TRANSFORMATORLARNING TURLI ISH REJIMIDAGI ISROFLAR VA ULARNING TAHLILI

Mirzoyev Dilshod Po‘lotovich
Buxoro davlat texnika universiteti Elektr va energetika muhandisligi kafedra dotsenti
E-mail: dilshodmirzoyev85@gmail.com
Baxtiyorov Islomjon Ixtiyor o‘g‘li
Buxoro davlat texnika universiteti magistranti
E-mail: islombaxtiyorov3@gmail.com

Annotatsiya: Ushbu maqolada transformatorlardagi asosiy energiya isroflari turlari, ularning kelib chiqish sabablari va xarakteristikasi ko‘rib chiqiladi. Shuningdek, transformatorlarning salt, nominal yuklama, qisman yuklama va haddan tashqari yuklama kabi turli ish rejimlaridagi isroflarining o‘zgarishi tahlil qilinadi. Nihoyat, isroflarni kamaytirish va transformatorlarning umumiy energiya samaradorligini oshirish bo‘yicha konstruktiv va ekspluatatsion yechimlar taklif etiladi. Maqola transformatorlarning samarali ishlashini ta’minlash va energiya tejamkorligiga erishish yo‘llarini tushunishga xizmat qiladi.

Kalit so‘zlar: Salt ish rejimi, ekspluatatsiya, yuklama, gisterezis isroflar, magnit, samaradorlik, konstruktiv, chastota.

Аннотация: В данной статье рассматриваются основные виды потерь энергии в трансформаторах, причины их возникновения и характеристики. Также анализируется изменение потерь трансформаторов в различных режимах работы, таких как холостой ход, номинальная нагрузка, частичная нагрузка и перегрузка. В заключение предлагаются конструктивные и эксплуатационные решения по снижению потерь и повышению общей энергоэффективности трансформаторов. Статья призвана помочь понять пути обеспечения эффективной работы трансформаторов и достижения энергосбережения.

Ключевые слова: Режим холостого хода, эксплуатация, нагрузка, потери на гистерезис, магнитный, эффективность, конструктивный, частота.

Abstract: This article examines the main types of energy losses in transformers, their causes, and characteristics. It also analyzes the variation of losses in transformers under different operating modes, such as no-load, nominal load, partial load, and overload. Finally, design and operational solutions are proposed to reduce these losses and improve the overall energy efficiency of transformers. The article aims to provide insights into ensuring efficient transformer operation and achieving energy savings.

Keywords: No-load operation, operation, load, hysteresis losses, magnetic, efficiency, design, frequency.

ISSN 3030-3907

Kirish

Transformatorlar zamonaviy elektr energetika tizimining ajralmas qismi bo‘lib, elektr energiyasini bir kuchlanish sathidan boshqasiga o‘zgartirish, uni ishlab chiqarish manbalaridan iste’molchilarga uzatish va taqsimlashda markaziy rol o‘ynaydi. Ularning samarali ishlashi umumiy energiya samaradorligi, elektr ta’minotining ishonchliligi va iqtisodiy barqarorligi uchun muhim ahamiyatga ega. Biroq, har qanday energetik qurilma singari, transformatorlar ham ish jarayonida ma’lum miqdorda energiya isroflariga uchraydi. Bu isroflar transformatorning samaradorligini pasaytiradi, uning qizib ketishiga sabab bo‘ladi va ekspluatatsiya xarajatlarini oshiradi. Shu sababli, transformatorlardagi isroflar turlarini, ularning turli ish rejimlari (salt, yuklama, haddan tashqari yuklama) dagi xususiyatlarini tahlil qilish va ularni kamaytirish yo‘llarini o‘rganish dolzarb vazifadir.

Transformatorlarda yuzaga keladigan energiya isroflari ikki asosiy turga bo‘linadi:

1. Salt isroflari (magnit yoki po‘lat isroflari)
2. Yuklama isroflari (mis isroflari)

Bundan tashqari, ba’zan qo‘shimcha isroflar ham alohida ajratib ko‘rsatiladi.

