

MUHANDISLIK

& IQTISODIYOT

№3

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

2026
MART



Milliy nashrlar

OAK: <https://oak.uz/pages/4802>

05.00.00 - Texnika fanlari

08.00.00 - Iqtisodiyot fanlar



Google Scholar

OPEN ACCESS

ULRICHSWEB[®]
GLOBAL SERIALS DIRECTORY

Academic Resource Index
ResearchBib

ISSN INTERNATIONAL STANDARD SERIAL NUMBER INTERNATIONAL CENTRE

CYBERLENINKA

OpenAIRE

ROAD

INDEX COPERNICUS INTERNATIONAL

BASE

Crossref

НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ БИБЛИОТЕКА LIBRARY.RU



ISSN: 3060-463X

РЭУ.РФ
РОССИЙСКИЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Г.В. ПЛЕХАНОВА
ТАШКЕНТСКИЙ ФИЛИАЛ



muhandislik **& iqtisodiyot**

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

Elektron nashr, 306 sahifa.
2026-yil, mart

Bosh muharrir:

Zokirova Nodira Kalandarovna, iqtisodiyot fanlari doktori, DSc, professor

Bosh muharrir o'rinbosari:

Shakarov Zafar G'afrovich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori, PhD, dotsent

Tahrir hay'ati:

Abduraxmanov Kalendar Xodjayevich, O'z FA akademigi, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Sharipov Kongratbay Avezimbetovich, texnika fanlari doktori, professor

Maxkamov Baxtiyor Shuxratovich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Abduraxmanova Gulnora Kalandarovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Shaumarov Said Sanatovich, texnika fanlari doktori, professor

Turayev Bahodir Xatamovich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Nasimov Dilmurod Abdulloyevich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Allayeva Gulchexra Jalgasovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Arabov Nurali Uralovich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Maxmudov Odiljon Xolmirzayevich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Xamrayeva Sayyora Nasimovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Bobonazarova Jamila Xolmurodovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Irmatova Aziza Baxromovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Bo'taboyev Mahammadjon To'ychiyevich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Shamshiyeva Nargizaxon Nosirxuja kizi, iqtisodiyot fanlari doktori, professor,

Xolmuxamedov Muhsinjon Murodullayevich, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Xodjayeva Nodiraxon Abdurashidovna, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Amanov Otabek Amankulovich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent

Toxirov Jaloliddin Ochil o'g'li, texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Qurbonov Samandar Pulatovich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Zikriyoyev Aziz Sadulloyevich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Tabayev Azamat Zaripbayevich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Sxay Lana Aleksandrovna, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent

Ismoilova Gulnora Fayzullayevna, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Djumaniyazov Umrbek Ilxamovich, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Kasimova Nargiza Sabitdjanovna, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Kalanova Moxigul Baxritdinovna, dotsent

Ashurzoda Luiza Muxtarovna, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Sharipov Sardor Begmaxmat o'g'li, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Sharipov Botirali Roxataliyevich, iqtisodiyot fanlari nomzodi, professor

Tursunov Ulug'bek Sativoldiyevich, iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), dotsent

Bauyetdinov Majit Janizaqovich, Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti dotsenti, PhD

Botirov Bozorbek Musurmon o'g'li, Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Sultonov Shavkatjon Abdullayevich, Kimyo fanlari doktori, (DSc)

Jo'raeva Malohat Muhammadovna, filologiya fanlari doktori (DSc), professor.

Yusupov Maxamadamin Abduxamidovich, iqtisodiyot fanlari nomzodi (DSc), professor

Kalonova Moxigul Baxritdinovna, iqtisodiyot fanlari nomzodi (PhD), dotsent

Mirzayev Kulmamat Djanzakovich, iqtisodiyot fanlari nomzodi (DSc), professor.

Karimova Nilufar Sadirdin qizi, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Norboyev Odil Abrayevich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent

Nasimov Dilmurod Abdulloyevich, iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), professor

Mirzayev Kulmamat Djanzakovich, iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), professor

Karimova Nilufar Sadirdin qizi, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Pardaev Umidjon Uralovich, iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), professor

muhandislik & iqtisodiyot

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

- 05.01.00 – Axborot texnologiyalari, boshqaruv va kompyuter grafikasi
- 05.01.01 – Muhandislik geometriyasi va kompyuter grafikasi. Audio va video texnologiyalari
- 05.01.02 – Tizimli tahlil, boshqaruv va axborotni qayta ishlash
- 05.01.03 – Informatikaning nazariy asoslari
- 05.01.04 – Hisoblash mashinalari, majmualari va kompyuter tarmoqlarining matematik va dasturiy ta'minoti
- 05.01.05 – Axborotlarni himoyalash usullari va tizimlari. Axborot xavfsizligi
- 05.01.06 – Hisoblash texnikasi va boshqaruv tizimlarining elementlari va qurilmalari
- 05.01.07 – Matematik modellashtirish
- 05.01.11 – Raqamli texnologiyalar va sun'iy intellekt
- 05.02.00 – Mashinasozlik va mashinashunoslik
- 05.02.08 – Yer usti majmualari va uchish apparatlari
- 05.03.02 – Metrologiya va metrologiya ta'minoti
- 05.04.01 – Telekommunikatsiya va kompyuter tizimlari, telekommunikatsiya tarmoqlari va qurilmalari. Axborotlarni taqsimlash
- 05.05.03 – Yorug'lik texnikasi. Maxsus yoritish texnologiyasi
- 05.05.05 – Issiqlik texnikasining nazariy asoslari
- 05.05.06 – Qayta tiklanadigan energiya turlari asosidagi energiya qurilmalari
- 05.06.01 – To'qimachilik va yengil sanoat ishlab chiqarishlari materialshunosligi
- 05.08.03 – Temir yo'l transportini ishlatish
- 05.09.01 – Qurilish konstruksiyalari, bino va inshootlar
- 05.09.04 – Suv ta'minoti. Kanalizatsiya. Suv havzalarini muhofazalovchi qurilish tizimlari
- 10.00.06 – Qiyosiy adabiyotshunoslik, chog'ishtirma tilshunoslik va tarjimashunoslik
- 10.00.04 – Yevropa, Amerika va Avstraliya xalqlari tili va adabiyoti
- 08.00.01 – Iqtisodiyot nazariyasi
- 08.00.02 – Makroiqtisodiyot
- 08.00.03 – Sanoat iqtisodiyoti
- 08.00.04 – Qishloq xo'jaligi iqtisodiyoti
- 08.00.05 – Xizmat ko'rsatish tarmoqlari iqtisodiyoti
- 08.00.06 – Ekonometrika va statistika
- 08.00.07 – Moliya, pul muomalasi va kredit
- 08.00.08 – Buxgalteriya hisobi, iqtisodiy tahlil va audit
- 08.00.09 – Jahon iqtisodiyoti
- 08.00.10 – Demografiya. Mehnat iqtisodiyoti
- 08.00.11 – Marketing
- 08.00.12 – Mintaqaviy iqtisodiyot
- 08.00.13 – Menejment
- 08.00.14 – Iqtisodiyotda axborot tizimlari va texnologiyalari
- 08.00.15 – Tadbirkorlik va kichik biznes iqtisodiyoti
- 08.00.16 – Raqamli iqtisodiyot va xalqaro raqamli integratsiya
- 08.00.17 – Turizm va mehmonxona faoliyati

