حفاظت دیفرانسیل دیجیتال ترانسفورماتور به روش فازی ـ تطبیقی

شاهین هدایتی کیا
پژوهشگر

سیّدمحمّد شهرتاش
استادیار

دانشکده برق، دانشگاه علم و صنعت ایران

چکیده

روش چند معیاره فازی با استفاده از معیارهای مختلف قادر به تشخیص صحیح خطای داخل در ترانسفورماتورهای قدرت از حالت‌های غیرخطا می‌باشد. از آنجایی که مقادیر ضرائب وزنی، تابع عضویت و آستانه عملکرد رله دیفرانسیلی دیجیتالی کاملاً وابسته به شرایط سیستم قدرت است، برای بالا بردن سرعت عملکرد رله به همراه پایداری و قابلیت اطمینان لازم نیاز به تنظیم پارامترهای رله با شرایط سیستم قدرت می‌باشد. این پارامترها خارج از مدار و با استفاده از شبیه سازی سیستم مورد نظر تنظیم شده و به هنگام نصب رله در سیستم مورد استفاده قرار می گیرد.

Adaptive Fuzzy Based Method Differential Transformer Protection

S. Hedayti-Kia
Researcher

S.M. Shahrtash
Assistant Professor

Elect. Engineering Department,
Iran Science and Technology University

Abstract

Th paper represents the development of an adaptive multicriteria algorithm based on fuzzy approach for the decision making part of the differential transformer protection schemes. At first some effective phenomenon have been examined. Then off-line examination results have been implemented for adapting the relay parameters such as fuzzy functions, weighting factors and tripping threshold to relay conditions and transformer characteristics. Self-adjustment of relay parameters has improved the speed of operation, dependability and security of relay. Different tests have indicated satisfactory results and less than half a cycle for the mean of operating time.

کلمات کلیدی

حفاظت تطبیقی، منطق فازی، حفاظت ترانسفورماتورهای قدرت.

مقدمه

اساس عملکرد رله دیفرانسیل محاسبه جریان تفاضلی با اندازه گیری جریان اولیه و ثانویه می باشد. میزان جریان تفاضلی معیار مهمی برای تشخیص خطای داخل است. اما عوامل دیگری نیز وجود دارند که آنها نیز باعث ایجاد جریان تفاضلی می شوند. این عوامل شامل جریان هجومی، اضافه تحریک، اشباع یکی از ترانسفورماتورهای جریان و عدم تطبیق نسبت ترانسفورماتورهای جریان در اولیه و ثانویه ترانسفورماتورهای قدرت می باشند. روش های متعددی بر پایه میزان هارمونیک دوم و پنجم برای تشخیص جریان هجومی و اضافه تحریک، منحنی درصدی برای تشخیص خطای خارج و اندازه گیری جریان عبوری به هنگام ازدیاد جریان تفاضلی برای تشخیص اشباع ترانسفورماتور جریان ارائه شده اند [۳].

وابستگی روش های فوق به شرایط خطا باعث عدم قطعیت در تشخیص صحیح حالت های غیرخطا از خطای داخل به خصوص در لحظات اولیه تحریک رله می باشد.

استفاده از روش های هوش مصنوعی ابزار مناسبی برای رفع عدم قطعیت است. یکی از این روش ها منطق فازی است.

۱ ـ حفاظت دیفرانسیل براساس منطق فازی

شکل (۱) پیکربندی حفاظت دیفرانسیل ترانسفورماتور براساس منطق فازی را نشان می دهد.

براساس این روش ابتدا معیارهای سیگنال ورودی محاسبه می شوند و سپس این معیارها وارد قسمت فازی کننده می گردند. مزیت استفاده از فازی کننده حذف نویز و کاهش خطای دینامیکی در اندازه گیری است.

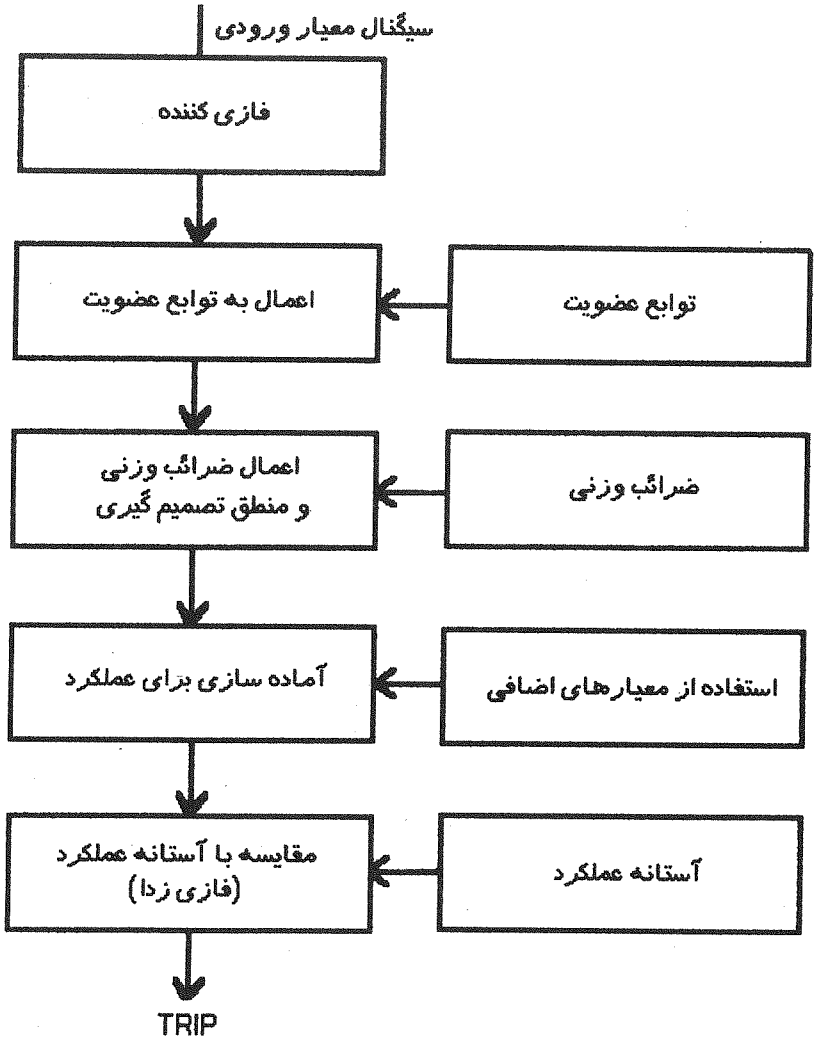
معیارهای فازی شده به معیارهای رد عوامل غیرخطا اعمال می شوند. این معیارها مقدار تابع عضویت پارامترهای ورودی می باشند. در این قسمت برای هر پدیده غیرخطا چند معیار عنوان شده است. از آنجایی که هر معیار دارای نقاط قوت و ضعف می باشد. استفاده همزمان از چندین معیار برای تشخیص هر پدیده موجب افزایش پایداری رله می گردد.

