موضوع پایان نامه:

خازن گذاری در شبکه های توزیع برای کاهش تلفات و بهبود ضریب توان

نام دانشجو:

علیرضا باقرزاده

شماره دانشجویی:

۹۰۱۱۹۷۱۱۰

رشته تحصیلی:

فنی مهندسی برق قدرت

نام استاد:

جناب آقای بهمنیار

دانشگاه آزاد اسلامی واحد رود هن

پاییز ۱۳۹۳

چکیده:..... ۴

مقدمه: ۶

فصل ۱– مفاهیم وروابط پایه ای در کنترل توان و جبرانسازی توان راکتیو..... ۸

۱–۱– توان راکتیو: ۸

۱–۲–منابع تولید و جذب توان راکتیو: ۱۰

۱–۲–۱–تجهیزات تولیدکننده توان راکتیو:..... ۱۲

۱–۲–۲– تجهیزات جذب‌کننده توان راکتیـــو:..... ۱۵

۱–۳–بار راکتیو در شبکه:..... ۱۶

۱–۴–تنظیم ولتاژ در شبکه‌های توزیع:..... ۱۷

۱–۵–اهداف جبران بار: ۲۰

۱–۶–جبران‌کننده ایده‌ال:..... ۲۳

۱–۷–جبران‌کننده در عمل: ۲۴

۱–۸–جبرانسازهای موازی: ۲۵

۱–۹– نتیجه گیری: ۲۸

فصل ۲– خازن و دلیل بکاربردن آن در شبکه های توزیع..... ۳۰

۲–۱–خازن:...... ۳۰

۲–۲– کاربرد خازن موازی در شبکه‌های توزیع: ۳۲

۲–۳– منافع اقتصادی نصب خازن در شبکه‌های توزیع:..... ۳۶

۲–۴– بهینه‌سازی توان راکتیو در سیستم‌های توزیع با هدف دستیابی به ماکزیمم کاهش تلفات و مسئله عدم تعادل بار:..... ۳۸

۲–۵– بهینه‌سازی محل و مقدار خازنهای شنت در شبکه شعاعی به جهت کاهش تلفات: ۴۰

۲–۶– دیاگرام فازوری شبکه قبل و بعد از نصب خازن:..... ۴۳

۲–۶–۱– مدار شماتیک و دیاگرام فازوری شبکه قبل از نصب خازن: ۴۳
۲–۶–۲– مدار شماتیک و دیاگرام فازوری شبکه بعد از نصب خازن: ۴۴
فصل ۳– ارائه یک روش تحلیلی جدید در مورد خازن گذاری ثابت ۴۶
۳–۱–مقدمه ۴۶
۳–۲– شرح الگوریتم ۴۷
۳–۳– روش کاهش تلفات با استفاده از خازنهای منفرد ۵۴
منابع و مآخذ ۵۹

چکیده:

جاگذاری بهینه خازن ثابت در فیدرهای اصلی و فرعی شبکه های شعاعی منجر به کاهش تلفات انرژی، آزادسازی ظرفیت فیدرهای موجود و بهبود پروفیل ولتاژ می شود. در این مقاله مسئله خازن گذاری بهینه در فیدرهای شعاعی شبکه های توزیع فرمولبندی و یک راه حل تحلیلی ولتاژ سیستم مورد مطالعه می باشد و تنها محدودیت آن شعاعی بودن سیستم قدرت مورد بررسی است. لذا از روش ارائه شده می توان در شبکه های فشار ضعیف و فشار متوسط منتهی با ساختار شعاعی استفاده کرد. تابع هدف در این مسئله بهینه سازی، کاهش تلفات انرژی با درنظرگرفتن هزینه خازنهای به کار رفته و همچنین برای اولین بار هزینه تامین توان راکتیو مورد نیاز بارهای شبکه است. در روش پیشنهادی هر دو پارامتر مقدار و محل بهینه خازنهای ثابت در فیدرهای با توزیع بار غیر یکنواخت با احتساب مقادیر متوسط بار در دوره های زمانی معین و با وجود یا نبود فیدرهای فرعی توسط فرمولهای بسته ریاضی محاسبه گردیده است. روش ارائه شده در این مقاله به عنوان یک آلترناتیو جدید با قابلیت دقت بیشتر و ارائه مدلی

نزدیک به شرایط موجود و حذف فرضیات غیر واقعی نسبت به سایر روشهای تحلیلی دیگر میتواند در علم مورد استفاده برقهای منطقه ای واقع شود.

مقدمه:

بالا رفتن هزینهٔ تولید و سوخت در نیروگاه‌ها طراحان سیستم‌های الکتریکی را وادار می‌سازند که شبکه‌های الکتریکی با کمترین تلفات را به وجود آورند.

سیستم‌های توزیع به عنوان بخش وسیعی که ارتباط با مصرف‌کننده را برقرار می‌سازند نیز در این محدوده قرار دارند. به عبارت بهتر کاهش تلفات در سیستم‌های توزیع به عنوان یک اصل مهم می‌تواند مورد توجه قرار گیرد.

باتوجه به اینکه بخش اعظم تلفات سیستم‌های قدرت در قسمت توزیع صورت می‌گیرد، لذا از جبران کننده‌های خازن موازی در قسمت توزیع استفاده می‌گرددتا با اصلاح ضریب قدرت بتوان ضمن افزایش ظرفیت تولید و انتقال، پست‌های توزیع و تجهیزات جانبی توزیع از تلفات انرژی و افت بیش از حد ولتاژ نیز جلوگیری کرد تا بدین ترتیب بتوان سیستمهای توزیع را با هزینهٔ کمتر و مؤثرتر مورد استفاده قرار داد.

دراین پروژه شبیه‌سازی مورد نظر با نرم‌افزار MATLAB انجام می‌گیرد.

فصل ۱– مفاهیم وروابط پایه ای در کنترل توان و جبرانسازی توان راکتیو

۱–۱– توان راکتیو:

بسیاری از اجزای الکتریکی از قبیل ژنراتورها، خطوط انتقال، ترانس‌هاو همچنین اکثر مصرف کننده‌های صنعتی و خانگی در تولید و مصرف توان راکتیو نقش دارند. پس کنترل این توان در سیستم‌های قدرت الزامی می‌باشد.

از طرف دیگر می‌دانیم دو ضا بطهٔ مهم در کار رضایت‌بخش یک شبکه الکتریکی وجود دارد، اولاً ژنراتورها در سرعت سنکرون کارکنند و ثانیاً ولتا ژ شبکه در سطوح مختلف سیستم بایستی در محدودهٔ مجاز قرار داشته باشند.

ضابطهٔ اول در واقع شرط برا بری توان اکتیو تولید شده و مصرف شده را بیان می‌کند که عدول از آن بر اساس معادلهٔ الکترودینامیکی سیستم، باعث تغییر سرعت و نتیجتاً تغییر فرکانس سیستم خواهد شد که این حالت توسط سیستم‌های کنترل حس شده و گاورنر توربین تعادل را باز می‌گرداند. همچنین برای برقراری شرط دوم بایستی تعادل بین توان راکتیو تولیدی و مصرفی در هر ناحیه

از شبکه الکتریکی برقرار باشد، زیرا تغییر در یکی از آنها تغییر در ولتاژ را در پی دارد که ممکن است در حد غیر مجاز باشد. علاوه بر این کنترل توان راکتیو می‌تواند تأثیر مطلوبی بر رفتار سیستم قدرت داشته باشد مثل میرایی نوسا نات قدرت، افزایش ظرفیت خطوط انتقال، متعادل کردن بار، تصحیح ضریب توان و ... که تمامی این موارد باعث بالا رفتن کیفیت برق خواهد شد.

ابتدا نقش توان راکتیو را در سیستمهای انتقال و تأسیسات بررسی می‌شود:

1. **درصورتی که توان اکتیو انتقالی ثابت باشد با زیاد شدن توان راکتیو، ضریب توان کم میشود و لذا جریان خط ویا بار سیمهای انتقال انرژی زیاد شده و باعث افت حرارتی زیادی در خط می‌شود.**
2. **زیاد شدن جریان باعث زیادشدن سطح مقطع رساناها ودر نتیجه زیادشدن هزینهٔ تأسیسات می‌گردد.**
3. **علاوه بر این کابل‌ها، کلیدهاوفیوزها و تابلوهاو...نیز باید بزرگترشوند.**
4. **با بالارفتن جریان، افت ولتاژ نیز زیاد شده‌وکار رگولاتور ولتاژ در ترانس ویا ثابت‌نگه‌داشتن ولتاژ در نیروگاه مشکل می‌شود و مستلزم هزینهٔ اضافی است.**

۵. به علت ثابت بودن قدرت ظاهری، توان راکتیو ژنراتور به ضریب توان مصرف‌کننده بستگی دارد. در ضریب توان پایین نیروگاه باید توان اکتیو را کم کند تا بتواند توان راکتیو لازم را نیز برای شبکه تأمین کند.

۶. راندمان، بهرهٔژنراتورها و ترانس‌هاو هم‌چنین ضریب بهرهٔ کل تأسیسات به ضریب توان بستگی دارد.

۷. ضریب توان به طور غیر مستقیم بر روی راندمان وسیلهٔ گردانندهٔ ژنراتور(توربین) نیز تأثیر می‌گذارد.

۱–۲– منابع تولید و جذب توان راکتیو:

توان راکتیو بر عکس توان اکتیو فقط مربوط به مدارات AC است واین توان بین میدان مغناطیسی سلف و میدان الکتریکی خازن ردوبدل می‌شود پس می‌شود یکی را مصرف‌کننده و یکی را منبع توان راکتیو معرفی کرد.

به طور کلی هر دستگاهی را که اجزای آن خاصیت خازنی داشته باشد را تولیدکنندهٔتوان راکتیو می‌گویند.

