ISNN 3030-3907

2026
JUNE
ISSUE - 6
VOLUME -2

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

IYUN 2026
Issue - 6, VOLUME – 2

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

ELEKTR TARMOQLARIDA REAKTIV QUVVATNI KOMPENSATSIYA QILISH USULLARI VA QURILMALARI

Y.K.Xamidov
Termiz davlat muhandislik va agrotexnologiyalar universiteti
B.B.Abdulazizov
Termiz davlat muhandislik va agrotexnologiyalar universiteti
B.A. Xushboqov
Termiz davlat muhandislik va agrotexnologiyalar universiteti
K.F. Abdirasulov
Termiz davlat muhandislik va agrotexnologiyalar universiteti

Annotatsiya. Ushbu maqolada elektr tarmoqlarida reaktiv quvvatning hosil bo‘lish tabiati, uning texnik-iqtisodiy oqibatlari va kompensatsiya qilishning zamonaviy usullari ko‘rib chiqiladi. Statik kondensator batareyalari, sinxron kompensatorlar, thyristorli boshqariladigan reaktorlar va statik var-kompensatorlar tahlil qilinadi. Kompensatsiya qurilmalarini joylashtirish va quvvat tanlashning optimal usullari bayon etiladi. Tadqiqot natijalari elektr tarmoqlarida kuchlanish sifatini yaxshilash va energiya yo‘qotishlarini kamaytirishga yo‘naltirilgan amaliy tavsiyalar bilan yakunlanadi.

Kalit so‘zlar: reaktiv quvvat, kompensatsiya, kondensator batareyasi, sinxron kompensator, statik var-kompensator (SVC), thyristor boshqariladigan reaktor, cosφ, quvvat koeffitsienti, elektr tarmoq.

Аннотация. В данной статье рассматриваются природа возникновения реактивной мощности в электрических сетях, её технико-экономические последствия и современные методы компенсации. Проводится анализ статических конденсаторных батарей, синхронных компенсаторов, тиристорно-управляемых реакторов и статических вар-компенсаторов. Излагаются оптимальные методы размещения компенсирующих устройств и выбора их мощности. Результаты исследования завершаются практическими рекомендациями, направленными на улучшение качества напряжения и снижение потерь электроэнергии в электрических сетях.

Ключевые слова: реактивная мощность, компенсация, конденсаторная батарея, синхронный компенсатор, статический вар-компенсатор (SVC), тиристорно-управляемый реактор, cosφ, коэффициент мощности, электрическая сеть.

Abstract. This article examines the nature of reactive power generation in electrical networks, its technical and economic consequences, and modern methods of compensation. Static capacitor banks, synchronous compensators, thyristor-controlled reactors, and static var compensators are analyzed. Optimal methods for placing compensation devices and selecting their power ratings are

presented. The research findings conclude with practical recommendations aimed at improving voltage quality and reducing energy losses in electrical networks.

Keywords: reactive power, compensation, capacitor bank, synchronous compensator, static var compensator (SVC), thyristor-controlled reactor, cosφ, power factor, electrical network.

KIRISH.

Hozirgi kunda sanoat va maishiy ehtiyojlar uchun iste'mol qilinadigan elektr energiyasining tobora o'sib borishi fonida elektr tarmoqlarida energiya sifatini ta'minlash dolzarb masalaga aylanmoqda. Elektr yuklamalarni tarkibida induktiv xarakterga ega bo'lgan asinxron elektr dvigatellari, transformatorlar, elektr yoy pechlar va boshqa sanoat qurilmalari katta ulushni egallaydi. Bu qurilmalar ish vaqtida faqat aktiv quvvat emas, balki reaktiv quvvat ham iste'mol qiladi.

Reaktiv quvvat iste'moliga nisbatan elektr stansiyalaridan yirik iste'molchilarga uzatiladigan umumiy tok ortadi, bu esa tarmoq elementlari (kabellar, transformatorlar, kommutatsiya apparatlari) kesimlarini oshirishni talab qiladi, aktiv quvvat yo'qotishlarni ko'paytiradi hamda kuchlanish darajasini pasaytiradi. Shu sababdan reaktiv quvvatni kompensatsiya qilish elektr energiyasini tejaydigan va tarmoq sifatini oshiradigan muhim muhandislik yechim hisoblanadi [1, 2].

