

**ТОШКЕНТ ИРРИГАЦИЯ ВА ҚИШЛОҚ ХЎЖАЛИГИНИ  
МЕХАНИЗАЦИЯЛАШ МУҲАНДИСЛАРИ ИНСТИТУТИ  
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ  
DSc.03/30.12.2019.Т.10.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ФАНЛАР АКАДЕМИЯСИ  
ЭНЕРГЕТИКА МУАММОЛАРИ ИНСТИТУТИ**

**ТУРАЕВ АКРАМЖОН ИКРОМЖОНОВИЧ**

**ҚИШЛОҚ ЭЛЕКТР ТАЪМИНОТИ ТИЗИМИ ТАҚСИМЛАШ  
ТАРМОҚЛАРИГА ҚУЁШ ФОТОЭЛЕКТРИК СТАНЦИЯСИ  
УЛАНИШИНИ АСОСЛАШ**

**05.05.07 – Қишлоқ хўжалигида электр технологиялар ва электр ускуналар**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)  
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

**Тошкент шаҳар– 2021**

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD)  
диссертацияси автореферати мундарижаси**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)  
по техническим наукам**

**Contents of the dissertation abstract of doctor of  
philosophy (PhD) on technical sciences**

**Тураев Акрамжон Икромжонович**

Қишлоқ электр таъминоти тизими тақсимлаш тармоқларига қуёш  
фотоэлектрик станцияси уланишини асослаш..... 3

**Тураев Акрамжон Икромжонович**

Обоснование подключения солнечной фотоэлектрической станции к  
распределительным сетям системы электроснабжения сёл..... 23

**Turaev Akramjon Ikromjonovich**

Connection of a solar photovoltaic station of the distribution network in rural  
power supply system ..... 43

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

Список опубликованных работ  
List of published works..... 46

**ТОШКЕНТ ИРРИГАЦИЯ ВА ҚИШЛОҚ ХЎЖАЛИГИНИ  
МЕХАНИЗАЦИЯЛАШ МУҲАНДИСЛАРИ ИНСТИТУТИ  
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ  
DSc.03/30.12.2019.Т.10.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ФАНЛАР АКАДЕМИЯСИ  
ЭНЕРГЕТИКА МУАММОЛАРИ ИНСТИТУТИ**

**ТУРАЕВ АКРАМЖОН ИКРОМЖОНОВИЧ**

**ҚИШЛОҚ ЭЛЕКТР ТАЪМИНОТИ ТИЗИМИ ТАҚСИМЛАШ  
ТАРМОҚЛАРИГА ҚУЁШ ФОТОЭЛЕКТРИК СТАНЦИЯСИ  
УЛАНИШИНИ АСОСЛАШ**

**05.05.07 – Қишлоқ хўжалигида электр технологиялар ва электр ускуналар**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)  
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

**Тошкент шаҳар– 2021**

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2021.4.PhD/Т1827 рақами билан рўйхатга олинган.**

Диссертация Ўзбекистон Республикаси фанлар академияси энергетика муаммолари институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида ([www.tiame.uz](http://www.tiame.uz)) ва "ZiyoNet" ахборот таълим порталида ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)) жойлаштирилган.

**Илмий раҳбар:** Муратов Хаким Махмудович  
техника фанлари доктори, профессор

**Расмий оппонентлар:** Исаков Абдусанд Жалилович  
техника фанлари доктори, профессор

Болтаев Отабек Ташмухамматович  
техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD), доцент

**Етакчи ташкилот:** Фарғона политехника институти

Диссертация ҳимояси Тошкент ирригация ва кишлок хўжалигини механизациялаш муҳандислари институтида ҳузуридаги DSc.03/30.12.2019.Т.10.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2021 йил «\_\_\_» \_\_\_\_\_ соат \_\_\_\_\_ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100000, Тошкент, Қори Ниёзий кўчаси, 39-уй. Тел.: (+998-71) 237-09-45; факс: (+998-71) 237-38-79, e-mail: [admin@tiame.uz](mailto:admin@tiame.uz)).

Диссертация билан Тошкент ирригация ва кишлок хўжалигини механизациялаш муҳандислари институтининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (\_\_\_\_\_-рақами билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100000, Тошкент, Қори Ниёзий кўчаси, 39-уй. Тел.: (+998-71)237-09-45; факс: (+998-71) 237-38-79. e-mail: [admin@tiame.uz](mailto:admin@tiame.uz)).

Диссертация автореферати 2021 йил «\_\_\_» \_\_\_\_\_ кун тарқатилди.  
(2021 йил «\_\_\_» \_\_\_\_\_ даги \_\_\_\_\_ рақамли реестр баённомаси).



**Б.С.Мирзаев**  
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш раиси, т.ф.д., профессор

**У.Т.Кузиев**  
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш илмий котиби, т.ф.ф.д. (PhD), доцент

**Х.М.Муратов**  
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш қошидаги илмий семинар раиси, т.ф.д., профессор

## **КИРИШ (фалсафа доктори (PhD)диссертацияси аннотацияси)**

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Жаҳонда қишлоқ электр таъминоти тизимидаги тақсимлаш тармоқларида электр энергиясини тежашни таъминлаш ҳамда қайта тикланувчи энергия манбаларидан фойдаланиш, жумладан қуёш фотоэлектрик станцияларини тақсимлаш тармоғига улаш етакчи ўринлардан бирини эгалламоқда. Дунё миқёсида кичик ва катта қувватли қуёш электр станцияларини қуриш, электр энергетика тармоқларига синхронлаштирилиб улаш, мамлакат миқёсида қишлоқ электр таъминоти тизимида электр энергия сифат кўрсаткичларини яхшилаш ҳамда электр энергетика тизимини халқаро стандартларга мослаштириш бўйича турлича ёндашувлар мавжуд. Бу борада, жумладан қувват балансини таъминлашнинг технологик омилларга боғлиқлик даражасини аниқлаш ва қуёш фотоэлектрик станцияларини электр тармоғи билан параллел ишлашини таъминлаш муҳим аҳамиятга эга ҳисобланади.

Жаҳонда қуёш фотоэлектрик станцияларни қишлоқ электр таъминоти тизимидаги тақсимлаш тармоқларига улаш усуллари ва унинг ечимларини ишлаб чиқишга йўналтирилган илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Бу борада, жумладан қишлоқ хўжалиги учун фойдаланиладиган тақсимлаш тармоқларида қайта тикланувчи манбалардан кенг фойдаланиш имкониятларини кенгайтириш, етказиб бериладиган актив реактив қувватларни назорат қилиш ҳамда рақамли технологияларни тизимга кириб келишига имкон яратиш орқали электр энергияси таъминотини ишончилигини ошириш бўйича тадқиқотлар устувор ҳисобланади. Шу билан бирга, қуёш фотоэлектрик станцияларида тақсимлаш тармоғига улашга таъсир қилувчи энг муҳим омилларни аниқлаш, электр тармоқ параметрлари асосида станцияларни бошқариш тизимларини ишлаб чиқишга алоҳида эътибор берилмоқда.

Республикамызда қишлоқ хўжалиги истеъмолчиларини сифатли электр энергияси билан таъминлаш, қайта тикланувчи энергия манбаларидан фойдаланиш ва уларни ишлаб чиқаришга жорий қилиш, қуёш фотоэлектрик станцияларининг самарадорлигини ошириш, ҳамда ишлаб чиқарилаётган актив ва реактив қувватларини назорат қилишни асослаш юзасидан кенг қамровли чора тадбирлар амалга оширилиб, муайян натижаларга эришилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар Стратегиясида, жумладан, «... иқтисодийнинг энергия ва ресурс сифимдорлигини камайтириш, ишлаб чиқаришга энергия тежовчи технологияларни кенг татбиқ этиш, ишлаб чиқариш унумдорлигини ошириш...»<sup>1</sup> бўйича муҳим вазифалар белгилаб берилган. Ушбу вазифаларни амалга оширишда, жумладан ишлаб чиқариш соҳаларида энергия самарадорлигини комплекс тадқиқ этиш орқали қўшимча энергия тежаш имкониятларини аниқлаш муҳим аҳамият касб этмоқда.

<sup>1</sup>Ўзбекистон Республикаси Президентининг 7 февраль 2017 йилдаги №ПФ-4947 сонли “Ўзбекистон республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегияси тўғрисида” фармони.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947 -сонли “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисидаги” Фармони, Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 26 майдаги ПК-3012 -сонли “2017-2021 йилларда ижтимоий соҳа ва саноат соҳаларида энергия самарадорлигини ошириш, қайта тикланувчан энергия манбаларини қўллашни янада кенгайтириш чоратadbирлари тўғрисида”ги Қарорларни ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъерий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

**Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги.** Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг II. «Энергетика, энергия ва ресурс тежамкорлик» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Қишлоқ электр таъминоти тизимида тақсимлаш электр тармоқ параметрларини ҳисобга олган ҳолда қуёш фотоэлектрик станцияларни улаш ва такомиллаштириш усулларини яратишга йўналтирилган илмий изланишлар жаҳоннинг етакчи илмий масканлари ва олий уқув юртларида кенг қамровли илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Олиб борилган изланишлар натижасида қуёш фотоэлектрик станцияларини электр тармоғига интеграциялаш орқали электр энергия сифат кўрсаткичларини баҳолаш, бошқариш, таҳлил этиш ва мониторинг ахборот тизимлари ишлаб чиқилган ва жорий этилган. Энергетика ресурсларидан оқилона фойдаланиш ва электр энергия сифат кўрсаткичлари масалаларини ўрганиш бўйича хорижда бир қатор олимлар, жумладан А.В. Агунов, А.А. Татевосян, Venkataramana Ajjarapu, Ража Аййанар, F. Vlaabjerg, С.Н. Lin, Dr.K.Arulkumar, Yongheng Yang, И.И. Карташев ва бошқаларнинг ишларида кўриб чиқилган ва электр энергия сифат кўрсаткичларини яхшилаш усуллари, воситалари ўрганилган.

Ўзбек олимлари орасида қишлоқ электр таъминоти тизимида электр энергияси сифат кўрсаткичларини яхшилаш ва энергетика тизимида қайта тикланувчи энергия манбаларидан кенг фойдаланиш масалаларини ўрганиш бўйича К.Р. Аллаев, Р.А. Захидов, А. Раджабов, Х.М. Муратов, А.Ж.Исаков, А.М. Мирзабаев ва бошқалар томонидан катта ҳисса қўшилган.

Сезиларли муваффақиятларга қарамасдан, қишлоқ электр таъминоти тизимида қуёш фотоэлектрик станцияларни электр тармоқларига улаш тизимини такомиллаштириш, қўллаш ва тақсимлаш электр тармоқларида электр энергия сифат кўрсаткичларини яхшилаш масалалари янада кўпроқ илмий изланишларни талаб этади. Мазкур ишда, тақсимлаш тармоғи параметрлари асосида қуёш фотоэлектрик станциясини уланиши, ҳамда максимал қувват олиш орқали қувват назорати тизими билан боғлиқ масалалар атрофлича кўриб чиқилиб, унинг ечимлари таклиф этилган.

**Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқоти «Илмий-техника маркази» масъулияти чекланган жамиятининг илмий-тадқиқот режаларининг И-2015-2-21- сонли

«Намойиш синов полигонларини ташкил қилиш билан энергия самарадор ускуналар, қайта тикланувчи энергия манбаларини ишлаб чиқиш ва уларни ишлаб чиқаришни узлаштириш» (2015-2017), ФА-А4-ФО49-ПЗ-2014-0913071502-сонли «Иссиқлик насосларини қўллаган ҳолда қуёш-самарадор иссиқ совуқлик таъминоти тизимини ишлаб чиқиш ва гидроэлектростанциялари, қуёш фотоэлектростанциялари самарадорлигини шамол электр қушимчалари ҳисобига ошириш» (2017-2018) мавзуларидаги амалий давлат илмий-техник лойиҳалари доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** қуёш фотоэлектрик станцияларини қишлоқ электр таъминоти тизимидаги тақсимлаш тармоқларига уланишини таъминлаш ва самарадорлигини ошириш учун қувват назорати тизимини ишлаб чиқишдан иборат.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

қишлоқ электр таъминоти тизимидаги тақсимлаш тармоқларида электр энергия сифат кўрсаткичларини таҳлил этиш;

тақсимлаш электр тармоғига уланган қуёш фотоэлектрик станциясида максимал қувват олиш алгоритминини жорий этиш;

қишлоқ электр таъминоти тизимида паст кучланишли тармоққа уланган қуёш фотоэлектрик станцияларни реактив қувват бериш имкониятини асослаш;

тақсимлаш электр тармоғига уланган қуёш фотоэлектрик станцияларига актив ва реактив қувват назоратини тадбиқ этиш;

қишлоқ электр таъминоти тизимида қуёш фотоэлектрик станциясининг максимал қувват олиш алгоритми ва қувват назорати орқали электр энергия самарадорлигига эришиш;

**Тадқиқотнинг объекти** сифатида қишлоқ электр таъминоти тизимидаги истеъмолчилар ва тақсимлаш тармоқларига уланган қуёш фотоэлектрик станциялари ҳамда уларда ўрнатилган инверторлар олинган.

**Тадқиқотнинг предмети**ни қишлоқ электр таъминоти тизимидаги тармоқ параметрларини ҳисобга олган ҳолда қуёш фотоэлектрик станцияларида максимал қувват олиш нуқтаси ва қувват назоратини ишлаб чиқишни ташкил этади.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Тадқиқот жараёнида математик статистика ва эҳтимоллар назарияси, математик таҳлил, босқичли регрессион ва корреляцион-регрессион усуллардан фойдаланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

қишлоқ электр таъминоти тизимидаги тақсимлаш тармоғига уланган қуёш фотоэлектрик станциясининг максимал қувват узатиш усули кучланиш миқдори ўзгариши ҳисобга олиниб такомиллаштирилган;

қуёш фотоэлектрик станцияси инверторининг актив қувватини чегаралаш орқали электр тармоғига реактив қувват бериш имконияти асосланган;

қуёш фотоэлектрик станциясининг электр тармоқ хавфсизлигини таъминловчи “Anti-islanding” режими частотани ҳисобга олиб такомиллаштирилган;

куёш фотоэлектрик станцияси умумий уланиш нуктасида носинусоидаллик коэффициентини ҳисобга олиб актив ва реактив қувват назорати тизими ишлаб чиқилган;

**Тадқиқотнинг амалий натижаси** қуйидагилардан иборат:

қишлоқ электр таъминоти тизимидаги тақсимлаш тармоғига уланган куёш фотоэлектрик станциясида максимал қувват олиш нуктаси алгоритми қўлланилган;

тақсимлаш электр тармоқ параметрларини ҳисобга олган ҳолда куёш фотоэлектрик станциясининг қувват назорати усули ишлаб чиқилган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги.** Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги замонавий метрологик аттестациядан ўтган ўлчов асбоблари ва дастурларининг ва меърий ҳужжатларда кўрсатилган тадқиқот услубларининг қўлланилганлиги, шунингдек, назарий ва экспериментал натижаларнинг ўзаро мос келиши билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти қишлоқ электр таъминоти тизимидаги тақсимлаш тармоқ параметрларини ҳисобга олган ҳолда куёш фотоэлектрик станциясини улашда максимал қувват олиш ва қувват назорати методларининг қўлланилганлиги ва актив реактив қувватларга боғлиқ формулалар келтириб чиқарилганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти қишлоқ электр таъминоти тизимидаги тақсимлаш тармоқларига уланган куёш фотоэлектрик станциясида қувват назоратини ишлаб чиқишдан иборат. Ишлаб чиқилган усулнинг қўлланилиши куёш фотоэлектрик станцияларининг самарадорлигини 10.2% га ошириш имконини беради.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Қишлоқ электр таъминоти тизимидаги тақсимлаш тармоқ параметрларини ҳисобга олган ҳолда куёш фотоэлектрик станциясини улаш бўйича олинган натижалар асосида:

Куёш фотоэлектрик станциясида максимал қувват олиш нуктасини аниқлаш тизими жорий қилиш учун Наманган вилояти Поп туманидаги “Худудий электр тармоқлари корхонаси”га тегишли бўлган “Маргузор” подстанцияси 6 кВ лик Миробод фидерига уланган ТП №-216 (SH=250кВА, Утр=6/0,4 кВ) тақсимлаш электр тармоғи малумотларидан фойдаланилган ва шу ернинг ўзида қўлланилган (ЎЗР Энергетика вазирлигининг 2021 йил 5 январдаги №-03-26-62-сонли маълумотномаси), натижада куёш фотоэлектрик станциясининг ўртача кунлик самарадорлиги 10,2% оширишга эришилган.

