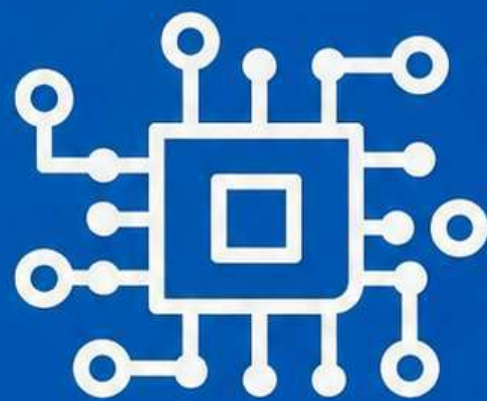




TECH SCIENCE

ISSN 3030-3702

**TEXNIKA FANLARINING
DOLZARB MASALALARI**

**TOPICAL ISSUES OF TECHNICAL
SCIENCES**



**№ 4-maxsus
son (4) 2026**

BOSH MUHARRIR:

ABBAZOV ILHOM ZAPIROVICH

TAHRIR HAY'ATI:

Usmankulov Alisher Kadirkulovich — Texnika fanlari doktori, professor, Jizzax, O'zbekiston;

Fayziyev Xomitxon – texnika fanlari doktori, professor, Toshkent, O'zbekiston;

Rashidov Yusuf Karimovich – texnika fanlari doktori, professor, Toshkent, O'zbekiston;

Adizov Bobirjon Zamirovich – Texnika fanlari doktori, professor, Toshkent, O'zbekiston;

Abdunazarov Jamshid Nurmuxamatovich — Texnika fanlari doktori, dotsent, Jizzax, O'zbekiston;

Eshonkulov Ravshan Abdurazakovich — Texnika fanlari doktori, dotsent, Qashqadaryo, O'zbekiston;

Umarov Shavkat Isomiddinovich – Texnika fanlari doktori, professor, Jizzax, O'zbekiston;

Bozorov G'ayrat Rashidovich – Texnika fanlari doktori, Buxoro, O'zbekiston;

Maxmudov Muxtor Jamolovich – Texnika fanlari doktori, Buxoro, O'zbekiston;

Asatov Nurmuxammad Abdunazarovich – Texnika fanlari nomzodi, professor, Jizzax, O'zbekiston;

Mamayev G'ulom Ibroximovich – Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), Jizzax, O'zbekiston;

Ochilov Abduraxim Abdurasulovich – Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), Buxoro, O'zbekiston.

OAK Ro'yxati

Mazkur jurnal O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasi Rayosatining 2025-yil 8-maydagi 370-son qarori bilan texnika fanlari bo'yicha ilmiy darajalar yuzasidan dissertatsiyalar asosiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlar ro'yxatiga kiritilgan.

Muassislar: "SCIENCEPROBLEMS TEAM" mas'uliyati cheklangan jamiyati;
Jizzax politexnika instituti.

TECHSCIENCE.UZ- TEXNIKA**FANLARINING DOLZARB****MASALALARI** elektron jurnali

15.09.2023-yilda 130343-sonli

guvohnoma bilan davlat ro'yxatidan o'tkazilgan.

TAHRIRIYAT MANZILI:

Toshkent shahri, Yakkasaroy tumani, Kichik Beshyog'och ko'chasi, 70/10-uy.

Elektron manzil:

scienceproblems.uz@gmail.com

Barcha huquqlar himoyalangan.

© Scienceproblems team, 2026-yil

© Mualliflar jamoasi, 2026-yil

MUNDARIJA

<i>Mamirov Uktam, Khudoyberdiyev Asror</i> FUZZY-LOGIC-BASED ASSESSMENT OF THE DURABILITY CRITERION OF A CONTINUOUS CASTING MACHINE	4-12
<i>Shanning Fu, Ya Han, Bekmurotov Dilshod</i> CONTROLLED EVALUATION OF STATE-AWARE AND VERIFIABLE RAG FOR ENGLISH-LANGUAGE TUTORING: RETRIEVAL RELIABILITY, GROUNDING, AND VERIFICATION	13-26
<i>Fayzullayev Xayriddin</i> MUHANDISLIK GRAFIKASI FANINI O'RGANISHDA "TEKISLIK LARNING KESISHISHI" MAVZUSINI O'QITISH USULI	27-32
<i>Muinov Ulug'bek, Usmonov Botir</i> KICHIK QUUVATLI SHAMOL ENERGETIK TIZIMIDA PI-ROSTLAGICH ASOSIDA KUCHLANISHNI BOSHQARISH	33-44
<i>Sayitov Shavkatjon, Sarimsakov Olimjon</i> PAXTA XOMASHYOSINI QURITISHNING KO'P PARAMETRLI AVTOMATLASHTIRILGAN MONITOTING TIZIMINI ISHLAB CHIQISH	45-50
<i>Haitov Bozar</i> BISMUT VOLFRAMAT (Bi_2WO_6 , BiWO_4) NI SINTEZ QILISH USULLARI: ZAMONAVIY YONDASHUVLAR TAHLILI	51-58
<i>Ishnazarov Oybek, Hoshimov Ural</i> KOMPRESSOR USKUNASINI AVTOMATLASHTIRILGAN ISHLASH REJIMIDAGI DINAMIK JARAYONLARNING TAHLILI	59-67
<i>Shavazov Abdulatif, Turaxanov Sherzod, Ilekerova Indira</i> BOSHQARILUVCHI ELEKTR YURITMALAR ISH REJIMLARINI OPTIMALLASHTIRISH USULLARINI TAKOMILLASHTIRISH.....	68-75
<i>Nurlibayeva Zarina</i> TIKUV MASHINASI IGNA IPINI TARANGLAGICHINING QAYISHQOQ ELEMENTLI KONSTRUKTIV PARAMETRLARINI TADBIQ ETISH	76-83
<i>Bazarov Baxtiyor, Odilov Odiljon, Bo'tayev Azizjon</i> SINTETIK GAZ YONILG'ISIDAN FOYDALANIB CHEVROLET COBALT VA CHEVROLET TRACKER YENGIL AVTOMOBILLARINING EKSPLOATATSION KO'RSATKICHLARINI OSHIRISH: MATLAB/SIMULINK ASOSIDAGI MODELLASHTIRISH TADQIQOTI	84-90
<i>Karimxodjayev Nazirjon, Ismatov Biloldin</i> ELEKTROMOBIL BATAREYALARINI ZARYADLASH JARAYONIDA YASHIRIN KRITIK HOLATLARNI AMALIY DIAGNOSTIKA QILISH METODIKASI	91-99
<i>Musurmonov Ulug'bek</i> POLIMER MODIFIKATSIYALANGAN BITUM ASOSIDA ASFALT-BETON QORISHMASINING FIZIK-MEXANIK XUSUSIYATLARINI TADQIQ ETISH.....	100-107

KICHIK QUVVATLI SHAMOL ENERGETIK TIZIMIDA PI-ROSTLAGICH ASOSIDA KUCHLANISHNI BOSHQARISH

Muinov Ulug'bek Baxtiyevich

tayanch doktorant,

Toshkent kimyo-texnologiya instituti

Email: themuinov@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-6354-8822>

Usmonov Botir Shukurillayevich

professor, texnika fanlar doktori

Toshkent kimyo-texnologiya instituti

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4654-9782>

Annotatsiya. Ushbu maqolada 1 kW shamol-akkumulyator DC mikrotarmog'ida yuklama o'zgarishlari vaqtida PI rostlagichining ishlashi MATLAB muhitida baholandi. Shamol tezligi 10 m/s da saqlanib, yuklama 250-600 W oralig'ida o'zgartirildi. Natijada DC shina kuchlanishi 46-50,5 V oralig'ida o'zgarib, o'tkinchi jarayonlardan keyin 48 V ga qaytdi.

