

**TOSHKENT DAVLAT TRANSPORT UNIVERSITETI HUZURIDAGI
ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.15/31.08.2022.T.73.07 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

ANDIJON MASHINASOZLIK INSTITUTI

MATQOSIMOV MUHAMMADSODIQ MAHAMADXOSHM O‘G‘LI

**MIKROGES ASINXRON GENERATORNI DINAMIK ISH
REJIMLARINI MODELLASHTIRISH**

**05.05.02 – Elektrotexnika. Elektr energiya stansiyalari, tizimlari. Elektrotexnik
majmualar va qurilmalar**

**TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD) DISSERTATSIYASI
AVTOREFERATI**

Toshkent – 2025

**Texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati
mundarijasi**

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

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

Matqosimov Muhammadsodiq Mahamadxoshim o‘g‘li MikroGES asinxron generatorni dinamik ish rejimlarini modellashtirish.....	5
Маткосимов Мухаммадсодик Махамадхашим угли Моделирование динамических режимов работы асинхронного генератора микроГЭС.....	23
Matqosimov Muhammadsodiq Mahamadxoshim o‘g‘li Simulation of dynamic modes of operation of an asynchronous generator of micro hydroelectric power plants.....	43
E‘lon qilingan ishlar ro‘yxati Список опубликованных работ List of published works.....	47

**TOSHKENT DAVLAT TRANSPORT UNIVERSITETI HUZURIDAGI
ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.15/31.08.2022.T.73.07 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

ANDIJON MASHINASOZLIK INSTITUTI

MATQOSIMOV MUHAMMADSODIQ MAHAMADXOSHI O‘G‘LI

**MIKROGES ASINXRON GENERATORNI DINAMIK ISH
REJIMLARINI MODELLASHTIRISH**

**05.05.02 – Elektrotexnika. Elektr energiya stansiyalari, tizimlari. Elektrotexnik
majmualar va qurilmalar**

**TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD) DISSERTATSIYASI
AVTOREFERATI**

Toshkent – 2025

Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2023.3. PhD/T3943 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya Andijon mashinasozlik institutida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengash veb-sahifasi (www.tstu.uz) va «Ziyonet» axborot-ta'lim portalida (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:

Berdiyev Usan Turdiyevich
texnika fanlari nomzodi, professor

Rasmiy opponentlar:

Bedritskiy Ivan Mixaylovich.
texnika fanlari doktori professor

Shavazov Abdulatif Achilovich
DSc, k.i.x

Yetakchi tashkilot:

Jizzax politexnika instituti

Dissertatsiya himoyasi Toshkent davlat transport universiteti huzuridagi DSc.15/31.08.2022.T.73.07 raqamli Ilmiy kengashning 2025 yil « ____ » _____ soat dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 100167, Toshkent sh., Temiryo'lichilar ko'chasi, 1-uy. Tel.: (99871) 299-00-01; faks: (99871) 293-57-54; e-mail: tashiit_rektorat@mail.ru.

Dissertatsiya bilan Toshkent davlat transport universitetining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (____raqami bilan ro'yxatga olingan). (100167, Toshkent sh., Temiryo'lichilar ko'chasi, 1-uy. Tel.: (99871) 299-00-01; faks: (99871) 293-57-54.

Dissertatsiya avtoreferati 2025 yil « ____ » _____ kuni tarqatildi.
(2025 yil « ____ » _____ dagi № ____ raqamli reyestr bayonnomasi).

R.V. Raximov

Ilmiy darajalar beruvchi
ilmiy kengash raisi, t.f.d., professor

Y.O. Ruzmetov

Ilmiy darajalar beruvchi
ilmiy kengash ilmiy kotibi, t.f.d., professor

R.M. Mirsaatov

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash
qoshidagi ilmiy seminar raisi, t.f.d., professor

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Jahonda ishlab chiqarish sanoatining rivojlanishi va insoniyat ehtiyojlarining ortib borishi natijasida elektr energiyasiga bo'lgan talab jadal suratlarda oshib bormoqda. Bu jarayon Rossiya, AQSH, Norvegiya, Fransiya va Germaniya kabi rivojlangan davlatlarda ham yaqqol kuzatilmoqda. Talabning uzluksiz ortib borishi tufayli elektr energiyasini nafaqat ishlab chiqarish, balki uni uzatish tizimlarida ham turli muammolar yuzaga kelmoqda. Ushbu muammolarni bartaraf etishda qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan, shuningdek, mini va mikroGESlardan foydalanish muhim ahamiyat kasb etadi. Elektr energiya ishlab chiqarish va uni avtonom iste'molchilarga yetkazib berish bugungi kunning dolzarb vazifalaridan biri hisoblanadi.

Jahonda elektr energiyasiga bo'lgan ehtiyojning kundan-kunga ortib borishi natijasida elektr energiya ishlab chiqarish jarayonining arzon va sifatli bo'lishi dolzarb masalaga aylanmoqda. Elektr energiyasi kashf qilinganidan beri unga bo'lgan talab doimiy ravishda oshib kelmoqda, bu esa uni ishlab chiqarishning ahamiyatini yanada oshiradi. Shu nuqtai nazardan olib qaraganda, olib borilayotgan ilmiy tadqiqot ishida, elektr energiyasini ishlab chiqarish jarayonini sodda va qulay usullar orqali amalga oshirishga qaratilgan. Buning natijasida elektr energiyasining tannarxi pasayadi, bu esa mamlakatimizda mikroGES (mikrohidroelektr stansiyalar) sonining ko'payishiga zamin yaratadi. MikroGES qurilishida suv omborlarining ekologik zararlarini kamaytirish, stansiyalarni qurishda kichik kapital xarajatlarni talab qilish, shuningdek, bu xarajatlarni qisqa muddat ichida qoplash imkoniyatlarini yaratish va amaliyotga tatbiq etish olib borilayotgan tadqiqotlarning ustuvor vazifalaridan hisoblanadi.

Respublikamizda energiya ta'minot tizimlari yordamida turli xildagi iste'molchilarga doimiy elektr energiyasini yetkazib berish borasida muammolar mavjud. Ayni shuning uchun ham gidroelektr stansiyalar qurishni imkoniyatlari cheklanganligi, elektr tarmoq tizmalarini yangilash zarurligi, uzoq masofadagi kichik aholi punktlarini elektr energiyasini yuqori kuchlanish tarmoqlari orqali ta'minlash texnik iqtisodiy jihatdan nomaqbul hisoblanadi. Adirlik, balandliklar yonbag'rida suv oqim tezligi mavjud bo'lgan uzoq chekka hududlarda joylashgan kichik quvvatli iste'molchilarni elektr energiya bilan ta'minlashda, irmoq va daryolarga o'rnatilishi mumkin bo'lgan, kichik mikroGESlar yordamida ishlab chiqariladigan elektr energiyasini avtonom tarmoq orqali yetkazib berish imkoniyatini yaratadi.

Mazkur dissertatsiya tadqiqoti O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-2026 yillarga mo'ljallangan yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasida, jumladan "Milliy iqtisodiyotni jadal rivojlantirish va yuqori o'sish suratlarni ta'minlash" deb nomlangan uchinchi bo'limining 22-maqsadida belgilangan vazifalarni bajarish asosida, 2030-yilga qadar gidroenergetikaning umumiy quvvatini 4999 MVtga yetkazish, shu bilan birga jamiyat tomonidan qo'shimcha 2311 MVt, xususiy investorlar ishtirokida esa, 615 MVt quvvatlarni yaratishda, qayta tiklanuvchan manbalari hamda mini va mikroGESlarni qurish, mikroGESlardan foydalanishda asinxron generator tuzilishi jihatdan soddaligi, ekspluatatsiya qilish osonligi va tannarxining arzonligini hisobga olgan holda, dinamik ish rejimlarini tadqiq etish borasidagi dolzarb masalalarning yechimiga qaratilgan ilmiy-tadqiqot ishlarini olib

borish muhim hisoblanadi. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi PF-60-son “2022 - 2026 yillarga mo‘ljallangan yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risidagi” Farmoni, 18 - maydagi “O‘zbekgidroenergo” aksiyadorlik jamiyati faoliyatini tashkillashtirish chora tadbirlari to‘g‘risida”gi PQ-2972-sonli qarori.¹ 2022-yil 9-sentabrdagi “Energiya tejovchi texnologiyalarni joriy qilish va kichik quvvatli qayta tiklanuvchi manbalarini rivojlantirish bo‘yicha qo‘shimcha chora tadbirlar to‘g‘risida” gi PF-220-sonli farmoni va O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023-yil 16-fevrlardagi PQ-57-sonli qarorlari ijrosini ta‘minlashda va mazkur faoliyatga tegishli barcha me‘yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishda ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi. Mazkur olib borilgan tadqiqot ishi respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining II. “Energetika, energiya va resurslar tejamkorligi” rivojlantirishning ustuvor yo‘nalishlari doirasida bajarilgan.

Muammoning o‘rganilganlik darajasi. MikroGESlarda qo‘llaniluvchi asinxron generatorlarni kondensator elementlarini qo‘llash orqali ishga tushirish va shu bilan birga qayta tiklanuvchi energiya resurslaridan oqilona foydalangan holda, elektr energiya ishlab chiqarish hamda aholiga yetkazib berish borasida ilmiy va amaliy tadqiqotlar olib borilmoqda. Mini va mikroGESlar yordamida elektr energiya ishlab chiqarish bilan birga uni boshqarish borasidagi tadqiqot yo‘nalishida chet el olimlaridan; jumladan Shimoliy Amerika mamlakatida; Luis Vazquez, Henry Bory, Jose L. Martin, Inigo Martinez de Alegri, Fajril Akbar, Refdinal Nazir va bir qancha olimlar o‘z xissalarini qo‘shganlar.

Sharqiy Yevropa mamlakatlarida; Elisabeta Erina, Toma Dordea, Aurel Campeanu, Ion Gh. Piroi, Ion Vlad va boshqa olimlar tadqiqot olib borganlar.

Janubi-sharqiy Osiyo davlatlarida; Andi Pawawoi, Syaiful Bakhri, Seflahir Dinata, Jong-Suk. Ro, S.S.Murthy, A.K. Tandon va boshqalar olimlar salmoqli ishlarni bajarganlar.

MDH davlatlarida; A.Z.R.Djenubayev, B.V.Lukutin, D.A.Padalko, G.A.Siypalov, L.Simonov, N.D.Toropsev, N.I.Sokolov, V.A.Pivovarov, Ya.A. Ilchenko, Yu.D.Zubkov, A.A.Novkunskiy, va boshqa bir qancha taniqli olimlar ilmiy izlanishlar olib borgan.

Shuningdek, mamlakatimizning taniqli olimlaridan Q.R. Allayev, P.P. Zimakov, A.F. An, K.T.Alimxodjayev, N.B.Pirmatov, O.Z.Toirov, D.B.Qodirov, S.J.Haydarov, K.X. Kurboniyozov kabi olimlar mazkur tadqiqot yo‘nalishida o‘zining katta ilmiy hissalarini qo‘shdilar. Bu borada olib borilgan ilmiy izlanishlar kichik va mikroGESlar imkoniyatlarini baholash, ularni ishlatish, uning quvvat koeffitsiyentlarini oshirish va elektr energiyasini ishlab chiqarishga qaratilgan. Biroq, sezilarli muvaffaqiyatlarga qaramay, mikroGESlarda qo‘llaniluvchi asinxron generatorlarining dinamik ish rejimlaridagi chiqish kuchlanishlarini rostdashni tadqiq etish holatlari yetarli darajada o‘rganilmagan. Shu bois, mikroGESlarda qo‘llaniluvchi kondensator elementlari

¹ O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi PF-60-son “2022 — 2026 yillarga mo‘ljallangan yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risidagi” farmoni

ishlab chiqarayotgan reaktiv quvvatini ventilli elementlar yordamida rostdash orqali asinxron generatorning dinamik ish rejimlari vaqtida chiqish kuchlanishlarini boshqarish usulini ishlab chiqish zarurati mavjud.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti Andijon mashinasozlik institutining quyidagi xo'jalik korxonalari bilan tuzilgan "Korxonalarda energoaudit tekshiruvlarni olib borish" mavzusidagi №2020-19 "Andijon Biokimyov Zavodi" AJ korxonasi bilan tuzilgan xo'jalik shartnomasi doirasida bajarilgan.

Tadqiqot maqsadi MikroGESlarda qo'llaniluvchi asinxron generatorning dinamik ish rejimlari vaqtidagi chiqish kuchlanishi rostdash metodikasini takomillashtirish va tadqiq etish hisoblanadi.

Tadqiqot vazifalari:

avtonom mikroSESlarda qo'llaniluvchi kondensator ishlab chiqarayotgan reaktiv energiyani ventilli elementlar yordamida rostdash orqali boshqariluvchi asinxron generatorning matematik modelini takomillashtirish;

mikroGESlarda qo'llaniluvchi kondensator orqali qo'zg'atiladigan asinxron generatorning dinamik ish rejimlarida turg'unlikni ta'minlovchi algoritmi va boshqarish sxemasini takomillashtirish;

mikroGESlarda qo'llaniluvchi kondensator orqali qo'zg'atiladigan asinxron generatorning dinamik ish rejimlarini tahlil qilish imkonini beruvchi imitatsion modelini ishlab chiqish;

avtonom mikroGESlarda qo'llaniluvchi kondensator orqali qo'zg'atiladigan asinxron generatorning dinamik ish rejimlarini kondensatorida ishlab chiqarilayotgan reaktiv energiyani rostdash asosida generatorning chiqishidagi kuchlanishini boshqarish usulini takomillashtirish hamda mikroGES qurilmasini tajriba-sinov nusxasini yaratish.

Tadqiqot obyekti sifatida mikroGESlarda qo'llaniluvchi kondensator elementi orqali qo'zg'atiladigan asinxron generator olingan.

Tadqiqot predmeti mikroGESlarda qo'llaniluvchi kondensator elementi orqali qo'zg'atiladigan asinxron generator dinamik ish rejimlari, parametrlari va xarakteristikalari hisoblanadi.

Tadqiqot usullari. Tadqiqot jarayonida asinxron generatorlarning dinamik ish rejimlarini matematik modellashtirish, avtomatik boshqarish nazariyasini Droop boshqaruv metodikasining kuchlanishlar tushuvini rostdash usuli, Adaptiv boshqaruv metodikasining o'z-o'zini rostdash usuli, PID (Proporsional-Integral-Differensial) boshqaruv metodikasining Ziegler-Nikolas usuli, Matlab/Simulink dasturi yordamida imitatsion modelini ishlab chiqish, eksperimental ma'lumotlarni qayta ishlashda matematik statistika usullari, zamonaviy raqamli ossillograf CASSY Lab 2 dasturi yordamida fizik modelning ish rejimlarini tahlil qilish usullaridan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

avtonom mikroGESlarda qo'llaniluvchi qo'zg'atuvchi kondensator elementlari ishlab chiqarayotgan reaktiv quvvatni ventilli elementlar yordamida rostdash orqali, boshqariluvchi asinxron generatorning klassik matematik model takomillashtirilgan.

mikroGESlarda qo'llaniluvchi asinxron generatorining nominal, kuchlanishlar nosimmetriyasi hamda o'ta yuklama ish rejimi vaqtidagi chiqish kuchlanishini Droop boshqaruv, Adaptiv va PID boshqaruv metodikasining kuchlanishlarni rostlash usullari yordamida boshqaruv algoritmi takomillashtirilgan.

mikroGESlarda qo'llaniluvchi asinxron generatorining dinamik ish rejimlari vaqtida rostlash qurilmasiga kiruvchi va chiquvchi kuchlanish parametrlarini hisobga olgan holda tahlil qilish imkonini beruvchi imitatsion model takomillashtirilgan.

mikroGESlarda qo'llaniluvchi asinxron generatorining nominal, kuchlanishlar nosimmetriyasi va o'ta yuklama ish rejimlari vaqtida chiqish kuchlanishini kondensator elementlari ishlab chiqarayotgan reaktiv quvvatni tiristor elementlari hisobiga rostlanishi takomillashtirilgan boshqarish sxemasi ishlab chiqilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari:

mikroGESlarda qo'llaniluvchi kondensator orqali qo'zg'atiladigan asinxron generatorning fizik modeli ishlab chiqilgan;

mikroGESlarda qo'llaniluvchi asinxron generatorining dinamik ish rejim-laridagi elektrik parametrlarini rostlash metodikasi takomillashtirilgan;

mikroGESlarda qo'llaniluvchi asinxron generatorni real vaqt davomida dinamik ish rejimining hisoblashining dasturiy ta'minoti ishlab chiqilgan;

mikroGESlarda qo'llaniluvchi kondensator orqali qo'zg'atiladigan asinxron generatorning dinamik ish rejimlarida stator chiqishidagi kuchlanish qiymatini nazoratini ta'minlovchi boshqarish sxemasi ishlab chiqilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi. Tadqiqot natijalarning ishonchliligi mikroGESlarda qo'llaniluvchi asinxron generatorlarni kondensator elementlari yordamida qo'zg'atish usuli takomillashtirilgan, dinamik ish rejimlarini rostlashda avtomatik rostlash usullaridan foydalanilgan holda boshqaruv algoritmi bilan birgalikda boshqaruv sxemasi ishlab chiqilganligi, matematik modellashtirish usullarining qo'llanilganligi, dinamik va texnik tavsiflari asosida olingan nazariy va amaliy tadqiqotlar tajriba-sinov qurilmasi yordamida o'tkazilgan, nazariy va eksperimental tadqiqotlarning o'zaro adekvatligi, umum qabul qilingan mezonlar asosida qiyosiy solishtirish orqali izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati mikroGESlarda qo'llaniluvchi asinxron generatorlarni ishga tushirish va elektr energiya ishlab chiqarish asosida, mikroGESlarda qo'llaniluvchi asinxron generatorlarni kondensator elementlari yordamida qo'zg'atish tizimini takomillashtirish, dinamik ish rejimlarini, matematik modellar va algoritmini bog'lanishlarini boshqa turdosh qurilma parametrlarini asoslashda qo'llash mumkinligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati energiya resurslari sarfini kamaytirishga erishishda, ishonchli muqobil energiya manbaidan foydalangan holda elektr energiya ishlab chiqarish, chekka va tog' oldi hududlarida elektr energiya yetishmovchiligini oldini olishga hissa qo'shish uchun avtonom mikroGESlarda qo'llaniluvchi kondensator orqali qo'zg'atiluvchi asinxron generatorining dinamik ish rejimlaridagi chiqish kuchlanishlarini taklif etilayotgan boshqaruv usullarini amaliyotda qo'llanilganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. MikroGES asinxron generatorni dinamik ish rejimlarini modellashtirish bo'yicha olib borilgan ilmiy tadqiqot asosida:

mikroGES asinxron generatori reaktiv quvvatini ventilli elementlar yordamida rostdash uchun ishlab chiqilgan namunaviy qurilma "AGRO PRODSTAR" fermer xo'jaligida elektr energiya bilan ta'minlash uchun joriy etilgan ("O'zbekiston fermer, dehqon xo'jaliklari va tomorqa yer egalari" kengashining 2023-yil 28-fevraldagi 01-03-0440–son ma'lumotnomasi). Natijada avtonom iste'molchilarni talabiga mos holda mikroGESda qo'llanilgan asinxron generatorlar dinamik ish rejimlaridagi chiqish kuchlanishini doimiy nazorat va boshqargan holda elektr energiyasi bilan ta'minlash imkoniyati yaratilgan;

