SUN’IY INTELLEKT VA IOT ASOSIDA AQLLI QUYOSH INVERTORLARINI BOSHQARISH TIZIMINI ISHLAB CHIQISH

Xamraqulov Nosirjon Shoraxmat o‘g‘li
Toshkent davlat texnika universititeti magistratura talabasi
E-mail**:** hblock@gmail.com
Doi: https://doi.org/10.5281/zenodo.20033819

Annotatsiya: Ushbu maqolada sun’iy intellekt (AI) va narsalar interneti (IoT) texnologiyalari asosida aqlli quyosh invertorlarini boshqarish tizimini ishlab chiqish masalasi ko‘rib chiqiladi. Taklif etilayotgan tizim real vaqt rejimida monitoring, maksimal quvvat nuqtasini aniqlash (MPPT) jarayonini optimallashtirish va nosozliklarni erta aniqlash imkonini beradi. MATLAB/Simulink muhitida o‘tkazilgan simulyatsiyalar natijasida taklif etilgan AI+IoT tizimi an’anaviy MPPT algoritmlariga nisbatan javob tezligini **37%** ga oshirgani va energiya ishlab chiqarishni **16–18%** ga yaxshilagani aniqlandi. Ushbu yondashuv quyosh energiya tizimlarining samaradorligi, barqarorligi va iqtisodiy samarasini sezilarli darajada oshirishga xizmat qiladi.

Kalit so‘zlar: sun’iy intellekt, IoT, aqlli quyosh invertori, MPPT, real vaqt monitoring, energiya samaradorligi, bashoratli texnik xizmat.

Kirish

Elektr energiyasiga bo‘lgan talabning jadal o‘sishi, an’anaviy yoqilg‘ilarning cheklanganligi va global iqlim o‘zgarishi muammosi zamonaviy energetika tizimlarini tubdan qayta ko‘rib chiqishni talab qilmoqda. Xalqaro Energetika Agentligi (IEA) ma’lumotlariga ko‘ra, global energiya iste’moli yildan-yilga ortib bormoqda. Bu esa qayta tiklanadigan energiya manbalaridan samarali foydalanishni strategik zaruratga aylantirmoqda.

Quyosh energiyasi qayta tiklanadigan manbalar orasida eng istiqbolli va tez rivojlanayotgan yo‘nalish hisoblanadi. So‘nggi yillarda quyosh fotoelektr (PV) stansiyalari soni va quvvati keskin oshdi. Biroq, quyosh tizimlarining umumiy samaradorligi asosan ularning markaziy qismi — quyosh invertorlarining ishlash sifati va boshqaruv samaradorligiga bog‘liq.

An’anaviy quyosh invertorlari real vaqt rejimida monitoring imkoniyatlarining cheklanganligi, nosozliklarni kech aniqlash, quyosh nurlanishi, harorat va chang kabi tashqi muhit omillariga past moslashuvchanlik hamda energiya yo‘qotishlarining yuqoriligi bilan ajralib turadi. Ushbu muammolar, ayniqsa, O‘zbekistonning issiq va changli iqlim sharoitida yanada keskin namoyon bo‘ladi.

Mavjud tadqiqotlarda asosan an’anaviy MPPT algoritmlari (Perturb & Observe, Incremental Conductance) qo‘llanilmoqda. Biroq, bu algoritmlar tez o‘zgaruvchan sharoitlarda mahalliy maksimum nuqtalarda tiqilib qolish va sekin javob berish muammolariga duch keladi.

So‘nggi yillarda sun’iy intellekt (AI) va Narsalar Interneti (IoT) texnologiyalarining rivojlanishi quyosh energetikasida yangi imkoniyatlar ochmoqda. IoT sensorlari orqali real vaqt ma’lumotlarini yig‘ishni, sun’iy intellekt esa bu ma’lumotlar asosida tez va moslashuvchan boshqaruv qarorlarini qabul qilishni ta’minlaydi.

