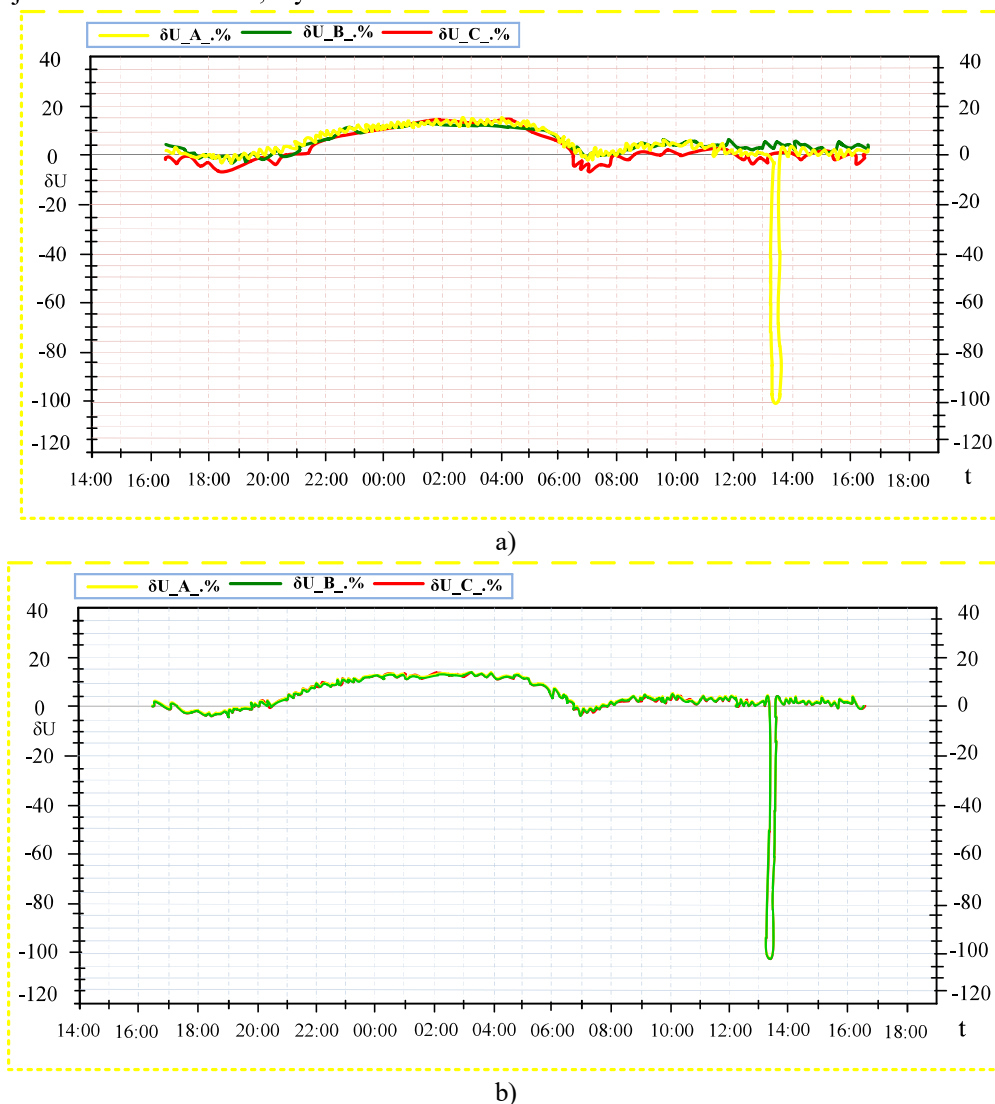
Kuchlanishi 0,4 kV bo'lgan past kuchlanishli elektr tarmog'ining energetik parametrlarini o'lchash va ro'yxatga olish jarayoni, asosan 160 kVA quvvatli transformatorida amalga oshirildi. Masalan, quvvati 160 kVA bo'lgan transformatorli TPdan 183 ta aholi xonadonlari elektr energiyasi bilan ta'minlanadi. Tadqiqot ob'ektida jami 420 ta aholi xonadonlari va boshqa elektr iste'molchilari mavjud.

Eksperimental tadqiqotlar o'tkazilgandan so'ng, natijalarni umumlashtirish va zamonaviy kompyuterda qayta ishlash maqsadida, EmWorkNet_setup amaliy dasturi va PostgreSQL ma'lumotlar bazasidan foydalanildi.

