



دانشگاه آزاد اسلامی واحد دماوند

پروژه درس سیستم های توزیع انرژی الکتریکی

# تحلیل و بررسی بانکهای خازنی

استاد:

جناب آقای محمد ایمان غیاثی

نگارش:

علی مصلی نژاد

۸۵۱۰۳۱۰۰۱

اردیبهشت ماه

۱۳۸۸

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

عَلَّامٌ ۱۴۱۷

تقدیم به پدرم که بی نیازیم آموخت

و مادرم که به من درس محبت داد

## اظهارنامه دانشجو

موضوع پروژه: تحلیل و بررسی بانکهای خازنی

استاد راهنما: جناب آقای محمد ایمان غیائی

دانشجو: علی مصلی نژاد

شماره دانشجویی: ۸۵۱۰۳۱۰۰۱

اینجانب علی مصلی نژاد دانشجوی دوره کارشناسی ناپیوسته برق قدرت دانشگاه آزاد اسلامی واحد دماوند گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در این پروژه توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده مورد تایید می‌باشد، و در موارد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. بعلاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در پروژه تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در متن پروژه چارچوب (فرمت) مصوب دانشگاه را به طور کامل رعایت کرده‌ام.

امضا دانشجو

تاریخ:

## فرم حق چاپ و تکثیر و مالکیت بر نتایج

- ۱- حق چاپ و تکثیر این پروژه متعلق به نویسنده آن می‌باشد. هرگونه کپی برداری بصورت کل پروژه یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانه دانشگاه آزاد اسلامی واحد دماوند مجاز می‌باشد.  
ضمناً متن این صفحه نیز باید در نسخه تکثیر شده وجود داشته باشد.
- ۲- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه آزاد اسلامی واحد دماوند می‌باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.  
همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پروژه بدون ذکر مراجع مجاز نمی‌باشد.

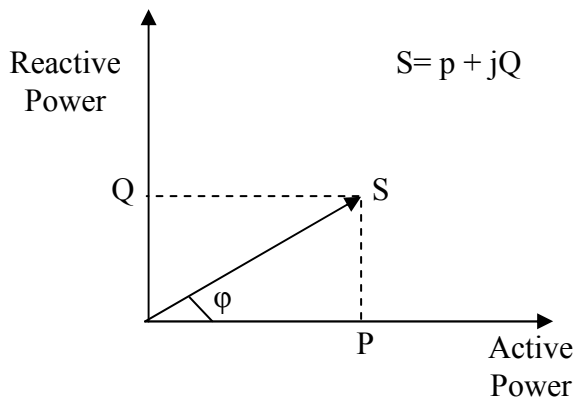
راهنمایی استاد گرانقدرم جناب آقای محمد ایمان غیاثی  
را ارج می نهم و از ایشان سپاسگزارم

## چکیده

مصرف کننده های صنعتی، کشاورزی و حتی مصرف کننده های خانگی علاوه بر توان اکتیو، نیاز به تامین توان راکتیو دارند چونکه اینگونه مصارف الکتریکی در دوره هایی از زمان انرژی الکتریکی را به صورت انرژی مغناطیسی ذخیره نموده و سپس در زمان های بعدی آنرا به سیستم باز می گردانند.

تامین این انرژی اضافی هر چند که بازگردانده شود باعث افزایش جریان در شبکه الکتریکی خواهد شد و بنابر این سطح مقطع هادیها و استقامت مکانیکی برج های نگهدارنده این هادیها بایستی افزایش یابند. در غیراینصورت جریان الکتریکی که بدین سان افزوده می شود افت انرژی بیشتری بصورت تلف حرارتی در شبکه الکتریکی ایجاد می نماید و نیز باعث افت ولتاژ بیشتر در مسیر عبور جریان خواهد شد.

هر چه بار مصرفی در شبکه الکتریکی بیشتر اندکتیو باشد توان راکتیو بیشتری در شبکه بایستی جاری شود و اختلاف فاز بین شدت جریان و فشار الکتریکی بیشتر می شود البته در ایده آل ترین شرایط این اختلاف فاز صفر بوده و نتیجتاً توان ظاهری، یعنی حاصل ضرب شدت جریان الکتریکی و فشار الکتریکی، با توان حقیقی یا توان اکتیو برابر می شود اما در حالت کلی همواره توان ظاهری از توان حقیقی بیشتر بوده و نسبت ایندو ضریب قدرت ( $\cos\phi$ ) است، شکل زیر توان اکتیو و توان راکتیو و نیز توان ظاهری را بصورت دیاگرام برداری نشان می دهند.



در مصرف کننده هایی که بین ولتاژ و جریان آنها اختلاف فاز وجود دارد توان دارای دو مقدار مثبت (سلفی) و منفی (خازنی) است. به این معنی که مصرف کننده، گاهی از شبکه توان می کشد و گاهی به آن توان می دهد. این موضوع سبب ایجاد توان راکتیو می شود. و این توان برای شبکه برق مضر می باشد.

از آنجایی که در این مصرف کننده ها امکان صفر کردن اختلاف فاز ممکن نیست نتیجه این می شود که توان راکتیو را باید از بین برد. و ما می توانیم توسط خازن ها این توان راکتیو را جبران کنیم.

|                                                                 |         |
|-----------------------------------------------------------------|---------|
| فصل اول: اصلاح ضریب قدرت.....                                   | ۱.....  |
| ۱-۱ مقدمه.....                                                  | ۱.....  |
| ۱-۲ ضرورت اصلاح ضریب توان.....                                  | ۲.....  |
| ۱-۳ اهداف در جبران بار.....                                     | ۲.....  |
| ۱-۴ اصلاح ضریب قدرت.....                                        | ۳.....  |
| فصل دوم: جبران کننده ها Compensation.....                       | ۴.....  |
| ۲-۱ استفاده از جبران کننده ها.....                              | ۴.....  |
| ۲-۱-۱ مصرف کننده های ساده توان دواته.....                       | ۴.....  |
| ۲-۱-۲ مصرف کننده های مرکب توان دواته.....                       | ۵.....  |
| فصل سوم: تاثیر ضریب توان در تولید و انتقال انرژی.....           | ۷.....  |
| ۳-۱ تاثیر ضریب توان در میزان جریان کشیده شده از منبع انرژی..... | ۷.....  |
| ۳-۲ تاثیر ضریب توان در قیمت ثابت تجهیزات.....                   | ۸.....  |
| ۳-۳ تاثیر ضریب توان در تجهیزات مورد استفاده.....                | ۸.....  |
| ۳-۴ تاثیر ضریب توان در ولتاژ.....                               | ۹.....  |
| ۳-۵ اصلاح ضریب توان.....                                        | ۹.....  |
| ۳-۵-۱ محدود کردن توان دواته.....                                | ۹.....  |
| فصل چهارم: جبران توان دواته توسط هم فاز کننده های دوار.....     | ۱۱..... |
| ۴-۱ همفاز کننده های سنکرون.....                                 | ۱۱..... |
| ۴-۲ راه اندازی همفاز کننده سنکرون.....                          | ۱۲..... |
| فصل پنجم: جبران کننده های ساکن ( کمپنراتور خازنی ).....         | ۱۳..... |
| ۵-۱ اتصال خازن ها در شبکه سه فاز.....                           | ۱۳..... |
| ۵-۱-۱ اتصال ستاره.....                                          | ۱۴..... |
| ۵-۱-۲ اتصال مثلث.....                                           | ۱۴..... |
| ۵-۲ محاسبه توان خازن.....                                       | ۱۵..... |
| ۵-۳ موارد استعمال خازن ها.....                                  | ۱۹..... |
| ۵-۴ مزایای استفاده از بانک های خازنی و یا خازن ها.....          | ۲۰..... |
| ۵-۵ ابعاد خازن ها و نحوه قرارگیری و نصب آن در مدار.....         | ۲۰..... |
| ۵-۶ طراحی خازن های شنت ثابت و سوئیچ شونده.....                  | ۲۱..... |
| ۵-۷ نحوه انتخاب خازن های ثابت.....                              | ۲۲..... |
| ۵-۸ نحوه انتخاب خازن های سوئیچ شونده.....                       | ۲۲..... |

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| فصل ششم : انواع کمپنژاسیون ها.....                                   | ۲۳ |
| ۶-۱ کمپنژاسیون انفرادی.....                                          | ۲۳ |
| ۶-۲ کمپنژاسیون گروهی.....                                            | ۳۰ |
| ۶-۳ کمپنژاسیون مرکزی.....                                            | ۳۰ |
| ۶-۴ کمپنژاسیون در کارخانجات.....                                     | ۳۰ |
| ۶-۵ طرز محاسبه ضریب توان تاسیسات (تعیین ضریب توان $\cos \phi$ )..... | ۳۷ |
| ۶-۶ کمپنژاسیون شبکه انتقال انرژی.....                                | ۴۱ |
| ۶-۶-۱ استفاده از خازن سری.....                                       | ۴۲ |
| ۶-۷ تقسیم بندی خازن ها.....                                          | ۴۵ |
| فصل هفتم: نمونه ای از یک جبران سازی واقعی.....                       | ۴۶ |
| نتیجه گیری.....                                                      | ۴۹ |
| منابع و مراجع.....                                                   | ۵۰ |

## فهرست جداول و اشکال

- شکل ۱-۲: مصرف کننده های ساده توان دواته..... ۵
- شکل ۲-۲: مصرف کننده های مرکب توان دواته..... ۶
- جدول ۱-۳: توان ظاهری متناسب با ضریب توان..... ۷
- شکل ۱-۵: اختلاف فاز..... ۱۳
- شکل ۲-۵: اتصال ستاره..... ۱۴
- شکل ۳-۵: اتصال مثلث..... ۱۴
- شکل ۴-۵: دیاگرام توان..... ۱۶
- جدول ۱-۵: توان خازن ها..... ۱۷
- شکل ۵-۵: تعیین توان خازن برای اصلاح ضریب توان..... ۱۷
- شکل ۶-۵: شکل موج خازن..... ۱۸
- شکل ۱-۶: نمونه ای از کمپنزاسیون انفرادی..... ۲۴
- جدول ۲-۶: توان دواته لازم جهت تصحیح ضریب توان..... ۲۶
- شکل ۲-۶: دیاگرام توان ظاهری..... ۳۳
- شکل ۳-۶: سری کردن خازن در مدار..... ۴۴
- شکل ۱-۷: تصحیح بار راکتیو با استفاده از کنترل کننده های خازنی اتوماتیک..... ۴۸

## فصل اول: اصلاح ضریب قدرت

### ۱-۱ مقدمه

مسائل اقتصادی همواره مهندسين طراح را بر آن داشته است که تا سر حد امکان حداکثر توان الکتریکی را از یک خط انتقال معین انتقال دهند. البته امروزه قیود بیشتری از گذشته مطرح است.

اولاً: وابستگی مراکز بار به تولید مستمر برق، بحرانی تر شده است (با مشاهده حوادث و خسارات مالی که در اثر خاموشی ها رخ داده است) این بدان معنی است ایمنی یا قابلیت اطمینان سیستم انتقال بایستی بطور پیوسته بهبود یابد.

ثانیاً: توسعه طرح های جبران کمک نموده است که انتقال ac را هم به لحاظ تکنیکی و هم اقتصادی، حتی در زمانی که انتقال dc پیشرفت زیادی نموده است قابل رقابت می نماید.

ثالثاً: مشکلاتی که در رابطه حریم در نصب خطوط انتقال جدید مطرح است (موسوم به بحران کوریدو Corridor Crisis). فشار روز افزون در بهره برداری ماکزیمم از خطوط انتقال موجود (به دلیل هزینه های زیاد برای احداث خطوط جدید)، و خطوط انتقال جدید، در ایجاد انگیزه برای توسعه و کاربرد جبران کمک نموده است.

همانطور که می دانیم علاوه بر اصلاح ضریب توان خطوط انتقال، باید ضریب توان در سیستم های توزیع نیز تصحیح شود. سیستم توزیع، مسیر تغذیه مشترکین از سیستم انتقال فشار قوی را فراهم می کند، بدلیل ولتاژ پایین بودن در نتیجه جریان زیاد، تلفات  $RI^2$  در شبکه توزیع بطور قابل ملاحظه ای از تلفات انتقال بالاتر است. اجبار برای بهبود بازده تحویل توان در شبکه ها، شرکت ها را به کاهش تلفات به ویژه در شبکه توزیع وادار نموده است. در این تحقیق به بررسی ضریب توان و راه کارهایی که بتوان این ضریب توان را اصلاح کرد می پردازیم.

## ۱-۲ ضرورت اصلاح ضریب توان

تقریباً ۳۰٪ منابع انرژی اولیه در جهان برای تولید انرژی الکتریکی به مصرف می رسد و تقریباً تمامی این انرژی بوسیله جریان متناوب در فرکانس ۵۰ یا 60Hz انتقال یافته و توزیع و سپس مصرف می گردد. در حال حاضر بیش از هر زمانی طراحی و بهره برداری سیستم های قدرت با حداکثر بازده و بیشترین میزان قابلیت اطمینان و ایمنی حائز اهمیت است. به همین خاطر کنترل توان راکتیو که یکی از عوامل مهم در ضریب توان می باشد از اهمیت خاصی برخوردار است.

## ۱-۳ اهداف در جبران بار

جبران بار عبارت است از مدیریت توان راکتیو، که به منظور بهبود بخشیدن به کیفیت تغذیه در سیستم های قدرت ac انجام می گیرد. اصلاح جبران بار در جایی استفاده می شود که مدیریت توان راکتیو برای یک بار تنها و یا گروهی از بارها انجام می گیرد. و وسیله جبران کننده معمولاً در محلی در تملک مصرف کننده قرار دارد، حداًالمکان در نزدیک بار نصب می شود.

