TEEGES

Technovations of Electrical Engineering in Green Energy System

Review Article (2023) 2(3):76-93

یک مرور تحلیلی جامع بر استراتژی‌های کنترلی حفاظت شبکه توزیع در حضور منابع تولید پراکنده

A Comprehensive Analytical Review on Distribution Network Protection Control Strategies in the Presence of Distributed Generation Resources

Hadi Bisheh[1], *PhD*, Reza Barani[2], *M.Sc.*

[1] *Esfahan Regional Electric Company (EREC), Isfahan, Iran*
[2] *Department of Electrical Engineering, Khomeinishahr Branch, Islamic Azad University, Khomeinishahr, Isfahan, Iran*

Abstract:

Today, one of the most important challenges of power network operators and designers is to find a suitable solution to deal with the increasing presence of distributed generations in distribution networks for abnormal operating conditions such as fault conditions. The existence of environmental and economic advantages of distributed generations has led to the expansion of the use of distributed resources, especially renewable resources, and as a result, changes in the topology of the power system and becoming an active network at the level of the distributed network. Despite the existence of many advantages of distributed resources, this issue has caused disruption in the performance of the protection equipment of the distribution network to the point where the conventional methods of modifying the protection settings are not responsive. In this article, there is a comprehensive review on new solutions in the field of modifying and restoring the protection system of distribution networks in the presence of distributed generations. For this purpose, the performance of the protection system has been evaluated. Also, through the general classification of studies conducted in this field, the weak points or strengths of each of the study groups as well as the proposed strategies have been determined.

Keywords: Distributed generations, Conventional protection scheme, Radial distribution network, Over current miscoordination.

Received: 12 May 2023
Revised: 20 June 2023
Accepted: 08 July 2023
Corresponding Author: Dr. Hadi Bisheh, h_bisheh@erec.co.ir
DOI: 10.30486/teeges.2023.1985940.1070

فناوری‌های نوین مهندسی برق در سیستم انرژی سبز

TEEGES

مقاله مروری

یک مرور تحلیلی جامع بر استراتژی‌های کنترلی حفاظت شبکه توزیع در حضور منابع تولید پراکنده

هادی بیشه[1]، *دکتری*، رضا بارانی[1،2]، *کارشناسی‌ارشد*

۱- شرکت برق منطقه‌ای اصفهان، اصفهان، ایران

۲- دانشکده مهندسی برق، واحد خمینی‌شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، خمینی‌شهر، اصفهان، ایران

چکیده: امروزه از مهمترین چالش‌های مورد توجه بهره برداران و طراحان شبکه قدرت یافتن راهکار مناسب به منظور مواجهه با حضور روز افزون منابع تولید پراکنده در شبکه‌های توزیع برای شرایط بهره برداری غیر عادی نظیر شرایط وقوع خطا می‌باشد. وجود مزیت‌های زیست محیطی و اقتصادی منابع تولید پراکنده سبب گسترش به کار گیری از منابع پراکنده خصوصاً منابع تجدید پذیر و در نتیجه ایجاد تغییر در توپولوژی سیستم قدرت و تبدیل شدن به یک شبکه فعال در سطح شبکه توزیع شده است. علی‌رغم وجود مزایای فراوان منابع پراکنده، این مسأله عامل به وجود آمدن اختلال در عملکرد تجهیزات حفاظتی شبکه توزیع تا جایی شده که روش‌های مرسوم اصلاح تنظیمات حفاظتی جوابگو نمی‌باشد. در این مقاله یک مرور جامع بر روی راهکارهای نوین در زمینه اصلاح و بازیابی سیستم حفاظتی شبکه‌های توزیع در حضور منابع تولید پراکنده شده است. برای این منظور در ابتدا عملکرد سیستم حفاظتی مورد ارزیابی قرار گرفته است. همچنین از طریق دسته بندی جامع مطالعات انجام شده در این زمینه، نقاط ضعف و یا قوت هر یک از گروه‌های مطالعاتی و همچنین استراتژی‌های پیشنهادی، مشخص شده است.

واژه های کلیدی: منابع تولید پراکنده، طرح حفاظتی متداول، شبکه توزیع شعاعی، ناهماهنگی اضافه جریان

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۲/۰۲/۲۲

تاریخ بازنگری مقاله: ۱۴۰۲/۰۳/۳۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۴/۱۷

نویسنده‌ی مسئول: دکتر هادی بیشه، h_bisheh@erec.co.ir

DOI: 10.30486/teeges.2023.1985940.1070

CC BY

۱- مقدمه

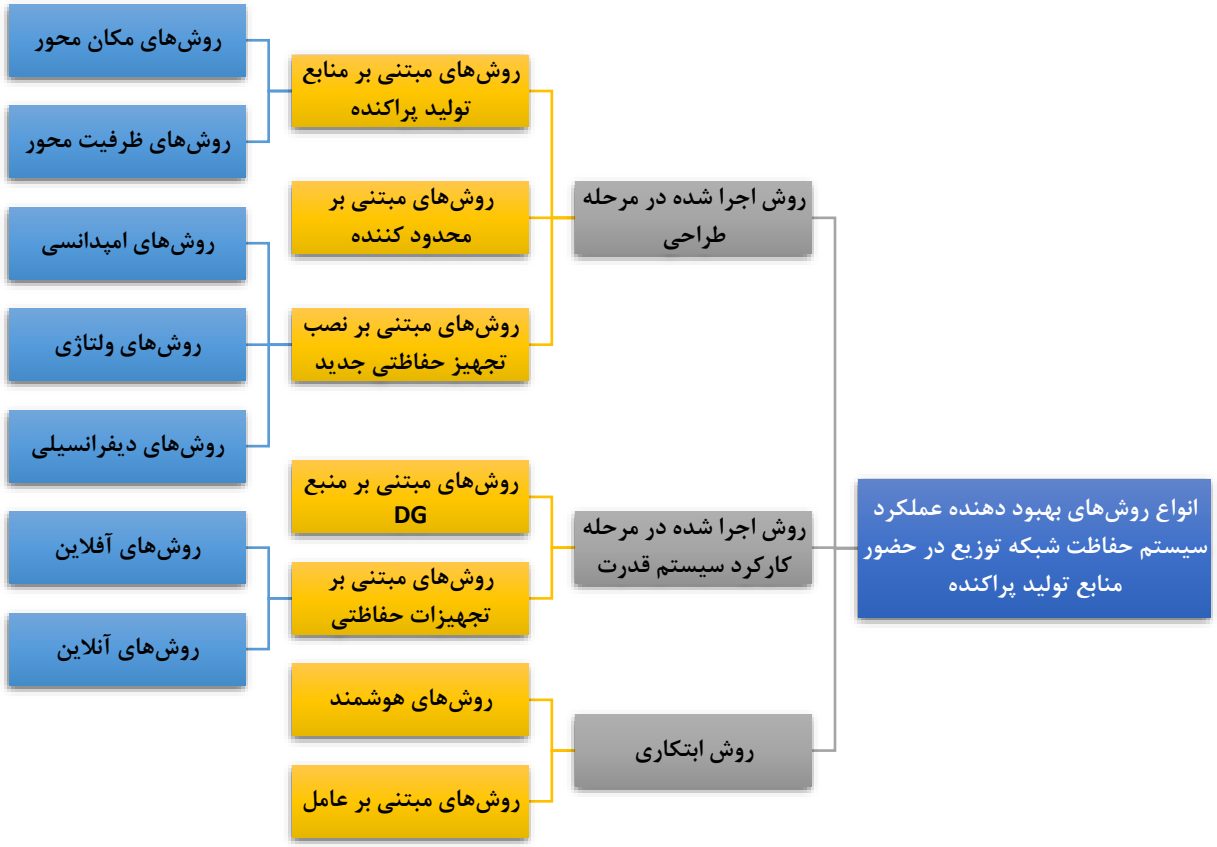
امروزه سیستم‌های قدرت توسعه فراوانی در بخش‌های مختلف از جمله بخش توزیع نسبت به چند دهه گشته داشته است. شبکه‌های توزیع[۱] همواره به دلیل اتصال به مشترکین برق به عنوان بخش انتهایی سیستم قدرت تلقی می‌شده است. اما در چند سال اخیر با حضور مولدهای با مقیاس کوچک در سطح شبکه توزیع، از تعبیر انتها بودن در سیستم قدرت خارج شده است. به این دلیل که پیش از حضور منابع تولید پرکنده[۲] در این بخش از شبکه، بخش توزیع صرفاً دریافت کننده توان الکتریکی بوده و جهت انتقال توان فقط یک طرفه بوده است. اما با ورود منابع DG این ساختار تغییر نموده، به یک سیستم دوطرفه تبدیل شده است. به عبارت دیگر چنانچه در ساعاتی از شبانه روز مصرف شبکه در بخشی از شبکه توزیع که دارای منبع تولید پراکنده است، کاهش یابد، مازاد توان از طریق فیدرهای شبکه توزیع به سمت سیستم قدرت تأمین کننده توان در بالا دست منتقل می‌شود. در این صورت شبکه توزیع از حالت پسیو به حالت اکتیو تبدیل شده است.

اکتیو شدن شبکه توزیع منجر به پیدایش موضوعات متعددی برای سیستم قدرت شده که هم به عنوان مزیت و هم به عنوان مشکل مطرح می‌شود. در مورد مزیت‌های حضور منابع DG در شبکه می‌توان به کمک منابع در شرایط اوج بار شبکه اشاره نمود. به عبارت دیگر در شرایط اوج بار شبکه، تأمین بار مصرف‌کننده‌ها از طریق این منابع کمک بسزایی در پایش بار و انرژی برای بهره بردار شبکه خصوصاً شرایط بحرانی اوج بار دارد. علاوه بر مسأله اوج بار، انتقال توان از طریق خطوط انتقال سیستم قدرت، با تلفات انتقال همراه است. این موضوعات و خیلی مزیت دیگر نیز وجود دارد که تمایل به استفاده از منابع DG را افزایش داده است.

نقطه مقابل مزایای حضور منابع تولید پراکنده، مشکلات به وجود آمده بر روی سیستم حفاظتی شبکه توزیع می‌باشد. به بیان دیگر همان گونه که حضور منابع DG به شرایط بهره برداری شبکه در شرایط عادی کمک بسزایی می‌نمود، در شرایط غیر عادی وقوع اتصال کوتاه در شبکه، بر عملکرد تجهیزات حفاظتی اثر گذاشته آنها را دچار اختلال، ناهماهنگی و یا عدم عملکرد می‌کند. از این رو در کنار مزیت‌های موجود، وجود و رشد منابع تولید پراکنده در شبکه توزیع به یک چالش جدی برای سیستم قدرت تبدیل شده است. در چنین شرایطی طرح‌های حفاظتی مرسوم و متداول در پیاده سازی سیستم حفاظتی شبکه توزیع جواب گو نبوده و بی اساس شده است. توان تولیدی وابسته به شرایط محیطی در منابع تولید پراکنده مبتنی بر انرژی‌های تجدید پذیر منجر به بی اعتبار شدن هر گونه تنظیمات حفاظتی ثابت می‌شود. برای حل چنین مشکلی، در چند سال اخیر روش‌ها و استراتژی‌های گوناگونی توسط نویسندگان ارایه و پیشنهاد شده است. مطابق شکل (۱) این راهکارها بسته به نوع روش پیشنهادی به چند زیر مجموعه تقسیم بندی شده که در بخش (۰) الی (۴-) به بیان هر یک پرداخته می‌شود. اما پیش از مطالعه کارهای انجام شده در این زمینه، به منظور آگاهی از شرایط بهره برداری شبکه توزیع در حضور منابع تولید پراکنده، به صورت اجمالی به عملکرد سیستم حفاظتی شبکه پرداخته می‌شود.

