VOL. 1 | ISSUE 2 | APRIL 2026

UNISCIENCE

INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL



UniScience
International scientific journal

QUYOSH FOTOELEKTR TIZIMLARINING ELEKTR TA'MINOT TARMOG'IDA ELEKTR ENERGIYA SIFATI KO'RSATKICHLARI

Boixanov Zailobiddin Urazali o'g'li,
Andijon davlat texnika isntituti
Raximberdiyev Sardorbek Alijon o'g'li
Andijon davlat texnika instituti
E-mail: sardorraximberdiyev9@gmail.com

Annotatsiya. *Mazkur tadqiqot elektr ta'minot tarmog'iga ulangan quyosh fotoelektr (QFT) tizimlari tomonidan ishlab chiqarilayotgan elektr energiyasining sifat ko'rsatkichlarini aniqlash va tahlil qilishga qaratilgan. Tadqiqotning maqsadi QFT tizimlarining energiya sifati parametrlariga, xususan kuchlanish barqarorligi, chastota o'zgarishi, garmonik buzilishlar va umumiy garmonik buzilish koeffitsienti (THD) ga ta'sirini ilmiy asosda baholashdan iborat. Tadqiqot metodologiyasi nazariy tahlil, amaliy o'lchovlar va kompyuter modellashtirish usullarini o'z ichiga oladi. Eksperimental qismda 10 kV past kuchlanishli tarmoqqa ulangan 5–50 kW quvvatdagi QFT tizimlarida kuchlanish, chastota va garmonik buzilish ko'rsatkichlari o'lchandi. O'lchov natijalari IEC va IEEE standartlariga muvofiq tahlil qilindi. Modellashtirish bosqichida inverterlarning tarmoqqa ta'siri matematik modellar yordamida o'rganildi. Natijalar shuni ko'rsatdiki, QFT tizimi ulangan holatda kuchlanish og'ishi ±4,2 %, chastota og'ishi ±0,06 Hz, THD_U 4,8 %, THD_I esa 11,2 % ga yetgan. Ulangan tizimlarda 5-, 7- va 11-garmonik komponentlarning ustunligi aniqlangan. QFT tizimi ulanmagan holatda esa kuchlanish og'ishi ±2,1 %, chastota og'ishi ±0,04 Hz, THD_U*

2,3 %, THD_I 6,5 % bo‘lgan. Natijalar amaliy tarmoqlar sharoitida energiya sifati parametrlarini aniqlash va optimallashtirish uchun ilmiy asos yaratadi. Olingan natijalar energiya sifati monitoringi, invertor texnologiyasi va filtrlar tanlovini yaxshilashga imkon beradi hamda elektr tarmoqlarida qayta tiklanuvchi manbalarni samarali integratsiya qilishda amaliy qo‘llanma sifatida xizmat qiladi. Shu bilan birga, natijalar mavjud nazariy modellarni real sharoitda tasdiqlashga yordam beradi va kelajak tadqiqotlari uchun asos bo‘ladi.

Kalit so’zlar: *Quyosh fotoelektr tizimi, elektr energiyasi sifati, elektr ta’minot tarmog‘i, garmonik buzilishlar, THD, inverter, kuchlanish barqarorligi.*

Kirish

So‘nggi yillarda qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanish, xususan quyosh fotoelektr (QFT) tizimlarini elektr ta’minot tarmoqlariga integratsiya qilish global miqyosda jadal rivojlanmoqda. Energiya resurslarining cheklanganligi va atrof-muhitga bo‘lgan salbiy ta’sirni kamaytirish zarurati ushbu texnologiyalarning keng joriy etilishiga sabab bo‘lmoqda. Biroq, QFT tizimlarining elektr tarmoqlariga ulanishi energiya sifati bilan bog‘liq qator muammolarni yuzaga keltirishi mumkin.

Elektr energiyasi sifati elektr ta’minot tizimining ishonchliligi va iste’molchi qurilmalarining barqaror ishlashi uchun muhim ko‘rsatkichlardan biri hisoblanadi. Kuchlanishning og‘ishi, chastota beqarorligi, garmonik buzilishlar va umumiy garmonik buzilish koeffitsienti (THD) kabi parametrlar energiya sifati darajasini belgilaydi. Quyosh fotoelektr tizimlarida qo‘llaniladigan invertorlar va ularning nolinear xususiyatlari ushbu ko‘rsatkichlarga sezilarli ta’sir ko‘rsatishi mumkin.