Куёш фотоэлектрик станциясида қувват назорати усулини Наманган вилояти Поп туманидаги тақсимлаш электр тармоғида қўлланилган (ЎЗР Энергетика вазирлигининг 2021 йил 5 январдаги №-03-26-62-сонли маълумотномаси), натижада куёш фотоэлектрик станциясининг ўртача йиллик самарадорлиги 1,1 баробарга ошириш имконини берган.

Куёш фотоэлектрик станцияси энерготехамкорлиги Наманган вилояти Поп туманидаги тақсимлаш электр тармоғида қўлланилган (ЎЗР Энергетика



вазирлигининг 2021 йил 5 январдаги №-03-26-62-сонли маълумотномаси). Умумий қуввати 100 МВт бўлган 128 кВт қувватлик қуёш фотоэлектрик станциялари учун бир йилда 106 200 000 сўм иқтисодий самарага эришилиши аниқланган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Мазкур тадқиқот натижалари 7 та, шу жумладан 4 та халқаро ва 3 та республика илмий-амалий анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши.** Диссертация мавзуси бўйича жами 14 та илмий иш чоп этилган, шулардан, Ўзбекистон Республикаси Олий Аттестация Комиссиясининг диссертациялар асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларида 6 та мақола, жумладан, 2 та хорижий ва 4 та республика журналларида чоп этилган.

**Диссертациянинг ҳажми ва тузилиши.** Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, умумий хулосалар, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 148 бетни ташкил этади.

## **ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ**

**Кириш** қисмида ўтказилган тадқиқотларнинг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари, объект ва предмети тавсифланган, республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг ишончлилиги асосланган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиш, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг **«Қишлоқ электр таъминоти тизими истеъмолчилари ва тақсимлаш тармоқларига қуёш фотоэлектрик станцияларини улашнинг таҳлили»** деб номланган биринчи бобида қишлоқ электр таъминоти тизимидаги истеъмолчилар уларнинг характеристикалари, ҳамда қуёш фотоэлектрик станцияларнинг ривожланиш истиқболлари, жорий ҳолати, тақсимлаш электр тармоқларига уланиши ҳамда тармоқ параметрлари асосида ишлайдиган қуёш фотоэлектрик станциялар бўйича олиб борилган тадқиқотлар таҳлили баён этилган.

Тадқиқот иши доирасида, тақсимлаш параметрлари асосида қуёш фотоэлектрик станциясини улашни замонавий ҳолати бўйича адабиётлар таҳлили шуни кўрсатмоқдаки, қуёш фотоэлектрик станцияси инверторлари учун кирувчи номинал кучланишни меъёрида ушлаш ва уларнинг ишлаш режимлари самарадорлигини ошириш ҳамда реактив қувват бериш имкониятлари етарлича ўрганилмаган.

Кичик қувватли қуёш фотоэлектрик станцияларнинг турларидан келиб чиқиб, мамлакатимиз тақсимлаш электр тармоқларига уланадиган қуёш фотоэлектрик станциялардан максимал қувват олиш алгоритми ва қувват назорати жорий қилиниши кераклиги аниқланди. Олиб борилган илмий

тахлил асосида диссертация ишининг мақсад ва вазифалари шакллантирилган.

Диссертациянинг «Қуёш фотоэлектрик станцияларини тақсимлаш электр тармоғига таъсирларини баҳолаш» деб номланган иккинчи бобида тақсимлаш электр тармоғига уланган ҚФЭС кучланишини қувват баланси орқали бошқариш усули ва ечимлари келтирилган.

Электр энергиясининг асосий параметрларидан бири бу кучланиш оғиши булиб, у маълум бир қийматдан ошиб кетмаслиги керак ва оғишининг рухсат этилган қийматлари норматив ҳужжатларда келтирилган. Кучланиш оғишини қуйидаги формула орқали ифода этилади:

$$\Delta U_{\dot{y}} = \frac{U_{\text{ТК}} - U_{\text{Т}}}{U_{\text{Т}}} * 100\% \quad (1)$$

бунда  $\Delta U_{\dot{y}}$  – ҚФЭС электр тармоғига уланганда кучланиш оғиши (В);  $U_{\text{Т}}$  – электр тармоқ кучланиши (В);  $U_{\text{ТК}}$  – умумий уланиш нуқтасидаги кучланиш қиймати;

#### 1-жадвал.

##### ҚФЭС электр тармоғига уланганда номинал кучланишга боғлиқ параметрлари.

Фаза	$U_{\text{ТК}}$ (В)	$U_{\text{Т}}$ (В)	$U_{\text{н}}$ (В)	$\Delta U$ (%)	$\Delta U_{\dot{y}}$ (%)	Гост(0.4 кВ учун)
А	385	384	380	1.316	0.26	$\Delta U_{\text{мин}} \leq 5\%$ $\Delta U_{\text{мах}} \leq 10\%$
В	386	385		1.579	0.26	
С	383	380		0.789	0.789	

#### 2-жадвал.

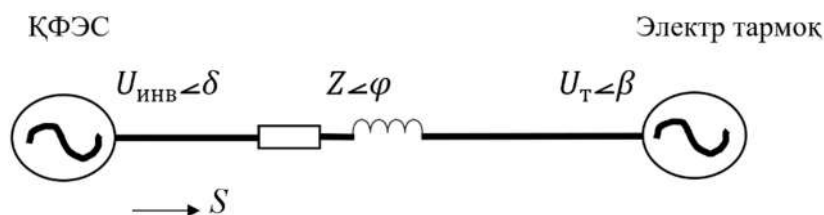
##### ҚФЭС инвертори ва электр тармоқ частотасига ва номинал частотага нисбатан фарқлари.

Фаза	$f_{\text{Т}}$ (Гц)	$f_{\text{ТК}}$ (Гц)	$f_{\text{НОМ}}$ (Гц)	$\Delta f$ (Гц)	$\Delta f_{\text{ТК}}$ (Гц)	$\Delta f_{\dot{y}}$ (Гц)	Гост (Гц)
А	49.99	50.07	50	0.01	0.07	0.08	$f_{\text{мин}} \leq \pm 0.2$ $f_{\text{мах}} \leq \pm 0.4$
В	49.97	50.06		0.03	0.06	0.09	
С	49.98	50		0.02	0	0.02	

бунда  $f_{\text{ТК}}$  – ҚФЭС тармоққа улангандаги частота қиймати;  $\Delta f$  – частота ўзгариши;  $f_{\text{НОМ}}$  – белгиланган номинал частота;  $f_{\text{Т}}$  – электр тармоқ частотаси

Электр тармоғининг ўзида унчалик катта бўлмаган частота ўзгаришларини кўришимиз мумкин (2-жадвал). Шу билан бирга ҚФЭСни электр тармоғига улангандан сўнг олинган натижа ҳам, рухсат этилган частота ўзгариши талабларига мос келади. Электр тармоқ частотасига нисбатан частота ўзгаришлари 0.1 Гц га ҳам етмаётганлигини кузатиш мумкин.

Қуёш фотоэлектрик станциясининг электр тармоғига узатадиган қувватини аниқлаш учун, электр тармоқлари базавий теория асосларига кўра ўрганилди. Иккита манба орасидаги ўзгарувчан ток қувват оқими 1-расмда кўрсатилган.



**1-расм. Қуёш фотоэлектрик станцияси ҳамда электр тармоқ орасидаги ўзгарувчан ток оқими**

Юқоридаги расмда  $Z = R + jX$  қаршилик орқали уланган иккита қувват манбаи тасвирланган.

бу ерда  $|Z| = \sqrt{R^2 + X^2};$  (2)

$$\varphi = \tan^{-1}\left(\frac{X}{R}\right);$$
 (3)

1- ва 2-манбалар мос равишда қуёш фотоэлектрик станцияси ҳамда электр тармоғини билдиради.

1- манба  $U_{инв} < \delta$  орқали, 2-манба  $U_T < \beta$  орқали ифодаланди, бу ерда:  $U$ -кучланишнинг ўртача квадратик қиймати, бурчак белгиларини қўйилиши бу катталикларни вектор кўринишида эканлигини билдиради.

Агар қувват 1- манбадан 2- манбага  $Z$  қаршилиги орқали узатилса ва ток кучи  $I$  бўлса, уни қуйидагича ифодалашимиз мумкин:

$$I = \frac{U_{инв} < \delta - U_T < \beta}{R + jX} = \frac{U_{инв} < \delta - U_T < \beta}{Z < \varphi};$$
 (4)

$$S = \frac{U_{инв}^2}{Z} \cos \varphi - \frac{U_{инв} U_T}{Z} \cos(\delta - \beta + \varphi) + j\left(\frac{U_{инв}^2}{Z} \sin \varphi - \frac{U_{инв} U_T}{Z} \sin(\delta - \beta + \varphi)\right);$$
 (5)

$$P = \frac{U_{инв}^2}{Z} \cos \varphi - \frac{U_{инв} U_T}{Z} \cos(\delta - \beta + \varphi);$$
 (6)

$$Q = \frac{U_{инв}^2}{Z} \sin \varphi - \frac{U_{инв} U_T}{Z} \sin(\delta - \beta + \varphi);$$
 (7)

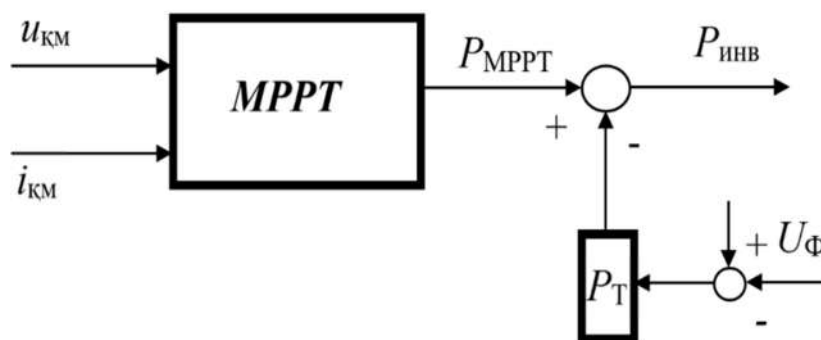
0.4 кВ тақсимлаш электр тармоқ кучланишида фаза кучланиши 220 В ни ташкил этади, нагрузка бурчагини реал баҳолаб  $\beta = 0^0$  деб олинди. Қуёш фотоэлектрик станцияси ва электр тармоқ орасидаги боғланишни актив қаршилиги деярли нол қийматга яқин деб қабул қилинса, актив қувват атрофидаги қувват исрофи ҳам шунга мос ҳолда нол қийматга тенг бўлади. Юқоридагиларни инобатга олган ҳолда қуёш фотоэлектрик станциясидан

паст кучланишли тақсимлаш электр тармоқларига узатиладиган қувват ҳақида қуйидагича хулоса келиб чиқади:

-узатиладиган актив қувват асосан  $\delta$  нагрузка бурчагига боғлиқ.

-узатиладиган реактив қувват асосан  $U_{инв}$  инвертор чиқиш кучланишининг ўртача квадратик қийматига боғлиқ.

Паст кучланишли тақсимлаш электр тармоқлари купроқ актив хусусиятга эга бўлганлиги учун, электр тармоқ кучланиши реактив қувватга нисбатан актив қувватга купроқ боғлиқ. Одатда электр тармоғига уланадиган инверторлар қувват манбаи сифатида МРРТ алгоритми билан бирга назорат қилинади. Инвертор орқали узатилаётган қувват қуёш модулларида келаётган ўзгармас ток кучланиши ( $U$ ) билан характерланади (2-расм).

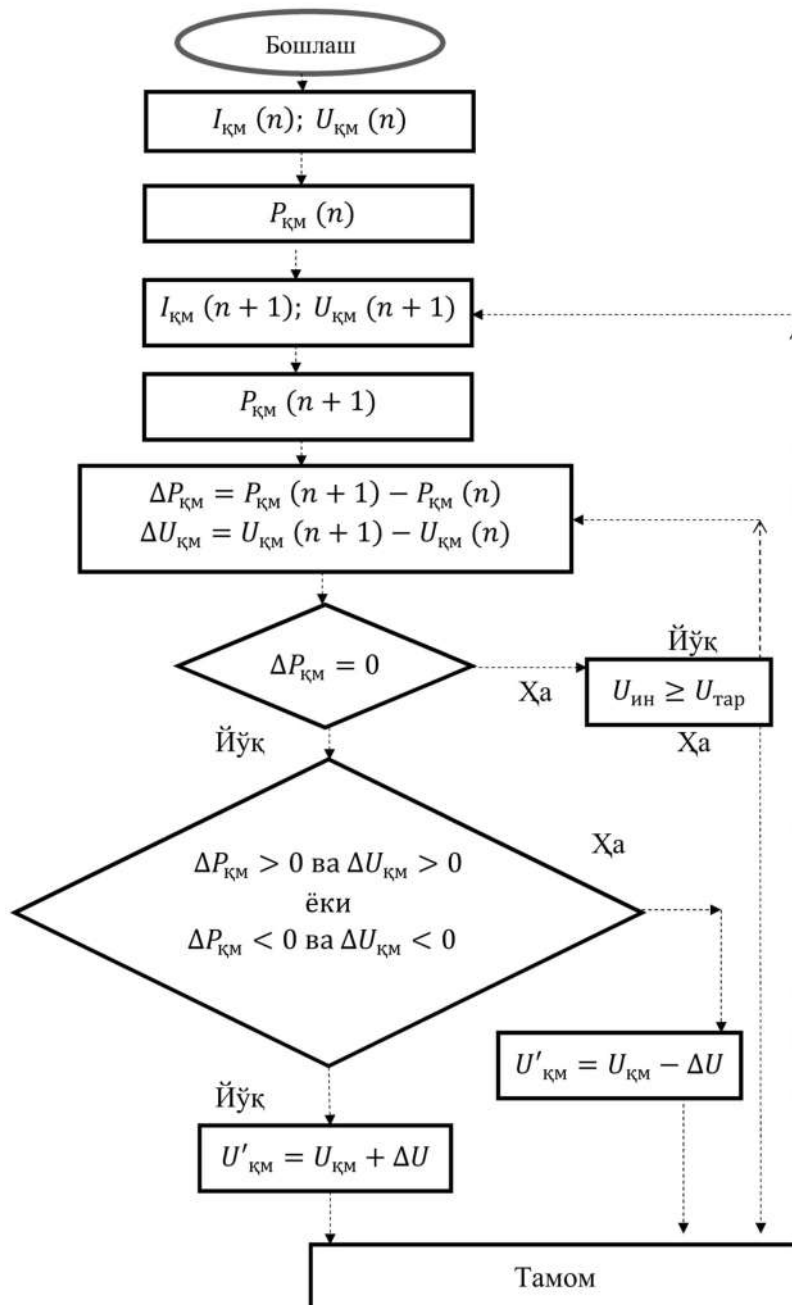


**2-расм. Инвертор чиқишининг актив қувватини камайтириш блок схемаси**

$$P_{инв} = P_{MPPT} - P_T = P_{MPPT} - k(U - U_{Ф}) \quad (8)$$

бунда  $k$  – коэффициент маълум бир ораликда қисқартирилиши керак бўлган қувватни ўзгартирилиши керак бўлган кучланишга нисбати билан аниқланади,  $U \geq U_{Ф}$  ва  $P_{инв} \geq 0$ . Бунда  $P_{MPPT}$  – қуёш модуллари орқали узатилаётган (маълум катталиқдаги қуёш радиациясида остидаги) максимал кВт бирликдаги қувват,  $U_{Ф}$  – қисқартирилиши керак бўлган қувват билан аниқланадиган кучланиш миқдори.  $U \leq U_{Ф}$  бўлган вазиятда  $P_{MPPT}$  инвертор орқали электр тармоғига узатилиши давом этади.

Максимал қувват олиш нуктаси алгоритмига кўра, дастур қуёш модулларида келаётган ток кучи ( $I_{кМ}$ ) ҳамда кучланишнинг ( $U_{кМ}$ ) оний қийматларини аниқлайди. Қуёш модуллари орқали келаётган қувватнинг ( $P_{кМ}$ ) оний қийматини ҳисоблайди. Сўнгра қуёш модуллари орқали келаётган ток кучи ва кучланишни вақтнинг кейинги моментидаги қийматларини аниқлайди ва худди шу вақт моментидаги қувватни ҳисоблайди. Турли хил вақт моментларида олинган қувват ( $\Delta P_{кМ}$ ) ва кучланиш ( $\Delta U_{кМ}$ ) қийматларининг фарқи ҳисоблаб чиқилади. Аниқланган фарқлар асосида қуёш модулларида келаётган кучланиш қийматини камайтириш ёки ошириш ҳақида ахборот жўнатилади (3-расм).



