اصول طراحی بانکهای خازنی

هدف اصلی و عمده نصب بانک خازنی جبران انرژی راکتیو مصرفی بار الکتریکی است. به دلیل تغییرات میزان انرژی مصرفی در طول زمان لازمست تا میزان راکتیو تزریق شده به وسیله خازن به مدار نیز تغییر کند. در غیر اینصورت دو حالت پیش می آید:

۱) راکتیو کمتری نسبت به آنچه مورد نیاز است به مدار تزریق می شود، که باعث جبران سازی غیر کامل انرژی راکتیو مصرفی بار می شود. به ناچار کمبود انرژی راکتیو از طریق شبکه تامین می شود که هزینه ها و جریمه های مصرف راکتیو را در بر خواهد داشت.

۲) راکتیو بیشتری نسبت به آنچه مورد نیاز است به مدار تزریق می شود که اضافه ولتاژ را به همراه خواهد داشت.

درصد اضافه ولتاژی که با وارد شدن Q کیلووار به مدار بدون حضور هیچ باری پدید می آید از رابطه زیر به دست می آید:

$$\frac{\Delta u}{u} = \frac{u_k \times Q}{S_t}$$

$u_k =$ درصد ولتاژ ترانس

$S_t =$ قدرت ترانسفورماتور

مثال: باری با قدرت ۳۰۰ کیلو وات و ضریب توان ۰/۷ بوسیله ترانسی با ولتاژ اتصال کوتاه ۴٪ و قدرت ۶۳۰ کیلو ولت آمپر تغذیه می گردد. توسط بانک خازنی به ظرفیت ۲۰۰ کیلووار ضریب توان بار به ۰/۹۵ اصلاح می گردد. تا قبل از جبران سازی ولتاژ محل مصرف برابر ۳۸۹/۷ ولت و پس از جبران سازی ولتاژ به ۳۹۵ ولت افزایش می یابد، حال اگر بار به نصف کاهش یابد ولی رگولاتور صحیح عمل نکرده و ۲۰۰ کیلووار خازن در مدار باقی بماند ولتاژ محل تغذیه به ۴۰۰ ولت افزایش می یابد.

اگر ترانس تحت بار کامل بود و با جبران سازی مناسب ضریب توان به ۰/۹۵ اصلاح می گشت و به دلیل خرابی یا تنظیم نا صحیح رگولاتور با نصف شدن بار پله ای از مدار خارج نمی گردید اضافه ولتاژ حاصله برابر ۲/۸٪ معادل ۴۱۱ ولت می بود.

در طراحی بانکهای خازنی سه موضوع زیر مد نظر قرار می گیرند:

۱) محاسبه ظرفیت مورد نیاز

۲) تعیین ظرفیت پله اول و أرایش پله ها

۳) گزینش تجهیزات بانک خازنی

۱) محاسبه ظرفیت مورد نیاز

بهترین روش برای محاسبه ظرفیت بانک خازنی استفاده از منحنی تغییرات توان اکتیو و ضریب توان بر حسب زمان است در شرایطی که چنین منحنی هایی در دست نباشد معمولاً با استفاده از میزان قدرت قراردادی و ضریب توان نامی بر اساس فرمول زیر مقدار راکتیو مورد نیاز را بدست می آورند.

$$Q = P(tg\varphi_1 - tg\varphi_2)$$

P = میزان قدرت قراردادی بر حسب کیلو وات

$\tan(\arccos($ ضریب توان فعلی $) = \tan(\varphi_1)$

$\tan(\arccos($ ضریب توان مطلوب $) = \tan(\varphi_2)$

Q = میزان توان راکتیو مورد نیاز

۲) تعیین ظرفیت پله اول و آرایش پله ها

در صورت در دست داشتن منحنی تغییرات توان اکتیو بر حسب زمان با استفاده از شیب منحنی می توان ظرفیت اولین پله را تعیین کرد.

در صورت در دست نبودن این منحنی از دو قانون زیر می توان استفاده کرد ،

الف) در صورتی که لازم باشد رگولاتور به ۵٪ تغییرات بار پاسخ دهد پله اول را ۵٪ ظرفیت کل تابلو انتخاب می نمایند مثلاً در یک بانک ۲۰۰ کیلووار با پله اول ۱۰ کیلووار که باری با ضریب توان ذاتی ۰/۷ را جبران می کند به ازای هر ۱۵ کیلووات تغییر در بار یک پله وارد یا خارج می شود (ضریب توان مطلوب ۰/۹۵ فرض شده است.)

ب) در صورت عدم نیاز به تنظیم دقیق یا تغییرات بزرگ بار برای آنکه رگولاتور به ۱۰٪ تغییرات بار پاسخ دهد لازمست پله اول ۱۰٪ ظرفیت کل انتخاب گردد. بدین معنی که در شرایطی مانند حالت (الف) به ازای هر ۳۰ کیلووات تغییر در میزان توان ۲۰ کیلووار به مدار وارد یا خارج می گردد.

آرایش پله ها:

شرایط قانون (الف) را در نظر می گیریم. پله اول برابر ۱۰ کیلووار می باشد برای رسیدن به ظرفیت ۲۰۰ کیلووار به ۲۰ عدد پله ۱۰ کیلووار نیاز داریم که تعداد بسیاری است و در هنگام ساخت بانک باعث افزایش قیمت تمام شده می شود؛ روش دیگر استفاده از توالی ...:1:2:2:2 است، در این صورت تعداد پله ها به ۱۰ کاهش می یابد ولی نمی توانیم به ظرفیت ۲۰۰ کیلووار برسیم. تنها راه حل نصب یک پله ثابت ۲۰ کیلووار است. این روش، روش مناسبی نمی باشد.

