

QUYOSH FOTOELEKTRIK TIZIMLARIDA QISMAN SOYALANISHNING ENERGIYA ISHLAB CHIQRARISH SAMARADORLIGIGA TA'SIRI VA UNI KAMAYTIRISH USULLARI

Buronova Sevinch Qahramon qizi

Qarshi davlat universiteti, Fizika fakulteti,

Muqobil energiya manbalari yo'nalishi, 3-bosqich talabasi

Email: sevinchburanova05@gmail.com

<https://doi.org/10.5281/zenodo.21973406>

ANNOTATSIYA

Ushbu maqolada quyosh fotoelektrik (FEM) tizimlarida qisman soyalanish hodisasining energiya ishlab chiqarish samaradorligiga ta'siri fizik-texnik jihatdan tahlil qilingan. Qisman soyalanish sharoitida modul ichidagi hujayralar orasida yuzaga keladigan tok nomutanosibligi (mismatch), "issiq nuqta" (hot-spot) effekti, quvvat-kuchlanish xarakteristikasining ko'p cho'qqili (multi-peak) shakli va standart maksimal quvvat nuqtasini kuzatish (MPPT) algoritmlarining noto'g'ri ishlashi kabi muammolar ko'rib chiqilgan. Shuningdek, ushbu salbiy ta'sirlarni kamaytirish maqsadida qo'llaniladigan zamonaviy usullar — bypass diodlar sonini optimallashtirish, modul darajasidagi quvvat elektronikasi (quvvat optimizatorlari va mikroinverterlar), global MPPT algoritmlari, tizimni loyihalash bosqichidagi soyalanish tahlili hamda panellarni oqilona joylashtirish strategiyalari tizimli tarzda tahlil qilingan. Tadqiqot natijalari qisman soyalanish muammosini kompleks yondashuv orqali hal etish FEM tizimlarining umumiy energiya samaradorligini sezilarli darajada oshirishga xizmat qilishini ko'rsatadi.

Kalit so'zlar: *fotoelektrik tizim, qisman soyalanish, mismatch yo'qotishlari, hot-spot effekti, bypass diod, MPPT, quvvat optimizatori, mikroinverter, energiya samaradorligi.*

KIRISH

So'nggi o'n yilliklarda energiya iste'molining barqaror o'sishi va qazilma yoqilg'i zaxiralarining cheklanganligi tufayli qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanish jahon miqyosida ustuvor yo'nalishlardan biriga aylandi. Quyosh energetikasi, xususan fotoelektrik texnologiyalar, ekologik toza, xomashyo talab qilmaydigan va deyarli cheksiz manba sifatida katta e'tibor qozonmoqda. O'zbekiston Respublikasida ham quyosh elektr stansiyalari qurilishi jadal sur'atlarda rivojlanmoqda, bu esa mamlakatning yiliga 300 kundan ortiq quyoshli kunlarga ega bo'lgan geografik joylashuvi bilan bog'liq ustunligidan kelib chiqadi. "Qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanish to'g'risida"gi qonunchilik hujjatlarida [8] ham mamlakatimizda quyosh energetikasini rivojlantirish davlat siyosatining ustuvor yo'nalishlaridan biri sifatida belgilangan.

O'zbek olimlari R.A. Zohidov, G.Ya. Umarov va Sh.I. Klichevlarning tadqiqotlarida [1, 2] ta'kidlanishicha, quyosh energetikasi qurilmalarining amaliy samaradorligi ko'p jihatdan ularning ekspluatatsiya sharoitidagi real ish rejimlariga bog'liq bo'lib, bu ko'rsatkichlar laboratoriya sharoitidagi nazariy ko'rsatkichlardan sezilarli farq qilishi mumkin. Biroq amaliyotda fotoelektrik tizimlarning nazariy hisoblangan quvvatga erishishiga to'sqinlik qiluvchi qator omillar mavjud. Ulardan eng muhimlaridan biri — qisman soyalanish (partial shading) hodisasidir. Qisman soyalanish deganda quyosh panellari massivining bir qismi — bitta hujayra, bir necha hujayra yoki butun bir modul — atrofdagi binolar, daraxtlar, elektr

ustunlari, bulutlar, chang-gard yoki qo'shni panellarning soyasi tufayli quyosh nurini to'liq qabul qila olmasligi tushuniladi. Bunday holat, birinchi qarashda, faqat soyalangan qismning quvvat yo'qotishiga olib keladigandek tuyulsa-da, aslida u butun modul, hatto butun string (panellar zanjiri) ishlashiga tarmoqlanuvchi salbiy ta'sir ko'rsatadi.