در جبران بار اهداف اصلی سه گانه زیر مورد نظر می باشد:

(۱) اصلاح ضریب توان (Power – Factor correction)

(۲) بهبود تنظیم ولتاژ (Volteg Regulation)

(۳) متعادل کردن بار (Load balancing)

#### ۴-۱ اصلاح ضریب قدرت

اصلاح ضریب توان به این معناست که توان راکتیو مورد نیاز بار به جای آنکه از شبکه تامین گردد، در محل نزدیک بار تولید گردد. اغلب بارهای صنعتی دارای ضریب توان پس فاز هستند یعنی توان راکتیو جذب می کنند. بنابراین جریان بار مقدارش از آنچه که برای تامین توان واقعی ضروری است بیشتر خواهد بود.

تنها توان حقیقی است سرانجام در تبدیل انرژی مفید بوده و جریان اضافی نشان دهنده اتلاف است که مشتری نه تنها بایستی بهای هزینه اضافی کابلی که آن را انتقال می دهد بپردازد، بلکه تلفات ژولی اضافه ایجاد شده در کابل را نیز می پردازد. موسسات تولید کننده همچنین دلیل کافی برای عدم ضرورت انتقال توان راکتیو غیر ضروری از ژنراتور ها به بار را دارند و آن این است که ژنراتورها و شبکه های توزیع قادر نخواهند بود در ضریب بهره کامل کار کنند و کنترل ولتاژ در سیستم تغذیه بسیار مشکل خواهد شد. تعرفه های برق تقریباً همواره مشتریان صنعتی را به واسطه بارهای با ضریب توان پائین آنها جریمه می نمایند و این عمل سالیان متمادی انجام گرفته و در نهایت منجر به توسعه گسترده کاربرد سیستمهای اصلاح ضریب توان در مراکز صنعتی شده است.

## فصل دوم: جبران کننده ها Compensation

### ۱-۲ استفاده از جبران کننده ها

در جریان متناوب تمام وسائل برقی اعم از انتقال دهنده ها (سیم های نقل انرژی و ترانسفورماتورها) و گیرنده ها یا مصرف کننده های انرژی (موتورها، کوره های الکتریکی، لامپ های گازی و غیره) کم و بیش یک نوع مصرف کننده سلفی هستند که بر حسب اهمیت آنها می توان در درجه اول موتورهای آسنکرون را نام برد. موتورهای آسنکرون بسته به نوع شبکه در حدود ۶۵ تا ۸۰ درصد توان دواته شبکه را می کنند. سیم های طویل نقل انرژی در شبکه های بهم پیوسته و سراسری نیز توان دواته قابل ملاحظه ای را به خود اختصاص می دهند. در صورتیکه کوره های اندوکسیونی با ضریب توان  $\cos\phi = 0.4$ ،  $-0.6$  با اینکه مصرف کننده های سلفی بزرگی هستند، چون تعداد آنها در شبکه کم است خیلی مزاحم تولید نمی شوند. و بالاخره بوبین ها و قطع کننده و پیچک مربوط به لامپ های نئون و فلورسنت و غیره همه باعث ایجاد اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ می شوند.

البته همانطور که میدانیم توان دواته مصرف نمی شود ولی چون بالاخره یک دستگاهی مثل ژنراتور یا وسیله دیگری باید توان دواته و یا جریان دواته را آماده نگه دارد، می توان دستگاه هائی را که احتیاج به توان دواته دارند، مصرف کننده های توان دواته نامید. در ضمن اینکه این جریان دواته خود مولفه ای از جریان ضاهری کل است که حقیقتاً باعث تلف و مصرف انرژی الکتریکی می شود.

مصرف کننده ها را می توان بر حسب سری یا موازی بودن مقاومت سلفی آنها به دو دسته زیر تقسیم کرد:

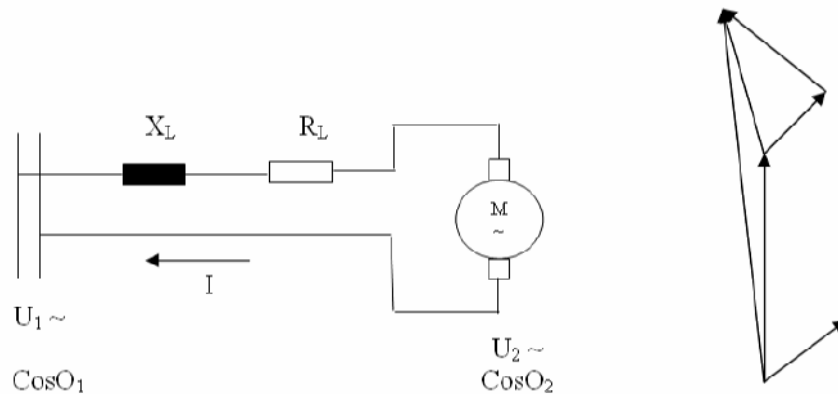
#### ۱-۲ مصرف کننده های ساده توان دواته

مصرف کننده های ساده توان دواته به مصرف کننده هایی گفته می شود که مقاومت اهمی و سلفی آن بطور قرار گرفته است. این حالت بخصوص شامل سیم های هوایی و سلف زمین بکار برده می شود.

توان در شبکه سه فاز برابر است با:

$$Q_S = 3 \times I^2 \times X_L \text{ و } Q_S = S \times U_L/100 \quad (2-1)$$

در این فرمول  $I$  جریان بار،  $S$  توان ظاهری و  $X$  مقاومت اندوکتیو و  $U_L$  افت اختلاف سطح اندوکتیو به ولتاژ نامی می باشد.



شکل ۲-۱: مصرف کننده های ساده توان دواته

## ۲-۱-۲ مصرف کننده های مرکب توان دواته

مصرف کننده های توان دواته مصرف کننده هایی هستند که دارای مقاومت سری و موازی با مقاومت اهمی می باشند و مهمترین آنها موتورهای آسنکرون و ترانسفورماتورها می باشند. موتورهای آسنکرون و ترانسفورماتورها در حقیقت یک سیم پیچ با هسته آهنی هستند و برای مغناطیس کردن هسته آهن خود، احتیاج به توان دواته موازی دارند که توسط جریان مغناطیسی  $I_\mu$  تامین می شود. لذا توان دواته موازی در جریان سه فاز برابر است با:

$$Q_P = \sqrt{3} U \times I_\mu \quad (2-2)$$

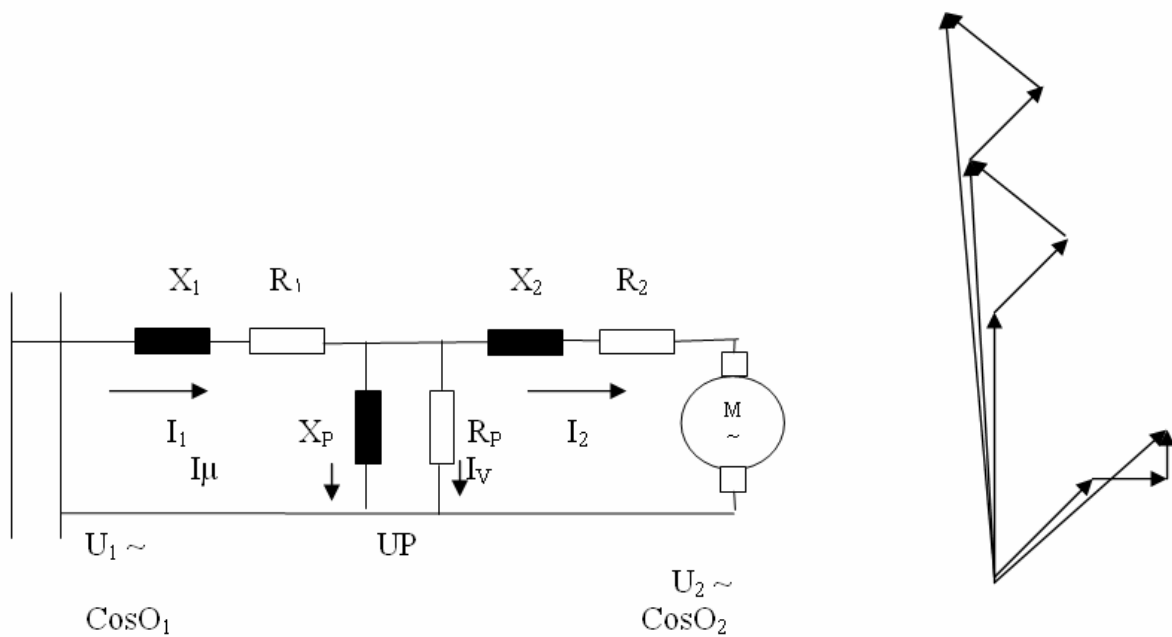
در ضمن یک توان دواته موازی بطور مطلق نمی تواند وجود داشته باشد، بلکه همیشه این توان همراه با توان دواته سری است. مدار معدل موتور القائی در شکل زیر نشان داده شده است که مقاومت سلفی موازی که به خاطر جریان مغناطیسی از موتور می باشد باعث ایجاد اختلاف فاز بین جریان  $I_1$  و  $I_2$  می شود. و

مقاومت سلفی سری بخاطر افت ولتاژ سلفی موجب اختلاف فاز بین  $U_1$  و  $U_2$  می گردد و باعث بزرگ تر شدن اختلاف فاز کل می شود.

طبق شکل توان دواته کل برابر است با مجموع توان دواته سری و موازی، که با فرمول (۲-۴) قابل محاسبه می باشد:

$$Q_g = Q_s + Q_p \quad (2-3)$$

$$Q_g = 3I_2 \times X + \sqrt{3} U \times I_\mu \quad (2-4)$$



شکل ۲-۲: مصرف کننده های مرکب توان دواته

## فصل سوم: تاثیر ضریب توان در تولید و انتقال انرژی

### ۳-۱ تاثیر ضریب توان در میزان جریان کشیده شده از منبع انرژی

میزان ضریب توان در تولید و انتقال و مصرف انرژی تاثیر بسزایی در میزان مصرف انرژی دارد. در صورتیکه توان واته انتقال داده شده ثابت باشد، با کوچک شدن ضریب توان، توان دواته بزرگ شده و با آن مقدار موثر جریان خط I و یا بار سیم های نقل انرژی زیاد می شود. مثلا اگر خواسته باشیم توان واته 300kw را با ولتاژ ۳۸۰ ولت انتقال دهیم، در صورتیکه ضریب توان برابر ۱ باشد، شدت جریان خط ۴۵۶ آمپر است ولی اگر همین توان را با ضریب توان ۰,۶ انتقال دهیم جریان خط به ۷۶۰ آمپر می رسد و این ازدیاد جریان بخاطر کوچک شدن ضریب توان باعث تلفات حرارتی زیادتر در خط می شود.

تلفات حرارتی برابر است با:

$$R_W \times V_T = I^2 \times R_W = (I_W^2 + I_d^2) \quad (3-1)$$

همانطور که مشخص است تلفات متناسب با مجذور جریان های واته و دواته می باشد. ما باید این جریان دواته را از محل دیگری بجز منبع تامین کنیم که در مباحث بعدی به آن خواهیم پرداخت.

جدول ۳-۱: توان ظاهری متناسب با ضریب توان برای توان واته NW=100kw

|                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| ضریب توان             | ۱   | ۰,۹ | ۰,۸ | ۰,۷ | ۰,۶ | ۰,۵ | ۰,۴ | ۰,۳ | ۰,۲ | ۰,۱  |
| توان ظاهری<br>Ns(KVA) | ۱۰۰ | ۱۱۱ | ۱۲۵ | ۱۴۳ | ۱۶۷ | ۲۰۰ | ۲۵۰ | ۳۳۰ | ۵۰۰ | ۱۰۰۰ |

مشاهده می شود که کم شدن ضریب توان باعث می شود که نتوان از تمامی قدرت ترانسفورماتور و ... استفاده کرد. با توجه به جدول زیر تاثیر ضریب توان کاملاً قابل مشاهده می باشد. به این ترتیب که با کاهش ضریب توان (برای تامین توان وات 100kw) باید توان ظاهری بیشتری را در مقایسه با حالتی که ضریب توان بالا می باشد از شبکه گرفته شود.

## ۲-۳ تاثیر ضریب توان در قیمت ثابت تجهیزات

چنانچه مشخص است در همه مراحل تولید و انتقال و توزیع انرژی، ضریب توان از اهمیت خاصی برخوردار است. همانطور که از محاسبات مشخص است، افزایش شدت جریان بخاطر کوچک بودن ضریب توان، باعث بزرگ تر شدن سطح مقطع رساناها (سیم یا کابل) و در نتیجه زیاد شدن قیمت ثابت تاسیسات (کلیدها، رله ها ترانسفورماتور و...) می شود. این اضافه قیمت در مصرف کننده هایی که به منبع تامین کننده خود نزدیکتر می باشند چندان موثر نخواهد بود ولی در جاهایی که فاصله انتقال نیرو کوتاه نباشد این اضافه قیمت به حدی می رسد که نیروگاه نتواند انرژی الکتریکی خود را بطور اقتصادی و با قیمت مناسب به مصرف کننده برساند.

## ۳-۳ تاثیر ضریب توان در تجهیزات مورد استفاده

کاملاً روشن است که متناسب با زیاد شدن جریان علاوه بر کابل، کلیدها، فیوزها، تابلوها و دستگاه های اندازه گیری، کنتور و وسائل حفاظتی و بالاخره تمام وسائل مربوط به انتقال و توزیع جریان نیز بزرگ می شود که علاوه بر مشکلاتی که در امر اجرای آن بوجود می آورد، باعث گران شدن هزینه های تاسیسات خواهد داشت. و همچنین کم شدن ضریب توان باعث می شود که نتوان از تمامی قدرت موتورهای الکتریکی، ترانسفورماتورها و غیره استفاده کرد. بطور تقریب هزینه متناسب با مجذور جریان افزایش می یابد.