باطبع هر دستگاهی که خاصیت سلفی داشته باشد را جذب‌کننده‌ءتوان راکتیو می‌گویند.

با توجه به تأثیری که این توان بر روی عملکرد شبکه می‌گذارد و هم‌چنین زیادبودن منابع و مصرف‌کننده‌های توان راکتیو، به فکر جبرانسازی می‌افتیم.

عبور توان اکتیو و راکتیو در خطوط انتقال از امپدانس خطوط ودامنهٔ ولتاژ و هم‌چنین از زاویهٔ ولتاژ دو طرف خطوط پیروی می‌کند.پس مقدار توان عبوری از هر خط به توزیع بار و ساختار کل شبکه بستگی دارد.

از طرفی وجود محدودیت‌ها در شبکه یعنی محدودیت حرارتی و پایداری نیز بر توان عبوری تأثیر می‌گذارند و توان عبوری را کاهش می‌دهد و امکان استفاده کامل از خطوط انتقال را از ما می‌گیرد.

طبق اصول مدارات جریان متناوب، جریان یک سلف(اندوکتور)نسبت به ولتاژ دو سر آن به اندازهء۹۰ درجه تأخیر فاز دارد وجریان خازن(کاپاسیتور) نسبت به ولتاژ دو سر آن به اندازه ۹۰ درجه تقدم فاز دارد.از آنجا که بسته به نوع اتصال متوالی یا موازی این دو جزء در یک مدار، ولتاژ یا جریان آنها نسبت به هم به اندازهء۱۸۰درجه اختلاف فاز دارد که در نتیجه به صورت خنثی‌کننده یکدیگر

ظاهر می‌شوند می‌توان گفت که توان‌های راکتیو آنها($Q = VI\sin\phi$)نیز هم‌دیگر را خنثی می‌کنند.

معمول است که توان راکتیو مربوط به جزءخازنی را وار تولیدی و توان راکتیو مربوط به جزءسلفی را وار جذب‌شده می‌گیرند. با توجه به مطالب فوق تجهیزات تولیدکننده و جذب‌کننده وار به قرار زیر می‌باشند:

۱-۲-۱- تجهیزات تولیدکننده توان راکتیو:

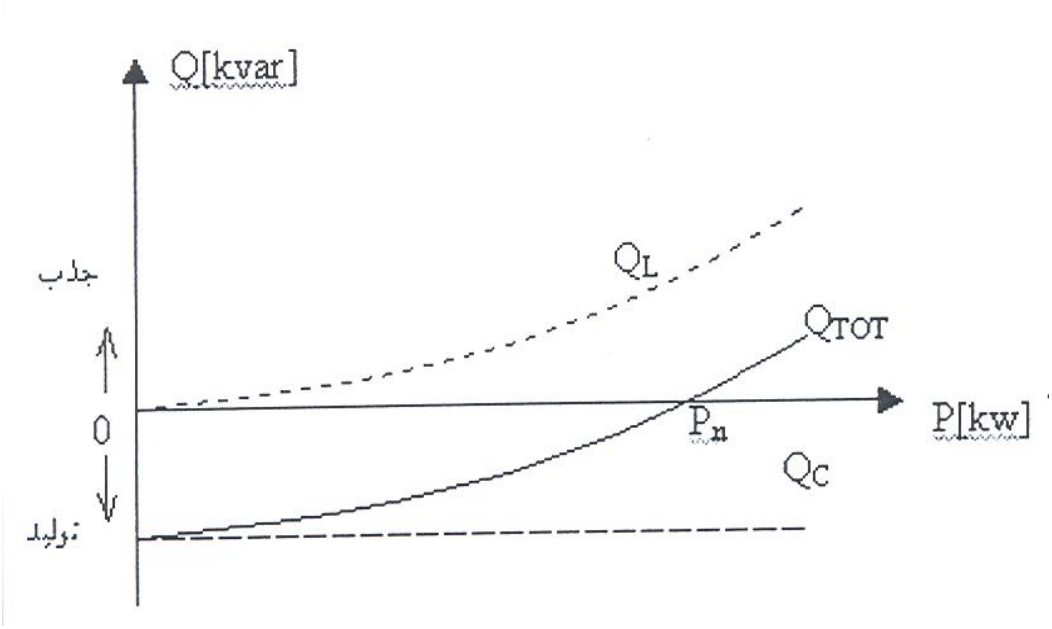
الف)خازنها:

خازنها چه به صورت مستقل وچه به صورت خاصیتی از یک سیستم مثلاًخاصیت خازنی یک کابل، تولیدکنندهءوار می‌باشند.

ب) خطوط انتقال در حالت کم‌باری ویا بی‌باری:

خطوط انتقال به‌طورکلی دارای هردو خاصیت سلفی و خازنی می‌باشند که خاصیت سلفی مربوط به راکتانس متوالی خط و خاصیت خازنی مربوط به خازن شنت است. ازاین‌رو خطوط انتقال هم تولیدکننده وهم مصرف‌کنندهٔ وار به‌شمار می‌روند. هرگاه راکتانس‌های متوالی و شنت یک خط انتقال را با X_L و X_C و

توانهای راکتیو آنها با Q_L و Q_C نشان داده شود، نحوهٔ توزیع این دو توان بر-حسب قدرت انتقالی در یک ولتاژ معین مطابق شکل(۱–۱) خواهد بود.



شکل(۱–۱):توانهای راکتیو یک خط انتقال بر حسب توان اکتیو

در حالی که وار مصرفی ($Q_L = X_L I_L^{\,2}$)به مجذور جریان و بدین‌ترتیب به مجذور توان انتقالی P بستگی دارد، وار تولید شده دز خازن عملاًمستقل از جریان وتوان انتقالی است.($Q = V^2 / X_C$)

به ازاء توان انتقال معینی از خط که برای آن رابطهٔ($Q_C = Q_L$) برقرار باشد، امپدانس خط برابر است با:

$$\frac{V^2}{X_C} = X_L \times I^2 \rightarrow Z_n = \sqrt{L/C}$$

امپدانس Z_n **را امپدانس طبیعی(**surge impedance **) وبار معین** $P_n = V^2/X_C$ **را بار طبیعی(**natural loading **) خط می‌نامند.**

امپدانس طبیعی خط بستگی به طول خط ندارد وبرای یک خط معین مقدار ثابت است.همانطور که در شکل(۱–۱)نشان داده شده است اگر بار خط برابر توان طبیعی آن باشد بار کل خط($Q_{tot} = Q_l - Q_c$ **)صفر است وبرای بارهای کمتر از** P_n **خط به صورت تولیدکننده ودر بارهای بزرگتر از** P_n **به صورت مصرف‌کننده وار ظاهر می‌گردد.**

از آنجایی که بار خط انتقالی در طی شبانه‌روز در حال تغییر است خاصیت خازنی یا سلفی آن متغییر است وباعث به هم‌خوردن تعادل وار سیستم می‌گردد. هم‌چنین اگر خط انتقالی به دلیلی بی بار شود خاصیت خازنی پیشی خواهد گرفت که عدم تعادل وار واضافه ولتاژ را در پی دارد.

ج)کابل:

کابلها نیز مانند خطوط انتقال دارای هر دو خاصیت سلفی و خازنی می‌باشند با این تفاوت که بار خازنی آنها به مراتب بیشتر از بار خازنی خطوط می‌باشد. به طور کلی می‌توان چنین گفت که کابلها دارای خاصیت خازنی بوده و تولیدکنندهء توان راکتیو به شمار می‌روند.

د)ماشین سنکرون: از ویژگیهای ماشین سنکرون قابل تنظیم‌بودن ضریب قدرت آن است که با کنترل جریان تحریک صورت می‌گیرد. ژنراتور سنکرونی که با ضریب قدرت پس‌فاز (تحریک اضافی)کار کند دارای خاصیت خازنی است وبنابراین تولیدکننده وار به شمار می‌رود. موتور سنکرونی هم که با ضریب قدرت پیش‌فاز (تحریک اضافی)کار کند تولیدکننده وار به شمار می‌رود و اصطلاحاً جبران‌کننده(کندانسور)سنکرون نامیده می‌شود.

۱-۲-۲- تجهیزات جذب‌کننده توان راکتیـــو:

الف)راکتورها

ب)ترانسفورمرها

ج)موتور القایی، لامپ فلورسنت بدون جبران‌کننده، کورهءالکتریکی

د)خطوط انتقال در حالت پرباری

ذ)ژنراتور سنکرون در حالت ضریب قدرت پیش‌فاز(تحریک نقصانی)ویا موتور سنکرون در حالت ضریب قدرت پس‌فاز(تحریک نقصانی)

۱–۳– بار راکتیو در شبکه:

بار راکتیو در شبکه توسط دو عامل درونی و بیرونی تولید می‌شود و عوامل درونی به دو نوع تقسیم می‌شوند:

الف) بار راکتیو بی‌باری:

در ترانسفورماتورها بیش از٪۹۰ جریان بی‌باری آن راکتیو می‌باشد که به‌طور متوسط جریان بی‌باری ترانسفورماتورهای هوایی حدود٪۲.۵ و برای ترانسفورماتورهای $230/63kv$**، ٪۰.۶ و برای ترانسفورماتورهای** $400/63kv$**، حدود٪۰.۵ جریان نامی آن می‌باشد.**

ب) بار راکتیو حاصل از شبکه:

بار راکتیو به‌خاطر عبور جریانهای بار از اندوکتانسهای سری مدارهای مختلف ایجاد می‌گردد و برای محاسبه آن یکبار اندوکتانس ترانسفورماتورها و بار دیگر اندوکتانس خطوط و کابلهادرنظر گرفته می‌شود. بار راکتیو ایجادشده در

ترانسفورماتورها بستگی به مقدار راکتانس هر ترانسفورماتور دارد که با تقریب خوبی می‌توان از راکتانس سری مدار معادل هر ترانس استفاده کرد که از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$X = (\%Z \times V) / S$$

که در آن X **راکتانس سری ترانس و**v **ولتاژ فازبه‌فاز و**s **ظرفیت ترانس می‌باشد.**

کل بار راکتیو ایجادشده در ترانسفورماتورها چنین خواهد بود :

$$S = \sqrt{3} V \times I$$

اگر ولتاژ بر حسب کیلوولت باشد:

$$MVA = K \times S \times \%Z$$

۱-۴- تنظیم ولتاژ در شبکه‌های توزیع:

افت ولتاژ و توان در فیدرهای بلند توزیع به دلیل پراکندگی مصرف‌کننده‌های روستایی در کشور ما از مسائل جدید محسوب نمی‌گردد. با این حال تدابیر

علمی و اقتصادی خاصی که الگوی شرکتهای توزیع باشد جهت مقابله با آن اتخاذ نگردیده است.