3-расм. Максимал қувват олиш нуқтаси алгоритм блок-схемаси

Диссертациянинг «Қуёш фотоэлектрик станцияси параметрлари ва уларнинг ўзгаришини тақсимлаш электр тармоқлари параметрлари билан синхрон ишлашини асослаш» деб номланган учинчи бобида қуёш фотоэлектрик станцияси инвертор чиқиш параметрларининг ўзгариш шартлари ва электр тармоғи билан синхрон ишлай олиши, жумладан “Anti-islanding” режимида ишлаши кўрсатиб ўтилган.

ҚФЭС тақсимлаш электр тармоғига қувват узата олишнинг энг асосий шартларидан бири бу инвертор орқали узатилаётган электр энергияси параметрларининг электр тармоқ электр энергияси параметрларига мос келишидир.

Уч фазали тизимда кучланиш ўзгариши синусоида бўлса, кучланишнинг модули ва ўзгариш тезлиги ўзгармас катталиқда сақланади.

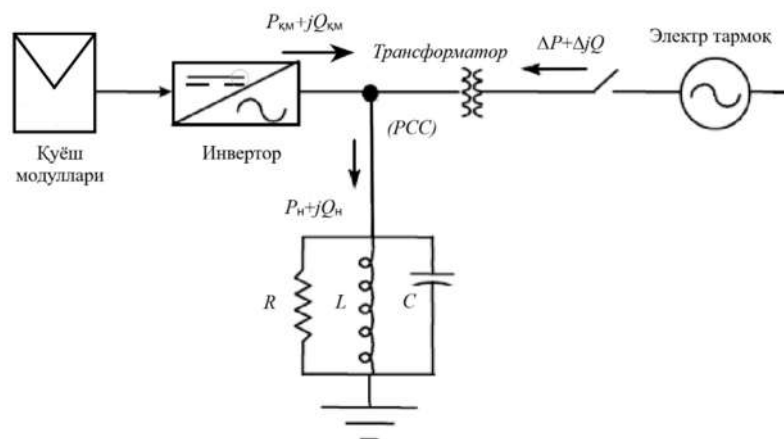
$$U_{abc} = \begin{bmatrix} U_a \\ U_b \\ U_c \end{bmatrix} = U \begin{bmatrix} \cos(\omega t + \varphi) \\ \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3} + \varphi) \\ \cos(\omega t + \frac{2\pi}{3} + \varphi) \end{bmatrix} \quad (9)$$

“Симметрик ташкил этувчилар” методидида носимметрик бўлган электр тармоқларининг параметрларини мусбат, манфий ва ноль кетма-кетликдан иборат уч қисмга ажратилган. (10) ифодада ток кучи ва кучланиш учун бир вахтда фойдаланса бўладиган формула келтирилган.

$$\begin{bmatrix} i_0 & v_0 \\ i_1 & v_1 \\ i_2 & v_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a & v_a \\ i_b & v_b \\ i_c & v_c \end{bmatrix} \quad (10)$$

бунда  $a = e^{j120^\circ}$  ҳамда 0,1,2- рақамлар мос равишда ноль, мусбат ва манфий кетма-кетликларни ифодалайди.

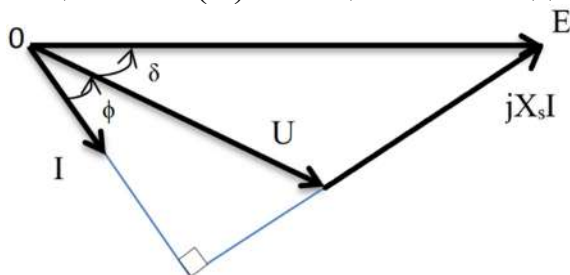
Электр тармоқларида юқори ток оқими, паст ёки ўта кучланиш ва паст ёки юқори частотага қаши пассив ҳимоя тизимлари ҚФЭС инверторининг ишлашинга қаршилик қилади. Шу билан бирга, тизимда “Anti-islanding” ҳимояси ҳам қўлланилиши керак бўлади.



**4-расм. Электр тармоғига уланган ҚФЭС қувват оқими схемаси**

Электр тармоғига уланган инверторнинг чиқиш токи куйиш панелидан таъминланади. L1 ғалтак ҳамда d диод қурилмаси ўзгармас кучланишни бир қийматдан бошқа бир қийматга ўзгартириш вазифасини бажаради. C конденсатори ва S1,S2,S3...S6 диодлар уч фазали инверторнинг асосини ташкил этади Жараённинг мазмуни L, LC, R ва LCL каби чиқиш филтърлари, ҳамда индуктив ғалтак ишини таҳлил этиш орқали ифода этилади.

Инверторнинг чиқиш кучланиши ( $E$ ), инверторнинг чиқиш токи ( $I$ ), индуктив қаршиликдаги кучланиш тушиши ( $\Delta E = jX_s I = j\omega LI$ ) ва электр тармоқ кучланишининг таркибий қисмини ( $U$ ) асос қилиб олинади.



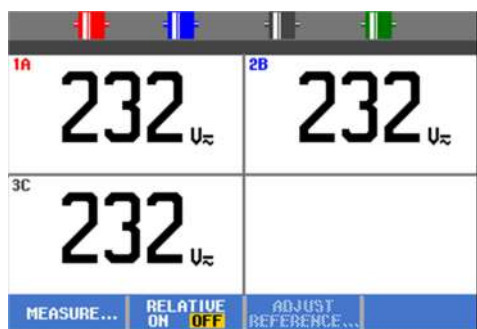
**5-расм. Электр тармоқ кучланиши ( $U$ ) ва нагрузка бурчаги( $\delta$ ) вектор диаграммаси**

бунда  $\varphi$ - тармоқ кучланиши ва инвертордан чиқадиган ток кучи орасидаги бурчак,  $\delta$ - нагрузка бурчаги, тармоқ кучланиши ва инвертор чиқиш кучланиши орасидаги бурчак.

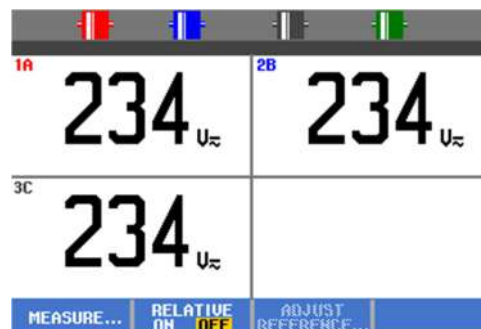
Вектор диаграммадан куйидаги ифодаларга эга бўлдик:

$$\vec{E} = \vec{U} + jX_s \vec{I} \quad (11)$$

$$E \sin(\delta) = X_s I \cos(\varphi) \quad (12)$$



а)



б)

**6-расм. ҚФЭС ва электр тармоғига уланган нуктадаги кучланиш қийматлари**

ҚФЭС ҳамда электр тармоғининг уланиш нуктасида кучланиш қийматини ўлчаш (6-расм) икки босқичда амалга оширилди:

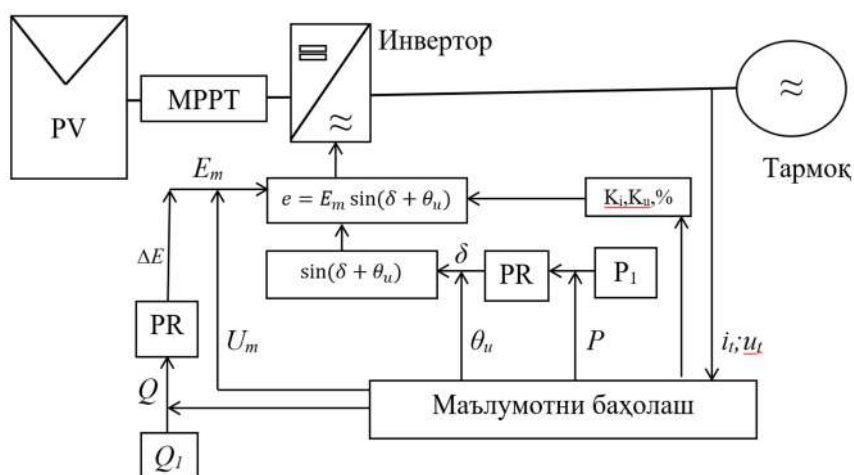
а) ҚФЭСнинг электр тармоғига қувват узатиш қиймати нолга тенг, бу кўрсаткич 0,4кВ лик тақсимлаш электр тармоғининг ҳар бир фазадаги кучланиш қиймати 232В га тенг эканлигини кўрсатади.

б) ҚФЭСнинг электр тармоғига қувват узатиш қиймати 3,4кВтга тенг, ҚФЭС электр тармоғига қувват узатишни бошлаганда электр тармоғида кучланиш қиймати ортиб бориши кузатилди. Узатилаётган қувват 3,4кВт бўлганда, ҚФЭС ва электр тармоқ уланган нуктадаги кучланиш қиймати ҳар бир фазада 234В ни ташкил этди. Бу кўрсаткичларни фоизда ифодаланса, ўрганилаётган 0,4кВлик тақсимлаш электр тармоғида кучланиш оғиши

5,45%дан 6,36%га ўзгарди. Демак кучланиш оғиши стандарт талабларига тўлиқ жавоб беради.

Диссертациянинг «Тақсимлаш электр тармоғига уланган қуёш фотоэлектрик станциясида қувват назоратини қўллаш ва унинг техник-иқтисодий самарадорлигини асослаш» деб номланган тўртинчи бобида Наманган вилояти Поп туманидаги “Худудий электр тармоқлари корхонаси”га тегишли бўлган “Марғузур” подстанцияси 6 кВ лик Миробод фидрида жойлашган ТП №-216 (SH=250кВА,  $U_{тр}=6/0,4$  кВ) тақсимлаш электр тармоғига уланган ўрнатилган қуввати 128 кВт бўлган ҚФЭС мисолида қувват назорати синовдан ўтказилган ва техник-иқтисодий жиҳатдан самарадорлиги аниқланган.

Бу тизим фотоэлектрик модуллардан (PV), DC/DC ўзгартиргич MPPT билан бирга, уч фазали инвертор, актив ва реактив қувват назорат қурилмасидан иборат. Назорат схемаси икки қисмдан иборат: биринчи қисм тармоққа узатиладиган актив қувватни нагрузка бурчаги ( $\delta$ ) орқали назорат қилади. Иккинчи қисм реактив қувватни инвертор чиқиш кучланиши ( $E$ ) қиймати орқали назорат қилади (7-расм).



7-расм. Уч фазали электр тармоғига уланган ҚФЭС қувват назорати схемаси

Инвертор орқали электр тармоғига узатиладиган актив қувватни ( $P$ ) қуйидагича ифодаланган:

$$P = UI \cos(\varphi) = \frac{UE}{X_s} \sin(\delta) \quad (13)$$

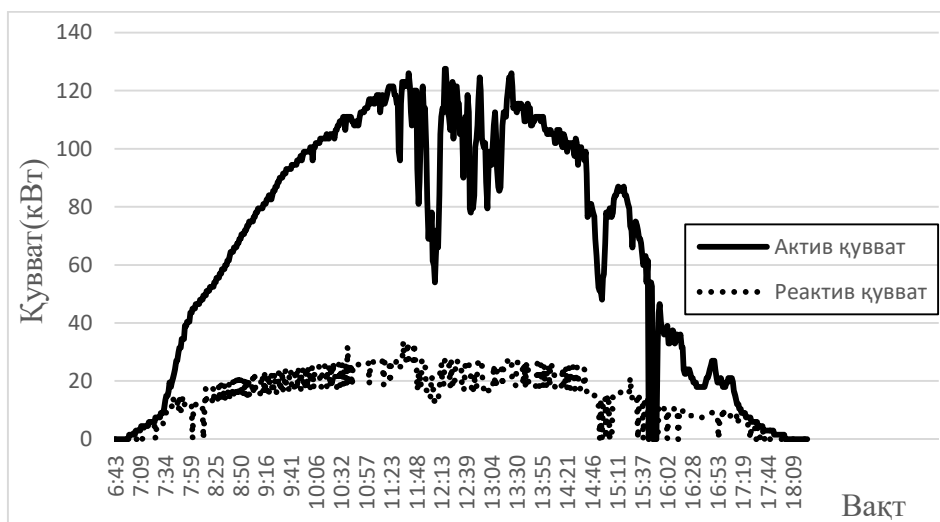
Шунингдек, инвертор орқали электр тармоғига узатиладиган реактив қувватни ( $Q$ ) қуйидагича ифодалаймиз.

$$Q = \frac{UE}{X_s} \cos(\delta) - \frac{U^2}{X_s} = \frac{U}{X_s} (E \cos \delta - U) \quad (14)$$

7-расмда кўрсатилгандек, назорат қурилмаси тармоққа узатилаётган реактив қувват ( $Q$ ) билан таклиф этилаётган реактив қувватни ( $Q_1$ ) таққослайди. Таққослаш натижасидаги реактив қувватлар фарқи PR



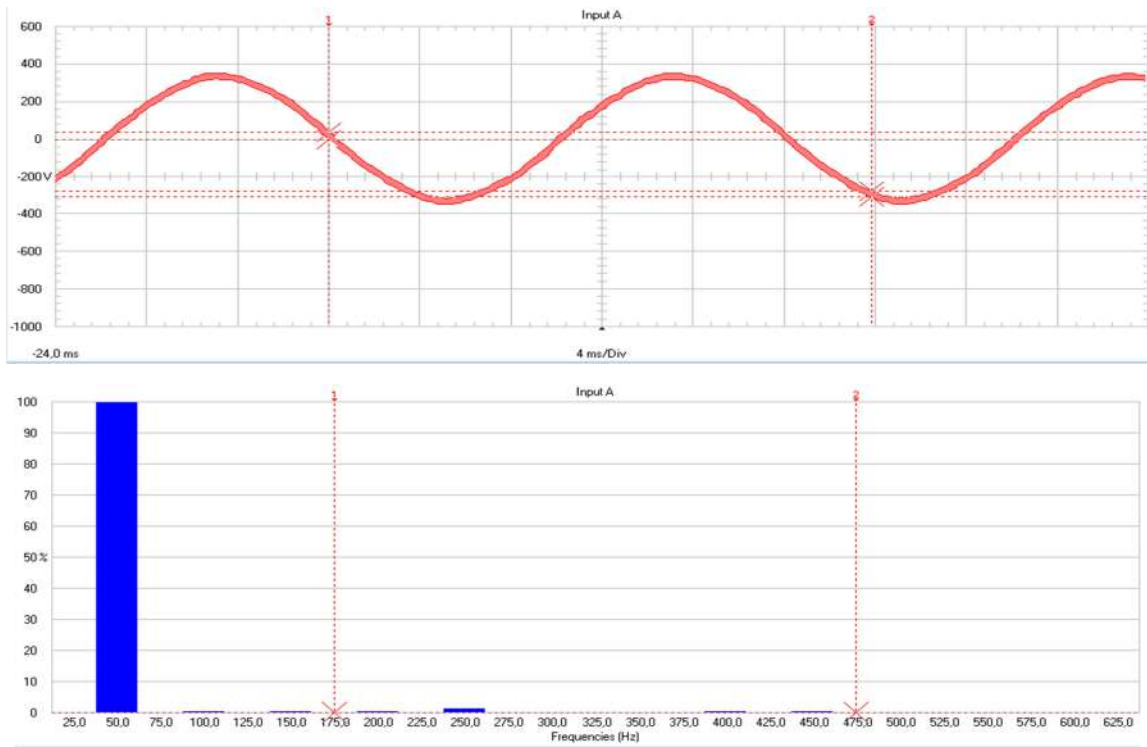
туғирлагичи орқали ўтади ва тармоқ кучланишининг амплитудасига ( $U_m \approx \text{const}$ ) қўшилади натижавий қиймат инвертор чиқиш кучланишининг амплитуда қийматини ( $E_m$ ) ташкил этади. Бошқа томондан, назорат қурилмаси инвертордан чиқаётган актив қувватни ( $P$ ) талаб этилаётган актив қувват ( $P_1$ ) билан таққослайди. Актив қувватлар фарқи бошқа бир PR туғрилагичи орқали ўтади ва бу фарқ нагрузка бурчагини ( $\delta$ ) юзага келтиради. Нагрузка бурчаги ўз навбатида кучланишлар орасидаги фазалар фарқига ( $\theta_u$ ) таъсир этади ва инвертор чиқиш кучланишининг фазалар фарқи ( $\delta + \theta_u$ )га тенг бўлади. Натижада DC/AC инверторнинг чиқиш кучланиши ( $e$ ), инвертор чиқиш кучланишининг амплитудасини ( $E$ ) фазалар фарқи  $\sin(\delta + \theta_u)$ га кўпайтмаси билан аниқланади.



