

### مروری بر روش‌های تشخیص نوسان توان در رله‌های دیستانس

بهروز طاهری<sup>۱\*</sup>، فرزاد رضوی<sup>۱\*</sup>، سیروس صالحی مهر<sup>۲</sup>، حسین رفیعی اصل<sup>۳</sup>، میلاد فقیه لوی<sup>۱</sup>

۱- دانشکده مهندسی برق، پزشکی و مکترونیک، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران.

۲- گروه مهندسی برق، شرکت دانش بنیان وبکو امیرکبیر، قزوین، ایران.

۳- گروه مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، شرکت دانش بنیان وبکو امیرکبیر، قزوین، ایران.

#### خلاصه

رله‌های دیستانس به‌عنوان حفاظت اصلی خطوط انتقال انرژی کاربرد فراوانی دارند. گاهی ممکن است در اثر خارج شدن یک خط و پربار شدن خطوط دیگر نوسان توان ایجاد شود. این نوسان توان ایجاد شده می‌تواند وارد زون سوم رله دیستانس شده و در نتیجه باعث عملکرد نادرست رله شود. عملکرد نار دست رله در سیستم‌های قدرت بزرگ می‌تواند باعث ناپایداری شبکه و در نتیجه ایجاد خاموشی‌های سرتاسری در شبکه گردد. برای جلوگیری از چنین رخ دادی در رله‌های دیستانس از فانکشن قفل کننده نوسان توان استفاده می‌شود. فانکشن قفل کننده نوسان توان الگوریتمی است که به الگوریتم اصلی رله دیستانس برای جلوگیری از عملکرد اشتباه رله در زمان نوسان توان اضافه می‌شود تا بین خطا و نوسان توان تفاوت گذاشته شود. در این مقاله ابتدا به بررسی تاثیر نوسان توان بر رله‌های دیستانس و خسارات ناشی از نوسان توان به ژنراتورها و شبکه پرداخته می‌شود. در قسمت بعد مروری بر روش‌های تشخیص نوسان توان، مزایا و معایب هر یک خواهیم داشت.

**کلمات کلیدی:** نوسان توان، رله دیستانس، حفاظت سیستم‌های قدرت، حالت گذرا در سیستم‌های قدرت.

#### فهرست علائم و نشانه‌ها

$P_g$	توان الکتریکی
$E_g$	ولتاژ ژنراتور
$E_1$	ولتاژ بار
$\delta$	زاویه بین ولتاژ بار و ولتاژ ژنراتور
$\Delta Z$	نرخ تغییرات امپدانس
$\Delta I$	نرخ تغییرات جریان
$\omega$	سرعت زاویه‌ای
$P$	توان اکتیو
$Q$	توان راکتیو

\* Corresponding author

Email: farzad.razavi@qiau.ac.ir

$S$	توان ظاهری
$f$	فرکانس
$f_s$	فرکانس نوسان توان
$\varphi$	زاویه بین ولتاژ و جریان
$X_G$	راکتانس ژنراتور
$X_L$	راکتانس خط
$X_M$	راکتانس موتور

### فهرست اختصارات

Power swing blocking	PSB
Double blinder	DB
Decreased resistance method	DRM
Swing center voltage	SCV
Fast fourier transform	FFT
Wavelet transform	WT
Adaptive neuro-fuzzy inference system	ANFIS
Support vector machine	SVM

