QUYOSH FOTOELEKTR STANSIYALARI INTEGRATSIYALASHGAN ELEKTR TA'MINOTI TIZIMIDAN TA'MINLANUVCHI KICHIK QUVVATLI SUV NASOSLARI.

Mustayev Ruslan Aktamovich
Qarshi davlat texnika universiteti PhD, assistent,
E-mail: ruslanmustayev89@gmail.com
Umirov Asror Pardayevich
Qarshi davlat texnika universiteti PhD, dotsent
E-mail: asror30.03.1989@mail.ru
Shoyqulova Dilnoza Sobir qizi
Qarshi davlat texnika universiteti assistent,
Qarshi sh., O'zbekiston
E-mail: shoyqulova.dilnoza@bk.ru

Annotatsiya. Ushbu maqolada kichik quvvatli suv nasoslarini elektr ta'minoti tizimiga quyosh fotoelektr (PV) stansiyalarini integratsiya qilish masalasi o'rganiladi. Yangilanuvchi energiya manbalaridan, xususan quyosh energiyasidan foydalanish qishloq va olis hududlar uchun barqaror va iqtisodiy jihatdan samarali yechim hisoblanadi. Tadqiqotda quyosh energiyasi bilan ishlaydigan nasos tizimlarining texnik ko'rsatkichlari, samaradorligi va ishonchliligi tahlil qilinadi hamda ularning an'anaviy energiya manbalariga nisbatan afzalliklari muhokama qilinadi.

Kirish so'zlar: Quyosh energiyasi, fotoelektr stansiya, kichik quvvatli suv nasosi, yangilanuvchi energiya, energiya ta'minoti, gibrid tizim, samaradorlik, barqarorlik.

Аннотация. В статье рассматривается интеграция солнечных фотоэлектрических станций в системы электроснабжения маломощных водяных насосов. Использование возобновляемых источников энергии, особенно солнечной, представляет собой устойчивое и экономически эффективное решение для сельских и удаленных районов. В исследовании анализируются технические параметры, эффективность и надежность насосных систем на солнечной энергии, а также их преимущества по сравнению с традиционными источниками питания.

Ключевые слова: Солнечная энергия, фотоэлектрическая станция, маломощный водяной насос, возобновляемая энергия, электроснабжение, гибридная система, эффективность, устойчивость.

Abstract. This article explores the integration of solar photovoltaic (PV) stations into the power supply systems of small-capacity water pumps. The use of renewable energy sources, particularly solar energy, provides a sustainable and cost-effective solution in rural and remote areas. The study analyzes the technical

ISSN 3030-3907

parameters, efficiency, and reliability of solar-powered pump systems, and discusses their advantages compared to conventional power sources.

Key words: Solar energy, photovoltaic station, small-capacity water pump, renewable energy, energy supply, hybrid system, efficiency, sustainability

Kirish

Hozirgi kunda global miqyosda energetika sohasi jadal rivojlanib, energiya ishlab chiqarishning yangi manbalari va usullari izlanmoqda. Xususan, an’anaviy energiya manbalariga bo‘lgan qaramlikni kamaytirish, atrof-muhitga salbiy ta’sirni minimallashtirish hamda barqaror rivojlanishni ta’minlash kabi omillar yangilanuvchi energiya manbalariga bo‘lgan e’tiborni oshirmoqda. Shular jumlasidan biri bu — quyosh energiyasi bo‘lib, u bugungi kunda eng istiqbolli va keng tarqalgan muqobil energiya manbalaridan biri hisoblanadi.

Quyosh energiyasidan foydalanishning asosiy afzalliklari — uning cheksizligi, ekologik tozaligi va foydalanish xarajatlarining pastligi bilan bog‘liq. Bu esa, ayniqsa, uzoq va chekka hududlarda joylashgan ob’ektlarni, jumladan, suv nasoslarini elektr energiyasi bilan ta’minlashda dolzarb ahamiyat kasb etadi. Ko‘plab qishloq joylarida markaziy elektr tarmog‘iga ulanish imkoniyati yo‘qligi sababli, quyosh fotoelektr stansiyalaridan foydalanish orqali mustaqil va barqaror energiya ta’minotiga erishish mumkin.