asinxron generatorning dinamik ish rejimlaridagi chiqish kuchlanishini boshqarish uchun ishlab chiqilgan takomillashgan usullar "AGRO PRODSTAR" fermer xo'jaligida elektr energiya bilan ta'minlash uchun joriy etilgan ("O'zbekiston fermer, dehqon xo'jaliklari va tomorqa yer egalari" kengashining 2023-yil 28-fevraldagi 01-03-0440–son ma'lumotnomasi). Natijada mikroGES asinxron generatorni dinamik ish rejimlarini modellashtirish bo'yicha o'tkazilgan ilmiy-texnik chora-tadbirlar asosida iqtisodiy samaradorlik 109 000 000 (bir yuz to'qqiz million) so'mni tashkil etgan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Dissertatsiya tadqiqotining asosiy natijalari 3 ta xalqaro konferensiyalarda, shundan 1 ta Scopus bazasiga kiritilgan, 2 ta xalqaro va respublika miqyosidagi ilmiy–amaliy anjumanlarida muhokamadan o'tkazilgan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi. Tadqiqot ishi mavzusi doirasida jami 23 ta ilmiy ishlar, ulardan 3 ta Scopus bazasiga kiritilgan to'plamlarda, O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasi tavsiya etgan jurnallarda, shu jumladan 3 ta xorijiy, 6 ta respublika miqyosidagi jurnallarda chop etilgan, 6 ta xalqaro va respublika miqyosidagi to'plamlarda chop etilgan, 4 ta EHM uchun yaratilgan dasturiy vositalarni qayd qilish guvohnomalari olingan va 1 ta foydali modelga talabnoma topshirilgan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya kirish, to'rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiyaning hajmi 128 betni tashkil qiladi.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati, tadqiqot maqsadi va vazifalari aniqlangan, tadqiqot ob'ekti va predmeti yoritilgan, tadqiqotning Respublika fan va texnologiyalar taraqqiyotining ustuvor yo'nalishlarga mosligi ko'rsatilgan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon etilgan, tadqiqot natijalarining nazariy va amaliy ishonchliligi asoslangan, ilmiy tadqiqotlar natijalarini ishlab chiqarishga joriy etish ma'lumotlari olingan, tadqiqot ishining aprobatsiya natijalari, e'lon qilingan ishlar bo'yicha ma'lumotlar va dissertatsiyaning tuzilishi bo'yicha ma'lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning "**Asinxron generatorning mikroGESlarda qo'llanilishi tahlili**" deb nomlangan birinchi bobida energiya tanqisligini kamaytirish maqsadida kichik gidroenergetikadan foydalanish, kichik gidroenergetikani vazifasi elektr energiya ishlab chiqarish ob'ektlarini iste'molchilarga yaqinlashtirish va elektr uzatish tarmoqlarida energiya isroflarini kamaytirish, natijada uzoq masofadagi elektr energiya

iste'molchilarini avtonom elektr energiyasi manbai yordamida ta'minlash orqali chekka va tog' oldi hududlarga yoqilg'i energiyasini yetkazib berish bo'yicha ma'lumotlar keltirilgan. Hozirgi kunda energetikaning qayta tiklanuvchan energiya manbalaridan foydalangan holda sof tannarxi arzon bo'lgan elektr energiya ishlab chiqarish ustuvor va dolzarb vazifalardan biri hisoblanadi.

Birinchi bobda mikroGESlardan foydalanish tahlili, shuningdek dissertatsiya ishining maqsadi va vazifalari o'z aksini topgan.

Dissertatsiyaning "**MikroGESlarda qo'llaniladigan gidroturbinalar tahlili**" deb nomlangan ikkinchi bobida suv ombori, bosimli suv quvur tizimi va gidroenergetik agregatdan tashkil topgan, mikroGES tuzilmasi ko'rsatilgan hamda gidroturbinani tanlash, turli xil turbinalar tizimlarini taqqoslash, mikroGESning global rivojlanish holatini ko'rib chiqish, kovshli gidroturbinani matematik modelini tuzishni tahliliy natijalari keltirilgan.

"Gidroturbina – o'z navbatida birlamchi gidravlik dvigatel bo'lib, gidravlik turbinaga uzatilayotgan suvning energiyasini o'zgartiruvchi mexanik energiyasiga o'zgartirib berish hisoblanadi. Bunda P_T – gidroturbinaning quvvati M_T gidroturbina momentining ω burchak tezligi (1) hosilasiga teng,

$$P_T = M_T \omega. \quad (1)$$

Suv sarf Q va bosim H o'zgarganda gidroturbinaning quvvati o'zgaradi. Gidroturbinaning quvvatini hisoblash ifodasi (2) quyidagicha

$$P_T = 9,81QH\eta_T, \quad (2)$$

bu yerda H – gidroturbinaga olib kelingan suvning bosimi m; Q - suv oqim sarfi $m^3/soat$; η_T -gidroturbinaning samaradorligi (foydali ish koeffitsiyenti).

Gidroturbina foydali ish koeffitsiyenti uning konstruksiyasi hajmiga bog'liq va uning yuklamasi o'zgarganda mos ravishda o'zgaradi. Diametri taxminan 1 m bo'lgan kichik gidroturbinalar uchun foydali ish koeffitsiyentining eng katta qiymati 0,88 – 0,91 ni tashkil qiladi.

P_T nominal quvvati – H_n nominal bosim va Q_n nominal suv oqim sarfi bilan aniqlanadi. P_E generatorning quvvati generator qisqichlari orqali o'lchanadi. O'rnatilgan rejimlarda generatorning quvvati generatordagi yo'qotishlarni hisobga olmagan holatda gidroturbinaning quvvatiga (3) teng,

$$P_E = P_T \eta_{gen}. \quad (3)$$

Gidroturbinalarni tanlashda uning ikki turga bo'linishiga e'tibor berish kerak:

oqim energiyasini kinetik shaklda ishlatadigan aktiv gidroturbinalar; reaktiv gidroturbinalar;

Reaktiv gidroturbinalar asosan oqim energiyasining potensial qismidan foydalanadi.

Aktiv gidroturbina xususiyati shundaki, ular normal atmosfera bosimida erkin oqimda ishlaydi. Soplo suvni kovshli shaklidagi ishchi g'ildirakka yo'naltiradi va soplodagi barcha energiya kinetik energiyaga aylanadi.

Kovshli gidroturbinani differensial tenglamalar asosidagi modellashtirishda gidroturbinaning dinamik xatti-harakatlarini tavsiflash uchun matematik tenglamalardan foydalanadi. Ushbu usulda gidroturbinaning muhim parametrlarini va ularning vaqt bo'yicha o'zgarishini ifodalovchi differensial tenglamalar tuziladi.

Odatda bu tenglama quyidagicha (4) ko'rinishga ega bo'ladi:

$$M = J \frac{d\omega}{dt} + M_{mex} + M_{pasayish}, \quad (4)$$

M - gidravlik moment, J - turbinaning inersiya momenti, ω - burchak tezligi,

M_{mex} - mexanik yuklama momenti, $M_{pasayish}$ - pasayish momenti (yo‘qotishlar bilan bog‘liq).

Oqim va bosim bog‘lanishi: turbina orqali o‘tuvchi suv oqimi va bosim o‘rtasidagi bog‘lanishni differensial tenglama orqali ifodalanadi.

Misol uchun, suv oqimi Q va bosim H o‘rtasidagi bog‘lanish (5):

$$Q = C_d A \sqrt{2gH}, \quad (5)$$

C_d - oqim koeffitsiyenti, A - suv oqimi yuzasi, g - erkin tushish tezlanishi, H - bosim (yoki suv sathi).

Yuqoridagilarni inobatga olgan holda gidroelektrostansiyalar nazariyasida quyida keltirilgan umumiy qabul qilingan formulalar asosida gidroturbinalar matematik modeli tuziladi.

Gidroagregat bosimi quyidagi (6) tarkibiy qismlardan iborat:

$$H = H_H + \Delta H - h_{nom}, \quad (6)$$

bu yerda $H_H = const$ mikroGESning nominal bosimi, h_{nom} - suv o‘tkazgichidagi bosimning yo‘qolishi (7)-(8) larda keltirilgan,

$$\Delta H = -\frac{L}{gS} \frac{dQ}{dt}, \quad (7)$$

$$h_{nom} = A \cdot K_1 \cdot L \cdot Q^2, \quad (8)$$

bu yerda A – po‘lat quvurlar uchun qarshilik, K_1 - po‘lat quvurlar uchun A qiymatlariga tuzatish koeffitsiyenti.

Gidroturbina orqali suv sarfi yo‘naltiruvchi apparatning ochilishiga bog‘liq. Hidroturbinaning μ -nisbiy gidravlik qarshiligi quyidagi (9) bilan aniqlanadi,

$$\mu = \mu_{HA} - \mu_{sen}, \quad (9)$$

bu yerda, μ_{HA} - yo‘naltiruvchi apparat ochilishi natijasida gidravlik qarshilik; μ_{sen} – markazdan qochma kuchning ta’siri tufayli gidravlik qarshilik (10) ga teng,

$$\mu_{mqk} = k_{mqk}, \quad (10)$$

bu yerda $k_{mqk} \frac{\Delta Q}{Q_H \omega_H}$ - oqim koeffitsiyenti.

Shuningdek, gidroturbinaning quvvatini mexanik komponent orqali (11) yozish mumkin

$$P_T = M_T \cdot \omega. \quad (11)$$

Belgilangan rejimlarda $M_T = M_E$ holati kuzatiladi, bu holda (11) ifodani quyidagi shaklda yozamiz

$$P_T = M_E \cdot \omega, \quad (12)$$

$$M_T = \frac{9.81 \cdot Q \cdot H \cdot \eta_T}{n \cdot 9.55}, \quad (13)$$

$$Q = \frac{M_T \cdot \omega}{9.81 \cdot H \cdot \eta_T}, \quad (14)$$

$$n = \frac{9.81 \cdot Q \cdot H \cdot \eta_T \cdot 9.55}{M_T}, \quad (15)$$

Gidroturbina rotorining harakati quyidagi (16) shaklda ifodalanadi

$$M_T - M_E = J \frac{d\omega}{dt}. \quad (16)$$

Olingan tenglamalarga ko‘ra, kovshli gidroturbina modeli matematik ifodalar yordamida tuzilgan.

Bunda gidroturbina elementlari suv sarfi, oqim koeffitsiyenti, suv o‘tkazgichlaridagi yo‘qotishlar, o‘zgarish momentlari, gidroturbina quvvat

komponenti, gidravlik qarshilik markazdan qochma kuchning ta'siri tufayli gidravlik qarshilik o'zgarishi, po'lat quvur qarshiliklari o'z aksini topgan bo'lib shu matematik model parametrlarini hisobga olgan holda asinxron generatorining matematik modeli ishlab chiqilgan.

Dissertatsiyaning **“MikroGESlarda qo'llaniluvchi asinxron generatorini modelashtirish”** deb nomlangan uchinchi bobida mikroGESlarda qo'llaniluvchi asinxron generatorni differensial tenglamalar tizimlari yordamida tavsiflashning klassik usuli eng umumlashtirilgan usul bo'lib hisoblanadi. Ob'ektning matematik modeli uning idealizatsiyasi hisoblanadi, shuning uchun tenglamalarni tuzishda va vaqtinchalik jarayonlarni ko'rib chiqishda “idealizatsiya qilingan” ob'yekt bilan bog'liq umumiy qabul qilingan cheklovlar va taxminlar qo'llaniladi.

Gidroturbina matematik ifodalarini hisobga olgan holda asinxron generator matematik (17)- (19) ifodalar orqali bog'lanishlarga keltirib olinadi

$$P_m = P_T \cdot \eta_T \cdot \eta_u \quad P_G = P_m \cdot \eta_g, \quad (17)$$

$$M_g = \frac{P_n \cdot 10^3}{\omega}, \quad (18)$$

$$\omega = \frac{n_g}{9.55}. \quad (19)$$

Yuqoridagilarni hisobga olgan holda asinxron generatorni qo'zg'atuvchi kondensator batareyasini tanlash quyidagi (20) ifoda yordamida amalga oshiriladi

$$C = \frac{Q}{2\pi f U^2}, \quad (20)$$

$$Q = 2\pi f \cdot C U^2, \quad (21)$$

Kondensator toki quyidagi (22) ifoda yordamida aniqlanadi

$$I_c = C \cdot \frac{dU}{dt}. \quad (22)$$

Lozim bo'lsa, yanada ko'p omillarni hisobga olish mumkin, ammo bu differensial tenglamalar tizimini yechishni ancha murakkablashtiradi va yechimning vaqtini oshiradi. Shu munosabat bilan qidiruv ixtisoslashtirilgan dasturlarga o'tkaziladi.

Tenglamalar tizimi davriy va kompleks koeffitsiyentlardan iborat bo'lmay, yechimlar kvazigarmonik va garmonik funksiyalar bilan tavsiflanadi. Asinxron generator sig'imli qo'zg'alishi d-q koordinatalar sistemasidagi kompleks shakldagi tenglama (23) bilan tavsiflanadi:

$$\begin{cases} (p - i\Omega)^2 x_m i_0 + (p + i\Omega)^2 x_{1\sigma} i_2 + (p + i\Omega) r_1 i_1 + x_c i_0 = 0 \\ -x_c i_0 + (p + i\Omega)^2 x_{Ln} i_n + (p + i\Omega) r_n i_n + x_{cn} i_n = 0 \\ p x_{2\sigma} i_2 + r_2 i_2 + p x_m i_0 = 0 \\ i_1 + i_2 = i_2 \\ i_n + i_c = i_1, \end{cases} \quad (23)$$

bu yerda p - farqlash operatori; i_1, i_2, i_n, i_c, i_0 , mos ravishda stator, rotor, generator yuklama, qo'zg'alish sig'imi, magnitlanish toklari; r_1, r_2 - stator va rotor fazalarining aktiv qarshiligi; x_{1s}, x_{2s} - stator va rotor fazalarining oqish induktiv reaktivligi; x_m - o'zaro induktiv qarshiligi; x_c, x_{Ln}, x_{cn} - reaktiv qarshiliklar.

Yuqoridagi matematik modeldagi i_c -ni matematik ifodasi quyidagicha (24)

$$I_c = \frac{U_0 \cdot \cos \alpha}{X_c}, \quad (24)$$

bu yerda U_0 - tiristordan o'tayotgan kuchlanish α -tiristorning ochilish burchagi X_c - kondensatorning reaktiv qarshiligi.

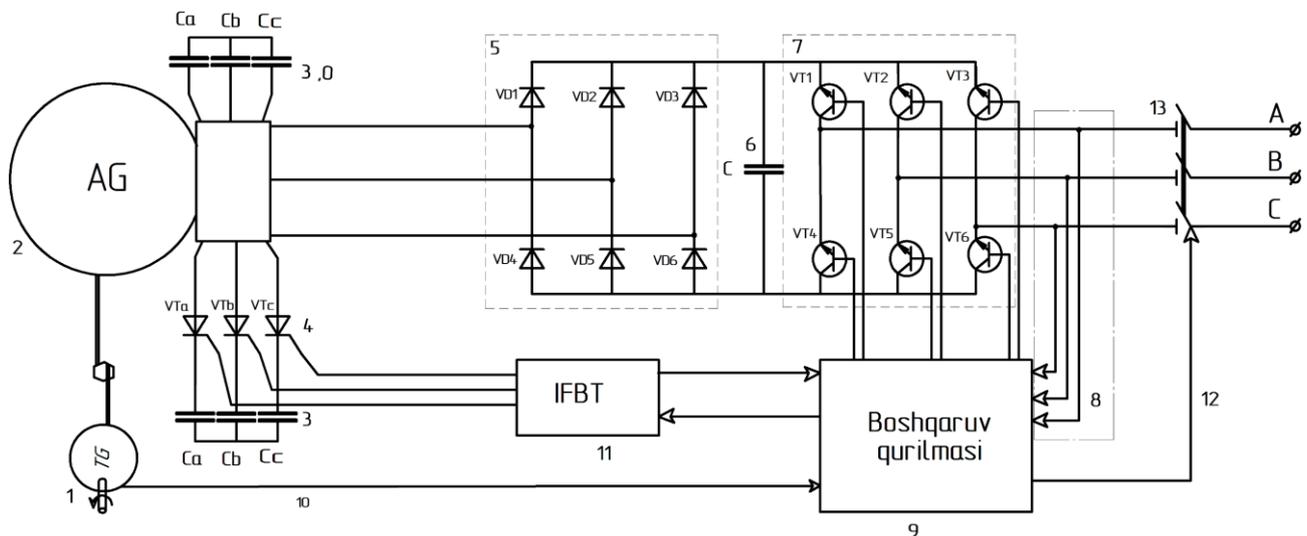
Uch fazali generator uchun kuchlanish tenglamalari tizimi (24) bilan aniqlanadi

$$\begin{cases} \frac{d\psi_A}{dt} + r_S i_A = U_A \\ \frac{d\psi_B}{dt} + r_S i_B = U_B \\ \frac{d\psi_C}{dt} + r_S i_C = U_C \\ \frac{d\psi_r}{dt} + r_r i_r = 0 \end{cases}, \quad (25)$$

bu yerda $\psi_{A,B,C}$ (ψ_r) - stator (rotor) fazasining to'liq magnit oqimi; $i_{A,B,C}$ (i_r) - stator (rotor) fazasidagi toki; $r_{A, B, C}$ (r_r) - stator (rotor) fazasining qarshiligi; $U_{A, B, C}$ - stator fazalaridagi kuchlanish qiymati. Birinchi uchta tenglama $U_{A, B, C}$ stator fazalarining kuchlanishini tavsiflaydi, ikkinchisi esa $U_r=0$ rotorning shartli tenglamasini to'liq magnit oqim va fazadagi tok orqali tavsiflaydi.