### ۱. مقدمه

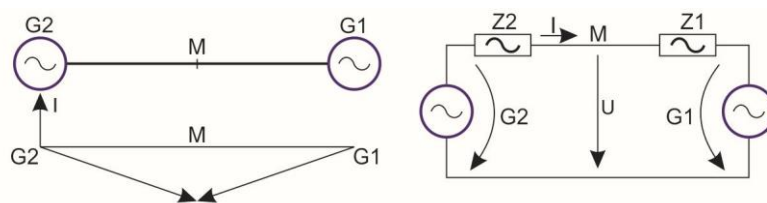
امروزه انرژی الکتریکی کاربردهای فراوانی از جمله حمل و نقل ریلی، خودروهای الکتریکی، تجهیزات پزشکی، موتورهای الکتریکی و ... دارد. استفاده دائم و بهینه از انرژی الکتریکی امری حیاتی و اجتناب ناپذیر زندگی امروزه بشری است، به طوری که عدم دسترسی به آن می تواند خسارات جبران ناپذیری را به زندگی انسان وارد کند. با وجود اینکه در طراحی کلی سیستم های انتقال انرژی و تک تک تجهیزات آن کاهش امکان وقوع خطا از پارامترهایی هستند که در نظر گرفته می شوند، ولی همواره سیستم در معرض وقوع خطا و خارج شدن از حالت کار عادی قرار دارد. بنابراین لازم است تمهیداتی اندیشیده شود تا در صورت وقوع خطا در سیستم پیامدهای آن به حداقل برسد، این مورد از وظایف سیستم حفاظتی است. سیستم های حفاظتی به واسطه کاربری که دارند نقش بسیار مهمی را در پایدار نگه داشتن سیستم قدرت ایفا می کنند. رله های حفاظتی عمدتاً برای حذف سریع خطا از سیستم قدرت مورد استفاده قرار می گیرند. باین حال در بعضی از موارد رله های حفاظتی قادر به انجام درست وظیفه خود نیستند این کار باعث عملکرد نادرست در سیستم های حفاظتی می شود [۱]. حفاظت از خطوط انتقال انرژی به ویژه در خطوط فشارقوی از اهمیت بسیاری برخوردار است [۲]. رله های دیستانس به دلیل اصول عملیاتی ساده به طور بسیار گسترده ای برای حفاظت خطوط انتقال انرژی مورد استفاده قرار می گیرند [۳، ۴]. حفاظت دیستانس از اندازه گیری های ولتاژ و جریان در محل رله برای محاسبه امیدانس استفاده می کند [۵]. با انجام این کار یک رله دیستانس تصمیم می گیرد که آیا یک خطا در ناحیه حفاظت شده هست یا خیر [۴]. یکی از چالش های عمده در رله دیستانس عملکرد نادرست رله در طول نوسان توان است [۶]. این عملکرد نادرست ممکن است باعث قطع ناخواسته خطوط انتقال انرژی شود. خروج چندین خط انتقال انرژی از یک شبکه بزرگ برق

می تواند باعث ناپایداری شبکه شود، این ناپایداری می تواند منجر به خاموشی های سرتاسری در شبکه شود. مانند آنچه در سال ۲۰۰۳ در مالزی اتفاق افتاد و باعث ایجاد ۵ ساعت خاموشی سرتاسری شد. سال ۲۰۰۳ یک خاموشی سرتاسری دیگر در ایتالیا به وقوع پیوست. در سال های ۲۰۰۵ و ۲۰۰۹ خاموشی هایی در مالزی و برزیل در اثر نوسان توان اتفاق افتاده است. در سال ۲۰۱۲ یک نوسان توان باعث ایجاد خاموشی های سرتاسری در شبکه غربی هند شد [۷-۱۱]. این نوع از خاموشی ها خسارات بسیاری را به شرکت های انتقال انرژی وارد خواهد کرد. برای جلوگیری از عملکرد ناخواسته رله های دیستانس از فانکشن PSB در رله های دیستانس استفاده می شود. PSB یک فانکشن مکمل در رله های دیستانس است تا نوسان توان را تشخیص دهد و مانع از عملکرد زون سوم رله دیستانس شود [۱۲].

در این مقاله ابتدا به بررسی تاثیر نوسان توان بر رله های دیستانس و خسارات ناشی از نوسان توان به ژنراتورها و شبکه پرداخته می شود. در قسمت بعد مروری بر روش های تشخیص نوسان توان، مزایا و معایب هر یک خواهیم داشت.

## ۲. نوسان توان

رویدادهای دینامیکی مانند تغییرات بار، خطا، ریکلوز کردن و یا سوئیچینگ ممکن است باعث ایجاد نوسان توان شوند [۱۳]. امپدانس ظاهری رله دیستانس ممکن است به ناحیه عملیاتی خود وارد شده و خطوط سالم را بدون اینکه لازم باشد از مدار خارج کند [۱۴]. در چنین شرایطی ژنراتورها نسبت به هم نوسان کرده و باعث ناپایداری سیستم می شود [۱۳]. شکل ۱ مقادیر اندازه گیری را در رله دیستانس زمینس نمایش می دهد.



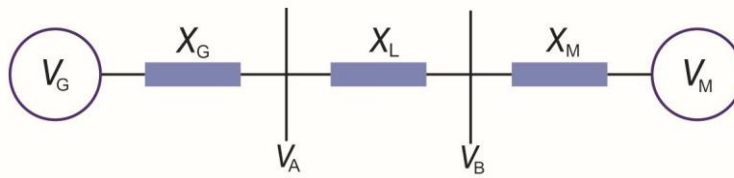
شکل ۱ - مقادیر اندازه گیری نوسان توان [۱۳].

