

مفاهیم بانک خازنی



TESLA KALA
تسلا کالا

فهرست

۳	 مقدمه
۴	 فصل اول : اصول
۱۰	 فصل دوم : انواع جبران سازی
۱۴	 فصل سوم : تعیین خازن مورد نیاز
۲۱	 فصل چهارم : کاربرد ها
۳۰	 فصل پنجم : مشخصات توان
۳۸	 فصل ششم : نصب
۴۴	 فصل هفتم : فرمول های محاسبات برای خازن
۴۶	 فصل هشتم : هارمونیک ها
۵۳	 فصل نهم : چگونگی جبران سازی در حضور هارمونیک



هزینه برق یکی از هزینه‌های روبه‌رشد انواع مصرف‌کننده‌های صنعتی، تجاری و حتی مسکونی به حساب می‌آید و اصلاح ضریب توان (power factor) یکی از موثرترین و به صرفه‌ترین روش‌های کاهش هزینه‌های برق مصرفی می‌باشد که در مدت زمان منطقی (معمولاً 1 تا 3 سال) هزینه‌های طراحی، نصب و راه‌اندازی بانک خازنی به سبب کاهش هزینه‌های برق باز می‌گردد، در واقع هزینه‌ای که برای بانک خازن متقبل می‌شویم یک سرمایه در گردش است.

ما در **تسلاکالا** به عنوان مرجعی پیشرو در بررسی آنلاین و خرید آسان تجهیزات بانک خازنی تلاش می‌کنیم که اطلاعات فنی که در اختیار داریم را برای آموزش به فعالین و علاقه‌مندان این حوزه منتشر کنیم. در این کتابچه که توسط گروه **آکادمی تسلاکالا** منتشر گشته، تلاش شده است تا با بیان و لحنی ساده مفاهیم مربوط به طراحی بانک خازنی آموزش داده شود و امیدواریم که برای شما خوانندگان گرامی مفید واقع شود. برای مشاهده ی تصاویر، اطلاعات فنی و قیمت تجهیزات نامبرده شده در این کتاب **اینجا** را کلیک کنید. این فایل ورژن 1.01 کتابچه مفاهیم و اصول طراحی بانک خازنی می‌باشد که علی‌رغم تلاش زیاد ما، بدون شک دارای ایرادات اجتناب ناپذیری می‌باشد که از شما علاقه‌مندان و خوانندگان گرامی پیشاپیش بابت ایرادات فنی و نگارشی این فایل پوزش می‌طلبیم و تمام پیشنهادات و نکات شما را به دقت بررسی کرده و در نسخه‌های آتی این کتابچه در نظر خواهیم گرفت. برای ارسال پیشنهادات و انتقادات خود لطفاً از طریق ایمیل info@teslakala.com با ما در ارتباط باشید.

این کتاب از **Manual of Power Factor Correction** نوشته ی **Peter Riese** و ترجمه ی فارسی آن توسط **Farakoh Co** اقتباس گردیده است.





فصل اول

اصول



اصول

پیش از پرداختن به جزئیات جبران سازی و چگونگی کنترل سیستم جبران سازی لازم است تا اطلاعات اولیه ای درباره جریان متناوب ارائه شود.

توان اکتیو

در یک بار اهمی خالص بدون قسمت سلفی یا خازنی مانند بخاری برقی، عبور از صفر جریان و ولتاژ روی هم قرار می گیرد (شکل ۱). جریان و ولتاژ در این حالت اصطلاحاً هم فاز هستند. از ضرب مقادیر لحظه ای ولتاژ (U) و جریان (I) توان اکتیو لحظه ای تشکیل می شود. فرکانس توان دو برابر فرکانس شبکه است و کاملاً در قسمت بالا (مثبت) واقع می شود چرا که حاصل ضرب دو عدد منفی همواره عددی مثبت است.

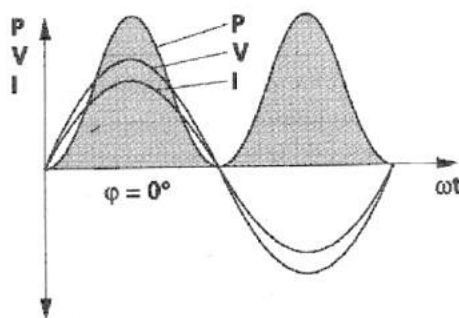
$$(-V) \cdot (-I) = (+P)$$

توان اکتیو به شکلی غیرالکتریکی (مثل حرارت، نور، توان مکانیکی) تغییر شکل می یابد و از طریق کنتور ثبت می شود.

این در حالیهست که در بار اهمی خالص، توان اکتیو از حاصل ضرب مقدار موثر جریان (I) و ولتاژ (U) محاسبه می شود.

$$[W] = [V] \cdot [A]$$

$$P = U \cdot I$$



شکل ۱: ولتاژ، جریان، و توان در بار اهمی ($\varphi = 0^\circ$)

توان اکتیو و راکتیو

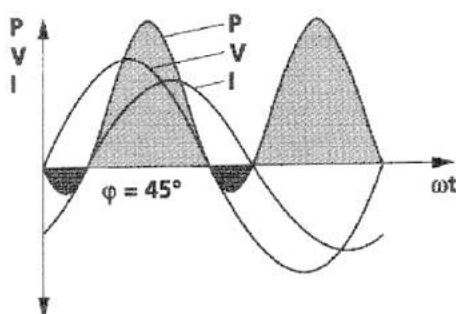
در عمل، اغلب بار خالص اهمی وجود ندارد بلکه قسمت سلفی نیز به آن اضافه می گردد. این مطلب در تمامی مصرف کنندگانی که به میدان مغناطیسی احتیاج دارند مانند موتور آسنکرون، راکتور و ترانسفورماتور صادق است. همچنین مبدل ها و یکسوسازها برای کموتاسیون نیازمند توان راکتیو هستند. جریانی که میدان مغناطیسی را به وجود می آورد و باعث تغییر قطب های آن می گردد، مصرف نمی شود بلکه به عنوان جریان راکتیو بین بار و ژنراتور رفت و آمد می کند



همان طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، دیگر عبور از صفر ولتاژ و جریان بر روی یکدیگر قرار نمی‌گیرند و یک تأخیر بین آن دو وجود دارد. در بارهای اندوکتیو جریان بعد از ولتاژ حرکت کرده و در بارهای خازنی جریان جلوتر از ولتاژ حرکت می‌کند. در این حالت از رابطه $(P) = (I) \cdot (U)$ مقدار توان لحظه‌ای محاسبه می‌گردد چرا که اگر یکی از دو عدد منفی باشد، حاصل منفی خواهد شد. مثالی با تأخیر فاز $\varphi = 45^\circ$ انتخاب شده است که این اختلاف فاز برابر ضریب توان 0.707 می‌باشد. بخشی از منحنی توان در محدوده منفی قرار می‌گیرد که در این حالت توان اکتیو این‌گونه محاسبه می‌شود:

$$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi$$

$$[W] = [V] \cdot [A]$$



شکل ۲: ولتاژ، جریان و توان در بار اهمی - سلفی

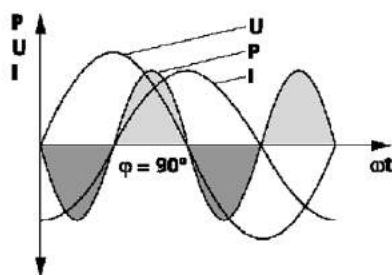
توان راکتیو

در موتورهای و ترانسفورماتورهای بی بار، اگر تلفات کابل‌ها، آهن و اصطکاک نادیده گرفته شود، آنچه باقی می‌ماند تنها توان راکتیو سلفی است.

در صورتی که منحنی‌های ولتاژ و جریان با یکدیگر 90° اختلاف فاز داشته باشند نیمی از منحنی توان در ناحیه مثبت و نیمی دیگر در ناحیه منفی قرار می‌گیرد. در این حالت توان اکتیو صفر است چون ناحیه مثبت و ناحیه منفی برابر می‌باشند. توان راکتیو که برای به وجود آوردن میدان الکترومغناطیسی بین ژنراتور و مصرف کننده در حال نوسان است، از رابطه درون کادر زیر به دست می‌آید:

$$Q = U \cdot I \cdot \sin\varphi$$

$$[VAr] = [V] \cdot [A]$$



شکل ۳: ولتاژ، جریان و توان در بار کاملاً سلفی

توان ظاهری

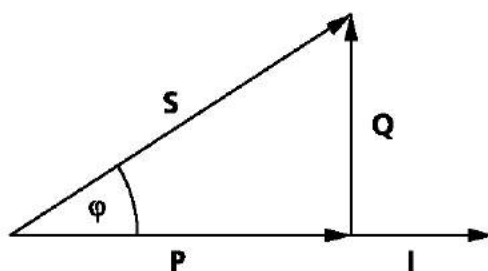
توان ظاهری يك شبکه مشخص کننده میزان بارپذیری آن شبکه است. ژنراتورها، ترانسفورماتورها، کلیدها، فیوزها، مقاطع سیم‌ها و کابل‌ها می‌بایستی متناسب با توان ظاهری شبکه انتخاب شوند. توان ظاهری حاصل ضرب مقدار ولتاژ و جریان بدون در نظر گرفتن اختلاف فاز آنها است. در واقع توان ظاهری از جمع هندسی توان موثر و توان راکتیو به دست می‌آید.

$$S = U \cdot I$$

$$[VA] = [V] \cdot [A]$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$[VA] = [W] \cdot [VAR]$$



شکل ۴: دیاگرام قدرت

ضریب توان

از کسینوس زاویه اختلاف فاز جریان و ولتاژ می‌توان اجزاء ظاهری و مؤثر توان‌ها، ولتاژها، و جریان‌ها را محاسبه نمود؛ در عمل ضریب توان بدین صورت تعریف می‌شود:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{[W]}{[VA]}$$

در دستگاه‌های الکتریکی اصولاً ضریب توان برای بار کامل نوشته می‌شود. از آنجایی که شبکه برای توان ظاهری خاصی طراحی شده است، لذا سعی بر این است که مقدار توان ظاهری حتی‌الامکان پایین نگه‌داشته شود. در صورتی که خازن‌های مناسب به صورت موازی و در کنار مصرف‌کننده نصب شوند، بخشی از توان راکتیو بین خازن و مصرف‌کننده نوسان می‌کند و باقی‌مانده از شبکه کشیده می‌شود که میزان بارگذاری راکتیو شبکه را کاهش می‌دهد. این در صورتی است که اگر به وسیله جبران‌سازی، ضریب توان به يك برسد تنها جریان مؤثر را در شبکه خواهیم داشت.

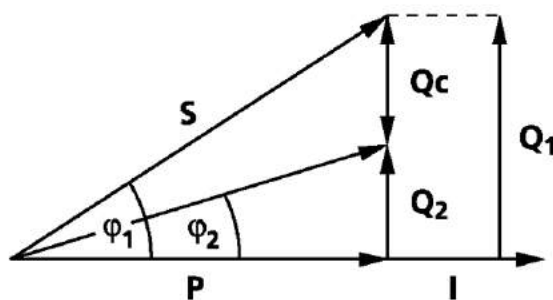
Q_c توان راکتیوی است که خازن مولد آن است و مقدار عددی آن از اختلاف توان اکتیو قبل از جبران‌سازی (Q_1) و بعد از جبران‌سازی (Q_2) به دست می‌آید بنابراین خواهیم داشت:

$$Q_c = Q_1 - Q_2$$

$$Q_c = P \cdot (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)$$

$$[VAR] = [W]$$



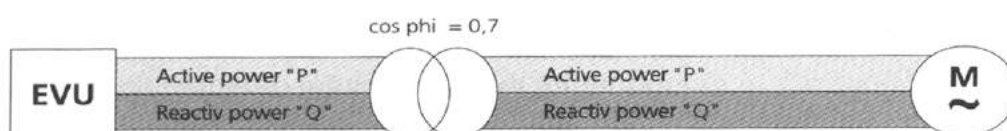


شکل ۵: دیاگرام اثر جبران سازی

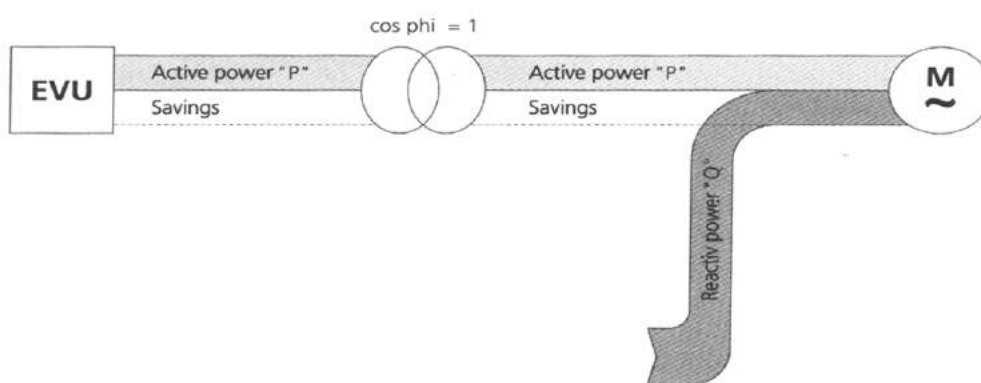
چرا جبران سازی؟

توان راکتیوی که بین ژنراتور و مصرف کننده در حال نوسان است در شبکه به گرما تبدیل می شود. مولدها، ترانسفورماتورها، کابل ها، سیم کشی ها و کلیدها نیز بر اثر آن گرما، تحت اضافه بار قرار می گیرند که تلفات و افت ولتاژ را به همراه دارند. در صورت زیاد بودن مقدار توان اکتیو مصرفی ممکن است کابل ها و سیم ها، توان انتقال جریان برق را نداشته باشند و لازم باشد که کابل ها و سیم هایی با مقاطع بزرگ تر به کار گرفته شوند.

از نظر وزارت نیرو کوچک بودن ضریب توان باعث افزایش هزینه های تولید، انتقال و توزیع و حتی مخارج سرمایه گذاری و نگهداری تجهیزات در شبکه برق می شود به همین دلیل این هزینه ها به قبض برق مصرف کننده هایی که ضریب توانی پایین تر از رنج مجاز دارند اضافه می گردد.



شکل ۶: جریان اکتیو و راکتیو در شبکه بدون تجهیزات جبران سازی



شکل ۷: جریان اکتیو و راکتیو در شبکه به همراه تجهیزات جبران سازی

مزایای خازن گذاری

- ۱ استفاده اقتصادی از: ژنراتورها
- ۲ ترانسفورماتورها
- ۳ سیم ها و کابل ها
- ۴ کلید ها

کاهش تلفات و افت ولتاژ؛ در نتیجه ← مخارج کم انرژی





فصل دوم

انواع جبران سازی



جبران سازی انفرادی

در ساده‌ترین شکل، یک خازن با مقدار مناسب، به صورت موازی با هر مصرف‌کننده سلفی نصب می‌گردد. با این نوع خازن‌گذاری به طرز چشم‌گیری از بار سیم‌ها و کابل‌ها کاسته می‌شود. باید در نظر داشت که خازن فقط در محدوده زمانی فعالیت دستگاه‌ها مورد استفاده واقع شود. در ضمن نصب خازن برای جبران‌سازی انفرادی دستگاه‌ها به سبب مسائلی چون فضای کافی و یا مخارج مونتاژ و نصب، روش ساده‌ای نیست.

کاربرد:

۱ جهت جبران‌سازی توان راکتیو بی‌باری ترانسفورماتورها

۲ برای موتورهای دائم‌کار

۳ برای موتورهای کم‌بار یا با کابل طولانی

مزایا:

۱ پاک شدن شبکه داخلی از جریان راکتیو

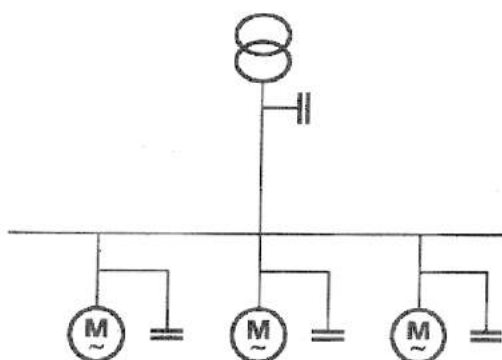
۲ مخارج کمتر برحسب kVAR

معایب:

۱ جبران‌سازی در تمام کارخانه پخش می‌شود.

۲ نصب پیچیده

۳ به طور کلی به خازن بیشتری نیاز است چون توجهی به ضریب هم‌زمانی نمی‌شود.



شکل ۸: مثالی از جبران‌سازی انفرادی



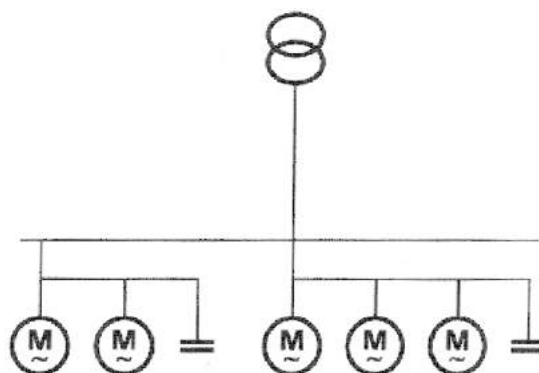
جبران سازی گروهی

دستگاه‌هایی که به صورت گروهی نصب شده‌اند، به صورت جمعی جبران‌سازی می‌شوند به این شکل که به جای خازن‌های متعدد با ظرفیت پایین، یک خازن مناسب با ظرفیت بالاتر نصب می‌گردد.

کاربرد ← برای مصارف سنگین سلفی در صورتی که با هم به کار گرفته شوند.

مزایا ← بسیار شبیه به روش جبران‌سازی انفرادی ولی اقتصادی‌تر

معایب ← فقط برای مصرف‌کننده‌های گروهی که با هم کار می‌کنند قابل استفاده می‌باشد.



شکل ۹: مثالی از جبران‌سازی گروهی

جبران سازی مرکزی

جبران‌سازی کلی به صورت متمرکز مثلاً در ورودی فشار ضعیف نصب می‌شود، که با نام بانک خازنی شناخته می‌شود بدین طریق تمام توان راکتیو مورد نیاز پوشش داده می‌شود. توان کلی خازن‌ها به پله‌های متعدد تقسیم شده و به وسیله یک رگولاتور توان راکتیو از طریق کنتاکتورها، بسته به وضعیت بار به مدار وارد و یا خارج می‌شوند.

این روش امروزه بیشتر مورد توجه قرار گرفته است چرا که جبران‌سازی مرکزی می‌تواند به آسانی تحت کنترل قرار گیرد. تنظیم‌کننده‌های راکتیو مدرن می‌توانند دائماً وضعیت کلیدها، ضریب توان، جریان اکتیو و راکتیو و همچنین هارمونیک‌های موجود در شبکه را تحت نظارت قرار دهند. به طور کلی با این روش به دلیل در نظر گرفتن هم‌زمانی در تمام کارخانه، توان خازنی کمتری نسبت به جبران‌سازی انفرادی یا گروهی نیاز است. در این روش جریان راکتیو سیم‌ها و کابل‌های به کار گرفته شده در شبکه درونی از طریق جبران‌سازی کاهش پیدا نمی‌کنند و در واقع اگر سطح مقطع کابل‌ها و سیم‌های بار به اندازه کافی بزرگ باشد این نوع جبران‌سازی دیگر مزیتی نسبت به سایر روش‌های جبران‌سازی نخواهد داشت.



کاربرد ← این روش در صورتی که مقاطع سیم ها و کابل های داخل کارخانه ایجاد مشکل نکنند، همواره قابل استفاده است.

مزایا:

۱ سیستم کاملاً مقابل دید بوده و به آسانی کنترل می شود.

۲ استفاده مفید از توان خازن نصب شده

۳ نصب ساده در اغلب موارد

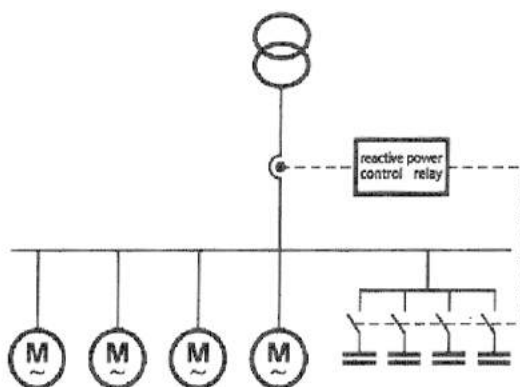
۴ مصرف کمتر خازن چون ضریب هم زمانی در نظر گرفته می شود.