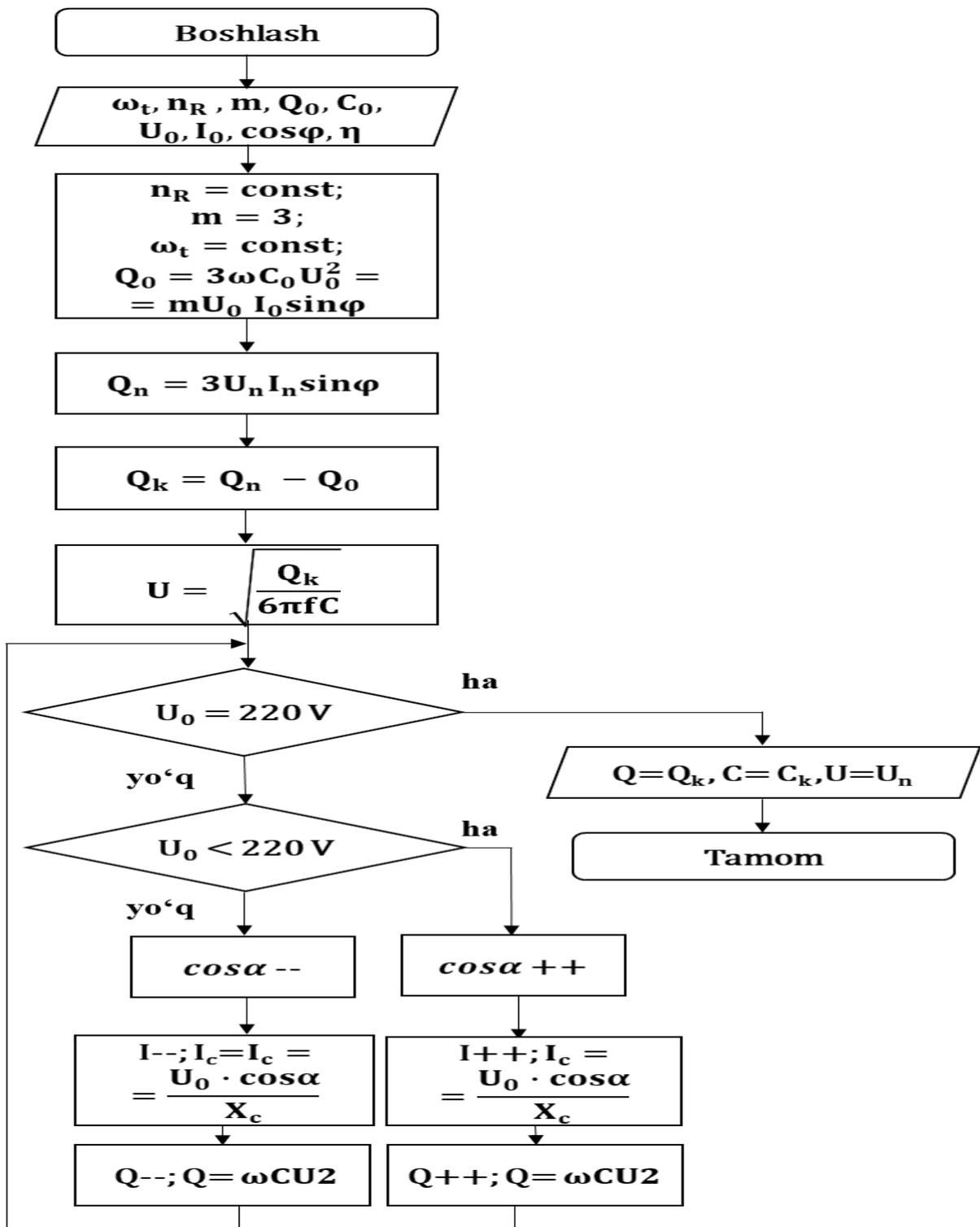
MikroGESlarda qo'llaniluvchi asinxron generatorning nominal yuklama bilan ishga tushish vaqtidagi chiqish kuchlanishini 1-2-raslarda keltirilgan.

Droop nazorati - parallel ishlaydigan generatorlar o'rtasida yuklamani taqsimlash va tizim barqarorligini saqlash imkonini beruvchi boshqarish usuli. U tizim chastotasi yoki kuchlanishidagi o'zgarishlarga javoban generator chiqishidagi o'zgarishlarga va kondensator tokining o'zgarishi hisobiga asoslanadi. MikroGESlarda qo'llaniluvchi kondensator elementlari yordamida qo'zg'atishli asinxron generatorning kompyuter yordamidagi dinamik ish rejimlarini tadqiq qilish asnosida tahliliy natijalarini xarakteristikalar orqali ifodalash uchun avvalo II bobda keltirib o'tilgan kovshli gidroturbinaning hamda asinxron generatorning differensial tenglamalari, matematik tavsifi, matematik modeli va strukturaviy sxemalaridan foydalanilgan holda, Matlab dasturi yordamida, imitatsion model ishlab chiqildi va shu imitatsion modeldan foydalanib avtonom mikroGESlarda qo'llaniluvchi kondensator elementlari orqali qo'zg'atiladigan asinxron generatorning turli dinamik ish rejimlarini energetik ko'rsatkichlari aniqlandi.



1-rasm. MikroGESlarda qo'llaniluvchi asinxron generatorini nominal yuklama bilan ishga tushishdagi boshqaruv sxemasi quyidagilardan tashkil topgan;

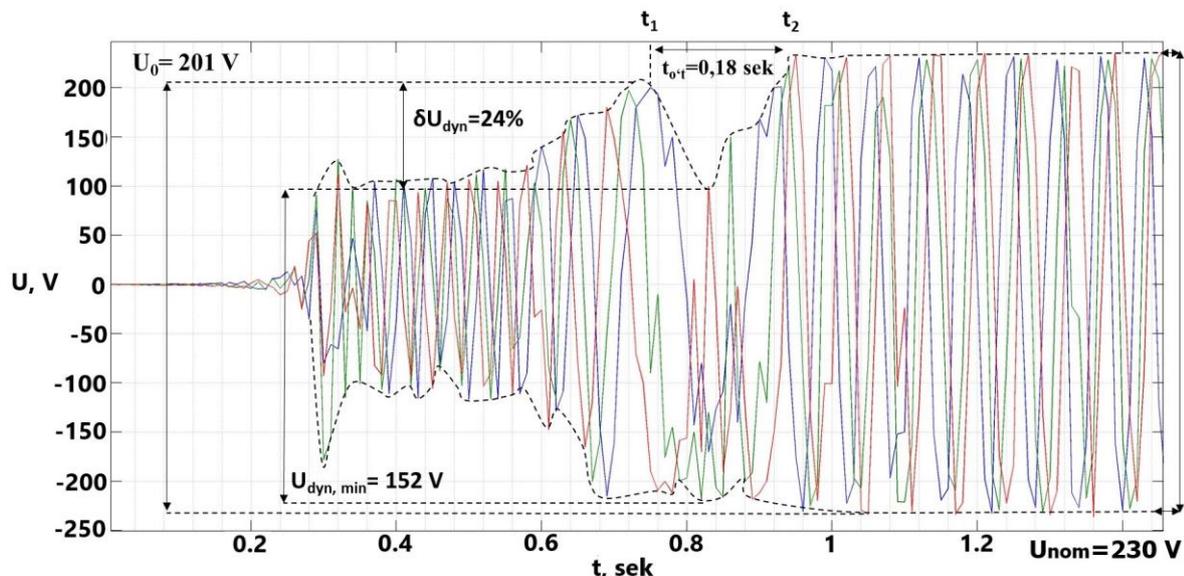
- 1-taxogenerator, 2-asinxron generator, 3₀-qo'zg'otish kondensator elementlari, 3- kondensatorlar
- 4-tiristorlar, 5-diodlar, 6-filtrlovchi kondensator, 7-tranzistorlar, 8-kuchlanish datchiklari,
- 9-boshqaruv qurilmasi, 10-taxogenerator signali, 11-impuls faza boshqarish tizimi, 13-uch fazali uzgichlar;



2-rasm. Droop boshqaruv metodikasining kuchlanishlar tushuvini usuli yordamida rostdash algoritmi

MikroGESlarda qo'llaniluvchi asinxron generatorini nazorat qilish algoritmi quyidagilarni o'z ichiga oladi ω – gidroturbinani aylanish tezligi, n_r -rotor aylanishlar soni, Q_0 – boshlang'ich qo'zg'atish uchun kerak bo'lgan reaktiv quvvat, C_0 – qo'zg'atish uchun kerak bo'lgan kondensator sig'imi, U_0 – boshlang'ich qo'zg'atishda hosil bo'ladigan kuchlanish, I_0 – boshlang'ich qo'zg'atishda statorda hosil bo'ladigan tok, $\cos\varphi$ – quvvat koeffitsiyenti, m -fazalar soni.

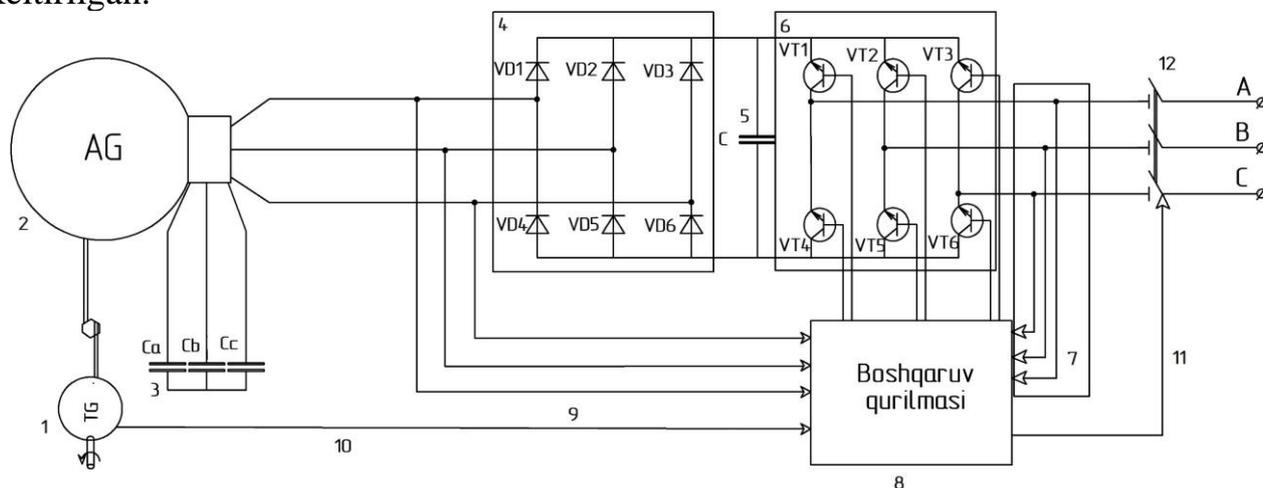
Yuqorida ta’kidlab o‘tilganidek ishlab chiqilgan imitatsion model yordamida aniqlangan tahliliy xarakteristikalari quyidagi 3-rasmda keltirilgan.



3-rasm. MikroGESlarda qo‘llaniluvchi asinxron generatorining ishga tushish vaqtidagi chiqish kuchlanish xarakteristikasi

Yuqoridagi 3-rasmda keltirilgan xarakteristikadan ma’lumki U_0 -ishga tushish kuchlanishi [V], $U_{dyn, min}$ -o‘tkinchi jarayon vaqti minimal kuchlanishi, δU_{dyn} -yuklama pasayishida kuchlanishning o‘tkinchi og‘ishi U_{nom} – voltmetr ko‘rsatkichi, ifodalangan.

MikroGESlarda qo‘llaniluvchi asinxron generatorini nosimmetrik ish rejimi vaqtidagi chiqish kuchlanishini Adaptiv boshqaruv metodikasining o‘zini roslash usulini qo‘llash hisobiga boshqarish algoritmi va boshqarish sxemasi 4-rasmda keltirilgan.

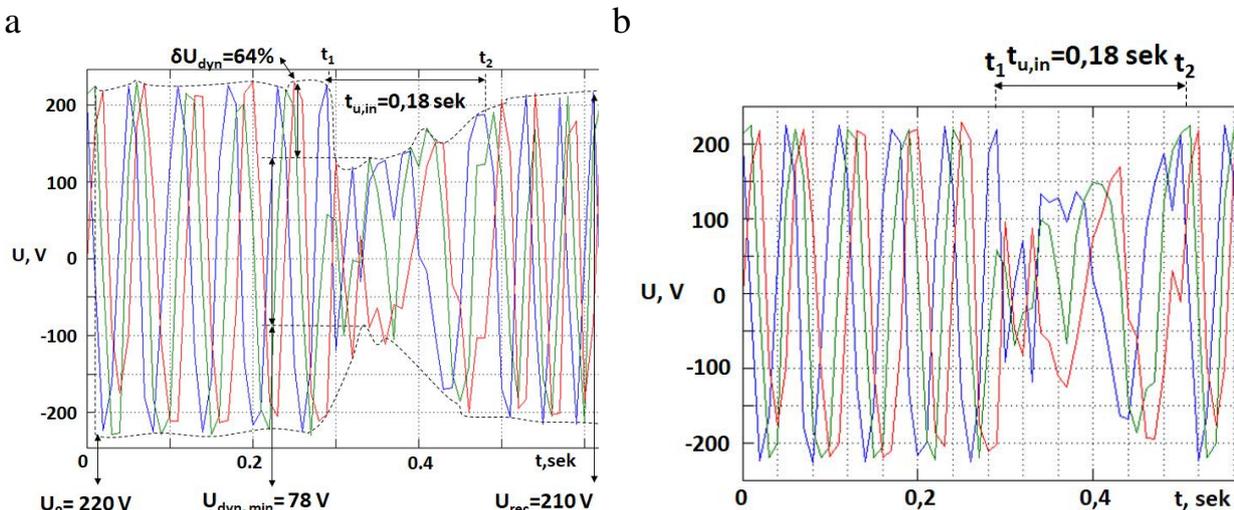


4-rasm. Avtonom mikroGESlarda qo‘llaniluvchi asinxron generatorni nosimmetrik ish rejimi vaqtidagi chiqish kuchlanishlarini boshqarish sxemasi

Asinxron generator chiqishida kuchlanishlar nosimmetriyasi sezilsa Adaptiv boshqaruv metodikasini o‘z-o‘zini roslash usuli yordamida generator chiqishidagi 4-[VD] yarim o‘tkazgich elementlaridan oldingi kuchlanishlar hamda rostlagich 6-tranzistor kalitlari chiqishi yoki iste’molchilar ulangan vaqtdagi kuchlanishlar taqqoslanadi. Aytaylik farq $U_a=220$ V, $U_b=205$ V, $U_c=200$ V ekanligi aniqlanadi

so'ng rostlagich qurilmasiga qayta rostdash buyruq beradi. 7-kuchlanish datchiklari orqali 8-boshqaruv qurilmasiga doimiy signal uzatib turiladi.

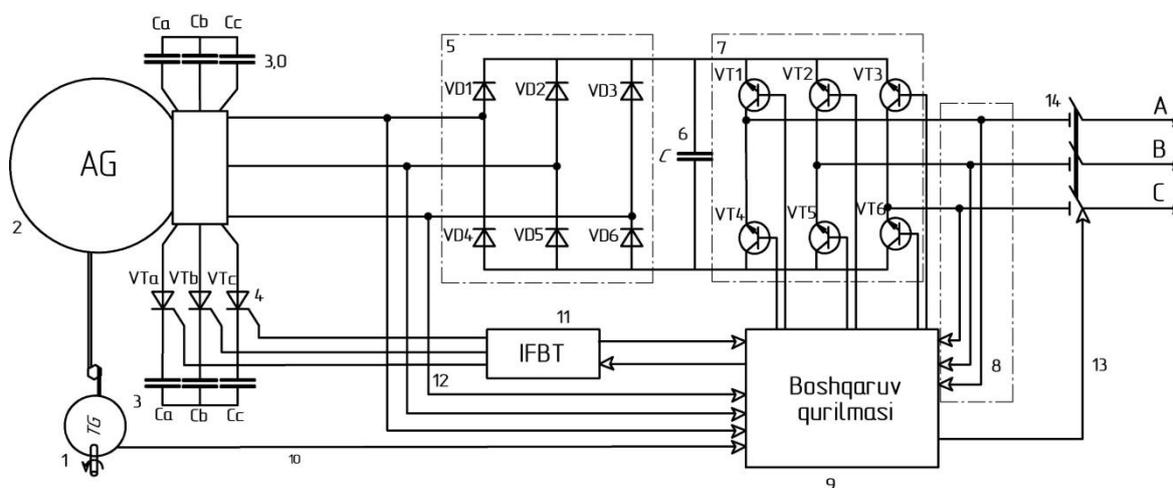
MikroGESlarda qo'llaniluvchi asinxron generatorini nosimmetriya ish rejimidagi chiqish kuchlanishini Adaptiv boshqaruv metodikasining o'z-o'zini rostdash usulini imitatsion modeli yordamida olib borilgan tahlillar asosida quyidagi natijalarga erishilgan ya'ni birinchi navbatda asinxron generatorini stator fazalaridagi kuchlanishlarning o'zgarish xarakteristikasi aniqlanganligini quyidagi 5-rasmda kuzatishimiz mumkin.



5-rasm. Avtonom mikroGESlarda qo'llaniluvchi asinxron generatorining nosimmetrik yuklama holatidagi kuchlanishlar tushuvi (a) va qayta tiklanish xarakteristikasi (b)

5-rasmdan ko'rishimiz mumkinki, bu holatda kuchlanishlar tushuvi dastlab $U_0 = 220 [V]$ ga teng bo'lganligi ma'lum, so'ngra nosimmetrik yuklama ulangan vaqtda esa kuchlanish dinamikasi $U_{\text{din, min}} = 78 [V]$ bo'lganligi $\delta U_{\text{din}} = 64\%$ ga farq qilishi holati ma'lum bo'ladi. Yuzaga kelayotgan o'tkinchi jarayon vaqti $t = 0,18$ sekundni tashkil qilyapti va fazalararo kuchlanish o'zgarishini qayta tiklanishini ko'rishimiz mumkin bo'ladi $U_{\text{nom}} = 220 [V]$ bo'lganligi ma'lum bo'ladi.

6-rasmda MikroGESlarda qo'llaniluvchi asinxron generatorni o'ta yuklama ish rejimini boshqarish sxemasi keltirilgan

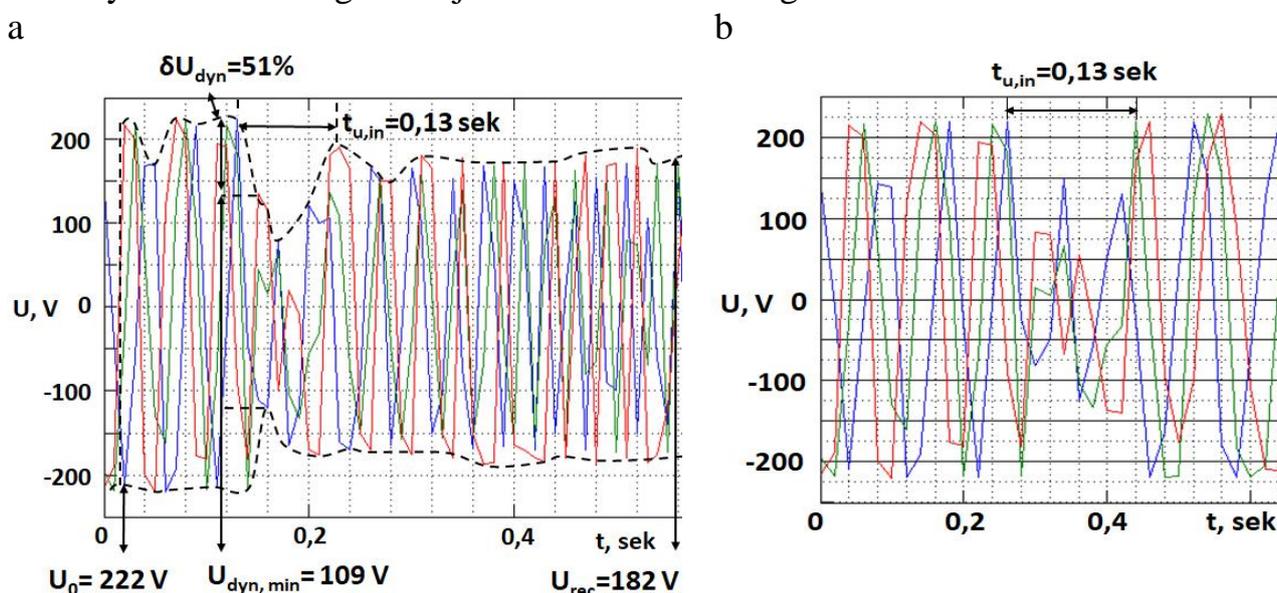


6-rasm. MikroGESlarda qo'llaniluvchi asinxron generatorni o'ta yuklama ish rejimini boshqarish sxemasi:

yukalma toki I_n hosil bo‘ladi bu o‘z navbatida $Q_n = 3U_n I_n \sin\varphi$ ifodasi berilyapti, faza kuchlanishi, chastota, tokni nominal holatda ta‘minlash uchun kondensator qurilmalari yordamida reaktiv quvvatni uzatish kerak bo‘ladi, $Q_k = Q_n - Q_0$ holatda bo‘ladi va bundan o‘zgartirish kerak bo‘lgan C miqdori topiladi.