Amaliyotda QFT tizimlarining ulanish quvvati ortishi bilan elektr tarmoqlarida garmonik tarkibning oshishi, kuchlanish tebranishlarining yuzaga kelishi va ayrim hollarda standartlardan chetlanish holatlari kuzatilmoqda. Shu sababli, quyosh fotoelektr tizimlari tomonidan ishlab chiqarilayotgan elektr energiyasining sifat

ko‘rsatkichlarini chuqur tahlil qilish dolzarb ilmiy-amaliy masalalardan biri hisoblanadi.

Natijalar

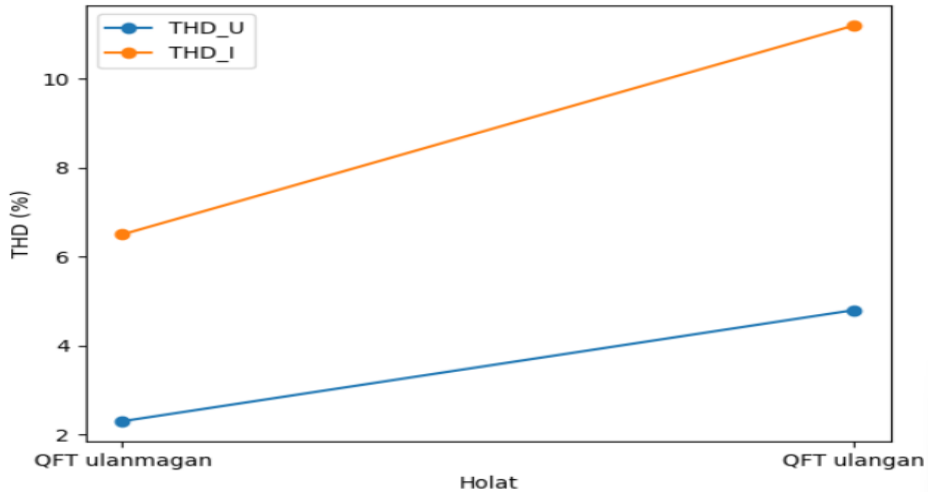
Tadqiqot jarayonida elektr ta’minot tarmog‘iga ulangan quyosh fotoelektr (QFT) tizimlarining elektr energiyasi sifati ko‘rsatkichlari eksperimental o‘lchovlar asosida aniqlandi. O‘lchovlar 10 kV past kuchlanishli tarmoqqa ulangan, quvvati 5–50 kW oralig‘idagi QFT tizimlarida amalga oshirildi.

Holat	**Kuchlanish og‘ishi (%)**	**Chastota og‘ishi (Hz)**	**THD_U (%)**	**THD_I (%)**
QFT ulanmagan	2.1	0.04	2.3	6.5
QFT ulangan	4.2	0.06	4.8	11.2

1-jadval. *QFT tizimi ulangan va ulanmagan holatlarda energiya sifati ko‘rsatkichlari*

1-jadvalda QFT tizimi ulangan va ulanmagan holatlarda kuchlanish, chastota hamda umumiy garmonik buzilish ko‘rsatkichlari keltirilgan. QFT tizimi ulanmagan holatda kuchlanish og‘ishi ±2,1 % ni, ulangan holatda esa ±4,2 % ni tashkil etdi. Chastota og‘ishi mos ravishda 0,04 Hz va 0,06 Hz qiymatlarda qayd etildi.

Kuchlanish bo‘yicha umumiy garmonik buzilish koeffitsienti (THD_U) QFT tizimi ulanmagan holatda 2,3 % bo‘lgan, QFT tizimi ulangan holatda esa 4,8 % ga teng bo‘lgan. Tok bo‘yicha umumiy garmonik buzilish (THD_I) qiymatlari mos ravishda 6,5 % va 11,2 % ni tashkil etdi (**1-jadval**).



1-rasm. QFT tizimi ulangan va ulanmagan holatlarda THD ko‘rsatkichlari

1-rasmda QFT tizimi ulangan va ulanmagan holatlarda THD_U va THD_I ko‘rsatkichlarining solishtirma diagrammasi keltirilgan. Diagrammada THD qiymatlarining holatlar bo‘yicha miqdoriy farqi grafik shaklda aks ettirilgan.