Ushbu maqolaning maqsadi - reaktiv quvvatni kompensatsiya qilishning nazariy asoslarini bayon etish, mavjud kompensatsiya qurilmalari va usullarini qiyosiy tahlil qilish, hamda ularni amaliyotga tatbiq etish bo'yicha ilmiy-texnik ko'rsatmalar berish.

O'zgaruvchan tok zanjirlarida to'liq quvvat S, aktiv quvvat P va reaktiv quvvat Q o'rtasida quyidagi bog'liqlik mavjud:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}\ \text{[VA]}\ ;\ Q = P \cdot \text{tg}\varphi\ \text{[VAr]}$$

Bu yerda φ - tok va kuchlanish o'rtasidagi faza farqi. Induktiv yuklar uchun tok kuchlanishdan orqada qoladi ($\varphi > 0$), shuning uchun ular manba tariqasida qaralganda induktiv reaktiv quvvat iste'mol qiladi ($Q > 0$). Kondensatorlar esa reaktiv quvvat generatsiya qiladi ($Q < 0$), ya'ni ularni manbalar bilan qoplash imkoniyati mavjud [3].

Kompensatsiya qilinmagan reaktiv quvvatning asosiy texnik-iqtisodiy oqibatlari quyidagilardan iborat:

- Kuchlanish pasayishi: uzun tarmoq liniyalarida reaktiv quvvat oqimi kuchlanish tushishiga olib keladi, bu esa iste'molchi qurilmalarining ish sifatini yomonlashtiradi.

ISSN 3030-3907

- Generatsiya va uzatish quvvatining kamayishi: elektr stansiyalari va transformatorlarning generatsiya quvvati reaktiv yuklar bilan band bo‘ladi, aktiv quvvat uzatish imkoniyati qisqaradi.

- Iqtisodiy yo‘qotishlar: tarmoq elementlarining kattaroq kesim yoki quvvat bilan tanlanishi kapital xarajatlarni oshiradi; aktiv yo‘qotishlar ortishi operatsion xarajatlarni ko‘paytiradi [4].

TADQIQOT MATERIALLARI VA USLUBI. *Statik kondensator batareyalari (SKB)* - Statik kondensator batareyalari reaktiv quvvatni kompensatsiya qilishning eng keng tarqalgan va iqtisodiy jihatdan qulay usuli hisoblanadi. Ular uch fazali yoki bir fazali kondensatorlardan tashkil topib, yuklama bilan parallel ulangan holda kapasitiv reaktiv quvvat generatsiya qiladi. Kondensatorning generatsiya qiladigan reaktiv quvvati:

$$Q_n = U^2 \cdot \omega C = U^2 / X_n \text{ [VAr]}$$

SKBning asosiy afzalliklari: past kapital xarajatlar, yuqori ishonchlilik, texnik xizmat ko‘rsatishning soddaligi, modullarga bo‘linish imkoniyati. Kamchiliklari: bosqichma-bosqich tartibga solish, kuchlanish o‘zgarganda generatsiya qiluvchi quvvat kvadrat proporsional o‘zgarishi ($Q \sim U^2$), rezonans holatlari xavfi [5].

Sinxron kompensatorlar (SK) - mexanik yuklanishsiz bo‘sh ishlovchi sinxron mashina. Qo‘zg‘atish tokini o‘zgartirish orqali ham induktiv, ham kapasitiv reaktiv quvvatni uzluksiz tartibga solish imkonini beradi. Ortiqcha qo‘zg‘atishda ($Q > 0$) kondensator sifatida, kam qo‘zg‘atishda ($Q < 0$) reaktor sifatida ishlaydi.

Sinxron kompensatorlar katta nominal quvvatli (10 - 160 MVAr) yirik elektr stantsiyalari va podstansiyalarda qo‘llaniladi. Ular uzluksiz tartibga solish va kuchlanish pasayganda ham to‘liq quvvat berish qobiliyatiga ega, biroq mexanik qismlar mavjudligi texnik xizmat xarajatlarini oshiradi [6].