NATIJALAR

0,4 kV kuchlanishli elektr tarmog'ining faza va liniya kuchlanishlarini kunlik monitoringini qayta ishlash natijasi shuni ko'rsatdiki, ayrim soatlarda

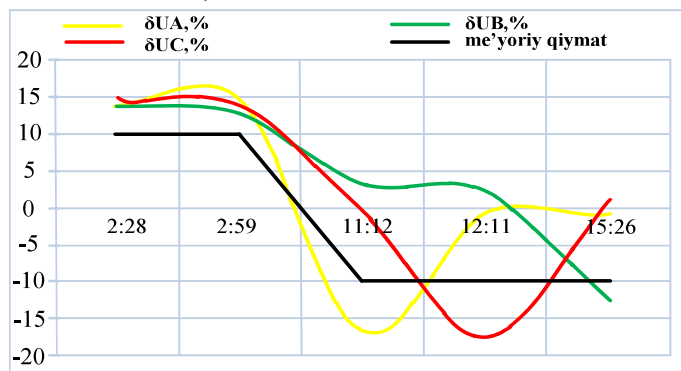
kuchlanishning kunlik og'ishlari O'zDSt 1044:2003 davlat standarti bo'yicha ruxsat etilgan maksimal qiymatdan $\pm 10\%$ dan oshadi va (15-17)% ni tashkil etmoqda (1,a va b-rasmlarga qarang).



1-rasm. 0,4 kV li elektr tarmog'i faza (a) va liniya (b) kuchlanishlarining kunlik og'ish tasviri

Tarmoq faza kuchlanishlari og'ishining umumlashgan bog'liqlik grafigi natijasi shuni ko'rsatadiki, tungi soatlarda alohida fazalar kuchlanishi nominal qiymatdan 5-7% ga oshmoqda (2-rasm). Ertalabki va kechki soatlarda esa, alohida

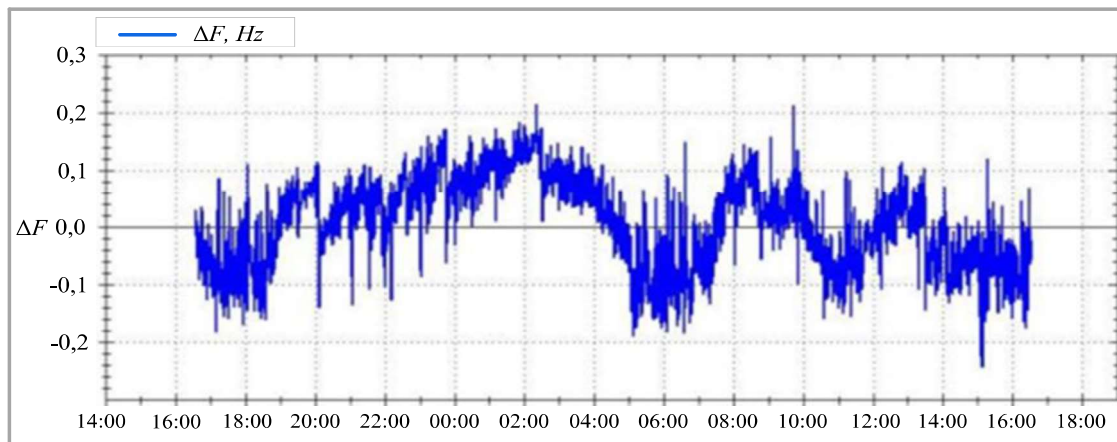
fazalarning faza kuchlanishi nominal qiymatdan past va nosimmetrik. Bu esa, bir fazali elektr iste'molchilar tomonidan alohida fazalarning notekis yuklanishi bilan izohlanadi.



2-rasm. 0,4 kV li elektr tarmoq faza kuchlanishining me'yordan ortiq og'ishi

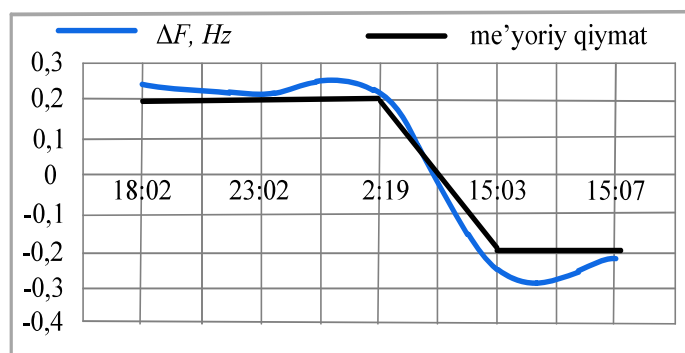
Tadqiqot ob'ektida elektr energiyasining asosiy iste'molchilari hovli xonadonlari (taxminan 90-95%) bo'lib, ularni elektr yuklamalari sifatida yoritgichlar va kichik quvvatli maishiy elektr iste'molchilar tashkil

etiladi. Bundan, 0,4 kV kuchlanishli elektr tarmog'ida chastotaning kunlik og'ishi natijasi 3-rasmda keltirilgan.