Kichik quvvatli suv nasoslari qishloq xo‘jaligi, ichimlik suvi ta’minoti, irrigatsiya va sanitariya tizimlarida muhim rol o‘ynaydi. Ushbu nasoslarning samarali ishlashi uchun barqaror va ishonchli elektr ta’minoti zarur. An’anaviy energiya tarmoqlari bilan ta’minlash har doim ham iqtisodiy va texnik jihatdan maqsadga muvofiq bo‘lmasligi mumkin. Shu nuqtai nazardan qaralganda, quyosh fotoelektr tizimlari energiyani ishlab chiqarish va uni to‘g‘ridan-to‘g‘ri nasos tizimlariga yetkazib berishda muhim alternativ sifatida ko‘rilmoqda.

Ushbu maqolada kichik quvvatli suv nasoslarini elektr ta’minoti tizimiga quyosh fotoelektr stansiyalarini integratsiya qilishning texnik, iqtisodiy va ekologik afzalliklari tahlil qilinadi. Xususan, quyosh panellarining ishlash printsipi, nasos tizimlari bilan uyg‘unligi, batareyalar orqali energiya saqlash imkoniyatlari hamda ushbu tizimlarning samaradorligi muhokama qilinadi. Shuningdek, mavjud muammolar, energiya uzluksizligini ta’minlash va energiya tejash mexanizmlari haqida ham fikr yuritiladi.

Maqolaning asosiy maqsadi — kichik quvvatli suv nasoslarining elektr ta’minoti tizimida quyosh energiyasidan foydalanishning dolzarbligini asoslash, mavjud tajriba va texnologiyalarni tahlil qilish hamda ushbu yechimning qishloq xo‘jaligida qo‘llanilishi uchun ilmiy-amaliy asos yaratishdan iborat.

ISSN 3030-3907

Ushbu yondashuv orqali nafaqat energiya ta’minoti barqarorligini oshirish, balki atrof-muhitni muhofaza qilish, ekspluatatsiya xarajatlarini kamaytirish va mahalliy infratuzilmaning rivojlanishiga hissa qo‘shish mumkin bo‘ladi. Shu boisdan, ushbu mavzu bo‘yicha chuqur ilmiy tadqiqotlar olib borish, texnik-iqtisodiy tahlillarni amalga oshirish va amaliyotga tatbiq etish dolzarb vazifalardan biri hisoblanadi.

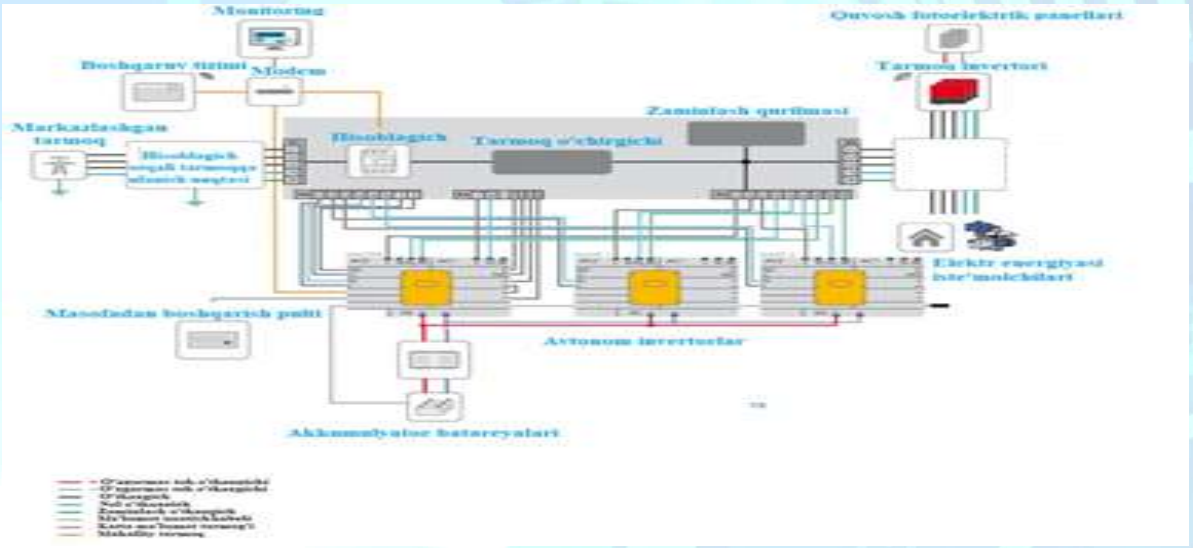
Asoiy qism. Bugungi kunda qayta tiklanadigan energiya manbalari orqali ishlab chiqarilgan elektr energiyani elektr tarmoqqa integratsiya qilishda katta muvaffaqqiyatlarga erishilmoqda. Juda ko‘p davlatlar qayta tiklanuvchan energiya manbalari orqali elektr energiyani ishlab chiqarish bo‘yicha katta maqsadlarni o‘z oldilariga qo‘yishgan. Quyosh fotoelektrik stansiyalar va shamol elektr stansiyalari orqali elektr energiya ishlab chiqarishi qayta tiklanadigan manbalar orasida yillik o‘sishga erishdi [1; 1303-1327-b.]. Qayta tiklanuvchan energiya manbalari orqali ishlab chiqarilgan elektr energiyasini tarmoqqa integratsiyasini dastlabki bosqichlarida tarmoq parametrlariga sezilarli ta’sir o‘tkazmaganligi sababli elektr tarmoqqa kommutatsiyalash jiddiy muammaolarni keltirib chiqarmadi. Lekin bugungi kunda qayta tiklanuvchi energiya manbalari orqali elektr energiya ishlab chiqarishga bo‘lgan ehtiyoj oshganligi sababli ularning tarmoqqa integratsiyasi elektr ta’minoti tizimining quvvat barqarorligi va ishonchliligini havf ostiga qo‘yadi [2; 2286–2296 - b, 3; 570–573 - b; 4; 12619–12626 -b, 5; 1310–1317 – b.].