PID boshqaruv metodikasini Ziegler Nikolas usuli yordamida generator chiqishidagi 4-[VD] yarim o‘tkazgich elementlaridan oldingi kuchlanishlar hamda rostlagich 6-[VT] tranzistor kalitlari chiqishi yoki iste‘molchilar ulangan vaqtdagi kuchlanishlar taqqoslanadi, aytaylik farq $U_a=210$ [V], $U_b=220$ [V], $U_c=205$ [V] ekanligi aniqlandi, so‘ng rostlagich qurilmasiga qayta rostdash buyruq beradi 7-kuchlanish datchiklari orqali 8-boshqaruv qurilmasiga doimiy signal uzatib turiladi. Kuchlanish datchiklaridan olingan signal yana bir bor taqqoslanadi qachonki nominal kuchlanish $U_n=220$ [V] ga yetganida KIM (kenglik impulsli modulyatsiya) orqali avtonom tarmoqqa uzatib beradi.

MikroGESlarda qo‘llaniluvchi asinxron generatorini o‘ta yuklama ish rejimidagi chiqish kuchlanishini PID boshqaruv metodikasining Ziegler-Nikolas usuli imitatsion modeli yordamida olingan natijalar 8-rasmda keltirilgan.



8-rasm. Avtonom mikroGESlarda qo‘llaniluvchi asinxron generatorining o‘ta yuklama ish rejim holatidagi kuchlanishlar tushuvi (a) va qayta tiklanish xarakteristikas (b)

Bunda nominal yukalama ostida ishlab turgan vaqtda $U_0=222$ [V] ga teng, o‘ta yuklama ulangan vaqtda kuchlanishlar o‘zgarishi $U_{din, min}=109,0$ [V] bo‘lganligi $\delta U_{din} = 51\%$ farq qilishi holati ma‘lum bo‘ladi. Yuzaga kelayotgan o‘tkinchi jarayon vaqti $t=0,13$ sekundni tashkil qilyapti va tarmoqdagi fazalararo kuchlanish o‘zgarishini qayta tiklanishini $U_{nom}=220$ [V] bo‘lganligi ma‘lum bo‘ladi.

Dissertatsiyaning “MikroGESlarda qo‘llaniluvchi asinxron generatorida o‘tkazilgan tajribalar” deb nomlangan to‘rtinchi bobida Ilmiy tadqiqot ishlarini olib borishda mikroGES asinxron generatorni asosiy texnik ko‘rsatkichlari asosida mikroGES qurilmasini tayyorlash va ishga tushirish hamda amaliyotga tadbiq etishdan oldingi tajriba sinovini o‘tkazish bo‘yicha ma‘lumotlar keltirilgan.

Tajriba uchun 4A80A6Y3 markadagi qisqa tutashtirilgan asinxron motor tanlab olingan bo‘lib, uning parametrlari quyidagi 1-jadvalda keltirilgan

Asinxron generator	Quvvati, kW	Nominal yuklamada			M_n	M_{min}	M_{max}	I_n	n aly/min
		Sirpanish, %	FIK, %	$\cos\varphi$					
4A80A6Y3	0,75	0,8	69,5	0,74	2,0	1,6	2,2	5	1000

Generator rejimida rotor tezligi asinxron elektr mashinaning magnit maydon aylanish tezligiga mos kelishi kerak. Buning uchun asinxron elektr mashinaning rotor aylanish tezligi nominal aylanish tezligidan 5-10% yuqori tezlikka chiqishi zarur bo‘ladi. Shunday qilib, generator rejimida asinxron elektr mashinasining rotori 1050 ayl/min tezlik bilan ta‘minlanishi kerak.

Avtonom mikroGES asinxron generatori namunaviy qurilmasi ishlab chiqilgan. Ushbu namunaviy qurilma yordamida tajriba sinovi olib borilgan jarayon quyidagi 9-rasmda keltirilgan.

Tajriba davomida kovshli gidroturbinani suv energiyasi hech qanday to‘g‘on hosil qilmasdan daryo o‘zanidan oqib o‘tayotgan suvni faqatgina turbina orqali sekundiga 4 m/sek tezlikda gidroturbinani mexanik energiya bilan ta‘minlash orqali asinxron mashinani aylanuvchi rotor qismiga nominal aylanish tezligidan 5-10% yuqori bo‘lgan tezlik bilan ta‘sir etib tarmoqdan oluvchi reaktiv quvvatni kondensator elementlari orqali ta‘minlab asinxron mashinasini generator rejimida ishga tushirish imkoniyatini yaratadi.

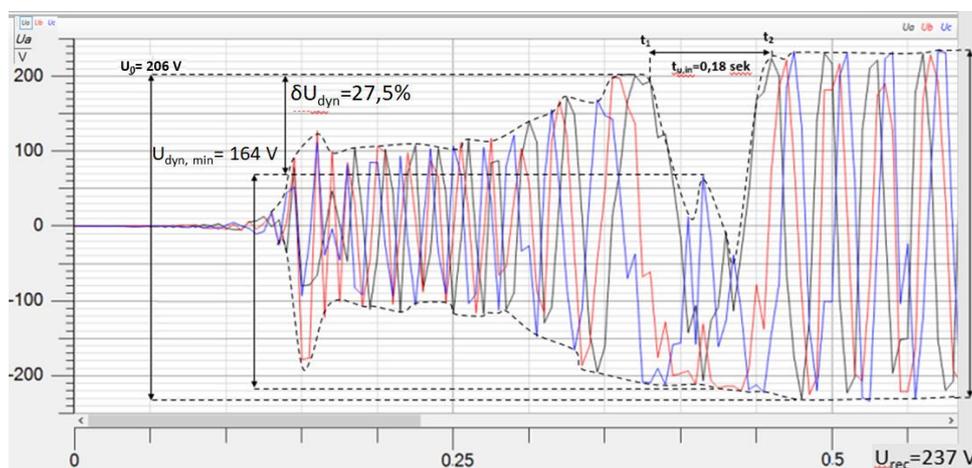


9-rasm. Avtonom mikroGES yordamida tajriba-sinov o‘tkazish jarayoni

Avtonom kovshli mikroGESlarda qo‘llaniluvchi asinxron generatorning 10-rasm keltirilgan tajriba-sinov qurilmasi ishlab chiqilgan ushbu tajriba-sinov qurilmasi yordamida ishlab chiqarilayotgan elektr energiyani dinamik ish rejimlarida yuzaga keluvchi holatlar bo‘yicha tajribalar olib borildi ushbu tajribalar asosida quyidagi xarakteristikalar olingan. Natijalar hisob-kitoblar asosida tarmoqda o‘tkinchi jarayon vaqtida yuzaga keluvchi elektrik parametrlar ya‘ni kuchlanish o‘zgarishi aniqlandi. Ishlab chiqarilayotgan elektr energiyasini holat xarakteristikalarini CASSY Lab 2

dasturi yordamida tahlil qilingan.

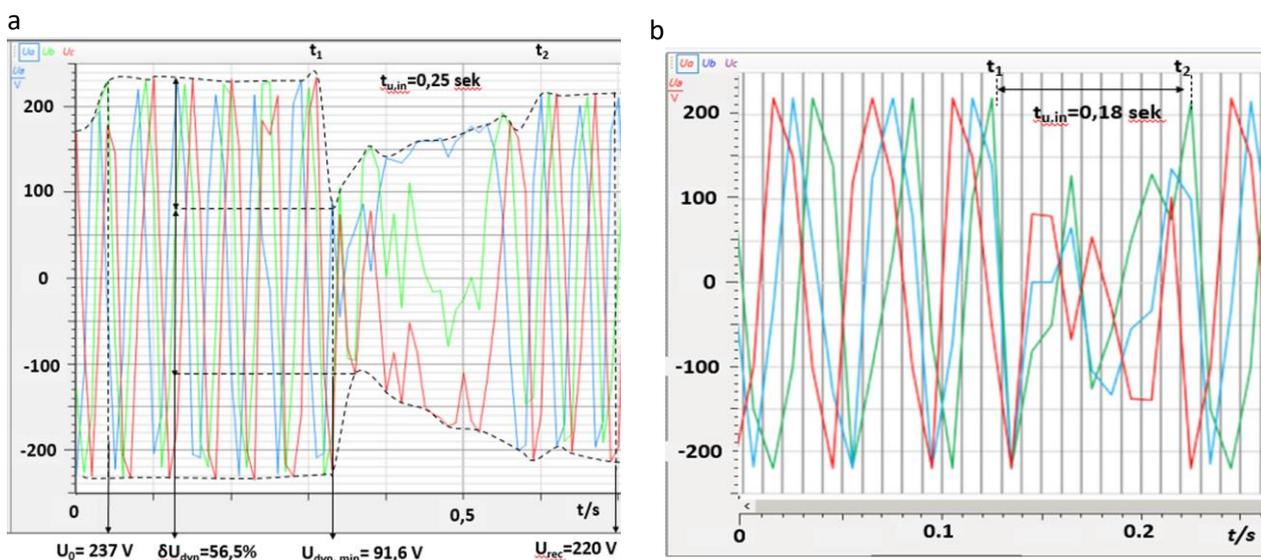
MikroGESlarda qo‘llaniluvchi asinxron generatorining nominal yuklama bilan ishga tushish vaqtidagi chiqish kuchlanishini fizik modeli natijaviy xarakteristikalari keltirilganligini quyidagi 10-rasmda ko‘rishimiz mumkin.



10-rasm. Avtonom mikroGESlarda qo‘llaniluvchi asinxron generatorni ishga tushish xarakteristikasi

10-rasmda keltirilgan xarakteristikada $[U]$ kuchlanishni $[t]$ vaqtga bog‘liqlik grafigi keltirilgan bo‘lib bu foydali ish koeffitsiyentida biz asinxron generatorni ishga tushirishdan yuklama rejimiga o‘tishdagi o‘tkinchi jarayon $t=0,18$ sekund vaqt talab etilayotganligini ko‘rishimiz mumkin. Bu holatda $U_0=206$ [V] ekani va kuchlanish o‘zgarishi $U_{dyn,min}=164$ [V] hamda $\delta U_{dyn}=27,5\%$ ni tashkil etgan yuklama ulangandan so‘ng kuchlanish nominal holatga ya‘ni $U_{rec}=237$ [V] kelganligini ko‘rishimiz mumkin.

MikroGESlarda qo‘llaniluvchi asinxron generatorini nosimmetrik yuklama ish rejimi vaqtidagi fizik modeli yordamida olingan natijalar 11-rasmda keltirilgan.

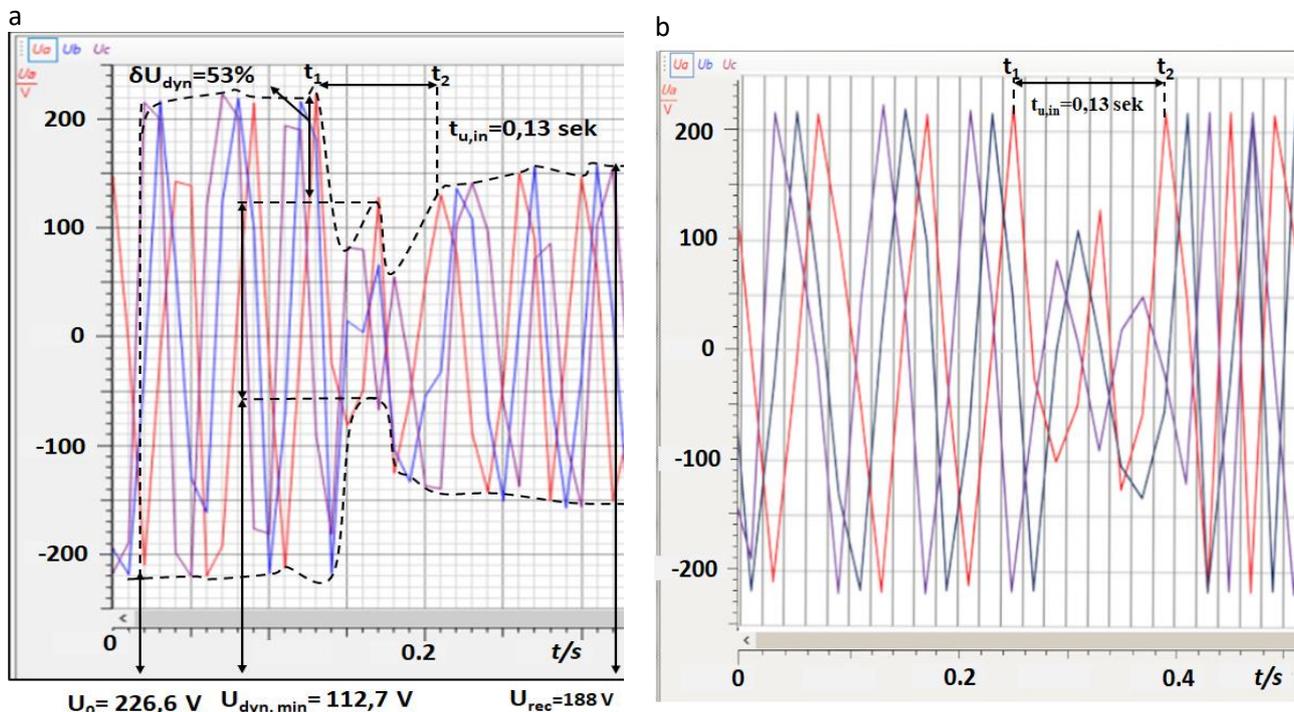


11-rasm. Avtonom mikroGESlarda qo‘llaniluvchi asinxron generatorni nosimetriya ish rejimi vaqtidagi chiqish kuchlanishi (a) va rostlangan kuchlanish xarakteristikasi (b)

Avtonom mikroGESlarda nominal kuchlanish $U_0=237$ [V] bo‘lsa o‘tkinchi

jarayon vaqtida esa $U_{\text{dyn, min}} = 91,6$ [V] gacha o'zgarishi kuzatiladi ushbu holatda, $\delta U_{\text{dyn}} = 56,9\%$ ga farq qilishi aniqlandi, hamda kuchlanishlar tushuvi $U_{\text{rec}} = 220$ [V] ni tashkil etadi. Nominal yuklamaga o'zgarish vaqti esa $t = 0,18$ sekundni tashkil etdi.

MikroGESlarda qo'llaniluvchi asinxron generatorining o'ta yuklama ish rejimi vaqtidagi chiqish kuchlanishini fizik model yordamida olingan natijaviy xarakteristikalari 12-rasmda keltirilgan.



12-rasm. Avtonom mikroGESlarda qo'llaniluvchi asinxron generatorni o'ta yuklama ish rejimi vaqtidagi (a) va rostlangan kuchlanish xarakteristikasi (b)

Bu holatdagi yuklama ish rejimidan o'ta yuklama ish rejimiga o'tishdagi stator faza kuchlanishlarini $U_0 = 226,6$ [V] o'tkinchi jarayon vaqtida $U_{\text{dyn, min}} = 112,7$ [V] gacha o'zgarishi, $\delta U_{\text{dyn}} = 53\%$ farq qilishini hamda $U_n = 188$ [V] ga pasayishini aniqlandi va $t = 0,13$ sekundda qayta tiklanishini $U_n = 220$ [V] ko'rish mumkin bo'ladi.

Avtonom mikroGESlarda qo'llaniluvchi kondensator orqali qo'zg'atiluvchi asinxron generatorining dinamik ish rejimlaridagi chiqish kuchlanishini taklif etilayotgan boshqaruv usullarini qo'llash O'zbekiston fermer, dehqon xo'jaliklari va tomorqa yer egalari kengashi tasarrufidagi "AGRO PRODSTAR" fermer xo'jaligida joriy etilgan. Natijada biz taklif etayotgan mikroGES qurilmasi orqali elektr energiya bilan ta'minlash hisobiga 109,0 mln. so'm iqtisodiy samaradorlikka erishildi.

XULOSA

"MikroGESlarda qo'llaniluvchi asinxron generatorini dinamik ish rejimlarini modelashtirish" mavzusi bo'yicha olib borilgan ilmiy-tadqiqot natijalariga ko'ra quyidagi xulosalar shakllantirildi:

1. Avtonom mikroGESlarda qo'llaniluvchi kondensator orqali qo'zg'atiladigan asinxron generatorlarni qo'zg'atuvchi kondensator tokini o'zgartirish hisobiga dinamik ish rejimlaridagi chiqish kuchlanishlarini boshqarishni tavsiflovchi klassik matematik modeli takomillashtirildi. Ushbu matematik model asosida turli dinamik ish rejimlarining imitatsion modeli hamda boshqaruv algoritmini ishlab chiqish imkonini berdi.

2. MikroGESlarda qo'llaniluvchi asinxron generatorining nominal yuklama bilan ishga tushish vaqtidagi chiqish kuchlanishi $\delta U_{dyn}=27,5\%$ ga o'zgarishi aniqlangan. Droop boshqaruv metodikasining kuchlanishlar tushuvini rostlash usuli yordamida boshqaruv algoritmi va sxemasi ishlab chiqilgan. Natijada shu sxema asosida $t=0,18$ sekund vaqt davomida faza kuchlanishlari nominal $U_n=220$ [V] ni ta'minlashga erishilgan.

3. MikroGESlarda qo'llaniluvchi asinxron generatorini nosimmetrik ish rejimi vaqtidagi chiqish kuchlanishlari $U_a=220$ [V], $U_b=200$ [V], $U_c=205$ [V] ekanligi aniqlangan va Adaptiv boshqaruv metodikasining o'zini rostlash sozlagichlari usulini qo'llash hisobiga rostlash davomiyligi $t=0,18$ sekund davom etgan hamda nominal $U_n=220$ [V] kuchlanishni ta'minlashga erishilgan.

