

Providing a protection method to support distributed generation against transient voltage instability

Milad Taheri^{1,4}, Ghazanfar Shahgholian^{2,4}, Bahador Fani^{3,4}

1- M.Sc., Department of Electrical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran, milad.taheriieee@gmail.com

2- Associate Professor, Department of Electrical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran, bahadorfani@gmail.com

3- Associate Professor, Department of Electrical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran, (Corresponding author) shahgholian@iaun.ac.ir

4- Smart Microgrid Research Center, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

Abstract:

The analysis of transient stability in electric power systems and the penetration coefficient of scattered productions play important roles in the regulation of protective equipment, so these parameters should be considered two main factors in the electrical protection of power networks. Overcurrent relays are used as one of the simplest and most effective solutions for power system protection. The overcurrent relay has two main variables: time setting factor (TMS) and plug setting (PS). The relay operation time is a function of TMS, PS, and the current seen by the relay. This paper analyzes the transient stability of a distribution network including distributed generation to determine the protective regulation of overcurrent relays. First, the transient stability of scattered products is studied for different fault locations and their different penetration coefficients. Then, the limitations of distributed generation resources are considered in the protection coordination of overcurrent relays. Therefore, a new method is proposed to calculate the modified value of the time adjustment coefficient of the overcurrent relay. In other words, not only the protection limits but also the transient stability limits are considered in the calculation of the time adjustment factor. In fact, by applying the proposed method, not only is the coordination between overcurrent relays maintained but the instability of distributed generation sources is also prevented. The performance of the proposed protection plan is evaluated with the help of simulation in an IEEE 33-bus distribution system using ETAP software. The results show the correct performance of the proposed method for the worst error conditions. It should be noted that to carry out conservation and stability studies, the following steps are performed in order, which ultimately leads to the creation of a conservation-stability algorithm: (A) protection studies in the condition of disconnection of DG resources, (B) transient stability studies in the conditions of connection of scattered production sources, including obtaining the minimum stability time for each of the scattered production, and (C) investigating the simultaneous establishment of CTI and CCT. In this situation, two situations are possible: the simultaneous establishment of CTI and CCT, the establishment of CTI restrictions, and the non-establishment of CCT. The value of CCT for each DG is equal to the time when the speed of the DG or the power angle of its generator becomes zero. As can be seen, in the first, second, fourth, and fifth scenarios, the CCT condition of the distributed generation source is not established, and it is necessary to modify the TDS value of the main relay.

Keywords: transient stability, distributed generation, overcurrent relay, relay coordination

Submit date: 2022/07/01

Accepted date: 2022/12/03

Corresponding author's Name: Ghazanfar Shahgholian

Corresponding author's address: Najafabad, Najafabad Branch, Islamic Azad University

ارائه یک روش حفاظتی برای پشتیبانی از تولیدات پراکنده در مقابل ناپایداری ولتاژ گذرا

نوع مطالعه: پژوهشی

میلاد طاهری^{۱،۲}، دانش آموخته کارشناسی ارشد، غضنفر شاهقلیان^{۱،۲}، دانشیار، بهادر فانی^{۱،۲}، دانشیار

۱- مرکز تحقیقات ریز شبکه‌های هوشمند، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

۲- دانشکده مهندسی برق، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

shahgholian@iaun.ac.ir, milad.taheriieee@gmail.com, bahadorfani@gmail.com

چکیده: تجزیه و تحلیل پایداری گذرا در محدودیت‌های سیستم‌های قدرت الکتریکی و ضریب نفوذ تولیدات پراکنده در محدودیت‌های تنظیم تجهیزات حفاظتی نقش مهمی دارند و لذا این پارامترها به عنوان دو فاکتور اصلی در حفاظت الکتریکی از شبکه قدرت باید در نظر گرفته شوند. در این مقاله تجزیه و تحلیل پایداری گذرا یک شبکه توزیع شامل تولیدات پراکنده برای تعیین تنظیم حفاظتی رله‌های اضافه جریان انجام می‌شود. ابتدا پایداری گذرای تولیدات پراکنده به ازای مکان‌های مختلف خطا و ضریب نفوذ متفاوت آنها مورد مطالعه قرار می‌گیرد. سپس، محدودیت‌های منابع تولید پراکنده در هماهنگی حفاظتی رله‌های اضافه جریان در نظر گرفته می‌شود. لذا یک روش جدید برای محاسبه مقدار اصلاح شده ضریب تنظیم زمانی رله اضافه جریان پیشنهاد می‌گردد. به عبارت دیگر در محاسبه ضریب تنظیم زمانی نه تنها قیود حفاظتی، بلکه محدودیت‌های پایداری گذرا نیز لحاظ گردیده است. مقدار در حقیقت با اعمال روش پیشنهادی نه تنها هماهنگی بین رله‌های اضافه جریان حفظ می‌شود، بلکه از ناپایداری شدن منابع تولید پراکنده نیز جلوگیری می‌گردد. عملکرد طرح حفاظت پیشنهادی به کمک شبیه‌سازی در سیستم توزیع ۳۳ باسه IEEE توسط نرم‌افزار ETAP مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج ارائه شده بیانگر صحت عملکرد روش پیشنهادی به ازای بدترین شرایط خطا است.

واژه‌های کلیدی: پایداری گذرا، تولید پراکنده، رله اضافه جریان، هماهنگی رله

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۱/۰۴/۱۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۹/۱۲

نام نویسنده‌ی مسئول: غضنفر شاهقلیان

نشانی نویسنده‌ی مسئول: اصفهان- نجف‌آباد- دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد- دانشکده مهندسی برق

۱- مقدمه

منابع انرژی پراکنده^۱ در شبکه توزیع نزدیک بار متصل هستند و در صورت انتخاب بهینه اندازه و موقعیت نصب آنها، باعث کاهش تلفات شبکه انتقال شده و توانایی کاهش یا به تعویق انداختن نیاز به سرمایه گذاری در زیر ساخت انتقال و توزیع را دارند. اکثر منابع انرژی پراکنده از منابع تجدیدپذیر برای پایدار شدن توان الکتریکی بهره مند می شوند. منابع انرژی پراکنده نقش بسیار مهمی در شبکه های قدرت دارند و باعث کاهش تلفات انرژی الکتریکی و بهبود قابلیت اطمینان و بهبود پایداری سیستم می شوند (صابری و همکاران، ۱۳۹۹، فیاضی و همکاران، ۱۴۰۲). تنظیم عملکرد رله های حفاظتی و ارزیابی آنها در هنگام وقوع خطا در سیستم قدرت دارای اهمیت است. عملکرد نادرست رله های حفاظتی پس از یک رویداد خطای اتصالات کوتاه، ممکن است قابلیت اطمینان سیستم قدرت را تهدید کند (Perez and Urdaneta, 2001, Moradi and et. al., 2014).

