



Co-funded by the
European Union



O'zbekiston Respublikasi
Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi

R. Aliyev, N. Topvoldiyev, S. Aliyev, X. Qodirova

GIBRID QUYOSH ENERGIYA STANSIYALARI

O'quv qo'llanma

Toshkent – 2025 yil

R. Aliyev, N. Topvoldiyev, S. Aliyev, X. Qodirova

GIBRID QUYOSH ENERGIYA STANSIYALARI

O'quv qo'llanma. Toshkent, 2025 yil. – 177 sahifa.

Taqrizchilar:

Fizika-matematika fanlari doktori, professor, O'zR FA Akademigi S.
Zaynabidinov

Fizika-matematika fanlari doktori, professor Q. A. Ismailov

Fizika-matematika fanlari Falsafa doktori, dosent B. Rashidov

O'quv qo'llanma oliy ta'lim uchun xalqaro o'quv rejalari va dasturlarini tahlil etish orqali ishlab chiqilgan yangi dastur asosida tayorlangan. Unda gibril quyosh energiya stansiyalarining mohiyati, ularning ishlash tamoyillarini bayon qilish bilan bir vaqtda fotoelektrik va issiqlik parametrlari o'zaro bog'liq tarzda tahlil etilgan. Gibril quyosh energiya stansiyalarida elektr va energetik parametrlarning bog'liqligi hamda elektr va issiqlik energiyani saqlash bilan bog'liq tushunchalar keltirilgan. Aqlli elektr tarmoqlari va quyoshli gibril tizimlar, mikroenergiya tarmog'i tuzilmalari, taqsimlangan energiya ishlab chiqarish tarmog'i tuzilmalari, hamda invertor tuzilmalari tahlil etilgan.

O'quv qo'llanma Evropa ittifoqining "Erasmus+" dasturi doirasida "O'zbekistonda quyosh energetikasi bo'yicha maqsadli muhandislar tayorlash o'quv dasturini ishlab chiqish" (101128871 - DEBSEUz - ERASMUS-EDU-2023-CBHE) loyihasida ko'zda tutilgan amaliy natijalardan biri sifatida tayyorlangan.

O'quv qo'llanma Andijon Davlat universiteti "Ilmiy Kengashi" ning 2025 yil 3 iyun kuni o'tkazilgan 10- yig'ilishi (Bayonnoma No. 10) qaroriga ko'ra nashrga tavsiya etilgan.

KIRISH

O'tgan asrning so'ngi o'n yilliklari davomida qayta tiklanuvchi energiya manbalari (QTEM) bir qator ustivor tadqiqot ob'ektlari qatoridan joy oldi. XXI asrga kelib bunday tadqiqot ob'ektlari ko'plab davlatlarning innovatsia ob'ektlariga aylandi. Ya'ni, amaliy tadqiqotlar natijalari ya'ngi turdagi ishlab chiqarish mahsulotlariga aylana boshladi. QTEM larining ildam rivojlanishi uchun bir qator muhim sabablarni ko'rsatish mumkin. Birinchidan, yil sayin energiyaga bo'lgan talab juda tez ko'payib bormoqda. Ya'ni taraqqiyoning zamonaviy talablarini qondirish uchun yanada ko'proq elektr energiyasi ishlab chiqarish talab etilmoqda. Biroq, an'anaviy usulda qo'llaniladigan elektr energiyasi olish, ya'ni yer ostidan qazib olinadigan qattiq, suyuq va gaz ko'rinishidagi an'anaviy energiya manbalarini yoqish davrida tabiiy kislorodning kamayishi bilan bir qatorda atrof muhitni ifloslantiruvchi kimyoviy chiqindilar, jumladan CO₂ ajralib chiqadi. Yer atmosferasining ifloslanishi oqibatida atmosferada "Parnik effekti" kuzatilib, sayoramizning global isish holati kuzatilmoqda. Global isish holatining eng katta salbiy oqibati sayyoramizdagi iqlim sharoitining tubdan o'zgarishiga, muzliklarning tez erishiga, dengiz sathining ko'tarilishiga, qurg'oqchilik va cho'llashuv jarayonlarining kengayishiga, dehqonchilik va bog'dorchilik tizimlarining izdan chiqishiga hamda insoniyat salomatligiga salbiy ta'sirlarning kuchayishiga olib keladi.

Shuning uchun QTEM larning rivojlanish istiqbollari katta e'tibor berilishi taqozo etiladi. QTEM larning turlari ko'p, jumladan Quyosh nurining issiqlik va fotoelektrik energiyasi, Shamol oqimining mexanik energiyasi, Suv oqimining kinetik va potentsial energiyasi, Gaz va suyuqlik shaklidagi biologik energiya, Geotermal energiya manbalari, Dengiz va okeanlardagi to'lqin va suv osti oqimlarining mexanik energiyalari ular qatoriga kiradi. Jahonning turli qit'alaridagi olimlarning fikriga qaraganda QTEM turlari orasida eng katta istiqbolga ega tur bu Quyosh energiyasidir. Quyosh nurlarining energiyasini issiqlik energiyasi ko'rinishida yoki yarimo'tkazgichli fotoelektrik Quyosh elementlari yordamida elektr energiyasiga almashtirish mumkin. Quyosh nurining ikki ko'rinishdagi energiyasidan faqatgina ochiq havo sharoitida va kunduzigina foydalanish mumkin. Quyoshsiz kunda va havo bulutli kunlarda Quyosh energiyasidan samarali foydalana olmaymiz. Shuning uchun eng istiqbolli bo'lgan Quyosh energiyasidan foydalanish ham uzluksiz tarzda energiya olish imkoniyatini bermas ekan.

Bunday holatda, ya'ni sutka davomida uzluksiz elektr energiyasini olish uchun gibridd energiya qurilmalariga ehtiyoj tugiladi. Ya'ni Quyosh energiyasi manbasi bilan hamohang ishlaydigan qo'shimcha - boshqa energiya manbasi bilan ishlovchi tizim kerak bo'ladi. Bunday tizim sifatida shamol, va suv oqimi evaziga ishlaydigan QTEMLar, suyuq yoqilg'ini bilan ishlovchi generatorlar kabilarni tushunish mumkin. Bunday qo'shimcha energiya manbalarini o'z ichiga olgan energiya stantsiyalarini "Gibrid Quyosh energiya stantsiyalari" (GQES)lar deyiladi. Boshqacha aytganda QTEM sohasida muhandis kadrlarni tayyorlashda GQES tizimlarini, ularning tuzilishini, ishlash tamoyillarini, ular yordamida olingan elektr energiyasi parametrlarini o'zaro muvofiqlashtirish, saqlash va uzatish borasidagi nazariy va amaliy bilimlarni o'rganish dolzarb vazifadir. Ushbu o'quv qo'llanma ana shunday dolzarb vazifani bajarishda bevosita ko'makchi bo'ladi degan umiddamiz.

O'quv qo'llanma oliy ta'lim uchun xalqaro o'quv rejalari va dasturlarini tahlil etish orqali ishlab chiqilgan yangi dastur asosida tayyorlangan. Unda gibridd quyosh energiya stantsiyalarining mohiyati, ularning ishlash tamoyillarini bayon qilish bilan bir vaqtda fotoelektrik va issiqlik parametrlari o'zaro bog'liq tarzda tahlil etilgan. Gibrid quyosh energiya stantsiyalarida elektr va energetik parametrlarning bog'liqligi hamda elektr va issiqlik energiyani saqlash bilan bog'liq tushunchalar keltirilgan. Aqlli elektr tarmoqlari va quyoshli gibridd tizimlar, mikroenergiya tarmog'i tuzilmalari, taqsimlangan energiya ishlab chiqarish tarmog'i tuzilmalari, hamda inverter tuzilmalari tahlil etilgan.

O'quv qo'llanma Evropa ittifoqining "Erasmus+" dasturi doirasida "O'zbekistonda quyosh energetikasi bo'yicha maqsadli muhandislar tayyorlash o'quv dasturini ishlab chiqish" (101128871 - DEBSEUz - ERASMUS-EDU-2023-CBHE) loyihasida ko'zda tutilgan amaliy natijalardan biri sifatida tayyorlangan.

I-BOB

QUYOSH TIZIMINING XUSUSIYATLARI, ASOSIY AFZALLIKLARI VA KAMCHILIKLARI

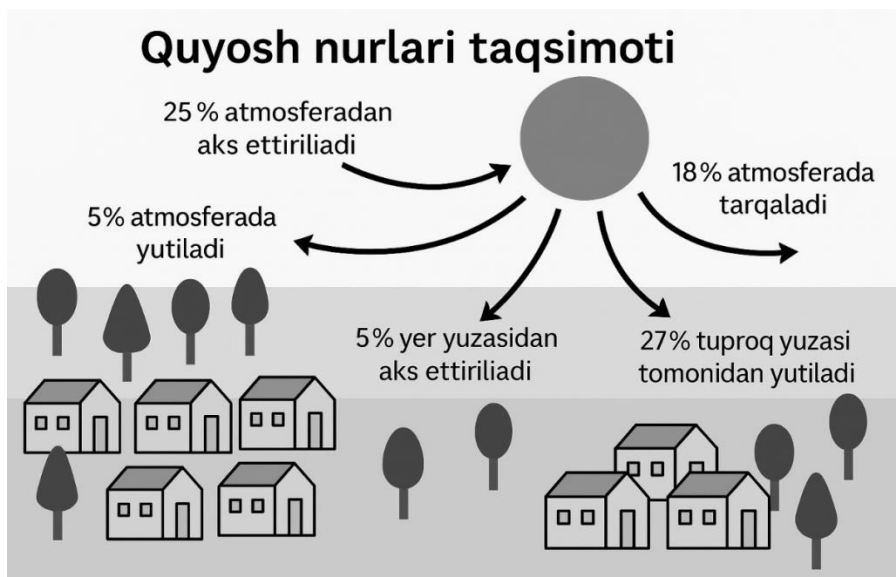
1.1. Quyosh energiyasi va fotoelektrik panellar

Quyosh energiyasi, quyosh yadrosidagi fuzyon jarayoni (vodorod gazining geliyga aylanishi) natijasida chiqariladigan nurlanish energiyasidir. Quyosh atmosferasi tashqarisidagi quyosh energiyasining intensivligi taxminan 1370 W/m^2 ga teng. Ushbu energiyaning $0\div 1100 \text{ W/m}^2$ miqdori yerning atmosferasi orqali erga yetib boradi. Bu energiyaning hatto kichik bir qismi ham insoniyatning hozirgi energiya iste'molining ko'plab marta oshig'idir. Quyosh energiyasini qo'llash bo'yicha tadqiqotlar ayniqsa 1970-yillardan keyin jadal rivojlandi. Quyosh energiyasi tizimlari texnologik jihatdan rivojlangan bo'lib, ularning narxлари kamaymoqda. Bu energiya manbai atrof-muhitga bo'lgan ta'siri jihatidan toza energiya sifatida o'zini namoyon qilgan.

Barcha quyosh nurlari yerga yetib bormaydi va 25% gacha bo'lgan qismi yer atmosferasi tomonidan aks ettiriladi. Quyosh nurlanishining faqat 47%i atmosfera orqali o'tib, yer yuzasiga yetib boradi. Ushbu energiya dunyo haroratini oshiradi va yer yuzasidagi hayotni imkoniyatlarini yaratadi. U shamol harakatlari va okean to'lqinlarini yuzaga keltiradi. Quyoshdan yerga yetib boradigan nurlanishning faqat 18%i atmosfera va bulutlarda saqlanadi. Yerga kelayotgan quyosh nurlanishining 1% dan kamrog'i fotosintez jarayonida o'simliklar tomonidan ishlatiladi. Yerdagi barcha quyosh nurlari oxir-oqibat issiqlikka aylantiriladi va kosmosga qaytariladi. Quyosh nurlanishining atmosferadan yerga bo'lgan energiya oqimi 1.1.1-rasmda keltirilgan.

Quyosh energiyasi turli texnologiyalar bilan ishlatiladi. To'g'ridan-to'g'ri foydalanish usulida quyosh energiyasini yig'ish uchun quyidagi texnologiyalar mavjud: parabollik quvurli kollektor (PQK), Chiziqli Frenel kollektori (ChFK), parabollik sferik kollektor (PSK), markaziy qabul qiluvchi quvvat bilan minorali elektr stansiyalari. Oldingi texnologiyalarga asoslanib, issiqlik yuqori darajadagi issiqlikni olish uchun markazda to'planadi. Ushbu issiqlik energiyasi bug'ga aylantiriladi va keyinchalik turbinalar orqali elektr energiyasi olinadi. To'g'ridan-to'g'ri foydalanishda esa, quyosh energiyasi to'g'ridan-to'g'ri elektr energiyasiga aylantiriladi. To'g'ridan-to'g'ri foydalanish

uchun quyosh panellari qo'llaniladi. Bu texnologiya yarimo'tkazgich materiallarga asoslanadi. Quyosh nurlari yarimo'tkazgich diodlari orqali to'g'ridan-to'g'ri elektr energiyasiga aylantirilishi mumkin.

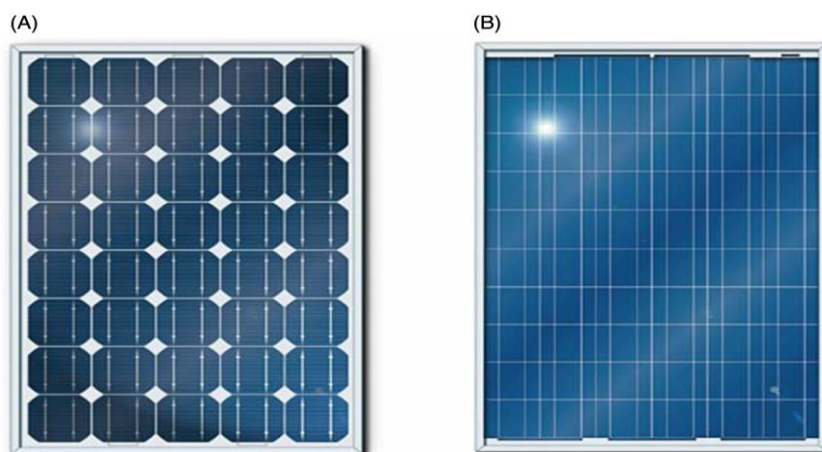


1.1.1-rasm. Quyosh nurlanishining atmosferadan yerga bo'lgan energiya oqimi

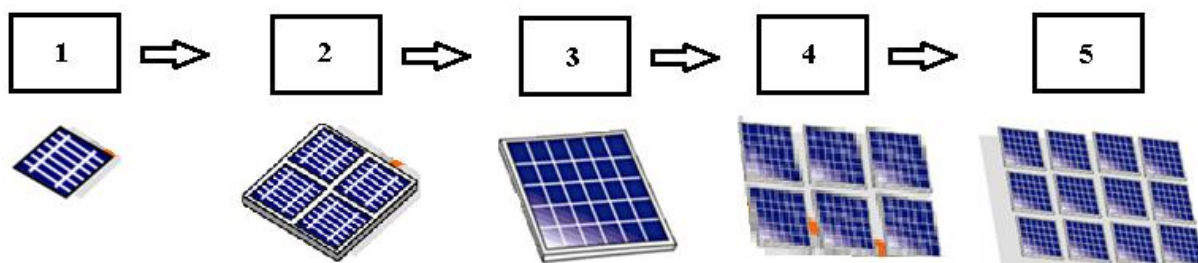
Fotoelektrik panellar. Quyosh panellari — bu yarimo'tkazgich materiallar bo'lib, ular quyosh nurini to'g'ridan-to'g'ri elektr energiyasiga aylantira oladi. Quyosh panellari, odatda kvadrat, to'rtburchak yoki dumaloq shaklda bo'lib, o'lchami taxminan 100 sm² atrofida, qalinligi esa 0.1 mm dan 0.4 mm gacha bo'ladi. Quyosh panellari fotoelektrikprinsipiga asoslanib ishlaydi. Ularning yuzasiga yorug'lik tushganda, ularning terminalida potentsial kuchlanish hosil bo'ladi. Panelning elektr energiyasini ta'minlovchi manbasi — bu uning yuzasiga tushadigan quyosh energiyasidir. Quyosh panelining tuzilishiga qarab, fotoelektrik panellari 5 % dan 30 % gacha samaradorlikda elektr energiyasini ishlab chiqarishi mumkin. Turli materiallardan tayyorlangan yagona kristalli kremniy va polikristalli kremniy fotoelektrik panellari ko'rsatilgan 1.1.2- rasmda keltirilgan.

Chiqish quvvatini oshirish maqsadida, bir nechta quyosh panellari bir-biriga ketma-ket yoki parallel tarzda ulanishi mumkin. Ushbu tuzilma quyosh panel moduli yoki fotoelektrik moduli deb ataladi. Shunday qilib, quyosh panellari kerakli tok va kuchlanish qiymatlarida ishlab chiqariladi. Quvvat talabiga qarab, modullarni ulash orqali bir necha vattdan megavattgacha quvvatlar yaratiladi. Fotoelektrik generatori jarayonining qismlari ko'rsatilgan 1.1.3- rasmda keltirilgan.

Quyosh panellarini ishlab chiqarishda ko‘plab turli materiallar ishlatilishi mumkin. Eng keng tarqalgan modul texnologiyalari ingichka plyonka va kristalli kremniy hisoblanadi. Ingichka plyonka ishlab chiqarish texnologiyasida a-Si, CdTe, Ci(G)S, a-Si/c- μ Si va bo‘yoqli panellar ishlatiladi. Kristalli kremniy texnologiyasi mono- va polikristalli texnologiya hisoblanadi. 1 sm² panel uchun eng yuqori tijorat darajasidagi panel samaradorligi Ci(G)S da eng yuqori 12 % ga yetadi, bu ingichka plyonka panel va moduli sifatida. Mono-kristalli kremniy fotoelektrik panelining sa-



1.1.2 – rasm. Mono-kristalli (A) va polikristalli kremniy (B) Fotoelektrik panellari



1.1.3-rasm. Fotoelektrikstansiyaning ishlash jarayoni: 1) Element. 2) Modul. 3) Panel. 4) Massiv. 5) Fotoelektrik stansiya.

samaradorligi 22% va polikristalli kremniy fotoelektrik panelining samaradorligi esa 18% ni tashkil etadi. Modul sifatida tekshirilganda, panellar o‘rtasidagi ulanishlar va ichki qarshiliklar sababli umumiy samaradorlik pasayadi.

Quyosh fotoelektrik zavodlari ishlab chiqarish jihatidan ingichka plyonka texnologiyasida 1 kW uchun talab qilinadigan maydon taxminan 12–15 m² ni tashkil etadi. Kristalli kremniy fotoelektrik panellarini ko‘rib chiqsak, shu quvvat uchun 7–8 m² maydon kerak bo‘ladi. Tijorat fotoelektrik texnologiyalarining samaradorliklari 1-jadvalda keltirilgan.

Tijorat maqsadidagi fotoelektrik texnologiyalar samaradorligi]

Texnologiya turi	Yupqa qatlamli					Kristalli kremniy	
	a-Si	CdTe	Ci(G)S	a-Si/ μ c-Si	Bo'yoqqa sezgir	Monokristalli kremniy	Polikristalli kremniy
Fotoelement samaradorligi	4÷8 %	10÷11 %	7÷12 %	7÷9 %	2÷4 %	16÷22 %	14÷18 %
Modul samaradorligi						13÷19 %	11÷15 %
1 kW quvvat uchun zarur maydon	~15 m ²	~10 m ²	~10 m ²	~12 m ²		~7 m ²	~8 m ²

1.2. Quyosh panellarining tuzilishi va ishlashi. Fotoelektrik panellarining ulanishi

Bugungi kunda elektron mahsulotlarda tranzistorlar, rektifikator diodlar kabi quyosh panellari, yarimo'tkazgich materiallari ishlab chiqariladi. Yarimo'tkazgich xususiyatlariga ega bo'lgan ko'plab moddalardan quyosh panellarini ishlab chiqarish uchun eng mos bo'lganlari kremniy, galliy arsenidi va kadmiy tellurid hisoblanadi. Yarimo'tkazgich materiallaridan quyosh panellari sifatida foydalanish uchun manfiy (N) yoki musbat (P) turdagi qo'shimchalar talab qilinadi. Qo'shimchalar, kerakli qo'shimchalar toza yarimo'tkazgich eritmasiga nazorat ostida qo'shilishi orqali amalga oshiriladi. Olingan yarimo'tkazgichning turi qo'shimchaga bog'liq bo'ladi. Eng ko'p ishlatiladigan quyosh paneli bo'lgan kremniydan N-turdagi yarimo'tkazgich materiallarini olish uchun fosfor kabi elementlar ishlatiladi. Periodik jadvalning V guruhidagi fosfor kremniy eritmasiga qo'shiladi. Kremniyning tashqi orbitasida to'rtta elektron bo'lsa, fosforning tashqi orbitasida beshta elektron bor, shuning uchun fosforning birinchi elektroni kristall tuzilmasiga elektron beradi. Shuning uchun V guruh elementlari "uzatishchi" yoki "N-tur" qo'shimchalar deb ataladi.

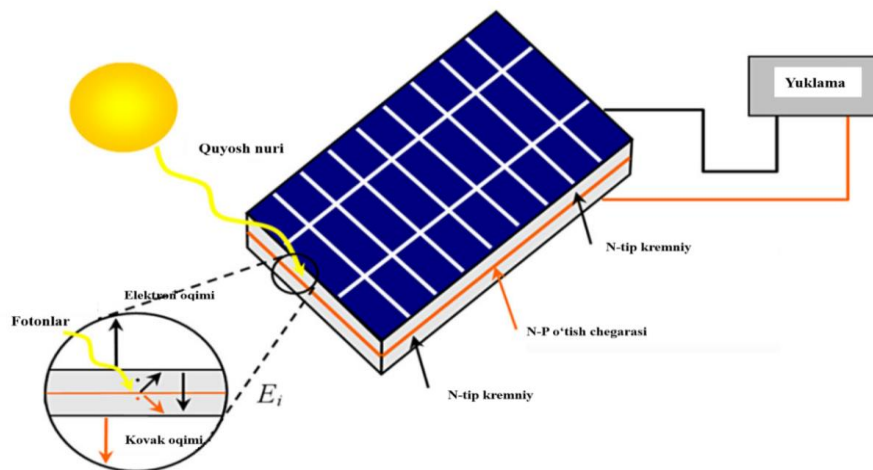
P-turli kremniy olish uchun III guruhdan (alyuminiy, indiy, bor) elementlar eritmaga qo'shiladi. Ushbu elementlarning tashqi orbitasida uchta elektron bor, shuning uchun kristall tuzilmasida elektronlar yetishmaydi. Bu

elektronning yo'qligi "bo'shliq" yoki "teshik" deb ataladi va ijobiy zaryadni tashish qobiliyatiga ega deb hisoblanadi.

Bunday moddalarga "qabul qiluvchi" yoki "P-tur" qo'shimchalar deb ataladi. Zarur qo'shimchalar N yoki P turidagi asosiy materialga qo'shilganda, yarimo'tkazgich birikmalari hosil bo'ladi. N-tur yarimo'tkazgichdagi elektronlar va P-tur yarimo'tkazgichdagi bo'shliqlar asosiy tashuvchi hisoblanadi. N va P turli yarimo'tkazgichlar bir-biriga kelishidan oldin, ikkala modda ham elektr jihatida neytral hisoblanadi. P-tur materiallarida manfiy energiya darajalari va bo'shliqlar teng bo'lsa, N-tur materiallarida musbat energiya darajalari va elektronlar soni tengdir. N–P kesishmasi hosil bo'lganida, N-tur materialidagi asosiy tashuvchi elektronlar P-tur material orqali oqim hosil qiladi. Ushbu jarayon yuk muvozanati bo'lishigacha davom etadi. N–P turidagi kesishmada, N tomonda musbat zaryad, P tomonda esa manfiy zaryad yig'iladi.

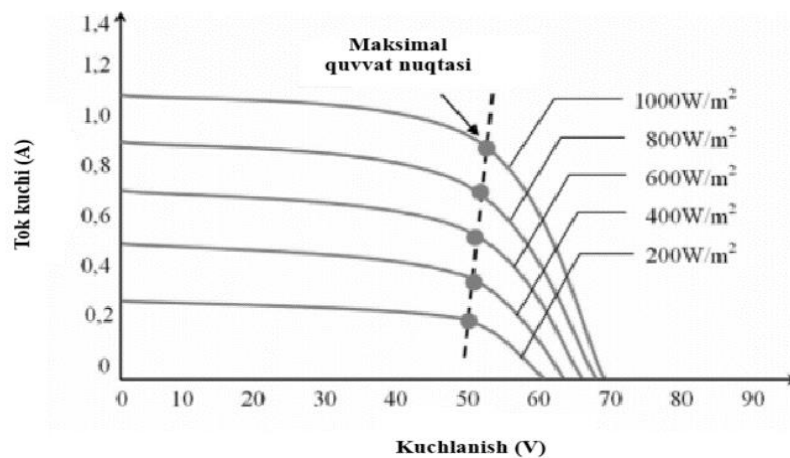
Ushbu kesishma "o'tish zonasi" yoki "neytral zona" deb ataladi. Ushbu hududdagi elektr maydoni "strukturaviy elektr maydon" deb nomlanadi. Yarimo'tkazgich ning quyosh paneli sifatida ishlashi uchun kesishma hududida fotoelektrik o'zgarishi zarur. Bu o'zgarish ikki bosqichda ro'y beradi: birinchi bosqichda, kesishma hududiga yorug'lik berilganda, elektron-bo'shliq juftliklari hosil bo'ladi, ikkinchi bosqichda esa ular hududdagi elektr maydoni tomonidan ajratiladi.

Energiya aylanishi fotoelektri hodisasiga asoslanadi. Fotoelektrik hodisasida yorug'lik fotonlari, ayniqsa, kesishma hududiga yetib boradigan bo'lsa, erkin zaryad juftliklarini hosil qiladi. Har bir manfiy zaryadlangan elektron, stimulyatsiya bo'lganda, ortda ijobiy zaryadlangan bo'shliqni qoldiradi. Ushbu tashuvchilar, kesishmada hosil bo'lgan tabiiy ichki teskari elektr maydonini (E_i) hosil qiladi. Tabiiy elektr maydoni, fotonlar orqali energiya olgan zaryad tashuvchilarini faollashtiradi. Shunday qilib, fotonlar orqali ishlab chiqarilgan manfiy zaryadlangan elektronlar N hududida to'planadi, ijobiy zaryadlangan tashuvchilar esa P hududida to'planadi va kuchlanish hosil qiladi. Quyosh panelining elektr energiyasini ishlab chiqarish jarayoni prinsipi 1.2.1-rasmda keltirilgan. Fotoelektrik panelining hozirgi-kuchlanish ($I-V$) xususiyatlari nurlanish intensivligiga (W/m^2) qarab o'zgaradi. Fotoelektrik panelining joriy chiqartirish grafigining misoli 1.2.2-da keltirilgan. Fotoelektrik panelidan olinadigan maksimal quvvat nuqtalari ham nurlanishga qarab o'zgaradi.



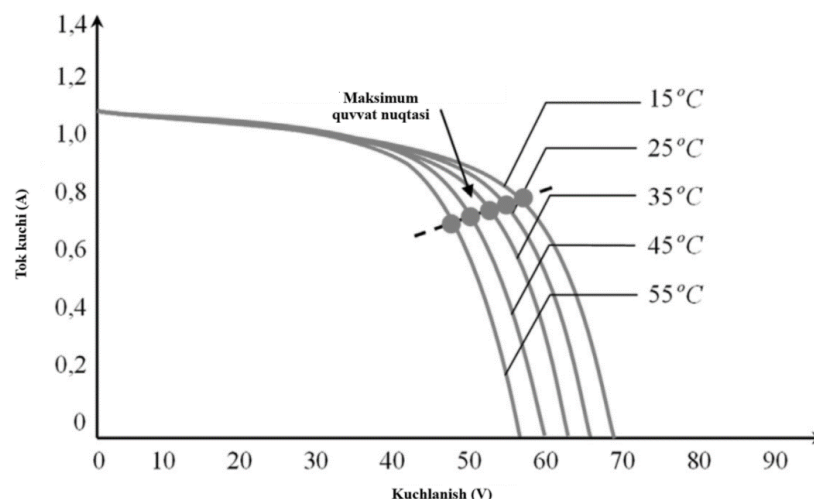
1.2.1-rasm. Quyosh panelining elektr energiyasini ishlab chiqarish jarayoni.

Bunday holatda, nurlanish intensivligi fotoelektrik paneli tomonidan ishlab chiqarilgan qisqa tutashuv hozirgi (I_{qt}) ga bevosita ta'sir qiladi. Ochiq halqa kuchlanishi (V_{si}) qisqa tutashuv hozirgisiga qaraganda sekinroq o'zgaradi. O'zgarib turuvchi nurlanish intensivligi ostida ishlayotgan fotoelektrik panelining ishlash samaradorligi fotoelektrik energiya tizimlari loyihalarida katta ahamiyatga ega.



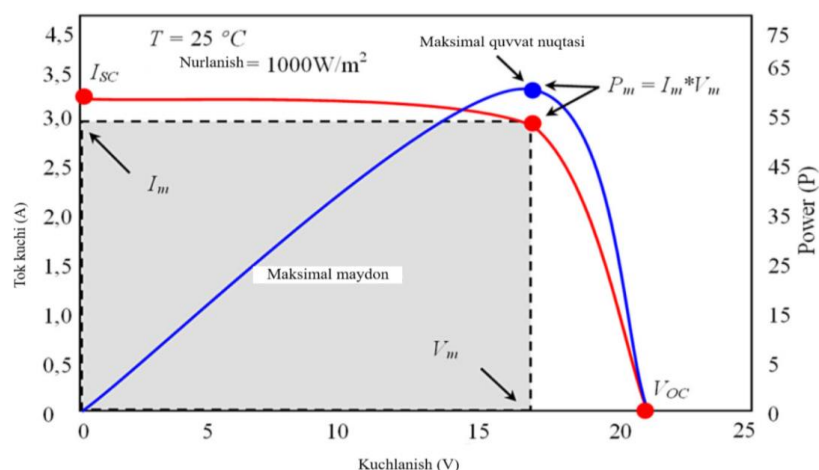
1.2.2-rasm. Turli nurlanishlarda na'muna fotoelektrik panelining hozirgi-kuchlanish ($I-V$) xususiyatlari.

Radiatsiya intensivligining fotoelektrik panellariga ta'siri bilan birga, boshqa muhim ta'sir haroratdir. Belgilangan haroratda, fotoelektrik panelining qisqa tutashuv hozirgisi radiatsiya miqdoriga proporsional ravishda oshadi. Doimiy radiatsiya sharoitida, haroratning oshishi qisqa tutashuv hozirgisini oshiradi va ochiq halqa kuchlanishini kamaytiradi. Haroratning namuna fotoelektrik paneliga ta'siri 1.2.3-rasmda ko'rsatilgan.



1.2.3-rasm Turli haroratlarda na'muna fotoelektrik panelining hozirgi-kuchlanish (I–V) xususiyatlari.

Fotoelektrik panelining xususiyati 25°C harorat va 1000W/m² radiatsiya qiymatidagi egri chizig'i 1.2.4-rasmda ko'rsatilgan.

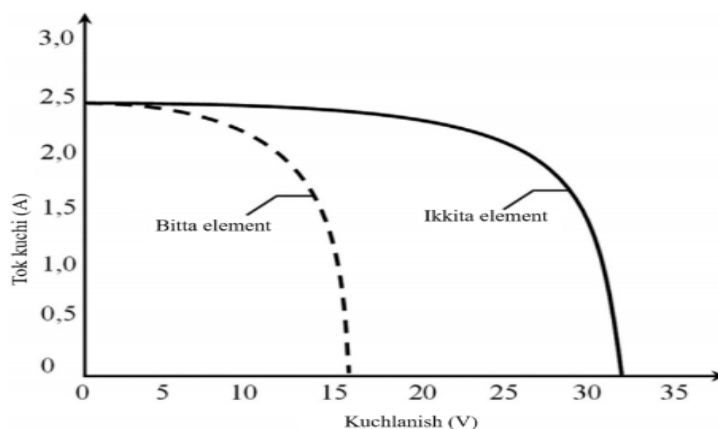


1.2.4-rasm. Na'muna fotoelektrik panelining hozirgi-kuchlanish-quvvat (I–V–P) xususiyatlari.

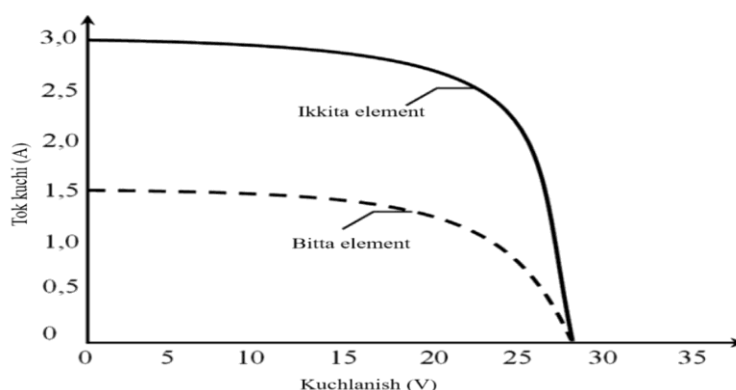
Maksimal quvvat nuqtasi - fotoelektrik panelidan olinishi mumkin bo'lgan maksimal quvvatni anglatadi. Ushbu nuqta fotoelektrik panelining oqimi va kuchlanish qiymatlari ko'paytmasiga teng. I–V egri chizig'i ostidagi maksimal to'g'ri burchakli maydon fotoelektrik paneli tomonidan hozirda ishlab chiqarilayotgan maksimal quvvatni (P_m) beradi. Ushbu quvvatdagi hozirgi qiymat I_m , kuchlanish esa V_m bilan ko'rsatiladi. Agar fotoelektrik paneli terminali ochiq bo'lsa, o'lchanadigan kuchlanish fotoelektrik panelining eng yuqori kuchlanish qiymatiga teng bo'lib, V_{si} bilan ko'rsatiladi. Agar fotoelektrik paneli terminali yuklanishni boshlasa, fotoelektrik paneli

kuchlanishi kamayadi va fotoelektrik paneli hozirgisi oshadi. Hozirgi qiymat bir nuqtaga qadar oshishda davom etadi, ammo kuchlanish tezda pasayadi. fotoelektrik paneli V_m va I_m qiymatlariga yetganda, maksimal quvvat olinadi.

Fotoelektrik panellarining ulanishi. Ketma ket ulanishdagi fotoelektrik panellarida tizim orqali o'tadigan har bir hozirgi qiymat teng bo'ladi. Har qanday hozirgi qiymat uchun tizim kuchlanishi barcha fotoelektrik panellari kuchlanishlarining yig'indisi bo'ladi. Ketma ket ulanishdagi fotoelektriktizimining hozirgisi bitta fotoelektrik panelining qisqa tutashuv hozirgisi, kuchlanishi esa bitta fotoelektrik panelining ochiq halqa kuchlanishi bo'ladi. Agar ketme ket ulashgan fotoelektrik panellarida soyabon bo'lsa, tizim kuchlanishining umumiy qiymati sezilarli darajada kamayadi. Ketma ket ulangan fotoelektrik panellari uchun VAX (volt amper xarakteristikasi) grafigi 1.2.5-rasmda ko'rsatilgan.



1.2.5-rasm. Ketma-ket ulangan fotoelektrik panellar uchun VAX ko'rinishi.



1.2.6-rasm. Parallel ulangan fotoelektrik panellar uchun VAX ko'rinishi.

Parallel ulanishdagi tizimda, bitta fotoelektrik panelining kuchlanishi tizimning umumiy kuchlanishiga teng bo'ladi. Har bir fotoelektrik panelining oqimi tizimning umumiy fotoelektrik paneli oqimini hosil qiladi. Tizimning ochiq halqa kuchlanishi bitta fotoelektrik panelining ochiq halqa kuchlanishiga

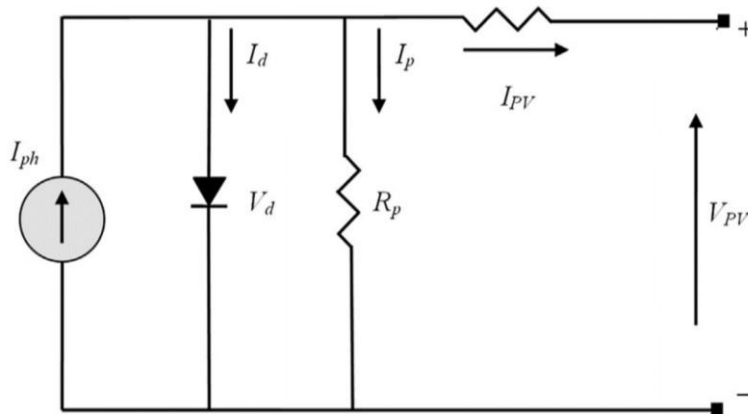
teng bo‘ladi. Qisqa tutashuv oqimi har bir fotoelektrik panelining qisqa tutashuv oqimlarining yig‘indisiga teng bo‘ladi. Parallel ulangan fotoelektrik panel tizimida qisman soyabon tizimdagi umumiy kuchlanishni o‘zgartirmaydi. Lekin fotoelektrik panel tizimidagi umumiy hozirgi qiymat kamayadi. Parallel ulashgan fotoelektrik panellari uchun VAX grafigi 1.2.6-rasmda ko‘rsatilgan.

1.3. Quyosh panelining elektr modeli. Quyosh issiqlik energiyasi texnologiyalari.

Quyosh panelining I–V xususiyatlari va ushbu egri chizig‘idan olinishi mumkin bo‘lgan quvvat ta’riflari uchun odatda bitta eksponentli tenglama modeli ishlatiladi. Ushbu modelning ekvivalent sxemasi 1.3.1-rasmda keltirilgan. Ekvivalent sxema nurlanishga qarab hozirgi manba sifatida ishlaydi. Quyosh panelidan olinishi mumkin bo‘lgan hozirgi qiymatning munosabati quyidagi tenglama bilan beriladi:

$$I_{PV} = I_{ph} - I_d - I_p = I_{ph} - I_o \left[\exp \left(\frac{qV_d}{KFT_{PV}} \right) - 1 \right] - \frac{V_d}{R_p} \quad (1.3.1)$$

Bu yerda I_{ph} fotonlar tomonidan ishlab chiqarilgan hozirgi yoki qisqa tutashuv hozirgisi (A), I_o - teskari oqish hozirgisi (A), I_d - juftlik hududidagi diod hozirgisi (A), I_p - parallel qarshilik orqali o‘tadigan hozirgi (A), R_p - parallel qarshilik (Ω), R_s - seriyali qarshilik (Ω) ni anglatadi.



1.3.1-rasm. Quyosh panelining elektr ekvivalent sxemasi.

q - elektron zaryadi ($1.6 \cdot 10^{-19}$ C), K - Boltsman doimiysi ($1.38 \cdot 10^{-23}$ J/K), T_{PV} - quyosh panelining absolyut harorati (K), F - quyosh panelining ideal faktori, I_{FV} - quyosh paneli batereyasining oqimi (A), V_d - diod kuchlanishi (V), va V_{PV} - quyosh paneli batereyasining chiqish kuchlanishi (V). I_{ph} , fotonlar

tomonidan ishlab chiqarilgan oqim, quyosh panellariga tushadigan nurlanish va quyosh panellari haroratiga qarab o'zgaradi va quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$I_{ph} = [\mu_{sc}(T_c - T_r) + I_{sc}]S \quad (1.3.2)$$

Bu yerda μ_{sc} - quyosh panelining qisqa tutashuv oqimidagi harorat koeffitsienti, T_r - quyosh panelining ma'lum harorati, I_{sc} - 1 kW/m² va 25 °C dagi qisqa tutashuv oqimi, S - quyosh nurlanishi (W/m²).

Bitta diodli model yordamida I–V egri chizig'ini aniqlash uchun tegishli quyosh panelining aniq I_o va F parametrlari ma'lum bo'lishi kerak. Ushbu parametrlarga odatda ishlab chiqaruvchi kataloglariga ega bo'lmaydi. Oqish hozirgisi I_o aniq o'lchash imkoniyatlari yordamida o'lchanishi mumkin. Shuningdek, haroratlar o'zgarganda, I_o ning yangi qiymatlari tahlilda hisobga olinishi kerak. I_o harorat bilan eksponensial ravishda o'zgaradi. I_o to'yingan hozirgisi quyidagi tenglama bilan beriladi:

$$I_o = I_{o\alpha} \left[\frac{T_{PV}}{T_r} \right]^3 \exp \left[\frac{qV_g}{KF} \left(\frac{1}{T_r} - \frac{1}{T_c} \right) \right] \quad (1.3.3)$$

$$I_{o\alpha} = \frac{I_{sc}}{\exp \left(\frac{qV_{PV}}{KFT_c} \right)} \quad (1.3.4)$$

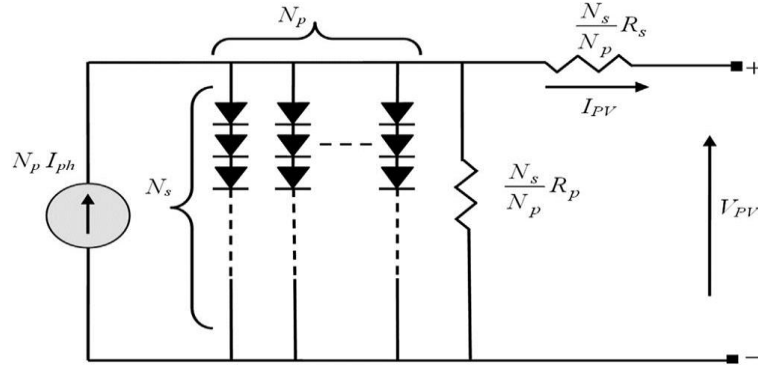
Bu yerda $I_{o\alpha}$ - quyosh panelining 1000 W/m² quyosh nurlanishi va ma'lumotnoma haroratidagi teskari to'yingan oqimi (A), V_g - quyosh panelida ishlatiladigan yarimo'tkazgichning tarmoqli kuchlanishi (V), V_{oc} - quyosh panelining ochiq halqa kuchlanishi (V) va F - quyosh panelining ideal faktori. Bu ishlatilgan quyosh paneli texnologiyasiga bog'liq bo'ladi.

Jadval 1.3.1

Quyosh panelining texnologiyasiga qarab n faktorining qiymatlarini ko'rsatadi

Quyosh elementi texnologiyasi	Noideallik faktori (n)
Si–polikristalli	1.3
Si–monokristalli	1.2
a–Si–triple	5.0
a–Si: tandem	3.3
a–Si:H	1.8

Quyosh paneli odatda 0.5 V 2 W kuchlanishda ishlab chiqariladi. Ushbu quvvatni oshirish uchun quyosh panellarini seriya yoki parallel tarzda ulash orqali kerakli kuchlanish va hozirgi qiymatlar bilan quyosh panellarini ishlab chiqarish mumkin. N_s seriyali va N_p parallel ulashgan fotoelektrik panel to'plamlarining sxemasi 1.3.2-rasmda ko'rsatilgan.



1.3.2-rasm. Fotoelektrik panel to'plamlarining elektr ekvivalent sxemasi

Bitta diodli modelga ko'ra, umumiy tizim N_s seriyali va N_p parallel tarzda ulashgan quyosh panellaridan iborat. fotoelektrik panel to'plamlari uchun I–V munosabati quyidagi tenglama bilan beriladi:

$$I_{PV} = N_p I_{ph} - I_o \left[e^{\left(\frac{q \left(\frac{V_d}{R_s} + I R_s / R_p \right)}{N_s K T_{PV}} \right)} - 1 \right] - \frac{N_p V_d / N_s}{R_p} \quad (1.3.5)$$

Bu yerda N_s - seriyali ulashgan quyosh panellarining soni va N_p - parallel ulangan quyosh panellarining soni. Aslida, fotoelektrik panel modulining R_s samaradorligi juda kam ta'sir qiladi, shu bilan birga R_p katta ta'sir ko'rsatadi.

Fotoelektrik panel to'ldirish faktori, fotoelektrik panelining maksimal quvvat nuqtasidagi oqimi va kuchlanish qiymatlarini to'g'ridan-to'g'ri hisoblash noaniq VAX egri chizig'i sababli juda qiyin. Agar quyosh panelining ichki qarshiligi e'tiborga olinmasa ham, fotoelektrik panelidan olinadigan maksimal quvvat (P_m) uning elektr xususiyatlari tufayli $V_{si} \times I_{qt}$ qiymatidan kichikroq bo'ladi. P_m ni $V_{si} \times I_{qt}$ ga yaqinlashtirish uchun qat'iy kursahish zarur.

Fotoelektrik panelining VAX egri chizig'ining maksimal foydalanish darajasi, to'ldirish faktori (FF) bilan aniqlanadi. FF quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

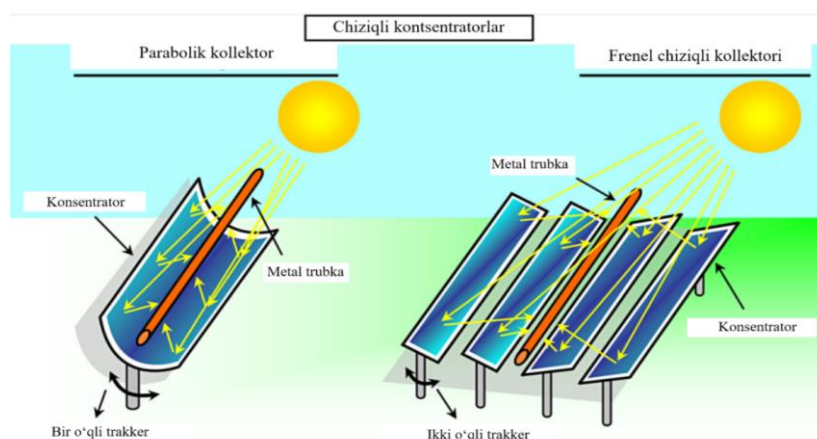
$$FF = \frac{V_m I_m}{V_{si} I_{qt}} \quad (1.3.6)$$

Fotoelektrik panelining samaradorligi — bu elektr quvvatining chiqishi (P_{out}) va quyosh nurlanishining kirishi (P_{in}) o'rtasidagi nisbati. P_{out} — Fotoelektrik panelining chiqish quvvati bo'lib, uni P_{max} deb qabul qilish mumkin. Fotoelektrik paneli maksimal quvvat chiqishiga yetguncha ishlash mumkin. Fotoelektrik panelining samaradorligi quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{max}}{P_{in}} \quad (1.3.7)$$

Quyosh issiqlik energiyasi texnologiyalari. Quyosh issiqlik texnologiyalari harorat darajasiga qarab uchta qo'llanilish turiga bo'linadi: past, o'rta va yuqori haroratli. Past haroratli qo'llanmalarga eng keng tarqalgan misol — chiziqli kollektor tizimlari (ChKT) hisoblanadi. O'rta haroratli qo'llanmalarga parabolik chiziqli kollektor tizimlari (parabolik chiziqli kollektorlar — PChK, Frenel kollektorlari — FK) kiradi va ular 1.3.3-rasmda keltirilgan. Yuqori haroratli qo'llanmalarga esa nuqtaviy konsentrator tizimlari (parabolik likob kollektorlar — PLK va markaziy qabul qiluvchiga ega quyosh minoralari (QM)) kiradi va ular 1.3.4-rasmda keltirilgan.

An'anaviy plastinkali turdagi chiziqli quyosh kollektorlar, asosan, maishiy issiq suvni isitish tizimlarida qo'llaniladi. Ushbu tizimlarda quyosh energiyasi issiqlik orqali issiqlik tashuvchi suyuqlikka uzatiladi. Aylanuvchi suyuqlikning harorati bu tizimlarda 70 °C–80 °C gacha yetishi mumkin.

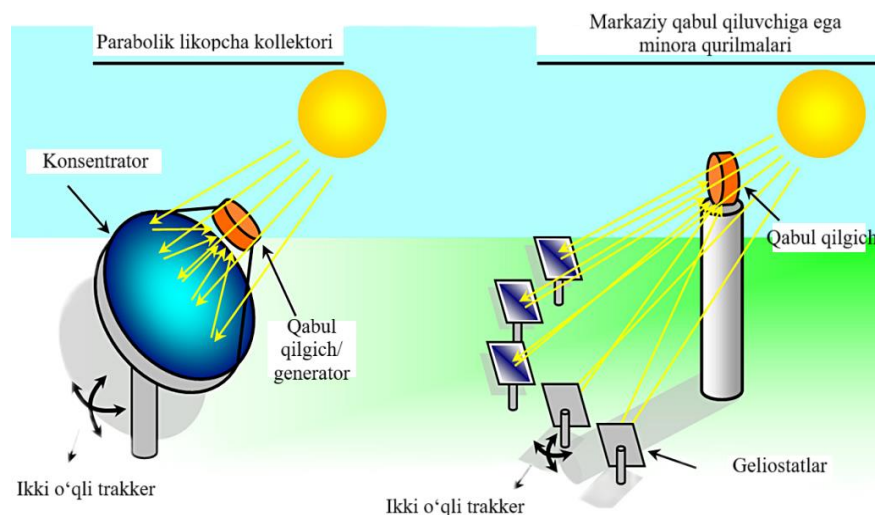


1.3.3-rasm. Parabolik va chiziqli Frenel kollektorlarining tuzilma topologiyasi.

Issiq suvga bo'lgan ehtiyojdan tashqari, bu tizimlar suzish havzalari va kichik sanoat korxonalarida issiq suv ta'minoti uchun ham qo'llaniladi. So'nggi vaqtlarda vakuumli issiqlik quvurlari qo'llanilishi kengayib

bormoqda. Chiziqli kollektorlarda suyuqlik harorati 120°C gacha yetishi mumkin.

Issiqlik quyosh energiyasidan foydalanishning eng keng tarqalgan shakli bu suvni isitish tizimlaridir. Quyosh energiyasi bilan ishlaydigan issiq suv tay



1.3.4-rasm. Parabolik botiq kollektori va minorali elektr stansiyalarining tuzilma topologiyasi.

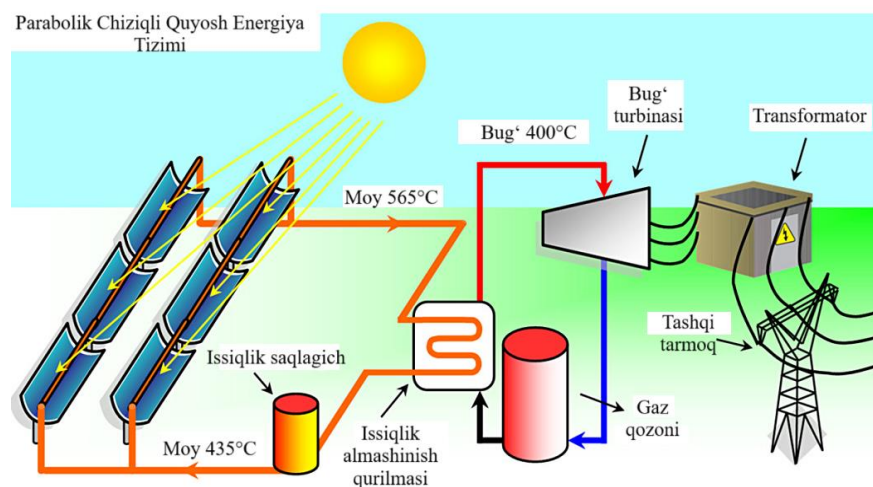
yorlash tizimlari suvdan foydalanish usuli, suvni isitish usuli va tizimdagi suv aylanishiga qarab farqlanadi. Issiqlik quyosh energiyasidan foydalanishning ikkinchi yirik guruhi parabolik va Fresnel chiziqli kollektori tizimlaridir. Ushbu kollektorlar orqali harorat 300°C – 400°C gacha ko'tariladi. Markaziy qabul qiluvchiga ega minorali elektr stansiyalar va likopcha kollektorlarida esa harorat 1400°C gacha yetishi mumkin. Konsentratorlar quyosh nurlarini iloji boricha to'g'ridan-to'g'ri va maksimal darajada ishlatish uchun mo'ljallangan. Shu maqsadda, quyosh kollektorlari quyoshni doimiy ravishda kuzatib borishga imkon beruvchi kuzatuv mexanizmi bilan jihozlanadi.

1.4. Chiziqli va nuqtaviy konsentratorlash tizimlari

Parabolik chiziqli kollektorli elektr tizimi. Parabolik chiziqli kollektorlar (PChK) quyosh nurlarini chiziqli tarzda konsentratsiyalovchi parabolik shakldagi panellardan iborat. Likopcha ichki yuzasidagi aks ettiruvchi sirtlar quyosh nurlarini parabolaning fokus nuqtasida joylashgan qora rangdagi qabul qiluvchi trubkaga yo'naltiradi. Issiqlik yig'uvchi shisha trubka po'latdan tayyorlangan qabul qiluvchi trubkalar va shisha–metall biriktiruvchilardan iborat bo'lib, uning yuzasi taxminan 97 % darajada nur

so‘ruvchanlikka ega. Qabul qiluvchi trubkada yuzaga keladigan yuqori harorat tufayli issiqlik yo‘qotilishini kamaytirish uchun shisha trubka va qabul qiluvchi trubka orasidagi havo so‘rib olinadi (vakuum hosil qilinadi). Ushbu bo‘shliqdagi bosim taxminan 0.1 atm atrofida bo‘ladi. Issiqlikka chidamli shisha trubka yuqori yorug‘lik o‘tkazuvchanligi va nurlanish yo‘qotilishini kamaytirish uchun aks ettiruvchi xususiyatga ega bo‘ladi. Harorat kengayishining ta‘sirini kamaytirish uchun silliqlangan shisha–metall biriktiruvchilar qo‘llaniladi. Tizimda avtomatlashtirilgan quyoshni kuzatish boshqaruv qurilmasi mavjud bo‘lib, u yordamida oynalar quyosh holatini doimiy ravishda kuzatib boradi.

Quyosh energiyasi kollektorlari o‘rta va yuqori haroratlarda to‘yingan yoki qizdirilgan bug‘ni hosil qila oladi. Bunday issiqlik manbai sanoat korxonalarida to‘g‘ridan-to‘g‘ri issiqlik maqsadlarida qo‘llanilishi, shuningdek, tegishli termodinamik aylanish orqali elektr energiyasi ishlab chiqarishda ham ishlatilishi mumkin. Parabolik chiziqli elektr tizimining umumiy ishlash prinsipi 1.4.1-rasmda ko‘rsatilgan.



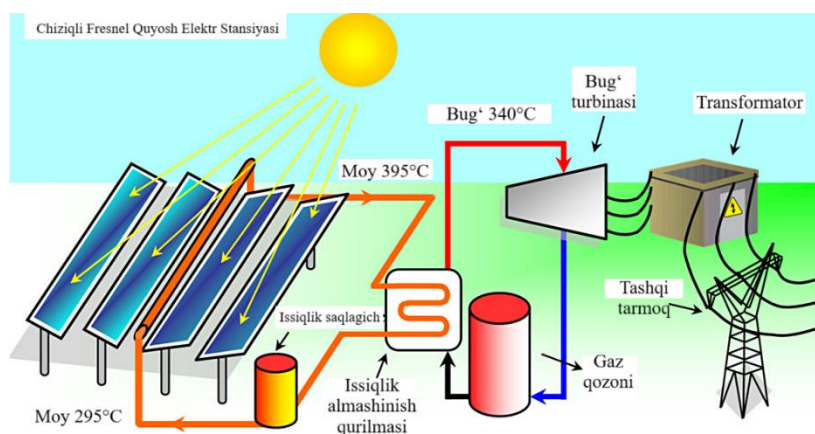
1.4.1-rasm. Parabolik chiziqli elektr tizimining sxematik ko‘rinishi.

Bunday inshootlarning birinchi bosqichida issiqlik o‘tkazuvchi suyuqlik aylanadi. Bu suyuqlik odatda yuqori haroratga chidamli sintetik moy bo‘ladi. Sintetik moy issiqlik almashinuvi vositasi orqali elektr energiyasi ishlab chiqarish tizimidagi suv bug‘ fazasiga aylantiriladi. Ushbu qizdirilgan bug‘ turbinagenerator orqali elektr energiyasi hosil qiladi. Elektr ishlab chiqarishni uzluksiz ta‘minlash maqsadida aylanishda issiqlikni saqlash bloki mavjud. Bu issiqlik saqlash blokida, odatda, eritilgan tuz ishlatiladi. Quyosh nurlanishi

yetarli bo'lmagan hollarda, ushbu issiqlik saqlash bloki ishga tushadi va quvvat aylanishidagi suvni bug'lantirish jarayonida yordamchi rol o'ynaydi.

Issiqlik quyosh elektr stansiyalarida so'nggi yillarda doimiy va barqaror elektr ishlab chiqarishni ta'minlash uchun joriy etilgan eng muhim choralardan biri — bu gibrid tizimlardan foydalanishdir. Gibrid energiya manbalaridan foydalanish stansiyalarni uzluksiz ishlashini ta'minlashda muhim rol o'ynaydi.

Bug' hosil qilish tizimi oldindan isitish, bug' hosil qilish va bug'ni ortiqcha qizdirish bo'limlaridan iborat. Bug' ushbu bo'limlardan o'tkazilib, 400 °C harorat va 100 bar bosimga yetkaziladi. So'ngra, u turbinaga yo'naltiriladi va elektr energiyasi ishlab chiqariladi. Elektr ishlab chiqarishdan keyin yetarlicha sovumagan bug' yana shu haroratga qizdirilib, yangi aylanishga yuborilmasdan turib qayta turbinaga beriladi. Ikkinchi aylanishda esa, qolgan sovutilgan bug' suyuqlikka aylangach, yangi aylanishga yuboriladi. Eng yuqori nurlanish sharoitida 25–200 MW elektr energiyasi ishlab chiqarishga qodir bo'lgan ushbu tizimlar, odatda, 1 kW·soat uchun eng arzon elektr energiyasi ishlab chiqaradigan stansiyalar hisoblanadi.



1.4.2-rasm. Chiziqli Frenel kollektorli elektr energiyasi tizimi sxemasi.

Chiziqli Frenel elektr tizimi. Kongsentratsiyalangan quyosh energiyasi (KQE) texnologiyalarida chiziqli yoki nuqtaviy konsentratorlar yordamida yuqori haroratlarga erishish mumkin. Chiziqli Frenel elektr (ChFE) stansiyalari bir o'lchamli tekis oynalardan tashkil topgan. Ushbu oynalarning fokus chizig'i bo'ylab issiqlik to'plovchi quvur joylashtiriladi. Chiziqli konsentrator tizimlarida quyosh nurlari reflektiv sirt orqali chiziqli fokusga yo'naltiriladi. Sirt bo'ylab joylashgan quvurdan o'tayotgan ishchi suyuqlik isiydi. Bu yerda "chiziqli fokus" deganda tor va uzun, tasma ko'rinishidagi

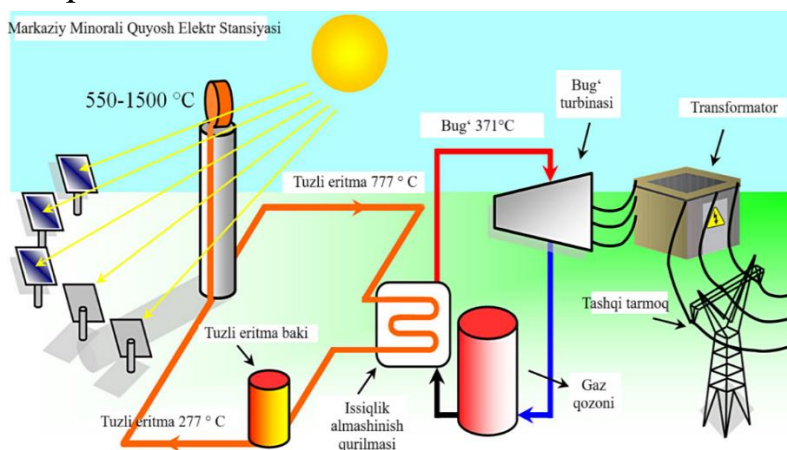
makon nazarda tutiladi. Suyuqlik harorati oqim tezligi, kontsentratsiya koeffitsienti va quyosh nurlanishining darajasiga qarab o'zgaradi. Chiziqli konsentrator tizimlarida nazariy jihatdan erishilishi mumkin bo'lgan eng yuqori harorat quyosh haroratiga juda yaqin bo'ladi. Linear oynalarning quyoshni kuzatib borishini ta'minlaydigan boshqaruv tizimi mavjud. ChFE tizimining sxematik ko'rinishi 1.4.2 - rasmda ko'rsatilgan.

Parabolik botiq kollektorli elektr tizimi. Likopcha kollektor tizimlari likopcha, kollektor va motor qurilmalaridan tashkil topadi. Quyosh nurlari likopchasimon sirt yordamida bir qabul qiluvchi yuzaga jamlanadi. Bu yerda qabul qiluvchi sirt sifatida Stirling yoki Brayton dvigateli ishlatiladi. Qabul qiluvchi element quyosh nurlarining issiqligini to'g'ridan-to'g'ri o'zlashtirishi yoki uni Stirling dvigatelidagi ishchi suyuqlikka uzatishi mumkin. Stirling dvigateli ushbu issiqlik energiyasini mexanik energiyaga aylantiradi. Bunday tizimlarda vodorod yoki geliy kabi past zichlikka ega gazlardan foydalaniladi. Ushbu gazlar quyosh nuri bilan qiziganida kengayadi va dvigatel porshenlarini harakatlantiradi. Hosil bo'lgan mexanik energiya generator yordamida elektr energiyasiga aylantiriladi.

Likopcha tizimlari quyoshni ikki o'qda kuzatadi. Ular suv manbalari mavjud bo'lmagan qurg'oqchil hududlar uchun juda mos keladi, chunki ushbu kollektor tizimlarida suv aylanishi ishlatilmaydi. Ular modulli tuzilishga ega bo'lib, bitta yoki bir nechta likopcha shaklida ishlatilishi mumkin. Biroq, Stirling dvigatelinini barqaror va iqtisodiy jihatdan samarali qilish qiyin. Vodorod va geliy kabi engil gazlar Stirling dvigatelining ishonchli ishlashi uchun sizib chiqmasligi kerak. Bundan tashqari, ushbu tizimlarda energiyani zaxiralash imkoniyati mavjud emas. Shu sababli, likopchali kollektor tizimlarini boshqa energiya manbai bilan gibrid shaklda birlashtirib ishlatish tavsiya etiladi.

Markaziy minorali elektr tizimi. Markaziy minorali elektr tizimlari keng hududga joylashtirilgan yuzlab geliosat (heliostat) oynalardan iborat. Ushbu oynalar quyosh nurlarini markaziy minoradagi kollektor yuzasiga ikki o'qli kuzatuv mexanizmi yordamida jamlaydi. Markaziy minorali tizimning sxematik ko'rinishi 1.4.3-rasmda keltirilgan. Kollektor orqali aylantiriladigan sho'r eritma ushbu kontsentratsiyalangan nurlanish yordamida haroratni oshiradi. Sho'r eritma issiqlikni samarali usulda yutadi va 277 °C haroratda saqlash idishidan minoradagi kollektor tomonga nasos yordamida yuboriladi. Minorada eritma 777 °C gacha qizdiriladi va issiqlik saqlovchi idishda

saqlanadi. Energiya kerak bo'lgan vaqtda, eritma qozonga uzatiladi va yuqori haroratli bug' hosil qilish uchun ishlatiladi.



1.4.3-rasm. Markaziy minorali quvvat tizimi diagrammasi.

Quyosh minorali tizimlarida konsentratsiya darajasi 300 dan 1500 gacha, harorat esa 550 °C dan 1500 °C gacha bo'lishi mumkin. Markaziy minorali quyosh elektr stansiyalarining maksimal elektr quvvati 10 MVt ni tashkil qiladi. Bu konsentratsiyalangan quyosh energiyasi (KQE) texnologiyalari ichida eng samaralisi hisoblanadi.

Geliosat tizimlaridagi ish harorati boshqa tizimlarga nisbatan ancha yuqori bo'lgani sababli, ishonchlik va mustahkamlik eng muhim omillar hisoblanadi. Geliosatlar kompyuter tomonidan boshqariladi va bu minoradagi kollektor doimiy quyosh nurlarini qabul qilishini ta'minlaydi. MQS (minorali quyosh stansiyalari) tizimlari murakkab tuzilma va ilg'or texnologiyani talab qilgani sababli, sarmoya qiymati yuqori bo'ladi.

1.4. Quyosh tizimlarining afzalliklari va kamchiliklari

Bugungi va kelajak texnologiyalarida, qayta tiklanuvchi energiya manbalari (QTEM) fosil yoqilg'ilarni elektr energiyasini ishlab chiqarishda almashtirmoqda. Quyosh energiyasi barcha boshqa energiya manbalariga qaraganda aniq ekologik toza bo'lib, uning ishlatilishi butun dunyo bo'ylab ortib bormoqda. QTEMLar tuganmasdir va ularning ishlatilishi natijasida CO₂ kabi zararli gazlar yoki qattiq chiqindilar chiqmaydi.

Quyidagi QTEMLarning afzalliklari keltirilgan:

- atrof-muhitga chiqariladigan issiqxona gazlari miqdori nolga teng (CO₂, NO_x),
- manbalarni ishlatish davomida atrof-muhitga toksik gazlar chiqarilmaydi

(SO₂, zarrachalar),

- taqir yerlarni foydalanuvchan qilish,
- mavjud elektr tarmoqlaridagi uzatish liniyalari xarajatlarini kamaytirish,
- individual o'rnatish va foydalanishga imkon berish,
- mamlakatlarga milliy energiya mustaqilligini ta'minlash,
- qishloq joylarida foydalanish darajasining tez o'sishi.

Quyosh energiyasidan foydalanish, energiya iste'molining tez o'sayotgan talabini qondirish, global iqlim o'zgarishini oldini olish va issiqxona gazlari chiqindilarini kamaytirish uchun rag'batlantirilmoqda. Xalqaro tartib-qoidalar, ushbu manbalarga oson kirishni ta'minlash maqsadida ishga tushirilmoqda. Mamlakatlar, RESlardan elektr energiyasi ishlab chiqarishni o'zlarining milliy strategik maqsadlariga kiritmoqdalar. Mamlakatlar, shu doirada turli quyosh energiyasi siyosatlarini yaratishga harakat qilmoqdalar. Bundan tashqari, dunyoning turli hududlarida elektr energiyasi ishlab chiqarishda quyosh energiyasidan foydalanish bo'yicha ishlar olib borilmoqda. Fotoelektrik panellari va CSP tizimlarining afzalliklari va kamchiliklari 1.4.1, 1.4.2 va 1.4.3-jadvalda keltirilgan. CSP tizimlari texnologik, iqtisodiy va maydonni ishlatish va ish jarayonining osonligi nuqtai nazaridan tekshirilganda, ushbu tizimlar orasidagi farqlar quyidagicha:

Texnologik jihatdan:

PQK: Ularning samaradorligi past, chunki ular bir o'qli quyosh izlovchi tizim va chiziqli konsentratsiya qiladi. Ushbu tizimlarning quyosh izlovchi birligi arzon va sodda. Ushbu tizimlar past va yuqori quvvatli elektr stansiyalari ilovalari uchun ishlatilishi mumkin. Tizimda ishlatiladigan issiqlik yig'uvchi trubalar va oynalar ishlab chiqarilishi maxsus texnologiyalarni talab qiladi.

ChFK: Ularning samaradorligi past, chunki ular bir o'qli quyosh izlovchi tizim va chiziqli konsentratsiya qiladi. Quyosh izlovchi tizimi arzon va juda oddiy. Bu tizimlar past va yuqori quvvatdagi elektr stansiyalari ilovalarida ishlatilishi mumkin. Maxsus texnologiyalarni talab qiladigan elementlar mavjud emas.

Jadval -1.4.1.

Fotoelektrik panellarning afzalliklari va kamchiliklari

Fotoelektrik panellar	
Afzalliklari	• Fotoelektrik panellar elektr energiyasi ishlab chiqarish jarayonida zararli issiqxona gazlarini chiqarishga sabab

	<p>bo'lmaydi.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Quyosh nuri mavjud bo'lgan istalgan hududda fotoelektrik panellarni o'rnatish mumkin. • Fotoelektrik panellar tarqoq elektr energiyasi ishlab chiqarishga asoslangan aqlli tarmoqlar (smart grid) strukturalari uchun juda mos keladi. • Texnologiyalarning rivojlanishi tufayli fotoelektrik panellar narxi tez sur'atlarda pasaymoqda. • Fotoelektrik panellar yordamida to'g'ridan-to'g'ri elektr energiyasini olish mumkin. • Fotoelektrik panellarning ishlash va texnik xizmat ko'rsatish xarajatlari boshqa qayta tiklanuvchi energiya manbalariga (QTEM) nisbatan deyarli ahamiyatsiz darajada. • Fotoelektrik panellar ishlayotganda hech qanday shovqin chiqarmaydi. Shuning uchun ular shahar joylari va turar-joy hududlari uchun juda qulay. • Fotoelektrik panellarni o'rnatish juda oson va maxsus jihozlar talab qilinmaydi. • Ko'plab mamlakatlarda fotoelektrik panellardan foydalanishni kengaytirish uchun moliyaviy rag'batlantirish tizimlari mavjud. Fotoelektrik panellar uchun taqdim etilayotgan moliyaviy imtiyozlar tufayli ular investitsiyaviy alternativga aylanmoqda.
Kamchiliklari	<ul style="list-style-type: none"> • Barcha qayta tiklanuvchi energiya manbalarida (QTEM) bo'lgani kabi, fotoelektrik panellar orqali ishlab chiqariladigan elektr energiyasi ham tabiiy omillarga bog'liqdir. • Fotoelektrik panellardan olinadigan elektr energiyasi uzluksiz va barqaror emas. Ushbu kamchilikni bartaraf etish uchun energiya saqlash qurilmasi talab etiladi. • Energiyani saqlash tizimini fotoelektrik panellar bilan birga ishlatish umumiy xarajatni oshiradi. • Fotoelektrik panellar o'zgarmas (DC) elektr energiyasini ishlab chiqaradi. Uni elektr tarmoqlarida ishlatish uchun o'zgartirgich (invertor) zarur bo'ladi. • Katta quvvatli fotoelektrik panel tizimlarini o'rnatish uchun katta yer maydoni kerak bo'ladi. • Bugungi texnologiyalar sharoitida fotoelektrik panellarning samaradorlik darajasi nisbatan past (14 %–25 % oralig'ida). • Tizim samaradorligini pasaytirmaslik uchun fotoelektrik panellar yuzasi davriy ravishda tozalanishi kerak.

O'zgarmas tok (DC): Quyoshni kuzatish tizimi ikki o'qli. Fokushlash

blokida maxsus motor (Stirling yoki Brayton dvigateli va boshqalar) kerak bo'lishi mumkin. Bu maxsus muhandislikni talab qiladi.

Quyosh termal stasiyasi (QTS): Samaradorligi yuqori, chunki ular ikki o'qli quyoshni kuzatish va nuqtaga konsentrlashni amalga oshiradi. Quyoshni kuzatish tizimlari qimmat va murakkab. Past quvvat va kichik o'lchamdagi tizimlar ishlab chiqarib bo'lmaydi. Geliostatlarni ko'tarib turadigan qo'llab-quvvatlash tuzilmasi katta va ulkan.