### ۳-۴ تاثیر ضریب توان در ولتاژ

با کم شدن و بدشدن ضریب توان بعبارت دیگر با بالا رفتن جریان دوااته افت اختلاف سطح (ولتاژ) نیز بزرگ می شود و باعث می شود کار رگولاتور ولتاژ در ترانسفورماتور و ثابت نگهداشتن ولتاژ در نیروگاه مشکل میگردد.

### ۳-۵ اصلاح ضریب توان

#### ۳-۵-۱ محدود کردن توان دوااته

همانطور که گفته شد، اغلب موتورهای آسنکرون هستند که باعث جریان مغناطیسی که لازم دارند باعث خراب کردن ضریب توان شبکه می شوند و هر چه موتور بیشتر باشد، جریان مغناطیس کننده آن نیز بیشتر می شود. در ضمن می دانیم که ضریب توان موتور بستگی به بار دارد. بطوریکه موتورها بر حسب نوع و ساختمان شان در موقع بار نامی دارای ضریب توان بین ۰,۷۵ تا ۰,۸۸ هستند و نیمه بار ۰,۶ الی ۰,۴۵ و در بی باری آنها حتی به ۰,۲ می رسد. علت این متغییر بودن ضریب توان نسبت به بار این است که موتورها در موقع بدون بار نیز جریان زیادی از شبکه می گیرند. به همین دلیل اگر بخواهیم مصرف دوااته یک کارخانه ای را محدود کنیم کافی است که قدرت موتورها متناسب با قدرت ماشین های افزار انتخاب شوند. بعبارت دیگر قدرت موتورها بزرگتر از قدرت مکانیکی که از موتور گرفته می شود و کاری که انجام می دهد نباشد. و همین طور باید از حرکت بون بار ماشین ها حتی الامکان جلوگیری کرد و اگر نحوه کار ماشین ها طوریت که موتورها مدت نسبتا زیادی بدون بار و یا نیمه بار کار می کنند، بهتر است که بخصوص موتورهای بزرگ مجهز به کلید ستاره مثلث باشند و در صورتیکه موتور زیر ۵۰٪ کار میکند سیم پیچ آن به صورت ستاره و در بالای ۵۰٪ بصورت مثلث بسته شوند. زیرا توان دوااته گرفته شده در اتصال ستاره کمتر است. در ضمن بهتر است که کابل ها از تابلو قطع نشوند، بلکه مصرف کننده ها از کابل قطع شوند. این عمل

باعث می شود که کابل ها در موقع بدون بار بصورت کاپاسیته و خازن هایی در شبکه باقی بماند و توان دواته سلفی شبکه را جبران کنند. قبل از تعمیر یک الکتروموتور معیوب (سیم پیچی مجدد یا ...) هزینه خرید موتور پربازده مشابه بررسی می شود.

در صورتی که هزینه جایگزینی موتورهای قدیمی و پرمصرف با موتورهای پربازده طی مدت حدود ۶ تا ۱۸ ماه (بسته به مدت استفاده و قدرت و نوع موتور) بازگشت نماید، تمایل به جایگزینی وجود دارد. به طور کلی اگر هزینه تعمیر یک موتور حدود ۳۰ تا ۵۰ درصد هزینه خرید یک موتور پربازده و نو باشد، آیا بازهم تعمیر موتور ترجیح داده می شود؟ (تعمیر موتوری که الکتریکی غالباً موجب کاهش بازده و افزایش مصرف آن نیز می شود) (وزارت نیرو شرکت برق منطقه ای یزد)

## فصل چهارم: جبران توان دواته توسط هم فاز کننده های دوار

هم فاز کننده های دوار دو نوع است:

(۱) همفاز کننده های سنکرون

(۲) همفاز کننده های آسنکرون

از هر دو آنها می توان بدون بار یا زیر بار جهت بهبود بخشیدن ضریب توان شبکه استفاده کرد. در صنعت بیشتر از همفاز کننده های سنکرون استفاده می شود. در حال حاضر انواع جدیدی از جبران کننده های راکتیو استاتیکی قابل کنترل توسعه یافته است. در سنوات خیلی دور در روند رشد شبکه های قدرت الکتریکی برای حمایت از ولتاژ و بهبود توانایی انتقال توان از کدانسورهای سنکرون استفاده شده است.

### ۴-۱ همفاز کننده های سنکرون

موتور های سنکرونی هستند که می توانند در ضمن اینکه از آنها بار مکانیکی گرفته می شود، قسمتی از انرژی الکتریکی خود را بصورت توان دواته به شبکه پس دهند، و یا موتورهای سنکرونی که بدون بار هستند که کلیه توان ظاهری خود را بصورت توان دواته در اختیار شبکه قرار می دهند. موتورهای سنکرونی که در ضمن بار گرفتن جهت بهبود ضریب توان بکار گرفته می شوند، معمولاً دارای قدرت مکانیکی 500-1500kw هستند و با ضریب توان ۱ الی ۰٫۸ کار می کنند. در صورتیکه به توان دواته بیشتری در شبکه نیاز باشد برای جبران سازی آن، از آنها بار گرفته نمی شود، قطر محور آنها خیلی کم است.

## ۲-۴ راه اندازی همفاز کننده سنکرون

شروع به کار موتور سنکرون همانند موتور آسنکرون است، یعنی سرعت موتور از صفر شروع می شود تا به سرعت سنکرون برسد به همین خاطر اولاً این موتورها برای حرکت اولیه احتیاج به سیم پیچ قفسه ای راه اندازی دارند ثانیاً چون در شروع کار، جریان راه اندازی شدید است باید متناسب با قدرت و بزرگی موتور از راه اندازهای مخصوصی استفاده شود که عبارتند از:

۱- کلید ستاره مثلث برای موتورهای کم قدرت و مقاومت سلفی و یا اتو ترانسفورماتور برای قدرت های تا 5MVA استفاده می شوند. به طوریکه وقتی موتور به سرعت سنکرون رسید راه اندازها از مدار خارج می شوند.

۲- استفاده از موتورهای مخصوص راه اندازی که در قدرت های بیش از 5MVA بکار برده می شوند بطوریکه بصورت هم محور همفاز کننده نصب می شوند و مستقیماً با آن کوپل می باشد. این موتورها که معمولاً از نوع آسنکرون با روتور سیم پیچی شده هستند، موتور سنکرون را در حالتی که هنوز از شبکه برق جدا است بصورت ژنراتور بدون بار می گردانند و پس از تحریک و سنکرون کردن آن با شبکه به شبکه وصل می گردد و سپس موتور راه اندازی از مدار قطع می شود.

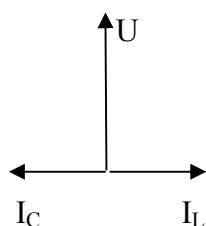
قدرت موتور راه انداز نباید کمتر از ۶٪ الی ۹٪ ، قدرت ظاهری همفاز کننده باشد. در نیروگاه ها اغلب امکان این هست که همفاز کننده ها را توسط ژنراتور رزرو آماده بکار کرد و پس از رسیدن به سرعت سنکرون، ژنراتور را از شبکه قطع نمود.

همزمان با هم فاز کننده های دوار ، خازنیها موازی در سیستم توزیع ، برای بهبود پروفیل ولتاژ و کاهش بارگیری خط و تلفات (با اصلاح ضریب توان) استفاده می شود. توسعه سریع و اقتصادی بودن خازن های موازی منجر به جایگزینی آنها با کندانسورهای سنکرون در سیستم انتقال گردیده است.

## فصل پنجم: جبران کننده های ساکن (کمپنراتور خازنی)

خازن های جریان زیاد، که برای جبران توان دواته بکار برده می شوند اغلب هم فاز کننده ساکن و یا جبران کننده ساکن نامیده می شوند. این خازن ها بخاطر ساکن بودنشان عاری از معایب بسیاری هستند که جبران کننده های دوار دارا می باشند (عدم مشکلات راه اندازی و تلفات بسیار ناچیز). از این جهت امروزه کمپنراتورهای خازنی در اغلب شبکه ها و تاسیسات برقی جانشین کمپنراتورهای دوار شده است و روز به روز مورد استفاده آنها بیشتر می شود.

همانطور که می دانیم خازن ها از شبکه جریانی می کشند که نسبت به ولتاژ  $90^\circ$  درجه جلو افتادگی دارد. لذا این جریان نسبت به جریان اندوکتیو  $180^\circ$  درجه اختلاف فاز دارد. مانند شکل (۵-۱)



شکل ۵-۱: اختلاف فاز

### ۵-۱ اتصال خازن ها در شبکه سه فاز

در طراحی خازن ها از روش سری و موازی کردن خازن ها با یکدیگر ظرفیت مورد نظر حاصل می شود. اتصالاتی که بیشتر در صنعت مورد استفاده قرار می گیرد شامل:

- اتصال ستاره

- اتصال مثلث

## ۵-۱-۱ اتصال ستاره

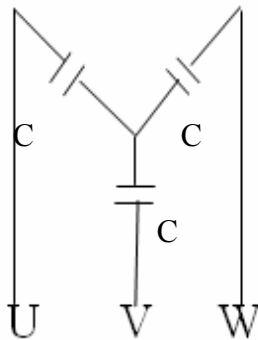
در رابطه زیر  $I_L$  جریان خط و  $I_C$  جریان خازن است و اگر  $C$  بر حسب میکروفاراد و  $U$  بر حسب کیلو ولت قرار داده شود، جریان بر حسب آمپر بدست می آید.

$$I_L = I_C = (U_L / \sqrt{3}) \times C \times 10^{-3} = U_{ph} \times C \times 10^{-3} \quad (5-1)$$

$$I_C = Q_C / (U_L \times \sqrt{3}) \quad (5-2)$$

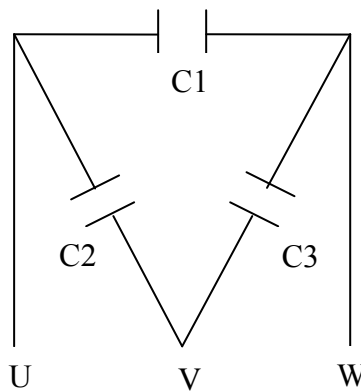
$$Q_C = U_L \times I_C \times \sqrt{3} = U_{L2} \times C \times 10^{-3} \quad \text{توان دواته} \quad (5-3)$$

$$C = (Q_C \times 10^3) / U_{L2} \times \sqrt{3} = (I_C \times \sqrt{3} \times 10^3) / (U_L \times \sqrt{3}) \quad \text{ظرفیت خازن هر فاز} \quad (5-4)$$



شکل ۵-۲: اتصال ستاره

## ۵-۱-۲ اتصال مثلث



شکل ۵-۳: اتصال مثلث

## ۵-۲ محاسبه توان خازن

در هنگام جبران سازی توان راکتیو باید بررسی شود که این خازن به منظور جبران توان سلفی تمام تاسیسات استفاده می شود و یا فقط برای قسمتی از تاسیسات بکار برده میشود و یا اینکه خازن برای جبران توان سلفی فقط یکی از دستگاه های الکتریکی (مثلا فقط برای جبران سازی توان راکتیو یک موتور و یا یک ترانسفورماتور و ... بکار برده می شود)، زیرا روش محاسبه در هر یک از حالت های ذکر شده فوق متفاوت است.

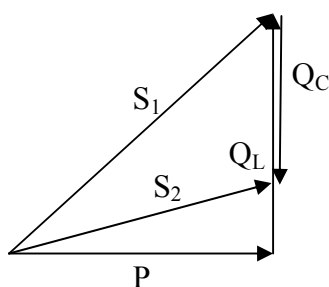
به عنوان مثال در محاسبه توان خازن مورد نیاز برای جبران ضریب توان تمام تاسیسات با ید اول ضریب توان پایه و ضریب توان میانه تاسیسات، توسط وسایل اندازه گیری توان راکتیو تعیین گردد. موقعی توان راکتیو تاسیسات یا موتوری صد در صد جبران شده است که مقدار ضریب توان برابر با ۱ شود. در این صورت جبران کننده برابر است با:

$$Q_C = P \cdot \tan \theta \quad (5-5)$$

در عمل جبران سازی بصورت صد در صد انجام نمی پذیرد، بلکه بطوری انجام می شود که ضریب توان بین ۰,۸۵ تا ۰,۹۵ گردد. در صورتی که ضریب توان کمتر از ۰,۸۰، جبران سازی از نظر اقتصادی مقرون به صرفه می باشد.

از فرمول زیر برای بدست آوردن توان راکتیو مورد نیاز استفاده می شود:

$$Q_C = Q_{L1} - Q_{L2} = P(\tan \theta_1 - \tan \theta_2) \quad (5-6)$$



شکل ۴-۵: دیاگرام توان

همانطور که در نمودار مشخص است توان مصرفی در حالت جبران سازی شده توسط خازن، درمقایسه با حالت اول کمتر می باشد.

