

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ
ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ**

ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ

Қўлёзма ҳуқуқи асосида

УДК 620.97(075.8)

БОЙМИРОВ ШЕРЗОД ТУХТАЕВИЧ

ЁРИТИШ ФОТОЭЛЕКТРИК СИСТЕМАЛАРИ

5A140203 – Гелиофизика ва Қуёш энергияларидан фойдаланиш

Магистр
академик даражасини олиш учун ёзилган
диссертация

Илмий раҳбар:
ф.м-ф.н., доц. Насиров А.А.

Тошкент - 2014

МУНДАРИЖА

КИРИШ.....	3
I БОБ. ҚУЁШ ЭЛЕМЕНТЛАРИ ФИЗИКАСИ АСОСЛАРИ	
1.1 Қуёш энергиясини электр энергияга айлантиришнинг физик асослари.....	8
1.2 Қуёш элементларининг асосий параметрлари.....	20
1.3 Қуёш элементларининг қулланилиши.....	26
1.4 Қисқача хулосалар.....	30
II БОБ. ҚУЁШ ФОТОЭЛЕКТРИК СИСТЕМАЛАРИ	
2.1 Қуёш фотоэлектрик системалар турлари.....	31
2.2 Автоном фотоэлектрик системалар.....	35
2.3 Қисқача хулосалар.....	46
III БОБ. АВТОНОМ КАМ ҚУВВАТЛИ ФОТОЭЛЕКТРИК ЁРИТИШ ҚУРИЛМАСИ	
3.1 Фотоэлектрик ёритиш қурилмасининг тавсифи.....	47
3.2 Фотоэлектрик ёритиш қурилмасининг ишлаш принципи.....	49
3.3 Қисқача хулосалар.....	51
ХУЛОСАЛАР.....	52
АДАБИЁТЛАР РЎЙХАТИ.....	53
ЧОП ЭТИЛГАН ИЛМИЙ МАҚОЛАЛАР.....	55

КИРИШ

Муқобил энергия сўнгги пайтларда жаҳон иқтисодиётидаги асосий йўналишлардан бирига айланиб бормоқда. Юқори самарали қайта тикланадиган энергия манбаларини яратиш ва уларни жорий қилиш Ўзбекистон учун ҳам тобора муҳим аҳамият касб этмоқда. Ўзбекистон Республикаси Президенти Ислом Каримов ташаббуси билан мамлакатимизда Қуёш энергияси халқаро илмий-тадқиқот институтининг ташкил этилганлиги ҳам бунинг тасдиғидир. Ўзимиздаги мавжуд салоҳиятни инобатга олган ҳолда, яқин келажакда барча саъй-ҳаракатларимиз ўзининг салмоқли натижаларини кўрсатади.

Муқобил энергетика дунё миқёсида тобора устувор аҳамият касб этмоқда, – деб таъкидлади Арагон миллий лабораторияси (АҚШ) эксперти Сет Дарлинг. Бу, аввало, дунёда энергия истеъмолининг тўхтовсиз ортиб бораётгани билан боғлиқ. Ўз навбатида, муқобил энергия манбаларини қидириш, топиш ва улардан самарали фойдаланиш, шунингдек, бу борадаги тадқиқотларни молиялаштириш масалалари долзарб аҳамият касб этмоқда. Ўзбекистон билан ҳамкорлигимиз катта истиқболга эга эканига ишончимиз комил. Негаки, юртингизда бу соҳада катта салоҳият ва ресурслар захираси мавжуд. Мазкур тадбирнинг ўтказилиши Осиё тараққиёт банки Бошқарувчилар кенгашининг 2010-йил май ойида Тошкентда ўтган йиллик мажлисида илгари сурилган Осиё минтақасида қуёш энергетикасини ривожлантириш бўйича Осиё тараққиёт банки ташаббуси доирасида эълон қилинган эди. Осиё қуёш энергияси форумининг мазкур йиғилишида Осиё, Европа, Шимолий ва Жанубий Америка мамлакатларидан қарийб 300 нафар халқаро молия институтлари, компания ва корпоратсиялар, илмий-тадқиқот марказлари вакиллари, олимлар, соҳа мутахассислари ва экспертлар иштирок этмоқда.

Мамлакатимизда мустақилликнинг дастлабки кунларидан амалга оширилаётган кенг кўламли ислохотлар барқарор ривожланаётган бозор

иқтисодиётига асосланган демократик ҳуқуқий давлат барпо этишга қаратилган. Давлатимиз раҳбари томонидан ишлаб чиқилган ва бутун дунёда кенг эътироф этилган тараққиётнинг «Ўзбек модели» бу борадаги ишларда мустаҳкам асос бўлиб хизмат қилмоқда. Ушбу моделнинг асосий мақсади кучли миллий иқтисодиётни ташкил этиш, янги юқори технологияли корхона ва ишлаб чиқаришларни жадал ривожлантириш ҳисобидан унинг рақобатбардошлигини ошириш, тайёр маҳсулот ишлаб чиқариш учун ресурсларни тежаш имконини берадиган замонавий технология ҳамда услубларни жорий қилишдан иборат. Шу боис ёқилғи-энергетика комплексини ривожлантириш, жумладан, ресурсларни тежайдиган янги технологияларни жорий этиш ҳисобидан тараққий эттириш муҳим вазифалардан бири сифатида белгиланган.

Мамлакатимизнинг тўла энергетика мустақиллигига эришгани ҳам ушбу йўналишдаги ишлар юксак самаралар бераётганидан далолатдир. Осиё тараққиёт банки президенти Такехико Накао ўз нутқида Ўзбекистон Марказий Осиёда қуёш энергиясини ривожлантириш борасида етакчи мамлакат бўлиши учун зарур улкан ер ресурслари, қуёшли кунларга, юқори малакали ва билимли инсон ресурсларига эга эканини таъкидлади. Шу боис қуёш энергетикасини ривожлантириш бўйича лойиҳаларни амалга ошириш икки томонлама ҳамкорликнинг истиқболли йўналишларидан биридир. Истиқлол йилларида Ўзбекистонда муқобил энергия манбаларидан, айниқса, қуёш энергиясидан фойдаланиш борасида бой тажриба тўпланди. Серқуёш ўлкамизда йилнинг 320 кундан кўпроғида қуёш чарақлаб туради. Қуёш энергиясининг йиллик салоҳияти эса нефт эквивалентида 51 миллиард тоннадан ошади. Бу қуёш энергиясидан электр энергияси ишлаб чиқариш, иссиқ сув ва иситиш тизими билан таъминлаш, қудуқдан сув олиш ва уни чучуклаштириш, мева-сабзавотларни қуриштириш ҳамда бошқа кўплаб мақсадларда кенг қўламда фойдаланиш имконини беради.

Мамлакатимизда қуёш ва биогаз энергиясини ишлаб чиқариш ҳамда ундан фойдаланиш учун зарур кўп тармоқли илмий-тажриба ва моддий-

техник база самарали фаолият кўрсатмоқда. Ўзбекистон Республикаси Фанлар академиясида қуёш энергиясини ярим ўтказадиган фотоўзгартиргичларни ишлаб чиқиш ва уларнинг назарий асосларини яратиш, турли мақсадларга мўлжалланган биоэнергетика манбалари, қурама гелиотехник қурилмалар, мустақил таъминот манбаларини лойиҳалаштириш, юқори ҳароратли гелиоматериалшунослик соҳасида илмий мактаблар шакллантирилган.

Давлатимиз раҳбарининг 2012 -йил 1-мартда қабул қилинган “Муқобил энергия манбаларини янада ривожлантириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги 4512 – сонли фармонида[1] энергия тежайдиган тизимларни жорий этиш, муқобил энергия манбаларидан кенг фойдаланишга доир комплекс чора-тадбирларни ишлаб чиқиш ҳамда амалга ошириш кўзда тутилган. Ушбу ва бошқа дастурий ҳужжатлар энергия истеъмоли соҳасида юзага келаётган қатор масалаларни ҳал этиш, ноанъанавий энергетика ресурслари, жумладан, қуёш энергиясидан кенг кўламда фойдаланиш учун янги имкониятлар яратиш, қуёш панеллари учун тегишли ускуналар, бутловчи ва эҳтиёт қисмларни саноатлаштирилган ҳолда ишлаб чиқаришга хизмат қилмоқда. Бугунги кунда мамлакатимизда кўплаб гелиотизимлар ишлаб чиқарувчилар ва етказиб берувчилар фаолият кўрсатмоқда. “Физика-Қуёш” илмий-ишлаб чиқариш бирлашмаси, «Эко-энергия» илмий-тадбиқий маркази, “Мир Солар” масъулияти чекланган жамияти ва бошқалар шулар жумласидандир. Улар ишлаб чиқараётган маҳсулотлар иқтисодиётнинг турли тармоқларида қўлланилмоқда. Уй-жой коммунал хўжалигида қуёш энергияси элементларини жорий этишга ҳам катта эътибор берилмоқда. Чунончи, қишлоқ жойларда намунали лойиҳалар асосида барпо этилаётган айрим уйларда қуёш ва шамол энергиясида ишлайдиган гибрид тизимлар ўрнатилмоқда. Яқин келажакда мамлакатимизнинг бориш қийин бўлган туманларида жойлашган умумтаълим ва касб-ҳунар ўқув муассасаларини ҳам қуёш энергияси элементлари билан таъминлаш режалаштирилмоқда. 100 МВт қувватга эга қуёш фотоэлектр стансияси лойиҳаси билан танишиш

мақсадида Самарқанд вилоятига ташриф буюрган форум иштирокчилари ҳам бундай технологиялардан фойдаланиш яхши самара беришини қайд этди. Улар мамлакатимизда муқобил энергия манбаларини ривожлантириш соҳасидаги мавжуд имкониятлар ва олимларимизнинг бу борадаги энг сўнгги ютуқларини юксак баҳолади, Ўзбекистоннинг хорижий шериклар билан самарали ҳамкорлик қилаётганини таъкидлади. Корея Республикаси савдо, саноат ва энергетика вазирининг биринчи ўринбосари Хан Чжин Хён Корея Республикаси Ўзбекистонда Сургил кони базасида Устюрт газ-кимё комплексини қуриш ва “Навоий” эркин индустриал-иқтисодий зонасини ривожлантиришга оид муҳим инвеститсия лойиҳалари ва дастурларини амалга оширишда иштирок этаётганини таъкидлади. Мамлакатимиз муқобил энергия манбалари соҳасида катта салоҳиятга эга экани эътиборга олиниб, қуёш энергетикасини ривожлантириш, шу жумладан қуёш электр станцияларини бунёд этиш бўйича қўшма лойиҳаларни амалга ошириш учун барча имкониятлар мавжуд.

Тадқиқотнинг долзарблиги. Замонавий фан технологиялар ривожининг ҳозирги босқичи олим ва мутахассисларга инсониятнинг энергияга бўлган талабининг ортиб бораётган эҳтиёжларини қондириш учун мавжуд энергия манбаларининг самарадорлигини ошириш ҳамда муқобил энергиялар ҳиссасини кўпайтириш вазифасини қўймоқда. Шу жумладан, кичик ёритиш фотоэлектрик системалар (ФЭС) Ўзбекистон шароитида энергия манбаи сифатида халқ ҳўжалигига ва оддий инсонлар турмуши тарзида ҳам кенг қўлланилиши муҳим ўрин тутди.

Тадқиқотнинг мақсад ва вазифалари. Тадқиқот кичик кам қувватли ёритиш фотоэлектрик системаларнинг лаборатория макетини яратишдан иборат. Тадқиқот мақсадини амалга оширишда ҚЭ физикаси асосларини, ёритиш фотоэлектрик системаларни тузилишини, уларни марказий электр тармоқлар йўқ жойларда ишлатиш тартабини ўрганиш ва кичик қурилмасини яратиш лозим.

Тадқиқотнинг обекти ва предмети. Кичик кам қувватли ёритиш фотоэлектрик системалар (ФЭС) тадқиқот объекти сифатида олинди.

Тадқиқот услубияти ва услублари. “Кичик кам қувватли ёритиш фотоэлектрик системаси” услубий кўрсатма ва лаборатория қурилмасини яратиш.

Тадқиқот натижаларининг илмий жihatдан янгилик даражаси.

Махсус кичик кам қувватли ёритиш фотоэлектрик системаси яратилди.

Бошқа ФЭСлардан сифати, компактлиги, қулайлиги ва қўлланилиш соҳалар кенглиги билан ажралиб туради.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти ва татбиқи. Кичик ёритиш фотоэлектрик системасини қуёш энергиясидан фойдаланган ҳолда марказий электр тармоқлар йўқ жойларда ишлатиш мумкин. Уни лаборатория иши ва кўргазма стенд сифатида ишлатиш ҳам мумкин.

Тадқиқотнинг тузилиши ва таркиби. Магистрлик диссертацияси кириш, 3-боб, хулоса ва фойдаланилган адабиётлар рўйхатидан ташкил топган.

Бажарилган ишнинг асосий натижалари. Ишнинг натижалари Республика, университет миқёсидаги тўпламларда ўз ифодасини топган.

Хулоса ва таклифларнинг қисқача умумлашган ифодаси. Ўзига хос кичик ёритиш фотоэлектрик системаси яратилди. Ушбу каби қуёш энергиясидан фойдаланиб ишлаётган қатор кичик қурилмалар яратиш лозим. Кейинги қадамда эса янада қуёш элементлар ва батареяларнинг қўлланиш соҳаларни кенгайтириш муҳим аҳамиятга эга.

