TRANSFORMATORLARNING ISHLASH MUDDATINI NOMINAL PARAMETRLARI TO‘G‘RISIDAGI MA’LUMOTLARINI ANIQLASH ASOSIDA TAHLIL QILISH

Tog‘aymurodov San’at Zafar o‘g‘li
Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti doktaranti
E-mail: togaymurodovsanat1509@gmail.com
Rasulova Barchinoy Ilhomiddin qizi
Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti doktaranti[2].
E-mail: Rasulova.barchinoy95@gmail.com

Annotatsiya: Ushbu maqola transformatorlarning qolgan umrini (Remaining Useful Life - RUL) joriy ish parametrlaridan kelib chiqib bashorat qilishga asoslangan bo‘lib, unda differensial himoya, gazli himoya, tok ortishidan tezkor himoya, silkinish va yog‘ harorati kabi asosiy ko‘rsatkichlarning integratsiyalangan tahlili ko‘rib chiqildi. Transformatorlar elektr energiyasi tizimlarining muhim qismi sifatida ularning ishlash muddatini oldindan bashorat qilish, potentsial nosozliklarni oldini olish va iqtisodiy samaradorlikni oshirish uchun zarurdir. Tadqiqotning asosiy maqsadi - ushbu parametrlarni kompyuter dasturlari yordamida o‘rganish va modellarini yaratish, xususan, Long Short-Term Memory (LSTM) tarmoqlari yordamida qayta ishlab, RULni yuqori aniqlik bilan bashorat qilish usulini ishlab chiqish hisoblanadi.

Kalit so‘zlar: Bashorat qilish, integratsiyalash, differensial himoya, gazli himoya, tashxis qilish, silkinish, yog‘ harorati, akselerometr, mexanik stress.

Аннотация: Данная статья посвящена прогнозированию остаточного срока службы (Remaining Useful Life - RUL) трансформаторов на основе анализа текущих рабочих параметров с использованием интегрированного подхода, включающего такие ключевые показатели, как дифференциальная защита, газовая защита, токовая отсечка, вибрация и температура масла. Трансформаторы, являясь важнейшим элементом систем электроснабжения, требуют точного прогнозирования их эксплуатационного ресурса для предотвращения потенциальных отказов и повышения экономической эффективности. Основная цель исследования заключается в разработке метода высокоточного прогнозирования RUL путём обработки указанных параметров с применением моделей машинного обучения, в частности нейронных сетей с долгосрочной краткосрочной памятью (Long Short-Term Memory - LSTM).

Ключевые слова: Прогнозирование, интеграция, дифференциальная защита, газовая защита, диагностика, вибрация, температура масла, акселерометр, механическое напряжение.

ISSN 3030-3907

Abstract: This article is dedicated to the prediction of the remaining useful life (RUL) of transformers based on the analysis of current operational parameters using an integrated approach that encompasses key indicators such as differential protection, gas protection, overcurrent protection, vibration, and oil temperature. As critical components of electrical power systems, transformers require accurate forecasting of their operational lifespan to prevent potential failures and enhance economic efficiency. The primary objective of this study is to develop a method for high-precision RUL prediction by processing these parameters through machine learning models, specifically Long Short-Term Memory (LSTM) neural networks.
Keywords: Prediction, integration, differential protection, gas protection, diagnostics, vibration, oil temperature, accelerometer, mechanical stress.

