

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

ANDIJON DAVLAT TEXNIKA INSTITUTI

MAHAMADJONOV SODIQJON YO‘LDASHBOY O‘G‘LI

**MIKROGES ASINXRON GENERATORINI STATIK 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**

Mahamadjonov Sodiqjon Yo‘ldashboy o‘g‘li MikroGES asinxron generatorini statik ish rejimlarini modellashtirish.....	5
Махамаджонов Содикжон Йулдашбой угли Моделирование статических режимов работы асинхронного генератора микроГЭС.....	23
Makhamadjonov Sodikjon Yuldashboy ugli Modeling of static operating modes of a micro-hydroelectric power plant asynchronous generator.....	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 DAVLAT TEXNIKA INSTITUTI

MAHAMADJONOV SODIQJON YO‘LDASHBOY O‘G‘LI

**MIKROGES ASINXRON GENERATORINI STATIK 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 B2025.1. PhD/T3943 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya Andijon davlat texnika 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:

Axmedov Abduraxman Pattaxovich
fizika-matematika fanlari nomzodi, dotsent

Rasmiy opponentlar:

Bedritskiy Ivan Mixaylovich.
texnika fanlari doktori professor

Tolipov Jamshid Nurbekovich
PhD, katta ilmiy xodim

Yetakchi tashkilot:

Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti

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'Ichilar ko'chasi, 1-uy. Tel.: (99871) 299-00-01; faks: (99871) 293-57-54; e-mail: rektorat@tstu.uz.

Dissertatsiya bilan Toshkent davlat transport universitetining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (_____ raqami bilan ro'yxatga olingan). (100167, Toshkent sh., Temiryo'Ichilar 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 elektr energiyasini ishlab chiqarish bo'yicha qayta tiklanuvchan energiya manbalaridan, ayniqsa daryo o'zanlariga gidroenergetik qurilmalarini qurish va bunda yangi energiya resurstejamkor texnologiya hamda texnika vositalarini qo'llash yetakchi o'rinlardan birini egallamoqda. Dunyo miqyosida kichik daryo o'zanlarida salmoqli gidroenergetik resurslar mavjudligini hamda, amalda bundan foydalanish yetarlicha o'rganilmaganligini inobatga olsak, bu turdagi energiyadan samarali foydalanish daryo o'zanlarida qo'llaniluvchi gidroenergetik qurilmalarni amaliyotga joriy etishni taqozo etadi. Shu jihatdan daryo o'zanlaridagi mavjud gidroenergetik resurslardan elektr energiya ishlab chiqarishda gidroenergetik texnika va qurilmalaridan samarali hamda oqilona foydalanish muhim ahamiyatga ega hisoblanadi.

Jahonda mavjud gidroenergetik resurslardan foydalanib elektr energiya ishlab chiqarish uchun zamonaviy gidrotexnik qurilmalarni joriy etishga yo'naltirilgan ilmiy-tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Bu borada an'anaviy energiya manbalarining cheklanganligi, iqlim o'zgarishlari va ekologik xavotirlar global miqyosda qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanish masalasini dolzarb qilib qo'yimoqda. Qayta tiklanuvchi energiya texnologiyalari orasida kichik quvvatli gidroelektr stansiyalari (MikroGES) alohida ahamiyat kasb etadi. MikroGESlar kichik hajmli suv oqimlaridan foydalanib, elektr energiyasini ishlab chiqaradi. Ularning kam xarajatli, ekologik toza va uzoq muddatli ishlashi qayta tiklanuvchi energiya manbalari orasida raqobatbardoshligini ta'minlaydi. Shu sababli, MikroGESlar ko'plab mamlakatlarda, xususan, tog'li va chekka hududlarda keng ko'lamda qo'llanilmoqda. MikroGESlarning samaradorligini oshirishda asinxron generatorlarning statik ish rejimlariga alohida e'tibor berilmoqda.

Respublikamizda elektr energetika ta'minotida barqarorlikni ta'minlashga qaratilgan tizimli ishlar bilan bir qatorda kichik quvvatli gidroelektrstansiyalardan foydalanishni tadbqiq etish yuzasidan keng qamrovli chora-tadbirlar amalga oshirilib, muayyan natijalarga erishilmoqda. 2022-2026-yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning Taraqqiyot strategiyasida, jumladan uning 24-maqsadida "2026-yilga qadar qayta tiklanuvchi energiya manbalari ulushini 25 foizga yetkazish evaziga yiliga qariyb 3 milliard kub metr tabiiy gazni tejash..." bo'yicha muhim vazifalar belgilab berilgan. Ushbu vaziflarni amalga oshirishda, jumladan, ishlab chiqarilayotgan elektr energiyani tannarxini sezilarli ravishda kamaytirish maqsadida modernizatsiyalashgan gidrotexnik qurilmalarni yaratish muhim ahamiyat kasb etmoqda.

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 tejoychi texnologiyalarni joriy qilish va kichik quvvatli

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

qayta tiklanuvchi energiya manbalarini rivojlantirish bo'yicha qo'shimcha chora tadbirlar to'g'risida"gi PF-220-sonli farmoni va O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023-yil 16-fevvardagi PQ-57-sonli qarorlari hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me'yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu dissertatsiya ishi 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'nalishi doirasida bajarilgan.

Muammoning o'rganilganlik darajasi. MikroGESlarda asinxron generatordan foydalangan holda elektr energiya ishlab chiqarish hamda amaliyotga tadbiriq etishda quyidagi masalalarni o'rganishni talab etadi. MikroGESlarda kondensator elementlari yordamida qo'zg'atiluvchi asinxron generatorlarni qo'llash orqali elektr energiya ishlab chiqarishga erishish va ishlab chiqarilgan elektr energiyani iste'molchilarga uzatish talab etiladi. MikroGESlarda qo'llaniluvchi asinxron generatorlarni kondensator elementlarini qo'llash orqali ishga tushirish va shu bilan birga qayta tiklanuvchi va suv energiya resurslaridan oqilona foydalanish aholiga elektr energiya yetkazib berishga qaratilgan ilmiy tadqiqotlar jahonning yetakchi olimlaridan; jumladan T.J.Hammons, N.H.Malik, L.Wang, S.S.Murthy, R.C.Bansal, R.Nazir, Jong Suk Ro, Ivo Baselt, 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 horijiy olimlar ilmiy izlanishlar olib borgan.

Shuningdek mamlakatimizning taniqli olimlaridan H.F.Fozilov., 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 koeffitsiyentlari va elektr energiyasini ishlab chiqarishga qaratilgan. Biroq, sezilarli muvaffaqiyatlarga qaramay, mikroGESlarda kondensatorli qo'zg'atiluvchi asinxron generatorlarning statik ish rejimlarida kuchlanish barqarorligi, elektromagnit momentning o'zgaruvchan yuklamadagi tahlili, hamda ushbu jarayonlarni modellashtirishga oid ilmiy ishlar yetarlicha chuqur o'rganilmagan.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti Andijon mashinasozlik institutining quyidagi xo'jalik korxonalarini bilan tuzilgan "Korxonalarda energoaudit tekshiruvlarni olib borish" shartnomalari bo'yicha № 2017-19 "Sing Lida" MCHJ sement ishlab chiqarish korxonasi, № 2019-19 "Evro Ekfin" MCHJ sutni qayta ishlash korxonasi, № 2020-19 "Andijon Biokimyo Zavodi" AJ larda ilmiy-tadqiqot ishlari doirasida bajarilgan.

Tadqiqot maqsadi MikroGES tarkibida ishlovchi qisqa tutashgan rotorli asinxron generatorning statik ish rejimini modellashtirish va chiqish kuchlanishini stabillash sxemasini ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqot vazifalari:

asinxron generatorni qo'zg'atish uchun kerak bo'ladigan kondensator elementi sig'imini hisobga olish orqali uning statik ish rejimlarini yuqori aniqlikda aks ettiruvchi matematik modelni takomillashtirish;

elektromagnit momentni hisoblashda asinxron generatorning magnit to'yinish koeffitsiyentining ta'sirini inobatga olish orqali hisoblash usulini takomillashtirish;

generator chiqish kuchlanishining barqarorligini ta'minlash maqsadida, kombinatsiyalangan (LC) reaktiv quvvatni kompensatsiyalovchi sxemani ishlab chiqish;

takomillashtirilgan matematik model asosida statik rejimni hisoblash algoritmini yaratish hamda elektromagnit momentni klassik va Kloss formulalari orqali hisoblash algoritmini ishlab chiqish.

Tadqiqot ob'ekti sifatida mikroGES tarkibida ishlovchi kondensator elementi orqali qo'zg'atiladigan qisqa tutashgan rotorli asinxron generator olingan.

Tadqiqot predmeti avtonom mikroGES tarkibida ishlovchi qisqa tutashgan rotorli asinxron generatorning statik ish rejimlari, xarakteristikalarini va hisoblash algoritmlari hisoblanadi.

Tadqiqot usullari. Tadqiqot ishida asinxron generatorning statik ish rejimlarini tahlil qilish uchun matematik modellashtirish usuli, elektromagnit momentni baholashda analitik hisoblash usuli, magnit to'yinishni inobatga olgan parametrik tahlil usuli, Park-Gorev tenglamalari asosida algoritmik modellashtirish usullaridan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

avtonom ishlovchi mikroGES tarkibidagi qisqa tutashgan rotorli asinxron generatorning statik ish rejimlarini matematik modeli qo'zg'atuvchi kondensator elementi sig'imini hisobga olish orqali takomillashtirilgan;

mikroGES tarkibidagi qisqa tutashgan rotorli asinxron generatorning magnit to'yinish koeffitsiyentini hisobga olish orqali elektromagnit momentini yuqori aniqlikda hisoblashga imkon beruvchi usul takomillashtirilgan;

avtonom mikroGES tarkibidagi asinxron generatorning kondensator va induktiv elementlardan iborat kombinatsiyalangan reaktiv quvvatni kompensatsiyalovchi tizimining sxemasi ishlab chiqilgan;

qisqa tutashgan rotorli asinxron generatorning statik ish rejimini matematik model asosida hisoblash algoritmi hamda elektromagnit momentni aniqlashga mo'ljallangan klassik va Kloss usullarini o'zaro solishtirish algoritmlari ishlab chiqilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

mikroGES tarkibida ishlovchi qisqa tutashgan rotorli asinxron generatorning statik ish rejimlarini baholovchi matematik modellar ishlab chiqildi va MATLAB muhitida raqamli modellashtirilgan;

elektromagnit momentni hisoblash bo'yicha magnit to'yinishni hisobga olgan yangi yondashuv taklif qilindi va u klassik va Kloss formulalari bilan taqqoslab asoslangan;

generatorning barqaror ishlashini ta'minlovchi kondensatorli qo'zg'atish tizimi modelda hisobga olinib, real tajriba qurilmasi asosida sinovdan o'tkazilgan,

modellashtirish natijalari va real eksperimental o'lovlar o'zaro taqqoslanib, modelning yuqori darajadagi adekvatligi isbotlangan;

asinxron generator chiqish kuchlanishini barqarorlashtirish uchun kombinatsiyalangan LC elementlarga asoslangan fazaviy reaktiv quvvatni boshqarish sxemasi ishlab chiqildi va qurilma asosida amalga oshirilgan;

ishlab chiqilgan algoritmlar va modeldan energiya samaradorligini baholash va mikroGES qurilmalarini loyihalashda amaliy foydalanish mumkinligi ko'rsatilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi. Tadqiqot natijalarining ishonchligi ishlab chiqilgan matematik modellar va algoritmlarning fizik qonuniyatlarga asoslanganligida, ular bo'yicha olingan natijalarning MATLAB muhitida raqamli modellashtirish orqali tasdiqlanganida hamda real sharoitda qurilgan tajriba qurilmasi asosida o'tkazilgan eksperimental tekshiruvlar bilan o'zaro mos kelgani bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalari qisqa tutashgan rotorli asinxron generatorlarning statik ishlash rejimlarini magnit to'yinish va kondensatorli qo'zg'atish tizimi ta'sirida chuqur modellashtirish orqali mikroGESlar samaradorligini oshirishda muhim ilmiy asos yaratadi. Elektromagnit momentni hisoblashning taqqoslovchi modellari, reaktiv quvvatni boshqarishning kombinatsiyalangan sxemasi va hisoblash algoritmlarining ishlab chiqilishi asinxron generatorlarni nazariy o'rganishda yangi yondashuvni taklif etadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati esa, ishlab chiqilgan modellar va boshqaruv algoritmlari MATLAB muhitida testdan o'tkazilgan va real tajriba qurilmasi asosida sinovdan o'tgan bo'lib, mikroGESlarni loyihalash, ularning ishlash barqarorligini oshirish, energiya sifatini yaxshilash va elektr ta'minot tizimlarini avtomatlashtirishda bevosita qo'llanilishi mumkin. Taklif etilgan yondashuvlar energetika, mashinasozlik va raqamli boshqaruv tizimlari sohalarida amaliy natijadorlikni oshirishga xizmat qilishi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. MikroGES asinxron generatorni statik ish rejimlarini modellashtirish bo'yicha olingan natijalar asosida:

avtonom mikroGES tarkibidagi asinxron generatorning kondensator va induktiv elementlardan iborat kombinatsiyalangan reaktiv quvvatni kompensatsiyalovchi tizim "AGRO PRODSTAR" fermer xo'jaligida joriy etilgan ("O'zbekiston fermer, dehqon xo'jaliklari va tomorqa yer egalari" kengashining 2023-yil 28-fevraldagi 01-03-0439-son ma'lumotnomasi). Natijada generatorning chiqish kuchlanishi stabil holatda saqlashga erishildi va avtonom ishlovchi asinxron generatorning yuklamaga bog'liq holda kuchlanish pasayishini kamaytirish imkoniyati yaratilgan;

mikroGES tarkibida kondensator elementlari orqali qo'zg'atiladigan qisqa tutashgan rotorli asinxron generator asosida elektr energiyasini ishlab chiqaruvchi gidroenergetik tizim "AGRO PRODSTAR" fermer xo'jaligida joriy etilgan ("O'zbekiston fermer, dehqon xo'jaliklari va tomorqa yer egalari" kengashining 2023-yil 28-fevraldagi 01-03-0439-son ma'lumotnomasi). Natijada fermer xo'jaligini yer maydonlarini sug'orish uchun mo'ljallangan nasos qurilmalarini, qisqa tutashgan rotorli asinxron generatorning statik ish rejimlaridagi chiqish kuchlanishini barqarorlashtirish orqali elektr energiyasi bilan ta'minlash hisobiga 109 350 000 so'm iqtisod qilingan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Dissertatsiya tadqiqotining asosiy natijalari bo'yicha jami 10 ta shulardan, 7 ta xalqaro konferensiyalarda, shundan 3 ta Scopus bazasiga kiritilgan, 3 ta respublika miqyosidagi ilmiy-amaliy konferensiyalarida muhokamadan o'tkazilgan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi. Tadqiqot mavzusi bo'yicha jami 22 ta ilmiy ishlar chop etilgan bo'lib, O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasi tomonidan tavsiya etilgan jurnallarda, shu jumladan 4 ta xorijiy, 5 ta respublika miqyosidagi jurnallarda chop etilgan. 3 ta EHM uchun yaratilgan dasturiy vositalarga Adliya vazirligi huzuridagi O'zR Intellektual mulk agentligi tomonidan qayd qilinganlik 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 109 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 ilmiy va amaliy ishonchligi asoslangan, ilmiy tadqiqotlar natijalarining ishlab chiqarishga joriy etish ma'lumotlari olingan, tadqiqot ishining aprobatsiya natijalari, e'loni qilingan ishlar bo'yicha ma'lumotlar va dissertatsiyaning tuzilishi bo'yicha ma'lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning **“MikroGESlarning hozirgi holati bo'yicha umumiy ma'lumotlar”** deb nomlangan birinchi bobida mikroGESlarning jahon va mintaqaviy miqyosdagi rivojlanish holati tahlil qilingan. Xususan, Xitoy, AQSh, Yevropa davlatlari, Hindiston, Rossiya va boshqa rivojlanayotgan davlatlarda kichik va mikroGESlarning keng joriy etilayotgani statistik ma'lumotlar, xalqaro hisobotlar (IRENA, IHA) va rasmiy tahlillar asosida yoritilgan. Shuningdek, mikroGES texnologiyalaridagi zamonaviy yondashuvlar Vortex Micro Hydro Power turbinasi, past bosimli gidroagregatlar, turli quvvat diapazonidagi avtomatlashtirilgan stansiyalar va ekologik ustunliklar (CO₂ chiqindilarning kamayishi, yer maydon talabining pastligi, suvdan energiyasidan foydalanish) kabi jihatlar bayon qilingan.

O'zbekiston misolida esa, mustaqillikdan so'ng mamlakatning energetika siyosatida mikroGESlarning ahamiyati oshgani, chekka hududlarda elektr ta'minotini barqarorlashtirishdagi o'rni va mavjud salohiyatning (GES quvvati, daryolar soni, yillik energiya ishlab chiqarish imkoniyati) keng tahlili berilgan. O'zbekiston bo'yicha bir nechta real mikroGES loyihalari (Chirchiq, Farhod, Shahrixon, Quyi Bo'zsuv, Tuyabo'g'iz, Andijon viloyatidagi GESlar) texnik parametrlari, investitsiyaviy qiymati va energiya ishlab chiqarish ko'rsatkichlari bilan tahlil qilinib, ularning ahamiyati va istiqbollari yoritilgan. Shuningdek, bobda mikroGESlarni loyihalashda foydalaniladigan turli turbinaviy tizimlar, ularning bosim va suv sarfiga bog'liq bo'lgan tanlash mezonlari, shuningdek kichik oqimli kanallarda ishlatiladigan

konstruktsiyalar tahlil etilgan.