۵ در صورت وجود هارمونیک در شبکه، هزینه کمتری به دنبال دارد چرا که خازن ها آسان تر به سلف مجهز می شوند.

معایب:

۱ بار داخلی شبکه کم نمی شود.

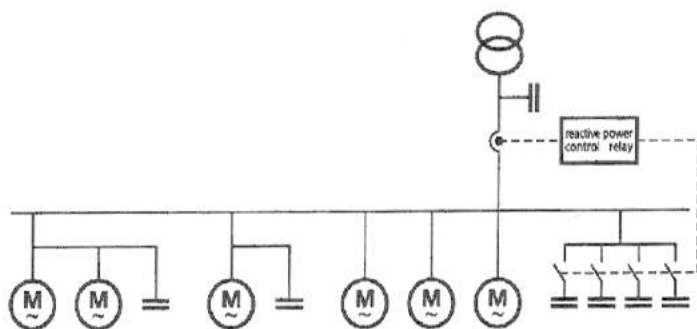
۲ مخارج اضافی برای تنظیم اتوماتیک سیستم.



شکل ۱۰: مثالی از جبران سازی متمرکز

جبران سازی مخلوط

به دلایل اقتصادی اغلب مقرون به صرفه است که هر سه روش مذکور را همراه با هم به کار بگیریم، به این روش جبران سازی، جبران سازی مخلوط گفته می شود.



شکل ۱۱: مثالی از جبران سازی مخلوط



فصل سوم

تعیین خازن مورد نیاز



تعرفه های جریان

برای مصرف کنندگان کوچک قوانین تعرفه مشخصی از سوی شرکت های برق منطقه ای اعلام می شود. این در صورتی است که برای مصرف کنندگان بزرگ قراردادهای مخصوصی منعقد می گردد. در بیشتر این قراردادها، هزینه های برق از اجزاء زیر تشکیل شده است:

- توان اکتیو [kW] - اندازه گیری توسط کنتور ماکسی متر مانند ماکزیمم در هر ۱۵ دقیقه
- توان مؤثر [kWh] - اندازه گیری توسط کنتور اکتیو چند تعرفه ای (اغلب تعرفه روز و شب جداست)
- توان راکتیو [kVARh] - اندازه گیری توسط کنتور راکتیو چند تعرفه ای که بخشی از آن تعرفه روز و شب جدا دارد.

در حال حاضر زمانی مخارج انرژی راکتیو محاسبه می شود که بار راکتیو بیش از ۵۰٪ بار اکتیو باشد که این مطابق با ضریب توان ۰/۹ می باشد. منظور این نیست که ضریب توان هرگز نباید بیشتر از ۰/۹ باشد، در واقع این ضریب توان به عنوان ضریب توان پایه در متوسط ماهانه صدق می کند.

در انواع تعرفه ها، توان با kW محاسبه نمی شود بلکه با kVA محاسبه می گردد و در این صورت هزینه های توان راکتیو در قیمت توان مستتر است. برای پایین آوردن مخارج در این موارد می بایستی سعی بر آن شود تا ضریب توان به ۱ افزایش یابد. در مجموع باید از این نقطه نظر به موضوع نگاه کرد که در صورت انتخاب قدرت جبران سازی مناسب، از پرداخت مخارج اضافی جلوگیری می گردد.

تخمین کلی

در ادامه به این موضوع خواهیم پرداخت که چگونه می توان توان جبران سازی مورد نیاز را به دست آورد. در برخی از موارد اطمینان صد در صدی به صحت نتیجه محاسباتی وجود ندارد بنابراین می توان به طور تخمینی بررسی کرد که نتیجه محاسبه شده تا چه اندازه به حقیقت نزدیک است. تا زمانی که مصرف کننده های نصب شده خارج از عرف معمولی نباشند، چنین تخمین هایی به طور کلی نزدیک به اعداد واقعی هستند.

نوع مصرف کننده	قدرت نامی خازن
موتورهای دارای جبران سازی انفرادی	۳۵-۴۰٪ توان موتور
ترانس های جبران سازی انفرادی	۲/۵٪ ظرفیت ترانس (در ترانس های قدیمی ۵٪)
جبران سازی مرکزی	۳۳-۲۵٪ توان ترانس با هدف ۰/۹ $\cos\phi$ ۵۰-۴۰٪ توان ترانس با هدف ۱ $\cos\phi$

جدول ۱: داده های تخمینی برای توان خازن مورد نیاز



تهیه لیست از مصرف کنندگان

در يك كارگاه جدیدالتاسیس یا در بخشی از كارگاه ابتدا باید تخمینی کلی از بارها در دست باشد. جزئیات بیشتر را می‌توان با تهیه لیستی از مصرف‌کننده‌های نصب شده و مشخصات الکتریکی و ضرایب هم‌زمانی آنها به دست آورد.

این جبران‌سازی باید چنان طراحی شده و به اجرا در آید که در صورت نیاز به گسترش، مخارج زیادی را برای مجموعه در پی نداشته باشد. کابل‌ها، سیم‌ها و همچنین فیوزها می‌بایستی چنان در نظر گرفته شوند که قابل توسعه باشند در غیر این صورت باید فضایی برای نصب خازن‌های اضافی نیز در نظر گرفته شود.

محاسبه توان خازن مورد نیاز به وسیله اندازه‌گیری

اندازه‌گیری شدت جریان و ضریب توان

آمپر متر و دستگاه اندازه‌گیری توان اغلب در تابلو اصلی نصب می‌شوند که می‌توان از دستگاه‌های اندازه‌گیری چنگکی هم استفاده نمود. اندازه‌گیری‌های مورد نیاز در فیدر ورودی و یا فیدرهای خروجی پست اصلی انجام می‌پذیرد. اندازه‌گیری هم‌زمان ولتاژ شبکه دقت محاسبه را بهتر می‌نماید که البته می‌توان ولتاژ نامی را ۳۸۰ یا ۴۰۰ ولت در نظر گرفت.

با ولتاژ (U)، جریان ظاهری (Is) و ضریب توان می‌توان توان اکتیو را محاسبه نمود:

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_s \cdot \cos \varphi \cdot 10^{-3}$$

$$[kW] = [V] \cdot [A]$$

در صورتی که $\cos \varphi$ مورد نظر مشخص باشد می‌توان با فرمول زیر توان خازن را محاسبه کرد. که البته ساده‌تر است که فاکتور f از جدول 2 (صفحه 18) استخراج شود و در توان موثر محاسبه شده ضرب شود:

$$Q_c = P \cdot (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)$$

$$[VAr] = [W]$$

$$Q_c = P \cdot f$$

$$[VAr] = [W]$$

$$P = \sqrt{3} \times 397 \times 248 \times 0.86 \times 10^{-3}$$

$$P = 146.6 \text{ kW}$$

از جدول ۲ ضریب f برابر ۰/۱۷ است پس مقدار خازن مورد نیاز عبارتست از:

$$Q_c = 146.6 \times 0.17 = 24.9 \text{ kVAR}$$

مثال: اطلاعات برای

جریان ظاهری = ۲۴۸ آمپر

ضریب توان = ۰/۸۶

ضریب توان مطلوب = ۰/۹۲

ولتاژ = ۳۹۷ ولت



تذکر: در سطر فوق اندازه‌گیری که بر اساس آن محاسبات انجام گرفت، مقادیر لحظه‌ای را به دست می‌دهند. میزان بار بسته به روز و فصل تغییرات شدیدی دارد و به همین جهت کسی باید



اندازه‌گیری را انجام دهد که کارگاه و یا کارخانه را به خوبی می‌شناسد. اندازه‌گیری‌های متعددی باید انجام پذیرد و به این نکته توجه شود که مصرف‌کننده‌های نیازمند به جبران‌سازی (مصرف‌کننده‌های اصلی) در حال کار باشند. همچنین داده‌های اندازه‌گیری بایستی حتی‌الامکان سریعاً و هم‌زمان برای تمام دستگاه‌ها خوانده شود، تا این که با یک نوسان بار شدید ناگهانی، اشتباهی در نتایج رخ ندهد.

اندازه‌گیری به وسیله ثبات اکتیو و راکتیو :

نتایج قابل قبول به وسیله دستگاه فوق حاصل می‌شود. این داده‌ها می‌توانند برای مدت زمان طولانی ثبت شوند. بدین طریق داده‌های پیک به دست می‌آید.

توان خازن طبق روال زیر محاسبه می‌شود :

$$Q_c = Q_L - (P \cdot \tan \varphi_2)$$

[kVAr][kVAr]

توان خازن مورد نیاز Q_c

Q_L توان راکتیو اندازه‌گیری شده

P توان موثر اندازه‌گیری شده

تانژانت زاویه متناظر $\cos \varphi$ مورد نظر (از جدول ۲ می‌توان این مقدار را برداشت کرد) $\tan \varphi_2$ مثلاً برای ۰/۹۲ ، مقدار ۰/۴۳ به دست می‌آید.

اندازه‌گیری از طریق خواندن کنتور :

کنتور توان اکتیو و راکتیو در ابتدای کار خوانده می‌شود. ۸ ساعت بعد، هر دو کنتور مجدداً خوانده می‌شوند. در صورتی که در این ۸ ساعت توقفی در کار ایجاد شده باشد، این مدت توقف باید به ۸ ساعت اضافه شود.

$$\frac{RM_2 - RM_1}{AM_2 - AM_1} = \tan \varphi$$

$$Q_c = \frac{(AM_2 - AM_1)K}{8} \cdot f$$

RM_1 مقدار اولیه کنتور راکتیو

RM_2 مقدار نهایی کنتور راکتیو

AM_1 مقدار اولیه کنتور اکتیو

AM_2 مقدار نهایی کنتور اکتیو

با حاصل به دست آمده برای $\tan \varphi$ و $\cos \varphi$ مورد نظر از جدول ۲ می‌توان فاکتور f را به دست آورد.

K نسبت ترانس جریان کنتور است.



● مثال: مقادیر زیر با خواندن کنتورها ثبت شده‌اند.

$$AM_1 = 115/3 \quad AM_2 = 124/6$$



کنتور اکتیو (کیلووات ساعت)

$$RM_1 = 311/2 \quad RM_2 = 321/2$$



کنتور راکتیو (کیلووات ساعت)

کنتورها با ترانس جریان با نسبت ۱۵۰ به ۵ آمپر (۱۵۰ / ۵ A) کار می‌کنند، بنابراین ضریب تبدیل جریان باید $K=30$ در نظر گرفته شود.

$$\tan \varphi = \frac{321.2 - 311.2}{124.6 - 115.3} = 1.08$$

محاسبه:

برای رسیدن به ضریب توان ۰/۹۲ ضریب f از جدول برابر ۰/۶۵ به دست می‌آید مقدار خازن، مورد نیاز برابرست با:

$$Q_c = \frac{(124.6 - 115.3) \times 30}{8} \times 0.65 = 22.67 \text{ kVar}$$

جدول ۲: فاکتور $f = (\tan \varphi_{\text{actual}} - \tan \varphi_{\text{desired}})$

ضریب توان واقعی		ضریب توان مطلوب							
$\tan \varphi$	$\cos \varphi$	۰/۸۰	۰/۸۵	۰/۹۰	۰/۹۲	۰/۹۵	۰/۹۸	۱/۰۰	
۳/۱۸	۰/۳۰	۲/۴۳	۲/۳۶	۲/۷۰	۲/۷۵	۲/۸۵	۲/۹۸	۳/۱۸	
۲/۹۶	۰/۳۲	۲/۲۱	۲/۳۴	۲/۴۸	۲/۵۳	۲/۶۳	۲/۷۶	۲/۹۶	
۲/۷۷	۰/۳۴	۲/۰۲	۲/۱۵	۲/۲۸	۲/۳۴	۲/۴۴	۲/۵۶	۲/۷۷	
۲/۵۹	۰/۳۶	۱/۸۴	۱/۹۷	۲/۱۰	۲/۱۷	۲/۲۶	۲/۳۹	۲/۵۹	
۲/۴۳	۰/۳۸	۱/۶۸	۱/۸۱	۱/۹۵	۲/۰۱	۲/۱۱	۲/۲۳	۲/۴۳	
۲/۲۹	۰/۴۰	۱/۵۴	۱/۶۷	۱/۸۱	۱/۸۷	۱/۹۶	۲/۰۹	۲/۲۹	
۲/۱۶	۰/۴۲	۱/۴۱	۱/۵۴	۱/۶۸	۱/۷۳	۱/۸۳	۱/۹۶	۲/۱۶	
۲/۰۴	۰/۴۴	۱/۲۹	۱/۴۲	۱/۵۶	۱/۶۱	۱/۷۱	۱/۸۴	۲/۰۴	
۱/۹۳	۰/۴۶	۱/۱۸	۱/۳۱	۱/۴۵	۱/۵۰	۱/۶۰	۱/۷۳	۱/۹۳	
۱/۸۳	۰/۴۸	۱/۰۸	۱/۲۱	۱/۳۴	۱/۴۰	۱/۵۰	۱/۶۲	۱/۸۳	
۱/۷۳	۰/۵۰	۰/۹۸	۱/۱۱	۱/۲۵	۱/۳۱	۱/۴۰	۱/۵۳	۱/۷۳	
۱/۶۴	۰/۵۲	۰/۸۹	۱/۰۲	۱/۱۶	۱/۲۲	۱/۳۱	۱/۴۴	۱/۶۴	
۱/۵۶	۰/۵۴	۰/۸۱	۰/۹۴	۱/۰۷	۱/۱۳	۱/۲۳	۱/۳۶	۱/۵۶	
۱/۴۸	۰/۵۶	۰/۷۳	۰/۸۶	۱/۰۰	۱/۰۵	۱/۱۵	۱/۲۸	۱/۴۸	
۱/۴۰	۰/۵۸	۰/۶۵	۰/۷۸	۰/۹۲	۰/۹۸	۱/۰۸	۱/۲۰	۱/۴۰	
۱/۳۳	۰/۶۰	۰/۵۸	۰/۷۱	۰/۸۵	۰/۹۱	۱/۰۰	۱/۱۳	۱/۳۳	
۱/۳۰	۰/۶۱	۰/۵۵	۰/۶۸	۰/۸۱	۰/۸۷	۰/۹۷	۱/۱۰	۱/۳۰	
۱/۲۷	۰/۶۲	۰/۵۲	۰/۶۵	۰/۷۸	۰/۸۴	۰/۹۴	۱/۰۶	۱/۲۷	
۱/۲۳	۰/۶۳	۰/۴۸	۰/۶۱	۰/۷۵	۰/۸۱	۰/۹۰	۱/۰۳	۱/۲۳	
۱/۲۰	۰/۶۴	۰/۴۵	۰/۵۸	۰/۷۲	۰/۷۷	۰/۸۷	۱/۰۰	۱/۲۰	
۱/۱۱	۰/۶۷	۰/۳۶	۰/۴۹	۰/۶۳	۰/۶۸	۰/۷۸	۰/۹۰	۱/۱۱	
۱/۰۸	۰/۶۸	۰/۳۳	۰/۴۶	۰/۵۹	۰/۶۵	۰/۷۵	۰/۸۸	۱/۰۸	
۱/۰۵	۰/۶۹	۰/۳۰	۰/۴۳	۰/۵۶	۰/۶۲	۰/۷۲	۰/۸۵	۱/۰۵	



ضریب توان واقعی		ضریب توان مطلوب						
۱/۰۲	۰/۷۰	۰/۲۷	۰/۴۰	۰/۵۴	۰/۵۹	۰/۶۹	۰/۸۲	۱/۰۲
۰/۹۹	۰/۷۱	۰/۲۴	۰/۳۷	۰/۵۱	۰/۵۷	۰/۶۶	۰/۷۹	۰/۹۹
۰/۹۶	۰/۷۲	۰/۲۱	۰/۳۴	۰/۴۸	۰/۵۴	۰/۶۴	۰/۷۶	۰/۹۶
۰/۹۴	۰/۷۳	۰/۱۹	۰/۳۲	۰/۴۵	۰/۵۱	۰/۶۱	۰/۷۳	۰/۹۴
۰/۹۱	۰/۷۴	۰/۱۶	۰/۲۹	۰/۴۲	۰/۴۸	۰/۵۸	۰/۷۱	۰/۹۱
۰/۸۸	۰/۷۵	۰/۱۳	۰/۲۶	۰/۴۰	۰/۴۶	۰/۵۵	۰/۶۸	۰/۸۸
۰/۸۶	۰/۷۶	۰/۱۱	۰/۲۴	۰/۳۷	۰/۴۳	۰/۵۳	۰/۶۵	۰/۸۶
۰/۸۳	۰/۷۷	۰/۰۸	۰/۲۱	۰/۳۴	۰/۴۰	۰/۵۰	۰/۶۳	۰/۸۳
۰/۸۰	۰/۷۸	۰/۰۵	۰/۱۸	۰/۳۲	۰/۳۸	۰/۴۷	۰/۶۰	۰/۸۰
۰/۷۸	۰/۷۹	۰/۰۳	۰/۱۶	۰/۲۹	۰/۳۵	۰/۴۵	۰/۵۷	۰/۷۸
۰/۷۵	۰/۸۰	-	۰/۱۳	۰/۷	۰/۳۲	۰/۴۲	۰/۵۵	۰/۷۵
۰/۷۲	۰/۸۱	-	۰/۱۰	۰/۲۴	۰/۳۰	۰/۴۰	۰/۵۲	۰/۷۲
۰/۷۰	۰/۸۲	-	۰/۰۸	۰/۲۱	۰/۲۷	۰/۳۷	۰/۴۹	۰/۷۰
۰/۶۷	۰/۸۳	-	۰/۰۵	۰/۱۹	۰/۲۵	۰/۳۴	۰/۴۷	۰/۶۷
۰/۶۵	۰/۸۴	-	۰/۰۳	۰/۱۶	۰/۲۲	۰/۳۲	۰/۴۴	۰/۶۵
۰/۶۲	۰/۸۵	-	-	۰/۱۴	۰/۱۹	۰/۲۹	۰/۴۲	۰/۶۲
۰/۵۹	۰/۸۶	-	-	۰/۱۱	۰/۱۷	۰/۲۶	۰/۳۹	۰/۵۹
۰/۵۷	۰/۸۷	-	-	۰/۰۸	۰/۱۴	۰/۲۴	۰/۳۶	۰/۵۷
۰/۵۴	۰/۸۸	-	-	۰/۰۶	۰/۱۱	۰/۲۱	۰/۳۴	۰/۵۴
۰/۵۱	۰/۸۹	-	-	۰/۰۳	۰/۰۹	۰/۱۸	۰/۳۱	۰/۵۱
۰/۴۸	۰/۹۰	-	-	-	۰/۰۶	۰/۱۶	۰/۲۸	۰/۴۸
۰/۴۶	۰/۹۱	-	-	-	۰/۰۳	۰/۱۳	۰/۲۵	۰/۴۶
۰/۴۳	۰/۹۲	-	-	-	-	۰/۱۰	۰/۲۲	۰/۴۳
۰/۴۰	۰/۹۳	-	-	-	-	۰/۰۷	۰/۱۹	۰/۴۰
۰/۳۶	۰/۹۴	-	-	-	-	۰/۰۳	۰/۱۶	۰/۳۶
۰/۳۳	۰/۹۵	-	-	-	-	-	۰/۱۳	۰/۳۳
۰/۲۹	۰/۹۶	-	-	-	-	-	۰/۰۹	۰/۲۹

محاسبه از طریق قبض برق

این روش نسبتاً ساده است و با دقت خوبی می‌توان میزان خازن مورد نیاز را از صورت حساب برق محاسبه کرد و در صورت عدم وجود تعطیلی کارخانه و یا کارگاه در مدت محاسبه قبض، می‌توان از صورت حساب سالانه و یا ماهانه استفاده نمود. در صورت وقوع نوسانات فصلی، مسلم است که باید از صورت حساب زمان پرباری کارخانه استفاده شود. در صورت محاسبه جداگانه تعرفه‌های روز و شب برای محاسبه نهایی از اطلاعات روز استفاده می‌گردد. می‌توان چنین در نظر گرفت که توان خازن برای پوشش جریان راکتیو شب کافی است. در موارد خاصی که با برق شب که دارای قیمت مناسب‌تری است کار می‌شود نباید از اطلاعات شب صرف نظر کنیم.