Ma'lumot uchun, OAK
Rayosatining 2024-yil 28-avgustdagi 360/5-son qarori bilan "Dissertatsiyalar asosiy ilmiy natijalarini chop etishga tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro'yxati"ga texnika va iqtisodiyot fanlari bo'yicha "Muhandislik va iqtisodiyot" jurnali ro'yxatga kiritilgan.

Muassis: "Tadbirkor va ishbilarmon" MChJ

Hamkorlarimiz:

1. Toshkent shahridagi G.V.Plexanov nomidagi Rossiya iqtisodiyot universiteti
2. Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti
3. Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti" milliy tadqiqot universiteti
4. Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti
5. Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti
6. Toshkent davlat transport universiteti
7. Toshkent arxitektura-qurilish universiteti
8. Toshkent kimyo-texnologiya universiteti
9. Jizzax politexnika instituti



MUNDARIJA

KORXONALARDA ICHKI AUDIT TIZIMINING BOSHQARUV QARORLARI QABUL QILISHDAGI O'RNINI	24
Mexmonaliyev Ulug'bek Erkinjon o'g'li	
FISKAL SIYOSAT SAMARADORLIGI VA SOLIQ TUSHUMLARI DINAMIKASI: O'ZBEKISTON MISOLIDA ILMIY TAHLIL	30
Abduraimova Nigora Abdugapparovna	
YASHIRIN IQTISODIYOTNI KELTIRIB CHIQUARUVCHI ASOSIY OMILLAR HAMDA IQTISODIYOTGA TA'SIRI	37
Toxtabayev Oybek Odilovich	
QISHLOQ XO'JALIGI OZIQ-OVQAT SANOATI KORXONALARIDA ZAMONAVIY BOSHQARUV	42
Rasulova Muxabbat Teshabayevna, Normurodov Sarvar Norboy o'g'li	
O'ZBEKISTON GLOBAL-IQTISODIY RAQOBATBARDOSHLIGINI OSHIRISHDA RAQAMLI IQTISODIYOTNING O'RNINI	48
Kuvatova Oliya Sheraliyevna	
QURILISH SANOATIDA KICHIK BIZNES SUBYEKTLARINING IQTISODIY MOHIYATI VA ULARNI KAPITAL BOZORI INSTRUMENTLARI ORQALI MOLIALASHTIRISH IMKONIYATLARI.....	54
Igitov Jurabek Kuzibekovich	
IQTISODIY ISLOHOTLAR DAVRIDA TIJORAT BANKLARINING INVESTITSIYA FAOLIYATINI RIVOJLANTIRISHNING OMILLARI	61
Yangiboyev F.B.	
TIJORAT BANKLARIDA MUAMMOLI KREDITLARNI ERTA ANIQLASH VA BOSHQARISHNING INTEGRATSIYALASHGAN RISK-INDEKS MODELINI	68
Kalandarov Abdulla Baxtiyorovich, Rajabov Shoxrux Suvon o'g'li	
RUX VA QO'RG'OSHINNI SELEKTIV AJRATIB OLISHNI KOMBINATSIYALASH TEXNOLOGIYASI VA NAZARIYASI.....	74
Eshonqulov Uchqun Xudaynazar o'g'li, Haqberdiyev Dilshod Qodir o'g'li	
UY-JOY QURILISHI HAJMINI UZOQ MUDDATLI PROGNOZLASHDA EKONOMETRIK MODELLASHTIRISH USULLARINI TAKOMILLASHTIRISH	81
Qidirniyazov Ajiniyaz Sherniyazovich	
O'ZBEKISTONDA BOG'DORCHILIKNI RIVOJLANTIRISHDA IQLIM VA TABIIY OFATLAR NATIJASIDA YETKAZILDAN TALOFATLARNI DAVLAT TOMONIDAN KOMPENSATSIYA QILISH MEKANIZMI.....	85
Sattorov Orifjon Boymurodovich	
AHOLI MOLIVAVIY SAVODXONLIGINI OSHIRISH ORQALI YASHIRIN IQTISODIYOTNI QISQARTIRISH MEKANIZMLARI.....	90
Abdug'aniyev Uchqun Habibulla o'g'li	
O'ZBEKISTON QURILISH SANOATIDA KICHIK BIZNES SUBYEKTLARINING RIVOJLANISH DINAMIKASI VA TENDENSIYALARI	96
Musaeva Aynura Abayxolievna	
THEORETICAL AND METHODOLOGICAL FOUNDATIONS OF SOCIAL INFRASTRUCTURE TRANSFORMATION IN THE CONTEMPORARY ENVIRONMENT.....	104
Normurodov Khusan Eshmakhmatovich	
AKSIYADORLIK JAMIYATLARINING INVESTITSION FAOLLIGINI BAHOLASH YO'LLARI	108
Begamov S.X.	
DEBITORLIK QARZLARINING STRATEGIK BOSHQARUV HISOBINI TASHKIL QILISH YO'NALISHLARI	112
Normatova Gulmira Xayrullaevna	