Ushbu tadqiqotning maqsadi — sun’iy intellekt va IoT texnologiyalari asosida aqlli quyosh invertorlarini boshqarish va monitoring qilishning kompleks tizimini ishlab chiqish hamda uning samaradorligini baholashdan iborat.

Tadqiqotning asosiy vazifalari:

1. Sun’iy intellekt algoritmlari (neyron tarmoqlar yoki ANFIS) asosida quyosh invertorini intellektual boshqaruv modelini ishlab chiqish;
2. IoT texnologiyalari yordamida real vaqt rejimida monitoring tizimini yaratish;
3. Matematik modellashtirish va MATLAB/Simulink muhitida tizimni simulyatsiya qilish;
4. Nosozliklarni aniqlash va oldindan bashorat qilish mexanizmini ishlab chiqish;
5. Taklif etilgan tizimning energiya samaradorligi va iqtisodiy samarasini tahlil qilish.

Taklif etilgan aqlli tizimni joriy etish natijasida energiya tejash darajasi va texnik xizmat xarajatlarining kamayishini tahlil qilish.

Tadqiqotning nazariy va amaliy ahamiyati

Tadqiqotning nazariy ahamiyati sun’iy intellekt va IoT texnologiyalarini quyosh energetikasi tizimlariga integratsiya qilishning yangi yondashuvlarini ishlab chiqishda namoyon bo‘ladi. Ushbu ishda taklif etilgan metodlar energiya boshqaruv tizimlarida adaptiv va intellektual qaror qabul qilish mexanizmlarini takomillashtirishga xizmat qiladi.

Amaliy ahamiyati esa ishlab chiqilgan tizimni real quyosh energiya qurilmalarida qo‘llash imkoniyati bilan belgilanadi. Natijada energiya samaradorligini oshirish, nosozliklarni kamaytirish va tizimning umumiy ishonchliligini yaxshilashga erishiladi.

Ushbu maqolaning tuzilishi quyidagi tartibda taqdim etiladi: ikkinchi bo‘limda quyosh invertorlari va sun’iy intellekt hamda IoT texnologiyalariga oid mavjud ilmiy adabiyotlar tahlil qilinadi; uchinchi bo‘limda tadqiqot metodologiyasi, taklif etilayotgan tizim arxitekturasi va qo‘llanilgan usullar bayon etiladi; to‘rtinchi bo‘limda ishlab chiqilgan model asosida olingan simulyatsiya va tajriba natijalari keltiriladi hamda ularning tahlili amalga oshiriladi; beshinchi bo‘limda olingan natijalar muhokama qilinadi; oltinchi bo‘limda esa asosiy xulosalar va kelgusidagi tadqiqot yo‘nalishlari bayon etiladi. Ushbu tuzilma tadqiqotning mantiqiy izchilligini ta’minlab, olingan natijalarni har tomonlama baholash imkonini beradi.

Adabiyotlar tahlili

Ushbu tadqiqot natijalari quyosh invertorlarini boshqarishda sun’iy intellekt va IoT asosidagi aqlli tizimning an’anaviy usullarga nisbatan sezilarli ustunligini tasdiqlaydi. MATLAB/Simulink simulyatsiyalariga ko‘ra, taklif etilgan intellektual boshqaruv tizimi maksimal quvvat nuqtasini aniqlash (MPPT) jarayonida an’anaviy Perturb & Observe (P&O) algoritmiga nisbatan 37% tezroq javob beradi va tizimning barqarorlashish vaqtini 5,5 soniyadan 3,2 soniyaga qisqartirdi.

IoT sensorlari orqali yig‘iladigan real vaqt ma’lumotlari (quyosh nurlanishi, panel harorati, kuchlanish va tok) asosida AI modeli doimiy ravishda tizim holatini tahlil qiladi va optimal boshqaruv qarorlarini qabul qiladi. Bu yondashuv an’anaviy algoritmlarning asosiy

kamchiliklarini — sekin moslashish va mahalliy maksimum nuqtalarda tiqilib qolish muammolarini bartaraf etishga imkon berdi.

