



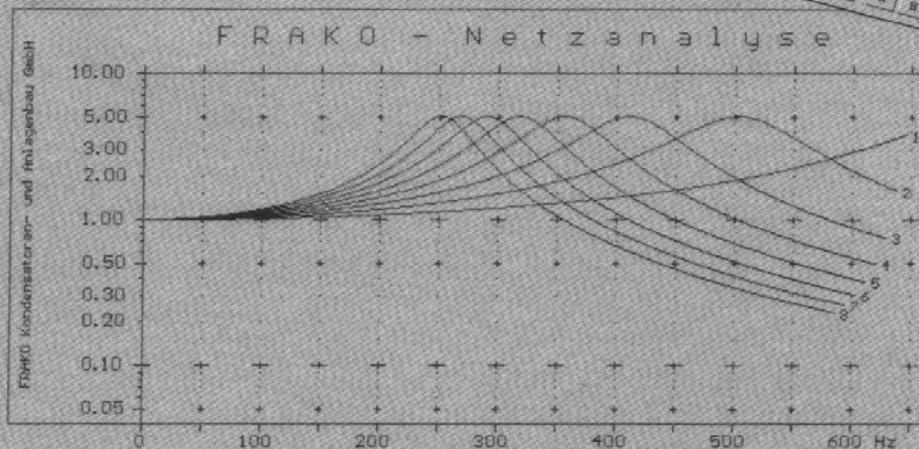
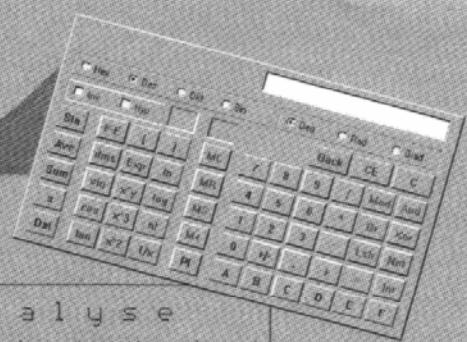
شرکت فراکوه

## راهنمای اصلاح ضریب توان



همه چیز در خصوص جبرانسازی توان را کتیو  
برای استفاده مهندسان مشاور و کاربران

$$Q_C = C \cdot 3 \cdot V^2 \cdot \omega$$
$$\sqrt{3} \cos \varphi$$
$$P = \left( \frac{10 \cdot f_n}{f_r} \right)^2$$



Everything on the subject of power factor correction  
for consulting engineers and users

## مقدمه

تصحیح ضریب توان یکی از بهترین سرمایه‌گذاری‌ها برای کاهش هزینه‌های انرژی است که در زمانی اندک هزینه خود را بر می‌گرداند. پیشرفت‌های صورت گرفته در سال‌های اخیر، قابلیت اطمینان و ظرفیت سیستم‌های جبران‌سازی را افزایش داده و نصب آن را ساده نموده است.

در بسیاری از موارد طراحی سیستم و پرآورد ابعاد آن، به دلیل افزایش سالانه هارمونیک‌ها چه در شبکه‌های فشار ضعیف و چه در شبکه‌های متوسط، سخت‌تر شده است. مبدل‌های قدرت، کنترل کننده‌های موتوری، مبدل‌های فرکانس ثابت، تلویزیون‌ها و کامپیووترها به شبکه هارمونیک تزریق می‌کنند. این هارمونیک‌ها ممکن است توسعه امپدانس‌ها و خازن‌های شبکه تقویت شود.

باید در موقع طراحی‌های اولیه راحلهای اساسی پیش‌بینی شود تا از مشکلات بعدی جلوگیری گردد. پیش از ۱۸ سال است که متخصصان FRAKO تدبیر اساسی در مورد تحلیل شبکه انجام داده‌اند و در این زمینه مقالات متعددی به چاپ رسانده‌اند.

بنابراین کاملاً مناسب به نظر می‌رسد که خلاصه و ماحصل این تحقیقات در یک راهنمای به صورت یکپارچه به چاپ برسد. سیستم‌های تصحیح ضریب توان برای کاهش هزینه‌ها نصب می‌شوند و در طول مدت ۱/۵ تا ۳ سال هزینه خود را بر می‌گردانند و بعد از آن سیستم به سوددهی می‌رسد. بنابراین سیستم جبران‌سازی باید تا مدت زیادی به کار خود ادامه دهد.

یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های فرآکوه ساخت خازن‌های با قیمت کمتر و طول عمر بیشتر است:

- ✓ طول عمر بسیار زیاد که در عمل امتحان خود را پس داده است.
- ✓ مشخصه کیفیت بارگذاری بسیار عالی.

طول عمر بسیار زیاد که در عمل امتحان خود را پس داده است، شامل نظارت بسیار دقیق و ثبت همه موارد خرابی خازن‌ها است. FRAKO از سال ۱۹۹۱ تا به حال آمار خرابی‌ها را نگهداری می‌نموده و در این مدت تعداد خرابی‌ها حدود ۲۰۰ عدد در یک میلیون خازن گزارش شده است.

مشخصه کیفیت بارگذاری بسیار عالی، به این معنی است که خازن‌های قدرت فرآکوه می‌توانند:

۱. جریانی ۲ برابر جریان نامی خود در سطح ۴۰۰ ولت را به صورت دائمی تحمل کنند.
۲. جریانهای لحظه‌ای تا حدود ۳۳۰ برابر جریان نامی در سطح ۴۰۰ ولت را تحمل کنند.
۳. اضافه‌ولتاژ ۴۰۰ ولت (یعنی ۷٪ ولتاژ نامی) تا ۵۲۵ ولت (یعنی ۱۴٪ ولتاژ نامی) در سطح ۴۰۰ ولت را تحمل کنند.
۴. دمای بدنۀ حدود -۴۰- +۷۵ درجه سانتیگراد را تحمل کنند.

تجارب عملی فرآکوه و کیفیت محصولات این شرکت همواره در جهت سود رسانی به مشتری در اولویت بوده است. شرکت فرآکوه امیدوار است که این دفترچه راهنمای مرجع جدا نشدنی همه متخصصان این امر گردد.

حسین شهابی





❖ اصول
توان اکتیو
توان اکتیو و راکتیو
توان راکتیو
توان ظاهری
ضریب توان
چرا جبران‌سازی؟
❖ انواع جبران‌سازی
جبران‌سازی انفرادی
جبران‌سازی گروهی
جبران‌سازی مرکزی
جبران‌سازی ترکیبی
❖ تعیین خازن مورد نیاز
بر اساس تعریفهای توان
به وسیله اندازه‌گیری
از طریق خواندن کنتور
به وسیله قیض برق
❖ کاربردها
جبران‌سازی گروهی
جبران‌سازی انفرادی ترانس
جبران‌سازی انفرادی موتور
رگولاسیون توان راکتیو
❖ مشخصات توان
خازن‌های قدرت
رگولاتور توان راکتیو
❖ نصب
ترانس جریان
فیوزها و کابل
سیم حفاظت



❖ فرمول‌های محاسبات برای خازن

❖ هارمونیک‌ها

- هارمونیک چیست؟ چگونگی ایجاد هارمونیک؟
- دامنه هارمونیک‌ها پیش از نسب خازن چقدر هستند؟
- تأثیر هارمونیک‌ها بر تجهیزات جبران‌سازی بدون راکتور
- روزنامس چه زمانی به وجود می‌آید؟
- تأثیر آرایش شبکه
- اضافه‌ولتاژ و جریان هارمونیکی تجهیزات جبران‌سازی

❖ چگونگی جبران‌سازی در حضور هارمونیک

اندازه‌گیری برای اجتناب از وقوع روزنامس



### أصول:

پیش از پرداختن به جزئیات جبران‌سازی و چگونگی کنترل سیستم جبران‌سازی لازم است تا اطلاعات اولیه‌ای درباره جریان متناوب ارائه شود.

### توان اکتیو:

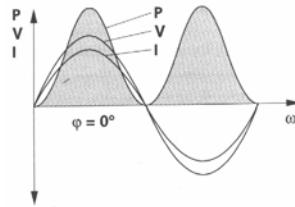
در یک بار اهمی خالص بدون قسمت سلفی یا خازنی، مثل بخاری برقی، عبور از صفر جریان و ولتاژ روی هم فوار می‌گیرد (شکل ۱). جریان و ولتاژ در این حالت اصطلاحاً هم‌فاز هستند. از ضرب مقادیر لحظه‌ای ولتاژ ( $U$ ) و جریان ( $I$ ) شکل توان اکتیو لحظه‌ای محاسبه می‌شود. فرکانس توان دو برابر فرکانس شبکه است و کاملاً در قسمت بالا (مثبت) واقع می‌شود.

چون حاصل ضرب دو عدد منفی همیشه عددی مثبت است.  $(+P) = (+V)(-I)$

توان اکتیو به فرمی غیر الکتریکی (مثل حرارت، نور، توان مکانیکی) تغییر شکل می‌یابد و از طریق کنتور ثبت می‌شود.

در بار اهمی خالص، توان اکتیو از حاصل ضرب مقدار موثر جریان ( $I$ ) و ولتاژ ( $U$ ) محاسبه می‌شود.

$$\boxed{[W] = [V] \cdot [A]} \\ P = U I$$



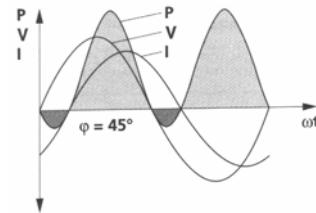
شکل ۱: ولتاژ، جریان، و توان در بار اهمی ( $\varphi = 0^\circ$ )

### توان اکتیو و راکتیو:

در عمل، بیشتر اوقات بار خالص اهمی وجود ندارد. بلکه قسمت سلفی نیز به آن اضافه می‌گردد. این مطلب در تمامی مصرف‌کنندگانی که به میدان مغناطیسی احتیاج دارند مثل موتور آسکترون، راکتور و ترانسفورماتور صادق است. همچنین مبدل‌ها و یکسوسازها برای کمتوانی محتاج توان راکتیو هستند. جریانی که میدان مغناطیسی را به وجود می‌آورد و باعث تغییر قطب‌های آن می‌گردد، مصرف نشده بلکه به عنوان جریان راکتیو بین بار و زنرتور رفت و آمد می‌کند. همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، عبور از صفر ولتاژ و جریان دیگر بر روی یکدیگر قرار نمی‌گیرند و تأخیری 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 وضعیت از رابطه  $(P) = (U)(I) = (U) \cdot U.I \cos \varphi$  مقدار توان لحظه‌ای محاسبه می‌شود. چرا که اگر یکی از دو عدد منفی باشد، حاصل منفی می‌گردد.

مثالی با تأخیر فاز  $45^\circ$  انتخاب شده این اختلاف فاز برابر ضرب توان  $70\%$  است. بخشی از منحنی توان در محدوده منفی قرار می‌گیرد در این حالت توان اکتیو این‌گونه محاسبه می‌شود:

$$\boxed{P = U I \cdot U I \cos \varphi} \\ [W] = [V] \cdot [A]$$



شکل ۲: ولتاژ، جریان و توان در بار اهمی - سلفی ( $\varphi = 45^\circ$ )

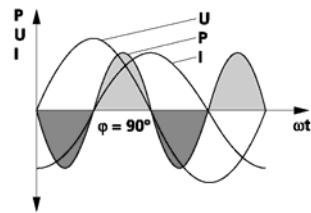
#### توان راکتیو:

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

در صورتی که منحنی‌های ولتاژ و جریان با یکدیگر  $90^\circ$  اختلاف فاز داشته باشند نیمی از منحنی توان در ناحیه مثبت و نیمی دیگر در ناحیه منفی قرار می‌گیرد. در این حالت توان راکتیو صفر است چون ناحیه مثبت و ناحیه منفی برابر هستند. 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:

$$\boxed{\frac{Q}{I^2} = U \cdot I \cdot \sin \varphi}$$

$$|Var| = |V| \cdot |A|$$



شکل ۳: ولتاژ، جریان و توان در بار کاملاً سلفی ( $\varphi = 90^\circ$ )

#### توان ظاهري:

توان ظاهري یک شبکه مشخص کننده میزان بارپذیری آن شبکه است.

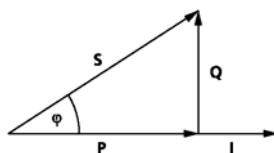
ژنراتور، ترانسفورماتورها، کلیدها، فیوزها و مقاطع سیم‌ها و کابل‌ها می‌بایستی برای توان ظاهري شبکه انتخاب گردند.

توان ظاهري حاصل ضرب مقدار ولتاژ و جریان بدون در نظر گرفتن اختلاف فاز آنها است.

توان ظاهري از جمع هندسي توان موثر و توان راکتیو به دست می‌آيد.



$$\begin{aligned} S &= U \cdot I \\ [VA] &= [V] \cdot [A] \\ S &= \sqrt{P^2 + Q^2} \\ [VA] &= [W]/[Var] \end{aligned}$$



شکل ۴: دیاگرام قدرت

#### ضریب توان:

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

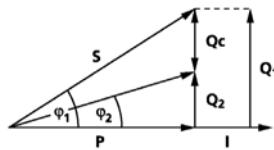
$$\boxed{\cos \varphi = \frac{P [W]}{S [VA]}}$$

در دستگاه‌های الکتریکی اصولاً ضریب توان برای بار کامل نوشته می‌شود. از آنجایی که شبکه برای توان ظاهري خاصی طراحی شده است، لذا سعی بر این است که مقدار توان ظاهري حتی‌الامکان پایین‌نگهداشته شود. در صورتی که خازن‌های مناسب به صورت موازی و در کنار مصرف‌کننده نصب شوند، بخشی از توان راکتیو بین خازن و مصرف‌کننده نوسان کرده، باقیمانده از شبکه کمیده می‌شود که میزان بارگذاری راکتیو شبکه را کاهش می‌دهد. در صورتی که به وسیله جبران‌سازی، ضریب توان به یک برسد در شبکه تنها جریان مؤثر وجود خواهد داشت.