در فرمول (۵-۶) توان دواته را قبل از جبران سازی می باشو و  $Q_{L2}$  توان راکتیو بعد از جبران سازی می باشد. پس از اینکه توان راکتیو مورد نیاز برای جبران سازی از فرمول (۵-۶) بدست آمد، حل کاپاسیته نامی آنرا از رابطه (۵-۷) بدست می آوریم:

$$C = QC / (U^2) \quad (۵-۷)$$

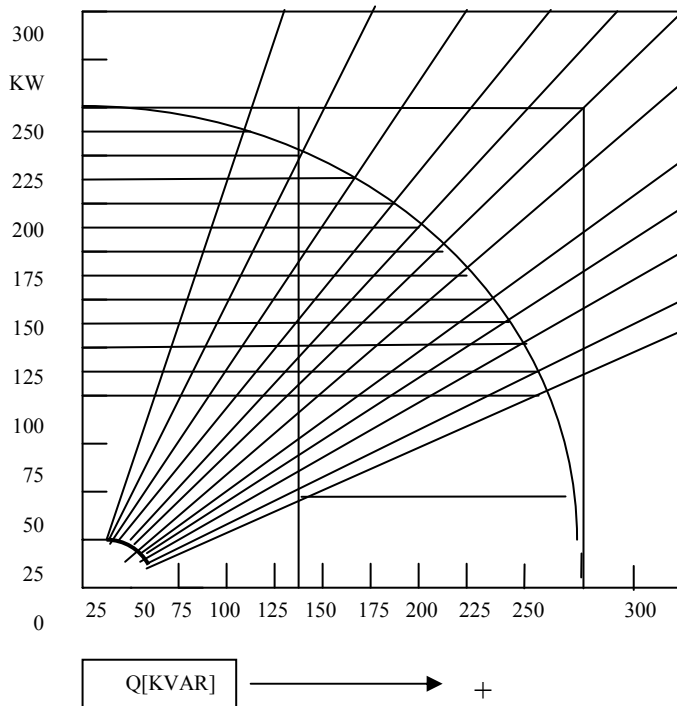
برای جبران توان سلفی موتور همانطور که گفته شد توان بدون بار موتور در محاسبات در نظر گرفته می شود. در حالت بی باری  $\cos\phi = 1$  می باشد. در نتیجه در موقع بار نامی  $\cos\phi$  به ۰٫۹۵ تا ۰٫۹۳ خواهد رسید. تجربه نشان داده است که توان خازن ها برای کمپنزاسیون موتورها باید ۰٫۴۰ تا ۰٫۵۵ توان نامی موتور، طبق جدول (۵-۱)

جدول ۱-۵: توان خازن ها

| توان نامی موتور | توان خازن                                 |                                           |
|-----------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|
|                 | موتور کند گرد<br>$n < 1000 \text{ r.p.m}$ | موتور تند گرد<br>$n > 1000 \text{ r.p.m}$ |
| 1 → 3KW         | ۵۵٪ توان نامی موتور                       | ۵۰٪ توان نامی موتور                       |
| ۴ → 10KW        | ۵۰٪ // // //                              | ۴۵٪ // // //                              |
| ۱۱ → 20KW       | ۴۵٪ // // //                              | ۴۰٪ // // //                              |
| ۲۱ → 50KW       | ۴۰٪ // // //                              | ۳۵٪ // // //                              |
| ۵۷ → 100KW      | ۳۵٪ // // //                              | ۳۰٪ // // //                              |

برای جبران توان راکتیو ترانسفورماتور باید با توجه به توان دواته سری و موازی ترانسفورماتور محاسبه شود. ولی در عمل توان خازن در حدود ۱۰٪ توان ظاهری ترانسفورماتور انتخاب می شود.

ساده ترین روش برای تعیین توان خازن مورد نیاز برای اصلاح ضریب توان از دیاگرام شکل زیر بدست می آید:



شکل ۵-۵: تعیین توان خازن برای اصلاح ضریب توان

مثال:

توسط دیاگرام ، توان خازن مورد استفاده برای یک موتور 250kW و ضریب توان متوسط ۰,۷ است. توان راکتیو آن را می خواهیم تا ضریب توان ۰,۹ ، توسط خازن جبران کنید؟

الف) از طریق محاسبه

$$\cos O_1 = 0.7 \quad \text{tg } O_1 = 1.02$$

$$\cos O_2 = 0.9 \quad \text{tg } O_2 = 0.484$$

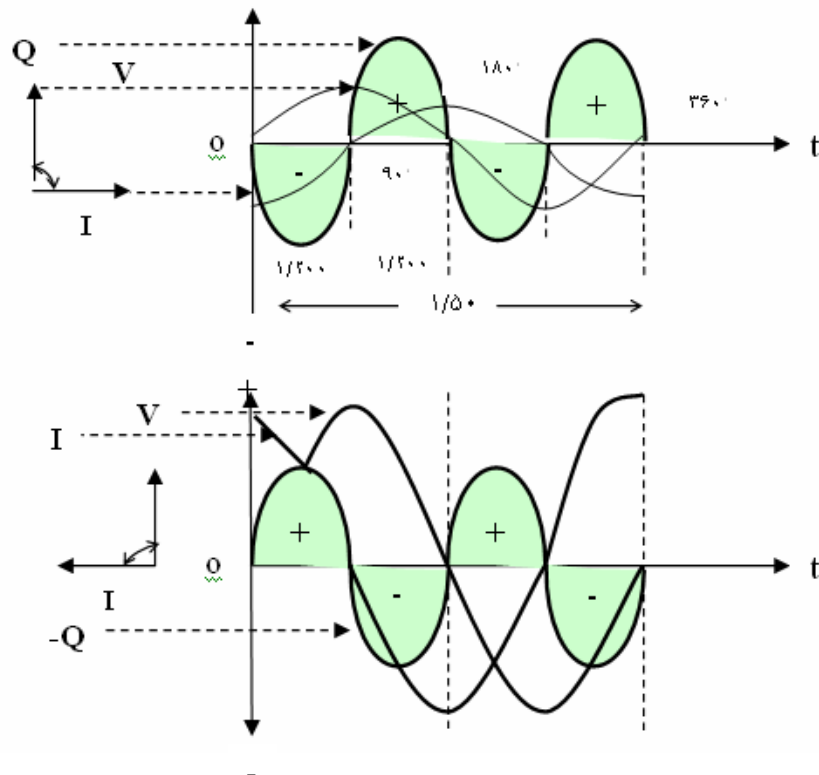
$$Q_C = P(\text{tg} O_1 - \text{tg} O_2) = 250 (1.02 - 0.484) = 134.5 \text{ KVAR}$$

ب) از طریق نمودار:

خط افقی 250KW بردارهای مربوط به ضریب توان ۰,۷ و ۰,۹ را در دو نقطه قطع می کند که فاصله آنها

برابر توان خازن است:  $Q_C = 135 \text{ KVAR}$

شکل موج های ولتاژ و جریان سلف در شکل اول و ولتاژ خازن در شکل موج دوم نشان داده شده.



شکل ۵-۶: شکل موج خازن

همانطور که مشخص است در زاویه ۰ الی ۹۰ درجه جریان سلف منفی و ولتاژ آن مثبت می باشد، در نتیجه توان در این محدوده منفی می باشد. و در خازن، برعکس سلف جریان در این محدوده مثبت و ولتاژ آن هم مثبت می باشد در نتیجه توان مثبت خواهد بود. بنابراین وقتی که خازن توان مثبت دارد و سلف توان منفی، برآیند این توان ها برابر صفر خواهد بود. توان راکتیو کل برابر با اختلاف توان های سلف و خازن می باشد.

### ۳-۵ موارد استعمال خازن ها

همان طور که می دانیم در حال حاضر اگر ضریب قدرت تاسیسات برقی ساختمان و یا کارخانه ها پایین باشد و بدان لحاظ شرکت برق منطقه جریمه مصرف راکتیو مطالبه می نماید ( در صورتیکه ضریب توان متوسط تاسیسات کمتر از ۸۵٪ باشد پرداخت جریمه مصرف راکتیو الزامی است). در هر یک از موارد زیر ممکن است با تهیه و نصب خازن از مزایای آن بهره مند شد:

(۱) چنانچه تلفات در تاسیسات بعثت پایین بودن ضریب قدرت زیاد و قابل ملاحظه باشد بررسی و مقایسه بین سرمایه گذاری تهیه و نصب خازن و هزینه و خسارات مستمر و تلفات در تاسیسات ممکن است بسادگی نشان دهنده این واقعیت باشد که ظرف مدت نسبتاً کوتاهی ، هزینه های خازن گذاری جبران خواهد شد.

(۲) در صورتیکه قسمتی از تاسیسات بار اضافی داشته باشد و تقلیل آمپراژ و بار در آن قسمت مورد نظر باشد.

(۳) اگر لازم باشد ماشین آلات برقی جدیدی به شبکه ( تابلو- کابل- ترانسفورماتور) کارخانه که ظرفیت آن پر شود، اضافه شود.

- (۴) برای تنظیم و تثبیت ولتاژ شبکه انتقال و توزیع نیروبدین منظور اغلب خازن های فشار قوی بکار برده می شود و در بعضی از موارد از مجموعه خازنهای اتوماتیک فشار ضعیف نیز کاربرد دارد.
- (۵) در هنگام تهیه طرح انتقال و توزیع نیروی یک کارخانه جدید (با منظور داشتن ضریب قدرت مناسب طرح اقتصادی تری تهیه می گردد).
- (۶) ایجاد تسهیلات در امر راه اندازی الکتروموتور های بزرگ مخصوصا که اگر در انتهای شبکه فشار ضعیفی نصب شده باشد.

#### ۴-۵ مزایای استفاده از بانک های خازنی و یا خازن ها

- در صورت استفاده از خازن در شبکه هزینه برق مصرفی کاهش می یابد.
- میتوان از شبکه جریان بیشتری را کشید.
- نگهداشتن ولتاژ در حد مطلوب

نکته:

تابلو های بانک های خازنی در اول خط نصب می شود.

#### ۵-۵ ابعاد خازن ها و نحوه قرارگیری و نصب آن در مدار

خازن ها در ابعاد 2.5kvar , 5kvar , 10kvar , 20kvar , 25kvar , 40kvar , 50kvar , ساخته اند و در بازار موجود می باشد. خازن های صنعتی عموما به شکل مثلث در مدار قرار می گیرند, نحوه نصب خازن ها با استفاده از کنتاکتور ها می باشد و یا میتوانند توسط عناصر الکترونیک قدرت وارد مدار شوند. کنتاکتورهایی که این خازن ها را وارد مدار می کنند از دستگاهی رگولاتور ضریب قدرت

فرمان می گیرد، به این ترتیب که دستگاه رگولاتور ضریب قدرت مدار را مورد سنجش قرار داده و ضمن مقایسه با مقدار تنظیم شده بر روی آن فرمان مناسب جهت بسته شدن کنتاکتورهای  $K1, K2, \dots$  را صادر می نماید. بدین ترتیب ضریب قدرت اصلاح می گردد.

## ۵-۶ طراحی خازن های شنت ثابت و سوئیچ شونده

خازن های جبران کننده توان دواته در شبکه ها و تأسیسات بزرگ بهتراست به دودسته ثابت و متغیر تقسیم شوند. خازن های ثابت که همیشه در مدار قرار دارند معمولاً به طریقی انتخاب می شوند که بتوانند ضریب توان شبکه را در بار کم در حدود  $0.9$  تا  $0.95$  ثابت نگهدارند. خازنهای متغیر خازنهائی هستند که متناسب با کم و زیاد شدن بار اندوکتیو در ضمن بار گرفتن از شبکه در مدار قرار می گیرند و یا از شبکه جدائی شوند. در صورتیکه تغییرات بار زیاد و بخصوص سریع نباشد و همیشه یک نفر متصدی در پست محلی که خازن های جبران کننده قرار دارند مراقبت ضریب توان شبکه به کمک  $\cos$  متر را به عهده بگیرد، می توان متناسب با تغییرات ضریب توان، خازن ها را دستی به شبکه و یا از مدار خارج کرد.

این طریقه را تنظیم دستی ضریب توان می گوئیم. در تأسیساتی که تغییرات ضریب توان آن دائمی و ناگهانی است، اغلب از تصحیح خودکار ضریب خودکار ضریب توان استفاده می شود. تابع هدف شامل تلفات در بار پیک، تلفات انرژی و هزینه خازن های شنت است در حالیکه محدودیت های بهره برداری نظیر پروفیل ولتاژ باس بارها و اندازه های واقعی موجود برای خازن شنت در مراحل حل مساله در نظر گرفته شده اند.

ابتدا بار مشترکین، همچنین منحنی فیدرها در فصول مختلف استخراج می شوند. بنابراین رفتار بار هر بخش می تواند بصورت واقعی تری پیش بینی گردد. با توجه به منحنی تداوم بار راکتیو فیدرهای مورد مطالعه، چگونگی بکارگیری خازن ها (با در نظر گرفتن هر دو نوع خازن های ثابت و سوئیچ شونده) شامل

اندازه و محل نصب و زمان کلید زنی، بگونه ای که منجر به بهبود بهره برداری سیستم می گردد، بدست می آید.

به منظور جبران توان راکتیو مورد نیاز در فیدر از هر دو نوع خازن های ثابت و سوئیچ شونده استفاده می شود. مقادیر خازن های ثابت با توجه به بار پایه و به منظور تزریق مستمر و دائمی توان راکتیو تعیین می گردند. در صورتیکه خازن های سوئیچ شونده در محل نصب شده اما با توجه به منحنی تداوم بار فیدر برای تزریق توان راکتیو در زمان های مورد نیاز با کلید زنی به مدار وارد می شوند و در مواقع عدم نیاز از مدار خارج می شوند.

#### ۷-۵ نحوه انتخاب خازن های ثابت

- (۱) منحنی تداوم بار توان راکتیو با توجه به منحنی بار نمونه ای مورد نظر، استخراج گردد.
- (۲) بر اساس مینیمم بار راکتیو مورد نیاز خازن های ثابت انتخاب می شوند.

#### ۸-۵ نحوه انتخاب خازن های سوئیچ شونده

- (۱) یک شاخص حساسیت برای انتخاب محل نصب هر خازن سوئیچ شونده اعمال می گردد.
- (۲) یک بانک خازنی اضافه شده و تغییرات هزینه در تابع  $\Delta cost$  و پریود زمانی سوئیچ شدن و در مدار بودن خازن متناظر با این  $\Delta cost$  محاسبه می شود. اگر هزینه ی برق کاهش یافته بود به مرحله بعد می رویم. در غیر این صورت فرآیند جبران سازی تکرار می شود.
- (۳) هزینه کل سیستم  $TOTAL\ COST(k)$  برای مجموعه خازنی که در مرحله دوم تعیین شده است، محاسبه می شود. اگر تغییر هزینه کل بزرگتر از صفر باشد، به مرحله اول برگشته و جبران سازی ادامه می یابد در غیر این صورت عملیات جبران سازی متوقف می شود و به این ترتیب اندازه، محل نصب و پریود سوئیچ شدن خازن های سوئیچ شونده تعیین می گردد.