Kalit so'zlar: kichik quvvatli shamol turbinasi; akkumulyator energiya saqlash tizimi; DC mikrotarmoq; PI rostlagich; DC shina kuchlanishi; yuklama o'zgarishi.

VOLTAGE CONTROL BASED ON A PI CONTROLLER IN A SMALL-SCALE WIND ENERGY SYSTEM

Muinov Ulugbek Baxtiyevich

PhD-student,

Tashkent chemical-technological institute

Usmonov Botir Shukurillayevich

professor, Doctor of Science

Tashkent chemical-technological institute

Annotation. This article evaluates a PI controller under load variations in a 1 kW wind-battery DC microgrid using MATLAB. Wind speed remained 10 m/s, while load varied between 250 and 600 W. DC-link voltage varied from 46 to 50.5 V and returned to 48 V after transients.

Key words: small-scale wind turbine; battery energy storage system; DC microgrid; PI controller; DC-link voltage; load variation.

DOI: <https://doi.org/10.47390/ts-v4is/4y2026N04>

Kirish.

Markazlashgan elektr tarmog'idan uzoqda joylashgan iste'molchilarni elektr energiyasi bilan ta'minlashda mahalliy qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanish muhim ahamiyatga ega. Shu nuqtayi nazardan, kichik quvvatli shamol energetik tizimlarini hududning

tabiiy sharoitlari va iste'molchilarning energiya talabiga mos ravishda ishlab chiqish talab etiladi.

Sadullayev va boshqalar [1] Weibull taqsimoti asosida Buxoro hududining shamol energetik salohiyatini statistik baholab, mintaqada shamol energiyasidan foydalanish imkoniyatlarini ko'rsatgan. Ushbu natijalar hududning shamol resurslarini baholash hamda kichik quvvatli shamol energetik tizimlarini ishlab chiqish uchun ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi. Shu bilan birga, shamol energiyasidan barqaror foydalanish ishlab chiqarilayotgan quvvatni iste'molchi yuklamasi bilan muvofiqlashtirishni talab etadi.

Kichik quvvatli shamol energetik tizimlarida DC shina kuchlanishining barqarorligi nafaqat shamol tezligiga, balki iste'molchi yuklamasining o'zgarishiga ham bog'liq. Yuklama quvvati keskin oshganda shamol generatoridan olinayotgan quvvat talabni to'liq qoplay olmaydi va DC shina kuchlanishi pasayadi. Yuklama kamayganda esa ortiqcha quvvat kuchlanishning belgilangan qiymatdan oshishiga olib kelishi mumkin. Shu sababli manba, akkumulyator va yuklama o'rtasidagi quvvat muvozanatini uzluksiz ta'minlash talab etiladi.

Akkumulyator energiya saqlash tizimi ikki yo'nalishli o'zgartirgich orqali DC shinaga ulanib, quvvat yetishmovchiligida energiya uzatadi, ortiqcha quvvat paydo bo'lganda esa zaryadlanadi. Ushbu jarayonni samarali boshqarish DC shina kuchlanishini belgilangan 48 V darajada saqlash imkonini beradi. Bunda PI rostlagichi kuchlanish xatoligiga asoslanib akkumulyator quvvatini rostlaydi va yuklama o'zgarishlaridan kelib chiqadigan quvvat nomuvofiqligini kompensatsiya qiladi.

Mazkur tadqiqotda shamol tezligi 10 m/s qiymatda o'zgarmas saqlangan holda yuklama quvvatining pog'onali o'zgarishi ko'rib chiqiladi. Yuklama ketma-ket 250, 350, 600, 450 va 300 W qiymatlarga o'zgartiriladi. Ushbu holat yuklama ortishi va kamayishi vaqtida DC shina kuchlanishining dinamik javobini hamda akkumulyatorning quvvat muvozanatini ta'minlashdagi rolini baholash imkonini beradi.

Tadqiqotning maqsadi o'zgaruvchan yuklama sharoitida PI rostlagichining 48 V DC shina kuchlanishini barqaror saqlash imkoniyatini aniqlashdan iborat. Buning uchun MATLAB muhitida kichik quvvatli shamol generatori, buck o'zgartirgich, DC shina, akkumulyator energiya saqlash tizimi, ikki yo'nalishli o'zgartirgich va o'zgaruvchan yuklamadan tashkil topgan tizim modeli o'rganiladi.

Adabiyotlar tahlili va metodologiya.

Kichik quvvatli shamol energetik tizimlarida ishlab chiqarish va iste'mol quvvatlari o'rtasidagi nomuvofiqlik DC shina kuchlanishining o'zgarishiga olib keladi. Ayniqsa, avtonom tizimlarda yuklamaning keskin ortishi kuchlanish pasayishiga, yuklamaning kamayishi esa ortiqcha energiya sababli kuchlanish oshishiga olib kelishi mumkin. Shu sababli shamol generatori, akkumulyator energiya saqlash tizimi va yuklama o'rtasidagi quvvat oqimini boshqarish DC shina barqarorligini ta'minlashning asosiy sharti hisoblanadi.

Usmonov va boshqalar [2] O'zbekistonning qishloq hududlarini energiya bilan ta'minlash uchun kichik quvvatli shamol turbinasi va akkumulyatordan tashkil topgan tizimda ANFIS boshqaruvini qo'llagan. Tadqiqotda 48 V DC shina kuchlanishini rostlash, shamol tezligining o'zgarishi va akkumulyatorning zaryad-razryad jarayonlari o'rganilgan. Ushbu ish intellektual boshqaruvning samaradorligini ko'rsatadi, biroq unda asosiy e'tibor ANFIS algoritmgiga qaratilgan. Mazkur tadqiqotda esa o'zgarmas shamol tezligida yuklama pog'onalarining ta'siri va an'anaviy PI rostlagichining ishlashi alohida baholanadi.

Usmonov va boshqalar [3] O'zbekistonning olis hududlarini elektr energiyasi bilan ta'minlash uchun kichik quvvatli shamol turbinasi, akkumulyator va 48 V DC shinadan tashkil topgan mikrotarmoqni tadqiq qilgan. Simulyatsiya natijalari shamol tezligi va yuklama o'zgarganda akkumulyator quvvatini boshqarish DC shina kuchlanishi va quvvat muvozanatini saqlashda muhimligini ko'rsatgan. Mazkur maqolada esa o'zgarmas shamol tezligida yuklamaning pog'onali o'zgarishlariga PI rostlagichning javobi alohida baholanadi.