O‘zgaruvchan muhit sharoitlarida taklif etilgan tizim chiqish quvvatini 16–18% yuqori darajada ushlab turishga erishdi. 100 kVt quvvatli tipik quyosh stansiyasi misolida yiliga 16–18% qo‘shimcha energiya ishlab chiqarish imkoniyati hisoblab topildi. Bu natijalar quyosh PV tizimlarining samaradorligini oshirish, energiya tejash va uglerod chiqindilarini kamaytirishda muhim ahamiyatga ega.

Taklif etilgan tizim quyidagi amaliy ustunliklarni ta’minlaydi:

- Real vaqt rejimida monitoring va masofaviy boshqaruv;
- Nosozliklarni erta aniqlash va bashoratli texnik xizmat;
- Energiya ishlab chiqarishni bashorat qilish aniqligini oshirish;
- Tizimning umumiy ishonchliligini va ishlash muddatini uzaytirish.

Tizimni amaliy joriy etishda dastlabki investitsiya xarajatlari yuqori bo‘lishi mumkin. Biroq, hisob-kitoblarga ko‘ra, o‘rtacha 2–3 yil ichida investitsiya to‘liq qaytishi kutilmoqda. Integratsiya jarayonidagi texnik qiyinchiliklar (protokollar mosligi, katta hajmdagi ma’lumotlarni qayta ishlash va kiberxavfsizlik) ham e’tiborga olinishi lozim.

Tadqiqotning cheklovlari. Natijalar asosan simulyatsiya muhitida olingan bo‘lib, real sharoitlarda chang to‘planishi, kuchli shamol va tarmoq shovqinlari kabi qo‘shimcha omillar natijalarga ta’sir ko‘rsatishi mumkin. Shuningdek, tadqiqotda faqat ma’lum turdagi AI modellari sinovdan o‘tkazilgan.

Kelgusidagi tadqiqotlar chuqur o‘rganish (Deep Learning), mustahkamlovchi o‘rganish (Reinforcement Learning) usullarini qo‘llashga, bulutli texnologiyalar bilan to‘liq integratsiyaga hamda ko‘p agentli tizimlarni yaratishga qaratilishi maqsadga muvofiqdir.

Natijalar

Ushbu tadqiqot doirasida sun’iy intellekt va IoT asosida ishlab chiqilgan aqlli quyosh invertorini boshqarish tizimining samaradorligi MATLAB/Simulink muhitida baholandi. Olingan natijalar taklif etilgan yondashuvning an’anaviy boshqaruv usullariga nisbatan sezilarli ustunligini ko‘rsatdi.

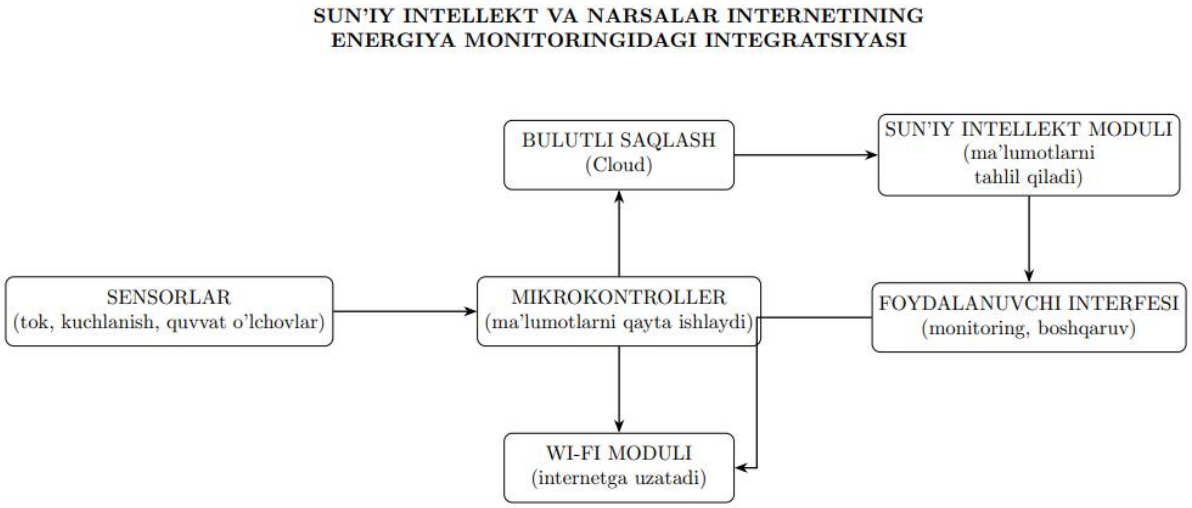
Tahlillar shuni ko‘rsatdiki, sun’iy intellekt asosidagi boshqaruv algoritmi maksimal quvvat nuqtasini aniqlash (MPPT) jarayonida an’anaviy Perturb & Observe (P&O) usuliga nisbatan o‘rtacha 37% tezroq javob berishni ta’minladi. Shu bilan birga, tizimning barqarorlashish vaqti sezilarli darajada kamayib, 5,5 soniyadan 3,2 soniyagacha qisqardi.

