

Qobilov Mirodil Xamidjon o'g'li  
Farg'ona politexnika instituti  
Energetika fakulteti 1-bosqich doktoranti  
[malaka.energetika@mail.ru](mailto:malaka.energetika@mail.ru)  
+998 97 590 60 68  
To'uchiyev Zafarjon Zokirovich  
PhD, Farg'ona politexnika instituti  
Energetika fakulteti  
O'quv ishlari bo'yicha dekan o'rinbosari  
[tuychievZ.Z@gmail.com](mailto:tuychievZ.Z@gmail.com)  
+998 91 655 70 55

**ЭНЕРГЕТИКА ВА ЭЛЕКТРОТЕХНИКА. ҚИШЛОҚ ХЎЖАЛИГИ  
ИШЛАБ ЧИҚАРИШИНИ ЭЛЕКТРЛАШТИРИШ ТЕХНОЛОГИЯСИ.  
ЭЛЕКТРОНИКА**

**ELEKTR UZATISH TARMOQLARIDA KUCHLANISH OG'ISHINING  
EKSPLOTATSIYADAGI KUCH TRANSFORMATORLARINING ISH  
REJIMLARIGA TA'SIRI**

**ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ НАПРЯЖЕНИЯ В СЕТЯХ ПЕРЕДАЧИ НА  
РЕЖИМЫ РАБОТЫ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ В ЭКСПЛУАТАЦИИ**

**THE INFLUENCE OF VOLTAGE DEVIATION IN ELECTRICAL  
TRANSMISSION NETWORKS ON THE WORKING MODES OF POWER  
TRANSFORMERS IN OPERATION**

**Annotatsiya**

Ushbu maqolada eksplotatsiyadagi kuch transformatorlarning samarali ishlashi tashqi ta'sirlarga jumladan elektr uzatish tarmog'ida hosil bo'ladigan kuchlanish og'ishiga bog'liqligi tahlil qilingan. Kuchlanish og'ishining kuch transformatorlarining ishlash ishonchligiga texnik hamda iqtisodiy ta'sirlari ko'rib chiqilgan.

**Аннотация**

В данной статье анализируется тот факт, что эффективная работа силовых трансформаторов в процессе эксплуатации зависит от внешних воздействий, в том числе от отклонения напряжения, возникающего в сети электропередачи. Рассмотрены технико-экономические последствия отклонения напряжения на эксплуатационную надежность силовых трансформаторов.

**Abstract**

In this article is analyzed the fact that the effective operation of power transformers in operation depends on external influences, including the voltage deviation generated in the power transmission network. The technical and economic effects of voltage deviation on the operational reliability of power transformers are considered.

**Kalit so'zlar:** Kuchlanish og'ishi, kuch transformatori, cho'lg'am, shikastlanishlar, quvvat isroflar, gisteresiz oqim, aktiv va reaktiv tashkil etuvchilar, ishonchlilik, energiya samaradorligi.

**Ключевые слова:** Отклонение напряжения, силовой трансформатор, схема, повреждение, потери мощности, ток гистерезиса, активные и реактивные генераторы, надежность, энергоэффективность.

**Key words:** Voltage deviation, power transformer, circuit, damage, power losses, hysteresis current, active and reactive generators, reliability, energy efficiency.

Zamonaviy elektr energetika tizimi hozirda asosan ikkita dolzarb mummaoga duch kelmoqda:

1. Elektr ta'minoti ishonchliligi va elektr qurilmalarning ishonchli hamda uzluksiz ishlashini ta'minlash;

2. Elektr energiyasini sifat ko'rsatkichlari parametrlarining GOST talablariga muvofiq iste'molchilarga yetkazib berish;

Ishonchlilikni kamayishi elektr energiyasining sifat ko'rsatkichlarining buzilishi hisobiga hosil bo'ladi. Ma'lumki elektr energiyasining kamayishi hisobiga hosil bo'ladigan iqtisodiy isrof ikkita tashkil etuvchiga bo'linadi: a) texnologik va b) elektromagnit. Texnologik tashkil etuvchi asosan elektr qurilmaning ishlash unumdorligi hamda ishlab chiqirilayotgan maxsulotning tannarxiga bog'liq. Elektromagnit tashkil etuvchi esa elektr va issiqlik ta'sirida elektr qurilma izolatsiyasining eskirish tezligi bilan ifodalanadi.

