



بهبود هماهنگی حفاظتی رله‌های دیستانس خطوط فشارقوی به کمک شبکه‌های عصبی

مصنوعی

علی محمدی^۱

گروه برق، مؤسسه آموزش عالی وحدت، تربت جام، ایران

چکیده

در این مقاله جهت بررسی اثر نوسان توان بر رله‌های دیستانس در حضور منابع تولید پراکنده، یک واحد تطبیقی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) برای رله دیستانس طراحی شده است. سیستم پیشنهادی در کنار واحد تنظیم ثابت رله، با استفاده از اطلاعات محلی حد تریپ را برای رله تنظیم می‌نماید. در این حالت، تنظیم ناحیه‌های حفاظتی رله دیستانس همزمان با تغییر شرایط واحدهای تولید پراکنده به صورت تطبیقی عوض می‌شود تا از عملکرد نادرست رله جلوگیری گردد.

کلمات کلیدی: هماهنگی حفاظتی، رله دیستانس، نیروگاه بادی، منبع تولید پراکنده.

تاریخچه مقاله:

تاریخ ارسال: ۹۷/۱۱/۲۰

تاریخ اصلاحات: ۹۷/۱۲/۱۵

تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۲/۱۵

تاریخ انتشار: ۹۷/۱۲/۲۰

Keywords:

Protective coordination

Distances relay

Wind power plant

Dispersed generation source

The Protective Coordination Improvement of Distance Relays of High Voltage Lines via Artificial Neural Networks

Ali Mohammadi¹

Vahdat Institute of Higher Education, Torbat-e Jam, Iran

Abstract

In this paper, an adaptive unit is designed for distance relay using the Artificial Neural Network (ANN) to study the effect of power oscillation on distances relays in the presence of distributed generation sources. The proposed system, along with the relay constant setting unit, uses the local information to set the trip limit for the relay. In this case, the adjustment of the relay protection zones will be adapted simultaneously as the conditions of the dispersed generation units' change, in order to prevent from the faulty operating of the relay.

ع. محمدی، بهبود هماهنگی حفاظتی رله‌های دیستانس خطوط فشارقوی به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی، دوفصلنامه محاسبات و سامانه‌های توزیع شده، سال اول، شماره دوم، شماره پیاپی ۲، سال ۱۳۹۷، ص ۴۱-۴۹

روش ارجاع به مقاله:

Email: mohammadi@vahdat.ac.ir



۱ - مقدمه

افزایش درخواست‌ها برای استفاده از انرژی برق و ایجاد بازارهای برق باعث تغییرات سریع در نحوه بهره‌برداری از شبکه‌ی قدرت شده‌اند. بارگیری بیش از حد خطوط انتقال نیز سبب می‌شود ژنراتورهای سنکرون^۱ شدیداً در معرض ناپایداری قرار گرفته و منجر به خروج متوالی آن‌ها در بازه کوتاهی از زمان شود. این خروج‌های پی‌درپی باعث نوسانات توان بین واحدها و سیستم‌های مجاور شده و به دلیل افت ولتاژ زیاد به ناپایداری می‌انجامد. نکته اساسی که از دیدگاه مصرف‌کننده در شبکه قدرت حائز اهمیت است، تولید و انتقال دائمی و بدون وقفه الکتریسیته است. شبکه قدرت^۲ شامل ژنراتور^۳، خطوط انتقال^۴، ترانسفورماتورها^۵ و سایر تجهیزات می‌باشد که همگی در معرض انواع خطاها^۶ قرار دارند. این خطاها در عملکرد عادی شبکه اختلال ایجاد می‌کنند. بنابراین سیستم حفاظت خطوط انتقال^۷ جهت بهبود پایداری شبکه باید قادر به رفع اتصال کوتاه در کم‌ترین زمان ممکن باشد. مناسب‌ترین طرح برای حفاظت خطوط انتقال، استفاده از طرح‌های حفاظت دیستانس^۸ می‌باشد. اساس عملکرد این حفاظت، اندازه‌گیری امپدانس^۹ در محل رله^{۱۰} است. از جمله عواملی که در این اندازه‌گیری تاثیر می‌گذارد ساختار شبکه، سطح

اتصال کوتاه^{۱۱} سیستم قدرت و مقاومت خط^{۱۲} می‌باشند [۱].