امروزه با توجه به مسائل جاری کشور نیاز است که تحت چنین شرایطی مسائل اقتصادی مرتبط با احداث ایستگاههای فوق‌توزیع، استفاده از تنظیم‌کننده‌های ولتاژ و خازنها در فیدرهای طولانی مد نظر قرار گیرد.

به طور کلی افت ولتاژ و توان در یک منطقه که ناشی از عوامل خاصی مانند طولانی‌بودن فیدرها، رشد بار و یا اضافه‌شدن یک مشترک با مصرف قابل‌ملاحظه می‌باشد، به طور مختلفی می‌تواند جبران گردد که از جمله موارد زیر را می‌توان نام برد:

۱. احداث ایستگاه فوق‌توزیع

۲. تعویض هادیها(Reconductor **)**

۳. ترکیب مجدد سیستم(Reconfiguration **)**

۴. کنترل ضریب قدرت

۵. کنترل ولتاژ

۶. ترکیبی از موارد بالا

اتخاذ هر یک از روشهای بالا علاوه بر مسائل فنی نیاز به برسیهای اقتصادی دارد که خود با شرایط فعلی از جمله عوامل تعیین‌کننده محسوب می‌گردد.

رهایی از سرمایه‌گذاری سنگین بند ۱ اهمیت موارد۲ تا۶ را بیشتر مطرح می‌سازد. در صورت وجود افت ولتاژ مجاز و مناسب‌بودن ظرفیت هادیها تغذیه منطقه می‌تواند تا چند سال توسط فیدر موجود ادامه یابد که در این راستا بهره‌گیری از بعضی از موارد بالا مثل کنترل ضریب قدرت صرفه‌های اقتصادی ویژه‌ای را به همراه خواهد داشت.

در صورت وجود محدودیت ظرفیت هادیها، تعویض هادیهای سیستم با مقاطعی بالاتراز جمله انتخاب‌هایی است که پی‌آمد آن جبران افت ولتاژ نیز می‌باشد.

از امکان ترکیب مجدد سیستم به دلیل عدم همزمانی پیک بار مصرف‌کنندگان خانگی، تجاری و صنعتی می‌توان با استفاده از کلیدهای اتوماتیک کنترل از راه دور و سیستم اسکادا اسفاده نموده و بارهای مختلف را به صورت مقطعی بین فیدرهای مختلف تقسیم نمود. البته روش فوق مخصوصاً از نقطه‌نظر تداوم تغذیه مصرف‌کننده*ها و کاهش قطعی‌ها حائز اهمیت است*، لذا برداشتن گامهای اولیه‌ای در این راستا برای شرکتهای توزیع ضروری است.

۱–۵– اهداف جبران بار:

جبران بار عبارتنداز مدیریت توان راکتیو به منظور بهبودبخشیدن به کیفیت تغذیه در سیستمهای قدرت که سه هدف زیر از جبران بار دنبال می‌شود:

۱. تصحیح ضریب توان

۲. بهبود تنظیم ولتاژ

۳. متعادل‌کردن بارها

تصحیح ضریب توان به این معنی می‌باشد که توان راکتیو موردنیاز به جای اینکه از یک نیروگاه دور تأمین شود در محل بار تأمین گردد.

اکثر بارهای صنعتی دارای ضریب توان پس‌فاز هستند یعنی توان راکتیو جذب می‌نمایند به این دلیل جریان مصرفی آنها بیشتر از جریان مورد نیاز برای تآمین توان حقیقی لازم می‌باشد.مصرف توان راکتیو دو هزینهٔ اضافی به مصرف‌کننده تحمیل می‌کند اول اینکه ظرفیت جریان کابلها و خطوط باید بیشتر از مقدار لازم برای تأمین توان اکتیو باشد که این هزینهٔ نصب تجهیزات اضافی در کابلها می‌شودوهزینهٔ بهره برداری را بالا می‌برد. از طرف دیگر تولیدکنندگان برق نیز مایل به تأمین توان راکتیو مصرفی، توسط ژنراتورها نیستند، چرا که در صورت

تولید توان راکتیو توسط ژنراتورها ،از ظرفیت توان راکتیو آنها کاسته شده ودر نهایت راندمان ژنراتور کم می‌شود.به این دلایل است که مصرف‌کنندگان برق با ضریب توان پایین ،معمولاً از طرف توزیع‌کنندگان برق مجبور به پرداخت جریمه اضافی علاوه بر بهای برق مصرفی می‌شوند، بنابراین مصرف‌کنندگان بزرگ مجبور به استفاده از جبران‌کنندگان محلی می‌باشند.

مسأله تنظیم ولتاژ یک امر ضروری در سیستم قدرت است. تغییر توان راکتیو در تمامی موارد منجر به تغییرات ولتاژ در نقاط تغذیه می‌شوند.

این تغییرات ولتاژ از جانب بارهای بزرگ و دارای تغییرات سریع(مانند کوره‌های الکتریکی)به شبکه تحمیل می‌شودو اثرات نامطلوبی مانند فرورفتگی در ولتاژ، اثر نامطلوب بر عملکرد وسائل حفاظتی، به وجودآمدن پدیده چشمک‌زدن لامپها و به طورکلی تأثیر نامطلوب بر عملکرد تجهیزات مجاور و سایر مشترکین خواهد گذاشت.

به منظور جلوگیری از این مسأله مؤسسات تولیدکننده برق موظف می‌شوند تغییرات ولتاژ برق تحویلی به مصرف‌کننده را در یک حد قانونی(مثلاً۵٪ولتاژ نامی در یک فاصله زمانی چند دقیقه تا چند ساعت)نگه دارند.

در واقع مسئولیت جبرانسازی با توجه به عوامل مختلف بین تولیدکننده و مصرف‌کننده برق تقسیم می‌شود. معمولاً مسئولیت اصلاح ضریب توان و متعادل‌کردن جریان بار به عهده مصرف‌کننده بوده و در مقابل مسئولیت محدودکردن تغییرات ولتاژ به عهده تولیدکننده می‌باشد.

یک روش بدیهی برای بهبود تنظیم ولتاژ تقویت‌کردن سیستم قدرت به وسیلهٔ افزایش ظرفیت و تعداد واحدهای ژنراتوری و هم‌چنین خطوط انتقال است.اما این روش علاوه بر غیر اقتصادی‌بودن، باعث افزایش سطح اتصال کوتاه و مقادیر نامی کلیدهای شبکه نیز می‌شود.

راه‌حل عملی‌تر و اقتصادی‌تر، طراحی سیستم قدرت بر مبنای حداکثر توان حقیقی بوده و برای مدیریت توان راکتیو، از جبران‌کننده‌هایی که دارای قابلیت انعطاف بیشتر از ژنراتورها بوده و سطح اتصال کوتاه شبکه را نیز تغییر نمی‌دهد، توصیه می‌شود.

سومین هدف از جبران بار، متعادل‌کردن بار است. اکثر سیستمهای قدرت سه فاز هستند و برای کاردرشرایط متعادل طراحی شده‌اند. عملکرد نامتعادل باعث به وجود آمدن مؤلفه‌های جریان توالی صفر ومنفی می‌گردد. این مؤلفه‌های

جریان اثرات نامطلوبی بر عملکرد صحیح سیستم قدرت می‌گذارد مانند تلفات اضافی موتورهاومولدها، گشتاور نوسانی ماشینهای ac ، افزایش ریپل در یکسوکننده‌ها، عملکرد غلط انواع تجهیزات، اشباع ترانسفورماتورها و افزایش جریان نول شبکه و....

۱–۶– جبران‌کننده ایده‌ال:

جبران‌کننده ایده‌ال پس از اتصال به نقطهٔ تغذیه به موازات بار باید سه وظیفه ذیل را انجام دهد:

۱. ضریب توان را به مقدار واحد تصحیح می‌کند.

۲. تنظیم ولتاژ را حذف می‌کند(یا در حد قابل قبولی محدود می‌کند)

۳. جریانهای سه فاز ویا ولتاژهای فازها را متعادل می‌کند.

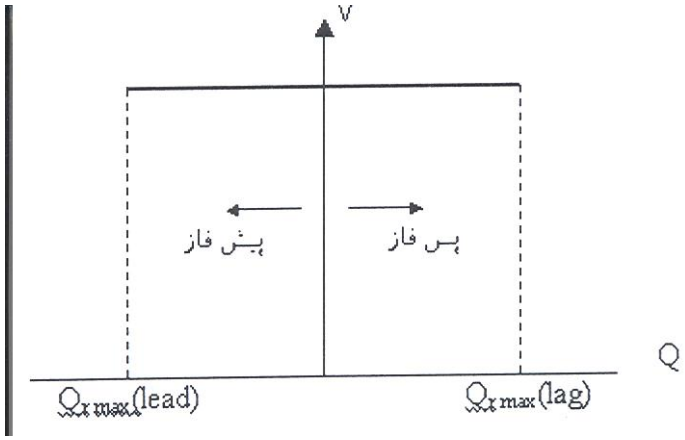
از طرفی جبران‌کننده‌های ایده‌ال نباید تولید هارمونی کنند واز خواص دیگر جبران‌کننده ایده‌ال تواناییش در پاسخ لحظه‌ای است، هم‌چنین جبران‌کننده ایده‌ال نباید توان اکتیو از شبکه دریافت کند. با توجه به بررسی بالا یک جبران‌کننده ایده‌ال باید سه شرط زیر را همزمان برآورده کند:

۱. توان راکتیو موردنیاز بار را بدون تأخیر تولید یا مصرف کند.