Elektr energiyaning sifat ko'rsatkichlarini buzilishi oqibatida kuch transformatorlarining cho'lg'am izolatsiyasida qo'shimcha issiqlikni ajralib chiqishi, teskari ketma-ketlik va yuqori garmonika toklarining hosil bo'lishi tufayli qo'shimcha aktiv quvvat isrofining ortishi xizmat ko'rsatish muddatini kamayadi. Shuning uchun kuchlanish og'ishi mavjud elektr uzatish liniyasidan ta'minlanayotgan kuch transformatorlarida qo'shimcha qizish hamda energiya isrofi kuzatiladi. Quyida kuchlanish og'ishining paydo bo'lish sabablari va eksplotatsiyadagi kuch transformatorlarning ishlash ishonchliligiga ta'siri haqida ma'lumotlar keltirib o'tilgan.

Kuchlanish og'ishi quyidagi sabablarga ko'ra sodir bo'ladi [1]:

- Elektr iste'molchilarni tarmoqqa noto'g'ri ulanishi tufayli;
- Elektr tarmoqlarida yuklamaning ortib ketishi.

Elektr tarmoqlarida reaktiv quvvat kompensatsiya qurilmalarining noto'g'ri tanlash oqibatida sutkalik yuklamalarning pik momentida aktiv va reaktiv quvvatning yetishmasligi kuzatilib, elektr ta'minotida chastota va kuchlanish belgilangan nominal qiymatdan og'ishi sodir bo'ladi.

Kuchlanishni rostlovchi qurilmalarining noto'g'ri tanlash hisobiga tarmoqda kuchlanishning yetarli darajada rostlay olmasligi va buning natijasida kuchlanish og'ishi hosil bo'ladi.

Kuchlanish og'ishining mohiyati  $Z=R+jx$  qarshilikka ega bo'lgan eng oddiy elektr tarmog'ining toki va kuchlanishlarining vektor diagrammasini ko'rib chiqamiz [2]. Bunday diagramma 1-rasmda keltirilgan.

Berilgan tarmoqning holat tenglamalari quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi [2]:

$$\bar{U}_t = \bar{U}_n + \delta\bar{U}; \quad (1)$$

$$\delta\bar{U} = IZ = (I_a - jI_p)(R + jx) = I_aR + I_pX - j(I_aX - I_pR) = \Delta\bar{U} - j\Delta\bar{U} \quad (2)$$

Bu yerda:  $U_t$ —elektr tarmog'ining kuchlanish vektori;  $U_n$ —iste'molchi qisqichlaridagi kuchlanish vektori;  $\delta U$ —qarshilikka ega tarmoqning kuchlanish og'ishi,  $\Delta\bar{U}, j\Delta\bar{U}$ — kuchlanish og'ishining bo'ylama va ko'ndalang tashkil etuvchilari;

Kuchlanish og'ishining bo'ylama tashkil etuvchisi quyidagi ifoda orqali aniqlanadi [3]:

$$\Delta U_f' = I_aR + I_pX = I(R \cos \varphi + X \sin \varphi) \quad (3)$$

Kuchlanish og'ishining ko'ndalang tashkil etuvchisi:

$$\delta U_f'' = I_a X + I_p R = I(X \cos \varphi - R \sin \varphi) \quad (4)$$

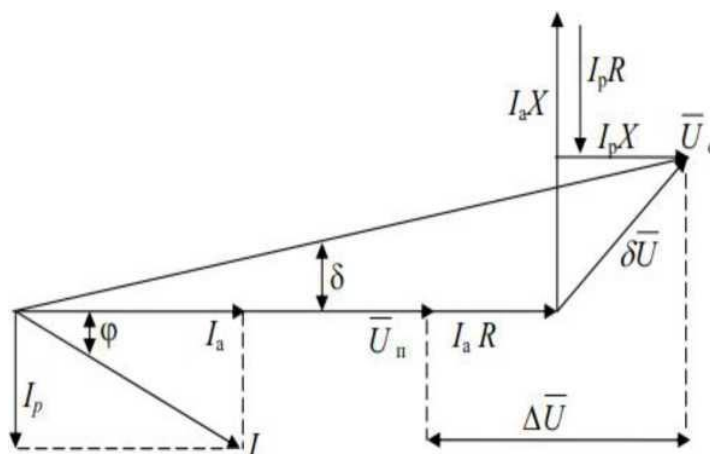
Aktiv-induktiv yuklamalarda kuchlanish og'ishining ko'ndalang tashkil etuvchisi qiymati kichikligi sababli hisoblashlarda e'tiborga olinmaydi.

Uzoq muddat davomida kuchlanish og'ishi elektr iste'molchilar va elektr qurilmalarning ishlash samaradorligiga va qurilmalarning shikastlanishiga sabab bo'ladi [4].

Kuch transformatorlari yuqori kuchlanish tomonida kuchlanishning uzoq muddat davomida og'ishi transformatorning shikastlanishi va qo'shimcha quvvat isrofini keltirib chiqarishi mumkin:

1. Elektr uzatish tamog'ida kuchlanishning uzoq muddat davomida og'ishi kuch transformatorida turli shikastlanishlarga sabab bo'ladi.

Kuch transformatorlari ishlab chiqarilgan vaqtda undagi salt ishlash davomidagi aktiv quvvat isrofi asosan magnit o'zak tuzilishi, material xususiyati, cho'lg'amlarning o'ralish usuli hamda magnit o'zak plastinkalari shakli joylashuvi va paramterlariga bog'liq. [5].



1-rasm. Eng sodda elektr tarmoqlari kuchlanishi uchun vektor diagramma [2].

Transformatorning salt ishlash vaqtidagi aktiv quvvat isrofi quyidagi formula orqali hisoblanadi:

$$P_{xx} = k'_c G_c + k'_y G_y + k'_u G_u \quad (5)$$

Bu yerda:  $k'_c, k'_y, k'_u$  – to'g'ri to'rtburchak shaklidagi po'lat, yarmo va burchakning magnit maydon induksiyasi 1,5-1,65 oraliqda bo'lganda induksiyaning birinchi garmonika koeffisientlari;  $G_c, G_y, G_u$  – po'lat, yarmo va burchakning massasi.

Yuqoridagi ifodadan ko'rinib turibdiki, kuch transformatorining salt ishlash vaqtidagi quvvat isrofi tashqi parametrlarga ya'ni tarmoq kuchlanishi va tokiga bog'liq holda o'zgarmaydi, lekin salt ishlash vaqtidagi tok kuchi bundan mustasno. Kuch transformatorining salt ishlash toki transformatorning ishlab chiqarilgan material turi, klassifikatsiyasi va o'zakning shakliga bog'liqligi bilan bir qatorda tashqi parametrlar ya'ni elektr tarmog'ining kuchlanishi va tokiga ham bog'liq [5].

Kuch transformatorining salt ishlash toki aktiv tashkil etuvchisi quyidagi ifoda orqali tarmoqning faza kuchlanishiga bog'liq [5]:

$$I_{xa} = P_{xx} / (m U_f) \quad (6)$$

Bu yerda  $U_f$  – faza kuchlanishi [V], m-fazalar soni

Uch fazali kuch transformatorining salt ishlash tokining reaktiv tashkil etuvchisi esa [5]:

$$I_{xr} = Q_{xx} / (m U_f) \quad (7)$$

Umumiy kuch transformatorining salt ishlash toki:

$$I_{xx} = \sqrt{I_{xa}^2 + I_{xr}^2} \quad (8)$$

Yuqoridagi formulalardan kuch transformatorlarining salt ishlash toki liniya kuchlanishiga teskari proporsional ekanligini ko‘rishimiz mumkin.