Noaniq dinamik modellar va tashqi ta'sirlar mavjud sharoitlarda boshqariladigan obyektlarni adaptiv identifikatsiyalash algoritmlari tizim holatini baholash aniqligini oshirishga xizmat qiladi [4]. Fuzzy modellar noaniq ma'lumotlarni qayta ishlash va qaror qabul qilish masalalarida, jumladan, ma'lumotlar-hisoblash tarmoqlarini loyihalashda [5] hamda o'zgaruvchan transport oqimlarini adaptiv boshqarishda [6] qo'llangan. Ushbu yondashuvlar noaniqlik va o'zgaruvchan tashqi ta'sirlar mavjud dinamik tizimlarni boshqarishda adaptiv usullardan foydalanish imkoniyatini ko'rsatadi.

Mahjoub va boshqalar [7] PV-shamol-akkumulyator mikrotarmog'i uchun energiya ishlab chiqarishni bashorat qilishga asoslangan boshqaruv strategiyasini taklif qilgan. Intellectual bashoratlash algoritmi energiya manbalari va yuklama o'rtasidagi muvozanatni oldindan baholash imkonini beradi, biroq bunday yondashuv katta hajmdagi ma'lumotlar va qo'shimcha hisoblash resurslarini talab qiladi. Ibrahim va boshqalar [8] PV, shamol, akkumulyator va dizel generatorini birlashtirgan DC mikrotarmoqda PSO-GA va faol buzilishlarni kompensatsiyalash usuliga asoslangan energiya boshqaruvini ishlab chiqqan. Taklif qilingan yondashuv murakkab gibril tizim uchun mo'ljallangan bo'lib, uning tuzilishi oddiy PI boshqaruviga nisbatan murakkab hisoblanadi.

Al-Quraan va Al-Qaisi [9] avtonom PV-shamol mikrotarmog'ining matematik modeli va boshqaruv tizimini ishlab chiqqan. Unda akkumulyatorning zaryad holati chegaralari hisobga olinib, ishlab chiqarish va yuklama quvvatlari o'rtasidagi muvozanat boshqarilgan. Sahri va boshqalar [10] PV, shamol, akkumulyator, yoqilg'i elementi va superkondensatordan iborat mikrotarmoq uchun energiya boshqaruv tizimini taklif qilgan. Mazkur tuzilma bir nechta energiya manbalari va saqlash qurilmalarini muvofiqlashtiradi, lekin ko'p komponentli tizim boshqaruv algoritmini murakkablashtiradi.

Gajewski va Pieńkowski [11] shamol turbinasi, fotoelektrik panellar va akkumulyatordan tashkil topgan gibril tizimning boshqaruvini ko'rib chiqqan. Mualliflar energiya manbalari va akkumulyator o'rtasidagi muvofiqlashtirilgan boshqaruv yuklamani uzluksiz energiya bilan ta'minlashda muhimligini ko'rsatgan. Rekioua va boshqalar [12] avtonom PV-shamol-akkumulyator tizimida quvvat oqimini boshqarish usulini ishlab chiqqan. Ushbu tadqiqotlar akkumulyatorning ishlab chiqarish va iste'mol o'rtasidagi farqni kompensatsiya qilishdagi rolini tasdiqlaydi, biroq ular bir nechta qayta tiklanuvchi energiya manbalariga asoslangan.

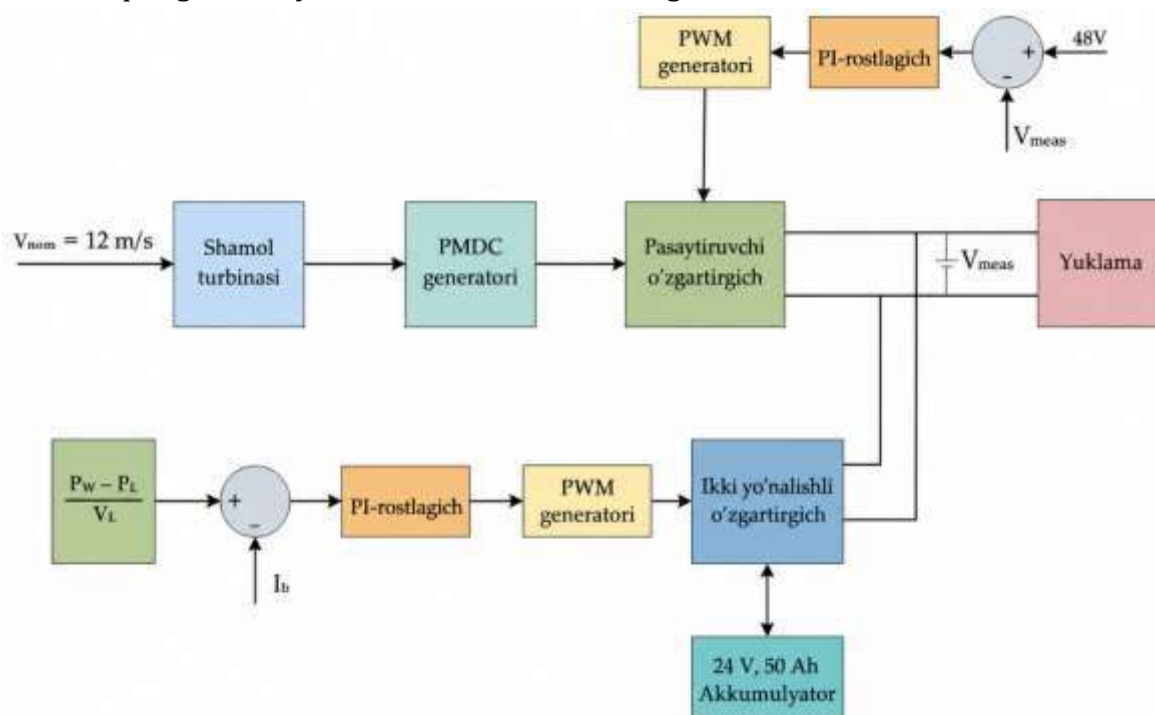
Jasim va boshqalar [13] tarmoqdan ajratilgan quyosh-shamol-akkumulyator-biogaz-dizel tizimining optimal o'lchamlarini aniqlagan. Tadqiqot asosan iqtisodiy samaradorlik, energiya narxi va tizim komponentlarini optimal tanlashga qaratilgan. Shi va boshqalar [14] shamol energiyasining ulushini hisobga olgan holda mikrotarmoq akkumulyatorining optimal quvvati va sig'imini aniqlagan. Ushbu ishlar energiya saqlash tizimini to'g'ri tanlashning muhimligini ko'rsatadi, ammo yuklama pog'onalaridan keyingi qisqa muddatli kuchlanish jarayonlari ularning asosiy tadqiqot obyekti hisoblanmaydi.

Al Sumarmad va boshqalar [15] mikrotarmoqda energiya boshqaruvi va kuchlanishni rostdash uchun sun'iy neyron tarmoq, PID va fuzzy-logic boshqaruvchilarini taqqoslagan. Natijalar boshqaruv algoritmini tanlash DC shina kuchlanishining dinamik javobiga bevosita ta'sir qilishini ko'rsatadi. Maaruf va boshqalar [16] quyosh-shamol-akkumulyator tizimining avtonom va tarmoqqa ulangan rejimlari uchun robust boshqaruv usulini ishlab chiqqan. Mazkur usul parametrlar va tashqi sharoitlar o'zgarganda tizim barqarorligini ta'minlashga yo'naltirilgan.

