نشریه علمی- پژوهشی کیفیت و بهره وری صنعت برق ایران
Iranian Electric Industry Journal
Of Quality And Productivity

سال دوم شماره چهارم پاییز و زمستان ۱۳۹۲
Vol 2 –No.4 Autumn and Winter

یک روش جدید شناسایی نوسان توان برای استفاده در رله دیستانس با استفاده از داده‌های PMU

علی خادمی[۱]،کارشناسی ارشد، مهرداد عابدی[۲]،استاد ، سید حمید فتحی[۳]،استادیار، حسین عسکریان ابیانه[۴]، استاد
۱- دانشکده مهندسی برق- دانشگاه صنعتی امیر کبیر- تهران- ایران
ali.khademi.mail@gmail.com
۲- دانشکده مهندسی برق- دانشگاه صنعتی امیر کبیر- تهران- ایران
abedi@aut.ac.ir
۳- دانشکده مهندسی برق- دانشگاه صنعتی امیر کبیر- تهران- ایران
fathi@aut.ac.ir
۴- دانشکده مهندسی برق- دانشگاه صنعتی امیر کبیر- تهران- ایران
askarian@aut.ac.ir

چکیده:در این مقاله روشی جدید براساس استفاده از داده‌های PMU برای تشخیص نوسان توان و جلوگیری از عملکرد ناصحیح رله‌های دیستانس ارائه شده است. نوسان توان همیشه یکی از مسائل مهم در پایداری شبکه‌های قدرت بوده است. در سال‌های اخیر بدلیل بزرگتر شدن شبکه‌های قدرت و عملی شدن بازار برق، نوسان توان‌های بزرگی در شبکه‌های مختلف در سراسر جهان رخ داده است که باعث بروز خاموشی‌هایی بزرگ شده‌اند. با ورود تجهیزات جدید نظیر PMU به سیستم‌های قدرت امکان تشخیص نوسان توان با دقت و سرعتی بالاتر مهیا شده است. در این مقاله الگوریتم روش پیشنهادی بوسیله نرم افزار MATLAB کد نویسی شده و ورودی‌های آن از شبکه‌ی شبیه سازی شده در DIgSILENT گرفته شده‌اند. نتایج بدست آمده دقت و سرعت بالای این روش را تایید می‌کنند.

کلمات کلیدی: نوسان توان ، حفاظت دیستانس ، واحد اندازه‌گیری فازوری (PMU)

تاریخ ارسال مقاله : ۱۳۹۲/۳/۲
تاریخ پذیرش مقاله : ۱۳۹۲/۱۲/۱۸
نام نویسنده‌ی مسئول : علی خادمی
نشانی نویسنده‌ی مسئول : اهواز- ابتدای جاده قدیم اهوازماهشهر-شرکت بهره برداری نفت و گاز مارون

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1392.2.2.1.2]

علائم اختصاری:

PMU :Phasor Measurement Unit
SMIB : Single Machine Infinite Bus
DT : Decision Tree
SVM : Support Vector Machine
PSB : Power Swing Blocking
CB_PSB : Current Base PSB

۱)مقدمه:

نوسان توان و اثر آن بر روی رله دیستانس همواره یکی از مسائل مهم در زمینه حفاظت سیستم‌های قدرت با ابعاد وسیع بوده است. این مسئله در بسیاری از کشورها باعث تحمیل خسارات کلان به شبکه‌های قدرت خصوصا در بخش اقتصادی شده است. از این رو توجه محققین به نوسان توان جلب شد که نتیجه آن ابداع روش‌های متفاوتی برای تشخیص نوسان توان بوده است.

در [۱] روشی جهت تشخیص نوسان توان برای یک سیستم دو ماشینه ارائه شده است که از ولتاژهای دو سر خط رابط بین ماشین‌ها و توان‌های الکتریکی و مکانیکی استفاده می‌کند. در[۲] روشی پیشنهاد شده است که مطابق آن کل شبکه به یک سیستم دو ماشینه تقلیل داده می‌شود و بوسیله PMU زاویه ولتاژهای دو سر خط اندازه‌گیری شده و با استفاده از روابط ارائه شده معادله انحراف اختلاف زاویه ولتاژهای دو سر خط بدست می‌آید.بوسیله این معادله می‌توان نوسان توان را تشخیص داد. در [۳] روشی برای سیستم‌های حفاظتی طولی یا سیستم‌هایی که به راحتی می‌توان مدل SMIB آنها را بدست آورد ارائه شده است.