O‘rganishlar natijasida, ayniqsa chekka va tog‘li hududlarda ishlatilishi mumkin bo‘lgan asinxron generator asosidagi mikroGESlar ekologik tozaligi, soddaligi va arzon ekspluatatsiya talablari bilan ajralib turishi aniqlangan. Bu esa, mazkur texnologiyani milliy energetika tizimiga integratsiya qilishda muhim amaliy asos bo‘lib xizmat qiladi.

Dissertatsiyaning “**MikroGES qurilmasining elektr va mexanik parametrlari hamda statik tavsiflari**” deb nomlangan ikkinchi bobida mikroGES tarkibidagi asosiy elementlar kovshli gidroturbina va qisqa tutashgan rotorli asinxron generatorning o‘zaro bog‘liq ishlash prinsiplari, fizik xossalari hamda optimal parametrlarini aniqlashga qaratilgan. Birinchi navbatda, gidroturbinaning aylanish tezligi, bosimi, suv oqimi va samaradorlikka bog‘liq holda hosil qiladigan momentini ifodalovchi matematik modellar keltirildi. Kovshli gidroturbinaning statik xarakteristikallari doimiy ochilish burchaklari ostida aniqlanib, moment-oqim munosabatlari grafik ko‘rinishda yoritildi. O‘zini o‘zi boshqarish effekti sifatida tanilgan turbinaning aylanish tezligi ortganda momentning kamayishi fenomeni asoslab berildi

Bobning birinchi paragrafida, gidroturbinaning statik xususiyatlari tahlil qilindi. Gidroturbinaning ishlab chiqaradigan momenti suv oqimi Q , bosim H , burchak tezligi ω va samaradorlik η_T bilan aniqlanadi. Quyidagi asosiy formuladan foydalaniladi:

$$M_T = 9.81 \cdot \frac{QH}{\omega} \cdot \eta_T. \quad (1)$$

Gidravlik tizimlarda aktiv quvvatni avtomatik boshqarish qiyinligi sababli, suv oqimini tartibga soluvchi elementlar asosiy boshqaruv parametri sifatida ishlatiladi. Gidroturbinaning ishlash tavsiflari nisbiy parametrlar yordamida ifodalanadi:

$$m = \frac{M}{M_n}, \quad \varpi = \frac{\omega}{\omega_n}, \quad \bar{h} = \frac{H}{H_n}, \quad q = \frac{Q}{Q_n}, \quad (2)$$

bu yerda M, M_n - turbinaning momenti va uning nominal qiymati, Q, Q_n - turbinadan suv oqimi va uning nominal qiymati, H, H_n - turbinadagi bosim va uning nominal qiymati, ω_n - nominal burchak aylanish tezligi.

Shuningdek, umumlashtirilgan gidroturbinaning momenti quyidagicha hisoblanadi:

$$M_T = \frac{30}{\pi} \gamma D_1^3 H \frac{Q_1'}{n_1} \eta_T, \quad (3)$$

bu yerda D_1 - ishchi g‘ildirak diametri, γ - suyuqlikning solishtirma og‘irligi, η_T - samaradorlik koeffitsienti.

Gidroturbinalarda kuzatiladigan o‘zini-o‘zi boshqarish effekti aylanish tezligi ortishi bilan momentning kamayishidir. Bu effekt quyidagi differensial koeffitsient orqali aniqlanadi:

$$e_T = \frac{dM_T}{dn} \frac{n_H}{M_{TH}}. \quad (4)$$

Bu xususiyat mikroGESning barqaror ishlashida muhim omil bo‘lib, avtomatik nazorat tizimlarini ishlab chiqishda asos sifatida olinadi.

Bobning ikkinchi paragrafida, qisqa tutashgan rotorli asinxron generatorning o‘z-o‘zidan qo‘zg‘alish jarayoni fizikaviy va matematik asosda chuqur tahlil qilinadi. AGning elektromagnit tebranishlari va o‘z-o‘zidan kuchlanish hosil qilish holati quyidagi tenglama bilan tavsiflanadi:

$$\omega_1(L_{\sigma 1} + L_m) = \frac{1}{\omega_1 C}. \quad (5)$$

Tebranishlarning soʻnish yoki kuchayishini ifodalovchi koeffitsientlar quyidagicha aniqlanadi:

$$\beta = -\frac{R}{2L_1}, \quad \omega_1 = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L_1}\right)^2}. \quad (6)$$

Generatorning kuchlanishi, magnitlanish egri chizigʻi va kondensatorning volt-ampere xarakteristikalari bir-biri bilan muvozanatga kelgan holda barqaror rejim hosil boʻladi. Shu yerda quyidagi shart bajarilishi zarur:

$$\alpha_{kr} > \alpha > \alpha_{kz}, \quad (7)$$

bu yerda α – volt-ampere xarakteristikasining tok oʻqiga nisbatan burchagi. Bu ifoda quyidagi reaktiv qarshiliklar orasidagi munosabatni anglatadi:

$$X_1 > X_C > X'_1. \quad (8)$$

Bobning uchinchi paragrafida AGni generator rejimida ishlatish shartlari, ayniqsa, kondensator sigʻimini toʻgʻri tanlash masalasi yoritilgan. Qoʻzgʻalish uchun talab etiladigan sigʻim qiymati salt yurish rejimi va nominal yuklama uchun quyidagicha aniqlanadi:

$$C_\phi = \frac{I_{sy} \cdot \sin\varphi \cdot 10^6}{\omega \cdot U_{sy}}, \quad C = \frac{1-s}{\Omega} \cdot \frac{I}{U}, \quad (9)$$

bu yerda s – sirpanish, Ω – burchak tezlik, I – tok, U – kuchlanish.

Kondensator sigʻimi tanlanayotganda, salt yurish va yuklama rejimlarida barqaror mikroGES sharoitida asinxron generatorni samarali ishlatish uchun zarur boʻlgan fizik va matematik asoslar yoritildi, reaktiv quvvatni boshqarish vositasi sifatida kondensator sigʻimini optimal tanlash mezonlari ishlab chiqildi. Bu esa mikroGESlarda energiya ishlab chiqarishning barqarorligini taʼminlashda muhim ilmiy va amaliy natijadir.

Dissertatsiyaning **“MikroGESlarda qoʻllaniluvchi asinxron generatorini modellashtirish”** deb nomlangan uchinchi bobida mikroGES tarkibida ishlovchi qisqa tutashgan rotorli asinxron generatorning statik ish rejimlari, elektromagnit moment hosil boʻlishi va kuchlanish barqarorligini taʼminlovchi reaktiv quvvat boshqaruvi masalalari keng qamrovli tahlil qilinadi.

Asinxron generatorning stator poʻlat oʻzagidagi magnit toʻyinish holati tahlil qilindi. Magnit induksiya va magnit maydon kuchlanganligi oʻrtasidagi nochiziq bogʻliqlik fizik-matematik model orqali ifodalandi va magnit toʻyinish generatorning ishlash parametrlariga taʼsiri oʻrganildi.

MikroGESlarda ishlovchi asinxron generatorning statik ish rejimlarini modellashtirish uchun Park–Gorev koordinatalar tizimiga asoslangan differensial tenglamalar tizimi tuzildi. Modellariga kondensator sigʻimlari va magnit toʻyinish koeffitsiyenti qoʻshilib, oʻz-oʻzidan uygʻonish va kuchlanish stabilligini tahlil qilish imkoniyati yaratildi. MATLAB dasturida tuzilgan modellar tajriba natijalari bilan taqqoslandi, farq <5% boʻlib, modelning yuqori adekvatligi isbotlandi.

$$i_{cd} = C \frac{du_{sd}}{dt} \quad i_{cq} = C \frac{du_{sq}}{dt}, \quad (10)$$

bu yerda i_{cd} , i_{cq} - kondensator toklari (d - q koordinatalar tizimida); C -qoʻzgʻatuvchi kondensator sigʻimi (mikrofaradlarda); u_{sd} , u_{sq} - statorning Park-Gorev tizimidagi kuchlanishlari.

Kondensatorlarni hisobga olgan holda stator kuchlanish tenglamalari quyidagicha o'zgaradi:

$$u_{sd} = R_s i_{sd} + \frac{d\psi_{sd}}{dt} - \omega_s \psi_{sq} + R_C i_{cd} \quad u_{sq} = R_s i_{sq} + \frac{d\psi_{sq}}{dt} + \omega_s \psi_{sd} + R_C i_{cq}, \quad (11)$$

bu yerda qo'shimcha $R_C i_{cd}$ va $R_C i_{cq}$ kiritildi, bu esa kondensatorning ta'sirini hisobga oladi.

Rotor tenglamalari o'zgarmaydi, chunki kondensatorlar faqat stator fazalariga ulanadi:

$$0 = R_r i_{rd} + \frac{d\psi_{rd}}{dt} - \omega_r \psi_{rq} \quad 0 = R_r i_{rq} + \frac{d\psi_{rq}}{dt} + \omega_r \psi_{rd}. \quad (12)$$

Lekin stator kuchlanishlarining o'zgarishi rotor oqimlariga bilvosita ta'sir qiladi.

Kondensatorlarni hisobga olgan oqim bog'lanishlari tenglamalari

Kondensatorlar stator fazalariga ulanadi, shuning uchun oqim bog'lanishlari quyidagicha o'zgaradi:

$$\begin{aligned} \psi_{sd} &= (L_s i_{sd} + L_m i_{rd}) + \psi_{cd} \\ \psi_{sq} &= (L_s i_{sq} + L_m i_{rq}) + \psi_{cq} \\ \psi_{rd} &= (L_m i_{sd} + L_r i_{rd}) \\ \psi_{rq} &= (L_m i_{sq} + L_r i_{rq}), \end{aligned} \quad (13)$$

bu yerda ψ_{sd}, ψ_{sq} - Stator o'qi bo'yicha magnit bog'lanish oqimlari, mos ravishda d va q o'qlarda; ψ_{rd}, ψ_{rq} - Rotor o'qi bo'yicha magnit bog'lanish oqimlari, mos ravishda d va q-o'qlarda.

Kondensatorni hisobga olgan elektromagnit moment tenglamasi.

Elektromagnit moment hosil bo'lishida kondensatorlar bilvosita ta'sir qiladi, chunki ular stator oqimlarini o'zgartiradi. Elektromagnit moment:

$$M_e = \frac{3p}{2} [(\psi_{sd} i_{sq} - \psi_{sq} i_{sd}) + (\psi_{cd} i_{cq} - \psi_{cq} i_{cd})], \quad (14)$$

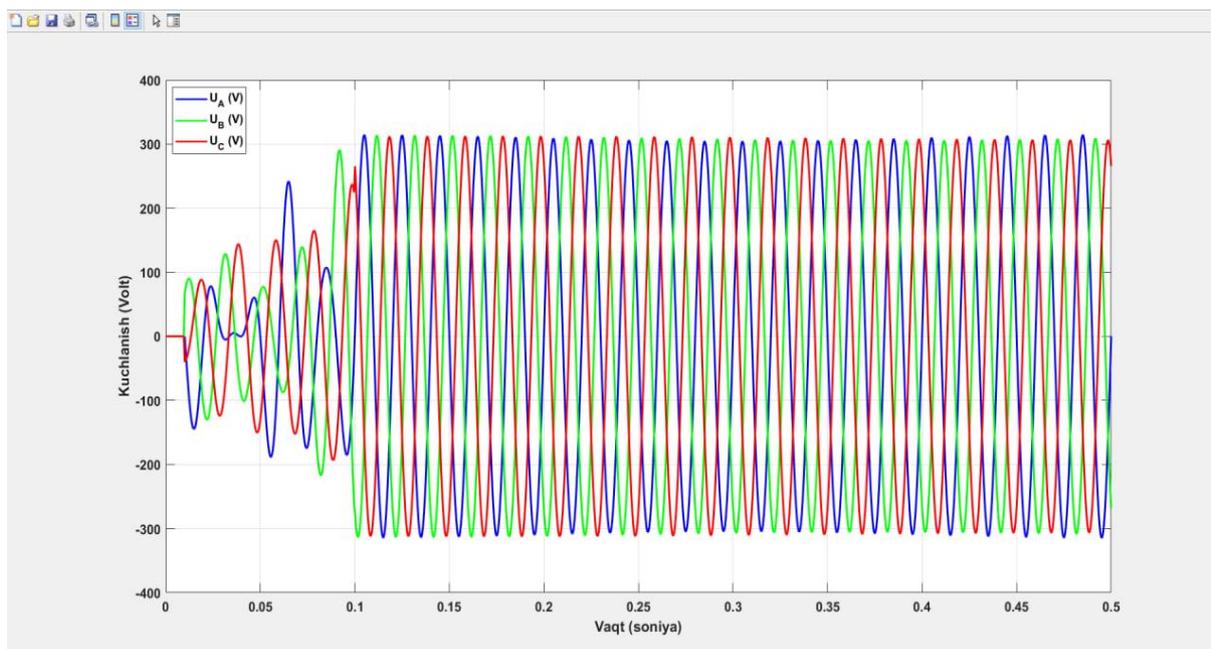
bu yerda $\psi_{cd} = C u_{sd}$ va $\psi_{cq} = C u_{sq}$ - kondensator oqim bog'lanishlari, $i_{cd} = C \frac{du_{sd}}{dt}$, $i_{cq} = C \frac{du_{sq}}{dt}$ - kondensator toklari.

Kondensatorlarni hisobga olgan mexanik harakat tenglamasi

$$J \frac{d\omega_r}{dt} = M_e - M_m, \quad (15)$$

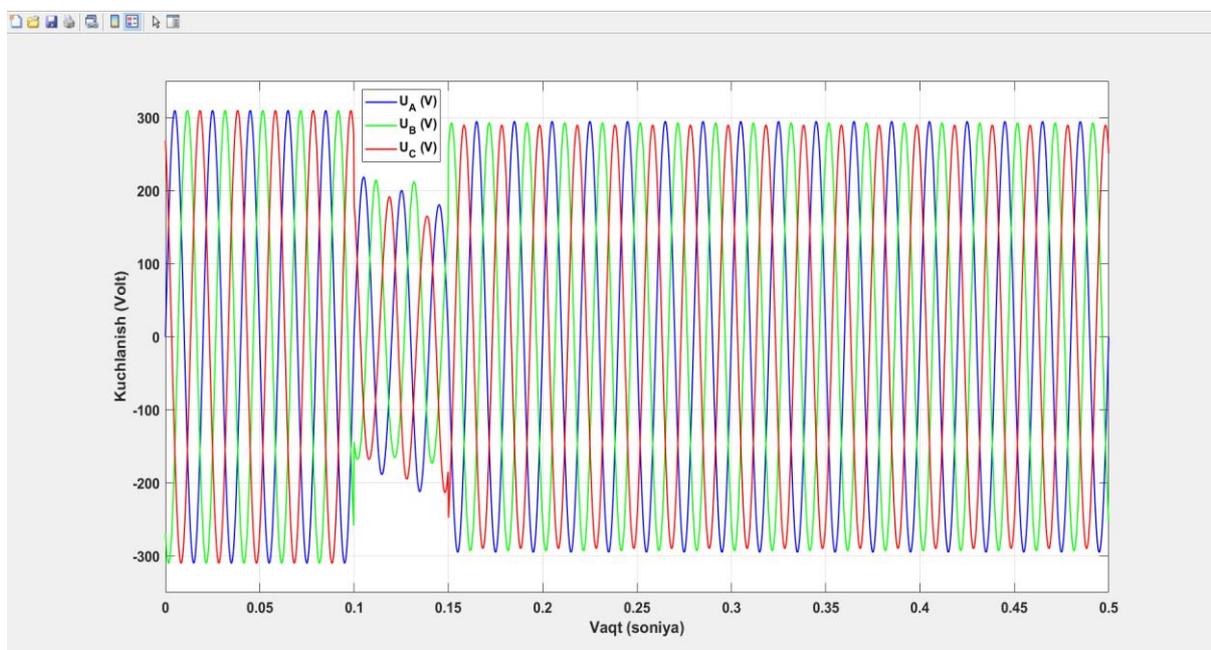
bu yerda $M_e = \frac{3p}{2} (\psi_{cd} i_{cq} - \psi_{cq} i_{cd})$ - kondensatorning ta'siri natijasida hosil bo'ladigan moment. Ushbu model asinxron generatorning statik ish rejimlarini chuqur tahlil qilish imkonini beradi. Park-Gorev tenglamalariga qo'shimcha sifatida kiritilgan kondensatorlar va magnit to'yinishi koeffitsiyenti generatorning o'z-o'zidan uyg'onish jarayoni va elektromagnit moment hosil bo'lishiga qanday ta'sir qilishini aniqlashga imkon beradi.

Yuqoridagi Park-Gorev tenglamalari orqali MATLAB dasturida tuzilgan modellar yordamida qisqa tutashgan rotorli asinxron generatorni yuksiz ishlash va yuklama ish rejimlaridagi uchta fazadagi tok va kuchlanish ossillogramma grafiklari olindi.