## فصل ششم: انواع کمپنزیسیون ها

از کمپنزیسیون خازنی می توان به سه طریق زیر استفاده کرد:

– کمپنزیسیون انفرادی

– کمپنزیسیون گروهی

– کمپنزیسیون مرکزی

در ضمن ممکن است در یک مجتمع بزرگ صنعتی از هر سه نوع کمپنزیسیون مشترکا استفاده گردد.

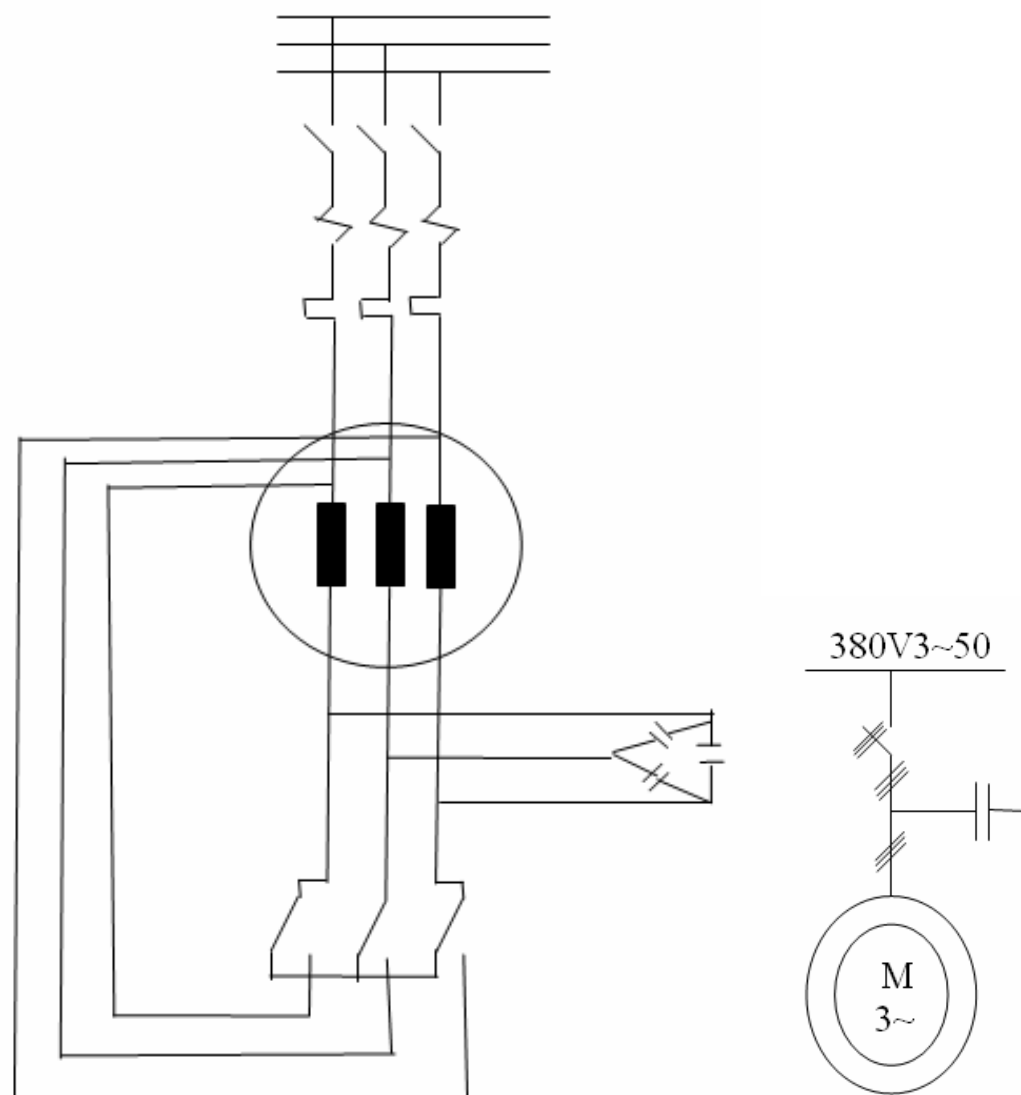
### ۶-۱ کمپنزیسیون انفرادی

در کمپنزیسیون انفرادی توان دو اته در همان محل که بوجود می آید جبران می شود. لذا خازن های جبران کننده توان دواته در همان محل با موتور یا ترانسفورماتور موازی می شوند. کمپنزیسیون انفرادی باعث می شود که حتی سیمهای نقل انرژی تا مصرف کننده نیز از جریان دواته خالی شوند و در نتیجه سیم های رابط مقاطع کمتر افت ولتاژ کمتر و بالاخره افت توان کمتری پیدا کنند.

در این طریق کمپنزیسیون به خاطر صرفه جویی در وسایل الکتریکی معمولا خازن و موتور هر دو با یک کلید قطع و وصل می شوند. (شکل زیر) و قطع کننده حرارتی (رله بار زیاد) کلید محافظ موتور برای جریان  $I_a = 1,1 \cdot I_n \cdot \cos$  تنظیم می گردد. در موتورهایی که دارای کلید ستاره مثلث می باشند خازن ها طبق شکل زیر بسته می شوند. اگر در تمام قسمتهای کارخانه از کمپنزیسیون انفرادی استفاده شود تمام معایب انتقال جریان متناوب یکجا از بین می رود.

ولی متاسفانه همیشه و در همه جا نمی توان از کمپنزیسیون انفرادی استفاده کرد زیرا اغلب تجمع آنها در یک محل و استفاده از واحدهای بزرگتر از نظر اقتصادی بیشتر مقرون به صرفه خواهد بود. در بیشتر مواقع نیز به خاطر نبودن محل مناسب و یا حرارت زیاد دستگاه ها نمی توان خازن را در همان محل نصب کرد.

مورد استعمال کمپنژاسیون انفرادی به خصوص در موتورهایی است که مدت زیادی از آنها بار گرفته می شود و یا در کوره های اندوکسیونی و ترانسفورماتورهای جوشکاری و ترانسفورماتور معمولی و لامپ های نئون و فلورسنت می باشد.



شکل ۱-۶: نمونه ای از کمپنژاسیون انفرادی



جدول ۲-۶: توان دواته لازم جهت تصحیح ضریب توان از

هر مقدار به مقدار مورد نظر را در توان واته یک کیلو وات

| ضریب توان<br>موجود<br>Cos | Cos ضریب توان مورد نظر |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------------------|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                           | 0,7                    | 0,75 | 0,80 | 0,82 | 0,84 | 0,86 | 0,88 | 0,90 | 0,92 | 0,94 | 0,96 | 0,98 | 1,0  |
| 0,20                      | 3,88                   | 4,02 | 4,15 | 4,20 | 4,26 | 4,31 | 4,36 | 4,42 | 4,48 | 4,54 | 4,61 | 4,70 | 4,90 |
| 0,25                      | 2,86                   | 2,99 | 3,13 | 3,18 | 3,23 | 3,28 | 3,33 | 3,39 | 3,45 | 3,51 | 3,58 | 3,67 | 3,88 |
| 0,30                      | 2,16                   | 2,30 | 2,42 | 2,48 | 2,53 | 2,59 | 2,65 | 2,70 | 2,76 | 2,82 | 2,89 | 2,98 | 3,18 |
| 0,35                      | 1,66                   | 1,80 | 1,03 | 1,98 | 2,03 | 2,08 | 2,14 | 2,19 | 2,25 | 2,31 | 2,38 | 2,47 | 2,68 |
| 0,40                      | 1,27                   | 1,41 | 1,54 | 1,60 | 1,65 | 1,70 | 1,76 | 1,81 | 1,87 | 1,93 | 2,00 | 2,09 | 2,20 |
| 0,45                      | 0,67                   | 1,11 | 1,24 | 1,20 | 1,34 | 1,40 | 1,45 | 1,50 | 1,56 | 1,62 | 1,69 | 1,78 | 1,99 |
| 0,50                      | 0,71                   | 0,85 | 0,98 | 1,04 | 1,09 | 1,14 | 1,20 | 1,25 | 1,31 | 1,37 | 1,44 | 1,53 | 1,73 |
| 0,52                      | 0,62                   | 0,76 | 0,89 | 0,95 | 1,00 | 1,05 | 1,11 | 1,16 | 1,22 | 1,28 | 1,35 | 1,44 | 1,64 |
| 0,54                      | 0,54                   | 0,68 | 0,81 | 0,86 | 0,92 | 0,97 | 1,02 | 1,08 | 1,14 | 1,20 | 1,27 | 1,36 | 1,56 |
| 0,56                      | 0,46                   | 0,60 | 0,73 | 0,78 | 0,84 | 0,89 | 0,94 | 1,00 | 1,05 | 1,12 | 1,19 | 1,28 | 1,48 |
| 0,58                      | 0,39                   | 0,62 | 0,66 | 0,71 | 0,76 | 0,81 | 0,37 | 0,92 | 0,98 | 1,04 | 1,11 | 1,20 | 1,41 |
| 0,60                      | 0,31                   | 0,45 | 0,58 | 0,64 | 0,69 | 0,74 | 0,80 | 0,85 | 0,91 | 0,97 | 0,04 | 1,33 | 1,33 |
| 0,62                      | 0,25                   | 0,39 | 0,52 | 0,57 | 0,62 | 0,67 | 0,73 | 0,78 | 0,84 | 0,90 | 0,97 | 1,06 | 1,27 |
| 0,64                      | 0,18                   | 0,32 | 0,45 | 0,51 | 0,56 | 0,61 | 0,67 | 0,72 | 0,78 | 0,84 | 0,91 | 1,00 | 1,20 |
| 0,66                      | 0,12                   | 0,26 | 0,30 | 0,45 | 0,49 | 0,55 | 0,60 | 0,66 | 0,71 | 0,78 | 0,85 | 0,94 | 1,14 |
| 0,68                      | 0,06                   | 0,20 | 0,33 | 0,38 | 0,43 | 0,49 | 0,54 | 0,60 | 0,65 | 0,72 | 0,79 | 0,88 | 1,08 |
| 0,70                      |                        | 0,14 | 0,27 | 0,33 | 0,38 | 0,43 | 0,49 | 0,54 | 0,60 | 0,66 | 0,73 | 0,82 | 1,02 |
| 0,72                      |                        | 0,08 | 0,22 | 0,27 | 0,32 | 0,37 | 0,43 | 0,48 | 0,54 | 0,60 | 0,67 | 0,76 | 0,97 |
| 0,74                      |                        | 0,03 | 0,16 | 0,21 | 0,26 | 0,32 | 0,37 | 0,43 | 0,48 | 0,55 | 0,62 | 0,71 | 0,90 |
| 0,76                      |                        |      | 0,11 | 0,16 | 0,21 | 0,26 | 0,32 | 0,37 | 0,43 | 0,50 | 0,56 | 0,65 | 0,86 |
| 0,78                      |                        |      | 0,05 | 0,11 | 0,16 | 0,21 | 0,27 | 0,32 | 0,38 | 0,44 | 0,51 | 0,60 | 0,80 |
| 0,80                      |                        |      |      | 0,05 | 0,10 | 0,16 | 0,21 | 0,27 | 0,33 | 0,38 | 0,46 | 0,55 | 0,75 |
| 0,82                      |                        |      |      |      | 0,05 | 0,10 | 0,16 | 0,22 | 0,27 | 0,33 | 0,49 | 0,48 | 0,70 |
| 0,84                      |                        |      |      |      |      | 0,05 | 0,11 | 0,16 | 0,22 | 0,28 | 0,35 | 0,44 | 0,65 |
| 0,86                      |                        |      |      |      |      |      | 0,06 | 0,11 | 0,17 | 0,23 | 0,30 | 0,39 | 0,59 |
| 0,88                      |                        |      |      |      |      |      |      | 0,06 | 0,11 | 0,17 | 0,26 | 0,33 | 0,51 |
| 0,90                      |                        |      |      |      |      |      |      |      | 0,06 | 0,12 | 0,10 | 0,28 | 0,48 |
| 0,92                      |                        |      |      |      |      |      |      |      |      | 0,06 | 0,13 | 0,22 | 0,43 |
| 0,94                      |                        |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 0,07 | 0,16 | 0,36 |

مثال ۱: یک موتور آسنکرون بار تور قفسه ای به قدرت 40 kw و عدد دور

$$(tg \ 1=0,59) \cos \ 1=0,86 \ n_s = 100 \ u/min$$

0,96 (2= 0,29) برسد. اختلاف سطح کار موتور در اتصال مثلث برابر با ۳۸۰ است.

حل :

$$O = p(tg \ 1 - tg \ 2) = 40(0,59-0,29)=12 \ KVar$$

و به کمک جدول فوق :

$$O = 40.0,30=12 \ KVar$$

لذا یک دستگاه خازن سه فاز به قدرت 12 KAVr و اختلاف سطح مثلث ۳۸۰ ولت انتخاب

می گردد.(شکل زیر) که دارای شش سر سیم تا بتوان از اتصال ستاره مثلث استفاده کرد.

البته می توان به جای خازن های با اتصال متغیر از سه خازن به ظرفیت هر یک ۴ KVar و برای اختلاف

سطح 380v استفاده کرد و خازنها را به طور مستقیم بین دو سر هر یک از پیچهای موتور وصل کرد.

مثال ۲ :

مشخصات یک موتور سه فاز به شرح زیر است :

$$22 \ KW \quad 220/380 \ V \quad 78/45 \ A \quad \cos = 0,84$$

این موتور باید تا  $\cos = 0,95$  کمپانزه شود مطلوبست ظرفیت خازنها در اتصال مثلث

حل :

۱- از طریق توانها :

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 45 \cdot 0,84 \cdot 10^{-3} = 24,9 \text{ KW}$$

$$\cos_1 = 0,84 \quad \text{tg}_1 = 0,646$$

$$\cos_2 = 0,95 \quad \text{tg}_2 = 0,3288$$

$$Q_c = p(\text{tg}_1 - \text{tg}_2) = 24,9 (0,646 - 0,3288) = 7,9 \text{ KVAr}$$

۲- از طریق جریانهها :

$$I_w = I \cdot \cos_1 = 45 \cdot 0,84 = 37,8 \text{ A}$$

$$I_c = I_w \cdot (\text{tg}_1 - \text{tg}_2) = 37,8 (0,646 - 0,3288) = 11,95 \text{ A}$$

سه خازن به ظرفیت هر کدام ۵۸ میکروفا راد به صورت مثلث بسته می شوند.