Kuch transformatorlarida salt ishlash toki qiymatining o‘zgarishi o‘zak va cho‘lg‘amning geometrik shakliga joylashuviga va ishlash rejimiga bevosita ta‘sir etuvchi parametrlarda biri hisoblanadi [6]. Transformatorlarning salt ishlash tokining belgilangan qiymatidan o‘zgarishi quyidagi shikastlanishlarga sabab bo‘ladi (2-rasm).

2. Elektr tarmog‘ida kuchlanishning uzoq vaqt davomida belgilangan qiymatidan og‘ishi kuch transformatorlarida qo‘shimcha quvvat isrofiga sabab bo‘ladi [7]. Eksperiment tadqiqotlar uchun tanlab olingan kuch transformatorlarida elektr yuklamalarning quvvat va elektr energiyasi isrofi tok kuchining kvadartiga to‘g‘ri va kuchlanishining kvadratiga teskari proporsional bo‘ladi. Salt ishlashdagi quvvat esa kuchlanishning kvadratiga to‘g‘ri proporsional. Bundan kuchlanish og‘ishi natijasida umumiy yo‘qotiladigan elektr energiyasi isrofi quyidagicha [8] hisoblanadi:

$$\Delta P = \Delta P_{yuk.nom} \left(\frac{100}{100+\delta U}\right)^2 + \Delta P_{salt.nom} \left(\frac{100+\delta U}{100}\right)^2 \quad (9)$$

bu erda  $\Delta P_{yuk.nom}$ ,  $\Delta P_{salt.nom}$  – kuchlanish nominal qiymatlarida yuklama va salt ishlash rejimidagi isroflar, kWt,  $\delta U$  – kuchlanishning nominaldan og‘ishi, %.

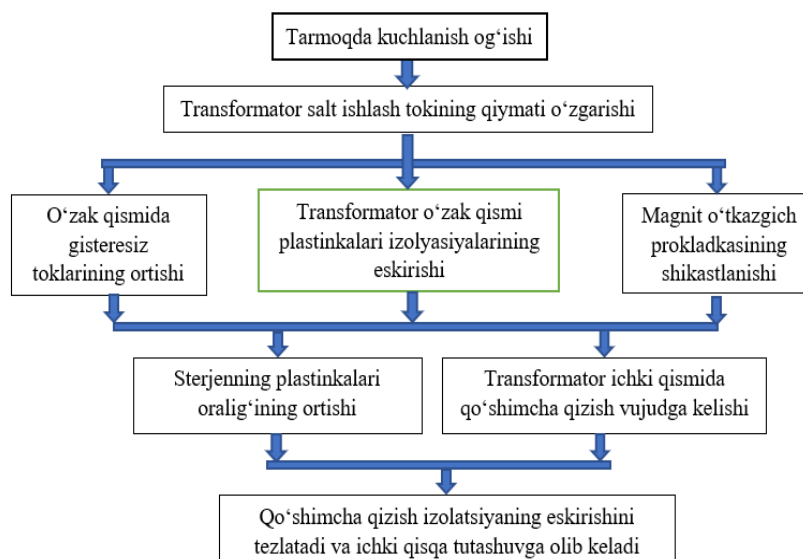
Nominal qiymatga nisbatan qo‘shimcha quvvat sarfining ortishi (kamayishi) quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$\Delta \delta P = \frac{\delta U}{50} (\Delta P_{salt.nom} - \Delta P_{yuk.nom}) \quad (10)$$

