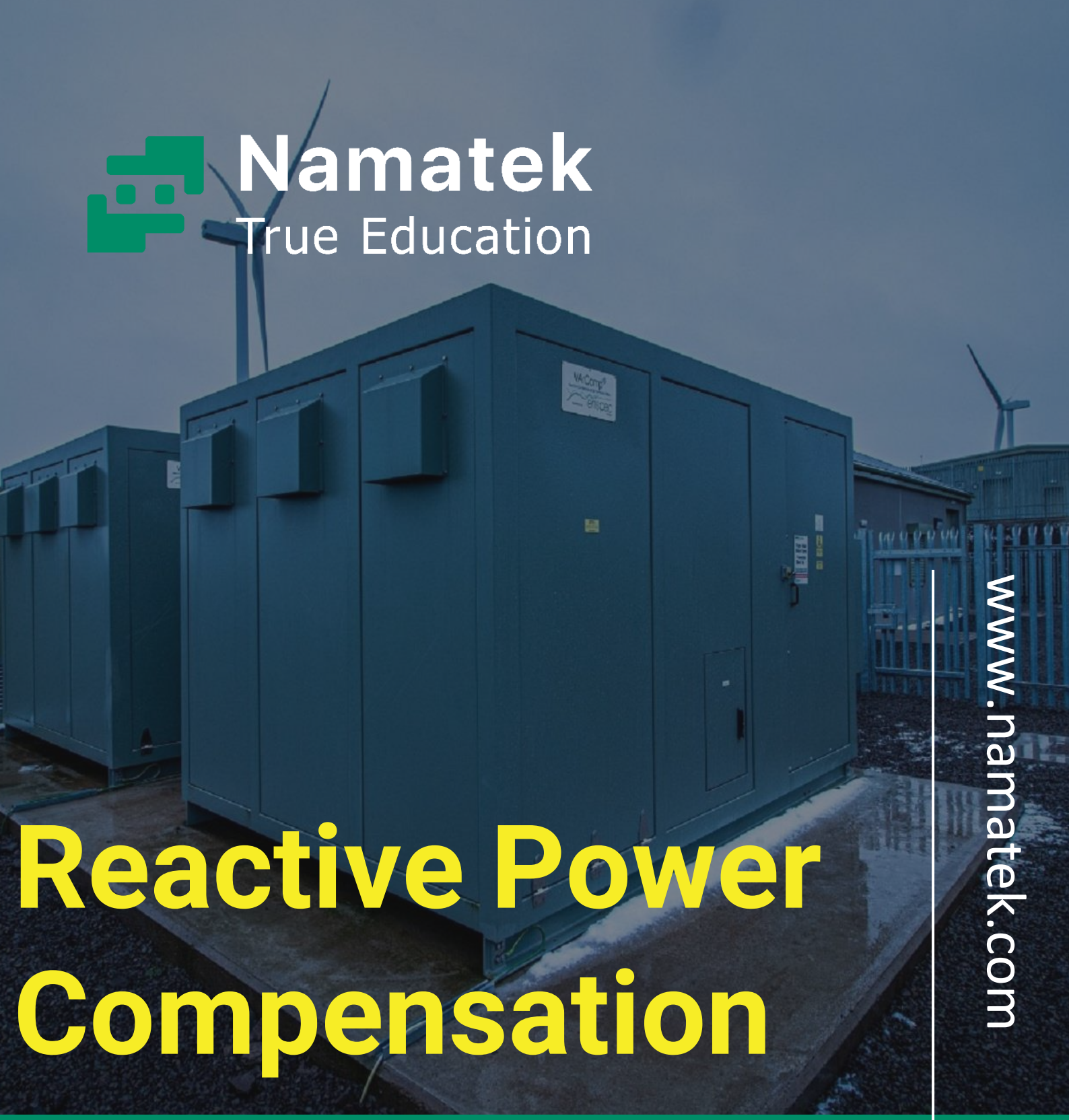
Namatek
True Education



Reactive Power Compensation

www.namatek.com

جبران سازی توان راکتیو

فهرست مطالب

۱. جبران سازی توان راکتیو چیست؟
۲. علل استفاده از جبران سازی توان راکتیو
۳. منابع جبران سازی توان راکتیو
۴. روش‌های جبران سازی توان راکتیو
۵. مزایای جبران سازی توان راکتیو چیست؟
۶. جبران سازی توان راکتیو بیش از حد چیست؟
۷. روش‌های متعادل کردن