3-rasm. 0,4 kV kuchlanishli elektr tarmoq chastotasining kunlik og'ish grafigi

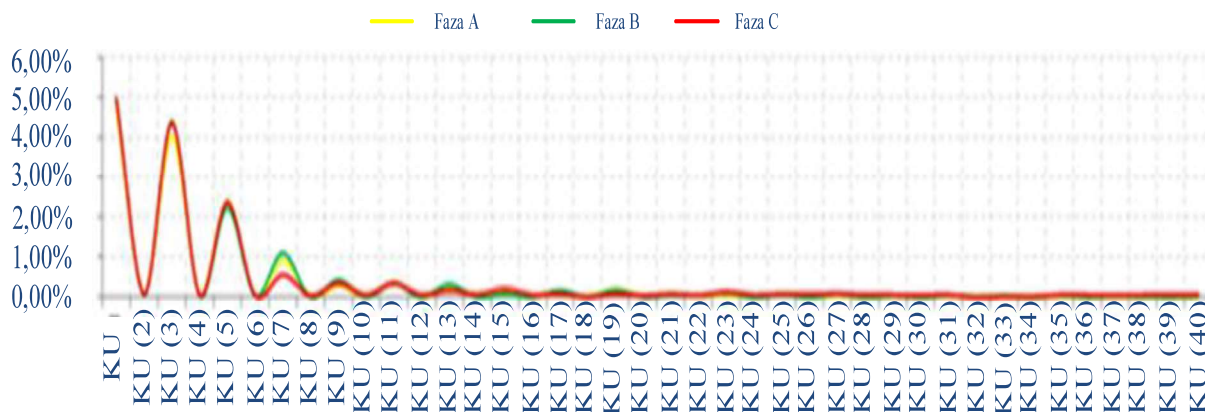
0,4 kV kuchlanishli elektr tarmog'ida chastota og'ishining umumlashgan bog'liqlik grafigi 4-rasmda keltirilgan.



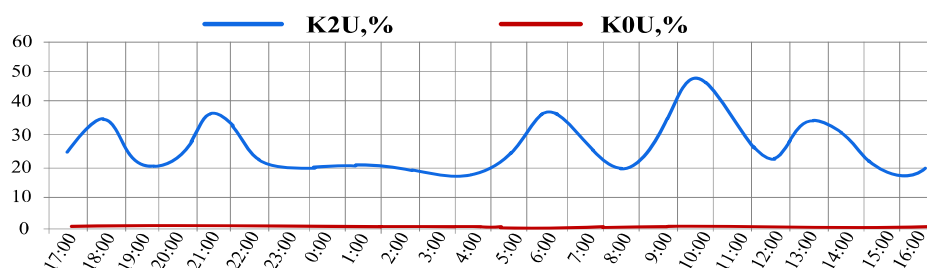
4-rasm. 0,4 kV kuchlanishli elektr tarmoq chastotasining og'ishi

4-rasmda keltirilgan tadqiqot natijasidan ko'rinib turibdiki, O'zDSt 1044:2003 davlat standarti tomonidan chastotaning ruxsat etilgan maksimal qiymatdan $\pm 0,2$ Gs ga sezilarli og'ishi kuzatilmog'da.

Tarmoqdagi kuchlanish va tokning egri chiziqlari shakli nosinusoidalini tahlil qilish natijalari shuni ko'rsatmoqdaki, elektr tarmog'ida tokning yuqori garmonikalari sezilarli oshgan (5-rasm).



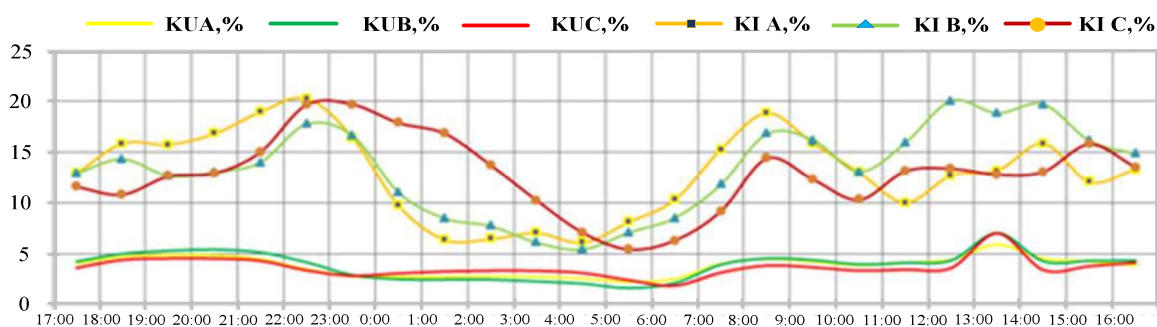
5-rasm. 0,4 kV li tarmoq kuchlanishi chastotasining garmonik o'zgarishi



6-rasm. 0,4 kV li tarmoq kuchlanish nosimmetriyasi ko'effitsientining kunlik o'zgarishi

0,4 kV kuchlanishli elektr tarmog'ida nol va teskari ketma-ketlikning simmetrik tashkil etuvchilari bilan baholanadigan fazaviy va chiziqli kuchlanishlarning nosimmetrik ko'effitsiyent-larini aniqlash natijalari 6-rasmda keltirilgan.

Faza kuchlanishi va toklarining nosimmetrik ko'effitsiyentlari tahlili natijasi (7-rasmga qarang) shuni ko'rsatadiki, alohida fazalar kuchlanishi va toklarining nosimmetrikligi kunning kechki va kunduzgi soatlarida sodir bo'ladi.

