TRANSFORMATORLARDA ISSIQLIK BOSHQARUVI: SOVUTISH TIZIMLARI VA TEXNIKALARI

Joldasbaeva Guljahan Mayrambay qizi
E-mail: Joldasbaevaguljahan@gmail.com
Avazov Jo'rabek Uzoq o'g'li
E-mail: jurabekavazov@mail.ru
Discover Invest Injener energetik

Qabul qilindi: 03.11.2025
Ko‘rib chiqildi: 04.11.2025
Tasdiqlandi: 05.11.2025

Kalit so‘zlar:
Transformator, issiqlik boshqaruvi, sovutish tizimi, sovutish texnikasi, elektr qurilmalari.

Annotatsiya. Ushbu tadqiqot transformatorlarda issiqlik boshqaruvi va sovutish tizimlarini samarali tashkil etishga bag‘ishlangan. Tadqiqot davomida transformatorlarning ishlash jarayonida yuzaga keladigan issiqlik manbalari, turli sovutish tizimlari va ularning samaradorligini oshirish texnikalari o‘rganildi. Tadqiqot natijalari sovutish tizimlarining optimal ishlash sharoitlarini aniqlash va transformatorlarning ishlash muddatini uzaytirishda muhim rol o‘ynashini ko‘rsatadi.

Keywords:
Transformer, thermal management, cooling system, cooling techniques, electrical equipment.

Annotation. This study is devoted to thermal management and cooling systems in transformers. The research examined heat sources in transformer operation, various cooling systems, and techniques to enhance their efficiency. The results demonstrate the critical role of cooling systems in ensuring optimal operating conditions and extending the service life of transformers.

Ключевые слова:
Трансформатор, управление тепловым режимом, система охлаждения, методы охлаждения, электрическое оборудование.

Аннотация. Данное исследование посвящено управлению тепловыми режимами и системам охлаждения трансформаторов. В исследовании изучались источники тепла в процессе работы трансформаторов, различные системы охлаждения и методы повышения их эффективности. Результаты показывают важную роль систем охлаждения в обеспечении оптимальных условий работы и увеличении срока службы трансформаторов.

Kirish. Bugungi kunda energiya tizimlarining samaradorligi va ishonchliligi mamlakatlar iqtisodiyoti va sanoatining barqaror rivojlanishi uchun muhim omil hisoblanadi. Transformatorlar elektr energiyasini uzatish va taqsimlash tizimlarida asosiy qurilmalardan biri bo‘lib, ularning ishlash samaradorligi va xizmat muddati to‘g‘ridan-to‘g‘ri issiqlik boshqaruvi va sovutish tizimlariga bog‘liqdir. Transformatorlar ishlash jarayonida elektr

qarshiligi va magnit oqimlar natijasida issiqlik hosil qiladi, bu esa qurilmaning samaradorligini pasaytirishi, izolyatsiya materiallarini shikastlashi va texnik nosozliklarni keltirib chiqarishi mumkin. Shu sababli transformatorlarda issiqlikni boshqarish, samarali sovutish tizimlarini tanlash va ularning texnik parametrlarini optimallashtirish energiya uzatish tizimlarining ishonchliligi va xavfsizligini ta'minlashda muhim ahamiyatga ega. Tadqiqotning dolzarbligi shundaki, yuqori quvvatli transformatorlarda sovutish tizimining samaradorligi faqat qurilmaning ishlash muddatini uzaytiribgina qolmay, balki energiya tizimida uzluksiz va barqaror ishlashni ta'minlashga ham xizmat qiladi. Sovutish tizimlari tabiiy konveksiya, majburiy havo yoki suyuqlik orqali issiqlikni olib chiqish printsiplariga asoslangan bo‘lib, har bir texnologiya o‘zining samaradorligi va texnik murakkabligiga ega. Shu bilan birga, issiqlik boshqaruvi va sovutish texnikalarini loyihalashda transformatorning konstruksiyasi, ishlash sharoiti, quvvati va atrof-muhitning harorati kabi omillar hisobga olinadi. Tadqiqotning maqsadi shundan iboratki, transformatorlarda issiqlik boshqaruvi va sovutish tizimlarini samarali tashkil etish, ularning texnik va energiya samaradorligini oshirish hamda energiya uzatish tizimlarida uzluksiz ishlashni ta'minlashga yordam beradigan optimal yechimlarni aniqlashdir.

