

AVARIYA REJIMLARIDA ELEKTR TIZIMLARINING YUKLAMA TURLARI VA ELEKTR YOY XUSUSIYATLARI

Mamatqulov Toyir Chorshanbiyevich

Buxoro davlat texnika universiteti, tayanch doktoranti;

mamatqulovtoyir5@gmail.com

Karabayev Ibragim Turdiyevich

Termiz davlat muhandislik va agrotexnologiyalar universiteti,

katta o'qituvchisi

Annotatsiya: Ushbu maqolada avariya rejimlarida AC elektr tizimlarida yuzaga keladigan ketma-ket elektr yoylarini aniqlash muammosi ko'rib chiqiladi. Elektr yoylari elektr ta'minoti tizimlarining barqarorligi va xavfsizligiga jiddiy tahdid soluvchi asosiy omillardan biri bo'lib, ularni tezkor va ishonchli aniqlash avariylarni oldini olishda muhim ahamiyatga ega. Mazkur tadqiqot muallifning elektr ta'minoti tizimlarining avariya rejimlarida barqarorligini nazorat qilish va boshqarishni avtomatlashtirishga qaratilgan dissertatsiya ishining bir qismi hisoblanadi.

Maqolada an'anaviy signalni qayta ishlash usullarining cheklovlari tahlil qilinib, konvolyutsion neyron tarmoqlarga (CNN) asoslangan ArcNet algoritmi taklif etilgan. Taklif etilgan yondashuv xom tok signallaridan to'g'ridan-to'g'ri xususiyatlarni ajratib olish imkonini berib, oldindan qayta ishlash bosqichlarini sezilarli darajada soddalashtiradi. Model turli yuklama sharoitlarida yig'ilgan ma'lumotlar asosida o'qitilgan va sinovdan o'tkazilgan.

Kalit so'zlar; Elektr yoyi, ketma-ket elektr yoy, avariya rejimi, elektr ta'minoti tizimlari barqarorligi, avtomatlashtirish, AC elektr tizimlari, ArcNet algoritmi, CNN, chuqur o'rganish, real vaqt aniqlash

Abstract: This paper addresses the problem of detecting series arc faults in AC electrical systems under emergency operating conditions. Arc faults represent one of the most critical factors affecting the safety and stability of power supply systems, as they can lead to severe hazards such as electrical fires and system failures. Therefore, fast and reliable detection of arc faults is essential for improving system stability and preventing abapiya situations. This study is part of the author's doctoral research focused on monitoring and automated control of power system stability under fault conditions.

The limitations of traditional signal processing methods, such as Fast Fourier Transform (FFT) and Wavelet Transform, are analyzed, particularly their sensitivity to noise and dependence on manually defined thresholds. To overcome these limitations, a convolutional neural network (CNN)-based ArcNet algorithm is proposed. The

proposed approach processes raw current signals directly, enabling automatic feature extraction and eliminating the need for complex preprocessing steps.

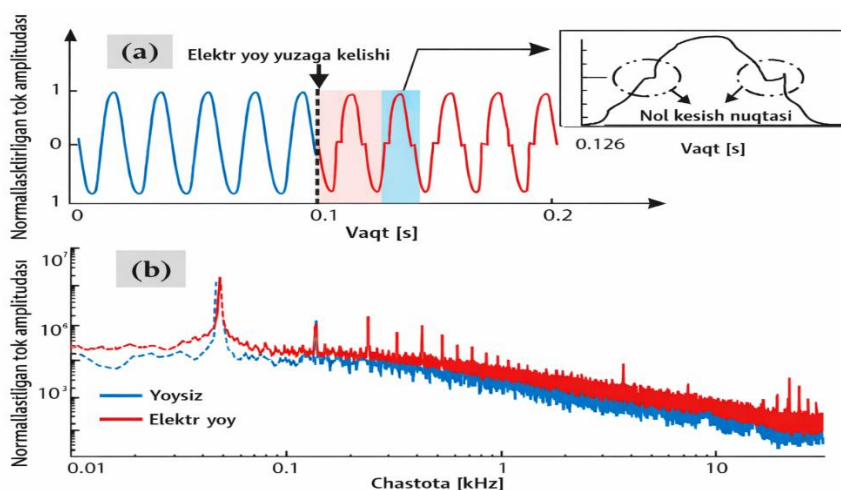
Keywords: Arc fault, series arc fault, emergency operating conditions, power system stability, automation, AC electrical systems, ArcNet algorithm, convolutional neural network (CNN), deep learning, real-time detection