SOLIQLARNI PROGNOZLASH METODOLOGIYASINI TAKOMILLASHTIRISH AMALIYOTI TAHLILI.....	118
Ergashov Jamshid Ashurovich	
MEHNAT XARAJATLARI HISOB: NAZARIY ASOSLAR, USULLAR VA BOSHQARUVDAGI AHAMIYATI.....	126
Tulyaganov Abdumalik Abdiraximovich	
KORPORATIV XIZMATLARNING BANK FOYDASIGA TA'SIRI: KOMISSION VA FOIZLI DAROMADLAR TAHLILI	131
Qurbonov Abror Abdullayevich	
TIJORAT BANKLARIDA MUAMMOLI KREDITLARNI BOSHQARISH TIZIMINI TAKOMILLASHTIRISHNING INSTITUTSIONAL VA TASHKILY MEXANIZMLARI.....	136
Djamalov G'ofir Oribjanovich	
OCHIQLIK INDEKSI VA KORRUPSIYAGA QARSHI KURASH SAMARADORLIGI: O'ZBEKISTON TAJRIBASINING INSTITUTSIONAL TAHLILI	144
Diilshod Pulatov, Uchqun Abdug'aniyev	
DUNYO SUG'URTA KOMPANIYALARINING MOLIVAVIY HOLATI VA NATIJALARI TAHLILI.....	153
Alimov Baxodir Batirovich	
QISHLOQ HUDUDLARIDA XIZMAT KO'RSATISH SAMARADORLIGINI OSHIRISH IMKONIYATLARI.....	160
Yuldashova Nilufar Ziyabayevna	
QURILISH TASHKILOTLARIDA BOSHQARUV SAMARADORLIGINI OSHIRISHNING INNOVATSION USULLARI	164
Muxibova Guli Yarkinovna, Sharifxodjayeva Odina Ulug'bek qizi	
AXBOROT-RESURS MARKAZLARINING TA'LIM JARAYONIGA TA'SIRINI BAHOLASH.....	168
Pirmedova Xayitgul Muxammedovna	
IJTIMOYIY HIMOYA QAMROVINI KENGAYTIRISH MEXANIZMLARI: XALQARO TAJRIBA VA INSTITUSIONAL YONDASHUVLAR.....	173
Bafoyev Farrux Jo'raqulovich	
KORXONALARDA AI-DRIVEN "DECISION SUPPORT SYSTEMS" (DSS)NI JORIY ETISHNING KONSEPTUAL ASOSLARI	181
Mardanova Ra'no	
STRENGTHENING THE FINANCING OF FAMILY-OWNED ENTERPRISES IN UZBEKISTAN THROUGH BANK CREDIT	186
Baymuratova Zina Aqilbekovna, Ibadullaeva Asal Ulugbek qizi	
SUN'IY INTELLEKT ASOSIDA DAVLAT BOSHQARUV TIZIMLARINI RAQAMLASHTIRISH	192
Aytmuratov Qutlimurat Jalgasovich	
ATTRACTING INVESTMENTS FROM FINANCIAL MARKETS AND FACTORS INFLUENCING THE INCREASE OF THEIR ATTRACTIVENESS	196
Kholov Sherali Akhrorboyevich	
MARKAZIY OSIYODA TRANSCHEGARAVIY SUV RESURSLARINI BOSHQARISH VA ADOLATLI TAQSIMLASHNING NAZARIY-HUQUQIY ASOSLARI.....	200
Matkarimov Mansur	
XALQARO XIZMATLAR SAVDOSIDA TIBBIY TURIZMNING IQTISODIY AHAMIYATI.....	206
Farxodova Shohnoz Umidbek qizi	
BANK XIZMATLARI SIFATINI BAHOLASHNING KO'P OMILLI INDIKATORLARI TIZIMI	213
Ibroximov Iloxomjon Shavkatjon o'g'li	
SANOAT KORXONALARINI IQTISODIY FAOLIYATINI OPTIMALLASHTIRISH YO'LLARI	219
Tillayeva Barno Ramiztdinovna	
NOTIJORAT TASHKILOTLAR FAOLIYATIDA AUDITORLIK TEKSHIRUVI VA AUDITORLIK HISOBOTLARINING O'ZIGA XOSLIGI.....	224
Xolmirzayev Ulug'bek Abdulazizovich, Ubaydullayev Toxirjon Abdullajanovich	



ЦИФРОВЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ РЕИНТЕГРАЦИИ ВОЗВРАЩАЮЩИХСЯ ТРУДОВЫХ МИГРАНТОВ: МЕЖДУНАРОДНАЯ ПРАКТИКА И ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ КЫРГЫЗСТАНА.....	230
<i>Амантурова Дилбара Кыдыкбековна</i>	
РОЛЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ ЛЕКСИКИ В ЯЗЫКОВОЙ ПОДГОТОВКЕ ИНОСТРАННЫХ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ.....	237
<i>Асрарова М.У.</i>	
О СКОРИНГОВЫХ МЕТОДАХ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА ДОХОДНОСТИ АКЦИЙ УЗБЕКСКИХ ЭМИТЕНТОВ.....	242
<i>Ирмухамедова Муслима Дилшодовна</i>	
UY-JOY QURILISHIDA ESKROU MEKANIZMLARINI JORIY ETISH ORQALI INVESTITSION XAVFSIZLIK VA MOLIVAVIY SHAFFOFLIKNI TA'MINLASH	247
<i>Karimov Inomjon Ortikbaevich</i>	
YASHIL IQTISODIYOT SHAROITIDA KICHIK BIZNESNING RAQOBATBARDOSHLIGINI OSHIRISH MASALALARI	254
<i>Kamoliddinov Ilhomjon Muxammadjonovich, Kobilov Murod Vakkosovich</i>	
TIJORAT BANKLARI RAQOBATBARDOSHLIGINING MOLIVAVIY BARQARORLIK KO'RSATKICHLARIGA TA'SIRINI BAHOLASH.....	259
<i>Axmedov Toxirjon Xasanjon o'g'li</i>	
SANOAT KORXONALARI IQTISODIY XAVFSIZLIGINI TA'MINLASHDA ENERGETIKA VA ISHLAB CHIQRISH SALOHİYATINING ROLI	264
<i>Tursunxo'jayev Sardor Jamoliddin o'g'li</i>	
TIJORAT BANKLARIDA KOMPLAENS-NAZORAT TIZIMI ORQALI RISKLARNI SAMARALI BOSHQARISH	270
<i>Fayziyev Sherzod Djunaydilloyevich</i>	
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ БАНКОВСКИМИ РИСКАМИ И СТРАХОВАНИЯ ФИНАНСОВЫХ ОПЕРАЦИЙ В УСЛОВИЯХ РАЗВИТИЯ ДИСТАНЦИОННОГО БАНКИНГА В ХОРЕЗМСКОЙ ОБЛАСТИ.....	275
<i>Бахтиёров Худайберган Хамдам угли</i>	
DOIMIY BO'LMAGAN KUCH TA'SIRIDA DEFORMATSIYALANUVCHAN STANDART CHIZIQLI QATTIQ MODEL ISHLAB CHIQRISH VA SONLI TAHLIL QILISH.....	282
<i>Ahmadov Ilhom Aktam o'g'li, Isomova Sabohat Islom qizi</i>	
YOUTH ENTREPRENEURSHIP AS A FACTOR OF STRUCTURAL ECONOMIC TRANSFORMATION IN UZBEKISTAN.....	290
<i>Isakjanova Saboxat Muhamedovna</i>	
МОДЕЛИРОВАНИЕ САМОВОЗБУЖДЕНИЕ НЕЯВНОПОЛЮСНОГО СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА ПРОДОЛЬНО-ПОПЕРЕЧНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ	298
<i>Пирматов Нурали Бердиёрович, Бекишев Аллаберген Ергашевич, Бердиёров Улугбек Нурали угли, Бердиёров Улмасбек Нурали угли</i>	



МОДЕЛИРОВАНИЕ САМОВОЗБУЖДЕНИЕ НЕЯВНОПОЛЮСНОГО СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА ПРОДОЛЬНО-ПОПЕРЕЧНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

Пирматов Нурали Бердиёрович

Профессор кафедры «Инженерия электрических машин и приводов»

Ташкентского государственного технического университета

Email: npirmatov@mail.ru

ORCID: 0000-0001-5212-2593

Бекишев Аллаберген Ергашевич

Доцент кафедры «Инженерия электрических машин и приводов»

Ташкентского государственного технического университета

Email: allabergenbekisev@gmail.com

ORCID: 0000-0003-3019-2050

Бердиёров Улугбек Нурали угли

Ассистент кафедры «Электрические станции, сети и системы»

Ташкентского государственного технического университета

Email: berdiyrov1811@gmail.com

ORCID: 0009-0004-5193-8661

Бердиёров Улмасбек Нурали угли

Доцент кафедры «Электротехника»

Ташкентского государственного транспортного университета

Email: olmasbekberdiyrov@gmail.com

ORCID: 0009-0000-8998-2642

Аннотация. В статье рассматривается устранение самовозбуждения, вызванного изменением параметров сети, путем правильного регулирования тока поперечной обмотки возбуждения синхронного генератора с продольным и поперечным возбуждением, а также математическая модель этого процесса. Кроме того, в статье представлена информация о преимуществах синхронных генераторов с продольно-поперечным возбуждением и методах повышения их устойчивости.

Ключевые слова: самовозбуждение, ток возбуждения, продольная ось, поперечная ось, синхронный генератор с продольно-поперечным возбуждением.

Annotatsiya. Maqolada bo'ylama va ko'ndalang qo'zg'atish chulg'amli sinxron generatorning ko'ndalang qo'zg'atish chulg'ami tokini to'g'ri rostdash orqali tarmoq parametrlarining o'zgarishi sababli yuzaga keladigan o'z-o'zidan qo'zg'alishni bartaraf etish masalasi va bu jarayonning matematik modeli ko'rib chiqilgan. Shuningdek, maqolada bo'ylama-ko'ndalang qo'zg'atish chulg'amli sinxron generatorlarning afzalliklari va ularning barqarorligini oshirish usullari to'g'risida ma'lumotlar keltirilgan.

Kalit so'zlar: o'z-o'zidan qo'zg'alish, qo'zg'atish toki, bo'ylama o'q, ko'ndalang o'q, bo'ylama-ko'ndalang qo'zg'atish chulg'amli sinxron generator.



Abstract. This article discusses the elimination of self-excitation caused by changes in grid parameters through proper regulation of the transverse excitation winding current of a synchronous generator with longitudinal and transverse excitation, as well as a mathematical model of this process. Furthermore, the article presents information on the advantages of synchronous generators with longitudinal and transverse excitation and methods for improving their stability.

Keywords: self-excitation, excitation current, longitudinal axis, transverse axis, synchronous generator with longitudinal and transverse excitation.

ВВЕДЕНИЕ

Самовозбуждение синхронных генераторов с продольно-поперечным возбуждением — это важные явления, которые влияют на работу генератора при изменениях внешних условий или при переходных процессах [1-3]

Самовозбуждение — это процесс, при котором генератор возбуждается без внешнего источника возбуждения. Это возможно благодаря взаимодействию обмоток возбуждения с магнитным полем статора, что позволяет генерировать ЭДС возбуждения, необходимую для работы генератора [4].

В синхронных генераторах с продольно-поперечным возбуждением самовозбуждение происходит, если достаточно энергии для возбуждения генератора может быть получено от самой машины (например, от напряжения на обмотках статора или вращающегося магнитного поля).

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ ПО ТЕМЕ

Процесс самовозбуждения можно описать через динамику переменного магнитного поля в генераторе. Основным механизмом является использование обратной связи между ЭДС, генерируемой в обмотках возбуждения, и магнитным потоком, создаваемым этим же полем [5].

