چرا خازن؟

مقدمه

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

عمده مصرف کنندگان انرژی راکتیو عبارتند از:

۱) سیستم های الکترونیک قدرت

الف) مبدل های AC/DC (Rectifiers)

ب) مبدل های DC/AC (Inverters)

ج) مبدل های AC/AC (Converters)

د) چاپرها (Choppers)

۲) مصرف کنندگان یا تجهیزاتی که دارای مشخصه غیر خطی هستند.

۳) مصرف کنندگانی که در شکل موج ولتاژ محل تغذیه خود اعوجاج (هارمونیک) ایجاد می نمایند.

۴) متعادل ساز های بار های نا متعادل

۵) تثبیت کنندههای ولتاژ

۶) کوره های القایی

۷) کوره های قوس الکتریکی

۸) سیستم های جوشکاری AC، DC

همانگونه که ذکر شد مصرف انرژی راکتیو اجتناب ناپذیر است.

انتقال انرژی راکتیو، انتقال جریان الکتریکی است و انتقالش نیازمند به *کابل با سطح مقطع بزرگتر، دکل های فشار قوی مقاومتر* و در نتیجه *هزینه های مازاد* است.همچنین *افزایش تلفات الکتریکی و کاهش راندمان شبکه* را نیز به همراه دارد. در مواردی مانند کاربردهای الکترونیک قدرت و متعادل سازی بارهای نامتعادل حتی انتقال انرژی راکتیو هم کار ساز نبوده و باید انرژی در محل تولید گردد.

خازن اصطلاحا تولید کننده انرژی راکتیو است، اما خازن توان راکتیو تولید نکرده بلکه مصرف کننده آن نیز میباشد. فقط در زمانی که سلف انرژی راکتیو در خود ذخیره می نماید (ازشبکه می کشد) خازن، انرژی ذخیره شده خود را به شبکه تحویل می دهد و در زمانی که سلف انرژی ذخیره شده اش را به شبکه پس می دهد خازن از شبکه انرژی می کشد. حال اگر سلف و خازن در کنار هم قرار گیرند، هنگامیکه خازن انرژی می دهد سلف آن انرژی را می گیرد و زمانی که خازن انرژی می گیرد سلف انرژی می دهد که موجب تعادل انرژی بین سلف و خازن گشته و دیگر تبادل انرژی بین مصرف کننده و شبکه صورت نمی گیرد.

تثبیت ولتاژ

مورد استفاده دیگر خازن (انرژی راکتیو) تثبیت ولتاژ محل تغذیه بار است. افزایش بار به معنی افزایش دامنه جریان کشیده شده از شبکه و ازدیاد افت ولتاژدر 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 می باشد. انجام این مهم با افزایش ولتاژ شبکه و یا تغذیه چند سویه بار امکان پذیر است که برای اکثر مصرف کنندگان این کار امکان پذیر نیست.

۲) کاهش بار

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

۳) استفاده از خازن

با تزریق کردن Q وار توان راکتیو به شبکه در محل مصرف ولتاژ از U_1 به U_2 افزایش می یابد که ولتاژ U_2 به طور تقریبی از رابطه مقابل محاسبه می گردد.

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

قدرت اتصال کوتاه شبکه در محل مصرف = S

قدرت راکتیو پیاده سازی شده= Q

با استفاده از این ویژگی میتوان به تثبیت ولتاژ پرداخت.

ذکر این مساله بسیار حائز اهمیت است که تثبیت ولتاژ و تنظیم ضریب توان، بصورت هم زمان امکان پذیر نیست.

اثر نحوه اتصال بر مشخصات مجموعه

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

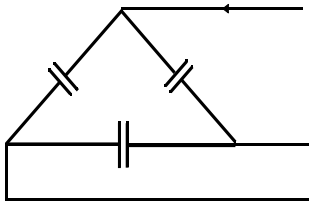
از جمله مشخصات خازن ولتاژ نامی، جریان نامی، و توان راکتیو خازن است، طبق استاندارد:

ولتاژ نامی U_n: بر اساس استاندارد ولتاژی است که خازن آن را بطور دائمی و بدون صدمه دیدن تحمل می کند.

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

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

تمامی خازنها بصورت تکفاز ساخته می شوند در ولتاژهای پایین سه خازن تکفاز، بصورت ستاره یا مثلث بهم متصل گشته و درون بدنه فلزی قرار می گیرند.

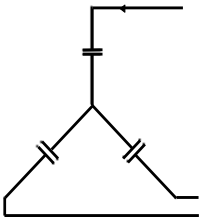


شکل مقابل یک خازن سه فاز را با اتصال مثلث نشان می دهد جریانی که مجموعه خازن ها از شبکه می کشد برابر مقدار زیر می باشد

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

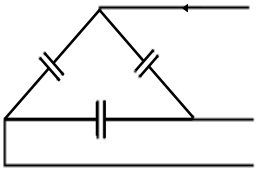
Q = توان راکتیو خازن در ولتاژ U_n می باشد.

در ولتاژ های بالا بدلیل مشکلات ایزولاسیون، و در ظرفیتهای زیاد بدلیل مشکلات انتقال حرارت و خنک سازی خازن، خازنها بصورت تکفاز ساخته می شوند. اتصال خازنهای تکفازبه دو صورت اتصالات ستاره و یا مثلث امکان پذیر است و بسته به نوع اتصال، جریانهای متفاوتی از شبکه می کشند. دو شکل زیر نحوه اتصال و جریان کل کشیده شده از شبکه در دو حالت اتصالات ستاره و مثلث خازنهای تکفاز را نشان می دهد.