Qayta tiklanuvchi energiyaning quvvat miqdori sezilarli darajada katta bo‘lgan an’anaviy tarmoqlarda reaktiv quvvatni va kuchlanishni boshqarish muammolari paydo bo‘lishni boshlaydi. Bu esa bunday tizimlarda reaktiv quvvat bilan ta’minlash qurilmalarisiz tarmoq kuchlanishini yetarli darajadagi barqarorligini ta’minlab bo‘lmaydi. Qayta tiklanuvchi energiya manbalari integratsiyalangan tarmoqlarda reaktiv quvvat bilan ta’minlashda statik kondensator batareyalari bilan hamda sinxron kompensatorlar orqali reaktiv quvvatni kompensatsiyalash muhim ahamiyatga ega [6; 307–315 -b, 7; 447–456 -b, 8; 3545–3559-b.].

Markazlashgan elektr ta’minoti tizimiga integratsiyalangan gibrit quyosh fotoelektrik stansiyasi tizimi hamda undagi quvvat oqimlari ko‘rib chiqildi. Gibrit quyosh fotoelektrik stansiyasi elektr iste’molchilarni faqat aktiv quvvat bilan ta’minlaydi. Shu bilan birga, reaktiv quvvat iste’molchilari kerakli miqdordagi reaktiv quvvatni markazlashgan elektr ta’minoti tizimidan oladi (1-rasmga qarang). Reaktiv quvvat iste’molchilarga qisqa tutashtirilgan asinxron dvigatellarni, elektr razryad lampalarni, elektr sovitgichlarni, konditsionerlarni hamda muzlatgichlar kabi ko‘plab turli qurilmalarni misol qilish mumkin. Ushbu elektr energiyasi iste’molchilarni quyosh fotoelektrik stansiyalarining turli tizimlaridan

ISSN 3030-3907

ta’minlanishida, qo‘shimcha ravishda reaktiv quvvat bilan ham ta’minlash tizimini kiritishni talab etadi. Reaktiv quvvatni qoplovchi qurilmalar tizimi ko‘plab turli shakl va ishlash tamoyillariga ega hisoblanadi. Ularning asosiy turlari va ishlash prinsiplari quyida ko‘rib chiqildi[2; 2286-2296-b, 3; 570-573-b; 4; 12619-12626 -b, 5; 197-204-b., 6; 19-24-b.].



1 - rasm. Gibrit invertorli quyosh fotoelektrik stansiyasi elektr ta’minoti tizimi.

Statik kondensator batareyalari - elektr tarmoqlarida quvvat koeffitsiyenti cosφ ni oshirish uchun ishlatiladi. Ular reaktiv quvvatni uzoq masofada joylashgan elektr stansiyalardan emas, balki yuklama joylashgan tugunlarida ishlab chiqarish imkonini beradi, bu esa elektr ta’minoti tizimidagi kuchlanish va quvvat isroflarini kamaytiradi. Ular yuqori kuchlanish tomonidagi katta yuklama tugunlariga yaqin joyda qo‘llaniladi [9; 436-441-b]. Alohida va guruhli reaktiv quvvat kompensatsiyasi turli quvvatdagi qurilmalar tomonidan 0,4-6-10 kV kuchlanish qiymatda hamda yuqori kuchlanishli statik kondensator batareyalari yordamida yuqori kuchlanish tarmoqlarda reaktiv quvvat kompensatsiyasini amalga oshirish imkonini beradi. Reaktiv quvvatni kondensator batareyalari orqali kompensatsiyalash quyidagi afzalliklarga ega.

