دانشکدۀ برق دانشگاه زنجان

روش های حفاظت بانک خازنی در شبکۀ قدرت

محمد محمد بیگی فرد
استاد راهنما: دکتر نوروزیان

فهرست:

مقدمه..... 2

استانداردها..... 3

ساختار خازن ها..... 4

ساختار فیوز گذاری..... 7

جریان حالت دائمی..... 9

جریان حالت گذرا..... 10

هماهنگی با منحنی انفجار مخزن خازن..... 12

جریان هجومی خارج شونده..... 15

شارژ بیش از حد..... 16

حفاظت در برابر برقدار شدن سیستم پس از قطعی برق..... 17

حفاظت عدم تعادل..... 18

ساختار حفاظت اضافه جریان..... 21

هماهنگی ری کلوزر و فیوزهای بانک خازنی..... 23

نکاتی در رابطه با حفاظت فیوزی..... 25

شبیه سازی حفاظت بانک خازنی..... 28

شبیه سازی روش های کاهش جریان گذرای کلید زنی در خازن های قدرت..... 35

منابع مأخذ..... 42

مقدمه:

بیشتر بارهای شبکهٔ قدرت از نوع اهمی سلفی هستند ولذا ولتاژ وجریان نسبت به هم اختلاف فاز دارند وعلاوه بر جابجایی توان اکتیو توان راکتیو هم جابه جا خواهد شد واین باعث اشغال ظرفیت انتقال خطوط می شود.

چون بارهای موتوری و ترانس های کوره توان راکتیو زیادی مصرف می کنند پس جابجایی توان راکتیو ، در خطوط افزایش می یابد و این مسئله دو پیامد دارد:

1. تلفات خطوط بالا می رود
2. به دلیل افزایش افت ولتاژ، ولتاژ در باس های انتهایی شبکه توزیع به شدت کاهش می یابد.
3. ضریب توان کاهش می یابد.

برای جلوگیری از رخداد مشکلات بالا باید از جبران کننده های خازنی یا سنکرون ویا ادوات APFR[1] استفاده کنیم.

به دلیل اهمیت خازن ها باید حفاظت مناسب در نظر گرفته شود.تا برق با کیفیت به مشتری تحویل داده شود.

به علت وجود ادوات الکترونیک قدرت در شبکه و مشخصهٔ غیرخطی آن ها هارمونیک های زیادی وارد شبکه شده وضریب توان کاهش می یابد و چون جریان خازن با فرکانس متناسب است با وجود هارمونیک های فرکانس بالا ، خازن ها دچار اضافه جریان می شوند.علاوه براین بسته به مقدار L وc معادل جبران ساز خازنی ،خازن با مدار معادل شبکه به تشدید برود در این صورت ولتاژ باس ها به شدت افزایش می یابد ولذا می تواند جریان خازن را تا بیش از10 پریونیت افزایش دهد. معمولاً برای محدود کردن جریان گذرا از یک سلف سری استفاده می شود .به علت جریان بالا و حرارت آن خازن صدمه می بیند و به خاطر مشکلات عایقی ناشی از اضافه ولتاژ ، راکتور سری آسیب می بیند. براساس یک پژوهش در ژاپن احتمال صدمه دیدن خازن در یک شبکهٔ استاندارد برابر 26% واحتمال صدمه دیدن راکتور سری 65% می باشد.

هدف ما حفاظت بانک های خازنی در برابر اتصال کوتاه داخلی(بین واحد های خازنی) است که معمولاً توسط HRC fuses وNH fuseصورت می گیرد. در واقع برای حفاظت خازن ها در برابر اضافه جریان با توجه فرمول زیرباید با سه عامل ایجاد کنندهٔ آن مقابله کنیم:

$$I = jc\omega v$$

1. اضافه ولتاژ

2. جلو گیری ازورود منابع فرکانس بالا به شبکه. نظیر هارمونیک ها
3. وجود تلرانس بالا در ساخت واحدهای خازنی توسط سازنده . این مورد به تکنولوژی سازنده وابسته است و ما (بهره بردار) قدرت مانور زیادی در این موضوع نداریم.