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

Q= توان خازن یک فاز در ولتاژ U_n



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

U=ولتاژ محل اتصال

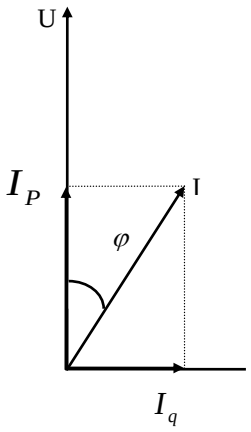
به عنوان مثال می توان سه خازن ۱۰ کیلووار، ۴۰۰ ولت را به صورت ستاره بهم متصل کرد و یا سه خازن ۱۰ کیلووار، ۴۰۰ ولت را بصورت مثلث بهم وصل کرد در این دو حالت اخیر هر دو بانک توان راکتیو یکسانی را به شبکه تحویل داده و جریان یکسانی را از شبکه می کشند ولی جریان عبوری از هر خازن در دو حالت برابر نیست. با ذکر مثالی به بررسی اثر نحوه اتصال خازنهای تک فاز، در مقدار قدرت راکتیو بانک خازنی حاصله می پردازیم.

سه عدد خازن تک فاز ۱۰ کیلووار، ۴۰۰ ولت یکبار بصورت مثلث و یکبار بصورت ستاره به شبکه متصل میگردند.

فرکانس شبکه = ۵۰ هرتز	ولتاژ شبکه = ۴۰۰ ولت
جریان نامی خازن = ۲۵ آمپر	توان راکتیو نامی خازن = ۱۰ کیلووار

	اتصال ستاره	اتصال مثلث
جریان هر خازن	۱۴/۴ آمپر	۲۵ آمپر
جریان کل کشیده شده از شبکه	۱۴/۴ آمپر	۴۳ آمپر
توان راکتیو تحویلی به شبکه	۱۰ کیلووار	۳۰ کیلووار

ضریب توان



ضریب توان ،معیار برای سنجش میزان توان راکتیو مورد نیاز دستگاه مصرف کننده برق، برای انجام تبدیل انرژی می باشد، ضریب توان بر اساس تعریف نسبت توان اکتیو مورد نیاز به کل توان الکتریکی ($Cos\varphi = \frac{P}{\sqrt{P^2+Q^2}}$) تعریف میگرددو همیشه بین ۱- و ۱+ تغییر می کند از ۱+ الی ۰ برای بارهای اندوکتیو (سلفی) و از ۰ الی ۱- برای بارهای کاپاسیتو (خازنی) می باشد.

(توان اکتیو) $P = UI\cos\varphi$

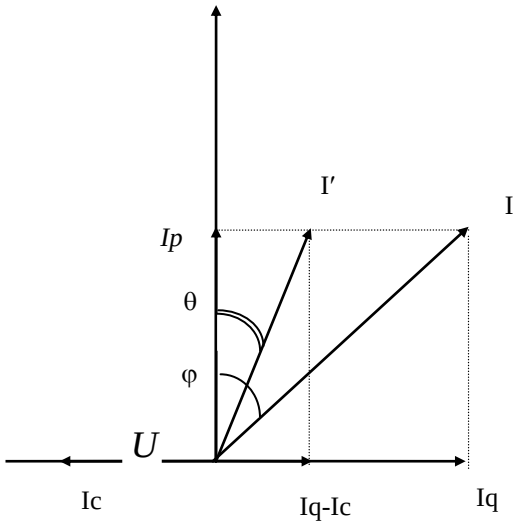
(توان راکتیو) $Q = UI\sin\varphi$

با اتصال خازن به بار، ضریب قدرت کل مجموعه مصرف کننده و خازن تغییر میکند چرا که بخشی از انرژی راکتیو مورد نیاز به مصرف کننده را خازن تامین میکند و تنها نیاز به دریافت جزء باقیمانده از شبکه می باشد

با اتصال Q وار خازن به مصرف کنندای با ضریب توان $Cos\varphi_1$ ضریب توان مجموعه خازن و بار بـه $Cos\varphi_2$ تغییر میکند که $Cos\varphi_2$ را از رابطه مقابل می توان محاسبه کرد.

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

مکانیسم عملکرد خازن



در مصرف کننده الکتریکی پس فازی با زاویه فاز (زاویه بین بردار جریان و ولتاژ φ می باشد) جریانی که از شبکه کشیده می شود شامل دو جزء اکتیو I_p و راکتیو I_q است اگر خازنی به دو سر مصرف کننده متصل نماییم خازن جریان راکتیوی برابر I_C از شبکه می کشد که در خلاف جهت جریان راکتیو بار است . لذا جریان راکتیوی که توسط مجموعه مصرف کننده و خازن از شبکه کشیده می شود به اندازه I_C کاهش می یابد و به مقدار $I_Q - I_C$ می رسد. در این حالت منتجه جریان راکتیو و اکتیو مجموعه مصرف کننده الکتریکی و خازن برابر I' گشته که هم دامنه اش از I کوچکتر است (جریان کشیده شده از شبکه کاهش یافته) و هم زاویه اش با ولتاژ کوچکتر می شود، زاویه 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 بوسیله رابطه ذیل به یکدیگر مرتبط می گردند.

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