- elektr isroflarini kamaytirish;
- kuchlanish qiymatini barqarorlashtirish (kuchlanish yo‘qotishlarini kamaytirish);
- elektr energiyasi sifatini oshirish;
- yuqori kuchlanishli tarmoqlardan reaktiv energiya iste’molini kamaytirish;
- qo‘shimcha aktiv quvvat ulushini oshirmasdan elektr tarmog‘ining reaktiv quvvatini oshirish (generator orqali reaktiv quvvat ishlab chiqarmasdan);
- Elektr ta’minoti tizimining barqarorligini oshirish.

ISSN 3030-3907

Sinxron kompensator - uyg‘otish tokining o‘zgarishida motor rejimida ishlaydigan valda yuklamasi bo‘lmagan sinxron mashina. Sinxron kompensator uyg‘otish tokining kattaligiga qarab tarmoqqa reaktiv quvvat berishi yoki tarmoqdan uni qabul qilishi mumkin [10; 33-36-b]. Tuzilishi bo‘yicha u turbogeneratorga o‘xshaydi, biroq sinxron kompensator o‘rtacha chastotada (750-1000 ayl/min) da aylanadigan qilib tayyorlanadi. Sinxron kompensator rotori aniq qutbli qilib tayyorlanadi. Sinxron kompensatorlarning nominal sovitish sharoitlarida aktiv quvvatning yo‘qotilishi 1,5-2,5% ga teng.

Bundan tashqari reaktiv quvvatni boshqarish uchun quyidagi qurilmalardan ham foydalaniladi [10; 33-36-b].

Yuklama ostida kuchlanishni oshiruvchi transformatorlar - shuningdek, Yuklama ostida elektr zanjirlarni kontaktlarini almashtirish qurilmasi sifatida ham tanilgan, kontaktlarni almashtirish vaqtida elektr ta’minotning uzilishi mumkin bo‘lmagan holatlarda foydalaniladi. Ushbu tizimlar odatda 33 ta kontaktga ega va transformator nominal qiymatidan ±10% o‘zgarishiga imkon beradi (har bir qadam 0,625% o‘zgarishlarni ta’minlaydi). Transformatorning kuchlanishi o‘zgarishida chulg‘amlarining o‘ramlari soni o‘zgarganligi hamda tarmoqdagi kuchlanish qiymati o‘zgarganligi sababli tarmoqdagi reaktiv quvvatni rostlash imkonini beradi [11; 289-299-b].

Statik VAR kompensatori (SVC) yuqori kuchlanishli elektr uzatish tarmoqlarida tez ta’sir etuvchi reaktiv quvvatni ta’minlash uchun elektr qurilmalar to‘plamidir. Statik VAR kompensatorida harakatlanuvchi mexanik qismlar mavjud emas. SVC ixtiro qilinishidan oldin reaktiv quvvat kompensatsiyasi sinxron kompensatorlar yoki sig‘imi o‘zgartiriladigan kondansator batareyalaridan foydalanilgan [12; 45-54-b]. SVC - bu tizimni quvvat koeffitsiyentini 1 ga yaqinlashtirish uchun mo‘ljallangan avtomatlashtirilgan moslashtiruvchi qurilma hisoblanadi. SVC lar ikkita asosiy holatda qo‘llaniladi:

Energiya tizimi kuchlanishini rostlash uchun;

Energiya tizimida katta quvvatli sanoat yuklamalari yaqinida reaktiv quvvatni rostlash uchun.