YUKLAMA TURLARI VA KO'RINADIGAN ELEKTR YOY XUSUSIYATLARI

Elektr yoy nosozliklaridan himoya qilish tizimlari asosan **turar-joylarda qo'llanilishi** sababli, tajriba uchun turli xil **maishiy elektr qurilmalari yuklama sifatida tanlangan**. Yoy nosozligi mavjud bo'lgan va normal ish rejimidagi turli xil tok signallarini yig'ish uchun **sakkiz xil turdagi yuklama** ko'rib chiqilgan. Ushbu yuklamalar quyidagilardan iborat: **Rezistiv yuklama (resistive load)**, **Kondensator yordamida ishga tushiriladigan dvigatel (masalan, havo kompressori turidagi motor)**, **Changyutgich (vacuum cleaner)**, **Lyuminescent lampalar (fluorescent lamps)**, **Elektron yorug'lik dimmeri (tiristor asosidagi light dimmer)**, **Elektron impulsli quvvat manbai (switch mode power supply)**, **Elektr qo'l asbobi (masalan, elektr drel)**, **Galogen lampalar (halogen lamps)**. Ushbu yuklamalarning texnik ko'rsatkichlari **IEC62606 standarti** talablariga mos ravishda tanlangan. Har bir yuklama turi turli **brend (ishlab chiqaruvchi) modellarini** ham o'z ichiga oladi. Masalan, **Midea** va **Philips** markalariga tegishli changyutgichlar alohida sub-yuklama sifatida ko'rib chiqilgan. Yoy nosozligi mavjud bo'lgan hamda normal holatdagi tok ma'lumotlari **bitta yuklama ulangan holatda ham**, shuningdek **bir nechta turli yuklamalar parallel ulangan holatda ham** yig'ilgan.

Ko'pgina ketma-ket elektr yoy (series arc) ma'lumotlarini oddiy vizual kuzatish orqali aniqlash qiyin bo'lsa-da, yoy jarayonini turli usullar orqali vizuallashtirish va tahlil qilish mumkin. Masalan, 3.2-rasmda rezistiv yuklama uchun tok signallarining vaqt sohasidagi (time-domain) to'lqin shakli hamda unga mos chastota spektri ko'rsatilgan. Vaqt sohasi nuqtai nazaridan qaraganda, yoy tokida nol kesish nuqtalarida (zero crossings) ma'lum vaqt davomida tok deyarli nol qiymatga tushishi kuzatiladi, bu 3.2-rasm (a) da ko'rsatilgan. Buning sababi shundaki, razryad oralig'idagi kuchlanish kamayganda elektr yoy so'nadi (extinguish). Keyinchalik kuchlanish yana ortganda yoy qayta yonadi (reignite) va shu paytda tok qiymati keskin o'zgaradi. Chastota sohasi nuqtai nazaridan esa, yoy mavjud bo'lgan tok signalining yuqori chastotali komponentlari yoysiz (normal) tok signaliga nisbatan ancha yuqori bo'ladi, bu 3.2-rasm (b) da ko'rsatilgan. Normal ishlayotgan yuklamalarda paydo bo'ladigan garmonik toklarning ta'sirini kamaytirish maqsadida yoy nosozligini aniqlash uchun 3 kHz – 12 kHz oralig'i chastota diapazoni sifatida tanlangan. Bu yondashuv nisbatan past diskretlash chastotasidan foydalanish imkonini beradi,

natijada tizimda talab qilinadigan RAM xotira hajmini kamaytirish mumkin. Bundan tashqari, yuklama chiziqli (linear) yoki nochiziqli (non-linear) bo'lishidan qat'i nazar, yoysiz tok signallarining to'liq shakli qisqa kuzatuv oynasida (masalan, 2–3 ta elektr tarmog'i sikli) nisbatan barqaror bo'ladi. Biroq yoy mavjud bo'lgan tok signalida bunday barqarorlik kuzatilmaydi. 5-rasm (b) da ko'rsatilganidek, hatto ketma-ket joylashgan davrlar orasida ham tok to'liq shakllari sezilarli darajada farq qiladi va barqaror davrlarni kuzatish qiyin. Buning sababi shundaki, elektr yoy razryadi o'zi juda murakkab fizik va kimyoviy jarayon bo'lib, unga yuklama turi, elektrod materiali va boshqa ko'plab omillar ta'sir ko'rsatadi. Shu sababli algoritm hisoblash jarayonida tok signalining 2 yoki 3 ta davri bitta hisoblash birligi sifatida qabul qilinishi mumkin. Avval aytib o'tilgan ko'rinadigan xususiyatlarni vaqt–chastota sohasidagi an'anaviy usullar yordamida aniqlash qiyin bo'lishi mumkin. Biroq sun'iy intellekt (AI) asosidagi usullar ushbu xususiyatlarni samarali ravishda o'rganish imkonini beradi.



