Journal of **N**ovel **R**esearches on **S**mart **P**ower **S**ystems - Vol. 13 - No. 3 – Autumn 2024
P-ISSN: 2322-2468, E-ISSN: 2981-0272, https://jeps.dezful.iau.ir/

Reveiw Article

High-Impedance Fault Detection in Electric Power Distribution Networks: A Review

Mohammad Sadegh Attar [1], *MS*

[1] *Department of Electrical Engineering, Tafresh University, Tafresh, Iran,*
pwr400.Attar@tafreshu.ac.ir

Abstract:
High-impedance faults (HIFs) in electric power distribution networks are characterized by low fault current levels, making them undetectable by the overcurrent relays commonly used in these networks. Consequently, distinguishing HIFs from other network phenomena, such as switching events of linear and nonlinear loads, capacitor bank switching, distributed generation switching, induction motor loads, and inrush currents from transformer energization, is highly challenging. This paper provides a comprehensive review of published studies on HIF detection from 2020 to 2024. The review includes methods used for fault detection, types of disturbances considered in the network, network types analyzed, as well as the accuracy and detection time of faults. Tables illustrate the software tools most frequently employed in this field and identify the predominant disturbances studied in recent years.

Keywords: Fault current, High impedance fault, Detection techniques, Artificial intelligence

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.82362/jeps.2024.3.520]

Received: 27 Aug. 2024
Revised: 11 Nov. 2024
Accepted: 13 Nov. 2024

*** Corresponding Author:** Mohammad Sadegh Attar

Citation: M. S. Attar, “High-Impedance Fault Detection in Electric Power Distribution Networks: A Review”, Journal of Novel Researches on Smart Power Systems, vol. 13, no. 3, pp. 53-73, September 2024 (in Persian).

مقاله مروری

تشخیص خطای امپدانس بالا در شبکه های توزیع انرژی الکتریکی

محمدصادق عطار[1]، دانش آموخته دوره کارشناسی ارشد

۱- دانشکده مهندسی برق، دانشگاه تفرش، تفرش، ایران، pwr400.Attar@tafreshu.ac.ir

چکیده: خطاهای امپدانس بالا در شبکه‌های توزیع انرژی الکتریکی دارای محدوده جریان پایینی هستند. به همین دلیل، این مقدار جریان خطا توسط رله‌های اضافه جریان موجود در شبکه توزیع انرژی الکتریکی قابل تشخیص نیست. از این رو، تشخیص خطای امپدانس بالا از پدیده‌های ایجادشده در شبکه، همچون کلیدزنی بارهای خطی و غیرخطی، کلیدزنی بانک خازنی، کلیدزنی منابع تولید پراکنده، بار موتور القایی و همچنین جریان هجومی ناشی از برقدار کردن ترانسفورماتور، بسیار دشوار است. در این مقاله، مروری کامل بر مقالات منتشرشده در حوزه شناسایی و تشخیص خطای امپدانس بالا در سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۴ انجام شده است. مطالعه انجام‌شده شامل روش‌های به‌کار گرفته‌شده در تشخیص خطا، نوع اغتشاش در نظر گرفته‌شده در شبکه، نوع شبکه مورد بررسی، دقت و زمان تشخیص خطا است. جداول ارائه‌شده نشان می‌دهند که کدام نرم‌افزار در این حوزه بیشتر مورد استفاده قرار گرفته است و همچنین، بیشترین پدیده و اغتشاش بررسی‌شده در مطالعات سالیان گذشته از چه نوعی بوده است.

کلمات کلیدی: جریان خطا، خطای امپدانس بالا، روش تشخیص، هوش مصنوعی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۶/۶
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۸/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۸/۲۳

* **نام نویسنده مسئول:** محمدصادق عطار
نشانی نویسنده مسئول: تفرش، ، دانشگاه تفرش، گروه مهندسی برق

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.82362/jeps.2024.3.520]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 13 - No. 3- Autumn 2024

۱- مقدمه

امروزه، انتقال انرژی الکتریکی در خطوط توزیع نیروی برق با قابلیت اطمینان بالا یک ضرورت محسوب می‌شود. در شبکه‌های توزیع، وقوع خطاهای متعددی مشاهده می‌شود. برخی از این خطاها قابل پیش‌بینی هستند، در حالی که برخی دیگر غیرقابل پیش‌بینی می‌باشند. یکی از خطاهایی که شناسایی آن در شبکه‌های توزیع با چالش‌های زیادی همراه است، خطای امپدانس بالا (HIF)[۱] محسوب می‌شود.

خطای امپدانس بالا (HIF) در اثر اتصال هادی برقدار با زمین از طریق یک جسم با امپدانس نسبتاً بزرگ و معمولاً همراه با قوس الکتریکی در شبکه‌های توزیع انرژی الکتریکی ایجاد می‌شود. به عنوان نمونه، این نوع خطا ممکن است در نتیجه تماس هادی برقدار در خطوط هوایی با اجسامی مانند درخت یا در اثر قطع و افتادن هادی بر روی زمین با جنس‌های متفاوتی همچون بتن، ماسه، شن، آسفالت خشک و غیره رخ دهد. به دلیل پایین بودن سطح ولتاژ در شبکه‌های توزیع و بالا بودن مقدار امپدانس بین زمین و هادی برقدار، جریان جاری در محل خطای امپدانس بالا کم بوده و تقریباً در محدوده جریان‌های بار خطوط توزیع قرار دارد. از این رو، این نوع خطا معمولاً توسط رله‌های اضافه جریان قابل شناسایی نیست. علاوه بر این، HIFها دارای ویژگی‌های غیرخطی مختلفی هستند که رفتار آن‌ها شباهت زیادی به برخی از پدیده‌های ایجادشده در شبکه‌های توزیع قدرت، از جمله کلیدزنی بارهای خطی و غیرخطی، کلیدزنی بانک‌های خازنی و جریان‌های هجومی ناشی از برقدار شدن ترانسفورماتورها دارد. بنابراین، به منظور تشخیص صحیح این خطاها، لازم است از سیستم‌ها و تجهیزات حفاظتی مناسب در شبکه توزیع برق استفاده شود. در صورتی کهHIFها به درستی شناسایی نشوند، ممکن است حوادث خطرناکی از جمله برق‌گرفتگی، تلفات جانی و مالی، خاموشی‌هایی در سطوح مختلف شبکه‌های توزیع و آتش‌سوزی رخ دهد. از این رو، شناسایی این خطا از سایر خطاهای موجود در شبکه توزیع انرژی الکتریکی با سرعت و دقت بالا امری حیاتی محسوب می‌شود.

در این مقاله، بخش دوم به انواع خطا، تعریف HIF و ویژگی‌های آن در شبکه‌های توزیع انرژی الکتریکی اختصاص داده شده است. در بخش سوم، مشکلات اصلی در تشخیص HIF بررسی شده و در بخش چهارم، شناسایی انواع اغتشاش‌ها به منظور تشخیص صحیح خطا مورد بحث قرار گرفته است. در نهایت، در بخش پنجم روش‌های تشخیص HIF ارائه شده است.

۱-۱- خطا در سیستم های قدرت

به طورکلی، شبکه قدرت شامل سه بخش اصلی تولید، خطوط انتقال و توزیع است که شبکه‌های توزیع به عنوان رابطی بین خطوط انتقال و مشترکین مصرف برق عمل می‌کنند. از آنجایی که شبکه‌های توزیع نسبت به بخش‌های تولید و انتقال گستردگی بیشتری دارند، بیشترین خطاها و خاموشی‌ها نیز در این بخش رخ می‌دهد. خطاهای موجود در شبکه توزیع را می‌توان به چهار دسته خطاهای تکفاز به زمین، خطاهای دو فاز، خطاهای دو فاز به زمین و خطاهای سه فاز تقسیم‌بندی کرد. بر اساس مطالعات انجام‌شده، بیشترین خطاهای رخ‌داده در شبکه‌های توزیع انرژی الکتریکی از نوع خطاهای تکفاز به زمین هستند. این نوع خطاها به دو دسته خطای امپدانس پایین و خطای امپدانس بالا تقسیم می‌شوند. خطاهای امپدانس بالا در اثر برخورد هادی با زمین یا یک سطح خارجی مانند شاخه درخت ایجاد شده و در نتیجه، مقدار امپدانس بالایی دارند. در مقابل، خطاهای اتصال کوتاه فاز به فاز و فاز به زمین در دسته خطاهای امپدانس پایین قرار می‌گیرند. در ادامه، توضیحات بیشتری در مورد هر یک از این خطاها ارائه شده است.

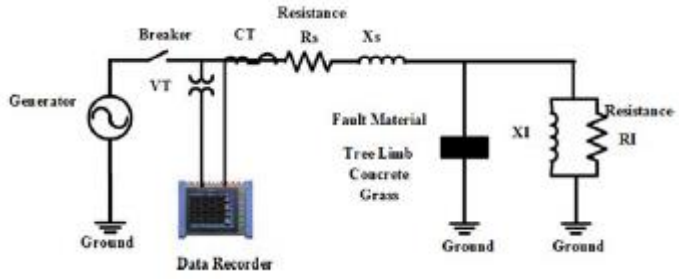
۱-۱-۱- خطای امپدانس پایین

در خطاهای دارای امپدانس پایین، جریان خطا از دامنه بزرگی برخوردار است. در نتیجه، این خطاها به‌سادگی توسط تجهیزات حفاظتی موجود در شبکه‌های توزیع انرژی الکتریکی، مانند رله‌های اضافه جریان، تشخیص داده می‌شوند. معمولاً امپدانس این نوع خطاها نزدیک به صفر اهم است. بر اساس بررسی‌های انجام‌شده توسط مؤسسه EPRT، بیشترین مقدار مقاومت خطا در این نوع از خطاها برابر با دو اهم یا کمتر از آن گزارش شده است[۱].

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.82362/jeps.2024.3.520]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 13 - No. 3- Autumn 2024

۱-۱-۲- خطای امپدانس بالا

هنگامی که شدت جریان اتصال‌کوتاه زیاد باشد، این نوع خطا به‌راحتی توسط تجهیزات حفاظتی سنتی قابل تشخیص است. با این حال، روش‌های حفاظتی سنتی قادر به تشخیص این خطاها در شرایطی که جریان اتصال کوتاه کم باشد، نیستند. این دسته از خطاها، که جریان خطای کافی برای شناسایی توسط تجهیزات حفاظتی معمولی تولید نمی‌کنند، به عنوان HIF شناخته می‌شوند[۲]. حوادث قوس الکتریکی اغلب به HIFمربوط می‌شود و زمانی رخ می‌دهد که هادی برقدار قطع شده و با زمین تماس پیدا کند یا با درختان مجاور برخورد داشته باشد. در HIFها، هادی در دو حالت مورد بررسی قرار می‌گیرد که در حالت اول، هادی قطع نمی‌شود و در حالت دوم، هادی قطع می‌شود. به عنوان مثال، در حالت اول، هادی شبکه توزیع با شاخه درختی که دارای امپدانس بالا است، برخورد می‌کند، اما قطع نمی‌شود. اما اگر هادی برقدار قطع شده و با ناحیه زمین مانند ماسه، بتن و... برخورد کند، در دسته دوم قرار می‌گیرد[۳]. این نوع خطاها حوادث خطرآفرینی را هم برای مردم و هم برای شرکت‌های توزیع نیروی برق بوجود می‌آورندکه نمونه آزمایشگاهی این نوع خطا در شکل (۱) نمایش داده شده است[۴].