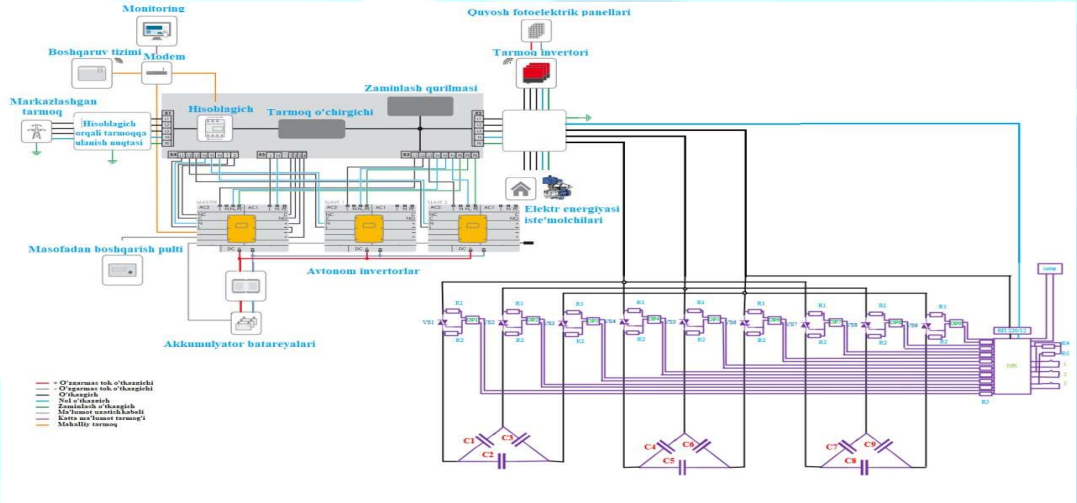
Ta’minlovchi tarmoqlarda kuchlanishini rostlash uchun ishlatiladi.

Statik VAR kompensatorlari 5 kVAr - 120 kVAr reaktiv quvvat hamda 110 Volt dan 690 Volt gacha bo‘lgan tarmoq kuchlanishi uchun moslab tayyorlanadi.

STATCOM (Statik sinxron kompensator) - statik sinxron kompensator elektr ta’minoti tizimlarida ishlatiladigan shunt bilan bog‘langan, reaktiv kompensatsiyasi qurilmasi hisoblanadi. U elektr tarmog‘ida reaktiv o‘zgaruvchan tokning manbayi hisoblanib, kommutatsiyalash uchun ular katta quvvatni o‘tkaza oluvchi yarim o‘tkazgichli elementlar bilan jihozlangan. STATCOM

ISSN 3030-3907

kondensatorlar va induktorlar (reaktorlar) kabi boshqa passiv reaktiv quvvat qurilmalarining muqobili hisoblanadi [13; 95-103 - b]. Ular o‘zgaruvchan reaktiv quvvatga ega, ular millisekundlarda kommutatsiyalash imkonini beradi. Ular sig‘im va induktiv harakterli reaktiv quvvatni yetkazib berish hamda iste’mol qilish imkoniyatiga ega. Ular kuchlanishni barqarorlashtirish va quvvat koeffitsiyentini to‘g‘rilash uchun ishlatilishi uchun foydalanilishidan tashqari, ular qisqa vaqt ichida nosozlik yoki favqulodda vaziyatlarda tarmoqni barqarorlashtirish kabi dinamik vaziyatlar uchun ko‘proq ahamiyatli hisoblanadi. Zamonaviy STATCOM lar katta quvvatli tezkor kommutatsiyalash imkonini beruvchi bipolyar tranzistorlardan (IGBT) foydalanadi. Ushbu tizimlar 400 Volt dan 36 kVolt gacha kuchlanishda hamda quvvat bo‘yicha 1MVAr dan 100 MVAr quvvatgacha bo‘lgan qiymatda ishlab chiqariladi.



2- rasm. Gibrit quyosh fotoelektrik stansiyasi elektr ta’minoti tizimida reaktiv quvvatni kompensatsiyalash sxemasi.

Qaysi turdagi reaktiv quvvatni kompensatsiyalash tizimini tanlash uchun quyosh fotoelektrik stansiyasini o‘rnatish joyidagi quvvat iste’moli tahlil qilinishi kerak. Elektr tarmoqlarida turli xil reaktiv quvvat manbalarini kommutatsiyalash qurilmalari bilan bog‘langan uskunalar qo‘llaniladi. Reaktiv quvvatni kompensatsiyalash va rostlash tizimlari turlarini tanlashda ta’sir ko‘rsatish vaqti va nazorat qilish tizimini murakkabligi e’tiborga olinishi kerak. Murakkab algoritmlar aniqlikni oshiradi, lekin ta’sir ko‘rsatish vaqtini sezilarli darajada sekinlashtiradi. Elektr ta’minoti tizimlariga quyosh fotoelektrik stansiyasi orqali ishlab chiqarilgan energiya ulushini ortib borishi ko‘p sonli reaktiv quvvatni kompensatsiyalash qurilmalarga talab yuqoriligini hisobga olsak, ushbu qurilmalarning muvofiqlashtirilgan ishlashi elektr tarmog‘ining samarali ishlashi uchun juda muhimdir.