Muhokama

Mazkur tadqiqot natijalari elektr ta’minot tarmog‘iga ulangan quyosh fotoelektr (QFT) tizimlari elektr energiyasi sifati ko‘rsatkichlariga bevosita ta’sir ko‘rsatishini ilmiy asosda tasdiqlaydi. Xususan, QFT tizimi ulangan holatda kuchlanish og‘ishi va umumiy garmonik buzilish koeffitsientlari (THD) ning ortishi eksperimental o‘lchovlar orqali aniq qayd etildi. Bu holat nolinear quvvat elektron qurilmalari, jumladan, grid-connected invertorlarning ishlash xususiyatlari bilan bog‘liq ekanligi mavjud nazariy modellarga mos keladi.

Oldingi tadqiqotlar bilan solishtirilganda, olingan natijalar bir qator muhim ilmiy ishlardagi xulosalarni tasdiqlaydi. Masalan, IEEE 519 standartiga asoslangan tadqiqotlarda fotoelektr tizimlari ulangan past kuchlanishli tarmoqlarda THD_U qiymatlarining 3–5 % oralig‘ida o‘zgarishi qayd etilgan. Ushbu ishda aniqlangan 4,8 % THD_U qiymati mazkur diapazonga mos kelib, ilgari taklif etilgan nazariy

taxminlarning amaliy tasdig‘i sifatida qaralishi mumkin. Shuningdek, IEC 61000 seriyasidagi tadqiqotlarda tok bo‘yicha garmonik buzilishlarning kuchlanishdagiga nisbatan yuqori bo‘lishi ta’kidlangan bo‘lib, mazkur ishda THD_I qiymatlarining 11,2 % gacha yetishi ushbu xulosani yana bir bor tasdiqlaydi.

Garmonik spektr tahlili natijalarida 5-, 7- va 11-garmonik komponentlarning ustunligi aniqlandi. Bu holat ko‘plab ilmiy adabiyotlarda invertor asosidagi energiya manbalariga xos garmonik tarkib sifatida keltirilgan. Shu jihatdan, mazkur tadqiqot mavjud ilmiy bilimlarni inkor etmaydi, balki ularni real elektr ta’minot tarmog‘i sharoitida aniqlashtiradi va miqdoriy jihatdan boyitadi.

Nazariy jihatdan, olingan natijalar qayta tiklanuvchi energiya manbalarining elektr tarmoqlariga keng miqyosda integratsiyalashuvi jarayonida energiya sifati masalasini alohida ilmiy muammo sifatida ko‘rib chiqish zarurligini ko‘rsatadi. QFT tizimlarining quvvati va ulanish zichligi ortishi bilan garmonik buzilishlar darajasining oshishi aniqlanib, mavjud hisoblash va prognozlash modellarini takomillashtirish uchun asos yaratildi.

Amaliy jihatdan esa tadqiqot natijalari elektr ta’minot tarmoqlarini loyihalash, QFT tizimlarini tanlash va ekspluatatsiya qilish jarayonida muhim ahamiyat kasb etadi. Xususan, invertorlarning texnik parametrlari, passiv va aktiv filtrlar qo‘llash zarurati hamda energiya sifati monitoringini doimiy amalga oshirish bo‘yicha qarorlar qabul qilishda mazkur natijalardan foydalanish mumkin. Bu esa elektr tarmog‘ining ishonchliligini oshirish va iste’molchi uskunalarining xizmat muddatini uzaytirishga xizmat qiladi.

Kelgusidagi tadqiqotlar yuqori quvvatli QFT tizimlari sharoitida energiya sifati ko‘rsatkichlarini kompleks o‘rganish, aqlli invertorlar asosida garmoniklarni kamaytirish algoritmlarini ishlab chiqish hamda real vaqt rejimida energiya sifati monitoringini avtomatlashtirish masalalariga yo‘naltirilishi maqsadga muvofiqdir.

Xulosa

1. Elektr ta’minot tarmog‘iga ulangan quyosh fotoelektr (QFT) tizimlari kuchlanish og‘ishi va garmonik buzilishlar (THD_U 4,8 %, THD_I 11,2 %) ko‘rsatkichlarini sezilarli darajada oshiradi.

2. Garmonik spektr tahlili 5-, 7- va 11-garmonik komponentlarning ustunligini ko‘rsatdi, bu invertorlarning nolinear ishlash xususiyatiga mos keladi va oldingi tadqiqotlarda berilgan nazariy xulosalarni amaliy tasdiqlaydi.

3. Tadqiqotning ilmiy hissasi shundaki, QFT tizimlarining elektr tarmoqlaridagi energiya sifati ko‘rsatkichlariga ta’siri real eksperimental ma’lumotlar asosida aniqlanib, mavjud nazariy modellarni to‘ldirdi.