مثال ۳ .

یک ترانسفورماتور سه فاز به قدرت ۷۵ KVA درز کوندر دارای ولتاژ ۵۰۰ ولت است و در  $\cos=0,7$  با بار کامل کار می کند از آنجا که به توان بیشتری نیاز است باید بررسی شود در صورتی که ضریب توان برابر یک شود ( $\cos=1$ ) چه مقدار دیگر توان واته آزاد می شود و ظرفیت خازنها برای چنین کمپنزاسیونی چه قدر است.

$$P = p_s \cdot \cos = 75 \cdot 0,7 = 52,5 \text{ KW}$$

توان اضافه شده در  $\cos = 1$  برابر می شود با :

$$P=75-52,5 = 22,5 \text{ KW}$$

$$\cos = 0,7 \quad \text{tg} = 1,02$$

$$Q=pc=p.\text{tg} = 52,5.1,02=53,5 \text{ KVAr}$$

مثال ۴ :

پلاک یک موتور یکفازی بشرح زیر است.

$$1,4 \text{ KW} \quad 220 \text{ V} \quad 12 \text{ A} \quad \cos = 0,78$$

این موتور باید تا  $\cos = 0,95$  کمپانزه شود مطلوب است ظرفیت خازن :

$$P=u.I.\cos = 220.12.0,78.10^{-3}=2,06 \text{ KW}$$

$$\cos_1=0,78 \quad \text{tg}_1=0,8026$$

$$\cos_2=0,95 \quad \text{tg}_2=0,3288$$

$$Q_c = p(\text{tg}_1 - \text{tg}_2) = 2,06(0,8026 - 0,3288) = 0,976 \text{ KVAr}$$

## ۶-۲ کمپنژاسیون گروهی

شکل زیر کمپنژاسیون گروهی را برای هشت موتور نشان می دهد. این روش برای تاسیسات و کارخانجاتی که دارای چندین موتور کوچک هستند ولی همه آنها با هم کار نمی کنند مناسب می باشد. در این روش خازنها با کلید محافظ مخصوصی به شین تابلوی اصلی وصل می شوند و قدرت راکتیو آن برای تعداد موتور هایی که دایما با هم کار می کنند محاسبه می شود. به طور مثال اگر فقط چهار موتور به طور دایم کار می کنند خازنها نیز برای قدرت اندوکتیو چهار موتور محاسبه می شوند و به محض اینکه دو موتور به کار افتاد خازنها دستی و یا به طور خودکار وارد عمل می شوند.

## ۶-۳ کمپنژاسیون مرکزی

در این روش یک سری خازن در محل مخصوصی نصب می شوند و بر حسب احتیاج تعدادی از آنها به شکل اصلی و یا در تابلو به شین اصلی وصل می گردند. در کمپنژاسیون مرکزی معمولا خازنها دارای شین و تابلوی جداگانه هستند و توسط کلید قدرت مخصوصی به شین اصلی کارخانه وصل می گردند. در این روش تعدادی از خازنها به طور دایم و همیشه به شین اصلی وصل هستند و تعداد دیگری متناسب با بار اکتیو به طور خودکار به شبکه اضافه می گردند. شکل انواع کمپنژاسیون ها را به طور شماتیک با مسیر جریانداوته آنها نشان می دهد.

## ۶-۴ کمپنژاسیون در کارخانجات

برای بهبود بخشیدن به وضع ضریب توان در (COS) کارخانجات همیشه و تقریبا بدون استثنا از خازن استفاده می شود. کارخانجات عموما دارای تاسیسات فشار ضعیف هستند. حتی کارخانجات بزرگ صنعتی

نیز که دارای شبکه فشار متوسط (اغلب ۶ هزار ولت برای موتورهای سنگین و بزرگ) می باشند نیز دارای شبکه وسیع و گسترده فشار ضعیف هستند. انرژی این کارخانجات بزرگ اغلب توسط یک یا چند ترانسفورماتوری که در اختیار دارند تامین می شود. لذا کافی است برای بهبود  $\cos$  جبران کننده ها در طرف فشار قوی و به طور مرکزی و یک جا نصب شوند (کمپنزاسیون مرکزی) ولی با توجه به اینکه در این روش رساناهای انتقال انرژی بعد از خازنها و کمپنراتورها از بار و جریان اندکتیو خالی نمی شوند (شکل زیر) لذا از مزایای دیگر کمپنزاسیون که عبارت بود از کم شدن قدرت ترانسفورماتور و کم شدن مقاطع سیم های انتقال انرژی و توزیع و جلوگیری از آفت ولتاژها و تلفات حرارتی بی مورد باردواته بهره گرفته نشده است. در ثانی کمپنزاسیون مرکزی در طرف فشار قوی احتیاج به کلیدهای فشار قوی بزرگ و گران قیمت دارد. در ثالث خود خازن ها نیز باید مقاوم در مقابل اختلاف سطح زیاد طرف پریمر ترانسفورماتور باشند. از این جهت در کارخانجات بزرگ که دارای شبکه فشار قوی متوسط کارگاهی (داخلی) هستند گاه از کمپنزاسیون مرکزی در طرف فشار قوی این شبکه محلی استفاده می شود و گاه موتورهای فشار قوی به طور انفرادی کمپانزه می شوند و بقیه دستگاهها که با فشار ضعیف کار می کنند بر حسب نوع کار آنها از کمپانسیون انفرادی گروهی و یا مرکزی طرف فشار ضعیف بهره می گیرند.

### مثال ۱:

یک کارخانه سازنده لوازم خانگی دارای مصرف ماهیانه متوسطی برابر با 72000 KWh می باشد. به طوریکه 42000 KWh آن ساعت ۶ تا ۲۲ و ۳۰۰۰۰ کیلو وات ساعت آن از ساعت ۲۲ تا ۶ صبح مصرف می شود. توسط کنتورواته و دواته کارخانه ماکزیمم بار در مدت نیم ساعت برابر  $p=385 \text{ KW}$  تعیین شده است و حد وسط ضریب توان روزانه کارخانه برابر با  $\cos = 0,65$  می باشد. برق آکتیو این کارخانه باید با استفاده از خازن کمپانزه شود. به طوریکه ضریب توان در طرف فشار قوی به  $\cos = 0,9$  برسد در این کارخانه یک پست ترانسفورماتور 20KV/0,4 KV موجود است که در آن یک ترانسفورماتور 400KVA و

یک ترانسفورماتور 250 KVA نصب گردیده است. کمپنژاسیون باید در طرف فشار ضعیف و به شکل زیر انجام گیرد.

الف- دو موتور بزرگ کارخانه به قدرت هر یک 25 KW و ظریب توان در بار نامی  $\cos = 0,86$  به طور انفرادی کمپانزه شوند.

ب - بقیه مصرف کننده ها به طور مرکزی و در طرف فشار ضعیف کمپانزه شوند .

پ- ترانسفورماتورها در طرف فشار ضعیف و بطور جداگانه کمپانزه گردند.

برق فشار ضعیف کارخانه 380V و چهار سیمه است .

حل :

۱- محاسبه توان ظاهری و جریان در حالت کمپانزه نشده

$$P=385 \text{ KW} \quad \cos \varphi_1=0,65 \quad \text{tg } \varphi_1=1,17$$

۲- محاسبه توان ظاهری و جریان در حالت کمپانزه شده :

$$P=385 \text{ KW} \quad \cos \varphi_2= 0,90 \quad \text{tg } \varphi_2= 0,484$$

و چنانچه دیده می شود شدت جریان کل در حالت کمپانزه شده در حدود 27/5% کم می شود و در

اینصورت تلفات

حرارتی تقریباً نصف می شود .

۳- توان خازنهای کمپانزه کننده :

توان لازم در طرف فشار ضعیف کلا برابر است با :

$$Q_c = p(tg \alpha_1 - tg \alpha_2) = 385(1,17 - 0,484) = 264 \text{ KVAr}$$

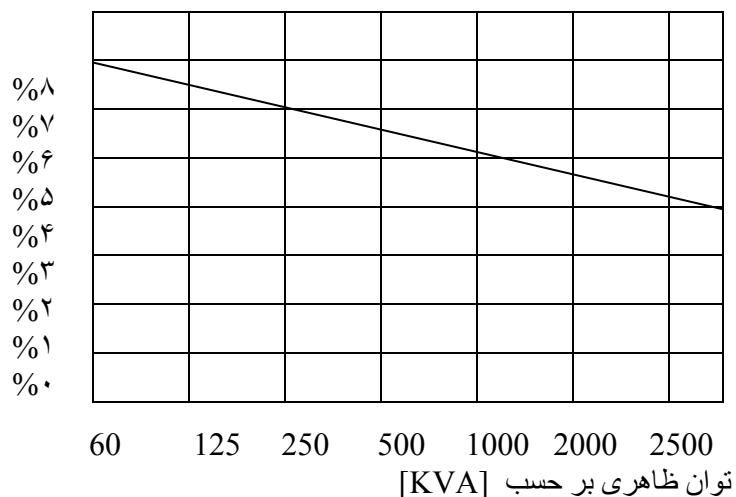
از این مقدار  $Q_c = 0,4.25.2 = 20 \text{ KVAr}$  برای موتورهای سنگین ۲۵ کیلو واتی مصرف می شود .  
توان خازن تقریباً برابر است با ۴۰٪ توان نامی موتور ) و بقیه آن  $Q_c = 264 - 20 = 244 \text{ KVAr}$  باید در طرف فشار ضعیف و به طور مرکزی کمپانزه شود. لذا طبق استاندارد از ۱۲ خازن ۲۰ KVAr استفاده می شود .  $(12.20 = 240 \text{ KVAr})$  که ۸ خازن آن بر حسب احتیاج یکی پس از دیگری و چهار خازن بقیه بطور ثابت و دائمی در شبکه قرار می گیرند.

۴- کمپنزاسیون توان دواته ترانسفورماتورها

مشخصات ترانسفورماتور ۴۰۰ KVA :

$$S = 400 \text{ KVA} \quad U_k = 6\% \quad U_r = 1,85\%$$

وازرروی دیاگرام شکل ۲-۶ .  $Q_p = 0,046$  بدست می آید.



شکل ۲-۶: دیاگرام توان ظاهری

$$U_s = \sqrt{U_k^2 - U_r^2} = \sqrt{6^2 - 1.85^2}$$

$$Q_g = U_s \cdot S / (100) + Q_P = 5.7 / (100) \cdot 400 + 0.046 \cdot 400$$

$$Q_g = 22.8 \text{ KVar} + 18.4 \text{ KVar} = 41.2 \text{ KVar}$$

محاسبات نشان می دهد که توان دواته ترانسفورماتورها فقط کمی بیشتر از ۱۰٪ توان ظاهری آنها است . لذا همیشه می توان برای کمپنزاسیون توان دواته ترانسفورماتورها از خازنی با قدرت ۱۰٪ توان ظاهری ترانسفورماتورها استفاده کرد.

چون در این حالت نیز باید از خازنها ی استاندارد شده استفاده کرد. لذا برای کمپنزاسیون ترانسفورماتور 250 KVar از یک خازن 20 KVar و برای ترانسفورماتور 400KVA از دو خازن 20 KVar استفاده می شود . خازنهای کمپنزاسیون ترانسفورماتور معمولا به طور ثابت و دایم با ترانسفورماتور به طور موازی نصب و کلا از یک کلید استفاده می شود.

## مثال ۲:

یک کارخانه لاستیک سازی کلا دارای ۱۶ موتور آسنکرون است به قدرت کل 216/3 KW اختلاف سطح شبکه چهار سیمه کارخانه ۳۸۰/۲۲۰ ولت است. در جدول زیر مشخصات موتور ها که عبارتند از توان نامی عده دور و ضریب توان نامی و راندمان نامی و بار موتورها داده شده است. بقیه مشخصات از طریق محاسبه بدست آمده است. مثلا در ستون نهم توان واته ای که هر یک از موتورها از شبکه می کشند بدین طریق بدست آمده است :

## ردیف اول:

و در ستون دهم : توان دواته ای که از شبکه کشیده می شود برابر است با حاصلضرب توان واته در  $tg$ .  
 برای اینکه ضریب توان میانه کارخانه بدست آید باید  $tg_{m1}$  محاسبه شود که برابر است با : برای  $tg_{m1} = 0,81$  ضریب توان متوسط کارخانه برابر  $\cos_{m1} = 0,775$  بدست می آید .  
 البته می توان  $\cos = 0,775$  را یک ضریب توان خوب برای این کارخانه بحساب آورد. حتی اگر امکان این باشد که موتورهای ۷۵۰ دور با موتورهای ۱۰۰۰ دور در دقیقه تعویض گردد ضریب توان متوسط کارخانه حتی به  $\cos_{m1} = 0,82$  نیز خواهد رسید. اما اگر لازم باشد که ضریب توان کارخانه از ۰/۷۷۵ به ۰/۹ برسد باید تفاوت این مقدار توسط خازن جبران شود. در  $\cos_{m2} = 0,9$  که مورد در خواست است  $tg_{m2} = 0,484$  می باشد. در نتیجه کل توان راکتیو برابر می شود

با :

$$N_b = N_w \cdot tg_{m2} = 200,1 \cdot 0,484 = 97 \text{ KVAr}$$

و توانی که باید توسط خازن جبران شود برابر است با :

$$Q_c = N_{b1} = N_{b2} = N_w (tg_{m1} - tg_{m2})$$

$$Q_c = 161,9 - 97 = 64,9 \text{ KVAr}$$

لذا خازنهای لازم باید دارای توانی برابر ۶۵ یا ۷۰ KVAr باشند. مثلاً می توان از یک خازن ۳۰ KVAr و یک خازن ۴۰ KVAr و یا (۴۰+۲۵) KVAr و یا ۲× ۲۰ KVAr و یک ۲۵ KVAr استفاده کرد .  
 در ضمن می توان دو خازن را بدین طریق در مدار قرار داد که یک خازن ۴۰ KVAr با موتور ۸۵ کیلو واتی وصل می شود ( توسط یک کلید موتوری با رله جریان زیاد و بار زیاد هر دو حفاظت و قطع و وصل می شوند ) و یک خازن ۲۵ KVAr و یا ۳۰ KVAr را با موتور ۵۰ کیلو واتی موازی کرد این حالت که توضیح

داده شد ارزانهترین و مناسب ترین راه حل برای بهبود بخشیدن به ضریب توان کارخانه است و احتیاج به رگولاتورها و وسایل دیگری برای تنظیم ضریب توان کارخانه هم ندارد .

