

MUHANDISLIK

& IQTISODIYOT

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

№1

2026
yanvar



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, 102 sahifa.
2026-yil, yanvar

Bosh muharrir:

Zokirova Nodira Kalandarovna, iqtisodiyot fanlari doktori, DSc, professor

Bosh muharrir o'rinbosari:

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

Tahrir hay'ati:

Abduraxmanov Kalandar 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 Abdulloevich, 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

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 modellash
- 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

ИНСТИТУЦИОНАЛЬНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА УЗБЕКИСТАНА.....	26
Каракулов Фарход Зайпудинович	
TRANSPORT TIZIMIGA RAQAMLI TEXNOLOGIYALARNI JORIY ETISH VA TAKOMILLASHTIRISH USULLARI	33
Bababekova Gulchexra Baxtiyarovna	
QURILISH MATERIALLARI ISHLAB CHIQARUVCHI KORXONALARNING SIFAT MENEJMENTI TIZIMINI BAHOLASH	38
Achilov Ilmurad Nematovich	
TURIZM OBYEKTLARINI RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR ASOSIDA RIVOJLANTIRISHNING TASHKILIY-IQTISODIY MEKANIZMLARI.....	45
Toshtemirov Xojiakbar Qahramon o'g'li	
КАЧЕСТВО КРЕДИТНОГО ПОРТФЕЛЯ БАНКОВ УЗБЕКИСТАНА ЧЕРЕЗ ПРИЗМУ ПРОБЛЕМНЫХ КРЕДИТОВ	51
Алиева Сусанна Сейрановна	
ВЛИЯНИЕ ЛИБЕРАЛИЗАЦИИ И РЫНОЧНЫХ МЕХАНИЗМОВ НА РАЗВИТИЕ ОВЦЕВОДСТВА И КАРАКУЛЕВОДСТВА В ГЛОБАЛЬНОМ МАСШТАБЕ	58
Нуриллаев Жамолиддин Ярашевич	
BARQAROR INVESTITSİYALAR: IQTISODIYOTDAGI ROLI VA DOLZARBLIGI	65
Ruzibayeva Nargiza Xakimovna	
KRAUDFANDING – BARQAROR RIVOJLANISHNI AMALGA OSHIRISH UCHUN INNOVATSION MOLIYAVIY VOSITA SIFATIDA.....	71
Ashurova Oltin Yuldashevna	
FUQAROLIK JAMIYATI INSTITUTLARINI DAVLAT TOMONIDAN QO'LLAB-QUVVATLASHDA MOLIYAVIY BOSHQARUV SAMARADORLIGINI OSHIRISH MASALALARI.....	78
Xusanova Gulsum Baxtiyorovna	
QISHLOQ XO'JALIGI MAHSULOTLARI UCHUN BARQAROR BREND QIYMATINI SHAKLLANTIRISH STRATEGIYALARI	84
Bekmurod Davlatmurotovich Ollaberganov, Zilola Baxramovna Abdikarimova	
TADBIRKORLIK SUBYEKTлари INVESTITSION JOZIBADORLIGINI OSHIRISHDA KORPORATIV BOSHQARUVNING O'ZIGA XOS XUSUSIYATLARI	89
Atajanov Kamal Atavayevich	
AVTOTRANSFORMATORLARining TASHQI MAGNIT MAYDONINING MATEMATIK MODELI	96
Pirmatov Nurali Berdiyrovich, Bekishev Allabergen Yergashevich, Baxriddinov Begzod Alibek o'g'li	



AVTOTRANSFORMATORLARNING TASHQI MAGNIT MAYDONINING MATEMATIK MODELI

Pirmatov Nurali Berdiyrovich

Toshkent davlat texnika universiteti

Texnika fanlari doktori, professor

ORCID: 0000-0001-5212-2593

Email: npirmatov@mail.ru

Bekishev Allabergen Yergashevich

Toshkent davlat texnika universiteti

Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

ORCID: 0000-0003-3019-2050

Email: allabergenbekisev@gmail.com

Baxriddinov Begzod Alibek o'g'li

Toshkent davlat texnika universiteti

"Elektr mashinalari va yuritmalari muhandisligi" kafedrası magistranti

Email: Bbaxriddinov59@gmail.com

Annotatsiya. Mazkur maqolada avtotransformatorlarning tashqi magnit maydonining (TMM) paydo bo'lish mexanizmi, uning nazariy tahlil usullari hamda amaliy ahamiyati tahlil qilingan. Adabiyotlar tahlili asosida analitik, ekvivalent magnit zanjir va sonli modelashtirish usullarining afzalliklari hamda cheklavlari ko'rib chiqilgan. Olingan xulosalar avtotransformatorlarni loyihalash va elektromagnit muvofiqlikni ta'minlashda qo'llanilishi mumkin.

