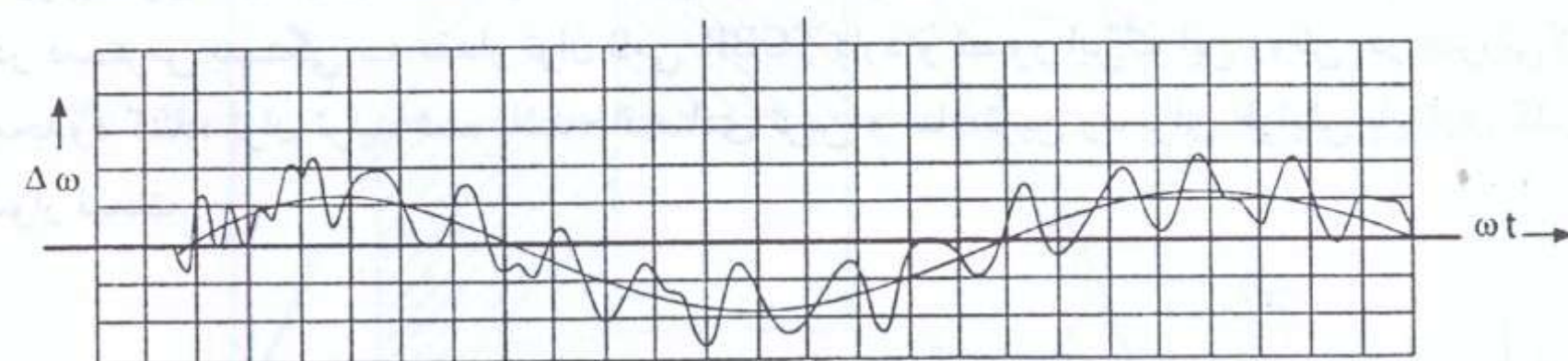
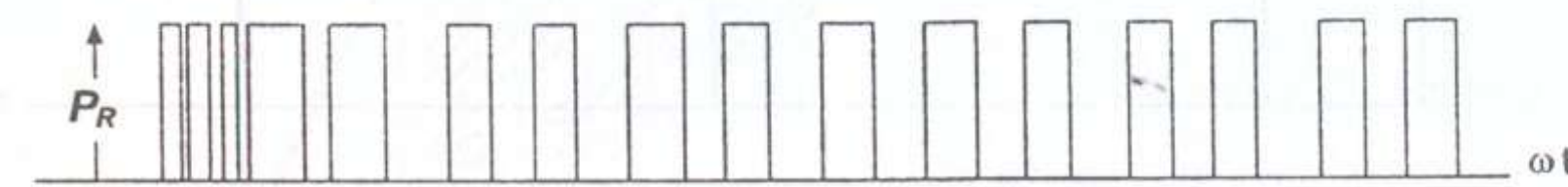


شکل ۸-۹ شکل موج های نوسان توان را در حوزه زمان برای نوسان کم فرکانس سیستم، شامل زاویه توان، انحراف سرعت و توان مقاومت نشان می دهد. انحراف سرعت ($\Delta\omega = \omega - \omega_0$) که در آن ω سرعت واقعی ژنراتور و ω_0 سرعت حالت ماندگار آن است) همان گونه که در دیاگرام ساده تک خطی TCBR نشان داده شده، پارامتر اصلی کنترل است. هنگامی که انحراف سرعت فیلتر شده $\Delta\omega$ مربوط به نوسان خاصی که باید کاسته شود مثبت باشد، مقاومت وصل می گردد، و هنگامی که انحراف سرعت منفی است TCBR قطع می شود. جریان هم فاز، یک مؤلفه گشتاور الکتریکی هم فاز با نوسان سرعت ژنراتور تولید می کند. گشتاور الکتریکی کاهنده دارای همان فاز گشتاور اصطکاکی و گشتاور کاهنده بوده، اما به مراتب از آن قدرتمندتر است. در مدت خطا توان مقاومت بسته به ولتاژ ترمینال در دوره خطا، کوچک یا صفر خواهد بود. هنگامی که خطا برطرف شود ولتاژ و به همان ترتیب توان مقاومت افزایش خواهد یافت.

از آن جا که مقاومت فقط توان مصرف می کند و منبع توانی نیست، هنگامی که سرعت بالاتر از عادی است به صورت ترمز عمل می کند، اما وقتی سرعت پایتتر از حد عادی است نمی تواند متقابلاً سرعت را افزایش دهد. این موضوع نقص نیست بلکه یکی از جنبه های عملکردی این کنترل کننده است؛ جنبه ای که آن را به بهترین وجه، متناسب موقعیت طرف تولید کننده می کند تا هنگام شتاب گیری گذرا به سرعت پاسخ دهد. هنگامی که ژنراتور با کمک TCBR از اولین شتاب گیری گذرا بیرون می آید، TCBR به صورت مؤثری به کاهش سریع نوسانات دینامیکی نیز کمک می کند.

(الف) انحراف سرعت $\Delta\omega$ (ب) P_R با $\Delta\omega$ کم فرکانس(ج) P_R با $\Delta\omega$ ترکیبی(د) P_R با $\Delta\omega$ زیر سنکرون

شکل ۹-۹ پالس توان TCBR برای ورودی های مختلف انحراف سرعت: (الف) انحراف سرعت $\Delta\omega$ ؛ (ب) P_R با $\Delta\omega$ کم فرکانس؛ (ج) P_R با $\Delta\omega$ ترکیبی؛ (د) P_R با $\Delta\omega$ زیر سنکرون.

همان گونه که در بخش های ۱-۹ و ۲-۹ مورد بحث قرار گرفت، انحراف سرعت در هنگام اختلالات شامل نوسانات زیر سنکرون نیز هست. شکل ۹-۹ یک مسیر نوعی انحراف سرعت کاهش نیافته را در برابر زمان، پس از برطرف شدن خطا نزدیک طرف ولتاژ زیاد، در یک ترانسفورماتور سمت ژنراتور نشان می دهد. شکل موج انحراف سرعت ژنراتور شامل یک مؤلفه مهم فرکانس نوسان سیستم قدرت در حدود ۲ هرتز، و فرکانس های طبیعی پیچش مکانیکی شامل فرکانس غالب ۲۰ هرتز و مؤلفه های کوچکتر ۳۳ و ۴۳ هرتز است.

اگر هدف، کنترل نوسان [سوئینگ] سیستم قدرت باشد، انحراف سرعت حاصل شده از توربین - ژنراتور نیروگاه می تواند از طریق یک فیلتر پایین گذر فیلتر شود تا سیگنال کم فرکانس برای کنترل نوسانات کم فرکانس به دست آید. شکل موج مؤلفه کم فرکانس انحراف سرعت در شکل ۹-۹ الف نشان داده شده و توالی قطع-وصل TCBR نیز در شکل ۹-۹ ب نشان داده شده است. دیده می شود که این پالس ها متناظر با دوره زمانی کم فرکانس، پهنای دارند.

باید اشاره کرد که ترمز دینامیکی با استفاده از کلیدهای مکانیکی و کلیدزنی قطع-وصل هم زمان در گذشته برای کنترل اولین سیکل نوسان گذرا مورد استفاده قرار می گرفته است.

از طرف دیگر، اگر هدف TCBR کنترل گشتاورهای زیر سنکرون باشد- چه برای مقابله با اثر جبران سازی خازنی سری باشد، یا استفاده از بازبندی سریع بدون گشتاورهای پیچشی زیاد بر روی سیستم محور- سیگنال انحراف سرعت می تواند از طریق یک فیلتر بالاگذر، فیلتر شود تا سیگنالی برای کل انحراف سرعت زیر سنکرون به دست آید. توالی قطع-وصل TCBR برای انحراف سرعت زیر سنکرون مرکب، با شکل ۹-۹ د نشان داده شده است. این تدبیر منجر به پالس های بار کوتاه تر TCBR مربوط به نوسانات زیر سنکرون می شود. شکل ۹-۹ ج پالس های بار مربوط به ورودی انحراف سرعت فیلتر نشده را نشان می دهد. آشکار است که چنین سیگنالی تا آن جا منجر به میرایی نوسان کم فرکانس می شود که نوسان کم فرکانس به اندازه کافی برای سیگنال فیلتر نشده کوچک باشد تا چندین بار خط صفر را قطع کند.

رویکرد مرجع آن است که ابتدا توربین-ژنراتور را از اولین نوسان گذرا حفظ کنند و سپس به کمک کردن در میرایی نوسانات زیر سنکرون بپردازند. با در نظر گرفتن این که حوادث مختلف سیستم قدرت می تواند منجر به این یا آن نوع فرکانس مخاطره آمیز شود، بهترین رویکرد برای کنترل TCBR آن خواهد بود که فیلترهای مجزا برای به دست آوردن انحراف سرعت برای هر فرکانس تعبیه شود و سیگنال ها را به صورت انتخابی بر حسب مقدار و اولویت آن ها اعمال نمایند.

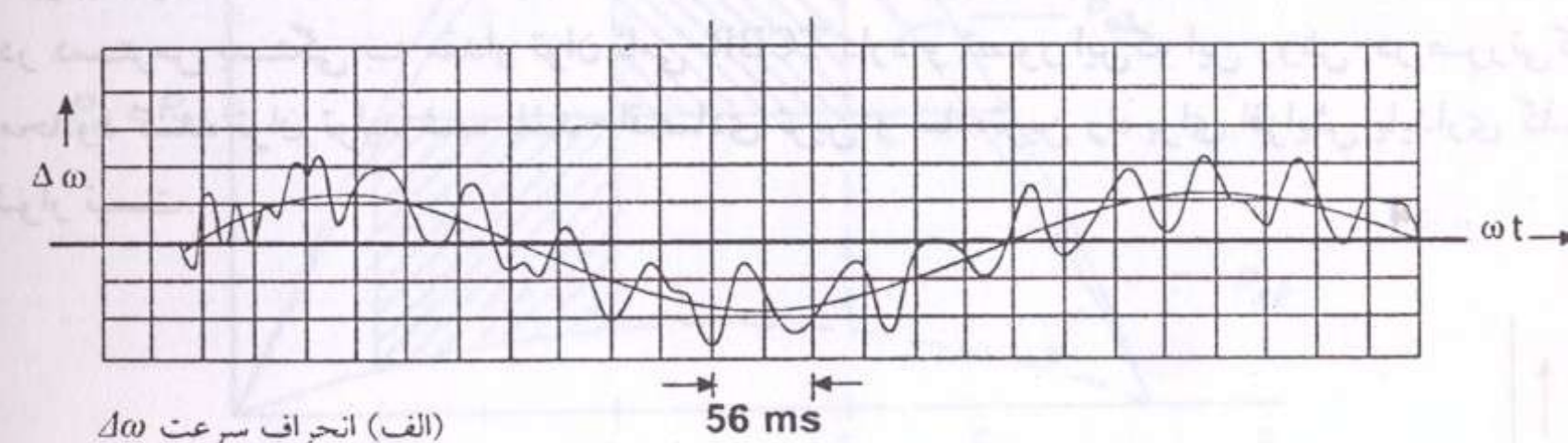
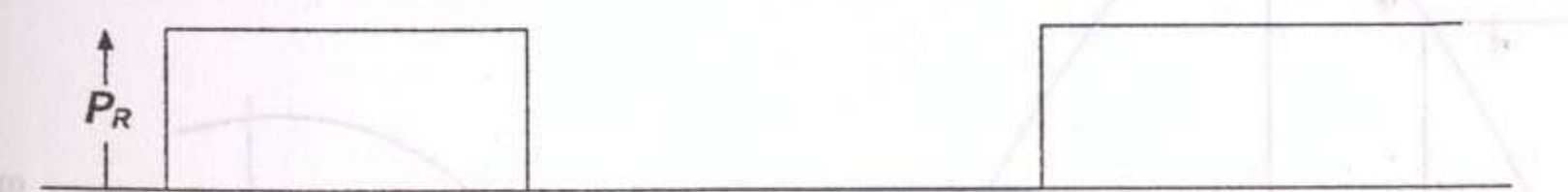
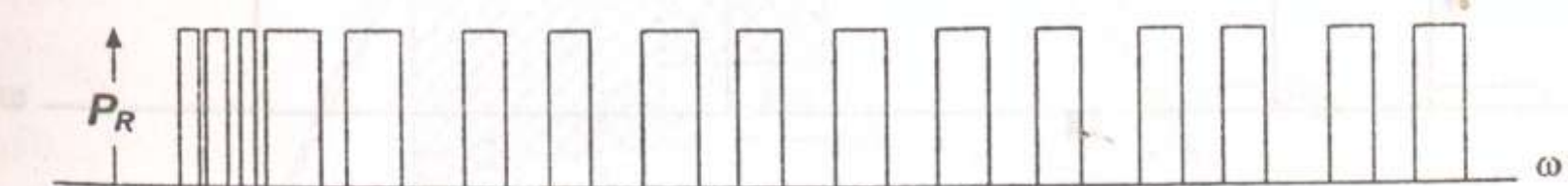
همان گونه که اشاره شد، شکل موج انحراف سرعت در شکل ۹-۹ الف بدون هرگونه کاربرد TCBR، مطابق شکل های ۹-۹ ب و د، به سرعت نوسانات مربوطه را کاهش خواهد داد.

سیگنال انحراف سرعت در بهره برداری صحیح از TCBR اساسی است. این سیگنال ها می توانند از تکنیک های موجود برای اندازه گیری مستقیم انحراف سرعت محور توربین-ژنراتور به دست آیند. به هر حال، به دست آوردن چنین سیگنالی از ولتاژ خروجی ژنراتور یا ولتاژ در مکان نصب TCBR، کاملاً امکان پذیر است.

با توجه به این که عملکرد TCBR میرا نمودن نوسانات است، شناخت طبیعت کلیدزنی بار توسط کلیدهای ترستوری، حائز اهمیت است. شکل ۹-۱۰ الف سه ولتاژ پایه های مقاومتی را نشان می دهد (ولتاژهای فاز به زمین در TCBR های ستاره و ولتاژهای فاز به فاز در TCBR های مثلث بسته شده). چون در اساس سه بار مقاومتی مستقل وجود دارد، این شکل موج ها را می توان شکل موج جریان هم در نظر گرفت. TCBR می تواند مبتنی بر ترستورهایی باشد که نیم سیکل به نیم سیکل بدون

شکل ۸-۹ شکل موج‌های نوسان توان را در حوزه زمان برای نوسان کم فرکانس سیستم، شامل زاویه توان، انحراف سرعت و توان مقاومت نشان می‌دهد. انحراف سرعت ($\Delta\omega = \omega - \omega_0$) که در آن ω سرعت واقعی ژنراتور و ω_0 سرعت حالت ماندگار آن است) همان‌گونه که در دیاگرام ساده تک خطی TCBR نشان داده شده، پارامتر اصلی کنترل است. هنگامی که انحراف سرعت فیلتر شده $\Delta\omega$ مربوط به نوسان خاصی که باید کاسته شود مثبت باشد، مقاومت وصل می‌گردد، و هنگامی که انحراف سرعت منفی است TCBR قطع می‌شود. جریان هم‌فاز، یک مؤلفه گشتاور الکتریکی هم‌فاز با نوسان سرعت ژنراتور تولید می‌کند. گشتاور الکتریکی کاهنده دارای همان فاز گشتاور اصطکاکی و گشتاور کاهنده بوده، اما به مراتب از آن قدرتمندتر است. در مدت خطا توان مقاومت بسته به ولتاژ ترمینال در دوره خطا، کوچک یا صفر خواهد بود. هنگامی که خطا برطرف شود ولتاژ و به همان ترتیب توان مقاومت افزایش خواهد یافت.

از آن‌جا که مقاومت فقط توان مصرف می‌کند و منبع توانی نیست، هنگامی که سرعت بالاتر از عادی است به صورت ترمز عمل می‌کند، اما وقتی سرعت پایینتر از حد عادی است نمی‌تواند متقابلاً سرعت را افزایش دهد. این موضوع نقص نیست بلکه یکی از جنبه‌های عملکردی این کنترل‌کننده است؛ جنبه‌ای که آن را به بهترین وجه، متناسب موقعیت طرف تولید کننده می‌کند تا هنگام شتاب‌گیری گذرا به سرعت پاسخ دهد. هنگامی که ژنراتور با کمک TCBR از اولین شتاب‌گیری گذرا بیرون می‌آید، TCBR به صورت مؤثری به کاهش سریع نوسانات دینامیکی نیز کمک می‌کند.

(الف) انحراف سرعت $\Delta\omega$ (ب) P_R با $\Delta\omega$ کم فرکانس(ج) P_R با $\Delta\omega$ ترکیبی(د) P_R با $\Delta\omega$ زیرسکرو

شکل ۹-۹ پالس توان TCBR برای ورودی‌های مختلف انحراف سرعت: (الف) انحراف

سرعت $\Delta\omega$; (ب) P_R با $\Delta\omega$ کم فرکانس؛ (ج) P_R با $\Delta\omega$ ترکیبی؛ (د) P_R با $\Delta\omega$ زیرسکرو.

همان‌گونه که در بخش‌های ۹-۱ و ۹-۲ مورد بحث قرار گرفت، انحراف سرعت در هنگام اختلالات شامل نوسانات زیر سنکرون نیز هست. شکل ۹-۹ یک مسیر نوعی انحراف سرعت کاهش نیافته را در برابر زمان، پس از برطرف شدن خطا نزدیک طرف ولتاژ زیاد، در یک ترانسفورماتور سمت ژنراتور نشان می‌دهد. شکل موج انحراف سرعت ژنراتور شامل یک مؤلفه مهم فرکانس نوسان سیستم قدرت در حدود ۲ هرتز، و فرکانس‌های طبیعی پیچش مکانیکی شامل فرکانس غالب ۲۰ هرتز و مؤلفه‌های کوچکتر ۳۳ و ۴۳ هرتز است.

اگر هدف، کنترل نوسان [سوئینگ] سیستم قدرت باشد، انحراف سرعت حاصل شده از توربین - ژنراتور نیروگاه می‌تواند از طریق یک فیلتر پایین‌گذر فیلتر شود تا سیگنال کم فرکانس برای کنترل نوسانات کم فرکانس به دست آید. شکل موج مؤلفه کم فرکانس انحراف سرعت در شکل ۹-۹ الف نشان داده شده و توالی قطع-وصل TCBR نیز در شکل ۹-۹ ب نشان داده شده است. دیده می‌شود که این پالس‌ها متناظر با دوره زمانی کم فرکانس، پهنا دارند.

باید اشاره کرد که ترمز دینامیکی با استفاده از کلیدهای مکانیکی و کلیدزنی قطع-وصل هم زمان در گذشته برای کنترل اولین سیکل نوسان گذرا مورد استفاده قرار می‌گرفته است.

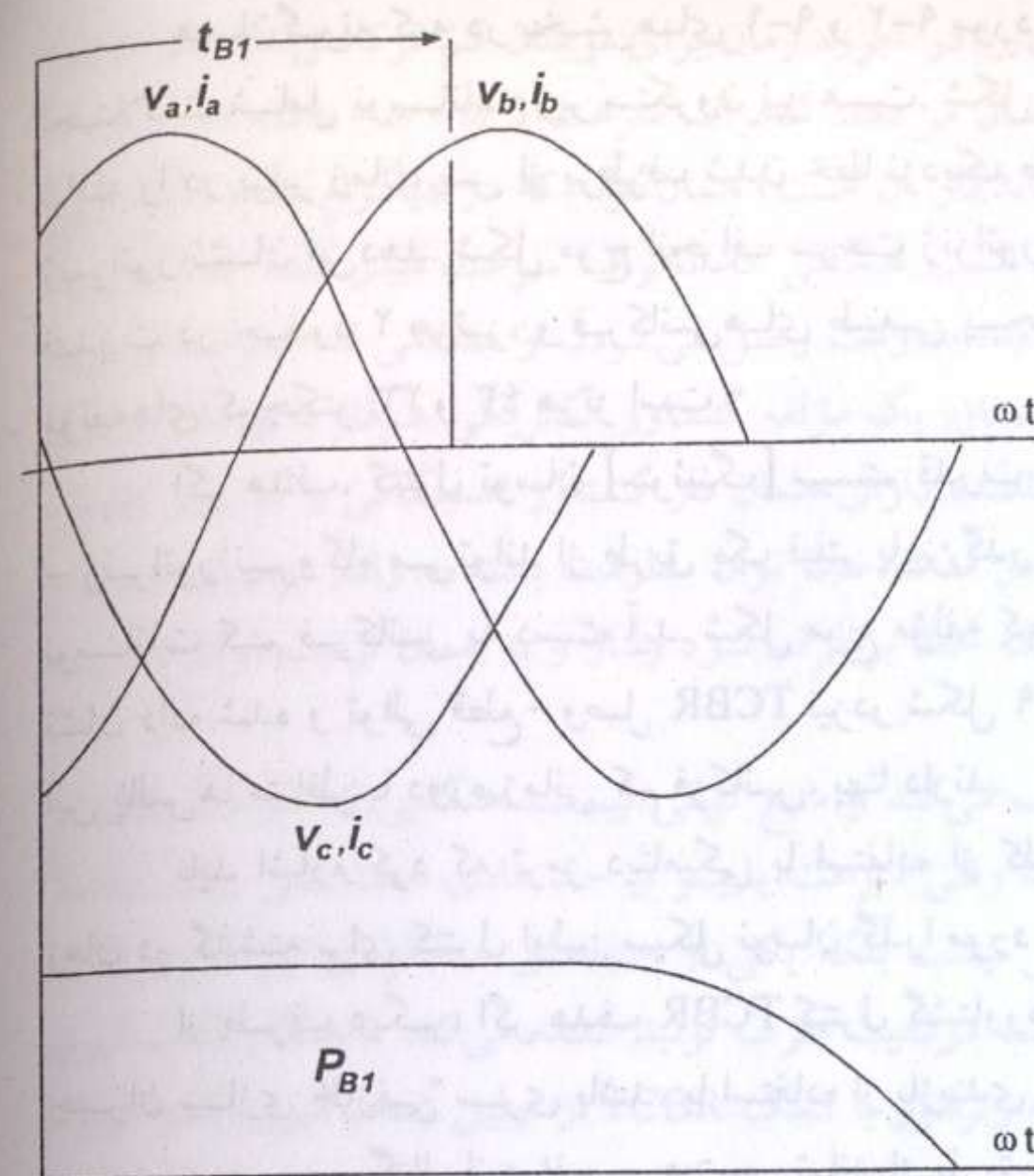
از طرف دیگر، اگر هدف TCBR کنترل گشتاورهای زیر سنکرون باشد-چه برای مقابله با اثر جبران سازی خازنی سری باشد، یا استفاده از بازبندی سریع بدون گشتاورهای پیچشی زیاد بر روی سیستم محور-سیگنال انحراف سرعت می‌تواند از طریق یک فیلتر بالاگذر، فیلتر شود تا سیگنالی برای کل انحراف سرعت زیر سنکرون به دست آید. توالی قطع-وصل TCBR برای انحراف سرعت زیر سنکرون مرکب، با شکل ۹-۹ د نشان داده شده است. این تدبیر منجر به پالس‌های بار کوتاه‌تر TCBR مربوط به نوسانات زیر سنکرون می‌شود. شکل ۹-۹ ج پالس‌های بار مربوط به ورودی انحراف سرعت فیلتر نشده را نشان می‌دهد. آشکار است که چنین سیگنالی تا آن‌جا منجر به میرایی نوسان کم فرکانس می‌شود که نوسان کم فرکانس به اندازه کافی برای سیگنال فیلتر نشده کوچک باشد تا چندین بار خط صفر را قطع کند.

رویکرد مرجع آن است که ابتدا توربین-ژنراتور را از اولین نوسان گذرا حفظ کنند و سپس به کمک کردن در میرایی نوسانات زیر سنکرون بپردازند. با در نظر گرفتن این‌که حوادث مختلف سیستم قدرت می‌تواند منجر به این یا آن نوع فرکانس مخاطره آمیز شود، بهترین رویکرد برای کنترل TCBR آن خواهد بود که فیلترهای مجزا برای به دست آوردن انحراف سرعت برای هر فرکانس تعبیه شود و سیگنال‌ها را به صورت انتخابی برحسب مقدار و اولویت آن‌ها اعمال نمایند.

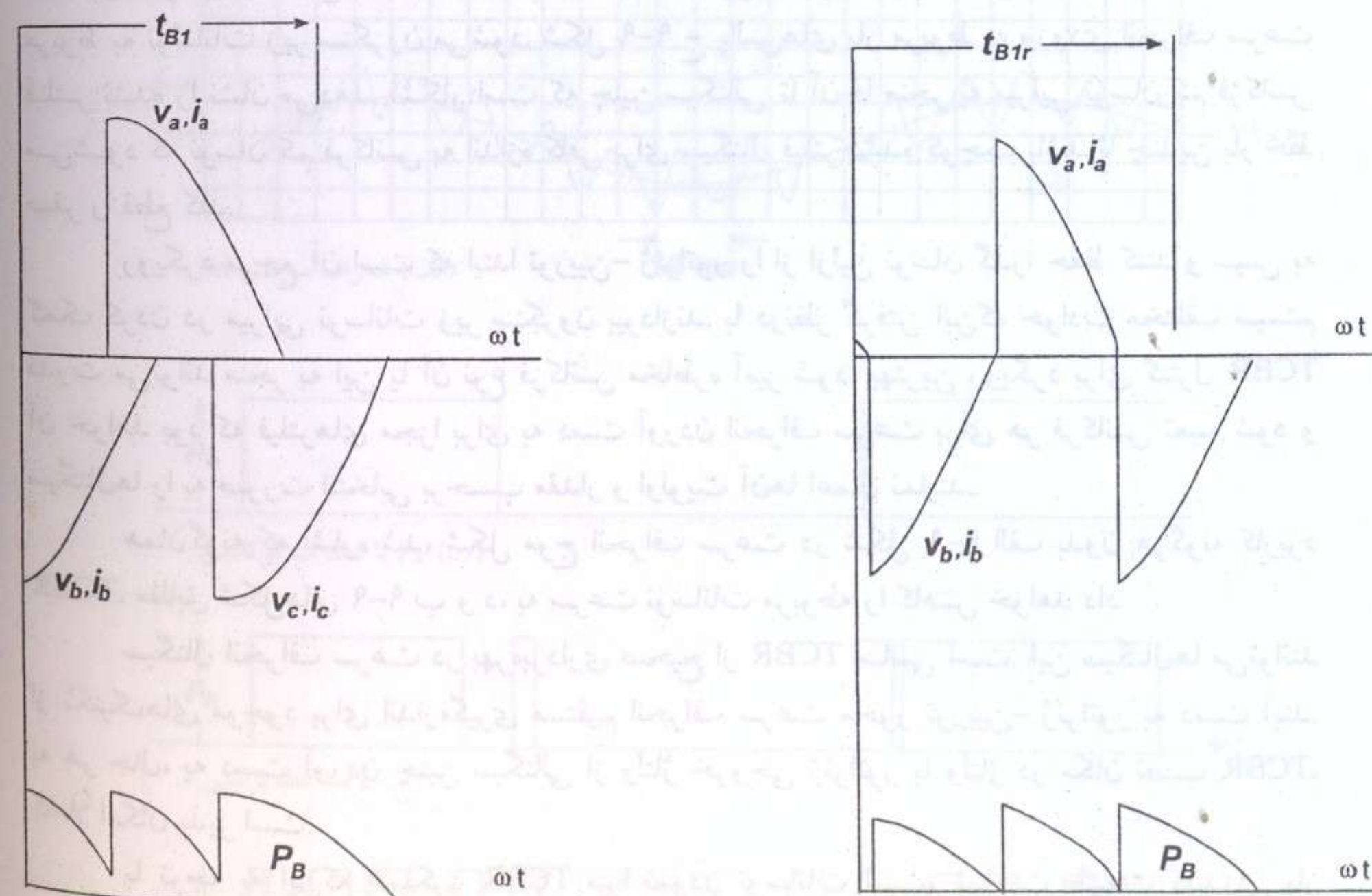
همان‌گونه که اشاره شد، شکل موج انحراف سرعت در شکل ۹-۹ الف بدون هرگونه کاربرد TCBR، مطابق شکل‌های ۹-۹ ب و د، به سرعت نوسانات مربوطه را کاهش خواهد داد.

سیگنال انحراف سرعت در بهره‌برداری صحیح از TCBR اساسی است. این سیگنال‌ها می‌توانند از تکنیک‌های موجود برای اندازه‌گیری مستقیم انحراف سرعت محور توربین-ژنراتور به دست آیند. به هر حال، به دست آوردن چنین سیگنالی از ولتاژ خروجی ژنراتور یا ولتاژ در مکان نصب TCBR، کاملاً امکان پذیر است.

با توجه به این‌که عملکرد TCBR میرا نمودن نوسانات است، شناخت طبیعت کلیدزنی بار توسط کلیدهای تریستوری، حائز اهمیت است. شکل ۹-۱۰ الف سه ولتاژ پایه‌های مقاومتی را نشان می‌دهد (ولتاژهای فاز به زمین در TCBR‌های ستاره و ولتاژهای فاز به فاز در TCBR‌های مثلث بسته شده). چون در اساس سه بار مقاومتی مستقل وجود دارد، این شکل موج‌ها را می‌توان شکل موج جریان هم در نظر گرفت. TCBR می‌تواند مبتنی بر تریستورهایی باشد که نیم سیکل به نیم سیکل بدون



(الف) مقاومت سوئیچ شده با تریستور



(ب) مقاومت کنترل شده با تریستور (۹۰ درجه تأخیر)

(ج) مقاومت کنترل شده با تریستور (۱۲۰ درجه تأخیر)

شکل ۹-۱۰ تأثیرات زمان وصل تریستور و قطع تریستور در جریان صفر برای TCBR: (الف) مقاومت سوئیچ شده با تریستور؛ (ب) مقاومت کنترل شده با تریستور.

کنترل زاویه آتش کلیدزنی شوند. در یک TCBR سه فاز، شش عمل تغییر توان در هر سیکل وجود دارد. فرض کنید که باید ترمز در زمان t_{B1} که اندکی کوتاه تر از نیم سیکل ۶۰ هرتز است وصل شود؛ به همین ترتیب فرض کنید تریستورها بدون کنترل زاویه آتش در آن دوره وصل شوند. دیده می شود که چون تریستور فقط زمانی قطع می شود که جریان آن به صفر برسد، هدایت TCBR برای حدود نیم سیکل بیشتر تداوم می یابد و توان در مدت این زمان تداوم یافته فراتر از t_{B1} کاهش می یابد. این موضوع وقتی که هدف، میراساختن نوسانات کم فرکانس سیستم قدرت باشد، از هیچ اهمیتی برخوردار نیست؛ زیرا زمان وصل نسبتاً بسیار طولانی خواهد بود. هرچند، اگر پالس های مورد نیاز کوتاه باشند، منجر به بهره برداری کمتر از حد مطلوب از TCBR، در کاهش گشتاورهای دارای فرکانس زیر سنکرون زیاده تر، خواهند شد. اثر نشان داده شده در توان مقاومت، اندکی مبالغه آمیز است؛ زیرا در فرکانس های زیر سنکرون، نیم سیکل ها طولانی تر از نیم سیکل های ۶۰ هرتز خواهند بود. یک رویکرد برای استفاده بهینه از TCBR این است که عرض پالس، اندکی کمتر از دوره نیم سیکل فرکانس انحراف سرعت جداگانه ای که کاهش یافته، انتخاب گردد. همچنین باید توجه کرد که بار مقاومت در سیکل ۶۰ هرتز در مراحل ۶۰ درجه ای، بلندتر یا کوتاه تر می شود.

درک تفاوت های میان TCBR سوئیچ شده با تریستور و کنترل شده با تریستور و شناخت منافع وجود کنترل زاویه آتش، حائز اهمیت است. با توجه به این که تریستورها به هر حال وجود دارند، هزینه اضافی کلیدهای تریستوری می تواند از تلفات بیشتر کلیدزنی ناشی شود، اما با توجه به دوره کوتاه عملکرد، این هزینه ها نایستی زیاد باشد. با کنترل عمل وصل، جریان بار می تواند به صورتی که با شکل موج های دارای ۹۰ درجه تأخیر و ۱۲۰ درجه تأخیر در شکل ۹-۱۰ ب نشان داده شده، برای همان زمان وصل t_{B1} مربوط به مقاومت سوئیچ شده با تریستور، کنترل شود. کنترل زاویه وصل می تواند برای کاهش و زدودن نوسانات در مقاومت ها وقتی که مقدار نوسان کم است، مفید باشد. می توان یک کاهندگی مستمر را با کنترل زاویه وصل در محدوده ۱۷۰ تا ۱۸۰ درجه تصور کرد، یا حتی کاربرد ضابطه ای مشابه کاهنده NGH را در نظر گرفت، به طوری که اگر مدت ولتاژ خط از یک دوره از پیش تنظیم شده تجاوز کند، کلید تریستوری وصل شود. این امکانات انتخاب های مختلفی را در صورت در دسترس بودن کنترل زاویه وصل ارائه می کند.

با در نظر گرفتن الزامات حالت گذرا و دینامیکی در یک سیستم نوعی، مقدار نامی یک TCBR عموماً نسبت مگاوات به مگاوات ساعت ($MW/MWHrs$) زیادی دارد. مثلاً، نامی آن برای یک نیروگاه ۱۰۰۰ مگاواتی می تواند ۱۰۰ تا ۲۰۰ مگاوات باشد، و نیاز کاری انرژی آن در خطی با جبران سازی سری، در هر اتفاق، در محدوده ۱۰۰ تا ۲۰۰ مگاوات (MJ) خواهد بود. اگر وظیفه خواسته شده از TCBR شامل فرو نشاندن اولین نوسان گذرا و نوسانات دینامیکی کم فرکانس باشد، نیاز MW می تواند برای چندین ثانیه در محدوده ۳۰ تا ۴۰ درصد مقدار نامی ژنراتور باشد. از طرف دیگر، اگر جبران سازی خازنی سری وجود نداشته باشد و هدف تنها تسهیل بازبندی سریع و سنکرون کردن باشد، آن گاه نیاز MW می تواند تنها ۵ درصد مقدار نامی ژنراتور برای ۰/۵ تا ۱ ثانیه باشد. کاملاً منطقی است که بخش مستمر کوچکی هم، مثلاً درصد کمی از مقدار نامی TCBR برای میرانمودن نوسانات کم فرکانس سیگنال های کوچک و نوسانات زیر سنکرون، در نظر گرفته شود.

این نکته نیز به خودی خود آشکار است که با یک کنترل کننده موازی با کنورتور و منبع ذخیره انرژی، مثل "سیستم مغناطیس ابررسانا" یا باتری، یا حتی یک منبع ذخیره مبتنی بر خازن dc ، هر دو عمل جذب و تحویل انرژی قابل انجام است. چنین کنترل کننده هایی در کاهندگی، البته نه در کاهش اولین نوسان گذرا، مؤثرتر از ترمز دینامیکی خواهند بود. تشخیص تفاوت میان ترمز دینامیکی و

- Nehrir, M. H., Donnelly, M. K., and Adapa, R., "Thyristor Base Damping of Turbine-Generator Shaft Torsional Oscillations Resulting from Power System Disturbances and Subsynchronous Resonance: A Review," *North American Power Symposium*, Auburn, AL, October 1990.
- Othman, H. A., and Angquist, L., "Analytical Modeling of Thyristor-Controlled Series Capacitors for SSR Studies," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 11, no. 1, February 1996.
- Padiyar, K. R., *Analysis of Subsynchronous Resonance in Power Systems*, New York: Kluwer Academic Publishers, 1999.
- Piwko, R. J., Wegner, C. A., Kinney, S. J., and Eden, J. D., "Subsynchronous Resonance Performance Tests of the Slatt Thyristor Controlled Series Capacitor," *IEEE Transaction on Power Delivery*, vol. 11, no. 2, April 1996.
- Pourbeik, P., and Gibbard, M. J., "Damping and Synchronizing Torques Induced on Generators by FACTS Stabilizers in Multi-Machine Power Systems," *IEEE PES 1996 Winter Meeting, Paper 96 WM 253-5-PWRS*, Baltimore, January 1996.
- Rajaraman, R., Dobson, L., Lasseter, R. H., and Shern, Y., "Computing the Damping of Subsynchronous Oscillations Due to a Thyristor-Controlled Series Capacitor," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 11, no. 2, April 1996.
- Raschio, P., Mittelstadt, W. A., Haner, J. F., Spee, R., and Enslin, J. H. R., "Evaluation of Dynamically Controlled Brake for the Western Power System," *CIGRE 1995 Symposium on Power Electronics in Electric Power Systems*, Tokyo, May 1995.
- Shelton, M. L., Winkleman, P. F., and Mittelstadt, W. A., "Bonneville Power Administration 1400MW Braking Resistor," *IEEE PAS-94*, 1975.
- Takasaki, M., and Hayashi, T., "Subsynchronous Oscillation Analysis of Power System with Power Electronics Applied Facilities," *CIGRE 1995 Symposium on Power Electronics in Electric Power Systems*, Tokyo, May 1995.
- Wang, L., "Simulations of Prefiring NGH Damping Scheme On Suppressing Torsional Oscillations Using EMTP," *IEEE PES 1996 Summer Meeting, Paper 96 SM 530-6-PWRS*, Denver, July-August 1996.
- Wang, Y., Mittelstadt, W. A., and Maratukulam, D. J., "Variable Structure Braking-Resistor Control in a Multi-Machine Power System," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 9, no. 3, 1994.
- Wasynczuk, O., "Damping Shaft Torsional Oscillations Using a Dynamically Controlled Resistor Bank," *IEEE Transactions Power Apparatus and Systems*, vol. PS100, no. 7, pp. 3340-3349, July 1981.

سیستم‌های ذخیره که هر دو در واقع انرژی حقیقی را اضافه و/یا کم می‌کنند و کنترل‌کننده‌های دیگر مثل UPFC، STATCOM، TCSC و غیره که بر انتقال انرژی بین دو سیستم تأثیر می‌گذارند، نیز ضرورت دارد. اشاره به این نکته مناسب است که از نقطه نظر پایداری، در کنترل‌کننده‌هایی با مقادیر MVA قابل مقایسه، اضافه و کم کردن توان حقیقی می‌تواند چندین بار مؤثرتر از انتقال توان باشد. بنابراین، برای پاسخگویی به حالت گذرا و پایداری دینامیکی به خصوص مورد دوم - و کاهش گشتاور زیر سنکرون مربوط به بازبندی سریع و سنکرون کردن، TCBR می‌تواند اقتصادی ترین وسیله باشد.

مراجع

- Bayer, W., Habur, K., Povh, D., Jacobson, D., Guedes, J., and Marshall, D. A., "Long Distance Transmission with Parallel AC DC Link from Cahora Bassa (Mozambique) to S. Africa and Zimbabwe," *CIGRE Session Group 14, Paper 14-306*, 1996.
- Bhargava, B., "Effectiveness of Thyristor-Controlled Series Capacitors in Damping SSR on Mohave Generators and its Comparison with the NGH Device," *Proceedings, IEEE/Royal Institute of Technology Stockholm Power Tech: Power Electronics*, June 1995.
- Bowler, C. E. J., Baker, D. H., and Moran, C. G., "FACTS and SSR-Focus on TCSC Application and Mitigation of SSR Problems," *Proceedings of Flexible AC Transmission Systems (FACTS) Conference*, Boston, MA, May 1992.
- Farmer, R. G., et al., IEEE Task Force: Analysis and Control of Subsynchronous Resonance," *IEEE PES Winter Meeting and Tesla Symposium*, Publication No. 76 CH1066-0-PWR, 1976.
- Hamouda, R. M., Iravani, M. R., and Hackam, R., "Torsional Oscillations of Series Capacitor in Compensated AC/DC Systems," *IEEE Trans. Power Systems*, vol. 4 no. 3, pp. 889-896, August 1989.
- Hingorani, N. G., "A New Scheme for Subsynchronous Resonance Damping of Torsional Oscillations and Transient Torque-Part I," *IEEE PES Summer Meeting*, paper No. 80 SM 687-4, Minneapolis, MI, 1980.
- Hingorani, N. G., Hedin, R. A., and Stump, K. P., "A New Scheme for Subsynchronous Resonance Damping of Torsional Oscillations and Transient Torque-Part II," *IEEE PES Summer Meeting*, paper No. 80 SM 688-2, Minneapolis, MI, 1980.
- Hingorani, N. G., Hedin, R. A., Stump, K. P., and Bhargava, B., "Evaluation of the NGH Scheme Applied to Mohavi Generators," *IEEE PES Summer Meeting*, paper No. 81 TH00869 687-4, July 1981.
- Hingorani, N. G., Hedin, R. A., Stump, K. P., Schwalb, A., and Mincer, "A New Scheme for Damping of Subsynchronous Resonance in Series Compensated AC Transmission Systems," *IEEE International Conference on Thyristor and Variable Static Equipment for AC and DC Transmission Systems*, Proceeding No. 205, pp. 609-664, December 1981.
- Hiyama, T., Mishiro, M., Kihara, H., and Ortmeyer, T. H., "Fuzzy Logic Switching of Thyristor Controlled Braking Resistor Considering Coordination with SVC," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 10, no. 4, pp. 2020-2026, October 1995.
- Hyman, E., "Thyristor Control for SSR Suppression: A Case Study," *EPRI Conference on Flexible AC Transmission System*, Baltimore, October 1994.
- Iravani, M. R., Edris, A. A., "Eigen-analysis of Series Compensation Schemes Reducing the Potential of Subsynchronous Resonance," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 10, no. 2, May 1995.
- Iravani, M. R., and Mathur, R. M., "Application of Static Phase Shifters for Suppressing Shaft Torsional Oscillations," *CIGRE Group 37 Session Paper 37-01*, 1986.
- Lombard, X., and Therond, P. G., "Series Compensation and Subsynchronous Resonance Details Analysis of the Phenomenon and of its Damping by TCSC," *Proceedings of IEEE Sixth Annual Conference on AC and DC Transmission*, pp. 321-328, April-May 1996.

مثال‌های کاربردی

این فصل قصد توضیح چهار کاربرد را دارد، تا طرح‌ریزی، مشخصات کاربردی، طراحی و جنبه‌های عملکردی پروژه‌های FACTS را منتقل نماید. این پروژه‌ها شامل موارد مشروح زیر است:

- خازن سری پیشرفته (ASC) در پست کایتا^۱ متعلق به WAPA^۲ (ASC)، نام تجاری سازنده برای TCSC است
- خازن سری کنترل شده با تریستور (TCSC) در پست اسلات^۳ متعلق به BPA^۴
- کندانسور استاتیکی در پست سولیوان^۵ متعلق به TVA^۶ (STATCON)، نام مخفف که توسط IEEE به جبران ساز استاتیکی (STATCOM، تغییر یافت)
- کنترل کننده یکپارچه سیلان توان (UPFC) در پست اینز^۷ متعلق به AEP^۸

تأسیسات SVC بیشماری نیز وجود دارند، اما به دلیل مقالات و کتاب‌های زیادی که در زمینه SVC وجود دارد، این فصل بر روی تعدادی از فن‌آوری‌های جدید FACTS تمرکز می‌کند.

۱۰-۱ خازن سری پیشرفته (ASC) در پست کایتا متعلق به WAPA

۱۰-۱-۱ معرفی و جنبه‌های طرح‌ریزی

خازن سری پیشرفته (ASC) نامی است که توسط سازنده، شرکت زیمنس^۹، بر سیستم کلی خازن سری آن‌ها، شامل یک TCSC و یک خازن سری متداول نهاده شده است. لذا در این بخش از این تأسیسات به عنوان ASC کایتا یا منحصراً ASC، برای کل سیستم، و TCSC برای مدول کنترل شده با تریستور، نام برده می‌شود. این اولین ASC در نوع خود بود که در سال ۱۹۹۲ در پست ۲۳۰ کیلوولت کایتا در اداره برق منطقه غربی (WAPA) در شمال شرق آریزونا نصب شد.