www.namatek.com

کیفیت توان الکتریکی در یک شبکه یکی از نگرانی‌های عمده است که برای دستیابی به یک شبکه سیستم برق قابل اعتماد باید با احتیاط مورد بررسی قرار گیرد. جبران سازی توان راکتیو وسیله‌ای برای دستیابی به هدف یک سیستم قدرت الکتریکی قابل اعتماد است. در این مقاله به بررسی جبران سازی توان راکتیو، علل استفاده از آن، روش‌های جبران سازی توان راکتیو، منابع آن، مزایا و جبران سازی توان راکتیو بیش از حد خواهیم پرداخت.

جبران سازی توان راکتیو چیست؟

توان راکتیو، نوعی از توان الکتریکی است که برای تبادل میدان الکتریکی و میدان مغناطیسی در مدار استفاده می‌شود و به منظور ایجاد و حفظ میدان مغناطیسی در تجهیزات الکتریکی به کار برده می‌شود. این توان به اشکال دیگر انرژی تبدیل می‌شود. تمام تجهیزات الکتریکی با سیم پیچ‌های الکترومغناطیسی برای ایجاد یک میدان مغناطیسی توان راکتیو مصرف می‌کنند.

توان راکتیو کار نمی‌کند؛ اما برای اطمینان از هدایت توان اکتیو، ابتدا باید توان راکتیو شبکه را برآورده کرد. در شرایط عادی، تجهیزات الکتریکی نه تنها نیاز به دریافت توان اکتیو از منبع تغذیه دارند؛ بلکه نیاز به جبران سازی توان راکتیو از منبع تغذیه نیز دارند. اگر توان راکتیو در شبکه برق کم باشد، تجهیزات الکتریکی، توان راکتیو کافی برای ایجاد یک میدان الکترومغناطیسی معمولی را نخواهند داشت و این تجهیزات الکتریکی قادر به کار در شرایط نامی و ولتاژ پایانه الکتریکی نخواهند بود. در نتیجه بر عملکرد عادی تجهیزات الکتریکی تأثیر خواهد گذاشت. با این حال، توان راکتیو تأمین شده از ژنراتور و خط انتقال فشار قوی نمی‌تواند تقاضای بار را برآورده کند.

بنابراین، برخی از دستگاه‌های جبران سازی توان راکتیو باید در شبکه برق تنظیم شوند تا توان راکتیو را تکمیل کنند و از تقاضای کاربر برای توان راکتیو اطمینان لازم را به دست آورند؛ به گونه‌ای که تجهیزات الکتریکی بتوانند با ولتاژ نامی کار کنند. جبران ساز توان راکتیو به دستگاهی اطلاق می‌شود که دارای بار قدرت خازنی و بار قدرت القایی متصل به یک مدار است و انرژی بین دو بار مبادله می‌شود. به این ترتیب، توان راکتیو مورد نیاز بار القایی را می‌توان با توان راکتیو خروجی توسط بار خازنی جبران کرد.

جوانب

جبران سازی توان راکتیو به عنوان مدیریت توان راکتیو و به منظور بهبود عملکرد سیستم AC تعریف می‌شود. این جبران سازی دارای دو جنبه است که عبارت اند از:

- جبران بار که اهداف اصلی آن عبارت اند از:

- افزایش ضریب توان سیستم
- متعادل کردن قدرت واقعی گرفته شده از سیستم
- جبران تنظیم ولتاژ
- حذف هارمونیک‌های جاری

- پشتیبانی ولتاژ که هدف اصلی آن، کاهش نوسانات ولتاژ در ترمینال معین خط انتقال است. بنابراین جبران سازی توان راکتیو با افزایش حداکثر توان فعال قابل انتقال، پایداری سیستم AC را بهبود خواهد بخشید.