نوع ترکیب این معیارها درسیستم حفاظت مورد نظر از نوع «مینیمم» بوده که کاملاً با سیستم تطابق دارد. برای بهبود روش فوق سه عامل اساسی مورد توجه قرار گرفته است:

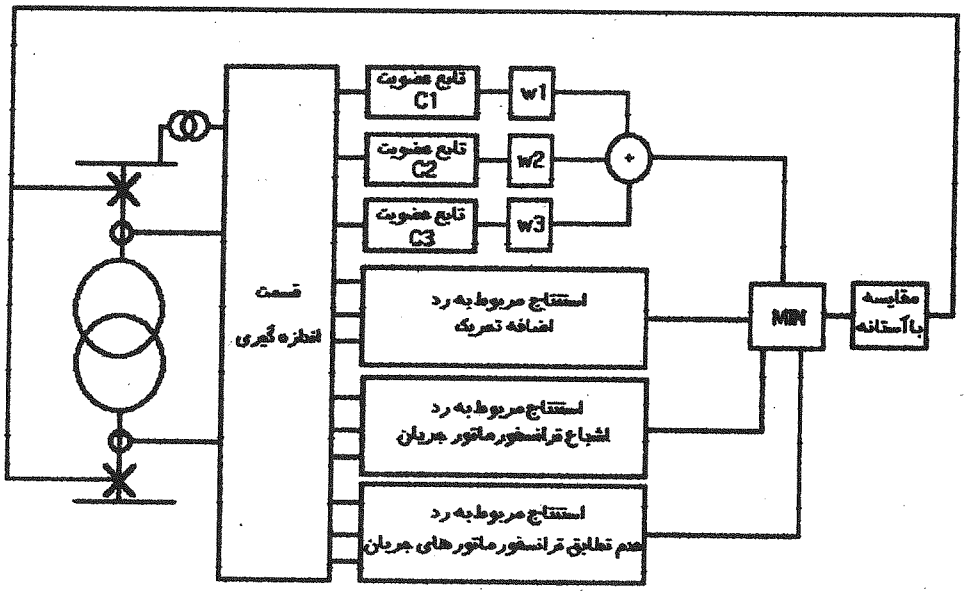
۱ ـ آستانه های معیارهای فازی و یا به عبارتی توابع عضویت مربوط به هر معیار قابلیت تطبیق با وضعیت ترانسفورماتور و سیستم پس از وقوع خطا را دارا باشد. زیرا پس از وقوع خطا با توجه به این که پنجره اطلاعات دارای نمونه های قبل از خطاست معیارهای تشخیص خطا دارای عدم قطعیت بیشتری هستند. اما با گذشت زمان و پر شدن پنجره اطلاعات ازنمونه های خطا، از عدم قطعیت آنها به تدریج کاسته می شود تا زمانی که کاملاً واضح گردند. در نتیجه نیاز است تا براساس تعداد نمونه های پس از خطا تابع عضویت معیارهای فازی نیز تغییر پیدا نمایند. نحوه این تغییرات به شرایط سیستم و ترانسفورماتور وابسته است که باتوجه به آزمایش و یا شبیه سازی روی سیستم قابل محاسبه است. بدین ترتیب با تطبیق معیارهای مختلف با شرایط سیستم و ترانسفورماتور سرعت عملکرد رله بهبود خواهد یافت.

۲ ـ ضریب وزنی مربوط به هر معیار، میزان اهمیت آن را نشان می دهد. از آنجا که این اهمیت با گذشت زمان تغییر پیدا می نماید، تطبیق آن با شرایط سیستم موجب بالا رفتن سرعت عملکرد رله می گردد.

۳ ـ آستانه عملکرد رله از پارامترهای مهمی است که تأثیر بسزایی در سرعت عملکرد رله دارد. این پارامتر باید به گونه ای باشد تا در هنگام وقوع خطای داخلی با امپدانس زیاد رله را قادر به تشخیص نموده و به ازای تمامی عوامل غیر خطا نیز غیر فعال بماند. به عبارت دیگر پایداری و قابلیت اطمینان را برای رله به بهترین وجه فراهم آورد. تغییر آستانه عملکرد با زمان و تطبیق آن با شرایط سیستم این امکان را فراهم می آورد تا با اولین نمونه ای که خروجی رله از بیشترین آستانه ناشی از حالت غیر خطا بیشتر شود، دستور قطع صادر گردد و این موجب افزایش سرعت عملکرد رله می گردد. در بخش بعدی به بررسی معیارهای مورد نیاز برای تشخیص عوامل غیرخطا پرداخته شده است.



شکل (۱) روش حفاظت ترانسفورماتور براساس منطق فازی.



شکل (۲) نحوه عملکرد رله فازی.

بررسی معیارهای تشخیص عوامل غیرخطا

معیارهای مربوطه به رد جریان هجومی

معیار اول (C1): چنانچه جریان تفاضلی از بزرگترین جریان تفاضلی ناشی از جریان هجومی بیشتر باشد، وقوع جریان هجومی رد می‌گردد.

هنگامی که خطای با امپدانس کم رخ دهد، میزان جریان تفاضلی برای تشخیص خطای داخل از خارج کافی است. ولی هنگامی که امپدانس خطا زیاد باشد، تشخیص صحیح به خوبی میسر نمی‌باشد. معیار اضافه جریان برای سرعت عمل دادن به رله در حالت‌های خطا با امپدانس کم کارا می‌باشد. معیار C1 از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$\theta_1 = I_{\Delta 1}(n)$$

$I_{\Delta_1}(n)$ = دامنه هارمونیک اصلی جریان تفاضلی در نمونه nام پس از تحریک رله

معیار دوم(C2): چنانچه جریان تفاضلی دارای قطعات صاف نباشد (برای حداقل ۱/۶ سیکل) وسطح جریان و مشتق آن بسیار نزدیک به صفر نباشد، وقوع جریان هجومی رد می‌گردد.

باتوجه به این که شکل موج جریان هجومی با جریان خطا تفاوت زیادی دارد، این خاصیت کمک زیادی به تشخیص خطا از جریان هجومی می‌نماید.

مقدار این معیار به زاویه برق‌دار شدن ترانسفورماتور و منحنی مغناطیسی هسته آن بستگی دارد، به علاوه در خطاهای با امپدانس زیاد نیز مقدار محاسبه شده برای این معیار ناچیز است که در این صورت این معیار برای تشخیص کافی نبوده و معیار هارمونیک دوم کمک زیادی به تشخیص خطا خواهد نمود. رابطه ریاضی برای محاسبه این معیار به صورت زیر است:

$$\theta_2(n) = \text{Min}\{\text{Max}|i_\Delta(n-m-k)|\}$$

$$k = 0, \ldots, N-1 \qquad m = 0, \ldots, [N/6]$$

$i_\Delta(n)$ = جریان تفاضلی در نمونه nام

معیار سوم (C3): چنانچه نسبت هارمونیک دوم به اول در جریان تفاضلی کم باشد، وقوع جریان هجومی رد می‌گردد.