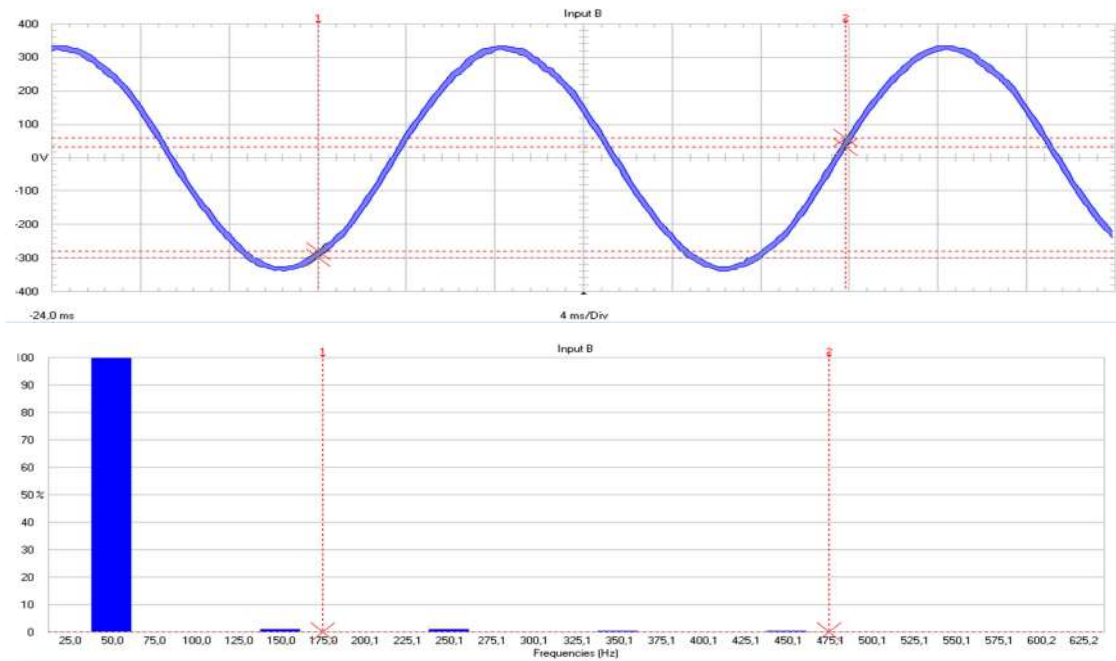
**8-расм. ҚФЭС суткалик ишлаб чиқариш қуввати**

8-расмда ҚФЭС ишлаб чиқараётган актив ва реактив қувватлар куёш радиациясига боғлиқ равишда ўзгармоқда. Атроф муҳит ҳарорати ортиши билан ҚФЭС фойдали иш коэффициентини камайиши кўзатилди, шу билан бирга ҚФЭС ишлаб чиқарайтган реактив қувват ортиши натижаларда кўрсатилди.

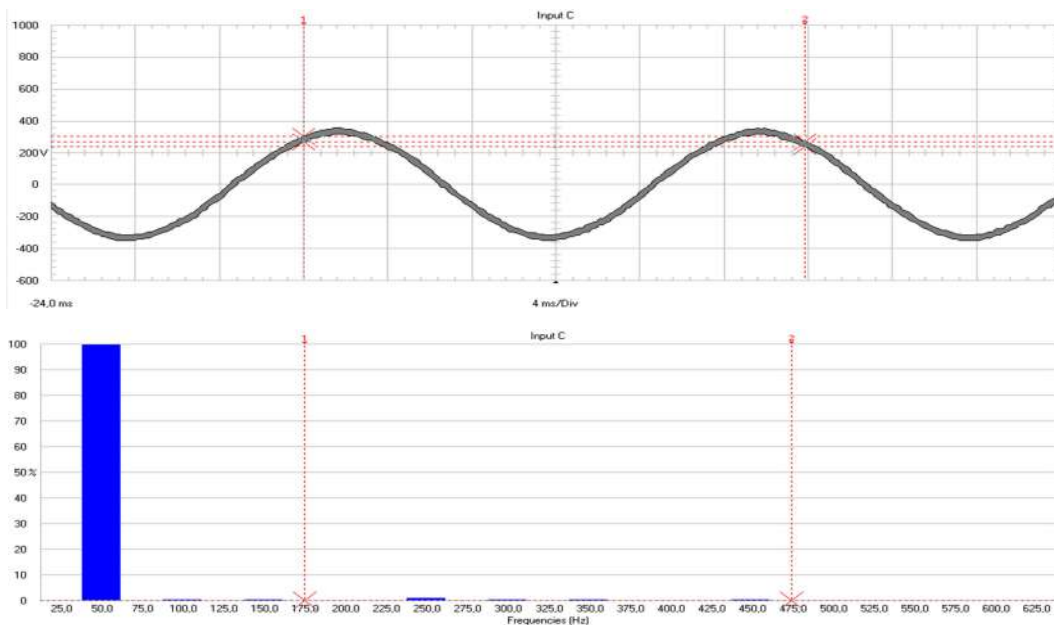
ҚФЭСнинг кундузги соат 12:17 да максимал актив қувват манбаи эканлиги кўрсатилган. Худди шу вақт оралиғида ҚФЭС 8,5 кВт актив қувват ишлаб чиқармоқда. Шу даврда кучланиш частотаси 49,9 Гц ни ташкил этди. Инвертор кириш кучланиши ва то кучи мос равишда 504 В ва 173 А ни ташкил қилди. Инвертор 10.5 кВА кучга эга эканлигини ҳисобга олсак, инверторимиз 99,7% қувват коэффициенти билан ишламоқда, реактив қувватнинг ўзгариши куёш нурланишининг радиацияси ўзгариши билан боғлиқ. Графикда, ҚФЭСнинг кундузги соат 11<sup>39</sup> да максимал реактив қувват манбаи эканлиги кўрсатилган. Шу вақтда ҚФЭС 2.2 кВАР реактив қувват ишлаб чиқарилмоқда. Худди шу даврда кучланиш частотаси 50,0 Гц ни ташкил этди. Инвертор кириш кучланиши ва ток кучи мос равишда 485В ва 173А ни ташкил қилди. Инверторнинг 10.5 кВА қувватига эга эканлигини ҳисобга олганда, инвертор 96,4% қувват коэффициенти билан ишламоқда.



9-расм. “А” фазадаги кучланиш гармоникалари

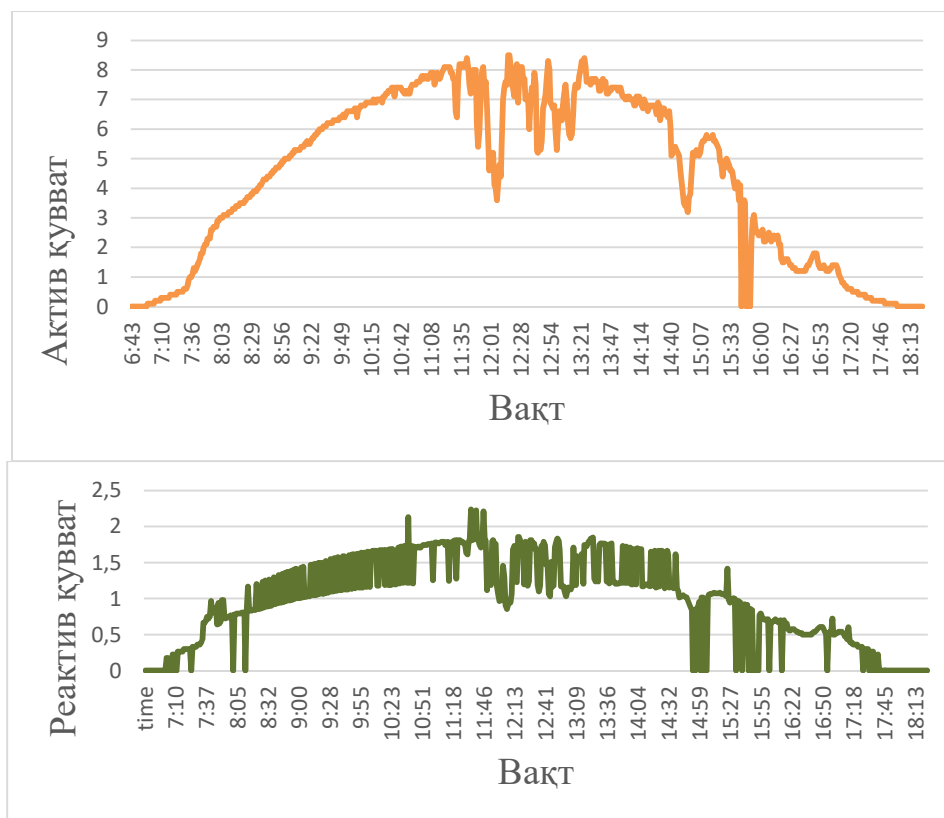


10-расм. “В” фазадаги кучланиш гармоникалари



**11-расм. “С” фаздаги кучланиш гармоникалари**

9,10,11-расмлардан кўринадики, барча фазаларда кучланиш графиги синусоида бўйича ўзгармоқда ва умумий носинусоидаллик коэффиценти 1,58%, 5-тартибли юқори гармониканинг қийматлари бошқаларига нисбатан юқорироқ, лекин 2% дан камни ташкил этди.



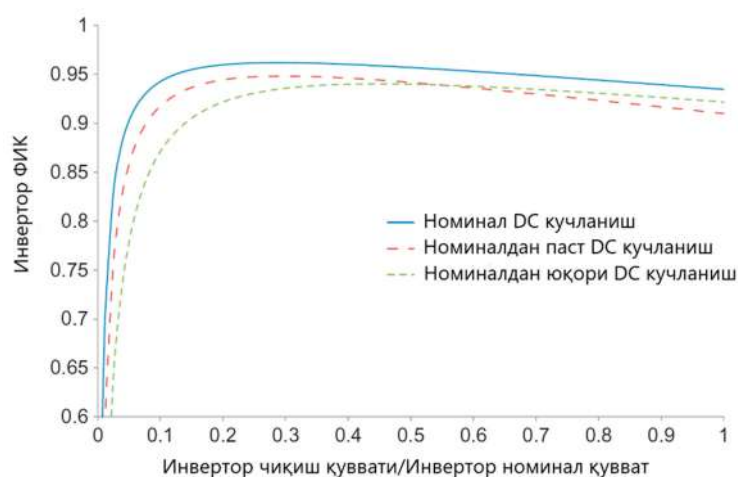
**12-расм. ҚФЭСнинг актив ва реактив қувват ишлаб чиқариш имконияти**

$$\mu_{DC \text{ дан } AC}^{\text{ўзгартиргич}} = \frac{\int_0^{T_M} P_{AC}(t) dt}{\int_0^{T_M} P_{DC}(t) dt} \quad (15)$$

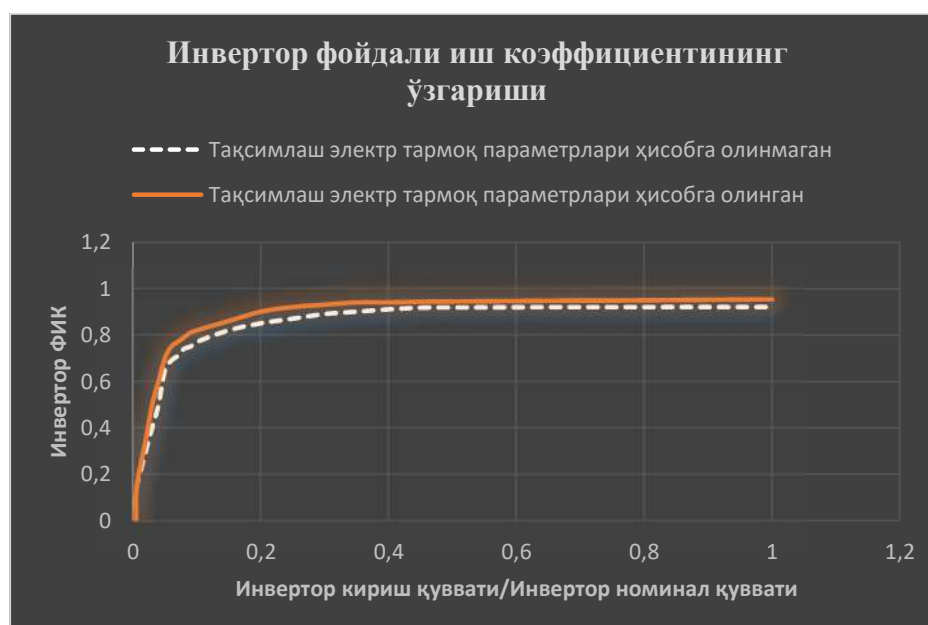
$$\mu_{\text{Мак.кув.ол.нуқ.}} = \frac{\int_0^{T_M} P_{DC}(t) dt}{\int_0^{T_M} P_{\text{МҚОН}}(t) dt} \quad (16)$$

$$\mu_{\text{ИНВ}}^{\text{ФИК}} = \frac{\int_0^{T_M} P_{AC}(t) dt}{\int_0^{T_M} P_{\text{МҚОН}}(t) dt} = \mu_{DC \text{ дан } AC}^{\text{ўзгартиргич}} * \mu_{\text{Мак.кув.ол.нуқ.}} \quad (17)$$

$$\mu_{\text{ИНВ.ФИК}} = 0.03\mu_{\text{ФИК}}^{5\%} + 0.06\mu_{\text{ФИК}}^{10\%} + 0.13\mu_{\text{ФИК}}^{20\%} + 0.1\mu_{\text{ФИК}}^{30\%} + 0.48\mu_{\text{ФИК}}^{50\%} + 0.2\mu_{\text{ФИК}}^{100\%} \quad (18)$$



**13-расм. Инвертор ФИКининг инверторга кирувчи ўзгармас ток кучланишига боғлиқлик графиги**



**13-расм. Инвертор ФИКининг қувват назоратидан кейинги ўзгариши**

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{\text{кунлик-фойда}} &= P_{\text{ҚФЭС}} \cdot \text{соат} * 10.2\% = 100 \text{ МВт. соат} * 10.2\% \\ &= 10.2 \text{ МВт. соат} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{\text{йилликфойда}} &= \mathcal{E}_{\text{кунлик-фойда}} * 300 \text{ кун} = 10.2 \text{ МВт. соат} * 300 \\ &= 360 \text{ МВт. соат} \end{aligned}$$

Бугунги кунда Ўзбекистондаги 1 кВт.соат электр энергиясини нархи 295 сўм эканлигини ҳисобга олсак:

$$\begin{aligned} \Phi_{\text{йиллик}} &= \mathcal{E}_{\text{йилликфойда}} * \frac{295 \text{ сўм}}{\text{кВт. соат}} = 360 \text{ МВт. соат} * \frac{295 \text{ сўм}}{\text{кВт. соат}} = \\ &= 360000 \text{ кВт. соат} * \frac{295 \text{ сўм}}{\text{кВт. соат}} = 106\,200\,000 \text{ сўм} \end{aligned}$$

**Диссертация иши иловаларида ҚФЭС** уланган қишлоқ электр тармоқларидаги қувват исрофларининг ҳисоб-китоблари, ЭҲМ дастури учун гувоҳнома, жорий этилганлиги гувоҳномаси ва олинган натижаларнинг маълумотномалари келтирилган.

## ХУЛОСА

«Қишлоқ электр таъминоти тизими тақсимлаш тармоқларига қуёш фотоэлектрик станцияси уланишини асослаш» мавзусидаги техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижалари асосида қуйидаги хулосалар тақдим этилган:

1. Тақсимлаш электр тармоғига уланган қуёш фотоэлектрик станция инверторлари учун максимал қувват олиш нуқтасини аниқлаш алгоритми яратилди, натижада қувватни назорат қилиш имкониятига эришилди.

2. Қишлоқ электр таъминоти тизимида паст кучланишли тармоққа уланган қуёш фотоэлектрик станция инверторининг реактив қувват бериш имконияти борлиги аниқланди, натижада инвертор орқали узатилаётган реактив қувватни кузатиб бориш имконияти яратилди.

3. Қуёш фотоэлектрик станцияси учун “Anti-islanding” режимида ишлаш алгоритми ишлаб чиқилди, натижада тақсимлаш электр тармоғи хавфсизлиги таъминланди.

4. Тақсимлаш электр тармоғига уланган қуёш фотоэлектрик станциясининг кунлик иш режимларини кузатиб бориш имкониятига эга компьютер дастури ишлаб чиқилди, натижада истеъмолчининг қувватидан келиб чиқиб қувват балансини таъминлашга эришилди;

5. Қишлоқ электр таъминоти тизимида ҚФЭС умумий уланиш нуқтасида носинусоидаллик коэффициентини ҳисобга олиб актив ва реактив қувват назорати жорий этилди, натижада станциянинг кунлик самарадорлиги ўртача 10,2%га ошганлиги аниқланди.