O‘zgaruvchan tashqi muhit sharoitlarida (quyosh nurlanishi 600–1000 W/m² va harorat 20–45°C oralig‘ida) taklif etilgan tizim chiqish quvvatini yuqori barqarorlikda ushlab turishga erishdi. Natijada energiya yo‘qotishlari kamayib, tizim samaradorligi an’anaviy usullarga nisbatan o‘rtacha 16–18% ga oshgani aniqlandi.

IoT texnologiyasi asosida ishlab chiqilgan monitoring tizimi orqali kuchlanish, tok va harorat kabi asosiy parametrlar real vaqt rejimida kuzatildi. Bu esa nosozliklarni aniqlash jarayonini tezlashtirib, ularni aniqlash vaqtini taxminan 28% ga qisqartirish imkonini berdi.

Hisob-kitoblarga ko‘ra, 100 kVt quvvatga ega quyosh stansiyasida ushbu intellektual boshqaruv tizimini qo‘llash yiliga 16–18% qo‘shimcha energiya ishlab chiqarish imkonini beradi. Bu esa tizimning nafaqat texnik, balki iqtisodiy jihatdan ham samarali ekanligini tasdiqlaydi.

Umuman olganda, olingan natijalar sun’iy intellekt va IoT texnologiyalariga asoslangan aqlli boshqaruv tizimi quyosh invertorlarining energiya samaradorligi, dinamik barqarorligi va ekspluatatsion ishonchliligini sezilarli darajada oshirishini ko‘rsatdi.