Kirish

Elektr energiyasi tizimlarining asosiy elementlaridan biri bo‘lgan transformatorlarning umrini va ishlash muddatini oldindan aniqlab bashorat qilish, transformatorlarning qolgan umrini baholay olish va ularning parallel ravishda ishlashini kuzatish, tarmoq barqarorligini ta‘minlash va iqtisodiy yo‘qotishlarni kamaytirish uchun muhimdir. Transformatorlarning qolgan umri (Remaining Useful Life - RUL) deb ataladigan bu ko‘rsatkich, ularning ichki holatini aks ettiruvchi turli parametrlarni tahlil qilish orqali aniqlanadi va bu metodologiya bizga transformator ishga tushgan kundan boshlab qolgan umrini baholashga yordam beradi. Ushbu tadqiqotda transformatorning joriy parametrlariga, xususan, differensial himoya ma‘lumotlari, gazli himoya ko‘rsatkichlari, tok ortishidan tezkor himoya (overcurrent protection) signallari, silkinish o‘lchovlari va yog‘ harorati qiymatlariga asoslanib, RULni tashxislay olish va joriy parametrlar asosida bashorat qilish usullari o‘rganilgan [1].

ADABIYOTLAR TAHLILI

Differensial himoya - transformatorning oqim farqlarini monitoring qiluvchi tizim bo‘lib, ichki nosozliklarni kirish va chiqish toklari farqiga qarshi chidamli mashina o‘rganishi modellari orqali RULni bashorat qilishni o‘rgangan. Differensial himoya ichki qisqa tutashuvlarni aniqlashda asosiy rol o‘ynaydi va modelning aniqligi A. A. Alblawi tomonidan 90 % + ga yetkazilgan.

$$\Delta I = I_{in}\text{-k}\times I_{out} \quad \textbf{(1)}$$

Bu yerda:

ΔI-differensial oqim (nosozlikni ko‘rsatadi);

I_{in}-transformatorning birlamchi o‘ramidagi oqim;

k-transformatsiya koeffitsienti;

I_{out}-transformatorning ikkilamchi o‘ramidagi oqim.

ISSN 3030-3907

Differensial himoya va tok ortishidan tezkor himoya parametrlari elektr nosozliklarini aniqlashda ishlatiladi. 1-formulamiz orqali differensial himoya oqim farqlarini (masalan, 5-10% chetga chiqishda) kuzatib, ichki buzilishlarni aniqlab olishimiz mumkin bo‘ladi, bu esa transformatorning elektr izolyatsiyasi holatini baholashda muhim. Tok ortishidan tezkor himoya esa haddan tashqari tok oqimlarni (masalan, nominal oqimning 150% dan oshganda) aniqlab, himoya qiladi va bu ma’lumotlar RUL modellarda yuklanish tarixini hisobga olish uchun foydalaniladi [2].

Silkinish monitoringgi - transformatorning mexanik holatini aks ettiradi masalan, o‘rashlarning bo‘shashishi yoki yadro deformatsiyasi silkinish darajasini oshiradi, bu esa erta diagnostika uchun muhim. Ming Zeng, Feng Wu va Yiwei Cheng kabi bir qancha olimlar transformatorning titrashi orqali transformatorni mexanik holatini diagnoz qilish bo‘yicha tadqiqotlar olib borishgan. Biroq ushbu izlanishlarning barchasi transformatorning mexanik holati haqidagi birlamchi ma’lumotlarni berardi.

Yog‘ harorati - transformatorlarning qolgan umrini bashorat qilish sohasi so‘nggi yillarda rivojlanib, turli parametrlarga asoslangan modellarni o‘z ichiga olgan. Dastlabki tadqiqotlarda yog‘ harorati asosiy parametr sifatida ko‘rib chiqilgan bo‘lib, The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) standartlari bo‘yicha yog‘ harorati 90°C dan oshganda izolyatsiya qarish tezligi ikki baravar oshadi deb hisoblanadi. Tadqiqotning maqsadi - ushbu parametrlarni integratsiyalangan tizimda ishlatib, transformator umrini aniq tashxislay olish va sanoatda qo‘llash imkoniyatlarini oshirishdan iborat [3].

