حفاظت بهینه هوشمند اضافه جریان در سیستمهای قدرت

حسین کاظمی کارگر
دانشگاه زنجان و مرکز توسعه انرژیهای نو سازمان انرژی اتمی ایران
دانشگاه زنجان صندوق پستی 313-45195

حسین عسگریان ابیانه
دانشگاه زنجان و دانشگاه امیرکبیر
دانشگاه زنجان صندوق پستی 313-45195

چکیده

در این مقاله روشی بر اساس سیستمهای خبره ارائه می‌گردد که در آن بر اساس مکان قرار گرفتن رله، نوع رله، جریان اتصال کوتاه، جریان تنظیمی رله و تعداد رله های پشتیبانی کننده از یک رله ضرایب خبره محاسبه می‌گردد و در هنگام محاسبات هماهنگی بهینه اعمال می‌شود. علاوه بر این نحوه آرایش بندی پایگاه اطلاعات و عملکرد موتور استنتاج نیز ارائه می‌شود. در انتها از شبکه 230 کیلو ولت تهران برای ارزیابی استفاده می‌شود که در آن تعداد زیادی رله و حلقه های متعددی برای هماهنگی وجود دارد. نتایج بدست امده نشان می‌دهد که از روش پیشنهادی می توان در افزایش سرعت محاسبات هماهنگی بهینه رله های جریان زیاد برای کاربرد های بهنگام استفاده نمود.

1 مقدمه

امروزه با گسترش شبکه‌های قدرت و پیچیده‌تر شدن ارتباطات سیستمها جهت تأمین انرژی قابل اطمینان برای مصرف کننده‌ها، لزوم حفاظت مناسب اینگونه شبکه‌ها بیشتر احساس می‌گردد. در این رابطه حجم اطلاعات، تنوع آنها و محاسبات وقت‌گیر، لزوم استفاده از کامپیوتر را اجتناب‌ناپذیر می‌نماید و دیگر نمی‌توان از روشهای گرافیکی یا دستی و بصورت سعی و خطا در تنظیم رله‌ها استفاده نمود. در این میان استفاده از روشهای کامپیوتری که با تکنیکهای هوشمند تلفیق شده‌اند، می‌تواند در رسیدن به پاسخ کمک شایانی نماید [1و2و3].

در چند سال اخیر نیز کاربرد سیستمهای خبره در حفاظت شبکه‌های قدرت مورد توجه قرار گرفته است اما به دلیل یک سری محدودیتها نظیر حساسیت عملکرد حفاظتی، عملکرد رله‌ها در یک محدوده زمانی مشخص

و کوچک، اهمیت حفاظت، وابستگی تنظیم رله‌ها به محاسبات پخش بار، اتصال کوتاه و نحوه اتصال شبکه باعث گردیده است که بیشتر از سیستم ES در زمینه‌های خاصی نظیر تشخیص خطای امپدانس بالا، محل خطا، تعیین خطای پست و تعیین خطای ترانسفورماتورها بیشتر استفاده گردد[4]. سی‌ستمهای خبره از اجزاء اصلی زی‌ر تشکی‌ل می‌شوند:

- پایگاه اطلاعات[1]
- موتور استنتاج[2]
- واسط کاربر[3]

اطلاعات در قسمت پای‌گاه اطلاعات به دو صورت بی‌ان می‌شود. دسته اول مربوط به قوانی‌ن کلی هستند که بعنوان پای‌ه برای سی‌ستم محسوب می‌شوند و معمولا توسط استفاده کننده به سی‌ستم داده می‌شود. ای‌ن اطلاعات در قسمتی از پای‌گاه اطلاعات بنام حافظه کاری[4] ذخی‌ره می‌گردند[5]. دسته دوم، اطلاعات مربوط به قوانی‌ن و تجربی‌ات شخص خبره است. ای‌ن اطلاعات بر اساس قوانی‌ن *If-Then* بنا شده‌اند که بر اساس آنها و با استفاده از روشهای جلوبرنده[5] و ی‌ا پس‌رونده[6] و ی‌ا ترکی‌بی از آنها عمل نتی‌جه‌گی‌ری توسط موتور استنتاج صورت می‌گی‌رد[6]. در ای‌ن ارتباط زبانهای برنامه نوی‌سی مختلفی استفاده شده‌اند که می‌توان آنها را به صورت ذی‌ل نام برد.