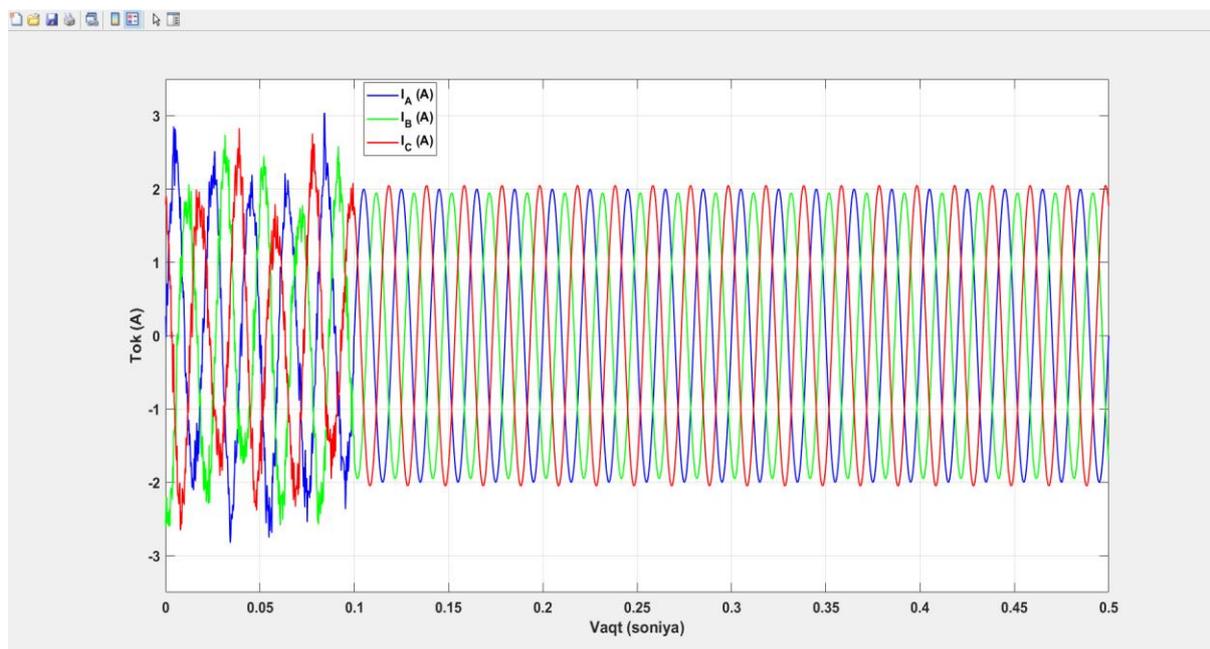
1-rasm. MATLAB dasturi yordamida olingan asinxron generatorning salt ishlash rejimidagi uchta fazadagi kuchlanish ossillogrammasi.

Bu grafikda U_A (ko'k), U_B (yashil) va U_C (qizil) kuchlanishlarning vaqt bo'yicha o'zgarishi ko'rsatilgan. Dastlabki 0.1 soniyagacha bo'lgan oraliqda o'tish jarayonlar kuzatiladi bu generatorning o'z-o'zidan uyg'onish vaqtidir. So'ngra kuchlanishlar sinusoidal shaklga ega bo'ladi, ularning amplitudasi 310 V atrofida bo'lishi va fazalararo 120° siljishi aniq ko'zga tashlanadi.



2-rasm. MATLAB dasturi yordamida olingan asinxron generatorning yuklama ishlash rejimidagi uchta fazadagi kuchlanish ossillogrammasi.

Bu rasmda yuklama ulanayotganida qisqa muddatli o'zgarishlar kuzatiladi (0.1–0.15 s oralig'ida). Biroq 0.15 soniyadan boshlab kuchlanishlar barqarorlashadi va uch fazali sinusoidal shaklda davom etadi. Amplituda 295-298 V oralig'ida, ya'ni salt ishlash ish rejimiga nisbatan biroz past.



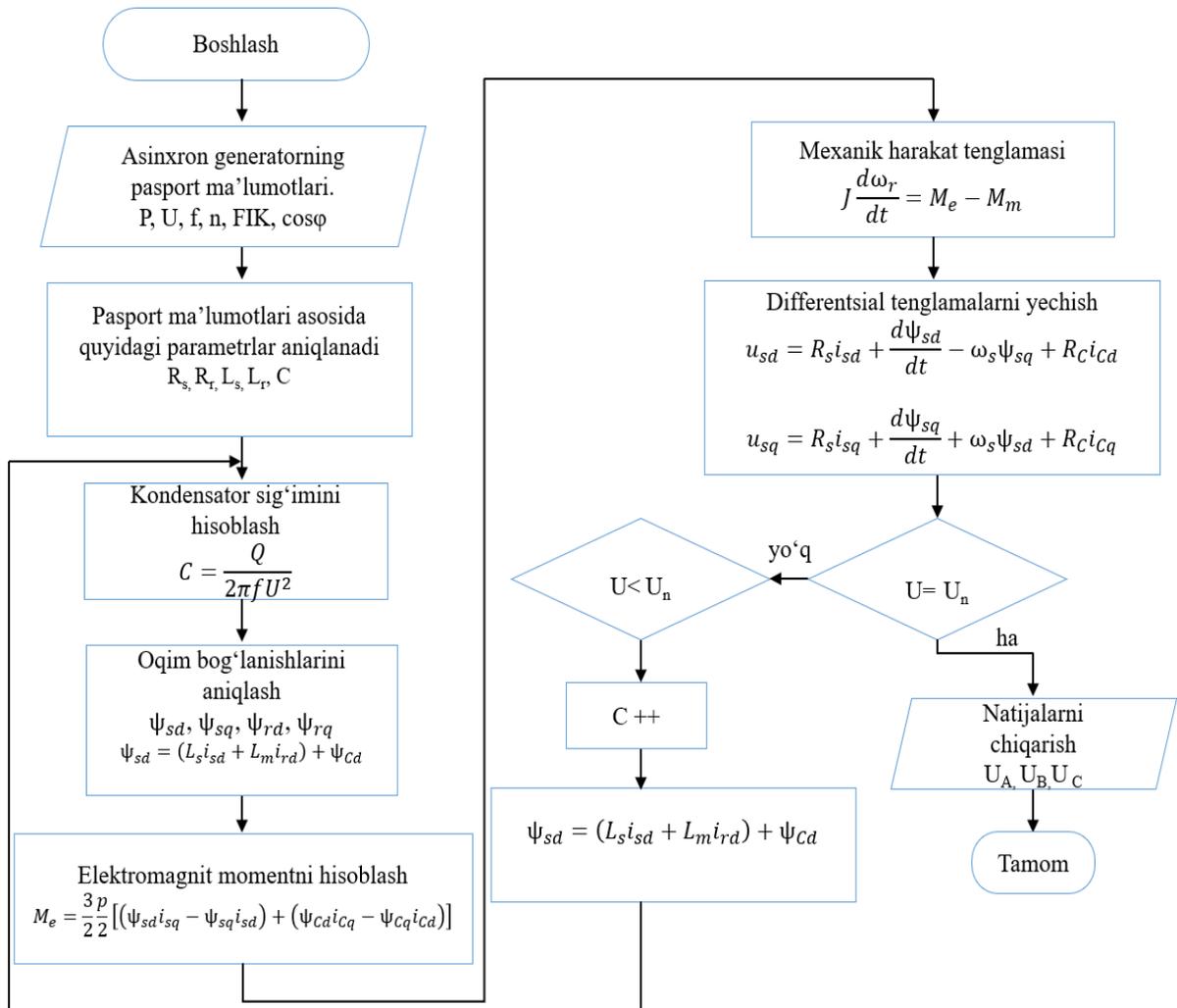
3-rasm. MATLAB dasturi yordamida olingan asinxron generatorning yuklama ishlash rejimidagi uchta fazadagi toklar ossillogrammasi.

Bu yerda I_A , I_B , I_C fazalarning toklari aks ettirilgan. Dastlabki 0.1 soniyagacha toklar juda tartibsiz (bu yuklama ulanishi bosqichi). Biroq keyinchalik sinusoidal toklar hosil bo'ladi.

MikroGES qisqa tutashgan rotorli asinxron generatorini statik ish rejimini matematik ifodalash va chiqish kuchlanishini Park-Gorev tenglamalari orqali hisoblash algoritmi.

Ushbu hisoblash algoritmi avtonom mikroGESlarda qisqa tutashgan rotorli asinxron generatorning statik ish rejimini modellashtirish va elektromagnit momentni hisoblash uchun ishlab chiqilgan bo'lib, unda kondensatorlarning ta'siri hisobga olingan. Hisoblash jarayoni quyidagi ma'lumotlarning kiritilishi bilan boshlanadi. Asinxron generatorning pasport parametrlari: P , U , f , n , FIK , $\cos\phi$.

Kiritilgan pasport ma'lumotlari asosida quyidagi parametrlar aniqlanadi: R_s - stator qarshiligi, R_r - rotor qarshiligi, L_s - stator induktivligi, L_r - rotor induktivligi, L_m - umumiy magnit bog'lovchi induktivlik, C - qo'zg'atuvchi kondensator sig'imi.



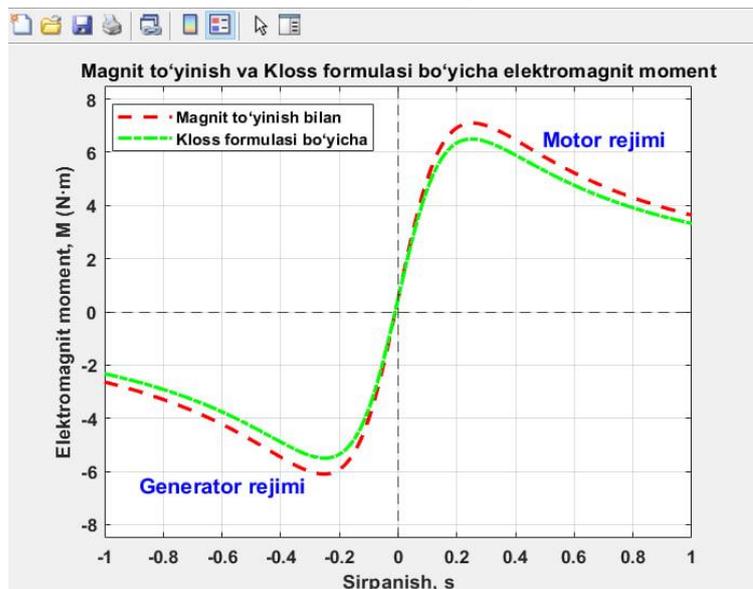
4-rasm. Kondensator sig'imini hisobga olgan holda avtonom mikroGES asinxron generatorining statik ish rejimini modellashtirish hisoblash algoritmi.

Elektromagnit momentni hisoblashning ikki hil yondashuvi taqqoslab tahlil qilindi: klassik model magnit to'yinishni hisobga olgan model, hamda Kloss formulasi. Taklif etilgan modelda elektromagnit quvvat magnit to'yinish koeffitsiyenti orqali aniqlanib, elektromagnit moment quyidagi formula bilan ifodalandi.

$$M = \frac{P_{EM}}{\omega_0} = k_t \frac{3U_s^2 R_r}{(\omega_0 (R_s + R_r)^2 + (\omega_0 L_s L_r)^2)} \quad (16)$$

Bu ifoda asinxron generatorning elektromagnit momentini magnit to'yinishni hisobga olib matematik model sifatida ifodalashga yordam beradi.

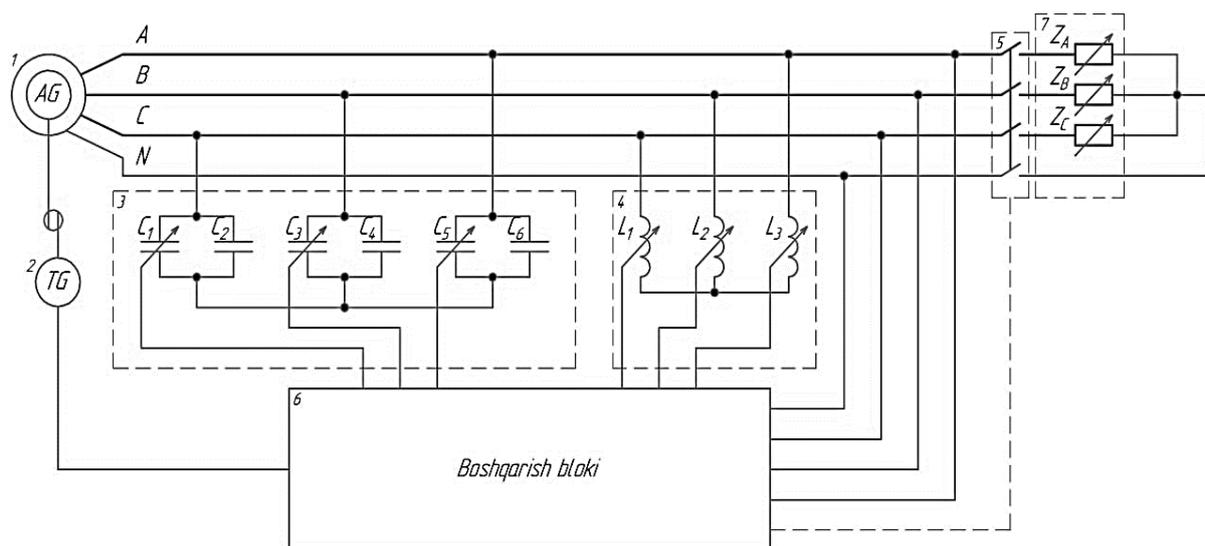
Yuqoridagi elektromagnit moment matematik ifodasi orqali MATLAB dasturi yordamida elektromagnit moment grafiklarini quramiz. Qisqa tutashgan rotorli asinxron generator elektromagnit momentining ikki xil model bo'yicha hisoblangan grafiklari keltirilgan.



5-rasm. Magnit to‘yinganlik hisobga olingan va Kloss tenglamasi bo‘yicha hisoblangan elektromagnit momentlar grafigi.

Tahlil natijalariga ko‘ra, magnit to‘yinganlik hisobga olingan (qizil chiziq) model, Kloss tenglamasi bo‘yicha hisoblangan modelga nisbatan yaxshiroq ekanini ko‘rishimiz mumkin. Magnit to‘yinganlik hisobga olingan klassik model natijalari (qizil chiziq) va Kloss tenglamasi bo‘yicha natijalar (yashil nuqtali chiziq) bir-biridan farq qilishini ko‘rishimiz mumkin. Kloss tenglamasi maksimal moment qiymatini tajribaviy ma‘lumotlarga mos ravishda ifodalashga mo‘ljallangan bo‘lib, unda magnit to‘yinganlik hisobga olinmaganligi sababli, bu natijalar an‘anaviy model bilan yaqin chiqadi.

Avtonom mikroGES tarkibida elektromagnit kuchlanishni barqarorlashtirishga xizmat qiluvchi reaktiv quvvatni kompensatsiyalovchi, boshqaruv sxemasi.



6-rasm. Avtonom mikroGES tarkibidagi AG chiqishida kuchlanishni barqarorlashtirishga xizmat qiluvchi reaktiv quvvatni boshqarish sxemasi.

1-asinxron generator (AG), 2-taxogenerator (TG), 3-o‘zgaruvchan va o‘zgarmas sig‘imli kondensatorlar (C_1-C_6), 4-induktiv elementlar (L_1-L_3), 5-uch fazali uzgich, 6-boshqarish bloki, 7 – yuklamalar (Z_A, Z_B, Z_C).

Bunday kombinatsiyalangan boshqaruv usuli sxemadagi kondensatorlar va induktiv elementlar orqali rezonans chastotasini nazorat qilish, faza muvozanatini saqlash va reaktiv quvvatni optimallashtirish imkonini beradi. Eng muhim jihati shundaki, bu yechim yordamida asinxron generatorning chiqish kuchlanishi amplitudasining yuklamaga va aylanish tezligiga nisbatan barqaror saqlanishi ta‘minlanadi. Natijada, mikroGESdan olinadigan elektr energiyasining sifat ko‘rsatkichlari yaxshilanadi va tizimning umumiy samaradorligi oshadi.

Dissertatsiyaning “**MikroGES asinxron generatorida o‘tkazilgan amaliy tajribalar**” deb nomlangan to‘rtinchi bobida mikroGES tarkibidagi qisqa tutashgan rotorli asinxron generatorning real sharoitdagi ish rejimlari laboratoriya va amaliy sinovlar asosida o‘rganilgan. 4A80A6Y3 markadagi generator va kovshli gidroturbina asosida ishlab chiqilgan sinov qurilmasining texnik tavsiflari aniqlanib, ular o‘rtasidagi mexanik muvofiqlik konstruktiv jihatdan asoslab berildi. Generatorning avtonom ishlashi uchun kondensatorlar orqali qo‘zg‘atish tizimi shakllantirilib, elektromagnit va mexanik yo‘qotishlar hisobga olingan holda samarali rejimga erishildi.

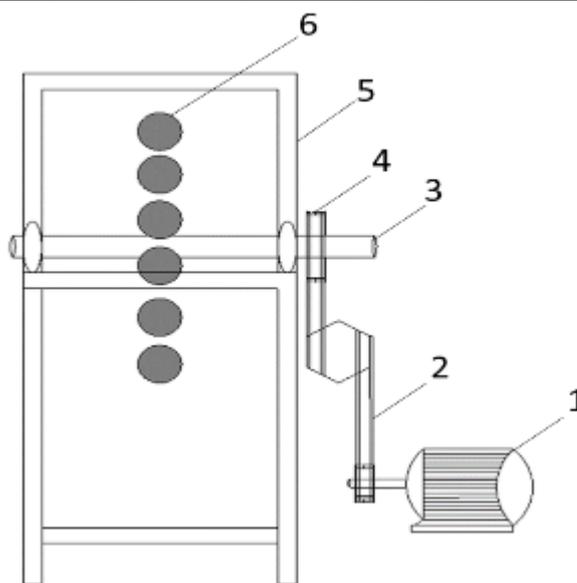
Tadqiqot olib borilayotgan asinxron generator sifatida 4A80A6Y3 markadagi qisqa tutashgan rotorli asinxron generator tanlab olingan bo‘lib, uning texnik ko‘rsatkichlari quyidagi 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval

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

7-rasm. Taklif etilayotgan mikroGES sinov tajriba qurilmasining konstruktiv chizmasi. 1-asinxron generator, 2- uzatma tasmasi, 3-kovshlarni ushlab turuvchi val, 4-uzatma shkivi, 5-korpus, 6- kovshlar.