Salt ish rejim isroflari (P_{bx}) yoki P_{Fe}):

Bu isroflar transformatorning cho‘lg‘amlari yuklanmagan (ya’ni, ikkilamchi cho‘lg‘am ochiq) holatda ham doimiy ravishda mavjud bo‘ladi. Ularning asosiy sababi transformatorning magnit o‘tkazgichida (o‘zagida) o‘zgaruvchan magnit oqimining hosil bo‘lishidir. Salt isroflari ikki komponentdan tashkil topadi:

- Gisterezis isroflari: Magnit o‘tkazgich materialining qayta magnitlanishida yuzaga keladigan energiya sarfi. Har bir qayta magnitlanish siklida materialda issiqlik ajralib chiqadi. Bu isroflar materialning magnit xususiyatlariga va magnitlanish siklining chastotasiga bog‘liq. Ular asosan magnit o‘tkazgichning hajmiga va magnit induksiyasining maksimal qiymatiga bog‘liq bo‘lib, yuklamadan deyarli mustaqil hisoblanadi.

- Uyurmali toklar (Fuko toklari) isroflari: O‘zgaruvchan magnit oqimi magnit o‘tkazgichda eddy (uyurma) toklarini hosil qiladi. Bu toklar magnit o‘tkazgichning o‘zida oqib, Joul-Lens qonuniga ko‘ra issiqlik ajralishiga sabab bo‘ladi. Uyurmali toklar isroflarini kamaytirish uchun transformatorning magnit o‘tkazgichi butun holda emas, balki bir-biridan izolyatsiyalangan yupqa elektrotexnik po‘lat listlardan yig‘iladi. Bu isroflar listlarning qalinligiga, materialning solishtirma qarshiligiga, magnit induksiyasining maksimal qiymatiga va chastotaning kvadratiga proporsionaldir.

Salt ish rejimida isroflar transformatorning dizayniga va magnit o‘tkazgichda ishlatiladigan materiallarga bog‘liq bo‘lib, yuklama o‘zgarishidan

ISSN 3030-3907

deyarli ta’sirlanmaydi. Ular transformatorning nominal kuchlanishi qo‘llanilganda doimiy qiymatga ega bo‘ladi.

Yuklama isroflari (P_{yk} yoki P_{Cu}):

Bu isroflar transformatorning cho‘lg‘amlaridan tok oqib o‘tganda, ularning aktiv qarshiligi (R) tufayli Joul-Lens qonuniga ko‘ra issiqlik ajralishi natijasida yuzaga keladi. Ushbu isroflar mis isroflari deb ham ataladi, chunki cho‘lg‘amlar asosan misdan yasalgan.

Yuklama isroflari quyidagicha ifodalanadi:

$P_{Cu} = I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2$

Bu yerda:

I_1, I_2 – birlamchi va ikkilamchi cho‘lg‘amlardagi toklar

R_1, R_2 – birlamchi va ikkilamchi cho‘lg‘amlarning aktiv qarshiliklari

Yuklama isroflari cho‘lg‘amlardan o‘tayotgan tokning (ya’ni, yuklamaning) kvadratiga proporsional ravishda o‘zgaradi. Shuning uchun transformatorning yuklamasi ortishi bilan mis isroflari ham sezilarli darajada ortadi. Bu isroflarni kamaytirish uchun cho‘lg‘amlar uchun yuqori o‘tkazuvchanlikka ega materiallar (masalan, toza mis) ishlatiladi va ularning ko‘ndalang kesim yuzasi optimal ravishda tanlanadi.

Qo‘shimcha isroflar (Stray Losses):

Yuqorida aytib o‘tilgan asosiy isroflardan tashqari, transformatorlarda qo‘shimcha isroflar ham mavjud. Ular yuklama oqimi bilan bog‘liq bo‘lgan tarqoq magnit oqimlarining ta’siri ostida transformatorning metall konstruktiv elementlarida (bak, cho‘lg‘amlarni mahkamlagichlar, bosim halqalari va boshqalar) uyurmali toklar hosil bo‘lishi natijasida yuzaga keladi. Bu isroflar odatda umumiy yuklama isroflarining 10-15 foizini tashkil qilishi mumkin. Ularni aniq hisoblash ancha murakkab bo‘lib, asosan amaliy sinovlar orqali baholanadi (masalan, qisqa tutashuv tajribasida o‘lchangan umumiy yuklama isroflarining bir qismi sifatida). Qo‘shimcha isroflar ham yuklamaning kvadratiga proporsional ravishda o‘zgaradi. Ushbu isroflarni kamaytirish uchun transformator konstruksiyasida magnit oqimlarini ekranlash yoki magnit xususiyatga ega bo‘lmagan materiallardan foydalanish kabi choralar qo‘llaniladi.