تعرفه های قیمت انرژی

در محاسبه قیمت انرژی، حداکثر مصرف انرژی اکتیو و راکتیو به صورت مجزا در نظر گرفته می شوند. در بیشتر قراردادها حداکثر مصرف راکتیو برابر ۵۰٪ مصرف اکتیو در نظر گرفته می شود. مصرف راکتیو در صورتی مشمول هزینه می گردد که بیش از ۵۰٪ مصرف اکتیو باشد که این مصرف متناظر با ضریب توان ۰/۹ است. توصیه می شود که برای محاسبه، عدد بالاتری مثل ۰/۹۲ در نظر گرفته شود تا توان رزرو خازنی داشته باشیم.

مثال: (اطلاعات از صورت حساب برداشته شده است)

$$\tan \varphi = \frac{19840}{17850} = 1.11$$

حداکثر مصرف	←	۹۹ کیلو وات
انرژی اکتیو مصرف شده	←	۱۷۸۲۰ کیلو وات
انرژی راکتیو مصرف شده	←	۱۹۸۴۰ کیلو وات

برای $\tan \varphi$ برابر ۱/۱۱ از جدول ۲، ضریب توان برابر ۰/۶۷ و ضریب f برابر ۰/۶۸ به دست می آید. توان خازن مورد نیاز به صورت زیر محاسبه می شود.

$$99\text{kW} \times 0.68 = 67.32 \text{ kVAr}$$

در این مورد خازنی با توان ۷۵ کیلووار باید انتخاب شود که با در نظر گرفتن امکان توسعه کارخانه می توان مقدار ۱۰۰ کیلووار را انتخاب نمود.

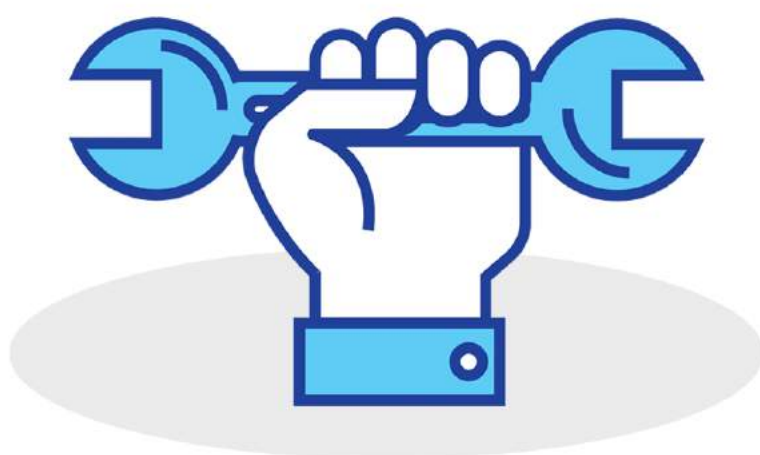
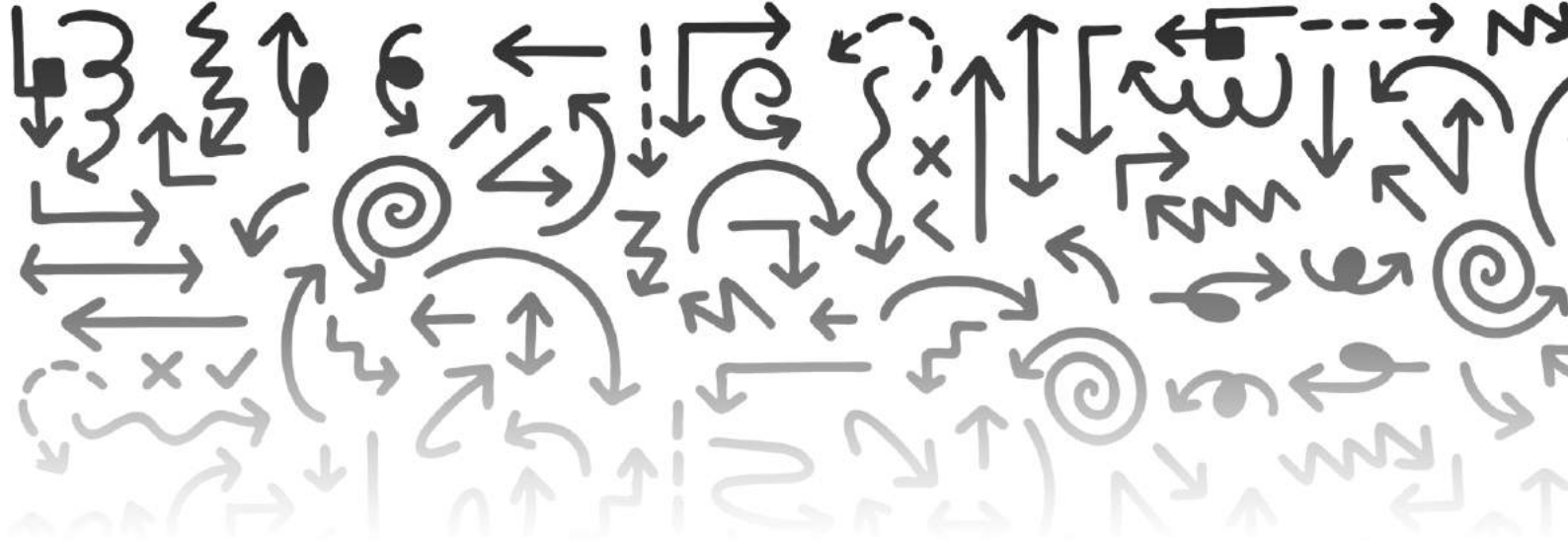
تعرفه های میزان تقاضای انرژی

در این حالت مبنای مصرف، حداکثر توان مصرفی مشتری در طول یک ماه خاص است. در صورتیکه توان ظاهری و نه توان اکتیو مبنا باشد، توصیه می شود که میزان خازن را به نحوی انتخاب کنیم که $\cos \varphi$ برابر ۱ شود.

مثال: حداکثر توان اکتیو:

۱۰۴ کیلو وات	ضریب توان فعلی ($\cos \varphi_1$):
۰/۶۲	ضریب توان مطلوب ($\cos \varphi_2$):
۱/۰۰	در نتیجه:
$f = 1/27$	توان خازنی مورد نیاز:
$104 \text{ kW} \times 1.27 = 132.08 \text{ kVAr}$	

در اینجا از یک بانک خازنی اتوماتیک رگولاتوری ۱۵۰ تا ۱۷۵ کیلوواری متصل به یک بانک خازنی استفاده می شود.



فصل چهارم

کاربرد ها



جبران سازی انفرادی با استفاده از لامپ‌های تخلیه‌ای

جریان این گونه لامپ‌ها باید به وسیله چوک محدود گردد. اغلب از ترانس‌های نشتی برای لامپ‌های کم فشار بخار سدیم استفاده می‌شود. از سلف سری به عنوان راکتور سری (ترانس نشتی) همراه با انواع دیگر لامپ‌های تخلیه‌ای استفاده می‌شود. با استفاده از سلف به ضریب توان $0.5/0$ و با استفاده از ترانس نشتی به ضریب توان $0.3/0$ می‌رسیم.

بالاست الکترونیکی که برای لامپ‌های فلورسنت به کار می‌رود نیاز به جبران‌سازی ندارد.

توجه: باید مدنظر داشت که اگر جریان غیرخطی از شبکه کشیده شود مخصوصاً در صورت افزایش تعداد لامپ‌ها، امکان رزونانس در اثر هارمونیک‌ها به وجود می‌آید. (به بخش هارمونیک‌ها مراجعه نمایید.) برای جبران‌سازی بالاست می‌توان خازن‌های تک‌فاز را به صورت موازی یا سری نصب کرد. در کلیدهای تک‌پل با یک لامپ یا کلیدهای سری با دو لامپ، خازن باید به موازات لامپ قرار داده شود. ولتاژ نامی خازن 230 ولت و برابر با ولتاژ شبکه است. خازن‌های موازی شبکه با امپدانس شبکه رزونانس ایجاد می‌کنند. در لامپ‌های مهتابی دوپل از نظر اقتصادی یک خازن برای دو لامپ کافی و در یک شاخه مدار سلفی است. در صورتی که در شاخه دوم سلف سری به وسیله خازن جبران‌سازی شود. به خاطر افزایش ولتاژ که ناشی از اتصال سری خازن و سلف خازن باید برای یک ولتاژ نامی بالاتر انتخاب شود.

جدول انتخاب برای لامپ‌های تخلیه‌ای

در جداول متن، خازن‌های مناسب برای انواع لامپ‌ها ارائه شده است.

توجه: چوک‌های کم‌تلفات با خازن‌های کم‌ظرفیت به صورت سری نصب می‌شوند. همان‌طور که در جدول نشان داده شده است، این اعداد بسته به تولید کننده‌های متفاوت متغیر است. در این بین همیشه عدد تعیین‌کننده، عدد خازنی است. (عددی که روی چوک نوشته می‌شود.)

متداول‌ترین خازن‌های سری برای چوک‌هایی با تلفات کم:

خازن سری	خازن موازی	
	۴۸۰ ولت - $2/7$ میکرو فاراد	۱۸ وات
۴۵۰ ولت - $3/5$ میکرو فاراد	۴۵۰ ولت - $3/4$ میکرو فاراد	۳۶ وات
۴۵۰ ولت - $5/4$ میکرو فاراد	۴۵۰ ولت - $5/3$ میکرو فاراد	۵۸ وات

نوع لامپ	ظرفیت لامپ بر حسب وات	ظرفیت خازن موازی بر حسب میکروفاراد	ظرفیت خازن سری بر حسب میکروفاراد
لامپ فلورسنت	۴ الی ۱۶	۲۳۰ ولت / ۰/۲	-
	۱۸ الی ۲۰	۲۳۰ ولت / ۵/۴	۴۵۰ ولت / ۲/۹
	۳۶ الی ۴۰	۲۳۰ ولت / ۵/۴	۴۵۰ ولت / ۳/۶
	۵۸ الی ۶۵	۲۳۰ ولت / ۷/۰	۴۵۰ ولت / ۵/۷
لامپ هالوژن بخار فلز	۳۵	۲۳۰ ولت / ۶/۰	-
	۷۰	۲۳۰ ولت / ۱۲/۰	-
	۱۵۰	۲۳۰ ولت / ۲۰/۰	-
	۲۵۰	۲۳۰ ولت / ۳۲/۰	-
	۴۰۰	۲۳۰ ولت / ۳۵/۰	-
	۱۰۰۰	۲۳۰ ولت / ۸۵/۰	-
	۲۰۰۰	۳۸۰ ولت / ۶۰/۰	-
	۳۵۰۰	۳۸۰ ولت / ۱۰۰/۰	-
لامپ بخار جیوه فشار بالا	۵۰	۲۳۰ ولت / ۷/۰	-
	۸۰	۲۳۰ ولت / ۸/۰	-
	۱۲۵	۲۳۰ ولت / ۱۰/۰	-
	۲۵۰	۲۳۰ ولت / ۱۸/۰	-
	۴۰۰	۲۳۰ ولت / ۲۵/۰	-
	۷۰۰	۲۳۰ ولت / ۴۰/۰	-
	۱۰۰۰	۳۸۰ ولت / ۶۰/۰	-
	۱۸	۲۳۰ ولت / ۵/۰	-
لامپ سدیم کم فشار	۳۵	۲۳۰ ولت / ۲۰/۰	-
	۵۵	۲۳۰ ولت / ۲۰/۰	-
	۹۰	۲۳۰ ولت / ۲۵/۰	-
	۱۳۵	۲۳۰ ولت / ۴۵/۰	-
	۱۵۰	۲۳۰ ولت / ۲۰/۰	-
	۱۸۵	۲۳۰ ولت / ۴۰/۰	-
	۵۰	۲۳۰ ولت / ۸/۰	-
	۷۰	۲۳۰ ولت / ۱۲/۰	-
لامپ سدیم پر فشار	۱۰۰	۲۳۰ ولت / ۱۲/۰	-
	۱۵۰	۲۳۰ ولت / ۲۰/۰	-
	۲۵۰	۲۳۰ ولت / ۳۲/۰	-
	۴۰۰	۲۳۰ ولت / ۵۰/۰	-
	۱۰۰۰	۲۳۰ ولت / ۱۰۰/۰	-



جبران سازی گروهی لامپ های تخلیه ای

در صورتی که لامپ های تخلیه ای زیادی به طور هم زمان نصب باشند، می توان در يك تقسیم قرینه ای از خازن گروهی سه فاز با ولتاژ نامی ۴۴۰ ولت استفاده نمود.

$$Q_c = n \times C \times 0.015 \quad \leftarrow \text{توان خازن}$$

$$Q_c = \text{kVar} \quad \text{قدرت راکتیو بر حسب}$$

n = تعداد لامپ ها

C = ظرفیت خازنی بر حسب μf برای هر لامپ

$$24 \times 7 \mu\text{f} \times 0.015 = 2.52 \text{ kVar}$$

مثال: ۲۴ لامپ فلورسنت ۵۸ وات داریم: $\leftarrow$

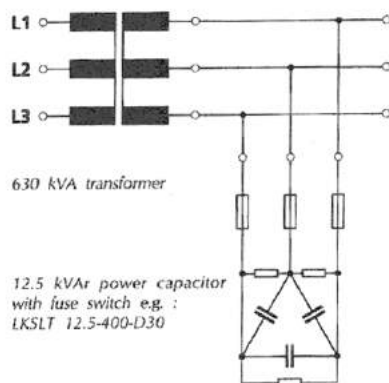
جبران سازی تکی ترانسفورماتورها

مقادیری که از سوی سازندگان برای مقدار خازن های جبران سازی ترانس، پیشنهاد می گردد یکسان نیست. به همین دلیل قبل از نصب يك چنین سیستم جبران سازی، مشاوره با پیشنهاد دهندگان توصیه می شود. ترانس های مدرن دارای ورقه های هسته ای هستند که برای تغییر میدان مغناطیسی احتیاج به توان کمی دارند. در صورت بالا بودن توان خازن، هنگام بی باری ترانس امکان بروز اضافه ولتاژ های بزرگ وجود دارد. خازن هایی با فیوز قدرت داخلی برای اتصال مستقیم به ترمینال ترانس مناسب هستند فقط باید هنگام اتصال خازن در نظر داشته باشیم که کابل اتصال خازن برای قدرت اتصال کوتاه مناسب باشد.

جدول ۳: جدول پیشنهادی انتخاب برای جبران سازی ترانس

قدرت ظاهری ترانس kVA	قدرت راکتیو kVar
۱۰۰ الی ۱۶۰	۲٫۵
۲۰۰ الی ۲۵۰	۵
۳۱۵ الی ۴۰۰	۷٫۵
۵۰۰ الی ۶۳۰	۱۲٫۵
۸۰۰	۱۵
۱۰۰۰	۲۰
۱۲۵۰	۲۵
۱۶۰۰	۳۵
۲۰۰۰	۴۰





شکل ۱۲: یک ترانس به همراه سیستم جبران سازی ثابت

● **توجه:** نباید فیوزهای خازن هایی که دارای فیوز قدرت داخلی هستند زیر بار بیرون کشیده شوند زیرا به دلیل مصرف بار خازنی خالص، باعث تشکیل قوس الکتریکی می شوند .
در صورت نیاز به قطع خازن از ترانس برق دار لازم است تا از کلید اتوماتیک به جای کلید فیوز استفاده شود.

جبران سازی انفرادی موتورها

توان خازن بایستی حدوداً ۹۰٪ توان ظاهری موتور را در هنگام بی باری تأمین کند. توان خازنی مورد نیاز :

$$Q_c = 0.9 \times \sqrt{3} \times U \times I_0$$

[VAr] [V][A]

● جریان بی باری موتور = I_0

بدین وسیله در بار کامل ضریب توان ۰.۹ و در حالت بی باری ضریب توان بین ۰.۹۵ تا ۰.۹۸ خواهد بود. برای موتور های القایی با ۱۵۰۰ دور در دقیقه اعداد ارائه شده در جدول ۴ به کار می رود. برای موتورهای ۱۰۰۰ دور در دقیقه باید ۵٪ و با سرعت ۷۵۰ دور در دقیقه ۱۵٪ به اعداد جدول ۴ اضافه شوند.

قدرت موتور kW	قدرت راکتیو kVar
۱ الی ۱/۹	۰/۵
۲ الی ۲/۹	۱
۳ الی ۳/۹	۱/۵
۴ الی ۴/۹	۲
۵ الی ۵/۹	۲/۵
۶ الی ۷/۹	۳
۸ الی ۱۰/۹	۴
۱۱ الی ۱۳/۹	۵
۱۴ الی ۱۷/۹	۶
۱۸ الی ۲۱/۹	۷/۵
۲۲ الی ۲۹/۹	۱۰
۳۰ الی ۳۹/۹	حدود ۴۰٪ قدرت موتور
۴۰ به بالا	حدود ۳۵٪ قدرت موتور

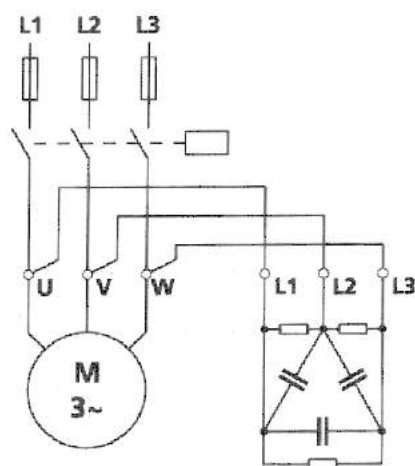
جدول ۴: قدرت جبران سازی برای جبران سازی انفرادی موتورها



- **توجه:** ماشین‌هایی که جبران‌سازی انفرادی شده‌اند و دارای خازن متصل به ترمینال موتور می‌باشند، توان خازن‌شان به هیچ وجه نباید بزرگ انتخاب شود. به ویژه در دستگاه‌هایی که دارای گشتاور ماند بالایی هستند و پس از خاموش‌شدن هنوز دوران می‌کنند. خازنی که به صورت موازی با دستگاه قرار دارد می‌تواند موتور را مانند ژنراتور تحریک کند و به این وسیله ولتاژهای بالای خطرناک پدید می‌آیند که در این صورت به احتمال قوی خساراتی به خازن و موتور وارد می‌کند.

جبران‌سازی انفرادی موتورها

در ساده‌ترین حالت خازن مستقیماً به ترمینال‌های موتور متصل می‌شود. در این صورت می‌توان از حفاظت خازن صرف نظر کرد چرا که فیوز موتور از خازن حفاظت می‌کند. در صورتی که کلید محافظ موتور نصب شده باشد توصیه می‌شود که جریان آستانه قطع (trip) کمتری انتخاب شود.



25 kW induction motor running at 1500 min⁻¹ 10 kVAr power capacitor e.g.: LKN 10-400-D32

شکل ۱۳: سیستم جبران‌سازی ثابت برای موتور

$$I_{th} = \frac{\cos \varphi_1}{\cos \varphi_2} \times I_N$$

جریان آستانه قطع (trip) تقلیل یافته

I_{th} = جریان آستانه قطع جدید مورد استفاده

I_N = جریان نامی موتور (طبق پلاک مشخصات)

$\cos \varphi_1$ = طبق پلاک مشخصات

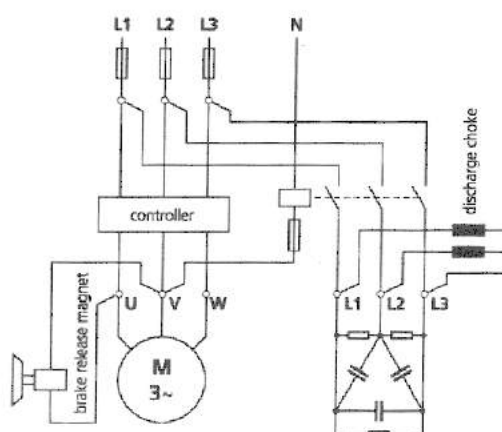
$\cos \varphi_2$ = ضریب توان با جبران‌سازی (حدود ۰/۹۵)

پس از قطع ولتاژ خازن‌ها مستقیماً به وسیله سیم‌پیچ‌های کم‌مقاومت تخلیه می‌شود لذا مقاومت‌های تخلیه زیاد ضروری نیستند.