۲. ولتاژ را در نقطهٔ اتصال به شبکه تثبیت کند.

۳. قابلیت عملکرد سه فاز را به‌طور مستقل داشته باشد.

شکل(۲–۱)مشخصه تقر یبی ولتاژ–توان راکتیو یک جبران‌کننده ایده‌ال را که در محدوده پیش‌فاز و پس‌فاز عمل می‌کند را نشان می‌دهد:



شکل(۲–۱): مشخصه ولتاژ–توان راکتیو جبران‌کنندهٔ ایده‌ال

۱–۷– جبران‌کننده در عمل:

جبران‌کننده ایده‌ال در عمل قابل پیاده‌سازی نیست یعنی نمی‌توان تجهیزاتی ساخت که همزمان از عهدهٔ سه وظیفه جبران‌کننده ایده‌ال برآید. به عبارت دیگر یگ جبران‌کننده عملی در یک زمان فقط می‌تواند یکی از اهداف مطلوب را،

آنهم نه به‌طور ایده‌ال، برآورده کند. به عنوان مثال: اگر جبران‌کننده‌ای برای تصحیح ضریب قدرت(توان) طراحی شده باشد، همزمان نمی‌تواند تغییرات را حذف یا جریانهای بار را متعادل کند یا اگر جبران‌کننده‌ای برای متعادل‌کردن جریانهای بار طراحی شده باشد، همزمان نمی‌تواند ضریب توان را جبران یا تغییرات ولتاژ را حذف کند.

۱–۸– جبرانسازهای موازی:

به طورکلی انواع جبرانسازهایی که در شبکه‌های قدرت مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از جبران‌کننده‌های موازی و سری

جبران‌کننده‌های موازی هم‌چنانکه از نامشان پیداست به صورت موازی با بار قرار می‌گیرند. بعضی از این جبران‌کننده‌ها مستقیماً به بار وصل می‌شوند مثل جبرانسازهای خازنی یا جبران‌کننده‌های از نوع سلفی و بعضی دیگر مانند جبران‌کننده‌های استاتیکی توسط یک سلف یا ترانسفورمر به بار وصل می‌شوند. در این حالت ولتاژ خروجی جبران‌کننده توسط یک اندوکتانس به جریان تبدیل شده و به دو سر بار تزریق می‌شود.

جبران‌کننده‌های موازی بیشتر جهت جبرانسازی قدرت راکتیو بار به کار برده می‌شود. مشکلاتی که قدرت راکتیو بار در شبکه ایجاد می‌کند عبارتند از:

۱)افزایش هزینهٔ برق انتقالی به ازای هر کیلووات

۲)افزایش رگولاسیون ولتاژ

۳)کاهش قابلیت بارگیری از ژنراتورها(کاهش بهره سیستم)

۴)افزایش جریان عبوری از خط انتقال

۵)افزایش تلفات، حجم، هزینه تجهیزات

۶)کاهش قدرت قابل انتقال توسط خطوط انتقال

این مشکلات از جنبه‌های مختلف بر روی سیستم قدرت اثر گذاشته ودر مجموع موجب کاهش کیفیت توان می‌گرد. با مدیریت صحیح توان راکتیو می‌توان مشکلات فوق‌الذکر را رفع نموده و به اهداف زیر رسید:

۱)افزایش حد پایداری گذرا

۲)دمپینگ نوسانات قدرت (power swing damping)

۳)حفظ ولتاژ در محدوده معین و مجاز

۴)تصحیح ضریب توان

۱–۹– نتیجه گیری:

در یک سیستم قدرت ac هر خط انتقال به صورت یک شبکه راکتیو که از سلف‌های سری و خازنهای موازی تشکیل شده است مدل می‌شود. کل اندوکتانس خط با طول خط متناسب است و می‌توان با معلوم بودن ولتاژ و پارامترهای دیگر سیستم حداکثر توان انتقالی را تعیین کرد. امپدانس خط، دامنه و زاویهٔ فاز ولتاژهای دو طرف خط تعیین‌کننده توان انتقالی از آن خط است و حداکثر توان قابل انتقال معمولاً به وسیلهٔ ملاحظات پایداری تعیین می‌گرد. با جبران توان راکتیو، توان اکتیو قابل انتقال افزایش می‌یابد و به این صورت می‌توان از شبکه، بهرهٔ بیشتر برد.

برای کنترل پارامترهای سیستم و در نتیجه کنترل توان عبوری به صورت زیر عمل می‌شود:

۱) پروفیل ولتاژ خط با جبران موازی خازنی تغییر داده می‌شود.

۲) اندوکتانس سری خط با جبران سری خازنی تغییر داده می‌شود.

۳) زاویهٔ انتقال به وسیلهٔ شیفت‌دهنده‌ها تغییر داده می‌شود.

فصل ۲– خازن و دلیل بکاربردن آن در شبکه های توزیع

۲–۱– خازن:

اصولاً خازنها تجهیزاتی هستند که هم به صورت شنت(موازی)و هم به صورت سری مورد استفاده قرار می‌گیرند و وظیفه تنظیم ولتاژ و توان راکتیو انتقالی را به عهده دارند.

خازنهای سری با تنظیم‌کردن راکتانس اندوکتیو خط و خازنهای شنت با تصحیح ضریب قدرت این کار را انجام می‌دهند.

استفاده از خازن به منظور تأمین توان راکتیو مصرف‌کنندگان می‌باشد چرا که توان راکتیو مصرف‌کننده از دو طریق قابل حصول می‌باشد یکی از طریق مراکز تولید از نیروگاهها و دیگری استفاده از خازن. روش اول شدنی می‌باشد ولی به دلیل مسائلی که انتقال توان راکتیو مانند افت ولتاژ، بالارفتن تلفات سیستم، ایجاد می‌کند قابل استفاده نمی‌باشد به همین دلیل روش دوم یعنی استفاده از خازن عملاً مورد استفاده قرار می‌گیرد.

استفاده از خازنهای شنت، از کم‌قیمت‌ترین ابزار پشتیبانی از ولتاژ و توان راکتیو است که می‌توانند با اصلاح ضریب توان نقطه گیرنده تا یک نقطه خاص برای بسط حدود پایداری ولتاژ به طور مؤثر به کار گرفته شوند.

همچنین می‌توان از آنها برای آزادسازی " ذخیره راکتیو چرخان" در ژنراتورها استفاده کرد و بدین ترتیب از فروپاشی ولتاژ در موقعیت‌های زیادی جلوگیری کرد لیکن خازنهای شنت، محدودیتهایی ذاتی نیز از دیدگاه پایداری و کنترل ولتاژ دارند:

- **در سیستمهایی که به شدت با خازن شنت جبران شده‌اند، تنظیم ولتاژ ضعیف خواهد بود.**
- **فراتر از یک سطح جبرانسازی، عملکرد پایدار با خازنهای شنت قابل حصول است.**
- **توان راکتیو تولیدشده با خازن شنت متناسب با مجذور ولتاژ است پس هنگامی‌که ولتاژ سیستم پایین است، تولید توان راکتیو افت کرده و مسأله را پیچیده‌تر می‌کند.**

در شبکه‌های توزیع عملاً از خازنهای شنت استفاده می‌شود. در واقع خازنهای شنت سالیان درازی می‌باشد که مورد استفاده قرار می‌گیرند و لکن به دلایل شرایط خاصی که از این قبیل مسائل پیش می‌آید، طراحان هنوز با پیچیدگیهای خاصی درگیر می‌باشند و در عین سادگی هنوز مسائل چندی در ارتباط با استفادهٔ بهینه از خازن باقی است .

عموماً به دلایل مسائل اقتصادی محل نصب خازنهای موازی را به جای توزیع ثانویه در توزیع اولیه در نظر می‌گیرند.

۲–۲– کاربرد خازن موازی در شبکه‌های توزیع:

استفاده از خازنهای موازی در شبکه‌های توزیع، امروزه یکی از رایج‌ترین روش‌ها برای بالابردن مشخصات فنی سیستم از نظر کمی و کیفی می‌باشد.

طراحان شبکه‌های توزیع قبل از نصب خازن باید به سؤالات زیر پاسخ دهند:

۱. ظرفیت خازن نصب شده چقدر باید باشد.

۲. ضریب قدرت اقتصادی در یک شبکه چقدر است.

۳. خازنها در چه نقطه‌ای از سیستم توزیع باید نصب شوند.

۴. به چه میزان بر افت ولتاژ تأثیر می‌گذارند.

۵. تلفات را چقدر کاهش می‌دهند.

۶. به چه میزان جریان را کاهش می‌دهند و خطوط توزیع را آزاد می‌کنند که بتوان از آن برای انتقال توان راکتیو استفاده کرد.

۷. خازنها باید به صورت یکپارچه در یک قسمت از سیستم و یا در نقاط مختلف باید نصب گردند.

۸. به چه میزان هزینه‌های تولید را کاهش می‌دهد.

۹. آیا باید از خازنهای ثابت و یا خازنهای ثابت همراه با خازنهای متغیر استفاده نمود.

۱۰. طریقه اتصالات خازنهای سه‌فاز به چه صورت باید باشد و

۱۱. چه سیستم حفاضتی را برای خازنها در نظر گرفت.