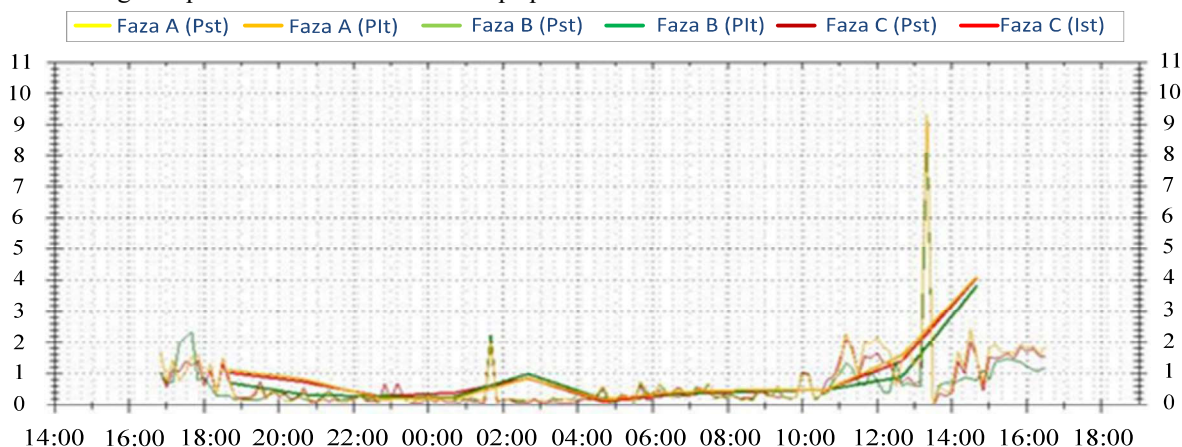


7-rasm. 0,4 kV li tarmoqning alohida fazalari tok va kuchlanishlarining nosimmetrik ko'effitsientlari bog'liqligining kunlik grafigi

Faza kuchlanishi va toklari nosimmetriyasi yuzaga kelishining asosiy sababi sifatida, alohida fazalar yuklamalarining notekis taqsimlanishi bilan izohlash mumkindir. Ma'lumki, kuchlanish va toklarning nosimmetrikligi 0,4 kV kuchlanishli tarmoqning alohida elementlarida qo'shimcha quvvat isroflarini yuzaga keltiradi [3-14].

0,4 kV kuchlanishli tarmoqlar uchun AR6-analizatorining uzoq muddatli hissasi 1 dan va qisqa

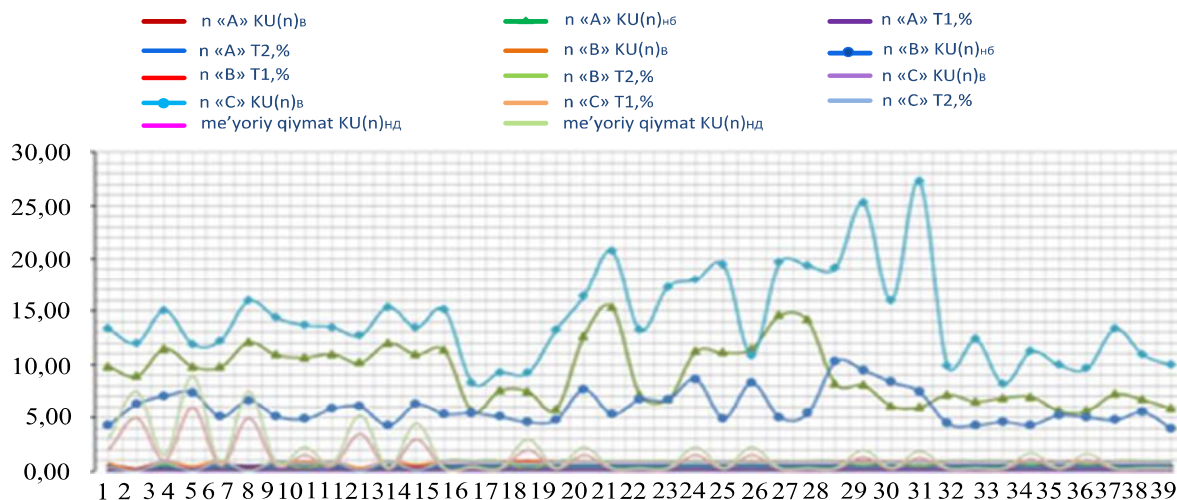
muddatli analizator hissasi esa 1,38 dan oshmadi. Eksperimental tadqiqotlar davomida olingan analizator hissalarini o'lchash natijalari 8-rasmda keltirilgan bo'lib, tadqiqot natijalari-dan analizator hissasi O'zDSt 1044:2003 davlat standarti tomonidan ruxsat etilgan qiymatlardan oshganligini ko'rsatmoqda.