جبران سازی انفرادی موتورها

آسانسورها و بالابر ها به تجهیزات ایمنی ویژه ای مجهز هستند ؛ به عنوان مثال ترمز مغناطیسی که هنگام قطع برق به سرعت فعال می شود. این خازن که مستقیماً به صورت موازی با موتور نصب شده است ، احتمال دارد به دلیل انرژی باقی مانده در آن باعث تأخیر در عملکرد ترمز مغناطیسی شده و ایست با تأخیر صورت پذیرد.

به همین سبب خازن ها می بایستی پیش از کلید نصب شوند. برای خازن می بایستی حفاظت جداگانه و تجهیزات تخلیه سریع در نظر گرفت.



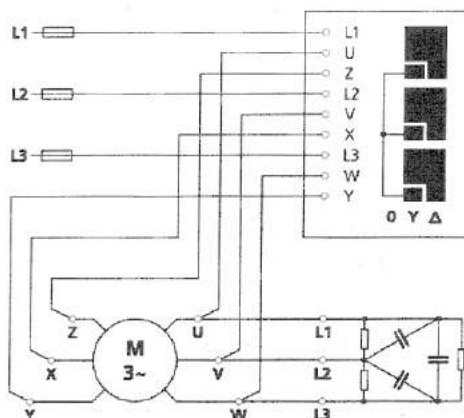
شکل ۱۴: موتور بالابر به همراه تجهیزات مورد نیاز

به وسیله اینترلاک باید از وصل مجدد خازن تا قبل از اتمام زمان تخلیه جلوگیری شود. به دلیل خاموش و روشن کردن زیاد و استهلاکی که از این طریق به وجود می آید توصیه می شود که خازن ها گروه بندی شده با کلید های الکترونیکی قطع و وصل گردند. خازن ها در هنگام عبور از صفر خاموش و روشن می شوند. بدین وسیله زمان عکس العمل در محدوده هزارم ثانیه قرار دارد.

کلید های ستاره _ مثلث

باید از کلید های ستاره_مثلث دستی خاصی که برای جبران سازی منفرد موتور ها طراحی شده اند، استفاده شود. در انتخاب کلید های ستاره_مثلث دستی برای موتور هایی که به وسیله خازن جبران سازی می شوند باید دقت گردد که کلیدی به کار رود تا هنگام تبدیل از ستاره به مثلث جرقه در کنتاکت ها ایجاد نشود. در غیر این صورت، در هنگام عبور از حالت ستاره به مثلث خازن شارژ شده با ولتاژ ستاره تحت ولتاژ مثلث قرار گرفته و جریان ضربه ای بسیار شدیدی ایجاد شده که باعث تخریب خازن و کلید می شود.

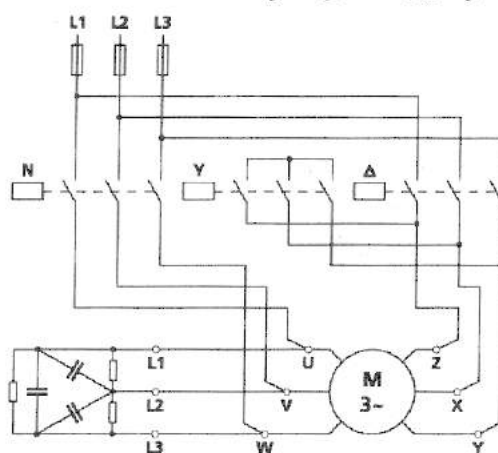




شکل ۱۵: نوع خاصی از کلید دستی ستاره مثلث برای جبران‌سازی انفرادی موتور

ترکیب کنتاکتور ستاره مثلث

در صورت استفاده از ترکیب کنتاکتوری باید دقت شود تا در تبدیل از ستاره به مثلث، قطع و وصل سریع صورت نپذیرد در این صورت کنتاکت های اصلی در هنگام تبدیل، پیوسته وصل باقی می مانند. هنگام خاموش بودن موتور باید پل ستاره باز باقی بماند. خازن می تواند در قسمت خروجی حافظ شبکه یا در روی ترمینال های W-V-U موتور وصل شده باشد ولی به ترمینال های Z-Y-X نباید وصل شده باشد چرا که امکان ایجاد جرقه به وسیله پل ستاره ایجاد می شود.



شکل ۱۶: جبران‌سازی انفرادی موتور با راه اندازی ستاره-مثلث کنتاکتوری

مهم

توان خازن نصب شده نباید به هیچ وجه زیاد باشد. به ویژه هنگامی که دستگاه دارای اینرسی بار بزرگ بوده و بعد از خاموش کردن، دستگاه آزاد می گردد. خازن موازی می تواند دستگاه را به عنوان ژنراتور تحریک کند و ولتاژ خطرناک بالایی به وجود آورد. از این طریق خساراتی خازن و موتور را تهدید می کند به همین دلیل باید در هنگام قطع موتور از شبکه و در شرایط قطع، از بسته شدن کنتاکتور ستاره جلوگیری کرد. زمانی که دستگاه در حالت اتصال ستاره به عنوان ژنراتور تحریک شود باید انتظار ولتاژهای بالایی با دامنه به مراتب بزرگتر از آنچه در حالت مثلث پیش می آید را داشت.



تجهیزات تنظیم توان راکتیو

سیستم تنظیم توان راکتیو از اجزای زیر تشکیل شده است:

تنظیم کننده توان راکتیو (رگولاتور)

پله های خازنی که از طریق کلیدهای الکترونیکی یا کنتاکتور به کار گرفته می شوند.

راکتورهای بلوک کننده هارمونیک (در صورت وجود)

سلف های بلوک کننده فرکانس های رادیویی

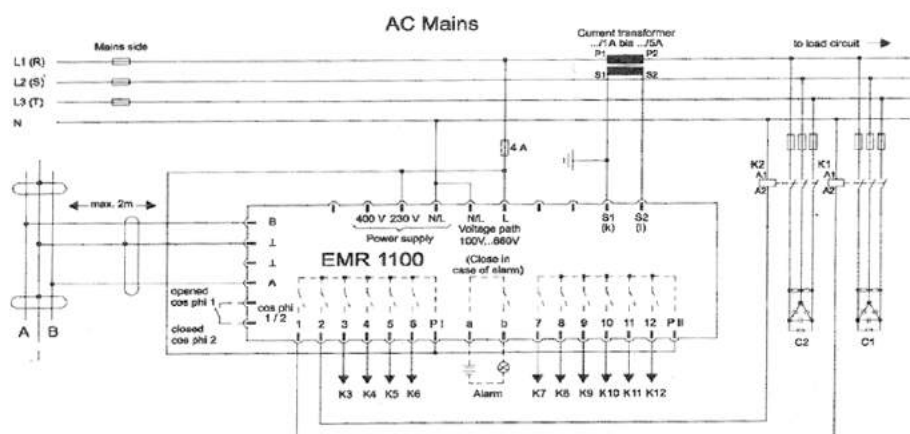
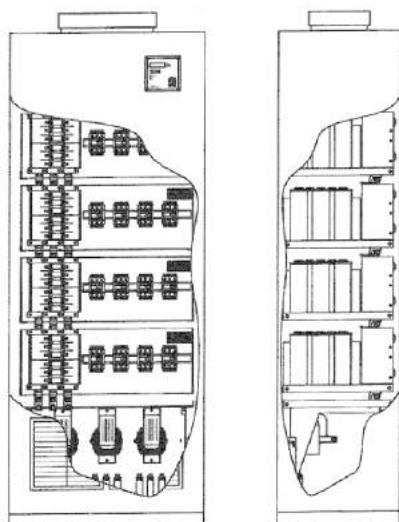
فیوزهای گروهی

سیستم خنک کننده به همراه فیلتر هوا و ترموستات برای سلف های با هسته هوایی ترموستات دار برای

سیستم های مجهز به راکتور.

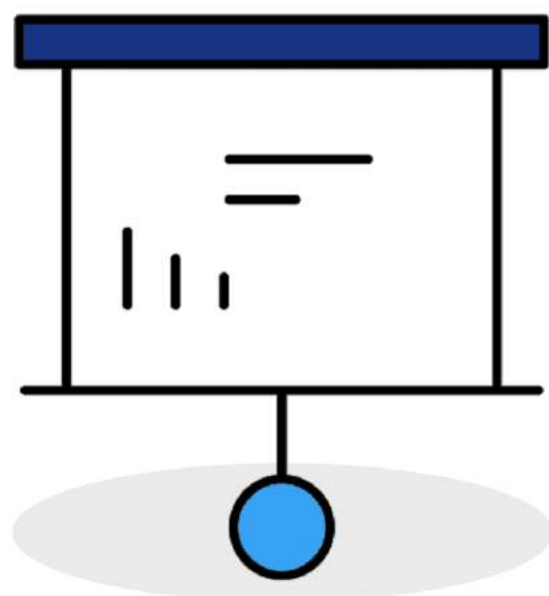
این اجزاء یا روی یک صفحه مونتاژ یا در قسمت برق کارخانه در تابلو نصب می شود. تجهیزات تنظیم توان راکتیو مناسب نصب در شبکه هایی با توان راکتیو متغیر با زمان هستند. این خازن ها به صورت پله های مختلفی دسته بندی شده اند و به وسیله رگولاتور اتوماتیک، توان راکتیو از طریق کنتاکتور یا کلید های الکترونیکی به تناسب بار موجود به مدار وارد و یا خارج می شوند.

کنترل جبران سازی مرکزی به راحتی امکان پذیر است. تجهیزات تنظیم توان مدرن دارای کنترل مداوم روی وضعیت کلیدها، ضریب توان، جریان موثر و راکتیو و هم چنین کنترل روی هارمونیک های موجود در شبکه هستند. در اغلب اوقات توان راکتیو کمتری از آنچه محاسبه شده مورد نیاز است.



شکل ۱۷: مثالی از فرم مدولی سیستم اصلاح ضریب قدرت





فصل پنجم

مشخصات توان



خازن‌های قدرت

خازن‌های قدرت فراکو با انواع LKI و یا LKT عاری از PCB بوده و دارای عایقی با خاصیت خود ترمیمی هستند. در صورتی که در اثر اضافه بار (مثلاً ولتاژ بالا) شکست الکتریکی رخ دهد کویل خود را ترمیم می‌کند. گذشته از این، خازن‌ها امکانات ایمنی اضافی مانند فیوز داخلی قابل اطمینانی را دارا هستند. فیوزی که در برابر اضافه فشار داخلی به عنوان عنصر حفاظتی عکس‌العمل نشان می‌دهد. برای به کارگیری خازن‌های قدرت در شبکه اصولاً سه عامل اهمیت دارند :

• میزان تحمل اضافه بار

• طول عمر بالا

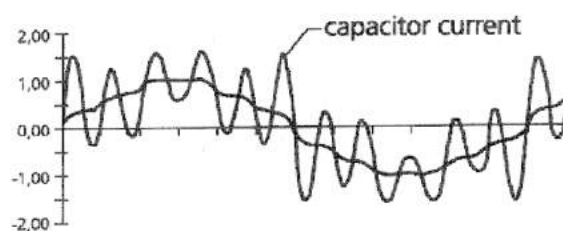
• ایمنی بالا تحت بار زیاد و خرابی

خازن‌های قدرت دارای ساختاری با چگالی انرژی بالا هستند. در یک حجم یک لیتری امروزه حدود 15kVA_r توان راکتیو را می‌توان تولید کرد. این پیشرفت با به کارگیری عایق‌هایی با تلفات پایین و ضریب دی‌الکتریک بالا حاصل شده است. برای دستیابی به طول عمر بالا می‌بایستی تخلیه‌های جزئی محدود شوند. این تخلیه‌های جزئی، تخلیه‌های کوچکی هستند که در داخل دی‌الکتریک به وجود می‌آیند. برای محدود کردن این تخلیه‌های جزئی مطمئن‌ترین راه اشباع عایق با پرکننده‌ای مایع است.

این مایع به وسیله خواص شیمیایی خود تخلیه‌های جزئی را محدود می‌کند. روغن گیاهی پایدار شده که در خازن‌های فراکو به کار می‌رود، به صورت چشمگیری دارای این خواص است. این روغن غیر سمی بوده و برای محیط زیست مسأله ساز نیست. نقطه اشتعال آن 250 °C بوده و عملاً از آتش‌سوزی جلوگیری می‌نماید. در مقایسه با مایع‌های اشباع‌کننده دیگر که در خازن‌های قدیمی به کار می‌رفت (اصولاً روغن‌های معدنی با نقطه اشتعال نه چندان بالا) این روغن غیر قابل اشتعال است.

ظرفیت جریان

در شبکه‌هایی که هارمونیک وجود دارد، احتمال پدید آمدن رزونانس همراه با اضافه ولتاژ وجود دارد و قبل از آن جریان مجاز شبکه را باید مد نظر داشت. مثلاً اگر حدود ۷٪ هارمونیک مرتبه ۱۱ وجود داشته باشد. ولتاژ ۷٪ افزایش می‌یابد ولی مقدار جریان موثر خازن ۱/۳۳ برابر جریان نامی خازن می‌گردد بنابراین اهمیت حداکثر اضافه جریان مجاز بیشتر از حداکثر اضافه ولتاژ مجاز است.



FRAKO خازن‌های ۴۴۰ ولت را برای کار در شبکه‌های ۴۰۰ ولت استفاده می‌نماید. میزان ظرفیت جریانی آنها به شرح زیر است:

تحمل دائمی دو برابر جریان نامی در ۴۰۰ ولت
تحمل جریان ضربه‌ای با دامنه ۳۰۰ برابر جریان نامی

ظرفیت ولتاژی

خازن‌های FRAKO طبق VDE۵۶۰ بخش ۴۱ استاندارد، EN ۶۰۸۳۱ بخش‌های ۱ و ۲ به صورت زیر قابل بارگذاری هستند.

ولتاژ نامی (ولت)	۴۴۰	۴۸۰	۵۷۰	۶۲۰
۸ ساعت در روز	۴۸۴	۵۲۸	۶۲۷	۶۸۲
۳۰ دقیقه در روز	۵۰۶	۵۵۲	۶۵۶	۷۱۳
۵ دقیقه	۵۲۸	۵۷۶	۶۸۴	۷۴۴
یک دقیقه	۵۷۲	۶۲۴	۷۴۱	۸۰۶

طول عمر خازن‌ها

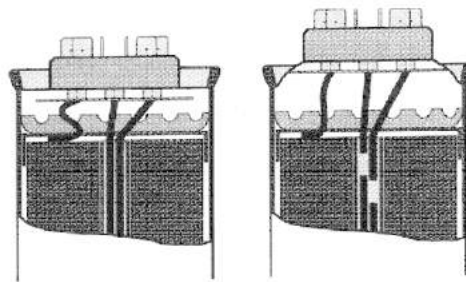
اضافه ولتاژ، اضافه دما و هارمونیک‌ها طول عمر مورد انتظار را کوتاه می‌کنند. فقط افزایش دقت در تولید با کیفیت بالا و استفاده از مواد اولیه بسیار با کیفیت مانع از افزایش تلفات و تقلیل مقاومت عایقی و جریان مجاز خازن می‌گردند. خازن‌های تولیدی تحت آزمایش‌های طولانی مدت در شرایط ۵/۱ برابر ولتاژ نامی و ۶۰°C درجه حرارت محیط و هارمونیک شدید قرار می‌گیرد. نرخ خرابی خازن به وضوح کمتر از ۱٪ است. درصد خرابی نامحسوس است و تلفات در سطح پایینی ثابت می‌ماند.

FRAKO برای خازن‌های تولید خود طول عمری مناسب با حداکثر ۳٪ خرابی را اعلام می‌نماید و خازن‌های برگشتی و تمام نقایص را تقبل می‌کند. طبق آمار این عدد کمتر از ۲۰۰ واحد در میلیون است. این مطابق با نرخ خرابی می‌باشد که بسیار کمتر از ۳٪ در ۲۰۰ هزار ساعت کار است.

رفتار ایمن در پایان طول عمر

مسلم است که اگر خازن تحت اضافه بار به پایان طول عمر خود نزدیک گردد باید ایمن باشد. این ایمنی فقط در خازن‌هایی وجود دارد که دارای قطع کننده‌ای باشد که :
در اثر فشار داخلی عمل کند.
خازن را از شبکه جدا کند.
و به این وسیله مانع از انفجار پوسته خازن شود

به خاطر چگالی انرژی بالای خازن‌های مدرن، FRAKO گران‌ترین و موثرترین قطع‌کننده را به کار می‌برد که دارای درپوش خمیده قابل انعطاف است. بدنه آلومینیومی و درپوش آنها به هم نورد شده‌اند و با یک ماده الاستیک آب‌بندی می‌گردد. خازن‌های برگشت داده شده به دلیل آب‌بندی نبودن در سال‌های آخر حدود ۱۰ واحد در میلیون برابر ۰/۰۱٪ بوده است. پوشش دیافراگمی لبه‌داری که روی خازن است قسمت اتصال خازن را در حالت کار عادی نگه می‌دارد، در فشار حدود ۳ اتمسفر در داخل خازن، شروع به باد کردن می‌کند و تا حدود ۱۰ میلیمتر به بالا حرکت می‌کند. بیشتر مواقع سیم‌های خازن پس از ۵ میلیمتر حرکت درپوش بدون جرقه مجدد قطع می‌شوند و خازن از شبکه جدا می‌شود. اطمینان در تولید در FRAKO به وسیله تست نمونه‌ای کنترل می‌شود. شرایط تست در IEC ۸۳۱، VDE ۰۵۶۰ قسمت ۴۱ مشخص شده است.



شکل ۱۹: عملکرد قطع‌کننده اضافه فشار در خازن‌های فراکو

خازن‌های قدرت FRAKO پس از پایان طول عمر در اطرافشان تخریب به وجود نمی‌آورند.

رگولاتور توان راکتیو



شکل ۲۰: رگولاتور EMR1100

رگولاتورهای میکروپروسسوری RM9606, EMR1100, RM9612 مسائل بفرنجی را حل می‌نماید و قابلیت‌های بیشتری نسبت به رگولاتورهای معمولی دارند. نوآوری این دستگاه‌ها در جهت پاسخگویی به نیازهای یک شبکه مدرن صنعتی است که به صورت‌های گوناگون قابل نصب است. دقت و حساسیت این دستگاه حتی برای شبکه‌های با هارمونیک بالا قابل توجه است. این دستگاه همچنین پاسخگوی نیاز شبکه‌هایی است که در آنها به طور مداوم یا ناگهانی جهت توان برعکس می‌شود و به شبکه اصلی جریان تزریق می‌نمایند. تمامی اجزاء یک بانک خازنی توسط این رگولاتور کنترل شده و از ایجاد اضافه بار جلوگیری می‌کند که افزایش طول عمر تجهیزات را به همراه دارد.



جزئیات بیشتر مشخصات توان

اندازه‌گیری دقیق ضریب توان در شبکه‌های هارمونیک بالا در محدوده بار ۰/۰۲ تا ۵ آمپراندازه‌گیری و کنترل ضریب توان که با دقت بالایی بر اساس هارمونیک پایه حتی در بار کم انجام می‌پذیرد، صورت می‌گیرد.

تثبیت ضریب توان به حداقل ضریب توان مطلوب و همزمان جلوگیری از اضافه جبران‌سازی در بارهای کم که این خاصیت تنظیم، ثبت شده از سوی شرکت FRAKO است که با استفاده از ایجاد شکست در منحنی‌های مشخص به دست می‌آید. این منحنی‌ها تعیین می‌نماید که در حالت بار طبیعی، شبکه برای رسیدن به ضریب توان مطلوب جبران‌سازی می‌شود و در بارهای کم از جبران‌سازی جلوگیری می‌نماید.

اندازه‌گیری و کنترل هارمونیک‌های ۵، ۷، ۱۱ و ۱۳ در شبکه‌های فشار ضعیف:

به وسیله این کنترل، دستگاه به طور مرتب از کیفیت شبکه آگاه می‌شود و در هنگام افزایش دامنه هارمونیک‌ها از مقدار خاصی هشدار صادر می‌نماید. بدین وسیله می‌توان به موقع از ایجاد اختلالات در شبکه و در مصرف کننده مطلع و اقدامات لازم را برای جلوگیری از آن به عمل آورد.