و بسیاری از سؤالات دیگر.

سیتم توزیع الکتریکی به همراه مصرف‌کننده‌های عمده و جزئی از طریق سیستم انتقال به ولتاژ فشار قوی متصل است. سطح ولتاژ در سیستم توزیع پایین

است و در نتیجه اندازهٔ جریانها زیاد می‌باشد به همین دلیل تلفات اهمی در سیستمهای توزیع در مقایسه با سیستم‌های انتقال از اهمیت بیشتری برخوردار است.

اغلب تجهیزات قدرت از قبیل موتورها و ترانسفورماتورها به عنوان بارهای سلفی و اندوکتیو هستند که در نتیجه سبب پس‌فازشدن ضریب قدرت می‌شوند و موجبات کاهش ظرفیت سیستم، افزایش تلفات سیستم و در نهایت کاهش ولتاژ را فراهم می‌سازند که برای رفع این مشکل از عملکرد خازن موازی استفاده می‌شود.

مفهوم استفاده از خازنهای موازی را می‌توان چنین بیان کرد که این خازنها بر حسب ظرفیت خود در حقیقت تولیدکنندهٔ توان راکتیو بوده و کیلووار مورد نیاز از محل نصب آنها به سمت مصرف‌کننده‌ها بوده و به این ترتیب از نیاز به تولید و انتقال توان راکتیو در شبکه‌های انتقال و فوق‌توزیع جلوگیری می‌کنند. مزایای حاصل از چنین تأثیری را به شرح زیر می‌توان خلاصه کرد که بر حسب شرایط و نقاط مختلف شبکه، یک و یا چند مورد از موارد زیر می‌تواند انگیزه و علت لازم برای نصب خازنها باشد:

۱. کاهش مؤلفهٔ راکتیو پس‌فاز جریان مدار و نهایتاً کاهش جریان مدار و در نتیجه افزایش قابلیت انتقال بار اکتیو از خطوط و پست‌ها.

۲. افزایش سطح ولتاژ در محل نصب خازن‌ها و هم‌چنین بهبود تنظیم ولتاژ در صورتیکه واحدهای خازنی را بتوان به نحو مناسبی به مدار وارد و یا آن را خارج کرد.

۳. کاهش تلفات اکتیو سیستم و در نتیجه افزایش توان اکتیو قابل تحویل به مصرف‌کنندگان.

۴. افزایش ضریب قدرت در محل نصب خازن و در نتیجه افزایش ضریب قدرت ژنراتورهای منبع.

۵. کاهش بار(KVA) بر روی مدار (خطوط، پست‌ها و ژنراتورها) به منظور خارج‌شدن از حالت اضافه بار و یا آزادکردن ظرفیت برای توسعه و افزایش بار

۶. قابلیت افزایش بار اکتیو(KW) بر روی ژنراتورها در صورت وجود ظرفیت لازم برای توربین‌ها.

۷. کاهش دیماند(KVA) برای توان خریداری‌شده.

۸. کاهش هزینهٔ سرمایه‌گذاری در تأسیسات سیستم برای تأمین و تحویل هر KW از بار.

۲–۳– منافع اقتصادی نصب خازن در شبکه‌های توزیع:

بارها در سیستم قدرت شامل دو مؤلفه می‌باشند:

۱–قدرت اکتیو

۲–قدرت راکتیو

قدرت اکتیو را فقط در نیروگاه می‌توان تولید کرد ولی قدرت راکتیو را می‌توان توسط نیروگاه و یا خازن تأمین کرد. مسلم است که خازنهای قدرت اقتصادی‌ترین منبع برای تأمین توان راکتیو مورد نیاز سیستم می‌باشد.

وقتی قدرت راکتیو توسط نیروگاهها تأمین می‌شود، تمام تجهیزات سیستم از قبیل ژنراتورها، ترانس‌ها، خطوط انتقال و توزیع، سوئیچ‌گیرها و تجهیزات حفاظتی از نظر ظرفیت و به عبارتی قدرت باید رشد کنند. خازنها می‌توانند با کاهش انتقال توان راکتیو خطوط بعد از ژنراتور تا محل نصب خازن این وضعیت را بهبود بخشند.

جریان خطوط از محل نصب خازن در تمام خطوط منتهی به تجهیزات تولیدکننده کاهش می‌یابد و در نتیجه تلفات و بار خط در خطوط توزیع و پستهای ترانس و خطوط انتقال کاهش می‌یابد.

متناسب با ضریب قدرت تصحیح‌نشده سیستم، نصب خازن می‌تواند ظرفیت ژنراتورها و پست‌ها را افزایش دهد و توانایی آنها را برای تأمین بار اضافی تا ٪۲۰ فراهم آورد و نیز توانائیهای مدار از نقطه‌نظر تنظیم ولتاژ را تقریباً بین ۳۰الی٪۱۰۰ افزایش دهد.

به طور کلی منفعتهای نصب خازن در زیر خلاصه شده است:

۱. آزادشدن ظرفیت تولید

۲. آزادشدن ظرفیت خازن

۳. آزادشدن ظرفیت پستهای توزیع

۴. مزایای اضافی در سیستم توزیع شامل:

الف)کاهش تلفات انرژی

ب)کاهش افت ولتاژ و در نتیجه بهبود تنظیم ولتاژ

ج)آزادشدن ظرفیت فیدرها و تجهیزات وابسته

د)حذف هزینه های سرمایه‌ای بهبود و توسعه

و)افزایش بازده به خاطربهبود ولتاژ

۲–۴– بهینه‌سازی توان راکتیو در سیستم‌های توزیع با هدف دستیابی به ماکزیمم کاهش تلفات و مسئله عدم تعادل بار:

یکی از مشکلات اساسی سیستم‌های توزیع و انتقال انرژی الکتریکی جبران توان راکتیو می‌باشد. این مسئله به خصوص در شبکه‌های توزیع انرژی با مشکل عدم تعادل بار نیز همراه می‌باشد. توزیع نامتقارن بارهای تکفاز بین فازها و همچنین رفتار غیرهمزمان بارهای تکفاز، منشاء اصلی پیدایش عدم تعادل می‌باشد. عدم تعادل بار دارای آثار سوء فراوانی بر عملکرد شبکه‌های توزیع و کیفیت انرژی می‌باشد. مهمترین آثار سوء بر عملکرد شبکه‌های توزیع یکی افزایش تلفات و دیگری اشغال ظرفیت پستها و فیدرهای شبکه می‌باشد.

اصلاح و کاهش عدم تعادل بار به دو روش سنتی و مدرن امکان‌پذیر می‌باشد:

روش سنتی مبتنی بر جابجایی و یکنواخت‌نمودن تعداد مشترکین بر روی فازها می‌باشد و روش مدرن مبتنی بر کنترل دینامیکی توان راکتیو با استفاده از جبرانسازهای استاتیکی توان راکتیو مثل SVC **و یا** STATCOM **می‌باشد.**

در مسئله بهینه‌سازی توان راکتیو، سه پارامتر اصلاح ضریب توان و تثبیت ولتاژ و متعادل‌سازی مدنظر می‌باشد. با برآورده‌شدن سه هدف عمده فوق‌الذکر، مزایای زیر متوجه تولیدکننده و مصرف‌کننده انرژی می‌شود:

با اصلاح ضریب توان و متعادل‌سازی بار می‌توان تا حد زیادی تثبیت ولتاژ را نیز محقق ساخت.

۱. **توان راکتیو موردنیاز بار به جای آنکه از نیروگاه دوری تأمین شود، در محل نزدیک بار تأمین شده درنتیجه مقداری از ظرفیت نیروگاه آزاد و موجب افزایش توان راکتیو می‌گردد که باالطبع کاهش سرمایه‌گذاری در بخش تولید را خواهد داشت.**

۲. **جریان بار در صورت عدم تأمین توان راکتیو در محل بار، از آنچه برای توان حقیقی مصرف می‌شود بیشتر شده و در نتیجه تلفات بیشتر می‌شود، درصورتیکه اگر در محل بار تأمین شود، تلفات کاهش خواهد یافت.**

۳. با اصلاح ضریب توان و متعادل‌سازی بار، چون اکثر سیستم‌های قدرت AC سه فاز بوده و برای عملکرد در وضعیت متعادل طراحی شده‌اند، عملکرد متعادل منجر به ایجاد مؤلفه‌های جریان توالی صفر و منفی می‌شود که در صورت جبرانسازی توان راکتیو از اثرات نامطلوبی همچون ایجاد تلفات، عملکرد غلط تجهیزات حفاظتی، اشباع ترانس‌ها و جریان اضافی سیستم زمین جلوگیری می‌شود.

۲–۵– بهینه‌سازی محل و مقدار خازنهای شنت در شبکه شعاعی به جهت کاهش تلفات:

یکی از جنبه‌های مهم طراحی شبکه‌های توزیع، طراحی بهینه خازنهای شنت در شبکه به منظور جبران جریان راکتیو بارها و خطوط در سطوح بار مختلف است.

اصولاً دو عامل شعاعی‌بودن شبکه‌های توزیع و بالابودن نسبت مقاومت به راکتانس القائی خطوط در آنها نسبت به شبکه انتقال، باعث افزایش تلفات در این شبکه‌ها نسبت به شبکه انتقال می‌شود.

از نظر فنی خازنها در طول شبکه و یا سیستم توزیع و فوق‌توزیع، تقریباً در هر سطح ولتاژی می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. چون با سری‌کردن واحدهای خازنی می‌توان به سطح ولتاژ موردنظر رسید و با موازی‌کردن واحدها به ظرفیت مگاوار لازم دست یافت. با این حال عوامل زیر باعث محدودکردن محل نصب و سطح ولتاژ مورد استفاده برای خازنها می‌شود:

۱. مزایای حاصل از نصب خازن با نزدیکترشدن محل نصب خازنها به محل مصرف و مصرف‌کننده افزایش می‌یابد. چون باعث کاهش تلفات و آزادشدن ظرفیت سیستم از محل نصب به سمت منبع می‌شود و سطح ولتاژ را نیز به نحو مؤثرتری بهبود می‌بخشد.