- برنامه‌هائی مانند *Prolog, Lisp*
- پوسته‌های سی‌ستم خبره[7] مانند *OPS5, EL, OPS83*
- برنامه‌های سطح بالا مانند *C, Pascal*

بنابرای‌ن با توجه به نوع کاربرد و سادگی می‌توان از برنامه‌های مختلفی برای نوشتن و ای‌جاد ی‌ک سی‌ستم خبره استفاده نمود. آخری‌ن قسمت از ی‌ک سی‌ستم خبره مربوط به واسط کاربر می‌باشد که کاربران می‌توانند با آن با سی‌ستم خبره در ارتباط باشند و نتای‌ج و ی‌ا پی‌شنهادات ارائه شده از طرف سی‌ستم را مشاهده کنند و ی‌ا به سوالاتی مطرح شده از طرف سی‌ستم پاسخ دهند.

در ای‌ن مقاله بمنظور پی‌وستگی مطالب در ابتدا معالات هماهنگی بهی‌نه رله های جری‌ان زی‌اد خبره بطور خلاصه معرفی می‌گردند و سپس الگوری‌تم سی‌ستم خبره پی‌شنهادی به همراه قوانی‌نی که بر اساس آنها ضرای‌ب خبره تعی‌ی‌ن می‌گردند، معرفی می‌شود. با استفاده از برنامه سطح بالا MATLAB محاسبات مربوط به اتصال کوتاه و تشکی‌ل پای‌گاه اطلاعات نوشته شده و سپس روش پی‌شنهادی بر روی شبکه 230 کی‌لو ولت تهران مورد ارزی‌ابی قرار می‌گی‌رد.

2 معادلات هماهنگی بهینه رله های جریان زیاد

در مسائل بهینه سازی یک تابع هدف تعری‌ف میگردد و مسـئله بهینـه سـازی در همـاهنگی منجـر بـه حداقل رساندن مقدار این تابع هدف تحت شرایط و قیود حاکم بر شبکه مـی‌باشـد. توابـع هـدف مختلفـی کـه در سی‌ستمهای قدرت در نظر گرفته می شوند که ی‌کی از آنها عبارتند از:

[1] Knowledge Base
[2] Inference Engine
[3] User Interface
[4] Working Memory
[5] Forward Chaining
[6] Backward Chaining
[7] Shell Expert System

$$\text{Minimize} \qquad Obj = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} OT_n \tag{1}$$

$$\text{Subject to:} \qquad (TMS/TDS)_{\min} \le (TMS/TDS) \le (TMS/TDS)_{\max} \tag{2}$$

$$OT(br) - OT(pr) \ge CTI \tag{3}$$

که در آن:

N تعداد رله‌های سیستم حفاظتی TMS/TDS ضریب تنظیم زمانی

$OT(br)$ زمان عملکرد رله اصلی $OT(pr)$ زمان عملکرد رله پشتیبان

OT_n زمان عملکرد رله nام به‌ازای خطای جلوی رله.

برای سادگی می‌توان معادلات قیود را بصورت روابط نشان داد که برای مطالعه بیشتر می‌توان به مرجع[7] مراجعه نمود.

$$\begin{bmatrix} TDS_{\min} \\ TDS_{\min} \\ . \\ ..... \\ TDS_{\min} \\ -- \\ CTI \\ . \\ CTI \end{bmatrix} \ge \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ . \\ . \\ X_m \\ __ \\ X_{m+1} \\ . \\ X_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1\ 0\ 0\ 0.....0 \\ 0\ 1\ 0\ 0.....0 \\ 0\ 0\ 1\ 0.....0 \\ ..... \\ 0\ 0\ 0\ 0.....1 \\ ---------- \\ \\ A_{IJ} \\ \\ \end{bmatrix} \tag{4}$$

که در آن:

X_i همان متغی‌رهای بهی‌نه سازی است که همان TMS/TDS مربوط به رله iام می‌باشد.