^۱ Kayenta

^۲ Western Area Power Administration

^۳ Slatt

^۴ Bonneville Power Administration

^۵ Sullivan

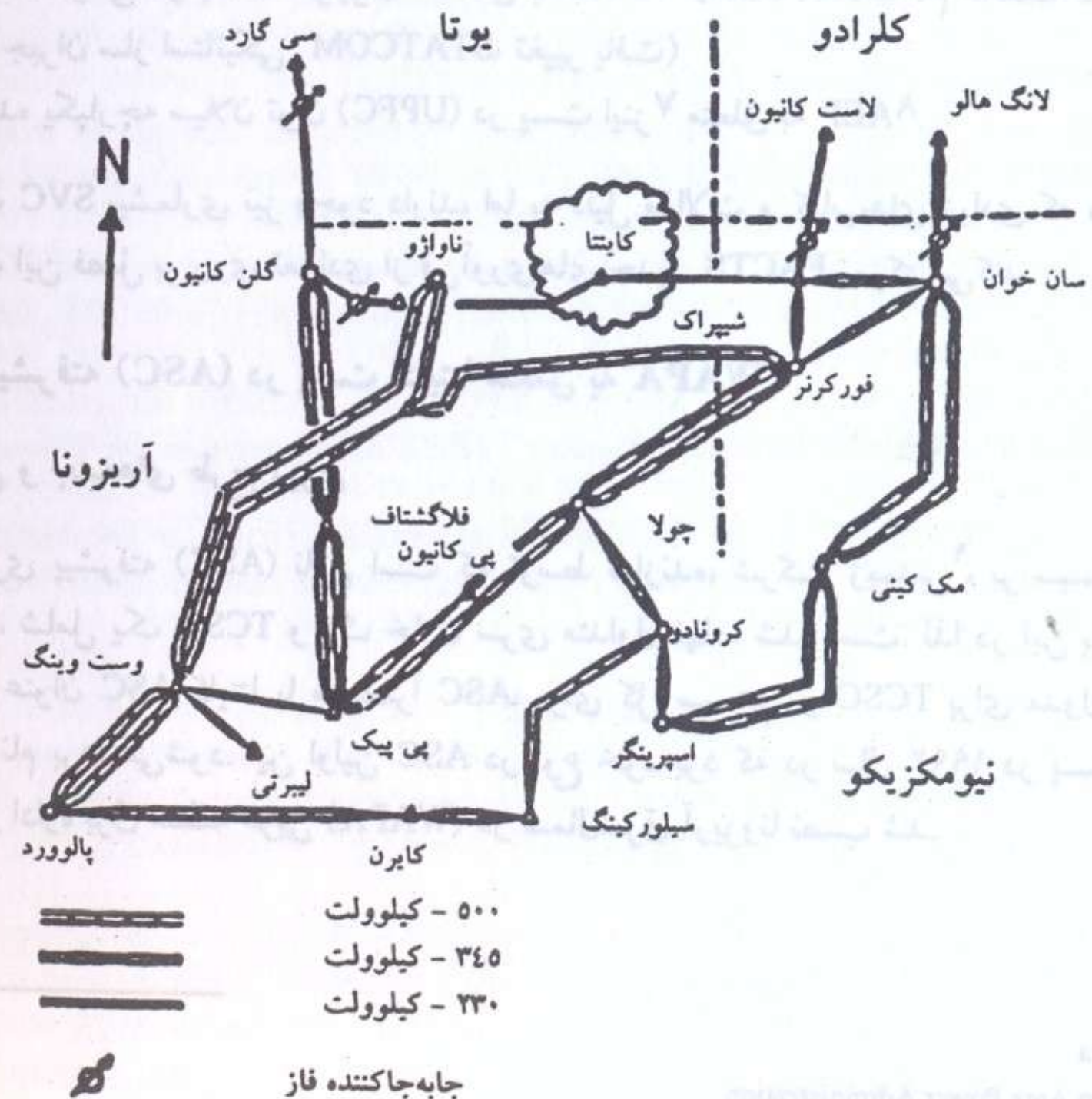
^۶ Tennessee Valley Authority

^۷ Inez

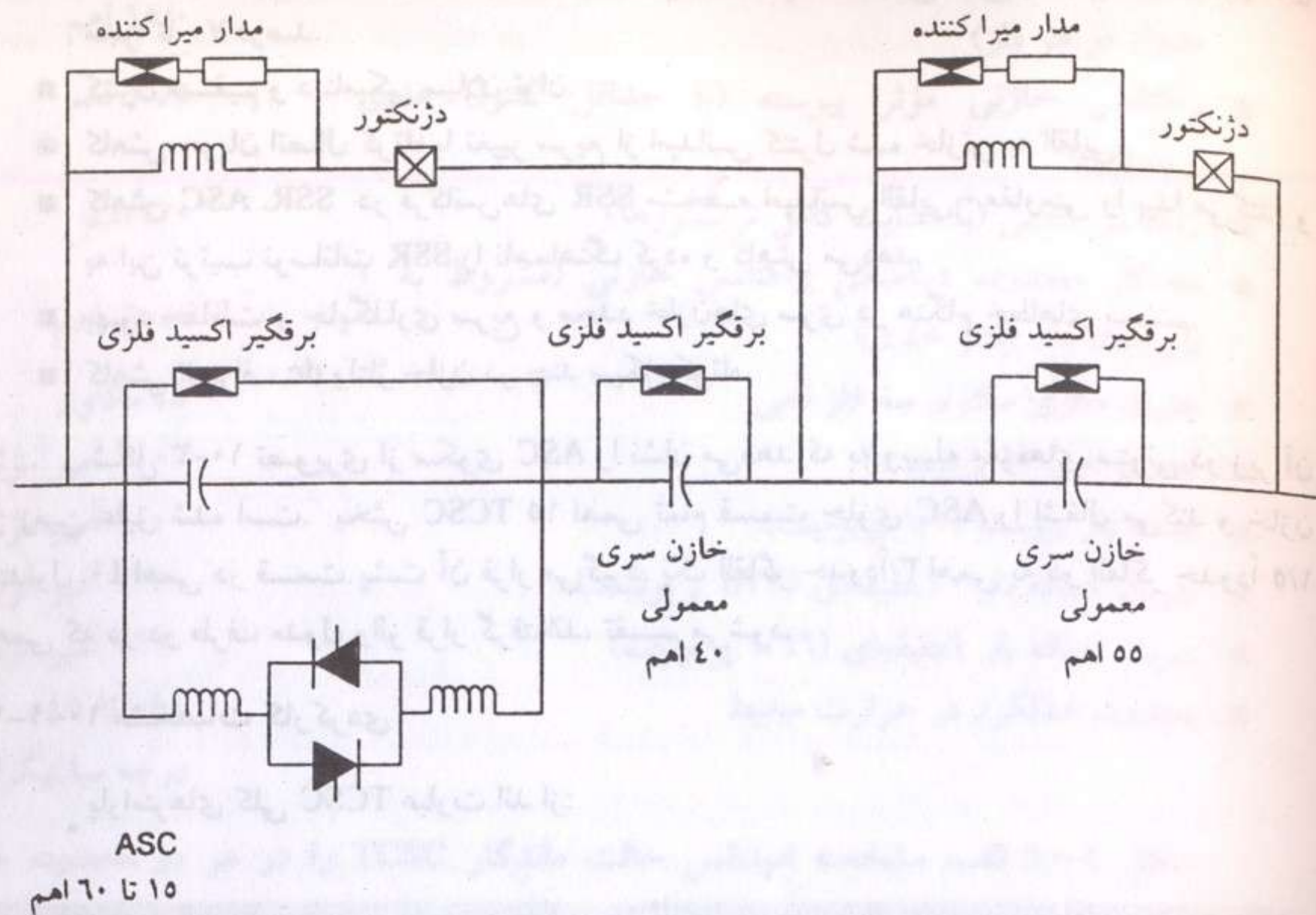
^۸ American Electric Power

^۹ Siemens

همانند TCSC-اسلات، ASC-کایتا بخشی از سیستم منطقه ای WSCC است که مشخصه آن خطوط انتقال طولانی، تعداد زیاد نیروگاه های آبی و حرارتی، و بسیاری خطوط جبران سازی شده با خازن سری است. این ASC برای افزایش قابل اعتماد ظرفیت انتقال یک خط ۲۳۰ کیلوولت بین گلن کانیون^۱ و شپراک^۲، به صورتی که در شکل ۱۰-۱ نشان داده شده، و نیز نشان دادن این کنترل کننده FACTS به عنوان یک انتخاب قابل قبول در طرح ریزی نیازهای آتی ظرفیت انتقال در سیستم WAPA، مورد نیاز بود. پست کایتا به دلیل قرار داشتن در میانه خط ۱۹۰ مایلی، برای این پروژه منحصر به فرد انتخاب شد. همان گونه که در دیاگرام تک خطی می توان مشاهده کرد، سیستم اطراف شامل خطوط ۵۰۰ و ۲۳۰ کیلوولت زیادی است. این خطوط پست هایی را به هم متصل می کنند که مکان نیروگاه های بخاری بزرگی هستند. بار محلی کوچکی نیز در حدود ۵۰ مگاوات، از پست کایتا تغذیه می شود.



شکل ۱۰-۱ دیاگرام سیستم انتقال نزدیک ایستگاه کایتا.



شکل ۱۰-۲ دیاگرام تک خطی ASC در کایتا.

خط ۲۳۰ کیلوولت گلن کانیون-شپراک برای ظرفیت انتقال توان اولیه ای برابر ۳۰۰ مگاوات طراحی شد، اما کارایی خط برای انتقال توان برنامه ریزی شده در اواخر دهه ۱۹۶۰ به دلیل اضافه شدن مسیرهای موازی ۳۴۵ و ۵۰۰ کیلوولت، کاهش یافت. در سال ۱۹۷۷، یک ترانسفورماتور ۲۳۰ کیلوولت جابجاکننده فاز در پست گلن کانیون نصب شد تا کارایی مسیر ۳۰۰ مگاواتی به شپراک را مجدداً برقرار نماید. با نزدیک شدن میزان انتقال توان در شبکه به هم پیوسته به حد توانایی سیستم انتقال در تغذیه قابل اعتماد بارهای در حال افزایش، و با محدودیت هایی در احداث خطوط جدید، منافع اقتصادی اضافه کردن جبران سازی سری، جایگزین جذابی برای بهبود قابلیت زمان بندی و انتقال خط شد. اضافه کردن ۷۰ درصد (۱۱۰ اهم، ۳۳۰ مگاوار) جبران سازی سری متداول نیاز بود تا قابلیت زمان بندی انتقال توان را به اندازه ۱۰۰ مگاوات افزایش دهد، و به این ترتیب استفاده کامل تا حد توان حرارتی خط را اعاده نماید. اما، تبدیل بخشی از این جبران سازی سری به جبران سازی کنترل شده با تریستور، منافع اضافی مشروح زیر را فراهم آورد.

شکل ۱۰-۲ دیاگرام تک خطی ساده شده جبران سازی سری در پست کایتا را نشان می دهد. این طرح شامل دو بانک خازن سری ۵۵ اهم هر کدام با مقدار نامی ۱۶۵ مگاوار و ۱۰۰۰ آمپر است. یکی از بانک های خازنی در قالب جبران سازی سری متداول، با بانک خازنی دوم که شامل یک قسمت جبران سازی متداول ۴۰ اهم ۱۲۰ مگاوار و یک قسمت TCSC ی ۱۵ اهم ۴۵ مگاوار است، کار می کند. در عملکرد کامل به صورت متداول، جبران سازی سری می تواند با خازن های ثابت در سطوح مختلف تنظیم شود. این سطوح با قسمت های ۵۵ اهم، ۴۰ اهم و ۱۵ اهم خازن جبران سازی سری، برقرار می شوند. با استفاده از عملکرد کلیدهای اتوماتیک و کلیدهای تریستوری، ترکیبی از بانک های صفر، ۴۰، ۵۵ و ۱۱۰ اهم می تواند بسته به نیاز کاری، به خط انتقال وارد شود. اما، استفاده از قسمت ۱۵ اهمی به صورت TCSC مزایای زیر را فراهم می کند:

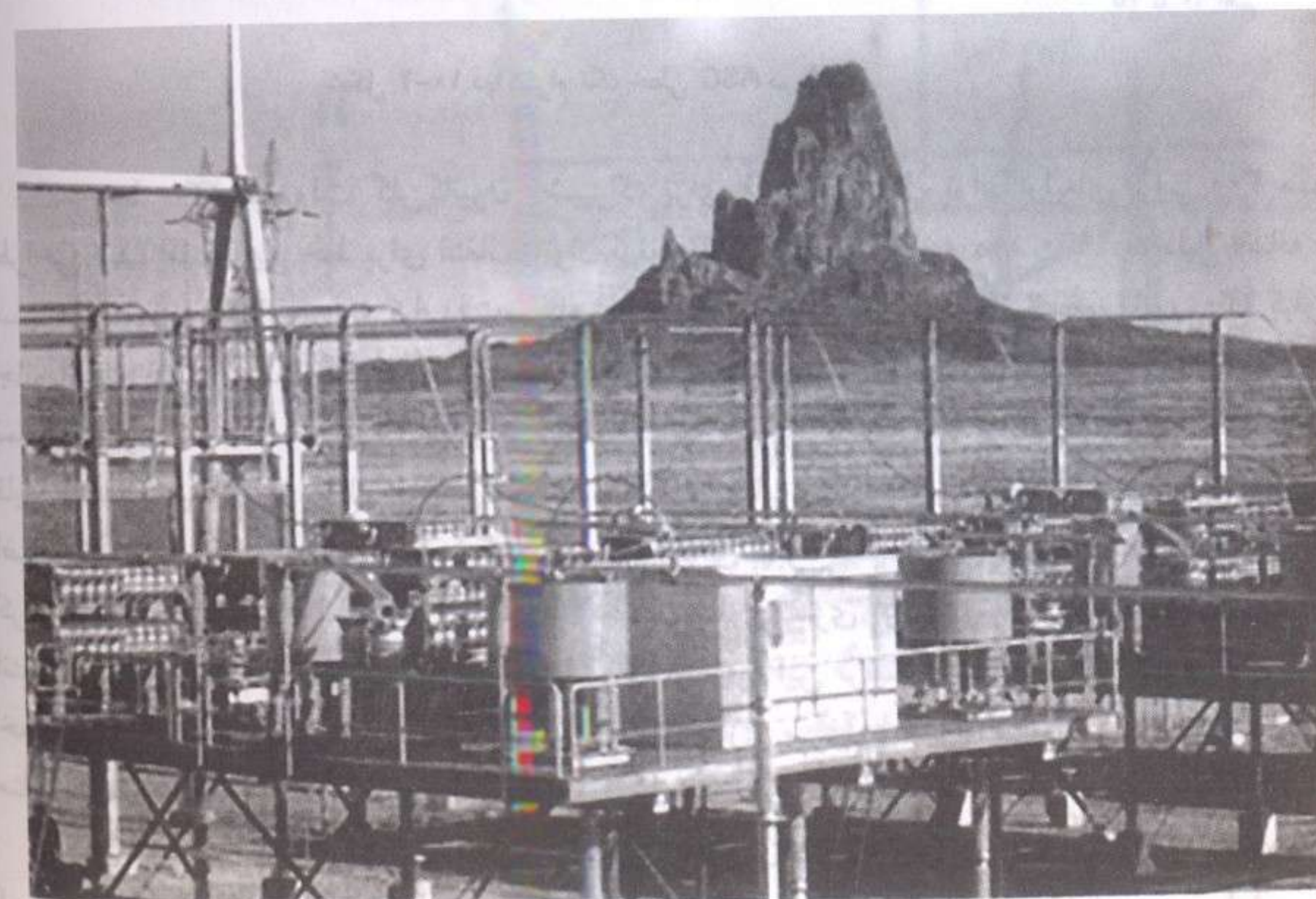
^۱ Glen Canyon
^۲ Shiprock

- کنترل پیوسته جبران سازی خازنی سری تا ۱۰۰ درصد، در مقابل کنترل جبران سازی در پلکان مجزا تا ۷۰ درصد.
- کنترل مستقیم و دینامیکی سیلان توان.
- کاهش جریان اتصال کوتاه با تغییر سریع از امپدانس کنترل شده خازنی به القایی.
- کاهش SSR. ASC در فرکانس های SSR مشخصه امپدانس القایی - مقاومتی را پیدا می کند، و به این ترتیب نوسانات SSR را ناهماهنگ کرده و کاهش می دهد.
- بهبود حفاظت و جایگذاری سریع و مجدد خازن های سری در هنگام خطاهای سیستم.
- کاهش انحراف dc ولتاژ خازن در چند سیکل کوتاه.

شکل ۱۰-۳ تصویری از سکوی ASC را نشان می دهد که به وسیله مقره های ستونی در زیر آن از زمین عایق شده است. بخش TCSC ۱۵ اهمی تمام قسمت جلوی ASC را اشغال می کند و خازن متداول ۴۰ اهمی در قسمت پشت آن قرار می گیرد. یک القاگر حدوداً ۳ اهمی به دو القاگر حدوداً ۱/۵ اهمی که در دو طرف مدول والو قرار گرفته اند، تقسیم می شود.

۱۰-۱-۲ مشخصات کارکردی

پارامترهای کلی TCSC عبارت اند از:



شکل ۱۰-۳ ASC در پست کایتا متعلق به WAPDA. تصویر یکی از سه سکو را نشان می دهد؛ هر سکو دارای یک TCSC ۱۵ اهم، ۴۵/۳ مگاوار و ۴۰ اهم، ۱۲۰/۳ مگاوار خازن سری معمولی است. کلید ترستوری در داخل کابینت قرار داده شده.

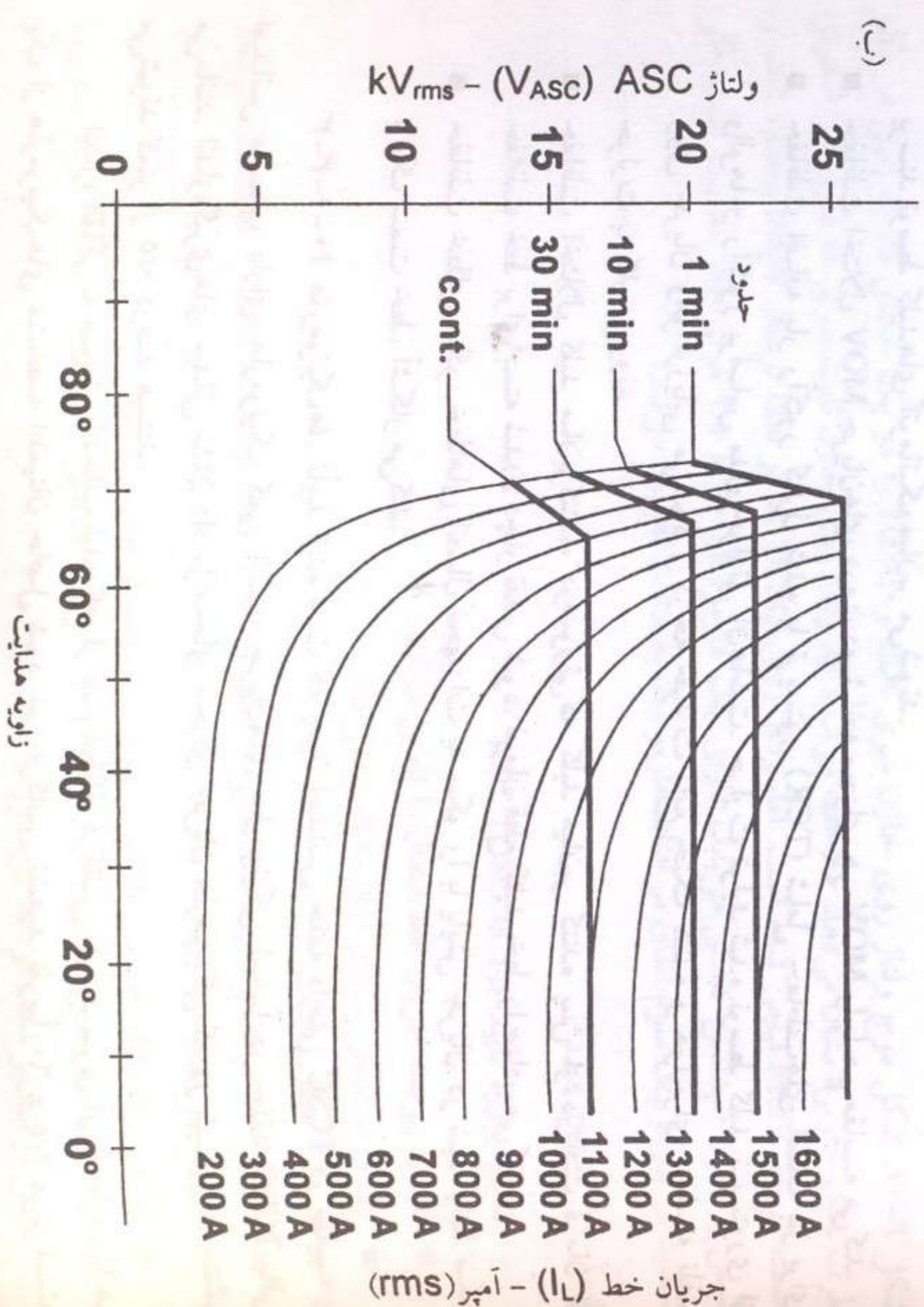
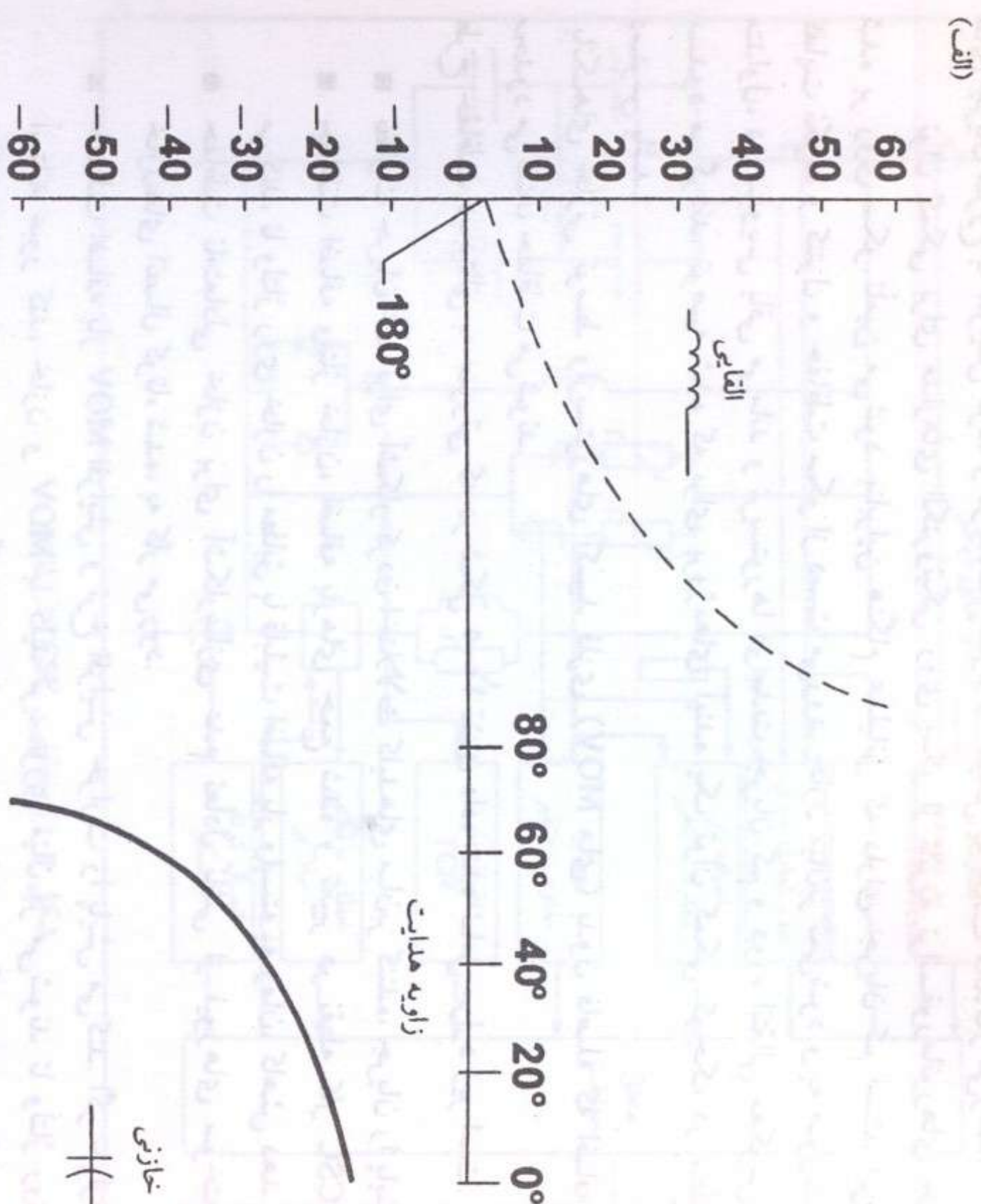
- راکتانس خازنی نامی (۹/۵ درصد جبران سازی سری با یک مدول در هر فاز) ۱۵/۰ اهم
- راکتانس خازنی مؤثر پیوسته (با حداقل کنترل عادی ترستور) ۱۶/۵ اهم
- راکتانس القایی (با هدایت کامل ترستورها) ۳/۰ اهم
- حداکثر محدوده دینامیکی راکتانس خازنی (مشروط به ۲ پریونیت حد ولتاژ خازن) ۶۰/۰ اهم
- جبران سازی مگاوار سه فاز نامی ۴۵ مگاوار
- جریان نامی (۱ پریونیت) ۱۰۰۰ آمپر مؤثر
- اضافه بار پیوسته (۱/۱ پریونیت) ۱۱۰۰ آمپر مؤثر
- جریان اضافه بار ۳۰ دقیقه ای (۱/۳۳ پریونیت) ۱۳۳۰ آمپر مؤثر
- جریان اضافه بار ۱ دقیقه ای (۱/۶۶ پریونیت) ۱۶۶۰ آمپر مؤثر
- محدوده عملکرد در حرارت محیط ۴۰- تا ۴۵+ درجه سانتیگراد

شکل ۱۰-۴ الف، مشخصه امپدانس حالت ماندگار TCSC را در هر دو محدوده خازنی و القایی، نشان می دهد. محدوده القایی می تواند با تغییر زاویه وصل ترستور از ۹۰ درجه به سمت ۱۸۰ درجه به دست آید و محدوده خازنی می تواند با تغییر زاویه از ۱۸۰ درجه به سمت ۹۰ درجه حاصل شود. از نظر دینامیکی راکتانس در هر یک از محدوده های القایی یا خازنی می تواند تا ۶۰ اهم تغییر کند. اما چون کنترل کننده برای طرف القایی متغیر نصب نشده است، لذا عملکرد طرف القایی فقط در امپدانس ثابت ۳ اهم است. عملکرد طرف خازنی از ۱۵- تا ۶۰ اهم متغیر است، اما این محدوده مشروط به حداکثر ولتاژ خازن برابر ۲ پریونیت است. بنابراین عملکرد پیوسته آن در ۶۰- اهم برابر خواهد بود با جریان مجاز خط تا ۲۵۰ آمپر. در جریان خط ۲۵۰ آمپری، جریان در حلقه خازن-القاگر ۲۰۰ آمپر (۲ پریونیت) خواهد بود. با افزایش امپدانس، قابلیت عبور جریان که با قابلیت اضافه ولتاژ وابسته به زمان خازن ها تعیین می شود، وابسته به زمان خواهد شد. این مطلب در شکل ۱۰-۴ ب نشان داده شده است. از آنجا که TCSC یک مدول منفرد است، نمی تواند محدوده امپدانس متغیر را از ۳ اهم القایی تا ۱۵ اهم خازنی پوشش دهد. بنابراین، تغییر در امپدانس از خازنی به القایی مستلزم جهش از ۱۵- اهم به ۱۳ اهم و بالعکس است؛ هر چند این باند امپدانس برای این خط مورد نیاز نیست.

۱۰-۱-۳ جنبه های طراحی و عملیاتی

۱۰-۱-۳-۱ کلیدهای ترستوری. والوهای ترستوری کایتا دارای ساختمان مدولار هستند و همان گونه که در شکل ۱۰-۳ نشان داده شده، در یک محفظه هوابندی شده در هوای آزاد بر روی سکوهایی هر فاز خازن سری قرار گرفته اند. والوهای ترستوری به وسیله مخلوطی از ۵۰ درصد آب یون زدایی شده و ۵۰ درصد گلیکول، که به درون مبدل های حرارتی خنک شونده با پروانه در سطح زمین پمپ می شود، خنک می شوند. این سیستم، حرارت لازم برای تجهیزات الکترونیکی پردازش گر سیگنال آنالوگ بر روی سکو را نیز تأمین می کند.

هر یک از سه والو ترستوری دارای یازده جفت ترستور دو سویه دو به دو موازی شده هستند که سطوح مجزایی را شکل می دهند. از یازده سطح ترستور سری شده، یک سطح اضافی است؛ که باعث می شود والوها در صورت بروز اختلال در هر یک از سطوح ترستوری، کار عادی خود را انجام



شکل ۴-۱۰ مشخصات بار و امپدانس TCSC در کاپیتا: (الف) مشخصات امپدانس؛ (ب) محدوده اضافه بار وابسته به زمان.

دهند. ترستورها سلول‌هایی به قطر ۱۰۰ میلی‌متر و مقدار نامی ۳/۵ کیلوآمپر، ۵/۵ کیلوولت هستند. جریان خطا در این محل فقط در حد چند هزار آمپر است که نمی‌تواند عاملی در اندازه نامی ترستور باشد.

۳-۱-۲ حفاظت، کنترل و پایش (مانیتورینگ). آرایه‌های ترستوری با واسطه فیبر نوری به سیستم کنترل ASC - که برای ارسال سیگنال‌های راه‌اندازی کم انرژی و پایش وضعیت هر یک از ترستورها به کار می‌رود - مرتبط شده‌اند.

حفاظت و کنترل TCSC مبتنی بر میکروپروسسور دیجیتال است. یک کنترل کننده حلقه باز، توالی شروع را برای اطمینان از الحاق ایمن TCSC، عهده‌دار است. پایش همه شرایط اساسی سیستم، شامل جریان خط، وضعیت حفاظت، سیستم خنک کننده، و وضعیت والو ترستوری نیز با یک کنترل کننده حلقه باز انجام می‌شود.

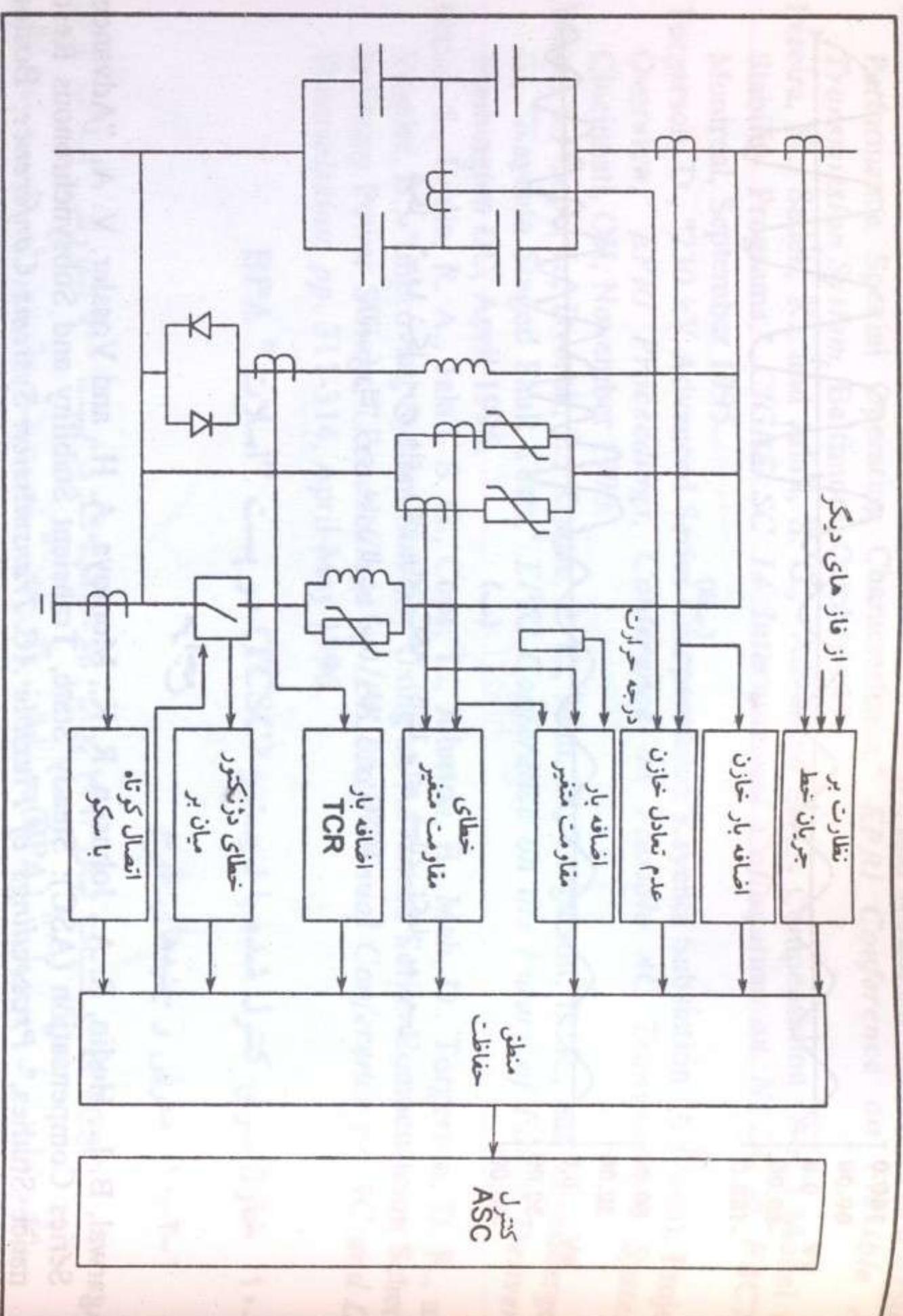
وضعیت‌های کنترل شامل، وضعیت امپدانس ثابت، وضعیت جریان ثابت، وضعیت راکتور سونچ شده با ترستور، و وضعیت انتظار است. در وضعیت امپدانس ثابت، هر فاز به صورت مستقل کنترل می‌شود تا امکان متعادل کردن فازها فراهم شود، اما حداکثر نامتعادلی امپدانس TCSC به طور خودکار به ۱۵ درصد (۹ اهم) محدود می‌شود. در وضعیت جریان ثابت، هر فاز دارای یک تنظیم کننده حلقه بسته جریان است، که قابلیت حفظ جریان ثابت در خط را داراست. در وضعیت راکتور سونچ شده با ترستور، ترستور به طور کامل هدایت کننده می‌شوند. کلیدزنی از ۳ اهم القایی به عملکرد خازنی کنترل شده در محدوده ۱۵ - ۳۰ اهم و بالعکس، می‌تواند برای مدولاسیون توان به منظور میرایی نوسانات به کار رود. در زمان انجام مطالعاتی برای شبیه‌سازی ASC در برنامه پایداری و حالت‌های گذرا، کنترل کننده پایداری ضروری به نظر نرسید و در این تأسیسات نصب نشد. عملکرد ASC کاپیتا بر روی یک شبیه ساز TNA برای فعل و انفعال با SSR نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. این مطالعات و اندازه‌گیری‌های میدانی در کاپیتا و نیروگاه‌های مجاور آن "فورکورنر" و "سان خوان" تأیید کرد که این TCSC در فرکانس‌های زیر سنکرون به صورت القایی ظاهر می‌شود. از آنجا که SSR با ۷۰ درصد خازن متداول مشکلی برای این خط نیست، و از آنجا که TCSC به صورت القایی در فرکانس‌های SSR ظاهر می‌شود، مدولاسیون کاهنده خاصی به کار گرفته نشده است. در وضعیت "انتظار"، کلیدهای ترستوری قطع می‌شوند و خازن به عنوان یک خازن ۱۵ اهمی متداول کار می‌کند. در صورتی که شرایط سیستم در اثر عوارضی مانند خطاها و برق‌دار شدن اولیه، غیرعادی باشد، وضعیت‌های "راکتور سونچ شده با ترستور" و "انتظار" می‌توانند به طور خودکار از وضعیت "جریان ثابت" و "امپدانس ثابت" وارد شوند.

پست کاپیتا از مرکز کنترل WAPA در "مونت رز" ۳ کلرادو کنترل می‌شود و در نتیجه عملکرد و کنترل ASC در میز فرمان SCADA "مونت رز" ادغام شده است. آزمایشات نشان داده است که با صدور یک فرمان SCADA برای رفتن از وضعیت "انتظار" به امپدانس ثابت، تغییر امپدانس برای رسیدن به مقدار نهایی حالت ماندگار، چهار تا پنج سیکل به طول می‌انجامد. صدور فرمان برای تغییر وضعیت "انتظار" به یک "جریان ثابت" نشان داد که سیستم برای رسیدن به حالت ماندگار در حدود یک ثانیه زمان لازم دارد. با صدور فرمانی مبنی بر تغییر از وضعیت "راکتور سونچ شده با ترستور" به

^۱ Four Corners

^۲ San Juan

^۳ Montrose



شکل ۱۰-۵ حفاظت TCSC در کاپتا.

شکل ۱۰-۶، شکل موج ولتاژ روی خازن سری ثابت و TCSC را در یک خطای فاز به زمین در یک طرف بانک خازنی، نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که ولتاژ روی خازن ثابت سری که ضرورتاً ۱۰ هرتز است، توسط MOV قیچی شده است. اما، ولتاژ روی TCSC که در ابتدا توسط MOV محدود شده و سپس با کنترل امپدانس کاهش می‌یابد، دارای یک هارمونیک $10 \times 7/5$ هرتز حائز اهمیت است. اگر تشدید در هارمونیک سوم اتفاق می‌افتاد، هارمونیک به شدت تقویت می‌شد.

۱۰-۱-۴ نتایج پروژه:

نتایج پروژه تأیید کرد که ASC/TCSC

- کنترل پیوسته جریان خط انتقال را تأمین می‌کند.
- کنترل دینامیکی سیلان توان را تأمین می‌کند.
- جریان خطا را کاهش می‌دهد.
- TCSC در فرکانس‌های SSR القایی / مقاومتی است و لذا نوسانات SSR را ناهماهنگ کرده و کاهش می‌دهد.
- افزایش dc ولتاژ خازن را کاهش داده و به سرعت از میان می‌برد.
- حفاظت خازن‌های سری را بهبود بخشیده و وسیله مناسبی برای الحاق مجدد سریع خازن‌ها پس از میان‌بر شدن توسط ترستورها است.
- وسیله قابل اطمینانی برای استفاده از ظرفیت موجود انتقال در عین حفظ ایمنی سیستم است.

وضعیت "امپدانس ثابت" جریان در ترستور در حدود ۲ سیکل متوقف می‌شود و بعد از آن پالس‌های جریان شروع به افزایش کرده و در مدت حدود ۱۵ سیکل به حالت ماندگار می‌رسد.

توان کمکی برای مدارهای الکترونیکی روی سکو از ثانویه ترانسفورماتورهای جریان نصب شده بر روی سکو تأمین می‌شود. بنابراین هنگام عملیاتی که دارای جریان کم است، این منبع توان کفایت نکرده و کنترل و حفاظت سکو از دست می‌رود. خازن میان‌بر نمی‌شود و به صورت یک خازن متداول، در سرویس باقی می‌ماند و ترستورها در مدت جریان کم و دوره انتقالی معکوس شدن توان مسدود می‌گردند. توصیه شده که برای پروژه‌های آینده یک توان کمکی کوچک در سطح سکو در دسترس باشد.

بانک‌های خازنی توسط وارستورهای اکسید فلزی (MOV های) بدون فاصله که اضافه ولتاژها را محدود می‌کنند، حفاظت می‌شوند.

طرح حفاظت دیجیتال به صورتی که در شکل ۱۰-۵ نشان داده شده شامل موارد زیر است:

- نظارت جریان خط برای آشکار کردن اختلالات کلیدهای میان‌بر کننده، جریان را پایش می‌کند.
- حفاظت اضافه ولتاژ خازن، اضافه بارهای جمع شده و تغییر در نقطه کار TCSC را پایش می‌کند، تا ولتاژ روی خازن را مطابق با قابلیت اضافه بار وابسته به زمان، کاهش دهد.
- حفاظت نامتعادلی خازن برای آشکارسازی عدم تعادل ناشی از فیوزهای سوخته داخلی یا خازن‌های اتصال کوتاه شده، به کار می‌رود.

■ حفاظت اضافه بار MOV افزایش و نرخ افزایش حرارت را پایش می‌کند. اگر حرارت از سطح آستانه عبور کند، خازن و MOV با کلید ترستوری میان بر می‌شوند تا ولتاژ روی خازن و MOV کاهش یابد. از سوی دیگر خازن‌های سری متداول، هرگاه به حد قابلیت اضافه بار برسند توسط کلیدهای اتوماتیک میان‌بر می‌شوند.

- حفاظت اختلال MOV جریان‌های درون دو شاخه مجزای هر MOV را با هم مقایسه می‌کند.
- حفاظت اضافه بار و راکتور کنترل شده با ترستور (TCR) شامل حفاظت‌های اضافه بار برای والوها و راکتور براساس مدل حرارتی آن‌هاست. حرارت تولید شده توسط کلید ترستوری از روی جریان والو ارزیابی می‌شود و درجه حرارت مایع خنک کننده و هوا برای محاسبه تلف حرارت به کار می‌روند.

■ حفاظت اختلال کلید میان‌بر کننده، در صورتی که کلید میان‌بر کننده پس از دریافت فرمان از حفاظت خط برای بسته شدن، دچار نقص شود، فرمان قطع کلید خط را صادر می‌کند.

■ حفاظت خطای سکو، خطاهای اتصال تجهیزات به سکو را با پایش جریان در شینه رابط سکو و یک سمت خط، آشکار می‌کند.

۳-۱-۱۰ هارمونیک‌ها. تأیید شده است که چون امپدانس حلقه داخلی TCSC در مقایسه با امپدانس سیستم، دارای هارمونیک کمی است، جریان‌های هارمونیک اساساً در حلقه TCSC باقی می‌مانند. اندازه‌گیری‌های میدانی نشان داد مؤلفه‌های مجزای جریان هارمونیک که در سیستم ac منتشر می‌شوند کمتر از ۰/۵ درصد هستند.

اندازه القاگر به صورتی انتخاب شده که، از عدم انطباق فرکانس تشدید سری آن با خازن، با هر یک از هارمونیک‌های مشخصه اطمینان حاصل شود. این فرکانس تشدید تقریباً $10 \times 7/5$ هرتز است.

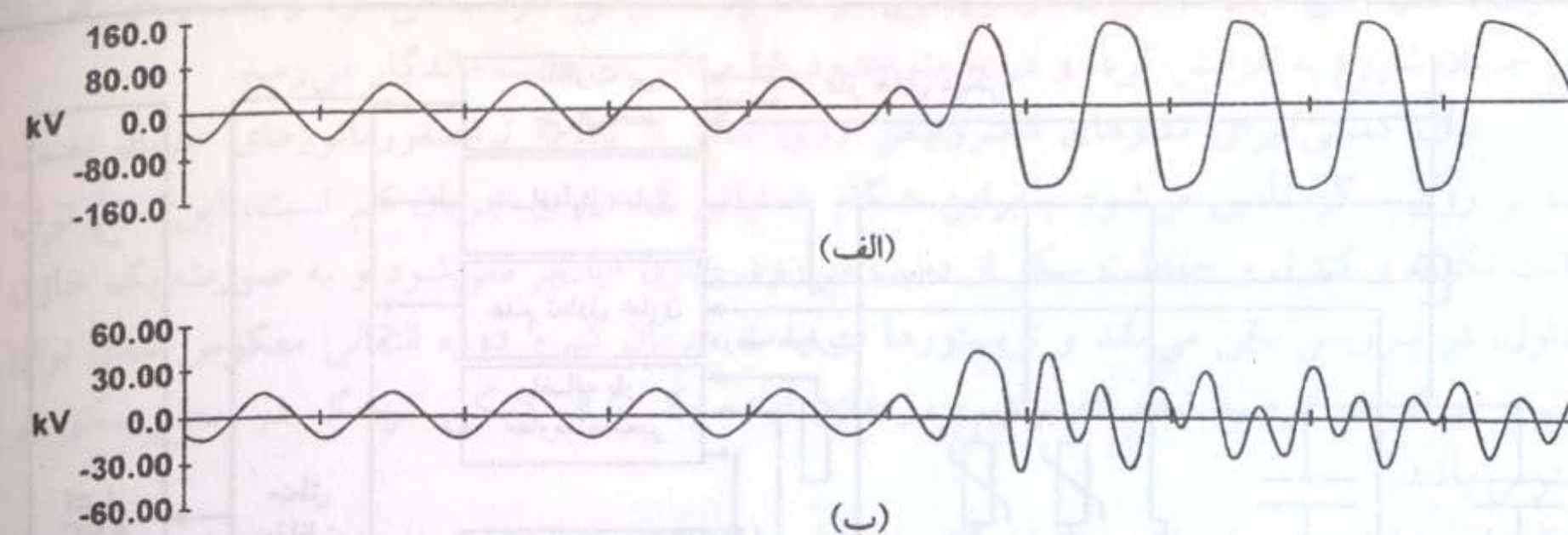
- Krause, P. E., Osburn, B., Torgerson, D. R., Renz, K. W., and Weiss, S., "Kayenta ASC System Performance Special Operating Characteristics," *EPRI Conference on Flexible AC Transmission System*, Baltimore, October 1994.
- Pereira, M., Sadek, K., and Jalali, S. G., "Advanced Series Compensation (ASC) Model for Stability Programs," *CIGRE SC 14 International Colloquium on HVDC & FACTS*, Montreal, September 1995.
- Torgerson, D., "230 kV Advanced Series Compensation Kayenta Substation (Arizona), Project Overview," *EPRI Proceedings, Conference on Flexible AC Transmission System*, Cincinnati, OH, November 1990.
- Weiss, S., Cope, L., Dvorak, L., Krause, P. E., Mah, D., Torgerson, D. R., and Zevenbergen, G., "Kayenta Staged Fault Tests," *EPRI Conference on the Future of Power Delivery*, Washington DC, April 1996.
- Weiss, S., Hedin, R. A., Jalali, S. G., Cope, L., Johnson, B., Mah, D., Torgerson, D. R., and Vossler, B., "Improving System Stability Using an Advanced Series Compensation Scheme to Damp Power Swings," *Proceedings of IEEE Sixth Annual Conference on AC and DC Transmission*, pp. 311-314, April-May 1996.