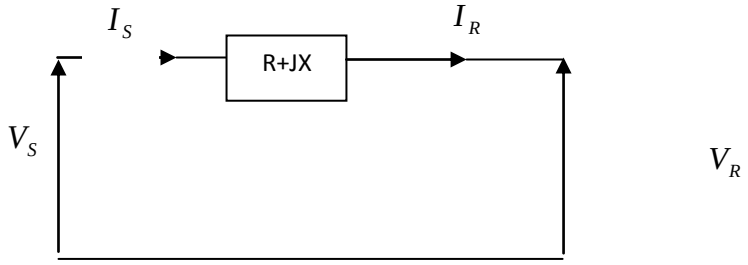
۲. سطح ولتاژکار خازنها در تعیین قیمت آنها نقش مؤثری داشته و واحدهای خازنی با ولتاژ کار زیر ۶ kv و یا بالاتر از ۱۵ kv گرانتر بوده و بهترین ولتاژ کار خازنهای موازی از لحاظ اقتصادی فاصلهٔ ولتاژ ۶

الی kv ۱۵ می‌باشد. پس با توجه به نحوهٔ اتصال خازنها به شبکه به صورت ستاره یا مثلث، عملاً بهترین سطح ولتاژ شبکه برای نصب خازنها از نقطه نظر قیمت آنها سطح ولتاژ ۶ الی kv ۲۰ می‌باشد.

۳. با توجه به اینکه بانکهای خازنی نیز نیازمند تجهیزات سؤئیچینگ، حفاظت و کنترل هستند، پس مانند سایر تجهیزات پستها بایستی تحت نگهداری و مراقبت مداوم قرار گیرند. پس اگر از نظر فنی و اقتصادی بهترین محل نصب آنها در انتهای فیدرهای kv ۲۰ به نظر می‌رسد ولی به این لحاظ تجمع و نصب آنها در محل پستهای kv ۶۳/۲۰ و بر روی شینهٔkv ۲۰ متداول می‌باشد و توصیه می‌گردد.

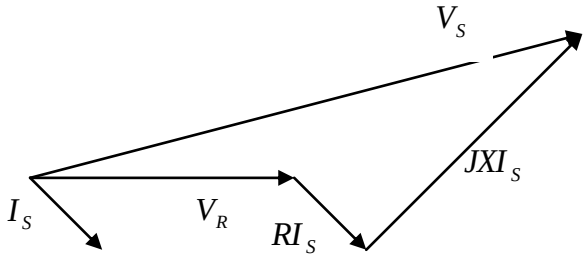
۲–۶– دیاگرام فازوری شبکه قبل و بعد از نصب خازن:

۲–۶–۱– مدار شماتیک و دیاگرام فازوری شبکه قبل از نصب خازن:



$$\Delta V \cong RI_S COS\phi + XI_S SIN\phi$$

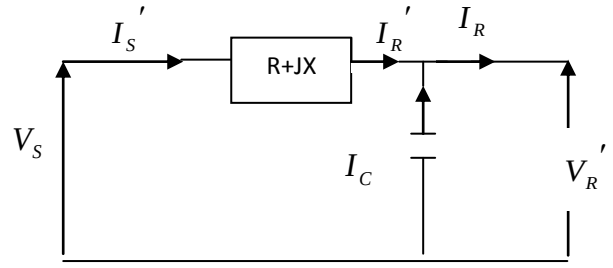
$$P_{LOSS} = R|I_S|^2$$



همانطوریکه گفته شد جاری‌شدن توان راکتیو در شبکه، افزایش تلفات، ظرفیت مفید بهره‌برداری خطوط ترانسفورماتورها را کاهش داده و موجب کاهش کیفیت توان تحویلی نیز می‌شود.

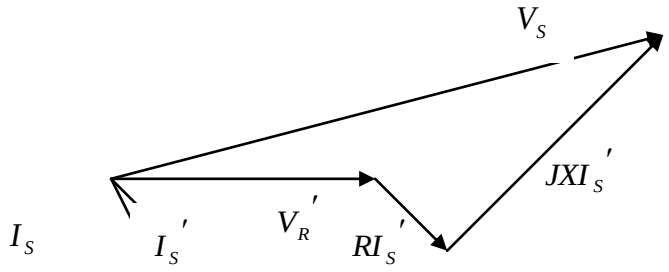
با تولید محلی توان راکتیو می‌توان ضمن کاهش تلفات و آزادسازی ظرفیت شبکه سبب افزایش کیفیت توان نیز گردید ولی اگر در میزان جبرانسازی توان راکتیو دقت لازم به عمل نیاید، اضافه‌ولتاژهای ایجادشده موجب صدمه‌دیدن تجهیزات و مشترکین خواهد شد.

۲–۶–۲– مدار شماتیک و دیاگرام فازوری شبکه بعد از نصب خازن:



$$\Delta V \cong RI_S COS\Phi + X\left[I_S SIN\Phi - I_C\right]$$

$$P_{LOSS}' = R\left[(I_S COS\Phi)^2 + (I_S SIN\Phi - I_C)^2\right]$$



میزان کاهش تلفات و افزایش تقریبی ولتاژ ناشی از نصب خازن از رابطهٔ زیر قابل تعیین می‌باشد:

$$\Delta V_C = XI_C$$

$$\Delta P_{LOSS} = P_{LOSS} - P_{LOSS}{}' = R\left[-I_C{}^2 + 2I_C I_S COS\Phi\right]$$

همانطوریکه از رابطه پیداست، اگر میزان جبرانسازی توان راکتیو مناسب اختیار نگردد، اضافه ولتاژ قابل توجه و اثر معکوس در کاهش تلفات خواهد داشت.

فصل ۳–ارائه یک روش تحلیلی جدید در مورد خازن گذاری ثابت

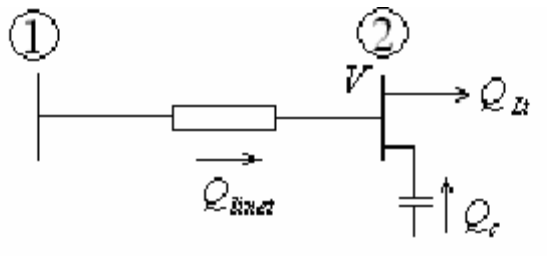
۳–۱– مقدمه

مطالعات نشان می دهد که در حدود 13٪ از توان تولید شده در سیستم قدرت به صورت تلفات اهمی در بخش توزیع تلف می شود [1]. جریانهای راکتیو درصدی از این تلفات را به خود اختصاص می دهند. لذا با نصب بهینه خازنها با جبران قسمتی از جریان راکتیو مصرفی علاوه بر کاهش تلفات انرژی، منجر به آزاد سازی ظرفیت فیدرهای موجود و بهبود پروفیل ولتاژ می شود. علیرغم وجود روشهای مختلفی برای حل مسئله بهینه گذاری خازنها از قبیل روشهای تحلیلی، برنامه ریزی عددی و هوش مصنوعی [1] پرکاربردترین این روشهای روش تحلیلی است. در روش به کارگرفته شده در مرجع [2] فیدر در نظرگرفته شده فاقد شاخه های فرعی بوده و سطح مقطع آن در تمام بخشها یکسان فرض شده و همچنین بار به صورت یکنواخت روی فیدر توزیع شده است. در حالی که در عمل فیدر اصلی مفروض میتواند دارای شاخه اصلی مفروض میتواند دارای

شاخه فرعی بوده و همچنین توزیع بار روی آن غیر یکنواخت باشد. در مرجع [4] **از الگوریتم ژنتیک تنها برای جایابی بهینه خازنها استفاده شده است و مقادیر خازنها حاضر با حذف فرضیات غیر واقعی حاضر با حذف فرضیات غیر واقعی در مرجع** [4] **از آنجا که نگرانی چندانی از بروز اضافه ولتاژ در بار پایه وجود ندارد، قیود ولتاژ در تابع هدف موجود اعمال نگردیده است.**

۳-۲- شرح الگوریتم

فرض کنید خط انتقالی با ولتاژ V **و مقاومت** R **انرژی الکتریکی مصرف کننده ای را در نقطه** 2 **تامین می کند (شکل** 1**). بار موجود توان راکتیو با زمان** Q_{Lt} **را مصرف می کند. اگر جبران کننده ای در سربار نصب نشده باشد،** $Q_c = 0$ **، هزینه تولید و انتقال توان راکتیو از خط انتقال در مدت زمان** T **را می توان از رابطه** (1) **به دست آورد.**



$$C_1 = \int_0^T Q_{Lt}{}^2 (\frac{Rb}{V^2})dt + \int_0^T Q_{Lt} dt \qquad (1)$$

در رابطه فوق داریم:

هزینه هر کیلو وات ساعت در نقطه b: 1

هزینه تولید هر کیلو وار ساعت در نقطه C_1: 1

در صورتیکه خازن ثابتی با ظرفیت Q_c **در نقطه** 2 **نصب شود هزینه تولید و انتقال توان راکتیو به صورت رابطه** (2)

$$C_2 = \int_0^{} Q_{linet}{}^2 (\frac{RB}{V^2})dt + C_1 \int_0^T Q_{Linet} Dt + C_C Q_C T \qquad (2)$$

در رابطه فوق C_C **هزینه هر کیلو وار خازن نصب شده در نقطه** 2 **است.**

لذا کارگذاری خازن ثابت با ظرفیت Q_c **در سربار زمانی قابل توجیه است که طبق رابطه** (3) **داشته باشیم:**