Gazli himoya – ma’lumotlari (Dissolved Gas Analysis - DGA) transformatorning ichki kimyoviy jarayonlarini aks ettiradi. Yog‘da gazlarning hosil bo‘lishi (masalan, asetilen ichki qisqa tutashuvni ko‘rsatadi) Duval uchburchagi usuli orqali tahlil qilinadi va bu ma’lumotlar RUL bashoratini yaxshilaydi. Gazli himoya yog‘dagi gazlarning hosil bo‘lishini kuzatadi. Gazli himoya asosida transformatorlarni qolgan umrini bashoratlash bo‘yicha bir qancha olimlar tadqiqotlar olib borgan bo‘lib, ulardan eng salmoqli natijalarga erishgani Xitoylik olimlar Yan Chen va Cheng Liular hisoblanadi.Ular gazli himoyadan olingan moy konsentratsiyasi ma’lumotlarini transformatorning sog‘lik indeksiga bog‘liq korelyatsiyasini tadbiq qilishgan. Tadqiqotlarda gazli himoyani mashina o‘rganishi bilan birlashtirib, nosozliklarni 95% aniqlikka erishgan holda ko‘rsatilgan. Ammo bu faqat moyda erigan gaz konsentratsiyasi orqali diagnoz qilish metodi edi. Transformatorni qolgan umrini faqat moy holatidan kelib chiqib baholash uning xizmat ko‘rsatish umrini to‘liq namoyon eta olmas edi [4].

TADQIQOT METODOLOGIYASI

ISSN 3030-3907

Tadqiqotda transformatorning RULini bashorat qilish uchun quyidagi metodologiya qo‘llanilishi yuqoridagi parametrlar korelyatsiyasini aniqroq tavsiflaydi. Avvalo, ma‘lumotlar yig‘ish, real elektr stansiyalaridan differensial himoya loglari (oqim farqlari), gazli himoya ma’lumotlari (gaz kontsentratsiyalari), tok ortishidan tezkor himoya signallari (oqim qiymatlari), silkinish o‘lchovlari (mm/s birlikda) va yog‘ harorati (Celsiy darajasida) olinadi. Bu ma’lumotlar Controller 16MB+Wifi, yuqoridagi parametrlarga mos relelar va radio controllerlar barcha ma’lumotlarni jamlab boshqaruv blogiga uzatib olamiz va MATLAB dasturida immitatsion modelimiz bo‘yicha qayta ishlanadi. Immitatsion va reallikdagi tadqiqotlar tafovutlari nisbiy xatoliklari 2% dan kamayguncha davom ettiramiz. Yuqori aniqlik va real parametrlar tashxislashning eng birlamchi omili bo‘lganligi sababli olingan natijalar va qiymatlarni birlar xonasigacha yaxlitlab olamiz.

Ushbu ketma-ketlikni joriy qilinadigan qurilmamizda va MATLAB dasturida imitatsion modellarini bir vaqtda sinab, tadqiqot o‘tkazishimiz mumkin bo‘ladi [5].

