GARMONIKALAR VA QUVVAT OMILI ASOSIDA TAQSIMLANGAN ELEKTR TARMOQLARIDA QUVVAT SIFATINI TAHLIL QILISH

J.N. Tolipov
O‘zR FA Energetika muammolari instituti
A.H. Saidov
Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti
U.K. Mirxonov
Buxoro davlat texnika universiteti

Annotatsiya. Ushbu maqolada taqsimlangan fotoelektr energiya manbalarining elektr tarmoqlari quvvat sifatiga ko‘rsatadigan ta’siri o‘rganilgan. An’anaviy yoqilg‘i manbalarining kamayib borishi va ekologik omillar qayta tiklanuvchi energiya manbalariga, xususan, fotoelektr tizimlariga e’tiborni oshirmoqda. Shu bilan birga, ushbu manbalarni tarmoqqa ulash quvvat sifati bilan bog‘liq bir qator muammolarni yuzaga keltirmoqda. Maqolada quvvat sifati tahlilining asosiy ko‘rsatkichlari – quvvat omili (PF) va garmonik buzilish darajasi (THD) tushuntirilgan, ularning hisoblash formulalari keltirilgan. Shuningdek, quvvat sifati monitoringi uchun zarur bo‘lgan tizim komponentlari va real vaqtda tahlil qilish imkoniyatiga ega aqlli tizim taklif etilgan.

Garmonikalar va ularning elektr tarmog‘i barqarorligiga ta’siri tahlil qilinib, ularni aniqlash uchun matematik ifodalar berilgan. Reaktiv quvvatni kompensatsiya qilish va kuchlanish barqarorligini ta’minlashda qo‘llaniladigan texnologiyalar, shu jumladan mikrogrid tizimlari, samarali yechim sifatida ko‘rib chiqilgan. Maqola, qayta tiklanuvchi energiya manbalarini elektr tarmoqlariga xavfsiz va sifatli ulash bo‘yicha nazariy hamda amaliy yondashuvlari yoritilgan va zamonaviy monitoring texnologiyalarining ahamiyati ochib berilgan.

Kalit so‘zlar: taqsimlangan generatsiya manbalari, garmonik buzilish, reaktiv quvvat kompensatsiyasi, quvvat sifati, garmonikani o‘lchash, effektiv kuchlanish, elektr tarmog‘i barqarorligi, garmonik tahlil.

Аннотация. В данной статье рассматривается влияние распределенных фотоэлектрических источников энергии на качество электроэнергии в электрических сетях. Истощение традиционных источников топлива и экологические факторы обусловливают повышенное внимание к возобновляемым источникам энергии, в частности фотоэлектрическим системам. В то же время, подключение этих источников к сети создает ряд проблем, связанных с качеством электроэнергии. В статье рассматриваются основные показатели анализа качества электроэнергии – коэффициент мощности (КМ) и коэффициент гармонических искажений (КНИ), и приводятся формулы их расчета. Также предлагаются компоненты системы,

ISSN 3030-3907

необходимые для мониторинга качества электроэнергии, и интеллектуальная система с возможностью анализа в режиме реального времени.

Проанализированы гармоники и их влияние на устойчивость электросети, приведены математические выражения для их определения. В качестве эффективных решений рассматриваются технологии компенсации реактивной мощности и обеспечения стабильности напряжения, включая микросети. В статье рассматриваются теоретические и практические подходы к безопасному и качественному подключению возобновляемых источников энергии к электросетям, а также раскрывается важность современных технологий мониторинга.

Ключевые слова: источники распределенной генерации, гармонические искажения, компенсация реактивной мощности, качество электроэнергии, измерение гармоник, эффективное напряжение, устойчивость электросети, гармонический анализ.