با وجود نقش کلیدی و بی‌بدیل رله‌های دیستانس^{۱۳} در حفاظت شبکه در سطوح انتقال و فوق توزیع، این نوع حفاظت در پاره‌ای از موارد همچون نوسان توان، منجر به عملکرد نابجا می‌گردد. حوادث گسترده‌ای همچون خاموشی وسیع در شبکه در اثر این پدیده به وجود آمده است. در نتیجه به وجود آوردن شرایطی که به موجب آن، احتمال وقوع این پدیده کاهش یابد، حایز اهمیت است [۲].

پایان‌پذیر بودن منابع سوخت‌های فسیلی، آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از آن‌ها، تلفات و هزینه مربوط به انتقال توان، از جمله دلایلی است که بشر را به سوی استفاده از منابع جایگزین برای تولید برق و بحث تجدید ساختار سیستم‌های قدرت^{۱۴} سوق داده است. در دهه‌های اخیر استفاده از منابع تجدیدپذیر^{۱۵} مثل خورشید، باد، امواج دریاها و... برای تولید انرژی الکتریکی بسیار مورد استقبال واقع شده که از آن‌ها به عنوان واحدهای تولید پراکنده^{۱۶} یاد می‌شود. بکارگیری درست این منابع علاوه بر کاهش آلودگی ناشی از استعمال سوخت‌های فسیلی، می‌تواند تا حد مطلوبی تلفات و هزینه‌ها را کاهش و همچنین قابلیت اطمینان^{۱۷} و کیفیت توان^{۱۸} سیستم را افزایش دهد [۳].

1 Synchronous generators

2 Power grid

3 Generator

4 Transmission lines

5 Transformers

6 Fault

7 Transmission Line Protection Systems

8 Distance Protection Schemes

9 Impedance

10 Relay

11 Short circuit level

12 Fault resistance

13 Distance relay

14 Power Systems Restructuring

15 Renewable resources

16 Dispersed production units

17 Reliability

18 Power quality



تریپ را برای رله تنظیم می‌نماید. در این حالت، تنظیم ناحیه‌های حفاظتی رله دیستانس همزمان با تغییر شرایط مزرعه بادی به صورت تطبیقی عوض می‌شود تا از عملکرد نادرست رله جلوگیری گردد.

دیگرام تک خطی سیستم مورد مطالعه برای خطای فاز A به زمین در شکل ۱ نشان داده شده است [۴]. رله دیستانس در نقطه‌ی W قرار گرفته است و در حالت عادی مسیر سیلان توان در سیستم از W به سمت P (مزرعه‌ی بادی به سمت شبکه) می‌باشد. در این دیگرام، مزرعه بادی و شبکه با مدار معادل تونن مدل شده و از خازن‌های موازی خط در آن صرف نظر شده است.

رابطه بین ولتاژهای منابع معادل، پیش از وقوع خطا به صورت رابطه (۱) است:

$$E_{AP} = (\rho e^{-j\delta}) E_{AW} \quad \text{رابطه (۱)}$$

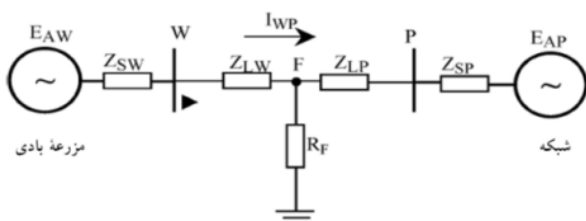
جریان پیش از خطا نیز برابر است با (۲):

$$I_{WP} = \frac{E_{AW} - E_{AP}}{Z_1} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که Z_1 راکتانس توالی مثبت سیستم بوده و از رابطه (۳) به دست می‌آید:

$$Z_1 = Z_{SW} + Z_{LW} + Z_{LP} + Z_{SP} \quad \text{رابطه (۳)}$$

از رابطه‌ی (۱) تا (۳) می‌توان به (۴) رسید:



(شکل-۱): دیگرام تک خطی سیستم مورد مطالعه

یکی از دلایلی که پس از اغتشاش بزرگ در شبکه می‌تواند موجب خروج‌های متوالی شود و شبکه را به سمت ناپایداری پیش ببرد، عملکرد اشتباه رله‌های دیستانس به دلیل نوسانی شدن امیدانس دیده شده توسط رله در حین وقوع پدیده نوسان توان^{۱۹} است. لذا از عملکرد اشتباه رله دیستانس در هنگام نوسان توان باید جلوگیری کرد. با توجه به این که واحدهای تولید پراکنده در اکثر سیستم‌های قدرت حضور دارند، ارزیابی شبکه در حضور این واحدهای تجدیدپذیر، به منظور پیش‌بینی حوادث آتی ضرورت پیدا می‌کند.