$Q_C$  توان راکتیوی که از خازن گرفته می‌شود، از اختلاف توان راکتیو  $Q_1$  قبل از جبران‌سازی و بعد از جبران‌سازی  $Q_2$  به

$$Q_C = Q_1 - Q_2 \quad \text{دست می‌آید. لذا}$$

$$\boxed{\frac{Q_C}{[Var] [W]} = \frac{P \cdot (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)}{[VA]}}$$



شکل ۵: دیاگرام اثر جبران‌سازی



### چرا جبران سازی؟

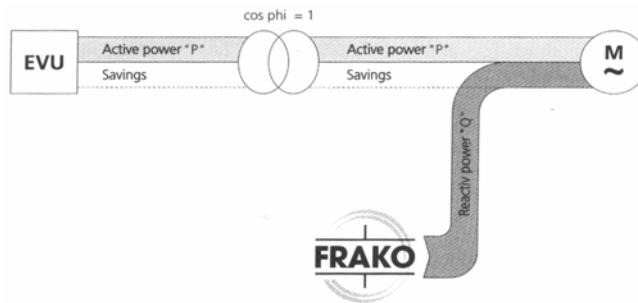
توان راکتیوی که بین زنرатор و مصرف کننده در حال نوسان است در شبکه به گرما مبدل می‌شود. مولدها، ترانسفورماتورها، کابل‌ها و سیم‌کشی‌ها و کلیدها نیز بر اثر آن تحت اضافه‌بار قرار گرفته که تلفات و افت ولتاژ را به همراه دارند. در صورت زیادبودن مقدار توان اکتیو مصرفی ممکن است کابل‌ها و سیم‌ها، توان انتقال جریان برق را نداشته باشند و لازم باشد که کابل‌ها و سیم‌های دارای مقاطع بزرگ‌تری به کار گرفته شوند.

از نظر وزارت نیرو کوچکبودن ضریب توان، هزینه‌های تولید، انتقال و توزیع مخارج سرمایه‌گذاری و نگهداری تجهیزات در شبکه تولید برق را افزایش می‌دهد. این مخارج به هزینه قبض‌های برق مصرف‌کننده‌ها اضافه می‌شود. به همین دلیل در مجاورت کنتور راکتیو یک کنترل راکتیو نیز نصب می‌شود.

$$\cos \phi = 0,7$$



شکل ۶: جریان اکتیو و راکتیو در شبکه بدون تجهیزات جبران‌سازی



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

### مزایای خازن گذاری:

استفاده اقتصادی از

- زنرتورها
- ترانسفورماتورها
- سیم‌ها و کابل‌ها
- کلیدها

کاهش تلفات و افت ولتاژ: در نتیجه

- مخارج کم انرژی



### جبران‌سازی انفرادی:

در ساده‌ترین فرم، یک خازن با مقدار مناسب، مواری هر مصرف‌کننده سلفی نصب می‌شود. بدین وسیله به صورت چشم‌گیری از بار سیم‌ها و کابل‌ها کم می‌شود. باید دقت کرد که خازن فقط در محدوده زمانی فعالیت دستگاهها مورد استفاده واقع شود. در ضمن نصب خازن برای جبران‌سازی انفرادی دستگاهها ساده نیست. (از قبیل مساله چون مکان و یا مخارج مونتاژ و نصب آن)

#### کاربرد

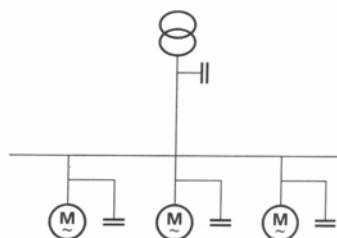
- جهت جبران‌سازی توان راکتیو بی‌باری ترانسفورماتورها
- برای موتورهای دائم‌کار
- برای موتورهای کم‌بار یا با کابل طولانی

#### مزایا

- شبکه داخلی کامل‌آzar جبران راکتیو پاک می‌شود.
- مخارج کمتر بر حسب  $kVar$

#### معایب

- جبران‌سازی در تمام کارخانه پخش شده است.
- نسب پیچیده
- به طور کلی به خازن بیشتری نیاز است چون که توجهی به ضریب هم‌زمانی نمی‌شود.



شکل ۸: مثالی از جبران‌سازی انفرادی

### جبران‌سازی گروهی:

دستگاه‌هایی که به صورت گروهی نصب شده‌اند، به صورت جمعی جبران‌سازی می‌شوند. به جای خازن‌های مختلف کوچک یک خازن مناسب بزرگ نصب می‌شود.



### کاربرد

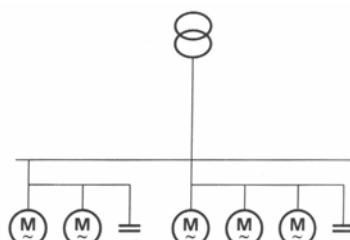
برای مصارف سینگین سلفی در صورتی که با هم به کار گرفته شوند.

### مزایا

شبیه جبران‌سازی انفرادی ولی اقتصادی‌تر

### معایب

فقط برای مصرف‌کنندگان گروهی که با هم کار می‌کنند قابل استفاده است.



شکل ۹: مثالی از جبران‌سازی گروهی

### **جبران‌سازی مرکزی:**

کل جبران‌سازی به صورت متمنکر مثلاً در ورودی فشار ضعیف نصب می‌شود، بدین طریق تمام توان راکتیو مورد نیاز پوشش داده می‌شود. کل توان خازن به پله‌های متعدد تقسیم شده و به وسیله یک رگولاتور توان راکتیو از طریق کنترکتورها، بسته به وضعیت بار به مدار وارد یا خارج می‌شوند.

این روش امروزه در بیشتر مواقع مورد توجه قرار می‌گیرد، چرا که جبران‌سازی مرکزی بدین طریق می‌تواند به آسانی تحت کنترل قرار گیرد. تنظیم‌کنندگان راکتیو مدرن می‌توانند دائمًا وضعیت کلیدها، ضربی توان و جریان اکتیو و راکتیو و همچنین هارمونیک‌های موجود در شبکه را تحت نظرات قرار دهند. به طور کلی با این روش به دلیل در نظر گرفتن همزمانی در تمام کارخانه توان خارجی کمتر نسبت به جبران‌سازی انفرادی یا گروهی نیاز است. در این روش جریان راکتیو سیم‌ها و کابل‌های به کار رفته در شبکه درونی از طریق جبران‌سازی کم نمی‌شوند. یعنی اکثر سطح مقاطع کابل‌ها و سیم‌های با به اندازه کافی بزرگ باشد، دیگر مزیتی به شمار نمی‌رود.

### کاربرد

در صورتی که مقاطع سیم‌ها و کابل‌های داخل کارخانه ایجاد مشکل نکنند همیشه قابل استفاده است.

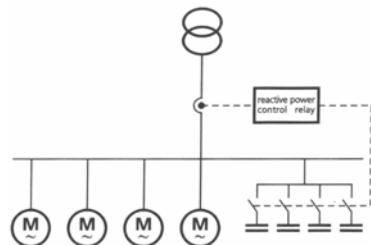


### مزایا

- کل سیستم مقابله دید بوده، به آسانی کنترل می شود.
- استفاده مفید از توان خازن نصب شده
- نصب ساده در اغلب اوقات
- مصرف کمتر خازن چون ضریب هم زمانی در نظر گرفته می شود
- در صورت وجود هارمونیک در شبکه، دارای مخارج مناسبتری است زیرا خازنها آسان‌تر به سلف مجهر می‌شوند

### معایب

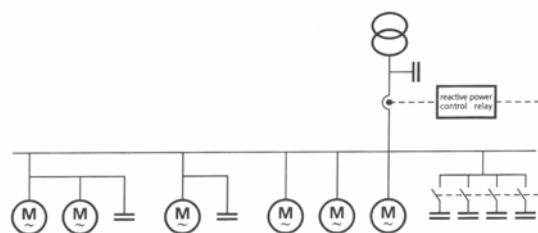
- بار داخلی شبکه کم نمی‌شود
- مخارج اضافی برای تنظیم اتوماتیک سیستم



شکل ۱۰: مثالی از جبران‌سازی متتمرکز

### **جبران‌سازی مخلوط:**

به دلیل اقتصادی اغلب مفرون به صرفه است که هر سه روش بالا را یکدیگر استفاده نمود.



شکل ۱۱: مثالی از جبران‌سازی مخلوط



### تعرفه‌های جریان:

برای مصرف کنندگان کوچک قوانین تعرفه مشخصی از سوی شرکتهای برق منطقه‌ای اعلام می‌شود. در صورتی که برای مصرف کنندگان بزرگ قراردادهای مخصوصی پسته می‌شود.

در بیشتر این قراردادها مخارج برق از اجزاء زیر تشکیل شده است:

- **توان اکتیو [kW]** - اندازه‌گیری توسط کنتور ماکسی‌متر مثلاً ماکریموم در هر ۱۵ دقیقه.
- **توان مؤثر [kWh]** - اندازه‌گیری توسط کنتور اکتیو چند تعرفه (غلب تعرفه روز و شب جداست).
- **توان راکتیو [kVArh]** - اندازه‌گیری توسط کنتور راکتیو چند تعرفه که بخشی از آن تعرفه روز و شب جدا دارد.

در حال حاضر زمانی مخارج انرژی راکتیو محاسبه می‌شود که بار راکتیو بیشتر از ۰/۵٪ بار اکتیو باشد. این مطابق ضریب توان ۹/۰ است. منظور این نیست که ضریب توان از ۹/۰ هرگز نباید بیشتر باشد. این ضریب توان به عنوان پایه ضریب توان در متوسط ماهانه صدق می‌کند. در بعضی از مناطق برق منطقه‌ای ضرایب توان دیگری مثل ۹/۰ اعمال می‌نماید.

در انواع تعرفه‌ها، توان با  $kW$  محاسبه نمی‌شود بلکه با  $kVA$  محاسبه می‌گردد. در این صورت مخارج توان راکتیو در قیمت توان مستتر است. برای پایین آوردن مخارج در این مورد می‌بایستی سعی بر آن شود تا ضریب توان به ۱ افزایش یابد. کلایدی از این نقطه نظر به موضوع نگاه کرد که در صورت انتخاب قدرت جبران‌سازی مناسب، از پرداخت مخارج اضافی جلوگیری می‌شود.

### تخمین کلی:

در ادامه درباره این موضوع بحث می‌شود که چطور توان جبران‌سازی مورد نیاز را می‌توان به دست آورد. بعضی مواقع اطمینان صد درصد به صحت نتیجه محاسباتی وجود ندارد. در این موارد می‌توان از روی تخمین بررسی کرد که نتیجه محاسبه شده تا چه حد به حقیقت نزدیک است.

تا زمانی که مصرف کننده‌های نصب شده خارج از عرف معمولی نباشند، چنین تخمین‌هایی به طور کلی نزدیک به اعداد واقعی هستند.

جدول ۱: داده‌های تخمینی برای توان خازن مورد نیاز

نوع مصرف کننده	قدرت نامی خازن
موتورهای دارای جبران‌سازی انفرادی	۴۰-۳۵٪ توان موتور
ترانس‌های جبران‌سازی انفرادی	۲/۵٪ طرفیت ترانس (در ترانس‌های قدیمی ۱/۵٪)
جبران‌سازی مرکزی	$\cos\varphi = ۰/۹$ ٪ توان ترانس با هدف $\cos\varphi = ۰/۴۰-۵۰$ ٪ توان ترانس با هدف ۱



### تهیه لیست از مصرف کنندگان:

در یک کارگاه جدید التاسیس یا در بخشی از کارگاه ابتدا تخمین کلی از بارها باید در دست باشد. جزئیات بیشتر را می‌توان با تهیه لیستی از مصرف‌کننده‌های نسبت شده و مشخصات الکتریکی و ضرایب هم‌زمانی آنها به دست آورد.

این جبران‌سازی باید چنان طراحی و به اجرا در آید که در صورت نیاز به گسترش، مخارج زیادی را در برنگیرد. کابل‌ها و سیم‌ها و همچنین فیوزها برای این جبران‌سازی می‌باشند چنان در نظر گرفته شوند که قابل توسعه باشند. به غیر از این می‌باشند فضا برای خازن‌های اضافی نیز در نظر گرفته شود.

### محاسبه توان خازن مورد نیاز به وسیله اندازه‌گیری:

اندازه‌گیری شدت جریان و ضریب توان

آمپر و دستگاه اندازه‌گیری توان اغلب در تابلو اصلی نصب شده‌اند. همچنین می‌توان از دستگاه‌های اندازه‌گیری چنگکی 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. البته می‌زنای را ۳۸۰ از ولتاژ ( $U$ )، جریان ظاهری ( $I$ ) و ضریب توان می‌توان اکثرو 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. البته ساده‌تر است که فاکتور  $f$  از جدول ۲ استخراج شود و در توان موثر محاسبه شده ضرب شود.

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

$$[Var] = [W]$$

$$Q_C = \frac{P \cdot f}{[Var] = [W]}$$

اطلاعات برای

مثال:

جریان ظاهری = ۲۴۸ آمپر

ضریب توان = ۰/۸۶

ضریب توان مطلوب = ۰/۹۲

ولتاژ = ۳۹۷ ولت

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

$$P = 146.6 kW$$

از جدول ۲، ضریب  $f$  برابر  $0/17$  است. پس

مقدار خازن مورد نیاز:

$$Q_C = 146.6 \times 0.17 = 24.9 kVAR$$



تذکر: اندازه‌گیری که در بالا بر اساس آنها محاسبات انجام گرفته مقادیر لحظه‌ای را به دست می‌دهند. میزان بار بسته به روز و فصل تغییرات شدیدی دارد. به همین جهت کسی باید اندازه‌گیری را انجام دهد که کارگاه یا کارخانه را به خوبی می‌شناسد. اندازه‌گیری‌های متعددی باید انجام پذیرد و به این نکته باید توجه کرد که مصرف کننده‌های نیازمند به جبران سازی (مصرف کننده‌های اصلی) در حال کار باشند. همچنین داده‌های اندازه‌گیری باستی حتی الامکان سریعاً و هم‌زمان برای تمام دستگاه‌ها خوانده شود، تا این که با یک نوسان بار شدید ناگهانی اشتباہی 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:

$$\boxed{Q_C = Q_L - (P \cdot \tan \varphi_2)} \\ [kVAr] [kVAr]$$

$$\begin{aligned} & \text{توان خازن مورد نیاز } Q_C \\ & \text{توان راکتیو اندازه‌گیری شده } Q_L \\ & \text{توان موثر اندازه‌گیری شده } P \\ & \text{تائزنات راویه متناظر } \cos \varphi \text{ مورد نظر (از جدول ۲ می‌توان این مقدار را برداشت کرد)} \\ & \text{مثال برای } \cos \varphi = 0.92, \tan \varphi = 0.43 \text{ مقدار } Q_C \text{ به دست می‌آید.} \end{aligned}$$

#### اندازه‌گیری از طریق خوandن 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.

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

مقدار اولیه کنتور راکتیو	$RM_1$
مقدار نهایی کنتور راکتیو	$RM_2$
مقدار اولیه کنتور اکتیو	$AM_1$
مقدار نهایی کنتور اکتیو	$AM_2$

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.