یکی از معیارهای مهم تشخیص جریان هجومی محاسبه نسبت هارمونیک دوم به اول است. این مقدار کاملاً وابسته به شرایط سیستم بوده و مقدار آن در لحظه‌های ابتدایی خطای داخل بیشتر از جریان هجومی است. وجود کابل طولانی متصل به ترانسفورماتور و حضور خازن ناشی از آن تأثیر زیادی در افزایش این معیار در لحظات ابتدایی خطای داخل دارد. بنابر این برای تشخیص صحیح نیاز به تطابق این معیار با سیستم است. این معیار از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$\theta_3(n) = \frac{I_{\Delta 2}(n)}{I_{\Delta 1}(n)}$$

$I_{\Delta_2}(n)$ = مقدار هارمونیک دوم جریان تفاضلی در نمونه nام

$I_{\Delta_1}(n)$ = مقدار هارمونیک اول جریان تفاضلی در نمونه nام

معیارهای مربوط به رد اضافه تحریک

معیار اول (C4): چنانچه جریان تفاضلی از بیشترین جریان تفاضلی ناشی از اضافه تحریک بیشتر شود، اضافه تحریک رد می‌گردد.

معیار اضافه جریان به عملکرد سریع‌تر رله برای خطاهای با امپدانس کم و متوسط کمک می‌نماید. اما برای خطاهای با امپدانس زیاد نیاز به استفاده از معیارهای مکمل دیگر است.

این معیار از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$\theta_4 = I_{\Delta 1}(n)$$

$I_{\Delta_1}(n)$ =مقدار هارمونیک اول جریان تفاضلی در نمونه nام

معیار دوم (C5): چنانچه انتگرال دامنه ولتاژ خروجی برای نیم سیکل گذشته که نشان دهنده فلوی داخل هسته است، کمتر از مقدار اشباع باشد، وقوع اضافه تحریک رد می‌گردد.

این معیار در حالی که شار پسماند درون هسته ناچیز بوده و اضافه تحریک ناشی از افزایش ولتاژ باشد، کارایی لازم را داراست. این معیار به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\theta_5 = \sum_{n=0}^{m/2-1} V(n-k)$$

معیار سوم (C6): چنانچه میزان نسبت هارمونیک پنجم به اول کم باشد اضافه تحریک‌رود می‌گردد.

بدین روش قادر خواهیم بود تا اضافه تحریک ناشی از کاهش فرکانس را نیز تشخیص دهیم. وجود معیار C_6 برای تشخیص صحیح اضافه تحریک کافی است و استفاده از دو معیار C_4 و C_5 به سرعت عملکرد رله کمک می‌نماید.

$$\theta_6 = \frac{I_{\Delta 5}(n)}{I_{\Delta 1}(n)}$$

$I_{\Delta_5}(n)$ = دامنه هارمونیک پنجم جریان تفاضلی در نمونه nام

$I_{\Delta_1}(n)$ = دامنه هارمونیک اول جریان تفاضلی در نمونه nام

معیارهای مربوط به رد اشباع ترانسفورماتور جریان به واسطه خطای خارجی

معیار اول (C7): چنانچه به هنگام تشخیص جریان تفاضلی زیاد، جریان عبوری زیادی وجود نداشته باشد وقوع اشباع ترانسفورماتور جریان رد می‌گردد.

نقطه کار ترانسفورماتورهای جریان معمولاً به گونه‌ای است که تا نقطه زانویی فاصله زیادی دارند وبرای رسیدن به نقطه زانویی حداقل ۱/۴ سیکل زمان نیاز داریم. این پدیده موجب می‌شود که قبل از وقوع اشباع، جریان عبوری از ترانسفورماتور زیاد باشد.

این معیار به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$\theta_7(n) = \text{Max}\{I_{R_1}(k)\} \qquad k = P-N+1, \ldots, P$$

نمونه ای که در آن رله فعال شده است =r

نمونه‌ای که در آن جریان تفاضلی از آستانه تحریک رله بیشتر شده است =s

$$P = \begin{cases} r-1 & \text{اگر s فعال نباشد.} \\ s-1 & \text{اگر s فعال باشد.} \end{cases}$$

معیار دوم (C8): اگر میزان هارمونیک دوم در جریان تفاضلی به نسبت هارمونیک اول موجود در جریان تفاضلی کم باشد، وقوع اشباع ترانسفورماتور جریان رد می‌گردد.

وجود DC میرا شونده در جریان تفاضلی عامل اصلی اشباع و وجود هارمونیک دوم به هنگام اشباع ترانسفورماتور جریان است با وجود این، وجود هارمونیک دوم در جریان تفاضلی ناشی از خطای داخل نیز باعث می‌شود که این معیار به تنهایی کارآیی لازم را دارا نباشد.

این معیار به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$\theta_8(n) = \frac{I_{\Delta 2}(n)}{I_{\Delta 1}(n)}$$

$I_{\Delta_2}(n)$ = دامنه هارمونیک دوم جریان تفاضلی در نمونه nام

$I_{\Delta_1}(n)$ = دامنه هارمونیک اصلی جریان تفاضلی در نمونه nام

معیار سوم (C9): اگر جریان تفاضلی از بزرگترین جریان تفاضلی ناشی از اشباع ترانسفورماتور بیشتر باشد، اشباع ترانسفورماتور جریان رد می‌گردد.

برای تسریع عملکرد رله برای خطاهای با امپدانس کم و متوسط، استفاده از این معیار اضافه جریان مفید می‌باشد ودر خطاهای با امپدانس زیاد دو معیار C7 و C8 حالت خطا را از اشباع ترانسفورماتور جریان جدا خواهند نمود.

این معیار به صورت روبرو محاسبه می‌گردد.

$$\theta_9(n) = I_{\Delta 1}(n)$$

$I_{\Delta_1}(n)$ = دامنه هارمونیک اصلی جریان تفاضلی در نمونه nام

معیارهای مربوطه به رد جریان تفاضلی ناشی از خطای خارج و عدم تطابق ترانسفورماتورهای جریان اولیه و ثانویه

معیار اول (C10): اگر جریان تفاضلی ایجاد شده بسیار بیشتر از جریان عبوری باشد، وقوع خطای خارج و عدم تناسب ترانسفورماتورهای جریان رد می‌گردد.

استفاده از معیار منحنی درصدی رله کمک زیادی در تشخیص جریان تفاضلی ناشی از عدم تناسب ترانسفورماتور جریان می نماید. برای بالا بردن حساسیت این روش از روش دیفرانسیل درصدی استفاده شده است.