رفتار سیستم های قدرت در شرایط اضطراری عمدتاً تحت تأثیر دینامیک ژنراتورها و رفتار سیستم حفاظتی است (صباحی و حامدی، ۱۴۰۱، طاهری و همکاران، ۱۳۹۸). پس از یک رویداد مهم، رفتار سیستم قدرت بسیار وابسته به رفتار طرح حفاظتی و دینامیک سیستم است که توسط پارامترهای ژنراتور ها، بار ها و تجهیزات کنترلی اداره می شود (Perez and et. al., 1994, Abdi-Khorsand and Vittal, 2017).

حفاظت از شبکه های توزیع یکی از مهم ترین موارد در سیستم های قدرت است. رله های اضافه جریان یکی از رله های محافظتی است که بیشتر در این سیستم ها استفاده می شود. برای این نوع رله ها دو نوع تنظیم و وجود دارد: تنظیمات جریانی و تنظیمات زمانی. تنظیم مناسب رله نقش مهمی در کاهش خرابی های ناشی از خطاهای سیستم های قدرت دارد (Fani and et. al., 2018, Hashemi-Zadeh and et. al., 2012). تاکنون مطالعات مختلفی حفاظت پایداری منابع تولید پراکنده در سیستم های قدرت ارائه شده است.

با توجه به اینکه رله های جریان زیاد معمول به تنهایی نمی توانند محدودیت های حفاظتی و پایداری گذرا را برآورده کنند، سلیمانی و همکاران پیشنهاد استفاده از رله جریان زیاد با دو مشخصه را ارائه نموده اند که با افزایش جریان خطا مشخصه کمی جایگزین مشخصه اصلی رله می گردد (Soleymani-Aghdam and et. al., 2018). هی و همکاران یک محدودکننده جریان خطای ابرسانا از نوع جفت شار^۲ (SFCL) را برای بهبود قابلیت الزامات عبور خطا تولید پراکنده پیشنهاد کرده اند و هماهنگی حفاظت رله را در ریز شبکه بررسی می کنند. همچنین حفاظت جریان اضافه جهت و حفاظت دیفرانسیل به ترتیب برای دو وضعیت اتصال و جزیره ای ریز شبکه پیشنهاد شده است (He

and et. al., 2016). کو مار و وهاب یک روش برای تنظیم رله های جریان اضافی و رله های ارت فالت در سیستم، سیستم توزیع شامل نسل جدید تولید تجدیدپذیر و ریز شبکه ها با استفاده از مشخصه های مدرن رله عددی ارائه کرده اند که این روش در صورت تغییر شدید جریان خطا بر اساس توپولوژی و پیکربندی شبکه، به درستی عمل می نماید (Kumar and Vahab, 2016).

لازم به ذکر است که روش های ارائه شده در این مراجع برای سیستم توزیع با ساختار مش مناسب نیست (Yazdanejadi and et. al., 2018) و از لینک های ارتباطی برای مقابله با چالش ذکر شده استفاده می کنند. با این حال، فقدان راه حل های حفاظتی غیر مبتنی بر ارتباط جهت برآورده کردن قیود مرتبط با پایداری گذرا در سیستم های توزیع مش می تواند اتصال تولیدات پراکنده را محدود کند.

در این مقاله پایداری گذرای یک شبکه توزیع شامل منابع تولید پراکنده برای هماهنگی رله های حفاظتی اضافه جریان بررسی می شود. برای این منظور با در نظر گرفتن خطاهایی در مکان های مختلف سیستم قدرت، پایداری گذرای ژنراتورهای تولید پراکنده مورد مطالعه قرار می گیرد. سپس محدودیت های ژنراتور ها در تنظیمات رله های اضافه جریان در نظر گرفته می شوند. قابل ذکر است که مطالعه مورد نظر بر روی سیستم تست استاندارد ۳۳ باس IEEE انجام شده است که شامل چهار ژنراتور با ضریب نفوذهای متفاوت است و شبیه سازی در نرم افزار ETAP انجام شده است.

ساختار مقاله در ادامه به این شرح است. روش پیشنهادی در بخش دوم بیان شده است. در بخش سوم شبکه تست مورد مطالعه معرفی شده است. نتایج شبیه سازی در بخش چهارم و در نهایت بخش پنجم به نتیجه گیری اختصاص داده شده است.

۲- روش پیشنهادی

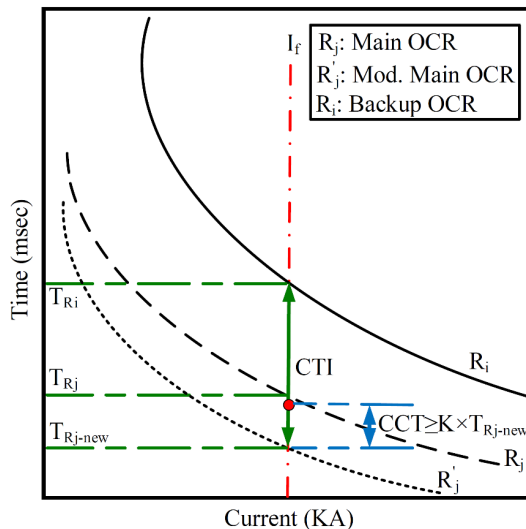
رله های اضافه جریان به عنوان یکی از ساده ترین و مؤثرترین راه حل ها برای حفاظت از سیستم قدرت استفاده می شوند. رله اضافه جریان دارای دو متغیر اصلی ضریب تنظیم زمانی^۳ (TMS) و پلاگ ستینگ^۴ (PS) است. زمان عملکرد رله تابعی از TMS، PS و جریانی است که توسط رله دیده می شود.