8-rasm. AR6-analizatorining uzoq muddatli - P_{lt} va qisqa muddatli - P_{st} hissalariga bog'liqligining kunlik grafigi

Bu holat elektr iste'molchilarining quvvati TP transformatorining quvvati bilan birga o'lchanganligi natijasidir. Demak, elektr iste'molchilarning ishga tushishidan elektr energiyasi sifati ko'rsatkichlariga ta'sirini va natijada elektromagnit moslik darajasining pasayishini kuzatish mumkin. Bundan tashqari, analizator hissalarining standart talablariga mos kelmasligi ham yoritish asboblari yorqinligining millitlashiga olib keladi [3-14].

Tok va kuchlanishlarning yuqori garmonik tashkil etuvchilari nosinusoidallik koeffitsiyenti bilan xarakterlanadi. 9-rasmda TPning T1 va T2 transformatorlarini 0,4 kV kuchlanishli shina-laridagi 39-garmonikagacha bo'lgan alohida fazalar kuchlanishlarining yuqori garmonik tashkil etuvchi koeffitsiyentlari keltirilgan.



9-rasm. Elektr energiyasini n -garmonika koeffitsiyenti bo'yicha o'lchash natijalari

Rasmdan ko'rinib turibdiki, C-fazadagi 19, 28 va 30-garmonik koeffitsiyentlar maksimal qiymatga ega va ruxsat etilgan qiymatlardan oshib ketgan.

Fazaviy siljish koeffitsiyentlarini aniqlash natijalari 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval

Kuchlanish egri chizig'ining faza siljish koeffitsiyentlarini o'lchash natijalari

O'lchanadigan xarakteristika	A-faza			B-faza			C-faza			Me'yoriy qiymatlar
	O'lchov natijalari	$T_1, \%$	$T_2, \%$	O'lchov natijalari	$T_1, \%$	$T_2, \%$	O'lchov natijalari	$T_1, \%$	$T_2, \%$	
$K_{U,v}$	0	0,49		0	0,99		0	0,91		8
$K_{U,nb}$	34,69		0,49	23,32		0,99	40,65		0,91	12
	AB-fazalararo			BC-fazalararo			CA-fazalararo			
$K_{U,v}$	0	0		0	0		0	0		8
$K_{U,nb}$	4,14		0	6,34		0	4,39		0	12

1-jadval natijalari shuni ko'rsatadiki, fazalar kuchlanishi nomutanosibligidan egri chizig'i-ning siljish koeffitsiyenti ($K_{U,nb} > 12$) ruxsat etilgan qiymatdan katta bo'lib, bu esa fazalar nosimmetriyaligini ko'rsatadi. Fazalararo kuchlanish egri chizig'ining siljish koeffitsiyentlari ($K_{U,nb} < 12$)

O'zDSt 1044:2003 davlat standartiga mos keladigan qiymatdan kichik.

0,4 kV kuchlanishli tarmoqlardagi o'tkinchi jarayon va o'takuchlanishlarni baholash natijalari 2-jadvalda keltirilgan.

2-jadval

O'tkinchi jarayon va o'ta kuchlanishlarni o'lchash natijalari

O'tkinchi jarayon			
Kuchlanish	U_A	U_B	U_C
Soni	1	1	1
Jami davomiylik, sek	00:14:09.016	00:14:09.037	00:14:09.071

Maksimal chuqurlik, %	99,98	99,98	99,98
O'ta kuchlanish			
Kuchlanish	U_A	U_B	U_C
Soni	13	15	6
Jami davomiylilik, sek	07:32:05.694	06:35:14.715	06:20:22.351
Maksimal chuqurlik, %	1,15	1,14	1,15

1-jadval ma'lumotlaridan ko'rinib turibdiki, tarmoqdagi kuchlanishning pasayishi soat 13:17 dan 13:31 gacha kuzatilgan, buni 6-rasm ma'lumotlari ham tasdiqlaydi. Vaqtning 06:20, 06:35 va 07:32 daqiqalarida tadqiqot ob'ektidagi tarmoq fazalarida kuchlanish me'yordan yuqori bo'lib, bu esa elektr uskunalarning ishlashiga salbiy ta'sir ko'rsatmoqda.

Transformatorlardagi quvvat isroflarini aniqlash uchun 3-jadvalda keltirilgan boshlang'ich ma'lumotlardan foydalanildi.

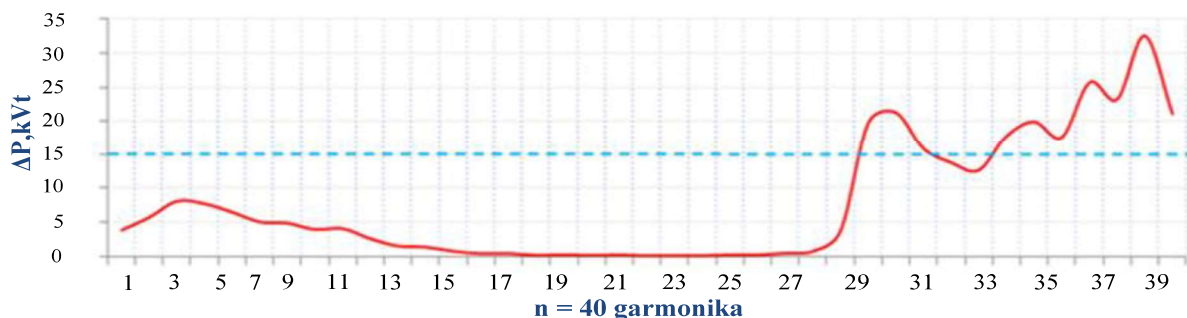
AR6-analizatori yordamida o'tkazilgan eksperimental tadqiqot natijalariga ko'ra, tadqiqot ob'ektida kunlik iste'mol qilinadigan elektr energiyasi quvvati $W=7681 \text{ kVt} \cdot \text{soatni}$ tashkil etgan.

