

AVARIYA REJIMLARIDA AC ELEKTR TIZIMLARIDA ELEKTR YOYINI ANIQLASH UCHUN CNN ASOSIDAGI ARCNET ALGORITMI

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 avariya larni 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

ELEKTR YOYINING KELIB CHIQISH ASOSLARI

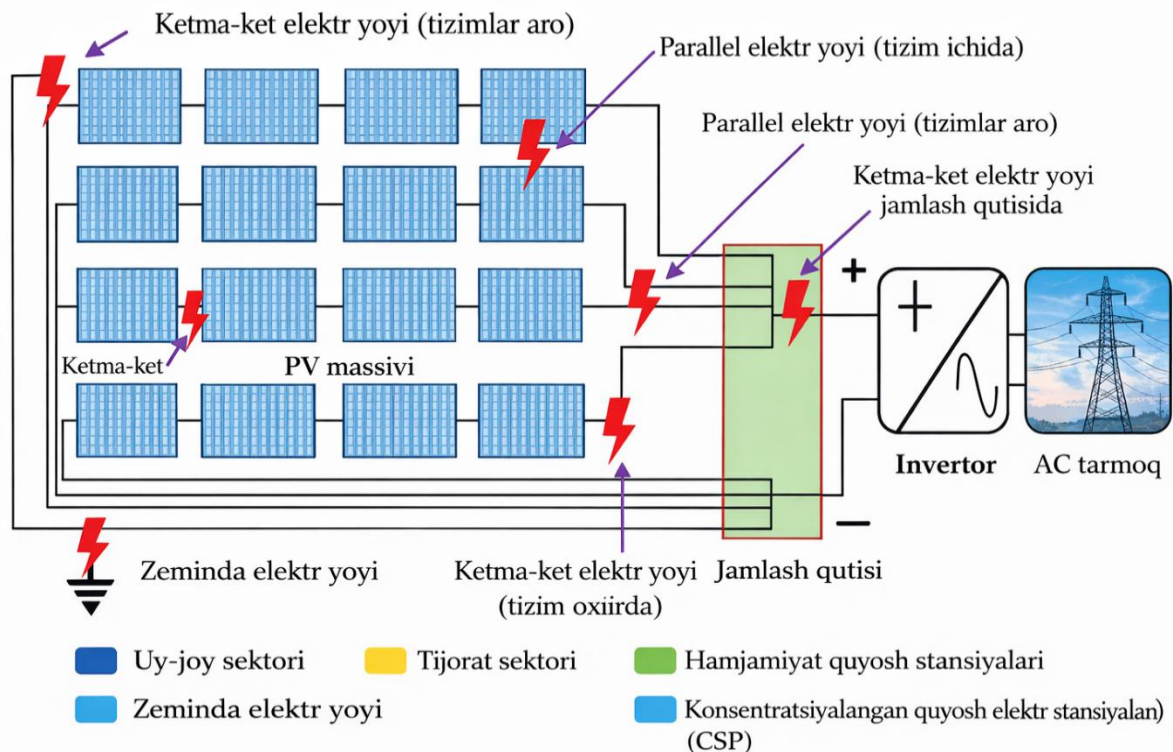
Elektr yoyi (arc fault) – bu ikki o‘tkazgich orasida yuzaga keladigan yorqin elektr razryadi bilan tavsiflanadigan hodisadir. Bunday elektr yoyi turli elektr tizimlarida, jumladan o‘zgaruvchan tok (AC) va doimiy tok (DC) zanjirlarida jiddiy xavfsizlik muammolarini keltirib chiqarishi mumkin.