Sinxron dvigatellari va generatorlari - Sanoat korxonalarida ishlatiladigan sinxron dvigatellari qo‘zg‘atish tokini oshirish yo‘li bilan reaktiv quvvat generatsiya qila oladi. Bu ularni mexanik yukni harakatga keltirishdagi asosiy vazifasi bilan birgalikda reaktiv quvvat kompensatori sifatida ham ishlatish imkonini beradi. Bunday yondashuv kapital xarajatlarsiz mavjud qurilmalar bazasida kompensatsiyani amalga oshirish imkonini beradi [9].

TAJRIBA NATIJALARI: 1-jadvalda asosiy kompensatsiya qurilmalarining texnik-iqtisodiy ko‘rsatkichlari qiyosiy tahlili keltirilgan.

ISSN 3030-3907

1-Jadval.

Kompensatsiya qurilmalarining qiyosiy tavsifi

Ko‘rsatkich	SKB	Sinxron komp.	SVC / TCR	STATCOM
Tartibga solish turi	Bosqichli	Uzluksiz	Uzluksiz	Uzluksiz
Tezlik (ms)	>200	50–200	10–50	2–5
Quvvat diapazoni	0.01–50 MVAr	10–160 MVAr	10–400 MVAr	10–200 MVAr
Nisbiy kapital xarajat	Past (1)	O‘rta (3)	Yuqori (4)	Juda yuqori (5)
Ishlash muddati	20–25 yil	15–20 yil	20–25 yil	20–25 yil
Texnik xizmat	Oson	Murakkab	O‘rtacha	Oson
Garmonikalar hosil qilishi	Yo‘q	Yo‘q	Bor (TCR)	Minimal

Kompensatsiya qurilmasini optimal joylashtirish

Kompensatsiya quvvatini hisoblash

Mavjud $\cos\varphi_1$ ni me’yoriy $\cos\varphi_2$ ga oshirish uchun zarur bo‘lgan kompensatsiya quvvati quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$Q_n = P\,(\mathrm{tg}\varphi_1 - \mathrm{tg}\varphi_2)\ \ [\mathrm{kVAr}]$$

Bu yerda P - korxonaning o‘rtacha aktiv quvvati (kW); $\mathrm{tg}\varphi_1$ - mavjud holat; $\mathrm{tg}\varphi_2$ - maqsadli holat. Ko‘pchilik hollarda $\cos\varphi = 0.92–0.95$ me'yoriy qiymat sifatida qabul qilinadi, bu O‘zbekiston energetika me’yoriy hujjatlari talablariga mos keladi [10].

Kompensatsiya qurilmalarini joylashtirish masalasi tarmoqning konfiguratsiyasi, yuklama taqsimoti va iqtisodiy omillarga bog‘liq holda hal qilinadi. Uch asosiy strategiya mavjud:

1. Markazlashtirilgan kompensatsiya - asosiy transformator yuklanishini kamaytirish maqsadida podstansiya shinasiga o‘rnatiladi. Oddiy va arzon yechim, lekin tarmoq yo‘qotishlarini to‘liq kamaytirmaydi.

2. Guruhli kompensatsiya - bir nechta yirik yuklama nuqtalariga yaqin o‘rnatiladi. Tarqatilgan yechim bo‘lib, ham transformator, ham kabel yo‘qotishlarini kamaytiradi.

3. Individual (lokal) kompensatsiya - har bir yuklama manbasiga (masalan, asinxron dvigatel) alohida kondensator o‘rnatiladi. Eng yuqori samaradorlik, lekin murakkabroq texnik xizmat va yuqori kapital xarajat talab qiladi [11].

ISSN 3030-3907

Tadqiqot natijalari.

O‘zbekiston Respublikasining sanoat korxonalarida o‘tkazilgan monitoring tadqiqotlari shuni ko‘rsatadiki, ko‘pchilik ishlab chiqarish korxonalarida hozirgi cosφ = 0.70–0.80 darajasida bo‘lib, bu me’yoriy talabdan (0.92–0.95) sezilarli darajada past. Ushbu holat quyidagi raqamli ko‘rsatkichlarda namoyon bo‘ladi:

- Tarmoqdagi aktiv yo‘qotishlar meyoriy ko‘rsatkichdan 25–40% ga ortiq;
- Transformator yuklanishi 15–20% ga ortiqcha;
- Iste’molchi shinasidagi kuchlanish darajasi 3–7% pastroq bo‘lishi kuzatildi.