۱۰-۲ خازن سری کنترل شده با تریستور (TCSC) در پست "اسلات" BPA

۱۰-۲-۱ معرفی و جنبه‌های طرح

TCSC که در سپتامبر سال ۱۹۹۳ به این نام خوانده شد در پست ۵۰۰ کیلوولتی "اسلات" و در سیستم اداره برق "بونویل" (BPA) در ایالت "اورگان" نصب شد. بانی پروژه مؤسسه تحقیقاتی صنعت برق (EPRI) بود و توسط شرکت جنرال الکتریک طراحی، نصب و به BPA برای آزمایشات سیستم و بهره‌برداری و تملک، تحویل داده شد. پس از آزمایشات گسترده میدانی و ارزیابی، در سال ۱۹۹۵ مورد بهره‌برداری تجاری قرار گرفت. همان‌گونه که در شکل ۷-۱۰ نشان داده شده، TCSC به صورت سری با خط ۵۰۰ کیلوولت اسلات-باکلی قرار گرفته است، به صورتی که ضرورتاً بخش پیوسته‌ای از سیستم انتقال ۵۰۰ کیلوولت ac "پاسفیک نورث وست" شده است. سیستم "پاسفیک نورث وست" بخشی از یک سیستم بسیار بزرگ منطقه‌ای، به نام سیستم شبکه "شورای هماهنگی ایالات غربی" (WSCC) است، که شامل تمام غرب ایالات متحده و غرب کانادا است. نیروگاه ذغال-سنگی "بوردمن" متعلق به شرکت جنرال الکتریک در "پورتلند" که حدوداً ۱۵ مایل از پست "اسلات" فاصله دارد، به آن متصل شده است.

به دلیل اولین نمونه بودن در نوع خود، مکان نصب آن در ابتدا براساس حداکثر نیاز سیستم BPA انتخاب نشد، بلکه ترجیح داده شد که TCSC در معرض شرایط دشوار بهره‌برداری قرار بگیرد تا تجربه و دست‌آوردهای عملیاتی کافی حاصل گردد. جدا از این که بالاترین ولتاژ ac در سیستم WSCC، ۵۰۰ کیلوولت است، این مکان دارای جریان اتصال کوتاه زیاد (۲۰/۳ کیلوآمپر) بوده، هم‌چنین باعث ایجاد فرصت برای ارزیابی فعل و انفعال TCSC با یک نیروگاه حرارتی می‌شود. اگر و هنگامی که ظرفیت اضافی انتقال لازم شود، یک جایگزین با مشخصات عملکردی مناسب برای به کار گرفتن در نیازهای آتی انتقال وجود خواهد داشت. به هر حال این TCSC منافع انتقال توان را بیشتر از شمال غرب به



شکل ۱۰-۶ شکل موج‌های ولتاژ برای ASC کاپیتا برای خطای تک‌فاز به زمین: (الف) ولتاژ روی خازن ثابت؛ (ب) ولتاژ روی TCSC.

مراجع

- Agarwal, B. L., Hedin, R. A., Johnson, R. K., Montoya, A. H., and Vossler, V. A., "Advanced Series Compensation (ASC): Steady State, Transient Stability and Subsynchronous Resonance Studies," *Proceedings of Flexible AC Transmission Systems Conference*, Boston, MA, May 1992.
- Christi, N., Hedin, R., Johnson, R., Krause, P., and Montoya, A., "Power System Studies and Modeling for the Kayenta 230 kV Substation Advanced Series Compensation," *AC and DC Power Transmission, IEEE International Conference Publication Series 5*, pp. 33-37, September 1991.
- Feldman, W., Juette, G., Montoya, A. H., Sadek, K., Schultz, A., Torgerson, D. R., and Vossler, B. A., "230 kV Advanced Series Compensation, Kayenta Substation (Arizona), Project Overview," *EPRI Conference on Flexible AC Transmission System*, Cincinnati, OH, November 1990.
- Hedin, R. A., Henn, V., Weiss, S., Montoya, A. H., and Torgerson, D. R., "Advanced Series Compensation (ASC) Transient Network Analyzer Studies Compared With Digital Simulation Studies," *Proceedings of Flexible AC Transmission Systems Conference*, Boston, MA, May 1992.
- Hedin, R. A., Weiss, S., Mah, D., and Cope, L., "Thyristor Controlled Series Compensation to Avoid SSR," *EPRI Conference on Flexible AC Transmission System*, Baltimore, October 1994.
- Jalali, S. G., Hedin, R. A., Pereira, M., and Sadek, K., "A Stability Model for the Advanced Series Compensator," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 11, no. 2, April 1996.
- Jalali, S. G., Hedin, R. A., Weiss, S., Johnson, R., and Vossler, B., "Applications of the TCSC for Inter-Area Mode Damping," *EPRI Conference on the Future of Power Delivery*, Washington DC, April 1996.
- Jalali, S. G., and Lasseter, R. H., "Harmonic Instabilities in Advanced Series Compensators," *Proceedings of Flexible AC Transmission Systems Conference*, Boston, MA, May 1992.
- Jalali, S. G., Lasseter, R. H., and Dobson, L., "Dynamic Response of a Thyristor-Controlled Switched Capacitor," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 9, no. 3, pp. 1609-1615, July 1994.
- Juette, G., Luetzelberger, P., Schultz, A., McKenna, S. M., and Torgerson, D. R., "Advanced Series Compensation (ASC); Main Circuit and Related Components," *Proceedings of Flexible AC Transmission Systems Conference*, Boston, MA, May 1992.

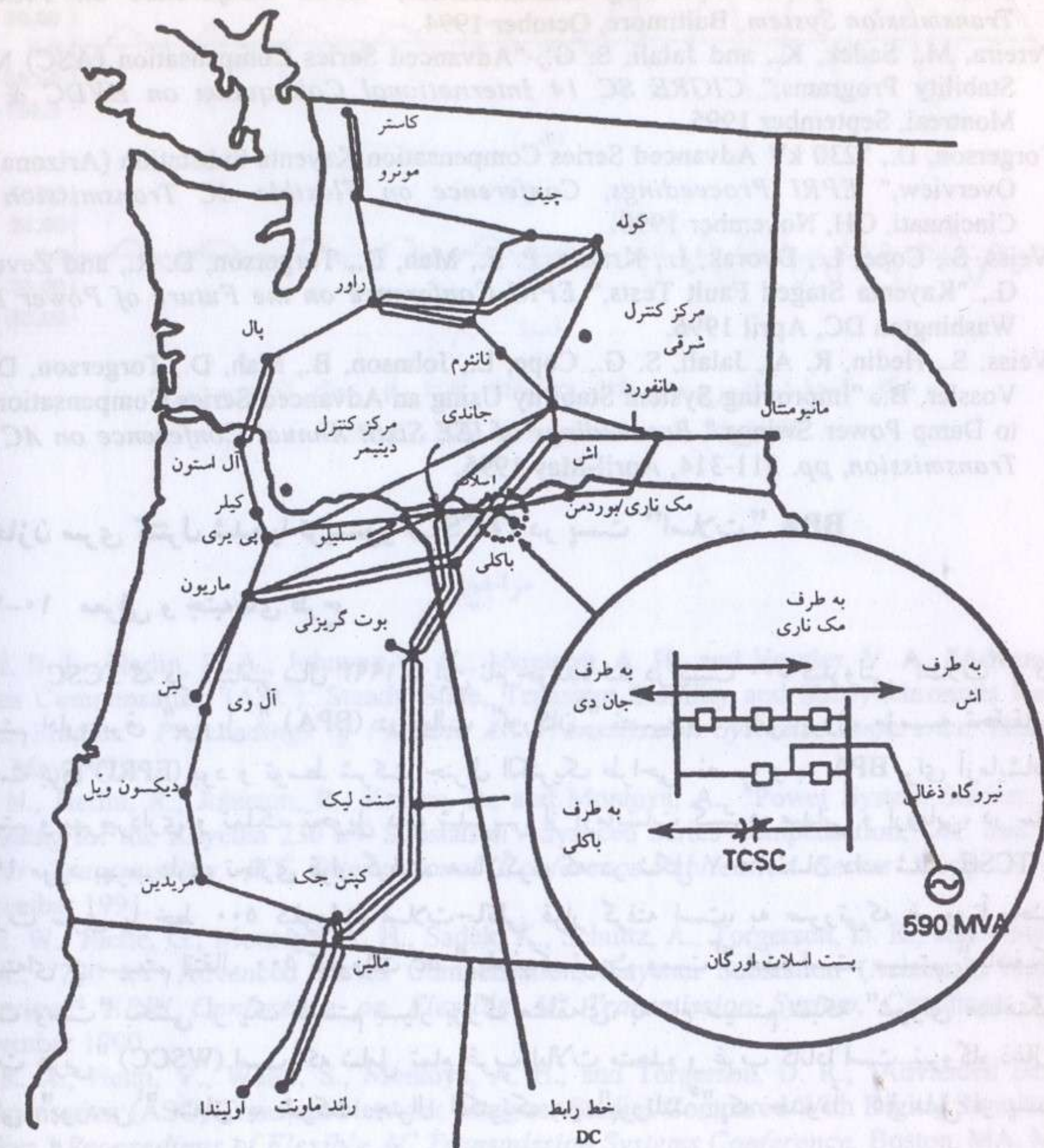
¹ Bonneville

² Oregon

³ Pacific Northwest

⁴ Boardman

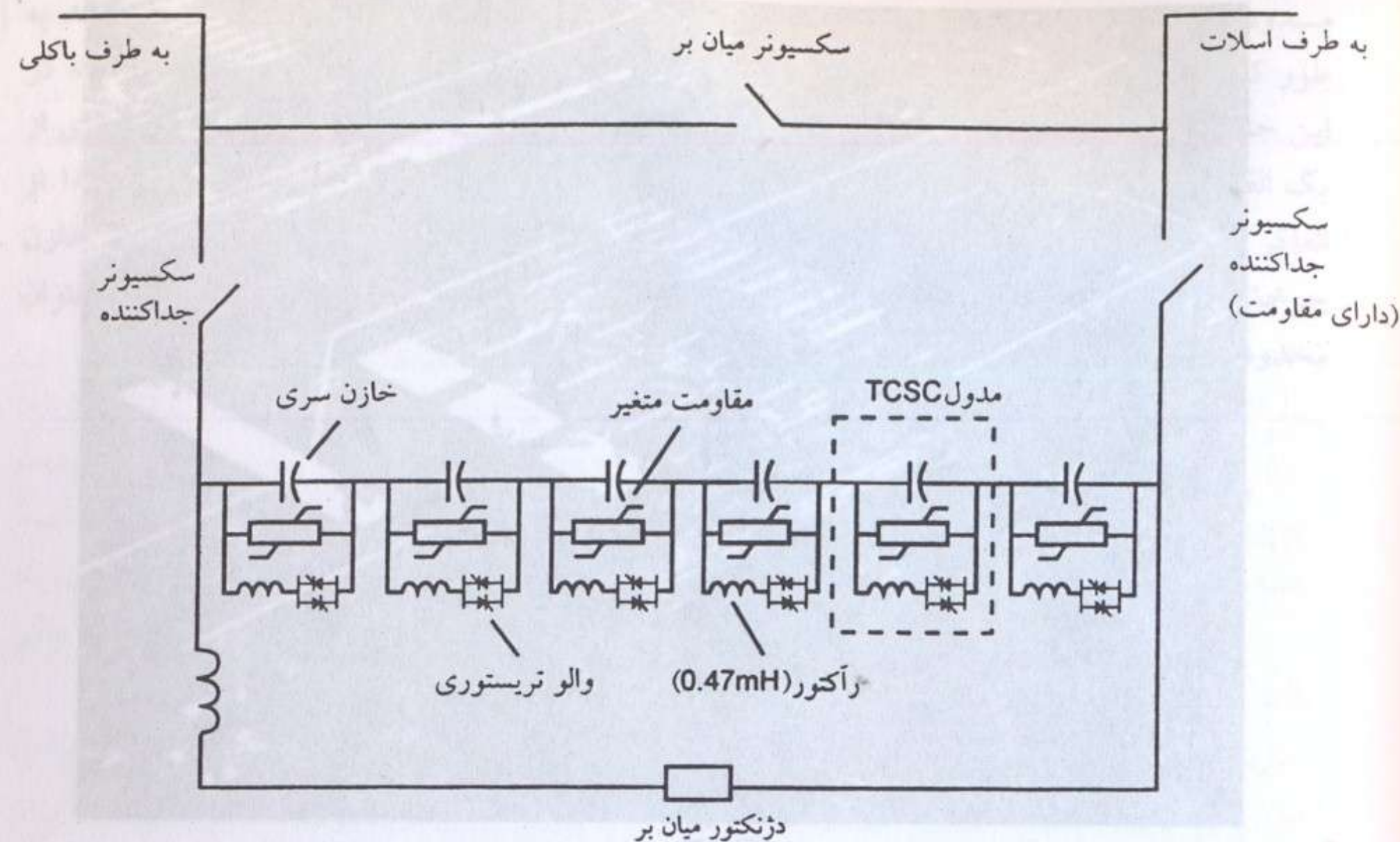
⁵ Portland



شکل ۱۰-۷ موقعیت TCSC در پست اسلات متعلق به BPA در شبکه انتقال ۵۰۰ کیلوولت پاسیفیک نورث وست.

جنوب غرب تأمین کرده و نگرانی از SSR در نیروگاه حرارتی "بوردمن" در نزدیکی خود را کاهش داده است. جنبه های کلیدی عملکردی برای این پروژه عبارت اند از:

- دقیق کردن مشخصات فنی و بهره برداری
- کنترل مشارکت جریان حالت ماندگار با سایر مسیرهای موازی
- کاهش نوسان سیستم قدرت در حالت گذرا
- میرایی نوسانات دینامیکی و دارای سیگنال کوچک در سیستم قدرت
- کاهش SSR تحت شرایط متغیر گسترده (شامل تشدید) با وجود توربین ژنراتور "بوردمن" در نزدیکی آن

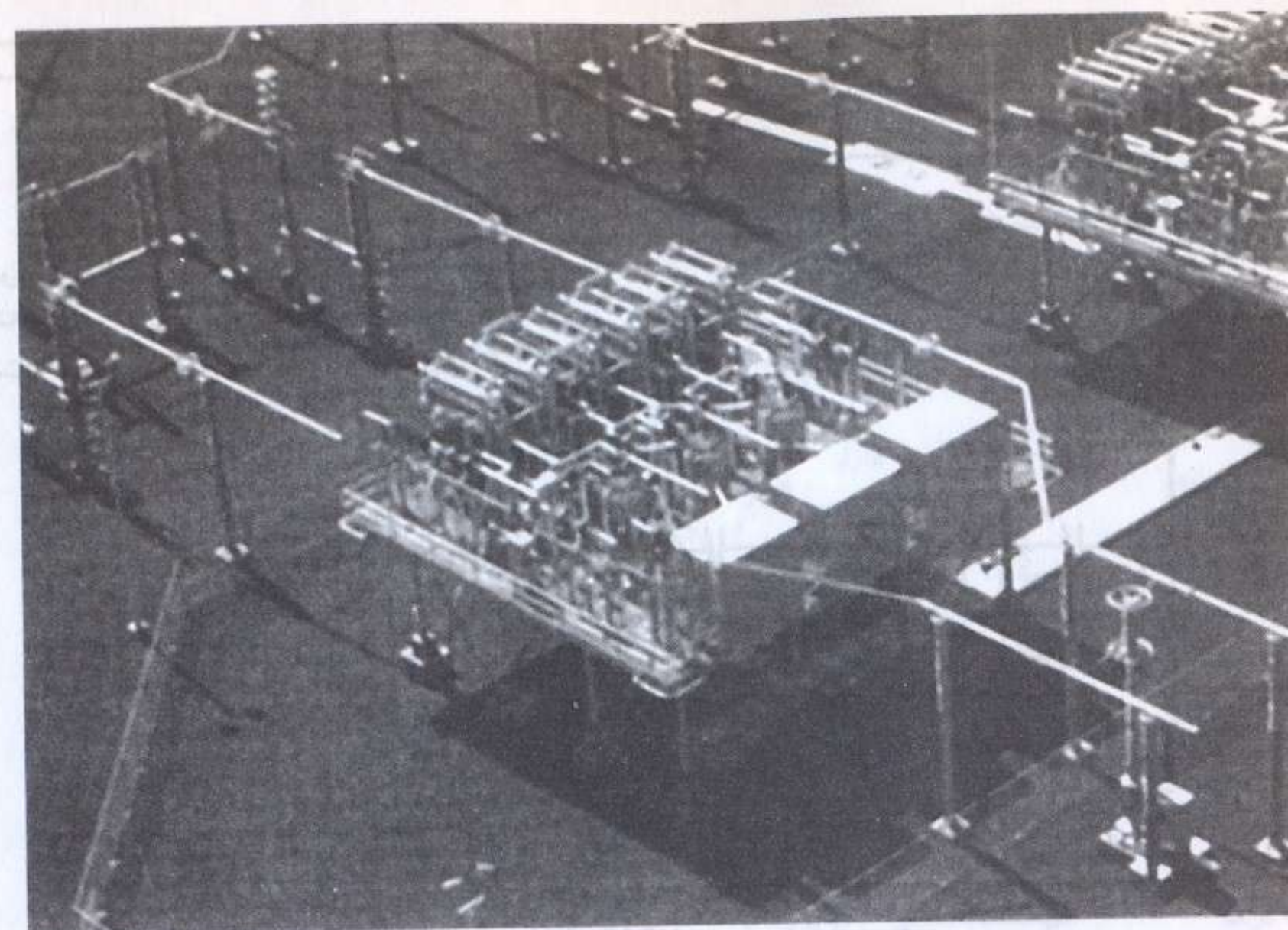


شکل ۱۰-۸ دیاگرام تک خطی TCSC در پست اسلات

- عملکرد در حالت خطا برای شرایط گوناگون خطا
- امکان فعل و انفعال با ایستگاه کنورتور HVDC "سلیلو" در منطقه مجاور
- امکان فعل و انفعال با جبران سازی سری توان رآکتیو "کیلر"

شکل ۱۰-۸ دیاگرام تک خطی TCSC "اسلات" را نشان می دهد. این TCSC شامل شش مدول مشابه است که به صورت سری متصل شده اند؛ هر یک شامل یک خازن، یک کلید تریستوری ac، رآکتور به صورت سری با کلید، یک واریستور اکسید فلزی بدون فاصله، و کنترل و حفاظت های سطح مدول است. کل TCSC مجهز به یک کلید اتوماتیک میان بر کننده با القاگر محدود کننده di/dt به صورت سری، برای کارکردهای عملیاتی و حفاظتی با میان بر کننده سریع مکانیکی و همچنین کلیدهای جدا کننده برای مجزا کردن TCSC است.

شکل ۱۰-۹ تصویر هوایی از یک سکوی تأسیسات را نشان می دهد. سه دستگاه از این سکوها، مربوط به سه فاز، وجود دارند. بر روی هر سکو شش کلید تریستوری در سه کابینت جای داده شده اند، هر یک شامل کلیدهای دو مدول است که با مایع خنک می شوند. مستقیماً در پشت کابینت والوها رآکتورها قرار دارند؛ شش دستگاه مربوط به کلیدهای تریستوری و یکی برای کلید میان بر کننده است. پشت رآکتورها واریستورها قرار گرفته اند. در انتهای دیگر سکوها (طرف مخالف کابینت های تریستورها) شش ردیف خازن قرار گرفته است. هر مدول دارای ۷۰ واحد خازن به صورت موازی است.



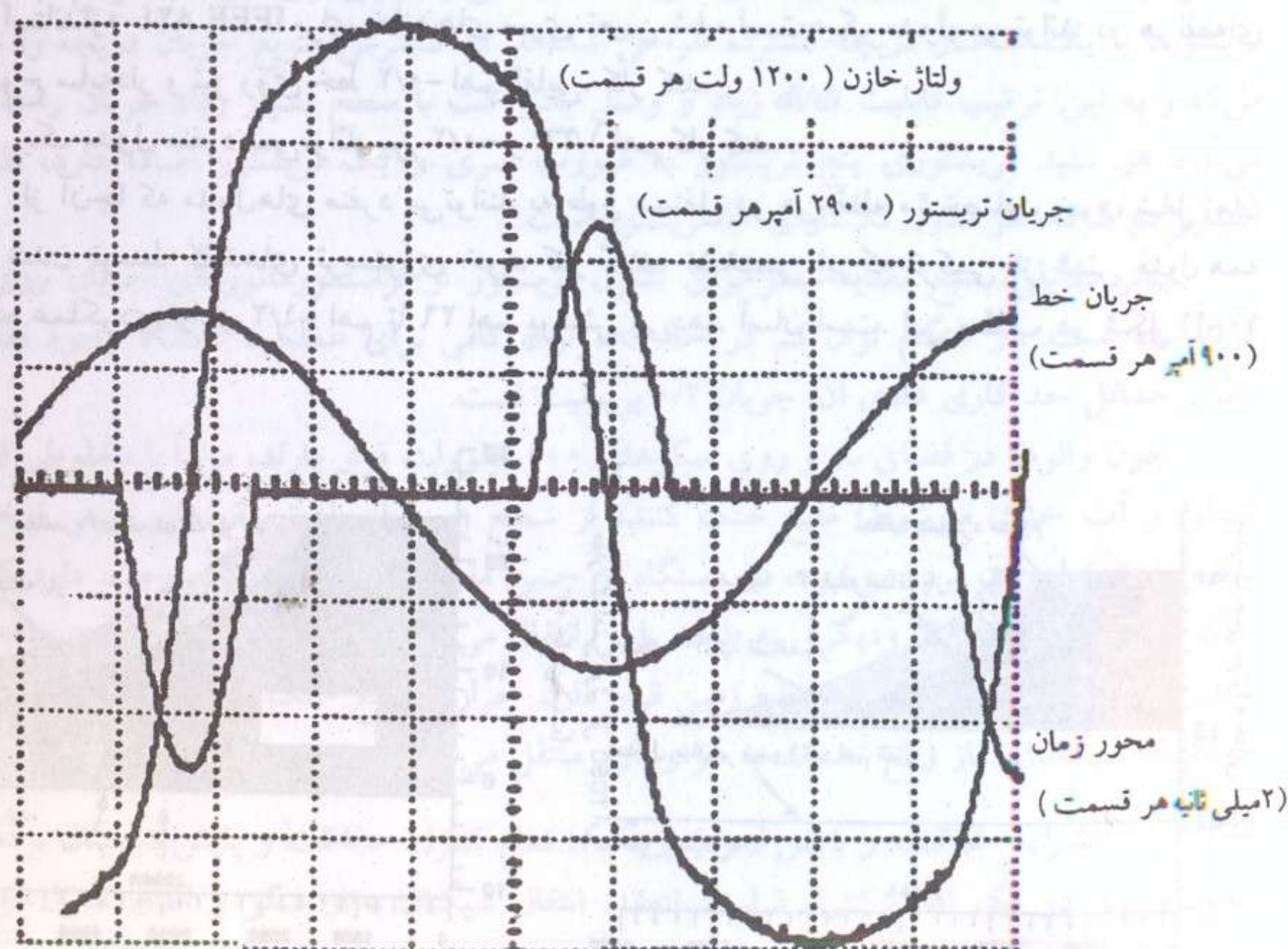
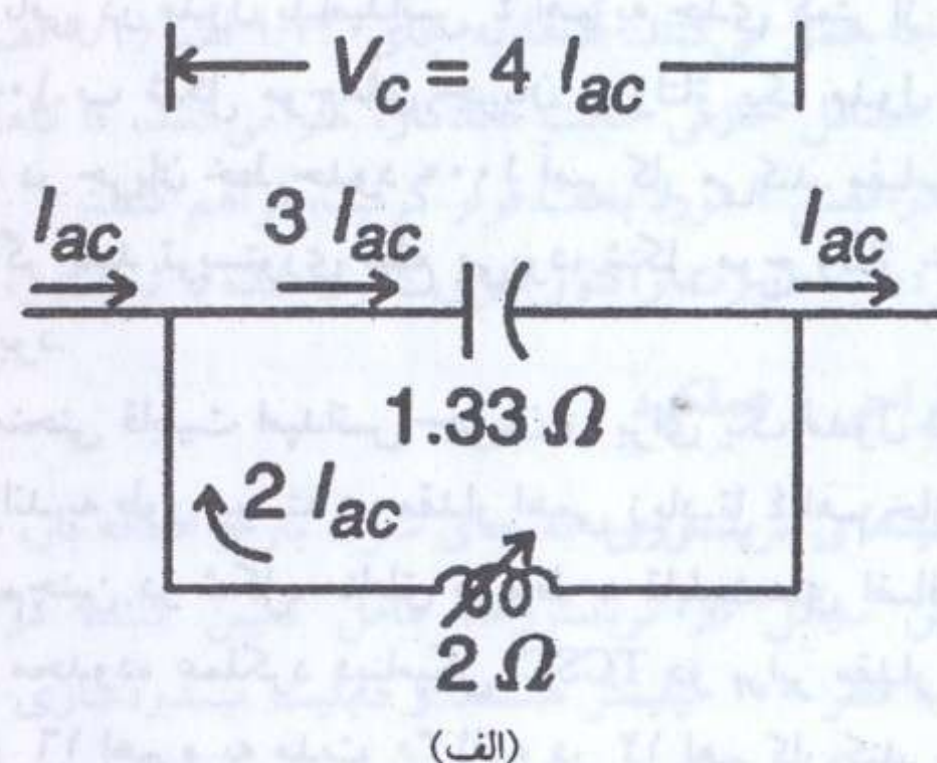
شکل ۹-۱۰ خازن سری کنترل شده با تریستور در پست اسلات BPA.

۱۰-۲-۲ مشخصات عملکردی

پارامترهای کلی TCSC عبارت اند از:

- مقدار نامی راکتانس خازنی (۲۹ درصد جبران سازی سری با همه شش مدول)
 - راکتانس خازنی مؤثر مستمر (با کنترل تریستوری عادی حداقل)
 - راکتانس القایی خالص (هر شش مدول میان بر شده)
 - حداکثر محدوده دینامیکی راکتانس خازنی
 - مقدار نامی جبران سازی توان راکتیو سه فاز
 - جریان نامی (۱ پریونیت)
 - جریان اضافه بار سی دقیقه ای (۱/۵ پریونیت)
 - جریان اضافه بار ۱۰ ثانیه ای (۲ پریونیت)
 - جبران سازی توان راکتیو سه فاز در ۱۰ ثانیه
 - حداکثر جریان خطا از درون TCSC
 - حداکثر جریان خطا در والو تریستوری
 - عملکرد در محدوده درجه حرارت محیط
- درجه سانتیگراد

هر مدول به صورت مستقل قابل کنترل است و می تواند در حالی که تریستورها به طور کامل مسدود شده اند کار کند، که در این حالت امپدانس آن خازنی و $1/33$ اهم است. هر یک می تواند به طور کامل با کلید تریستوری خود میان بر شود (تریستورها با زاویه تأخیر صفر هدایت می کنند)، که در این حالت امپدانس آن القایی و در حدود $0/2$ اهم است. در این مورد، امپدانس مدول ترکیبی موازی از یک القاگر $0/18$ اهم و یک خازن $1/33$ اهم است. به ازاء جریان ورودی I_{ac} ، جریانی معادل $1/10 I_{ac}$ از القاگر و $0/15 I_{ac}$ از خازن عبور می کند؛ یعنی این که جریانی برابر $0/15 I_{ac}$ در حلقه القاگر خازن چرخش می کند. چون مدول در وضعیت میان بر شده، القایی است، در صورت لزوم می تواند به عنوان محدود کننده جریان عمل کند.



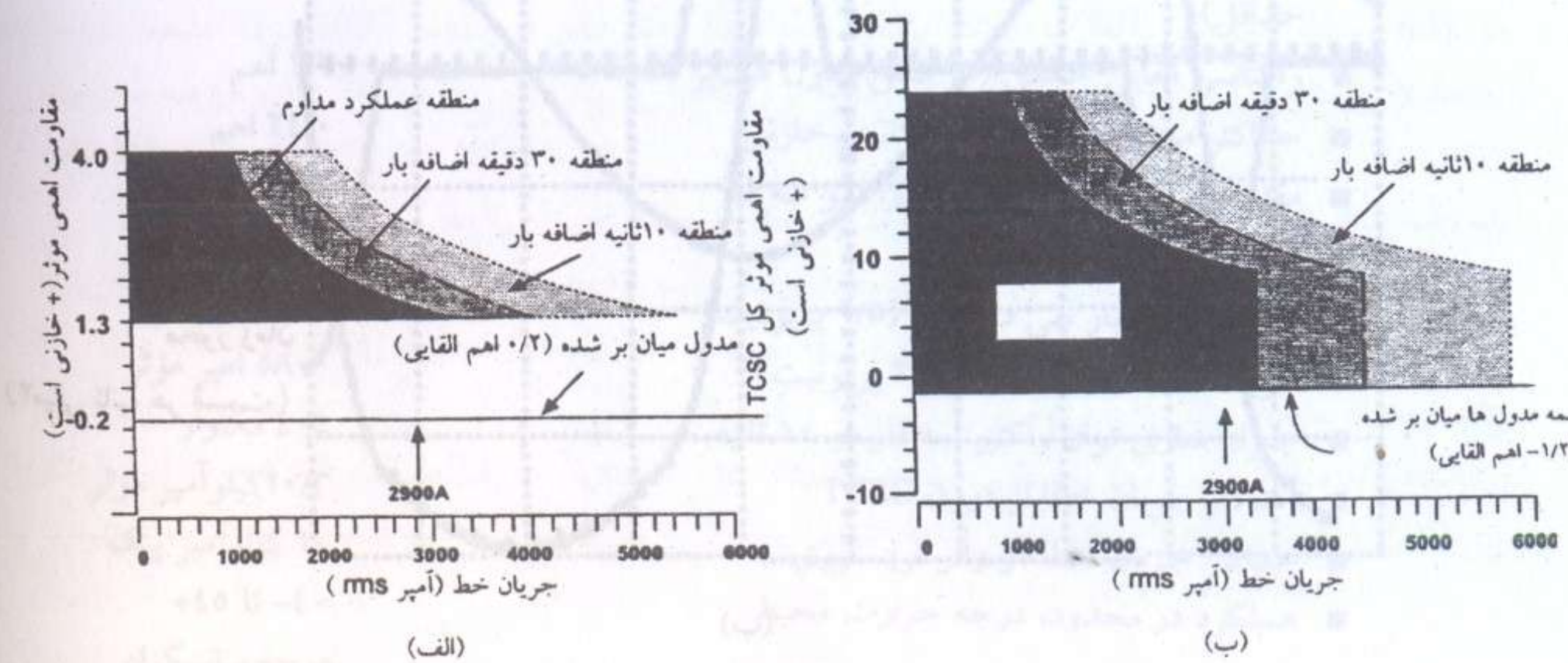
شکل ۱۰-۱ سیلان جریان با TCSC در حال کار در ۴ اهم (۳ پریونیت): (الف) سیلان جریان اصلی در امپدانس ۴ اهم؛ (ب) شکل موج ولتاژ و جریان مدول در امپدانس ۴ اهم.

هر مدول می تواند در حالی عمل کند که زاویه وصل کلید تریستوری آن، از ۱۸۰ درجه ($1/33$) اهم خازنی) به کمتر از ۱۸۰ درجه تا محدوده ای که امپدانس آن ۴ اهم خازنی باشد، کنترل شود. در این حالت مدول ترکیب مؤثری از یک القاگر ۲ اهم به موازات یک خازن $1/33$ اهم، در فرکانس اصلی است. امپدانس القاگر با هدایت جزیی به طرز مؤثری، از بی نهایت در زاویه ۱۸۰ درجه به ۲ اهم در زاویه ای که کمی از ۱۸۰ درجه جلوتر است، کاهش می یابد. به ازاء مؤلفه اصلی جریان یعنی I_{ac} یک مؤلفه اصلی جریان به اندازه $2I_{ac}$ ، به همان صورتی که در شکل ۱۰-۱۰ الف نشان داده شده، در حلقه القاگر-خازن چرخش می کند.

در ۴ اهم، مؤلفه اصلی ولتاژ روی خازن I_{ac} خواهد بود. با توجه به محدودیت اندازه ولتاژ خازن، مقدار پیوسته جریان نامی در مدول با امپدانس ۴ اهم به حدی کمتر از جریان نامی ۲۹۰۰ آمپر محدود می شود. شکل ۱۰-۱۰ ب شکل موج های جریان و ولتاژ یک مدول را نشان می دهد که با امپدانس ۴ اهم (۳ پریونیت) در جریان خط حدود ۱۰۰۰ آمپر کار می کند. مقیاس های این شکل موج ها طوری انتخاب شده اند که، اگر کلید تریستوری قطع می بود، شکل موج ولتاژ خازن دارای همان سطح پیک شکل موج جریان خط بود.

شکل ۱۰-۱۱ الف منحنی قابلیت امپدانس-جریان را برای یک مدول نشان می دهد. این شکل نشان می دهد که مدول می تواند به طور پیوسته در مقدار اهمی زیاد تا ۴ اهم خازنی کار کند، اما توانایی جریان آن کاهش می یابد. هم چنین در شکل، مناطق مربوط به قابلیت های اضافه بار کوتاه مدت نشان داده شده، که نشان می دهد محدوده عملکرد دینامیکی TCSC دو برابر مقدار نامی پیوسته آن است. می تواند به مدت ۱۰ ثانیه در ۱۶ اهم و به مدت ۳۰ ثانیه در ۱۲ اهم کار کند. حد اضافه بار موقت به وسیله استاندارد IEEE ۸۲۴ برای خازن های سری تعیین شده است. یک مدول می تواند در هر نقطه ای در سطوح سایه دار و نیز روی خط $0/2$ -اهم القایی، کار کند.

یک مدول منفرد نمی تواند بین $0/2$ - و $1/33$ -اهم کار کند. از آن جا که مدول های منفرد می توانند به طور مستقل در هر نقطه مشخصات خود، شامل زمان میان بردن توسط کلیدهای تریستوری خود، کار کنند، تشخیص این که ترکیبی از شش مدول همه محدوده عملکردی را از $1/2$ -اهم تا ۲۶ اهم پوشش می دهد آسان است. این مطلب در شکل ۱۰-۱۱



شکل ۱۰-۱۱ منحنی های قابلیت برای TCSC اسلات: (الف) منحنی قابلیت برای یک مدول TCSC؛ (ب) منحنی های قابلیت برای کل شش مدول TCSC.

ب نشان داده شده است. هم چنین آشکار است که اگر همه شش مدول در یک واحد بزرگ ترکیب می شدند، مشخصات کارکردی آن مشابه یک مدول می شد؛ مثل شکل ۱۱-۱۰ الف که مقیاس اهمی آن شش برابر شده باشد. در این صورت یک منطقه ممنوعه امپدانس از $1/2$ - تا ۸ اهم وجود می داشت. محدوده پیوسته کنترل اهمی تنها از ۸ تا ۲۶ اهم - در مقابل کل محدوده $1/2$ - اهم تا ۲۶ اهم - و روی خط وضعیت میان بر شده $1/2$ - اهم می باشد. این مزیت روشن رویکرد مدولار در طراحی TCSC است، جدا از این واقعیت که رویکرد مدولار اجازه عملکرد مداوم جزیی TCSC را در صورت بروز مشکل در مدول های منفرد، می دهد.

بایستی اشاره شود که مدول ها عموماً با تریستورهای مسدود شده کار نمی کنند بلکه در زاویه ای اندکی کمتر از ۱۸۰ درجه عمل می کنند. آن ها به جای $1/33$ اهم ($9/2$ اهم برای همه شش مدول)، در $1/53$ اهم، در وضعیت حداقل خازنی حالت ماندگار، کار می کنند، تا کاهندگی برای وضعیت SSR را همانند طرح NGH که در فصل ۹ مورد بحث قرار گرفت، فراهم کنند. این TCSC برای کار کردن به صورت راکتور سری کنترل شده با تریستور، طراحی نشده است.

۱۰-۲-۳ جنبه های طراحی و عملکرد

۱-۲-۳-۱ کلیدهای تریستوری. به جای شرط بار و اضافه بار، شرط جریان اتصال کوتاه ۶۰ کیلوآمپری برای چندین سیکل در تریستورها، عامل تعیین کننده در طراحی تریستور بود. این تریستورها سلول هایی به قطر ۱۰۰ میلیمتر هستند و قابلیت مسدودسازی ولتاژ $3/3$ کیلوولت را دارند. به دلیل شرط جریان اتصال کوتاه زیاد، تریستورها مقدار نامی ولتاژ پایستری نسبت به مواقع دیگر دارند. تریستورها با یک ساختار دریچه گسترده طراحی شده اند که گسترش سریع جریان دریچه را تضمین می کند و به این ترتیب قابلیت di/dt زیاد و وصل یکنواخت با سطح بسیار زیاد جریان را به وجود می آورد. هر کلید تریستوری پنج تریستور به صورت سری و یک تریستور اضافه دارد، لذا برای کلیدزنی دو طرفه، هر مدول کلاً دارای ۱۰ تریستور است.

بنابر دلایلی، منبع تغذیه سکو برای کنترل تریستور از ترانسفورماتورهای جریان روی سکو گرفته شده است. در هنگام توان کم در خط ac ، توان کافی برای عملکرد TCSC وجود نداشته و بنابراین حداقل حد کاری عادی آن، جریان $0/2$ پریونیت است.

چون والوها در فضای باز و روی سکوها ۵۰۰ کیلوولت قرار دارند، مرتباً با مخلوطی از اتیلن گلیکول و آب خنک می شوند؛ مایع خنک کننده از سطح زمین از طریق مقره های چینی توخالی به سکوی ۵۰۰ کیلوولت برده می شود. دو دستگاه از چنین مقره هایی در هر سکو وجود دارد که یکی خنک کننده را به طرف بالا و دیگری به طرف پایین انتقال می دهد. تجهیزات مربوط به این حلقه خنک کننده اصلی در فضای بسته و در سطح زمین قرار دارد. حرارت مایع خنک کننده از طریق شش مبدل حرارتی که در فضای باز واقع شده اند، به هوای آزاد منتقل می شود.

۲-۲-۳-۲ کنترل، حفاظت و پایش (مونیتورینگ). تمام کنترل، حفاظت و پایش دیجیتال بوده، و در سطح زمین و در یک اطاق کنترل قرار گرفته اند. انتقال سیگنال به/از سکو و اطاق کنترل از طریق فیبرنوری است. شکل ۱۲-۱۰ دیاگرام تک خطی سیستم کنترل، حفاظت و پایش را نشان می دهد. این دیاگرام اساساً خود گویا است. سیستم واسطه اپراتور (OSI^1) و سیستم مشترک کنترل و حفاظت (CCP^2) نمایش دهنده وظایف سطح اصلی است، که بر سیستم های کنترل و حفاظت مدول ها

¹ Operator Interface System
² Common Control and Protection

(MCP ها) نظارت می کند. هر سیستم واسطه والو (VIS^۲) پالس های کنترلی راه اندازی را به واحد کلید ترستوری ارسال، و گزارش وضعیت واحدهای کلید ترستوری را با استفاده از یک جفت فیبرنوری برای هر ترستور، دریافت می کند. عملکرد شش مدول به طور خودکار توسط CCP هماهنگ می شود؛ یعنی هر مدول فرمان "اهم" خود را به طور جداگانه از CCP دریافت می کند.

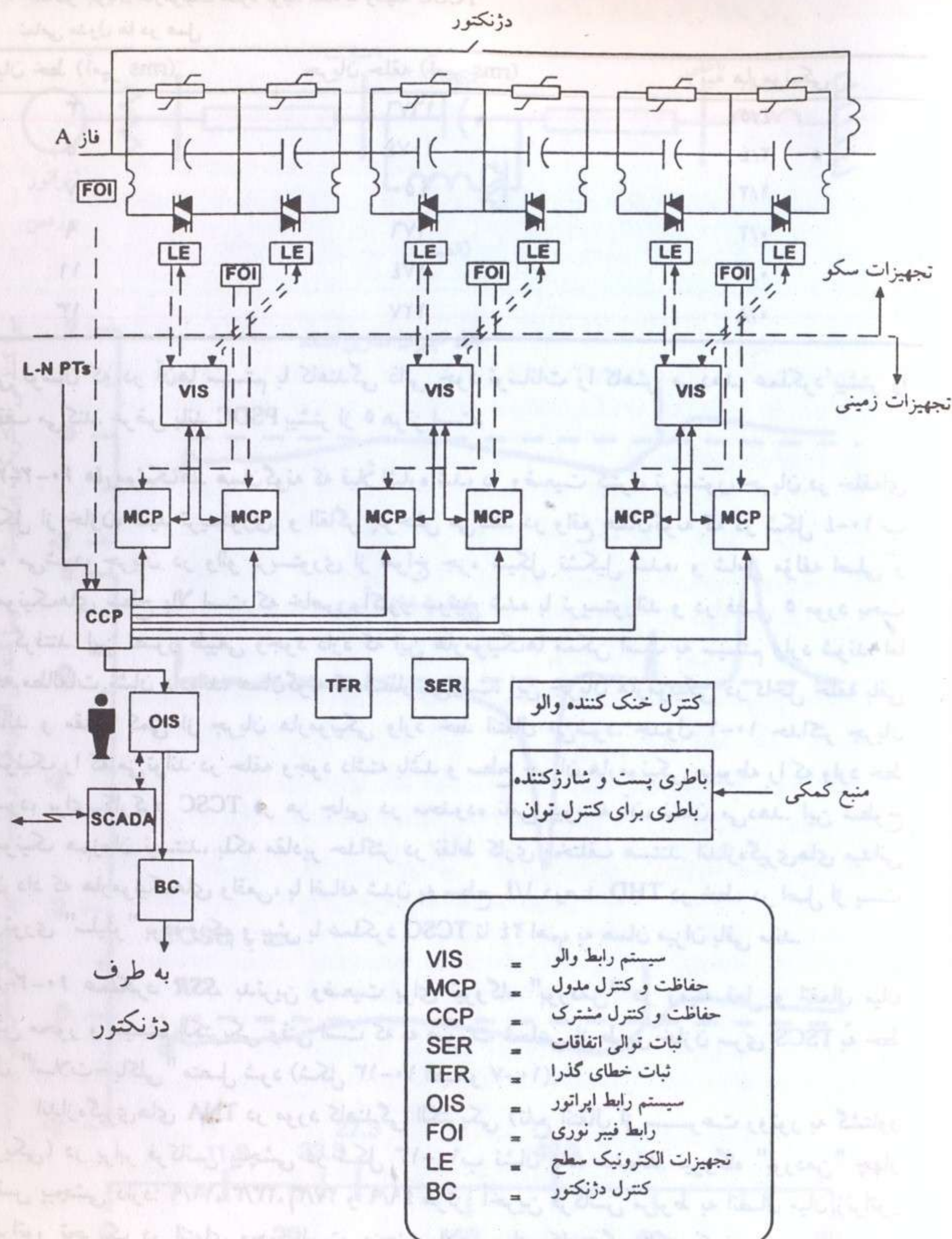
ساختار مدولار اجازه می دهد که یک مدول از سرویس خارج شود تا تعمیرات و نگهداری تجهیزات سطح زمین آن انجام شود، در حالی که بقیه مدول ها کماکان در سرویس قرار دارند. توابع کنترلی سطح اصلی شامل ورودی فرمان اهم یا توان توسط اپراتور محلی یا دوردست، تنظیم کننده سیلان توان، کنترل کننده میرایی نوسان توان، کنترل کننده پایداری حالت گذرا، توزیع کننده منطقی فرمان مدول که فرمان های تک تک مدول ها را بر اساس عملکرد کنترلی سطح بالاتر محاسبه می کند، و توالی اتصال و جداسازی خودکار TCSC است. همچنین مشتمل بر عملکرد خودکار چرخش مدول هاست، که اطمینان می دهد همه مدول ها وظیفه متوسط مشابهی را انجام می دهند.

کنترل کننده های سطح مدول ها شامل تولید پالس های راه اندازی ترستور، الگوریتم کنترلی سریع و پایدار زاویه آتش، و محدود سازی خودکار اضافه بار است.