I БОБ. ҚУЁШ ЭЛЕМЕНТЛАРИ ФИЗИКАСИ АСОСЛАРИ

1.1 Қуёш энергиясини электр энергияга айлантиришнинг физик асослари

Қуёшни гигант термоядро реакторига қиёслаш мумкин. У мутлақ қора қаттик жисмга ўхшаб 6000°C ҳароратда энергиясини нурлантиради. Бу нурланишнинг манбаи термоядро реакциясидир. Ҳар сонияда тақрибан $6 \cdot 10^{11}$ кг водород Қуёш қаърида гелийга айланади. Натижада массалар дефекти $4 \cdot 10^3$ кг тенг бўлиб, $E=mc^2$ тенгламага асосан ажралиб чиқаётган энергия $4 \cdot 10^{20}$ жоулга тенгдир. Ажралиб чиқаётган энергия асосан электромагнит тўлқинлар кўринишида бўлиб нурланишнинг асосий қисми $0,2\text{--}3$ мкм ораликдадир. Қуёшнинг тўлиқ массаси ҳозирги кунда тақрибан $2 \cdot 10^{30}$ кг бўлиб, у узлуксиз 10 млрд. йил давомида туриши мумкин [2].

Ер Қуёш атрофида эллиптик орбитада ҳаракатланади. Қуёшнинг диаметри тақрибан $1,39 \cdot 10^9$ метрга тенг. Бир астрономик бирликка тенг масофадаги ($1 \text{ а.б.} = 1,496 \cdot 10^{11}$ м, тақрибан 150 млн. км) қуёш нурларига перпендикуляр жойлашган юзадаги энергетик ёритилганлик, Қуёш доимийлиги (қ.д.) дейилади. Қуёш доимийси катталиги 1353 Вт/м^2 га тенг. Йил давомида Ер-Қуёш орасидаги масофа ўзгариши қ.д.ни $0,34$ гача ўзгаришига олиб келиши мумкин.

Биз Ер сирти албедоси ҳақида ҳам қисқача маълумот бериб ўтамиз. Унинг сиртини ўраб турувчи атроф муҳитдан қайтган нурланиш оқимининг, унга тушаётган оқимнинг нисбатига айтилади. Сиртдан диффуз қайтиш учун ҳисобланган Ер албедосининг ўртача қиймати $0,34$ га тенг [3].

Ер атмосфера массаси 1 га тенг деб олинса, қайтган нурнинг спектри Ер сиртидаги Қуёш нурланиши спектрига айнан ўхшаш деб ҳисобланади. Ер атмосфераси ўзининг оптик хусусиятларига асосан селектив ёруғлик филтри бўлиб, коинотдан келаётган қуёш нурланишини ўзгартиради. Агар нурланиш оқими атмосферадан ўтиб Ер сиртига тик тушса, у ҳолда

нурланиш босиб ўтган оптик масофа бир атмосфера массасига тенг деб ҳисобланади ва AM_1 билан белгиланади. Қия тушаётган нурларнинг оптик масофаси узунлигини уларнинг AM_1 оптик масофа катталигига қийслаб аниқлаш мумкин. Агар нурланиш оқими атмосфера таъсирида ўзгармаса, унинг оптик атмосфера массаси нолга тенг бўлиб, у AM_0 деб белгиланади[3]. Тўғридан - тўғри тушаётган Қуёш нурланиши оқимининг денгиз сатҳида қок туш пайтида очик ҳавода Ер сиртидаги энергетик ёритилганлиги ≈ 100 мВт/см² тенг деб ҳисобланади.

Инсоляция деб, маълум географик ҳудудда Ер сиртига тушаётган Қуёш нурланишининг миқдори айтилади. Инсоляция, Ер-Қуёш тизимида масофанинг мавсумий тебранишларига, географик кенгликка, ҳудуднинг муҳитига ва атмосфера массасига боғлиқдир. Инсоляцияни одатда қуёш нурланишининг кунлик, ойлик, йиллик ўртача миқдори билан кўрсатилади. Қуёшдан тушаётган ёруғлик яримўтказгичга тушганда унинг хусусиятларининг ўзгаришини кузатамиз[3-4]. Бу яримўтказгичлар ўзи қандай моддалар?

Агар модданинг валент соҳаси тўлалигича эгалланмаган бўлсаю, аммо ўтказувчанлик соҳасигача бўлган энергетик масофа нисбатан кичик (2 эВ дан камроқ) бўлса, бундай моддалар **яримўтказгич** дейилади. Яримўтказгич хусусиятлари хусусан электр ўтказувчанлиги ташқи муҳитга, айниқса ҳароратга боғлиқ бўлади. Ҳарорат (T) нинг ортиши электронлар миқдорининг валент ва ўтказувчанлик соҳа орасида жойлашган ман қилинган соҳадан (E_g) ўтиб ўтказувчанлик соҳасига ўтишда ток ташувчиларнинг экспоненциал равишда кўпайишига ва электр ўтказувчанликнинг (σ)

$$\sigma = A \exp(-E_g/2kT) \quad (1)$$

тенгламага асосан ўзгаришига олиб келади. Бу ерда k — Болцман доимийлиги, A – моддани характерловчи ўзгармас катталик[3-4].

Металларнинг электр ўтказувчанлиги эркин электронлар концентратцияси ўзгармас бўлганлиги туфайли электронлар

ҳаракатчанлигининг ҳароратга боғлиқлиги билан аниқланади ва ҳароратнинг ортиши билан аста-секин камаяди. Юқоридаги тенгламани логарифлаб қуйидаги ҳолда ифода этамиз.

$$\ln \sigma = \ln A - E/2kT \quad (2)$$

Бу тенгламани ярим логарифмик координаталарда график равишда кўрсатиш мумкин ва ҳосил бўлган тўғри чизик ва унинг ϕ бурчакли тангенсини яримўтказгич материалларнинг асосий параметри бўлган, ман қилинган соҳа кенглиги бўлган $E_g = 2kT\phi$ ни аниқлайди. Таъкидлаш лозимки, қия тўғри чизик, яъни электр ўтказувчанликнинг логарифми $1/T$ дан ўзгариши фақат тоза киришмалардан ҳоли, хусусий ўтказувчанликка эга бўлган материаллар учунгина шундай кўринишга эга[3-4].

Киришмали ярим ўтказгичларда $\ln G$ нинг $1/T$ дан боғланиши мураккаб бўлиб, у иккита қия тўғри чизикдан иборат бўлиши мумкин ва бир-бири билан горизонтал қисм орқали туташган бўлади. Паст ҳароратли шароитда ўлчаш натижасида олинган $\ln \sigma = \ln A - E/2kT$ тенгламадан ҳосил қилинган қия тўғри чизик тангенсини ёрдамида киришмаларнинг ман қилинган соҳада жойлашган энергетик сатҳлари ҳолатини аниқлаш мумкин. Юқори ҳароратли шароитда олинган ҳолларда эса яримўтказгич матириалнинг ман қилинган соҳаси катталигини, яъни E_g ни аниқлаш мумкин[3,4-6].

ҚЭ тайёрлашда Қуёш нурланишининг яримўтказгич материал билан ўзаро таъсири, фотонлар энергияси материалдаги электронларда ютилиши ва чиқиши жараёнлари муҳим аҳамиятга эгадир.

Квант механикасида элементар заррачалар, шу жумладан электронлар ҳам тўлқин хоссаларига ҳам эга деб қаралади. Шунинг учун элементар заррачалар ҳаракатини ўрганишда энергия (E) ва импульс (P) билан бир қаторда, уларнинг тўлқин узунликлари λ ва такрорланувчанлиги ν ва тўлқин вектори $K=P/h$, (h - Планк доимийлиги) ҳам ишлатилади. Бу ерда $E=h \nu$ ва $P=h/\lambda$ га тенг[5-6].

Кристаллнинг соҳали тузилмасини $E-K$ диаграммалар билан тасвирлаш мумкин. Бу ерда энергия электрон-вольтларда (эВ) тўлқин вектори K – кристалли панжара доимийлиги қисмларида кўрсатилади, шу билан бирга K ўқида кўрсаткичлар ёрдамида кристалл ориентациясининг йўналиши кўрсатилади. $E-K$ диаграммасининг кўриниши воситасида соҳалараро ўтишларнинг яримўтказгич материалдаги характери ва жумладан ўтишнинг «тўғри» ёки «тўғримас»лигини аниқлаш мумкин[6].

Оптик ютилишни ўлчашдан аниқланган E_g нинг катталиги, кўпинча яримўтказгич материалдаги эркин заряд ташувчиларнинг концентрациясига, ҳароратга ва киришмалар энергетик сатҳларининг ман қилинган соҳада мавжудлигига боғлиқ бўлади. Агар ўтказувчанлик соҳаси тубидаги ва валент соҳаси устидаги ҳолатлар заряд ташувчилар билан тўлдирилган бўлса, у ҳолда оптик ўлчашлар натижаси киришмали яримўтказгичли материаллар учун E_g соф хусусий материалга тегишли қийматидан каттароқ бўлиши мумкин. Агар киришмалар ҳосил қилган соҳа энг яқин рухсат этилган соҳа чегараси билан бирлашиб кетса, масалан, кўп миқдордаги киришмалар киритилганда кузатиладиган ҳолат, у ҳолда E_g камаяди. E_g нинг бундай камайиши асосий ютилиш чегарасига таъсир қилади[7-8].

Яримўтказгич материалда ютилиш коэффициенти α одатда тўлқин энергиясининг $1/\alpha$ масофада e маротаба камайиши орқали аниқланади ва у $N=N_0 \exp(-\alpha\ell)$ дан топилади, бу ерда N – яримўтказгич материалда ℓ чуқурликка кирган фотонлар оқимининг зичлиги, N_0 – материал сиртини кесиб ўтувчи фотонлар оқимининг зичлиги.

Фотоэлектрик эффектга асосланган яримўтказгич материалларда $p-n$ ўтишли тузилмалардан иборат ҚЭ да, уларга тушаётган Қуёш нури бевосита электр энергиясига айлантиради. Шунинг учун, ҚЭ фотоқабуллагич ва фотоқаршиликлардан фарқли равишда ташқи кучланиш манбаига муҳтож эмас[9]. Бу эффект юз йилдан ортиқ вақт давомида селен ва мис оксидининг фотоэлектрик хусусиятлари сифатида ўрганиб келинган, аммо уларнинг фойдали иш коэффициентлари (Ф.И.К.) 0,5 % ошмаган[8].

Бу муаммонинг нисбатан фаол эчилиши яримўтказгич материаллар электрон тузилишининг соҳа назарияси яратилганидан кейин, материалларни киришмалардан тозалаш ва назоратли киришмалар киритиш технологияси, ҳамда p-n ўтишнинг назарияси яратилиши билан боғлиқдир.

Сўнгги 35 йил давомида энергия манбаи сифатида юқори самарали Si, GaAs, InP, CdTe ва уларнинг қаттиқ қотишмалари асосида ФИК 20-24 % бўлган ҚЭ яратилди. Каскадли ҚЭ ларда эса ФИК 30% гача этказилди[3-4].

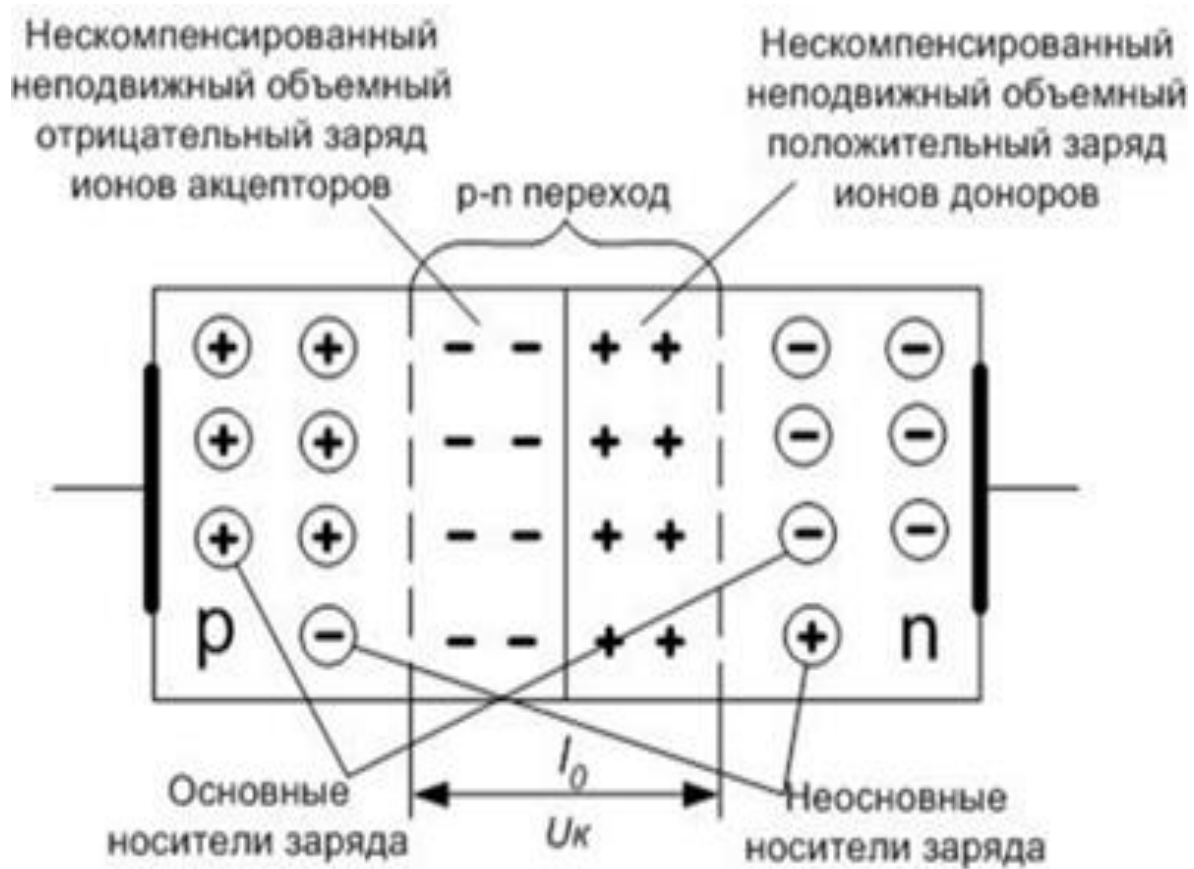
Кенг тарқалган кремний асосидаги ҚЭ лари конструкцияси карама-карши типдаги p- ва n-материалнинг бир-бирига яқин туташтиришдан ҳосил қилинади. Яримўтказгич материал ичидаги p- ва n-тип материаллар орасидаги ўтиш соҳаси (чегара ҳудуди) электрон-тешик ёки p-n ўтиш дейилади. Термодинамик мувозанат ҳолида электрон ва тешиклар мувозанат ҳолатини белгиловчи Ферми сатҳи материалда бир хил ҳолда бўлиши керак. Бу шарт p-n ўтиш ҳудудида иккиланган зарядли қатлам ҳосил қилади ва уни ҳажмий заряд қатлами дейилиб, унга таалуқли электростатик потенциал пайдо бўлади[10].