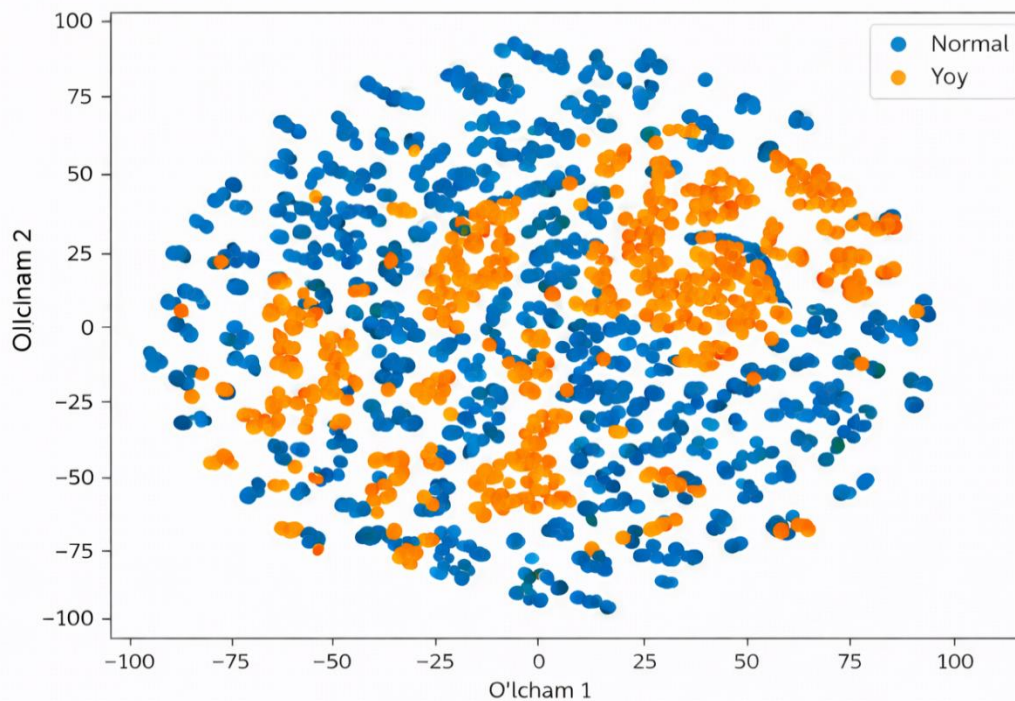
5-rasm. Rezistiv yuklama uchun tok signali va chastota spektri.

MA'LUMOTLAR BAZASINING TAVSIFI

Ushbu tadqiqot uchun sakkizdan ortiq turdagi yuklamalar ularning o'ziga xos xususiyatlariga qarab to'rtta asosiy sinfga ajratilgan. **Rezistiv turdagi yuklamalar** deyarli **sinusoidal shakldagi tok signallariga** ega bo'lganligi sababli ular **rezistiv yuklamalar guruhi (RE)** ga kiritilgan. **Kondensator yordamida ishga tushiriladigan dvigatel, elektr qo'l drel (drill) hamda changyutgich** yuklamalari **motor turidagi yuklamalar (MO)** sifatida tasniflangan. Buning sababi shundaki, ushbu qurilmalarda ishga tushish jarayonida **katta boshlang'ich tok (inrush current)** kuzatiladi. **Galogen lampalar va lyuminestsent lampalar** ishlash jarayonida gaz razryadi sodir bo'lganda ularning tok signallari **elektr yoy signaliga o'xshash ko'rinishga ega bo'ladi**. Shu sababli bu yuklamalar **gaz razryadli lampalar (GDL – Gas Discharge Lamps)** sinfga kiritilgan. **Tiristor asosidagi elektron yorug'lik dimmeri hamda kompyuterlar kabi impulsli quvvat manbai (switch mode power**

supply) ishlatadigan qurilmalar esa **keng chastota diapazonidagi garmonik tok komponentlariga** ega bo'ladi. Shu sababli bu turdagi yuklamalar **quvvat elektronikasi asosidagi yuklamalar (PE – Power Electronics)** guruhiga kiritilgan.