حفاظت های سطح مشترک شامل اضافه جریان خط (مدت دار و لحظه ای)، کمبود جریان خط (مدت دار)، خطاهای درونی با هر یک از سکوها، خطای سکو به زمین، اختلال در سیستم خنک کننده، اختلال در کلید میان برکننده، کمبود ولتاژ باطری ایستگاه، و اختلال کنترل کننده است.

حفاظت های سطح مدول شامل اضافه ولتاژ خازن (مدت دار)، اختلال خازن، اضافه حرارت واریستور، اختلال در واریستور، عدم تعادل ولتاژ مدول، اختلال ترستور، اختلاف در راه اندازی ترستور، اختلال سیستم واسطه والو، و اختلال کنترل کننده است. اغلب حفاظت های مدول تنها باعث می شوند که کلید ترستوری در سطح مدول عمل میان برسازی را انجام دهد. اختلال اول ترستور در زنجیره ای از پنج ترستور فقط منجر به بروز آلام می شود، به طوری که ترستور می تواند بعداً در زمان مناسب تعویض شود؛ اما اختلال دوم باعث میان بردن دائمی مدول می شود. حفاظت اختلال در راه اندازی ترستور، راه اندازی مکرر غلط و اختلال مکرر در راه اندازی را آشکار کرده و آلام مناسب را به صدا در می آورد.

۳-۲-۱۰ پایداری سیستم قدرت. کنترل کننده پایداری حالت گذرا که یک کنترل کننده حلقه باز سریع است، تدارک دیده شده تا تحت اثر آن TCSC به فوریت به ۲۴ اهم خازنی یا هر مقدار تنظیم شده دیگری، با استفاده از مزیت مقدار اضافه بار نامی کوتاه مدت، برسد. همچنین به صورتی تنظیم شده است که وقتی یک قطع قطب در کنورتور HVDC پست مجاور (سلیلو) رخ می دهد، به سطح خازنی کامل برود. پس از آن TCSC بعد از ۹ ثانیه به سمت ۱۲ اهم بر می گردد. هدف، حداکثر کردن سیلان توان، در سریع ترین زمان ممکن، برای جبران سازی فقدان سیلان توان در خطوط دیگر و کاهش شتاب گیری ماشین ها است. مقدار نامی اضافه بار TCSC می تواند برای بسیاری از انواع دیگر اتفاقات گذرا و کنترل های پیچیده تر، به منظور کمک به پایداری نوسان اول، مورد استفاده قرار گیرد.



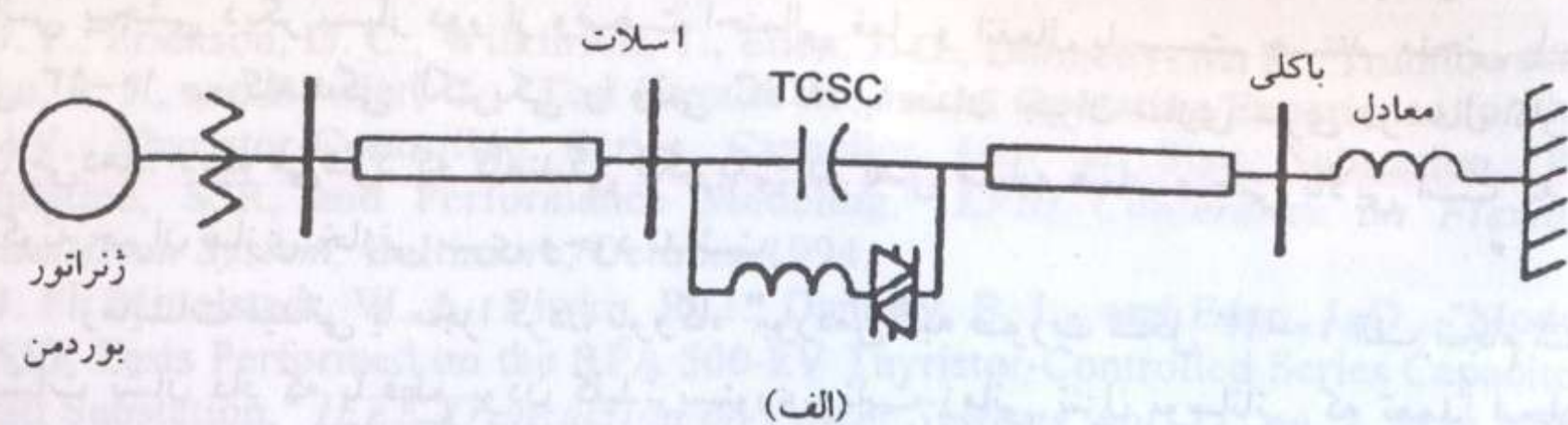
شکل ۱۰-۱۲ اجزای اصلی حفاظت و کنترل TCSC در پست اسلات.

کنترل میرایی نوسان توان (PSDC^۱) نیز تعبیه شده است. آزمایشات شبیه سازی نشان داد که این روش، ابزار قدرتمندی برای کاهش است. این کنترل دارای یک باند مرده بوده، به طوری که در سطوح

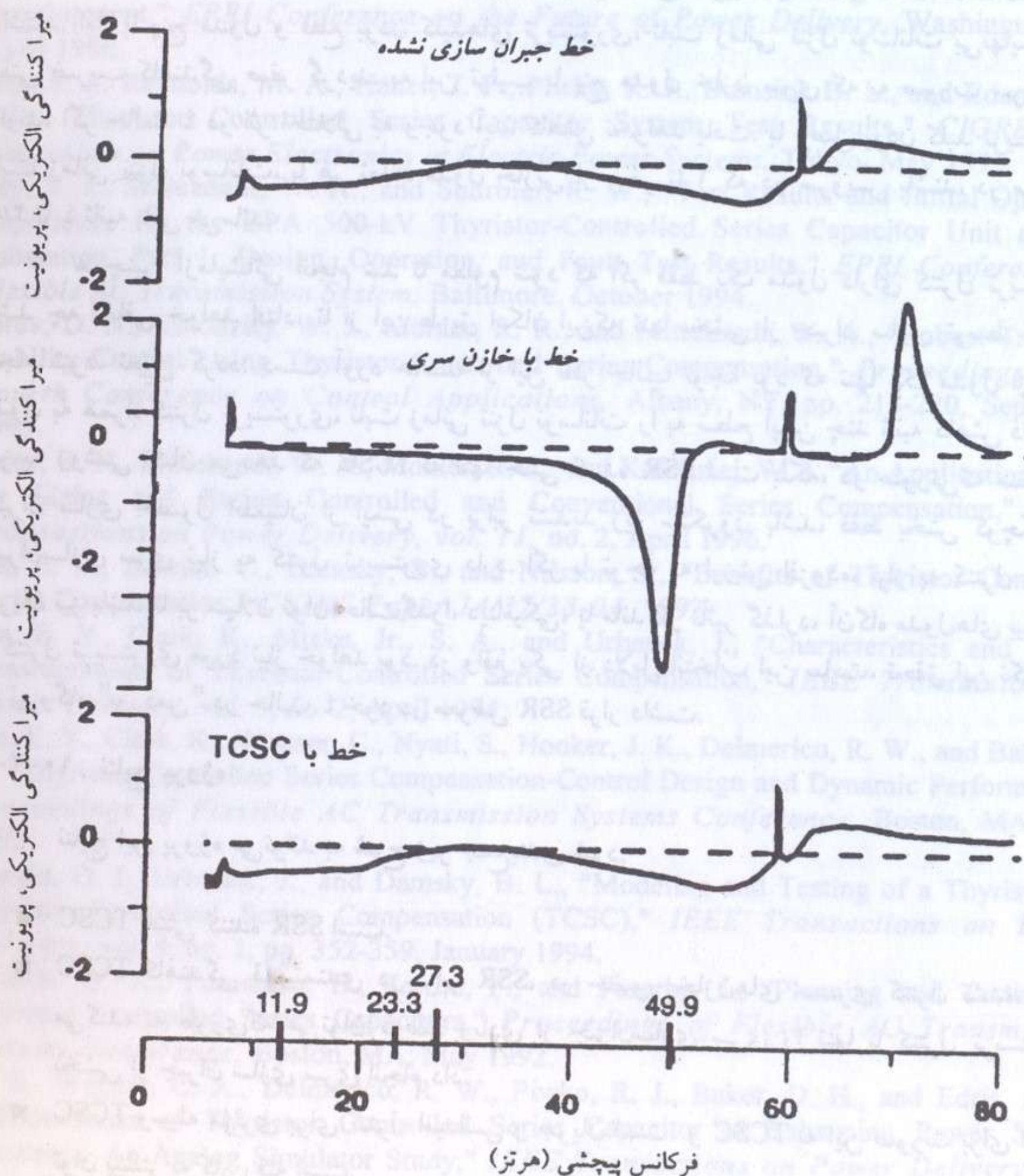
^۱ Power Swing Damping Control

^۲ Module Control and Protection Systems

^۳ Valve Interface System



(الف)



(ب)

شکل ۱۰-۱۳ عملکرد تشدید زیر سنکرون TCSC در پست اسلات: (الف) پیکربندی سیستم مورد استفاده برای آزمایشات عملکرد تشدید زیر سنکرون TCSC؛ (ب) منحنی های میرا کنندگی الکتریکی برای مقایسه عملکرد در تشدید زیر سنکرون - نتایج آزمایشات با تحلیل گر گذرای شبکه.

جدول ۱۰-۱ حداکثر جریان هارمونیک منفرد تولید شده به وسیله TCSC:

جریان خط (آمپر rms)	جریان حلقه (آمپر rms)	مرتبه هارمونیک
۳	۱۶۷۶	۴/۵
۵	۱۰۷۴	۲/۴
۷	۴۵۰	۱/۲
۹	۱۷۶	۰/۲
۱۱	۱۷۴	۰/۶
۱۳	۱۲۷	۰/۸

پایین نوسان که در آن ها سیستم با کاهندگی ذاتی خود نوسانات را کاهش می دهد، عملکرد بیشتر را متوقف می کند. عرض باند PSDC بیشتر از ۵ هرتز است.

۱۰-۲-۳-۴ هارمونیک ها. همان گونه که قبلاً اشاره شد، در وضعیت کنترل تریستور، جریان در حلقه ای متشکل از خازن، کلید تریستوری، و القاگر چرخش می کند. در واقع همان گونه که در شکل ۱۰-۴ ب دیده می شود، جریان در والو تریستوری از امواج جزء سیکل تشکیل شده، و شامل مؤلفه اصلی و هارمونیک های سطح بالا است که خاص رآکتور سوئیچ شده با تریستوراند و در فصل ۵ مورد بحث قرار گرفتند. این تصور طبیعی وجود دارد که این هارمونیک ها ممکن است به سیستم وارد شوند. اما نتیجه مطالعات نشان داده اند، همان گونه که انتظار می رفت، این جریان هارمونیک در داخل حلقه باقی می ماند و مقدار کمی از جریان هارمونیک وارد خط انتقال می شود. جدول ۱۰-۱ حداکثر جریان هارمونیک را که می تواند در حلقه وجود داشته باشد و سطح جریان هارمونیک مربوطه را که وارد خط می شود، برای کارکرد TCSC در هر جایی در محدوده نامی پیوسته آن، نشان می دهد. این سطوح هارمونیک هم زمان نیستند، بلکه مقادیر حداکثر در نقاط کاری مختلف هستند. اندازه گیری های میدانی نشان داد که هارمونیک های واقعی، با اضافه شدن به سطح ۱/۴ درصد THD در خط، در اصل از پست کنورتوری "سلیلو" بوده و کم و بیش با عملکرد TCSC تا ۲۴ اهم، به همان میزان باقی ماند.

۱۰-۲-۳-۵ عملکرد SSR بدترین وضعیت برای نیروگاه "بوردمن" در زمینه فعل و انفعال میان پیچش محور و سیستم الکتریکی وقتی است که به صورت شعاعی از طریق خازن سری TSCS به خط انتقال "اسلات-باکلی" متصل شود (شکل ۱۰-۱۳ الف و ۱۰-۷).

اندازه گیری های TNA در مورد کاهندگی الکتریکی (تابع انتقال از سرعت روتور به گشتاور الکتریکی) در برابر فرکانس پیچشی در شکل ۱۰-۱۳ ب نشان داده شده اند. نیروگاه "بوردمن" چهار فرکانس پیچشی دارد: ۱۱/۹، ۲۳/۳، ۲۷/۳ و ۴۹/۹ هرتز؛ آخرین فرکانس مربوط به اتصال میان ژنراتور و ژنراتور تحریک در انتهای محور است. منحنی بالایی برای کاهندگی الکتریکی برحسب پریونیت بدون هر گونه خازن سری است (خازن سری به صورت مکانیکی میان بر شده است). منحنی میانی، کاهندگی با خازن سری در خط، اما با کلیدهای تریستوری مسدود نشده، را نشان می دهد. این منحنی، اوج منفی کاهندگی را در زمانی نشان می دهد که نیروگاه "بوردمن" در چهارمین وضعیت پیچشی خود است و به روشنی با این جبران سازی سری در وضعیت ناپایدار قرار دارد. این که فقط پنج قسمت کنترل نشده در سرویس باشند و خطوط انتقال دیگر از پست "اسلات" باز باشند، و به این ترتیب نیروگاه تا پست "باکلی" در وضعیت شعاعی قرار گیرد به همان صورت که در شکل ۱۰-۱۳ الف نشان

داده شده- نمایانگر شرایط آسیب زننده جدی است. با توجه به پارامترهای الکتریکی سیستم، سه فرکانس پیچشی دیگر بسیار دور از وضعیت احتمالی فعل و انفعال با سیستم هستند. منحنی پایینی در شکل ۱۰-۱۳ ب کاهندگی الکتریکی را وقتی TCSC با همان جبران سازی سری در حال کار است، نشان می دهد. دیده می شود که کاهندگی الکتریکی در اصل مشابه همان منحنی بالایی است که در آن هیچ گونه جبران سازی خازنی سری وجود نداشت.

آزمایشات میدانی با مجزا کردن نیروگاه "بوردمن" به صورت شکل ۱۰-۱۳ الف انجام شد. این آزمایشات نشان داد که با قطع بودن کلیدتریستوری، ثابت زمانی تنزل نوساناتی که تعمداً ایجاد شده بودند، با صفر، ۱، ۲، ۳، ۴ و ۶ مدول، در هر حالت فرکانسی تقریباً در محدوده ۲/۵ تا ۴ ثانیه قرار داشتند. اما، با پنج مدول و قطع بودن کلیدهای تریستوری، ثابت زمانی تنزل نوسانات بی نهایت شد؛ یعنی ضریب کاهندگی صفر گردید. به این ترتیب با پنج مدول خازن سری که به صورت سری قرار دارند، اگر حالت ۴ در اثر اختلالی به وجود آید، کاهش نخواهد یافت. با وصل بودن کلید تریستوری، ثابت زمانی تنزل نوسانات، با هر تعداد مدول خازنی از صفر تا ۶ که در سرویس باشند، در محدوده ۲/۵ تا ۴ ثانیه باقی می ماند.

هم چنین آزمایشاتی انجام شد تا معلوم شود که اگر فقط یک مدول دارای کنترل تریستوری باشد چه اتفاقی خواهد افتاد، تا از این طریق امکان این که تنها بخشی از جبران سازی توسط TCSC انجام شود، تعیین گردد. دست آورد حاصله از این نظر جالب توجه بود که تنها یک مدول از شش مدول به همراه کنترل تریستوری، ثابت زمانی تنزل نوسانات را به سطح ایمن چند ثانیه کاهش داد. این امر به روشنی نشان می دهد که TCSC نه تنها خشی کننده SSR است بلکه، در صورتی که منظور از جبران سازی حصول اطمینان از ایمنی در برابر تشدید زیر سنکرون باشد، فقط بخش کوچکی از جبران سازی سری نیاز به کنترل تریستوری دارد. اگر با توجه به ارزش افزوده، نیاز به کنترل سیلان جریان نیز باشد تا بر سیلان توان حالت گذرا، دینامیکی، یا ماندگار تأثیر گذارد، آنگاه مدول های بیشتری با کنترل تریستوری مورد نیاز خواهد بود. در واقع یکی از دلایل انتخاب این سایت، تحقق این نکته بود که نیروگاه "بوردمن" در حالت ۴ خود در معرض SSR قرار داشت.

۴-۲-۱۰ نتایج پروژه

نتایج این پروژه می تواند به شرح زیر جمع بندی شود:

- TCSC خشی کننده SSR است.
- TCSC کاهندگی قدرتمندی در برابر SSR، در حضور خازن های سری کنترل نشده، ارائه می کند، به طوری که می توان درصد زیادی از جبران سازی سری را تنها با کنترل تریستوری بخشی از جبران سازی سری انجام داد.
- TCSC وسیله مؤثری برای کنترل امپدانس و جریان است، و TCSC به این صورت برای انتقال توان بیشتر به کار رفته است.
- TCSC وسیله قدرتمندی برای میراساختن نوسانات سیستم قدرت، در حالت گذرا، دینامیکی، و بر اساس سیگنال های کوچک است.

مراجع

- Hauer, J. F., Erickson, D. C., Wilkinson, T., Eden, J. D., Donnelly, M. K., Trudnowski, D. J., Piwko, R. J., and Bowler, C., "Test Results and Initial Operating Experience for the BPA 500-kV Thyristor-Controlled Series Capacitor Unit at Slatt Substation. Part 2: Modulation, SSR, and Performance Modeling," *EPRI Conference on Flexible AC Transmission System*, Baltimore, October 1994.
- Hauer, J. F., Mittelstadt, W. A., Piwko, R. J., Damsky, B. L., and Eden, J. D., "Modulation and SSR Tests Performed on the BPA 500-kV Thyristor-Controlled Series Capacitor Unit at Slatt Substation," *IEEE Transaction on Power Systems*, vol. 11, no. 2, May 1996.
- Kinney, S. J., and Reynolds, M. A., "Slatt TCSC Operational Experience and Future Development," *EPRI Conference on the Future of Power Delivery*, Washington DC, April 1996.
- Kinney, S. J., Reynolds, M. A., Hauer, J. F., Piwko, R. J., Damsky, B. L., and Eden, J. D., "Slatt Thyristor Controlled Series Capacitor System Test Results," *CIGRE 1995 Symposium on Power Electronics in Electric Power Systems*, Tokyo, May 1995.
- Kinney, S. J., Mittelstadt, W. A., and Suhrbier, R. W., "Test Results and Initial Operating Experience for the BPA 500-kV Thyristor-Controlled Series Capacitor Unit at Slatt Substation. Part 1: Design, Operation, and Fault Test Results," *EPRI Conference on Flexible AC Transmission System*, Baltimore, October 1994.
- Kosterev, D. N., Kolodziej, W. J., Mohler, R. R., and Mittelstadt, W. A., "Robust Transient Stability Control Using Thyristor-Controlled Series Compensation," *Proceedings IEEE Fourth Conference on Control Applications*, Albany, NY, pp. 215-220, September 1995.
- Kosterev, D. N., Mittelstadt, W. A., Mohler, R. R., and Kolodziej, W. J., "An Application Study for Sizing and Rating Controlled and Conventional Series Compensation," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 11, no. 2, April 1996.
- Larsen, E. V., Bowler, C., Damsky, B., and Nilsson, S., "Benefits of Thyristor Controlled Series Compensation," *CIGRE Paper 14/37/38-04*, 1992.
- Larsen, E. V., Clark, K., Miske, Jr., S. A., and Urbanek, J., "Characteristics and Rating Considerations of Thyristor-Controlled Series Compensation," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 9, no. 2, April 1994.
- Larsen, E. V., Clark, K., Wegner, C., Nyati, S., Hooker, J. K., Delmerico, R. W., and Baker, D. H., "Thyristor Controlled Series Compensation-Control Design and Dynamic Performance," *Proceedings of Flexible AC Transmission Systems Conference*, Boston, MA, May 1992.
- McDonald, D. J., Urbanek, J., and Damsky, B. L., "Modeling and Testing of a Thyristor for Thyristor-Controlled Series Compensation (TCSC)," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 9, no. 1, pp. 352-359, January 1994.
- Mittelstadt, W. A., Furumasu, B., Ferron, P., and Paserba, J., "Planning and Testing for Thyristor Controlled Series Capacitors," *Proceedings of Flexible AC Transmission Systems Conference*, Boston, MA, May 1992.
- Nyati, S., Wegner, C. A., Delmerico, R. W., Piwko, R. J., Baker, D. H., and Edris, A. A., "Effectiveness of Thyristor Controlled Series Capacitor in Enhancing Power System Dynamics: An Analog Simulator Study," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 9, no. 2, pp. 1018-1027, April 1994.
- Okamoto, H., Kurita, A., Clark, K., Larsen, E. V., and Miller, N. W., "Modeling and Performance of Multiple Multi-module TCSCs in ATP," *CIGRE Group 14 Session*, Paper 14-307, 1995.
- Paserba, J. J., and Larsen, E. V., "A Stability Model for Thyristor Controlled Series Compensation (TCSC)," *Proceedings of Flexible AC Transmission Systems Conference*, Boston, MA, May, 1992.

- Paserba, J. J., Miller, N. W., Larsen, E. V., and Piwko, R. J., "Thyristor Controlled Series Compensation Model for Power System Stability Analysis," *IEEE Transaction on Power Delivery*, vol. 10, no. 3, pp. 1471-1476, July 1995.
- Piwko, R. J., Wegner, C. A., Furumasu, B. C., Damsky, B. L., and Eden, J. D., "The Slatt Thyristor-Controlled Series Capacitor Project-Design, Installation, Commissioning and tem Testing," *Proceedings of CIGRE 35th International Conference*, Paper 14-104, August September 1994.
- Piwko, R. J., Wegner, C. A., Kinney, S. J., and Eden, J. D., "Subsynchronous Resonance Performance Tests of the Slatt Thyristor Controlled Series Capacitor," *IEEE Transaction on Power Delivery*, vol. 11, no. 2, April 1996.
- Trudnowski, D. J., Donnelly, M. K., and Hauer, J. F., "Estimating Damping Effectiveness of BPA's Thyristor-Controlled Series Capacitor by Applying Time and Frequency Domain Methods to Measured Response," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 11, no. 2, May 1996.
- Urbanek, J., Piwko, R. J., Larsen, E. V., Damsky, B. L., Furumasu, B. C., and Mittelstadt, W., "Thyristor Controlled Series Compensator Prototype Installation at the Slatt 500 kV Substation," *IEEE Trans. Power Delivery*, vol. 8, no. 3, pp. 1460-1469, July 1993.
- Urbanek, J., Piwko, R. W., McDonald, D., and Martinez, N., "Thyristor Controlled Series Compensation Equipment Design for the Slatt 500 kV Installation," *Proceedings of Flexible AC Transmission Systems Conference*, Boston, MA, May 1992.
- Zhu, W., Spee, R., Mohler, R. R., Alexander, G. C., Mittelstadt, W. A., and Maratukulam, D. J., "An EMTP Study of SSR Mitigation Using the Thyristor-Controlled Series Capacitor," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 10, no. 3, July 1995.

۱۰-۳ جبران ساز استاتیکی سنکرون در پست "سولیوان" متعلق به TVA

۱۰-۳-۱ معرفی و جنبه های برنامه ریزی

اولین STATCOM پر قدرت در ایالات متحده در اواخر ۱۹۹۵ در پست "سولیوان" متعلق به "سازمان دره تنسی" (TVA) برای جبران سازی خط انتقال، راه اندازی شد. پروژه با حمایت مشترک انستیتو تحقیقات صنعت برق (EPRI) و TVA انجام شد و توسط شرکت برق وستینگهاوس طراحی و ساخته شد.

TVA وابسته به دولت فدرال است و به عنوان یک واحد خدماتی بزرگ دارای ظرفیت تولید نصب شده بیش از ۳۰ هزار مگاوات است که از طریق ۱۶۰۰۰ مایل (۲۵۸۰۶ کیلومتر) خط انتقال، توان الکتریکی را برای شرکت های خدماتی دیگر و مشترکان صنعتی در هفت ایالت تأمین می کند. TVA بخشی از شبکه شرقی آمریکای شمالی است.

برق شمال شرقی تنسی توسط پست "سولیوان" در نزدیکی شهر "جانسون" تأمین می شود. پست "سولیوان" توسط شبکه قدرت حجم ۵۰۰ کیلوولت و چهار خط ۱۶۱ کیلوولت تغذیه می شود. فیدر ۵۰۰ کیلوولت پست "سولیوان" ۵۵ درصد از پیک بار زمستانی ۹۰۰ مگاواتی را تأمین می کند. هفت شرکت توزیع کننده و یک مشترک بزرگ صنعتی از این پست تغذیه می شوند. سایت پست "سولیوان" به دلایل مشروحه زیر برای نصب STATCOM انتخاب شد:

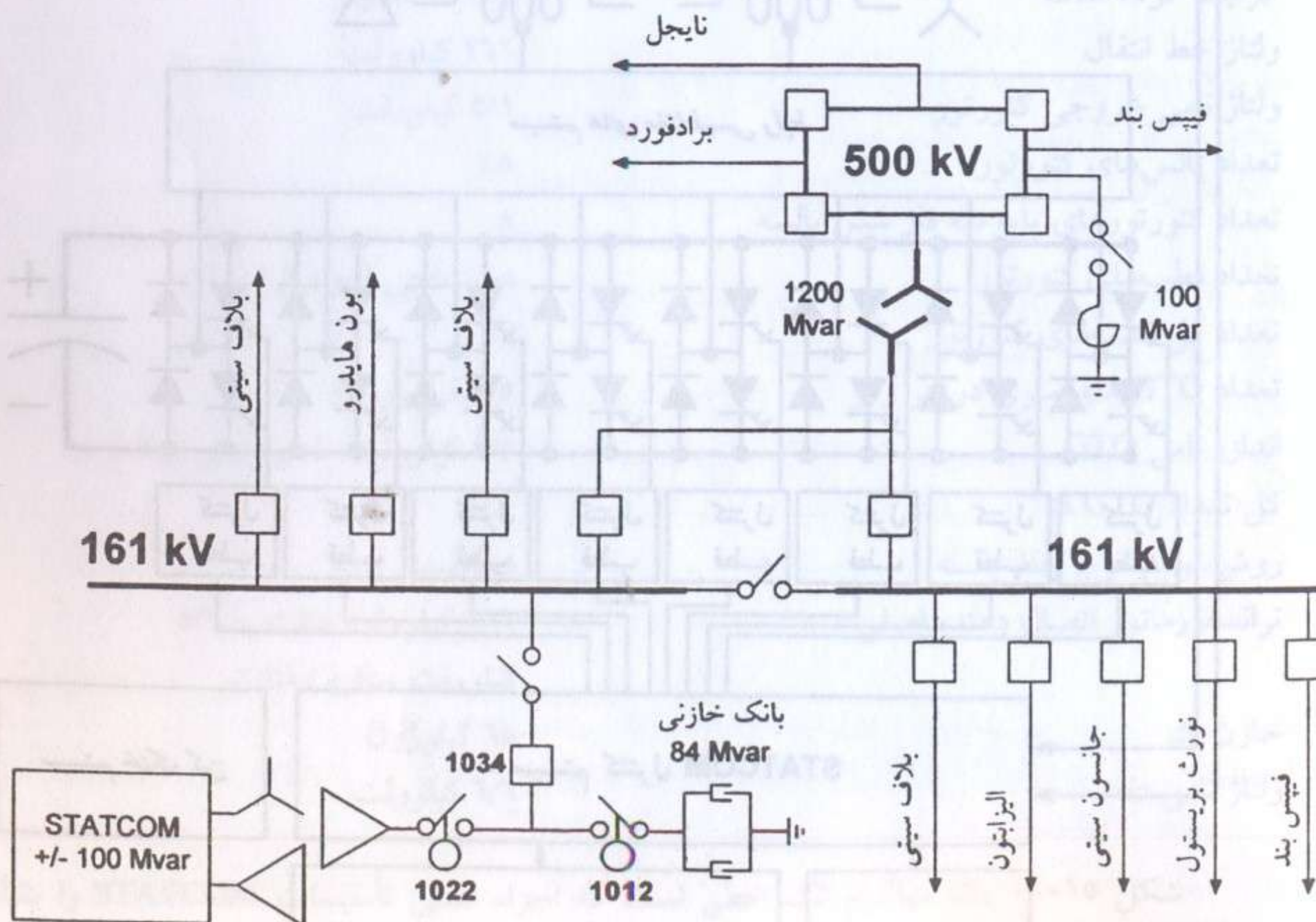
- ۱- پست "سولیوان" در مرز منطقه خدمات رسانی TVA قرار دارد و به این ترتیب اتصالات آن با سیستم، به استحکام پست های وسط شبکه حجم قدرت نیستند. شینه ۵۰۰ کیلوولت از طریق یک بانک ترانسفور ماتور ۱۲۰۰ مگاوات آمپری به شینه ۱۶۱ کیلوولت متصل شده است. شینه ۵۰۰ کیلوولت پست "سولیوان" در شرایط بار کم، به دلیل ظرفیت خازنی خطوط انتقال ۵۰۰

کیللوولت، در معرض ولتاژهای زیاد قرار دارد. شینه ۱۶۱ کیلوولت در هنگام شرایط بار پیک در معرض ولتاژ کم قرار می گیرد. سایت پست "سولیوان" یکی از محدود مکان هایی در شبکه TVA است که در آن کل محدوده قرینه خروجی راکتیو STATCOM، از القایی کامل تا خازنی کامل، بدون به کار بردن خازن ثابت یا بانک های راکتوری، قابل استفاده است.

۲- TVA در پست "سولیوان" با شرکت برق آمریکن الکتریک (AEP) متصل است. تحقیقات AEP در مورد نوسانات سیستم قدرت نشان داد که ممکن است نوساناتی در سیستم آن ها و در نتیجه سیستم TVA وجود داشته باشد. به این ترتیب مکان پست "سولیوان" فرصتی را برای TVA فراهم می کند که از قابلیت STATCOM برای کاهش این نوسانات بهره گیرد.

سیستم TVA در پست "سولیوان" به همراه STATCOM در شکل ۱۰-۱۴ نشان داده شده است. هنگامی که این پروژه ساخته شد، STATCOM را STATCON می نامیدند، که نام خلاصه ای برای "کندانسور استاتیکی" بود. اصطلاح STATCON بعداً توسط IEEE و CIGRE به جبران ساز استاتیکی یا STATCOM تغییر یافت. همچنین در متون فنی اغلب از اصطلاح "اینورتور" برای کنورتور منبع ولتاژی، به جای اصطلاح عموماً پذیرفته شده "کنورتور" که در این کتاب به کار رفته، استفاده می کنند. بنابراین، خواننده ممکن است اغلب با این اصطلاحات در متون و شکل ها برخورد کند. در این سایت از STATCOM توقع دو عملکرد وجود داشت. یکی تنظیم روزانه ولتاژ، و دیگری استفاده اضطراری در هنگام اختلالات عمده در سیستم قدرت.

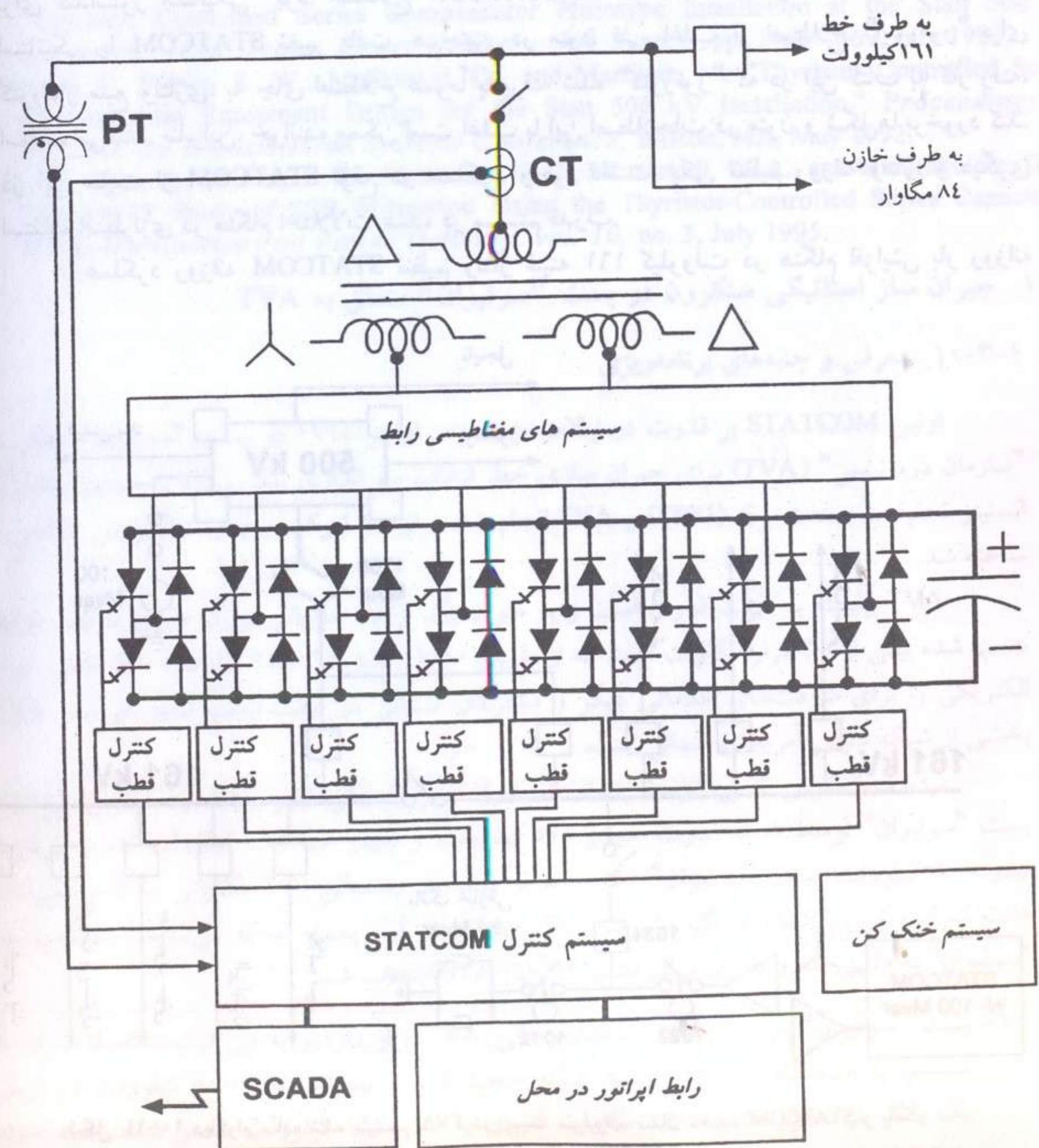
عملکرد روزانه STATCOM تنظیم ولتاژ شینه ۱۶۱ کیلوولت در هنگام افزایش بار روزانه



شکل ۱۰-۱۴ دیاگرام ساده شده سیستم TVA در پست سولیوان، نشان دهنده STATCOM و بانک خازنی ۸۴ مگاوار مجاور.

است، به صورتی که تپ چنجر روی بانک ترانسفورماتور کمتر مورد استفاده قرار گیرد. بیشتر اختلالات بانک ترانسفورماتور ۵۰۰ کیلوولت TVA روی تپ چنجر اتفاق افتاده است. با استفاده از STATCOM برای تنظیم ولتاژ، عمر مورد انتظار بانک ترانسفورماتور پست "سولیوان" بایستی به طرز چشمگیری افزایش یافته باشد. در دوره خارج پیک، TVA ولتاژ زیادی را بر روی شینه ۵۰۰ کیلوولت در پست سولیوان تجربه می کند. ابتدا، ۱۰۰ مگاوار راکتور بر روی یکی از شینه های ۵۰۰ کیلوولت نصب شد تا افزایش ولتاژ را اصلاح کند. یکی از این راکتورها دچار خرابی شد و با این استدلال که STATCOM این عملکرد را تأمین خواهد کرد، جایگزین نگردید.

بانک خازنی استاندارد TVA، ۸۴ مگاوار است. یک بانک خازنی قابل سونچ کردن به همراه STATCOM در پست سولیوان نصب خواهد شد. کلیدزنی بانک خازنی توسط STATCOM کنترل خواهد شد. به این ترتیب STATCOM به همراه بانک خازنی، یک سیستم استاتیکی توان راکتیو



شکل ۱۰-۱۵ دیاگرام تک خطی نشان دهنده اجزاء اصلی تاسیسات STATCOM متعلق به TVA.

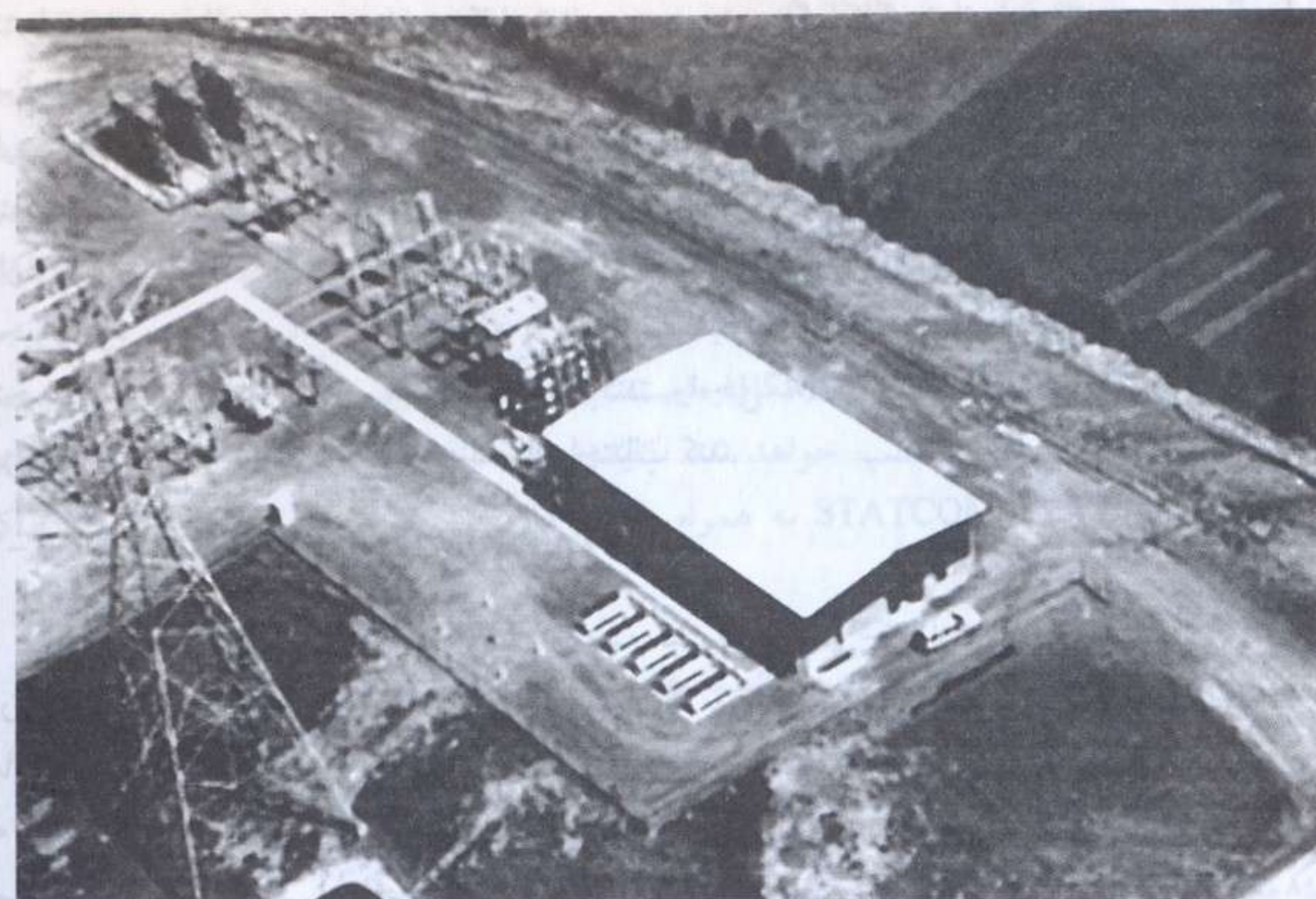
(SVS) خواهد بود که محدوده مؤثر آن ۱۰۰ مگاوار القایی تا ۱۸۴ مگاوار خازنی است. این امر اجازه کنترل سریع ولتاژ را، در محدوده قابل توجهی، می دهد. اگر بانک ترانسفورماتور پست "سولیوان" در شرایط پیک زمستان از دست برود، ولتاژ شینه ۱۶۱ کیلوولت می تواند ۱۰ تا ۱۵ درصد افت کند. با رشد بار منطقه به مرور زمان این افت حائز اهمیت بیشتری شده و ولتاژ در این ناحیه می تواند سقوط کند. انتظار می رود که STATCOM به سرعت واکنش نشان داده و ولتاژ را در سطحی منطقی ولی کم نگه دارد تا بانک های خازن موازی، در پست های دیگر منطقه وصل شوند. بدون STATCOM، TVA مجبور بود پروژه ای را شروع کند که یا بانک ترانسفورماتور دوم پست سولیوان را نصب کند یا خط پنجم ۱۶۱ کیلوولت را در منطقه احداث کند. راه حل STATCOM به TVA اجازه داد که از این هزینه های کلان حداقل به مدت چند سال اجتناب کند.

۱۰-۳-۲ جمع بندی طراحی STATCOM

STATCOM متعلق به TVA از یک کنورتور خنثی-که از والوهای تریستوری دارای قطع دریچه (GTO) تشکیل شده- در برابر هارمونیک ها بهره می گیرد، و به صورتی طراحی شده که الزامات هارمونیک شرکت برق را بدون وجود فیلترها برآورده سازد. این دستگاه دارای نیمه هادی های قدرت به میزان کافی و سایر اجزاء بحرانی مدار است تا، دسترس پذیر بودن عملیاتی را در حد زیاد، تأمین نماید. پارامترهای اصلی طراحی کنورتور STATCOM به شرح زیر هستند:

ظرفیت نامی	۱۰۰ ± مگاوار
ظرفیت کوتاه مدت	۱۲۰ ± مگاوار
ولتاژ خط انتقال	۱۶۱ کیلوولت
ولتاژ نامی خروجی کنورتور	۵/۱ کیلوولت
تعداد پالس های کنورتور	۴۸
تعداد کنورتورهای پایه سه فاز شش پالسه	۸
تعداد قطب های کنورتور	دو سطحی (دو والو)
تعداد کل قطب های کنورتور	۲۴
تعداد GTO های سری در هر والو	۵ (یکی رزرو)
اندازه نامی GTO	۴/۵ کیلوولت، ۴ کیلوآمپر (پیک)
کل تعداد GTO ها	۲۴۰
روش تولید موج چند پالسه	مغناطیسی
ترانسفورماتور اتصال دهنده اصلی	۱۶۱ کیلوولت مثلث به ۵/۱ کیلوولت ستاره / مثلث
خازن dc	۶۵ کیلوژول
ولتاژ نامی dc	۶۶ کیلوولت

شکل ۱۰-۱۵ یک دیاگرام تک خطی است که اجزاء اصلی تاسیسات STATCOM را نشان می دهد. هشت قطب کنورتوری شامل ۱۶ والو GTO که به صورت نمادین رسم شده، به یکی از سه فاز خروجی مولد STATCOM متصل شده اند. هر قطب کنورتور یک موج ولتاژ مربعی تولید می کند. این شکل موج ها به ترتیب از یک قطب به قطب بعدی به اندازه زاویه انتخابی تقریبی، جابه جایی فاز

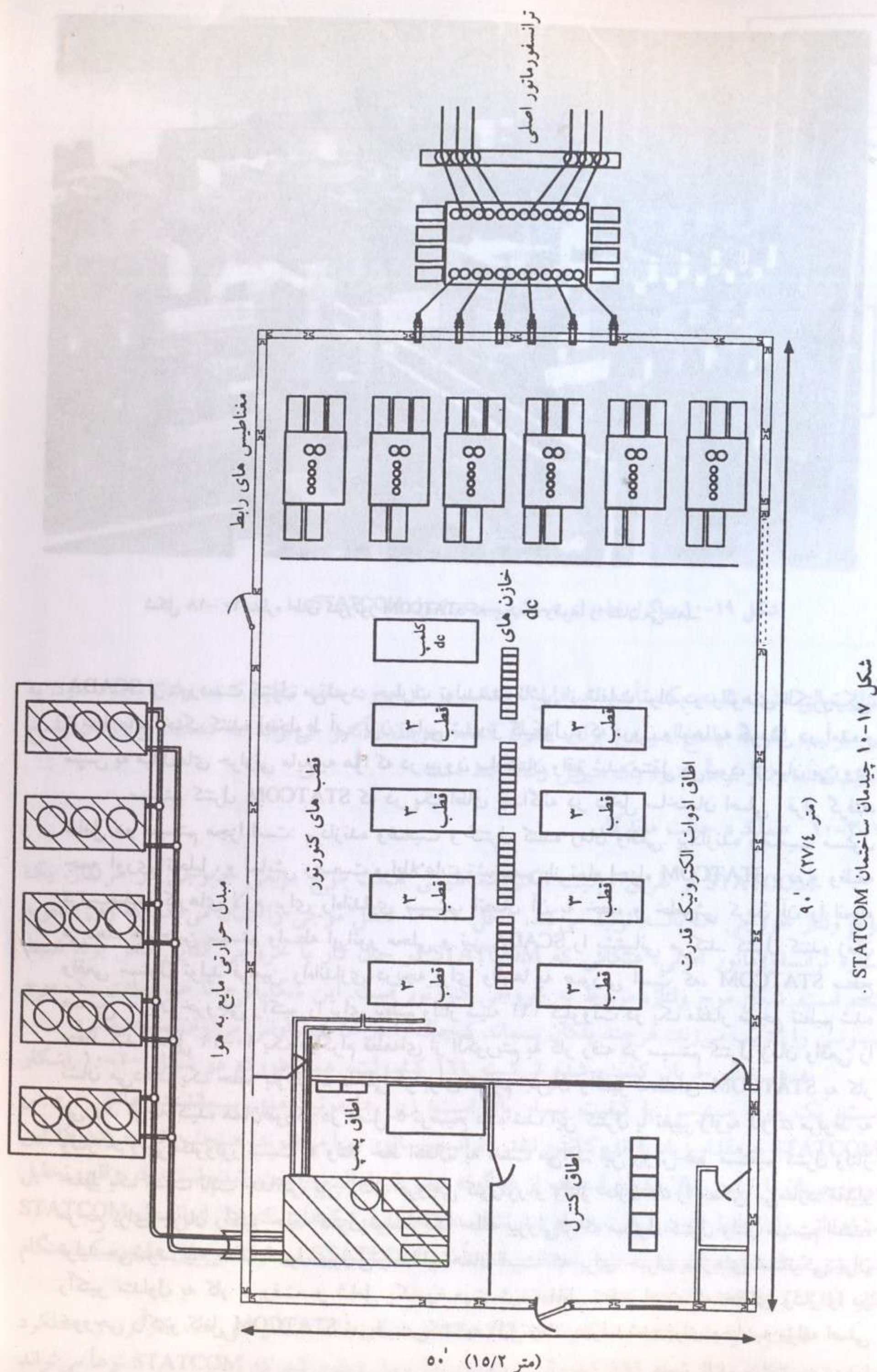


شکل ۱۰-۱۶ منظره هوایی از سایت STATCOM نشان دهنده ساختمان، اجزاء بیرونی و بانک خازنی مجاور (بالا چپ).

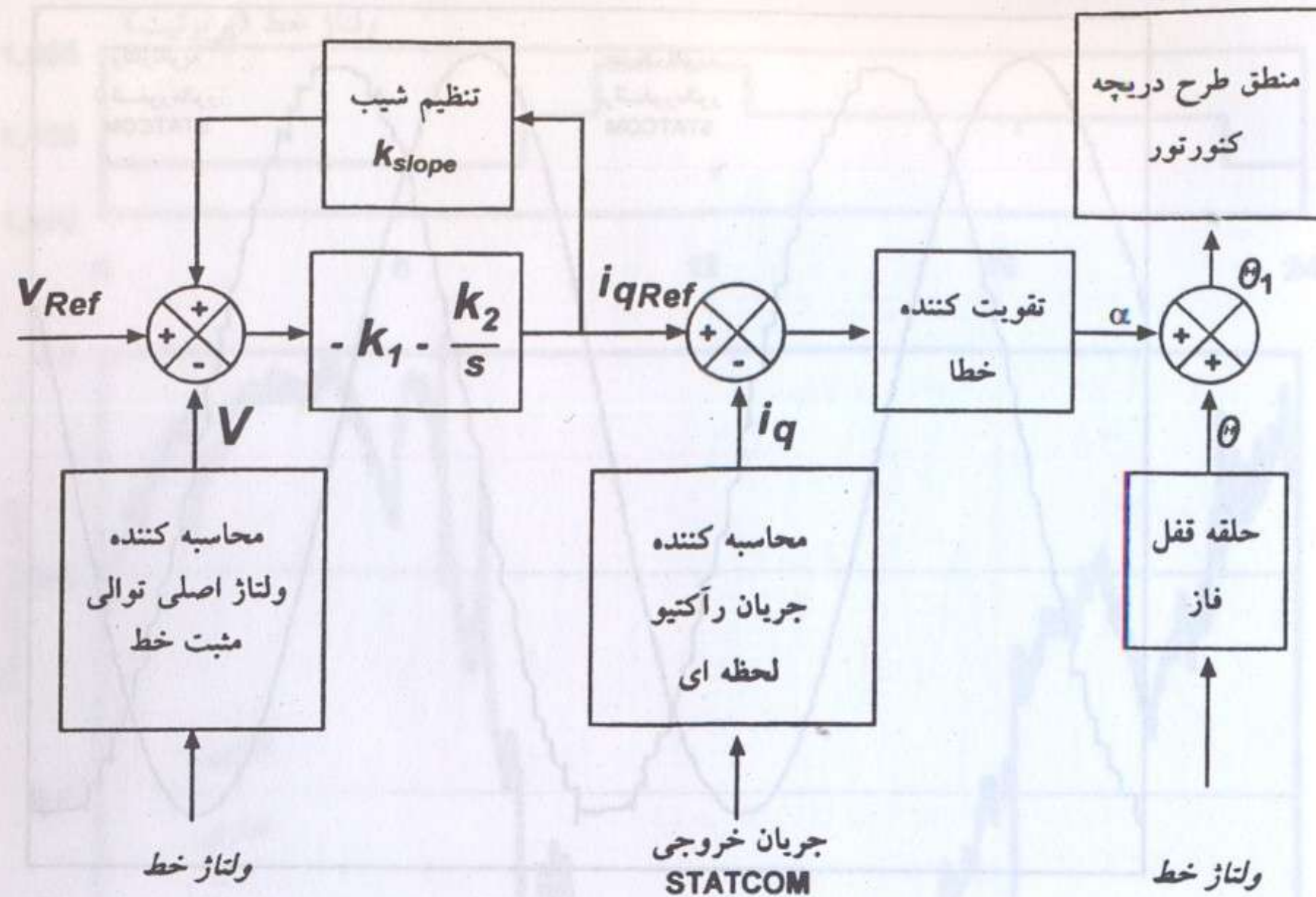
دارند. هشت ولتاژ مربعی قطب‌ها به وسیله مدار مغناطیسی جمع کننده در ۲ موج ولتاژ - که ۳۰ درجه جابه‌جایی دارند- ترکیب می‌شوند. یکی از این موج‌ها ثانویه ستاره و دیگری ثانویه مثلث ترانسفورماتور اتصال دهنده اصلی را تغذیه می‌کند. موج ولتاژ خروجی ۴۸ پالس نهایی از اولیه ترانسفورماتور به دست می‌آید.

تأسیسات STATCOM به طور قابل ملاحظه‌ای از نظر سطح کوچکتر از یک جبران ساز استاتیکی توان را می‌تواند؛ زیرا توان را آکتیو، به جای خازن‌ها و راکتورها، توسط ادوات نسبتاً فشرده الکترونیک قدرت تولید می‌شود. تأسیسات کامل STATCOM در پست "سولیوان" در یک تصویر هوایی در شکل ۱۰-۱۶، و پلان چیدمان ساختمان در شکل ۱۰-۱۷ نشان داده شده‌است. اندازه کلی ساختمان ۹۰ پا در ۵۰ پا (۲۷/۴ متر در ۱۵/۲ متر) است، که شامل تمام کنورتور STATCOM و کنترل کننده‌های مربوطه و تجهیزات جانبی است. ترانسفورماتور اصلی که STATCOM را به خط ۱۶۱ کیلوولت متصل می‌کند در فضای باز قرار گرفته است. ساختمان دارای طراحی تجاری استاندارد با سقف و دیوارهای فلزی است.

شکل ۱۰-۱۸ منظره‌ای از والوهای STATCOM را نشان می‌دهد. هر والو دارای کنترل کننده‌های الکترونیکی ذریبط و مدار راه‌انداز است که در مجاورت آن قرار گرفته و از طریق رابط‌های فیبر نوری با سیستم کنترل مرکزی ارتباط دارند. سیستم کنترل مرکزی، سیگنال بازخورد را از ترانسفورماتورهای ولتاژ روی شینه ۱۶۱ کیلوولت و ترانسفورماتورهای جریان روی بوشینگ‌های اولیه ترانسفورماتور اصلی، دریافت می‌کند. یک پایانه نمایش دهنده گرافیکی پیچیده با اطلاعات تشخیصی جامع برای اپراتور محلی تعبیه شده است؛ اما STATCOM به طور معمول از طریق



شکل ۱۰-۱۷ چیدمان ساختمان STATCOM



شکل ۱۰-۱۹ دیاگرام قطعه ای عملکرد سیستم کنترل STATCOM.

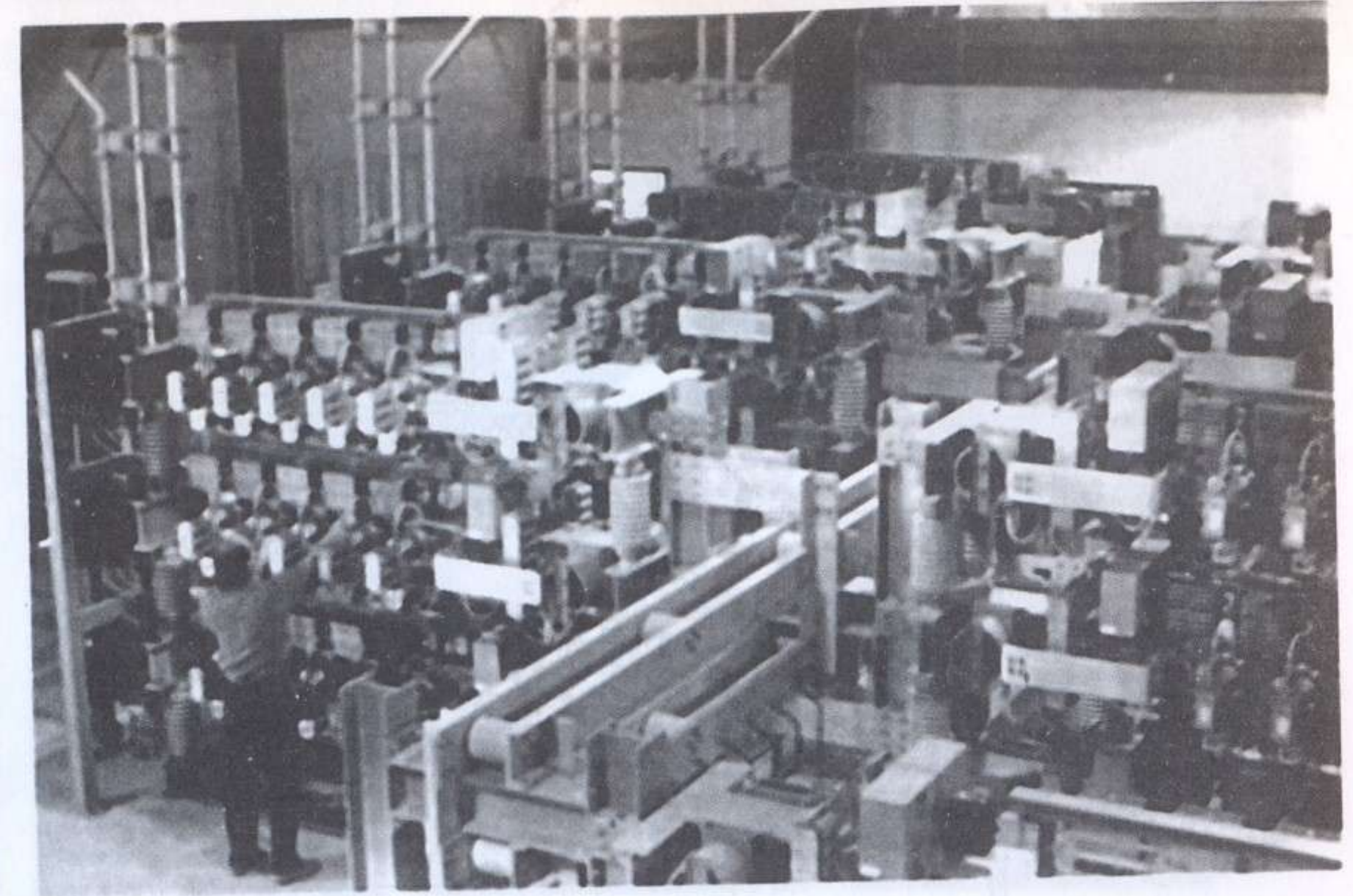
ولتاژ توالی مثبت شینه، یک تأخیر غیرقابل اجتناب در بازخورد حلقه تنظیم کننده ولتاژ وجود دارد. به این ترتیب اگرچه پاسخ سریعی برای کنترل کننده جریان راکتیو می‌تواند به دست آید، زمان پاسخ تنظیم کننده ولتاژ نوعاً حدود یک سیکل ولتاژ خط است.

۱۰-۳-۳ عملکرد حالت ماندگار

STATCOM از طریق ترکیب الکترومغناطیسی هشت موج مربعی خروجی در هر فاز، یک موج ولتاژ خروجی ۴۸ پالسه تولید می‌کند. شکل ۱۰-۲۰ شکل موجی را نشان می‌دهد که روی ثانویه ستاره ترانسفورماتور اصلی، هنگامی که STATCOM در حال کار با خروجی القایی کامل بود، ضبط شده است. شکل موج ولتاژ، مربوط به خروجی کنورتور است. این شکل موج تا حد زیادی یک موج سینوسی را تقریب می‌زند، هرچند پلکان پسماند کوچک را در آن به فراوانی می‌توان مشاهده کرد.

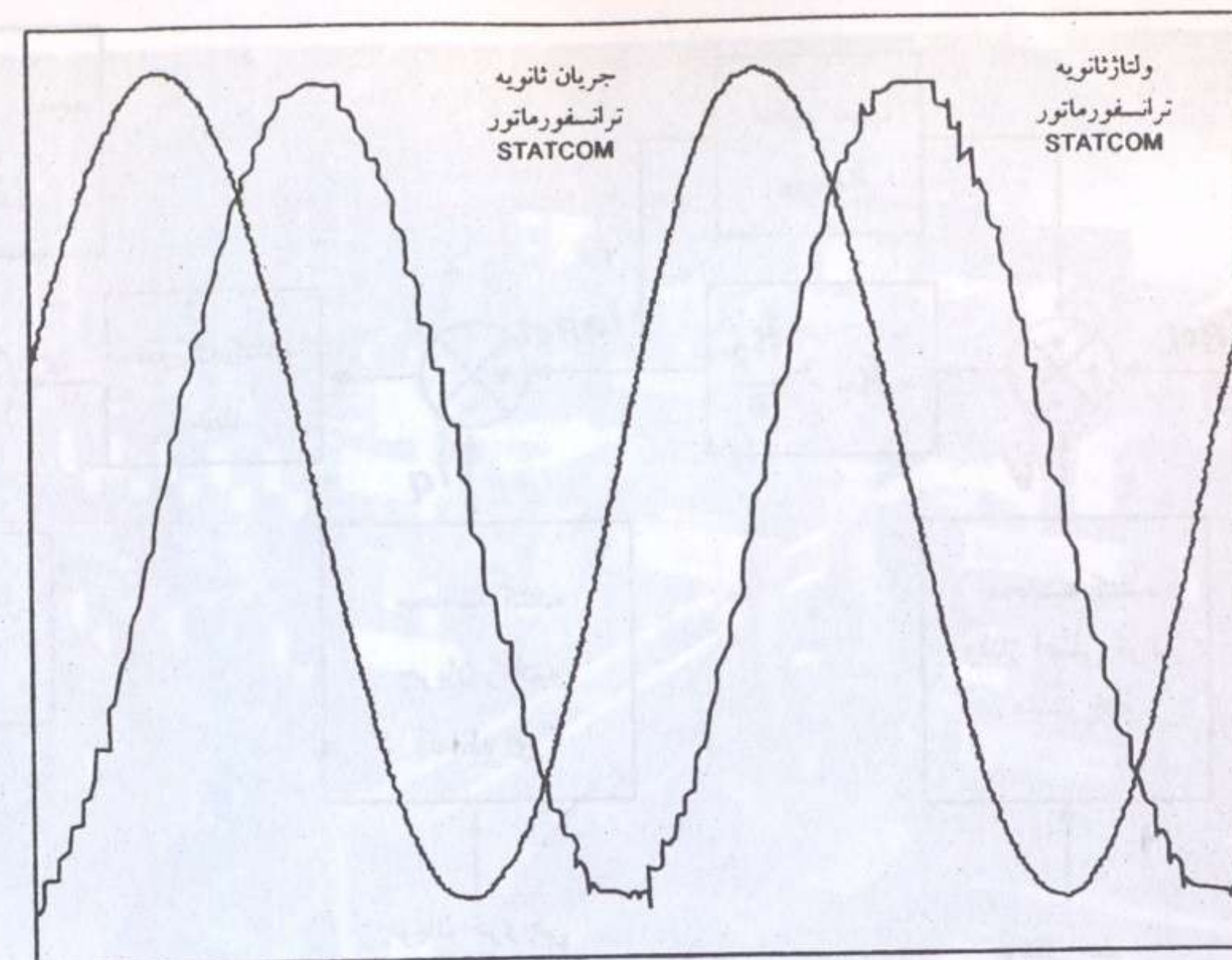
به هر حال جریان کشیده شده از شینه ۱۶۱ کیلوولت، همان‌طور که در شکل ۱۰-۲۰ آشکار است، یک موج سینوسی با کیفیت بسیار بالا است؛ زیرا هارمونیک‌های پسماند در ولتاژ خروجی STATCOM به مقدار زیاد با اندوکتانس تثنی ترانسفورماتور میرا می‌شوند. همچنین توجه کنید که این موج جریان با کیفیت بالا، بدون استفاده از هرگونه فیلتر غیرفعال به دست آمده است. در واقع، تحلیل مشاهداتی ولتاژ خط که در سایت انجام شد نشان داد که هارمونیک‌هایی که قبل از اتصال STATCOM بر روی خط حضور دارند، به دلیل امپدانس نسبتاً کم STATCOM در فرکانس‌های هارمونیک، هنگام کار STATCOM تا حدودی کاهش یافته‌اند.

تحت شرایط حالت ماندگار، STATCOM همان‌گونه که انتظار می‌رفت کارکرد و عملکرد مفیدی در تنظیم ولتاژ شینه ۱۶۱ کیلوولت ارائه داد. در عمل معلوم شد که STATCOM نوعاً می‌تواند ولتاژ را به اندازه ۶ کیلوولت بین حدود القایی کامل و خازنی کامل تنظیم کند؛ زیرا امپدانس اتصال



شکل ۱۰-۱۸ منظره اطاق کنورتور STATCOM که چیدمان والوها را نشان می‌دهد.

SCADA از دوردست کنترل می‌شود. حرارت تولیدشده ناشی از تلفات توان در والوهای الکترونیکی، توسط مایع خنک کننده (مخلوط آب یون زدایی شده و گلیکول)، که درون والوها به گردش در آمده و سپس به مبدل‌های حرارتی مایع به هوا که در بیرون ساختمان واقع شده منتقل می‌شود، از میان می‌رود. سیستم کنترل STATCOM که در یک اطاق جداگانه در داخل ساختمان اصلی قرار گرفته، شامل دو سیستم مجزا است: پردازنده وضعیت و کنترل کننده زمان واقعی. پردازنده وضعیت مسئول جمع آوری، تحلیل، و نمایش وضعیت و اطلاعات تشخیصی از تمام اجزاء STATCOM بوده و وظیفه ترتیب‌بندی کارهای لازم برای راه‌اندازی سیستم، اتصال آن به خط، و خاموش کردن آن را انجام می‌دهد. همچنین سیستم واسطه اپراتور محلی و نیز SCADA را پشتیبانی می‌کند. کنترل کننده زمان واقعی مسئول تولید فرامین راه‌اندازی دریچه برای والوها به صورتی است که، STATCOM سطح صحیح جریان خروجی راکتیو را برای تنظیم ولتاژ شینه ۱۶۱ کیلوولت در یک مقدار مرجع تنظیم شده حفظ کند. شکل ۱۰-۱۹ یک دیاگرام قطعه‌ای از الگوریتم به کار رفته در سیستم کنترل زمان واقعی را نشان می‌دهد. یک حلقه بازخورد داخلی تر برای تنظیم جریان راکتیو لحظه‌ای STATCOM به کار می‌رود. توجه کنید، همان‌طور که در فصل ۵ توضیح داده شد، این کنترل با تغییر زاویه فاز α مربوط به ولتاژ خروجی کنورتور نسبت به ولتاژ خط انتقال، به دست می‌آید. این روش غیر مستقیم کنترل ولتاژ حفظ یک نسبت ثابت حداکثر، بین ولتاژ خروجی کنورتور و ولتاژ خازن dc را ممکن می‌سازد. مقدار مرجع برای جریان راکتیو حلقه کنترل توسط یک حلقه بیرونی‌تر که مسئول کنترل ولتاژ سیستم است، تولید می‌شود. این حلقه کنترل بیرونی‌تر مشابه همان است که برای جبران سازهای استاتیکی توان راکتیو متداول به کار می‌رفت، و شامل یک وضعیت شیب قابل تنظیم است که خطای ولتاژ را در خروجی راکتیو کامل STATCOM تعریف می‌کند. به دلیل زمان صرف شده برای محاسبه مؤلفه اصلی



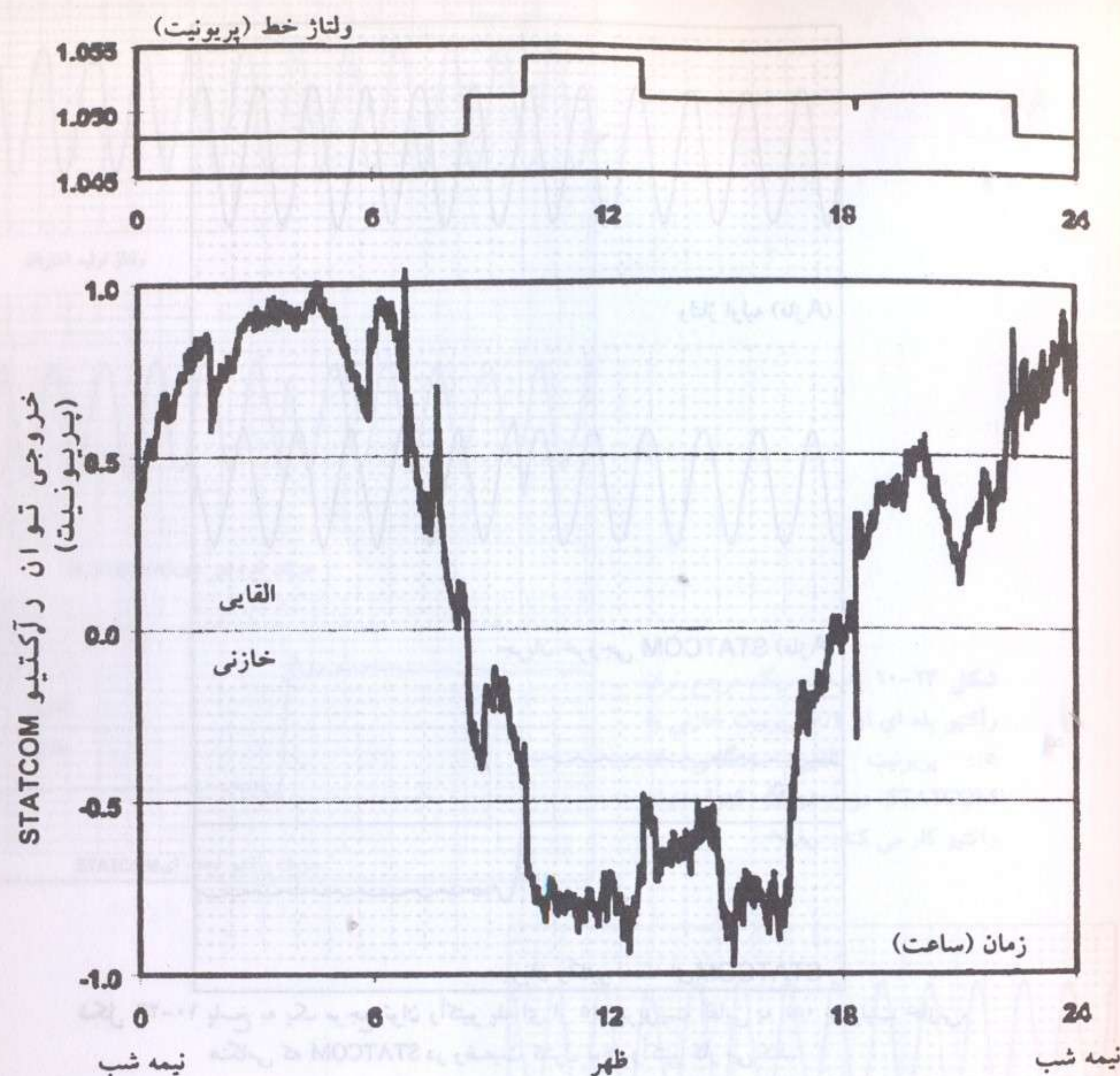
شکل ۱۰-۲۰ ولتاژ و جریان اندازه گیری شده روی ثانویه ستاره ترانسفورماتور کوبلینگ STATCOM، در حال کار در خروجی کامل القایی (حداکثر تولید توان رآکتیو).

کوتاه سیستم وقتی که خط رابط ۵۰۰ کیلوولت حضور داشته باشد، حدود ۵۳۰۰ مگاوات آمپر است. (از آنجا که جبران ساز استاتیکی توان رآکتیو دیگری در منطقه وجود ندارد، STATCOM برای کنترل ولتاژ، با تنظیم شیب صفر کار کرده است.) همانگونه که انتظار می رفت، STATCOM تنظیم ولتاژ را در پست "سولیوان" بر عهده گرفته و در نتیجه عملیات تغییر تپ در زیر بار، در بانک ترانسفورماتور ۵۰۰ کیلوولت به میزان چشمگیری کاهش یافته است. شکل ۱۰-۲۱ یک مثال نوعی از منحنی بار را که STATCOM با آن مواجه می شود، نشان می دهد (بدون بانک خازنی ۸۴ مگاوار).

۱۰-۳-۴ عملکرد دینامیکی

عملکرد دینامیکی STATCOM از نظر زمان پاسخ و زمان برطرف سازی اعوجاجات عالی بوده است. این امر، همانگونه که در فصل ۵ شرح داده شد، بخشی به دلیل تأخیر انتقال داخلی ناچیز و بخشی به دلیل نبودن اجزاء فیلتر کننده نوسان در خروجی بوده است.

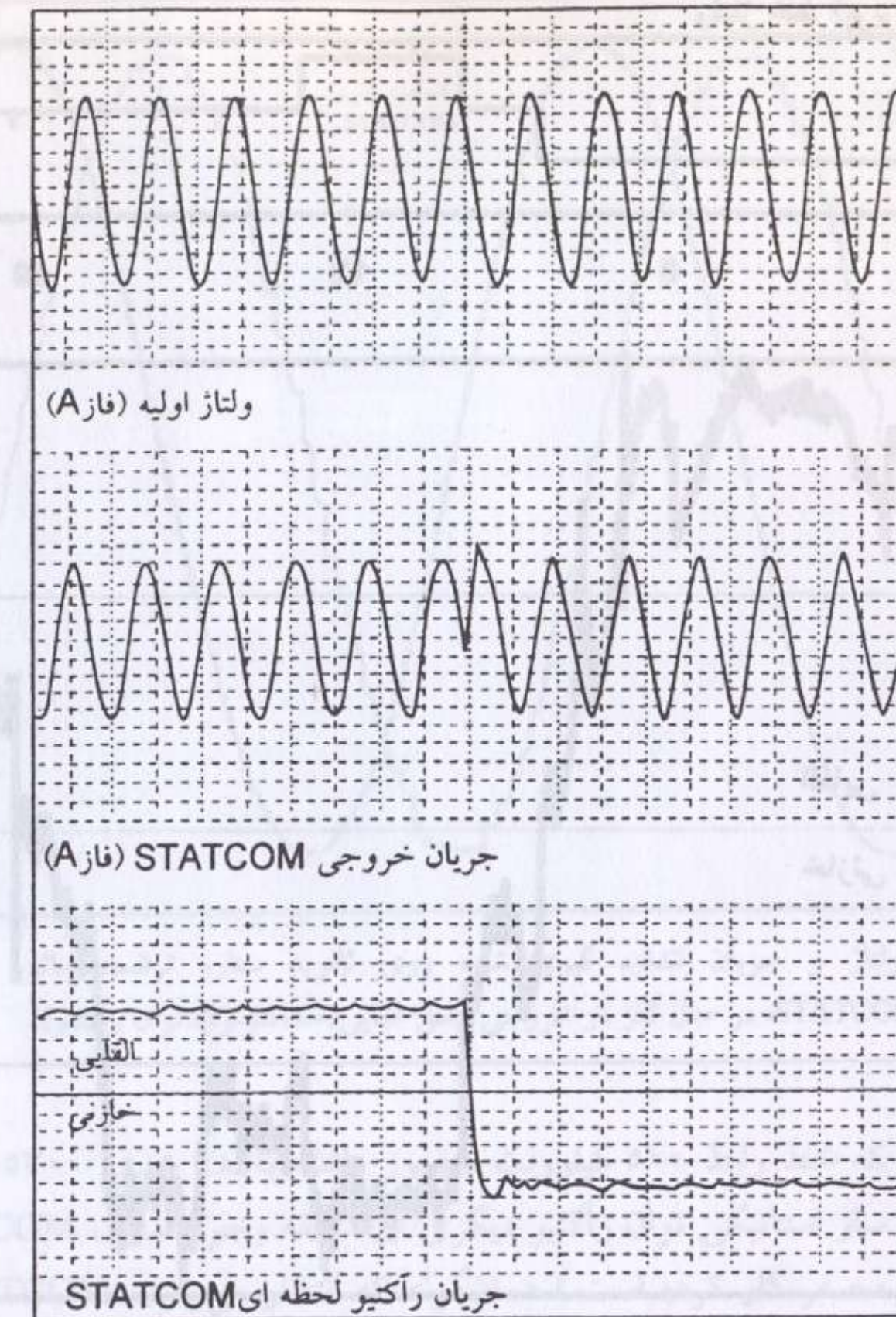
برای اندازه گیری زمان پاسخ کنترل کننده جریان رآکتیو لحظه ای، شکل ۱۰-۱۹، یک سیگنال آزمایشی، به جای سیگنالی که معمولاً از کنترل کننده ولتاژ گرفته می شود، به i_{qRef} تزریق شد. در واقع این امر STATCOM را، به جای وضعیت معمول کنترل ولتاژ، در وضعیت کنترل توان رآکتیو قرار می دهد. مرجع جریان رآکتیو لحظه ای به صورت پله ای از القایی به خازنی و بالعکس تبدیل می شود. پاسخ های پله ای حاصله در شکل های ۱۰-۲۲ و ۱۰-۲۳ نشان داده شده اند. این نتایج، قابلیت STATCOM را برای جابه جایی ۱۰۰ مگاوار، ظرف چند میلی ثانیه، و در واقع بدون هیچ گونه اعوجاج گذرا در ولتاژ شینه نشان می دهد (همانگونه که با سوئیچ کردن خازن یا با استفاده از مدارهای فیلتر غیرفعال به دست می آمد). پاسخ سریع STATCOM، همانگونه که اشاره شد، به دلیل تأخیر بسیار کم انتقال در کنترل کردن کنورتور ۴۸ پالسه است، که کنترل جریان را در عرض باند بسیار زیادی



شکل ۱۰-۲۱ ثبت عملکرد STATCOM متعلق به TVA در یک دوره ۲۴ ساعته که در تاریخ ۴ ژوئیه ۱۹۹۶ ضبط شده.

ممکن می سازد. جبران سازهای استاتیکی توان رآکتیو مبتنی بر ترستورهای متداول نوعاً زمان انتقال بسیار طولانی تری دارند و به همراه فیلتر کردن غیر فعال استفاده می شوند که می تواند باعث بروز مسائل تشدید شود.

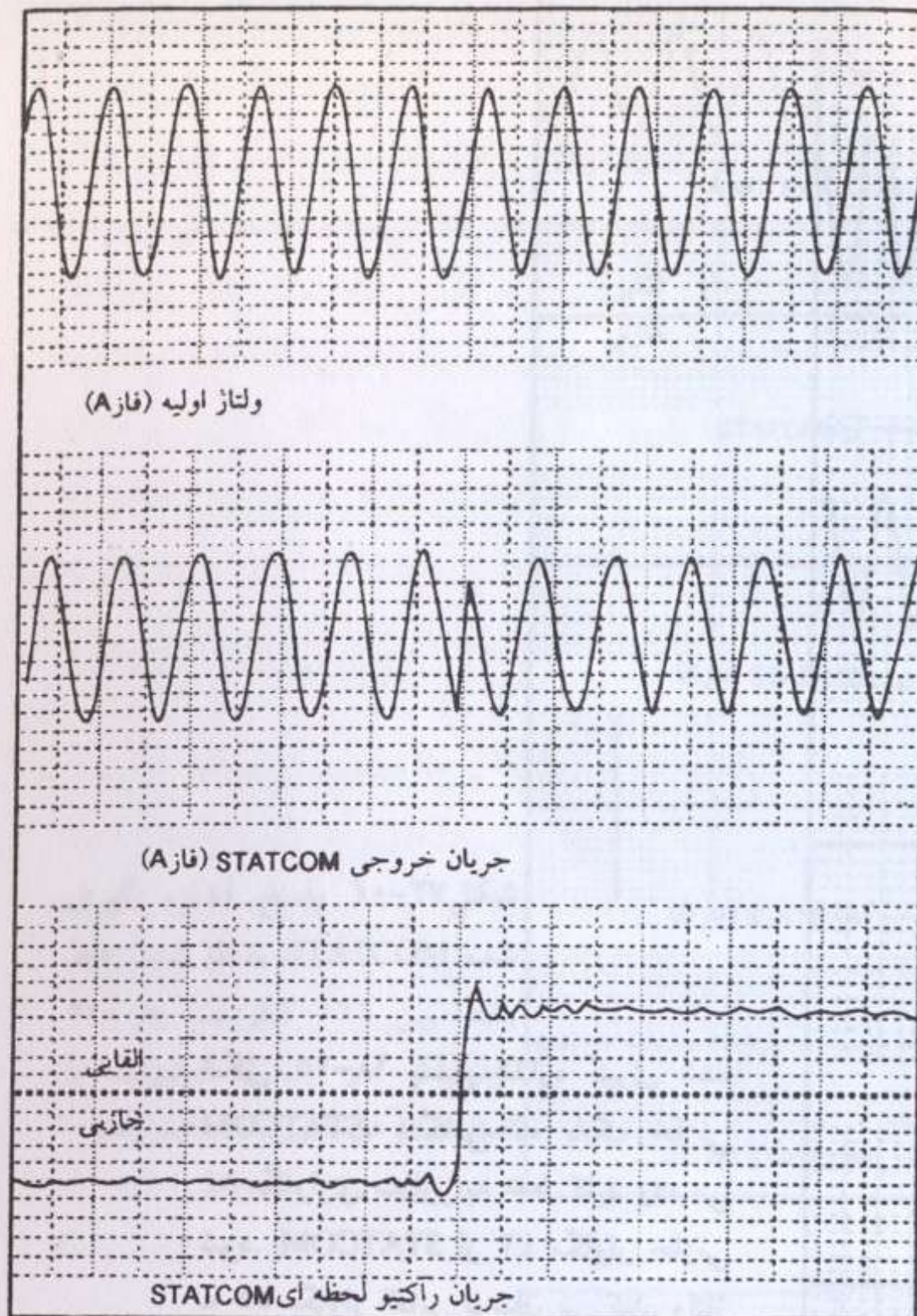
STATCOM نیز به طور گسترده ای در وضعیت کار عادی تنظیم ولتاژ ترمینال، مورد آزمایش قرار گرفت. برای این آزمایش سیگنال مرجع ولتاژ V_{Ref} به صورت پله ای از ۱/۰۳۲ به ۱/۰۲۲ تغییر داده شد، در حالی که عملکرد در وضعیت کار عادی کنترل ولتاژ باعث ۷۰ مگاوار نوسان در خروجی STATCOM شد. پاسخ در شکل ۱۰-۲۴ نشان داده شده است. این نتیجه نشان دهنده عملکرد متعادل با زمان پاسخ مورد انتظار است. این وضعیت منعکس کننده پاسخ این نوع کنترل کننده ولتاژ است، که حدود ۲۵ میلی ثانیه (۱/۵ سیکل) طول می کشد. از نتایج قبلی روشن است که خروجی توان رآکتیو STATCOM می تواند با سرعت شدیدی تغییر داده شود، اما کنترل کننده ولتاژ برای تعیین خروجی توان رآکتیو مطلوب، براساس اندازه گیری ولتاژ خط، زمان صرف می کند.



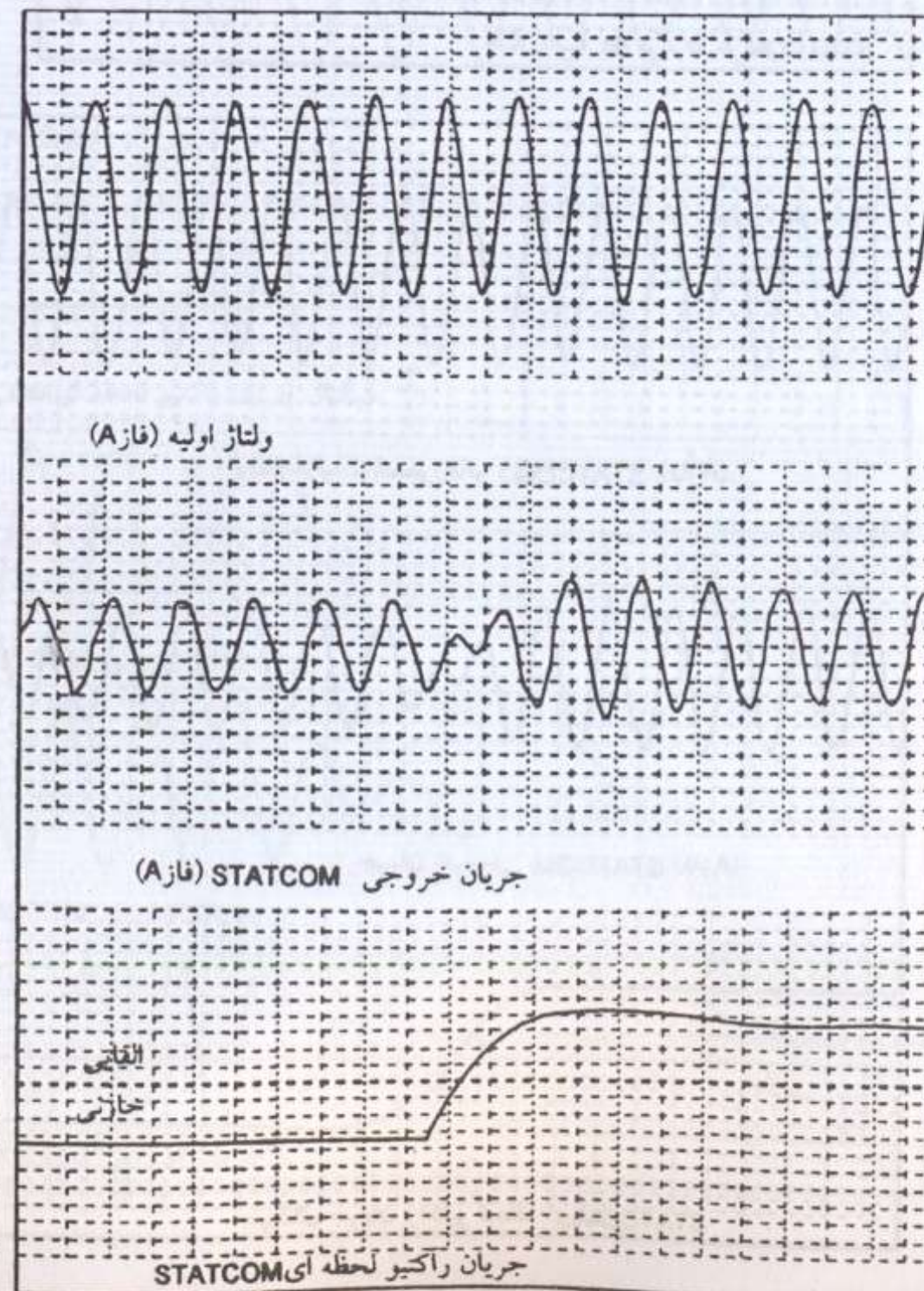
شکل ۱۰-۲۲ پاسخ به یک مرجع توان راکتور پله ای از ۰/۵ پریونیت القایی به ۰/۵ پریونیت خازنی، هنگامی که STATCOM در وضعیت کنترل توان راکتور کار می کند.

برای تعیین تأثیر سوئیچ کردن خازن ۸۴ مگاوارى مربوطه در خط، بر روی STATCOM، بانک خازنی بر روی شینه ۱۶۱ کیلوولتی سوئیچ شد، در حالی که STATCOM در حال کار به صورت خازنی در وضعیت عادی کنترل ولتاژ بود. شکل ۱۰-۲۵ پاسخ ضبط شده را، هنگامی که STATCOM به منطقه القایی تغییر وضعیت می دهد تا ولتاژ شینه را در مقدار تعیین شده حفظ کند، نشان می دهد. به تغییرات ولتاژ شینه dc که در شکل ۱۰-۲۵ نشان داده شده و نیز یک حالت گذرای بسیار کوچک در ولتاژ شینه که در هنگام سوئیچ شدن خازن مشاهده می شود، توجه کنید. به روشنی همان گونه که از تأثیر بر روی شینه dc دیده می شود، STATCOM در این اتفاق نقش دارد، و به میرا کردن اعوجاج شینه در هنگامی که بانک خازن محلی سوئیچ می شود، می پردازد. شکل ۱۰-۲۶ عملکرد معکوس را، در هنگامی که سوئیچ بانک خازنی قطع می شود و STATCOM به نقطه کار اولیه خود باز می گردد نشان می دهد.

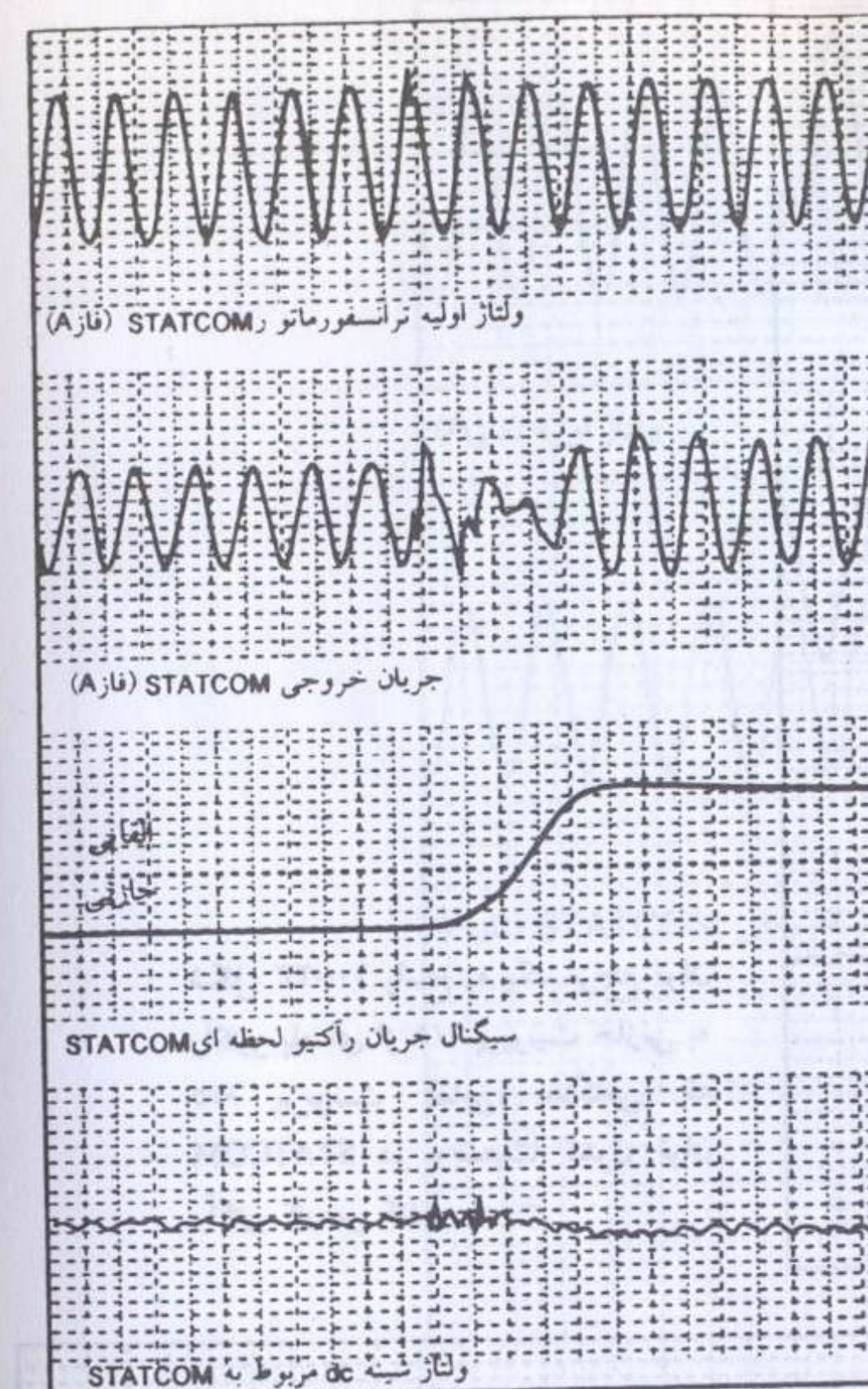
عملکرد STATCOM برای زمانی که ارتباط بین شینه های ۱۶۱ کیلوولت و ۵۰۰ کیلوولت در پست "سولیوان" باز می شود، مورد تحقیق قرار گرفت (شکل ۱۰-۱۴). این موضوع مربوط به کار کردن تحت شرایط اضطراری است که در آن بانک ترانسفورماتور ۵۰۰/۱۶۱ کیلوولت از دست برود. بدون ارتباط ۵۰۰ کیلوولت، امیدانس شینه ای که به وسیله STATCOM از طریق ارتباط انحصاری ۱۶۱



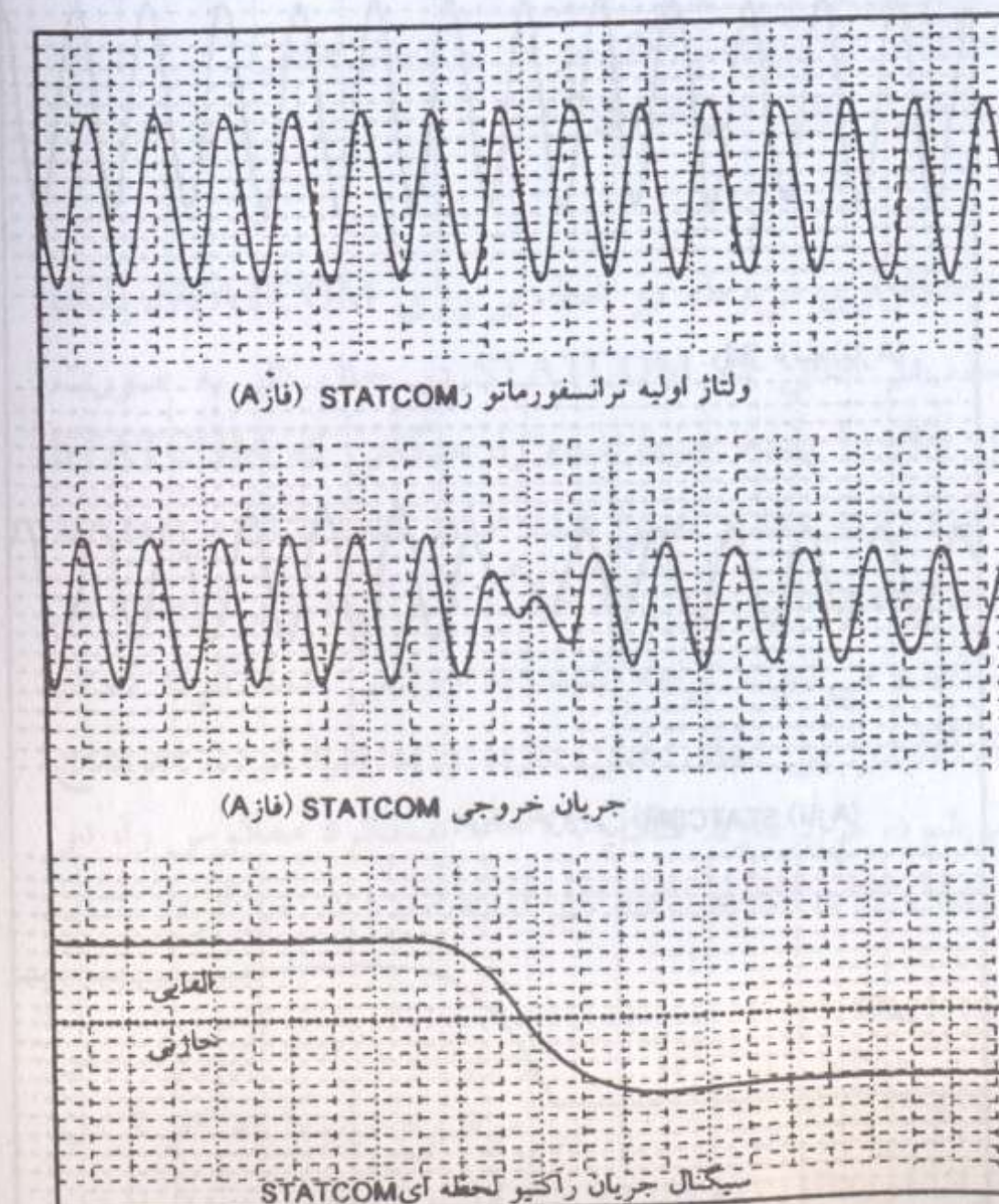
شکل ۱۰-۲۳ پاسخ به یک مرجع توان راکتور پله ای از ۰/۵ پریونیت خازنی به ۰/۵ پریونیت القایی، هنگامی که STATCOM در وضعیت کنترل توان راکتور کار می کند.



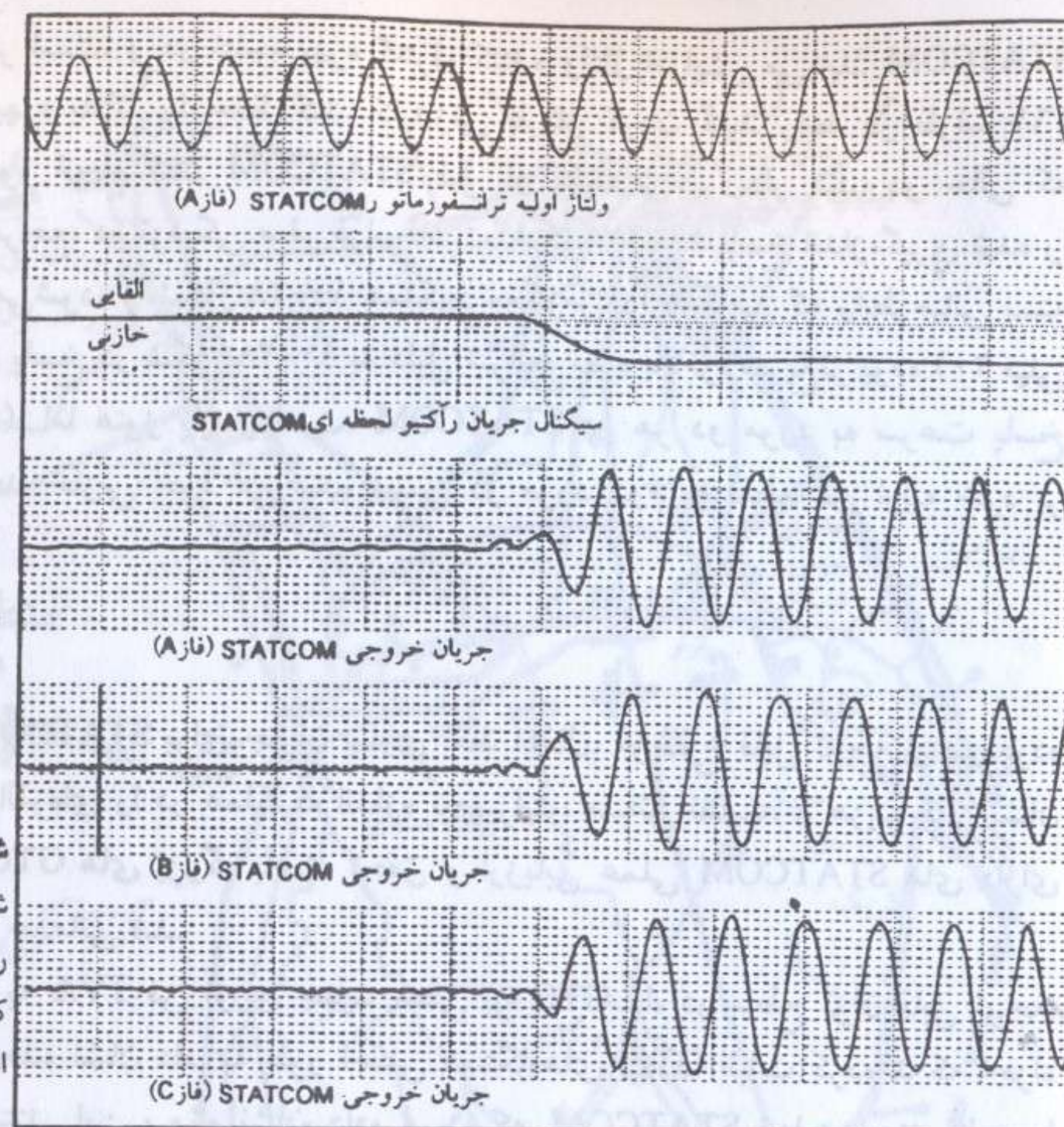
شکل ۱۰-۲۴ پاسخ اندازه گیری شده به یک مرجع ولتاژ پله ای از ۱/۰۳۲ پریونیت به ۱/۰۲۲ پریونیت، هنگامی که STATCOM در وضعیت تنظیم ولتاژ کار می کند. (STATCOM از ۳۰ مگاوار خازنی به ۴۰ مگاوار القایی نوسان می کند.)



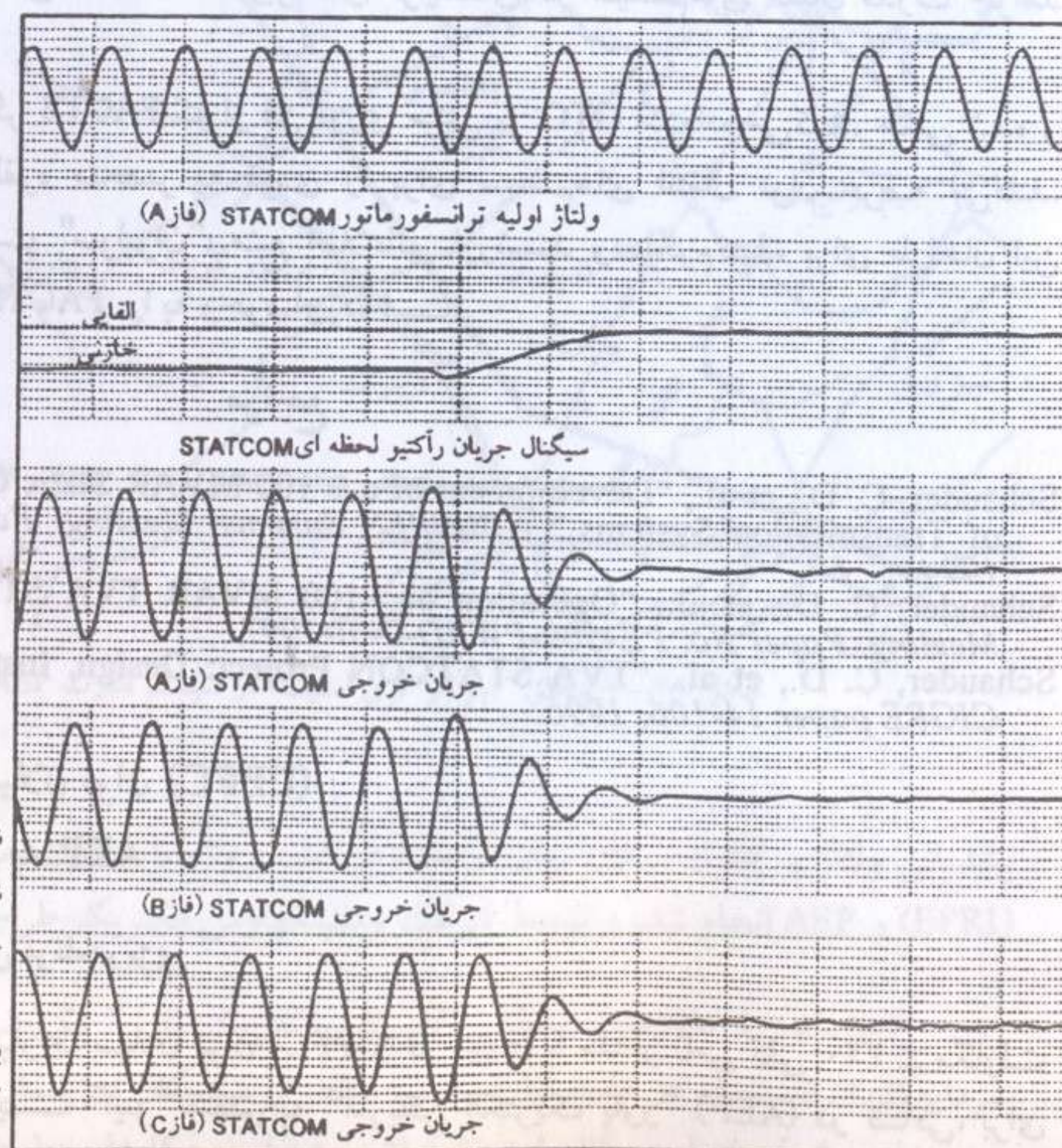
شکل ۱۰-۲۵ پاسخ اندازه گیری شده STATCOM هنگامی که بانک خازنی ۸۴ مگاوار مجاور به خط کلید زده می شود. STATCOM از ۴۲ مگاوار خازنی به ۵۵ مگاوار القایی نوسان می کند. ولتاژ خط برابر $16\sqrt{3}/4$ کیلوولت.



شکل ۱۰-۲۶ پاسخ اندازه گیری شده STATCOM هنگامی که بانک خازنی ۸۴ مگاوار مجاور از خط جدا می شود. STATCOM از $5\sqrt{3}/4$ مگاوار القایی به ۴۰ مگاوار خازنی نوسان می کند. ولتاژ خط برابر ۱۶۴ کیلوولت.



شکل ۱۰-۲۷ پاسخ اندازه گیری شده STATCOM به باز شدن خط رابط بین ۱۶۱ کیلوولت به ۵۰۰ کیلوولت در پست سولیوان، با استفاده از دژنکتور ۱۶۱ کیلوولت.



شکل ۱۰-۲۸ پاسخ اندازه گیری شده STATCOM به وصل مجدد خط رابط بین ۱۶۱ کیلوولت به ۵۰۰ کیلوولت در پست سولیوان، با استفاده از دژنکتور ۱۶۱ کیلوولت.

کیلوولت دیده می شود بالاتر است، و در نتیجه بهره کنترل کننده ولتاژ افزایش می یابد. STATCOM بایستی عملکرد متعادل با بهره بالاتر را حفظ کند. کلیدزنی با باز کردن کلید رابط در طرف ۱۶۱ کیلوولت بانک ترانسفورماتور انجام شد. STATCOM قبل از کلیدزنی برق دار شد، در حالی که خروجی آن، با تنظیم ولتاژ مرجع، در نزدیکی صفر قرار داشت. شکل ۲۷-۱۰ پاسخ اندازه گیری شده را هنگامی که رابط میانی باز می شود، و شکل ۲۸-۱۰ عملکرد معکوس را هنگامی که رابط میانی بسته می شود، نشان می دهد. زمان پاسخ در شکل ۲۸-۱۰ به دلیل شرایط بهره بالاتر، سریع تر بوده (۲۰ میلی ثانیه در برابر ۲۵ میلی ثانیه)، اما هنوز پایدار است. STATCOM در هر دو مورد به سرعت پاسخ می دهد: در مورد اول به حد خازنی خود می رسد، سپس در مورد دوم به نقطه کار اولیه خود بر می گردد.

۱۰-۳-۵ نتیجه پروژه

مفهوم استفاده از STATCOM برای جبران سازی خط انتقال، موضوع قابل توجه زیادی بوده است. مطالعات، مزیت های بالقوه ای را در عملکرد، اندازه تجهیزات، مسائل نصب، و هزینه کلی نشان می دهد. در دسترس بودن GTO های بزرگ باعث تحقق و ارزیابی عملی STATCOM های دارای اندازه نمونه در فضای واقعی خدماتی شد.

STATCOM متعلق به TVA فن آوری جدید مبتنی بر GTO را، در سطح توان قابل توجه، برای اولین بار در ایالات متحده نشان داد. به طور اخص دستگاه های GTO اثبات کرده اند که اجزاء توانمند و قابل اعتمادی هستند. این پروژه نشان داده است که STATCOM ابزاری چند کاره، با قابلیت های دینامیکی برجسته ای است، که کاربردهای فزاینده ای در سیستم های انتقال قدرت خواهد یافت.

کنترل کننده های دیگر FACTS که از فن آوری مبتنی بر GTO استفاده می کنند، عملی شده و توسعه یافته اند، و منافع بالقوه منحصر به فردی را برای سیستم های انتقال توان عرضه می کنند. آزمایشات عملکردی در پست "سولیوان"، منبع اطلاعاتی ارزشمند و دلگرم کننده برای طراحان این خانواده از کنترل کننده های FACTS را به وجود آورده است.

مراجع

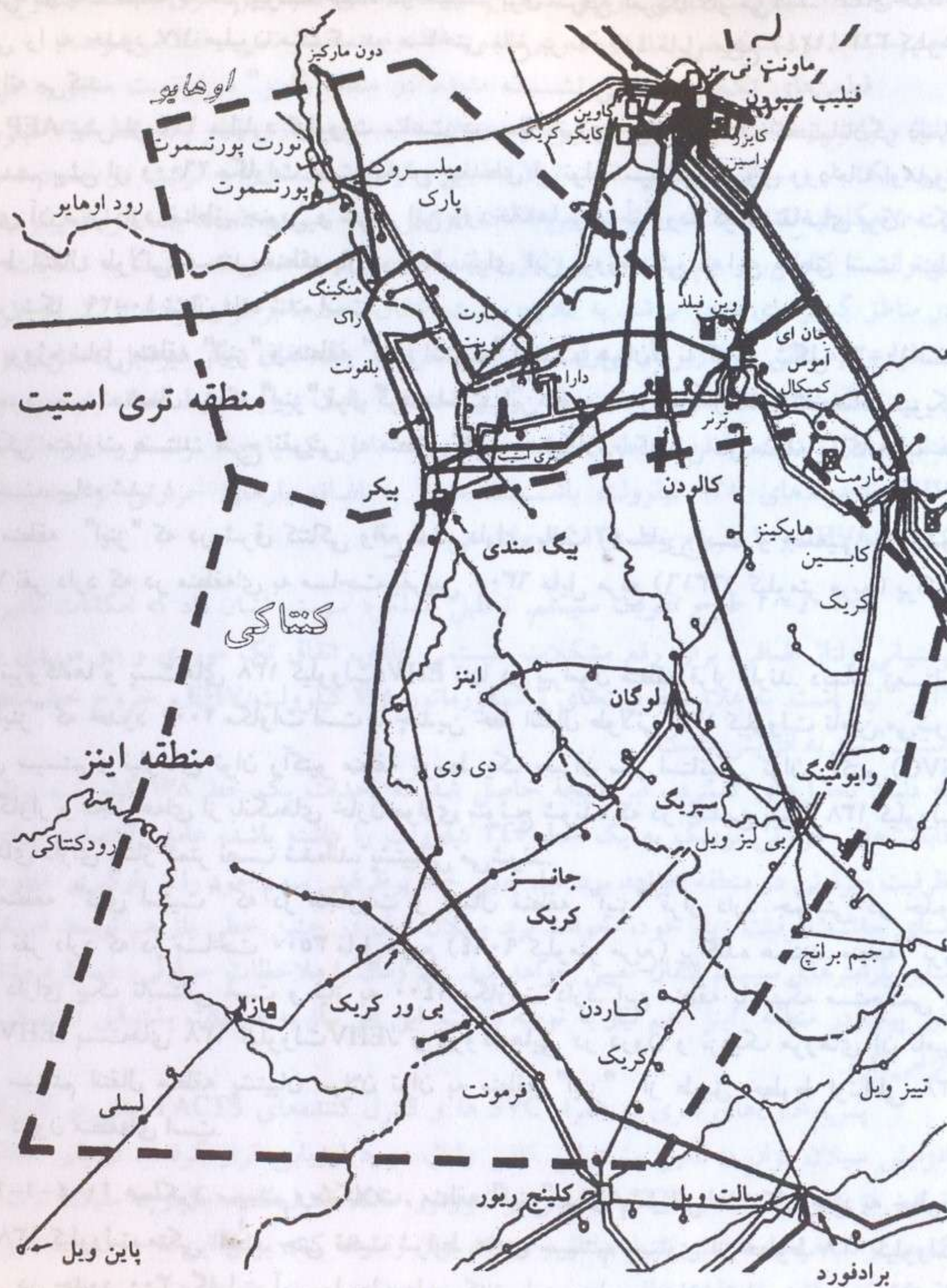
- Schauder, C. D., et al., "Development of a ± 100 MVAR Static Condenser for Voltage Control of Transmission Systems," *IEEE/PES Summer Meeting, Paper No., 94SM479-6 PWRD*, 1994.
- Schauder, C. D., et al., "Operation of ± 100 MVAR TVA STATCON," *IEEE, PES Winter Meeting, Paper No. PE-509-PWRD-0-01-1997*.
- Schauder, C. D., et al., "TVA STATCON Project: Design, Installation and Commissioning," *CIGRE paper 14-106*, 1996.

۱۰-۴ کنترل کننده یکپارچه سیلان توان (UPFC)

در پست "اینز" متعلق به AEP

۱۰-۴-۱ معرفی و جنبه های برنامه ریزی

اولین کنترل کننده یکپارچه سیلان توان (UPFC) در جهان با مقدار نامی کلی ± 320 مگاواولت امپیر در نیمه سال ۱۹۹۸ در پست "اینز" متعلق به "آمریکن الکتریک پاور" (AEP) در کنتاکی، برای



شکل ۲۹-۱۰ مناطق "اینز" و "تری استیت" در سیستم قدرت AEP.

پشتیبانی ولتاژ و کنترل سیلان توان، راه اندازی شد. پروژه با حمایت مشترک انستیتوی تحقیقات برق (EPRI) و AEP انجام شد، و توسط شرکت وستینگهاوس الکتریک طراحی و ساخته شد.

۱-۱-۴-۱۰ اطلاعات سابقه. "آمریکن الکتریک پاور" یک شرکت خدمات برقی با مالکیت سرمایه گذران است که در هفت ایالت غرب میانه، از میشیگان در شمال و غرب، تا تنسی در جنوب و ویرجینیا در شرق، عمل می کند. این تشکیلات، شامل نیروگاه ها، خطوط فوق العاده فشار قوی (EHV) ۷۶۵ کیلوولتی، فشار قوی ۳۴۵ کیلوولتی، و ۱۳۸ کیلوولتی، سیستم توزیع، و ایستگاه های مربوطه است

که همگی در یک شبکه به هم پیوسته عمده در سیستم برق شرقی آمریکا کار می کنند. AEP خدمات الکتریکی را به حدود ۱/۷ میلیون مشترک در مساحتی بالغ بر ۴۸۰۰۰ مایل مربع (۱۲۴، ۳۱۳ کیلومتر مربع) ارائه می کند.

AEP بیش از ۱۲۴ میلیارد کیلووات ساعت در سال انرژی تولید می کند، که نمایانگر دیماندر پیک سیستم بیش از ۲۶۰۰۰ مگاوات است. بخش عمده ای از تولید سیستم بر روی رودخانه اوهایو و شاخه های آن قرار دارد. مناطق جنوبی و شرقی این رودخانه ها برای برآورده کردن تقاضای برق، متکی به خطوط انتقال طولانی هستند. منطقه بار موردنظر برای این پروژه یکی از این مناطق است. منطقه "اینز" در شکل ۱۰-۲۹ نشان داده شده است.

پروژه شامل منطقه "اینز" و منطقه "تری استیت" است و همان گونه که در شکل ۱۰-۲۹ نشان داده شده، در سمت شمال منطقه "اینز" قرار گرفته است. این دو منطقه کاملاً از نظر مشخصات فیزیکی و الکتریکی متفاوت هستند. طرح تقویتی به منظور کاهش مشکلاتی که این دو منطقه را کاملاً به هم پیوسته است، پیاده شد.

منطقه "اینز" که در شرق کتاکلی واقع شده دارای بافت روستایی است و جمعیتی در حدود ۷۶۰۰۰ نفر دارد که در منطقه ای به مساحت تقریبی ۶۳۰۰ مایل مربع (۱۶۳۱۶ کیلومتر مربع) پراکنده هستند.

نیروگاه ها و پست های ۱۳۸ کیلوولت EHV تنها در پیرامون منطقه قرار دارند. دیماندر زمستانی منطقه "اینز" که حدود ۲۰۰۰ مگاوات است با چندین خط انتقال طولانی ۱۳۸ کیلوولت تأمین می شود. ولتاژهای سیستم و نیازهای توان راکتیو منطقه توسط یک جبران ساز استاتیکی توان راکتیو (SVC) ± 125 مگاوار و مجموعه ای از بانک های خازن موازی سوئیچ شونده که در چندین پست ۱۳۸ کیلوولت و پست های دارای ولتاژ کمتر نصب شده اند، پشتیبانی می شوند.

منطقه "تری استیت" که در مجاورت و شمال منطقه "اینز" قرار دارد جمعیتی در حدود ۴۸۰۰۰ نفر دارد که در مساحت ۳۵۰۰ مایل مربع (۹۰۶۴ کیلومتر مربع) پراکنده هستند. منطقه "تری استیت" دارای پیک تابستانی است و نیاز به ۱۴۰۰ مگاوات دارد. این منطقه با شبکه مستحکمی از خطوط EHV، پست های ۱۳۸ کیلوولت EHV، و نیروگاه هایی در درون و نزدیک مرزهای آن تأمین می شود. سیستم انتقال منطقه پشتیبان سیلان توان به منطقه "اینز" از طریق خطوط ارتباطی ۱۳۸ کیلوولت درون منطقه ای است.

۱-۲-۴-۱۰ عملکرد سیستم و مشکلات. منطقه "اینز" برای پشتیبانی مشترکان خود به خطوط طولانی ۱۳۸ کیلوولت متکی است. حتی تحت شرایط عادی سیستم، بسیاری از خطوط ۱۳۸ کیلوولت توان هایی در حدود ۳۰۰ مگاوات آمپر را جابه جا می کنند. این سطوح سیلان توان به خوبی بالاتر از "بار امپدانس موج ضربه" خطوط ۱۳۸ کیلوولت قرار دارد و این امر نشان دهنده فشار وارده بر سیستم است. به علاوه، این بارهای زیاد در مقایسه با حد حرارتی خطوط، حاشیه اندکی برای شرایط پیش بینی نشده باقی می گذارد. علاوه بر آن، سطوح ولتاژ در منطقه "اینز" عموماً کمتر از ۹۵ درصد مقدار نامی بوده اند. ملاحظه می شود که این سطح، پایین ترین سطح ولتاژ قابل قبول برای سرویس قابل اطمینان است. بارهای سنگین خطوط ۱۳۸ کیلوولت و مسافت های نسبتاً طولانی خطوط منجر به گرادیان ولتاژ اضافی روی شبکه انتقالی شده، که نشانه دیگری از فشار بر روی سیستم است.

منطقه "تری استیت" از طرف دیگر با شبکه قدرتمند خطوط EHV و یک پست ۱۳۸ کیلوولت EHV تغذیه می شود. بار در درون و اطراف منطقه نسبتاً کوچکتری متمرکز شده است. خطوط

خروجی ۱۳۸ کیلوولت دارای بارهای سنگین در مسافت های نسبتاً کوتاه تری هستند. سطوح ولتاژ در همه پست ها در یک عرض باند باریک، در حدود ۹۸ درصد مقدار نامی، حفظ می شوند.

قطعی های تک فاز پیش بینی نشده متعدد در منطقه "اینز" می توانست منجر به فرو افتادن ولتاژ و/یا شرایط اضافه بار حرارتی شود. به عنوان مثال، شبیه سازی قطع یک خط ۷۶۵ کیلوولت، در دوره پیک بار زمستانی، افزایش تلفات توان حقیقی و راکتیو سیستم را به ترتیب در حدود ۸۵ مگاوات و ۷۰۰ مگاوار، نشان داد. لزوم تأمین این تلفات افزایش یافته سیستم، تحت یک شرایط پیش بینی نشده، می توانست کاهش باز هم بیشتری در ولتاژ منطقه ایجاد کند، تا حدی که مطمئناً به شکایات مشترکان در مناطق گسترده ای منجر می شد. به علاوه، سیستم انتقال تحت تأثیر قرار گرفته، تا بیش از ظرفیت های اضطراری زمستانی خود زیر بار می رفت. در چنین شرایطی یک اتفاق دیگر غیرقابل تحمل بود.

قطعی های تک موردی در منطقه "تری استیت" باعث بروز شرایط اضافه بار حرارتی یا فرو افتادن ولتاژ شینه نمی شد. اما قطعی های دوموردی که شامل یک یا چند ترانسفورماتور ۱۳۸ کیلوولت/ EHV یا مولدهای ۱۳۸ کیلوولت باشد، منجر به اضافه بارهای حرارتی ترانسفورماتور ۱۳۸ کیلوولت/ EHV و/یا خروج خط ۱۳۸ کیلوولت می شد.

۳-۱-۴-۱۰ طرح تقویت سیستم. تحلیل عملکرد سیستم نشان داد که امکانات تأمین توان و پشتیبانی ولتاژ اضافی، برای رفع مشکلات سیستمی عادی، اتفاق تک موردی و دو موردی در منطقه "اینز" نیاز است. به علاوه، ظرفیت های ترانسفورماتور ۱۳۸ کیلوولت/ EHV و خروج خط منطقه "تری استیت" نیاز به افزایش داشت.

به دنبال تحلیل های گسترده، این نتیجه حاصل شد که احداث یک خط ۱۳۸ کیلوولت پرفریت که قابلیت های حرارتی نزدیک به یک خط ۳۴۵ کیلوولت را داشته باشد، عاملی اقتصادی برای افزودن ظرفیت حرارتی در منطقه خواهد بود. اما، چنین خط پرفریتی سهم خود را از بارگیری خطوط فقط بر مبنای حاشیه ظرفیت زیاد خود، نخواهد برد. سیلان توان در چنین خطی باز هم توسط امپدانس آن و سایر پارامترهای سیستم انتقال تعیین خواهد شد. هم زمان با ملاحظات حرارتی، عملکرد ولتاژ پیک و غیر پیک در منطقه "اینز" هم نیاز به توجه داشت. این امر نیاز به امکانات پشتیبانی دینامیکی ولتاژ را الزامی کرد.

پس، خازن های سری به همراه SVC ها و کنترل کننده های FACTS مبتنی بر کنورتور، برای افزایش سیلان توان و تأمین پشتیبانی کافی ولتاژ، مورد ارزیابی قرار گرفتند. ارزیابی نشان داد که ترکیبی از کنترل کننده های FACTS مبتنی بر کنورتور، مانند کنترل کننده یکپارچه سیلان توان (UPFC) که می تواند هر دو قابلیت کنترل ولتاژ و سیلان توان را ارائه کند، برای این که جزء پیوسته ای در طرح تقویت کلی باشد، انتخابی منطقی بود.

طرح جامع تقویتی برای مناطق "اینز" و "تری استیت" شامل موارد زیر است:

- خط انتقال پرفریت ۹۵۰ مگاوات آمپر، ۱۳۸ کیلوولت بین پست های "بیگ سندی" و "اینز".
- یک UPFC با ظرفیت ± 320 مگاوات آمپر در پست "اینز" برای بهره برداری کامل از ظرفیت زیاد خط ۱۳۸ کیلوولت جدید، تأمین پشتیبانی دینامیکی ولتاژ، و کنترل چندین خازن که به صورت مکانیکی در منطقه کلیدزنی می شوند.
- یک ترانسفورماتور ۳۴۵/۱۳۸ کیلوولت در پست "بیگ سندی" در منطقه "تری استیت" برای تأمین نیازهای انتقال توان خط جدید پرفریت ۱۳۸ کیلوولت.
- راکتورهای سری برای محدود کردن بارگذاری بر روی شبکه دارای محدودیت حرارتی موجود.

طرح تقویتی در دو فاز اجرا شد. فاز اول طرح شامل نصب بانک ترانسفورماتور ۳۴۵/۱۳۸ کیلوولت در پست "بیکر/بیگ سندی" و رآکتورهای سری محدود کننده سیلان توان در دو پست بود. آخرین بخش فاز اول شامل نصب بخش کنورتور موازی ± 160 مگاوات آمپری UPFC در پست "اینز" بود. ترانسفورماتورهای ۳۴۵/۱۳۸ کیلوولتی به صورتی طراحی شدند که ظرفیت کافی برای تأمین نیازهای منطقه "تری استیت" داشته و نیازهای باری آتی خط پرفریت ۱۳۸ کیلوولت "اینز-بیگ سندی" را پاسخگو باشند. رآکتورهای سری برای محدود کردن بار در خطوط بحرانی اما کم ظرفیت نصب شدند. در اولین فاز، بخش موازی UPFC به صورت STATCOM عمل کرد و نیازهای توان رآکتیو و دینامیکی ولتاژ را در پست "اینز" برآورده نمود. به علاوه، سیگنال های کنترلی عملیات کلیدزنی چندین بانک خازنی موازی ۱۳۸ کیلوولت را در منطقه تأمین کرد.

دومین فاز طرح شامل ساخت یک خط پرفریت (۹۵۰ مگاوات آمپر) ۱۳۸ کیلوولت بین پست های "بیگ سندی" و "اینز"، نصب بخش سری UPFC پست "اینز" و دو بانک خازنی موازی با سوئیچ مکانیکی در پست "اینز" بود. کنورتور سری از نظر مشخصات، مشابه کنورتور موازی بوده تا انعطاف پذیری عملکرد UPFC را افزایش دهد.

سومین و آخرین فاز پروژه شامل احداث خط ۱۳۸ کیلوولت اضافی، تغییرات پیکربندی کلیدزنی در چندین پست، و اصلاح اضافی توان رآکتیو برای تکمیل نیاز توان رآکتیو موجود بود.

۴-۱-۱-۱۰-۴ راه برد عملیاتی UPFC کنترل ولتاژ. UPFC برای تنظیم ولتاژهای شینه ۱۳۸ کیلوولت پست "اینز" و کنترل شش بانک خازنی موازی ۱۳۸ کیلوولت (کلاً ۳۳۰ مگاوار) که در "اینز" و سه پست نزدیک دیگر واقع شده اند، نیاز می باشد. به این طریق راه برد مناسب کلیدزنی خازن ها برای کاهش نوسانات روزانه و فصلی ولتاژ در محدوده قابل قبول، تأمین می شود.

در هنگام اختلالات سیستم، بانک های خازنی با سوئیچ مکانیکی و کنترل های آنها معمولاً برای واکنش نشان دادن کند هستند. بیش از ۶۰ بانک خازنی موازی بر روی سیستم انتقال ۱۳۸ کیلوولت و ولتاژ پایین تر در منطقه "اینز" وصل شده اند. تحت شرایط پیش بینی نشده واقعی سیستم، همه این بانک ها وصل نمی شوند (به دلیل مسئله نوسانات روتور) یا بعضی ممکن است منجر به اضافه تصحیح ولتاژ و قفل شدن سیستم شوند. برای حل این وضعیت، UPFC در جهت حفظ حاشیه از پیش تعیین شده توان رآکتیو، به منظور حداکثر کردن میزان ذخیره دینامیکی توان رآکتیو کنورتور موازی، در شرایط پیش بینی نشده سیستم، ضرورت دارد. این امر اطمینان می دهد که محدوده قابل کنترل توان رآکتیو موازی (از ۱۶۰- تا ۱۶۰+ مگاوار؛ یعنی حداکثر محدوده کنترلی ۳۲۰ مگاوار) همیشه برای جبران اختلالات دینامیکی سیستم، در دسترس است. بانک های خازنی موازی، برای حفظ حاشیه ذخیره UPFC و SVC در هنگام نوسانات حالت ماندگار بار، وصل و قطع می شوند.

کنترل سیلان توان. هنگامی که همه امکانات سیستم انتقال در سرویس قرار داشته باشند، بار خط ۱۳۸ کیلوولت "بیگ سندی-اینز" بایستی در سطحی حفظ شود که تلفات سیستم را به حداقل برساند. در شرایط بار پیک و نزدیک پیک، مطالعات پخش بار نشان می دهد که بار ۳۰۰ مگاوات خط، چنین هدفی را برآورده می کند. سیلان واقعی توان در خط می تواند، بسته به سایر شرایط غالب بر سیستم، بیشتر باشد. بنابراین UPFC ممکن است برای کاهش اندک بار خط، مورد نیاز باشد. سیلان توان رآکتیو خط و جهت آن، برای کمک به حفظ حاشیه دینامیکی توان رآکتیو اینورتور موازی، مورد پایش قرار می گیرد.

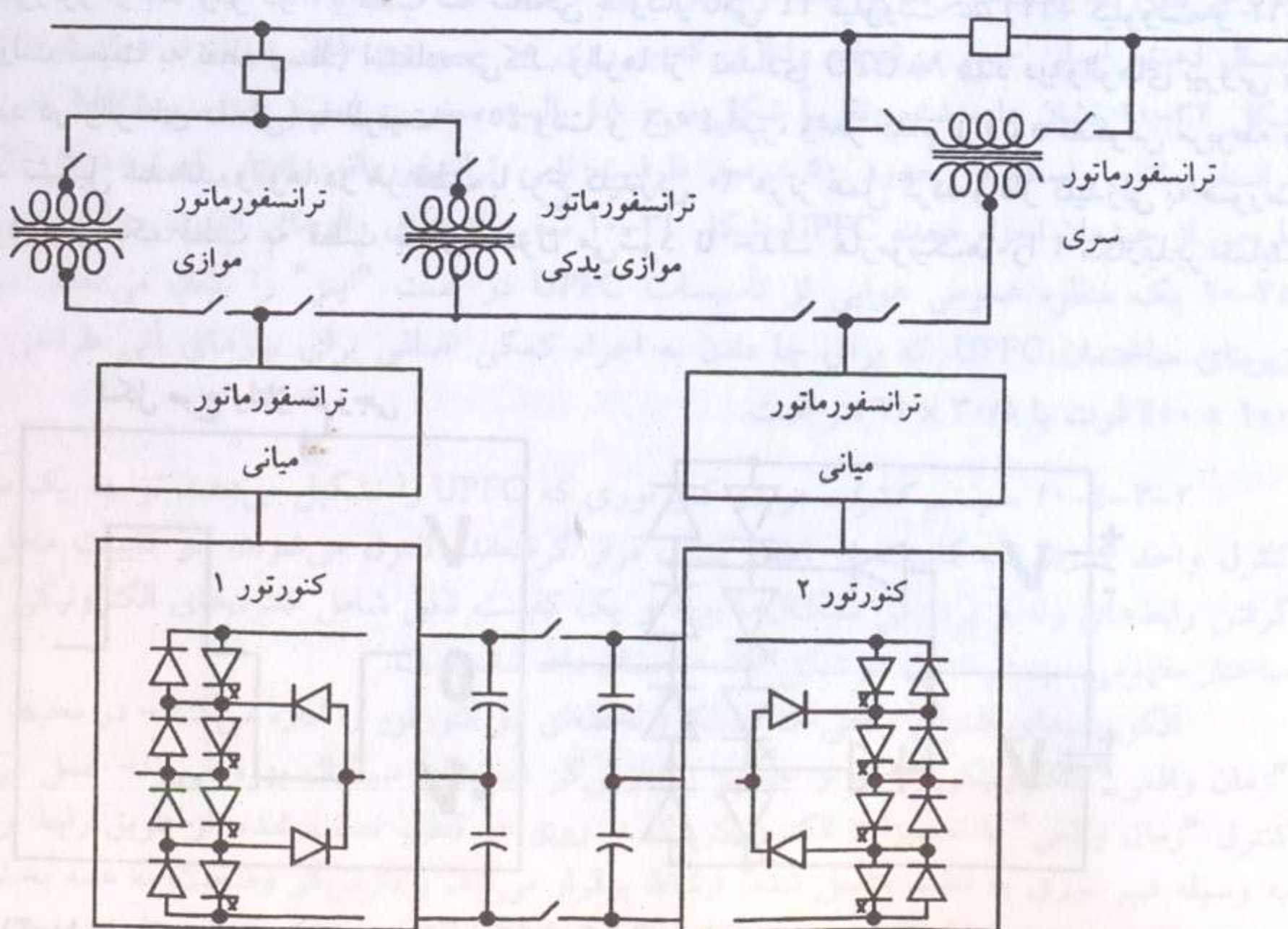
در شرایط پیش بینی نشده، کنترل سری سیلان توان اهمیت می یابد. دو قطعی عمده پیش بینی نشده، تأسیسات بحرانی ۱۳۸ کیلوولت را دچار بار سنگین می کند (به خصوص در خط "بیگ سندی-"

بیورکریک"). کنترل های UPFC بایستی بارگیری سه خط کم ظرفیت بحرانی را پایش کنند. اهداف کنترل، افزایش بار خط ۱۳۸ کیلوولت "بیگ سندی-اینز" و کاهش بار در هر سه خط است. این کنترل بایستی به محض این که بار یکی از سه خط از ۹۰ درصد حد حرارتی اضطراری آنها تجاوز کند، عمل نماید. UPFC باید بار خط "بیگ سندی-اینز" را افزایش دهد تا این که بار خطوط بحرانی به پایین تر از سطوح تعریف شده کاهش یابد یا UPFC به حد نامی خود برسد. در شرایط پیش بینی نشده دشوار، "بیگ سندی-اینز" که توسط UPFC کنترل می شود قادر به انتقال ۹۵۰ مگاوات آمپر (۴۰۰۰ آمپر) خواهد بود.

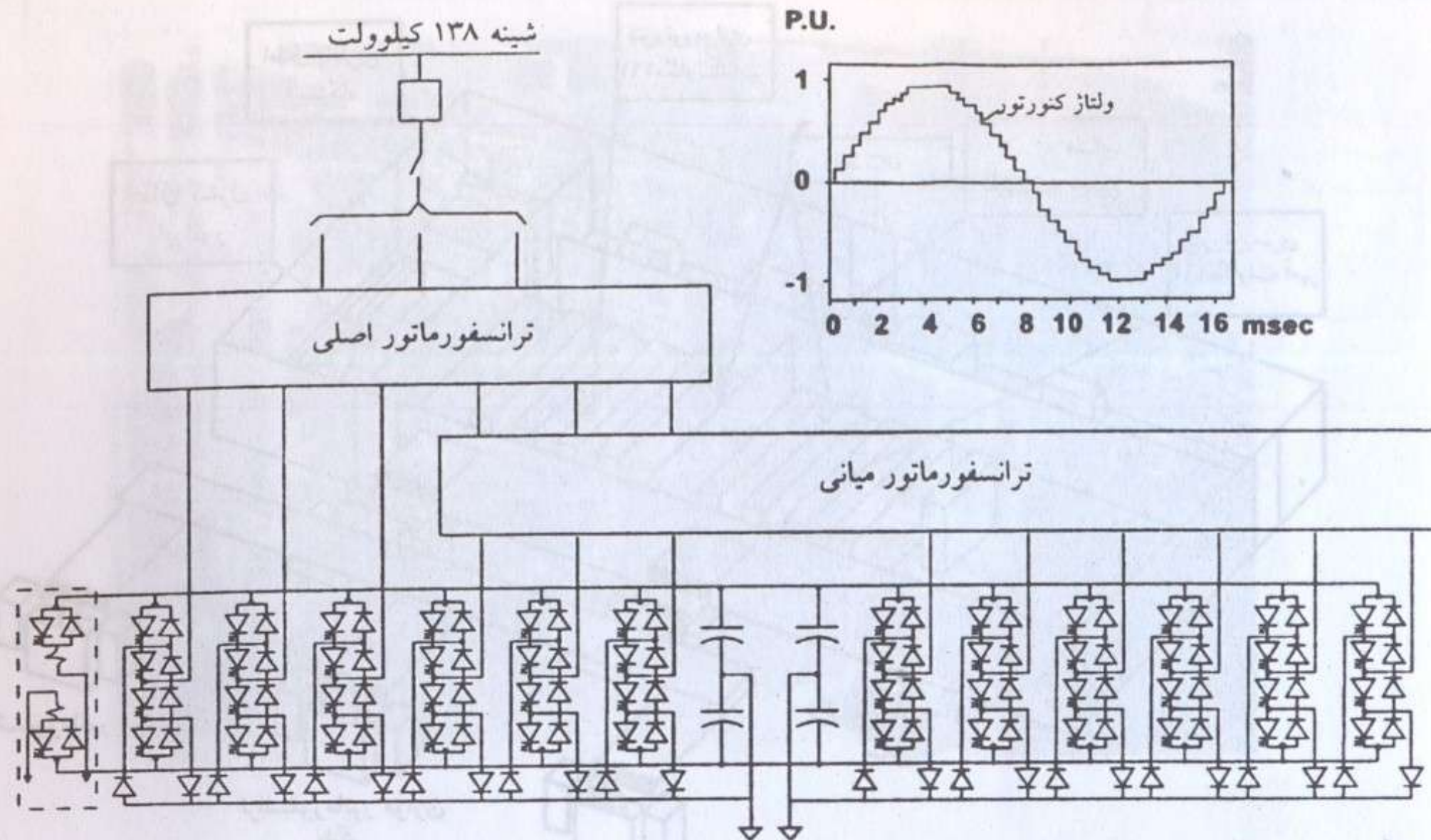
۴-۱۰-۲ شرح UPFC

کنترل کننده یکپارچه سیلان توان برای پست "اینز" به صورتی طراحی شده است که الزامات سیستمی فوق الذکر را، به خصوص برای تأمین جبران سازی موازی توان رآکتیو به صورت سریع، کلاً در یک محدوده کنترلی ۳۲۰ مگاوار (۱۶۰- تا ۱۶۰+ مگاوار) برآورده کند، و سیلان توان را در خط انتقال پرفریت ۱۳۸ کیلوولتی کنترل کرده، توان انتقالی خط را تحت شرایط پیش بینی نشده تا ۹۵۰ مگاوات آمپر برساند.

به منظور افزایش قابلیت اطمینان سیستم و تأمین انعطاف پذیری برای تغییرات آتی سیستم، تأسیسات UPFC بایستی، عملکرد خودکفای کنورتور موازی را به صورت یک STATCOM مستقل و کنورتور سری را به صورت یک جبران ساز سری سنکرون استاتیکی (SSSC)، اجازه دهد. همچنین ممکن است که دو کنورتور را به هم متصل نمود تا فقط جبران سازی موازی یا فقط جبران سازی سری را در محدوده کنترلی دو برابر انجام دهند.



شکل ۳۰-۱۰ دیاگرام ساده شده UPFC نصب شده در "اینز".



شکل ۱۰-۳۲ شماتیک ساده شده مدار قدرت از کنورتور ۴۸ پالسه به کار رفته در "اینز" و شکل موج ولتاژ خروجی مربوطه.

خروجی های ac قطب ها از طریق یک ترانسفورماتور واسطه در سیم پیچ های ثانویه ترانسفورماتورهای اتصال دهنده اصلی جمع می شوند. ولتاژی که بر روی هر سیم پیچ ظاهر می شود، همان گونه که در شکل ۱۰-۳۲ نشان داده شده، تقریباً شکل موج ۴۸ پالسه سینوسی است. ظرفیت MVA نامی کلی ترانسفورماتور واسطه در حدود ۵۰ درصد ظرفیت نامی ترانسفورماتور اصلی است. شکل ۱۰-۳۳ طرحی از چیدمان اجزاء عمده UPFC، شکل ۱۰-۳۴ نمایی از اطاق والوهای کنورتور واقعی، و شکل ۱۰-۳۵ یک منظره عمومی هوایی از تأسیسات UPFC در پست "اینز" را نشان می دهند. ساخت زیربنای ساختمان UPFC، که برای جا دادن به اجزاء کمکی اضافی برای نیازهای آتی طراحی شده، ۱۰۰ × ۲۰۰ فوت یا ۳۰/۵ × ۶۱ متر است.

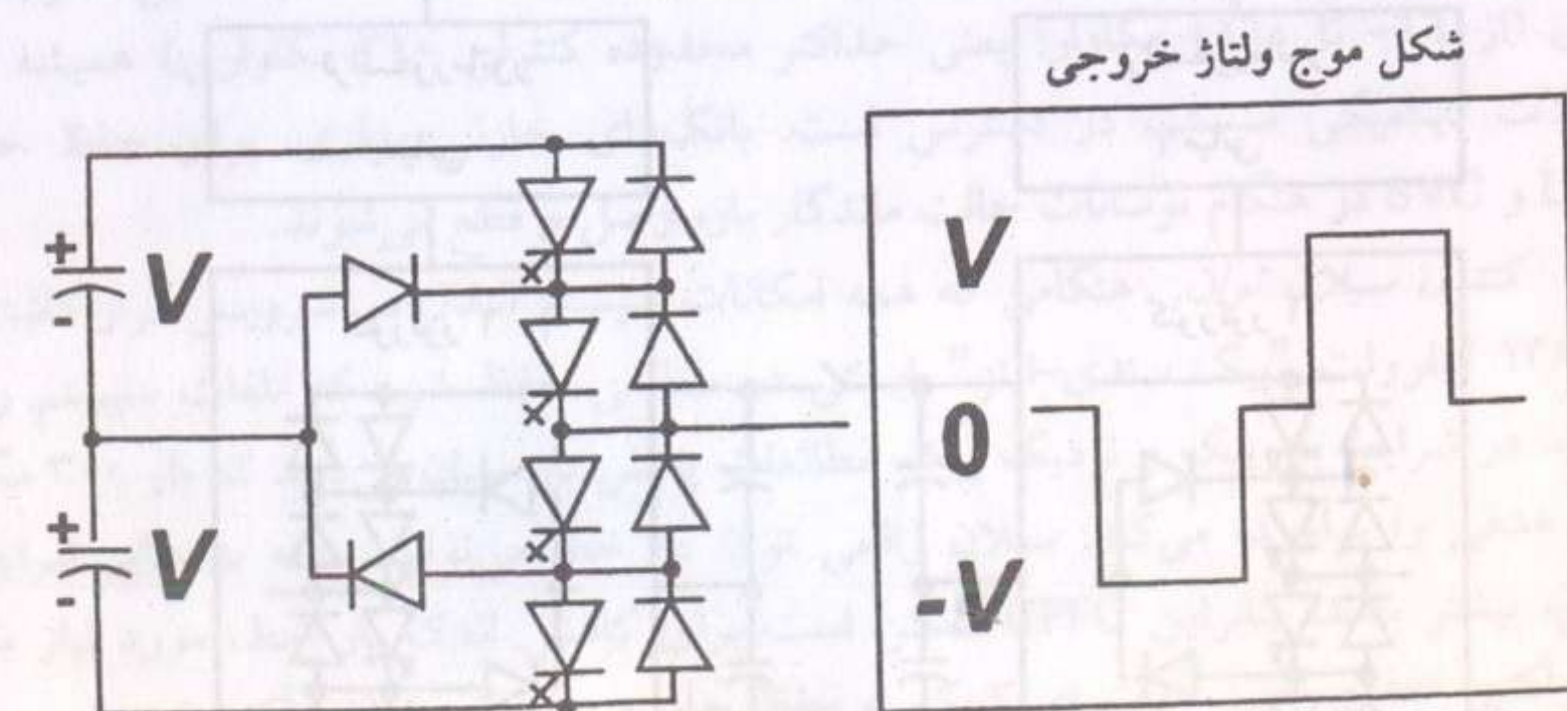
۱۰-۴-۲-۲ سیستم کنترل. هر دو کنورتوری که UPFC را تشکیل می دهند توسط یک سیستم کنترل واحد که در سه کابینت در اطاق کنترل قرار گرفته اند، کنترل می شوند. دو کابینت محل قرار گرفتن رابط های رله و پردازش سیگنال ها بوده و یک کابینت تکی شامل کنترل های الکترونیکی است. ساختار مفهومی سیستم کنترل در شکل ۱۰-۳۶ نشان داده شده است.

الگوریتم های کنترلی واقعی - که عملکرد لحظه ای دو کنورتور را اداره می کنند - در محیط کنترل "زمان واقعی" الکترونیکی - که از چندین پردازش گر دیجیتال بهره می برد - عمل می کنند. کنترل "زمان واقعی" با تجهیزات الکترونیکی که بر روی هر قطب نصب شده، از طریق رابط والو که به وسیله فیبر نوری به قطب متصل شده، ارتباط برقرار می کند. پردازش گر وضعیت به همه بخش های سیستم شامل سیستم خنک کننده و همه قطب ها، توسط ارتباطات سری متصل شده است و در هنگام کار سیستم به طور مستمر عملکرد همه زیر سیستم ها را پایش کرده و اطلاعات وضعیت را جمع آوری و تحلیل می کند. این پردازش گر مسئولیت توالی همه راه اندازی ها و قطع ها و سازماندهی و اعلام

۱۰-۴-۲-۱ ساختار مدار قدرت. تجهیزات UPFC شامل دو کنورتور مبتنی بر ترایستور است که هر یک دارای مقدار نامی ± 160 مگاوات آمپر است. هر کنورتور با ساختاری شامل چندین والو GTO پر توان است که یک ترانسفورماتور واسطه (فشار ضعیف) را تغذیه می کند. خروجی کنورتور یک مجموعه ولتاژ سه فاز با کیفیت نزدیک به سینوسی (۴۸ پالسه) است که از طریق یک ترانسفورماتور اتصال دهنده اصلی (سه سیم پیچ به سه سیم پیچ) به خط انتقال متصل شده اند. ولتاژ طرف کنورتور در ترانسفورماتور اصلی، ۳۷ کیلوولت فاز به فاز (برای هر دو ترانسفورماتور موازی و سری) می باشد. ترانسفورماتور موازی دارای اولیه ۱۳۸ کیلوولت مثلث بوده و ترانسفورماتور سری سه سیم پیچ اولیه مجزا دارد که هر کدام ۱۶ درصد مقدار نامی ولتاژ را دارا هستند.

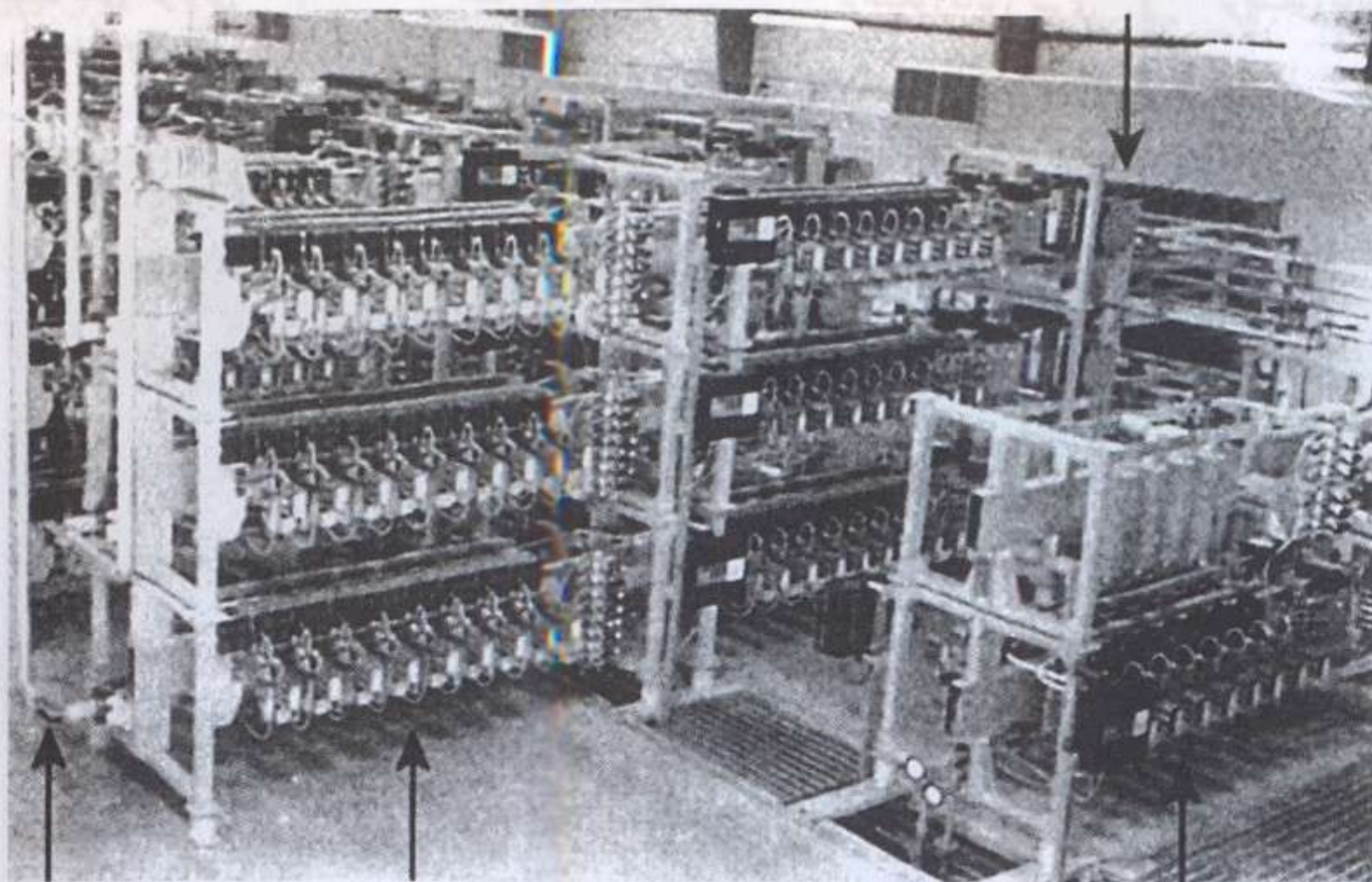
برای به حداکثر رساندن قابلیت انطباق تأسیسات، دو ترانسفورماتور اصلی موازی و یک ترانسفورماتور اصلی سری، به صورتی که در شکل ۱۰-۳۰ نشان داده شده است، پیش بینی شده اند. با این آرایش، پیکربندی های متعددی برای مدار قدرت ممکن است. کنورتور ۱ می تواند به صورت STATCOM با هر یک یا هر دو ترانسفورماتور اصلی موازی کار کند، در حالی که کنورتور ۲ به صورت SSSC عمل می کند. یا این که، کنورتور ۲ می تواند به ترانسفورماتور اصلی موازی "یدکی" متصل شده و به عنوان یک STATCOM اضافی عمل کند. با پیکربندی اخیر یک قابلیت توان رآکتیو موازی به ظرفیت ± 320 مگاوات آمپر در اختیار قرار می گیرد. آرایش مدار قدرت، نشان دهنده اولویت جبران سازی موازی در این موقعیت است.

کنورتورها از قطب های سه سطحی ساخته شده و هر کدام از چهار والو تشکیل شده اند. مدار اصلی یک قطب سه سطحی، به همراه شکل موج نوعی ولتاژ در شکل ۱۰-۳۱ به صورت نمادین نشان داده شده است. قطب سه سطحی، انعطاف پذیری یک پله اضافی را در ولتاژ خروجی عرضه می کند، که می تواند در طول زمان، برای تغییر مؤلفه ولتاژ اصلی یا برای کمک به ساختن شکل موج، کنترل شود. هر کنورتور از ۴۸ والو در ۱۲ قطب سه سطحی با ولتاژ نامی ۲۴ کیلوولت dc ($12 + 12$ کیلوولت و $12 -$ کیلوولت نسبت به نقطه وسط) استفاده می کند. والوها از تعدادی GTO (۸ عدد در والوهای بیرونی و ۹ عدد در والوهای داخلی) با ظرفیت ۴۵۰۰ ولت و ۴۰۰۰ آمپر، و هر کدام از دیود معکوس مربوطه و اجزاء تشکیل شده اند. والوها در هر قطب با نرخ کلیدزنی ۶۰ هرتز عمل کرده و فاز کلیدزنی به صورت راهبردی از یک قطب به قطب بعدی کنترل می شود تا حذف هارمونیک ها را امکان پذیر نماید.



شکل ۱۰-۳۱ قطب کنورتور سه سطحی پایه که در UPFC "اینز" استفاده شده است و شکل موج ولتاژ خروجی مربوطه.

بانک های خازنی DC



AC

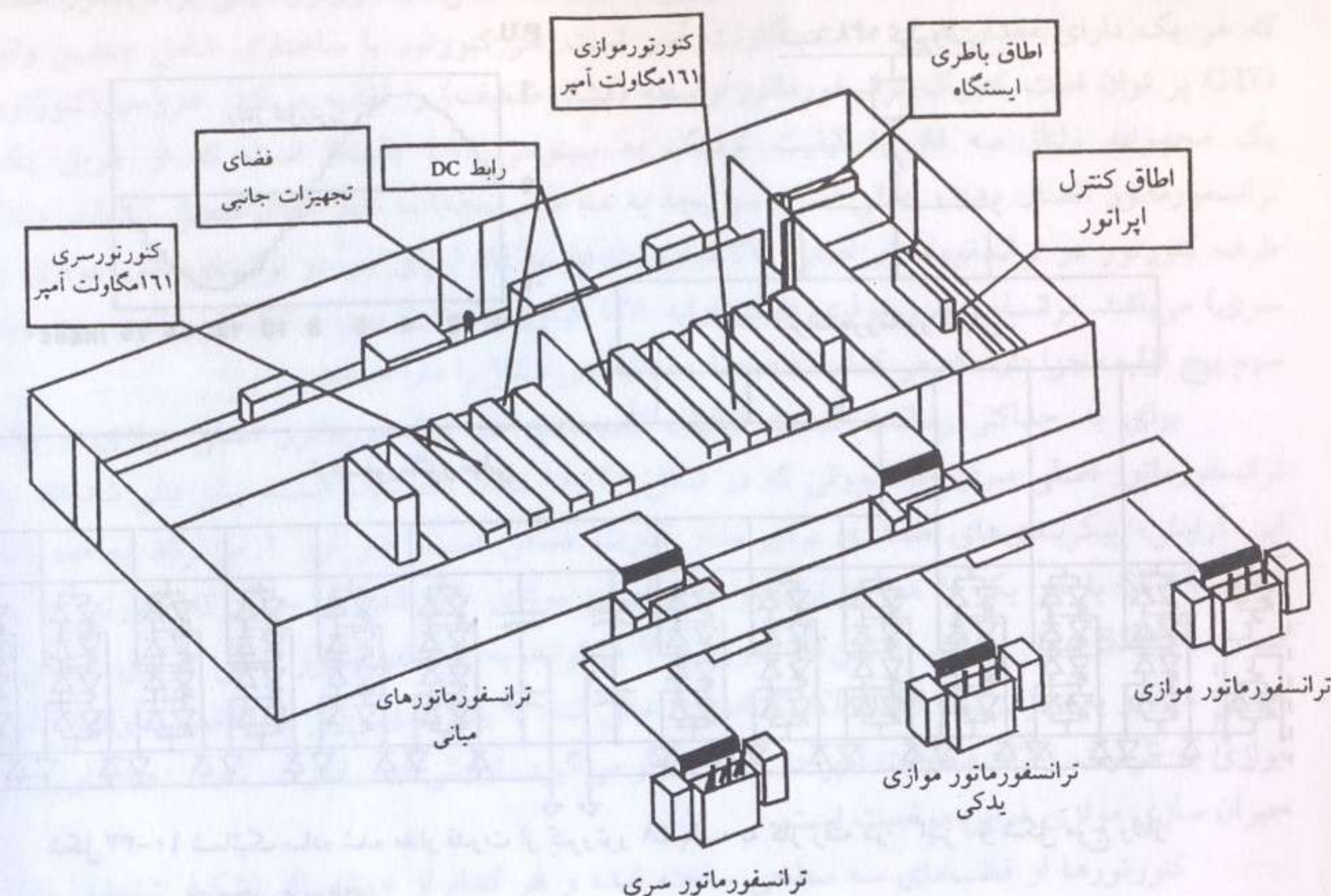
قطب های اینورتر

کلمپ DC

شکل ۳۴-۱۰ اتاق کنورتور UPFC

مجموعه از نتایج با استفاده از علائم قراردادی تعریف شده در شکل ۳۷-۱۰، تفسیر شده است. به خصوص توجه شود که P و Q خط در ترمینال های طرف خط ترانسفورماتور الحاقی سری اندازه گیری شده اند. این توان ها مقدار واقعی توان در انتهای خط هستند و با علامت مثبت به سمت پست "بیگ سندی" تعریف شده اند. توان های حقیقی و راکتیو برای یک از دو کنورتور نیز نشان داده شده اند. توجه کنید که کنورتورها به صورت مستقل توان راکتیو تولید می کنند، اما توان حقیقی آن ها اساساً برابر و در جهت مخالف یکدیگر است. در هر مورد معدودی ساط ساکن (در فاصله های عمده) انتخاب شده و یک دیاگرام فازوری برای نمایش شرایط کار در آن نقطه ترسیم شده است. این کار، به دلیل این که تفسیر هر وضعیتی فقط از منحنی های زمانی دشوار است مفید به نظر می آید. تفسیر حتی دشوارتر نیز می شود؛ به این دلیل که شبکه قدرت به دنبال هر تغییر عمده ای، به خصوص در مورد زاویه فازهای ولتاژ در "اینز" و "بیگ سندی"، تطابق پیدا می کند. پنج بخش زیر تفسیر خاص هر مورد است.

مورد اول: تغییر توان حقیقی (P) به وسیله UPFC. به شکل ۳۸-۱۰ مراجعه کنید. این مورد در حالی آغاز می شود که UPFC با ولتاژ تزریقی نزدیک صفر بدون استفاده است و سیلان توان حقیقی در خط از پست "بیگ سندی" نزدیک به سطح "طبیعی" ۱۵۰ مگاوات می باشد. کنورتور موازی با تولید حدود ۶۰ مگاوار خازنی، ولتاژ شینه پست "اینز" را در ۱ پریونیت تنظیم کرده و حدود ۶۰ مگاوار به خط تحویل می دهد. هدف این مورد حفظ ولتاژ شینه "اینز" و Q خط در حالت بدون تغییر است، در حالی که تغییرات پله ای بزرگی در P خط اتفاق می افتد.



شکل ۳۳-۱۰ چیدمان UPFC

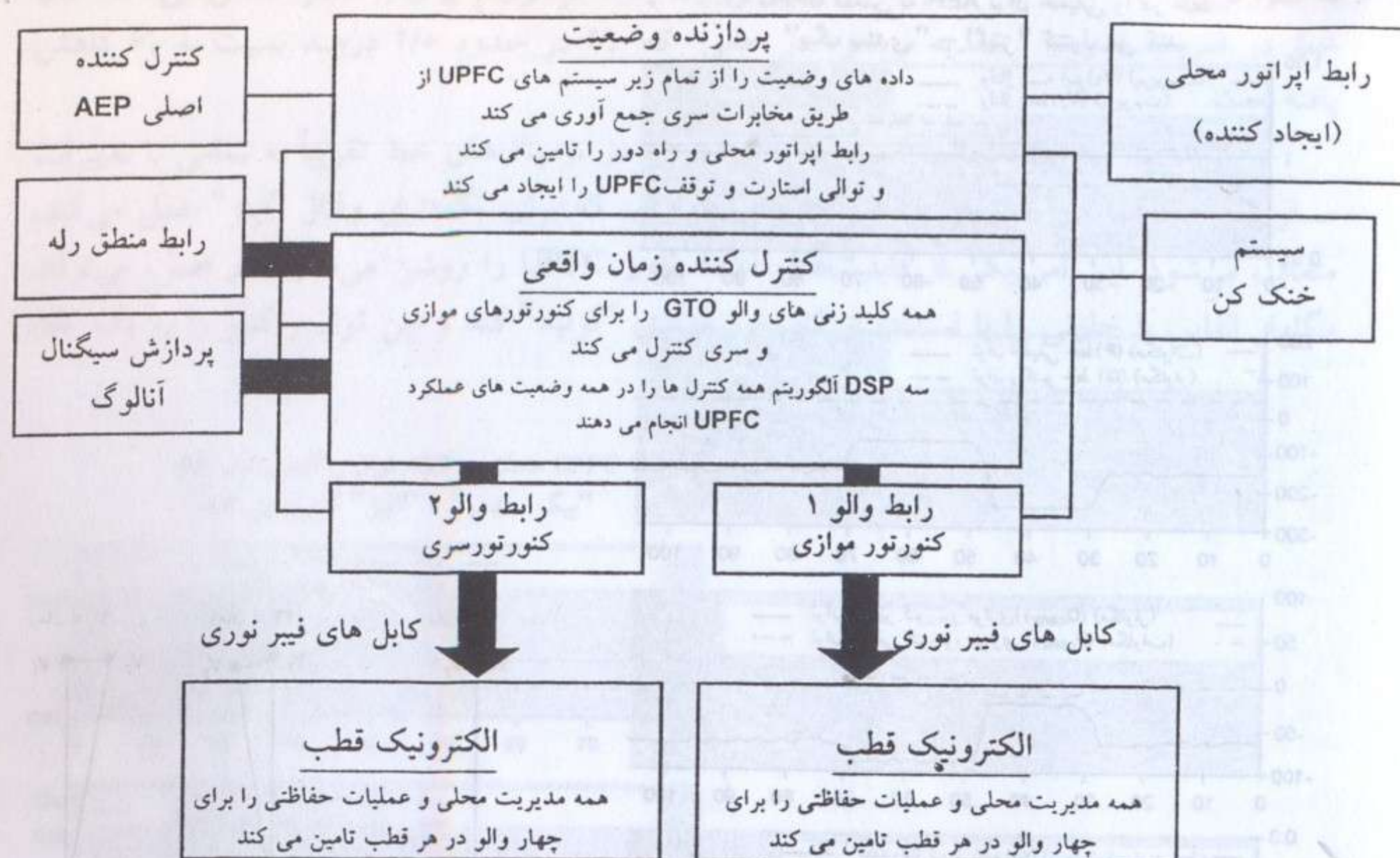
هشدار در شرایط مختلف را بر عهده دارد. پردازش گر وضعیت به صورت سری به یک ترمینال نمایش دهنده گرافیکی، که رابط اپراتور محلی را تشکیل می دهد، متصل شده است. یک آرایش سلسله مراتبی از صفحات نمایش دهنده گرافیکی، دسترسی به همه تنظیم های سیستم و پارامتر را در اختیار اپراتور می گذارد و اطلاعات تشخیصی گسترده ای را تا حد مدول های GTO فراهم می کند.

۴-۱۰-۳ اجرای عملیات

در زمان راه اندازی UPFC، آزمایشاتی برای تصدیق قابلیت های پیش بینی شده آن، انجام شد. برای این منظور، وادار به تولید نوسانات کنترل شده بزرگ در توان حقیقی و راکتیو در خط "بیگ سندی" و نوسانات محدود ولتاژ در پست "اینز" شد، در حالی که اندازه گیری ها ضبط می شد. تأکید می شود که این نوسانات به هیچ وجه نمایش گر وظیفه "عادی" UPFC در این کاربرد نیست. تغییرات اختیاری از این نوع می توانند باعث گسیختگی سیستم شوند؛ زیرا باعث الزام به "باز توزیع" توان حقیقی در شبکه شده و بر تنظیم ولتاژ در پست های دیگر تأثیر می گذارند. اپراتورهای سیستم AEP حدود مرزی قابل قبول را برای آزمایشات تعریف کردند، و به علاوه توابع شیب داری را در مراجع کنترلی کنترل کننده خودکار سیلان توان UPFC، اعمال نمودند.

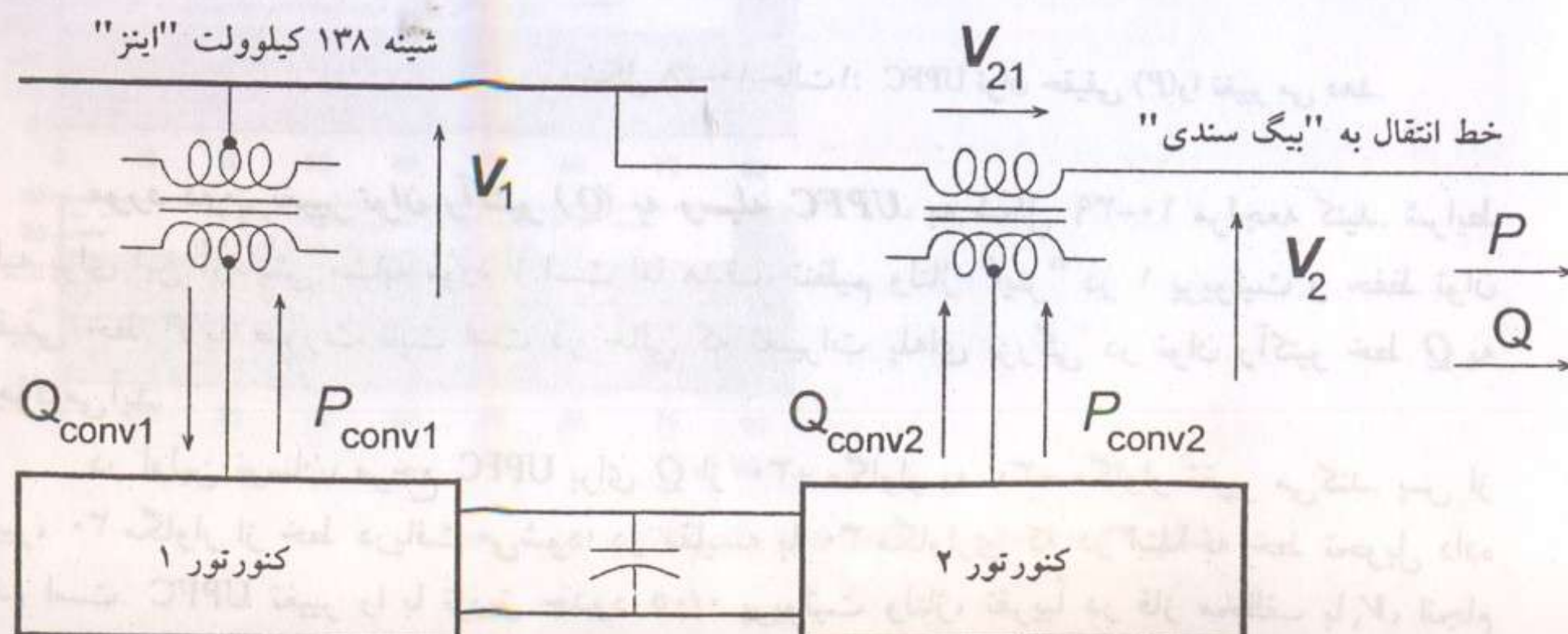
پنج مورد نمونه برای این نمایش انتخاب شد. سه مورد اول نشان می دهند که UPFC به ترتیب، P خط، Q خط و ولتاژ شینه پست "اینز" را به صورت مستقل کنترل می کند.

چهارمین مورد برای حفظ ضریب قدرت واحد در خط بوده و مورد آخر نمایشی از عملکرد کنورتور سری به صورت SSSC است. در همه موارد (به جز SSSC) UPFC با کنورتور موازی در وضعیت کنترل ولتاژ خودکار و با کنورتور سری در وضعیت کنترل سیلان توان خط عمل می کند. هر



شکل ۱۰-۳۶ ساختار مفهومی کنترل UPFC "اینز".

همچنین باید توجه شود که تغییرات زیاد در توان حقیقی وارد شده به "اینز"، می بایست با یک تغییر کلی مساوی و مخالف در توان خطوط دیگری که پست را ترک می کنند، متعادل گردد. برای وقوع چنین امری یک تغییر در زاویه فاز ولتاژ شینه "اینز" V_1 ، اجتناب ناپذیر است. هنگامی که آزمایشات در حال انجام بود سیلان توان طبیعی در خط بیش از اندازه ای بود که UPFC بتواند قابلیت منحصر به فرد خود را برای معکوس کردن سیلان توان نمایش دهد. هرچند در موقعیت های دیگر، وقتی بار خط سبک است، این موضوع به صورت موفقیت آمیزی نشان داده شده و UPFC توان حقیقی را به سمت عقب به پست "بیگ سندی" برگردانده است.



شکل ۱۰-۳۷ تعریف قراردادی پلاریته که در نتایج آزمایشات برای اندازه گیری توان و ولتاژ استفاده شده.

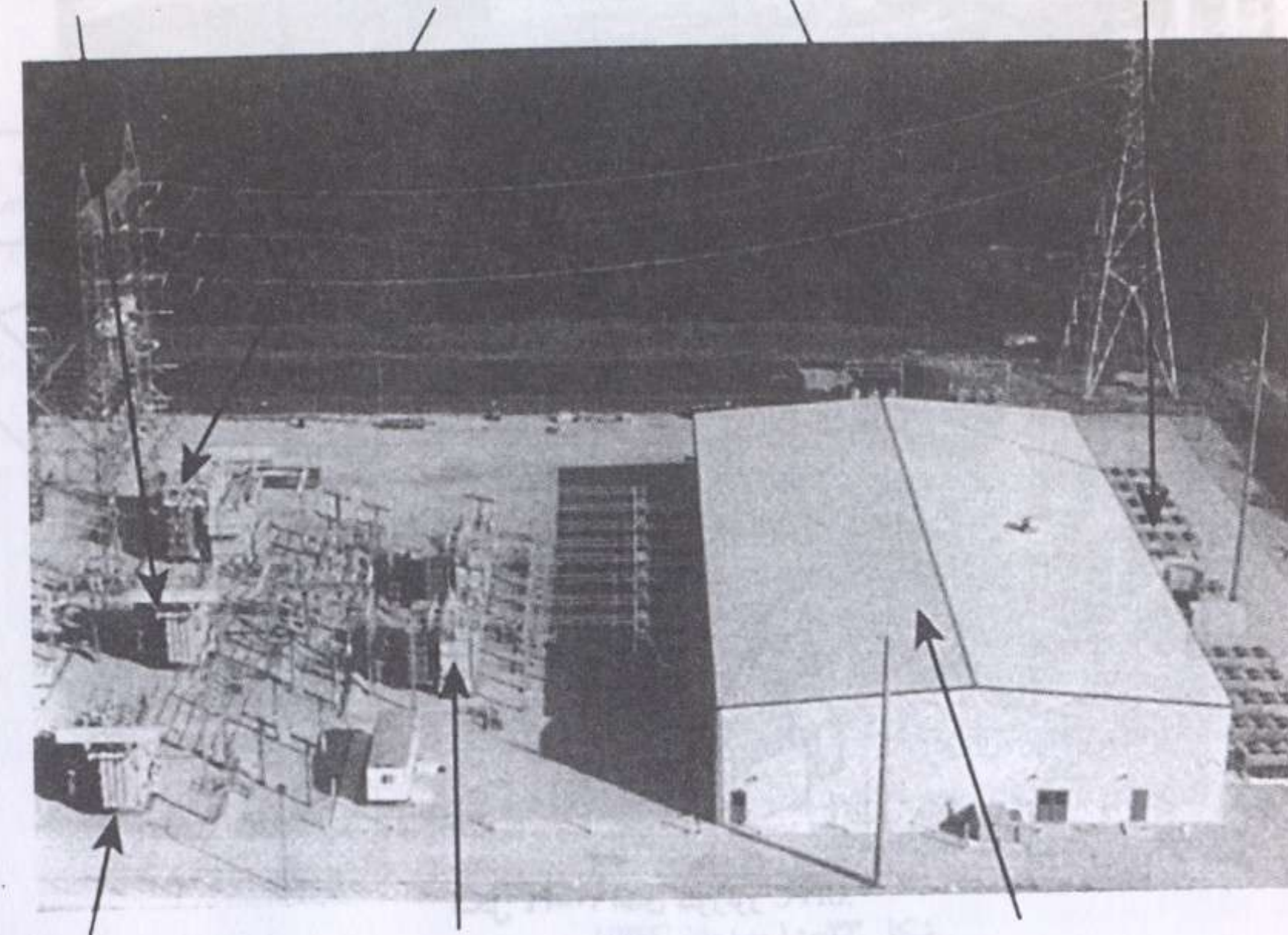
مبدل های حرارتی
سیستم خنک کن

خط "بیگ سندی"

ترانسفورماتور سری

ترانسفورماتور موازی

یدکی



ساختمان UPFC (کنورتورها و کنترل ها)

ترانسفورماتورهای سری و موازی میانی

ترانسفورماتور موازی اصلی

شکل ۱۰-۳۵ منظره هوایی پست "اینز".

ابتدا UPFC فرمان می گیرد که توان خط را به ۲۴۰ مگاوات افزایش دهد. این کار را با تزریق ولتاژی در حدود ۰/۱۶ پریونیت تقریباً به صورت ۹۰ درجه (عقب تر) نسبت به ولتاژ شینه پست "اینز" انجام می دهد. برای برآورده کردن شرایط خواسته شده، کنورتور موازی، خروجی خازنی خود را حدوداً ۲۰ مگاوار پایین آورده، و کنورتور سری، حدود ۴۰ مگاوارخازنی به خط تحویل می دهد. تبادل توان حقیقی بین کنورتورها حدود ۸ مگاوات است.

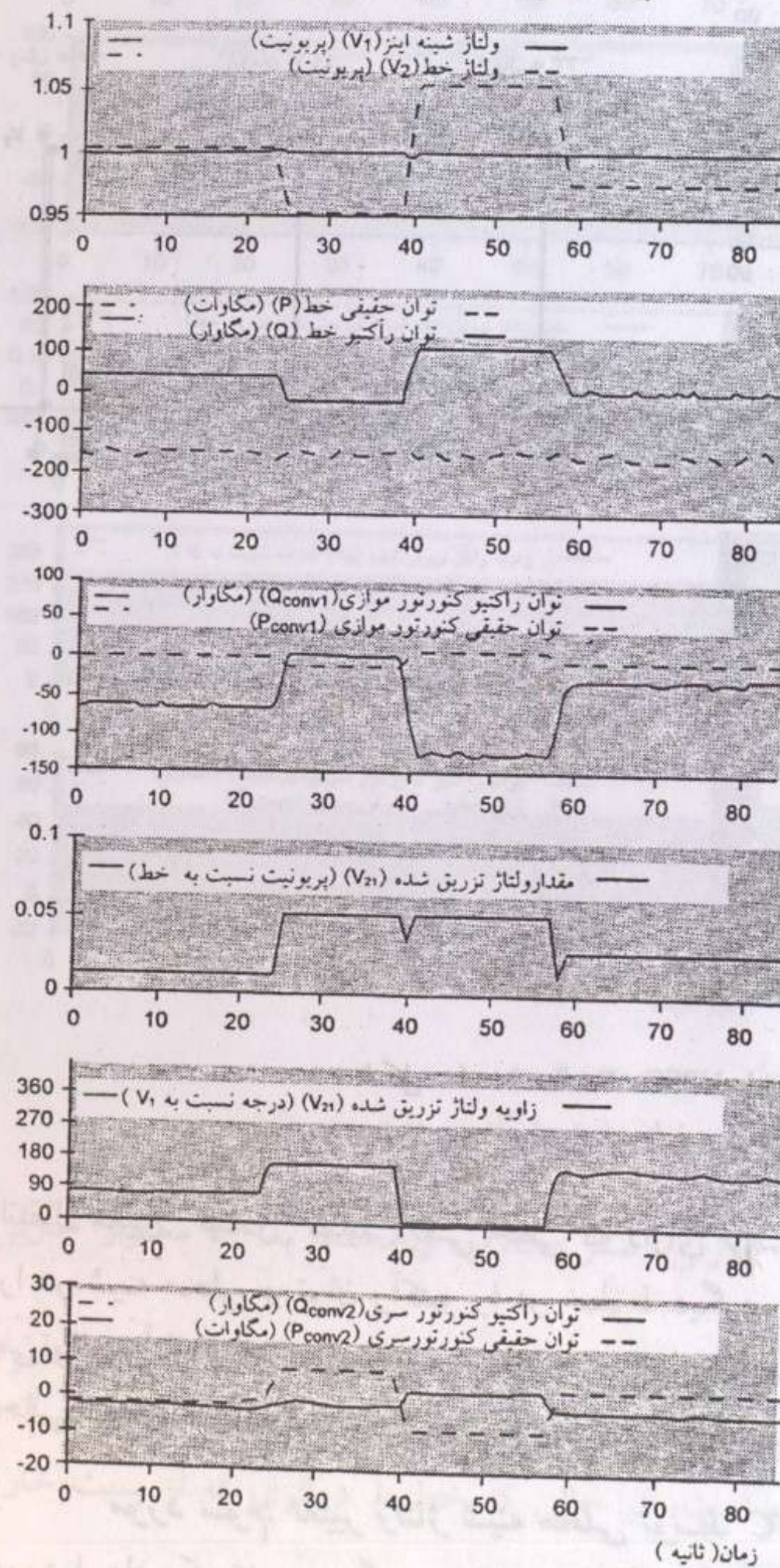
دومین فرمان جابه جایی، کاهش ۱۷۰ مگاواتی توان خط و رساندن آن به ۷۰ مگاوات است. این کار با تغییر مختصری در مقدار ولتاژ تزریق شده، اما با ۱۸۰ درجه جابه جایی فاز، انجام می شود، به طوری که ولتاژ تزریق شده هنوز تقریباً ۹۰ درجه با ولتاژ شینه "اینز" اختلاف داشته و لیکن جلوتر است. کنورتور موازی در حدود ۸۵ مگاوار خازنی تولید می کند؛ کنورتور سری خروجی خود را به ۱۰ مگاوار القایی معکوس می کند؛ و حدود ۸ مگاوات بین کنورتورها از طریق شینه dc سیلان می یابد. آخرین جابه جایی، سیستم را به نقطه کار اولیه برمی گرداند.

در طول مدت این مورد، ولتاژ شینه "اینز" به صورت تنگاتنگ در ۱ پریونیت تنظیم می شود و Q خط ثابت می ماند. اما توجه کنید که ولتاژ V_1 اعمال شده به خط انتقال، برای به دست آمدن اولین نوسان، چند درصدی نسبت به V_1 پایین تر می آید و برای دومین نوسان چند درصدی بالاتر می رود.

به صورتی که V_p به اندازه ۵ درصد افزایش می یابد. پله آخر مرجع Q را به صفر کاهش می دهد. حال خط در ضریب قدرت ۱ تغذیه می شود در حالی که V_p در حدود ۲/۵ درصد نسبت به V_1 کاهش یافته است.

توجه به این نکته جالب است که تغییرات Q در ترمینال های خط تقریباً به تمامی با تغییرات مساوی و مخالف در خروجی راکتیو کنورتور موازی، که برای نگهداری ولتاژ "اینز" عمل می کند، متعادل می شود. این امر یکی از قابلیت های اعجاب آور UPFC را روشن می سازد. در اصل، می تواند مگاوار القایی یا خازنی را با استفاده از کنورتور موازی "تولید" کند و این توان راکتیو را به یک خط

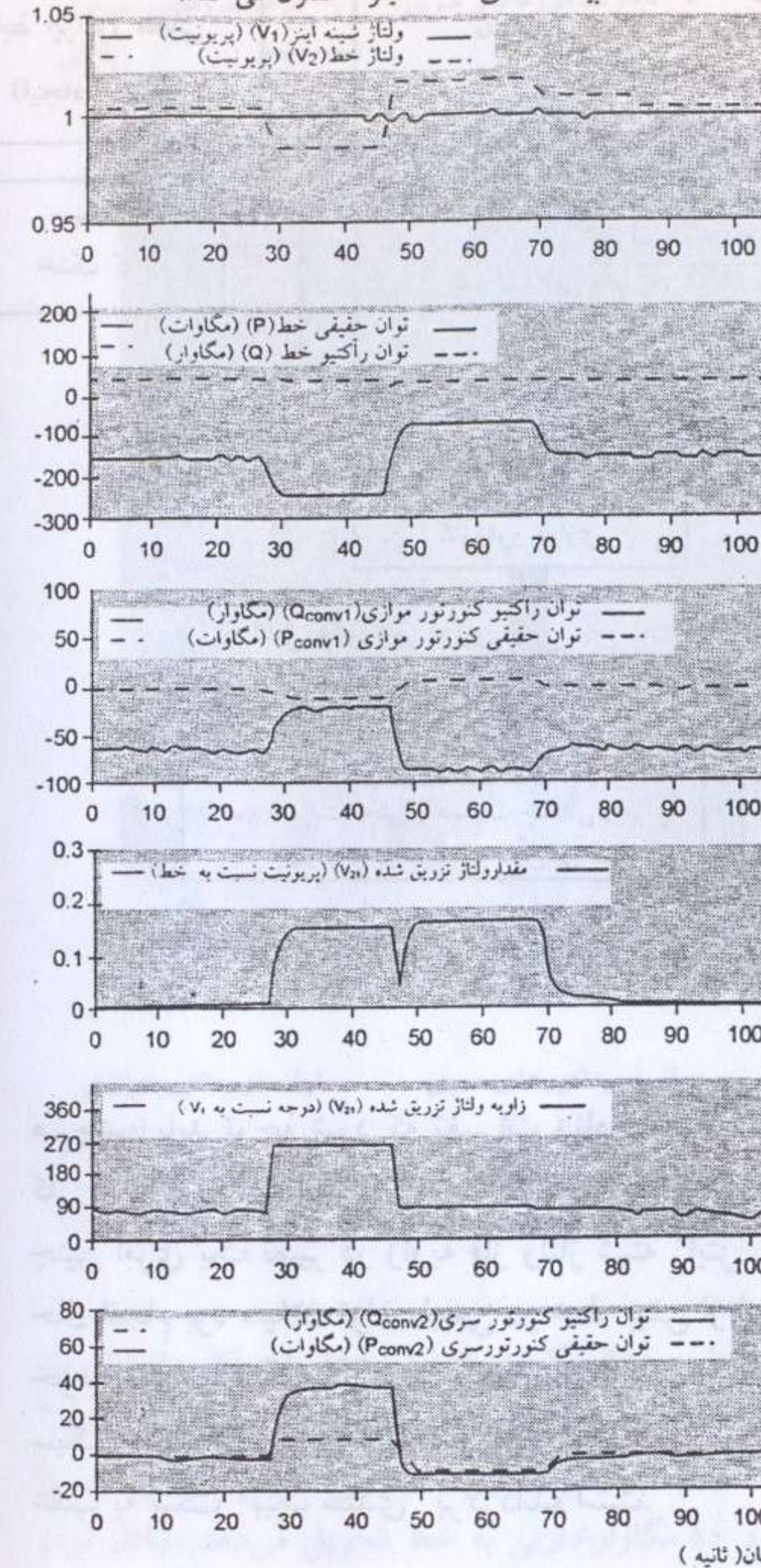
UPFC متعلق به AEP توان راکتیو را در خط "بیگ سندی" - "اینز" کنترل می کند.



شکل ۱۰-۳۹ حالت ۲: UPFC توان راکتیو (Q) را تغییر می دهد.

UPFC متعلق به AEP توان حقیقی را در خط

"بیگ سندی" - "اینز" کنترل می کند.

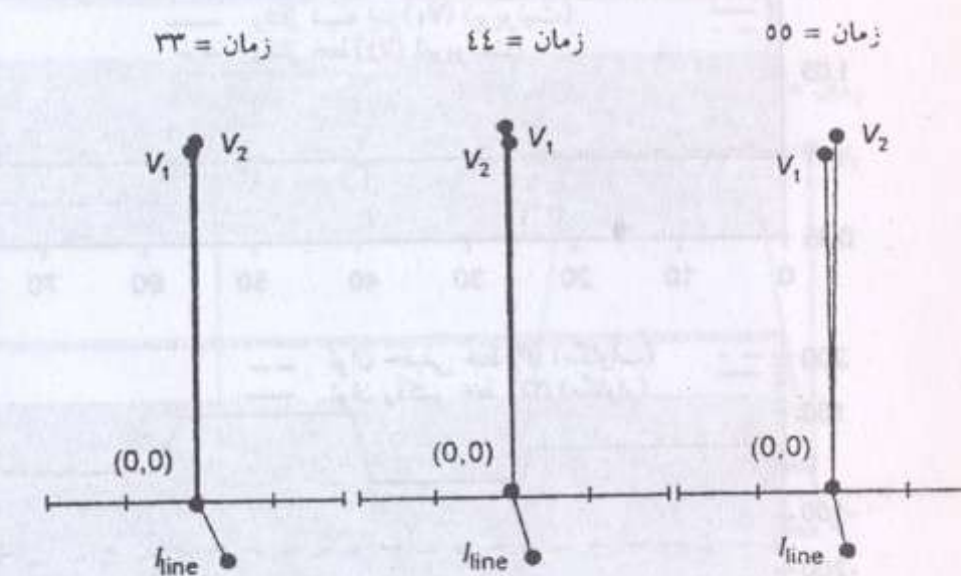
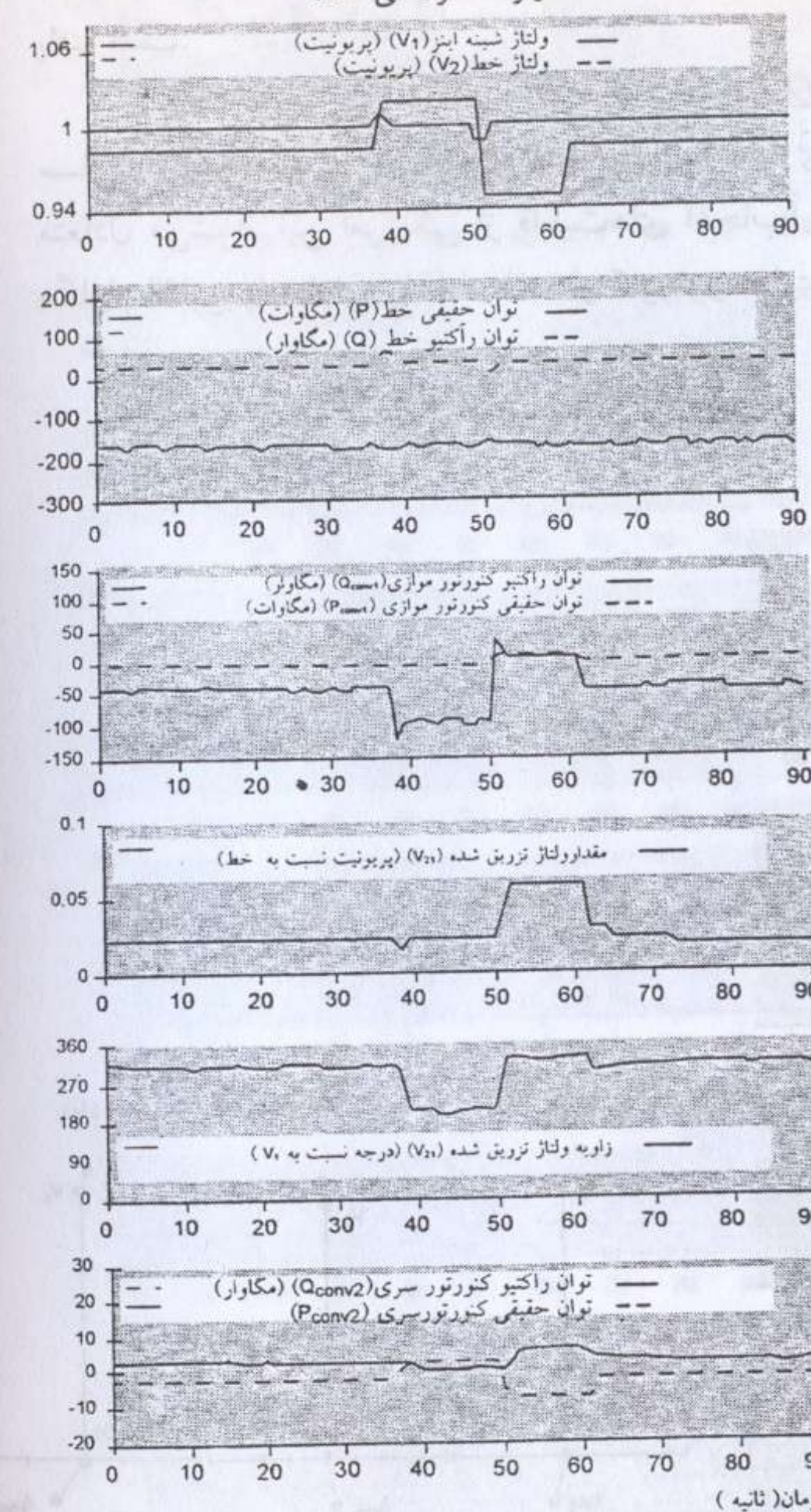


شکل ۱۰-۳۸ حالت ۱: UPFC توان حقیقی (P) را تغییر می دهد.

مورد دوم: تغییر توان راکتیو (Q) به وسیله UPFC. به شکل ۱۰-۳۹ مراجعه کنید. شرایط اولیه برای این آزمایش مشابه مورد ۱ است اما هدف، تنظیم ولتاژ "اینز" در ۱ پرینیت و حفظ توان حقیقی خط P به صورت ثابت است در حالی که تغییرات پله ای بزرگی در توان راکتیو خط Q به وجود می آید.

در اولین نوسان، مرجع UPFC برای Q از ۳۰+ مگاوار به ۳۰- مگاوار تغییر می کند. پس از تغییر، ۳۰ مگاوار از خط دریافت می شود؛ در مقایسه با ۳۰ مگاواری که در ابتدا به خط تحویل داده شده است. UPFC تغییر را با تزریق حدود ۰/۵ پرینیت ولتاژ، تقریباً در فاز مخالف با V_1 ، انجام می دهد. در نتیجه ولتاژ خط، V_p ، در حدود ۵ درصد از نظر مقدار کاهش می یابد. در پله دوم، مرجع Q به ۱۰۰+ مگاوار برده می شود (یعنی ۱۰۰ مگاوار به خط). این بار ولتاژ تزریق شده هم فاز با V_1 است

UPFC متعلق به AEP. ولتاژ را در شینه "اینز" کنترل می کند.

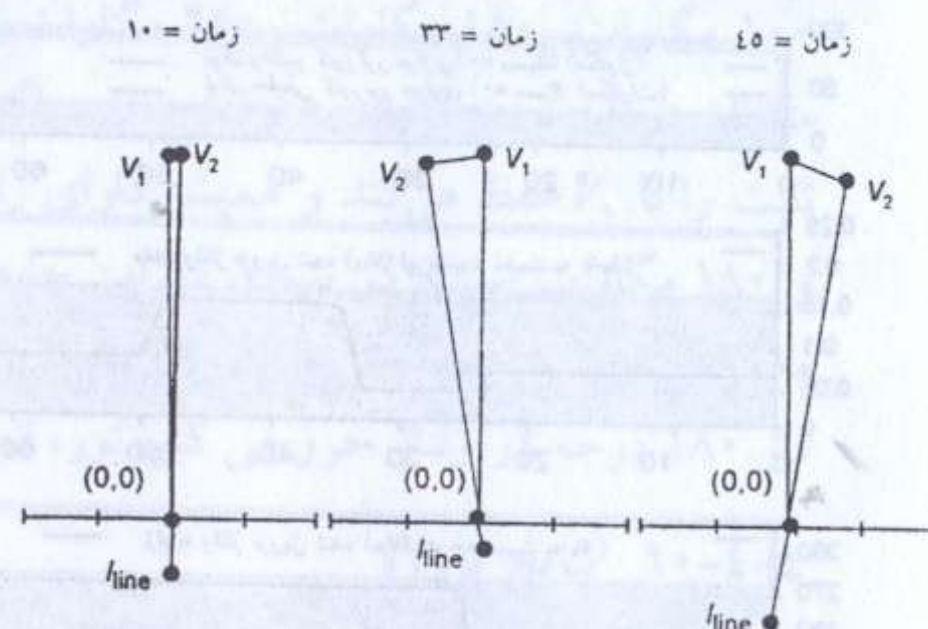
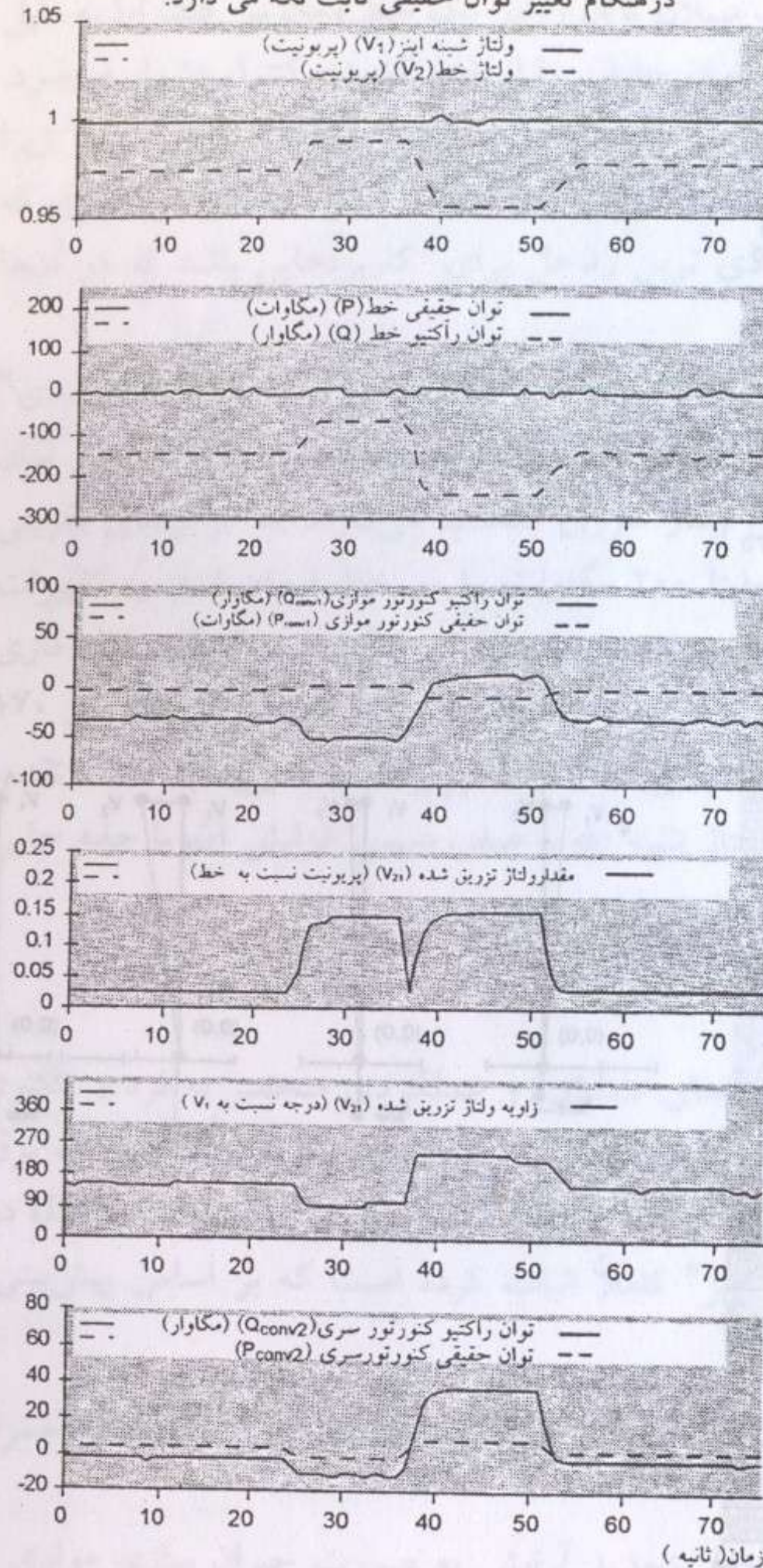


شکل ۴۰-۱۰: UPFC ولتاژ شینه "اینز" را تغییر می دهد.

انتقال معین "صادر" نماید (یعنی خطی که دارای ترانسفورماتور الحاقی سری است)، بدون آن که ولتاژ را در شینه محلی و توان راکتیو را در خطوط دیگری که از پست خارج می شوند، تغییر دهد. بنابراین می تواند ولتاژ شینه پست را در هر دو طرف تولید کننده و دریافت کننده یک خط انتقال تنظیم کند، در حالی که باز هم آزادانه سیلان توان حقیقی P را در خط کنترل می کند.

مورد سوم: تغییر ولتاژ شینه محلی توسط UPFC. به شکل ۴۰-۱۰ مراجعه کنید. هدف این مورد ایجاد یک تغییر بزرگ در ولتاژ پست "اینز" از طریق فرمان است، در حالی که سطح P و Q در خط دست نخورده نگه داشته می شود. ولتاژ مرجع از مقدار اولیه 0.985 p.u. به 1.02 p.u. به 0.95 p.u. و مجدداً به 0.985 p.u. تغییر می یابد. UPFC به طرز موفقیت آمیزی P و Q خط را ثابت نگه می دارد (با استفاده از تغییر بسیار کوچک در ولتاژ تزریق شده)، در حالی که کنورتور موازی از خروجی

UPFC متعلق به AEP ضریب توان واحد را در هنگام تغییر توان حقیقی ثابت نگه می دارد.



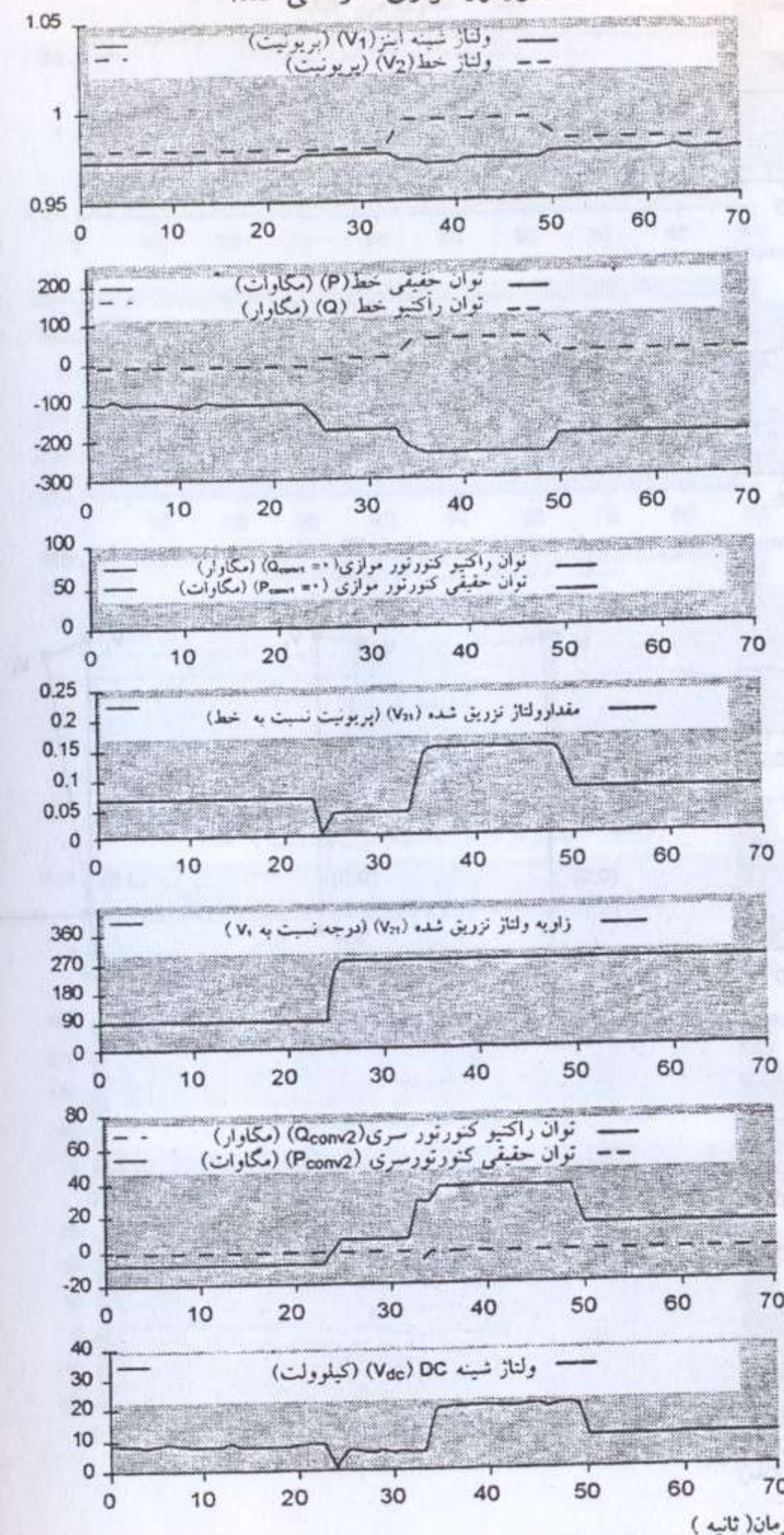
شکل ۴۱-۱۰: UPFC ضریب توان واحد را نگه می دارد.

اولیه 0.985 p.u. مقدار خازنی خود، به 1.00 p.u. مگاوار خازنی، صفر مگاوار، و مجدداً به 0.985 p.u. مگاوار خازنی، می رود.

از یک لحاظ این مورد مخالف مورد قبلی است. در مورد قبلی، شینه "اینز" و سایر خطوط انتقال از تغییرات در بارگیری راکتیو خط "بیگ سندی"، مجزا شده بودند. در این مورد، خط از نوسانات زیاد ولتاژ در پست "اینز" مجزا شده است، در حالی که خطوط دیگری که از پست خارج می شوند تغییراتی را در بار راکتیو ملاحظه می کنند.

مورد چهارم: حفظ ضریب قدرت یک، توسط UPFC. به شکل ۴۱-۱۰ مراجعه کنید. هدف این مورد حفظ ضریب توان یک، با نگاه به خط انتقال است، در حالی که نوسانات بزرگی در توان حقیقی P در خط ایجاد می شود، و همچنین ولتاژ شینه "اینز" در ۱ پریونیت نگه داشته می شود. این

UPFC متعلق به AEP در حال کار در وضعیت SSSC
(کنورتور موازی کار نمی کند)



شکل ۱۰-۴۲ حالت ۵: کنورتور سری در وضعیت SSSC کار می کند.

مورد در حقیقت ترکیبی از موارد ۱ و ۲ بوده و به ویژه از این نظر قابل توجه خاص است که راهبری یک خط در ضریب قدرت یک، قاعداً تحویل بیشترین مقدار توان حقیقی به خط با کمترین جریان را ممکن می سازد. این امر بایستی منجر به کارآمدترین استفاده خط از نقطه نظر حرارتی شود. طبیعتاً، توان راکتیو مصرف شده توسط خود خط، اینک بایستی در طرف دیگر خط تأمین شود، که منجر به ولتاژهای بالاتر در آن طرف می شود.

مورد پنجم: عملکرد کنورتور سری در وضعیت SSSC به شکل ۱۰-۴۲ مراجعه کنید. در این مورد، کنورتور موازی از ترمینال های کنورتور سری جدا شده و به کلی خارج از سرویس است. در نتیجه ولتاژ شینه "اینز" تنظیم نمی شود. کنورتور سری، ولتاژ را، الزاماً با زاویه ۹۰ درجه نسبت به جریان موجود خط، به خط تزریق می کند. زاویه تزریق از ۹۰ درجه واقعی انحراف دارد تا توان حقیقی را برای تلفات کنورتور از خط بکشد و بانک های خازنی شینه dc را شارژ و تخلیه کند. با تزریق ولتاژ

۹۰ درجه، SSSC قادر به بالا بردن یا پایین آوردن جریان خط است، اما نمی تواند به صورت مستقل P و Q را تغییر دهد. در اصل، SSSC می تواند جهت سیلان توان را در یک خط معکوس کند، اما به دلیل گذر جریان خط از صفر-که در آن نقطه نمی توان توان حقیقی را از خط کشید-کنترل دشوار می شود. عملکرد به صورت SSSC یکی از موضوعات حائز اهمیت در عملکرد UPFC کامل است؛ زیرا می تواند هنگامی که کنورتور موازی در دسترس نیست، مورد استفاده قرار گیرد. یک کنورتور سری که به صورت منفرد نصب شده باشد می تواند اقتصادی ترین راه حل برای کاربردهایی باشد که در آنها کنترل ساده سیلان توان کفایت می کند.

هدف این مورد به سادگی نشان دادن این نکته است که SSSC توان را در خط "بیگ سندی" افزایش و کاهش می دهد. SSSC برای کنترل مقدار و پلاریته ولتاژ تزریق شده، عمل می کند (یعنی توان خط به طور خودکار کنترل نمی شود). تزریق های ولتاژ طوری انتخاب می شوند که توالی های تقریبی ۱۰۰ مگاوات، ۱۸۰ مگاوات، ۲۵۰ مگاوات، و نهایتاً ۲۰۰ مگاوات را در خط ایجاد کنند. به تغییرات متناظر در Q توجه کنید. به وضوح از دیاگرام فازوری می توان دید که چگونه I_{line} یک رابطه فازی ثابت را با V_1 حفظ می کند و همیشه دارای زاویه ۹۰ درجه با V_2 است. سیلان طبیعی در خط بین ۱۰۰ و ۱۸۰ مگاوات است. در نتیجه، در این جابه جایی، پلاریته V_1 از تأخیر به نسبت I_{line} به حالت تقدم، معکوس می شود. معکوس شدن پلاریته با بردن ولتاژ شینه dc به صفر، سپس افزایش آن، با جابه جایی فاز ۱۸۰ درجه در ولتاژ خروجی کنورتور، انجام می شود.

۴-۱۰-۴ نتایج پروژه

تحلیل های نظری و شبیه سازی ها، مشخصه های عملیاتی و عملکردی منحصر به فرد و تاکنون غیرقابل دسترسی را، پیش بینی کرده است. کاربرد این طرح در برنامه ریزی تقویتی یک شرکت برق عمده، شناخت مزایای عملی را که با این فن آوری عرضه می شود، نشان داد. این تأسیسات UPFC در AEP که در نوع خود اولین است، در پست "اینز" کاملاً اثبات کرده است که بر اساس پیش بینی، UPFC:

- قابلیت یگانه ای برای تأمین کنترل مستقل و هم زمان سیلان توان حقیقی و راکتیو، به همراه تنظیم ولتاژ شینه را دارد.
- ساختار مداری انعطاف پذیری دارد که قابل تجدید آرایش به صورت جبران سازی موازی (STATCOM) و سری (SSSC) مستقل، و نیز به صورت جبران سازی "فقط موازی" یا "فقط سری" با اندازه نامی دو برابر، می باشد.
- ساختار مستحکم و قابل اطمینان کنورتور مبتنی بر GTO را دارد که قادر به عملکرد مناسب در محیط صنعت برق است.

تأسیسات موفقیت آمیز UPFC در پست "اینز" هم چنین مفهوم عملکرد دو یا چند کنورتور منبع ولتاژی از یک شینه dc مشترک را اثبات کرده است، به طوری که کنورتورها قادر به مبادله توان حقیقی بین خود بوده و به این ترتیب قادر به تأمین جبران سازی دوگانه از طریق تزریق توان حقیقی و نیز راکتیو به خط انتقال هستند.

این پروژه، راه تعمیم این مفهوم به کنترل چند خطی و اجرای عملی آن را تحت عنوان "کنترل کننده میان خط سیلان توان" هموار کرد؛ که در پروژه "جبران ساز استاتیکی قابل تبدیل" با حمایت مشترک

PRI و سازمان برق نیویورک (NYPA^۱)، با شرکت انتقال و توزیع زمینس در اورلاندو^۲، فلوریدا و در پست "مارسی"^۳ متعلق به NYPA اجرا گردید.

مراجع

- Maliszewski, R. M., and Rahman, M., "Planning and Operating Considerations for the World's First UPFC Installation," *CIGRE Report No. 37-96 (US) 13 (E)*, Paris, 1996.
- Mehraban, A. S., et al., "Application of the World's First UPFC on the AEP System," *EPRI Conference-The Future of Power Delivery*, Washington DC, April 9-11, 1996.
- Rahman, M., et al., "UPFC Application on the AEP System: Planning Considerations," *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 12, no. 4, November 1997.
- Renz, B. A., et al., "AEP Unified Power Flow Controller Performance," *IEEE/PES Winter Meeting, Paper No. PE-042-PWRD-0-12*, 1998.
- Schauder, C. D., et al., "AEP UPFC Project: Installation, Commissioning, and Operation of the ± 160 MVA STATCOM (Phase 1)," *IEEE/PES Winter Meeting, Paper No. PE-515PWRD-0-12*, 1997.

واژه نامه فارسی - انگلیسی

HVDC

Forward voltage drop

Stability

Dynamic stability

Transient stability

Phase - leg

Tap Changer

Thyristor tap changer

Metal - Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (MOSFET)

Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT)

Thyristor Controlled Phase Shifting Transformer (TCPST)

الف

[انتقال نیروی] جریان مستقیم فشار قوی

افت ولتاژ مستقیم

پ

پایداری

پایداری دینامیکی

پایداری گذرا

پایه فاز

ت

تپ چنجر / تغییر دهنده تپ

تپ چنجر تریستوری

ترانزیستور اثر میدانی اکسید فلزی نیمه هادی

ترانزیستور دوقطبی با دریچه عایق شده

ترانسفورماتور جابه جاکنده فاز کنترل شده با تریستور

¹ New York Power Authority

² Orlando

³ Marcy

Static shunt compensator	جبران ساز استاتیکی موازی
Series compensator	جبران ساز سری
Shunt compensator	جبران ساز موازی
Series capacitor compensation	جبران سازی با خازن سری
Series compensation	جبران سازی سری
Shunt compensation	جبران سازی موازی
Shunt reactive compensation	جبران سازی موازی توان رآکتیو
Static VAR Absorber	جذب کننده استاتیکی توان رآکتیو
Power Electronic Building Block (PEBB)	جزء اصلی الکترونیک قدرت

ح

SSR mode	حالت تشدید زیر سنکرون
Protection	حفاظت
Series capacitor protection	حفاظت خازن سری

خ

Mechanically Switched Capacitor – Thyristor Controlled Reactor (MSC-TCR)	خازن با کلیدزنی مکانیکی - رآکتور کنترل شده با تریستور
Capacitor for VSC	خازن برای VSC
DC storage capacitor	خازن ذخیره dc
Gate Controlled Series Capacitor (GCSC)	خازن سری با کنترل دریچه
Advanced Series Capacitor (ASC)	خازن سری پیشرفته
Thyristor Switched Series Capacitor (TSSC)	خازن سری سوئیچ شده با تریستور
Thyristor Controlled Series Capacitor (TCSC)	خازن سری کنترل شده با تریستور
Thyristor Switched Capacitor (TSC)	خازن سوئیچ شده با تریستور
Commutation failure	خطای جابه جایی

د

Power semiconductor Device	دستگاه نیمه هادی قدرت
----------------------------	-----------------------

Dynamic brake	ترمز دینامیکی
Thyristor switched breaking resistor (TSBR)	ترمز مقاومتی سوئیچ شده با تریستور
Thyristor Controlled Breaking Resistor (TCBR)	ترمز مقاومتی کنترل شده با تریستور
Thyristor	تریستور
Gate – Commutated Thyristor (GCT)	تریستور با جابه جایی دریچه
MOS Turn – off Thyristor (MTO)	تریستور با قطع MOS
Emitter Turn – off Thyristor (ETO)	تریستور با قطع امیتر
Gate Turn – Off Thyristor (GTO)	تریستور با قطع دریچه
Asymmetric GTO	تریستور با قطع دریچه، ناقص
MOS Controlled Thyristor (MCT)	تریستور کنترل شده با MOS
Integrated Gate Commutated Thyristor (IGCT)	تریستور یکپارچه با جابه جایی دریچه
Series voltage injection	تزریق ولتاژ سری
Subsynchronous Resonance (SSR)	تشدید زیر سنکرون
Quadrature Booster	تقویت کننده نود درجه
Losses	تلفات
Phase angle regulation	تنظیم زاویه فاز
Static Voltage Regulator (SVR)	تنظیم کننده استاتیکی ولتاژ
Phase Angle Regulator (PAR)	تنظیم کننده زاویه فاز
GTO converter – based PAR	تنظیم کننده زاویه فاز مبتنی بر کنورتور GTO
Thyristor Controlled Phase Angle Regulator (TCPAR, TCPAR)	تنظیم کننده زاویه فاز کنترل شده با تریستور
Thyristor Controlled Voltage Regulator (TCVR)	تنظیم کننده ولتاژ کنترل شده با تریستور
GTO converter – based voltage regulator	تنظیم کننده ولتاژ مبتنی بر کنورتور GTO

ج

STATCOM	جبران ساز استاتیکی
Static VAR Compensator (SVC)	جبران ساز استاتیکی توان رآکتیو
Static synchronous compensator	جبران ساز استاتیکی سنکرون
Static Synchronous Series Compensator (SSSC)	جبران ساز استاتیکی سنکرون سری

ع

Twelve - pulse operation

عملکرد دوازده پالسه

Six - pulse operation

عملکرد شش پالسه

Inverter operation

عملکرد متناوب سازی

ک

Thyristor switch

کلید تریستوری

Soft - switching

کلیدزنی نرم

Commutation

کموتاسیون - جابه جایی

Control of line impedance

کنترل امپدانس خط

Line impedance control

کنترل امپدانس خط

Control of series voltage injection

کنترل تزریق ولتاژ سری

Active Power Control

کنترل توان اکتیو

Control of active and reactive power

کنترل توان اکتیو و راکتیو

Reactive power control

کنترل توان راکتیو

Control of phase angle

کنترل زاویه فاز

Phase angle control

کنترل زاویه فاز

Interphase Power Controller (IPC)

کنترل کننده بین فازی توان

Combined series - series controller

کنترل کننده ترکیبی سری - سری

Combined shunt - series controller

کنترل کننده ترکیبی موازی - سری

VAR Reserve Control

کنترل کننده توان راکتیو رزرو

Series controller

کنترل کننده سری

Power flow Controller

کنترل کننده سیلان توان

Shunt controller

کنترل کننده موازی

Interline Power Flow Controller (IPFC)

کنترل کننده میان خط سیلان توان

FACTS controllers

کنترل کننده های FACTS

Combined Controllers

کنترل کننده های ترکیبی

Unified Power Flow Controller (UPFC)

کنترل کننده یکپارچه سیلان توان

ذ

ذخیره ساز انرژی

ذخیره ساز انرژی مغناطیسی ابرسانا

Energy storage

Superconducting Magnetic Energy Storage (SMES)

ر

راکتور سری سوئیچ شده با تریستور

راکتور سوئیچ شده با تریستور

راکتور کنترل شده با تریستور

راکتور کنترل شده با تریستور، با خازن ثابت

رکتیفایر / یکسوساز

Thyristor Switched Series Reactor (TSSR)

Thyristor Switched Reactor (TSR)

Thyristor Controlled Reactor (TCR)

TCR - Fixed Capacitor (TCR - FC)

Rectifier

ز

زاویه تاخیر

زاویه تقدم

زاویه قطع ایمن

Delay angle

Angle of advance

Margin angle

س

سرعت کلیدزنی

سیستم AC نامتعادل

سیستم استاتیکی توان راکتیو

سیستم باتری ذخیره انرژی

Switching speed

Unbalanced AC system

Static VAR System (SVS)

Battery Energy Storage System (BESS)

ض

ضریب توان

Power factor

ط

طرح میراکنندگی تشدید زیرسکرون با NGH

NGH - SSR Damping Scheme

ظ

ظرفیت بارگذاری

ظرفیت حرارتی

Loading capacity

Thermal capacity

GTO valve

والو GTO

High speed reclosing

وصل مجدد سریع

Valve voltage

ولتاژ والو

Harmonics

هارمونیک ها

Diode rectifier

یکسوساز دیودی

Silicon Controlled Rectifier (SCR)

یکسوساز کنترل شده با نیمه هادی

Line voltage control

کنترل ولتاژ خط

Control of line / bus voltage

کنترل ولتاژ خط / شینه

Bus voltage control

کنترل ولتاژ شینه

Current - stiff converter

کنورتور جریان پایدار

Line - commutated converter

کنورتور خط جابه جایی

Self - commutated converter

کنورتور خود جابه جایی

Three level converter

کنورتور سه سطحی

PWM converter

کنورتور مدولاسیون عرض باند

Current Sourced Converter (CSC)

کنورتور منبع جریانی

Current - Sourced Converter with turn - off device

کنورتور منبع جریانی با دستگاه قطع

Voltage Sourced Converter (VSC)

کنورتور منبع ولتاژی

Four - level voltage sourced converter

کنورتور منبع ولتاژی چهار سطحی

Forty eight pulse VSC

کنورتور منبع ولتاژی چهل و هشت پالس

Self-commutated current-sourced converter

کنورتور منبع جریانی خود جابه جایی

Thyristor Controlled Voltage Limiter (TCVL)

محدودکننده ولتاژ کنترل شده با تریستور

Pulse Width Modulation (PWM)

مدولاسیون عرض باند

Static VAR Generator (SVG)

مولد استاتیکی توان رآکتیو

Static synchronous generator (SSG)

مولد استاتیکی سنکرون

VAR generator

مولد توان رآکتیو

Damping power oscillation

میرا کردن نوسان توان

NGH Damper

میرا کننده NGH (حروف اختصاری نام مخترع - نارایان جی هینگورانی)

Voltage instability

ناپایداری ولتاژ

Operating Point

نقطه کار / نقطه عمل

واژه نامه انگلیسی - فارسی

A

Active Power Control

کنترل توان آکتیو

Advanced Series Capacitor (ASC)

خازن سری پیشرفته

Angle of advance

زاویه تقدم

Asymmetric GTOs

GTO های ناقص

B

Battery Energy Storage System (BESS)

سیستم باطری ذخیره انرژی

Bus voltage control

کنترل ولتاژ شینه

C

Capacitor for VSC

خازن برای VSC

Combined Contollers

کنترل کننده های ترکیبی

Combined series - series controller

کنترل کننده ترکیبی سری - سری

Combined shunt - series controller

کنترل کننده ترکیبی موازی - سری

Commutation

کمو تاسیون - جابه جایی

Commutation failure

خطای جابه جایی

GTO converter – based PAR	تنظیم کننده زاویه فاز مبتنی بر کنورتور GTO
GTO converter – based voltage regulator	تنظیم کننده ولتاژ مبتنی بر کنورتور GTO
GTO valve	والو GTO
H	
Harmonics	هارمونیک ها
High speed reclosing	وصل مجدد سریع
HVDC	[انتقال نیروی] جریان مستقیم فشار قوی
I	
Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT)	ترانزیستور دوقطبی با دریچه عایق شده
Integrated Gate Commutated Thyristor (IGCT)	تریستور یکپارچه با جابه‌جایی دریچه
Interline Power Flow Controller (IPFC)	کنترل کننده میان خط سیلان توان
Interphase Power Controller (IPC)	کنترل کننده بین فازی توان
Inverter operation	عملکرد متناوب سازی
L	
Line – commutated converter	کنورتور خط جابه‌جایی
Line impedance control	کنترل امپدانس خط
Line voltage control	کنترل ولتاژ خط
Loading capacity	ظرفیت بارگذاری
Losses	تلفات
M	
Margin angle	زاویه قطع ایمن
Mechanically Switched Capacitor – Thyristor Controlled Reactor (MSC-TCR)	خازن با کلیدزنی مکانیکی - راکتور کنترل شده با تریستور
Metal – Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (MOSFET)	ترانزیستور اثر میدانی اکسید فلزی نیمه هادی
MOS Controlled Thyristor (MCT)	تریستور کنترل شده با MOS
MOS Turn – off Thyristor (MTO)	تریستور با قطع MOS

Control of active and reactive power	کنترل توان اکتیو و راکتیو
Control of line impedance	کنترل امپدانس خط
Control of line / bus voltage	کنترل ولتاژ خط / شینه
Control of phase angle	کنترل زاویه فاز
Control of series voltage injection	کنترل تزریق ولتاژ سری
Current – Sourced Converter with turn - off device	کنورتور منبع جریانی با دستگاه قطع
Current – stiff converter	کنورتور جریان پایدار
Current Sourced Converter (CSC)	کنورتور منبع جریانی
D	
Damping power oscillation	میرا کردن نوسان توان
DC storage capacitor	خازن ذخیره dc
Delay angle	زاویه تاخیر
Diode rectifier	یکسوساز دیودی
Dynamic brake	ترمز دینامیکی
Dynamic stability	پایداری دینامیکی
E	
Emitter Turn – off Thyristor (ETO)	تریستور با قطع امیتر
Energy storage	ذخیره ساز انرژی
F	
FACTS controllers	کنترل کننده های FACTS
Forty eight pulse VSC	کنورتور منبع ولتاژی چهل و هشت پالسه
Forward voltage drop	افت ولتاژ مستقیم
Four – level voltage sourced converter	کنورتور منبع ولتاژی چهار سطحی
G	
Gate – Commutated Thyristor (GCT)	تریستور با جابه‌جایی دریچه
Gate Controlled Series Capacitor (GCSC)	خازن سری با کنترل دریچه
Gate Turn – Off Thyristor (GTO)	تریستور با قطع دریچه

Series capacitor protection	حفاظت خازن سری
Series compensation	جبران سازی سری
Series compensator	جبران ساز سری
Series controller	کنترل کننده سری
Series voltage injection	تزریق ولتاژ سری
Shunt compensation	جبران سازی موازی
Shunt compensator	جبران ساز موازی
Shunt controller	کنترل کننده موازی
Shunt reactive compensation	جبران سازی موازی توان راکتیو
Silicon Controlled Rectifier (SCR)	یکسوساز کنترل شده با نیمه هادی
Six - pulse operation	عملکرد شش پالسه
Soft - switching	کلیدزنی نرم
SSR mode	حالت تشدید زیر سنکرون
Stability	پایداری
STATCOM	جبران ساز استاتیکی
Static shunt compensator	جبران ساز استاتیکی موازی
Static synchronous compensator	جبران ساز استاتیکی سنکرون
Static synchronous generator (SSG)	مولد استاتیکی سنکرون
Static Synchronous Series Compensator (SSSC)	جبران ساز استاتیکی سنکرون سری
Static VAR Absorber	جذب کننده استاتیکی توان راکتیو
Static VAR Compensator (SVC)	جبران ساز استاتیکی توان راکتیو
Static VAR Generator (SVG)	مولد استاتیکی توان راکتیو
Static VAR System (SVS)	سیستم استاتیکی توان راکتیو
Static Voltage Regulator (SVR)	تنظیم کننده استاتیکی ولتاژ
Subsynchronous Resonance (SSR)	تشدید زیرسنکرون
Superconducting Magnetic Energy Storage (SMES)	ذخیره ساز انرژی مغناطیسی ابررسانا
Switching speed	سرعت کلیدزنی

N	
NGH Damper	میرا کننده (حروف اختصاری نام مخترع - نارایان جی هینگورانی)
NGH - SSR Damping Scheme	طرح میراکنندگی تشدید زیرسنکرون با NGH
O	
Operating Point	نقطه کار / نقطه عمل
P	
Phase - leg	پایه فاز
Phase angle control	کنترل زاویه فاز
Phase angle regulation	تنظیم زاویه فاز
Phase Angle Regulator (PAR)	تنظیم کننده زاویه فاز
Power Electronic Building Block (PEBB)	جزء اصلی الکترونیک قدرت
Power factor	ضریب توان
Power flow Controller	کنترل کننده سیلان توان
Power semiconductor Device	دستگاه نیمه هادی قدرت
Protection	حفاظت
Pulse Width Modulation (PWM)	مدولاسیون عرض باند
PWM converter	کنورتور مدولاسیون عرض باند
Q	
Quadrature Booster	تقویت کننده نود درجه
R	
Reactive power control	کنترل توان راکتیو
Rectifier	رکتیفایر / یکسوساز
S	
Self - commutated converter	کنورتور خود جابه‌جایی
Self-commutated current-sourced converter	کنورتور منبع جریانی خود جابه‌جایی
Series capacitor compensation	جبران سازی با خازن سری

V

alve voltage	ولتاژ والو
VAR generator	مولد توان راکتیو
VAR Reserve Control	کنترل کننده توان راکتیو رزرو
Voltage instability	ناپایداری ولتاژ
Voltage Sourced Converter (VSC)	کنورتور منبع ولتاژی

T

Tap Changer	تپ چنجر / تغییر دهنده تپ
TCR – Fixed Capacitor (TCR – FC)	TCR با خازن ثابت
Thermal capacity	ظرفیت حرارتی
Three level converter	کنورتور سه سطحی
Thyristor	تریستور
Thyristor Controlled Series Capacitor (TCSC)	خازن سری کنترل شده با تریستور
Thyristor Controlled Breaking Resistor (TCBR)	ترمز مقاومتی کنترل شده با تریستور
Thyristor Controlled Phase Angle Regulator (TCPAR, TCPAR)	تنظیم کننده زاویه فاز کنترل شده با تریستور
Thyristor Controlled Phase Shifting Transformer (TCPST)	ترانسفورماتور جابه‌جا کننده فاز کنترل شده با تریستور
Thyristor Controlled Reactor (TCR)	راکتور کنترل شده با تریستور
Thyristor Controlled Voltage Limiter (TCVL)	محدود کننده ولتاژ کنترل شده با تریستور
Thyristor Controlled Voltage Regulator (TCVR)	تنظیم کننده ولتاژ کنترل شده با تریستور
Thyristor switch	کلید تریستوری
Thyristor switched breaking resistor (TSBR)	ترمز مقاومتی سوئیچ شده با تریستور
Thyristor Switched Capacitor (TSC)	خازن سوئیچ شده با تریستور
Thyristor Switched Reactor (TSR)	راکتور سوئیچ شده با تریستور
Thyristor Switched Series Capacitor (TSSC)	خازن سری سوئیچ شده با تریستور
Thyristor Switched Series Reactor (TSSR)	راکتور سری سوئیچ شده با تریستور
Thyristor tap changer	تپ چنجر تریستوری
Transient stability	پایداری گذرا
Twelve – pulse operation	عملکرد دوازده پالس

U

Unbalanced AC system	سیستم AC نامتعادل
Unified Power Flow Controller (UPFC)	کنترل کننده یکپارچه سیلان توان