علل استفاده از جبران سازی توان راکتیو

توان راکتیو از منبع تغذیه به راکتور به گونه‌ای است که در سیکل یک چهارم سیگنال AC، یک خازن، توان را ذخیره می‌کند. این در حالی است که در سیکل چهارم، توان ذخیره شده به منبع AC برمی‌گردد. این حرکت به سمت و سوی توان راکتیو بین منبع و بار باید کنترل شود.

همچنین، بارهای موجود در تجهیزات صنعتی مانند:

- موتورهای القایی

- کوره‌های القایی
- قوس الکتریکی
- و مواردی از این قبیل

شامل مواردی هستند که با ضریب توان ضعیف کار می‌کنند، در حالی که لوله‌های فلورسنت و فن‌ها که با ضریب توان پایین کار می‌کنند به مقدار بسیار زیادی توان راکتیو نیاز دارند. سطح ولتاژ در پایانه‌های بار کاهش می‌یابد؛ به همین دلیل، ضریب توان سیستم لزوماً باید با استفاده از روش‌های خاص بهبود یابد.با جبران سازی توان راکتیو، راندمان انتقال افزایش می‌یابد و همراه آن، اضافه ولتاژهای حالت پایدار و موقت را می‌توان تنظیم کرد که در نتیجه از خاموشی جلوگیری می‌کند. تقاضا برای توان راکتیو عمدتاً از بار القایی متصل به سیستم ناشی می‌شود.

این بارهای القایی عموماً شامل موارد زیر هستند:

- مدارهای الکترومغناطیسی موتورهای الکتریکی
- ترانسفورماتورهای الکتریکی
- القایی شبکه‌های انتقال و توزیع
- کوره‌های القایی
- چراغ‌های فلورسنت

این توان راکتیو باید به درستی جبران شود، در غیر این صورت نسبت توان واقعی مصرف شده توسط بار، به توان کل، یعنی مجموع بردار توان اکتیو و راکتیو سیستم بسیار کمتر می‌شود. این امر، نسبت به صورت متناوب به عنوان ضریب توان الکتریکی شناخته می‌شود و نسبت پایین‌تر، نشان

دهنده ضریب توان ضعیف سیستم است. اگر ضریب توان سیستم ضعیف باشد، بار آمپر در موارد زیر برای توان اکتیو مورد نیاز زیاد می‌شود:

- شبکه انتقال
- شبکه توزیع
- ترانسفورماتورها
- دینام‌ها
- و انواع دیگر تجهیزات متصل به سیستم

از این رو جبران سازی توان راکتیو بسیار مهم است. این کار معمولاً توسط یک بانک خازن در پست برق انجام می‌شود.

هدف

هدف از جبران سازی توان راکتیو عبارت است از:

- **بهبود ضریب توان:** جبران سازی توان راکتیو عمدتاً به منظور اصلاح ضریب توان یک سیستم استفاده می‌شود. ضریب توان ضعیف (کم) نشان می‌دهد که توان راکتیو بیشتری در حال کشیده شدن است که منجر به استفاده ناکارآمد از توان خواهد شد. با جبران سازی این توان راکتیو، ضریب توان بهبود می‌یابد به این معنا که سیستم به گونه ای مؤثرتر از انرژی استفاده می‌کند.
- **کاهش تلفات:** با جبران سازی توان راکتیو به صورت محلی (نزدیک بار)، سیستم، مقدار توان راکتیو که باید در فواصل طولانی منتقل شود را کاهش می‌دهد. این امر باعث کاهش تلفات در شبکه‌های انتقال و توزیع می‌شود.

- **پایداری ولتاژ:** جبران سازی توان راکتیو می‌تواند به حفظ سطوح ولتاژ در محدوده مطلوب کمک کند که برای عملکرد قابل اعتماد تجهیزات الکتریکی بسیار مهم است.