Elektr yoyining paydo bo‘lishiga ko‘plab omillar sabab bo‘ladi. Masalan: kabel ulanishlarining bo‘shashishi, simlarning eskirishi, tashqi ta’sirlar natijasida izolyatsiyaning buzilishi, kabelning mexanik shikastlanishi. Elektr yoyi juda kichik tok qiymatlarida ham yuzaga kelishi mumkin. Masalan, **3 A dan 12 A gacha bo‘lgan tok qiymatlarida ham** elektr yoyi hosil bo‘lishi ehtimoli mavjud. Elektr yoyi jarayonida harorat **5000 °C dan ham yuqori** qiymatlarga yetishi mumkin. Natijada bu hodisa elektr yong‘inlari xavfini keltirib chiqarib, moddiy zarar, jarohatlar yoki hatto inson o‘limiga ham sabab bo‘lishi mumkin. Elektr yoyi **uy-joylarda yuzaga keladigan yong‘inlarning asosiy sabablaridan biri** hisoblanadi. Zebra kompaniyasi tomonidan o‘tkazilgan tadqiqotga ko‘ra, yong‘inlarning **36,3 % elektr tizimidagi muammolar bilan bog‘liq**. Shuningdek, Industrial Safety and Hygiene News ma’lumotlariga ko‘ra, har yili **30 000 dan ortiq elektr yoy hodisalari** sodir bo‘lib, ular ko‘plab jarohatlar va shifoxonaga yotqizilish holatlariga sabab bo‘ladi. AC tizimlarda **ketma-ket elektr yoyini** aniqlash juda murakkab hisoblanadi. Buning sababi shundaki, elektr yoyi paydo bo‘lganda zanjirga **ketma-ket qarshilik** qo‘shiladi va natijada yuklama toki ortish o‘rniga **kamayadi**. Shu sababli an’anaviy **ortiqcha tokdan himoya qiluvchi qurilmalar** elektr yoyini aniqlay olmaydi. Bunday xavfli holatlarning oldini olish uchun maxsus qurilmalar qo‘llaniladi, masalan: **AFDD (Arc Fault Detection Device)** — elektr yoyini aniqlash qurilmasi, **AFCI (Arc Fault Circuit Interrupter)** — elektr yoyini aniqlab zanjirni uzuvchi qurilma. Ammo yuklama toki xususiyatlari, kommutatsiya shovqinlari va tashqi muhitdagi elektromagnit shovqinlar ko‘pincha **noto‘g‘ri aniqlash holatlarini** keltirib chiqaradi. Bu esa AFDD yoki AFCI qurilmalarining **noto‘g‘ri ishlashiga (nuisance tripping)** olib kelishi mumkin.

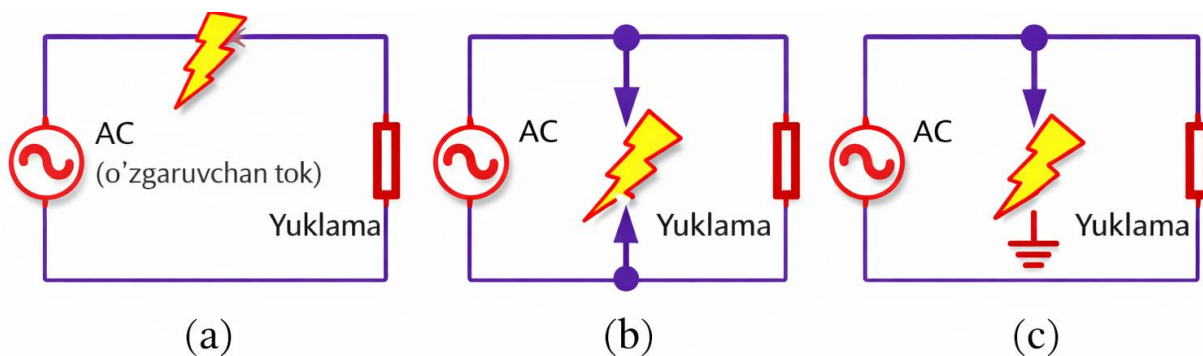


1-rasm: Elektr yoyi tufayli yuzaga kelgan yong‘in xavfi.

Elektr yoylari ikki turga bo‘linadi: **ketma-ket elektr yoyi (series arc fault)** va **parallel elektr yoyi (parallel arc fault)** (1.6-rasmga qarang). Ketma-ket elektr yoyidan farqli ravishda, **parallel elektr yoyi** liniya tokini keskin oshiradi va odatda ortiqcha tokdan himoya qiluvchi qurilmalar tomonidan oson aniqlanadi. Biroq **ketma-ket elektr yoyi** yuzaga kelganda yuklama toki kamayadi. Shu sababli u oddiy **avtomatik o‘chirgich (circuit breaker)** tomonidan aniqlanmaydi.



2-rasm: Quyosh elektr stansiya (PV) tizimining quvvat oqimi diagrammasi va ketma-ket hamda parallel elektr yoylari yuzaga kelishi mumkin bo‘lgan joylar.



3-rasm: Elektr yoyining turlari – (a) ketma-ket elektr yoyi; (b) parallel elektr yoyi (liniya–neytral); (c) parallel elektr yoyi (liniya–yer).

KETMA-KET ELEKTR YOYINI ANIQLASH

An'anaviy elektr yoyini aniqlash usullari, jumladan **Fast Fourier Transform (FFT)**, **Wavelet Transform (WT)** va **Discrete Wavelet Transform (DWT)** usullari ham **AC**, ham **DC** zanjirlarda qo'llaniladi. Biroq bu usullar **qo'lda belgilangan chegaraviy qiymatlarni** sozlash zarurati bilan cheklangan bo'lib, yuklama sharoitlari o'zgarib turadigan holatlarda **noto'g'ri aniqlash** holatlariga olib kelishi mumkin. Bundan tashqari, tizimda mavjud **shovqinlar** ham bu muammoni yanada murakkablashtiradi. Shovqinlar signalning **chastota spektrini buzadi**, natijada ushbu usullar yordamida elektr yoyini aniqlashning aniqligi pasayadi.

Sun'iy intellekt (AI) va mashinaviy o'rganish (ML) asosidagi algoritmlar **yuqori tasniflash aniqligi** tufayli elektr yoyini aniqlash sohasida tobora ko'proq tadqiqotlar markaziga aylanib bormoqda. Elektr yoyini tasniflash uchun turli xil klassifikatsiya algoritmlari qo'llaniladi. Ular qatoriga quyidagilar kiradi: **Support Vector Machine (SVM)**, **Particle Swarm Optimization** bilan birgalikda ishlaydigan **Self-Organizing Map neyron tarmog'I**, **Recurrent Neural Network (RNN)**, **Convolutional Neural Network (CNN)**. Ushbu usullar ko'pincha ma'lumotlarni oldindan qayta ishlash (data preprocessing) texnikalari bilan birgalikda qo'llanadi. Sun'iy intellektga asoslangan bu usullar **qo'lda sozlanadigan chegaraviy qiymatlarga ehtiyoj sezmasdan**, avtomatik ravishda xususiyatlarni aniqlash imkonini beradi. Natijada tizimning **ishonchligi oshadi** va **noto'g'ri aniqlash ehtimoli kamayadi**.