رله اضافه جریان در جبران‌سازهای بدون راکتور:

این عمل به عنوان حفاظت از اضافه بار در جبران‌سازی‌های بدون راکتور است و از وقوع رزونانس‌های هارمونیکی جلوگیری می‌کند. قطع جریان هنگامی به وجود می‌آید که اضافه‌بار بیش از ۷۵ ثانیه دوام داشته باشد. رله اضافه‌بار سریع‌تر از فیوز سری است، که تنها در حالت اتصال کوتاه به صورت مطمئن عمل می‌کند.

تنظیم اتوماتیک تأخیر بر اساس توان مورد نیاز:

به تغییر بار شدید، بسیار سریع و به تغییر بار کند، با سرعت کمتری پاسخ داده می‌شود. در ضمن اطمینان حاصل می‌شود که پله‌های خازنی که پس از قطع کاملاً تخلیه شده‌اند، به شبکه وصل می‌شوند. کلیدزنی بر اساس تغییرات بار و با کمترین تعداد قطع و وصل و به صورت ادواری انجام می‌پذیرد. این نوع تنظیم ترکیبی ما را به سوی کمترین تعداد قطع و وصل سوق می‌دهد و بدین وسیله کمترین استهلاک و طولانی‌ترین طول عمر به دست می‌آید.

هم‌زمان از وضعیت بحرانی شبکه جلوگیری می‌شود بدین صورت که بر عکس روش قدیمی توان خازن هنگام تغییر شدید بار، سریعاً به طور دقیق روی میزان مورد نیاز تنظیم می‌شود.

هنگام کاهش بار از جبران‌سازی ترانس‌های بی‌بار جلوگیری می‌شود.

در شبکه‌هایی که دارای هارمونیک هستند، در کوتاه‌ترین زمان ممکن هارمونیک‌ها توسط فیلترها جذب شده و کاهش آنها تضمین می‌شود بدین وسیله از افزایش دامنه هارمونیک‌ها هنگام تغییرات شدید بار جلوگیری می‌شود.



رله ولتاژ صفر و جریان صفر :

این سیستم ایمنی، در هنگام قطع مدار ولتاژ یا جریان، تجهیزات جبران سازی را از شبکه جدا می کند بدین وسیله در طی قطع کوتاه مدت ولتاژ، از وصل تمامی خازن ها به ترانس بی بار جلوگیری می کند و رگولاتور پس از برگشت ولتاژ، پله های خازن را مطابق با توان مورد نیاز مجدداً وصل می نماید.

تنظیم توان راکتیو در مصرف کننده های دارای ژنراتور و با امکان بازگشت توان اکتیو :

برای کار در این نوع شبکه ها، رگولاتور به دستگاه اندازه گیری چهار ناحیه ای مجهز است، به غیر از این هم می توان دو مشخصه کنترلی متفاوت برای حالت های مصرف و برگشت توان اکتیو به کار گرفت. بدین وسیله اطمینان حاصل می شود که در هنگام برگشت توان اضافه، جبران سازی رخ ندهد و همچنین جریان راکتیو از شبکه کشیده نشود. این خاصیت تنظیم ترکیبی، از ایجاد مخارج راکتیو هنگام بازگشت جلوگیری می کند.

پله ثابت برای جبران سازی مستقل از بار :

می توان پله هایی را مشخص نمود تا در فرآیند تنظیم قرار نگیرند و تا زمانی که رگولاتور ولتاژ داشته باشد به شبکه متصل هستند. تمامی کنترل های حفاظتی مثل رله ولتاژ صفر یا رله جریان صفر یا رله اضافه جریان برای پله های ثابت برنامه ریزی شده، فعال باقی می ماند.

دو برنامه تنظیم جدا از هم از طریق کنتاکتور خارجی می توانند انتخاب شوند که هر دو برنامه تنظیم می توانند با ضریب توان های مختلف و خطوط متفاوت برنامه ریزی شوند. با تنظیم دو برنامه مجزا می توان ضوابط وزارت نیرو برای جبران سازی بالا در روز و جبران سازی کم در شب را رعایت کرد.

راه اندازی و سرویس

تطبیق با شبکه و تجهیزات جبران سازی:

راه اندازی بدین وسیله بسیار ساده تر می شود چرا که رگولاتور این تطبیق را خود به خود انجام می دهد. بسته به نظر کارشناس نصب تابلو که بر روی کدام فاز ترانس جریان را نصب کند و با چه پلاریته ای ترانس ولتاژ را به رگولاتور وصل نماید، وضعیت فاز و جهت جریان به وسیله رگولاتور در هنگام تنظیم خودکار انجام می شود. همزمان توان پله های خازن اندازه گیری شده و کنتاکت هایی از رگولاتور که به هیچ خازنی متصل نیستند شناسایی و غیر فعال می شوند و در صورتی که اشتباهی در هنگام نصب رخ داده باشد، رگولاتور به طور اتوماتیک اطلاعاتی از نوع اشتباه احتمالی به دست می دهد.

پس از اضافه یا کم کردن پله های خازنی می بایستی اندازه گیری دوباره انجام شود تا بدین وسیله پله های خازنی جدیدی که اضافه یا کم شده اند را در پروسه خود وارد کند. اگر این کار انجام نشود بعد از چند روز رگولاتور متوجه شده و به طور خودکار پله های خازنی را به کار می گیرد.

اگر رگولاتور در هنگام کار متوجه يك پله خراب شود این پله را از پروسه تنظیم خارج کرده و آن را مشخص می نماید .



نمایشگرها و اطلاعات حاصل از آنها

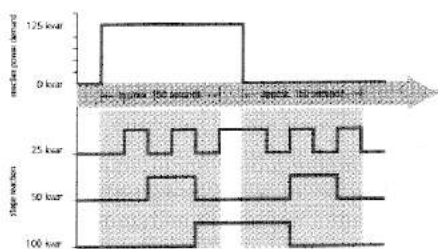
تمام مقادیر اندازه‌گیری شده توسط رگولاتور قابل مشاهده هستند و هنگام کار ضریب توان دیده شده از طرف CT نشان داده می‌شود. به علاوه داده‌های زیر نیز قابل مشاهده‌اند:

۱ جریان ظاهری، اکتیو و راکتیو ورودی

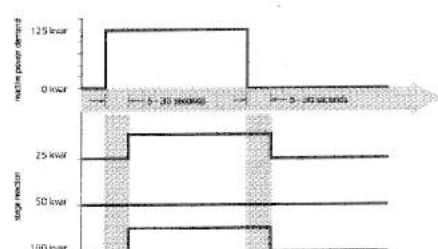
۲ دامنه نسبی هارمونیک‌های ۵، ۷، ۱۱، و ۱۳ نسبت به ولتاژ تغذیه

۳ حداکثر مقادیر اضافه جریان، ضریب توان و اضافه جریان هارمونیکی در صورتی که از مقادیر تنظیم شده بیشتر شده باشند.

شمارش و نمایش تعداد قطع و وصل کنتاکتور و نمایش پیغام وقتی به مقدار از پیش تنظیم شده رسیده باشد کنتاکتورها هنگام وصل کردن خازن‌ها تحت فشار زیادی قرار دارند. کنتاکتورهایی که در حال خراب شدن هستند باعث جاری شدن جریان شارژ مجدد بسیار بزرگ و خرابی کنتاکت‌ها می‌شوند. تعویض به موقع کنتاکتور می‌تواند طول عمر خازن‌ها را به طور محسوسی افزایش دهد. رگولاتور زمان صحیح تعویض کنتاکتور را به شما اطلاع می‌دهد و از مخارج بیهوده جلوگیری می‌کند. برای مراقبت بهتر، کاربر می‌تواند تعداد قطع و وصل هر کنتاکتور را رؤیت نماید.



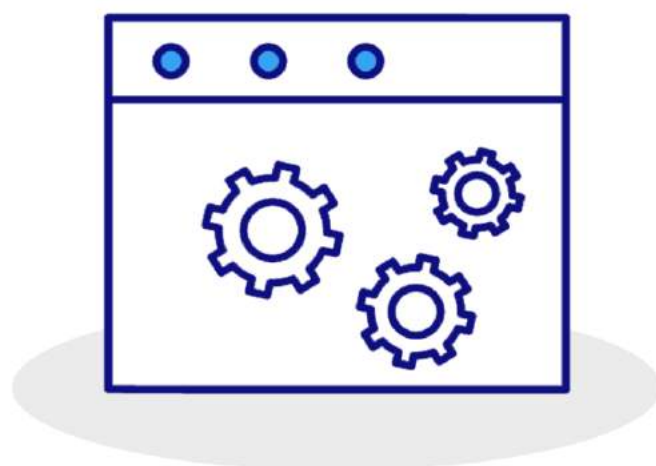
شکل ۲۱: روش تنظیم يك رگولاتور توان راکتیو معمولی با روش قدم به قدم



شکل ۲۲: روش تنظیم يك رگولاتور توان راکتیو مدرن مدل RM9606، RM9612، EMR1100

وضعیت کنتاکت آلارم	نحوه آگاه‌سازی	اطلاعات	نشانگرها، پیغام‌ها و آلارم‌ها
-	صفحه نمایش	نشانگر	ضریب توان حقیقی
-	صفحه نمایش	نشانگر	جریان‌های اکتیو، راکتیو و ظاهری
-	صفحه نمایش	نشانگر	هارمونیک‌های پنجم، هفتم، یازدهم و سیزدهم
بسته	صفحه نمایش و چراغ	آلارم	هارمونیک‌های پنجم، هفتم، یازدهم و سیزدهم
بسته	صفحه نمایش و چراغ	آلارم	اضافه جریان (قابل تنظیم از $1/0.5 I_n$ تا $3/0 I_n$)
بسته	صفحه نمایش و چراغ	آلارم	ناکافی بودن ظرفیت خازن جهت رسیدن به ضریب توان تنظیم‌شده
-	صفحه نمایش	نشانگر	تعداد قطع و وصل هر پله
بسته	صفحه نمایش و چراغ	آلارم	تنظیم حداکثر تعداد قطع و وصل مجاز
بسته	صفحه نمایش	آلارم	ولتاژ صفر
-	صفحه نمایش	پیغام	جریان صفر
بسته	صفحه نمایش	آلارم	وصل نبودن خازن به رگولاتور
-	LED	نشانگر	تعداد پله‌های وصل
بسته	-	-	بدون ولتاژ بودن





فصل ششم

نصب



ترانس جریان

برای راه اندازی يك رگولاتور توان راکتیو، نصب يك ترانس جریان ضروری است. این ترانس همراه با رگولاتور عرضه نمی‌شود ولی در صورت تقاضا از طرف مشتری تحویل می‌گردد. جریان اولیه ترانس از طریق میزان جریان مصرف کننده مشخص می‌شود، شرایط نصب این ترانس بسته به حداکثر جریان بار و یا به عبارت دیگر بسته به میزان بار نصب شده ترانس دارد.

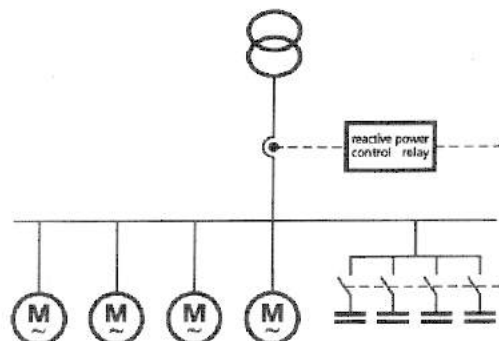
مسیر جریان داخلی رگولاتور توان راکتیو برای ترانسی با ثانویه 1/... الی 5/... آمپر با توان 5 ولت آمپر در کلاس 3 طراحی شده است. در صورتی که دستگاه‌های جریان سنج به صورت سری با رگولاتور وصل شده باشد باید ترانسی با توان بالاتر به کار رود.

مصرف جریان رگولاتور برای ترانس جریانی با ثانویه 5 آمپر، حدود 1.8 ولت آمپر است. اگر همراه با ترانس دستگاه‌های اندازه‌گیری دیگری به کار بروند، هنگام نصب باید توان آنها در نظر گرفته شود. همچنین در کابل‌های ترانس تلفات پدید می‌آید و در مسیرهای طولانی ترانس تا رگولاتور هم باید به تلفات توان راکتیو توجه کرد.

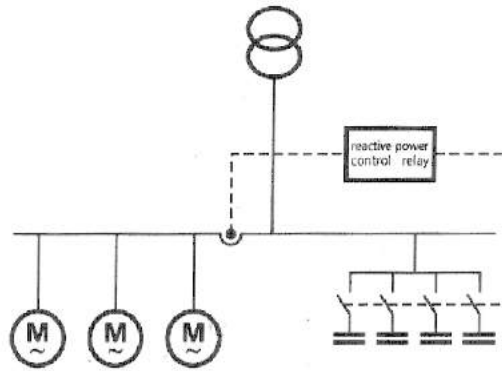
مصرف درونی کابل‌های ترانس

اگر از ثانویه ترانس جریان ۵ آمپر بگذرد، تلفات به صورت جدول زیر است :

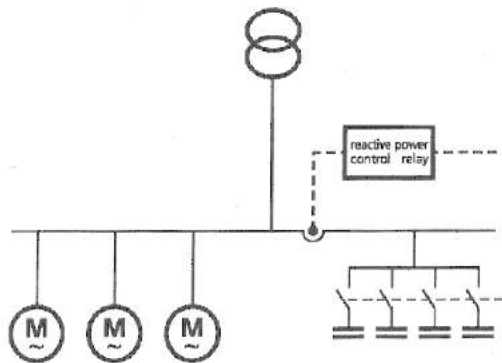
تلفات در هر متر از سیم دو رشته (ولت آمپر)	سطح مقطع (میلیمتر مربع)
۰/۳۶	۲/۵
۰/۲۲	۴/۰
۰/۱۵	۶/۰
۰/۰۹	۱۰/۰



شکل ۲۳: اتصال صحیح ترانس هم جریان مصرف‌کننده و هم جریان خازن را می‌بیند.



شکل ۲۴: اشتباه! ترانس فقط جریان مصرف‌کننده را می‌بیند در این حالت تمامی پله‌ها وصل شده ولی دیگر قطع نمی‌شوند. امکان تنظیم اتوماتیک رگولاتور هم وجود ندارد.



شکل ۲۵: اشتباه! در این آرایش تنها جریان خازن از ترانس عبور می‌کند، در این حالت هیچ پله ای وصل نمی‌شود و رگولاتور پیغام " $I=0$ " را نشان می‌دهد.

- **مهم:** ترانس جریان باید در فازی اختیاری چنان نصب شود که تمام جریان بار به همراه جریان خازن از آن بگذرد. (به تصاویر بالا دقت کنید.) ترمینال S1(K) در سمت تغذیه و ترمینال S2(I) در سمت مصرف کننده است.
- **احتیاط:** هنگام قطع جریان در ترانس جریان ، ولتاژ بالایی پدید می‌آید که می‌تواند به ترانس آسیبی جدی وارد کند به همین جهت بهتر است قبل از باز کردن مدار ترانس در ترمینال های ترانس اتصال کوتاه به وجود بیاورید .

فیوز ها و کابل ها

برای اجرای عملیات نصب بایستی مقررات VDE0100 و VDE0105 توصیه‌های عمومی وزارت نیرو و مقررات داخلی شرکت اجرا شوند. طبق بخش 41 - VDE0560 واحدهای خازنی باید حداقل برای جریان دائمی معادل ۱.۳ جریان نامی مناسب باشند. جریانی که برای ولتاژ نامی به شکل سینوسی و فرکانس نامی محاسبه می‌گردد، با در نظر گرفتن تفرانس خازنی C_n 1.1 می‌تواند به حداکثر جریان مجاز تا 1.38 برسد. این بار اضافی و همچنین جریان ضربه‌ای خازن‌ها هنگام انتخاب فیوزها و مقاطع کابل‌ها بایستی در نظر گرفته شود.

● **توجه:** خازن های فراکو اضافه باری معادل دو برابر جریان نامی در ۴۰۰ ولت را به صورت دائمی تحمل می کنند.