6. Умумий қуввати 100МВт бўлган электр тармоғига уланган ҚФЭСлар учун йилига 106 200 000 сўм самарадорликка эришиш мумкинлиги аниқланди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.03/30.12.2019.Т.10.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ  
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ ИНСТИТУТЕ  
ИНЖЕНЕРОВ ИРРИГАЦИИ И МЕХАНИЗАЦИИ  
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

---

**ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ЭНЕРГЕТИКИ  
АКАДЕМИИ НАУК РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ТУРАЕВ АКРАМЖОН ИКРОМЖОНОВИЧ**

**ОБОСНОВАНИЕ ПОДКЛЮЧЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ  
ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ К РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫМ  
СЕТЯМ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СЁЛ**

**05.05.07 – «Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве»**

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD)  
ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

**ТАШКЕНТ – 2021**

**Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан под номером № B2021.4.PhD/T1827.**

Диссертация выполнена в Институте проблем энергетики Академии наук Республики Узбекистан.

Автореферат диссертации на трёх языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета ([www.tiame.uz](http://www.tiame.uz)) и Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)).

**Научный руководитель:** Муратов Хаким Махмудович  
доктор технических наук, профессор

**Официальные оппоненты:** Исаков Абдусайд Жалилович  
доктор технических наук, профессор

Болтаев Отабек Ташмухамматович  
доктор философии по техническим наукам (PhD), доцент

**Ведущая организация:** Ферганский политехнический институт

Защита диссертации состоится «\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 г. в \_\_ часов на заседании Научного совета DSc.03/30.12.2019.T.10.01 при Ташкентском институте инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства (Адрес: 100000, г.Ташкент, ул. Кары Ниязи, 39. Тел.: (+99871) 237-09-45, факс: (+99871) 237-38-79, e-mail: [admin@tiame.uz](mailto:admin@tiame.uz)).

С диссертацией можно ознакомиться в информационно-ресурсном центре Ташкентского института инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства (регистрационный номер \_\_). Адрес: 100000, г. Ташкент, ул. Кары Ниязи, 39. Тел.: (+99871) 237-09-45, факс: (+99871) 237-38-79, e-mail: [admin@tiame.uz](mailto:admin@tiame.uz)).

Автореферат диссертации разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 года.

(Реестр протокола рассылки №\_\_ от «\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 г).



**Б.С.Мирзаев**  
Председатель научного совета по присуждению учёных степеней, доктор технических наук, профессор

**У.Т.Кузиев**  
Ученый секретарь научного совета по присуждению учёных степеней, д.ф.т.н. (PhD), доцент

**Х.М.Муратов**  
Председатель научного семинара при научном совете по присуждению учёных степеней, д.т.н., профессор



## **ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))**

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире обеспечение энергосбережения в распределительных сетях системы электроснабжения сельских районов и использование возобновляемых источников энергии, включая подключение солнечных фотоэлектрических станций к распределительной сети, является одной из ведущих позиций. Существуют различные подходы к строительству малых и больших солнечных электростанций по всему миру, синхронному подключению к электросети, повышению качества электроэнергии в системах электроснабжения сельских районов по всей стране и приведению энергосистемы в соответствие с международными стандартами. В связи с этим важно определить степень зависимости баланса мощности от технологических факторов и обеспечить параллельную работу солнечных фотоэлектрических установок с электросетью.

В мире ведутся исследования по разработке методов подключения солнечных фотоэлектрических станций к распределительным сетям в системах электроснабжения сельских районов и их решений. В связи с этим приоритет отдается исследованиям по повышению надежности электроснабжения, включая расширение доступа к возобновляемым ресурсам в распределительных сетях для сельского хозяйства, контроль поставляемой активной реактивной мощности и доступ к цифровым технологиям. При этом особое внимание уделяется выявлению наиболее важных факторов, влияющих на подключение к распределительной сети на солнечных фотоэлектрических электростанциях, разработке систем управления станциями на основе параметров электросети.

В Республике Узбекистан проводятся масштабные реформы, направленные на ускоренное развитие технологий использования возобновляемых источников энергии для устойчивого электроснабжения и развития распределительных сетей сельских районов. Строятся малые гидроэлектрические и солнечные фотоэлектрические станции. При этом актуальной проблемой является оптимальное подключение источников электроэнергии к сетям потребителей. Особенно, распределительные сети сельских мест характеризуются достаточно высокой несинусоидальностью, которые препятствуют успешному интегрированию солнечных фотоэлектрических станций и выдаче максимального количества электроэнергии к сетям. В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан в 2017-2021 годах определены, в частности задачи «...снижение энерго-ресурсоемкости экономики, широкое внедрение в производство энергосберегающих технологий, повышение производительности производства...»<sup>1</sup>, разработке современных технологий и устройств выработки электроэнергии на основе возобновляемых источников энергии.

<sup>1</sup>Указ Президента Республики Узбекистан № ПП-4947 от 7 февраля 2017 года «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан».

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Указах и Постановлениях Президента Республики Узбекистан УП-4947 от 7 февраля 2017 г. «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан в 2017-2021 годах», ПП-3012 от 26 мая 2017 года «О программе мер по дальнейшему развитию возобновляемой энергетики, повышению энергоэффективности в отраслях экономики и социальной сферы на 2017-2021 годы», а также в других нормативно-правовых документах, принятых в этой сфере.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики.** Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий республики II. «Энергетика, энерго- и ресурсосбережение»

**Степень изученности проблемы.** Обширные исследования, направленные на разработку способов подключения и усовершенствованию солнечных фотоэлектрических станций с учетом параметров распределительной сети в системе электроснабжения проводятся в ведущих исследовательских институтах и университетах по всему миру. В результате исследования были разработаны и внедрены информационные системы для оценки, управления, анализа и мониторинга показателей качества электроэнергии посредством интеграции солнечных фотоэлектрических установок в сеть. Ряд зарубежных ученых, в том числе А.В. Агунов, А.А. Татевосян, Venkataramana Ajjarapu, Ража Айянар, F. Blaabjerg, С.Н. Lin, Dr.К. Arulkumar, Yongheng Yang, И.И. Карташев и другие исследовали методы и средства повышения качества электроэнергии.

Среди узбекских ученых К.Р. Аллаев, Р.А. Захидов, А. Раджабов, Х.М. Муратов, А. Ж. Исаков, А.М. Мирзабаев внесли большой вклад в это научное направление.

Несмотря на значительные успехи, вопросы усовершенствования, внедрения и интеграции солнечных фотоэлектрических в электрические сети, в том числе в распределительные сети сельских районов требуют дальнейших научных исследований для повышения показателей качества электроэнергии.

**Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ научного учреждения, где выполнена диссертация.** Диссертационное исследование основано на научно-исследовательских планах ООО «Научно-технический центр» № И-2015-2-21 «Разработка энергоэффективного оборудования, возобновляемых источников энергии и согласование их производства с организацией демонстрации. испытательные площадки» (2015-2017) и FA-A4-FO49-P3-2014-0913071502 «Разработка солнечно-эффективных систем горячего-холодного снабжения с использованием тепловых насосов и повышения КПД гидроэлектростанций, солнечных фотоэлектрических станций за счет применения ветроэнергетики» (2017-2018 гг.).

**Целью исследования** является разработать систему управления мощностью для обеспечения подключения солнечных фотоэлектрических станций к распределительным сетям в системе электроснабжения сельской местности и повышения их эффективности.

**Задачи исследования:**

анализ показателей качества электроэнергии в распределительных сетях в системе сельского электроснабжения;

внедрение алгоритма получения максимальной мощности солнечной фотоэлектрической станции, подключенной к распределительной электросети;

обоснование возможности обеспечения выдачи реактивной мощности солнечных фотоэлектрических станций, подключенных к низковольтной сети в системе электроснабжения сельской местности;

разработка метода контроля активной и реактивной мощности солнечных фотоэлектрических установок, подключенных к распределительной сети;

достижение использования алгоритма извлечения максимальной мощности и управления мощностью солнечной фотоэлектрической станции в системе электроснабжения сельской местности;

**Объектом исследования** являются солнечные фотоэлектрические станции и инверторы, подключенные к распределительным сетям в системе электроснабжения сельской местности.

**Предметом исследования** являются параметры точки максимальной выдачи мощности и регулирования мощности солнечных фотоэлектрических станций с учетом сетевых параметров в системе электроснабжения сельской местности.

**Методы исследования.** В исследованиях использованы методы математической статистики и теории вероятностей, математический анализ, пошаговая регрессия и корреляционно-регрессионные методы.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

усовершенствован метод выдачи максимальной мощности солнечной фотоэлектрической станции, подключенной к распределительной сети в системе электроснабжения сельской местности с учетом изменения величины напряжения;

обоснован возможность выдачи реактивной мощности к сети инвертора солнечной фотоэлектрической станции путем ограничения активной мощности;

усовершенствован режим «Anti-Islanding» солнечной фотоэлектрической станции, обеспечивающий безопасность электрической сети с учетом его частоты;

разработана система контроля активной и реактивной мощности на общей точке подключения солнечной фотоэлектрической станции;

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

В солнечной фотоэлектрической станции, подключенной к распределительной сети в системе электроснабжения в сельской местности, использован алгоритм точки максимальной выдачи мощности;

Разработан метод управления выдачей мощности солнечной фотоэлектрической станции с учетом параметров распределительной сети.

**Достоверность результатов исследования** подтверждается тем, что исследования проведены с использованием современных метрологических аттестованных средств измерений, программ и методов исследования, указанных в нормативных документах, а также адекватностью теоретических и экспериментальных результатов.

#### **Научная и практическая значимость результатов исследования.**

Научная значимость результатов исследований объясняется использованием методов максимальной выдачи и регулирования мощности при подключении солнечной фотоэлектрической станции с учетом параметров распределительной сети в системе электроснабжения сельской местности.

Практическое значение результатов исследований заключается в разработке алгоритма управления мощностью солнечной фотоэлектрической станции, подключенной к распределительным сетям в системе электроснабжения сельской местности. Применение разработанного метода позволяет повысить КПД солнечных фотоэлектрических установок на 10,2%.

**Внедрение результатов исследования.** Результаты исследования по подключению солнечной фотоэлектрической станции с учетом параметров распределительной сети в системе электроснабжения сельской местности:

Внесены на подстанции ТП №-216 (SH=250кВА,  $U_{тр}=6/0,4$  кВ) ПС 6 кВ «Мирабад» ООО «Региональные электрические сети» в Папском районе Наманганской области, для исследования точки выдачи максимальной мощности и регулирования мощности солнечной фотоэлектрической станции. (250кВА,  $U_{тр} = 6 / 0,4$  кВ) использованы параметры распределительной сети (справка Министерство Энергетики РУ № №-03-26-62 от 5 января 2021 г.), в результате среднесуточный КПД солнечной фотоэлектрической станции был увеличен на 10,2%.

Применен метод регулирования мощности на солнечной фотоэлектрической станции в распределительной сети Попского района Наманганской области (справка Минэнерго Республики Узбекистан от 5 января 2021 г. №-03-26-62), что позволило повысить среднегодовой КПД солнечной фотоэлектрической установки в 1,1 раза.

Энергосбережение солнечной фотоэлектрической станции применено в распределительной сети Попского района Наманганской области (справка Министерства энергетики Республики Узбекистан от 5 января 2021 г. №-03-26-62). Определено, что для солнечных фотоэлектрических станций мощностью 128 кВт общей мощностью 100 МВт будет достигнута экономическая эффективность 106 200 000 сумов в год.

**Апробация результатов исследования.** Результаты исследования обсуждены на 3 республиканских и 4 международных научно-практических конференциях.

**Опубликованность результатов исследования.** По теме диссертации опубликовано 14 научные работы, из них 6 научных статей, в том числе 2 в зарубежных журналах и 4 в республиканских, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций (PhD).

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 148 страниц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обосновываются актуальность и востребованность проведенных исследований, сформулированы цель и задачи, характеризуются объект и предмет исследований, изложены соответствие диссертационной работы приоритетным направлениям развития науки и технологий республики Узбекистан, излагаются научная новизна и практические результаты исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрываются их научная и практическая значимость, приводятся сведения по внедрению в практику результатов исследования, опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе диссертации **«Анализ подключения солнечных фотоэлектрических станций к потребителям и распределительным сетям сельских систем электроснабжения»** проведен обзор научных работ по теме диссертации, опубликованных в зарубежных и республиканских изданиях. В том числе, проанализировано подключение солнечных фотоэлектрических станций на основе характеристик потребителей к системе электроснабжения сельских районов, а также перспективы развития солнечных фотоэлектрических станций, текущего состояние, подключение к распределительным сетям и параметров сети.

В рамках исследования анализ литературы о текущем состоянии подключений солнечных фотоэлектрических электростанций на основе параметров распределительных сетей показывает, что потенциал солнечных фотоэлектрических инверторов поддерживать номинальное напряжение и повышать эффективность их рабочих режимов и реактивной мощности, недостаточно изучен.

Основываясь на типах солнечных фотоэлектрических станций малой мощности, определено, что следует внедрить алгоритм максимальной выдачи электроэнергии и управления мощностью от солнечных фотоэлектрических станций, подключенных к распределительным электросетям сельских районов страны. На основе научного анализа сформулированы цели и задачи диссертации.

Во второй главе диссертации «Оценка влияния солнечных фотоэлектрических станций на распределительные сети» приведены способ и пути решения задач управления напряжением СФЭС посредством составления баланса мощности.

Одним из основных параметров электрической энергии является отклонение напряжения, которое не должно превышать определенного значения, а допустимые значения отклонения указаны в нормативных документах. Отклонение напряжения выражается следующей формулой (Таблица 1):

$$\Delta U_o = \frac{U_{от} - U_c}{U_c} * 100\% \quad (1)$$

где  $\Delta U_o$  – отклонение напряжения (В) при подключении к сети СФЭС;  $U_c$  – сетевое напряжение (В);  $U_{от}$  -напряжение в общей точке подключения.

**Таблица 1.**  
**Параметры СФЭС в зависимости от номинального напряжения при подключении к сети.**

Фаза	$U_{от}$ (В)	$U_c$ (В)	$U_n$ (В)	$\Delta U$ (%)	$\Delta U_o$ (%)	Гост(0.4 кВ)
А	385	384	380	1.316	0.26	$\Delta U_{мин} \leq 5\%$ $\Delta U_{макс} \leq 10\%$
В	386	385		1.579	0.26	
С	383	380		0.789	0.789	

**Таблица 2.**  
**Различия между частотой инвертора СФЭС, сети и номинальной частотой.**

Фаза	$f_c$ (Гц)	$f_{от}$ (Гц)	$f_{ном}$ (Гц)	$\Delta f$ (Гц)	$\Delta f_{от}$ (Гц)	$\Delta f_o$ (Гц)	Гост (Гц)
А	49.99	50.07	50	0.01	0.07	0.08	$f_{мин} \leq \pm 0.2$ $f_{макс} \leq \pm 0,4$
В	49.97	50.06		0.03	0.06	0.09	
С	49.98	50		0.02	0	0.02	

где  $f_{от}$  – значение частоты СФЭС при подключении к сети;  $\Delta$ -изменение частоты;  $f_{ном}$  – указанная номинальная частота;  $f_c$  – частота источника питания;

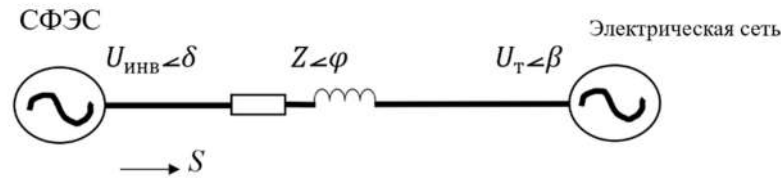
Видна небольшие изменения частоты в самой электросети (таблица 2). Однако результат, полученный после подключения СФЭС к сети также соответствует требованиям допустимого изменения частоты. Замечено, что изменение частоты относительно частоты сети составляет менее 0,1 Гц.

Для повышения мощности, которую солнечная фотоэлектрическая станция передает в сеть, электрическая сеть был изучена в соответствии с существующей теорией. Поток мощности переменного тока между двумя источниками показан на рисунке 1.

На рис.1 показаны два источника питания, подключенные через резистор  $Z = R + jX$ .

где 
$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2}; \quad (2)$$

$$\varphi = \tan^{-1}\left(\frac{X}{R}\right); \quad (3)$$



**Рис.1. Поток переменного тока между солнечной фотоэлектрической станцией и электросетью**

Источники 1 и 2 относятся к солнечной фотоэлектрической станции и к электросети, соответственно.