P-n тизилма сиртига тушган оптик нурланиш сиртдан материал ичига қараб p-n ўтиш йўналишига перпендикуляр равишда концентратцияси камайиб боровчи электрон-тешик жуфтликлар ҳосил қилади. Агар сирт юзасидан p-n ўтишгача бўлган масофа нурнинг кириш чуқурлигидан ($1/\alpha$ дан) кичик бўлса, электрон-тешик жуфтликлар p-n ўтишдан ичкарида ҳам ҳосил бўлади. Агар p-n ўтиш жуфтлик ҳосил бўлган жойдан диффузион узунликчалик масофа ёки ундан камроқ масофада бўлса, зарядлар диффузия жараёни натижасида p-n ўтишга этиб келиб, электр майдони таъсирида ажратилиши мумкин. Электронлар p-n ўтишнинг электрон бор бўлган қисмига (n-қисмига), тешиклар p-қисмига ўтади. Ташқи p- ва n-соҳаларни бирлаштирувчи электродларда (контактларда) потенциаллар айирмаси ҳосил бўлиб, натижада уланган юкланма қаршилиги орқали электр токи оқа бошлайди(1.1 расм).

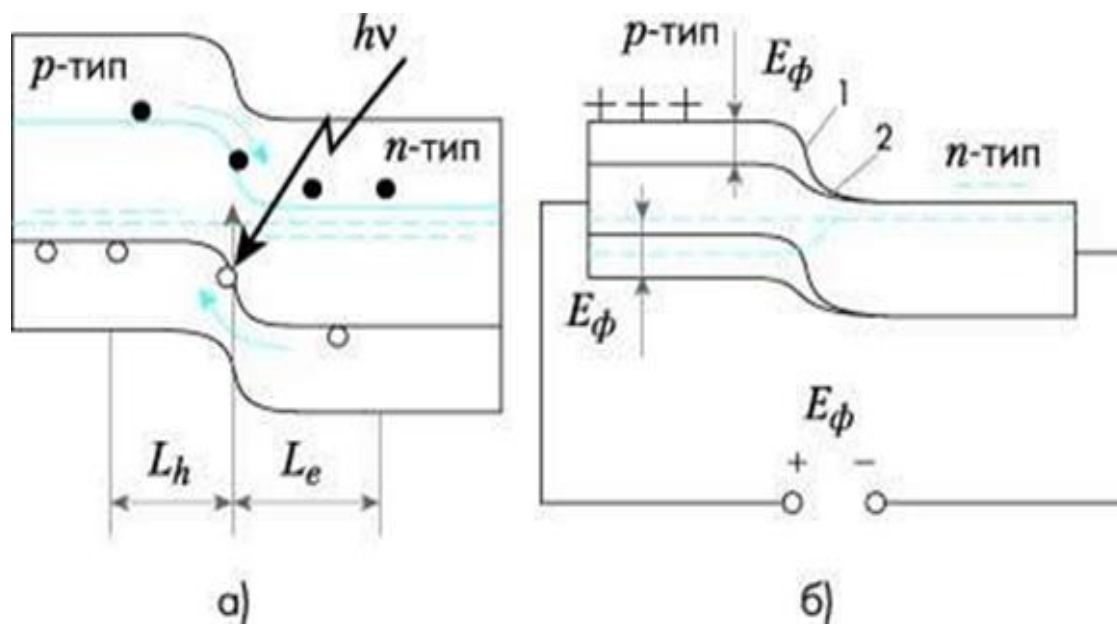
Р-п ўтишга диффузияланган асосий бўлмаган заряд ташувчилар, потенциал тўсиқ бўлганлиги сабабли, иккига ажратилади. Ортиқча ҳосил бўлган (тўсиқ ёрдамида ажратилган) ва тўпланган, n-соҳадаги электронлар ва p-соҳадаги тешиклар p-п ўтишдаги мавжуд ҳажмий зарядни компенсация қилади, яъни мавжуд бўлган электр майдонига қарама-қарши электр майдонини ҳосил қилади. Ёритилиш туфайли ташқи электродларда потенциаллар айирмаси ҳосил бўлиши билан бирга ёритилмаган p-п ўтишдаги мавжуд потенциал тўсиқнинг ўзгариши рўй беради. Ҳосил бўлган фото-ЭЮК бор бўлган потенциал тўсиқ қийматини камайтиради[9-10]. Бу эса ўз навбатида қарама-қарши оқимларнинг пайдо бўлишини таъминлайди, яъни электрон қисмдан электронлар оқимини, p-қисмдан тешиклар оқимини ҳосил қилади. Бу оқимлар p-п ўтишга қўйилган электр кучланиши таъсири натижасида туғри йўналишдаги ток билан деярли тенг бўлади. Ёритилиш жараёни бошланган вақтдан бошлаб ортиқча (мувозанатдагига нисбатан) зарядларнинг тўпланиши (электронларнинг n-соҳада ва тешикларнинг p-соҳада) потенциал тўсиқ баландлигини камайтиради, ёки бошқача қилиб айтганда электростатик потенциални пасайтиради (1.2 расм).

Бу эса ўз навбатида ташқи юкланмадан оқаётган ток кучини оширади ва қарама-қарши оқимлар ҳосил қилувчи электронлар ва тешиклар оқимини p-п ўтишдан ўтишини таъминлайди. Ёруғлик туфайли ҳосил бўлган ортиқча жуфтликлар сони p-п ўтиш ёки ташқи юкланма орқали кетаётган жуфтликлар сонига тенг бўлганда стационар мувозанат ҳосил бўлади. Одатда бу ҳол ёритилиш жараёнининг мингдан бир сонияси давомида рўй беради[3-4].

ҚЭ қисқа туташув токи $I_{кз}$ ни, тушаётган оптик нурланиш зичлиги ва спектрал таркибидан ўрганиш элемент тузилмаси ичида бўлаётган алоҳида ҳар бир нурланиш квантининг электр энергиясига айланиш жараёни самарадорлиги ҳақида тасаввур ҳосил бўлиш имкони яратиб беради. ҚЭ



1.1 расм. p-n ўтиш жараёни



1.2 расм. Р-п ўтишнинг зона модели; а) ёритишнинг бошланғич пайти;
б) доимий ёритиш таъсирида фото ЭЮК ҳосил бўлиши.

учун маълум ёруғлик оқими зичлиги тушаётган ҳол учун қуйидаги тенгламани келтириш мумкин.

$$I_{\text{кзю}}(\lambda) = I_{\text{кзт}}(\lambda)/[1-r(\lambda)] \quad (3)$$

бу ерда $I_{\text{кзт}}(\lambda)$ ва $I_{\text{кзю}}(\lambda)$ – ҚЭ қисқа туташув токининг қиймати, берилган интенсивликдаги тушаётган ва ютилган нурланиш учун, $r(\lambda)$ - бирламчи қайтиш коэффитциенти. Келтирилган учала катталиклар ҳам бир хил тўлқин узунлиги бўлган ҳол учун туғридир[3-9].

ҚЭ ни таҳлил қилиш ва сифатини баҳолаш учун унинг $I_{\text{кз}}$ токининг спектрал характеристикасини ютилган ҳар бир квант нур учун ҳисоблангани ўта муҳимдир. Бу катталиқни Қуёш элементининг эффектив квант чиқиши дейилади ва $Q_{\text{эфф}}$ билан белгиланади. Агар N_0 – яримўтказгич материал сиртининг бирлик юзасига тушаётган квантлар сони бўлса, у ҳолда

$$Q_{\text{эфф}} = I_{\text{кз}}/ N_0 \quad (4)$$

бўлади, бу ерда $I_{\text{кз}}$ электрон сонияда ўлчанади, ва $Q_{\text{эфф}}$ электрон квант (фотон)ларда олиними керак. ҚЭ эффектив квант чиқиши икки параметрга боғлиқ бўлиб, у

$$Q_{\text{эфф}} = \beta\gamma \quad (5)$$

β -ички фотоэффектнинг квант чиқишидир. Бу катталиқ ҳар бир ютилган квант учун фотоионизация жараёнида яримўтказгич ичида ҳосил бўладиган электрон-тешиқ жуфтликларни кўрсатади. γ – р-п ўтиш потенциал тўсиқининг ток ташувчиларни йиғиш (жамлаш) коэффитциентидир, ёки бошқачасига айтганда ток ташувчиларнинг ажратиш коэффитциенти ҳам дейилади.

Бу коэффитциент оптик нурланиш ёрдамида ҳосил бўлган умумий жуфтликлардан қанча қисми қисқа туташув токида иштирок этишини кўрсатади. Ташқи ўлчаш асбоби уланган ҳол учун, $\beta=1$ бўлса, ҳар бир квант битта жуфтлик ҳосил қила олишини кўрсатади. Ҳосил бўлган

жуфтликларнинг кейинги тақдири яримўтказгич материалларнинг диффузион йўли узунлигига боғлиқдир[10]. Агар бу параметр катталиги етарлича бўлса, у ҳолда нурланиш туфайли ҳосил бўлган ортиқча асосий бўлмаган заряд ташувчилар фақат диффузия жараёни туфайли p-n ўтишга келиб унинг электр майдони орқали ажратилиши мумкин.

Оптик нурланишни айлантирилиши жараёнида муҳим ролни электронларнинг диффузия йўли узунлиги (L_n) ва p-n ўтиш чуқурлиги (ℓ) ўйнайди, чунки ҳосил бўлаётган ва ажратилиши керак бўлган жуфтликлар уларга боғлиқдир.

Оптик нурланишнинг яримўтказгич материалга тушиш йўналишига қараб p-n ўтиш конструкциясининг икки хили мавжуд ва уларни қуйидаги 1.3 расмда келтирилган ҳоли учун кўриб ўтамиз.

1-ҳол. Оптик нурланиш йўналишига p-n ўтиш перпендикуляр жойлашган ҳол. Оптик нурланиш қалинлиги ℓ га тенг бўлган яримўтказгич материалнинг бутунлай охиригача киради.

2-ҳол. Оптик нурланиш йўналишига p-n ўтиш параллел жойлашган ҳол. Нурланиш кенглиги d га тенг бўлган тузилмага тушади.

Перпендикуляр ва параллел жойлашган p-n ўтишлар учун йиғиш (жамлаш) коэффитциенти (эффektivлиги) қуйидаги муносабатлар билан аниқланади.

$$\gamma = (L_n + L_p) / \ell \quad (6) \quad \text{ва} \quad \gamma = (L_n + L_p) / d \quad (6)$$

бу ерда, L_p ва L_n -мос равишда тешиклар ва электронларнинг диффузия йўли узунлиги, d - нурланиш кенглиги, ℓ -оптик нурланиш қалинлиги.

