بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه کردستان

دانشکده فنی و مهندسی

گروه برق

عنوان:

جبران توان راکتیو و تعادل بار

پژوهشگر:

سمیرا بنفشی

استاد راهنما:

دکتر جمال مشتاق- دکتر رحمت اله میرزایی

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته برق گرایش قدرت

اسفند ماه ۱۳۹۰

کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایـج مطالعات،

ابتکارات و نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع

این پایان‌نامه (رسـاله) متعلق به دانشـگاه کردستان است.

تعهد نامه

اینجانب سمیرا بنفشی دانشجوی کارشناسی ارشد رشته برق گرایش قدرت دانشگاه کردستان، دانشکده فنی و مهندسی گروه برق تعهد می نماییم که محتوای این پایان نامه نتیجه تلاش و تحقیقات خود بوده و از جایی کپی برداری نشده و به پایان رسانیدن آن نتیجه تلاش و مطالعات مستمر اینجانب و راهنمایی و مشاوره اساتید بوده است.

با تقدیم احترام

سمیرا بنفشی

۱۳۹۰ / ۱۲ /۲۴

تقدیم به پدر مرحوم

و

مادر مهربانم

با تشکر و سپاس از زحمات اساتید گرانقدر

دکتر جمال مشتاق

دکتر رحمت اله میرزایی

چکیده

وجود بارهای صنعتی بزرگ در شبکه های توزیع سبب ایجاد اغتشاش در ولتاژ، کاهش ضریب توان و عدم تعادل بار در سه فاز می شود، که این موارد منجر به کاهش توان تحویلی به مصرف کننده و آسیب رسیدن به تجهیزات خواهد شد. علاوه بر این ضریب توان پایین و نا متعادلی بار، سبب کاهش ظرفیت شبکه، افزایش تلفات و نامتقارنی ولتاژ می گردد. در شبکه های برق به منظور جبران توان راکتیو از بانکهای خازنی و کندانسورهای سنکرون استفاده شده است.

بانکهای خازنی برای جبران توان راکتیو و حفظ ولتاژ در سطوح مجاز آن کاربرد دارند. اما تغییرات دائمی بار، تنظیم ولتاژ با استفاده از بانک خازنی ثابت را عملاً غیر ممکن می سازد. به منظور حل این مشکل از بانکهای خازنی پله ایی استفاده می شود، اما عملکرد گسسته و پله ایی این بانکهای خازنی و سرعت پایین قطع و وصل آنها نیازهای سیستم قدرت را برآورده نمی کند.

کندانسورهای سنکرون از قابلیت عملکرد پیوسته و سرعت پاسخ بالاتری نسبت به بانکهای خازنی برخوردارند اما بدلیل وجود اجزاء دوار، هزینه تعمیر و نگهداری نسبتاً بالایی دارند و سرعت پاسخ آنها نیز تحت تأثیر دینامیک کند روتور است. یکی از بهترین راه حلها به منظور جبران سازی سریع بار به نحوی که اثرات لحظه ایی بارهای بزرگ از جمله فلیکر حذف گشته و علاوه بر متعادل سازی بار و اصلاح ضریب توان، اندازه ولتاژ نیز بهبود یابد، استفاده از جبران کننده استاتیکی توان راکتیو در محل مصرف کننده است.

موضوع این پایان نامه، ساخت یک جبران کننده استاتیک توان راکتیو در سطح فشار ضعیف می باشد که در سمت بار متصل می شود .

در این پروژه اثرات نامتعادلی بار در تلفات توان، افت ولتاژ، نامتقارن شدن ولتاژ و ایمنی مصرف کننده ها بررسی خواهد شد. در نهایت یک دستگاه بالانس بار جهت متعادل نمودن شبکه، طراحی و ساخته می شود. مشخصات این نمونه که به صورت آزمایشگاهی ساخته و تست می شود، دارای سطح

ولتاژ فشار ضعیف سه فاز (۴۰۰ ولت) و سطح جریان ۵ آمپر در فرکانس ۵۰ هرتز می باشد. همچنین برای بخش کنترلی آن از میکروکنترلر AVR استفاده شده که با زبان BASCOM برنامه نویسی شده است.