منابع جبران سازی توان راکتیو

منابع به شرح زیر هستند:

- **ژنراتورهای سنکرون:** ماشین‌های سنکرون را می‌توان برای تولید یا جذب توان راکتیو بسته به تحریک (شکلی از کنترل ژنراتور) ایجاد کرد.
- **جبران کننده‌های سنکرون:** برخی از ژنراتورهای کوچکتر، هنگامی که به سرعت کار می‌کنند و با سیستم هماهنگ می‌شوند، می‌توانند از توربین خود جدا شوند و توان راکتیو را بدون تولید توان واقعی فراهم کنند.
- **جبران کننده‌های خازنی و القایی:** این جبران کننده‌ها، دستگاه‌هایی هستند که می‌توانند برای تنظیم سطوح ولتاژ به سیستم متصل شوند.

یک جبران کننده خازنی یک میدان الکتریکی و در نتیجه توان راکتیو تولید می‌کند. در حالی که یک جبران کننده القایی یک میدان مغناطیسی برای جذب توان راکتیو تولید می‌کند.

- **دستگاه‌های جبران ساز به صورت خازنی یا القایی:** این دستگاه‌ها به تنهایی یا به صورت ترکیبی برای تولید و جذب توان راکتیو در دسترس هستند.
- **خطوط هوایی و کابل های زیرزمینی:** خطوط هوایی و کابل‌های زیرزمینی، زمانی که با ولتاژ معمولی سیستم کار می‌کنند، هر دو میدان الکتریکی قوی تولید می‌کنند و بنابراین می‌توانند توان راکتیو تولید کنند. هنگامی که جریان از طریق یک خط یا کابل عبور کند، میدان مغناطیسی تولید می‌کند که توان راکتیو را جذب می‌کند.

یک خط هوایی با بار سبک، یک مولد خالص توان راکتیو است در حالی که یک خط با بار سنگین، یک جاذب خالص توان راکتیو است. در مورد کابل‌هایی که برای استفاده در ۲۲۰ یا ٤۰۰ کیلو ولت طراحی شده‌اند، توان راکتیو تولید شده توسط میدان الکتریکی همیشه بیشتر از توان راکتیو جذب شده توسط میدان مغناطیسی است و بنابراین کابل‌ها همیشه مولدهای خالص توان راکتیو هستند.

روش‌های جبران سازی توان راکتیو

در گذشته، کندانسورهای سنکرون دوار و خازن‌ها یا سلف‌های ثابت یا سوئیچ مکانیکی برای جبران سازی توان راکتیو استفاده می‌شدند. در سال‌های اخیر، جبران کننده VAR استاتیکی با استفاده از خازن‌های سوئیچ تریستوری و راکتورهای کنترل شده تریستور برای تأمین یا جذب توان راکتیو مورد نیاز توسعه یافته اند. مقدار کم ضریب توان به توان راکتیو زیادی نیاز دارد و این امر بر سطح ولتاژ تأثیر می‌گذارد. از این رو برای جبران سازی توان راکتیو، باید ضریب توان سیستم را بهبود بخشید. بنابراین، روش‌های جبران سازی توان راکتیو چیزی نیست جز روش‌هایی که با آن می‌توان ضریب توان ضعیف را بهبود بخشید.

این روش‌ها عبارت اند از:

- بانک‌های خازنی
- کندانسورهای سنکرون
- جبران کننده‌های VAR استاتیک

- جبران شنت
- جبران سری

که در ادامه با هر یک از آنها آشنا خواهیم شد.

بانک‌های خازنی

در این روش، یک بانک از خازن‌ها اتصالی در سراسر بار تشکیل می‌دهند. همانگونه که می‌دانیم خازن، توان راکتیو پیشرو را می‌گیرد، بنابراین باعث کاهش توان گرفته شده از منبع خواهد شد. در نتیجه می‌تواند، مقدار ضریب توان سیستم را بهبود بخشد.

