چهارمین کنفرانس
شبکه‌های توزیع نیرو

کاربرد سیستم های خبره در زمینه تشخیص و ارزیابی خطا در شبکه های قدرت

حیدرعلی شایانفر احمدرضا میرزائی داریوش زارع

دانشکده مهندسی برق / دانشکده مهندسی کامپیوتر

دانشگاه علم و صنعت ایران

چکیده :

در این مقاله،سیستم خبره‌ای جهت تشخیص و ارزیابی موقعیت خطا در شبکه‌های قدرت طراحی و ارائه گردیده است. این سیستم خبره با استفاده از یک پوسته سیستم خبره بنام Xiplus پیاده‌سازی شده است. دراین سیستم،عملیات استنتاج برای یافتن موقعیت خطا، بوسیله اطلاعات و دانش موجود و تقریبا مشابه با یک انسان متخصص انجام میشود. این مقاله همچنین شامل توضیحاتی در مورد نحوه‌نمایش شبکه و سیستم حفاظتی و نیز سلسله مراتب اجرای قوانین استنتاجی می‌باشد.

۱- شرح مقاله :

امروزه بسیاری ازعملیات سیستم‌های قدرت به وسیله سیستمهای پیشرفته کامپیوتری کنترل می‌شود. اما با این حال یکسری وظایف وجود دارند که قابل اتوماتیک کردن نیستند و هنوزهم توسط اپراتورهای انسانی انجام می‌شوند. یکی از وظایفی که جزو این گروه محسوب می‌شود عملیات تشخیص و ارزیابی موقعیت خطادرشبکه‌های قدرت است.

خطاهای الکتریکی واثرات آنها مهمترین وجدی‌ترین مشکل درشبکه‌های انتقال نیرو بوده و باعث ایجاد اختلالات گوناگون و تغییر وضعیت سیستم می‌شوند. یک شبکهٔ انتقال نیرو شامل تجهیزاتی مثل خطوط ، ترانسفورماتورها ، شین ها و ژنراتورها میباشد که به وسیله عناصر ارتباطی مانند بریکرها و سکسیونرها به یکدیگر متصل میشوند.این شبکه مجهز به یک سیستم حفاظتی است که مسئولیت جداسازی عناصر معیوب را به هنگام وقوع یک حادثه به عهده دارد .

بد دنبال وقوع یک خطا در سیستم قدرت . اپراتوربایستی فورا منطقهٔ تحت تاثیررا بد حالت اولیه بازگرداند و یا اینکه حداقل یک سیرقابل قبول برای تبور قدرتی کد پیش ازوقوع حادثد از تجهیزات معیوب جاری بود. برپانماید. اما قبل ازانجام هرگونه عملیات سوئیچینگ بایستی موقعیت خطا و همچنین تجهیزاتی کد عملکرد غلط داشتداند.معین گردد. زیرا برقدارکردن مجدد تجهیزات معیوب میتواند خطرات بسیار زیادی را بدنبال داشتد باشد و حتی ممکن است جان افراد رانیز بد مخاطره اندازد . بنابراین اولین قدم برای استقرار مجدد سیستم.تشخیص دقیق و بموقع خطاست .

از نقطه نظر یک اپراتور، هرخطایی خودش را به وسیلهٔ یکری آلارم‌های مربوط به بازشدن بریکرها وعملکرد رله‌ها نشان میدهد. اپراتور بایستی بر پایهٔ این علائم، مشخص نماید که خطا در چه موقعیتی اتفاق افتاده و چه وسایلی میتواند دوباره به مدار بازگردانده شوند. درساددترین حالت که فقط یک خطا داشته باشیم وسیستم حفاظتی نیز کاملا صحیح عمل نماید، بااستدلالی نسبتا ساده وراحت می‌توان موقعیت خطا را تشخیص داد. اما اگر هنگام بروز خطا تعدادی از رله‌ها و بریکرها موفق به عملکرد نشوند، در آنصورت حفاظت پشتیبان خطا را برطرف خواهد کرد. درچنین وضعیتی منطقهٔ جداشده بسیاربزرگ خواهدبود ودرنتیجه تشخیص موقعیت خطا وارزیابی شرایط سیستم چندان سهل وآسان نیست واپراتوربایستی محتمل‌ترین موقعیت را از بین موقعیتهای ممکن،انتخاب نماید . همچنین اگر دو خطا به طور همزمان اتفاق بیفتد ویا تعدادی از رله‌هاوبریکرها عملکرد غلط داشته باشند درآنصورت شرایط به مراتب پیچیده‌ترشده وتشخیص خطا بسیارمشکل میگردد.

