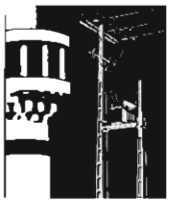


پنجمین کنفرانس شبکه‌های توزیع نیروی برق

انتخاب حفاظت اصلی و پشتیبان ترانسفورماتورهای توزیع توسط کامپیوتر

حسین عسگریان ابیانه ـ سروش سپه‌دژ ـ امیر تشکری

دانشگاه صنعتی امیرکبیر ـ شرکت مهندسین مشاور غرب نیرو

چکیده:

یکی از معضلات صنعت برق، خصوصاً در سیستمهای توزیع، حفاظت آنها در برابر حوادث احتمالی مانند اتصال یک فاز به زمین و یا اتصال فازها به یکدیگر می‌باشد.

حفاظت ترانسفورماتورهای توزیع در مقابل خطاهای بوجود آمده در طرف ثانویه و یا شبکه فشار ضعیف، بخش عمده و حیاتی در حفاظت سیستمهای توزیع بوده که معمولاً توسط فیوزهای کات اوت مستقر در طرف اولیه ترانسفورماتور صورت می‌پذیرد. از طرف دیگر در نقاط انشعاب (تی‌آف) خطوط فشار متوسط معمولاً حفاظتی به صورت پشتیبان اعمال نمی‌شود. بدین ترتیب در صورت عمل نکردن فیوزهای کات‌اوت و یا عدم هماهنگی با حفاظت مستقر در پست ۶۳/۲۰، حفاظت فوق عمل کرده و کل فیدر بدون برق می‌ماند این امر موجب می‌شود که شرکت توزیع از بابت قطع برق مشترکین مهم و صنعتی و همچنین عدم فروش انرژی، تا زمان رفع خطا، متحمل ضرر گردد. در این مقاله، نرم‌افزاری جهت انتخاب فیوز اصلی و پشتیبان در ترانسفورماتورهای توزیع ارائه می‌گردد تا با قرار گرفتن فیوز پشتیبان در نقاط تی‌آف، در صورت بروز خطا و عدم عملکرد حفاظت موجود روی ترانسفورماتور، تنها آن بخش از فیدر که در آن خطا روی داده، قطع گردد.

شرح مقاله :

نظر به ضرورت تأمین نیاز مصرف‌کنندگان انرژی الکتریکی به مطمئن‌ترین صورت ممکن، حفاظت کامل سیستم انتقال و توزیع الزامی است به نحوی که در صورت بروز خطا در بخشی از سیستم، تنها حفاظتهای مربوط به آن قسمت در حداقل زمان ممکن عمل نموده و صرفاً قسمت معیوب را از سیستم جدا نماید و سایر قسمتهای سالم به کار عادی خود ادامه دهند.

از عمده حفاظتهای موجود در شبکه‌های توزیع، حفاظت جریان زیاد ترانسفورماتورهای هوایی است. این حفاظت معمولاً توسط فیوزهای کندسوز کات اوت (نوع T) صورت گرفته و باید به گونه‌ای باشد که جریان هجومی اولیه ترانسفورماتور را تحمل کرده و حالت فوق را از حالت خطا تمیز دهد. حفاظت پشتیبان معمولاً توسط عناصر جریان زیاد مستقر در پست ۶۳/۲۰ صورت می‌پذیرد.

این مقاله به بررسی حفاظت جریان زیاد موجود ترانسفورماتورهای هوایی توسط فیوز پرداخته، با استفاده از مدل ریاضی فیوزها، روشی جهت انتخاب فیوز محافظ پشتیبان مستقر در نقطه تی‌آف توسط یک برنامه کامپیوتری را ارائه نموده و شامل بخشهای زیر است:

- مدل ریاضی فیوز.
- حفاظت جریان زیاد ترانسفورماتورهای توزیع توسط فیوز.
- حفاظت پشتیبان در نقاط انشعاب (تی‌آف).
- معرفی برنامه کامپیوتری.

۱ ـ مدل ریاضی فیوز :

فیوزهای مورد استفاده جهت حفاظت جریان زیاد در شبکه‌های توزیع بر دو نوع می‌باشد:

- فیوزهای تند سوز یا سریع (نوع K).
- فیوزهای کند سوز یا کند (نوع T).

مشخصه این نوع فیوزها توسط مراجع مختلف، از جمله ANSI، استاندارد و ارائه شده است [۱].

هر فیوز دارای دو مشخصه جریان و زمان است:

- مشخصه حداقل زمان ذوب (Min. Melting Time) یا MMT.
- مشخصه حداکثر زمان رفع خطا (MAX. Clearing Time) یا MCT.

مقادیر نامی فیوزهای سریع و کند استاندارد از قرار زیر می‌باشد:

فیوزهای کند : 6T, 8T, 10T, 12T, 15T, 20T, 25T, 30T, 40T, 50T, 65T, 80T, 100T, 140T, 200T

فیوزهای سریع: 1K, 2K, 3K, 6K, 8K, 10K, 12K, 15K, 20K, 25K, 30K, 40K, 50K, 65K, 80K, 100K, 140K, 200K

مشخصه‌های MMT و MCT فیوزهای فوق در مرجع [۱] آمده است.

به منظور استفاده از فیوزهای فوق در یک برنامه کامپیوتری، باید مشخصه‌های دوگانه هر فیوز به ترتیبی در کامپیوتر ذخیره شود. برای این کار دو روش عمده وجود دارد:

ـ ذخیره جداول نقاط مختلف مشخصه جریان زمان و استفاده از روشهای درون‌یابی برای نقاط خارج از جدول.

ـ استفاده از یک مدل ریاضی مناسب که با کمترین خطا منحنی‌های دوگانه یک فیوز را بپوشاند.

در روش اول حجم زیادی از حافظه کامپیوتر اشغال شده و علاوه بر این جهت دسترسی به هر نقطه به محاسبات پیچیده‌ای نیاز بوده که سرعت اجرای برنامه را پائین می‌آورد.

در روش دوم هر مشخصه فیوز توسط یک رابطه ریاضی بیان شده و کافی است که فقط ضرائب رابطه فوق برای هر فیوز و هر مشخصه آن ذخیره گردد و از طرف دیگر جهت دسترسی به زمان عملکرد فیوز در هر جریان دلخواه، کافی است که مقدار زمان را از رابطه ریاضی فیوز مورد نظر بدست آوریم. ملاحظه می‌شود که در روش دوم حجم بسیار کمتری از حافظه اشغال شده و علاوه بر این بسیار سریع‌تر هم می‌باشد. به دلیل ویژگی‌های ذکر شده، در برنامه کامپیوتری فوق، از روش مدل‌سازی فیوز استفاده می‌شود.

مدل ریاضی بکار رفته، مدل درجه ۸ Radke به صورت زیر است: [۲]

$$\log (T) = \sum_{i=0}^{\wedge} ai \, (\log I)^i \qquad (۱)$$

در رابطه فوق، T زمان، I جریان و ai ضرایب ثابت می‌باشند.

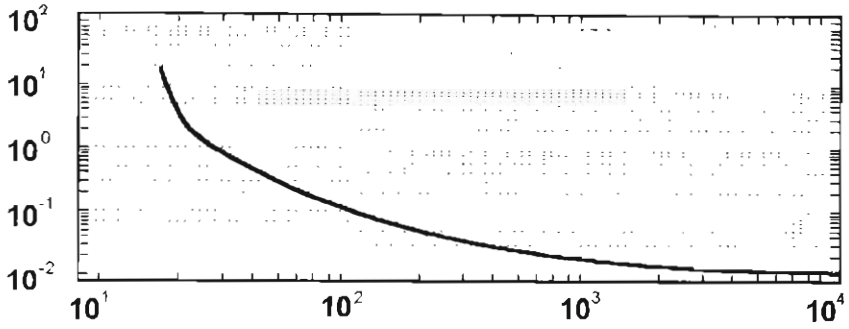
جهت برازش منحنی فوق و محاسبه ضرائب ai از روش حداقل مربعات استفاده شده است. تعداد نقاط مورد نیاز برای یک برازش صحیح با دقت مناسب، ۱۰ تا ۲۰ عدد می‌باشد.

بدین ترتیب ضرائب نه گانه مدل رادکی (Radke) هر مشخصه فیوز، بدست آمده و برای فیوزهای کند و سریع، در فایلهای جداگانه ذخیره می‌شود.

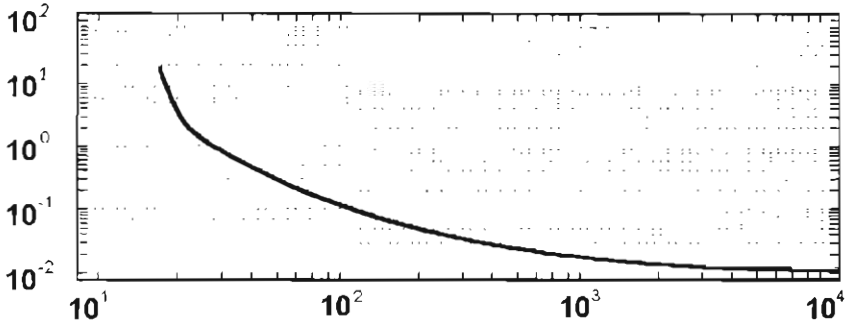
شکل (۱) مشخصه MCT فیوز 10K را با استفاده از نقاط خوانده شده از روی منحنی‌ها نشان می‌دهد.

شکل (۲) منحنی MCT فیوز 10K را که با استفاده از مدل ریاضی مربوطه رسم شده است

را نشان می‌دهد.



« شکل (۱) مشخصه واقعی MCT فیوز $10K$ »



« شکل (۲) مشخصه MCT فیوز $10K$ با استفاده از مدل ریاضی »

۲ ـ حفاظت جریان زیاد ترانسفورماتورهای توزیع توسط فیوز :

ترانسفورماتورهای توزیع با قدرتهای کم خصوصاً در پستهای هوایی توسط فیوز کات اوت مستقر در اولیه حفاظت می‌شوند. این حفاظت باید به نحوی باشد که در صورت عبور جریان هجومی مغناطیس‌کننده اولیه، عمل ننماید. مقدار این جریان هجومی بسته به قدرت ترانسفورماتور، آرایش اتصال اولیه و ثانویه آن و امپدانس آن متغیر بوده و معمولاً توسط کارخانجات‌سازنده ارائه می‌گردد. [۳]

همچنین این حفاظت باید به گونه‌ای باشد که اضافه بارهای موقت اعمالی به ترانسفورماتور را از حالت خطا تمیز داده و عمل ننماید. زیرا به علت قابلیت دفع حرارتی

ترانسفورماتور، در صورت بروز اضافه بار احتمال آسیب دیدن آن کم است. در مواردی که اطلاعاتی از ساختمان ترانسفورماتور موجود نباشد و یا اطلاع دقیقی از میزان جریان هجومی ترانسفورماتور در دسترس نباشد می‌توان با تقریب خوبی جریان هجومی را 12-10 برابر بار کامل ترانس در مدت زمان 100m sec در نظر گرفت. معمولاً ضریب 12 اختیار می‌شود تا از عدم عملکرد فیوز تا پایان پریود جریانهای هجومی ترانسفورماتور اطمینان حاصل گردد همچنین سفارش شده که فیوز محافظ ترانسفورماتور در زمان کمتر از ۱۰ میلی ثانیه، هنگامی که جریان ۲۵ برابر مقدار نامی ترانسفورماتور از آن عبور می‌کند، نباید به حالت ذوب برسد. [۴]

از اینرو در انتخاب فیوز کات‌اوت مستقر در طرف اولیه ترانسفورماتور باید موارد زیر مدنظر قرار گیرند:

- قابلیت تحمل 12 برابر جریان نامی ترانسفورماتور در مدت 100 میلی ثانیه.
- قابلیت تحمل 25 برابر جریان نامی ترانسفورماتور در مدت 10 میلی ثانیه.
- قابلیت تحمل اضافه بارهای موقت.

با توجه به موارد فوق، حفاظت جریان زیاد ترانسفورماتورها با ولتاژها و قدرتهای متفاوت مشخص شده و در مراجع مختلف سفارش شده است. [۵] و [۱]. یک محاسبه سرانگشتی برای حفاظت ترانسفورماتورها بدین ترتیب است که جریان نامی ترانسفورماتور را با ضریب 2 محاسبه کرده و نزدیک‌ترین فیوز به مقدار فوق با تقریب اضافی انتخاب می‌شود. معیار فوق معیار مناسب بوده که با مقادیر معرفی شده در مرجع [۱] و استاندارد ANSI مطابقت می‌نماید.

به عنوان مثال برای یک ترانسفورماتور با قدرت 200 KVA و ولتاژ اولیه 13.8 KV جریان نامی 8.37 آمپر بدست می‌آید که با احتساب ضریب 2 می‌شود:

$$8.37 \times 2 = 16.74$$

نزدیکترین فیوز به جریان فوق با تقریب اضافی، فیوز 20 آمپر کند سوز یا 20T است. [۱]

۳ ـ حفاظت پشتیبان در نقاط انشعاب (تی‌آف) :

حفاظت پشتیبان در نقاط انشعاب خطوط 20 KV (تی‌آف) با قرار دادن فیوزی هماهنگ با فیوز کات‌اوت مستقر در اولیه ترانسفورماتور توزیع فراهم می‌گردد. این حفاظت معمولاً در فیدرهای فرعی پر مصرف و یا طولانی قرار داده می‌شود ولی قرار دادن آن در تمامی فیدرهای فرعی ضروری است.

برای انتخاب فیوز پشتیبان سه روش وجود دارد:

۱ ـ ۳ ـ هماهنگی با استفاده از جدول :

در این روش فیوز پشتیبان با استفاده از جداول معرفی شده کارخانجات‌سازنده و یا مراجع معتبر انتخاب می‌گردد [۱] و [۵].

۲ ـ ۳ ـ هماهنگی با استفاده از انرژی :

در این روش انرژی عبوری از فیوز تحت شرایط خطا، معیار هماهنگی بوده و از دیاگرامهای مشابه با شکل ۳ استفاده می‌شود ضلع پائین هر مستطیل انرژی پیش از جرقه (Per-arcing) و ضلع بالای هر مستطیل انرژی کل جهت سوختن فیوز است.

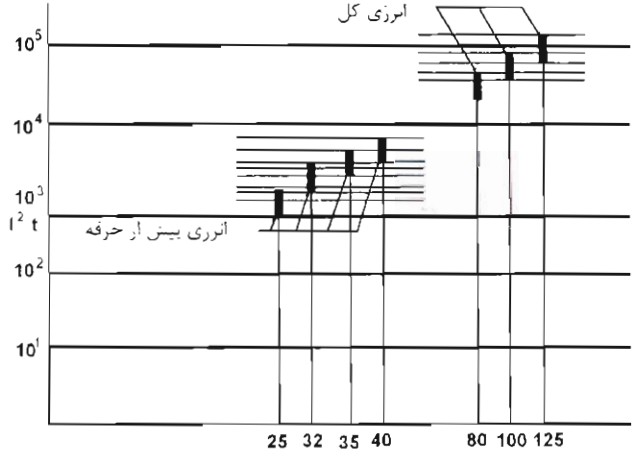
هر فیوز با فیوز بالاتر تنها در صورتی هماهنگ است که انرژی کل (Total Energ) آن از انرژی پیش از جرقه فیوز بالاتر کمتر باشد. به عنوان مثال در شکل (۳) جهت انتخاب فیوز پشتیبان برای فیوز 32 آمپری فیوز 35 آمپری مناسب نبوده و باید از فیوز 40آمپری استفاده کرد. [۶] و [۷].

دیاگرامهای مشابه با شکل (۳) توسط کارخانجات‌سازنده یا مراجع معتبر ارائه می‌گردد.

در این روش مشخصه جریان ـ زمان فیوزها به یک خط با شیب ۲- تقریب‌زده می‌شود:

$I^2 t = 2\ K \rightarrow \log (I) + \log t = \log K$

$\Rightarrow \log t = -2 \log (I) + \log K$



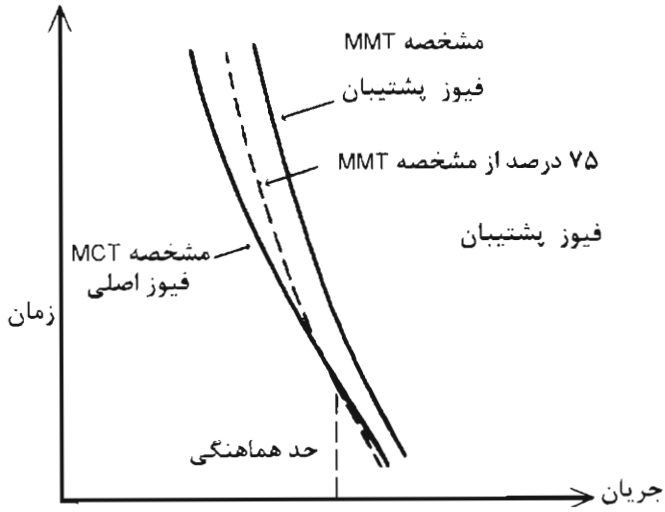
« شکل ۳ ـ مشخصه $I^2 t$ فیوزها »

ملاحظه می‌شود که مدل فوق، همان مدل ریاضی رادکی ولی از درجه ۱ می‌باشد طبیعی

است که این روش در مقایسه با مدل ریاضی درجه 8 فیوز که در برنامه کامپیوتری استفاده می‌شود، دقت کمتری دارد.

۳ ـ ۳ ـ هماهنگی با استفاده از مشخصه جریان ـ زمان فیوز :

این روش چون از مشخصه جریان ـ زمان فیوز استفاده می‌کند دارای دقت مناسبی است. چگونگی انتخاب فیوز پشتیبان در شکل (۴) نشان داده شده است: [۸]



« شکل ۴ ـ نحوه انتخاب فیوز پشتیبان »

همانطور که ملاحظه می‌شود برای انتخاب فیوز پشتیبان، باید زمان MCT فیوز اصلی از 0.75 زمان MMT فیوز پشتیبان در جریان خطا، کمتر باشد.

جهت هماهنگی فیوزها، جریان خطا در بدترین حالت، جریان خطای سه فاز در نظر گرفته می‌شود. زیرا حتی در اثر بروز خطای دو فاز در ثانویه ترانسفورماتور در یکی از فازها جریان خطای سه فاز ظاهر خواهد شد. [۱۰] و [۱۱].

به منظور انتخاب فیوز پشتیبان فیوز اصلی، نخست مدل ریاضی مشخصه جریان ـ زمان فیوزها پیدا شده و سپس برنامه کامپیوتری با استفاده از الگوریتم فوق، فیوز پشتیبان را انتخاب می‌نماید.

۴ ـ معرفی برنامه کامپیوتری :

در این برنامه کامپیوتری، نخست قدرت. ولتاژ اولیه و امپدانس مورد نظر از طریق صفحه کلید مطابق با شکل (۵) وارد می‌شود.

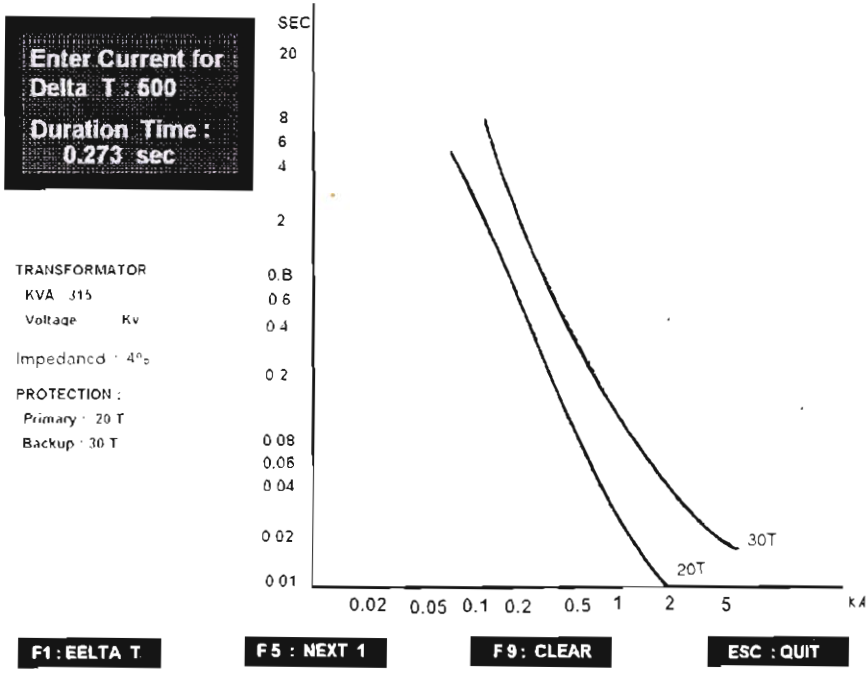
Transformer (Kva): 315

Voltage (Kv): 20

Impedance: %4

« شکل ۵ ـ پنجره ورودی برنامه »

در مرحله بعد با استفاده از توضیحات مندرج در بندهای ۲ و ۳-۳ حفاظت اصلی و پشتیبان ترانسفورماتور مورد نظر بر پایه مدل ریاضی فیوزها پیدا می‌شود و نتیجه به صورت دیاگرام لگاریتمی روی صفحه مونیتور ظاهر می‌گردد. (شکل ۶)



« شکل ۶ ـ خروجی برنامه »

روی صفحه مونیتور مشخصه جریان ـ زمان هر یک از دو فیوز اصلی و پشتیبان در مختصات لگاریتمی رسم می‌شود. کاربر می‌تواند مشخصه دو فیوز را بررسی کرده و فاصله زمانی آنها در هر جریان دلخواه ملاحظه نماید. برای این کار کافی است که کاربر کلید F5 را فشار داده و جریان مورد نظر (مثلاً جریان اتصال کوتاه) را وارد نماید. در این صورت فاصله زمانی عملکرد دو فیوز تحت جریان فوق نشان داده خواهد شد و کاربر با توجه به ملاحظات خاص کارشناسی می‌تواند فیوز معرفی شده را انتخاب و یا فیوز بالاتری استفاده نماید.

نتیجه :

در این مقاله مدل ریاضی درجه ۸ رادکی جهت مدل‌سازی کامپیوتری عناصر جریان زیاد خصوصاً فیوزها، پیشنهاد شده است. بر پایه این مدل‌سازی، حفاظت اصلی و پشتیبان ترانسفورماتورهای توزیع توسط یک برنامه کامپیوتری پیدا می‌شود.

قرار دادن حفاظت جریان زیاد در تمامی نقاط انشعاب خطوط KV ۲۰ (تی ـ آف)، جهت پیشگیری از قطع برق بی‌مورد قسمتهای اصلی فیدر، پیشنهاد شده است.

منابع :

1) Westinghouse Electric corporation: "Distribution systems".

2) Power system for the year 2000 and Beyond: "Integration software for overcurrent Relay coordination" Proceeding of sixth National conference. JUNE 4-7 1990 PD 353-357.

3) کاتالوگ شرکت ایران ترانسفو

4) A. Wright & P.G Newbery "Electric Fuses".

5) Mc Graw - Edison Power System Division: "Distribution system protection".

6) C. Dennise Poole "Electric Distribution In Buildings".

7) James R. Marck, Robert. F. Gustin: "Coordination Principles for Applying Expulsion and Backup current limiting Fuses for Protecting Distribution Transformers". IEEE, Power Delivery, Vol.3, No.2, April 1988.

8) TURAN GONEN: "Electric Power Distribution System Engineering".

9) دکتر عسگریان ابیانه ـ مهندس محمود حق‌شناس ـ دکتر محمود شفیعی:
"هماهنگی بهینه رله‌های جریان زیاد با در نظر گرفتن اثر گروههای ترانسفورماتوری" کنفرانس توانیر ـ آبان ۱۳۷۱.

10) سیدمحمود حق‌شناس :
"روش صحیح تنظیم رله‌های جریانی در شبکه‌های توزیع" چهارمین کنفرانس شبکه‌های توزیع نیرو.