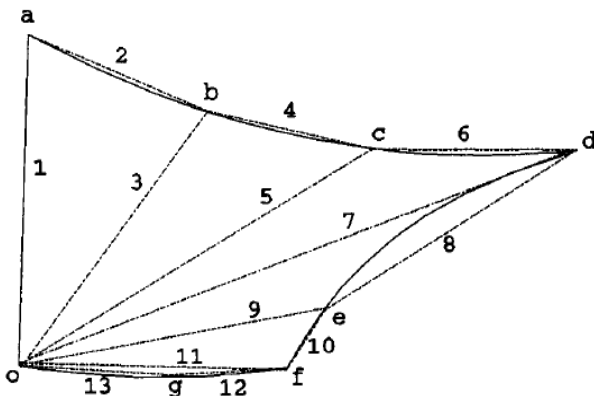
در این مقاله پدیده نوسان توان و رفتار سیستم در هنگام وقوع خطا و در حضور رله‌های دیستانس و واحدهای تولید پراکنده بررسی می‌شود. در ادامه مقاله در بخش دوم، مکانیسم پیشنهادی هماهنگی حفاظتی و در بخش سوم نتایج شبیه‌سازی‌های مروری ارائه می‌شوند. مقاله با نتیجه‌گیری بخش چهارم نیز خاتمه می‌یابد.

۲- مکانیسم پیشنهادی هماهنگی حفاظتی

تغییرات سرعت باد موجب نوسانات ولتاژ، فرکانس و توان خروجی مزرعه بادی می‌شود. از این رو، حفاظت خطوط متصل کننده این مزارع به شبکه از اهمیت زیادی برخوردار بوده و بکارگیری یک سیستم تطبیقی برای حفاظت دیستانس خط مذکور ضروری است. برای این منظور در این مقاله، یک واحد تطبیقی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN^{۲۰}) برای رله دیستانس طراحی شده است که در کنار واحد تنظیم ثابت رله، با استفاده از اطلاعات محلی، حد

¹⁹ Power oscillation

²⁰ Artificial Neural Network



(شکل-۳): مشخصه تریپ تطبیقی و مدل تقریبی آن توسط خطی-ساز

هر خط صفحه R-X را به ۲ ناحیه تقسیم می‌کند و فرض ما بر این است که «خروجی خط» مثبت است اگر امپدانس محاسبه شده در یک طرف آن بیفتد و منفی است اگر امپدانس در طرف دیگر خط بیفتد. مقادیر مثبت یا صفر خروجی خط را متناظر با «یک» منطقی فرض می‌کنیم و مقادیر منفی را متناظر با «صفر» منطقی. چنانچه ناحیه عملکرد ایده‌آل به شکل محدب ثابت بماند، این خروجی خطوط به‌همراه چند عملگر AND می‌تواند فرمان قطع را صادر نماید. با این‌همه، از آنجا که شرایط کاری متفاوت منجر به محدوده‌های منحنی متفاوتی خواهند شد، ناحیه تصمیم‌گیری می‌تواند محدب نباشد. به‌همین خاطر، تنها از عملگرهای منطقی AND با اطمینان نمی‌توان برای اتخاذ تصمیم قطع مدار استفاده کرد. به‌همین دلیل از چند خط اضافی برای تقسیم ناحیه استفاده می‌کنیم. در شکل ۳ این خطوط با شماره‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳ مشخص شده‌اند. خروجی خطوط متناظر با خطوط ۱ تا ۱۳ با L1 تا L13 در شکل ۴ متناظرند.