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



مثال: مقادیر زیر با خواندن کنتورها ثبت شده‌اند.

کنتور اکتیو (کیلووات ساعت)  $AM_1 = 115/3$

$AM_2 = 124/6$

کنتور راکتیو (کیلووات ساعت)  $RM_1 = 311/2$

$RM_2 = 321/2$

کنتورها با ترانس جریان با نسبت ۱۵۰ به ۵ آمپر ( $150/5A$ ) کار می‌کنند، بنابراین ضریب تبدیل جریان  $K = 30$  باید در نظر گرفته شود.

	$\tan \varphi$	$\frac{321.2 - 311.2}{124.6 - 115.3}$	$1.08$	محاسبه:
				برای رسیدن به ضریب توان $92/0$ ضریب $f$ از جدول برابر $65/0$ به دست می‌آید.
				$Q_C = \frac{(124.6 - 115.3) \times 30}{8} \times 0.65 = 22.67 kVAr$ مقدار خازن مورد نیاز

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

ضریب توان واقعی		ضریب توان مطلوب						
$\tan \varphi$	$\cos \varphi$	۰,۸۰	۰,۸۵	۰,۹۰	۰,۹۲	۰,۹۵	۰,۹۸	۱,۰۰
۲,۱۸	۰,۳۰	۲,۴۳	۲,۳۶	۲,۷۰	۲,۷۵	۲,۸۵	۲,۹۸	۲,۱۸
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



1,۳۳	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
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
۰,۶۹	۰,۸۶	-	-	۰,۱۱	۰,۱۷	۰,۲۶	۰,۳۹	۰,۶۹
۰,۶۷	۰,۸۷	-	-	۰,۰۸	۰,۱۴	۰,۲۴	۰,۳۶	۰,۶۷
۰,۶۴	۰,۸۸	-	-	۰,۰۶	۰,۱۱	۰,۲۱	۰,۳۴	۰,۶۴
۰,۶۱	۰,۸۹	-	-	۰,۰۳	۰,۰۹	۰,۱۸	۰,۳۱	۰,۶۱
۰,۵۸	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 فیش برق:

این روش نسبتاً راحت است و با دقت خوبی می توان خازن را از صورت حساب ماهانه برق محاسبه کرد و در صورت عدم وجود تعطیلی کارخانه یا کارگاه در مدت محاسبه قبض، می توان از صورت حساب سالانه و یا ماهانه استفاده نمود. در صورت وقوع نوسانات فصلی مسلم است که باید از صورت حساب زمان پر باری کارخانه استفاده شود. در صورت محاسبه جداگانه تعرفه های روز و شب برای محاسبه نهایی از اطلاعات روز استفاده می شود. می توان چینی در نظر گرفت که توان خازن برای پوشش جریان راکتیو شب کافی است. در موارد خاصی که با برق شب که دارای قیمت مناسب تری است کار می شود نباید از اطلاعات شب صرف نظر کنیم.

#### تعريفه های قیمت انرژی:

در محاسبه قیمت انرژی، حداقل مصرف و انرژی اکتیو و انرژی راکتیو به صورت مجذوب در نظر گرفته می شوند. در بیشتر قراردادها حداقل مصرف راکتیو برابر ۵٪ مصرف اکتیو در نظر گرفته می شود. مصرف راکتیو در صورتی مشمول هزینه می گردد که بیش از ۵٪ مصرف اکتیو باشد که این مصرف متناظر ضريب توان ۹٪ است. توصیه می شود که برای محاسبه، عدد بالاتری مثل ۹۲٪ در نظر گرفته شود تا توان رزرو خازنی داشته باشیم.

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

مثال برای محاسبه:

اطلاعات از صورت حساب برداشته شده:

- حداقل مصرف ۹۹ کیلووات
  - انرژی اکتیو مصرف شده ۱۷۸۲۰ کیلووات
  - انرژی راکتیو مصرف شده ۱۹۸۴۰ کیلووار ساعت
- برای  $\varphi$  برابر  $111$  از جدول ۲، ضريب توان برابر  $0.67$  و ضريب  $f$  برابر  $0.68$  به دست می آید.
- توان خازن مورد نیاز به صورت زیر محاسبه می شود.

$$99kW \times 0.68 = 67.32kVAr$$

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



### تعرفهای میزان تقاضای انرژی:

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

مثال:

حداقل توان اکتیو: ۱۰۴ کیلووات

ضریب توان فعلی ( $\cos\varphi_1$ ): ۰/۶۲

ضریب توان مطلوب ( $\cos\varphi_2$ ): ۱/۰۰

در نتیجه:  $f = ۱/۷۷$

توان خازنی مورد نیاز:  $104kW \times 1.27 = 132.08kVar$

در اینجا از یک کنترل کننده توان راکتیو ۱۵۰ تا ۱۷۵ کیلوواری متصل به یک بانک خازنی استفاده می شود.

### جبران سازی انفرادی لامپ‌های تخلیه‌ای:

جربان این گونه لامپ‌ها باید به وسیله چوک محدود گردد. از ترانس‌های نشی بیشتر اوقات برای لامپ‌های فشارکم بخار سدیم استفاده می‌شود. همراه این ا نوع دیگر لامپ‌های تخلیه‌ای از سلف سری به عنوان راکتور سری (ترانس نشی) استفاده می‌شود. با استفاده از سلف به ضریب توان ۰/۵۰ و با استفاده از ترانس نشی به ضریب توان ۰/۳۰ می‌رسیم. بالاست الکترونیکی که برای لامپ‌های فلورستن به کار می‌رود نیاز به جبران سازی ندارد.

توجه:

باید مد نظر داشت که اگر جربان غیر خطی از شبکه کشیده شود مخصوصاً در صورت افزایش تعداد لامپ‌ها، امکان رزونанс در اثر هارمونیک‌ها به وجود می‌آید. (به بخش هارمونیک‌ها مراجعه نمایید).

برای جبران سازی بالاست می‌توان خازن‌های تکفاز را به صورت موازی یا سری نصب کرد.

در کلیدهای یکپل با یک لامپ یا کلیدهای سری با دو لامپ خازن باید به مواراث لامپ قرار داده شود. ولتاژ نامی خازن ۲۳۰ ولت و هماندازه ولتاژ شبکه است.

خازن‌های موازی شبکه با امپدانس شبکه رزونانس ایجاد می‌کنند.

در لامپ‌های مهتابی دوبل از نظر اقتصادی یک خازن برای دو لامپ کافی است. در یک شاخه مدار سلفی است. در صورتی که در شاخه دوم سلف سری به وسیله خازن جبران سازی 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 متفاوت است. در این بین همیشه عدد تعیین‌کننده، عدد خازنی است. (عددی که روی چوک نوشته می‌شود).

متداول‌ترین خازن‌های سری برای چوک‌هایی با تلفات کم:

۱۸ وات	۴۸۰ ولت / ۲/۷ میکروفاراد	
۳۶ وات	۴۵۰ ولت / ۳/۴ میکروفاراد	۴۵۰ ولت / ۳/۵ میکروفاراد
۵۸ وات	۴۵۰ ولت / ۵/۳ میکروفاراد	۴۵۰ ولت / ۵/۴ میکروفاراد

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



-	۲۰/۰ ولت / ۲۳۰	۵۵	
-	۲۵/۰ ولت / ۲۳۰	۹۰	
-	۴۵/۰ ولت / ۲۳۰	۱۳۵	
-	۲۰/۰ ولت / ۲۳۰	۱۵۰	
-	۴۰/۰ ولت / ۲۳۰	۱۸۵	
-	۸/۰ ولت / ۲۳۰	۵۰	
-	۱۲/۰ ولت / ۲۳۰	۷۰	
-	۱۲/۰ ولت / ۲۳۰	۱۰۰	
-	۲۰/۰ ولت / ۲۳۰	۱۵۰	
-	۳۲/۰ ولت / ۲۳۰	۲۵۰	
-	۵۰/۰ ولت / ۲۳۰	۴۰۰	
-	۱۰۰/۰ ولت / ۲۳۰	۱۰۰۰	

لامپ سدیم پر فشار

#### جبران‌سازی گروهی لامپ‌های تخلیه‌ای:

در صورتی که لامپ‌های تخلیه‌ای زیادی هم‌زمان نصب باشند، می‌توان در یک تقسیم قرینه‌ای از خازن گروهی سه فاز با ولتاژ نامی ۴۴۰ ولت استفاده نمود.

توان خازن:  $Q_c = n \times c \times 0.015$

$kVAr$  قدرت راکتیو بر حسب

$n$  تعداد لامپ‌ها

$C$  ظرفیت خازنی بر حسب  $\mu F$  برای هر لامپ

مثال: ۲۴ لامپ فلورسنت ۵۸ وات داریم؛

$$24 \times 7 \mu F \times 0.015 = 2.52 kVAr$$

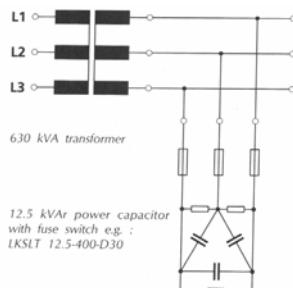
#### جبران‌سازی تکی ترانسفورماتورها:

مقادیری که از سوی سازندگان برای مقدار خازن‌های جبران‌سازی ترانس، پیشنهاد می‌گردد یکسان نیست. به همین دلیل قبل از نصب یک چنین سیستم جبران‌سازی، مشاوره با پیشنهاد دهنده‌گان توصیه می‌شود. ترانس‌های مدرن دارای ورقه‌های هسته‌ای هستند که برای تغییر میدان مغناطیسی احتیاج به توان کمی دارند. در صورت بالا بودن توان خازن، هنگام بار بودن ترانس امکان بروز اضافه ولتاژ های بزرگ وجود دارد. خازن‌هایی با فیوز قدرت داخلی برای اتصال مستقیم به ترمیتال ترانس مناسب هستند فقط در هنگام اتصال خازن باید در نظر داشت که کابل اتصال خازن برای یک قدرت اتصال کوتاه مناسب باشد.



جدول ۳: جدول پیشنهادی انتخاب برای جبران سازی ترانس

<i>kVAr</i>	قدرت ظاهری ترانس <i>kVA</i>
۲/۵	۱۶۰ الی ۱۰۰
۵	۲۵۰ الی ۲۰۰
۷/۵	۴۰۰ الی ۳۱۵
۱۲/۵	۶۳۰ الی ۵۰۰
۱۵	۸۰۰
۲۰	۱۰۰۰
۲۵	۱۲۵۰
۳۵	۱۶۰۰
۴۰	۲۰۰۰



شکل ۱۲: یک ترانس به همراه سیستم جبران سازی ثابت

توجه: نباید فیوزهای قدرت خازن‌های دارای فیوز قدرت داخلی زیر بار بیرون کشیده شوند زیرا به دلیل مصرف بار خازنی خالص، باعث تشکیل قوس الکتریکی می‌شود.  
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 باری تأمین کند. توان خازنی مورد نیاز:

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

*[kVAr]*      *[V]* *[A]*

جربان باری موتور  $I_0$



بدین وسیله در بار کامل ضرب توان  $0/9$  و در حالت بی باری ضرب توان بین  $0/95$  تا  $0/98$  خواهد بود. برای موتورهای القابی با  $1500$  دور در دقیقه اعداد ارائه شده در جدول ۴ به کار می‌رود. برای موتورهای  $1000$  دور در دقیقه باید  $5\%$  و با  $4$  اضافه شوند.

۷۵۰

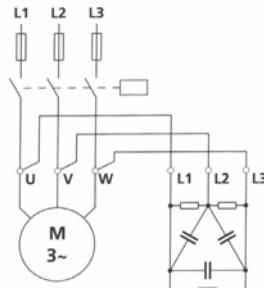
جدول ۴: قدرت جبران‌سازی برای جبران‌سازی انفرادی موتورها

<i>kVAr</i>	قدرت راکتیو	<i>kW</i>	قدرت موتور
$0/5$		$1/9$ الی $1$	
$1$		$2/9$ الی $2$	
$1/5$		$3/9$ الی $3$	
$2$		$4/9$ الی $4$	
$2/5$		$5/9$ الی $5$	
$3$		$7/9$ الی $6$	
$4$		$10/9$ الی $8$	
$5$		$12/9$ الی $11$	
$6$		$17/9$ الی $14$	
$7/5$		$21/9$ الی $18$	
$10$		$29/9$ الی $22$	
حدود $40\%$ قدرت موتور		$39/9$ الی $30$	
حدود $35\%$ قدرت موتور		به بالا $40$	

توجه: ماشین‌هایی که جبران‌سازی شده‌اند و دارای خازنی هستند که به ترمیمال‌های موتور متصل است توان خازن‌شان به هیچ وجه نباید بزرگ انتخاب شود. به ویژه در دستگاه‌هایی که دارای گشتاور ماند بالایی هستند و پس از خاموش شدن 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 می‌آید که در این صورت به احتمال قوی خساراتی به خازن و موتور وارد می‌کند.

#### جبران‌سازی انفرادی موتورها:

در ساده‌ترین فرم خازن مستقیماً به ترمیمال‌های موتور متصل می‌شود. در این صورت می‌توان از حفاظت خازن صرف نظر کرد چون فیوز موتور از خازن حفاظت می‌کند. در صورتی که کلید حافظ موتور نصب شده باشد توصیه می‌شود که جریان آستانه قطع (Trip) کمتری انتخاب شود.