YKPM turli reaktiv quvvatni kompensatsiyalash qurilmasi ham reaktiv quvvatni kompensatsiyalash maqsadida foydalaniladi. Ushbu qurilmalar

ISSN 3030-3907

Kuchlanishi 230 Volt dan 690 Volt gacha bo‘lgan kuchlanishda hamda 5 kVAr dan 3000 kVAr gacha bo‘gan quvvatda ishlab chiqariladi [14; 54-57-b.].

Reaktiv quvvatni ishlab chiqarish va iste’mol qilinishi elektr tarmoqlari ish rejimiga sezilarli darajada ta’sir qiladi. Reaktiv quvvatning aktiv qarshilikka ega bo‘lgan o‘tkazgichda o‘tkazilishi natijasida tarmoqda aktiv quvvat isrofiga olib keladi. Buni quyidagi ifodadan aniqlashimiz mumkin.

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R = \frac{P^2 R}{U^2} + \frac{Q^2 R}{U^2} = \Delta P_a + \Delta P_r$$

Bunda

ΔP – aktiv quvvat isrofi;

P - aktiv quvvat, W;

Q - reaktiv quvvat, VAr;

U - tarmoq kuchlanish, V;

R – o‘tkazgichning aktiv qarshiligi;

ΔP_a – aktiv quvvat hisobidan hosil bo‘luvchi isrof;

ΔP_r – reaktiv quvvat hisobidan hosil bo‘luvchi isrof;

Elektr energiyasi isrofi reaktiv quvvat kvadratiga to‘g‘ri proporsional. Uni generatsiyasi iste’mol qilish joyida maqsadga muvofiq hisoblanadi. Reaktiv quvvatni uzatishda energiyani yo‘qolishidan tashqari tarmoq sifat ko‘rsatkichlariga ham ta’sir ko‘rsatadi. Bunda reaktiv quvvat tarmoq kuchlanishin kamayishiga sabab bo‘ladi buni quyidagi ifodadan aniqlashimiz mumkin.

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U} = \frac{PR}{U} + \frac{QX}{U} = \Delta U_a + \Delta U_r$$

ΔU – kuchlanish yo‘qolishi;

P - aktiv quvvat, W;

Q - reaktiv quvvat, VAr;

U - tarmoq kuchlanish, V;

R – o‘tkazgichning aktiv qarshiligi;

X – o‘tkazgichning reaktiv qarshiligi;

ΔP_a – aktiv quvvat hisobidan hosil bo‘luvchi isrof;

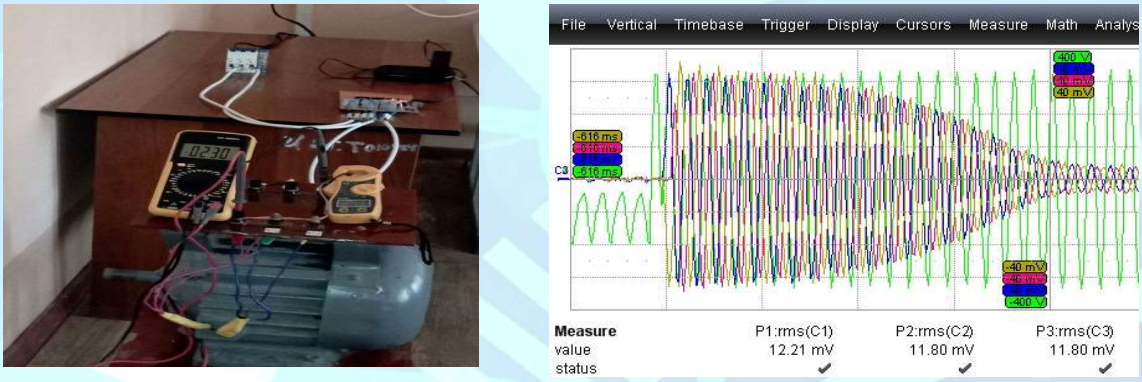
ΔP_r – reaktiv quvvat hisobidan hosil bo‘luvchi isrof [15; 5-b].