از جمله مشخصات این جبران کننده، سادگی در ساخت و برنامه نویسی، قیمت پایین، پاسخگویی سریع و قابل قبول آن می باشد.

واژه های کلیدی : جبران کننده استاتیکی توان راکتیو، تعادل بار، ضریب توان، تنظیم ولتاژ

فهرست مطالب

عنوان **شماره صفحه**

فصل ۱

مقدمه ایی بر توان راکتیو ۱۱

۱-۱مقدمه ۱۱

۱-۲مفهوم توان راکتیو ۱۲

۱-۳ چرا جبران سازی ؟ ۱۳

۱-٤ اهداف جبران بار ۱۵

فصل۲

معرفی جبران کننده توان راکتیو ۱۸

۲-۱ مقدمه ۱۸

۲-۲ جبران کننده ایده آل ۱۸

۲-۳ اصول جبران سازی توان راکتیو ۱۹

۲-۳-۱ جبران سازی موازی ۱۹

۲-۳-۲ جبران سازی سری ۲۱

۲-۳-۳ خازنهای ثابت یا قابل سوییچ مکانیکی ۲٤

۲-۳-۳-۱ مزایای خازن گذاری ۲٦

۲-۳-۳-۲ معایب خازن گذاری ۲۷

۲-۳-٤-کندانسورهای سنکرون ۲۸

۲-۳-۵- SVC ۲۹

۲-۳-۵-۱- جبران سازهای توان راکتیو تریستوری ۳۲

۲-۳-۵-۱-۱- TSC ۳۲

۲-۳-۵-۱-۲- TCR ۳٦

۲-۳-۵-۱-۳- ترکیب TCS و TCR ۳۹

۲-۳-٦- STATCOM ٤۰

۲-۳-۷- مقایسه SVC و STATCOM ٤۱

۲-٤ – مطالعات آزمایشگاهی جبران توان راکتیو که منجر به ساخت شده اند ٤٤

۲-۵- جبران کننده توان راکتیومتعادل کننده بار و اصلاح کننده ضریب توان ۵۹

فهرست مطالب

عنوان **شماره صفحه**

فصل سوم

قطعات استفاده شده در ساخت جبران کننده توان راکتیو ۷۰

۳-۱ مقدمه ۷۰

۳-۲ انتخاب میکروکنترلر ۷۱

۳-۳ خصوصیات ATmega32L ۷۳

۳-٤ کریستال اسیلاتور XTL 4MHZ ۷۸

۳-۵ اوپتوکوپلر ۷۹

۳-٦ LCD ۸۲

۳-۷ رگولاتور ۸٤

۳-۸ سنسور جریان ACS712 ۸۵

۳-۹ ترانزیستور BC337 ۸۷

مراجع ۸۹

پیوست ۱

اثرات اصلاح ضریب توان ۹٤

پیوست ۲

استانداردهای عدم تعادل ولتاژ ۹٦

پیوست ۳

اثبات افزایش ۱,۷۳ پریونیتی افزایش ولتاژ در زمان اتصال کوتاه ۹۸

پیوست ٤

محاسبات تئوری اثرات نامتعادلی بار ۱۰۳

پیوست ۵

محاسبات مربوط به اتصال ستاره ۱۱۹

پیوست٦

تئوری کارکرد جبران کننده توان راکتیو ساخته شده در این رساله ۱۲٦

فصل اول

مقدمه ایی بر توان راکتیو

۱ ۱ -مقدمه

میزان کیلو وات ساعت اندازه گیری شده توسط کنتور های الکتریکی دقیقاً معادل انرژی مصرف شده توسط بارهای الکتریکی در یک بازه زمانی مشخص است. توان راکتیو همان توانی است که باعث اضافه جریان در سیمها می شود اما این اضافه جریان باعث انجام کاری نمی شود و اجباراً از سیم ها عبور می کند[۴]. توان لحظه ای نرخ تغییرات انرژی در هر لحظه است. بنابراین در یک لحظه ممکن است مقدار انرژی بسیار کم، اما نرخ تغییرات آن زیاد باشد، در آن صورت توان راکتیو معرف ماکزیمم نرخ تغییرات انرژی در یک بازه زمانی قابل تکرار است[۴].