نحوه محاسبه این معیار به صورت زیر است:

$$\theta_{10}(n) = \frac{|I_{\Delta_1}(n) - I_{\Delta_1}[-N/4]|}{|I_{R_1}(n) - I_{R_1}[-N/4]|}$$

$I_{\Delta_1}(n)$ = دامنه هارمونیک اصلی جریان تفاضلی در نمونه در nام

$I_{R_1}(n)$ = دامنه هارمونیک اصلی جریان عبوری در نمونه nام

معیار دوم (C11): مقدار نسبت جریان دیفرانسیل به جریان عبوری درفازهای مختلف متفاوت است، چنانچه این میزان زیاد باشد، وقوع خطای خارج رد می‌گردد.

این معیار بیان کننده این واقعیت است که عملاً وقوع خطای سه فاز به هم در داخل ترانسفورماتور غیر ممکن است. این معیار به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$\theta_{11}(n) = |\theta_{10R}(n) - \theta_{10S}(n)| + |\theta_{10S}(n) - \theta_{10T}(n)| + |\theta_{10T}(n) - \theta_{10R}(n)|$$

معیار سوم (C12): اگر جریان تفاضلی از بیشترین جریان تفاضلی ناشی از خطای خارج بیشتر باشد، وقوع خطای خارج رد می‌گردد.

در این حالت برای افزایش سرعت عملکرد رله از معیار اضافه جریان استفاده شده است. نحوه محاسبه این معیار به صورت زیر است:

$$\theta_{12}(n) = I_{\Delta_1}(n)$$

$I_{\Delta_1}(n)$ = هارمونیک اصلی جریان تفاضلی در نمونه nام

نحوه عملکرد رله دیجیتال فازی

شکل (۲) چگونگی عملکرد رله فازی را نشان می‌دهد. در ابتدا با نمونه برداری از ولتاژها و جریانها در قسمت اندازه گیری، پارامترهای مورد نیاز برای محاسبه مقدار عضویت معیارهای مختلف محاسبه می‌شوند. سپس این مقادیر با توجه به این که چندمین نمونه پس از تحریک رله می‌باشند، به تابع عضویت محاسبه شده در بخش قبل اعمال می گردند. از آنجا که هر معیار دارای درجه اهمیت خاص خود می‌باشد، نیاز است تا آن را در ضریب وزنی مربوط به آن معیار ضرب نماییم. مجموع مقادیر برای معیارهای هر پدیده میزان احتمال وقوع آن پدیده را نشان می‌دهد. روابط اعمال شده به صورت زیر می‌باشند:

$$W_1 = w_1\mu_1 + w_2\mu_2 + w_3\mu_3 \qquad w_1 + w_2 + w_3 = 1$$

$$W_2 = w_4\mu_4 + w_5\mu_5 + w_6\mu_6 \qquad w_4 + w_5 + w_6 = 1$$

$$W_3 = w_7\mu_7 + w_8\mu_8 + w_9\mu_9 \qquad w_7 + w_8 + w_9 = 1$$

$$W_4 = w_{10}\mu_{10} + w_{11}\mu_{11} + w_{12}\mu_{12} \qquad w_{10} + w_{11} + w_{12} = 1$$

که در آن w_1 تا w_{12} ضرایب وزنی مربوط به معیارهای C1تا C12 می باشند.

حال با اعمال اپراتور مینیمم مقادیر W_1, W_2, W_3, W_4 احتمال وقوع خطا محاسبه می‌شود.

$$\delta = \min(W_1, W_2, W_3, W_4)$$

در صورتی که مقدار δ از میزان آستانه رله بیشتر باشد، دستور قطع را به کلیدها صادر خواهد نمود.

نحوه تنظیم پارامترهای رله فازی با شرایط سیستم

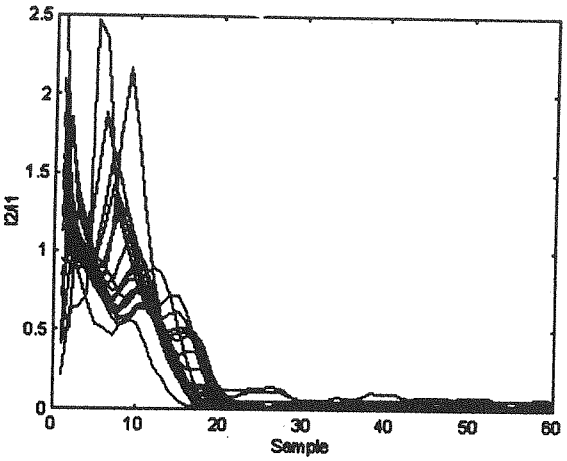
برای تنظیم ضرایب وزنی به آزمایش و یا شبیه سازی بر روی سیستم برای حالت های مختلف نیاز است، این حالت ها شامل موارد زیر است:

۱ ـ برقدار نمودن ترانسفورماتور ۲ ـ اضافه تحریک ناشی از افزایش ولتاژ و کاهش فرکانس ۳ ـ خطای خارج بدون اشباع ترانسفورماتور جریان و با اشباع ترانسفورماتور جریان ۴ ـ خطای داخل شامل خطای حلقه به حلقه ، حلقه به زمین و حلقه اولیه و ثانویه.

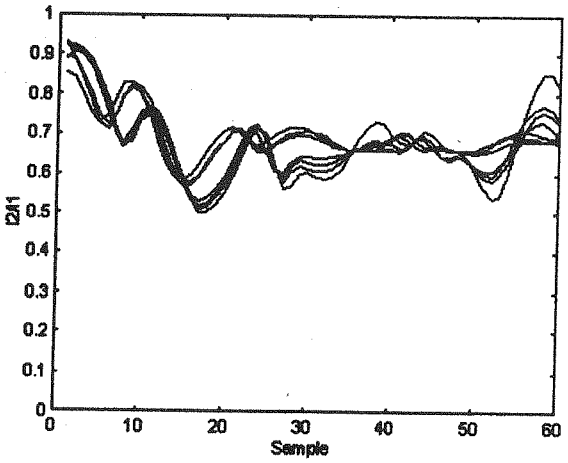
در مقاله حاضر با استفاده از آزمایش مستقیم بر روی ترانسفورماتور تک فاز1 KVA (X/R= 1) با ۱۱ سر در ورودی و ۱۱ سر در خروجی حالتهای فوق شبیه سازی شده اند. در ادامه به نحوه تنظیم پارامترهای رله فازی با استفاده از آزمایش های فوق پرداخته می‌شود.