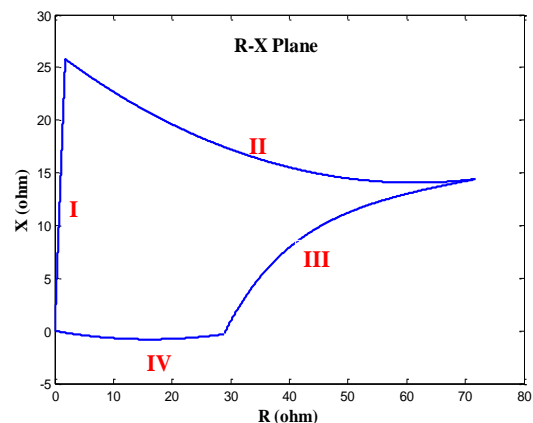
حال، ترکیبی از عملگرهای AND و OR را می‌توان برای اتخاذ یک تصمیم مطمئن بکار برد. همان-

$$\rho e^{-j\delta} = 1 - \left(\frac{I_{WP}}{E_{AW}} \right) Z_1 \quad \text{رابطه (۴)}$$

طرح محاسبه تنظیم تطبیقی از ۲ بخش تشکیل شده است:

- (۱) محاسبه خطوط مرزی مشخصه تنظیمی
- (۲) محاسبات صورت گرفته در طول خط

این روش که بسیار دقیق طراحی شده محاسبات هر ۲ بخش را در عین دقت زیادی حداقل می‌کند. در این روش از تعدادی خطوط مستقیم برای تقریب‌زدن محدوده‌هایی منحنی شکل ۲ استفاده می‌شود. تعداد این خطوط بستگی به تقریب موردنیاز در حل مسئله و نیز ظرفیت پردازش میکرو پروسیسور مورد استفاده دارد. در اینجا برای نشان دادن منحنی II از ۳ خط (۶،۴،۲)، منحنی III از ۲ خط (۸،۱۰)، منحنی IV از ۲ خط (۱۳ و ۱۲) و منحنی I شکل ۲ از یک خط استفاده شده است. این مدل تقریبی در شکل ۳ آورده شده است.



(شکل-۴): ناحیه تریپ ایده‌آل برای سیستم مورد مطالعه



محاسبه نمود. با فرض مثبت بودن خروجی خط در طرف چپ و انتخاب $W_{11} = \pm 1$ (به منظور کم کردن محاسبه در طی خطا) خواهیم داشت رابطه (۸):

$$\begin{aligned} W_{10} &= 0 \\ W_{11} &= 1 \\ W_{1r} &= -\frac{X_A(a)}{R_A(a)} \end{aligned} \quad \text{رابطه (۸)}$$

از روش‌های مشابهی برای محاسبه وزن‌های مربوطه $L3, L5, L7, L9, L11, L13$ استفاده می‌شود. اما برای محاسبه وزن‌های سایر خطوط روش کمی پیچیده‌تر خواهد بود. مثلاً برای $L2$ داریم رابطه (۹):

$$L_r = W_{r1}X_A + W_{r2}R_A + W_{r0} = 0 \quad \text{رابطه (۹)}$$

و برای ۲ نقطه a و b خواهیم داشت رابطه (۱۰):

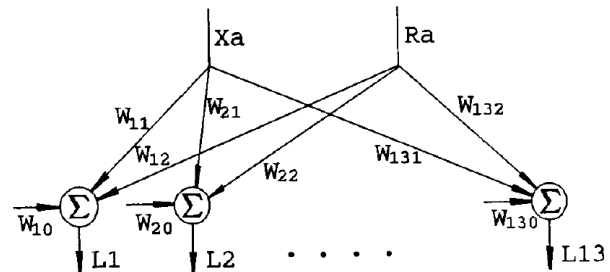
$$\begin{cases} W_{r1}X_A(a) + W_{r2}R_A(a) + W_{r0} = 0 \\ W_{r1}X_A(b) + W_{r2}R_A(b) + W_{r0} = 0 \end{cases} \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

فرض کنید که می‌خواهیم خروجی خط در سمت ناحیه عملکرد، مثبت باشد. پس در نظر می‌گیریم $W_{r1} = -1$ و به دست می‌آوریم رابطه (۱۱):

$$\begin{aligned} W_{r1} &= -1 \\ W_{r2} &= \frac{X_A(b) - X_A(a)}{R_A(b) - R_A(a)} \\ W_{r0} &= X_A(b) - \frac{X_A(b) - X_A(a)}{R_A(b) - R_A(a)} R_A(b) \end{aligned} \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