با جاگذاری عبارت مربوط به C_2 **و** C_1 **در رابطه** (3) **و همچنین با در نظرگرفتن روابط** (4) **و** (5) **به رابطه** (6) **میرسیم.**

$Q_c + Q_{linet} = Q_{Lt}$ (4)

$$Q_L = \frac{1}{T}\int_0^T Q_{Lt}\,dt \quad (5)$$

$$E = \left[\frac{2Q_L RbT}{V^2} - (c_e - c_1)T\right]Q_e - \frac{RbT}{V^2}Q_e^{\,2} \quad (6)$$

با فرض پارامترهای A_1, A_2 **طبق روابط** (7) **و** (8) **معادله** (9) **هم ارز معادله** (6) **شده و با مشتق گیری از این رابطه مقادیر بهینه** Q_{ce} , E_{max} ,Q_{line} **از روابط** (10)**،** (11) **و** (12) **به دست می آیند.**

$$A_1 = \frac{2Q_L RbT}{V^2} - (c_e - c_1)T \quad (7)$$

$$A_2 = \frac{RbT}{V^2} \quad (8)$$

$$E = A_1 Q_e - A_2 Q_e^{\,2} \quad (9)$$

$$Q_{line_e} = \frac{(c_e - c_1)}{2b}\left(\frac{V^2}{R}\right) \quad (10)$$

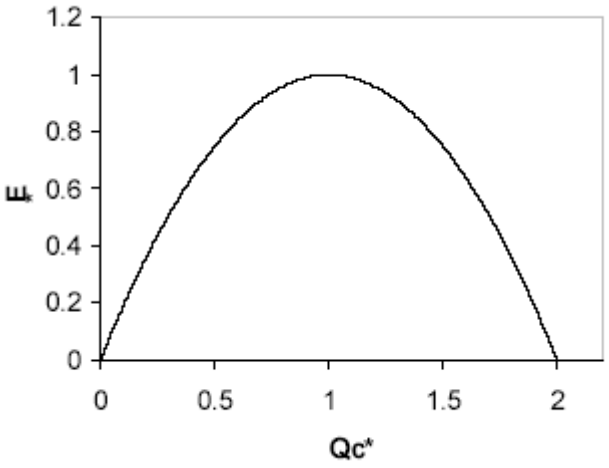
$$E_{\max} = \frac{Q_{ce}^{\,2}}{V^2} RbT \quad (11)$$

$$Q_{ce} = \frac{A_1}{2A_2} = Q_L - \frac{(c_e - c_1)V^2}{2bR} \quad (12)$$

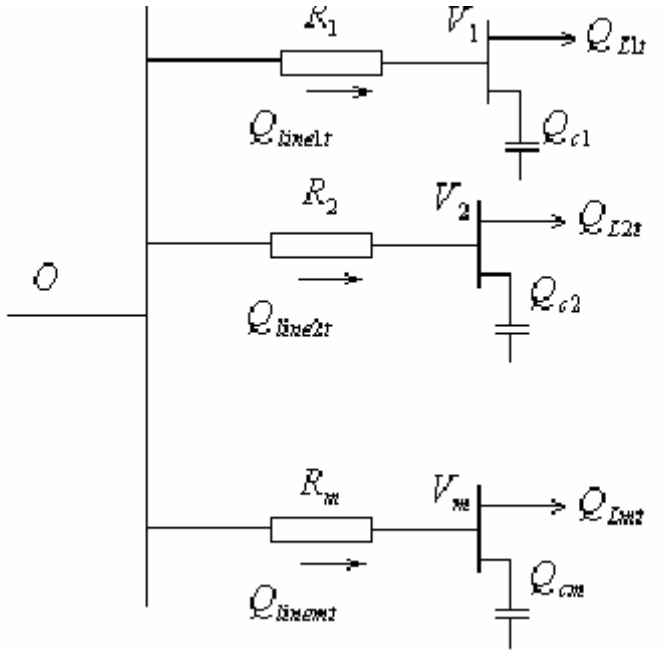
با نرمالیزه کردن معادله (9) **توسط مقادیر** E_{max} , Q_{ce} **این معادله به صورت رابطه** (13) **تغییر می یابد.**

$$E_* = 2Q_{c^*} - {Q_{c^*}}^2, E_* = E/E_*, Q_{c^*} = Q_c/Q_{ce} \quad (13)$$

معادله رابطه (13) **در شکل** (2) **رسم شده است.**



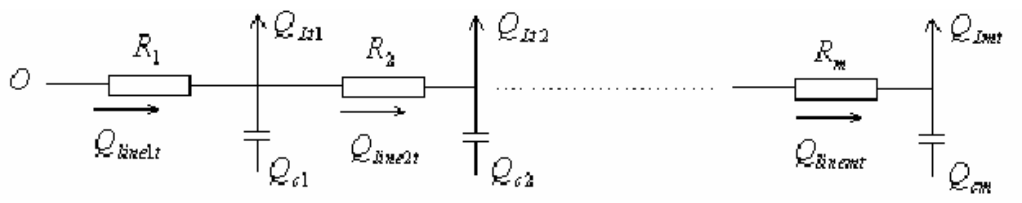
همانطوریکه مشاهده می شود حداکثر مقرون به صرفه گی نصب خازن Q_c**،** $E_* = 1$**، در** $Q_c = Q_{ce}$ **حاصل میشود. هرگونه انحراف از مقدار** Q_{ce} **در قالب بیشبود،** $Q_{c^*} > 1$**، یا کمبود،** $Q_{c^*} > 1$ **جبرانسازی منجر به کاهش صرفه اقتصادی خازن منصوبه می گردد. نمودار شکل** (2) **نشان میدهد که اگر تزریق توان راکتیو دو برابر مقدار بهینه آن باشد صرفه اقتصادی منفی شده و این به معنی افزایش هزینه است. با معلوم بودن ضرایب** A_i **میتوان مقادیر بهینه خازنها را در شبکه های پیچیده تر با روش فوق محاسبه کرد. برای شروع کار شبکه شعاعی شکل** (3) **را در نظر میگیریم.**



فرض بر این است که به تعدا m **مصرف کننده از منبع واحد** O **تغذیه می کنند و در سر هر یک از مصرف کننده ها خازن ثابتی به ظرفیت** Q_c **نصب شده است. اگر فرض کنیم که بارهای موجود در هر فیدر مستقل از هم باشند میتوان شبیه دسته معادلات** (10) **الی** (12) **توانهای راکتیوی که باید به صورت بهینه و اقتصادی از فیدر های مربوطه عبور کنند از رابطه** (14) **به دست آورد.**

$$V_i^2 (C_{ci} - C)/2b = R_l Q_{line_{i_e}} \qquad (14)$$

شکل (4) **یک فیدر اصلی با انشعابات متناظر با آن را نشان می دهد در این شکل بر سر هر انشعاب** i **خازن ثابتی به ظرفیت مجهول** Q_{ci} **نصب شده است.**



بدون نصب هیچگونه خازنی در مدار هزینه تولید و انتقال توان راکتیو به مصرف کننده ها از رابطه (15) **به دست می آید.**

$$C_1 = \sum_{i=1}^{m} R_i (\sum_{j=i}^{m} Q_{Lj})^2 (\frac{bT_i}{V^2}) + C_1 \sum_{i=1}^{m} Q_{Li} T_i \qquad (15)$$

با فرض وجود خازنها در مدار تابع هزینه طبق رابطه (16) **محاسبه می شود.**

$$C_2 = \sum_{i=1}^{m} R_i O \left[\sum_{j=i}^{m} (Q_{Lj-} Q_{cj}) \right]^2 \frac{BT}{V^2} + C_1 \sum_{i=1}^{m} (Q_{Li} - Q_{ci}) T_1 + C_c \sum_{i=1}^{m} Q_{ci} T_i \qquad (16)$$

طبق معمول تابع صرفه اقتصادی مشابه رابطه (3) **از تفاضل دو تابع هزینه فوق به دست می آید.**

$$E=C_1 - C_2 \qquad (17)$$

پس ازدیفرانسیل گیری از رابطه فوق نسبت به پارامتر Q_{ci} **دستگاه معادلات ذیل حاصل می شود.**

$$2R_1 Q_{line1} \frac{bT_1}{V^2} + c_1 T_1 - c_c T_1 = 0$$

$$2R_1 Q_{line1} \frac{bT_1}{V^2} + 2R_2 Q_{line2} \frac{bT_2}{V^2} + c_1 T_2 - c_c T_2 = 0$$

$$2R_1 Q_{line1} \frac{bT_1}{V^2} + 2R_2 Q_{line2} \frac{bT_2}{V^2} + 2R_3 Q_{line3} \frac{bT_3}{V^2} + c_1 T_3 - c_c T_3 = 0$$

M

$$2R_1 Q_{line1} \frac{bT_1}{V^2} + 2R_2 Q_{line2} \frac{bT_2}{V^2} + 2R_3 Q_{line3} \frac{bT_3}{V^2} + \Lambda + 2R_m Q_{linem} \frac{bT_m}{V^2} + c_1 T_m - c_c T_m = 0$$