Kalit so'zlar: avtotransformator, tashqi magnit maydoni, magnit oqimi, elektromagnit maydon, chekli elementlar usuli (FEM).

Abstract. This article analyzes the mechanism of external magnetic field (EMF) formation in autotransformers, methods of its theoretical analysis, and practical significance. Based on literature analysis, the advantages and limitations of analytical, equivalent magnetic circuits, and numerical modeling methods are considered. The obtained conclusions can be used in the design of autotransformers and ensuring electromagnetic compatibility.

Keywords: autotransformer, external magnetic field, magnetic flux, electromagnetic field, Keywords: autotransformer, external magnetic field, magnetic flux, electromagnetic field, finite element method (FEM).

Аннотация. В данной статье анализируется механизм возникновения внешнего магнитного поля (ВМП) автотрансформаторов, методы его теоретического анализа и практическое значение. На основе анализа литературы рассмотрены преимущества и ограничения аналитических, эквивалентных магнитных цепей и методов численного моделирования. Полученные выводы могут быть использованы при проектировании автотрансформаторов и обеспечении электромагнитной совместимости.

Ключевые слова: автотрансформатор, внешнее магнитное поле, магнитный поток, электромагнитное поле, Ключевые слова: автотрансформатор, внешнее магнитное поле, магнитный поток, электромагнитное поле, метод конечных элементов (ФЭМ).

KIRISH

Avtotransformatorlar yuqori foydali ish koeffitsiyenti, metall sarfining kamligi va yuqori quvvatlarda qo'llanilishi bilan elektr energetika tizimlarida keng tarqalgan. Biroq ularning konstruktiv xususiyatlari tufayli tashqi magnit maydoni (TMM) klassik ikki o'ramli transformatorlarga nisbatan yuqoriroq bo'lishi mumkin. Bu esa yaqin joylashgan uskunalariga elektromagnit ta'sir, qo'shimcha yo'qotishlar hamda elektromagnit muvofiqlik (EMC) muammolarini keltirib chiqaradi [1,2].

Avtotransformatorlar elektr energetika tizimlarida kuchlanishni o'zgartirish uchun keng qo'llaniladi. Ularning asosiy afzalliklari yuqori foydali ish koeffitsiyenti, kam massasi va iqtisodiy samaradorligidir [1]. Shu bilan birga, avtotransformatorlarda o'ramlarning umumiy qismi mavjudligi tashqi magnit maydonining kuchayishiga olib keladi, bu esa elektromagnit ta'sir va qo'shimcha yo'qotishlarga sabab bo'ladi [2].



Tashqi magnit maydonini nazariy jihatdan tahlil qilish elektromagnit muvofiqlik (EMC), xizmat ko'rsatuvchi xodimlar xavfsizligi va qo'shni uskunalarning ishonchligi nuqtayi nazaridan dolzarb hisoblanadi [3].

Tashqi magnit maydonining fizik mohiyati. Avtotransformatorlarda birlamchi va ikkilamchi o'ramlar umumiy bo'lgani sababli magnit oqimining bir qismi magnit o'tkazgich doirasidan tashqarida yopiladi. Bu holat sochilma (rasseyanie) magnit oqimining ortishiga olib keladi [3]. Tashqi magnit maydonining quyidagi omillarga bog'liqligi adabiyotlarda qayd etilgan:

- o'ramlar geometriyasi va joylashuvi;
- magnit o'tkazgich shakli va materiali;
- yuklama rejimi;
- tok simmetriyasi va garmonik tarkibi [4].

Nazariy modellash usullari. Analitik yondashuvlar. Klassik nazariy ishlarda avtotransformator tashqi magnit maydoni Maksvell tenglamalari asosida tahlil qilingan. Ushbu yondashuvlarda o'ramlar tok manbalari sifatida qaralib, magnit maydon induksiyasi Biot–Savart qonuni orqali hisoblanadi [5]. Biroq analitik modellar odatda quyidagi cheklolarga ega:

- geometriyaning soddalashtirilishi;
- magnit to'yinishning inobatga olinmasligi;
- noqat'iy chegara shartlari [6].