Mazkur tajriba qurilmasi uchun zarur bo‘lgan elementlar va texnologik komponentlar tanlab olinib, tajriba o‘tkazishga tayyor holatga keltirilgan. MikroGESning konstruktiv bazasi tayanch platformaga o‘rnatilgan bo‘lib, uning tashqi qismi metall tunuka bilan qoplangan. Gidravlik energiyani mexanik energiyaga aylantiruvchi kovushli gidroturbina ushbu tayanch asosga mustahkam biriktirilgan. Gidroturbina valga ulanib, hosil bo‘ladigan aylanish momenti uzatma elementlari,



lentalar va shkiplar orqali asinxron generatorga yetkaziladi. Shu yo‘l bilan generatorni aylantirish uchun zarur bo‘lgan mexanik energiya shakllanadi.

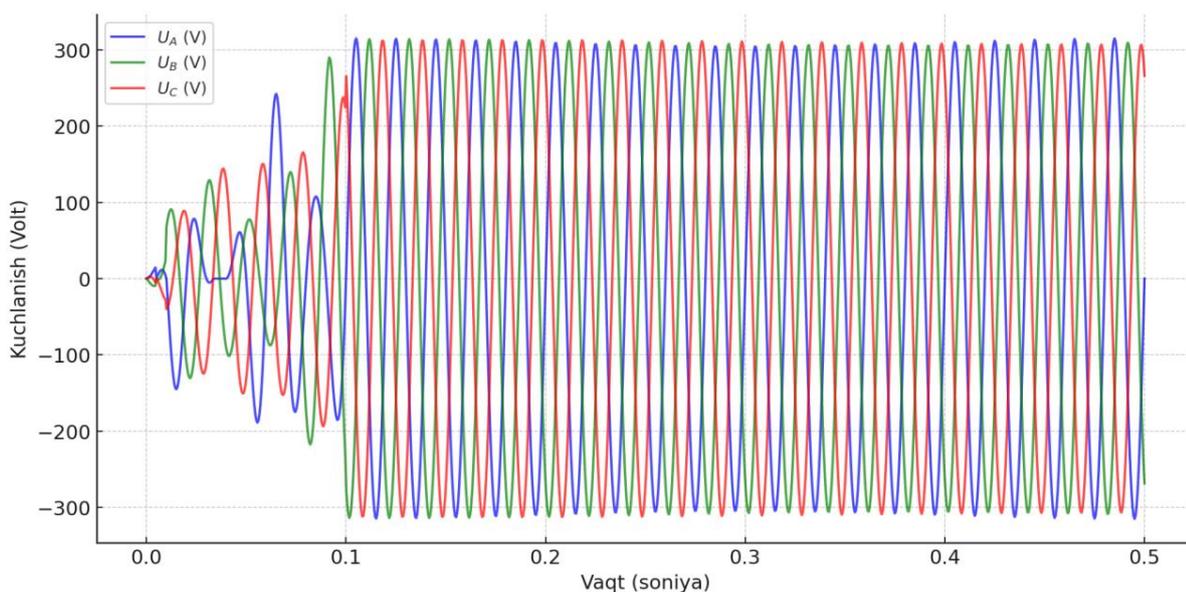


8-rasm. Avtonom mikroGES yordamida tajriba-sinov o‘tkazish jarayoni.

Avtonom kovshli mikroGESlarda qo‘llaniluvchi asinxron generatorning ko‘rinishi 8-rasmda keltirilgan bo‘lib ushbu tajriba-sinov qurilmasi yordamida ishlab chiqarilayotgan elektr energiyani statik ish rejimlarida yuzaga keluvchi holatlar bo‘yicha tajribalar olib borildi ushbu tajribalar asosida quyidagi xarakteristikalar olingan. Ishlab chiqarilayotgan elektr energiyasini holat xarakteristikalarini CASSY Lab 2 dasturi yordamida tahlil qilingan.

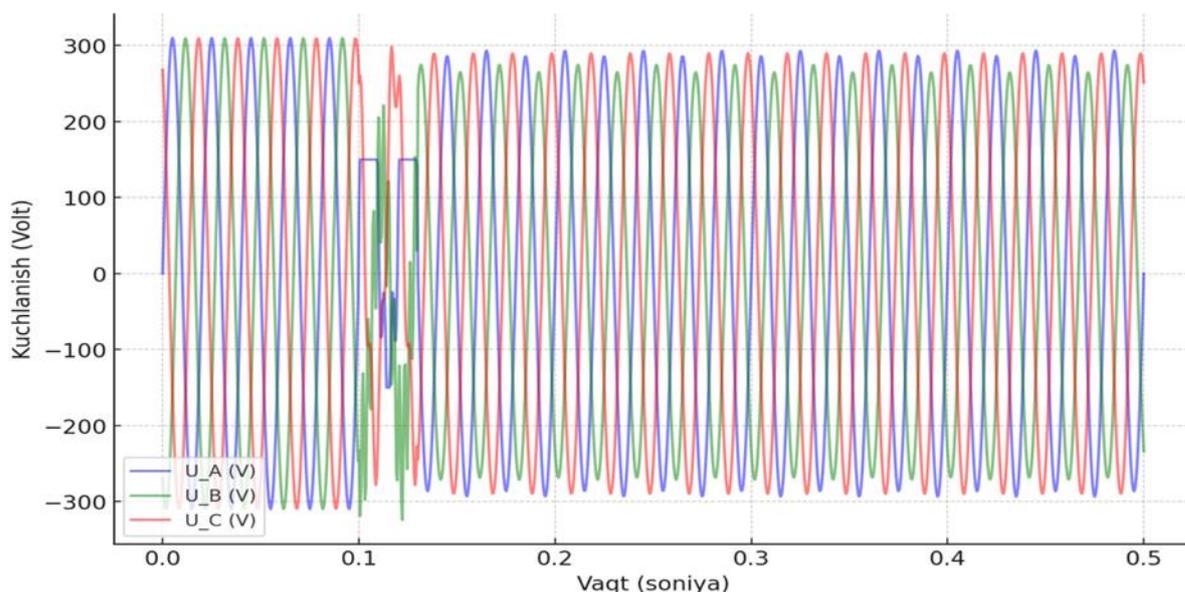
MikroGESlarda qo‘llaniluvchi asinxron generatorining nominal yuklama bilan ishga tushish vaqtidagi chiqish kuchlanishini fizik modeli natijaviy xarakteristikalari keltirilganligini quyidagi rasmlarda ko‘rishimiz mumkin.

Asinxron generatorning statik rejimi ostida u barqaror ishlayotgan, ya‘ni yuklamaning o‘zgarishi minimal bo‘lgan holat tushuniladi. Ushbu rejimda generator chiqish kuchlanishi va stator toki deyarli doimiy qiymatga ega bo‘lib, vaqt bo‘yicha faqat kichik tebranishlar kuzatiladi.



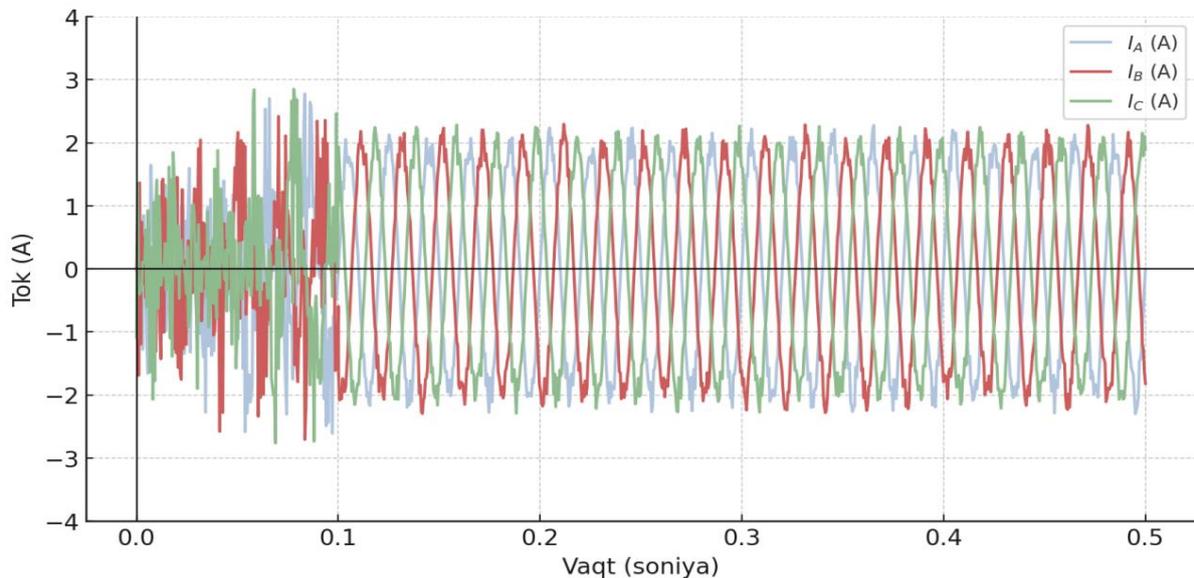
9-rasm. Avtonom mikroGESlarda qo‘llaniluvchi asinxron generatorining yuklamasiz ish rejimidagi stator fazalaridagi kuchlanish ossillogrammasi.

Quyidagi grafikda asinxron generatorning uchta fazadagi (A, B, va C fazalar) kuchlanishlarining vaqt bo'yicha o'zgarishi keltirilgan. Grafik generatorning salt ishlash rejimida olingan natijalarni aks ettiradi. Grafikda ko'rsatilganidek, barcha uch fazaning kuchlanishlari sinusoidal shaklga ega va ular bir-biridan 120° faza burchak bilan siljigan holda joylashgan. Bu holat uch fazali asinxron generator uchun normal hisoblanadi.



10-rasm. Avtonom mikroGESlarda qo'llaniluvchi asinxron generatorning yuklama ish rejimidagi stator fazalaridagi kuchlanish ossillogrammasi.

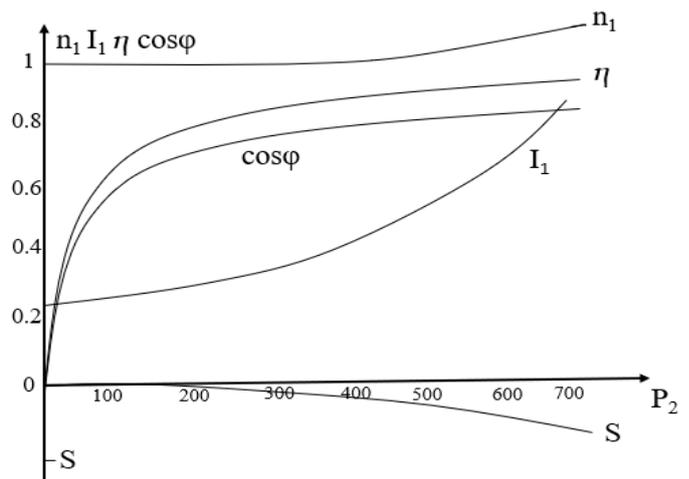
Quyidagi 10-rasmdagi grafikda asinxron generatorning yuklama rejimidagi uch fazali kuchlanishlarining vaqt bo'yicha o'zgarishini aks ettiradi. Grafik generator ish rejimining o'tish jarayonlari va barqaror holatga kelish davrini vizual tahlil qilish imkonini beradi. Ossillogrammaning 0.0 - 0.01 soniya oralig'ida generator yuklamasiz ishlayotganligi tufayli kuchlanishlarning o'zgarishsiz qolganini ko'rishimiz mumkin. Grafikning 0.1 - 0.13 soniya oralig'ida kuchlanishlarda sezilarli darajada o'tish jarayoni kuzatiladi. Bu holat generator yuklamaga moslashayotgan vaqtda yuzaga keladi. Dastlabki tebranishlar yuklamaning o'rnatilishi natijasida kuchlanishlarning barqaror sinusoidal shaklga kelguniga qadar sodir bo'ladi. 0.1 soniyadan keyin uch fazali kuchlanishlar barqaror sinusoidal shaklni egallaydi. Bu generatorning yuklama bilan ishlash sharoitlariga moslashib, optimal rejimda ishlay boshlaganini ko'rsatadi. Fazalar orasida 120° faza burchak farqi mavjud bo'lib, bu uch fazali tizimning xususiyatlariga mos keladi. Kuchlanishlarning amplitudalari o'xshash (300 Volt), bu esa generatorning uch fazali balanslangan yuklama ostida ishlayotganligini bildiradi. Grafik asinxron generatorning yuklama rejimida uch fazali kuchlanishlarning vaqt bo'yicha xatti-harakatini ko'rsatadi. Grafik yordamida generatorning yuklama bilan ishlashdagi o'tish jarayonlari va barqaror rejimdagi ish holatlari aniq kuzatiladi. Bu esa generatorning elektromagnit jarayonlarini optimallashtirish va ish barqarorligini ta'minlash bo'yicha amaliy xulosalar chiqarishga xizmat qiladi. Quyidagi grafik asinxron generatorning yuklama ish rejimidagi uch fazali toklarining vaqt bo'yicha o'zgarishini aks ettiradi.



11-rasm. Avtonom mikroGESlarda qo‘llaniluvchi asinxron generatorning yuklama ish rejimidagi stator fazalaridagi toklarning ossillogrammasi.

Ushbu grafik generatorning o‘tish jarayonlari va barqaror holatdagi ishlashini tahlil qilish imkonini beradi. Grafikning 0-0.1 soniya oralig‘ida uch fazali toklar kuchli o‘tish jarayonlarini ko‘rishimiz mumkin. Bu holat generator yuklama rejimiga moslashayotgan vaqtda yuzaga keladi. Toklarning amplitudalari va shakllarida katta o‘zgarishlar kuzatiladi, bu esa yuklama kiritilishining elektromagnit jarayonlarga bo‘lgan ta’siridan dalolat beradi. 0.1 soniyadan keyin toklar sinusoidal shaklga yaqinlashadi va amplitudalari nisbatan barqaror qiymatga ega bo‘ladi.

MikroGESlarda qo‘llaniluvchi asinxron generatorning ishchi xarakteristikasi. Asinxron generatorning ishchi xarakteristikasi uning turli yuklanish sharoitlarida ishlash samaradorligini baholash uchun muhim ko‘rsatkich hisoblanadi. Ishchi xarakteristika generatorning moment, tezlik, chiqish quvvati va kuchlanish kabi parametrlari o‘rtasidagi bog‘liqlikni aniqlash imkonini beradi. Bu bog‘liqliklar generatorning energiya ishlab chiqarish jarayonidagi texnik va mexanik holatini o‘rganish uchun zarurdir. Avtonom ishlaydigan asinxron generatorning yuklamaga bog‘liq ishlash holatini baholashda asosiy texnik ko‘rsatkichlarning yuk quvvatiga nisbatan o‘zgarishi muhim rol o‘ynaydi. Yuqorida keltirilgan grafik (12-rasm) asinxron mashinaning kuchlanish berilgan holda turli yuklamalar ostida qanday tarzda ishlashini aniqlab beradi. 12-rasmda asinxron generatorning quyidagi xarakteristikalari



12-rasm. Avtonom mikroGESlarda qo‘llaniluvchi asinxron Generatorning ishchi xarakteristikasi.

yuklama quvvati P_2 ga nisbatan, sinxron aylanish tezligi n_1 , tarmoq toki I_1 , foydali ish koeffitsiyenti η , quvvat koeffitsiyenti $\cos\varphi$, rotor sirpanishi S .

MikroGES asinxron generatorlarini kondensator elementlari orqali qo'zg'atish va asinxron generatorni statik ish rejimlarini modellashtirish bo'yicha ilmiy-tadqiqot ishlarining natijalari asosida "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 qisqa tutashgan rotorli asinxron generatorning statik ish rejimlaridagi chiqish kuchlanishini yaxshilash usullari joriy etilgan ("O'zbekiston fermer, dehqon xo'jaliklari va tomorqa yer egalari" kengashining 2023-yil 28-fevraldagi 01-03-0439-son ma'lumotnomasi olingan). Natijasida avtonom iste'molchilarni mikroGES orqali elektr energiyasi bilan ta'minlash hisobiga 109,350,000.00 so'm iqtisodiy samaradorlikka erishilgan.

XULOSALAR

Ushbu dissertatsiya ishida "MikroGES asinxron generatorning statik ish rejimlarini modelashtirish" mavzusi bo'yicha kompleks ilmiy-amaliy tadqiqotlar olib borildi va quyidagi xulosalar shakllantirildi:

1. Avtonom ishlovchi mikroGES tarkibidagi qisqa tutashgan rotorli asinxron generatorning qo'zg'atish uchun kondensator elementi sig'imini hisobga olish orqali matematik model takomillashtirildi. Taklif etilgan modelda kondensator elementi sig'imini optimal tanlash hisobiga generatorning statik ish rejimlaridagi kuchlanish va tok hisob kitoblarida aniqlikni 5% gacha oshirganligi nazariy va eksperimental jihatdan isbotlandi.