Asinxron motorning quyosh fotoelektrik stansiyalari mavjud tarmoqqa ta’sirini tadqiq qilish tajriba uskunasi 3 a- rasmda ko‘rsatilgan. Elektr motorning ishga tushirish, ishchi va reaktiv quvvatini kompensatsiyalash rejimlari o‘rganildi.

Uch fazali kontaktsiz qurilmaning kommutatsiya jarayonidagi kuchlanish va tok ossillogrammalari LeCroy64Xi-A turidagi ossillograf yordamida olindi. Motor qayta tiklanuvchan energiya manbalari mavjud tarmoqqa ulanib, uning ishga

ISSN 3030-3907

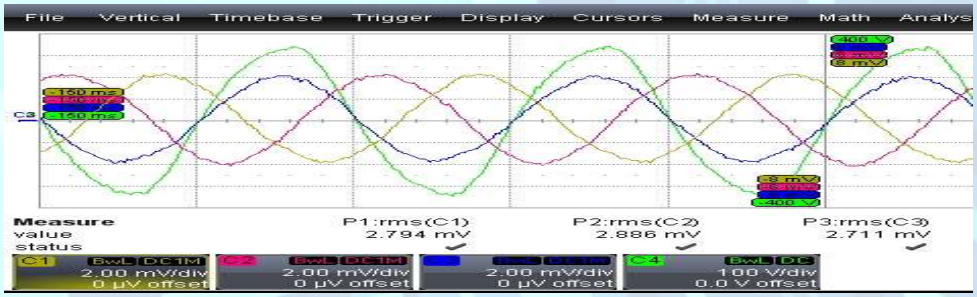
tushish vaqtidagi kuchlanish hamda tok ossillogrammalari 3 b– rasmda tasvirlangan.



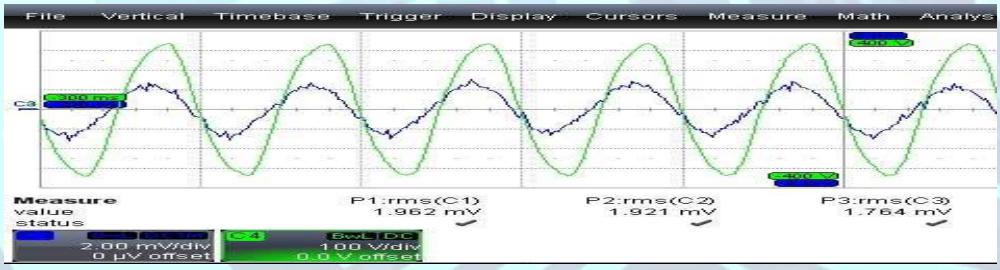
a) b)

3 – rasm. Motorning kontaktsiz ishga tushirgich orqali tarmoqqa ulash vaqtidagi kuchlanish hamda tok ossillogrammasi

Quyosh fotoelektrik stansiyasi integratsiya qilingan tarmoqga ulangan AO41-6 turli motorning ishga tushirish, ishchi va reaktiv quvvatini kompensatsiyalash rejimlarida har bir fazadagi tok va kuchlanishlar qiymatlari: U_{Af}=228 V; U_{Bf}=227 V; U_{Cf}=230 V; ishga tushirishdagi tok qiymatlari I_{Af}=12,21 A; I_{Bf}= 11,8 A; I_{Cf}=11,8 A; ishchi rejimdagi tok qiymatlari I_{Af}=2,79 A; I_{Bf}= 2,88 A; I_{Cf}=2,71 A 1.3 a -rasm, va reaktiv quvvatini kompensatsiyalash rejimlaridagi tok qiymatlari I_{Af}=1,96 A; I_{Bf}= 1,92 A; I_{Cf}=1,76 Amperni tashkil etdi 4 b -rasm.



a)



b)

4- rasm. Motor qayta tiklanuvchan energiya manbalari mavjud tarmoqqa ulanganda ish (a) va reaktiv quvvatini kompensatsiyalash (b) rejimidagi kuchlanish hamda tok ossillogrammasi.