Бир қарашда p-n ўтишнинг параллел жойлашиши афзалроқ кўринади, чунки ҳосил бўлган заряд жуфтликларини тўлалигича йиғиш ва ажратиш учун яримўтказгич материал қалинлигига ва p-n ўтишга нисбатан уларнинг тақсимланиши муҳимдир. Яримўтказгич ичида жуфтликларнинг материал чуқурлигига нисбатан бир текис ҳосил бўлиши уларнинг p-n ўтиш томон

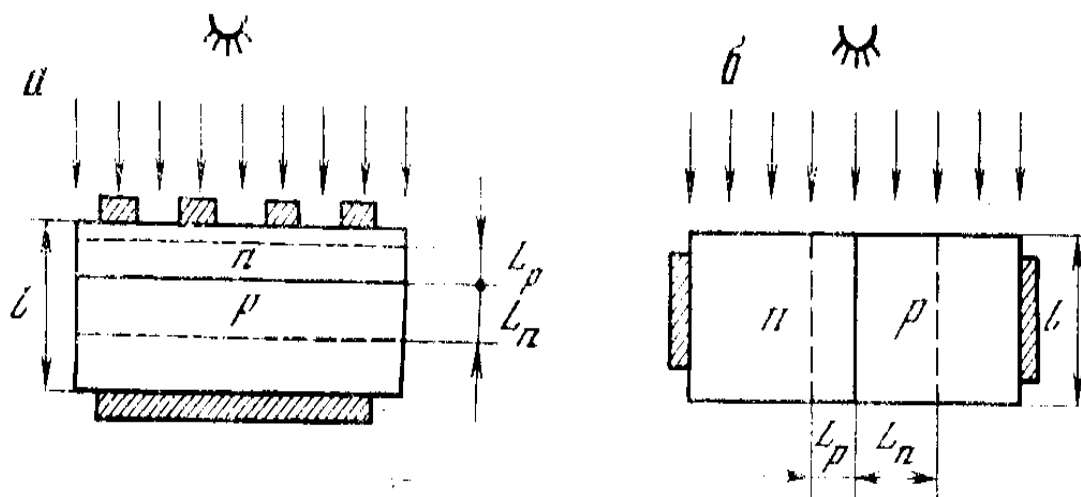
диффузия ҳодисаси орқали ажратилиш жараёни учун ўта муҳимдир. Шунинг учун, кўп p-n ўтишларга эга бўлган ҚЭ ларда (фотоволтлар-кўп сонли микро ҚЭ лардан иборатларда), уларнинг p-n ўтишлари тушаётган оптик нурланишга параллел жойлаштирилади. Оптик нурланишнинг узун тўлқинли қисмида, бу конструкция заряд ташувчиларнинг йиғишнинг юқори самарадорлигига эга бўлади, ҳамда бир бирлик юзадан катта миқдордаги фото-ЭЮК олишга имкон яратади[12-13].

Аммо, асосий муаммолардан бири бўлиб, нисбатан кичкина ўлчамли параллел жойлашган p-n ўтишларга эга бўлган микро ҚЭ ларида рекомбинатция ҳодисасининг перпендикуляр жойлашган p-n ўтишларга нисбатан катталиги назарий ва амалий жиҳатдан аниқланди. Шунинг учун, бу турдаги ҚЭ учун Қуёш нурланишига қаратилган юзасида қисқа тўлқинли нурлар спектрал эффективлигини ошириш учун, қўшимча киришмалар киритилган тескари типдаги ўтказувчанликка эга бўлган қўшимча юпқа қатлам ҳосил қилиш мақсадга мувофиқдир. Яъни, яна қисман перпендикуляр конструкция элементига қайтиш мақсадга мувофиқдир.

Параллел жойлашган p-n ўтишли ҚЭ ларида ҳосил бўлган электрон-тешик жуфтликлар концентрацияси (M) материал юзасидан ичкарасига қараб ўзгаради. Перпендикуляр жойлашган p-n ўтишли ҚЭ конструкцияси учун эса n-типдаги материал учун ҳам p-типдаги учун ҳам ҳосил бўлаётган жуфтликларнинг аксарияти p-n ўтишга яқин жойда ҳосил бўлади.

Ҳосил бўладиган электрон-тешик жуфтликлар бирлик чуқурликда қуйидаги тенглама орқали аниқланади.

$$M = N_0 \alpha \exp(-\alpha \ell) \quad (7)$$



1.3 расм. Яримўтказгичли кристаллда р-п ўтишларнинг жойлашиш схемаларига қараб (а) перпендикуляр ва (б) параллел р-п ўтиш текислиги учун оптик нурланишнинг тушиши. L_p , L_n – р ва п – соҳаларда асосий бўлмаган заряд ташувчиларнинг диффузион узунликлари. l – яримўтказгичда нурланишнинг кириш чегараси. Штрихланган соҳалар – р ва п – соҳалардаги металл контактларнинг кўриниши.

бу ерда, N_0 -бир бирлик юзага тушаётган квантлар сони. Жуфтликлар сони, ичкарига қараб камайиб боради. Уларнинг сонини яримўтказгич материалда ютилиши мумкин бўлган соҳада α (Е) ни аниқлаш мумкин. Қуёш элементларининг планар конструкцияси (оптик нурланиш тузилма юзасига

перпендикуляр тушган ҳол) ҚЭ технологиясида ва уларни амалий ишлатишдаги асосий конструкциядир. Бундай ҚЭ ҳар хил яримўтказгич материаллар асосида ишлаб чиқилди. Юқорида келтирилган таҳлиллар асосида юқори самарали оптималлашган конструкциялар ишлаб чиқилди. Аммо ҳар қандай материал учун ҳам уларга қўйиладиган юқорида келтирилган асосий талаблар сақлаб қолиниши кераклиги аниқланди. γ ни ва $I_{кз}$ ошириш учун p-n ўтишнинг иккала томонида ҳам албатта диффузион узунликни ошириш мақсадга мувофиқдир. Буни амалга ошириш учун керакли материал танлаш ва p-n ўтишни технологик тайёрлаш жараёнида диффузион узунликни пасаймаслигига ҳаракат қилиш керак. Агар унинг пасайиши аниқ бўлса уни ҳисобга олиш зарурдир. Агар L_d ни фронтал сиртда ошириш имконияти бўлмаса, у ҳолда фронтал сирт қалинлигини $L_n \gg \ell$ га амал қилган ҳолда олиш керак. Шу асосда база параметрларини танлаш зарурдир.

1.2. Қуёш элементларининг асосий параметрлари

Қуёш элементларининг асосий характеристикаси ҳисобланган, вольт-ампер характеристика (ВАХ) ва спектрал сезгирлик яримўтказгич материалларнинг оптик ва электрофизик хусусиятларига боғлиқдир.

ҚЭ ВАХ p-n ўтишли яримўтказгич диоднинг ВАХ идан янги I_f ҳаднинг пайдо бўлиши билан фарқ қилади[3-4]. I_f – оптик нурланиш таъсирида қуёш элементида генерация бўлган токдир. Агар I_d – диод орқали оқаётган ток ва I – ташқи юкланма орқали оқаётган ток бўлса, у ҳолда,

$$I_f = I_d + I \quad (9) \quad \text{ва} \quad I_d = I_0(\exp(qU/kT) - 1) \quad (8)$$

диоднинг қоронғиликдаги характеристикаси, I_0 – p-n ўтишнинг тескарий ўнатишдаги тўйиниш токи, q – электрон заряди, T – мутлақ ҳарорат, k – Болцман доимийлиги, U – кучланиш. Қаршилиги чексиз бўлган очик занжир ҳоли учун, яъни $I=0$ да, юқоридаги тенгламадан

$$U_{xx} = \ln(I_f/I_o + 1) kT/q \quad (9)$$

келиб чиқади.

ҚЭ ВАХ нинг ёруғлик ва қоронғиликдаги хусусиятларини аниқроқ таҳлил қилиш мумкин. Одатда кучланиш даражасига қараб р-п ўтишдан ўтаётган тескари тўйиниш токининг ўтиш механизми ўзгаради[15]. Бу ток одатда иккита токнинг йиғиндисидан иборат, яъни

$$I = I_{o1} [(qU/kT) - 1] + I_{o2} [(\exp qU/kT) - 1] - I_{\phi} \quad (10)$$

бу ерда, I_{o1} – юпка р-п ўтиш орқали диффузион механизм воситасида оқаётган ток, I_{o2} -, эса $A = 2$ га тенг бўлган ҳол учун р-п ўтиш соҳасида рекомбинатция ҳодисаси учун тескари тўйиниш токи. Қуёш элементларининг қоронғилик ва ёруғликда ўлчанган ВАХ асосида унинг айрим параметрларини аниқлаш мумкин, булар жумласига I_o , R_p , R_{sh} , A киради[16]. Қуйидаги келтирилган АМ О шароит учун типик ВАХ ва қоронғиликда олинган элемент ВАХ лари келтирилган. Биринчи квадрантдаги ёруғлик шароитида олинган ВАХ нинг бир қисми, ва унинг тўртинчи квадрантдаги давоми тўғри чизиқлидир. Бу тўғри чизиқнинг тоқлар ўқиға қиялиғи ҚЭ нинг кетма-кетлик қаршилиғини белгилайди.

$$R_p = \Delta U_{pr}/\Delta i_{pr} \quad (11),$$

бу ерда, $\Delta U_{pr}/\Delta i_{pr}$ қийматининг U_{xx} га яқин соҳасидаги ўзгариши олинади. Келтирилган характеристиканинг биринчи квадрантдаги қисми ва унинг иккинчи квадрантдаги давоми тўғри чизиқдир. Унинг кучланишлар ўқиға оғмаси ҚЭ даги шунт қаршилиғи R_{sh} ни қийматини белгилайди, яъни

$$R_{ш} = \Delta U'_{пр} / \Delta I'_{пр} \quad (12)$$

бу ерда $\Delta U'_{пр}$ ва $\Delta I'_{пр}$ лар қийматлари қисқа туташув токи $I_{кз}$ га яқин соҳадаги ўзгариши олинади (1.4 расм).

Ёруғликда олинган ВАХ нинг қисқа туташув токи $I_{кз}$ атрофидаги тўғри чизик қиялигини ўзгартирилиши қийин бўлганлиги учун, шунт қаршилиги $R_{ш}$ қоронғиликда олинган ВАХ нинг қиялигидан аниқланади,

яъни

$$P_{ш} = \Delta U_{обр} / \Delta I_{обр} \quad (13)$$

Қоронғиликда олинган характеристика ёрдамида тескари тўйиниш токи I_0 ни аниқлаш мумкин. Қуёш элементлари р-п ўтиши иш режимида тўғри йўналишда уланган бўлади, яъни оптик нурланиши таъсири натижасида мувозанатда бўлмаган заряд ташувчиларнинг р-п ўтишга иккала томондан ҳосил бўлиши, бу р-п ўтишнинг тўғри йўналишда уланганлигини кўрсатади. Шунинг учун, тескари тўйиниш токи I_0 ва идеалланиш коэффитциенти A нинг тўғри йўналишдаги қоронғиликда ёки ёруғликда ўлчанган ВАХ дан топиш мақсадга мувофиқдир. Қоронғиликда олинган ВАХ га таалукли диод тенгламасини бошқача кўринишда қуйидагича ёзиш мумкин.

$$L_n (I_d + I_0) = \ln I_0 + qU/AkT \quad (14)$$

Бу тенглама ҳисоб-китоб учун токнинг қиймати катта бўлган $I_d \gg I_0$ шароитда ишлатилиши ва тескари тўйиниш токи рекомбинатцион механизм асосида р-п ўтишдан ўтадиган ҳоли учун ишлатилиши мумкин. ҚЭ нинг тўғри йўналишда ўлчанган ВАХ (катта ток ва кучланишлар учун) асосида $\ln I_0 = f(U)$ функциясини чизиш мумкин. Бу тенглама қиялигининг тангенс

q/AkT га тенг бўлади. Унинг ордината ўқида кесган кесмаси $\ln I_0$ нинг қийматини беради.

ҚЭ реал ишлашига яқин шароитда I_0 ва A нинг қийматини аниқлашнинг яна бир усули мавжуд. Бунинг учун ёруғлик оқими зичлигининг ҳеч бўлмаганда икки хил қийматида имитатор ёрдамида ҚЭ нинг ВАХ си ўлчанади. Кетма-кетлик қаршилиги R_n учун кучланишлар пасайиши ва p-n ўтиш соҳасида рекомбинатция бўлиши жараёни учун юқоридаги тенгламани келтирамиз, яъни

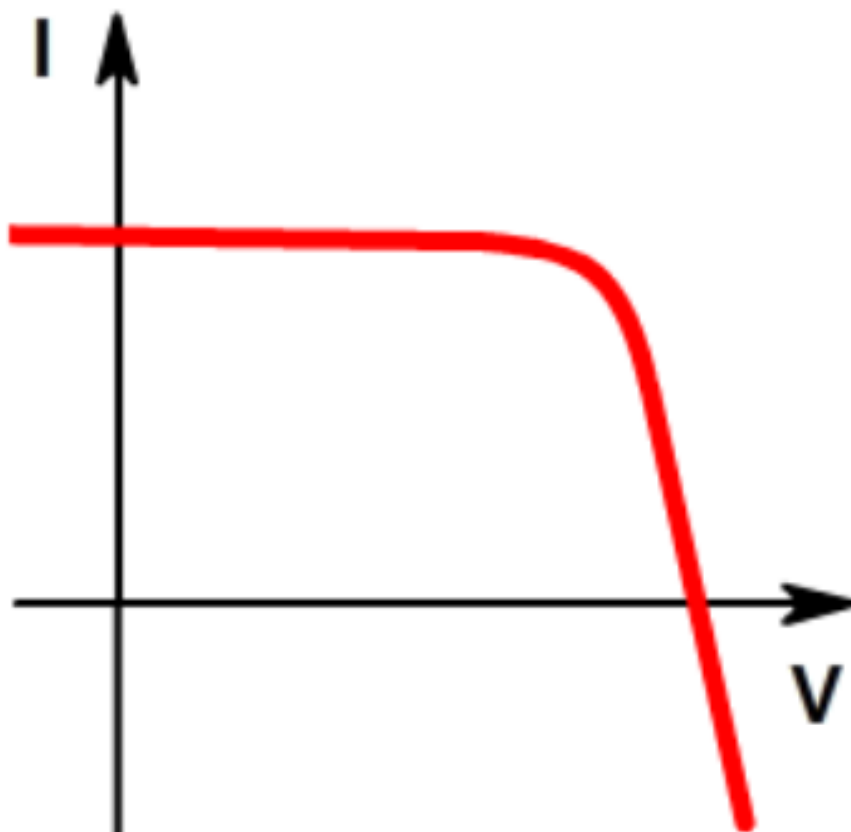
$$I = I_0[\exp\{q(U - IR_n)/AkT\} - 1] - I_\phi \quad (15)$$

Салт юриш режимида $I = 0$, $U = U_{xx}$ бўлгани учун, $R_n = 0$ ва у ҳолда

$I_\phi = I_{k3}$ деб олиш мумкин. У ҳолда

$$L_n (I_{k3} + I_0) = \ln I_0 + qU_{xx}/AkT \quad (16)$$

Бу тенгламани қўллаш учун эталонли ҚЭ ёрдамида ҳар бир янги оптик нурланиш оқими зичлигига тўғри келадиган $I_{k3} = f(E)$ тенгламанинг чизиқли қийматлари топилади ва ундан I_{k3} ва U_{xx} аниқланади. Тангенс бурчагидан q/AkT нинг қиймати топилади ва унинг ордината ўқидан кесадиган кесмасидан $\ln I_0$ нинг қиймати аниқланади [12-15].