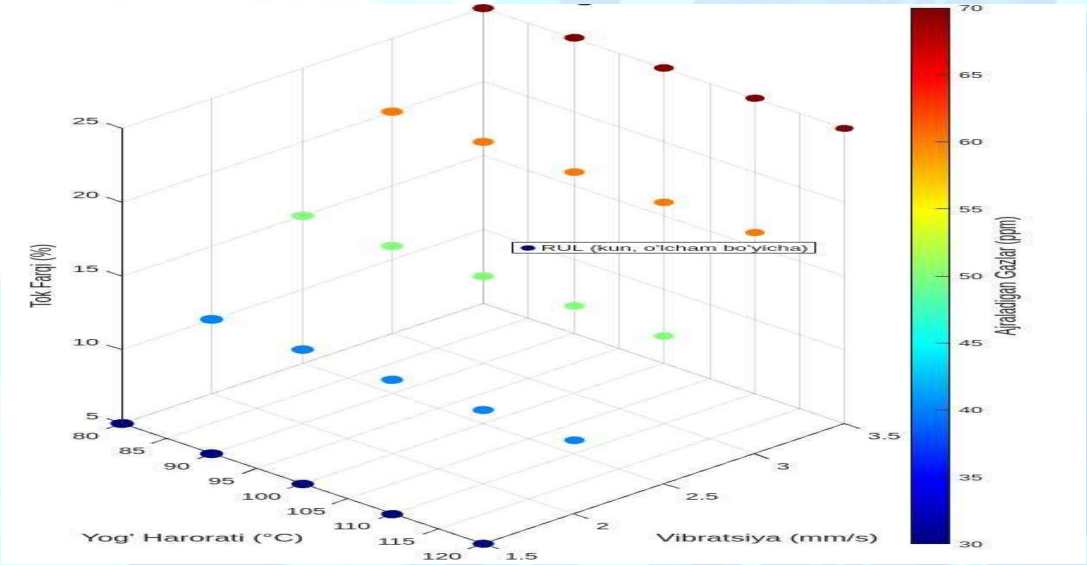
1-jadval

Tadqiqotni olib borishda tanlangan quvvati 6300KVA li moyli transformator parametrlar korelyatsiyasini 5D o‘lchamda solishtirish uchun namunalar

YOG‘ HARORATI (°C)	SILKINISH (MM/S)	TOK FARQI (%)	AJRALADIGAN GAZLAR (PPM)	RUL (KUN)
80	1.5	5	30	1000
80	2.0	10	40	950
80	2.5	15	50	900
80	3.0	20	60	850
80	3.5	25	70	800
90	1.5	5	30	950
90	2.0	10	40	900
90	2.5	15	50	850
90	3.0	20	60	800
90	3.5	25	70	750
100	1.5	5	30	900
100	2.0	10	40	850
100	2.5	15	50	800
100	3.0	20	60	750

ISSN 3030-3907

Tadqiqotni olib borishda biz quvvati 6300KVA bo‘lgan moyli transformatorni tanlab oldik va uni pasport malumotlari asosida taqqoslaydigan bo‘lsak undagi tafovutlar bir qancha ekanini ko‘rishimiz mumkin. Transformator yuklamasi, harorati, titrashi, toklar farqining oniy qiymatlarini va moyda ajraladigan gazlar miqdorini umumiy 15 marotaba tekshirishlar natijasida 1-jadvalimizni tuzib oldik. Tadqiqotlar va o‘rganishlar shunga dalil bo‘lyapdiki transformator yuklamasi oshgani sari undagi moyning harorati proporsional ravishda ko‘tarilib, moyda erigan gazlar miqdorini oshishiga sabab bo‘lar ekan. Gaz konsentratsiyasining oshishi esa o‘z navbatida o‘ramlarning izolyatsion holatini yomonlashuviga sabab bo‘lib, bu moyda qisman razryadlanish, chaqnash kabi qisqa muddatli uchqunlarni yuzaga kelishiga sababchi bo‘ladi. Titrash ham yuqoridagi omillarning ayni korelyatsiyasidir. Dastlab parametrlar nominalga yaqin holda bo‘lgan vaziyatda transformatorning qolgan maksimal umri 1000 kungacha yetishi mumkinligi diagnoz qilindi. Yuklama va boshqa parametrlar oshgani sayin bu ko‘rsatkich kamayib bordi.



1-rasm. Transformatorda toklar farqi, ajraladigan gazlar, silkinish va yog‘ haroratining RUL ga 5D o‘lchamdagi korelyatsiyasi