جدول ۵: فیوز و مقطع کابل ارتباطی بر اساس VDE0100، بخش ۴۳۰

توان (کیلووار)	۲۳۰ ولت / ۵۰ هرتز			۴۰۰ ولت / ۵۰ هرتز			۵۲۵ ولت / ۵۰ هرتز		
	جریان (آمپر)	جریان فیوز (آمپر)	سطح مقطع (میلیمتر مربع)	جریان (آمپر)	جریان فیوز (آمپر)	سطح مقطع (میلیمتر مربع)	جریان (آمپر)	جریان فیوز (آمپر)	سطح مقطع (میلیمتر مربع)
۲٫۵	۶٫۳	۱۰	۴×۱٫۵	۳٫۶	۱۰	۴×۱٫۵	۲٫۷	۱۰	۴×۱٫۵
۵	۱۲٫۶	۲۰	۴×۲٫۵	۷٫۲	۱۰	۴×۱٫۵	۵٫۵	۱۰	۴×۱٫۵
۶٫۲۵	۱۵٫۷	۲۵	۴×۴	۹٫۰	۱۶	۴×۲٫۵	۶٫۹	۱۰	۴×۱٫۵
۷٫۵	۱۸٫۸	۳۵	۴×۶	۱۰٫۸	۱۶	۴×۲٫۵	۸٫۲	۱۶	۴×۲٫۵
۱۰	۲۵٫۱	۳۵	۴×۶	۱۴٫۴	۲۰	۴×۲٫۵	۱۱٫۰	۱۶	۴×۲٫۵
۱۲٫۵	۳۱٫۴	۵۰	۴×۱۰	۱۸٫۰	۲۵	۴×۴	۱۳٫۷	۲۰	۴×۲٫۵
۱۵	۳۷٫۷	۶۳	۴×۱۶	۲۱٫۷	۳۵	۴×۶	۱۶٫۵	۲۵	۴×۴
۱۷٫۵	۴۳٫۹	۶۳	۴×۱۶	۲۵٫۳	۳۵	۴×۶	۱۹٫۲	۳۵	۴×۶
۲۰	۵۰٫۲	۸۰	۳×۲۵/۱۶	۲۸٫۹	۵۰	۴×۱۰	۲۲٫۰	۳۵	۴×۶
۲۵	۶۲٫۸	۱۰۰	۳×۳۵/۱۶	۳۶٫۱	۵۰	۴×۱۰	۲۷٫۵	۵۰	۴×۱۰
۲۷٫۵	۶۹٫۰	۱۰۰	۳×۳۵/۱۶	۳۹٫۷	۶۳	۴×۱۶	۳۰٫۲	۵۰	۴×۱۰
۳۰	۷۵٫۳	۱۲۵	۳×۵۰/۲۵	۴۳٫۳	۶۳	۴×۱۶	۳۳٫۰	۵۰	۴×۱۰
۳۱٫۲۵	۷۸٫۴	۱۲۵	۳×۵۰/۲۵	۴۵٫۱	۶۳	۴×۱۶	۳۴٫۴	۵۰	۴×۱۰
۳۷٫۵	۹۴٫۱	۱۶۰	۳×۷۰/۳۵	۵۴٫۱	۸۰	۳×۲۵/۱۶	۴۱٫۲	۶۳	۴×۱۶
۴۰	۱۰۰٫۴	۱۶۰	۳×۷۰/۳۵	۵۷٫۷	۸۰	۳×۲۵/۱۶	۴۴٫۰	۶۳	۴×۱۶
۴۳٫۷۵	۱۰۹٫۸	۱۶۰	۳×۷۰/۳۵	۶۳٫۱	۱۰۰	۳×۳۵/۱۶	۴۸٫۱	۸۰	۳×۲۵/۱۶
۴۵	۱۱۳٫۰	۱۶۰	۳×۷۰/۳۵	۶۵٫۰	۱۰۰	۳×۳۵/۱۶	۴۹٫۵	۸۰	۳×۲۵/۱۶
۵۰	۱۲۵٫۵	۲۰۰	۳×۹۵/۵۰	۷۲٫۲	۱۰۰	۳×۳۵/۱۶	۵۵٫۰	۸۰	۳×۲۵/۱۶
۵۲٫۵	۱۳۱٫۸	۲۰۰	۳×۹۵/۵۰	۷۵٫۸	۱۲۵	۳×۵۰/۲۵	۵۷٫۷	۸۰	۳×۲۵/۱۶
۶۰	۱۵۰٫۶	۲۵۰	۳×۱۲۰/۷۰	۸۶٫۸	۱۲۵	۳×۵۰/۲۵	۶۶٫۰	۱۰۰	۳×۳۵/۱۶
۶۲٫۵	۱۵۶٫۹	۲۵۰	۳×۱۲۰/۷۰	۹۰٫۲	۱۲۵	۳×۵۰/۲۵	۶۸٫۷	۱۰۰	۳×۳۵/۱۶
۶۷٫۵	۱۶۹٫۴	۲۵۰	۳×۱۲۰/۷۰	۹۷٫۴	۱۶۰	۳×۷۰/۳۵	۷۴٫۲	۱۲۵	۳×۵۰/۲۵
۶۸٫۷۵	۱۷۲٫۶	۲۵۰	۳×۱۲۰/۷۰	۹۹٫۲	۱۶۰	۳×۷۰/۳۵	۷۵٫۶	۱۲۵	۳×۵۰/۲۵
۷۵	۱۸۸٫۳	۳۱۵	۳×۱۸۵/۹۵	۱۰۸٫۳	۱۶۰	۳×۷۰/۳۵	۸۲٫۵	۱۲۵	۳×۵۰/۲۵
۸۷٫۵	۲۱۹٫۶	۳۱۵	۳×۱۸۵/۹۵	۱۲۶٫۳	۲۰۰	۳×۹۵/۵۰	۹۶٫۲	۱۶۰	۳×۷۰/۳۵
۹۳٫۷۵	۲۳۵٫۳	۴۰۰	۲×۳×۹۵/۵۰	۱۳۵٫۳	۲۰۰	۳×۹۵/۵۰	۱۰۳٫۱	۱۶۰	۳×۷۰/۳۵
۱۰۰	۲۵۱٫۰	۴۰۰	۲×۳×۹۵/۵۰	۱۴۴٫۳	۲۰۰	۳×۹۵/۵۰	۱۱۰٫۰	۱۶۰	۳×۷۰/۳۵
۱۱۲٫۵	۲۸۲٫۴	۴۰۰	۲×۳×۹۵/۵۰	۱۶۲٫۴	۲۵۰	۳×۱۲۰/۷۰	۱۲۳٫۷	۲۰۰	۳×۹۵/۵۰
۱۲۰	۳۰۱٫۲	۵۰۰	۲×۳×۱۲۰/۷۰	۱۷۳٫۲	۲۵۰	۳×۱۲۰/۷۰	۱۳۲٫۰	۲۰۰	۳×۹۵/۵۰
۱۲۵	۳۱۳٫۸	۵۰۰	۲×۳×۱۲۰/۷۰	۱۸۰٫۴	۲۵۰	۳×۱۲۰/۷۰	۱۳۷٫۵	۲۰۰	۳×۹۵/۵۰
۱۵۰	۳۷۶٫۳	۶۳۰	۲×۳×۱۸۵/۹۵	۲۱۶٫۵	۳۱۵	۳×۱۸۵/۹۵	۱۶۵٫۰	۲۵۰	۳×۱۲۰/۷۰
۱۷۵	۴۳۹٫۳	۶۳۰	۲×۳×۱۸۵/۹۵	۲۵۲٫۶	۴۰۰	۲×۳×۹۵/۵۰	۱۹۲٫۵	۳۱۵	۳×۱۸۵/۹۵
۲۰۰	۵۰۲٫۰	۸۰۰	۲×۳×۲۴۰/۱۲۰	۲۸۸٫۷	۴۰۰	۲×۳×۹۵/۵۰	۲۱۹٫۹	۳۱۵	۳×۱۸۵/۹۵
۲۲۵	-	-	-	۳۲۴٫۸	۵۰۰	۲×۳×۱۲۰/۷۰	۲۴۷٫۴	۴۰۰	۲×۳×۹۵/۵۰
۲۵۰	-	-	-	۳۶۰٫۸	۵۰۰	۲×۳×۱۲۰/۷۰	۲۷۴٫۹	۴۰۰	۲×۳×۹۵/۵۰
۲۷۵	-	-	-	۳۹۶٫۹	۶۳۰	۲×۳×۱۸۵/۹۵	۳۰۲٫۴	۵۰۰	۲×۳×۱۲۰/۷۰
۳۰۰	-	-	-	۴۳۳٫۰	۶۳۰	۲×۳×۱۸۵/۹۵	۳۲۹٫۹	۵۰۰	۲×۳×۱۲۰/۷۰
۳۵۰	-	-	-	۵۰۵٫۲	۸۰۰	۲×۳×۲۴۰/۱۲۰	۳۸۴٫۹	۶۳۰	۲×۳×۱۸۵/۹۵
۳۷۵	-	-	-	۵۴۱٫۳	۸۰۰	۲×۳×۲۴۰/۱۲۰	۴۱۲٫۴	۶۳۰	۲×۳×۱۸۵/۹۵
۴۰۰	-	-	-	۵۷۷٫۴	۸۰۰	۲×۳×۲۴۰/۱۲۰	۴۳۹٫۹	۶۳۰	۲×۳×۱۸۵/۹۵



سطح مقطع هادی (میلیمتر مربع)	NYM قطر (میلیمتر)	NYY قطر (میلیمتر)	NYCY/NYCWY قطر (میلیمتر)	H۰۵VV-F قطر (میلیمتر)	H۰VRN-F قطر (میلیمتر)
۲×۱,۵	۹,۰	۱۱,۰	۱۲,۰	۱۰,۵	۱۱,۵
۲×۲,۵	۱۰,۵	۱۳,۰	۱۴,۰	۱۲,۵	۱,۵
۳×۱,۵	۱۰,۰	۱۱,۰	۱۳,۰	۱۱,۰	۱۲,۵
۳×۲,۵	۱۱,۰	۱۳,۰	۱۴,۰	۱۳,۰	۱۴,۵
۳×۴	۱۲,۵	۱۵,۰	۱۶,۰	-	۱۶,۰
۳×۶	۱۴,۰	۱۶,۰	۱۷,۰	-	۲۰,۰
۳×۱۰	۱۷,۰	۱۹,۰	۱۸,۰	-	۲۵,۵
۳×۱۶	۲۰,۰	۲۱,۰	۲۱,۰	-	۲۹,۰
۴×۱,۵	۱۰,۵	۱۳,۰	۱۴,۰	۱۲,۵	۱۳,۵
۴×۲,۵	۱۲,۰	۱۴,۰	۱۵,۰	۱۴,۰	۱۵,۵
۴×۴	۱۴,۰	۱۶,۰	۱۷,۰	-	۱۸,۰
۴×۶	۱۵,۰	۱۷,۰	۱۸,۰	-	۲۲,۰
۴×۱۰	۱۸,۰	۲۰,۰	۲۰,۰	-	۲۸,۰
۴×۱۶	۲۳,۰	۲۳,۰	۲۳,۰	-	۳۲,۰
۴×۲۵	۲۷,۵	۲۷,۰	۲۸,۰	-	۳۷,۰
۴×۳۵	۳۱,۰	۳۰,۰	۲۹,۰	-	۴۲,۰
۴×۵۰	-	۳۵,۰	۳۴,۰	-	۴۸,۰
۴×۷۰	-	۴۰,۰	۳۷,۰	-	۵۴,۰
۴×۹۵	-	۴۵,۰	۴۲,۰	-	۶۰,۰
۴×۱۲۰	-	۵۰,۰	۴۷,۰	-	-
۴×۱۵۰	-	۵۳,۰	۵۲,۰	-	-
۴×۱۸۵	-	۶۰,۰	۶۰,۰	-	-
۴×۲۴۰	-	۷۱,۰	۷۰,۰	-	-
۵×۱,۵	۱۱,۰	۱۳,۵	۱۵,۰	۱۳,۵	۱۵,۰
۵×۲,۵	۱۳,۰	۱۵,۰	۱۷,۰	۱۵,۵	۱۷,۰
۵×۴	۱۵,۰	۱۶,۵	۱۸,۰	-	۱۹,۰
۵×۶	۱۸,۰	۱۹,۰	۲۰,۰	-	۲۴,۰
۵×۱۰	۲۰,۰	۲۱,۰	-	-	۳۰,۰
۵×۱۶	۲۴,۰	۲۳,۰	-	۳۵,۰	-
۷×۱,۵	-	۱۳,۵	-	-	-
۱۰×۱,۵	-	۱۷,۰	-	-	-
۱۲×۱,۵	-	۱۷,۵	-	-	-
۱۴×۱,۵	-	۱۸,۰	-	-	-
۱۶×۱,۵	-	۱۹,۰	-	-	-
۲۴×۱,۵	-	۲۳,۰	-	-	-

جدول ۶: قطر بیرونی سیم و کابل‌ها

راهنمای جدول:

کابل با روکش پلاستیکی و هادی هم‌مرکز موجی: NYCYW

کابل سبک با روکش پلاستیکی: NYM

کابل انعطاف پذیر معمولی با روکش لاستیکی: H۰۵VV-F

کابل با روکش پلاستیکی: NYN

کابل انعطاف‌پذیر سنگین با روکش لاستیکی: H۰VRN-F

کابل با روکش پلاستیکی و هادی هم‌مرکز: NYCY

جدول ۷: سیم‌ها و کابل‌ها بر طبق چرخش یا پیچش کابل‌ها

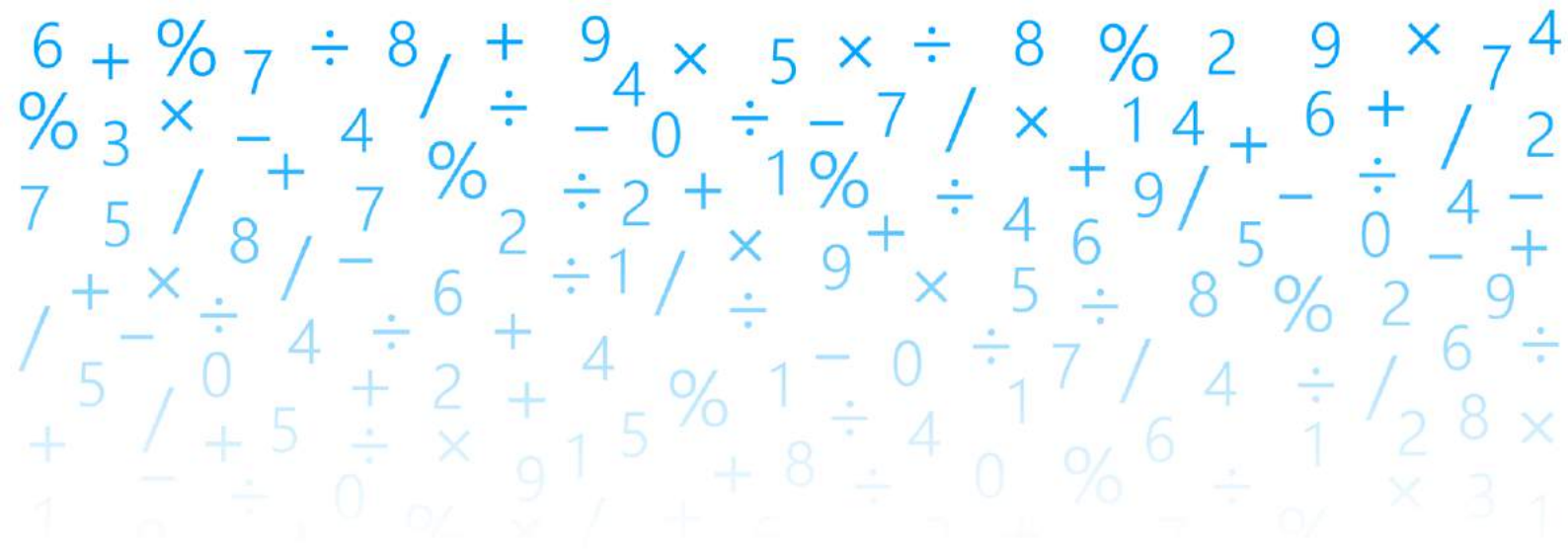
واحد متریک دنده‌ها	P _g	قطر خارجی کابل (میلی‌متر)	زاویه خمش
M ۱۶×۱,۵	۱۱	۶,۵ الی ۱۰,۵	۱۹,۰
-	۱۳,۵	۸,۰ الی ۱۲,۵	۲۱,۰
M ۲۰×۱,۵	۱۶	۱۰,۰ الی ۱۵,۰	۲۳,۰
M ۲۵×۱,۵	۲۱	۱۲,۰ الی ۲۰,۰	۲۹,۰
M ۳۲×۱,۵	۲۹	۱۹,۰ الی ۲۶,۵	۳۸,۰
M ۴۰×۱,۵	۳۶	۲۹,۰ الی ۳۴,۰	۴۸,۰
-	۴۲	۳۴,۰ الی ۴۱,۰	۵۵,۰
M ۵۰×۱,۵	۴۸	۴۰,۰ الی ۴۵,۰	۶۰,۰

نوع حفاظت

برای بیان نوع حفاظت علائمی طبق DIN 40050 یا DIN 34/VDE0530 که دو حرف و یک عدد دو رقمی به کار می‌رود، کاربرد دارند. IP مخفف حفاظت بین المللی می‌باشد که یک عدد دو رقمی است که رقم اول بیانگر حفاظت در برابر مواد جامد و رقم دوم حفاظت در برابر مواد مایع است معمولی‌ترین اختصارات در جدول زیر آمده است :

جدول ۸: مفهوم علائم برای انواع حفاظت

نوع حفاظت	ایمنی در برابر تماس	ایمنی در برابر تماس اشیا خارجی	آب
IP۰۰	هیچ	هیچ	هیچ
IP۱۰	در برابر تماس اتفاقی و یا اشتباهی	دارای قطر بیش از ۵۰ میلی‌متر	هیچ
IP۲۰	با انگشت و یا اشیا بی که حداکثر ۸۰ میلی‌متر طول داشته باشند	دارای قطر بیش از ۲۰ میلی‌متر	هیچ
IP۳۰	با ابزارآلات و یا سیم‌های دارای ضخامت بیش از ۲/۵ میلی‌متر	دارای قطر بیش از ۱ میلی‌متر	هیچ
IP۴۰	با سیم‌ها یا نوارهای دارای ضخامت بیش از ۱ میلی‌متر	دارای قطر بیش از ۱ میلی‌متر	هیچ
IP۴۱	با سیم‌ها یا نوارهایی که دارای ضخامت بیش از ۱ میلی‌متر	دارای قطر بیش از ۱ میلی‌متر	در برابر قطرات آبی که به صورت عمودی می‌چکد
IP۵۴	ایمنی کامل	نشستن گرد و خاک	برابر پاشیدن آب از تمام جهات
IP۶۵	ایمنی کامل	ورود گرد	پاشیدن شدید آب در دریای پرتلاطم



فصل هفتم

فرمول‌های محاسبات برای خازن



خازن تک فاز : $Q_c = C \cdot V^2 \cdot 2\pi \cdot f_n$

مثال: خازن $83 \mu f$ با ولتاژ 400 ولت در فرکانس 50 هرتز $\leftarrow 0.000083 \times 400^2 \times 314.16 = 4.172 \text{ kVAR}$

خازن سه فاز : $Q_c = C \cdot 3 \cdot V^2 \cdot 2\pi \cdot f_n$

مثال: خازن $332 \mu f \times 3$ با ولتاژ 400 ولت در 50 هرتز $\leftarrow 0.0000332 \times 3 \times 400^2 \times 314.16 = 50 \text{ kVAR}$

جریان فاز خازن : $I = \frac{Q_c}{V \cdot \sqrt{3}}$

$\frac{25000}{(400 \times \sqrt{3})} = 36 \text{ A}$

مثال: 25 کیلووار در ولتاژ 400 ولت $\leftarrow$

ردیف فرکانس رزونانس f_s و ضریب سلف (p) خازن های سلف دار : $F_r = f_n \sqrt{\frac{1}{p}}$

مثال: $p = 7\%$ در شبکه 50 هرتز $\leftarrow f = 50 \times \sqrt{\frac{1}{0.07}} = 189 \text{ Hz}$

توان خازن سه فاز در حالت چوک دار : $Q_c = \frac{C \cdot 3 \cdot V^2 \cdot 2\pi \cdot f_n}{1 - p}$

مثال: خازن $332 \mu f \times 3$ در 400 ولت با سلف $p = 7\%$ $\leftarrow \frac{0.0000332 \times 3 \times 400^2 \times 314.16}{(1 - 0.07)} = 53.8 \text{ kVAR}$

ضریب توان و محاسبه $\cos \varphi$ و $\sin \varphi$:

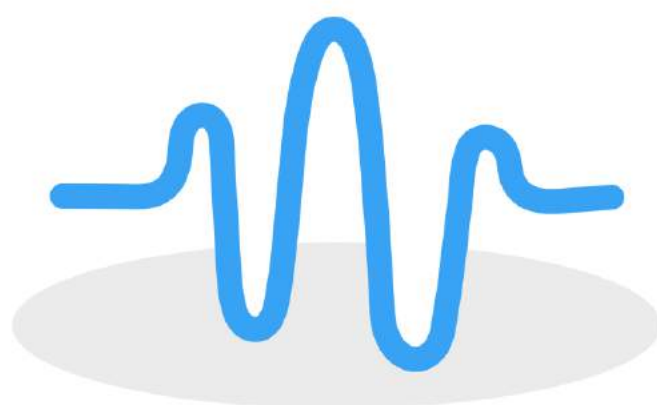
$\cos \varphi = \frac{P}{S}$ یا $\cos \varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{Q}{P}\right)^2}}$ یا $\cos \varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2 \varphi}}$

$\tan \varphi = \frac{Q}{P}$ یا $\tan \varphi = \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \varphi} - 1}$ یا $\tan \varphi = \sqrt{\left(\frac{P}{S}\right)^2 - 1}$

راهنما :

Q_c = قدرت جبران سازی بر حسب وار
 C = ظرفیت خازن بر حسب فاراد
 P = توان اکتیو بر حسب وات
 S = توان ظاهری بر حسب ولت آمپر
 Q = توان راکتیو بر حسب وار

V = ولتاژ بر حسب ولت
 I = جریان بر حسب آمپر
 f_n = فرکانس شبکه بر حسب هرتز
 f_r = فرکانس رزونانس بر حسب هرتز
 p = ضریب سلف بر حسب درصد



فصل هشتم

هارمونیک ها



فیوز ها و کابل ها

در شبکه های مدرن فشار ضعیف مصرف کنندگان زیادی وجود دارند که از شبکه، جریان غیر سینوسی می کشند. این جریان ها به دلیل وجود امپدانس شبکه باعث ایجاد افت ولتاژ می گردند، افتی که باعث تغییر شکل ولتاژ سینوسی شبکه می شود. این آثار طبق بسط فوریه می توانند به هارمونیک پایه (اصلی) و تک تک هارمونیک ها تجزیه شوند. فرکانس های هارمونیک مضرب صحیحی از فرکانس پایه هستند و با حرف n یا v مشخص می شوند.

مثال : (فرکانس شبکه = ۵۰ هرتز ، فرکانس هارمونیک پنجم = ۲۵۰ هرتز)

مصرف کنندگان خطی عمدتاً عبارتند از :

◆ مقاومت های اهمی (بخاری مقاومتی، لامپ های رشته ای)

◆ موتورهای سه فاز

◆ خازن ها

مصرف کنندگان غیر خطی (مولدین هارمونیک) عمدتاً عبارتند از :

◆ ترانسفورماتورها

◆ بوبین ها

◆ یکسو کننده ها

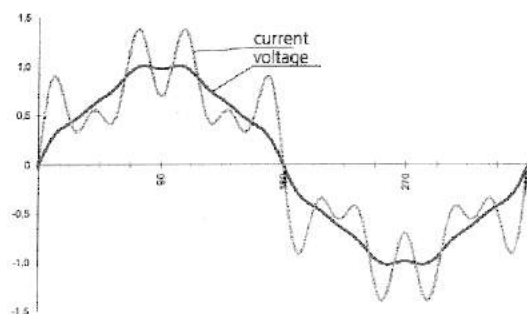
◆ مبدل های AC/DC و DC/DC به خصوص موتورهای القایی و مدارهای کنترل دور

◆ کوره های با قوس الکتریکی و القایی، دستگاه جوش

◆ دستگاه های UPS

◆ منابع تغذیه سویچینگ تک فاز در مصرف کننده های مدرن الکترونیکی مانند تلویزیون، ویدئو،

کامپیوتر، مینیاتور، چاپگر، فاکس، بالاست الکترونیکی، چراغ های کم مصرف



هارمونیک پنجم ۵%
هارمونیک مرتبه هفتم ۴%
هارمونیک مرتبه یازدهم ۲/۵%

شکل ۲۶: جریان و ولتاژ شبکه

هارمونیک ها نه فقط در شبکه های صنعتی بلکه به طور روزافزون در مصارف خانگی هم تولید می شوند. از تولید کننده های هارمونیک عمدتاً هارمونیک های فرد به شبکه تزریق می شوند. به همین دلیل اصولاً هارمونیک های ۳، ۵، ۷، ۹ و ۱۱ پدید می آیند.