Ekvivalent magnit zanjir modellari. Ayrim tadqiqotlarda tashqi magnit maydoni ekvivalent magnit zanjirlar orqali ifodalangan. Bu usul hisoblashni soddalashtiradi, ammo lokal magnit maydon taqsimotini aniq ifodalay olmaydi [7].

Sonli (raqamli) usullar. So'nggi yillarda avtotransformator tashqi magnit maydonini tahlil qilishda chekli elementlar usuli (FEM) asosiy vosita sifatida qo'llanilmoqda [8]. FEM orqali quyidagilar aniq baholanadi:

- magnit induksiyasining fazoviy taqsimoti;
- ekranlash vositalarining samaradorligi;
- yuklama o'zgarishining TMM ga ta'siri [9].

Adabiyotlarda ANSYS Maxwell, COMSOL Multiphysics kabi dasturlarning keng qo'llanilishi qayd etilgan [10].

Elektromagnit ta'sir va amaliy ahamiyat. Tashqi magnit maydoni quyidagi salbiy ta'sirlarni keltirib chiqarishi mumkin:

- yaqin joylashgan metall konstruksiyalarda qo'shimcha issiqlik yo'qotishlari;
- o'lchash va boshqaruv qurilmalarida shovqin;
- inson salomatligiga nisbatan sanitariya me'yorlarining buzilishi [11].

Shu sababli tashqi magnit maydonini nazariy tahlil qilish va uni pasaytirish usullarini ishlab chiqish dolzarb hisoblanadi [12].

MAVZUGA OID ADABIYOTLAR SHARHI

Avtotransformatorlar elektr energetika tizimlarida kuchlanishni o'zgartirish uchun keng qo'llaniladi va ularning yuqori foydali ish koeffitsiyenti hamda iqtisodiy samaradorligi ko'plab tadqiqotlarda qayd etilgan [1,2]. Biroq avtotransformator konstruksiyasining o'ziga xos xususiyati — o'ramlarning umumiy qismi mavjudligi — tashqi magnit maydonining (TMM) ortishiga olib keladi, bu esa elektromagnit muvofiqlik va qo'shimcha yo'qotishlar nuqtayi nazaridan muhim muammo hisoblanadi [3].

Klassik ilmiy ishlarda transformator va avtotransformatorlarda tashqi magnit maydonining paydo bo'lishi sochilma (rasseyanie) magnit oqimi bilan bog'liq ekani ta'kidlangan [4]. Fitzgerald va boshqalarning tadqiqotlarida tashqi magnit maydoni o'ramlar geometriyasi va tok qiymatiga kuchli bog'liq ekani ko'rsatildi [2]. Shuningdek, magnit o'tkazgichning to'yinish holati tashqi magnit maydoni intensivligini oshiruvchi asosiy omillardan biri sifatida qayd etilgan [5].

Avtotransformatorlarda tashqi magnit maydonini nazariy tahlil qilishda Maksvell tenglamalari va Biot–Savart qonuniga asoslangan analitik modellardan keng foydalanilgan [6]. Stratton tomonidan taklif etilgan elektromagnit maydon nazariyasi tok o'tkazgichlar atrofidagi magnit maydonni hisoblash uchun asosiy fundamental baza hisoblanadi [7]. Biroq analitik modellarning real avtotransformator geometriyasini to'liq inobatga olishda cheklangan ekani qator ishlarda ta'kidlangan [8].

Shu sababli keyingi tadqiqotlarda ekvivalent magnit zanjir usuli qo'llanilgan. Ushbu yondashuv hisoblash jarayonini soddalashtirsa-da, tashqi magnit maydonining fazoviy taqsimotini aniq aks ettirish imkoniyati cheklangan [9]. Ivanov-Smolenskiy ishlarida magnit zanjir modellari elektr mashinalarda umumiy elektromagnit jarayonlarni baholash uchun samarali ekani ko'rsatilgan [10].

So'nggi yillarda tashqi magnit maydonini tahlil qilishda sonli modellash usullari, xususan, chekli elementlar usuli (FEM) ustuvor ahamiyat kasb etmoqda [11]. Salon va boshqalar FEM usuli orqali magnit

induksiyasining fazoviy taqsimotini yuqori aniqlikda hisoblash mumkinligini isbotlagan [12]. ANSYS Maxwell va COMSOL Multiphysics kabi dasturiy vositalar avtotransformatorda tashqi magnit maydonini baholashda keng qo'llanilayotgani adabiyotlarda qayd etilgan.