Salah va boshqalar [17] avtonom DC mikrotarmoq kuchlanishini rostdash uchun optimallashtirilgan PI boshqaruv strategiyasini taklif qilgan. Tadqiqot PI koeffitsiyentlarini optimallashtirish kuchlanishning o'tkinchi jarayonini yaxshilashini ko'rsatadi. Zaid va Alatawi [18] shamol generatori, akkumulyator va magnit energiya saqlash qurilmasidan tashkil topgan tizimda fuzzy-PID boshqaruvini qo'llagan. Ushbu usul o'tkinchi jarayonlarni yaxshilaydi, ammo qo'shimcha energiya saqlash qurilmasi va fuzzy boshqaruv tizimning murakkabligini oshiradi.

Ko'rib chiqilgan adabiyotlarda gibrid energiya manbalari, bashoratlash, optimal o'lchamlash, fuzzy-logic, neyron tarmoqlar, robust boshqaruv va optimallashtirilgan PI usullari tadqiq qilingan. Ularning aksariyatida bir nechta energiya manbalari yoki murakkab intellektual algoritmlar qo'llanilgan. Mazkur tadqiqotda esa manba tomondagi o'zgarishlarni chiqarib tashlash uchun shamol tezligi o'zgaras saqlanadi va PI rostlagichining aynan yuklama quvvati pog'onali o'zgargandagi ishlashi baholanadi.

Tadqiqot obykti shamol turbinasi, doimiy magnitli o'zgaras tok generatori, buck o'zgartirgich, 48 V DC shina, akkumulyator energiya saqlash tizimi, ikki yo'nalishli DC-DC o'zgartirgich va o'zgaruvchan yuklamadan tashkil topgan. Matematik model MATLAB muhitida amalga oshirildi. PI-rostlagich yordamida boshqariladigan shamol-akkumulyatorli DC mikrotarmoqning umumiy tuzilishi 1-rasmda keltirilgan.



1-rasm. PI-rostlagich yordamida boshqariladigan shamol-akkumulyatorli DC mikrotarmoqning blok-sxemasi.

Shamol generatorining quvvati quyidagi ifoda orqali aniqlandi:

$$P_{wind}(t) = \min (K_{wind}v^3(t), P_{rated}) \quad (1)$$

bu yerda $v(t)$ - shamol tezligi, $P_{\text{rated}} = 1000\text{W}$ - shamol generatorining nominal quvvati. Shamol quvvati koeffitsiyenti quyidagicha hisoblandi:

$$K_{\text{wind}} = \frac{P_{\text{rated}}}{v_{\text{rated}}^3}, \quad v_{\text{rated}} = 12 \text{ m/s}. \quad (2)$$

Buck o'zgartirgichdan keyin DC shinaga uzatiladigan quvvat:

$$P_{\text{in,dc}}(t) = \eta_{\text{buck}} P_{\text{wind}}(t), \quad (3)$$

bu yerda $\eta_{\text{buck}} = 0.95$ - buck o'zgartirgichning foydali ish koeffitsiyenti.

Tadqiqotdagi sinov holatida shamol tezligi butun simulyatsiya davomida 10 m/sqiyamatda o'zgarish saqlandi. Ushbu shamol tezligida generator quvvati taxminan 578.7W, buck o'zgartirgichdan keyingi DC kirish quvvati esa 549.8W ni tashkil qiladi.

Yuklama quvvati quyidagi tartibda o'zgartirildi:

$$P_{\text{load}}(t) = \begin{cases} 250 \text{ W}, & 0 \leq t < 1 \text{ s}, \\ 350 \text{ W}, & 1 \leq t < 2 \text{ s}, \\ 600 \text{ W}, & 2 \leq t < 3 \text{ s}, \\ 450 \text{ W}, & 3 \leq t < 4.5 \text{ s}, \\ 300 \text{ W}, & 4.5 \leq t \leq 6 \text{ s}. \end{cases} \quad (4)$$

Yuklama 600W ga oshirilganda shamol generatoridan olinayotgan quvvat talabni to'liq qoplay olmaydi va akkumulyator yetishmayotgan quvvatni DC shinaga uzatadi. Yuklama 549.8W dan kichik bo'lganda esa tizimda ortiqcha quvvat yuzaga keladi va akkumulyator zaryadlanish rejimiga o'tadi.

PI rostlagichining kirish signali DC shina kuchlanish xatoligi orqali aniqlandi:

$$e(t) = V_{\text{dc,ref}} - V_{\text{dc}}(t), \quad (5)$$

bu yerda $V_{\text{dc,ref}} = 48\text{V}$ - DC shinaning berilgan kuchlanishi.

Akkumulyatorning talab etilgan DC quvvati PI boshqaruv qonuni va quvvat nomuvofiqligini hisobga oluvchi qo'shimcha signal asosida shakllantirildi:

$$P_{\text{batt,dc}}^*(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + 0.25[P_{\text{load}}(t) - P_{\text{in,dc}}(t)], \quad (6)$$

Bu yerda ($K_p=80$) va ($K_i=400$) - PI rostlagichining mos ravishda proporsional va integral koeffitsiyentlari. Ushbu koeffitsiyentlar tizimning ish diapazonida yopiq boshqaruv konturi barqarorligini ta'minlash maqsadida empirik sozlash orqali tanlangan [3]. Boshqaruv qonunidagi $0.25[P_{\text{load}}(t) - P_{\text{in,dc}}(t)]$ hadi quvvat nomuvofiqligini oldindan hisobga oluvchi qo'shimcha kompensatsiya signalidir. Ushbu signal DC shina kuchlanishida sezilarli og'ish yuzaga kelishidan oldin manba va yuklama quvvatlari o'rtasidagi farqni qisman kompensatsiya qilishga xizmat qiladi. Katta o'tkinchi jarayonlarda integral holatining ortiqcha yig'ilishini cheklash uchun integralni cheklash mexanizmi qo'llanilgan.

Akkumulyatorning maksimal zaryad va razryad quvvati 900 W, ikki yo'nalishli o'zgartirgichning foydali ish koeffitsiyenti esa $\eta_{\text{bidir}} = 0.95$ etib belgilandi. DC shina tomonidagi akkumulyator quvvati quyidagi chegaralarda saqlandi:

$$-\frac{P_{\text{chg,max}}}{\eta_{\text{bidir}}} \leq P_{\text{batt,dc}}(t) \leq \eta_{\text{bidir}} P_{\text{dis,max}}. \quad (7)$$

Akkumulyatorning terminal kuchlanishi uning zaryad holati va ichki qarshiligidagi kuchlanish tushishini hisobga olgan holda quyidagicha ifodalanadi [3]:

$$V_{\text{akk}} = V_{\text{ocv}}(\text{SoC}) - IR_{\text{ichki}}. \quad (8)$$

Bu yerda V_{akk} - akkumulyator terminal kuchlanishi; $V_{\text{ocv}}(\text{SoC})$ - zaryad holatiga bog'liq ochiq zanjir kuchlanishi; (I) - akkumulyator toki; R_{ichki} - akkumulyatorning ichki qarshiligi.

Akkumulyatorning zaryad holati tokni vaqt bo'yicha integrallashga asoslangan Kulon sanash usuli orqali aniqlanadi. Mazkur model zaryadlanish va razryadlanish jarayonlarida terminal kuchlanishining o'zgarishini hisobga olish imkonini beradi.