3-jadval

Transformator va havo elektr uzatish liniyasi parametrlari

TP, kVA	r_{tr}, Om	I_A, A	I_B, A	I_C, A
TM-160/10/0,4	4,35	31	42	43
0,4 kV kuchlanishli HEUL				
S_{EUL}, mm^2	L, km	r_f, Om	N_{kv}^2	k_q
25	1	1,14	1,02	1,1

Transformatoridagi yuqori garmonikalar hisobiga aktiv quvvatning qo'shimcha isrofini o'zgarish grafigi 10-rasmda ko'rsatilgan.



10-rasm. Transformatoridagi aktiv quvvat isrofining o'zgarish grafigi

Yuqori garmonikalar ta'siridagi quvvat isrofi (13)-ifoda bo'yicha aniqlanadi. 10-rasmdan ko'rinib turibdiki, 37- va 39-garmonikalardan kelayotgan quvvat isrofi nisbatan katta qiymatga ega bo'lib, ulardan kelayotgan aktiv quvvat isrofi yig'indisi $\Delta P_{v,g} = 58,28 \text{ kVt}$. Alohida garmonikalarni hisobga olganda $I_{(37)} = 18 \text{ A}$, $I_{(39)} = 20 \text{ A}$ tokni tashkil etmoqda.

0,4 kV kuchlanishli elektr uzatish tarmog'idagi aktiv quvvat isrofini 3-jadval ma'lumotlari asosida (14)-ifodani hisobga olgan holda aniqlaymiz.

$$\Delta P_{EUL} = 3 \cdot 38,56^2 \cdot 1,14 \cdot 1,1 = 5,59 \text{ kVt}$$

bu yerda, uch fazali tarmoqdagi tokning qiymati faza toklarining o'rtacha qiymatiga teng deb qabul qilingan.

Transformator va elektr uzatish liniyasidagi (EUL) quvvat isroflari bo'yicha (14) va (15)-ifodalarga muvofiq aktiv energiyaning kunlik umumiy isroflarini aniqlaymiz.

$$\Delta W = (58,28 + 5,59) \cdot 24 = 1532,88 \text{ kVt} \cdot \text{soat};$$

$$\Delta W_{\%} = \frac{1532,88}{7681} \cdot 100\% = 19,96\%.$$

0,4 kV kuchlanishli elektr tarmog'ida aktiv energiya isrofi 19,96% ni tashkil etib, shundan 5,96% yuklama va 14% tarmoqdagi elektr energiya sifatining pastligi hisobidagi qo'shimcha isroflardir.

Yuqorida keltirilgan tadqiqot natijalarini "Boysun ko'mir koni" misolida ham tavsiya etiladi. Chunki tadqiqot ob'yekti va ko'mir koni elektr ta'minoti "Boysun tumani elektr ta'minoti" korxonasi tomonidan 0,4 kV kuchlanishli elektr tarmog'i orqali bir xil ta'minlanadi.

MUHOKAMA

Eksperimental tadqiqotlar natijasida kuchlanishning og'ishi O'zDSt 1044:2003 davlat standartida belgilangan me'yorlardan yuqori ekanligi aniqlandi. 1,a,b-rasmlardan ko'rinib turibdiki, faza va liniya kuchlanishining og'ishi soat 23:00 dan 05:00 gacha +10% dan +15% gacha oshdi hamda soat 13:17 dan 13:31 gacha kuchlanishning pasayishi kuzatildi.

Shuningdek, soat 06:20 dan 07:32 gacha bo'lgan davrda 13 marta o'ta kuchlanish jarayoni yuzaga kelgan (2-jadvalga qarang). Kuchlanish og'ishining nostandart o'zgarishlari 0,4 kV kuchlanishli maishiy elektr iste'molchilarda ishlatiladigan uskunalarining ishlashiga salbiy ta'sir ko'rsatadi. Masalan, elektr dvigatel qisqich (klemma)laridagi kuchlanish pasayganda iste'mol qilinadigan quvvat va tok miqdori oshib, dvigatel chulg'amlari qiziydi. Natijada dvigatelning ishlash muddati ham qisqaradi. Dvigatel qisqich (klemma)laridagi kuchlanishning oshishi reaktiv quvvat sarfining ko'payishiga olib keladi. Shuningdek, dvigatelning yuklanish koeffitsiyentining kamayishi bilan reaktiv quvvat sarfi ham ortadi. Kuchlanish ortishining har bir foiziga o'rtacha hisobda reaktiv quvvat iste'moli 3% ga ortadi (asosan dvigatelning salt ishlash tokining oshishi hisobidan), bu esa 0,4 kV kuchlanishli konchilik korxonalarining elektr tarmoqlarida aktiv quvvat isrofining oshishiga olib keladi. Kuchlanishning og'ishi lampalarning yorug'lik oqimiga ham ta'sir qiladi, shuningdek, maishiy texnika (televizor, muzlatgich, kompyuter va boshqalar)ning ish sifati va xizmat muddatiga ham salbiy ta'sir ko'rsatadi.