Источник 1 представлен как  $U_{инв} \angle \delta$ , источник 2 представлен как  $U_т \angle \beta$ , где:  $U$ -среднеквадратичное значение напряжения, расположение угловых меток указывает на то, что эти величины находятся в векторной форме.

Если мощность передается от источника 1 к источнику 2 через резистор  $Z$ , а ток равен  $I$ , это можно выразить следующим образом:

$$I = \frac{U_{инв} \angle \delta - U_т \angle \beta}{R + jX} = \frac{U_{инв} \angle \delta - U_т \angle \beta}{Z \angle \varphi}; \quad (4)$$

$$S = \frac{U_{инв}^2}{Z} \cos \varphi - \frac{U_{инв} U_т}{Z} \cos(\delta - \beta + \varphi) + j \left( \frac{U_{инв}^2}{Z} \sin \varphi - \frac{U_{инв} U_т}{Z} \sin(\delta - \beta + \varphi) \right); \quad (5)$$

$$P = \frac{U_{инв}^2}{Z} \cos \varphi - \frac{U_{инв} U_т}{Z} \cos(\delta - \beta + \varphi); \quad (6)$$

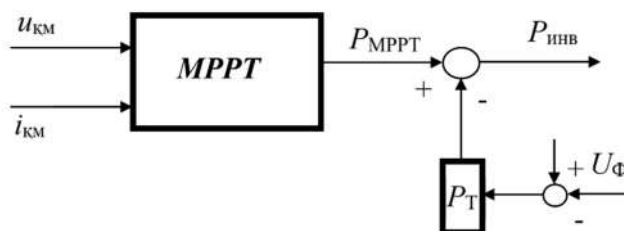
$$Q = \frac{U_{инв}^2}{Z} \sin \varphi - \frac{U_{инв} U_т}{Z} \sin(\delta - \beta + \varphi); \quad (7)$$

При напряжении распределительной сети 0,4 кВ фазное напряжение составляет 220 В, получена реалистичная оценка угла нагрузки как  $\beta = 0^0$ . Если предположить, что активное сопротивление соединения между солнечной фотоэлектрической станцией и электросетью близко к нулю, рассеяние мощности вокруг активной мощности также соответственно равно нулю. С учетом вышеизложенного можно сделать следующие выводы о мощности, передаваемой от солнечной фотоэлектрической установки в низковольтные распределительные электрические сети:

-передаваемая активная мощность в основном зависит от угла нагрузки  $\delta$ .

-передаваемая реактивная мощность в основном зависит от квадратного корня из выходного напряжения инвертора  $U_{инв}$ .

Поскольку низковольтные распределительные электросети обладают более активным свойством, напряжение электросети больше зависит от активной мощности, чем от реактивной мощности. Обычно инверторы, подключенные к сети, управляются вместе с алгоритмом МРРТ в качестве источника питания. Мощность, передаваемая через инвертор, характеризуется напряжением переменного тока ( $U$ ), поступающим от солнечных модулей (рис.2).



**Рис.2. Блок-схема снижения активной мощности на выходе инвертора**

$$P_{инв} = P_{MPPT} - P_T = P_{MPPT} - k(U - U_{\Phi}) \quad (8)$$

где коэффициент  $k$  — определяется отношением мощности, которая должна быть уменьшена в определенном диапазоне, к изменяемому напряжению,  $U \geq U_{\Phi}$  и  $P_{инв} \geq 0$ ,  $P_{MPPT}$  — мощность в единицах максимальной кВт, передаваемая солнечными модулями (ниже определенного количества солнечной радиации),  $U_{\Phi}$  — величина напряжения, определяемая мощностью, которую необходимо уменьшить. В случае  $U \leq U_{\Phi}$ ,  $P_{MPPT}$  продолжает передаваться в сеть через инвертор.

В соответствии с алгоритмом точки максимальной мощности программа определяет мгновенные значения тока ( $I_{кМ}$ ) и напряжения ( $U_{кМ}$ ) от солнечных модулей, вычисляет мгновенное значение мощности ( $P_{кМ}$ ), проходящей через солнечные модули. Затем она определяет значения тока и напряжения, проходящие через солнечные модули в следующий момент времени, и вычисляет мощность в тот же момент времени. Вычисляется разница между значениями мощности ( $\Delta P_{кМ}$ ) и напряжения ( $\Delta U_{кМ}$ ), полученные в разные моменты времени. На основе обнаруженных различий отправляется информация для уменьшения или увеличения значения напряжения, поступающего от солнечных модулей (Рис. 3).

В третьей главе диссертации «**Обоснование параметров синхронной работы солнечной фотоэлектрической станции и их изменение с параметрами распределительных сетей**» показано, что солнечная фотоэлектрическая станция может работать синхронно с сетью, в том числе в условиях изменения выходных параметров инвертора и в режиме «Anti-islanding».



Одним из основных условий передачи мощности СФЭС в распределительную сеть является соответствие параметров мощности, передаваемой через инвертор, параметрам сетевого питания.

В трехфазной системе, если изменение напряжения является синусоидальным, модуль напряжения и скорость изменения остаются постоянными.

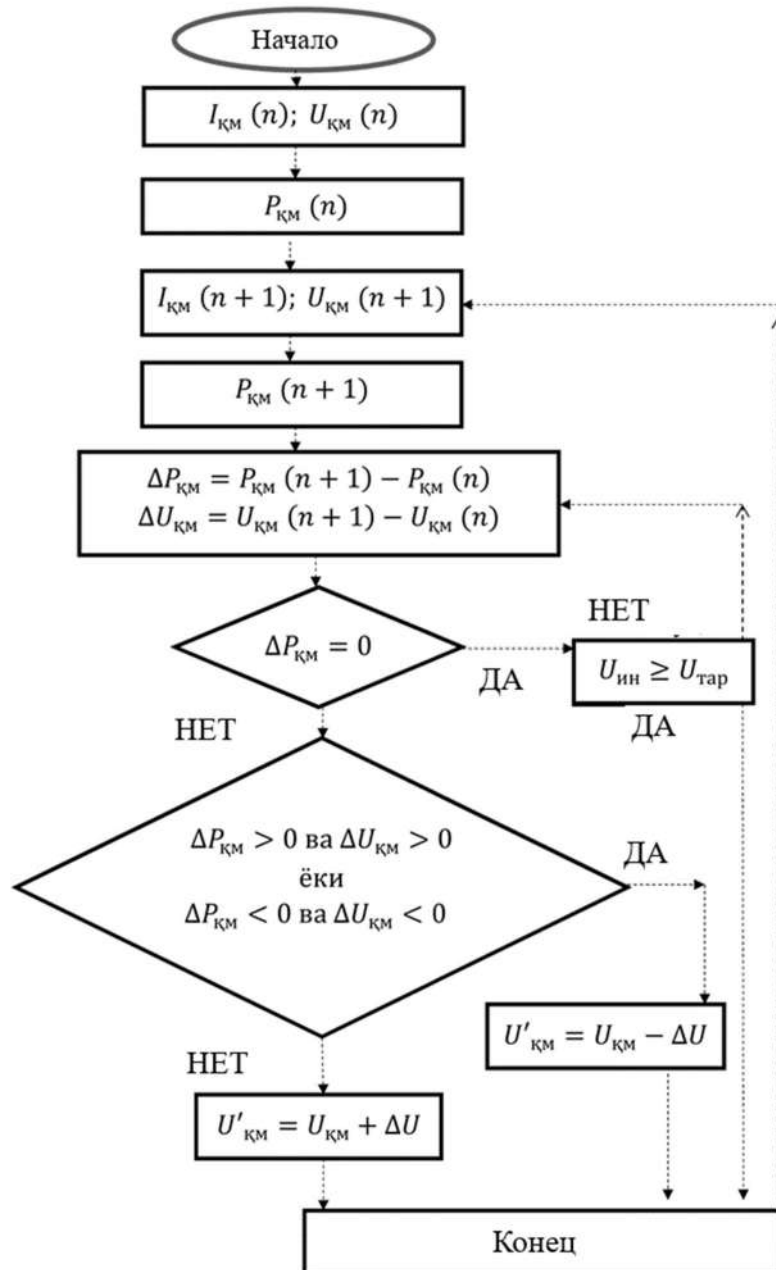


Рис.3. Блок-схема алгоритма выдачи точки максимальной мощности

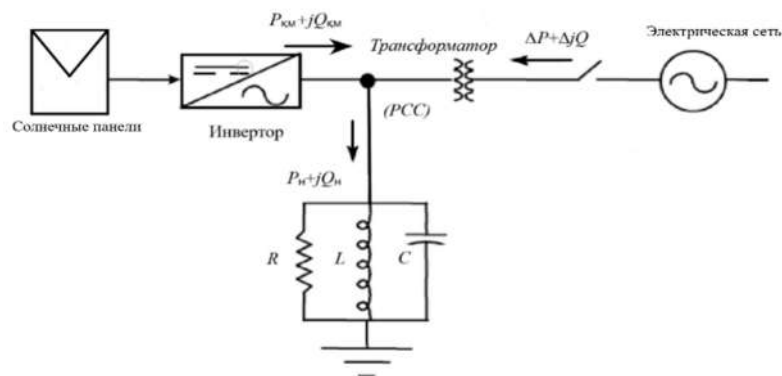
$$U_{abc} = \begin{bmatrix} U_a \\ U_b \\ U_c \end{bmatrix} = U \begin{bmatrix} \cos(\omega t + \varphi) \\ \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3} + \varphi) \\ \cos(\omega t + \frac{2\pi}{3} + \varphi) \end{bmatrix} \quad (9)$$

В методе «симметричных составляющих» параметры симметричных линий электропередачи делятся на три части: положительную, отрицательную и нулевую последовательность. Уравнение (10) выражает формулу, которую можно использовать одновременно для тока и напряжения.

$$\begin{bmatrix} i_0 & v_0 \\ i_1 & v_1 \\ i_2 & v_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a & v_a \\ i_b & v_b \\ i_c & v_c \end{bmatrix} \quad (10)$$

где  $a = e^{j120^\circ}$  и числа 0,1,2- представляют собой нулевую, положительную и отрицательную последовательности соответственно.

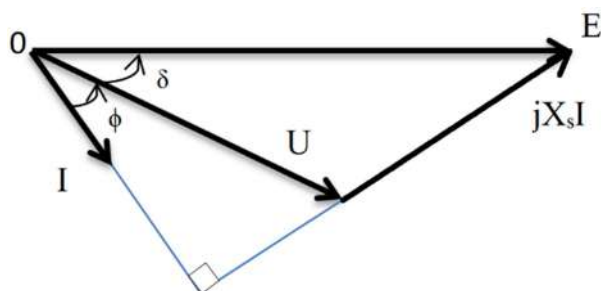
В электрических сетях системы пассивной защиты с высоким током, низким или высоким напряжением и низкой или высокой частотой препятствуют работе инвертора СФЭС. При этом система должна использовать «Anti-islanding» защиту.



**Рис.4. Схема питания СФЭС, подключенная к сети**

Выходной ток инвертора, подключенного к сети, подается от солнечной панели. Диодное устройство с концентрацией катушки L1 выполняет функцию изменения постоянного напряжения с одного значения на другое. Конденсатор С и диоды S1, S2, S3... S6 составляют основу трехфазного инвертора. Содержание процесса выражается путем анализа выходных фильтров, таких как L, LC, R и LCL, а также работы индуктивной катушки.

Зависимость выходного напряжения (E), выходного тока инвертора (I), падения напряжения на индуктивном резисторе ( $\Delta E = jX_s I = j\omega LI$ ) и составляющей сетевого напряжения (U) принимается за основу.



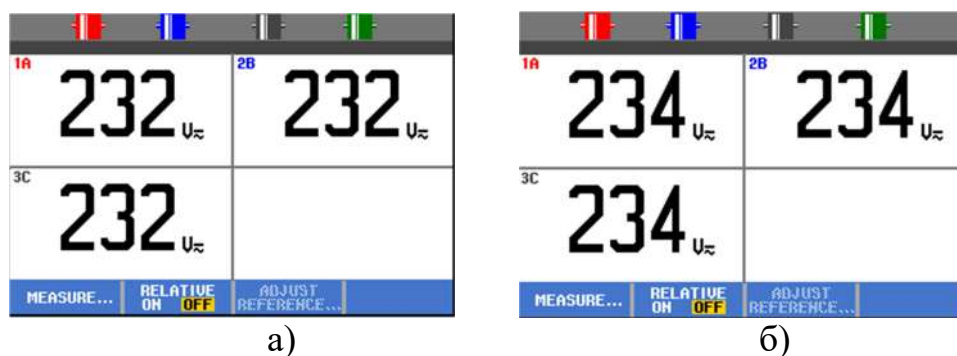
**Рис.5. Векторная диаграмма сетевого напряжения ( $U$ ) и угла нагрузки ( $\delta$ )**

где  $\varphi$  - угол между напряжением сети и выходным током инвертора,  $\delta$  - угол нагрузки, угол между напряжением сети и выходным напряжением инвертора.

Из векторной диаграммы (рис.5) получены следующие выражения:

$$\vec{E} = \vec{U} + jX_s \vec{I} \quad (11)$$

$$E \sin(\delta) = X_s I \cos(\varphi) \quad (12)$$



**Рис.6. Значения напряжения СФЭС и в точке подключения к сети**

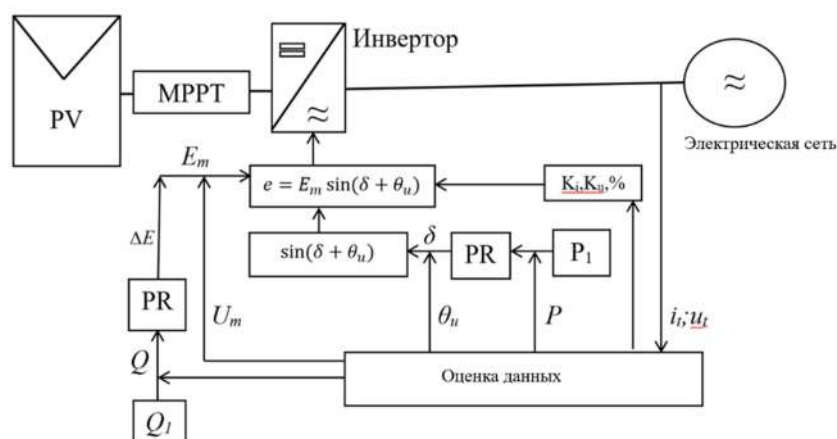
Измерение напряжения в точке подключения СФЭС к электросети (рис.6) проводилось в два этапа:

а) значение передачи мощности в сеть СФЭС равно нулю, что указывает на то, что значение напряжения в каждой фазе распределительной сети 0,4 кВ равно 232В.

б) величина передачи электроэнергии в электрическую сеть СФЭС составляет 3,4 кВт, замечено, что значение напряжения в электрической сети увеличивается, когда начинается подача электроэнергии в электрическую сеть от СФЭС. Когда передаваемая мощность составляла 3,4 кВт, значение напряжения в точке подключения СФЭС и сети составляло 234 В в каждой фазе. В процентном отношении отклонение напряжения в исследуемой распределительной сети 0,4 кВ составило от 5,45% до 6,36%. Это означает, что отклонение напряжения полностью соответствует нормативным требованиям.

В четвертой главе диссертации «Применение способа управления мощностью солнечной фотоэлектрической станции, подключенной к распределительной сети и обоснование ее технико-экономической эффективности» приведены результаты тестирования способа управления мощностью на примере СФЭС, установленной мощностью 128 кВт, подключенный к распределительным сетям фидера 6 кВ «Миробод» ТП №-216 (СН = 250 кВА,  $U_{тр} = 6/0,4$  кВ) подстанции Маргузор, принадлежащая РЭС в Папском районе Наманганской области и определения его технико-экономической эффективности.

Система состоит из фотоэлектрических модулей (PV), преобразователя DC/DC с MPPT, трехфазного инвертора, устройства контроля активной и реактивной мощности. Схема управления состоит из двух частей: первая часть регулирует активную мощность, передаваемую в сеть через угол нагрузки ( $\delta$ ). Вторая часть регулирует реактивную мощность через значение выходного напряжения инвертора ( $E$ ) (рис.7).