امروزه به علت وجود مشکلات نصب فیوز و عملکردهای ناخواستهٔ آن ها گاهی استفاده از بانک های fuseless ترجیح داده می شود و برای حفاظت آن ها معمولاً از روش حفاظت عدم تعادل (unbalance protection) استفاده می شود.

این روش دارای مزایای زیراست:

1. ارزان بودن
2. قابلیت اطمینان بالا(نیازی به تعویض فیوز سوخته ندارند)
3. ساخت راحت تر و عملی تر.

گاهی خازن ها وظیفهٔ فیلترینگ دارند و از آن ها انتظار نمی رود ضریب توان را بهبود ببخشند.وظیفهٔ آن ها جلوگیری از ورود هارمونیک ها به سیستم ها ویا جلوگیری از ورود هارمونیک ها از واحد صنعتی به شبکه سراسری می باشد.

استانداردها:

طبق استاندارد IEC 60831-1 و IEC 60871-1 مقداراضافه ولتاژ مجازو حداکثر زمان مجاز برای رفع خطا در جدول 1 آورده شده است.

باید توجه داشت که زمان مجاز تریپ خازن های قدرت که بر اساس استاندارد معرفی شده است، مقادیر حداکثرزمان مجازمی باشد و همواره باید در زمان کمتری سیستم حفاظتی عمل کند. این مقادیر برای واحدهای بالاتر از 1kv در ستون آخر جدول1 آورده شده است.

ضمناً در عمل زمان قطع واحد خازنی از شبکه به میزان تأخیر در عملکرد کلید قدرت و رله ها و...بستگی دارد وباید این تأخیرها توسط مهندسین منظور شود.

به علت وجود هارمونیک در شبکه های قدرت خازن ها طوری طراحی می شود تا جریان $1.35i_n$ را تحمل کند.به دلیل وجود تلرانس در ساخت خازن ها(حداکثر تلرانس مجاز طبق استاندارد ± 15 % است) و درصورت وجود اضافه ولتاژ10% باید جریان مجاز خازن $1.8i_n$ باشد.

$I_c=1.35\times1.15\times1.1=1.7077$

$i_c \cong 1.8$

لذا در بدترین شرایط نباید جریان از $1.8i_n$ بیشتر شود.

زمان پیشنهادی تحمل اضافه جریان در خازن های بالای 1kv	حداکثر زمان مجاز تحمل اضافه جریان در خازن های بالای 1kv	حداکثر زمان مجاز تحمل اضافه جریان در خازن های زیر 1kv	فاکتور اضافه ولتاژ
…	Continues	Continues	1.00
1 h	12 h per 24h	8 h per 24h	1.10
15 min	30 min per 24h	30 min per 24h	1.15
3 min	5 min per 24h	5 min per 24h	1.20
30 s	1 min per 24h	1 min per 24h	1.30

جدول 1

ساختار خازن ها:

بانک های خازنی گاهی طوری طراحی می شوند که برروی تیرهای برق[2] نصب گردند .گاهی در پست ها نصب می شوند و دارای محفظه های فلزی اند.در طراحی این خازن ها عوامل زیر تعیین کننده است:

1. طراحی ابعاد متناسب با فضای موجود برای نصب
2. ولتاژنامی المان های خازن (برای تحمل ولتاژ شبکه باید چندین واحد خازنی با هم سری شود)
3. مقدار Q تولیدی. این پارامتر به میزان بار و نوع بار بستگی دارد و در رنج kvar و Mvar ساخته و طراحی می شوند.