در [۴] براساس درخت تصمیم‌گیری (DT) روشی برای تشخیص نوسان توان ناپایدار ارائه شده است. در [۵] روشی با استفاده از شبکه‌های عصبی برای تمایز قائل شدن بین نوسان توان و خطا ارائه شده است. روشی براساس وجود مولفه DC در جریان خطا برای تشخیص نوسان توان از خطا در [۶] ارائه شده است. در [۷] از فیلترهای دیجیتال مبتنی بر تبدیل فوریه گسسته برای تشخیص شرایط عدم همزمانی (Out-Of-Step) استفاده شده است. در [۸] استفاده از یک شبکه peer-to-peer برای جلوگیری از خاموشی سراسری پیشنهاد شده است. در [۹] رله-هایی که در تمام نوسان توان‌های ممکن دچار عملکرد ناصحیح می‌شوند شناسایی شده و ناحیه سوم آنها غیر فعال می‌گردد. بدین صورت از انتشار خاموشی جلوگیری می‌شود.

در [۱۰] کل شبکه به یک سیستم دو ماشینه حول خط مورد نظر تبدیل می‌شود و با توجه به حالت مدارشکن‌ها و اندازه‌گیری زاویه روتور ماشین‌ها، وجود نوسان توان و پایداری آن بررسی می‌شود. در [۱۱] با استفاده از اندازه جریان روشی برای تشخیص نوسان توان ارائه شده است. در [۱۲] روشی ارائه شده است که با استفاده از Mathematical Morphology نوسان توان را تشخیص می‌دهد. در [۱۳] و [۱۴] با استفاده از داده‌های خطاها و نوسان توان‌های گذشته سیستم ماشین بردار پشتیبان(SVM) آموزش داده می‌شود تا بتواند بین نوسان توان و خطا تمایز قائل شود. در[۱۵]با استفاده از تبدیل موجک روشی برای تشخیص خطا ارائه شده است که تحت تاثیر نوسان توان قرار نمی‌گیرد. در [۱۶] روشی براساس امواج گذرا برای تشخیص نوسان توان پیشنهاد شده است. مرجع[۱۷] بوسیله نرخ تغییرات توان راکتیو نوسان توان را شناسایی می‌کند. در [۱۸] روشی ارتقا یافته بر اساس دایره‌های هم مرکز ارائه شده است که در آن مدت زمان قفل بودن رله به سرعت نوسان توان بستگی دارد.

یک روش تشخیص نوسان توان باید بتواند با استفاده از امکانات موجود با دقت و سرعت نوسان توان را تشخیص داده و رله دیستانس را قفل کند. در این مقاله با استفاده از داده‌هایPMU روشی پیشنهاد داده شده است که نوسان توان را با دقت و سرعت بالا تشخیص می‌دهد. شبیه سازی‌های انجام شده صحت کارکرد روش پیشنهادی را تایید می‌کنند.

۲)روش پیشنهادی (CB_PSB):

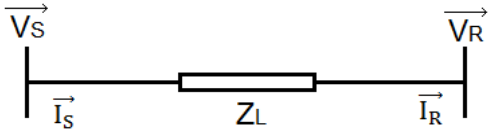
در شرایط عادی در یک شبکه حلقوی جریان از یک سر خط وارد و از سر دیگر خارج می‌شود. تفاوت جریان‌های ورودی و خروجی در این شرایط به اندازه جریان شارژ خط است. ولی در هنگام خطا از هر دو طرف خط جریان وارد و به محل خطا تزریق می‌شود. نوسان توان یک رخداد متقارن است، از این رو در هنگام نوسان توان مانند شرایط عادی شبکه جریان از یک سوی خط وارد و از سوی دیگر خارج می‌شود. با دانستن این حقایق و استفاده از توانایی‌های PMU می‌توان نوسان توان را تشخیص داد.

خط نشان داده شده در شکل (۱) را در نظر بگیرید. در روش پیشنهادی با استفاده از داده‌های PMUها در دو سر خط، اندازه $\frac{d\delta}{dt}$ ، که اختلاف زاویه ولتاژهای دو سر خط می‌باشد، بصورت پیوسته بررسی می‌شود و اگر از مقدار آستانه بیشتر شد، الگوریتم با استفاده از مقادیر I_S و I_R که از PMUها دریافت می‌کند مقدار $|I_S - I_R|$را محاسبه می‌کند. اگر اندازه بدست آمده از مقدار آستانه از پیش تعیین شده کمتر بود،نوسان توان تشخیص داده شده و رله قفل می‌شود. در غیر اینصورت خطایی در خط رخ داده

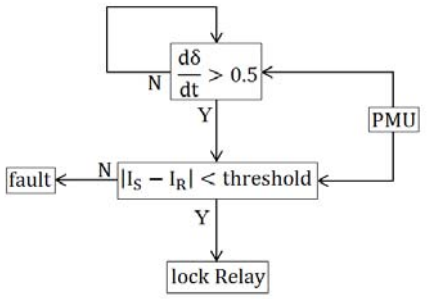
[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1392.2.2.1.2]

است. بدلیل استفاده این روش از جریان برای تشخیص نوسان توان آن را روش جریان محور یا CB_PSB می‌نامیم. مقدار آستانه باید از جریان شارژ کمی بیشتر باشد. فلوچارت این روش در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل (۱): خط با امپدانس Z_L



شکل (۲):فلوچارت روش جریان محور

جریان شارژ از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$I_{charging} = \frac{Y}{2}(V_S + V_R) \qquad (۳۰-۴)$$

این روش در دو شبکه ۱۰ شینه دلخواه و ۱۴ شینه IEEE شبیه سازی شده که نتایج آن در ادامه آورده شده است.