با توجه به شکل ۱ مقدار I در محل اندازه گیری M از فرمول زیر به دست می آید.

$$I = \frac{G_1 + G_2}{Z_1 + Z_2} \quad (1)$$

در یک سیستم دو ماشینه مانند شکل ۲ رابطه بین توان حقیقی روی خط و زاویه بین ولتاژهای ژنراتور و ولتاژهای موتور می تواند به صورت زیر توصیف شود [۱۵]:

$$P = P_G = P_M = \frac{E_G \times E_M}{X_G + X_L + X_M} \sin(\phi) \quad (2)$$



شکل ۲ - شبکه دو ناحیه‌ای.

### ۳. تاثیر نوسان توان بر رله دیستانس

رله‌های حفاظتی نقش بسیار مهمی بر روی رفتار دینامیکی سیستم قدرت در شرایط مختلف دارند. زمانی که گروهی از ژنراتورها نسبت به یکدیگر شروع به نوسان می‌کنند، رله‌های دیستانس ممکن است به اشتباه سبب قطع خطوط سالم شوند و منجر به ایجاد شرایط نامطلوب در شبکه گردند. قطع شدن خطوط بدون مشکل در هنگام نوسان توانی که سیستم می‌تواند از آن رهایی یابد، تقریباً همواره نامطلوب است [۱۶]. برای این مطلب می‌توان دو دلیل ارائه کرد:

۱. اگر خط زیر بار باشد و دو سر آن بازگردد، ارتباط دو سر خط و انتقال توان به صورت غیرضروری قطع می‌شود.

۲. ارتباط بین ماشین‌های در حال نوسان ضعیف‌تر می‌گردد. در واقع ارتباطی که قبلاً به علت قطع خط خطا دیده ضعیف شده بود، با باز شدن یک خط سالم بیشتر تضعیف می‌گردد.

تضعیف این ارتباط می‌تواند باعث ناپایداری سیستم گردد. در صورتی که اگر عمل قطع به اشتباه رخ نمی‌داد، سیستم پایداری خود را حفظ می‌نمود. بنابراین لازم است در این شرایط استراتژی مناسبی برای قطع بی‌مورد رله دیستانس در نظر گرفته شود. در نهایت رله باید بین شرایط نرمال، اتصال کوتاه و نوسانات با دامنه بلند تفاوت قائل شود و در هر یک از این شرایط عملکرد صحیح داشته باشد [۱۶].

### ۴. خسارات ناشی از نوسان توان به ژنراتورها

نوسان توان می‌تواند از راه‌های مختلف خسارت‌های زیادی به ژنراتورهای شبکه وارد کند. اگر ژنراتور به یک شبکه قوی متصل باشد، در صورت بروز نوسان توان، جریان‌های نوسانی می‌توانند در حد جریان‌های خطا افزایش پیدا می‌کنند و این امر هم از جهات مکانیکی و هم از نقطه نظر افزایش دمای هادی‌ها می‌تواند باعث تخریب ژنراتور شود. همچنین نوسان توان باعث بروز نوساناتی روی گشتاور محور ماشین می‌شود و این نوسانات می‌تواند منجر به رزونانس محور ژنراتور گردد. دامنه نوسانات روی محور در صورت ادامه نوسان توان افزایش می‌یابد. لذا در صورت وقوع عدم همگامی، ژنراتور باید در کوتاه‌ترین زمان ممکن از شبکه قدرت جدا گردد.

### ۵. خسارات ناشی از نوسان توان به شبکه

در هنگام بروز نوسان توان متغیرهای شبکه شامل ولتاژ و جریان و توان حالت عادی خود را از دست می‌دهند. این ولتاژها و جریان‌های غیر سینوسی می‌توانند باعث عملکرد اشتباه رله‌های شبکه (خصوصاً رله‌های دیستانس) شوند و عملکرد اشتباه ادوات حفاظتی شبکه می‌تواند سیستم را تا مرز ناپایداری پیش ببرد. در صورتی که خطایی روی یکی از خطوط شبکه اتفاق افتد و با عملکرد رله‌های خط، خط خطادار از شبکه جدا شود، این امر منجر به نوسانی شدن شبکه می‌گردد. اگر نوسان شبکه باعث عملکرد اشتباه یک رله دیستانس دیگر شود، خط دیگری نیز از شبکه جدا خواهد شد و این خروج‌های پشت سر هم می‌تواند منجر به ناپایداری کل یا بخشی از سیستم قدرت شود.