۱ ۲ - مفهوم توان راکتیو

برای ولتاژ، جریان و توان لحظه ای می توان نوشت :

$$\mathrm{V} = V_m \cos \omega t \qquad (۱-۱)$$

$$\mathrm{I} = \mathrm{I}_m \cos(\omega t - \theta) \qquad (۱-۲)$$

$$S = V.I = V_m.I_m \cos\omega t \cos(\omega t - \theta) = \frac{V_m}{\sqrt{2}}\frac{I_m}{\sqrt{2}}\cos\theta(1 + \cos 2\omega t) + \frac{V_m}{\sqrt{2}}\frac{I_m}{\sqrt{2}}\sin\theta \sin\omega t \quad (۳-۱)$$

در معادله (۱-۳) جمله اول معرف توان اکتیو لحظه ای و جمله دوم به عنوان توان راکتیو لحظه ای تعریف شده است. همانطور که مشاهده می کنید جمله متغیر با زمان اول از یک مقدار متوسط غیر صفر برخوردار است که به آن توان اکتیو می گویند. در واقع انتگرال زمانی تابع مذکور در بازه تکرار تابع معرف یک مقدار اسکالر مستقل از زمان است که به آن اصطلاحاً توان اکتیو می گویند. حاصلضرب این مقدار در زمان معرف کمیت فیزیکی انرژی است که به طور مستقیم توسط کنتورهای اکتیو اندازه گیری می شود.

$$P_a = \frac{V_m}{\sqrt{2}}\frac{I_m}{\sqrt{2}}\cos\theta = V_{rms}.I_{rms}\cos\theta \qquad \rightarrow \qquad W = P_a.t \quad (۴-۱)$$

اما در مورد جمله دوم معادله (۱-۳)، انتگرال زمانی تابع در بازه تکرار آن برابر صفر است. با این حال در تشابه با توان اکتیو مقدار ماکزیمم این تابع متغیر را اصطلاحاً توان راکتیو می خوانند. حاصلضرب این مقدار در زمان معرف هیچ کمیت فیزیکی نیست، بلکه تنها یک بیان ریاضی!! است[۵].

$$Q_a = \frac{V_m}{\sqrt{2}}\frac{I_m}{\sqrt{2}}\sin\theta = V_{rms}.I_{rms}\sin\theta \quad (۵-۱)$$

بنابراین کمیت توان راکتیو کمیتی است که موجب زیاد شدن جریان و تلفات می شود. البته این پارامتر به ذخیره انرژی در المان های ذخیره کننده انرژی مانند سلف و خازن کمک می کند.

امروزه توان راکتیو یکی از فاکتورهای مهم در طراحی و بهره برداری از سیستمهای قدرت الکتریکی می باشد. انتقال توان اکتیو مستلزم وجود اختلاف زاویه فاز بین ولتاژ های ابتدا و انتهای خط است، در حالیکه برای انتقال توان راکتیو لازم است که اندازه این ولتاژ ها متفاوت باشد [۶].

اغلب اجزاء سیستم و همچنین اکثر بارهای الکتریکی توان راکتیو مصرف می کنند، جهت تأمین آن یا باید توان راکتیو در طول شبکه انتقال داده شود و یا باید در محلی که مورد نیاز است آن را تولید نمود.