2. Asinxron generatorning elektromagnit momentini hisoblashda magnit to'yinish koeffitsiyentini hisobga olish orqali hisoblash usuli takomillashtirildi ushbu takomillashtirish natijasida elektromagnit momentni grafiklari qurildi, bu grafikda stator va rotor oqimlari bilan bog'liq bog'lanishlar nisbatan yuqori aniqlikda ifodalandi. MATLAB dasturida bajarilgan modellashtirishlar magnit to'yinishni hisobga olish orqali elektromagnit momentni hisob-kitobida 6.3% aniqlik bilan yaxshilanishiga olib kelishini ko'rsatdi.

3. Avtonom mikroGES tarkibidagi asinxron generatorning kondensator va induktiv elementlardan iborat kombinatsiyalangan reaktiv quvvatni kompensatsiyalovchi tizimining sxemasi ishlab chiqildi. Taklif etilgan kombinatsiyalangan LC kuchlanishni rostdash sxemasi real vaqt rejimida har bir fazadagi kuchlanish va reaktiv quvvatni muvozanatlash imkonini berdi.

4. Avtonom mikroGES tarkibida ishlovchi qisqa tutashgan rotorli asinxron generatorning elektromagnit momentini hisoblashning ikkita usuli magnit to'yinish koeffitsiyenti hisobga olish orqali va Kloss usullari asosida elektromagnit momentni aniqlashga mo'ljallangan solishtirma algoritmlar ishlab chiqildi va ularning taqqoslovchi blok sxema algoritmi yaratildi. Hisob kitoblar asosida magnit to'yinishni hisobga olgan model aniqligining yuqori chegarasi 9.84% gacha yuqori bo'lishi isbotlandi.

5. Avtonom mikroGESlarda qo'llaniluvchi kondensator orqali qo'zg'atiluvchi asinxron generatorning statik ish rejimlaridagi chiqish kuchlanishini taklif etilayotgan

boshqaruv sxemasini qo‘llash “O‘zbekiston fermer, dehqon xo‘jaliklari va tomorqa yer egalari kengashi” tasarrufidagi “AGRO PRODSTAR” fermer xo‘jaligida sinovdan o‘tkazildi. Natijada yillik kutilayotgan iqtisodiy samaradorlik 109 350 000 so‘mni tashkil etdi.

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

АНДИЖАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

МАХАМАДЖОНОВ СОДИКЖОН ЙУЛДАШБОЙ УГЛИ

**МОДЕЛИРОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ
АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА МИКРОГЭС**

**05.05.02 – Электротехника. Электроэнергетические станции, системы.
Электротехнические комплексы и установки**

**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 B2025.1. PhD/Т3943.

Диссертация выполнена в Андижанском государственном техническом 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).

Научный руководитель:	Ахмедов Абдурахман Паттахович кандидат ф-м.н., доцент
Официальные оппоненты:	Бедрицкий Иван Михайлович доктор технических наук, профессор Толипов Жамшид Нурбекович PhD, с.н.с.
Ведущая организация:	Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова

Защита диссертации состоится «__» _____ 2025 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 необходимость темы диссертации. В мире при производстве электрической энергии всё более важное значение приобретают возобновляемые источники энергии, особенно использование гидроэнергетических установок на руслах рек. Одновременно возрастает потребность во внедрении новых энерго- и ресурсосберегающих технологий и технических средств. Учитывая, что во многих странах мира в руслах малых рек сосредоточены значительные гидроэнергетические ресурсы, однако их практическое использование остаётся недостаточно изученным, становится очевидной необходимостью эффективного освоения данных источников. В этом контексте рациональное и эффективное использование гидроэнергетических установок и оборудования для выработки электроэнергии на основе имеющихся речных ресурсов приобретает особую актуальность и практическое значение.

Во всём мире ведутся научно-исследовательские работы, направленные на внедрение современных гидротехнических установок для производства электрической энергии с использованием имеющихся гидроэнергетических ресурсов. В условиях ограниченности традиционных источников энергии, изменений климата и нарастающих экологических проблем, использование возобновляемых источников энергии становится актуальной задачей глобального масштаба. Среди технологий возобновляемой энергетики особое место занимают гидроэлектростанции малой мощности (микроГЭС). МикроГЭС обеспечивают выработку электрической энергии за счёт использования малых водных потоков. Их низкая стоимость, экологическая чистота и долговечность делают такие установки конкурентоспособными среди других возобновляемых источников энергии. В связи с этим микроГЭС находят широкое применение во многих странах мира, в особенности в горных и удалённых районах. При этом особое внимание уделяется исследованию статических рабочих режимов асинхронных генераторов, определяющих эффективность работы микроГЭС.

В Республике Узбекистан наряду с системными мерами, направленными на обеспечение стабильности электроснабжения, активно реализуются комплексные мероприятия по внедрению и использованию маломощных гидроэлектростанций, что уже позволило достичь определённых результатов. В Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022–2026 годы, в частности в её 24-й цели, обозначена важная задача — «повысить долю возобновляемых источников энергии до 25% к 2026 году, что позволит ежегодно экономить около 3 миллиардов кубометров природного газа». Для реализации этих задач особое значение приобретает создание и внедрение модернизированных гидротехнических установок, направленных на существенное снижение себестоимости вырабатываемой электроэнергии и повышение энергетической эффективности производства.

Настоящая диссертационная работа в определённой степени способствует реализации задач, предусмотренных Указом Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года № PF-60 «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022–2026 годы», Постановлением Президента от 18 мая 2017 года № PQ-2972

«О мерах по организации деятельности акционерного общества „O‘zbekgidroenergo“», Указом Президента от 9 сентября 2022 года № PF-220 «О дополнительных мерах по внедрению энергосберегающих технологий и развитию маломощных возобновляемых источников энергии», а также Постановлением Президента от 16 февраля 2023 года № PQ-57 и другими нормативно-правовыми документами, регулирующими данное направление деятельности.

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

Степень изученности проблемы. Научные исследования Производство электроэнергии с использованием асинхронного генератора в микроГЭС и внедрение таких установок на практике требуют изучения следующих аспектов. В микроГЭС необходимо обеспечить выработку электроэнергии с использованием асинхронных генераторов, возбуждаемых посредством конденсаторных элементов, а также передачу выработанной электроэнергии потребителям. Научные исследования, направленные на запуск асинхронных генераторов, применяемых в микроГЭС, с использованием конденсаторных элементов, а также на рациональное использование возобновляемых и водных энергетических ресурсов с целью обеспечения населения электроэнергией, проводятся ведущими учёными мира. В частности, в данной области внесли вклад такие зарубежные исследователи, как Т. Дж. Хаммонс, Н. Х. Малик, Л. Ван, С.С. Мурти, Р.С. Бансал, Р. Назир, Чонг-Сук Ро, Иво Базельт, А.З.Р. Дженубаев, Б.В. Лукутин, Д.А. Падалко, Г.А. Сийпалов, Л. Симонов, Н.Д. Торощев, Н.И. Соколов, В.А. Пивоваров, Я.А. Ильченко, Ю.Д. Зубков, А.А. Новкунский и других ученых.

Также значительный вклад в данное направление исследований внесли известные учёные нашей страны, такие как Х.Ф. Фозилов, К.Р. Аллаев, П.П. Зимаков, А.Ф. Ан, К.Т. Алимходжаев, Н.Б. Пирматов, О.З. Тоиров, Д.Б. Кадыров, С.Ж. Хайдаров, К.Х. Курбониёзов. Научные исследования в этой области были направлены на оценку возможностей малых и микроГЭС, их эксплуатацию, анализ коэффициента мощности и выработки электроэнергии. Однако, несмотря на достигнутые успехи, вопросы, связанные со стабильностью напряжения в статических режимах работы асинхронных генераторов с конденсаторным возбуждением в микроГЭС, анализом электромагнитного момента при переменной нагрузке, а также моделированием этих процессов, пока недостаточно глубоко изучены.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего учебного заведения, в котором выполнялась диссертация. Данное исследование выполнено в рамках научно-исследовательской работы, проводимой в Андижанском машиностроительном институте, в соответствии с заключенными договорами на проведение энергоаудита в следующих хозяйственных предприятиях: № 2017-19-цементный

завод ООО «SING LIDA», № 2019-19 - молочный завод ООО «EVRO EKFIN», № 2020-19 - АО «Андижанский биохимический завод».

Цель исследования: работа заключается в моделировании статического рабочего режима асинхронного генератора с короткозамкнутым ротором, работающего в составе автономной микроГЭС, и в разработке схемы стабилизации выходного напряжения.

Задачи исследования:

совершенствование математической модели, точно отражающей стационарные режимы работы асинхронного генератора с учетом емкости возбуждающего конденсаторного элемента;

модификация метода расчета электромагнитного момента с учетом влияния коэффициента магнитного насыщения асинхронного генератора;

разработка комбинированной LC-схемы компенсации реактивной мощности для обеспечения стабильности выходного напряжения генератора;

создание алгоритма расчета стационарного режима на основе усовершенствованной модели, а также алгоритма вычисления электромагнитного момента с применением как классической, так и формулы Клосса.

Объектом исследования выбран асинхронный генератор с короткозамкнутым ротором, возбуждаемый через конденсаторные элементы, работающий в составе микроГЭС.

Предметом исследования являются статические режимы работы, характеристики и алгоритмы расчёта асинхронного генератора с короткозамкнутым ротором, функционирующего в составе автономной микроГЭС.

Методы исследований. В исследовательской работе для анализа статических рабочих режимов асинхронного генератора использованы методы математического моделирования, при оценке электромагнитного момента применён аналитический метод расчёта, для учёта магнитного насыщения — параметрический метод анализа, а также алгоритмические методы моделирования на основе уравнений Парка — Горева.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

совершенствована математическая модель статических рабочих режимов асинхронного генератора с короткозамкнутым ротором, работающего в составе автономной микроГЭС, с учётом ёмкости возбуждающего конденсаторного элемента;

усовершенствован метод высокоточного расчёта электромагнитного момента асинхронного генератора микроГЭС за счёт учёта коэффициента магнитного насыщения;

разработана схема комбинированной системы компенсации реактивной мощности, состоящая из конденсаторных и индуктивных элементов, применяемая в составе автономного асинхронного генератора микроГЭС;

разработаны алгоритмы расчёта статического рабочего режима асинхронного генератора на основе математической модели, а также алгоритмы

сопоставления классического и метода Клосса для определения электромагнитного момента.

Практические результаты исследования заключается в следующем:

разработаны математические модели для оценки статических режимов работы асинхронного генератора с короткозамкнутым ротором, функционирующего в составе микроГЭС, и выполнено их цифровое моделирование в программной среде MATLAB;

предложен новый подход к расчёту электромагнитного момента с учётом магнитного насыщения, который обоснован путём сравнения с классической формулой и формулой Клосса;

разработано модельное решение, учитывающее систему возбуждения с конденсаторными элементами, обеспечивающую стабильную работу генератора проведены испытания на реальной экспериментальной установке, результаты моделирования сопоставлены с фактическими измерениями, что подтвердило высокую степень адекватности предложенной модел;

разработана и реализована на аппаратной основе схема фазового управления реактивной мощностью, основанная на комбинированных LC-элементах, для стабилизации выходного напряжения асинхронного генератора;

доказана возможность практического использования разработанных алгоритмов и модели для оценки энергетической эффективности и проектирования установок микроГЭС.

Достоверность результатов исследования Достоверность результатов исследования объясняется тем, что разработанные математические модели и алгоритмы основаны на физических закономерностях, полученные по ним результаты подтверждены цифровым моделированием в среде MATLAB и находятся в согласии с результатами экспериментальных испытаний, проведённых на реальной опытной установке.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научное значение полученных результатов заключается в создании важной теоретической основы для повышения эффективности микроГЭС путём глубокого моделирования статических режимов работы асинхронных генераторов с короткозамкнутым ротором с учётом влияния магнитного насыщения и системы возбуждения на базе конденсаторных элементов. Разработка сравнительных моделей расчёта электромагнитного момента, интеллектуальной схемы управления реактивной мощностью и расчётных алгоритмов представляет собой новый подход в теоретическом изучении асинхронных генераторов.

Практическая значимость результатов исследования Практическая значимость результатов исследования заключается в том, что разработанные модели и алгоритмы управления были протестированы в среде MATLAB и прошли испытания на базе реального экспериментального стенда. Они могут быть непосредственно использованы при проектировании микроГЭС, повышении устойчивости их работы, улучшении качества энергии и автоматизации систем электроснабжения. Предложенные подходы обоснованы своей эффективностью и могут способствовать повышению прикладной

результативности в таких отраслях, как энергетика, машиностроение и цифровые системы управления.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных результатов по моделированию статических рабочих режимов асинхронного генератора микроГЭС:

комбинированная система компенсации реактивной мощности, состоящая из конденсаторных и индуктивных элементов, внедрена в составе автономной микроГЭС на базе асинхронного генератора в фермерском хозяйстве «AGRO PRODSTAR» (справка Совета фермеров, дехканских хозяйств и владельцев приусадебных земель Республики Узбекистан № 01-03-0439 от 28 февраля 2023 г.). В результате удалось обеспечить стабильное поддержание выходного напряжения генератора и снизить падение напряжения, возникающее при изменении нагрузки автономно работающего асинхронного генератора;

гидроэнергетическая система, вырабатывающая электрическую энергию на основе асинхронного генератора с короткозамкнутым ротором, возбуждаемого конденсаторными элементами, внедрена в фермерском хозяйстве «AGRO PRODSTAR» (справка Совета фермеров, дехканских хозяйств и владельцев приусадебных земель Республики Узбекистан № 01-03-0439 от 28 февраля 2023 г.). В результате обеспечения стабилизации выходного напряжения асинхронного генератора в статических режимах работы удалось электроснабжать насосные установки, предназначенные для орошения сельскохозяйственных площадей фермерского хозяйства, что позволило сэкономить 109 350 000 сумов.

Апробация результатов исследования. По основным результатам диссертационного исследования опубликовано всего 10 научных трудов, из них 7 – в материалах международных конференций, в том числе 3 – индексируемых в базе данных Scopus, и 3 – на научно-практических конференциях республиканского уровня.

Публикация результатов исследования. По теме исследования опубликовано всего 22 научных работ, в том числе в журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан 4 в зарубежных, 5 в республиканских изданиях. Получены свидетельства о регистрации 3 программных средств для ЭВМ, выданные Агентством интеллектуальной собственности при Министерстве юстиции Республики Узбекистан, и подана заявка на 1 полезный модель.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 109 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении диссертации обоснованы актуальность и необходимость темы исследования, сформулированы цель и задачи работы, раскрыты объект и предмет исследования, указано соответствие темы приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики. Изложены научная новизна и практические результаты исследования, обоснована научная и практическая достоверность полученных результатов, представлены сведения о внедрении результатов научных исследований в производство, данные об апробации работы, опубликованных трудах, а также сведения о структуре диссертации.

В первой главе диссертации под названием **«Общее представление о современном состоянии микрогидроэлектростанций»** проведён анализ развития микроГЭС в мировом и региональном масштабе. В частности, на основе статистических данных, международных отчётов (IRENA, IHA) и официальных аналитических материалов освещено широкое внедрение малых и микрогидроэлектростанций в таких странах, как Китай, США, государства Европы, Индия, Россия и другие развивающиеся страны. Также представлены современные подходы в технологиях микроГЭС, включая турбину Vortex Micro Hydro Power, низконапорные гидроагрегаты, автоматизированные станции различного диапазона мощности, а также экологические преимущества, такие как сокращение выбросов CO₂, минимальная потребность в земельных ресурсах и эффективное использование энергии воды.

На примере Узбекистана в главе проанализировано повышение значения микрогидроэлектростанций в энергетической политике страны после обретения независимости, а также их роль в стабилизации электроснабжения отдалённых регионов и потенциал (установленная мощность ГЭС, количество рек, возможности по годовому производству электроэнергии). Рассмотрены реальные проекты микроГЭС в Узбекистане — такие как Чирчик, Фархад, Шахрихан, Нижний Бозсу, Туябугуз и станции Андижанской области — с точки зрения их технических параметров, инвестиционной стоимости и показателей выработки энергии, что позволило раскрыть их значимость и перспективы. Также в главе представлены анализ различных турбинных систем, используемых при проектировании микроГЭС, критерии их выбора в зависимости от напора и расхода воды, а также конструктивные решения, применяемые в маловодных каналах.

В результате проведённых исследований установлено, что микроГЭС на основе асинхронных генераторов, особенно пригодные для эксплуатации в отдалённых и горных районах, отличаются экологической чистотой, простотой конструкции и низкими эксплуатационными затратами. Это создаёт важную практическую основу для интеграции данной технологии в национальную энергетическую систему.

Во второй главе диссертации, озаглавленной **«Электрические и механические параметры и статические характеристики установки микроГЭС»**, рассмотрены основные элементы системы — ковшовая гидротурбина и асинхронный генератор с короткозамкнутым ротором, их

взаимосвязанные принципы работы, физические свойства и определение оптимальных параметров. В первую очередь приведены математические модели, описывающие момент, создаваемый гидротурбиной в зависимости от скорости вращения, напора, расхода воды и коэффициента полезного действия. Статические характеристики ковшовой гидротурбины определены при постоянных углах открытия, а соотношения момент–расход воды представлены в графической форме. Обосновано явление снижения момента при увеличении скорости вращения, известное как эффект саморегулирования турбины.