نحوه تنظیم توابع عضویت معیارهای فازی

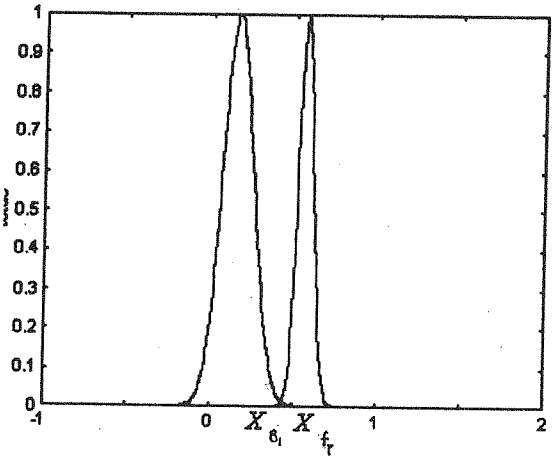
به طور مثال معیار C3 را در نظر بگیرید. شکل (۳) و (۴) نحوه تغییرات این معیار را برای ۵۰ نمونه پس از تحریک رله برای تمامی آزمایش های خطای داخل و برقدار نمودن ترانسفورماتور نشان می‌دهد.



شکل (۳) محاسبه معیار C3 برای تمامی آزمایش های خطای داخل برای ۵۰ نمونه پس از تحریک رله.



شکل (۴) محاسبه معیار C3 برای تمامی آزمایش های جریان هجومی برای ۵۰ نمونه پس از تحریک رله.



شکل (۵) تابع توزیع احتمال برای خطای داخل و جریان هجومی در نمونه ۱۸ ام.

حال به طور مثال نمونه ۱۸ ام را در نظر بگیرید، تابع توزیع احتمال معیار C3 برای خطای داخل و جریان هجومی در این لحظه به صورت شکل (۵) است.

برای محاسبه تابع عضویت از رابطه زیر استفاده می نماییم:

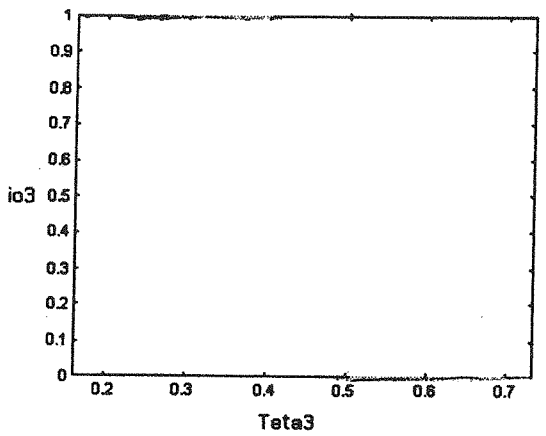
$$G(x) = c\frac{F_f(x)}{F_f(X_{B1})} + (1-c)\left[1 - \frac{F_B(x)}{F_B(X_{f2})}\right] \qquad X_{B_1} \le x \le X_{f_2}$$

$$G(x) = 0 \qquad x > X_{f_2}$$

$$G(x) = 1 \qquad x < X_{B_1}$$

که در آن c ضریب تمایل رله به فعال شدن می باشد.

با محاسبه رابطه فوق، تابع عضویت به صورت شکل (۶) خواهد بود (برای c = ۰/۵).



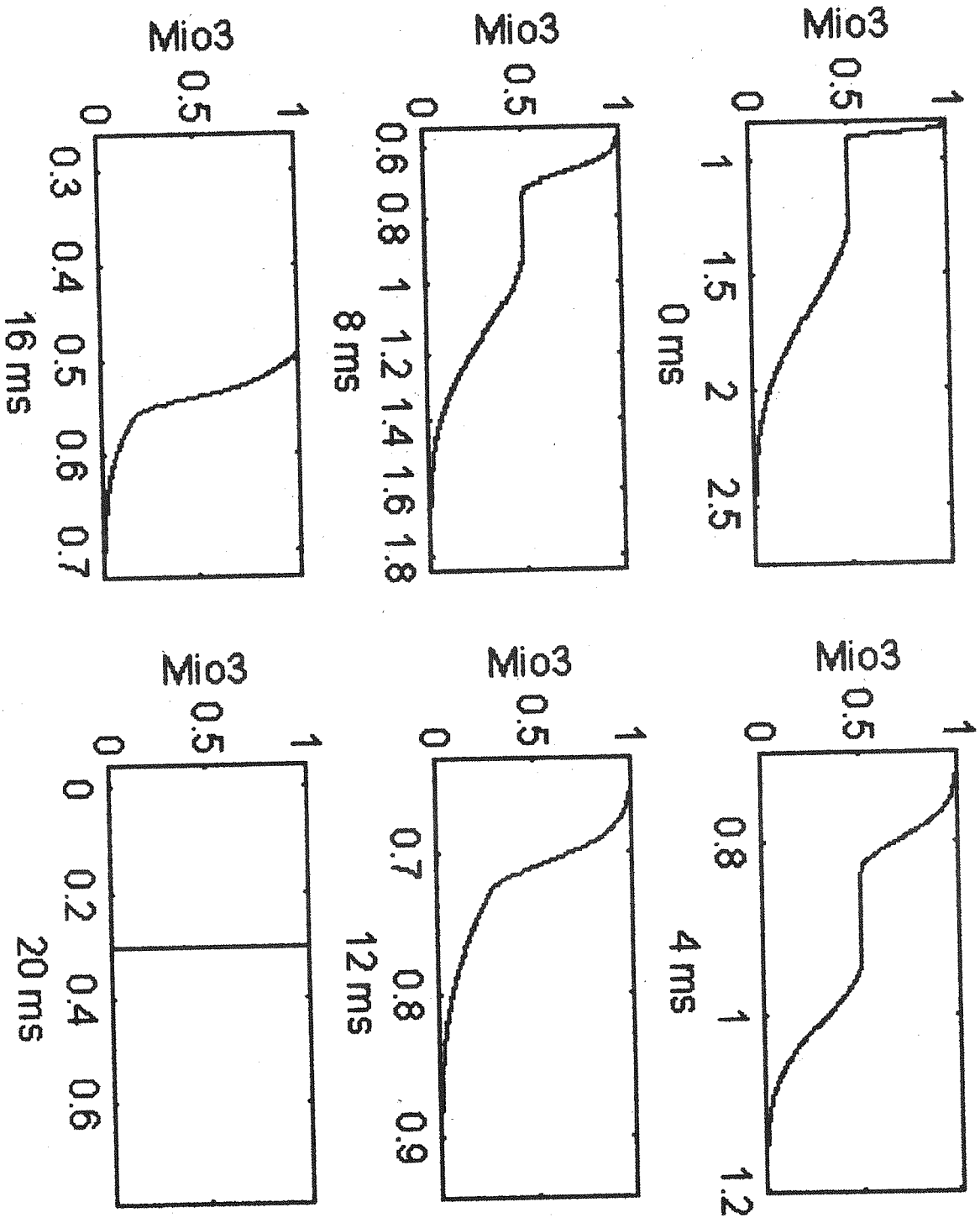
شکل (۶)تابع عضویت معیار C3 در نمونه هجدهم.