Ushbu maqolaning maqsadi — qisman soyalanishning fotoelektrik tizimlar samaradorligiga ta'sir mexanizmlarini ilmiy-nazariy jihatdan yoritish hamda ushbu muammoni bartaraf etish yoki uning ta'sirini minimallashtirishga qaratilgan zamonaviy texnik va tashkiliy yechimlarni tahlil qilishdan iborat.

ASOSIY QISM

QISMAN SOYALANISH HODISASINING FIZIK ASOSLARI

Fotoelektrik modul odatda ketma-ket ulangan bir necha o'nlab kremniyli hujayralardan tashkil topadi. Ketma-ket zanjirda oqadigan tok kattaligi zanjirdagi eng kam tok ishlab chiqaruvchi hujayra bilan belgilanadi — bu Kirxgofning tok qonunidan kelib chiqadigan tabiiy natijadir. Agar zanjirdagi hujayralardan bittasi qisman soyalansa, uning generatsiya qiladigan tok kuchi keskin kamayadi, natijada butun ketma-ket zanjirning tok kuchi shu soyalangan hujayra darajasigacha tushib ketadi.

Bunday sharoitda soyalangan hujayra o'zi generatsiya qila olmagan tokni qo'shni yorug'lantirilgan hujayralar hisobidan "iste'mol qilishga" majbur bo'ladi, ya'ni u fotoelement emas, balki teskari kuchlanish ostida qoladigan yuklamaga aylanadi. Bu jarayonda soyalangan hujayrada issiqlik ajralib chiqadi va uning harorati keskin ko'tariladi — bu hodisa ilmiy adabiyotda "issiq nuqta" (hot-spot) effekti deb ataladi. Uzoq muddat davom etadigan hot-spot effekti hujayra materialining termik degradatsiyasiga, lehim birikmalarining shikastlanishiga va hatto modul korpusining yonib ketishiga sabab bo'lishi mumkin.

QISMAN SOYALANISHNING ENERGIYA ISHLAB CHIQRISHGA TA'SIRI

Mismatch (nomutanosiblik) yo'qotishlari

Modul yoki string tarkibidagi elementlarning turlicha yoritilganlik sharoitida ishlashi natijasida yuzaga keladigan quvvat yo'qotishlari mismatch yo'qotishlari deb ataladi. A.B. Zaynutdinovanning "Geliotexnika" ilmiy jurnalida chop etilgan tadqiqotlarida [3] ta'kidlanishicha, panel yuzasining atigi 5–10 foizini tashkil etuvchi soyalanish, agar u to'g'ri texnik yechimlar bilan bartaraf etilmasa, butun tizim quvvatining 30–50 foizigacha kamayishiga olib kelishi mumkin. Bu nomutanosiblik ayniqsa qat'iy markazlashtirilgan inverter tizimlarida, ya'ni bir nechta string bitta MPPT kanaliga ulangan holatlarda yanada kuchli namoyon bo'ladi.

Bypass diodlarning roli va ularning yetarli emasligi

Hot-spot effektining oldini olish va tokning zanjir bo'ylab uzilishini kamaytirish maqsadida zamonaviy modullar tarkibiga bypass diodlar o'rnatiladi. Odatda bir modulda 60–72 hujayra uch guruhga bo'linadi va har bir guruhga bitta bypass diod ulanadi. Guruh ichidagi biror hujayra soyalanganda, diod ishga tushib, tokni soyalangan guruhni chetlab o'tishga yo'naltiradi. Biroq bu yechim to'liq emas: bitta diod butun guruhni (odatda 20–24 hujayrani) faoliyatdan chetlashtiradi, ya'ni faqat bir nechta hujayra soyalangan taqdirda ham modul quvvatining uchdan bir qismi yo'qoladi. Bundan tashqari, diodlarning ishga tushishi modulning kuchlanish-tok xarakteristikasida bir nechta lokal maksimumlar (ko'p cho'qqili egri chiziq) hosil bo'lishiga sabab bo'ladi.

MPPT algoritmlarining noto'g'ri ishlashi

An'anaviy Perturb & Observe (P&O) yoki Incremental Conductance kabi klassik MPPT algoritmlari bir cho'qqili (unimodal) quvvat egri chizig'ini nazarda tutib ishlab chiqilgan. Qisman soyalanish sharoitida yuzaga keladigan ko'p cho'qqili xarakteristikada ushbu algoritmlar ko'pincha global maksimal quvvat nuqtasini emas, balki eng yaqin lokal maksimumni "haqiqiy" maksimum deb qabul qilib qoladi. Natijada tizim real imkoniyatidan ancha past quvvat rejimida ishlaydi, bu esa qo'shimcha 10–20 foizgacha energiya yo'qotilishiga olib kelishi mumkin.