مثال ۳:

یک کارخانه نساجی رویهم دارای ۶۵ موتور با قدرت کل 118/4 KW می باشد . مشخصات موتورها در جدول زیر داده شده است:

در ستون های ۱۰ و ۹ مانند مثال قبل توان ها ی واته و دواته ای که موتورها از شبکه می گیرند محاسبه شده است .

در نتیجه : و لذا کارخانه دارای ضریب توان متوسط  $\cos \phi_1 = 0,7$  می باشد چنانچه دیده می شود ضریب توان این کارخانه آن چندان خوب نیست و اگر بتوانیم توسط خازن ضریب توان را به ۰/۹ برسانیم نیروگاه فقط توان دواته ای برابر با :

$$\cos \phi_2 = 0,9 \quad \tan \phi_2 = 0,484$$

$$N_{b2} = N_w \cdot \tan \phi_2 = 119,1 \cdot 0,484 = 57,6 \text{ KVAR}$$

به کارخانه می دهد و بقیه آن معادل :

$$Q_c = N_w \cdot \tan \phi_1 - N_w \cdot \tan \phi_2 = 122,1 - 57,6 = 64,5 \text{ KVAR}$$

توسط خود خازنها جبران می شود و در صورتی که از خازنهای نرم شده استفاده کنیم می توان ۶۵ تا ۷۰ کیلو وار را با خازن جبران کرد. در این صورت بهتر است که از یک خازن 40 KVAR و یک خازن 30 KVAR استفاده شود.

چون در این کارخانه موتورهای بزرگی وجود ندارد که یکی از خازنها را با آن موازی کنیم لذا خازنها باید با کلید محافظ مخصوص به شین و یا نزدیک به آن دسته از موتورها که زیادتیر در خراب کردن ضریب توان موثر هستند وصل گردند. خازنهای ۳۰ تا ۳۰ کیلو وار تقریباً ۶۰ تا ۸۰ کیلو گرم وزن دارند و می توان آنها را به دیوار نصب کرد تا از برخورد احتمالی و یا تماس با آنها جلوگیری شود. در ضمن چون خازنها خیلی نسبت به گرما حساس می باشند باید در هر کجا که نصب می شوند دارای هوای خنک و یا وسیله تهویه مطبوع باشند. در کمپنژاسیون کارخانجات برای اینکه از هر گونه اشتباهی جلوگیری شود بهتر است منحنی بارواته و دواته روزانه و ماهیانه و حتی سالیانه کارخانه رسم گردد.

#### ۵-۶ طرز محاسبه ضریب توان تاسیسات (تعیین ضریب توان $\cos \phi$ )

الف - توسط ضریب توان شنج :

به کمک دستگاه های مخصوص ضریب قدرت شنج (کسینوس فی متر) به سادگی ضریب قدرت در هر نقطه از تاسیسات مقدور می باشد.

ب- توسط کنتوراکتیو و راکتیو :

چنانچه تجهیزات مجهز به کنتور اکتیو و راکتیو باشد از روی قبض تشخیص ، با در دست داشتن میزان مصرف ماهانه اکتیو و راکتیو مشخص می شود.

(۱) با استفاده از مصرف ماهیانه :

مصرف کننده های بزرگ و متوسط حتما دارای کنتورواته و دواته هستند و می توان توسط مصرف ماهیانه که این کنتورها معرف آنها هستند ضریب توان متوسط ( $\cos \phi$ ) را بطریق زیر بدست آورد:

بطور مثال مصرف وات و دواته یک کارخانه نخ ریزی در دیماه طبق شماره انداز کنتورها برابر است با :

توان راکتیو مصرفی KVAr 119,100

توان اکتیو مصرفی KWh 87,300

$$\text{و در نتیجه } \text{tgO} = 119.1 / (87.3) = 1.367$$

$$\text{و } \cos = 0.59$$

چنانچه تجهیزات مجهز به کنتور اکتیو و راکتیو باشد از روی قبض تشخیص با در دست داشتن میزان مصرف ماهانه اکتیو و راکتیو از فرمول زیر ، می توان ضریب قدرت ماهانه بدست آورد.

$$(۶-۱) \quad \text{ضریب قدرت متوسط ماهانه} = 1 \div \sqrt{1 + \left( \frac{\text{مصرف اکتیو ماهانه}}{\text{مصرف راکتیو ماهانه}} \right)^2}$$

نکته: فیش های برق ۶ دوره را آورده و ضریب توان هر کدام را توسط فرمول بدست آورده و بانک های خازنی را بر اساس کوچکترین ضریب توان محاسبه می کنیم.

(۲) - با استفاده از سنجش عده دور کنتورها :

در این روش عده دور کنتورها در یک زمان معین شمارش می شوند و سپس با داشتن عدد ثابت کنتور (عده دور بازار یک کیلو وات ساعت یا یک کیلو وار ساعت ) ضریب توان متوسط تاسیسات به طریق زیر محاسبه می گردد.

$$(۶-۲) \quad \text{tgO} = n_b \cdot C_w \cdot t_w / (n_w \cdot C_b \cdot t_b)$$

در این رابطه  $n_b$  عده دور کنتور دواته در زمان  $t_b$

$n_w$  عده دور کنتورواته در زمان  $t_w$

$C_b$  عدد ثابت کنتوردواته

$C_w$  عدد ثابت کنتورواته می باشد.

به طور مثال فرض می کنیم مشخصات کنتورواته ودواته تاسیساتی بشرح زیر باشد.

مشخصات کنتورواته :

$$3 \times 5 \text{ A} \quad 6000/100 \text{ v} \quad C_w = 45$$

مشخصات کنتورواته :

$$3 \times 5 \text{ A} \quad 6000/100 \text{ v} \quad C_b = 55$$

|              |            |       |              |                   |
|--------------|------------|-------|--------------|-------------------|
| دور می زند و | $n_w = 10$ | ثانیه | $t_w = 61,5$ | کنتور واته در مدت |
| دور زده است  | $n_b = 20$ | ثانیه | $t_b = 58,2$ | کنتور واته در مدت |

لذا :

$$tgO = n_b \cdot C_w \cdot t_w / (n_w \cdot C_b \cdot t_b) = 20 \cdot 45 \cdot 61.5 / (10 \cdot 55 \cdot 58.2) = 1.73$$

واین آزمایش بهتر است چند بار تکرار شود و حد وسط گرفته شود.

## (۳) توسط کنتور اکتیو:

چنانچه تاسیسات فقط دارای یک کنتور اکتیو باشد طبق روش زیر می توان ضریب توان را تعیین کرد. فرض می کنیم ضریب ثابت کنتور (k) تعداد گردش دیسک کنتور در مدت t ثانیه N دور باشد. جریان و ولتاژ در مدت مذکور ثابت و به ترتیب I (آمپر) و V (ولت) است و در این صورت به کمک فرمول زیر ضریب قدرت بدست می آید.

$$\cos \theta = (60000 \times N) \div \sqrt{3 \times k \times t \times i \times v} \quad (۳-۶)$$

مثال:

کنتوری در مدت ۱۰ ثانیه ۵۰ دور می زند ضریب ثابت کنتور که در طرف فشار ضعیف است  $k=600 \div 40$  است جریانی مصرفی در این مدت روی هر فاز  $51^A$  و ولتاژ  $380^V$  می باشد ضریب توان را مشخص کنید.

$$\cos \theta = (60000 \times 50) \div \sqrt{3 \times 15 \times 10 \times 51 \times 380} = \%60$$

K را به این صورت حساب می کنیم که نسبت گوران مثلا ۵/۱۰۰ بود عدد ۲۰ بدست می آید و هر چقدر کنتور توان kw نشان داد در نسبت ترانس گوران ها ضرب می کنیم و آن توان مصرفی می باشد.

## (۴) توسط کنتور اکتیو:

کارگاه ها و مصرف کننده های کوچک اغلب فاقد کنتور راکتیو می باشند ولی چون در هر حال هر تاسیساتی دارای کنتور راکتیو است، می توان به کمک سنجش جریان های  $I_R$  و  $I_T$  و اختلاف سطح های  $U_{TS}$  و  $U_{RS}$  ضریب توان را به طریق ساده زیر حساب کرد.

$$\cos \theta_m = N_w / (\sqrt{3} \cdot U_m \cdot I_m) \quad (۴-۶)$$

در این رابطه  $I_m$  حد وسط جریان و  $U_m$  حد وسط اختلاف سطح شبکه می باشد. توان داته  $N_w$  به کمک عده دور کنتور در زمان معین و مشخصی تعیین می گردد:

$$N_w = n \cdot 3600 \cdot 100 / (C \cdot t) \quad (۵-۶)$$

بطور مثال اگر عدد ثابت کنتور  $C = 45$  باشد (کنتور به ازای یک کیلو وات ساعت ۴۵ دور می زند) و در زمان  $t = 61.5$  ثانیه  $N_w = 40$  دور زده باشد و اختلاف سطح متوسط شبکه  $U_m = 382 \text{ V}$  و  $I_m = 114 \text{ A}$  باشد

در نتیجه :

$$N_w = 40 \cdot 3600 \cdot 1000 / (45 \cdot 61.5) = 52000 \text{ W}$$

و ضریب توان متوسط پشت کنتور برابر است با :

$$\cos \theta_m = N_w / (\sqrt{3} \cdot U_m \cdot I_m) = 52000 / (\sqrt{3} \cdot 382 \cdot 114) = 0.69$$

## ۶-۶ کمپنژاسیون شبکه انتقال انرژی

جبران توان دواته فقط در قسمت مصرف کننده و در طرف فشار ضعیف کافی نمی باشد. زیرا قسمت اعظم توان دواته مربوط به ترانسفورماتورها و یک قسمتی از آن مربوط به سیم های نقل انرژی می باشد. بطور مثال اگر ضریب توان متوسط در سمت فشار ضعیف ۰,۸۵ باشد، این ضریب توان در نیروگاه به ۰,۷۵ کاهش می یابد. برای این منظور باید توان دواته موجود در خطوط انتقال را بنحوی جبران نمود.

خازن هایی که به این منظور مورد استفاده قرار می گیرند به دوزیر دسته تقسیم بندی می شوند:

- خازن سری

- خازن موازی

#### ۱-۶-۶ استفاده از خازن سری

برای کوچک نگهداشتن افت اختلاف سطح خطوط انتقال انرژی امروزه بیشتر از خازنهای سری استفاده می شود. این خازنها و یا به طور کلی این روش تصحیح ولتاژ بخصوص برای شبکه های با تغییرات شدید و سریع بار مثل شبکه هائی که تغذیه کارخانجات با مصرف زیاد جوشکاری و یا کوره های ذوب فلزات و از این قبیل را بعده دارند بسیار مناسب است.

چنانچه دیده می شود  $U$  افت ولتاژ طولی خط برابر است با :

این رابطه نشان می دهد که افت اختلاف سطح روی خط را می توان به طرق مختلف زیر کوچک کرد.  
(۱) کم کردن جریان  $I$  توسط بالا بردن اختلاف سطح  $U$ . این عمل موجب مخارج زیاد برای تعویض ایزولاسیون خط نسبت تبدیل ترانسفورماتورهای افزایشنده ابتدای خط و کاهنده انتهای خط می شود و بدین جهت بسیار گران تمام خواهد شد.

(۲) کوچک کردن مقاومت سیم ( $I$ ) در این صورت باید مقاطع سیم را بزرگتر کرد. (سیم دو رشته ای یا چند رشته ای) و یا اینکه اصولاً سیم های نقل انرژی را بکلی تعویض نمود. در هر حال اثر این روش محدود است زیرا حتی در مقاطع خیلی بزرگ سیم هم افت اختلاف سطح در اثر جریان اندوکتیو روی مقاومت اندوکتیو سیم در خط باقی خواهد ماند.

(۳) کم کردن جریان اندوکتیو توسط خازنهای موازی این خازنها در بار کم شبکه باید از مدار خارج شوند تا از ازدیاد غیر مجاز ولتاژ جلوگیری شود.

(۴) و بالاخره می توان مقاومت اندوکتیو خط را با استفاده از خازن سری در خط کوچک کرد. در این حالت ولتاژ متناسب با بار خط خود بخود تنظیم می شود و افت ولتاژ اهمی خط را نیز می توان با بزرگتر انتخاب کردن مقاوت کاپاسیتیو خازنهای سری نسبت به مقاومت اندوکتیو خط جبران کرد.

(۵) جبران افت ولتاژ خط توسط نصب اتو ترانسفورماتور در انتهای خط (مراجعه شود به کتاب تولید و بهره برداری) هزینه این روش شاید برابر روش خازن سری باشد ولی اتو ترانسفورماتور بر عکس خازن سری یک مصرف کننده قدرت اندوکتیو است و مصرف داخلی آن ( تلفات آن ) خیلی بزرگتر از تلفات خازن می باشد. در ضمن خازن سری افت ولتاژ را به طور یکنواخت و خطی و بدون تاخیر در زمان جبران می کند در صورتیکه اتو ترانسفورماتورها و یا حتی خازنهای موازی قابل تنظیم فقط تغییرات آهسته بار را آن هم به طور درجه ای و پله ای ( غیر خطی ) و با تاخیر زمانی می توانند تنظیم کنند.