این امر، بیشتر به عنوان جبران سری و شانت طبقه بندی می‌شود. این دسته بندی‌ها عمدتاً بر اساس روش‌های اتصال بانک خازنی با سیستم است. در بین این دو دسته، خازن‌های شنت بیشتر در سیستم قدرت تمام سطوح ولتاژ استفاده می‌شوند. استفاده از خازن‌های شنت مزایای خاصی دارد که از جمله آن می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- جریان خط سیستم را کاهش می‌دهد.
- سطح ولتاژ بار را بهبود می‌بخشد.
- تلفات سیستم را کاهش می‌دهد.
- ضریب توان جریان منبع را بهبود می‌بخشد.
- بار دینام را کاهش می‌دهد.
- سرمایه گذاری در هر مگاوات بار را کاهش می‌دهد.

کندانسورهای سنکرون

برانگیختن یک موتور سنکرون در بالای سطح ثابت باعث می‌شود که به عنوان خازن یا خازن سنکرون کار کند. این کار به منظور ارائه اصلاح دینامیکی ضرایب توان در محدوده تحریک آن طراحی شده است. در ابتدا، زمانی که موتور سنکرون تحت برانگیختگی قرار می‌گیرد، به عنوان یک ضریب توان تأخیری عمل می‌کند، بنابراین توان راکتیو جذب خواهد شد.

در حالی که در شرایط بیش از حد برانگیخته، ضریب توان پیشرو وارد عمل می‌شود و شروع به تولید توان راکتیو می‌کند، بنابراین به عنوان یک خازن عمل خواهد کرد. کندانسورهای سنکرون بیش از ۵۰ سال است که نقش مهمی در کنترل ولتاژ و توان راکتیو داشته‌اند.

جریان میدان برای تولید یا جذب توان راکتیو مطابق با نیاز سیستم AC تنظیم می‌شود. این دستگاه می‌تواند، کنترل توان راکتیو پیوسته را در صورت استفاده با مدار محرک خودکار مناسب ارائه دهد.

کندانسورهای سنکرون امروزه به ندرت مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ زیرا به پایه‌های قابل توجه و مقدار قابل توجهی تجهیزات راه اندازی و حفاظتی نیاز دارند. آنها همچنین به جریان اتصال کوتاه کمک می‌کنند و نمی‌توان آنها را با سرعت کافی برای جبران تغییرات سریع بار کنترل کرد.

جبران کننده‌های استاتیک VAR

جبران کننده‌های VAR استاتیک (با مزیت پاسخ سریع تر) از عناصر شنت توان راکتیو استاندارد (راکتورها و خازن‌ها) تشکیل شده اند که به منظور ارائه توان راکتیو سریع و متغیر کنترل می‌شوند. آنها را می‌توان به دو دسته

اصلی خازن سوئیچینگ تریستور و راکتور کنترل شده با تریستور دسته بندی کرد. با استفاده از این نوع جبران سازها، پایداری سیستم بهبود می‌یابد، تلفات خط کاهش پیدا می‌کند و تغییرات در محدوده حفظ خواهد شد.

این نوع از جبران کننده‌ها، دارای راکتورها و خازن‌های شنت هستند. راکتورهای شنت و راکتورهای کنترل شده با تریستور برای محدود کردن افزایش ولتاژ در شرایط بدون بار یا بار کم استفاده می‌شوند در حالی که خازن‌های استاتیک و خازن‌های سوئیچ تریستور برای جلوگیری از کاهش ولتاژ در شرایط بار اوج استفاده می‌شوند.

جبران شنت

راکتورهای متصل به شنت برای کاهش اضافه ولتاژ خط با مصرف توان راکتیو استفاده می‌شوند، در حالی که خازن‌های متصل به شنت برای حفظ سطوح ولتاژ با جبران سازی توان راکتیو به خط انتقال استفاده می‌شوند.

جبران سری

هنگامی که یک دستگاه به صورت سری به خط انتقال متصل می‌شود، جبران کننده سری نامیده می‌شود. یک جبران کننده سری را می‌توان به هر نقطه از خط متصل کرد. دو حالت در این کار وجود دارد که عبارت اند از:

- حالت عملیات خازنی
- حالت عملیات القایی

مزایای جبران سازی توان راکتیو چیست؟

مزایای جبران سازی توان راکتیو به صورت زیر هستند.

صرفه جویی در مصرف انرژی

به دست آوردن فناوری جبران سازی توان راکتیو به منظور بهبود ضریب توان شبکه برق فشار ضعیف و تجهیزات الکتریکی یک اقدام مهم برای صرفه جویی در مصرف انرژی است.

بهبود کیفیت ولتاژ و تثبیت عملکرد تجهیزات

جبران سازی توان راکتیو عبارت است از تأمین توان راکتیو لازم با کمک تجهیزات جبران سازی توان راکتیو به منظور:

- بهبود ضریب توان سیستم
- کاهش مصرف انرژی
- بهبود کیفیت ولتاژ شبکه برق
- تثبیت عملکرد تجهیزات

کاهش تلفات برق

به صورت کلی، سیم کشی برق کارخانه با توجه به خطوط مختلف و شرایط باری که وجود دارد، در حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد در معرض تلفات برق است. پس از استفاده از خازن‌ها به منظور بهبود ضریب توان، موج الکتریکی کل کاهش می‌یابد که می‌تواند تلفات برق جریان منبع تغذیه و ترمینال برق را نیز کاهش دهد.

بهبود ضریب توان

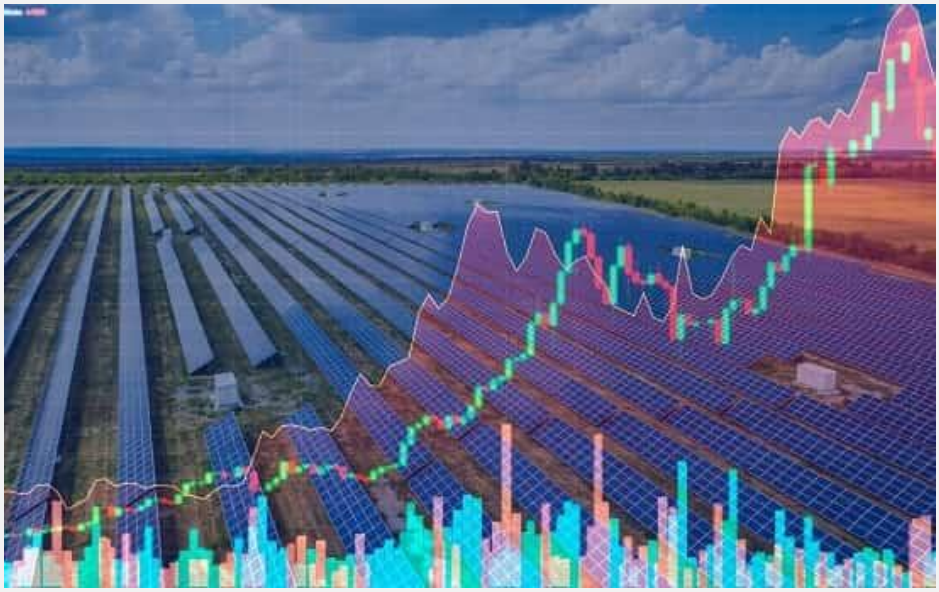
به منظور بهبود ضریب توان و افزایش ولتاژ سمت ثانویه، جبران سازی توان راکتیو، موارد زیر را ایجاد خواهد کرد:

- بهبود کیفیت منبع تغذیه
- بهبود ضریب توان
- کاهش جریان کل بار
- افت ولتاژ
- نصب خازن در سمت ثانویه ترانسفورماتور

افزایش عمر مفید تجهیزات

پس از بهبود ضریب توان، جریان کل خط کاهش می‌یابد، به‌گونه‌ای که بار ظرفیت ترانسفورماتور، کلید و سایر تجهیزات ماشین آلات و خط نزدیک به اشباع کاهش می‌یابد. بنابراین، افزایش دما را می‌توان کاهش و عمر سرویس را افزایش داد. (عمر خدمات را می‌توان یکبار برای هر کاهش دما ۱۰ درجه سانتیگراد افزایش داد.)