ELEKTR YOYIDAN HIMOYALANISH UCHUN ASOSIY TEXNOLOGIYALAR

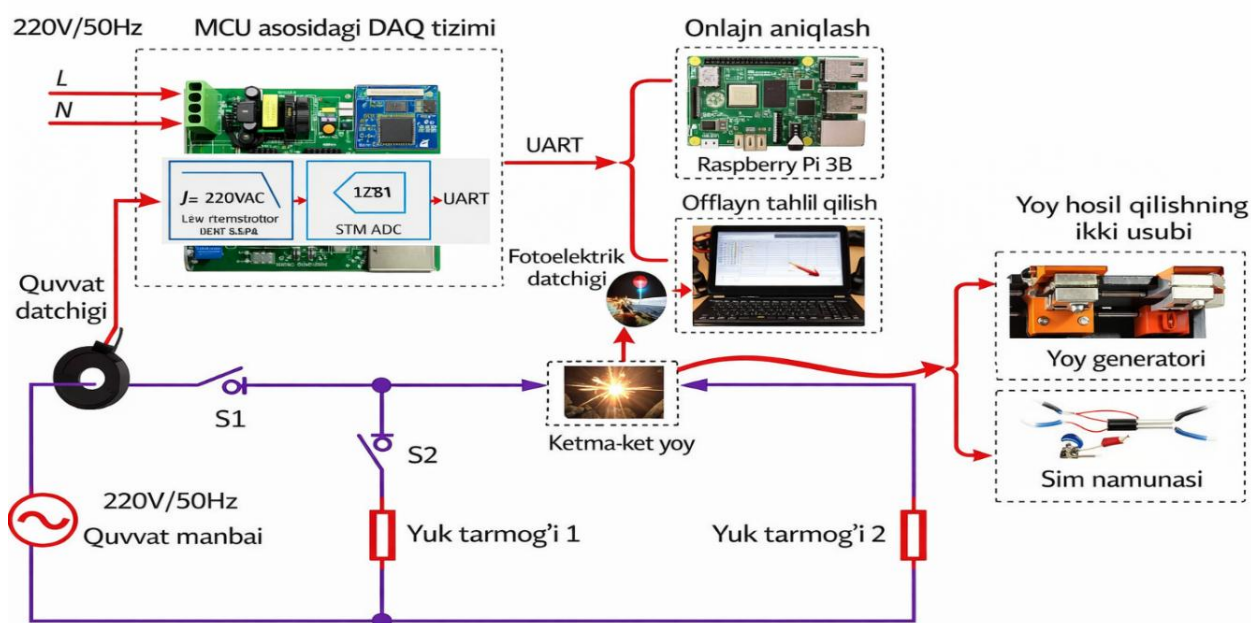
Elektr yoyidan kelib chiqadigan yong'in xavfini oldini olish hamda elektr tizimlarining xavfsizligi va ishonchligini oshirish uchun **aniq va tez aniqlash imkoniyatiga ega bo'lgan samarali elektr yoyini aniqlash algoritmini ishlab chiqish** zarur.

Sun'iy intellektga asoslangan usullar elektr yoyini aniqlashda yuqori samaradorlikka ega bo'lib, ular an'anaviy signalni qayta ishlashga asoslangan

algoritmarga nisbatan **moslashuvchan va moslanuvchan** hisoblanadi. Shu sababli, **AC va DC tizimlar uchun elektr yoyini aniqlashga mo'ljallangan samarali va yengil chuqur o'rganish (Deep Learning – DL) modellarini yaratish muhim ahamiyatga ega.** Samarali va yengil model: hisoblash murakkabligini kamaytiradi; resurslari cheklangan **embedded (o'rnatilgan) qurilmalarda** ham ishlashi mumkin; real vaqt rejimida ishlash imkonini beradi. Bundan tashqari, algoritm ishlaydigan platforma **arzon va iqtisodiy jihatdan samarali** bo'lishi ham zarur. Elektr yoyi aniqlangandan so'ng, **nosoz qismni sog'lom qismdan imkon qadar tez ajratish** talab etiladi. Buning uchun elektr zanjirini tez uzish maqsadida tizimga **qattiq holatli avtomatik o'chirgich (Solid-State Circuit Breaker — SSCB)** integratsiya qilinishi mumkin.

CNN (SUN'IY NEYRON TARMOQ) ASOSIDAGI ALGORITM YORDAMIDA AC YOY NOSOZLIGINI ANIQLASH

AC tizimlarining **elektr xavfsizligi va ishonchligini oshirish** maqsadida birinchi vazifa **CNN asosidagi algoritm yordamida AC yoy nosozligini aniqlash algoritmini ishlab chiqish** hisoblanadi. **Konvolyutsion qatlamlar** yoy nosozligi toki signalidan **xususiyatlarni avtomatik ravishda ajratib olish** imkonini beradi, shu sababli **murakkab ma'lumotlarni oldindan qayta ishlash jarayoniga ehtiyoj kamayadi.** Bu algoritm **99 % dan yuqori aniqlik bilan yoy nosozligini aniqlash** imkoniyatiga ega bo'lishi uchun ishlab chiqilgan.



4-rasm. Elektr yoy (Arc Fault) ma'lumotlarini yig'ish jarayoni va elektr zanjiri sxemasi.