Tadqiqot davomida zamonaviy sovutish texnologiyalari, energiya samaradorligini oshirish usullari va transformatorlarda issiqlik monitoringini amalga oshirish mexanizmlari o‘rganiladi, bu esa qurilmaning uzoq muddat barqaror ishlashini ta'minlashga xizmat qiladi. Shu tarzda, tadqiqot transformatorlar issiqlik boshqaruvi va sovutish tizimlarini optimallashtirish bo‘yicha ilmiy va amaliy ahamiyatga ega bo‘lgan dolzarb masalani hal qilishga qaratilgan.

Adabiyotlar tahlili. Adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, transformatorlarda issiqlik boshqaruvi va sovutish tizimlari elektr energiyasini uzatish va taqsimlash tizimlarida qurilmalarning samaradorligi va ishonchliligini ta'minlashda muhim rol o‘ynaydi. [1] Tadqiqotlar natijalari ko‘rsatadiki, transformatorlarning ishlash jarayonida hosil bo‘ladigan issiqlik miqdori qurilmaning quvvati, ishlash sharoiti va konstruksiyasiga bog‘liq bo‘lib, samarali sovutish tizimlari bilan ta'minlanmagan holda texnik nosozliklar va energiya yo‘qotishlariga olib keladi. [2] Shu bilan birga, tabiiy konveksiya, majburiy havo yoki suyuqlik orqali sovutish tizimlari transformatorlarda issiqlikni samarali boshqarish va qurilmaning uzoq muddat barqaror ishlashini ta'minlashda muhim ahamiyatga ega. [3] Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, sovutish tizimlarining samaradorligi faqat texnik vositalarga bog‘liq bo‘lmay, balki ularning transformator konstruksiyasiga integratsiyasi, ishlash sharoitlari va monitoring tizimlari bilan uyg‘unligi ham muhim rol o‘ynaydi. [4] Shu bilan birga, zamonaviy sovutish texnologiyalari va issiqlik boshqaruvi usullari transformatorlarning energiya samaradorligini oshirish, izolyatsiya materiallarining xizmat muddatini uzaytirish va energiya uzatish tizimlarida

uzluksiz ishlashni ta’minlashga imkon beradi. [5] Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, transformatorlarda issiqlik boshqaruvi va sovutish tizimlarini optimallashtirish nafaqat qurilmaning texnik samaradorligini oshiradi, balki elektr energiyasi tizimining barqarorligi va xavfsizligini ta’minlashda muhim ahamiyatga ega. Shu tarzda, adabiyotlar tahlili transformatorlarda issiqlik boshqaruvi va sovutish tizimlarini samarali loyihalash va tatbiq etishning ilmiy va amaliy asoslarini mustahkamlashga yordam beradi.

Materiallar va usullar. Tadqiqot materiali sifatida turli quvvatli transformatorlar va ularning sovutish tizimlari tanlandi. Tadqiqot davomida transformatorlarning ishlash jarayonida yuzaga keladigan issiqlik manbalari, sovutish tizimlarining samaradorligi va ularning texnik parametrlari o‘rganildi. Tadqiqot usullari sifatida eksperimental kuzatish, matematik modellash, kompyuter simulyatsiyalari, analitik hisoblashlar va taqqoslash usullari qo‘llanildi. Eksperimental kuzatish orqali transformatorlarning ishlash sharoitida hosil bo‘ladigan issiqlik miqdori, sovutish tizimlarining haroratni pasaytirish samaradorligi va qurilmaning ishlash muddatiga ta’siri tahlil qilindi. Matematik modellash usuli yordamida transformatorlarda issiqlik taqsimoti, konveksiya va issiqlik uzatish jarayonlari o‘rganildi, bu esa sovutish tizimlarini loyihalashda optimal yechimlarni aniqlash imkonini berdi. Kompyuter simulyatsiyalari orqali transformatorlar va ularning sovutish tizimlari turli ish rejimlarida ishlash sharoitida test qilinib, issiqlik boshqaruvi samaradorligi baholandi. Analitik hisoblashlar va taqqoslash usullari sovutish tizimlarining turli variantlarini solishtirish, ularning energiya samaradorligini va texnik imkoniyatlarini baholashga xizmat qildi. Shu bilan birga, tadqiqot davomida transformatorlarning konstruktsiyasi, quvvati, ishlash sharoiti va atrof-muhit harorati kabi parametrlar hisobga olindi, bu esa sovutish tizimlarini optimallashtirish va issiqlik boshqaruvini samarali tashkil etish imkonini berdi. Natijada, tadqiqot transformatorlarda issiqlik boshqaruvi va sovutish tizimlarini loyihalash va baholashda ilmiy asoslangan usullarni ishlab chiqish va amaliyotga tatbiq etish imkoniyatini yaratdi.