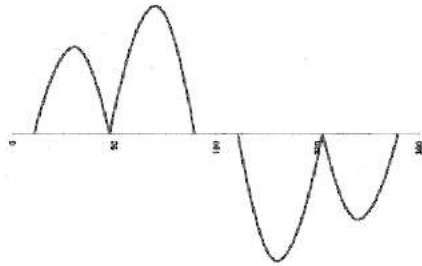


هارمونیک چطور به وجود می آید؟

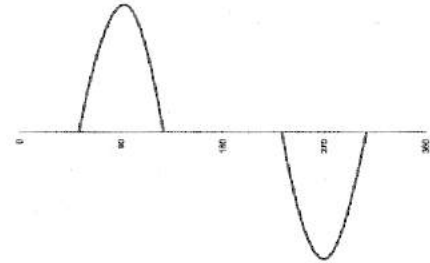
◆ در شبکه های فشار ضعیف داخلی به خصوص وقتی محرك های تحت کنترل در محل نصب هستند.

◆ در تلویزیون، کامپیوتر، چراغ های کم مصرف با بالاست های الکترونیکی

به دلیل تعداد زیاد مصرف کنندگان این گونه بارها، جریان های هم فاز آنها در ساعات شب در بعضی از شبکه های ولتاژ، رزونانس پدید می آورند.



شکل ۲۷: جریان کشیده شده از شبکه به وسیله یک مبدل موتور القایی



شکل ۲۸: جریان یکسو ساز قدرت

پیش از نصب سیستم جبران ساز دامنه هارمونیک ها چقدر است؟

الف) در شبکه فشار ضعیف داخلی بسته به توان یکسوساز و مبدل نصب شده وقتی به عنوان مثال یک یکسوساز ۶ پالسه با توان نامی ۵۰٪ توان ترانس نصب شده باشد، تقریباً:

۴٪ هارمونیک پنجم (۲۵۰ هرتز)

۳٪ هارمونیک هفتم (۳۵۰ هرتز) داریم.

معمولاً مبدل های کوچک غیرمتصل به هم در یک شبکه نصب می شوند و به دلیل فازهای مختلف جریان های تک تک مبدل ها، هارمونیک ایجاد شده در شبکه اندک است.

مثلاً اگر تعدادی مبدل با توان حدود ۲۵٪ توان نامی ترانس نصب شده باشند، هارمونیک های زیر به وجود می آیند:

◆ ۱ تا ۱/۵ درصد هارمونیک پنجم

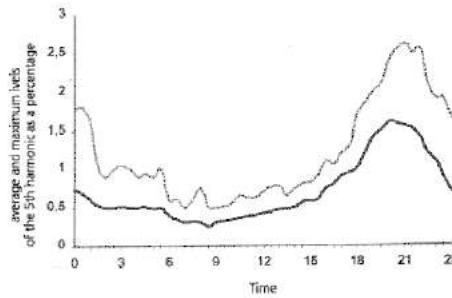
◆ ۰/۷ تا ۱ درصد هارمونیک هفتم

این اعداد برای محاسبات تقریبی توصیه می شوند و با این اطلاعات می توان تعیین کرد که آیا دستگاه جبران سازی با فیلتر برای شبکه لازم است یا خیر.

ب) در شبکه فشار متوسط

امروزه شبکه ها از هارمونیک های ایجاد شده به وسیله لوازم خانگی مانند تلویزیون های هوشمند بیش از تولید کننده های صنعتی، تحت تأثیر قرار می گیرند.





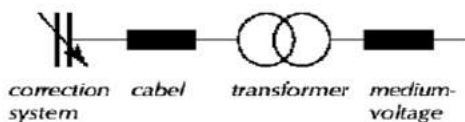
شکل ۲۹: متوسط و حداکثر مقدار هارمونیک پنجم

مقدار هارمونیک در شبکه با ولتاژ متوسط یک شهر در روز کاری:

مقدار متوسط و حداکثر یک اندازه گیری از سال ۱۹۸۵ تا سال ۱۹۸۷ که در کشور آلمان به انجام رسیده است در شکل فوق آمده است. مطمئناً این اعداد امروزه افزایش یافته اند و بالا بودن این مقدار در شب هم در اثر تعداد زیاد تلویزیون های مورد استفاده و سایر مصرف کنندگان خانگی می باشد. در مناطق پرجمعیت هارمونیک ولتاژ شبکه فشار متوسط در ساعات شب بیش از ۴٪ (۲۵۰ هرتز) و تا حدود (۳۵۰ هرتز) ۱/۵٪ افزایش پیدا می کند، این در صورتی است که هارمونیک های فرکانس بالا اصولاً قابل صرف نظر هستند و مقدار آنها به طور محدود قابل پیش بینی است.

تأثیر جبران سازی در شبکه دارای هارمونیک چیست؟

تجهیزات جبران سازی بدون سلف با امپدانس شبکه نوسان تولید می کند و برای فرکانس رزونانس یک فرمول کلی وجود دارد:



$$f_r = 50\text{Hz} \sqrt{\frac{S_K}{Q_C}}$$

S_K قدرت اتصال کوتاه در نقطه اتصال جبران سازی

Q_C توان جبران سازی

اصولاً به وسیله ترانس مشخص می شود. S_K

حدود ۱۰ درصد به وسیله امپدانس شبکه ولتاژ متوسط کاهش می یابد.

می تواند شدیداً به وسیله کابل های بلند بین ترانس و جبران سازی کاهش یابد.

مثال :

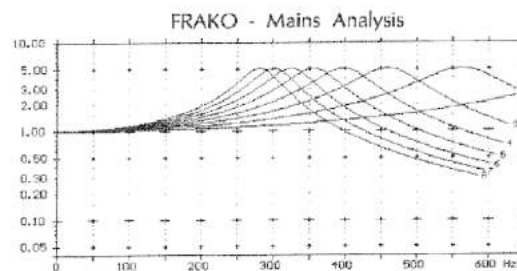
ترانس ۱۰۰۰ کیلوولت آمپر و $U_K = 6\%$

قدرت اتصال کوتاه شبکه فشار متوسط ۱۵۰ مگاوات آمپر و $S_K = 12.6 \text{ MVA}$

قدرت جبران سازی ۴۰۰ کیلووار در ۸ پله بدون راکتور

قدرت خازن (Q_c) (کیلوواری)	فرکانس رزونانس (f_r) (هرتز)
۱۰۰	۵۶۲
۲۵۰	۳۵۵
۲۵۰	۲۸۱

هنگام اتصال پله‌های جبران‌سازی، فرکانس رزونانس شبکه f_r شدیداً تغییر می‌نماید و بیشتر اوقات نزدیک به فرکانس هارمونیک اصلی شبکه است. در صورتی که رزونانس داخلی یک مدار، نوسان نزدیکی به یکی از هارمونیک‌های موجود در شبکه داشته باشد، باید انتظار داشت که ولتاژ هارمونیک‌های افزایش یابد و تحت شرایطی می‌توان آنها را در ضریب کیفیت شبکه (در شبکه‌های صنعتی ۵ تا ۱۰) ضرب کرد.



شکل ۳۰: ضریب تقویت هارمونیک‌های ولتاژ در یک سیستم جبران‌سازی بدون راکتور

رزونانس‌های خطرناک شبکه چه زمانی می‌توانند پدید آیند؟

بر اساس دیاگرام موجود می‌توان حدس زد که آیا مشکلات رزونانسی با هارمونیک می‌توانند پدید آیند یا خیر و برای این موضوع قواعد ساده زیر کافی هستند:

۱) اگر فرکانس رزونانس

۱۰٪ بیشتر یا کمتر از فرکانس هارمونیک موجود در شبکه باشد، این فرکانس رزونانس در یک شبکه با کیفیت بالا (مثلاً عصرها و شب‌ها) تا یک ضریب بزرگتر از ۴ تقویت می‌شود.

۲۰٪ بیشتر از فرکانس هارمونیک موجود در شبکه باشد، در یک شبکه با کیفیت بالا و با ضریبی تا ۲/۵ درصد تقویت می‌شود.

۳۰٪ بالای فرکانس هارمونیک موجود در شبکه باشد به مقدار کم در حدود ۱/۷ تقویت می‌شود.

۲) در شبکه‌ای که بدون مولد هارمونیک باشد ولی هارمونیک از شبکه فشار متوسط وارد شود با فرکانس رزونانس زیر ۴۰۰ هرتز ازدیاد دامنه هارمونیک هفتم پدید خواهد آمد.

با فرکانس رزونانس کمتر از ۳۰۰ هرتز ازدیاد شدید دامنه هارمونیک پنجم پدیدار خواهد شد.



آرایش شبکه چه تأثیری بر روی مسایل هارمونیک دارد؟

قدرت اتصال کوتاه شبکه تعیین کننده فرکانس رزونانس است و در تولیدکننده های هارمونیک، دامنه ولتاژ هارمونیک را تعیین می کند.

قدرت اندک اتصال کوتاه شبکه در محل جبران سازی ایجاد مشکل می کند. همچنین تغییرات قدرت اتصال کوتاه شبکه ناشی از کلیدزنی مشکل ساز است.

مثال :

در کارخانه های بزرگ، پست های فشار ضعیف برای قابلیت اطمینان بیشتر توزیع انرژی به صورت حلقه مورد استفاده قرار می گیرند که در این حالت قدرت اتصال کوتاه بسیار زیاد است. معمولاً در سیستم های بزرگ جبران سازی و در شرایط کار یکسوسازهای بسیار پر قدرت مسائل رزونانس پدید نمی آید. در این حالت فرکانس رزونانس بزرگ است و عبور جریان هارمونیک از شبکه فشار متوسط افت ولتاژ کمی ایجاد می نماید. در صورت باز شدن حلقه تغذیه مثلاً به منظور تعمیرات، قدرت اتصال کوتاه شدیداً کاهش می یابد و حتی امکان افت فرکانس رزونانس به زیر ۳۰۰ هرتز وجود دارد.

اضافه ولتاژ و اضافه جریان تجهیزات جبران سازی بدون سلف

هنگام پدید آمدن رزونانس مقدار مؤثر ولتاژ شبکه افزایش ناچیزی می یابد ولی مقدار مؤثر جریان خازن شدیداً افزایش می یابد. در حالت رزونانس با هارمونیک پنجم، مقدار مؤثر دامنه هارمونیک تا ۱۵٪ افزایش می یابد بنابراین :

◆ مقدار مؤثر ولتاژ شبکه حدود ۱٪

◆ مقدار پیک ولتاژ حدود ۱۰٪ الی ۱۵٪ بسته به اختلاف فازها

◆ جریان مؤثر خازن ۲۵٪

افزایش می یابد.

با رزونانس در هارمونیک یازدهم، مقدار مؤثر دامنه هارمونیک می تواند تا ۱۰٪ افزایش یابد، مقدار مؤثر ولتاژ حدود ۵٪، مقدار پیک ولتاژ حدود ۶٪ تا ۵۰٪ و جریان مؤثر خازن ۵۰٪ افزایش می یابد.

بنابراین اضافه بار جریان در خازن یکی از مشخصات مهم کیفیت خازن است.

در شبکه ۴۰۰ ولت، خازنی با ولتاژ نامی ۴۴۰ ولت کاملاً مناسب است، چنین خازنی تا ۲ برابر جریان نامی قابل بارگذاری است.



در صورتی که امکان وقوع رزونانس وجود داشته باشد ولی احتمالش کم باشد چه باید کرد؟

امروزه این مطلب در بخش بزرگی از تجهیزات جبران سازی مطرح است که :

در شبکه داخلی مولد هارمونیک وجود ندارد، در شبکه ولتاژ متوسط نیز هارمونیک دیده نمی شود ولی فرکانس رزونانس زیر ۴۰۰ هرتز است.

در شبکه ولتاژ متوسط هارمونیک وجود دارد و امکان کاهش فرکانس رزونانس با تغییر در توپولوژی شبکه فشار متوسط (در هنگام بازدیدهای ادواری به منظور نگهداری و کنترل) به کمتر از ۴۰۰ هرتز وجود دارد. برنامه ریزی شده است که در آینده تجهیزات نیمه هادی در شبکه نصب گردد.

برای حفاظت از تجهیزاتی که دارای راکتور نیستند برای جلوگیری از وقوع احتمالی رزونانس، دستگاه مراقبت شبکه EMA1101 مناسب است. این دستگاه مراقبت از شبکه را در سه فاز تحت نظر دارد و در صورتی که حد هارمونیک تا حد خطرناکی افزایش یابد تجهیزات را قطع می نماید و هنگامی که این خطر برطرف شد دستگاه ها را مجدداً وصل می نماید. مقادیر حداکثر در این دوره ثبت شده و می توان بعداً از طریق خط انتقال به اطلاعات آنها دست یافت. در شبکه هایی که بار متقارن دارند می توان از دستگاه تنظیم راکتیو EMA1100 استفاده نمود این دستگاه پدیده رزونانس را کنترل می کند. رگولاتور EMA1100 هارمونیک ولتاژ یک فاز را اندازه گیری کرده و جریان مؤثر خازنی ناشی از آنها را محاسبه کرده و هنگامی که از میزان از پیش تنظیم شده بیشتر گردد، دستگاه قطع شده و با کاهش دامنه هارمونیک ها دستگاه مجدداً وصل می گردد. در چنین مواردی اغلب تجهیزات جبران سازی که قابلیت افزایش راکتور را دارند استفاده می شوند.

تجهیزات جبران سازی در شبکه های دارای هارمونیک

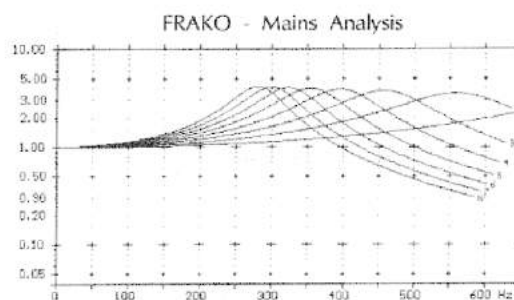
بهترین اطلاعات درباره نحوه کار یک کارگاه و وضعیت کاری آن با روش های زیر به دست می آید:

◆ اندازه گیری هارمونیک ولتاژ و جریان در طول چند روز بدون جبران سازی

◆ محاسبه تئوری رفتار رزونانسی در شبکه

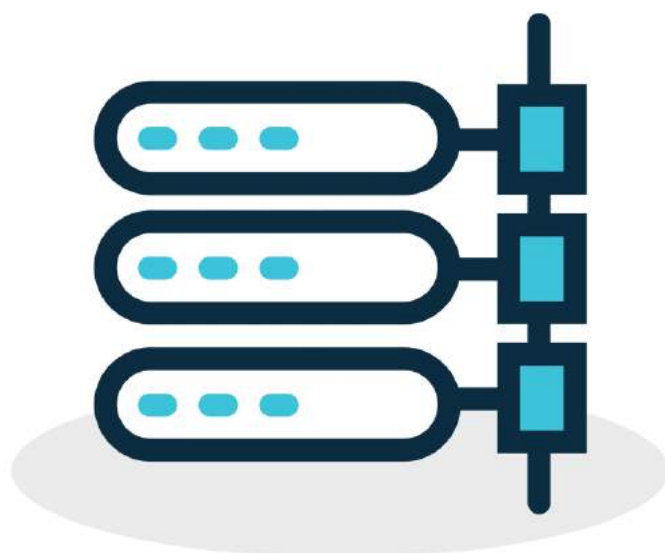
در شبکه اندازه گیری شده انتظار حد هارمونیک با جبران سازی به صورت زیر است:

مقادیر حداکثر اندازه گیری شده قبل از جبران سازی ضرب در فاکتور رزونانس از آنالیز شبکه



شکل ۳۱: افزایش دامنه هارمونیک ها بر حسب پله های خازنی





فصل نهم

چگونگی جبران سازی در حضور هارمونیک



اقداماتی برای جلوگیری از پدید آمدن رزونانس

هنگام نصب تجهیزات جبران سازی، اگر در صورت وقوع رزونانس اضافه ولتاژهای هارمونیک با دامنه بزرگتر از :

هارمونیک مرتبه سوم (۱۵۰ هرتز) ۴%

هارمونیک مرتبه پنجم (۲۵۰ هرتز) ۵%

هارمونیک مرتبه هفتم (۳۵۰ هرتز) ۴%

هارمونیک مرتبه یازدهم (۵۵۰ هرتز) ۳%

هارمونیک مرتبه سیزدهم (۶۵۰ هرتز) ۱%

امکان پدید آمدن داشته باشند، امکان بروز اغتشاش شدیدی در شبکه فشار ضعیف وجود دارد، از قبیل :

◆ مشکلاتی در کامپیوتر و ماشین های CNC

◆ خسارت به تجهیزات الکترونیک قدرت مثل یکسوسازها و مبدل ها

◆ عملکرد غیر قابل کنترل کلیدهای قدرت و فیوزها

◆ قطع شدن تجهیزات جبران سازی بدون راکتور

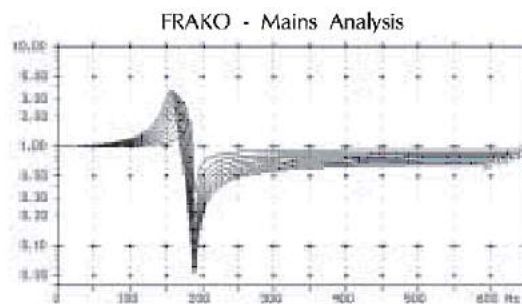
◆ افزایش ولتاژ در شبکه

◆ افزایش تلفات جریان فوکو در ترانس ها و موتورهای القایی

در صورتی که مقدار $T_k T_k$ هارمونیک ها (قبل از جبران سازی) بیش از ۵/۱% هارمونیک هفتم و بالاتر و یا ۲% هارمونیک پنجم باشد و هرگاه فرکانس رزونانس شبکه در نزدیکی این هارمونیک ها قرار گیرد باید انتظار داشت که این مقادیر به وسیله رزونانس افزایش یابند.

برای حفظ ایمنی شبکه فشار ضعیف بایستی در چنین مواردی بدون استثناء تجهیزات جبران سازی مجهز به راکتور نصب شود.

راکتور، فرکانس رزونانس را به کمتر از ۲۵۰ هرتز کاهش داده و تمام هارمونیک های مرتبه بالاتر تضعیف می شوند.



شکل ۳۲: میرایی ولتاژهای هارمونیک در ارتباط با مراحل جبران سازی با سلف



يك خازن راکتوردار، مجموعه ای است از مدار خازن و فیلتر که فرکانس رزونانس آن به وسیله قراردادن مدار فیلتر انتخاب می شود و این ترکیب روی تمام فرکانس های بالاتر از فرکانس رزونانس مدار به صورت سلفی تأثیر می گذارد. رزونانس های بین خازن و امپدانس شبکه پدیدار نمی گردد و تجهیزات چوك دار هم بخشی از هارمونیک را جذب می کنند بنابراین برای جلوگیری از اضافه بار ناشی از هارمونیک پنجم در شبکه، اصولاً فرکانس رزونانس چوك و خازن را در حد ۱۸۹ هرتز و پایین تر از آن قرار می دهند. این چوك یا طبق فرکانس رزونانس خازن و چوك (f_r) طبقه بندی می شود و یا براساس افت ولتاژ نسبی p . هر دو عدد طبق فرمول پایین با هم در ارتباط می باشند :

$$F_c = 50 \text{ Hz} \sqrt{\frac{1}{p}} \rightarrow p = 0.07 (7\%) \rightarrow f_r = 189 \text{ Hz}$$

مثال :

برای هارمونیک پنجم، امپدانس خازن های دارای سلف (با فرکانس ۲۵۰ هرتز) به حدود ضریب x کوچکتر است تا امپدانس خازن بدون سلف.