DC shina kuchlanishining dinamikasi manba, akkumulyator va yuklama o'rtasidagi quvvat balansini asosida ifodalandi:

$$\frac{dV_{dc}}{dt} = \frac{P_{in,dc}(t) + P_{batt,dc}(t) - P_{load}(t)}{C_{dc}V_{dc}(t)}, \quad (9)$$

bu yerda $C_{dc} = 0.02F$ - DC shina kondensatorining sig'imi.

Simulyatsiyaning umumiy davomiyligi 6 s, hisoblash qadami esa 0.001 s etib belgilandi. Natijalarni baholashda yuklama quvvatining har bir pog'onali o'zgarishi vaqtida DC shina kuchlanishi, akkumulyator quvvati va shamol manbai-akkumulyator-yuklama o'rtasidagi quvvat taqsimoti tahlil qilindi.

Yuqorida keltirilgan matematik modellar va boshqaruv tuzilmasi asosida shamol-akkumulyatorli DC mikrotarmoqning MATLAB/Simulink modeli ishlab chiqildi. Model tarkibiga shamol turbinasi, PMDC generatori, pasaytiruvchi o'zgartirgich, 48 V DC shina, yuklama, ikki yo'nalishli o'zgartirgich, akkumulyator hamda PI-rostlagichning kuchlanish va tok konturlari kiritilgan.

Matematik modelda qo'llanilgan tizim, akkumulyator, o'zgartirgich, PI rostlagichi va simulyatsiya parametrlarining qiymatlari 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval

Tizim parametrlari

Parametr	Berilishi	Qiymat	O'lchov birligi
Shamol generatorining nominal quvvati	P_{rated}	1000	W
Nominal shamol tezligi	v_{rated}	12	m/s
DC shinaning berilgan kuchlanishi	$V_{dc,ref}$	48	V
DC shina kondensatorining sig'imi	C_{dc}	0.02	F
Akkumulyator sig'imi	C_{batt}	50	Ah
Akkumulyatorning ishchi SoC oralig'i	$SoC_{min} - SoC_{max}$	20-95	%
Akkumulyatorning ichki qarshiligi	R_{ichki}	0.08	Ω
Diskret hisoblash qadami	Δt	1	ms

Shamol tezligi 10m/s qiymatda o'zgarimas saqlandi. Yuklama quvvati 250 → 350 → 600 → 450 → 300W ketma-ketligida o'zgartirildi. Ushbu sinov PI rostlagichining yuklama talabidagi keskin o'zgarishlarga javobini baholash uchun qo'llanildi.

Muhokama.

Tadqiqot natijalari PI rostlagichi o'zgaruvchan yuklama sharoitida shamol manbai, akkumulyator va yuklama o'rtasidagi quvvat muvozanatini saqlashga qodirligini ko'rsatdi. Shamol tezligi 10m/s qiymatda o'zgarimas bo'lganligi sababli shamol manbai quvvati taxminan 0.55kW darajada saqlandi. Shuning uchun tizimning dinamik javobi bevosita yuklama quvvatining pog'onali o'zgarishlariga bog'liq bo'ldi.

Yuklama quvvati dastlab 250 W, keyinchalik 350 W bo'lgan oraliqlarda shamol manбайдan DC shinaga uzatiladigan quvvat iste'mol talabidan katta bo'ldi. Shu sababli ortiqcha quvvat akkumulyatorni zaryadlashga yo'naltirildi. Yuklama ($t=2$) s da 600 W ga oshirilganda

ishlab chiqarish va iste'mol o'rtasidagi quvvat nisbati o'zgardi. Akkumulyator zaryadlanishdan razryadlanish rejimiga o'tib, yuklamaga yetishmayotgan quvvatni uzatdi. Ushbu o'tish PI rostlagichining quvvat oqimi yo'nalishi almashgandagi dinamik javobini baholash imkonini berdi [3].

Yuklama ($t=3$) s da 450 W ga kamaytirilganda manba quvvati yana iste'mol talabidan ortdi va akkumulyator qayta zaryadlanish rejimiga o'tdi. Manbada keltirilgan natijalarga ko'ra, ayniqsa ($t=2$) s va ($t=3$) s atrofida PI rostlagichi bilan boshqariladigan akkumulyator quvvatida kichik tebranishlar va o'ta rostlanish kuzatilgan [3]. Bu holat quvvat oqimi yo'nalishi o'zgarganda rostlagichning yangi muvozanat holatiga o'tishi ma'lum vaqt talab qilishini ko'rsatadi. O'tkinchi jarayonlardan keyin akkumulyator quvvati yuklamaning yangi qiymatiga moslashib, manba va iste'mol o'rtasidagi quvvat farqini kompensatsiya qildi.

Yuklama pog'onalari DC shina kuchlanishida ham o'tkinchi og'ishlarni yuzaga keltirdi. PI rostlagichida kuchlanishning maksimal qiymati taxminan 50.5 V, minimal qiymati esa 46 V ga yaqin bo'ldi. Yuklama o'zgarishidagi maksimal o'ta rostlanish taxminan 5% ni tashkil etdi. Shunga qaramay, o'tkinchi jarayon tugagandan keyin PI rostlagichi DC shina kuchlanishini 48 V berilgan qiymatiga qaytardi va barqaror holatdagi xatolik kichik bo'ldi.

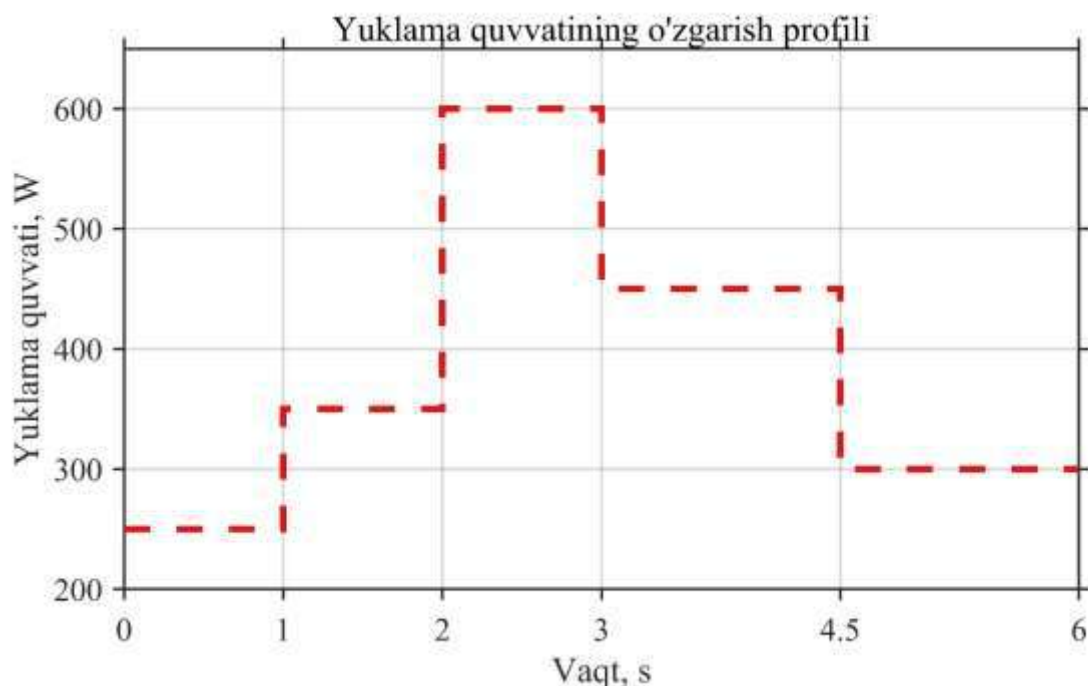
Natijalar PI rostlagichining yuklama quvvati o'zgarganda tizimning asosiy quvvat muvozanatini ta'minlashini ko'rsatdi. Shu bilan birga, uning o'zgarmas koeffitsiyentlari sababli keskin yuklama o'zgarishlarida DC shina kuchlanishining o'ta rostlanishi va akkumulyator quvvatining pulsatsiyasi kuzatildi. Bu holat PI rostlagichining yuklama buzilishlariga bardoshlilik o'rtacha darajada ekanligini ko'rsatadi.