Abstract. This article studies the impact of distributed photovoltaic energy sources on the power quality of electric networks. The depletion of traditional fuel sources and environmental factors are increasing attention to renewable energy sources, in particular photovoltaic systems. At the same time, connecting these sources to the network creates a number of problems related to power quality. The article explains the main indicators of power quality analysis - power factor (PF) and total harmonic distortion (THD), and presents their calculation formulas. Also, the system components necessary for power quality monitoring and an intelligent system with real-time analysis capabilities are proposed.

Harmonics and their impact on the stability of the power grid are analyzed, and mathematical expressions for their determination are given. Technologies used to compensate for reactive power and ensure voltage stability, including microgrid systems, are considered as effective solutions. The article discusses theoretical and practical approaches to the safe and high-quality connection of renewable energy sources to power grids and reveals the importance of modern monitoring technologies.

Keywords: distributed generation sources, harmonic distortion, reactive power compensation, power quality, harmonic measurement, effective voltage, power grid stability, harmonic analysis.

Kirish

Atrof-muhitning tobora ortib borayotgan ifloslanishi va ko‘mir hamda neft kabi an’anaviy yoqilg‘i-energiya resurslarining izchil kamayib borishi, an’anaviy energiya manbalarini toza va qayta tiklanuvchi energiya turlari bilan almashtirish zaruratini yuzaga keltirmoqda. Fotoelektr (fotovoltaik) elektr energiyasi ishlab

ISSN 3030-3907

chiqarishning ekologik tozaligi, yuqori samaradorligi, resurslarning yetarliligi hamda geografik jihatdan cheklovlarning mavjud emasligi kabi qator ustunliklari mavjud bo‘lib, oxirgi yillarda keng jamoatchilik e’tiborini tortmoqda.

So‘nggi yillarda davlat tomonidan ko‘rsatilayotgan kuchli qo‘llab-quvvatlash va fotoelektr energiya ishlab chiqarish texnologiyalarining bosqichma-bosqich takomillashuvi natijasida mamlakatda fotoelektrik quvvat o‘rnatilgan hajmi jadal sur’atlar bilan ortib bormoqda. Shu bilan birga, taqsimlangan fotoelektrik ishlab chiqarish o‘zining uzilishlarga moyilligi va tasodifiy xususiyatlari, shuningdek, katta miqdordagi kuch elektronika qurilmalaridan foydalanilishi sababli taqsimlash tarmog‘ining quvvat sifatiga sezilarli ta’sir ko‘rsatmoqda [1-3]. Ayniqsa, taqsimlangan fotoelektrik manbalarining tarmoqqa ulanish quvvati katta bo‘lganda, iste’molchilarga yetkaziladigan elektr energiyasining ishonchliligi va sifati kafolatlanmay qolishi mumkin. Shu boisdan, taqsimlangan fotoelektrik manbalarni tarmoqqa ulashning maksimal ruxsat etilgan hajmini tahlil qilish zarur hisoblanadi.

Quvvat sifati tahlili uchun asosiy ko‘rsatkichlar:

Quvvat koeffitsiyenti:

$$PF = \cos\varphi = \frac{P}{S} \qquad (1)$$

Bunda: P-faol quvvat, S- to‘liq quvvat, φ- kuchlanish va tok orasidagi faza burchagi.

Garmonik buzilish darajasi (THD - Total Harmonic Distortion) - bu elektr signalidagi **garmonik komponentlarning asosiy (fundamental) komponentga nisbatan qanchalik katta ekanini** ko‘rsatadigan o‘lchovdir. Bu ko‘rsatkich elektr tarmoqlari, qurilmalar va signal sifatini baholashda muhim hisoblanadi [7-9].

Kuchlanish uchun: $THD_U = \frac{\sqrt{U_2^2+U_3^2+\cdots+U_n^2}}{U_1} \times 100\%$ (2)

Tok kuchi uchun: $THD_I = \frac{\sqrt{I_2^2+I_3^2+\cdots+I_n^2}}{I_1} \times 100\%$ (3)

U_1, I_1 - asosiy (1-harmonik) kuchlanish yoki tok (50 Hz), U_2, U_3,…, U_n, - yuqori tartibli garmonikalar (100 Hz, 150 Hz, ...), THD - asosiy signalga nisbatan garmonik buzilish darajasi, foizda.