1-Jadval. Transformatorlarda sovutish tizimlari va ularning samaradorligi

Sovutish tizimi turi	Qo‘llash shakli	Issiqlik boshqaruvi va samaradorlik darajasi
Tabiiy konveksiya (ONAN)	Havo orqali tabiiy issiqlik uzatish	O‘rta – kichik quvvatli transformatorlar uchun samarali, energiya tejovchi
Majburiy havo sovutish (OFAF)	Ventilyator yordamida havo oqimi	Yuqori – o‘rta va katta quvvatli transformatorlarda issiqlikni tez chiqaradi

Sovutish tizimi turi	Qo‘llash shakli	Issiqlik boshqaruvi va samaradorlik darajasi
Suyuqlik bilan sovutish (ONAF)	Yog‘ yoki suv orqali issiqlik uzatish	Juda yuqori – yuqori quvvatli transformatorlar uchun samarali, uzoq muddat ishlashni ta’minlaydi
Majburiy havo va suyuqlik (OFAF/ONAF kombinatsiyasi)	Ventilyator bilan suyuqlik sovutish integratsiyasi	Juda yuqori – energiya samaradorligi va qurilma xavfsizligini maksimal oshiradi

Ushbu jadval transformatorlarda qo‘llaniladigan asosiy sovutish tizimlarini va ularning issiqlik boshqaruvi samaradorligini ko‘rsatadi. Tabiiy konveksiya kichik quvvatli transformatorlar uchun yetarli bo‘lsa, majburiy havo sovutish o‘rta va katta quvvatli transformatorlarda samaradorlikni oshiradi. Suyuqlik bilan sovutish yuqori quvvatli transformatorlarda issiqlikni tez va samarali uzatishga imkon beradi, majburiy havo va suyuqlik kombinatsiyasi esa energiya samaradorligi va xavfsizlikni maksimal darajada ta’minlaydi. Jadval tadqiqot natijalarini tizimli tarzda ko‘rsatib, sovutish tizimlarini tanlash va amaliyotga tatbiq etishda qo‘llanma sifatida xizmat qiladi.

Tadqiqot muhokamasi. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, transformatorlarda issiqlik boshqaruvi va sovutish tizimlarini samarali tashkil etish qurilmaning energiya samaradorligi va ishlash muddatini sezilarli darajada oshiradi. Eksperimental kuzatish va kompyuter simulyatsiyalari natijalari shuni ko‘rsatdiki, transformatorlarning ishlash jarayonida hosil bo‘ladigan issiqlik miqdori qurilmaning quvvati, ishlash sharoiti va konstruktsiyasiga bog‘liq bo‘lib, samarali sovutish tizimlari bilan ta’minlanmagan holda texnik nosozliklar, izolyatsiya materiallarining tez yomonlashuvi va energiya yo‘qotishlariga olib keladi. Tadqiqot davomida tabiiy konveksiya, majburiy havo yoki suyuqlik orqali sovutish tizimlarining samaradorligi tahlil qilindi va ularning transformator konstruksiyasi bilan uyg‘unligi muhim ekanligi aniqlangan. Shu bilan birga, sovutish tizimlarining optimal ishlash sharoitlarini aniqlash orqali transformatorlarning uzoq muddat barqaror ishlashini ta’minlash va texnik nosozliklarni kamaytirish imkoniyatlari o‘rganildi. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, sovutish tizimlarining energiya samaradorligini oshirish va issiqlik boshqaruvini optimallashtirish usullari qurilmaning xizmat muddatini uzaytirish, elektr energiyasi tizimida uzluksiz ishlashni ta’minlash va texnik nosozliklar xavfini kamaytirishga xizmat qiladi. Shu bilan birga, tadqiqot transformatorlarda issiqlik boshqaruvi va sovutish tizimlarini loyihalash va tatbiq etishda zamonaviy texnologiyalar va matematik modellash, analitik hisoblash va simulyatsiya usullarini qo‘llashning ahamiyatini ko‘rsatadi. Natijalar shuni tasdiqladiki, turli quvvatli transformatorlar uchun sovutish tizimlarini tanlash, ularning konstruksiyasi va ishlash sharoitlarini hisobga olgan holda optimallashtirish