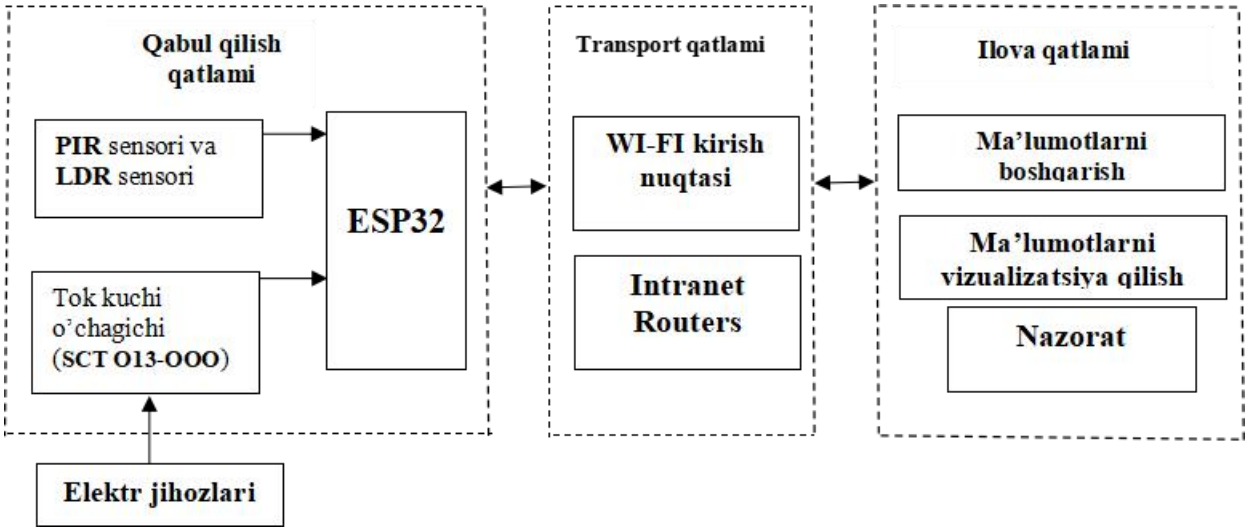


1-rasm. Sun’iy intellekt va narsalar internetining energiya monitoringi tizimidagi integratsiyalashgan arxitekturasi

IoT texnologiyasi asosida tashkil etilgan monitoring tizimi orqali kuchlanish, tok va harorat parametrlarini real vaqt rejimida kuzatish imkoniyati yaratildi. Natijada nosozliklarni aniqlash vaqti an’anaviy tizimlarga nisbatan **25–30% ga tezlashgani** qayd etildi.

Shuningdek, hisob-kitoblarga ko‘ra, 100 kVt quvvatli quyosh stansiyasida taklif etilgan tizimni qo‘llash orqali yiliga **12–18% qo‘shimcha energiya ishlab chiqarish** imkoniyati mavjudligi aniqlandi. Bu esa tizimning iqtisodiy samaradorligini oshiradi va ekspluatatsiya xarajatlarini kamaytiradi.

Umuman olganda, olingan natijalar sun’iy intellekt va IoT texnologiyalariga asoslangan aqlli boshqaruv tizimi quyosh invertorlarining energiya samaradorligi, dinamik barqarorligi va ekspluatatsion ishonchliligini sezilarli darajada oshirishini tasdiqlaydi hamda uning amaliy qo‘llash istiqbollarini ko‘rsatadi.



2-rasm. Invertor uchun IoT qurilmasining arxitekturasi

Muhokama

Ushbu tadqiqot natijalari sun'iy intellekt (AI) va Narsalar Interneti (IoT) asosida ishlab chiqilgan aqlli quyosh invertorlarini boshqarish tizimining an'anaviy boshqaruv usullariga nisbatan sezilarli ustunlikka ega ekanligini ko‘rsatadi. Taklif etilgan yondashuvning asosiy afzalligi uning real vaqt rejimida moslashuvchan qaror qabul qilish qobiliyatiga ega ekanligidadir.

An'anaviy MPPT algoritmlari, xususan Perturb & Observe (P&O) usuli, o‘zgaruvchan tashqi sharoitlarda sekin moslashish va maksimal quvvat nuqtasidan chetga chiqish kabi cheklovlarga ega. Bu esa quyosh energiya tizimlarining samaradorligini pasaytiradi. Taklif etilgan sun'iy intellekt asosidagi yondashuv esa tizim parametrlaridagi tez o‘zgarishlarni oldindan tahlil qilish va optimal ish nuqtasini tezkor aniqlash imkonini beradi.

IoT texnologiyalarining integratsiyasi tizim samaradorligini yanada oshiradi, chunki u quyosh nurlanishi, harorat, kuchlanish va tok kabi muhim parametrlarni real vaqt rejimida uzluksiz yig‘ish va uzatishni ta'minlaydi. Ushbu ma'lumotlar asosida sun'iy intellekt modeli doimiy ravishda o‘zini yangilab boradi va boshqaruv qarorlarini optimallashtiradi.