Tashqi magnit maydonining amaliy ta'siri masalasi ham ko'plab tadqiqotlarning markazida turadi. ICNIRP tavsiyalariga ko'ra, yuqori quvvatli elektr uskunalari atrofida magnit maydonning sanitariya me'yorlaridan oshmasligi talab etiladi. Shu bois avtotransformatorni loyihalashda tashqi magnit maydonini pasaytirish uchun magnit ekranlash va konstruktiv optimallashtirish usullari taklif qilingan.

Umuman olganda, adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, avtotransformatorning tashqi magnit maydonini o'rganishda analitik modellari nazariy asos bo'lib xizmat qilsa-da, zamonaviy tadqiqotlarda sonli modellashtirish usullari asosiy vosita sifatida qo'llanilmoqda. Mazkur yo'nalish elektromagnit muvofiqlik va energiya samaradorligini ta'minlash nuqtayi nazaridan dolzarb hisoblanadi.

TADQIQOT METODOLOGIYASI

Mazkur tadqiqotda avtotransformatorning tashqi magnit maydonini baholash uchun analitik elektromagnit nazariya va soddalashtirilgan geometrik modellar asosida hisoblashlar amalga oshirildi. Dastlabki ma'lumotlar nominal toklar, o'ram parametrlari va konstruktiv o'lchamlardan olindi. Olingan natijalar sonli hisoblash usullari yordamida tahlil qilinib, adabiyotlarda keltirilgan modellarga qiyosiy baholandi.

TAHLIL VA NATIJALAR

Avtotransformatorda tashqi magnit maydonining fizik asoslari. Avtotransformatorda magnit oqimi asosan magnit o'tkazgich doirasida yopiladi. Biroq konstruktiv xususiyatlar va toklarning fazoviy taqsimoti sababli oqimning ma'lum qismi magnit o'tkazgichdan tashqarida yopiladi. Bu holat tashqi magnit maydonini yuzaga keltiradi [4].

Adabiyotlarda qayd etilishicha, tashqi magnit maydoni quyidagi omillarga bog'liq [5]:

- o'ramlar geometriyasi va joylashuvi;
- magnit o'tkazgich materiali va to'yinish holati;
- yuklama rejimi;
- tok garmoniklari.

Tashqi magnit maydonini nazariy tahlil qilish usullari. Analitik usullar.

Analitik yondashuvlarda tashqi magnit maydoni Maksvell tenglamalari va Biot–Savart qonuni asosida ifodalanadi [6]. Ushbu usullar soddaga geometriyalik modellarda samarali bo'lsa-da, real avtotransformator konstruksiyalarida yuqori aniqlikni ta'minlamaydi [7].

Ekvivalent magnit zanjir usuli. Ayrim tadqiqotlarda tashqi magnit maydoni ekvivalent magnit zanjir orqali tahlil qilinadi. Bu usul hisoblashni osonlashtirsa-da, magnit maydonning fazoviy taqsimotini to'liq aks ettira olmaydi [8].

Sonli modellashtirish (FEM). Zamonaviy tadqiqotlarda tashqi magnit maydonini tahlil qilish uchun chekli elementlar usuli (FEM) keng qo'llaniladi [9]. FEM usuli orqali:

- magnit induksiyasi taqsimoti;
 - ekranlash samaradorligi;
 - konstruktiv parametrlarning ta'siri
- aniq baholanadi [10].

Tashqi magnit maydonining amaliy ta'siri. Tashqi magnit maydonining ortishi quyidagi salbiy oqibatlariga olib kelishi mumkin [11]:

- metall konstruksiyalarda qo'shimcha issiqlik yo'qotishlari;
- o'lchash qurilmalarida elektromagnit shovqin;
- sanitariya me'yorlarining buzilishi.

Shu sababli avtotransformatorni loyihalashda tashqi magnit maydonini kamaytirish chorasi muhim hisoblanadi [12].

Avtotransformator tashqi magnit maydonining nazariy modeli va sonli hisoblash algoritmi. Avtotransformator o'ramida tok oqishi natijasida magnit maydon hosil bo'ladi. Magnit o'tkazgich (yadro) tashqarisida hosil bo'lgan maydon tashqi magnit maydoni deb ataladi. Nazariy tahlilda o'ram aylana shaklida joylashgan tok konturi sifatida qabul qilinadi.