نتیجه این که مهم‌ترین خسارت ناشی از نوسان توان در صورت عملکرد ناصحیح، ناپایداری شبکه قدرت خواهد بود. خسارات ناشی از خاموشی گسترده شبکه قدرت، از آنجاکه دارای جنبه‌های امنیتی نیز هست، غیرقابل تخمین است.

## ۶. مرور مطالعات پیشین در زمینه نوسان توان

معمول‌ترین روش برای تشخیص نوسان توان استفاده از نرخ تغییرات امپدانس است که در یک ناحیه خاص حرکت می‌کنند [۱۷، ۱۸]. در طول خطا، نرخ تغییرات امپدانس بزرگ‌تر از نرخ تغییرات امپدانس در طی نوسان توان است. بنابراین، اصل کار این الگوریتم‌ها مبتنی بر درک تفاوت در نرخ تغییرات امپدانس ( $\Delta Z$ ) و تمایز گذاشتن بین نوسان توان و خطا است. در طی نوسان توان آهسته (۱۰۰۰ هرتز)، عبور امپدانس بسیار کند است و در هر زون زمان عبور طولانی‌تر و یا مساوی  $f_s$  است [۹]. بنابراین این طرح می‌تواند نوسان توان را تشخیص دهد و رله را بلاک کند. این طرح قادر به تشخیص نوسانات توان سریع (۵۰۰۰ هرتز) نیست [۱۹-۲۳]. به‌علاوه این طرح‌ها قادر به تشخیص خطای اتفاق افتاده همزمان با نوسان توان نیستند.

در [۲۴] یک روش DB برای رفع معایب طرح نرخ تغییرات امپدانس ارائه شده است. این روش با اینکه معایب طرح قبلی را رفع می‌کند همزمان دارای ایراداتی نیز هست. برای اجرای این طرح تجزیه و تحلیل پیچیده شبکه برای شناخت قسمت‌های بین عناصر درونی و بیرونی ضروری است. به‌علاوه این طرح ممکن است برای نوسان توان پایدار عملکرد نامناسب داشته باشد.

در [۱۹، ۲۳] روش DRM برای حل مشکلات blinder ارائه شده است. این روش‌ها قابلیت تشخیص خطا همزمان با نوسان توان را دارا می‌باشند. همچنین این روش‌ها نیازی به تحلیل کامل سیستم قدرت ندارند. این طرح در هنگام ایجاد یک خطای سه فاز همزمان با نوسان توان آهسته اتفاق می‌افتد دچار اشتباه می‌شود.

در [۶] از ولتاژ مرکز نوسان ( $V \cos \phi$ ) برای تمایز بخشیدن بین خطا و نوسان توان استفاده شده است. SCV وابسته به امپدانس خط و باس نمی‌باشد. در طول نوسان توان SCV به‌طور مداوم تغییر می‌کند، اما زمانی که خطا رخ می‌دهد، SCV ثابت باقی می‌ماند. این معیار برای تشخیص بین نوسان توان و خطا استفاده می‌شود. مزیت اصلی SCV این است که مستقل از امپدانس منبع و امپدانس خط است اگرچه در تشخیص خطای سه فاز تاخیر دارد. همچنین هنگامی که نوسان توان در زاویه توان نزدیک به ۱۸۰ درجه اتفاق می‌افتد مقدار آستانه برای تشخیص نوسان توان باید بسیار کم باشد [۲۵].

مقاله [۲۶] برای تشخیص نوسان توان، در هنگام وقوع نوسان توان، جریان افزایشی پیوسته را هنگامی که مقدار فعلی جریان با یک بافر که دو سیکل بیش از آن گرفته شده مقایسه می‌کند. اندازه‌گیری مداوم  $\Delta I$  برای سه دوره باعث بلاک شدن رله می‌شود. از مزایای این روش می‌توان به تشخیص نوسانات توان سریع و آرام و تشخیص خطای همزمان با نوسان

توان اشاره کرد. به علاوه این روش مانع تریپ رله در خطای سه فاز با زاویه توان ۱۸۰ درجه و خطای تک فاز به زمین با مقاومت بالا در طی نوسان توان می شود.