В первом разделе главы проанализированы статические характеристики гидротурбины. Момент, вырабатываемый гидротурбиной, определяется расходом воды Q , напором H , угловой скоростью ω и коэффициентом полезного действия η_T . Используется следующая основная формула:

$$M_T = 9.81 \cdot \frac{QH}{\omega} \cdot \eta_T. \quad (1)$$

В гидравлических системах в связи с трудностью автоматического регулирования активной мощности основными управляющими параметрами выступают элементы, регулирующие поток воды. Рабочие характеристики гидротурбины выражаются с использованием относительных параметров:

$$m = \frac{M}{M_n}, \quad \varpi = \frac{\omega}{\omega_n}, \quad \bar{h} = \frac{H}{H_n}, \quad q = \frac{Q}{Q_n}, \quad (2)$$

где M , M_n - момент турбины и его номинальное значение, Q , Q_n - расход воды через турбину и его номинальное значение, H , H_n - напор в турбине и его номинальное значение, ω_n - номинальная угловая скорость вращения.

Также обобщённый момент гидротурбины определяется следующим образом:

$$M_T = \frac{30}{\pi} \gamma D_1^3 H \frac{Q_1'}{n_1} \eta_T, \quad (3)$$

где D_1 - диаметр рабочего колеса, γ - удельный вес жидкости, η_T - коэффициент полезного действия.

Эффект саморегулирования, наблюдаемый в гидротурбинах, заключается в снижении момента при увеличении скорости вращения. Этот эффект определяется с помощью следующего дифференциального коэффициента:

$$e_T = \frac{dM_T}{dn} \frac{n_H}{M_{TH}}. \quad (4)$$

Данная характеристика является важным фактором стабильной работы микроГЭС и служит основой при разработке автоматических систем управления. Во втором параграфе главы подробно анализируется процесс самовозбуждения асинхронного генератора с короткозамкнутым ротором на физической и математической основе. Электромагнитные колебания асинхронного генератора и процесс самогенерации напряжения описываются следующей формулой:

$$\omega_1(L_{\sigma 1} + L_m) = \frac{1}{\omega_1 C}. \quad (5)$$

Коэффициенты, описывающие затухание или усиление колебаний, определяются следующим образом:

$$\beta = -\frac{R}{2L_1}, \quad \omega_1 = \sqrt{\frac{1}{L_C} - \left(\frac{R}{2L_1}\right)^2}. \quad (6)$$

Когда напряжение генератора, магнитная индукция и вольтамперная

характеристика конденсатора приходят в равновесие, устанавливается стабильный режим работы. При этом необходимо выполнение следующего условия:

$$\alpha_{kr} > \alpha > \alpha_{kz}, \quad (7)$$

где α — угол вольтамперной характеристики относительно оси тока. Эта формула отражает взаимосвязь между следующими реактивными сопротивлениями:

$$X_1 > X_C > X'_1. \quad (8)$$

В третьем параграфе главы рассмотрены условия эксплуатации асинхронного генератора в режиме генератора, особенно вопрос правильного выбора ёмкости конденсатора. Значение ёмкости, необходимое для возбуждения, определяется для режима холостого хода и номинальной нагрузки следующим образом:

$$C_\phi = \frac{I_{sy} \cdot \sin\varphi \cdot 10^6}{w \cdot U_{sy}}, \quad C = \frac{1-s}{\Omega} \cdot \frac{I}{U}, \quad (9)$$

где s - скольжение, Ω - угловая скорость, I - ток, U - напряжение.

При выборе ёмкости конденсатора, теоретически и математически обоснованы необходимые условия для эффективной работы асинхронного генератора в стабильных условиях микроГЭС как в режиме холостого хода, так и при нагрузке. Разработаны критерии оптимального выбора ёмкости конденсатора как средства управления реактивной мощностью. Это является важным научным и практическим результатом для обеспечения стабильности производства энергии в микроГЭС.

В третьей главе диссертации, озаглавленной **«Моделирование асинхронного генератора, применяемого в автономных микроГЭС»** рассматриваются статические режимы работы асинхронного генератора с короткозамкнутым ротором, формирование электромагнитного момента и вопросы управления реактивной мощностью, обеспечивающие стабильность напряжения. Был проведён анализ состояния магнитного насыщения в стальной сердцевине статора асинхронного генератора. Нелинейная зависимость между магнитной индукцией и напряжённостью магнитного поля была выражена через физико-математическую модель, и исследовано влияние магнитного насыщения на рабочие параметры генератора.

Для моделирования статических режимов работы асинхронного генератора в микроГЭС была создана система дифференциальных уравнений, основанная на координатной системе Парка–Горева. В модели были учтены ёмкости конденсаторов и коэффициент магнитного насыщения, что позволило провести анализ самовозбуждения и стабильности напряжения. Модели, созданные в среде MATLAB, были сопоставлены с результатами эксперимента, разница составила менее 4%, что подтвердило высокую адекватность модели.

$$i_{cd} = C \frac{du_{sd}}{dt} \quad i_{cq} = C \frac{du_{sq}}{dt}, \quad (10)$$

где i_{cd} , i_{cq} - токи конденсаторов в системе координат d-q, C - ёмкость возбуждающего конденсатора, u_{sd} , u_{sq} - напряжения статора в системе Парка–Горева.

С учётом конденсаторов уравнения для напряжений статора изменяются

следующим образом:

$$u_{sd} = R_s i_{sd} + \frac{d\psi_{sd}}{dt} - \omega_s \psi_{sq} + R_C i_{Cd}, \quad u_{sq} = R_s i_{sq} + \frac{d\psi_{sq}}{dt} + \omega_s \psi_{sd} + R_C i_{Cq}, \quad (11)$$

где добавлены $R_C i_{Cd}$ и $R_C i_{Cq}$ что учитывает влияние конденсаторов.

Уравнения для ротора не изменяются, поскольку конденсаторы подключаются только к фазам статора:

$$0 = R_r i_{rd} + \frac{d\psi_{rd}}{dt} - \omega_r \psi_{rq}, \quad 0 = R_r i_{rq} + \frac{d\psi_{rq}}{dt} + \omega_r \psi_{rd}. \quad (12)$$

Однако изменение напряжений статора непосредственно влияет на потоки ротора.

Конденсаторы подключаются к фазам статора, поэтому связи токов изменяются следующим образом:

$$\begin{aligned} \psi_{sd} &= (L_s i_{sd} + L_m i_{rd}) + \psi_{Cd} \\ \psi_{sq} &= (L_s i_{sq} + L_m i_{rq}) + \psi_{Cq} \\ \psi_{rd} &= (L_m i_{sd} + L_r i_{rd}) \\ \psi_{rq} &= (L_m i_{sq} + L_r i_{rq}), \end{aligned} \quad (13)$$

где ψ_{sd}, ψ_{sq} - магнитные потоки связывания по осям статора, соответственно по осям d и q, ψ_{rd}, ψ_{rq} - магнитные потоки связывания по осям ротора, соответственно по осям d и q.

Уравнение электромагнитного момента с учётом конденсаторов. Конденсаторы оказывают косвенное влияние на формирование электромагнитного момента, так как они изменяют потоки статора. Электромагнитный момент:

$$M_e = \frac{3p}{2} [(\psi_{sd} i_{sq} - \psi_{sq} i_{sd}) + (\psi_{Cd} i_{Cq} - \psi_{Cq} i_{Cd})], \quad (14)$$

где $\psi_{Cd} = C u_{sd}$ и $\psi_{Cq} = C u_{sq}$ - токи конденсаторов связывания, $i_{Cd} = C \frac{du_{sd}}{dt}$, $i_{Cq} = C \frac{du_{sq}}{dt}$ - токи конденсаторов.

Уравнение механического движения с учётом конденсаторов.

$$J \frac{d\omega_r}{dt} = M_e - M_m, \quad (15)$$

где $M_e = \frac{3p}{2} (\psi_{Cd} i_{Cq} - \psi_{Cq} i_{Cd})$ - момент, возникающий в результате воздействия конденсатора.

Эта модель позволяет глубоко анализировать статические режимы работы асинхронного генератора. Дополнения к уравнениям Парка-Горева, включающие конденсаторы и коэффициент магнитного насыщения, позволяют определить, как они влияют на процесс самовозбуждения генератора и формирование электромагнитного момента.

С помощью моделей, созданных в среде MATLAB на основе вышеупомянутых уравнений Парка-Горева, были получены осциллограммы тока и напряжения в трёх фазах асинхронного генератора с короткозамкнутым ротором при безнагрузочном и нагрузочном режимах работы.

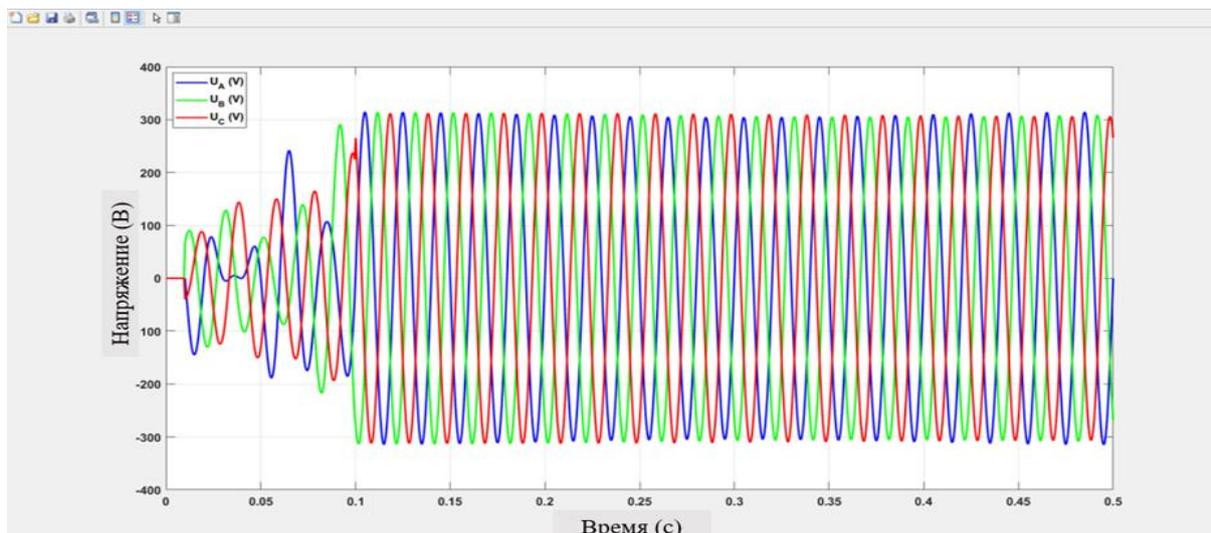


Рис. 1. Осциллограмма напряжения в трёх фазах асинхронного генератора в режиме холостого хода, полученная с помощью программы MATLAB.

На графике показано изменение напряжений U_A (синий), U_B (зелёный) и U_C (красный) по времени. В интервале до 0.1 секунды наблюдается процесс перехода, что является временем самовозбуждения конденсаторов. Затем напряжения приобретают синусоидальную форму, амплитуда которых составляет около 310 В, и сдвиг фаз между ними на 120° хорошо заметен.

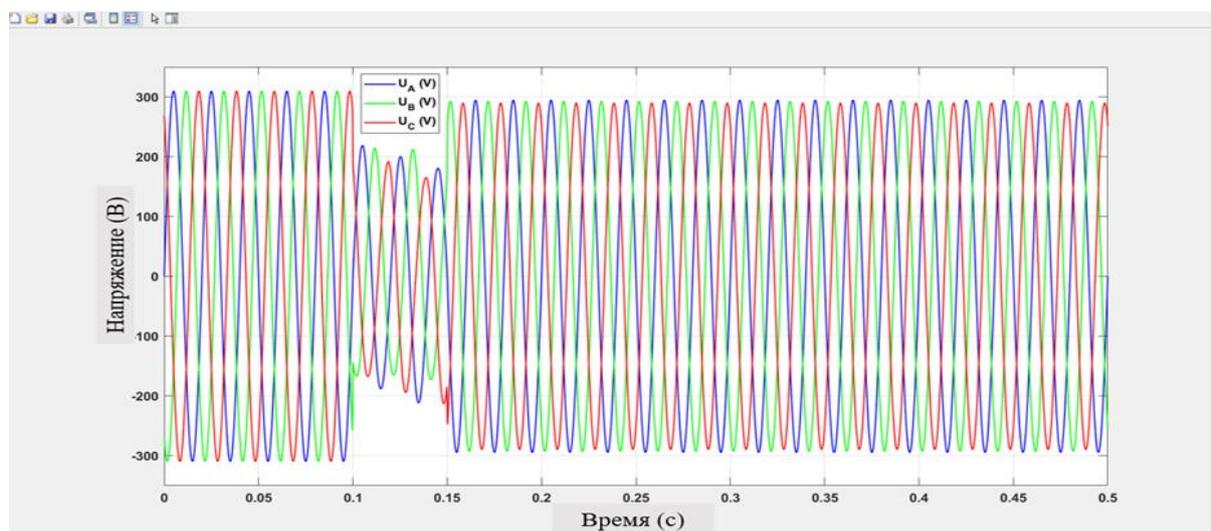


Рис. 2. Осциллограмма напряжения в трёх фазах асинхронного генератора в режиме с нагрузкой, полученная с помощью программы MATLAB.

На этом графике при подключении нагрузки наблюдаются кратковременные изменения (примерно в интервале 0.1–0.15 с). Однако начиная с 0.15 секунды напряжения стабилизируются и продолжают свою синусоидальную форму с амплитудой в диапазоне от 295 до 298 В, что немного ниже по сравнению с режимом холостого хода.

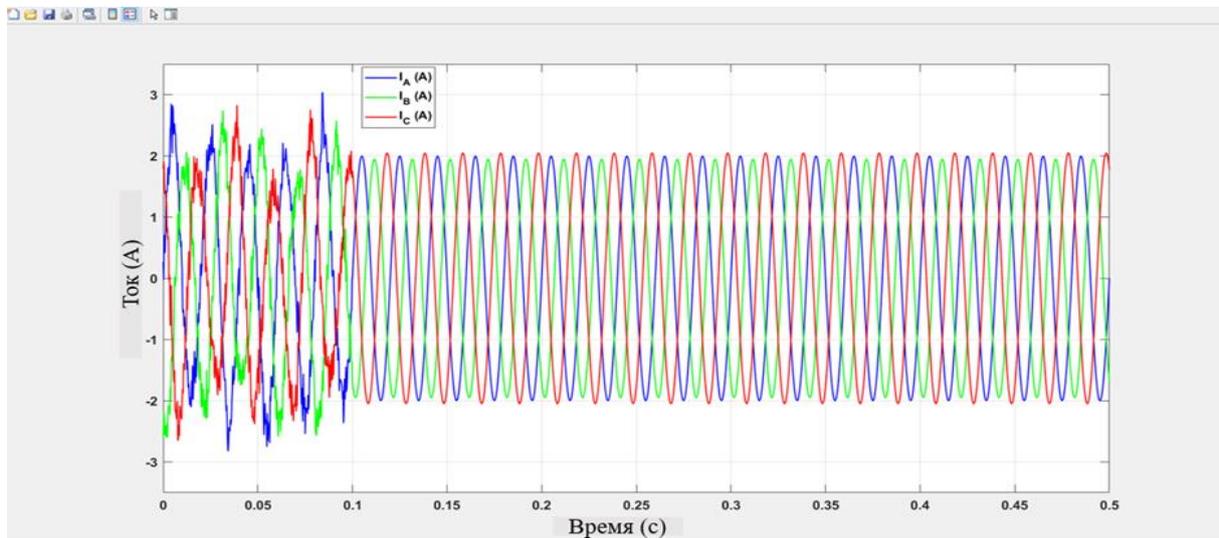


Рис. 3. Осциллограмма токов в трёх фазах асинхронного генератора в режиме с нагрузкой, полученная с помощью программы MATLAB.

Здесь представлены токи фаз I_A , I_B , I_C В интервале до 0.1 секунды токи очень нерегулярны (это фаза подключения нагрузки). Однако затем образуются синусоидальные токи.

Математическое выражение статического режима работы микроГЭС с асинхронным генератором с короткозамкнутым ротором и алгоритм расчёта выходного напряжения через уравнения Парка–Горева.