نحوه تغییرات تابع عضویت معیارC3 با گذشت زمان و پس از تحریک رله در شکل (۷) نشان داده شده است (C = ۰/۵).

با استفاده از این روش می توان توابع عضویت دیگر را نیز تنظیم نمود.

توابع عضویت (C12, C11, C10, C9, C4, C2, C1) که معکوس توابع عضویت (C3, C5, C6 , C7, C8) می باشند، باتوجه به روابط قبل محاسبه سپس با استفاده از رابطه زیر به کار می روند:

$$G_0(x) = 1 - G(x)$$



شکل (۷) تغییرات تابع عضویت معیار C3 نسبت به زمان.

نحوه تنظیم ضرایب وزنی

برای مثال معیارهای C1 تا C3 که برای رد جریان هجومی هستند را در نظر بگیرید. برای تنظیم ضرایب وزنی w_1 تا w_3 باید آزمایش های برقدار نمودن ترانسفورماتور انجام شود. حال در نمونه kام معیار C_k با اعمال ورودی جریان هجومی دارای مقدار کمی خواهد بود و در حالت ایده آل صفر است. در نتیجه می توان پارامتر S_1 را به صورت زیر محاسبه کرد:

$$S_1 = \frac{1}{M} \sum (1 - \mu_k)$$

M= تمامی آزمایش های مربوط به برقرار نمودن ترانسفورماتور

k = نمونه kام

همین روش را برای آزمایش های خطای داخل انجام می دهیم. در این حالت انتظار داریم با اعمال ورودی جریان ناشی از خطای داخل، معیار C_k دارای مقدار زیادی باشد. در حالت ایده آل یک باشد. بنابر این می توان پارامتر S_2 را به صورت زیر محاسبه کرد.

$$S_2 = \frac{1}{M} \sum \mu_k$$

M = تمامی آزمایش های مربوط به خطای داخل

k = نمونه kام

بدین ترتیب ضریب w_k به صورت زیر محاسبه می شود.

$$w_k = (1 - D)\, S_1 = S_2\, D$$

که در آن D ضریب تعادل رله است.

با محاسبه مقادیر w_k برای معیار های تشخیص جریان هجومی لازم است تا شرط زیر برقرار باشد:

$$w_1 + w_2 + w_3 = 1$$

روش فوق را می توان به دسته های مختلف تشخیص عوامل غیر خطا اعمال نمود و ضرایب وزنی را محاسبه کرد.

شکل (۸) نحوه تغییرات این ضرایب را نشان می دهد. (باتوجه به تک فاز بودن ترانسفورماتور آزمایش و نسبت X/R کم آن، دو معیار C12 و C8 از محاسبات حذف شده اند)باتوجه به شکل (۸) نتایج زیر حاصل می گردد:

۱ ـ تمامی معیارهای تشخیص خطا پس از یک سیکل به بیشترین مقدار کارآیی و پایداری می رسند.

۲ ـ معیارهای اضافه جریان C11, C9, C4, C1 در ابتدا کم بوده ولی به سرعت مقدار پیدا می نمایند و این ناشی از خطای دینامیکی اندازه گیری است.

۳ ـ نحوه تغییرات معیار C3 وC6 نشان دهنده آن هستند که این معیار ها در لحظات اولیه خطا دارای مقدار کم ولی با گذشت زمان دارای اهمیت بیشتری می شوند.

۴ ـ معیار C7 وC10 دارای سرعت عملکرد زیاد می باشند و تقریباً ثابت هستند.

تنظیم آستانه عملکرد رله

آستانه عملکرد رله محدوده ای برای مقادیر δ است که مابین عملکرد و عدم عملکرد رله می باشد. برای بالا بردن قابلیت اطمینان لازم است تا δ کوچک در نظر گرفته شود و برای بالا بردن پایداری بزرگ بودن δ نیاز است.

برای افزایش سرعت عملکرد رله همراه با پایداری لازم است تا میزان آستانه عملکرد با گذشت زمان پس از تحریک رله تغییر پیدا نماید.

برای اطمینان از پایداری رله مقدار آستانه عملکرد رله در نمونه nام Δ (n) باید از بیشترین مقدار Δ به ازای تمامی حالت های غیرخطا بیشتر باشد. بنابر این Δ_{max} (n) به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$\Delta_{min}(n) = \mathrm{Min}\,(\delta_i(n))$$

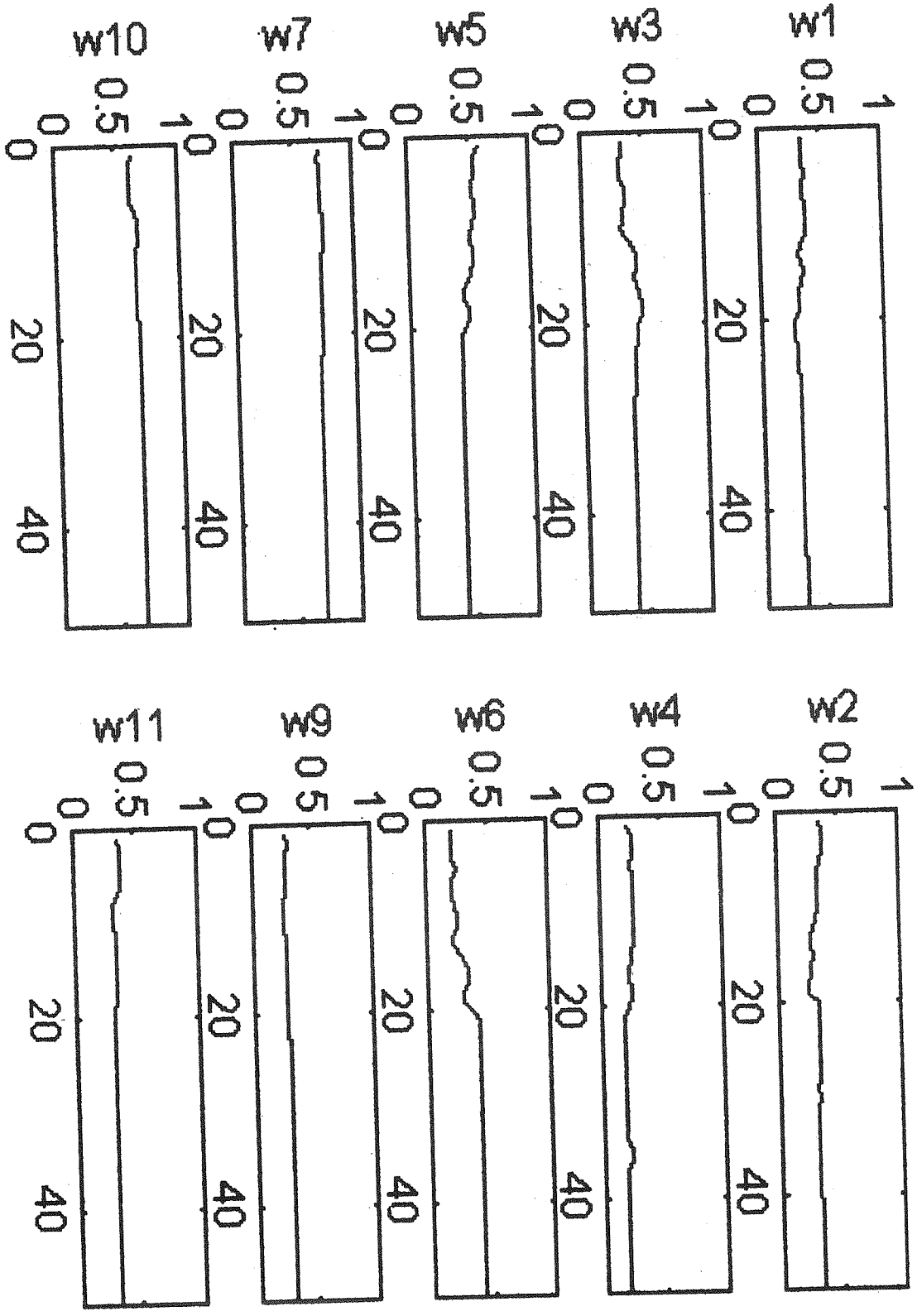
i = تمامی حالت های غیرخطا شامل جریان هجومی، اشباع ترانسفورماتور جریان، خطای خارج و اضافه تحریک.

