نشریه علمی-تخصصی
پژوهش های نوین علوم مهندسی
ISSN: 2538-3809
سال هشتم، شماره ۳ (پیاپی: ۴۴)، تابستان ۱۴۰۲(ویژه نامه)

ارائه راهکاری در جهت بهبود کیفیت توان شبکه توزیع برق مترو

مصطفی حدادی[1*]، قاسم رضائی[2]، محمدجواد عظیمی موصلو[3]، علی محمد زارع[4]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۳
کد مقاله: ۱۵۵۰۰

چکـیده

دستگاه‌های الکتریکی و مشترکین آن‌ها همواره با زیان‌های اقتصادی ناشی از اغتشاش در شبکه توزیع مواجه بوده اند.منعطف بودن شبکه به طور چشمگیری انتقاد از قطعی ناشی از از رخدادهای آب و هوایی، اتصال کوتاه و را کاهش می دهد.هدف از این تحقیق ارائه راهکاری در جهت بهبود کیفیت توان شبکه توزیع برق مترو می باشد.این تحقیق از نوع توصیفی-تحلیلی است. این تحقیق با استفاده از نرم افزار PSCAD/EMTDC شبیه سازی شده است. می توان مبدل های AC/DC را به سه دسته کنترل نشده، نیمه کنترل شده و تمام کنترل شده تبدیل کرد به مبدلی که در آن تماما از دیود استفاده شود مبدل کنترل نشده می گویند و به مبدلی که در آن تماما از المان های کنترل شده GTO استفاده شود مبدل تمام کنترل شده می گویند.نتایج تحقیق نشان می دهد که در یک بازه زمانی به صورت فیلتر اکتیو برای جبران توان راکتیو بار متغیر (قطار) عمل می کند و در یک بازه زمانی به صورت اینورتر، برای برگشت انرژی ایجاد شده توسط قطار به شبکه عمل می کند و وضعیت غیر اقتصادی تلف انرژی را از بین می برد.

واژگـان کلـیدی: بهبود کیفیت توان شبکه، توزیع برق مترو، قطار برقی

۱- دانشجوی دانشگاه آزاد واحد زرقان (نویسنده مسئول)
Haddadi18368@gmail.com
۲- دانشجوی دانشگاه آزاد واحد زرقان
۳- دانشجوی دانشگاه آزاد واحد زادشهر
۴- دانشجوی دانشگاه آزاد واحد زرقان