حد PS براساس حداکثر جریان فیدر و حداقل جریان خطای فیدر که توسط رله مشاهده می شود و تنظیمات رله موجود انتخاب می شود. محدودیت های TMS براساس مشخصه های جریان-زمان رله موجود است. بنابراین تنظیمات رله به صورت زیر در نظر گرفته می شوند:

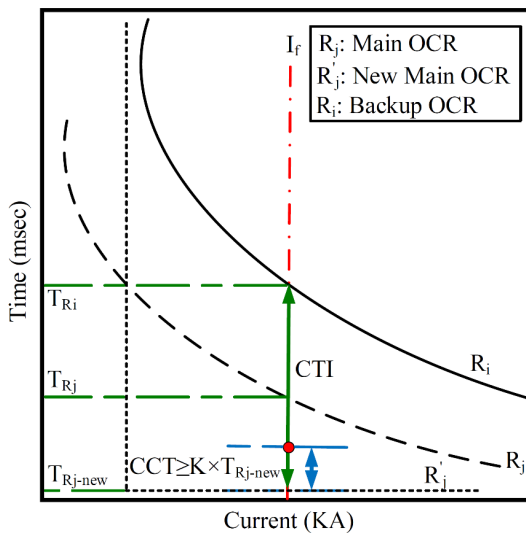
$$PS_{i \min} \leq PS_i \leq PS_{i \max} \quad (1)$$

$$TMS_{i \min} \leq TMS_i \leq TMS_{i \max} \quad (2)$$

بزرگتر بودن زمان بحرانی رفع خطا (حداکثر زمان تحمل خطا توسط منبع تولید پراکنده) در مقایسه با زمان عملکرد رله های حفاظتی



شکل (۲): اصلاح منحنی R_j اصلی جهت برقراری شرط پایداری تولیدات پراکنده



شکل (۳): تغییر منحنی R_j اصلی جهت برقراری شرط پایداری تولیدات پراکنده

لازم به ذکر است در این حالت مقدار CCT باید در محدوده بیان شده در رابطه (۴) قرار داشته باشد (توانیر، ۱۳۹۲). در این رابطه $(T_{Clear-Max-R_j})$ حداکثر زمان عملکرد رله اصلی و $(T_{Clear-R_i})$ زمان عملکرد رله پشتیبان است.

$$K \times T_{Clear-Max-R_j} \leq CCT_{Min} < T_{Clear-R_i} \quad (4)$$

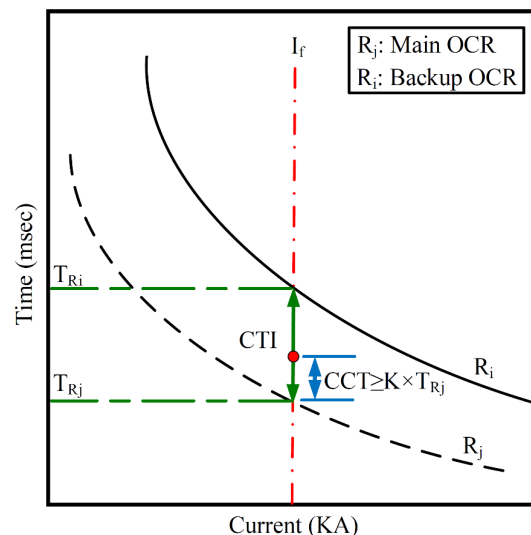
اما چنانچه قیود بیان شده در دو رابطه فوق برقرار نشود، باید یکی از راهکارهای پیشنهادی زیر اجرا شود. قابل ذکر است که روش اول در این مقاله اجرا شده است.

(۱) زمان عملکرد رله‌ها به صورتی تنظیم مجدد شوند که شرایط فوق برقرار شود. مطابق شکل (۲) برای این منظور زمان جدید عملکرد رله اضافه جریان اصلی اصلاح شده باید به کمک رابطه زیر محاسبه گردد (استاندارد IEC 60255).

موجود در شبکه به عنوان قید و فاکتور اصلی برای اتصال یک منبع تولید پراکنده جدید به شبکه مطرح است. از طرف دیگر کوچکترین زمان بحرانی تحمل خطا (CCT_{Min}) برای تولید پراکنده باید حداقل K برابر بیشترین زمان عملکرد رله‌های شبکه ($T_{Clear-Max}$) باشد. لازم به ذکر است که مقدار K به عنوان یک فاکتور حاشیه اطمینان بنا به نوع تولید پراکنده، توپولوژی شبکه، محل اتصال تولید پراکنده به شبکه، ضریب نفوذ تولید پراکنده و ... قابل تنظیم است. بنابراین به ازای یک طرح اتصال تولید پراکنده، برای یک تولید پراکنده معین، پس از محاسبه کوچکترین زمان بحرانی تحمل خطا، مطابق رابطه (۳) می‌توان بررسی نمود که آیا CCT تولید پراکنده از K برابر بزرگترین زمان عملکرد رله حفاظتی موجود در شبکه بزرگتر است یا خیر (توانیر، ۱۳۹۲).

$$CCT_{Min} \geq K \times T_{Clear-Max} \quad (3)$$

مطابق شکل (۱) چنانچه شرط بیان شده در رابطه (۳) برقرار باشد، الزام دینامیکی پایداری گذرا برای طرح اتصال منابع تولید پراکنده برقرار است.



شکل (۱): برقراری محدودیت‌های CTI و CCT بین رله‌های اضافه جریان

ب- مطالعات پایداری گذرا در شرایط اتصال منابع تولید پراکنده شامل به دست آوردن حداقل زمان پایداری (CCT_{min}) برای هر یک از تولید پراکنده‌ها

ج- بررسی برقراری همزمان CTI و CCT: در این شرایط احتمال وقوع دو حالت زیر است:

- برقراری همزمان CTI و CCT: در این شرایط نیاز به اصلاح تنظیمات حفاظتی نیست. به بیان دیگر در این شرایط به ازای وقوع خطا در پایین دست رله اصلی، نه تنها CTI بین دو رله اصلی و پشتیبان برقرار است و با یکدیگر هماهنگ هستند، بلکه قبل از وقوع ناپایداری DG بین دو رله اصلی و پشتیبان خطا برطرف می‌گردد.

- برقراری محدودیت CTI و عدم برقراری CCT: مطابق طرح پیشنهادی در این مقاله، در این شرایط به منظور حفظ پایداری گذرای منابع DG، باید زمان عملکرد رله اضافه جریان اصلی اصلاح گردد. برای این منظور در مرحله اول با کاهش مقدار TDS رله اضافه جریان اصلی به کمک روابط (۴) و (۵) سعی می‌گردد تا منحنی زمان معکوس رله اضافه جریان اصلی به سمت پایین شیف‌ت داده شود تا هر دو شرط CTI و CCT برقرار گردد. لازم به ذکر است مقدار K برابر ۱/۵ در نظر گرفته شده است. همچنین حداقل مقدار TDS بر روی مقدار ۰/۱ قابل تنظیم است.

$$T_{R_j-new} = \frac{\alpha \times TMS_{new}}{\left(\frac{I_f}{PS}\right)^\beta - \gamma} \quad (5)$$

که در آن:

$$TMS_{new} = \frac{\frac{CCT_{Min}}{K} \times \left[\left(\frac{I_f}{PS}\right)^\beta - \gamma\right]}{\alpha} \quad (6)$$

I_f جریان خطای دیده شده توسط تجهیز اضافه جریان، ضرایب α ، β و γ طبق (استاندارد IEC 60255) براساس نوع منحنی مورد استفاده تجهیز اضافه جریان مشخص می‌گردد

در صورتی که با اصلاح مقدار TMS، همچنان شرط بیان شده برای CCT تولید پراکنده برقرار نگردد، مطابق شکل (۳) منحنی زمان معکوس رله اصلی باید به نوع زمان ثابت تغییر کند تا نه تنها به ازای وقوع خطا در ناحیه تحت حفاظتش در کمترین زمان ممکن عمل نماید، بلکه شرط قید شده فوق نیز ارضاء گردد.