4-rasmda soat 18:00 dan 02:19 gacha bo'lgan oraliqda chastotaning og'ishi +2 Gs dan ortiq, soat 15:00 dan 15:07 gacha esa -2 Gs dan -3 Gs gacha bo'lishi ko'rsatilgan. Chastotaning 49,9 dan 49,5 Gs gacha o'zgarishi, masalan, televizorning texnik signalini me'yordan deyarli to'rt barobar oshishiga olib keladi va uskunaning ishlash muddatiga salbiy ta'sir ko'rsatadi.

XULOSA

Eksperimental tadqiqotlar natijasida 0,4 kV kuchlanishli konchilik korxonalarining tarmoqlarida elektr energiyasining sifat ko'rsatkichlari O'zDSt 1044:2003 davlat standarti me'yorlariga mos kelmaganida, ortiqcha isroflar yuzaga kelishi aniqlandi. Kuchlanish va energiya isroflari fazaviy yuklamalarning notekis taqsimlanishi hamda fazaviy kuchlanishlarning yuqori garmonikalarini paydo bo'lishi tufayli yuzaga keladi. Shuningdek, yuqori garmonikalar hisobidan aktiv quvvat isrofi 19,96% ni tashkil etishi aniqlandi.

Eksperimental tadqiqotlar natijalari quyidagilarni aniqlash imkonini berdi:

- 0,4 kV kuchlanishli konchilik korxonalarining elektr tarmoqlarida energiya isrofining oshishiga ta'sir ko'rsatuvchi asosiy omillar sifatida TP transformatorlari va iste'molchilar quvvatining mutanosib emasligi, shuningdek, alohida fazalar yuklanishining notekisligini hisoblash mumkin;

- alohida o'zgartiruvchi qurilmalarning ishlashining tarmoqdagi elektr energiyasi sifatiga sezilarli ta'siri mavjud va yuqori garmonika filtrlarini o'rnatish talab etiladi;

- TP transformatori chiqish fiderlaridagi iste'molchilar qisqichlaridagi faza kuchlanishlari-ning bir tekisligini ta'minlash uchun 0,4 kV kuchlanishli konchilik korxonalarining tarmoqlarida elektr energiyasining sifat ko'rsatkichlarini yaxshilash tamoyili asosida fazalar yuklamasining simmetriyalash chora-tadbirlarini amalga oshirish kerak.

EXPERIMENTAL STUDY OF ELECTRIC POWER QUALITY PARAMETERS AND LOSSES IN 0.4 KV DISTRIBUTION NETWORKS OF MINING ENTERPRISES

M.K. Bobojonov¹, R.Ch. Karimov¹, O.S. Raximov², A.L. Haqberdiyev¹, D.Sh. Xushvaktov¹

¹Tashkent State Technical University named after Islam Karimov, Tashkent, Uzbekistan

²Polytechnic Institute in Khujand, Khujand, Tajikistan

ABSTRACT

The article examines the issue of experimental research on the quality indicators of electric energy and energy losses in mining industry electrical networks with a voltage of 0.4 kV. As a result of the increase in the number of manufacturing enterprises and workshops in the republic, an asymmetric distribution of single-phase and three-phase consumers in power networks is being observed, which leads to an increase in energy losses of up to 21% due to phase imbalance and asymmetry of load currents. During the research process, the initial parameters of the 0.4 kV mining industry network, the single-line power supply diagram, and the line load currents were determined. The assessment of electric power quality and the determination of loss levels were carried out using the AR6 analyzer. The experimental results made it possible to form a digital database of numerical data on daily consumption, consumer characteristics, and electric power quality indicators. As the main factors affecting energy losses, the impact of the mismatch between transformer and electrical consumer capacities, phase load unbalance, and the generation of higher harmonics by power electronic converter devices on power network quality has been identified. Based on this, the possibilities for developing measures to reduce energy losses and improve the quality of electric power in 0.4 kV mining industry networks have not been considered.

KEYWORDS

O'zDSt 1044:2003 state standard; 0.4 kV mining industry power (electrical) network; energy losses; phase asymmetry; experimental research; energy analysis; AR6 analyzer.

