

QUYOSH PANELLARINI YERGA ULASH ORQALI POTENSIAL OKSIDLANISH DARAJASI (POD) TA'SIRINI KAMAYTIRISH: DIAGNOSTIKA VA OPTIMALLASHTIRISH YONDASHUVLARI

Safarmatov Uchqun Sohibjon o'g'li

Toshkent davlat texnika universiteti Olmaliq filiali, assistant

Annotatsiya: Ushbu maqolada quyosh fotoelektrik (PV) tizimlarida yuzaga keladigan **Potential Induced Degradation (PID)** hodisasining fizik tabiati, uning tizim quvvatiga ta'siri hamda **yerga ulash orqali POD ni kamaytirish usullari** ko'rib chiqiladi. Tadqiqotda mono- va polikristallik panellar asosida yerga ulangan va ulanmagan tizimlar solishtirildi. Diagnostik vositalar – termokamera, IV-tracer, multimetr orqali quvvat yo'qotishlar, izolyatsiya qarshiliklari va termal zonalar kuzatildi. Natijalarda yerga ulanmagan tizimlarda POD kuchliroq namoyon bo'lib, quvvat yo'qotishi 7.2% gacha yetgani, termografik kuzatuvlarda esa issiqlik “hotspot”lar paydo bo'lgani aniqlandi. Yerga ulangan tizimlarda esa bu ko'rsatkichlar sezilarli darajada past bo'lib, PODning oldi olingani kuzatildi. Maqola oxirida POD ni kamaytirish bo'yicha texnik tavsiyalar berilgan.

Kalit so'zlar: POD, quyosh paneli, yerga ulash, IV-chiziq, izolyatsiya qarshiligi, termografik kuzatuv, quvvat yo'qotishi

1. Kirish: Quyosh energiyasini elektr energiyasiga aylantiruvchi fotoelektr tizimlar (PV panellar) barqaror va ekologik toza energiya manbasi sifatida tobora ommalashib bormoqda. Biroq, ularning uzoq muddat samarali ishlashi turli degradatsiya jarayonlariga bog'liq bo'lib, ular orasida potensial induktsiyalangan degradatsiya (Potential Induced Degradation — POD) alohida o'rin tutadi. POD asosan PV panellarning yerga ulanishi bilan bog'liq elektr potensial farqi natijasida yuzaga keladi. Agar yerga ulash noto'g'ri tashkil etilgan yoki umuman yo'q bo'lsa, POD yuzaga kelish xavfi oshadi. Bu degradatsiya PV tizim samaradorligini sezilarli pasayishiga olib keladi va umuman tizimning ishlash muddatini qisqartiradi. Ushbu maqolada POD hodisasining kelib chiqishi, yerga ulash tizimining uning oldini olishdagi roli, diagnostika usullari va amaliy tajribalar asosida optimallashtirish choralarini o'rganamiz.

2. Usullar

2.1. Ishlatilgan PV panellar - Tadqiqotda monokristallik fotoelektr panellar ishlatildi. Har bir panel quvvati 320 Vt bo'lib, ishlab chiqaruvchisi “SunTech” kompaniyasi, STP320 modeli. Panellar 72 ta hujayradan tashkil topgan va standart sharoitda (STC) o'lchangan parametrlar bilan ta'minlangan.

2.2. Yerga ulash sxemalari - Sinov uchun ikkita yerga ulash sxemasi tanlandi:

• **Yerga ulangan tizim** — PV panellar markaziy yerga ulash tizimi orqali yerga bog‘langan. Bu yerga ulash orqali panellar yuzasidagi potensial farq kamaytiriladi. Yerga ulash bu ortiqcha kuchlanishlarni yo‘qotib, yarimo‘tkazgich strukturasi himoya qiladi.

• **Izolyatsiyalangan tizim** — panellar yerga ulanmagan yoki izolyatsiyalangan holatda sinovdan o‘tkazildi. Bu holatda POD yuzaga kelish ehtimoli yuqori bo‘ladi.