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

شکل ۱۳: سیستم جبران‌سازی ثابت برای موتور

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

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

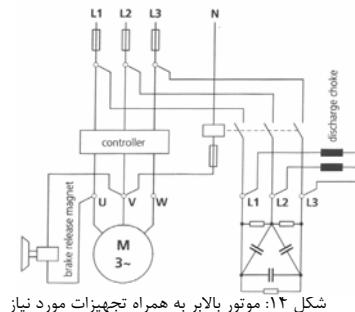
$\cos \varphi_2$  ضریب توان با جبران‌سازی (حدود ۰/۹۵)

پس از قطع ولتاژ خازن‌ها مستقیماً به وسیله سیم‌بیچ‌های کم مقاومت مستقیماً تخلیه می‌شود لذا مقاومت‌های تخلیه زیاد ضروری نیستند.

#### جبران‌سازی انفرادی آسانسورها و بالابرها:

آسانسورها و بالابرها به تجهیزات ایمنی ویژه‌ای مجهز هستند: به عنوان مثال ترمز مغناطیسی که هنگام قطع برق به سرعت فعال می‌شود. این خازن که مستقیماً به صورت موازی با موتور نصب شده، احتمال دارد به دلیل انرژی باقی‌مانده در آن باعث تأخیر در عملکرد ترمز مغناطیسی شده و ایست با تأخیر صورت پذیرد.

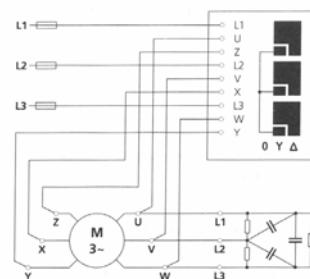
به همین دلیل خازن‌ها می‌بایستی پیش از کلید نصب شوند. برای خازن می‌بایستی حفاظت جداکانه و تجهیزات تخلیه سریع در نظر گرفت.



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 می‌آید توصیه می‌شود که خازن‌ها گروه‌بندی شده با کلیدهای الکترونیکی قطع و وصل گردند. خازن‌ها در هنگام عبور از صفر خاموش و روشن می‌شوند. بدین وسیله زمان عکس‌العمل در محدوده هزارم ثانیه قرار دارد.

#### کلیدهای ستاره مثلث:

باید از کلیدهای ستاره مثلث دستی خاصی که برای جبران‌سازی منفرد موتورها طراحی شده‌اند، استفاده شود. در انتخاب کلیدهای ستاره - مثلث دستی برای موتورهایی که به وسیله خازن جبران‌سازی می‌شوند باید دقت گردد که کلیدی به کار رود تا هنگام تبدیل از ستاره به مثلث جرقه در کنタکت‌ها 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 ضربه‌ای بسیار شدیدی ایجاد شده که باعث تخریب خازن و کلید می‌شود.

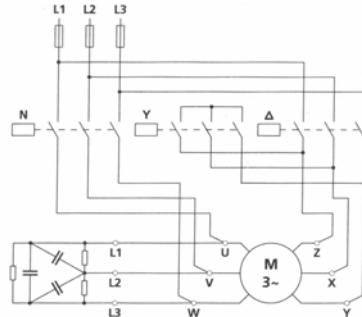


شکل ۱۵: نوع خاصی از کلید دستی ستاره مثلث برای جبران‌سازی انفرادی موتور



#### 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 نباید، بنابراین کنتاکتها اصلی در هنگام تبدیل پیوسته وصل باقی بمانند. هنگام خاموش بودن موتور باید پل ستاره باز باقی بماند. خازن می‌تواند در قسمت خروجی حافظ شکه یا در روی ترمینال‌های  $W-V-U$  موتور وصل شده باشد ولی به ترمینال‌های  $Z-Y-X$  نباید وصل شده باشد چرا که امکان ایجاد جرقه به وسیله پل ستاره پدید می‌آید.



شکل ۱۶: جبران‌سازی انفرادی موتور با راهاندازی 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 می‌گردد. خازن موازی می‌تواند دستگاه را به عنوان ژنراتور تحریک کند و ولتاژ خطرناک بالایی به وجود آید. از این طریق خساراتی به خازن و موتور وارد می‌شود 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 می‌آید را داشت.

#### تجهیزات تنظیم توان راکتیو:

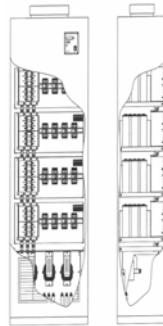
سیستم تنظیم توان راکتیو از اجزا زیر تشکیل شده است:

- تنظیم کننده توان راکتیو (رگولاتور)
- پله‌های خازنی که از طریق کلیدهای الکترونیکی یا کنتاکتور به کار گرفته می‌شوند.
- راکتورهای بلوك کننده هارمونیک (در صورت وجود)



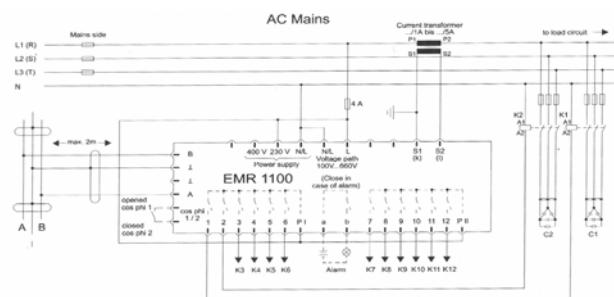
▶ سیستم خنک کننده به همراه فیلتر هوا و ترموستات برای سلفهای با هسته هوایی ترموموستات دار برای سیستم های مجهز به راکتور

این اجزاء یا روی یک صفحه مونتاژ یا در قسمت برق کارخانه در تابلو نصب می شود. تجهیزات تنظیم توان راکتیو مناسب نصب در شبکهایی 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 کلیدهای الکترونیکی به تناسب بار موجود به مدار وارد یا خارج می شوند.



شکل ۱۷: مثالی از فرم مدولی سیستم اصلاح ضربی قدرت

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



شکل ۱۸: یک مدار نمونه با سیستم تصویح ضربی توان



#### خازن‌های قدرت:

خازن‌های قدرت فرآکوه 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 کوبل 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 عکس العمل نشان می‌دهد. برای به کارگیری خازن‌های قدرت در شبکه اصولاً سه عامل اهمیت دارند:

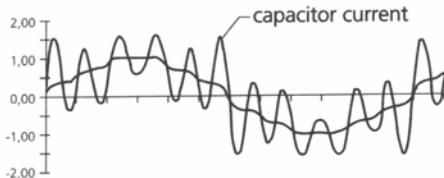
- میزان تحمل اضافه بار
- طول عمر بالا
- ایمنی بالا در بار زیاد و خرای

خازن‌های قدرت دارای ساختاری با چگالی انرژی بالا هستند. در یک حجم یک لیتری امروزه حدود ۱۵ kVar را توان راکتیو را می‌توان تولید کرد. این پیشرفت با به کارگیری عایق‌هایی با تلفات پایین و ضربی 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 پر کنندگاهی مایع است.

این مایع به وسیله خواص شیمیایی خود تخلیه‌های جزئی را محدود می‌کند. روغن گیاهی پایدار شده که در خازن‌های LKT فرآکوه به کار می‌رود، به صورت چشمگیری دارای این خواص است. این روغن غیرسمی بوده و برای محیط زیست مسئله‌ساز نیست. نقطه اشتعال آن  $250^{\circ}C$  است. این مایع عملایاز آتش‌سوزی جلوگیری می‌نماید. در مقایسه با مایع‌های اشباع‌کننده دیگر که در خازن‌های قدیمی به کار می‌رفت (اصولاً روغنهای معدنی با نقطه اشتعال  $130^{\circ}C$ ) این روغن غیر قابل اشتعال است.

#### ظرفیت جریان:

در شبکه با هارمونیک، اختلال 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 مؤثر خازن ۱/۳۳ برابر جریان نامی خازن می‌گردد. بنابراین اهمیت حداکثر اضافه جریان مجاز بیشتر از حداکثر اضافه جریان مجاز است.



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

- تحميل دائمي دو برابر جريان نامي در ۴۰۰ ولت



▶ تحمل جریان ضربه‌ای با دامنه ۳۰۰ برابر جریان نامی

#### ظرفیت ولتاژی:

استاندارد EN 60831 بخش‌های ۱ و ۲ به صورت زیر قابل بارگذاری هستند.

FRAKO

خازن نامی (ولت)	وقت در روز	دقیقه در روز	دقیقه	یک دقیقه
۴۴۰	۸ ساعت در روز	۳۰ دقیقه در روز	۵ دقیقه	یک دقیقه
۴۸۴				
۵۰۶				
۵۲۸				
۵۲۷				
۵۷۰				
۶۲۰				
۶۲۷				
۶۵۶				
۶۸۴				
۷۱۳				
۷۴۴				
۸۰۶				

#### طول عمر:

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 بانع افزایش تلفات و تقلیل مقاومت عایقی و جریان مجاز خازن می‌گردد. خازن‌های تولیدی تحت آزمایش‌های طولانی مدت در شرایط ۱/۵ برابر ولتاژ نامی و  $40^{\circ}C$  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 حداقل  $\frac{1}{3}$ ٪ خرابی را اعلام می‌نماید. اما خازن‌های برگشتی و تمام ناقص تقلیل می‌شود و طبق آمار این عدد کمتر از ۲۰۰ واحد در میلیون است. این مطابق با نرخ خرابی می‌باشد که بسیار کمتر از  $\frac{1}{3}$ ٪ 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.

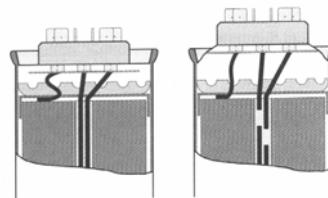
این ایمنی فقط در خازن‌های وجود دارد که دارای قطع کننده‌ای باشد که:

▶ در اثر فشار داخلی عمل کند

▶ خازن را از شبکه جدا کند

و به این وسیله مانع از تخریب پوسته خازن شود

به خاطر چگالی انرژی بالای خازن‌های مدرن، FRAKO گران‌ترین و موثرترین قطع کننده را به کار می‌برد که دارای درپوش خمیده قابل انعطاف است. بدنه آلومینیومی و درپوش آنها به هم نورده شده‌اند و با یک ماده الاستیک آب‌بندی می‌گردند. خازن‌های برگشت داده شده به دلیل آب‌بندی نبودن در سال‌های آخر حدود ۱۰ واحد در میلیون برابر  $0.001\%$  بوده است. پوشش دیافراگمی لبه‌داری که روی خازن است قسمت اتصال خازن را در حالت کار عادی نگه می‌دارد، در فشار حدود ۲ اتمسفر در داخل خازن، شروع به باد کردن می‌کند و تا حدود ۱۰ میلیمتر به بالا حرکت می‌کند. پیشتر موقع 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 VDE 0560.IEC831 قسمت ۴۱ مشخص شده است.



شکل ۱۹: عملکرد قطع کننده 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 EMR 1100

رگولاتورهای میکروپرسوسوری EMR 1100، RM 9612 و RM 9606 مسائل برقی را حل می‌نماید و قابلیت‌های بیشتری نسبت به رگلاتورهای 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 شبکه‌های 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 ضربی توان در شبکه‌های هارمونیک بالا در محدوده بار ۰/۰۲ تا ۵ آمپر در مدار اندازه‌گیری و کنترل ضربی توان که با دقت بالایی بر اساس هارمونیک پایه حتی در بار کم ایجاد می‌پذیرد.
- تشییت ضربی توان به حداقل ضربی 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 فوق جبران‌سازی جلوگیری می‌نماید.

► اندازه‌گیری و کنترل هارمونیک ۵  
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 رزوئنس‌های هارمونیک 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 پاسخ داده می‌شود 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. کلید زنی 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 سریع، دقیق به میزان مورد نیاز تنظیم می‌شود.

► هنگام کاهش بار از جبران‌سازی اضافی طولانی 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 با اطمینان از افزایش دامنه هارمونیک‌ها هنگام تغییرات شدید بار جلوگیری می‌شود.

► رله ولتاژ صفر و جریان صفر: این سیستم اینمنی، در هنگام قطع مدار ولتاژ با جریان، تجهیزات جبران‌سازی را از شبکه جدا می‌کند. بدین وسیله در طی قطع کوتاه مدت ولتاژ از وصل تمامی خازن‌ها به ترانس بی‌بار جلوگیری می‌کند رگولاتور پس از برگشت ولتاژ، پله‌های خازن را مطابق با توان مورد نیاز مجدداً وصل می‌نماید.

► تنظیم توان راکتیو در مصرف‌کننده‌های دارای رگولاتور و با امکان بازگشت توان اکتیو: برای کار در این نوع شبکه‌ها رگولاتور به دستگاه اندازه‌گیری چهار ناحیه‌ای مجهز است. به غیر از این می‌توان دو مشخصه کنترلی متفاوت برای حالت‌های مصرف و برگشت توان اکتیو به کار گرفته شود. بدین وسیله اطمینان حاصل می‌شود که در هنگام برگشت توان اضافه‌جبران‌سازی رخ ندهد و همچنین جریان راکتیو از شبکه کشیده نشود. فقط این خاصیت تنظیم ترکیبی از ایجاد مخارج راکتیو هنگام بازگشت جلوگیری می‌کند.

► پله ثابت برای جبران‌سازی مستقل از بار: می‌توان پله‌هایی را مشخص نمود تا در فرآیند تنظیم قرار نگیرند و تا زمانی که رگولاتور ولتاژ داشته باشد به شبکه متصل هستند. جمیع کنترل‌های حفاظتی مثل رله ولتاژ صفر یا رله جریان صفر یا رله اضافه جریان برای پله‌های ثابت برنامه‌بیزی شده فعل باقی می‌مانند.

► دو برنامه تنظیم جدا از هم که از طریق کنترل‌کننده خارجی می‌توانند انتخاب شوند. هر دو برنامه تنظیم می‌تواند با ضریب توان‌های مختلف و خلط‌وتفاوت برنامه‌بیزی می‌شوند. با تنظیم دو برنامه مجزا می‌توان ضوابط وزارت نیرو برای جبران‌سازی بالا در روز و جبران‌سازی کم در شب را رعایت کرد.



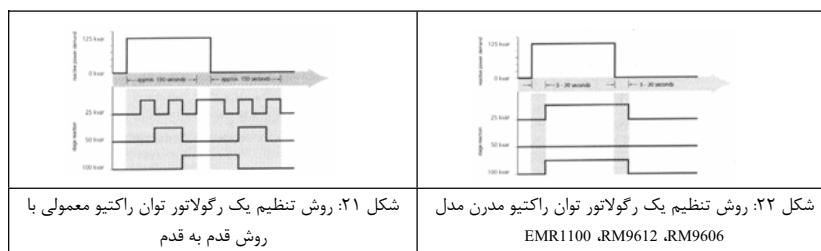
#### راهاندازی و سرویس:

➤ تطبیق با شبکه و تجهیزات جبران‌سازی: راهاندازی بدین وسیله بسیار ساده‌تر می‌شود چون که رگولاتور این تطبیق را خود به خود انجام می‌دهد. بسته به اختیار نصاب است که به روی کدام فاز ترانس جریان را نصب کند و با چه پالریتم‌های ترانس ولتاژ را به رگولاتور وصل نماید. وضعیت فاز و جهت جریان به وسیله رگولاتور در هنگام تنظیم خودکار انجام می‌شود. هم‌زمان توان پله‌های خازن اندازه‌گیری شده و کنتاکت‌هایی از رگولاتور که به خازنی متصل نیستند شناسایی و غیر فعال می‌شوند. در صورتی که اشتباهاهی در هنگام نصب بروز کرده باشد، رگولاتور اطلاعاتی از نوع اشتباها احتمالی به دست می‌دهد. پس از اضافه یا کم کردن پله‌های خازنی می‌بایستی اندازه‌گیری دوباره انجام شود تا بدین وسیله پله‌های خازنی جدیدی که اضافه یا کم شده‌اند را در پروسه خود وارد کند. اگر این کار انجام نشود بعد از چند روز رگولاتور متوجه شده و به طور خودکار پله‌های خازنی را به کار می‌گیرد.

اگر رگولاتور در هنگام کار متوجه یک پله خراب شود این پله را از پروسه تنظیم خارج کرده و آن را مشخص می‌نماید.  
➤ نمایشگرهای اطلاعات حاصل از آنها: تمام مقادیر اندازه‌گیری شده توسط رگولاتور قابل مشاهده هستند. در هنگام کار ضربی توان دیده شده از طرف CT نشان داده می‌شود. به علاوه داده‌های ذیل قابل مشاهده‌اند.

- جریان ظاهری، راکتو و راکتو ورودی
- دامنه نسبی هارمونیک های ۵، ۷، ۱۱، ۱۳ و ۲۱ نسبت به ولتاژ تغذیه
- حداکثر مقادیر اضافه جریان، ضربی توان و اضافه جریان هارمونیکی در صورتی که از مقادیر تنظیم شده بیشتر شده باشد.

➤ شمارش و نمایش تعداد قطع و وصل کنتاکتور و نمایش پیغام وقتي که این 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 بزرگی می‌شوند و خرابی کنتاکت‌ها را نیز به وجود می‌آید. تعویض به موقع کنتاکتور می‌تواند طول عمر خازن‌ها را به طور محسوس افزایش دهد.  
رگولاتور زمان صحیح تعویض کنتاکتور را به شما اطلاع می‌دهد و بدین وسیله از مخارج بیهوده جلوگیری می‌شود. برای مراقبت بهتر، کاربر می‌تواند تعداد قطع و وصل هر کنتاکتور را رؤیت نماید.





نیازهای پیغامها و الامها	اطلاعات	نحوه آگاهسازی	وضعیت کنستاکت الام
ضریب توان حقیقی	نشانگر	صفحة نمایش	-
جریان های اکتیو، راکتیو و ظاهري	نشانگر	صفحة نمایش	-
هارمونیک های پنجم، هفتم، یازدهم و سیزدهم	نشانگر	صفحة نمایش	-
هارمونیک های پنجم، هفتم، یازدهم و سیزدهم	الام	صفحة نمایش و چراغ	بسته
اضافه جریان (قابل تنظیم از $10\text{A}$ تا $30\text{A}$ )	الام	صفحة نمایش و چراغ	بسته
ناکافی بودن ظرفیت خازن جهت رسیدن به ضریب توان تنظیم شده	الام	صفحة نمایش و چراغ	بسته
تعداد قطع و وصل هر پله	نشانگر	صفحة نمایش	-
تنظیم حداقل تعداد قطع و وصل مجاز	الام	صفحة نمایش و چراغ	بسته
ولتاژ صفر	الام	صفحة نمایش	بسته
جریان صفر	پیغام	صفحة نمایش	-
وصل نبودن خازن به رگولاتور	الام	صفحة نمایش	بسته
تعداد پله های وصل	نشانگر	LED	-
بدون ولتاژ بودن	-	-	بسته

#### ترانس جریان:

برای به کار اندازی یک رگولاتور توان راکتیو، نصب یک ترانس جریان ضروری است. این ترانس همراه با رگولاتور عرضه نمی شود ولی در صورت تقاضا از طرف مشتری تحويل می گردد. جریان اولیه ترانس از طریق میزان جریان مصرف کننده مشخص می شود. نصب این ترانس بسته به حداقل جریان بار است و یا به عبارت دیگر بسته به میزان بار نصب شده ترانس است. مسیر جریان داخلی رگولاتور توان راکتیو برای ترانسی با ثانویه  $1/5$ ... $1/10$  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 روید.

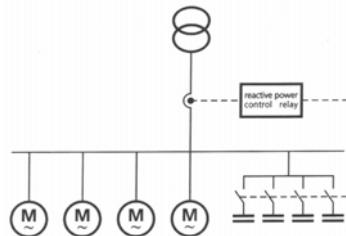
صرف خود مسیر جریان رگولاتور برای ترانس جریانی با ثانویه  $5$  آمپر، حدود  $1/8$  ولت آمپر است. اگر با همان ترانس دستگاههای اندازه گیری دیگری به کار بروند، باید حتما هنگام نصب توان آنها در نظر گرفته شود. همچنین در کابل های ترانس تلفات پدید می آید و به تلفات در مسیرهای طولانی ترانس تا رگولاتور توان راکتیو باید توجه کرد.

#### صرف درونی کابل های ترانس:

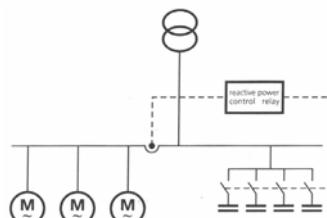
اگر از ثانویه ترانس جریان  $5$  آمپر بگذرد، تلفات به صورت جدول زیر است:



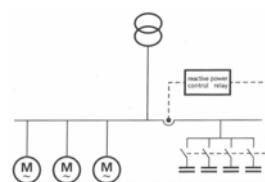
تلفات در هر متر از سیم دو رشته (ولت آمپر)	سطح مقطع (میلیمتر مربع)
۰/۳۶	۲/۵
۰/۲۲	۴/۰
۰/۱۵	۶/۰
۰/۰۹	۱۰/۰



شکل ۲۳: اتصال صحیح ترانس هم جریان مصرف کننده و هم جریان خازن را می بینند.



شکل ۲۴: اشتباه! ترانس فقط جریان مصرف کننده را دیده، تمامی بله ها وصل شده ولی دیگر قطع نمی شوند. امکان تنظیم اتوماتیک رگولاتور وجود ندارد.



شکل ۲۵: اشتباه! در این آرایش تنها جریان خازن از ترانس عبور می کند، در این حالت هیچ پله ای وصل نمی شود و رگولاتور پیغام " $I=0$ " را نشان می دهد.



**مهن:** ترانس جریان باید در فازی اختیاری طوری چنان نصب شود که تمام جریان بار به همراه جریان خازن از آن بگذرد. (به تصاویر بالا دقت کنید). ترمیナル  $S1(k)$  در سمت تغذیه و ترمیナル  $S2(I)$  در سمت مصرف کننده است.

**احتیاط:** هنگام قطع مسیر جریان در ترانس جریان ولتاژ بالا پدید می‌آید که می‌تواند ترانس را تخریب نماید. به همین دلیل قبل از باز کردن مدار ترانس در ترمیナル‌های ترانس اتصال کوتاه به وجود بیاورید.

#### فیوزها و کابل‌ها:

برای اجرای عملیات نصب بایستی مقررات 0100 و VDE 0105 و VDE 0560 - 41 واحدهای خازنی باید حداقل برای جریان دائمی معادل  $1/3$  جریان نامی مناسب باشد. جریانی که برای ولتاژ نامی با فرم سینوسی و فرکانس نامی محاسبه می‌گردد، با در نظر گرفتن ترانس خازنی  $1/1 C_{\text{II}}$  می‌تواند به حداکثر جریان مجاز تا  $1/38 I$  برسد. این بار اضافی و همچنین جریان ضربهای خازن‌ها هنگام انتخاب فیوزها و مقاطع کابل‌ها بایستی در نظر گرفته شود.

**توجه:** خازن‌های فراکوه اضافه‌باری معادل دو برابر جریان نامی در  $400$  ولت را به صورت دائمی تحمل می‌کنند.

جدول ۵: فیوز و مقاطع کابل ارتباطی بر اساس ۰100 VDE، بخش ۴۳۰

توان (کیلووات)	۲۳۰ ولت / ۵۰ هرتز			۴۰۰ ولت / ۵۰ هرتز			۵۲۵ ولت / ۵۰ هرتز		
	جریان (آمپر)	جریان فیوز (آمپر)	سطح مقاطع (میلیمتر مربع)	جریان (آمپر)	جریان فیوز (آمپر)	سطح مقاطع (میلیمتر مربع)	جریان (آمپر)	جریان فیوز (آمپر)	سطح مقاطع (میلیمتر مربع)
۲.۵	۶.۳	۱۰	۴×۱.۵	۳۶	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	۱۲.۷	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	۱۹.۳	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	۴۲.۳	۶۳	۴×۱۶	۳۲.۰	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	۶۱.۱	۱۰۰	۳×۲۵/۱۶	۴۸.۱	۸۰	۳×۲۵/۱۶



٤٥	١١٣.٠	١٦٠	٣×٧٠/٢٥	٦٥.٠	١٠٠	٣×٣٥/١٦	٤٩.٥	٨٠	٣×٢٥/١٦
٥٠	١٢٥.٥	٢٠٠	٣×٩٥/٥٠	٧٧.٢	١٠٠	٣×٣٥/١٦	٥٥.٠	٨٠	٣×٢٥/١٦
٥٢.٥	١٣١.٨	٢٠٠	٣×٩٥/٥٠	٧٥.٨	١٢٥	٣×٥٠/٢٥	٥٧.٧	٨٠	٣×٢٥/١٦
٦٠	١٥٥.٦	٢٥٠	٣×١٢٠/٧٠	٨٦.٨	١٢٥	٣×٥٠/٢٥	٦٦.٠	١٠٠	٣×٣٥/١٦
٦٢.٥	١٥٦.٩	٢٥٠	٣×١٢٠/٧٠	٩٠.٣	١٢٥	٣×٥٠/٢٥	٦٨.٧	١٠٠	٣×٣٥/١٦
٦٧.٥	١٦٩.٦	٢٥٠	٣×١٢٠/٧٠	٩٧.٦	١٦٠	٣×٧٠/١٣	٧٦.٣	١٢٥	٣×٥٠/٢٥
٦٨.٧٥	١٧٢.٦	٢٥٠	٣×١٢٠/٧٠	٩٩.٢	١٦٠	٣×٧٠/١٣	٧٥.٦	١٢٥	٣×٥٠/٢٥
٧٥	١٨٨.٣	٣١٥	٣×١٨٥/٩٥	١٠٨.٣	١٦٠	٣×٧٠/١٣	٨٢.٥	١٢٥	٣×٥٠/٢٥
٨٧.٥	٢١٩.٦	٣١٥	٣×١٨٥/٩٥	١٢٦.٣	٢٠٠	٣×٩٥/٥٠	٩٦.٣	١٦٠	٣×٧٠/١٣
٩٣.٧٥	٢٢٥.٣	٤٠٠	٣×٣٥/٥٠	١٣٥.٣	٢٠٠	٣×٩٥/٥٠	١٠٣.١	١٦٠	٣×٧٠/١٣
١٠٠	٢٥١.٠	٤٠٠	٣×٣٥/٥٠	١٤٤.٣	٢٠٠	٣×٩٥/٥٠	١١٠.٠	١٦٠	٣×٧٠/١٣
١١٢.٥	٢٨٢.٤	٤٠٠	٣×٣٥/٥٠	١٦٢.٤	٢٥٠	٣×١٢٠/٧٠	١٢٣.٧	٢٠٠	٣×٩٥/٥٠
١٢٠	٣٠١.٢	٥٠٠	٣×٣٥/٥٠	١٧٣.٣	٢٥٠	٣×١٢٠/٧٠	١٢٣.٠	٢٠٠	٣×٩٥/٥٠
١٢٥	٣١٣.٨	٥٠٠	٣×٣٥/٥٠	١٨٠.٤	٢٥٠	٣×١٢٠/٧٠	١٣٧.٥	٢٠٠	٣×٩٥/٥٠
١٤٠	٣١٦.٣	٦٣٠	٣×٣٥/٥٠	٢١٦.٥	٣١٥	٣×١٨٥/٩٥	١٦٥.٠	٢٥٠	٣×١٢٠/٧٠
١٧٥	٣٤٩.٣	٦٣٠	٣×٣٥/٥٠	٢٥٢.٦	٤٠٠	٣×٣٥/٥٠	١٩٢.٥	٣١٥	٣×١٨٥/٩٥
٢٠٠	٣٥٢.٠	٨٠٠	٣×٣٥/٥٠	٢٨٨.٧	٤٠٠	٣×٣٥/٥٠	٢١٩.٩	٣١٥	٣×١٨٥/٩٥
٢٢٥	-	-	-	٣٢٤.٨	٥٠٠	٣×٣٥/٥٠	٢٤٧.٤	٤٠٠	٣×٣٥/٥٠
٢٥٠	-	-	-	٣٦٠.٨	٥٠٠	٣×٣٥/٥٠	٢٧٤.٩	٤٠٠	٣×٣٥/٥٠
٢٧٥	-	-	-	٣٩٦.٩	٦٣٠	٣×٣٥/٥٠	٣٠٢.٤	٥٠٠	٣×٣٥/٥٠
٣٠٠	-	-	-	٤٣٣.٠	٦٣٠	٣×٣٥/٥٠	٣٢٩.٩	٥٠٠	٣×٣٥/٥٠
٣٥٠	-	-	-	٥٠٥.٣	٨٠٠	٣×٣٥/٥٠	٣٨٤.٩	٦٣٠	٣×٣٥/٥٠
٣٧٥	-	-	-	٥٤١.٣	٨٠٠	٣×٣٥/٥٠	٤١٢.٤	٦٣٠	٣×٣٥/٥٠
٤٠٠	-	-	-	٥٧٧.٤	٨٠٠	٣×٣٥/٥٠	٤٣٩.٩	٦٣٠	٣×٣٥/٥٠

## جدول ٦ قطر بیرونی سیم و کابل‌ها

سطح مقطع هادی (میلی‌متر مربع)	NYM قطر (میلی‌متر)	NYY قطر (میلی‌متر)	NYCY/NYCWY قطر (میلی‌متر)	H05VV-F قطر (میلی‌متر)	H07RN-F قطر (میلی‌متر)
٢×١.٥	٩.٠	١١.٠	١٢.٠	١٠.٥	١١.٥
٢×٢.٥	١٠.٥	١٣.٠	١٤.٠	١٢.٥	١.٥
٣×١.٥	١٠.٠	١١.٠	١٣.٠	١١.٠	١٢.٥
٣×٢.٥	١١.٠	١٣.٠	١٤.٠	١٣.٠	١٤.٥
٣×٤	١٢.٥	١٥.٠	١٦.٠	-	١٦.٠
٣×٦	١٤.٠	١٦.٠	١٧.٠	-	٢٠.٠
٣×١٠	١٧.٠	١٩.٠	١٨.٠	-	٢٥.٥



۲×۱۶	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	۲۲,۰	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	-	۲۵,۰	-
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	-	-	-

راهنمای جدول:

NYM: کابل سبک با روکش پلاستیکی، YYY: کابل با روکش پلاستیکی، NYCY: کابل با روکش پلاستیکی و هادی هم مرکز،

NYCYW: کابل با روکش پلاستیکی و هادی هم مرکز موجی، H05VV-F: کابل انعطاف پذیر معمولی با روکش لاستیکی،

H07RN-F: کابل انعطاف پذیر سنگین با روکش لاستیکی



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

زاویه خمس	قطر خارجی کابل (میلی‌متر)	P <sub>g</sub>	واحد متريک دندنه‌ها
۱۹,۰	۱۰,۵ الی ۱۶,۵	۱۱	M ۱۶×۱,۵
۲۱,۰	۱۲,۵ الی ۱۸,۰	۱۳,۵	-
۲۳,۰	۱۵,۰ الی ۱۰,۰	۱۶	M ۲۰×۱,۵
۲۹,۰	۲۰,۰ الی ۱۲,۰	۲۱	M ۲۵×۱,۵
۳۸,۰	۲۶,۵ الی ۱۹,۰	۲۹	M ۳۲×۱,۵
۴۸,۰	۳۴,۰ الی ۲۹,۰	۳۶	M ۴۰×۱,۵
۵۵,۰	۴۱,۰ الی ۳۴,۰	۴۲	-
۶۰,۰	۴۵,۰ الی ۴۰,۰	۴۸	M ۵۰×۱,۵

#### نوع حفاظت:

برای عالم نوع حفاظت طبق DIN 40050 یا این که DIN 34/VDE0530 دو حرف و یک عدد دو رقی به کار می‌رود. IP مخفف حفاظت بین المللی یک عدد دو رقمی است که رقم اول حفاظت در برابر مواد جامد و رقم دوم حفاظت در برابر مواد مایع است. معمولی ترین اختصارات در جدول زیر آمده است:

جدول : مفهوم عالم برای انواع حفاظت

نوع حفاظت	ایمنی در برابر تماس اشیا خارجی	ایمنی در برابر تماس	آب
IP00	هیچ	هیچ	هیچ
IP10	دارای قطر بیش از ۵۰ میلی‌متر	در برابر تماس اتفاقی و با اشتباہی	هیچ
IP20	دارای قطر بیش از ۲۰ میلی‌متر	با انگشت و با اشیایی که حداقل ۸۰ میلی‌متر طول داشته باشد	هیچ
IP30	دارای قطر بیش از ۱ میلی‌متر	با ابزار آلات و یا سیم‌های دارای ضخامت بیش از ۲/۵ میلی‌متر	هیچ
IP40	دارای قطر بیش از ۱ میلی‌متر	با سیم‌ها یا نوارهای دارای ضخامت بیش از ۱ میلی‌متر	هیچ
IP41	دارای قطر بیش از ۱ میلی‌متر	با سیم‌ها یا نوارهایی که دارای ضخامت بیش از ۱ میلی‌متر	در برابر قطرات آبی که به صورت عمودی می‌چکد
IP54	نشستن گرد و خاک	ایمنی کامل	برابر پاشیدن آب از تمام جهات
IP65	ورود گرد	ایمنی کامل	پاشیدن شدید آب در دریای پر تلاطم



فرمولهای محاسبه برای خازن:

$$Q_C = C \cdot V^2 \cdot 2\pi \cdot f_n \quad \text{خازن تک فاز}$$

مثال: خازن  $83 \mu F$  با ولتاژ  $400$  ولت در فرکانس  $50$  هرتز

$$0.000083 \times 400^2 \times 314.16 = 4.172 kVAr$$

$$Q_C = C \cdot 3 \cdot V^2 \cdot 2\pi \cdot f_n \quad \text{خازن سه فاز:}$$

مثال: خازن  $332 \mu F$  با ولتاژ  $400$  ولت در  $50$  هرتز

$$0.0000332 \times 3 \times 400^2 \times 314.16 = 50 kVAr$$

$$I = \frac{Q_C}{V \cdot \sqrt{3}} \quad \text{جریان فاز خازن}$$

مثال:  $25 \text{ کیلووار در ولتاژ } 400 \text{ ولت}$

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

ردیف فرکانس رزوئانس  $f_r$  و ضریب سلف ( $p$ ) خازن‌های سلف دار

$$f_r = f_n \sqrt{\frac{1}{p}} \quad \text{مثلا: } p = 0.7 \text{ در شبکه } 50 \text{ هرتز}$$

$$f_r = 50 \times \sqrt{\frac{1}{0.07}} = 189 Hz$$

$$Q_C = \frac{C \cdot 3 \cdot V^2 \cdot 2\pi \cdot f_n}{1 - p} \quad \text{توان خازن سه‌فاز در حالت چوک‌دار}$$

مثال:  $3 \times 332 \mu F$  در  $400$  ولت  $50$  هرتز با سلف

$$0.0000332 \times 3 \times 400^2 \times 314.16 / (1 - 0.07) = 53.8 kVAr$$

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

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



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

راهمنا:

$Q_C$	قدرت جبران‌سازی بر حسب ولت	$V$
$C$	ظرفیت خازن بر حسب فاراد	$I$
$P$	توان اکتیو بر حسب وات	$f_n$
$S$	توان ظاهری بر حسب ولت‌آمپر	$f_r$
$Q$	توان راکتیو بر حسب ولت	$p$
	ضریب سلف بر حسب درصد	

#### هارمونیک چیست؟

در شکوه‌های مدرن فشار ضعیف مصرف‌کنندگان زیادی وجود دارند که از شبکه، جریان غیر سینوسی می‌کشند. این جریان‌ها به دلیل وجود امیدانس شبکه باعث ایجاد افت ولتاژ می‌گردند. اتفاقی که باعث تغییر شکل ولتاژ سینوسی شبکه می‌شود. این آثار طبق بسط فوریه می‌توانند به هارمونیک پایه (اصلی) و تک‌هارمونیک‌ها تجزیه شوند. فرکانس‌های هارمونیک مضرب صحیحی از فرکانس پایه هستند و با حرف  $n$  یا  $v$  مشخص می‌شوند. مثال:

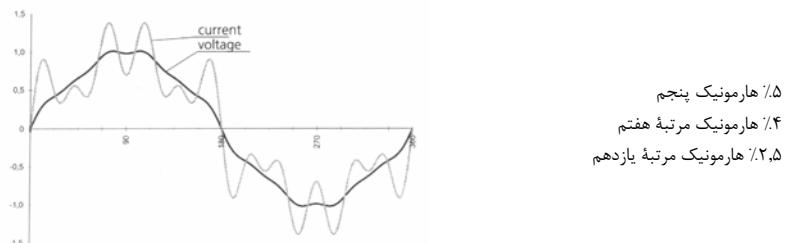
$$\text{فرکانس شبکه} = 50 \text{ هرتز} \iff \text{فرکانس هارمونیک پنجم} = 250 \text{ هرتز}$$

مصرف‌کنندگان خطي عمدتاً عبارتند از:

- مقاومت‌های اهمی (بخاری مقاومتی، لامپ‌های رشتهدای)
- موتورهای سه فاز
- خازن‌ها

مصرف‌کنندگان غیر خطی (مولдин هارمونیک) عمدتاً عبارتند از:

- ترانسفورماتورها
- بوبین‌ها
- یکسو کننده‌ها
- مبدل‌های AC/DC و DC/DC به خصوص موتورهای القابی و مدارهای کنترل دور
- کوره‌های با قوس الکتریکی و القابی، دستگاه جوش
- دستگاه‌های UPS
- منابع تغذیه سوییچینگ تکفاز در مصرف‌کننده‌های مدرن الکترونیکی مانند تلویزیون، ویدئو، کامپیوتر، مونیتور، چاپگر، فاکس، بالاست الکترونیکی، چراغ‌های کم مصرف



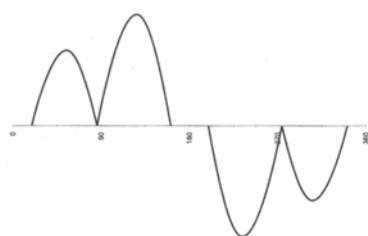
شکل ۲۶: جریان و ولتاژ شبکه

هارمونیکها نه فقط در شبکه‌های صنعتی بلکه به طور روز افزون در مصارف خانگی تولید می‌شوند. از تولید کنندگان هارمونیک عمدتاً هارمونیک‌های فرد به شبکه تزریق می‌شوند. به همین دلیل اصولاً هارمونیک ۳ می‌آیند.

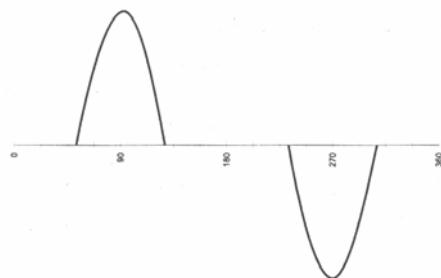
#### هارمونیک چطور به وجود می‌آید؟

- در شبکه‌های فشار ضعیف داخلی به خصوص وقتی محرك‌های تحت کنتrol در محل نصب هستند.
- در هر خانه، در هر تلویزیون، کامپیوترا، چراغ‌های کم‌صرف با الاستهای الکترونیکی.

به دلیل تعداد زیاد مصرف‌کنندگان این گونه بارها، جریان‌های هم‌فاز آنها در ساعات شب در بعضی از شبکه‌های ولتاژ، روزانه پدید می‌آید.



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 هارمونیک‌ها چقدر است؟

الف) در شبکه فشار ضعیف داخلی

بسطه به توان یکسو ساز و مبدل نصب شده است. وقتی به عنوان مثال یکسو ساز  $\#$  پالسه با توان نامی  $50\%$  توان ترانس نصب شده باشد، تقریباً:

$4\%$  هارمونیک پنجم (۲۵۰ هرتز)

$3\%$  هارمونیک هفتم (۳۵۰ هرتز) داریم.

عمولأ مبدل‌های کوچک غیر متصل به هم در یک شبکه نصب می‌شوند. به دلیل فارهای مختلف جریان‌های تک‌تک مبدل‌ها، هارمونیک کلی ایجاد شده در شبکه اندک است.

مثلاً اگر تعدادی مبدل با توان حدود  $25\%$  توان نامی ترانس نصب باشند، هارمونیک‌های زیر به وجود می‌آیند.

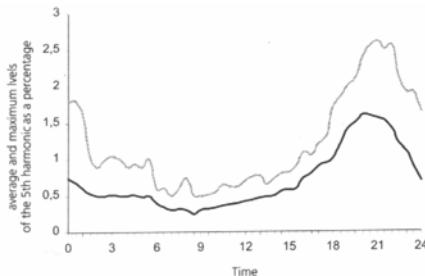
➤  $1 \text{ تا } 1/5$  درصد هارمونیک پنجم

➤  $1/7 \text{ تا } 1$  درصد هارمونیک هفتم

این اعداد برای محاسبات تقریبی توصیه می‌شوند و با این اطلاعات می‌توان تعیین کرد که آیا دستگاه جبران‌سازی با فیلتر لازم است یا خیر.

ب) در شبکه فشار متوسط

امروزه شبکه‌ها از هارمونیک‌های ایجاد شده به وسیله لوازم خانگی مانند تلویزیون بیشتر از تولید کننده‌های صنعتی، تحت تأثیر قرار می‌گیرند. چیزی که در طول روز در هارمونیک‌ها مشخص می‌گردد.



شکل ۲۹: متوسط و حد اکثر مقدار هارمونیک پنجم

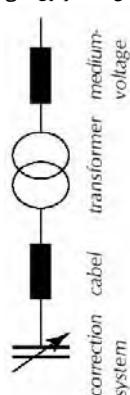
مقدار هارمونیک در شبکه با ولتاژ متوسط یک شهر در روز کاری:

مقدار متوسط و حد اکثر یک ردیف اندازه سال ۱۹۸۵ . مطمئن‌آین

اعداد امروزه افزایش یافته‌اند. بالا بودن این مقدار در شب در اثر تعداد زیاد تلویزیون و دیگر مصرف‌کنندگان خانگی است. در مناطق پر جمعیت هارمونیک ولتاژ شبکه فشار متوسط در ساعات شب بیش از  $250\text{~V}/50\text{~Hz}$  و تا حدود  $250\text{~V}/15\text{~Hz}$  هر تر (افزایش پیدا می‌کند. هارمونیک‌های بالا اصولاً قابل صرف نظر هستند و مقدار آنها به طور محدود قابل پیش‌بینی است.

#### تأثیر جبران‌سازی در شبکه دارای هارمونیک چیست؟

تجهیزات جبران‌سازی بدون سلف با امپدانس شیکه یک مدار نوسان تولید می‌کند. برای فرکانس رزوانتس یک فرمول کلی



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

قدرت اتصال کوتاه در نقطه اتصال جبران‌سازی  $S_K$

توان جبران‌سازی  $Q_C$

قدرت اتصال کوتاه  $S_K$  در نقطه جبران‌سازی

$$(S_n/U_k) \sqrt{\frac{S_K}{Q_C}}$$

- اصولاً به وسیله ترانس مشخص می‌شود (
- حدود ۱۰ درصد به وسیله امپدانس شبکه ولتاژ متوسط کاهش می‌یابد
- می‌تواند شدیداً به وسیله کابل‌های بلند بین ترانس و جبران‌سازی کاهش یابد

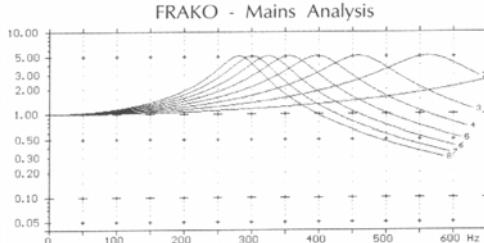


مثال:

- ترانس  $1000$  کیلوولت آمپر و  $U_k = 6\%$
- قدرت اتصال کوتاه شبکه فشار متوسط  $150$  مگاولت آمپر و  $S_K \approx 12.6 MVA$
- قدرت جبران سازی  $400$  کیلووار در  $8$  پله بدون راکتور

قدرت خازن ( $Q_C$ ) (کیلووار)	فرکانس رزونانس ( $f_r$ ) (هرتز)
۵۶۲	۱۰۰
۳۵۵	۲۵۰
۲۸۱	۲۵۰

هنگام اتصال پله های جبران سازی فرکانس رزونانس شبکه  $f_r$  شدیداً تغییر می نماید و بیشتر اوقات نزدیک به فرکانس هارمونیک اصلی شبکه است. در صورتی که رزونانس داخلی یک مدار نوسان نزدیکی یکی از هارمونیک های موجود در شبکه باشد، باید انتظار داشت که ولتاژ هارمونیک افزایش یابد. تحت شرایطی می توان آنها را در ضریب کیفیت شبکه (در شبکه های صنعتی  $5$  تا  $10$ ) ضرب کرد.



شکل ۴۰: ضریب تقویت هارمونیک های ولتاژ در یک سیستم جبران سازی بدون راکتور

رزونانس های خطروناک شبکه چه زمانی می توانند پدید آیند؟

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

- ۱) اگر فرکانس رزونانس:

  - $10\%$  بیشتر یا کمتر از فرکانس هارمونیک موجود در شبکه باشد. این فرکانس رزونانس در یک شبکه با کیفیت بالا (مثلاً عصرها و شب ها) تا یک ضریب بزرگتر از  $4$  تقویت می شود.
  - $20\%$  بیشتر از فرکانس هارمونیک موجود در شبکه باشد. در یک شبکه با کیفیت بالا و با ضریبی تا  $2/5$  درصد تقویت



می شود.

- ۳۰٪ بالای فرکانس هارمونیک موجود در شبکه باشد به مقدار کم در حدود ۱/۷ تقویت می شود.
- ۲ در شبکه ای که بدون مولد هارمونیک باشد ولی هارمونیک از شبکه فشار متوسط وارد می شود:

  - با فرکانس رزونانس زیر ۴۰۰ هرتز افزایش دامنه هارمونیک هفتم
  - با فرکانس رزونانس کمتر از ۳۰۰ هرتز افزایش دامنه هارمونیک پنجم پدید آید

#### آرایش شبکه چه تأثیری بر روی مسایل هارمونیک دارد؟

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

- قدرت اندک اتصال کوتاه شبکه در محل جبران سازی مشکل ساز است.
- 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. در این حالت قدرت اتصال کوتاه بسیار زیاد است.

معمول امداد سیستم های بزرگ جبران سازی و در شرایط کار یکسوسازهای بسیار پرقدرت مسائل رزونانس پدید نمی آید. در این حالت فرکانس رزونانس بزرگ است و عبور جریان هارمونیکی از شبکه فشار متوسط افت ولتاژ کمی ایجاد می نماید. در صورت باز شدن حلقه تغذیه متأله منظور تعمیرات قدرت اتصال کوتاه شدیداً کاهش می یابد و حتی امکان افت فرکانس رزونانس به ۳۰۰

زیر

وجود دارد.

هرتاز

می یابد. در حالت رزونانس با هارمونیک پنجم مقدار موثر 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 موثر خازن ۷۲۵٪ افزایش می یابد.

با رزونانس در هارمونیک باردهم، مقدار موثر دامنه هارمونیک تا ۱۰٪ می تواند افزایش یابد و مقدار موثر ولتاژ حدود ۵٪ و مقدار پیک ولتاژ حدود ۶٪ تا ۵٪ و جریان موثر خازن ۵٪ 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 رزونанс وجود داشته باشد ولی احتمالش کم باشد چه باید کرد؟

امروزه این مطلب در بخش بزرگی از تجهیزات جبران‌سازی مطرح است.

- در شبکه داخلی مولد هارمونیک وجود ندارد و در شبکه ولتاژ متوسط نیز هارمونیک دیده نمی‌شود ولی فرکانس رزونانس زیر ۴۰۰ هرتز است.
- در شبکه ولتاژ متوسط هارمونیک وجود دارد و امکان کاهش فرکانس رزونانس با تغییر در توبولوژی شبکه فشار متوسط، (در هنگام بازدهیهای ادواری به منظور تنهداری و کنترل) به کمتر از ۴۰۰ هرتز وجود دارد.
- برنامه‌ریزی شده است که بعداً تجهیزات نیمه‌هادی در شبکه نصب گردد.

➤ برای حفاظت از تجهیزاتی که دارای راکتور نیستند در قبال وقوع احتمالی رزونانس دستگاه مراقبت شبکه EMA1101 مناسب است. این دستگاه مراقبت شبکه را در سه‌فاز تحت نظر دارد و در صورتی که حد هارمونیک تا حد خط‌مناکی افزایش یابند تجهیزات را قطع می‌نماید و هنگامی که این خطر برطرف شد دستگاه‌ها را مجدداً وصل می‌کند. مقادیر حداکثر در این دوره ثبت شده و می‌توان بعداً طریق خط انتقال به اطلاعات آنها دست یافته. در شبکه‌هایی که با متقارن دارند می‌توان از دستگاه تنظیم راکتیو EMR1100 استفاده نمود این دستگاه پذیره رزونانس را کنترل می‌کند. رگولاتور EMR1100 هارمونیک ولتاژ یک فاز را اندازه‌گیری کرده و جریان مؤثر خازنی ناشی از آنها را محاسبه کرده و زمانی که از مقدار از پیش تنظیم شده بیشتر گردد، دستگاه قطع شده و با کاهش دامنه هارمونیک‌ها دستگاه مجدداً وصل می‌گردد. در چنین مواردی اغلب تجهیزات جبران‌سازی که قابلیت افزایش راکتور را دارند استفاده می‌شود.

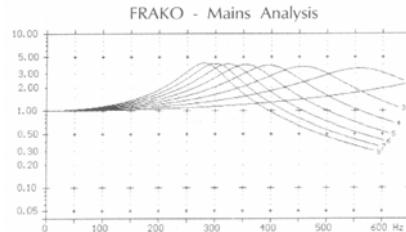
#### تجهیزات جبران‌سازی در شبکه‌های دارای هارمونیک

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

- اندازه‌گیری هارمونیک ولتاژ و جریان در طول چند روز بدون جبران‌سازی
- محاسبه تغوری رفتار رزونانسی در شبکه

در شبکه اندازه‌گیری شده انتظار حد هارمونیک زیر با جبران‌سازی چنین است:  
مقادیر حداکثر اندازه‌گیری شده قبل از جبران‌سازی ضرب در فاکتور رزونانس از آنالیز شبکه

مثال: یک شبکه فشار ضعیف متوسط با ترانس ۱۰۰۰ کیلوولت آمپر داریم، تابلوهای اصلی کلید از طریق دو کابل موازی ۲۰ متری به ترانس متصل هستند. (مطابق امیدانس یک کابل ۱۰ متری) به عنوان بار، فقط بار اهمی در نظر گرفته می‌شود زیرا به عنوان مثال موتورهای آسنکرون هیچ اثری بر کاهش هارمونیک‌ها ندارند. وقتی بانک خازنی ۴۰۰ کیلووار در مدار باشد، هارمونیک پنجم سه برابر می‌گردد. با ۲۵۰ کیلووار هارمونیک هفتم تقریباً ۴ برابر می‌شود. در ساعت روز در شبکه دارای میرایی بالا این فاکتورها کاهش می‌یابند. شب ها و در آخر هفته ضریب افزایش هارمونیک ۷ می‌تواند بزرگتر گردد.



شکل ۳۱: افزایش دامنه هارمونیکها بر حسب پلهای خازنی

#### اقداماتی برای جلوگیری از پدید آمدن رزو نانس:

هنگام نصب تجهیزات جبران سازی، اگر در صورت وقوع رزو نانس اضافه ولتاژ های هارمونیکی با دامنه بزرگتر از:

۴٪ هارمونیک مرتبه سوم (۱۵۰ هرتز)

۵٪ هارمونیک مرتبه پنجم (۲۷۰ هرتز)

۴٪ هارمونیک مرتبه هفتم (۳۵۰ هرتز)

۳٪ هارمونیک مرتبه یازدهم (۵۵۰ هرتز)

۱٪ هارمونیک مرتبه سیزدهم (۶۵۰ هرتز)

امکان پدید آمدن داشته باشد، امکان بروز اختشاش 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

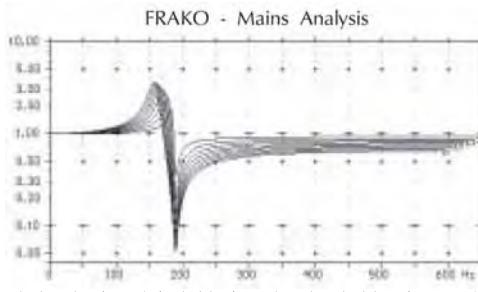
➢ افزایش نلغات جریان فوکو در ترانس ها و موتورهای القابی

در صورتی که مقدار تک تک هارمونیک های (قبل از جبران سازی) بیش از ۱/۱۵٪ (هارمونیک ۷ و بالاتر) و یا به ۰.۲٪ (هارمونیک

۵) باشد و هرگاه فرکانس رزو نانس شبکه در نزدیکی این هارمونیک ها قرار گیرد باید انتظار داشت که این مقدار به وسیله رزو نانس افزایش یابند.

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

راکتور فرکانس رزو نانس را به کمتر از ۲۵۰ هرتز کاهش می دهد. تمام هارمونیک های مرتبه بالاتر تضعیف می شوند.



شکل ۲۲: میرایی و لتاژهای هارمونیک در ارتباط با مراحل جبران‌سازی با سلف

یک خازن راکتوردار، مجموعه‌ای است از مدار خازن و فیلتر که فرکانس رزونانس آن به وسیله قرار دادن مدار فیلتر انتخاب می‌شود. بدین وسیله این ترکیب برای تمام فرکانس‌های بالاتر از فرکانس رزونانس مدار به صورت سلفی تأثیر می‌گذارد. رزونانس‌های بین خازن و امپدانس شبکه امکان پذیر نمی‌گردد. یک تجهیزات چوکدار بخشی از هارمونیک را جذب می‌کنند. برای جلوگیری از اضافه‌بار ناشی از هارمونیک پنجم در شبکه اصولاً فرکانس رزونانس چوک و خازن را در حد ۱۸۹ هرتز و پایین‌تر از آن قرار می‌دهند.

این چوک یا طبق فرکانس رزونانس خازن و چوک ( $f_r$ ) طبقه‌بندی می‌شود و یا براساس افت و لتاژ نسبی  $p$ .

هر دو عدد طبق فرمول پایین با هم در ارتباط می‌باشند:

$$f_r = 50\text{Hz} \times \sqrt{\frac{1}{p}}$$

مثال:

$$p = 0.07(7\%) \Rightarrow f_r = 189\text{Hz}$$

امپدانس خازن‌های دارای سلف با ۲۵۰ هرتز به حدود ضریب  $x$  کوچکتر است تا امپدانس خازن بدون سلف برای هارمونیک پنجم تجهیزات جبران‌سازی چوکدار دارای

➤ حالت جذب کردن با  $2x > 1$

➤ حالت بلوک کردن با  $x < 1$

در حالت جذب کردن شدیدتر می‌باشد ۲۵۰ هرتز حداقل مجاز محدود باشد برای اینکه سلف فیلتر بار اضافی نداشته باشد.

$p = 0.07(7\%)$	$f_r = 189\text{Hz}$	$x = 2/4$	$\Rightarrow u250_{\max} = 7.4$
$p = 0.07(7\%)$	$f_r = 189\text{Hz}$	$x = 1/33$	$\Rightarrow u250_{\max} = 7.5$
$p = 0.07(7\%)$	$f_r = 177\text{Hz}$	$x = 1/0$	$\Rightarrow u250_{\max} = 7.5$
$p = 0.07(7\%)$	$f_r = 136\text{Hz}$	$x = 0/42$	$\Rightarrow u250_{\max} = 7.5$



مثال:

در صورتی که ولتاژ هارمونیک پنجم ۴٪ ولتاژ شبکه باشد، تجهیزات جبران‌سازی چوک‌دار برای هارمونیک پنجم چنین جذب می‌کند.

در ۷٪ چوک	$4\% \times 5 \times 1.33 = 0.27I_n$
در ۵٪ چوک	$4\% \times 5 \times 2.4 = 0.48I_n$
در ۱۳/۵٪ چوک	$4\% \times 5 \times 0.42 = 0.08I_n$

اصولاً هنگام انتخاب تجهیزات جبران‌سازی چوک‌دار به نکات زیر باید توجه کرد.

- مجاز نیست خازن‌های با سلف یا بدون سلف در شبکه فشار ضعیف به صورت موازی با هم به کار رفته شوند.
- در به کارگیری فیلترهای موازی با ضرایب سلف متفاوت ( $p$ ) ممکن است به دلیل وجود تفاوت در مشخصات فیلترها در مقادیر زیاد باید دقیقاً آنالیز شود.
- در صورتی که موضوع مربوط به شبکه‌های فشار ضعیفی که ارتباط الکتریکی غیرمستقیم دارند، باشد، بسته به احتیاج می‌توان مستقلاباً خازن بدون سلف و یا با سلف جبران‌سازی انجام داد.
- نصب فیلتر باید با قوانین EVU مطابقت داشته باشد.

#### نظارت بر سیستم‌های تصحیح ضربی توان در محیط‌های صنعتی:

نگهداری و مراقبت صحیح از تجهیزات تصحیح ضربی توان بعد از نصب به اندازه خود برنامه‌ریزی و طراحی قبل از آن اهمیت دارد. این تجهیزات عموماً به دست فراموشی سپرده می‌شوند و کاربر باید بداند که کنتاکتورهای خازنی به مرور فرسوده می‌شوند ولی معمولاً تا زمان خرابی کنتاکتورها و خسارات احتمالی بعدی به این نکته توجه نمی‌شود. کنتاکتورها در زمان قطع و وصل خازن‌ها تحت فشار شدید قرار دارند. کنتاکت‌های خودرده شده باعث می‌شوند در زمان قطع و وصل خازن‌ها جریان زیادی کشیده شود که باعث خرابی بیشتر می‌شود. تعویض به موقع کنتاکتها تأثیر زیادی در طول عمر سیستم تصحیح ضربی توان دارد. شمارنده‌های تعداد قطع و وصل‌ها که در رگولاتورها تعیینه شده است، زمان مناسب برای تعویض کنتاکتها را نشان می‌دهد و به این ترتیب در هزینه‌ها صرفه‌جویی می‌کند.

تغییرات شبکه نیز باعث ایجاد آشفتگی‌هایی در سیستم فشار ضعیف می‌شود. هدف از سیستم نظارت بر شبکه شناسایی این تغییرات در مراحل اولیه است. قبیل از اینکه قطعاتی از سیستم از کار بیفتد. تمام پارامترهای مؤثر در امنیت و قابلیت اطمینان سیستم فشار ضعیف و فشار متوسط مانند دمای قطعات حساس، میزان مصرف توان اکتیو و راکتیو اندازه‌گیری و ثبت می‌شوند.

وقتی مقدار هارمونیک بزرگ باشد و نیاز به توان راکتیو کوچک است، چه کار باید کرد؟

اصولاً در چنین مواردی راه حل‌های متفاوتی برای محدود کردن جریان‌های هارمونیکی تولید شده مصرف‌کننده‌های مولد



معروفترین این روش‌ها به کارگیری:

➤ فیلتر پاسیو متعدد (همانگ شده) یا

➤ تغذیه بارهای حساس و مولدهای هارمونیک از ترانسفورماتورهای مجزا است.

این راه حل‌ها دو نقطه ضعف دارد:

➤ هزینه بالای تقابل مجدد سیستم با تغییرات شبکه که ناشی از عدم کاربرد تجهیزات اولیه

➤ به کارگیری عملی این راه حل‌ها در تأسیسات از پیش نصب شده بسیار مشکل است. اغلب به کارگیری خازن‌های بدون چوک در شبکه‌های دارای هارمونیک باعث ایجاد هارمونیک‌های بالا می‌شوند.

بهترین راه حل به کارگیری فیلترهای قدرت فراکوه است که مقولون به صرفه هستند.

در صورت بروز مسائلی مانند:

➤ دامنه‌های بزرگ هارمونیک ۳، ۹ و ۱۵ و جریان سیم زمین

➤ لزوم نگه داشتن دامنه هارمونیک‌های فشار متوسط در حد مجاز به وسیله فیلترهای تنظیم شده

➤ نیاز کم به توان راکتیو و جریان هارمونیک بالا مثلاً بخش بزرگی از ماشین‌های القایی که به وسیله سیستم سوییچینگ قدرت تغذیه می‌شوند.

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

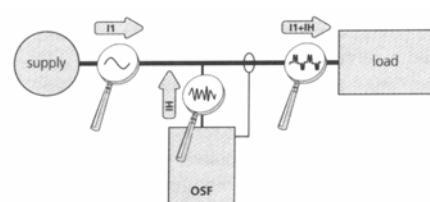
است که هنگام توسعه تجهیزات مصرف‌کننده، جریان سازی به طور مؤثر انجام می‌شود. به دلیل انعطاف‌پذیری فیلترهای اکتیو فراکوه می‌توان از مقدار مورد نیاز انتخاب شود و مازاد نیاز به دلیل گسترش تجهیزات می‌تواند هر زمان به وسیله اضافه کردن اجزاء دیگر انجام پذیرد.

#### اصول کار فیلترهای اکتیو:

فیلتر اکتیوی که به صورت موازی به تولیدکننده هارمونیک متصل است جریان هارمونیکی که به وسیله مصرف کننده غیرخطی ایجاد شده تجزیه می‌کند و جریان سازی با فاز مخالف را تزریق می‌کند تمام طیف هارمونیک‌های ۲

یا

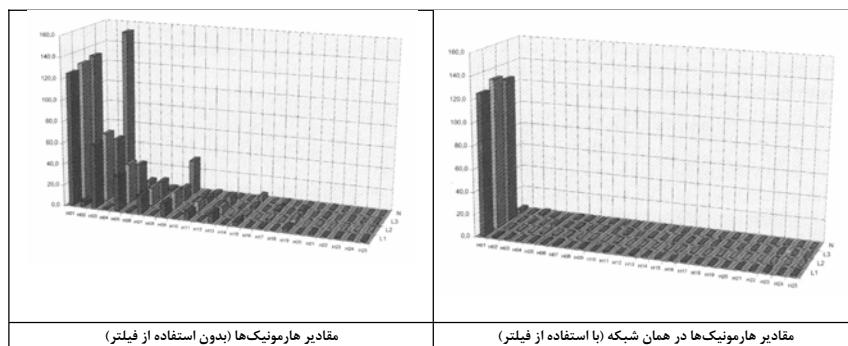
۲۵ تا



ترکیب فیلتر هارمونیک و هارمونیک مصرف کننده همانند یک بار خطی برای شبکه است. باری که جریان سینوسی مصرف



می‌کند. مراحل نصب کاملاً ساده است؛ فقط باید یک تغذیه سه فاز با سیم نول و یا بدون سیم نول موجود باشد و مبدل‌های جریان باید در ورودی مصرف کننده غیر خطی نصب شود.



#### کاربرد:

نمونه کاربردها عبارتند از:

- شبکه فشار ضعیف با سیستم‌های سوییچینگ قدرت متعدد که به صورت محدود جریان‌های هارمونیک را به شبکه فشار ضعیف با بار سنگین تزریق کند. مانند کارخانه‌های دور از پست با کابل اختصاصی
- موتورهای سوییچینگ قدرت مدنون با تزریق هارمونیک بالا که فقط احتیاج به جریان راکتیو کم دارند. در یک شبکه ولتاژ پایین با ترانس ۱۰۰۰ کیلوولت آمپر و با به کارگیری موتورهای القابی زیاد احتیاج به یک تنظیم‌کننده توان راکتیو با توان نامی ۴۰۰ کیلووار دارد. با به کارگیری مبدل‌های مدنون نیاز حدود ۱۰۰ کیلووار است.
- در شبکه‌های ولتاژ پایین با مقدار هارمونیک ۳ بالا به دلیل مصرف کننده‌های یک فاز این شبکه‌های ولتاژ پایین یک جریان سیم نول بالایی دارند که باید در یک بار متقاضی، تقریباً صفر آمپر باشد. به دلیل بار الکترونیکی در مجاورت بارهای اهمی نامتعادل جریان‌های هارمونیک سه فاز روی سیم نول جمع می‌گردند زیرا هارمونیک‌های ۳، ۹، و ۱۵، هم‌فاز هستند. در نتیجه یک جریان غیر صفر در سیم نول جاری می‌شود که بسته به شرایط امکان دارد بزرگ‌تر از جریان فاز شود و کابل نول را تحت تأثیر قرار دهد.



### مقاله تخصصی: مقابله با هارمونیک‌ها

تا به امروز راه حل‌های اقتصادی بسیار ناچیزی برای کاهش هارمونیک‌ها به مصرف‌کنندگان قدرت ارائه شده است. روش معمول، نسب المان‌های پاسیو در محل تولید هارمونیک‌ها برای حذف یا تضعیف هارمونیک‌ها است که به معنی نصب مدار خازنی و سلفی جداگانه برای اثر گذاشتن بر هر هارمونیک است. اکنون مشکل با نصب فیلترهای اکتیو هارمونیک حل می‌شود.

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

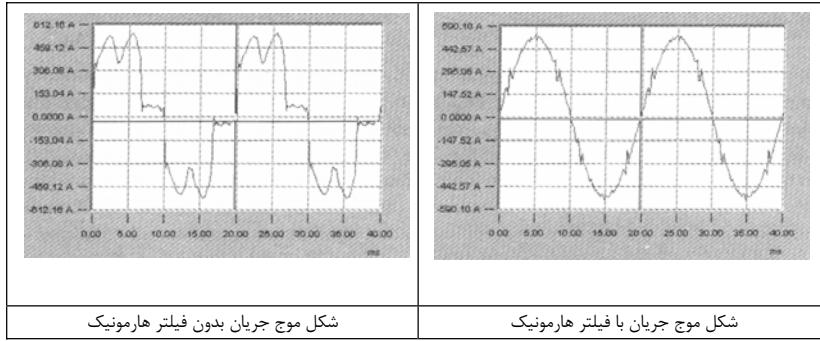


شكل موج جریان تعیین‌کننده دامنه و تعداد هارمونیک‌ها است. هر چه این شکل موج تفاوت بیشتری با شکل موج سینوسی داشته باشد، دامنه و تعداد هارمونیک‌ها نیز بیشتر و بزرگ‌تر است.

#### اصول کار فیلترهای هارمونیک:

اصل کار 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 کنتrolی مدار با تحلیل فوریه دامنه و تعداد هارمونیک‌ها را به دست می‌آورد. سپس همان میزان جریان ولی با ۱۸۰ درجه اختلاف فاز به مدار تزریق می‌شود و در نتیجه جریان حاصله کامل‌سینوسی و بدون هارمونیک است. یک مزیت دیگر انعطاف‌پذیری مدار فوق است و بسته به میزان هارمونیک‌ها جریان تزریقی کم و زیاد می‌شود.

حتی در زمان اضافه‌بار فیلتر خاموش نمی‌شود بلکه حداقل 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، با شرایط جدید وفق داده می‌شود.



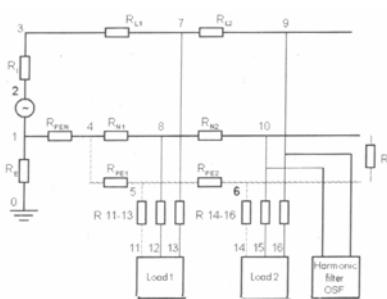
#### اهمیت تأسیسات الکترونیکی:

نصب صحیح تأسیسات الکترونیکی در کارکرد درست سیستم جبران هارمونیک از اهمیت بالایی برخوردار است. نوع شبکه و کیفیت تجهیزات نصب شده نه تنها بر عملکرد درست فیلتر هارمونیک اثر می‌گذارد بلکه امکان اغتشاش در منبع تغذیه نیز وجود دارد. در هر تأسیسات الکترونیک اتصال زمین از اهمیت خاصی برخوردار است. اتصال زمین خوب و مؤثر پایه و اساس هر تأسیسات الکترونیکی است. در صورت وجود اشکال در اتصال زمین امکان پارازیت در ولتاژ، تداخل‌های الکترومغناطیسی و انتشار هارمونیک‌های ناخواسته در سیستم وجود دارد. کارکرد اصلی اتصال زمین جلوگیری از خسارات‌های 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 سیمهای 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 جدا کردن سیم زمین و سیم خنثی می‌گردد. عدم توجه به این مسئله مثلاً باعث ایجاد لرزش در تصویر مونیتورها و اغتشاش در خطوط تلفن می‌شود که به دلیل وجود مقدار زیادی هارمونیک سوم در سیم زمین و سیم خنثی است.





#### یک مثال عملی:

یک کامپیوتر معمولی با منبع تغذیه ۲۵۰ واتی جریان نشتری حدود ۱ میلی آمپر دارد که دارای مؤلفه اصلی ۵۰ هرتزی و هارمونیکهای آن است. جریان‌های نشتری باعث الوده سازی سیم زمین می‌شود ولی در کل سیستم را به خطر نمی‌اندازد. ولی وقتی که ۱۰۰ کامپیوتر در شبکه موجود باشد، جریان نشتری در حدود ۱/۰ آمپر است. با فرض اینکه مقاومت سیم زمین ۱ اهم باشد، افت ولتاژ حدود ۰/۰ ولت خواهد بود. کل سیستم زمین معمولاً مقاومت کمی دارد. ولی در سیستمی با جریان نامی حدود ۱۰۰ آمپر جریان هارمونیک سوم حدود ۴۰ آمپر می‌شود و افت ولتاژ حدود ۴۰ ولت خواهد بود.

این یک مثال کلاسیک از فیلتر هارمونیک است. با حذف هارمونیک‌ها در سطح توزیع مصرف‌کنندگان دیگر از مضرات هارمونیک‌ها به دور خواهند بود. این عمل تنها در صورت مجزا بودن سیم‌های زمین و خنثی میسر است.

#### خلاصه:

یک روش مؤثر برای کاهش هارمونیک‌ها و اثرات نامطلوب آنها بر سیستم‌های توزیع فشار ضعیف، نصب فیلترهای هارمونیکی اکتشیو است. ولی به همان اندازه اهمیت دارد که سیستم الکتریکی نصب شده به سادگی هر چه تمام‌تر باشد. در عمل توصیه می‌شود که مقدار جریان هادی زمین اندازه‌گیری شود و اضافه جریان‌های آن به سرعت شناسایی شود. یافتن نقاط اتصال سیم‌های زمین و سیم‌های خنثی اضافی بسیار مشکل است و لازمه دانش دقیق از مسیر کابل‌ها و خود ساختمان است. تنها با پیروی از راهنمایی‌های ذکر شده می‌توان سیستم الکتریکی مناسب و بی‌اشکالی در اختیار داشت.