Taqsimlangan quvvat sifati monitoring tizimi

Mavjud texnologiyaning kamchiliklarini bartaraf etish maqsadida, 1-rasmda ko‘rsatilganidek, aqlli elektr tarmog‘i uchun quvvat sifati monitoring tizimi taklif etiladi. Taqsimlangan monitoring tizimi quyidagilarni o‘z ichiga oladi: taqsimlangan quvvat sifati onlayn va oflayn tugunlarni aniqlash moduli, tarmoq orqali aloqa moduli, taqsimlangan ma’lumotlar bazasini integratsiyalashgan

ISSN 3030-3907

boshqaruv moduli hamda quvvat sifati monitoring tizimini integratsiyalashgan boshqaruv moduli. Monitoring tizimi kuchlanish, tok, chastota, garmonikalar va balanssizlikni real vaqtda aniqlashi kerak [1-6].

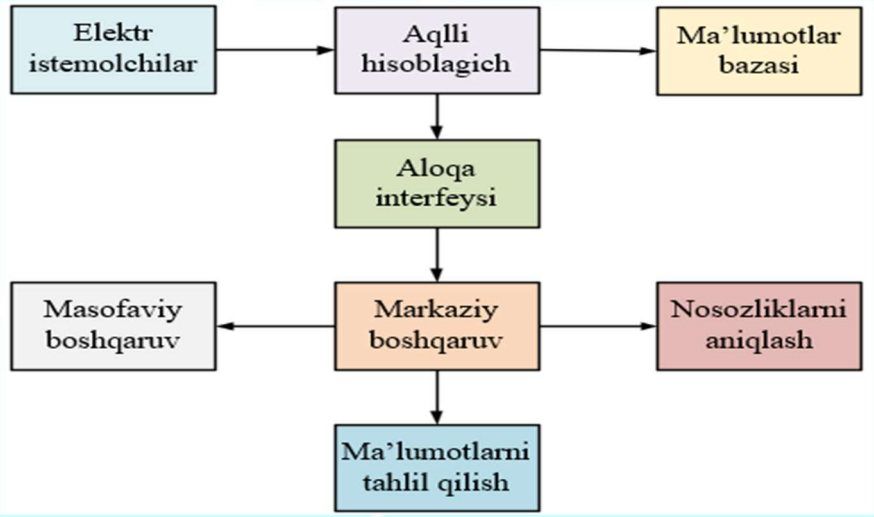
Monitoring tizimida ishlatiladigan asosiy formulalar:

Effektiv kuchlanish: $V_{efk} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T [v(t)]^2 dt}$ **(4)**

Ushbu formula elektr signalining **o‘rtacha kvadratik qiymatini** aniqlash uchun ishlatiladi. Kuchlanish yoki tok qiymati − bu vaqt bo‘yicha o‘zgaruvchan signalning **doimiy qiymatli signal bilan teng issiqlik ta’siriga ega** bo‘lgan miqdoridir. Ya’ni, bu qiymat elektr energiyasining **foydali va samarali** qismini ifodalaydi [2-5].

Balanssizlik (uch fazali tizimlar uchun): $\%Balanssizlik = \frac{V_{max} - V_{avg}}{V_{avg}} \times 100\%$ (5)

Ushbu formula orqali uch fazali elektr tarmog‘idagi **kuchlanish muvozanatining buzilish darajasi** aniq hisoblab chiqiladi. Bu − quvvat sifatini **monitoring qilish**, himoya qurilmalarini sozlash va **tarmoq barqarorligini ta’minlash** uchun muhim ko‘rsatkichdir.



1-rasm Aqlli elektr tarmog‘i uchun taqsimlangan quvvat sifati monitoring tizimi

Garmoniklarni tahlil qilish va aniqlash.