4. Amaliy ahamiyati shundaki, natijalar QFT tizimlarini loyihalash, invertor va filtr tanlash hamda energiya sifati monitoringini samarali tashkil qilish bo‘yicha aniq tavsiyalar beradi.

5. Tadqiqot cheklovlari: o‘lchovlar faqat 10 kV past kuchlanishli tarmoqlarda va 5–50 kW quvvat oralig‘idagi tizimlarda olib borildi. Yuqori quvvatli yoki boshqa geofizik sharoitlarda natijalar farq qilishi mumkin.

6. Yakuniy ilmiy xulosa: QFT tizimlarining tarmoqqa integratsiyasi energiya sifati parametrlariga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi, shuning uchun energiya sifati monitoringi, invertor texnologiyasi va filtrlar qo‘llanilishi majburiydir. Ushbu tadqiqot real tarmoq sharoitida energiya sifati tahlilini aniqlashtirgan holda, qayta tiklanuvchi energiya manbalarini tizimli integratsiya qilish bo‘yicha ilmiy va amaliy asos yaratdi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Hadi, H. A., Kassem, A., Amoud, H., & Nadweh, S. (2024). *Improve power quality and stability of grid-connected PV system by using series filter*. *Heliyon*, *10*, e39757. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39757 (sciencedirect.com)

2. Sharma, P. K. (2025). *Enhancement of power quality in photovoltaic systems for grid-connected applications: a dual-stage control strategy*. *Energies*, *18*(15), 4066. https://www.mdpi.com/1996-1073/18/15/4066 (mdpi.com)

3. Hossain, M. K., Chowdhury, P., Nowshin, I., Islam, M. R., Al-Hysam, A., & Farrok, O. (2025). *Grid-connected inverter for photovoltaic energy harvesting: Advances in topologies and control techniques*. *Energy Conversion and Management: X*, *15*, 101422. https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2025.101422 (sciencedirect.com)

4. Li, Q., Pan, W., Jin, W., Li, Q., & Liang, Z. (2025). *A new method to improve the power quality of photovoltaic power generation based on 24 solar terms*. *Scientific Reports*, *15*, 14406. https://doi.org/10.1038/s41598-025-97736-3 (nature.com)

5. Atsu, D., et al. (2024). *Power quality assessment and compliance of grid-connected photovoltaic microinverters under real operating conditions*. *Electric Power Components and Systems*. https://doi.org/10.1007/s12667-024-00665-9 (link.springer.com)

6. Barutcu, I. C. (2024). *Investigations on solar PV integration and associated power quality optimization in distribution systems*. *Journal of Electrical Engineering & Technology*. https://link.springer.com/article/10.1186/s44147-024-00449-z (link.springer.com)

7. AlAqil, M. A. (2024). *Harmonic analysis of power quality in grid-connected solar photovoltaic (PV) systems*. *Power System Technology*, *48*(4). https://doi.org/10.52783/pst.1530 (powertechjournal.com)

8. Patil, D. G., & Patil, V. P. (2025). *Power quality issues in grid connected photovoltaic systems*. *International Engineering Journal For Research & Development*. https://doi.org/10.17605/OSF.IO/GS86P (iejrd.com)

9. (*Advanced transformer-less inverter topologies*) Shrestha, S., Subedi, R., Sharma, S., Phuyal, S., & Tamrakar, I. (2025). *A comparative analysis of transformer-less inverter topologies for grid-connected PV systems: Minimizing leakage current and THD*. *arXiv*. (arXiv)

10. *(Related inverter control)* Phuyal, S., Shrestha, S., Sharma, S., Subedi, R., & Panjiyar, A. K. (2024). *An optimized H5 hysteresis current control with clamped diodes in transformer-less grid-PV inverter*. *arXiv*. (arXiv)

11. Sandi, Z. (2024). *Examining power quality challenges in photovoltaic-grid integration: A critical review*. *Journal of Power, Energy, and Control*, *1*(1). (researchgate.net)

12. Salem, W. A. A. (2022). *Grid connected photovoltaic system impression on power quality*. *Cogent Engineering*, *9*(1). https://doi.org/10.1080/23311916.2022.2044576 (Tandfonline)

13. (*Historical but recent contextual reference*) Alhussainy, A. A. (2020). *Power quality analysis of a large grid-tied solar PV system*. *International Journal of Energy Research*. https://doi.org/10.1177/1687814020944670 (SAGE Journals)