چرا خازن؟

مقدمه

اغلب دستگاه‌ها و مصرف‌کنندگان الکتریکی برای انجام کار مفید نیازمند مقداری توان راکتیو برای مهیا کردن شرایط لازم برای انجام کار می‌باشند. به عنوان مثال موتورهای الکتریکی AC برای تبدیل انرژی الکتریکی به انرژی مکانیکی، نیازمند تولید شار مغناطیسی در فاصله هوایی موتور هستند. ایجاد شار تنها توسط توان راکتیو امکان پذیر و با افزایش بار مکانیکی موتور مقدار توان راکتیو بیشتری مصرف می‌گردد.

عمدهٔ مصرف‌کنندگان انرژی راکتیو عبارتند از:

۱) سیستم‌های الکترونیک قدرت

الف) مبدل‌های AC/DC (Rectifiers)

ب) مبدل‌های DC/AC (Inverters)

ج) مبدل‌های AC/AC (Converters)

د) چاپرها (Choppers)

۲) مصرف‌کنندگان یا تجهیزاتی که دارای مشخصهٔ غیر خطی هستند.

۳) مصرف‌کنندگانی که در شکل موج ولتاژ محل تغذیه خود اعوجاج (هارمونیک) ایجاد می‌نمایند.

٤) متعادل‌سازهای بارهای نامتعادل

٥) تثبیت‌کننده‌های ولتاژ

٦) کوره‌های القایی

۷) کوره‌های قوس الکتریکی

۸) سیستم‌های جوش‌کاری AC، DC

همان‌گونه که ذکر شد مصرف انرژی راکتیو اجتناب‌ناپذیر است.

انتقال انرژی راکتیو، انتقال جریان الکتریکی است و انتقالش نیازمند به کابل با سطح مقطع بزرگتر، دکل‌های فشار قوی مقاوم‌تر و در نتیجه هزینه‌های مازاد است. همچنین افزایش تلفات الکتریکی و کاهش راندمان شبکه را نیز به همراه دارد. در مواردی مانند کاربردهای الکترونیک قدرت و متعادل‌سازی بارهای نامتعادل حتی انتقال انرژی راکتیو هم کارساز نبوده و باید انرژی در محل تولید گردد.

خازن اصطلاحاً تولیدکنندهٔ انرژی راکتیو است، اما خازن توان راکتیو تولید نکرده بلکه مصرف‌کنندهٔ آن نیز می‌باشد. فقط در زمانی که القاگر انرژی راکتیو در خود ذخیره می‌نماید (از شبکه می‌کشد) خازن، انرژی ذخیره‌شدهٔ خود را به شبکه تحویل می‌دهد و در زمانی که القاگر انرژی ذخیره‌شده‌اش را به شبکه پس می‌دهد خازن از شبکه انرژی می‌کشد. حال اگر القاگر و خازن در کنار هم قرار گیرند، هنگامی که خازن انرژی می‌دهد القاگر آن انرژی را می‌گیرد و زمانی که خازن انرژی می‌گیرد القاگر انرژی می‌دهد که موجب تعادل انرژی بین القاگر و خازن گشته، تبادل انرژی بین مصرف‌کننده و شبکه صورت نمی‌گیرد.

تثبیت ولتاژ

مورد استفادهٔ دیگر خازن (انرژی راکتیو) تثبیت ولتاژ محل تغذیه بار است. افزایش بار به معنی افزایش دامنهٔ جریان کشیده شده از شبکه و ازدیاد افت ولتاژ در محل تغذیه است. برای کاهش افت ولتاژ سه راه حل وجود دارد:

۱) تقویت شبکه

تقویت شبکه به معنای کاهش امپدانس معادل شبکه در محل تغذیه می‌باشد. انجام این مهم با افزایش ولتاژ شبکه و یا تغذیه چند سویهٔ بار امکان پذیر است که برای اکثر مصرف‌کنندگان این کار امکان‌پذیر نیست.

۲) کاهش بار

افت ولتاژ بیش از حد مجاز را با تقلیل دادن بار و یا تنظیم توالی زمانی بهره‌برداری دستگاه‌ها می‌توان جبران نمود.

۳) استفاده از خازن

با تزریق کردن Qوار توان راکتیو به شبکه در محل مصرف ولتاژ از U_1 به U_2 افزایش می‌یابد که ولتاژ U_2 به طور تقریبی از رابطهٔ مقابل محاسبه می‌گردد:

$$U_2 = U_1\left(1+\frac{Q}{S}\right)$$

که در آن S، قدرت اتصال کوتاه شبکه در محل مصرف و Q، قدرت راکتیو پیاده‌سازی شده است.

با استفاده از این ویژگی می‌توان به تثبیت ولتاژ پرداخت.

ذکر این مساله بسیار حائز اهمیت است که تثبیت ولتاژ و تنظیم ضریب توان، به صورت همزمان امکان‌پذیر نیست.

اثر نحوهٔ اتصال بر مشخصات مجموعه

توان راکتیو خازن و مقدار مؤثر جریانی که هنگام اتصال خازن به شبکه، از شبکه به سمت خازن جاری می‌گردد به نحوه اتصال خازن و ولتاژ محل نصب و ظرفیت خازن به شبکه بستگی دارد.

از جمله مشخصات خازن ولتاژ نامی، جریان نامی، و توان راکتیو خازن است، طبق استاندارد:

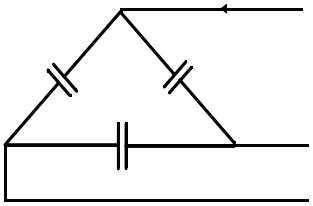
ولتاژ نامی U_n: بر اساس استاندارد ولتاژی است که خازن آن را به طور دائمی و بدون صدمه دیدن تحمل می‌کند.

جریان نامی I_n: بر اساس استاندارد جریانی است باشد که خازن در ولتاژ و فرکانس نامی از شبکه می‌کشد.

توان راکتیو نامی Q_n: میزان توان راکتیو خارن، در ولتاژ و فرکانس نامی است.

تمامی خازن‌ها به صورت تک‌فاز ساخته می‌شوند. در ولتاژهای پایین سه خازن تک‌فاز، به صورت ستاره یا مثلث به هم متصل گشته، درون بدنهٔ فلزی قرار می‌گیرند.

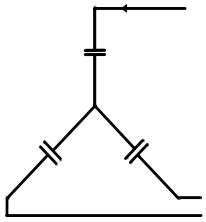
شکل مقابل یک خازن سه فاز را با اتصال مثلث نشان می‌دهد. جریانی که مجموعهٔ خازن‌ها از شبکه می‌کشد برابر مقدار زیر است:



$$I = \frac{Q}{\sqrt{3}U_n}$$

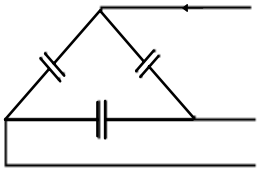
Q توان راکتیو خازن در ولتاژ U_n است.

در ولتاژهای بالا به دلیل مشکلات ایزولاسیون، و در ظرفیت‌های زیاد به دلیل مشکلات انتقال حرارت و خنک‌سازی خازن، خازن‌ها به صورت تک‌فاز ساخته می‌شوند. اتصال خازن های تک‌فاز به دو صورت اتصالات ستاره و یا مثلث امکان‌پذیر است و بسته به نوع اتصال، جریان‌های متفاوتی از شبکه می کشند. دو شکل زیر نحوه اتصال و جریان کل کشیده‌شده از شبکه در دو حالت اتصالات ستاره و مثلث خازن‌های تک‌فاز را نشان می‌دهد.



$$I = \frac{U \cdot Q}{\sqrt{3}U_n^2}$$

Q= توان خازن تک‌فاز در ولتاژ U_n



$$I = \frac{\sqrt{3}Q \cdot U}{U_n^2}$$

U=ولتاژ محل اتصال

به عنوان مثال می‌توان سه خازن ۱۰ کیلووار، ٤۰۰ ولت را به صورت ستاره به هم متصل کرد و یا سه خازن ۱۰ کیلووار، ٤۰۰ ولت را به صورت مثلث به هم وصل کرد. در این دو حالت اخیر هر دو بانک توان راکتیو یکسانی را به شبکه تحویل داده، جریان یکسانی از شبکه می‌کشند ولی جریان عبوری از هر خازن در دو حالت برابر نیست. با ذکر مثالی به بررسی اثر نحوه اتصال خازن‌های تک‌فاز، در مقدار قدرت راکتیو بانک خازنی حاصل می‌پردازیم:

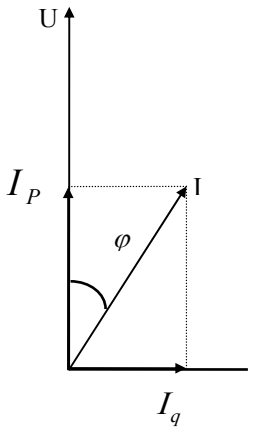
سه عدد خازن تک‌فاز ۱۰ کیلووار، ٤۰۰ ولت یک‌بار به صورت مثلث و یک‌بار به صورت ستاره به شبکه متصل می‌شوند.

