راهنمای انتخاب خازن در تاسیسات فشار ضعیف

آکادمی آرمان صنعت

انتخاب خازن در تاسیسات فشار ضعیف

آرمان صنعت انرژی آریا

فهرست مطالب

مقدمه ۴
۱.۱. ضریب توان سیستم ۸
۱.۱.۱. اندازه‌گیری ۱۰
۱.۱.۲. محاسبه از طریق صورتحساب برق ۱۲
۱.۲. جبران سازی مرکزی توان راکتیو ۱۷
۱.۳. اصلاح ضریب توان انفرادی الکتروموتور ۲۳
۱.۴. اصلاح ضریب توان ترانسفورماتور ۳۱
۱.۵. گام‌های اجرای پروژه ۳۹
۱.۵.۱. نوع و ظرفیت جبران سازی ۳۹
۱.۵.۲. مشخصات تجهیزات ۴۱
۱.۵.۳. مونتاژ ۴۲
۱.۵.۴. پروژه های سیرکاتور و نوآرک در ایران ۴۴

مقدمه

این راهنما توسط گروه فنی **شرکت آرمان صنعت انرژی آریا** جهت انتخاب خازن در تاسیسات فشار ضعیف تهیه شده است. شرکت آرمان صنعت انرژی آریا (به اختصار شرکت آرمان صنعت) در زمینه تامین تجهیزات، مشاوره، طراحی و اجرای تاسیسات الکتریکی فعال بوده و در کنار شما خواهد بود. لطفا قبل از پرداختن به مسائل فنی این بخش را مطالعه کرده و با برخی از خدمات ما آشنا شوید.

شرکت آرمان صنعت در سال ۱۳۹۰ توسط جمعی از افراد مطرح در صنعت برق کشور فعالیت خود را آغاز کرد. مدیران و بنیان گذاران این شرکت دارای سابقه‌ی طولانی و سال‌ها تجربه در صنعت برق بوده و همکاری‌های بسیار نزدیکی با برندهای بین المللی دارند.

این شرکت در سال ۱۳۹۱ موفق به عقد قرار داد انحصاری فروش و خدمات شرکت سیرکاتور در ایران شد. شرکت Circutor به صورت تخصصی در زمینه‌ی مدیریت انرژی، بهره‌وری و حفاظت فشار ضعیف فعالیت کرده و دارای بیش از ۳۰۰۰ محصول است.

محصولات شرکت سیرکاتور در گروه‌های اندازه‌گیری، حفاظت، جبران سازی توان راکتیو و انرژی‌های تجدید پذیر دسته بندی می‌شوند. از ادوات اندازه‌گیری این شرکت می‌توان به ادوات آنالوگ، کنتورها، پاورمیترها و پاور آنالایزرهای پیشرفته اشاره کرد. این دستگاه‌ها برای سنجش پارامترهای الکتریکی، انرژی و پارامترهای کیفیت توان استفاده شده و دارای پورت و پروتکل‌های ارتباطی متنوع هستند.

بخش حفاظت سیرکاتور شامل ادوات RCD مانند رله‌ها و بریکرهای جریان باقی مانده در کلاس‌های مختلف، سیستم‌های وصل مجدد و ریموت برای کنترل بریکرهای جریان باقی مانده، رله‌های مانیتورینگ عایقی، انواع ترانس جریان و ادوات تست شبکه‌های الکتریکی می‌شود.

بخش جبران سازی به صورت تخصصی در زمینه‌ی توان راکتیو و هارمونیک‌ها فعالیت می‌کند. از ادوات جبران سازی توان راکتیو می‌توان به خازن‌های فشار ضعیف، خازن‌های فشار متوسط، راکتورها، رگولاتورها، کنتاکتورها و ادوات جانبی اشاره کرد. جبران سازی هارمونیک توسط سیرکاتور توسط راکتورها و فیلترهای اکتیو صورت می‌گیرد. فیلترهای اکتیو این شرکت به صورت همزمان می‌توانند توان راکتیو، هارمونیک و متعادل سازی فازها را انجام دهند.

سیرکاتور ارائه کننده‌ی بانک‌های خازن آماده به شکل‌های بسیار متنوع است. بانک‌های خازن سیرکاتور به صورت معمولی، با راکتور، سوئیچ کنتاکتوری یا سوئیچ الکترونیک در ظرفیت‌های مختلف در دو سطح ولتاژی فشار ضعیف و فشار متوسط تولید می‌شود.

بخش بعدی فعالیت‌های این شرکت مربوط به انرژی‌های تجدید پذیر است. در این گروه می‌توانید استراکچرهای نیروگاه خورشیدی، واحدهای نیروگاه خورشیدی، جمع کننده‌ها، سنسورهای دما، روتر و غیره را مشاهده کنید. این شرکت به صورت تخصصی در زمینه‌ی نرم افزارهای مانیتورینگ و اسکادا نیز فعالیت می‌کند. با نرم افزارهای سیرکاتور می‌توانید تجهیزات این شرکت به همراه ادوات دیگر را مانیتور و کنترل کنید. اطلاعات تمام موارد فوق در وب سایت سیرکاتور به آدرس Circutor.com در دسترس شما هستند.

با توجه به موفقیت شرکت آرمان صنعت در همکاری با شرکت‌های مطرح بین المللی، گام بعدی ارتباط شرکت آرک تک فنلاند بود. شرکت آرک تک فنلاند به صورت تخصصی در زمینه‌ی ساخت رله‌های حفاظتی فعالیت می‌کند.

از محصولات Arcteq می‌توان به رله‌های حفاظت آرک فلش، حفاظت بی، حفاظت باسبار، حفاظت بانک خازن، حفاظت فیدر، حفاظت خط، حفاظت ژنراتور، حفاظت موتور، حفاظت ترانسفورماتور، حفاظت تاسیسات ریلی، مرکز اندازه گیری، مرکز آلارم و غیره اشاره کرد. این ادوات تضمین کننده‌ی حفاظت الکتریکی در تاسیسات فشار ضعیف، متوسط و فشار قوی هستند. جهت دریافت کاتالوگ و بررسی ادوات حفاظتی آرک تک می‌توانید به وب سایت این شرکت به آدرس Arcteq.com مراجعه کنید.

آرمان صنعت در گام بعدی اقدام به تاسیس شرکت‌های دیگری مانند **ساتراپ انرژی پایا** و **ذرخش نیرو** کرده و تامین تجهیزات با برندهای خارجی و داخلی را توسعه داد. شرکت ساتراپ انرژی پایا (به اختصار شرکت ساتراپ) نمایندگی انحصاری Noark جمهوری چک در ایران است.

نوآرک الکتریک یک شرکت بین المللی در زمینه‌ی ساخت تجهیزات فشار ضعیف و فشار متوسط است. از تجهیزات مهم نوآرک الکتریک می‌توان به انواع بریکر مینیاتوری، جریان باقی مانده، بریکر محافظ موتور، بریکر کامپکت، بریکر هوا، کنتاکتور، بی متال، فیوز هولدر، منبع تغذیه، ادوات کنترلی، شارژرها و دیگر ادوات انرژی‌های تجدید پذیر اشاره کرد.

این شرکت در حال توسعه‌ی محصولات خود و توزیع عمومی درایو، سافت استارتر، بریکرهای فشار متوسط و غیره می‌باشد. این محصولات به زودی در سبد کالای ساتراپ قرار خواهند گرفت.

شرکت ذرخش از گروه آرمان صنعت، نماینده برندهای معتبر داخلی مانند رعد الکتریک است.

ذرخش نیرو می‌تواند تامین تجهیزات الکتریکی پروژه‌های شما را از طریق برندهای داخلی و خارجی مانند آرک تک، سیرکاتور، نوآرک، وایدمولر، رعد و غیره به بهترین شکل انجام دهد.

واحد فنی مجموعه شرکت‌های آرمان صنعت در زمینه ی طراحی، رفع عیب و ارتقاء تاسیسات فشار ضعیف و فشار متوسط در کنار شما است. این گروه ضمن طراحی تاسیسات و مشاوره در تامین تجهیزات می‌تواند با استفاده از آنالایزرهای پرتابل، تاسیسات در حال کار شما را بررسی کند.

آنالیز تاسیسات به منظور ارائه‌ی بهترین راهکارها جهت افزایش بهره وری انرژی، جبران سازی توان راکتیو، جبران سازی هارمونیک، کاهش هزینه‌ی تعمیرات و جریمه‌ها به همراه مانیتورینگ و اسکادا صورت می‌گیرد.

جهت کسب اطلاعات بیشتر در خصوص تامین تجهیزات، مشاوره و اجرای تاسیسات الکتریکی از طریق راه‌های زیر با ما در ارتباط باشید:

وب سایت ذرخش نیرو
zarakhsh.com
تلفن: ۰۲۱-۲۲۲۲۸۹۴۳

وب سایت ساتراپ انرژی
satrap-co.com
همراه: ۰۹۳۳۹۰۰۶۰۲۱

وب سایت آرمان صنعت
asea-co.com

Circutor

Noark

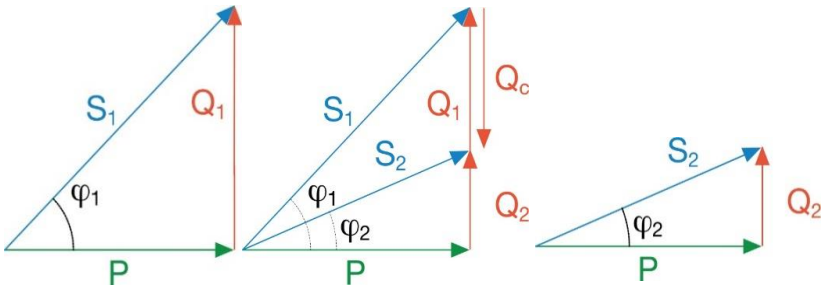
Arcteq®

Weidmüller

۱/۱. ضریب توان سیستم

جبران سازی توان راکتیو در سطح فشار ضعیف با خازن‌های اصلاح ضریب قدرت به شکل‌های انفرادی، گروهی، متمرکز و غیره انجام می‌شود. نکته‌ی مهم قبل از طراحی سیستم جبران سازی؛ مشخص کردن ضریب توان است.

ضریب توان یا PF یا $Cos\varphi$ به‌صورت کلی بیان‌کننده‌ی نسبت مؤلفه‌ی اکتیو یا مفید به برآیند جریان یا توان سیستم است. با داشتن این نسبت می‌توان میزان دقیق خازن را محاسبه کرده و در نهایت به مدار تزریق کرد. این روند را می‌توانید به‌خوبی در تصویر زیر مشاهده کنید.



تغییرات توان با توجه به جبران سازی شامل: سمت چپ سیستم بدون جبران ساز، وسط تزریق توان راکتیو Qc و سمت راست برآیند کلی سیستم پس از جبران سازی

در تصویر بالا میزان توان اکتیو ثابت بوده ولی با تزریق Qc میزان توان راکتیو دریافتی و درنتیجه توان ظاهری سیستم کاهش پیدا می‌کند. کاهش توان راکتیو دریافتی به معنی کوچک‌تر شدن اختلاف‌فاز یا همان φ بوده و مزایای بسیار زیادی دارد. از این مزایا می‌توان به کاهش جریان، سایز تجهیزات، تلفات، افت ولتاژ و غیره اشاره کرد.

ضریب توان یا P.F یک سیستم به میزان مصرف، نوع مصرف و تغییرات بار بستگی دارد. این مؤلفه را می‌توان از طریق روش‌های زیر به دست آورد:

- اندازه‌گیری مستقیم یا از طریق کنتورها در تأسیسات فعال
- بررسی صورت‌حساب‌های تأسیسات فعال
- با توجه به پلاک یا قدرت تجهیزات در مدل‌های انفرادی و گروهی
- تخمین ضریب توان هنگام طراحی تأسیسات جدید
- استفاده از جداول راهنما

توان ظاهری یک سیستم به‌راحتی و با اندازه‌گیری ولتاژ و جریان قابل محاسبه است. همان‌طور که می‌دانیم این توان نشان‌دهنده‌ی برآیند کلی مؤلفه‌های اکتیو و راکتیو بوده و به‌صورت S نمایش داده می‌شود.

داشتن توان ظاهری به‌تنهایی در محاسبه‌ی میزان خازن جبران سازی کافی نیست. به‌عبارت‌دیگر برای مشخص کردن درصد مؤلفه‌های اکتیو و راکتیو به پارامترهای دیگری مانند اختلاف‌فاز، ضریب توان و غیره نیاز داریم. به‌منظور یادآوری در این قسمت برخی از فرمول‌های محاسبه‌ی توان در شبکه‌های سه فاز آورده شده است:

$$S_{kva} = \sqrt{3} \times U \times I$$

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

$$Cos\varphi = \frac{P}{S}$$

$$Cos^{-1}\varphi = \varphi$$

$$P_{kw} = \sqrt{3} \times U \times I \times Cos\varphi$$

$$Q_{var} = \sqrt{3} \times U \times I \times Sin\varphi$$

جهت محاسبه‌ی توان راکتیو موردنیاز جهت جبران سازی می‌توان از فرمول‌های دیگری استفاده کرد. به‌عنوان‌مثال به این فرمول توجه کنید:

$$Q_c = (tg_{\varphi 1} - tg_{\varphi 2}) \times P$$ **معادله ۱**

در فرمول فوق $\varphi 1$ ضریب توان فعلی سیستم، $\varphi 2$ ضریب توان مورد نظر و P توان اکتیو دریافتی سیستم است. قابل‌ذکر است که در نسبت‌های مثلثاتی تانژانت به‌صورت $tan\theta = \frac{sin\theta}{cos\theta}$ تعریف می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌کنید استفاده از این فرمول‌ها کمی پیچیده بوده و نیاز به ماشین‌حساب‌های مهندسی دارد. در ادامه ابتدا روش‌های به دست آوردن P.F شرح داده‌شده و سپس استفاده‌ی ساده‌تر از آن جهت مشخص کردن توان راکتیو را فرا خواهیم گرفت.

۱/۱/۱. اندازه‌گیری

اندازه‌گیری ولتاژ و جریان به‌منظور محاسبه‌ی توان ظاهری می‌تواند با آمپرمتر و ولت‌مترهای معمولی انجام شود. این کار در به دست آوردن اختلاف‌فاز بین ولتاژ و جریان مفید نبوده و نمی‌توانیم سهم مؤلفه‌های اکتیو و راکتیو را مشخص کنیم.

برای به دست آوردن اختلاف‌فاز به دستگاهی نیاز است که بتواند ولتاژ و جریان را به‌صورت هم‌زمان اندازه‌گیری کند. این دستگاه می‌تواند یک $Cos\varphi$ متر ساده یا یک مرکز اندازه‌گیری پیشرفته باشد.

کسینوس فی متر تابلویی

در اغلب تأسیسات یا بانک‌های خازن یک کسینوس فی متر به‌صورت آنالوگ یا دیجیتال وجود دارد. این دستگاه دارای ورودی ولتاژ و جریان بوده و می‌تواند نسبت توان اکتیو به توان ظاهری مصرفی را نشان دهد. طبق تصویر مقابل، کسینوس فی متر می‌تواند ضریب توان را به‌صورت سلفی و خازنی نمایش دهد. بخش سلفی و خازنی در کسینوس فی متر می‌تواند با سمبل سلف و خازن یا عبارت‌های LAG و LEAD در دو طرف عدد ۱ مشخص‌شده باشد.

نکته‌ی مهم در اتصال کسینوس فی متر رعایت جهت ولتاژ و جریان است. درصورتی‌که سیم‌بندی دستگاه درست انجام نشود ممکن است ضریب توان به‌صورت کاملا برعکس یا با اختلاف بسیار زیادی نمایش داده شود.

با اندازه‌گیری توان ظاهری و $Cos\varphi$ می‌توان میزان Q را محاسبه و به مدار تزریق کرد.به‌عنوان‌مثال تصور کنید یک شرکت در حال مصرف انرژی از یک مدار سه فاز با جریان ۱۰۰۰ آمپر و ولتاژ ۴۰۰ ولت با $Cos\varphi = 0.7$ باشد. در این شرایط میزان توان ظاهری، اکتیو و راکتیو سیستم چقدر است؟ ازآنجایی‌که $Cos^{-1}0.7$ حدود ۴۵ درجه است می‌توان دریافت که تقریبا میزان توان اکتیو و راکتیو برابر است. در این مثال ابتدا توان ظاهری و سپس مؤلفه‌ی اکتیو و راکتیو را مشخص می‌کنیم.

$$S = \sqrt{3} \times U \times I = \sqrt{3} \times 400 \times 1000 = 692\ kva$$

$$Cos\varphi = \frac{P}{S} \rightarrow P = S \times Cos\varphi = 692kva \times 0.7 = 485kW$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \rightarrow Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{692^2 - 485^2} = 493kvar$$

پاور آنالایزر تابلویی سیرکاتور

برای کاهش محاسبات می‌توان از دستگاه‌های سنجش توان به‌صورت ثابت و پرتابل استفاده کرد. در این روش میزان توان ظاهری، اکتیو و راکتیو به‌صورت کامل نمایش داده‌شده و می‌توان بر اساس آن میزان دقیق خازن‌ها را مشخص کرد. در نظر داشته باشید که در اندازه‌گیری کمیت‌های توان؛ مؤلفه‌های آن به‌صورت لحظه‌ای نمایش داده می‌شوند. به‌عبارت‌دیگر ما به زمان بیشتری برای تحلیل و به دست آوردن میانگین ضریب توان یا پیک توان راکتیو نیاز داریم.

برای این کار می‌توان اندازه‌گیری را دقیقا در زمان پیک انجام داده و یا از دستگاه‌های حافظه‌دار به‌منظور ثبت اطلاعات در یک بازه طولانی مثلا یک شیفت کاری استفاده کرد. روش دیگر ثبت اطلاعات به‌صورت دستی در بازه‌های مشخص مانند هر ۳۰ دقیقه یک‌بار است. این روند نیز به‌خوبی تغییرات توان و ضریب توان سیستم را مشخص می‌کند.

روش دیگر برای مشخص کردن مؤلفه‌های اکتیو و راکتیو استفاده از کنتورهای برق است. توجه داشته باشید که اطلاعات ثبت شده توسط کنتورها به‌صورت انرژی بوده و برای به دست آوردن ضریب توان یا توان راکتیو موردنیاز به کمی تبدیل نیاز دارند.

برای به دست آوردن ضریب توان میانگین در تأسیسات باید مقادیر انرژی اکتیو و راکتیو کنتورها را ثبت کنید. این کار در ابتدا و انتهای بازه‌ی کاری مثلا یک شیفت یا بیشتر انجام‌شده و در نهایت از فرمول زیر استفاده می‌شود. نتیجه‌ی این فرمول ضریب توان میانگین با توجه به انرژی اکتیو و راکتیو مصرف شده است.

$$Cos\varphi = Cos\left(tg^{-1}\left(\frac{E_{Qf} - E_{Qi}}{E_{Pf} - E_{Pi}}\right)\right)$$

معادله ۲

در ابتدای شیفت یا بازه‌ی کاری عدد مربوط به انرژی راکتیو را از کنتور قرائت کرده و بجای E_{Qi} قرار دهید. این کار دقیقا برای انرژی اکتیو نیز انجام‌شده و مقدار آن در E_{Pi} ثبت خواهد شد. با گذشت زمان مقادیر انرژی اکتیو و راکتیو ثبت شده در کنتورها بیشتر خواهند شد. پس در پایان کار باید مجدد اطلاعات کنتورها را بررسی کرده و مقدار انرژی راکتیو را در E_{Qf} و مقدار انرژی اکتیو را در E_{Pf} قرار داده می‌دهیم. به‌این‌ترتیب مقادیر ابتدای شیفت از انتهای شیفت کسر شده و حاصل آن نسبت انرژی راکتیو به اکتیو را نمایش می‌دهد.

حاصل این فرمول ضریب توان یا P.F میانگین بوده و بر اساس آن می‌توان خازن موردنیاز تأسیسات را محاسبه کرد.

۱/۱/۲. محاسبه از طریق صورتحساب برق

کلیه اطلاعات انرژی مصرف شده در تأسیسات فعال[1] شامل توان اکتیو، راکتیو و بازه‌های مصرف در صورتحساب ماهانه درج می‌شود. از این اطلاعات می‌توان به‌منظور محاسبه‌ی ضریب توان و خازن موردنیاز استفاده کرد. روش استفاده از صورتحساب با یک مثال

قدرت (کیلو وات)

قراردادی	۱۵۰۰	محاسبه شده	۱۳۵۰		
پروانه مجاز		کاهش یافته			
مصرفی	۱۰۲۴	میزان تجاوز از قدرت	۰		
عدد ماکسیمتر	۰۵۱۲	تاریخ اتمام کاهش موقت			

شرح مصرف	رقم	شمارنده قبلی	شمارنده کنونی	ضریب	مصرف	نرخ	مبلغ (ریال)
میان باری	۶	۱۲۱۱	۱۳۳۵	۲۰۰۰	۲۴۸۰۰۰	۸۲۱	۲۰۳۶۰۸۰۰۰
اوج باری	۶	۳۴۹	۳۸۲	۲۰۰۰	۶۶۰۰۰	۱۶۴۲	۱۰۸۳۷۲۰۰۰
کم باری	۶	۷۸۴	۸۶۲	۲۰۰۰	۱۵۶۰۰۰	۴۱۰۵	۶۴۰۲۸۰۰۰
اوج بار جمعه	۶	۲۰	۲۵	۲۰۰۰	۱۰۰۰۰	۸۲۱	۸۲۱۰۰۰۰
راکتیو	۶	۱۶۲۴	۱۷۸۳	۲۰۰۰	۳۱۸۰۰۰	۰	۳۰۵۸۹۲۸۴

مشخصات کنتورها

شماره بدنه کنتور اکتیو	.....
شماره بدنه کنتور راکتیو	.....
ضریب کنتور	۲۰۰۰
ضریب ترانس جریان	۲۰۰۰
دوره/سال:	

از تاریخ ..... تا ..... به مدت ۳۳ روز
تاریخ صدور ..... مصرف کل ۴۸۰۰۰۰
ضریب زیان ۰.۰۷۹۶ تعداد روز یک فصل صفر
* بر اساس ضریب بندی مصرف محاسبه گردیده است.

جمع	۴۱۴۸۱۷۲۸۴
بهای قدرت	
بهای تجاوز از قدرت	
آبونمان	
انقضای اعتبار پروانه	
بهای پیک فصل	
بهای برق دوره	
عوارض برق	
مالیات بر ارزش افزوده	
بدهکار	
کسر هزار ریال	

مبلغ قابل پرداخت: ۴۹۳.۷۵۱.۰۰۰ ریال
مهلت پرداخت: .....

مشترک گرامی! لطفا جهت کمک به صنعت برق و بهبود خدمات این شرکت، صورتحساب برق مصرفی خود را تا قبل از انقضای مهلت آن به صورت غیر حضوری پرداخت نمایید.

مشترک محترم: به علت مصرف بیش از اندازه راکتیو، مشمول جریمه مبلغ راکتیو گردیده اید. لطفا جهت حذف مبلغ راکتیو نسبت به نصب یا اصلاح بانک خازنی اقدام فرمائید.

سوابق مصارف، مبالغ و پرداخت های دوره های گذشته

دوره/سال	تاریخ قرائت	میان باری	اوج باری	کم باری	اوج بار جمعه	راکتیو	مبلغ دوره	مهلت	مبلغ پرداختی
۹۸	.....	۲۱۴۰۰۰	۲۸۰۰۰	۱۰۸۰۰۰	۶۰۰۰	۲۴۸۰۰۰	۳۶۱.۲۰۷.۵۷۹	۹۸	۳۶۳.۰۴۸.۰۰۰
۹۸	.....	۱۱۰۰۰۰	۲۶۰۰۰	۸۴۰۰۰	۲۰۰۰	۱۴۸۰۰۰	۲۰۱.۹۵۲.۴۰۵	۹۸	۲۰۰.۰۲۹.۰۰۰
۹۷	.....	۲۴۶۰۰۰	۵۴۰۰۰	۱۷۶۰۰۰	۶۰۰۰	۲۲۶۰۰۰	۴۳۶.۹۴۵.۲۷۳	۹۷	۴۳۶.۹۴۶.۰۰۰
۹۷	.....	۱۹۴۰۰۰	۴۰۰۰۰	۱۳۶۰۰۰	۶۰۰۰	۲۶۶۰۰۰	۳۴۴.۴۲۰.۸۴۷	۹۷	۱.۱۲۴.۰۰۰
۹۷	.....	۶۰۰۰	۰	۴۰۰۰	۰	۴۰۰۰	۷.۲۶۱.۸۵۱	۹۷	۰
۹۷	.....	۸۴۰۰۰	۱۶۰۰۰	۵۴۰۰۰	۰	۱۱۴۰۰۰	۱۴۳.۸۲۱.۳۱۰	۹۷	۱۴۳.۸۲۹.۰۰۰

صورتحساب برق مصرفی یک شرکت ولتاژ اولیه با ۱.۵ مگاوات قدرت خریداری شده قبل از اصلاح بانک خازن

[1] در حال کار

واقعی در ادامه شرح داده‌شده است. در نظر داشته باشید که ممکن است شکل ظاهری صورتحساب در شرکت‌ها و شهرهای دیگر متفاوت باشد.

در بخش ۱ از تصویر زیر میزان قدرت خریداری شده‌ی شرکت معادل ۱۵۰۰ کیلووات یا ۱.۵ مگاوات درج‌شده است. آیتم ۲ مقدار محاسبه شده است که معادل ۹۰ درصد قدرت خریداری خواهد بود. در بخش ۳ میزان ثبت شده توسط ماکسیمتر را مشاهده می‌کنید که معادل ۰.۵۱۲ است.

این عدد در ضریب کنتور در بخش ۴ یعنی ۲۰۰۰ ضرب شده و میزان توان مصرفی را نمایش می‌دهد. در قسمت ۵ اطلاعات توان اکتیو مصرف شده به‌صورت میان باری، اوج بار، کم‌بار و اوج بار جمعه درج‌شده است.

در بخش ۶ میزان توان راکتیو را مشاهده می‌کنید که علت جریمه‌ی درج‌شده در بخش ۷ است. در بخش ۸ مشاهده می‌کنید که این شرکت دارای ضریب زیان ۰.۰۷۹۶ در این دوره بوده است.

در بخش ۹ شرح داده‌شده که نرخ توان راکتیو[۲] مصرفی بر اساس ضریب زیان محاسبه شده و دارای یک مقدار ثابت نیست. در قسمت ۱۰ هشداری از شرکت توزیع نیروی برق درج‌شده که نشان‌دهنده‌ی ضریب توان کمتر از حالت استاندارد است.

در بخش ۱۱ اطلاعات مربوط به دوره‌های قبلی شامل توان اکتیو مصرفی در بازه‌های زمانی میان باری، اوج بار، کم‌باری و جمعه به همراه توان راکتیو قرار دارد.

در بخش ۵ می‌توان اطلاعات مربوط به توان اکتیو مصرفی در بازه‌های مختلف را مشاهده کرد. این بخش دارای ستون‌های شمارنده‌ی قبلی و شمارنده‌ی کنونی بوده که مربوط به کنتورها هستند.

به‌عنوان‌مثال سطر میان باری را در نظر بگیرید. شماره کنتور در ابتدای بازه ۱۲۱۱ بوده و پس از ۳۳ روز به مقدار ۱۳۳۵ رسیده است. پس کنتور میان باری مقدار ۱۲۱۱-۱۳۳۵ را اندازه‌گیری کرده که معادل ۱۲۴ است.

ضرب عدد ۱۲۴ در ضریب کنتور یعنی ۲۰۰۰ انرژی مصرفی با عدد ۲۴۸۰۰۰ را ایجاد می‌کند. این روند در خصوص سطرهای اوج باری، کم‌باری و اوج بار جمعه نیز صادق است.

---

[۲] **کنار شماره ۷**

جمع ستون مصرف توان اکتیو در بازه‌های میان باری، اوج باری، کم‌باری و اوج بار جمعه یعنی مقادیر ۲۴۸۰۰۰+۶۶۰۰۰+۱۵۶۰۰۰+۱۰۰۰۰ معادل کل انرژی اکتیو مصرفی یعنی ۴۸۰۰۰۰ خواهد بود. این عدد[۳] را می‌توان به‌عنوان E_p در نظر گرفت.

در بخش ۶ مشاهده می‌کنید که کنتور راکتیو در ابتدای دوره عدد ۱۶۲۴ و در پایان دوره عدد ۱۷۸۳ را ثبت کرده است. اختلاف این دو عدد معادل ۱۵۹ بوده که با ضرب در عدد ۲۰۰۰ معادل ۳۱۸۰۰۰ خواهد شد.

این عدد را می‌توان به‌عنوان E_Q در نظر گرفت. با قرار دادن مقادیر E_p و E_Q در فرمول زیر میزان ضریب توان میانگین محاسبه خواهد شد:

$$Cos\varphi = Cos\left(tg^{-1}\left(\frac{E_Q}{E_P}\right)\right) = Cos\left(tg^{-1}\left(\frac{318000}{480000}\right)\right) = 0.83$$

با موجود بودن مقادیر انرژی اکتیو یا E_p و انرژی راکتیو یا E_Q مصرفی، می‌توان P.F را از یک راه دیگر نیز محاسبه کرد. در این حالت سعی شده انرژی ظاهری یا برآیند انرژی‌ها محاسبه شود:

$$E_s = \sqrt{E_P^2 + E_Q^2} = \sqrt{480000^2 + 318000^2} = 575781$$

با این کار می‌توان از رابطه‌ی $PF = \frac{E_P}{E_S}$ نیز استفاده کرد:

$$PF = \frac{480000}{575781} = 0.83$$

روش دیگر استفاده از عدد ضریب زیان است. اگر عدد ۰.۹ بر جمع ضرب زیان بعلاوه ۱ تقسیم شود حاصل P.F خواهد بود:

$$PF = \frac{0.9}{1 + \text{ضریب زیان}} = \frac{0.9}{1 + 0.0796} = \frac{0.9}{1.0796} = 0.83$$

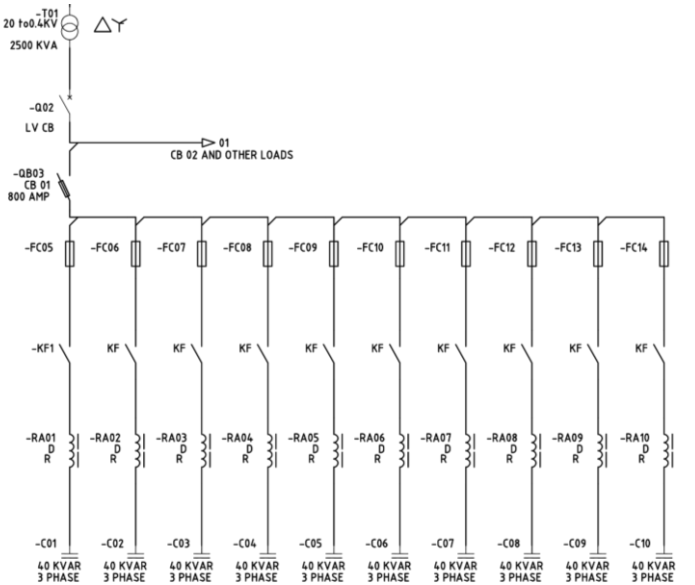
تمام روش‌های ذکر شده به عدد ۰.۸۳ می‌رسند که بیانگر میانگین ضریب توان یا $P.F$ سیستم است. همان‌طور که مشاهده می‌کنید میزان به دست آمده معادل ۰.۸۳ بوده که از ضریب توان مطلوب یا ۰.۹ تنها ۰.۰۷ کم‌تر است. این کاهش ضریب توان علت جریمه‌های مستقیم در صورتحساب بوده و باید در اسرع وقت رفع شود.

---

[۳] در بالای بخش ۸ عدد ۴۸۰۰۰۰ با عنوان مصرف کل آورده شده است.

پس از بررسی مشخص شد که شرکت فوق دارای یک بانک خازن ۷۶۰ کیلو وار بوده ولی به علت نقص فنی کاملا از مدار خارج است. توجه کنید که ظرفیت ۷۶۰ کیلو وار حدود ۳۰ درصد ظرفیت ترانس اصلی این تأسیسات با قدرت ۲۵۰۰ کاوا است.

این بانک از مجموع ۱۹ پله خازن ۴۰ کیلو وار در دو سلول جداگانه تشکیل‌شده است. در تصویر زیر دیاگرام تک‌خطی سلول اول آن با ۱۰ پله خازن را مشاهده می‌کنید. هر خازن با یک راکتور سری شده و توسط کنتاکتور خازنی به مدار سوئیچ می‌شود. بانک خازن این شرکت مستقیم در خروجی ترانس قرار گرفته و هر سلول آن با فیوزهای ذوب شونده‌ی ۸۰۰ آمپر محافظت می‌شود. حفاظت اضافه جریان هر پله نیز بر عهده‌ی فیوزهای ذوب شونده‌ی ۸۰ آمپر است. به علت وجود راکتور و ایجاد اضافه ولتاژ، خازن‌های این مجموعه به‌صورت ۴۵۰ ولت با جریان ۵۱.۳ آمپر انتخاب شده بودند.



سلول اول با ۱۰ پله خازن ۴۰ کیلو وار به همراه راکتورهای سری

رفع اشکال این بانک خازن با تغییر در پلاریته‌ی ترانس جریان، تنظیم رگولاتور و برخی ایرادهای موجود در پلاتین‌های کمکی و سنسور حرارتی راکتورها انجام شد. پس از این اقدامات بانک خازن به‌صورت خودکار وارد مدار شده و باعث کاهش هزینه‌های راکتیو در صورتحساب‌های بعدی شد. تاثیر بانک خازن را می‌توانید در تصویر بعد مشاهده کنید.

در بخش ۱ هیچ مبلغی به‌عنوان جریمه‌ی راکتیو ثبت‌نشده است. این حالت در بخش ۲ با ضریب زیان صفر نیز قابل مشاهده است. ازآنجایی‌که اصلاح بانک خازن در اواسط ماه انجام شد، در دوره‌ی مشخص‌شده با عدد ۴ میزان ضریب توان کمی ارتقاء پیدا کرده و در دوره‌ی بعد از میزان ۰.۹ فراتر رفت.

قدرت (کیلو وات)

قراردادی	۱۵۰۰	محاسبه شده	۱۳۵۰
پروانه مجاز		کاهش یافته	
مصرفی	۱۰۵۲	میزان تجاوز از قدرت	۰
عدد ماکسیمتر	۰۵۲۶	تاریخ اتمام کاهش موقت	

شرح مصرف	رقم	شمارنده قبلی	شمارنده کنونی	ضریب	مصرف	نرخ	مبلغ (ریال)
میان باری	۶	۱۳۹۲	۱۴۲۸	۲۰۰۰	۹۲۰۰۰	۸۲۱	۷۵۵۳۲۰۰۰
اوج باری	۶	۴۱۵	۴۴۳	۲۰۰۰	۵۶۰۰۰	۱۶۴۳	۹۱۹۵۲۰۰۰
کم باری	۶	۹۱۹	۹۶۵	۲۰۰۰	۹۲۰۰۰	۴۱۰۵	۳۷۷۶۶۰۰۰
اوج بار جمعه	۶	۳۰	۳۳	۲۰۰۰	۶۰۰۰	۸۲۱	۴۹۲۶۰۰۰
راکتیو	۶	۱۸۷۶	۱۹۲۶	۲۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	۰	۰

مشخصات کنتورها

شماره بدنه کنتور اکتیو	.....
شماره بدنه کنتور راکتیو	.....
ضریب کنتور	۲۰۰۰
ضریب ترانس جریان	۲۰۰۰
دوره/سال:	

از تاریخ ..... تا ..... به مدت ۳۰ روز
تاریخ صدور ..... مصرف کل ۲۴۶۰۰۰
ضریب زیان ۰ تعداد ۰ بر پیک فصل صفر
* بر اساس ضریب بدی مصرف محاسبه گردیده است.

جمع	۲۱۰۱۷۶۰۰۰
بهای قدرت	
بهای تجاوز از قدرت	
آبونمان	
انقضای اعتبار پروانه	
بهای پیک فصل	
بهای برق دوره	
عوارض برق	
مالیات بر ارزش افزوده	
بدهکار	
کسر هزار ریال	

مبلغ قابل پرداخت: ۳۰.۲۶۲.۴۹۳ ریال
مهلت پرداخت: .....

مشترک گرامی! لطفا جهت کمک به صنعت برق و بهبود خدمات این شرکت، صورتحساب برق مصرفی خود را تا قبل از انقضای مهلت آن به صورت غیر حضوری پرداخت نمایید.

مشترک محترم: به علت مصرف بیش از اندازه راکتیو، مشمول جریمه مبلغ راکتیو گردیده اید. لطفا جهت حذف مبلغ راکتیو نسبت به نصب یا اصلاح بانک خازنی اقدام فرمائید.

سوابق مصارف، مبالغ و پرداخت های دوره های گذشته

دوره/سال	تاریخ قرائت	میان باری	اوج باری	کم باری	اوج بار جمعه	راکتیو	مبلغ دوره	مهلت	مبلغ پرداختی
۹۸	-------	۱۱۴۰۰۰	۶۶۰۰۰	۱۱۴۰۰۰	۱۰۰۰۰	۱۸۶۰۰۰	۲۴۵.۹۷۸.۸۸۴	۹۸	۲۴۵.۹۷۹.۵۰۷
۹۸	-------	۲۴۸۰۰۰	۶۶۰۰۰	۱۵۶۰۰۰	۱۰۰۰۰	۳۱۸۰۰۰	۴۹۳.۷۵۱.۲۶۹	۹۸	۴۹۳.۷۵۱.۰۰۰
۹۸	-------	۲۱۴۰۰۰	۳۸۰۰۰	۱۰۸۰۰۰	۶۰۰۰	۲۴۸۰۰۰	۳۶۱.۲۰۷.۵۷۹	۹۸	۳۶۳.۰۴۸.۰۰۰
۹۸	-------	۱۱۰۰۰۰	۲۶۰۰۰	۸۴۰۰۰	۲۰۰۰	۱۴۸۰۰۰	۲۰۱.۹۵۲.۴۰۵	۹۸	۲۰۰.۰۲۹.۰۰۰
۹۷	-------	۲۴۶۰۰۰	۵۴۰۰۰	۱۷۶۰۰۰	۶۰۰۰	۲۲۶۰۰۰	۳۲۶.۹۴۵.۳۷۳	۹۷	۴۲۶.۹۴۶.۰۰۰
۹۷	-------	۱۹۴۰۰۰	۴۰۰۰۰	۱۳۶۰۰۰	۶۰۰۰	۲۶۶۰۰۰	۳۴۴.۴۲۰.۸۴۷	۹۷	۱.۱۲۴.۰۰۰

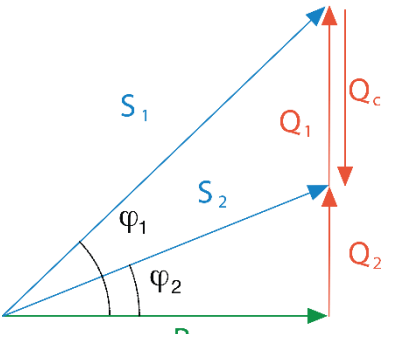
صورتحساب برق مصرفی پس از اصلاح بانک خازن

به‌منظور مشاهده‌ی ارتقاء ضریب توان، در ادامه $P.F$ دوره‌های بخش ۴ و ۲ را محاسبه می‌کنیم. میزان انرژی اکتیو درج‌شده در این بخش‌ها حاصل جمع میان باری، اوج باری، کم‌باری و اوج بار است. در بخش ۴ به مجموع انرژی اکتیو ۳۰۴۰۰۰ و انرژی راکتیو ۱۸۶۰۰۰ است. این مقادیر برای بخش ۲ معادل ۲۴۶۰۰۰ انرژی اکتیو و ۱۰۰۰۰۰ انرژی راکتیو است.

$$\text{بخش چهار } Cos\varphi = Cos\left(tg^{-1}\left(\frac{E_Q}{E_P}\right)\right) = Cos\left(tg^{-1}\left(\frac{186000}{304000}\right)\right) = 0.85$$

$$\text{بخش دو } Cos\varphi = Cos\left(tg^{-1}\left(\frac{E_Q}{E_P}\right)\right) = Cos\left(tg^{-1}\left(\frac{100000}{246000}\right)\right) = 0.92$$

۱/۲. جبران سازی مرکزی توان راکتیو



جبران سازی یا ارتقاء ضریب توان

در طراحی سیستم‌های جبران سازی دو اختلاف‌فاز یا ضریب توان وجود دارد. مورد اول مربوط به شرایط کنونی سیستم بوده و مورد دوم مقدار هدف یا مقدار مورد نظر ما پس از جبران سازی است.

به‌عنوان‌مثال به تصویر مقابل توجه کنید. در این تصویر $\varphi 1$ مقدار اختلاف‌فاز اولیه‌ی سیستم بوده و ما قصد داریم آن را به $\varphi 2$ یا مقدار هدف برسانیم. برای رسیدن به $\varphi 2$ به مقدار Qc خازن نیاز است.

با داشتن این دو زاویه می‌توان Qc یا خازن موردنیاز را از فرمول زیر به دست آورد:

$$Q_c = \left(tg_{\varphi 1} - tg_{\varphi 2}\right) \times P$$

در بخش‌های قبلی نحوه‌ی به دست آوردن ضریب توان یا P.F یک سیستم با روش‌های مختلف شرح داده شد. با داشتن این مقدار و به محاسبه‌ی Cos^{-1} آن می‌توان زاویه‌ی اختلاف‌فاز یا φ را به دست آورد. در مرحله‌ی بعد باید φ هدف مشخص شود. به‌عنوان‌مثال φ ضریب توان مجاز یا ۰.۹ برابر با $Cos^{-1}0.9 = 25.8°$ است. برای درک این روش به مثال زیر توجه کنید:

یک شرکت در حال مصرف ۱۰۲۴ کیلووات با ضریب توان ۰.۸۳ است. برای رسیدن ضریب توان این شرکت به ۰.۹ چه مقدار خازن باید به شبکه تزریق شود؟

برای مشخص کردن زاویه‌ها باید از Cos^{-1} استفاده کنیم. با این کار زاویه‌ی اول ۳۳.۹ و زاویه‌ی هدف ۲۵.۸ درجه خواهند بود. با قرار دادن این زاویه‌ها در فرمول زیر میزان توان راکتیو برابر است با:

$$\varphi 1 = Cos^{-1}0.83 = 33.9°$$
$$\varphi 2 = Cos^{-1}0.9 = 25.8°$$
$$P = 1024\ kW$$
$$Q_c = \left(tg_{\varphi 1} - tg_{\varphi 2}\right) \times P = (tg\ 33.9 - tg25.8) \times 1024 = 193kVAR$$

جهت ساده‌سازی محاسبات می‌توان تانژانت‌ها را از فرمول بالا حذف کرده و بجای آن از ضریب k استفاده کرد. با این کار فرمول محاسبه‌ی میزان توان راکتیو موردنیاز به شکل زیر خلاصه می‌شود. قابل‌ذکر است که مقدار K از طریق جدول آورده شده در صفحه‌های بعدی یا نوموگراف انتخاب می‌شود.

معادله ۳ $Q_c = (tg_{\varphi 1} - tg_{\varphi 2}) \times P \rightarrow Q_c = k \times P$

بانک خازن اتوماتیک سیرکاتور

cosφ اولیه	cosφ هدف														
	۰.۶۰	۰.۶۱	۰.۶۲	۰.۶۳	۰.۶۴	۰.۶۵	۰.۶۶	۰.۶۷	۰.۶۸	۰.۶۹	۰.۷۰	۰.۷۱	۰.۷۲	۰.۷۳	۰.۷۴
۰.۸۰	۰.۵۸۳	۰.۵۴۹	۰.۵۱۵	۰.۴۸۳	۰.۴۵۱	۰.۴۱۹	۰.۳۸۸	۰.۳۵۸	۰.۳۲۸	۰.۲۹۹	۰.۲۷۰	۰.۲۴۲	۰.۲۱۴	۰.۱۸۶	۰.۱۵۹
۰.۸۵	۰.۷۱۴	۰.۶۷۹	۰.۶۴۶	۰.۶۱۳	۰.۵۸۱	۰.۵۴۹	۰.۵۱۹	۰.۴۸۸	۰.۴۵۹	۰.۴۲۹	۰.۴۰۰	۰.۳۷۲	۰.۳۴۴	۰.۳۱۶	۰.۲۸۹
۰.۹۰	۰.۸۴۹	۰.۸۱۵	۰.۷۸۱	۰.۷۴۸	۰.۷۱۶	۰.۶۸۵	۰.۶۵۴	۰.۶۲۴	۰.۵۹۴	۰.۵۶۵	۰.۵۳۶	۰.۵۰۸	۰.۴۸۰	۰.۴۵۲	۰.۴۲۵
۰.۹۱	۰.۸۷۸	۰.۸۴۳	۰.۸۱۰	۰.۷۷۷	۰.۷۴۵	۰.۷۱۴	۰.۶۸۳	۰.۶۵۲	۰.۶۲۳	۰.۵۹۳	۰.۵۶۵	۰.۵۳۶	۰.۵۰۸	۰.۴۸۱	۰.۴۵۳
۰.۹۲	۰.۹۰۷	۰.۸۷۳	۰.۸۳۹	۰.۸۰۷	۰.۷۷۵	۰.۷۴۳	۰.۷۱۲	۰.۶۸۲	۰.۶۵۲	۰.۶۲۳	۰.۵۹۴	۰.۵۶۶	۰.۵۳۸	۰.۵۱۰	۰.۴۸۳
۰.۹۳	۰.۹۳۸	۰.۹۰۴	۰.۸۷۰	۰.۸۳۷	۰.۸۰۵	۰.۷۷۴	۰.۷۴۳	۰.۷۱۳	۰.۶۸۳	۰.۶۵۴	۰.۶۲۵	۰.۵۹۷	۰.۵۶۹	۰.۵۴۱	۰.۵۱۴
۰.۹۴	۰.۹۷۰	۰.۹۳۹	۰.۹۰۳	۰.۸۷۰	۰.۸۳۸	۰.۸۰۶	۰.۷۷۵	۰.۷۴۵	۰.۷۱۵	۰.۶۸۶	۰.۶۵۷	۰.۶۲۹	۰.۶۰۱	۰.۵۷۳	۰.۵۴۶
۰.۹۵	۱.۰۰۵	۰.۹۷۰	۰.۹۳۷	۰.۹۰۴	۰.۸۷۲	۰.۸۴۰	۰.۸۱۰	۰.۷۷۹	۰.۷۵۰	۰.۷۲۰	۰.۶۹۲	۰.۶۶۳	۰.۶۳۵	۰.۶۰۸	۰.۵۸۰
۰.۹۶	۱.۰۴۲	۱.۰۰۷	۰.۹۷۴	۰.۹۴۱	۰.۹۰۹	۰.۸۷۷	۰.۸۴۷	۰.۸۱۶	۰.۷۸۷	۰.۷۵۷	۰.۷۲۹	۰.۷۰۰	۰.۶۷۲	۰.۶۴۵	۰.۶۱۷
۰.۹۷	۱.۰۸۳	۱.۰۴۸	۱.۰۱۵	۰.۹۸۲	۰.۹۵۰	۰.۹۱۹	۰.۸۸۸	۰.۸۵۷	۰.۸۲۸	۰.۷۹۸	۰.۷۷۰	۰.۷۴۱	۰.۷۱۳	۰.۶۸۶	۰.۶۵۸
۰.۹۸	۱.۱۳۰	۱.۰۹۶	۱.۰۶۲	۱.۰۳۰	۰.۹۹۸	۰.۹۶۶	۰.۹۳۵	۰.۹۰۵	۰.۸۷۵	۰.۸۴۶	۰.۸۱۷	۰.۷۸۹	۰.۷۶۱	۰.۷۳۳	۰.۷۰۶
۰.۹۹	۱.۱۹۱	۱.۱۵۷	۱.۱۲۳	۱.۰۹۰	۱.۰۵۸	۱.۰۲۷	۰.۹۹۶	۰.۹۶۶	۰.۹۳۶	۰.۹۰۷	۰.۸۷۸	۰.۸۴۹	۰.۸۲۱	۰.۷۹۴	۰.۷۶۶
۱	۱.۳۳۳	۱.۲۹۹	۱.۲۶۵	۱.۲۳۳	۱.۲۰۱	۱.۱۶۹	۱.۱۳۸	۱.۱۰۸	۱.۰۷۸	۱.۰۴۹	۱.۰۲۰	۰.۹۹۲	۰.۹۶۴	۰.۹۳۶	۰.۹۰۹

ضریب K جهت رسیدن از ضریب توان فعلی به ضریب توان هدف

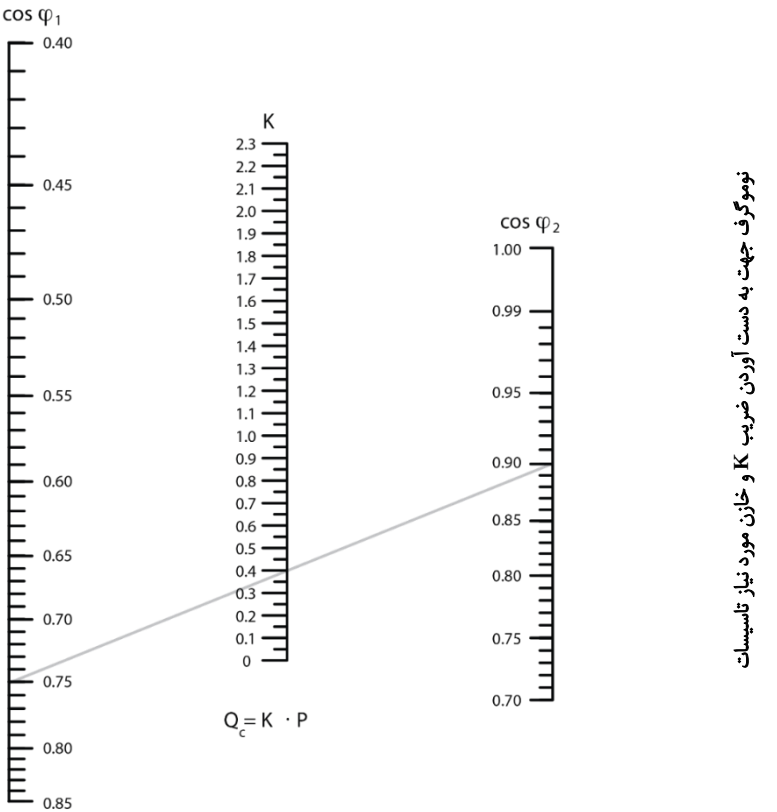
۰.۷۵	۰.۱۳۲	۰.۲۶۲	۰.۳۹۸	۰.۴۲۶	۰.۴۵۶	۰.۴۸۷	۰.۵۱۹	۰.۵۵۳	۰.۵۹۰	۰.۶۳۱	۰.۶۷۹	۰.۷۳۹	۰.۸۸۲
۰.۷۶	۰.۱۰۵	۰.۲۳۵	۰.۳۷۱	۰.۴۰۰	۰.۴۲۹	۰.۴۶۰	۰.۴۹۲	۰.۵۲۶	۰.۵۶۳	۰.۶۰۵	۰.۶۵۲	۰.۷۱۳	۰.۸۵۵
۰.۷۷	۰.۰۷۹	۰.۲۰۹	۰.۳۴۴	۰.۳۷۳	۰.۴۰۳	۰.۴۳۳	۰.۴۶۶	۰.۵۰۰	۰.۵۳۷	۰.۵۷۸	۰.۶۲۶	۰.۶۸۶	۰.۸۲۹
۰.۷۸	۰.۰۵۲	۰.۱۸۳	۰.۳۱۸	۰.۳۴۷	۰.۳۷۶	۰.۴۰۷	۰.۴۳۹	۰.۴۷۴	۰.۵۱۱	۰.۵۵۲	۰.۵۹۹	۰.۶۶۰	۰.۸۰۲
۰.۷۹	۰.۰۲۶	۰.۱۵۶	۰.۲۹۲	۰.۳۲۰	۰.۳۵۰	۰.۳۸۱	۰.۴۱۳	۰.۴۴۷	۰.۴۸۴	۰.۵۲۵	۰.۵۷۳	۰.۶۳۴	۰.۷۷۶
۰.۸۰	—	۰.۱۳۰	۰.۲۶۶	۰.۲۹۴	۰.۳۲۴	۰.۳۵۵	۰.۳۸۷	۰.۴۲۱	۰.۴۵۸	۰.۴۹۹	۰.۵۴۷	۰.۶۰۸	۰.۷۵۰
۰.۸۱	—	۰.۱۰۴	۰.۲۴۰	۰.۲۶۸	۰.۲۹۸	۰.۳۲۹	۰.۳۶۱	۰.۳۹۵	۰.۴۳۲	۰.۴۷۳	۰.۵۲۱	۰.۵۸۱	۰.۷۲۴
۰.۸۲	—	۰.۰۷۸	۰.۲۱۴	۰.۲۴۲	۰.۲۷۲	۰.۳۰۳	۰.۳۳۵	۰.۳۶۹	۰.۴۰۶	۰.۴۴۷	۰.۴۹۵	۰.۵۵۶	۰.۶۹۸
۰.۸۳	۰.۰۵۲	۰.۰۵۲	۰.۱۸۸	۰.۲۱۶	۰.۲۴۶	۰.۲۷۷	۰.۳۰۹	۰.۳۴۳	۰.۳۸۰	۰.۴۲۱	۰.۴۶۹	۰.۵۳۰	۰.۶۷۲
۰.۸۴	—	۰.۰۲۶	۰.۱۶۲	۰.۱۹۰	۰.۲۲۰	۰.۲۵۱	۰.۲۸۳	۰.۳۱۷	۰.۳۵۴	۰.۳۹۵	۰.۴۴۳	۰.۵۰۳	۰.۶۴۶
۰.۸۶	—	—	۰.۱۳۵	۰.۱۶۴	۰.۱۹۴	۰.۲۲۵	۰.۲۵۷	۰.۲۹۱	۰.۳۲۸	۰.۳۶۹	۰.۴۱۷	۰.۴۷۷	۰.۶۲۰
۰.۸۷	—	—	۰.۱۰۹	۰.۱۳۸	۰.۱۶۷	۰.۱۹۸	۰.۲۳۰	۰.۲۶۵	۰.۳۰۲	۰.۳۴۳	۰.۳۹۰	۰.۴۵۱	۰.۵۹۳
۰.۸۸	—	—	۰.۰۸۲	۰.۱۱۱	۰.۱۴۱	۰.۱۷۳	۰.۲۰۴	۰.۲۳۸	۰.۲۷۵	۰.۳۱۶	۰.۳۶۴	۰.۴۲۴	۰.۵۶۷
۰.۸۹	—	—	۰.۰۵۵	۰.۰۸۴	۰.۱۱۴	۰.۱۴۵	۰.۱۷۷	۰.۲۱۱	۰.۲۴۸	۰.۲۸۹	۰.۳۳۷	۰.۳۹۷	۰.۵۴۰
۰.۹۰	—	—	۰.۰۲۸	۰.۰۵۷	۰.۰۸۶	۰.۱۱۷	۰.۱۴۹	۰.۱۸۴	۰.۲۲۱	۰.۲۶۲	۰.۳۰۹	۰.۳۷۰	۰.۵۱۲
	—	—	—	۰.۰۲۹	۰.۰۵۸	۰.۰۸۹	۰.۱۲۱	۰.۱۵۶	۰.۱۹۳	۰.۲۳۴	۰.۲۸۱	۰.۳۴۲	۰.۴۸۴

ادامه‌ی ضریب K جهت رسیدن از ضریب توان فعلی به ضریب توان هدف

طبق این جدول مقدار K برای رسیدن از ضریب توان ۰.۸۳ به ۰.۹ معادل ۰.۱۸۸ است. با استفاده از ضریب k محاسبه‌ی میزان توان راکتیو بسیار ساده می‌شود. به‌عنوان‌مثال همان شرکت قبلی با توان اکتیو ۱۰۲۴ کیلووات و ضریب توان ۰.۸۳ را در نظر بگیرید. برای ارتقاء ضریب توان این شرکت به ۰.۹ مقدار K برابر با ۰.۱۸۸ است. به‌این‌ترتیب مقدار توان راکتیو این مجموعه برابر است با:

$$Q_c = k \times P = 1024kw \times 0.188 = 192\ kVAR$$

روش دیگر به دست آوردن ضریب K استفاده از نوموگراف زیر است. در نوموگراف ضریب توان فعلی سیستم در سمت چپ و ضریب توان هدف در سمت راست قرار دارد.
برای استفاده از نوموگراف کافی است خطی از ضریب توان فعلی به ضریب توان هدف ترسیم شود. این خط محور K را قطع کرده و ضریب آن را مشخص می‌کند.



مثال یک

خازن موردنیاز یک تأسیسات با ۳۰۰ کیلووات توان اکتیو مصرفی جهت ارتقاء ضریب توان از ۰.۷۵ به ۰.۹ را محاسبه کنید.

با ترسیم خط از مقدار ۰.۷۵ به ۰.۹ در نوموگراف مقدار K حدود ۴ خواهد بود. به‌این‌ترتیب Qc برابر است با:

$$Q_C = K \times P = 0.4 \times 300 = 120\ kvar$$

مثال دو

یک شرکت در حال مصرف توان ظاهری ۱۵۰۰ کیلوولت‌آمپر و توان اکتیو ۱۲۰۰ کیلووات در شبکه ۴۰۰ ولت است. چه مقدار خازن برای ارتقاء ضریب توان این شرکت به ۰.۹ و ۱ نیاز است؟ جریان در ضریب توان‌های ۰.۸ و ۰.۹ و ۱ چقدر خواهد بود؟

ضریب توان فعلی سیستم برابر است با:

$$P.F = \frac{P}{S} = \frac{1200}{1500} = 0.8$$

مقدار K جهت ارتقاء توان از ۰.۸ به ۰.۹ از جدول و نوموگراف قابل مشاهده است.

به‌این‌ترتیب میزان خازن برابر است با:

$$k_{P.F\ 0.8\ to\ 0.9} = 0.266 \qquad Q_C = k \times P = 0.266 \times 1200 = 319.2\ kVAR$$

جهت ارتقاء ضریب توان از ۰.۸ به ۱ نیز می‌توان از ضریب k استفاده کرد. همان‌طور که مشاهده می‌کنید مقدار خازن در این حالت برابر است با:

$$k_{P.F\ 0.8\ to\ 1} = 0.750 \qquad Q_C = k \times P = 0.750 \times 1200 = 900\ kVAR$$

با ثابت بودن توان اکتیو، جریان در ضریب توان‌های مختلف برابر است با:

$$P = \sqrt{3} \times 400 \times I \times Cos\varphi \rightarrow I = \frac{P}{\sqrt{3} \times U \times Cos\varphi}$$

$$I_{P.F\ 0.8} = \frac{1200 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 400 \times 0.8} = 2165\ A$$

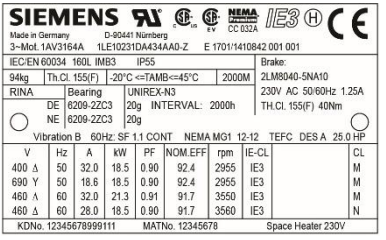
$$I_{P.F\ 0.9} = \frac{1200 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 400 \times 0.9} = 1924\ A$$

$$I_{P.F\ 1} = \frac{1200 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 400 \times 1} = 1732\ A$$

۱/۳. اصلاح ضریب توان انفرادی الکتروموتور

به‌منظور جبران سازی توان راکتیو الکتروموتورها می‌توان از روش انفرادی استفاده کرد. در این حالت خازن بر اساس توان راکتیو الکتروموتور محاسبه شده و به مدار آن اضافه می‌شود. نحوه‌ی اتصال خازن به مدار الکتروموتور در فصل ۳ شرح داده شد.

به‌منظور محاسبه‌ی توان راکتیو موردنیاز می‌توان از اطلاعات روی پلاک الکتروموتورها استفاده کرد. به‌عنوان‌مثال به تصویر مقابل توجه کنید.


SIEMENS
Made in Germany D-90441 Nürnberg
3~Mot. 1AV3164A 1LE10231DA434AA0-Z E 1701/1410842 001 001
IEC/EN 60034 160L IMB3 IP55 Brake:
94kg Th.Cl. 155(F) -20°C <=TAMB<=45°C 2000M 2LM8040-5NA10
RINA Bearing UNIREX-N3 230V AC 50/60Hz 1.25A
DE 6209-2ZC3 20g INTERVAL: 2000h TH.Cl. 155(F) 40Nm
NE 6209-2ZC3 20g
Vibration B 60Hz: SF 1.1 CONT NEMA MG1 12-12 TEFC DES A 25.0 HP

V	Hz	A	kW	PF	NOM.EFF	rpm	IE-CL		CL
400 Δ	50	32.0	18.5	0.90	92.4	2955	IE3		M
690 Y	50	18.6	18.5	0.90	92.4	2955	IE3		M
460 Λ	60	32.0	21.3	0.91	91.7	3550	IE3		M
460 Δ	60	28.0	18.5	0.90	91.7	3560	IE3		N

KDNo. 1234567899111 MATNo. 12345678 Space Heater 230V

پلاک الکتروموتور ۱۸.۵ کیلو وات در ۴۰۰ ولت با اتصال مثلث

در این پلاک قید شده که الکتروموتور در ولتاژ ۴۰۰ ولت معادل ۱۸.۵ کیلووات توان اکتیو با ضریب توان ۰.۹ خواهد داشت.

همان‌طور که می‌دانیم این توان به‌صورت مکانیکی به بار تحویل شده و میزان دریافتی از شبکه نیست.

درواقع توان دریافتی از شبکه تحت تاثیر راندمان نیز خواهد بود. برای درک بهتر این موضوع به میزان جریان الکتروموتور در ولتاژ ۴۰۰ ولت با اتصال مثلث دقت کنید. این مقدار برابر با ۳۲ آمپر است اما طبق فرمول جریان مقدار آن ۲۹.۶۶ به دست می‌آید:

$$P = \sqrt{3} \times U \times I \times Cos\varphi \rightarrow I = \frac{P}{\sqrt{3} \times U \times Cos\varphi} = \frac{18500}{\sqrt{3} \times 400 \times 0.90} = 29.66\ A$$

اختلاف جریان محاسبه شده و میزان درج‌شده روی پلاک حدود ۲.۳۴ آمپر بوده و به علت راندمان ۹۲.۴ درصدی الکتروموتور است. اگر این مقدار در فرمول بالا قرار داده شود میزان جریان الکتروموتور برابر خواهد بود با:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times U \times Cos\varphi \times \eta} \qquad I = \frac{18500}{\sqrt{3} \times 400 \times 0.90 \times 0.924} = 32\ A$$

جریان دریافتی الکتروموتور علاوه بر راندمان به میزان بار آن نیز بستگی دارد. همان‌طور که می‌دانیم هرچقدر بار الکتروموتور کمتر شود مقدار مؤلفه‌ی راکتیو جریان آن بیشتر خواهد شد. قابل‌ذکر است که کاهش بار مکانیکی روی درصد راندمان الکتروموتور نیز تاثیر گذار بوده و آن را کاهش می‌دهد.

با تغییر بار الکتروموتور القایی میزان راندمان و مؤلفه‌ی راکتیو جریان آن نیز تغییر می‌کند. با توجه به این شرایط نمی‌توان خازن جبران سازی توان راکتیو الکتروموتورها را با دقت بالا محاسبه کرد.

به‌منظور بررسی تغییرات راندمان و توان راکتیو دریافتی یک الکتروموتور ۱۱ کیلووات ۶ پل از برند ABB را در نظر بگیرید. این الکتروموتور طبق جدول زیر دارای ضریب توان ۰.۷۷ بوده و طبق گراف راندمان‌ها دارای بازده ۸۶ درصد است. در نظر داشته باشید که این اطلاعات مربوط به بار کامل الکتروموتور بوده و با کاهش آن تغییر خواهند کرد.

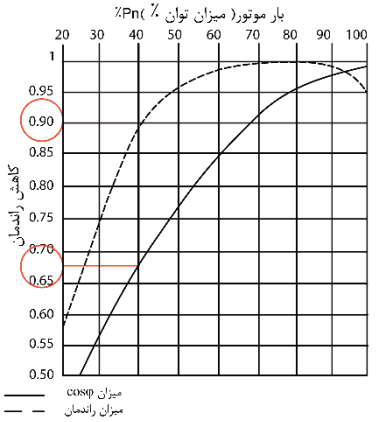
میزان توان		$\cos\varphi_n$ بر اساس تعداد قطب ها			
KW	HP	۲	۴	۶	۸
۱.۱	۱.۵	۰.۸۵	۰.۷۹	۰.۷۵	۰.۷۵
۱.۵	۲	۰.۸۵	۰.۷۹	۰.۷۵	۰.۷۵
۲.۲	۳	۰.۸۵	۰.۷۹	۰.۷۵	۰.۷۵
۳	۴	۰.۸۶	۰.۸۰	۰.۷۵	۰.۷۵
۴	۵.۵	۰.۸۶	۰.۸۲	۰.۷۶	۰.۷۶
۵.۵	۷.۵	۰.۸۷	۰.۸۵	۰.۷۶	۰.۷۶
۷.۵	۱۰	۰.۸۸	۰.۸۵	۰.۷۶	۰.۷۶
۱۱	۱۵	۰.۸۸	۰.۸۵	۰.۷۷	۰.۸۰
۱۵	۲۰	۰.۸۸	۰.۸۵	۰.۸۰	۰.۸۰
۱۸.۵	۲۵	۰.۸۸	۰.۸۵	۰.۸۲	۰.۸۱
۲۲	۳۰	۰.۸۸	۰.۸۵	۰.۸۳	۰.۸۲
۳۰	۴۰	۰.۸۸	۰.۸۶	۰.۸۴	۰.۸۳
۴۵	۶۰	۰.۸۹	۰.۸۷	۰.۸۶	۰.۸۴
۵۵	۷۵	۰.۸۹	۰.۸۸	۰.۸۷	۰.۸۵
۷۵	۱۰۰	۰.۸۹	۰.۸۸	۰.۸۸	۰.۸۶
۹۰	۱۲۵	۰.۸۹	۰.۸۸	۰.۸۸	۰.۸۶

ضریب توان الکتروموتورهای ABB از ۱.۱ تا ۹۰ کیلووات از ۲ تا ۸ قطب

در تصویر مقابل گراف تغییرات راندمان η و ضریب توان $Cos\varphi$ با توجه به بار الکتروموتور $Pn\%$ را مشاهده می‌کنید.

در این تصویر خط‌چین نشان‌دهنده‌ی تغییرات راندمان و خط نشان‌دهنده‌ی تغییرات ضریب توان الکتروموتور با توجه به درصد بارگیری هستند.

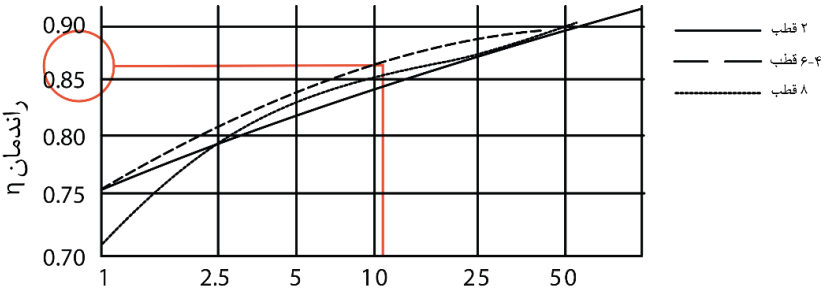
طبق این گراف در صورت کاهش بار الکتروموتور به ۴۰ درصد مقدار نامی، ضریب توان و راندمان آن به ترتیب ۰.۶۷ و ۰.۹ مقادیر نامی خواهد بود.



گراف تغییرات ضریب توان و راندمان الکتروموتور با توجه به درصد بارگیری

توجه داشته باشید که در این حالت مقادیر درج‌شده روی پلاک باید دوباره محاسبه شوند:

$$Cos_{\varphi} = Cos\varphi_n \times 0.67 = 0.77 \times 0.67 = 0.52$$
$$\eta = \eta_n \times 0.9 = 0.86 \times 0.9 = 0.77$$



گراف راندمان الکتروموتورها بر اساس توان و تعداد قطب

مقادیر جدید راندمان و ضریب توان در به دست آوردن خازن بسیار اهمیت دارند. تصور کنید قصد داریم ضریب توان این الکتروموتور را در ۴۰ درصد بار نامی به ۰.۹ برسانیم. در این حالت مقدار خازن چگونه محاسبه خواهد شد؟

به‌صورت کلی می‌توان از فرمول زیر برای ارتقاء ضریب توان از ۰.۵۲ به ۰.۹ استفاده کرد. طبق نوموگراف مقدار K در این حالت برابر با ۱.۱۵ خواهد بود.

$$Q_C = K \times P$$

در این فرمول به مقدار توان اکتیو الکتروموتور هم نیاز است. آیا این مقدار از تقسیم ۱۱ کیلووات بر ۴۰ درصد به دست خواهد آمد؟ این کار با توجه به کاهش راندمان از ۸۶ درصد به ۷۷ درصد صحیح نخواهد بود. توان الکتروموتور در ۴۰ درصد بار نامی برابر است با:

$$P_{40\%} = \frac{0.4 \times P_n}{\eta} = \frac{0.4 \times 11}{0.77} = 5.68\ kW$$

با به دست آمدن ضریب K و توان اکتیو می‌توان میزان خازن را محاسبه کرد. این الکتروموتور در ۴۰ درصد بار نامی به ۶.۵ کیلو وار خازن نیاز دارد تا ضریب توان آن از ۰.۵۲ به ۰.۹ برسد:

$$Q_C = K \times P = 1.15 \times 5.68 = 6.53\ kVAR$$

قانون اصلی در جبران سازی توان راکتیو الکتروموتور این است که Q_c نباید بیشتر از ۹۰ درصد توان راکتیو دریافتی موتور در بی‌باری یا Q_0 با ولتاژ U_n باشد.

به‌صورت کلی میزان توان راکتیو تزریقی به مدار الکتروموتور نباید بیشتر از ۹۰ درصد توان راکتیو موردنیاز آن در بی‌باری باشد. این توصیه جهت کاهش هزینه‌ها و جلوگیری از خازنی شدن شبکه در بارهای مختلف است. نکته‌ی مثبت دیگر این قانون، کاهش اضافه ولتاژ ناشی از ژنراتوری شدن الکتروموتور هنگام قطع تغذیه است.

طبق استاندارد IEC 60831-1 الکتروموتور ممکن است پس از قطع تغذیه و با توجه به اینرسی به چرخش خود ادامه داده و ولتاژی بیشتر از ولتاژ شبکه ایجاد کند. برای رعایت قانون فوق می‌توان جریان بی‌باری الکتروموتور را اندازه‌گیری کرده و در فرمول توان قرار داد. همان‌طور که در بخش‌های قبلی شرح داده شد جریان بی‌باری الکتروموتور تنها صرف توان راکتیو شده و می‌توان از بخش اکتیو آن صرف‌نظر کرد. جریان بی‌باری در فرمول زیر با I_0 نمایش داده‌شده است:

$$Q_C = 0.9 \times Q_0 \qquad Q_C = 0.9 \times \sqrt{3} \times U_n \times I_0\ [var]$$

به‌منظور ساده‌سازی این پروسه می‌توان از جداول ارائه شده توسط شرکت‌های سازنده استفاده کرد. به‌عنوان‌مثال در ادامه جداول شرکت ABB جهت انتخاب خازن با توجه به توان و تعداد قطب‌های الکتروموتور آورده شده است. در این جداول میزان PF و جریان قبل و بعد از جبران سازی نیز آورده شده است.

بعد از PFC		قبل از PFC		Q_C [Kvar]	P_n [KW]
I_2[A]	$\cos\varphi_2$	I_n[A]	$\cos\varphi_r$		
400 V / 50 Hz / 2 Poles / 3000 r/min					
۱۲.۷	۰.۹۸	۱۳.۹	۰.۸۹	۲.۵	**۷.۵**
۱۸.۶	۰.۹۵	۲۰	۰.۸۸	۲.۵	**۱۱**
۲۴.۲	۰.۹۸	۲۶.۵	۰.۹	۵	**۱۵**
۲۹.۷	۰.۹۸	۳۲	۰.۹۱	۵	**۱۸.۵**
۳۵.۸	۰.۹۶	۳۸.۵	۰.۸۹	۵	**۲۲**
۴۷.۹	۰.۹۷	۵۳	۰.۸۸	۱۰	**۳۰**
۵۸.۸	۰.۹۷	۶۴	۰.۸۹	۱۰	**۳۷**
۷۲.۲	۰.۹۶	۷۹	۰.۸۸	۱۲.۵	**۴۵**
۸۷.۳	۰.۹۷	۹۵	۰.۸۹	۱۵	**۵۵**
۱۲۲.۲	۰.۹۴	۱۳۱	۰.۸۸	۱۵	**۷۵**
۱۴۳.۹	۰.۹۵	۱۵۲	۰.۹	۱۵	**۹۰**
۱۸۱.۰	۰.۹۲	۱۹۴	۰.۸۶	۲۰	**۱۱۰**
۲۱۰.۹	۰.۹۵	۲۲۸	۰.۸۸	۳۰	**۱۳۲**
۲۵۲.۲	۰.۹۵	۲۶۹	۰.۸۹	۳۰	**۱۶۰**
۳۱۷.۵	۰.۹۵	۳۳۴	۰.۹	۳۰	**۲۰۰**
۳۹۱.۰	۰.۹۶	۴۱۰	۰.۹۲	۴۰	**۲۵۰**
۴۸۶.۳	۰.۹۶	۵۱۰	۰.۹۲	۵۰	**۳۱۵**

خازن موردنیاز جهت جبران سازی توان راکتیو الکتروموتورهای ۲ قطب ABB

بعد از PFC		قبل از PFC		Q_C [Kvar]	P_n [KW]
I_2[A]	$\cos\varphi_2$	I_n[A]	$\cos\varphi_r$		
400 V / 50 Hz / 4 Poles / 1500 r/min					
۱۲.۷	۰.۹۶	۱۴.۲	۰.۸۶	۲.۵	**۷.۵**
۱۸.۲	۰.۹۶	۲۱.۵	۰۸۱	۵	**۱۱**
۲۵.۳	۰.۹۵	۲۸.۵	۰.۸۴	۵	**۱۵**
۳۰.۵	۰.۹۶	۳۵	۰.۸۴	۷.۵	**۱۸.۵**
۳۵.۱	۰.۹۷	۴۱	۰.۸۳	۱۰	**۲۲**
۴۷.۵	۰.۹۸	۵۶	۰.۸۳	۱۵	**۳۰**
۵۹.۱	۰.۹۷	۶۸	۰.۸۴	۱۵	**۳۷**
۷۱.۱	۰.۹۷	۸۳	۰.۸۳	۲۰	**۴۵**
۸۶.۹	۰.۹۷	۹۸	۰.۸۶	۲۰	**۵۵**
۱۲۲.۸	۰.۹۵	۱۳۵	۰.۸۶	۲۰	**۷۵**
۱۴۵.۹	۰.۹۴	۱۵۸	۰.۸۷	۲۰	**۹۰**
۱۷۴.۸	۰.۹۶	۱۹۲	۰.۸۷	۳۰	**۱۱۰**
۲۰۹.۶	۰.۹۶	۲۳۲	۰.۸۷	۴۰	**۱۳۲**
۲۵۷.۴	۰.۹۴	۲۸۲	۰.۸۶	۴۰	**۱۶۰**
۳۲۰.۲	۰.۹۴	۳۵۱	۰.۸۶	۵۰	**۲۰۰**
۳۹۹.۴	۰.۹۴	۴۳۰	۰.۸۷	۵۰	**۲۵۰**
۵۰۷.۹	۰.۹۳	۵۴۵	۰.۸۷	۶۰	**۳۱۵**

خازن موردنیاز جهت جبران سازی توان راکتیو الکتروموتورهای ۴ قطب ABB

بعد از PFC		قبل از PFC		Q_C [Kvar]	P_n [KW]
I_2[A]	$\cos\varphi_2$	I_n[A]	$\cos\varphi_r$		
400 V / 50 Hz / 6 Poles / 1000 r/min					
۱۲.۴	۰.۹۸	۱۵.۴	۰.۷۹	۵	**۷.۵**
۱۹.۳	۰.۹۳	۲۳	۰.۷۸	۵	**۱۱**
۲۵.۷	۰.۹۴	۳۱	۰.۷۸	۷.۵	**۱۵**
۳۰.۹	۰.۹۶	۳۶	۰.۸۱	۷.۵	**۱۸.۵**
۳۶.۵	۰.۹۴	۴۳	۰.۸۱	۱۰	**۲۲**
۴۹.۴	۰.۹۴	۵۶	۰.۸۳	۱۰	**۳۰**
۶۰.۸	۰.۹۵	۶۹	۰.۸۳	۱۲.۵	**۳۷**
۷۲.۶	۰.۹۶	۸۲	۰.۸۴	۱۵	**۴۵**
۸۸.۷	۰.۹۳	۱۰۱	۰.۸۴	۲۰	**۵۵**
۱۲۳.۹	۰.۹۵	۱۴۱	۰.۸۲	۲۵	**۷۵**
۱۴۴.۲	۰.۹۴	۱۶۳	۰.۸۴	۳۰	**۹۰**
۱۷۸.۸	۰.۹۵	۲۰۲	۰.۸۳	۳۵	**۱۱۰**
۲۱۰.۸	۰.۹۵	۲۴۰	۰.۸۵	۴۵	**۱۳۲**
۲۴۹.۶	۰.۹۵	۲۸۰	۰.۸۵	۵۰	**۱۶۰**
۳۱۸.۰	۰.۹۵	۳۵۵	۰.۸۵	۶۰	**۲۰۰**
۴۰۴.۲	۰.۹۴	۴۵۰	۰.۸۴	۷۰	**۲۵۰**
۵۱۴.۴	۰.۹۲	۵۶۵	۰.۸۴	۷۵	**۳۱۵**

خازن موردنیاز جهت جبران سازی توان راکتیو الکتروموتورهای ۶ قطب ABB

بعد از PFC		قبل از PFC		Q_C [Kvar]	P_n [KW]
I_2[A]	$\cos\varphi_2$	I_n[A]	$\cos\varphi_r$		
400 V / 50 Hz / 8 Poles / 750 r/min					
۱۳.۹	۰.۹۱	۱۸.۱	۰.۷	۵	**۷.۵**
۱۸.۴	۰.۹۷	۲۳.۵	۰.۷۶	۷.۵	**۱۱**
۱۴.۵	۰.۹۷	۲۹	۰.۸۲	۷.۵	**۱۵**
۳۱.۵	۰.۹۳	۳۷	۰.۷۹	۷.۵	**۱۸.۵**
۳۷.۵	۰.۹۲	۴۵	۰.۷۷	۱۰	**۲۲**
۵۰.۵	۰.۹۳	۵۹	۰.۷۹	۱۲.۵	**۳۰**
۶۲.۸	۰.۹۲	۷۴	۰.۷۸	۱۵	**۳۷**
۷۵.۴	۰.۹۳	۹۰	۰.۷۸	۲۰	**۴۵**
۹۰.۲	۰.۹۳	۱۰۴	۰.۸۱	۲۰	**۵۵**
۱۲۰.۶	۰.۹۵	۱۴۰	۰.۸۲	۳۰	**۷۵**
۱۴۶.۶	۰.۹۳	۱۶۷	۰.۸۲	۳۰	**۹۰**
۱۷۸.۸	۰.۹۴	۲۰۲	۰.۸۳	۳۵	**۱۱۰**
۲۱۴.۶	۰.۹۳	۲۵۰	۰.۸	۵۰	**۱۳۲**

خازن موردنیاز جهت جبران سازی توان راکتیو الکتروموتورهای ۸ قطب ABB

در ابتدای این بخش میزان خازن موردنیاز یک الکتروموتور ۱۱ کیلووات ۶ قطب از برند ABB در ۴۰ درصد باری نامی معادل $6.53\ kVAR$ به دست آمد. اگر مشخصات این الکتروموتور را در جدول‌ها بررسی کنیم میزان خازن توصیه شده معادل $5\ kVAR$ خواهد بود.

این خازن بر اساس ۹۰ درصد توان راکتیو دریافتی در بی‌باری محاسبه شده و می‌تواند ضریب توان را از ۰.۷۸ به ۰.۹۳ ارتقاء دهد. ارتقاء ضریب توان در میزان جریان دریافتی نیز قابل مشاهده است. این جریان از قبل از جبران سازی معادل ۲۳ آمپر بوده که پس از تزریق خازن به ۱۹.۳ رسیده است.

افزایش تعداد قطب‌ها و درنتیجه حجم سیم‌پیچ داخل الکتروموتور باعث کاهش ضریب توان آن می‌شود. به‌عنوان‌مثال الکتروموتور ۱۳۲ کیلووات را در نظر بگیرید. با افزایش تعداد قطب‌ها این نتایج در جدول‌ها قابل مشاهده هستند:

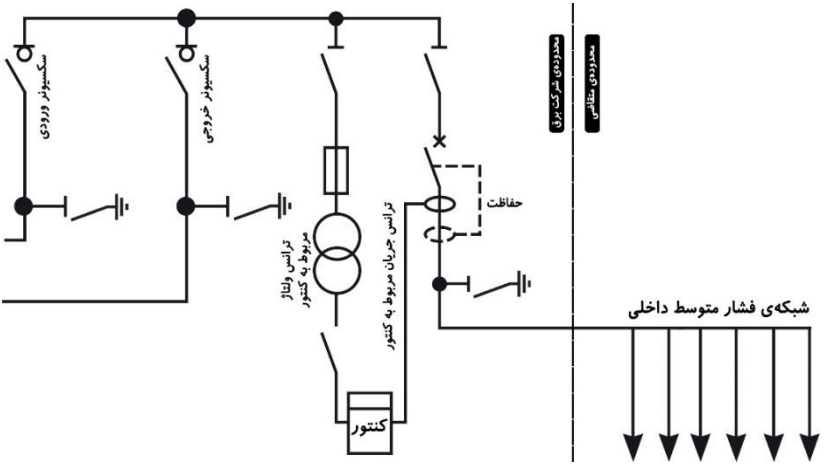
- ۲ قطب: ضریب توان ۰.۸۸ خازن موردنیاز ۳۰ کیلو وار
- ۴ قطب: ضریب توان ۰.۸۷ خازن موردنیاز ۴۰ کیلو وار
- ۶ قطب: ضریب توان ۰.۸۵ خازن موردنیاز ۴۵ کیلو وار
- ۸ قطب: ضریب توان ۰.۸۰ خازن موردنیاز ۵۰ کیلو وار

درصورتی‌که مشخصات الکتروموتورهای دیگر نزدیک به الکتروموتورهای ABB باشد؛ می‌توان از جداول فوق به‌منظور انتخاب خازن برای آن‌ها استفاده کرد.

۱/۴. اصلاح ضریب توان ترانسفورماتور

در کتاب پلن‌های الکتریکی روش‌های مختلف تحویل انرژی به مشترکین مانند فیدر اختصاصی، پست اختصاصی، لوازم اندازه‌گیری هوایی یا M.O.F و غیره را بررسی کردیم. حالت‌های ذکر شده به‌صورت ولتاژ اولیه بوده و مشترک باید کار تبدیل ولتاژ را در تاسیسات خود انجام دهد. به‌عنوان‌مثال تحویل انرژی به‌صورت فشار متوسط را در نظر بگیرید. این انرژی پس از حفاظت و اندازه‌گیری وارد محدوده‌ی متقاضی می‌شود.

با توجه به بزرگی شرکت و میزان توان دریافتی ممکن است یک یا چند پست به‌صورت داخلی وجود داشته باشد. در این پست‌ها ولتاژ فشار متوسط با ترانسفورماتور به ولتاژ مصرف تبدیل شده و به تأسیسات نهایی متصل می‌شود.



دیاگرام کلی تحویل انرژی فشار متوسط با پست اختصاصی یا پاساژ

در تحویل انرژی به‌صورت ولتاژ اولیه دو نکته‌ی مهم وجود دارد:

- اندازه‌گیری میزان انرژی مصرفی در سطح اولیه انجام می‌شود.
- با توجه به دیماند خریداری شده ممکن است متقاضی یک یا چند دستگاه ترانسفورماتور داشته باشد.

اندازه‌گیری در سطح اولیه به معنی سنجش توان قبل از تبدیل آن به سطوح دیگر است. به‌عبارت‌دیگر لوازم اندازه‌گیری یا کنتورها با توجه به دیماند متقاضی می‌توانند در سطح فشارقوی، فوق توزیع، فشار متوسط یا فشار ضعیف نصب شوند.

در تصویر قبل، قرار گرفتن لوازم اندازه‌گیری در سطح فشار متوسط به‌صورت داخلی را مشاهده می‌کنید. این کار ممکن است به‌صورت هوایی و با M.O.F نیز انجام شود.

با توجه به سطح ولتاژ ورودی به تأسیسات متقاضی؛ ممکن است چندین مرتبه کاهش ولتاژ انجام شود. به‌عنوان‌مثال یک شرکت فولاد با ورودی ۲۳۰ کیلوولت را در نظر بگیرید. در این تأسیسات ولتاژ به سطح پائین تر مثلا ۶۳ و ۲۰ تبدیل شده[۴] و با شبکه‌های داخلی توزیع می‌شود.

مصرف‌کننده‌های نهایی در این‌گونه شرکت‌ها ممکن است به‌صورت فشار متوسط یا فشار ضعیف باشند. مثلا الکتروموتورهای ۱۱ کیلوولت، کوره‌های القایی ۱ کیلوولت یا مصرف‌کننده‌های فشار ضعیف ۴۰۰ ولت از این موارد هستند.

همان‌طور که مشاهده می‌کنید در یک تأسیسات ولتاژ اولیه ممکن است چندین دستگاه ترانسفورماتور با توان‌های مختلف وجود داشته باشد. از طرفی لوازم اندازه‌گیری در سطح اولیه قرار گرفته و تمام تلفات و توان راکتیو تأسیسات را ثبت می‌کند. در این حالت توان راکتیو تمام ترانسفورماتورها به‌علاوه‌ی بارهای متصل شده به آن‌ها در هزینه‌ی نهایی صورتحساب تاثیر گذار خواهد بود.

ترانسفورماتورها از ماشین‌های الکتریکی بسیار مهمی هستند که به‌صورت دائم در مدار قرار می‌گیرند. به‌عنوان‌مثال هرگز یک ترانسفورماتور ۲۳۰ یا ۶۳ یا ۲۰ کیلوولت در پایان شیفت کاری بی‌برق نخواهد شد. از طرفی این دستگاه‌ها نیز مانند الکتروموتورها از سیم‌پیچ تشکیل‌شده و نیاز به توان راکتیو دارند.

میزان توان راکتیو رابطه‌ی مستقیمی با بزرگی ترانس و درصد بارگیری آن دارد. درصورتی‌که توان راکتیو موردنیاز ترانسفورماتورها جبران نشود؛ ضریب توان در سطح اولیه کاهش پیدا کرده و جریمه‌ها منظور خواهند شد.

جبران سازی توان راکتیو ترانسفورماتورها برای شرکت‌های انتقال و توزیع نیز یک امر مهم محسوب می‌شود. این کار می‌تواند باعث کاهش توان راکتیو شبکه شده و ضمن کاهش سایز و تلفات به پایداری آن نیز کمک کند.

---

[۴] در تاسیسات داخلی ممکن است ولتاژهای دیگر مانند ۳۳، ۱۱، ۱ کیلو و غیره نیز استفاده شود.

نکته‌ی اصلی در طراحی جبران ساز انفرادی برای ترانسفورماتور؛ توجه به میزان بار آن است. در بخش‌های قبلی میزان جبران سازی توان راکتیو در الکتروموتورها تا ۹۰ درصد حالت بی‌باری لحاظ شد. در ترانسفورماتورها نیز این قانون به شکل دیگری صادق است. میزان Q_c جهت جبران سازی توان راکتیو ترانسفورماتور یا توان ظاهری $S_r[kVA]$ نباید از توان راکتیو دریافتی تحت حداقل بار بیشتر شود. این موضوع در ادامه بیشتر شرح داده خواهد شد. در نظر داشته باشید که با افزایش میزان بارگیری از ترانس ضریب توان آن کاهش پیدا می‌کند. به‌عبارت‌دیگر با افزایش بار ترانس؛ به خازن بزرگ‌تری برای اصلاح ضریب توان آن داریم. به‌منظور محاسبه‌ی توان راکتیو موردنیاز ترانس از فرمول زیر استفاده می‌شود:

معادله ۴

$$Q_c = \sqrt{\left(\frac{I_0\%}{100}\times S_r\right)^2 - P_{fe}^2} + K_L^2 \times \sqrt{\left(\frac{u_k\%}{100}\times S_r\right)^2 - P_{cu}^2}$$

در این فرمول:

- $I_0\%$ درصد جریان بی‌باری
- $uk\%$ درصد ولتاژ اتصال کوتاه
- P_{fe} تلفات آهنی
- P_{cu} تلفات مسی
- K_l درصد یا ضریب بارگیری

فرمول فوق کمی پیچیده بوده و نیاز به اطلاعات دقیق مانند درصد جریان بی‌باری، میزان تلفات آهنی و سلفی دارد. این اطلاعات معمولا در پلاک یا نیم پلیت ترانس درج نشده و باید در اسناد فنی به دنبال آن‌ها باشیم.

با توجه به پائین بودن میزان تلفات مسی و آهنی در ترانسفورماتورها می‌توان از آن‌ها صرف‌نظر کرد. با این کار فرمول خلاصه شده و به شکل زیر ارائه می‌شود:

معادله ۵

$$Q_c \approx \left(\frac{I_0\%}{100}\times S_r\right) + K_L^2 \times \left(\frac{u_k\%}{100}\times S_r\right)[kvar]$$

میزان اختلاف نتیجه‌ی دو فرمول بالا با یک مثال بررسی می‌شود. تصور کنید به‌منظور جبران سازی توان راکتیو یک دستگاه ترانسفورماتور ۶۳۰ کاوا نیاز به خازن داشته باشیم. این ترانس در ۶۰ درصد بار نامی کار کرده و مشخصات آن عبارت است از:

$I_0\% = 1.8\%$

$u_k\% = 4\%$

$P_{cu} = 8.9\ kW$

$P_{fe} = 1.2\ kw$

$$Q_c = \sqrt{\left(\frac{I_0\%}{100} \times S_r\right)^2 - P_{fe}^2} + K_L^2 \times \sqrt{\left(\frac{u_k\%}{100} \times S_r\right)^2 - P_{cu}^2}$$

$$Q_c = \sqrt{\left(\frac{1.8\%}{100} \times 630\right)^2 - 1.2^2} + 0.6^2 \times \sqrt{\left(\frac{4\%}{100} \times 630\right)^2 - 8.9^2}$$

$$= 19.8\ kvar$$

میزان خازن به دست آمده از طریق فرمول اول معادل ۱۹.۸ کیلو وار است.

در صورت استفاده از فرمول دوم میزان خازن ۲۰.۴ کیلو وار خواهد بود:

$$Q_c = \left(\frac{I_0\%}{100} \times S_r\right) + K_L^2 \times \left(\frac{u_k\%}{100} \times S_r\right)$$

$$Q_c = \left(\frac{1.8\%}{100} \times 630\right) + 0.6^2 \times \left(\frac{4\%}{100} \times 630\right) = 20.4\ kvar$$

میزان اختلاف در خازن‌های به دست آمده حدود ۰.۶ کیلو وار بوده که قابل پذیرش است. در نظر داشته باشید که این خازن جهت اتصال به سیم‌پیچ ثانویه‌ی ترانس بوده و در سمت اولیه‌ی آن قرار نمی‌گیرد.

شرکت‌های سازنده به‌منظور ساده‌تر کردن انتخاب خازن جدول‌هایی را ارائه می‌کنند. به‌عنوان‌مثال در ادامه میزان توان راکتیو موردنیاز بر اساس کیلو وار؛ جهت اتصال به سیم‌پیچ ثانویه‌ی ترانس‌های روغنی از شرکت ABB با قدرت ۵۰ تا ۴۰۰ کاوا را مشاهده می‌کنید. در این جدول ولتاژ اتصال کوتاه، درصد جریان بی‌باری، تلفات مسی و تلفات آهنی نیز آورده شده است. در ادامه خازن‌ها بر اساس درصد بارگیری از ۰ تا ۱۰۰ درصد پیشنهاد شده‌اند.

ترانسفورماتور					$Q_c[Kvar]$ ضریب بار K_L				
S_r [KVA]	U_k% [%]	i_o% [%]	P_{fe} [KW]	P_{cu} [KW]	۰	۰.۲۵	۰.۵	۰.۷۵	۱
ترانسفورماتور توزیع از نوع روغنی MV-LV									
۵۰	۴	۲.۹	۰.۲۵	۱.۳۵	۱.۴	۱.۵	۱.۸	۲.۳	۲.۹
۱۰۰	۴	۲.۵	۰.۳۵	۲.۳۰	۲.۵	۲.۷	۳.۳	۴.۳	۵.۷
۱۶۰	۴	۲.۳	۰.۴۸	۳.۲۰	۳.۶	۴	۵	۶.۸	۹.۲
۲۰۰	۴	۲.۲	۰.۵۵	۳.۸۰	۴.۴	۴.۸	۶.۱	۸.۳	۱۱
۲۵۰	۴	۲.۱	۰.۶۱	۴.۵۰	۵.۲	۵.۸	۷.۴	۱۰	۱۴
۳۱۵	۴	۲	۰.۷۲	۵.۴۰	۶.۳	۷	۹.۱	۱۳	۱۸
۴۰۰	۴	۱.۹	۰.۸۵	۶.۵۰	۷.۶	۸.۵	۱۱	۱۶	۲۲
۵۰۰	۴	۱.۹	۱.۰۰	۷.۴۰	۹.۴	۱۱	۱۴	۲۰	۲۸
۶۳۰	۴	۱.۸	۱.۲۰	۸.۹۰	۱۱	۱۳	۱۷	۲۵	۳۵
۸۰۰	۶	۱.۷	۱.۴۵	۱۰.۶۰	۱۴	۱۶	۲۵	۴۰	۶۰
۱۰۰۰	۶	۱.۶	۱.۷۵	۱۳.۰۰	۱۶	۲۰	۳۱	۴۹	۷۴
۱۲۵۰	۶	۱.۶	۲.۱۰	۱۶.۰۰	۲۰	۲۴	۳۸	۶۱	۹۳
۱۶۰۰	۶	۱.۵	۲.۸۰	۱۸.۰۰	۲۴	۳۰	۴۷	۷۷	۱۱۸
۲۰۰۰	۶	۱.۲	۳.۲۰	۲۱.۵۰	۲۴	۳۱	۵۳	۹۰	۱۴۲
۲۵۰۰	۶	۱.۱	۳.۷۰	۲۴.۰۰	۲۷	۳۷	۶۴	۱۱۱	۱۷۵
۳۱۵۰	۷	۱.۱	۴.۰۰	۳۳.۰۰	۳۴	۴۸	۸۹	۱۵۷	۲۵۲
۴۰۰۰	۷	۱.۴	۴.۸۰	۳۸.۰۰	۵۶	۷۳	۱۲۵	۲۱۲	۳۳۳

خازن موردنیاز در بارگیری‌های مختلف از ترانسفورماتورهای روغنی ABB

در جدول زیر ولتاژ اتصال کوتاه، درصد جریان بی‌باری، تلفات مسی و تلفات آهنی ترانسفورماتورهای خشک ABB به همراه میزان خازن در بارگیری ۰ تا ۱۰۰ درصد پیشنهاد شده‌اند.

راکتور سیرکاتور

ترانسفورماتور					$Q_c[Kvar]$ ضریب بار K_L				
S_r [KVA]	U_k% [%]	i_o% [%]	P_{fe} [KW]	P_{cu} [KW]	۰	۰.۲۵	۰.۵	۰.۷۵	۱
ترانسفورماتور توزیع از نوع خشک رزینی MV-LV									
۱۰۰	۶	۲.۳	۰.۵۰	۱.۷۰	۲.۶	۲.۶	۳.۷	۵.۵	۸
۱۶۰	۶	۲	۰.۶۵	۲.۴۰	۳.۷	۳.۷	۵.۵	۸.۴	۱۲
۲۰۰	۶	۱.۹	۰.۸۵	۲.۹۰	۴.۴	۴.۴	۶.۶	۱۰	۱۵
۲۵۰	۶	۱.۸	۰.۹۵	۳.۳۰	۵.۳	۵.۳	۸.۱	۱۳	۱۹
۳۱۵	۶	۱.۷	۱.۰۵	۴.۲۰	۶.۴	۶.۴	۹.۹	۱۶	۲۴
۴۰۰	۶	۱.۵	۱.۲۰	۴.۸۰	۷.۳	۷.۳	۱۲	۱۹	۲۹
۵۰۰	۶	۱.۴	۱.۴۵	۵.۸۰	۸.۷	۸.۷	۱۴	۲۳	۳۶
۶۳۰	۶	۱.۳	۱.۶۰	۷.۰۰	۱۰	۱۰	۱۷	۲۹	۴۵
۸۰۰	۶	۱.۱	۱.۹۴	۸.۲۰	۱۲	۱۲	۲۰	۳۵	۵۶
۱۰۰۰	۶	۱	۲.۲۵	۹.۸۰	۱۳	۱۳	۲۵	۴۳	۶۹
۱۲۵۰	۶	۰.۹	۳.۳۰	۱۳.۰۰	۱۵	۱۵	۲۹	۵۲	۸۵
۱۶۰۰	۶	۰.۹	۴.۰۰	۱۴.۵۰	۲۰	۲۰	۳۸	۶۷	۱۰۹
۲۰۰۰	۶	۰.۸	۴.۶۰	۱۵.۵۰	۲۳	۲۳	۴۵	۸۲	۱۳۴
۲۵۰۰	۶	۰.۷	۵.۲۰	۱۷.۵۰	۲۶	۲۶	۵۴	۱۰۱	۱۶۶
۳۱۵۰	۸	۰.۶	۶.۰۰	۱۹.۰۰	۳۴	۳۴	۸۱	۱۵۹	۲۶۹

خازن موردنیاز در بارگیری‌های مختلف از ترانسفورماتورهای خشک ABB

برای کنترل اطلاعات جدول‌ها لطفا ترانسفورماتور ۶۳۰ کاوا روغنی را در نظر بگیرید. طبق جدول این ترانسفورماتور در ۵۰ درصد بار نامی به خازن ۱۷ کیلو وار و در ۷۵ درصد بار نامی به خازن ۲۵ کیلو وار نیاز دارد. میانگین این اعداد معادل ۲۱ کیلو وار خازن در ۶۲.۵ درصد بارگیری خواهد بود. همان‌طور که مشاهده می‌کنید مقدار به دست آمده از طریق فرمول‌ها در ۶۰ درصد بار نامی معادل ۱۹.۸ تا ۲۰.۴ بوده و با جدول مطابقت دارد.

از جدول‌های فوق می‌توان به‌منظور انتخاب خازن در جبران سازی توان راکتیو ترانس‌های مشابه نیز استفاده کرد. در نظر داشته باشید با هدف کاهش هزینه‌های و افزایش ایمنی می‌توان خازن محاسبه شده را در سمت فشار ضعیف ترانسفورماتور متصل کرد.

برای نصب خازن در خروجی ترانسفورماتور باید از کابل، تابلو و ادوات حفاظتی مانند بریکر یا فیوز استفاده کرد. در نظر داشته باشید که سطح اتصال کوتاه در این قسمت بسیار بالا بوده و نیاز به تجهیزات قدرتمندی داریم.

بهترین حالت برای نصب خازن ترانسفورماتور، در نظر گرفتن یک پله‌ی ثابت در بانک خازن است. با این کار نیازی به تابلو و کابل‌های اضافی نبوده و سرویس و نگهداری نیز ساده‌تر می‌شود. در این حالت تنها یک نکته‌ی مهم وجود دارد: رگولاتور نباید ظرفیت این پله را در نظر بگیرید.

به عبارت ساده‌تر قرار دادن خازن ثابت در بانک باعث افزایش ضریب توان سیستم می‌شود. این ضریب توان توسط رگولاتور اندازه‌گیری شده و با توجه به آن خازن‌های کمتری وارد مدار می‌شود. در نظر داشته باشید که این خازن‌ها مربوط به جبران سازی پس از ترانس بوده و توان راکتیو خود ترانسفورماتور را پوشش نمی‌دهند.

برای رفع این مشکل می‌توان ضریب توان هدف را در رگولاتور افزایش داد. با این کار رگولاتور خازن‌های بیشتری را وارد مدار می‌کند تا به ضریب توان هدف برسد. برای درک بهتر این موضوع همان ترانس ۶۳۰ کاوا روغنی را در نظر بگیرید. طبق جدول این ترانس در ۵۰ درصد بارگیری به یک خازن ۱۷ کیلو وار نیاز دارد. Q_t را می‌توان در بخش فشار ضعیف نصب کرد به شرطی که رگولاتور بانک خازن آن را برای ارتقاء ضریب توان بار در نظر نگیرد. این پروسه با تنظیم ضریب توان هدف با مقدار بیشتر از ۰.۹ کامل می‌شود.

تصور کنید ترانس در ۵۰ درصد بار و با ضریب توان ۰.۸ در حال کار باشد. در این صورت میزان توان ظاهری جدید و توان اکتیو عبارت است از:

$$S = 0.5 \times S_r = 0.5 \times 630 = 315\ kVA \qquad P = S \times cos_\varphi = 315 \times 0.8 = 252\ kW$$

طبق محاسبات زیر و جهت ارتقاء ضریب توان بار از ۰.۸ به ۰.۹ به ۶۸ کیلو وار خازن نیاز است:

$$Q_r = P \times \left(tg(cos^{-1}0.8) - tg(cos^{-1}0.9)\right) = 252 \times (0.75 - 0.48) = 68\ kvar$$

مجموعه‌ی خازن موردنیاز عبارت است از ۱۷ کیلو وار برای ترانس و ۶۸ کیلو وار برای بارها:

$$Q_c = Q_r + Q_t = 68 + 17 = 85\ kvar$$

طبق فرمول زیر باید ضریب توان هدف جدید محاسبه شده و در رگولاتور تنظیم شود:

$$Cos\varphi_{new} = cos\left(tg^{-1}\left(tg(cos^{-1}0.8) - \frac{Q_c}{P}\right)\right)$$

$$Cos\varphi_{new} = cos\left(tg^{-1}\left(tg(36.87) - \frac{85}{252}\right)\right) = cos\left(tg^{-1}(0.75 - 0.34)\right)$$
$$= 0.925$$

رگولاتور سیرکاتور سری کامپیوتر اسمارت نیازی به تغییر ضریب توان بالاتر برای جبران سازی توان راکتیو ترانس ندارد. کافی است یکی از پله‌ها را به عنوان خازن ثابت انتخاب کنید. رگولاتور در این شرایط می‌تواند طبق تنظیمات شما ظرفیت این خازن را در نظر گرفته یا در نظر نگیرد.

۱/۵. گام‌های اجرای پروژه

به‌صورت کلی پروسه‌ی جبران سازی توان راکتیو در تأسیسات معمولی[۵] را می‌توان به بخش‌های زیر تقسیم کرد:

- انتخاب روش جبران سازی
- محاسبه‌ی ضریب توان و خازن موردنیاز
- مشخصات تجهیزات و طراحی نقشه
- مونتاژ
- نصب، راه‌اندازی و رفع اشکال

۱/۵/۱. نوع و ظرفیت جبران سازی

به‌منظور طراحی یک سیستم جبران سازی بدون نقص باید در اولین مرحله به دنبال اطلاعات اصلی از تأسیسات مورد نظر باشیم. با این کار دقیقا نوع تأسیسات و بهترین روش جبران سازی توان راکتیو در آن مشخص می‌شود. در نظر داشته باشید که طراحی یک سیستم جبران سازی باید از ابتدا به بهترین شکل انجام شود زیرا هرگونه تغییرات بعدی نیاز به صرف هزینه و زمان خواهد داشت.

به‌عنوان‌مثال می‌توانید با طرح سوال‌های زیر به اطلاعات مفیدی در خصوص انتخاب روش جبران سازی، میزان خازن‌ها و روش کنترل آن‌ها دست پیدا کنید. قابل‌ذکر است که هر چقدر تعداد سوال‌های مفید را بیشتر کنید کیفیت اطلاعات به دست آمده نیز افزایش پیدا می‌کند.

- در حال طراحی سیستم جبران سازی برای چه تاسیساتی هستید؟ آیا این تأسیسات هنوز راه‌اندازی نشده و یا هم‌اکنون در حال کار است؟
- نوع بار تأسیسات مورد با چه دقتی مشخص است؟ مثلا اطلاعاتی از تعداد و توان بارهای موتوری، ترانسفورماتورها و غیره وجود دارد؟
- نحوه‌ی کنترل بارها در این تأسیسات به چه صورت است؟ آیا از بارهای غیرخطی مانند قوس الکتریکی، درایو، UPS و غیره در حجم زیادی استفاده می‌شود؟

---

[۵] در تاسیسات آلوده به هارمونیک بخش‌های اندازه‌گیری، تحلیل و انتخاب فیلترهای نیز به موارد ذکر شده اضافه می‌گردد.

- میزان تغییرات بار در تاسیاست مورد نظر به چه صورت است؟ آیا میزان بارها به کندی تغییر می‌کند یا با سرعت بسیار بالا؟

همان‌طور که مشاهده کردید سوال اول در خصوص نحوه‌ی کار تأسیسات است. اگر تأسیسات در حال کار باشد بهترین شیوه برای جمع‌آوری اطلاعات مراجعه‌ی حضوری است. با این کار می‌توان ضمن اندازه‌گیری دقیق کمیت‌های الکتریکی از وضعیت محیطی، تابلوهای اصلی و غیره اطلاعات زیادی به دست آورد.

حالت دیگر طراحی سیستم‌های جدید است. در این روش شما مزیت اندازه‌گیری دقیق را از دست می‌دهید اما فرصت طراحی تابلوهای استاندارد را خواهید داشت. در این پروسه و هنگام طراحی تابلوهای اصلی باید فضای کافی برای بانک خازن‌ها در نظر گرفته شود. این فضا باید به نحوی باشد که علاوه بر نصب تجهیزات موردنیاز فعلی، فضای مناسبی برای توسعه‌های بعدی نیز وجود داشته باشد.

در طراحی تأسیسات جدید باید میزان و نوع کنترل بارها مشخص شود. میزان بارها و نیازمندی آن‌ها به توان راکتیو تعیین‌کننده‌ی ضریب توان کلی سیستم است. توجه داشته باشید که در تأسیسات ولتاژ اولیه باید جبران سازی ترانسفورماتورها نیز مدنظر قرار بگیرد. با داشتن این اطلاعات می‌توان میزان خازن موردنیاز را برآورد کرد.

پس از مشخص کردن ضریب توان و میزان خازن‌ها باید روش کنترل آن‌ها را انتخاب کنید. در این مرحله باید تصمیم بگیرید که روش کنترل سیستم جبران سازی باید معمولی یا سریع باشد. نتیجه‌ی این تصمیم نوع رگولاتور و نحوه‌ی سوئیچ خازن‌ها را مشخص خواهد کرد. همان‌گونه که قبلا شرح داده شد در تأسیسات سریع باید از رگولاتورهای هوشمند به همراه تایرستور سوئیچ‌ها استفاده شود. قابل‌ذکر است که در صورت استفاده از بارهای غیرخطی باید فضای کافی جهت نصب فیلترها را هم مدنظر داشته باشید.

آیتم مهم دیگر در طراحی سیستم جبران سازی میزان تغییرات بار است. با داشتن اطلاعات کافی از شرایط کار تأسیسات می‌توان تعداد و نسبت پله‌ها را در بانک خازن مشخص کرد.

توصیه می‌شود قبل از طراحی حتما موارد اجرا شده در شرکت‌ها یا کارخانه‌های مشابه را بررسی کنید. این کار به شما در شناخت نوع تأسیسات از نظر نحوه‌ی قرارگیری تجهیزات و ماشین‌آلات، توان موردنیاز سیستم، نیازمندی به توان راکتیو، تغییرات بار، هارمونیک، اشکالات رخ داده در سیستم‌های جبران سازی، آلودگی‌های محیطی و غیره کمک خواهد کرد. درصورتی‌که شرکت‌های در حال کار دارای سیستم‌های اندازه‌گیری هستند می‌توان از اطلاعات ثبت شده‌ی آن‌ها به‌منظور تحلیل توان راکتیو و هارمونیک‌های احتمالی نیز استفاده کنید.

۱/۵/۲. مشخصات تجهیزات

پس از مشخص شدن روش جبران سازی و میزان خازن‌ها باید مشخصات دقیق تجهیزات مانند پارامترهای الکتریکی، ساختار، مدل، برند و غیره را تهیه کنیم. این اطلاعات می‌تواند در سندهای جداگانه یا در نقشه‌های الکتریکی ثبت شوند.

به‌عنوان‌مثال خازن‌های اصلاح ضریب قدرت را در نظر بگیرید. خازن‌ها از نظر ساختار به مدل‌های خشک، روغنی و غیره تقسیم می‌شوند. پس باید نوع آن‌ها را با توجه به محیط نصب، دما، هارمونیک‌ها و غیره مشخص کنیم. به‌صورت کلی توصیه می‌شود در شرایط سخت یا اصطلاحا Heavy Duty از خازن‌های روغنی استفاده کنید.

پس از مشخص کردن نوع خازن باید ولتاژ، توان، فرکانس و آیتم‌های دیگر مانند مقاومت تخلیه و غیره را تعیین کنید. در شبکه‌ی ایران خازن‌های ۴۴۰ ولت با فرکانس ۵۰ هرتز و مجهز به مقاومت تخلیه گزینه‌های مناسبی هستند. در صورت استفاده از راکتور، ولتاژ خازن‌ها باید بیشتر در نظر گرفته شود.

تعداد و توان خازن‌ها باید با توجه به تغییرات بار و نوع رگولاتور مشخص شود. درصورتی‌که از رگولاتورهای هوشمند استفاده می‌کنید بهتر است ظرفیت پله‌ها افزایشی باشد. این کار باعث افزایش حالت‌های ممکن در سوئیچ خازن‌ها خواهد شد.

پس از مشخص شدن توان پله‌ها باید تجهیزات سوئیچ و حفاظتی را انتخاب کنیم. تجهیزات سوئیچ مانند کنتاکتور یا تایرستور بر اساس توان هر پله انتخاب شده و مشخصات آن‌ها در دیاگرام ثبت خواهد شد.

این روند در مورد تجهیزات حفاظتی نیز صادق بوده و باید در دیاگرام‌ها دقیقا نوع و آمپراژ آن‌ها مشخص کنیم. قابل‌ذکر است که در اغلب تأسیسات از فیوزهای ذوب شونده به‌منظور حفاظت پله‌ها و حفاظت اصلی بانک استفاده می‌شود. در صورت تمایل به استفاده از بریکر باید مشخصات حفاظتی و تنظیمات پیشنهادی نیز به اطلاعات فوق اضافه شود.

پس از مشخص شدن خازن‌ها، تعداد پله‌ها و تجهیزات حفاظتی باید نوع رگولاتور را مشخص کنیم. از موارد مهم در انتخاب رگولاتور می‌توان به نوع کنترل، تعداد پله‌ها، برند، قابلیت‌های اضافی مانند شبکه، کنترل فن و غیره اشاره کرد. توصیه‌ی می‌شود قبل از تهیه‌ی رگولاتور چندین کاتالوگ را بررسی کنید. رگولاتورهای پیشرفته می‌توانند تعداد سوئیچ‌های بی‌مورد را کاهش داده و در افزایش طول عمر تجهیزات بسیار مؤثر باشند.

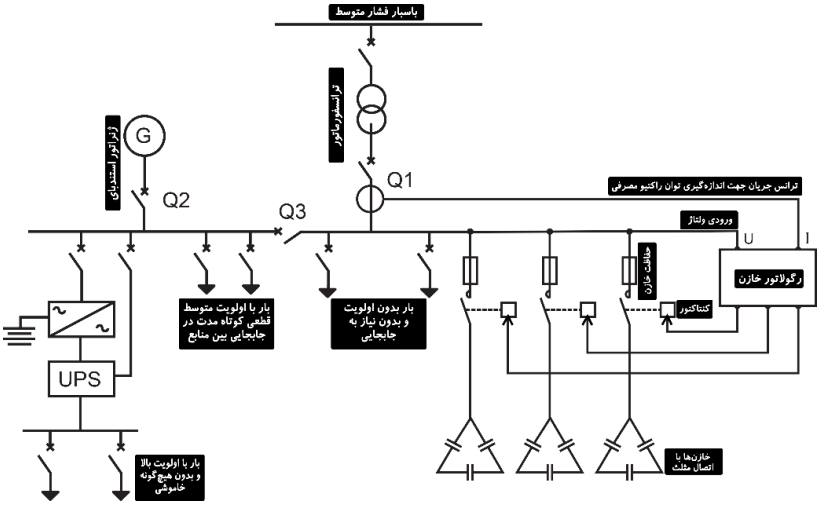
از مشخصات مهم دیگر می‌توان به هادی‌ها، تجهیزات فرمان، تهویه و غیره اشاره کرد. این اطلاعات باید به‌صورت کامل در دیاگرام‌ها ثبت شده و یا به سندهای پروژه ضمیمه شوند.

۱/۵/۳. مونتاژ

مونتاژ و اجرای سیستم جبران سازی با توجه به نوع و بزرگی آن می‌تواند به‌صورت داخلی و یا توسط پیمانکاران انجام شود. نکته‌ی مهم در اجرای این تأسیسات مشخص کردن دقیق اطلاعات در نقشه‌های الکتریکی و ضمیمه‌های آن است.

این اطلاعات علاوه بر مشخصات سیستم جبران سازی باید محل نصب و روش اتصال آن به شبکه‌ی قدرت را مشخص کند. به‌عنوان‌مثال اجرای یک بانک خازن در تأسیسات فشار ضعیف را در نظر بگیرید. بهترین حالت قرار دادن بانک خازن در کنار تابلوهای اصلی و اتصال آن از طریق شینه است. از مزایای این روش می‌توان به یکپارچه بودن سیستم، عدم نیاز به کابل‌های قدرت، راه‌اندازی سریع‌تر، سرویس و نگه‌داری ساده‌تر و غیره اشاره کرد.

در تصویر زیر یک طرح کلی از تابلوهای فشار ضعیف به همراه بانک خازن و چنج‌آور را مشاهده می‌کنید. در این طرح حتی بریکر اصلی بانک خازن نیز حذف‌شده است. این کار هزینه‌های اجرا را کاهش می‌دهد اما برای سرویس و نگهداری بانک خازن باید برق



کل تأسیسات قطع شود.

طرح کلی تاسیسات فشار ضعیف اصلی شامل بانک خازن و چنج آور

در نظر داشته باشید که اجرای بانک در تابلوی جداگانه و اتصال آن از طریق کابل باعث افزایش هزینه‌های اجرا خواهد شد. کابل‌های استفاده شده در ارتباط بانک خازن به تابلوهای اصلی باید ضمن تحمل جریان نرمال و اضافه‌بار در مقابل جریان‌های اتصال کوتاه نیز ایستادگی داشته باشند.

۱/۵/۴. پروژه های سیرکاتور و نوآرک در ایران

حوزه صنایع

شرکت سایپا
پروژه سیمان تهران
قرارگاه ثامن الائمه
شرکت قالب های صنعتی سایپا
شرکت عقاب افشان اسکانیا
شرکت گلرنگ
شرکت پارلا منسوجات تبریز
شرکت دنا الکتریک
کن تایر
شرکت میراب
شرکت پلاستیران
شرکت آراز ماشین تبریز
کارخانه ماست شایان
شیرین عسل
نگین چوب قائم
کشتارگاه صنعتی اردبیل
شرکت کربن اهواز
سینا دارو
شرکت انرژی رهپویان
یزد باف
کشتی های بهمنشیرخرمشهر
شرکت شکوه دشت لبن
انهار حیات کرمان
کارخانه شالی کوبی آمل
شرکت ایمن راهکار
شرکت داروسازی اوحدی اصفهان

شرکت کهکشان نور سپاهان
پروژه فروسیلیس ایران
پروژه های آب رسانی به مناطق محروم کشور
شرکت سپند پیچ
پروژه صنعتی لامرد
شرکت پتوی لیلیان بافت یزد
کارخانه تولید کالای کودک
تولید کنندگان دیزل ژنراتور
شرکت گندله ساز باقت یزد
شرکت بیسکوئیت فرخنده
شرکت آرم اویل در ایروان ارمنستان
شرکت آرمان سرد ایرانیان
کارخانه قند فریمان
شرکت شیر بلوط
شرکت موکت نگین
شرکت کاوش پی
کارخانه رب صادق
شرکت حسام صنعت
مولود شرق
شورابه ید
شرکت مهندسی برق و کنترل مپنا
قالب های پیشرفته ایران خودرو
شرکت صنعتی البرز
شرکت گلستان عصاره (دلند)
شرکت پرسو الکترونیک
شرکت فرش زمرد

شرکت آرش نوش
صنایع دام و طیور بابلسر
شرکت شایان صنعت
شرکت آسانسور پارس
آب منطقه ای خراسان
داروسازی عبیدی
صنایع پخت مشهد
صنایع لاستیک یزد
خزرالکتریک آمل
پدیده ماشین سازی غرب (گلرنگ)
هواکش سازی و تصفیه خانه جنرال تهویه
شرکت کروز
شرکت شهاب شمس
شرکت آذین
شرکت شیمی سازه
کارخانه پلیمرپاکت پرند زاهدان
کالا کودک

شرکت آریاز مشهد
آذ هایتکس
شرکت خوراک دام کارون
تولید روغن صنعتی تبریز
مجتمع نئوپان کارون
تصفیه خانه ملکان
آرتین فشرده ساز تبریز
شرکت دیزل صنعت سپاهان
شیلات چابهار
سرخانه کرمانشاه
شرکت دانه و غلات مزیدی
شرکت هیدرولیک پنوماتیک کویر
شرکت بسکو یزد
شرکت افرازمهر تابان
خانه دریا
فضل الکتریک

حوزه ساختمان

پروژه هواسازی برج دوقلوی کیش
مجتمع مسکونی یاسین کیش
پروژه مسکونی نوبنیاد ۳ کیش
پروژه رویال سعادت آباد
مجتمع تجاری کوروش کیش
پروژه طلایی کیش
پروژه دانشگاه تهران کیش
فرهنگ سرای ولایت مشهد
بیمارستان قائم
هتل فردوس مشهد

برج های دوقلو کیش
پارک آبی موج های خروشان مشهد
پروژه نیکان شیراز
پروژه اطلس مشهد
مجتمع ستاره باران تبریز
پروژه آبان پلازا مشهد
پروژه هتل پارمیدا کیش
رستوران صفدری کیش
بیمارستان فردوس بیرجند
مجتمع تجاری هدیش کیش

شعب بانک سپه خوزستان
باغ ساحلی کیش
مجموعه خیریه نگارستانی
پروژه موسسه تحقیقاتی مفید
پروژه مسجد جمکران
شرکت شهرک خانه سازی باغمیشه
پروژه رشدیه تبریز
پارکینگ طبقاتی شهرداری شیراز
هتل ۵ ستاره عسلویه
مجتمع دریاکنار خزرشهر
پروژه پرشین ۲ کیش
هتل مارینا کیش
مرکز تروما و اورژانس ۵ آذر گرگان
مدرسه ۶ کلاسه گلشن گنبد
بیمارستان خاتم الانبیاء گنبد
برج های دوقلوی مسکونی آسا گرگان
زندان نقده
هتل بین المللی میزبان بابلسر
الماس تابان نمونه
هتل پردیسان
هتل ظریف
بیمارستان امام حسین
شرکت داروسازی کیمیا زیست پارسیان
درمانگاه نسل امید بوعلی
هتل ارغوان
مجتمع پزشکان
هتل امید سپهر مشهد
پروژه پارسیز کیش

پروژه هتل لیلیوم کیش
پارک آب و آتش تبریز
هتل صفائیه یزد
برمیس پامنار
پروژه سپیدار ارومیه
پروژه دیپلمات کیش
زندان میاندوآب
مجتمع تفریحی کوثر بابلسر
پروژه یاسر تهران
پروژه مهدیه امیرکلا
پروژه برج الهیه یزد
پروژه مهستان کیش
پروژه درسا مهر کیش
مجتمع فرهنگی اقامتی امام رضا مشهد
ساختمان مرکزی بیمه رازی پروژه جهان کودک
دانشکده بین المللی پزشکی پردیس بین الملل
هتل میراژ کیش
هتل کیش – مهدسا
ساختمان مرکزی بانک آینده –پروژه الهیه
پروژه تفریحاتی آوای ساحلی کیش
اورژانس بیمارستان حکیم جرجانی
مدرسه ۶۱ کلاسه شفقت گرگان
هتل داریوش کیش
بازار بزرگ اطلس
هتل مدینه
هتل ایران مال
جهان کودک

تابلوسازی

تامین تابلو
بهساز تابلو آسیا
همگام انرژی صبا
دانش انرژی تابلو
ایران سیبوک
راسل تابلو
کنترل پویان
رعد الکترو کبیر یزد
آرمان تابلو البرز
انرژی کویر پایا
بهین الکتریک
مهام شرق
الکترو رعد گلستان
کنترل نیرو خراسان
کیان تابلو مشهد
صانع شرق
کیان ایستاتیس
آذرفنون تابلو
تالیران
آلفا برق
الکتروکاپاسیته
تابلو پارس آذر
میهن تابلو فجر
ایرانکا
وهاج صنعت
پرشین تابلو تابان
پیشرو خراسان
توان تاو ایستا

الکتروکویر
ایران تابلو
مانا الکتریک
سامان تابلو
طبرستان تابلو
پارسیان تابلو آریا
ایده گلوبال
بابک تابلوی کرمان
مظهر نور
آلفا برق
پاوران کنترل سپاهان
تولید ملزومات برق ایران
نوآوران برق آریا
شرکت مهندسی نواختران
برق و صنعت جواهری
پارسیان تابلو فجر
تابش تابلو
تابان تابلو
تابش تابلو شرق
لنا یزد
پیمان برق الکتریک فاز
الکترو توان کنترل
تابلو صنعت یار
همیار صنعت رستاک
الکترو بختگان
توان صنعت
سینا صنعت تابلو
تابلو سازی یم

توسعه انرژی پایا
پارس تکنیک

حوزه فولاد، نفت،پتروشیمی و معادن

معدن مس بابک
نیروگاه اصفهان
پتروشیمی تخت جمشید
بابک مس ایرانیان
شرکت نفت تربت حیدریه
سیمان پرند زاهدان
فولاد ایده آل میبد
نیروگاه رامین اهواز
شرکت صنعت و معدن احرار
پتروشیمی جم عسلویه
خاک چینی مرند
کاشی میبد یزد
کاشی خورشید یزد
کاشی بهمن یزد
کاشی پاسارگاد سرام آباده
شرکت عالی ذوب یزد
شرکت فرافر فولاد
کارخانه سنگ فیروزآباد
کارخانه سنگ آباده شیراز
شرکت نقشین یزد
شرکت نگین نقشین یزد
شرکت حریر نام یزد
شرکت آرمان مینا یزد
کاشی عقیق یزد
کاشی تبریز

نادر نیرو پارس
اروند نیروی دز

شرکت ملی حفاری
پالایشگاه نفت اصفهان
پتروشیمی دماوند
مجتمع پتروشیمی ایلام
مجتمع فولاد نی ریز
شرکت حفاری پرشیا
فولاد پارمیدا ایساتیس یزد
مجتمع انرژی اتمی ساغند
مجتمع معدنی چادرملو
نورد و لوله پروفیل اصفهان
شرکت ایده آل شمس کویر
کاشی فرزاد بیرجند
کاشی صدیق سرام آباده
شرکت فولاد تابان
سنگ آهن بافق
شرکت معدنی آرمه بتن فیروزکوه
سنگبری های استان اصفهان
پالایشگاه گاز خانگیران
سازمان توسعه و عمران حریم حرم
شرکت فرآورده های نسوز مهرگداز
صنعتی بوعلی دلیجان
شرکت تولیدی کاشی و سرامیک راک سرامیک
شرکت کاهرنگ یزد
شرکت پترو یزدان
شرکت یگانه پارسه کویر

شرکت چسب سامد
شرکت مبتکران فولاد اسپادانا
کانسار خزر
شرکت گچ برگ یزد
شرکت آرش نوش مهریز
شرکت نورد الماس یزد
شرکت شایسته فولاد آسیا
زرین فولاد شهریاری
آذران ذوب

شرکت کاشی پارمیدا
شرکت کاشی نگار سرام
شرکت کاشی مدرن سرامیک
شرکت سیرنگ یزد
فولاد تربت حیدریه
صنایع پخت مشهد
فولاد نطنز
شرکت شیمی پلاستیک یزد
شرکت ساتراب جم وابسته به شیمیدور شهرک

صنایع زیربنایی

استانداری یزد
آبفا استان قم
راه آهن یزد
دانشگاه علوم پزشکی اهواز
پروژه فرودگاه یزد
فنی و حرفه ای استان آذربایجان شرقی
پروژه پارک امام علی بوئین زهرا
صنایع دفاع یزد
شهرداری بابل و امیرکلا
آموزشکده فنی و حرفه ای شهید چمران
آموزشکده کشاورزی اهواز
دانشکده نفت سمنان
دانشکده نفت
مجتمع مرکز خدمات سپاه بابلسر
تامین اجتماعی یزد
دانشگاه آزاد اسلامی واحد اشکذر
آستان قدس رضوی
سازمان فنی ونگهداری حرم

شرکت برق منطقه ای استان اصفهان
نیروی زمینی سپاه
استانداری آذربایجان شرقی
آب و فاضلاب خوزستان
صنایع نظامی شهید مقدم
پروژه چاه های آب شهرداری بوئین زهرا
دانشگاه آزاد بهاباد
دانشگاه هنر یزد
دانشکده فنی واحد مرند
دانشگاه علم هنر یزد
بانک کشاورزی تبریز
جهاد دانشگاهی اشکذر
جهاد دانشگاهی یزد
پروژه مجموعه ورزشی شهرداری مشهد
بانک سینا اصفهان
اداره راه سازی جنوب کرمان
دانشگاه اصفهان
دانشگاه فرهنگیان

شرکت مترو اصفهان

اصفهان دهاقان شهرک صنعتی جمبزه

بانک آینده

شرکت مهر بیستون زاگرس شهرک صنعتی بزرگ اصفهان

ASEA

Circutor

شرکت آرمان صنعت انرژی آریا

نماینده انحصاری برند سیرکاتور اسپانیا

۰۲۱-۲۲۲۲۸۹۴۳
۰۲۱-۲۲۹۱۶۸۴۵

info@asea-co.com

www.asea-co.com