Haqiqiy elektr yoy nosozliklari odatda **tasodifiy ravishda yuzaga keladi va ularni aniqlash yoki qayta hosil qilish qiyin** bo‘ladi. Shu sababli turli xil real yuklamalar bilan elektr yoy hosil qilish uchun **maxsus tajriba platformasidan foydalanish zarur. IEC60606 standarti** talablariga muvofiq, **ketma-ket (series) yoy nosozligini o‘rganish uchun tajriba platformasi** ishlab chiqilgan bo‘lib, u **4-rasmda** ko‘rsatilgan. Ushbu platformada elektr yoyni **ikki xil usulda** hosil qilish mumkin:

1. **Arc generator yordamida,**
2. **Kabel namunasi (cable specimen) yordamida.**

Yoy generator elektr kabelining **bo‘shashgan ulanishi** natijasida yuzaga keladigan haqiqiy yoyni hosil qilishi mumkin. Kabel namunasi orqali hosil qilinadigan yoy esa **elektr zanjiridagi izolyatsiya buzilishi** natijasida paydo bo‘ladigan yoyni modellashtiradi. Standartga ko‘ra ushbu usullardan **istalgan birini tanlash mumkin**, biroq real sharoitlarni yanada aniqroq modellashtirish maqsadida **ikkala usul ham qo‘llanilgan**. Ushbu tajriba qurilmasining kirish quvvati **220 V, 50 Hz elektr ta‘minoti** hisoblanadi. Yuklamalar orqali o‘tuvchi tokni o‘lchash uchun **bitta tok transformatori** ishlatiladi. Bundan tashqari, oddiy **osiloskop o‘rniga maxsus ishlab chiqilgan apparat platasiga asoslangan ma‘lumotlarni yig‘ish tizimi (DAQ)** qo‘llanilgan. Bu esa DAQ tizimini **tijorat maqsadidagi elektr yoy nosozligini aniqlash qurilmalari bilan mos ishlashini ta‘minlaydi**. Taklif etilgan **DAQ plata STM32H743 mikrokontrolleri asosida** qurilgan bo‘lib, faol past chastotali filtrning **kesish chastotasi (cut-off frequency) 20 kHz** va ma‘lum kuchaytirish koeffitsientiga ega. Yig‘ilgan ma‘lumotlarning **boshlang‘ich diskretlash chastotasi 83.33 kHz, razryadligi esa 12 bit** ni tashkil qiladi. O‘lchangan ma‘lumotlar qurilmaning o‘zida yozib olinadi va **SD kartada saqlanadi**. Shuningdek, ushbu ma‘lumotlar **UART interfeysi orqali kompyuterga yoki onlayn aniqlash qurilmasiga (masalan, Raspberry Pi)** uzatilishi mumkin. Bundan tashqari, ma‘lumotlarga **vaqt belgisi (timestamp)** qo‘shish uchun **fotoelektrik sensor** ham integratsiya qilingan bo‘lib, bu keyingi **post-processing (keyingi ishlov berish)** jarayonini osonlashtiradi.

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 yoyni aniqlash jarayonini soddalashtiradi va uning aniqligini oshiradi. Shuningdek, tadqiqot natijalari elektr yoyni 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 ishonchliligini 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. IEC 62606. General requirements for arc fault detection devices. – Geneva: International Electrotechnical Commission, 2013.
2. NFPA 70. National Electrical Code (NEC). – USA: National Fire Protection Association, 2020.
3. UL 1699B. Standard for Photovoltaic DC Arc-Fault Circuit Protection. – USA: Underwriters Laboratories, 2018.
4. Rabla M., Leeb S.B. Arc fault detection in electrical systems: A review // IEEE Transactions on Industry Applications. – 2019. – Vol. 55, №4. – P. 3458–3467.
5. Zang H., Wang X., Liu Y. Detection of arc faults using deep learning methods // IEEE Access. – 2020. – Vol. 8. – P. 123456–123465.
6. Johnson J., Kuzmaul S. Analysis of arc fault signals in photovoltaic systems. – USA: Sandia National Laboratories, 2011.
7. Dang T., Le M. Frequency-domain analysis of arc faults in DC systems // Electric Power Systems Research. – 2020. – Vol. 182.
8. Mamatqulov T.Ch. AC elektr tizimlarida elektr yoyini aniqlash uchun CNN asosidagi algoritim // Dissertatsiya materiallari. – Buxoro, 2026.