فرکانس شبکه = ۵۰ هرتز　　ولتاژ شبکه = ٤۰۰ ولت

جریان نامی خازن = ۲۵ آمپر　　توان راکتیو نامی خازن = ۱۰ کیلووار

	اتصال ستاره	اتصال مثلث
جریان هر خازن	۱٤/٤ آمپر	۲۵ آمپر
جریان کل کشیده‌شده از شبکه	۱٤/٤ آمپر	٤۳ آمپر
توان راکتیو تحویلی به شبکه	۱۰ کیلووار	۳۰ کیلووار

ضریب توان



ضریب توان، معیار برای سنجش میزان توان راکتیو مورد نیاز دستگاه مصرف‌کنندهٔ برق، برای انجام تبدیل انرژی می‌باشد، ضریب توان بر اساس تعریف نسبت توان اکتیو مورد نیاز به کل توان الکتریکی ($Cos\varphi = \frac{P}{\sqrt{P^2+Q^2}}$) تعریف می‌گردد و همیشه بین ۱- و ۱+ تغییر می‌کند از ۱+ الی ۰ برای بارهای القایی و از ۰ الی ۱- برای بارهای خازنی می‌باشد.

(توان اکتیو) $P = UI\cos\varphi$

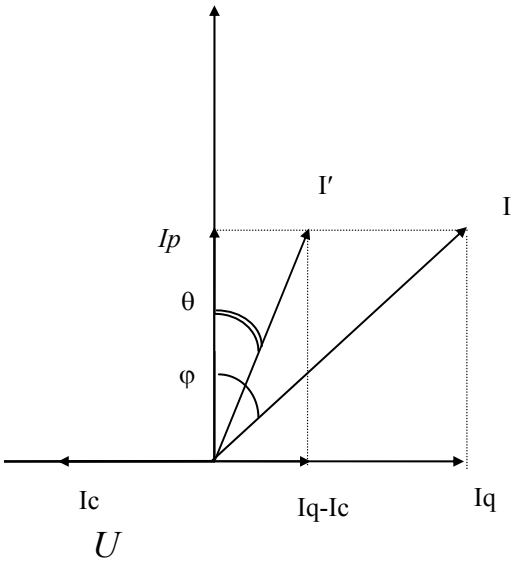
(توان راکتیو) $Q = UI\sin\varphi$

با اتصال خازن به بار، ضریب قدرت کل مجموعه مصرف‌کننده و خازن تغییر می‌کند چرا که بخشی از انرژی راکتیو مورد نیاز مصرف‌کننده را خازن تأمین می‌کند و تنها باید جزء باقیمانده را از شبکه دریافت کند.

با اتصال Qوار خازن به مصرف‌کننده‌ای با ضریب توان $Cos\varphi_1$، ضریب توان مجموعهٔ خازن و بار به $Cos\varphi_2$ تغییر می‌کند که $Cos\varphi_2$ را می‌توان از رابطهٔ مقابل محاسبه کرد.

$$Cos\varphi_2 = Cos\left[Arctg\left(tg\varphi_1 - \frac{Q}{P}\right)\right]$$

مکانیسم عملکرد خازن



در یک مصرف‌کنندهٔ الکتریکی پس‌فاز با زاویهٔ فاز (زاویه بین بردار جریان و ولتاژ φ می باشد) جریانی که از شبکه کشیده می‌شود شامل دو جزء اکتیو I_p و راکتیو I_q است، اگر خازنی به دو سر مصرف‌کننده متصل نماییم خازن جریان راکتیوی برابر I_C از شبکه می‌کشد که در خلاف جهت جریان راکتیو بار است. لذا جریان راکتیوی که توسط مجموعهٔ مصرف‌کننده و خازن از شبکه کشیده می‌شود به اندازهٔ I_C کاهش می‌یابد و به مقدار $(I_Q - I_C)$ می‌رسد. در این حالت برآیند جریان راکتیو و اکتیو مجموعهٔ مصرف‌کنندهٔ الکتریکی و خازن برابر I' گشته که هم دامنه‌اش از I کوچک‌تر است (جریان کشیده شده از شبکه کاهش یافته) و هم زاویه‌اش با ولتاژ کوچک‌تر می‌شود، زاویهٔ بین جریان و ولتاژ از φ به θ تقلیل یافته است (ضریب توان بزرگتر شده است) که زوایای φ و θ و توان راکتیو Q و اکتیو P با رابطهٔ زیر به یکدیگر مرتبط می‌گردند.

$$Q = P\,(tg\varphi - tg\theta)$$