شکل (۱): نمونه آزمایشگاهی خطای امپدانس بالا[۴]

Figure (1): Laboratory Sample of High Impedance Fault [4]

چنین حوادثی می‌تواند باعث آتش‌سوزی شود و به تجهیزات شبکه آسیب وارد کند. همچنین لازم به ذکر است که این نوع خطاها درصد غیرقابل انکاری (بیش از ۲۰ درصد) از انواع خطاهای موجود در شبکه توزیع را به خود اختصاص داده‌اند[۵]. بنابراین، میبایست آن ها را در شبکه برق شناسایی و پاک سازی نمود. با این حال، ۱۷,۵ درصد از HIF ها را می‌توان با روش های حفاظت سنتی شناسایی کرد[۲, ۵, ۶]. به همین دلیل، تشخیص HIF ها برای بیش از ۴۵ سال مورد توجه محققان قرار گرفت[۷, ۸]. از آن زمان، بسیاری از مطالعات در مورد شناسایی HIF ها صورت گرفته است[۱۲-۹]. شکل (۲): نمونه هایی از خطای امپدانس بالا بر روی سطح بتن و چمن بر اثر برخورد یکی از فازها با سطوح مختلف زمین را نشان می‌دهد[۱۳, ۱۴].



شکل (۲): نمونه هایی از خطای امپدانس بالا بر روی سطح بتن و چمن[۱۳, ۱۴]

Figure (2): Examples of High Impedance Fault on Concrete and Grass Surface [13, 14]

HIFها معمولا به شکل تکفاز در شبکه‌های قدرت رخ می‌دهند و جریان خطای آن‌ها کمتر از ۱۰ درصد جریان بار است. بنابراین تشخیص این نوع از خطاها همانطور که در قبل ذکر شد، به کمک رله‌های اضافه جریان امکان‌پذیر نمی‌باشد[۱۵]. در برخی از مراجع محدوده جریان خطای ناشی از وقوع HIF بین ۰ تا ۷۰ آمپر [۱۵, ۱۶]، و در برخی دیگر از مراجع بین۰ تا ۱۰۰ آمپر بیان شده است[۱۷, ۱۸]. از طرفی یک گروه تحقیقاتی در دانشگاه A&M ، بیش از ۲۰۰ مورد HIF را در پنج شبکه توزیع برق آزمایش کرده‌اند که تنها ۳۵ مورد از آنها با حفاظت معمولی برطرف شد[۱۹].

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.82362/jeps.2024.3.520]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 13 - No. 3- Autumn 2024

HIF ها بر روی شبکه قدرت اثرات نامطلوب شدیدی بر جا نمی‌گذارند، اما هادی سقوط کرده می‌تواند خسارت جانی شدیدی را برای انسان و سایر جانداران ایجاد کند[۱۹]. به عنوان نمونه می‌توان به برخورد یک هادی ساقط شده در تماس مداوم با سطح زمین که باعث آتش‌سوزی در مناطق مختلف شهری و یا روستایی می‌گردد نیز اشاره نمود[۲۰]. لازم به ذکر است که دامنه جریان خطای کم، تنها مسئله در طراحی یک طرح حفاظتی مناسب برایHIF نمی‌باشد، بلکه واقعیت این است که ویژگی های HIF به عوامل متعددی مانند سطح تماس، نوع جنس زمین، رطوبت سطح و نوع بار بستگی دارد. به عبارت دیگر، سطوح تماس در هنگام وقوع HIF، ویژگی‌های جریان متفاوتی را از خود نشان می‌دهند[۲۱]. جدول ۱ دامنه جریان HIF بر اثر برخورد با سطوح مختلف زمین را نشان می‌دهد.

جدول ۱: دامنه جریان HIF بر اثر برخورد با سطوح مختلف زمین[۲۲]

Table 1: HIF Current Magnitude Due to Contact with Different Ground Surfaces [22]

سطح برخورد	دامنه جریان خطا
آسفالت خشک یا شن یا ماسه	۰ آمپر
ماسه مرطوب	۱۵ آمپر
چمن خشک	۲۰ آمپر
علف خشک	۲۵ آمپر
چمن خیس	۴۰ آمپر
علف خیس	۵۰ آمپر
بتن آرمه	۷۵ آمپر

درخصوص ویژگی‌های خطای امپدانس بالا می‌توان به موارد زیر اشاره نمود[۱۸, ۲۳, ۲۴]:

- **عدم تقارن شکل موج جریان:** مقدار پیک جریان خطا در نیم سیکل مثبت و منفی دارای مقادیر مختلفی است.
- **متناوب بودن قوس الکتریکی:** سیکل‌های تولید جریان ناشی از قوس الکتریکی پایدار نیستند.
- **افزایش جریان و آستانه آن:** اندازه جریان به تدریج افزایش می‌یابد تا به حالت ماندگار خود برسد که منظور از آستانه این است که این افزایش جریان و ماندگاری آن برای چند سیکل متوقف می‌شود.
- **غیرخطی بودن:** به دلیل وجود قوس الکتریکی، مشخصه ولتاژ-جریان غیرخطی می‌شود.
- **غیرایستا بودن جریان خطای امپدانس بالا:** طیف فرکانسی جریان خطا با گذشت زمان تغییر می‌کند.
- **تصادفی بودن جریان خطا:** امپدانس HIF با توجه به سطح تماس متغیر است و به شکل تصادفی تغییر می‌کند، پس جریان HIF هم بطور تصادفی تغییر می‌کند.
- **مولفه‌های فرکانس پایین و بالا:** شکل موج جریان و ولتاژ در لحظه HIF دارای مولفه‌های فرکانس پایین و بالا می‌باشد.

شکل (۳) بخشی از ویژگی‌های خطای امپدانس بالا را نمایش می‌دهد.

۱-۲- مشکلات اصلی در تشخیص خطای امپداس بالا

دامنه کم جریان خطا

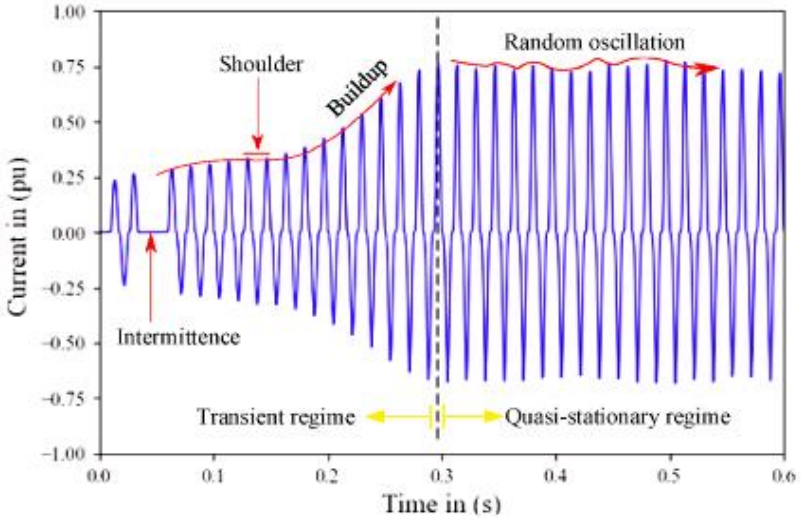
تجهیزات حفاظتی که به طور معمول در شرکت‌های توزیع نیروی برق استفاده می‌شوند همچون رله‌های اضافه جریان، ریکلوزرها و فیوز ها نیز برای مقادیر بالایی از دامنه جریان خطا تعریف شده‌اند و تنها می‌توانند مقدار مشخص شده ای از جریان را که معمولا خطاهای اتصال‌کوتاه با امپدانس پایین می‌باشند را تشخیص دهند.

انواع مختلف بار و سایر رویداد های بوجود آمده در شبکه

از مهمترین و شاید اصلی‌ترین مشکلات HIFها، مشابهت ویژگی‌های HIF با ویژگی‌هایی باشد که در برخی از رویدادهای موجود در شبکه قدرت بوجود می‌آید. منظور از رویداد در شبکه قدرت می‌توان به جریان‌های هجومی ترانسفورماتورها، سوئیچینگ بانک خازنی، سوئیچینگ بارها و بارهای غیرخطی همچون راه‌اندازی موتورها نیز اشاره نمود که می‌توانند تجهیزات حفاظتی را به اشتباه برای تشخیص HIF فعال کنند.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.82362/jeps.2024.3.520]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 13 - No. 3- Autumn 2024



شکل (۳): موج جریان ناشی از HIF [۲۵]

Figure (3): Current Waveform Caused by HIF [25]

رفتارهای تصادفی

تکنیک‌های تشخیص HIF که در مطالعات مربوطه پیشنهاد می‌شوند معمولا براساس شبیه‌سازی‌ها و آزمایشگاه‌ها توسعه یافته‌اند. از طرفی در شرایط واقعی عوامل خارجی زیادی همچون شرایط آب و هوایی، مکان‌های خطای ایجاد شده و یا سرعت باد به تصادفی بودن HIFها کمک می‌کنند.

هزینه بالا

یکی از روش‌های پیشنهادی برای مقابله با این نوع خطا استفاده از شبکه برق زیر زمینی می‌باشد. در شبکه‌های قدرت زیرزمینی احتمال وقوع چنین خطایی کاهش می‌یابد چرا که احتمال قطعی و یا پارگی هادی نیز به مراتب کاهش پیدا می‌کند. همچنین می‌توان در شبکه زیر زمینی یکسری سطوح تماس ایجاد کرد که دارای امپدانس پایین باشد. با این ترفند می‌توان با استفاده از تجهیزات حفاظتی همچون رله‌های اضافه جریان این نوع خطا را تشخیص داد اما این کار دارای هزینه‌های بسیار بالایی است. در حال حاضر بخش بسیار زیادی از شبکه‌های قدرت، شبکه‌های هوایی می‌باشند بنابراین باید از روش‌های دیگری استفاده شود.