زمانی که یک خطا رخ می‌دهد، پس از تشخیص خطا و تعیین نوع آن (طبقه‌بندی خطا) یک رله دیستانس دیجیتال به محاسبه راکتانس و مقاومت ظاهری می‌پردازد. از روی مقدار راکتانس و مقاومت مشاهده مقادیر خروجی خطوط $L1$ تا $L13$ به دست می‌آیند. در طرح تطبیقی پیشنهادی، مقادیر منطقی متناظر با این مقادیر مثبت یا منفی به صورتی که در شکل ۵ نشان داده شده با استفاده از عملگرهای AND

طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، هر خروجی خط با دو وزن به ورودی‌های R_A و X_A که اندازه‌گیری شده‌اند، متصل شده است [۵].



شکل-۴: ساختار محاسباتی در تنظیم تطبیقی

برای مثال، برای $L1$ وزن‌های W_{11} و W_{12} نیز یک وزن بایاس W_{10} را داریم. مقدار خروجی به صورت رابطه (۵) تعریف می‌شود:

$$L_1 = W_{11}X_A + W_{12}R_A + W_{10} \quad \text{رابطه (۵)}$$

مقادیر مثبت و منفی خروجی مشخص کننده دو طرف خط مذکور می‌باشند. یک حالت آستانه بحرانی زمانی رخ می‌دهد که خروجی خط صفر شود (مطابق رابطه (۶)):

$$W_{11}X_A + W_{12}R_A + W_{10} = 0 \quad \text{رابطه (۶)}$$

بنابراین، رابطه (۷) را خواهیم داشت:

$$X_A = -\frac{W_{12}}{W_{11}}R_A - \frac{W_{10}}{W_{11}} \quad \text{رابطه (۷)}$$

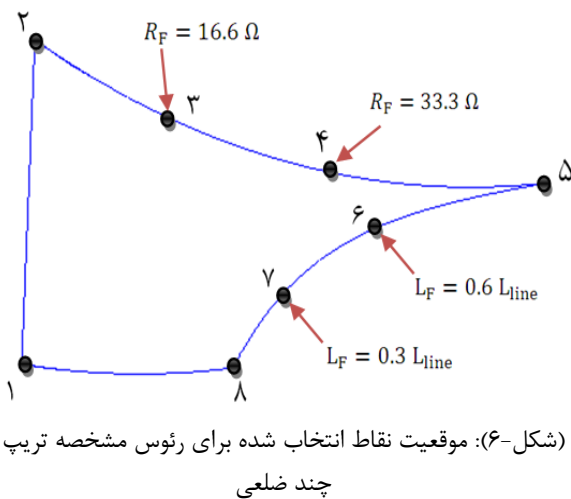
واضح است که رابطه (۷) معادله خطی با شیب $-\frac{W_{12}}{W_{11}}$ و عرض از مبدأ $-\frac{W_{10}}{W_{11}}$ را نشان می‌دهد و بنابراین سه وزن W_{11} ، W_{12} و W_{10} شیب، عرض از مبدأ و سمت خط جداکننده را نشان می‌دهند.

به عنوان مثال در شکل ۲، خط ۱ از مبدأ گذشته، در نتیجه عرض از مبدأ آن صفر است و نیز شیب آن را می‌توان از روی مقدار مقاومت و راکتانس در نقطه a



۳- مرور نتایج شبیه‌سازی

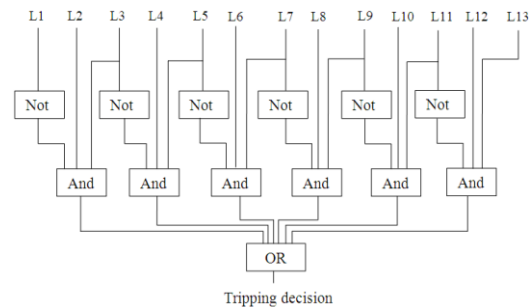
در شبیه‌سازی، دلیل آنکه از ۷ شبکه با ۲ خروجی به جای یک شبکه با ۱۴ خروجی استفاده شده است، افزایش قابلیت اطمینان و سرعت یادگیری و کاهش خطا می‌باشد. به منظور آموزش شبکه‌ها برای هر نقطه، ۱۵۰ حالت مختلف با تغییر دادن پارامترهای ذکر شده در بالا استخراج شدند. مقادیر R و X مربوط به هر یک از این ۷ نقطه با تغییر دادن R_F و محل خطا به دست می‌آیند به طوری که، هر یک از آن‌ها بر روی اضلاع مشخصه ایده‌آل قرار داشته باشند (مطابق شکل ۶ نشان داده شده).