1.4 расм. ҚЭ нинг типик вольт-ампер характеристикаси.

Қуёш элементи ва қуёш батареясининг фойдали иш коэффициентини (Ф.И.К.) аниқлаш учун тушаётган оптик нурланиш энергиясининг миқдорини ва элемент ёки батарея ишлаб чиқарган электр энергиясининг миқдорини билиш зарур. Ф.И.К.ни аниқлаш учун қуйида келтирилган масалаларни ечиш керак бўлади.

1. Қуёш нурланиши атмосфера ҳолатига ва унинг вақт давомида тез ўзгаришига олиб келганлиги учун, унинг спектрал таркибини ва қувватини аниқ ўлчаш керак .

2. Биринчи пунктни ҳисобга олган ҳолда аниқ Қуёш характеристикасини қайтара оладиган имитаторлар (қуёшдан тарқалаётган оптик нурларига ўхшаш нурлар пайдо қила оладиган қурилмалар) яшаш илмий техник муаммо бўлиб қолмоқда.

3. Имитаторларда таққослаш учун ишлатиладиган параметрлари вақт давомида стабил ўзгармайдиган керакли спектрал сезгирликка ва диапазонга эга бўлган ҚЭ ишлаб чиқиш учун материалнинг оптик ва электрофизик хусусиятларини ҳисобга олган ҳолда танлаш лозим.

4. Қуёш элементлари ва батареяларининг электрик параметрларини ўлчаш давомида ўлчов асбобларининг кетма-кетлик қаршилигининг таъсирини ҳисобга олиш зарур.

Қуёш элементларининг асосий ўлчанадиган параметри бу оптик нурланиш тушиш давомида юкланма уланганида ўлчанадиган вольт-ампер характеристикасидир ва унинг ёрдамида кейин қуйида келтирилган параметрлар топилади;

1. ҚЭ ишлаб чиқараётган қувват $P = U_{\text{опт}} I_{\text{опт}}$ ҳисоблаш мумкин,

2. Салт юриш кучланишининг ўлчанган (U_{xx}) қийматига асосан яримўтказгич материал ман қилинган соҳасининг тузилмада ишлатиш самарадорлигини аниқлаш мумкин,

3. Элементнинг қисқа туташув токи ва тўлдириш коэффитциенти ($I_{кз}$ ва ξ) асосида тузилмадаги оптик ва фотоэлектрик юқотишлар ҳақида маълумот олиш мумкин,

4. Қуёш элементи Ф.И.К.ни $\eta = I_{кз} U_{xx} 100\% / E_{\text{пад}} S$ формуладан аниқлаш мумкин (S -ҚЭ юзаси, см^2 ларда олинади)

1.3. Қуёш элементларининг қўлланилиши

Қуёш сиртида температураси 6000 К, марказида эса 20 млн градусни ташкил этади. Қуёшдан ергача бўлган масофа 150 млн километр бўлиб, унинг диаметри ер диаметридан 109 марта катта ва массаси эса $2 \cdot 10^{33}$ га тенг. Қуёшнинг қуввати $3,83 \cdot 10^{23}$ кВт бўлиб, ерга ҳар секундда $91 \cdot 10^{24}$ калл энергия сочади. Шунинг учун қуёшнинг массаси ҳар секундда $4 \cdot 10^6$ т га ўзгариб туради. Қуёш ҳар бир секундда сочадиган нурли энергияси $91 \cdot 10^{14}$ т нефт тўлиқ ёнганида ажратиладиган энергияга тенгдир[11].

Бундай катта энергия қуёш марказида, тўртта водород ядросидан гелий ядроси ҳосил бўлишдан иборат термоядро реакцияси натижасида содир бўлади, чунки қуёшда термоядро процесси амалга ошиши учун ҳамма шароитлар мавжуд, биринчидан ҳамма моддалар плазма ҳолатида, иккинчидан температураси ядроларни бириктириш учун етарлидир[20]. Аниқланишича қуёш таркибини 5% фоизини водород ташкил этади.

Термоядро реакцияси давомида масса дефекти (ортиқча масса) натижасида қуёшдан жуда катта энергия ажралиб чиқади. Шу энергиядан $2,5 \cdot 10^{18}$ калл/мин қисми ерга етиб келади, ундан 40% атмосферада ва космик фазода сочилади, 16% эса ютилади.

Қуёш радиатцияси интенсивлигининг атмосфера ташқарисидаги катталиги қуёш доимийлиги дейилади. Қуёш доимийлиги ўртача 1,4 кВт/кв.м.га тенг. Атмосферанинг юқори қатламидаги қуёш энергияси ўрта ҳисобда минутга 1 см^3 сувни 2 °С гача иситиш қувватига эга. Ер сиртига тушадиган қуёш нурлари ўзининг интенсивлиги билан характерланади ва икки қисмдан иборат бўлади.

1. Қуёш нурларига нисбатан перпендикуляр жойлашган тиниқ юзага тушадиган тўғри радиация.

2. Атмосфера, булут ва атроф муҳит ва бошқалардан сочилган радиатция. Перпендикуляр юзага тушадиган тўғри қуёш радиатциясининг интенсивлиги $\text{кЖ/м}^2 \text{ соат}$ ларда берилган.

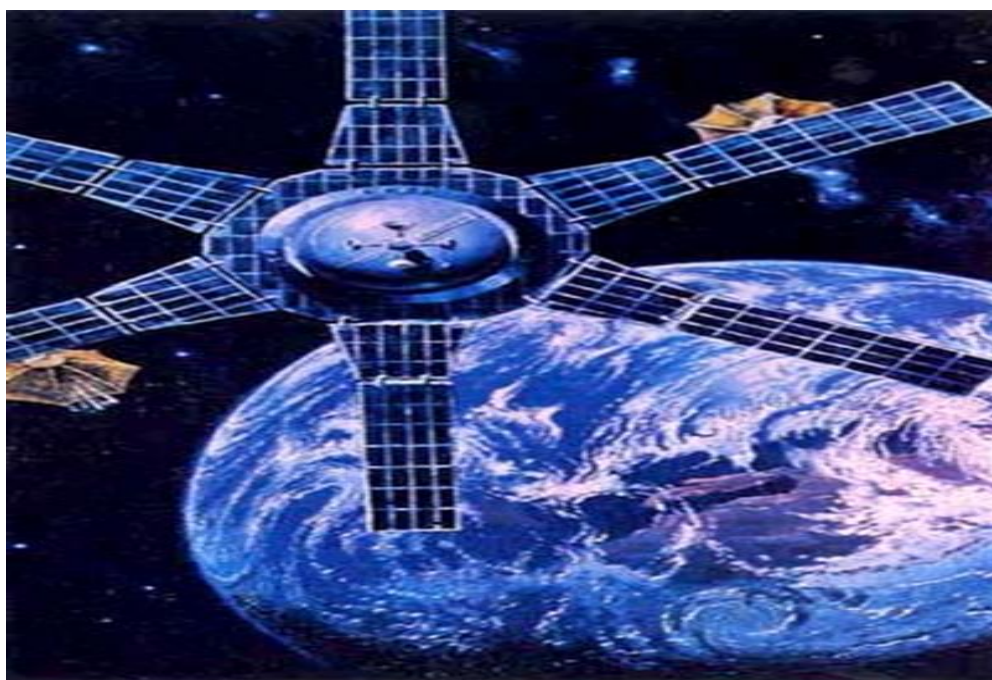
Апрел ойида 1 м^2 . перпендикуляр юзага кун давомида 344000 кЖ энергия тушади, бу эса 1,2 кг шартли ёқилғи ёнганда ажраладиган иссиқликка тенг.

Агар 1 га юзага тушадиган энергияни ҳисобласак, 1200 кг шартли ёқилғига тенг бўлади[11]. Шуларга кўра мамлакатимизнинг жанубида қуёш энергиясидан амалий мақсадлар учун фойдаланиш, асосан қуйидаги йўналишлар бўйича амалга оширилмоқда:

1. Қуёш энергиясини тўғридан-тўғри электр энергиясига айлантириш.
2. Қуёш энергиясини иссиқлик энергиясига айлантириш.
3. Фотосинтез.
4. Космик кемаларда(1.5 расм).
5. автомобилларда(1.6 расм).

Бизга маълумки, қуёш энергиясидан рационал фойдаланиш усулларида бири - қуёш нури энергияни ярим ўтказгичли фотобатареялар ёрдамида электр энергиясига айлантиришдир.

Қуёш фотоэнергетикасининг ривожланиши баҳоси жуда арзон ва фойдали иш коэффициенти катта бўлган ярим ўтказгичли қуёш батареялар ишлаб чиқариш билан боғлиқдир. Ҳозирги вақтда фойдали иш коэффициенти 10-12% бўлган p-n ўтишли кремнийли фотоэлементлар кўплаб



1.5. расм. Космик станция.



1.6. расм. Қуёш батареяли автомобиль.

ишлаб чиқарилмоқда. Бундай фотоэлементлар ёрдамида қуёш нурини электр энергиясига айлантирувчи эффектли қурималар тайёрланиб улар турли мақсадларда фойдаланилмоқда. Қуёш батарияларида кремнийдан ясалган фотоэлементлар алоҳида ўрин тутди. Қуёш фотоэлементларининг Ф.И.К. Совет Иттифоқининг ва Америка Қўшма Штатларининг олимлари томонидан 15-26% гача кўтарилди.

Арсенед галлий, фосфид галлий, сульфид ва теллурид кадмий асосида қуёш энергиясини тўғридан-тўғри электр энергиясига айлантирадиган янги фотоэлементлари жорий қилинди.

Ҳозирги кунда гетерофотоэлементлар юқори температураларда (100-200)°C ва 2000 карра ёритилганликда ҳам эффектив ишлайди. Бундай фотоэлементларнинг 1см² юзасидан 2500 карра йиғилган қуёш нурида 20-30

Вт электр қуввати олиш мумкин. Ярим ўтказгичлар асосида ёруғлик энергиясини ривожлантиришда ёруғликни нисбатан кичик юзага тўпловчи ботик кўзгули (конструктор) мосламалар муҳим аҳамият касб этади. Бундай асбоблар юзаси қуёш нуруни қайтарувчи металл пардаси билан қопланган енгил металлдан ёки шишадан ишланган ботик кўзгудан иборатдир. Мамлакатимизда кўзгули қуёш қурималари ёрдамида электр энергияси олиш устида катта ишлар олиб борилмоқда. Жумладан, улкан қуёш батареялари ёрдамида ишлайдиган қуёш электростанциялари қуриш проектлари ишлаб чиқарилмоқда. Қуёш энергиясининг иссиқлик энергиясига айлантириш ва ундан уйларни иситиш ва совитиш, иссиқ сув олиш, гелиоқурутгичлар, иссиқхоналарни иситишда фойдаланиш борасида ҳам кўпгина ютуқлар қўлга киритилди.

1.4. Қисқача хулосалар

1. Қуёш энергиясини электр энергиясига айлантиришда p-n ўтишли яримўтказгичлар хусусиятларини ўрганиш бўйича қисқача адабиётлар тахлили қилинди. Асосий эътибор кремний асосида тайёрланган кичик кам қувватли ФЭС ларини яратишга қаратилган.
2. Қуёш элементларининг асосий параметрлари назарий ўрганилди ва тахлил қилинди. Адабиётлар тахлили шуни кўрсатдики, қуёш элементларининг асосий характеристикалари бўлиб вольт-ампер характеристика (ВАХ) ва спектрал сезгирлик ҳисобланар экан.
3. Қуёш энергисидан ҳар хил йўللarda фойдаланиш мумкин. Масалан: иссиқхоналарда, иситиш қурилмаларида, фотосинтез жараёнларида.

Бугунги кунга келиб ҚЭ лари асосида қуёш энергиясидан электр энергиясини олишда бир қанча соҳаларда фойдаланилмоқда. Булардан, космонавтика, қуёш электростанциялари, қолаверса оддий инсонлар турмишида ҳам қўшимча энергия манбаи сифатида ҳам фойдаланилмоқда.