Umuman olganda, PI rostlagichi DC shina kuchlanishini rostlash va akkumulyatorning zaryad-razryad quvvatini boshqarish vazifasini bajardi. Biroq yuklama pog'onalari vaqtida yuzaga kelgan 46-50.5 V oralig'idagi qisqa muddatli kuchlanish og'ishlari o'zgartirgich va akkumulyator tizimining o'tkinchi ish rejimiga ta'sir qilishi mumkin.

DC shina kuchlanishidagi o'tkinchi og'ishlar quvvat muvozanati tenglamasi orqali izohlanadi. Manba va akkumulyatordan DC shinaga uzatilayotgan jami quvvat yuklama talabidan kam bo'lganda kondensatorda saqlangan energiya kamayadi va kuchlanish pasayadi. Aksincha, uzatilayotgan quvvat yuklama talabidan katta bo'lganda kondensatorda energiya to'planib, kuchlanish oshadi. PI rostlagichi kuchlanish xatoligi asosida akkumulyator quvvatini o'zgartirib, ushbu nomuvofiqlikni kamaytiradi. Shuning uchun mazkur sinovda kuchlanishning 48 V qiymatiga qaytishi manba, akkumulyator va yuklama o'rtasidagi quvvat muvozanatining tiklanishi bilan bog'liq [3].

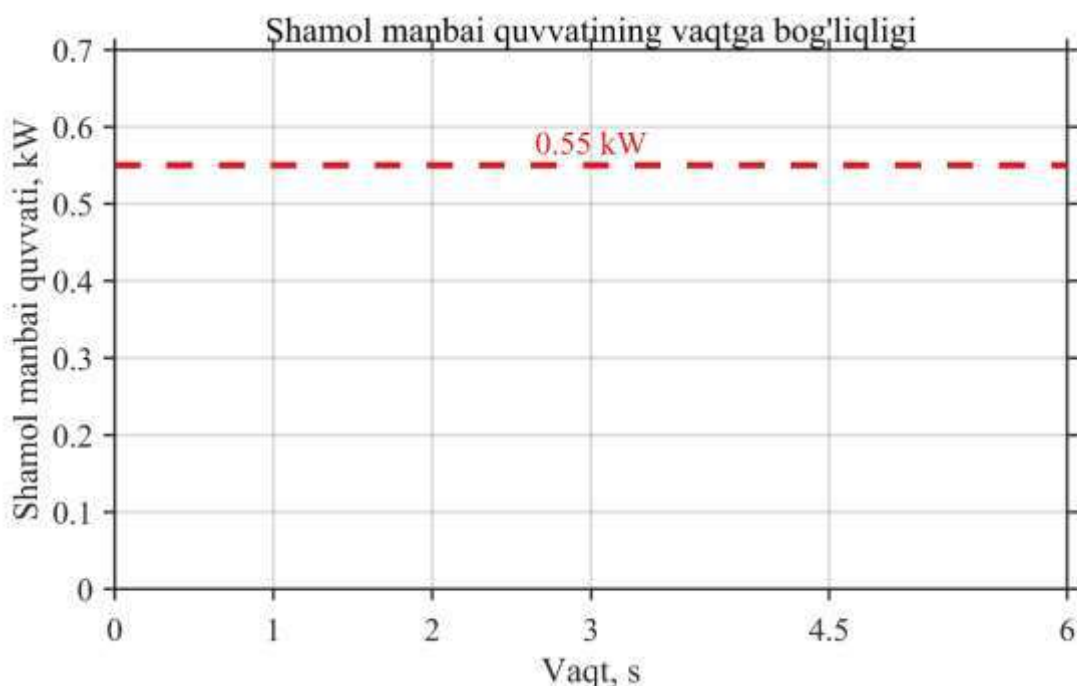
Natijalar.

Tadqiqotning sinov holatidaa shamol tezligi 10m/s qiymatda o'zgarmas saqlandi. Yuklama quvvati dastlab 250 W bo'lib, $t=1$ s da 350 W, $t=2$ s da 600 W, $t=3$ s da 450 W va $t=4.5$ s da 300W qiymatga o'zgartirildi. Bu yuklama pog'onalari PI rostlagichining talab keskin o'zgargandagi dinamik javobini tekshirish uchun qo'llanildi.



2-rasm. Yuklama quvvatining o'zgarish profili

Shamol manbai quvvati butun simulyatsiya davomida taxminan 0.55 kW qiymatda o'zgarmas saqlandi 3-rasm. Shu sababli yuklama quvvati bilan shamol manbai quvvati o'rtasidagi farq akkumulyator tomonidan kompensatsiya qilindi.