همچنین برای تأمین قابلیت اطمینان لازم است تا رله به ازای تمامی حالت های خطای داخل عمل نماید. پس در این صورت Δ باید از کمترین مقدار δ به ازای تمامی خطاهای داخل کمتر باشد. بنابر این Δ_{min} (n) به صورت زیر محاسبه می شود.

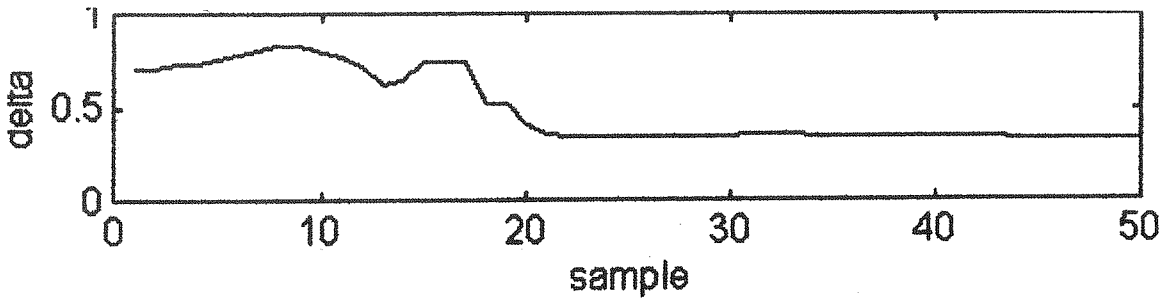
$$\Delta_{max}(n) = \mathrm{Max}\,(\delta_i(n))$$

i = تمامی خطاهای داخل

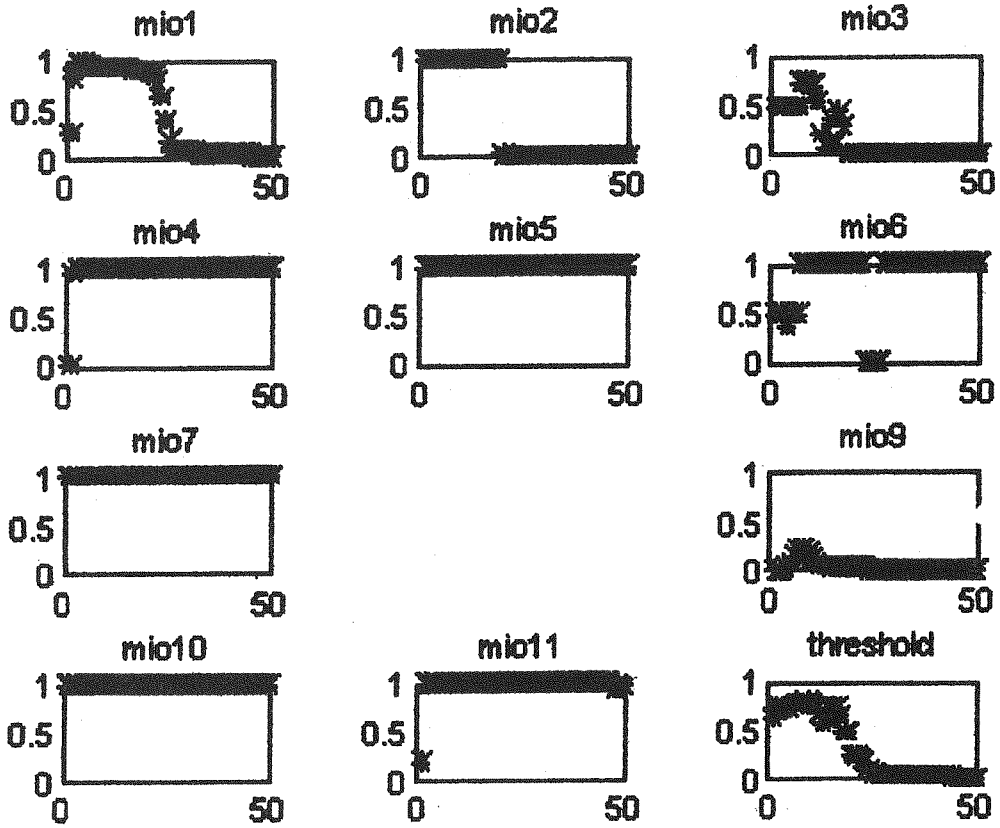
حال آستانه عملکرد رله برای نمونه nام به صورت زیر قابل محاسبه است:



شکل (۸) نحوه تغییرات ضرایب وزنی (D = ۰/۵).



شکل (۹) تغییرات آستانه عملکرد رله ۵۰ نمونه پس از تحریک رله.



شکل (۱۰).

اگر $\Delta_{max}(n) > \Delta_{min}(n)$ $\Delta(n) = \Delta_{max}(n)$

در غیر این صورت $\Delta(n) = E\Delta_{max}(n) - (1-E)\Delta_{min}(n)$

که در آن E ضریب تعادل رله می‌باشد.

مقدار آستانه عملکرد رله در شکل (۹) نشان داده شده است.

نتایج عملکرد رله

یک نمونه آزمایش خطا و جریان هجومی به رله فازی تطبیقی اعمال شده است و نتایج آن در شکل (۱۰) و (۱۱) نشان داده شده است.