۳)شبیه سازی و نتایج

برای شبیه سازی این روش از دو نرم افزار MATLAB و DIgSILENT بطور هم زمان استفاده شده است. الگوریتم پیشنهادی در MATLAB کد نویسی شده و اطلاعات ورودی آن از خروجی شبکه شبیه سازی شده در DIgSILENT گرفته شده است. شبیه سازی در شبکه ۱۰ شینه و شبکه ۱۴ شینه IEEE انجام گرفته است. ساختار و مشخصات شبکه ۱۰ شینه و شبکه ۱۴ شینه IEEE به ترتیب در ضمیمه‌های «الف» و «ب» آورده شده است.

در سیستم ۱۰ شینه، رله خط شماره ۲ در سمت شین B4 برای تست الگوریتم انتخاب شد. خطاهایی روی خطوط شماره ۴، ۵، ۶ و۷ اعمال شد و مدت خطاها تا آنجایی ادامه پیدا کرد که نوسان توان بوجود آمده رله مورد نظر را دچار اشتباه کند. جدول (۱) نتایج تست الگوریتم را روی سیستم ۱۰ شینه ارائه می‌کند.

جدول (۱) نتایج تست CB_PSB در شبکه ۱۰ شینه

زمان تشخیص نوسان توان (S)	زمان رفع خطا (S)	زمان اعمال خطا (S)	محل خطا
۲/۰۴۶	۲/۴۲	۲	L4
۲/۰۴۵	۲/۶	۲	L5
۲/۰۲۱	۲/۵	۲	L6
۲/۰۲۱	۲/۶۵	۲	L7

اگر رله به واحد PSB مجهز نباشد، مدتی پس از شروع نوسان توان منحنی امپدانس وارد مشخصه رله دیستانس می‌شود و رله خط را از مدار خارج می‌کند. جدول (۲) زمان عملکرد رله در صورت نداشتن واحدPSB و اختلاف زمان بین عملکرد رله و تشخیص نوسان توان توسط روش پیشنهادی را نشان می‌دهد.

جدول (۲) تفاوت زمانی در دو حالت با CB_PSB و بدون CB_PSB برای شبکه ۱۰ شینه

فاصله زمانی بین تشخیص نوسان توان و عملکرد غلط رله (S)	زمان عملکرد رله در صورت مجهز نبودن به PSB(S)	محل خطا
۰/۷۰۴	۲/۷۵	L4
۰/۹۳۵	۲/۹۸	L5
۱/۶۵۳	۳/۶۷۴	L6
۱/۰۶۳	۳/۰۸۴	L7

الگوریتم برای خطای درون ناحیه حفاظتی رله یعنی خطا روی خط L2 نیز مورد آزمایش قرار گرفت. در این حالت نیز الگوریتم عملکرد موفقیت آمیز داشت؛ به عبارت دیگر رله را قفل نکرد.

در شبکه ۱۴ شینه IEEE خطاهایی روی خطوط ۳، ۵و ۷ اعمال شد. با فرض اینکه به هر دلیلی سیستم حفاظتی خط مورد نظر با تاخیر خط را از مدار خارج کند، نوسان توانی در شبکه رخ می-دهد که رله‌های سایر خطوط را تحت تاثیر قرار می‌دهد. جداول (۳) و (۴) نتایج شبیه سازی الگوریتم را در شبکه ۱۴ شینه IEEE نشان می‌دهند.