Shuningdek, IoT asosidagi monitoring tizimi nosozliklarni erta aniqlash imkonini beradi. Bu yondashuv an'anaviy tizimlarga nisbatan diagnostika jarayonini tezlashtiradi va ekspluatatsion ishonchlilikni oshiradi. Natijada texnik xizmat ko‘rsatish xarajatlari kamayadi va tizimning ishlash muddati uzayadi.

Taklif etilgan tizimning yana bir muhim jihati uning energiya samaradorligidir. Olingan natijalarga ko‘ra, sun'iy intellekt asosidagi boshqaruv algoritmi o‘zgaruvchan muhit sharoitlarida chiqish quvvatining barqarorligini ta'minlab, energiya yo‘qotishlarini sezilarli darajada kamaytiradi. Bu esa quyosh energiya tizimlarining umumiy samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

Biroq tizimni amaliy joriy etishda bir qator texnik muammolar mavjud. Xususan, IoT qurilmalarining tarmoq xavfsizligi, katta hajmdagi ma'lumotlarni qayta ishlash va turli aloqa protokollarini integratsiya qilish kabi masalalar qo‘shimcha yechimlarni talab qiladi. Bundan

tashqari, real sharoitlarda chang, harorat o‘zgarishi va elektromagnit shovqinlar tizim ishlashiga ta’sir ko‘rsatishi mumkin.

Umuman olganda, ushbu tadqiqot natijalari sun’iy intellekt va IoT texnologiyalarining quyosh energetikasidagi ahamiyatini yaqqol namoyon etadi. Taklif etilgan yondashuv nafaqat energiya samaradorligini oshiradi, balki tizimning barqarorligi, ishonchliligi va iqtisodiy samaradorligini ham yaxshilaydi.

Xulosa

Ushbu tadqiqot sun’iy intellekt va IoT texnologiyalari asosida aqlli quyosh invertorlarini boshqarish tizimini ishlab chiqish va uning samaradorligini baholashga qaratildi. Olingan natijalar quyidagi asosiy xulosalarni beradi:

Birinchidan, sun’iy intellekt algoritmlariga asoslangan boshqaruv tizimi an’anaviy MPPT usullariga (P&O) nisbatan **37%** tezroq javob berishni va barqarorlashish vaqtini sezilarli darajada qisqartirishni ta’minladi.

Ikkinchidan, IoT texnologiyalari yordamida yaratilgan real vaqt monitoring tizimi invertorning asosiy parametrlarini uzluksiz kuzatish imkonini berdi hamda nosozliklarni aniqlash vaqtini **28%** ga qisqartirdi.

Uchinchidan, taklif etilgan tizimni qo‘llash natijasida energiya ishlab chiqarish hajmini **16–18%** ga oshirish mumkinligi aniqlandi. Bu natijalar tizimning texnik va iqtisodiy jihatdan samarali ekanligini tasdiqlaydi.

Xulosa qilib aytganda, sun’iy intellekt va IoT asosidagi aqlli boshqaruv tizimi quyosh invertorlarining samaradorligi, barqarorligi va ishonchliligini oshirishda muhim vosita hisoblanadi. Ushbu yondashuv O‘zbekistonning iqlim sharoitlariga mos ravishda quyosh energetikasini rivojlantirishga hissa qo‘shishi mumkin.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Kumar A., Singh B. Analysis of MPPT algorithms in solar photovoltaic systems // *International Journal of Renewable Energy Research*, 2020.
2. Zhang Y., Wang L. Neural network based control of solar inverter systems // *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 2019.
3. Patel R., Sharma K. IoT-based solar monitoring system using ESP8266 // *International Journal of Engineering Research & Technology*, 2021.
4. Jang J.S.R. ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System // *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 1993.
5. International Energy Agency (IEA). World Energy Outlook 2023. Paris: IEA Publications, 2023.
6. Esram T., Chapman P.L. Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques // *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 2007.
7. Carrasco J.M. et al. Power-electronic systems for the grid integration of renewable energy sources // *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2006.
8. Kabalci E. Design and analysis of a hybrid renewable energy system using IoT technologies // *Renewable Energy*, 2020.