۲- انواع اغتشاش ها

۲-۱- کلیدزنی بانک خازنی[۲] (CB)

بانک‌های خازنی موازی برای بهبود قابلیت انتقال توان، کنترل و بهبود پروفیل ولتاژ، کاهش هزینه‌های انرژی، کاهش بار تجهیزات و تزریق توان راکتیو به شبکه‌های الکتریکی به کار می‌رود. این بانک‌ها به طور گسترده در شبکه‌های قدرت استفاده می‌شوند. یکی از ویژگی‌های مهم بانک‌های خازنی موازی، کلیدزنی آن‌ها بطور معمول دو بار در شبانه روز است تا بتوانند به تغییرات شرایط بار سیستم واکنش نشان دهند. کلیدزنی بانک خازنی، عامل اصلی تولید ولتاژهای گذرا در بسیاری از سیستم‌های قدرت است که بر سیستم عایقی تجهیزات موجود در سیستم‌های قدرت تأثیر منفی می‌گذارد[۲۹-۲۶]. در زمان وصل بانک خازنی، جریان هجومی بزرگی به صورت مؤلفه گذرا در شکل موج جریان ظاهر می‌شود که باعث ایجاد مؤلفه‌های فرکانس بالا در جریان اغتشاش می‌شود. این مؤلفه‌های فرکانس بالا می‌توانند روند تشخیص HIF را مختل کنند.

۲-۲- کلیدزنی بارهای خطی[۳] (LL)

بارهای خطی از متداول‌ترین بارها در سیستم قدرت هستند که در این نوع بارها، شکل موج جریان از شکل موج ولتاژ اعمالی پیروی می‌کند. کلیدزنی این بارها در سیستم قدرت ضروری است و فرآیند ورود و خروج آن‌ها به سیستم قدرت بارها تکرار می‌شود. کلیدزنی بار به معنای تغییر وضعیت بار شبکه در یک لحظه است که می‌تواند منجر به تغییرات فرکانس شبکه شود.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.82362/jeps.2024.3.520]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 13 - No. 3- Autumn 2024

۲-۳- کلیدزنی بارهای غیرخطی[۴] (NLL)

بارهای غیرخطی به دسته‌ای از بارها اطلاق می‌شود که در آن‌ها شکل موج جریان با شکل موج ولتاژ اعمالی تطابق ندارد. در ادامه، بارهای غیرخطی را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد. دسته اول شامل بارهایی است که در هر نیم سیکل ولتاژ اعمال شده، جریان پیوسته‌ای از شبکه دریافت می‌کنند، مانند تلویزیون، کامپیوتر و سیستم‌های روشنایی. دسته دوم شامل بارهایی است که در هر نیم سیکل ولتاژ اعمال شده، جریان ناپیوسته‌ای از شبکه دریافت می‌کنند. نمونه‌هایی از این دسته شامل یکسوکننده‌ها، منابع تغذیه اضطراری، درایورهای سرعت متغیر و درایورهای فرکانس متغیر می‌باشند[۳۰]. این نوع بارها از ادوات الکترونیک قدرت استفاده می‌کنند که منجر به ایجاد اعوجاج هارمونیکی در جریان می‌شود. جریان‌های برخی از بارهای غیرخطی رفتار مشابهی نسبت به جریان HIFها دارد.

۲-۴- کلیدزنی منابع تولید پراکنده[۵] (DG)

نصب منابع DG در شبکه‌های توزیع به دلیل توانایی آن‌ها در پاسخگویی محلی به تقاضای برق، رو به افزایش است. این منابع می‌توانند مشکلات زیست‌محیطی را کاهش دهند و به منظور کاهش تلفات خطوط و افزایش انعطاف‌پذیری شبکه مورد توجه قرار می‌گیرند[۳۱]. با این حال، کلیدزنی منابع DG می‌تواند مانند خطای امپدانس بالا موجب تجمع جریان شود و حضور مبدل‌های الکترونیک قدرت نیز باعث اعوجاج در شکل موج جریان می‌شود، که ممکن است بر روش‌های تشخیص HIF تأثیر بگذارد.

۲-۵- بار موتورالقایی[۶] (ME)

موتورهای القایی در صنعت کاربردهای متنوعی دارند و در تجهیزاتی مانند پمپ‌ها، کمپرسورها، میکسرها و جاروبرقی‌ها استفاده می‌شوند. این موتورها هنگام راه‌اندازی جریان زیادی از منبع می‌کشند که پس از ۱ تا ۲ سیکل به جریان پایدار(حالت ماندگار) می‌رسد. جریان راه‌اندازی بسته به نوع موتور و بار آن متفاوت است و می‌تواند تا ۱۲ برابر جریان نامی نیز افزایش یابد. این جریان راه‌اندازی مؤلفه‌های فرکانسی مشابه با خطای امپدانس بالا تولید می‌کند و ممکن است فرآیند تشخیص HIF را دچار اختلال کند.

۲-۶- جریان هجومی ناشی از برق‌دار کردن ترانسفورماتور توزیع[۷] (TE)

هنگام برقدار شدن ترانسفورماتور توزیع، جریان هجومی زیادی از آن عبور می‌کند. دامنه این جریان هجومی معمولاً چند برابر جریان نامی ترانسفورماتور است و می‌تواند مشکلاتی نظیر آسیب و کاهش طول عمر ترانسفورماتور، ایجاد تنش‌های مکانیکی و اختلال در عملکرد رله‌های حفاظتی ایجاد کند[۳۲]. عوامل مؤثر بر شدت جریان هجومی شامل شار باقی‌مانده در هسته ترانسفورماتور، زاویه ولتاژ در لحظه برقدار شدن و قدرت منبع می‌باشند[۳۳]. از ویژگی‌های جریان هجومی می‌توان به دامنه جریان بالا، نامتقارن بودن، وجود هارمونیک‌های مرتبه بالا و مولفه جریان مستقیم[۸] (DC) آن اشاره نمود که تشخیص جریان HIF را از آن مختل می‌کند[۳۴]. علاوه بر جریان مغناطیس‌کنندگی ترانسفورماتورها، کلیدزنی بانک‌های خازنی و راه‌اندازی بارهای سلفی بزرگ نیز از دیگر منابع تولید جریان هجومی محسوب می‌شوند[۳۵].

۳- روش‌های تشخیص HIF

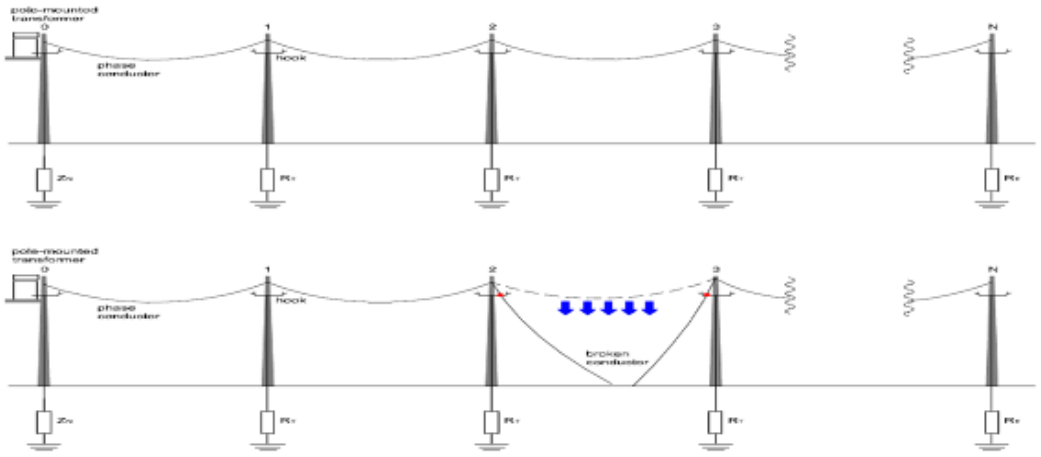
۳-۱- روش‌های تبدیلی[۹] LIF (اتصال کوتاه)

در روش‌های تبدیلی با کمک تجهیزات جانبی، خطاهای امپدانس بالا به خطاهای تکفاز تبدیل شده و جریان خطا افزایش می‌یابد و به کمک حفاظت های معمولی همچون رله‌های اضافه جریان[۱۰] (OCR)، خطا تشخیص داده می‌شود. در حالت کلی سه نمونه برای روش تبدیلی خطای امپدانس بالا درنظر گرفته شده است:

روش اول: یک میله آلومینیومی قلاب‌دار به یک هادی زمین شده که در زیر خط اصلی نصب شده است متصل می‌شود تا درهنگام قطع شدن هادی اصلی، اتصال کوتاه بوجود آید و باعث عملکرد رله‌های اضافه جریان شود[۳۶].

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.82362/jeps.2024.3.520]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 13 - No. 3- Autumn 2024

روش دوم: روی پایه یا کراس‌آرم برای هر کدام از فازها، تجهیزاتی نصب می‌شود بطوریکه هنگام قطع شدن هادی و برخورد آن، فنری آزاد شده و با اتصال یک شینه با هادی، یک اتصال کوتاه با جریان بالا رخ می‌دهد و یا با استفاده از نصب یک قلاب مکانیکی بر روی پایه مطابق شکل(۴) میتواند قابل قبول باشد و این کار باعث می‌شود که رله‌های اضافه جریان این خطا را تشخیص دهند و درواقع خطای امپدانس بالا به شکل خطای اتصال کوتاه شناسایی می‌شود[۳۷].

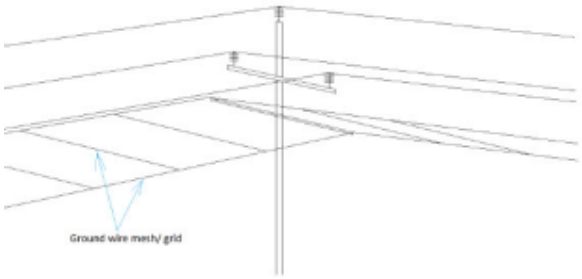


شکل (۴): استفاده از قلاب مکانیکی در جهت رفع خطای امپدانس بالا[۳۷]

Figure (4): Use of Mechanical Hook for High Impedance Fault Clearance [37]

از معایب دو روش فوق می‌توان به احتمال برخورد خط گرم با تجهیزات درنظر گرفته شده اشاره نمود.

روش سوم: نصب یک شبکه زمین در زیر فازهای یک خط انتقال باشد، همانطور که در شکل(۵) نشان داده شده است. روش پیشنهادی برای گرفتن هادی در حال سقوط قبل از تماس آن با سطح امپدانس بالا در نظر گرفته شده است. هنگامی که هادی با شبکه در تماس است، رله اضافه جریان قادر خواهد بود خطا را به راحتی تشخیص دهد و موجب عملکرد رله اضافه جریان شود[۳۸].