جدول (۳) نتایج تست CB_PSB در شبکه ۱۴ شینهIEEE

زمان تشخیص نوسان توان (S)	اولین رله‌ای که دچار عملکرد غلط می‌شود	زمان رفع خطا (S)	زمان اعمال خطا (S)	محل خطا
۲/۰۱۸	L4(B1)	۲/۳	۲	L3
۲/۰۱۸۴	L4(B1)	۲/۳۷۵	۲	L5
۲/۰۱۴	L2(B2)	۲/۴۵	۲	L7

L4(B1) : رله مربوط به خط L4 در سمت شین B1

L2(B2) : رله مربوط به خط L2 در سمت شین B2

جدول (۴) تفاوت زمانی در دو حالت با CB_PSB و بدون CB_PSB برای شبکه ۱۴ شینه IEEE

فاصله زمانی بین تشخیص نوسان توان و عملکرد غلط رله (S)	زمان عملکرد رله در صورت مجهز نبودن به PSB(S)	محل خطا
۰/۲۶۶	۲/۲۸۴	L3
۰/۲۴۲	۲/۲۶۰	L5

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1392.2.2.1.2]

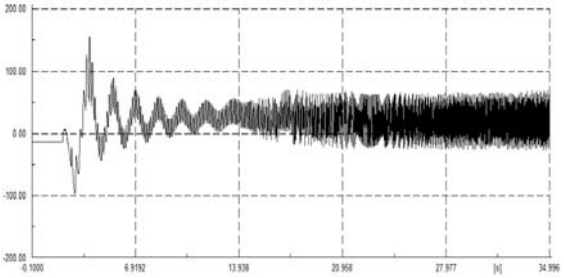
L7	۲/۴۶۵	۰/۴۵۱

عملکرد الگوریتم برای خطاهای درون ناحیه حفاظتی رله‌های L2(B2) و L4(B1) نیز مورد ارزیابی قرار گرفت که در نتیجه‌ی آن ، الگوریتم با موفقیت توانست بین خطا و نوسان توان تمایز قائل شود و در روند کارکرد رله اختلالی ایجاد نشد.

همانگونه که در جداول (۲) و (۴) مشاهده می‌شود فاصله زمانی بین تشخیص نوسان توان و عملکرد رله قابل توجه است. به عبارت دیگر الگوریتم قادر است در مراحل ابتدایی نوسان توان، آنرا تشخیص داده و رله را قفل کند و در عین حال چنانچه شبکه توسط یک کنترلر هوشمند کنترل شود زمان کافی برای اقدام درمانی از قبیل بارزدایی یا تولیدزدایی در دست خواهد بود.

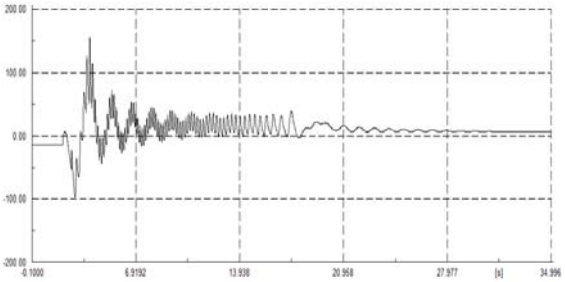
اگر در سیستم ۱۰ شینه خطایی روی خط L6 رخ دهد و برای ۰/۵۵ ثانیه باقی بماند، نوسان توانی رخ خواهد داد که کل شبکه را تحت تاثیر قرار می‌دهد. این نوسان توان باعث خروج پی‌درپی خطوط شبکه شده و در نهایت شبکه به خاموشی فرو می‌رود. ولی اگر بار شماره ۳ حداکثر ۴ ثانیه پس از وقوع خطا از شبکه جدا شود و هیچ یک از دیگر خطوط شبکه بدلیل عملکرد ناصحیح رله‌های دیستانس، از مدار خارج نشوند، سیستم پس از مدتی کوتاه پایدار خواهد شد. برای سیستم ۱۴ شینه IEEE اگر خطایی روی خط L7 رخ دهد و برای ۰/۵ ثانیه باقی بماند، سیستم دچار نوسان توان ناپایدار می‌شود. ولی اگر ۲ ثانیه پس از خطا بار شماره ۳ از مدار خارج شود و هیچ یک از دیگر خطوط نیز از شبکه خارج نشوند، سیستم پس از مدتی پایدار می‌شود. این امکان در صورت مجهز بودن رله‌های دیستانس شبکه به واحد PSBو وجود ارتباط بین آن و مرکز کنترل مهیا می‌شود. به عبارت دیگر پس از تشخیص نوسان توان توسط PSB ، رله قفل شده و شرایط نوسان توان به واحد کنترل شبکه اعلام می‌شود. سپس واحد کنترل اقدام درمانی لازم را که همان جدا کردن بار شماره ۳ می‌باشد، انجام می‌دهد.

این مثال کارایی سیستم تشخیص نوسان توان را نشان می‌دهد.شکل‌های (۳) و (۵) به ترتیب زاویه ولتاژ شین B4 در شبکه ۱۰ شینه و زاویه ولتاژ شین B1 در شبکه۱۴ شینه را برای حالتی نشان می‌دهند که شبکه‌ها به واحد CB_PSB مجهز می‌باشند ولی ارتباطی بین سیستم حفاظتی و سیستم کنترل وجود ندارد.