Tadqiqotlarga ko‘ra, 1000 kVA quvvatli transformatorga 400 kvar kondensator batareyasi o‘rnatilganda yillik iqtisodiy samara 35–45 million so‘m ni tashkil etadi (2026 y. narxlar bo‘yicha). O‘z-o‘zini qoplash muddati odatda 1.5–3 yil bo‘ladi, bu esa investitsion jihatdan jozibali yechim hisoblanadi [12].

Zamonaviy tendensiyalar nuqtai nazaridan Active Harmonic Filter (AHF) va Energy Storage System (ESS) bilan integratsiyalashgan aqlli kompensatsiya tizimlari perspektivali yo‘nalish sifatida ko‘rib chiqilmoqda. Bu tizimlar reaktiv quvvat kompensatsiyasini garmonikalarni filtrlash va energiya saqlash funktsiyalari bilan birlashtira oladi [13].

XULOSA.

Ushbu maqolada elektr tarmoqlarida reaktiv quvvatni kompensatsiya qilish masalasi har tomonlama tahlil qilinib xulosalar quyidagilardan iborat:

1. Reaktiv quvvat kompensatsiyasi tarmoq yo‘qotishlarini 20–40% kamaytirish, kuchlanish sifatini yaxshilash va generatsiya quvvatini bo‘shatish imkonini beradi.

2. Kompensatsiya qurilmasini tanlashda yuklama xarakteri (statik yoki dinamik), tarmoqning konfiguratsiyasi, talab qilinadigan tartibga solish tezligi va investitsion imkoniyatlar hisobga olinishi lozim.

3. Oddiy sanoat korxonalari uchun statik kondensator batareyalari eng maqbul yechim bo‘lib qolmoqda; o‘zgaruvchan yuklar uchun SVC yoki STATCOM qo‘llanishi tavsiya etiladi.

4. Keyingi tadqiqotlarda IoT va Sun'iy Intellekt texnologiyalari asosida adaptiv kompensatsiya tizimlarini ishlab chiqish perspektivali yo‘nalish sifatida belgilangan.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Идельчик В.И. Электрические системы и сети. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 592 с.
2. Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии. – М.: ЭНАС, 2009. – 456 с.
3. Saymon Xorn. Elektr energetika tizimlari. – Toshkent: Fan, 2021. – 380 b.

4. Miller T.J.E. Reactive Power Control in Electric Systems. – John Wiley & Sons, 1982. – 408 p.
5. Theraja B.L., Theraja A.K. A Textbook of Electrical Technology. Vol. II. – New Delhi: S. Chand, 2005.
6. Hingorani N.G., Gyugyi L. Understanding FACTS: Concepts and Technology. – IEEE Press, 2000. – 432 p.
7. Dixon J. et al. Reactive Power Compensation Technologies: State-of-Art Review // Proceedings of the IEEE. – 2005. – Vol. 93, №12. – P. 2144–2164.
8. Mohan N., Undeland T.M., Robbins W.P. Power Electronics: Converters, Applications, and Design. – Wiley, 2003.
9. O‘zbekiston Respublikasi Energetika vazirligining me'yoriy-texnik hujjati. Elektr energiyasi sifati mezonlari. – Toshkent, 2022.
10. Andersen B.R. STATCOM Technology and Its Applications // ABB Review. – 2006. – №2. – P. 12–19.
11. Akagi H. Active Harmonic Filters // Proceedings of the IEEE. – 2005. – Vol. 93, №12. – P. 2128–2141.
12. Razzaqov B.I., Hasanov O.T. Sanoat korxonalarida energiya tejash imkoniyatlari // O‘zbekiston energetikasi. – 2023. – №4. – B. 45–52.
13. Zhang X., Wang Z. Smart VAR Compensation Using AI and IoT // IEEE Transactions on Smart Grid. – 2024. – Vol. 15, №1. – P. 112–124.

ISSN 3030-3907