Iqtisodiy jihatdan:

PQK: Issiqlik yig'uvchi quvurlar va oynalarning maxsus texnologiyalari tufayli xarajatlar yuqori. Ular o'rtacha-yuqori haroratlarda issiqlik ishlab chiqarish yoki elektr energiyasi ishlab chiqarish uchun ishlatilishi mumkin.

Jadval - 1.4.2

PQK va ChFK texnologiyalarining afzalliklari va kamchiliklari

	Chiziqli konsentratorlar	
	Parabolik chiziqli kollektor	Chiziqli Frenel kollektor
Afzalliklari	<ul style="list-style-type: none"> Ishlash harorati 600 °C gacha Yiliga o'rtacha 14 % sof elektr energiyasi ishlab chiqarish samaradorligi Mos investitsiya va ekspluatatsiya (ishlatish) xarajatlari Modulli tuzilma (oson kengaytiriladi yoki qismlarga ajratiladi) Yer maydonidan samarali foydalanish koeffitsienti Minimal material talabi Gibrid tizim (masalan, boshqa energiya manbalari bilan birga ishlashi) qo'llanishi mumkin Issiqlikni saqlab qolish (termal akkumulyatsiya) imkoniyati 	<ul style="list-style-type: none"> Oson o'rnatish (montaj qilish juda qulay) Boshqa quyosh tizimlariga nisbatan pastroq o'rnatish xarajatlari Yassi aks ettiruvchi oynalar yetarli bo'ladi (murakkab parabolik tuzilmalar talab qilinmaydi) Past ishlab chiqarish xarajatlari Gibrid ishlov berish (boshqa manbalar bilan birga ishlash) mumkin Yer maydoniga nisbatan 1,5–3 baravar ko'proq energiya ishlab chiqaradi Eng yer maydonidan samarali foydalanadigan quyosh texnologiyasi
Kamchiliklari	Issiqlik aylanishi (tsikli) davomida moy asosidagi issiqlik uzatuvchi vosita ishlatiladi. Bu esa moy asosidagi tizimlarda ish haroratini	Past ish harorati tufayli tizimning umumiy samaradorligi past bo'ladi Faqat kichik quvvatli elektr

	400 °C bilan cheklaydi. Natijada hosil bo'ladigan bug' sifati o'rtacha darajada bo'ladi.	stansiyalarida qo'llanilishi mumkin
--	--	-------------------------------------

Jadva - 1 .4.3

O'zgarmas konsentrator (DC) va Quyosh minorasi tizimining afzalliklari va kamchiliklari

	Nuqtaviy konsentratorlar	
	Likop shaklidagi konsentrator	Minoral qiyosh stansiyalari
Afzalliklari	<ul style="list-style-type: none"> Boshqa quyosh tizimlariga nisbatan maydon talabining kamligi Yuqori ish harorati Yuqori termodinamik samaradorlik Ikki o'qli quyosh trakker tizimi tufayli quyosh nurini yuqori darajada yig'ish 	<ul style="list-style-type: none"> Tizim darajasida yuqori aylantirish samaradorligi Ishlash harorati imko-niyati 1000 °Cdan yuqori Yuqori haroratlarda issiqlikni saqlash imkoniyati Gibrid konseptni qo'llash mumkin Quruq sovutish tizimlari uchun mos Qiyin sharoitlarda ishlatishga qulay
Kamchiliklari	<ul style="list-style-type: none"> Issiqlikni saqlash qobiliyatining pastligi Yuqori muhandislik talablariga ega O'rnatish xarajatlari yuqori 	<ul style="list-style-type: none"> Mana o'zbek tilidagi mukammal tarjimasi: Katta yer maydoni talab qilinadi Boshqa quyosh tizimlariga nisbatan o'rnatish xarajatlari yuqori Murakkab boshqaruv mexanizmi mavjud

ChFK: Maxsus texnologiyani talab qiladigan alohida qismlar yo'q. Uning oddiy tuzilishi tufayli birlik narxi barcha tizimlar orasida eng pastdir. U o'rtacha-yuqori haroratlarda issiqlik ishlab chiqarish yoki elektr energiyasi ishlab chiqarish uchun ishlatilishi mumkin.

DC: Xarajatlar yuqori, chunki issiqlik yig'ish blokida maxsus motorlar ishlatiladi. Ushbu tizimlar issiqlik almashinuvchisi sifatida yengil gazlardan foydalanadi, shuning uchun maxsus o'rnatish infratuzilmasi talab etiladi.

MQS: Quyosh nurlari yig'ish uchun ishlatiladigan minoralar va geliostatlarining katta tuzilmasi tufayli tizim qimmat. U elektr energiyasini ishlab chiqarish uchun mos keladi.

Maydonni foydalanish va ishni osonlashtirish jihatidan

PQK: Oynalar bir-birini soyaga solmasligi uchun oynalar orasida ma'lum miqdordagi joy qoldirilishi kerak. Faol oynalar maydonidan kamida uch barobar ko'p joy kerak. Tizimning ikki eng muhim elementi issiqlik yig'uvchi quvurlar va maxsus texnologiyalar bilan ishlov berilgan oynalardir. Nosozlik yuzaga kelganda, asl zaxira qismlari va ba'zan tashqi ishchi kuchi talab qilinishi mumkin. Oynalarni yoki aks ettiruvchi yuzalarni tozalash tizim samaradorligi uchun muhimdir. Bundan tashqari, issiqlik yig'uvchi quvurlarda vakuum ta'minlanishi kerak.

ChFK: Faol oynalar maydonidan 1,1-1,2 barobar ko'p joy kerak. Barcha tizim mahalliy materiallar va ishchi kuchi bilan ishlab chiqarilishi mumkin. Oddiy tuzilishi tufayli barcha texnik xizmat va ta'mirlarni standart xizmat ko'rsatuvchi guruh amalga oshirishi mumkin.

DC: Oynalar uchun katta maydon talab qilinmaydi. Tizimda issiqlik almashinuvchisi sifatida ishlatiladigan gazning oqib ketishini oldini olish uchun uning ta'miri tez-tez amalga oshirilishi kerak. Maxsus motor tufayli tashqi ishchi kuchi va materiallar talab qilinishi mumkin.

MQS: Faol oynalar maydonidan taxminan 10 barobar ko'p joy kerak. Mahalliy materiallar va ishchi kuchining katta qismini ishlatish mumkin. Shuning uchun uni ishlatish va ta'mirlash nisbatan oson.

NAZORAT SAVOLLARI:

1. Quyosh energiyasi qanday hosil bo'ladi? 2. Shamol va okean to'lqinlari qanday yuzaga keladi? 3. Quyosh energiyasini to'g'ridan to'g'ri yig'ish usulida qanday texnologiyalardan foydalaniladi? 4. Quyosh nurlarini to'g'ridan to'g'ri elektr energiyasiga aylantirish uchun qanday diodlardan foydalaniladi? 5. Quyosh nurlarining taqsimoti haqida tushuncha bering. 6. Quyosh panellarini ishlab chiqarishda qanday materiallardan foydalaniladi? 7. Quyosh panellarini ishlab chiqarishda eng ko'p foydalaniladigan yarim o'tkazgichli elementlar qaysilar? 8. Fotoelektrik stansiya qanday ketma-ketlikda ishlaydi? 9. Fotoelektrik panellar ketma-ket va parallel ulanganda VAX (volt amper xarakteristikasi) qanday bo'ladi? 10. Markaziy minorali quvvat tizimining ishlash jarayoni qanday? 11. PQK va ChFK texnologiyalarining afzalliklari va kamchiliklari ayting. 12. Fotoelektrik panellarning afzalliklari va kamchiliklari qanday?. 13. O'zgarmas konsentrator (DC) va Quyosh minorasi tizimining afzalliklari va kamchiliklari qanday?

II-BOB

QAYTA TIKLANUVCHI ENERGIYA MANBALARINING KAMCHILIKLARINI BARTARAF ETISH

2.1. Qayta tiklanuvchi energiya manbalarining kamchiliklari

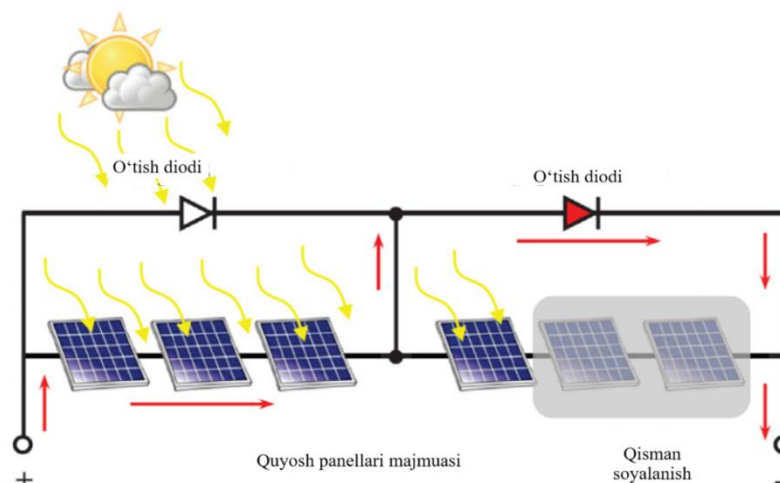
Qayta tiklanuvchi energiya manbalari (QTEM) tabiatdan olingan bo'lsa-da, ular tomonidan ishlab chiqarilgan energiya ba'zi jarayonlarda uzilib qolishi mumkin. QTEM tabiiy hodisalar, masalan, quyosh, shamol, to'liq va oqimlardan ta'sirlanadi. Shamol energiyasi faqat shamol esgan paytlarda energiya ishlab chiqarishi mumkin. Xuddi shu tarzda, dengizdagi energiya manbalari faqat to'liqlar, oqimlar va oqimlar mavjud bo'lganda energiya beradi. Quyosh energiyasi tizimlari esa energiyani soatlik, kunlik va mavsumiy sharoitlarga qarab ishlab chiqaradi.

Fotoelektrik panellarda soya ta'siri paydo bo'ladi, agar fotoelektrik massivasi yoki uning bir qismi to'liq yoritilmagan bo'lsa. fotoelektrik panellari qisman soyada bo'lganida, fotoelektrik paneli energiya ishlab chiqarish o'rniga tizimda yuk kabi ishlaydi. Agar bu teskari yo'nalish soyada bo'lgan fotoelektrik panelining pasayish kuchlanishidan oshsa, u ochiq sxema sifatida ishlay boshlashi va butun fotoelektrik modulini zarar ko'rsatishi mumkin. Fotoelektrik panelining qisman soyaga ta'sirini kamaytirish uchun fotoelektrik panel ishlab chiqaruvchilar modullarga o'tkazish diodlarini qo'shadilar. Biroq, fotoelektrik panelidagi diodlar soni modul ichidagi ketma-ket ulanishda bo'lgan panellarning sonidan kamroq bo'ladi. Natijada, fotoelektrik panelining ochiq sxema holati kamayadi. Umumiy quvvat chiqishi kamayadi, chunki fotoelektrik paneli barqaror bo'lmaydi.

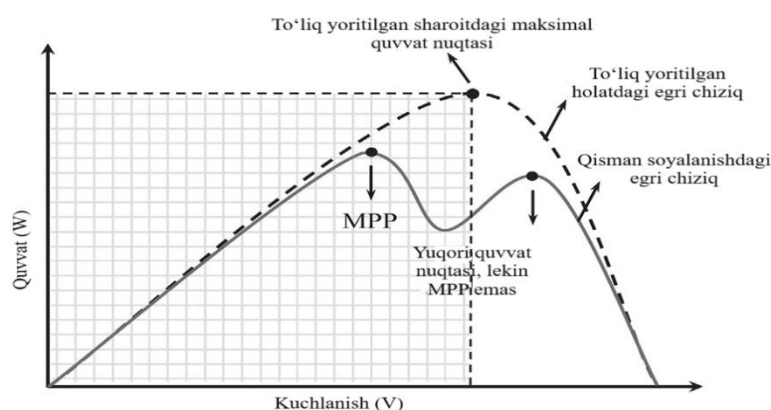
Qisman soya holatida ikki qator fotoelektrik panellari 2.1.1-rasmda ko'rsatilgan. Birinchi qatordagi fotoelektrik massivlarida parallel ulanish bilan o'tkazish diodi mavjud. Bu fotoelektrik panellarda qisman soya ta'siri yo'q. Ikkinchi qatordagi fotoelektrik massivlari qisman soyada. Ushbu ketma-ketlikdagi fotoelektrik panellaridan ishlab chiqarilgan quvvat pastroq bo'ladi.

Fotoelektrik modulining to'liq yoritish va qisman soya holatidagi V–P egri chizig'i 2.1.2-rasmda ko'rsatilgan. Fotoelektrik panellarining qisman soyada bo'lishi holatida ikkita turli quvvat nuqtasi paydo bo'ladi. Bu nuqtalardan biri haqiqiy maksimal quvvat nuqtasi (MQN), boshqasi esa faqat cho'qqi quvvat nuqtasidir. Cho'qqi quvvat nuqtasi fotoelektrik modullarida

o'tkazish diodiga bog'liqdir . MQN algoritmlari bunday hollarda haqiqiy MQN ni topish uchun to'g'ri ishlashi kerak.



2.1.1-rasm. Quyosh panellari qisman soyalanishi holatida fotoelektrik majmuasida quvvat oqimlari.

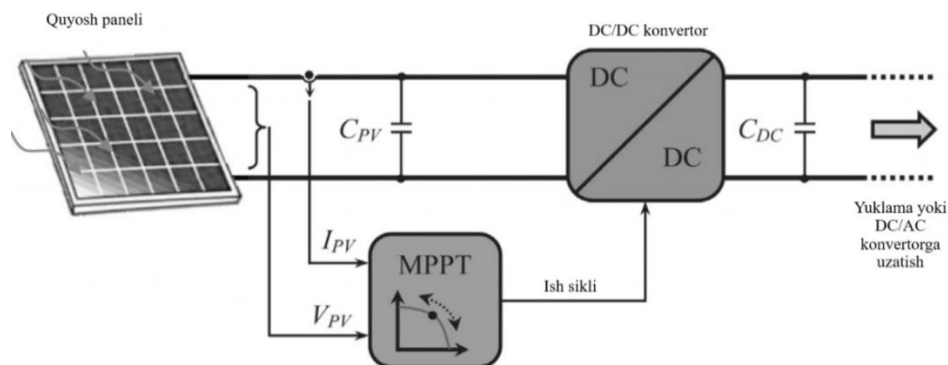


2.1.2-rasm. Qisman soyalanish sharoitida fotoelektrik massivlarning maksimal quvvat nuqtasi (MQN)dagi o'zgarishlar.

Fotoelektrik quvvat ishlab chiqarish tizimlarida samaradorlik va past yoritilish holatlari bilan bog'liq ikki asosiy muammo mavjud. Ushbu quvvat aylantirish tizimlarining samaradorligi juda past (9 %–17 %) hisoblanadi. Ayniqsa, past yoritilish sharoitida quyosh panellarining ishlab chiqaradigan elektr energiyasi ob-havo sharoitiga qarab doimiy o'zgarib turadi. Bundan tashqari, quyosh panellarining elektr xususiyatlari harorat va nurlanish darajasining o'zgarishi bilan nolinyar egri chiziq hosil qiladi. Ushbu egri chiziqda doimiy harakatlanib turadigan cho'qqi nuqta tok-kuchlanish ($I-V$) yoki kuchlanish-quvvat ($V-P$) grafigida ko'rinadi va u maksimal kuchlanish-quvvat yoki maksimal quvvat nuqtasi (MQN) deb ataladi.

Maksimal quvvat nuqtasi (MQN)ni kuzatish boshqaruv texnikasi fotoelektrik panellardan samarali foydalanishni ta'minlaydigan usuldir. Bu

usul quyosh panelining eng yuqori quvvat nuqtasini aniqlovchi boshqaruv tuzilmasidir. Bu quvvat nuqtasi nurlanish, harorat, fotoelektrik panel qiyaligi va panelning eskirishi kabi oʻzgaruvchilar bilan farqlanadi. Butun fotoelektrik tizimi (massivlar, oʻzgartirgichlar va boshqalar) ushbu nuqtada ishlaganda maksimal samaradorlikka erishadi va paneldan eng katta quvvat olinadi.



2.1.3-rasm. Quyosh panelida MQN kuzatish (maksimal quvvat nuqtasini kuzatish) texnikasini qoʻllash.

MQN faqat hisoblash modellari yoki izlash algoritmlari yordamida aniqlanishi mumkin. Ushbu jarayonni bajarish uchun boshqaruv mexanizmi fotoelektrik panel oʻzgaruvchilarini tanlangan boshqaruv texnikasiga asosan baholaydi va oʻzgartirgichning yoʻnaltiruvchi qiymatini quvvat nuqtasiga erishish uchun moslashtiradi. Tizimdagi fotoelektrik panel bilan bogʻlangan kirish birliklari qancha koʻp boʻlsa, boshqaruv tizimi MQN ga shuncha yaqin va barqaror boʻladi. Biroq, juda koʻp kirish birliklari algoritmdagi hisoblashlar sonini oshirib yuboradi va javob vaqtining kechikishiga olib kelishi mumkin. Natijada, ob-havo tez oʻzgaradigan sharoitlarda MQN ni aniqlash kechikadi, bu esa tizim uchun salbiy holat hisoblanadi. Shu sababli, minimal kirish birliklari bilan ishlovchi algoritmnı haddan tashqari yuklamasdan, tez javob va yuqori samaradorlikni taʼminlay oladigan texnikani qoʻllash xarajat va soddalik nuqtai nazaridan muhim ahamiyatga ega. Fotoelektrik panelning tizimda qoʻllanilishi va MQNni kuzatish usulining topologiyasi 2.1.3-rasmda tasvirlangan.

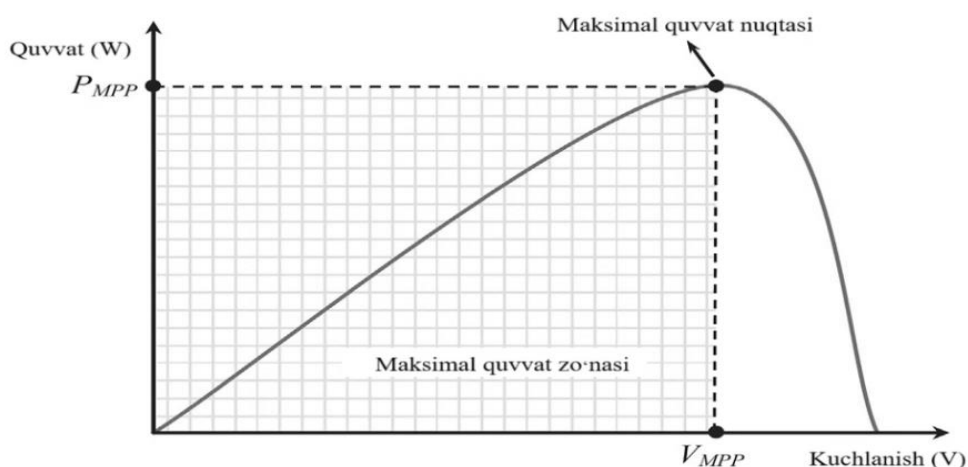
2.2. Quyosh tizimlarida maksimal quvvat nuqtasini kuzatish usullari

Maksimal quvvat nuqtasini kuzatish va ishlash prinsipi.

Maʼlum bir yoritilish sharoitida quyosh elementining elektr xarakteristikasi bilan tanishib chiqamiz (2.2.1-rasm). Egri chiziqning chap tomonida quyosh elementining ichki qarshiligi yuqori, oʻng tomonida esa past

bo'ladi. Maksimal quvvat nuqtasi (MQN) aynan ushbu egri chiziqning eng yuqori cho'qqisida joylashgan. Maksimal quvvat uzatish nazariyasiga ko'ra, manba va yuk impedanslari teng bo'lganda maksimal quvvat yukka uzatiladi. O'chirish-qayta ulash konvertori impedansining, quyosh paneli impedansiga teng bo'lishi MQN sharoitida ishlashni ta'minlaydi.

Ko'plab an'anaviy DC/DC konvertor sxemalarida tabiiy tarzda manfiy impedans xususiyati mavjud bo'ladi. Bu holat elektr manbasining doimiy kirish quvvati xarakteristikasi va sozlanadigan chiqish kuchlanishi bilan bog'liq. Agar tizim quyosh moduli xarakteristikasi egri chizig'ining yuqori impedans (past kuchlanish) tomonida ishlasa, fotoelektrik panel kuchlanishi



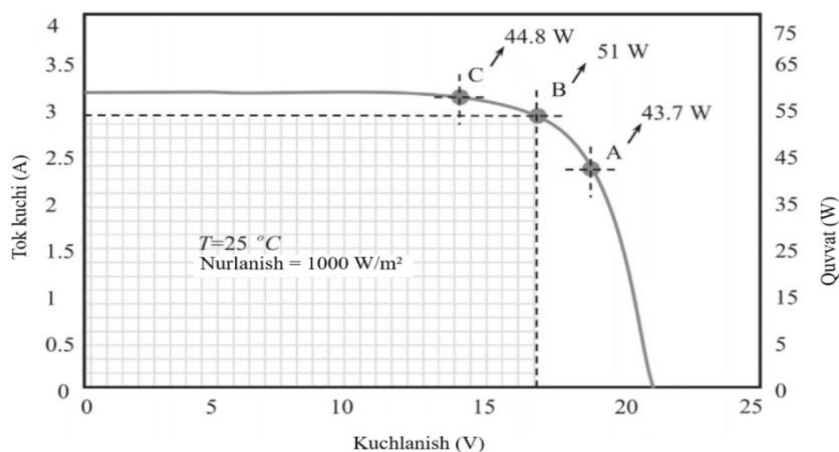
2.2.1-rasm. Ma'lum bir yoritilish sharoiti uchun quyosh panelining elektr xarakteristikasi.

kamayadi. Shu sababli, **maksimal quvvat nuqtasini kuzatish** holatida quyosh paneli xarakteristikaning o'ng hududida ishlashi kerak. Aks holda, quyosh nurlanish sharoitiga qarab fotoelektrik panel kuchlanishi o'zgaradi va fotoelektrik panel maksimal ish rejimida ishlaydi. Natijada, tizim MQN kuzatish nuqtasiga yetolmaydi va noto'g'ri ish nuqtasida ishlaydi.

Quyosh panellaridan manba sifatida foydalaniladigan elektr tizimlarida, fotoelektrik panellar tuzilmasiga bog'liq holda chiqish kuchlanishida nohiziqli o'zgarishlar yuz beradi. Fotoelektrik panel chiqish kuchlanishi o'zgarishi 2.2.2-rasmda ko'rsatilgan.

Fotoelektrik panellarning chiziqli chiqish kuchlanishi tok miqdoriga, panellarga tushgan quyosh nurlanishining intensivligi, atrof-muhit haroratiga bog'liq holda farqlanadi. Tijoratda qo'llaniladigan fotoelektrik panellarning chiqish quvvati odatda bir kvadrat metrga 1000 W nurlanish intensivligiga ega bo'lgan muhitda fotoelektrik panel hosil qila oladigan elektr energiyasi sifatida belgilanadi. Ushbu holatda, bu chiqish quvvati fotoelektrik panel yetkazib bera

oladigan maksimal quvvat deb hisoblanadi. Quyosh nuri intensivligi kamayganda, fotoelektrik panel dan olinadigan tok miqdori ham kamayadi — bu holat 2.2.2-rasmdagi egri chiziqlarda ko'rsatilgan. Rasmdagi grafikdan 1000 W/m^2 nurlanish muhitida fotoelektrik panel toki 2.3 A , kuchlanishi esa 19 V bo'lganligini (A nuqta) ko'rishimiz mumkin.



2.2.2-rasm. Quyosh panelining tok–kuchlanish (I–V) va quvvat–kuchlanish (P–V) xarakteristikasi egri chiziqlari.

Bu holatda A nuqtasida hosil bo'lgan quvvat 43.7 W ni tashkil qiladi. Xuddi shu nurlanishda fotoelektrik panel dan 3 A tok tortilganda, egri chiziq chiqish kuchlanishining 17 V ga tushishini ko'rsatadi (B nuqta). Yangi tok-kuchlanish qiymatlariga ko'ra hosil bo'lgan quvvat 51 W bo'ladi. Xuddi shu holatda, C nuqtada 3 A tok olinadi va chiqish kuchlanishi 14 V bo'ladi. C nuqtasida hosil bo'lgan quvvat 44.8 W ni tashkil etadi.

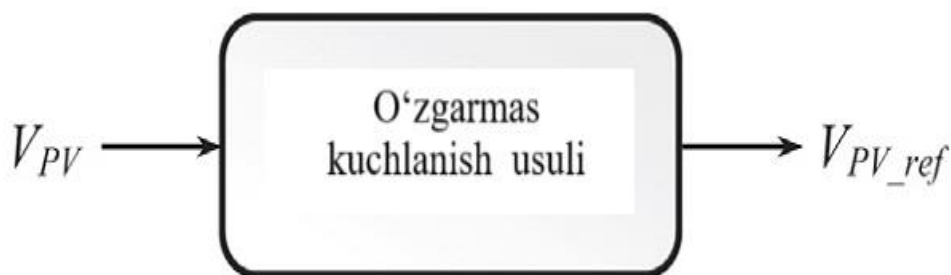
Ushbu qiymatlar natijasida yuklama bosqichma-bosqich ortib borgani holda ham, fotoelektrik panelidan olinadigan quvvat miqdori chiziqli bo'lmagan tarzda o'zgaradi. Ma'lum bir nuqttagacha ishlab chiqarilayotgan quvvat yuklamaga bog'liq holda ortadi, ammo ushbu nuqtadan keyin quvvat kamayadi. Agar bu holat nazorat qilinmasa, tizim past samaradorlikda ishlaydi. MQNK tizimlari har doim chiqish quvvatini maksimal darajada ushlab turishga harakat qiladi. MQNni kuzatish sxemalari oddiy tok cheklagichdan ancha murakkab bo'lgan konstruktiv infratuzilmaga ega.

Har xil harorat va yoritilish sharoitlarida fotoelektrik panelining MQN doimiy ravishda o'zgarib turadi, shuning uchun tizim ish nuqtasida maksimal quvvat ishlab chiqarishi uchun fotoelektrik tizimi moslashtirilishi kerak. Shu sababli, fotoelektrik panellarni MQNda ishlatish imkonini beruvchi MQNni kuzatish texnikalari qo'llaniladi. Fotoelektrik panellarining MQNsini aniqlash uchun ko'plab MQN kuzatish usullari mavjud. Eng ko'p qo'llaniladigan

usullar quyidagilardan iborat: o'zgarmas kuchlanish usuli, doimiy tok usuli, qisqa tutashuv toki impulsi usuli, ochiq kuchlanish usuli, "buzish va kuzatish" (perturb and observe) usuli, ekspremental o'tkazuvchanlik usuli va haroratga asoslangan usul.

O'zgarmas kuchlanish usuli. O'zgarmas kuchlanish algoritmi MQNni kuzatish nazorati uchun oddiy usullardan biridir. Ushbu algoritm fotoelektrik panelining kuchlanishini doimiy V_{ref} ma'lumot kuchlanishiga tenglashtirish orqali panelni MQNga yaqin tutishga harakat qiladi. V_{ref} qiymati fotoelektrik panel ining xarakterli V_{MQN} kuchlanishidir. Ushbu usul faqat fotoelektrik panelining harorat o'zgarishlari ahamiyatsiz deb hisoblaydi va o'zgarmas kuchlanish orqali haqiqiy MQN nuqtasini taxminan aniqlash mumkin, deb faraz qiladi. Shu sababli bu usul to'liq MQN nuqtasida ishlash imkonini bermaydi va har xil geografik hududlar uchun alohida ma'lumotlar to'plash zarur bo'ladi.

O'zgarmas kuchlanish usulida quyosh panelining kuchlanishini o'lchash, ish davrini (duty cycle) aniqlash va 2.2.3-rasmda keltirilgan blok-sxemadagi algoritmnı bajarish uchun zarur.



2.2.3-rasm. O'zgarmas kuchlanish usuli blok sxemasi.

Kam yoritilish sharoitlarida bu usul "buzish va kuzatish" usuli yoki doimiy o'tkazuvchanlik usuliga nisbatan samaraliroq ekani kuzatilgan.

O'zgarmas kuchlanish usuli oddiy, arzon va murakkab sxemalarni talab qilmaydigan qulay metod hisoblanadi.

Biroq fotoelektrik modulidan V_{PV} kuchlanish ma'lumotini olish uchun yuklamani ajratib qo'yish zaruriyati mavjud bo'lib, bu yuklamalar uchun muammo tug'diradi. Quyosh energiyasidan foydalanilmasligi, ya'ni o'lchov vaqtida ishlab chiqarishning to'xtab qolishi va haqiqiy MQNni kuzatish jarayonini barqaror davom ettirib bo'lmasligi salbiy jihatlar sirasiga kiradi.

Qisqa tutashuv toki impulsi usuli. Qisqa tutashuvdagi tok impulsi usuli maksimal quvvat nuqtasida (MQN) ishlashni boshqariladigan tok o'zgartirgichi orqali ta'minlab, unga I_m ishchi tokini uzatish orqali amalga

oshiriladi. Aslida, maksimal chiqish quvvatiga erishish uchun optimal ishchi tok I_m , quyosh nurlanish darajasi S va qisqa tutashuv toki I_{ph} bilan 2.2.1-tenglama orqali proporsional bog‘liq:

$$I_m(S) = k \cdot I_{ph}(S) \quad (2.2.1)$$

Bu yerda k — proporsionallik doimiysi bo‘lib, I_{ph} aniqlangach, I_m ni zudlik bilan hisoblash mumkin. Harorat 0°C dan 60°C gacha o‘zgarishiga qaramasdan, I_m va I_{ph} o‘rtasidagi bu bog‘liqlik doimiy proporsional bo‘lib qoladi. Bu k koeffitsiyenti odatda 92 % deb baholanadi.

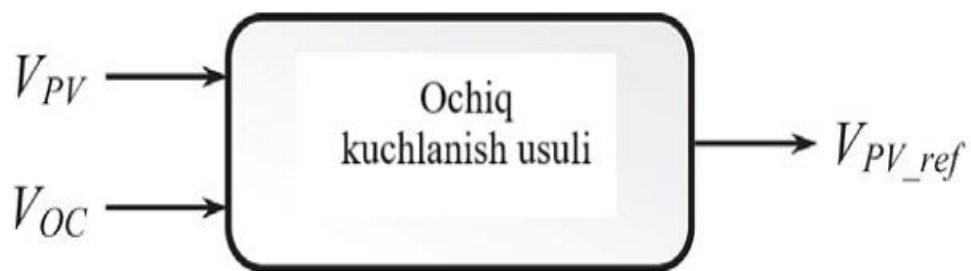
Shuning uchun, ushbu boshqaruv algoritmi I_{ph} qiymatini o‘lchashni talab qiladi. Bu o‘lchovni amalga oshirish uchun fotoelektrik panelga parallel tarzda statik kalit ulanib, qisqa tutashuv holatida tok hosil qilinadi. fotoelektrik panel qisqa tutashuvga o‘tkazilganda hech qanday quvvat olinmaydi va ishlab chiqarish to‘xtaydi. Qisqa tok impulsi algoritmidagi V_{PV} va I_{ph} ma’lumotlari 2.2.4-rasmda keltirilgan blok-sxema asosida qayta ishlanadi. Garchi qisqa tok impulsi usuli oddiy va murakkab sxemalarni talab qilmasa ham, qisqa tutashuv tokini o‘lchash vaqtida energiya yo‘qotiladi. Bundan tashqari, k doimiysining aniqlanishi va fotoelektrik panel yuzasida iflinishlar



2.2.4-rasm. Qisqa tok impulsi usulining blok-sxemasi

bo‘lishi natijasida bu qiymatda og‘ishlar yuzaga kelishi mumkin. Bu esa usulning salbiy tomonlaridandir.

Ochiq kuchlanish usuli. Ochiq kuchlanish usuli maksimal quvvat nuqtasidagi (MQN) kuchlanish har doim ochiq konturdagi kuchlanishning muayyan foiziga yaqin bo‘lishiga asoslanadi. Harorat va quyosh nurlanishi darajasining o‘zgarishi MQN pozitsiyasini taxminan 2 % aniqlik oralig‘ida o‘zgartiradi. Odatda, ushbu usul fotoelektrik panelning ochiq kontur kuchlanishining 76 % qismini optimal ishchi kuchlanish sifatida qabul qiladi va shu orqali maksimal quvvat olish mumkin bo‘ladi.



2.2.5-rasm. Ochiq kuchlanish usulining blok-sxemasi

Bu boshqaruv algoritmda 2.2.5-rasmda keltirilgan blok-sxemada ko‘rsatilganidek, ochiq kontur kuchlanishi V_{oc} ni o‘lchash zarur. Bu usulda fotoelektrik panel bilan birga statik kalit ishlatiladi va bu kalit fotoelektrik panel ga ketma-ket ulanib, ochiq zanjir holatini ta’minlashi kerak. $I_{pv} = 0$ bo‘lgan holatda fotoelektrik tizimi tomonidan hech qanday quvvat ishlab chiqarilmaydi, natijada umumiy energiya ishlab chiqarish kamayadi.

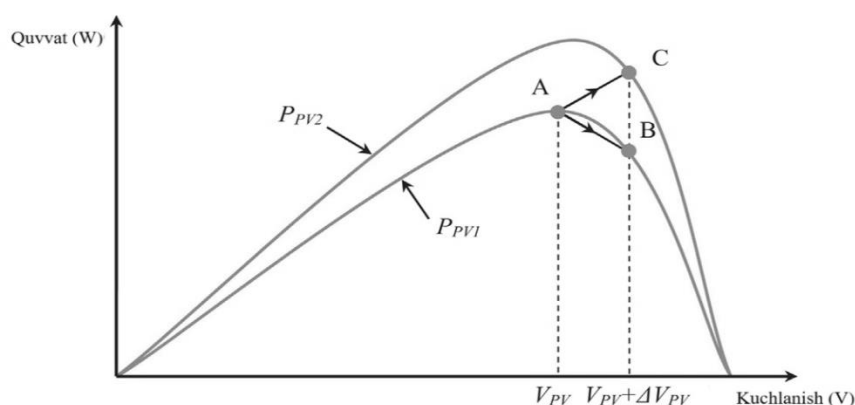
Buzish va kuzatish usuli. Buzish va kuzatish (perturb and observe method, P&O)) usuli eng ko‘p qo‘llaniladigan usullardan biridir. Ushbu usul fotoelektrik panel kuchlanishi yoki tokini ma’lum oraliqlarda oshirib yoki kamaytirib o‘zgartiradi va fotoelektrik chiqish quvvatini avvalgi quvvat qiymati bilan solishtirish orqali ishlaydi. Agar fotoelektrik panelning ish kuchlanishi o‘zgarganda quvvat oshsa, boshqaruv tizimi ish nuqtasini shu yo‘nalishda o‘zgartiradi aks holda, ish nuqtasi qarama-qarshi yo‘nalishga siljiriladi. Keyingi aylanishda algoritm shu tarzda davom etadi.

P&O usulida fotoelektrik chiqish quvvati doimiy nazorat qilinadi va boshqaruv o‘zgaruvchisi harakati bilan quvvat harakati o‘rtasidagi bog‘liqlik aniqlanib, mos ravishda maqsadli kuchlanma (yoki boshqa parametr) o‘zgartiriladi. Bu usulning zaif tomonlari ob-havodagi tez o‘zgarishlarga sekin javob berishi hamda to‘satdan yuzaga keladigan o‘zgarishlarda noto‘g‘ri yo‘nalishda harakatlanish ehtimolidir. Tizim MQN ga yetganda ham bu yerda to‘xtab qolmaydi, balki atrofida doimiy tebranib turadi, bu esa tizimda ma’lum darajada quvvat yo‘qotilishiga olib keladi.

MQN ning chap tomonida quvvat kamayganda fotoelektrik panel kuchlanishi ham kamayadi (2.2.6-rasmga qarang). O‘ng tomonda esa kuchlanma ortgan sari quvvat kamayadi. Shunday qilib, agar quvvat oshsa, navbatdagi buzish (perturbatsiya) shu yo‘nalishda davom ettiriladi, aksincha bo‘lsa — teskari yo‘nalishga o‘tkaziladi. Bu algoritm kuchlanma-quvvat yoki

tok-quvvat o'zgarishiga asoslanib ham bajarilishi mumkin. Taqqoslash natijasida keyingi impuls kengligi aniqlanadi.

Buzish va kuzatish usuli tez o'zgaruvchan ob-havo sharoitida xato ishlashi mumkin (2.2.6-rasm). Masalan, boshlang'ich A nuqtasida ob-havo o'zgarmas bo'lsa, kuchlanmaning ΔV o'zgarishi tizimni B nuqtasiga olib boradi, keyingi o'zgarish quvvat kamayganligi sababli teskari bo'ladi. Ammo agar quyosh nurlanishi ortsa, quvvat egri chizig'i P_{pv1} dan P_{pv2} ga siljiydi va tizim A dan C nuqtasiga ko'chadi. Bu esa quvvat ortishiga olib keladi va perturbatsiya yo'nalishi o'zgartirilmaydi. Shunday qilib, ish nuqtasi haqiqiy MQN dan uzoqlashadi. Quyosh nurlanishi doimiy ortib boraversa, ish nuqtasi MQN dan uzoqlashgan holda qoladi. Buni oldini olish uchun real quvvat qiymati avvalgi ikki nuqta bilan taqqoslanib, to'g'ri qaror qabul qilinadi.



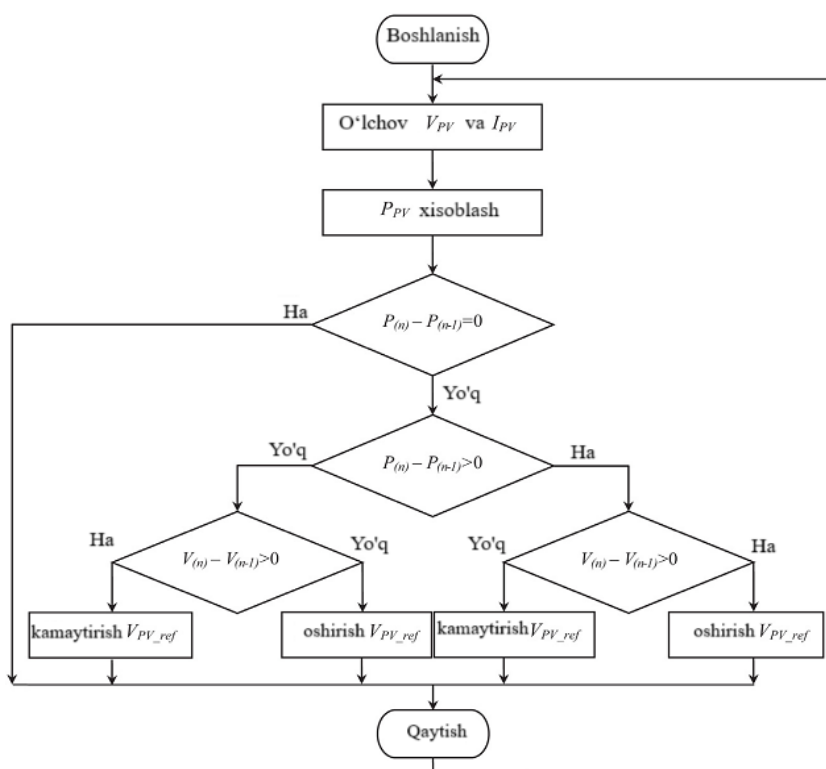
2.2.6-rasm. Tashvishlantirish va kuzatish usulida maksimal quvvat nuqtalarining o'zgarishi.

Buzish va kuzatish algoritmda avval sensorlar orqali kuchlanma va tok qiymatlari o'qiladi, so'ngra fotoelektrik panelning quvvati hisoblanadi (2.2.7-rasm). Bu quvvat qiymati oldingi qiymat bilan taqqoslanadi. Agar quvvat ortgan yoki kamaygan bo'lsa, fotoelektrik panel kuchlanmasi ham oldingi qiymat bilan solishtiriladi. Agar quvvat kamayib, kuchlanma ortgan bo'lsa, demak MQN o'ng tomonda va mos ravishda kuchlanma kamaytiriladi. Aksincha, quvvat va kuchlanma ikkalasi ham kamaygan bo'lsa, demak MQN chap tomonda va kuchlanma orttiriladi. Bu jarayon MQN ga yetguncha davom etadi, so'ngra algoritmda MQN atrofida ishlashda davom etadi.

Agar bu kuzatuv bosqichi juda katta bo'lsa, tizim MQN dan uzoq nuqtalarda tebranadi va umumiy energiya chiqishi kamayadi. Ammo juda kichik bosqichlar tizimni sekinlashtiradi va kechikishga olib keladi. Shuning uchun, MQN ga kichik perturbatsiyalar bilan yaqinlashish tavsiya etiladi. Quvvatni hisoblash uchun fotoelektrik panelning kuchlanmasi va toki

o'lanishi lozim, bu esa 2.2.8-rasmda berilgan blok diagrammada ko'rsatilgan.

Inkremental (qo'shimcha) o'tkazuvchanlik usuli. Ushbu inkremental (qo'shimcha) o'tkazuvchanlik algoritmi fotoelektrik panelning o'tkazuvchanligiga asoslanib MQN (maksimal quvvat nuqtasini) topish mantiqiga asoslangan. Ushbu usul atmosfera sharoitlaridagi o'zgarishlarni tez aniqlash uchun taklif qilingan. Qo'shimcha o'tkazuvchanlik algoritmi fotoelektrik panelning qo'shimcha (bosqichma-bosqich) va zamonaviy (hozirgi) o'tkazuvchanligini solishtirish orqali MQN ni kuzatish tamoyiliga asoslanadi. Fotoelektrik panel tomonidan ishlab chiqarilgan tok va kuchlanish qiymatlaridagi namuna o'zgarishlari o'tkazuvchanlikni bosqichma-bosqich oshirishi mumkin.



2.2.8-rasmda. Quvvatni hisoblash uchun fotoelektrik panelning kuchlanmasi va toki o'lchash uchun tuzilgan blok diagramma.

Ushbu usul (2.2.2) tenglamaga asoslanadi. Maqsad — fotoelektrik panel kuchlanishiga bog'liq ravishda quvvatdagi o'zgarishni aniqlash va natijani nolga tenglashtirishdir. Fotoelektrik panelning dP_{PV}/dV_{PV} o'zgarishini ko'rsatadigan V–P xarakteristikasi egri chizig'i 2.2.9-rasmda keltirilgan.

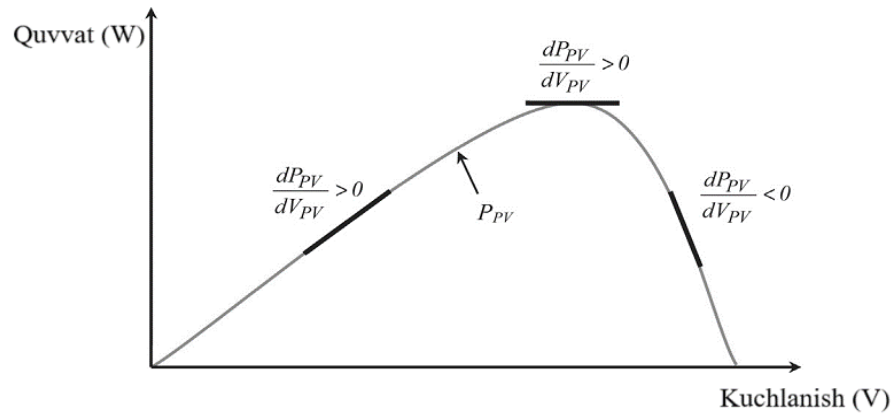
$$\frac{dP_{PV}}{dV_{PV}} = I_{PV} \frac{dV_{PV}}{dV_{PV}} + V_{PV} \frac{dI_{PV}}{dV_{PV}} = I_{PV} + V_{PV} \frac{dI_{PV}}{dV_{PV}} = 0 \quad (2.2.2)$$

$$-\frac{I_{PV}}{V_{PV}} = \frac{dI_{PV}}{dV_{PV}} \quad (2.2.3)$$

Tenlamaning (2.2.3 tenglamaga qarang) chap tomoni inkremental o'tkazuvchanlikning kontrastini ifodalaydi. Tenlamaning (2.2.3 tenglamaga qarang) o'ng tomoni esa bosqichma-bosqich ortib boruvchi inkremental o'tkazuvchanlikni ko'rsatadi va quyidagi ko'rinishda yozilishi mumkin:



2.2.9-rasm. Tashqi ta'sir va kuzatish (Perturb and Observe) usulining blok diagrammasi.



2.2.10-rasm. Quyosh batareyasining V–P xarakteristikasi egri chizig'i, bu yerda dP_{pv}/dV_{pv} o'zgarishi ko'rsatilgan.

Boshqa tomondan, inkremental o'zgaruvchilar dV_{pv} va dI_{pv} ikkalasi ham joriy (hozirgi) o'lchov natijalarini avvalgi joriy o'lchovlar bilan solishtirish orqali aniqlanadi. Bu quyidagi tenglamalarda ko'rsatilgan:

$$G = \frac{dP_{pv}}{dV_{pv}} \quad (2.2.4)$$

$$dV_{pv}(n) = V_{pv}(n) - V_{pv}(n - 1) \quad (2.2.5)$$

$$dI_{pv}(n) = I_{pv}(n) - I_{pv}(n - 1) \quad (2.2.6)$$

Shunday qilib, P_{pv} ning hosilasini tahlil qilish orqali, P_{pv} ning maksimal quvvat nuqtasida (MQN) yoki undan tashqarida ishlayotgani tekshirilishi

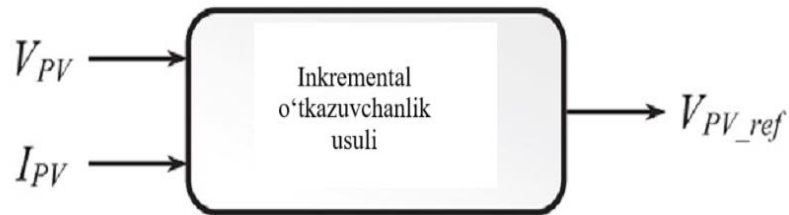
mumkin. Tenlamada (2.2.7 tenglamaga qarang) ishlash nuqtasi MQN dan chapda joylashgan bo‘lib, V_{pv} kuchlanishi V_m (MQN dagi kuchlanish) dan kichik. esa V_{PV} qiymati MQN dagi kuchlanishga V_m teng bo‘lgan holat 2.2.8 - tenlamada ifodalangan. V_{pv} kuchlanishi V_m dan katta bo‘lib (2.2.9-tenlamaga qarang), bu holatda ishlash nuqtasi MQN dan o‘ngda joylashganligi ko‘rsatilgan.

$$\frac{dP_{PV}}{dV_{PV}} > 0 \quad \text{uchun } V_{PV} < V_m \quad (2.2.7)$$

$$\frac{dP_{PV}}{dV_{PV}} = 0 \quad \text{uchun } V_{PV} = V_m \quad (2.2.8)$$

$$\frac{dP_{PV}}{dV_{PV}} < 0 \quad \text{uchun } V_{PV} > V_m \quad (2.2.9)$$

2.2.2-tenlamaga ko‘ra, joriy o‘tkazuvchanlik ($\frac{dI_{PV}}{dV_{PV}}$) va inkremental o‘tkazuvchanlik ($\frac{\Delta I_{PV}}{\Delta V_{PV}}$) MQN nuqtasi bilan solishtirilishi mumkin, bu esa 2.2.11-rasmdagi oqim diagrammasida ko‘rsatilgan. MQN nuqtasida mos yozuv (reference) kuchlanishi V_{ref} MQN dagi kuchlanish V_m ga teng bo‘ladi.

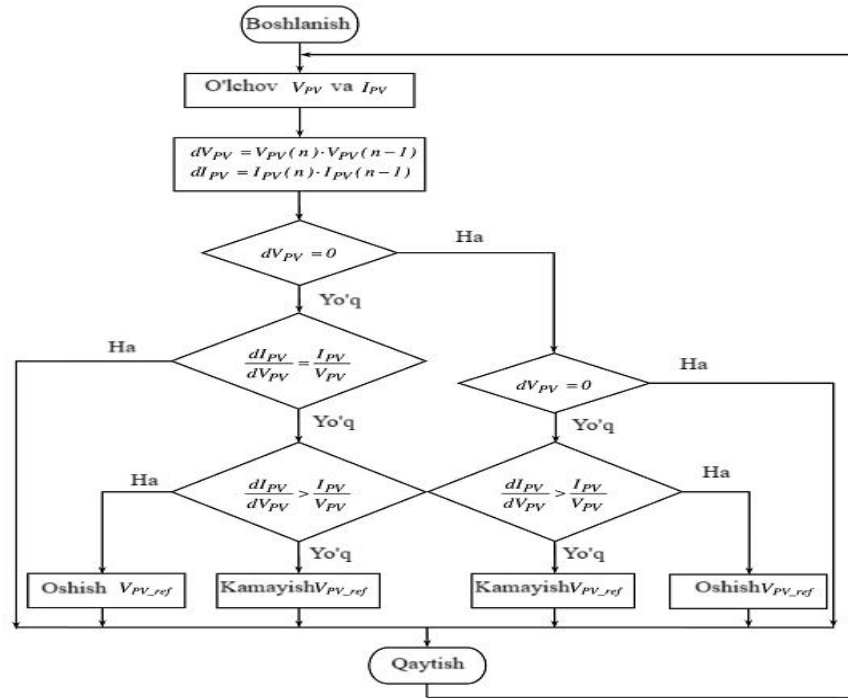


2.1.11-rasm. Inkremental o‘tkazuvchanlik usulining oqim diagrammasi.

Agar MQN ga erishilgan bo‘lsa va atmosferaviy sharoitlarda o‘zgarish bo‘lmasa, quyosh panelining ishlash nuqtasi shu holatda ushlab turiladi. Agar o‘zgarish kuzatilsa, algoritm yangi MQN ni aniqlash uchun V_{ref} kuchlanishini oshiradi yoki kamaytiradi. Ushbu boshqaruv algoritmda quvvatni hisoblash uchun, 2.2.12-rasmdagi blok diagrammada ko‘rsatilganidek, quyosh panelining kuchlanishi va toki o‘lchanishi lozim.

Inkremental o‘tkazuvchanlik usulining eng muhim afzalligi shundaki, u tez o‘zgaruvchi atmosferaviy sharoitlarga moslasha oladi va maksimal quvvat nuqtasidagi (MQN) tebranishlar tashqi ta’sir va kuzatish (Perturb and Observe) usuliga nisbatan ancha kam bo‘ladi. Biroq, inkremental o‘tkazuvchanlik nazorati bilan boshqariladigan sxemalar biroz murakkabroq va qimmatroq hisoblanadi.

Harorat usuli. Ochiq konturdagi kuchlanish V_{oc} odatda fotoelektrik element harorati bilan o'zgaradi, biroq qisqa tutashuv toki, yoritilish darajasi va fotoelektrik element haroratidagi o'zgarishlarga to'g'ridan-to'g'ri mutanosib ravishda o'zgarmaydi. Quyidagi tenglama fotoelektrik elementining ochiq kontur kuchlanishi V_{oc} ni ifodalaydi:



2.2.12-rasm. Inkremental (qo'shimcha) o'tkazuvchanlik usulining blok diagrammasi.

$$V_{oc} \cong V_{ocmqs} + \frac{dV_{oc}}{dT_{pv}} \cdot (T_{pv} - T_{mqs_pv}) \quad (2.2.10)$$

bu yerda V_{ocmqs} — fotoelektrik elementining standart sinov sharoitlari (MQS) ostidagi ochiq kontur kuchlanishi, T_{mqs_pv} esa — MQS dagi fotoelektrik element harorati.

Boshqa tomondan, har bir ish sharoitida maksimal quvvat nuqtasidagi kuchlanish V_m quyidagi tenglama yordamida ifodalanadi:

$$V_m \cong [(u + S \cdot v) - T_{pv} \cdot (w + S \cdot y)] \cdot V_{m_mqs} \quad (2.2.11)$$

bu yerda V_{m_mqs} — MQS sharoitidagi maksimal quvvat nuqtasidagi kuchlanish. 2.2.1-jadvalda esa, S yoritilish darajasiga nisbatan optimal kuchlanish tenglamasining parametrlarini ko'rsatadi.

Harorat parametrik tenglama usuli (2.1.11- tenlamaga asoslanib) hisoblanadi va MQN kuchlanishini T_{pv} va S qiymatlarini o'lchash orqali

aniqlaydi. Harorat parametrik usuli odatda SS quyosh yoritilish darajasini ham talab qiladi. Harorat usulining blok diagrammasi 2.2.13-rasmda keltirilgan.



2.2.13-rasm. Harorat usulining blok diagrammasi.

Jadval -2.2.1

Optimal kuchlanish tenglamasining parametrlari

$S \text{ (kW/m}^2\text{)}$	$u \text{ (S)}$	$v \text{ (S)}$	$w \text{ (S)}$
0.1 % 0.2	0.43404	0.1621	0.00235
0.2 % 0.3	0.45404	0.0621	0.00237
0.3 % 0.4	0.46604	0.0221	0.00228
0.4 % 0.5	0.46964	0.0131	0.00224
0.5 % 0.6	0.47969	-0.0070	0.00224
0.6 % 0.7	0.48563	-0.0169	0.00218
0.7 % 0.8	0.49270	-0.0270	0.00239
0.8 % 0.9	0.49190	-0.0260	0.00223
0.9 % 1.0	0.49073	-0.0247	0.00205

2.3. MQNK usullarini taqqoslash

MQNK (maxsus quvvat nuqtasini kuzatish) usullari bir qancha jihatlaridan farq qiladi, jumladan oddiylik, konvergenstiya tezligi, apparatni amalga oshirish, sensorlarga bo'lgan talab, narx, samaradorlik diapazoni va o'lchanish imkoniyatlari. MQNK usullari, ularning samaradorligi va ishlab chiqaradigan energiya miqdori ko'rsatilgan (2.3.1-jadvalga qarang). Jadvaldagi ma'lumotlarga ko'ra, energiya ishlab chiqarish boshqa usullarga nisbatan ustun ekanligi va ularning o'zaro o'xshash ishlash ko'rsatkichlariga ega ekanligi ko'rsatilgan. Bu natija tijorat ilovalarining keng qo'llanilishi bilan tasdiqlanadi. Inkremental o'tkazuvchanlik usuli, boshqa usullarga nisbatan, fotoelektrik panellaridan yuqori samaradorlikda energiya olish imkonini beradi. Inkremental o'tkazuvchanlik usulining chiqishi quyosh yoritilishining kirishiga o'xshash shaklga ega, faqat tez yoritilish o'zgarganda kichik o'tish vaqtiga ega. Natijada, ushbu usul boshqalarga qaraganda atmosferaviy

sharoitlarga tezroq moslashadi va MQN da juda kam tebranish bilan juda kichik vaqtga ega. Shunday qilib, fotoelektrik panellaridan olinadigan umumiy energiya miqdori ortadi. Shu bilan birga, tashqi ta'sir va kuzatish usuli bilan ham bir xil natijalar olinadi. Ushbu ikki usul o'rtasidagi farq shundaki, inkremental o'tkazuvchanlik texnikasida ishlatiladigan jarayonlar soni tashqi ta'sir va kuzatish usulidan biroz ko'proq. Har bir jarayon tizimda ishlatiladigan apparat va dasturiy ta'minot farqlarini keltirib chiqaradi va xarajatlarni oshiradi. Inkremental o'tkazuvchanlik algoritmining samaradorligi tashqi ta'sir va kuzatish usuli bilan bir xil.

Jadval-2.3.1.

MQNK (Maksimal quvvat nuqtasini kuzatish) usullarining samaradorligiga ko'ra reytingi.

MQNK (maksimal quvvat nuqtasini kuzatuvchi) texnologiyalari	Foydali ish koeffitsienti (%)	Energiya ishlab chiqarish bo'yicha reyting
Inkremental o'tkazuvchanlik usuli	99.48	1
Tashqi ta'sir va kuzatish	99.29	2
Harorat asosida boshqarish usuli	97.01	3
Ochilgan kuchlanish usuli	94.56	4
Qisqa tok impulsi usuli	90.72	5
O'zgarmas kuchlanish usuli	79.51	6

Ochiq kuchlanish va qisqa tok impuls usullari tizimga qo'shimcha statik o'zgartirgichni talab qiladi, lekin baribir tashqi ta'sir va inkremental o'tkazuvchanlik yo'nalishlariga nisbatan ancha past energiya uzatishni ta'minlaydi. O'zgartirish jarayonida energiya yo'qolishi sodir bo'ladi. Bundan tashqari, ochiq kuchlanish va qisqa toki impuls usullari zudlik bilan vaqtini kuzatmaydi, shuning uchun o'zgartirish jarayonida quyosh yoritilishidagi o'zgarishlarni aniqlash mumkin emas. Aslida, bu texnikalar yangi yoritilish darajasi bo'lmasa, yangi MQN ni hisoblash imkoniga ega emas. Shuningdek, namuna olish vaqti tanlovi ushbu texnikalar uchun juda muhim rol o'ynaydi, chunki na'muna olish vaqtining qisqa tanlanishi o'zgartirishlar sonini oshiradi, bu esa quvvat ishlab chiqarishni juda past qiladi. Agar namuna olish vaqti uzoq bo'lsa, tez o'zgaruvchi ob-havo sharoitlarida MQN ni yaqinroq kuzatib bo'lmaydi.

Ochiq kuchlanish va qisqa toki impuls usullari juda oddiy, murakkab sxemalarni talab qilmaydi, arzon va qulay usullardir. Biroq, quyosh panelini

yukdan chiqarish vaqti bilan referens belgisini yaratish muammo tugʻdiradi. Shu vaqtda quyosh energiyasidan foydalanish mumkin emas va haqiqiy MQNK jarayoni uzilsa salbiy ta'sir ko'rsatadi.

Harorat usuli inkremental o'tkazuvchanlik texnikasi va tashqi ta'sir va kuzatish texnikasidan kamroq energiya taqdim etadi. Boshqa texnikalardan farqli o'laroq, yoritilish va harorat qiymatlari o'qiladi, lekin faqat fotoelektrik panelining kuchlanishi o'qilgani uchun MQN to'liq kuzatilmaydi.

Ochiq kuchlanish usuli boshqa usullar orasida eng past samaradorlikka ega. Aslida, bu texnika MQN ni kuzatmaydi, balki MQS (minorali quyosh stansiyalari) ostidagi yoki boshqa o'zgarmas kuchlanish ni referens kuchlanish sifatida oladi va har qanday ish sharoitida uni doimiy saqlaydi.

Xarajatlar nuqtai nazaridan MQNK xarajatlari elektr komponentlari, elektron komponentlar, o'zgartirgichlar, nazorat tizimlari, analog va raqamli sensorlar soni, dasturiy ta'minot va boshqa barcha quvvat komponentlariga bog'liq. MQNK ilovalarining topologiyasi asosan yakuniy foydalanuvchilar tanloviga asoslanadi va analog sxemalar uchun yaxshi variant bo'lib, qisqa tok impuls, ochiq kuchlanish yoki o'zgarmas kuchlanish usullarini ishlatish mumkin. Raqamli sxemalar bilan protsessorni ishlatishni talab qiladigan tashqi ta'sir va kuzatish, inkremental o'tkazuvchanlik va harorat usullarini osonlik bilan qo'llash mumkin. Bundan tashqari, analog sxemalar raqamli sxemalarga (protsessorlar va o'rnatilgan tizimlar) qaraganda arzonroqdir. Ushbu xarajatlarni taqqoslash hisoblashlari MQNK usullarining hozirgi tarqalishini hisobga olib formulalashgan.

Jadval-2.3.2.

MQNK (Maksimal quvvat nuqtasini kuzatish) texnikalarining xarajat bo'yicha tasnifi.

MPPT (maksimal quvvat nuqtasini kuzatuvchi) texnologiyalari	Qo'shimcha komponent	Datchiklarga ehtiyoj	Protsessor hisoblash talabi
O'zgarmas kuchlanish usuli	Yo'q	Past	Past
Qisqa tok impulsi usuli	Ha	O'rta	Past
Ochilgan kuchlanish usuli	Ha	Past/O'rta	Past
Tashqi ta'sir va kuzatish	Yo'q	O'rta	Past
Inkremental o'tkazuvchanlik usuli	Yo'q	Yuqori	O'rta/Yuqori
Harorat asosida boshqarish usuli	Yo'q	Yuqori	O'rta/Yuqori

MQNK usulini amalga oshirish uchun zarur bo'lgan sensorlar soni ham umumiy xarajatlarga ta'sir qiladi. Ko'pincha, kuchlanishni o'lchash toki o'lchashdan osonroq va ishonchli, toki sensorlari ko'pincha qimmatroq va murakkabdir. Quyosh yoritilish va harorat sensorlari juda qimmatlidir va osonlikcha topilmaydi. Sensorlar, protsessorlar va qo'shimcha quvvat komponentlarining xarajatlari bo'yicha soddalashtirilgan tasnifi keltirilgan (2.3.2-jadvalga qarang).

Mexanik quyosh kuzatuv tizimlari. Quyosh energiyasi boshqa qayta tiklanuvchi energiya manbalariga nisbatan yuqori dastlabki xarajatlar va past samaradorlik tufayli kamroq afzal ko'riladi. Quyosh energiyasi tizimlarining o'rnatish xarajatlari yuqori bo'lishiga qaramay, ishlash va texnik xizmat ko'rsatish xarajatlari boshqa energiya turlariga qaraganda ancha past. Quyosh energiyasi tizimlarining samaradorligini oshirish va xarajatlarni kamaytirish uchun turli tashabbuslar amalga oshirilmoqda.

Quyosh energiyasi tizimlarining past samaradorligi uchun asosiy sabablar quyidagilardir:

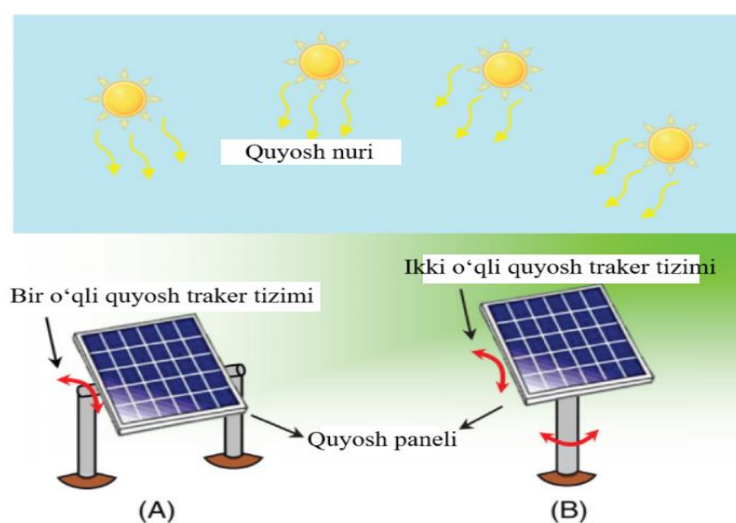
- Quyosh va Yerning aylanish harakatlari tufayli quyosh energiyasidan uzluksiz foydalanish imkoniyatining yo'qligi;
- Quyosh nurlari atmosferadan o'tayotganda nurlanishning yo'qolishi;
- Fotoelektrik panel larining maksimal samaradorligi faqat quyosh nurlari to'g'ri burchak ostida tushganda erishiladi;
- Yomon ob-havo sharoitlarida kerakli yoritilishning olish imkoniyatining yo'qligi;
- Yuqori quvvat olish uchun katta maydon kerak bo'lishi sababli xarajatlarning ortishi.

Bu salbiy jihatlarni bartaraf etish uchun samaradorlikni oshirishga oid bir qator tadqiqotlar olib borilmoqda. Bularning biri quyosh panellarining quyosh nurlarini to'g'ri burchak ostida olishiga imkon yaratishdir. Fotoelektrik panellari ko'chma qilib loyihalangan bo'lib, tizimning quyoshning harakatini kuzatishiga imkon beradi. Mexanik quyosh kuzatuv tizimi yordamida 45% gacha samaradorlikni oshirish mumkin. Quyosh kuzatuv tizimlari ikki turga bo'linadi: bitta o'q va ikkita o'q tizimlari, bu ularning o'qlarining soniga bog'liq.

Bitta o'qli quyosh kuzatuv tizimi. Bitta o'qli quyosh kuzatuv tizimlari quyoshni bir o'q bo'yicha (vertikal yoki gorizontal) kuzatadi. Odatda, burchak yillik ma'lum intervalda qo'lda sozlanadi va avtomatik harakatlangan

tizimning sharq–g‘arb yo‘nalishida harakatlanishi ta'minlanadi. Bitta o‘qli tizimlar ikki o‘qli tizimlarga qaraganda arzonroq, lekin samaradorlik nuqtai nazaridan kamroq unumdorlikka ega. Bitta o‘qli quyosh kuzatuv tizimlari quyoshning harakati va ob-havo sharoitlariga qarab vertikal yoki gorizontal o‘q bo‘yicha harakatlanadi. Bitta o‘qli quyosh kuzatuv tizimining azimut burchagini kuzatishi diagramma tarzda 2.3.16 (a) - rasmda ko‘rsatilgan.

Ikki o‘qli quyosh kuzatuv tizimi. Ikki o‘qli quyosh kuzatuv tizimlarida quyoshni ikkita burchak qiymatlari bilan kuzatish mumkin, bu burchaklar quyoshning osmondagi holatini ko‘rsatadi. Boshqaruv tizimi azimut va zenit o‘qlarida harakat qiladi. Ikki o‘qli boshqaruv tizimi yordamida fotoelektrik panelining samaradorligini 30%-45% gacha oshirish mumkin. Azimut o‘qi — fotoelektrik panelining sharq–g‘arb yo‘nalishidagi harakati sozlanadigan o‘q bo‘lib, zenit o‘qi — fotoelektrik panelining shimol–janub yo‘nalishidagi harakati uchun mo‘ljallangan o‘qdir. Tizimning quyoshni kuzatishi uchun avvalo quyoshning joylashuvi aniqlanishi kerak. Ushbu ishni amalga oshirish uchun tizimda quyoshni aniqlash sensorlari ishlatiladi. Ikki o‘qli quyosh kuzatuv tizimi 2.3.16 (b) - rasmda ko‘rsatilgan.



2.3.16 - rasm. Quyosh traker tizimlari (a) bir o‘qli va (b) ikki o‘qli.

Quyoshni aniqlash sensor (pironometr) boshqaruv sxemasi bilan sinxronlashtirilgan. Pironometrdan olingan ma'lumotlar markaziy boshqaruv blokida baholanadi va tizimning ikkita o‘qli harakatini ta'minlash uchun sharq–g‘arb va pozitsiya motorlariga mos joylashuv signallari yuboriladi. Pozitsiya signallari yordamida motor drayverlari motorlarni boshqaradi va fotoelektrik panel ining ikki o‘qli harakatini ta'minlaydi. Ushbu harakat quyosh nurlari fotoelektrik panellarga perpendikulyar bo‘lguncha davom etadi.

NAZORAT SAVOLLARI:

1. Qayta tiklanuvchi energiya turlarini ayting. 2. Quyosh panellari qisman soyalanish xolatida fotoelektrik yig'indisida quvvat oqimlari qanday bo'ladi? 3. Quyosh panelida MQN (maksimal quvvat nuqtasi) ni aniqlash qanday xollarda kechikishi mumkin? 4. Fotoelektrik panellarning chiziqli chiqish kuchlanishi nimalarga bog'liq? 5. 1000 W/m^2 nurlanish muhitida fotoelektrik panel tok kuchi va kuchlanishning qiymati qanday bo'ladi? 6. Quyosh panelining kuchlanishi va ish davrini aniqlashda qaysi usuldan foydalaniladi? 7. Qisqa tutashuv toki impulsi usuli qanday amalga oshadi? 8. Ochiq kuchlanish usulini tushuntiring. 9. O'zgarmas kuchlanish usulini tushuntiring. 10. Buzish va kuzatish usulini blok diagramma qanday bo'ladi? 11. Inkremental o'tkazuvchanlik va harorat usullari qanday amalga oshadi? 12. Ikki o'qli boshqaruv tizimi yordamida fotoelektrik panelining samaradorligini qanchaga oshirish mumkin?

III-BOB

QUYOSH GIBRID TIZIMLARI

3.1. Quyosh gibril energiya tizimlari. Passiv va aktiv quyosh energiyasi tizimlari

Quyoshga asoslangan qayta tiklanadigan energiya manbalari chiqish xususiyatlarini, quyoshning holatiga qarab ishlab chiqaradi. Bu xususiyat resurs turiga qarab farq qiladi. Kونسentratsiyalangan quyosh tizimlarida isitilgan suyuqlikning harorat darajasi o'zgarib turadi, fotoelektrik panellarda esa chiqish toki va kuchlanishining o'zgarishi kuzatiladi. Quyosh tizimlari, shuningdek, quyosh nurlanishiga qarab energiya ishlab chiqaradigan qayta tiklanadigan energiya manbalaridir. Quyosh nurlanishidan foydalanish muddati o'rtacha kuniga 8-10 soatni tashkil etadi, bu esa mintaqa va mavsumga qarab farq qilishi mumkin. Bulutli yoki kechki soatlar davomida quyosh energiyasidan foydalanish mumkin emas. Ushbu muammolar "Nega quyosh gibril tizim?" degan savolni tug'dirgan. Quyosh tizimlari bilan birga boshqa qayta tiklanadigan energiya manbasidan foydalanish orqali uzluksiz va doimiy elektr energiyasi ishlab chiqarish mumkin. Bu yerda eng ko'p tanlangan manba shamol energiyasidir. Shamol energiyasini o'rnatish va foydalanish, aynan quyosh energiyasi kabi osondir. Quyosh energiyasi tizimlaridan farqli o'laroq, shamol energiyasi tizimlari harakatlanuvchi tuzilishga ega. Shamolning paydo bo'lishi Yer yuzasidagi harorat o'zgarishlari natijasida ro'y beradi, bu esa o'z navbatida quyoshga bog'liq. Natijada, shamol energiyasi bevosita quyosh manbasiga bog'liq. Quyosh energiyasidan farqli o'laroq, shamol energiyasi kunning har vaqtida paydo bo'lishi mumkin. Shamol energiyasidan kechqurun va tun davomida ham foydalanish mumkin, chunki quyosh energiyasi faqat kun davomida ishlaydi. Shamol energiyasini quyosh energiyasi bilan birga ishlatish orqali turli quvvat chastotalarida ishlab chiqarish xususiyatlarini birlashtirish mumkin. Shu tarzda, quyosh energiyasini boshqa qayta tiklanadigan energiya manbasi bilan birlashtirish orqali quyosh gibril energiya tizimi yaratiladi. Quyosh gibril tizimlaridagi manbalar xilma-xilligi tufayli energiya ishlab chiqarish imkoniyatlari oshirilishi mumkin. Biroq, barcha ushbu manbalar xilma-xilligiga qaramasdan, energiya uzluksiz, barqaror va sifatli bo'lishi uchun energiya saqlash birliklari bilan birgalikda qayta tiklanadigan energiya manbalari ishlatilishi kerak. Energiya saqlash tizimlarining narxi quvvat qiymatlari oshgani sari ortadi.

Akkumulyatorlar foydalanish osonligi va sotib olishda qulayligi nuqtai nazaridan eng ko'p tanlangan usuldir. Texnologik taraqqiyotlar tufayli samarali va yuqori quvvatli energiya saqlash birliklari ishlab chiqilmoqda. Ushbu rivojlanishlar natijasida, akkumulyatorlar birlik narxlari ham kamaymoqda. Hozirgi kunda, akkumulyatorlar tufayli "mobil" so'zi hayotimizning ajralmas qismiga aylangan. Masalan mobil telefonlar, kompyuterlar, planshetlar, aqlli soatlar, uy-kommersiya elektron qurilmalari va elektr transport vositalari bunga misol bo'ladi.