Устранение самовозбуждения в синхронном генераторе с продольно-поперечным возбуждением — это важная задача для обеспечения стабильной работы генератора и предотвращения нежелательных переходных процессов, таких как перегрузки, нестабильность и разрушение компонентов машины. Самовозбуждение может привести к чрезмерному увеличению напряжения возбуждения и, как следствие, к перегрузке или повреждению генератора [6, 7].

Самовозбуждение может проявляться в виде чрезмерных колебаний тока и напряжения, что может привести к перегрузке и повреждению оборудования. Для устранения самовозбуждения необходимо использовать эффективные методы регулирования возбуждения.

Использование поперечного возбуждения для компенсации продольного возбуждения помогает улучшить контроль над колебаниями и повысить устойчивость к самовозбуждению.

Работы по системам автоматического регулирования возбуждения синхронных генераторов рассматривают их влияние на устойчивость и динамику машины. Современные подходы используют полупроводниковые выпрямители, микропроцессорные регуляторы и цифровые схемы возбуждения с повышенным быстродействием, что прямо связано с предотвращением нежелательного самовозбуждения.

Исследования показывают, что помехи внешней сети (например, несимметричные короткие замыкания) или наличие емкостной нагрузки могут существенно влиять на поведение системы самовозбуждения и устойчивость синхронного генератора. Анализ таких явлений полезен для понимания риска перехода в режим самовозбуждения в сложных энергетических сетях.

В работах по анализу синхронных генераторов показано, что при наличии емкостных нагрузок (например, в системах переменной частоты или авиационных энергетических установках) условия самовозбуждения существенно изменяются: критерий устойчивости зависит от частоты, емкости и соотношения импедансов машины и нагрузки.

В научных публикациях (например, работа в Международном журнале инженерии, энергетики и техники), исследуется влияние двухосного (продольно-поперечного) возбуждения на процессы колебаний и самовозбуждения. Биаксиальная схема возбуждения улучшает демпфирование переходных процессов и уменьшает риск возникновения самовозбуждения при определенных режимах.

Работы, такие как статьи об интегральных системах возбуждения и регуляторах напряжения (например, скользящий режим регулятора для явнополюсных генераторов), дают представления о методах подавления колебаний и устойчивого управления возбуждением, что важно для предотвращения асинхронного самовозбуждения.



Хотя непосредственно не касаются синхронных генераторов с продольно-поперечным возбуждением, критические обзоры самовозбуждения в контексте асинхронных генераторов служат полезной методологической базой: методы анализа устойчивости, переходные процессы, спектральные характеристики колебаний и др.

Механизм самовозбуждения в синхронных генераторах тесно связан с конструкцией возбуждения, параметрами машины и сетью; явление усиливается в присутствии емкостной нагрузки и длинных линий.

Современные системы регулирования возбуждения (например, цифровые и полупроводниковые регуляторы) направлены на повышение устойчивости, быстродействие и предотвращение самовозбуждения.

Продольно-поперечное (биаксиальное) возбуждение может улучшать демпфирование и устойчивость относительно классических схем за счёт лучшего управления динамикой магнитного поля.

Методы анализа устойчивости и спектрального анализа (например, переходные процессы, критерии устойчивости и спектр колебаний) используются в исследованиях для оценки риска асинхронного самовозбуждения.

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

В рамках данного исследования применялась экспериментально-математическая методология, основанная для устранения самовозбуждения, вызванного изменением параметров сети, путем правильного регулирования тока поперечной обмотки возбуждения синхронного генератора с продольным и поперечным возбуждением, а также математическая модель этого процесса.

АНАЛИЗ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Математическая модель синхронного генератора продольно-поперечного возбуждения (СГППВ) может включать уравнения для магнитных потоков, колебаний углов и регулирования тока возбуждения с использованием PID-регулятора [8, 9].

Моделирование переходных процессов синхронных генераторов с продольно-поперечным возбуждением (СГППВ) – сложная задача, связанная с учетом электромагнитных, механических и тепловых процессов в машине. В отличие от традиционных синхронных генераторов, СГППВ обладают двумя независимыми системами возбуждения [10]:

1. Продольное возбуждение – создаёт основное магнитное поле, как в классическом синхронном генераторе.

2. Поперечное возбуждение – формирует магнитное поле в направлении, перпендикулярном продольной оси ротора, что улучшает характеристики регулирования напряжения [11].

Основные этапы моделирования:

1. Составление математической модели

Модель включает:

Уравнения электромагнитного состояния (уравнения Кирхгофа для якорной цепи и цепей возбуждения).

Уравнения механической динамики (уравнение движения ротора).

Используют либо классические дифференциальные уравнения, либо методы пространственных векторов (метод d-q координат).

2. Численные методы решения

Метод Рунге-Кутты для интегрирования дифференциальных уравнений (Табл. 1).

Таблица 1. Исходные данные синхронного генератора¹

Параметр	Единица измерения	Значение
Номинальная мощность	кВА	3
Номинальный ток статора	А	7
Номинальное напряжение	В	230
Номинальный ток ротора	А	7
Частота вращения	об/мин	1500
КПД	%	85
Момент инерции	Кг*м ²	0,07178
Масса	кг	78

¹ Источник: разработка автора.



Для моделирования используется двусная теория Парк-Клосса с координатами d (продольная ось) и q (поперечная ось).