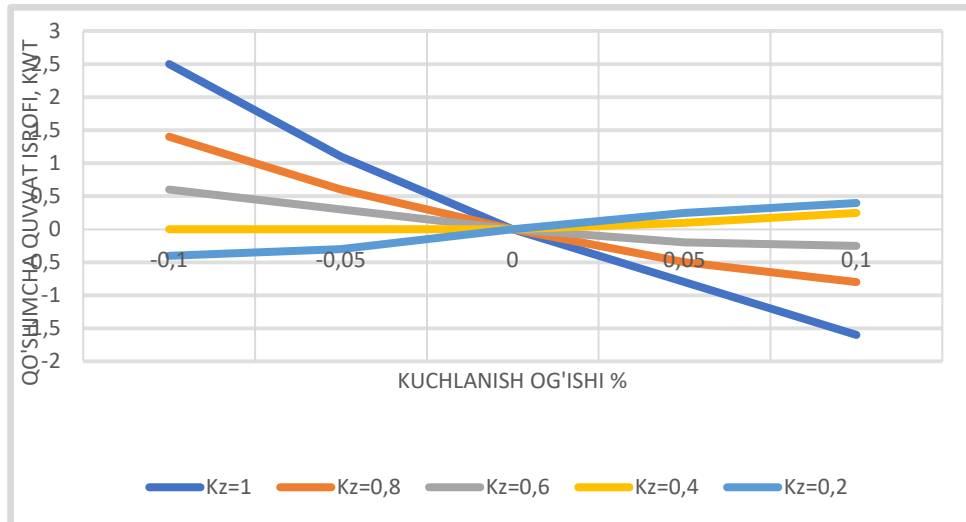
bu yerda:  $\delta P$  – quvvat isrofining o‘zgarishi, kWt.

Agar  $\Delta P_{salt.nom} > \Delta P_{yuk.nom}$  ( $K_{yuk} < 0.4$ ) bo‘lganda kuchlanishni kamaytirish tavsiya etiladi, chunki  $\Delta U < 0$  da quvvat isrofi kamayadi.

Turli yuklama rejimida ishlayotgan TM-100 kVA li kuch transformatorlarida kuchlanishning og‘ishi natijasida hosil bo‘ladigan qo‘shimcha aktiv quvvat sarfi grafik ko‘rinishda egri chiziq hosil qiladi (3-rasm).



2-rasm. Elektr tarmog‘ida kuchlanish og‘ishi natijasida kuch transformatorida hosil bo‘ladigan shikastlanishlar



3-rasm. TM-100 kVA kuch transformatorida kuchlanish og'ishi natijasida qo'shimcha quvvat sarfining hosil bo'lishi

Agar  $\Delta P_{yuk.nom} > \Delta P_{salt.nom}$  ( $K_{yuk} < 0,5$ ) bo'lganda kuchlanishni nominaldan ortishi natijasida transformatorning qo'shimcha quvvat isrofi kamayadi [6].

Yuklanish koeffitsienti  $0,4 < K_{yuk} < 0,5$  oraliqda bo'lganda kuch transformatori yuklama va salt ishlash rejimlarida hosil bo'ladigan qo'shimcha quvvat isrofi  $\Delta P_{yuk.nom} \approx \Delta P_{salt.nom}$  bo'ladi.

Kuch transformatorlarida kuchlanish og'ishi natijasida hosil bo'ladigan qo'shimcha quvvat isrofi quyidagi formula orqali aniqlanadi [9]:

$$\delta P_{\delta U} = \Delta P_{\delta U} - \Delta P_{nom} \quad (11)$$

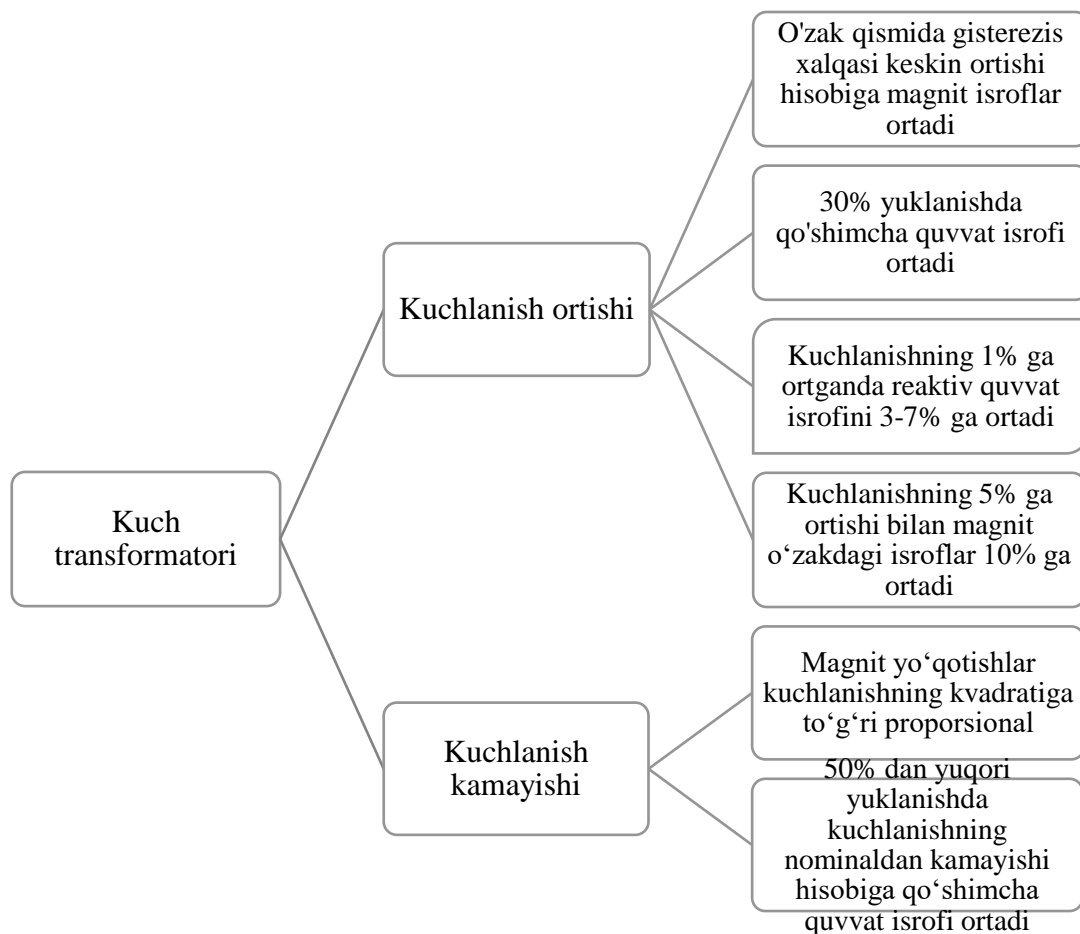
bu yerda,  $\Delta P_{\delta U}, \Delta P_{nom}$  – elektr qurilmaning nominal kuchlanishdagi quvvat isrofi va kuchlanishning og'ishida hosil bo'luvchi quvvat isrofi, kWt.

Qo'shimcha hosil bo'luvchi quvvat isrofini aktiv quvvatga nisbatan foizlarda quyidagicha ifodalash mumkin [10]:

$$\delta P_{ort.\delta U} = \frac{\delta P_{\delta U}}{P_{nom}} 100\% \quad (12)$$

$P_{nom}$  – Kuch transformatorining umumiy quvvati, kWt.

Kuchlanish og'ishi natijasida transformatorlarning ishlash samaradorligi tushib, qo'shimcha quvvat isroflari paydo bo'ladi (4-rasm).