در [۲۷] روشی بر اساس اختلاف توان سه فاز ارائه شده است. در طی نوسان توان اکتیو و راکتیو سه فاز تغییر می کند. هر دو نرخ تغییر توان اکتیو ( $dp/dt$ ) و توان راکتیو ( $dq/dt$ ) متناسب با سرعت زاویه ای است [۲۸]. این روش توسط فاکتورهای مانند زمان شروع خطا و دیگر پارامترهای سیستم تحت تاثیر قرار نمی گیرد. این طرح ممکن است در طول یک نوسان توان پایدار اشتباه عمل کند. همچنین این شیوه فقط برای خطاهای متقارن کار می کند.

مقاله [۲۹] از FFT به دست آمده بر اساس مولفه DC جریانی برای تشخیص خطا در هنگام نوسان توان استفاده کرده است. در [۲۲] روشی مبتنی بر تحلیل FFT ارائه شده است. تکنیک های استفاده کننده از FFT نیاز به انتخاب مناسب از مقدار آستانه برای شناسایی خطا دارند [۳۰].

WT کاربردهای بسیاری در سیستم قدرت دارد [۳۱، ۳۲]. در مقاله [۳۳] از WT برای جبران مشکلات FFT استفاده شده است. مقاله [۳۴] یک منطق رله را برای استفاده از اطلاعات گرفته شده رله عددی با استفاده از

$f_s = 40.96 \text{ KHz}$  به کار برده است. در [۳۵] یک الگوریتم WT با سرعت بالا برای تشخیص خطای متقارن استفاده شده

است. در مقاله [۳۶] WT را بر روی تغییرات امپدانس برای تشخیص نوسان توان و خطاها اجرا کرده است. مقاله [۳۷] از WT برای تحلیل تغییرات جریان به منظور تشخیص خطاها با مقاومت های مختلف در طی نوسان توان استفاده شده است.

مقالات [۳۸، ۳۹] روش پرونی را در زمینه حفاظت سیستم های قدرت معرفی کرده اند. مقاله [۴۰] بیان شده است که نتایج پرونی بهتر از FFT است. در [۳۸] الگوریتمی با استفاده از شکل موج جریان برای تشخیص خطای سه فاز در هنگام نوسان توان ارائه شده است. این روش بر اساس افت معکوس در جریان DC کار می کند.

مقالات [۴۱-۴۳] از روش های مبتنی بر هوش مصنوعی برای سیستم های حفاظتی استفاده کرده اند. اثبات شده است که این روش ها تحت تاثیر تغییرات پارامترهای سیستم نیستند. در مقالات [۴۴، ۴۵] روش هایی برای تشخیص نوسان توان با استفاده از ANFIS بیان شده است. این روش ها دارای سرعت و دقت خوبی در تشخیص نوسان توان از خطا هستند. همچنین این روش ها تحت تاثیر فاکتورهای مانند پارامترهای سیستم، زمان وقوع خطا موقعیت خطا و شرایط پیش از پخش بار نیستند.

SVM یک راه حل جدید برای جداسازی توابع در انجام وظایف طبقه بندی مانند تشخیص الگو هستند [۴۶]. SVM به عنوان یک ابزار بالقوه شناخته شده در حل مسائل طبقه بندی شناخته می شود. در [۴۷] روشی بر مبنای SVM بیان شده است که از دقت و سرعت مناسبی برخوردار است. مهم ترین مشکل روش هایی که از SVM و ANFIS استفاده می کنند. این است که به شبیه سازی های آفلاین زیادی برای آموزش نرخ های متفاوت خطا و نوسان توان نیاز دارند.

روش بر مبنای پنجره متوسط گیر جریان در [۱۴] ارائه شده است. پنجره متوسط گیر جریان یک فیلتر پایین گذر است که به رله دیستانس اعمال می شود. این روش به نوبه حساسیت کمی دارد. در [۴۸] از نظارت گذرا برای تشخیص نوسان توان استفاده شده است. روشی مستقل از نرخ پارامترهای سیستم قدرت در [۴۹] ارائه شده است. مقاله [۵۰] اثرات UPFC را در ۴ روش متفاوت PSB بررسی کرده است. در [۵۱] یک روش نوین تشخیص نوسان توان بر اساس مولفه های تحمیلی ولتاژ بیان شده است.