۱-۳- چرا جبران سازی

توان راکتیوی که بین ژنراتور و مصرف کننده در حال نوسان است، در شبکه به گرما تبدیل می شود. مولدها، ترانسفورماتورها، کابلها، سیم کشیها و کلیدها براثر آن تحت اضافه بار قرار گرفته که تلفات و افت ولتاژ را به همراه دارد. در صورت زیاد بودن مقدار توان اکتیو مصرفی ممکن است کابلها و سیمها، توان انتقال جریان برق را نداشته باشند و لازم باشد که کابلها و سیمهای با مقاطع بزرگتر به کار گرفته شوند. در واقع انتقال توان راکتیو، انتقال جریان الکتریکی است و نیازمند به کابلهای با سطح مقطع بزرگتر، دکلهای فشار قوی مقاومتر و در نتیجه هزینه های مازاد است. همچنین افزایش تلفات الکتریکی و کاهش راندمان شبکه را نیز به همراه دارد[۵].

اغلب دستگاهها و مصرف کنندگان الکتریکی برای انجام کار مفید نیازمند مقداری توان راکتیو برای مهیا کردن شرایط لازم جهت انجام کار می باشند. بعنوان مثال " موتورهای الکتریکی A.C " برای تبدیل انرژی الکتریکی به انرژی مکانیکی، نیازمند تولید شار مغناطیسی در فاصله هوایی موتور هستند. ایجاد شار، تنها توسط تـوان راکتیـو امکان پذیر است و با افزایش بار مکانیکی موتور مقدار توان راکتیو بیشتری مصرف می گردد[۷ و۸].

عمده مصرف کنندگان توان راکتیو[۴ و ۷] عبارتند از:

۱ سیستم های الکترونیک قدرت

- مبدل های AC/DC (Rectefiers)
- مبدل های DC/AC (Inverters)
- مبدل های AC/AC (Converters)
- 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 می‌نمایند.

۴- متعادل ساز های بار های نا متعادل

۵- تثبیت کننده های ولتاژ

۶- کوره های القایی

۷- کوره های قوس الکتریکی

۸- سیستم های جوشکاری AC , DC

همانگونه که ذکر شد مصرف توان راکتیو اجتناب ناپذیر است.

کنترل توان راکتیو بدلایل متعددی مورد توجه روز افزون قرار دارد، از جمله آنها می توان به مطالب زیر اشاره نمود:

۱ با توجه به اینکه انرژی از سوخت حاصل می شود و با توجه به قیمت بالای سوخت، در صورتی که بازده تولید انرژی کم باشد، بدین معنا است که هزینه های صرف شده برای مصرف سوخت تلف شده است. از طرفی سوخت رابطه مستقیم با هزینه دارد، پرداخت هزینه برای انرژی معقول به نظر میرسد در حالی که برای توان راکتیو که عموماً از تغییر جریان تحریک ژنراتور استفاده می شود و هزینه تولید آن، مشابه هزینه تولید انرژی را می توان حساب کرد، قابل محاسبه نیست لذا ممکن است شرکت فروشنده انرژی در ارتباط با بارهای خاص متضرر گردد. [۷].

۲ بواسطه میزان بالای نرخ سود و مشکلات مربوط به حریم خطوط در موارد خاص، تا حد امکان از توسعه و احداث شبکه های توزیع جدید جلوگیری می شود و در موارد متعدد سعی شده تا با استفاده از وسایل کنترل توان راکتیو و افزایش ظرفیت، توان انتقالی خطوط را افزایش دهند[۷].