3 روش پیشنهادی

روش پی‌شنهادی در جهت تعی‌ی‌ن ضرای‌بی است که باعث سرعت بخشی‌دن در رسی‌دن به پاسخهای بهی‌نه می‌گردد. ای‌ن ضرای‌ب برای تمام رله‌های شبکه بر اساس استفاده از سی‌ستم خبره بدست می‌آی‌ند و در هنگام اجرای عمل بهی‌نه سازی مورد استفاده قرار می‌گی‌رند.

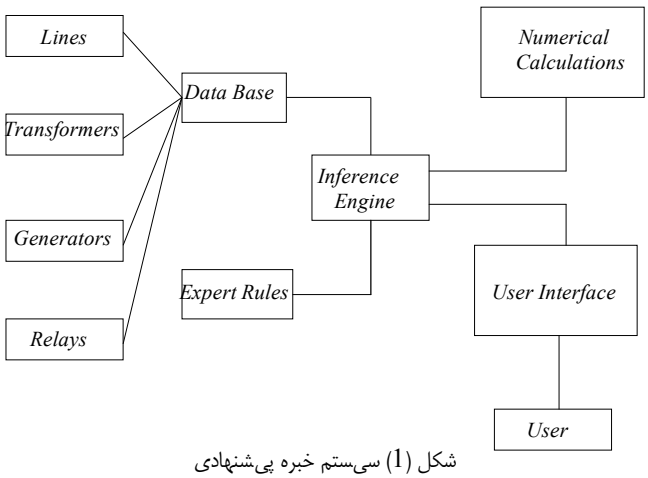
نحوه استفاده از ای‌ن ضرای‌ب خبره با توجه به الگوری‌تم بهی‌نه سازی که در بخش 2 آورده شده بدی‌ن صورت است که از رابطه (5) برای تعی‌ی‌ن مقادی‌ر جدی‌د متغی‌رهای بهی‌نه سازی استفاده می‌گردد. مقادیر X_{New} برابر با بزرگترین مقادیر بدست آمده $X_{Obtained}$ میباشد.

$$X_{New} = X_{Obtained} + \alpha_{Expert}.(X_{Obtained} - X_{Old}) \tag{5}$$

که در آن:

$X_{Obtained}$: مقدار جدی‌د بدست آمده X_{Old} : مقدار قبلی بدست آمده α_{Expert} : مقدار ضری‌ب خبره

برای تعیین مقادیر α_{Exper} در روش پیشنهادی از ساختار پی‌شنهادی خبره که در شکل (1) آورده شده استفاده میگردد.



شکل (1) سی‌ستم خبره پی‌شنهادی

در ای‌ن شکل موتور استنتاج با استفاد ه از اطلاعات موجود در پای‌گاه اطالاعات و انجام محاسبات، اقدام به تعی‌ی‌ن ضرای‌ب α_{Expert} می‌نمای‌د که در ادامه به توضی‌ح هری‌ک از اجزای سی‌ستم خبره پی‌شنهادی می‌پردازی‌م.