### ۷. نتیجه گیری

همان‌گونه که توضیح داده شد تشخیص نوسان توان در رله‌های دیستانس از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از این رو تحقیقات مستمر درباره تشخیص نوسان توان و تشخیص خطای همزمان با نوسان توان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با افزایش تکنولوژی، یافته‌های جدیدی برای کاهش تاثیر نوسان توان در شبکه قدرت توسعه داده شده است. این مقاله سعی کرده است به بررسی بخشی از مطالعات انجام گرفته در مورد نوسان توان و تاثیر نوسان بر روی بخش‌های مختلف شبکه بپردازد. همچنین نوسان توان پتانسیل بالایی برای تحقیق بیشتر دارد به طوری که حتی شرکت‌های بزرگ حفاظتی هنوز هم به دنبال راه‌حل بهبود یافته‌ای برای تشخیص نوسان توان هستند.

## ۸. مراجع

- [۱] A. Abdullah and K. Butler-Purry, "Distance protection zone 3 misoperation during system wide cascading events: The problem and a survey of solutions," *Electric Power Systems Research*, vol. 154, pp. 151-159, 2018.
- [۲] S. Zubić, P. Balcerek, and Č. Zeljković, "Speed and security improvements of distance protection based on Discrete Wavelet and Hilbert transform," *Electric Power Systems Research*, vol. 148, pp. 27-34, 2017.
- [۳] K. M. Silva, W. L. Neves, and B. A. Souza, "Distance protection using a wavelet-based filtering algorithm," *Electric Power Systems Research*, vol. 80, no. 1, pp. 84-90, 2010.
- [۴] M. M. Alam, H. Leite, N. Silva, and A. da Silva Carvalho, "Performance evaluation of distance protection of transmission lines connected with VSC-HVDC system using closed-loop test in RTDS," *Electric Power Systems Research*, vol. 152, pp. 168-183, 2017.
- [۵] Z. Xu *et al.*, "A distance protection relay for a 1000-kV UHV transmission line," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 23, no. 4, pp. 1795-1804, 2008.
- [۶] N. Fischer, G. Benmouyal, D. Hou, D. Tziouvaras, J. Byrne-Finley, and B. Smyth, "Do system impedances really affect power swings—Applying power swing protection elements without complex system studies," in *Protective Relay Engineers, 2012 65th Annual Conference for*, 2012, pp. 108-119: IEEE.
- [۷] A. H. A. Bakar, F. M. Yatim, S. Yusof, and M. R. Othman, "Analysis of overload conditions in distance relay under severe system contingencies," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. ۳۲, no. 5, pp. 345-350, 2010.
- [۸] C. Li, Y. Sun, and X. Chen, "Analysis of the blackout in Europe on November 4, 2006," in *Power Engineering Conference, 2007. IPEC 2007. International*, 2007, pp. 939-944: IEEE.
- [۹] S. Corsi and C. Sabelli, "General blackout in italy sunday september 28, 2003, h. 03: 28: 00," in *Power Engineering Society General Meeting, 2004. IEEE*, 2004, pp. 1691-1702: IEEE.
- [۱۰] P. Pentayya, A. Gartia, S. K. Saha, R. Anumasula, and C. Kumar, "Synchrophasor based application development in Western India," in *Innovative Smart Grid Technologies-Asia (ISGT Asia), 2013 IEEE*, 2013, pp. 1-6: IEEE.