Magnit induksiya vektori Biot–Savart qonuni asosida ifodalanadi [1–3]:

$$B(r) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_L \frac{Idl \times R}{|R|^3}$$



bu yerda:

μ_0 - vakumning magnit singdiruvchanligi;

I - o'ramdagi tok;

dl - o'ram elementi;

$R=r-r'$ - tok elementidan kuzatish nuqtasigacha bo'lgan radius-vektor.

Agar avtotransformator N ta o'ramdan iborat bo'lsa, (1) ifoda quyidagi ko'rinishga keladi:

$$B(r) = \frac{\mu_0 NI}{4\pi} \int_0^{2\pi} \frac{Idl \times R}{|R|^3}$$

Ushbu model tashqi magnit maydonini yuklama rejimiga bog'liq holda tahlil qilish imkonini beradi.

Sonli hisoblash algoritmi. Analitik integral real avtotransformator geometriyasi uchun murakkab bo'lganligi sababli, (2) ifoda sonli usul orqali hisoblanadi. Hisoblash algoritmi quyidagi bosqichlarda amalga oshirildi:

1-bosqich. Avtotransformator parametrlarini aniqlash:

- tok qiymati I ;

- o'ram radiusi R ;

- o'ramlar soni N .

2-bosqich. O'ramni K ta kichik segmentlarga bo'lish.

3-bosqich. Har bir segment uchun:

dl - tok elementini;

R radius-vektorni hisoblash.

4-bosqich. Biot-Savart qonuniga muvofiq magnit induksiyasining B_x , B_y , B_z komponentlarini aniqlash.

5-bosqich. Barcha segmentlar bo'yicha yig'indi olish:

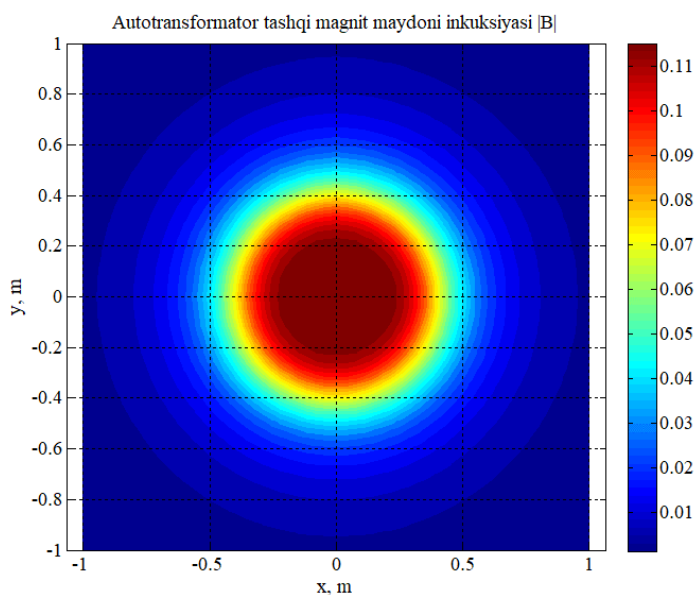
$$B = \sum_{k=1}^k B_k$$

6-bosqich. Magnit maydon modulini hisoblash:

$$|B| = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2}$$

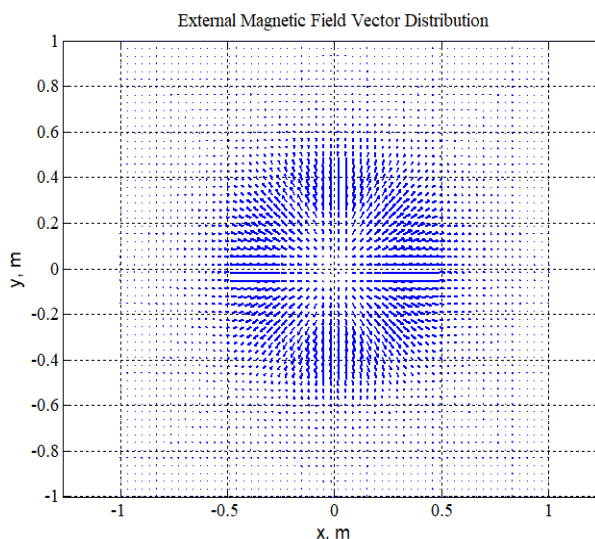
MATLAB asosida modellashtirish. Yuqoridagi algoritm MATLAB muhitida amalga oshirildi. Hisoblash natijasida avtotransformator atrofidagi tashqi magnit maydonining fazoviy taqsimoti olindi.