Taqsimlangan manbalar garmoniklarni keltirib chiqaradi. Bu garmonikalar turli barqarorlik va rezonans muammolariga olib keladi. Garmonik komponentlar ta’sirini hisoblashda tarmoqdagi umumiy kuchlanish:

$$v(t) = V_1 \sin(\omega t) + V_3 \sin(3\omega t) + V_5 \sin(5\omega t) + \cdots \quad \textbf{(6)}$$

Ushbu formulada har bir sinusoidal komponent − bu **signal ichidagi biror chastotaning mavjudligi**ni bildiradi. Agar faqat sin(ωt) mavjud bo‘lsa, bu ideal signal. Boshqa sin(3ωt), sin(5ωt) va hokazolar − bu **garmonik buzilishlar** bo‘lib, quvvat sifati buzilganini bildiradi [3-8].

ISSN 3030-3907

Yangi energiya manbalarini tarmoqqa ulashda quvvat sifati kafolatlash choralari

1. Yangi energiya manbalari elektr tarmoqqa ulanganida quvvat sifatini yaxshilash uchun odatda tezkor javob beruvchi qurilmalar ya'ni, dinamik reaktiv quvvat kompensatsiya uskunalari qo‘llaniladi. Ular sof qiymatli reaktiv quvvat kompensatsiya uskunalari, aktiv filtrlash uskunalari va quvvat sifati nazorati uskunalariga bo‘linadi [5-10]. Ta'minot tarmog‘ida, ayniqsa o‘rta va yuqori kuchlanish darajalarida, kuchlanish tebranishlariga sabab bo‘luvchi omillar bevosita tarmoq yuklamasi va tarmoqda ruxsat etilgan maksimal qisqa tutashuv quvvatiga bog‘liq bo‘ladi.

2. Shamol energiyasini tarmoqqa ulashda reaktiv quvvatni kompensatsiya qilish va kuchlanish barqarorligini ta'minlash bo‘yicha olib borilgan tadqiqotlarga ko‘ra, moslashuvchan o‘zgaruvchan tok uzatish texnologiyasi vositalaridan foydalanish shamol energiyasi ishlab chiqarishda uskunalar barqarorligini yaxshilashi mumkin. Shamol elektr stansiyalarida reaktiv quvvat ortib ketganida va generator yaqinida shamol tezligining keskin o‘zgarishlari kuzatilganda yuzaga keladigan nosozliklar tahlil qilinadi [4-7].

3. Elektr tarmog‘i va taqsimlangan yangi energiya manbalari o‘rtasidagi ziddiyatlarni bartaraf etish, asosiy tarmoqqa ulanishda yuzaga keladigan salbiy ta'sirlarni kamaytirish hamda elektr energetika tizimining barqarorligi va ishonchliligini oshirish uchun mikrogrid texnologiyasidan foydalanish mumkin. Ushbu texnologiya taqsimlangan energiya manbalarining tarmoqqa aralash holda ulanilishi natijasida kelib chiqadigan turli muammolarni ilmiy va samarali tarzda hal etishga imkon beradi.

Xulosa

Ushbu maqolada taqsimlangan fotoelektr energiya manbalarining elektr tarmoqlari quvvat sifatiga ta'siri batafsil tahlil qilindi. An'anaviy yoqilg‘i manbalarining kamayishi va ekologik talablarning oshishi fonida, fotoelektr tizimlarining elektr tarmoqlariga ulanishi kengaymoqda. Biroq, ushbu manbalar o‘ziga xos garmonik buzilishlar va reaktiv quvvat hosil qilishi sababli quvvat sifatida turli muammolarni keltirib chiqaradi. Maqolada quvvat sifati ko‘rsatkichlari – quvvat omili va garmonik buzilish darajasi (THD) tushuntirilib, ularni hisoblash uchun matematik formulalar berildi. Shuningdek, aqlli monitoring tizimlari yordamida quvvat sifati parametrlarini real vaqtda aniqlash va nazorat qilish imkoniyatlari taklif qilindi. Garmonikalar va ularning elektr tarmog‘iga ta'siri, shuningdek, reaktiv quvvatni kompensatsiya qilish, kuchlanish barqarorligini ta'minlash uchun mikrogrid tizimlari va zamonaviy texnologiyalar samarali yechim sifatida ko‘rsatildi.