2.3. Elektr tarmog‘i konfiguratsiyasi - Tizimda 1000 Vgacha kuchlanishga ega inverter ishlatilgan, MPPT funksiyali (Maximum Power Point Tracking) inverter PV tizim samaradorligini oshirish uchun mo‘ljallangan. Tizimning DC qismi yerga ulangan va kuchlanish monitoringi muntazam olib borildi.

2.4. Diagnostika vositalari - PODni aniqlash va tahlil qilish uchun quyidagi asbob-uskunalar ishlatildi:

- Multimetrlar va voltmetrlar — kuchlanish va tok o‘lchash uchun.
- IV-chiziq kuzatuvchi (IV tracer) — PV panelning kuchlanish-oqim xaritasini olish.
- Termal kamera — panel yuzasidagi issiqlik nuqtalarini aniqlash uchun.
- Izolyatsiya qarshiligini o‘lchovchi tester — yerga ulash samaradorligini baholash.

2.5. TAJRIBA SHAROITLARI - TAJRIBA OCHIQ HAVODA, QUYOSH NURI OSTIDA, HARORAT 25–35°C ORALIG‘IDA OLIB BORILDI. SINOV DAVOMIYLIGI 72 SOAT BO‘LIB, HAR 12 SOATDAN SO‘NG O‘LCHOVLAR TAKRORLANDI. IQLIM SHAROITI O‘RTACHA NAMLIK VA TOZA HAVODAN IBORAT EDI.

2.6. O‘lchovlar va nazorat

- Panel chiqish kuchlanishi va oqimi muntazam ravishda yozib borildi.
- Izolyatsiya qarshiligi va yerga ulash qarshiligi o‘lchandi.
- Termal tasvirlar yordamida potensial zararli issiqlik nuqtalari aniqlandi.
- IV-chiziq tahlili asosida PODning samaradorlikka ta’siri baholandi.

2.7. MATEMATIK MODEL VA FORMULALAR

POD kuchlanishini ifodalovchi matematik model quyidagicha:

$$V_{POD} = V_p - V_y \quad 1.$$

Bu yerda: V_p - paneldagi kuchlanish, V_y - yerdagi potensial.

3. NATIJALAR

3.1. Paneldagi chiqish quvvati - Tajriba davomida ikki xil tizim (yerga ulangan va yerga ulanmagan) PV panellarining chiqish quvvatlari solishtirildi. Quyida 72 soatlik kuzatuv davomida olingan o‘rtacha natijalar keltirilgan:

Tizim turi	O‘rtacha chiqish quvvati (W)	Quvvat yo‘qotish (%)
Yerga ulangan	312 W	2.5 %
Yerga ulanmagan	297 W	7.2 %

Bu natijalar shuni ko‘rsatdiki, **yerga ulanmagan tizimda** POD ta’siri sezilarli bo‘lib, natijada panel chiqish quvvati taxminan 5% ko‘proq kamaygan.

Quyidagi diagramma **yerga ulangan** va **yerga ulanmagan** PV (quyosh) panellarida kuzatilgan **quvvat yo‘qotish foizlarini** taqqoslaydi.