۳ بواسطه مصرف روز افزون وسایل الکترونیکی و همچنین رشد صنایع با فرآیند پیوسته، نیاز به داشتن تغذیه با کیفیت بالا افزایش یافته است. کنترل توان راکتیو یک عامل بسیار اساسی در حفظ کیفیت تغذیه می باشد بخصوص برای جلوگیری از اغتشاشات ولتاژ. انواع معین از بارهای صنعتی از جمله کوره های الکتریکی، دستگاههای حفاری و دستگاههای جوشکاری با دریافت توان اکتیو و راکتیو از سیستم تغذیه تغییرات وسیع و سریعی را بر آن تحمیل می کنند که اغلب کاربرد لوازم تثبیت کننده ولتاژ نظیر جبران کننده های توان راکتیو الزامی است[۷].

از نظر وزارت نیرو کوچک بودن ضریب توان، هزینه های تولید، انتقال، توزیع و مخارج سرمایه گذاری و نگهداری تجهیزات در شبکه تولید برق را افزایش می دهد. برای محاسبه این مخارج، در مجاورت کنتور اکتیو یک کنتور راکتیو نیز نصب می گردد لذا هزینه های ناشی از ضریب توان کوچک به هزینه قبض های برق مصرف کننده گان اضافه می شود.

یکی از مزایای جبران توان راکتیو اصلاح ضریب توان می باشد. جبران توان راکتیو یکی از ابزارهای بهینه سازی هزینه انرژی و برگشت سریع سـرمایه است. در صورت انتقال توان راکتیو از ژنراتور به بار، ژنراتورها و شبکه های توزیع قادر نخواهند بود در ضریب بهره کامل کار کنند و کنترل ولتاژ در سیستم تغذیه بسیار مشکل خواهد شد[۹].

۱-۴-اهداف جبران سازی بار

جبران بار عبارت است از مدیریت توان راکتیو به منظور بهبود کیفیت تغذیه در سیستمهای قدرت[۷].

در جبران بار سه هدف عمده مورد نظر است :

۱-۴-۱- اصلاح ضریب توان[۱]

بدین معنا که توان راکتیو مورد نیاز بار بجای تولید در محل نیروگاه و انتقال در طول شبکه در محل بار تولید شود.

اگر ضریب توان کمتر از یک باشد، توان کوچکتر از توان ظاهری خواهد بود. در نتیجه جریانی که باید تحویل داده شود بزرگتر از حالتی است که ضریب توان یک است، حتی اگر توان متوسط در هر دو حالت یکسان تحویل گردد. تنها توان واقعی در تبدیل انرژی مفید است و جریان اضافی نشان دهنده اتلاف است. شرکت های توزیع برق نمی توانند بدون هزینه اضافی جریان بیشتری تحویل دهند، در نتیجه به نفع شرکت برق و مشتریان آن است که بارهای اصلی سیستم تا حد امکان دارای

[۱] اثرات اصلاح ضریب توان در پیوست شماره ۱ آمده است.

ضریب قدرت نزدیک به یک باشند. تعرفه های برق همواره مشتریان صنعتی با ضریب بهره پایین را جریمه می نمایند و این امر سبب توسعه سیستمهای اصلاح ضریب توان شده است[۷].

۱-۴-۲- بهبود پروفیل ولتاژ[۲]

در حضور بارهایی که توان مصرفی متغیر دارند ، تنظیم ولتاژ بسیار اهمیت دارد. لذا شرکت های تولید کننده موظف اند ولتاژ تغذیه را در حد مجاز نگه دارند. البته با افزایش تعداد و اندازه واحدهای تولید کننده برق نیز می توان پروفیل ولتاژ را بهبود بخشید اما این روش سبب افزایش سطح اتصال کوتاه و مقدار نامی کلیدها می شود در حالی که استفاده از جبران کننده های توان راکتیو باصرفه تر است چون اثری بر سطح اتصال کوتاه نداشته و قابلیت انعطاف بیشتری نسبت به مولد ها دارند[۷].