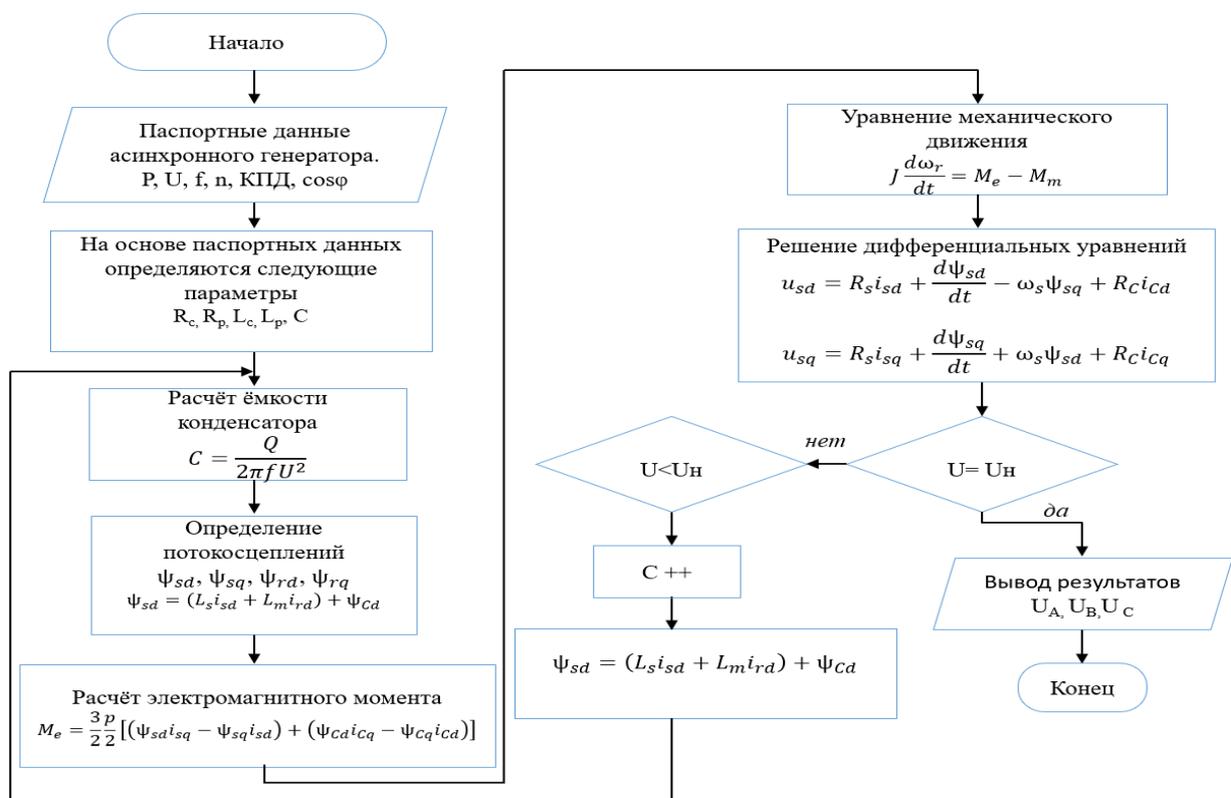


Рис. 4. Алгоритм расчёта моделирования статического режима работы асинхронного генератора автономной микроГЭС с учётом ёмкости конденсатора.

Этот алгоритм расчёта разработан для моделирования статических режимов работы асинхронного генератора с короткозамкнутым ротором в автономных микроГЭС и для расчёта электромагнитного момента, с учётом влияния магнитного насыщения и конденсаторов.

Процесс расчёта начинается с введения следующих данных, паспортные параметры асинхронного генератора: P , U , f , n , КПД, $\cos\phi$. На основе введённых паспортных данных определяются следующие параметры: R_s - Сопротивление статора, R_r - Сопротивление ротора, L_s, L_r - Индуктивности статора и ротора, L_m - Общая магнитная связующая индуктивность, C - Ёмкость возбуждающего конденсатора.

Проведён сравнительный анализ двух подходов к расчёту электромагнитного момента: классической модели, модели с учётом магнитного насыщения и формулы Клосса. В предложенной модели электромагнитная мощность определяется с использованием коэффициента магнитного насыщения, а электромагнитный момент выражается следующей формулой.

$$M = \frac{P_{EM}}{\omega_0} = k_n \frac{3U_s^2 R_r}{(\omega_0 L_s L_r)^2} \quad (16)$$

Эта формула помогает выразить электромагнитный момент асинхронного генератора с учётом магнитного насыщения в виде математической модели.

На основе вышеуказанных математических выражений электромагнитного момента будем строить графики электромагнитного момента с помощью программы MATLAB. На графиках представлены зависимости электромагнитного момента асинхронного генератора с короткозамкнутым ротором, рассчитанные по двум различным моделям.

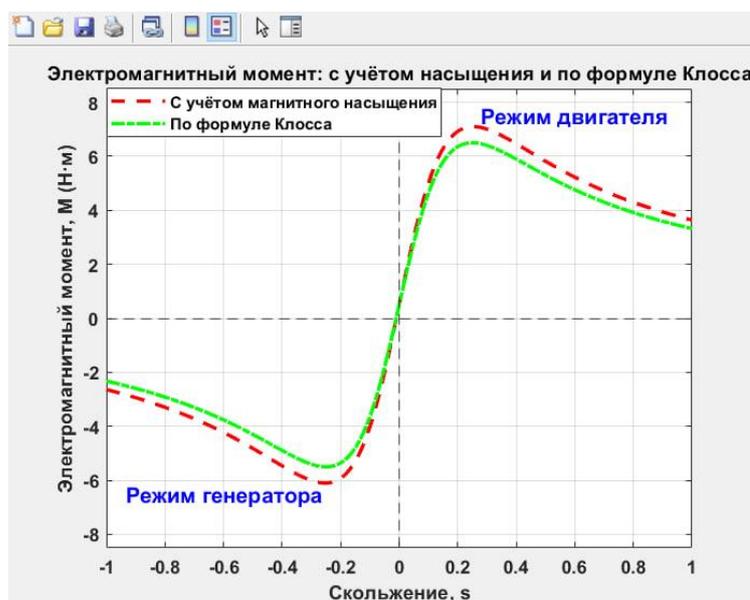


Рис. 5. График электромагнитных моментов, рассчитанных без учёта магнитного насыщения, с учётом магнитного насыщения и по формуле Клосса.

По результатам анализа видно, что модель с учётом магнитного насыщения (красная линия) показывает более точные результаты по сравнению с моделью, рассчитанной по формуле Клосса. Также наблюдается различие между результатами классической модели с учётом магнитного насыщения (красная линия) и результатами, полученными по формуле Клосса (зелёная пунктирная линия). Формула Клосса предназначена для приближённого определения максимального значения электромагнитного момента в соответствии с экспериментальными данными, однако в ней не учитывается магнитное насыщение, в связи с чем полученные результаты близки к традиционной модели.

Комбинированная схема управления реактивной мощностью, служащая для стабилизации электромагнитного напряжения в составе автономной микроГЭС.

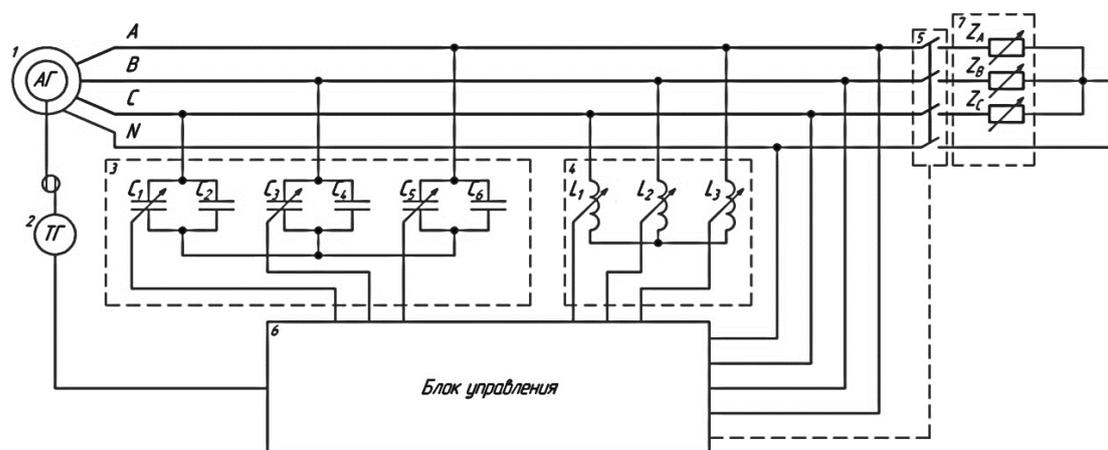


Рис. 6. Схема управления реактивной мощностью, служащая для стабилизации напряжения на выходе асинхронного генератора в составе автономной микроГЭС.

1-асинхронный генератор (АГ), 2-тахогенератор (ТГ), 3-блоки конденсаторов с постоянной и изменяющейся ёмкостью (C_1 – C_6), 4-индуктивные элементы (L_1 – L_3), 5-трёхфазный переключатель, 6-блок управления, 7-нагрузки (Z_A , Z_B , Z_C).

Такой комбинированный метод управления позволяет контролировать резонансную частоту через конденсаторы и индуктивные элементы схемы, поддерживать фазовый баланс и оптимизировать реактивную мощность. Самое важное, что с помощью этого решения обеспечивается стабильность амплитуды выходного напряжения асинхронного генератора относительно нагрузки и скорости вращения. В результате улучшаются качественные характеристики электроэнергии, получаемой от микроГЭС, и повышается общая эффективность системы.

В четвёртой главе диссертации, озаглавленной «**Экспериментальные исследования в микроГЭС с асинхронными генераторами**», изучены рабочие режимы асинхронного генератора с короткозамкнутым ротором в реальных условиях на основе лабораторных и практических испытаний. Определены технические характеристики генератора марки 4А80А6У3 и ковшовой гидротурбины, на основе которых была разработана испытательная установка, а

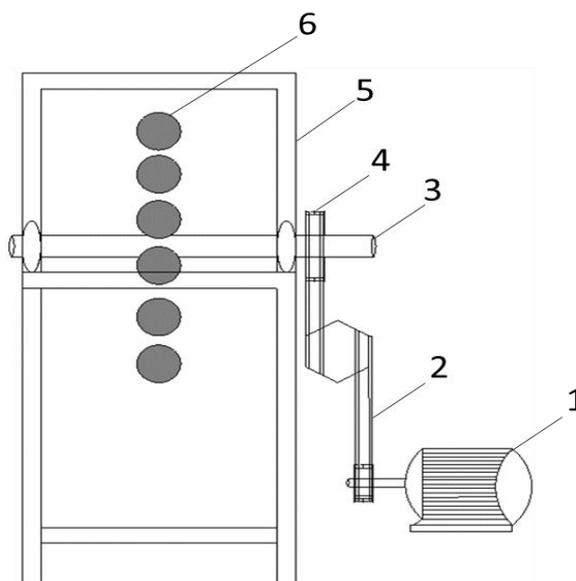
также обоснована их механическая совместимость конструктивно. Для автономной работы генератора была сформирована система возбуждения через конденсаторы, и с учётом электромагнитных и механических потерь был достигнут эффективный режим работы.

Для исследования был выбран асинхронный генератор с короткозамкнутым ротором марки 4А80А6УЗ, технические характеристики которого приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Асинхронный генератор	Мощность [кВт]	При номинальной нагрузке			M_n	$M_{мин}$	$M_{маx}$	I_n	n об/мин
		Скольжение [%]	КПД [%]	$\cos\phi$					
4А80А6УЗ	0,75	8,5	69	0,74	2,0	1,6	2,2	2,2	1000

Рис. 7. Конструктивная схема предложенной испытательной установки микроГЭС. 1-асинхронный генератор, 2-передаточная лента, 3-вал удерживающий ковши, 4- передаточное шкив, 5-корпус, 6-ковши.



Для данной испытательной установки были выбраны необходимые элементы и технологические компоненты, и она приведена в готовность к проведению эксперимента. Конструктивная база микроГЭС установлена на опорной платформе, внешняя часть которой покрыта металлическим кожухом. Гидротурбина с ковшами, преобразующая гидравлическую энергию в механическую, надежно закреплена на опорной базе. Турбина соединена с валом, и возникающий момент вращения передается через передающие элементы, ленты и шкивы на асинхронный генератор. Таким образом, формируется необходимая механическая энергия для приведения генератора в движение.

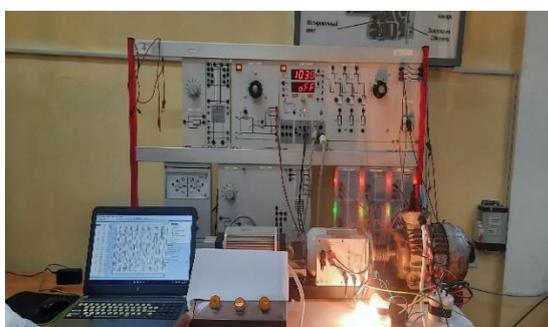


Рисунок 8. Процесс проведения опытно-испытательных работ с использованием автономной микроГЭС.

Вид асинхронного генератора, применяемого в автономных ковшевых

микроГЭС, приведён на рисунке 8. С помощью этой опытно-испытательной установки были проведены эксперименты по производству электроэнергии в статических режимах, в ходе которых были получены следующие характеристики. Характеристики состояний производимой электроэнергии были проанализированы с помощью программы CASSY Lab 2.

Результаты физических характеристик модели выхода напряжения асинхронного генератора, применяемого в микроГЭС, при запуске с номинальной нагрузкой, приведены на следующих рисунках.

Под статическим режимом работы асинхронного генератора понимается состояние, при котором он работает стабильно, то есть изменения нагрузки минимальны. В этом режиме выходное напряжение генератора и ток статора остаются почти постоянными, и только небольшие колебания наблюдаются во времени.

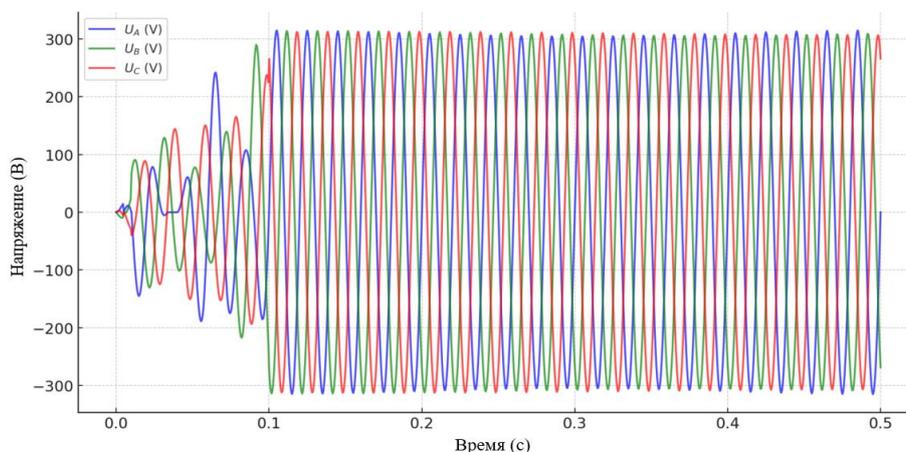


Рис. 9. Осциллограмма напряжений в фазах статора асинхронного генератора, применяемого в автономных микроГЭС, в режиме без нагрузки.

На следующем графике показано изменение напряжений в трёх фазах асинхронного генератора (фазы А, В и С) по времени. График отражает результаты, полученные в режиме холостого хода генератора. Как показано на графике, все три фазы имеют синусоидальную форму напряжения, и они расположены с фазовым сдвигом 120° относительно друг друга. Это считается нормальным для трёхфазного асинхронного генератора.

На следующем графике (Рисунок 10) показано изменение напряжений в трёх фазах асинхронного генератора в режиме с нагрузкой по времени. График позволяет визуально проанализировать процессы перехода и стабилизации режима работы генератора. В интервале времени от 0.0 до 0.01 секунд, когда генератор работает без нагрузки, напряжения остаются неизменными. В интервале от 0.1 до 0.13 секунд наблюдается значительный процесс перехода напряжений. Этот процесс происходит, когда генератор адаптируется к нагрузке. Начальные колебания происходят до тех пор, пока напряжения не примут стабильную синусоидальную форму. После 0.1 секунды трёхфазные напряжения стабилизируются и приобретают синусоидальную форму.

Это указывает на то, что генератор адаптировался к условиям работы с нагрузкой и начал работать в оптимальном режиме.

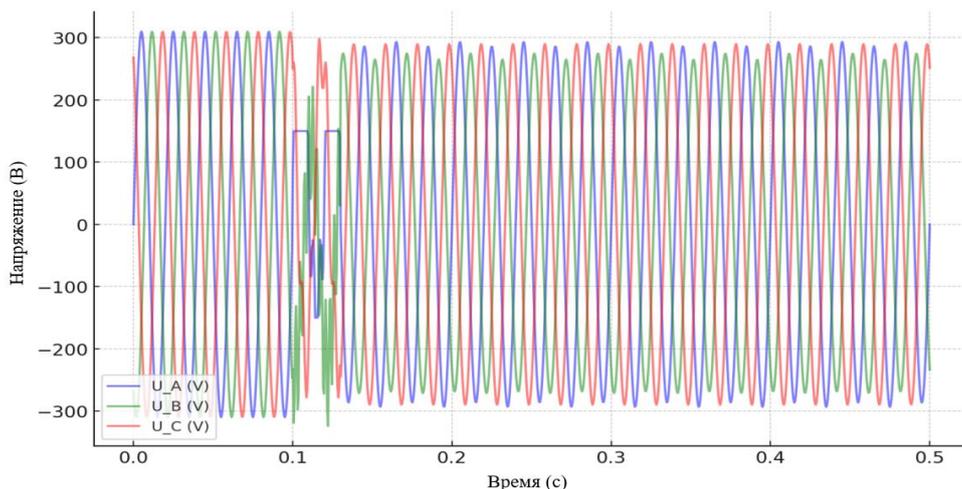


Рис. 10. Осциллограмма напряжений в фазах статора асинхронного генератора, применяемого в автономных микроГЭС, в режиме с нагрузкой.

Между фазами существует фазовый сдвиг 120° , что соответствует характеристикам трёхфазной системы. Амплитуды напряжений одинаковы (300В), что указывает на то, что генератор работает при сбалансированной трёхфазной нагрузке. График показывает поведение трёхфазных напряжений асинхронного генератора в режиме с нагрузкой по времени. С помощью графика можно чётко наблюдать процессы перехода генератора в режим с нагрузкой и его стабилизацию в устойчивом рабочем режиме. Это способствует выводу практических рекомендаций по оптимизации электромагнитных процессов генератора и обеспечению его стабильной работы.

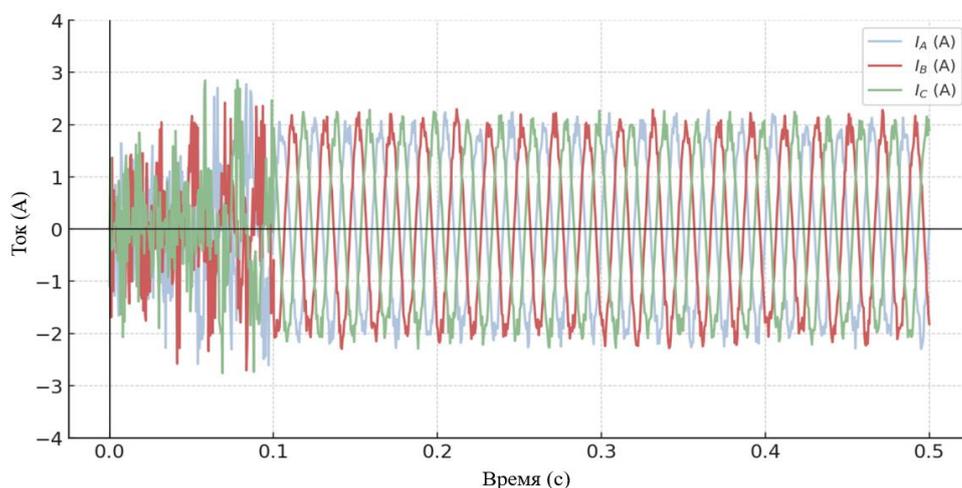


Рис. 11. Осциллограмма токов в фазах статора асинхронного генератора, применяемого в автономных микроГЭС, в режиме с нагрузкой.

Следующий график показывает изменение трёхфазных токов асинхронного генератора в режиме с нагрузкой по времени. Этот график позволяет анализировать процессы перехода и стабильную работу генератора в устойчивом

режиме. В интервале времени от 0 до 0.1 секунд трёхфазные токи проходят через интенсивный процесс перехода. Это происходит, когда генератор адаптируется к режиму с нагрузкой. Наблюдаются значительные изменения в амплитудах и формах токов, что свидетельствует о влиянии электромагнитных процессов при подключении нагрузки. После 0.1 секунды токи приближаются к синусоидальной форме, а их амплитуды стабилизируются на относительно постоянном значении.

Рабочая характеристика асинхронного генератора, применяемого в микроГЭС. Рабочая характеристика асинхронного генератора является важным показателем для оценки эффективности работы генератора при различных условиях нагрузки. Эта характеристика позволяет определить взаимосвязь между такими параметрами, как момент, скорость, выходная мощность и напряжение генератора. Эти взаимосвязи необходимы для исследования технического и механического состояния генератора в процессе выработки энергии. При оценке работы автономного асинхронного генератора в зависимости от нагрузки важную роль играет изменение основных технических характеристик относительно мощности нагрузки. Приведённый выше график (Рисунок 12) позволяет определить, как асинхронная машина работает при различных нагрузках при заданном напряжении. На рисунке 12 приведены следующие характеристики асинхронного генератора относительно мощности нагрузки P_2 , синхронная угловая скорость n_1 , ток сети I_1 , коэффициент полезного действия η , коэффициент мощности $\cos\phi$, скольжение ротора S .

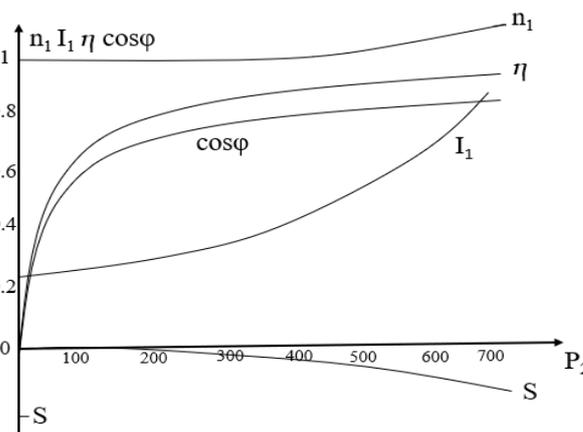


Рис. 12. Рабочая характеристика асинхронного генератора, применяемого в автономных микроГЭС.

На основе результатов научных исследований по возбуждению асинхронных генераторов микроГЭС с использованием конденсаторных элементов и моделированию статических режимов работы асинхронного генератора, в фермерском хозяйстве «AGRO PRODSTAR», подчинённом «Совету фермеров, крестьянских хозяйств и владельцев дачных земель Узбекистана», были внедрены методы улучшения выходного напряжения статических режимов работы асинхронного генератора с короткозамкнутым ротором, приводимого в действие через конденсатор. (Свидетельство № 01-03-0439 от 28 февраля 2023 года Совета фермеров, крестьянских хозяйств и владельцев дачных земель Узбекистана). В результате внедрения, было достигнуто экономическое эффективное использование в размере 109 350 000 сум за счёт обеспечения автономных потребителей электроэнергией через микроГЭС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной диссертационной работе проведены комплексные научно-практические исследования по теме «Моделирование статических режимов работы асинхронного генератора микроГЭС», и сформулированы следующие выводы:

1. Совершенствована математическая модель короткозамкнутого асинхронного генератора, работающего в составе автономной микроГЭС, за счет учета емкости возбуждающего конденсаторного элемента. Теоретически и экспериментально доказано, что оптимальный выбор емкости позволяет повысить точность расчетов тока и напряжения в стационарных режимах работы генератора до 5%.

2. Совершенствован метод расчета электромагнитного момента асинхронного генератора с учетом коэффициента магнитного насыщения. В результате построены графики электромагнитного момента, в которых взаимосвязи между токами статора и ротора выражены с повышенной точностью. Моделирование в среде MATLAB показало улучшение точности расчетов на 6,3% при учете магнитного насыщения.

3. Разработана схема комбинированной компенсации реактивной мощности, включающая конденсаторные и индуктивные элементы для асинхронного генератора в автономной микроГЭС. Предложенная LC-схема стабилизации напряжения обеспечивает баланс фазного напряжения и реактивной мощности в режиме реального времени.

4. Разработаны сравнительные алгоритмы расчета электромагнитного момента для короткозамкнутого асинхронного генератора с учетом магнитного насыщения и по методу Клосса, а также соответствующая блок-схема сравнения. Расчеты показали, что модель с учетом насыщения обеспечивает повышение точности до 9,84%.

5. Предложенная схема управления выходным напряжением асинхронного генератора, возбуждаемого через конденсатор и работающего в составе автономной микроГЭС, была апробирована в фермерском хозяйстве «AGRO PRODSTAR», входящем в состав Совета фермеров, дехканских и приусадебных хозяйств Узбекистана. По результатам испытаний ожидаемая годовая экономическая эффективность составила 109 350 000 сумов.

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

ANDIJAN STATE TECHNICAL INSTITUTE

MAKHAMADJONOV SODIKJON YULDASHBOY UGLI

**MODELING OF STATIC OPERATING MODES OF A MICRO
HYDROELECTRIC POWER PLANT ASYNCHRONOUS GENERATOR**

**05.05.02 – Electrical Engineering. Power stations, systems. Electric power complexes and
installations**

**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 №. B2025.1. PhD/T3943

The dissertation has been prepared at Andijan state technical 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: **Axmedov Abduraxman Pattaxovich**
candidate of physical-mathematical sciences,
associate professor

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

Tolipov Jamshid Nurbekovich
PhD, senior researcher

Leading organization: **Tashkent State Technical University named
after Islam Karimov**

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)

Research objective: the research involves modeling the static operating mode of a squirrel-cage induction generator operating as part of an autonomous micro-hydropower plant and developing a circuit for stabilizing the output voltage.

Objectives of the study:

improving the mathematical model that accurately reflects the steady-state modes of the induction generator by taking into account the capacitance of the excitation capacitor element;

enhancing the method for calculating the electromagnetic torque by incorporating the influence of the magnetic saturation coefficient of the induction generator;

developing a combined LC reactive power compensation scheme to ensure the stability of the generator's output voltage;

creating an algorithm for calculating the steady-state operating mode based on the improved model, as well as an algorithm for computing the electromagnetic torque using both the classical and Kloss formulas.

The research object is a capacitor-excited squirrel-cage asynchronous generator operating as part of a micro hydropower system.

The subject of the research includes the static operating modes, characteristics, and calculation algorithms of a squirrel-cage asynchronous generator operating within an autonomous micro hydropower system.

Research methods. In the research work, the mathematical modeling method was applied to analyze the static operating modes of the asynchronous generator; the analytical calculation method was used to evaluate the electromagnetic torque; the parametric analysis method considering magnetic saturation was employed, along with algorithmic modeling techniques based on the Park–Gorev equations.

The scientific novelty of the research is as follows:

improved the mathematical model of the static operating modes of a squirrel-cage induction generator operating as part of an autonomous micro-hydropower plant by taking into account the capacitance of the excitation capacitor element;

improved the method for high-accuracy calculation of the electromagnetic torque of the induction generator within a micro-hydropower system by considering the magnetic saturation coefficient;

developed a schematic diagram of a combined reactive power compensation system consisting of capacitive and inductive elements for the autonomous induction generator of a micro-hydropower plant;

developed algorithms for calculating the static operating regime of a squirrel-cage induction generator based on the proposed mathematical model, as well as for comparing the classical and Kloss methods used to determine the electromagnetic torque.

Implementation of research results. Based on the obtained results of modeling the static operating modes of the micro-hydropower plant's asynchronous generator:

a combined reactive power compensation system consisting of capacitive and inductive elements has been implemented within the autonomous micro-hydropower plant based on an asynchronous generator at the “AGRO PRODSTAR” farm

(Reference No. 01-03-0439 issued by the Council of Farmers, Dehkan Farms and Land Owners of the Republic of Uzbekistan, dated February 28, 2023). As a result, stable maintenance of the generator's output voltage was achieved, and the voltage drop caused by load variations in the autonomous asynchronous generator was significantly reduced;

a hydro-energy system generating electric power based on a squirrel-cage asynchronous generator self-excited by capacitor elements has been implemented at the "AGRO PRODSTAR" farm (Reference No. 01-03-0439 issued by the Council of Farmers, Dehkan Farms and Land Owners of the Republic of Uzbekistan, dated February 28, 2023). As a result of stabilizing the output voltage of the asynchronous generator under static operating modes, the farm's irrigation pump units were supplied with electrical energy, providing an economic benefit of 109,350,000 UZS.

The structure and scope of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references, and appendices. The volume of the dissertation is 109 pages.

E'LON QILINGAN ISHLAR
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I bo'lim (Часть I; Part I)

1. Mahamadjonov S.Y., Axmedov A.P. MikroGES asinxron generatorini kondensator elementlari orqali qo'zg'atish va chiqish kuchlanishini rostdash // Journal of Transport Tashkent, 2025. №1 March. 130-133-b. (05.00.00; № 11).
2. Mahamadjonov S.Y., Axmedov A.P. Improving output parameters of micro hydropower asynchronous generators considering the saturation coefficient // Bulletin news in New Science Society International Scientific Journal Germany, - 2025 Vol. 2 Issue 3. 23-27-b. (OAK rayosatining 2016-yil 23-dekabrdagi 232/5-son qarori).
3. Mahamadjonov S.Y., Pirmatov N.B., Matqosimov M. M. Research on the use of asynchronous machine in generator mode in microhydroelectric plants of a renewable alternative energy source device // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» Научно-технический центр «ТАТА», 2024 № 02. С. 79-85. (OAK rayosatining 2016-yil 23-dekabrdagi 232/5-son qarori).
4. Mahamadjonov S.Y., Pirmatov N.B., Matqosimov M.M. Expression of asynchronous generators by differential Equations // Energiya va resurs tejash muammolari. 2023. №84. 93-100-b. (05.00.00; № 16).
5. Махамаджонов С.Й., Пирматов Н.Б., Маткосимов М.М. Кичик кувватли гидроэлектр станцияларида асинхрон моторни генератор режимида ишлатиш // “Ўзбекгидроэнергетика” илмий-техник журнали, Toshkent, 2023. №1 49-50 б. (05.00.00; № 21).
6. Mahamadjonov S.Y., Pirmatov N.B., Matqosimov M.M. Efficient use of the asynchronous generator of micro hpp // Mashinasozlik ilmiy-texnika jurnali №3 83-89-b. Andijon, 2022 yil www.andmiedu.uz (OAK rayosatining 2021-yil 30-dekabrdagi 310/10-son qarori).
7. Махамаджонов С.Й. Работа асинхронного генератора в составе мини ГЭС автономном режиме // “Ўзбекгидроэнергетика” илмий-техник журнали, Toshkent, 2021. №1 59-60 б. (05.00.00; № 21).

II bo'lim (Часть II; Part II)

8. Mahamadjonov S.Y., Pirmatov N.B., Matqosimov M.M., Xaydarov. X.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 // E3S Web of Conferences 480, 01007 (2024) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202448001007 EEA2023>.
9. Mahamadjonov S.Y., Pirmatov N.B., Matqosimov M.M., Xolmatov.E. Investigation of transients in asynchronous generators used in microhydroelectric power plants // E3S Web of Conferences 508, 02007 (2024) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202450802007 GreenEnergy 2023>.
10. Mahamadjonov S.Y., Pirmatov N.B., Matqosimov M.M., Sayitov. SH. Analysis of various operating modes of the microhpp asynchronous generator using the matlab simulink // E3S Web of Conferences 508, 02012 (2024) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202450802 GreenEnergy 2023>.

11. Mahamadjonov S.Y., Axmedov A.P. The impact of static operating modes of micro hydropower asynchronous generator on energy savings // Международная научно-практическая конференция «Ауэзовские чтения-23: феномен абая и новые горизонты познания» посвященная 180-летию великого Абая 2025.
12. Mahamadjonov S.Y., Pirmatov N.B., Matqosimov M.M. Determination and description of the conditions of self-excitation of the microGES asynchronous generator // Актуальные проблемы системы электроснабжения Сборник трудов международной научно-технической конференции. – Ташкент. ТашГТУ, 2023. Стр. 346.
13. Mahamadjonov S.Y., Pirmatov N.B., Matqosimov M.M. MicroGES asynchronous generator control methods research // Journal of Electrical and Electronics Engineering (JEEE) ISSN(P): 2250-2424; ISSN(E): Applied Vol. 13, Issue 2, Dec 2023, 1-6 India (05.00.00; № 29).
14. Mahamadjonov S.Y., Pirmatov N.B., Matqosimov M.M. Kondensator qo‘zg‘otishli mikroGES asinxron generatorining yuklama ish rejimi tahlili // Xalqaro ilmiy-amaliy anjuman materiallar to‘plami Andijon 2023. 21-23-b.
15. Mahamadjonov S.Y., Pirmatov N.B., Matqosimov M.M. Aktivkovshovoy turbinalardan mikroGESlarda foydalanish xususiyatlari // Xalqaro ilmiy-amaliy anjuman materiallar to‘plami Andijon 2023. 18-21-b.
16. Mahamadjonov S.Y., Pirmatov N.B. MikroGES asinxron generatorining statik ish rejimlarini modellashtirish // Andijon mashinasozlik instituti «O‘zbekistonda energetika tizimining dolzarb muammolari, yechimlari va rivojlantirish istiqbollari» mavzusida Respublika ilmiy-texnik anjuman materiallar to‘plami 2024. 156-159-b.
17. Mahamadjonov S.Y., Pirmatov N.B. Asinxron generator chiqish kuchlanishini statik ushlab turish usullari // Andijon mashinasozlik instituti «O‘zbekistonda energetika tizimining dolzarb muammolari, yechimlari va rivojlantirish istiqbollari» mavzusida Respublika ilmiy-texnik anjuman materiallar to‘plami 2024. 159-161-b.
18. Mahamadjonov S.Y., Pirmatov N.B., Matqosimov M.M. Xorijiy davlatlarda mikroGESlarni rivojlanishi // Andijon mashinasozlik instituti Respublika ilmiy-texnik anjuman materiallar to‘plami Andijon 2022. 317-322-b.
19. DGU (UZ) № DGU 15459. Real vaqt davomida asinxron generatorni statik rejimini hisobi // Mahamadjonov S.Y., Pirmatov N.B., Matqosimov M. M., Berdiyorov O‘. N. // 07.04.2022 yil.
20. DGU (UZ) № DGU 30919. Kovshli gidroturbinaning mexanik parametrlarini hisoblash dasturiy ta‘minoti // Mahamadjonov S.Y., Pirmatov N.B., Matqosimov M. M. // 12.12.2023 yil.
21. DGU (UZ) № DGU 30921. MikroGES asinxron generatorini ish rejimlarini boshqarish usuli dasturiy ta‘minoti // Mahamadjonov S.Y., Pirmatov N.B., Matqosimov M. M. // 12.12.2023 yil.

Avtoreferat “ _____ ” _____

tahririyatida tahrirdan o‘tkazildi va matnlarni mosligi tekshirildi
(__ . __ . 20 __ y).

Qog‘oz bichimi: 84x60-1/16. Rizograf bosma usuli Times New Roman garniturasida.

Shartli bosma tabog‘i: __ b.t. Adadi 100 nusxa. Buyurtma №. ____ /202 __

Nashrga ruxsat etildi:

Guvohnoma №

“ _____ ” MChJ bosmaxonasida chop etilgan

Bosmaxona manzili: _____, Toshkent sh., _____ ko‘chasi, __-uy.