4. Kondensator orqali qo'zg'atiladigan asinxron generatorning o'ta yuklama ish rejimi vaqtidagi kuchlanishlar tushuvi $U_{tush}=17\%$ ga o'zgarishi aniqlangan. Faza kuchlanishlarini rostlash imkonini beruvchi PID boshqaruv metodikasining Ziegler-Nikolas usulini qo'llash natijasida $t=0,13$ sekundda faza kuchlanishini barqarorlashtirishga erishilgan.

5. Avtonom mikroGESlarda qo'llaniluvchi kondensator orqali qo'zg'atiluvchi asinxron generator va uning boshqaruv qurilmasining tajriba-sinov namunasi hamda imitatsion modeli ishlab chiqilgan. Natijada asinxron generatorning turli dinamik ish rejimlaridagi chiqish kuchlanishni rostlanishini baholash imkoniyati yaratilgan.

6. "O'zbekiston fermer, dehqon xo'jaliklari va tomorqa yer egalari" kengashi tasarrufidagi "AGRO PRODSTAR" fermer xo'jaligida avtonom mikroGES va ularda qo'llaniluvchi kondensator orqali qo'zg'atiladigan asinxron generatorining dinamik ish rejimlaridagi chiqish kuchlanishini takomillashtirilgan boshqaruv usullari joriy etilgan. Natijasida avtonom iste'molchilarni mikroGES orqali elektr energiyasi bilan ta'minlash hisobiga 109,0 mln so'm iqtisodiy samaradorlikka erishilgan.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЁНЫХ СТЕПЕНЕЙ
DSc.15/31.08.2022.Т.73.07 ПРИ ТАШКЕНТСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ
ТРАНСПОРТНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

АНДИЖАНСКИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

МАТКОСИМОВ МУХАММАДСОДИК МАХАМАДХАШИМ УГЛИ

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ
АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА МИСРОГЭС**

**05.05.02 – Электротехника. Электрические станции, системы. Электротехнические
комплексы и устройства**

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

Ташкент-2025

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за В2023.4. PhD/Т3943.

Диссертация выполнена в Андижанском машиностроительном институте.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета (www.tstu.uz) и Информационно-образовательном портале «ZiyoNET» (www.ziyo.net.uz).

Научный руководитель: **Бердиев Усан Турдиевич**
кандидат технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Бедрицкий Иван Михайлович**
доктор технических наук, профессор

Шавазов Абдулатиф Ачилович
кандидат технических наук, с.н.с.

Ведущая организация: **Джизакский политехнический институт**

Защита диссертации состоится «__» _____ 20__ года в __ часов на заседании Научного совета DSc.15/31.08.2022.Т.73.07 при Ташкентском государственном транспортном университете (Адрес: 100167, г.Ташкент, ул. Железнодорожников, 1. Тел: (99871) 299-00-01; факс: (99871) 293-57-54; e-mail: rektorat@tstu.uz)

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного транспортного университета (регистрационный номер №__) (Адрес: 100167, г. Ташкент, ул. Железнодорожников, 1. Тел: (99871) 299-01-00; факс: (99871) 293-57-54).

Автореферат диссертации разослан «__» _____ 2025 года.
(реестр протокола рассылки № __ от «__» _____ 2025 года).

Р.В. Рахимов
Председатель Научного совета по
присуждению ученых степеней,
д.т.н., профессор

Я.О. Рузметов
Ученый секретарь Научного совета по
присуждению ученых степеней,
д.т.н., профессор

Р.М. Мирсаатов
Председатель Научного семинара при
Научном совете по присуждению ученых
степеней, д т.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире растущая индустриализация и увеличение потребностей человечества приводят к стремительному росту спроса на электроэнергию. Этот процесс отчетливо наблюдается в таких развитых странах, как Россия, США, Норвегия, Франция и Германия. Постоянный рост спроса вызывает не только необходимость увеличения объемов производства электроэнергии, но и приводит к возникновению различных проблем в системах её передачи. Решение этих проблем требует эффективного использования возобновляемых источников энергии, а также мини- и микроГЭС. Производство электроэнергии из таких устойчивых источников и её направленность на удовлетворение потребностей автономных потребителей является одной из актуальных задач современности.

В мире с каждым днем растет потребность в электроэнергии, что делает актуальным вопрос производства энергии по доступным и качественным технологиям. С момента изобретения электроэнергии и до настоящего времени спрос на неё непрерывно увеличивается, что усиливает значимость её производства. С этой точки зрения, наше научное исследование направлено на разработку простых и удобных методов производства электроэнергии. Это позволит снизить себестоимость электроэнергии, что, в свою очередь, будет способствовать увеличению количества микроГЭС (микрогидроэлектростанций) в нашей стране. При строительстве микроГЭС важными задачами являются предотвращение экологического ущерба водохранилищ, минимизация капитальных затрат на строительство станций, а также создание условий для быстрой окупаемости вложений. Эти вопросы являются актуальными и требуют внедрения в практику.

В нашей республике существуют проблемы бесперебойного снабжения электроэнергией различных потребителей. Именно поэтому строительство гидроэлектростанций невозможно, необходимо обновлять электросети, а в отдаленных районах местного населения, похоже, не хватает электроэнергии. Одним из важных вопросов является практическое применение электроэнергии, вырабатываемой на малых микроГЭСях, которые могут быть установлены на малых реках для обеспечения электроэнергией отдаленных населенных пунктов с большим расходом воды на склонах высот.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит решением задач, предусмотренных Законами Республики Узбекистана на 2022-2026 годы, включая 22-ю цель третьего раздела, озаглавленную «Ускоренное развитие национальной экономики и обеспечение высоких темпов роста», есть следующие фразы. Увеличение общей мощности гидроэнергетики до 4999 МВт к 2030 году, в том числе создание дополнительных 2311 МВт за счет общества и 615 МВт с участием частных инвесторов. Реализация следующих дополнительных перспективных проектов начиная с 2023 года. В соответствии с Приложением 4 приведен перечень оборудования, комплектующих изделий и запасных частей, необходимых для строительства и эксплуатации малых ГЭСов и предлагаемых к локализации на основе сотрудничества в 2023-2025 годах.

Указе Президента Республики Узбекистан № ПФ-60 от 28 января 2022 года «О новой стратегии развития Узбекистана на 2022 – 2026 годы», Постановление № PQ-2972 от 18 мая о мерах по организации деятельности акционерное общество «Узбекгидроэнерго». Настоящее диссертационное исследование служит в определенной степени обеспечению исполнения его решений и реализации задач, определенных в других нормативно-правовых документах, связанных с этой деятельностью.

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- ресурсосбережение».

Степень изученности проблемы. Научные исследования производство электроэнергии с использованием асинхронных генераторов на микроГЭСях и его практическая реализация требуют изучения следующих вопросов. Добиться производства электроэнергии и передать ее автономным потребителям необходимо за счет использования асинхронных генераторов с приводом от конденсаторных элементов на микроГЭСях.

Проводятся научно-практические исследования по запуску асинхронных генераторов, используемых в микроГЭСях, с использованием конденсаторных элементов и одновременно рациональному использованию возобновляемых и водных энергоресурсов для снабжения населения электроэнергией.

От зарубежных ученых в области исследований по производству и управлению электроэнергией с использованием мини и микроГЭС; из страны Северной Америки; Луис Васкес, Генри Бори, Жосе Л. Мартин, Иниго Мартинес де Алегри, Фаджрил Акбар, Рефдинал Назир и несколько ученых внесли свой вклад.

Из стран Восточной Европы; Элизабета Эрина, Тома Дордя, Аурел Кампеану, Ион Г. Пирой, Ион Влад. и другие ученые проводили исследования.

Из времен Юго-Восточной Азии; Анди Пававой, Сьяйфул Бахри, Сефлахир Дината, Чон Сук. Ро, С.С. Мурти, А.К. Сухожилие и другие ученые проделали важную работу.

Из стран СНГ; А.З.Р. Дженобаев, Б.В. Лукутин, Д.А. Падалко, Г.А. Сийпалов, Л. Симонов, Н.Д. Соколов, В.А. Ильченко, Ю.Д. Зубков, А.А. Новкунский, и ряд других известных учёных проводили научные исследования.

Также из известных учёных нашей страны К.Р. Аллаев, П.П. Зимаков, А.Ф. О, К.Т. Алимходжаев, Н.Б. Пирматов, О.З. Тоиров, Д.Б. Хайдаров, К.Х. Курбанизов такие ученые внесли большой научный вклад в это направление исследований. Научные исследования, проводимые в этом направлении, направлены на оценку возможностей малых и микроГЭС, их использования, их коэффициентов мощности и производства электроэнергии. Однако, несмотря на значительный прогресс, исследования по регулированию выходного напряжения в динамических режимах работы асинхронных генераторов, используемых на микроГЭС, изучены недостаточно.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где

выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках хозяйственного договора, заключенного Андижанским машиностроительным институтом с АО «Андижанский биохимический завод» на тему «Проведение энергоаудита на предприятиях» № 2020-19.

Цель исследования: Разработка и исследование метода регулирования выходного напряжения в динамических режимах работы асинхронного генератора, применяемого на микроГЭСях.

Задачи исследования:

совершенствование математической модели асинхронного генератора, управляемого путем регулирования реактивной энергии, вырабатываемой конденсатором, используемым в автономных микроГЭС, с помощью вентильных элементов;

разработка имитационной модели, позволяющей анализировать динамические режимы работы асинхронного генератора с конденсаторным приводом, используемого в микроГЭСях;

разработка алгоритма и схемы управления, обеспечивающих устойчивость в динамических режимах работы асинхронного генератора с приводом от конденсатора;

разработка способа управления выходным напряжением генератора на основе регулирования динамических режимов работы асинхронного генератора с приводом от конденсатора, используемого в автономных микро ГЭС, и создание опытно-испытательного моделях микро ГЭС;

Объектом исследования является асинхронный генератор с приводом от конденсаторного элемента, используемого на микроГЭСях.

Предметом исследования являются динамические режимы работы, параметры и характеристики асинхронного генератора с приводом от конденсаторного элемента, используемого на микроГЭСях.

Методы исследований. В ходе исследования математическое моделирование динамических режимов работы асинхронных генераторов, метод коррекции падения напряжения Droop, метод теории автоматического регулирования, метод самокоррекции, метод адаптивного управления, метод Циглера-Николя, метод ПИД-регулирования, имитационное моделирование. При обработке использовались программное обеспечение Matlab/Simulink, методы математической статистики экспериментальных данных, современное программное обеспечение цифрового осциллографа CASSY Lab 2, методы анализа режимов работы физической модели.

Научная новизна исследования:

Усовершенствована классическая математическая модель асинхронного генератора, управляемого с помощью возбуждающих конденсаторных элементов, производящих реактивную мощность, с регулированием этой мощности с использованием вентильных элементов в автономных микроГЭС;

Усовершенствован алгоритм управления выходным напряжением асинхронного генератора, используемого в микроГЭС, с помощью методов регулирования напряжения, таких как Droop, Адаптивное и ПИД управление, в режимах номинального, несимметрии напряжении и перегрузки;

Усовершенствована имитационная модель, позволяющая анализировать за счет сравнения параметров входного и выходного напряжения в устройстве регулирования во время динамических режимов работы асинхронного генератора, используемого в микроГЭС;

Разработана усовершенствованная схема управления, обеспечивающая регулирование выходного напряжения асинхронного генератора, используемого в микроГЭС, в режима номинального, несимметрии напряжении и перегрузки за счёт путем регулирования реактивной мощности, вырабатываемой конденсаторными элементами, с использованием тиристорных элементов.

Практические результаты исследования:

Разработана физическая модель асинхронного генератора с возбуждением через конденсатор, используемого в микроГЭС.

Усовершенствована методика регулирования электрических параметров асинхронного генератора, используемого в микроГЭС, в динамических режимах работы.

Разработано программное обеспечение для расчета динамического режима работы асинхронного генератора, используемого в микроГЭС, в реальном времени.

Разработана схема управления, обеспечивающая контроль значения выходного напряжения на статоре асинхронного генератора с возбуждением через конденсатор, используемого в микроГЭС, в динамических режимах работы.

Достоверность результатов исследования достоверность результатов исследования, способ привода асинхронных генераторов, применяемых на микроГЭС, с помощью конденсаторных элементов, усовершенствованная динамическая регулировка режимов работы, разработка схемы управления совместно с алгоритмом управления с использованием методов автоматической регулировки, использование методов математического моделирования, теоретические и практические исследования, полученные на основе динамических и технических описаний. Взаимная адекватность теоретических и экспериментальных исследований, проводимых на устройстве, объясняется сравнением на основе общепринятых критериев.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования заключается в совершенствовании системы «возбуждения асинхронных генераторов, применяемых на микроГЭС, с помощью конденсаторных элементов» на основе пуска и выработки электроэнергии асинхронных генераторов, применяемых на микроГЭС. электростанциях, возможность применения математических моделей и алгоритмов динамических режимов работы асинхронных генераторов, используемых на микроГЭС, для обоснования параметров других подобных устройств.

Практическая значимость результатов исследования заключается в снижении потребления энергоресурсов, способствовании предотвращению дефицита электроэнергии в отдаленных и горных регионах, снижении потребления энергоресурсов, способствовании предотвращению дефицита

электроэнергии. В отдаленных и горных регионах на практике предложенный способ управления выходными напряжениями конденсаторного асинхронного генератора в динамических режимах работы объясняется его широким применением.

Внедрение результатов исследований. На основе проведенных научных исследований по моделированию динамических режимов работы асинхронного генератора микроГЭС:

разработанное опытное устройство для регулирования реактивной мощности асинхронного генератора микроГЭС с использованием вентильных элементов было внедрено в фермерском хозяйстве «AGRO PRODSTAR» для обеспечения электрической энергией (Справка Совета фермерских, дехканских хозяйств и владельцев приусадебных земель Узбекистан №01-03-0440 от 28 февраля 2023 года). В результате создана возможность обеспечения электрической энергией автономных потребителей с постоянным контролем и управлением выходным напряжением асинхронных генераторов, применяемых в микроГЭС, в их динамических режимах работы и в соответствии с потребностями;

разработанные усовершенствованные методы управления выходным напряжением асинхронного генератора в динамических режимах работы были внедрены в фермерском хозяйстве «AGRO PRODSTAR» для обеспечения электрической энергией (Справка Совета фермерских, дехканских хозяйств и владельцев приусадебных земель Узбекистан №01-03-0440 от 28 февраля 2023 года). В результате на основе проведенных научно-технических мероприятий по моделированию динамических режимов работы асинхронного генератора микроГЭС была достигнута экономическая эффективность в размере 109 000 000 (сто девять миллионов) сумов.

Апробация результатов исследования. Результаты исследований обсуждались на 23 научных работах, в том числе 3 статьях, включенных в базу данных Scopus, в журналах, рекомендованных ВАК Республики Узбекистан, в том числе в 3 зарубежных, 6 национальных журналах, 6 международных и республиканских сборниках. Зарегистрировано 4 программных средств, созданных для ДГУ, и подана одна заявка на полезную модель.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 128 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **введении** обоснованы актуальность и востребованность темы диссертации, определены цель и задачи, объект и предмет исследования, приводится соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, изложены научная новизна, практические результаты исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрывается теоретическая и практическая значимость

результатов исследования, приведены внедрение результатов исследования, сведения об опубликованности результатов и структуре диссертации.

В первой главе, озаглавленной «Анализ применения асинхронных генераторов на микроГЭСях», применение малой гидроэнергетики в целях снижения энергодефицита задача малой гидроэнергетики состоит в приближении объектов производства электроэнергии к потребителям и электроэнергетике. передача инфекции. сокращение потерь энергии в сетях, как следствие, отказ от необходимости строительства сетей дальней и малой мощности, повышающих и понижающих трансформаторных подстанций, доставки топлива в отдаленные и горные районы. В настоящее время производство дешевой электроэнергии с использованием возобновляемых источников энергии считается приоритетной и актуальной задачей.

Отражен анализ использования микроГЭС, а также цели и задачи диссертации.

Во второй главе диссертации, озаглавленной «Анализ гидротурбин, применяемых в микроГЭС», показана конструкция микроГЭС, состоящая из резервуара, системы напорных водопроводов и гидроагрегата, а также выбор гидротурбины, представлены сравнение различных турбинных систем, обзор мирового состояния развития микроГЭС и создание математической модели гидротурбины.

Гидротурбина, в своей очереди, является первичным гидродвигателем, преобразующим энергию воды, передаваемую гидротурбиной, и механическую энергию. В данном случае P_T — мощность гидротурбины, равная произведению угловой скорости ω на (1) крутящий момент гидротурбины M_T .

$$P_T = M_T \omega. \quad (1)$$

При изменении расхода воды Q и давления H изменяется мощность гидротурбины. Выражение для расчета мощности гидротурбины выглядит (2) следующим образом,

$$P_T = 9,81QH\eta_T, \quad (2)$$

где H - давление воды, подводимой к гидротурбине, м; Q -расход воды m^3/s ; η_T КПД гидротурбины (ФИК).

Крепление гидротурбины зависит от ее конструкции и размера и соответственно изменяется при изменении ее нагрузки. Для небольших гидротурбин диаметром около 1 м наибольшее значение КПД составляет 0,88 – 0,91.

Номинальная мощность $P_{TH} - H_N$ определяется номинальным давлением и номинальным расходом воды Q_n

Мощность P_E -генератора измеряется с помощью зажимов генератора. Мощность генератора в установленных режимах равна мощности гидротурбины в состоянии без учета потерь в генераторе (3),

$$P_E = P_T \eta_{gen}, \quad (3)$$

η_{gen} коэффициент полезного действия (ФИК) генератора

При выборе гидротурбины следует обратить внимание на ее деление на два

типа:

-активные гидротурбины, использующие энергию потока в кинетической форме

- реактивные гидротурбины в основном используют потенциальную часть энергии потока.

Активные гидротурбины. Особенностью конструкции турбин этого типа является то, что они работают в свободном потоке при нормальном атмосферном давлении.

Моделирование турбины с помощью дифференциальных уравнений. В турбине используются математические уравнения для описания динамического поведения гидротурбины.

В этом методе создаются дифференциальные уравнения, представляющие важные параметры гидротурбины и их изменение во времени.

Обычно это уравнение выглядит так (4):

$$M = J \frac{d\omega}{dt} + M_{\text{мех}} + M_{\text{снижаться}}, \quad (4)$$

M - гидравлический момент,

J – момент инерции турбины,

ω - угловая скорость,

$M_{\text{мех}}$ - момент механической нагрузки,

$M_{\text{снижаться}}$ - момент уменьшения (связанный с потерями).

Зависимость потока и давления: зависимость между расходом и давлением воды, проходящей через турбину, выражается дифференциальным уравнением.

Например, связь между расходом воды Q и давлением H равна (5):

$$Q = C_d A \sqrt{2gH}, \quad (5)$$

C_d – коэффициент расхода,

A - поверхность стока воды,

g - ускорение свободного падения,

H – давление (или уровень воды).