Transformatorning umumiy isroflari (P_Σ) salt ish rejimidagi isroflari (P_{bx}) va yuklama isroflarining (P_{yk}) yig‘indisi sifatida ifodalanishi mumkin:

$$P_\Sigma = P_{bx} + P_{yk}$$

Ushbu isroflar transformatorning ish rejimiga qarab turlicha namoyon bo‘ladi. Keling, transformatorlarning asosiy ish rejimlarini va ulardagi isroflar tahlilini ko‘rib chiqamiz.

Salt ish rejimi

ISSN 3030-3907

Bu rejimda transformatorning birlamchi cho‘lg‘amiga nominal kuchlanish beriladi, ammo ikkilamchi cho‘lg‘ami ochiq (yuklama ulanmagan) bo‘ladi.

Qisman yuklama rejimi (Partial load operation)

Bu rejimda transformator nominal yuklamasining bir qismi ($k \cdot S_{nom}$) bilan ishlaydi, bu yerda $k < 1$ (masalan, 0.2, 0.5, 0.8).

Isroflar tahlili:

Salt ish rejimi isroflari (P_{bx}): Ushbu isroflar, yuqorida aytib o‘tilganidek, yuklama darajasiga bog‘liq emas va deyarli doimiy qiymatda qoladi.

Yuklama isroflari (P_{yk}): Mis isroflari yuklamaning kvadratiga proporsional ravishda o‘zgaradi. Agar $P_{yk,nom}$ nominal yuklamadagi mis isroflari bo‘lsa, u holda k qisman yuklamada mis isroflari $P_{(yk)(k)} = k^2 \cdot P_{yk,nom}$ bo‘ladi. Ya’ni, yuklama kamayishi bilan mis isroflari sezilarli darajada kamayadi.

Samaradorlik: Qisman yuklamada transformatorning samaradorligi (η) odatda nominal yuklamadagidan pastroq bo‘ladi. Optimal samaradorlik, odatda, mis isroflari magnit isroflariga teng bo‘lgan yuklamada kuzatiladi. Ko‘pgina transformatorlar uchun bu nuqta nominal yuklamaga yaqin yoki undan biroz pastroq bo‘ladi.

Nominal yuklama rejimi (Rated load operation)

Bu rejimda transformator o‘zining nominal quvvati (S_{nom}) bilan ishlaydi.

Isroflar tahlili:

Salt ish rejimi isroflari (P_{bx}): Doimiy.

Yuklama isroflari $P_{(yk)}$: Nominal yuklamada cho‘lg‘amlardagi toklar nominal qiymatga yetadi, shuning uchun mis isroflari maksimal qiymatga ($P_{yk,nom}$) erishadi.

Samaradorlik: Yaxshi loyihalashtirilgan transformatorlar uchun maksimal samaradorlik odatda nominal yuklamaga juda yaqin yoki undan biroz pastroqda ($0.7 \div 0.9\ S_{nom}$ atrofida) sodir bo‘ladi, bu yerda mis isroflari va magnit isroflari taxminan tenglashadi ($P_{yk} \approx P_{bx}$). Nominal yuklamada transformator o‘zining eng samarali ish rejimlaridan birida ishlaydi.

Haddan tashqari yuklama rejimi

Bu rejimda transformator o‘zining nominal quvvatidan oshiq yuklama ($k > 1$) bilan ishlaydi. Haddan tashqari yuklama qisqa muddatli yoki uzoq muddatli bo‘lishi mumkin, ammo uzoq muddatli haddan tashqari yuklama transformatorga jiddiy zarar yetkazishi mumkin.