(شکل-۶): موقعیت نقاط انتخاب شده برای رؤس مشخصه تریپ چند ضلعی

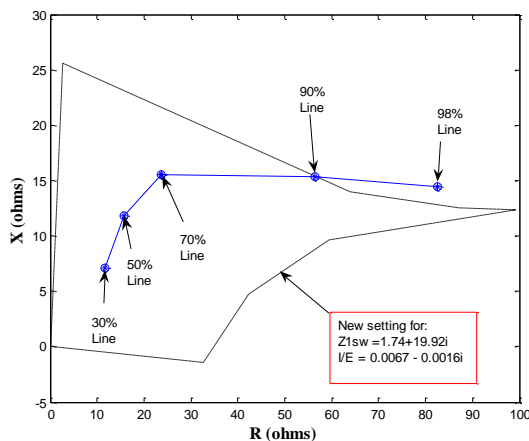
از آنجا که مقادیر Z_{1SW} و $\frac{I_{WP}}{E_{AW}}$ بسیار متنوع هستند، بایستی شبکه‌های آموزش دیده را بررسی کرد تا از نحوه عملکرد آن آگاهی یافت. به عنوان مثال فرض شده است که مقادیر Z_{1SW} و $\frac{I_{WP}}{E_{AW}}$ به هنگام وقوع خطا به ترتیب $20 \angle 85^\circ$ و $0.0016 - j0.0067$ باشند. با ورود این مقادیر به برنامه شبکه‌های عصبی، نقاط a تا g به دست می‌آیند. در شکل ۷ مشخصه ایده‌آل و مشخصه‌ای که خروجی شبکه‌های عصبی تشکیل می‌دهند، نشان داده شده است. همان طور که از

و OR با هم ترکیب شده و خروجی دستور قطع صادر می‌شود [۶].



(شکل-۵): مدار منطقی صدور فرمان قطع

کاملاً واضح است که عملیات محاسباتی پرازنده کمتر می‌شود. در حالتی که مورد بررسی قرار گرفت، محاسبات پیش از خطا به صورت online بیشتر از ۱۳ عمل ضرب، ۱۹ عمل جمع و ۱۲ عملگر منطقی را در بر نمی‌گرفت. این محاسبات پردازش کمی نیاز داشته و با پردازنده ۱۶ بیتی موجود فعلی قابل انجام هستند. بدیهی است که مختصات نقاط a تا g همگی تابع مقادیر Z_{1SW} و $\frac{I_{WP}}{E_{AW}}$ می‌باشند. از این رو برای به دست آوردن آن‌ها از ۷ شبکه‌ی عصبی FFB که ورودی هر کدام مقادیر Z_{1SW} و $\frac{I_{WP}}{E_{AW}}$ و خروجی هر کدام، یکی از نقاط a تا g می‌باشد، استفاده شده است. تعداد ورودی‌ها و خروجی‌های هر شبکه ۲ عدد می‌باشد. چنانچه برای رله از مشخصه‌های دیگر استفاده می‌شد، ممکن بود تعداد خروجی موردنیاز برای منحنی عملکرد رله بیشتر یا کمتر شود. در حقیقت تعداد خروجی‌های شبکه بستگی به تعداد متغیرهای موردنیاز برای تعریف منحنی عملکرد مفروض خواهد داشت [۷، ۸].