ISSN 3030-3907

Taqsimlangan fotoelektr manbalarining elektr tarmoqlariga xavfsiz va sifatli ulanishi uchun monitoring va boshqaruv tizimlarini joriy etish muhim ahamiyatga ega ekanligi qayd etildi. Ushbu tadqiqot natijalari qayta tiklanuvchi energiya manbalarining tarmoqqa integratsiyasida quvvat sifatini yaxshilash va elektr tarmoqlarining barqarorligini ta'minlash uchun asos bo'lib xizmat qiladi. Kelajakda ushbu monitoring tizimlarini yanada takomillashtirish, avtomatlashtirilgan boshqaruv vositalarini rivojlantirish hamda raqamli texnologiyalar bilan uyg'unlashtirish orqali quvvat sifatini nazorat qilish samaradorligini oshirish zarur.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YHATI

1. Mahmoud, M. S., & Massoud, A. M. (2015). Power Quality Improvement and Control of Distributed Generation. *Renewable Energy and Power Quality Journal*, 13(10), 132-140.
2. Blaabjerg, F., Teodorescu, R., Liserre, M., & Timbus, A. V. (2006). Overview of Control and Grid Synchronization for Distributed Power Generation Systems. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 53(5), 1398-1409.
3. Chen, Z., et al. (2017). A Review of Power Quality Challenges and Mitigation Methods for Distributed Generation Systems. *Electric Power Systems Research*, 154, 258-269.
4. Farahani, M. H., & Haghifam, M. R. (2014). A Novel Method for Power Quality Improvement in Distribution Networks with Distributed Generation. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 29(4), 1906-1915.
5. Yazdani, A., & Iravani, R. (2010). *Voltage-Sourced Converters in Power Systems: Modeling, Control, and Applications*. Wiley-IEEE Press.
6. Иванов, А. Н., & Петров, В. В. (2015). Методы улучшения качества электроэнергии в распределительных сетях с учетом возобновляемых источников энергии. *Энергетика*, № 6, с. 45-52.
7. Сидоров, М. И., & Кузнецов, Д. В. (2018). Анализ гармонических искажений в электрических сетях с распределенной генерацией. *Электричество*, том 95, № 4, с. 28-35.
8. Кузнецова, Н. А., & Орлов, С. М. (2019). Применение интеллектуальных систем мониторинга качества электроэнергии в распределительных сетях. *Энергетические системы и сети*, том 12, № 1, с. 60-68.
9. Сорокин, В. А. (2014). *Гармонические искажения в системах электроснабжения*. Москва: Энергоатомиздат.
10. Орлов, С. М., & Иванова, Л. П. (2020). Мониторинг и управление качеством электроэнергии на основе микросетей. *Современные энергетические технологии*, № 4, с. 40-47.

ISSN 3030-3907

11. Tolipov Jamshid Nurbekovich - PhD, k.i.x. O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Energetika muammolari instituti katta ilmiy xodimi, tel.:(+99893) 565-22-08, e-mail: tolipovjamshidn@gmail.com
12. Saidov Azimjon Husan o‘g‘li - Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti ma’naviyat va ma’rifat bo‘limi xodimi, tel.: (+99890) 922-97-94, e-mail: azimjonsaidov0812@gmail.com
13. Mirxonov Utkir Kaxramonovich - Buxoro davlat texnika universiteti dotsenti, texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori, PhD. tel.:(+99890) 710 – 64 - 87, e-mail: utkirmirxan@gmail.com

ISSN 3030-3907