Isroflar tahlili:

Salt ish rejim isroflari (P_{bx}): Doimiy.

Yuklama isroflari (P_{yk}): Yuklama ortishi bilan mis isroflari yuklamaning kvadratiga proporsional ravishda juda tez ortadi. Agar k yuklamaning nominalga

ISSN 3030-3907

nisbati bo‘lsa, $P_{ykk}= k^2 \cdot P_{yk,nom}$ bo‘lib, $k > 1$ bo‘lganda bu isroflar nominal qiymatdan sezilarli darajada yuqori bo‘ladi.

Xavflar va samaradorlik: Haddan tashqari yuklamada transformatorning samaradorligi keskin pasayadi. Eng muhimi, yuqori mis isroflari cho‘lg‘amlarning va sovutish moyining haddan tashqari qizishiga olib keladi. Bu izolyatsiyaning tez eskirishiga, transformatorning xizmat muddatining qisqarishiga va hatto avariyaviy buzilishlarga olib kelishi mumkin. Shu sababli, transformatorlarni doimiy ravishda haddan tashqari yuklash tavsiya etilmaydi.

Transformatorlarning energiya samaradorligini oshirish va isroflarni kamaytirish uchun bir qator konstruktiv va ekspluatatsion choralar qo‘llaniladi.

Magnit o‘tkazgich materialini tanlash: Gisterezis va uyurmali toklar isroflarini kamaytirish uchun yuqori sifatli, donador yo‘nalishli elektrotexnik po‘lat yoki yanada zamonaviy amorf qotishmalar qo‘llaniladi. Amorf qotishmalarning magnit xususiyatlari ancha yaxshi bo‘lib, bo‘sh yurish isroflarini sezilarli darajada kamaytiradi, ammo ular ancha qimmat va ishlov berish murakkab.

Magnit o‘tkazgichni yig‘ish texnologiyasi: Uyurmali toklar isroflarini kamaytirish uchun magnit o‘tkazgich yupqa listlardan yig‘iladi va listlar orasiga izolyatsiya (lak qatlami) qo‘yiladi. Listlarning qalinligi kamaytirilishi (masalan, 0.35 mm dan 0.23 mm gacha) bu isroflarni yanada pasaytiradi.

Cho‘lg‘amlarni optimallashtirish: Mis isroflarini kamaytirish uchun cho‘lg‘amlarning o‘tkazgich materialining ko‘ndalang kesim yuzasi iloji boricha katta qilinadi (bu umumiy hajm va mis xarajatlarini oshiradi), shuningdek, yuqori tozalikdagi misdan foydalaniladi. Cho‘lg‘amlarning konstruksiyasi va joylashuvi ham tarqoq magnit oqimlarini va shu orqali qo‘shimcha isroflarni kamaytirishga qaratiladi.

Sovutish tizimlarini takomillashtirish: Isroflar natijasida ajralib chiqadigan issiqlikni samarali tarqatish transformatorning haroratini me’yorida ushlab turish va xizmat muddatini uzaytirish uchun muhimdir. Tabiiy moyli, majburiy havo yoki majburiy moyli sovutish tizimlari qo‘llaniladi.

Qo‘shimcha isroflarni kamaytirish: Transformator bakining devorlari va boshqa metall konstruksiyalarda uyurmali toklarni kamaytirish uchun ekranlash (magnit qalqonlar) va metallar orasidagi izolyatsiyani kuchaytirish usullari qo‘llaniladi.

Optimal yuklama rejimida ishlash: Transformatorni uning maksimal samaradorlikka erishadigan yuklama oralig‘ida ishlatishga intilish lozim (odatda $0.7 \div 0.9\ S_{nom}$). Agar yuklama doimiy ravishda past bo‘lsa, kichikroq quvvatli yoki boshqacha xarakteristikali transformatorni qo‘llash maqsadga muvofiq bo‘lishi mumkin.

ISSN 3030-3907

Kunlik yuklama grafigini optimallashtirish: Transformatorlarni maksimal yuklama davrlarida optimal ishlashini ta’minlash va minimal yuklama davrlarida isroflarni kamaytirish uchun elektr tizimini boshqarishni optimallashtirish muhim.