**Рис.7. Схема управления мощностью СФЭС, подключенная к трехфазному источнику питания**

Активная мощность ( $P$ ), передаваемая в сеть через инвертор, выражена следующим образом:

$$P = UI \cos(\varphi) = \frac{UE}{X_s} \sin(\delta) \quad (13)$$

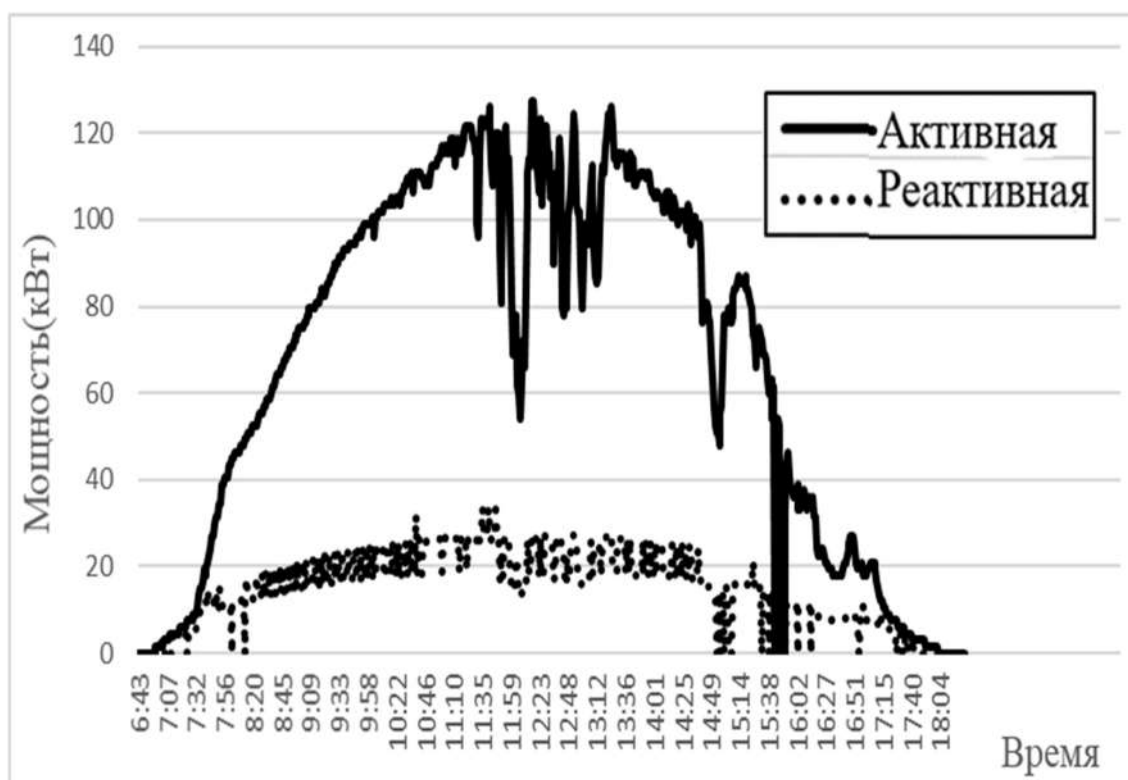
Реактивная мощность ( $Q$ ), передаваемая инвертором в сеть, выражается следующим образом:

$$Q = \frac{UE}{X_s} \cos(\delta) - \frac{U^2}{X_s} = \frac{U}{X_s} (E \cos \delta - U) \quad (14)$$

Как показано на рис.7, устройство управления сравнивает предложенную реактивную мощность ( $Q_1$ ) с реактивной мощностью ( $Q$ ), передаваемой в сеть.

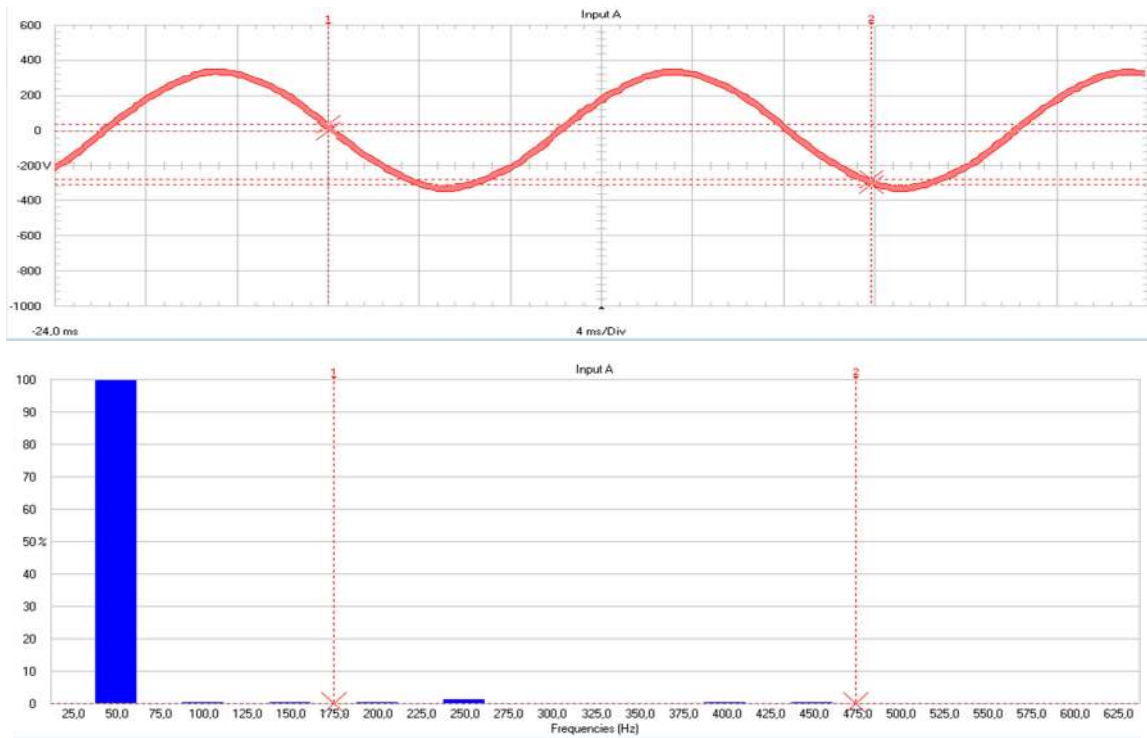
Разница реактивной мощности в результате сравнения проходит через выпрямитель PR и добавляется к амплитуде сетевого напряжения ( $Um \approx const$ ). Полученное значение является значением амплитуды ( $Em$ ) выходного напряжения инвертора. С другой стороны, устройство управления сравнивает выходящую из инвертора активную мощность ( $P$ ) с требуемой активной мощностью ( $P_1$ ).

Разница активной мощности проходит через другой выпрямитель PR, и эта разница создает угол нагрузки ( $\delta$ ). Угол нагрузки, в свою очередь, влияет на разность фаз ( $\theta_u$ ) между напряжениями и разность фаз ( $\delta + \theta_u$ ) выходного напряжения инвертора. В результате выходное напряжение ( $e$ ) инвертора DC/AC определяется путем умножения амплитуды выходного напряжения инвертора ( $E$ ) на разность фаз  $\sin(\delta + \theta_u)$ .

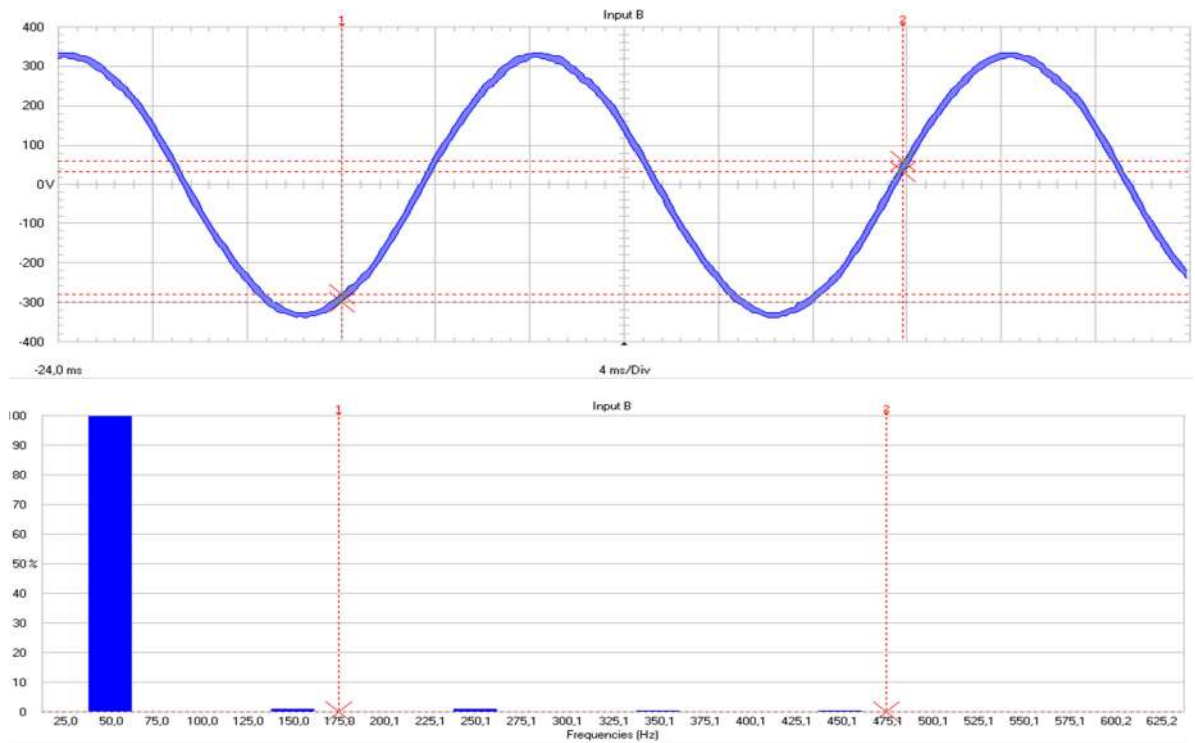


**Рис.8. Суточная производственная мощность СФЭС**

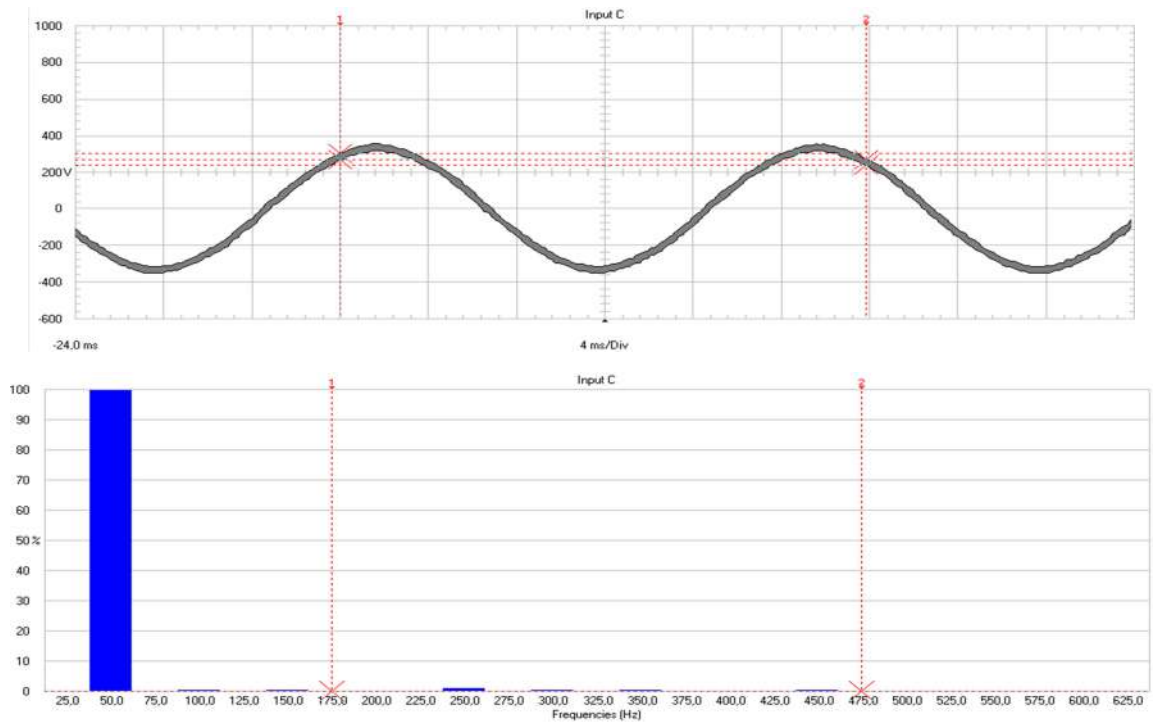
На рис.8 изображены активная и реактивная мощности, производимые СФЭС, которые меняются в зависимости от солнечного излучения. По мере увеличения температуры окружающей среды наблюдалось снижение эффективности СФЭС, в то время как в результатах показано увеличение реактивной мощности, производимой СФЭС.



**Рис.9. Гармоники напряжения фазы “А”**

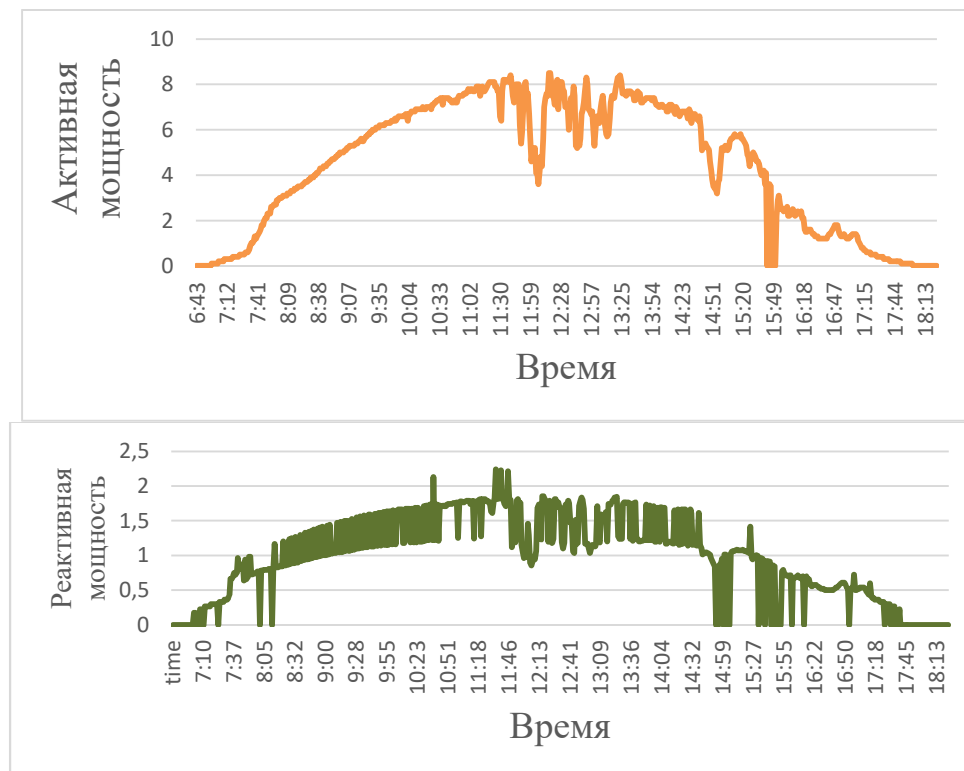


**Рис.10. Гармоники напряжения фазы “В”**



**Рис.11. Гармоники напряжения фазы “С”**

Как видно из рис. 9,10,11, график напряжения на всех фазах меняется по синусоиде, а общий коэффициент несинусоидальности составляет 1,58%, значения высших гармоник 5-го порядка выше остальных, но меньше более 2%.