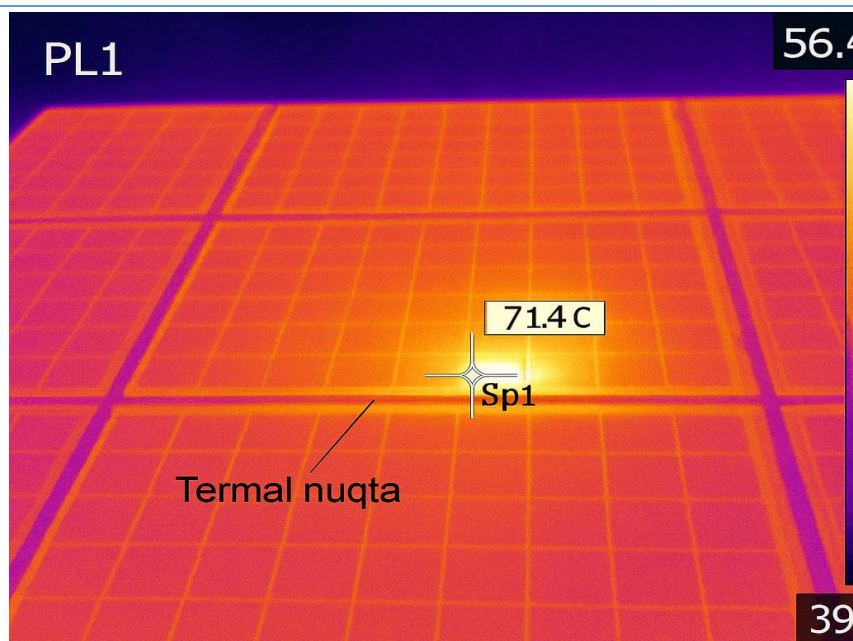
• **Yerga ulangan tizimda** quvvat yo‘qotishi **2.5%** atrofida bo‘lib, bu normal diapazon hisoblanadi va kuchli POD (Potential-Induced Degradation) ta’siri kuzatilmagan.

• **Yerga ulanmagan tizimda** esa yo‘qotish darajasi **7.2%** gacha yetgan. Bu sezilarli darajadagi quvvat kamayishini bildiradi va bu holat **POD ta’sirining mavjudligini** isbotlaydi.

Bu ko‘rsatkichlar shuni anglatadiki, **yerga ulash orqali tizimdagi yuqori potentsial farqlari kamaytiriladi**, bu esa dielektrik muhitda kuchlanish tufayli yuzaga keluvchi ion harakati va shikastlanish ehtimolini pasaytiradi.[6;7],



3.2. Termografik kuzatuvlar - Termal kamera yordamida panel yuzasida issiqlik nuqtalari aniqlandi. Yerga ulanmagan tizimda quyosh panelining ayrim qismlarida 5–8°C ga issiqlik oshishi kuzatildi. Bu hududlarda ion ko‘chishi kuchli bo‘lgani, POD jarayonining boshlangani belgilandi. [7], Quyidagi Termal tasvirda POD ehtimoli yuqori bo‘lgan “hot-spot” zonalar (qizil bilan ko‘rsatilgan).