Quyosh gibril energiya tizimi — bu turli xususiyatlarga ega energiya manbalari va energiya saqlash tizimining kombinatsiyasidir. Tarmoqdan tashqari ilovalar holatida (off-grid), gibril energiya tizimlarida eng yaxshi kombinatsiyani aniqlash, dastlabki investitsiya xarajatlarini kamaytirish (energiyaga ta'minot barqarorligini saqlash, texnik xizmat ko'rsatishni kamaytirish) ko'plab sabablar tufayli qiyin jarayon hisoblanadi.

Turli xususiyatlarga ega qayta tiklanadigan energiya manbalarini birlashtirish, vaqt o'tishi bilan o'zgaradigan manbalar chiqish xususiyatlarining umumiy energiya potensialiga ta'sirini kamaytiradi. Faqat quyosh energiyasi (fotoelektrik panel, konsentratsiyalangan quyosh tizimi) kunduz kuni mavjud bo'ladi, lekin kechqurun quyosh energiyasini saqlash zarur bo'ladi. Shamol energiyasida shunga o'xshash xususiyatlar mavjud, ammo quyosh energiyasidan farqli o'laroq, u ko'pincha tartibsiz holatga keladi. Qayta tiklanadigan energiya manbalarining tabiati tufayli, vaqt o'tishi bilan energiya potensialining o'zgarishi, energiya saqlash tizimlari va tarqatilgan energiya manbalarini birlashtirishni zarur qiladi.

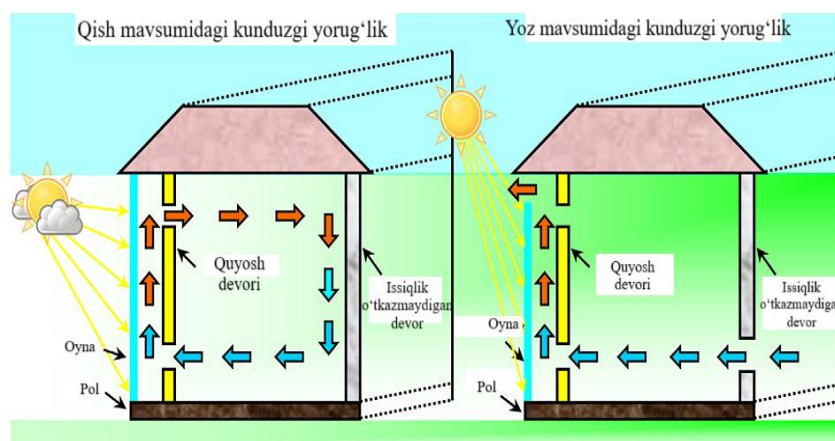
Energiyani ishlab chiqarish tizimlari kundalik hayotda muhim rol o'ynaydi. Kundalik hayotda, elektr energiyasi ko'plab sohalarda va qurilmalarda ishlatiladi va ajralmas bo'lib qoladi. Biz har kuni elektr energiyasidan foydalansak-da, afsuski, juda kam odam energiya tejash bilan shug'ullanadi. Elektr energiyasining narxini doimo tanqid qilsak-da, aynan biz, ayniqsa ijtimoiy javobgarlik nuqtai nazaridan, ko'proq mas'ulmiz. Qazilma yoqilg'ilarning resurslari tezda tugamoqda va qazilma yoqilg'ilarni yoqish natijasida ko'plab tiklanmas ta'sirlar yuz berayotganligi sababli, hozirgi vaqtda energiya tejashga alohida e'tibor qaratish kerak. Tizimni loyihalash va o'rnatish bosqichi, elektr energiya tizimidan optimal foyda olish uchun juda muhimdir. Bu murakkab jarayonda har doim bir qator texno-iqtisodiy va ekologik jihatlar inobatga olinishi kerak. Bunday qayta tiklanadigan energiya

tizimlari uchun dizayn modellashtirish ko‘pincha qiyin qism bo‘ladi. Tizimni o‘rnatishdan oldin dizayn parametrlari aniqlanishi muhimdir. Ushbu bosqichda, qayta tiklanadigan energiya tizimi uchun ishni optimallashtirish talab qilinadi va klassik usullardan chetga chiqish zarur. Hozirgi kunda, tijorat va uyda foydalanish uchun ko‘plab gibrid energiya tizimlari mavjud. Ulardan shamol va fotoelektrik panel energiyasi, biomassa va fotoelektrik panel energiyasi, konsentratsiyalangan quyosh va yonilg‘i hujayralari, fotoelektrik panel energiyasi va akkumulyator, biomassa va shamol energiyasi, geotermal va fotoelektrik panel energiyasi kabilarni misol keltirishimiz mumkin.

Passiv quyosh energiyasi tizimlari. Bugungi kunda elektr energiyasi global talabga aylangan. Qazilma yoqilg‘i zaxiralari va iqlim o‘zgarishi kabi tashvishlar, tadqiqotchilarni alternativ energiya manbalarini izlashga undadi. Quyosh energiyasi barcha qayta tiklanadigan energiya manbalari ichida eng maqulidir. Quyosh energiyasi har bir mamlakatda, hatto alohida holda ham mavjud bo‘lgan bepul resursdir. Quyosh energiyasidan foydalanish ikki xil usulda amalga oshiriladi: aktiv va passiv. Aktiv usulda energiya to‘g‘ridan-to‘g‘ri elektr energiyasiga aylantiriladi, bu uchun fotoelektrik panellar ishlatiladi, ularning chiqish xususiyati noaniq bo‘ladi. Fotoelektrik panelning samaradorligi quyosh nurlanishi, atrof-muhit harorati va fotoelektrik panel xususiyatlariga qarab o‘zgaradi. Passiv usulda esa, odatda isitish va sovutish xususiyati qo‘llaniladi.

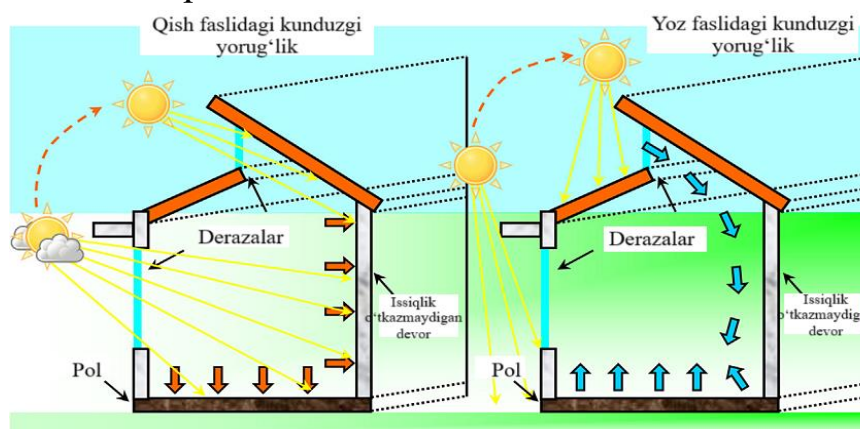
Passiv quyosh energiya tizimi yashash joyini isitish va sovutish uchun ishlatiladi. Passiv quyosh energiya tizimi yordamida, energiya xarajatlarini isitish va sovutish sohasida kamaytirish mumkin. Bu tizimda bino yoki kvartira quyosh energiyasidan bilvosita foydalanadi. Passiv quyosh energiya tizimida energiya aylanish tizimida juda kam harakatlanuvchi qismlar mavjud. Ushbu tizimlar kam texnik xizmat ko‘rsatishni talab qiladi va tashqi isitish-sovutish tizimlarining o‘rnini bosadi. Passiv quyosh tizimi dizayni va o‘rnatilishi juda murakkab emas. Bu tizimda quyosh burchagi va iqlim o‘zgarishini bilish asosiy talabdir. Passiv quyosh tizimi har qanday binoga osonlikcha integratsiya qilinishi mumkin. Passiv quyosh energiya tizimi bilan turli isitish usullari ta'minlanadi. Bularning birinchi usuli to‘g‘ridan-to‘g‘ri olingan energiyadir, bu usulda quyosh nurlanishi bevosita binoga kirib, issiqlik energiyasi saqlanadi. Ikkinchi usul — bilvosita olingan energiya, bunda quyosh nurlari yig‘ilib, saqlanadi va issiqlik saqlovchi materiallarga ega quyosh devori yordamida tarqatiladi. Quyosh devori uchun yoz va qish mavsumlari bo‘yicha

qo'llaniladigan topologiya 3.1.1-rasmda keltirilgan. Quyosh devori ayniqsa salqin, ammo quyoshli iqlimlarda qo'llanishga juda mos tizimdir. Bu usul — havo issiqligini va sovishini quyosh energiyasi yordamida ta'minlaydigan birlashtirilgan tizim. Yana bir usul — izolyatsiyalangan energiya bo'lib, bunda quyosh nurlari yig'ilib, binoning oldindan loyihalangan, ochiladigan yoki yopiladigan maydonida ishlatiladi.



3.1.1 – rasm. Yoz va qish mavsumlari uchun quyosh devori qo'llanilishining topologiyasi.

Passiv quyosh energiyasi tizimlarining asosiy maqsadi qishda quyosh issiqlik ortishini maksimal darajaga chiqarish va yozda esa issiqlik ortishini kamaytirishdir. Passiv quyosh tizimida bino orientatsiyasi sharqqa yoki g'arbga qarab joylashtirilishi kerak. Binolarda quyosh nurlanishidan maksimal darajada issiqlik olish uchun dizayn bosqichida aniqlangan oynalar, joylashuvi va o'lchami ishlatiladi, shuningdek, yozda esa issiqlikni kamaytirish uchun esa mo'ljallangan oynalar o'lchami mos bo'ladi. Tom va deraza ustidagi soyabonlar o'lchamlari qish



3.1.2 – rasm. Yoz va qish mavsumlari uchun tom va deraza soyasi qo'llanilishining topologiyasi.

mavsumida issiqlik olish uchun moslashtiriladi. Tom va deraza soyabonlari qo'llanilishining topologiyasi yoz va qish mavsumlari uchun 3.2-rasmda keltirilgan. Quyosh nurlanishidan olingan issiqlik, termal massalar orqali devorlar yoki pollarda saqlanadi. Shu tarzda kunduzgi yorug'likdan foydalanish ta'minlanadi. Bu usulda binoni yozda tabiiy havo orqali, tom va deraza ustidagi soyabonlar yordamida samarali sovutish mumkin. Passiv quyosh tizimi dizaynida, oynalar kechqurun havoni tozalash uchun ochilishi va kunduzda sovutish talablarini qondirish uchun yopilishi mumkin. Passiv quyosh tizimining kamchiliklaridan biri shundaki, uning faoliyati faqat 16–18 soat davomida amalga oshadi. Qolgan vaqt oralig'ida boshqa energiya manbalaridan foydalanish kerak bo'ladi. Biroq, passiv quyosh tizimi isitish-sovutish uchun ishlatilganda sezilarli darajada tejashni amalga oshiradi.

Faol quyosh energiyasi tizimlari. Faol quyosh energiyasi tizimida quyosh energiyasi to'g'ridan-to'g'ri fotoelektrik (fotovoltaik) panellar orqali elektr energiyasiga aylantiriladi. Quyosh fotoelektrik panellari kremniy asosidagi yarimo'tkazgich texnologiyasi bilan ishlab chiqariladi. Bugungi kunda tijoratda mavjud bo'lgan quyosh fotoelektrik elementlari monokristalli, polikristalli, bar kristalli kremniy va yupqa qoplamali texnologiyalar asosida ishlab chiqariladi.

Kontsentratsiyalangan quyosh elektr stansiyalarida katta oynali parabolik tuba kollektor maydonlariga, bug' hosil qiluvchi issiqlik almashinuvi tizimi va Rankin bug' turbina generatori mavjud bo'ladi. Ushbu tizimlarga ilovaga ko'ra issiqlik energiyasini saqlash bloki ham qo'shilishi mumkin. Parabolik trogli elektr tizimlari fossiliy yoqilg'i elektr stansiyalari bilan birga qo'llanilishi mumkin. Bunday gibrid tizimlarning maqsadi – zavodning issiqlik yo'qotish darajasini kamaytirish, bug' aylanishini, quvvat ishlab chiqarishni, samaradorlikni va unumdorlikni oshirishdir.

Lineer Fresnel quyosh tizimlari parallel qatorlarda joylashtiriladi va odatda shimol–janub yo'nalishida gorizontaal o'q bo'ylab hizalanadi. Bir o'qli kuzatuv tizimiga ega bo'lgan parabolik trog kollektorlar katta modulli massivlarda mavjud. Har bir kollektor chiziqli parabol shaklidagi reflektorga ega bo'lib, u quyosh nurlarini parabola fokal chizig'ida joylashgan qabul qiluvchiga (so'ruvchi quvur) yo'naltiradi. Kollektor o'qi quyoshning sharqdan g'arbga harakatini kuzatish orqali fokusni ushlab turish mexanizmini ta'minlaydi. Shunday qilib, quyosh nurlaridan olingan issiqlik energiyasi qabul

qiluvchida joylashgan issiqlik uzatuvchi suyuqlikni taxminan 400 °C (750 °F) gacha qizdiradi.

Kontsentratsiyalangan kollektor yuqori samarali energiya hosil qilishi uchun quyosh nurlarini qabul qiluvchiga perpendikulyar tekislikda to'plashi kerak. Biroq, bulutlar, namlik va yer yuzasidagi boshqa zarralar tufayli atmosferada tarqalish (diffuziya) sodir bo'ladi va quyosh nurlanishi qiymati kamayadi. Shu sababli, chiziqli o'q trogli quyosh tizimi uchun samarali nurlanish darajasi yuqori ishlash ko'rsatkichlari uchun juda muhimdir.

Kontsentratsiyalangan quyosh energiyasi tizimida yuqori haroratli issiqlik tashuvchi suyuqlik kollektorlar orqali yuqori bosimli qizigan bug' ko'rinishida yoki issiqlik almashinuvchisi orqali issiqlik saqlash tizimi yaratish uchun uzatiladi. Rankin tsikli tizimida bu bug' turbina orqali elektr energiyasi hosil qilish uchun yuboriladi. Turbinada ishlatilgan bug' issiqlik almashinuvchilar orqali kondensatsiyalanadi va yana bug'ga aylantiriladi. Bug' kondensatsiyasi evaporativ sovutish minorasi yoki havo bilan sovutiladigan kondensator orqali amalga oshiriladi. Tanlangan usul tizimdagi umumiy suv sarfi, aylanish samaradorligi va ishlash xarajatlariga ta'sir qiladi. Quruq sovutish usuli suv sarfini sezilarli darajada kamaytiradi, biroq investitsion va elektr ishlab chiqarish xarajatlarini oshiradi. Issiqlik almashinuvidan o'tgan yuqori haroratli suyuqlik kontsentratsiyalangan quyosh liniyasida yana isitiladi. Bu jarayonda eritilgan nitrat tuzlari yoki siqilgan gazlar yuqori haroratli suyuqlik sifatida ishlatiladi. Shuningdek, kontsentratsiyalangan quyosh tizimidan bevosita bug' hosil qilish ham qo'llaniladi.

Kontsentratsiyalangan quyosh tizimlari va quvvat minoralari tizimlarining o'ziga xos va eng muhim xususiyati bu – yuqori samarali issiqlik energiyasini saqlash imkoniyatidir. Shu orqali kunduzgi yorug'likda to'plangan issiqlik kechqurun foydalanish uchun ishlatiladi. Masalan, yozda issiqlik energiyasi saqlash orqali quyosh energiyasi stansiyalari yordamida kuniga 10 soatgacha elektr energiyasi ishlab chiqarilishi mumkin. Yana bir yondashuv – kontsentratsiyalangan quyosh energiyasi tizimlarini boshqa qayta tiklanuvchi energiya manbalari (shamol, biomassa va h.k.) bilan birlashtirishdir. Bunday gibrid tizimlarda quyosh nurlanishi past bo'lgan paytlarda ishlab chiqarish hajmi boshqa manbalar bilan qo'llab-quvvatlanadi.

Ko'plab ilmiy-tadqiqot ishlari kontsentratsiyalangan quyosh parabolik trog stansiyalariga bag'ishlangan bo'lib, ularning ayrimlari amalga oshirilgan, ayrimlari rejalashtirilmoqda. Bu ishlar kollektor komponentlarini yaxshilash,

elektr stansiyasini integratsiyalash va konfiguratsiyalash, issiqlik energiyasini saqlash tizimlari, xarajatlarni kamaytirish choralari hamda unumdorlikni oshirishga qaratilgan. Ushbu sohalarida innovatsion yondashuvlar tijorat energiya tashkilotlari va hukumat dasturlari tomonidan moliyalashtirilmoqda.

Issiqlik saqlash tizimlari bilan jihozlangan konsentrlashtirilgan quyosh energiyasi tizimlarida yig'iladigan energiya miqdorini oshirish maqsadida konsentrlashtirilgan quyosh liniyasi kengaytiriladi. Masalan, quyoshli kunlarda yuqori quvvatga ega konsentrlashtirilgan quyosh tizimi issiqlik energiyasini saqlash blokini to'liq quvvat holatiga yetkazish uchun yetarli bo'lishi mumkin. Muayyan sanoat yoki ijtimoiy foydalanish uchun mo'ljallangan qurilmalarda konsentrlashtirilgan quyosh tizimi o'lchamlari elektr tarmog'i talabi modeli, quvvat ehtiyoji va moliyaviy parametrlar asosida optimallashtirilishi mumkin.

Konsentrlashtirilgan quyosh energiyasi tizimi bilan an'anaviy issiqlik elektr stansiyasi o'rtasidagi asosiy farq — ularning energiya manbai tabiiy jarayonlarga bog'liq bo'lishidir. An'anaviy issiqlik elektr stansiyasi istalgan vaqtda ishlashga tayyor bo'lishi mumkin, holbuki quyosh elektr stansiyasi doimiy ishlash qobiliyatiga ega emas. Shu sababli, bu ikki turdagi tizimlarning barqaror ishlash ko'rsatkichlarini baholashda turli usullardan foydalanish zarur bo'ladi.

3.2. Konsentrlashtirilgan quyosh tizimi va fotoelektrik panellardan ishlab chiqarilgan energiya.

Konsentrlashtirilgan quyosh energiyasi tizimlarining issiqlik quvvati chiqishi parallel joylashtirilgan issiqlik almashtirgich (heat-exchanger) massivlari asosida hisoblab chiqiladi. Konsentrlashtirilgan quyosh energiyasi tizimida har bir issiqlik almashtirgich massividan olinadigan issiqlik quvvati quyidagi tenglama yordamida aniqlanadi:

$$P_{mes} = mC_p(T_{in} - T_{out}) \quad (3.2.1)$$

Quyosh issiqlik quvvati (P_{mes}) — bu quyosh issiqlik tizimida hosil qilinayotgan foydali issiqlik quvvatidir. Bu yerda: P_{mes} — quyosh issiqlik quvvati, m — yuqori issiqlik o'tkazuvchi suyuqlikning massaviy oqim tezligi, C_p — yuqori issiqlik o'tkazuvchi suyuqlikning o'rtacha integral (umumiy) issiqlik sig'imi, T_{in} — quyosh issiqlik almashtirgichlar ketma-ketligiga kirayotgan yuqori issiqlik o'tkazuvchi suyuqlikning o'rtacha harorati, T_{out} —

quyosh issiqlik almashtirgichlar ketma-ketligidan chiqayotgan yuqori issiqlik o'tkazuvchi suyuqlikning o'rtacha harorati.

Katta hajmdagi konsentratsiyalashgan quyosh elektr stansiyasi loyihasida tizimning barcha kichik bloklari hisobga olinishi kerak. Ba'zi holatlarda yuqori issiqlik o'tkazuvchi suyuqlik alohida kichik blokda isitilib, quyosh bug' generatoriga yo'naltiriladi. Bunday holatda, quvurlar tizimining kirish va chiqish joylarida yuzaga keladigan issiqlik yo'qotishlari ham hisobga olinishi kerak.

Konsentratsiyalashgan quyosh energiyasi tizimining foydalilik (effektivlik) koeffitsienti quyidagi tenglama orqali hisoblanadi:

$$\eta_{mes} = \frac{P_{mes}}{\cos\theta A_{ap}} \quad (3.2.2)$$

Bu yerda:

- **η_{mes}** — issiqlik samaradorligi (foydalilik koeffitsienti),
- **$\cos\theta$** — sinov davomida o'rtacha quyosh nurlanish burchagi (quyosh nuri panelga qanchalik tik tushayotganini bildiradi),
- **A_{ap}** — sinov vaqtida kuzatuvchi (tracking) rejimda ishlayotgan quyosh maydonining aperturasi (ya'ni quyosh nurlarini qabul qiluvchi foydali maydoni).

Quyosh fotoelektr panellari energiya hosil qilish uchun ketma-ket yoki parallel tarzda ulangan bo'ladi va bu ulanishlar natijasida fotoelektrik massiv (ya'ni umumiy elektr manbai) hosil qilinadi.

Quyosh paneli tomonidan hosil qilinadigan energiya quyidagi tenglama orqali hisoblanadi:

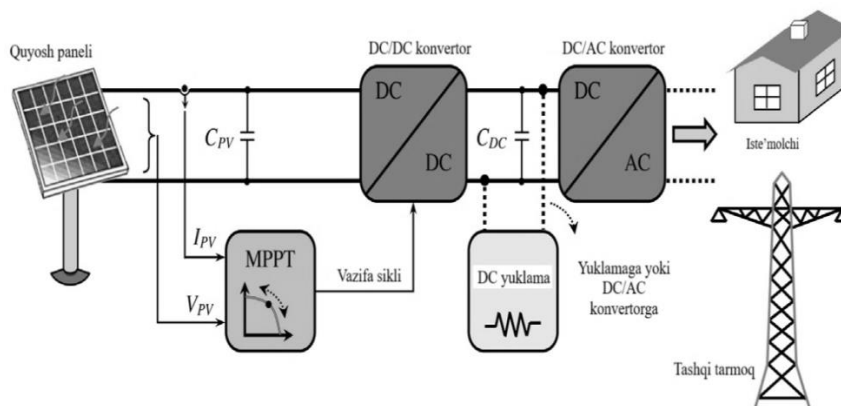
$$E_{PV} = SP_f I \eta_m \eta_{PC} \quad (3.2.3)$$

Bu yerda S – quyosh fotoelektr panelining yuzasi (m^2), P_f – joylashish (o'rash) koeffitsiyenti, I – quyosh nurlanishi (kW/m^2), η_m – quyosh panelining foydali ish koeffitsiyenti, va η_{pc} – quvvatni boshqarish tizimining samaradorligi.

Quyosh panellari asosidagi tarmoqqa ulangan tizimlarda odatda ikki yoki undan ortiq quvvat aylantirish qurilmalari mavjud bo'ladi. Quyosh panelining kuchlanish darajasiga qarab, ushbu kuchlanishni oshirish yoki kamaytirish zarur bo'lishi mumkin.

Birinchi bosqichda, maksimal quvvat nuqtasini kuzatish (MQNK) ni ta'minlash uchun odatda doimiy tok (DC)/DC quvvat o'zgartirgichi ishlatiladi. Keyingi bosqichda muqobil tok (AC)/DC konvertori elektr energiyasini

sinxron ravishda tarmoqqa uzatadi. Bunday tizimlarda, boshqa doimiy tok (DC) iste'molchilari DC shina orqali quvvat bilan ta'minlanishi mumkin. Maksimal quvvat nuqtasini kuzatish tizimiga ega quyosh panelining umumiy topologiyasi 3.2.1-rasmda tasvirlangan.

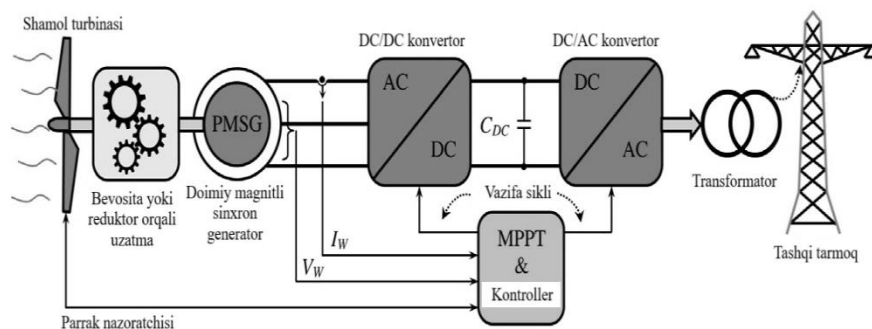


3.2.1-rasm. Quyosh panelini boshqarish va qo'llash topologiyasi.

Shamol energiyasining xususiyatlari. Shamol energiyasi Yerga yetib kelgan quyosh energiyasining atigi 1 foizi hisobiga atmosferaning qizishi natijasida hosil bo'ladi. Balandlik, geografik shakl, joylashuv va quyosh burchagidagi farqlar sababli atmosfera bir tekis qizimaydi. Bu esa mintaqalar o'rtasida bosim farqlarini va havo oqimlarini yuzaga keltiradi. Ma'lumki, issiq havo ko'tariladi va uning o'rnini past haroratdagi havo massalari egallaydi. Shunday qilib, shamol deb yuqori va past bosimli markazlar orasidagi harorat farqi tufayli siljiydigan havo massalariga aytiladi. Bosim markazlari orasidagi farq qancha katta bo'lsa, havo oqimining tezligi ham shuncha yuqori bo'ladi. Shamol turbinasini boshqarish va qo'llash topologiyasi 3.2.2-rasmda ko'rsatilgan.

Shamol — bu qayta tiklanuvchi, mahalliy, uzluksiz va ekologik toza energiya manbai bo'lib, atrof-muhitni ifloslantirmaydi va yoqilg'i-xomashyo xarajati yo'q, chunki uni bevosita ishlatish mumkin. Natijada shamol turbinalarining atrof-muhitga eng muhim foydasi — ular yoqilg'i yoqilishi natijasida hosil bo'ladigan zararli gazlarni chiqarmasligi, issiqxona effekti va kislotali yomg'irlarni yuzaga keltirmasligidir. Bu texnologiya tobora ishonchli va arzonlashib bormoqda. Shamol turbinasidan o'rtacha 20–30 yil foydalanish mumkin. Bu esa investitsiyadan keyin uzoq muddat davomida to'xtovsiz va kam xarajat bilan ishlab chiqarish imkonini beradi. Shamol elektr stansiyalarini atigi 4–5 oyda qurish mumkin. Bu muddat atom elektr stansiyalarida 7 yil, GESlarda 2–10 yil, tabiiy gazga asoslangan stansiyalarda

esa 1 yoki 2 yil bo‘lishi mumkin. Shamol elektr stansiyalarini turli hududlarga osongina ko‘chirish mumkinligi tufayli ular energiya ishlab chiqarishda katta moslashuvchanlikni ta’minlaydi.



3.2.2-rasm. Shamol turbinasini boshqarish va qo‘llash topologiyasi

Shamol turbinalari o‘rnatilgan qishloq xo‘jaligi yerlarining atigi 1 foizidan kamroq qismini egallaydi. Shuning uchun shamol fermalari tashkil etilgan hududlarda qishloq xo‘jaligi va chorvachilik faoliyati davom ettirilishi mumkin. Shamol fermalari issiqlik va gidroenergetika stansiyalari bilan iqtisodiy raqobatlasha oladi. Shamol fermalari iqtisodiy qiymatga ega bo‘lmagan qishloq hududlaridan foydalanishga imkon beradi va bandlik yaratuvchi vosita sifatida mintaqaviy rivojlanishga xizmat qiladi. Shamol turbinalarini demontaj qilish xarajatlari demontaj qilingan qismlarning metallarini sotish hisobiga qoplanadi. Bundan tashqari, fermer xo‘jaliklarida yangi turbinalar qurish va ishlab chiqarishni davom ettirish yoki kerak bo‘lsa, foydalanilgan hududni tiklash mumkin. Shamol energiyasini qisqa muddatda kam xarajat bilan ishga tushirish mumkinligi uni ta’minot moslashuvchanligi jihatidan ustun qiladi.

Yana bir muhim afzalligi shundaki, shamol energiyasini uzatishda, issiqlik yoki atom elektr stansiyalariga o‘xshab, katta elektr tarmoqlari infratuzilmasiga ehtiyoj yo‘q. Har bir hududda joylashgan korxonalar shamol fermalarini tezda qurib, ortiqcha transport xarajatlaridan qochishi mumkin. Yoqilg‘isiz qayta tiklanuvchi energiya manbai sifatida shamol energiyasi atrof-muhitga salbiy ta’sir qiluvchi qazilma yoqilg‘ilarga muqobil muhim vositadir. Kioto protokoli doirasida global isish va iqlim o‘zgarishiga olib keladigan karbonat chiqindilariga sabab bo‘lmaydigan shamol elektr stansiyalaridan foydalanish tobora ortmoqda. Shamol energiyasi dunyoning ko‘p joylarida yetarli potensialga ega bo‘lgani uchun, xarajat ustunligidan foydalangan holda, kelajakda yanada kengroq qo‘llaniladi.

Shamol tezligining o'zgaruvchanligi shamol elektr stansiyalarining asosiy to'siqlaridan biridir. Shuning uchun, agar kerakli paytda shamol yetarli bo'lmasa, elektr energiyasi ishlab chiqarilmaydi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, shamol turbinalari ayrim qush turlariga zarar yetkazishi mumkin. Shuning uchun, qushlarning migratsiya yo'nalishlari hisobga olingan holda inshootlarni qurish zarur. Shamol turbinalari tomonidan yuzaga keladigan shovqin esa mahalliy aholi uchun noqulaylik tug'diradi. Shamol energiyasi ekologiyaga salbiy ta'sirlari bo'lsa-da, turbin texnologiyasining rivojlanishi bilan ularning o'rnatilishi kun sayin ortib bormoqda. Shamol energiyasi kundan-kun arzonroq va jozibador bo'lib bormoqda.

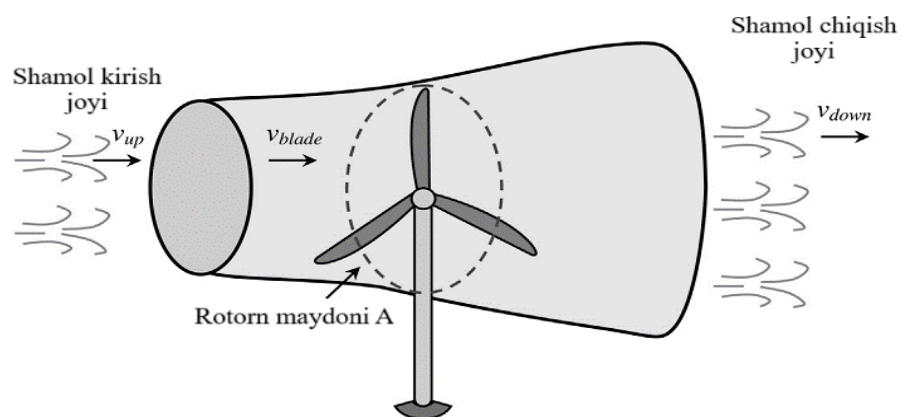
Shamol turbinasidan olinadigan quvvat. Shamol turbinalarida pichoqlarga kelib urilgan shamolning hammasi rotor tomonidan mexanik energiyaga aylantirilmaydi. Shamolning kinetik energiyasidan olinadigan mexanik quvvatni ifodalash uchun rotor samaradorligini hisobga olish zarur. Shamol turbinasiga yo'naltirilgan havo miqdori (massa oqimi) quyidagi (3.2.4) tenglama orqali hisoblab chiqiladi. Rotor pichoqlari tomonidan ushlab qolingani haqiqiy quvvat miqdori — shamol kanalining kirish va chiqish joylaridagi havo oqimining kinetik energiyasi farqidir. Shamol turbinasidan olinadigan quvvat quyidagi (3.5) tenglama orqali aniqlanadi.

$$m_{air} = A_1 v_{up} = A v_{blade} = A_2 v_{down} \quad (3.2.4)$$

$$P_{wind} = \frac{1}{2} m_{air} (v_{up}^2 - v_{down}^2) \quad (3.2.5)$$

Bu yerda A_1 — kirish (shamol yo'nalishidagi yuqori oqim) kesim maydoni, v_{up} — kiruvchi shamol tezligi, A — pichoqlar o'tadigan kesim maydoni, v_{blade} — turbina orqali o'tuvchi shamol tezligi, A_2 — chiqish (quyi oqim) kesim maydoni, v_{down} — chiqayotgan shamol tezligi, P_{wind} — shamol turbinasidan olingan quvvat, m_{air} esa havo massasi.

Shamol turbinasiga ta'sir etuvchi shamol kanali bo'ylab shamol tezligining o'zgarishi 3.2.3-rasmda ko'rsatilgan. Shamol kanal bo'ylab harakatlanayotganda (kirishda shamol tezligi v_{up} va chiqishda v_{down} bo'ladi), u doimiy shaklda bo'lmaydi.



3.2.3-rasm. Shamol turbinasiga ta'sir qiluvchi shamol tezliklari.

Shuning uchun aylanayotgan pichoqlar bo'ylab harakatlanuvchi havoning massa oqim tezligi (ya'ni vaqt birligiga to'g'ri keladigan massa miqdori) havoning o'rtacha tezligini havo zichligiga ko'paytirish orqali aniqlanadi. Shuningdek, havoning massa oqim tezligi turbina rotori tekisligidagi aylanish yuzasi (sweep maydoni) orqali v_{down} tezligini hisobga olgan holda ham topilishi mumkin.

Shamol massasi va hosil qilinayotgan quvvat o'rtasidagi nisbat 3.6 va 3.7 tenglamalarda berilgan. Betz qonuniga asoslangan holda shamol turbinasi orqali olinadigan maksimal quvvat qiymati 3.8 tenglama orqali ifodalanadi.

$$m_{air} = \rho A \left(\frac{v_{up} + v_{down}}{2} \right) \quad (3.2.6)$$

$$P_{wind} = \frac{1}{2} \left(\rho A \left(\frac{v_{up} + v_{down}}{2} \right) \right) (v_{up}^2 - v_{down}^2) \quad (3.2.7)$$

$$P_{wind} = \frac{1}{2} \rho A v_{up}^3 C_p \quad (3.2.8)$$

Energiya saqlashning to'ldiruvchi xususiyati. Energiya saqlash texnologiyalari elektr tarmoqlari va iste'molchilar uchun keng ko'lamli afzalliklarni taqdim etadi. Bu afzalliklar elektr tarmog'ining yetkazib berish, ishlash va infratuzilmasi, yakuniy iste'molchilar hamda qayta tiklanuvchi energiya manbalariga tegishlidir. Energiya saqlash foydalari shuningdek energiyaga yo'naltirilgan, sig'imga yo'naltirilgan va ommaviy yoki taqsimlangan shaklda guruhlanadi. Energiya saqlashdan resurs sifatida foydalanishning ikki asosiy foydasi mavjud: elektr energiyasining vaqt bo'yicha siljishi va elektr resurslarining quvvat sig'imidir. Elektr energiyasi qiymati yoki narxi arzon bo'lgan paytda energiya saqlanadi. Saqlangan energiya esa elektr narxi yuqori bo'lgan vaqt oralig'ida ishlatiladi.

Umumiy foyda — bu xarajatlardan qat'i nazar olinadigan jami daromaddir. Sof foyda esa daromad bilan xarajat o'rtasidagi farqni bildiradi.

Xarajatlarni oldini olishning uchta asosiy shakli mavjud. Masalaning birinchi ko‘rinishi — bu energiyani sotishdan olinadigan bevosita daromaddir. Agar energiya saqlash tizimi ishlab chiqarish, uzatish yoki taqsimlash bosqichlarida keng ko‘lamda joylashtirilsa, bu holat tarmoqning ishlab chiqarish, uzatish yoki taqsimlash sig‘imiga qo‘shimcha investitsiyalar zaruratini kamaytirishi mumkin. Energiya saqlashdan yakuniy iste‘molchi mahsuloti sifatida foydalanilganda, maqsad elektr to‘lovlarini kamaytirish yoki uzluksiz elektr ta‘minotini ta‘minlash bo‘lishi mumkin.

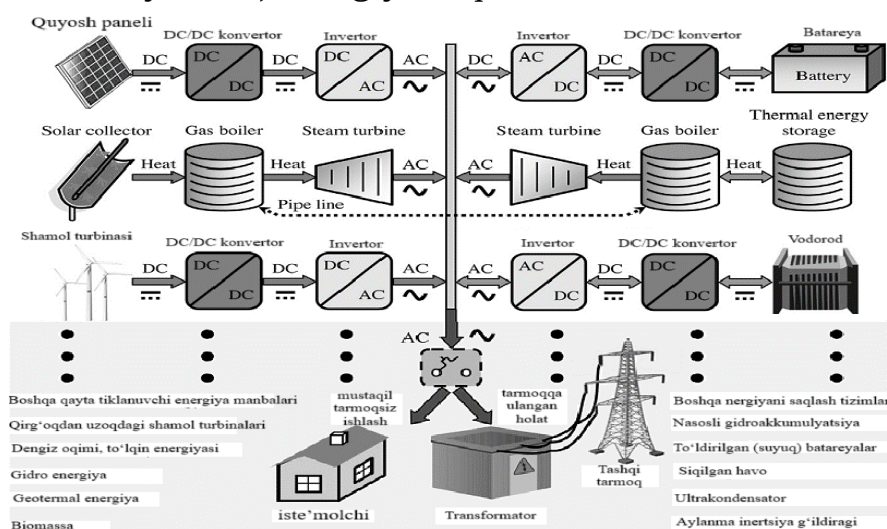
Energiya saqlash tizimlari nominal qiymatdan tashqari holatlarda ishlaganda, samaradorlik pasayadi, energiya narxi ortadi, xizmat muddati qisqaradi va ekologik zararli ta‘sirlar ortadi. Yordamchi xizmatlar doirasida, energiya saqlash texnologiyalari qo‘shimcha quvvat ishlab chiqarishga ehtiyojni kamaytirishi mumkin, bu esa an‘anaviy elektr stansiyalariga yuklamani kamaytiradi. Agar bu ehtiyoj energiya saqlash qurilmalari orqali qondirilsa, energiya narxlari barqaror bo‘lib qoladi va atrof-muhitga salbiy ta‘sirlar oldi olinadi.

3.3. Quyosh gibrid tizimlaridan foydalanish

Quyosh gibrid qayta tiklanuvchi energiya tizimining asosiy maqsadi — energiyaning uzluksizligini ta‘minlash va energiya ishlab chiqarish hajmini oshirishdir. Gibrid tizim quyosh asosidagi qayta tiklanuvchi energiya manbalarini (masalan, fotoelektrik panellar va kontsentratsiyalangan quyosh stansiyalari) birlashtirish orqali tashkil etiladi. Ammo bu yerda muammo shundaki, har ikkala ishlab chiqarish manbasining energiya manbai — quyoshdir. Bunday tizimlarda quyosh mavjud bo‘lmagan paytda energiya ishlab chiqarilmaydi. Ushbu kamchilikni bartaraf etish uchun boshqa qayta tiklanuvchi energiya manbalarini ham qo‘shish zarur. Shuning uchun “quyosh gibrid tizimlari” atamasi faqat quyoshga asoslangan qurilmalarni emas, balki shamol, to‘lqin, geotermal, biomassa, batareya, ultrakondensator va uchish g‘ildiragi kabi energiya ishlab chiqarish va saqlash elementlarini ham o‘z ichiga oladi. Quyosh gibrid tizimlarining foydalanish topologiyasi 3.3.1-rasmda ko‘rsatilgan. Quyosh yo‘qligida muqobil energiya manbalari ushbu bo‘shliqni to‘ldirishi mumkin. Biror bino yoki obyekt 100% qayta tiklanuvchi energiya bilan ta‘minlash faqatgina gibrid tizimlar va energiya saqlash qurilmalari orqali amalga oshiriladi. Qayta tiklanuvchi energiya manbalarining turlari ko‘p bo‘lsa, energiya yig‘ish ehtimoli ham shuncha

yuqori bo‘ladi. Bu manbalar xilma-xilligi tizimni optimal boshqarishga imkon beradi. Har bir energiya ishlab chiqarish, energiya saqlash va iste’molchi birliklari alohida boshqarilishi kerak. Bunday tizimlarda foydalanuvchiga sifatli va uzluksiz energiya yetkazib berish uchun energiya boshqaruv algoritmlari zarur.

Quyosh fotoelektrik paneli, kontsentratsiyalangan quyosh energiyasi, shamol va boshqa qayta tiklanuvchi energiya manbalari (offshor shamol, dengiz oqimi, to‘lqin, gidroelektr, geotermal va biomassa) aks etgan (3.3.1-rasm). Batareyalar, issiqlik energiyasi saqlagichlari, vodorod va boshqa saqlash texnologiyalari (nasosli gidroelektr, oqimli batareyalar, siqilgan havo, ultrakondensator va flywheel) energiya saqlash bloklarini tashkil etadi.



3.3.1 – rasm. Quyosh gibrad qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanish topologiyasi

Quyosh gibrad tizimida barcha ishlab chiqarish birliklari umumiy AC liniyasiga ulanadi. Har bir manba uchun alohida energiya konvertatsiya bloklari mavjud. Masalan, fotoelektrik panellardan olinadigan DC elektr energiyasi DC/DC konvertorga, so‘ngra DC/AC inverter orqali AC liniyaga ulanadi. Bu konversiya bloklari qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan maksimal energiyani olish uchun ishlab chiqilgan.

Energiya saqlash tizimlari, qayta tiklanuvchi energiya manbalari ortiqcha yoki kam energiya ishlab chiqargan holatlarda muhim to‘ldiruvchi element bo‘ladi. Energiya saqlash qurilmalari ularning chiqish xususiyatlariga qarab turlicha maqsadlarda ishlatiladi. Masalan, batareyalar ortiqcha energiyani uzoq muddatli talabga tayyor saqlash uchun eng mos yechim hisoblanadi. Boshqa tomondan, ultrakondensatorlar kutilmagan, tezkor energiya talabini qondirish

uchun ishlatiladi. Shuning uchun, energiya saqlash uskunasini tanlash, tizimning foydalanish maqsadiga muvofiq amalga oshirilishi lozim.

Konvensional tarmoq tuzilmasidan farqli o'laroq, aralash quyosh energiyasini ishlab chiqarish tizimlarida turli binolarda yoki muassasalarda qayta tiklanadigan energiya manbalari va ularning integratsiyasi muhim masalalardan biridir. Ushbu innovatsion tarmoq tuzilmalariga mikrogridlar deyiladi. Mikrogrid (mikrotarmoq) — bu energiya mahalliy ehtiyojlarni qondirish uchun mahalliy ravishda ishlab chiqariladigan tizimdir. Mikrogrid kichik energiya talab qiladigan bir birlikka tatbiq etilishi mumkin, shuningdek, katta jamoalar, shaharchalar, qishloqlar va orollar kabi katta hududlarga energiya taqdim etishi mumkin.

Mikrogridlarda faqat elektr energiyasi ishlab chiqarilib ishlatilmaydi. Shuningdek, mikrogridlarda joyida ishlab chiqarilgan issiqlik energiyasi bilan qo'shma energiya ishlab chiqarish zavodi ham tashkil etilishi mumkin. Shunday qilib, elektr energiyasini ishlab chiqarishning yon mahsuloti sifatida foydalanuvchilarning isitish ehtiyojlarini qondirish imkoniyati yaratiladi.

Mikrogridlar an'anaviy markazlashtirilgan tarmoqdan mustaqil bo'lib, ularni alohida bir birlik sifatida tasavvur qilish mumkin. Biroq, mikrogridlar markaziy tarmoqqa ulanib, qayta tiklanadigan energiya manbalaridan ishlab chiqarilgan elektr energiyasining importi va eksportini amalga oshirishi mumkin. Shunday qilib, mikrogridlar o'zlarining qolgan energiyasini sotgan holda, ular imkon qadar mahalliy energiya ishlab chiqarishlari mumkinligi sababli juda ishonchli energiya manbai sifatida ko'riladi. Mikrogridlar ortiqcha energiya mavjud bo'lsa, uni tarmoqqa uzatadi va mahalliy quvvat talab qilinganida tarmoqdan energiya oladi. Shuningdek, mikrogridlar ishlab chiqarilgan energiyaning samaradorligini oshirish uchun batareyalar, ultrakondensatorlar va issiq suvni saqlash tizimlari kabi saqlash texnologiyalaridan foydalanadi. Shunday qilib, mikrogridlar kelajakdagi energiya ishlab chiqarishda eng muhim rivojlanishlardan biri sifatida ko'riladi.

Mikrogridlar energiya boshqaruvi bloki aralash qayta tiklanadigan energiya tizimining eng muhim qismlaridan biridir. Energiyani boshqarish bloki ishlab chiqarilgan energiyaning optimal tarzda ishlatishga imkon beradi. Energiyani boshqarish bloki doimiy ravishda energiya saqlash bloklarini tekshirib boradi va ularning har doim to'liq bo'lishini ta'minlaydi.

Energiyani boshqarish bloki bilan birga ko'plab usullar ishlab chiqilgan. Ulardan biri — ilg'or aralash energiyani boshqarish tizimi. Ideal element kengaytirish usuli, noaniq-logic qaror qabul qilish usuli, analitik hierarxiya jarayonini boshqarish usuli, kulrang klasterlash usuli va geografik ma'lumotlar tizimi usullari aralash energiya boshqarish tizimida qo'llaniladi. Ushbu usul ikkita yoki undan ortiq quvvat ishlab chiqarish va energiya saqlash birliklari bilan ishlaydigan tizimda qulay foydalanishni ta'minlaydi. Foydalanuvchi darhol xabardor

qilinadi va birliklarning (ishlab chiqarish yoki saqlash birliklari) muvaffaqiyatsiz ishlash sharoitlari ushbu interfeys bilan taqdim etiladi. Shuningdek, ushbu interfeys qayta tiklanadigan energiya manbalari qancha quvvat ishlab chiqarayotganini va tarixiy ma'lumotlarni tahlil qilish imkoniyatini beradi. Bu ma'lumotlar yordamida aralash energiya ishlab chiqarish tizimi haqida taxmin qilish imkonini beradi. Shunday qilib, energiya boshqaruv bloki yanada aqlli bo'lib, optimal ishlashni ta'minlaydi.

Qayta tiklanadigan quyosh-shamol energiyasi sanoati rivojlanayotgan mamlakatlarda tez rivojlanmoqda. Biroq, elektr energiyasining mavjud elektr tarmog'iga sotilishi qiyinligi, barqarorlik va energiya ta'minotidagi uzilishlar sababli jiddiy muammolarga olib kelmoqda. Ushbu muammolarni hal qilish uchun, ayniqsa, chiqish quvvati xususiyatlarida noaniqlik va uzilishlar bo'lgan qayta tiklanadigan energiya ishlab chiqarish muammosini hal qilish zarur. Ushbu yechim aralash qayta tiklanadigan energiya tizimlarini o'rnatish orqali amalga oshiriladi.

Aralash qayta tiklanadigan energiya ishlab chiqarish tizimida olinadigan energiyani ishlab chiqarish va foydalanish uchun turli usullarni joriy qilish va qo'llash tizim narxini oshiradi. Shuningdek, bu aralash tizimning amortizatsiya davriga ta'sir qilishi va keraksiz investitsiyalarga olib kelishi mumkin. Ushbu muammoni hal qilish uchun tizimga zarur quvvat darajasida energiya saqlash blokini qo'shish aqlli bo'ladi. Bu aralash energiya ishlab chiqarish tizimining ishonchliligini oshiradi. Shunday qilib, aralash energiya ishlab chiqarish tizimining umumiy narxi shu bilan birga quvvat qiymatlarida energiya ishlab chiqarishni kamaytirishi mumkin. Aralash energiya ishlab chiqarish tizimiga yana bir manba qo'shish orqali yechimni taqdim etishi mumkin. Bu yerda e'tibor berilishi kerak bo'lgan parametr foydalanuvchilarning umumiy talab quvvati hisoblanadi. Aralash energiya ishlab chiqarish tizimida quvvat o'lchamini optimallashtirish orqali to'g'ri manbalarni tanlash kapital xarajatlarni kamaytiradi. Fotoelektrik paneli va shamol energiyasidan foydalangan holda aralash energiya ishlab chiqarish tizimida vodorod ishlab chiqarish — saqlash usullari bo'yicha boshqa bir nuqtai nazar hisoblanadi. Vodorod aralash energiya ishlab chiqarish tizimida ortiqcha energiya bilan saqlanishi mumkin. Keyin, tizimda energiya talab qilinganda, saqlangan vodorod energiyasi elektr energiyasiga aylantiriladi va talab quvvati qondiriladi. Vodorod tabiiy yoqilg'i emas, balki sintetik yoqilg'idir, u suv, fosil yoqilg'ilar va biomassa kabi turli xom ashyo materiallaridan ishlab chiqarilishi mumkin. Vodorod ishlab chiqarish bosqichida, ko'plab alternativ vodorod ishlab chiqarish texnologiyalari mavjud, masalan, bug'ni tiklash, chiqindi gazlarni tozalash, elektroliz, fotoprotsesslar, termokimyoviy jarayonlar va radioliz. Ishlab chiqarilgan vodorodni katta masofalarga quvurlar yoki tankerlar orqali tashish mumkin. Vodorodning transporti uchun hech qanday to'sqinliklar yo'qligi uning kengroq ishlatilishini ta'minlaydi.

Vodorod barcha ma'lum yoqilg'ilar orasida eng yuqori energiya miqdoriga ega bo'lib, har bir birligi uchun 120,7 kJ/kg energiya qiymatiga ega.

Konsentratsiyalangan quyosh energiyasi va shamol energiyasi bilan birga ishlaydigan aralash energiya ishlab chiqarish tizimi energiya saqlash blokida vodorod ishlab chiqarish usuli yordamida tashkil etilgan. Ushbu aralash tuzilma proton almashinuvi membranasi elektrolizini qo'llash orqali energiyani elektr tarmog'iga uzatdi. Energiyani boshqarish algoritmi energiyaning oqimini ko'p bosqichli invertorni ishlatish orqali amalga oshirishni ta'minladi. Vodorod aralash energiya ishlab chiqarish blokida ishlab chiqarilib, bosimli idishda saqlanadi. Aralash tizimda ehtiyoj bo'lsa, vodorod yonilg'i hujayrasi va DC/DC quvvat konvertor sxemasi orqali energiya taqdim etiladi. Vodorodni energiya saqlash bloki sifatida ishlatish bunday ilovalar sonining ko'payishi bilan tijorat o'lchamiga ega bo'ldi.

Ushbu aralash qayta tiklanadigan energiya texnologiyasi 24 soat davomida atrof-muhitga zarar keltirmaydigan energiya ishlab chiqarishni ta'minlaydi. Shuningdek, bunday tizimlar kichik elektr tarmoqlari va tarmoqdan tashqari tizimlar uchun eng maqbul yechimdir. Ta'rif bo'yicha, "aralash energiya ishlab chiqarish" — bu bitta energiya manbai yetarli bo'lmagan holatlarda muammolarni hal qiluvchi tizimdir. Aralash qayta tiklanadigan energiya tizimi kelajakdagi barqaror va ekologik energiya ishlab chiqarish usulidir. Ushbu energiya ishlab chiqarish usullari tabiati himoyasiga sezilarli hissa qo'shadi. Shuningdek, aralash energiya ishlab chiqarish tizimlari joriy tarmoq tuzilmasida uzatish xarajatlarini kamaytiradi.

NAZORAT SAVOLLARI:

1. Quyosh tizimi qanday energiya manbai xisoblanadi?
2. Quyosh nurlanishidan foydalanish muddati o'rtacha kuniga nechi soatni tashkil etadi?
3. Quyosh energiyasidan qaysi vaqtlarda foydalanish mumkin emas?
4. Quyosh gibrid energiya tizimi yaratiladi?
5. Quyosh energiyasidan foydalanish nechi xil usulda amalga oshiriladi?
6. Passiv quyosh tizimining kamchiliklari qanday?
7. Biror bino yoki obyektni 100% qayta tiklanuvchi energiya bilan ta'minlash qanday amalga oshiriladi?
8. Mikrogrid-bu nima?
9. Mikrogridlarning ishlash jarayoni qanday?
10. Vodorod qanday yoqilg'i xisoblanadi?

IV-BOB

GIBRID QAYTA TIKLANUVCHI ENERGIYA ISHLAB CHIQARISH TIZIMLARI

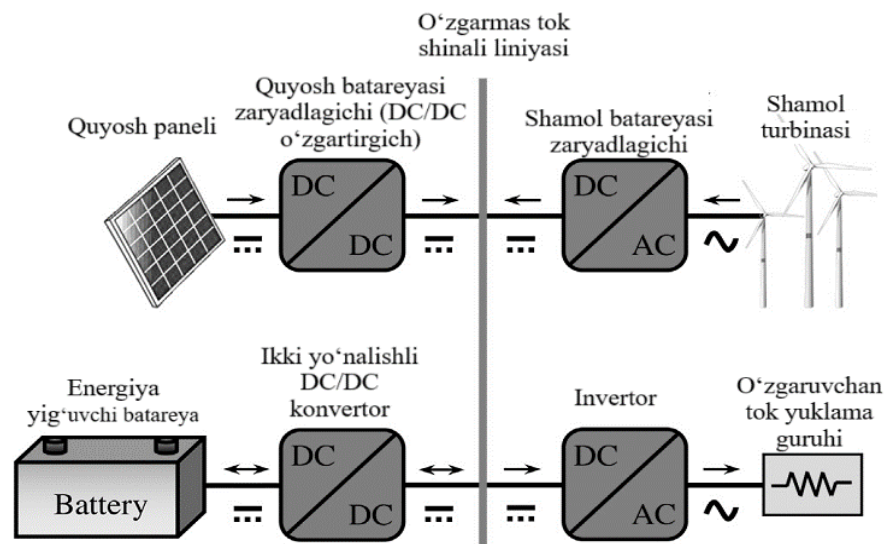
4.1. Gibrid qayta tiklanuvchi energiya tizimlari

So‘nggi vaqtlarda qayta tiklanuvchi energiya manbalariga bo‘lgan qiziqish ortib borayotgani kuzatilmoqda. Qayta tiklanuvchi energiya manbalari ifloslantiruvchi emas va ularga oson kirish mumkin. Bunday afzalliklar ularni ko‘plab ilovalar uchun jozibador qiladi. Bugungi kunda bir nechta qayta tiklanuvchi energiya manbalarini birlashtirish orqali gibrid qayta tiklanuvchi energiya manbalari yaratilmoqda. Eng keng qo‘llaniladigan shamol turbinalari va fotoelektrik tizimlar suvni nasoslash, yoritish, telekommunikatsiya va uzoq hududlarda elektr energiyasiga bo‘lgan ehtiyojni ta‘minlash kabi turli sohalarda qo‘llaniladi. Gibrid qayta tiklanuvchi energiya manbalari, odatda, simsiz telekommunikatsiya, sun‘iy yo‘ldoshlar va yer stansiyalari kabi uzoq hududlarga joylashtirilishi kerak bo‘lgan tizimlar uchun tanlanadi. Qayta tiklanuvchi energiya ishlab chiqaruvchi tizimlarga bo‘lgan talab ortib borayotganligi sababli, bu manbalar bilan bog‘liq ilmiy-tadqiqot va ishlab chiqish ishlari tez sur‘atlarda davom etmoqda.

Quyosh fotoelektrik panellari yoki shamol energiyasi shahar markazidan uzoq joylar uchun mos yechim sifatida qaralishi mumkin. Bunday tizimlarda odatda akkumulyatorli energiya saqlash qurilmalari qo‘llaniladi. Ushbu muqobil yechimlar, odatda, gibrid qayta tiklanuvchi energiya tizimlari sifatida tasniflanadi. Tarmoqqa ulangan infratuzilma mavjud bo‘lmagan hududlarda ushbu tizimlar keng qo‘llaniladi va afzal ko‘riladi, chunki elektr tarmog‘ini tortish xarajatlaridan ancha arzon turadi. Bir nechta manbalardan va ayniqsa energiya saqlash qurilmalari bilan birgalikda foydalanish bunday tizimlarning ishonchliligini oshiradi. Shu tarzda, bir uy uchun zarur elektr energiyasi ushbu gibrid qayta tiklanuvchi energiya manbalari orqali ta‘minlanishi mumkin. Bunday gibrid tizimlar qo‘llanishining ortib borishi bilan tizim topologiyalari ham o‘zgarib bormoqda. Gibrid tizimlar quyidagi shakllarga bo‘linadi: ketma-ket gibrid energiya tizimlari, almashinuvchi gibrid energiya tizimlari va parallel gibrid energiya tizimlari.

Ketma-ket gibrid qayta tiklanuvchi energiya tizimi topologiyasi. Ketma-ket gibrid qayta tiklanuvchi energiya tizimi topologiyasida barcha energiya manbalari batareya guruhini quvvatlaydi. Har bir qayta tiklanuvchi

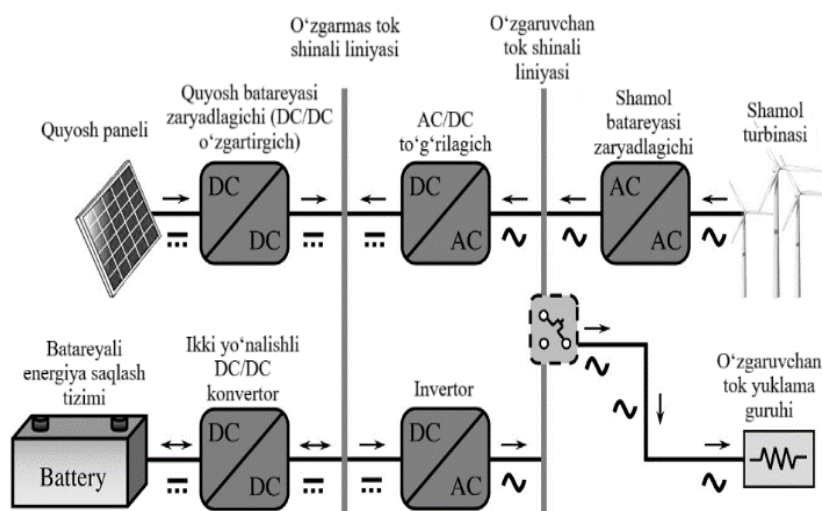
energiya manbai alohida batareyani zaryadlash nazorati qurilmasiga ega. Ushbu topologiyada barcha birliklar to‘g‘ridan to‘g‘ri yagona tok oqimi (DC) shinasini orqali birlashtiriladi. Shu sababli barcha manbalarning kuchlanish va tok parametrlari umumiy o‘zgaras tok shinasiga mos ravishda o‘lchovlanishi kerak.



4.1.1-rasm. Ketma-ket gibrid qayta tiklanuvchi energiya tizimi topologiyasi.

Qayta tiklanuvchi energiya manbalaridagi quvvat konvertorlar maksimal quvvat nuqtasida ishlash xususiyatiga ega. Ushbu topologiyada batareya guruhi doimo faol bo‘ladi. Shu sababli, batareya guruhining chuqur razryadlanish xususiyati (DC) va sikllar soni yuqori bo‘lishi lozim. O‘zgaras tok shinadan olingan kuchlanish invertor orqali o‘zgaruvchan tok (AC) kuchlanishiga aylantiriladi. Ushbu topologiyada barcha manbalardagi quvvat yuqori quvvatli invertor yordamida AC kuchlanishga aylantirilgani sababli tizim samaradorligi past bo‘ladi. Ketma-ket gibrid topologiyasi yuklama talabiga qarab o‘lchovlanadi. Ketma-ket gibrid qayta tiklanuvchi energiya tizimi topologiyasi 4.1.1- rasmda keltirilgan. Ushbu topologiyada bir nechta energiya ishlab chiqaruvchi qurilmalar mavjud bo‘lganligi sababli, batareya guruhi yuklama guruhini ta‘minlashda yuqori razryad toklariga duch kelmaydi. Umumiy o‘zgaras tok shina orqali turli xil qayta tiklanuvchi energiya manbalarini tizimga integratsiya qilish mumkin. Bunga qo‘shimcha ravishda, tizimda yuklama guruhini quvvatlantirish uchun yagona invertor mavjud. Invertor tizimdagi maksimal yuk talabini qondira oladigan quvvatga ega bo‘lishi kerak. Batareya guruhi yuqori sikllar soniga duch kelganligi sababli uning ishlash muddati qisqaradi. Shuningdek, batareyalar chuqur razryadlanishga chidamli bo‘lishi kerak.

Kommutatsiyalanuvchi (almashinuvchan) gibrid qayta tiklanuvchi energiya tizimi topologiyasi. Kommutatsiyalanuvchi gibrid qayta tiklanuvchi energiya tizimi topologiyasining amaliyotda qo'llanishi murakkab bo'lishiga qaramasdan, eng ko'p afzal ko'riladigan tuzilmalaridan biridir. Ushbu tuzilmada AC (o'zgarmas tok) shinasiga ulangan energiya manbalarini parallel holatda ishlatish imkoni yo'q. Shamol turbinolari va quyosh fotoelektrik panellari akkumulyator guruhini zaryadlaydi. Bu topologiya tuzilmasida AC shinasiga ulangan yuklama guruhi ta'minlanishi mumkin bo'ladi, bu esa tizimdagi konvertor birliklari sonini kamaytiradi. Bu esa tizim samaradorligini oshiradi. Ushbu tuzilmada AC shinasidagi birliklar va akkumulyator guruhi ham zaryadlanishi mumkin. Shu orqali tizimda DC (o'zgarmas tok) yuklamalarni ham ishlatish imkoniyati paydo bo'ladi. Ketma-ket topologiyada bo'lgani kabi, bu tuzilma ham inverter tizimi orqali barcha quvvatlarni ta'minlashi mumkin.



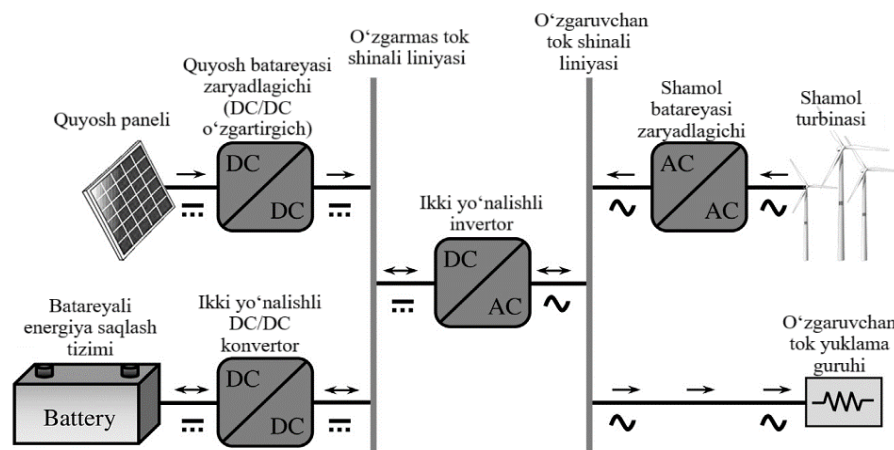
4.1.2-rasm. Kommutatsiyalanuvchi (almashinuvchan) gibrid qayta tiklanuvchi energiya tizimi topologiyasi.

Energiya ishlab chiqaruvchi birliklar bilan yuklama o'rtasidagi konvertatsiya birliklari soni kamaygani uchun tizim samaradorligi ortadi. Biroq, bu topologiyada o'tishlar vaqtida to'satdan quvvat uzilishlari sodir bo'lishi mumkin va bu esa istalmagan holat hisoblanadi. Kommutatsiyalanuvchi gibrid qayta tiklanuvchi energiya tizimi topologiyasi 4.1.2- rasmda tasvirlangan.

Parallel gibrid qayta tiklanuvchi energiya tizimi topologiyasi. Parallel gibrid qayta tiklanuvchi energiya tizimi topologiyasi tarkibida ham DC (o'zgaras tok) magistrali, ham AC (o'zgaruvchan tok) magistrali mavjud

bo'ladi. o'zgarmas tok quvvat ishlab chiqaruvchi qayta tiklanuvchi energiya manbalari yagona o'zgarmas tok magistralida jamlanadi. AC chiqish xususiyatiga ega bo'lgan qurilmalar esa AC magistralida birlashtiriladi. Ushbu ikkita magistral o'rtasida ikki yo'nalishli invertor qo'llaniladi. Bu ikki yo'nalishli invertor batareya va yuklama talabiga qarab AC/DC to'g'rilovchi yoki DC/AC invertor rejimida ishlaydi.

Agar AC quvvat ishlab chiqaruvchi manbalar tomonidan ishlab chiqarilgan energiya yuklama talabidan teng yoki ko'p bo'lsa, yuklama guruhi AC magistrali orqali ta'minlanadi. Ortiqcha energiya esa ikki yo'nalishli invertor yordamida batareyani zaryad qilish uchun ishlatiladi. Agar AC quvvat tizimlari yuklama talabini bajara olmasa, batareya guruhi faollashtiriladi va ikki yo'nalishli invertor yuklama guruhining energiya ehtiyojini qoplaydi. Bu topologiyada ikki yo'nalishli invertorning roli juda katta bo'lib, uning quvvat sig'imi yuqori bo'lishi kerak.



4.1.3 -rasm. Parallel gibrid qayta tiklanuvchi energiya tizimi topologiyasi.

Agar invertorda nosozlik yuzaga kelsa, o'zgarmas tok magistrali tomonidagi energiya manbalari ishlay olmaydi.

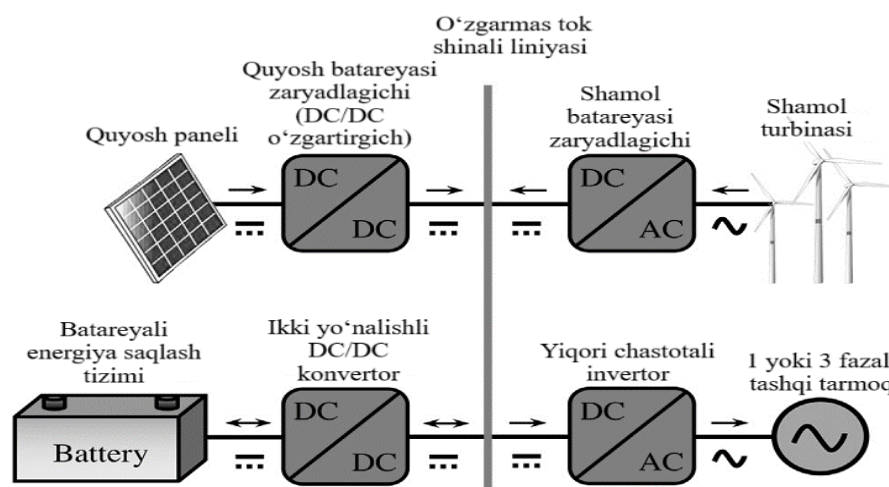
Parallel gibrid qayta tiklanuvchi energiya tizimi topologiyasi boshqa topologik tuzilmalar bilan solishtirilganda ko'plab ustunliklarga ega. Ushbu topologiyada har bir quvvat konvertorini yagona boshqaruv bloki orqali nazorat qilish mumkin. Bunday gibrid energiya boshqaruv algoritmi energiyadan optimal foydalanishni ta'minlaydi. Garchi ushbu boshqaruv tuzilmalari murakkab bo'lsa-da, ular tizim samaradorligi uchun zarurdir.

Mazkur topologiyada yuklama guruhining energiya talabi optimal darajada ta'minlanadi. Parallel gibrid qayta tiklanuvchi energiya tizimi topologiyasi 4.1.3-rasmda tasvirlangan. Tizimning ishonchli ishlashi uchun

gibrid boshqaruv algoritmi muhim hisoblanadi. Tizimda ishlatiladigan inverter sof sinusoidal chiqish xususiyatiga ega bo'lishi lozim.

Gibrid qayta tiklanuvchi energiya tizimlarini boshqarish. Gibrid energiya tizimlarini o'lchamlash bosqichida tizim samaradorligi, xarajati va boshqaruv blokini tanlash muhim mezonlardandir. Bunday tizimlarni joriy qilishdan oldin, simulyatsiya dasturlaridan foydalanish to'g'ri qaror qabul qilishga yordam beradi. Energiya boshqaruv algoritmlarining asosiy maqsadi — butun tizimning optimal ishlashini ta'minlashdir. Bu algoritmlar qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan maksimal darajada energiya olishni kafolatlaydi. Gibrid energiya boshqaruv qurilmasi tizimdagi elementlarning xizmat muddatini maksimal darajada uzaytirishga qaratilgan. Energiya boshqaruv algoritmlari batareya guruhining zaryad - razryad tezligi, chuqur razryad darajasi va tsikl sonini nazorat qiladi. Batareya bilan bog'liq ko'proq parametrlar baholansa, uning umr davomiyligi ortadi. Shu bilan birga, bu nazorat qiluvchini yanada murakkablashtiradi.

Boshqaruv qurilmasining murakkab tuzilishi tizim ishonchlilikini oshiradi. Qayta tiklanuvchi energiya manbalarining o'zgaruvchan chiqish xususiyatlari boshqaruv tizimi orqali aniqlanadi va shunga mos ravishda batareya guruhi faollashtiriladi. Gibrid energiya boshqaruv algoritmi tizimdagi o'zgaruvchan sharoitlarga doimiy javob bera olishi kerak. Agar tizimdagi yuklama talabi mavjud energiya manbalari tomonidan to'liq qondirilsa, eng samarali ishlash holatiga erishiladi. Bu holatda zaryad-razryad sikllari kamayadi. Samarali boshqaruv usulini tanlash tizim komponentlari, atrof-muhit sharoitlari, texnik xizmat ko'rsatish davri va ish rejimlariga bog'liq.

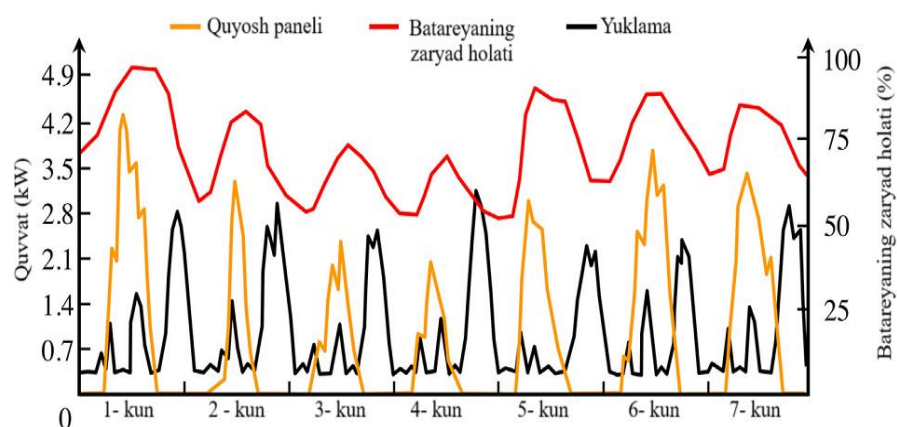


4.1.4-rasm. Tarmoqqa ulangan gibrid energiya tizimi topologiyasi.