4-rasm Kuch transformatorlarda kuchlanish og'ishi natijasi hosil bo'ladigan qo'shimcha quvvat sarfi

**Xulosa** qilib aytganda, elektr ta'minoti tizimida kuchlanish og'ishi natijasida elektr qurilmalarining ishlash samaradorligi tushib qo'shimcha quvvat sarfiga olib keladi. Yuqoridagi ma'lumotlarga asosan bir qancha turdagi elektr qurilmalarda kuchlanish og'ishi natijasida quyidagi holatlar yuzaga kelishi mumkin:

- Kuch transformatorning o'zak qismida hosil bo'luvchi gisterezis halqasi kuchlanishning nominal qiymatdan ortishi hisobiga keskin o'sadi va buning natijasida transformatorning o'zak qismida magnet isroflar ham ortadi. Magnet isroflar kuchlanishning joriy qiymatining kvadratiga to'g'ri proporsional tarzda o'zgaradi. Shuning uchun po'lat o'zakda izolyatsiyaning buzilishi holatlari kuzatiladi hamda kuch transformatorining ishlash ishonchliligi kamayadi.

- Kuch transformatorlarida 50% dan yuqori yuklanishda kuchlanishning nominaldan kamayishi hisobiga qo'shimcha quvvat isrofi ortadi, transformatorlar kam yuklanganda esa (30% gacha), kuchlanishning kamayishi hisobiga elektr tarmog'idagi qo'shimcha quvvat isroflari kamayadi.

- Kuchlanishning 5% ga ortishi bilan magnet o'zakdagi isroflar 10% ga ortadi.

- Kuchlanishning 1% ga ortishi reaktiv quvvat isrofini 3-7% ga ortishiga sabab bo'ladi;

Kuchlanishning og'ishi natijasida hosil bo'luvchi qo'shimcha quvvat isroflarini kamaytirish uchun elektr uzatish liniyasida kuchlanishni  $(1 \div 1,1)$  oraliqda ushlab turish kerak. Demak elektr qurilmalarining texnik va iqtisodiy mezonlarga muvofiq ruxsat etilgan kuchlanish og'ishining optimal diapazonda ta'minlanishi zarur.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Горюнов В. Н. Схематические решения активной фильтрации кривой тока в четырехпроводной трехфазной сети для обеспечения качества электрической энергии // Омский научный вестник. – 2011. – № 3 (103). – С. 214–217.
2. Волков Н.Г. Качество электроэнергии в электроснабжения: Учебное пособие//Томск: изд-во Томского политехнического университета Энергоатомиздат, 2010, С.3-152
3. Герман Л.А. Роль продольной и поперечной составляющих падения напряжения при автоматизации режима тяговой подстанции//научно-технический журнал «Электроника и электрооборудование транспорта Электроснабжение и электрооборудование № 5-6; 2015 С.2-8
4. Ананичева С.С. Качество электроэнергии. Регулирование напряжения и частоты в энергосистемах: учебное пособие //3-е изд., испр. Екатеринбург: УрФУ. 2012. С.93
5. П.М. Тихомиров. Расчет трансформаторов: Учебное пособия для вузов. - 7-е изд. Перераб и доп.-М: Энергоатомиздат. 2006.-528с.:ил.
6. Казаков Ю.Б., Фролов В.Я., Коротков А.В. Методика определения мощности потерь холостого хода трансформаторов с различным сроком службы // Вестник ИГЭУ. 2012. Вып. 1. С. 20-24.
7. В. В Горицкий Влияние качества электроэнергии на работу асинхронных электродвигателей//1 January 2018 ГГТУ им. П. О. Сухого Материалы XVIII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 26–27 апр. 2018 г
8. Сафонов Д. Г. Влияние отклонения напряжения на потери мощности в электрооборудовании электрических сетей и потребителей//Омский научный вестник № 2.2013 С.203-206
9. Янукович Г. И. Качество электрической энергии и способы его повышения : пособие– Минск : БГАТУ, 2008. –С.70
10. Грачева Е. И., Наумов О. В., Садыков Р. Р. Учет холостого хода трансформаторов в период эксплуатации при расчете потерь электроэнергии в распределительных сетях //Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2016. – №. 1-2. – С. 53-63.