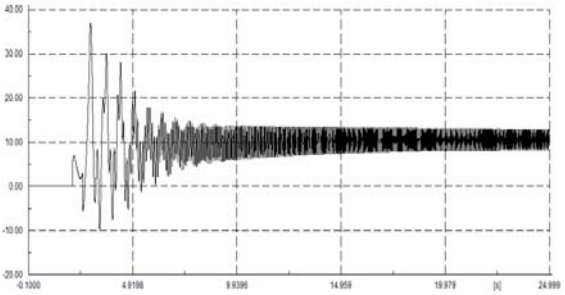


شکل (۳) زاویه شین B4 در شبکه ۱۰ شینه در صورت وقوع خطا روی خط L6 و اعمال نشدن اقدام درمانی

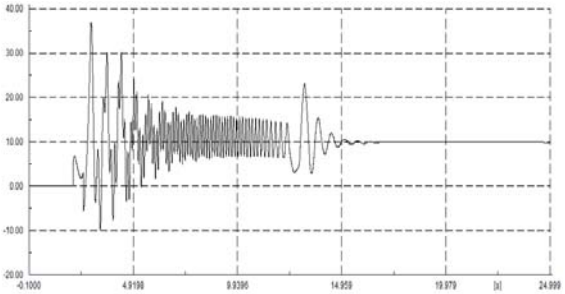
شکل (۴) زاویه ولتاژ شین B4 در شبکه ۱۰ شینه را برای حالتی نشان می‌دهد که رله‌ها به واحد CB_PSB مجهز می‌باشند و بار شماره ۳ ، ۳ ثانیه پس از وقوع خطا از شبکه خارج می‌شود و شکل (۶) زاویه ولتاژ شین B1 در شبکه ۱۴ شینه را برای حالتی نشان می‌دهد که رله‌ها به واحد CB_PSB مجهز می‌باشند و بار شماره ۳ ، ۲ ثانیه پس از وقوع خطا از شبکه خارج می‌شود.



شکل (۴) زاویه شین B4 در شبکه۱۰ شینه در صورت وقوع خطا روی خط L6 و اعمال اقدام درمانی



شکل (۵) زاویه شین B1 در شبکه ۱۴ شینه در صورت وقوع خطا روی خط L7 و اعمال نشدن اقدام درمانی



شکل (۶) زاویه شین B1 در شبکه ۱۴ شینه در صورت وقوع خطا روی خط L7 و اعمال اقدام درمانی

برای اثبات کارایی روش CB_PSB نتایج مقایسه این روش با شاخص‌ترین روش شناسایی نوسان توان یعنی روش مشخصه‌های هم مرکز برای شبکه‌های ۱۰ شینه و ۱۴ شینه IEEE به ترتیب در جداول (۵) و (۶) آورده شده است. زمان تاخیری که برای گذرمنحنی امپدانس از ناحیه تشخیص رله دیستانس در روش مشخصه‌های هم مرکز در نظر گرفته می‌شود، بطور معمول بین

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1392.2.2.1.2]

۳۰ میلی ثانیه تا ۲ ثانیه است [۱۹]. در مقاله حاضر جهت شبیه سازی روش مشخصه‌های هم مرکز حداقل زمان لازم برای حضور منحنی امپدانس در ناحیه تشخیص نوسان توان ۳۰ میلی ثانیه در نظر گرفته شده است.

جدول (۵) مقایسه CB_PSB با روش مشخصه‌های هم مرکز برای شبکه ۱۰ شینه

زمان تشخیص نوسان توان توسط CB_PSB(S)	زمان تشخیص نوسان توان توسط روش مشخصه‌های هم مرکز(S)	زمان آغاز نوسان توان(S)	محل خطا
۲/۰۴۶	۲/۴۶۵	۲	L4
۲/۰۴۵	-	۲	L5
۲/۰۲۱	۲/۸۱۳	۲	L6
۲/۰۲۱	۲/۷۶۱	۲	L7

جدول (۶) **مقایسه CB_PSB با روش مشخصه‌های هم مرکز برای شبکه ۱۴ شینه IEEE**

زمان تشخیص نوسان توان توسط CB_PSB(S)	زمان تشخیص نوسان توان توسط روش مشخصه‌های هم مرکز (S)	زمان آغاز نوسان توان (S)	محل خطا
۲/۰۱۸	۲/۰۸۰	۲	L3
۲/۰۱۸۴	۲/۰۸۲	۲	L5
۲/۰۱۴	۲/۳۰۶	۲	L7

از دو جدول (۵) و(۶) مشاهده می‌شود که CB_PSB در تمام موارد نوسان توان را تشخیص می‌دهد. در حالیکه روش مشخصه-های هم مرکز نوسان توان سریع را تشخیص نمی‌دهد.همچنین مشاهده می‌شود که در شبیه سازی‌های انجام شده روش CB_PSB بطور متوسط ۳۹۵ میلی ثانیه نوسان توان را سریعتر از روش مشخصه‌های هم مرکز تشخیص می‌دهد.