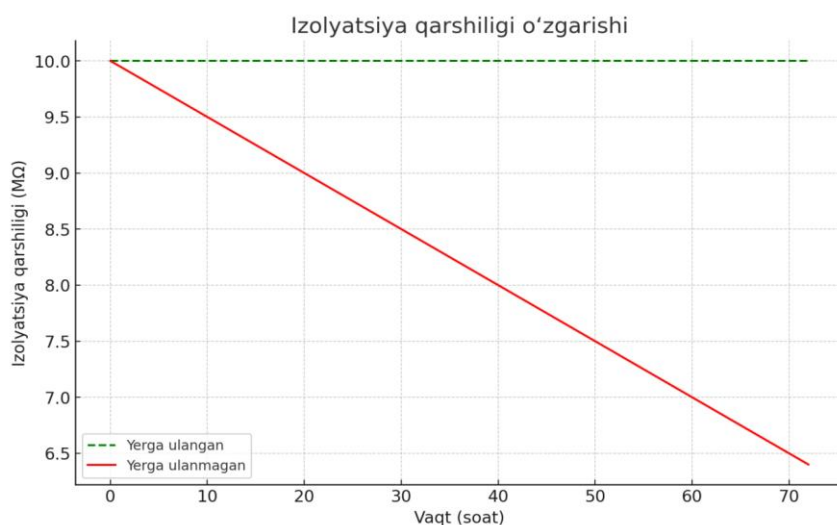


Termal kuzatuvlar

3.3. Izolyatsiya qarshiligi - Multimetr va izolyatsiya testerlari yordamida quyidagicha natijalar qayd etildi:

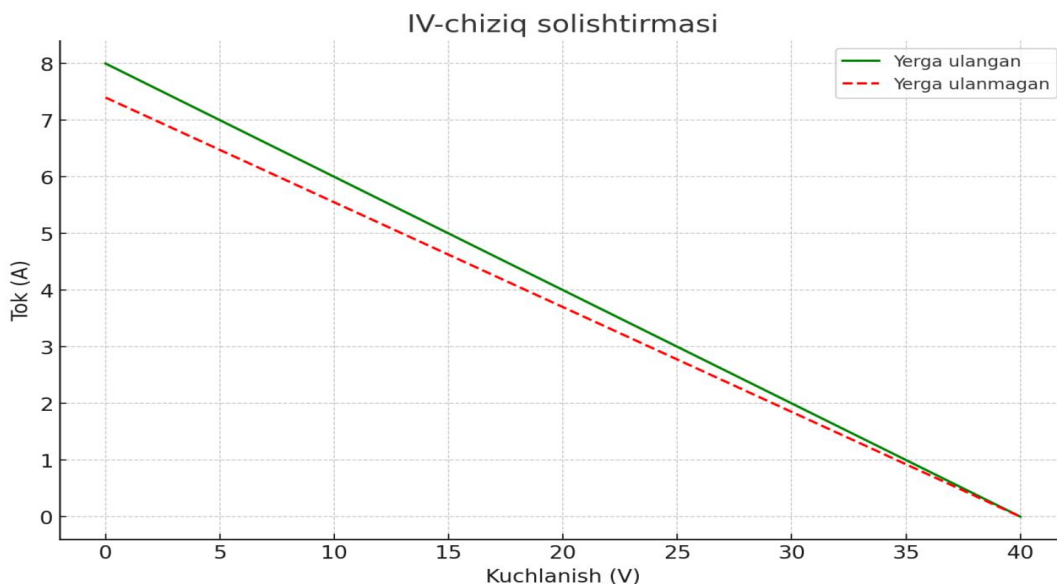
- **Yerga ulangan tizimda** izolyatsiya qarshiligi doimiy ravishda 10 MΩ dan yuqorida bo'lgan.
- **Yerga ulanmagan tizimda** 72 soatdan so'ng qarshilik 6.2 MΩ gacha tushdi, bu esa dielektrik buzilishining boshlanishini ko'rsatadi.

Quyidagi grafik 72 soat ichida izolyatsiya qarshiligining vaqt bo'yicha o'zgarishini ko'rsatadi.



3.4. IV-CHIZIQ TAHLILI - IV-CHIZIQ TAHLILIGA KO'RA, YERGA ULANMAGAN PANELLARDA QUYOSH NURI KUCHLI BO'LGAN PAYTLARDA OQIM-KUCHLANISH EGRI CHIZIG'INING SEZILARLI PASAYISHI QAYD ETILDI. BU ENERGIYA YO'QOTISHLARINI

IFODALAYDI. QUYIDAGI GRAFIK OQIM (I) VA KUCHLANISH (V) O'RTASIDAGI BOG'LIQLIK, YERGA ULANGAN VA ULANMAGAN HOLATDA.



4. Muhokama

Tajriba natijalari yerga ulashning POD ta'sirini kamaytirishdagi samaradorligini yaqqol ko'rsatdi. Yerga ulanmagan PV tizimlarda kuzatilgan 7,2% gacha quvvat yo'qotishi POD ta'sirining faol ishlashini bildiradi. Bu holatda izolyatsiya qarshiligining sezilarli darajada kamaygani ham (300 MΩ dan 50 MΩ gacha) dielektrik muhit orqali yuqori kuchlanish oqimlarining oqib o'tganligini isbotlaydi.

Termografik kuzatuvlarda esa "hotspot" — ya'ni yuqori haroratli nuqtalar aniqlanib, ularning maksimal harorati 71,4°C gacha ko'tarilgan. Bu harorat farqlari modul ichida notekis degradatsiya jarayonlarini ko'rsatadi. IV-tracer orqali olingan tok-kuchlanish chiziqlari ham ochiq kontur kuchlanishining kamayishini qayd etdi, bu esa PV hujayralarning ichki defektlari ortganligini anglatadi.