Bir nechta qayta tiklanuvchi energiya manbalari va energiya saqlash birligini birgalikda ishlatish energiya shonchililigini oshiradi. Ushbu tizimlarni tarmoq bilan sinxron ravishda ishlatish energiya shonchililigini ta'minlaydi. Tarmoqqa ulangan gibrid qayta tiklanuvchi energiya tizimlari odatda tarmoqqa past yoki o'rtacha kuchlanishda ulanishadi. Gibrid energiya ishlab chiqarish tizimidagi inverters tarmoqqa sinxron tarzda ulanish orqali ishlaydi. Yuqori quvvatli ilovalar odatda o'rtacha kuchlanishdagi tarmoqqa transformator orqali ulanishadi. Ushbu transformator yuqori quvvatga ega bo'lgani uchun uning o'lchamlari, og'irligi va narxi ham yuqori bo'ladi. Quvvat elektronikasidagi yutuqlar tufayli, inverterlar endi to'g'ridan-to'g'ri tarmoqqa ulanadi. Gibrid tizim va tarmoq o'rtasidagi izolyatsiya transformator orqali ta'minlanadi. Biroq, ushbu transformatorning o'lchamlari va og'irligi yuqori chastotali tuzilishi tufayli juda pastdir. Klassik usulda ishlovchi transformatorlar (50–60 Hz) o'rniga yangi avlod inverterlari 10–20 kHz chastotada ishlaydi. Ikkala usulda ham elektr izolyatsiyasi ta'minlanadi. Bunday ilovalarda qayta tiklanuvchi energiya manbalari yagona o'zgaras tok busida birlashtiriladi. Gibrid tizim va tarmoq o'rtasida yuqori chastotali inverter ishlatish orqali ham tarmoqqa integratsiya, ham elektr izolyatsiyasi ta'minlanadi.

4.2. Gibrid tizim: Fotoelektrik panel, shamol va batareya

Qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanilganida, har bir manba o'zining tabiiy kamchiliklariga ega bo'ladi. Ushbu kamchiliklarni bartaraf etish uchun mashhur yechim sifatida ko'pincha gibrid tizimlar yaratiladi. Masalan, shamol energiyasida quvvat shamol esayotgan vaqtda ishlab chiqariladi; fotoelektrik panel energiyasida esa quvvat kun davomida va quyoshli vaqtlarda ishlab chiqariladi. Fotoelektrik tizimlar modulli tuzilishga ega. Agar fotoelektrik tizimdan ko'proq quvvat ishlab chiqarish talab qilinsa, tizimga yangi fotoelektrik panel qo'shish mumkin. Quyosh nuri va inshootning darajasi mintaq, fasl va kunning vaqtiga qarab o'zgarishi mumkin, lekin quyosh — sayyoramizning deyarli har bir nuqtasida topilishi mumkin bo'lgan energiya manbasidir. Biroq, ko'plab joylarda qishning boshlanishi yoki bulutli davrlar quyosh nuri mavjudligini cheklaydi.



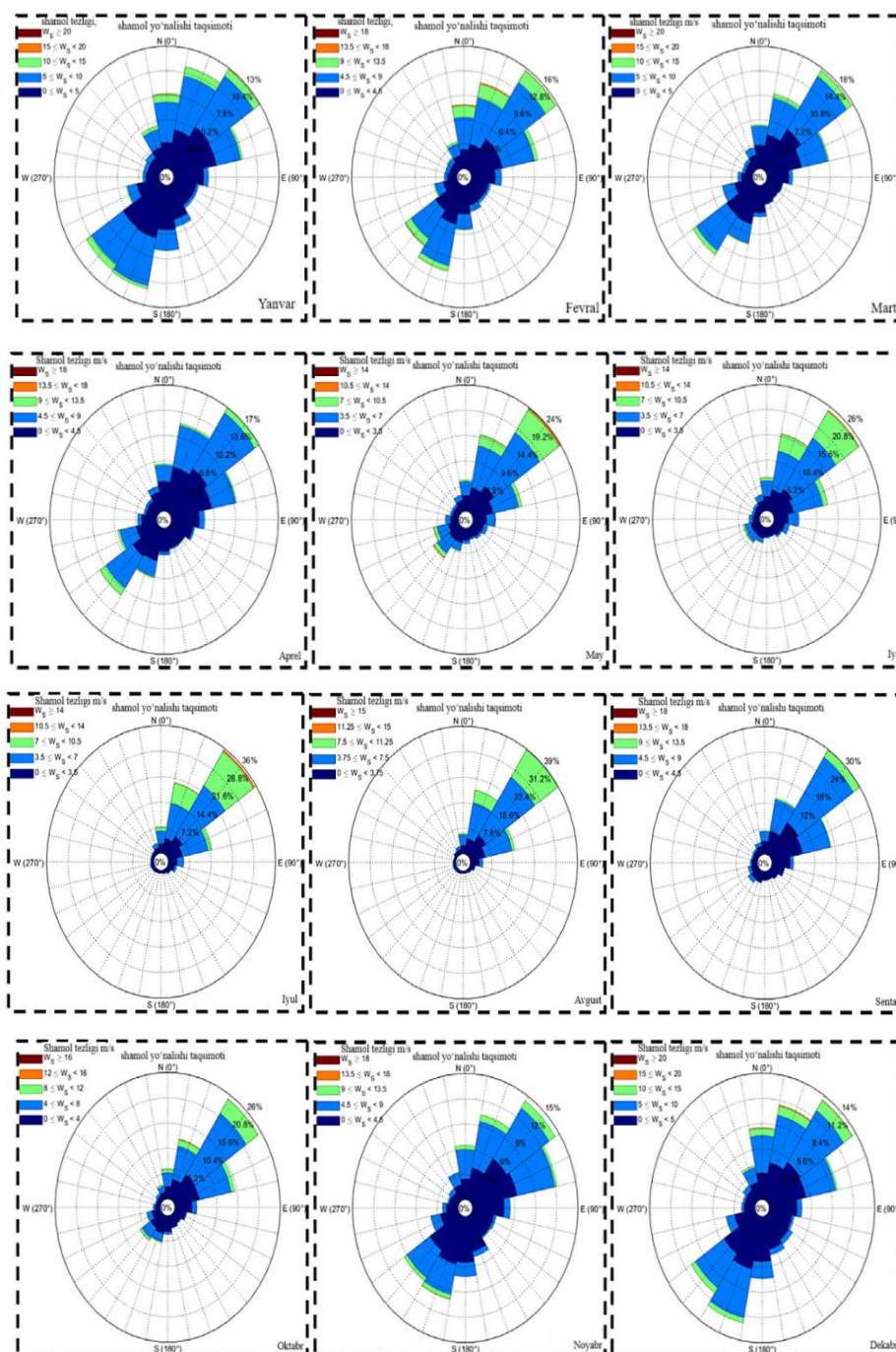
4.2.1 –rasm. Energiya saqlash tizimi bilan fotoelektrik panel tizimining quvvat ishlab chiqarish grafikasi.

Agar yuk talab qilgan vaqt oralig'i va fotoelektrik tizim tomonidan ishlab chiqarilgan energiya o'rtasida moslik bo'lmasa, intensiv foydalanish davrida ishlab chiqarilgan ortiqcha energiya odatda energiya saqlash tizimi orqali ta'minlanadi. Katta energiya saqlash quvvatiga ehtiyoj tizim narxini sezilarli darajada oshirishi mumkin. Odatda, uzluksiz foydalanishni ta'minlash uchun zaxira elektr generatori yoki tashqi tarmoq kerak bo'ladi, bu esa qo'shimcha xarajatlarni anglatadi. 5 kW quvvatga ega fotoelektrik panel tizimiga 20 kWh sig'imli energiya saqlash birligi ulangan. Batareya guruhining zaryad holati, yuk guruhining quvvati va fotoelektrik panel quvvati haftalik asosda ko'rsatilgan (4.2.1-rasm).

Shamol ma'lumotlarini tahlil qilish. Shamol ma'lumotlari, fotoelektrik panel o'rnatilgan joy bilan bir xil hududda tahlil qilindi. Shamol ma'lumotlarini tahlil qilish joyining koordinatalari: kenglik 39.11° va uzunlik 29.01° . Shamol ma'lumotlari, 1979-yildan bugungi kunga qadar soatlik intervalda Milliy Energiya va Iqlim Rejalari (NECP) orqali olingan. Ushbu ma'lumotlar shamol tezligi, shamol yo'nalishlari, havo bosimi va havo haroratlarini o'z ichiga oladi. Shamol ma'lumotlari natijalari 10 m dan past bo'lgan hudud uchun olingan.

Navionics Boating dasturida aniqlangan koordinatalar NECP dasturida ishlatilgan va so'rov qilingan ma'lumotlar ishlov berishga tayyorlangan. Ma'lumotlar uzatish jarayonidan so'ng, oylik asosda bo'lingan ma'lumotlar alohida-alohida va barcha ma'lumotlar sifatida qayta ishlangan. Avvalo, 40 yillik barcha ma'lumotlar qayta ishlanib, tanlangan nuqtada shamol rozyasi profili yaratildi. Ushbu jarayon natijasida kutilgan profil olingan. Shimoli-sharq shamollari hukmronligi kuzatildi. Barcha 40 yillik ma'lumotlar shamol rozyasi dizaynida 16 yo'nalishga bo'lingan. Oylik bo'yicha shamol tezliklari

4.2.3-rasmda keltirilgan. Shamol rozyasining barcha tezlik ma'lumotlari 4.2.4-rasmda keltirilgan.



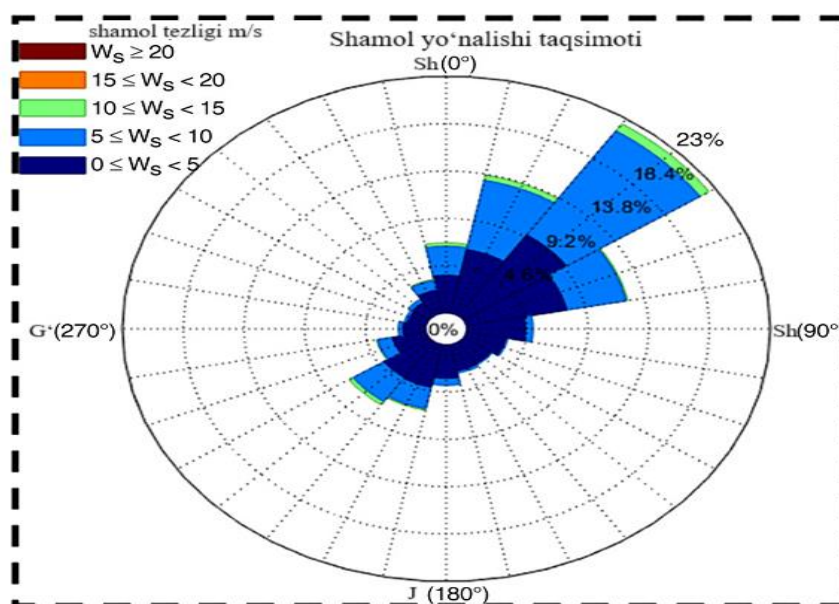
4.2.3 – rasm. Shamol yo‘nalishi tezligi oylar bo‘yicha diagrammasi.

Shamol rozyasini olish jarayoni 40 yillik ma'lumotlarni oylik asosda filtrlab qayta ishlash orqali takrorlangan. Ushbu jarayon natijasida barcha ma'lumotlardan iborat shamol rozyasi va 12 oylik alohida shamol rozyalari olingan. Oylik o'rtacha shamol tezliklari tahlil qilinganda, qish mavsumida shimoliy-sharq va janubi-g'arb shamollari hukmronligini, boshqa

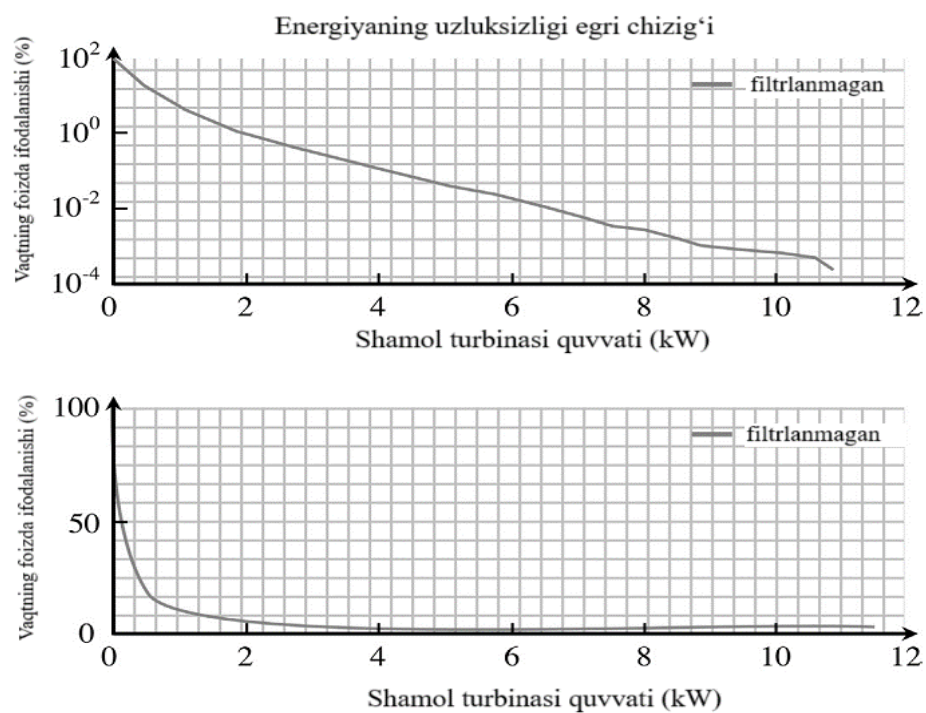
mavsumlarda esa shimoliy-sharq shamolining hukmronligini aniq ko'rish mumkin. Shamol energiyasini ishlab chiqarish uchun zarur bo'lgan minimal va maksimal shamol tezliklarini grafiklardan qayta ishlash orqali energiya ishlab chiqarish vaqtlarini aniqlash mumkin.

Shamol energiyasini aylantirish samaradorligi. Energiyani uzluksiz o'tkazish egri chizig'i barcha shamol ma'lumotlari va 2 dan 15 m/s gacha bo'lgan tezliklar uchun ikki xil usulda hisoblangan. Barcha ma'lumotlar uchun filtrlashsiz olingan energiya uzluksizligi egri chizig'i 4.2.5-rasmda keltirilgan. Filtrlangan ma'lumotlar asosida olingan energiya uzluksizligi egri chizig'i esa 4.2.6-rasmda berilgan. Oylik asosda olingan shamol yo'nalishi diagrammalariga ko'ra, qish mavsumi janubi-sharq yo'nalishida, boshqa mavsumlar esa asosan shimoli-sharq yo'nalishida ustunlik qiladi.

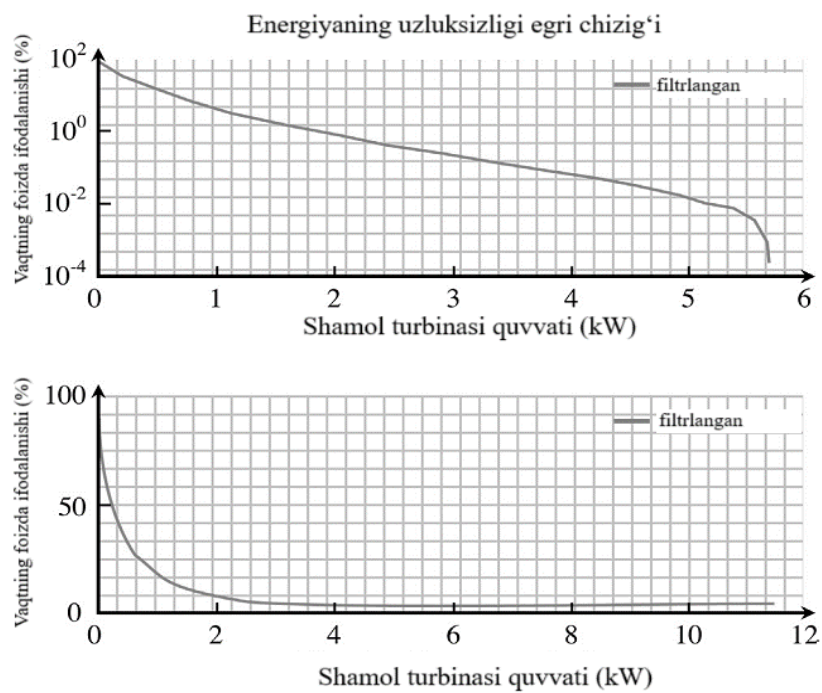
Shamol energiyasini aylantirish samaradorligini hisoblash uchun gorizontal o'qli uch parrakli turbinaning kirish va chiqish tezliklari filtrlash orqali aniqlangan. Uch parrakli turbinaning energiya ishlab chiqarishi minimal 2 m/s va maksimal 15 m/s tezliklarda bo'lishi mumkin, shuning uchun ushbu diapazondan tashqaridagi barcha tezliklar 0 deb hisoblanadi. Shamol ma'lumotlari 2019-yil 18-iyuldagi sana bo'yicha tahlil qilingan. 1-kunlik 5 kWp quvvatga ega turbinaning quvvat grafikasi 4.2.7 A -rasmda keltirilgan. 2019-yil uchun tipik yillik soatlik, kunlik va oylik quvvat tahlili amalga oshirildi.



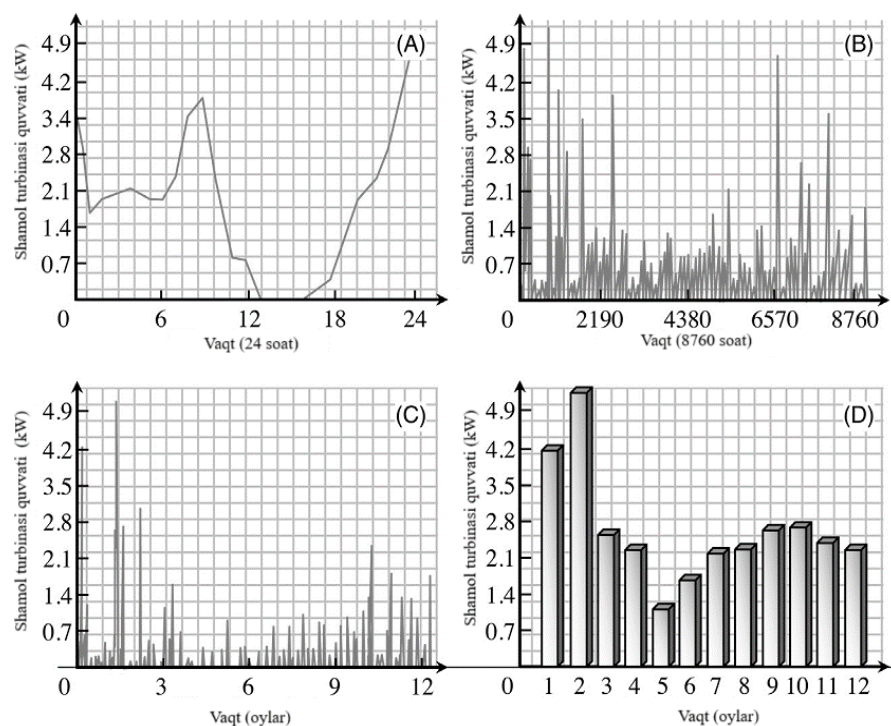
4.2.4 – rasm. Shamol yo'nalishi tezligi diogrammasi



4.2.5 – rasm. Filtrlanmagan energiya uzluksizlik egri chizig'i rasm.



4.2.6 – rasm. Filtrlangan energiya uzluksizlik egri chizig'i.

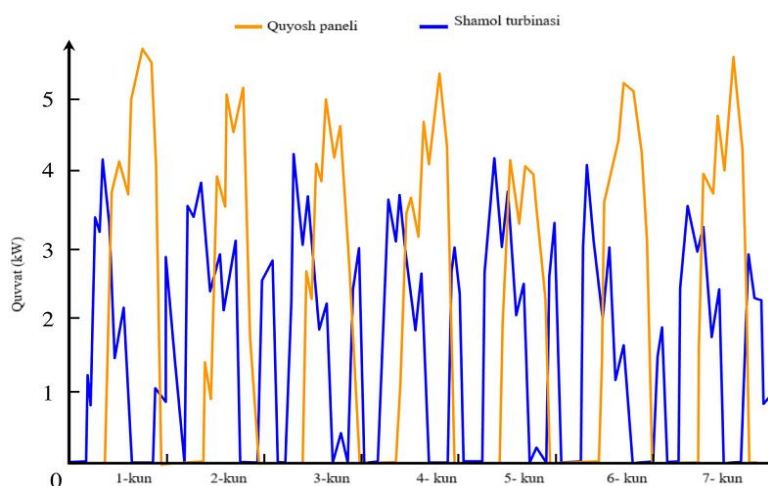


4.2.7 – rasm.. 5 kW Shamol turbinasining chiqish quvvati grafigi.

Tipik yillik soatlik, kunlik va oylik quvvat ma'lumotlari grafiklari 4.2.7 B, C va D-rasmlarda mos ravishda berilgan. Shamol tezligi qiymatlari alohida har bir oy uchun guruhlanib, o'rtacha hisoblangan. Tipik oylik o'rtacha samaradorlik ustun grafikasi shu o'rtacha tezlik qiymatlari bilan berilgan. Tipik oylik o'rtacha samaradorlikni hisoblashda, tezlikning o'rtachasini quvvat tenglamasiga qo'llash o'rniga, tezlikning kubining o'rtachasidan foydalanish kerak.

Fotoelektrik panel va shamol energiyasini integratsiya qilish. Quyosh nuri singari, shamol ham bepul va ifloslanmas energiya manbaidir. Biroq, katta turbinalar modellari uchun shovqin ifloslanishi hisobga olinishi kerak. Shamol tezligi, mintaqa va boshqa atrof-muhit xususiyatlariga qarab keskin o'zgarib turishi mumkin, ammo u ma'lum bir quvvatda har yerda topilishi mumkin. Biroq, tarmoqdan mustaqil shamol tizimlari fotoelektrik panel tizimlariga o'xshash muammolarga duch keladi. Shamol tezligi bir soatdan boshqasiga va bir fasldan boshqasiga sezilarli darajada o'zgarishi mumkin. Energiya ishlab chiqarishda kutilmagan kechikishlar yuzaga kelishi mumkin. Yelkanli energiya manbalari yil bo'yi uzluksiz energiya ishlab chiqara olmaydi va doimiy yuk talablarini qondira olmaydi. Fotoelektrik panel energiyasi kabi, uzluksiz energiya ta'minotini ta'minlash uchun energiya saqlash yoki zaxira quvvat manbai talab etiladi.

Agar fotoelektrik panel va shamol energiyasi gibrid ishlab chiqarish tizimiga integratsiya qilinsa, ular alohida ishlatilganlariga nisbatan sezilarli afzalliklarga ega. Eng muhimi, shamol va quyosh energiyasining gibrid ishlatilishi tizim tomonidan ishlab chiqarilgan energiyadagi o'zgarishlarni kamaytirishi mumkin. Bu umumiy energiya chiqishini va ishonchliligini oshiradi va energiya tejash talablarini hamda ularga bog'liq xarajatlarni kamaytiradi. Fotoelektrik panel va shamol energiyasini birgalikda ishlatgan holda yaratilgan haftalik energiya ishlab chiqarish grafigi 4.2.8-rasmda keltirilgan. Fotoelektrik panel va shamol energiyasi kechasi juda past bo'ladi. Ushbu vaqt oralig'ida, agar yuk talabi bo'lsa, energiya saqlash quvvati kerak bo'lishi ko'rinadi. Ertalab va tush paytlarida fotoelektrik panel va shamol energiyasidan ko'p energiya ishlab chiqariladi. Agar ushbu ortiqcha energiya yuk talab qilgan miqdordan ko'proq bo'lsa, qolgan energiya batareya birliklarida saqlanishi mumkin. Kechqurun, fotoelektrik panel va shamol energiyasidan olingan energiya miqdori asta-sekin kamayadi. Ushbu vaqt oralig'ida yuk talablari o'z cho'qqisiga yetadi. Bunday holatda, manbalardan olingan energiya kamayganligi sababli, saqlash birliklaridagi energiya tush vaqtda ishlatilishi mumkin.



4.2.8 – rasm. Haftalik fotoelektrik panel va shamol turbinali energiya ishlab chiqarish grafigi.

Yillik asosda, shamol energiyasidan olinadigan energiya miqdori kuz va qish mavsumlarida maksimal darajaga yetadi. Fotoelektrik panel energiyasi esa bahor va yoz oylarida maksimal darajada kuzatiladi. Ushbu mavsumiy o'zgarish shuni ko'rsatadiki, shamol energiyasi qishda isitish va yoritish uchun mos bo'lsa, yozda fotoelektrik panel energiyasi konditsioner va sug'orish ehtiyojlarini qondira oladi. Shu tarzda, shamol va fotoelektrik panel energiyasi

birgalikda kunduzgi va yillik umumiy maksimal ishlab chiqarish davrlarini uzaytiradigan to'ldiruvchi tizimni tashkil etadi. Gibrid qayta tiklanadigan energiya manbasi tizimida batareyaning roli asosan ortiqcha ishlab chiqarilgan energiyani saqlash va ishlab chiqarish past yoki umuman yo'q bo'lgan paytlarda tizimga energiya taqdim etishni ta'minlashdan iborat. Agar tizim tarmoqqa ulansa va tizimda ortiqcha energiya ishlab chiqarilsa, ortiqcha energiya tarmoqqa sotilishi mumkin, bu iqtisodiy rag'batlantirishni ta'minlaydi. Energiya saqlash unitasi, past energiya talab qilingan paytlarda energiyani saqlash orqali, turar joydagi yuqori talab davrlarida energiya ehtiyojlarini qondirishda yordam beradi. Shunday qilib, foydalanuvchi bir necha soat davomida yuqori talab paytida energiya saqlash unitasidan foydalanib pulni tejaydi.

Fotoelektrik panel va shamol energiyasi bilan tashkil etilgan gibrid energiya ishlab chiqarish tizimi bir-birini to'ldiradigan yoki qo'llab-quvvatlaydigan xususiyatga ega. Ushbu manbalar to'ldiruvchi tizimi energiya saqlash uchun zarur bo'lgan sig'imni kamaytirishga imkon beradi. Chunki agar hech bir manba tomonidan energiya ishlab chiqarilmasa, foydalanuvchi energiya saqlash unitasidan foydalanish zaruriyatining ko'payishi mumkin. Shuningdek, energiya saqlash unitasidagi batareyalar chuqur bo'shishlar kamaygan sari ularning xizmat muddati uzayadi.

Gibrid tizim kichik izolyatsiyalangan hududlardagi qishloqlar uchun ideal hisoblanadi, chunki bu hududda elektr tarmog'i mavjud emas. Zarur bo'lgan elektr energiyasini qayta tiklanadigan energiya manbalaridan ta'minlash mumkin. Masofadagi hududlar gibrid qayta tiklanadigan energiya tizimlari samarali qo'llanilishi mumkin bo'lgan yagona joylar emas. Shahar atrof-muhitlarida gibrid energiya tizimlarining rivojlanishi tarmoqqa qo'shimcha energiya ta'minotini yaratadi. Yerni qimmat bo'lgan va yangi elektr stansiyalarini qurishiga qarshilik ko'rsatilgan shahar hududlarida, kichik o'lchamdagi turar joylarda qayta tiklanadigan energiya gibrid tizimlarini yaratish mumkin. Shunday qilib, taqsimlangan elektr energiya ishlab chiqarish tizimi mavjud tarmoq infratuzilmasiga integratsiya qilinishi va ortib borayotgan yuk talabini qondirish uchun ishlatilishi mumkin. Bunday taqsimlangan elektr energiya ishlab chiqarish tizimi tizim yo'qotishlarini kamaytirishi mumkin. Kichik o'lchamdagi gibrid qayta tiklanadigan energiya tizimi murakkab shaharsozlik muhiti sharoitida "kelajak yo'nalishi" sifatida tasniflangan. Gibrid qayta tiklanadigan energiya tizimlari rivojlanib, kengayib

bormoqda. Gibridd energiya tizimlari turli muhitlarda taqsimlangan energiya ishlab chiqarish uchun eng pragmatik yondashuv sifatida ko'rila boshlaydi. Ushbu g'oya faqat atrof-muhit ifloslanishini kamaytirib qolmay, balki mavjud elektr tizimlarining uzatish va taqsimlash jihozlaridagi yo'qotishlarni kamaytirishga yordam beradi. Gibridd qayta tiklanadigan energiya tizimlari taqsimlangan energiya ishlab chiqarishga ijobiy yo'nalish bo'lib, talab tomoni bo'yicha biznes yo'qotishlarini kamaytirishga yordam beradi. Gibridd qayta tiklanadigan energiya tizimlari elektr energiyasini taqsimlash liniyasiga kamroq bog'liq bo'la boshlaydi. Shunday qilib, gibridd qayta tiklanadigan energiya tizimlaridan foydalanish taqsimlangan energiya ishlab chiqarishni rivojlantirishning ajoyib usuli hisoblanadi. Shamol, quyosh va hozirgi energiya manbalari umumiy maksimal energiya ishlab chiqarish vaqtlarini uzaytiradi. Ular bir-birini to'ldirib, energiya saqlash tizimida batareyalar umrini saqlash va tizimning umumiy xarajatlarini kamaytirishga yordam beradi. Gibridd qayta tiklanadigan energiya tizimlari turli muhitlarga, qishloqlarga, dengiz bo'yidagi aholi punktlariga va shahar o'rmonlariga moslashtirilishi mumkin. Ular tezda taqsimlangan qayta tiklanadigan energiya ishlab chiqarish uchun afzal ko'riladigan tizimga aylanmoqda.

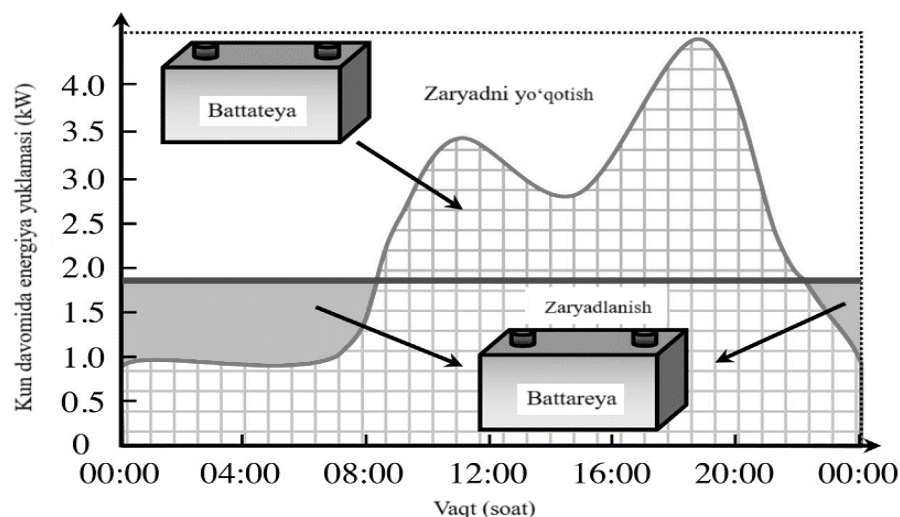
4.3. Gibridd qayta tiklanadigan energiya manbalari bilan og'irlikni muvozanatlash

Qayta tiklanadigan energiya manbalari davriy xususiyatlarga qarab har kuni energiya ishlab chiqaradi. Ushbu tartibsiz chiqish xususiyatiga ko'ra, bu qayta tiklanadigan energiya manbalaridan olingan energiya saqlanishi kerak. Ushbu manbalardan olingan energiya miqdori yilning vaqtiga (mavsumiy) va ob-havo sharoitlariga qarab o'zgaradi. Qayta tiklanadigan energiya manbalari tarmoqqa sinxron ishlash imkoniyatiga ham ega. Tizim holatiga qarab, ishlab chiqarilgan ortiqcha energiya tarmoqqa uzatiladi. Bu holatda tarmoq aslida buffer yoki energiya saqlash vazifasini bajaradi. Turar joylardagi elektr energiyasi talabining soat bo'yicha farqlanishi mavjud. Odatda, elektr energiyasiga bo'lgan talab kechqurun soatlarida ortadi. 4.3.1-rasmda turar joydagi 1 kunlik na'muna sifatidagi elektr energiyasini iste'mol qilish grafigi ko'rsatilgan.

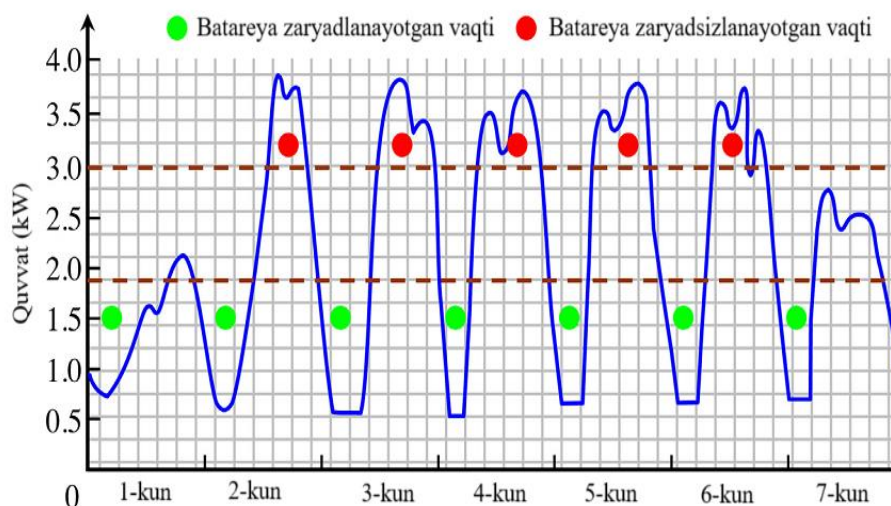
Pishirish pechi, konditsionerlar va suv isitkichlari kabi qurilmalar turar joylarda katta energiya talab qiladi. Turar joylardagi elektr energiyasiga

bo'lgan ehtiyoj mavsumlarga qarab farq qiladi. Qish oylarida isitish tizimi ishlatilsa, yozda konditsionerlar ishlatiladi.

Turar joylarda elektr energiyasidan foydalanish haftalik asosda ham farq qiladi. Hafta ichidagi elektr energiyasidan foydalanish past bo'lsa, dam olish kunlarida yuqori bo'ladi. Turar joyning elektr energiyasiga bo'lgan ehtiyojini to'g'ri tushunish uchun kundalik energiya modeli to'g'ri tahlil qilinishi kerak.



4.3.1 – rasm. Turar joy uchun 1 kunlik namunaviy elektr energiyasini iste'mol qilish grafigi.



4.3.2 – rasm. Turar joy uchun 1 haftalik namunaviy elektr energiyasini iste'mol qilish grafigi.

Turar joy uchun 1 haftalik namunaviy elektr energiyasini iste'mol qilish grafigini ko'rsatadi (4.3.2 –rasm). Turar joylarning kundalik va haftalik energiya talab namunalari elektr taqsimot kompaniyalari uchun juda muhimdir. Ushbu yuk modeli asosida elektr taqsimot kompaniyalari mavjud tarmoqqa qo'shimcha elektr stantsiyasini ulashadi. Shuning uchun tarmoqqa

ulangan yuklarni modellashirish juda muhimdir. Elektr taqsimoti xizmatini ta'minlovchi tashkilot, yuk talablarini qondirish uchun turli manbalarda ishlaydigan elektr stantsiyalarini ishga tushiradi. Shunday qilib, tarmoqdagi yuk talabini muvozanatlash imkoniyati yaratiladi. Ishga tushirilgan stantsiyalar odatda ko'mir, tabiiy gaz va neft asosidagi inshootlardir. Elektr taqsimot kompaniyasi eng tez va arzon usulni afzal ko'radi. Bu elektr stantsiyalari odatda 30-60 daqiqa vaqt ichida ishga tushadi. Agar tarmoqda kutilmagan yuk bo'lsa, bu juda uzoq vaqtni oladi. Ushbu muammoni hal qilish uchun gibril tuzilishga ega bo'lgan tarmoq kerak bo'ladi. Bu gibril qayta tiklanuvchi energiya manbalari va energiya saqlash birliklari bilan amalga oshirilishi mumkin. Tarmoqda kutilmagan yuklar energiya saqlash birliklari yordamida tezda qondirilishi mumkin. Shunday qilib, tarmoqda kuchlanish pasayishlari va energiya o'zgarishlari oldini olish mumkin. Bundan tashqari, mintaqaviy energiya saqlash tizimlari juda tez faollashishi mumkin. Enerqiya saqlash tizimlari yuk talabini kamaytirganida zaryadlanadi. Enerqiya saqlash birliklarining zaryadlanish jarayoni qayta tiklanuvchi energiya manbalari yordamida amalga oshirilishi mumkin. Shunday qilib, tarmoqdan yana energiya talab qilinmaydi va energiya saqlash birligi qazib olinadigan yoqilg'ilar bilan zaryadlanmaydi.

Gibril qayta tiklanuvchi energiya manbalarining to'liqligi.

Fotoelektrik panellar va shamol energiyasining quvvat chiqishi kundalik davomida vaqt o'tishi bilan o'zgarishi mumkin. Ushbu energiya ishlab chiqarish grafigi kun davomida talab qilinadigan yuk quvvati grafigi bilan mos kelmasligi mumkin. Agar fotoelektrik panellar va shamol energiyasi alohida ishlatiladigan bo'lsa, odatda tizim quvvati yuqori bo'lishi kerak. Bunday holda, tizimni o'rnatish narxi oshadi. Alohida o'rnatilgan tizimlarda energiya ishlab chiqarish uzilishlari ham yuqori bo'ladi. Fotoelektrik panellar va shamol energiyasini birlashtirish chiqish quvvatidagi tebranishlarni kamaytiradi. Shunday qilib, tizimning ishlash samaradorligi va ishonchliligi oshadi va xarajatlar kamayadi. Gibril tizimda foydalaniladigan energiya saqlash qurilmasining o'lchami ham kamayadi. Gibril tizimning o'lchov bosqichi manbalar soni ko'paygan sari murakkablashadi. Gibril tizimdan energiyani optimal darajada ishlab chiqarish uchun parametrlarni hisobga olish kerak. Shamol energiyasi uchun bu parametrlar quyidagilardir: turbina turi, turbina o'rtacha quvvati va generatorning chiqish kuchlanishi - zarba.

Fotoelektrik panellar va shamol energiyasi oson o'rnatilishi va iqtisodiy samaradorligi tufayli keng qo'llaniladi. Bu ikki qayta tiklanuvchi energiya manbasining quvvat ishlab chiqarish xususiyatlari juda o'zgaruvchan. O'rnatiladigan joyga qarab quvvat ishlab chiqarish imkoniyatini hisoblash mumkin, bu esa quyosh energiyasi va shamol tezligi ma'lumotlariga asoslanadi. Bu tizimni o'lchash uchun juda muhimdir. Ushbu taxminiy ma'lumotlarga asoslanib, fotoelektrik panellar va shamol turbinasi generatorining quvvati tanlanadi. Eng muhimi, gibrid tizimda foydalaniladigan energiya saqlash birligining quvvati aniqlanadi. Agar energiya saqlash birligining quvvati juda katta tanlansa, u hech qachon to'liq quvvatda zaryadlanmaydi. Bu faqat tizim narxini oshiradi. Agar energiya saqlash birligining quvvati past tanlansa, tizimdagi yuk guruhi hisoblangan vaqt davomida energiya bilan ta'minlanmaydi.

Fotoelektrik panellar va shamol energiyasining quvvat ishlab chiqarish xususiyatlari juda o'zgaruvchan. Quyosh energiyasi tez o'zgarmaydi. Biroq, shamol energiyasi soatiga o'zgarishi mumkin. Quyosh va shamol energiyasining quvvat ishlab chiqarish xususiyatlari va yuk talab quvvatining vaqt intervallari o'rtasida farqlar mavjud. Shamol va quyosh energiya manbalari bir-birini to'ldiradi. Yig'indi quvvat ishlab chiqarish grafigini fotoelektrik panellar va shamol turbinasidan tashkil topgan gibrid tizim bilan yumshatishga harakat qilinadi. Ikkala manbani gibrid tizimda ishlatish qarori to'liq yuk va energiya saqlash birligiga bog'liq. Gibrid tizimdagi maqsad iste'mol va ishlab chiqarishni tenglashtirishdir. Shuningdek, energiya saqlash birligini har doim to'liq zaryadlashni ta'minlashdir. Umuman olganda, ikki quvvat ishlab chiqarish manbasi bir-birini to'ldirishi kutiladi. Biroq, bu har doim tabiiy sharoitlar tufayli mumkin emas.

Umuman olganda, bu ikki qayta tiklanuvchi energiya manbalarining to'liqligi haqida aniq xulosa chiqarish to'g'ri bo'lmaydi, chunki bu ikki energiya ishlab chiqarish manbasining manbai tabiatdan olinadi. Quyosh va shamol ma'lumotlari yordamida taxmin qilish mumkin. Yana bir o'zgaruvchan omil esa yuk profilidir. Yuk profili vaqt o'tishi bilan juda katta farq qiladi. Gibrid quvvat ishlab chiqarish tizimlari odatda tarmoqdan uzoq joylarda ishlatiladi. Gibrid tizimda quvvat ishlab chiqarish birliklari tizimdagi umumiy yuk talabini qondirishga qodir bo'lishi kerak. Gibrid tizim iqtisodiy jihatdan samarali bo'lishi kerak.

NAZORAT SAVOLLARI:

1. Gibril tizim qanday shakllarga bo'linadi. 2. Gibril qayta tiklanuvchi energiya manbalari qanday tizimlar uchun tanlanadi? 3. Qanday tizimlarda odatda akkumulyatorli energiya saqlash qurilmalari qo'llaniladi? 4. Ketma-ket gibril qayta tiklanuvchi energiya tizimi. 5. Kommutatsiyalanuvchi (almashinuvchan) gibril qayta tiklanuvchi energiya tizimi. 6. Parallel gibril qayta tiklanuvchi energiya tizimi. 7. Gibril energiya tizimlarini o'lchamlash bosqichida qaysi mezonlar muhim xisoblanadi? 8. Energiya boshqaruv algoritmlari batareya guruhining nimalarini nazorat qiladi? 9. Qayta tiklanuvchi energiya manbalarining o'zgaruvchan chiqish xususiyatlari qanday orqali aniqlanadi? 10. Tarmoqqa ulangan gibril qayta tiklanuvchi energiya tizimlari odatda tarmoqqa qanday kuchlanishda ulanishadi? 11. Klassik usulda ishlovchi transformatorlar (50–60 Hz) o'rniga nimalardan foydalanish mumkin? 12. Shamol energiyasini aylantirish samaradorligini hisoblash uchun nimalarga e'tibor qaratish kerak. 14. Fotoelektrik panel va shamol tizimlarida kunning qaysi vaqtida ko'proq energiya yig'ish mumkin. 15. Chiqish quvvatidagi tebranishlar qanday xollarda kamayadi?.

V-BOB

QUYOSH GIBRID TIZIMLARI VA ENERGIYA SAQLASH TIZIMLARI

5.1. Quyosh gibrid tizimlarida qo'llaniladigan energiya saqlash tizimlari

Batareyalar kimyoviy reaksiya natijasida hosil bo'lgan energiyani elektr energiyasi ko'rinishida saqlashga qodir bo'lgan kimyoviy zanjirli qurilmalardir. Ular bir yoki bir nechta yacheykalardan tashkil topgan bo'lib, har bir yacheyka kimyoviy energiyani elektr energiyasiga aylantira oladi. Ushbu elektrolitik yacheykalardan biri yoki bir nechta ketma-ket ulanib, batareyani hosil qiladi. Yacheykalar guruhlanib, batareya modullarini tashkil etadi. Batareya paketi esa bu modullarning ketma-ket yoki parallel ulanishi orqali yig'iladi.

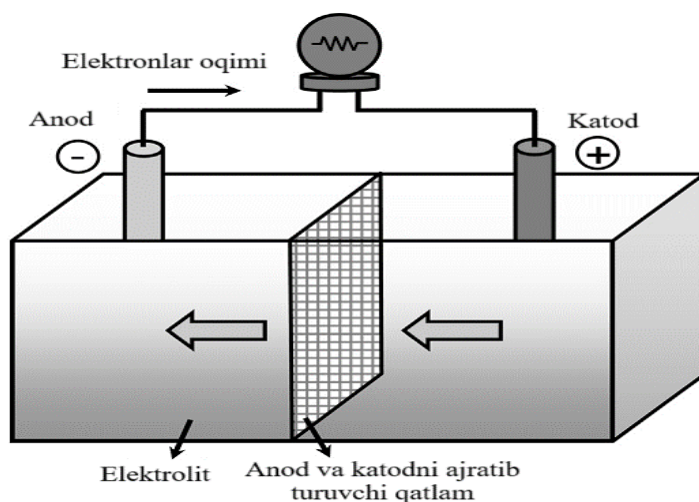
Batareya yacheykasining to'rtta asosiy tarkibiy qismi 5.1.1-rasmda ko'rsatilgan:

Musbat elektrod (katod): Bu tok hosil qilinishini ta'minlaydigan faol modda bo'lib, oksid, sulfid yoki zaryadsizlanish (razryad) vaqtida oksidlanishga uchraydigan har qanday birikmadan iborat bo'lishi mumkin. Zaryadsizlanish paytida musbat elektrod tashqi zanjirdan elektronlarni qabul qiladi. Qo'rg'oshin oksidi (PbO_2) va nikel oksid gidroksidi ($NiO(OH)$) musbat elektrodlar uchun misol bo'la oladi. Elektrod materiallari qattiq holatda bo'ladi.

Manfiy elektrod (anod): Bu ham tok hosil qilinishini ta'minlaydigan faol modda bo'lib, zaryadsizlanish paytida oksidlanadigan metall yoki qotishmadan iborat. Batareya zaryadsizlanayotganda, ushbu elektrod tashqi zanjirga elektronlarni uzatadi. Qo'rg'oshin (Pb) va kadmiy (Cd) manfiy elektrodlar uchun misol bo'la oladi. Manfiy elektrod materiallari ham batareya yacheykasida qattiq holatda mavjud bo'ladi. Ba'zi lityum-ion batareyalarning manfiy elektrodleri oksidlanishni oldini olish uchun alyuminiydan tayyorlanadi.

Elektrolit: Bu elektrodlar orasida ionlar harakatini ta'minlab, elektr tokini uzatish vazifasini bajaradigan zaryadlangan zarrachalar (ionlar)dan iborat eritmadir. Elektrolit ionlar uchun yuqori va tanlab o'tkazuvchanlikka ega bo'lishi, ammo elektronlarni o'tkazmasligi kerak. Bu batareyaning o'z-o'zidan zaryadsizlanishini oldini oladi. Elektrolitlar suyuq, gel, yoki qattiq

holatda bo'lishi, shuningdek, batareya turiga qarab kislotali yoki ishqoriy xususiyatga ega bo'lishi mumkin. An'anaviy batareyalarda, masalan, qo'rg'oshin-kislota (lead-acid) yoki nikel-kadmiy (nikel-cadmium) batareyalarda suyuq elektrolitlar ishlatiladi. Qo'rg'oshin-kislota batareyalarda elektrolit sulfat kislotaning suyuq holati shaklida bo'ladi. Rivojlanganroq batareyalar, masalan, nikel-metall gidrid (NiMH) yoki lityum-ion (Li-ion) batareyalar esa gel, pasta yoki smola shaklidagi elektrolitlardan foydalanadi. Lityum-polimer (Li-Po) batareyalarda esa qattiq holatdagi elektrolitlar qo'llaniladi.



5.1.1-rasm. Batareyaning ishlash prinsipi.

Ajratgich: Bu – qarama-qarshi qutbdagi elektrodlarni fizik jihatdan ajratib turuvchi elektr o'tkazmaydigan qatlamdir. Ajratgichlar elektrolit ionlarini o'tkazishi, elektrolitni ushlab turish va uni harakatsiz holatda saqlash xususiyatiga ega bo'lishi kerak. Bugungi kunda qo'llanilayotgan ajratgichlar sintetik polimerlardan tayyorlanadi.

Batareyada saqlangan energiya – batareya zaryadlangan va zaryadsizlangan holatdagi kimyoviy energiya komponentlari farqidir. Elementdagi kimyoviy energiya zaruratga ko'ra elektr energiyasiga aylantiriladi; yuqorida sanab o'tilgan birlik bu jarayonni element ichidagi asosiy komponentlar yordamida amalga oshiradi. Musbat yoki manfiy elektrodning elektroximik faol komponentlari faol moddalar deb ataladi. Elektronlarning bog'lanishi va uzilishi natijasida elektrodlar ichida kimyoviy oksidlanish reaksiyasi yuz beradi. Elektrodlar elektr jihatdan o'tkazuvchan bo'lishi, ajratgich bilan ajratilgan bo'lishi va ular bilan bog'lanishlar mustahkam bo'lishi zarur. Batareya ishlayotganda elektrodlar ichidagi kimyoviy reaksiyalar bir elektroddan boshqasiga elektronlar oqimini yuzaga

keltiradi. Bundan tashqari, kimyoviy reaksiya natijasida hosil bo'lgan elektronlar ikkala elektrodni tashqi zanjir orqali ulovchi elektr tizimda harakatlana olsa, element ichidagi elektronlar o'z qarshiligini ko'rsatadi. Elektrodlar bilan tashqi elektr zanjiri o'rtasidagi ulanish nuqtalari batareya qutblari (terminal) deb ataladi.

5.2. Batareyalar, ularning turlar va ishlash jarayoni

Asosiy (qayta zaryadlanmaydigan) batareyalar. Elektrokimyoviy batareyalar elektr zaryadini tiklash imkoniyatiga ko'ra ikkita toifaga bo'linadi: birlamchi (qayta zaryadlanmaydigan) va ikkilamchi (qayta zaryadlanadigan) batareyalar. **Birlamchi turdagi batareyalar** qayta zaryadlanmaydigan bo'lgani uchun zaryadi tugagach qayta ishlatilmaydi. Elektrolitda so'ruvchi va ajratuvchi modda mavjud bo'lgan birlamchi elementlar "quruq elementlar" deb ataladi.

Umuman olganda, birlamchi batareyalar arzon bo'lishi bilan birga, ko'chma elektronika va elektr qurilmalari, yoritish, fotografik qurilmalar, o'yinchoqlar, zahira xotira tizimlari va boshqa ko'plab sohalarda engil quvvat manbai sifatida ishlatiladi. Ularning afzalliklari quyidagilardan iborat: oson topiladi, foydalanishda qulay, texnik xizmatga ehtiyoj deyarli yo'q, foydalanish joyiga qarab turli shakllarda bo'lishi mumkin. Umumiy afzalliklariga uzoq saqlash muddati, maqbul energiya va quvvat zichligi, ishonchliligi va nisbatan arzonligi kiradi.

Birinchi paytlarda rux-karbonli elementlar bilan atigi 50 W/kg atrofida sig'im olinardi, hozir esa litiy elementlar yordamida bu ko'rsatkich 500 W/kg dan oshdi. Batareyalar ilk tijorat yillarida o'rtacha haroratda saqlanganda saqlash muddati 1 yil bilan cheklangan edi. Hozirda esa bu muddat 2–5 yilgacha yetadi. Hatto 70 °C gacha bo'lgan haroratda ham saqlash imkoniyati mavjud bo'lib, eng yangi litiy batareyalarning saqlash muddati 10 yilgacha uzaygan. Ishlash harorati pastki chegarasi esa 0 °C dan –40 °C, hatto –55 °C gacha tushirildi va quvvat zichligi oshirildi. Qattiq elektrolitdan foydalanadigan sekin oqimli maxsus batareyalarning saqlash muddati 20 yildan oshadi.

Ushbu ilg'or xususiyatlar evaziga birlamchi batareyalarning qo'llanilish sohalari ham kengaydi. Yuqori energiya zichligi tufayli batareya og'irligi va hajmi kamaydi. Natijada zamonaviy elektron texnologiyalar rivoji bilan yangi mobil telefonlar, amaliy aloqa vositalari va boshqa elektron qurilmalarni ishlab

chiqish imkoniyati yaratildi. Yuqori quvvat zichligi tufayli kompyuterlar, mobil telefonlar, harbiy kuzatuv tizimlari va boshqa yuqori quvvat talab qiladigan qurilmalarda foydalaniladigan batareyalarni loyihalash imkoniyati yuzaga keldi. Bugungi kunda ko'plab birlamchi batareyalar tibbiy elektron qurilmalarda va uzoq saqlash muddatiga ega bo'lgan zaxira xotira kabi ilovalarda keng qo'llaniladi.

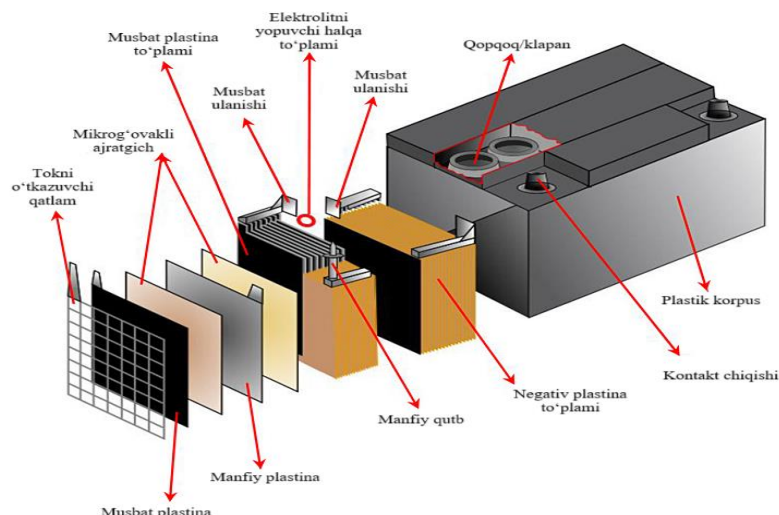
Ikkilamchi (qayta zaryadlanadigan) batareyalar. Ikkilamchi yoki qayta zaryadlanadigan batareyalar juda keng qo'llaniladi. Eng mashhurlari avtomobil sanoatida starter, yoritish va yonilg'i yondirish tizimlarida, shuningdek, favqulodda va zaxira quvvat tizimlarida qo'llaniladi. Kichik hajmli ikkilamchi batareyalar o'yinchoqlar, yoritish, fotografiya, radio, kompyuterlar va mobil telefonlar kabi elektron qurilmalardagi ko'chma quvvat manbalarida ishlatiladi.

Energiyani saqlovchi qurilma sifatida qo'llanilganda, ular odatda elektr manbai bilan ulanish orqali zaryadlanadi. Avtomobil va samolyot tizimlari, favqulodda va zaxira quvvat tizimlari, yukni muvozanatlashtirish uchun statsionar energiya saqlash tizimlari bunga misol bo'la oladi. Boshqa holatlarda ikkilamchi batareyalar birlamchi batareyalar kabi ishlatiladi, lekin foydalanilgach qayta zaryadlanadi. Masalan, iqtisodiy nuqtayi nazardan ko'chma elektron va elektr qurilmalarda (ya'ni yangisi o'rniga eski batareyani yana ishlatish mumkin) va ayrim statsionar batareyalarda. Qayta zaryadlanish imkoniyatiga qo'shimcha ravishda ikkilamchi batareyalar yuqori quvvat zichligi, yuqori razryad tezligi, to'liq razryad profillari va past haroratda yaxshi ishlash xususiyatlariga ega. Ammo ular energiya zichligi jihatidan birlamchi batareyalardan odatda pastroq bo'ladi va zaryadni ushlab turish qobiliyati ham zaifroqdir. Shu bilan birga, litiy salbiy faol modda sifatida ishlatilgan zamonaviy ikkilamchi batareyalar yuqori energiya zichligi, kuchli zaryad ushlash qobiliyati va boshqa samaradorlikni oshiruvchi xususiyatlarga ega.

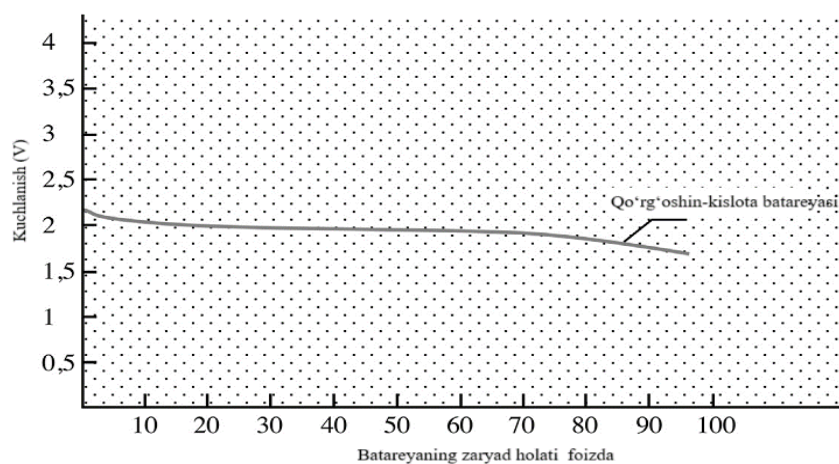
Qo'rg'oshin-kislota (Pb) batareyalari. Qo'rg'oshin-kislota (Pb) batareyalari eng qadimgi va eng rivojlangan texnologiyaga ega bo'lib, arzon narxdagi birinchi tipdagi harakatlantiruvchi batareya hisoblanadi. Bu batareya turlarida manfiy qo'rg'oshin va musbat qo'rg'oshin dioksidi elektrodlarini sulfat kislota eritmasiga joylashtirish orqali hosil qilinadi. Foydalanish maqsadiga qarab elektrodlar ichidagi plastinka soni oshiriladi yoki kamaytiriladi yoki ularning o'lchamlari o'zgartiriladi. Tipik qo'rg'oshin-kislota batareyasining qismlari va umumiy ko'rinishi 5.2.1-rasmda

ko'rsatilgan. Ushbu batareyalar ko'p yillik rivojlanish bosqichidan o'tgan bo'lsa-da, energiya zichligi atigi 25–35 W/kg atrofida. Biroq quvvat zichligi juda yuqori bo'lib, 150 W/kg gacha yetadi. Qo'rg'oshin-kislota batareyalari past haroratga sezgir bo'lib, 10 °C dan past haroratlarda ham energiya, ham quvvat zichligi jiddiy kamayadi.

Tipik qo'rg'oshin-kislota (lead–acid) batareya xujayrasining zaryadsizlantirilgan holatida, ulangan (terminal) kuchlanishining batareya zaryad darajasiga bog'liq grafigi keltirilgan (5.2.2-rasm).



5.2.1-rasm. Tipik qo'rg'oshin-kislota (lead–acid) batareyasining qismlari va umumiy ko'rinishi.



5.2.2-rasm. Qo'rg'oshin-kislota (lead–acid) batareya elementi uchun zaryadsizlanish (razryad) kuchlanishining grafik ko'rinishi.

Oddiy qabul qilingan 2 V li qo'rg'oshin-kislota elementi uchun, elektrolit zichligiga bog'liq holda haqiqiy kuchlanish 2,05 dan 2,15 V oralig'ida bo'ladi. Har bir element uchun kuchlanish qiymati 2 V deb hisoblanadi.

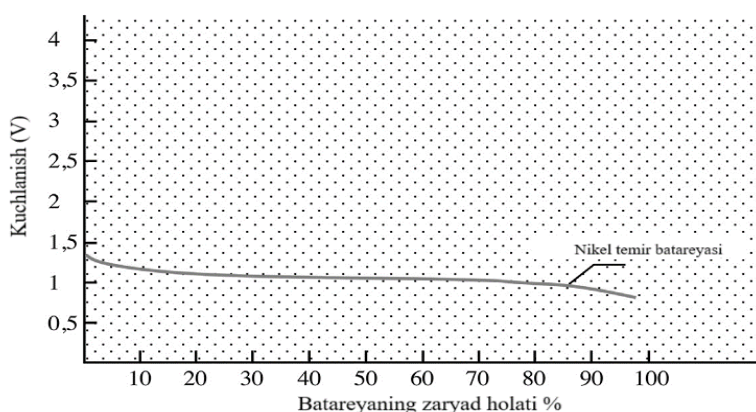
Nikelli–temirli (NiFe) batareyalar. Nikelli–temirli batareyalar musbat elektrod sifatida nikel va manfiy elektrod sifatida temir plastinalarining kaliy gidroksidi (KOH) elektrolitiga joylashtirilishi orqali hosil qilinadi. Ushbu batareyalar ishonchli va uzoq xizmat muddati bilan ajralib turadi, ammo ular nisbatan qimmat. Ular dastlab elektr transport vositalarining yurish masofasini oshirish maqsadida ishlab chiqilgan.

Bu batareyalarning maksimal quvvat zichligi 100 W/kg ni tashkil etadi va ular $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ gacha bo‘lgan past haroratlarda ham o‘z ish faoliyatini saqlab qolishga qodir. Ularning chuqur razryadga chidamlilik sikli 2000 martagacha yetadi, bu taxminan 6 yil xizmat muddatiga teng. Tipik nikelli–temirli batareyaning qismlari va umumiy ko‘rinishi 5.2.3-rasmda ko‘rsatilgan.

Tipik nikelli–temirli batareya elementi zaryadsizlanganda, uning zaryad darajasiga qarab terminal kuchlanishining grafik ko‘rinishini tasvirlaydi. Bu turdagi batareyalarning ochiq zanjir (yuklanmagan holatdagi) kuchlanishi 1,4 V ni tashkil qiladi (5.2.4-rasm). Nominal kuchlanish esa 1,2 V bo‘lib, maksimal zaryad kuchlanishi odatda 1,7 dan 1,8 V gacha bo‘ladi.



5.2.3-rasm. Tipik nikelli–temirli (NiFe) batareyalarning qismlari va umumiy ko‘rinishi.



5.2.4 – rasm. Nikel–temir batareyasi hujayrasining zaryadsizlanish kuchlanishi grafigi.

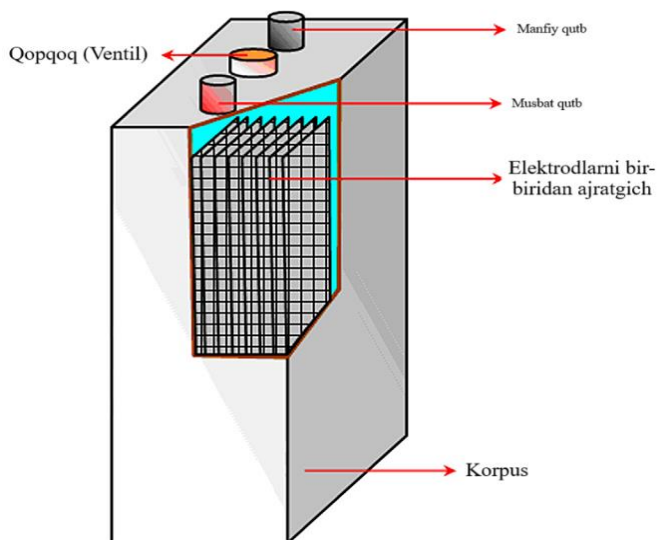
Nikelli–temirli batareya sig‘imi uning musbat elektrodining sig‘imiga bog‘liq bo‘lib, har bir musbat plastinkaning uzunligi va soni batareya sig‘imini belgilaydi.

Nikelli–ruxli (NiZn) batareyalar. Bu qayta zaryadlanuvchi batareyalarning energiya zichligi $70 \text{ W} \cdot \text{soat/kg}$ va quvvat zichligi 150 W/kg ni tashkil etadi. Biroq, ularning xizmat muddati 300 sikl bilan cheklanganligi sababli muayyan kamchilikka ega. Batareyani zaryadlash jarayonida rux plastinasida dendritlar (nometall o‘ sintilar) hosil bo‘lishi ularning umrini sezilarli darajada qisqartiradi.

Shu sababli, nikelli–ruxli batareyalardan keng miqyosda foydalanish hozircha keng tarqalmagan.

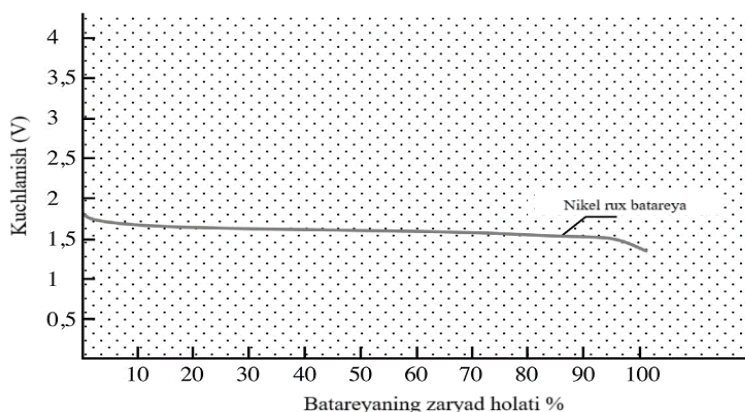
Batareya keng ish harorati oralig‘iga ega (-39°C dan $+81^\circ\text{C}$ gacha). 30 kunlik foydalanishdan so‘ng, zaryad miqdori 60 % ga kamayadi. Yagona nikelli–ruxli (NiZn) element turli dizaynlar orqali an‘anaviy usulda bir nechta elementlarga birlashtirilib, monoblok tipidagi batareyaga aylantirilishi mumkin. Tipik nikelli–ruxli batareyaning qismlari va umumiy ko‘rinishi 5.2.5-rasmda ko‘rsatilgan.

Amaliyotda, yuklama ostida ishlayotgan nikelli–ruxli batareyalarning ish kuchlanishlari 1,55 dan 1,65 V gacha bo‘ladi va ular maxsus dizaynga qarab taxminan $70 \text{ Vt} \cdot \text{soat/kg}$ energiya zichligiga ega. Yagona nikelli–ruxli element



5.2.5– rasm. Nikel–rux batareyasining qismlari va umumiy ko‘rinishi.

1,65 V kuchlanishni ta'minlaydi. Monoblok shaklida ishlab chiqarilgan nikelli–ruxli batareyalar odatda yetti yoki sakkizta element modulidan tashkil topgan bo‘lib, natijada 12 V li tipik batareyaga aylantiriladi.



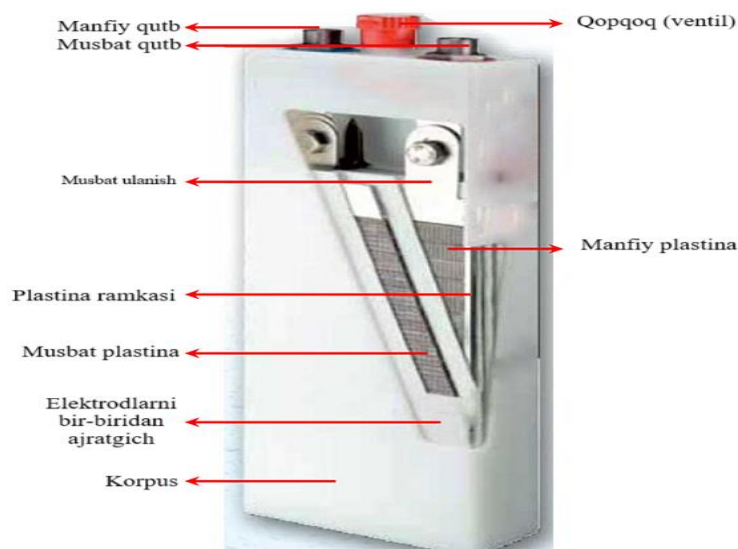
5.2.6 - rasm Nikel–rux batareya hujayrasining chiqarish kuchlanishi grafigi.

Tipik nikelli–ruxli batareya elementi zaryadsizlangan holatda bo‘lganida, uning terminal kuchlanishi zaryad darajasiga bog‘liq ravishda qanday o‘zgarishini ko‘rsatadigan grafik tasvirlangan (5.2.6-rasm).

Nikelli–kadmiyli (NiCd) batareyalar. Nikelli–kadmiyli batareyalar sinterlangan musbat nikel elektrodi va manfiy kadmiy elektrodi kaliy gidroksid eritmasiga joylashtirilishi orqali hosil qilinadi.

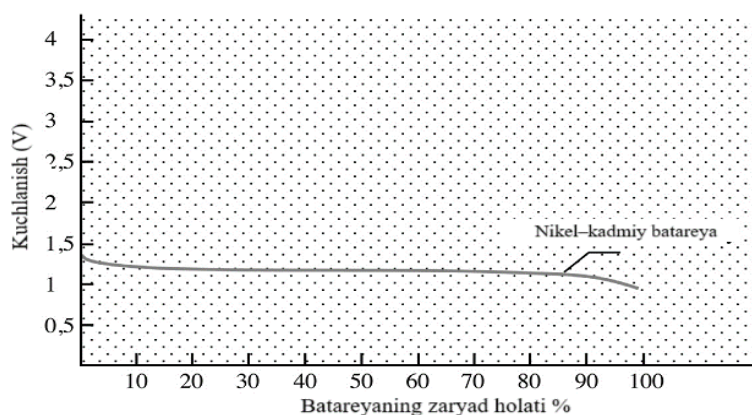
So‘nggi yillarda, ular aniq energiya, aniq quvvat, sikl muddati va ishonchlilik nuqtai nazaridan yaxshi muvozanatni ta'minlaydigan batareya sifatida qaraladi. Ammo kadmiy toksik va atrof-muhitga zararli bo‘lganligi sababli, nikelli–kadmiyli batareyalarni tiklash juda muhim va murakkab jarayon hisoblanadi. Ushbu batareyalardan atrof-muhitga zarar yetkazilishi sababli foydalanish to‘xtatilgan. Ushbu batareyalar yuqori zaryad bo‘shatish tezligiga ega bo‘lib, chuqur zaryadni chiqarish sikl larining soni taxminan 2000 ga tengdir.

Nikel–kadmiy batareyalarining ichki qarshiligi odatda juda pastdir. O‘zgarmas tok (DC) qarshiligi qiymatlari 100 C zaryad qiymati uchun mos ravishda yuqori, o‘rtacha va past zaryad darajalari uchun 0.4, 1 va 4 mΩ ni tashkil etadi. Haroratning pasayishi va batareyaning zaryadi ichki qarshilikning ortishiga sabab bo‘ladi. Ishlash shartlari va batareya dizayniga qarab, umumiy ish vaqti 8 dan 25 yilgacha o‘zgaradi. Tipik nikel–kadmiy batareyasining qismlari va umumiy ko‘rinishi 5.2.7-rasmda keltirilgan. Tipik nikel–kadmiy hujayrasining energiya zichligi 20 Wh/kg va 40 Wh/L ni tashkil etadi. Nikel–kadmiy batareyasining nominal kuchlanishi 1.2 V ga teng.



5.2.7. - rasm Odatdagi nikel–kadmiy batareyasining qismlari va umumiy ko‘rinishi.

Garchi batareyani chiqarish tezligi va batareya harorati kimyoviy batareyalar uchun muhim o'zgaruvchilar bo'lsa-da, bu parametrlar nikel–kadmiy batareyalarida qo'rg'oshin–kadmiy batareyalariga nisbatan unchalik ta'sir qilmaydi. Shuning uchun, nikel–kadmiy batareyalari nominal sig'imini yo'qotmasdan yuqori chiqarish tezliklarida ishlatilishi mumkin. Nikel–kadmiy batareyalarida ham keng operatsion haroratlar mavjud.