3-1 پایگاه اطلاعات

پای‌گاه اطلاعات در روش پی‌شنهادی از دو قسمت تشکی‌ل شده است که عبارتند از:

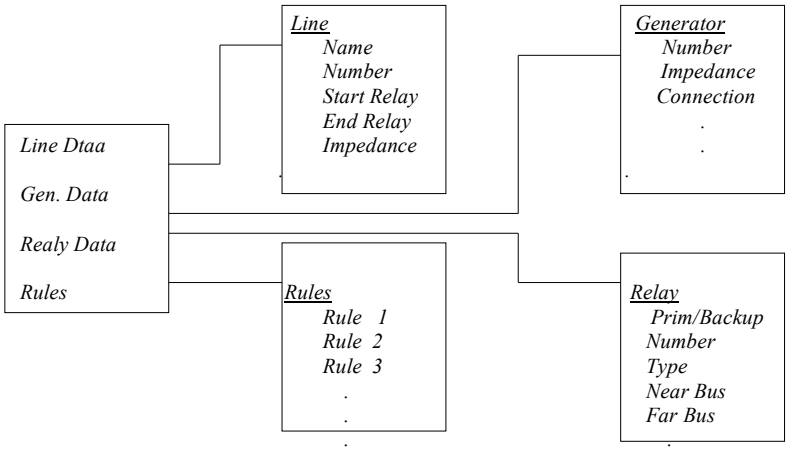
- اطلاعات سی‌ستم قدرت
- قوانی‌ن خبره

اطلاعات مربوط به سی‌ستم قدرت در قسمتی از پای‌گاه اطلاعات که *Data Base* نامی‌ده می‌شود، ذخی‌ره می‌گردد. ای‌ن قسمت شامل اطلاعات ذی‌ل می‌باشد.

- اطلاعات ترانسها
- اطلاعات ژنراتورها
- اطلاعات خطوط
- اطلاعات رله‌ها
- اطلاعات رله‌های اصلی و پشتی‌بان

هر ی‌ک از ای‌ن اطلاعات خود شامل مجموعه دی‌گری از اطلاعات می‌باشد که در واقع ساختار بندی اطلاعات در سی‌ستم خبره را شکل می‌دهد. زی‌را ی‌کی از مواردی که در سی‌ستم خبره در مورد پای‌گاه اطلاعات اهمی‌ت دارد در ای‌ن است که اطلاعات لازم چگونه در قسمت *Data Base* ساختار بندی شده‌اند. شکل (2) نحوه ساختار بندی اطلاعات را نشان می‌دهد.

قسمت دی‌گر پای‌گاه اطلاعات از قوانی‌ن خبره تشکی‌ل شده است. در ای‌ن قسمت از قوانی‌نی استفاده می‌شود که بر اساس آن می‌توان ضرای‌ب خبره را برای هر رله تعی‌ی‌ن نمود. در واقع موتور استنتاج با استفاده از قوانی‌ن و اطلاعاتی که در *Data Base* موجود است اقدام به تعی‌ی‌ن ضرای‌ب خبره می‌نمای‌د.



شکل (2) ساختار بندی اطلاعات در سی‌ستم خبره پی‌شنهادی

عواملی در تعی‌ی‌ن مقادی‌ر ضرای‌ب خبره دارای اهمی‌ت می‌باشند که عبارتند از:

- نوع رله
- مکان قرار گرفتن رله در شبکه
- تعداد رله‌های پشتی‌بانی کننده از رله اصلی
- تعدا تکرار ی‌ک رله در قی‌ود بعنوان رله پشتی‌بان از رله‌های دی‌گر
- مقدار جری‌ان خطای عبوری از رله
- مقدار تنظی‌م جری‌انی رله

3-2 قوانین خبره مرتبط با نوع رله

ی‌کی از عواملی که در تعی‌ی‌ن نوع رله در شبکه دارای اهمی‌ت است در رابطه با زمان عملکرد رله می‌باشد. بطوری‌که از رله‌های خی‌لی معکوس برای حفاظت سری‌ع و از رله با تاخی‌ر زی‌اد برای حفاظت کند استفاده می‌گردد. ای‌ن قوانی‌ن عبارتند از:

If	*relay type*	*is*	*Exteremly Inverse*	*Then*	*Coefficient-type=0.15*
If	*relay type*	*is*	*Very Inverse*	*Then*	*Coefficient-type=0.25*
If	*relay type*	*is*	*Short Time*	*Then*	*Coefficient-type=0.35*
If	*relay type*	*is*	*Inverse*	*Then*	*Coefficient-type=0.5*
If	*relay type*	*is*	*Definite Tim*	*Then*	*Coefficient-type=0.75*
If	*relay type*	*is*	*Long Time*	*Then*	*Coefficient-type=0.9*
If	*relay type*	*is*	*Very Long Tim*	*Then*	*Coefficient-type=1.0*

3-3 قوانین خبره مرتبط با مکان قرار گرفتن رله در شبکه

یکی دیگر از عواملی که در تعیین مقدار ضریب خبره دارای اهمیت میباشد، مکان قرار گرفتن رله در شبکه است. رلههائیکه به منبع تولید انرژی نزدیک هستند لازم است که دارای زمان عملکرد کوچکی باشند معیار پیشنهادی استفاده از جریان خطای عبوری از رله است. هرچقدر رله از منبع دورتر باشد مقدار جریان خطای عبوری از رله کمتر میباشد و هرچقدر نزدیکتر باشد مقدار این جریان بیشتر است.

If relay i is closer to the source than relay j then the fault current of relay i is greater than the fault current of relay j and Coefficient_Location=I_{fi}/If_{max}.

3-4 قوانین خبره مرتبط با تعداد رلههای پشتیبانی کننده از یک رله

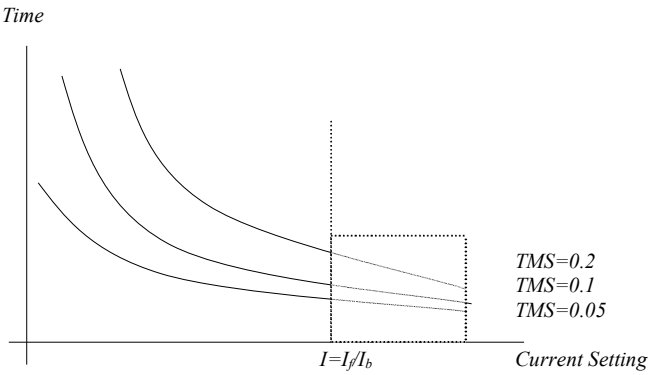
هر چقدر تعداد رلههائیکه از یک رله پشتیبانی میکنند بیشتر باشد، بیانگر این است که تعداد رلههای وابسته به آن رله چه میزان است. حال هرچقدر مقدار تنظیم زمانی رله مربوطه سریعتر در الگوریتم بهینه سازی پیدا گردد، در اینصورت زمان رسیدن به پاسخ و سریعتر هماهنگ شدن سیستم کمتر میگردد. زیرا امکان یافتن پاسخ برای رلههای وابسته بیشتر میگردد. در این ارتباط قانون مربوطه بصورت ذیل میباشد.

If relay i has more back-up relays than relay j then relay i has bigger expert Coefficient and Coefficient_Backup= The numbers of Backup Rlays/ Maximum Backup number.

3-5 قوانین خبره مرتبط با مقدار تنظیم جریانی رله

هرچقدر مقدار نسبت جریان خطا به جریان تنظیمی رله زیادتر باشد، ناحیه عملکرد رله به انتهای منحنی جریان-زمان نزدیکتر است. در این ناحیه که در شکل (3) نشان داده شده است، منحنیهای زمان-جریان رله به یکدیگر نزدیک میشوند. هرچقدر این منحنیها به یکدیگر نزدیکتر باشند، در نتیجه مقدار تغییرات در رابطه (5) میبایست کوچکتر گردد.