Xulosa. Quyosh fotoelektrik stansiyalaridan ta’minlanuvchi suv nasoslari aktiv quvvat bilan bir qatorda reaktiv quvvat ham iste’mol qiladi. Aktiv quvvat

ISSN 3030-3907

asosan quyosh fotoelektrik stansiyasidan ta’minlansa yetishmagan quvvat tarmoqdan olinadi yoki ortiqcha miqdorda ishlab chiqarilgan holatlarda stansiyadan tarmoqqa uzatilishi mumkin. Lekin reaktiv quvvat to‘laligicha tarmoqdan iste’mol qilinadi. Bu vaziyatda tarmoqdagi quvvat koeffiitsienti kun davomida keskin o‘zgarib turadi. Ushbu holatda tarmoqdan iste’mol qilinadigan reaktiv quvvat moqdorini ratsional kompensatsiyalash tarmoqda elektr energiyasini isrof bo‘lishini oldini olishi bilan bir qatorda elektr energiya sifat ko‘rsatkichlarini yaxshilash imkonini beradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Kumar, C., Lakshmanan, M., Jaisiva, S., Prabaakaran, K., Barua, S., Fayek, H.H.: Reactive power control in renewable rich power grids: A literature review. IET Renew. Power Gener. 17, 1303–1327 (2023). https://doi.org/10.1049/rpg2.1267

2. Chang C.H., Lin Y.H., Chen Y.M., Chang Y.R.: Simplified reactive power control for single-phase grid-connected photovoltaic inverters. IEEE Trans. Ind. Electron. 61(5), 2286–2296 (2014)

3. Sadnan R., Khan M.Z.R.: Fast real and reactive power flow control of grid-tie photovoltaic inverter. In: 9th IEEE International Conference on in Electrical and Computer Engineering (ICECE). Dhaka, Bangladesh, pp. 570–573 (2016)

4. Layate Z., Bahi T., Abadlia I., Bouzeria H., Lekhchine S.: Reactive power compensation control for three phase grid-connected photovoltaic generator. Int. J. Hydrogen Energy 40(37), 12619–12626 (2015)

5. Albuquerque F.L., Moraes A.J., Guimarães G.C., Sanhueza S.M., Vaz A.R.: Photovoltaic solar system connected to the electric power grid operating as active power generator and reactive power compensator. Sol. Energy 84(7), 1310–1317 (2010)

6. Singh M., Khadkikar V., Chandra A., Varma R.K.: Grid interconnection of renewable energy sources at the distribution level with power-quality improvement features. IEEE Trans. Power Delivery 26(1), 307–315 (2011)

7. Molina-García Á., Mastromauro R.A., García-Sánchez T., Pugliese S., Liserre M., Stasi S.: Reactive power flow control for PV inverters voltage support in LV distribution networks. IEEE Trans. Smart Grid 8(1) 447–456 (2017)

8. Liu L., Li H., Wu Z., Zhou Y.: A cascaded photovoltaic system integrating segmented energy storages with self-regulating power allocation control and wide range reactive power compensation. IEEE Trans. Power Electron. 26(12), 3545–3559 (2011)

ISSN 3030-3907

9. Суллиев, А. Х., & Асқаров, Э. П. Ў. (2021). МОТОРЛАРНИ ИШ РЕЖИМЛАРИНИ ТАДҚИҚ ҚИЛИШ. Academic research in educational sciences, 2(10), 436-441.
10. Пирматов, Н. Б., & Бекишев, А. Е. (2021). ИККИ ЎҚ БЎЙИЧА ҚЎЗҒАТИЛАДИГАН СИНХРОН КОМПЕНСАТОР ЁРДАМИДА ТАРМОҚ КУЧЛАНИШИ ВА РЕАКТИВ ҚУВВАТНИ РОСТЛАШ. Инновацион технологиялар, (2 (42)), 33-36.
11. Daratha, N., Das, B., & Sharma, J. (2013). Coordination between OLTC and SVC for voltage regulation in unbalanced distribution system distributed generation. IEEE Transactions on Power Systems, 29(1), 289-299.
12. Kouadri, R., Slimani, L., & Bouktir, T. (2020). Slime mould algorithm for practical optimal power flow solutions incorporating stochastic wind power and static var compensator device. Электротехника и электромеханика, (6), 45-54
13. Шмигель, В. В., & Угловский, А. С. (2022). МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВА КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ СТАТКОМ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ. Вестник АПК Верхневолжья, 3, 59.
14. Богдан, А. В., Алави, Х., & Шаханин, А. С. (2017). Влияние конденсаторных установок компенсации реактивной мощности на пуск и остановку асинхронных электродвигателей. Новая наука: Проблемы и перспективы, 1(2), 54-57.
15. O.O. Zaripov, M.O. Atajonov, M.T. Maxsudov, O.Sh. Zaripova “Reaktiv quvvatni kompensatsiyalash”. Monografiya. Andijon - 2023. –104b

ISSN 3030-3907