از جمله عواملی که سبب بروز تغییرات ولتاژ می شوند :

کاهش ولتاژ که راه‌اندازی موتورهای بزرگ، عملکرد نادرست برخی از بارهای حساس و بروز خطا برروی بخشهایی از سیستم و ... می‌توانند از عوامل ایجاد این پدیده باشند. **افزایش ولتاژ** که میزان آن بهنگام وقوع اتصال کوتاه در سیستم تابعی از محل خطا، امپدانس سیستم و نحوهٔ اتصال زمین سیستم می‌باشد. بطور مثال چنانچه سیستمی زمین نشده باشد (یا در جایی که ترانسفورماتور با اتصال مثلث داریم) در اثر بروز اتصال کوتاه برروی یکی از فازها، ولتاژ فازهای سالم ممکن است به ۱/۷۳ پریونیت برسد[۳]. همچنین یک سیستم چهارسیمه با اتصال زمین متعدد می تواند تا مقدار بالاتر از ۱/۲۵ پریونیت افزایش ولتاژ داشته باشد[۴].

۱-۴-۳-متعادل کردن بار

سیستمهای قدرت AC برای عملکرد متعادل طراحی شده اند، عملکرد نا- متعادل منجر به ایجاد مؤلفه های صفر و منفی می گردد که اثرات مخربی چون افزایش تلفات اضافی موتورها و مولدها، گشتاور نوسانی در ماشینهای AC، افزایش ریپل در یکسوکننده ها، اشباع ترانسفورماتور، جریان

[۲] استانداردهای عدم تعادل ولتاژ در پیوست شماره ۲ آمده است.
[۳] اثبات این موضوع در پیوست شماره ۳ آمده است.

اضافی در سیم نول و ... را بدنبال خواهد داشت. همچنین در شرایط نا متعادل مؤلفه هامونیک سوم در سیستم قدرت ظاهر می- شود[۷].

نامتعادلی ولتاژ به شرایطی اطلاق می گردد که مقادیر دامنه های ولتاژ سه فاز با یکدیگر متفاوت بوده و یا اختلاف زاویه ۱۲۰ درجه بین فازها وجود نداشته باشد. منشأ اصلی ایجاد عدم تعادل ولتاژ، وجود بارهای تکفاز در شبکه و توزیع غیر یکنواخت آن ها روی سه فاز می باشد. از دیگر دلایل ایجاد عدم تعادل ولتاژ، سوختن فیوز یکی از فازهای سیستم تغذیه یا وجود کوره های القایی در جمع مصرف کنندگان عادی می باشد. شبکه های توزیع معمولا به خاطر حجم زیاد بارهای تک فاز دچار نامتعادلی می شوند. جریان خط نامتعادل منجر به افت ولتاژ نامتعادل در سیستم توزیع می شود و درنتیجه ولتاژ نیز نامتعادل خواهد شد. ولتاژ نامتعادل از جهات مختلف شبکه را تحت تأثیر قرار می دهد. عدم تعادل ولتاژ می تواند تأثیرات قابل ملاحظه ای در ژنراتورها بوجود آورد. همچنین این پدیده اثرات حرارتی نامناسبی را روی برخی تجهیزات شرکت برق و مشترکین، مانند موتورها و ترانسفورماتورها، ایجاد می نماید که ممکن است موجب صدمه دیدگی این تجهیزات شود. جهت بررسی اثرات نامتعادلی ولتاژ می توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱ در ترمینال موتورها جریان نامتعادلی از ۶ تا ۱۰ برابر نامتعادلی ولتاژ افزایش پیدا می کند، لذا اضافه جریانی در ترمینالهای موتور ایجاد شده که موجب افزایش دما و کاهش عمر عایقی موتور می- شود. (به ازای هر ۱۰ درجه افزایش دما عمر عایقی سیم پیچها نصف می شود)[۱۰و۱۱].

۲ -وقتی ولتاژ یک درصد نسبت به مقدار نامی افزایش می یابد، تلفات هسته ترانسفورماتور ۵ درصد افزایش می یابد[۱۲].