II БОБ. ҚУЁШ ФОТОЭЛЕКТРИК СИСТЕМАЛАРИ

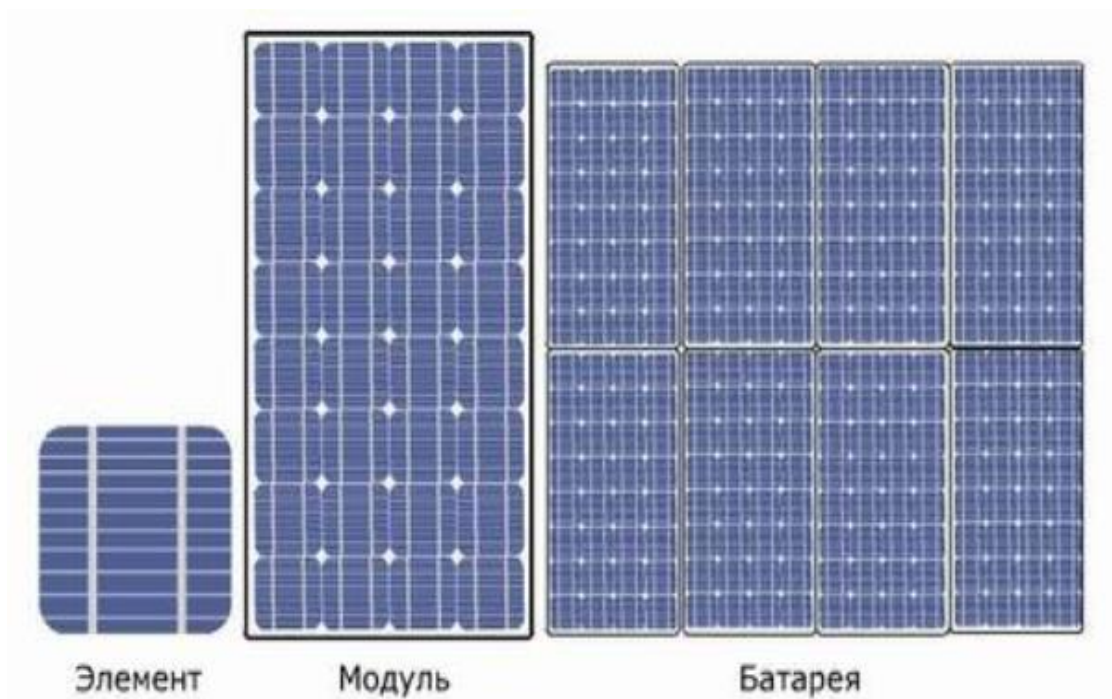
2.1 Қуёш фотоэлектрик системалар турлари

Қуёш батареялари - ўзаро параллел, кетма – кет ва кетма – кет – параллел уланган қуёш модулларидир. Бу қуёш модуллари эса қуёш элементларида ташкил топган бўлиб, уларни биз қуйидаги кўринишда йиғамиз (2.1 расм). Қуёш элементи ишлатилиши мумкин бўлган охирги маҳсулот эмас, чунки охирги маҳсулот қуёш модуллари (панеллар) бўлиб – ўзаро уланган ва герметик маҳкамланган қуёш элементларидан иборатдир. Қуёш элементлари қуёш батареяларини ҳосил қилиш учун ўзаро уланади. Фотоэлементларни ўзаро улаб қуёш модулларини ҳосил қиламиз. Бу ҳосил бўлган қуёш модулларини ҳам ўз навбатида ўзаро улаб улкан фотоэлектрик станцияларни ташкил қилишимиз мумкин[19].

Шу жумладан фотоэлектрик станцияларимизнинг ёки станцияларимизни ташкил қилувчи қуёш батареяларининг ютуқлари ҳамда камчиликлари ҳақида қисқача маълумот бериб ўтамиз. Қуёш батареяларининг ютуқларидан асосийлари қуйдагиларни ташкил қилади:

- Ҳаракатланувчи қисмларнинг мавжуд эмаслиги,
- Юқори даражадаги мустаҳкамлик,
- Стабиллик, уларнинг ишлаш муддати деярли чегараланмаган.

Юқори даражадаги мустаҳкамлилиги, яни герметик қопланган қуёш модулларини мустаҳкам ва энгил (кўчириш ва ўрнатиш учун қулай) бўлган системалардан ташкил топган[18-19].



2.1-расм. ҚЭ нинг йиғилиш структураси

Стабиллик, уларнинг ишлаш муддатининг чегараланмаганлиги, яни қуёш батареяларининг бошқа электр энергия ишлаб чиқарувчи қурилмаларга нисбатан ишлаш муддатининг чегараланмаганлигидир.

Қуёш батареяларининг камчиликлари ҳақидаги маълумотларга тўхталадиган бўлсак бошқа энергия манбаларга нисбатан тайёрлаш технологиясининг қимматлилиги ва Ф.И.К. нинг пастлигидир .

Биринчи марта фотоэлектрик батареялар сунъий йўлдошларда ишлатилган. Ҳозирда қуёш энергиясидан кенг фойдаланилмоқда. Қуёш батареялари асосан уйларда, офисларда ва бошқа жойларда[20].

Қуёш батареяси модуллари уй томларида, фасад қисмларда ва иссиқлик коллекторлари билан бирга жойлаштирилиши мумкин.

Фотоэлектрик модулларнинг ишончли энергия манбаи бўлиши учун системага қўшимча элементлар киритиш керак[22].

Бу элементларга:

- Кабеллар,
- Ҳолатни сақловчи структуралар,
- Система типига қараб қўлланиладиган аккумулятор,
- Батареяли электрон инвертор,
- Контроллер каби элементлардан ташкил топади.

Бундай системага **фотоэлектрик система** дейилади (2.2 расм).

Фотоэлектрик системаларнинг асосий учта тури:

- Автоном фотоэлектрик системалар.
- Марказлаштирилган фотоэлектрик системалар.
- Резерв фотоэлектрик системалар.



2.2-Расм. Фотоэлектрик система.

2.2. Автоном фотоэлектрик системалар

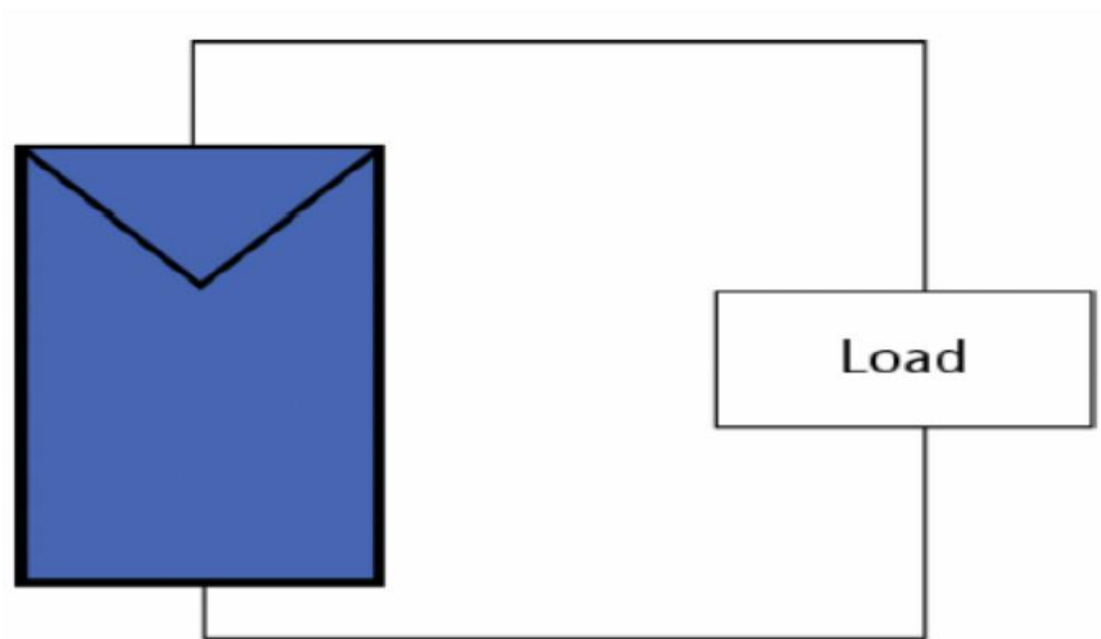
Автоном фотоэлектрик системалар электр тармоқ таъминоти бўлмаган жойларда қўлланилади. Бу фотоэлектрик системалар арзон ва ишочли, чунки қўшимча жиҳозлар ишлатилмайди. Бу системалар қуёш энергияси етарлича кўп бўлган ва бу системаларни қўллаш муаммо бўлмаган жойларда қўлланилади[21]. ФЭС тўғридан – тўғри қўлланиладиган системаларга вентиляторлар сув ҳайдаш миноралари киради. Бу системаларни ўрнатиш кўп вақт талаб қилмайди. Сув насослари ва вентиляторлар техник назоратни кўроқ талаб қилса ҳам фотоэлектрик системаларни тозалашни кам ҳолларда талаб қилади[22].

Қуёш насослари, яъни фотоэлектрик насослар дизел ва оддий насослар ўрнини боса олади. Бу насослар сув кўп ислатилиши керак бўлган ҳолларда, яъни қуёшли кунлар кўп бўлган жойларда фойдаланиш имконини беради. Қуёш насосларини ўрнатиш ва қўллаш қулай. Кичикроқ насосни ҳеч қандай қўшимча асбобларсиз бир киши 2 соатда ўрнатиши мумкин.

Бу қуёш насосларнинг афзаллик томонлари техник хизматлар ва тамирлашнинг минималлиги, ҳамда ўрнатишнинг осонлигидадир. Қуёш насослари ишончли, қолаверса бу система модулларини янада кенгайтириш имкониятининг мавжудлигидир.

Автоном фотоэлектрик системалар ҳам ўз навбатида бир неча турларга бўлинади:

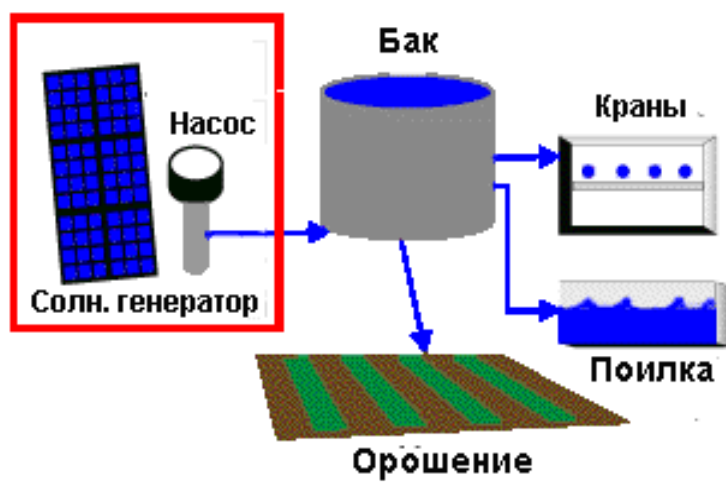
- а) Аккумуляторли фотоэлектрик системалар,
- б) Инверторли автоном фотоэлектрик системалар.



2.3-Расм. Автоном фотоэлектрик системасининг оддий схемаси.



Солнечная система перекачки воды



2.4-Расм. Қуёш насоси ва бу насоснинг схематик тузилиши.

а) Аккумуляторли фотоэлектрик системалар

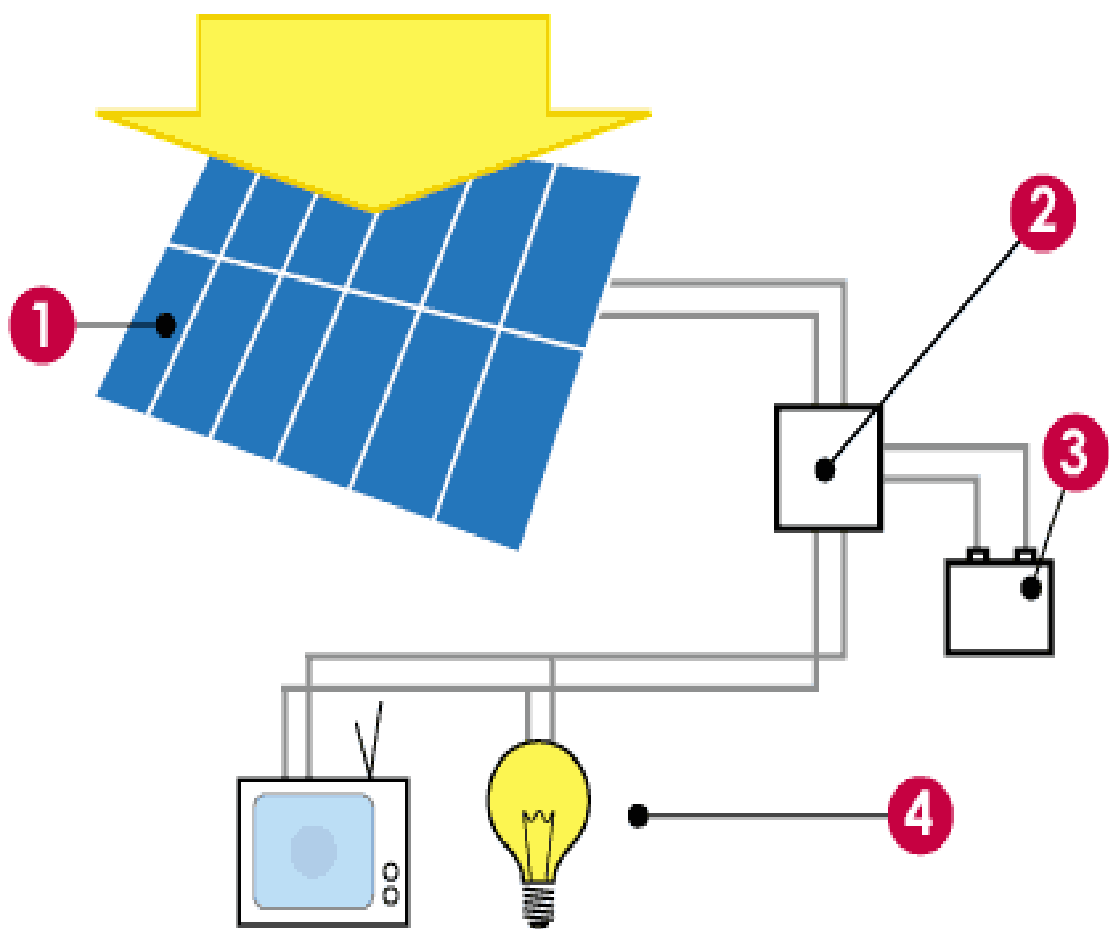
Электр энергиясини аккумуляторлаш натижасида фотоэлектрик системаларни кечаю - кундуз ва ҳар қандай об – ҳаво шароитида ишлатиш мумкин. Ҳозирги пайтда бутун дунёда аккумуляторли фотоэлектрик системалар ёритиш асбобларини, сенсорларни, овоз ёзиб олувчи асбобларни, маъиший асбобларни, телефонларни, телевизорлар ва электр асбобларини ишлатишда қўлланилмоқда[19].