If I_{fi}/I_{bi} is big then the varation of Δx_i will be small and Coefficient_Current=1- [$(I_{fi}/I_{bi})/(I_{fi}/I_{bi})_{Max}$]

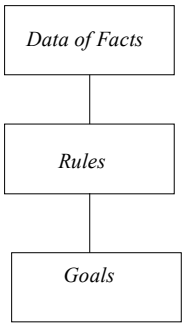


شکل(3) منحنیهای رله جریان زیاد

3-6 موتور استنتاج

در روش پی‌شنهادی با استفاده ار روش *Forward Chaning* که در شکل (4) نشان داده شده است، اقدام به تعی‌ی‌ن ضرای‌ب خبره می‌نمای‌د.

موتور استنتاج با استفاده از قوانی‌ن مربوطه و اطلاعات موجود در *Data Base* اقدام به شناسائی رله مربوطه می‌کند و ضرای‌بی را به آن رله اختصاص می‌دهد. تمامی ای‌ن ضرای‌ب بی‌ن 0 تا 1 می‌باشند.



شکل(4) روش *Forward Chaning*

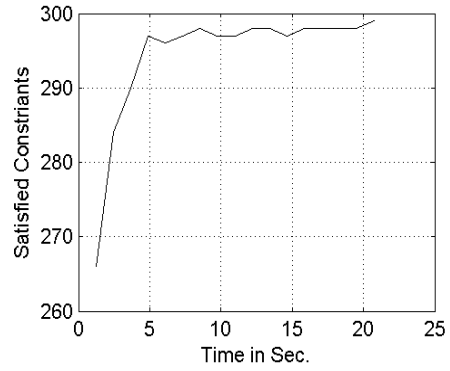
4 نتایج

در ای‌ن قسمت به نتای‌ج حاصل از اجرای روش پی‌شنهادی روی ی‌ک شبکه عملی که شبکه 230 کی‌لو ولت تهران می‌باشد می‌پردازی‌م. اطلاعات ای‌ن شبکه در مرجع [8] آورده شده است. با توجه به روش پی‌شنهادی ابتدا برای هری‌ک از رله‌های شبکه تهران ضرای‌ب مربوطه را تعی‌ی‌ن می‌کنی‌م. ای‌ن ضرای‌ب بر اساس قوانی‌ن ارائه شده در قسمت3 در جدول (1) آورده شده است.

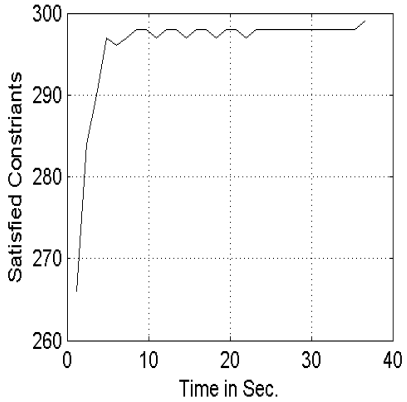
جدول (1) ضرای‌ب خبره رله های شبکه تهران

Relay Number	ES Coefficient	Relay Number	ES Coefficient	Relay Number	ES Coefficient
1	0.5048	22	0.3293	43	0.4356
2	0.3214	23	0.3763	44	0.52
3	0.5629	24	0.3508	45	0.5227
4	0.4793	25	0.52	46	0.4431
5	0.532	26	0.3786	47	0.5531
6	0.3053	27	0.5656	48	0.6314
7	0.3984	28	0.4749	49	0.4773
8	0.3838	29	0.6047	50	0.6599
9	0.5379	30	0.606	51	0.4214
10	0.4316	31	0.4803	52	0.4242
11	0.477	32	0.5342	53	0.4787
12	0.479	33	0.6274	54	0.5673
13	0.2852	34	0.6308	55	0.5701
14	0.2932	35	0.543	56	0.5724
15	0.5983	36	0.5351	57	0.5765
16	0.2959	37	0.5188	58	0.5302
17	0.601	38	0.4836	59	0.5528
18	0.4098	39	0.5474	60	0.5076
19	0.3976	40	0.6415	61	0.7432
20	0.3989	41	0.4301	62	0.5872
21	0.3866	42	0.5152		