جبران سازی توان راکتیو بیش از حد چیست؟



جبران سازی بیش از حد زمانی اتفاق می‌افتد که جبران توان راکتیو بیش از حد لازم باشد و منجر به تأمین توان راکتیو بیشتر از نیاز شود. این امر می‌تواند، سبب شود که ضریب توان در جایی که جریان ولتاژ را هدایت می‌کند، تبدیل شود. مشکلات ناشی از جبران بیش از حد عبارت اند از:

- **ضریب قدرت پیشرو:** در حالی که ضریب توان تأخیری در سیستم‌هایی با بارهای القایی رایج است، یک ضریب توان پیشرو به دلیل جبران بیش از حد می‌تواند، مشکل ساز باشد. به عنوان مثال، اگر ژنراتورها و تجهیزات دیگر برای کنترل یک ضریب توان پیشرو طراحی نشده باشند، می‌توانند به صورت ناکارآمد کار کنند یا حتی آسیب ببینند.
- **افزایش ولتاژ:** جبران بیش از حد، اغلب منجر به افزایش ولتاژ سیستم می‌شود. این امر می‌تواند بر عایق بودن تجهیزات فشار وارد کند، طول عمر آن را کاهش دهد و منجر به مشکلات عملیاتی شود.

- **رزونانس:** جبران بیش از حد می‌تواند، شرایطی را ایجاد کند که فرکانس طبیعی سیستم با فرکانس هارمونیک‌های موجود در شبکه مطابقت داشته باشد. این رزونانس می‌تواند، عدم تناسب هارمونیک را تقویت کند و منجر به افزایش ولتاژ و جریان شود که می‌تواند به تجهیزات آسیب برساند.
- **افزایش تلفات انرژی:** سیستم‌های جبران بیش از حد ممکن است نه تنها به صورت ناکارآمد عمل کنند؛ بلکه ممکن است توان راکتیو غیرضروری را به شبکه برگردانند که می‌تواند منجر به هدر رفتن انرژی شود.
- **خرابی تجهیزات:** برخی از دستگاه‌های الکتریکی، به ویژه آنهایی که برای کارکرد در یک ضریب توان خاص طراحی شده‌اند، ممکن است در معرض ضریب توان پیشرو قرار بگیرند یا دچار اختلال یا آسیب شوند.

روش‌های متعادل کردن

از جمله راه‌های متعادل کردن جبران سازی توان راکتیو می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- **ارزیابی دقیق:** قبل از اجرای جبران سازی توان راکتیو، تجزیه و تحلیل کامل نیازهای توان راکتیو سیستم برای جلوگیری از جبران بیش از حد ضروری است.
- **جبران پویا:** استفاده از دستگاه‌های جبران پویا مانندSVG ها امکان تنظیمات بلافاصله در سطح جبران را فراهم می‌کند و این اطمینان را

به دست می‌آورد که نیازهای فعلی سیستم را برآورده کند بدون این که منجر به جبران بیش از حد شود.

- **نظارت منظم:** نظارت مستمر بر ضریب توان، ولتاژ و محتوای هارمونیک سیستم می‌تواند به تشخیص و اصلاح زودهنگام جبران بیش از حد کمک کند.

جبران سازی توان راکتیو به منظور بهبود ضریب توان، کاهش تلفات و حفظ پایداری ولتاژ در سیستم‌های قدرت ضروری است. با این حال، باید از جبران بیش از حد اجتناب شود؛ زیرا می‌تواند منجر به ضریب توان پیشرو، افزایش ولتاژ و مشکلات رزونانس شود. تجزیه و تحلیل مناسب، روش‌های جبران پویا و نظارت منظم کلیدی برای دستیابی به جبران سازی توان راکتیو بهینه بدون خطر جبران بیش از حد هستند.