خازن ها ار ورق های فولادی به عنوان جوشن و یک یا چند مادۀ عایقی در بین آن ساخته می شوند که مقدار ولتاژ نامی خازن به جنس و کیفیت عایق نام برده بستگی دارد.در گذشته صفحات خازن را داخل ترکیبی از روغن و PSB [1] قرار می دادند ولی برای افزایش استقامت عایقی از تعداد زیادی kraft paper استفاده می کردند.اشکال کار در این بود که در اثر رخداد خطا در یکی ازخازن های سری و جوش خوردن جوشن ها به یکدیگر، به علت وجود کاغذ بین جوشن ها ،اتصال کوتاه به طور کامل برقرار نمی شد وکاغذ تحت تنش قرار گرفته و می سوخت وحجم زیاد گاز حاصل از آن حتی منجر به انفجار محفظۀ خازنی می شد.برای حل این مشکل امروزه داخل روغن و محفظۀ جوشن ها فقط 2 تا3 لایۀ بسیار نازک پروپیلن قرار می دهند تا ضمن افزایش استقامت عایقی تجهیز در هنگام رخداد خطا ،لایۀ پروپیلن سوراخ شده و لذا ورق های فولادی به هم اتصال می یابند وخطر انفجار رفع می شود.

امروزه به دلیل سمی بودن ، و مشکلات زیست محیطی از مادۀPCB در ساختار خازن ها استفاده نمی شود و به جای آن از روغنPXE یا سیال pp استفاده می گردد.

اگر لازم باشد دی الکتریک روغنی نباشد از اپوکسی رزین استفاده خواهد شد.

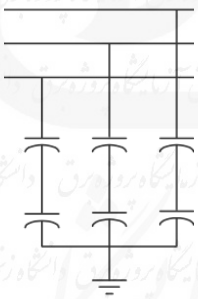
چون همچنان خازن های دارای ترکیبات PCB در شبکه موجوداند باید موارد زیر مورد توجه قرار گیرد:

1. اگر ترکیبات PCB از مخزن خازن نشت کرده باشد باید از هرگونه تماس این ماده با پوست وچشم خودداری گردد و حتی از استنشاق گازها و بخارات آن پرهیز گردد.
2. اگر لباس ها یا اشیاء دیگر با این ماده تماس داشته باشند باید در کوره هایی با دمای $1000^{\circ}C$ سوزانده شود و خاکستر آن ها در مکانی دور از باد و باران قرار داده شود تا با باران و باد وارد چرخهٔ طبیعی زمین نشود.
3. مخزن فلزی آن نباید بازیافت و دوباره از آن استفاده شود.
4. هر گونه نشتی از مخزن به سرعت مهار گردد و در غیر این صورت خازن جمع آوری و تعویض گردد.

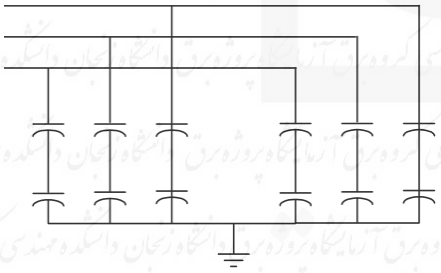
خازن های قدرت معمولاً با اتصالات Y زمین شده یا زمین شده نشده ، اتصال Yدوبل و اتصال دلتا ساخته و بهره برداری می شوند.از این میان اتصال دلتا به ندرت در خازن های فشار ضعیف استفاده می شود.

اتصال Yدوبل ترکیبی است که در ساختار حفاظت عدم تعادل به کار می رود. زمانی که توان راکتیو بارمقدار بزرگی باشد ترجیح می دهیم از این ترکیب استفاده کنیم تا مجبور نباشیم فیوزهای با جریان نامی بزرگ و گران قیمت استفاده کنیم.

در شکل زیر ساختار های ذکر شده نشان داده شده است.



اتصال ستاره زمین شده



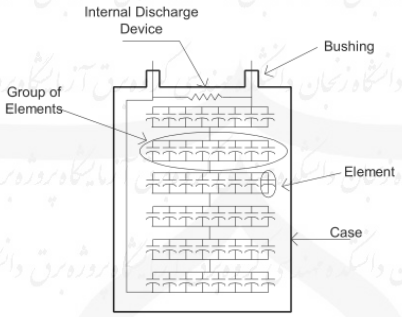
اتصال ستاره دوبل زمین شده

شکل 1

یک خازن قدرت سه فاز متشکل از تعداد زیادی المان خازنی سری و موازی شده می باشد.در صنعت حداکثر ولتاژ قابل تحمل المان های خازنی فشار قوی بین 1 kv الی 2 kv با قدرت راکتیو تولیدی

20kvar الی 100kvar ساخته می شود.مقدار ولتاژ مجاز برای خازن های فشار ضعیف 440 ولت تا 1000 ولت متغیر است به طوری که Qراکتیو خازن نباید از 1 kvar تجاوز کند.

با توجه به محدود بودن مقدارولتاژ قابل تحمل المان های خازنی لازم است خازن هایی با هم سری شوند تا ولتاژ دو سر هرالمان خازنی دچار اضافه ولتاژ نشود . به دلیل محدود بودن توان راکتیو تولیدی المان ها ، برای رسیدن به var دلخواه باید به تعداد کافی خازن ،با هرخازن سری موازی گردد.در شکل زیر نمایی از یک واحد(unit) خازنی نشان داده شده است.



شکل 2

درهر واحد خازنی مقاومتی به عنوان مقاومت دشارژ قرار داده می شود.وظیفه این مقاومت دشارژ انرژی ذخیره شده در خازن پس از قطع خازن از شبکه می باشد.

براساس استاندارد IEC این انرژی در زمان کمتر از 10 دقیقه برای خازن HT و 3 دقیقه برای خازن های LT باید در مقاومت مورد نظر دشارژ شود به طوری که ولتاژ پس ماند باید پس از زمان مذبور به کمتر از 75 v برسد.لذا اپراتور برای انجام تعمیرات لازم پس از قطع واحد خازنی باید بیش از 10 دقیقه صبر کند وسپس وارد محوطهٔ خازن ها گردد. برای اطمینان می توان از یک قفل مجهز به تایمر استفاده کرد.

برای محاسبهٔ مقاومت مناسب می توان از روابط زیر استفاده گردد:

$$\tau = \frac{t}{k.\ln\frac{\sqrt{2}v_n}{v}} \qquad R_d = \frac{\tau}{c}$$

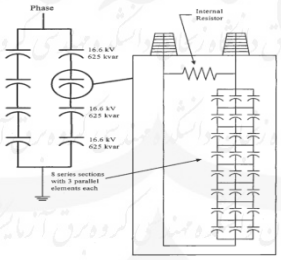
τ :ثابت زمانی شارژ و دشارژ

t: زمان شارژ و دشارژ مجاز(کمتر از 10 دقیقه برای HT[1] و کمتر از 3 دقیقه برای LT[2])

K: ضریب ثابت و وابسته به نحوهٔ اتصال خازن (برای اتصال y زمین شده $k = 1$ می باشد)

v : ولتاژ پسماند (v 75)

گاهی خازن ها در هر فاز از دوشاخهٔ خازنی تشکیل شده اند که هر کدام از این شاخه ها از سری کردن تعدادی واحد خازنی تشکیل شده است.به شکل زیر توجه کنید.



شکل 3

ساختارهای فیوز گذاری:

مهمترین ابزار حفاظتی در خازن های قدرت فیوز می باشد.مزایای استفاده از فیوز عبارت است از:

1. ارزان بودن
2. به علت تکفاز بودن فیوز ها پس از عملکرد در هر فاز به طور مستقل ،امکان تشخیص واحد صدمه دیده راحت تر می شودو لذا زمان لازم برای تعمیرات واحد صدمه دیده به راحتی صورت می گردد این قابلیت در ساختار group fusing نمود بهتری دارد و در ساختار individual fusing چندان مفید نیست.
3. حفاظت به وسیله فیوز نیازی به تجهیزات جانبی نظیر vt وct ندارد.