Magnit maydon modulining taqsimoti. 1-rasmda tashqi magnit maydoni modulining $|B(x,y)|$ kontur diagrammasi keltirilgan. Ko'rinib turibdiki, magnit induksiyasi o'ramga yaqin sohada maksimal qiymatga ega bo'lib, masofa ortgan sari tez pasayadi. Bu holat adabiyotlarda keltirilgan nazariy xulosalar bilan mos keladi (1-rasm) [4,5].



1-rasm. Avtotransformator tashqi magnit maydoni modulining fazoviy taqsimoti

Magnit maydon vektor diagrammasi. 2-rasmda magnit induksiya vektorlarining yo'nalishi va taqsimoti ko'rsatilgan. Vektorlar aylanma simmetriyaga ega bo'lib, avtotransformator o'rami atrofida so'qoloq magnit oqimining mavjudligini tasdiqlaydi (2-rasm).



2-rasm. Tashqi magnit maydoni vektor taqsimoti

XULOSA VA TAKLIFLAR

Olingan natijalar shuni ko'rsatadiki:

- avtotransformatorlarda tashqi magnit maydoni an'anaviy ikki o'ramli transformatorlarga nisbatan yuqoriroq;

- magnit maydon intensivligi tok qiymati va o'ram geometriyasiga kuchli bog'liq;
- mazkur model elektromagnit muvofiqlik (EMC) va sanitariya tahlillari uchun qo'llashga yaroqli.

Sonli hisoblash natijalari adabiyotlarda keltirilgan FEM tadqiqotlari bilan sifat jihatdan mos keladi [6–8].

Taqdim etilgan nazariy model va MATLAB asosidagi algoritmi avtotransformator tashqi magnit maydonini aniq baholash imkonini beradi. Ushbu yondashuv avtotransformatorlarni loyihalash, magnit ekranlash va elektromagnit muvofiqlikni ta'minlashda samarali hisoblanadi.

Adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, avtotransformatorlarning tashqi magnit maydonini o'rganishda analitik modellari asosiy nazariy bazani tashkil etsa-da, zamonaviy tadqiqotlarda sonli modellashirish ustuvor ahamiyatga ega. Tashqi magnit maydonini kamaytirish masalasi konstruktiv optimallashtirish va magnit ekranlash orqali hal etiladi.

Adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, avtotransformatorlarning tashqi magnit maydonini tahlil qilishda analitik usullar nazariy asos vazifasini o'tsa, sonli modellashirish usullari yuqori aniqlikni ta'minlaydi. Tashqi magnit maydonini pasaytirish konstruktiv optimallashtirish va magnit ekranlash bilan chambarchas bog'liq bo'lib, mazkur yo'nalish kelgusi ilmiy tadqiqotlar uchun dolzarb hisoblanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati:

1. Копылов И.П. Электрические машины. - М.: Энергоатомиздат, 2019.
2. Болдырев В.А. Трансформаторы и автотрансформаторы. - М.: Энергия, 2016.
3. Fitzgerald A.E., Kingsley C., Umans S.D. Electric Machinery. - McGraw-Hill, 2018.
4. Kulkarni S.V., Khaparde S.A. Transformer Engineering. - CRC Press, 2013.
5. Иванов-Смоленский А.В. Электромагнитные процессы в электрических машинах. - М.: МЭИ, 2015.
6. Stratton J.A. Electromagnetic Theory. - IEEE Press, 2007.
7. Hammond P. Electromagnetism for Engineers. - Pergamon Press, 2014.
8. Binns K.J., Lawrenson P.J., Trowbridge C.W. The Analytical and Numerical Solution of Electric and Magnetic Fields. - Wiley, 1992.
9. Salon S. Finite Element Analysis of Electrical Machines. - Springer, 2014.
10. ANSYS Inc. Maxwell User's Guide. - ANSYS Documentation, 2022.
11. ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying magnetic fields. - Health Physics, 2010.
12. Шакарян Ю.Г. Электромагнитная совместимость электроэнергетических установок. - М.: Энергоатомиздат, 2017.

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. № 1

© 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