در دستگاه معادلات فوق پارامتر R_i **مقاومت سکشن متصل به پایه** i **در شکل** (4) **می باشد. با حل دستگاه معادلات فوق مقادیر بهینه توان راکتیو جاری شده بین هر دو باسبار کنار هم در این محاسبه شده و متعلقبا از روس مقادیر به دست آمده** Q_{linei}**، و با استفاده از رابطه** (19) **مقادیر بهینه خازنهای منصوبه در گرههای مختلف به دست می آید.**

$$Q_{ci} = Q_{Li} + Q_{line(i+1)} - Q_{linei} \qquad i = 1,2m \qquad (19)$$

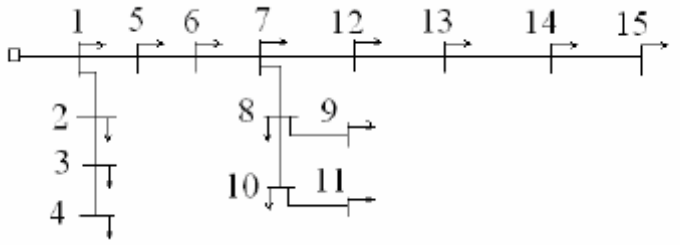
ولی در عمل در صورتیکه تابع هدف را تنها کاهش میزان تلفات انتخاب نماییم $(C_1 = 0, C_c = 0)$ **و همچنین با فرض برابری دوره های زمانی** T_i**، در این صورت به جواب و ایده آل** $Q_{ci} = Q_{Li}$ **می رسیم که مسلما به لحاظ اینکه در اکثر باس بارها امکان کوچکتر بودن مقدار** Q_{ci} **از مقدار استاندارد بانک های واحد** 12.5 **کیلو واری وجود دارد اعمال این روش در عمل غیر ممکن خواهد بود. لذا حل مسئله از ترفندی دیگر مشابه روشهای تحلیل حساسیت به شرح ذیل استفاده شده است.**

در روش جدید ابتدا تعدادی از گروههای فیدر مورد نظر به عنوان حساس ترین گرهها از طریق یک روش تکراری انتخاب شده و عملیات بهینه سازی تنها برای این تعداد گره اعمال میشود. در این روش ابتدا یک خازن تکی را در کلیه گره جابجا کرده و در هر حالت میزان کاهش تلفات را محاسبه

می کنیم. گرهی که در آن بیشترین کاهش تلفات مشاهده گردید به عنوان اولین کاندید برای خازن گذاری انتخاب میشود و خازن حاصله از روش بهینه یابی در آن گره اختصاص می یابد. روند فوق برای خازنهای منفرد بعدی با احتساب خازنهای کار گذاشته شده قبلی نیز ادامه می یابد تا مرحله ای که کار خازن گذاری دیگر کاهش قابل ملاحظه ای در میزان تلفات راکتیو ایجاد ننماید. پس از آنکه بهترین گره ها برای خازن گذاری انتخاب گردیدند مسئله بهینه گذاری خازن ها دوباره با در نظرگرفتن خازنهای متناظر با گرههای انتخاب شده در مرحله اول به صورت همزمان و توام انجام گرفته و جواب نهایی به دست می آید. مراحل تحلیلی این روش در بخشهای ذیل مورد بررسی قرارگرفته است.

۳-۳- روش کاهش تلفات با استفاده از خازنهای منفرد

شکل (5) **دیاگرام تک خطی یک فید** 15 **باس باره نشان می دهد. فرض کنید که خازن** Q_c **در باس شماره** i **بوده و** α **مجموعه شاخه هایی باشد که باس خازن دار** Q_{ci} **را به منبع وصل می کند.**



به عنوان مثال اگر خازن Q_c **در باس شماره یازده قرارگیرد توان راکتیو از این خازن از سمت منبع تنها مولفه های راکتیو شاخه های مجموعه** α ={11,10,8,7,6,5,1} **را تغییر میدهد و توان راکتیو عبوری از شاخه هایی که متعلق به مجموعه** α **نباشد تغییر نمی یابد. لذا توان راکتیو در شاخه** i **ام با رابطه** (20) **بیان میشود.**

$$Q_{linrinew} = Q_{linei} + D_i Q_{cj} \qquad \begin{matrix} D_i = 1 if i \in \alpha \\ = 0 if i \in \alpha \end{matrix} \qquad (20)$$

توابع مربوط به محاسبه تلفات قبل و بعد از خازن گذاری از روابط (21) **و** (22) **محاسبه میشوند.**

$$P_{loss} = \sum_{i=1}^{n} \frac{Q_{linei}^{\ 2}}{V^2} R_i \qquad (21)$$

$$P_{lossnew} = \sum_{i=1}^{n} \frac{(Q_{linei} + D_i Q_c)^2}{V^2} R_i \qquad (22)$$

میزان صرفه جویی یا کاهش تلفات از تفاضل معادلات فوق به دست می آید که طبق رابطه (23) **به دست میآید.**

$$E = P_{loss} - P_{lossnew} = -\sum_{i=1}^{n} \frac{(2D_i Q_{linei} Q_c + D_i Q_c^{\,2})}{V^2} R_i \qquad (23)$$

برای دست یابی به حداکثر تلفات از تابع E **نسبت به مقدار** Q_c **مشتق می گیریم که نتیجه به صورت رابطه** (24) **بیان شده است.**

$$\frac{\partial E}{\partial Q_c} = -2\sum_{i=1}^{n} \frac{(D_i Q_{linei} + D_i Q_c)}{V^2} R_i = 0 \qquad (24)$$

که در نتیجه آن مقدار بهینه خازن برای حداکثر تلفات از رابطه (25) **به دست می آید.**

$$Q_c = \frac{\sum_{i=1}^{n} D_i Q_{linei} R_i}{\sum_{i=1}^{n} D_i R_i} \qquad (25)$$

روش فوق را برای کلیه گره های موجود روی فیدر اعمال کرده و کاهش تلفات متناظر نیز محاسبه میگردد. گرهی که در آن کارگذاری خازن بیشترین کاهش تلفات را در برداشته باشد بهترین و اولین گره برای خازن گذاری انتخاب می گردد. با اختصاص خازن متناظر با این گره عملیات فوق با وجود اولین خازن انتخاب شده به مدار برای گرههای بدون خازن باقیمانده تکرار میگردد تا بهترین گره بعدی از لحاظ بیشترین تاثیر در کاهش تلفات به دست آید. عملیات فوق تا لحظه ای ادامه می یابد که کارگذاری خازن در شبکه کاهش قابل ملاحظه ای

در تلفات فیدر را شامل نگردیده و لذا از لحاظ اقتصادی توجیهی نداشته باشد. پس از مشخص شدن بهترین گرهها برای خازن گذاری عملیات بهینه گذاری خازن به صورت توام و همزمان برای گرههای کاندید شده از مرحله اول تکرار می شود که منجر به دستگاه معادلات (26) **می شود. دوباره تاکید میگردد که در این دستگاه عملیات مشتق گیری تنها برای گره های کاندید شده از مرحله اول انجام می گیرد. در حالیکه مشتق گیری در دستگاه معادلات** (18) **نسبت به تمامی خازنهای اولیه مفروض در کلیه گره های انجام گرفت که منجر به ایجاد نتایج کاملا تئوریک و غیرعملی گردید.**

$$\frac{\partial E}{\partial Q_{c1}} = 0 \text{ ؛ } \frac{\partial E}{\partial Q} = 0 \text{ ؛ } K \text{ ؛ } \frac{\partial E}{\partial Q} = 0 \text{ ؛ } \qquad (26)$$

در روش ارائه شده در این مقاله در صورتیکه توان راکتیو متوسط شاخه های فرعی موجود روی فیدر را حتی قابل اندازه گیری نباشد میتوان سهم هر یک از مصرف کننده های فرعی را از یکی روشهای ذیل به دست آورد:

الف– در صور دیماند تمام مشترکین متصل به گره یا پایه i **معلوم باشد پس از تعیین مجموع دیماند های متصل به هر پایه توان راکتیو متوسط ابتدای فیدر را به نسبت دیماند هر پایه کرده و مقدار** Q_{Li} **را محاسبه می کنیم.**

ب– در صور دیماند تمام مشترکین متصل به گره یا پایه i معلوم باشد پس از تعیین مجموع دیماندهای متصل به هر پایه توان راکتیو متوسط ابتدای فیدر را به نسبت تعداد مشترکین بین پایه ها تقسیم کرده و مقادیر Q_{Li} را به دست آورد.

ج– در صورتیکه اطلاعات فوق نیز در دسترس نباشد بهتر است توان راکتیو ابتدای فیدر به صورت یکنواخت بین پایه ها تقسیم گردد. در این صورت مسئله از حالت توزیع بار غیر یکنواخت به توزیع بار یکنواخت تبدیل میگردد. از آنجا که در روش ارائه شده در این مقاله امکان عدم مقاله امکان عدم برابری مقاومت معادل بین پایه های مجاور و همچنین وجود کلیه انشعابات فرعی در نظرگرفته شده است. لذا نسبت به روشهای تحلیلی موجود منجمله روش تحلیلی ارایه شده در مرجع ۲ تحت عنوان قانون ۲/۳ از دقت بیشتری برخوردار است.

منابع و مآخذ

(۱) کنترل قدرت راکتیو، میلر[MILER]

(۲) مبانی بررسی سیستم‌های قدرت، ویلیام استیونسون جی، آر، ترجمهٔ مهندس محمدرضا موسوی و مهندس امیر قلعه‌نوعی، تابستان ۷۹ ، انتشارات باغانی

(۳) مجموعه مقالات دهمین کنفرانس مهندسی برق ایران (قدرت) جلد چهارم، تبریز، اردیبهشت ۸۱

(۴) پایداری و کنترل سیستم‌های قدرت، تألیف پروفسور کندور، ترجمهٔ دکتر حسین سیفی، دکتر علی‌خاکی صدیق، جلد اول، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس

(۵) برسسی تلفات الکتریکی در شبکه های برق رسانی تالیف قدرت اله حیدری ۱۳۷۸

(۶) مهندسی توزیع برق تالیف توران گونن ترجمه مهندس مصطفی رضایی ساروی ۱۳۷۵

(۷) مهندسی سیستمهای توزیع جیمز بورک ترجمه دکتر محمود رضا حقی فام

مهندس محمد کاظم شیخ الاسلامی ۱۳۸۰

(8) A network –topology –based three – phase load flow for distribution systems Jen – Hao teng p259_p 264

(۹) ارایه یک روش تحلیلی جدید در مورد خازن گذاری ثابت بهینه در شبکه های توزیع شعا عی