**Рис.12. Возможность выработки активной и реактивной мощности СФЭС**

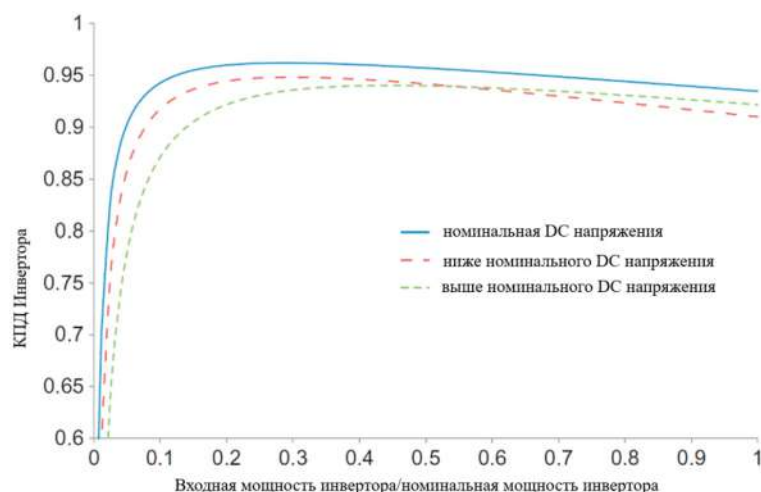
На рис.12 показано, что СФЭС является источником максимальной активной мощности в 12<sup>17</sup>. Часа за тот же период СФЭС вырабатывает 8,5 кВт активной мощности. В этот период частота напряжения составила 49,9 Гц. Входное напряжение и мощность инвертора составляли 504 В и 173 А соответственно. Учитывая, что инвертор имеет мощность 10,5 кВА и работает с коэффициентом мощности 99,7%, изменение реактивной мощности связано с изменением излучения солнечной радиации. График показывает, что СФЭС является источником максимальной реактивной мощности в 11:39. Часа когда СФЭС вырабатывает реактивную мощность 2,2 кВАр, частота составляла 50,0 Гц. Входное напряжение и сила тока инвертора составляли 485 В и 173 А соответственно. Учитывая, что инвертор имеет мощность 10,5 кВА, работает с коэффициентом мощности 96,4%, получим.

$$\mu_{DC \text{ на } AC}^{\text{преоб}} = \frac{\int_0^{T_M} P_{AC}(t)dt}{\int_0^{T_M} P_{DC}(t)dt} \quad (15)$$

$$\mu_{\text{точка макс.мощ.}} = \frac{\int_0^{T_M} P_{DC}(t)dt}{\int_0^{T_M} P_{\text{макс.мощ.}}(t)dt} \quad (16)$$

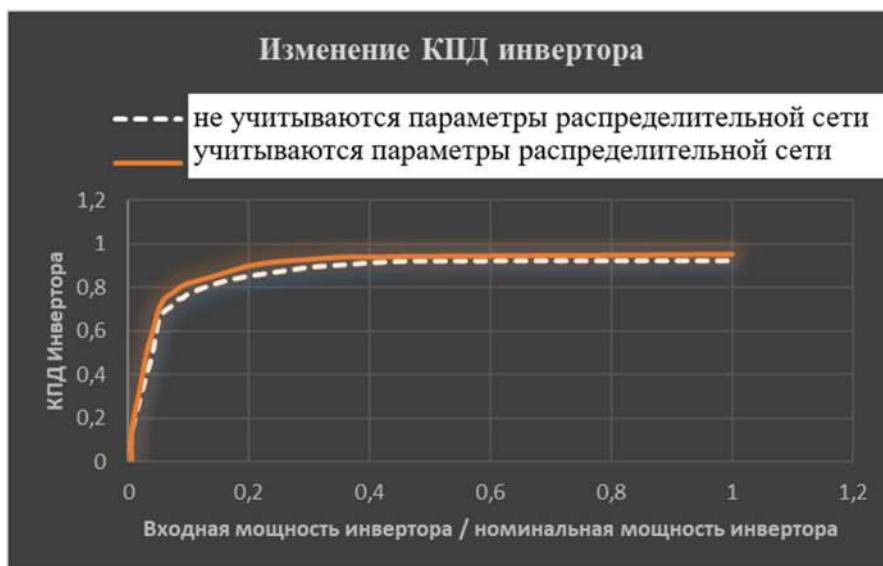
$$\mu_{\text{КПД}}^{\text{Инв}} = \frac{\int_0^{T_M} P_{AC}(t)dt}{\int_0^{T_M} P_{\text{макс.мощ.}}(t)dt} = \mu_{DC \text{ на } AC}^{\text{преоб}} * \mu_{\text{точка макс.мощ.}} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \mu_{\text{инв.КПД}} = & 0.03\mu_{\text{КПД}}^{5\%} + 0.06\mu_{\text{КПД}}^{10\%} + 0.13\mu_{\text{КПД}}^{20\%} + \\ & + 0.1\mu_{\text{КПД}}^{30\%} + 0.48\mu_{\text{КПД}}^{50\%} + 0.2\mu_{\text{КПД}}^{100\%} \end{aligned} \quad (18)$$



**Рис.13. График зависимости КПД типового инвертора от напряжения переменного тока, поступающего в инвертор**





**Рис.14. Изменение КПД инвертора при регулировании мощности**

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{\text{дневная прибыль}} &= P_{\text{СФЭС}} \cdot \text{час} \cdot 10.2\% = 100 \text{ МВт} \cdot \text{час} \cdot 10.2\% \\ &= 10.2 \text{ МВт} \cdot \text{час} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{\text{годовая прибыль}} &= \mathcal{E}_{\text{дневная прибыль}} \cdot 300 \text{ день} = 10.2 \text{ МВт} \cdot \text{час} \cdot 300 = \\ &= 360 \text{ МВт} \cdot \text{час} \end{aligned}$$

Если учесть что, существующая тариф на электрическую энергию составляет 295 сум на 1 кВт. час:

$$\begin{aligned} \Phi_{\text{годовая}} &= \mathcal{E}_{\text{годовая прибыль}} \cdot \frac{295 \text{ сум}}{\text{кВт} \cdot \text{час}} = 360 \text{ МВт} \cdot \text{час} \cdot \frac{295 \text{ сум}}{\text{кВт} \cdot \text{час}} = \\ &= 360000 \text{ кВт} \cdot \text{час} \cdot \frac{295 \text{ сум}}{\text{кВт} \cdot \text{час}} = 106\,200\,000 \text{ сум} \end{aligned}$$

**В приложениях диссертации** приведены расчеты потерь электроэнергии в сельских электрических сетях при использовании СФЭС, программные документы, акты внедрения и справка-рекомендации полученных результатов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований по диссертации доктора философии PhD на тему «Обоснование подключения солнечной фотоэлектрической станции к распределительным сетям системы электроснабжения сёл» представлены следующие выводы:

1. Разработан алгоритм определения точки максимальной мощности для инверторов солнечных фотоэлектрических станций, подключенных к распределительной сети, в результате чего появилась возможность управлять мощностью.

2. Установлено, что инвертор солнечной фотоэлектрической станции, подключенный к низковольтной сети в системе электроснабжения сельской местности, может обеспечивать реактивную мощность, что дает возможность контролировать реактивную мощность, передаваемую через инвертор.

3. Для солнечной фотоэлектрической установки разработан алгоритм в режиме «Anti-islanding», который обеспечил безопасность распределительной сети.

4. Разработана компьютерная программа, способная контролировать суточные режимы работы солнечной фотоэлектрической установки, подключенной к распределительной электросети, в результате чего создается баланс мощности, основанный на мощности потребителя.

5. В системе электроснабжения сельской местности введено регулирование активной и реактивной мощности в общей точке подключения СФЭС с учетом коэффициента несинусоидальности, в результате чего суточный КПД станции увеличился в среднем на 10,2%.

6. Определено, что экономический эффект в 106 200 000 сумов в год может быть достигнут для СФЭСы, подключенные к электросети общую мощностью 100 МВт.

**SCIENTIFIC COUNCIL TO AWARDING OF THE SCIENTIFIC  
DEGREES DSc.03/30.12.2019.T.10.01 AT THE TASHKENT ISTITUTE OF  
IRRIGATION AND AGRICULTURAL MEXANIZATION ENGINEERS**

---

**INSTITUTE OF PROBLEMS OF ENERGY ACADEMY OF  
SCIENCES OF THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN**

**TURAEV AKRAMJON IKROMJONOVICH**

**CONNECTION OF A SOLAR PHOTOVOLTAIC STATION OF THE  
DISTRIBUTION NETWORK IN RURAL POWER SUPPLY SYSTEM**

**05.05.07 – Elektrotexnologies and electrical equipment in agriculture**

**DISSERTATION ABSTRACT OF DOCTOROL OF PHILOSOPHY (PhD)  
ON TECHNICAL SCIENCES**

**TASHKENT – 2021**

The theme of the dissertation of doctor of philosophy (PhD) in technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission under the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number № B2021.4.PhD/T1827.

The dissertation has been prepared Institute of Problems of Energy Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian and English (resume)) on the website [www.tiame.uz](http://www.tiame.uz) and on the website of «ZiyoNet» Information and education portal [www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz).

**Scientific consultant:**

**Muratov Khakim Makhmudovich**  
Doctor of technical sciences, Professor,

**Official opponents:**

**Isakov Abdusaid Jalilovich**  
Doctor of technical sciences, Professor,

**Boltaev Otabek Tashmukhammatovich**  
doctor of philosophy (PhD) on technical sciences

**Leading organization:**

**Fergana Polytechnic Institute**

The defense of the dissertation will be held at \_\_\_\_ on «\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 year at the scientific council meeting DSc.03/30.12.2019.T.10.01 at the Tashkent institute of irrigation and agricultural mechanization engineers (at the address: 39, Kari Niyazi street, Tashkent city, 100000. Tel: (+99871) 237-09-45; Fax: (+99871) 237-38-79, e-mail: [admin@tiame.uz](mailto:admin@tiame.uz)).

The dissertation is available at the Information-resource center of the Tashkent institute of irrigation and agricultural mechanization engineers (registration number \_\_\_\_). Address: 39, Kari Niyazi Street, Tashkent city. 100000. Tel: (+99871) 237-09-45; Fax: (+99871) 237-38-79, e-mail: [admin@tiame.uz](mailto:admin@tiame.uz).

Abstract of the dissertation is posted \_\_\_\_ 2021.

(Mailing Protocol No \_\_\_\_ dated \_\_\_\_ 2021)



**B.S. Mirzayev**

Chairman of scientific Council on awarding scientific degrees doctor of technical sciences, Professor.

**U.T Quziyev**

Scientific secretary of Scientific Council awarding scientific degrees, Doctor of Philosophy (PhD) technical sciences, associate professor.

**X.M. Muratov**

Chairman of scientific seminar under the Scientific Council on awarding scientific degrees doctor of technical sciences, Professor.

## INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

**The aim of the research.** To develop a power control system to ensure the connection of solar photovoltaic stations to the distribution networks in the rural power supply system and increase their efficiency.

**The object of research.** Solar photovoltaic stations connected to consumers and distribution networks in the rural power supply system and inverters installed in them.

**The scientific novelty of the research:**

- An method for determining the maximum power point for solar photovoltaic station inverters connected to the distribution network in the rural power supply system has been developed;

- The distribution is based on the reactive power of a solar photovoltaic station inverter connected to the mains;

- In order to ensure the safety of the power grid, the algorithm for working in the "Anti-islanding" mode has been improved for the solar photovoltaic station connected to it;

- Active and reactive power control is introduced taking into account the nonsinusoidality coefficient at the common connection point of the solar photovoltaic station connected to the distribution network.

**The implementation of research results.** Based on the results obtained on the connection of the solar photovoltaic station, taking into account the distribution network parameters in the rural power supply system:

Installed at the substation TP №. 216 (SN = 250 kVA, Utr = 6 / 0.4 kV) 6 kV substation "Mirabad" LLC "Regional Electric Networks" in the Pap district of the Namangan region, to study the point of issuing maximum power and regulating the power of solar photovoltaic station. The parameters of the distribution network were used (reference from the Ministry of Energy RU №. 03-26-62 dated January 5, 2021), as a result, the average daily efficiency of a solar photovoltaic station was increased by 10.2 %.

A method for regulating the power at a solar photovoltaic station in the distribution network of the Popsky district of the Namangan region was applied (reference from the Ministry of Energy of the Republic of Uzbekistan dated January 5, 2021, No.-03-26-62), which made it possible to increase the average annual efficiency of a solar photovoltaic installation by 1.1 times.

Energy saving of a solar photovoltaic station has been applied in the distribution network of the Popsky district of the Namangan region (certificate of the Ministry of Energy of the Republic of Uzbekistan dated January 5, 2021, No.-03-26-62). It was determined that for solar photovoltaic plants with a capacity of 128 kW with a total capacity of 100 MW, economic efficiency of 106.2 million soums per year will be achieved.

**The structure and scope of the dissertation.** The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, and used literature and applications. The volume of the thesis is 148 pages.

**ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙЎХАТИ**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**

**I булим (I часть; I part)**

1. Муратов Х.М., Тураев А.И., Уч фазали тақсимлаш электр тармоғига уланган фотоэлектрик станцияда кувват назоратининг имкониятлари, //Энергетика ва информатика муаммолари, 2020 й, № 1 Б. 60-66. (05.00.00; №5).

2. Муратов Х.М., Тураев А.И. Тақсимлаш электр тармоғига уланган куёш фотоэлектрик станциясидаги носинусоидаллик коэффициентини баҳолаш // ФарПИ Илмий техника журнали, 2020й. №5, Б. 79-87. (05.00.00; №20).

3. Muratov X.M, Turaev A.I. Analysis of voltage and frequency of the grid-connected photovoltaic system // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology, India, Vol.7, Issue 8, July 2020. Pp. 14614-14618. (05.00.00; №8).

4. Turaev A., Muratov Kh., Tursunov O. Comprehensive analysis of the change of pop solar power station output parameters in relation to ambient temperature // IOP Publishing, IOP Science Earth Environ, Vol.614. 2020. (01.00.00; №16).

5. Матчанов Н.А., Тураев А.И., Мирзаев А.А., Эгамов С.Р. Влияние on-grid фотоэлектрической системы (9 кВт) на параметры локальной сети (0.4 кВ) // Энергия ва ресурс тежаш муаммолари, 2020й. №1, Б. 83-89. (05.00.00; №21).

6. Муратов Х.М., Иззатиллаев Ж.О., Тураев А.И. Ўзбекистон ягона электр энергетика тизимида “интеллектуал тармоқлар” ни қўллаш истикболлари // Энергетика ва информатика муаммолари, 2015 й. № 3-4, Б. 74-81. (05.00.00; №5).

**II булим (II часть; II part)**

7. Turaev A., Muratov Kh., Tursunov O. Comprehensive analysis of the change of pop solar power station output parameters in relation to ambient temperature / 1st International Conference on Energetics, Civil and Agricultural Engineering (ICECAE 2020. <http://icesae.tiame.uz/2020>), October 14-16, p.11.

8. Тураев А.И. Қуёш электр станцияларини электр тармоғига улаш учун тармоқ параметрларининг тахлили / XXI аср – интеллектуал ёшлар асри мавзусидаги Республика илмий-амалий конференцияси 29 март 2019 й. Б. 217-219.

9. Тураев А.И., Мирзаев А.А., Эгамов С.Р. Ўрнатилган куввати 9 кВт бўлган куёш фотоэлектрик станцияси электр тармоғи билан параллел ишлаганда кучланиш ва частота ўзгаришлари / XXI аср – интеллектуал

ёшлар асри мавзусидаги Республика илмий-амалий конференцияси 29 март 2019 й.

10. Матчанов Н.А., Тураев А.И., Мирзаев А.А. Анализ напряжения и частоты фотоэлектрической системы подключенной к сети / Academy of Sciences of Uzbekistan Physical-technical Institute, International conference, Solar energy: priority research and development trends, 24-25 december 2019. Tashkent, Uzbekistan, p.44.

11. Иззатиллаев Ж.О., Тураев А.И. Марказий электр тармоқларига интеграциялашган фотоэлектрик станция техник параметрларини тадқиқ этиш / «Муқобил энергия манбаларидан фойдаланишнинг жорий ҳолати ва истиқболлари» мавзусида Республика миқёсидаги илмий-амалий конференция материаллари тўплами, 22-23 апрель 2020 й. Б. 384-387.

12. Мухтаров Ф.М., Тураев А.И. Тақсимлаш электр тармоғига уланган қуёш фотоэлектрик станциясининг қувват коэффициентларини ўрганиш / “Инновацион техника ва технологияларнинг қишлоқ хўжалиги-озиқ-овқат тармоғидаги муаммо ва истиқболлари” мавзусидаги халқаро илмий ва илмий-техник анжумани, 24-25 апрель 2020 й. Б. 709-711.

13. Тураев А.И. Ўзбекистонда электр тармоғига уланган қуёш фотоэлектрик станциялари учун халқаро стандартларнинг аҳамияти / “Инновацион техника ва технологияларнинг қишлоқ хўжалиги-озиқ-овқат тармоғидаги муаммо ва истиқболлари” мавзусидаги халқаро илмий ва илмий-техник анжумани, 24-25 апрель 2020 й. Б. 717-718.

14. Муратов Х.М. Тураев А.И. Программное обеспечение для определения режимов работы фотоэлектрических систем / Программа для ЭВМ. № DGU 08649, 2020 й.

Автореферат «Irrigatsiya va melioratsiya» илмий журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилди ва унинг ўзбек, рус, инглиз (тезис) тилларидаги матнлари мослиги текширилди. (13.11.2021 й)

Босишга рухсат этилди: 13.12.2021 йил.  
Бичими 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>, «Times New Roman»  
Гарнитурда рақамли босма усулида босилди.  
Шартли босма табоғи: 3. Адади 100. Буюртма № 236.  
Тел (99) 832 99 79; (97) 815 44 54.  
Гувоҳнома reestr № 10-3279  
“IMPRESSMEDIA” МЧЖ босмаҳонасида чоп этилган.  
100031, Тошкент ш., Яккасарой тумани, Қушбеги кўчаси, 6-уй