- [۱۱] M. Gunasegaran, C. Tan, A. Bakar, H. Mokhlis, and H. Illias, "Progress on power swing blocking schemes and the impact of renewable energy on power swing characteristics: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 52, pp. 280-288, 2015.
- [۱۲] A. Sharafi, M. Sanaye-Pasand, and P. Jafarian, "Improvement of distance relay zone-3 security using fault and breaker opening generated traveling waves," *International Transactions on Electrical Energy Systems*, vol. 27, no. 10, 2017.
- [۱۳] S. SIPROTEC, "Distance Protection 7SA522 V4. 70," *instruction manual*, 2011.
- [۱۴] J. G. Rao and A. K. Pradhan, "Power-swing detection using moving window averaging of current signals," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 30, no. 1, pp. 368-376, 2015.
- [۱۵] J. Blumschein, Y. Yelgin, and M. Kereit, "Proper detection and treatment of power swing to reduce the risk of Blackouts," in *Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies, 2008. DRPT 2008. Third International Conference on*, 2008, pp. 2440-2446: IEEE.
- [۱۶] پروفیسور حسین عسکریان عبیانه ، مهندس ایرج پورکیوانی. حفاظت پیشرفته سیستم های قدرت. ۱۳۹۲.
- [۱۷] P. Kundur, N. J. Balu, and M. G. Lauby, *Power system stability and control*. McGraw-hill New York, 1994.
- [۱۸] Z. Gao and G. Wang, "A new power swing block in distance protection based on a microcomputer-principle and performance analysis," in *Advances in Power System Control, Operation and Management, 1991. APSCOM-91., 1991 International Conference on*, 1991, pp. 843-847: IET.
- [۱۹] H. Khoradshadi-Zadeh, "Evaluation and performance comparison of power swing detection algorithms," in *Power Engineering Society General Meeting, 2005. IEEE, 2005*, pp. 1842-1848: IEEE.
- [۲۰] X. Lin, Z. Li, S. Ke, and Y. Gao, "Theoretical fundamentals and implementation of novel self-adaptive distance protection resistant to power swings," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 25, no. 3, pp. 1372-1383, 2010.
- [۲۱] L. Martuscello, E. Krizauskas, J. Holbach, and Y. Lu, "Tests of distance relay performance on stable and unstable power swings reported using simulated data of the August 14 th 2003 system disturbance," in *Power Systems Conference, 2009. PSC'09., 2009*, pp. 1-21: IEEE.
- [۲۲] B. Mahamedi, "A very fast unblocking scheme for distance protection to detect symmetrical faults during power swings," in *IPEC, 2010 Conference Proceedings, 2010*, pp. 378-383: IEEE.
- [۲۳] P. K. Nayak, J. G. Rao, P. Kundu, A. Pradhan, and P. Bajpai, "A comparative assessment of power swing detection techniques," in *Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES) & 2010 Power India, 2010 Joint International Conference on*, 2010, pp. 1-4: IEEE.



- [۲۴] H. K. Zadeh and Z. Li, "Artificial neural network based load blinder for distance protection," in *Power and Energy Society General Meeting-Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, 2008 IEEE*, 2008, pp. 1-6: IEEE.
- [۲۵] V. A. Ambekar and S. S. Dambhare, "Comparative evaluation of out of step detection schemes for distance relays," in *Power India Conference, 2012 IEEE Fifth*, 2012, pp. 1-6: IEEE.
- [۲۶] Q. Verzosa, "Realistic testing of power swing blocking and out-of-step tripping functions," in *Protective Relay Engineers, 2013 66th Annual Conference for*, 2013, pp. ۴۴۹-۴۲۰. IEEE.
- [۲۷] X. Lin, Y. Gao, and P. Liu, "A novel scheme to identify symmetrical faults occurring during power swings," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 23, no. 1, pp. 73-78, 2008.
- [۲۸] A. Esmaeilian, A. Ghaderi, M. Tasdighi, and A. Rouhani, "Evaluation and performance comparison of power swing detection algorithms in presence of series compensation on transmission lines," in *Environment and Electrical Engineering (EEEIC), 2011 10th International Conference on*, 2011, pp. 1-4: IEEE.
- [۲۹] H. K. Karegar and B. Mohamedi, "A new method for fault detection during power swing in distance protection," in *Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, 2009. ECTI-CON 2009. 6th International Conference on*, ۲۰۰۹, vol. 1, pp. 230-233: IEEE.
- [۳۰] B. Mahamedi and J. G. Zhu, "A novel approach to detect symmetrical faults occurring during power swings by using frequency components of instantaneous three-phase active power," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 27, no. 3, pp. 1368-1376, 2012.
- [۳۱] L. Fu, Z. He, and Z. Bo, "Wavelet transform and approximate entropy based identification of faults in power swings," 2008.
- [۳۲] C. Parameswariah and M. Cox, "Frequency characteristics of wavelets," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 17, no. 3, pp. 800-804, 2002.
- [۳۳] S. Brahma, "Use of wavelets for out of step blocking function of distance relays," in *Power Engineering Society General Meeting, 2006. IEEE*, 2006, p. 5 pp.: IEEE.
- [۳۴] S. M. Brahma, "Distance relay with out-of-step blocking function using wavelet transform," *IEEE transactions on power delivery*, vol. 22, no. 3, pp. 1360-1366, 2007.
- [۳۵] C. Pang and M. Kezunovic, "Fast distance relay scheme for detecting symmetrical fault during power swing," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 25, no. 4, pp. 2205-2212, 2010.
- [۳۶] B. Mahamedi, "A new power swing blocking function based on wavelet transform," in *Electric Power and Energy Conversion Systems (EPECS), 2011 2nd International Conference on*, 2011, pp. 1-6: IEEE.
- [۳۷] R. Dubey, S. Samantaray, A. Tripathy, B. C. Babu, and M. Ehtesham, "Wavelet based energy function for symmetrical fault detection during power swing," in