Используя следующую динамическую эквивалентную схему, строятся уравнения СГППВ (Рис. 1):

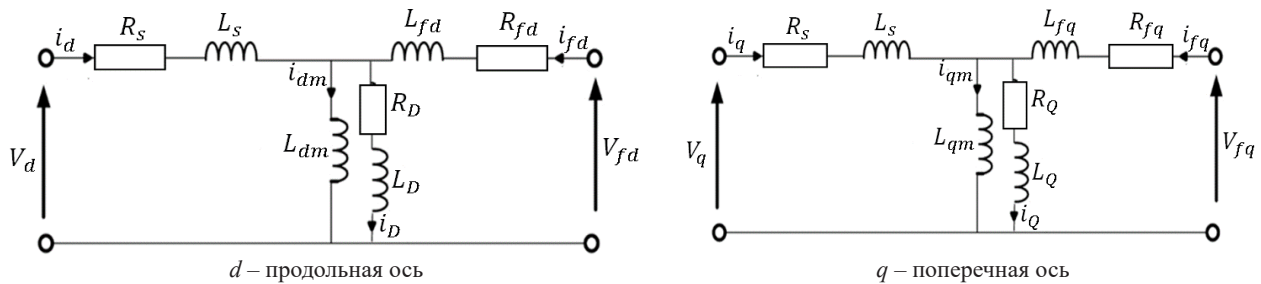


Рисунок 1. Динамическая эквивалентная схема СГППВ²

Для исключения периодических коэффициентов при моделировании уравнение записывается в системе координат (d, q) , фиксированной относительно ротора. На (1) представлена уравнение напряжения статора [19].

$$\left. \begin{aligned} U_{sd} &= i_{sd} r_s + \frac{d\psi_d}{dt} + \omega_s \psi_q \\ U_{sq} &= i_{sq} r_s + \frac{d\psi_q}{dt} - \omega_s \psi_d \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

здесь i_{sd}, i_{sq} - токи статора по продольной и поперечным осям.

На (2) представлена уравнение потокосцепления статора по продольной и поперечным осям [10].

$$\left. \begin{aligned} \psi_d &= L_{sd} i_{sd} + M_{Ad} (i_{fd} + i_{fq} + i_{Dd}) \\ \psi_q &= L_{sq} i_{sq} + M_{Aq} (i_{fq} + i_{fd} + i_{Dq}) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

здесь i_{fq}, i_{fd} - токи обмотки возбуждения соответственно поперечным, продольной осями; i_{Dd}, i_{Dq} - токи демпферной обмотки; L_{sd}, L_{sq} - индуктивность обмотки статора соответственно, продольным и поперечным осям [12, 13].

На (3) представлена уравнение напряжения обмотки возбуждения по продольной и поперечным осям.

$$\left. \begin{aligned} U_{fd} &= \frac{d\psi_{fd}}{dt} + r_{fd} i_{fd} \\ U_{fq} &= \frac{d\psi_{fq}}{dt} + r_{fq} i_{fq} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

здесь U_{fd}, U_{fq} - напряжения обмотки возбуждения соответственно, продольным и поперечной осями.

На (4) представлена уравнение потокосцепления обмотки возбуждения соответственно, продольным и поперечным осям.

$$\left. \begin{aligned} \psi_{fd} &= L_{fd} i_{fd} + M_{Ad} i_d + \frac{3}{2} M_{Ad} i_{sd} \\ \psi_{fq} &= L_{fq} i_{fq} + M_{Aq} i_q + \frac{3}{2} M_{Aq} i_{sq} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

здесь L_{fd}, L_{fq} - индуктивность обмотки возбуждения соответственно, продольным и поперечной осям.

На (5) представлена уравнение демпферного контура соответственно, продольным и поперечным осям.

2 Источник: разработка автора.

$$\left. \begin{aligned} 0 &= \frac{d\psi_{Dd}}{dt} + r_{Dd} i_{Dd} \\ 0 &= \frac{d\psi_{Dq}}{dt} + r_{Dq} i_{Dq} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

здесь, r_{Dd} , r_{Dq} - активное сопротивления демпферного контура соответственно, продольным и поперечной осями.

На (6) представлена уравнение потокосцепления демпферного контура соответственно, продольным и поперечным осям.

$$\left. \begin{aligned} \psi_{Dd} &= L_{Dd} i_{Dd} + M_{Ad} i_{fd} + M_{Aq} i_{fq} + M_{Ad} i_{sd} + \frac{3}{2} M_{Aq} i_{sq} \\ \psi_{Dq} &= L_{Dq} i_{Dq} + M_{Aq} i_{fq} + M_{Ad} i_{fd} + \frac{3}{2} M_{Ad} i_{sd} + M_{Aq} i_{sq} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

здесь, M_{Ad} , M_{Aq} - взаимная индуктивность любой пары контуров по осям d и q машины.

На (7) представлена уравнение электромагнитного момента и уравнения движения ротора синхронного генератора с продольно - поперечным возбуждением.

$$\left. \begin{aligned} M_{\varepsilon} &= \frac{3}{2} (\psi_d i_{sq} - \psi_q i_{sd}) \\ J \omega_s \frac{ds_M}{dt} &= M_{MEX} - M_{\varepsilon} - D(\omega_s) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

здесь, M_{ε} - электромагнитный момент, J - момент инерции, вращающейся частей, $D(\omega_s)$ - демпферный момент.

Чтобы добавить дополнительные эффекты и создать более сложную модель асинхронного самовозбуждения для синхронного генератора с продольно-поперечным возбуждением, мы можем учесть следующие важные моменты:

Моделирование самовозбуждения: самовозбуждение подразумевает, что генератор начинает возбуждаться даже при отсутствии внешнего источника энергии, благодаря магнитной связи и вращению ротора. Этот процесс зависит от изменения параметров индуктивности и сопротивления ротора, а также от взаимодействия статорных и роторных обмоток.

Асинхронное самовозбуждение является наиболее опасным для электрических систем, поскольку в таком виде самовозбуждения колебания обычно нарастают в течение нескольких периодов до установившегося значения, а существующие АРВ не в состоянии подавить этот быстроразвивающийся процесс. Поэтому мы рекомендуем следующий метод устранения любого переходной процесс самовозбуждения и самораскачивания синхронных генераторов.

Как видно из уравнения (4) системы уравнений, поскольку можно управлять током возбуждения в обмотке поперечной оси синхронного генератора с продольно - поперечным возбуждением то, управляя током возбуждения поперечной обмотки, регулируется потокосцепления обмотки возбуждения по значением и по направлением, тогда можно устранить любые самовозбуждающиеся процессы. Кроме того, появится возможность снизить зона неустойчивости.