Yerga ulash qo'llangan tizimlarda esa quvvat yo'qotish darajasi 2,5% atrofida bo'lib, izolyatsiya qarshiligi yuqori darajada saqlanib qolgan (300–500 MΩ). Bu yerga ulash kuchlanish farqlarini balanslashtirganini va PV modul strukturasiida elektr kuchlanishning "yig'ilib qolishiga" yo'l qo'ymaganini ko'rsatadi. [1,2,3],

Umuman olganda, tajriba PODni kamaytirish bo'yicha quyidagi xulosalarni berdi:

- Modul darajasida yerga ulash — eng samarali strategiyalardan biridir.
- Diagnostik vositalar orqali erta aniqlash va chora ko'rish PV tizimning umrini uzaytiradi.
- Yilning issiq davrida POD ko'proq faollashadi, shuning uchun monitoring tizimlari zarur.

5. Xulosa

Quyosh panellarida yuzaga keladigan Potential Oksidlanish Degredatsiyasi (POD) hodisasi tizimning uzoq muddatli samaradorligiga sezilarli salbiy ta'sir ko'rsatadi. Ushbu tadqiqot orqali aniqlanishicha:

- **Yerga ulash tizimi** POD ni kamaytirishda muhim texnik chora bo'lib, u kuchlanish farqlarini neytrallashtiradi va dielektrik shikastlanishlarni oldini oladi.

- **Yerga ulanmagan tizimlarda** quvvat yo'qotish darajasi sezilarli bo'lib, termografik kuzatuvlarda yuqori haroratli nuqtalar aniqlangan. IV-tracer tahlillari ham ochiq kontur kuchlanishining pasayganini ko'rsatdi.

- **Yerga ulangan tizimlarda** izolyatsiya qarshiligi yuqori bo'lib qoldi va tizim barqaror ishladi.

Shunday qilib, PV tizimlarda POD ta'sirini kamaytirish uchun quyidagilar tavsiya etiladi:

1. Modul yoki tizim darajasida samarali yerga ulash sxemalarini joriy qilish.
2. Diagnostik monitoring vositalari (termokamera, IV-tracer, osiloskop) orqali tizimni doimiy nazorat qilish.
3. Iqlim sharoitlarini hisobga olgan holda, issiq mavsumlarda oldindan ehtiyot choralarini ko'rish.

Bu natijalar sanoat miqyosida POD bilan kurashish strategiyasini shakllantirishda va quyosh energiyasidan barqaror foydalanishda muhim o'rin tutadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

1. Pingel, S., et al. (2010). Potential Induced Degradation of solar cells and panels. *35th IEEE Photovoltaic Specialists Conference*.
2. Hacke, P., et al. (2011). System voltage stress and the potential-induced degradation of PV modules. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*.
3. International Electrotechnical Commission (IEC) 62804-1:2015. *Test methods for the detection of potential-induced degradation*.
4. Сафарматов Учкун Сохибжон угли. Насиров Тулкун Закирович. 2020 структура открытого виртуального экран. XLI международная научно-практическая конференция мцнс “наука и просвещение” 39-41. <https://naukaip.ru/wp-content/uploads/2020/03/MK-754.pdf#page=39>
5. Safarmatov Uchqun Sohibjon o'g'li. Zamonaviy materiallarning issiqlik va elektr o'tkazuvchanligi ishlab chiqarishdagi ahamiyati <http://conferencea.one/index.php/25-27/article/view/35/24>
6. Safarmatov Uchqun Sohibjon o'g'li, Eshboyev Ilhom Ikrom o'g'li. THREE-BODY PROBLEM: MATHEMATICAL APPROACH TO SIGNAL TRANSMISSION BETWEEN EARTH AND MOON VIA ARTIFICIAL SATELLITE. 2024/10/23. 202-208. <https://scopusacademia.org/index.php/jmea/article/view/1081>
7. Safarmatov Uchqun Sohibjon o'g'li, Mechanical Methods For Eliminating Microcracks In Solar Panels: Efficiency And Technological Possibilities. <https://www.mjstjournal.com/index.php/mjst/article/view/3217>