Бу фотоэлектрик системалар билан доимий токда ишлайдиган асбобларини ишлатиш керак(2.5 расм). Улар учун махсус ўтказгичлар, ҳамда сақлагичлар керак бўлади. Агар аккумулятор бўлса бу билан бирга заряд контроллери ҳам керак бўлади. Аккумуляторда йиғилган энергия уй асбобларининг қошимча жиҳозларини ишлатиш учун керак. Аккумуляторли фотоэлектрик системаларига мисол қилиб ховли чироқлари ёки минни музлатгичларни ва ҳ.з ларни олишимиз мумкин(2.6 расм).

б) Инверторли автоном фотоэлектрик системалар.

Бу инверторли автоном фотоэлектрик системалар марказий электр таъминотидан узоқ масофаларда жойлашган объектларда қўллаш учун керак бўлади. Бу ҳолларда автоном фотоэлектрик системаларни қўллаш ўзини- ўзи оқлаб қолмасдан, ҳамда соатига 1 кВт электр энергиялар ҳам тежалиб қолинади. Автоном фотоэлектрик системаларнинг қуввати — 0,01 кВт дан 100 кВт гача бўлди[22].

Инвертор - доимий кучланишни ўзгарувчан кучланишга айлантирувчи асбоб бўлиб. Бу система уй шароитидаги оддий электр асбоблар ишлатиш учун керак бўлади(2.7-2.8 расм). Аккумулятор ва инверторнинг мавжудлиги электр энергия исрофига олиб келади. Инверторли автоном фотоэлектрик системаларга мисол келтирадиган бўлсак бунга тоғ ён бағрида жойлашган дачалар ёки яйловлардаги чорва фермаларида ва ҳ.з ларни мисол келтиришимиз мумкин(2.9 расм).

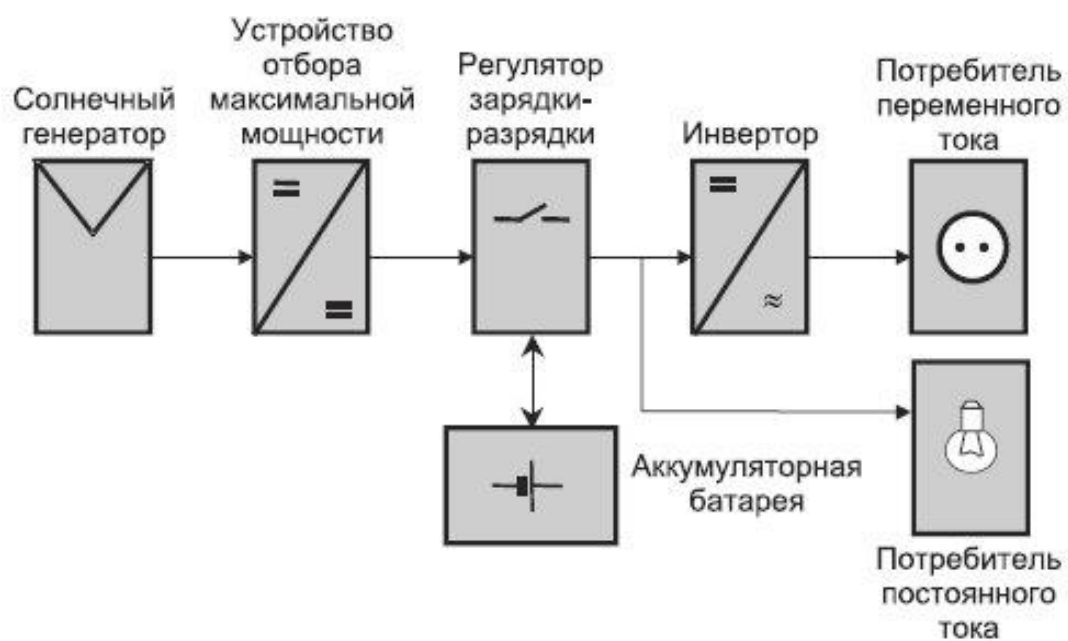


2.5-расм Аккумуляторли фотоэлектрик системасининг схемаси:

1 – қуёш панеллари, 2 – контроллер, 3 – аккумулятор, 4 - юкланиш



2.6-расм. Ховли чироғи ва мини музлатгич.



2.7 расм. инверторли автоном фотоэлектрик системанинг схемаси.



2.8 расм. Инверторли автоном фотоэлектрик системанинг уйдаги схемаси.



2.9 расм. Дача ва чорва фермаси.

Гибрид системалар деб - қуёш батареяларини дизел генераторлар ва шамол двигателлари билан бирга ишлатиладиган системага айтилади(2.10 расм). Бу ҳолат электр энергиясидан тўлароқ фойдаланишнинг имконини беради. Яъни, шамол энергиясидан ҳамда генератор хисобидан фойдаланиб юкланишларни тўлароқ қоплаш имконини беради. Бу системада кўриниб турибдики барча энергиядан тўлароқ фойдаланиб катта қувватга эга бўлган системани ҳосил қилиш мумкин[19].

Тармоқлашган фотоэлектрик системалар деб – қуёш батареяларидан олинган энергиянинг истимолдан ортган қисмини аккумулятор ўрнида ишлатиладиган тармоқларга юбориладиган системага айтилади[20].

Замонавий фотоэлектрик системаларнинг 95% ни тармоқлашган фотоэлектрик системалар ташкил қилади. Аккумулятор сифатида тармоқ қўлланилади ва ортиқча энергия тармоқга юборилади, етишмаган энергия эса тармоқдан қабул қилинади[19]. Тармоқлашган электр таъминотда уланган фотоэлектрик система юкланишнинг бир қисмини қоплайди, иккинчи қисм эса тармоқга оқади. Фотоэлектрик модулдаги инвертор ўзгармас токни ўзгарувчан токга айлантиради. Бу техник сифатга ва техник хавфсизликга мос бўлиши керак(2.11 расм).

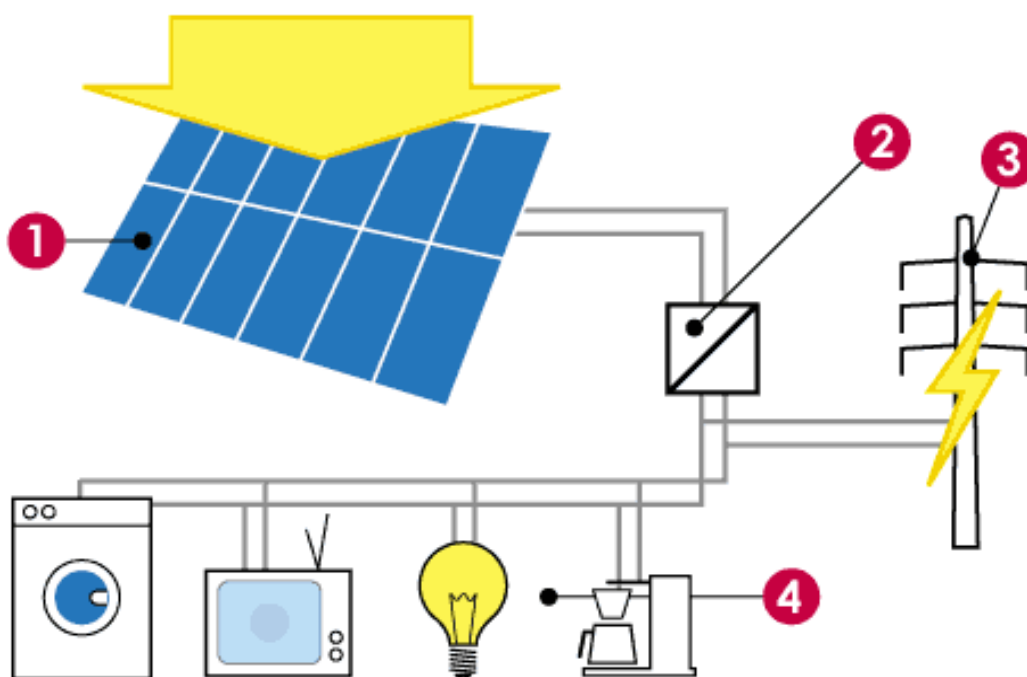
Резерв фотоэлектрик системалар бу - кучланиш паст бўлган ҳолатларда ишлатилиши мумкин. Электр таъминотининг муҳим юкланишли кичик ҳажмдаги резерв қуёш системалари - ёритиш, компьютер ва алоқа воситаларидир. Анча катта ҳажмдаги системалар ток бўлмаганда музлатгични электр энергияси билан таъминлай олади[20].

Юкланишни таъминлаш учун керакли бўлган қувват қанчалик кўп бўлса ва қанчалик тармоқни ўтиш даври кўп бўлса фотоэлектрик системалар учун шунчалик катта қувват керак бўлади(2.12 расм).

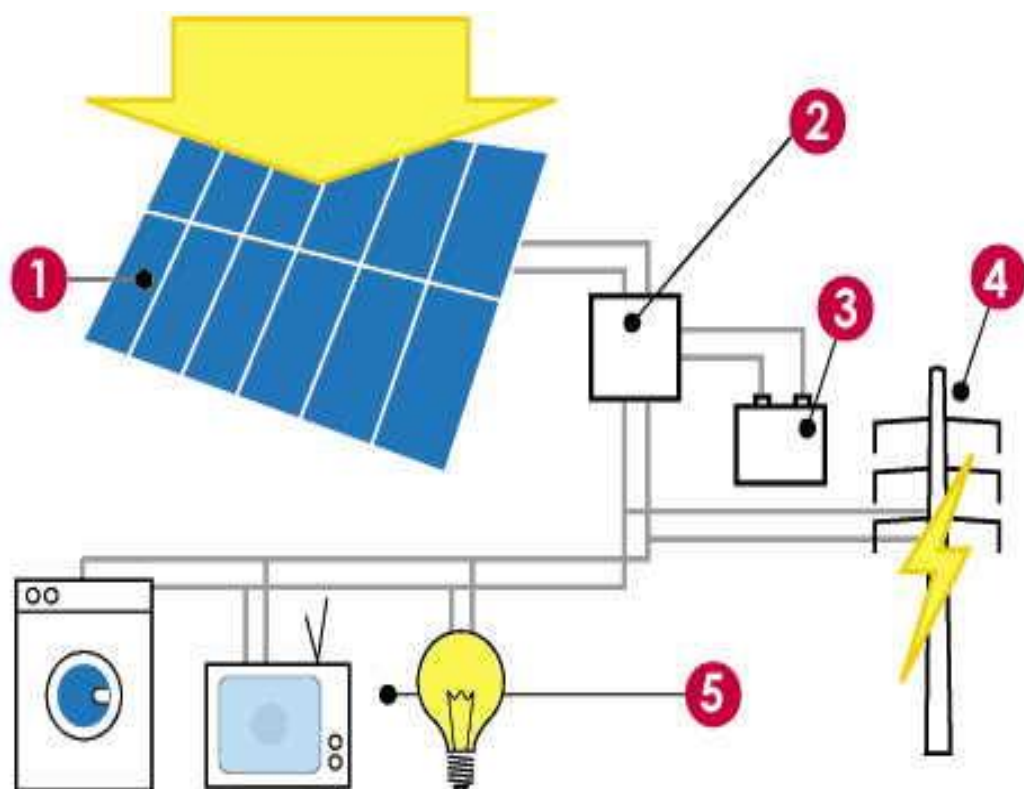
Система фотоэлектрик модуллар, контроллер, аккумулятор батареяси, кабеллар, инвертор, юкланишдан иборат[19].



2.10 расм. Гибрид электр таъминот.



2.11 расм. Тармоқга уланган фотоэлектрик системаси: 1-Қуёш панеллари, 2-инвертор, 3- тармоқ, 4- юкланиш



2.12 расм. Резерв фотоэлектрик системаси: 1-қуёш панеллари , 2- инвертор, 3-батарея, 4-тармоқ, 5-юкланиш

2.3. Қисқача хулосалар

1. Қуёш фотоэлектрик системаларнинг тузилиши ҳамда бир қанча турларини ўрганиб чиқдик. Бу турларга: автоном фотоэлектрик системалар, тармоқлашган фотоэлектрик системалар ва резерв фотоэлектрик системалар киради. Асосий этибор автоном фотоэлектрик системаларни ўрганишга қаратилди.
2. Автоном фотоэлектрик системаларнинг турлари ва қўлланилиши ўрганилди. Автоном фотоэлектрик системалар ҳам бир неча турларга бўлинади: аккумуляторли автоном фотоэлектрик системалар, инверторли автоном фотоэлектрик системалар каби турлари мавжуддир. Уларнинг схемалари ва ишлаш принципи келтирилди.
3. Автоном фотоэлектрик системаларидан электр тармақларидан анча узоқ бўлган жойлардаги дачаларда, чўпонларнинг чарво фермаларида, ҳарбийлар жойлашган ҳудудларда қўллашимиз ҳамда фойдаланишимиз мумкин.