باتوجه به شکل (۱۰) می‌توان دریافت که در این حالت جریان هجومی دامنه زیادی دارد و معیارهای اول و دوم و سوم تا یک سیکل دلالت بر رد جریان هجومی ندارند، ولی پس از آن به علت کاهش دامنه هارمونیک اصلی و وجود قطعات صاف و مقدار هارمونیک دوم زیاد موجود در جریان تفاضلی δ کاهش یافته و در نهایت به

صفر می رسد.

در حالت دوم، شکل (۱۱)، در خطای داخل باتوجه به نزدیکی فاصله بین دو ترمینال ودامنه کم جریان دیفرانسیل ناشی از خطا ، خروجی رله در نمونه ۱۳ ام از مقدار آستانه بیشتر شده است.

جدول (۱) ارزیابی عملکرد رله فازی ـ تطبیقی است.

۱۰٪ خطا برای حالت های گنجانده نشده در تنظیم پارامترهای رله فازی ناشی از تصمیم گیری اشتباه برای حالت های غیرخطا می باشند. برای رفع این مشکل می توان یکی از سه راه زیر را انتخاب کرد.

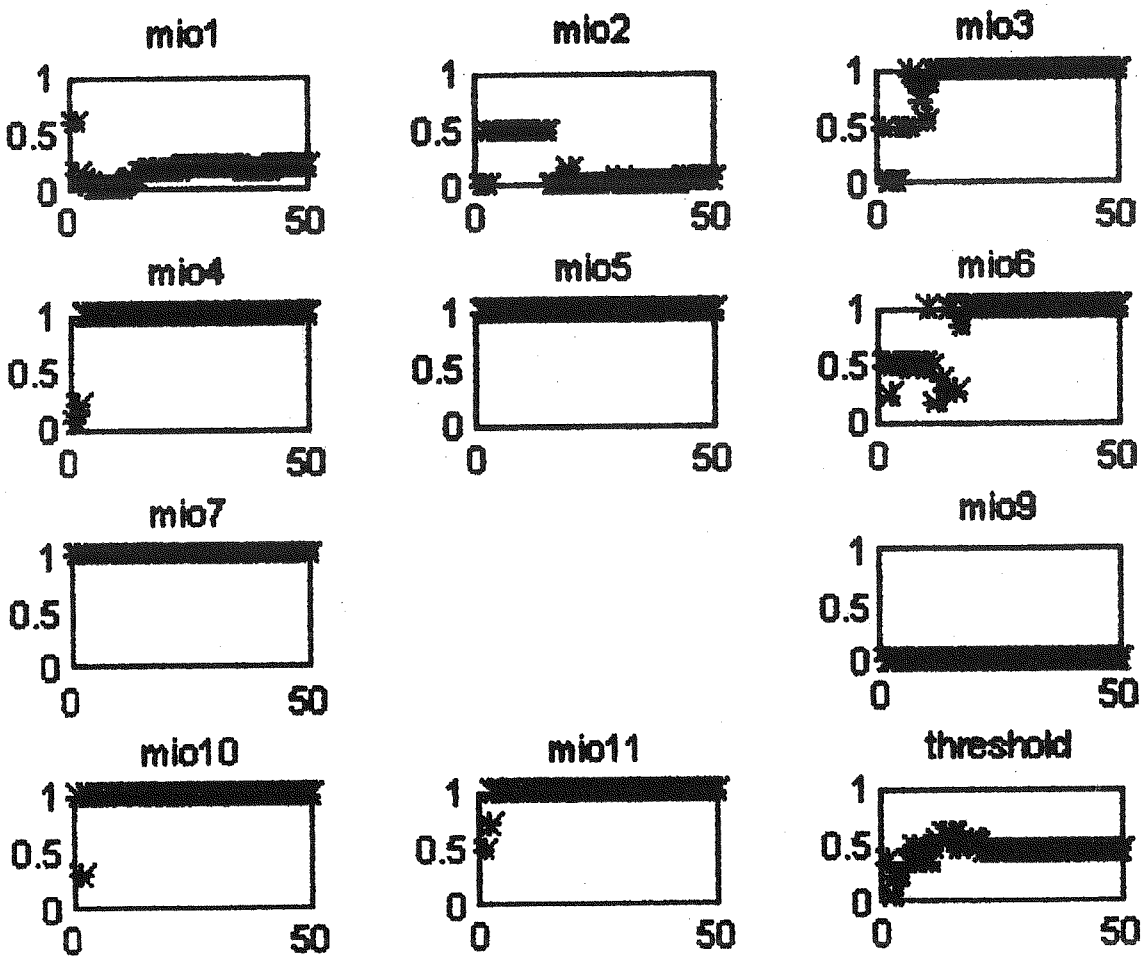
۱ ـ افزایش میزان آستانه عملکرد رله تا پایداری لازم برای رله به دست آید.

۲ ـ صدور دستور قطع رله هنگامی که مقدار δ برای دو نمونه متوالی بیشتر از مقدار آستانه شود.

۳ ـ تنظیم مجدد پارامترها که در آن ۱/۳ آزمایش های دخالت داده نشده نیز استفاده شوند.

نتیجه گیری

تنظیم مناسب پارامترهای یک رله فازی کمک شایانی به سرعت عملکرد رله می نماید. اما باید توجه نمود که هر گونه تغییر در شرایط سیستم به گونه ای که معیارهای تشخیص خطا را تحت تأثیر قرار دهد، مستلزم آزمایش مجدد و تطبیق پارامترها با سیستم جدید است.



شکل (۱۱) خروجی توابع عضویت معیارهای مختلف برای خطای ترمینال ۵ به ۳ با امپدانس 5Ω.

جدول (۱) ارزیابی عملکرد رله.

توضیحات	زمان متوسط عملکرد رله	تصمیم گیری غلط(٪)	آستانه عملکرد	ضرائب وزنی	توابع فازی
۲/۳حالتها برای تست انتخاب شوند.	۱۵ms	۰	ثابت	ثابت	ثابت
۲/۳ حالتها برای تنظیم و۲/۳برای تست انتخاب شوند.	۹/۸ms	۰	متغیر با زمان و تنظیم شده		
۱/۳باقیمانده برای تست استفاده شوند.	۱۰ms	۱۰			

مراجع

[1] B. Kasztenny, "A Self-Organizing Fuzzy Logic Based Protection Relay-An Application to Power Transformer Protection", IEEE Trans. On Power Delivery, Vol. 12, No. 3, pp. 1119-1226, July 1997.

[2] B. Kasztenny, "Digital Relay Improve Protection of Large Transformer", IEEE Computer Application in Power System, October 1998, pp. 39-45.

[3] Michal Habib, Miguel A. Marin, "A Comparative Analysis of Digital Relaying Algorithm for the Differential Protection of Three Phase Transformers", IEEE Trans. On Power System, Vol. 3, No. 3, August 1988, pp. 1378-84.

[۴] شاهین هدایتی کیا، «حفاظت دیجیتال ترانسفورماتور به روش فازی ـ تطبیقی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه علم وصنعت ایران، شهریور ۱۳۷۸.