#### روش استفاده از خازن سری

اگر طبق شکل ۲۸ خازنی با مقاومت کاپاسیتیو  $X_c$  با اندوکتیویته خط  $X_l$  به طور سری قرار گیرد رابطه (۶-۶) به صورت زیر در می آید.

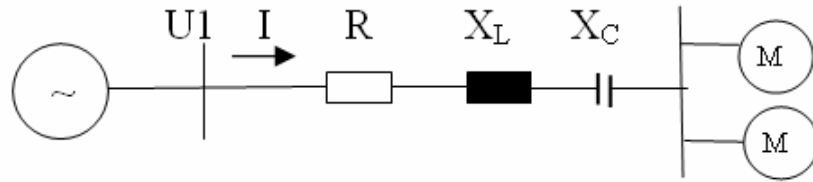
$$\Delta U = I \cdot r \cdot \cos O + I (X_l - X_c) \cdot \sin O \quad (۶-۶)$$

و یا

$$\Delta U = I \cdot r \cdot \cos O + I (1 + (X_l - X_c) \cdot \operatorname{tg} O / r) \quad (۶-۷)$$

در این رابطه افت ولتاژ  $\Delta U$  صفر خواهد شد، در صورتیکه  $X_c = (X_l + r) \cdot \operatorname{Cotg} O$  شود.

چنانچه دیده می شود هر چه اختلاف ضریب توان کوچکتر باشد، ظرفیت بیشتری برای بهبود افت ولتاژ لازم است.



شکل ۳-۶: سری کردن خازن در مدار

شکل ۳-۶ نشان می دهد که خازن سری علاوه بر اینکه باعث بهبود ضریب توان می شود، اثر کمپنزاسیون جریان سلفی و جبران افت ولتاژ را نیز دارد. در ضمن خازن سری وسیله حفاظتی خوبی در مقابل امواج سیار فشار قوی نیز می باشد زیرا این خازن ها بطور موثری باعث شکستن پیشانی موج سیار فشار قوی می شوند.

$$\Delta U = I_W \cdot r \cdot I_b (X_L - X_C) = I_W \cdot r \cdot I_b \cdot X_L (1 - K) \quad (۶-۸)$$

در رابطه بالا  $K = X_C / X_L$ ، ضریب کمپنزاسیون نامیده می شود و  $I_W = I \cdot \cos \phi$  و  $I_b = I \cdot \sin \phi$  می باشد. در صورتیکه  $K = 1$  باشد یعنی  $X_C = X_L$ ، مقاومت راتیو سیم صفر می شود و در نتیجه افت ولتاژ خط صفر شده و فقط افت ولتاژ اهمی خط باقی می ماند. در خطوط انتقال انرژی فشار قوی، معمولاً  $K_{\min} = 0.3$  و  $K_{\max} = 1$  انتخاب می شود.

اگر  $K < 0.5$  باشد، فقط از یک سری خازن در وسط خط استفاده می گردد، و در حالتیکه  $K > 0.5$  باشد از چند سری خازن در طول خط استفاده می گردد. مشکل خازن های سری در موقعی است که جریان اتصال کوتاه از شبکه می گذرد. در صورت اتصال کوتاه شدن شبکه، جریان اتصال کوتاه از خازن ها نیز عبور کرده و باعث می شود خازن ها از نظر جریان و همچنین ولتاژ اضافه بار بگیرند. لذا باید توسط مدار بخصوصی در موقع اتصال کوتاه شدن شبکه، از مدار خارج شوند. این عمل توسط گلوله های حفاظتی جرقه زن، که مدار آن در شکل زیر مشخص می باشد.

## ۶-۷ تقسیم بندی خازن ها

خازن ها به دو دسته تقسیم می شوند:

- خازن های خشک
- خازن های روغنی

که گروه اول توسط هوا خنک می شود و گروه دوم توسط روغنی که در داخل آن قرار دارد. خنک می شود.

## تست خازن

برای تست خازن پس از وصل آن به برق باید جریان آن را توسط آمپر متر اندازه گیری کرد . مقدار اندازه گیری شده باید برابر جریان مجازی خازن باشد.

روش دیگر برای تست خازن استفاده از اهم متر می باشد، بصورتیکه دو سر اهم متر را به دو سر خازن وصل می کنیم ، اگر اهم متر انحراف پیدا کند و بهد آهسته به عقب برگشت ، خازن سالم است و اگر اینگونه نبود خازن سالم نمی باشد.

## فصل هفتم: نمونه ای از یک جبران سازی واقعی

شرکت برق آیداهو واقع در ایالت آیداهوی آمریکا، در سال ۱۹۹۶ برنامه ای را برای تصحیح ناکارایی جبران سازی توان راکتیو که منجر به کاهش ولتاژ در سیستم توزیع شده بود، شروع کرد. ضمن اینکه در پیک مصرف، مشکل نگهداری حاشیه مطمئن توان راکتیو سیستم نیز وجود داشت. اگرچه جبران سازی بار راکتیو را به شیوه های مختلفی مثلاً "در محل تولید انرژی، با استفاده از کندانسورهای سنکرون و یا در محل پستها و در شبکه توزیع ( با استفاده از بانکهای خازنی ) می توان انجام داد، اما بهترین شیوه برای جبران سازی بار راکتیو، استفاده از بانکهای خازنی در محل بار است.

هنگام استفاده از بانک های خازنی توزیع، در اکثر این موارد، عمل کنترل با استفاده از کلیدهایی صورت می گیرد که بصورت دستی و با لحاظ کردن شرایط فصلی، خازنها را وارد یا از مدار خارج میکنند. چنین کنترلی، مؤثر و کارا نمی باشد زیرا در شرایط پیک بار، سیستم توزیع دچار کمبود توان راکتیو و در شرایط بار کم، دچار اضافه توان راکتیو می گردد. اگرچه بانک های خازنی توزیع، تک تک و کوچک هستند اما اثر مجموع آنها بر سیستم قابل ملاحظه است.

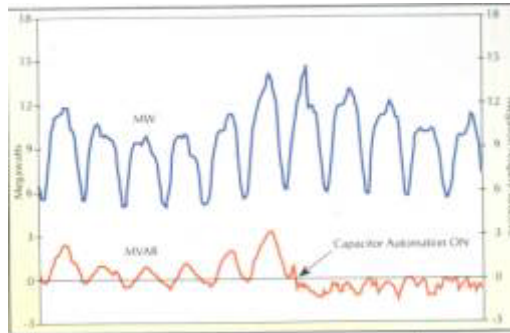
هدف از برنامه ای که از سوی اداره طراحی توزیع ارائه شده بود، ابداع سیستمی در دل سیستم مدیریت انرژی موجود بود ه در آن بانکهای خازنی در فیدرهای توزیع با توجه به میزان توان راکتیو مورد نیاز در پست ها انتخاب شوند.

ایده اصلی شرکت Stellar Dynamics Inc برای کنترل خازن های توزیع، اندازه گیری مقادیر توان راکتیو و اکتیو در سطح پست های توزیع و سپس ارسال دستورات مناسب به تجهیزات کنترلی مخصوص نصب شده روی هر بانک خازنی توزیع می باشد. تجهیزات لازم برای ارتباط کنترل کننده پست با سیستم دیسپاچینگ یعنی الگوریتم کنترل دینامیک بانک های خازنی توزیع (Distribution Capacitor DCC Control) ، امکان استفاده بهینه سیستم های انتقال و توزیع را فراهم می آورد.

DCC یک دستگاه کنترل است که با حذف یا کاهش جزء راکتیو و بهبود ضریب قدرت، ظرفیت شبکه را بالا می برد. با بهبود ضریب قدرت، جریان سیستم کم شده و سیستم امکان می یابد تا بار بیشتری را تغذیه نماید. این مزیت به ویژه در مورد تجهیزاتی که ممکن است تحت تأثیر اضافه بار حرارتی قرار گیرند، اهمیت پیدا می کند. همچنین، بهبود ضریب قدرت به ژنراتور امکان می دهد تا توان اکتیو بیشتری را تولید نماید. به علاوه در صورت پیش آمدن شرایط غیرعادی در محل خازنها، دستگاه DCC هشدارهای لازم را صادر می کند. ترانسفورماتور توزیع، نقطه کنترل طراحی شده در این الگوریتم است.

در سال ۱۹۹۶، نخستین DCC در یک پست ۱۲/۷ کیلوولت سه فیدره در غرب بویس (Boise) در آیداهو که مشکل توان راکتیو و افت ولتاژ داشت نصب گردید. به عنوان بخشی از اتوماسیون خازنی، تعداد ۱۴ بانک خازنی تحت کنترل قرار گرفتند. بخشی از این بانک ها از قبل وجود داشته و تعدادی دیگر تازه نصب شده بودند تا توان راکتیو اضافی تولید نمایند. بعد از نوسانات اولیه، سیستم آنچه را از آن انتظار می رفت، عملی ساخت. جبران سازی کامل در پست توزیع در یک محدوده وسیع بار انجام گرفت.

اتوماسیون خازن در سال ۱۹۹۷ در ۱۶ پست و در سال ۱۹۹۸ در ۱۴ پست دیگر نیز اجرا گردید. پست هایی که در سال ۱۹۹۷، تحت اتوماسیون قرار گرفتند، از مدول ارتباطی Harris D-10 برای ارتباط با RTU استفاده می کردند. این مدول بصورت یک کنترل کننده خازن عمل می کند. در سال ۱۹۹۸ در آیداهو، شرکت برق این ایالت، تصمیم گرفت سیستم مدول ارتباطی Harris D-20 را طوری تغییر دهد که این ترمینالها را قادر سازد تا توسط سیستم مدیریت انرژی برای کارهایی غیر از کنترل خازن نیز مورد استفاده قرار گیرند. این کار باعث شد تا کنترل خازن با اضافه کردن یک نرم افزار ساده در پست هایی که دارای مدول D-20 برای کنترل، نظارت و اخذ داده هستند، انجام پذیرد. شکل (۱) نتیجه عملکرد یک DCC برای کنترل توان راکتیو را در پستی در ناحیه بویس نشان می دهد.



شکل ۷-۱: تصحیح بار راکتیو با استفاده از کنترل کننده های خازنی اتوماتیک

قبل از نصب DCC ، شکل موج بار راکتیو از تقاضای بار اکتیو پیروی می کرد. بعد از نصب، الگوریتم کنترل باعث شد تا شکل بار راکتیو نسبت به منحنی بار اکتیو عکس گردد که این موضوع باعث کاهش تلفات انتقال و بهبود رگولاسیون ولتاژ سیستم گردید. هرچند با نصب خازن های ثابت نیز ممکن است چنین نتیجه ای حاصل شود اما با کار انجام شده، امکان تنظیم و کنترل در محدوده وسیعی از بارهای فصلی به شکل بهتری فراهم می شود. سیستم اتوماسیون خازنی بدون دخالت انسان، توان راکتیو را در هر یک از پست ها با پله های کوچک کنترل می کند به نحوی که راندمان کل سیستم بالا می رود. با نصب کنترل کننده بانک خازنی در یک پست، یک مگاوار توان راکتیو پشتیبان در آن شبکه توزیع (شامل ترانسفورماتور و فیدرهای مربوط به آن) بدست آمد. این کار با استفاده مؤثر از خازن های موجود وبدون نصب خازن های اضافی انجام گرفته است. در بیشتر نواحی روستایی به خصوص آنها که با شبکه های شعاعی تغذیه می شوند، بهبود پروفیل ولتاژ باعث کاهش یا به تأخیر افتادن بازسازی می شود. اتوماسیون خازنی، زمان لازم برای کنترل دستی بانک های خازنی در فیدرهای طولانی را به نحو چشمگیری کاهش داده است.

## نتیجه گیری

در این مقاله روشی جدید برای جابجایی خازنهای ثابت در شبکه های توزیع بر اساس کمینه کردن تلفات انرژی ارائه گردید. مدل ارائه شده در این روش برای فیدر فشار ضعیف، دقیقترین مدلی است که در سیستم های توزیع فشار ضعیف (با وجود وسعت بسیار زیاد آنها و تغییرات نامعلوم و مداوم بارها) می تواند بکار گرفته شود.

در این مقاله پس از ارائه مدل فوق و بسط روابط تلفات توان، به جابجایی خازن بر اساس کمینه کردن تلفات انرژی پرداخته شد. حل مساله بهینه سازی مربوطه توسط الگوریتم ژنتیک انجام گرفت.

الگوریتم ارائه شده قابل تعمیم به شبکه فشار متوسط است. لحاظ کردن قید ولتاژ و جابجایی خازنهای قابل کلیدزنی جزء کارهای تکمیلی این الگوریتم جهت استفاده در شبکه فشار متوسط می باشد.

## منابع و مراجع:

- [1] Ng H. N., Salama M. M. A., and Chikhani A. Y., "Classification of Capacitor Allocation Techniques," IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 15, No.1, 2000.
- [2] Turan Gonen, "Electric Power Distribution System Engineering", Mc.Graw-Hill International Edition, 1986.
- [3] A. Dwyer, "The use of shunt capacitors applied for line loss savings," in Proc. 1992 CEA Conference, Apr. 1992.
- [4] T. Marx, The Why and How of Power Capacitor Switching: Fisher Pierce, Mar. 1991.
- [5] S. H. Lee and J. J. Grainger, "Optimum placement of fixed and switched capacitors on primary distribution feeders," IEEE Trans. Power and Systems, vol. 100, no. 1, pp. 345– 352, Jan. 1981.

"مجله T&D – آگوست ۱۹۹۹"

<http://www.tdworld.com/>