С учетом вышеизложенного математическая модель гидротурбин создается на основе следующих общепринятых формул (6) теории гидроэлектростанций.

$$H = H_H + \Delta H - h_{\text{ном}}, \quad (6)$$

где $H_H = \text{const}$ – номинальная нагрузка микроГЭС, $h_{\text{ном}}$ – потеря давления в водоводе (7)-(8),

$$\Delta H = - \frac{L}{gS} \frac{dQ}{dt}, \quad (7)$$

$$h_{\text{ном}} = A \cdot K_1 \cdot L \cdot Q^2, \quad (8)$$

где A – сопротивление для стальных труб, поправочный коэффициент значений A для труб из стали K_1 .

Расход воды через гидротурбину зависит от открытия дивертора. Относительное μ -гидравлическое сопротивление гидротурбины определяется следующим выражением (9):

$$\mu = \mu_{HA} - \mu_{\text{сен}}, \quad (9)$$

где μ_{HA} – гидравлическое сопротивление, обусловленное открытием переключателя; $\mu_{\text{сен}}$ – гидравлическое сопротивление, обусловленное действием центробежной силы (10),

$$\mu_{mqk} = k_{mqk} , \quad (10)$$

где $k_{mqk} \frac{\Delta Q}{Q_H \omega_H}$ - коэффициент потока

Также мощность гидротурбины можно записать через механический компонент (11)

$$P_T = M_T \cdot \omega . \quad (11)$$

В указанных режимах наблюдается состояние $M_T = M_E$, в этом случае мы запишем выражение в следующем виде (12)-(15)

$$P_T = M_E \cdot \omega , \quad (12)$$

$$M_T = \frac{9.81 \cdot Q \cdot H \cdot \eta_T}{n^{9.55}} , \quad (13)$$

$$Q = \frac{M_T \cdot \omega}{9.81 \cdot H \cdot \eta_T} , \quad (14)$$

$$n = \frac{9.81 \cdot Q \cdot H \cdot \eta_T^{9.55}}{M_T} , \quad (15)$$

Движение ротора гидротурбины выражается в виде (16)

$$M_T - M_E = J \frac{d\omega}{dt} . \quad (16)$$

Отражает расход воды элементов гидротурбины, коэффициент расхода, потери в водоводах, изменяющиеся моменты, составляющую мощности гидротурбины, гидравлическое сопротивление, изменение гидравлического сопротивления под действием центробежной силы, сопротивление стальных труб.

Положение каждой точки траектории, соответствующей определенному моменту времени, определяется двумя координатами открытия гидроагрегатного направляющего аппарата и приведенной скоростью вращения n'_1 .

Изучены характеристики зависимости координаты $a(t)$ от динамического давления $H = H_H + \Delta H$ гидравлического и скорости вращения n .

В третьей главе диссертации, озаглавленной «Моделирование асинхронного генератора, применяемого в микроГЭС», наиболее обобщенным методом является классический метод описания асинхронного генератора, применяемого в микроГЭС, с помощью систем дифференциальных уравнений. Математическая модель объекта представляет собой его идеализацию, поэтому при формулировании уравнений и рассмотрении переходных процессов используются общепринятые ограничения и предположения, связанные с «идеализированным» объектом.

Учитывая математические выражения гидротурбины, асинхронный генератор подключается через математические выражения (17)-(20).

$$P_m = P_T \cdot \eta_T \cdot \eta_u , \quad (17)$$

$$P_G = P_m \cdot \eta_g , \quad (18)$$

$$M_g = \frac{P_n \cdot 10^3}{\omega} , \quad (19)$$

$$\omega = \frac{n_g}{9.55} . \quad (20)$$

Учитывая вышесказанное, подбор конденсаторной батареи, приводящей в действие асинхронный генератор, осуществляется по следующему выражению (21)

$$C = \frac{Q}{2\pi f U^2}, \quad (21)$$

$$Q = 2\pi f \cdot C U^2. \quad (22)$$

Ток конденсатора определяется с помощью следующего выражения (23)

$$I_c = C \cdot \frac{dU}{dt}. \quad (23)$$

При необходимости можно учесть и больше факторов, но это значительно усложняет решение системы дифференциальных уравнений и увеличивает время решения. В связи с этим поиск переносится в специализированные программы.

Под асинхронным генератором обычно понимают систему магнитно связанных катушек, расположенных в статоре и роторе.

Система уравнений не состоит из периодических и комплексных коэффициентов, а решения характеризуются квазигармоническими и гармоническими функциями. Емкостное возбуждение асинхронного генератора описывается комплексным уравнением в системе координат d-q (24):

$$\begin{cases} (p - i\Omega)^2 x_m i_0 + (p + i\Omega)^2 x_{1\sigma} i_2^- + (p + i\Omega) r_1 i_1 + x_c i_0 = 0 \\ -x_c i_0 + (p + i\Omega)^2 x_{Ln} i_n + (p + i\Omega) r_n i_n + x_{cn} i_n = 0 \\ p x_{2\sigma} i_2 + r_2 i_2 + p x_m i_0 = 0 \\ i_1 + i_2 = i_2 \\ i_n + i_c = i_1, \end{cases}, \quad (24)$$

где p — оператор дифференцирования;

i_1, i_2, i_n, i_c, i_0 , — ток статора, ротора, нагрузки генератора, мощность возбуждения, токи намагничивания соответственно;

r_1, r_2 — активное сопротивление фаз статора и ротора;

x_{1s}, x_{2s} — индуктивные сопротивления рассеяния фаз статора и ротора;

x_m — взаимное индуктивное сопротивление;

x_c, x_{Ln}, x_{cn} — реактивные сопротивления.

Оно представлено системой уравнений напряжения трехфазного генератора (25).

$$\begin{cases} \frac{d\psi_A}{dt} + r_s i_A = U_A \\ \frac{d\psi_B}{dt} + r_s i_B = U_B \\ \frac{d\psi_C}{dt} + r_s i_C = U_C \\ \frac{d\psi_r}{dt} + r_r i_r = 0 \end{cases}, \quad (25)$$

где $\psi_{A,B,C} (\psi_r)$ — полный магнитный поток фазы статора (ротора);

$i_{A,B,C} (i_r)$ — ток в фазе статора (ротора);

$r_{A,B,C} (r_r)$ — фазное сопротивление статора (ротора);

Величина напряжения в фазах статора $U_{A,B,C}$.

Первые три уравнения описывают напряжения фаз статора $U_{A,B,C}$, вторые три описывают уравнение условных токов фаз ротора $U_r = 0$ через полный магнитный поток до 0 и ток в фаза.

Алгоритм и схема управления выходным напряжением асинхронного

генератора, применяемого на микроГЭС, в момент пуска с номинальной нагрузкой с использованием метода регулирования падения напряжения Droop control представлены на рисунке 1.

Для выражения аналитических результатов автоматизированных динамических режимов работы асинхронного генератора, возбуждаемого с помощью конденсаторных элементов, применяемых в микрогидроэлектростанциях, разработаны дифференциальные уравнения, математическое описание, математическая модель и структурные схемы полый гидротурбины и асинхронный генератор, упомянутый в главе II, были впервые смоделированы с использованием программы Matlab.

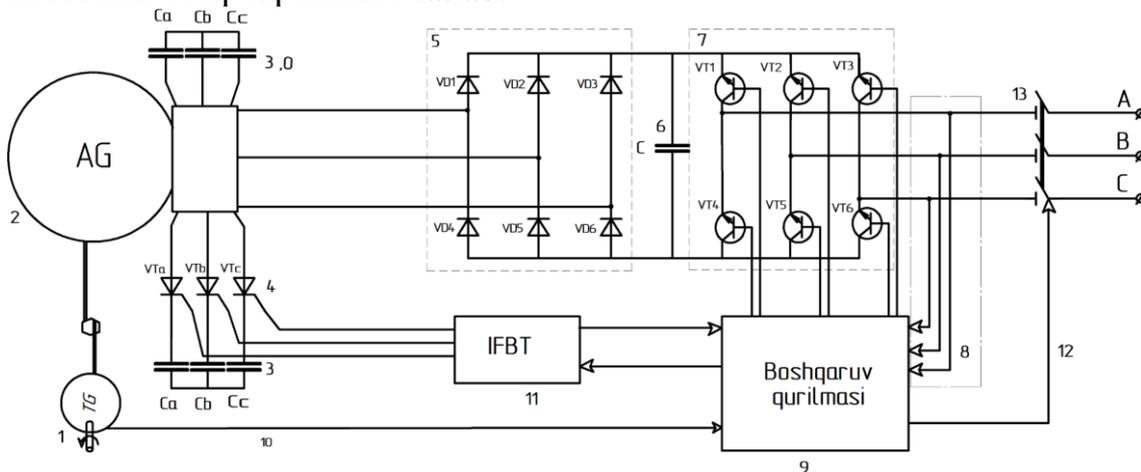


Рисунок 1. Схема управления при запуске асинхронного генератора с номинальной нагрузкой, применяемая в микрогенераторах, состоит из: 1-тахогенератор, 2-асинхронный генератор, 30-возбуждающие конденсаторные элементы, 3-конденсаторы 4-тиристоры, 5-диоды, 6-фильтрующий конденсатор, 7-транзисторы, 8-датчики напряжения, 9-блок управления, 10-сигнал тахогенератора, 11-импульсная система управления фазой, 13-трехфазные выключатели

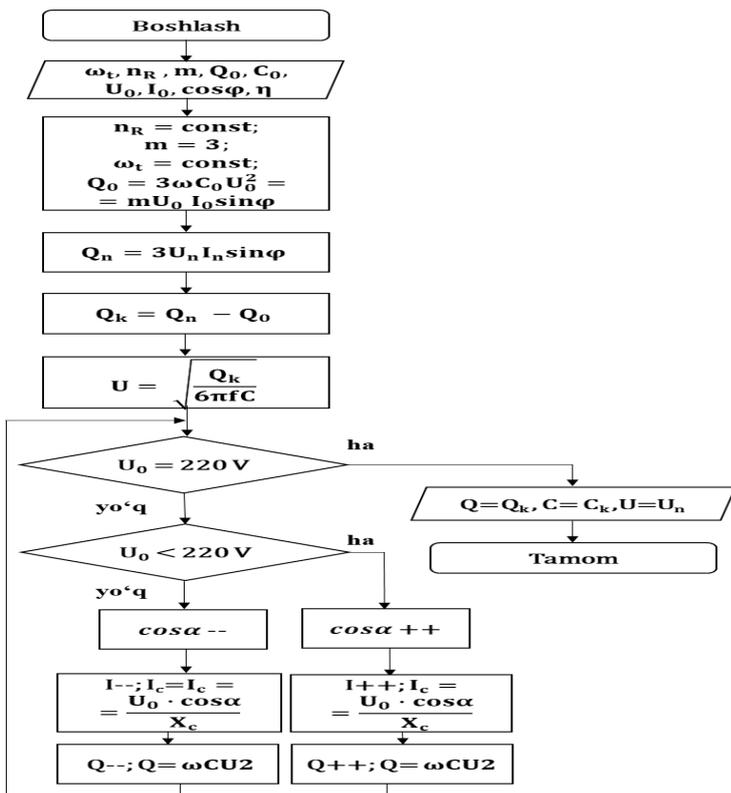
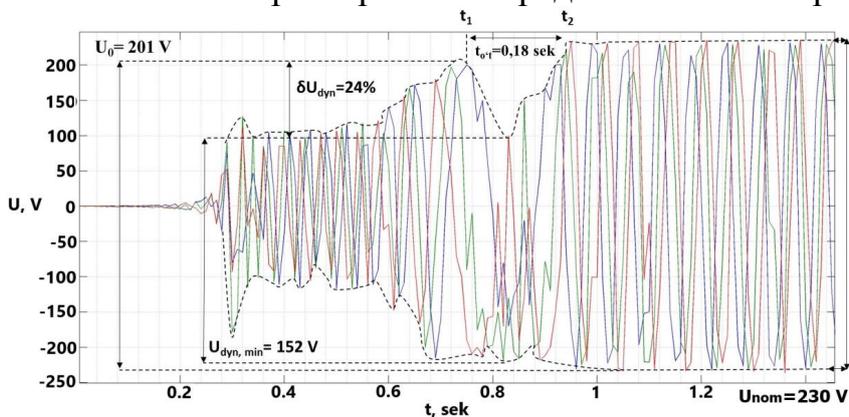


Рисунок 2. Алгоритм регулирования падения напряжения методом Droop Control Method.

Алгоритм управления асинхронным генератором, применяемый в микрогенераторах, включает ω -гидротур-скорость вращения здания, n -число оборотов ротора, Q_0 -реактивная мощность, необходимая для пускового возбуждения, C_0 -емкость конденсатора, необходимая для возбуждения, U_0 -напряжение, генерируемое при пусковом возбуждении, I_0 -напряжение, генерируемое на статоре при пусковом возбуждении, $\cos\phi$ -коэффициент мощности, m -количество фаз

Модель была разработана и с использованием той же имитационной модели на автономных микрогидроэлектростанциях. Определены энергетические показатели различных динамических режимов работы асинхронного генератора, возбуждаемого используемыми конденсаторными элементами, и получены аналитические характеристики представленные на рисунке 3.



На рисунке 3. Представлены результирующие характеристики имитационной модели метода регулирования падения напряжения метода управления Droop, выходного напряжения асинхронных генератора в момент пуска.

где U_0 - напряжение [В], U_0 - пусковое напряжение [В], время переходного процесса, $U_{\text{dyn, min}}$ - минимальное напряжение переходного процесса, δU_{dyn} - отклонение напряжения переходного процесса при падении нагрузки, U_{nom} - показания вольтметра.

На рис.4 представлены алгоритм и схема управления выходным напряжением асинхронного генератора, используемого в микроГЭС, методом саморегулировки метода адаптивного управления.

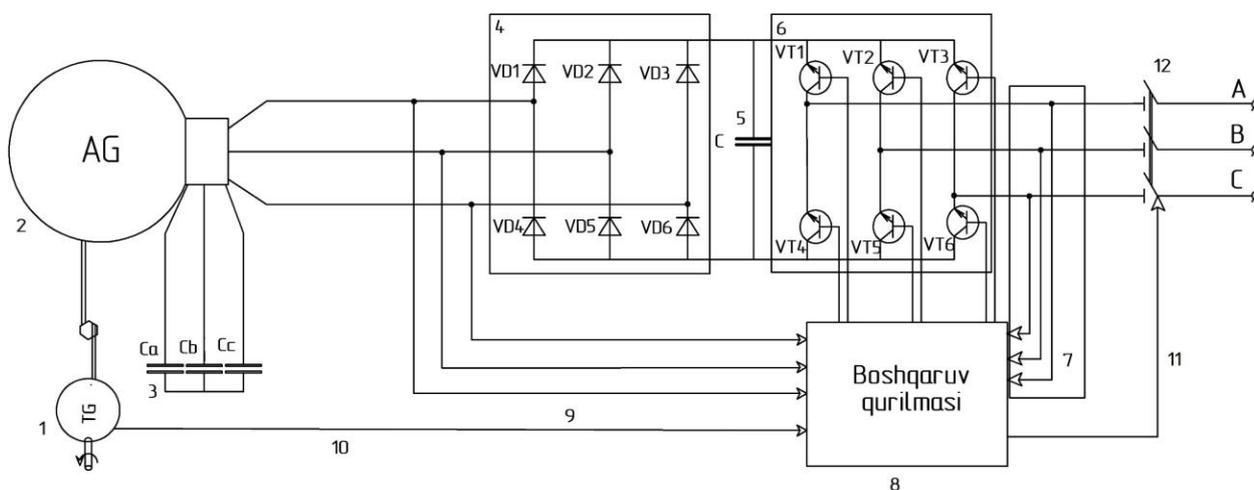


Рисунок 4. Схема управления выходными напряжениями при симметричном режиме работы асинхронного генератора, применяемая в автономных микрогенераторах;

Если на выходе асинхронного генератора обнаруживается асимметрия напряжений, методом адаптивного управления с использованием самонастраивающегося метода сравниваются напряжения перед полупроводниковыми элементами 4-[VD] на выходе генератора, а также выходные напряжения ключей транзисторного регулятора 6 или напряжения в момент подключения потребителей. Предположим, что разница составляет $U_a=220$ В, $U_b=205$ В, $U_c=200$ В, после чего регулятору передается команда на повторную настройку. Через датчики напряжения 7 непрерывный сигнал

передается в управляющее устройство 8.

На основе проведенного анализа с использованием имитационной модели самонастраивающегося метода адаптивного управления выходным напряжением асинхронного генератора в несимметричном режиме работы, применяемого в микроГЭС, были получены следующие результаты. В первую очередь была определена характеристика изменения напряжений в статорных фазах асинхронного генератора, что можно наблюдать на рисунке 5

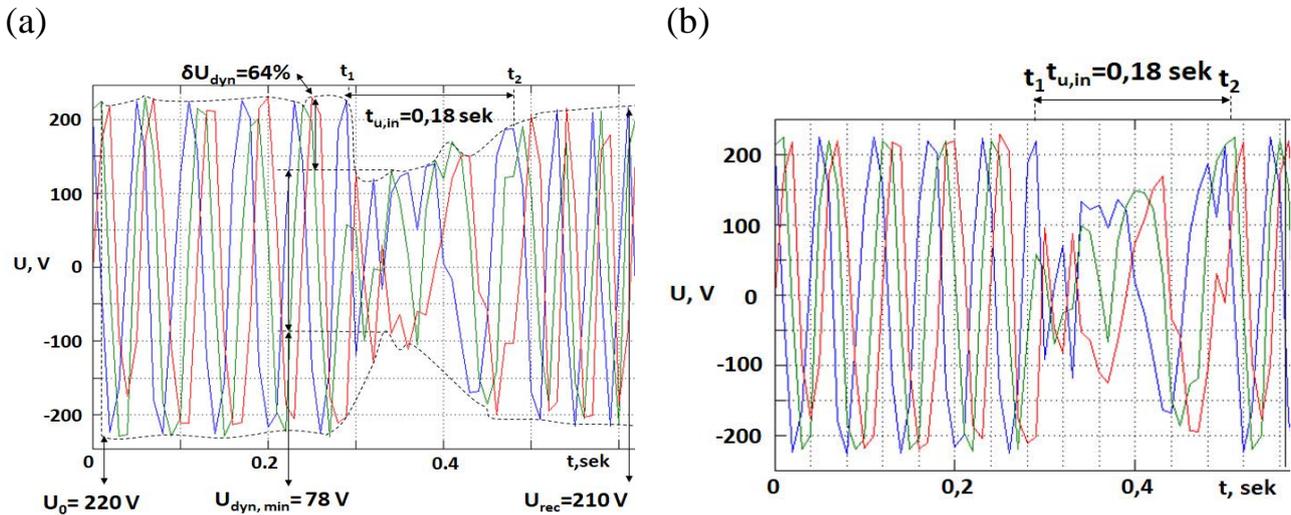


Рисунок 5. Падение напряжений (а) и характеристика восстановления (б) асинхронного генератора в условиях несимметричной нагрузки в автономных микроГЭС

Как видно из рисунка 5, в данном случае начальное напряжение составляло $U_0 = 220 \text{ В}$. Однако при подключении несимметричной нагрузки динамическое напряжение снизилось до $U_{\text{din, min}} = 78 \text{ В}$, что соответствует изменению $\delta U_{\text{din}} = 64\%$. Время возникшего переходного процесса составляет $t = 0,18$ секунды, и можно наблюдать восстановление межфазного напряжения до номинального значения $U_{\text{ном}} = 220 \text{ В}$.