مقایسه روش CB_PSB با روش Mathematical Morphology که در [۱۲] مطرح شده است و یکی از سریعترین روش‌های تشخیص نوسان توان است سرعت بالای روش CB_PSB را تایید می‌کند. در روش Mathematical Morphology حداقل زمان لازم برای تشخیص نوسان توان ۴ سیکل است که در سیستم ۵۰Hz معادل ۸۰ میلی ثانیه می‌باشد. در حالیکه زمان‌های بدست آمده در شبیه سازی روش CB_PSB کمتر از ۵۰ میلی ثانیه هستند.

۴)نتیجه‌گیری:

در این مقاله روشی برای جلوگیری از عملکرد ناصحیح رله دیستانس در زمان نوسان توان ارائه شده است. در این روش با بررسی نرخ تغییرات اختلاف زاویه ولتاژهای دو سر خط و جهت جریان در هر دو طرف خط نوسان توان تشخیص داده شده و رله دیستانس قفل می‌شود. شبیه‌سازی‌های صورت گرفته عملکرد صحیح و سریع این روش را تایید می‌کنند و نشان می‌دهند که فاصله زمانی بین تشخیص نوسان توان و عملکرد ناصحیح رله دیستانس قابل توجه است و زمان مورد نیاز برای انجام اقدامات درمانی را فراهم می‌سازد.مقایسه روش جدید ارائه شده با روش مشخصه‌های هم مرکز عملکرد بهتر روش پیشنهادی را اثبات می-کند.

۵) مراجع:

[1] Ann Helen Berkestedt," Phasor Measurement based Out-Of-Step Detection", Master of Science Thesis in the Master Degree Program, Electrical Engineering, chalmers university of technology 2007.

[2] V. Centeno ,A.G. IPhadke, A. Edris, J. Benton, M. Gaudi, G. Michel," An Adaptive Out-Of-Step Relay", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 12, No. 1, January 1997.

[3] Yi-Jen Wang, Chih-Wen Liu,Yuin-Hong Liu," A PMU based special protection scheme: a case study of Taiwan power system", International Journal of Electrical Power& Energy Systems, Volume 27, Issue 3, March 2005.

[4] Yi Zhang, Kevin Tomsovic," Real-time Transient Instability Detection Based on Decision Trees", Intelligent System Applications to Power Systems, 2009. ISAP '09. 15th International Conference.

[۵]حسن خراشادی زاده،آناهیتاجلیلی آزاد " طراحی یک تشخیص دهنده نوسان توان برای حفاظت دیستانس خطوط انتقال انرژی به کمک شبکه‌های عصبی" هجدهمین کنفرانس بین المللی برق ۱۳۸۲.

[۶]رضادولت آبادی، جواد ساده،" تمایز صحیح بین خطا و نوسان توان به کمک مولفه DC میرا شونده جریان خطا جهت بهبود عملکرد رله‌های دیستانس" اولین کنفرانس تخصصی حفاظت و کنترل سیستم‌های قدرت، آذر ۸۵.

[7] K.H. So, J.Y. Heo, C.H. Kim, R.K. Aggarwal and K.B. Song," Out-of-step detection algorithm using frequency deviation of voltage" IET Gener. Transm. Distrib., Vol. 1, No. 1, January 2007.

[8] Seong-Il Lim, Chen-ChingLiu,Seung-Jae Lee, Myeon-Song Choi, Seong-Jeong Rim," Blocking of Zone 3 Relays to Prevent Cascaded Events", IEEE Transactions On Power Systems, vol. 23, no. 2, may 2008.

[9] M. Zare, M. Aghamohammadi, M. Saeedi," Mitigation of Power System Blackout by Blocking Zone3 of Minimum Distance Relays"

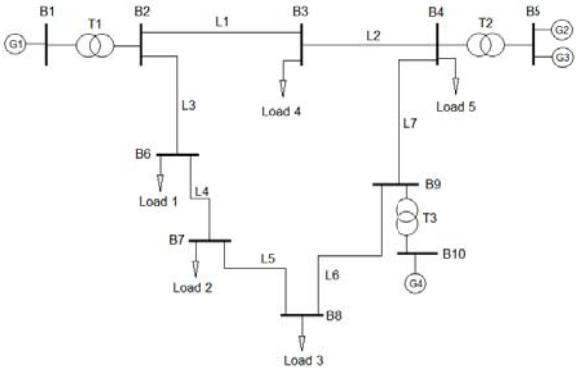
[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1392.2.2.1.2]