۳ در ترانسفورماتورهای قدرت بزرگ، شار ناشی از ولتاژهای نا متقارن ممکن است هسته آهنی را ترک کنند و وارد فضای داخل ترانسفورماتور شوند. این امر موجب القاء جریان الکتریکی در بخشهای فلزی داخل ترانسفورماتور شده و منجر به افزایش موضعی درجه حرارت می گردد[۱۱و۱۲].

فصل دوم

معرفی جبران کننده های توان راکتیو

۲-۱-مقدمه

بواسطه پیشرفت روز افزون وسایل الکترونیکی و همچنین رشد صنایع، نیاز به داشتن تغذیه با کیفیت بالا افزایش یافته است. کنترل توان راکتیو یک عامل بسیار اساسی در حفظ کیفیت تغذیه می باشد بخصوص برای جلوگیری از اغتشاشات ولتاژ. انواع معین از بارهای صنعتی از جمله کوره-های الکتریکی، دستگاههای حفاری و دستگاههای جوشکاری با دریافت توان اکتیو و راکتیو از سیستم تغذیه تغییرات وسیع و سریعی را بر آن تحمیل می کنند که اغلب کاربرد لوازم تثبیت کننده ولتاژ نظیر جبران کننده های توان راکتیو الزامی است[۱۳].

۲-۲- جبران کننده ایده آل

جبران کننده ایده آل وسیله ایی است که در محل بار نصب می شود و سه وظیفه عمده را بر عهده دارد:

- ضریب توان را به مقدار یک تصحیح می کند
- تغییرات ولتاژ را حذف می کند

- جریانها و ولتاژهای سه فاز را متعادل می کند

(جبران کننده ایده آل در حذف اعوجاج ناشی از هارمونیک که در جریان یا ولتاژ تغذیه وجود دارد، نقشی ندارد و این وظیفه بر عهده فیلتر ها می باشد) همچنین جبران کننده ایده آل نباید خود تولید هارمونیک کند. از طرفی به پاسخهای سه گانه فوق بطور لحظه ایی عمل می کند[۷].

لذا بایستی مشخصات زیر را داشته باشد :

۱ -بر طبق نیازمندی بار، مقدار متغیر و قابل کنترل توان راکتیو را بدون تأخیر فراهم نماید.

۲ -در ترمینال خودش مشخصه ولتاژ ثابتی را ارائه نماید.

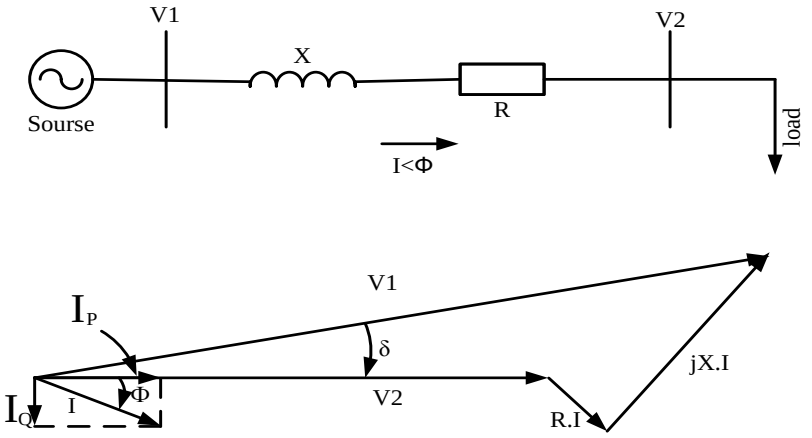
۳ -قادر باشد در سه فاز بطور مستقل عمل کند.