На рисунке 6 представлена схема управления режимом перегрузки асинхронного генератора, используемого в микроГЭС.

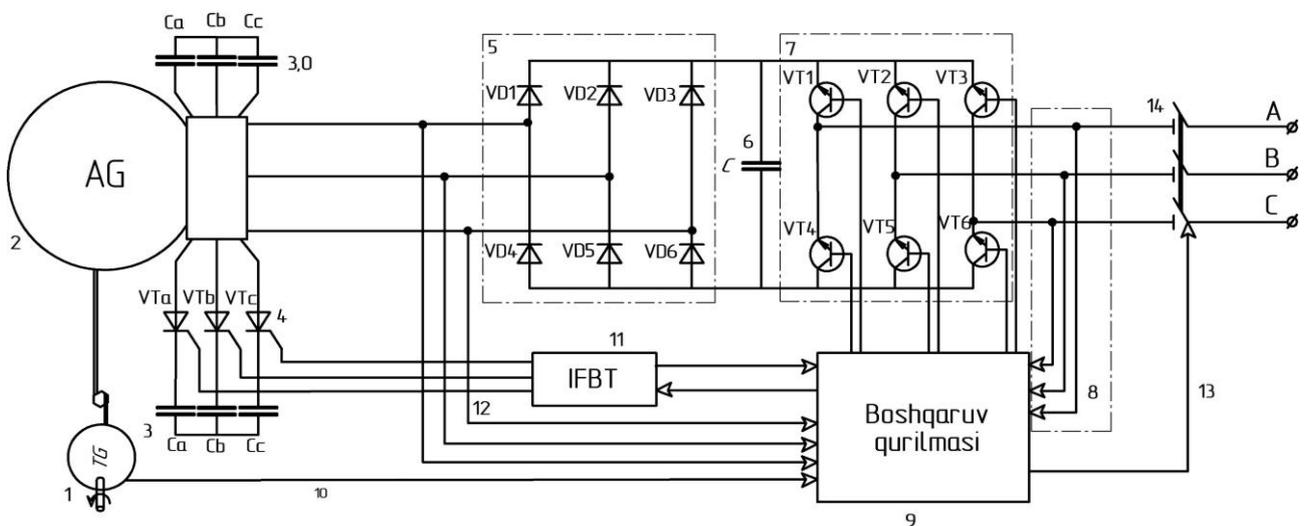


Рисунок 6. Схема управления режимом перегрузки асинхронного генератора, используемого в микроГЭС; 1 – тахогенератор, 2 – асинхронный генератор, 3 – управляемый

конденсатор, 4 – тиристоры, 5 – полупроводниковые диоды, 6 – фильтрующий конденсатор, 7 – транзисторные элементы, 8 – датчики напряжения, 9 – управляющее устройство, 10 – передатчик сигнала тахогенератора, 11 – система импульсного фазового управления, 12 – датчики напряжения, 13 – передача сигнала на трехфазный выключатель, 14 – трехфазный выключатель

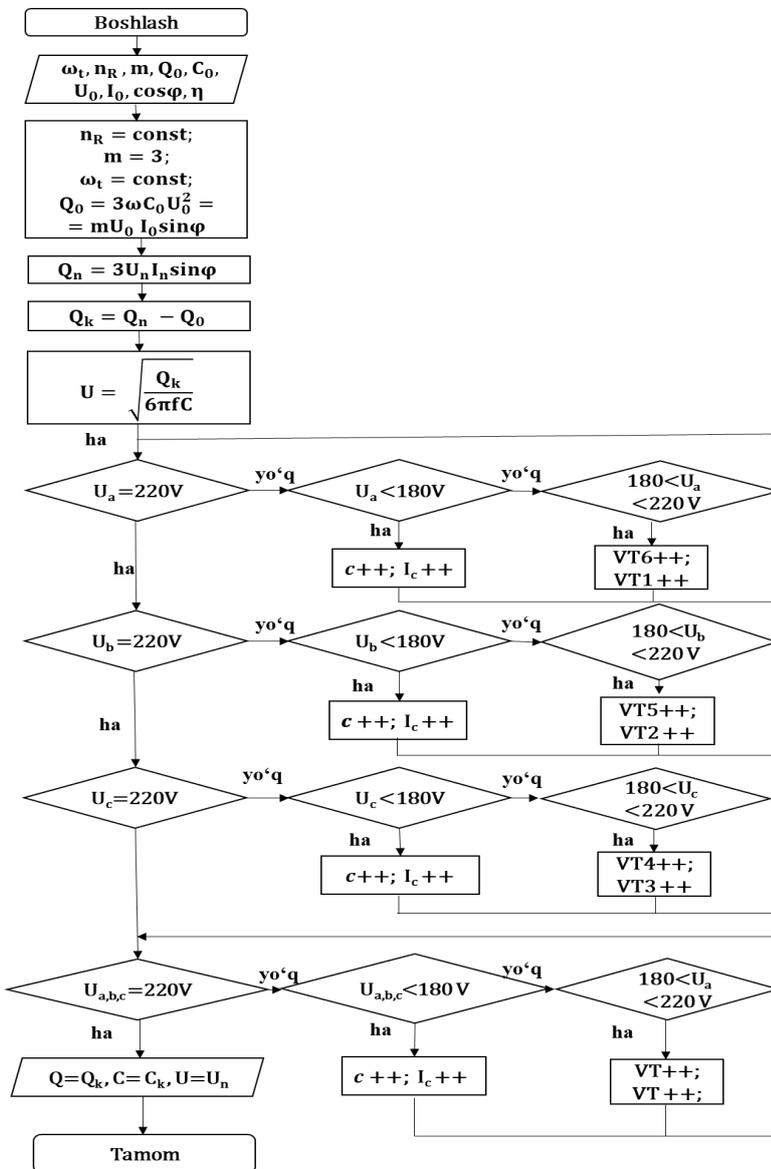


Рисунок 7. Алгоритм регулирования напряжения асинхронного генератора с конденсаторным возбуждением при работе в режиме перегрузки в микроГЭС.

С учетом изменений принимаются следующие величины: скорость вращения гидротурбины принимается постоянной, $\omega t = \text{const}$, так же, как и частота вращения ротора, $n_r = \text{const}$. При начальных условиях $Q_0 = 3\omega C_0 U_0^2 = mU_0 I_0 \sin\varphi$. Когда устройство запускается и к нему подключается нагрузка, возникает ток нагрузки I_n , что, в свою очередь, выражается как $Q_n = 3U_n I_n \sin\varphi$. Для поддержания фазного напряжения, частоты и тока в номинальном режиме необходимо компенсировать реактивную мощность с помощью конденсаторных устройств, что выражается как $Q_k = Q_n - Q_0$. На основе этого определяется требуемая емкость C .

Метод PID-регулирования осуществляется с использованием метода Циглера-Николса. Напряжения перед полупроводниковыми элементами 4-[VD] на выходе генератора, а также выходные напряжения ключей транзисторного регулятора 6-[VT] или напряжения в момент подключения потребителей сравниваются. Предположим, что разница составляет $U_a = 210 \text{ В}$, $U_b = 220 \text{ В}$, $U_c = 205 \text{ В}$. В этом случае регулятору передается команда на повторную настройку, а через датчики напряжения 7 сигнал непрерывно поступает в управляющее устройство 8. Полученные сигналы снова сравниваются, и когда номинальное напряжение достигает $U_n = 220 \text{ В}$, система передает его в автономную сеть с помощью широтно-импульсной модуляции (ШИМ).

На рисунке 8 представлены результаты, полученные с использованием имитационной модели метода PID-управления по Циглеру-Николсу для

регулирования выходного напряжения асинхронного генератора в режиме перегрузки в микроГЭС.

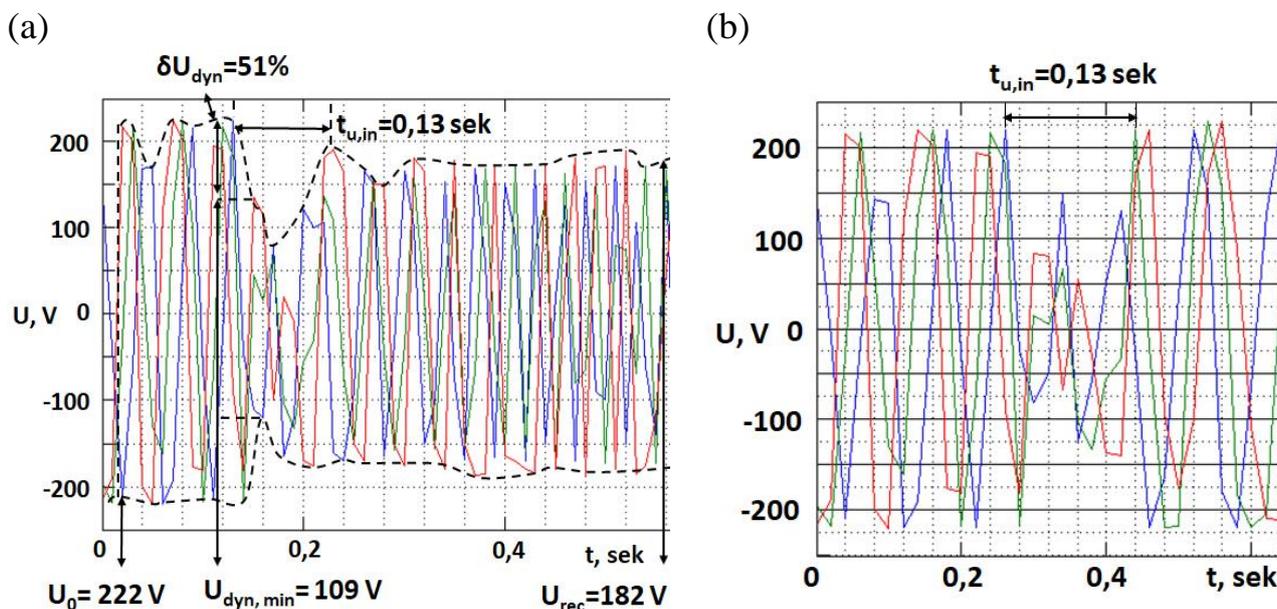


Рисунок 8. Падение напряжений (а) и характеристика восстановления (б) асинхронного генератора в режиме перегрузки в автономных микроГЭС.

В данном случае, при работе под номинальной нагрузкой напряжение составляет $U_0 = 222 \text{ В}$. При подключении перегрузки изменение напряжения достигает $U_{\text{din, min}} = 109 \text{ В}$, что соответствует отклонению $\delta U_{\text{din}} = 51\%$. Время возникающего переходного процесса составляет $t=0,13$ секунды. Восстановление межфазного напряжения в сети достигает номинального значения $U_{\text{ном}} = 220 \text{ В}$.

Для эксперимента был выбран короткозамкнутый асинхронный генератор 4А80А6УЗ, параметры которого приведены в таблице 1

таблице 1

Асинхронный генератор	Мощность, кВт	При номинальной нагрузке			M_n	$M_{\text{мин}}$	M_{max}	I_n	n об/мин
		Скалжения, %	ФИК, %	$\cos\varphi$					
4А80А6УЗ	0,75	0,8	69,5	0,74	2,0	1,6	2,2	5	1000

В генераторном режиме скорость ротора должна соответствовать скорости вращения магнитного поля асинхронной электрической машины. Для этого частота вращения ротора асинхронной машины должна превышать номинальную скорость на 5–10%. Таким образом, в генераторном режиме ротор асинхронной электрической машины должен быть обеспечен скоростью 1050 об/мин.

Разработана опытная модель асинхронного генератора для автономных микроГЭС. Процесс проведения экспериментальных испытаний с использованием данной модели представлен на рисунке 9

В ходе эксперимента ковшовая гидротурбина использует энергию воды без создания плотины, направляя поток воды, протекающий по руслу реки, через

турбину со скоростью 4 м/с. Это обеспечивает гидротурбину механической энергией, передаваемой на вращающуюся роторную часть асинхронной машины с частотой, превышающей номинальную скорость на 5–10%. При этом необходимая реактивная мощность, потребляемая из сети, компенсируется с помощью конденсаторных элементов, что позволяет запустить асинхронную машину в генераторном режиме.



Рисунок 9. Процесс проведения экспериментальных испытаний с использованием автономной микроГЭС.

Для автономных ковшовых микроГЭС была разработана экспериментальная установка с асинхронным генератором, представленная на рисунке 10. С помощью данной установки были проведены исследования электрической энергии, вырабатываемой в динамических режимах работы, а также проанализированы возникающие при этом процессы. На основе экспериментов были получены соответствующие характеристики. Расчеты позволили определить изменения электрических параметров сети, в частности, колебания напряжения в переходных процессах. Анализ характеристик вырабатываемой электроэнергии проведен с использованием программы CASSY Lab 2.

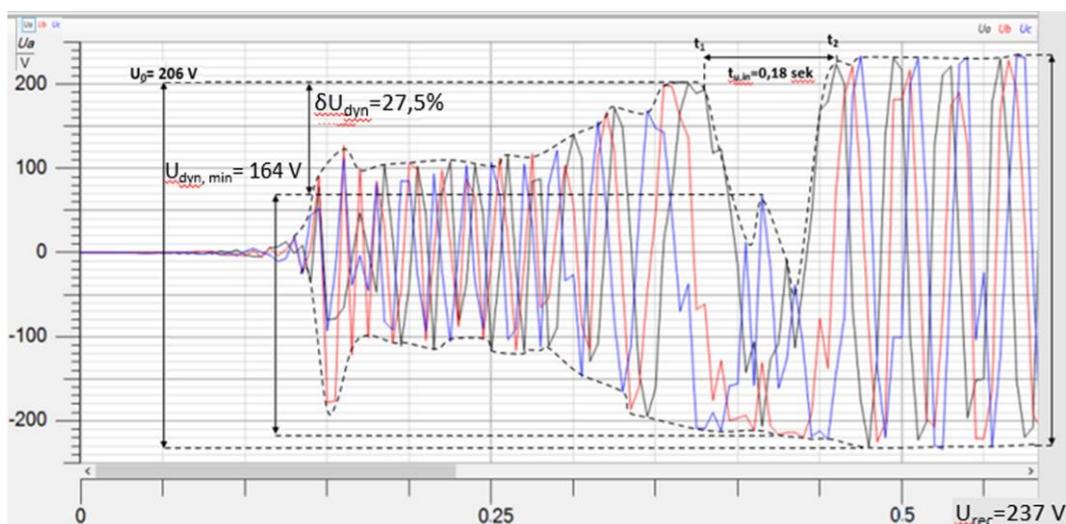


Рисунок 10. Характеристика запуска асинхронного генератора, используемого в автономных микроГЭС

На характеристике, представленной на рисунке 10, приведен график зависимости напряжения [U] от времени [t]. Он показывает, что при переходе асинхронного генератора из режима пуска в рабочий нагрузочный режим переходный процесс занимает $t = 0,18$ секунды. В этом случае начальное напряжение составляет $U_0 = 206$ В, а его минимальное значение во время переходного процесса $U_{\text{dyn,min}} = 164$ В, что соответствует колебанию $\delta U_{\text{dyn}} = 27,5\%$. После подключения нагрузки напряжение восстанавливается до номинального значения, достигая $U_{\text{rec}} = 237$ В

Результаты, полученные с помощью физической модели асинхронного генератора, работающего в режиме несимметричной нагрузки в микроГЭС, представлены на рисунке 11.

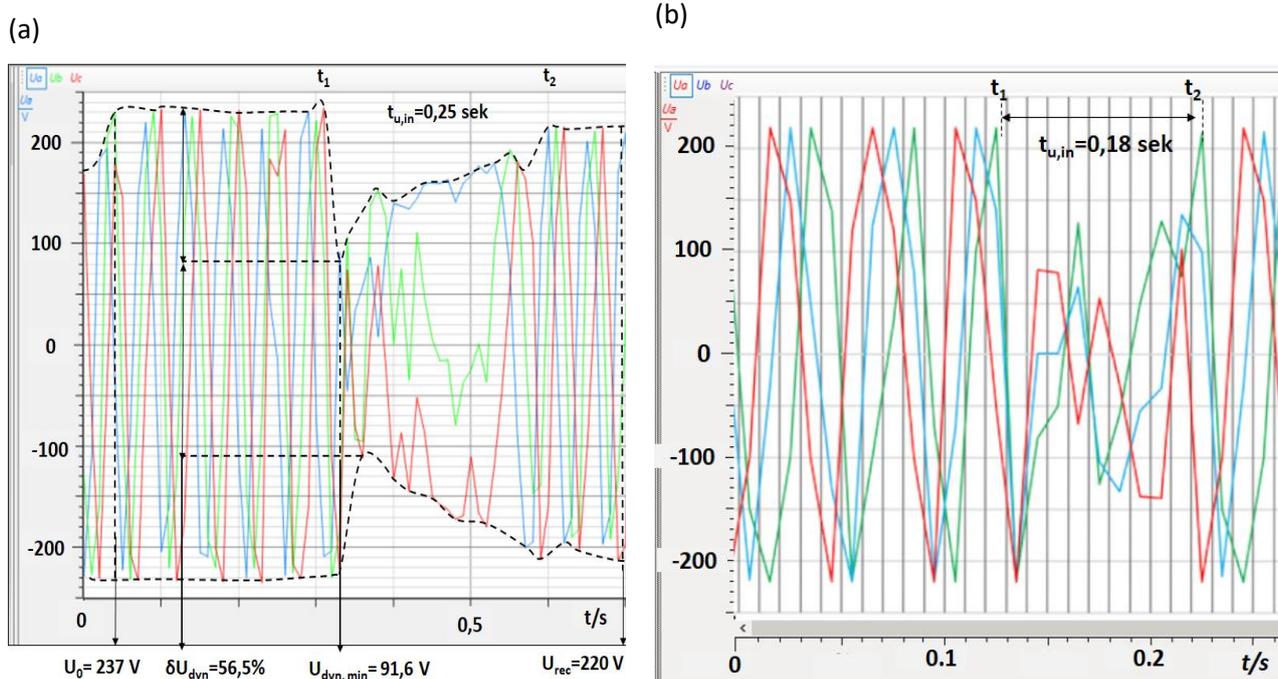


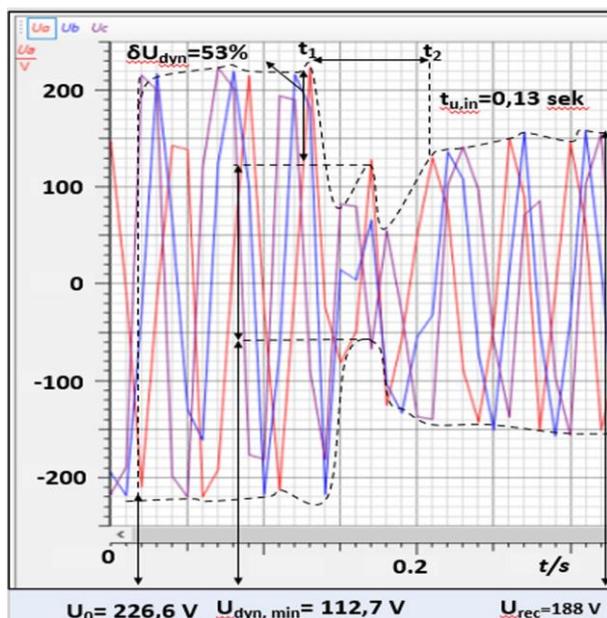
Рисунок 11. Выходное напряжение (а) и характеристика регулирования напряжения (б) асинхронного генератора, используемого в автономных микроГЭС в режиме несимметричной нагрузки.