Для моделирования асинхронного самовозбуждения можно добавить эффекты, которые будут учитывать скольжение ротора (особенно в случае асинхронного возбуждения), а также влияние механических потерь и параметров системы.

Учет асинхронности: нужно добавить переменную для скольжения ротора и механические потери, которые повлияют на процесс самовозбуждения.

Динамика самовозбуждения: будем моделировать самовозбуждение через нелинейную зависимость между токами возбуждения, напряжением и параметрами ротора.

Включаем систему нелинейных уравнений для процесса самовозбуждения, что позволяет учитывать изменения в электромагнитной мощности, учитывая взаимодействие между статором и ротором.

Рассчитываем параметры скольжения ротора и используем их для моделирования асинхронного возбуждения.

Включаем механические потери, которые влияют на динамику возбуждения.

На кафедре «Инженерия электрических машин и приводов» в Ташкентском государственном университете существует неявнополюсный синхронный генератор с продольно-поперечным возбуждением.



Проводя эксперименты на этом стенде, удалось устранить самовозбуждения, возникающие в синхронном генераторе, путем правильного регулирования тока в цепи возбуждения по поперечным осям. Данные процессы регистрировались с помощью осциллографа LeCroy WaveRunner 64Xi-A для записи осциллограмм тока статора.

На рисунок 2 показано физический модель синхронного генератора с продольно-поперечным возбуждением мощностью 3 кВА (Рис. 2).

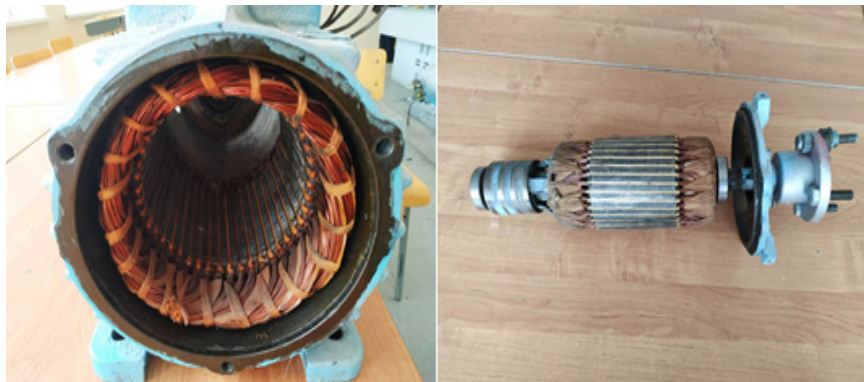


Рисунок 2. Синхронный генератор двухосного возбуждения мощностью 3 кВА³

На рисунок 3 показано изменение тока статора при процессе самовозбуждение синхронного генератора (Рис. 3).

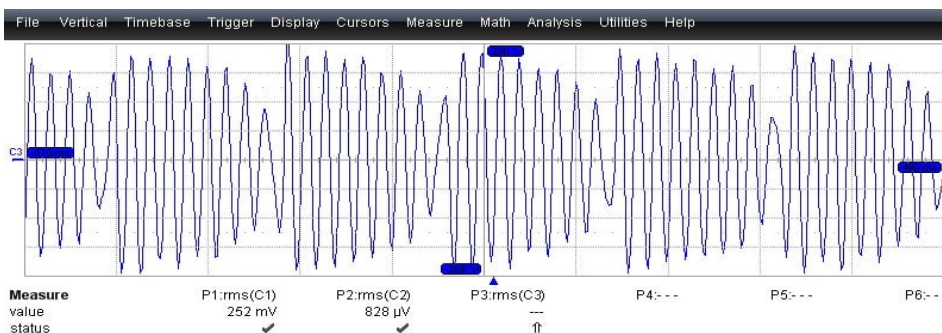


Рисунок 3. Изменение тока статора при процессе самовозбуждение синхронного генератора мощностью 3 кВА⁴

На рисунок 4 показано график изменение тока статора при устранении самовозбуждения, возникающие в синхронном генераторе, путем правильного регулирования тока в цепи возбуждения по поперечным осям (Рис. 4).

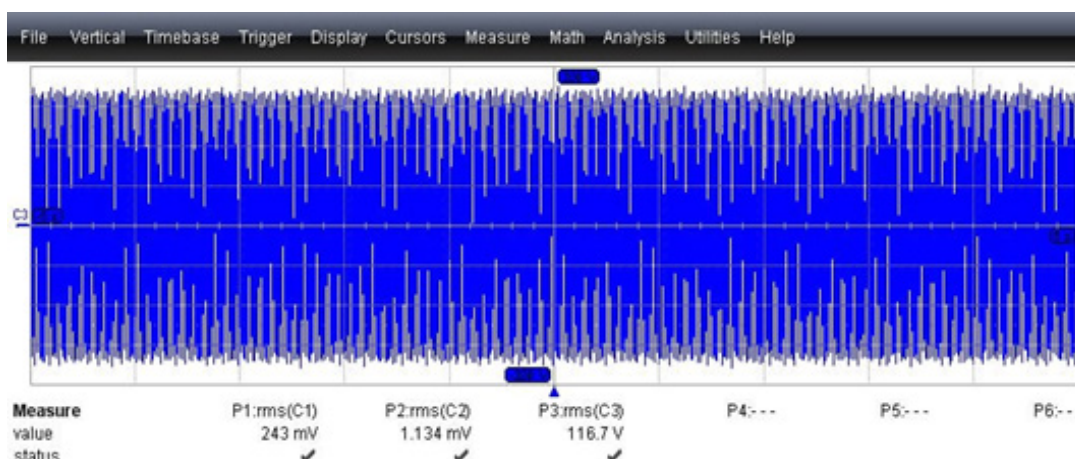


Рисунок 4. Изменение тока статора при устранении процесс самовозбуждение синхронного генератора мощностью 3 кВА⁵

3 Источник: разработка автора.

4 Источник: разработка автора.

5 Источник: разработка автора.

ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Изменение токов возбуждения как продольного, так и поперечного имеет критическое значение для устойчивости СГППВ. Оптимальное управление возбуждением помогает не только улучшить характеристики напряжения и мощности, но и повысить устойчивость к колебаниям и переходным процессам, особенно при самовозбуждении.