Asosiy ma'lumotlar bazasi **dastlab yig'ilgan ma'lumotlarni 10 kHz gacha diskretlash (down-sampling)** orqali shakllantirilgan. Tok signalining **bitta to'liq davrini o'z ichiga olgan har bir namuna bir o'lchamli vektor (1D vector)** ko'rinishiga keltirilgan. Ma'lumotlar to'plami **9623 ta yoy (arc) holatidagi namuna va 20528 ta normal yuklama tok namunasidan** iborat bo'lib, umumiy hisobda **30151 ta namunani** tashkil qiladi. Ma'lumotlar soni nisbatan katta bo'lishiga qaramay, ular **kompyuter dasturi hamda fotoelektrik sensor tomonidan berilgan vaqt belgisi (timestamp)** yordamida **avtomatik ravishda belgilangan (labeling)**. Barcha ma'lumotlar shunday tarzda belgilanganiki, taklif etilgan algoritm nafaqat **yoy holatini va normal tokni aniqlashi**, balki **yuklama turini ham aniqlay olishi** mumkin. Ya'ni yuklama turlari quyidagi sinflarga ajratilgan: **RE** – rezistiv yuklamalar, **MO** – motor turidagi yuklamalar, **GDL** – gaz razryadli lampalar, **PE** – quvvat elektronikasi asosidagi yuklamalar. Ma'lumotlar to'plami tasodifiy ravishda quyidagi ulushlarda ajratilgan: **75 % – o'qitish (training), 10 % – tekshirish (validation), 15 % – sinov (testing)**. Asosiy ma'lumotlar bazasidagi signal qiymatlari **200 ta namuna nuqtasi** doirasida **0 dan 1 gacha normalizatsiya qilingan**. Bundan tashqari, yoy nosozligini aniqlash aniqligining **turli diskretlash chastotalarida qanday o'zgarishini tekshirish** maqsadida, ayni bir xil ma'lumotlar asosida yana bir nechta qo'shimcha ma'lumotlar bazalari ham yaratilgan. Ular quyidagi diskretlash chastotalariga ega: **40 kHz, 5 kHz, 2.5 kHz, 2 kHz, 1 kHz**. Har bir ma'lumotlar bazasida **o'qitish, tekshirish va sinov ma'lumotlarining ulushi** asosiy ma'lumotlar bazasidagi kabi saqlab qoling.



6-rasm. Chastota sohasida barcha yuklama kategoriyalariga tegishli elektr yoy nosozligi ma'lumotlarining t-SNE proyeksiyasi.

Ushbu tadqiqot uchun ma'lumotlar **IEC62606 standarti** talablariga muvofiq ishlab chiqilgan haqiqiy **tajriba stendi** yordamida yig'ilgan. Ushbu stend **mikrokontrollerga (MCU) asoslangan elektr yoy ma'lumotlarini yig'ish qurilmasi (Arc Data Acquisition – DAQ)** ni o'z ichiga oladi.

Xulosa

Mazkur maqolada avariya rejimlarida AC elektr tizimlarida yuzaga keladigan ketma-ket elektr yoylarini aniqlash muammosi ko'rib chiqildi. Tahlillar shuni ko'rsatdiki, an'anaviy signalni qayta ishlash usullari yuqori shovqinli muhitda yetarli darajada samarali emas va ular ko'pincha qo'lda sozlanadigan chegaraviy qiymatlarga bog'liq bo'ladi. Taklif etilgan konvolyutsion neyron tarmoqqa asoslangan ArcNet algoritmi xom tok signallaridan to'g'ridan-to'g'ri xususiyatlarni ajratib olish orqali elektr yoyini aniqlash jarayonini soddalashtiradi va uning aniqligini oshiradi. Eksperimental natijalar modelning 99 % dan yuqori aniqlik bilan ishlashini hamda real vaqt rejimida qo'llash imkoniyatini tasdiqladi. Shuningdek, tadqiqot natijalari elektr yoyini erta bosqichda aniqlash orqali elektr ta'minoti tizimlarining barqarorligini oshirish va avariya holatlarining oldini olish mumkinligini ko'rsatdi. Bu esa elektr tizimlarini avtomatlashtirish va ularning ishonchligini ta'minlashda muhim ahamiyat kasb etadi.

Kelgusida tadqiqotlarni yanada rivojlantirish uchun turli yuklama va tashqi muhit sharoitlarida kengroq tajribalar o'tkazish hamda modelni yanada optimallashtirish maqsadga muvofiq hisoblanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Dang T., Le M. Frequency-domain analysis of arc faults in DC systems // *Electric Power Systems Research*. – 2020. – Vol. 182.
2. Telford L., Stone D. Spectral characteristics of arc faults // *IEEE Transactions on Power Electronics*. – 2015. – Vol. 30, №3. – P. 1234–1242.
3. Lu Y., Wang Z. Wavelet-based arc fault detection in PV systems // *Renewable Energy*. – 2020. – Vol. 145. – P. 123–132.
4. Chen K., Li H. Time-domain analysis of arc fault signals // *IEEE Transactions on Power Delivery*. – 2019. – Vol. 34, №2. – P. 567–575.
5. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. *Deep Learning*. – Cambridge: MIT Press, 2016.
6. LeCun Y., Bengio Y., Hinton G. Deep learning // *Nature*. – 2015. – Vol. 521. – P. 436–444.
7. He K., Zhang X., Ren S., Sun J. Deep residual learning for image recognition // *CVPR*. – 2016.
8. Mamatqulov T.Ch. AC elektr tizimlarida elektr yoyini aniqlash uchun CNN asosidagi algoritm // *Dissertatsiya materiallari*. – Buxoro, 2026.