В автономных микроГЭС при номинальном напряжении $U_n = 237$ В во время переходного процесса наблюдается снижение напряжения до $U_{\text{dyn,min}} = 91,6$ В, что соответствует отклонению $\delta U_{\text{dyn}} = 56,5\%$. При этом спад напряжения составляет $U_{\text{rec}} = 220$ В. Время восстановления до номинальной нагрузки составило $t = 0,18$ секунды.

Результирующие характеристики выходного напряжения асинхронного генератора, работающего в режиме перегрузки в микроГЭС, полученные с помощью физической модели, представлены на рисунке 12

При переходе из нагрузочного режима в режим перегрузки фазные напряжения статора изменяются от $U_0 = 226,6$ В, при этом во время переходного процесса напряжение снижается до $U_{\text{dyn,min}} = 112,7$ В, что соответствует отклонению $\delta U_{\text{dyn}} = 53\%$.

(a)



(b)

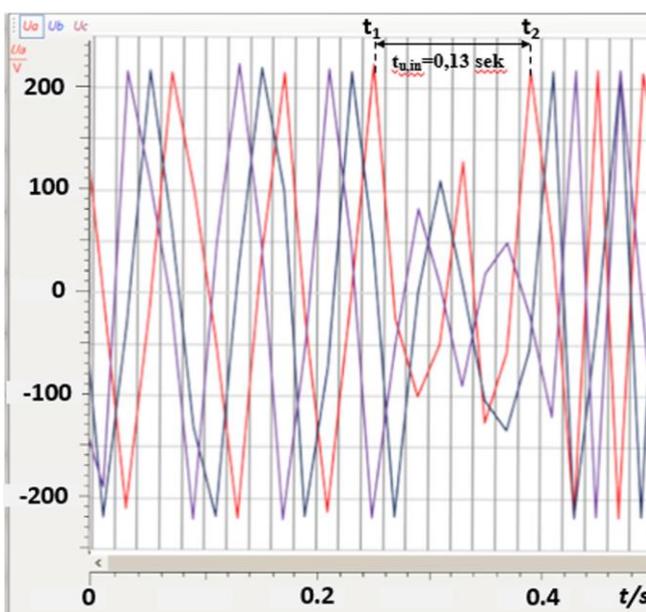


Рисунок 12. Выходное напряжение (а) и характеристика регулирования напряжения (б) асинхронного генератора, используемого в автономных микроГЭС в режиме перегрузки.

Также зафиксировано падение напряжения до $U_{\text{rec}} = 188 \text{ В}$, после чего в течение $t = 0,13$ секунды оно восстанавливается до номинального значения $U_n = 220 \text{ В}$

Применение предложенных способов управления выходным напряжением конденсаторного асинхронного генератора, используемого в автономных микроГЭС в динамических режимах работы, апробировано в фермерском хозяйстве «AGRO PRODSTAR», принадлежащем Совету фермерских, дехканских хозяйств и владельцев приусадебных земель Узбекистан. В результате ожидаемая годовая экономическая эффективность составит 109,0 млн. сум.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Усовершенствована математическая модель, учитывающая реактивную мощность, потребляемую асинхронным генератором, с регулированием реактивной мощности, производимой конденсаторными элементами, с помощью вентильных элементов. В результате была создана возможность разработки имитационной модели различных динамических режимов работы и алгоритма управления.

2. В микроГЭС, использующих асинхронный генератор, было определено изменение выходного напряжения при запуске с номинальной нагрузкой на уровне $\delta U_{\text{dyn}} = 27,5\%$. На основе метода регулирования падения напряжения Droop был разработан алгоритм управления и схема. В результате, при применении этой схемы, в течение времени $t = 0,18$ секунды удалось обеспечить фазные напряжения на уровне номинального значения $U_n = 220 \text{ В}$.

3. В микроГЭС, использующих асинхронный генератор в несимметричном рабочем режиме, было определено, что выходные напряжения составляют $U_a = 220$ В, $U_b = 200$ В и $U_c = 205$ В. С помощью метода адаптивного управления и использования самонастраивающихся регуляторов продолжительность регулировки составила $t = 0,18$ секунды, в результате чего удалось обеспечить фазное напряжение на уровне номинального значения $U_n = 220$ В.

4. При эксплуатации асинхронного генератора с возбуждением через конденсатор в режиме перегрузки было зафиксировано изменение падения напряжения $U_{tush} = 17\%$. Применение метода PID управления с использованием метода Ziegler-Nikols позволило стабилизировать фазное напряжение в течение $t = 0,13$ секунды.

5. В автономных микроГЭС разработаны опытно-испытательные образцы асинхронного генератора с возбуждением через конденсатор и его системы управления, а также имитационная модель. В результате была создана возможность оценки регулировки выходного напряжения асинхронного генератора в различных динамических рабочих режимах.

6. На основе результатов научных исследований усовершенствованные методы управления выходным напряжением асинхронного генератора с возбуждением через конденсатор, используемого в автономных микроГЭС внедрен в «AGRO PRODSTAR», входящем в состав «Совета Совета фермерских, дехканских хозяйств и владельцев приусадебных земель Узбекистан ». В результате достигнута годовая экономическая эффективность в размере 109,0 млн сумов за счет обеспечения автономных потребителей электроэнергией через микроГЭС.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.15/31.08.2022.T.73.07 ON THE
ADMISSION OF SCIENTIFIC DEGREES AT THE
TASHKENT STATE TRANSPORT UNIVERSITY**

ANDIJAN MACHINE-BUILDING INSTITUTE

**MATKHOSIMOV MUKHAMMADSODIQ MAHAMADKHOSHIM
O'G'LI**

**MODELING OF DYNAMIC OPERATING MODES OF THE
ASYNCHRONOUS GENERATOR MISROGES**

**05.05.02 – Electrical Engineering. Power Plant Systems. Electrical
Engineering Complexes and Devices**

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

Tashkent – 2025

The theme of the dissertation of doctor of philosophy (PhD) in technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Ministry of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan under №. B2023.3. PhD/T3943

The dissertation has been prepared at Andijan Machine-Building Institute.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) is placed on the web page of Scientific Council (www.tstu.uz) and on the Information and Educational Portal «ZiyoNet» (www.ziynet.uz).

Scientific supervisor: **Berdiyev Usan Turdiyevich**
candidate of technical sciences, professor

Official opponents: **Bedritskiv Ivan Mixaylovich**
doctor of technical sciences, professor

Shavazov Abdulatif Achilovich
PhD, senior researcher

Leading organization: **Jizzakh polytechnics institute.**

The defense will be take place on «___» _____ 2025 at ___ the meeting of the scientific council DSc.15/31.08.2022.T.73.07 Tashkent State Transport University. (Address: 100167, Tashkent, str. Temiryo‘lchilar-1. tel.: (99871) 299-00-01; fax: (99871) 293-57-54, e-mail: rektorat@mail.ru).

The doctoral (PhD) dissertation can be reviewed at the Information-Resource Center of the Tashkent State Transport University (Registered number №___). (Address: 100167, Tashkent, str. Temiryo‘lchilar-1. tel.: (99871) 299-05-66; fax: (99871) 293-57-54, e-mail: rektorat@mail.ru).

Abstract of the dissertation was distributed on «___» _____ 2025.
(Mailing report № ___ on «___» _____ 2025).

R.V. Rahimov

Chairman of the scientific council
on awarding scientific degrees,
doctor of technical sciences, professor

Y.O. Ruzmetov

Scientific secretary of the scientific council
on awarding scientific degrees,
doctor of technical sciences, Professor

R.M. Mirsaatov

Chairman of this scientific seminar under scientific
council on awarding scientific degrees,
doctor of technical sciences, professor

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The purpose of the study: is the creation of a model of an asynchronous generator of environmentally friendly energy resources of high efficiency with low cost and the introduction into practice of the analysis of dynamic operating modes.

Research objectives: improvement of the mathematical model of an asynchronous generator controlled by regulating reactive energy generated by a capacitor used in autonomous microhydroelectric power plants using valve elements;

development of a simulation model that allows for the analysis of dynamic operating modes of an asynchronous generator with a capacitor drive used in micropower plants;

development of an algorithm and control circuit that ensures stability in dynamic operating modes of an asynchronous generator driven by a capacitor used in a micro hydroelectric power plant;

development of a method for controlling the output voltage of a generator based on regulating the dynamic operating modes of an asynchronous generator driven by a capacitor used in autonomous micro hydroelectric power plants, and creation of a pilot test instance of a micro hydroelectric power plant device;

Research methods. The study involved mathematical modeling of dynamic operating modes of asynchronous generators, the Droop voltage drop correction method, the automatic control theory method, the self-correction method, the adaptive control method, the Ziegler-Nicol method, the Proporsional-Integral-Differential control method, and simulation modeling. Matlab/Simulink software, methods of mathematical statistics of experimental data, modern software for the CASSY Lab 2 digital oscilloscope, and methods for analyzing operating modes of a physical model were used in the processing.

The scientific novelty of the research is as follows:

improved classical mathematical model of an asynchronous generator, controlled using excitation capacitor elements that generate reactive power, with regulation of this power using valve elements in autonomous micro-hydropower plants;

an improved algorithm for controlling the output voltage of the asynchronous generator used in micro-hydropower plants, utilizing voltage regulation methods such as Droop, Adaptive, and PID control, in nominal, voltage asymmetry, and overload modes;

an improved simulation model that allows for analysis by comparing the input and output voltage parameters in the regulation device during dynamic operating modes of the asynchronous generator used in micro-hydropower plants;

an improved control scheme has been developed to regulate the output voltage of the asynchronous generator used in micro-hydropower plants in nominal, voltage asymmetry, and overload modes by controlling the reactive power generated by the capacitor elements, using thyristor elements.

Implementation of research results. Based on the scientific research conducted on modeling the dynamic operating modes of the asynchronous generator in micro-hydropower plants:

the experimental device developed for reactive power regulation of the asynchronous generator in micro-hydropower plants using valve elements was implemented at the “AGRO PRODSTAR” farm to supply electricity (Certificate of the Council of Farmers, Dehkan Farms, and Household Landowners of Uzbekistan No. 01-03-0440 dated February 28, 2023). As a result, the possibility of supplying electricity to autonomous consumers was created with continuous control and regulation of the output voltage of the asynchronous generators used in microGES, in their dynamic operating modes, and in accordance with the requirements;

the developed advanced methods for controlling the output voltage of the asynchronous generator in dynamic operating modes were implemented at the “AGRO PRODSTAR” farm for the provision of electricity (Certificate of the Council of Farmers, Dehkan Farms, and Household Landowners of Uzbekistan No. 01-03-0440 dated February 28, 2023). As a result, based on the scientific and technical measures conducted for modeling the dynamic operating modes of the asynchronous generator in micro-hydropower plants, economic efficiency of 109,000,000 (one hundred nine million) Uzbek soums was achieved.

E'LON QILINGAN ISHLAR
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS
I bo'lim (Часть I; Part I)

1. Matqosimov M.M. Research of the asynchronous generator used in micro HPPs via the MATLAB Simulink model / Matqosimov M.M. Berdiyev U.T. // Journal of Transport .- 2024 №4 S. 28-31 (05.00.00; № 11).
2. Matqosimov M.M. Expression of asynchronous enerators by differential equations / Matqosimov M.M. Pirmatov.N.B, Mahamadjonov, S.Y. // Energiya va resurs tejash muammolari. – 2023. №84 S. 93-100 (05.00.00; № 16).
3. Matqosimov.M M. Prospects for the use of renewable energy sources / Matqosimov.M M., Berdiyev.U // Bulletin news in New Science Society International Scientific Journal Germany,- 2024 S. 215-221(OAK rayosatining 2016-yil 23-dekabrdagi 232/5-son qarori).
4. Matqosimov.M M. Research on the use of asynchronous machine in generator mode in microhydroelectric plants of a renewable alternative energy source device / Matqosimov.M M. Pirmatov. N, Mahamadjonov.S // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» Научно-технический центр «ТАТА», 2024 -№ 02. S. 79-85. (OAK rayosatining 2016-yil 23-dekabrdagi 232/5-son qarori).
5. Матқосимов.М М. Кичик қувватли гидроэлектр станцияларида асинхрон моторни генератор режимда ишлатиш / Матқосимов.М М., Пирматов. Н, Маҳмаджонов.С // “Ўзбекгидроэнергетика” илмий-техник журнали.- 2023.- №1- С. 49-50 (05.00.00; № 21).
6. Matqosimov.M M. Use of alternative energy sources / Matqosimov.M M., Abdullayev.M // “Uzbekhydropower” scientific and technical journal.- 2023.-№1.- S. 79-80 (05.00.00; № 21).
7. Matqosimov.M M Avtonom asinxron generatorini kondensator orqali qo'zg'otishning tenglamalar tahlili // Mashinasozlik ilmiy-texnika jurnali. 2023.-№2.- S. 424-432. (OAK rayosatining 2021-yil 30-dekabrdagi 310/10-son qarori).

II bo'lim (Часть II; Part II)

8. Matqosimov M.M. MicroGES asynchronous generator control methods research / Matqosimov M.M., Pirmatov N.B, Mahamadjonov S.Y. // Journal of Electrical and Electronics Engineering (JEEE).-2023.- №.13. S. 1-6 (05.00.00; № 29).
9. Matqosimov.M.M. Determination and description of the conditions of self-excitation of the mikroGES asynchronous generator / Matqosimov.M.M., Pirmatov. N, Mahamadjonov.S // Актуальные проблемы системы электроснабжения Сборник трудов международной научно-технической конференции. – Ташкент. ТашГТУ, 2023. Стр. 346.
10. Matqosimov.M.M. Kondensarot qo'zg'otishli mikroGES asinxron generatorining yuklama ish rejimi tahlili/ Matqosimov.M.M., Pirmatov. N, Mahamadjonov.S // Xalqaro ilmiy-amaliy anjuman materiallar to'plami.-2023. S. 21-23
11. Matqosimov.M.M. MikroGESlarda qo'llaniluvchi kovshli gidroturbinani

mutloq va nisbiy qiymatlarining matematik model tahlili/ Matqosimov.M.M., Olimjonov.A// “Kelajak samarali eneregetikasi: muammolar va yechimlar” mavzusida xalqaro ilmiy-texnik anjuman.-2023. S. 104-107

12. Matqosimov.M. Characteristics of the static and dynamic operating modes of the asynchronous generator in renewable energy sources and the production of electric energy control through a frequency converter/ Matqosimov.M., Pirmatov. N., Mahamadjonov.S., Haydarov. H // E3S Web of Conferences 480, 01007 (2024) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202448001007> EEA2023

13. Matqosimov.M. Investigation of transients in asynchronous generators used in microhydroelectric power plants / Matqosimov.M., Pirmatov. N., Mahamadjonov.S., Xolmatov.E. // E3S Web of Conferences 508, 02007 (2024) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202450802007> GreenEnergy 2023

14. Matqosimov.M. Analysis of various operating modes of the microhpp asynchronous generator using the matlab simulink program / Matqosimov.M., Pirmatov. N., Mahamadjonov.S., Sayitov. SH.// E3S Web of Conferences 508, 02012 (2024) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202450802> GreenEnergy 2023

15. Matqosimov.M.M. MikroGESlarda qo‘llaniluvchi asinxron generatorini o‘ta yuklama ish rejimining imitatsion modelini tadqiq etish / Matqosimov.M.M., Berdiyev.U.T. // Zamonaviy energetikaning dolzarb muammolari va rivojlantirish istiqbollari xalqaro ilmiy-texnikaviy konferensiya Islom Karimov nomidagi toshkent davlat texnika universitetining Qo‘qon filiali.- 2024. S. 123-126

16. Matqosimov.M.M. Qayta tiklanuvchi energiya manbaalari hamda mini va mikroGESlarda qo‘llaniluvchi asinxron generatorini nossimetriya ish rejimini tadqiqi / Matqosimov.M.M., Berdiyev.U.T// Zamonaviy energetikaning dolzarb muammolari va rivojlantirish istiqbollari xalqaro ilmiy-texnikaviy konferensiya Islom Karimov nomidagi toshkent davlat texnika universitetining Qo‘qon filiali.- 2024. S. 119-122

17. Matqosimov.M.M. O‘zbekistonda yoqilg‘i-energetika resurslaridan samarali va oqilona foydalanish tadqiqi / Matqosimov.M.M., Mahamadjonov.S// Respublika ilmiy-texnik anjuman materiallar to plami.-2023. S. 238-241

18. Реал вақт давомида асинхрон генераторни динамик режимини ҳисоби; Дастурий таъминот учун гувоҳнома DGU № DGU 15458. 07.04.2022у Ўзбекистон Республикаси / М.М.Матқосимов Н.Б.Пирматов, С.Й.Маҳмадҷонов № DGU 20221180 16.03.2022у- 07.04.2022у

19. Avtonom mikroGES asinxron generatorining dinamik ish rejimlarini imitatsion modelining dasturiy ta‘minoti; Dasturiy ta‘minot uchun guvohnoma № DGU 35175 20.03.2024у O‘zbekiston respublikasi /N.B.Pirmatov, M.M.Matqosimov № DGU 20241558 15.02.2024у- 20.03.2024у.

20. MikroGES asinxron generatorini ish rejimlarini boshqarish usulining dasturiy ta‘minoti; Dasturiy ta‘minot uchun guvohnoma № DGU 30921 12.12.2023у O‘zbekiston respublikasi / M.M.Matqosimov N.B.Pirmatov, S.Y.Mahamadjonov № DGU 20238248 07.11.2023у-12.12.2023у

21. MikroGES asinxron generatorining nossimetriya ish rejimi vaqtidagi chiqish kuchlanish tushuvini rostlash algoritimi dasturiy ta‘minoti; Dasturiy ta‘minot uchun guvohnoma № DGU 42862 12.10.2024у / M.M.Matqosimov, Berdiyev.U.T № DGU 20238248 05.10.2024у-12.10.2024у.

Avtoreferat “TDTrU xabarnomasi” ilmiy-amaliy jurnali
tahririyatida tahrirdan o‘tkazildi va matnlarni mosligi tekshirildi
(____.2024 y).

Qog‘oz bichimi: 84x60-1/16. Rizograf bosma usuli Times New Roman garniturasida.
Shartli bosma tabog‘i: 2.7 b.t. Adadi 100 nusxa. Buyurtma №.
Nashrga ruxsat etildi:

Guvohnoma №156677
“OMADBEK PRINT NUMBER ONE” MChJ bosmaxonasida chop etilgan
Bosmaxona manzili: 12-3971, Andijon.sh., Boburshox ko‘chasi, 39a-uy.