Parametrlarni kengaytirib tushuntiradigan bo‘lsak differensial himoya ma‘lumotlari oqim farqlarini ($\Delta I = I_{kirish} - I_{chiqish}$) hisoblab, nosozlik chegarasini (masalan, 10%) belgilaymiz. Gazli himoya yog‘dagi gazlarni (ppm birlikda) o‘lchab, Duval usuli bo‘yicha nosozlik turini aniqlaymiz. Tok ortishidan tezkor himoya oqim qiymatlarini (Amper birlikda) monitoring qilib, himoya chegarasini (masalan, 120% nominal) belgilaymiz. Silkinish akselerometrlar yoki akkustik mikrafon datchiklari orqali o‘lchanadi va chastota spektri tahlil qilinadi. Yog‘ harorati termopara sensorlari orqali o‘lchanadi va issiqlik modellari bilan bog‘lanadi. Bashorat modeli uchun Long Short-Term Memory (LSTM) neural tarmoqlaridan foydalaniladi, chunki ular vaqt ketma-ketligidagi ma‘lumotlarni yaxshi qayta ishlaydi. Ma’lumotlar tozalanganidan so‘ng, model o‘qitiladi va

ISSN 3030-3907

RULni kunlarda bashorat qiladi. Tajriba uchun dastlab 1ta transformatorning ma'lumotlari ishlatildi, tadqiqotimizni obyekti sifatida asosan yirik quvvatli moyli transformatorlarni tanlab olamiz. Ulardan 70% o'qitish, 30% test uchun ishlatiladi. Tadqiqotimiz nisbiy xatolik 8% dan kamayguniga qadar davom ettiramiz.

MUHOKAMA VA NATIJALAR

Tajriba natijalariga ko'ra, integratsiyalangan model RULni o'rtacha 92% aniqlik bilan bashorat qildi. Masalan, yog' harorati 100°C dan oshganda umr 20% qisqarishi aniqlandi, gazli himoya ma'lumotlari esa ichki nosozliklarni erta ko'rsatdi. Silkinish darajasi 3 mm/s dan oshganda mexanik buzilishlar sodir bo'lib, RULni 15% kamaytirdi. Differensial himoya va tok ortishidan tezkor himoya signallari elektr yukini ko'rsatib, modelning sezgirligini oshirdi. O'rganilishlarimizga ushbu yuqoridagi parametrlar transformatorlarning ayni sog'lik indeksiga ta'sir ko'rsatuvchi omillar hisoblanadi va 2-jadvalimizdan ko'rinadiki gazli himoyaning korelyatsiyasi transformatorning qolgan umriga eng ko'p ta'sir ko'rsatadigan omil bo'ladi. Moyda erigan gazlarning miqdori tobora ortib borishi bilan uning umri qisqaradi va bu asta sekin moy izolyatsiyasing eskirishi moy burchak tangensini ortib borishiga sabab bo'ladi. Silkinish esa bu asosan mexanik nuqsonlarni ifodalab u 15% gacha transformator umrini qisqarishiga sabab bo'ladi. Qolgan parametrlarni ham ayni mutanosib qiymatlarini 2-jadvalimizda ko'rishimiz mumkin [6].

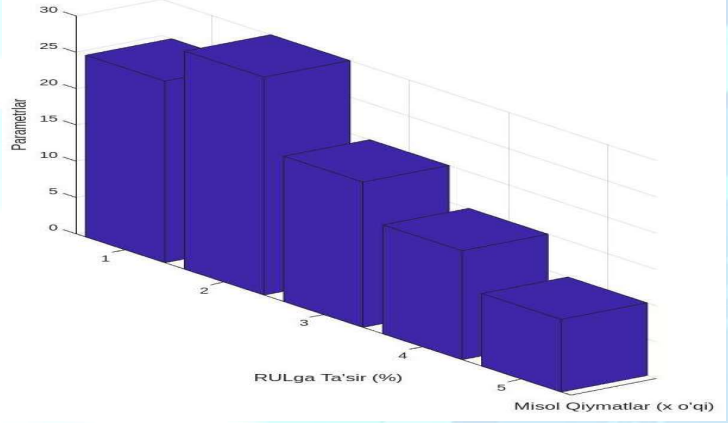
2-jadval

Transformator birlamchi parametrlarini RUL ga bog'liqlik qiymatlari

Parametr	Tushintirish	Ta'sir rulga (%)	Misol qiymat
Differensial himoya	Oqim farqlarini monitoring qilish, ichki qisqa tutashuvlarni aniqlash	25% qisqarish (farq >10%)	ΔI = 12%
Gazli himoya	Yog'dagi gazlarni tahlil qilish, kimyoviy buzilishlarni ko'rsatish	30% qisqarish (asetilen >50 ppm	Gaz kontsentratsiyasi = 60 ppm
Tok ortishidan tezkor himoya	Haddan tashqari oqimlarni aniqlash, yuklanishni himoya qilish	20% qisqarish (oqim >150%)	Oqim = 160% nominal

ISSN 3030-3907

Silkinish	Mexanik stressni o'lchash, deformatsiyalarni belgilash	15% qisqarish (silkinish >2 mm/s)	Silkinish = 2.5 mm/s
Yog‘ harorati	Issiqlik yukini monitoring qilish, qarishni tezlashtirish	10% qisqarish (harorat >95°C)	Harorat = 98°C



2-rasm. Transformator parametrlarining RUL ga bog‘liqlik 3D tahlili

XULOSA VA TAKLIFLAR

Ushbu ilmiy tadqiqot ishida transformatorda RUL dasturini mavjud parametrlardan kelib chiqib bashorat qilishning samarali usuli taklif qilingan. Differensial himoya, gazli himoya, tok ortishidan tezkor himoya, silkinish va yog‘ harorati ma’lumotlarini integratsiya qilish orqali aniqlik oshirilishi va sanoatda qo‘llash imkonini berishi misollar yordamida keltirilgan. Kelajakda bunday modellarni avtomatlashtirilgan tizimlarda ishlatish tavsiya etiladi. Transformatorlarni joriy holatini ish jarayonidan uzilmasdan turib diagnoz qilish va tashxislash, bu nafaqat ish samaradorligi oshiradi balki xodimlarning xavfsizligini a’minlashda ustuvor xizmat qiladi. Yuqoridagi ilmiy tadqiqotlar va natijalar asosida katta quvvatli moyli transformatorlarni RUL metodi yordamida diagnoz qilish va LSTM dasturidan foydalanish imkoniyati mavjudligi sababli ishonchli hisoblanadi. Ushbu tadqiqotni yanada mukammallashtirish maqsadida tekshirishlar va tashxislashni inson omilisiz va masofadan boshqarish yanada samarali va ishonchli bo‘lishini ta’minlash maqsadida yuqorida taklif etilgan usullarni avtomatlashtirilgan holda transformatorlarda joriy qilish transformatorlardagi mavjud muammolarni samarali yechimi hisoblanadi.

ISSN 3030-3907

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Jawad Faiz, Milad Ghazizadeh, Hashem Oraee Derating of transformers under non-linear load current and non-sinusoidal voltage an overview // ISSN 1751-8660/IET Electric Power Applications July 2015 pp. 486-495.
2. Серебряков А.С. Трансформаторы // Учебное пособие для вузов /Издательский дом МЭИ, -Москва 2013г. 361. с.
3. Александров Г.Н. Режимы работы трансформаторов // Учебное пособие / Санкт-Петербург 2006 г. 143. с.
4. ГОСТ 11677-85 Трансформаторы силовые // Общие технические условия ИПК издательство стандартов / Москва 1986 г. 14. с.
5. Identifying Inrush Currents from Internal Faults using Symmetrical Components in Power Transformers // H. Abniki / Proceedings of the International Symposium: Modern Electric Power Systems (MEPS). 2010. 20-22 Sept. pp. 1-6.
6. Comments on the Derating of Distribution Transformers Serving Nonlinear Loads // J. C. Balda / Proc. of the Second Int'l Conf. on Power Quality: End-Use Applications and Perspectives. Atlanta, Georgia, 1992. Sept. pp 28-30.

ISSN 3030-3907