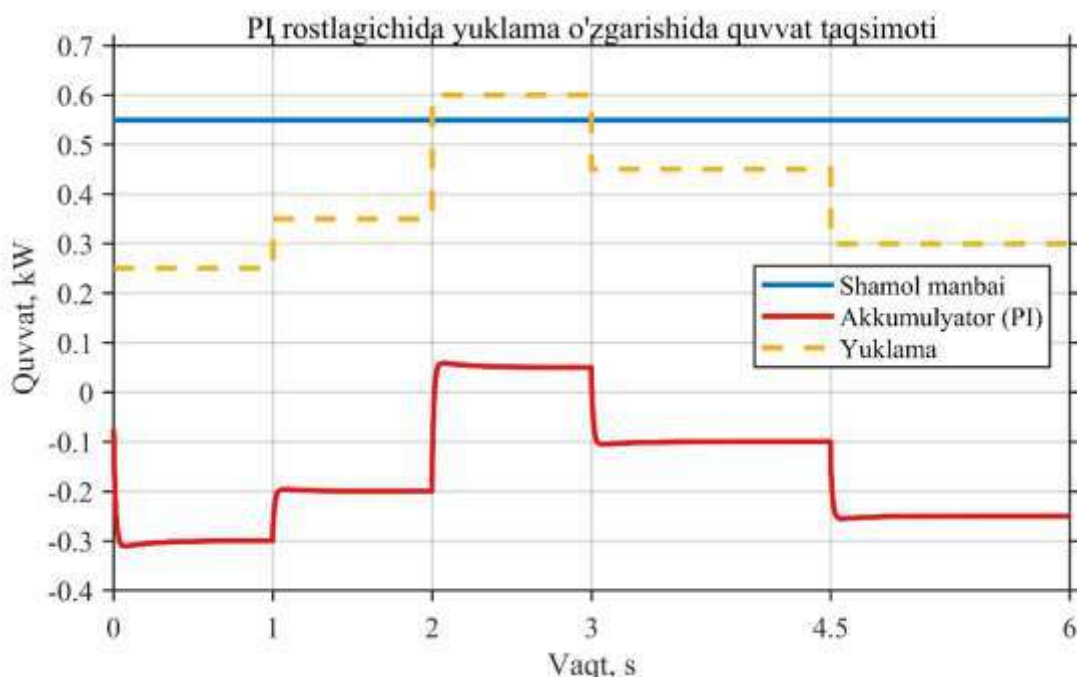


3-rasm. Shamol manbai quvvatining vaqtga bog'liqligi

PI rostlagichida olingan quvvat taqsimoti 4-rasmda keltirilgan. Yuklama shamol manbai quvvatidan kichik bo'lgan oraliqlarda ortiqcha quvvat akkumulyatorga yo'naltirildi. Yuklama $t=2s$ da 600W gacha oshirilganda akkumulyator zaryadlanish rejimidan razryadlanish rejimiga o'tdi va yuklamaga yetishmayotgan quvvatni uzatdi.

Yuklamaning har bir pog'onali o'zgarishida akkumulyator quvvatida qisqa muddatli tebranishlar kuzatildi. Ayniqsa, $t=2s$ da quvvat oqimi yo'nalishi o'zgarganda PI rostlagichining

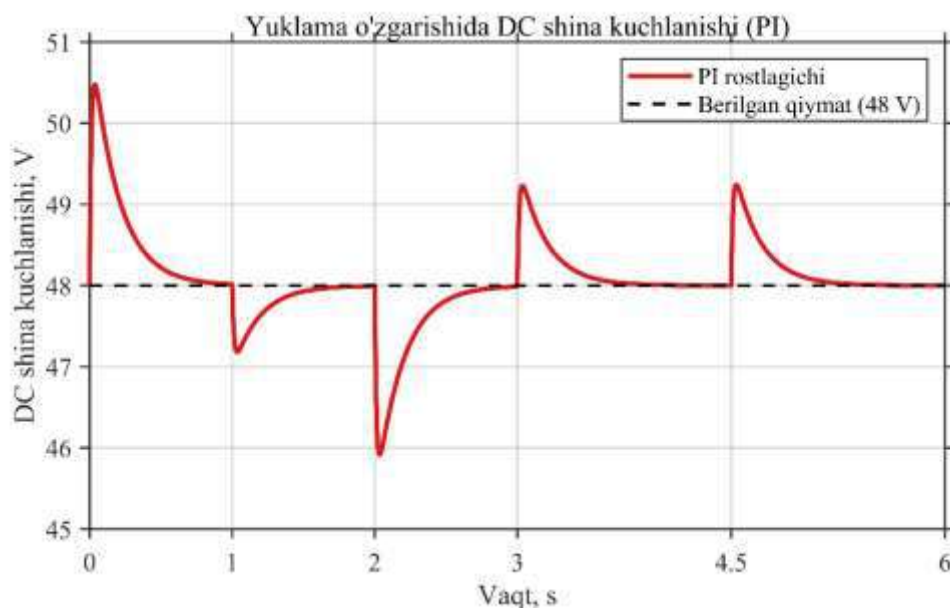
chiqish signalida keskin o'tkinchi jarayon yuzaga keldi. Shundan keyin akkumulyator quvvati yangi yuklama qiymatiga mos barqaror holatga keldi.



4-rasm. PI rostlagichida yuklama o'zgarishi vaqtida quvvat taqsimoti

PI rostlagichining javobida $t=2$ s va $t=3$ s nuqtalarida kichik tebranishlar va o'ta rostlanish kuzatildi. Barqaror holatda akkumulyator quvvati shamol manbai va yuklama o'rtasidagi quvvat farqini qoplagi.

DC shina kuchlanishining yuklama o'zgarishlariga javobi 5-rasmda keltirilgan. PI rostlagichida DC shina kuchlanishining maksimal qiymati taxminan 50.5V, minimal qiymati esa 46V ga yaqin bo'ldi. Ushbu kuchlanish og'ishlari yuklamaning pog'onali o'zgarishi vaqtida yuzaga keldi. O'tkinchi jarayonlardan keyin PI rostlagichi DC shina kuchlanishini 48V berilgan qiymatiga qaytardi.



5-rasm. Yuklama o'zgarishida PI rostlagichi bilan 48 V

DC shina kuchlanishi**2-jadval.****PI rostlagichining natijalari**

Ko'rsatkich	PI rostlagichi natijasi
DC shina berilgan kuchlanishi	48 V
DC shina kuchlanishining maksimal qiymati	Taxminan 50.5 V
DC shina kuchlanishining minimal qiymati	Taxminan 46 V
Yuklama o'zgarishidagi o'ta rostlanish	Taxminan 5%
Barqarorlashish vaqti	O'rtacha
Akkumulyator quvvati pulsatsiyasi	Yuqori
Barqaror holatdagi xatolik	Kichik
Yuklama buzilishlariga bardoshlilik	O'rtacha

Natijalar PI rostlagichi yuklama quvvati o'zgarganda akkumulyatorning zaryadlanish va razryadlanish rejimlarini boshqarib, manba va yuklama o'rtasidagi quvvat muvozanatini ta'minlashini ko'rsatdi. Biroq yuklamaning keskin o'zgarishlarida DC shina kuchlanishida vaqtinchalik o'ta rostlanish, pasayish va akkumulyator quvvatida tebranishlar kuzatildi.

Xulosa.

Ushbu tadqiqotda 1kW quvvatli shamol-akkumulyator DC mikrotarmog'ida yuklama quvvatining pog'onali o'zgarishi vaqtida PI rostlagichining ishlashi baholandi. Shamol tezligi 10m/s qiymatda o'zgarmas saqlanib, yuklama quvvati 250 ,350,600,450,300 W ketma-ketligida o'zgartirildi.

Simulyatsiya natijalari PI rostlagichi shamol manbai, akkumulyator va yuklama o'rtasidagi quvvat muvozanatini ta'minlashini ko'rsatdi. Yuklama manba quvvatidan kichik bo'lganida akkumulyator zaryadlanish, yuklama 600 W gacha oshirilganda esa razryadlanish rejimiga o'tdi. Shu orqali akkumulyator yuklama talabidagi o'zgarishlarni kompensatsiya qildi.

Yuklama pog'onalari vaqtida DC shina kuchlanishi taxminan 46-50.5V oralig'ida o'zgardi va maksimal o'ta rostlanish 5% ga yaqin bo'ldi. O'tkinchi jarayonlardan keyin PI rostlagichi kuchlanishni 48 V berilgan qiymatiga qaytardi va barqaror holatdagi xatolik kichik bo'ldi. Biroq yuklamaning keskin o'zgarishlarida akkumulyator quvvatida tebranishlar va DC shina kuchlanishida qisqa muddatli og'ishlar kuzatildi.