REFERENCE

1. The Law of the Republic of Uzbekistan №O'RQ-940 dated August 7, 2024. "On Energy Saving, Rational Use of Energy, and Improvement of Energy Efficiency".
2. State standard of Uzbekistan O'zDSt 1044:2003. "Methods for measuring and analyzing quality indicators of electrical energy in general-purpose power supply systems" (Protocol №05-19 dated July 18, 2003. – P.27).
3. I.V.Naumov, G.V.Lukina, S.V.Sukyasov, et al. Methodology for Calculating the Asymmetry Indices of Currents and Voltages in a 0.38 kV Network with a Symmetrizing Device // Bulletin of Altai State Technical University named after I.I.Polzunov, 2001, №2. pp.49-56.
4. V.V.Karchin, V.T.Sidorova, A.N.Leukhin. Improving the Power Quality Indicators in 0.4 kV Rural Distribution Networks through Reactive Power Compensation // Proceedings of Higher Educational Institutions. Problems of Energy, 2015, №1-2. pp.61-67.
5. G.V.Lukina, S.I.Bondarenko, E.V.Samarkina. Experimental Study of Electric Power Quality Indicators on a Physical Model of a 0.38 kV Network with a Symmetrizing Device // Bulletin of Irkutsk State Agricultural Academy, 2016, № 72. pp.138-146.
6. N.V.Savina, N.S.Bodrug. Problems of Standardizing Electric Power Quality During the Transition to Intelligent Power Systems // Proceedings of Higher Educational Institutions. Power Engineering Problems, 2016, №5-6. pp.19-26.
7. R.Ch.Karimov, D.Sh.Xushvaktov, D.X.Xalmanov. The problem of improving electrical energy quality indicators as an example of the economic development of Boysun district. AIP Conference Proceedings 3152, 040024 (2024), <https://doi.org/10.1063/5.0218807>
8. Sh.D.Dzhuraev, R.A.Rahimov, R.Ch.Karimov, et al. Study and Analysis of Power Quality in the Electrical Networks of the Outdoor Lighting of the Dushanbe City. Proceedings of the 2022 Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2022, pp.1167–1169. DOI: 10.1109/ElConRus54750.2022.9755782
9. L.V.Fetisov, N.V.Rozhentsova, O.A.Bulatov. Improving the Quality of Electric Power in Low-Voltage Networks // Proceedings of Higher Educational Institutions. Power Engineering Problems, 2018, №20(11-12). pp.99-106.
10. R.Ch.Karimov, M.K.Bobojanov, et al. Development and experimental study of circuits of contactless device for automation of compensation of reactive power of capacitor batteries. E3S Web of Conferences 289, 07012 (2021), <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128907012>
11. O.S.Rakhimov, et al. Experimental Study of Power Quality Indicators and Energy Losses in Low-Voltage Rural Electrical Networks // Proceedings of Higher Educational Institutions. Power Engineering Problems, 2021, Vol.23, №3, pp.209-222. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-3-209-222
12. R.Ch.Karimov, Sh.J.Juraev, S.T.Ismoilov, D.Sh.Khushvaktov. Study of Power Quality in the 0.4 kV Consumer Power Supply System // Scientific Journal "Problems of Energy and Resource Saving" (ISSN: 2091-5985), Tashkent, 2023, №4. pp.172-182.
13. R.Ch.Karimov, D.Sh.Khushvaktov. Software for Calculating Electrical Energy Consumption in Low-Voltage Consumers. Certificate of official registration of a computer program №DGU 45043 issued by the Ministry of Justice of the Republic of Uzbekistan. December 4, 2024.
14. M.K. Bobojanov, E.G. Usmanov, R.Ch. Karimov. Innovative Approaches to Improving and Analyzing Power Quality in 0.4 kV Distribution Networks. Journal of Energy and Resource Saving Problems (ISSN: 2091-5985), Tashkent, 2025, №3. pp.58-74.

Information about authors:

Bobojonov Maxsud Kalandarovich	- DSc. Professor. Professor of the Department of Power Supply. Tashkent State Technical University, 100095, Tashkent, University Str.2, Uzbekistan ORCID: 0000-0002-0244-2932, E-mail: mbobojanov@yahoo.com
Karimov Raxmatillo Choriyevich	- PhD. Associate Professor. Head of the Department of Electrical Engineering. Tashkent State Technical University, 100095, Tashkent, University Str.2, Uzbekistan ORCID: 0000-0002-0129-5643, E-mail: raxmatillo82@mail.ru
Raximov Oxunbobol Sayfiddinovich	- PhD. Associate Professor. Professor of the Department of Power Supply and Automation. Polytechnic Institute in Khujand. Khujand, Tajikistan E-mail: rahimov_o_1948@mail.ru
Haqberdiyev Alim Latipovich	- PhD. Associate Professor of the Department of Mining Electromechanics. Tashkent State Technical University, 100095, Tashkent, University Str.2, Uzbekistan ORCID: 0009-0008-3708-0848, E-mail: alim.haqberdiyev2017@yandex.com
Xushvaktov Dilmurod Shuxratovich	- Assistant of the Department of Electrical Engineering. Tashkent State Technical University, 100095, Tashkent, University Str.2, Uzbekistan ORCID: 0009-0002-1278-4124, E-mail: dilmurodxushvaktov5@gmail.com