Асинхронное самовозбуждение характеризуется резким нарастанием тока и напряжения в течение нескольких периодов, частотой, отличной от синхронной, ограничением амплитуды насыщением магнитной системы и невозможностью подавления стандартными регуляторами возбуждения из-за высокой скорости развития. Данный процесс относится к быстропротекающим неустойчивостям электромагнитной природы.

Асинхронное самовозбуждение синхронных генераторов с продольно-поперечным возбуждением является сложным многофакторным нелинейным динамическим процессом, определяемым взаимодействием двухосной магнитной системы машины с параметрами внешней сети.

При проектировании таких генераторов рекомендуется выполнять предварительный расчет собственной частоты системы, проверять условие отсутствия совпадения с опасным диапазоном частот, а также учитывать параметры X_d , X_q и влияние насыщения магнитной системы.

Со стороны параметров электрической сети целесообразно ограничивать протяжённость холостых линий электропередачи, устанавливать демпфирующие реакторы и контролировать ёмкостную проводимость сети, поскольку эти факторы могут усиливать условия возникновения асинхронного самовозбуждения.

В системе возбуждения рекомендуется оптимизировать коэффициент усиления автоматического регулятора возбуждения, минимизировать запаздывание в каналах управления, применять цифровые адаптивные регуляторы, а также вводить ограничители напряжения для повышения устойчивости работы генератора.

При выборе режимов включения генераторов необходимо избегать включения на полностью холостую линию, контролировать уровень остаточного напряжения и применять поэтапное повышение напряжения, что позволяет снизить вероятность возникновения асинхронного самовозбуждения и обеспечить более устойчивую работу энергетической системы.

Список использованной литературы:

1. Армеев Д. В., Чехонадских А. В., Нестеренко Г. Б. Переходные процессы синхронного генератора с ПИДД2 АВВ на границе устойчивости // Новое в российской электроэнергетике. – 2017. – № 12. – С. 33–43.
2. Меркурьев Г. В., Шаргин Ю. М. Устойчивость энергосистем. – СПб.: Центр подготовки кадров энергетики, 2012. – 330 с.
3. Хрущев Ю. В., Заповодников К. И., Юшков А. Ю. Электромеханические переходные процессы в электроэнергетических системах: учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 160 с.
4. Шакарян Ю. Г., Лабунец И. А., Сокур П. В., Плотникова Т. В. и др. Разработка и перспективы применения новых типов турбогенераторов // Электротехника. – 2010. – № 2. – С. 16–25.
5. Аршунин С. А., Голов П. В., Антипова Н. А., Лабунец И. А., Сокур П. В. Применение асинхронизированных турбогенераторов на электростанциях ОАО «Мосэнерго» // Электротехника. – 2010. – № 2. – С. 14–18.
6. Ботвинник М. М. Сильное регулирование возбуждения и асинхронизированные машины. – Москва: Торус Пресс, 2011. – 157 с.
7. Зинаков В. Е., Сокур П. В., Лабунец И. А. Динамическая устойчивость электростанций, содержащих асинхронизированные турбогенераторы // Электро. – 2001. – № 2. – С. 17–25.
8. Аристов А. В., Бурулько Л. К., Паю Л. А. Математическое моделирование в электромеханике: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 155 с.
9. Pirmatov N. B., Bekishev A. E. Simulation of transient processes (self-swinging) of synchronous generator in MATLAB // Production, Transmission and Distribution of Electricity and Its Rational Use: Collection of Scientific Works of the Republican Conference. – Tashkent, 2020. – P. 235–236.
10. Toirov O., Bekishev A., Urakov S., Mirkhonov U. Development of differential equations and their solution using the Simulink MATLAB program for calculating the self-swinging of synchronous machines with traditional and longitudinal-transverse excitation // E3S Web of Conferences. – 2020. – Vol. 216. – Article 01116. – P. 1–4.
11. Pirmatov N. B., Bekishev A. E. Comparative experimental analysis of the performance and viability of traditional and biaxial excitation synchronous generators in asynchronous mode without excitation // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. – 2023. – Vol. 10, Issue 4. – P. 20598–20601.
12. Xu G., Hu Y., Hao X., Zhan Y., Zhao H., Liu X., Luo Y. The relationship of magnetomotive force under different excitation modes of dual-excited synchronous generator // IEEE Transactions on Magnetics. – 2018. – Vol. 54, No. 3. – P. 1–4.
13. Xu G., Wang Z., Liu B., Zhan Y., Li W., Zhao H., Huang H., Yu H. Finite-element calculation of electromagnetic characteristics and steady-state stability of dual-excited synchronous generator // IET Electric Power Applications. – 2021. – Vol. 15, No. 10. – P. 1300–1313.

muhandislik **& iqtisodiyot**

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

Ingliz tili muharriri: Feruz Hakimov

Musahhih: Zokir Alibekov

Sahifalovchi va dizayner: Abdurahmon Qurbonov

2026. № 3

© Materiallar ko'chirib bosilganda "Muhandislik va iqtisodiyot" jurnali manba sifatida ko'rsatilishi shart. Jurnalda bosilgan material va reklamalardagi dalillarning aniqligiga mualliflar ma'sul. Tahririyat fikri har vaqt ham mualliflar fikriga mos kelamasligi mumkin. Tahririyatga yuborilgan materiallar qaytarilmaydi.

"Muhandislik va iqtisodiyot" jurnali 26.06.2023-yildan
O'zbekiston Respublikasi Prezidenti Adminstratsiyasi huzuridagi
Axborot va ommaviy kommunikatsiyalar agentligi tomonidan
№S-5669245 reyestr raqami tartibi bo'yicha ro'yxatdan o'tkazilgan.
Litsenziya raqami: №095310.

**Manzilimiz: Toshkent shahri Yunusobod
tumani 15-mavze 19-uy**





+998 93 718 40 07



<https://muhandislik-iqtisodiyot.uz/index.php/journal>



t.me/yait_2100