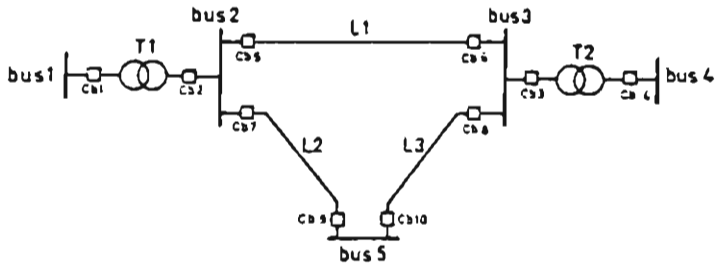
به‌این ترتیب ملاحظه میشود که بازیابی سیستم قدرت نه تنها احتیاج به مهارت ودانش وسیعی درمورد اجزاء سیستم ، عملکردسیستم ونحوهٔ فعالیت رله‌های حفاظتی دارد،بلکه نیاز به تصمیم گیری دقیق وبسیارسریع برمبنای دانش مورد نظر خواهدداشت . چنین وظایف مبهم وپیچیده‌ای رامیتوان بوسیلهٔ سیستمهای خبره انجام داد. این سیستمها عملیات تشخیص را سریعتر و بمراتب قابل اعتمادترازاپراتورهای انسانی انجام میدهند. به همین دلیل تا کنون، تحقیقات زیادی در این زمینه انجام شدد و یا در حال انجام است [3,5,8] .

۲- مشخصه‌های سیستم خبره‌ٔ تشخیص خطا:

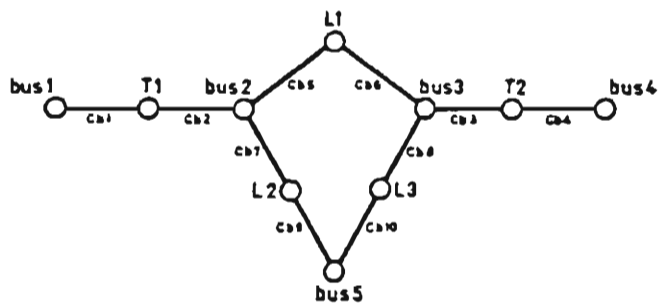
این سیستم خبره نام رله‌ها و بریکرهایی که عملکرده‌اند رابه‌عنوان ورودی دریافت نموده و با استفاده از آنها ونیز قوانین استنتاجی موجود،عنصرمعیوب را مشخص میکند وبه دنبال آن گزارشی درمورد وضعیت خطا درخروجی ارائه مینماید. این سیستم از چند پایگاه دانش تشکیل شده است که هریک ازآنها انجام قسمتی ازعملیات تشخیص خطارابرعهده دارند. موتوراستنباط روند اجرای برنامه را تحت کنترل داشته وبرحسب نتایج استنتاج شده ممکن است هریک از پایگاههای دانش را فراخوانده ویاآنهارا reset نماید. هرپایگاه دانش شامل اطلاعاتی درمورد شبکه‌وسیستم حفاظتی ، دانش مربوط به طرز عملکرد رله‌ها وهمچنین قوانین عمومی وابتکاری برای تشخیص خطامیباشد.برای اجتناب از جستجوهای طولانی در هر پایگاه دانش، اطلاعاتی گنجانده شده است که موردنیازآن باشد. به عبارت دیگر بجای استفاده ازیک پایگاه دانش بزرگ،آن رابه پایگاههای کوچکتر تجزیه نموده (Pruning) و بااجرای سلسله مراتبی آنها اززمان و پیچیدگی اجرای برنامه خواهیم کاست .

۳- نحوهٔ نمایش شبکهٔ قدرت :[1]

به عنوان اولین قدم درپیاده سازی سیستم خبره بایستی اطلاعات مربوط به توپولوژی شبکهٔ قدرت و چگونگی اتصال عناصر مختلف آن را به نحوی مناسب نمایش دهیم. بدین منظور شبکه را به وسیلهٔ تعدادی گره وشاخه نشان میدهیم . گره‌ها نمایانگرتجهیزاتی مثل خطوط، شینها وترانسفورماتورها هستند که ممکن است دچارخطا شده وتوسط بریکرهاازدیگراجزاء شبکه جداشوند و شاخه‌ها نشان‌دهنده خود بریکرها میباشند. هرگره یک واحد اصلی ازعناصر تحت حفاظت راتشکیل میدهد وبنابراین منطقهٔ حفاظتی مربوط به هر رله متناظر بامجموعه‌ای ازگره‌هاست . ایده اصلی این نحوهٔ نمایش از آنجاناشی میشود که هربریکر فقط میتواند دوعنصر را به هم متصل نماید و لذا از نقطه نظر تشخیص خطا، اپراتورآن را به صورت شاخهٔ ارتباطی بین عناصرمی‌بیند.دراین مدل وضعیت کلیهٔ بریکرها به صورت بسته درنظرگرفته میشود مگرآنهایی که توسط کاربر و به عنوان بریکرهای عملکرده وارد برنامه میشوند. شکل(۱) نمونه‌ای ازیک شبکه و نمایش گرافیکی آن رانشان میدهد.



a) شبکه اصلی



b) نمایش گرافیکی بوسیلهٔ شاخه‌ها و گره‌ها

```
fact 1 : left side of cb1 is bus 1
fact 2 : right side of cb1 is T1
fact 3 : left side of cb2 is T1
fact 4 : right side of cb2 is bus2
```

c) عبارات عنوان شده در +Xi

شکل (۱)

درداخل پایگاه دانش، این ارتباط گرافیکی به صورت مجموعه‌ای ازحقایق توصیف میشود. شکل (۱-c) نحوهٔ نمایش این توصیف را در Xiplus نشان میدهد.

ازمزیتهای این شیوهٔ نمایش آن است که میتوانیم ازروی عبارات قابل فهم برای کامپیوتر یک حس بصری ازشبکهٔ قدرت به دست آوریم .

۴- نحوهٔ نمایش سیستم حفاظتی :

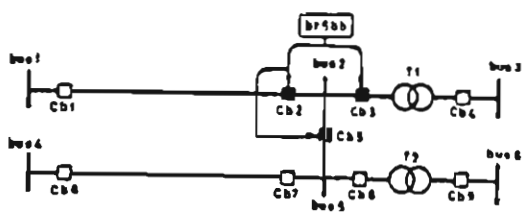
مطمئنا انجام عملیات تشخیص خطا بدون داشتن دانش کافی درزمینهٔ سیستم حفاظتی امکان‌پذیر نیست . بنابراین دلیل لازم است اطلاعات مربوط به نحوهٔ عملکرد رله‌های حفاظتی ونیز مشخصات آنها درپایگاه دانش گنجانده شود. یک سیستم حفاظت واقعی ازترکیب انواع مختلفی ازرله‌ها تشکیل میشود و هررله ممکن است خود شامل چندین عنصرحفاظتی باشد. اما علی‌رغم این مسئله، معمولا اپراتورازهریک ازعناصرحفاظتی سیگنالی مجزادریافت نمیکند بلکه ازهررله فقط یک سیگنال منتجه دریافت میدارد که حاکی از عملکرد کلی آن رله است. به عنوان مثال درمورد رلهٔ دیستانس که ترکیبی ازرله‌های راکتانسی و موهو است، اپراتورمعمولا یک سیگنال واحد را تحت عنوان سیگنال رلهٔ دیستانس شناسایی مینماید. به همین دلیل دراین مقاله وارد جزئیات عملکرد رله نمی‌شویم وبرای هررله فقط یک سیگنال کلی درنظرمیگیریم ضمن آنکه فرض می‌شودناهماهنگی بین‌زمان‌عملکردرله‌ها وجودندارد. (مرجع [2] مدلی‌براساس setting زمانی‌رله‌ها ارائه‌دادست.)

۴-۱) حفاظت اصلی :

هریک از عناصر موجود درشبکهٔ قدرت بوسیله یکری رله‌های اصلی که حفاظت اولیه این عناصررابرعهده دارند، محافظت میشوند. این رله‌ها فقط قادربه تشخیص خطادرعنصرتحت حفاظت خودمیباشند و بمحض وقوع خطادرآنها فرمان قطع برای بریکرهای تحت کنترل خود صادرنموده وعنصرمعیوب راازدیگرقسمتهای شبکه جدامیسازند.

حفاظت اصلی ترانسفورماتورهاوشین ها معمولا بوسیلهٔ رله دیفرانسیل انجام میگیرد. امابرای حفاظت اصلی خطوط از دوعدد رله دیستانس دردوسوی خط استفاده میشود که بین آنها ارتباط مخابراتی برقراراست . هریک ازاین رله‌ها ازمقادیرالکتریکی حاصل از دوطرف خط استفاده نموده وفقط بریکر مربوط به خود را قطع میکنند. درواقع این نوع حفاظت ازنظر عملکرد درست مشابه حفاظت دیفرانسیل خواهدبود.

هررلهٔ اصلی بوسیله نام‌رله، نوع رله، مجموعه بریکرهای تحت کنترل رله وعنصرتحت حفاظت آن توصیف میشود. شکل (۲) یک رلهٔ حفاظت اصلی شین وهمچنین توصیف مشخصات آنرا در زبان Xiplus نشان میدهد.



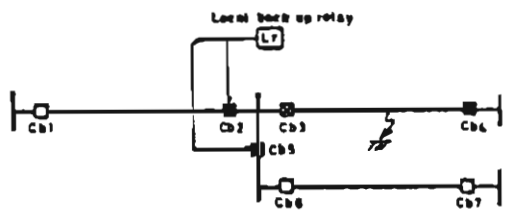
شکل (۲)

```
fact 1 : type of br5bb is bus relay
fact 2 : br5bb protects bus2
fact 3 : breaker of br5bb includes cb2
fact 4 : breaker of br5bb includes cb3
fact 5 : breaker of br5bb includes cb5
```

۲-۴) حفاظت پشتیبان :

بیشترین وسیلهٔ حفاظتی که درشبکه های قدرت به منظور حفاظت پشتیبان مورداستفاده قرارمیگیردرلهٔ دیستانس میباشد. منطقهٔ تحت حفاظت این رله برخلاف رله‌های اصلی.به وضعیت باز یا بسته بودن بریکرهاوتوپولوژی شبکه بستگی دارد. درتوصیف رله‌های دیستانس.علاوه برمشخصاتی که برای رله‌های اصلی عنوان گردید، یک مشخصهٔ مهم دیگرنیزبایستی درنظرگرفته شودوآن هم جهت دید رله است . باوجودیکه منطقهٔ تحت حفاظت رلهٔ دیستانس درشرایط مختلف تغییرمیکندامایک مطلب درمورد آن همواره صادق است وآن اینکه ، خطای دیده شده بوسیلهٔ رلهٔ دیستانس بایستی درداخل منطقه‌ای قرارداشته باشدکه توسط بریکرهای عملکرده احاطه شده است. این منطقه را اصطلاحا منطقهٔ Black out مینامندودرواقع ناحیه‌ای است که پس ازوقوع خطا بی‌برق شده و از شبکه مجزامیگردد.

نوع دیگری ازانواع رله‌ها که بمنظور رلهٔ پشتیبان مورداستفاده قرارمیگیرد، "رلهٔ پشتیبان موضعی" است . این رله عملکرد ناموفق بریکرهارا حس کرده و برای برطرف کردن خطا، سیگنال قطع رابه نزدیکترین بریکرهای مربوطه ارسال میدارد. درشکل (۳) نحوهٔ عملکرداین رله وقانونی که بزبان Xiplus آنراتوصیف میکند، نشان داده شده است .




```
rule : if  type of Anyrelay1 is local back up
       and  primary relay of Anyrelay1 is Anyrelay2
       and  operated relays includes Anyrelay2
       and  breaker of Anyrelay2 includes Anybreaker
       and  tripped breakers does not include Anybreaker
            then  Anyrelay1 must be operated
```

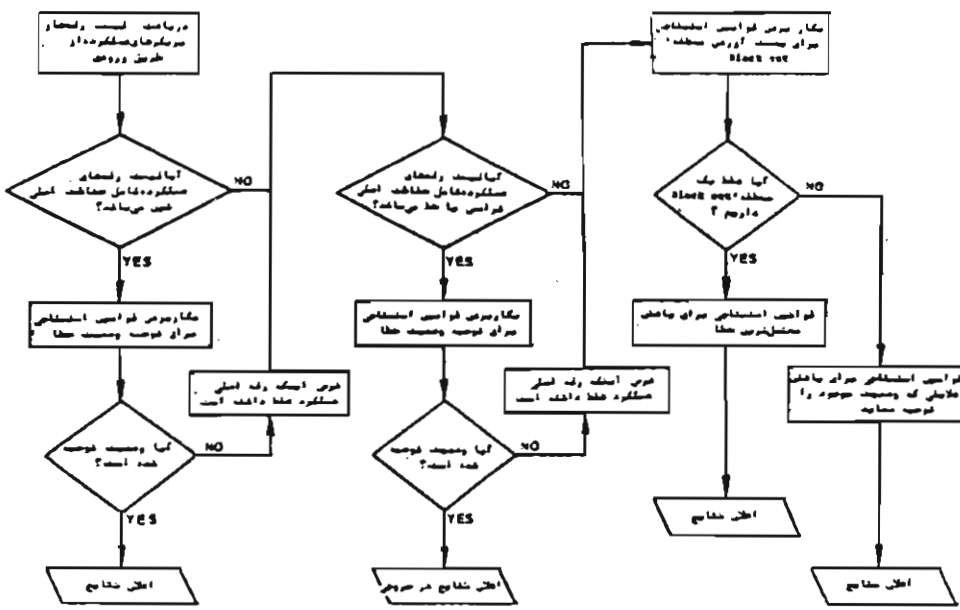
شکل (۳)

۵- قوانین استنتاجی برای تشخیص و ارزیابی موقعیت خطا:

بطورکلی درعملکرد رله‌هاوبریکرها چندین حالت مختلف ممکن است وجود داشته باشد. تعدادی ازاین حالات که دراینجا مورد نظر قرار گرفته‌اند عبارتند از:

۱- هم رله‌هاوهم بریکرهابطورنرمال عمل نمایند.
۲- رله‌ها درست عمل کردد ولی بریکرهاموفق به قطع نشوند.
۳- رله‌ها و بریکرها عملکرد ناموفق داشته باشند.
۴- هم رله‌ها و هم بریکرها غلط عمل کنند.

درعمل تشخیص" عملکرد نرمال" از" عملکرد غلط" بسیارمشکل است . بهمین دلیل درابتدای عملیات استنتاج فرض میشود که کلیه رله‌ها درست عمل کرده باشند و اگردرحین عملیات به تناقض برخورد شود آنگاه ممکن است عملکرد برخی از رله‌هاغلط فرض شده واستنتاج ادامه یابد. شکل (۴) روند اجرای عملیات استنتاج و سلسله مراتب فراخوانی پایگاههای دانش رانشان میدهد.



شکل (۴) روند اجرای عملیات استنتاج و سلسله مراتب فراخوانی پایگاههای دانش

فعالیت سیستم خبره با واردکردن لیست رله‌ها و بریکرهای عملکرده آغاز میشود. در اولین قدم، سیستم در لیست رله‌های عملکرده بدنبال رلهٔ حفاظت اصلی شین میگردد و در صورت یافتن، عملیات استنتاج شروع میشود. با استفاده از قوانین استنتاجی موجود، عنصر معیوب پیدا شده و اگر کلید بریکرهای تحت کنترل رلهٔ مورد نظر بدرستی عمل کرده باشند برنامه پایان پذیرفته و نتایج درخروجی گزارش میشود. درغیراینصورت سیستم برای یافتن بریکرهائی که عملکرد ناموفق داشته‌اند شروع به استدلال میکند و این جستجو تا دو مرحله ناموفق ماندن بریکرها تکرار میشود. اگر تحت این شرایط وضعیت موجود توجیه گردد، ارزیابی به پایان میرسد. درغیراینصورت وضعیت غیرممکن درخروجی اعلان شده و سپس بعنوان احتمال دوم عملکرد رلهٔ اصلی غلط فرض شده و عملیات استنتاج در مراحل بعدی ادامه می یابد. در این مرحله اگر دو یا تعداد بیشتری خطا بطور هم‌زمان اتفاق بیفتد، سیستم قادر است هریک از آنها را به طور مجزا تشخیص دهد. در زیر نمونه‌ای از قوانین استنتاجی که برای بدست آوردن بریکرهای ناموفق بکار رفته است، ملاحظه میشود.

```
rule : if   failed breaker includes A
       and  faulty element includes B
       and  right side of A is B
       and  left side of A is C
       and  C is a line
       and  right side of D is C
       and  breaker of E includes D
       then E must be operated
       and  D must be tripped
```

درصورتی که لیست رله های عملکرده شامل حفاظت اولیه خط وترانس باشد، روند استنتاج مشابه حالت فوق اما با اندکی تفاوت دنبال میگردد. اما اگر حفاظت اصلی موفق به عملکرد نشود در آنصورت تعداد زیادی کاندیدای خطا وجود دارد که مطمئنا کلیه آنها در منطقهٔ Black out واقع شده‌اند. لذا در این شرایط قوانین استنتاجی برای به دست آوردن منطقهٔ Black out فعال میشوند. در زیر نمونه‌ای از این قوانین آورده شده است.

```
rule : if    operated relay includes Anyrelay.
       and   type of Anyrelay is distance relay.
       and   direction of Anyrelay is right side.
       and   breaker of Anyrelay includes Anybreaker.
       and   right side of Anybreaker is Anyelement.
       then  black out area includes Anyelement.
```

اگر فقط یک منطقهٔ Black out داشته باشیم در آنصورت حداقل عناصر واقع در این منطقه می‌توانند عنصر خطا باشند. اما محتمل‌ترین عنصر خطا آن است که با کمترین تعداد رله‌ها و بریکرهای ناموفق توجیه شود. بعبارت دیگرهر خطائی که مستلزم ناموفق ماندن تعداد کمتری رله و بریکر باشد، از احتمال بالاتری برخوردار است. اما اگر بیشتر از یک منطقه Black out وجود داشته باشد. در آن صورت هر یک از این مناطق می‌توانند شامل یک خطای مجزا باشند. ضمن آنکه دلایل دیگری نیز ممکن است وجود داشته باشند که وضعیت موجود راتوجیه نمایند.

مثال :

شکل (۵) یک شبکهٔ نمونه را نشان می‌دهد. پس از وقوع خطائی در این شبکه، اطلاعات زیر حاصل گردیده است.

- رله‌های brb4 , brb6 , rr9 , rr27 , rr15 , rr32 عمل کرده‌اند.

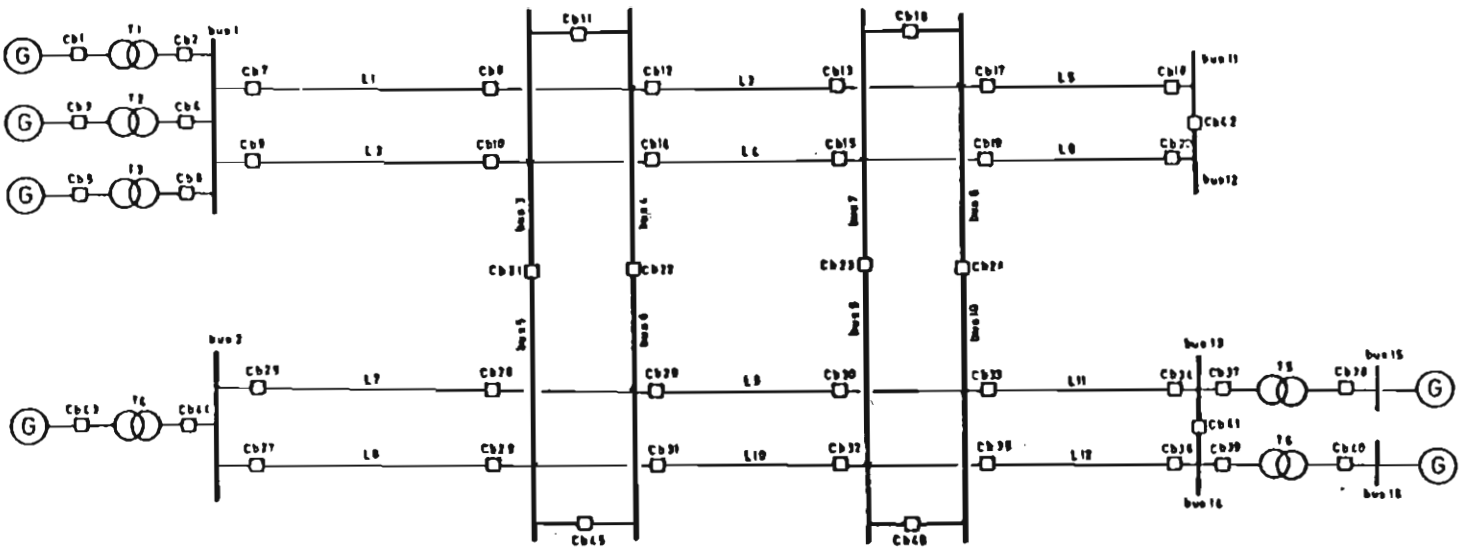
- بریکرهای cb12 , cb26 , cb29 , cb9 , cb27 , cb15, cb32 cb22 , cb45 , cb8 قطع شده‌اند.

با وارد کردن این اطلاعات، سیستم خبره، نتیجهٔ تشخیص خطا را بشرح زیر اعلان می‌دارد.

" شینهای مجاور 4 و 6 بطور همزمان دچار خطا شده‌اند و متعاقب آن رله‌های brb4 و brb6 بعنوان حفاظت اولیه عمل نموده وفرمان قطع را برای بریکرهای مورد نظر صادر کرده‌اند. اما بریکر cb11 بعلت خرابی باز نگردیده است لذا رله‌های دیستانس rr9 , rr27 , rr15 , rr32 خطا را در Zone دوم خود دیده و عمل کرده‌اند. بدنبال آن بریکرهای cb9 , cb27 , cb15 , cb32 قطع شده و ناحیهٔ معیوب را از سایر قسمتهای شبکه جدا نموده‌اند."

نتیجه‌گیری :

در این مقاله، روش طراحی و پیاده‌سازی یک سیستم خبره برای ارزیابی موقعیت خطا در شبکه‌های قدرت ارائه شده است این سیستم، عملیات استنتاج را بر مبنای دانش مربوط به سیستم حفاظتی و اطلاعات دریافتی از رله‌ها و بریکرها انجام می‌دهد. ضمن آنکه شیوهٔ نمایش دانش و قوانین بکار رفته در آن را می‌توان براحتی برای شبکه‌هائی با ترکیبات مختلف مورد استفاده قرار داد.



شکل (۵) شبکهٔ نمونه

مراجع :

[1] C.Fukui and J.Kawakami,"An Expert System for Fault Section Estimation Using Information from Protective Relay and Circuit breaker ", IEEE Trans.on Power Delivery . Vol.1 , No.4 , Oct 1986

[2] T.kimura,et al,"Development of an Expert System for Estimating Fault Section in Control Center Based on Protective System Simulation." IEEE Trans. on Power Delivery , Vol.7 , No.1 , January 1992.

[3] S.N.Talukdar ,et al ," The Operator's Assignment an Intelligent Expandable Program for Power System Trouble Analisis." IEEE Trans. on Power System , Vol.1 , No.3 , Agu 1986

[4] B.F.wollenberg and T.Sakagushi ," Artificial Intelligence in Power System Operation ." Proceeding of the IEEE , Vol.75 , No.12 , Dec 1987.

[5] A.Beschta ,et al ," A model_based approach to fault location in power transmission networks." IEE Intelligent Systems Engineering , Spring 1993.

[6] T.Dillon and M.Laughton," Expert System Application in Power Systems." Prentice Hall , 1990

[7] " Xiplus User Manual " Expertech LTD., 1987

۸- "طراحی و پیاده سازی یک سیستم خبره برای عیب یابی و تشخیص علائم در پستهای انتقال نیرو."
شایانفر، زارع، میرزائی، سومین کنفرانس توزیع ، شیراز اردیبهشت ۱۳۷۲