معایب استفاده از فیوز:

1. عملکرد فیوز بسته به دما و فشار محیط (بسته به ارتفاع منطقه از سطح دریا فشار محیط تغییر می کند) متغیر است.
2. به علت گسسته بودن رنج فیوزهای موجود در بازار تنظیم جریانی آن نسبت به رله ها مشکل است.

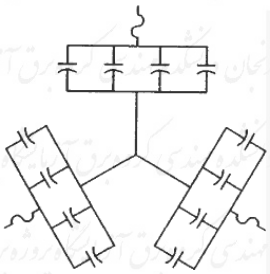
3. پس از هر بارعملکرد ،link فیز باید تعویض شود.

دو نوع ساختار فیوز گذاری مرسوم است:

1) Group fusing (**فیوز گذاری گروهی**):

از این نوع فیوز گذاری در طراحی بانک های خازنی در سیستم توزیع استفاده می شود و معمولاً از نوع کات اوت فیوز هستند ومخصوص نصب بر روی تیرهای برق هستند.

چون در این ساختار برای حفاظت مجموعۀ خازن های موجود در هر فاز فقط یک فیوز لحاظ می شود ولذا هزینۀ اجرای این طرح نسبت به نوع دوم(individual fusing) کمتر است.



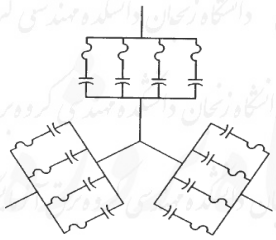
شکل 4

از معایب این طرح امکان دوفاز شدن سیستم می باشد و همچنین با کوچکترین خطا درون خازن،جبران ساز از شبکه جدا می شود.

2) individual fusing (فیوز گذاری انفرادی) :

ازاین نوع فیوزگذاری در ولتاژ بالا و در جایی که بار اهمیت زیادتری دارد وبانک خازنی همواره باید در مدار باشد نصب و بهره برداری می شود و معمولاً در پست های فشارقوی نصب می شود.

حفاظت از آن ها حساس تر است و برای هر واحد خازنی یک فیوز مستقل در نظر گرفته می شود تا اگر یکی از خازن ها دچار خطا شد فیوز مربوطه آن شاخه را از مدار خارج کند و کل خازن بی مورد از مدار خارج نشود.



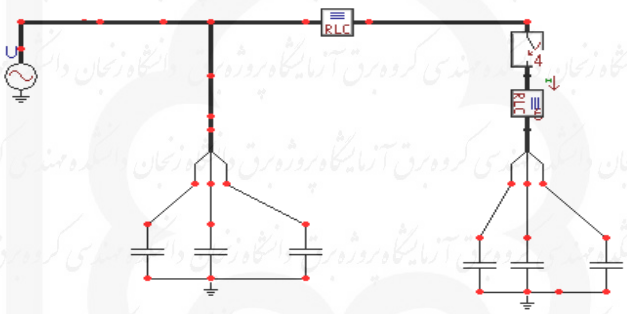
شکل 5

➢ **استفاده از راکتور سری جهت محدود کردن جریان گذرا:**

این روش نیز در شبکه به کار می رود ولی به دلیل هزینهٔ بالای خریداری راکتور سری ، معمولاً بهره بردار مایل است برای خازن های فشار ضعیف به جای این روش از روش مقاومت وصل استفاده کند.

به دلیل ارزش مالی و اهمیت بالای خازن های فشار قوی با kvar بزرگ ، همواره از راکتور سری استفاده می شود.

در شکل زیر مدار سیستم قدرت مربوطه نمایش داده شده است .برای مدل سازی راکتور سری ، از یک RLC استفاده شده است که مقادیر Cو R آن برابر صفر در نظر گرفته شده است.