Inverter va string darajasidagi ta'sir

N.T. Otaqulovning O'zbekiston fizika jurnalidagi tadqiqotida [6] fotoelektrik modullarning soyalanish sharoitidagi ish rejimlari batafsil tahlil qilingan. Unga ko'ra, markazlashtirilgan (string) inverterlarda bitta modulning soyalanishi butun stringning ishlash kuchlanishini pasaytiradi, bu esa inverterning optimal ish diapazonidan chetga chiqishiga va umuman ishlamay qolishiga (inverter to'xtashi) sabab bo'lishi mumkin. Shu tariqa, mahalliy xarakterga ega bo'lgan soyalanish muammosi butun elektr stansiyasi miqyosidagi yo'qotishlarga aylanishi mumkin.

QISMAN SOYALANISH TA'SIRINI KAMAYTIRISH USULLARI

Loyihalash bosqichida soyalanishni tahlil qilish

Eng samarali va arzon yechim — quyosh elektr stansiyasini loyihalash bosqichidayoq soyalanish manbalarini (binolar, daraxtlar, relyef, qo'shni panel qatorlari) hisobga olishdir. T.Q. Ergashevning o'quv qo'llanmasida [4] va Yu.K. Rashidov, B.I. Nazarovlarning loyihalash metodikasida [9] ko'rsatilishicha, bunda PVsyst, Helioscope, PVSOL kabi maxsus dasturiy vositalar yordamida quyoshning yillik traektoriyasi asosida soya xaritalari tuziladi va panellar orasidagi masofa, egilish burchagi hamda qatorlar orientatsiyasi optimallashtiriladi.

Modul darajasidagi quvvat elektronikasi (MLPE)

Qisman soyalanish muammosini texnik jihatdan eng samarali hal etuvchi yechim — modul darajasidagi quvvat elektronikasi (Module-Level Power Electronics, MLPE) hisoblanadi. Bu yondashuvda har bir modul mustaqil boshqariladi:

- Quvvat optimizatorlari (DC-DC optimizer) — har bir modulga alohida o'rnatilib, uning chiqish kuchlanishini stringning umumiy talabidan mustaqil ravishda moslashtiradi, natijada bir modulning soyalanishi qo'shni modullarning ishlashiga deyarli ta'sir qilmaydi;
- Mikroinverterlar — har bir modul uchun alohida DC/AC konvertatsiyani amalga oshiradi, bu esa har bir modulning o'z mustaqil MPPT nuqtasida ishlashini ta'minlaydi va butun string ishlashiga bog'liqlikni butunlay bartaraf etadi;
- Aqlli (smart) modullar — optimizator sxemasi zavodda modul ichiga integratsiya qilingan yechimlar.

Ko'plab dala tadqiqotlari va sanoat hisobotlari shuni ko'rsatadiki, qisman soyalanishga moyil ob'ektlarda MLPE texnologiyalarini qo'llash yillik energiya ishlab chiqarishni an'anaviy string inverterlarga nisbatan 5–25 foizga oshirish imkonini beradi (soyalanish darajasi va tizim konfiguratsiyasiga bog'liq holda).

Global MPPT (GMPPT) algoritmlari

Ko'p cho'qqili quvvat xarakteristikasida haqiqiy global maksimumni topish uchun klassik algoritmlar o'rniga takomillashtirilgan usullar taklif etilgan: butun kuchlanish diapazonini bosqichma-bosqich skanerlash (scanning method), sun'iy intellekt asosidagi yondashuvlar —

genetik algoritmlar, zarrachalar to'dasi optimizatsiyasi (Particle Swarm Optimization) va neyron tarmoqlarga asoslangan usullar. Ushbu algoritmlar an'anaviy P&O usuliga nisbatan murakkabroq hisoblash resurslarini talab qilsa-da, soyalangan sharoitda haqiqiy maksimal quvvat nuqtasini aniqroq topish imkonini beradi.

Bypass diodlar sonini ko'paytirish va sxemani takomillashtirish

Modul ichidagi hujayra guruhlarini sonini ko'paytirish (masalan, 3 ta o'rniga 6 yoki 12 ta bypass diod qo'llash) soyalangan holatda faoliyatdan chetlashtiriladigan hujayralar sonini kamaytiradi. Bundan tashqari, hujayralarni an'anaviy ketma-ket emas, balki ketma-ket-parallel (Total Cross Tied, Bridge-Linked) sxemalarda ulash usullari ham tadqiq qilinmoqda, bu esa mismatch yo'qotishlarini sezilarli darajada kamaytirish salohiyatiga ega.