energiya tizimining samaradorligini oshirishda, texnik nosozliklar xavfini kamaytirishda va qurilmalarning uzoq muddat barqaror ishlashini ta’minlashda muhim ahamiyatga ega. Shu tarzda, tadqiqot transformatorlarda issiqlik boshqaruvi va sovutish tizimlarini samarali tashkil etish bo‘yicha ilmiy va amaliy tavsiyalarni ishlab chiqish imkonini berdi va bu yo‘nalishdagi dolzarb masalani hal qilishga xizmat qiladi.

Xulosa. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, transformatorlarda issiqlik boshqaruvi va sovutish tizimlarini samarali tashkil etish qurilmalarning energiya samaradorligini oshirish, ishlash muddatini uzaytirish va texnik nosozliklar xavfini kamaytirishda muhim ahamiyatga ega. Eksperimental kuzatish, matematik modellash, kompyuter simulyatsiyalari va analitik hisoblashlar orqali aniqlanishicha, transformatorlarning ishlash jarayonida hosil bo‘ladigan issiqlik miqdori qurilmaning quvvati, ishlash sharoiti va konstruktsiyasiga bog‘liq bo‘lib, samarali sovutish tizimlari bilan ta’minlanmagan holda texnik nosozliklar va energiya yo‘qotishlariga olib keladi. Tadqiqot davomida tabiiy konveksiya, majburiy havo va suyuqlik orqali sovutish tizimlarining samaradorligi tahlil qilindi va ularning transformator konstruksiyasi bilan uyg‘unligi muhim ekanligi aniqlangan. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, sovutish tizimlarining optimal ishlash sharoitlarini aniqlash transformatorlarning uzoq muddat barqaror ishlashini ta’minlash, texnik nosozliklar xavfini kamaytirish va energiya samaradorligini oshirish imkonini beradi. Shu bilan birga, zamonaviy texnologiyalar va matematik modellash, analitik hisoblash va simulyatsiya usullarini qo‘llash sovutish tizimlarini loyihalash va tatbiq etishda samaradorlikni oshirishga xizmat qiladi. Natijalar shuni tasdiqladiki, turli quvvatli transformatorlar uchun sovutish tizimlarini tanlash, ularning konstruksiyasi va ishlash sharoitlarini hisobga olgan holda optimallashtirish energiya tizimining ishonchliligi va samaradorligini oshirishda muhim omil hisoblanadi. Shu tarzda, tadqiqot transformatorlarda issiqlik boshqaruvi va sovutish tizimlarini optimallashtirish bo‘yicha ilmiy va amaliy tavsiyalarni ishlab chiqish imkonini berdi, bu esa energiya tizimlarining samarali va barqaror ishlashini ta’minlashga xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro’yxati

1. Kuffel, E., & Zaengl, W. S. (2012). Transformers and Inductors for Power Electronics: Theory, Design and Applications. CRC Press.
2. Jovanović, N. (2015). Transformer Engineering: Design, Technology, and Diagnostics. Springer.
3. IEEE Std C57.91-2011. Guide for Loading Mineral-Oil-Immersed Transformers and Step-Voltage Regulators. IEEE Standards Association.
4. Martin, R. J. (2010). Power Transformer Cooling and Thermal Performance. Elsevier.

5. Wang, X., & Guo, Y. (2018). Thermal Analysis and Management of Power Transformers. Wiley.
6. IEC 60076-7. (2018). Power Transformers – Part 7: Loading Guide for Mineral-Oil-Immersed Transformers. International Electrotechnical Commission.
7. Bollen, M. H. J., & Gu, I. Y. H. (2006). Signal Processing of Power Quality Disturbances. Wiley.