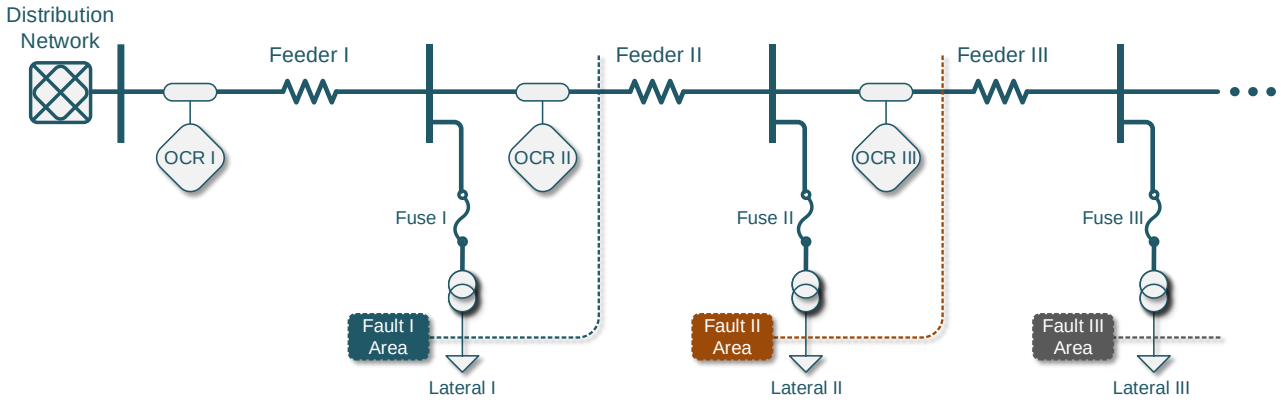
۱-۱- حفاظت شبکه توزیع

شبکه‌های توزیع سنتی عموماً دارای ساختار شعاعی و از یک سو تغذیه می‌باشد. به عبارت دیگر توان تولیدی واحدهای نیروگاهی بزرگ از طریق خطوط انتقال شبکه قدرت به سمت بخش انتهایی شبکه یعنی بخش توزیع منتقل شده و در این بخش توسط مشترکان انرژی الکتریکی، مصرف می‌شود. مطابق شکل (۲) یک شبکه توزیع دارای ساختار یک سو تغذیه مرسوم نمایش داده شده است. بر مبنای این توپولوژی شبکه، طرح حفاظتی متداول شبکه توزیع متشکل از تجهیزات حفاظتی اضافه جریان به منظور اندازه گیری و عملکرد بر اساس اندازه جریان عبوری از تجهیزات شبکه می‌باشد. بر اساس سیستم حفاظتی پیاده سازی شده در شکل (۲)، درابتدای هر فیدر اصلی شبکه از یک رله اضافه جریان[۳] دارای مشخصه زمان معکوس[۴] استفاده شده است. هر یک از شاخه‌های جانبی که تغذیه کننده بخشی از بارهای شبکه توزیع می‌باشد، توسط فیوز[۵] محافظت می‌شود. به علاوه به منظور عملکرد صحیح و مطمئن سیستم حفاظتی در شرایط مختلف وقوع اتصال کوتاه در شبکه، تجهیزات حفاظتی دارای عملکرد هماهنگ هستند. به عبارت دیگر نواحی حفاظتی[۶] تجهیزات حفاظتی شبکه با یکدیگر همپوشانی دارد. هر تجهیز حفاظتی[۷] علاوه بر عملکرد در ناحیه حفاظتی اصلی[۸] خود، به عنوان حفاظت پشتیبان[۹] برای تجهیز حفاظتی قرار گرفته در پایین دست خود در نظر گرفته می‌شود. به علاوه بر اساس استاندارد، بین زمان‌های عملکرد تجهیزات یک حاشیه زمانی عملکرد هماهنگ[۱۰] به منظور عدم اختلال در صدور فرمان قطع توسط تجهیزات در نظر گرفته می‌شود[۳-۱]. رله‌های اضافه جریان دارای مشخصه زمان معکوس دارای معادله مشخصه جدول (۱) است.



شکل ۱: دسته بندی انواع متد ارایه شده به منظور اصلاح سیستم حفاظتی بر اساس استراتژی پیشنهادی

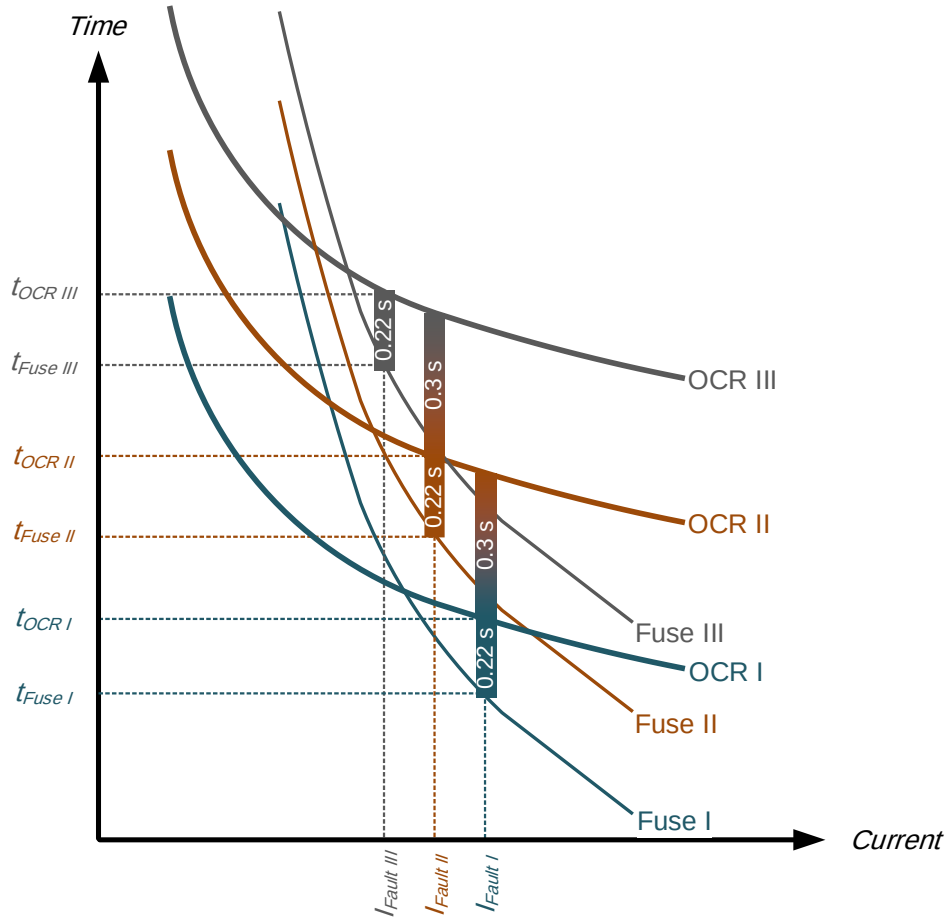
چنانچه در معادله مشخصه‌های جدول (۱) نمایش داده شده است، تمامی مشخصه‌ها دارای رابطه معکوس بین زمان عملکرد رله و جریان عبوری از آن بوده و هر یک از مشخصه‌ها دارای یک شیب مشخص بر اساس استاندارد هستند. به عبارت دیگر با انتخاب یک نوع منحنی زمان معکوس استاندارد، نرخ تغییرات زمان بر حسب جریان مشخص شده و تنها از طریق تنظیم پارامترهای کنترلی رله یعنی TMS و Ipickup که به ترتیب برابر ضریب تنظیم زمانی[۱۱] و جریان آستانه[۱۲] عملکرد رله می‌باشد، زمان عملکرد رله اصلاح می‌شود. ضریب زمانی منحنی مشخصه حفاظتی را در راستای محور زمان و جریان آستانه، منحنی را در راستای محور جریان جابجا می‌کند.



شکل (۲): شبکه توزیع متداول دارای ساختار از یک سو تغذیه

برای هماهنگی تجهیزات حفاظتی نصب شده در شبکه، حداقل زمان عملکرد برای آخرین تجهیز حفاظتی نصب شده در پایین دست شبکه در نظر گرفته می‌شود. پس از آن با رعایت حاشیه هماهنگی مناسب، زمان عملکرد تجهیز حفاظتی بالادست آن تعیین شده و به همین ترتیب عملکرد هر دو تهیز حفاظتی پشت سر هم با یکدیگر هماهنگ می‌گردد. بر اساس استاندارد برای رله‌های الکترومکانیکی و قدیمی حاشیه مجاز هماهنگی بین ۳۰۰ الی ۴۰۰ میلی ثانیه و برای رله‌های جدید استاتیکی در محدوده بین ۲۰۰ الی ۳۰۰ میلی ثانیه تنظیم می‌گردد [۲]. در هماهنگی بین فیوز و رله اضافه جریان، زمانی که فیوز در پایین دست قرار داشته باشد، چون زمان عملکرد مکانیزم قطع کلید قدرت مطرح نیست، با توجه به زمان نهایی قطع مدار توسط فیوز، حداقل حاشیه زمانی مجاز مابین فیوز و رله اضافه جریان برای رله‌های الکترومکانیکی و استاتیک به ترتیب برابر ۲۲۰ و ۱۲۰ میلی ثانیه می‌باشد.

در شکل (۳) منحنی مشخصه نمونه رله‌های حفاظتی شبکه مورد مطالعه نمایش داده شده است. در این شکل منحنی حفاظتی تمامی المان‌های شبکه ترسیم شده است. به ازای اتصال کوتاه رخداده در (Fault II Area) در شبکه مورد مطالعه شکل (۲)، رله OCRIII قرار گرفته در پایین دست شبکه به عنوان حفاظت اصلی بوده و رله OCRII در بالا دست آن رله به عنوان حفاظت پشتیبان در نظر گرفته می‌شود. حاشیه هماهنگی بین این دو رله مطابق استاندارد به ازای جریان $I_{Fault\ II}$ برابر ۳۰۰ میلی ثانیه بوده که در شکل (۳) نمایش داده شده است. به طور مشابه به ازای خطای (Fault I Area)، رله OCRII و OCRI به ترتیب به عنوان حفاظت اصلی و پشتیبان در نظر گرفته می‌شود. در این شرایط CTI بین دو رله به ازای جریان $I_{Fault\ II}$ مطابق شکل (۳) برابر ۳۰۰ میلی ثانیه می‌باشد. از سوی دیگر هر یک از رله‌ها با فیوز نصب شده در شاخه جانبی متناظر با آن رله، عملکرد هماهنگ دارد. بدین منظور به ازای Fault III Area فیوز FuseIII و OCRIII، به ازای Fault II Area فیوز FuseII و OCRII و به ازای Fault I Area فیوز FuseI و OCRI دارای حاشیه هماهنگی برابر ۲۲۰ میلی ثانیه بر اساس استاندارد است.



شکل(۳): منحنی مشخصه حفاظتی رله‌های اضافه جریان و همچنین فیوزهای شبکه مورد مطالعه شکل (۲)

جدول (۱): معادله مشخصه‌های استاندارد رله‌های اضافه جریان [۴]

نام مشخصه	علامت اختصاری	معادله مشخصه
کاهشی استاندارد	Standard Inverse (SI)	$\frac{0.14 \times TMS}{\left(I/I_{Pickup}\right)^{0.02}-1}$
خیلی کاهشی	Very Inverse (VI)	$\frac{13.5 \times TMS}{\left(I/I_{Pickup}\right)-1}$
به شدت کاهش	Extremely Inverse (EI)	$\frac{80 \times TMS}{\left(I/I_{Pickup}\right)^{2}-1}$
کاهشی طولانی مدت	Long Time Inverse (LTI)	$\frac{120 \times TMS}{\left(I/I_{Pickup}\right)-1}$

۱-۱-۱- عملکرد سیستم حفاظتی در حضور منابع DG

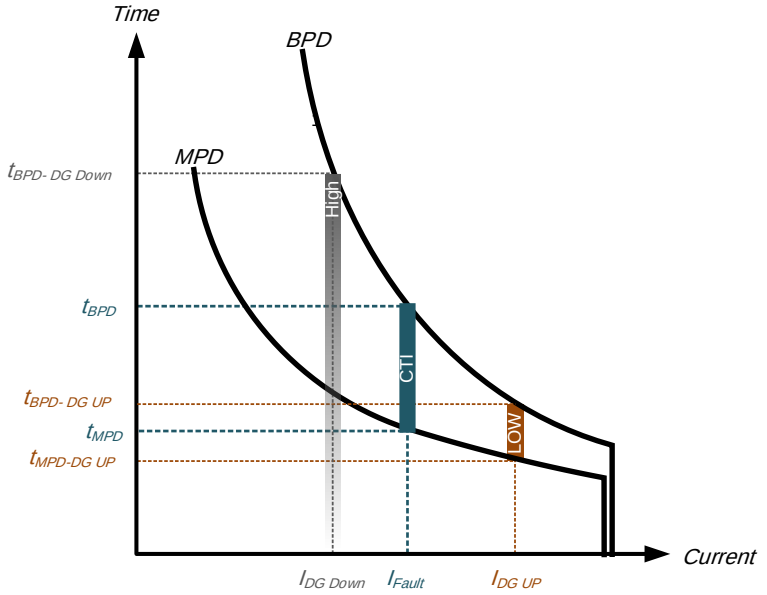
زمانی که تولید پراکنده در شبکه قرار گیرد، بخشی از بار شبکه را تأمین می‌کند. اما در شرایط وقوع اتصالی، تأمین جریان اتصال کوتاه نیز به واسطه حضور منابع DG صورت گرفته که مطلوب شبکه نیست. این مسأله با در نظر گرفتن فاصله کوتاه تر منبع DG با محل وقوع اتصال کوتاه نسبت به شبکه بالادست، اثر جریانی این منبع بیشتر نیز می‌شود. مطابق [۵] جریان عبوری از تجهیزات حفاظتی شبکه در شرایط حضور منبع تولید پراکنده از رابطه ۱ قابل محاسبه است.

$$I_{PD} = I_{Fault} + f(I_{DG}, Z_{DG}) \qquad (۱)$$

که در این رابطه، I_{PD} جریان عبوری از تجهیز حفاظتی، I_{Fault} جریان اتصال کوتاه شبکه و $f(I_{DG},Z_{DG})$ بخش متأثر از منبع تولید پراکنده بوده که هم وابسته به مکان نصب شده و هم جریان اتصال کوتاه تزریقی آن منبع بوده که از رابطه ۲ قابل محاسبه است.

$$f(I_{DG}, Z_{DG}) = \begin{cases} I_{DG} \times \frac{Z_{DG}}{Z_{Fault}} & , \ DG\ Install\ on\ Up \\ I_{DG} \times \left(\frac{Z_{DG}}{Z_{Fault}} - 1\right) & , \ DG\ Install\ on\ Down \end{cases} \qquad (۲)$$

که در این رابطه I_{DG} جریان تزریقی منبع تولید پراکنده در شرایط وقوع خطا و Z_{DG} و Z_{Fault} به ترتیب برابر امپدانس منبع DG و امپدانس شبکه تا محل وقوع خطا می‌باشد. بر اساس رابطه ۲ با توجه به اینکه اندازه امپدانس Z_{DG} همواره کمتر از Z_{Fault} می‌باشد، چنانچه منبع تولید پراکنده در پایین دست تجهیز حفاظتی قرار گرفته باشد، اثر منبع DG بر جریان عبوری از تجهیز حفاظتی به صورت کاهشی و با اندازه منفی می‌باشد. در شکل (۴) رفتار تجهیزات حفاظتی شبکه در اثر حضور منبع DG و اثر جریانی آن منبع در شرایط وقوع خطا نمایش داده شده است. در این شکل منحنی مشخصه حفاظتی دو تجهیز حفاظتی اصلی و پشتیبان ترسیم شده است. زمان عملکرد تجهیزات به ازای جریان خطای I_{Fault} به ترتیب برابر t_{MPD} و t_{BPD} بوده که در این شرایط حاشیه زمانی مناسب CTI بین دو زمان عملکرد برای آنها برقرار است.



شکل (۴): اثر منبع تولید پراکنده بر حفاظت شبکه توزیع

با توجه به معادله جریانی رابطه ۲، زمانی که منبع تولید پراکنده در بالادست تجهیزات قرار گرفته باشد، جریان عبوری از آنها افزایش یافته ($I_{DG\ UP}$) دراین شرایط حاشیه زمانی بین دو تجهیز کاهش می‌یابد. چنانچه در شکل (۴) نمایش داده شده است، اگر این کاهش حاشیه زمانی از حداقل حاشیه زمانی مجاز کمتر شده باشد، هماهنگی بین دو تجهیز حفاظتی از دست رفته است. به طور مشابه زمانی که منبع DG در پایین دست تجهیز حفاظتی باشد، جریان عبوری از آن کاهش یافته ($I_{DG\ Down}$) در این شرایط زمان عملکرد آن تجهیز افزایش می‌یابد. این افزایش می‌تواند تا جایی افزایش یافته که از محدوده عملکرد اضافه جریان خارج شده، به عنوان حفاظت اضافه بار[۱۳] با تأخیر زیاد عمل کند. در این شرایط با توجه به وجود اتصال کوتاه در شبکه و محدودیت تجهیزات در تحمل جریان اتصال کوتاه در شبکه، سیستم حفاظتی دچار اختلال در عملکرد شده، هماهنگی حفاظتی از دست می‌رود.

مطالعه شرایط حضور منابع تولید پراکنده در شبکه توزیع در بخش (۱-۱-) نشان داد که چگونه سیستم حفاظتی دچار اختلال شده و نیازمند اصلاح لازم به منظور بازیابی ناهماهنگی‌های به وجود آمده می‌باشد. در ادامه و در بخش‌های (۲-) الی (۴-) به بررسی روش‌ها و راهکارهای پیشنهادی در چند سال اخیر به منظور اصلاح عملکرد و ساختار سیستم حفاظت شبکه‌های توزیع امروزی در حضور منابع DG شده است.

۲- روش اجرا شده در مرحله طراحی

نوع کار و چگونگی پیاده سازی گروهی از راهکارهای پیشنهادی مربوط به زمان طراحی و نصب منابع تولید پراکنده و همچنین سیستم حفاظتی شبکه توزیع می‌باشد. با مطالعه بر روی روش‌های مختلف مشخص شده که استراتژی پیشنهادی آنها به دنبال یافتن مکان‌های نصب مناسب با در نظر گرفتن ظرفیت‌های تولیدی مناسب برای منابع DG و همچنین سیستم حفاظتی شبکه می‌باشد. به عبارت دیگر این مراجع به دنبال استراتژی مبتنی بر برنامه ریزی برای شبکه توزیع تجهیز نشده به منابع تولید پراکنده و همچنین سیستم حفاظتی ارتقا نیافته، بوده است. از این رو این راهکارها عموماً در مرحله نصب تجهیزات قرار دارد که نظر به نوع تجهیز نصبی مورد نظر به دو دسته تفکیک می‌شود.

۲-۱- روش‌های مبتنی بر منابع تولید پراکنده

گروه اول مربوط به مراجعی بوده که در زمینه نصب منابع DG در شبکه فعالیت می‌نماید. این مراجع با هدف اصلاح سیستم حفاظتی شبکه به دنبال مکان‌های نصب مناسب و همچنین ظرفیت‌های نصب شده مناسب برای منابع DG در شبکه می‌باشد. از مشکلات موجود در این روش‌ها نوع منابع می‌باشد. یکی از مزایای بسیار با اهمیت منابع تولید پراکنده برای سیستم قدرت و همچنین محیط زیست، استفاده از فناوری‌های نوین و انرژی‌های تجدید پذیر در تولید توان الکتریکی بوده که سبب محبوبیت فراوان این منابع شده است. اما چنین منابعی به لحاظ وابستگی به شرایط محیطی قابلیت نصب در هر مکان و حتی هر ظرفیتی در شبکه را ندارد. این موضوع چالش مهم روش‌های مورد مطالعه در این زیر مجموعه می‌باشد. در ادامه بر ارایه این مراجع پرداخته شده است.

۲-۱-۱- روش مکان محور

تعدادی از مراجع بر روی اصلاح عملکرد سیستم حفاظتی شبکه توزیع در حضور منابع تولید پراکنده از طریق مطالعه بر روی مکان نصب منابع DG فعالیت می‌کنند. استراتژی غالب این مراجع مرتبط با زمان طراحی و نصب تجهیزات و همچنین منابع DG در شبکه می‌باشد [۸-۶] در مرجع [۶] بر روی منابع تجدید پذیر کار شده است. در این روش از طریق یک روش برنامه ریزی مکان‌های نصب بهینه برای منابع تولید پراکنده تعیین می‌شود. در این دسته از روش‌ها که از روش بهینه سازی به منظور اصلاح هماهنگی استفاده می‌شود، قیودی همچون رعایت حداقل و حداکثر زمان رفع خطا و همچنین حاشیه زمانی بین تجهیزات در نظر گرفته شده و مسأله بهینه سازی با هدف تعیین مکان نصب منابع تولید پراکنده در شبکه توزیع حل می‌شود. در مرجع [۸] یک روش مبتنی بر جایابی بهینه برای نصب منابع DG به منظور هماهنگی حفاظتی بهینه در شبکه توزیع پیشنهاد شده است.

۲-۱-۲- روش ظرفیت محور

مشابه روش مکان محور، روش ظرفیت محور نیز در مرحله طراحی معمولاً از طریق حل یک مسأله بهینه سازی غیر خطی، نقطه کار بهینه برای منابع تولید پراکنده تعیین می‌کند [۷,۸]. در روش پیشنهادی در مرجع [۷] در مسأله مورد مطالعه بر روی بهینه سازی مکان‌های نصب منابع تولید پراکنده و همچنین ظرفیت آنها کار شده است. در این مرجع در حل مسأله بهینه سازی از یک تابع هدف چند متغیره استفاده شده که در آن در کنار رفع مشکل هماهنگی حفاظتی، بهبود پروفایل ولتاژ شبکه و همچنین کاهش تلفات و هزینه تولید نیز در نظر گرفته شده است. مرجع [۸] با هدف بیشینه نمودن ضریب نفوذ منابع DG به دنبال جایابی بهینه منابع بوده است. این کار از طریق به کار گیری الگوریتم ژنتیک صورت پذیرفته است. در روش مذکور بدون نیاز به اصلاح و تغییر در تجهیزات حفاظتی شبکه صورت می‌پذیرد.

۲-۲- روش‌های مبتنی بر محدود کننده

گروه دوم از مراجعی که بر روی طرح سیستم حفاظتی شبکه توزیع فعالیت می‌کنند، اقدام به نصب تجهیزات محدود کننده جریان[۱۴] خطا در شبکه می‌نمایند [۱۳-۹]. FCL زمانی که در شبکه نصب شده باشد، مشابه یک فیلتر پایین گذر عمل می‌کند. به عبارت دیگر، این المان برای جریان‌های بار و شرایط بهره برداری عادی شبکه هیچ تأثیری نداشته، اما زمان وقوع اتصال کوتاه و جاری شدن جریان خطا در شبکه، اقدام به محدود نمودن این جریان می‌کند [۱۴,۱۵]. علاوه بر ویژگی محدود نمودن جریان اتصال کوتاه، FCL در کاهش جریان هجومی و همچنین بهبود کیفیت توان مؤثر است [۱۶]. در مراجعی که بر روی FCLها کار می‌کند مشکل اصلی در افزایش هزینه سیستم می‌باشد. به عبارت دیگر محدود کننده جریان خطا یک تجهیز با تکنولوژی جدید و پرهزینه برای شبکه بوده که به کار بردن آن بسیار با اهمیت است. به علاوه از آنجایی که این روش‌ها مربوط به مرحله طراحی و اجرای سیستم می‌باشد، از دو نظر با چالش روبه رو هستند.

- با توجه به اینکه پس از اجرا در گذشت زمان شبکه با تغییرات جزیی نظیر مانورهای شبکه توزیع و همچنین با تغییرات کلی نظیر طرح و توسعه شبکه همراه است، نیاز به اصلاح و یا تعویض FCL نصب شده بوده که از نظر زمان اجرا و همچنین افزایش هزینه، مطلوب نیست.
- از طرفی در اجرای FCL با توجه به هزینه این تجهیز، اقدام به مطالعه از طریق بهینه سازی در مکان یابی و همچنین ظرفیت سنجی آن تجهیز می‌گردد. از آنجایی که حل مسأله بهینه سازی نیازمند صرف زمان زیاد و یک پردازنده بسیار قوی دارد، باز هم مشکل هزینه برای سیستم وجود دارد.

در مرجع [۱۶] از طریق حل یک مسأله برنامه ریزی غیر خطی توسط الگوریتم ژنتیک، اقدام به طراحی سیستم مجهز به FCL نموده و مشکل هماهنگی حفاظتی در حضور رله‌های اضافه جریان جهتی را برطرف نموده است. در این روش اندازه بهینه برای تجهیز محدود کننده جریان خطا و همچنین تنظیمات بهینه برای رله‌های جهتی در سیستم اتخاذ می‌شود.

در مرجع [۱۷] برای برقراری هماهنگی تجهیزات حفاظتی در حضور منابع DG، از محدود کننده ابر رسانا[۱۵] استفاده شده است. از آنجایی که نصب چنین تجهیزی منجر به افزایش هزینه طراحی سیستم حفاظتی شبکه می‌گردد، از طریق حل مسأله بهینه سازی مکان‌های مناسب و بهینه برای نصب SFCLها در حضور منابع تولید پراکنده را تعیین نموده است. در این روش تجهیز SFCL در محل نصب منبع تولید پراکنده قرار گرفته است.

مرجع [۱۳] یک روش جدید با بهره مندی از FCL پیشنهاد نموده که در این روش وضعیت شبکه توزیع در هر دو شرایط بهره برداری عادی و همچنین شرایط وقوع خطا بهبود پیدا می‌کند. به علاوه از جمله ویژگی‌های این روش قابلیت کاربردی بودن راهکار مذکور چه در شبکه‌های AC و چه در سیستم DC می‌باشد.

مرجع [۱۰] نیز یک روش مبتنی بر استفاده از محدود کننده جریان خطا پیشنهاد نموده است. در این روش از طریق حل مسأله چند متغیره اقدام به یافتن بهترین نقاط نصب برای FCL در شبکه از طریق کاهش و تنظیم در زمان عملکرد تجهیزات حفاظتی شبکه نموده است. به علاوه در این روش سعی شده با توجه به هزینه نصب FCL این قید نیز به حداقل رسانیده شود.

۲-۳- روش‌های مبتنی بر نصب تجهیز حفاظتی جدید

گروه سوم روش‌های مرحله طراحی سیستم، مراجعی بوده که در آنها سیستم حفاظتی شبکه نیاز به تغییر از طریق تعویض و یا نصب تجهیزات قدیمی با جدید دارد [۱۸]. از جمله این راهکارها استفاده از رله‌های دیستانس، دیفرانسیل طولی، ولتاژی و حتی اضافه جریان جهتی در سطح شبکه توزیع می‌باشد [۲۲-۱۹]. در این روش با انجام مطالعات بر روی اثر منابع تولید پراکنده بر سیستم حفاظتی شبکه توزیع، پیشنهاد شده که تجهیزات جدیدی را جایگزین تجهیزات قدیمی شود. اما موضوع اضافه نمودن تجهیز حفاظتی جدید در شبکه توزیع چند پیامد به همراه دارد.

- اول اینکه نظر به ارزش بالای رله‌های جدید و به روز، سبب افزایش هزینه می‌شود.
- دوم اینکه از مشخصه‌ها و منحنی‌های غیر متداول و غیر استاندارد استفاده شده،
- سوم اینکه این طرح‌های حفاظتی جدید سبب پیچیدگی در اجرای طرح هماهنگی تجهیزات و تنظیمات می‌گردد.

۲-۳-۱- روش امپدانسی

در مرجع [۲۳] استفاده از طرح حفاظتی مبتنی بر رله دیستانس پیشنهاد شده است. بر اساس این طرح، بدون نیاز به استفاده از بستر ارتباطی امکان استفاده از منابع تولید پراکنده در ظرفیت‌های بیشتر فراهم شده است. به منظور محاسبه امپدانس نیازمند نمونه ولتاژ بوده که در این روش مکان قرارگیری رله دیستانس پس از ترانسفورماتور کاهنده شبکه بوده که در آنجا ترانسفورماتور ولتاژی جهت نمونه گیری از کمیت ولتاژ در دسترس است. به طور مشابه، در مرجع [۲۲] نیز یک طرح حفاظتی مبتنی بر رله دیستانس پیشنهاد شده است. مزیت این طرح حفاظتی نیز در عدم به کار بردن لینک مخابراتی برای بازیابی هماهنگی میان تجهیزات حفاظتی شبکه توزیع می‌باشد.

۲-۳-۲- روش ولتاژی

در مرجع [۲۱] از طرح حفاظتی مبتنی بر ولتاژ استفاده شده است. در این طرح با استفاده از داده کاوی شرایط مختلف ولتاژی، حالات مختلف وقایع رخ داده سیستم تفکیک می‌شود. چنانچه در این روش مشخص است راهکار پیشنهادی نیاز به اندازه گیری کمیت ولتاژ در نقاط مختلف شبکه دارد. مرجع [۲۴] با استفاده از یک طرح حفاظتی مبتنی بر ولتاژ محلی، مشکل حضور منابع تولید پراکنده بر روی عملکرد سیستم حفاظتی را برطرف نموده است. در این روش یک تحلیل مناسبی بر روی رفتار ولتاژ شبکه در شرایط وقوع اتصال کوتاه در شبکه انجام می‌شود. از مزیت‌های این روش عدم وابستگی آن به نوع، ظرفیت نصب شده و مکان قرار گیری منابع DG بر روی شبکه توزیع می‌باشد. در [۲۵] راهکار جدیدی به منظور اصلاح طرح حفاظتی از طریق استفاده از منحنی حفاظتی زمان بر حسب جریان و ولتاژ ارایه شده است. برای این منظور از رله‌های میکروپروسسوری در طراحی سیستم حفاظتی پیشنهادی استفاده شده است. از جمله مزیت‌های روش مطرح شده در عدم وابستگی آن به بستر مخابراتی می‌باشد. طرح حفاظتی جدید ارایه شده در مرجع [۲۶] یک روش دوگانه تشخیص خطا با استفاده از اندازه‌گیری‌های جریانی و ولتاژی در شبکه می‌باشد.

۲-۳-۳- روش دیفرانسیلی

در مراجع [۳۱-۲۷] از الگوریتم‌های جدید مبتنی بر طرح دیفرانسیل استفاده شده است. با توجه به پرهزینه بودن رله دیفرانسیل، طرح حفاظتی مبتنی بر رله دیفرانسیل در سیستم‌های توزیع عموماً مرسوم نبوده است. این طرح حفاظتی نیازمند بستر ارتباطی به منظور دریافت اطلاعات دو سمت رله دیفرانسیل بوده است. با این وجود عملکرد دقیق و با خطای کمتر طرح حفاظتی مبتنی بر دیفرانسیل طولی نسبت به حفاظت دیستانس و همچنین اضافه جریان، محبوبیت استفاده از این طرح حفاظتی را بیشتر کرده است [۳۲].

۳- روش اجرا شده در مرحله کارکرد سیستم قدرت

دسته دوم از روش‌های پیشنهادی در اصلاح و بازیابی هماهنگی حفاظتی در حضور منابع DG، راهکارهایی هستند که در شرایط بهره برداری عادی شبکه فعالیت دارند. به عبارت دیگر در این روش، نصب و یا تعویض تجهیزات جدیدی وجود ندارد. بلکه از طریق تغییر در تنظیمات موجود و با هزینه‌هایی به مراتب کمتر از هزینه‌های طراحی در شبکه، پیاده سازی می‌شود. روش پیشنهاد شده در مرحله

کارکرد عادی شبکه به دو دسته کلی روش‌های مبتنی بر منبع تولید پراکنده و روش‌های مبتنی بر تنظیمات حفاظتی تقسیم بندی شده که در ادامه به بررسی آنها پرداخته شده است.

۳-۱- روش‌های مبتنی بر منبع DG

با توجه به نوع تکنولوژی ساخت منابع تولید پراکنده، در شرایط وقوع اتصالی در شبکه، جریان اتصال کوتاه تحت تأثیر قرار می‌گیرد[۳۳]. جریان تزریق شده منابع DG در شرایط وقوع خطا در بین دو تا هفت برابر جریان نامی منابع بوده که این بازه متغیر در جریان تزریق شده، به عوامل متعددی از جمله تکنولوژی منابع وابسته است. جریان حالت خطای منابع تولید پراکنده مبتنی بر اینورتر در حدود ۲ الی ۳ برابر و برای منابع مبتنی بر ژنراتور سنکرون در حدود ۵ الی ۷ برابر جریان نامی آنها می‌باشد [۳۴,۳۵]. تا کنون مراجع متعددی بر کنترل توان تولیدی منابع تولید پراکنده در شرایط وقوع خطا کارهایی انجام داده‌اند [۳۹-۳۶].

در مرجع [۳۹] یک روش کنترلی جدید برای منابع تولید پراکنده مبتنی بر اینورتر پیشنهاد داده که قادر است هماهنگی از دست رفته میان رله‌های اضافه جریان را بازیابی نماید. در این روش سهم جریانی منبع DG در شرایط وقوع خطا کنترل می‌شود. مرجع [۳۸] به مطالعه اثر منابع مبتنی بر اینورتر بر عملکرد حفاظتی فیوز و ریکلوزر پرداخته است. برای این منظور در مکان‌های نصب متعدد در شبکه و شرایط گوناگون اتصال کوتاه با امپدانس خطای مختلف سناریو سازی شده و در نهایت روش کنترلی ساده برای رفع مشکل ناهماهنگی به وجود آمده ارایه شده است. در مرجع [۳۷] یک روش جدید برای کنترل منابع تولید پراکنده مبتنی بر ژنراتور سنکرون پیشنهاد شده است. بر اساس این روش از طریق یک مدار تخلیه میدانی جریان خطای ژنراتور سنکرون به گونه‌ای کنترل شده که این منبع اثر ناچیزی بر روی هماهنگی حفاظتی داشته و سبب از دست رفتن هماهنگی حفاظتی اضافه جریان نمی‌شود.

۳-۲- روش‌های مبتنی بر تجهیزات حفاظتی

با قرارگیری منابع DG در سیستم قدرت و اثر پذیری سیستم حفاظتی شبکه توزیع، در گروه وسیعی از راهکارهای پیشنهادی به مطالعه بر روی سیستم حفاظتی و اصلاح آن پرداخته شده است. چنانچه در بخش (۳-۲-) اشاره گردید، یک بخش از این روش‌ها در حوزه طراحی و اجرای سیستم حفاظتی فعالیت داشتند. اما گروه دوم در حوزه کارکرد سیستم قدرت راهکار مرتبط با اصلاح این سیستم ارایه نموده‌اند [۵۱-۴۰] و [۵]. برای این منظور برای تجهیزاتی که قابلیت کنترل و تنظیم پارامترهای حفاظتی در آنها وجود دارد، اقدام به بازاصلاحی آنها زده شده است. این بازتنظیمی می‌تواند هم به صورت آنلاین و هم آفلاین بر روی تجهیزات حفاظتی شبکه و همچنین منابع تولید پراکنده نصب شده در آن، باشد. در ادامه این گروه از مراجع بررسی می‌شود.

۳-۲-۱- روش‌های تنظیم آفلاین

در این زیر مجموعه از روش‌های پیشنهادی، تنظیمات بر اساس مطالعات و محاسبات از پیش انجام شده بر روی المان‌های مورد هدف در شبکه در نظر گرفته می‌شود. پس از اعمال تنظیمات بر اساس استراتژی پیشنهادی، سیستم قدرت تغییراتی در خصوص روش پیشنهادی نداشته و در شرایط وقوع خطا، عملکرد صحیح دارد. در مرجع [۵۲] به منظور بازیابی هماهنگی حفاظتی اضافه جریان در حضور منابع فتوولتاییک[۱۶] در شبکه توزیع یک راهکار جدید پیشنهاد شده است. در این مطالعه اثر تولید نا معین منابع PV بررسی شده و یک روش آفلاین ارایه گردیده است. استراتژی پیشنهادی در این مقاله نیاز به تعویض تجهیزات حفاظتی موجود نداشته و هزینه پیاده سازی آن بسیار کم می‌باشد. مرجع [۵۳] نیز یک روش آفلاین برای رفع مشکل ناهماهنگی حفاظتی شبکه توزیع ارایه نموده است. این روش از طریق دسته بندی حالت‌های گوناگون در شبکه از قرارگیری منابع و یا خروج خطوط شبکه، پیشنهاد گروه‌های تنظیمی برای رله‌های حفاظتی داده است. به عبارت دیگر متناسب با تفکیک نمودن وضعیت‌های مختلف بهره برداری شبکه، هر یک از گروه‌های تنظیمی فعال می‌شود.

۳-۲-۲- روش‌های تنظیم آنلاین

در روش‌های آنلاین، بر اساس تکنیک پیشنهادی، اصلاح تنظیمات به گونه‌ای انجام شده که چه در شرایط بهره برداری عادی و چه شرایط وقوع یک اتفاق نظیر اتصال کوتاه در شبکه، تنظیمات بر اساس وضع موجود سیستم خود را باز اصلاح نموده، به گونه‌ای تطبیق

پیدا کند که عملکرد هماهنگ سیستم حفاظتی در حضور منابع DG حفظ شود. الگوریتم ارایه شده در این گروه از روش‌ها، هم بر روی سیستم حفاظتی و هم بر روی منابع تولید پراکنده پیاده سازی می‌شود.

گروه اول مربوط به روش‌های آنلاینی بوده که بر روی سیستم حفاظتی اجرا می‌گردد. برای این منظور در مرجع [۵] یک روش تطبیقی[۱۷] جدید برای اصلاح هماهنگی بین رله‌های اضافه جریان در حضور منابع DG پیشنهاد شده است. در این روش تنظیم جریانی رله‌های اضافه جریان بر اساس نحوه حضور منابع پراکنده در شبکه به گونه‌ای اصلاح شده که هماهنگی زمانی بین رله‌ها حفظ گردد. یک روش جدید تطبیقی در مرجع [۵۴] ارایه شده که در آن از طرح حفاظتی مبتنی بر ریکلوزر جهتی دو تنظیمه استفاده شده است. این استراتژی یک محدوده عملکرد انعطاف پذیر برای هماهنگی بین تجهیزات حفاظتی اضافه جریان فراهم می‌نماید. در مرجع [۴۶] نیز یک طرح حفاظتی تطبیقی اصلاح تنظیمات حفاظتی اضافه جریان در حضور منابع تولید پراکنده ارایه شده که به صورت خودکار هماهنگی را اصلاح می‌نماید. در [۵۵] یک روش وفقی با استفاده از تکنیک برنامه ریزی خطی ارایه شده که با استفاده از آن هماهنگی حفاظتی بین تجهیزات در حضور منابع DG برقرار شده است.

گروه دوم از روش‌های آنلاین معطوف به منابع DG می‌شود. از آنجایی که منابع پراکنده عموماً دارای مالکیت خصوصی بوده و اولویت اصلی آنها کسب بیشترین میزان سود از تولید انرژی الکتریکی واحدهای تولیدی آنها می‌باشد، غالباً اجرای این روش با چالش‌های جدی روبرو می‌گردد. با این وجود تعدادی از راهکارها در این حوزه فعالیت می‌کند [۳۸,۵۶]. در مرجع [۳۸] یک روش جدید کنترل توان تولیدی منابع DG مبتنی بر اینورتر پیشنهاد شده است. مدار کنترلی منابع اینورتری معمولاً به منظور داشتن بیشترین میزان تبدیل انرژی به صورت توان ثابت تنظیم می‌شود. به این ترتیب جریان دارای نسبت معکوس با ولتاژ به منظور ثابت بودن توان است. اما بر اساس روش پیشنهادی در این مقاله، در شرایط افت ولتاژ ناشی از اتصال کوتاه، مدار کنترلی از وضعیت توان ثابت به حالت جریان ثابت تنظیم می‌گردد.

٤- روش ابتکاری

در بین کارهایی که در شرایط حضور منابع DG برای بهبود عملکرد سیستم حفاظتی شبکه توزیع ارایه شده است، گروهی از کارها دارای روش ابتکاری و نوآورانه می‌باشد. این روش پیش از این مرسوم نبوده و به منظور پیاده سازی نیازمند المان‌ها و تجهیزات و مطالعات خاص بوده و عموماً از قالب‌های استاندارد سیستم‌های قدرت خارج هستند. این روش‌ها هم در مرحله طراحی و هم در مرحله کارکرد سیستم پیاده سازی می‌شود.

٤-١- روش‌های هوشمند[۱۸]

بخشی از کارهای جدید که در بازیابی هماهنگی در حضور DG در شبکه ارایه ده است، روش هوشمند است [۶۰-۵۷]، [۲۸,۳۵]. در مرجع [۶۱] یک روش هوشمند جدید برای ریزشبکه[۱۹] پیشنهاد شده که بتواند مشکلات تجهیزات حفاظتی در حضور منابع تولید پراکنده را برطرف نماید. چالش‌هایی که به دلیل تغییرات مشخصه‌های جریانی آن تجهیزات و همچنین دوجهتی شدن توان انتقالی ایجاد می‌شود. در این روش هوشمند از واحدهای اندازه گیری میکرو[۲۰] برای استفاده از داده‌های اندازه گیری شده فازوری همگام شده سریع و پیوسته بهره‌مند شود. به علاوه در این روش بین μPMU ها با مرکز کنترل زیرشبکه بستر ارتباطی ایمنی به منظور دستیابی به طرح حفاظتی تطبیقی هوشمند برقرار است.

مرجع [۲۸] یک طرح حفاظتی دیفرانسیلی هوشمند مبتنی بر داده کاوی را برای ریزشبکه ارایه می‌کند. در این طرح پیشنهادی پردازش اولیه سیگنال‌های ولتاژ و جریان اتصال کوتاه توسط تبدیل فوریه گسسته انجام شده و با استفاده از آن نقاط دارای حساسیت بیشتر بر روی شبکه تخمین زده می‌شود. عملکرد روش مذکور برای دو وضعیت شعاعی و حلقوی در شبکه بررسی شده است.

مرجع [۵۷] به منظور کاهش اثر نامطلوب منابع DG بر هماهنگی حفاظتی و همچنین ارتقای عملکرد تجهیزات حفاظتی شبکه، یک روش هوشمند جدید ارایه نموده است. برای این منظور در این روش یک روش بهینه سازی مبتنی بر هزینه در نظر گرفته شده که بتواند هزینه‌های بهره برداری را کاهش دهد. بر این اساس هدف مسأله بهینه سازی یافتن تنظیمات بهینه برای رله‌های حفاظتی و همچنین شرایط کنترلی مناسب برای مبدل‌های منابع تولید پراکنده مبتنی بر توربین بادی می‌باشد.

جدول (۲): دسته بندی الگوریتم‌های پیشنهادی متناسب با موضوع کاری آنها بر اساس ویژگی‌های هر روش

الگوریتم پیشنهادی	متمرکز بر موضوع	نیازمندی‌های روش پیشنهادی	مزایای روش پیشنهادی
طراحی محور	منبع تولید پراکنده	پردازنده قوی جهت حل مسأله بهینه سازی محدودیت مکان و ظرفیت نصب شده منابع DG عدم رضایت مندی مالکیت منابع	بهره برداری بهینه کاهش هزینه سوخت منابع DG کاهش تلفات
	محدود کننده جریان	نصب FCL افزایش هزینه طراحی و تعمیرات و نگهداری پردازنده قوی جهت حل مسأله بهینه سازی	افزایش شاخص‌های کیفیت توان کنترل جریان اتصال کوتاه آسیب دیدگی کمتر تجهیزات
	المان جدید حفاظتی	افزایش هزینه و زمان اجرا پیچیدگی طرح حفاظتی	عملکرد مناسب سیستم حفاظت ارتقای تجهیزات برنامه پذیر شدن المان‌ها
تنظیم محور	منبع تولید پراکنده	قابل کنترل بودن مدار کنترلی منابع کاهش ظرفیت بهره برداری عدم رضایت مندی مالکیت منابع	عملکرد مناسب سیستم حفاظت عدم پیچیدگی حفاظتی عدم نیاز به تعویض تجهیزات
	سیستم حفاظتی	زمان‌بر بودن دریافت اطلاعات افزایش ریسک پذیری حفاظت عدم امکان استفاده از تجهیزات قدیمی	به روز بودن تنظیمات عملکرد مناسب در تغییرات عملکرد بهینه
ابتکاری	هوشمند	نیازمندی به تجهیزات جدید پیچیدگی طرح حفاظتی وابستگی به بستر مخابراتی	عملکرد دقیق و مطمئن تنظیمات به روز انعطاف پذیری شبکه
	عامل محور	افزایش هزینه وابستگی به بستر ارتباطی عدم کارایی تجهیزات سنتی	افزایش قابلیت اطمینان کنترل پذیری گسترده در شبکه کاهش هزینه تولید و تلفات

۲-٤- روش‌های مبتنی بر عامل

در بین مطالعات و تحقیقاتی که در زمینه حفاظت شبکه توزیع در حضور DG انجام شده، بسیاری از طرح‌ها بر بستر ارتباطی[۲۱] پیاده سازی شده نیازمند تجهیزات مخابراتی می‌باشد [۶۷-۶۱]، [۱۴,۳۲]. این روش‌ها در گروه‌های مختلف دسته بندی شده در این تحقیق نظیر، روش‌های مبتنی بر حفاظت دیفرانسیل، روش‌های مبتنی بر FCL و همچنین روش‌های هوشمند وجود داشته است. علاوه بر موضوع در دسترس بودن سامانه‌های ارتباطی، گروهی از کارهای جدید به تجهیز شدن شبکه قدرت به تجهیزات الکترونیکی هوشمند[۲۲] و ساختار سیستم چند عاملی[۲۳] پرداخته‌اند. برای این منظور از طریق یک کنترل کننده مرکزی و ارتباط با عامل‌های[۲۴] شبکه، یک کنترل بدون وقفه و با احتمال خرابی کمتری برای شبکه توزیع فراهم می‌گردد. در این ساختار در کنار هر عامل یک IED نصب شده و ارتباط با کنترلر مرکزی و همچنین انجام فرامین لازم را میسر می‌نماید [۴۱,۶۸].

در مرجع [۶۹] در ساختار مبتنی بر عامل یک روش جدید بازیابی حفاظت پیشنهاد شده است. در این روش با توجه به تعامل بین کنترلر DG ها و رله‌های شبکه، یک روش تطبیقی کنترلی برای منابع توربین بادی پیشنهاد شده که در آن اثر منبع پراکنده بر جریان خطا محدود می‌شود. در [۶۵] برای یک ریزشبکه مستقل یک طرح حفاظتی زمان واقعی با استفاده از ارتباط توزیع شده مبتنی بر عامل پیشنهاد شده است. این طرح بر روی رله‌های اضافه جریان با استفاده از روش انتخاب گری فرکانسی و بر اساس مکان‌های IED های شبکه مبتنی بر عامل، پیاده سازی می‌گردد. در [۷۰] یک طرح حفاظتی چند عاملی ارایه شده که در آن یک طرح ابتکاری جفت – جفتی برای تشخیص اتصال کوتاه و همچنین بازیابی خودکار شبکه پیشنهاد شده است.

۵- نتیجه گیری

در مرور مطالعات بخش‌های (۰) الی (۴-) روش‌ها و راهکارهای گوناگونی در زمینه حفاظت شبکه توزیع مورد بررسی قرار گرفت. در هر یک از مراجع بر روی موضوع خاصی مطاللعه شده و راهکاری پیشنهاد شده بود. چنانچه بیان شد روش‌های ارایه شده هم به صورت آنلاین و هم آفلاین در مراحل طراحی و همچنین اجرا و بهره برداری سیستم قدرت، پیاده سازی می‌شود. از طرفی روش مذکور هم قابل اجرا بر روی تجهیزات شبکه و المان‌های حفاظتی آن و هم بر روی منابع تولید پراکنده است. هر یک از روش‌ها دارای نقاط قوت و ضعف بوده که مورد توجه نویسندگان بوده است. در جدول (۲) به تفکیک نوع روش پیشنهادی، موارد با اهمیت از نظر بهبود و یا مشکلات هر یک ارایه می‌شود.

بر اساس دسته بندی مراجع مرور شده در این مقاله بر اساس روش مورد مطالعه مطابق شکل (۱) و جدول (۲)، مزایا و معایب هر روش مشخص شده است. علاوه بر این دسته بندی، هر روش نیازمندی‌های مخصوص به خود به منظور پیاده سازی و اجرا دارد که منجر به محبوبیت و یا عدم استقبال از آن روش در شبکه‌های قدرت می‌گردد.

- مراجعی که استراتژی مبتنی بر منابع تولید پراکنده دارند (چه در مرحله طراحی و چه در مرحله کارکرد سیستم و چه در روش آنلاین و چه در روش آفلاین) همواره در مواجهه با مالکین منابع DG هستند. صاحبان خصوصی منابع همواره به دنبال بیشترین سودآوری و وارد نمودن حداقل تنش به واحد نیروگاهی خود بوده که هزینه استهلاک و تعمیرات و نگهداری آن افزایش نیابد. در این شرایط به سختی می‌توان روش‌های پیشنهادی را در این حوزه پیاده سازی نمود. همچنین باید گفت که استراتژی که پیاده سازی و اصلاح تنظیمات مورد نیاز آن همواره وابسته به اخذ مجوز و هماهنگی با شرکت‌های خصوصی بهره بردار واحدهای پراکنده باشد، از قابلیت اطمینان و محبوبیت پایینی برخوردار است.
- گروهی از روش‌ها که در حوزه کارکرد سیستم پیاده سازی می‌شود، به دنبال یافتن نقاط کار بهینه برای عملکرد تجهیزات و یا توان تولیدی منابع DG هستند. در روش‌های آنلاین و تطبیقی که اصلاح تنظیمات از طریق حل یک مسأله بهینه سازی با وجود قیود مختلف در شبکه بوده، نیازمند پردازنده بسیار قوی و همچنین صرف مدت زمان طولانی به منظور یافتن جواب بهینه می‌باشد. از طرفی حاصل این مسأله بهینه سازی اعمال تنظیمات حفاظتی جدید به منظور اصلاح سیستم حفاظتی در حضور منبع تولید پراکنده و جلوگیری از اختلال در عملکرد است. زمانی که اتصال کوتاه در شبکه رخ دهد، هر تجهیز با صرف زمانی در رنج میلی ثانیه عملکرد داشته و چنانچه نیاز باشد تا پس از وقوع خطا محاسبات بهینه سازی تطبیقی شروع شود و جواب‌های بهینه به تجهیزات حفاظتی اعمال گردد، این طرح حفاظتی انتخاب گری[۲۵] خود را از دست داده بی اعتبار است.
- بسیاری از روش‌های جدید در حوزه هماهنگی حفاظتی از شبکه توزیع دارای بستر مخابراتی برای الگریتم حفاظتی بهره می‌برند. همواره چالش قابلیت اطمینان در استفاده از شبکه مخابراتی خصوصاً به منظور بهره مندی در سیستم حفاظتی در گذشته وجود داشته است. اما با توجه به گسترش و تغییرات سیستم قدرت در چند سال اخیر، دسترسی به شبکه مخابراتی با افزونگی‌های متعدد آن شبکه، به گونه‌ای ارتقا یافته که در مراجع متعدد در زمینه سیستم حفاظتی، به عنوان یک بستر بنیادی و اولیه در سیستم قدرت در سطح شبکه‌های توزیع در نظر گرفته می‌شود.

مراجع

[1] "IEEE Standard for Inverse-Time Characteristics Equations for Overcurrent Relays", *IEEE Std C37.112-2018 (Revision of IEEE Std C37.112-1996)*, pp. 1–25, 2019, doi:10.1109/IEEESTD.2019.8635630.

[2] J. V. H. Sanderson, "IEEE Recommended Practice for Protection and Co-ordination of Industrial and Commercial Power Systems", *Power Engineering Journal*, vol. 3, no. 2, p. 70, 1989, doi:10.1049/pe:19890012.

[3] C. Prévé, "Protection of Electrical Networks", *Protection of Electrical Networks*, Jan. 2006, doi:10.1002/9780470612224.

[4] "IEC 60255-1 Measuring Relays and Protection Equipment - Part 1: Common". *IEC BSI*, 2009.
[5] H. Bisheh, B. Fani, G. Shahgholian, "A novel adaptive protection coordination scheme for radial distribution networks in the presence of distributed generation", *International Transactions on Electrical Energy Systems*, vol. 31, no. 3, Jan. 2021, doi:10.1002/2050-7038.12779.
[6] D. K. Khatod, V. Pant, J. Sharma, "Evolutionary programming based optimal placement of renewable distributed generators", *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 28, no. 2, pp. 683–695, May 2013, doi:10.1109/TPWRS.2012.2211044.
[7] H. Doagou-Mojarrad, G. B. Gharehpetian, H. Rastegar, J. Olamaei, "Optimal placement and sizing of DG distributed generation) units in distribution networks by novel hybrid evolutionary algorithm", *Energy*, vol. 54, pp. 129–138, Jun. 2013, doi:10.1016/J.ENERGY.2013.01.043.
[8] H. Zhan *et al.*, "Relay protection coordination integrated optimal placement and sizing of distributed generation sources in distribution networks", *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 7, no. 1, pp. 55–65, Jan. 2016, doi:10.1109/TSG.2015.2420667.
[9] T. Ghanbari, E. Farjah, "Unidirectional fault current limiter: An efficient interface between the microgrid and main network", *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 28, no. 2, pp. 1591–1598, 2013, doi:10.1109/TPWRS.2012.2212728.
[10] F. G. K. Guarda, G. C. Junior, C. D. L. Da Silva, "Fault current limiter placement to reduce recloser-fuse miscoordination in electric distribution systems with distributed generation using multiobjective particle swarm optimization", *IEEE Latin America Transactions*, vol. 16, no. 7, pp. 1914–1920, Jul. 2018, doi:10.1109/TLA.2018.8447357.
[11] S. Beheshtaein, M. Savaghebi, R. M. Cuzner, S. Golestan, J. M. Guerrero, "Modified Secondary-Control-Based Fault Current Limiter for Inverters", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 66, no. 6, pp. 4798–4804, Jun. 2019, doi:10.1109/TIE.2018.2851970.
[12] X. Lu, J. Wang, J. M. Guerrero, D. Zhao, "Virtual-impedance-based fault current limiters for inverter dominated AC microgrids", *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 9, no. 3, pp. 1599–1612, May 2018, doi:10.1109/TSG.2016.2594811.
[13] M. Abdolkarimzadeh, M. Nazari-Heris, M. Abapour, M. Sabahi, "A bridge-type fault current limiter for energy management of AC/DC microgrids", *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 32, no. 12, pp. 9043–9050, Dec. 2017, doi:10.1109/TPEL.2017.2655106.
[14] B. Fani, F. Hajimohammadi, M. Moazzami, M. J. Morshed, "An adaptive current limiting strategy to prevent fuse-recloser miscoordination in PV-dominated distribution feeders", *Electric Power Systems Research*, vol. 157, pp. 177–186, Apr. 2018, doi:10.1016/J.EPSR.2017.12.020.
[15] S. A. F. Asl, M. Gandomkar, J. Nikoukar, "Optimal protection coordination in the micro-grid including inverter-based distributed generations and energy storage system with considering grid-connected and islanded modes", *Electric Power Systems Research*, vol. 184, p. 106317, Jul. 2020, doi:10.1016/j.epsr.2020.106317.
[16] W. K. A. Najy, H. H. Zeineldin, W. L. Woon, "Optimal protection coordination for microgrids with grid-connected and islanded capability", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 60, no. 4, pp. 1668–1677, 2013, doi:10.1109/TIE.2012.2192893.
[17] H. C. Jo, S. K. Joo, "Superconducting Fault Current Limiter Placement for Power System Protection Using the Minimax Regret Criterion", *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, vol. 25, no. 3, Jun. 2015, doi:10.1109/TASC.2015.2411052.
[18] A. M. Tsimtsios, A. S. Safigianni, V. C. Nikolaidis, "Generalized distance-based protection design for DG integrated MV radial distribution networks — Part I: Guidelines", *Electric Power Systems Research*, vol. 176, Nov. 2019, doi:10.1016/j.epsr.2019.105949.
[19] A. Sinclair, D. Finney, D. Martin, P. Sharma, "Distance protection in distribution systems: How it assists with integrating distributed resources", *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 50, no. 3, pp. 2186–2196, 2014, doi:10.1109/TIA.2013.2288426.
[20] A. Hooshyar, R. Iravani, "A new directional element for microgrid protection", *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 9, no. 6, 2018, doi:10.1109/TSG.2017.2727400.
[21] S. Ranjbar, A. R. Farsa, S. Jamali, "Voltage-based protection of microgrids using decision tree algorithms", *International Transactions on Electrical Energy Systems*, vol. 30, no. 4, p. e12274, Apr. 2020, doi:10.1002/2050-7038.12274.
[22] K. Pandakov, H. K. Høidalen, J. I. Marvik, "Implementation of distance relaying in distribution network with distributed generation", *IET Conference Publications*, vol. 2016, no. CP671, 2016,

doi:10.1049/CP.2016.0021.
[23] I. Chilvers, N. Jenkins, P. Crossley, "Distance relaying of 11 kV circuits to increase the installed capacity of distributed generation", *IEE Proceedings: Generation, Transmission and Distribution*, vol. 152, no. 1, pp. 40–46, Jan. 2005, doi:10.1049/IP-GTD:20041205.
[24] S. Jamali, H. Borhani-Bahabadi, "Protection Method for Radial Distribution Systems with DG Using Local Voltage Measurements", *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 34, no. 2, pp. 651–660, Apr. 2019, doi:10.1109/TPWRD.2018.2889895.
[25] S. Jamali, H. Borhani-Bahabadi, "Non-communication protection method for meshed and radial distribution networks with synchronous-based DG", *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 93, pp. 468–478, Dec. 2017, doi:10.1016/J.IJEPES.2017.06.019.
[26] S. Jamali, A. Bahmanyar, S. Ranjbar, "Hybrid classifier for fault location in active distribution networks", *Protection and Control of Modern Power Systems*, vol. 5, no. 1, pp. 1–9, Dec. 2020, doi:10.1186/S41601-020-00162-Y/TABLES/3.
[27] T. S. Aghdam, H. Kazemi Karegar, H. H. Zeineldin, "Variable Tripping Time Differential Protection for Microgrids Considering DG Stability", *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 10, no. 3, pp. 2407–2415, May 2019, doi:10.1109/TSG.2018.2797367.
[28] S. Kar, S. R. Samantaray, M. D. Zadeh, "Data-Mining Model Based Intelligent Differential Microgrid Protection Scheme", *IEEE Systems Journal*, vol. 11, no. 2, pp. 1161–1169, Jun. 2017, doi:10.1109/JSYST.2014.2380432.
[29] B. K. Chaitanya, A. Yadav, M. Pazoki, "An improved differential protection scheme for micro-grid using time-frequency transform", *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 111, pp. 132–143, Oct. 2019, doi:10.1016/j.ijepes.2019.04.015.
[30] W. Li, Y. Tan, Y. Li, Y. Cao, C. Chen, M. Zhang, "A New Differential Backup Protection Strategy for Smart Distribution Networks: A Fast and Reliable Approach", *IEEE Access*, vol. 7, pp. 38135–38145, 2019, doi:10.1109/ACCESS.2019.2905604.
[31] H. Gao, J. Li, B. Xu, "Principle and Implementation of Current Differential Protection in Distribution Networks With High Penetration of DGs", *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 32, no. 1, pp. 565–574, Feb. 2017, doi:10.1109/TPWRD.2016.2628777.
[32] T. S. Ustun, R. H. Khan, "Multiterminal Hybrid Protection of Microgrids over Wireless Communications Network", *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 6, no. 5, pp. 2493–2500, Sep. 2015, doi:10.1109/TSG.2015.2406886.
[33] A. K. Srivastava, A. A. Kumar, N. N. Schulz, "Impact of Distributed Generations With Energy Storage Devices on the Electric Grid", *IEEE Systems Journal*, vol. 6, no. 1, pp. 110–117, Mar. 2012, doi:10.1109/JSYST.2011.2163013.
[34] S. K. G. Manikonda, D. N. Gaonkar, "Comprehensive review of IDMs in DG systems", *IET Smart Grid*, vol. 2, no. 1, pp. 11–24, Mar. 2019, doi:10.1049/iet-stg.2018.0096.
[35] A. Vinayagam, A. A. Alqumsan, K. S. V. Swarna, S. Y. Khoo, A. Stojcevski, "Intelligent control strategy in the islanded network of a solar PV microgrid", *Electric Power Systems Research*, vol. 155, pp. 93–103, Feb. 2018, doi:10.1016/J.EPSR.2017.10.006.
[36] M. M. Shabestary, Y. A.-R. I. Mohamed, "Asymmetrical Ride-Through and Grid Support in Converter-Interfaced DG Units Under Unbalanced Conditions", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 66, no. 2, pp. 1130–1141, Feb. 2019, doi:10.1109/TIE.2018.2835371.
[37] H. Yazdanpanahi, W. Xu, Y. W. Li, "A novel fault current control scheme to reduce synchronous DG's impact on protection coordination", *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 29, no. 2, pp. 542–551, 2014, doi:10.1109/TPWRD.2013.2276948.
[38] H. Yazdanpanahi, Y. W. Li, W. Xu, "A new control strategy to mitigate the impact of inverter-based DGs on protection system", *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 3, no. 3, pp. 1427–1436, Sep. 2012, doi:10.1109/TSG.2012.2184309.
[39] M. M. Salem, N. I. Elkalashy, Y. Atia, T. A. Kawady, "Modified Inverter Control of Distributed Generation for Enhanced Relaying Coordination in Distribution Networks", *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 32, no. 1, pp. 78–87, Feb. 2017, doi:10.1109/TPWRD.2016.2555791.
[40] F. B. B. Rolim, F. C. L. Trindade, M. J. Rider, "Adaptive Protection Methodology for Modern Electric Power Distribution Systems", *Journal of Control, Automation and Electrical Systems* 2021 32:5, vol. 32, no. 5, pp. 1377–1388, Aug. 2021, doi:10.1007/S40313-021-00774-1.
[41] G. G. Santos, T. S. Menezes, P. H. A. Barra, J. C. M. Vieira, "An efficient fault diagnostic approach

for active distribution networks considering adaptive detection thresholds", *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 136, p. 107663, Mar. 2022, doi:10.1016/J.IJEPES.2021.107663.

[42] M. Khederzadeh, "Adaptive setting of protective relays in microgrids in grid-connected and autonomous operation", in *11th IET International Conference on Developments in Power Systems Protection DPSP 2012)*, 2012, pp. P14–P14, doi:10.1049/cp.2012.0076.

[43] F. Coffele, C. Booth, A. Dyśko, "An Adaptive Overcurrent Protection Scheme for Distribution Networks", *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 30, no. 2, 2015, doi:10.1109/TPWRD.2013.2294879.

[44] A. E. C. Momesso, W. M. S. Bernardes, E. N. Asada, "Fuzzy adaptive setting for time-current-voltage based overcurrent relays in distribution systems", *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 108, pp. 135–144, Jun. 2019, doi:10.1016/J.IJEPES.2018.12.035.

[45] V. A. Papaspiliotopoulos, G. N. Korres, V. A. Kleftakis, N. D. Hatziargyriou, "Hardware-In-the-Loop Design and Optimal Setting of Adaptive Protection Schemes for Distribution Systems With Distributed Generation", *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 32, no. 1, pp. 393–400, Feb. 2017, doi:10.1109/TPWRD.2015.2509784.

[46] N. El Naily, S. M. Saad, T. Hussein, K. El-Arroudi, F. A. Mohamed, "On-line adaptive protection scheme to overcome operational variability of DG in smart grid via fuzzy logic and genetic algorithm", in *2018 9th International Renewable Energy Congress, IREC 2018*, 2018, pp. 1–6, doi:10.1109/IREC.2018.8362498.

[47] E. C. Piesciorovsky, N. N. Schulz, "Fuse relay adaptive overcurrent protection scheme for microgrid with distributed generators", *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 11, no. 2, pp. 540–549, Jan. 2017, doi:10.1049/iet-gtd.2016.1144.

[48] M. Y. Shih, A. Conde, Z. Leonowicz, L. Martirano, "An Adaptive Overcurrent Coordination Scheme to Improve Relay Sensitivity and Overcome Drawbacks due to Distributed Generation in Smart Grids", *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 53, no. 6, pp. 5217–5228, Nov. 2017, doi:10.1109/TIA.2017.2717880.

[49] H. Bisheh, B. Fani, G. Shahgholian, I. Sadeghkhani, J. M. Guerrero, "An adaptive fuse-saving protection scheme for active distribution networks", *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 144, p. 108625, Jan. 2023, doi:10.1016/j.ijepes.2022.108625.

[50] S. M. Brahma, A. A. Girgis, "Development of Adaptive Protection Scheme for Distribution Systems with High Penetration of Distributed Generation", *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 19, no. 1, pp. 56–63, Jan. 2004, doi:10.1109/TPWRD.2003.820204.

[51] S. Shen *et al.*, "An Adaptive Protection Scheme for Distribution Systems with DGs Based on Optimized Thevenin Equivalent Parameters Estimation", *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 32, no. 1, pp. 411–419, 2017, doi:10.1109/TPWRD.2015.2506155.

[52] B. Fani, H. Bisheh, A. Karami-Horestani, "An offline penetration-free protection scheme for PV-dominated distribution systems", *Electric Power Systems Research*, vol. 157, pp. 1–9, Apr. 2018, doi:10.1016/j.epsr.2017.11.020.

[53] A. Abbasi, H. K. Karegar, T. S. Aghdam, "Optimal Adaptive Protection Using Setting Groups Allocation Based on Impedance Matrix", in *2020 14th International Conference on Protection and Automation of Power Systems, IPAPS 2020*, 2019, pp. 77–82, doi:10.1109/IPAPS49326.2019.9069377.

[54] M. Yousaf, A. Jalilian, K. M. Muttaqi, D. Sutanto, "An Adaptive Overcurrent Protection Scheme for Dual-Setting Directional Recloser and Fuse Coordination in Unbalanced Distribution Networks with Distributed Generation", *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 58, no. 2, pp. 1831–1842, 2022, doi:10.1109/TIA.2022.3146095.

[55] B. Chattopadhyay, M. S. Sachdev, T. S. Sidhu, "An on -line relay coordination algorithm for adaptive protection using linear programming technique", *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 11, no. 1, pp. 165–171, 1996, doi:10.1109/61.484013.

[56] K. A. Wheeler, M. Elsamahy, S. O. Faried, "A Novel Reclosing Scheme for Mitigation of Distributed Generation Effects on Overcurrent Protection", *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 33, no. 2, pp. 981–991, Apr. 2018, doi:10.1109/TPWRD.2017.2743693.

[57] Z. Liu, H. K. Hoidalen, M. M. Saha, "An intelligent coordinated protection and control strategy for distribution network with wind generation integration", *CSEE Journal of Power and Energy Systems*,

vol. 2, no. 4, pp. 23–30, Dec. 2016, doi:10.17775/CSEEJPES.2016.00045.
[58] C. Cepeda *et al.*, "Intelligent fault detection system for microgrids", *Energies*, vol. 13, no. 5, Mar. 2020, doi:10.3390/en13051223.
[59] S. Manaffam, M. Talebi, A. K. Jain, A. Behal, "Intelligent Pinning Based Cooperative Secondary Control of Distributed Generators for Microgrid in Islanding Operation Mode", *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 33, no. 2, pp. 1364–1373, Mar. 2018, doi:10.1109/TPWRS.2017.2732958.
[60] S. B. A. Bukhari, C. H. Kim, K. K. Mehmood, R. Haider, M. S. U. Zaman, "Convolutional neural network-based intelligent protection strategy for microgrids", *IET Generation, Transmission and Distribution*, vol. 14, no. 7, pp. 1177–1185, Apr. 2020, doi:10.1049/iet-gtd.2018.7049.
[61] M. S. Elbana, N. Abbasy, A. Meghed, N. Shaker, "µPMU-based smart adaptive protection scheme for microgrids", *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, vol. 7, no. 4, pp. 887–898, Jul. 2019, doi:10.1007/S40565-019-0533-6.
[62] I. ALI, suhail hussain, "Communication Design for Energy Management Automation in Microgrid", *IEEE Transactions on Smart Grid*, pp. 1–1, 2016, doi:10.1109/TSG.2016.2606131.
[63] V. C. Nikolaidis, E. Papanikolaou, A. S. Safigianni, "A Communication-Assisted Overcurrent Protection Scheme for Radial Distribution Systems With Distributed Generation", *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 7, no. 1, pp. 114–123, Jan. 2016, doi:10.1109/TSG.2015.2411216.
[64] H. M. Sharaf, H. H. Zeineldin, E. El-Saadany, "Protection Coordination for Microgrids With Grid-Connected and Islanded Capabilities Using Communication Assisted Dual Setting Directional Overcurrent Relays", *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 9, no. 1, pp. 143–151, Jan. 2018, doi:10.1109/TSG.2016.2546961.
[65] M. H. Cintuglu, T. Ma, O. A. Mohammed, "Protection of Autonomous Microgrids Using Agent-Based Distributed Communication", *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 32, no. 1, pp. 351–360, Feb. 2017, doi:10.1109/TPWRD.2016.2551368.
[66] H. Leon, C. Montez, M. Stemmer, F. Vasques, "Simulation models for IEC 61850 communication in electrical substations using GOOSE and SMV time-critical messages", *IEEE International Workshop on Factory Communication Systems - Proceedings*, WFCS, vol. 2016-June, Jun. 2016, doi:10.1109/WFCS.2016.7496500.
[67] E. Sortomme, S. S. Venkata, J. Mitra, "Microgrid protection using communication-assisted digital relays", *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 25, no. 4, pp. 2789–2796, Oct. 2010, doi:10.1109/TPWRD.2009.2035810.
[68] H. Bisheh, B. Fani, "Local penetration-free control approach against numerous changes in PV generation level in MAS-based protection schemes", *IET Renewable Power Generation*, vol. 13, no. 7, pp. 1197–1204, 2019, doi:10.1049/iet-rpg.2018.6083.
[69] Z. Liu, C. Su, H. K. Hoidalen, Z. Chen, "A Multiagent System-Based Protection and Control Scheme for Distribution System with Distributed-Generation Integration", *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 32, no. 1, pp. 536–545, Feb. 2017, doi:10.1109/TPWRD.2016.2585579.
[70] M. S. Rahman, N. Isherwood, A. M. T. Oo, "Multi-agent based coordinated protection systems for distribution feeder fault diagnosis and reconfiguration", *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 97, pp. 106–119, Apr. 2018, doi:10.1016/j.ijepes.2017.10.031.
[71] M. Yadav, N. Pal, D. K. Saini, "Microgrid Control, Storage, and Communication Strategies to Enhance Resiliency for Survival of Critical Load", *IEEE Access*, vol. 8, pp. 169047–169069, Sep. 2020, doi:10.1109/access.2020.3023087.
[72] H. F. Habib, C. R. Lashway, O. A. Mohammed, "A Review of Communication Failure Impacts on Adaptive Microgrid Protection Schemes and the Use of Energy Storage as a Contingency", *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2018, vol. 54, no. 2, doi:10.1109/TIA.2017.2776858.
[73] D. Gutierrez-Rojas, P. H. J. Nardelli, G. Mendes, P. Popovski, "Review of the State-of-the-Art on Adaptive Protection for Microgrids based on Communications", *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, pp. 1–1, Jul. 2020, doi:10.1109/tii.2020.3006845.
[74] Y. Han, H. Li, P. Shen, E. A. A. Coelho, J. M. Guerrero, "Review of Active and Reactive Power Sharing Strategies in Hierarchical Controlled Microgrids", *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 32, no. 3, pp. 2427–2451, Mar. 2017, doi:10.1109/TPEL.2016.2569597.
[75] A. Srivastava, S. K. Parida, "Adaptive Protection Strategy in a Microgrid Under Disparate Operating Modes", *Electric Power Components and Systems*, 2020, doi:10.1080/15325008.2020.1821834.
[76] I. H. Lim, T. S. Sidhu, "Design of a backup ied for iec 61850-based substation", *IEEE Transactions on*

Power Delivery, vol. 28, no. 4, pp. 2048–2055, 2013, doi:10.1109/TPWRD.2013.2258686.
[77] T. Samad, E. Koch, P. Stluka, "Automated Demand Response for Smart Buildings and Microgrids: The State of the Practice and Research Challenges", *Proceedings of the IEEE*, vol. 104, no. 4, pp. 726–744, Apr. 2016, doi:10.1109/JPROC.2016.2520639.
[78] Y. Duan, L. Luo, Y. Li, Y. Cao, C. Rehtanz, M. Küch, "Co-simulation of distributed control system based on JADE for smart distribution networks with distributed generations", *IET Generation, Transmission and Distribution*, vol. 11, no. 12, pp. 3097–3105, Aug. 2017, doi:10.1049/iet-gtd.2016.1382.
[79] Y. Seyedi, H. Karimi, "Coordinated protection and control based on synchrophasor data processing in smart distribution networks", *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 33, no. 1, pp. 634–645, Jan. 2018, doi:10.1109/TPWRS.2017.2708662.
[80] T. S. Aghdam, H. Kazemi Karegar, H. H. Zeineldin, "Transient Stability Constrained Protection Coordination for Distribution Systems With DG", *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 9, no. 6, pp. 5733–5741, Nov. 2018, doi:10.1109/TSG.2017.2695378.
[81] S. Shen *et al.*, "Regional Area Protection Scheme for Modern Distribution System", *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 10, no. 5, pp. 5416–5426, Sep. 2018, doi:10.1109/TSG.2018.2882141.
[82] P. T. Manditereza, R. Bansal, "Renewable distributed generation: The hidden challenges - A review from the protection perspective", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 58. 2016, doi:10.1016/j.rser.2015.12.276.

زیرنویس‌ها

[1] Distribution Network
[2] Distributed Generation (DG)
[3] Over Current Relay (OCR)
[4] Inverse Time Curve
[5] Fuse
[6] Protection Zone
[7] Protection Device (PD)
[8] Main Protection Device (MPD)
[9] Backup Protection Device (BPD)
[10] Coordination Time Interval (CTI)
[11] Time Multiply Setting (TMS)
[12] Pickup Current
[13] Over Load (OL)
[14] Fault Current Limiter (FCL)
[15] Superconducting FCL (SFCL)
[16] Photovoltaic (PV)
[17] Adaptive
[18] Smart Methods
[19] Microgrid
[20] Micro Phasor Measurement Unit (μPMU)
[21] Communication path
[22] Intelligent Electronic Devices (IED)
[23] Multiagent System (MAS)
[24] Agents
[25] Selectivity