Universities Power Engineering Conference. UPEC 2008. 43rd International.
[10] VirgilioCenteno, Jaime De La Reel, A.G. Phadke, Gary Michelz, J. Murphy, and R. Burnett," Adaptive Out-of-Step Relaying Using Phasor Measurement Techniques" 12 IEEE Computer Applications in Power 1993.
[11] Damien Tholomier, Simon Richards , Alexander Apostolov ," Advanced Distance Protection Applications for Dynamic Loading and Out-Of-Step Conditions" 2007 iREP Symposium- Bulk Power System Dynamics and Control - VII, Revitalizing Operational Reliability August 19-24, 2007, Charleston, SC, USA.
[12] Suresh Gautam, Sukumar M. Brahma," Application of Mathematical Morphology Based Filters to Detect a Power Swing" Power and Energy Society General Meeting, 2010 IEEE.
[13] Seethalekshmi K, S. N. Singh, and S. C. Srivastava," SVM Based Power Swing Identification Scheme for Distance Relays" Power and Energy Society General Meeting, 2010 IEEE.
[14] W. Kampeerawat, W. Buangam, S. Chusanapiputt," New Swing-blocking Methods for Digital Distance Protection Using Support Vector Machine" 2010 International Conference on Power System Technology.
[15] S. M. Brahma," Use of Wavelets for Out of Step Blocking Function of Distance Relays" Power Engineering Society General Meeting, 2006 IEEE.
[16] MattiasJonsson, JaapDaalder," A new protection scheme to prevent mal-trips due to power swings" Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2001 IEEE/PES.
[17] PratimKundu, Ashok Kumar Pradhan," Stability Assessment using Synchrophasor Data" Energy, Automation, and Signal (ICEAS), 2011 International Conference.
[18] Shengshi Zhu, QunGu, , and Li Zheng, "New Swing-blocking Methods for Digital Distance Protection" Power Systems Conference and Exposition, 2004. IEEE PES.
[19] A. Mechraoui and D. W. P. Thomas, "new blocking principle with phase and earth fault detection during fast power swings for distance protection" IEEE Trans. Power. Del., vol. 10, no. 3, Jul. 1995.

ضمیمه«الف» :

مشخصات شبکه ۱۰ شینه :



شکل الف-۱: شبکه ۱۰ شینه

جدول الف-۱: مشخصات ترانسفورماتورهای شبکه ۱۰ شینه

توان MVA	نسبت تبدیل	ترانسفورماتور
۲۵۵	۱۹ KV /۳۸۰ KV	T1 , T2 , T3

جدول الف-۲: مشخصات ژنراتورهای شبکه ۱۰ شینه

توان راکتیو MVAR	توان اکتیو MW	ژنراتور
۴۵	۲۴۵	G1
۱۰	۱۰۰	G2
۴۰	۲۰۰	G3
۳۵	۸۵	G4

جدول الف-۳: مشخصات بارهای شبکه ۱۰ شینه

توان راکتیو MVAR	توان اکتیو MW	بار (LOAD)
۴۰	۱۰۲	Load 1
۱۵	۶۸	Load 2
۱۰	۱۰۰	Load 3
۲۵	۴۱۰	Load 4
۱۰	۵۰	Load 5

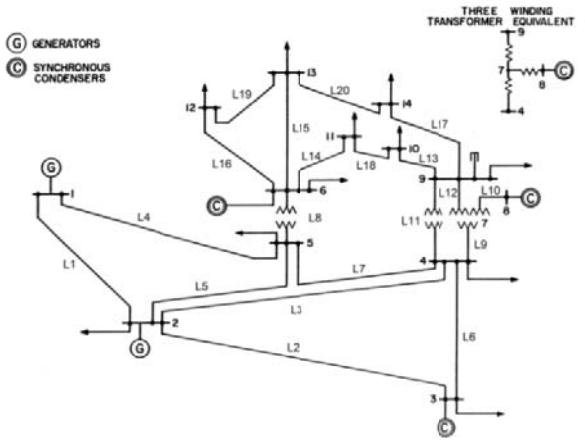
جدول الف-۴: مشخصات خطوط شبکه ۱۰ شینه

امپدانس توالی صفر ohm	امپدانس توالی مثبت ohm	خط
۲۷۷/۵+j۲۱۶	۱۳/۲۲۵+j۱۱۰/۲	L1
۲۲۲+j۱۷۲/۸	۱۰/۵۸+j۸۸/۱۶	L2
۲۲/۲+j۱۷/۲۸	۱/۰۵۸+j۸/۸۱۶	L3
۱۲۲/۱+j۹۵/۰۴	۵/۸۱۹+j۴۸/۴۸۸	L4
۲۷/۷۵+j۲۱/۶	۱/۳۲۲۵+j۱۱/۰۲	L5
۴۴/۴+j۳۴/۵۶	۲/۱۱۶+j۱۷/۶۲۳	L6
۱۶۶/۵+j۱۲۹/۶	۷/۹۳۵+j۶۶/۱۲	L7