- Engineering and Systems (SCES), 2012 Students Conference on, 2012, pp. 1-6: IEEE.*
- [۳۸] S. Lotfifard, J. Faiz, and M. Kezunovic, "Detection of symmetrical faults by distance relays during power swings," *IEEE transactions on power delivery*, vol. 25, no. 1, pp. 81-87, 2010.
- [۳۹] A. Thakallapelli, R. Mehra, and H. Mangalvedekar, "Differentiation of faults from power swings and detection of high impedance faults by distance relays," in *Condition Assessment Techniques in Electrical Systems (CATCON), 2013 IEEE 1st International Conference on, 2013, pp. 374-377: IEEE.*
- [۴۰] Z. Leonowicz, "Application of the prony method for compensation of errors in distance relays," in *Environment and Electrical Engineering (EEEIC), 2013 12th International Conference on, 2013, pp. 568-572: IEEE.*
- [۴۱] K. Cho, Y. Kang, S. Kim, J. Park, S. Kang, and K. Kim, "An ANN based approach to improve the speed of a differential equation based distance relaying algorithm," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 14, no. 2, pp. 349-357, 1999.
- [۴۲] A. Vaidya and P. A. Venikar, "ANN based distance protection of long transmission lines by considering the effect of fault resistance," in *Advances in Engineering, Science and Management (ICAESM), 2012 International Conference on, 2012, pp. 590-594: IEEE.*
- [۴۳] E. Feilat and K. Al-Tallaq, "A new approach for distance protection using artificial neural network," in *Universities Power Engineering Conference, 2004. UPEC 2004. 39th International, 2004, vol. 1, pp. 473-477: IEEE.*
- [۴۴] H. K. Zadeh and Z. Li, "A novel power swing blocking scheme using adaptive neuro-fuzzy inference system," *Electric Power Systems Research*, vol. 78, no. 7, pp. 1138-1146, 2008.
- [۴۵] A. Esmailian and S. Astinfeshan, "A novel power swing detection algorithm using adaptive neuro fuzzy technique," in *Electrical Engineering and Informatics (ICEEI), 2011 International Conference on, 2011, pp. 1-6: IEEE.*
- [۴۶] K. Seethalekshmi, S. Singh, and S. Srivastava, "SVM based power swing identification scheme for distance relays," in *Power and Energy Society General Meeting, 2010 IEEE, 2010, pp. 1-8: IEEE.*
- [۴۷] K. Seethalekshmi, S. Singh, and S. Srivastava, "A classification approach using support vector machines to prevent distance relay maloperation under power swing and voltage instability," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 27, no. 3, pp. 1124-1133, 2012.
- [۴۸] J. Khodaparast and M. Khederzadeh, "Three-phase fault detection during power swing by transient monitor," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 30, no. 5, pp. 2558-2565, 2015.
- [۴۹] R. Jafari, N. Moaddabi, M. Eskandari-Nasab, G. Gharehpetian, and M. Naderi, "A novel power swing detection scheme independent of the rate of change of power system parameters," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 29, no. 3, pp. 1192-1202, 2014.



# سومین کنفرانس ملی فناوری در مهندسی برق و کامپیوتر

3<sup>rd</sup> National Conference on technology in Electrical and Computer Engineering



پا مجوز شماره ۱۴۲۰۱-۹۶۱۷۱ از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

- [۵۰] J. Khodaparast, M. Khederzadeh, F. Faria da Silva, and C. Leth Back ,  
"Performance of power swing blocking methods in UPFC-compensated line,"  
*International Transactions on Electrical Energy Systems*, vol. 27, no. 11, 2017.
- [۵۱] M. S. Parniani, M. Sanaye-Pasand, and P. Jafarian, "A blocking scheme for  
enhancement of distance relay security under stressed system conditions,"  
*International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 94, pp. 104-115,  
2018.