تجهیزات جبران سازی چوك دار دارای :

• حالت جذب کردن با $2x > 1$

• حالت بلوك کردن با $x < 1$

در حالت جذب کردن شدیدتر، می بایستی ۲۵۰ هرتز حداکثر فرکانس مجاز باشد تا سلف فیلتر بار اضافی نداشته باشد.

$p = 5\%/7$	$f_r = 210 \text{ Hz}$	$2x = 1/4$	$\Rightarrow$	$4\% u_{250_{\max}} =$
$p = 7\%$	$f_r = 189 \text{ Hz}$	$x = 1/33$	$\Rightarrow$	$5\% u_{250_{\max}} =$
$p = 8\%$	$f_r = 177 \text{ Hz}$	$x = 1/0$	$\Rightarrow$	$5\% u_{250_{\max}} =$
$p = 13\%/5$	$f_r = 136 \text{ Hz}$	$x = 0/42$	$\Rightarrow$	$5\% u_{250_{\max}} =$

مثال :

در صورتی که ولتاژ هارمونیک پنجم ۴٪ ولتاژ شبکه باشد، تجهیزات جبران سازی چوك دار برای هارمونیک پنجم چنین می باشند :

در ۷٪ چوك	$4\% \times 5 \times 1.33 = 0.27 I_n$ (عدد ۵ به منظور تبدیل فرکانس ۵۰ به ۲۵۰ هرتز می باشد.)
در ۵/۷٪ چوك	$4\% \times 5 \times 2.4 = 0.48 I_n$ (عدد ۵ به منظور تبدیل فرکانس ۵۰ به ۲۵۰ هرتز می باشد.)
در ۱۳/۵٪ چوك	$4\% \times 5 \times 0.42 = 0.08 I_n$ (عدد ۵ به منظور تبدیل فرکانس ۵۰ به ۲۵۰ هرتز می باشد.)



اصولاً هنگام انتخاب تجهیزات جبران سازی چوک دار به نکات زیر باید توجه کرد :

مجاز نیست خازن های با سلف و بدون سلف در شبکه فشار ضعیف به صورت موازی با هم به کار گرفته شوند. در به کارگیری فیلترهای موازی با ضرایب سلف متفاوت (P) به دلیل وجود تفاوت چشمگیر در مشخصات فیلترها باید دقیقاً آنالیز شود.

در صورتی که موضوع مربوط به شبکه های فشار ضعیفی که ارتباط الکتریکی غیر مستقیم دارند، باشد، بسته به احتیاج می توان جبران سازی را مستقلاً با خازن بدون سلف و یا با سلف انجام داد. نصب فیلتر باید با قوانین EVU مطابقت داشته باشد.

نظارت بر سیستم های تصحیح ضریب توان در محیط های صنعتی

نگهداری صحیح از تجهیزات تصحیح ضریب توان بعد از نصب به اندازه برنامه ریزی و طراحی قبل از آن اهمیت دارد. این تجهیزات معمولاً به دست فراموشی سپرده می شوند و کاربر باید بداند که کنتاکتورهای خازنی به مرور فرسوده می شوند ولی معمولاً تا زمان خرابی کنتاکتور ها و خسارات احتمالی بعدی به این نکته توجه نمی شود. **کنتاکتورها در زمان قطع و وصل خازن ها تحت فشار شدید قرار دارند.** کنتاکت های خورده شده باعث می شوند در زمان قطع و وصل خازن ها، جریان زیادی کشیده شود که باعث خرابی بیشتر می گردد. تعویض به موقع کنتاکت ها تأثیر زیادی در طول عمر سیستم تصحیح ضریب توان دارد. شمارنده تعداد قطع و وصل ها که در رگولاتور تعبیه شده است، زمان مناسب برای تعویض کنتاکت ها را نشان می دهد و به این ترتیب در هزینه ها صرفه جویی می کند.

تغییرات شبکه نیز باعث ایجاد آشفتگی هایی در سیستم فشار ضعیف می شود. هدف از سیستم نظارت بر شبکه، شناسایی این تغییرات در مراحل اولیه، قبل از اینکه قطعاتی از سیستم از کار بیفتد، می باشد. تمام پارامترهای مؤثر در امنیت و قابلیت اطمینان سیستم فشار ضعیف و فشار متوسط مانند دمای قطعات حساس، میزان مصرف توان اکتیو و راکتیو اندازه گیری و ثبت می شوند.



وقتی مقدار هارمونیک ها زیاد و نیاز به توان راکتیو کم باشد، چه کار باید کرد؟

اصولاً در چنین مواردی راه حل های متفاوتی برای محدود کردن جریان های هارمونیکی تولید شده مصرف کننده های مولد هارمونیک وجود دارد.

معروف ترین این روش ها به کارگیری روش های زیر می باشد :

♦ فیلتر پسیو متعدد (هماهنگ شده)

♦ تغذیه بارهای حساس و مولدهای هارمونیک از ترانسفورماتورهای مجزا

این راه حل ها دو نقطه ضعف دارد:

♦ هزینه بالای تطابق مجدد سیستم با تغییرات شبکه که ناشی از عدم کاربرد تجهیزات اولیه می باشد.

♦ به کارگیری عملی این راه حل ها در تأسیسات از پیش نصب شده بسیار مشکل است. اغلب استفاده

از خازن های بدون چوک در شبکه های دارای هارمونیک مجدداً باعث ایجاد هارمونیک می شوند بنابراین

بهترین راه حل به کارگیری فیلترهای قدرت فراکوه است که مقرون به صرفه هستند، می باشد.

در صورت بروز مسائلی مانند:

♦ دامنه بزرگ هارمونیک های ۳، ۹ و ۱۵ و جریان سیم زمین

♦ لزوم نگه داشتن دامنه هارمونیک های فشار متوسط در حد مجاز به وسیله فیلترهای تنظیم شده

♦ نیاز کم به توان راکتیو و جریان هارمونیک بالا (مثلاً بخش بزرگی از ماشین های القایی که به وسیله

سیستم سویچینگ قدرت تغذیه می شوند).

راه حل بهینه برای مشکلات فوق، فیلتر اکتیو OSF یا ترکیبی از تجهیزات فیلتردار فراکوه است. مزیت

فیلتر اکتیو در این است که هنگام توسعه تجهیزات مصرف کننده، جبران سازی به طور مؤثر انجام می شود

و به دلیل انعطاف پذیری فیلترهای اکتیو فراکوه می توان مقدار مورد نیاز را انتخاب نمود و مازاد نیاز با گسترش

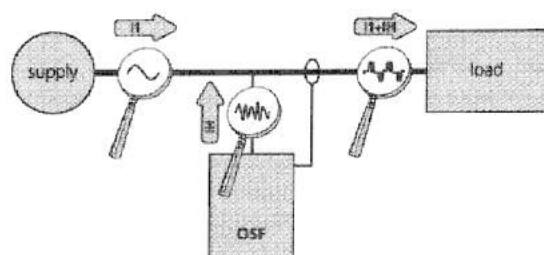
تجهیزات می تواند هر زمان به وسیله اضافه کردن اجزای دیگر مورد استفاده قرار گیرد.

اصول کار فیلترهای اکتیو

فیلتر اکتیوی که به صورت موازی به تولید کننده هارمونیک متصل می باشد، جریان هارمونیکی که به وسیله

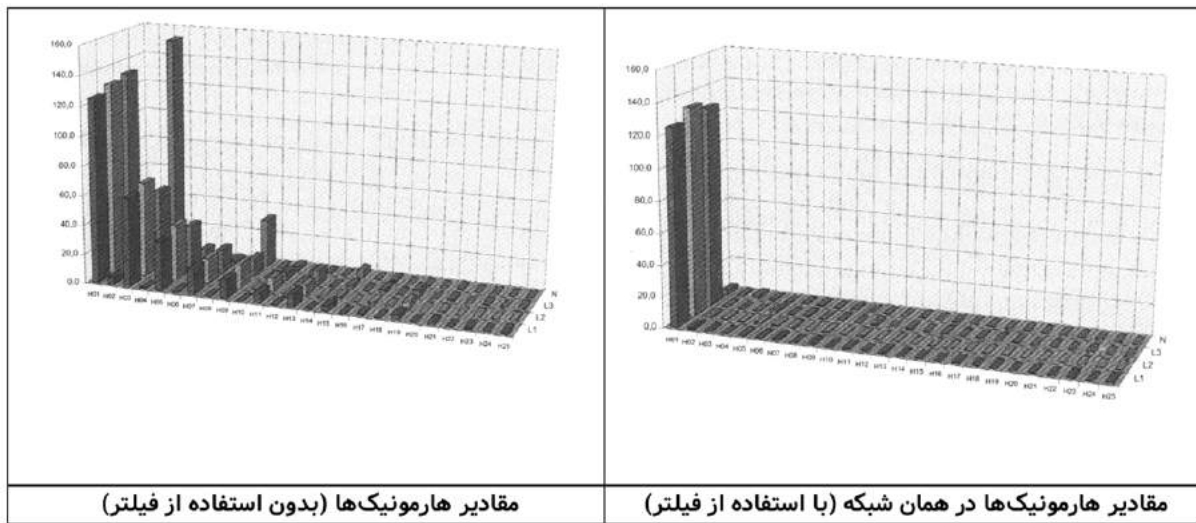
مصرف کننده غیرخطی ایجاد شده را تجزیه می کند و جریان جبران سازی با فاز مخالف را تزریق می کند بدین

وسیله جریانهای هارمونیک در محل اتصال به طور کامل خنثی می گردند.



I1 = fundamental current
IH = harmonic current

ترکیب فیلترهارمونیک و هارمونیک مصرف کننده همانند يك بارخطی برای شبکه می باشد. مراحل نصب فیلتر هارمونیک کاملاً ساده است، فقط باید يك تغذیه سه فاز با سیم نول و یا بدون سیم نول موجود باشد و مبدل های جریان در ورودی مصرف کننده غیر خطی نصب شود.



کاربرد

نمونه کاربردها عبارتند از :

❖ شبکه فشار ضعیف با سیستم های سویچینگ قدرت متعدد که به صورت محدود جریان های هارمونیک را به شبکه فشار ضعیف با بار سنگین تزریق می کند مانند کارخانه های دور از پست با کابل اختصاصی.

❖ محرك های سویچینگ قدرت مدرن با تزریق هارمونیک بالا که فقط احتیاج به جریان راکتیو کم دارند. در يك شبکه ولتاژ پایین با ترانس ۱۰۰۰ کیلوولت آمپر و با به کارگیری موتورهای القایی زیاد احتیاج به یک تنظیم کننده توان راکتیو با توان نامی ۴۰۰ کیلووار دارند که با به کارگیری مبدل های مدرن نیاز حدود ۱۰۰ کیلووار خواهد شد .

❖ در شبکه های ولتاژ پایین با مقدار هارمونیک سوم قابل توجه به دلیل مصرف کننده های تك فاز، این شبکه های ولتاژ پایین، جریان سیم نول بالایی دارند که باید در يك بار متقارن، تقریباً صفر آمپر باشد. دلیل بارالکتریکی در مجاورت بارهای اهمی نامتعادل، جریان های هارمونیک سه فاز روی سیم نول جمع می گردند زیرا هارمونیک های ۳، ۹ و ۱۵ هم فاز هستند. در نتیجه يك جریان غیر صفر در سیم نول جاری می شود که بسته به شرایط امکان دارد بزرگتر از جریان فاز شود و سیم نول را تحت تأثیر قرار دهد.



مقاله تخصصی: مقابله با هارمونیک‌ها

تاکنون راه‌حل‌های اقتصادی کارآمدی برای کاهش هارمونیک‌ها به مصرف‌کنندگان قدرت ارائه نشده است. روش معمول، نصب المان‌های پسیو در محل تولید هارمونیک‌ها برای حذف یا تضعیف هارمونیک‌ها می‌باشد که به معنی نصب مدار خازنی و سلفی جداگانه برای اثرگذاری روی هر هارمونیک است که مشکل با نصب فیلترهای اکتیو مرتفع می‌شود.



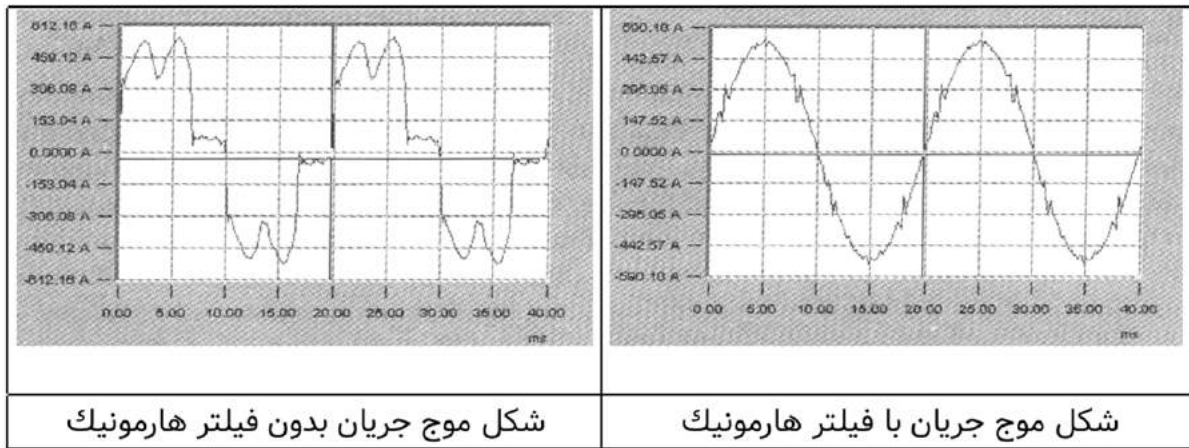
مضارب صحیح فرکانس اصلی به نام هارمونیک شناخته شده‌اند و معمولاً هر هارمونیک را با شماره آن شناسایی می‌کنند. فرکانس هارمونیک پنجم ۲۵۰ هرتز خواهد بود. تحلیل ریاضی نشان می‌دهد که هر شکل موج متناوب را می‌توان به مجموع چند شکل موج کاملاً سینوسی و فرکانس‌های مضارب صحیح فرکانس اصلی تبدیل کرد. در صورتی که مصرف‌کننده، جریان کاملاً سینوسی از شبکه نکشد، این هارمونیک‌ها به وجود می‌آیند.

شکل موج جریان، تعیین‌کننده دامنه و تعداد هارمونیک‌ها می‌باشد. هر چه این شکل موج تفاوت بیشتری با شکل موج سینوسی داشته باشد، دامنه و تعداد هارمونیک‌ها نیز بیشتر و بزرگتر خواهند بود.

اصول کار فیلترهای هارمونیک

مورد اصلی استفاده از فیلترهای هارمونیکی در یک مدار اکتیو است که هارمونیک‌ها را جذب نمی‌کند بلکه به میزان لازم هارمونیک تزریق می‌کند. ابتدا توسط یک ترانس جریان مقدار جریان لحظه‌ای بار اندازه‌گیری می‌شود، سپس بخش کنترلی مدار با تحلیل سری فوری، دامنه و تعداد هارمونیک‌ها را به دست می‌آورد. سپس همان میزان جریان ولی با 180° درجه اختلاف فاز به مدار تزریق می‌شود و در نتیجه جریان حاصل کاملاً سینوسی و بدون هارمونیک خواهد بود. یک مزیت دیگر انعطاف‌پذیری مدار فوق است و بسته به میزان هارمونیک‌ها جریان تزریقی امکان کم و زیاد شدن را داراست. حتی در زمان اضافه‌بار فیلتر خاموش نمی‌شود بلکه حداکثر دامنه جریان را به مدار تزریق می‌کند که بخش عظیمی از هارمونیک‌ها را جبران می‌کند. گسترش سیستم نیز حتی در صورت وجود چند فیلتر امکان‌پذیر است و با تغییر شرایط شبکه، فیلتر در محدوده مقادیر نامی، خود را با شرایط جدید وفق می‌دهد.

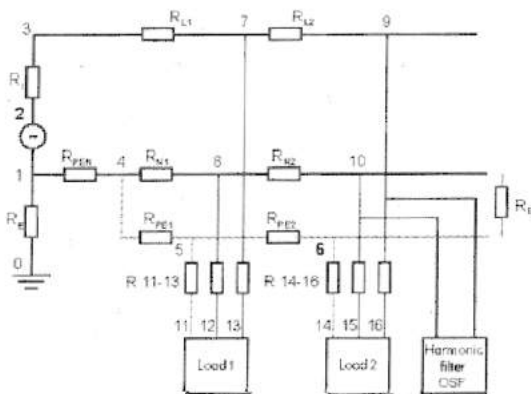




اهمیت تأسیسات الکتریکی

نصب صحیح تأسیسات الکتریکی در کارکرد درست سیستم جبران هارمونیک از اهمیت بالایی برخوردار است. نوع شبکه و کیفیت تجهیزات نصب شده نه تنها بر عملکرد درست فیلترهارمونیک اثر می‌گذارد بلکه امکان اغتشاش در منبع تغذیه نیز وجود دارد. در تأسیسات الکتریکی اتصال به زمین از اهمیت خاصی برخوردار است. اتصال زمین خوب و مؤثر اساس تأسیسات الکتریکی است. در صورت وجود اشکال در اتصال به زمین امکان پارازیت در ولتاژ، تداخل‌های الکترومغناطیسی و انتشار هارمونیک‌های ناخواسته در سیستم وجود دارد. کارکرد اصلی اتصال زمین جلوگیری از خسارت‌های مالی و جانی در زمان بروز خطا است. این تنها روش فعال کردن رله اضافه جریان و قطع به موقع ولتاژ است.

جداسازی سیم زمین مدار از سیم زمین حفاظتی



در صورتی که این جداسازی انجام نشود، به دلیل وجود جریان در این سیم‌ها و تشکیل میدان مغناطیسی در اطراف آن اثرات بدی خواهد داشت و باعث ایجاد تداخل در کابل‌های شبکه و از بین رفتن اطلاعات می‌شود. اتصال سیم زمین به هادی‌هایی نظیر لوله آب و گاز باعث اضافه جریان در این بخش‌ها می‌شود و باعث پارازیت در ولتاژ و خوردگی در لوله‌ها می‌شود بنابراین در تأسیسات مدرن همواره دقت خاصی به

جداسازی سیم زمین و سیم خنثی می‌گردد. عدم توجه به این مسئله باعث ایجاد لرزش در تصویر مانیتورها و اغتشاش در خطوط تلفن می‌شود که به دلیل وجود مقدار زیاد هارمونیک سوم در سیم زمین و سیم خنثی است.

یک مثال عملی :

یک کامپیوتر معمولی با منبع تغذیه ۲۵۰ واتی جریان نشتی حدود ۱ میلی آمپر دارد که دارای مؤلفه اصلی ۵۰ هرتزی و هارمونیک های آن می باشد. جریان های نشتی باعث آلوده سازی سیم زمین می شود ولی در کل سیستم را به خطر نمی اندازند ولی وقتی که ۱۰۰ کامپیوتر در شبکه حضور داشته باشد، جریان نشتی در حدود ۱/۰ آمپر است. با فرض اینکه مقاومت سیم زمین ۱ اهم باشد افت ولتاژ حدود ۱/۰ ولت خواهد بود. سیستم زمین معمولاً مقاومت کمی دارد ولی در سیستمی با جریان نامی حدود ۱۰۰ آمپر جریان هارمونیک سوم حدود ۴۰ آمپر می شود و افت ولتاژ حدود ۴۰ ولت خواهد بود.

این یک مثال کلاسیک از فیلتر هارمونیک است. با حذف هارمونیک ها در سطح توزیع، مصرف کنندگان دیگر از مضرات هارمونیک ها به دور خواهند بود که این عمل تنها در صورت مجزا بودن سیم های زمین و خنثی میسر است.

خلاصه :

یک روش مؤثر برای کاهش هارمونیک ها و اثرات نامطلوب آنها بر سیستم های توزیع فشار ضعیف نصب فیلتر های هارمونیک اکتیو است. در عمل توصیه می شود که مقدار جریان هادی زمین اندازه گیری شود و اضافه جریان های آن به سرعت شناسایی شود. یافتن نقاط اتصال سیم های زمین و سیم های خنثای اضافی بسیار مشکل است و لازمه دانش دقیق از مسیر کابل ها و خود ساختمان است. تنها با پیروی از راهنمایی های ذکر شده می توان سیستم الکتریکی مناسب و بی اشکالی در اختیار داشت.