محدودیتی که مشاهده شد انگیزه ای برای ایجاد دیگر آرایشها و توالی های پله خازنی گشت و آرایش هایی مانند: ...:1:2:2:4:8 و 1:2:4:8:8:8 به وجود آمد. اخیرا رگولاتورهایی طراحی گشته اند که می توانند آرایش 1:2:4:8:16:32:64 را پشتیبانی کنند که با چنین رگولاتورهایی می توان بانکی به ظرفیت ۱۲۷۰ کیلووار با پله اول ۱۰ کیلووار ایجاد نمود.

۳) گزینش تجهیزات جانبی خازن

خازن برخلاف دیگر تجهیزات برقی همیشه تحت اضافه بار است. حضور تنها درصد ناچیزی هارمونیک یا اعوجاج در ولتاژ محل تغذیه باعث اضافه جریان در خازن می گردد.

بر این اساس در استاندارد تعیین شده است که خازن ها باید حداقل ۳۵٪ اضافه جریان را بصورت دائمی تحمل کند با توجه به این مطلب که خازن همیشه تحت اضافه بار (به ویژه اضافه جریان) است و جریان خازن از فیوز، شین، کنتاکتور عبور می کند لازمست تمامی تجهیرات جانبی خازن بر اساس ۳۰٪ اضافه جریان انتخاب گردند.

به عنوان مثال برای انتخاب کنتاکتور و فیوز برای یک پله ۱۲/۵ کیلووار به صورت زیر عمل می شود

جریان نامی خازن ۱۲/۵ کیلووار = ۱۸ آمپر

جریان معیار طراحی = ۱/۳ × ۱۸ = ۲۳/۴ آمپر

کنتاکتور، سیم وفیوز مناسب اولین رنجی است که جریان نامی آن برابر یا بیشتر از ۲۳/۴ آمپر باشد.

چند نکته:

الف) برای افزایش طول عمر یک بانک خازنی قویاً توصیه می گردد که از کنتاکتورهای تیپ AC6-b استفاده شود. در صورت استفاده از کنتاکتورهای AC3 در لحظه وصل خازن پیک جریان هجومی از رابطه زیر محاسبه می گردد.

$$I = In\sqrt{\frac{2S_t}{u_k Q}}$$

S_t = قدرت ترانس I_n = جریان نامی پله خازنی

u_k = ولتاژ اتصال کوتاه ترانس Q = ظرفیت نامی پله خازنی

مثال: یک خازن ۵۰ کیلووار در سمت ۴۰۰ ولت یک ترانس ۲۰/۶.۴ کیلوولت نصب شده است اگر مشخصات ترانس ۶۳۰ کیلو ولت آمپر و $K =$ ٪۴ باشد در لحظه وصل جریانی با پیک ۳۱/۵۰۰ آمپر معادل ۶۳۰ برابر جریان نامی به داخل خازن جاری می شود حال اگر به جای یک ۵۰ کیلووار از چهار عدد ۱۲/۵ کیلووار که به صورت موازی وصل شده اند استفاده شود پیک جریان هر خازن به ۷/۸۷۵ آمپر معادل ۴۳۷ برابر جریان نامی به داخل خازن جاری می شود.

در جدول ذیل مقایسه ای بین حالتهای متفاوت در گزینش تجهیزات جانبی انجام پذیرفته است.

شرح	نوع کنتاکتور	۵۰ کیلووار	۱۲/۵ × ۴ کیلووار
جریان نامی	AC3	۷۲	۷۲
	AC6-b	۷۲	۷۲
پیک جریان لحظه وصل	AC3	۳۱۵۰۰ = ۶۳۰ × I_n آمپر	۷۸۷۵ = ۴۳۷ × I_n آمپر
	AC6-b	۱۲۹۶۰ = ۱۸۰ × I_n آمپر	۱۲۹۶۰ = ۱۸۰ × I_n آمپر
فرکانس جریان	AC3	۸۹۲/۴ هرتز	۸۹۲/۴ هرتز
	AC6-b	۸۹۲/۴ هرتز	۸۹۲/۴ هرتز
مدت زمان	AC3	۳۶ میلی ثانیه	۳۶ میلی ثانیه
	AC6-b	۶ میلی ثانیه	۶ میلی ثانیه

ب) بر اساس استاندارد وظیفه فیوز در بانکهای خازنی تنها قطع اتصال کوتاه است و نمی تواند وظیفهٔ حفاظت در برابر اضافه بار (جریان) را بر عهده بگیرد و حفاظت درمقابل اضافه بار (جریان) بر عهده رگولاتور است.

بحث طراحی و حفاظت بانکهای خازنی بسیار مفصل و طولانی است و حتی در چند مقاله نیز نمی توان این بحث را به پایان برد. هدف این مقاله تنها ارائه اطلاعات و روشهای بسیار ساده در طراحی بانکهای خازنی بود. از دیگر موارد مطرح در طراحی بانک خازنی می توان به موارد ذیل اشاره کرد:

- گزینش فیوزهای حفاظتی که بصورت سری در یک بانک خازنی قرار می گیرند.
- حداکثر ظرفیت مجاز یک پله.
- رگولاتور (برای اطلاعات بیشتر به مقاله رگولاتور چیست و چگونه کار می کند مراجعه نمایید.)
- تنظیم رله های هارمونیکی تعبیه شده در رگولاتور
- اصول تنظیم رله اضافه جریان
- حفاظت در برابر اعوجاجات
- هماهنگی بین سیستم مخابراتی و بانک خازنی
- مساله انتقال حرارت در بانکهای خازنی
- قدرت اتصال کوتاه تابلو
- بانکهای خازنی با سرعت بسیار بالا (Thyristor Capacitor Bank)
- بانکهای خازنی در حالتهای گذرای سیستم
- جبران سازی بارهای موتوری