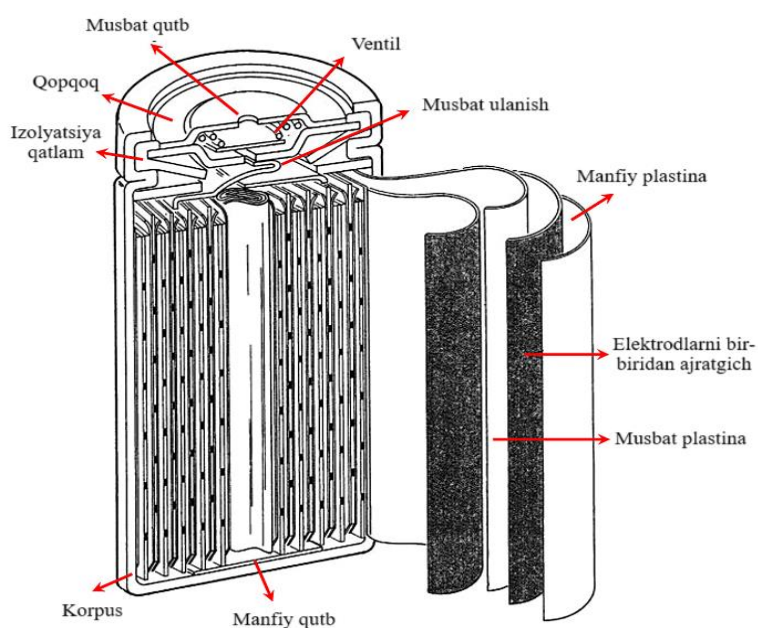
5.2.8. – rasm. Nikel–kadmiy batareya hujayrasining chiqish kuchlanishi grafigi.

Standart nikel–kadmiy batareya hujayrasi -20°C dan $+50^{\circ}\text{C}$ gacha ishlay oladi. Tipik nikel–kadmiy batareya hujayrasining zaryad darajasiga qarab terminal kuchlanishi grafigi keltirilgan (5.2.8-rasm).

Nikel–metall gidrid (NiMH) batareyalari. Nikel–metall gidrid batareyalari yaqinda ko'plab elektr transport vositalarida qo'llanila boshladi, chunki ular oksid xususiyatlariga ega emas va yaxshi ish faoliyatiga ega. Nikel–metall gidrid batareyalari nikel–kadmiy batareyalariga nisbatan ko'proq energiya saqlaydi. Salbiy elektrod, metal gidrid aralashmasidan iborat bo'lib, u kaltsiy gidroksid elektroliti va aktiv materiali nikel gidroksid bo'lgan ijobiy

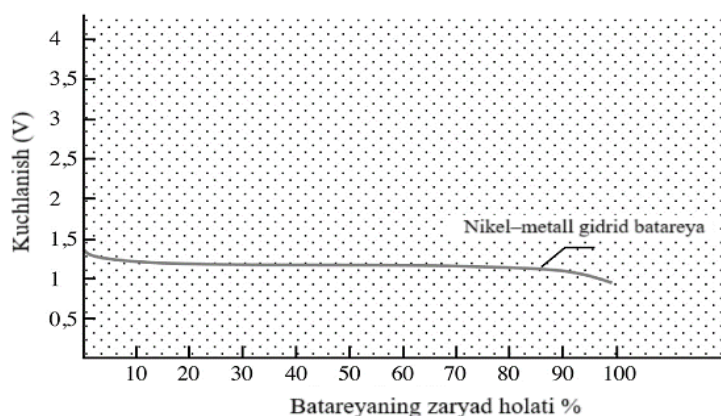
elektrodni o'z ichiga oladi. Energiyaning zichligi 70 Wh/kg dan yuqori va quvvat zichligi 200 W/kg dan yuqori bo'lgan ushbu batareyalar, qo'rg'oshin–kadmий batareyalariga nisbatan taxminan besh marta qimmat.

Batareya 80% chuqur zaryadlash holatida 600 dan ortiq to'liq zaryadlash/bo'sh zaryad sikllari mavjud va 80% tez zaryadlash uchun taxminan 35 daqiqa vaqt talab etiladi. Muhkamlangan nikel–metal gidrid hujayralari va batareyalari silindrik, tugma va prizmatik shakllarda ishlab chiqariladi. Tipik nikel–metal gidrid batareyasining qismlari va umumiy ko'rinishi 5.2.9-rasmda keltirilgan.



5.2.9.– rasm. Odatdagi nikel–metall gidrid batareyasining qismlari va umumiy ko‘rinishi.

Nikel–metal gidrid hujayrasining nominal kuchlanishi 1,2 V bo'lib, ochiq zanjir kuchlanishi 1,25 V dan 1,35 V gacha bo'ladi. Batareyaning chiqarish chegarasi kuchlanishi yoki yakuniy kuchlanishi 1 V. Standart nikel–metal gidrid batareyasining ish harorati 0 °C dan +40 °C gacha bo'ladi. Yuqori haroratlarda nikel–metal gidrid batareyalarining ishlashi batareyalarning ishlash xususiyatlariga ta'sir qiladi. Yuqori haroratlarda batareyalarning ishlash samaradorligi ichki qarshilikning oshishi tufayli pastki haroratlarda bo'lgandan ko'ra yanada kamayadi.

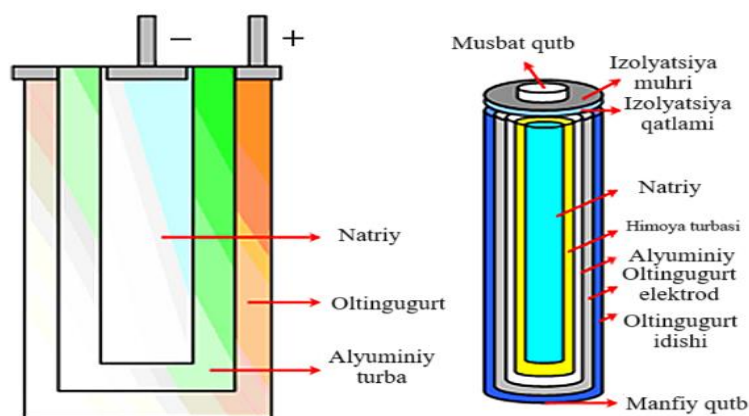


5.2.10. - rasm Nikel–metall gidrid batareya hujayrasining chiqish kuchlanishi grafigi.

Xuddi shunday, harorat o'zgarishining ta'siri yuqori zaryad yo'qotish stavkalari bilan ko'proq seziladi. Tipik nikel–kadmium batareyasining chiqarish kuchlanishi grafigi batareyaning zaryadlash stavkasi bo'yicha ko'rsatilgan (5.2.10-rasm).

Past haroratlarda, ayniqsa, chiqarish tezligi oshganda, batareyaning sig'imi kamayadi.

Natrij–sulfur (NaS) batareyalari. Natrij–sulfur batareyasi salbiy natrij va musbat sulfur elektrodlarining suyuq holatlarini birlashtirish orqali shakllanadi. Har ikki elektrod tarkibiy qismlari suyuq holatda bo'ladi. Bu batareya, elektrotransport vositalari uchun zarur bo'lgan energiya va quvvat zichligini ta'minlash uchun ishlab chiqilgan. Optimal ishlash harorati 350 °C bo'lib, 2000 °C dan pastda ishlashni to'xtatadi. Ushbu haroratdan pastda natrij elektrolitining muzlashiga olib keladi, bu esa reaksiya tezligini sekinlashtiradi va batareyani mexanik stresslar tufayli zarar etkazadi. Ishlash haroratini belgilash uchun batareya isitgichi zarur. Oson texnik xizmat ko'rsatish uchun yaxshi izolyatsiyalangan bo'lishi kerak va uning harorati xavf tug'dirmaydi. Natrij–sulfur batareyasining zaryad olish vaqti 4–5 soatni tashkil etadi. Ularning umr vaqti quyoshli kislotalar batareyasining umridan uzoqroq. Ushbu batareyaning tuzilishida ishlatiladigan moddalar salomatlikka zararli.



5.2.11. - rasm Natrij–sulfur batareyasining qismlari va umumiy ko'rinishi.

Natrij–sulfur batareyalari 110 Wh/kg energiya zichligi va 150 W/kg quvvat zichligini ta'minlaydi. Odatdagi natrij–sulfur batareyasining qismlari va umumiy ko'rinishi 5.2.11-rasmda keltirilgan.

Natrij–nikel xlorid (NaNiCl) batareyalari. Nikel xlorid musbat elektrod va natrij salbiy elektrod sifatida ishlatiladi. Natrij tuzi elektroliti o'rniga, natrij xlorid elektrod qo'yilgan. Ushbu elektrodning muzlash nuqtasi past bo'lib, taxminan 160 °C atrofida.

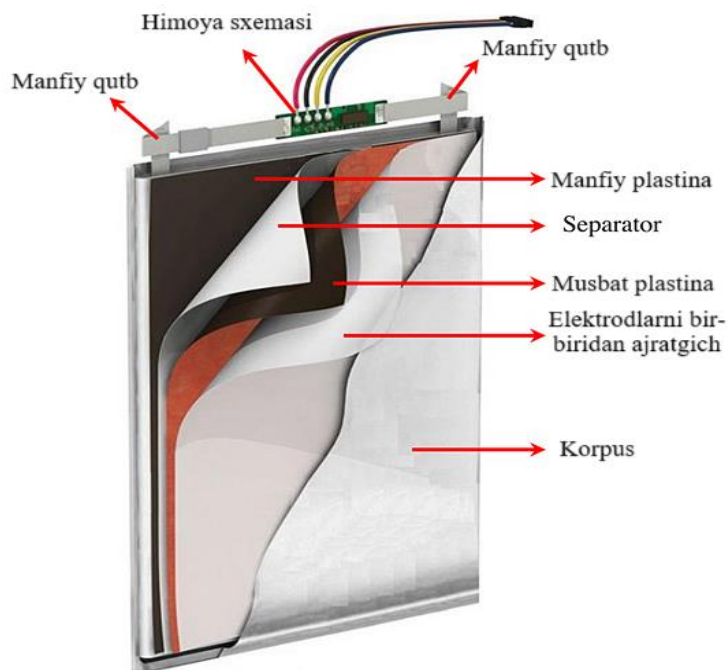
Ushbu turdagi batareya natrij sulfid batareyasiga nisbatan biroz past haroratda (300 °C) ishlaydi va energiya zichligi (100 Wh/kg) hamda maksimal quvvat zichligi (150 W/kg) bo'yicha o'xshashdir.

Alyuminiy–havo (Al-havo) va rux–havo (Zn-havo) batareyalari. Barcha havo–metall batareyalarida alkali suv asosli elektrolit, masalan, ingichka gaz o'tkazuvchan katod va kaliy gidroksidi ishlatiladi. Rux va alyuminiy bu kabi ilovalarda eng ko'p ishlatiladigan metall elektrodlar hisoblanadi. Alyuminiy–havo batareyasining maksimal energiya zichligi 220 Wh/kg, rux–havo batareyasining esa 200 Wh/kg tashkil etadi. Biroq, havo va elektrolit o'rtasidagi almashinuv tezligi quvvat zichligini belgilaydi va bu tezlik juda past.

5.3. Litiy-ion (Li-ion) batareyalari

Litiy-ion hujayralarida salbiy elektrod sifatida grafit yoki tin oksidi kabi salbiy "xostlar" ishlatiladi. Chiqish paytida litiy ionlari salbiy "xost"dan organik "elektrod"ga, so'ngra mangan, kobalt yoki nikel oksidi musbat "xost"ga o'tadi. Zaryad olish jarayonida teskari jarayon yuz beradi va litiy ionlari katod va anod o'rtasida pendul sifatida harakat qiladi. Ushbu batareyalarning energiya zichligi taxminan 150 Wh/kg va chuqur chiqish sikli

1000 sikl ni tashkil etadi. Ushbu batareyalar 1 soatdan kam vaqt ichida 80 % zaryad holatiga qayta zaryadlanishi mumkin. Ushbu xususiyatlar tufayli litiy qayta zaryadlanadigan batareya texnologiyalarining eng ko'p afzal ko'rilgan elementlaridan biriga aylangan.

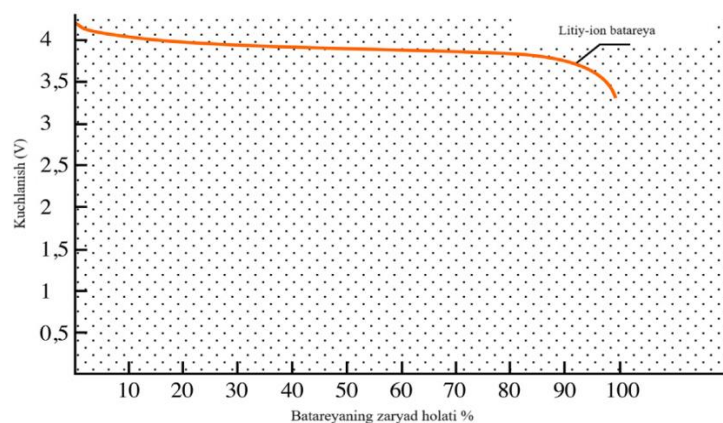


5.3.1 - rasm Litiy-ion batareyasining qismlari va umumiy ko'rinishi.

Litiy metall oksidi va litiy metall fosfat asosidagi "katod" (musbat elektrod) materiallari ayniqsa mobil uskunalar va elektrotransport vositalarida afzal ko'riladi. Ular qayta zaryadlanadigan batareya sifatida juda yuqori energiya saqlash zichligini ta'minlashi mumkin. Odatdagi litiy-ion batareyasining qismlari va umumiy ko'rinishi 5.3.1-rasmda keltirilgan.

Litiy-ion batareyalarining ishlash harorati zaryad olish paytida $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ gacha, chiqish paytida esa $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan $+65\text{ }^{\circ}\text{C}$ gacha bo'ladi. Odatdagi litiy-ion batareyasining hujayra kuchlanishi 2.5–4.2 V bo'lib, bu qiymat nikel–kadmий va nikel–metall gidrid batareya hujayralarining kuchlanishidan taxminan uch marta yuqori. 5.3.2-rasmda, zaryadlash tezligiga qarab, odatdagi litiy-ion batareyasining terminal kuchlanishi grafigi keltirilgan.

Litiy-ion batareyalari, rivojlanish bosqichida bo'lgan batareyalar, ishlatilgan kimyoviy moddalarga qarab farqlanadi. Masalan, litiy–mangan oksidi (LiMn_2O_4) litiy–kobalt oksidi (LiCoO_2) o'rniga ishlatilganda, kobalt tufayli portlash xavfi yo'qoladi. Biroq, bu turdagi batareyalar $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan yuqori haroratga chiqqanda ularning ishlash ko'rsatkichlari keskin pasayadi. Boshqa tomondan, mangan ishlatganda energiya zichligi 20 % ga kamayadi.



5.3.2 – rasm. Litiy-ion batareya hujayrasining chiqish kuchlanishi grafigi.

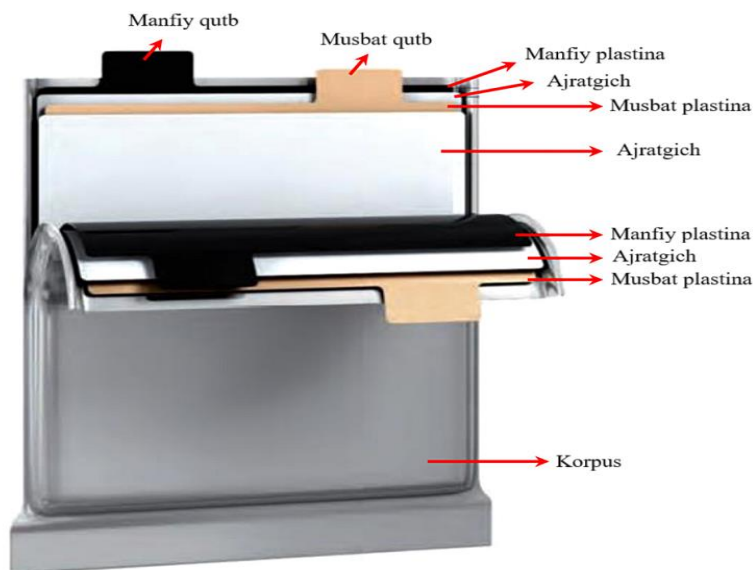
Biroq, mangan kobaltga qaraganda ancha xavfsiz va atrof-muhitga zarar keltirmaydigan elementdir. Shunga qaramay, kobalt asosidagi litiy-ion batareyalari energiya zichligi sababli afzal ko'riladi. Nikel oksid metallidan (LiNiO_2) foydalanilganda, litiy-ion batareyasining energiya zichligi kobaltga nisbatan 30 % ga ortadi. Biroq, nikel asosidagi batareyalarda yuqori darajada issiqlik hosil qiladigan ekzotermik reaksiya tufayli sovutish muammolari yuzaga keladi. Sanoatda uchta metallardan iborat $\text{Li}(\text{NiCoMn})\text{O}_2$ turi ham sinovdan o'tkazilmoqda va ba'zi arzon va xavfsiz parametrlar olish mumkin.

Ba'zi tijoratda ishlab chiqarilgan litiy-ion batareya turlari quyidagilardir:

- litiy–kobalt oksidi (LiCoO_2),
- litiy–mangan oksidi (LiMn_2O_4),
- litiy–nikel oksidi (LiNiO_2),
- litiy–temir fosfati (LiFePO_4),
- litiy–titanat (Li_2TiO_3),
- litiy–titanat spinel ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$),
- litiy–sulfid (Li_2S),
- litiy–nikel kobalt oksidi ($\text{Li}(\text{NiCo})\text{O}_2$),
- litiy–nikel kobalt magniy oksidi ($\text{Li}(\text{NiCoMn})\text{O}_2$),
- litiy–nikel kobalt alyuminiy oksidi ($\text{Li}(\text{NiCoAl})\text{O}_2$).

Litiy-ion polimer batareyalari. Litiy-ion batareyalaridan farqli o'laroq, litiy tuzi organik eritma o'rniga qattiq polimer aralashmasida saqlanadi. Ushbu dizayn ko'plab afzalliklarga ega, masalan, qattiq polimerning yonmaydiganligi. Litiy-ion batareyalari prizmik yoki silindrsimon metall qobiqda joylashgan va quyosh nuri ta'sirida yonish xususiyatiga ega. Biroq, litiy-ion polimer batareyalarida moslashuvchan polimerlardan foydalanish orqali turli shakldagi dizaynlar amalga oshirilishi mumkin. Bundan tashqari,

tijorat litiy-ion polimer va litiy-ion hujayralari o'rtasidagi farqlardan biri shundaki, litiy-ion hujayralarida metall qobiq elektrodlar va ajratgichlarni siqib turishi kerak, holbuki litiy-ion polimer batareyalarida bunday emas.



5.3.3 – rasm. Litiy-ion polimer batareyasining qismlari va umumiy ko'rinishi.

Ular metall qobiqni talab qilmaganligi sababli, ular engil va oson shakllanishi mumkin. Shunday qilib, litiy-ion hujayralariga nisbatan teng og'irlikdagi 20% ko'proq hujayra joylashtirilishi mumkin va hatto nikel–kadmий yoki nikel–metall gidrid batareyalarga qaraganda uch barobar ko'proq energiya zichligi ta'minlanadi. Polimer hujayra kuchlanishi 2.7 (bo'sh) dan 4.23V (to'liq zaryadlangan) gacha bo'ladi va 4235V dan yuqori zaryadlashdan himoyalaniishi kerak, aks holda bog'langan hujayralar uchun portlash yoki kuyish yuzaga kelishi mumkin. Yana, seriyali ulanishdagi hujayra uchun chiqish kuchlanishi 3 V dan pastga tushganda yuk olib tashlanishi kerak, aks holda batareya uzoq vaqt zaryadni qabul qilmaydi. Odatdagi litiy-ion polimer batareyasining qismlari va umumiy ko'rinishi 5.3.3-rasmda keltirilgan.

Litiy–temir fosfati (LiFePO₄) batareyalari. Katod materiali litiy metall oksidi o'rniga litiy metall fosfat materialidan tayyorlanadi, bu litiy-ion batareyalarining yana bir turi bo'lib, bozorga litiy temir yoki litiy ferrit deb qisqacha ataladi. Metall sifatida temir, kobalt, mangan yoki titan ishlatiladi. Litiy–temir fosfati batareyalari texnologiyasi 1996-yilda Texas universitetidan Akshaya Padhi tomonidan ilmiy tarzda taqdim etilgan. Litiy–temir fosfati batareyalari, ishlash va ishlab chiqarish jihatidan eng mos keladiganlardan biri bo'lib, ommaviy ishlab chiqarishni tijoratlashtirishni boshladi. Litiy–temir fosfati batareyalari yuqori energiya zichligiga ega bo'lib, 220 Wh/L va 100–140 Wh/kg ni tashkil etadi, shuningdek, batareyani zaryad qilish samaradorligi

90 % dan yuqori. Sikl muddati taxminan 2000 sikl ni tashkil etadi, chuqur chiqish darajasi 80 % bo'lganda. Litiy–temir fosfati batareyalarining ishlash haroratlari yuqori ishlash haroratlari yaxshi ishlaydi va -20°C dan $+70^{\circ}\text{C}$ gacha bo'ladi.

Litiy-ion batareyalarini taqqoslash. Litiy–kobalt oksidi (LiCoO_2), litiy–nikel kobalt alyuminiy oksidi ($\text{Li}(\text{NiCoAl})\text{O}_2$), litiy–nikel kobalt magniy oksidi ($\text{Li}(\text{NiCoMn})\text{O}_2$), litiy–mangan oksidi (LiMn_2O_4), va litiy–temir fosfati (LiFePO_4) batareya hujayralarining terminal kuchlanishi va energiya zichligini, bu litiy-ion batareya turlari bo'lib, raqamli ma'lumotlar bilan taqqoslash 5.3.1-jadvalda keltirilgan. Litiy-ion batareyalarida ishlatilgan turli kimyoviy materiallarga qarab, batareyalarning terminal kuchlanishi va energiya zichligi o'zgaradi.

Litiy-ion batareyalarida turli materiallardan foydalanish ba'zi batareya turlarida gravimetrik yoki hajmiy energiya zichligini o'zgartirishi mumkin, ammo bu ko'plab masalalarga, masalan, narx, xavfsizlik, batareya muddati kabi omillarga ijobiy yoki salbiy ta'sir ko'rsatadi. Litiy–kobalt oksidi (LiCoO_2), litiy–mangan oksidi (LiMn_2O_4), litiy–temir fosfati (LiFePO_4), litiy–nikel kobalt magniy oksidi ($\text{Li}(\text{NiCoMn})\text{O}_2$), litiy–nikel kobalt alyuminiy oksidi ($\text{Li}(\text{NiCoAl})\text{O}_2$) va litiy–titanat spinel ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$) batareyalarining litiy-ion batareya turlari bo'lib, maxsus energiya, maxsus quvvat, xavfsizlik, ishlash, umr va narx jihatlarini taqqoslash 5.3.4-rasmda ko'rish mumkin.

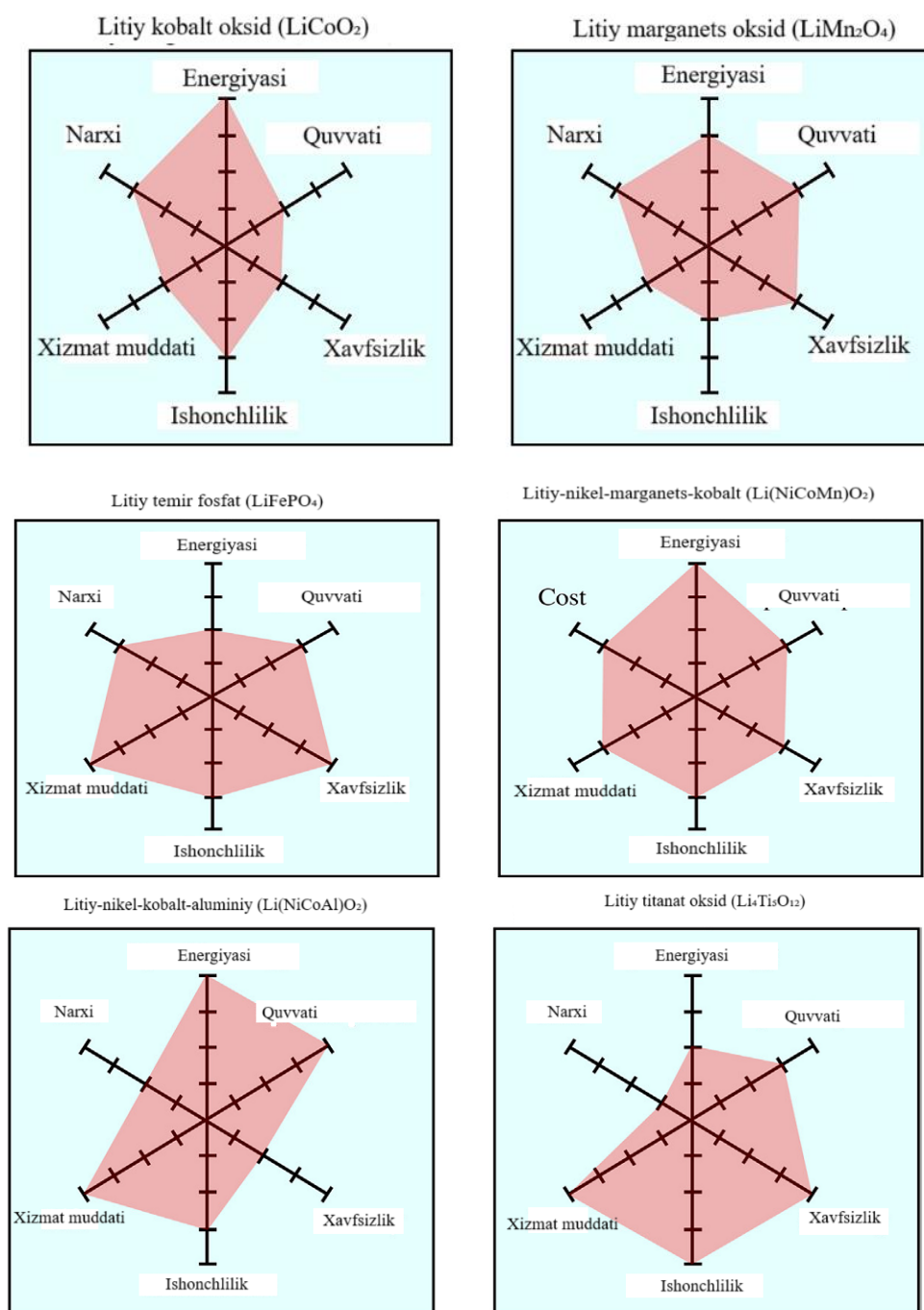
5.3.1-Jadval.

Litiy-ionli akkumulyator turlarining kuchlanishi va energiya zichligi

Akkumulyator turlari	Kuchlanish (V)	Energiyaning zichligi	
		Og'irlikka nisbatan (Wh/kg)	Hajmga nisbatan (Wh/L)
LiCoO_2	3.7	195	560
$\text{Li}(\text{NiCoAl})\text{O}_2$	3.6	220	600
$\text{Li}(\text{NiCoMn})\text{O}_2$	3.6	205	580
LiMn_2O_4	3.9	150	420
LiFePO_4	3.2	90–130	333

Litiy-ion batareyalarida ishlatilgan turli kimyoviy materiallar bir turdagi maxsus energiyani oshirsa, boshqa turda ishlash samaradorligiga ta'sir qiladi. Taqqoslangan diagrammadan ko'rish mumkinki, bu olti mavzudan eng yaxshi natijalarni olish uchun zarur bo'lgan tadqiqotlar hali ham davom etmoqda.

Litiy-ion batareyalari portativ qurilmalar va elektr transport vositalari uchun og'irlik va hajm jihatidan optimal yechimni taqdim etadi. Bugungi texnologiya yordamida, litiy-ion batareyalari bir hujayra boshiga eng yuqori kuchlanish va bir massaga eng yuqori energiya zichligini (Wh/kg), ya'ni eng yuqori maxsus energiyani ta'minlaydi. Ular shuningdek samarali, chunki ular xotira effekti muammosidan ta'sirlanmaydi, va zaryadlash/chiqarish jarayonini to'xtatish salbiy holatni keltirib chiqarmaydi.



5.3.4 – rasm. Litiy-ion batareyalarining taqqoslanadigan o'lchovlari.

Biroq, litiy tezda reaksiyaga kirishishi mumkin bo'lgan modda bo'lgani uchun, litiy tarkibidagi batareyalar yonish va portlash xavfini tug'diradi. Yangi

elektrod dizaynlari ishlab chiqilmoqda va elektrolit uchun ishlatiladigan materiallar doimiy ravishda yaxshilanmoqda, xavfsizroq batareyalar kun sayin taqdim etilmoqda. Zaryadlash jarayonida doimiy kuchlanish usuli ishlatilishi kerak va batareya kuchlanishi ma'lum bir qiymatga yetganda, bu kuchlanishni doimiy saqlash va zaryadlash tokini kamaytirish kerak. Aks holda, ortiqcha zaryadlangan batareya portlashi mumkin. Chiqish jarayonida ma'lum bir kesish kuchlanishi etib borilganda, zaryadlash to'xtatilishi kerak. Ushbu kesish kuchlanishidan past zaryadlashga uringan batareyalarda zarar yuzaga keladi.

Energiya zichligi. Batareyaning energiya zichligi uning har bir birlik og'irligi yoki hajmi uchun energiya miqdori sifatida aniqlanadi. Energiya zichligi birligi Wh/kg yoki Wh/L da ifodalanadi. Batareyaning energiya zichligi ikki turli usulda hisoblanishi mumkin: nazariy va amaliy energiya zichligi. Nazariy energiya zichligida hisoblash faqat batareyaning elektroximik reaksiyasida ishtirok etadigan anod, katod va elektrolitning og'irligi yoki hajmi hisobga olinadi. Amaliy energiya zichligini hisoblashda esa batareyaning umumiy og'irligi yoki hajmi hisobga olinadi. Bu holatda, batareya turi va ishlab chiqarish jarayoniga qarab, nazariy va amaliy energiya zichliklari o'rtasida besh baravargacha farq bo'lishi mumkin.

Quvvat zichligi. Batareya ishlashini xarakterlaydigan boshqa bir xususiyat batareyaning quvvat zichligidir. Quvvat zichligi batareyaning har bir birlik og'irligi yoki hajmi uchun quvvat miqdori sifatida aniqlanadi. Uning birligi W/kg yoki W/L da ifodalanadi. Batareyaning quvvat chiqishi nafaqat uning kimyoviy xususiyatlariga, balki uning dizayni va jismoniy strukturasiga ham bog'liq.

Shuning uchun batareya ishlab chiqarish bosqichida quvvat zichligi va energiya zichligi o'rtasida odatda o'zaro muvozanat mavjud. Yuqori quvvat zichligiga ega batareya uchun past ichki qarshilik va past elektroda poliarizatsiyasi talab etiladi. Bunga erishish uchun elektroximik reaksiyaga kirishmaydigan materiallar miqdori ortishi kerak. Bu esa, o'z navbatida, batareyaning hajmi va og'irligini oshirib, energiya zichligini kamaytiradi.

Samaradorlik. Zaryadlanuvchi batareyaning samaradorligi, batareyadan zaryad yo'qotish qilish orqali berilgan umumiy energiyaning batareyaga olingan umumiy energiyaga nisbati sifatida hisoblanadi. Bu nisbati batareya ichidagi energiya yo'qotishlari sababli 0.6 gacha kamayishi mumkin. Batareyadagi energiya yo'qotishlari batareya materialidagi korroziya, elektrolitdagi gaz chiqishi, batareyaning ichki qarshiligi va elektrodlardagi

poliarizatsiya yo'qotishlaridan kelib chiqadi. Batareyaning zaryad sonlari va batareya umrining davomiyligi ham batareya samaradorligiga ta'sir qiladi.

O'z-o'zini zaryad yo'qotish qilish. Batareya ishlashini xarakterlaydigan yana bir xususiyat – batareya ishlatilmagan holatda zaryad yo'qotish qilish miqdoridir. Batareya turi va atrof-muhit haroratiga qarab, batareyalarning bo'sh zaryad yo'qotish qilish tezligida farqlar mavjud. Batareya uzoq vaqt ishlatilmasdan to'liq zaryad yo'qotish bo'lishi mumkin, va zaryadlanuvchi batareyalar to'liq ishlamay qolishi mumkin. Shuning uchun zaryadlanuvchi batareyalar ma'lum vaqt oralig'ida qayta zaryadlanishi kerak.

Sikl umri. Zaryadlanuvchi batareyalarda har bir zaryad/zaryad yo'qotish jarayonida gaz yig'ilishi va oqishlar, elektrodlarda korroziya va korroziya, elektrolitda kimyoviy reaksiyalar sodir bo'ladi. Batareyaning zaryad/zaryad yo'qotish soni oshgani sari, batareyaning ichki qarshiligi bunday struktura nuqsonlari va yo'qotishlar tufayli ortadi. Poliarizatsiya yo'qotishlari sababli, batareya zaryadlanganda chiqish kuchlanishida katta pasayishlar yuz beradi. Natijada, batareyaning samaradorligi kamayadi. Batareya ma'lum bir zaryad/zaryad yo'qotish sikl laridan so'ng ishlamay qoladi. Batareya turlariga qarab zaryad/zaryad yo'qotish sikl larining soni farqlanadi.

NAZORAT SAVOLLARI:

1. Musbat elektrodning vazifasi nima? 2. Manfiy elektrodning vazifasi nima? 3. Elektrolitga ta'rif bering? 4. Birlamchi turdagi batareyalar qanday batareyalar? 5. Ikkilamchi turdagi batareyalar qanday batareyalar? 6. Aratgichning vazifasi nima? 7. Batareyaning ishlash jarayoni qanday? 8. Bugungi kunda litiy elementlari energiya zichligi sig'imi qancha? 9. Qo'rg'oshin – kislata (Pb) batareyalarini ishlash jarayoni qanday? 10. Nikelli–kadmiyli (NiCd) batareyalarning tuzilishi qanday? 11. Nikelli–temirli (NiFe) batareyalarning tuzilishi qanday? 12. Nikelli–ruxli (NiZn) batareyalarning tuzilishi qanday? 13. Litiy–temir fosfati (LiFePO₄) batareyalarining tuzilishi qanday? 14. Alyuminiy–havo va rux–havo batareyalarining tuzilishi qanday? 15. Energiya zichligi qanday o'lchov birligini ayting. 16. Quvvat zichligi o'lchov birligini ayting.

VI-BOB

QUYOSH ISSIQLIK TIZIMLARI VA ISSIQLIKNI SAQLASH TIZIMLARI

6.1. Quyosh issiqlik tizimlari

Quyosh energiyasi insoniyat tomonidan tarixning ilk yillaridan boshlab foydalanib kelingan. Dastlab quyosh energiyasi isitish maqsadida qo'llanilgan, keyinchalik esa ovqat tayyorlash uchun ishlatilgan. Bugungi kunda rivojlanayotgan texnologiyalar tufayli quyosh energiyasidan turli sohalarda samarali foydalanilmoqda. Quyosh energiyasi fotoelektrik panellar yordamida to'g'ridan-to'g'ri elektr energiyasiga aylantiriladi. Boshqa bir usulda esa konsentrlangan quyosh energiyasi tizimlari yordamida yuqori harorat olinadi. Bu tizimlarda yuqori issiqlik o'tkazuvchanlikka ega suyuqlikdan foydalaniladi. Ushbu usul elektr energiyasi ishlab chiqarish va turar-joylarni isitish maqsadlarida bilvosita qo'llaniladi. Konsentrlangan quyosh energiyasi tizimlari odatda yirik hajmdagi (industrial) qo'llanmalarda ishlatiladi. Bu tizimlar fotoelektrik panellardek yuqori texnologiyani talab qilmaydi.

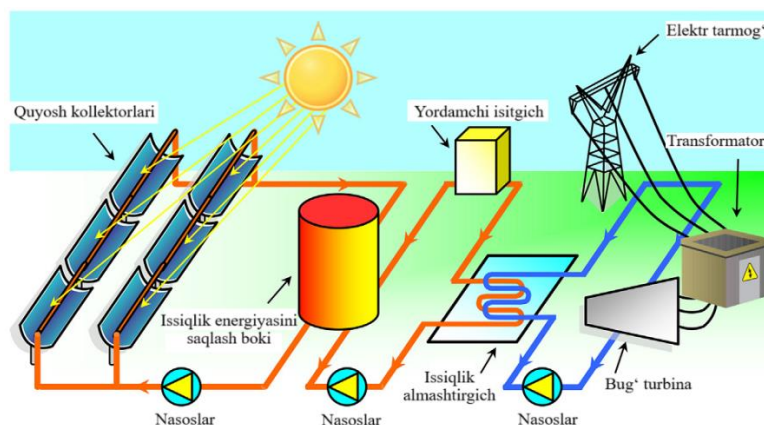
Ularning umumiy tuzilmasi reflektorlar (aks ettiruvchi oynalar) va kollektorlardan iborat. Issiqlik tashish jarayoni yuqori energiya zichligiga ega eritilgan materiallar (molten salt, ya'ni eritilgan tuz) yordamida amalga oshiriladi. Bunday yondashuv tizim samaradorligi va unumdorligini oshirish maqsadida qo'llaniladi. Konsentrlangan quyosh energiyasi tizimida elektr energiyasini ishlab chiqarish topologiyasi 6.1.1-rasmda keltirilgan.

Ushbu tizimlarda quyosh nurlanishi bir nuqtaga jamlab yig'iladi. So'ng, hosil bo'lgan yuqori haroratli suyuqlik turbina tizimiga uzatiladi. Turbina bu bug' fazasiga aylangan yuqori haroratli suyuqlik orqali mexanik aylanishga keltiriladi. Shunday qilib, quyosh energiyasi bilvosita tarzda elektr energiyasiga aylantiriladi. Ushbu tizimlar quyoshga bog'liq bo'lib, soya tushgan va tungi vaqtlarida energiya ishlab chiqara olmaydi. Shu sababli, yuqori issiqlik energiyasi saqlash tizimlari yoki qo'shimcha isitgichlar yordamida energiya uzluksizligi ta'minlanadi.

Mazkur tizimlarning muhim dizayn parametrlari orasida to'g'ri haroratni aniqlash mavjud. Bu harorat turbina samaradorligi va quyosh tizimida ishlash natijadorligiga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Quyosh energiyasi tizimlarida ko'plab qo'llaniladigan metodlar mavjud. Birinchi usulda yuqori harorat olinadi, ikkinchi usulda esa past harorat. Bu usullar quyidagilardan iborat:

- Parabolik truba kollektorlar (parabolic trough collectors)
- Lineer Fresnel kollektorlar
- Parabolik likopcha kollektor (parabolic dish collector)
- Markaziy minora elektr stansiyasi (central tower power system)

Konsentrlangan quyosh energiyasi tizimlari haqida batafsil ma'lumot 1-bobda - Quyosh tizimlarining xususiyatlari, afzalliklari va kamchiliklarida berilgan. Ushbu tizimlarda quyosh nurlanishi reflektorlar yordamida yagona nuqtada yig'iladi. So'ngra, an'anaviy elektr stansiyalarida bo'lgani kabi, yuqori haroratdagi bug' yordamida generatorlar orqali elektr energiyasi ishlab chiqariladi.



6.1.1-rasm. Konsentrlangan quyosh energiyasi tizimi orqali elektr energiyasi ishlab chiqarish topologiyasi

Konsentrlangan quyosh energiyasi tizimlari. Konsentrlangan quyosh energiyasi tizimlarida quyosh nurlanishi reflektorlar yordamida bitta nuqtaga jamlanadi. Keyinchalik, an'anaviy elektr stansiyalardagi kabi, yuqori haroratdagi bug' yordamida generatorlarda elektr energiyasi ishlab chiqariladi. Bu turdagi tizimlarning asosiy maqsadi maksimal miqdorda quyosh nurlanishini yig'ishdan iborat. Bunday quyosh energiyasi tizimlari odatda katta maydonni talab qiladi. Shu sababli, ushbu tizimlar joylashtiriladigan hududlar tanlanayotganda, qishloq xo'jaligiga yaroqsiz va samarasiz yer maydonlari afzal ko'rilishi lozim.

Tizim samaradorligi va unumdorligi nuqtai nazaridan eng keng qo'llaniladigan usul bu parabola trubali quyosh energiyasi tizimlaridir. Bu tizimlar uzoq xizmat muddati va kam texnik xizmat ko'rsatish talablariga ega bo'lishi bilan ajralib turadi. Parabola trubali quyosh energiyasi tizimlari energiyani saqlash texnologiyalari bilan birgalikda ishlatiladi. Ushbu tizimlarda issiqlik tashuvchi suyuqlik sifatida eritilgan tuzlar qo'llaniladi. Eritilgan tuzlarning issiqlikni saqlash sig'imi oddiy suyuqliklarnikiga nisbatan

ancha yuqoridir. Shu sababli, yuqori haroratli energiyani uzoq muddat davomida saqlash mumkin bo‘ladi.

Bu energiya saqlash usuli orqali batareyalarga qaraganda ancha ko‘p miqdordagi energiya zaxiralanadi. Saqlangan issiqlik energiyasining haroratini barqaror ushlab turish uchun yordamchi isitgichlardan foydalaniladi. Ushbu isitgichlar energiya manbai sifatida qayta tiklanuvchi yoki issiqlik energiyasi manbalarini ishlatadi. Issiqlik energiyasini saqlashga asoslangan quyosh tizimlari orqali elektr energiyasi talabini istalgan vaqtda qondirish mumkin. Saqlangan issiqlik energiyasi katta hajmda bo‘lgani uchun, bu tizimlar uzoq muddatli va yuqori quvvatli talablarni qondira oladi.

Issiqlik energiyasini saqlash. Energiya ehtiyojining ortib borishi insoniyatni muqobil energiya manbalarini izlashga majbur qildi. Aholiga zarar yetkazmaydigan va energiyani bevosita tabiatdan oladigan manbalarni qo‘llash keng ommalashmoqda. Quyosh, shamol, okean to‘lqinlari va biogaz kabi manbalar eng ko‘p afzal ko‘riladigan qayta tiklanuvchi energiya manbalaridandir. Ushbu manbalarning quvvat ishlab chiqarishidagi beqarorlik sababli, energiyani saqlash tizimlari eng maqbul yechim sifatida qaralmoqda.

Quyosh fotoelektrik panellari va shamol turbinalari tomonidan ishlab chiqariladigan energiya uzluksiz emas va barqarorlikka ega emas. Ushbu quvvat tebranishlarini oldini olish uchun turli energiya saqlash usullari qo‘llaniladi. Ayniqsa, quyosh energiyasi tizimlarida issiqlik energiyasini saqlash usuli keng qo‘llaniladi. Issiqlik energiyasini saqlash tizimlari, boshqa saqlash tizimlari singari, qayta tiklanuvchi energiya manbalarining to‘ldiruvchi elementi hisoblanadi.

Quyosh nurlanishining intensiv davrlarida quyosh energiyasi issiqlik shaklida saqlanadi. So‘ngra, tizim yuklama talab qilganida, saqlangan issiqlik energiyasi bug‘ turbinalari yordamida elektr energiyasiga aylantirilib foydalaniladi. Past quyosh nurlanishi davrida ishlatiladigan issiqlik energiyasini saqlovchi quyosh tizimlari ko‘plab afzalliklarga ega. Bunday yuqori sig‘imli tizimlar nisbatan past investitsiya xarajatlari bilan o‘rnatiladi. Bundan tashqari, bunday tizimlarning samaradorligi ham yuqori. Issiqlik energiyasini saqlash tizimlari yuqori quvvat ehtiyojlarini qondira oladi.

Yuqorida sanab o‘tilgan barcha afzalliklar tufayli, issiqlik energiyasini saqlash tizimlari qayta tiklanuvchi energiya manbalarining ajralmas qismiga aylanmoqda. Ushbu tizimlar isitish va sovitish ilovalari uchun ham baholanishi mumkin. Ular, asosan, turar-joy va sanoat sohalarida qo‘llaniladi. Ularning

asosiy afzalliklaridan biri — mavjudligi va ishonchliligidir. Saqlash va bo'shatish jarayonlari davomida atrof-muhitga salbiy ta'sir ko'rsatmaydi.

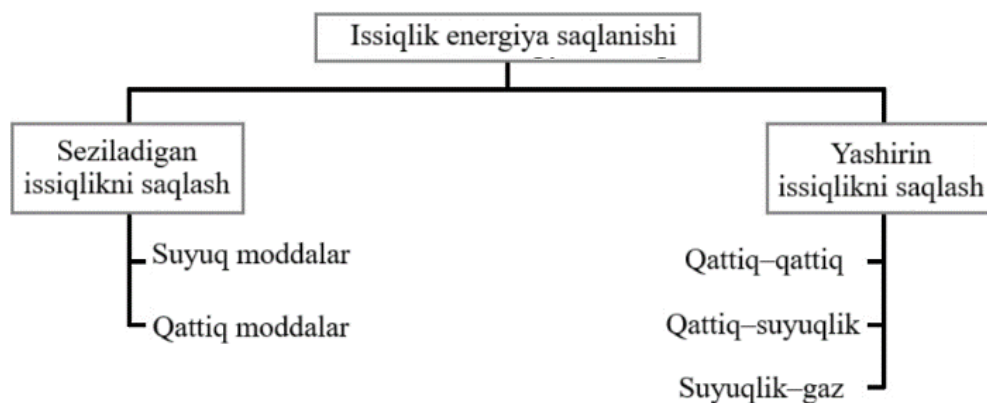
Issiqlik energiyasini saqlash tizimlarining yuqori quvvat zichligi tufayli sanoat sohasida ulardan foydalanish tobora kengaymoqda. Ushbu tizimlarning samaradorligini oshirish maqsadida issiqlik uzatuvchi materiallar bo'yicha tadqiqotlar davom etmoqda. Issiqlik energiyasini saqlash tizimlarida birlik hajmga yoki birlik massaga nisbatan saqlanadigan energiya miqdorini oshirish bo'yicha ilmiy izlanishlar olib borilmoqda. Bu tadqiqotlarning maqsadi saqlangan energiyaning quvvat zichligini oshirishdan iborat.

Fazani o'zgartiruvchi materiallar issiqlik energiyasini saqlash tizimlarining eng muhim elementlaridan biridir. Ularning qo'llanilishi natijasida tizimning samaradorligi ortadi va saqlash hajmi kamayadi. Yuqori bug' bosimi va agressiv issiqlik tashuvchi moddalar tizimning ishlash ko'rsatkichlari va ishonchliligiga salbiy ta'sir ko'rsatishi mumkin.

Issiqlik energiyasi ikki xil usulda saqlanadi va ishlatiladi. Birinchi usulda, kollektorlar orqali kelayotgan issiq suv absorbsiya tizimlari orqali sovutiladi va sovuq holatda saqlanadi. Ikkinchi usulda esa to'g'ridan-to'g'ri issiq holatda zaxiralash amalga oshiriladi. Turar-joy va sanoat ilovalarida isitish va sovitish jarayonlari, odatda, tabiiy gaz yoki elektr energiyasi yordamida bajariladi. Ushbu ehtiyojlarni qondirish uchun issiqlik energiyasini saqlovchi tizimlar ishlatiladi.

Quyosh energiyasidan turar-joylarda issiq suv olishning eng sodda shakli sifatida foydalaniladi. Bu issiq suvga bo'lgan talabni yutuvchi trubkalar va issiqlik energiyasini saqlovchi tank orqali ta'minlash mumkin. Saqlangan issiq suv quvurlar yordamida butun uyni ta'minlash uchun tarqatiladi.

Issiqlik energiyasini saqlashning ikki xil asosiy mexanizmi mavjud. Ulardan biri qattiq yoki suyuq materiallar yordamida amalga oshiriladi. Ikkinchi issiqlik energiyasini saqlash mexanizmida esa fazani o'zgartirish jarayoni qo'llaniladi. Saqlash tizimini loyihalashda kollektorning xizmat muddati, tizim sikl soni, saqlash hajmi va issiqlik yo'qotishlari e'tiborga olinishi lozim. Issiqlik energiyasini saqlash tizimi samaradorligini oshirish uchun, saqlash idishining issiqlik sig'imi (issiqlik kapasitansiya) xususiyatlariga alohida e'tibor qaratish zarur.



6.1.2-rasm. Issiqlik energiyasini saqlash turlari.

Kollektorlardagi issiqlik o'tkazuvchi suyuqlik juda yuqori issiqlik sig'imiga ega bo'lishi kerak. Har bir qo'llanilish turiga qarab bu issiqlik o'tkazuvchi suyuqlik farqlanishi mumkin, ammo umumiy holatda suv, moy, suv–tuz aralashmalari va suv–glyukoza eritmaları qo'llaniladi. Issiqlik energiyani saqlash texnologiyalarida suvning keng qo'llanilish sababi – uning arzonligi, atrof-muhitga zararsizligi hamda yuqori issiqlik saqlash sig'imiga ega ekanligidadir. Bundan tashqari, suvni nasoslar va an'anaviy quvurlar yordamida tashish oson. Issiqlik konturda aylanadigan issiqlik tashuvchi suyuqlik uchun maxsus o'rnatma talab etilmaydi. Issiqlik energiyasi tizimi samaradorligiga ta'sir qiluvchi yana bir omil bu – saqlash tankining joylashuv o'rnidir. Saqlash tanki issiqlik yo'qotishlari eng kam bo'lgan joyga joylashtirilishi kerak. Quyosh tizimidan uzoqda o'rnatilgan tank, suyuqlikni tashish jarayonida issiqlik yo'qotishlariga sabab bo'ladi. Tank tashqi muhit sharoitlaridan ta'sirlanmaydigan joyda joylashtirilishi zarur. U yaxshi issiqlik izolyatsiyasiga ega tashqi qoplama bilan o'ralgan bo'lishi kerak.

Issiqlik energiyani saqlash tizimlari iqtisodiy bo'lishi va yuqori quvvat zichligiga ega bo'lishi uchun loyihalashtiriladi. Tizimni loyihalash jarayonida optimal saqlash bloki suyuqlik dinamikasi usullari va simulyatsiya dasturlaridan foydalangan holda ishlab chiqiladi. Issiqlik energiyani saqlash turlari 6.1.2-rasmida ko'rsatilgan. Issiqlik energiyani saqlash tizimlarida saqlanadigan energiya miqdori “sig'im” deb ataladi. Bu saqlash sig'imi – saqlash jarayoni, tizim o'lchamlari va issiqlik saqlash jarayoniga bog'liq holda farqlanadi. Issiqlik energiyani saqlash tizimida foydalanuvchiga yetib boradigan haroratning kollektorlar qabul qilgan quyosh energiyasiga nisbati tizimning umumiy samaradorligini aniqlaydi. Issiqlik energiyasini saqlash tizimlaridagi yo'qotishlar odatda issiqlik yo'qotishlari ko'rinishida yuz beradi.

Issiqlik energiyasi imkon qadar tezda saqlash tizimiga zaxiraga olinishi lozim. Zaryadlash va razryadlash jarayonlarida yuqori energiya zichligi issiqlik energiyani saqlash tizimlari uchun istalgan xossadir. Issiqlik energiyani saqlash tizimlari ikkita asosiy usul – issiqlik va kimyoviy yo‘l bilan amalga oshiriladi. Bu usullar sezgir issiqlik (sensible heat) va yashirin issiqlik (yashirin heat) guruhlariga ajratiladi.

Issiqlik energiyasini oqilona saqlash. Issiqlik energiyasini oqilona saqlash usuli suyuq yoki qattiq materialni isitish yoki sovitish printsipiga asoslanadi. Issiqlik energiyasini saqlashda foydalaniladigan materiallar odatda arzon bo‘ladi. Ushbu usul ko‘pincha turar joy yoki sanoat sohalarini isitish uchun qo‘llaniladi.

Issiqlik energiyasini oqilona saqlash tizimining zaryadlash va razryadlash jarayonlarida materialning issiqlik sig‘imi o‘zgarishidan foydalaniladi. Ushbu usulda saqlash tizimi qanchalik yaxshi izolyatsiyalangan bo‘lmasin, baribir ma‘lum miqdorda issiqlik yo‘qotishlari yuz beradi. Agar saqlangan energiya uzoq muddat davomida ishlatilmasa, tizim issiqlik izolyatsiyasi juda yaxshi bajarilishi kerak bo‘ladi. Issiqlik yo‘qotishlari bevosita saqlash yuzasi maydoni va issiqlik saqlovchi material bilan bog‘liq. Ushbu usulda issiqlik energiyasini saqlash uchun havo, suyuqlik yoki yer osti saqlash variantlari qo‘llaniladi.

Havo orqali issiqlik energiyasini saqlash tizimi. Issiqlik energiyasini oqilona saqlash usuli saqlash usullaridan biri bo‘lgan havo orqali issiqlik saqlash tizimlari keng qo‘llaniladi. Qattiq materiallar qizigan havoni yig‘uvchi sifatida ishlatiladi. Ushbu qattiq materiallar odatda tosh, shag‘al yoki jinslar kabi arzon va oson topiladigan mahsulotlar bo‘ladi. Qizdirilgan havo yirik binolar ichki haroratini oshirish uchun ishlatiladi. Havo–issiqlik energiyasini saqlash tizimlari tejamkor usullardan biri hisoblanadi. Qizigan havo isitgichdan bevosita foydalanilishi mumkin.

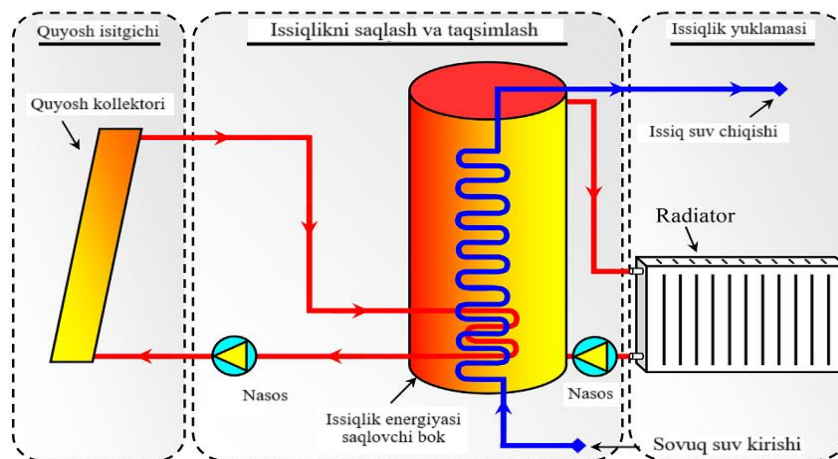
Shag‘al materialidan foydalangan holda, havo issiqligini saqlovchi tizim izolyatsiyalangan quti va havo kirish-chiqish mexanizmi yordamida o‘rnatiladi. Ushbu usulda ko‘plab turli dizaynlar qo‘llaniladi. Quti devorlari odatda beton yoki yog‘och kabi materiallardan yasaladi. Qutidagi havo kirish joyi gorizontal yoki vertikal holatda bo‘lishi mumkin. Har ikkala dizaynda ham yuqori samaradorlikka erishiladi. Ushbu usulda shag‘alning o‘lchamlari, havo oqimi va quti geometriyasi loyihalash bosqichida aniqlanadi.

Havo issiqligini saqlash tizimlarida faza o'zgaruvchan materiallar (FO'M) va suv ham ishlatiladi. Faza o'zgaruvchan materiallar va suv yuqori issiqlik saqlash sig'imiga ega. Ushbu issiqlik sig'imidan foydalangan holda havo oqimini ta'minlovchi tizim loyihalanadi. Bu dizaynlar funksionallikni oshirib, tizimning universalligini kuchaytiradi. Suv va faza o'zgaruvchan materiallardan foydalanadigan tizimlar juda ixcham bo'ladi. Bundan tashqari, ushbu tizimlar shag'aldan tayyorlangan tizimlarga qaraganda uchdan bir qisqa o'lchamga ega bo'ladi.

6.2. Suyuqlik orqali issiqlik energiyasini saqlash tizimi

Suyuqlik orqali energiya saqlashda eng ko'p qo'llaniladigan material bu – suvdir. Issiq suv tanklari issiqlik energiyasini saqlash vositasi sifatida ishlatiladi. Issiq suv tanklari tejamkor bo'lib, yuqori samaradorlikka ega. Ushbu texnologiyada issiqlik izolyatsiyasi samaradorligini oshirish uchun tank izolyatsiyasi ustida tadqiqotlar olib borilmoqda.

Suyuqlik issiqligini saqlovchi tizimlardagi issiq suv tanklari ikki xil bo'ladi: bosimli va bosimsiz. Ushbu tizimlar ichki yoki tashqi issiqlik almashinish qurilmalarini o'z ichiga oladi. Issiq suv tanklari galvanizli po'lat, mis yoki beton materiallardan tayyorlanadi. Barcha turdagi tanklar uchun yuqori izolyatsiya muhim parametr hisoblanadi. Issiqlik almashinuvchisi mavjud bo'lgan bosimli saqlash tizimlarida almashinuvchi spiral ko'rinishidagi quvurlar to'plamidan iborat bo'ladi. Issiqlik sig'imini oshirish uchun bir nechta issiq suv tanklari ishlatiladi. Bu esa tizimning ishonchliligini oshiradi va nosozlik holatlarida ham tizim faoliyatini davom ettiradi. Tashqi issiqlik almashinuvi mavjud tizimlarda suyuqlik aylanishi uchun qo'shimcha nasos talab qilinadi.



6.2.1- rasm Issiqlik energiyasini saqlash bilan quyosh kollektorining tuzilmasi.

Suyuqlik issiqlik energiyasini saqlash tizimlari odatda 30 m³ gacha bosim ostida ishlamaydi. Agar hajm oshsa, xarajatlar nuqtai nazaridan bosimli dizaynga o'tish to'g'ri bo'ladi. Bosimli issiqlik saqlash tizimlarida asosiy suv va bosim tizimi suyuqliklari bir-biridan mustaqil va izolyatsiyalangan bo'ladi. Issiqlik uzatish jarayoni bosimli tizimlarda issiqlik almashinish tizimlari yordamida amalga oshiriladi. Issiqlik energiyasini saqlash bilan quyosh kollektorining tuzilmasi ko'rsatilgan 6.2.1- rasmda. Ushbu tizimda suyuqlik quyosh kollektorlaridan isitiladi va issiqlik almashinuvi issiqlik almashinish tizimi yordamida amalga oshiriladi. Ushbu dizaynlarda, odatda, issiq suv tankning yuqori qismidan olinadi. Isitilgan suyuqlik yuqorida, sovuq suyuqlik pastda joylashadi. Shunday qilib, sovuq suyuqlik quyosh kollektorlaridan isitiladi. Ushbu usulda tankning issiqlik samaradorligi oshadi va issiq suv har doim mavjud bo'ladi. Natijada, suyuqlik issiqlik energiyasini saqlash tizimining samaradorligi oshadi.

Suyuqlik issiqlik energiyasini saqlash tizimlarida, saqlangan energiya hajmi quyidagi formulaga asosan hisoblanadi, bu formula suv yoki boshqa suyuqliklar uchun amal qiladi:

$$Q_s = m_s c_m \Delta t_s \quad (6.2.1)$$

bu yerda Q_s - bu t_s vaqt birligida saqlangan issiqlik sig'imi, m_s - suv yoki suyuqlikning massasi, va c_m - suv yoki suyuqlikning maxsus issiqlik sig'imi.

Yuqori issiqlik sig'imi, oson o'rnatish, keng qo'llanilish sohalari, past narx va qayta tiklanadigan energiya bu tizimlarning afzalliklaridan biridir. Ushbu usullar issiqlik saqlash tizimlarini kichik o'lchamlarda ham o'rnatishga imkon beradi. Quyosh kollektorli issiqlik saqlash tizimlari odatda mavsumiy ishlash xususiyatiga ega. Ushbu tizimlar yordamida qish oylarida issiq suv olish mumkin emas.

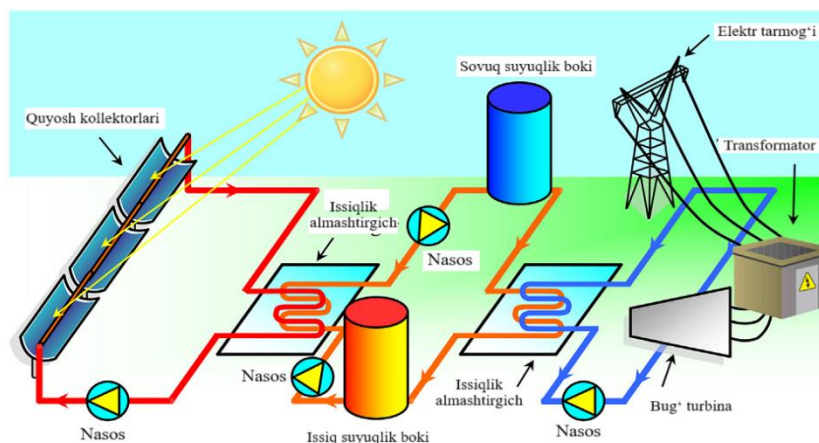
Yer osti issiqlik energiyasini saqlash tizimi. Yer osti issiqlik energiyasini saqlash tizimlari issiq va sovuq saqlashni ta'minlash uchun eng keng tarqalgan usullardir. Ushbu issiqlik energiyasini saqlash tizimida, toshlar, tuproq, qum va loy saqlash maydoni sifatida ishlatiladi. Issiqlik almashinish suyuqligi ushbu burg'ulash trubalariga pompalanadi va kerakli temperatura hosil qilinadi. Yer osti issiqlik energiyasini saqlash tizimlarida issiqlik izolyatsiyasi mavjud emas. Ushbu tizimlarda faqat er izolyatsiyalanadi. Ushbu usulda saqlash materiali, masalan, tuproq, tosh yoki qum issiqlik almashinuvini amalga oshiradi. Ushbu issiqlik energiyasini saqlash tizimlari

katta hajmdagi ilovalarda ishlatiladi. Ilova hajmi katta bo'lgani uchun issiqlik yo'qotishlari kamayadi. Ushbu issiqlik energiyasini saqlash usullari asosan turar-joy hududlaridan tashqarida qo'llaniladi. Ilova hududidagi yer burg'ulash trubalarini joylashtirish uchun mos bo'lishi kerak. Ushbu tizimlar shuningdek, yoz oylarida katta turar-joy va sanoat hududlarida sovutish uchun ishlatiladi. Bu holatda sovuq energiya saqlash burg'ulash trubalariga sovuq suyuqlikni kiritish orqali amalga oshiriladi. Yer osti saqlash tizimlarida qo'llaniladigan yana bir texnika - bu g'or yoki chuqur saqlashdir. Issiq yoki sovuq suv bu katta yer osti g'orlariga yoki chuqurlarga pompalanadi. Pompalanayotgan suv keyinchalik foydalanish uchun chiqariladi. Ushbu texnikada issiqlik yo'qotishlari yer osti g'ori yoki chuqurining yuzasidagi suv bilan aloqa nuqtasida yuzaga keladi. Ushbu texnikani qo'llash uchun tabiiy yer osti g'ori yoki chuqur odatda afzal ko'riladi.

6.3. Yashirin issiqlik energiyasini saqlash tizimi

Yashirin issiqlik energiyasini saqlash tizimi yoki faza o'zgarishi saqlash materialini ichidagi izotermik jarayondan kelib chiqadi. Ushbu saqlash texnologiyasida, energiya saqlanishi davomida material zichligi oshadi va hajmi kamayadi. Issiqlik faza o'zgarishi jarayonida to'g'ridan-to'g'ri material ichida issiqlik almashinadi. Yashirin issiqlik energiyasini saqlash usuli issiqlikni issiqlik saqlashning eng samarali usuli hisoblanadi. Ushbu usulda yuqori energiya saqlash zichligi afzallikdir. Ushbu issiqlik energiyasini saqlash usulida saqlash materialini qattiq-suyuqlik, suyuqlik-gaz va aksincha bo'lishi mumkin. Issiqlik yutilishi yoki chiqarilishi ushbu faza o'zgarishi jarayonida sodir bo'ladi. Faza o'zgarishining eng oddiy misoli suvdur. Suv past haroratda qattiq holatda, o'rtacha haroratda suyuqlik holatda va yuqori haroratda gaz holatida bo'ladi. Yashirin issiqlik energiyasini saqlash bilan quyosh kollektor tizimi 6.2.1- rasm da ko'rsatilgan. Yashirin issiqlik ishlatiladigan qism bu tizimdagi bug' turbina qismidir. Suv suyuqlik fazasidan gaz fazasiga o'tadi.

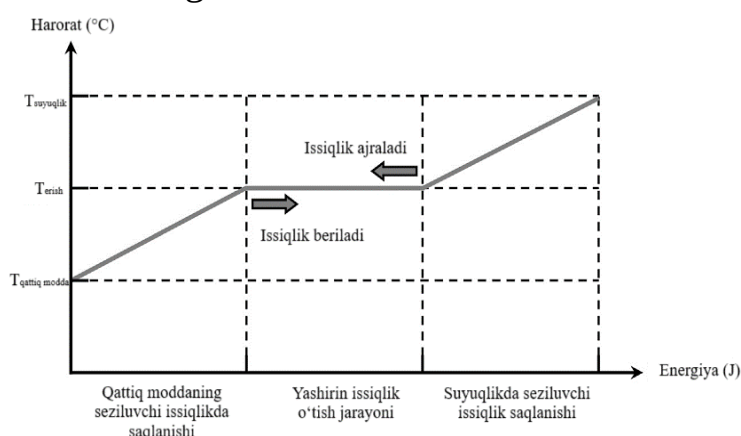
Yashirin issiqlik energiyasini saqlash tizimida faza o'zgarishi materialining erish nuqtasi kerakli harorat oralig'ida bo'lishi kerak. Ushbu usulda faza o'zgarishi jarayoni uchun mos issiqlik almashinuv yuzasi bo'lishi kerak. Faza o'zgarishi materialini issiqlik saqlanadigan tank bilan mos bo'lishi kerak. Issiqlik energiyasini saqlash tizimida ishlatiladigan materiallar va uskuna yonish xavflarini o'z ichiga olmasligi kerak.



6.2.1. – rasm. Yashirin issiqlik energiyasini saqlash bilan quyosh kollektor tizimlari.

Faza o'zgarishi materiallari organik, noorganik va eutektik materiallar sifatida tasniflanadi. Organik faza o'zgarishi materiallari bir necha marta erib-qotib qolishi mumkin. Yuqori issiqlik o'tishlarida oz miqdorda kristallanish sodir bo'ladi. Organik faza o'zgarishi materiali sifatida parafin mumlarini keltirish mumkin. Paraffin mumlari kristallanish jarayonida katta miqdorda issiqlik chiqaradi. Paraffin materiali xavfsiz, arzon, korroziyaga chidamsiz bo'lib, keng temperatura diapazonida ishlatilishi mumkin. Paraffin bo'lmagan organik materiallarga esterlar, yog'li kislotalar va alkogollar misol bo'la oladi. Ushbu organik materiallar yuqori erish haroratiga va past issiqlik o'tkazuvchanligiga ega. Noorganik faza o'zgarishi materiallari odatda yuqori haroratli quyosh kollektorlarida qo'llaniladi. Ushbu noorganik materiallarning muammolaridan biri ularning doimiy texnik xizmatni talab qilishi hisoblanadi. Noorganik materiallar past haroratlardagi muzlashda qiyinchilik tug'diradi va yuqori haroratlarda ishlatish juda mushkul. Noorganik faza o'zgarishi materiallarining misoli sifatida tuz gidratlarini keltirish mumkin. Tuz gidratlari erish nuqtasida suv bilan reaksiyaga kirishib, gidrat kristallarini parchalaydi. Tuz gidratlari birlik hajmiga nisbatan yuqori issiqlik fusioniga ega. Tuz gidratlari past korroziya xususiyatlariga ega bo'lib, plastmassa tanklar uchun mos keladi. Organik faza o'zgarishi materiallari yong'in chiqishga moyil va past issiqlik o'tkazuvchanligiga ega. Boshqa tomondan, noorganik faza o'zgarishi materiallari arzon, keng tarqalgan, yonmaydigan va yuqori issiqlik saqlash sig'imiga ega. Eutektik faza o'zgarishi materiallari, erish va muzlash nuqtalariga ega bo'lgan materiallarni birlashtirish orqali olinadi. Eutektik materiallar yuqori issiqlik o'tkazuvchanligiga ega va ularning material zichligi juda yuqori. Eutektik materiallarning maxsus issiqlik sig'imi pastdir.

Yashirin issiqlik va sezilarli issiqlik metodlaridagi temperatura o'zgarish grafigi 6.2.2- rasmda ko'rsatilgan.



6.2.2 – rasm. Yashirin issiqlik va sezilarli issiqlik metodlaridagi temperatura o'zgarish grafigi.

Agar biror qattiq materialga issiqlik berilsa, materialning harorati faza o'zgarishi sodir bo'lguncha oshib boradi. Faza o'zgarishi jarayonida molekulyar bog'lar qattiq materialda uziladi. Qattiq material suyuqlikka o'tadi. Agar faza o'zgarishi amalga oshgandan so'ng materialga berilayotgan issiqlik miqdori oshsa, material tomonidan saqlanayotgan issiqlik miqdori ham oshadi.

6.4. Issiqlik energiya saqlash tizimlarining iqtisodiyoti, narxi

Issiqlik energiya saqlash tizimlari boshqa saqlash texnologiyalari bilan taqqoslaganda juda tejamkor hisoblanadi. Atrof-muhitga ta'siri nuqtai nazaridan, bu toza energiya saqlash texnologiyasidir. Issiqlik energiya saqlash tizimlari katta binolar uchun mos saqlash usuli hisoblanadi. Issiqlik energiya saqlash tizimlari odatda issiq suv va isitish uchun kichik hajmdagi ilovalarda ishlatiladi. Shuningdek, ular katta hajmdagi elektr energiyasini ishlab chiqarish sohasida ham qo'llaniladi. Shunday qilib, kuchli energiya talab qilinadigan davrda saqlangan issiqlik energiyasi bilan elektr energiyasi ishlab chiqariladi. Issiqlik energiya saqlash tizimlari, shuningdek, qisqa muddatli yuqori yuklama talablari uchun tezda javob berishga imkon beradi. Issiqlik energiya saqlash tizimlarida saqlash yuqori haroratlardagi sharoitda amalga oshiriladi. Yuqori haroratda elektr energiyasi ishlab chiqarilganda, turbinaning chiqishidan issiqlik bilan yashashni isitish mumkin. Shunday qilib, har bir issiqlik transformatsiya jarayoni foydalaniladi. Issiqlik energiya saqlash tizimlari boshlang'ich investitsiya va texnik xizmat ko'rsatish xarajatlari past bo'lib, ular ishlatish uchun qulay hisoblanadi. Issiqlik energiya saqlash tizimlari ilova sohasi bo'yicha maxsus dizayn qilinishi kerak. Kompresor, nasos, saqlash

tanki va taqsimlash liniyalari ilova sohasi talablariga binoan o'rnatiladi. Ilova maydonida optimum issiqlik energiya saqlashning amalga oshirilishi, ratsional dizayn bilan ta'minlanadi.

Bir mintaqadagi pik yuklamalarni issiqlik energiya saqlash tizimlari bilan qondirish mumkin. Issiqlik energiya saqlash qurilmasi operatori pik yuklama vaqtlarini belgilab, tizimni faollashtiradi, shunday qilib, tarmoqdagi yuklama kamayadi. Bundan tashqari, yuqori tarif narxlaridagi elektr energiyasi narxi issiqlik energiya saqlash tizimi yordamida kamaytiriladi. Bu jarayonning aksi sifatida, elektr energiyasi narxi past bo'lgan davrlarda issiqlik energiya saqlash tizimiga issiqlik qo'shiladi. Quyosh kollektorli issiqlik energiya saqlash tizimlarida yoqilg'i narxi yo'q, chunki energiya manbai quyoshdan olinadi.

Issiqlik energiya saqlash tizimlari eng ko'p biror hududni isitish yoki sovutish uchun ishlatiladi. Ular turar-joy yoki sanoat sohaslarida suvni isitish uchun afzal ko'riladi. Issiqlik energiya saqlash qishloq xo'jaligi sohaslarida, ayniqsa issiqxonalarda keng qo'llaniladi. Shuningdek, u qishloq xo'jaligi sohasida suv nasoslari tizimlarida ham ishlatiladi. Boshqa foydalanish sohalari kichik energiya stansiyalaridir.

NAZORAT SAVOLLARI:

1. Quyosh energiyasi qanday qilib elektr energiyasiga aylantiriladi?
2. Konsentrlangan quyosh energiyasi tizimlarida nimalardan foydalaniladi?
3. Konsentrlangan quyosh energiyasi tizimi nimalardan tashkil topgan?
4. Konsentrlangan quyosh energiyasi tizimining ishlash jarayoni qanday?
5. Quyosh energiyasi tizimlarida qo'llaniladigan metodlarni ayting.
6. Konsentrlangan quyosh energiyasi tizimlari ishlash jarayoni qanday?
7. Quyosh fotoelektrik panellari va shamol turbinalari tomonidan ishlab chiqariladigan energiya barqarorlikka egami?
8. Past quyosh nurlanishi davrida ishlatiladigan issiqlik energiyasini saqlovchi quyosh tizimlari qanday afzalliklarga ega?
9. Sanoat sohasida issiqlik energiyasini saqlash tizimlaridan foydalanish nimaga tobora kengayib bormoqda?
10. Issiqlik energiyasini saqlashning nechki xil asosiy mexanizmi mavjud?
11. Issiqlik energiyasini oqilona saqlash usuli qanday prinsipga asoslanib ishlaydi?
12. Havo orqali issiqlik energiyasini saqlash tizimi qanday amalga oshiriladi?
13. Suyuqlik orqali issiqlik energiyasini saqlash tizimida nechki xil issiq suv ishlatiladi?
14. Yer osti issiqlik energiyasini saqlash tizimida saqlash maydoni sifatida nimalardan foydalaniladi?

VII-BOB

GIBRID ENERGIYA SAQLASH VA INNOVATSION SAQLASH TEKNOLOGIYALARI

7.1. Gibrid energiya saqlash tizimlari

Qayta tiklanuvchi energiya manbalarining tabiati tufayli, ularning chiqish quvvati tabiiy sharoitlarga qarab o'zgarib turadi. Energiya saqlash tizimlari qayta tiklanuvchi energiya manbalarining uzluksiz chiqish quvvati xususiyatiga eng mos yechimdir. Energiya saqlash tizimlarining yuqori quvvat va energiya zichligi qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanishni qo'llab-quvvatlaydi. Ishonchli qayta tiklanuvchi energiya tizimini yaratish uchun manbalar va energiya saqlash tizimlari birgalikda ishlatilishi kerak. Bugungi kunda texnologik rivojlanishlar tufayli, energiya saqlash birliklari uzoq vaqt davomida 1–100 MW quvvatni taqdim eta oladi.

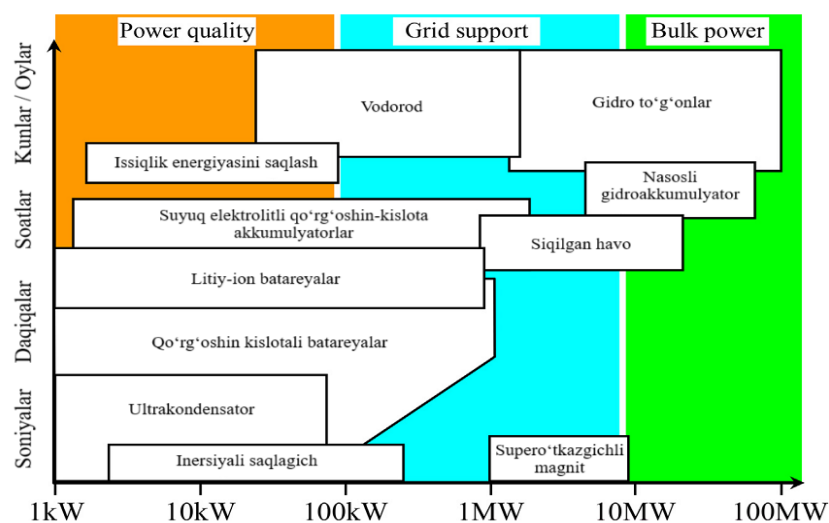
Energiya saqlash tizimlari asosan to'rt turga bo'linadi: elektromagnit, elektrokimyoviy, mexanik va termal. Tasniflash energiya saqlash birliklarida qo'llaniladigan material texnologiyasi va metodlarga qarab amalga oshiriladi.

Energiyani ishlab chiqarish ob'ektida ishlatilishi kerak bo'lgan energiya saqlash texnologiyasi samaradorlik–narx parametrini hisobga olgan holda aniqlanishi kerak. Energiya ehtiyojlarini qondirish uchun qurilgan tizimlar uzoq muddatli energiya ehtiyojlarini, shuningdek, to'satdan yuk talablarini qondirishi kerak. Quvvat talablariga javob beradigan texnologiyalar — energiya saqlash ilovalari bo'lib, ular asosan quvvat sifatini yaxshilash uchun ishlatiladi. Energiya saqlash ilovalari tarmoq chastotasining barqarorligini ta'minlash, to'satdan yuk o'zgarishlarini va kuchlanish o'zgarishlarini oldini olish uchun ishlatiladi. Ushbu dinamik quvvat ilovalarida, javob vaqti millisekund darajasida bo'lishi kerak, kerakli yuk quvvati talabi esa daqiqalar yoki soatlar davomida bo'lishi mumkin.

Energiya saqlash tizimlarining quvvatlari turli vaqt intervallaridagi ehtiyojlarni qondirishi mumkin, masalan, soniyalar, daqiqalar, soatlar, kunlar, oylar kabi. Energiya saqlash tizimlarining noyob tuzilmalari va xususiyatlari ushbu vaqt davrlarini yaratadi. Turli energiya saqlash tizimlarining ishlash sohalari, saqlash mumkin bo'lgan quvvat miqdori va davomiyliklari 7.1.1-rasmda taqqoslangan.

Siqilgan havo va nasosli gidroelektr energiya saqlash tizimlari — kun yoki oy davomida yuk talabini qondirishga qodir bo'lgan saqlash

texnologiyasidir. Ushbu yuqori energiya zichligiga ega saqlash tizimlari tarmoqni qo'llab-quvvatlashda ishlatiladi. Bundan tashqari, supero'tkazuvchan magnit va vodorod energiya saqlash tizimlari ham tarmoqni qo'llab-quvvatlash uchun ishlatiladi.

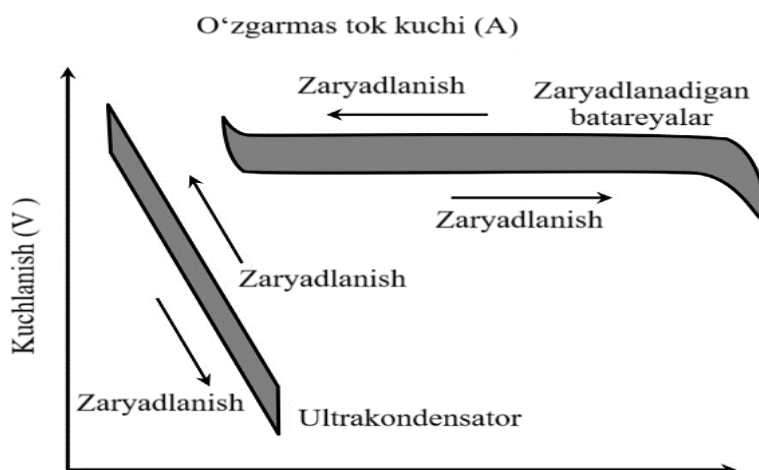


7.1.1 - rasm. Energiya saqlash texnologiyalarining taqqoslanishi.

Biroq, energiya uzatish vaqtlarini hisobga olganda, supero'tkazuvchan magnit energiya saqlash tizimi qisqa vaqt (sekund) davomida qo'llab-quvvatlashni ta'minlaydi, shu bilan birga vodorod energiya saqlash tizimi kun yoki oy davomida energiya taqdim etishi mumkin. Suvli batareyalar uzoq muddatli va yuqori energiya tizimlarida ishlatiladi. Nikel-kadmiy, qo'rg'oshin-kislota va natriy-sulfat batareya texnologiyalari yuqori quvvat zichligi talab qilinadigan sohalarda qo'llaniladi. Litiy-ion batareyalari yuqori energiya zichligini talab qiladigan portativ qurilmalar ilovalarida va energiya saqlash samaradorligi muhim bo'lgan ilovalar uchun keng qo'llaniladi. Ultrakondensator energiya saqlash tizimi odatda quvvat sifatini yaxshilash tadqiqotlarida afzal ko'riladi. Uchuvchi g'ildiraklar va ultrakondensatorlar batareyalarga nisbatan yuqori quvvat zichligiga ega. Ular yuqori tokda juda tez zaryadlanishi yoki tushirilishi mumkin. Biroq, uchuvchi g'ildiraklar va ultrakondensatorlar batareyalarga nisbatan kamroq energiya zichligiga ega bo'lgani sababli, ular uzoq vaqt davomida energiya uzatmaydi.

Batareya va ultrakondensator bilan gibrid energiya saqlash tizimi. Gibrid energiya saqlash tizimi ikki yoki undan ortiq energiya saqlash tizimlarini birgalikda ishlatib olingan energiya saqlash birliklari bilan yaratiladi. Ushbu energiya saqlash birliklari o'zlarining samaradorlik xususiyatlari bilan to'ldiruvchi tuzilmani namoyon etadi. Batareya - bu boshqa saqlash turlariga nisbatan yanada arzonroq energiya saqlash texnologiyasidir.

Batareyalar uzoq vaqt davomida energiya taqdim etish imkoniyatiga ega bo'lishi bilan birga, ular to'satdan quvvat talablarini ham qondira oladi (cheklangan darajadagi chiqarish toki). Biroq, batareyalardan to'satdan quvvat talab qilinganida chuqur zaryadsizlanish yuz bersa, ularning ishlash muddati tezda kamayadi.



7.1.2 – rasm. Batareya va ultrakondensatorning zaryadlanish va zaryadsizlanish grafigi.

Gibrid energiya saqlash tizimi: batareya va ultrakondensatorli energiya saqlash. Energiyani batareyada saqlash jarayoni elektroximik tarzda amalga oshiriladi, ultrakondensatorda esa energiya statik zaryadlanish hodisasi orqali saqlanadi. Ushbu xususiyatlar tufayli, ultrakondensatorlar batareyalarga nisbatan yuqori quvvat zichligiga ega bo'lgan energiya saqlash birligi hisoblanadi. Batareya va ultrakondensatorning mazkur xususiyatlarini inobatga olib, yuqori quvvat va energiya talablarida ushbu ikkita texnologiyani birlashtirish maqsadga muvofiq bo'ladi. Quvvat elektronika konvertorlari yordamida batareya va ultrakondensatorni bir vaqtda zaryadlash va tushirish (zaryad yo'qotish) mumkin. Batareya va ultrakondensatorning zaryadlanish va zaryadsizlanish grafigi 7.1.2-rasmda keltirilgan. Batareya uzoq vaqt davomida energiya bilan ta'minlansa, ultrakondensator qisqa vaqt ichida energiyani taqdim eta oladi.

Batareya va ultrakondensatordan tashkil topgan gibrid energiya saqlash tizimi, talab tarafida bir vaqtning o'zida qisqa muddatli va uzoq muddatli quvvat zarurati yuzaga kelgan holatlarda, eng optimal yechim hisoblanadi. Hozirgi texnologiya sharoitida batareyalar 10–1000 Wt/kg quvvat zichligiga ega bo'lsa, ultrakondensatorlar 10–10⁶ Wt/kg quvvat zichligiga ega. Gibrid energiya saqlash tizimi qo'llanilganda, ultrakondensator batareyaning yetarli

bo'lmagan quvvat ta'minoti ehtiyojini qoplaydi. Shu bilan birga, yuqori tushirish oqimida ishlamagan batareyalarning tsikl muddati (umr davri) uzaytiriladi.

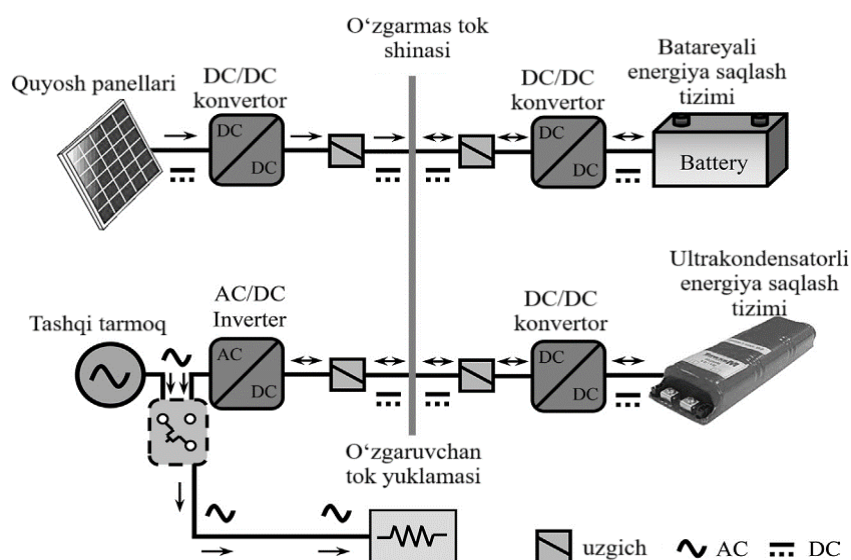
Ultrakondensatorlar yoki superkondensatorlar — bu elektr juft qatlamli kondensatorlardir. Ularkim, yuqori zaryad va tushirish oqimlariga imkon beruvchi elektroximik saqlash elementlari hisoblanadi. Yuqori zaryad hamda tushirish oqim tezliklari ayniqsa bugungi kunda keng tarqalayotgan elektr transport vositalari uchun dolzarb yo'nalishga aylangan. Ultrakondensatorlar qayta tiklanuvchi energiya manbalari va taqsimlangan energiya ilovalari bilan birgalikda batareyalar bilan qo'llaniladi. Biroq, ultrakondensatorlar boshqa batareya qurilmalariga nisbatan yuqori narxga ega. Agar ultrakondensatorlar narxi kamaytirilsa, ularning qo'llanilishi yanada kengayadi. Ultrakondensatorlar yuqori quvvat zichligi va yuqori zaryadlash hamda tushirish imkoniyatiga ega.

Ultrakondensatorlarda ishlatiladigan elektrod turlari karbon texnologiyasiga asoslangan bo'lib, oddiy kondensatorlardan farqlanadi. Ushbu texnologiya tufayli elektron oqim uchun katta sirt maydoni ta'minlanadi. Garchi ultrakondensatorlar batareyalarga nisbatan juda kam energiya saqlasada, ularning tsikl muddati ancha uzoq. Mazkur xususiyatlar ultrakondensatorlarni kelajakning energiya saqlash birliklariga aylantiradi. Uzunroq zaryad hamda tushirish vaqtlarini ta'minlash bo'yicha izlanishlar olib borilmoqda. Yuqori va tez zaryad hamda tushirish oqimlari kelajakda taqsimlangan tarmoqlar infratuzilmasida ultrakondensatorlardan foydalanish imkoniyatlarini kengaytiradi. Boshqa ehtimoliy holatlarda uzoq muddatli yuk talablariga ehtiyoj tug'iladi. Bunday holatlarda faqatgina past energiya zichligiga ega ultrakondensatorlardan foydalanish yetarli bo'lmaydi. Batareyalar ultrakondensatorlarga nisbatan 100 barobar ko'proq energiya zichligiga ega. Shu sababli yuqori energiya zichligiga ega batareya blokini ultrakondensator bloki bilan birgalikda qo'llash maqsadga muvofiq bo'ladi.

Batareyalar turli xil sohalarda keng qo'llaniladi. Biroq, bu energiya saqlash texnologiyalarining ayrim kamchiliklari mavjud. Batareyalarda chuqur zaryadsizlanish chegarasi mavjud bo'lib, foydalanish miqdoriga qarab tsikl muddati qisqaradi. Ultrakondensatorlar energiya saqlash birliklarida bunday kamchilik mavjud emas. Shu bilan birga, ultrakondensatorlarning javob berish vaqti tezroq. Bundan tashqari, ultrakondensatorlar yuqori harorat va tebranishlarga nisbatan batareyalarga qaraganda chidamliroq.

Ultrakondensatorlar elektr transport vositalari, masalan, elektr metrolar kabi sohalarda keng qo'llaniladi. Ultrakondensator metroga integratsiya qilingan holda energiya uzatish liniyalari talabini yo'qotdi. Poyezdlar yo'lovchilarni tushirish va olib ketish vaqtida tezda zaryadlanadi. Keyingi bekatgacha saqlangan energiya bilan harakatlanadi. Elektr transport vositalarida tormozlanish vaqtida ultrakondensatorlar qo'llaniladi. Katta massali vositalar qisqa vaqt ichida to'xtatilganda, darhol yuqori quvvat hosil bo'ladi. Ushbu yuqori quvvatni batareyalar qisqa vaqt ichida saqlay olmaydi. Biroq, ultrakondensatorlar ushbu energiyani o'ziga xos tuzilmalari bilan saqlab qolish imkoniga ega. Shu tariqa ular transport sohasida energiya samaradorligiga hissa qo'shadi.

Quyosh fotoelektrik panellari va shamol energiyasi — bu vaqti-vaqti bilan o'zgarib turadigan, vaqtga bog'liq chiqish xususiyatiga ega qayta tiklanuvchi energiya manbalaridir. Batareya va ultrakondensatorlardan tashkil topgan gibridd energiya saqlash tizimi energiya uzluksizligini ta'minlashi mumkin. Gibridd energiya saqlash tizimi, ayniqsa, batareyalarning zaryadlash muddatini oshirish va ularni maksimal samaradorlikda ishlatishda yordam beradi. Ayniqsa, tarmoqdan mustaqil (off-grid) elektr energiyasi ishlab chiqarish tizimlarida energiya uzluksizligi ta'minlanadi. Quyosh tizimiga gibridd energiya saqlash birligini qo'llash topologiyasi 7.1.3-rasmda ko'rsatilgan.



7.1.3-rasm. Gibridd energiya saqlash tizimi va quyosh fotoelektrik paneli tizimining topologiyasi

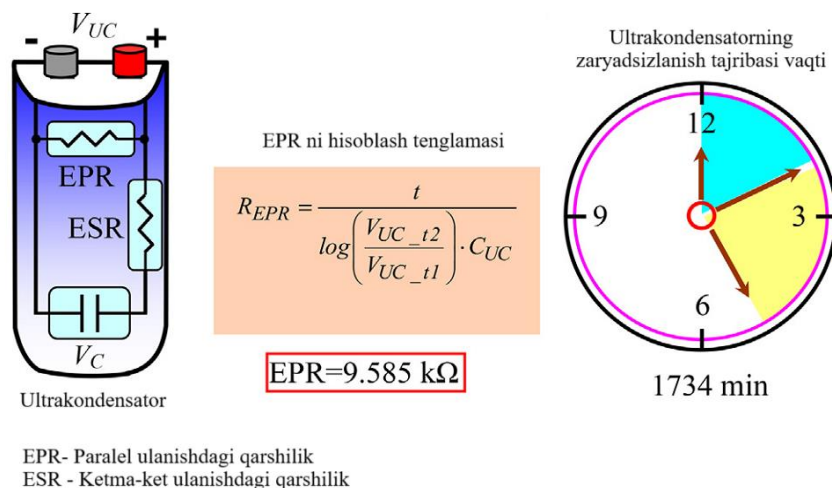
Batareya va ultrakondensatordan tashkil topgan gibridd energiya saqlash tizimini yaratish orqali tizim samaradorligi ta'minlanadi. Gibridd energiya saqlash tizimi orqali, batareya sig'imi hajmini kamaytirish va uzoqroq

zaryadlanish holatiga erishish mumkin. Ultrakondensatorlar batareyalarga nisbatan yuqori quvvat zichligiga ega. Shu sababli ultrakondensatorlar qisqa vaqt ichida yuqori quvvat talabini qoplay oladi. Batareyalar esa ultrakondensatorlarga nisbatan yuqori energiya zichligiga ega. Bu xususiyatlar batareyalarning uzoq muddatli energiya ehtiyojlarini qondira olishini bildiradi. Gibrid energiya saqlash tizimida ultrakondensator kutilmagan quvvat talabini, batareya esa uzoq muddatli yoki doimiy quvvat talabini ta'minlaydi.

7.2. Ultrakondensatorning EPR (ekvivalent parallel qarshilik) hisoblash tajribasi

Ultrakondensator ishlatilmagan holatda, undagi energiya o'z-o'zidan kamayadi va kuchlanish qiymati nolga tushadi. Bu holat ultrakondensator modelida ekvivalent parallel qarshilik (EPR) orqali ifodalanadi. Ushbu bobda Maxvell brendining BMOD0006 E160 B02 modeliga ega ultrakondensatorning EPR qiymatini aniqlash bo'yicha tajriba o'tkazildi.

Avval ultrakondensator 15 V kuchlanish darajasigacha zaryadlandi. So'ngra kuchlanish qiymati muayyan vaqt oralig'ida qayd etib borildi. Ushbu oraliqlar har 10 daqiqalik bo'lib belgilandi. 7.2.1-rasmda ko'rsatilganidek, umumiy ravishda 1734 daqiqa davomida kuchlanish qiymatlari qayd qilindi.



7.2.1-rasm. Ultrakondensatorning EPR (ekvivalent parallel qarshilik) bo'yicha tajribasi.

Ultrakondensatorda EPR tufayli vaqt o'tishi bilan kuchlanishning kamayishi quyidagi tenglama orqali hisoblanadi:

$$V_{UC_t2} = V_{UC_t1} \cdot e^{\left(\frac{-t}{R_{EPR} \cdot C_{UC}}\right)} \quad (7.2.1)$$

Bu yerda:

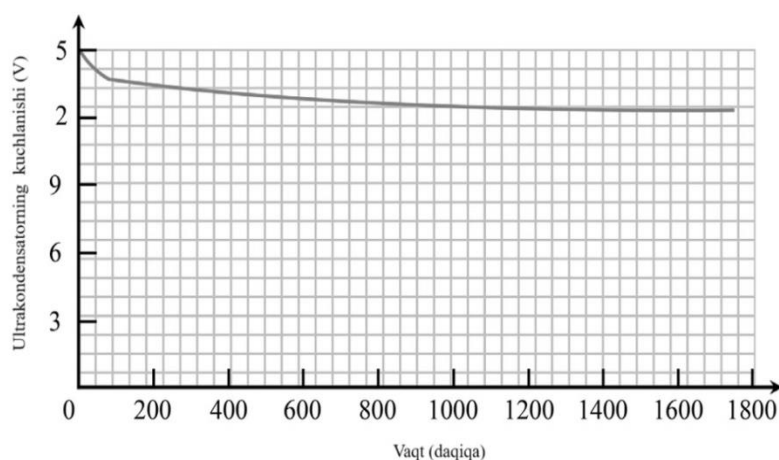
- V_{UC_t2} — t_2 vaqtidagi ultrakondensator kuchlanishi,
- V_{UC_t1} — t_1 vaqtidagi ultrakondensator kuchlanishi,
- t — umumiy tajriba vaqti,
- R_{EPR} — ultrakondensatorning ekvivalent parallel qarshiligi,
- C_{UC} — ultrakondensatorning umumiy sig‘imi (faradlarda).

Ultrakondensator elektr zanjiridagi ushbu EPR qiymati quyidagi tenglama orqali hisoblanadi:

$$R_{EPR} = \frac{t}{\log\left(\frac{V_{UC_t2}}{V_{UC_t1}}\right) \cdot C_{UC}} \quad (7.2.2)$$

Tajriba ishlari davomida ishlatilgan 15 V, 58 F sig‘imga ega ultrakondensator uchun EPR qiymati 9.585 kΩ deb topildi.

Bu ekvivalent qarshilik ultrakondensator orqali doimiy oqim oqishini (oqish toki) keltirib chiqaradi va vaqt o‘tishi bilan ultrakondensator kuchlanishi to‘liq tugashga olib keladi. 7.2.2-rasmda ko‘rsatilganidek, ultrakondensator EPR lari sababli kuchlanish qiymati vaqt o‘tishi bilan kamayadi. Dastlabki bosqichlarda kuchlanish tez kamayadi. 1734 daqiqa davomida kuchlanish qiymati 12.44 V gacha tushdi.



7.2.2-rasm. Ultrakondensatorning EPR tajribasi bo‘yicha V_{UC_t} kuchlanishining o‘zgarishi.

Agar ultrakondensatorning EPR qiymati katta bo‘lsa, undagi oqish toki ham kichik bo‘ladi. Bu esa, ultrakondensator o‘zida saqlanayotgan zaryadni qancha vaqt davomida ushlab tura olishini belgilaydi.

EPR tajribasi natijasida ultrakondensatorida 1734 daqiqa davomida umumiy 2.56 V kuchlanish pasayishi kuzatildi. Agar umumiy nisbiy hisob-kitob qilinsa, ultrakondensator kuchlanishining 0 V ga tushishi uchun taxminan 7.05 kun kerak bo‘ladi.

7.3. Innovatsion energiya saqlash texnologiyalari

Gravitatsion energiya saqlash. Energiyani saqlash usuli tortishish kuchidan (gravitatsiyadan) foydalangan holda amalga oshirilishi mumkin. Ma'lum bir og'irlikdagi jismga yerning tortishish kuchi ta'sir etadi. Dastlab, soatlarning mayatnik mexanizmlarida aynan shu kuchdan foydalanilgan. Gravitatsiya kuchidan foydalanib energiyani nafaqat saqlash, balki elektr energiyasini ishlab chiqarish ham mumkin. Bunday qo'llanmalarda asosiy parametrlar — massa og'irligi va balandlik hisoblanadi. Gravitatsiya kuchidan olinadigan energiya quyidagi tenglama orqali hisoblanadi:

$$E_G = mgh \quad (7.3.1)$$

Bu yerda:

- m — saqlash qurilmasi sifatida ishlatiladigan massaning og'irligi,
- g — yer tortishish tezlanmasi (9.80665 m/s^2),
- h — massa ko'tariladigan balandlik.

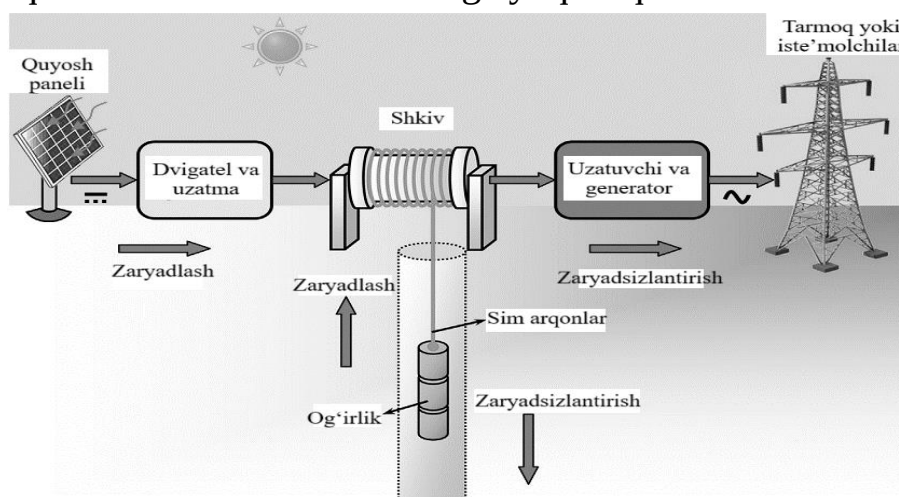
Gravitatsion energiya saqlash texnologiyasi ayniqsa qayta tiklanuvchi energiya manbalari bilan birgalikda qo'llanilishi mumkin. Ushbu energiya saqlash texnologiyasi uchun quyidagilar talab qilinadi:

- 3000 tonnadan ortiq og'irlikka ega massa,
- yer ostida qazilgan kanal,
- reduktor tizimi,
- blok va arqonli kasnak mexanizmi,
- elektr energiyasi ishlab chiqaruvchi generator qurilmalar.

Gravitatsion energiya saqlash tizimi bu mexanik saqlash usulidir. Qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan ortiqcha ishlab chiqarilgan energiya yordamida og'ir massa yuqoriga ko'tariladi. Bu harakat motor va reduktor tizimi orqali amalga oshiriladi. Shunday qilib, tizimda potensial energiya to'planadi (zaryadlanadi). Energiyaga ehtiyoj paydo bo'lganida, massa tortishish kuchi ta'sirida pastga tushiriladi. Shu jarayonda generator yordamida elektr energiyasi hosil qilinadi. Qayta tiklanuvchi energiya asosida ishlaydigan gravitatsion energiya saqlash tizimining topologiyasi 7.3.1-rasmda keltirilgan.

Batareya energiya saqlash birliklari bilan solishtirilganda, bu tizimlar yuqori energiyani saqlash va ta'minlash imkoniga ega. Biroq batareyalarda yuqori quvvatli zaryad-tushirish tezliklarini amalga oshirish mumkin emas. Bunday holatda batareyalarning tsikl muddati qisqaradi va haddan tashqari harorat muammolari yuzaga keladi. Gravitatsion energiya saqlash tizimlarida

tsikl muddati bilan bog‘liq muammo mavjud emas. Shuningdek, gravitatsion energiya saqlash tizimlari bilan birdaniga yuqori quvvat talablarini qondirish



7.3.1-rasm. Qayta tiklanuvchi energiyaga asoslangan gravitatsion energiyani saqlash tizimi topologiyasi.

mumkin bo‘lib, ular davriy texnik xizmat ko‘rsatish bilan 50 yilgacha xizmat qilish muddati bilan rejalashtirilgan. Gravitatsion energiya saqlash tizimi foydalanish nuqtai nazaridan ham moslashuvchanlikni ta‘minlaydi: u kunning istalgan vaqtida ishlatilishi mumkin. Bundan tashqari, tizimni ishga tushirish juda tez amalga oshadi. Shu bois, gravitatsion energiya saqlash tizimining chastota javobi 1 soniyadan kam bo‘lgan tezlikni ko‘rsatadi. To‘liq yukda 1 soniyadan kam javob vaqti bilan ishlashi uni katta afzallikka ega qiladi. Gravitatsion tizimni o‘rnatish uchun chuqur kanallar qazish boshlang‘ich xarajatlarni oshiradi. Shuningdek, mexanik tuzilishga ega bo‘lgani uchun vaqti-vaqti bilan texnik xizmatni talab qiladi.

Uchuvchi g‘ildirak (flywheel) energiya saqlash. Mexanik energiya saqlash usullaridan biri uchuvchi g‘ildirakdir (flywheel). Kimyoviy energiya saqlash texnologiyalaridan oldin motor va generator tizimi o‘rnatilgan holda qo‘llangan energiya saqlash usullaridan biri edi. Asosan, uchuvchi g‘ildiraklarning ishlash logikasi juda sodda: energiya aylanuvchi massa ichida saqlanadi. Energiya zarur bo‘lganda, aylanuvchi massa generatorga ulangan holda elektr energiyasi ta‘minlaydi. Uchuvchi g‘ildirak energiya saqlash tizimida saqlangan energiya miqdori quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

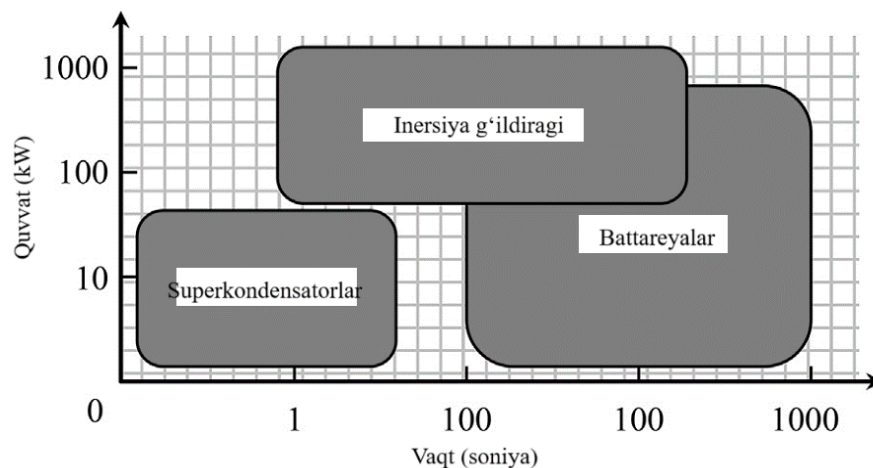
$$E_{\text{fly}} = \int \frac{1}{2} \rho(x) r^2 \omega^2 dx \quad (7.3.2)$$

Bu yerda:

- $\rho(x)$ — aylanuvchi o‘qning zichligi,

- r — aylanuvchi massasining radiusi,
- ω — aylanuvchi massa o'qining burchak tezligi.

Uchuvchi g'ildirak energiya saqlash tizimining quvvat sig'imi taqqoslanishi 7.3.2-rasmda keltirilgan.



7.3.2-rasm. Uchuvchi g'ildirak energiya saqlash tizimining quvvat sig'imi taqqoslanishi.

Uchuvchi g'ildirak (flywheel) energiya saqlash tizimi elektro-kimyoviy energiya saqlash tizimlariga nisbatan tez javob berish vaqti (response time) bilan ajralib turadi. Shu xususiyat tufayli u elektr tarmog'idagi uzilishlar vaqtida keng qo'llaniladi. Quvvat elektronikasi va kompozit material texnologiyalari yutuqlari natijasida uchuvchi g'ildirak energiya saqlash tizimlarining samaradorligi tobora oshmoqda. An'anaviy uchuvchi g'ildirak energiya tizimlarida motor aylanuvchi massa o'qiga ulangan bo'ladi va bu motor energiyani zaryadlaydi (saqlaydi); boshqa bir generator esa ayni massa o'qiga ulanib, energiyani tushiradi (zaryad yo'qotish).

Quvvat elektronikasi sohasidagi yutuqlar bilan bu ikki jarayon bitta motor-generator vositasida bajarilmoqda. Quvvat elektronika zanjirlari orqali ikki tomonlama energiya oqimini ta'minlash tizim samaradorligini oshiradi.

Uchuvchi g'ildirak energiya saqlash bloklarining sig'imi:

- materialning inertsia momentini oshirish,
- yoki aylanish tezligini ko'paytirish orqali oshirilishi mumkin.

Inertsia momenti maxsus konstruksiyaviy yondashuv va kompozit materiallar yordamida amalga oshiriladi. Ba'zi amaliyotlarda aylanuvchi massaning ichki qismi bo'sh qilib yaratiladi va massa zichligi tashqi diametrغا yaqinlashtiriladi. Bu esa konstruktiv yechim orqali umumiy og'irlikni kamaytirishga imkon beradi.

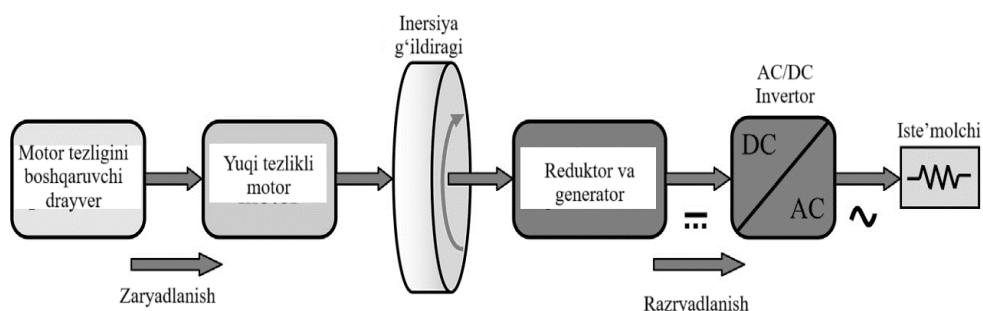
Uchuvchi g'ildirak energiya saqlash tizimlari harakatlanuvchi va aylanadigan struktura ega. Bu tizimlarda aylanuvchi elementning podshipnik (tayanch) qismida magnit tizimdan foydalaniladi, bu ishqalanishni sezilarli darajada kamaytiradi. Bundan tashqari, aylanuvchi massa joylashgan muhit vakuumlanadi, natijada havoning aylanishdagi qarshiligi ham kamaytiriladi. Bularning barchasi uchuvchi g'ildirak energiya saqlash tizimining umumiy ishlash ko'rsatkichlarini yaxshilaydi.

Uchuvchi g'ildirak energiya tizimlarida qo'llaniladigan usullardan biri — katta radiusli massani bir necha ming marta aylantirish orqali energiyani saqlashdir. Bu usulda oddiy motor va quvvat elektronika zanjirlari yordamida energiya zaryadlanadi. Ushbu usul odatda og'ir massali katta o'lchamli uchuvchi g'ildirak tizimlarida qo'llaniladi. Bu holatda aylanish tezligi nisbatan past bo'ladi. Ushbu usulda energiya radius va og'irlik parametrlari orqali saqlanadi.

Uchuvchi g'ildirak energiya saqlash tizimining elektr tarmog'i bilan integratsiyasi ko'rsatilgan. Bu usulda saqlangan energiya tarmoqqa quyidagilar orqali uzatiladi:

- generator,
- o'zgaruvchan tok (AC)/ o'zgarmas tok (DC) to'g'rilovchi (rectifier) zanjiri,
- DC/AC inverter zanjiri orqali.

Uchuvchi g'ildirak tizimlarida yana bir usul mavjud bo'lib, u yuqori tezlikda aylanish orqali energiyani saqlaydi. Bu usulda aylanuvchi obyekt 100,000 aylanish/minutgacha (rpm) tezlikda aylantiriladi [39]. Ushbu usulda aylanuvchi massaning og'irligi kam bo'ladi. Hajm va og'irlik bo'yicha kichik bo'lgan ilovalarda qo'llaniladi. Katta hajmli tizimlar o'rniga ko'plab kichik uchuvchi g'ildirak ilovalarini parallel ulash orqali xuddi shunday natijalarga erishish mumkin.



7.3.3-rasm. Uchuvchi g'ildirak energiya saqlash tizimi topologiyasi.

Uchuvchi g'ildirak energiya saqlash tizimlarida havo ishqalanishi va podshipniklarda yuzaga keladigan yo'qotishlar mavjud. Bu yo'qotishlar uchuvchi g'ildirak energiya tizimida o'z-o'zidan zaryad yo'qotish (tushirish) jarayonlarini keltirib chiqaradi. Kompozit materiallar sohasidagi rivojlanishlar natijasida aylanuvchi tana yuqori tezlikka erishgan. Kompozit materiallar texnologiyasi, ayniqsa yuqori aylanish tezliklarida, kam yo'qotishlar bilan ishlash imkonini berdi. Juda yuqori tezliklar, doimiy magnit cho'tkasiz DC motorlar yordamida erishildi. Quvvat elektronika konvertor zanjirlari motorlarning yuqori tezlikda ishlashini ta'minlaydi. Bundan tashqari, bitta quvvat elektronika konvertori orqali ikki tomonlama energiya oqimi ta'minlanadi.

Uchuvchi g'ildirak energiya saqlash tizimlarining yuqori quvvat zichligi mavjud. Ushbu tizimlar bu xususiyatlar tufayli juda yuqori quvvatlarni qisqa vaqt ichida ta'minlashi mumkin. Uchuvchi g'ildirak energiya saqlash tizimlari yuqori zaryadlash va zaryad yo'qotish quvvatlarini ta'minlash imkonini beradi. Uchuvchi g'ildirak energiya saqlash tizimlari mexanik texnologiyaga asoslangani uchun atrof-muhitni ifloslantirmaydi. Energiya saqlash va energiya uzatish jarayonlarida samaradorlik ($>90\%$) yuqori darajada. Magnit podshipniklar va vakuumda ishlaydigan uchuvchi g'ildirak energiya saqlash tizimlari samaradorligi juda yuqori. Periodik xizmat ko'rsatish bilan uchuvchi g'ildirak energiya saqlash tizimlarining ishlash muddati uzoq (>25 yil). Uchuvchi g'ildirak energiya saqlash tizimlarining tsikl soni juda yuqori ($>100,000$). Bundan tashqari, bu energiya saqlash texnologiyasi ob-havo va iqlim sharoitlaridan ta'sirlanmaydi.

Uchuvchi g'ildirak energiya saqlash tizimlarining eng muhim masalalaridan biri xavfsizlikdir. Mexanik nosozlik natijasida, aylanuvchi obyekt yuqori aylanish tezligida nosozlik yuzaga kelishi jiddiy xavf tug'diradi. Ushbu tizimlarning bir nechta kamchiliklaridan biri shovqin bo'lishi hisoblanadi. Bu muammoni hal qilish uchun tizimlar odatda yer ostida joylashtiriladi.

Supero'tkazuvchan magnit energiya saqlash. Supero'tkazuvchan materiallar – bu materialning elektr qarshiligi nolga teng bo'lgan va magnit o'zgarish maydonlari yo'qolgan holatdir. Bu holat materialni xos kritik haroratdan past haroratga sovitish orqali yuzaga keladi. Supero'tkazuvchan magnit energiya saqlash tizimlarida elektr energiyasi magnit maydon sifatida saqlanadi, bu energiya o'zgarmas tok (DC) shaklida bo'ladi.

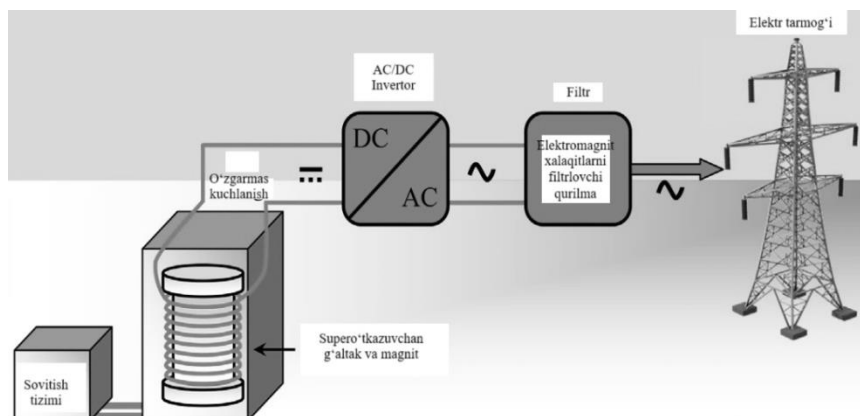
Supero'tkazuvchan magnit energiya saqlash tizimining topologiyasi 7.3.4-rasmda ko'rsatilgan.

Elektr energiyasi, elektomagnet maydon atrofida simlar guruhini aylantirish orqali olinadi. Ushbu ishlab chiqarilgan elektr energiyasi magnit-motiv kuchi printsipli orqali tushuntiriladi. Simlar guruhida hosil bo'lgan induksiya kuchi quyidagi (7.3.1) tenglama orqali hisoblanadi. Simlar guruhida saqlangan energiyaning miqdori esa (7.3.2) tenglama orqali hisoblanadi. Ushbu tenglamaga ko'ra, saqlangan energiya miqdori induktivlik qiymati va tokning kvadrati bilan bog'liq. Supero'tkazuvchan magnit energiya saqlash tizimida magnit maydonda olinadigan energiya zichligi (7.3.3) tenglama yordamida hisoblanadi. Supero'tkazuvchan magnit energiya saqlash tizimida yuqori energiya zichligi faqat yuqori tok qiymatlari bilan erishiladi.

$$e_{emf} = -N \frac{d\theta}{dt} \quad (7.3.1)$$

$$E(t) = \frac{1}{2} L_i (i_r^2) \quad (7.3.2)$$

$$E_{mag} = \frac{B^2}{2\mu} \quad (7.3.3)$$



7.3.4 – rasm. Supero'tkazuvchan magnit energiya saqlash tizimi topologiyasi.

Supero'tkazuvchan magnit energiya saqlash tizimida yuqori zichlikdagi magnit maydonini hosil qilish uchun maxsus qotishmali (niobiy–titan) o'tkazgich simlardan foydalaniladi. O'tkazgich simning tok o'tkazish qobiliyati harorat va magnit maydonga bog'liq holda o'zgaradi. Ushbu ish muhitini ta'minlash uchun yopiq idish, past haroratli muhit va vakuum zarur bo'ladi. Tanlangan kritik haroratda elektr qarshiligi juda past qiymatga tushadi. Supero'tkazuvchan holatni saqlab qolish uchun harorat taxminan -269°C darajagacha sovutilishi lozim.

Supero'tkazuvchan magnit energiya saqlash tizimi quvvat sifati barqarorligini ta'minlash va qayta tiklanuvchi energiya manbalarining tizimga kirib kelishini oshirishda muhim texnologiya hisoblanadi. Ushbu tizimning asosiy ustunliklaridan biri – kutish rejimidan to to'liq quvvatgacha bo'lgan juda tez javob berish vaqtidir. Supero'tkazuvchan magnit energiya saqlash tizimlarining quvvat diapazoni odatda 1–10 MW atrofida bo'ladi. Ular nominal quvvatda tez zaryadsizlanish xususiyatiga ega. Ushbu texnologiyada javob berish vaqti millisoniyalar bilan o'lchanadi va tizim uzoq xizmat muddatiga ega. Xizmat ko'rsatish xarajatlari nisbatan past bo'lsa-da, dastlabki o'rnatish xarajati yuqoridir. Elektr qarshilik mavjud emasligi tufayli issiqlik yo'qotilishi kuzatilmaydi va tizim samaradorligi yuqori bo'ladi. Energiya o'zgarmas tok shaklida magnit holatda saqlanadi va elektr tarmog'iga ulash uchun faqat DC/AC inverter kuchlanish aylantiruvchi sxema yetarli bo'ladi. Tizim ishlashi davomida atrof-muhitga zarar yetkazmaydi.

Yuqori quvvatlarda energiya saqlash uchun uzun o'tkazgichlar zarur bo'ladi. Energiya saqlash tizimi supero'tkazuvchan holatda ishlashi uchun u doimiy ravishda sovitilishi kerak. So'nggi texnologik yutuqlar tufayli past haroratlarni suyuq azot yordamida ta'minlash imkoniyati mavjud.

NAZORAT SAVOLLARI:

1. Energiya saqlash tizimlari asosan nechi turga bo'linadi va ular qaysilar?
2. Uzoq muddatli va yuqori energiya tizimlarida qanday batareyalardan foydalaniladi?
3. Yuqori quvvat zichligi talab qilinadigan sohalarda qanday batareyalardan qo'llaniladi.
4. Gibrid energiya saqlash tizimi qanday yaratiladi?
5. Gibrid energiya saqlash tizimi batareya va ultrakondensatorning vazifasi nima?
6. Hozirgi texnologiya sharoitida batareyalar va ultrakondensatorlar qanday quvvat zichligiga ega?
7. Ultrakondensatorlarning batareyalarga nisbatan afzallik tomoni nimada?
8. Ultrakondensatorda EPR tufayli vaqt o'tishi bilan kuchlanishning kamayishi qanday hisoblanadi?
9. Gravitatsion energiya saqlash tizimi bu qanday saqlash usuli?
10. Gravitatsion energiya saqlash texnologiyasini qo'llash uchun nimalar talab qilinadi?
11. Uchuvchi g'ildiraklarning ishlash jarayoni qanday?
12. Supero'tkazuvchan magnit energiya saqlash tizimining ishlash tizimi qanday?
13. Supero'tkazuvchan magnit energiya saqlash tizimlarining quvvat diapazoni qiymati qanday bo'ladi?
14. Supero'tkazuvchan holatni saqlab qolish uchun harorat nechi gradus bolishi kerak?

VIII-BOB

AQLLI ELEKTR TARMOQLARI UCHUN QUYOSHLI GIBRID TIZIMLAR

8.1. Aqlli elektr tarmoqlari va quyoshli gibrid tizimlar

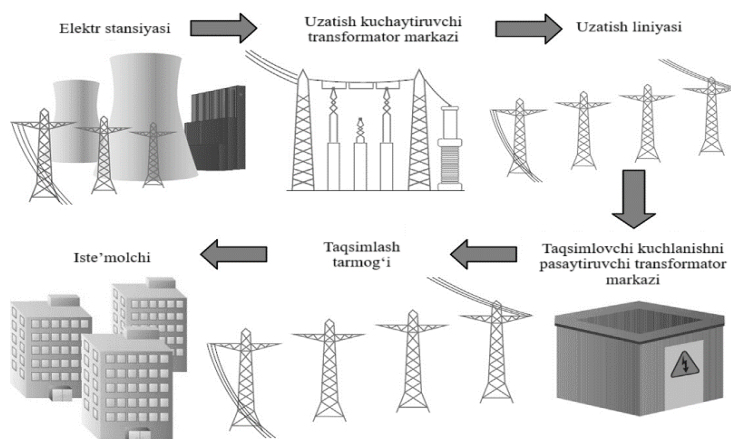
Elektr energiyasi amaliy shaklda 19-asr oxirlarida joriy etilganida, u faqat iste'molchilarga xizmat ko'rsatuvchi mintaqaviy elektr stansiyalar ko'rinishida bo'lgan. Elektr energiyasini ishlab chiqarish va iste'mol qilish faqat ayrim mintaqalarda amalga oshirilgan bo'lsa-da, uzoq masofali uzatish masalasi ko'zda tutilmagan edi. Talab oshib borgani sayin, taqsimot tarmog'i ham bosqichma-bosqich kengaya boshladi. Elektr uzatish tarmoqlari odatda bir-biridan ajralgan holda ishlaydi va ular faqat bitta nuqtadan o'zaro ulangan bo'ladi. An'anaviy elektr tarmog'ining asosiy ishlash tuzilmasi 8.1.1-rasmda tasvirlangan. Elektr energiyasi yirik elektr stansiyalarida ishlab chiqariladi va uzoq masofalarga uzatish uchun uni yuqori kuchlanishga ko'taruvchi (step-up) transformatorlar orqali uzatish liniyalariga beriladi. Uzatish liniyasidagi elektr energiyasi esa past kuchlanishga tushiruvchi (step-down) transformatorlar orqali taqsimot liniyasiga mos darajadagi kuchlanishga olib kelinadi va oxirgi foydalanuvchilarga yetkaziladi. Elektr tarmog'ining ushbu asosiy ishlash tuzilmasi ko'p yillar davomida deyarli o'zgarmagan bo'lsa-da, uni rejalashtirish va boshqarish uchun qo'llaniladigan amaliy modellar vaqt o'tishi bilan o'zgargan. An'anaviy elektr tarmog'ida talab qilinayotgan energiya miqdori hisobga olingan holda, elektr energiyasi nazorati ishlab chiqaruvchi elektr stansiyalarning ishga tushirilishi orqali ta'minlanadi.

Talabning asosiy qismini qoplaydigan yirik elektr stansiyalar va maksimal yuklama davrlarida ishga tushiriladigan cho'qqi (pik) elektr stansiyalari mavjud. Ayniqsa, cho'qqi yuklama vaqtlarida foydalaniladigan elektr stansiyalarning ishlash xarajatlari juda yuqori bo'ladi va bu umumiy ekspluatatsiya xarajatlariga sezilarli ta'sir ko'rsatadi.

Aqlli elektr tarmoqlari tuzilmalari. Aqlli elektr tarmog'i – bu elektr energiyasi tizimidagi barcha birliklar yoki tugunlar (masalan, ishlab chiqarish birliklari, transformator markazlari, taqsimot markazlari va iste'molchi birliklari) faol, moslashuvchan (ya'ni, o'zgaruvchan sharoitlarga moslasha oladigan), elastik va har qanday ishlab chiqarish yoki iste'mol qiluvchi birlikni osongina ulash imkoniyatiga ega kuchli tuzilmaga ega bo'lgan tizim sifatida ta'riflanadi.

Bundan tashqari, aqlli tarmoq markazlashgan yoki taqsimlangan ishlab chiqarish ob'ektlari, yuqori kuchlanishdagi uzatish liniyalari, sanoat foydalanuvchilari, energiya saqlash tizimlari, yakuniy iste'molchilar va elektr transport vositalari kabi o'zaro bog'langan barcha komponentlarning ishlashini ko'rsatishga qodir.

Mavjud uzatish va taqsimot tarmoqlari esa aqlli tarmoq mantiqiga asoslangan holda ishlab chiqilmagan. Aqlli elektr tarmoqlarining talab va ehtiyojlari an'anaviy elektr tarmoqlaridan tubdan farq qiladi. Shuning uchun, an'anaviy tarmoqlarni tahlil qilish va modernizatsiya qilish bo'yicha batafsil o'rganish zarur.

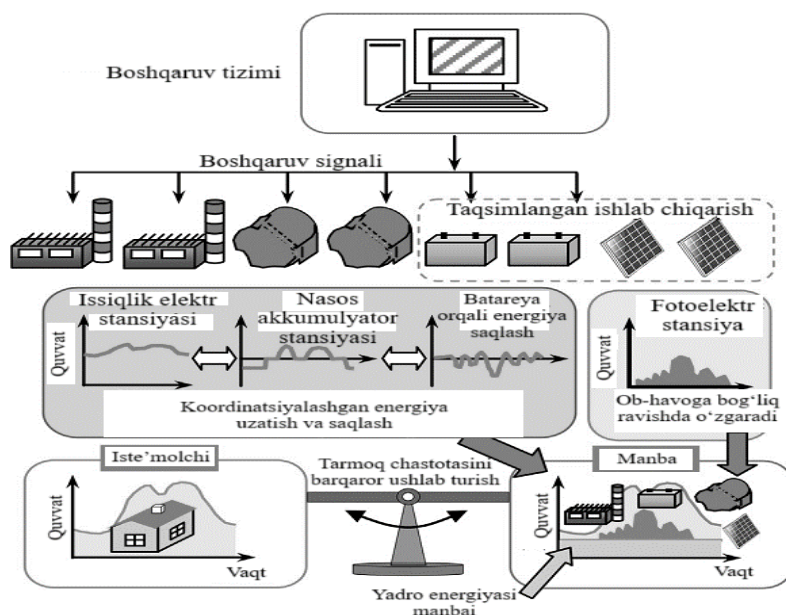


8.1.1-rasm. An'anaviy elektr energiyasi tarmog'ining uzatish tuzilmasi.

Bu modernizatsiya jarayoniga quyidagilar kiradi:

- an'anaviy elektr tarmog'ini rivojlantirish va kengaytirish bo'yicha bosqichma-bosqich ishlar;
- texnik xizmat ko'rsatish faoliyatlari;
- taqsimlangan (distributed) ishlab chiqarish va energiya saqlash tizimlarini integratsiyalash;
- hamda kompleks ikki yo'nalishli aloqa tizimini ishlab chiqish va joriy etish.

Aqlli elektr tarmoqlarining elektr energiyasini uzatish strukturasi tasvirlovchi sxema 8.1.2-rasmda keltirilgan.



8.1.2-rasm. Aqlli elektr tarmog'i orqali elektr energiyasini uzatish tuzilmasi.

Aqlli tarmoq (smart grid) tuzilmasida elektr energiyasi barcha iste'molchilarga yetarli miqdorda, uzluksiz, yuqori sifatda, arzon narxda va ekologik jihatdan mas'uliyatli tarzda yetkazilishi lozim. Elektr energiyasini uzatish va taqsimlash xizmatlari sifatli bo'lishi hamda iste'molchi ehtiyojlarini to'liq qondira olishi kerak. Soha faoliyatining barcha yo'nalishlarida iqlim o'zgarishi va ekologik ta'sirlar e'tiborga olinib, zarur choralar ko'rilishi talab etiladi. Elektr energiyasining ishlab chiqarish, uzatish, taqsimlash va iste'mol bosqichlarida yo'qotishlarni kamaytirish va samaradorlikni oshirish aqlli tarmoq tuzilmasining muhim jihatlaridandir. Aqlli tarmoqni mustahkamlash uchun energiya manbalari turfa-xilligini kengaytirish va qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan maksimal darajada foydalanish talab qilinadi.

Aqlli tarmoq selektiv xususiyatga ega bo'lib, zarur bo'lgan energiya manbalarini ishga tushirishi yoki to'xtatishi mumkin. Aqlli tarmoq tuzilmasida turli elektr energiyasi ishlab chiqarish birliklari o'zaro aloqa o'rnatishi mumkin. Tizimdagi barcha quvvatlar nazorat qilinib, zarur holatlarda quvvat oqimi kerakli yo'nalishga yo'naltiriladi. Aqlli tarmoq mavjud holatlarni tahlil qiladi, prognozlar yaratadi va baholashlar asosida ishlaydi hamda ekspluatatsiya va texnik xizmat ko'rsatishni yengillashtiradi. Bundan tashqari, aqlli tarmoq yuqori darajadagi quvvat sifati, ishonchlik va samaradorlikni ta'minlaydi.

Aqlli tarmoqda energiya ishlab chiqarishdan boshlab uni iste'mol qilishgacha bo'lgan jarayonlarda quyidagi asosiy maqsadlar doirasida muhim

o'zgarishlar talab qilinadi: energiya ta'minotining xavfsizligini ta'minlash, tashqi omillarga qaramlikdan kelib chiqadigan xatarlarni kamaytirish, iqlim o'zgarishiga qarshi kurashish samaradorligini oshirish va atrof-muhitni muhofaza qilish. Aqlli tarmoq tuzilmasi yordamida elektr energiyasini ishlab chiqarish, uzatish va taqsimlash bosqichlarida texnik yo'qotishlar minimallashtiriladi, noqonuniy iste'molning oldi olinadi. Bundan tashqari, talab tomonini boshqarish bo'yicha chora-tadbirlar bilan yakuniy foydalanuvchilar ehtiyojlari qondiriladi.

Aqlli elektr tarmog'i elektr energiyasi tizimining kelajagini belgilovchi kontseptsiya bo'lib, u turli fan va texnologiya sohalariga oid komponentlarni o'z ichiga oladi. Bu komponentlarga quyidagilar kiradi: yuqori darajadagi energiya boshqaruvi, uzatish tizimi, monitoring va nazorat tizimi, raqamli boshqaruv texnologiyalari, aqlli taqsimlash tizimi, axborot texnologiyalariga asoslangan energiya xizmatlari, tarqoq (distributed) energiya ishlab chiqarish tizimlari va mikroenergiya tarmoqlari (microgrid). Aqlli elektr tarmog'i tuzilmasi va an'anaviy elektr tarmog'i xususiyatlari 8.1.1-jadvalda taqqoslab ko'rsatilgan.

Elektr tarmog'ini zamonaviylashtirish bosqichiga o'tishda bir qancha omillar mavjud. Ayniqsa, hukumat tartib-qoidalar bilan bog'liq siyosiy va huquqiy omillar aqlli tarmoqlarni rivojlantirishda katta ahamiyatga ega. Aqlli tarmoq doirasida yaratiladigan yangi tuzilma yangi ish o'rinlari va biznes modellarini yuzaga keltiradi. Iste'molchi ehtiyojlarini qondirish, xizmat sifati va barqarorlik nuqtayi nazaridan energiya ishonchliligi va xavfsizligini har doim ta'minlash zarurati aqlli tarmoqlarning joriy etilishini talab qiladi. Qayta tiklanuvchi va tarqoq ishlab chiqarishni tarmoqqa integratsiya qilish orqali atrof-muhitni muhofaza qilishga qaratilgan sezilarli yutuqlarga erishish mumkin.

8.1.1-jadval.

An'anaviy va aqlli elektr tarmoqlari tuzilmalari taqqoslanishi

An'anaviy elektr tarmog'i tuzilmasi	Aqlli elektr tarmog'i tuzilmasi
Foydalanuvchilarda energiya iste'moli va xarajatlarini kamaytirish imkoniyatlari kam.	Batafsil narx ma'lumotlari mavjud bo'lib, ko'plab dasturlar, narx rejimlari va to'lov shartlari tanlanadi.
Elektr energiyasi asosan markazlashgan ishlab chiqarish asosida ta'minlanadi.	Taqsimlangan ishlab chiqarish manbalari markaziy ishlab chiqarish tizimlariga integratsiyalashgan.v
Yangi texnologik rivojlanishlarni	Texnologik taraqqiyot va turli ishlab

integratsiya qilish uchun ulgurji bozor imkoniyatlari cheklangan.	chiqarish variantlarini hisobga olgan holda yangi elektr energiyasi bozorlarini rivojlantirish ta'minlanadi.
E'tibor elektr uzilishlariga qaratilgan, quvvat sifati esa kamroq ahamiyatga ega.	Aqlli tarmoqlarda elektr energiyasi sifatiga ustuvor ahamiyat beriladi.
Sun'iy intellekt va avtomatik boshqaruv tizimlari deyarli yo'q.	Tarmoq ilovalarida energiya boshqaruvi sun'iy intellekt yordamida amalga oshiriladi va bu samaradorlikni oshiradi.v
Avariya yoki uzilishdan so'ng aktivlarni himoya qilishga qaratilgan.	Nosozliklar sodir bo'lishidan oldin ularni aniqlash va oldini olish bo'yicha choralar ko'radi, nosozliklar yuz berganda esa ta'sirini minimallashtiradi hamda tizim doimiy ishlashini ta'minlaydi.
Tabiiy ofatlar va boshqa xavflarga qarshi juda kuchsiz.	Tabiiy ofatlar yoki hujumlar kabi holatlarda tizim tezda tiklanadi va ish faoliyatini davom ettiradi.

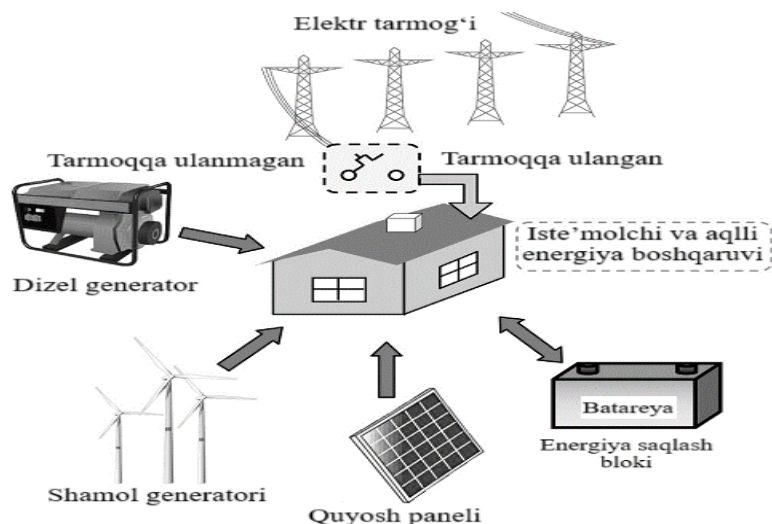
8.2. Mikroenergiya tarmog'i tuzilmalari

Aqlli elektr tarmog'ini tashkil etuvchi eng muhim tarkibiy qismlardan biri bu — **mikroenergiya tarmog'i** (microgrid) tuzilmasidir. Mikroenergiya tarmog'i tushunchasiga bir nechta turli xil ta'riflar berilishi mumkin. Aqlli energiya boshqaruv blokiga ega bo'lgan mikroenergiya tarmog'i, mahalliy energiya ishlab chiqarish manbalarida o'z energiyasini mustaqil ravishda ishlab chiqaradi va yuklamalarni muvozanatli hamda nazorat ostida ta'minlaydi.

Bundan tashqari, tarmoqqa ulangan yoki tarmoqdan mustaqil ishlay oladigan tijorat/aholi binolarining energiya tizimlari ham mikroenergiya tarmog'i sifatida ta'riflanishi mumkin. Shuningdek, ishlab chiqarish va iste'mol birliklarini aqlli tizimlar orqali boshqara oladigan va asosiy elektr tarmog'iga ulanish uzilganda ham muvozanatli ishlashni ta'minlay oladigan mintaqaviy taqsimot tizimi ham mikroenergiya tarmog'i deb ataladi. Mikroenergiya tarmog'i tuzilmasiga 8.2.1-rasmda bir misol keltirilgan.

Mikroenergiya tarmog'i tarkibiga joyida ishlab chiqariladigan elektr energiyasi (tarqoq ishlab chiqarish), mahalliy yuklamalar va elektr uzgich (breaker) kiradi. **Aqlli mikroenergiya tarmog'i** — bu elektr energiyasini ishlab chiqarish, taqsimlash va mahalliy iste'molchilarga uzatilayotgan quvvat oqimini ancha aqlli va samarali boshqaradigan elektr tarmog'i sifatida

ta'riflanadi.



8.2.1-rasm. Mikroenergiya tarmog'ining elektr uzatish tuzilmasi.

Aqli mikroenergiya tarmoqlarining afzalliklari – ishonchlilikning oshishi, samaradorlikning ortishi, barqarorlikning kuchayishi va iqtisodiy yutuqlar bilan ifodalanadi. Shu tariqa taqsimlangan energiya manbalarini elektr tarmog'iga integratsiyalash osonlashadi, energiya tannarxi va uzilishlar kamayadi, hamda elektr ta'minoti sifati yaxshilanadi.

Mikroenergiya tarmog'i tuzilmasidagi eng muhim muammolardan biri – taqsimlangan elektr energiyasi ishlab chiqarish manbalarining sinxronlashuvi, yuklamalar tomonidan tortiladigan ishga tushirish toklarining yuqoriligi va uch fazali nomutanosiblik masalalaridir. Aqli tarmoq tuzilmasida energiya saqlash tizimlarini taqsimlangan ishlab chiqarish manbalari bilan sinxronlash orqali tizimdagi energiya manbalari sonini ko'paytirish mumkin. Aqli tarmoqda ishlab chiqarish va iste'mol hajmlaridagi tebranishlar tizimga ulangan energiya saqlash qurilmasi yordamida oson qoplanadi. Tizimdagi taqsimlangan ishlab chiqarish tuzilmasi orqali talab tomonidagi yuklamalar kuchlanish tebranishi va pasayishidan, uch fazali nomutanosiblikdan hamda kuchlanishdagi garmonik buzilishlardan ta'sirlanmaydi.

Agar uzluksiz elektr uzilishi yuz bersa va iste'mol elektr quvvati ishlab chiqarishdan ko'p bo'lsa, mikroenergiya tarmog'i ba'zi yuklamalarni o'chirib, muhim yuklamalarning uzluksiz ishlashini ta'minlaydi. Tizimda vaqtincha ortiqcha yuklama yuzaga kelganda, yuklamani ta'minlovchi blok qo'shimcha elektr tarmog'i liniyasi orqali zarur elektr energiyasini taqdim eta oladi.

Mikroenergiya tarmog'i ko'plab bloklardan iborat bo'lganligi sababli, uni tasniflash zarur. Shu sababli mikroenergiya tarmoqlari quyidagi toifalarga

ajratiladi: uy-joy (residential) turidagi mikro tarmoqlar, taqsimlash stansiyasi mikro tarmoqlari hamda tijorat, sanoat va chekka hududlar (remote settlement) uchun mo'ljallangan mikro tarmoqlar.

Uy-joy mikro tarmoqlarida aqlli ilovalar yordamida elektr energiyasini ishlab chiqarish va iste'mol bloklarini boshqarish mumkin. Bunday turdagi energiya boshqaruv blokiga ega "aqlli uy" tizimlari hozirda rivojlanish bosqichida. Mikroenergiya tarmog'idagi mahalliy ishlab chiqarish bloklari, energiya saqlash qurilmalari va yuklamalar mahalliy taqsimlash tarmog'iga boshqariladigan interfeys orqali ulangan bo'ladi. Uy-joy mikro tarmog'i energiyadan foydalanish vaqti, narxi yoki tarif ma'lumotlarini baholaydi. Mahalliy ishlab chiqarish blokida ishlab chiqarilgan energiya miqdori, energiya saqlash blokidagi mavjud zaxira miqdori yoki tarmoqdan olinishi mumkin bo'lgan energiya miqdori hisoblanadi. Shu bloklar orasida eng iqtisodiy va ishonchli ishlashni ta'minlaydigan tanlov amalga oshiriladi.

Taqsimlash stansiyasi esa mikroenergiya tarmoqlarining uy-joy yoki sanoat zonalarini uchun qisman bo'lagi sifatida qaralishi mumkin. Bunday mikro tarmoqlarda yuklamalarga qarshi mahalliy taqsimlangan ishlab chiqarish tizimlari (shamol turbinalari, biogaz zavodlari, energiya saqlash ilovalari va hokazo) to'g'ri ishlatilsa, taqsimlash tarmog'idagi muammolarni bartaraf etish mumkin. Ta'minotda uzilish yoki texnik xizmat vaqtida taqsimlash tarmog'ining ayrim qismlarini orol (island) rejimida mikroenergiya tarmog'i sifatida ishlatish orqali iste'molchilarga sifatli energiya yetkazib berilishi mumkin.

Tijorat va sanoat mikro tarmoqlari ayniqsa muhim va sezgir yuklamalarga ega iste'molchilar uchun energiya ishonchliligini ta'minlashi mumkin. Xususan universitetlar, shifoxonalar, maktablar, savdo markazlari kabi yirik iste'molchilar tizimida barcha energiya bloklarini to'liq nazorat qilish imkonini beruvchi mikroenergiya tarmog'i ilovalari joriy etilishi mumkin. Bunday to'liq nazoratli tizim orqali energiya tejamkorligi va iqtisodiy foyda erishiladi. Mikroenergiya tarmoqlari uzoq va elektr tarmog'iga ulanmagan yoki zaif ulangan chekka hududlar uchun ayniqsa mos keladi. Bunday hududlarda mahalliy energiya manbalaridan maksimal darajada foydalanish, asosiy tarmoqqa esa minimal yuk tushirish zarur. Shunday yashash joylari uchun mikroenergiya tarmog'i ilovasi qayta tiklanuvchi mahalliy taqsimlangan ishlab chiqarish quvvatlarini integratsiya qilish hamda butun tizimni nazorat qilishda juda mos yechim hisoblanadi.

Mikroenergiya tarmoqlarida dinamik boshqaruv. Mikroenergiya tarmog'ining eng muhim xususiyatlaridan biri — zarurat tug'ilganda asosiy tarmoqdan juda tez ajralib chiqish qobiliyatidir. Yana bir muhim jihati — mikroenergiya tarmog'ining orol (avtonom) rejimida ishga tushirilishi va zaruratga qarab orol rejimidan yana asosiy tarmoqqa ulanadigan holatga qaytarilishi mumkinligidir. Bunday holatda mikroenergiya tarmog'i yuklamalar haqidagi ma'lumotlarga muhtoj bo'lmagan holda, yuklamalarning energiya ehtiyojlarini dinamik tarzda ta'minlashi kerak bo'ladi. Bu esa tizimda energiya saqlash qurilmalaridan foydalanishni taqozo etadi.

Boshqaruv uslubi nuqtai nazaridan, tarmoq ulangan holatda (ya'ni, asosiy tarmoqqa ulangan) va tarmoqdan ajralgan holatda (ya'ni, avtonom ishlashda) turli xil boshqaruv strategiyalarini qo'llash zarur bo'ladi. Tarmoqqa ulangan holatda kuchlanish va chastota uchun ma'lumotlar asosiy tarmoqdan olinadi. Ammo tarmoqdan uzilib, avtonom holatga o'tilganda, mikroenergiya tarmog'i kuchlanish va chastota bo'yicha ma'lumotlarni o'zi aniqlashi hamda yuklama va ishlab chiqarish muvozanatini saqlashi kerak bo'ladi. Shu sababli har bir ishlash rejimi uchun alohida boshqaruv strategiyasi ishlab chiqilishi kerak bo'ladi, bu esa rejimlar orasida o'tish jarayonini murakkablashtiradi.

Eng katta muammo — orol rejimidan tarmoqqa ulangan holatga o'tishda kuzatiladi, chunki orol rejimida foydalaniladigan mos yozuvlar (reference values) asosiy tarmoqqa ulangan holatdagilardan farq qiladi.

Tizimning ishlash rejimlarini aniqlaydigan va ushbu rejim uchun zarur bo'lgan mos yozuvlarni ishlab chiqadigan yuqori darajadagi boshqaruv bloki zarur. Tizimning tarmoqqa ulanish nuqtasidan olinadigan signal asosida tarmoq ulangan yoki orol rejimida ekanligi aniqlanadi va shu asosda kerakli ishlash rejimi belgilanadi. Mikroenergiya tarmog'i asosiy tarmoqqa ulangan holda elektr energiyasi ishlab chiqaruvchi sifatida ishlaydi.

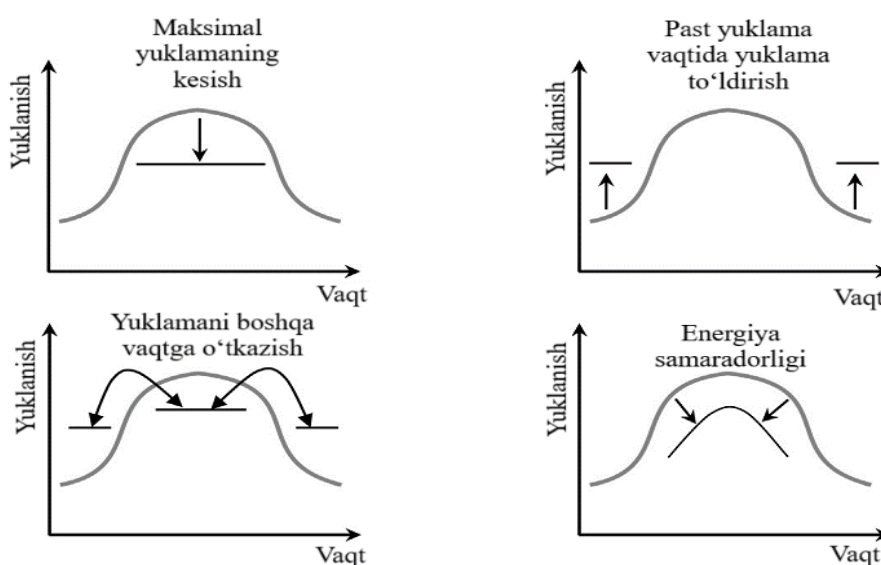
Tarmoqqa ulangan holatda energiya samaradorligi, yuqori yuklamalarni kesish (peak clipping) va past yuklama vaqtlarida to'ldirish (valley filling) kabi rejimlar mavjud. Bunday funksiyalar faqat asosiy tarmoqqa ulanib ishlayotgan holatlarda amal qiladi. Tarmoqdan mustaqil orol rejimida esa yuklamani siljitish (load shifting) asosiy boshqaruv mexanizmidir.

Mikroenergiya tarmoqlarida dinamik yuklama boshqaruviga oid misoliy grafiklar 8.2.2-rasmda keltirilgan.

Yuklamani kesish (peak clipping) — bu tizimdagi maksimal yuklamalarni kamaytirish jarayonidir. Bu yuklamalarni boshqarishning klassik usullaridan

biridir. Bunday rejim foydalanuvchining tanlovi va belgilagan qiymatlariga asoslanadi. Foydalanuvchi tarmoqdan doimiy tarzda olinishi kerak bo'lgan yuklama qiymatini belgilaydi va agar tizimga yuklama bu qiymatdan ortiqcha bo'lsa, ortiqcha yuklama tarmoqdan emas, balki qayta tiklanuvchi energiya manbalari yoki energiya zaxirasidan ta'minlanadi.

Past yuklama vaqtlarini to'ldirish (valley filling) — bu yuklamalarni boshqarishning yana bir klassik shaklidir. Ushbu usul, ayniqsa, past yuklama davrlarida qo'shimcha yuklamalar yaratish orqali, baza yuklama va maksimal yuklama nisbati (load factor) ni oshirish maqsadida qo'llaniladi.



8.2.2-rasm. Dinamik yuklama boshqaruvi qo'llanmalari.

Yuklamani siljitish (Load shifting) — yuklama boshqaruvining yakuniy shakli hisoblanadi. Ushbu yondashuv yuklamalarni maksimal yuklama soatlaridan past yuklama soatlariga o'tkazishni o'z ichiga oladi. Shu tarzda maksimal talabni qondirish uchun ishlab chiqarish tomonida amalga oshiriladigan tartibga solishlar ehtiyoji kamaytiriladi.

Energia samaradorligi yuklama boshqaruvi doirasida baholanishi mumkin. Bu holat odatda foydalanilayotgan qurilmaning texnologik yoki foydalanish xususiyatlariga ko'ra o'zgaruvchan bo'ladi. Foydalanuvchining qulaylik shartlarini pasaytirmasdan xizmat uchun sarflanadigan birlik energiyani kamaytirish — energiya iste'molini pasaytiradi va natijada yuklama grafiklarida pastga siljish (load pattern shift) yuz beradi.

Iste'molchilar va ta'minotchilar yuklama usulini o'zgartirishda mustaqil ravishda harakat qilishlari mumkin. Biroq talab tomonidagi o'zaro ta'sir (demand-side interaction) ta'minotchilar va iste'molchilar o'rtasida ikki tomonlama foydani ko'zlaydi.

8.3. Taqsimlangan energiya ishlab chiqarish tarmog'i tuzilmalari

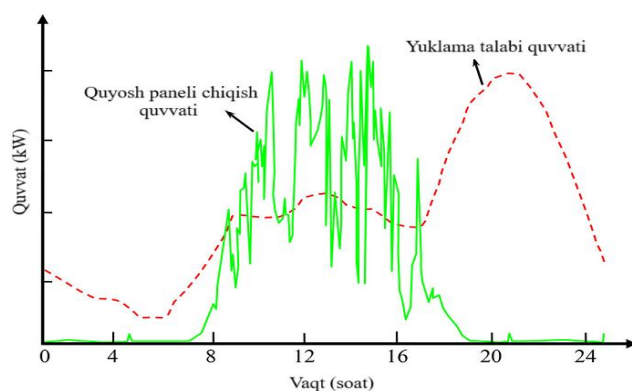
Taqsimlangan ishlab chiqarish tarmog'i tuzilmalari aqlli va mikro tarmoqlarning ajralmas qismiga aylangan. So'nggi yillardagi elektr energiyasi tizimidagi rivojlanishlar elektr taqsimot darajasidan ulanuvchi energiya ishlab chiqarish va energiya saqlash qurilmalarini rag'batlantirmoqda. Umuman olganda, ushbu qo'llanilayotgan yechimlar "taqsimlangan ishlab chiqarish qurilmalari" deb nomlanadi, garchi bu yo'nalishda tijoratlashtirilgan va amaliyotda qo'llanilayotgan yangi texnologiyalar mavjud bo'lsa ham. Tizimlarga ushbu qurilmalarni integratsiyalash, ularni samarali foydalanish va xarajatlarni kamaytirish bo'yicha turli tadqiqotlar davom etmoqda. Taqsimlangan ishlab chiqarish qurilmalariga misollar: mikro turbinalar, yoqilg'i elementlari, fotoelektrik tizimlar, shamol turbinalari, dizel generatorlari va gaz turbina tizimlaridir. Ushbu texnologik taraqqiyotlar bilan elektr energiyasi tizimi butunlay o'zgarish bosqichiga kirgan. Ushbu o'zgarishning asosiy maqsadi — toza va qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan maksimal darajada foydalanish orqali iste'molchilarga ishonchli va sifatli elektr energiyasi yetkazib berishdir.

Tarmoqqa ulangan taqsimlangan quyosh tizimlari. Tarmoqqa ulangan taqsimlangan ishlab chiqarish tizimlari energetika tizimi doirasida tobora muhim ahamiyat kasb etayotgan ajralmas energiya manbalari sifatida qaralmoqda. Biroq, Quyosh fotoelektrik tizimlarining keng miqyosda qo'llanilishi bu sohada faoliyat yuritayotgan tarmoq loyihalovchilari, operatorlari va muhandislari uchun katta muammo hisoblanadi. Bu murakkablik, Quyosh fotoelektrik tizimlarining doimiy o'zgaruvchan va vaqtinchalik ishlab chiqarish xususiyati sababli ularga ulangan tarmoqda kuchlanish sifati bilan bog'liq salbiy ta'sirlari bilan izohlanadi. Bundan tashqari, Quyosh fotoelektrik tizimi tomonidan ishlab chiqarilgan quvvat va iste'mol quvvati orasidagi nomutanosiblik tufayli tizimning samarali ishlatilmasligi muammo bo'lib qolmoqda. Ushbu muammolarni hal qilishda Quyosh fotoelektrik tizimlariga yaqin joylashtirilgan tarmoqqa ulangan energiya saqlash ilovalari samarali yechim sifatida ko'rilmogda.

Quyosh fotoelektrik tizimlarida ishlab chiqarilayotgan quvvatning beqarorligi, asosan, bulutli ob-havo, havo harorati va fasliy o'zgarishlar kabi tabiiy omillar bilan bog'liq. Bunday sharoitlarda Quyosh fotoelektrik tizimining chiqish quvvatida katta va keskin pasayishlar kuzatilishi mumkin.

Ayniqsa, yoz oylarida bulutlarning qisqa muddatli o'tishi natijasida sodir bo'ladigan keskin soyalanish natijasida fotoelektrik panellarida bir necha soniyalarda 25% gacha bo'lgan kuchlanish tebranishlari yuzaga keladi. Bunday o'zgarishlarni oldindan aniq bashorat qilish juda qiyin. Shu sababli, Quyosh fotoelektrik tizimlarining chiqish quvvatidagi bunday keskin pasayishlar qo'llab-quvvatlovchi tizimlar yordamida qoplab borilishi zarur.

Shuningdek, Quyosh fotoelektrik tizimlar faqat tongdan quyosh chiqquncha ishlab quvvat ishlab chiqara oladi va ayniqsa quyosh zenit holatiga yetgan tush vaqtida maksimal quvvat hosil qiladi. Aholi iste'moli esa aynan kechki paytlarda eng yuqori darajaga yetadi. Quyosh tizimi ishlab chiqargan quvvat grafigi bilan bir xonadonning kundalik iste'mol grafigi 8.3.1-rasmda ko'rsatilgan. Grafikdan ko'rinib turibdiki, aynan Quyosh fotoelektrik tizimi eng faol ishlayotgan paytda iste'mol past bo'ladi, aksincha, kechki paytda talab yuqori bo'lsa-da, quyosh energiyasi mavjud emas. Shu bois, Quyosh fotoelektrik tizimi ishlab chiqargan quvvat bilan real talab grafigini muvofiqlashtirish uchun boshqariluvchanlik kerak bo'ladi. Bunday holatlarda shamol energetika tizimlari yordamida Quyosh fotoelektrik tizimlari qo'llab-quvvatlanadi.



8.3.1-rasm. Fotoelektrik tizimining kundalik quvvat ishlab chiqarish grafigi.

Yana bir muhim xavf — ayniqsa uy xo'jaliklari yuklamalarining katta qismini tashkil qiluvchi taqsimlash tizimlarida Quyosh fotoelektrik tizimlarining kichik quvvatli, lekin ko'p sonli joylashuvi sababli tarmoqdagi umumiy ishlab chiqarish miqdorining shu hudud iste'molidan ortiq bo'lishi va bu esa tarmoqdagi kuchlanish darajasiga jiddiy ta'sir ko'rsatishidir. Ushbu holatda yuzaga keladigan asosiy muammo — “teskari quvvat oqimi” deb nomlanadi. Bunda taqsimlash hududidagi ortiqcha fotoelektrik quvvati tarmoqqa uzatiladi va transformatorning ikkilamchi tomonidan birlamchi

tomoniga qarab oqim yuzaga keladi. An'anaviy taqsimlash transformatorlari faqat bir yo'nalishdagi oqim uchun mo'ljallangan bo'lib, ikki tomonlama oqim uchun moslashtirilmagan. Quyosh fotoelektrik tizimlarini o'rnatish xarajatlari kamaygani sari, bu muammo yaqin yillarda dolzarb ahamiyat kasb etadi.

Tarqatilgan quyosh tizimlarida energiyani saqlash ilovalari. Aqlli mikro tarmoq (mikrotarmoq) tuzilmasi uchun energiyani saqlash tizimi nihoyatda muhim hisoblanadi. Tarmoqdagi yuklamalarning to'g'ri ishlashini ta'minlash uchun foydalaniladigan energiyani saqlash tizimi quvvat sifati yaxshilanishiga ham xizmat qilishi mumkin. Iqlim sharoitlariga qarab ishlab chiqarish quvvati o'zgaruvchan bo'lgan quyosh va shamol energiyasi tizimlarining chiqishdagi quvvat tebranishlarini energiyani saqlash texnologiyalari yordamida barqarorlashtirish mumkin. Qayta tiklanuvchi energiyaga asoslangan aqlli mikro tarmoq tushunchasi tabiiy resurslardan foydalanishni kamaytirish va fosil yoqilg'ilar sarfini qisqartirishning samarali usulidir. Yuklamalarga sifatli quvvat yetkazib berishni ta'minlash uchun mikro tarmoqlar orqali energiyani saqlash tizimlaridan foydalanish majburiy holga aylanadi.

Mikro tarmoqlarda ikki xil ish rejimi mavjud: tarmoqqa ulangan holat va avtonom (izolyatsiyalangan/orolda ishlash) rejim. Izolyatsiyalangan ishlash rejimida energiyani saqlash tizimining asosiy vazifasi energiya muvozanatini ta'minlashdir. Tarmoqqa ulangan rejimda esa qayta tiklanuvchi energiya manbalarining beqaror va yuklamali tebranishlari elektr tarmog'iga salbiy ta'sir ko'rsatmasligi uchun energiyani saqlash tizimi zarur bo'ladi.

Bir xil energiya saqlash tizimi bilan jihozlangan qayta tiklanuvchi manbalarni o'z ichiga olgan mikro tarmoqlarda yuqoridagi funksiyalarning barchasini birdek samarali bajarish qiyin. Masalan, quyosh fotoelektrik tizimlari yuqori energiya zichligiga ega saqlash qurilmalarini talab qiladi. Shu bilan birga, yuklama tezkor o'zgarganida, yuqori quvvat zichligiga ega energiyani saqlash tizimlari kerak bo'ladi.

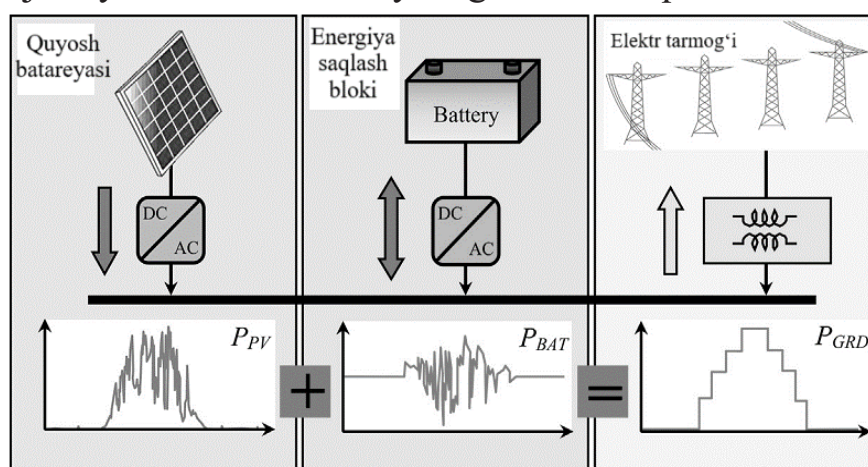
Quyosh fotoelektrik tizimlarini integratsiya qilishda energiyani saqlash tizimi butunlay Quyosh fotoelektrik tizimi bilan tarmoqqa birgalikda ulanadigan shaklda bo'lishi mumkin, yoki Quyosh fotoelektrik tizim o'rnatilgan hududlarda markazlashtirilgan yoki tarqatilgan mustaqil energiya saqlash birliklari sifatida ham ishlatilishi mumkin. Bu variantlarning barchasida Quyosh fotoelektrik tizimiga bog'liq tarmoqdagi xavflarning oldini olish mumkin.

Avvalo, Quyosh fotoelektrik tizimining chiqish quvvati grafigini silliqlashtirish energiyani saqlash yordamida mumkin bo‘ladi. Ma’lum chegaradan oshgan quvvat saqlab qo‘yiladi va ma’lum chegaradan past bo‘lgan quvvat esa saqlangan energiyadan qoplab beriladi. Natijada Quyosh fotoelektrik tizimi va energiyani saqlash tizimi chiqishida nisbatan silliq va barqaror elektr quvvat grafigi hosil bo‘ladi. Quyosh fotoelektrik tizimlarining keskin va beqaror quvvat tebranishlarining elektr tarmog‘iga ta’sirini energiyani saqlash orqali pasaytirish mumkin. Quyosh energiyasi ishlab chiqaruvchi tizim bilan energiya saqlash tizimi birgalikda qo‘llanilgandagi ijobiy ta’sir 8.3.2-rasmda ko‘rsatilgan.

Quyosh energiyasi ishlab chiqaruvchi tizim va energiyani saqlash qurilmasi birgalikda ishlatilganda, talab past bo‘lgan paytda energiya saqlanadi. Saqlangan energiya esa quyosh ishlab chiqarmaydigan yoki yuklama talabi yuqori bo‘lgan vaqtda ishlatiladi. Bunday qo‘llanma yordamida iste’molchi tomonda iqtisodiy jihatdan eng tejamkor rejimga erishiladi, elektr tarmog‘i tomonida esa yuklama darajasi pasaytiriladi.

Agar energiyani saqlash tizimi quvvat elektronika yoki konvertor (invertor) tuzilmasiga ega bo‘lsa, ushbu qurilma tarmoqdagi kuchlanish va reaktiv quvvatni tartibga solish vazifasini ham bajara oladi.

Quyosh fotoelektrik tizimlari atrof-muhitga zarar keltirmaydigan, oddiy, kam parvarish talab qiluvchi va tejamkor ishlash imkoniyatlari tufayli kelajak energetika tizimlarining ajralmas quvvat manbaiga aylanmoqda. Biroq, yuqorida ta’kidlab o‘tilganidek, bu tizimlarning elektr tarmoqlarida keng qo‘llanilishi jiddiy texnik xavflarni yuzaga keltirmoqda.



8.3.2-rasm. Quyosh fotoelektrik tizimi va energiyani saqlash tizimining elektr tarmog‘iga ta’siri.

Energiya saqlash ilovalarining zarurati va samaradorligi yechimlar nuqtai nazaridan alohida ahamiyatga ega. Tarmoq tuzilmasida mavjud ehtiyojlarni eng maqbul tarzda qondirish uchun turli xil energiya saqlash tizimlari mavjud bo'lishi lozim. Kelajakdagi aqlli elektr tarmoqlarining eng muhim asosiy elementlaridan biri sifatida energiya saqlash tizimlari ko'rilmogda. Biroq, ushbu tizimlarning keng joriy etilishidagi eng katta to'siq — bu xarajatlardir. Agar energiya saqlash tizimlari quvvatli bo'lgan kichik hajmdagi yashash uylari uchun mo'ljallangan fotoelektrik tizimlarga integratsiya qilinsa, ushbu afzalliklarga ancha iqtisodiy yo'l bilan erishish mumkin bo'ladi. Chunki bunday tizimlarda simyog'och, aloqa, boshqaruv tizimi, quvvat elektronika qurilmalari va mehnat xarajatlari Quyosh fotoelektrik tizim va energiya saqlash tizimi uchun umumiy hisoblanadi. 8.3.2-rasmda fotoelektrik va energiya saqlash tizimining tarmoqqa ta'siri tasvirlangan.

Kritik (muhim) yuklarni uzluksiz ta'minlashni kafolatlash uchun energiya saqlash tizimlari energiyani boshqarish tizimlari orqali nazorat qilinishi kerak. Mikroelektr tarmoqlarini muvaffaqiyatli boshqarish faqat energiya saqlash tizimlarini to'g'ri boshqarish va ishlatish bilan amalga oshiriladi. Elektron jihatdan o'zaro ulangan mikro manbalar uzluksizlikni ta'minlagan holda tarmoqni barqaror tutishda afzalliklarga ega. Energiyani saqlash tizimlari bu holatni qo'llab-quvvatlaydi va ayniqsa orol (island) rejimida ishlayotganda past kuchlanishli o'tish jarayonlari, motorlarning ishga tushirilishi va boshqa qisqa muddatli ortiqcha yuklanish holatlarida mikro manbalarni qo'llab-quvvatlaydi.

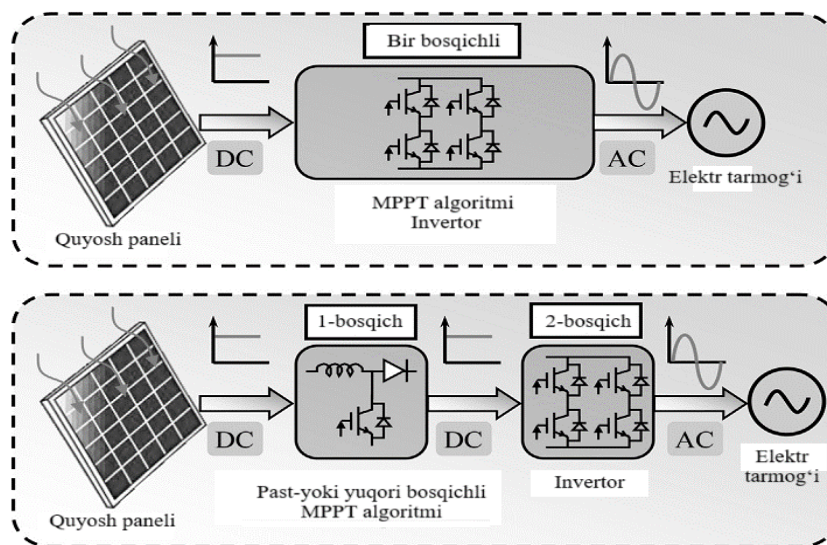
Energiya saqlash tizimlari yuk talabidagi o'zgarishlarga darhol javob bera olishi kerak. Shu bois, ular mahalliy boshqaruv bloklari orqali nazorat qilinishi lozim. Masalan, ultrakapasitatorlar kabi ba'zi energiya saqlash manbalari yuqori quvvat zichligiga ega bo'lsa-da, qisqa vaqt ichida zaryadini yo'qotadi. Flyvillar (aylanma inertsia qurilmalari) esa past quvvat zichligiga ega bo'lsa-da, energiyani uzoq muddat davomida taqdim eta oladi.

8.4. Aqlli elektr tarmoqlaridagi inverter tuzilmalari

Tarmoqqa ulangan tizimlarda, odatda, ikki yoki undan ortiq konverter bosqichlari mavjud bo'ladi. Mavjud fotoelektrik massiv kuchlanishiga qarab bu kuchlanish darajasini oshirish yoki kamaytirish zarurati tug'ilishi mumkin. Birinchi bosqichda odatda kuchlanish darajasini o'zgartirish va maksimal

quvvat nuqtasini kuzatish (MPPT) algoritmini bajaruvchi maxsus doimiy tok (DC)/DC quvvat konvertori mavjud bo‘ladi.

Bir bosqichli va ikki bosqichli konvertor topologiyasi tuzilmasi 8.4.1-rasmda keltirilgan. Ikki bosqichli tizimning kamchiliklari: pastroq samaradorlik, kattaroq o‘lcham va yuqoriroq xarajat. Shu sababli, bugungi kunda kichik o‘lchami, past xarajati, yuqori samaradorligi va ishonchliligi tufayli bir bosqichli tarmoqqa ulangan tuzilma keng qo‘llaniladi. Bu tizim topologiyasida faqat doimiy tok/alternativ tok (DC/AC) quvvat konvertori mavjud bo‘ladi. Bir bosqichli Quyosh fotoelektrik tizimlar ixcham modullar va “ol va ishlat” (plug-and-play) ilovalari uchun qulaydir.



8.4.1-rasm. Bir bosqichli va ikki bosqichli konvertor topologiyasi.

Bir bosqichli tuzilmada DC/DC konvertor bosqichi mavjud emas. MQNK jarayoni tarmoqqa ulangan Quyosh fotoelektrik tizimlarda invertorning quvvat bosqichida amalga oshiriladi. Tarmoqqa ulangan Quyosh fotoelektrik tizimlarda umumiy samaradorlik, ishonchlilik va boshqaruv murakkabligi kabi omillar muhim ahamiyatga ega. Ikki bosqichli tizimda bosqichlar soni ortgani sari samaradorlik va ishonchlilik muammolari yuzaga keladi. Shuning uchun, bunday tizimlarda bosqichlar sonini kamaytirish maqsadga muvofiq hisoblanadi.

Bunga erishishning ikkita yo‘li mavjud:

1. Quvvat konvertori chiqishiga kuchaytiruvchi transformatorni ulash.
2. Yuqori kuchlanishli fotoelektrik massivdan foydalanish.

Birinchi variant tizimning umumiy hajmini (quvvat zichligini) oshiradi. Ikkinchi variant esa xavfsizlikni kamaytirish va parazit sig‘imni oshirish orqali

oqim oqish ehtimolini ko'paytiradi. Bu holat fotoelektrik massivda qisman soyalanish paytida xavfli nuqtalarning paydo bo'lishiga olib keladi. Ideal yechim sifatida oraliq quvvat konvertoridan foydalanish taklif qilinadi, bunda faqat bitta bosqichli past kuchlanishli fotoelektrik massiv qo'llaniladi.

Ushbu bitta bosqichli past kuchlanishli fotoelektrik massivda kuchlanish oshiriladi, sifatli AC (alternativ tok) to'liqliniga aylantiriladi va bir vaqtning o'zida fotoelektrik massivdan maksimal quvvat olinadi.

Bitta bosqichli invertorlar nafaqat sinusoidal quvvatni tarmoqqa uzatishi, balki MQNK (maksimal quvvat nuqtasini kuzatish) algoritmini ham bajarishi kerak. Tarmoqqa ulangan bitta bosqichli fotoelektrik tizimlar ikkala jarayonni — quvvatni aylantirish va MQNK —ni bir bosqichda bir vaqtda amalga oshiradi. Shu tariqa tizim topologiyasi soddalashtiriladi.

MQNK usuli tizim barqarorligini saqlash uchun past tezlikda ishlatilishi kerak. MQNK algoritmi fotoelektrik panellarning maksimal quvvat nuqtasini kuchlanish va tok sensorlari orqali hisoblaydi. Kuchlanishning pasayishini oldini olish uchun, quvvatning mos yozuvlar qiymatini o'zgartirishda minimal qadam uzunligida monitoring amalga oshiriladi. Bu esa fotoelektrik panellarining nolinear I–V xarakteristikasi tufayli ancha murakkab bo'ladi. MQNK algoritmi fotoelektrik panel ishlashi kerak bo'lgan mos yozuv (referens) tok yoki kuchlanish qiymatini belgilaydi.

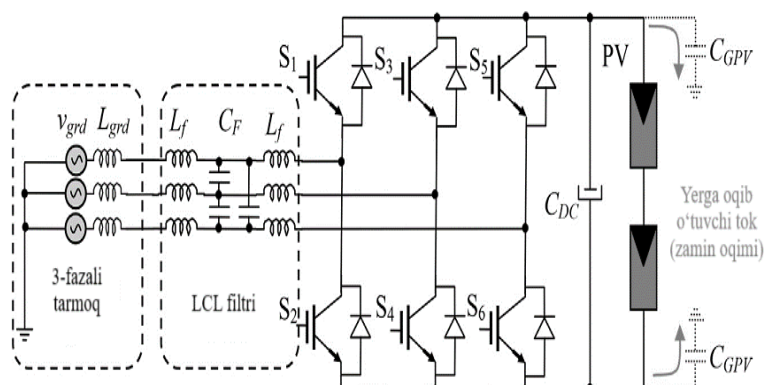
Tarmoqqa ulangan bitta bosqichli Quyosh fotoelektrik tizimlarda keng qo'llaniladigan usullardan biri — “buzib kuzatish” (perturb and observe) texnikasidir. Bu texnika dastlab referens tokni aniqlaydi, so'ngra tarmoqqa sinxron tokni ta'minlaydi. Tarmoqdagi referens tokni hisoblashda referens kuchlanishdan foydalaniladi. Boshqa boshqaruv usullarida, bu usul fotoelektrik massivning salbiy og'ishli hududida yoki quvvat–kuchlanish (P–V) xarakteristikasining kuchlanish manbai hududida ishlaganda aniq natijalar beradi. Ushbu usullar asosida boshqaruvchi qurilma referens kuchlanish va referens tarmoq toki ushbu hududda teskari proporsional ishlaydigan tarzda loyihalanadi. Fotoelektrik massivi bu proporsiyani tok manbai hududiga kirgandek davom ettiradi. Ob-havoning to'satdan o'zgarishi natijasida ishlash nuqtasi ijobiy og'ishli hududga siljiydi va tizim barqarorligi buziladi, boshqaruv muvaffaqiyatsizlikka uchraydi. Bundan tashqari, faqat qadam o'lchamini o'zgartirish orqali tarmoq toki buzilishining oldi olinishi mumkin.

Quyosh invertorlarida izolyatsiya va oqish toklar. Izolyatsiya va xavfsizlik — transformersiz Quyosh fotoelektrik tizimlarida muhim masala

hisoblanadi. Kichik quvvatli, bitta fazali Quyosh fotoelektrik tizimlar odatda 5–6 kVt quvvat bilan o‘rnatiladi. Invertor kirishida o‘zgarmas tok (DC) manbai bo‘ladi, chiqishda esa o‘zgaruvchan tok (AC) mavjud. Bitta fazali tizimlarda ishlatiladigan katta hajmdagi DC kondensatorlar tizimning ishonchlilikini va uzoq muddatli ishlash imkoniyatini kamaytiradi. Uch fazali tizimlarda esa katta kondensatorlarga ehtiyoj yo‘q; tizimni arzonroq narxda ishonchli va uzoq muddatli qilish mumkin.

Xavfsizlik masalasida esa, Quyosh fotoelektrik tizimlarda galvanik izolyatsiyalovchi transformatorlar qo‘llaniladi. Yuqori chastotali transformatorlar DC/DC konvertor tuzilmalarida, past chastotali transformatorlar esa AC chiqishlarda qo‘llaniladi. Galvanik izolyatsiyalovchi transformator qo‘shilishi tizim narxi va hajmini oshiradi hamda umumiy samaradorlikni kamaytiradi. Yuqori samarali invertorni transformator ishlatmasdan ham yasash mumkin. Shunday transformersiz tuzilmalar afzalliklarga ega va ko‘plab holatlarda ustunlik qiladi. Ammo bunday tizimlarda fotoelektrik panellarda parazit sig‘imlar va erga ulash (grounding) xavfsizligi masalalari paydo bo‘ladi.

Tizimni yerga ulash fotoelektrik panel terminallari bilan yer orasiga kondensator ulash orqali amalga oshiriladi. Parazit sig‘imli kondensatorlar ulangan Quyosh fotoelektrik tizim modelining sxematik ko‘rinishi 8.4.2-rasmda berilgan. Oqish va nosozlik toklarini erga uzatish orqali tarmoqqa ulangan Quyosh fotoelektrik tizimning ishonchlilik ta‘minlanadi. Parazit sig‘imli kondensator qiymati quyidagi omillarga bog‘liq: fotoelektrik panel va uning ramkasi, element yuzalari va ularning oralig‘i, ob-havo holati, namlik va chang miqdori.

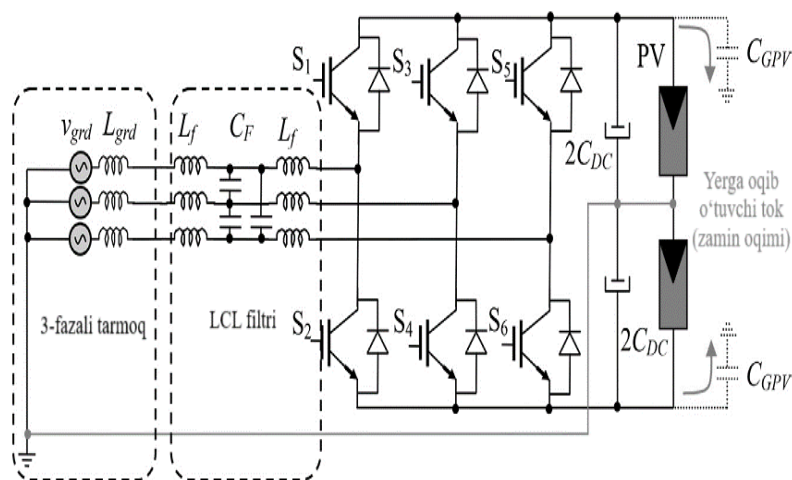


8.4.2 - rasm Uch fazali to'liq ko'prik invertor topologiyasi.

Uch fazali to'liq ko'prik invertor topologiyasi - bu tarmoqqa ulangan Quyosh fotoelektrik tizimlari uchun eng oddiy va keng tarqalgan tuzilmadir.

Fotoelektrik massiv va AC tarmog'i o'rtasida galvanik izolyatsiya qilingan tizim o'rnatilgan. Agar parazit kondensatorlariga hech qanday tok oqmasa, tarmoq toki yumshoq sinusoidal egri chiziqda bo'ladi. Shu sharoitda, agar fotoelektrik massivva AC tarmog'i o'rtasida galvanik izolyatsiya bo'lmasa, oqim yerga oqib chiqadi. Bunday sharoitda tarmoq toki avvalgi tok egri chizig'idan katta tebranishli sinusoidal egri chizig'ini hosil qiladi. Shuningdek, ushbu topologiya tuzilmasida umumiy rejimli kuchlanishda yuqori chastotali komponentlar mavjud. DC shinalar o'rtasidagi yuqori o'zgarish chastotasi tufayli, oqish tok qiymati ham juda yuqori bo'ladi. Bu qiymatlar tarmoqqa ulangan Quyosh fotoelektrik tizimi standartlaridan oshib ketadi.

Uch fazali to'liq ko'prik kuchlanish manbali inverter strukturasining bo'lingan ulanishi 8.4.3-rasmda ko'rsatilgan. Boshqa topologiya tuzilmalaridan farqli o'laroq, kondensatorlar va fotoelektrik massiv kirish tomonida o'xshash tarzda ulanadi. Ushbu tuzilma, fotoelektrik massivva kondensatorlarni ikkiga bo'lib, ularning o'rtalari tarmoqning neytral nuqtasiga ulanadi. Ushbu topologiya uchta mustaqil bitta fazali yarim-ko'prik inverterlarga tengdir. Bu tuzilishda, kalitlarni boshqarish uchun oqimni boshqarish usuli qo'llaniladi. Pulse kenglik modulyatsiyasi (PWM) uchun ikkita strategiya ishlatiladi. Birinchi strategiya barcha uch faza uchun bitta uchburchakli tashuvchi signalni ishlatishdir. Ikkinchi strategiya esa, 120° farqi bilan uchta uchburchakli signal yordamida o'zgarishni amalga oshirishdir. Ushbu usulning maqsadi tarmoq neytral oqimida o'zgarish harmonikalarini bartaraf etishdir. PWM uchun uchburchakli signallarni ishlatish orqali uch fazali umumiy rejimli kuchlanishni kamaytirish mumkin.



8.4.3 – rasm. Uch fazali to'liq ko'prikli kondensator bilan ajratilgan inverter topologiyasi.

Ushbu inverter strukturasi DC shina kuchlanishining o'zgarishlari juda kichik, chunki ular neytralni nol potentsialda ushlab turadi. Ushbu topologiyada yer va DC shina kuchlanishidagi o'zgarishlar kam uchraydi va oqish toki sezilarli darajada kamayadi. Ushbu qiymatlar tarmoqqa ulangan Quyosh fotoelektrik tizimi standartlariga mos keladi va ishonchli tuzilma hisoblanadi.

Uch fazali inverter strukturasi uch fazali neytral nuqtali kiritilgan tuzilmasida, fotoelektrik va boshqa qayta tiklanadigan energiya ilovalarida, olti kalitli to'liq ko'priq inverterlariga nisbatan ba'zi muhim afzalliklarga ega. Ushbu afzalliklar quyidagilardan iborat:

- Kalitlar seriyali ulanadi va kuchlanish bo'linadi, shuning uchun kalitlardagi kuchlanish bosimi kamayadi.
- Chiqish faza kuchlanishi ikki darajaga ega bo'lgani uchun, chiqishdagi kuchlanish past harmonikalarga ega bo'ladi.
- Chiqish filtrining o'lchami past dv/dt nisbatidan kamayadi.
- Kam o'zgarish kuchlanishi ishlatilganda, o'zgarish yo'qotishlari kamayadi va samaradorlik oshadi.

Har bir faza uchun uchta alohida oqimni boshqarish moslamalari mavjud va chiqish toki har doim o'z faza kuchlanishi bilan sinxronlashtirilgan bo'ladi. Ushbu topologiya tuzilmasida, fotoelektrik inverterni transformer o'rnatish yanada qulaydir, chunki fotoelektrik panel terminallari orasida kuchlanish o'zgarishi va yerga oqish yo'qdir. Ushbu qiymatlar standartlarga mos kelgani sababli, Quyosh fotoelektrik tizimlari uchun mos yechimga aylanadi.

Energiya konvertorlari nuqtai nazaridan, uch fazali neytral nuqtali kiritilgan inverter strukturasi olti o'zgaruvchi elementlar va olti teskari diodlardan foydalanadi. Bunday holatda, kalit elementlarining kuchlanish qiymatining faqat yarmi kerak bo'ladi, boshqa ikki topologiya tuzilmalariga nisbatan. Kondensatorlarning o'rtasidagi nuqta neytral liniyasiga ulanadi, shuning uchun kuchlanish nomutanosibligini boshqarish uchun qo'shimcha funksiya talab qilinadi. Agar yuk bevosita kondensatorlarga ulangan bo'lsa, yuk toki kondensatorlardan olinadigan bo'lgani uchun yuqori va past kondensatorlar orasida kuchlanish nomutanosibligini keltirib chiqaradi.

Yerga oqish transformer o'rnatish Quyosh fotoelektrik tizimlari uchun muhim masalalardan biridir. Oqish toki uch fazali to'liq ko'priq inverter tuzilmasida yuqori umumiy rejimli kuchlanish tufayli juda yuqori bo'ladi.

Aksincha, uch fazali neytral nuqtali kiritilgan invertor va bo'lingan kondensatorli uch fazali to'liq ko'prik invertor tuzilmasida deyarli hech qanday kuchlanish o'zgarishi bo'lmaydi. Kuchlanish o'zgarishi kichik bo'lgani uchun, yerga oqish toki hosil bo'lishi standartlarga muvofiq bo'lgani uchun bu afzallik hisoblanadi. Agar uch fazali to'liq ko'prik invertor topologiyasi ishlatilsa, tarmoq tokida galvanik izolyatsiya bilan kichikroq o'zgarishlar yuzaga keladi. Aslida, transformatorli tuzilmalarda tarmoq toki uchinchi harmoniklari bekor qilinadi. Tarmoq toki subharmonikalar ta'sirida limitli qiymatlar ichida bo'ladi. Tarmoq tokidagi o'zgarish eng past uch fazali to'liq ko'prik invertorda bo'lingan kondensator bilan, keyin uch fazali neytral nuqtali kiritilgan invertorda va eng yuqori uch fazali to'liq ko'prik invertor topologiyasida kuzatiladi. Har bir topologiya uchun IEEE 929 standartiga muvofiqlikni ta'minlash uchun alohida induktans-kapasitans-induktans (LCL) filtrlar tanlanishi kerak. Uch fazali neytral nuqtali kiritilgan invertor strukturasida filtr o'lchami uch fazali to'liq ko'prik invertor strukturasidan 20% kichikdir.

98% gacha samaradorlikka ega bo'lgan uch fazali neytral nuqtali kiritilgan invertor strukturasidan transformer o'rnatishsiz fotoelektrik invertorlari uchun eng samarali topologiya sifatida foydalaniladi. Biz quyidagi 8.4.1- jadvalda ushbu topologiya strukturalarini taqqoslashni, kalitlar soni, kalitlar ustidagi kuchlanish bosimi, diodlar soni, kuchlanish nomutanosibligini boshqarish, umumiy rejimli kuchlanish, yerga oqish toki, transformator talabiga muvofiqlik, tarmoq nomutanosibligi ta'siri, neytral oqish toki ta'siri va LCL filtr o'lchamini ko'rishimiz mumkin.

Tarmoqqa ulangan uch fazali invertor tuzilmalari aqlli tarmoqlarda. Fotoelektrik panellaridan olingan energiya tarmoqqa tarqatilgan energiya ishlab chiqarish tizimlari orqali uzatiladi. Quyosh panellarining chiqishida, tarmoqni energiya bilan ta'minlash uchun DC kuchlanishi AC kuchlanishiga aylantirilishi kerak. Ushbu konversiya invertor energiya birligi yordamida amalga oshiriladi. Uch fazali invertorlar yuqori quvvatli ilovalarda ishlatiladi. Energiya tarmoqqa uzatilayotganda, invertor tomonidan ishlab chiqarilgan energiya tarmoqqa salbiy ta'sir ko'rsatmasligi uchun yuqori sifatli bo'lishi talab qilinadi. Invertor chiqishidagi uch fazali toklar yuqori energiya sifatini ta'minlash uchun sinusoidal bo'lishi kerak. Invertor tarmoq bilan sinxron ishlashi kerak. Shuning uchun invertorni boshqarish uchun oqimni to'g'ri boshqarish talab qilinadi. Invertor yuqori quvvat zichligi, yuqori samaradorlik, past narx va oddiy sxema tuzilmasiga ega bo'lishi kerak.

Invertor topologiyasi tuzilmalarining taqqoslanishi

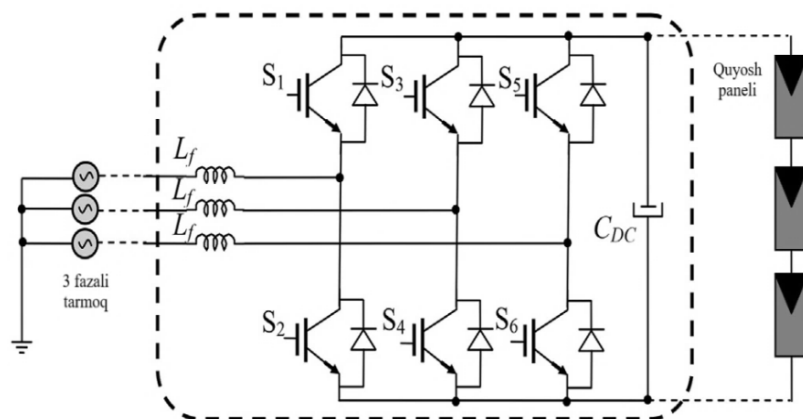
Invertor topologiyasi	Uch fazali ko'prik sxemasi	Ikki bo'lakli kondensatorli tizim	Neytral nuqtani qisish texnologiyasi
O'chirish-yoqish soni	6	6	12
Kalitlardagi kuchlanish bosimi	V_{DC}	V_{DC}	$V_{DC}/2$
Diodlar soni	6	6	18
Kuchlanish nomutanosibligini boshqarish	Yo'q	Yes	Yes
Umumiy rejimdagi kuchlanish	$\pm V_{DC}$	$\pm 1 \% V_{DC}$	$\pm 1 \% V_{DC}$
Yerga oqib ketuvchi tok	Yuqori	Past	Past
Transformatorga bo'lgan ehtiyoj	Zarur / Talab etiladi	Zarur emmas	Zarur emmas
Tarmoqdagi nomutanosiblik ta'siri	Past	Yo'q	Yo'q
Nol sim orqali oqib ketuvchi tok ta'siri	Nol sim mavjud emas	Yuqori	Yuqori
LCL filtr o'lchami	1	0.87	0.80

Tarmoqqa ulangan invertor tarmoq bilan sinxronlashishi va quvvat uzatishni amalga oshirish uchun toklarni bir xil fazada ishlab chiqarishi kerak. Ushbu toklarning harmonik tarkibi past bo'lishi kerak. IEEE 519 harmonik standarti bo'yicha, tarmoqqa uzatilgan toklarning umumiy garmonik tarkibi 5% dan kam bo'lishi kerak. EN 50160 standarti bo'yicha esa, kuchlanish harmonikalari maksimal 8%, kuchlanish nomutanosibligi maksimal 3%, kuchlanish amplitudasi maksimal $\pm 10\%$, va chastota qiymatidagi o'zgarish maksimal $\pm 1\%$ bo'lishi kerak.

8.5. Uch fazali kuchlanish ta'minoti invertorlari

Uch fazali invertorlar, fotoelektrik panelidan olingan kuchlanishdan AC

chiqish kuchlanishlarini hosil qilish uchun ishlatiladi. Standart uch fazali kuchlanish bilan ishlaydigan invertor tuzilmasi 8.5.1- rasmda keltirilgan. Fotoelektrik kuchlanishi S_1 – S_6 kalitlash elementlarini ishlatib AC kuchlanishiga aylantiriladi. Har bir kalitlash elementi 180° davomida uzatishda bo'ladi. Yuqori tomonli qo'riqchi elementlardan biri o'chib ketganda, tegishli kalitlash elementi past tomonli qo'riqchi armaturada o'lim vaqti (dead time) qiymatidan keyin uzatiladi. Shunday qilib, bir xil fazadagi ikkita kalitlash elementi bir vaqtda uzatilishini oldini oladi.



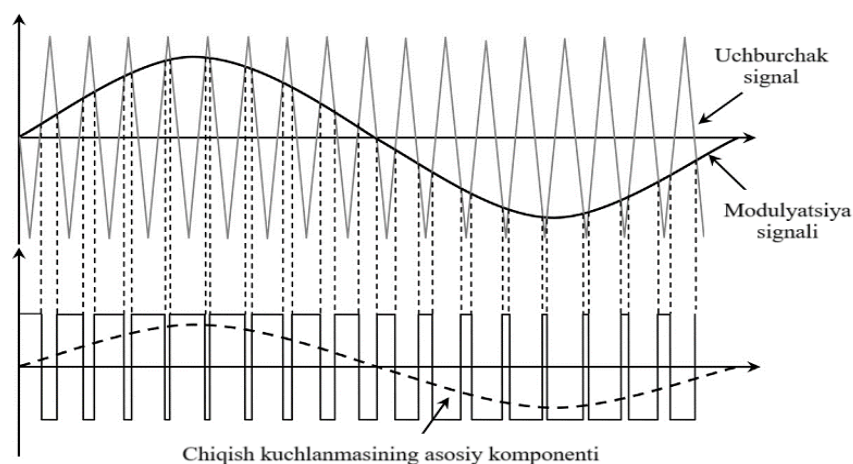
8.5.1-rasm. Uch fazali kuchlanma manbaasiga ega invertorning elektr sxemasi.

Uch fazali kuchlanish bilan ta'minlovchi invertorlarda modulyatsiya metodlari. PWM — bu to'g'ri kalitlash yarimo'tkazgichli quvvat elementlari yordamida kerakli chiqish chastotasi va kuchlanish uchun kuchlanish impulslarini ishlab chiqarish usulidir. Tipik modulyator PWM davrida o'rtacha kuchlanish qiymatini maqsadli referens kuchlanishiga teng qilib ishlab chiqaradi. PWM davri juda qisqa bo'lgani sababli, referens kuchlanish o'zgartirilgan impuls namunalarining asosiy komponentini beradi. Chiqish kuchlanishini ishlab chiqarish uchun ishlatiladigan ko'plab metodlardan asosiylari sinusoidal PWM, gistorrezonansli PWM va faza vektorli PWM usullari hisoblanadi. Sinusoidal PWM va gistorrezonansli PWM usullari analog metodlar yordamida bajarilishi mumkin, boshqa usullar esa mikrosxemalar yoki raqamli signal protsessorlarini ishlatishni talab qiladi.

Sinusoidal PWM usuli. Sinusoidal PWM usulida, PWM signallari yuqori chastotali uchburchakli tashuvchi to'lqin va sinusoidal modulyatsiya signalining solishtirilishi natijasida hosil bo'ladi. Ushbu boshqaruv usuli sanoat ilovalarida keng qo'llaniladi. Modulyatsiya signalining chastotasi chiqish kuchlanishining chastotasini va cho'qqi qiymatli modulyatsiya indeksini belgilaydi. Modulyatsiya indeksi chiqish kuchlanishining samarali qiymatini

o'zgartiradi. Modulyatsiya indeksi oshgan sari inverter chiqish kuchlanishi ham oshadi va indeks qiymati maksimal qiymatga, ya'ni 1 ga yetadi. Yuqori chastotali tashuvchi to'lqin modulyatsiya signaliga qarab invertorning kalitlash chastotasini belgilaydi. Chiqish harmonikalari kalitlash chastotasi va uning ko'paytmalari shaklida yuzaga keladi.

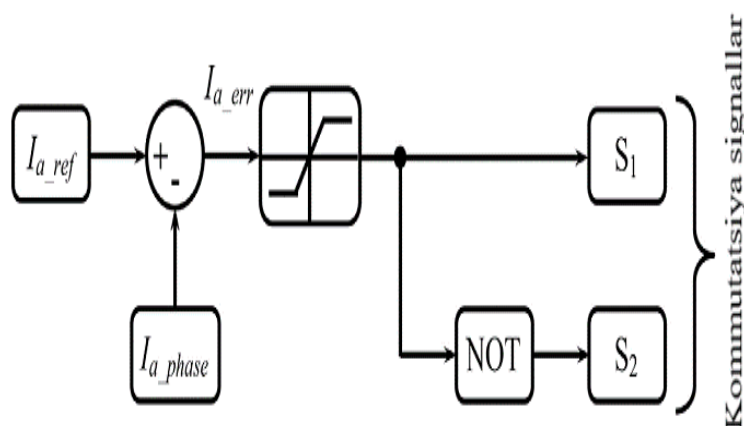
Modulyatsiya signalini olish uchun avval referens tokidan o'lchangan tok ayiriladi va tok xatosi olinadi. Ushbu tok xatosi proporsional integral boshqaruvchiga beriladi va boshqaruvchi chiqishida referens kuchlanish olinadi. Bu har bir faza uchun alohida bajariladi. Uch fazali kalitlash signallari olingan referens kuchlanishlarni tashuvchi to'lqin bilan solishtirish orqali hosil qilinadi. Tashuvchi to'lqin va modulyatsiya signali orasidagi solishtirish natijasida bir faza uchun ishlab chiqarilgan inverter chiqish kuchlanishi 8.5.2 - rasm da ko'rsatilgan.



8.5.2-rasm. Sinusoidal to'lqin kengligi modulyatsiyasi (PWM).

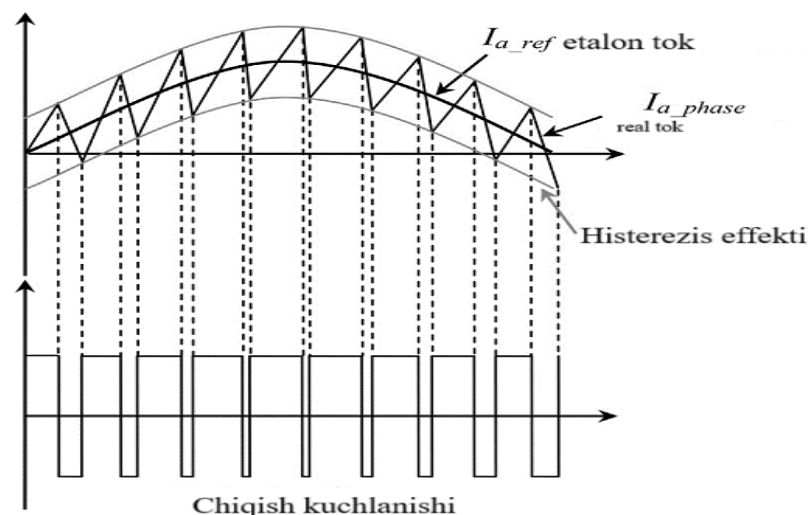
Histerezis kengligi PWM usuli. Histerezisli tokni boshqarish usuli qo'llashda qulayligi sababli afzal ko'riladi. Boshqarishning bu usuli tez dinamik javob va tabiiy tokni himoya qilish xususiyatlariga ega bo'lib, tizim parametrlaridagi o'zgarishlardan ta'sirlanmaydi. Biroq, doimiy kenglikdagi tokni boshqarishda, invertnerning o'zgaruvchan chiqish kuchlanishi va tarmoq kuchlanishi o'rtasidagi farqqa qarab invertnerning o'zgaruvchan chastotasi mavjud. Tarmoqning nolga yaqin kesish joylarida invertnerning chiqish kuchlanishi va tarmoq kuchlanishi o'rtasidagi farq katta bo'lganligi sababli, chastota yuqori bo'lib, tarmoq kuchlanishining pik qiymatlariga qarab kamayadi. Bu o'zgaruvchan chastotali o'zgarishlar kirish filtri dizaynini murakkablashtiradi. Belgilangan kenglikda tokni boshqarish uchun, kirish namunasini tez olish kerak bo'ladi. Histerezisli tokni boshqarish usulining blok

diagrammasi 8.5.3-rasmda keltirilgan. Ushbu boshqarish usulida, har bir faza uchun toklar inverter chiqishidagi faza toklarini referens faza toklar bilan taqqoslash orqali olinadi. Ushbu tok xatosi histerezisli boshqaruvchiga beriladi va uning signallari olinadi.



8.5.3-rasm. Histerezis tokni boshqarish usuli blok diagrammasi.

Har bir fazaning tokini histerezis boshqaruvchisi yordamida 8.5.4-rasmda berilgan tok xatosi bilan aniqlangan oraliqda saqlashga harakat qilinadi. Inverter chiqish toklarining qiymati oraliqda qolgan holda, tok xatosi oraliqda qoladi. Agar tok xatosi oraliqning yuqori chegarasiga yetganda, tegishli fazaning yuqori chegara kalitidan tokni oshirish uchun signal uzatiladi, chunki tok oraliqning pastki chegarasiga yetadi.



8.5.4 -rasm. Histerezis tokni boshqarish PWM generatsiyasi prinsipi.

Tokning oshishi bilan xato kamayishni boshlaydi va yuqori chegara etilganiga qadar oshishda davom etadi. Tok yuqori chegara etilganida, tok xatosi pastki chegara etadi va yuqori kalit sektorga kiritiladi, pastki kalitga signal yuboriladi. Shu tariqa inverter chiqish toki kamayishni boshlaydi. Ushbu

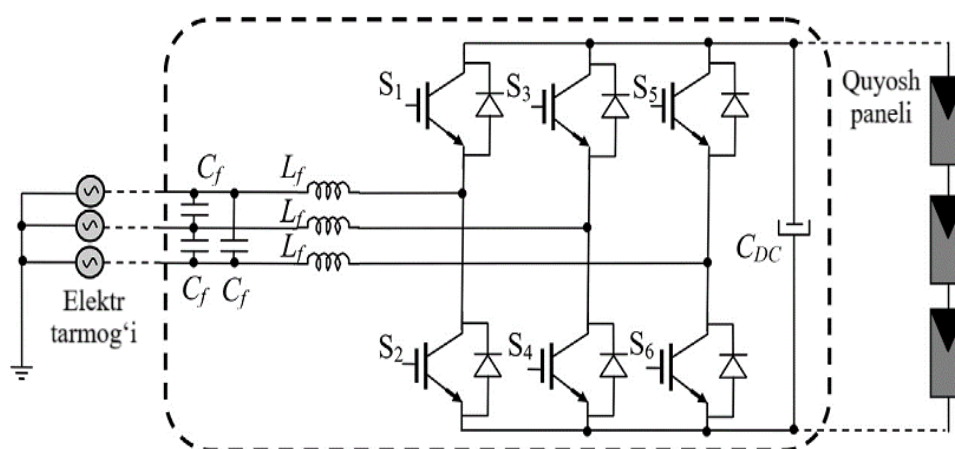
jarayon har bir o'zgartirish davrida takrorlanadi va chiqish toki belgilangan oraliqda harakatlanadi.

Keng fazali vektorli PWM usuli. Keng fazali vektorli PWM usuli so'nggi yillarda, referensiyasiz, sinusoidal kirish, past harmonik tarkibi va kengroq chiziqli ishlash maydoni kabi xususiyatlar bilan keng qo'llanilmoqda. Sinusoidal PWM usuliga nisbatan, DC kirish kuchlanishi 15 % ko'proq samarali ishlatiladi. Ushbu usul, kuchlanish oziqlangan inverter tuzilmasiga ega bo'lgan AC drayvlarida keng qo'llaniladi. Ushbu boshqaruv tuzilmasi pastroq tok bilan boshqaruv tizimini qo'llash imkonini berishi sababli, kuchlanish oziqlangan inverterdagi uzatish yo'qotishlari kamaytiriladi. Shuningdek, inverter chiqish kuchlanishi va toklarining harmonik tarkibi hamda o'zgarish yo'qotishlari kamaytiriladi.

Uch fazali, to'rt qo'li, to'rt simli inverter tuzilmalari. Ta'limot tarmog'ida past voltli to'rt simli taqsimlangan tarmoq birliklari uchun uch fazali konvertor topologiyasi mavjud bo'lishi kerak. Taqsimlangan energiya ishlab chiqarish birligi ham asosiy tarmoq sifatini yaxshilash uchun faol quvvat filtri sifatida ishlatilishi mumkin. Faol quvvat filtri samarali bo'lishi kerak bo'lsa, konvertor tuzilmasi neytral tokni o'tkazish imkonini beruvchi tizim bo'lishi kerak. Bu struktura uchun to'rt simli topologiya, to'rt qo'li topologiya va bo'lingan-kapasitli konvertor topologiyalari mavjud. O'zgartirishlarni boshqarish osonligi, sxemaning murakkabligi, o'rtacha nuqtani boshqarish, DC shina kuchlanishi ishlatish va elektromagnit moslikning ishlash ko'rsatkichlari bo'yicha baholashlar amalga oshirilishi mumkin. Bo'lingan-kapasitli konvertor topologiyasi to'rt qo'li tuzilmasiga nisbatan eng yaxshi variantni taklif etadi. Xuddi shu sxema murakkabligi va DC shina kuchlanishi boshqarilishi ishlatilganda, bo'lingan-kapasitli topologiya osonroq tok boshqaruvi va kamroq elektromagnit moslik muammolariga olib keladi. Konvertor topologiyasining tanlovi uning to'rt simli taqsimlangan tarmoqqa ulanishiga katta ta'sir ko'rsatadi. Neytral simni olish uchun konvertorga to'rtinchi qo'lni qo'shish (to'rt qo'li konvertor) yoki bo'lingan-kapasitli kondensatorlarning o'rtasini neytral simga ulash orqali amalga oshiriladi.

Klassik uch fazali, uch simli inverter topologiyasi 8.5.5-rasmda keltirilgan. Past voltli taqsimlangan tarmoq tipik uch fazali to'rt simli konfiguratsiyaga ega bo'lgani sababli, tarmoqqa ulanish uchun konvertor transformatori ishlatiladi. Ushbu transformator og'ir va qimmat bo'lgani uchun ko'plab ilovalarda ishlatilishi istalmaydi. Ba'zi hollarda transformator filtr

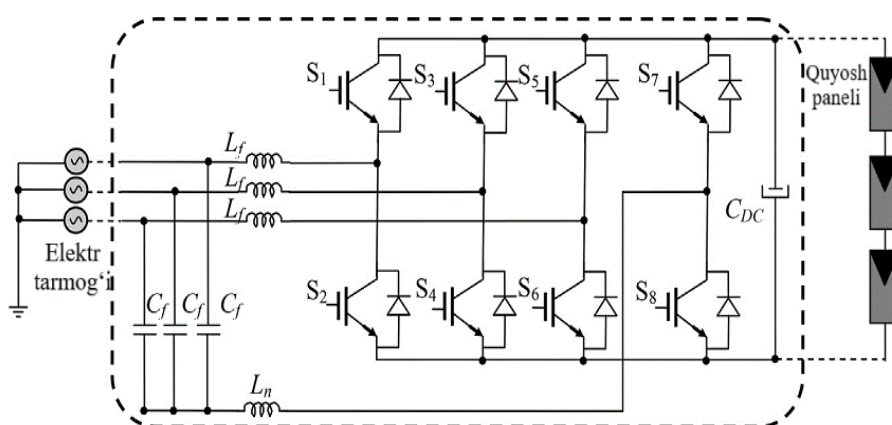
impedansining bir qismi sifatida ishlatilishi mumkin. Boshqa kamchiligi shundaki, neytral simning mavjud emasligi faol quvvat filtri ishlatishni cheklaydi, chunki turli filtr usullari neytral tokni talab qiladi.



8.5.5-rasm. Uch fazali, uch simli inverter tuzilmasi.

Δ/Y konvertor transformatorini ishlatish o'rniga, neytral simni uch fazali to'rt simli konvertor topologiyasi bilan ta'minlash mumkin. Neytral sim inverter tuzilmasiga to'rtinchi qo'lni qo'shish yoki DC shinaga ikki kondensator qo'shish orqali amalga oshirilishi mumkin. Neytral sim faol quvvat filtri texnikalarini ishlatishni imkonini beradi. To'rt simli inverterlar uch simli inverterlarga nisbatan ko'proq afzal ko'riladi.

To'rt qo'li konvertor topologiyasi 8.5.6-rasmda keltirilgan. Neytral simni boshqarish uchun ikkita qo'shimcha S7 va S8 kalitlari ishlatiladi.



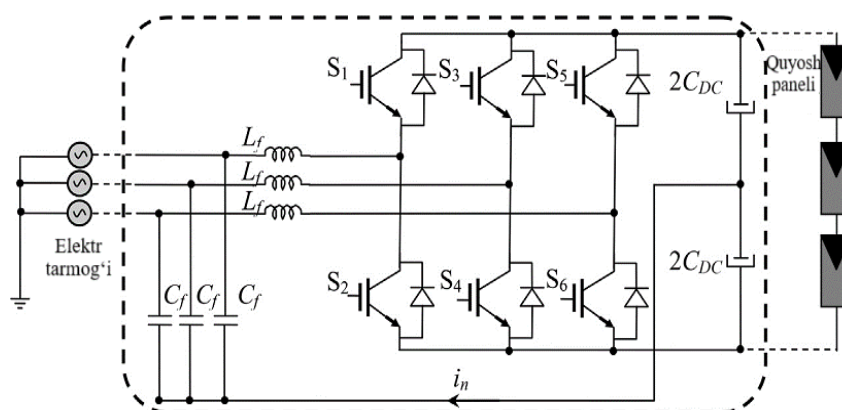
8.5.6-rasm. Uch fazali, to'rt qo'lli, to'rt simli inverter tuzilmasi.

To'rtinchi qo'li bilan o'zgarishlar sababli yuqori chastotali oqimlarni zaiflashtirish uchun, L_n choke simi uning neytral simiga ulanadi. DC shinaidagi kuchlanish o'zgarishlarini oldini olish uchun CDC kondensatori

ulanishi kifoya.

Split-link kondensatori bilan to'rt simli inverter tuzilmasi 8.5.7-rasmda keltirilgan. Ushbu tuzilma, to'rt qo'lli inverterga nisbatan soddaroq topologik tuzilma tufayli kamroq kalitlash elementlariga ega. DC shina liniyasi 2 ta CDC kondensatorlari bilan bo'linadi. Bu nuqtada kalitlash mavjud bo'lmaganligi sababli, neytral simga choke simini ulash zarurati yo'q. Split-link kondensatori konvertori uch fazali yarim ko'prik inverter sifatida qaralishi mumkin, bu esa mustaqil boshqarilishi mumkin. DC shina kondensatorlarining kuchlanish notekisligi split-link kondensatori konvertori topologiyasida keng tarqalgan muammo hisoblanadi. Neytral sim oqimlari tufayli yuqori kuchlanish o'zgarishlari boshqa bir muammo bo'lib, ushbu kuchlanish o'zgarishlarini kondensatorlar yordamida kamaytirish kerak.

Ta distributed birliklarni ikkilamchi filtr funksiyasi bilan dasturlashda neytral sim afzal ko'riladi. Uch simli konvertor tuzilmasida neytral simni olish uchun Δ/Y transformatori kerak bo'ladi. Biroq, bu holat tizimning hajmini oshirishi sababli noqulaylik tug'diradi.



8.5.7-rasm. Split-link kondensatori, to'rt simli inverter tuzilmasi.

Taqsimlangan ishlab chiqarish tizimlari tarmoqda keng qo'llaniladiganligi sababli, ushbu inverterlar ikkilamchi aktiv parallel filtr funksiyasi bilan dasturlashda energiya sifatini yaxshilashga yordam berishi mumkin. Barcha ushbu filtratsiya potentsialini ishlatish uchun neytral sim kerak bo'ladi. Shuning uchun, to'rt simli inverterlar muhim afzallikni taqdim etadi.

NAZORAT SAVOLLARI:

1. An'anaviy elektr tarmog'ining asosiy ishlash tuzilmasi qanday? 2. Aqlli elektr tarmoqlari tuzimiga ta'rib bering. 3. An'anaviy tarmoqlarni tahlil va

modernizatsiya qilishda nimalardga e'tibor berish kerak? 4. Aqlli tarmoqda energiya ishlab chiqarishda nimalarga e'tibor qaratish kerak. 5. An'anaviy elektr tarmog'i tuzilmasining afzallik tomonlari nimada? 6. Aqlli elektr tarmog'i tuzilmasi tarmog'ining afzallik tomonlari nimada? 7. Mikroenergiya tarmog'i tuzilmasining vazifasi nimadan iborat? 8. Mikroenergiya tarmog'i tarkibiga nimalar kiradi? 9. Aqlli mikroenergiya tarmoqlarining afzalliklari qanday? 10. Mikro tarmoqlarda nechki xil ish rejimi mavjud? 11. Quyosh fotoelektrik tizimi va energiyani saqlash tizimining elektr tarmog'iga ta'siri qanday? 12. Ikki bosqichli tizimning kamchiliklarini ayting. 13. Ikki bosqichli tizimda samaradorlik qanday amalga oshiriladi? 14. Uch fazali invertorlarning afzalliklari nimada? 15. Uch fazali, uch simli inverter tuzilmasi qanday? 16. Uch fazali, to'rt qo'lli, to'rt simli inverter tuzilmasi qanday?

IX-BOB

QUYOSH GIBRID ILOVALARIDA ENERGIYA SAQLASH TIZIMLARINING ROLI VA AHAMIYATI

IX.1. Quyosh gibrid tizimlarida energiya saqlash tizimlari

Bugungi kunda quyosh energiyasi – qazilma va yadroviy yoqilg‘ilarga alternativ energiya manbai sifatida o‘rganilayotgan turli xil energiya manbalaridan biridir. Quyosh energiyasi cheksiz va keng tarqalgan manba bo‘lgani, shuningdek, uni elektr energiyasiga oson aylantirish mumkinligi sababli tez sur‘atlarda ommalashmoqda. Quyosh energiyasi tizimlarining yana bir muhim jihati — u bir necha vatt (W) to megavattgacha (MW) quvvat diapazonini taqdim eta oladi.

Fotoelektrik panellar o‘zgaras tok (DC) ishlab chiqaradi. Shu sababli, elektr bilan ishlaydigan barcha turdagi yuklamalarni o‘zgaras yoki konvertor orqali Quyosh fotoelektrik panellardan quvvatlantirish mumkin. Quyosh fotoelektrik panel texnologiyasidan foydalanish topologiyasi ikki xil qo‘llanilish sohasiga ega: mustaqil (off-grid) va tarmoqqa ulangan (grid-connected) tizimlar. Mustaqil tizimlarga yo‘l yoritgichlari, kichik quvvatli avtonom qurilmalar, suv nasoslari, signalizatsiya tizimlari va chekka hududlardagi maishiy qo‘llanmalar kiradi. Bu turdagi tizimlarda odatda Quyosh fotoelektrik panellar va batareya energiyasini saqlash tizimi mavjud bo‘ladi. Quyosh fotoelektrik panellardan olingan energiya bevosita ishlatiladi yoki batareyalarda saqlanadi. Quyosh fotoelektrik panellar energiya ishlab chiqarmagan holatlarda, saqlangan energiya iste‘mol qilinadi.

Tizim tuzilmasiga qarab, Quyosh fotoelektrik panellar o‘zgaras tok (DC)da yoki invertor orqali o‘zgaruvchan tok (AC)da ishlaydi. Tarmoqqa ulangan tizimlar esa elektr tarmog‘i bilan sinxron holda ishlaydi va energiyani o‘zgaras tarmoqqa uzatadi. Bunday tizimlar kichik quvvatli maishiy qo‘llanmalar bo‘lishi mumkin yoki ma‘lum bir mintaqaning energiya ehtiyojini qondirishga mo‘ljallangan yirik elektr stansiyalari shaklida bo‘lishi mumkin.

Ushbu bobda namunaviy quyosh gibrid tizimi loyihasi ishlab chiqilgan. Quyosh fotoelektrik panel massivlari va invertordan foydalangan holda tarmoqqa ulangan tizim simulyatsiya qilingan. Quyosh fotoelektrik panellar

konvertor orqali DC shinaga ulangan. Quyosh fotoelektrik panellar maksimal quvvat nuqtasini kuzatuvchi (MQNK) texnikasi asosida "bezovta qilish va kuzatish" (perturb&observe) algoritmi yordamida boshqarilgan. Bu orqali Quyosh fotoelektrik panellardan maksimal quvvat uzatilib, tarmoq va yuklama tomon maksimal energiya uzatilishi ta'minlangan.

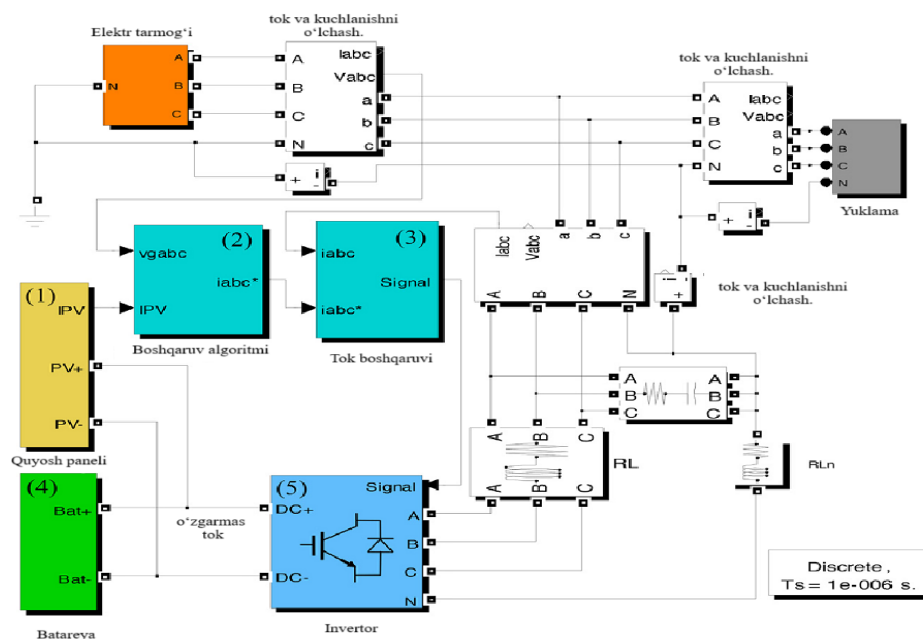
Invertor sifatida uch fazali, to'rt qo'lli invertor sxemasi ishlatilgan. Bu invertor strukturasidan foydalanish sababi — tizimda yuzaga kelishi mumkin bo'lgan nosimmetrik yuklamalarni ham quvvatlantirish imkoniyatini berishdir. Invertor tarmoq bilan sinxron ishlaydi va yuk bo'lmaganda Quyosh fotoelektrik panellardan ishlab chiqarilgan energiyani elektr tarmog'iga uzatadi.