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-27]
[DOR: 20.1001.1.23222344.1392.2.2.1.2]

ضمیمه «ب» :

مشخصات شبکه ۱۴ شینه IEEE :



شکل ب-۱: شبکه ۱۴ شینه IEEE

جدول ب-۱ : مشخصات شین‌ها

شماره شین	تولید		بار		محدودیت توان راکتیو	
	اکتیو (p.u)	راکتیو (p.u)	اکتیو (p.u)	راکتیو (p.u)	حداقل (p.u)	حداکثر (p.u)
۱	۲/۳۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	-۱۰	۱۰
۲	۰/۴	-۰/۴۲۴	۰/۲۱۷۰	۰/۱۲۷	-۰/۴	۰/۵
۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۹۴۲۰	۰/۱۹۰	۰/۰۰	۰/۴
۴	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۴۷۸۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۷۶۰	۰/۰۱۶	۰/۰۰	۰/۰۰
۶	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۱۱۲۰	۰/۷۵۰	-۰/۰۶	۰/۲۴
۷	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	-۰/۰۶	۰/۲۴
۹	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۲۹۵۰	۰/۱۶۶	۰/۰۰	۰/۰۰
۱۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۹	۰/۰۵۸	۰/۰۰	۰/۰۰
۱۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۳۵۰	۰/۰۱۸	۰/۰۰	۰/۰۰
۱۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۶۱۰	۰/۰۱۶	۰/۰۰	۰/۰۰
۱۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۱۳۵۰	۰/۰۵۸	۰/۰۰	۰/۰۰
۱۴	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۱۴۹۰	۰/۰۵۰	۰/۰۰	۰/۰۰

جدول ب-۲ : مشخصات خطوط

شماره خط	از شین	به شین	امپدانس		نصف سوسپتانس خط (p.u)
			مقاومت (p.u)	راکتانس (p.u)	
۱	۱	۲	۰/۰۱۹۳۸	۰/۰۵۹۱۷	۰/۰۲۶۴۰
۲	۲	۳	۰/۰۴۶۹۹	۰/۱۹۷۹۷	۰/۰۲۱۹۰
۳	۲	۴	۰/۰۵۸۱۱	۰/۱۷۶۳۲	۰/۰۱۸۷۰
۴	۱	۵	۰/۰۵۴۰۳	۰/۲۲۳۰۴	۰/۰۲۴۶۰
۵	۲	۵	۰/۰۵۶۹۵	۰/۱۷۳۸۸	۰/۰۱۷۰۰
۶	۳	۴	۰/۰۶۷۰۱	۰/۱۷۱۰۳	۰/۰۱۷۳۰
۷	۴	۵	۰/۰۱۳۳۵	۰/۰۴۲۱۱	۰/۰۰۶۴۰
۸	۵	۶	۰/۰۰	۰/۲۵۲۰۲	۰
۹	۴	۷	۰/۰۰	۰/۲۰۹۱۲	۰
۱۰	۷	۸	۰/۰۰	۰/۱۷۶۱۵	۰
۱۱	۴	۹	۰/۰۰	۰/۵۵۶۱۸	۰
۱۲	۷	۹	۰/۰۰	۰/۱۱۰۰۱	۰
۱۳	۹	۱۰	۰/۰۳۱۸۱	۰/۰۸۴۵۰	۰
۱۴	۶	۱۱	۰/۰۹۴۹۸	۰/۱۹۸۹۰	۰
۱۵	۶	۱۲	۰/۱۲۲۹۱	۰/۲۵۵۸۱	۰
۱۶	۶	۱۳	۰/۰۶۶۱۵	۰/۱۳۰۲۷	۰
۱۷	۹	۱۴	۰/۱۲۷۱۱	۰/۲۷۰۳۸	۰
۱۸	۱۰	۱۱	۰/۰۸۲۰۵	۰/۱۹۲۰۷	۰
۱۹	۱۲	۱۳	۰/۲۲۰۹۲	۰/۱۹۹۸۸	۰
۲۰	۱۳	۱۴	۰/۱۷۰۹۳	۰/۳۴۸۰۲	۰

جدول ب-۳ : مشخصات تپ ترانسفورماتورها

از شین	به شین	اندازه تپ (p.u)
۴	۷	۰/۹۷۸
۴	۹	۰/۹۶۹
۵	۶	۰/۹۳۲

جدول ب-۴ : مشخصات خازن موازی

شماره شین	سوسپتانس (p.u)
۹	۰/۱۹

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1392.2.2.1.2]