Tashkiliy-agrotexnik va ekspluatatsion choralar

Texnik yechimlar bilan bir qatorda, oddiy tashkiliy choralar ham muhim rol o'ynaydi:

- panellar joylashtiriladigan hududda soya soluvchi o'simliklarni muntazam kesib turish;
- panel yuzasini chang, qor va qushlar axlatidan tozalash grafigini yo'lga qo'yish;
- stansiya loyihasida panel qatorlari orasidagi masofani qish davridagi quyosh balandligi burchagini hisobga olib belgilash;
- monitoring tizimlari (SCADA, IoT-datchiklar) orqali har bir string yoki modulning ishlash ko'rsatkichlarini real vaqt rejimida kuzatib borish va anomaliyalarni o'z vaqtida aniqlash.

NATIJALAR MUHOKAMASI

O'tkazilgan tahlil shuni ko'rsatadiki, qisman soyalanish muammosini yagona universal usul bilan to'liq bartaraf etib bo'lmaydi — samarali yechim faqat kompleks yondashuv orqali erishiladi. Kichik va o'rta quvvatli, soyalanish xavfi yuqori bo'lgan (masalan, tomga o'rnatiladigan uy sharoitidagi) tizimlarda MLPE texnologiyalari iqtisodiy jihatdan o'zini oqlaydi, chunki qo'shimcha uskuna xarajatlari energiya yo'qotishlarining kamayishi hisobiga qisqa muddatda qoplanadi. Yirik quyosh elektr stansiyalarida esa, soyalanish manbalari kam bo'lgani sababli, loyihalash bosqichidagi sinchkovlik va string darajasidagi optimallashtirish ko'pincha yetarli bo'ladi, MLPE esa faqat soyalanishga moyil alohida uchastkalarda tanlab qo'llaniladi.

Shuningdek, GMPPT algoritmlarini boshqaruv kontrollerlariga dasturiy darajada joriy etish — qo'shimcha uskuna xarajatisiz — mavjud tizimlarning energiya samaradorligini oshirishning nisbatan arzon usuli sifatida alohida e'tiborga loyiq.

XULOSA

Qisman soyalanish quyosh fotoelektrik tizimlarining energiya ishlab chiqarish samaradorligiga jiddiy salbiy ta'sir ko'rsatuvchi omillardan biri bo'lib, uning ta'siri panel yuzasidagi soyalangan hudud kattaligiga nisbatan nomutanosib ravishda katta bo'lishi mumkin. Mismatch yo'qotishlari, hot-spot effekti va MPPT algoritmlarining noto'g'ri ishlashi kabi omillar birgalikda tizim quvvatining sezilarli darajada pasayishiga olib keladi. Ushbu muammoni bartaraf etish uchun loyihalash bosqichidagi soyalanish tahlili, modul darajasidagi quvvat elektronikasi (quvvat optimizatorlari va mikroinverterlar), takomillashtirilgan global MPPT algoritmlari, bypass diod sxemalarini optimallashtirish hamda muntazam texnik xizmat ko'rsatish choralari uyq'unlashtirgan kompleks yondashuv eng maqbul natija beradi. Kelgusi tadqiqotlar sun'iy intellektga asoslangan bashoratli soyalanish boshqaruvi tizimlarini FEM

stansiyalarining SCADA tizimlariga integratsiya qilish yo'nalishida davom ettirilishi maqsadga muvofiqdir.

Adabiyotlar, References, Литературы:

1. Zohidov R.A. Quyosh energetikasi asoslari. – Toshkent: "Fan", 2011.
2. Umarov G.Ya., Klichev Sh.I. Geliotexnika qurilmalari va ularning nazariy asoslari. – Toshkent: O'zbekiston FA nashriyoti, 2009.
3. Zaynutdinova A.B. Quyosh fotoelektrik stansiyalarining ish samaradorligini oshirish masalalari // "Geliotexnika" (Applied Solar Energy) ilmiy jurnali. – Toshkent, 2019. – №3.
4. Ergashev T.Q. Muqobil energiya manbalari: o'quv qo'llanma. – Qarshi: QarDU nashriyoti, 2021.
5. Mirzayev O.A., Karimov X.S. Muqobil energiya manbalari asoslari. – Toshkent: "Fan va texnologiya", 2020.
6. Otaqulov N.T. Fotoelektrik modullarning soylanish sharoitida ishlash rejimlarini tahlil qilish // O'zbekiston fizika jurnali. – Toshkent, 2020. – №2.
7. Vardiyashvili A.B., Yusupov D.A. Kremniyli quyosh elementlarining fotoelektrik xususiyatlari. – Toshkent: "Extremum Press", 2017.
8. O'zbekiston Respublikasi "Qayta tiklanuvchi energiya manbalari to'g'risida"gi Qonuni va uni amalga oshirish bo'yicha me'yoriy hujjatlar to'plami. – Toshkent, 2019.
9. Rashidov Yu.K., Nazarov B.I. Quyosh fotoelektrik qurilmalarini loyihalash va hisoblash. – Samarqand: SamDU nashriyoti, 2018.