Muntazam texnik xizmat ko‘rsatish: Izolyatsiya holatini, sovutish tizimining ishini, moy sifatini va kontaktlarning mustahkamligini muntazam tekshirish transformatorning normal ishlashini ta’minlaydi va isroflarning kutilmagan ortishini oldini oladi.

Energiya monitoringi va boshqaruv tizimlari: Zamonaviy SCADA tizimlari va aqlli hisoblagichlar transformatorlarning ish rejimini real vaqtda kuzatib borish, isroflarni tahlil qilish va optimal boshqaruv qarorlarini qabul qilish imkonini beradi.

Xulosa qilib aytish mumkinki transformatorlardagi energiya isroflarini tushunish va ularni tahlil qilish elektr energetika tizimining umumiy samaradorligini oshirishda muhim qadamdir. Biz ko‘rib chiqqanimizdek, salt ish rejimidagi isroflari asosan magnit o‘tkazgichning xususiyatlariga bog‘liq bo‘lsa, yuklama isroflari cho‘lg‘amlardagi tokning kvadratiga proporsionaldir. Transformatorning turli ish rejimlarida (salt, qisman yuklama, nominal yuklama, haddan tashqari yuklama) bu isroflarning nisbati va miqdori o‘zgarib, uning samaradorligiga bevosita ta’sir ko‘rsatadi.

Energiya tejamkorligi va atrof-muhitni muhofaza qilish borasidagi zamonaviy talablar transformator isroflarini kamaytirishga qaratilgan tadqiqotlar va innovatsiyalarni rag‘batlantirmoqda. Yuqori samaradorlikli materiallarni qo‘llash, konstruktiv yechimlarni optimallashtirish va transformatorlarni to‘g‘ri ekspluatatsiya qilish orqali sezilarli darajada energiya tejamkorligiga erishish mumkin. Elektr energetikasi kelajagi, jumladan, aqlli tarmoqlarni rivojlantirish va raqamlashtirish transformatorlarning isroflarini yanada aniqroq nazorat qilish va ularni avtomatik tarzda optimallashtirish imkoniyatini yaratadi, bu esa tizimning umumiy ishonchliligi va iqtisodiy samaradorligini oshiradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

1. Аллаев К.Р. Энергетика мира и Узбекистана. Энергия ва ресурс тежаш муаммолари. Тошкент. 2003, №1-2. 13-44 б.

2. Аракелов В. Е., Кремер А. И. Методические основы экономии энергоресурсов. М.: Энергоатомиздат, 1990.

3. Инструкция, расчет и анализ технологического расхода электроэнергии на передачу по электрическим сетям энергосистемы Республики Узбекистан. Руководящий документ. РД РУз34-482-502-2001. Ташкент, 2001.

4. Кораблев А.Д. Экономия энергоресурсов в селском хозяйстве. М.: ВО «Агропромиздат», 1988 г.

ISSN 3030-3907

5. Москвин, И.А. Колебательная статическая устойчивость электроэнергетической системы с межсистемной связью, содержащей регулируемое устройство продольной компенсации. Вестник ИГЭУ. 2013. Вып. 5. С. 1–5.
6. Забелло, Е. Применение прикладных программ в расчетах режимов и устойчивости работы собственных генерирующих источников при их параллельной работе с энергосистемой. Энергетика и ТЭК. Наука для практики. 2011. № 9/10. С. 20–22.
7. Енин, В.Н. Моделирование переходных процессов и анализ динамической устойчивости синхронных генераторов при воздействии больших возмущений. Наука и образование. 2012. №10. С. 495–503.
8. Волокитина В.В., Никитин В.В., Опалев Ю.Г., ТебеньковТ.Г., Имитационная математическая модель синхронной магнитоэлектрической машины в генераторном режиме в среде Matlab SimulinkE. Электроснабжение и электрооборудование. 2011. №4. С. 21–25.
9. Вагин Г.Я., Солнцев Е.Б., Мамонов А.М., ПетровА.А. Математическая модель электроагрегата мини-ТЭЦ на базе явнополюсного синхронного генератора. Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2015. Т. 326, №8. С. 92–101.

ISSN 3030-3907