۲-۳- اصول جبران سازی توان راکتیو

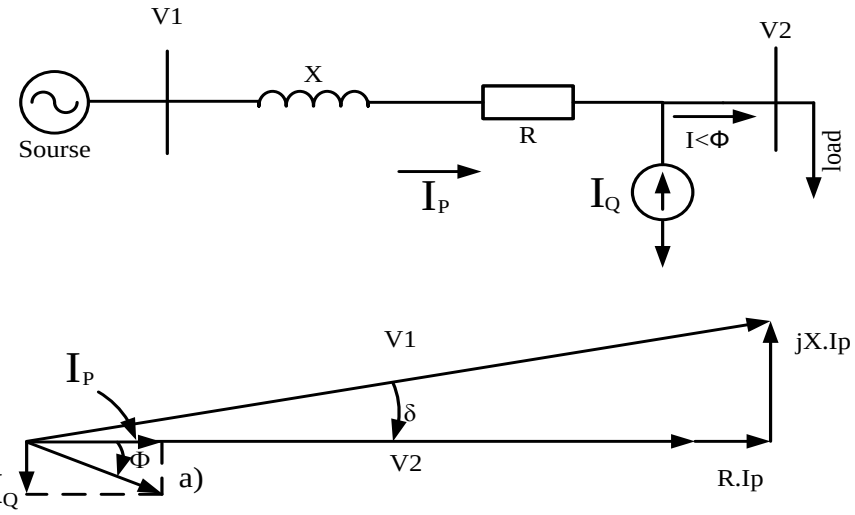
در مدار های خطی، توان راکتیو به صورت ترکیبی از توان لحظه ای با فرکانس ۱۰۰ یا ۱۲۰ هرتز که در یک سیستم ۵۰ یا ۶۰ هرتز تعریف شده، ظاهر می گردد. توان راکتیو تولید شده توسط منبع تغذیه ac، در یک چهارم سیکل در خازن و یا راکتور ذخیره شده و یک چهارم سیکل بعدی به منبع تغذیه برگشت داده می شود. به عبارت دیگر توان راکتیو، ما بین منبع و مصرف کننده خازنی یا سلفی با فرکانسی برابر با دو برابر فرکانس نامی سیستم نوسان می کند(۵۰ یا ۶۰ هرتز). به همین دلیل با استفاده از تولید کننده توان راکتیو بدون اینکه نوسانی بین منبع و بار وجود داشته باشد، توان راکتیو جبران گردیده و از این رو ولتاژ سیستم به پایداری می رسد. جبران سازی توان راکتیو می تواند با استفاده از تولید کننده های توان راکتیو که به صورت سری یا موازی به یکدیگر متصل شده اند انجام گیرد. اساس هردو نوع جبران سازی موازی و سری در صفحات بعد توصیف گردیده است[۵].

۲-۳-۱- جبران سازی موازی

شکل ۲-۲ تأثیرات نظری و عمده جبران سازی توان راکتیو بر روی یک سیستم AC را نمایش می دهد. که شامل یک منبع با ولتاژ V_1، یک خط انتقال توان و یک بار القائی نمونه می باشد. شکل ۲-۱ سیستم بدون جبران ساز همراه با دیاگرام فازوری آن را نشان می دهد.



شکل۲-۱- اصول جبران موازی در یک سیستم AC (بدون جبران کننده توان راکتیو)[۱۸]



شکل۲-۲- اصول جبران موازی در یک سیستم AC (جبران کننده موازی با یک منبع جریان)[۱۸]

در دیاگرام فازوری زاویه فاز جریان وابسته به بار می باشد به این معنی که جریان Ip با ولتاژ بار V_2 هم فاز می باشد. زمانی که بار القائی باشد، نیاز به توان راکتیو دارد از این رو لازم است منبع، آن را تامین کند و این موجب افزایش جریان تولیدی توسط ژنراتور و انتقال در مسیر خطوط انتقال می-گردد. اگر توان راکتیو در نزدیکی بار تولید گردد، جریان خط به حداقل مقدار خود می رسد، تلفات خط کاهش می یابد و رگولاسیون ولتاژ در ترمینال های بار بهینه می گردد[۱۸]. این عمل از سه طریق امکان پذیر می باشد: