

مقایسه عملکرد ادوات Custom Power جهت بهبود کیفیت توان در شبکه های صنعتی

رضا نوروزیان^{***} گنورگ قره پتیان^{*} مهرداد عابدی^{*} سید حمید فتحی^{*}

قطب علمی قدرت - دانشکده مهندسی برق - دانشگاه صنعتی امیرکبیر^{*}

گروه مطالعات مهندسی توزیع - شرکت برق منطقه ای تهران^{**}

noroozian@cic.aut.ac.ir

واژه های کلیدی: کیفیت برق، شبکه توزیع، Custom Power، D-STATCOM، DVR، UPQC.

چکیده

امروزه یکی از این روش ها بهسازی کیفیت برق، تکنولوژی جدیدی تحت عنوان ادوات Custom Power است. در این مقاله یک شبکه توزیع صنعتی نمونه جهت مطالعات کیفیت توان انتخاب شده و سپس نتایج شبیه سازی در فیدر مذکور با بکارگیری ادوات Custom Power در حالت های مختلف ارائه می شوند و در هر یک از حالت ها عملکرد ادوات DVR، D-STATCOM و UPQC مورد بررسی و مقایسه قرار می گیرند. در انتها تجهیز مناسب و قابلیت های هر یک از این ادوات برای پالایش آلودگی های کیفیت توان پیشنهاد می شود.

۱- مقدمه

طبیعت متغیر بارهای مشترکین در سالهای اخیر بطور قابل ملاحظه ای توقعات مشترکین را برای داشتن کیفیت بهتر و قابلیت اطمینان بیشتر افزایش داده است. وقوع وقفه های موقتی، اغتشاشات ولتاژ یا اغوجاجات شکل موجی که تا چند سال پیش بی اهمیت محسوب می شد هم اکنون برای بارهای مدرن امروزی نقش مخربی را ایفا می نمایند. مهندسین توزیع با مسئولیت نسبتاً سنگینی روبرو هستند از این جهت که آنها بایستی سیستم توزیعی طراحی یا انتخاب نمایند که نه تنها برطرف کننده نیازهای مشترکین امروز باشد بلکه توانایی برآورده نمودن تقاضاهای سالهای آینده را نیز داشته باشد. استفاده از تجهیزات بهساز چه سنتی [۱] و چه پیشرفته (ادوات Custom Power) [۲] و [۳] ممکن است در سیستم های شعاعی (دارای بارهای حساس و غیرخطی و با فیدرهای طولانی) برای دسترسی به کیفیت بهتر لازم گردد. مهندسین توزیع بایستی با در نظر قرار دادن ساختارهای موجود، قابلیت و توانایی این ادوات را در جهت یک تأمین توان پاک برای شبکه های توزیع در نظر بگیرند. در این نوشتار برای مقایسه و ارزیابی عملکرد ادوات Custom Power در شبکه های توزیع رفتار آنها در فیدرهای شعاعی بررسی شده است چون فیدرهای شعاعی بدترین معماری و رده را از لحاظ کیفیت توان دارند [۴].

۲- معرفی ادوات بهساز

از آنجائیکه گسترش آلودگی های کیفیت برق در آینده می تواند مشکلات زیادی را بوجود آورد. بنابراین اعمال راهکارهای برای پیشگیری و اصلاح شبکه بسیار ضروری و فوری است. در حله اول تغییر ساختار شبکه، اصلاح و بهینه سازی شبکه و بهره برداری مناسب، راه حل های منطقی بنظر می رسند. ولی بطور کلی می توان برای پالایش آلودگی های کیفیت توان سه راه حل ارائه داد [۵]:

- حذف یا بهبود منابع اغتشاش،
- حذف یا اصلاح مسیرهایی که رابط منابع اغتشاش هستند

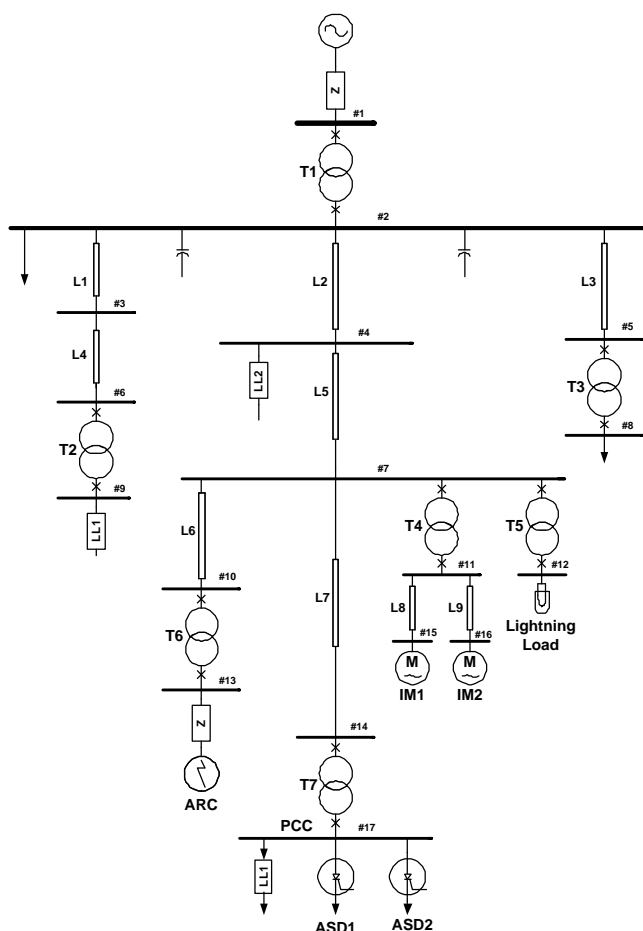
■ استفاده از ادوات بهساز.

معمولاً برای انتخاب هر یک از روشهای ارائه شده باید مطالعات دقیقی صورت گیرد تا بتوان به راه حل مفید، موثر و بهینه رسید که هم از نظر فنی و هم از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد. این مطالعات باید با همکاری شرکت های برق و مشترکین صورت گیرد تا توان با کیفیت مطلوب به مشترکین تحویل داده شود. اگرچه گزینه استفاده از ادوات Custom Power بهترین راه حل برای بسیاری از مسائل شبکه می باشد [۱، ۲، ۳، ۴] ولی ممکن است از نظر اقتصادی استفاده از آنها امکان پذیر نباشد. این تجهیزات برای رفع مشکلات مربوط به کمبود ولتاژ (Sag)، کاهش ولتاژ، قطع ناگهانی، نوسانات ولتاژ (فلیکر) و جبران سازی هارمونیک و توان راکتیو مناسب به نظر می رسند. عموماً تکنولوژی ها و ادوات زیر برای حل مسائل کیفیت توان وجود دارند:

- D-STATCOM (Distribution STATic COMPensator)
- DVR (Dynamic Voltage Restore)
- UPQC (Unified Power Quality Conditioner)

۳- معرفی شبکه نمونه

شکل (۱) نمایش دهنده دیاگرام تک خطی شبکه توزیع صنعتی انتخابی است. این شبکه در نرم افزار PSCAD/EMTDC شبیه سازی شده است [۶ و ۷]. تغذیه سیستم در شبکه با مدار معادل سیستم در در سطح ولتاژ ۶۳ کیلو ولت و با استفاده از راکتانس اتصال کوتاه در پست بالادست مدل شده است.



شکل (۱) دیاگرام نمونه فیدر صنعتی شبکه توزیع

به این سیستم‌ها با توجه به خصوصیات مربوطه یک مجموعه از بارهای غیرخطی، خطی و حساس وصل شده‌اند و اثرات آنها در ایجاد اغتشاشات کیفیت توان بررسی شده‌اند. در جبران سازی اغتشاشات با استفاده از ادوات Custom Power، یکسری اغتشاش در طرف مصرف کننده (روی جریان بار) مدل می‌شود و اغتشاشات دیگری در طرف فشار متوسط باس توزیع (۲۰ کیلو ولت) مدل می‌گردد. این باس، بارهای موتور، غیر خطی و خطی را تغذیه می‌کند. اتصال کوتاه‌های سه فاز، تکفاز و دو فاز بهم جهت ایجاد sag و swell ولتاژ در طرف فشار متوسط (۲۰ کیلو ولت) به شبکه نمونه اعمال می‌شود. همچنین برای مدل کردن sag ولتاژ طولانی مدت می‌توان از راه اندازی موتور القایی استفاده نمود. نتایج شبیه سازی در فیدر مذکور با بکارگیری ادوات Custom Power در حالت‌های مختلف ارائه می‌شوند و در هر یک از حالت‌ها عملکرد ادوات DVR، D-STATCOM و UPQC مورد بررسی و مقایسه قرار می‌گیرند. در مورد مدل بارهای بکارگرفته شده در هر یک از فیدرها و اطلاعات استفاده شده به پیوست (الف) مراجعه شود.

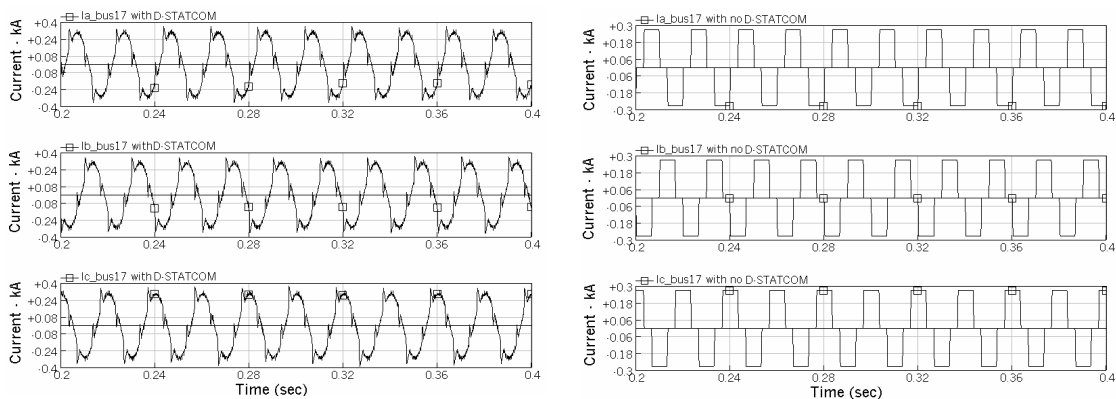
۴- بررسی شبیه سازی‌ها در فیدر صنعتی

۴-۱- اثر کارکرد D-STATCOM در فیدر صنعتی

عنصر بهساز D-STATCOM به باس (۵) شبکه نمونه بطور موازی نصب شده است. حالت‌های مختلف شبیه سازی شده در ذیل آورده شده است. چون هدف از بکارگیری D-STATCOM بهساز بار مشترکین است از اینرو این وسیله در سر بار مشترکین (طرف ۴۰۰ ولت) نصب شده است. روش کنترلی انتخابی در [۸] ارایه شده است.

حالت ۱: بهسازی اعوجاج هارمونیک و کمبود توان راکتیو

شکل موج سه فاز جریان‌های بار در باس PCC (باس ۱۷ در شکل (۱)) قبل از بهسازی در شکل (۲) نمایش داده شده است. در این حالت جریان بار دارای اعوجاج هارمونیک است و تقاضای توان راکتیو از شبکه دارد. شکل (۳) جریان سه فاز باس PCC را بعد از عملکرد D-STATCOM نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۳)، با فعال شدن D-STATCOM تمام مولفه‌های هارمونیک و کمبود توان راکتیو جبران سازی شده‌اند.



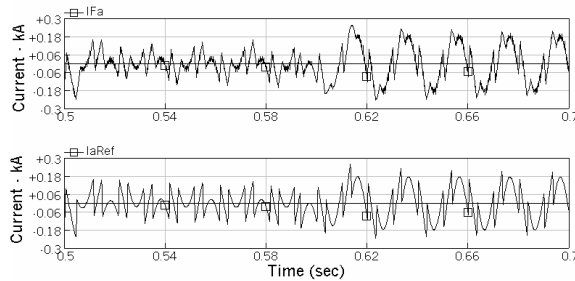
شکل (۳) جریان در باس PCC با حضور D-STATCOM

شکل (۲) جریان در باس PCC بدون حضور D-STATCOM

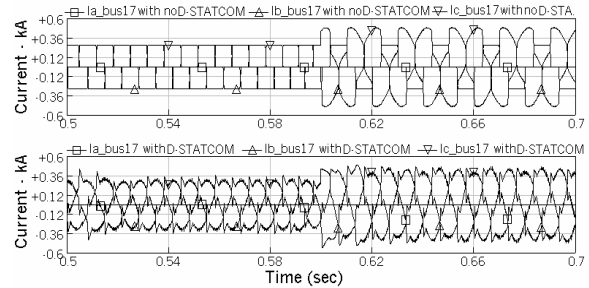
حالت ۲: بهسازی اعوجاج هارمونیک، کمبود توان راکتیو و عدم تعادل

شکل موج سه فاز جریان‌های بار در باس PCC قبل و بعد از بهسازی در شکل (۴) نشان داده شده است. در این حالت بار ۱۶ اهمی بر سر بار تریستوری بین فازهای a و b جهت ایجاد نامتعادلی شبیه سازی شده است. جریان بار دارای اغتشاش هارمونیک، نامتعادلی و کمبود توان راکتیو است. با توجه به شکل (۴)، با فعال شدن D-STATCOM جبران سازی بطور مطلوب انجام شده است و جریان سینوسی متعادل از باس توزیع کشیده شده است. در این حالت جریان بار در $t = 0.3$ تغییر ناگهانی می‌کند. همانطور که ملاحظه می‌شود عملکرد دینامیکی D-STATCOM به تغییرات ناگهانی بار در شکل (۴) قابل توجه است. همچنین دیده می‌شود که جریان سه

فاز متعادل سینوسی از باس توزیع کشیده می شود. شکل (۵) جریان فاز a را که توسط مبدل D-STATCOM تولید شده همراه با جریان مرجع تولیدی فاز a که توسط مدار کنترلی تولید شده مقایسه می کند. مطابق شکل (۵)، مشاهده می شود هارمونیک های جریان نامتعادلی و جریان توان راکتیو لحظه ای در جریان های تزریقی و مرجع ظاهر شده اند و هر دو جریان بطور مشابه تغییرات را دنبال می کند. بنابراین مدار کنترلی استفاده شده صحیح کار می کند.



شکل (۵) جریان تزریقی فاز a قسمت موازی D-STATCOM همراه با جریان مرجع تولیدی توسط مدار کنترلی



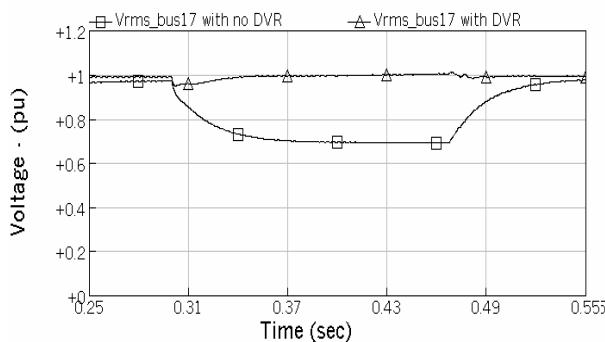
شکل (۴) جریان لحظه ای سیستم بدون و با حضور D-STATCOM

۴-۲- اثر کارکرد DVR در فیدر صنعتی

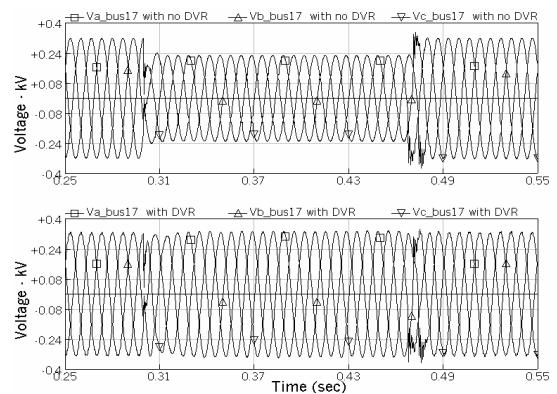
عنصر بهساز DVR در باس (۱۴) در شبکه توزیع شکل (۱) نصب شده است. حالت های مختلف شبیه سازی در ذیل آورده شده است. چون هدف از بکارگیری DVR بهسازی شبکه است از اینرو در طرف شبکه (طرف ۲۰ کیلو ولت) بطور سری نصب شده است. از طرفی اثر آلودگی های کیفیت توان ناشی از شبکه نیز در طرف ۲۰ کیلوولت بیشتر است. روش کنترلی انتخابی در [۸] مطرح شده است.

حالت ۱: آلودگی کیفیت توان ناشی از اتصال کوتاه سفاز به زمین

شکل (۶) شکل موج ولتاژهای سه فاز باس ۱۴ (انتهای خط ۷) در فیدر صنعتی را قبل و بعد از بهسازی (برای اتصال کوتاه سه فاز به زمین) نشان می دهد. شکل (۷) پریونیت ولتاژ شبکه را قبل و بعد از بهسازی نشان می دهد. با توجه به شکل های (۶) و (۷) با بروز اتصال کوتاه سه فاز به زمین (در سطح ولتاژ ۲۰ کیلوولت) در باس ۶ (انتهای خط ۴)، کمبود ولتاژ بیشتر از ۳۵ درصد می باشد. DVR توانسته است با اضافه کردن ولتاژ سنکرون به ولتاژ باس عمل بهسازی را انجام دهد و ولتاژ تا ۹۹٪ بهبود یافته که طبق استاندارد مقدار مطلوبی است. با بروز اتصال کوتاه سه فاز به زمین در سطح ولتاژ ۶۳ کیلوولت، کمبود ولتاژ بیشتر از ۲۰ درصد می باشد. باز DVR توانسته است عمل بهسازی را بصورت مطلوب انجام می دهد. در این حالت شکل (۸) شکل موج ولتاژهای سه فاز باس ۱۴ (انتهای خط ۷) در فیدر صنعتی قبل و بعد از بهسازی را برای اتصال کوتاه سه فاز به زمین نشان می دهد.



شکل (۷) مقدار موثر ولتاژ قبل و بعد از جبران سازی توسط DVR

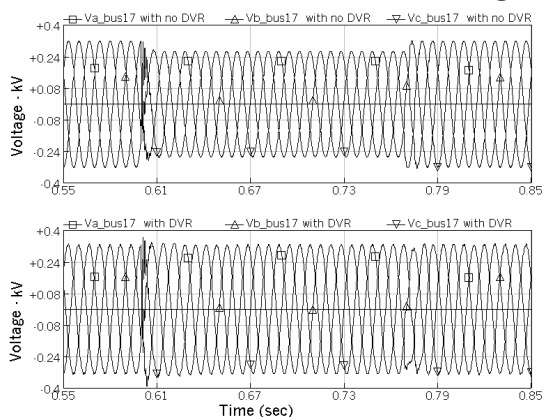


شکل (۶) جبران سازی کمبود ولتاژ ناشی از اتصال

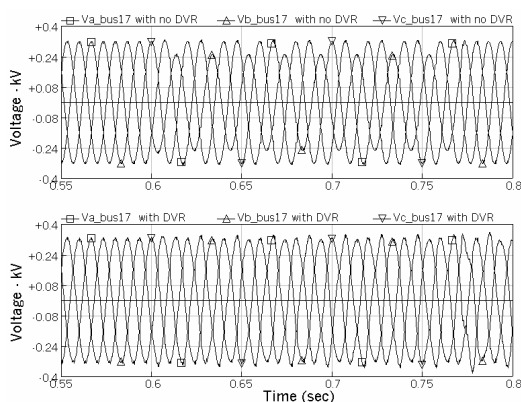
کوتاه سه فاز به زمین توسط DVR

حالت ۲: کمبود ولتاژ ناشی از اتصال کوتاه تکفاز به زمین

در این حالت فرض شده است که اتصال کوتاه تکفاز به زمین (در سطح ولتاژ ۲۰ کیلوولت) در شین (۶) و در فاز a در لحظه $t = 0.3$ رخ می‌دهد. وقوع این اتصال کوتاه نامتقارن، باعث ایجاد کمبود ولتاژ در فاز a و بیشبود در فازهای دیگر می‌گردد. شکل (۹) شکل موج ولتاژهای سه فاز را قبل و بعد از بهسازی نشان می‌دهد. همچنین، شکل‌های (۱۰) شکل موج ولتاژهای سه فاز را برای اتصال کوتاه تکفاز به زمین (در طرف ۶۳ کیلوولت) قبل و بعد از بهسازی نشان می‌دهند. با توجه به شکل‌های مذکور DVR به سرعت، کمبودها و بیشبود روی ولتاژ فازها را اصلاح کرده است.

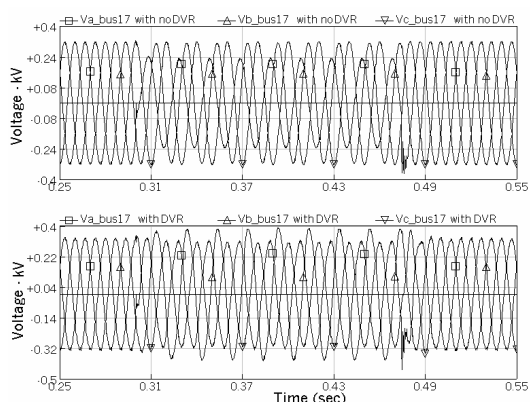


شکل (۸) جبرانسازی کمبود ولتاژ ناشی از اتصال کوتاه سه فاز (۶۳) به زمین توسط DVR



شکل (۹) جبرانسازی کمبود و بیشبود ولتاژ ناشی از اتصال

کوتاه تک فاز به زمین

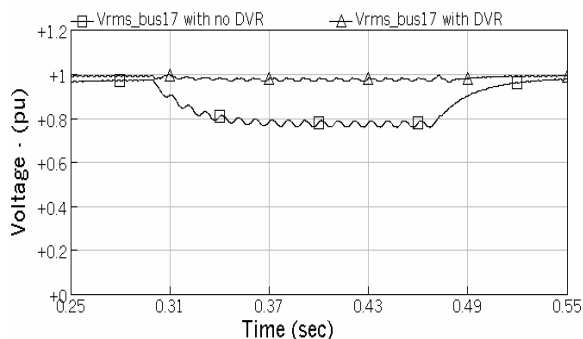


شکل (۱۰) جبرانسازی کمبود و بیشبود ولتاژ ناشی از اتصال

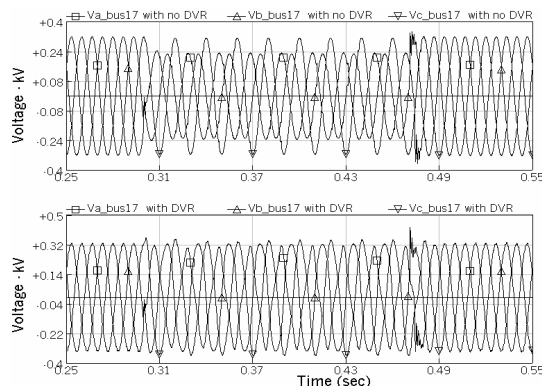
کوتاه تک فاز به زمین

حالت ۳: کمبود ولتاژ ناشی از اتصال دوفاز به زمین

شکل (۱۱) شکل موج ولتاژهای سه فاز و شکل (۱۲) مقدار موثر ولتاژ شبکه را قبل و بعد از بهسازی نشان می‌دهد.



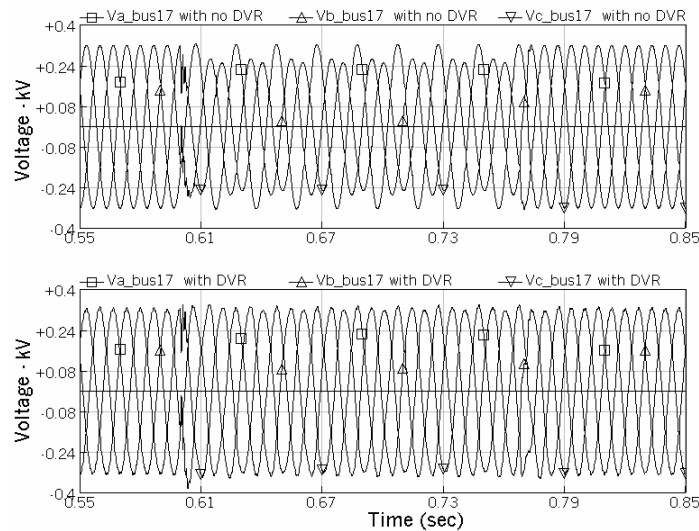
شکل (۱۱) جبرانسازی کمبود و بیشبود ولتاژ ناشی از اتصال کوتاه دو فاز به زمین



شکل (۱۲) مقدار موثر ولتاژ قبل و بعد از جبرانسازی توسط DVR

اتصال کوتاه دو فاز به زمین

در این حالت اتصال کوتاه دوفاز به زمین در شین (۶) و در فاز a و b در لحظه $t = 0.3$ رخ می‌دهد. وقوع این اتصال کوتاه نامتقارن، باعث ایجاد کمبود ولتاژ در حدود ۲۰ درصد و بیشبود در حدود ۱۰ درصد می‌گردد. برای اتصال کوتاه دوفاز بهم در سطح ولتاژ ۶۳ کیلوولت شکل موجهای (۱۳) شکل موج ولتاژهای سه فاز شبکه را قبل و بعد از بهسازی نشان می‌دهند. با توجه به شکل‌های (۱۱)، (۱۲)، (۱۳) DVR به سرعت، کمبودها و بیشبود روی ولتاژها را بهسازی کرده است.



شکل (۱۳) کمبود و بیشبود ولتاژ ناشی از اتصال کوتاه دو فاز به زمین

۴-۳- اثر کارکرد UPQC در فیدر صنعتی

عنصر بهساز UPQC در بین باس (۱۷) و باس (۱۸) شبکه توزیع صنعتی نمونه نصب شده است. حالت‌های مختلف شبیه‌سازی در ذیل آورده شده است. روش کنترلی انتخابی در [۸] مطرح شده است.

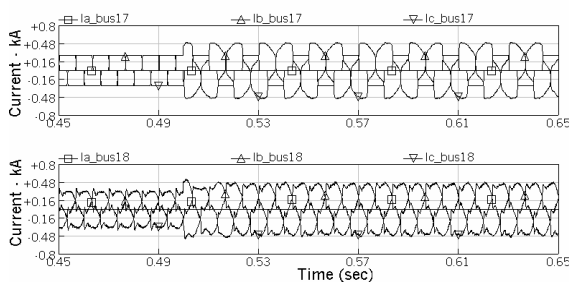
حالت ۱: بهسازی اعوجاج هارمونیک و توان راکتیو

شکل موج سه‌فاز جریان‌های بار در باس (۱۷) و باس (۱۸) بترتیب قبل و بعد از بهسازی در شکل (۱۴) نشان داده شده‌اند. در این حالت جریان بار تقاضای توان راکتیو جهت تصحیح ضریب قدرت دارد و آلوده به هارمونیک‌هاست. با توجه به شکل (۱۴)، با حضور UPQC تمام مولفه‌های هارمونیک توسط شاخه موازی UPQC، جبران‌سازی شده و جریان سینوسی متعادل از باس توزیع کشیده می‌شود.

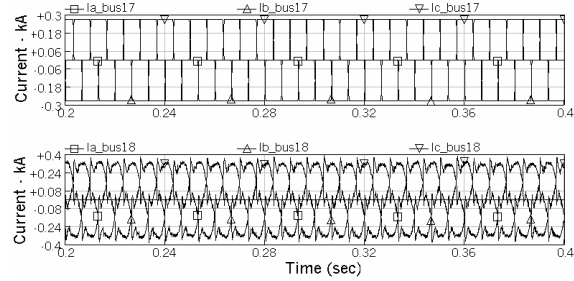
حالت ۲: بهسازی اعوجاج هارمونیک، توان راکتیو و عدم تعادل

در این حالت بار ۲/۵ اهمی بر سر بار تریستوری بین فازهای a و b جهت ایجاد نامتعادلی شبیه‌سازی شده است. جریان بار دارای اغتشاش هارمونیک، نامتعادلی و متقاضی توان راکتیو جهت تصحیح ضریب قدرت است. شکل (۱۵) جریان سه فاز باس (۱۷) و باس (۱۸) را قبل و بعد از حضور UPQC نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۱۵)، با فعال شدن UPQC آلودگی‌های موجود در جریان بار و نامتعادلی توسط قسمت موازی UPQC، تا حدود زیادی جبران‌سازی شده‌اند و جریان متعادل از باس توزیع کشیده شده است. یکی دیگر از قابلیت‌های مدار کنترلی پیشنهادی توانائی آن در تطبیق پارامترهای خود و خروجی مبدل با تغییرات بار است. با توجه به شکل (۱۵)، در $t = 0.3$ s بار سه فاز (ASD) وارد مدار می‌شود و دامنه جریان بار زیاد می‌شود. به تبع آن مدار کنترلی بر حسب شرایط جدید بار عکس‌العمل نشان داده جریان بار را اصلاح می‌کند. همانطور که ملاحظه می‌شود عملکرد دینامیکی UPQC به تغییرات ناگهانی بار در شکل (۱۵) قابل توجه است. همچنین دیده می‌شود که جریان سه فاز متعادل از باس توزیع کشیده می‌شود. شکل (۱۶) جریان تغذیه به فاز c را که توسط مبدل موازی UPQC تولید شده همراه با جریان مرجع تولیدی فاز c که توسط مدار کنترلی قسمت موازی UPQC تولید شده مقایسه می‌کند. مطابق شکل (۱۶)، مشاهده می‌شود هارمونیک‌های جریان و جریان توان راکتیو لحظه‌ای در جریان‌های تزریقی

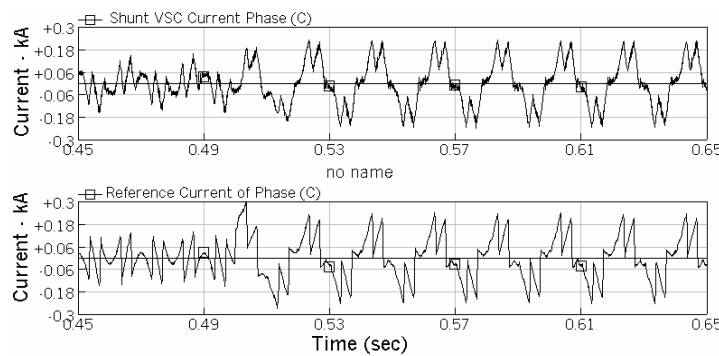
و مرجع ظاهر شده‌اند. همچنین بعلت تغییرات دینامیکی جریان بار در این حالت جریان مدار کنترلی و نیز جریان تزریقی بسرعت تغییر کرده است. هر دو جریان بطور مشابه تغییرات را دنبال می‌کند. بنابراین مدار کنترلی استفاده شده صحیح کار می‌کند.



شکل (۱۵) جریان‌های لحظه‌ای سیستم بدون حضور UPQC



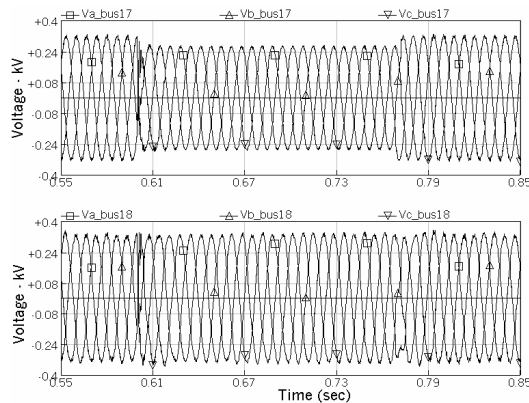
شکل (۱۴) جریان در باس PCC بدون و با حضور UPQC



شکل (۱۶) جریان تزریقی فاز C قسمت موازی UPQC همراه با جریان مرجع تولیدی توسط مدار کنترلی

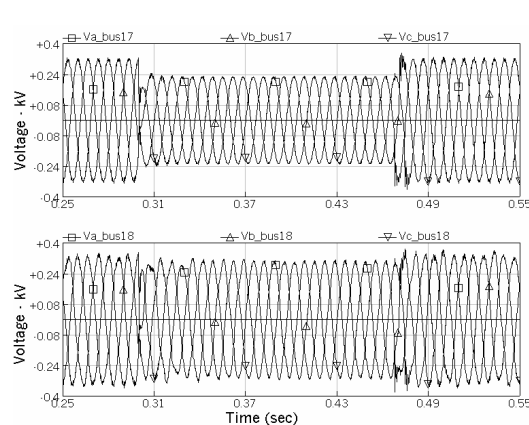
حالت ۳: کمبود ولتاژ ناشی از اتصال سفاز

شکل (۱۷) شکل موج ولتاژهای سه فاز باس (۱۷) و باس (۱۸) قبل و بعد از عملکرد UPQC را برای اتصال کوتاه سه فاز به زمین (در طرف ۲۰ کیلوولت در باس ۶) نمایش می‌دهد. همچنین، شکل (۱۸) شکل موج ولتاژهای سه فاز باس (۱۷) و باس (۱۸) قبل و بعد از عملکرد UPQC را برای اتصال کوتاه سفاز (در طرف ۶۳ کیلوولت) نشان می‌دهد. با توجه به شکل‌های مذکور با وقوع اتصال کوتاه در باس (۶)، کمبود ولتاژ بیشتر از ۲۰ درصد می‌باشد. قسمت سری UPQC با اضافه کردن ولتاژ سنکرون به ولتاژ باس، عمل بهسازی را انجام می‌دهد و ولتاژ سینوسی متعادل به بار تحویل داده می‌شود.



شکل (۱۸) جبران‌سازی کمبود ولتاژ ناشی از اتصال کوتاه

سه فاز به زمین: (۶۳)

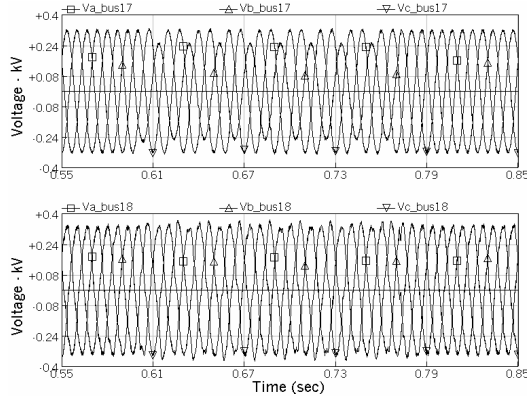


شکل (۱۷) جبران‌سازی کمبود ولتاژ ناشی از اتصال کوتاه

سه فاز به زمین

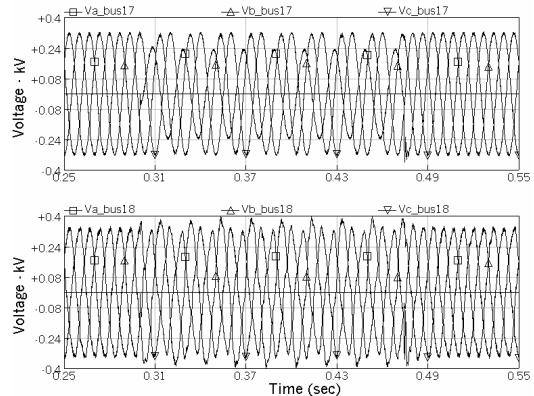
حالت ۴: کمبود و بیشبود ولتاژ ناشی از اتصال تک فاز

در اینجا فرض بر این است که اتصال کوتاه تک فاز به زمین در شین (۶) و در فاز a در لحظه $t = 0.3$ رخ می دهد. وقوع این اتصال کوتاه نامتقارن، باعث ایجاد کمبود ولتاژ در فاز a و بیشبود در فازهای دیگر می گردد. نتایج حاصل از شبیه سازی در شکل (۱۹) نشان داده شده است. با توجه به شکل (۱۹) UPQC به سرعت، اغتشاش ایجاد شده را برطرف نموده و کمبودها و بیشبودهای ولتاژ را اصلاح می کند. شکل (۲۰) شکل موج ولتاژهای سه فاز باس (۱۷) و باس (۱۸) را قبل و بعد از حضور UPQC برای اتصال کوتاه تکفاز (در طرف ۶۳ کیلوولت) نشان می دهد. با توجه به شکل (۲۰) نا متعادلی ولتاژ با حضور UPQC بر طرف شده است.



شکل (۲۰) ولتاژهای بهسازی قسمت سری UPQC

در اتصال کوتاه تکفاز

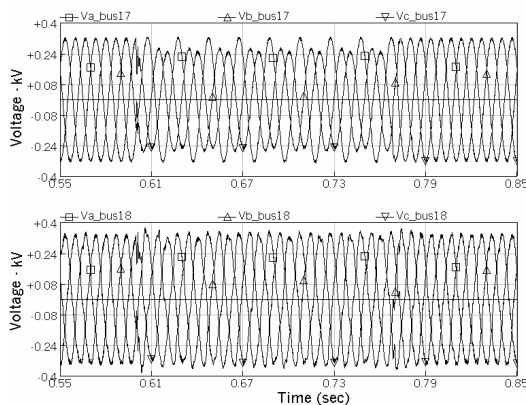


شکل (۱۹) جبران سازی کمبود و بیشبود ولتاژ ناشی

از اتصال کوتاه تک فاز به زمین

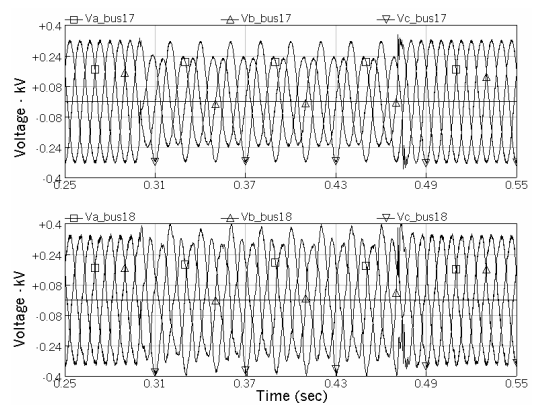
حالت ۵: کمبود ولتاژ ناشی از اتصال کوتاه فاز به فاز

در این حالت، اتصال کوتاه دو فاز به زمین در شین (۶) و در فاز a و b در لحظه $t = 0.3$ رخ می دهد. وقوع این اتصال کوتاه نامتقارن، باعث ایجاد کمبود ولتاژ در فاز a و بیشبود در فازهای دیگر می گردد. نتایج حاصل از شبیه سازی در شکل (۲۱) نشان داده شده است. با توجه به شکل (۲۱) UPQC به سرعت، اغتشاش ایجاد شده را برطرف نموده و نامتعادلی، کمبودها و بیشبودهای ولتاژ را بهسازی می کند. شکل (۲۲) شکل موج ولتاژهای سه فاز باس (۱۷) و باس (۱۸) قبل و بعد از حضور UPQC را برای اتصال کوتاه دو فاز (در طرف ۶۳ کیلوولت) نشان می دهد. با توجه به شکل (۲۲) نا متعادلی ولتاژ با حضور UPQC بر طرف شده است.



شکل (۲۲) بهسازی ولتاژ توسط UPQC در اتصال

کوتاه دو فاز بهم



شکل (۲۱) بهسازی ولتاژ توسط UPQC در اتصال

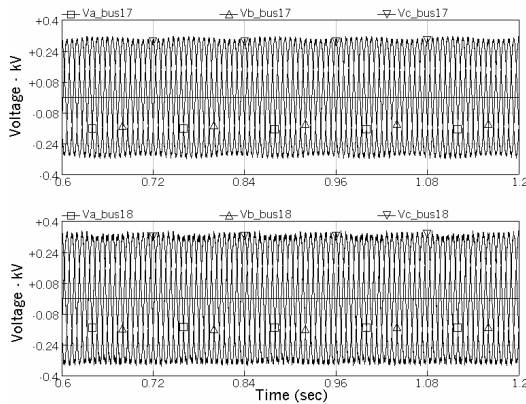
کوتاه دو فاز بهم

حالت ۶: کمبود ولتاژ ناشی از راه اندازی موتور القایی بزرگ

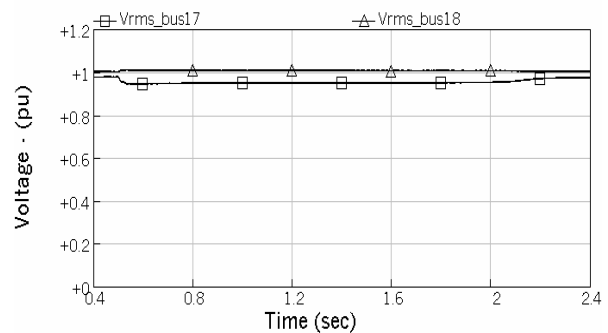
برای ایجاد Sag ولتاژ ناشی از راه اندازی موتورهای القایی دو موتور در باس (۱۵) و (۱۶) در لحظه $t = 0.5s$ بطور همزمان راه اندازی می شوند. ولتاژ باس (۱۷) و ولتاژ باس (۱۸) در شکل (۲۳) نشان داده شده است. با توجه به شکل مذکور وضعیت پروفیل ولتاژ در باس اصلی موتور خوب نبوده و به یک پریونیت نرسیده است. این کمبود ولتاژ در هر بار راه اندازی، PCC را تحت تأثیر می گذارد. با توجه به شکل پروفیل ولتاژ، با عملکرد UPQC توانسته است بارهای حساس را از یک Sag ولتاژ طولانی مدت حفاظت کند.

حالت ۷: جبران سازی فیلکر ولتاژ

در این مرحله، کوره قوس الکتریکی وارد مدار می شود. با توجه به ماهیت غیرخطی کوره، ولتاژ باس (۱۳) دارای نوسانات ولتاژ و فیلکر در ولتاژ است. این فیلکر، به باس PCC منتقل شده است. مقدار این نوسانات در حدود ۲۰ درصد و فرکانس فیلکر آن ۸/۸ هرتز است. شکل موج های ولتاژ باس (۱۷) و باس (۱۸) به ترتیب قبل و بعد از جبران سازی در شکل (۲۴) نشان داده شده است. همانطور که از این شکل های دیده می شود با حضور UPQC ولتاژ باس PCC دارای دامنه ثابت شده است.



شکل (۲۴) شکل موج های سه فاز باس PCC قبل و بعد از جبران سازی



شکل (۲۳) ولتاژ باس PCC قبل و بعد از بهسازی توسط UPQC

۵- نتیجه گیری

بر اساس شبیه سازی انجام شده در این نوشتار می توان نتیجه گرفت که در یک شبکه توزیع با فیذر صنعتی D-STATCOM باعث می شود که جبران سازی اعوجاج هارمونیک، جبران سازی توان راکتیو، جبران سازی توانی منفی جریان و بهسازی عدم تعادلی جریان بطور مناسب انجام گردد. عملکرد DVR باعث جبران سازی اعوجاج هارمونیک ولتاژ، بهسازی عدم تعادلی ولتاژ و کمبود و بیشبود ولتاژ می شود. عملکرد UPQC باعث جبران سازی همزمان اعوجاج هارمونیک و بهسازی عدم تعادلی ولتاژ و جریان و بهسازی کمبود و بیشبود، جبران سازی نوسانات ولتاژ (فیلکر) می شود. در مقایسه عملکرد این سه عنصر در فیذر صنعتی می توان گفت که DVR حفاظت از بارهای حساس در مقابل اغتشاشات ولتاژ شبکه مفید است و D-STATCOM حفاظت از شبکه را در مقابل اغتشاشات جریان (بار مشترکین) مفید می باشد و UPQC بهسازی همزمان مشترکین و شبکه را می تواند انجام دهد. با توجه به خاصیت شبکه های توزیع صنعتی استفاده از D-STATCOM برای بهسازی بار در فیذرها با بار غیرخطی پیشنهاد می گردد و استفاده از DVR در سطح توزیع فشار متوسط برای حفاظت بارهای حساس الزامی است. همچنین بکارگیری UPQC برای بهسازی همزمان بار و شبکه در فیذرهایی با بار غیرخطی و حساس توصیه می گردد. نکته قابل توجه در انتخاب تجهیز مناسب، نوع اغتشاش محل اغتشاش و سطح اغتشاش، مقادیر نامی فیذر است. چون بهسازی در محل بار برای مشترکین از اهمیت بسزایی برخوردار است مشکلات ناشی از کیفیت توان مشترکین را می توان با استفاده از D-STATCOM و UPQC کنترل نمود. بنابراین نصب این ادوات در سطح ولتاژ فشار ضعیف (۴۰۰ ولت) مناسب

می باشد. چون بهسازی در محل اغتشاش از انتشار اغتشاش به سطوح دیگر جلوگیری می کند بنابراین مشکلات ناشی از کیفیت توان شبکه را می توان در محل اغتشاش با استفاده از DVR و UPQC کنترل نمود. انتخاب این محل از همه محلها مناسب تر می باشد و بنابراین نصب DVR در سطح ولتاژ (۴۰۰ ولت و ۲۰ کیلوولت) و UPQC در سطح ولتاژ فشار ضعیف (۴۰۰ ولت) پیشنهاد می گردد.

قدردانی و تشکر

این مقاله بخشی از نتایج تحقیقاتی است که بصورت یک پروژ پژوهشی تحت عنوان "بررسی و مقایسه عملکرد تجهیزات Custom Power برای بهبود کیفیت توان در شبکه های توزیع" شرکت برق منطقه ای تهران انجام شده است. نویسندگان مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را از شرکت برق منطقه ای تهران برای حمایت از این پروژه اعلام می نمایند. همچنین از معاونت نظارت بر توزیع جناب آقای مهندس همایون حائری برای ایجاد هماهنگی های لازم جهت جمع آوری اطلاعات شبکه تشکر و قدردانی می گردد.

مراجع

- [1] Shiva Swaminatham, Rajat K.Sen, "Review of Power Quality Application of Energy Storage Systems" Contractor Report, SAND98-1513
- [2] "CUSTOM POWER - STATE OF THE ART", Report by CIGRE WG14.31.
- [3] E. Acha, V.G. Agelidis, O.Anaya-Lara, T.J.E. Miller, "Power Electronic Control in Electrical Systems" MPG Books Ltd., BODMIN, Cornwall, First Published 2002.
- [4] A.P.S. Meliopoulos, J. Kennedy, C.A. Nucci, A. Borghetti, G. Contaxis, "Power distribution practices in USA and Europe: Impact on power quality", Proceedings of 8th IEEE ICHQP, International conference on harmonics and power quality, Athens, 14-16 October 1998.
- [5] J. A. Oliver, R. Lawrence, B. B. Banerjee, "How to Specify Power-Quality-Tolerant Process Equipment" IEEE Industry Applications Magazine, Sept/Oct 2002.
- [6]. D. Woodford, "INTRODUCTION TO PSCAD V3", Manitoba HVDC Research Centre Inc., Canada, Jan 2001.
- [7]. "PSCAD[®]/EMTDC[™] Power System Simulation Software Manual", Manitoba HVDC Research Centre, Manitoba Canada, [Online] Available: <http://pscad.com/>.
- [۸] گزارش نهایی پروژه ۳-۸۱/۳/۱ "بررسی و مقایسه عملکرد تجهیزات Custom Power برای بهبود کیفیت توان در شبکه های توزیع" دفتر تحقیقات و فناوری، شرکت برق منطقه ای تهران.

پیوست الف

جدول (الف-۳) اطلاعات بارهای موتوری

نام خط	طول خط (کیلومتر)	مقاومت (اهم)	راکتانس (اهم)
L1	۱	۰/۱۱۵	۰/۱۰۸
L2	۲	۰/۲۳	۰/۲۱۶
L3	۱	۰/۱۱۵	۰/۱۰۸
L4	۱	۰/۱۱۵	۰/۱۰۸
L5	۲	۰/۲۳	۰/۲۱۶
L6	۰/۵	۰/۰۵۷۵	۰/۰۵۴
L7	۰/۵	۰/۰۵۷۵	۰/۰۵۴
L8	۰/۲	۰/۰۲۳	۰/۰۲۱۶
L9	۰/۲	۰/۰۲۳	۰/۰۲۱۶

جدول (الف-۱) اطلاعات ترانسفورماتورهای

نام ترانسفورماتور	ولتاژ (kV)	مقدار نامی (MVA)	UK (%)
T1	۶۳/۲۰	۳۰	۱۲
T2	۲۰/۰/۴	۰/۶۳	۶
T3	۲۰/۰/۴	۱/۶	۶
T4	۲۰/۶/۳	۱۵	۱۰
T5	۲۰/۰/۴	۱/۵	۶
T6	۲۰/۰/۵	۱۲	۱۰
T7	۲۰/۰/۴	۱/۵	۶

جدول (الف-۴) اطلاعات بار موتوری تنظیم کننده سرعت

نام موتور	ولتاژ (kV)	توان اکتیو (kW)	ضریب قدرت
M3	۰/۴	۱۰۰۰	۰/۹
M4	۰/۴	۱۵۰۰-۱۲۵۰	۰/۹

جدول (الف-۲) اطلاعات خطوط

نام موتور	ولتاژ (kV)	توان اکتیو (kW)	ضریب قدرت
M1	۶/۳	۷۱۰	۰/۸۷
M2	۶/۳	۵۰۰۰	۰/۹

جدول (الف-۵) اطلاعات کوره قوس الکتریکی (ARC)

نام مدل	ولتاژ (kV)	مقدار نامی (MVA)
ARC	۰/۷۰۰	۱۰

جدول (الف-۶) اطلاعات ترانسفورماتورها

نام ترانسفورماتور	ولتاژ (kV)	مقدار نامی (MVA)	UK (%)
T1	۶۳/۲۰	۳۰	۱۲
T2	۲۰/۰/۴	۰/۶۳	۶
T3	۲۰/۰/۴	۱/۵	۶
T4	۲۰/۰/۴	۰/۶۳۰	۶

جدول (الف-۷) اطلاعات خطوط

نام خط	طول خط (کیلومتر)	مقاومت (اهم)	راکتانس (اهم)
L1	۱	۰/۱۱۵	۰/۱۰۸
L2	۲	۰/۲۳	۰/۲۱۶
L3	۰/۵	۰/۰۵۷۵	۰/۰۵۴
L4	۰/۵	۰/۰۵۷۵	۰/۰۵۴
L5	۰/۰۵	۰/۰۰۹	۰/۰۰۳۸۵
L6	۰/۰۵	۰/۰۰۹	۰/۰۰۳۸۵
L7	۰/۰۳	۰/۰۰۵۳۴	۰/۰۰۲۳۱
L8	۰/۰۲	۰/۰۰۳۵۶	۰/۰۰۱۵۴