شکل (۵): شبکه زمین شده در زیر شبکه اصلی[۳۸]

Figure (5): Grounded Network beneath the Main Network [38]

۳-۲- روش‌های تشخیص الکتریکی HIF

روش‌های تشخیص الکتریکی خود به سه قسمت تقسیم می‌شوند. اولین قسمت به اندازه‌گیری HIF، دومین قسمت به حوزه تجزیه و تحلیل و سومین قسمت به طبقه‌بندی پرداخته می‌شود. در این بخش از مقاله، به انواع پارامترهای قابل اندازه‌گیری HIF و استخراج ویژگی‌های بدست آمده از این پارامترها و در نهایت طبقه بندی آن پرداخته شده است.

۳-۲-۱- اندازه گیری HIF

اندازه‌گیری جریان:

HIF را می‌توان به عنوان یک بار غیر خطی تصادفی مشاهده کرد. بنابراین یک جریان غیر ایستا با مشخصات غیر خطی را می‌تواند بوجود آورد. در نتیجه، شکل موج فعلی جریان مولفه‌های فرکانس بالا و پایین را نشان می‌دهد که برای تشخیص HIF استفاده می‌شوند. از طرفی خطوط شبکه‌های توزیع انرژی الکتریکی و ترانسفورماتورهای جریان[۱۱] (CT) به عنوان فیلترهای

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.82362/jeps.2024.3.520]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 13 - No. 3- Autumn 2024

پایین‌گذر عمل می‌کنند و به همین دلیل بخشی از اطلاعات جریان HIF قبل از رسیدن به پردازنده از بین می‌رود. این موضوع باعث می‌شود که اندازه‌گیری جریان خیلی مورد اعتماد نباشد. همچنین باید توجه داشت که اندازه‌گیری جریان در شبکه‌های توزیع انرژی الکتریگی که مولفه‌های فرکانس شکل موج جریان در آن خیلی تضعیف نشده‌اند، کاربردی‌تر است.

اندازه‌گیری ولتاژ:

برای تشخیص HIF می‌توان از اندازه‌گیری ولتاژ هم استفاده نمود[۳۹]. اندازه‌گیری ولتاژ تنها زمانی کارآمد است که در فاصله بین محل خطا تا رله شاهد افت ولتاژ به اندازه کافی باشیم. با این حال از آنجایی که مقدار جریان HIF نسبتاً کم است، چنین اندازه گیری فقط در شبکه های توزیع انرژی الکتریکی با سطوح ولتاژ بسیار ضعیف مطرح است.

اندازه گیری ولتاژ و جریان:

با اندازه‌گیری ولتاژ و جریان می‌توان قابلیت اطمینان روش تشخیص را افزایش داد. شکل حرکت موج ولتاژ و جریان برای تشخیص HIF در مرجع [۴۰] استفاده شده است. مسئله‌ای که مطرح است این است که قابلیت اطمینانی که در این روش ارائه شده است هزینه‌های بالایی را شامل می‌شود چرا که باید دستگاه‌های اندازه‌گیری اضافی، حسگرهای پهنای باند بالا و یا ارتباطات مبتنی بر GPS را درنظر گرفت.

شدت میدان مغناطیسی:

در مطالعه [۴۱]، از نشانگرهای HIF، نصب شده در مجاورت فیدرها، برای اندازه‌گیری شدت میدان مغناطیسی استفاده شده است. این نوع اندازه‌گیری ها دارای قابلیت اطمینان بالایی می‌باشند اما هزینه و پیچیدگی در روش‌های تشخیص بالایی دارند.

۳-۲-۲- حوزه تجزیه و تحلیل HIF

همانطور که گفته شد حوزه تجزیه و تحلیل، مربوط به آشکارکردن ویژگی‌های پنهان HIF با تبدیل داده‌های اندازه‌گیری شده به حوزه‌های تجزیه و تحلیل با اطلاعات بیشتر است. حوزه‌های تجزیه و تحلیلی که برای تشخیص HIF استفاده می‌شوند در حالت کلی به پنج حوزه زمان، فرکانس، مقیاس-زمان و فرکانس-زمان تقسیم می‌شوند. از آنجایی که تعداد زیادی از ویژگی های استخراج شده از حوزه تجزیه و تحلیل، پیچیدگی طبقه‌بندی کننده را افزایش می‌دهد، میبایست یک مرحله از انتخاب ویژگی به طراحی اضافه شود.

حوزه زمان:

در تجزیه و تحلیل‌هایی که در حوزه زمان صورت می‌گیرد، بی‌نظمی‌های زمانی شکل موج‌های HIF استخراج می‌شوند. یکسری از روش‌های پیچیده‌تر مبتنی بر حوزه زمان برای شناسایی HIF پیشنهاد شده‌اند. در[۴۰]، طرح پیشنهادی از داده‌های موجود از سنسورهای ولتاژ و جریان که در حوزه زمان اندازه‌گیری شده‌اند استفاده می‌کند. این روش از ماشین بردار پشتیبان باینری و چند کلاسه برای تشخیص و شناسایی خطای امپدانس بالا استفاده می‌شود. در [۴۲]، یک روش HIF در شبکه توزیع مبتنی بر مدل بهبود یافته امانوئل و DenseNet را پیشنهاد می‌کند. مطالعه [۳۹]، رویکرد تشخیص HIF مبتنی بر مورفولوژی ریاضی، با پیش پردازش سیگنال ولتاژ صفر با استفاده از فیلترهای با دقت طراحی شده، مطرح کرده است. در [۴۳]، از اندازه‌گیری معیار شباهت واگرایی جنسن-شانون چند متغیره برای تفکیک HIF از کلیدزنی بانک خازنی، بارخطی و غیرخطی استفاده شده است.

روش‌های تشخیص در حوزه زمان معمولا ساده هستند اما در حالت کلی موجب از دست رفتن اطلاعات در حوزه فرکانس می‌شوند و به همین دلیل توانایی این نوع از روش‌های تشخیص در استخراج دقیق نشانه‌های HIF کاهش می‌یابد.

حوزه فرکانس:

همان‌طور که در بخش‌های پیشین بیان شده است، قوس‌های الکتریکی بوجود آمده در HIF منجر به تولید مولفه‌های فرکانس پایین و بالا در طیف جریان می‌شود. روش‌های تشخیص در حوزه فرکانس در حالت کلی به دو دسته تقسیم می‌شوند که به آن‌ها روش‌های مبتنی بر فرکانس پایین و روش‌های مبتنی بر فرکانس بالا می‌گویند.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.82362/jeps.2024.3.520]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 13 - No. 3- Autumn 2024

مرجع [۴۴]، روشی را برای تشخیص خطاهای امپدانس بالا بر اساس پیش‌بینی خطی پیشنهاد می‌کند. در [۱۹]، از یک روش جدید با قابلیت تشخیص HIF از تمام رویدادهای ممکن در فیدرها با دقت بالا استفاده کرده است.درضمن برای استخراج ویژگی‌هایHIF از CZT[۱۲] نیز استفاده شده است. در [۴۵]، یک روش آماری جدید بر اساس یک الگوریتم جداسازی زمان گسسته انرژی برای تشخیص HIF و LIF از سایر اختلالات برای بهبود دقت و زمان تشخیص پیشنهاد شده است.

روش‌های حوزه فرکانس توانایی استخراج برخی از ویژگی‌های برجسته HIF را دارند اما در شناسایی محل مولفه های فرکانس، کارایی تشخیص آن‌ها کاهش می یابد. دلیل آن این است که اختلالاتی در شبکه توزیع انرژی الکتریکی، همچون سوئیچینگ خازن و برقدار شدن ترانسفورماتور را با HIF اشتباه می کند.

حوزه مقیاس – زمان:

این نوع از آنالیزها به عنوان تبدیل موجک شناخته می‌شود. در تبدیل موجک سیگنال‌های حوزه زمان در حوزه مقیاس - زمان نگاشت می‌شوند. در زمانی که مولفه های فرکانسی رخ می‌دهند، اطلاعات فرکانس و زمان را می‌گیرند. این ویژگی، قابلیت روش‌های مبتنی بر موجک را به عنوان ابزارهای قدرتمندی برای تجزیه و تحلیل سیگنال‌ها با طیف متغیر زمانی (مانند جریان HIF) افزایش می‌دهد[۱۴, ۴۶-۵۱]. بنابراین، این توانایی منحصر به فرد منجر به محبوبیت تبدیل موجک[۱۳] (WT) در تشخیص HIF می‌شود.

در [۲۰]، با هدف اجتناب از پیامدهای مخرب HIF ها، یک سیستم نظارت آنلاین تعبیه شده با تجزیه و تحلیل یادگیری ماشین پیشنهاد شده است که تشخیص سریع و دقیق HIF ها را در سیستم‌های قدرت تضمین می‌کند. در [۵۲]، ویژگی‌های HIF از تبدیل موجک تجربی[۱۴] (EWT) همراه با تجزیه مقادیر منفرد[۱۵] (SVD) استخراج می‌شوند. این الگوها به عنوان ورودی برای الگوریتم ماشین بردار پشتیبان[۱۶] (SVM) به کار می‌روند تا HIF را از سایر رویدادهای سوئیچینگ متمایز کند. در [۵۳]، ترکیبی از تبدیل موجک گسسته[۱۷] (DWT) و سیستم استنتاج فازی[۱۸] (FIS) برای تشخیص و طبقه‌بندی HIF پیشنهاد شده‌است. در [۵۴]، یک الگوریتم مبتنی بر اعوجاج را برای بهبود قابلیت اطمینان تشخیص HIF در شرایط مختلف پیشنهاد می‌کند. در [۵۵]، تشخیص HIF را در سیستم قدرت یکپارچه فتوولتائیک با استفاده از رویکرد حافظه ی کوتاه‌مدت طولانی[۱۹] (LSTM) مبتنی بر شبکه عصبی بازگشتی ارائه می‌کند.

در [۵۶]، یک روش جدید برای تشخیص مکان ناحیه خطای HIF در یک سیستم توزیع با استفاده از تکنیک تشخیص ناحیه مبتنی بر نظریه نمودار جدید همراه با الگوریتم ماشین بردار پشتیبانی چندسطحی جستجوی تصادفی[۲۰] (RSMSVM) برای طبقه‌بندی منطقه خطا پیشنهاد می‌کند. با این حال طراحی یک روش تشخیص بر اساس WT علی‌رغم مزایای روش‌های مبتنی بر WT، یک چالش است.

حوزه زمان – فرکانس:

در [۱۵]، بر روی سیگنال جریان توالی صفر، تجزیه حالت متغیر صورت گرفته است و HIF را با استفاده از محاسبه آستانه‌گذاری و کشیدگی از مقدار جریان هجومی ترانسفورماتور و بانک‌های خازنی و بارها نیز تفکیک کرده است. در [۵۷]، یک روش تشخیص HIF مبتنی بر تجزیه زمان ذاتی و اپراتور انرژی برای سیستم توزیع توسعه داده شده است. در [۵۸]، HIF را با استفاده از آستانه‌گذاری بر روی فاز هارمونیک سوم سیگنال جریان بدست آمده از تبدیل استاکول، تشخیص داده است. در [۵۹]، از روش پیشنهادی تبدیل هرمیت[۲۱] (HT) به عنوان یک روش پردازش سیگنال استفاده می‌کند. مطالعه [۶۰]، یک طرح تشخیص HIF را بر اساس تبدیل هابارد- استانوویچ[۲۲] (HS) و درخت تصمیم[۲۳] (DT) ارائه می‌کند.

در حالت کلی از مزایای تجزیه و تحلیل حوزه فرکانس-زمان می‌توان به موارد مکان یابی زمان و فرکانس، پشتیبانی فرکانس زمانی و ویژگی‌هایی با قابلیت توصیف اشاره نمود[۶۱]. با این حال، محاسبه توزیع زمان-فرکانس در مقایسه با حوزه های دیگر اهمیت بالایی دارد.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.82362/jeps.2024.3.520]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 13 - No. 3- Autumn 2024

۳-۲-۳- طبقه بندی HIF

پس از حوزه تجزیه و تحلیل، حوزه طبقه‌بندی قرار دارد. در این حوزه، حالت خطا از حالت غیرخطا تشخیص داده می‌شود. طبقه‌بندی‌کننده‌هایی با پیچیدگی‌های مختلف برای تشخیص HIF در نظر گرفته شده‌اند. در این بخش، هر یک از این طبقه‌بندی‌کننده‌ها با جزئیات بیشتر مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

آستانه ساده:

چندین روش از یک آستانه ساده همچون روش‌های حفاظت سنتی، مانند رله‌های اضافه جریان، برای جداسازیHIF از شرایط غیر HIF استفاده می‌کنند[۶۲]. از آنجایی که ماهیت پیچیده HIF اغلب نیازمند طبقه‌بندی‌کننده‌های پیچیده‌تری می‌باشد پس این نوع از طبقه‌بندی‌کننده‌های ساده پاسخگو نیستند.

آستانه و شمارنده:

برای افزایش قابلیت اطمینان طبقه‌بندی‌کننده‌های آستانه ساده، رویکرد افزایش قابلیت اطمینان آنها با اضافه کردن یک شمارنده است[۶۳]. به عبارت دیگر، طبقه‌بندی‌کننده در صورتی تصمیم می‌گیرد که خطا رخ داده است که الگوریتم HIF را برای تعداد دفعات متوالی شناسایی کند. چنین طراحی‌هایی دارای یکسری ایراد همچون کاهش سرعت روش، نیاز به حافظه بزرگتر و از دست دادن HIF با پایداری کمتر می‌باشد.

مبتنی بر هوش مصنوعی:

طبقه‌بندی کننده‌های مبتنی بر هوش مصنوعی شامل شبکه‌های عصبی، مبتنی بر یادگیری ماشین، یادگیری عمیق و... می‌باشد. شبکه‌های عصبی مصنوعی[۲۴] (ANNs) الگوهای محاسباتی مبتنی بر یک روش بیولوژیکی را نشان می‌دهند[۶۴]. در [۶۵] از شبکه عصبی پیچشی[۲۵] (CNN) استفاده کرده است. باید بیان شود که در طراحی شبکه‌های عصبی مصنوعی مواردی همچون تعداد لایه ها و ... مطرح می‌باشد که بخش زیادی از آن ها را می‌بایست از طریق سعی و خطا تشخیص داد.

در مرجع [۶۶] از یادگیری بدون نظارت استفاده کرده است و یک چارچوب رمزگذار خودکار (اتوانکودر) کانولوشن را برای تشخیصHIF پیشنهاد می‌کند. در [۶۵] یک رویکرد تشخیص و طبقه‌بندی HIF جدید را بر اساس یک مدل یادگیری عمیق پیشرفته، شبکه تبدیل[۲۶] (TN) ترکیب شده با CNN پیشنهاد می‌کند. در [۶۷]، سیگنال فعلی در شرایطی که شامل ۱۰۴۰۰ نمونه مختلف، با و بدون HIF است، مانند سوئیچینگ خطی، بار غیر خطی و ظرفیت خازنی دیده می‌شود. در این مطالعه DCNN[۲۷] شش لایه پیشنهادی با مدل های دیگر مانند مدل‌های DCNN چهار لایه و هشت لایه مقایسه شده و نتایج مورد بحث قرار می‌گیرد. در [۶۸]، یک روش یادگیری انتقال مبتنی بر CNN برای تشخیص HIF با استفاده از داده‌های واحدهای اندازه‌گیری فازور در سطح توزیع پیشنهاد شده‌است. وابستگی روش‌های تشخیص خطاهای امپدانس بالا به مقدار زیادی از داده‌های آموزشی همیشه یک مشکل اساسی در سیستم های توزیع الکتریکی بوده است. در [۶۹]، یک سیستم حفاظتی جدید مبتنی بر تکنیک یادگیری انتقال و معماری GoogleNet را برای کاهش این وابستگی پیشنهاد می‌کند. در این روش مقدار کمی از داده‌های زاویه هارمونیک سوم جریان در نقطه اندازه‌گیری از سیستم توزیع الکتریکی مورد مطالعه به دست می‌آید. سپس، مرحله پیش پردازش انجام می‌شود و داده های استخراج شده با استفاده از توزیع Wigner-Ville به داده‌های تصویری تبدیل می‌شوند. پس از آن، این تصاویر تبدیل شده به معماری GoogleNet به عنوان یک مجموعه داده ورودی برای به روز رسانی دانش از پیش آموزش دیده GoogleNet وارد می‌شوند. در نهایت، فرآیند تشخیص و طبقه بندی خطا تنها با انتقال دانش از پیش آموزش دیده GoogleNet انجام می‌شود. درمرجع [۷۰]، ماهیت واقعی قوس الکتریکی HIF مورد بحث قرار می‌گیرد و طرح پیشنهادی این نوع از خطاها را تفکیک می‌کند. ویژگی‌ها از تبدیل موجک گسسته استخراج می‌شوند و به طبقه‌بندی‌کننده SVM برای دسته‌بندی خطا وارد می‌شوند. دقت این تکنیک بر روی یک سیستم ریزشبکه ۵ باس ادغام شده با یک ژنراتور بادی که با استفاده از نرم افزار PSCAD شبیه سازی شده است نیز آزمایش شده. در [۷۱]، یک روش جدید، سریع و دقیق بر اساس رویکرد SVM برای HIF ایجاد کرده است. روش پیشنهادی برای یک سیستم تولید پراکنده معمولی برای تشخیص HIF های تک خطی، دو خطی و سه خطی اعمال می‌شود. در [۷۲]، یک استراتژی یکپارچه از طبقه‌بندی و تشخیص HIF را بر اساس استفاده از ماشین‌های بردار پشتیبانی ارائه می‌دهد.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.82362/jeps.2024.3.520]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 13 - No. 3- Autumn 2024

جدول (۲) : مقالات بررسی شده در حوزه تشخیص HIF

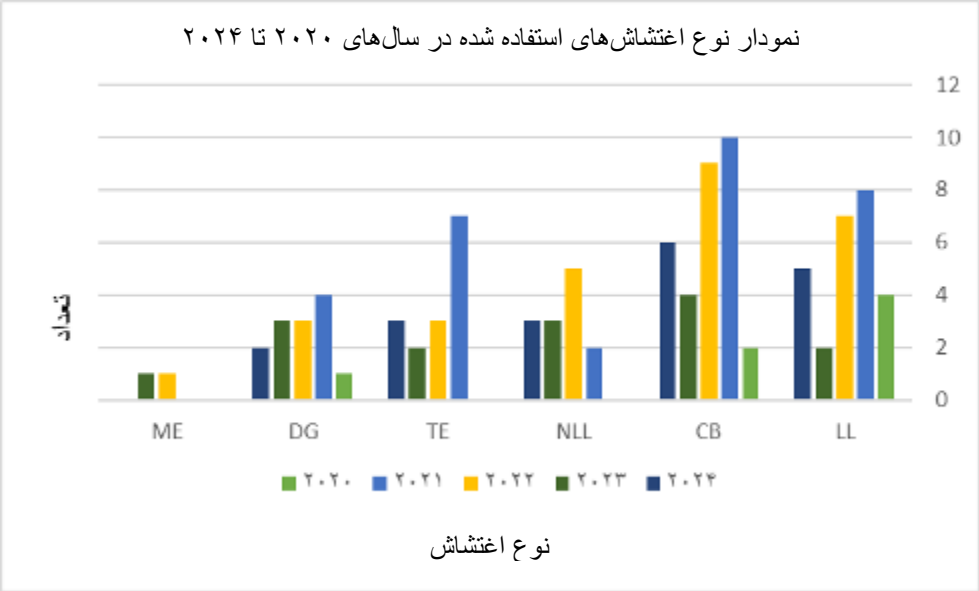
Table (2): Reviewed Papers on HIF Detection

مرجع	روش تشخیص			نوع اغتشاش	نوع‌شبکه‌توزیع	دقت (٪)	زمان تشخیص (ms)	نویز (db)	محیط‌شبیه‌سازی	سال انتشار
	حوزه تجزیه	اندازه‌گیری	طبقه‌بندی							
[۴۰]	زمان	ولتاژ و جریان	M-SVM	LL & CB	13 Bus IEEE	۱۰۰	-	-	MATLAB/Simulink	۲۰۲۰
[۴۲]		جریان	Densenet	LL&CB	10^{KV}	۹۴,۷	-	۱۵	-	۲۰۲۲
[۳۹]		ولتاژ	[۲۸]MM	NLL&CB&TE	13Bus IEEE	-	-	-	PSCAD&EMTDC	۲۰۲۳
[۴۳]		جریان	[۲۹]M-JSD	LL&CB	34 Bus IEEE	۹۲,۱۲	-	۲۰-۳۰	PSCAD&EMTDC&MATLAB	۲۰۲۲
[۷۳]		جریان	[۳۰]DFA	LL&CB	4.16^{kv}	۱۰۰	۲۲۰	۲۰	MATLAB/Simulink	۲۰۲۴
[۶۶]		جریان	CAE-HIFD	LL&CB	13Bus IEEE	۱۰۰	-	<۴۰	PSCAD	۲۰۲۱
[۶۵]		ولتاژ و جریان	CNN	LL&NLL&CB	13Bus IEEE	۱۰۰	-	۳۰و۳۳	PSCAD	۲۰۲۲
[۶۷]		جریان	MM-DCNN	LL&NLL&CB	11^{KV}	۹۹,۹	-	-	MATLAB/Simulink	۲۰۲۲
[۷۴]		ولتاژ	[۳۱]WD	LL&NLL&CB&DG	34 Bus IEEE	-	۸۹,۷	۱۵	PSCAD&EMTDC	۲۰۲۴
[۷۵]		جریان	آستانه	NLL&TE&CB	20^{KV}	-	۱۷	۱۰	MATLAB	۲۰۲۴
[۴۴]	فرکانس	جریان	[۳۲]LP	LL&CB	-	۸۰	-	-	ATP&EMTP	۲۰۲۱
[۱۹]		جریان	CZT	LL&NLL&CB&TE	13.8^{kv}	۹۸,۸۹	<۷	۳۰	MATLAB/Simulink	۲۰۲۲
[۴۵]		جریان	[۳۳]DTSA	LL&NLL&CB	13&34 Bus IEEE	۹۹,۸	۲,۰۸	۱۰	EMTP-RV&MATLAB	۲۰۲۳
[۲۰]	مقیاس-زمان	جریان	CNN	LL	دیاگرام تک خطی	۹۹,۹۵	۴۰	۳۰	MATLAB/Simulink	۲۰۲۰
[۵۲]		جریان	SVM	LL&CB	13Bus IEEE	۹۷	۱۴۰	۴۰	MATLAB/Simulink	۲۰۲۰
[۵۳]		جریان	FIS	NLL&CB&ME&TE&DG	13&33 Bus IEEE	۱۰۰	۵	-	MATLAB/Simulink	۲۰۲۲
[۵۴]		جریان	[۳۴]LLSF	CB&TE	34&123 Bus IEEE	-	۱۰	۱۵	PSCAD	۲۰۲۱
[۵۵]		جریان	LSTM	LL&CB&TE&DG	13Bus IEEE	۹۲,۴۲	۷۸	-	MATLAB/Simulink	۲۰۲۱
[۵۶]		جریان	RSMSVM	LL&CB&DG	33&39 Bus IEEE	۹۸,۲۳	-	۱۰	MATLAB/Simulink	۲۰۲۳
[۶۸]		جریان	CNN	LL&DG	34 Bus IEEE	۹۸,۷۱	-	-	PSCAD&EMTDC	۲۰۲۰
[۶۹]		جریان	Googlenet	DG&CB&NLL&TE&ME	13&34 Bus IEEE	۹۸,۸۴	-	-	EMTP-RV&MATLAB	۲۰۲۳
[۷۰]		جریان	SVM	LL&CB&TE&DG	Microgrid 5 Bus	۹۹,۸	-	-	PSCAD	۲۰۲۲
[۷۱]		جریان	SVM	CB	-	۹۹,۶	-	-	MATLAB	۲۰۲۲
[۷۶]		جریان	DWT	CB&NLL&TE&DG	-	۱۰۰	۱۰	۳۰	-	۲۰۲۱
[۷۷]		جریان	[۳۵]TKEO	CB&LL&DG	Microgrid 33 Bus	۹۹,۲	-	-	PSCAD&EMTDC&MATLAB	۲۰۲۴

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

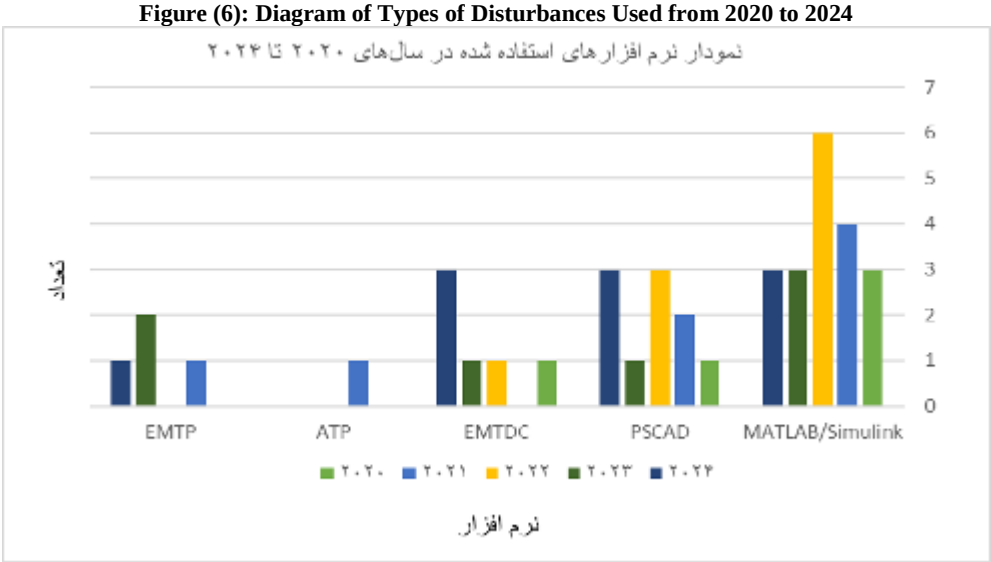
[DOI: 10.82362/jeps.2024.3.520]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 13 - No. 3- Autumn 2024

[۷۸]		ولتاژ	HIFDI[۳۴]	LL&CB&TE	34 Bus IEEE&20KV	-	۴۰	-	EMTP	۲۰۲۴
[۱۵]	زمان- فرکانس	جریان	آستانه و کشیدگی	LL&CB&TE&DG	34 Bus IEEE	۹۰،۱۷	۴۲	-	-	۲۰۲۱
[۵۷]		جریان	TKEO	LL&CB&TE&DG	13Bus IEEE	-	۵۰	۱۰-۶۰	-	۲۰۲۱
[۵۸]		جریان	ST	LL&NLL&CB&TE	دیاگرام تک خطی	۹۹،۳۲	۱۸۰	۳۰	MATLAB	۲۰۲۱
[۵۹]		جریان	HT	LL&NLL&CB&DG	33Bus IEEE	۹۸	-	-	MATLAB/Simulink	۲۰۲۲
[۶۰]		جریان	HS&DT	LL&CB	22KV	۹۷،۵	-	-	MATLAB/Simulink	۲۰۲۱
[۷۲]		جریان	SVM	LL&CB&TE	20KV	۹۳،۷	-	-	MATLAB	۲۰۲۱
[۷۹]		جریان	BPNN[۳۷]	LL&NLL&CB&TE	10KV	۹۸،۳۵	۶۲،۵	۴۰	PSCAD&EMTDC	۲۰۲۴



شکل (۶) : نمودار نوع اغتشاش‌های استفاده شده در سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۴

Figure (6): Diagram of Types of Disturbances Used from 2020 to 2024



شکل (۷) : نمودار نوع نرم افزار استفاده شده در سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۴

Figure (7): Diagram of Software Types Used from 2020 to 2024

[DOI: 10.82362/jeps.2024.3.520] Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 13 - No. 3- Autumn 2024 [Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

همانطور که در جدول ۲ مشخص است، بیشترین اندازه‌گیری‌ها از پارامتر جریان بوده است. در حوزه طبقه‌بندی از هوش مصنوعی بمنظور شناسایی HIF بسیاراستفاده شده است. یکی از چالش‌های مهم در شناسایی HIF، دقت و زمان تشخیص و درنظر گرفتن نویز می‌باشد. در این حوزه مقالات محدودی این سه ویژگی را باهم در نظر گرفته‌اند. درشکل (۶)، نوع اغتشاش‌های استفاده شده در مقالات را در سالیان مختلف نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، مقالات جدیدتر از پدیده‌ها و اغتشاش‌های بیشتری نسبت به مقالات گذشته استفاده کرده‌اند. این موضوع نشان‌دهنده اهمیت پدیده‌ها و انواع اغتشاش‌ها در شناسایی HIF می‌باشد. باتوجه به شکل (۷)، در سال ۲۰۲۰ تمایل بیشتر پژوهشگران در شبیه‌سازی و شناسایی HIF، نرم افزار MATLAB/Simulink بوده است. با نزدیکتر شدن به سالیان جدید، کاربرد و استفاده نرم افزار هایی همچون EMTP، EMTDC و PSCAD به منزله شبیه‌سازی دقیق‌تر و همچنین افزایش دقت در شناسایی HIF به مراتب بیشتر شده است.

۴- نتیجه گیری

شناسایی HIF از سایر پدیده‌ها و اغتشاش‌های بوجود آمده در شبکه قدرت امری بسیار ضروری است. در این مقاله علاوه بر بررسی کامل مقالات از سال انتشار ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۴ در حوزه‌های اندازه‌گیری‌ها و طبقه‌بندی‌ها، نوع شبکه مورد مطالعه آن‌ها و حضور یا عدم حضور نویز، به بررسی نوع اغتشاش‌ها و پدیده‌های بوجود آمده در شبکه توزیع، محیط شبیه‌سازی، دقت و زمان شناسایی HIF پرداخته شده است. به عنوان یک پژوهش جدید پیشنهاد می‌شود که با بررسی مقالات موردنظر، روشی ارائه گردد که میزان دقت را به حداکثرین مقدار خود و زمان تشخیص HIF را به حداقل ترین مقدار خود در حضور نویز نشان دهد. همچنین تفکیک کردن و شناسایی دقیقتر HIF از سایر اغتشاش‌ها و پدیده‌های بوجود آمده در شبکه قدرت را با درنظر گرفتن تمامی اغتشاش‌ها و پدیده‌ها مورد بررسی قرار دهد.

References

مراجع

[1] J. Burke, "Hard to find information about distribution systems," *ABB Electric Systems Consulting*, 2002.

[2] R. o. P. W. G. D15, "High Impedance Fault Detection Technology," 25-Jun- 2021.

[3] S. Nezamzadeh-Ejieh and I. Sadeghkhani, "High-impedance fault detection in distribution networks based on kullback-leibler divergence," *IET Generation Transmission & Distribution*, vol. 14, no. 1, pp. 1-9, 2020, doi: https://digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/iet-gtd.2019.0001.

[4] H. Laaksonen and P. Hovila, "Straightforward detection method for high-impedance faults," *International Review of Electrical Engineering*, vol. 12, no. 2, pp. 90-99, 2017.

[5] M. Farajollahi, A. Shahsavari, and H. Mohsenian-Rad, "Location identification of high impedance faults using synchronized harmonic phasors," in *2017 IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT)*, 2017: IEEE, pp. 1-5, doi: https://doi.org/10.1109/ISGT.2017.8086048.

[6] Q. Cui and Y. Weng, "Enhance high impedance fault detection and location accuracy via $\mu $-PMUs," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 11, no. 1, pp. 797-809, 2019, doi: https://doi.org/10.1109/TSG.2019.2926668.

[7] "The interruption of downed conductors on low voltage distribution systems," *IEEE Power System Relaying Committee Report*, 1976. October.

[8] J. Carr and G. Hood, "High impedance fault detection on primary distribution systems," *CEA Final Report, Project*, no. 78-75, 1979.

[9] M. Sedighizadeh, A. Rezazadeh, and N. I. Elkalashy, "Approaches in high impedance fault detection a chronological review," *Advances in Electrical and Computer Engineering*, vol. 10, no. 3, pp. 114-128, 2010.

[10] L. Li and M. Redfern, "A review of techniques to detect downed conductors in overhead distribution systems," 2001.

[11] B. Hao, "AI in arcing-HIF detection: a brief review," *IET Smart Grid*, vol. 3, no. 4, pp. 435-444, 2020, doi: https://doi.org/10.1049/iet-stg.2019.0091.

[12] A. Ghaderi, H. L. Ginn III, and H. A. Mohammadpour, "High impedance fault detection: A review," *Electric power systems research*, vol. 143, pp. 376-388, 2017, doi: https://doi.org/10.1016/j.epsr.2016.10.021.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.82362/jeps.2024.3.520]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 13 - No. 3- Autumn 2024

[13] P. Obi, E. Amako, and C. Ezeonye, "High impedance fault arc analysis on 11 kV distribution networks," *Nigerian Journal of Technological Development,* vol. 19, no. 2, pp. 143-149, 2022, doi: https://doi.org/10.4314/njtd.v19i2.6.
[14] I. Baqui, I. Zamora, J. Mazón, and G. Buigues, "High impedance fault detection methodology using wavelet transform and artificial neural networks," *Electric Power Systems Research,* vol. 81, no. 7, pp. 1325-1333, 2011, doi: https://doi.org/10.1016/j.epsr.2011.01.022.
[15] X. Wang, X. Wei, J. Gao, G. Song, M. Kheshti, and L. Guo, "High-impedance fault detection method based on stochastic resonance for a distribution network with strong background noise," *IEEE Transactions on Power Delivery,* vol. 37, no. 2, pp. 1004-1016, 2021, doi: https://doi.org/10.1109/TPWRD.2021.3075472.
[16] X. Wang *et al.*, "High impedance fault detection method based on variational mode decomposition and Teager–Kaiser energy operators for distribution network," *IEEE Transactions on Smart Grid,* vol. 10, no. 6, pp. 6041-6054, 2019, doi: https://doi.org/10.1109/TSG.2019.2895634.
[17] F. B. Costa, B. Souza, N. Brito, J. Silva, and W. Santos, "Real-time detection of transients induced by high-impedance faults based on the boundary wavelet transform," *IEEE Transactions on Industry Applications,* vol. 51, no. 6, pp. 5312-5323, 2015, doi: https://doi.org/10.1109/TIA.2015.2434993.
[18] A. H. A. Bakar, M. Ali, C. Tan, H. Mokhlis, H. Arof, and H. Illias, "High impedance fault location in 11 kV underground distribution systems using wavelet transforms," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems,* vol. 55, pp. 723-730, 2014, doi: https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2013.10.003.
[19] M. Karimi and N. Ghaffarzadeh, "High impedance fault detection based on current harmonic analysis using Chirp Z transform," *Energy Systems,* vol. 13, no. 3, pp. 813-833, 2022, doi: https://doi.org/10.1007/s12667-021-00431-1.
[20] S. Wang and P. Dehghanian, "On the use of artificial intelligence for high impedance fault detection and electrical safety," *IEEE Transactions on Industry Applications,* vol. 56, no. 6, pp. 7208-7216, 2020, doi: https://doi.org/10.1109/TIA.2020.3017698.
[21] D. A. Gadanayak and R. K. Mallick, "Interharmonics based high impedance fault detection in distribution systems using maximum overlap wavelet packet transform and a modified empirical mode decomposition," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems,* vol. 112, pp. 282-293, 2019, doi: https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2019.04.050.
[22] B. M. Aucoin and R. H. Jones, "High impedance fault detection implementation issues," *IEEE Transactions on Power Delivery,* vol. 11, no. 1, pp. 139-148, 1996, doi: https://doi.org/10.1109/61.484010.
[23] W. Santos, F. Lopes, N. Brito, and B. Souza, "High-impedance fault identification on distribution networks," *IEEE Transactions on Power Delivery,* vol. 32, no. 1, pp. 23-32, 2016, doi: https://doi.org/10.1109/TPWRD.2016.2548942.
[24] E. M. Lima, C. M. dos Santos Junqueira, N. S. D. Brito, B. A. de Souza, R. de Almeida Coelho, and H. Gayoso Meira Suassuna de Medeiros, "High impedance fault detection method based on the short-time Fourier transform," *IET Generation, Transmission & Distribution,* vol. 12, no. 11, pp. 2577-2584, 2018, doi: https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2018.0093.
[25] J. C. Huaquisaca Paye *et al.*, "High Impedance Fault Models for Overhead Distribution Networks: A Review and Comparison with MV Lab Experiments," *Energies,* vol. 17, no. 5, p. 1125, 2024, doi: https://doi.org/10.3390/en17051125.
[26] S. Mohammad, C. Gomes, and M. Mehrjou, "Switching Transients due to a Power Factor Correction Capacitor Bank in LV Power System and Their Comparison with Lightning Impulses," in *2019 International Symposium on Lightning Protection (XV SIPDA)*, 2019: IEEE, pp. 1-10, doi: https://doi.org/10.1109/SIPDA47030.2019.8951660.
[27] S. S. Mikhail and M. F. McGranaghan, "Evaluation of switching concerns associated with 345 kV shunt capacitor applications," *IEEE transactions on power delivery,* vol. 1, no. 2, pp. 221-230, 1986, doi: https://doi.org/10.1109/TPWRD.1986.4307954.
[28] M. Abedini, M. Davarpanah, A. Sepehr, and F. B. Ajaei, "Shunt capacitor bank: Transient issues and analytical solutions," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems,* vol. 120, p. 106025, 2020, doi: https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2020.106025.
[29] T. Lazimov and R. Ahmadov, "Some features of capacitor banks automatic switching-offs computer simulation," *IFAC-PapersOnLine,* vol. 51, no. 30, pp. 632-635, 2018, doi: https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.11.226.
[30] U. P. Supply, "AGN 025 – Non linear loads," *no. mimic, pp. 1–9*.
[31] B. K. Chaitanya, A. Yadav, and M. Pazoki, "An intelligent detection of high-impedance faults for distribution lines integrated with distributed generators," *IEEE Systems Journal,* vol. 14, no. 1, pp. 870-879, 2019, doi: https://doi.org/10.1109/JSYST.2019.2911529.
[32] M. Hossein Sadeghi, Y. Damchi, and H. Shirani, "Improvement of operation of power transformer protection system during sympathetic inrush current phenomena using fault current limiter," *IET*

[DOI: 10.82362/jeps.2024.3.520] [Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 13 - No. 3- Autumn 2024

Generation, Transmission & Distribution, vol. 12, no. 22, pp. 5968-5974, 2018, doi: https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2018.5697.
[33] B. Kovan, F. De Leon, D. Czarkowski, Z. Zabar, and L. Birenbaum, "Mitigation of inrush currents in network transformers by reducing the residual flux with an ultra-low-frequency power source," *IEEE Transactions on Power Delivery,* vol. 26, no. 3, pp. 1563-1570, 2011, doi: https://doi.org/10.1109/TPWRD.2010.2102778.
[34] M. J. Heathcote, "6 - Operation and maintenance," *in J & P Transformer Book (Thirteenth Editon), Thirteenth., M. J. Heathcote, Ed. Oxford: Newnes,* 2007pp. 406–669.
[35] T. Ghanbari, E. Farjah, and A. Zandnia, "Development of a high-performance bridge-type fault current limiter," *IET Generation, Transmission & Distribution,* vol. 8, no. 3, pp. 486-494, 2014, doi: https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2013.0276.
[36] C. G. Wester, "High impedance fault detection on distribution systems," in *1998 rural electric power conference presented at 42nd annual conference*, 1998: IEEE, pp. c5-1, doi: https://doi.org/10.1109/REPCON.1998.666955.
[37] M. Mitolo, R. Musca, and G. Zizzo, "A cost-effective solution for clearing high-impedance ground faults in overhead low-voltage lines," *IEEE Transactions on Industry Applications,* vol. 55, no. 2, pp. 1208-1213, 2018, doi: https://doi.org/10.1109/TIA.2018.2884927.
[38] J. J. Theron, A. Pal, and A. Varghese, "Tutorial on high impedance fault detection," in *2018 71st Annual Conference for Protective Relay Engineers (CPRE)*, 2018: IEEE, pp. 1-23, doi: https://doi.org/10.1109/CPRE.2018.8349833.
[39] F. Hojatpanah, F. B. Ajaei, and H. Tiwari, "Reliable detection of high-impedance faults using mathematical morphology," *Electric Power Systems Research,* vol. 216, p. 109078, 2023, doi: https://doi.org/10.1016/j.epsr.2022.109078.
[40] M. Sarwar, F. Mehmood, M. Abid, A. Q. Khan, S. T. Gul, and A. S. Khan, "High impedance fault detection and isolation in power distribution networks using support vector machines," *Journal of King Saud University-Engineering Sciences,* vol. 32, no. 8, pp. 524-535, 2020, doi: https://doi.org/10.1016/j.jksues.2019.07.001.
[41] M. Sarlak and S. M. Shahrtash, "High-impedance faulted branch identification using magnetic-field signature analysis," *IEEE Transactions on Power Delivery,* vol. 28, no. 1, pp. 67-74, 2012, doi: https://doi.org/10.1109/TPWRD.2012.2222056.
[42] H. Bai, B. Tang, T. Cheng, and H. Liu, "High impedance fault detection method in distribution network based on improved Emanuel model and DenseNet," *Energy Reports,* vol. 8, pp. 982-987, 2022, doi: https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.05.199.
[43] Y. Liu, Y. Zhao, L. Wang, C. Fang, B. Xie, and L. Cui, "High-impedance fault detection method based on feature extraction and synchronous data divergence discrimination in distribution networks," *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy,* 2022, doi: https://doi.org/10.35833/MPCE.2021.000411.
[44] R. B. Grimaldi, T. S. Chagas, J. Montalvão, N. S. Brito, W. C. dos Santos, and T. V. Ferreira, "High impedance fault detection based on linear prediction," *Electric Power Systems Research,* vol. 190, p. 106846, 2021, doi: https://doi.org/10.1016/j.epsr.2020.106846.
[45] S. A. Alaei and Y. Damchi, "A new method based on the discrete time energy separation algorithm for high and low impedance faults detection in distribution systems," *Electric Power Systems Research,* vol. 218, p. 109200, 2023, doi: https://doi.org/10.1016/j.epsr.2023.109200.
[46] M. Banejad and H. Ijadi, "High impedance fault detection: Discrete wavelet transform and fuzzy function approximation," *Journal of AI and Data Mining,* vol. 2, no. 2, pp. 149-158, 2014, doi: https://doi.org/10.22044/jadm.2014.306.
[47] N. R. Varma, B. S. Ram, and K. Anjaneyulu, "Development of fault detection algorithm for high impedance faults in distribution network using multiresolution analysis," *networks,* vol. 3, p. 4, 2014.
[48] Y. Ming-Ta, G. Jin-Lung, and G. Jhy-Cherng, "High impedance faults detection technique based on wavelet transform," *STA, Greece,* pp. 142-7, 2007.
[49] D. K. Ibrahim and S. M. Saleh, "Unsymmetrical high-impedance earth fault central relay for transmission networks," *Electric Power Components and Systems,* vol. 39, no. 14, pp. 1469-1492, 2011, doi: https://doi.org/10.1080/15325008.2011.596501.
[50] A. Mahari and H. Seyedi, "High impedance fault protection in transmission lines using a WPT-based algorithm," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems,* vol. 67, pp. 537-545, 2015, doi: https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2014.12.022.
[51] M. Sarlak and S. Shahrtash, "SVM-based method for high-impedance faults detection in distribution networks," *COMPEL-The international journal for computation and mathematics in electrical and electronic engineering,* vol. 30, no. 2, pp. 431-450, 2011, doi: https://doi.org/10.1108/03321641111101014.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.82362/jeps.2024.3.520]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 13 - No. 3- Autumn 2024

[52] B. Chaitanya, A. Yadav, and M. Pazoki, "High impedance fault detection scheme for active distribution network using empirical wavelet transform and support vector machine," in *2020 15th International Conference on Protection and Automation of Power Systems (IPAPS)*, 2020: IEEE, pp. 149-152, doi: https://doi.org/10.1109/IPAPS52181.2020.9375620.

[53] M. Bhatnagar, A. Yadav, and A. Swetapadma, "Fuzzy based relaying scheme for high impedance faults in DG integrated distribution system," *Electric Power Systems Research*, vol. 202, p. 107602, 2022, doi: https://doi.org/10.1016/j.epsr.2021.107602.

[54] M. Wei, W. Liu, H. Zhang, F. Shi, and W. Chen, "Distortion-based detection of high impedance fault in distribution systems," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 36, no. 3, pp. 1603-1618, 2020, doi: https://doi.org/10.1109/TPWRD.2020.3011930.

[55] V. Veerasamy *et al.*, "LSTM recurrent neural network classifier for high impedance fault detection in solar PV integrated power system," *IEEE access*, vol. 9, pp. 32672-32687, 2021, doi: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3060800.

[56] S. R. K. Joga, P. Sinha, and M. K. Maharana, "A novel graph search and machine learning method to detect and locate high impedance fault zone in distribution system," *Engineering Reports*, vol. 5, no. 1, p. e12556, 2023, doi: https://doi.org/10.1002/eng2.12556.

[57] M. Biswal, S. Ghore, O. Malik, and R. C. Bansal, "Development of time-frequency based approach to detect high impedance fault in an inverter interfaced distribution system," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 36, no. 6, pp. 3825-3833, 2021, doi: https://doi.org/10.1109/TPWRD.2021.3049572.

[58] É. M. Lima, R. de Almeida Coelho, N. S. D. Brito, and B. A. de Souza, "High impedance fault detection method for distribution networks under non-linear conditions," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 131, p. 107041, 2021, doi: https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2021.107041.

[59] D. Guillen, J. Olveres, V. Torres-García, and B. Escalante-Ramírez, "Hermite transform based algorithm for detection and classification of high impedance faults," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 79962-79973, 2022, doi: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3194525.

[60] A. Nakho, K. Moloi, and Y. Hamam, "High impedance fault detection based on HS-transform and decision tree techniques," in *2021 Southern African Universities Power Engineering Conference/Robotics and Mechatronics/Pattern Recognition Association of South Africa (SAUPEC/RobMech/PRASA)*, 2021: IEEE, pp. 1-5, doi: https://doi.org/10.1109/SAUPEC/RobMech/PRASA52254.2021.9377236.

[61] L. Cohen, "Time-frequency distributions-a review," *Proceedings of the IEEE 77.7*, (1989): 941-981, doi: https://doi.org/10.1109/5.30749.

[62] H.-G. Yeh, Duc Hoai Tran, and Robert Yinger, "High impedance fault detection using orthogonal transforms," *IEEE Green Energy and Systems Conference (IGESC). IEEE*, 2014, doi: https://doi.org/10.1109/igesc.2014.7018642.

[63] Y.-H. Lin, C.-W. Liu, and C.-S. Chen, "A new PMU-based fault detection/location technique for transmission lines with consideration of arcing fault discrimination-part I: theory and algorithms," *IEEE Transactions on power delivery*, vol. 19, no. 4, pp. 1587-1593, 2004, doi: https://doi.org/10.1109/TPWRD.2004.832407.

[64] V. S. S. Vankayala and N. D. Rao, "Artificial neural networks and their applications to power systems—a bibliographical survey," *Electric power systems research*, vol. 28, no. 1, pp. 67-79, 1993, doi: https://doi.org/10.1016/0378-7796(93)90081-O.

[65] K. Rai, F. Hojatpanah, F. B. Ajaei, J. M. Guerrero, and K. Grolinger, "Deep learning for high-impedance fault detection and classification: transformer-CNN," *Neural Computing and Applications*, vol. 34, no. 16, pp. 14067-14084, 2022, doi: https://doi.org/10.1007/s00521-022-07219-z.

[66] K. Rai, F. Hojatpanah, F. Badrkhani Ajaei, and K. Grolinger, "Deep learning for high-impedance fault detection: Convolutional autoencoders," *Energies*, vol. 14, no. 12, p. 3623, 2021, doi: https://doi.org/10.3390/en14123623.

[67] S. Lavanya, S. Prabakaran, and N. A. Kumar, "A deep learning technique for detecting high impedance faults in medium voltage distribution networks," *Engineering, Technology & Applied Science Research*, vol. 12, no. 6, pp. 9477-9482, 2022, doi: https://doi.org/10.48084/etasr.5288.

[68] Y. Zhang, X. Wang, Y. Luo, Y. Xu, J. He, and G. Wu, "A CNN based transfer learning method for high impedance fault detection," in *2020 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM)*, 2020: IEEE, pp. 1-5, doi: https://doi.org/10.1109/PESGM41954.2020.9281671.

[69] A. Mohammadi, M. Jannati, and M. Shams, "Using deep transfer learning technique to protect electrical distribution systems against high-impedance faults," *IEEE Systems Journal*, 2023, doi: https://doi.org/10.1109/JSYST.2023.3234655.

[70] T. Biswal and S. Parida, "High impedance fault detection in Microgrid system using Discrete wavelet transform and Support vector machine," in *2022 Second International Conference on Power, Control and*

[DOI: 10.82362/jeps.2024.3.520] Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 13 - No. 3- Autumn 2024 [Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

Computing Technologies (ICPC2T), 2022: IEEE, pp. 1-6, doi: https://doi.org/10.1109/ICPC2T53885.2022.9777069.
[71] A. Ahmadi, E. Aghajari, and M. Zangeneh, "High-impedance fault detection in power distribution grid systems based on support vector machine approach," *Electrical Engineering*, vol. 104, no. 5, pp. 3659-3672, 2022, doi: https://doi.org/10.1007/s00202-022-01544-1.
[72] T. A. Brasil, J. N. Gois, and J. A. Neto, "Detection of High Impedance Faults in Primary Distribution Grid using Support Vector Machines Classification," in *2021 14th IEEE International Conference on Industry Applications (INDUSCON)*, 2021: IEEE, pp. 1138-1145, doi: https://doi.org/10.1109/INDUSCON51756.2021.9529518.
[73] D. A. Gadanayak, M. Mishra, and R. C. Bansal, "High impedance fault detection in distribution networks using randomness of zero-sequence current signal: A detrended fluctuation analysis approach," *Applied Energy*, vol. 368, p. 123452, 2024, doi: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.123452.
[74] Z. Yao, Y. Liu, J. Chen, J. Ji, M. Zhang, and Y. Gong, "Active High-impedance Fault Detection Method for Resonant Grounding Distribution Networks," *IEEE Access*, 2024, doi: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3352258.
[75] H. Farrokhniya, S. M. Madani, and F. Parvaresh, "High impedance faults detection in distribution systems using signal correlations," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 2024, doi: https://doi.org/10.1109/TIM.2024.3368.
[76] S. Roy and S. Debnath, "PSD based high impedance fault detection and classification in distribution system," *Measurement*, vol. 169, p. 108366, 2021, doi: https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108366.
[77] A. Chandra, G. K. Singh, and V. Pant, "A novel high impedance fault detection strategy for microgrid based on differential energy signal of current signatures and entropy estimation," *Electric Power Components and Systems*, vol. 52, no. 4, pp. 532-554, 2024, doi: https://doi.org/10.1080/15325008.2023.2227193.
[78] M. Salehi, M. Zolfaghari, and J. M. Maritz, "A Simple Approach to Detect High Impedance Fault Using Morphological Gradient Edge Detector," *IEEE Access*, 2024, doi: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3351565.
[79] M.-F. Guo, M. Yao, J.-H. Gao, W.-L. Liu, and S. Lin, "An incremental high impedance fault detection method under non-stationary environments in distribution networks," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 156, p. 109705, 2024, doi: https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2023.109705.

زیرنویس‌ها

[1] High Impedance Fault
[2] Capacitor Bank
[3] Linear loads
[4] Non-linear loads
[5] Distributed Generation
[6] Motor Energizing
[7] Transformer Energizing
[8] Direct Current
[9] Low Impedance Fault
[10] Over Current Relay
[11] Current Transformer
[12] Chirp Z Transform
[13] Wavelet Transform
[14] Empirical Wavelet Transform
[15] Singular Value Decomposition
[16] Support Vector Machine
[17] Discrete Wavelet Transform
[18] Fuzzy Inference System
[19] Long Short-Term Memory
[20] Random Search Multilevel Support Vector Machine
[21] Hermite Transform
[22] Hubbard-Stanovich
[23] Decision Tree
[24] Artificial Neural Networks
[25] Convolutional Neural Network
[26] Transform Network
[27] Deep Convolution Neural Network

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.82362/jeps.2024.3.520]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 13 - No. 3- Autumn 2024

[28] Mathematical Morphology
[29] Multivariate Jensen-Shannon Divergence Similarity
[30] Detrended fluctuation analysis
[31] Wasserstein Divergence
[32] linear prediction
[33] Discrete-time Separation Algorithm
[34] Linear Least Square Filtering
[35] Teager Kaiser Energy Operator
[36] High Impedance Fault Detection Index
[37] Backpropagation Neural Network

[DOI: 10.82362/jeps.2024.3.520] [Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 13 - No. 3- Autumn 2024