(شکل-۸): امپدانس دیده شده توسط رله در نقاط مختلف خط انتقال

$$\text{به‌ازای } Z_{1SW} = 20 \angle 85^\circ \text{ و } \frac{I_{WP}}{E_{AW}} = 0.0067 - j0.0016$$

(جدول-۱): امپدانس دیده شده در نقطه نصب رله به‌ازای محل-

های مختلف خطا

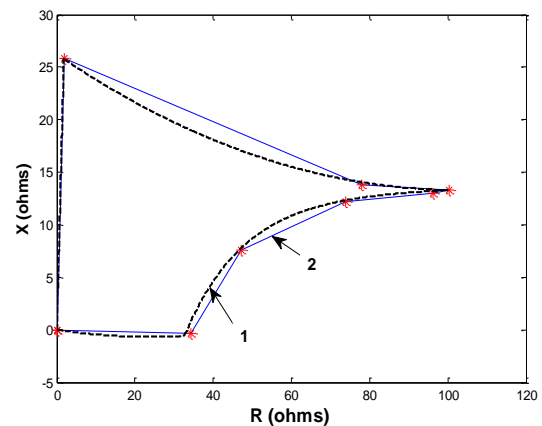
$l = 30\%$	$l = 50\%$	$l = 70\%$	$l = 90\%$	$l = 98\%$
11.71	15.83	23.66	56.33	82.45
+j 7.095	+j 11.78	+j 15.51	+j 15.32	+j 14.4

اکنون به‌ازای همان Z_{1SW} و $\frac{I_{WP}}{E_{AW}}$ قبلی مقاومت

خطا تغییر یافته و امپدانس دیده شده توسط رله‌ی دیستانس اندازه گرفته می‌شود. محل وقوع خطا نیز ۶۰٪ طول خط فرض می‌شود. جدول ۲ امپدانس‌های محاسبه شده را نشان می‌دهد.

از شکل ۹ به‌راحتی می‌توان دید که با زیاد شدن مقاومت خطا، مکان هندسی امپدانس، حرکتی تماماً افقی را دنبال نمی‌کند و تا مقاومت 50Ω امپدانس دیده شده توسط رله در داخل مشخصه قرار می‌گیرد. این روش رفتار سیستم حفاظت را در برابر تغییرات مقاومت خطا بهبود می‌بخشد چرا که مشخصه چند ضلعی رفتار بهتری در مقایسه با مشخصه‌های مهم در برابر تغییر در مقاومت خطا از خود نشان می‌دهند.

شکل-۷ پیداست، مجموعه نقاط خروجی شبکه‌های عصبی که با ستاره معلوم شده‌اند، تقریباً به‌طور کامل بر روی منحنی مشخصه ایده‌آل قرار دارند که نشان-دهنده آن است که استفاده از شبکه عصبی دارای دقت بسیار خوبی است.



(شکل-۷): ۱- مشخصه تریپ ایده‌آل، ۲- مشخصه تقریبی به‌دست آمده از خروجی شبکه‌های عصبی

برای بررسی عملکرد این واحد تطبیقی، شبیه-سازی برای خط‌هایی در فواصل کمتر از ۹۰٪ طول خط انجام شده‌است. امپدانس به‌دست آمده در نقطه نصب رله قاعداً باید درون مشخصه قرار گیرد و برای فواصل بیشتر نیز امپدانس باید بیرون آن بیفتد. جدول ۱ محل اعمال خطا و امپدانس دیده شده در نقطه رله را نشان می‌دهد. مقاومت خطا 10Ω در نظر گرفته شده است. در شکل ۸ مشخصه تریپ تطبیقی جدید، به‌همراه امپدانس‌های جدول ۱ نشان داده شده‌اند که می‌توان از روی آن‌ها عملکرد رله را دریافت. همان‌گونه که از شکل پیداست، به‌ازای خطا در فواصل کمتر از ۹۰٪ طول خط، واحد به‌درستی خطا را تشخیص خواهد داد و برای فواصل بیشتر از آن، عمل نخواهد کرد.