۲) طرح اتصال تولید پراکنده به گونه‌ای اصلاح شود که زمان بحرانی تحمل خطا بزرگ شده و شرط بیان شده برای CCT تولید پراکنده را ارضاء نماید.

۳) در صورتی که به کمک راه کارهای ارائه شده در رابطه‌های (۱) و (۲) امکان برقراری پایداری گذرا برای طرح اتصال منابع تولید پراکنده وجود نداشته باشد و اتصال تولید پراکنده به شبکه ضروری باشد، در این صورت تولید پراکنده باید حتماً به رله حفاظتی خروج از سنکرون مجهز گردد. توصیه می‌گردد برای افزایش امنیت و پایداری تولید پراکنده و شبکه، تمامی تولید پراکنده به رله‌های حفاظتی خروج از سنکرون مجهز گردند تا در صورتی که تولید پراکنده به دلیل شرایط، عوامل و اختلالات ناشناخته‌ای ناپایدار گردید و از سنکرون خارج شد رله مانع از آسیب جدی به تولید پراکنده گردد.

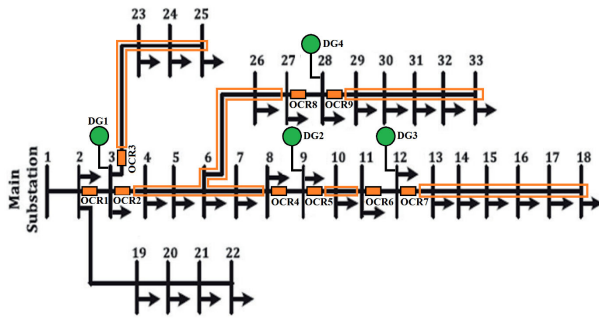
لازم به ذکر است که برای انجام مطالعات حفاظتی و پایداری در این مقاله به کمک شبیه‌سازی در نرم‌افزار ETAP به ترتیب مراحل زیر انجام می‌شود که در نهایت منجر به ایجاد یک الگوریتم حفاظتی-پایداری مطابق شکل (۴) شده است:

الف- مطالعات حفاظتی در شرایط عدم اتصال منابع DG شامل:

- انجام مطالعات پخش بار شبکه به منظور محاسبه جریان نامی عبوری از تمامی قسمت‌های شبکه و به طور ویژه از رله‌های اضافه جریان

- انجام مطالعات اتصال کوتاه به منظور بررسی جریان خطای عبوری از رله‌ها به ازای بدترین شرایط خطا

- انتخاب زوج رله‌های اضافه جریان اصلی و پشتیبان و انجام مطالعات هماهنگی حفاظتی به منظور برقراری CTI بین هر زوج رله اضافه جریان



شکل (۵): شمای تک خطی حفاظتی شبکه مورد مطالعه

جدول ۱: سناریوهای مورد مطالعه روی شبکه مورد مطالعه

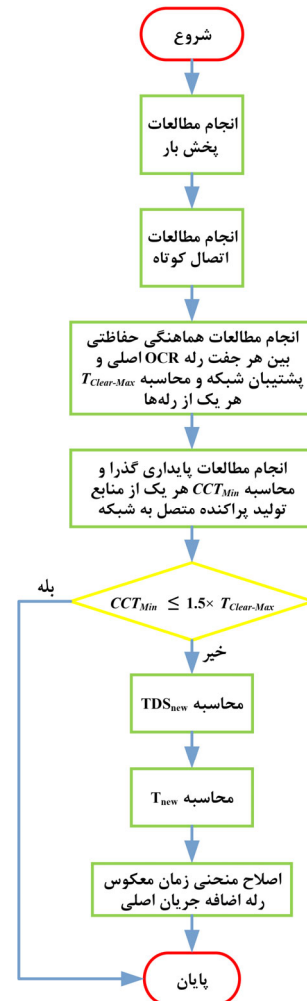
سناریو	حفاظت رله اضافه جریان پشتیبان	حفاظت رله اضافه جریان اصلی
۱	OCR1	OCR2
۲	OCR1	OCR3
۳	OCR4	OCR5
۴	OCR6	OCR7
۵	OCR8	OCR9

۴- نتایج شبیه‌سازی

برای بررسی پنج سناریو مطرح شده در قسمت قبل به کمک الگوریتم پیشنهادی، شبیه‌سازی‌های پخش بار، اتصال کوتاه، هماهنگی حفاظتی و پایداری در محیط نرم‌افزار ETAP انجام شده است. لازم به ذکر است نسبت تنظیم تبدیل ترانسفورماتورهای جریان ۵۰۰/۱ و نوع منحنی معکوس نرمال است. همچنین مقادیر TMS و PS به ترتیب ۰/۱ و ۱/۲ است. با انجام تنظیمات حالت نوعی و سپس بررسی مقدار CTI و در صورت نیاز مقدار TDS رله‌های اضافه جریان پشتیبان اصلاح می‌گردد (افزایش می‌یابد) تا در حضور تولیدات پراکنده، مقدار CTI برقرار گردد. لازم به ذکر است حداکثر زمان رفع خطا از سیستم ۱۰۰۰ میلی‌ثانیه در نظر گرفته شده است.

نتایج حاصل از شبیه‌سازی هماهنگی حفاظتی جهت برقراری CTI بین OCRها در ۵ سناریوی تعریف شده برای سناریو اول به ازای خطا در باس ۲۷ و باس ۸ به ترتیب در شکل‌های (۶) و (۷)، برای سناریو دوم به ازای خطا در باس ۲۵ در شکل (۸)، برای سناریو سوم به ازای خطا در باس ۱۱ در شکل (۹)، برای سناریو چهارم به ازای خطا در باس ۱۸ در شکل (۱۰) و برای سناریو پنجم به ازای خطا در باس ۳۳ در شکل (۱۱) نشان داده شده است. همچنین به طور خلاصه در جدول (۲) نتایج فوق جمع‌بندی شده است.

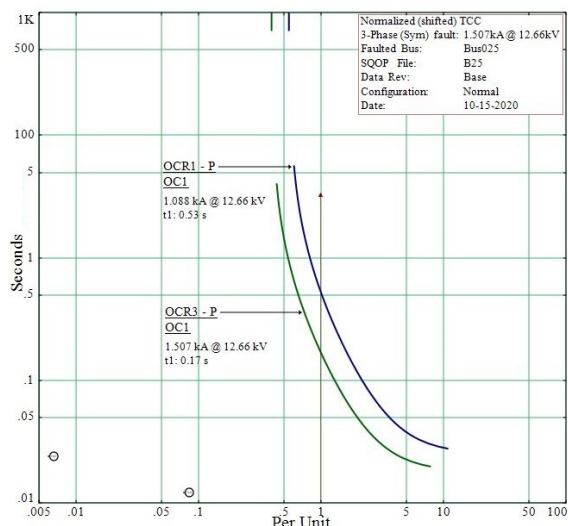
همانطور که دیده می‌شود، در سناریوهای اول، دوم، سوم و پنجم برای برقراری CTI برابر و بزرگتر از ۳۵۰ میلی‌ثانیه، مقدار TDS جدید محاسبه شده برای رله‌های پشتیبان افزایش یافته است. اما در سناریوی چهارم به دلیل جریان خطای پایین، حتی با کاهش مقدار TDS رله‌ها به کمترین مقدار قابل تنظیم یعنی ۰/۱ نیز، رله‌ها قادر به تشخیص خطا نیستند. بنابراین برای برطرف کردن این مورد علاوه بر



شکل (۴): فلوچارت روش پیشنهادی

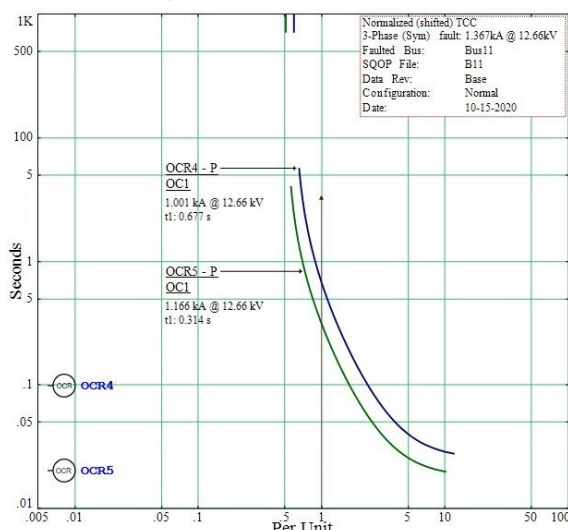
۳- سیستم مورد مطالعه

شبکه مورد مطالعه در این مقاله برای بررسی صحت عملکرد روش پیشنهادی، شبکه ۳۳ باس IEEE است. شبکه تست مذکور یک شبکه شعاعی با توان مبنای ۵۰ مگاوات-آمپر و سطح ولتاژ مبنای ۱۲/۶۶ کیلوولت است. در این شبکه از منابع DG مبتنی بر ژنراتور سنکرون استفاده شده و سطح توان هر کدام از این منابع برابر یک مگاوات-ساعت است. محل اتصال منابع تولید پراکنده باس‌های ۳، ۹، ۱۲ و ۲۸ انتخاب شده است (Soleymani-Aghdam and et. al., 2017). شبیه‌سازی‌های پخش بار، اتصال کوتاه، هماهنگی حفاظتی و مطالعات پایداری در نرم‌افزار ETAP انجام شده است. با توجه به محل اتصال تولیدات پراکنده به سیستم مورد مطالعه، ۵ سناریو مطابق جدول (۱) مورد بررسی قرار می‌گیرد. مطابق جدول به ازای هر تولید پراکنده دو رله اضافه یکی قبل و یکی بعد از محل نصب تولید پراکنده قرار می‌گیرد. رله بعد از تولید پراکنده رله اصلی و رله قبل از تولید پراکنده رله پشتیبان است. شمای تک خطی حفاظتی شبکه مورد مطالعه در شکل (۵) نشان داده شده است.



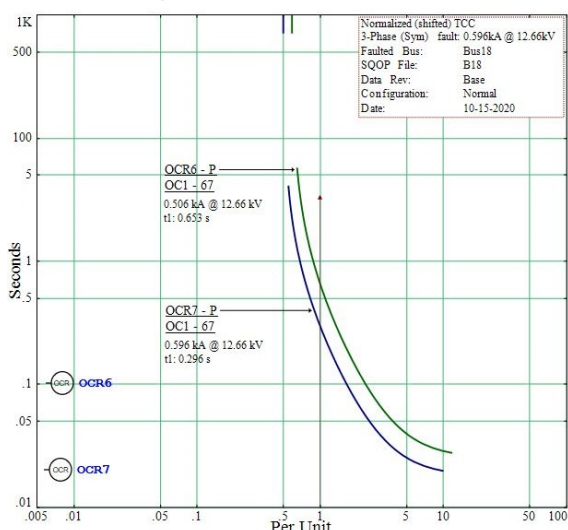
شکل (۸): هماهنگی حفاظتی بین رله‌های اضافه جریان