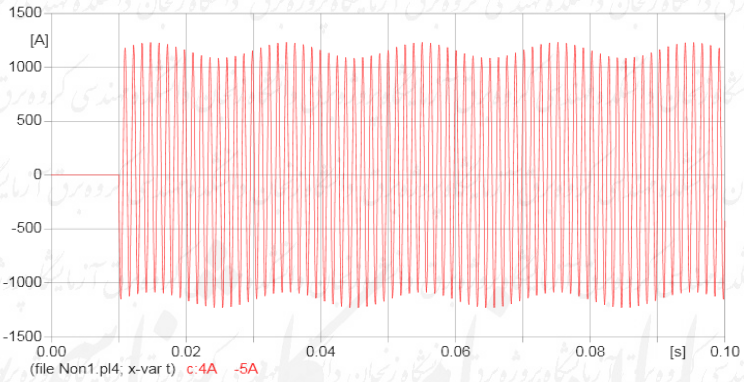


شکل 30

ابتدا نمودار جریان –زمان شاخهٔ 6-4 در حالتی که راکتور سری نصب نشده است نمایش داده می شود.

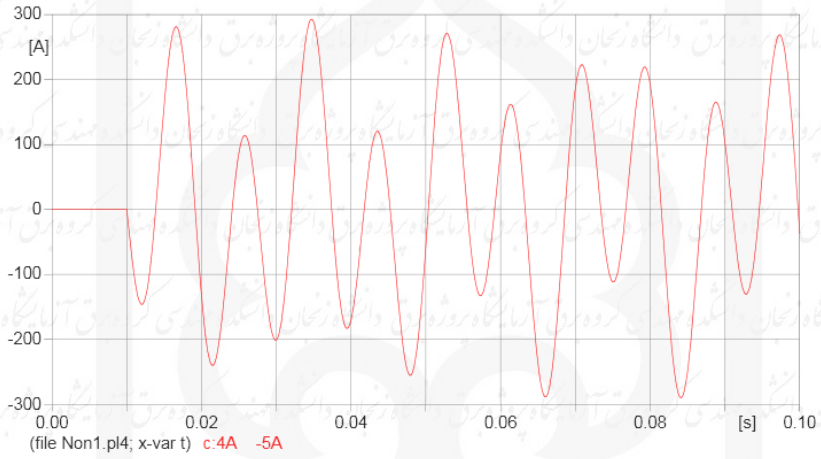
همان طور که انتظار داشتیم جریان مربوطه دارای دامنه و فرکانس بالایی است.

دامنهٔ جریان حتی تا A 1175 هم می رسد.



شکل 31 - جریان شاخهٔ 5-4 در صورت عدم وجود راکتور سری

حال یک راکتور سری با مقدار اندوکتانس 100mH به صورت سری با خازن بی برق نصب می شود تا دامنه و فرکانس جریان گذرا کاهش یابد. همان طور که مشاهده می کنید دامنهٔ جریان به 280 A کاهش یافته است و فرکانس جریان نیز به شدت کاهش یافته است.



شکل 31 - جریان شاخهٔ 5-4 در صورت وجود راکتور سری

منابع ومآخذ:

1) G.C.DAS. “Transient in electrical system”. Mc Graw-Hill Companies.2010
2) K.C.Agrewal .“Industrial power Engineering and applications Handbook”.Newnes .2001
3) Siba fuse cataloge and tecnical ducuments
4) Satish Samineni, Casper Labuschagne, and Jeff Pope, Schweitzer Engineering Laboratories. “Principles of Shunt Capacitor Bank Application and Protection”. 2010 .IEEE

5) Randy Horton, Member, IEEE, Ted Warren, Karl Fender, Member, IEEE, Steven Harry, Member, IEEE, and Charles A. Gross, Senior Member, IEEE ."Unbalance Protection of Fuseless, Split-Wye, Grounded, Shunt Capacitor Banks" . 2002 . IEEE
6) S.R.Mendis , M.T.Bishop , J.C.Mccall , W.M.Hurust . "Over current protection of capacitors applied on Industrial Distribution systems" . 1991. IEEE
7) Propivar capacitors and MV banks catalogue" . schneider electrical group. 2009

1) حفاظت و رله ها . تألیف : دکتر حسین عسگریان ابیانه . انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر. زمستان 1390 .فصل چهارم ،فیوز ها ، هماهنگی فیوز و ری کلوزر .