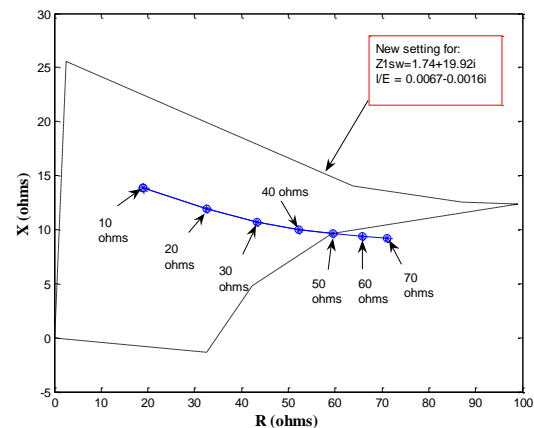


۵- مراجع

- [1] Anderson, Paul M., and Paul Anderson. *Power system protection. Vol. 1307. New York: McGraw-Hill, 1999.*
- [2] Pang, Chengzong, and Mladen Kezunovic. "Fast distance relay scheme for detecting symmetrical fault during power swing." *IEEE Transactions on Power Delivery* 25.4 (2010): 2205-2212.
- [3] Barker, Philip P., and Robert W. De Mello. "Determining the impact of distributed generation on power systems. I. Radial distribution systems." *2000 Power Engineering Society Summer Meeting (Cat. No. 00CH37134). Vol. 3. IEEE, 2000.*
- [4] Mostafaeipour, Ali, et al. "Evaluation of wind energy potential as a power generation source for electricity production in Binalood, Iran." *Renewable Energy* 52 (2013): 222-229.
- [5] Bujanovic, Tomislav, and Prasanta Ghosh. "Adaptive algorithm for microprocessor based distance relays in smart grid." *2016 IEEE Smart Energy Grid Engineering (SEGE). IEEE, 2016.*
- [6] Solovev, Denis B. "Selection of Digital Filter for Microprocessor Protection Relays." *International Journal of Electrical and Computer Engineering* 8.3 (2018): 1498.
- [7] Singh, Dinesh Kumar, Asheesh Kumar Singh, and Soumya Ranjan Mohanty. "An adaptive transmission line protection and modelling of numerical distance relay with analog antialiasing filter." *2017 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT). IEEE, 2017.*
- [8] Hasabe, Ramchandra P., and Anil P. Vaidya. "Development of Adaptive Distance Relay for STATCOM Connected Transmission Line with Wavelet Transform and ANN." *Applied Mechanics and Materials. Vol. 705. Trans Tech Publications, 2015.*

(جدول-۲): امپدانس دیده شده از نقطه رله به ازای مقاومتهای

مختلف خطای تکفاز در ۶۰٪ طول خط		
$R_F = 10 \Omega$	$R_F = 20 \Omega$	$R_F = 30 \Omega$
11.71 + j 7.095	15.83 + j 11.78	23.66 + j 15.51
$R_F = 40 \Omega$	$R_F = 50 \Omega$	$R_F = 60 \Omega$
52.17 + j10.02	59.56 + j9.599	65.8 + j9.362



(شکل-۹): امپدانس‌های دیده شده توسط رله در ۶۰٪ خط انتقال به

ازای مقاومتهای مختلف خطا ($\angle 20^\circ$) و Z_{1sw}

$$\left(\frac{I_{WP}}{E_{AW}} = 0.0067 - j0.0016 \right)$$

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله بهبود هماهنگی حفاظتی برای رله‌های دیستانس در حضور منبع تولید پراکنده بادی در نظر گرفته شده است. در این راستا یک واحد تطبیقی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای رله دیستانس طراحی شده است که در کنار واحد تنظیم ثابت رله، با استفاده از اطلاعات محلی، حد تریپ را برای رله تنظیم می‌نماید. با بکارگیری مکانیسم پیشنهادی می‌توان فهمید که با زیاد شدن مقاومت خطا، مکان هندسی امپدانس، حرکتی تماماً افقی را دنبال نمی‌کند و تا مقاومت امپدانس دیده شده توسط رله در داخل مشخصه قرار می‌گیرد. این رویه سبب بهبود هماهنگی حفاظتی رله‌های دیستانس می‌گردد.



ترتیب در سالهای ۱۳۹۴ و ۱۳۹۸ از دانشگاه بیرجند در رشته مهندسی برق الکترونیک اخذ کرده است. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان عبارتند از: محاسبات نرم، فیلتر تطبیقی، الکترونیک RF، هوش مصنوعی، بهینه‌سازی بیولوژیکی و طبیعی، طراحی VLSI و پردازش سیگنال و تصویر.



علی محمدی مدرک کارشناسی خود را در رشته مهندسی مخابرات در سال ۱۳۹۲ از دانشگاه صنعتی قوچان دریافت کرد و مدرک کارشناسی ارشد و دکتری را به