III. БОБ. АВТОНОМ КАМ ҚУВВАТЛИ ФОТОЭЛЕКТРИК ЁРИТИШ ҚУРИЛМАСИ

3.1. Фотоэлектрик ёритиш қурилмасининг тавсифи

Марказий электр тармоқлардан узоқ(тоғ олди, чўл ва бошқа энергия танқис бўлган жойларда) ҳудудлари аҳолиси учун мўлжалланган кам қувватли ихжам фотоэлектрик ёритиш лаборатория қурилмаси яратилди.

Ушбу қурилманинг умумий кўриниши 3.1- расмда келтирилган. 3.2- расмда эса қурилманинг функционал схемаси келтирилган.

Қурилмадаги батарея 30 дона қуёш элементида ташкил топган бўлиб, тушаётган ёруғлик энергияси интенсивлиги қанча юқори бўлса фотоэлементларда ток кучи катта бўлади. Бунда асосий параметрларидан ҳисобланган салт юриш кучланиши $U_{ск} = 15 \text{ В}$ ва қисқа туташув токи $I_{кт} = 650-700 \text{ мА}$ максимал қийматларни ташкил қилади. Бундан келиб чиқадики, максимал қувват $P = U \cdot I = 15 \cdot (650-700) = 9,75 \div 10,5 \text{ Вт}$ ни ташкил этади ёки ўртача 10 Вт га тенг деб ҳисоблашимиз мумкин. Натижада юклама (истеъмолчи ва актив элементлардан ташкил топган қурилмалар)ларни умумий қуввати қуёш батареяси максимал қувватининг 70 % ини ташкил қилиши керак. Юкламаларни қуввати қуйидагича танлаб олинди:

1. Контроллер қурилмаси 0,5 Вт
2. Кучланишни стабилловчи қурилма 0,2 Вт.
3. Ёритгич лампаси 1 Вт
4. Радио қурилмаси 1 Вт.
5. Қўл телефонларини заряд қилувчи қурилма 2 Вт.
6. Қолган 2 Вт қувват аккумулятор заряд қилишга ва ўзгармас 5 В кучланишига уланадиган ихтиёрий юкламага тушади.



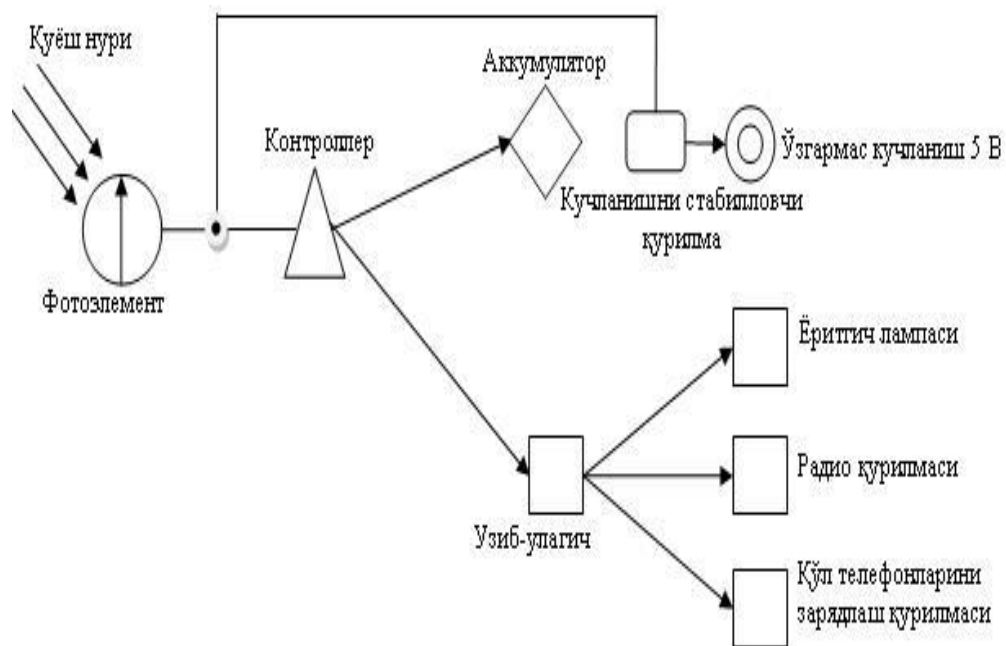
3.1 расм. Портатив фотозлектрик ёритиш қурилмасининг умумий кўриниши

3.2. Фотоэлектрик ёритиш қурилмасининг ишлаш принципи

Қуёш нурлари қуёш батареясига тушади (3.2- расм). Бунда батарея юзини қуёш нурларига тик қилиб қаратиб қўйиш ва фойдаланиш жараёнида вақти-вақти билан қуёш нурлари тик тушиши таъминлаб туриш керак. Батареяда ҳосил бўлган кучланиш контроллер қурилмасига берилади. Бу қурилманинг вазифаси умумий қувватни тўғри тақсимлаш ва қуёш бўлмаган пайтда юклamani аккумуляторга улаб беришдан иборат. Яъни батарея етарлича қувват билан таъминлаган вақтда бир пайтнинг ўзида аккумуляторни зарядлаш ва юклардан фойдаланиш мумкин. Кеч кирган маҳалда ёки батареядан етарлича қувват берилмаган ҳолатда (қуёшнинг булут билан тўсилиши ёки унинг нурларини керакли бурчак остида тушмаслиги) контроллер қурилмаси автоматик тарзда аккумулятор энергиясини юкламага улаб беради. Натижада иш жараёнини бир маромда узлуксиз давом этишини таъминлайди. Контроллерда иккита чиқиш мавжуд бўлиб, бири аккумуляторга иккинчиси қўп тармоқли узиб улагичга уланган. Аккумуляторнинг 2 соат давомида тўлиқ заряд олиши учун ўзгармас 5 В кучланиш ва 0,2 А ток кучи керак бўлади. Қўп тармоқли узиб улагич ёрдамида занжирга юклама (ёритгич лампаси, радио ва қўл телефонларини заряд қилувчи қурилма)ларни бир вақтда ёки ихтиёрий равишда алоҳида уланади.

Агар юклар алоҳида уланиб, фақат аккумулятордан таъминланган ҳолатда ўртача ҳисобда ёритгич лампаси - 10 соат, радио 15 соат ва қўл телефонларини заряд қилувчи қурилма 6 соат давомида тўхтовсиз ишлаши мумкин. Бундан ташқари стандарт 5В ли ўзгармас кучланиш чиқишига қуввати 1 Вт дан ошмаган ихтиёрий юклама (қўшимча ёритгич лампа, флешкали плеер ва бошқа)ларни уланиши тавсия этилади.

Қурилманинг амалиётда фойдаланиш соҳасини кенг, жумладан энергия танқис бўлган тоғ олди ҳудудлари аҳолиси учун, фермерлар, чўпонлар ва геологлар ҳамда альпинистлар учун портатив муқобил энергия манбаи сифатида ишлатиши мумкинлиги айтиб ўтиш мумкин.



3.2-расм. Қуёш элементи асосида лампани ёритиш портатив қурилмасининг функционал схемаси.

3.3. Қисқача хулосалар

1. Кам қувватли ихжам фотоэлектрик ёритиш системасининг лаборатория қурилмаси тайёрланди. Ушбу қурилманинг функционал схемаси ва ишлаш принципи келтирилган.
2. Яратилган кам қувватли ихжам фотоэлектрик ёритиш системасининг асосий параметрлари қуйидагича: қисқа туташув токи $I_{кт} = 650-700$ мА, салт юриш кучланишини $U_{ск} = 15$ В, максимал қуввати $P=10$ Вт.
3. Бу автоном фотоэлектрик системалардан марказий тармоқлардан узок ҳудудларда яшовчи аҳолиларнинг турмуши тарзида қўллашимиз мумкин.

ХУЛОСАЛАР

1. Қуёш энергиясини электр энергиясига айлантиришда p-n ўтишли яримўтказгичлар хусусиятларини ўрганиш бўйича қискача адабиётлар тахлили қилинди. Асосий эътибор кремний асосида тайёрланган кичик кам қувватли фотоэлектрик системаларини яратишга қаратилди.
2. Қуёш фотоэлектрик системаларнинг тузилиши ҳамда бир канча турлари ўрганиб чиқилди. Бу турларга: автоном фотоэлектрик системалар, тармоқлашган фотоэлектрик системалар ва резерв фотоэлектрик системалар киради. Асосий эътибор автоном фотоэлектрик системаларни ўрганишга қаратилди.
3. Кам қувватли ихжам фотоэлектрик ёритиш системасининг лаборатория қурилмаси тайёрланди. Ушбу қурилманинг функционал схемаси ва ишлаш принципи келтирилган.
4. Яратилган кам қувватли ихжам фотоэлектрик ёритиш системасининг асосий параметрлари қуйидагича: қисқа туташув токи $I_{кт} = 650-700$ мА, салт юриш кучланишини $U_{ск} = 15$ В, максимал қуввати $P=10$ Вт.
Бу автоном фотоэлектрик системалардан энергия танқис бўлган тоғ олди ҳудудлари аҳолиси учун, фермерлар, чўпонлар ва геологлар ҳамда альпинистлар учун портатив муқобил энергия манбаи сифатида ишлатиши мумкинлигини айтиб ўтиш мумкин.

АДАБИЁТЛАР РУЙХАТИ

1. Ўзбекистон Республикаси Президенти Ислом Абдуғанивич Каримовнинг 2013-йил 1-мартда қабул қилинган “Муқобил энергия манбаларини янада ривожлантириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги 4512- сонли фармони.
2. А.Т.Мамадалимов, М.Н.Турсунов, Ярим ўтказгичли қуёш элементлари физикаси ва технологияси. Ўқув қўлланма. Т.: Университет, 2002.- 94 бет.
3. Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Малинин Н.К.,Солнечная энергетика: Учебное пособие для вузов / Под ред. В.И.Виссарионова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. - с.
4. Мейтин М. Фотовольтаика: материалы, технологии, перспективы. Пусть всегда будет Солнце // Электроника-НТБ. – 2000. – №6. – С. 40–47.
5. Фаренбрух А., Бьюб Р. Солнечные элементы: теория и эксперимент / Пер. с англ. под ред. М.М. Колтуна. - М.: Энергоатомиздат, 1987. – 280с.
6. Чопра К., Дас С. Тонкопленочные солнечные элементы / Пер. с англ. с сокращениями. – М.: Мир, 1986. - 435 с.
7. Раушенбах Г. Справочник по проектированию солнечных батарей. Пер. с англ. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 360 с.
8. Колтун М.М.- Оптика и метрология солнечных элементов -1985 г. - стр. 280.
9. Алферов Ж.И., Андреев В.М., Румянцев В.Д. Тенденции и перспективы развития солнечной фотоэнергетики // Физика и техника полупроводников. 2004, т.38, вып. 8, С. 937-948.
10. Хайриддинов Б.Е., Холмирзаев Н.С. Сатторов А.С Қуёш энергиясидан фойдаланишнинг физик асослари(ўқув қўлланма), Т.: Фан, 2010 й. 280 бет.

11. Колтун М.М., Селективные оптические поверхности преобразователей солнечной энергии, М., Наука, 1979 год.
12. Колтун М.М., Солнечные элементы, М., Наука, 1987 год.
13. В.М.Андреев, В.А.Гриликес, В.Д.Румянцев, Фотоэлектрические преобразование концентрированного солнечного излучения, Наука, Ленинград, 1989 год.
14. Т.Мосс, Г.Баррел, Б.Еллис, Полупроводниковая оптоэлектроника, М., Мир, 1976 год.
15. С.Зи, Физика полупроводниковых приборов, книга 2, М., Мир, 1984 год.
16. А.Милнс, Д.Фойхт, Гетеропереходы и переходы металл-полупроводник, М., Мир, 1975 год.
17. Современные проблемы полупроводниковой фотоэнергетики, под редакцией Т.Коутса, Дж.Микина, М., Мир, 1988 год.
18. <http://www.inforse.org/europe/vision2050.htm>
19. <http://www.solarhome.ru/>
20. <http://www.erec.org/reh/>
21. <http://www.iea.org>
22. <http://aenergy.ru>

ЧОП ЭТИЛГАН ИЛМИЙ МАҚОЛАЛАР

1. Марипов И.И., **Боймиров Ш.Т.** МСП – структуры для солнечной энергетики. “Физика фанининг ривожига истеъдодли ёшларнинг ўрни” Республика илмий – амалий конференцияси “РИАК-VII” материаллари. Тошкент, 2014 йил 16 – май. 62-63 бет.
2. Мухитдинова Ш.К., Хасанов С.Ф., **Боймиров Ш.Т.**, Усенов Б.У. Магнитотранспортные свойства GaMnAs в области слабых полей. “Физика фанининг ривожига истеъдодли ёшларнинг ўрни” Республика илмий – амалий конференцияси “РИАК-VII” материаллари. Тошкент, 2014 йил 16 – май. 64-66 бет.