Quyosh gibrid tizimining simulyatsiyasi. MATLAB/Simulink dasturida quyosh gibrid tizimi simulyatsiyasining blok diagrammasi 9.1.1-rasmda ko'rsatilgan. Ushbu simulyatsion tadqiqotda Quyosh fotoelektrik panel massivi, batareyalar guruhi va uch fazali elektr tarmog'i qo'llangan. Quyosh gibrid tizimini boshqarish usuli sifatida MQNK texnikasi va gisterezis tok nazoratchisi ishlatilgan.

Simulyatsiyadan foydalanishdan maqsad — fotoelektrik invertorni MQNK texnikasi yordamida maksimal quvvat nuqtasida ishlashini ta'minlashdir. MQNK usuli sifatida keng qo'llanilishi, arzonligi hamda ob-havo sharoitlaridagi o'zgarishlarga tez javob qaytarishi sababli perturbatsiya va kuzatish (P&O — Perturb & Observe) algoritmi tanlandi. Ushbu algoritm yordamida Quyosh fotoelektrik panellardan maksimal quvvat olish orqali tizim samaraliroq ishlaydi. P&O algoritmidan yaratilgan mos yozuv (mos yozuv signali) signal tokni boshqaruvchi qurilma (current controller) blokida qayta ishlanadi va bir pog'onali invertor uchun mos ishlash signallari ishlab chiqariladi.

Perturbatsiya- tizimni "biroz bezovta qiladigan", uni o'zgina o'zgartirib yuboradigan ta'sir.

Haqiqiy ob-havo sharoitlarini modellashtirish uchun tizim dinamik holat sharoitida sinovdan o'tkazildi. Shunday qilib, perturbatsiya va kuzatish algoritmining tizimdagi dinamik ta'siri kuzatildi. Simulyatsiya davomida tizimga 0.3 soniyada ob-havo o'zgarishi kiritildi. Bu orqali MQNK algoritmining javob berish vaqti hamda maksimal quvvat nuqtasini aniqlash tezligi aniqlandi.



9.1.1-rasm. Quyosh gibrid tizimining MATLAB/Simulink blok diagrammasi.

Quyosh fotoelektrik panel invertor tuzilmasi tarmoq bilan sinxron holda energiyani uzatadi. Invertor bir vaqtning o'zida yuklama guruhini quvvat bilan ta'minlaydi va ortiqcha energiyani tarmoqqa uzatadi. Quyosh gibrid tizimi neytral sim liniyasi tuzilmasi orqali muvozanatlangan (balanslangan) yuklamalarni ham, bir fazali va nomuvozanat (unbalanced) yuklamalarni ham ta'minlashi mumkin. Shu sharoitda tizimga ulangan balanslangan yuklama guruhi o'rniga nomuvozanat yuklama guruhi ulab, invertorning tok va kuchlanish qiymatlari tahlil qilindi.

Simulyatsiyada oltita ketma-ket va ikkita parallel tarzda ulangan Quyosh fotoelektrik panel tarmoqlari yaratildi va jami 12 ta Quyosh fotoelektrik panel modellashtirildi. Ushbu simulyatsiyada Quyosh fotoelektrik panel massivining tok, kuchlanish va quvvat qiymatlari olindi. Simulyatsiyada ishlatilgan tizim parametrlari 9.1.1-jadvalda keltirilgan.

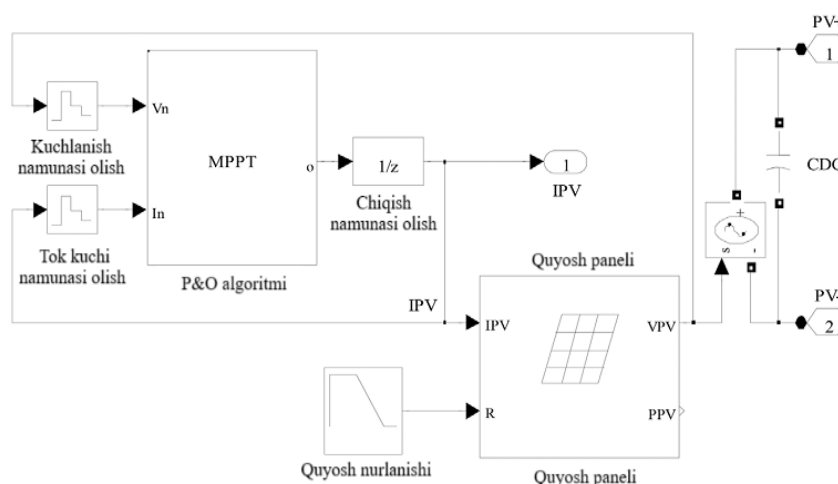
Jadval-9.1.1

Quyosh gibrid tizimi simulyatsiya parametrlari

Parametrlar		Qiymat
Quyosh panellari	Ochiq zanjir kuchlanishi (V_{oc})	500 V
	Qisqa tutashuv toki (I_{ph})	2.5 A
	MPPT kuchlanishi (V_m)	410 V
	MPPT toki (I_m)	2 A
Elektr tarmog'i	Kuchlanish (V_{gabc})	110 V_{rms} /Faza-nol kuchlanishi

	Chastota (f)	50 Hz
	Aktiv, induktivlik qarshilik (R_g, L_g)	5 m Ω , 2 mH
Batareya (Qo'rg'oshin-kislotali)	Kuchlanish	48 V
	Tok sig'imi	25 Ah
	Quvvat sig'imi	1200 Wh
Yuklama	Omik yuklama	Bir fazali/ Uch fazali

Quyosh fotoelektrik panellar massivi va Perturb & Observe boshqaruv algoritmi. Quyosh fotoelektrik panellari va MQNK usuli asosidagi perturbatsiya va kuzatish (P&O) boshqaruv algoritmi 9.1.2-rasm (1)-blokda joylashgan. Quyosh fotoelektrik panellari va MQNK algoritmining MATLAB/Simulink blok diagrammasi 9.1.3-rasm ko'rsatilgan.



9.1.2 - rasm Quyosh fotoelektrik panel va p&o algoritmi blok diagrammasi.

Perturbatsiya va kuzatish algoritmining dastur kodlari quyida keltirilgan:

P&O algoritmi uchun MPPT dastur kodi (MATLAB)

```
function o = MPPT_PO (vn,in)
```

```
persistent io;
```

```
persistent po;
```

```
persistent vo;
```

```
persistent iro;
```

```
persistent dsign;
```

```
if isempty(io)
```

```
io = 0;
```

```
po = 0;
```

```
vo = 0;
```

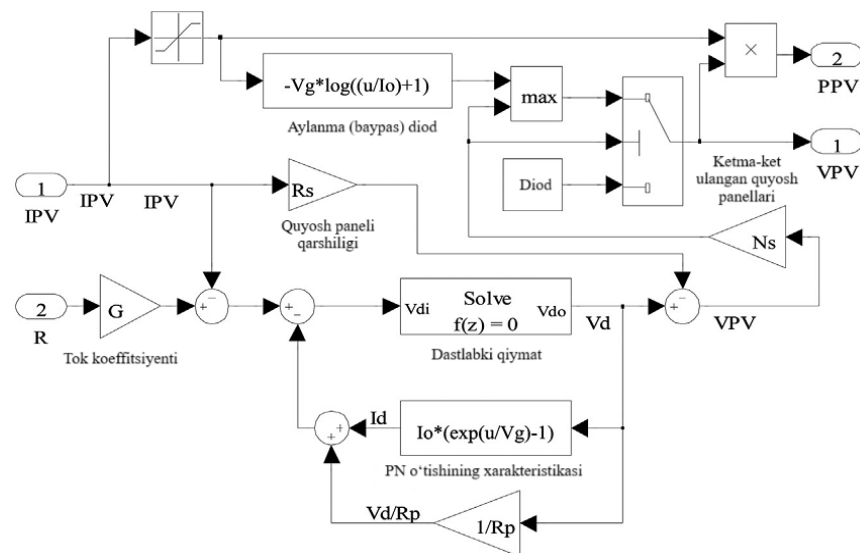
```
iro = 0.6;
```

```

dsign = 1;
end
delta = 0.02;
pn = vn*in;
    if pn >= po
        dsign = dsign;
    else
        dsign = 0-dsign;
    end
    end
    irn = iro + dsign*delta;
    vo = vn;
    io = in;
    po = pn;
    iro = irn;
    o = irn;
end

```

MQNK algoritmi kiritilgan quyosh nurlanishi qiymatiga ko‘ra Quyosh fotoelektrik panel quvvatini doimiy ravishda maksimal quvvat nuqtasida ushlab turadi.

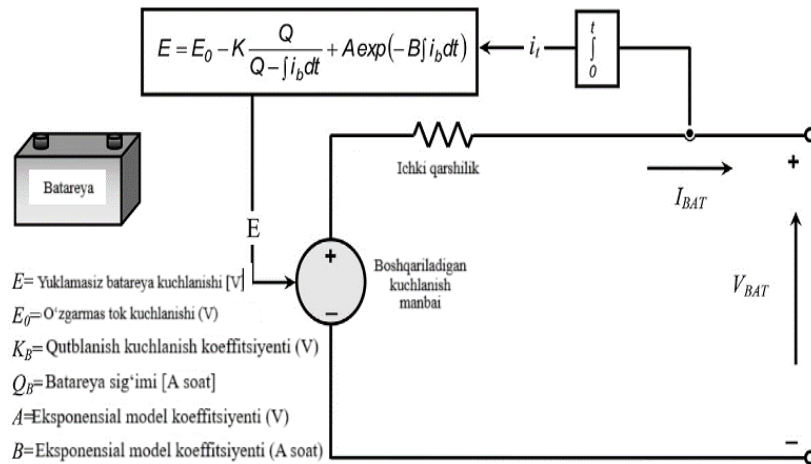


9.1.3 – rasm. Quyosh fotoelektrik panel blok sxemasi.

Perturbatsiya va kuzatish usuli ob-havo sharoitlariga bog‘liq holda o‘zgarib turadigan Quyosh fotoelektrik panel kuchlanishi yoki toki qiymatlarini kuzatib boradi va ishlash nuqtalarini o‘zgartiradi. Bu algoritm Quyosh fotoelektrik panel chiqish quvvatini oldingi quvvat qiymati bilan solishtirish asosida ishlaydi. Agar Quyosh fotoelektrik panelning ishlash kuchlanishi o‘zgarganda quvvat ortsa, boshqaruv tizimi panelni shu

yoʻnalishda ishlashga yoʻnaltiradi. Aks holda, ishlash nuqtasi qarama-qarshi yoʻnalishda siljiriladi. Kelgusi tsiklda algoritm shu tartibda davom etadi. Quyosh fotoelektrik panelga oid blok diagramma 9.1.4-rasmda keltirilgan.

Defleksiya usulida Quyosh fotoelektrik panel chiqish quvvati uzluksiz kuzatilib boriladi. Quvvat va boshqaruv oʻzgaruvchisi harakati oʻrtasida bogʻliqlik oʻrnatilib, mos yozuv (reference) qiymatini kamaytirish yoki oshirishga qaror qilinadi.



9.1.4 – rasm. Batareya tenglama sxemalari.

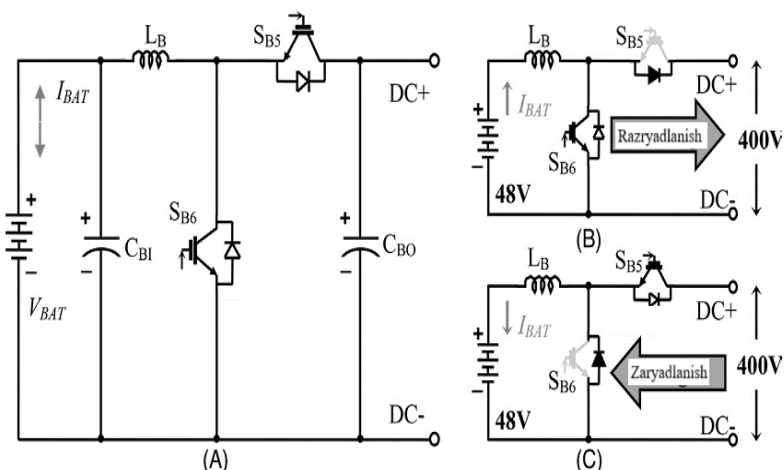
Simulyatsiyada Quyosh fotoelektrik panellar massivini yaratish uchun tizimning kirish va chiqish parametrlari aniqlangan boʻlishi kerak. Quyosh fotoelektrik panelning elektr modeli asosida olingan (9.1.1) tenglama yordamida panel massivi modellastirilgan. Ushbu modelda kirish parametrlari sifatida Quyosh fotoelektrik panellarning kirish toki va quyosh nurlanishi, chiqish parametrlari sifatida esa chiqish toki va quvvati qabul qilingan. Quyosh fotoelektrik panel chiqish toki boshqaruv blokida qayta ishlanadi va natijada oʻzgaruvchan signal (switching signal) hosil qilinadi.

$$I_{PV} = N_p I_{ph} - I_0 \left[e^{\left(\frac{q \left(\frac{V_d}{R_s} + \frac{I R_s}{R_p} \right)}{N_s K F T_{PV}} \right)} - 1 \right] - \frac{N_p V_d / N_s}{R_p} \quad (9.1.1)$$

Batareya modeli va ikki yoʻnalishli DC/DC konvertor modeli.

Batareya simulyatsiyasida MATLAB/Simulink kutubxonasidagi qoʻrgʻoshin-kislotali batareya modeli ishlatildi. Ushbu model batareyaning kuchlanishi, sigʻimi va batareya zaryad holati (SOC) parametrlarini simulyatsiya qiladi. Simulyatsiyada ishlatilgan batareya ekvivalent sxemasi 9.1.5-rasmda keltirilgan. Batareya guruhida ikki yoʻnalishli DC/DC oʻzgartirish qurilmasi ishlatiladi, bu esa 9.5 A rasmda koʻrsatilgan. Quyosh-gibrid tizimda DC

sjinaning kuchlanishi 400 V deb belgilangan. Batareya guruhining kuchlanishi 48 V bo'lib, bu DC shinadan pastroq. Faqat bük (buck) yoki kuchaytirish (boost) DC/DC o'zgartirgichni tizimda ishlatish mos emas. Shu maqsadda, batareyani zaryad qilish va discharge qilish imkonini beruvchi ikki yo'nalishli DC/DC o'zgartirgich ishlatiladi. Batareya guruhining kuchlanishini 400 V ga oshirish va energiyani DC shinaga uzatish ikki yo'nalishli DC/DC o'zgartirish qurilmasi tomonidan amalga oshiriladi.



9.1.5 – rasm. Ikki yo'nalishli DC/DC o'zgartirish qurilmasi tuzilishi.

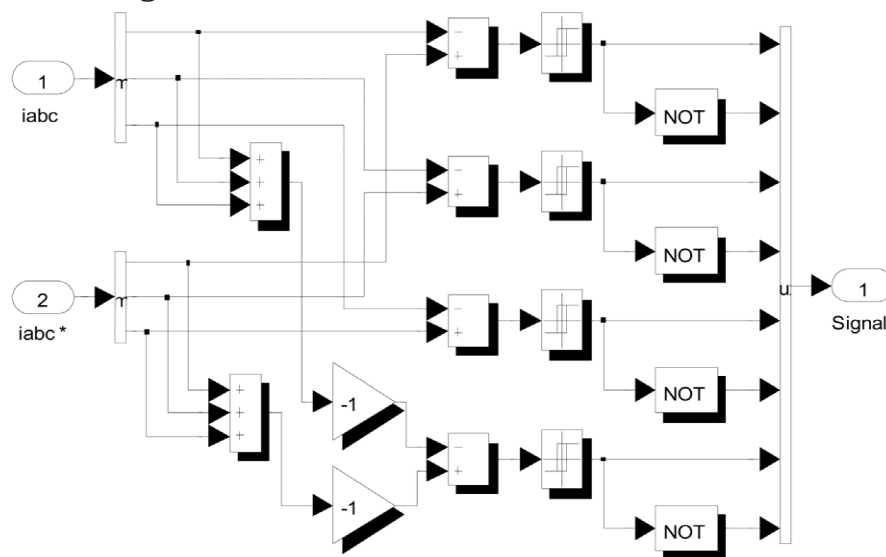
Bu holatda, SB5 o'chirish tugmasi passiv bo'lib, 9.5 B rasmda ko'rsatilganidek, SB6 tugmasiga impuls kenglik modulyatsiyasi (PWM) signali qo'llaniladi.

Shuningdek, bu quyosh tizimi tomonidan ishlab chiqarilgan ortiqcha energiya bilan batareya guruhini zaryad qilishni ta'minlaydi. Zaryadlash rejimida, sxema 400 V dan – 48 V ga kamayadi. Bu holatda, Rasm 9.5C da ko'rsatilganidek, SB6 o'chirilgan va PWM signali SB5 o'chirish tugmasiga qo'llaniladi. Ikki yo'nalishli DC/DC o'zgartirish qurilmasida, sim, ikkita yarim o'tkazgichli o'chirish elementlari va kondensatorlar ishlatiladi.

9.2. Histerezis diapazonli oqim boshqaruvchisi va faza bilan bog'lash sikli (PLL)

Histerezis diapazonli oqim boshqaruvchisi, nazorat blokida hisoblangan i_{abc}^* maqsad oqimini inverter chiqishidagi i_{abc} oqimi bilan taqqoslaydi. Taqqoslash natijasida inverterning o'chirish signallari ishlab chiqariladi. Oqim xatoligiga qarab, inverter oqimi histerezis boshqaruvchisi tomonidan belgilangan diapazonda saqlanishi kerak. Inverter o'chirish signallari histerezis diapazonli oqim boshqaruvchisi yordamida ishlab chiqarilgan blok diagramma

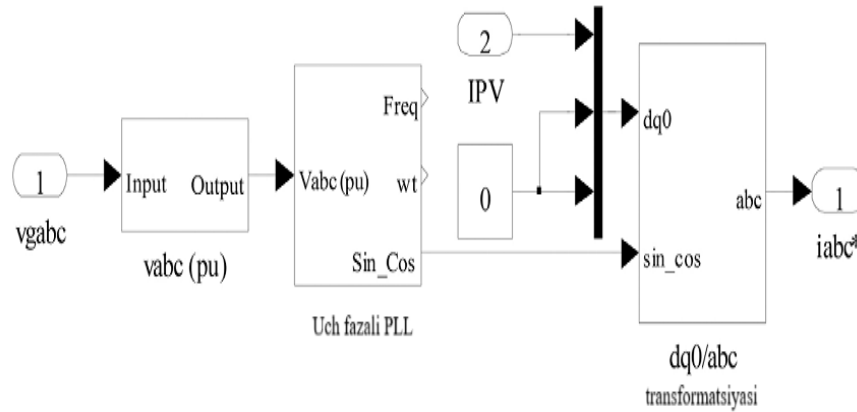
9.2.1-rasmda ko'rsatilgan.



9.2.1 – rasm. Histerezis diapazonli oqim boshqaruvchisi blok diagrammasi.

Tarmoqqa ulanadigan fotoelektrik quvvat tizimlaridagi muhim masalalardan biri tarmoqni sinxronlashtirishdir. Tarmoq kuchlanishi vektorining burchagi ishlatiladigan sinxronizatsiya algoritmi tomonidan aniqlanadi. Ushbu burchak qiymatiga qarab, inverterning o'chirish elementlari ishga tushiriladi va tizimda MPPT boshqaruvi amalga oshiriladi. Tarmoq kuchlanishi vektorining burchagi asosida, uch fazali o'zgaruvchilar sinxron tezlikda aylanuvchi o'q to'plamiga qisqaradi.

Faza bilan bog'lash sikli (PLL) toza sinusoidal oqim referensiyasini berish va inverterni birlik quvvat omili bilan ishlashini ta'minlash uchun ishlatiladi. PLL tarmoqning kuchlanishini va inverter chiqish oqimini sinxronlashtiradi. PLL tuzilmasining proporsional integral (PI) boshqaruv parametrlariga asoslanib, joylashish vaqtini va kamaytirish koeffitsientlarini to'g'ridan-to'g'ri aniqlash mumkin. PLL tuzilmasi, shuningdek, amplituda va tarmoq kuchlanishi chastotasini olish va tarmoq kuchlanishini kuzatish uchun ishlatiladi. Yaratuvchi burchak dq0/abc o'zgartirish (park o'zgartirish) da i_{abc}^* signalini ishlab chiqarishda juda muhim ahamiyatga ega. MQNni kuzatishdan kelayotgan fotoelektrik oqimi qiymatini qayta ishlaydigan park o'zgartirish va PLL boshqaruv bloki 9.2.2-rasmda ko'rsatilgan, shunda uch fazali inverter tarmoqqa sinxron ravishda energiya uzatishi mumkin.



9.2.2-rasm. PLL va Park transformatsiyasi (dq0/abc) blok-sxemasi.

Park o'zgartirish tizimi, uch fazali o'lchamlarni sinxron tezlikda aylanuvchi o'q to'plamiga (dq0) qisqartirish uchun ishlatiladi. Xuddi shu o'zgartirish, DC komponentli uch fazali o'lchamlarni olish uchun ham ishlatiladi. MQNK usulida hosil bo'lgan IPV qiymatini boshqaruv algoritmi blokida ishlatib, i_{abc}^* referens signallari inverterga oqim boshqaruvchisiga yuboriladi. Ushbu o'zgartirish yordamida aylanuvchi vektor doimiy qiymatga ega bo'ladi. D – o'q komponenti uch fazali kattaliklarning amplitudasiga teng, shuningdek, q – o'q komponenti muvozanatli tizimda nolga teng bo'ladi. Dq– o'q to'plami uch fazali tizimdagi o'zgaruvchilar bilan bir xil tezlikda aylanadi va PLL tomonidan hosil bo'lgan burchak konversiya uchun ishlatiladi. Natijaviy vektor, doimiy o'q to'plamiga nisbatan doimiy tezlikda harakatlanadi, shu bilan birga dq o'qi o'q to'plamiga nisbatan doimiy bo'lib qoladi. Shuning uchun dq-o'q to'plamidagi o'lchamlar DC bo'ladi. Uch fazali tizimdagi o'lchamlarni bevosita sinxron tezlikda aylanuvchi o'q to'plamiga qisqartirish kerak bo'lganda, tenglama (9.2.1) da berilgan **park** o'zgartirish ishlatiladi. D-o'qi IPV ya'ni fotoelektrik massiv panelining oqimi bo'lib, q-o'qi 0 ga teng.

$$\begin{bmatrix} I_{PVd} \\ I_{PVq} \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos\theta & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta - \frac{4\pi}{3}\right) \\ -\sin\theta & -\sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta - \frac{4\pi}{3}\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a^* \\ i_b^* \\ i_c^* \end{bmatrix} \quad (9.2.1)$$

9.3. Quyosh gibrid tizimining simulyatsiya natijalari

Tarmoqqa ulangan fotoelektrik tizimi ikki xil holatga ko'ra ishga tushirildi va quyidagi parametrlar tahlil qilindi: fotoelektrik toki, kuchlanishi, quvvati, tarmoq kuchlanishi, toki, inverter toki va yuklama toklarini.

Birinchi holatda, tizimda batareya energiyasini saqlash bloki mavjud emasligi ko'rib chiqildi.

Batareya guruhi bo'lmagan holatda, Quyosh fotoelektrik panellarining chiqish quvvati o'zgaruvchan bo'lgani sababli, yuklama quvvati ehtiyojini tarmoqdan qoplashga to'g'ri keladi. Fotoelektrik chiqish xarakteristikasi barqaror bo'lmagani sababli, yuklamaning tarmoqdan talab qilayotgan quvvati ham o'zgaruvchan bo'ladi.

Ikkinchi holatda, fotoelektrik quyosh tizimiga batareya energiyasini saqlash qurilmasi qo'shilganda, quvvat tebranishlari aynan ushbu energiya saqlash qurilmasi orqali qoplanadi.

Yuklama quvvatining o'zgaruvchan holatlarida, batareya energiya saqlash qurilmasi zaryadsizlanib, zaruriy quvvatni ta'minlaydi. Shu sababli, tarmoqdan talab qilinadigan quvvat tebranmaydi. Quyosh gibrid tizimlari orqali tarmoqdan yanada barqaror energiya talabi yuzaga keladi. Tarmoqdagi quvvat bosimlari energiya saqlash qurilmalari yordamida kompensatsiya qilinadi.

Boshqaruv strukturalarining simulyatsiya natijalari MATLAB/Simulink Power System Toolbox dasturiy ta'minoti yordamida olingan. Ushbu ikki xil holatga asoslanib, perturb & observe algoritmining javob berish vaqti va Quyosh fotoelektrik panellarini maksimal quvvat nuqtasida ishlatish imkoniyati aniqlangan.

Fotoelektrik inverter tuzilmasi bir xil quyosh nurlanishi sharoitida muvozanatli va nomuvozanatli yuklama guruhlarida ishlatilgan.

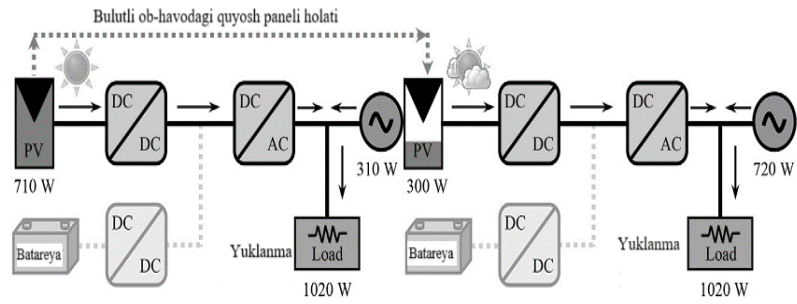
- Muvozanatli holatda, har bir fazada qarshilik 75 Om.
- Nomuvozanatli yuklama holatida, C fazada qarshilik 90 Om, A va B fazalarda esa 75 Om bo'lgan.

Quyosh tizimining (batareyasiz) va muvozanatli yuklama holatining quvvat oqimi diagrammasi 9.3.1-rasmda ko'rsatilgan.

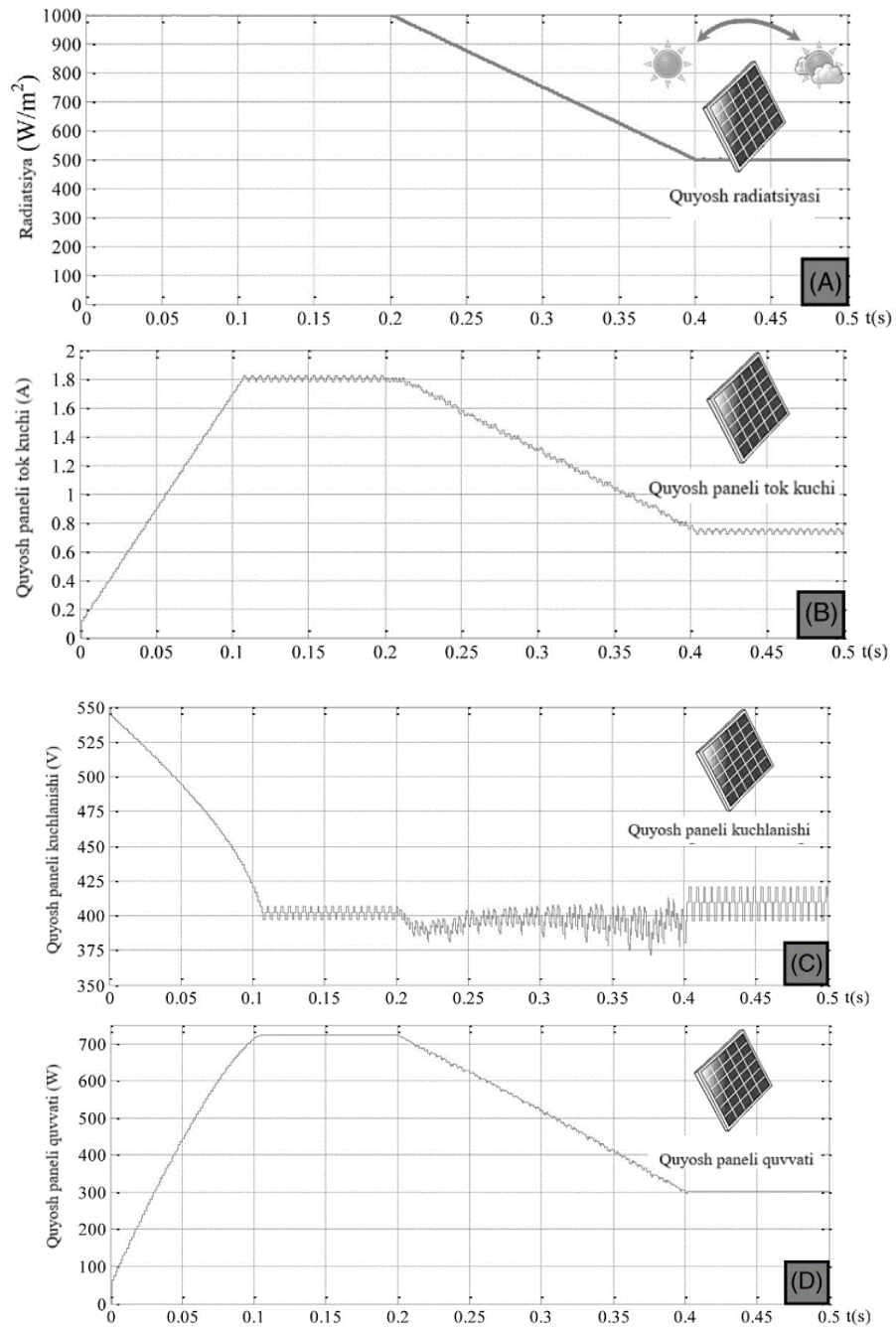
Simulyatsiya jami 0.5 soniya davomida ishlatilgan. Quyosh nurlanishi:

- 0.2 soniyagacha — 1000 W/m^2 ,
- 0.4 soniyagacha — 500 W/m^2 gacha kamayadi,
- 0.4–0.5 soniya oralig'ida — 500 W/m^2 da ishlaydi.

Bu nurlanish o'zgarishi atmosferadagi sharoitlarga bog'liq ravishda yuzaga kelishi mumkin.

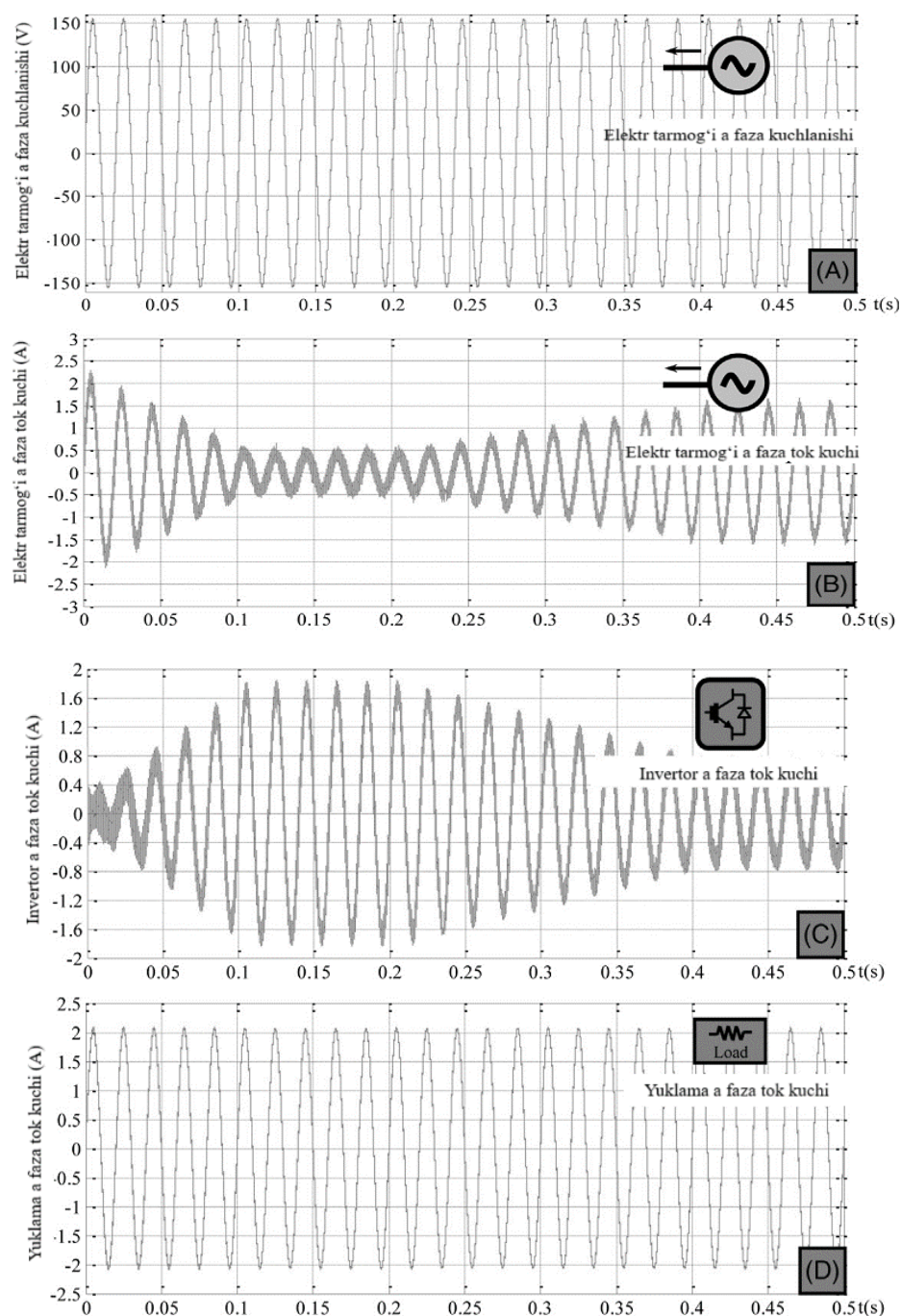


9.3.1-rasm. Batareyasiz quyosh tizimi va muvozanatli yuklama holati.



9.3.2-rasm. O'zgarish grafigi: (A) Quyosh nurlanishi, (B) Quyosh fotoelektrik panel toki, (C) Quyosh fotoelektrik panel kuchlanishi, (D) Quyosh fotoelektrik panel quvvati.

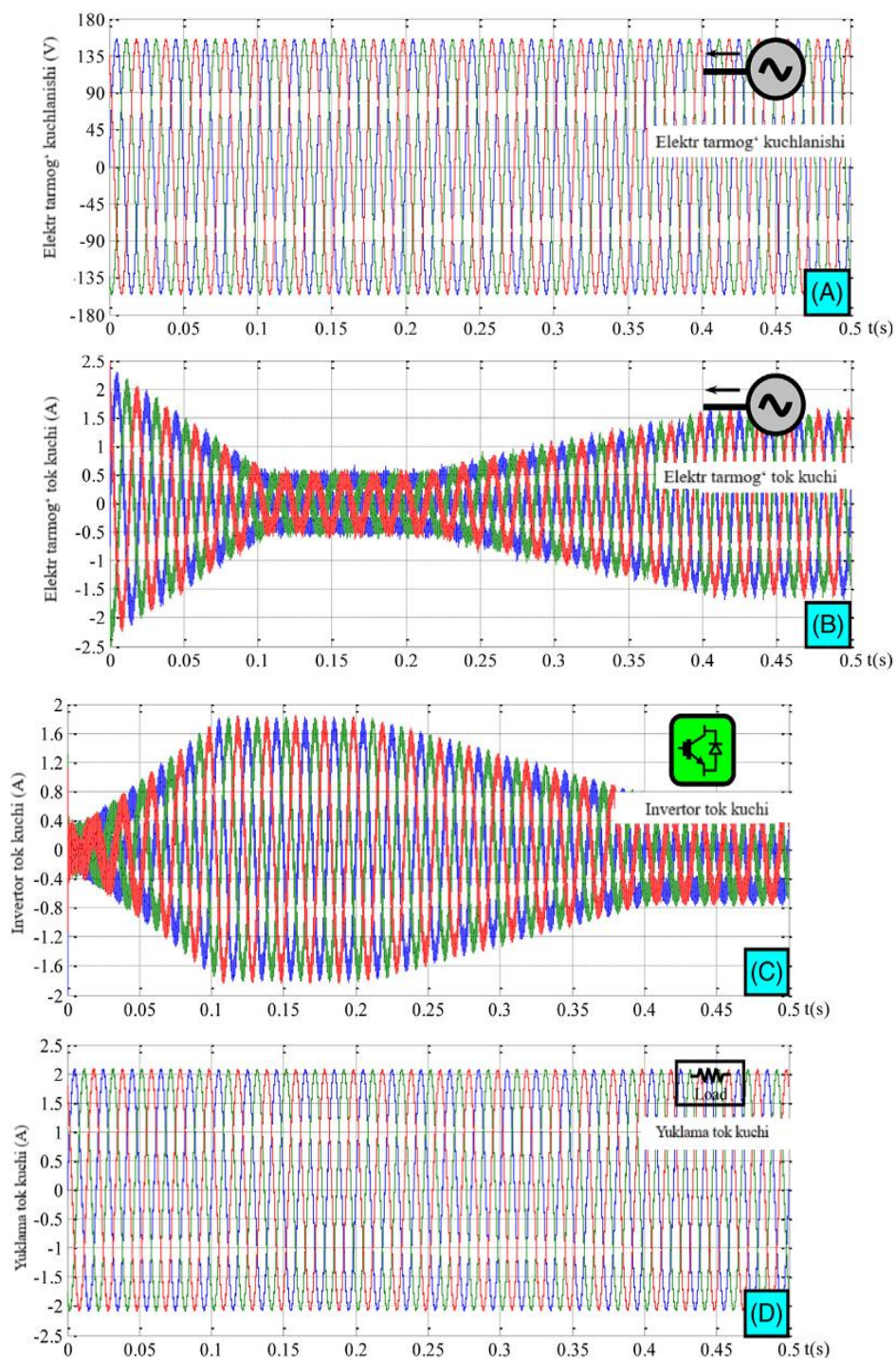
Maqsad – MQNK (Maksimal quvvat nuqtasini kuzatish) algoritmining tez javob berish vaqtini aniqlash va tizimning kutilmagan tezkor o'zgarishlarga qanday javob berishini tahlil qilishdir. Birinchi holatda tizimda faqat quyosh fotoelektr tizimi (fotoelektrik tizimi), elektr tarmog'i va yuklama guruhi mavjud. Ushbu holat uchun keng qamrovli simulyatsiya natijalari 9.3.2–9.3.4–rasmlarda va 9.3.1-jadvalda keltirilgan.



9.3.3-rasm. A-faza o'zgarish grafigi: (A) Tarmoq kuchlanishi, (B) Tarmoq toki, (C) Invertor toki, (D) Yuklama toki.

Muvozanatlangan yuklama holatida neytral tok nolga teng bo'lganligi

sababli, tarmoq va inverter neytral toki ham nol bo‘ladi. Muvozanatlanmagan yuklama holatida hosil bo‘ladigan neytral tok inverter orqali, Quyosh fotoelektrik panel quvvatiga qarab ta‘minlanadi. Tarmoqdan esa deyarli nolga yaqin neytral tok o‘tadi.



9.3.4-rasm. Uch fazali o‘zgarish grafigi: (A) Tarmoq kuchlanishlari, (B) Tarmoq toklari, (C) Invertor toklari, (D) Yuklama toklari.

Ushbu holatda quyosh nurlanish qiymati o‘zgaruvchan ob-havo sharoitlariga mos holda modellastirilgan. Tizim ishga tushirilgan zahoti,

MQNK algoritmi qisqa vaqt ichida — 0.1 soniyada maksimal quvvat nuqtasini topadi. Bu vaqt Quyosh fotoelektrik panel toki dastlab nol bo‘lganidan boshlab, maksimal quvvat nuqtasidagi qiymatga yetguncha grafikdagi egri chiziqqa chiqish vaqtidir.

Jadval - 9.3.1

Quyosh paneli tizimi uchun har xil vaqt oralig‘ida kuchlanish, tok va quvvat ko‘rsatkichlari (0.1–0.5 soniya oralig‘ida)

Parametrlar		0.1 soniya			0.2 soniya			0.3 soniya			0.4 soniya			0.5 soniya		
Nurlanish (W/m ²)		1000			1000			752.5			500			500		
Quyosh paneli tok kuchi (A)		1.69			1.80			1.31			0.74			0.74		
Quyosh paneli kuchlanishi (V)		420.3			402			400.3			409.7			409.7		
Quyosh paneli quvvati (W)		714.5			723.6			528.3			303.2			303.2		
Muvozanatli yuklama	Tar-moq toki(A)	0.28			0.18			0.53			0.91			0.91		
	Inver-tor toki (A)	1.18			1.28			0.93			0.55			0.55		
	Yuklama toki (A)	1.46			1.46			1.46			1.46			1.46		
Nomuvozanatli yuklama	Fazalar bo‘yi-cha	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	Tar-moq toki(A)	0.28			0.14			0.18			0.07			0.53		
	Inver-tor toki (A)	1.18	1.08	1.28	1.15	0.93	0.79	0.55	0.43	0.55	0.43	1.18	1.08	1.18	1.08	1.08
	Yuklama toki (A)	1.46	1.22	1.46	1.22	1.46	1.46	1.46	1.22	1.46	1.22	1.46	1.22	1.46	1.22	1.22

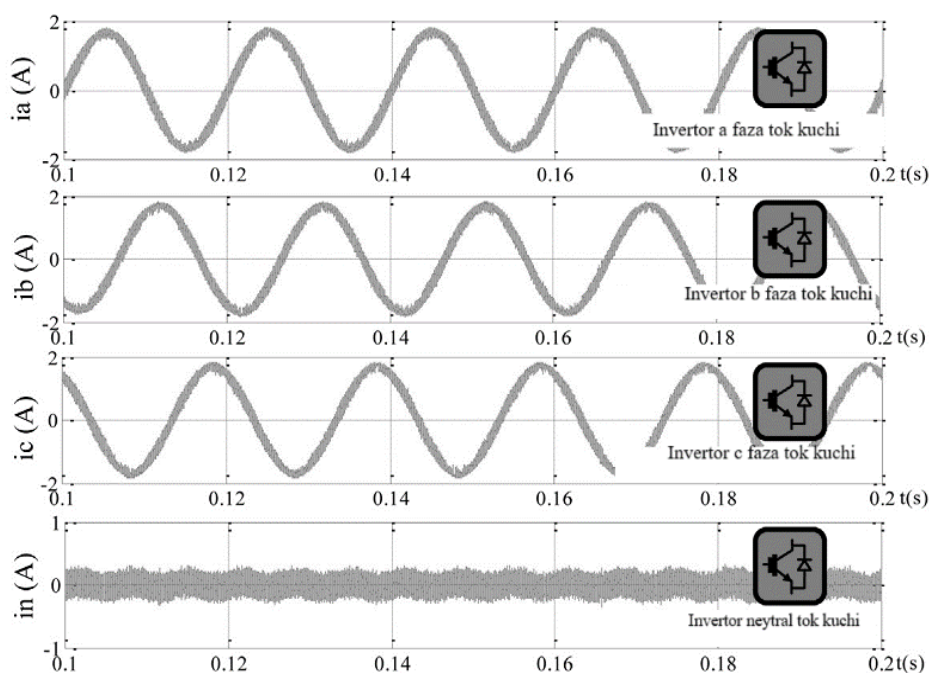
Ushbu davr kiritilgan nurlanish qiymatiga qarab o‘zgaradi. Tizimga muvozanatli ohmik yuklama (75 Ω, uch fazali) ulanganida, yuklama doimiy ravishda umumiy 1.46 A tok tortadi. Nurlanishdagi o‘zgarish tufayli inverter 0.1 soniya davomida tarmoqqa 1.18 A tok uzatadi. Inverter yuklama tortishi kerak bo‘lgan umumiy tokning bir qismini ta’minlaydi. Qolgan 0.28 A tok esa tarmoqdan olinadi va fotoelektrik tizimining tarmoqqa qo‘shgan hissasi

ko'rsatiladi.

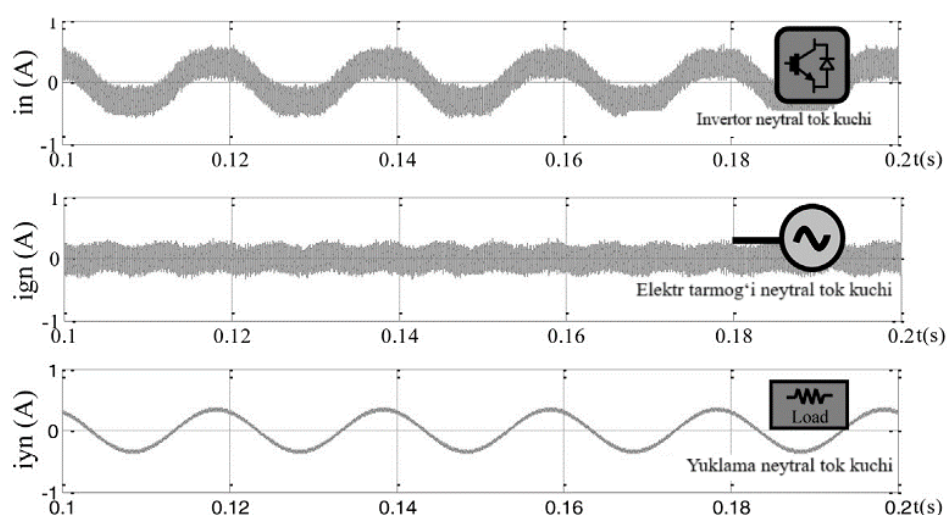
Agar tizimga nomuvozanatli ohmik yuklama (A va B fazalar 75Ω , C faza 90Ω) ulangan bo'lsa, C fazadagi yuklama 1.22 A tok tortadi. A va B fazalardagi yuklamalar esa 1.46 A tok tortadi. Quyosh fotoelektrik panel bir xil nurlanish sharoitida ishlagani sababli, A va B fazalar bo'yicha tarmoqqa bir xil tok qiymatini uzatadi. C fazadagi tok esa yuklamaga bog'liq holda o'zgaradi. 0.1 soniya davomida invertor tarmoqqa 1.18 A tok uzatadi. C fazadagi 1.22 A yuklama tokining 0.14 A qismi tarmoqdan olinadi. A va B fazalarda 1.46 A tok tortuvchi yuklamalar uchun 1.18 A invertordan, qolgan 0.28 A esa tarmoqdan olinadi.

Nomuvozanatli yuklamaga qarab invertor tarmoqqa turli toklar uzatmoqda va yuklama nomuvozanatli bo'lganda, bu nomuvozanat Quyosh fotoelektrik panel quvvatiga qarab invertor tomonidan qoplanadi. Muvozanatli yuklama holatida neytral tok nol bo'lgani uchun, invertor va tarmoqdagi neytral tok ham nolga teng bo'ladi. Nomuvozanatli yuklama holatida esa neytral chiziqdagi farq toki invertor tomonidan ta'minlanadi. Tarmoq neytral toki esa nolga yaqin bo'ladi. Invertor faza toklarining tafsilotlari 9.3.5 va 9.3.6-rasmlarda berilgan.

Quyosh tizimi uch fazali to'rt qo'lli invertor tuzilmasi orqali bir fazali va nomuvozanatli yuklamalarni qo'llab-quvvatlaydi. Nomuvozanatli yuklama birinchi nurlanish sharoitida tizimga ulanadi. Yuklama guruhida A fazada 280 Wt va B hamda C fazalarda 380 Wt quvvatga ega yuklamalar mavjud.

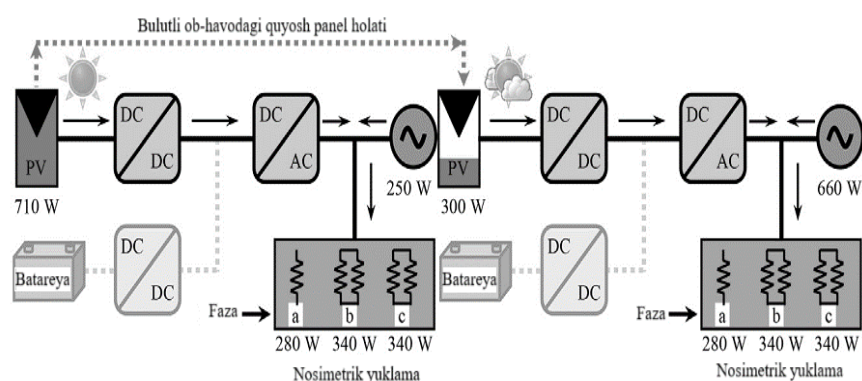


9.3.5-rasm. Invertorning A fazasi, B fazasi, C fazasi va neytral toklarining grafiklari.

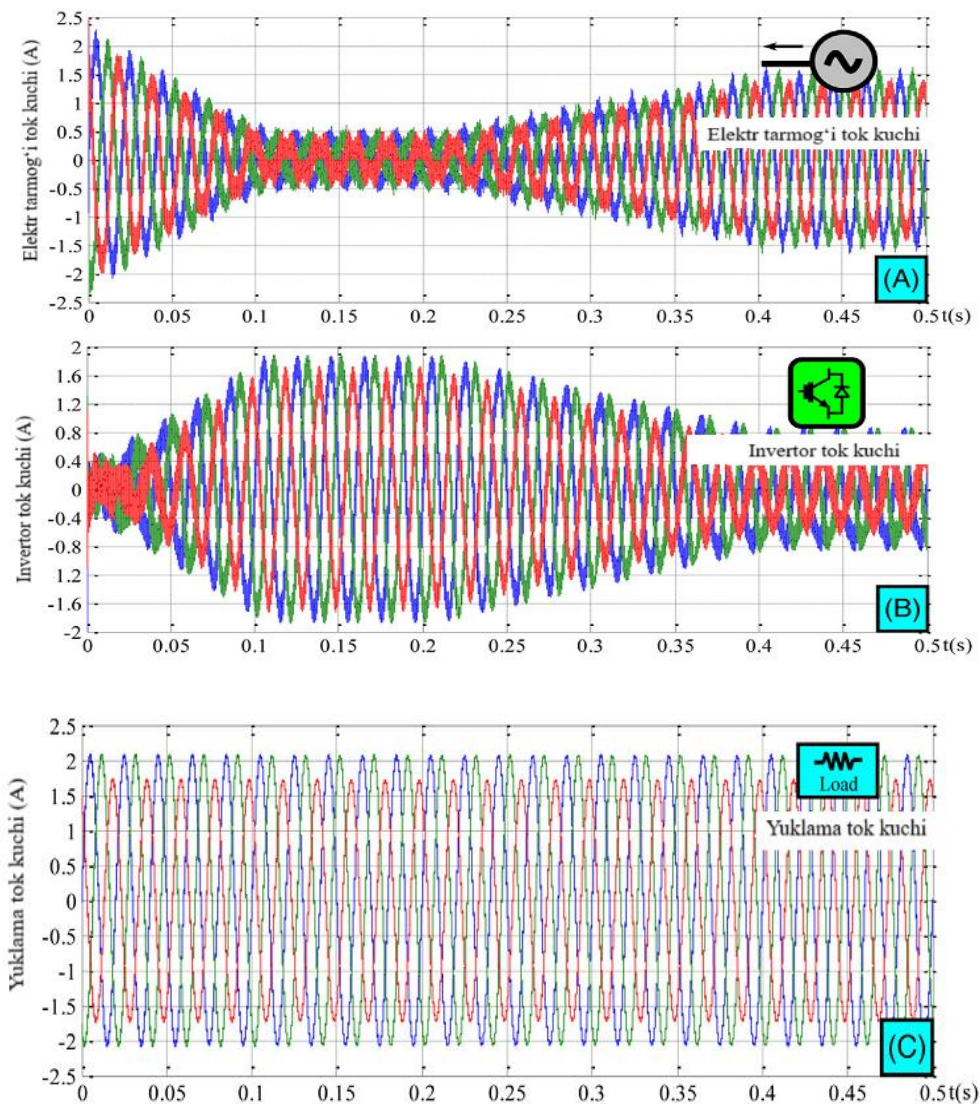


9.3.6-rasm. Invertor, tarmoq va yuklamaning neytral tok grafiklari.

Invertor tuzilmasi tufayli tarmoqdan doimiy ravishda muvozanatli yuklama talab qilinadi. Yuklama guruhidagi nomuvozanat esa invertor yordamida qoplanadi. Batareyasiz quyosh tizimi va nomuvozanatli yuklama holatidagi quvvat oqimi 9.3.7-rasmda keltirilgan. Dastlab Quyosh fotoelektrik panel 710 Vt ishlab chiqaradi. Yuklama guruhi umumiy 960 Vt nomuvozanatli quvvat talab qiladi. Bunday holatda, tarmoqdan yuklama guruhiga atigi 250 Vt quvvat talab qiladi. Havо bulutli bo‘lganida Quyosh fotoelektrik panel faqat 300 Vt ishlab chiqaradi. Yuklama tomonidan talab qilinadigan qolgan 660 Vt quvvat tarmoqdan olinadi.



9.3.7-rasm. Quyosh tizimi (akkumulyatorsiz) va nosimetrikyuklanish holati.

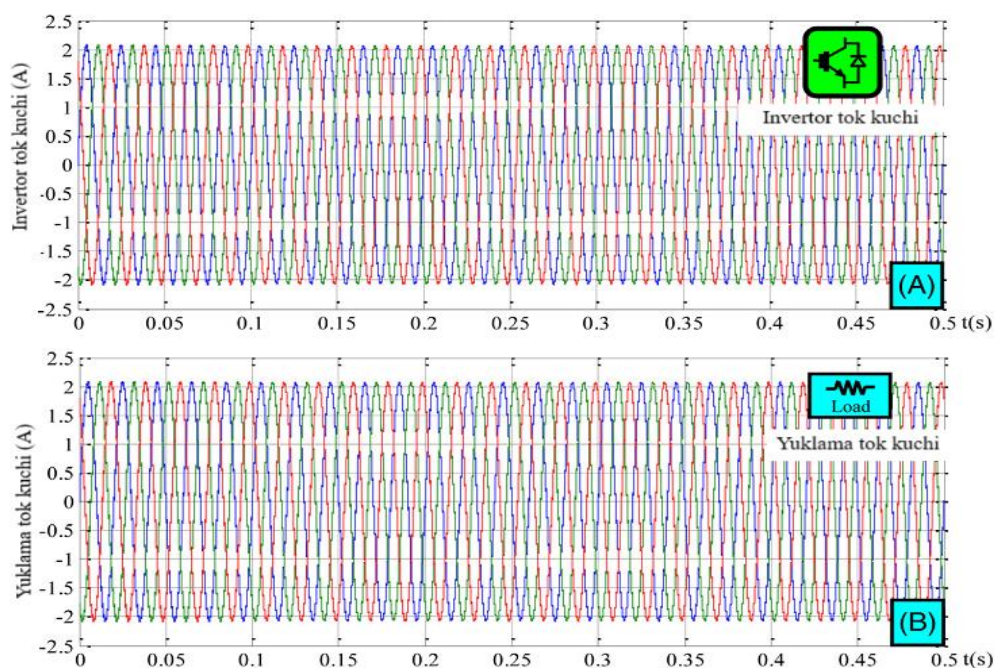


9.3.8-rasm. Nosimetrikyuklanish ostidagi uch fazali o'zgarish grafiklari. (A) Tarmoq toklari, (B) Invertor toklari, (C) Yuklama toklari.

Quyosh fotoelektrik panellari past quvvat ishlab chiqarganiga qaramay, invertor tuzilmasi orqali nomuvozanatli yuklama talabi invertor tomonidan qoplanadi. Nomuvozanatli yuklama sharoitida uch fazali o'zgarish, tarmoq toklari, invertor toklari va yuk toklarining grafiklari mos ravishda 9.3.8-rasmda batafsil keltirilgan.

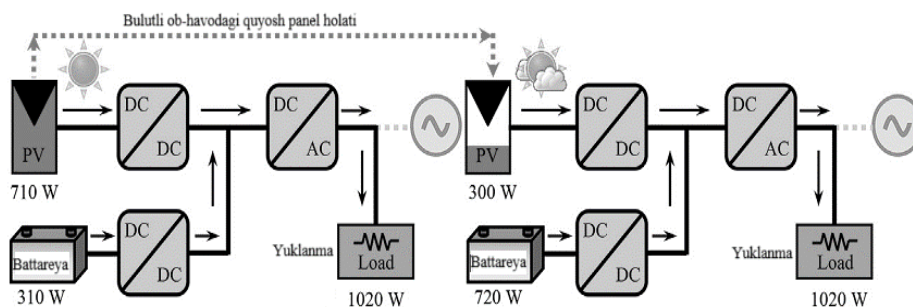
Quyosh fotoelektrik panellar tarmoqqa ulangan quyosh tizimiga batareya guruhi qo'shildi va natijalar tahlil qilindi. Quyosh fotoelektrik panellarga 48 V, 25 A, va 1200 Wt·soat quvvatga ega qo'rg'oshin-kislota batareya guruhi qo'shildi. Shu tariqa energiya saqlash tizimini o'z ichiga olgan quyosh gibridd tuzilmasi yaratildi. Oldingi sinovlardagi kabi, quyosh nurlanishidagi o'zgarishlar bir xil qiymatga ega. Ushbu sinov sharoitlarida batareya guruhi va fotoelektrik (quyosh) panellari o'rtasidagi o'zaro yordam grafik natijalar bilan

birga aniq ko'rsatilgan. Batareya energiya saqlash tizimi mavjud bo'lgan quyosh gibril tizimi va muvozanatli yuklama holatining quvvat oqimi diagrammasi 9.3.9-rasmda berilgan.

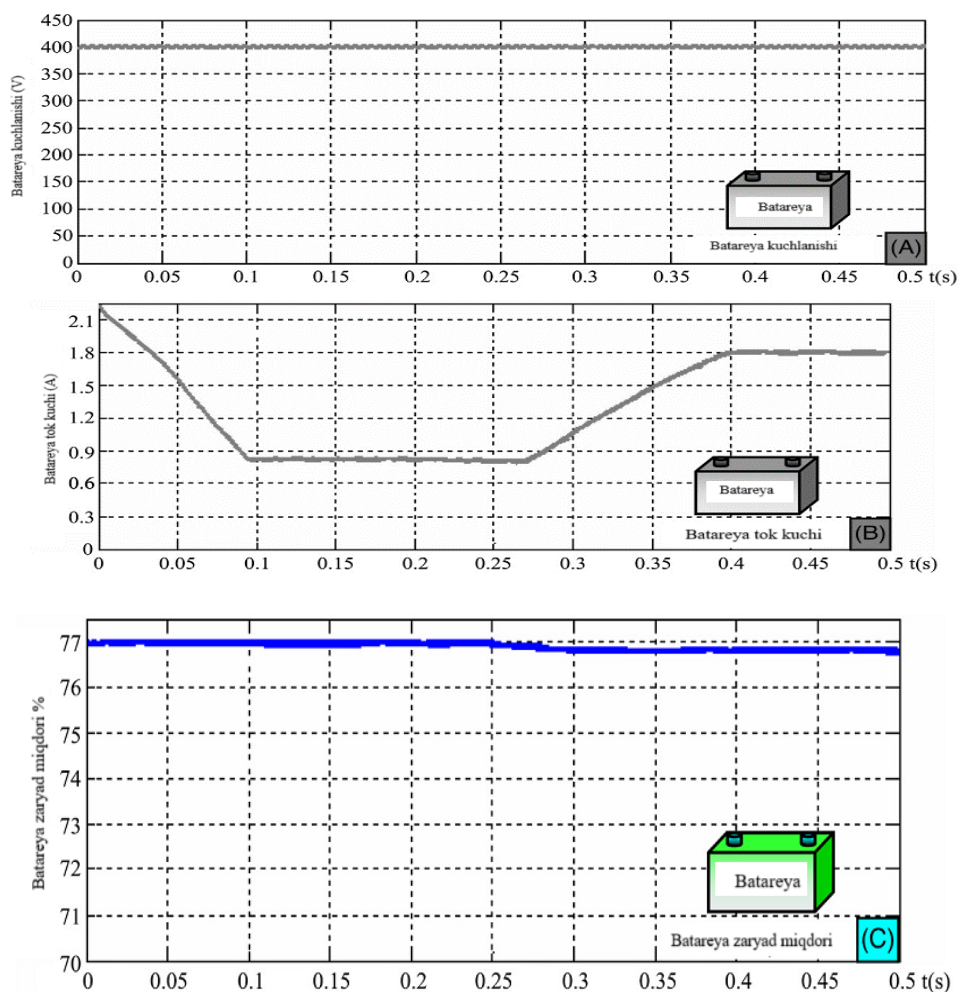


9.3.9-rasm. Uch fazali o'zgarish grafiklari. (A) Invertor toklari, (B) Yuklama toklari.

Bu holatda, Quyosh fotoelektrik paneli avval 710 Wt, so'ngra 300 Wt quvvat ishlab chiqaradi. Batareya guruhi ikki yo'nalishli DC/DC o'zgartirgich orqali DC magistralga ulanadi. DC magistral kuchlanishi va batareya guruhining chiqish kuchlanishi 400 V ni tashkil qiladi. Batareya guruhi tufayli quyosh tizimining DC magistraldagi kuchlanish va quvvat tebranishlari oldi olinadi. Quyosh panellari ishlab chiqargan quvvatga qarab, yuklamani uzluksiz ta'minlash uchun batareya guruhi turli tok qiymatlarida razryadlanadi. Yuqori quyosh nurlanishi holatida batareya guruhi 0.9 A tok bilan razryadlanadi. Yuklama guruhining quvvat talabi quyosh gibril tizimi orqali qoplanadi. Bu holatda tarmoqdan energiya talabi mavjud emas. Quyosh nurlanishi qiymati o'zgarganda, Quyosh fotoelektrik panellari 300 Wt quvvat ishlab chiqaradi. Invertor va yuklamaning uch fazali tok qiymatlari 9.3.9-rasmda ko'rsatilgan. Ushbu holatda tarmoqdan energiya talabi bo'lmagani sababli tarmoq faza toklari 0 ga teng. Yuk tomonidan talab qilingan barcha quvvat Quyosh fotoelektrik panel va batareya guruhi tomonidan ta'minlanadi.



9.3.10-rasm. Quyoshli gibridd tizimi (batareya bilan) va muvozanatlangan yuk holati.



9.3.11-rasm. O'zgarish grafiklari. (A) Batareya kuchlanishi, (B) batareya toki, (C) batareya zaryad darajasi (SOC).

Quyoshli gibridd tizim tuzilmasi tufayli batareya guruhi chiqish toki real vaqt rejimida o'zgaradi va 1.8 A tok bilan yuk quvvat talabini qoplaydi. Batareya zaryad darajasi (SOC) 77 % ni tashkil etadi va tok miqdoriga qarab vaqt o'tishi bilan tushadi. Batareya guruhining kuchlanish, tok va SOC qiymatlari mos ravishda 9.3.11-rasmida keltirilgan.

Quyoshli gibridd tizimlarning eng muhim afzalliklaridan biri – bu ob-havo

sharoitiga bog'liq o'zgaruvchan chiqish xususiyatlariga ega bo'lgan quyosh panellarini to'ldirish imkoniyatidir. Tizimdagi energiya saqlash qurilmasi orqali DC magistraldagi tebranishlar (ripple) oldi olinadi.

Batareya guruhi orqali sifatli energiya ta'minlanadi va energiya uzluksizligi saqlanadi. Quyoshli gibrid tizimlar energiyadan foydalanish nuqtayi nazaridan tarmoqqa iloji boricha kam yuk tushiradi. Aksincha, bunday tizimlar tarmoq tuzilmasini qo'llab-quvvatlaydi.

NAZORAT SAVOLLARI:

1. Fotoelektrik panellar qanday tok ishlab chiqaradi? 2. Quyosh fotoelektrik panel texnologiyasidan foydalanish topologiyasi nechi xil qo'llanilish sohasiga ega va ular qaysilar? 3. Quyosh gibrid tizimining simulyatsiyasidan foydalanishdan maqsad nima? 4. Qaysi usuldan foydalanib Quyosh fotoelektrik panel chiqish quvvati uzluksiz kuzatilib boriladi? 5. Perturbatsiya deganda nimani tushunasiz? 6. Muvozanatli yuklama holatida nima uchun inverter toki nolga teng bo'ladi? 7. Nima uchun tarmoqdan doimiy ravishda muvozanatli yuklama talab qilinadi? 8. Tarmoqqa ulanadigan fotoelektrik quvvat tizimlaridagi tarmoqni sinxronlashtirish nima uchun muhim xisoblanadi? 9. Ikki yo'nalishli DC/DC o'zgartirish qurilmasi qanday tuzilishga ega? 10. Quyosh fotoelektrik panel blok sxemasi qanday tuzilishga ega? 11. Batareya guruhining vazifasi nimadan iborat? 12. Batareya modeli va ikki yo'nalishli DC/DC konvertor modeli farqini tushuntirib bering.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YHATI

1. M. Sadi, A. Arabkoohsar, Modelling and analysis of a hybrid solar concentrating waste incineration power plant, *J. Cleaner Prod.* 216 (2019) 570–584, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2018.12.055.
2. A.J. Abdulhamed, N.M. Adam, M.Z.A. Ab-Kadir, A.A. Hairuddin, Review of solar parabolic trough collector geometrical and thermal analyses, performance, and applications, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 91 (2018) 822–831, doi: 10.1016/J.RSER.2018.04.085.
3. J.A. Ferraz de Andrade Santos, P. de Jong, C. Alves da Costa, E.A. Torres, Combining wind and solar energy sources: potential for hybrid power generation in Brazil, *Util. Policy* 67 (2020) 101084, doi: 10.1016/j.jup.2020.101084.
4. Wang, H. He, Y. Zhang, H. Mu, A comparative study on the applicability of ultracapacitor models for electric vehicles under different temperatures, *Appl. Energy* 196 (2017) 268–278, doi: 10.1016/J.APENERGY.2017.03.060.
5. D. Dirnberger, G. Blackburn, B. Müller, C. Reise, On the impact of solar spectral irradiance on the yield of different PV technologies, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 132 (2015) 431–442 <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2014.09.034>.
6. D. Waterworth, A. Armstrong, Southerly winds increase the electricity generated by solar photovoltaic systems, *Sol. Energy* 202 (2020) 123–135 <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.03.085>
7. H.J. Han, M.U. Mehmood, R. Ahmed, Y. Kim, S. Dutton, S.H. Lim, et al. An advanced lighting system combining solar and an artificial light source for constant illumination and energy saving in buildings, *Energy Build* 203 (2019) 109404 <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109404>.
8. C.A. Gueymard, A reevaluation of the solar constant based on a 42-year total solar irradiance time series and a reconciliation of spaceborne observations, *Sol. Energy* 168 (2018) 2–9 <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.04.001>.
9. www.ToshDTU.uz
10. www.smsiti.ilim.uz
11. www.ziyonet.uz

MUNDARIJA

	KIRISH	3
I-BOB	QUYOSH TIZIMINING XUSUSIYATLARI, ASOSIY AFZALLIKLARI VA KAMCHILIKLARI	5
1.1.	Quyosh energiyasi va fotoelektrik panellar	5
1.2.	Quyosh panellarining tuzilishi va ishlashi. Fotoelektrik panellarining ulanishi	8
1.3.	Quyosh panelining elektr modeli. Quyosh issiqlik energiyasi texnologiyalari	13
1.4.	Chiziqli va nuqtaviy konsentratorlash tizimlari	17
1.5.	Quyosh tizimlarining afzalliklari va kamchiliklari.	21
II-BOB	QAYTA TIKLANUVCHI ENERGIYA MANBALARINING KAMCHILIKLARINI BARTARAF ETISH	27
2.1.	Qayta tiklanuvchi energiya manbalarining kamchiliklari.	27
2.2.	Quyosh tizimlarida maksimal quvvat nuqtasini kuzatish usullari. Maksimal quvvat nuqtasini kuzatish va ishlash prinsipi.	29
2.3.	MQNK usullarini taqqoslash	40
III-BOB	QUYOSH GIBRID TIZIMLARI	46
3.1.	Quyosh gibrid energiya tizimlari. Passiv va aktiv quyosh energiyasi tizimlari.	46
3.2.	Konsentrlashtirilgan quyosh tizimi va fotoelektrik panellardan ishlab chiqarilgan energiya.	52
3.3.	Quyosh gibrid tizimlaridan foydalanish.	58
IV-BOB	GIBRID QAYTA TIKLANUVCHI ENERGIYA ISHLAB CHIQUVCHI TIZIMLARI	63

4.1.	Gibrid qayta tiklanuvchi energiya tizimlari.	63
4.2.	Gibrid tizim: Fotoelektrik panel, shamol va batareya.	68
4.3.	Gibrid qayta tiklanadigan energiya manbalari bilan og'irlikni muvozanatlash.	76
V-BOB	QUYOSH GIBRID TIZIMLARI VA ENERGIYA SAQLASH TIZIMLARI	81
5.1.	Quyosh gibrid tizimlarida qo'llaniladigan energiya saqlash tizimlari.	81
5.2.	Batareyalar, ularning turlar va ishlash jarayoni.	83
5.3.	Litiy-ion (Li-ion) batareyalari.	92
VI-BOB	QUYOSH ISSIQLIK TIZIMLARI VA ISSIQLIKNI SAQLASH TIZIMLARI	100
6.1.	Quyosh issiqlik tizimlari.	100
6.2.	Suyuqlik orqali issiqlik energiyasini saqlash tizimi.	106
6.3.	Yashirin issiqlik energiyasini saqlash tizimi	108
6.4.	Issiqlik energiya saqlash tizimlarining iqtisodiyoti, narxi	110
VII-BOB	GIBRID ENERGIYA SAQLASH VA INNOVATSION SAQLASH TEXNOLOGIYALARI	112
7.1.	Gibrid energiya saqlash tizimlari.	112
7.2.	Ultrakondensatorning EPR (ekvivalent parallel qarshilik) hisoblash tajribasi.	117
7.3.	Innovatsion energiya saqlash texnologiyalari	119
VIII-BOB	AQLLI ELEKTR TARMOQLARI UCHUN QUYOSHLI GIBRID TIZIMLAR	126
8.1.	Aqlli elektr tarmoqlari va quyoshli gibrid tizimlar.	126
8.2.	Mikroenergiya tarmog'i tuzilmalari	130
8.3.	Taqsimlangan energiya ishlab chiqarish tarmog'i tuzilmalari	135

8.4.	Aqlli elektr tarmoqlaridagi invertor tuzilmalari	139
8.5.	Uch fazali kuchlanish ta'minoti invertorlari	146
IX- BOB	QUYOSH GIBRID ILOVALARIDA ENERGIYA SAQLASH TIZIMLARINING ROLI VA AHAMIYATI	154
9.1.	9.1. Quyosh gibril tizimlarida energiya saqlash tizimlari.	154
9.2.	Histerezis diapazonli oqim boshqaruvchisi va faza bilan bog'lash sikli (PLL).	160
9.3.	Quyosh gibril tizimining simulyatsiya natijalari	162
	FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YHATI	174
	MUNDARIJA	175