سناریو دوم به ازای خطا در باس ۲۵



شکل (۹): هماهنگی حفاظتی بین رله‌های اضافه جریان

سناریو سوم به ازای خطا در باس ۱۱

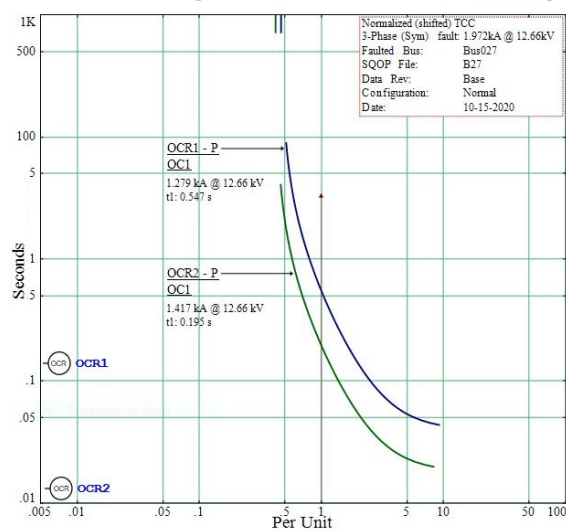


شکل (۱۰): هماهنگی حفاظتی بین رله‌های اضافه جریان

سناریو چهارم به ازای خطا در باس ۱۸

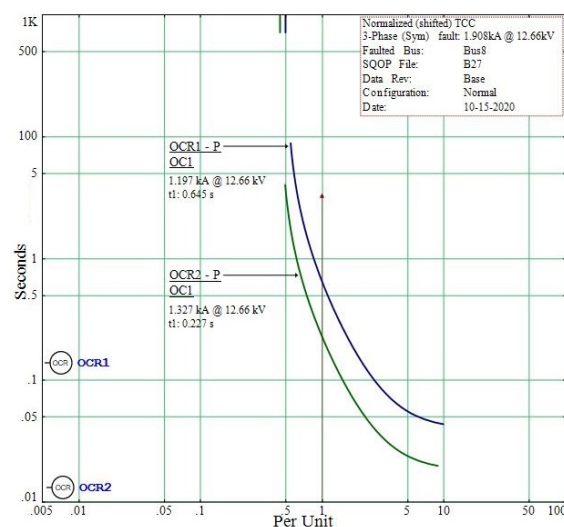
اصلاح مقدار TDS رله پشتیبان، مقدار PS رله‌های OCR6 و OCR7 به مقدار ۰/۶ کاهش پیدا کرده است. در سناریوی پنجم نیز برای محدود کردن زمان عملکرد رله پشتیبان به ۱۰۰۰ میلی‌ثانیه، مقدار TDS رله OCR8 کاهش یافته است.

در ادامه برابر برقراری همزمان دو محدودیت CTI و CCT، لازم است شبیه‌سازی مطالعه پایداری گذرای DGها انجام گردد. سپس شرط رابطه (۴) بررسی شود و در صورت عدم برقراری شرط فوق، به کمک روابط (۵) و (۶) منحنی مشخصه اصلی اصلاح گردد. در حقیقت در این شرایط با کاهش مقدار TDS رله اصلی، نه تنها محدودیت CCT برقرار می‌گردد بلکه محدودیت CTI نیز بهبود می‌یابد.



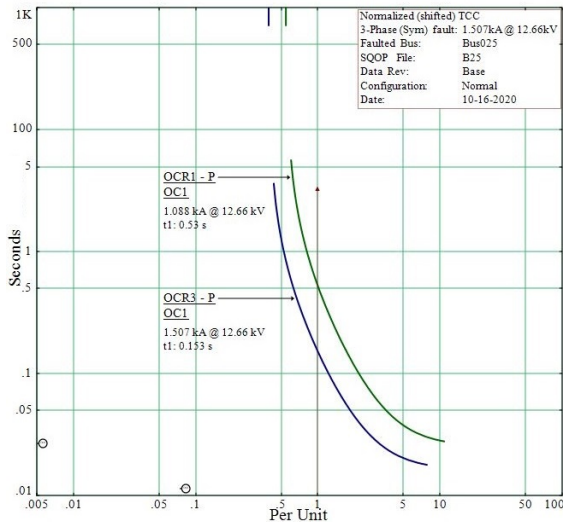
شکل (۶): هماهنگی حفاظتی بین رله‌های اضافه جریان

سناریو اول به ازای خطا در باس ۲۷

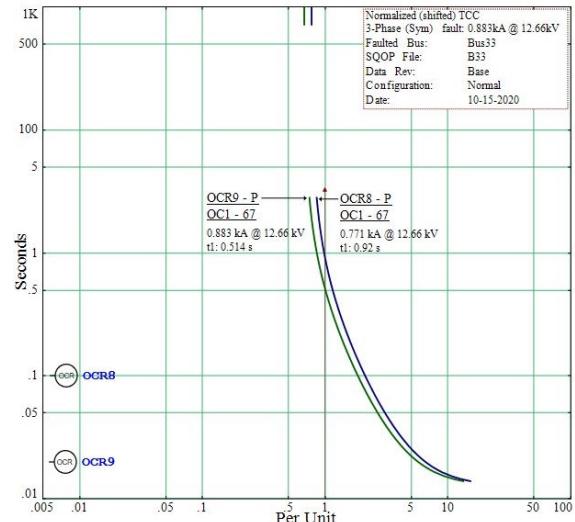


شکل (۷): هماهنگی حفاظتی بین رله‌های اضافه جریان

سناریو اول به ازای خطا در باس ۸

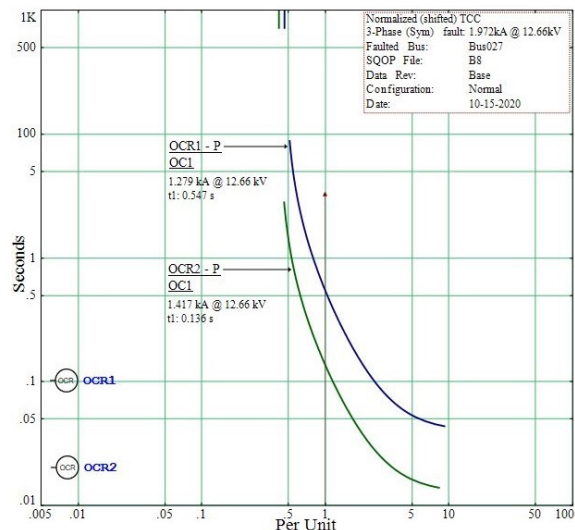


شکل (۱۴): هماهنگی حفاظتی بین رله‌های اضافه جریان
سناریو دوم به ازای خطا در باس ۲۵

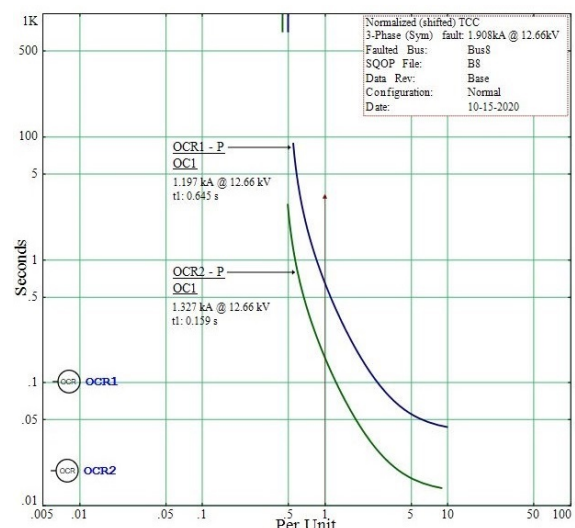


شکل (۱۱): هماهنگی حفاظتی بین رله‌های اضافه جریان
سناریو پنجم به ازای خطا در باس ۳۳

نتایج حاصل از شبیه‌سازی پایداری حالت گذرای DGهای متصل به شبکه به طور خلاصه در جدول (۳) آمده است. مقدار CCT برای هر DG برابر با زمانی است که سرعت DG یا زاویه توان ژنراتور آن صفر می‌گردد. همانطور که دیده می‌شود در سناریوهای اول، دوم، چهارم و پنجم شرط قید CCT منبع تولید پراکنده برقرار نیست و نیاز به اصلاح مقدار TDS رله اصلی است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی هماهنگی حفاظتی با اعمال شرط CCT، برای سناریو اول به ازای خطا در باس ۲۷ در شکل (۱۲)، برای سناریو دوم به ازای خطا در باس ۸ در شکل (۱۳)، برای سناریو سوم به ازای خطا در باس ۲۵ در شکل (۱۴)، برای سناریو چهارم به ازای خطا در باس ۱۸ در شکل (۱۵) و برای سناریو پنجم به ازای خطا در باس ۳۳ در شکل (۱۶) نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهند که در این حالت مقدار TDS رله‌های اصلی کاهش یافته تا به طور همزمان هر دو محدودیت CTI و CCT برقرار گردد. لازم به ذکر است برای مشخص شدن بهتر نتایج شبیه‌سازی، خلاصه نتایج در جدول (۴) آمده است.



شکل (۱۲): هماهنگی حفاظتی بین رله‌های اضافه جریان
سناریو اول به ازای خطا در باس ۲۷



شکل (۱۳): هماهنگی حفاظتی بین رله‌های اضافه جریان
سناریو دوم به ازای خطا در باس ۸

جدول ۲: نتایج شبیه‌سازی حفاظتی سناریوهای مورد مطالعه بر روی شبکه مورد مطالعه

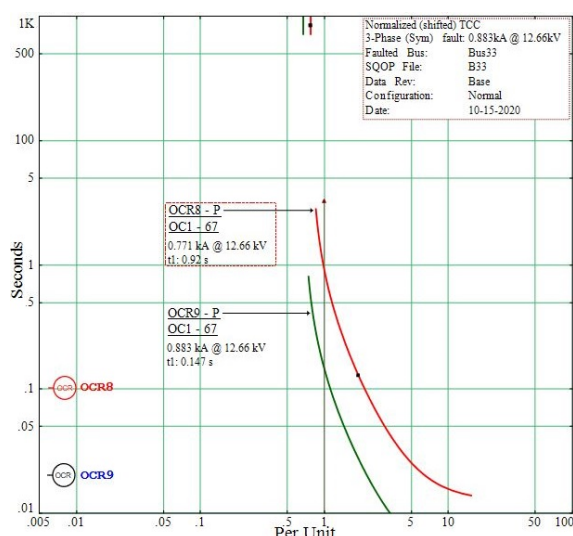
سناریو	حفاظت رله پشتیبان	حفاظت رله اصلی	TMS		PS رله‌های اضافه جریان اصلی و پشتیبان	باس خطا	زمان عملکرد (میلی ثانیه)		CTI (msec)
			رله اصلی	رله پشتیبان			رله اصلی	رله پشتیبان	
۱	OCR1	OCR2	0.1	0.22	1.2	B27	195	547	352
						B8	227	645	418
۲	OCR1	OCR3	0.1	0.14	1.2	B25	170	530	360
۳	OCR4	OCR5	0.1	0.14	1.2	B11	314	677	363
۴	OCR6	OCR7	0.1	0.14	0.6	B18	296	653	357
۵	OCR8	OCR9	0.07	0.07	1.2	B33	514	920	406

جدول ۳: نتایج شبیه‌سازی پایداری گذرای سناریوهای مورد مطالعه بر روی شبکه مورد مطالعه

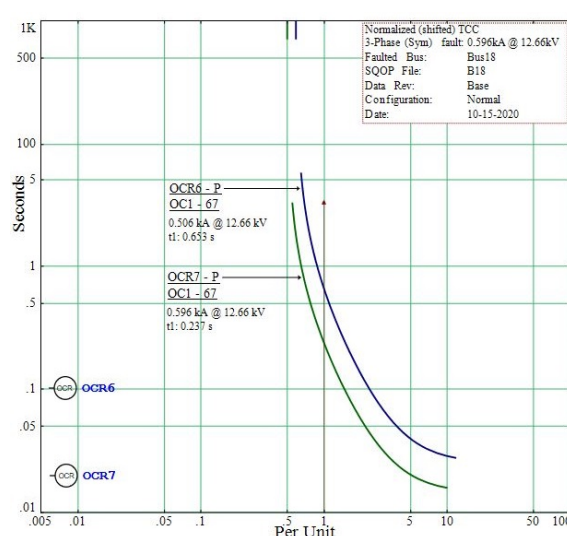
سناریو	حفاظت رله پشتیبان	حفاظت رله اصلی	باس خطا	حداکثر زمان عملکرد رله اصلی	CCT (msec)	CCT/K (msec)	برقراری رابطه $CCT_{Min} \geq K \times T_{Clear-Max}$
۱	OCR1	OCR2	B27	195	240	160	-
			B8	227			-
۲	OCR1	OCR3	B25	170	240	160	-
۳	OCR4	OCR5	B11	314	510	340	✓
۴	OCR6	OCR7	B18	296	380	253	-
۵	OCR8	OCR9	B33	514	220	147	-

جدول ۴: نتایج شبیه‌سازی حفاظتی-پایداری سناریوهای مورد مطالعه بر روی شبکه مورد مطالعه

سناریو	حفاظت رله پشتیبان	حفاظت رله اصلی	TMS		باس خطا	زمان عملکرد (میلی ثانیه)		CTI (msec)	CCT/K (msec)
			رله اصلی	رله پشتیبان		رله اصلی	رله پشتیبان		
۱	OCR1	OCR2	0.07	0.22	B27	136	547	411	160
					B8	159	645	486	
۲	OCR1	OCR3	0.09	0.14	B25	153	530	377	160
۳	OCR4	OCR5	0.1	0.14	B11	314	677	363	340
۴	OCR6	OCR7	0.08	0.14	B18	237	653	416	253
۵	OCR8	OCR9	0.02	0.07	B33	147	920	773	147



شکل (۱۶): هماهنگی حفاظتی بین رله‌های اضافه جریان سناریو پنجم
اول به ازای خطا در باس ۳۳



شکل (۱۵): هماهنگی حفاظتی بین رله‌های اضافه جریان
سناریو چهارم اول به ازای خطا در باس ۱۸

۵- نتیجه گیری

در این مقاله تجزیه و تحلیل پایداری گذرای یک شبکه توزیع استاندارد شامل تولیدپراکنده ژنراتور سنکرون با استفاده از نرم افزار ETAP بررسی شده است. زمانی که خطایی در سیستم توزیع الکتریکی شامل تولید پراکنده رخ دهد، در صورت عدم رفع به موقع خطا، پایداری منابع تولیدپراکنده از بین می‌رود. بنابراین به کمک شبیه‌سازی مطالعات پایداری گذرا، زمان بحرانی پاکسازی خطا برای تمامی منابع تولیدپراکنده متصل به شبکه به ازای بدترین شرایط خطا استخراج شده است. بدترین شرایط خطا در این حالت خطای سه فاز در محل اتصال تولیدپراکنده به سیستم توزیع در نظر گرفته شده است. از طرف دیگر طرح حفاظتی در مرحله اول بدون در نظر گرفتن محدودیت CTI به ازای بدترین شرایط خطا شبیه‌سازی شده است. لازم به ذکر است که بدترین شرایط خطا در هر سناریو، خطای سه فاز در انتهای ناحیه تحت حفاظت رله اضافه جریان اصلی در نظر گرفته شده است. سپس در ادامه محدودیت CCT برای طرح حفاظتی انجام شده مورد بررسی قرار گرفته است.

همانطور که نتایج نشان دادند تنها در سناریوی سوم علاوه بر شرط CTI، شرط CCT نیز برقرار بود و در مورد سایر سناریوهای دیگر با اصلاح مقدار TDS رله اضافه جریان اصلی هر دو شرط CCT و CTI برقرار گردید. در حقیقت در این سناریوها با کاهش مقدار TDS رله اضافه جریان اصلی، منحنی رله به سمت پایین شیفت داده شد و زیر مقدار CCT تولیدپراکنده ژنراتور سنکرون قرار گرفت. مطابق نتایج شبیه‌سازی، در این شرایط نه تنها شاخص CTI بین هر زوج رله اصلی و پشتیبان بهبود پیدا کرد، بلکه از ناپایداری تولیدات پراکنده ژنراتور سنکرون نیز جلوگیری شد.

مراجع

- فیاضی حسن، معظمی مجید، فانی بهادر، شاهقلیان غضنفر، "هماهنگی تجهیزات حفاظتی در ریزشبکه های مبتنی بر ژنراتور سنکرون با در نظر گرفتن حفظ پایداری نوسان اول"، روش های هوشمند در صنعت برق، دوره: ۱۴، ش: ۵۴، ص: ۱۷-۳۰، ۱۴۰۲.
- Abdi-Khorsand, M., Vittal, V., "Modeling Protection Systems in Time-Domain Simulations: A new method to detect mis-operating relays for unstable power swings", IEEE Trans. on Power Systems, vol. 32, no. 4, pp. 2790-2798, July 2017.
- Fani, B., Bisheh, H., Sadeghkhani, I., "A protection coordination scheme for distribution networks with high penetration of photovoltaic generators", IET Generation Transmission and Distribution, vol. 12, pp. 1802-1814, 2018.
- Hashemi-Zadeh, S., Zeidabadi Nejad, O., hasani, S., Gharaveisi, A., Shahgholian, G., "Optimal DG placement for power loss reduction and improvement voltage profile using smart methods", International Journal of Smart Electrical Engineering, vol. 1, no. 3, pp. 141-147, 2012.
- He, H., et al., "Application of a SFCL for fault ride-through capability enhancement of DG in a microgrid system and relay protection coordination", IEEE Trans. on Applied Superconductivity, vol. 26, no. 7, pp. 1-8, Oct. 2016.
- Kumar, R.M., Vahab, P., "Overcurrent and earth fault relay coordination for microgrids with modern numerical relay features", International Journal of Engineering Research and General Science, vol. 4, no. 3, May-June 2016.
- Moradi, A., Alinejad Beromi, Y., Kiani, K., Moravej, Z., "Artificial intelligence-based approach for identification of current transformer saturation from faults in power transformers", International Journal of Smart Electrical Engineering, vol. 3, no. 1, pp. 37-46, 2014.
- Perez, L.G., Flechsig, A.J., Venkatasubramanian, V., "Modeling the protective system for power system dynamic analysis", IEEE Trans. on Power Systems, vol. 9, no. 4, pp. 1963-1973, Nov. 1994.
- Perez, L.G., Urdaneta, A.J., "Optimal computation of distance relays second zone timing in a mixed protection scheme with directional overcurrent relays", IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 16, no. 3, pp. 385-388, July 2001.
- Soleymani-Aghdam, T., Kazemi-Karegar, H., Zeineldin, H.H., "Optimal coordination of double-inverse overcurrent relays for stable operation of DGs", IEEE Trans. on Industrial Informatics, vol. 15, no. 1, pp. 183-192, Jan. 2019.
- Soleymani-Aghdam, T., Kazemi-Karegar, H., Zeineldin, H.H., "Transient stability constrained protection coordination for distribution systems with DG", IEEE Trans. on Smart Grid, vol. 9, no. 6, pp. 5733-5741, April 2017.
- Yazdaninejadi, A., Nazarpour, D., & Talavat, V. "Optimal coordination of dual setting directional over-current relays in multi-source meshed active distribution networks considering transient stability", IET Generation, Transmission & Distribution, Vol.13, no.2, pp.157-170, 2018.
- IEC standard for single input energizing quantity measuring relays with dependent or independent time, IEC standard 60255-3.

زیر نویس ها

¹ Distributed energy resources

² Superconducting fault current limiter

³ Time multiplier setting

⁴ Plug setting

- توانیز، "راهنمای انجام مطالعات فنی تهیه طرح اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه برق"، شرکت سهامی مدیریت تولید، انتقال و توزیع نیروی برق (توانیر)، ۱۳۹۲.
- صابری رضا، فلقی حمید، اسماعیلی مصطفی، "طراحی منابع تولیدپراکنده در شبکه های توزیع با هدف بهبود تاب آوری"، نشریه کیفیت و بهره‌وری صنعت برق ایران، دوره: ۹، ش: ۴، ص: ۳۵-۴۹، ۱۳۹۹.
- صباحی کامل، حامدی مسعود، "ارزیابی میزان تاب آوری شبکه توزیع برق استان اردبیل با استفاده از آمار قطعی های رخ داده و ارائه راهکارهایی جهت تاب آور سازی آن"، نشریه کیفیت و بهره‌وری صنعت برق ایران، دوره: ۱۱، ش: ۲، ص: ۲۶-۳۷، ۱۴۰۱.
- طاهری بهروز، حسینی سیدامیر، عسکریان‌ایبانه حسین، رضوی فرزاد، "تشخیص جریان هجومی و جلوگیری از عملکرد بی‌مورد رله دیفرانسیل با استفاده از شکل های لیسازور جریان"، روش های هوشمند در صنعت برق، دوره: ۱۰، ش: ۴۰، ص: ۴۳-۵۴، ۱۳۹۸.