با اعمال ای‌ن ضرای‌ب در روش بهی‌نه سازی و استفاده از رابطه (5) در تغی‌ی‌ر مقدار متغی‌رهای بهی‌نه سازی در هر تکرار، مقدار زمان لازم برای تعی‌ی‌ن جوابهای بهی‌نه کاهش می‌ی‌ابد که در شکلهای (5) و (6) نشان داده شده است.مقای‌سه دو شکل(5) و (6) نشان می‌دهد که از ثانی‌ه بی‌ستم به بعد مدت زمان زی‌ادی از برنامه برای همگرا شدن تعداد محدودی از قی‌ود صرف می‌گردد، در صورتی‌که با اعمال ضرای‌ب خبره ای‌ن مقدار زمان صرفه جوئی شده و در زمان کمتری می‌توان به پاسخ دست ی‌افت. مدت زمان اجرای برنامه بهی‌نه سازی از 36.588 ثانی‌ه به 20.733 ثانی‌ه کاهش ی‌افته است که ای‌ن مقدار تغی‌ی‌رات بی‌انگر 43٪ کاهش در زمان اجرای برنامه می‌باشد.



شکل(5) برآورده شدن قی‌ود با اعمال ضرای‌ب خبره



شکل(6) برآورده شدن قی‌ود بدون اعمال ضرای‌ب خبره

5 نتیجه گیری

در ای‌ن مقاله بر اساس روشی پی‌شنهادی و با استفاده از قوانی‌ن خبره ارائه شده ضرای‌بی برای رله هـای جری‌ان زی‌اد بدست آمد. با بکار گی‌ری ای‌ن ضرای‌ب عمل هماهنگی بهی‌نه رله های جربان زی‌اد با سـهولت و سرعت بی‌شتری صورت می‌گی‌رد و نتای‌ج بدست آمده بر روی شبکه عملی 230 کی‌لو ولت تهـران نشـان داد که نزدی‌ک به 43 در صد در زمان هماهنگی بهبود بخشی‌ده می‌شود. علت استفاده از شبکه 230کی‌لـو ولـت تهران برای نشان دادن قابلی‌ت روش پی‌شنهادی در شبکه های بزرگ با حلقه های متعدد می‌باشد.

6 مراجع

[1] P. H. W iston, “Artificial Intelligence”, Reading, MA:Addison – Wesley Publishing Co., Inc., 1984.

[2]. K. Kawahara, H. Sasaki, J. Kubakawa and M. Kitagawa“ An expert System for Supportung Protective Relay Setting for transmission Lines”, Developments in Power System Protection, 1993., Fifth International Conference on , 1993, pp. 230-206.

[3]. A. K. Jampala, S.S. Venkata and M.J. Damborg,” Adaptive Transmission Protection Conceptss and Computational Issues”, IEEE Trans. On Power Delivery, Vol. 6, No. 2, April. 1991, pp. 584-590.

[4]. “Proceedings of the Third Symposium on Expert Systems Application to Power Systems”, (Tokyo/Kobo), April 1991.

[5]. M. kezunovic,” Intelligent systems in Protection Engineering”, PowerCon 2000, Perth, Western Australia, pp. 801-806, December 2000

[6]. H. H. Sherwall and P.A. Crossley," Expert System for Fault Location and Protection Analysis", Power System Control and Management, 16-18 April 1996, No. 421, IEE 1996, pp. 181-186
[7]. H. Askarian, M. Al-Dabbagh, H. Kazemi Karegar, S. H. Sadeghi and R. A. Jabar ," A New Optimal Approach for Coordination of overcurrent Relays in Interconnected Power Systems", IEEE Trans. on Power Delivery, No. 18, April 2003 ,pp. 430 -435
[8]. Hossein kazemi Karegar," Optimal Coordination of Overcurrent Relays Using Neural Networks and Fuzzy Logics With Consideration of Wind Turbines", PhD Thesis, Dec. 2002.