Umuman olganda, PI rostlagichi Shamol tezligi 10m/s qiymatda o'zgarmas saqlangan sharoitda DC shina kuchlanishini rostlash va akkumulyatorning zaryad-razryad jarayonini boshqarish vazifasini bajardi. Olingan natijalar PI rostlagichini o'zgaruvchan yuklamali kichik quvvatli shamol-akkumulyator tizimida quvvat muvozanatini saqlash uchun qo'llash mumkinligini ko'rsatdi.

Olingan xulosalar shamol tezligi 10 m/s qiymatda o'zgarmas saqlangan va yuklama quvvati 250-600 W oralig'ida pog'onali o'zgartirilgan sinov holatiga tegishlidir. Ushbu holat PI rostlagichining yuklama o'zgarishlariga javobini va akkumulyatorning zaryadlanishdan razryadlanishga o'tish xususiyatlarini baholash imkonini berdi. Tizimning amaliy qo'llanish imkoniyatlarini kengroq baholash uchun keyingi tadqiqotlarda qo'shimcha sinovlar va tajribaviy tekshiruvlar talab etiladi [3].

Adabiyotlar/Literatura/References:

1. N. N. Sadullayev, A. B. Safarov, S. N. Nematov, and R. A. Mamedov, "Statistical Analysis of Wind Energy Potential in Uzbekistan's Bukhara Region Using Weibull Distribution," *Applied Solar Energy*, vol. 55, no. 2, pp. 126-132, 2019, doi: 10.3103/s0003701x19020105.
2. B. Usmonov, U. Muinov, N. Muinova, and M. Chitt, "Intelligent Control and Automation of Small-Scale Wind Turbines Using ANFIS for Rural Electrification in Uzbekistan," *Energies*, vol. 19, no. 3, 2026, doi: 10.3390/en19030601.
3. B. Usmonov, U. Muinov, K. Usmanov, and N. Muinova, "Adaptive Neuro-Fuzzy Control of a Small Wind Turbine-Battery DC Microgrid for Remote Electrification in Uzbekistan," presented at the *Designs 2026*, 2026.
4. H. Z. Igamberdiyev, A. N. Yusupbekov, O. O. Zaripov, and J. U. Sevinov, "Algorithms of adaptive identification of uncertain operated objects in dynamical models," *Procedia Computer Science*, vol. 120, pp. 854-861, 2017, doi: 10.1016/j.procs.2017.11.318.
5. N. R. Yusupbekov, A. R. Marahimov, S. M. Gulyamov, and H. Z. Igamberdiev, "APC fuzzy model of estimation of cost of switches at designing and modernizations of data-computing networks," presented at the 2010 4th International Conference on Application of Information and Communication Technologies, 2010.
6. N. R. Yusupbekov, A. R. Marakhimov, H. Z. Igamberdiev, and S. X. Umarov, "An Adaptive Fuzzy-Logic Traffic Control System in Conditions of Saturated Transport Stream," *The Scientific World Journal*, vol. 2016, pp. 1-9, 2016, doi: 10.1155/2016/6719459.
7. S. Mahjoub, L. Chrifi-Alaoui, S. Drid, and N. Derbel, "Control and Implementation of an Energy Management Strategy for a PV-Wind-Battery Microgrid Based on an Intelligent Prediction Algorithm of Energy Production," *Energies*, vol. 16, no. 4, 2023, doi: 10.3390/en16041883.
8. A. L. W. Ibrahim et al., "Optimized Energy Management Strategy for an Autonomous DC Microgrid Integrating PV/Wind/Battery/Diesel-Based Hybrid PSO-GA-LADRC Through SAPF," *Technologies*, vol. 12, no. 11, 2024, doi: 10.3390/technologies12110226.
9. A. Al-Quraan and M. Al-Qaisi, "Modelling, Design and Control of a Standalone Hybrid PV-Wind Micro-Grid System," *Energies*, vol. 14, no. 16, 2021, doi: 10.3390/en14164849.
10. Y. Sahri et al., "Energy Management System for Hybrid PV/Wind/Battery/Fuel Cell in Microgrid-Based Hydrogen and Economical Hybrid Battery/Super Capacitor Energy Storage," *Energies*, vol. 14, no. 18, 2021, doi: 10.3390/en14185722.
11. P. Gajewski and K. Pieńkowski, "Control of the Hybrid Renewable Energy System with Wind Turbine, Photovoltaic Panels and Battery Energy Storage," *Energies*, vol. 14, no. 6, 2021, doi: 10.3390/en14061595.
12. D. Rekioua, T. Rekioua, A. Elsanabary, and S. Mekhilef, "Power Management Control of an Autonomous Photovoltaic/Wind Turbine/Battery System," *Energies*, vol. 16, no. 5, 2023, doi: 10.3390/en16052286.
13. A. M. Jasim, B. H. Jasim, F.-C. Baiceanu, and B.-C. Neagu, "Optimized Sizing of Energy Management System for Off-Grid Hybrid Solar/Wind/Battery/Biogasifier/Diesel Microgrid System," *Mathematics*, vol. 11, no. 5, 2023, doi: 10.3390/math11051248.
14. Y. Shi, S. Cheng, C. Chen, Y. Luo, J. Zhao, and M. Ghiasi, "Modified Biogeography Optimization Strategy for Optimal Sizing and Performance of Battery Energy Storage System in Microgrid Considering Wind Energy Penetration," *Batteries*, vol. 9, no. 5, 2023, doi: 10.3390/batteries9050254.
15. K. A. Al Sumarmad, N. Sulaiman, N. I. A. Wahab, and H. Hizam, "Energy Management and Voltage Control in Microgrids Using Artificial Neural Networks, PID, and Fuzzy Logic Controllers," *Energies*, vol. 15, no. 1, 2022, doi: 10.3390/en15010303.

16. M. Maaruf, K. Khan, and M. Khalid, "Robust Control for Optimized Islanded and Grid-Connected Operation of Solar/Wind/Battery Hybrid Energy," *Sustainability*, vol. 14, no. 9, 2022, doi: 10.3390/su14095673.
17. B. Salah, H. M. Hasanien, F. M. A. Ghali, Y. M. Alsayed, S. H. E. Abdel Aleem, and A. El-Shahat, "African Vulture Optimization-Based Optimal Control Strategy for Voltage Control of Islanded DC Microgrids," *Sustainability*, vol. 14, no. 19, 2022, doi: 10.3390/su141911800.
18. S. A. Zaid and K. S. Alatawi, "Implementation of Fuzzy PID Controller to an Isolated Wind/Battery/Super Magnetic Energy Storage Power System," *Processes*, vol. 13, no. 2, 2025, doi: 10.3390/pr13020515.

TECHSCIENCE.UZ

**TEXNIKA FANLARINING DOLZARB
MASALALARI**

№ S/4 (4)-2026

TOPICAL ISSUES OF TECHNICAL SCIENCES

**TECHSCIENCE.UZ- TEXNIKA
FANLARINING DOLZARB MASALALARI**
elektron jurnali 15.09.2023-yilda 130346-
sonli guvohnoma bilan davlat ro'yxatidan
o'tkazilgan.

Muassislar: "SCIENCEPROBLEMS TEAM"
mas'uliyati cheklangan jamiyati;
Jizzax politexnika insituti.

TAHRIRIYAT MANZILI:

Toshkent shahri, Yakkasaroy tumani, Kichik
Beshyog'och ko'chasi, 70/10-uy.

Elektron manzil:

scienceproblems.uz@gmail.com