۱- مقدمه

دستگاه های الکتریکی و مشترکین آنها همواره با زبان های اقتصادی ناشی از اغتشاش در شبکه توزیع مواجه بوده اند. قطعی‌های برق به دلیل حوادث طبیعی مانند سیل یا طوفان اهمیت بازیابی به صورت اضطراری شبکه را برجسته کرده است منعطف بودن شبکه به طور چشمگیری انتقاد از قطعی ناشی از از رخدادهای آب و هوایی، اتصال کوتاه و... را کاهش می دهد. در امان ماندن شبکه از آسیب پذیری کامل یکی از نکات مهم شبکه های هوشمند است.(Romero, 2018) خطا در شبکه ی توزیع با یک دامنه و مدت زمان معین سبب افت دینامیکی ولتاژ افزایش دینامیکی ولتاژ و یا قطع دایم مشترک می شود فرآیندهای صنعتی و تجاری به سبب این اتفاقات دچار زیان های مالی قابل توجه برای این مشترکین می گردد.یک روش جدید برای حل مشکل بازیابی مشترکین شبکه ی توزیع استفاده از بهینه سازی پخش بار به منظور حداقل سازی جابجایی بار می باشد. حل این مساله ی غیر خطی بسیار مشکل می باشد، زیرا شبکه های واقعی شعاعی می باشند و از این رو محدودیت های جریان و ولتاژ در آنها را باید در نظر گرفت تمرکز این روش بر بازیابی مشترکینی می باشد که در محل وقوع خطا قرار گرفته اند یکی دیگر از برنامه های بازیابی شبکه استفاده از یک مدل برنامه ی غیر خطی برای نگهداری توالی سوییچ ها در شبکه های توزیع نامتعادل می باشد. هنگامی که تجهیزات حفاظتی یک ناحیه دارای خطا را شناسایی و آن را پاک کند مدل غیر خطی به وسیله ی سوییچ های کنترل از راه دور و واحدهای تولید پراکنده ناحیه ی دارای خطا را تغذیه می کنند.هدف از این تحقیق ارائه راهکاری در جهت بهبود کیفیت توان شبکه توزیع برق مترو می باشد.صفری (۱۴۰۰) با موضوع مشابه تحقیق در مورد تأثیر سیستم منبع تغذیه پست‌های کششی مترو شهری بر کیفیت توان شبکه برق که هم‌زمان با روند توسعه اقتصادی و نوسازی شهری، کشورهای مختلف جهان با مشکل یکسانی روبرو هستند، یعنی با رشد جمعیت شهری، رشد سریع منطقه، حمل‌ونقل زمینی اصلی نمی‌تواند نیاز روزانه روزافزون سفر را برآورده سازد. حمل‌ونقل راه‌آهن شهری یک حمل‌ونقل عمومی ایده آل در شهرهای مدرن است که می‌تواند شرایط سفر شهروندان را برآورده کند. با توسعه سریع حمل‌ونقل مترو شهری، سرعت و راحتی برای ما به ارمغان می‌آید و همچنین تأثیر منفی بر شبکه برق می‌گذارد با توجه به رشد فزاینده استفاده از عناصر غیرخطی، در سامانه‌های توزیع و مصرف صنعت برق مترو و قطارهای شهری، مقدار هارمونیک شکل موج جریان و ولتاژ افزایش‌یافته است. یکی از مهم‌ترین مسائل درزمینه‌ی کیفیت برق اعوجاج هارمونیکی است. مسائل هارمونیکی با بسیاری قوانین معمولی طراحی دستگاه‌های قدرت و عملکرد آن تحت فرکانس اصلی مغایر است که نیاز به تجهیزات پیشرفته برای حل مشکلات به وجود آمده و تجزیه‌وتحلیل آن‌ها است. اهمیت کیفیت توان به دلیل حساسیت بارهای الکتریکی، راندمان سامانه‌های قدرت و افزایش بار است در این پژوهش اثرات نامطلوب سیستم برق مترو بر کیفیت توان برق شهری موردمطالعه قرارگرفته و سعی بر رفع اثرات نامطلوب بر صنعت برق است. (Lei ,2015) از آنجا که استفاده از حمل و نقل برقی همچون راه آهن های برقی،متروها، تراموا‌ها به دلیل مزایایی همچون بازدهی بالا، سهولت استفاده خرابی کمتر قطعات ثابت بودن میزان انرژی خروجی با تغییر شرایط محیطی، عدم آلودگی هوا در محیط زیست در حال گسترش است. از این رو بررسی و تحلیل سیستم تغذیه قطارهای برقی حائز اهمیت است. این سیستم ها می‌توانند جایگزین و یا در کنار شبکه های سراسری برق به کار گرفته شوند در بواسطه فیولسل با دینامیک توسعه یافته باطری و ابر خازن جهت تامین توان اکتیو یک تراموا استفاده کرده اند یا به صورت هیبریدی از این منابع و با مدیریت انرژی آنها در جهت تامین توان مصرفی تراموا برآمده اند. (Gao ,2015) از آنجا که قطارهای برقی در سیستم های ترکشن AC به دلایل تک فاز بودن و تغییرات آنی توان کشیده شده از شبکه مشکلات شدید کیفیت توانی را بوجود خواهند آورد که تا کنون راه حل های بسیاری برای حذف این مشکلات ارائه شده است روش جابجایی فاز به منظور کاربرد در سیستم های ترکشن مورد توسعه قرار گرفته اند که هر سه پست ترکشن مجاور به دو فاز مختلف شبکه ی بالادست متصل می گردند.بدین منظور تحقیق حاضر به دنبال ارائه راهکاری در جهت بهبود کیفیت توان شبکه توزیع برق مترو بود.

۲- روش و طرح تحقیق

این تحقیق از نوع توصیفی–تحلیلی می باشد. این تحقیق با استفاده از نرم افزار PSCAD/EMTDC شبیه سازی شده است. می توان مبدل های AC/DC را به سه دسته کنترل نشده، نیمه کنترل شده و تمام کنترل شده تبدیل کرد به مبدلی که در آن تماما از دیود استفاده شود مبدل کنترل نشده می گویند و به مبدلی که در آن تماما از المان های کنترل شده GTO ... استفاده شود مبدل تمام کنترل شده می گویند. با این مبدل می توان سطح ولتاژ DC و یا جریان عبوری را کنترل کرد.دسته سوم مبدل های نیمه کنترل شده باشند که ترکیبی از المان های کنترل شده و کنترل نشده می باشند و تا اندازه ای امکان کنترل وجود دارد ولی نمی توان کاملا سطح ولتاژ DC و یا جریان عبوری را کنترل کرد.جبران بار عبارت است از مدیریت توان راکتیو که به منظور بهبود بخشیدن به کیفیت تغذیه درسیستم قدرت ac انجام می گیرد. هدف از جبران سازی، اصلاح ضریب توان ، تنظیم ولتاژ و متعادل سازی بار است اصلاح ضریب توان به این معنی است که توان راکتیو مورد نیاز بار به جای آنکه از نیروگاه دور تامین شود،

در محل نزدیک بار تولید می شود. پاره ای از بارها در برابر جریان ac امپدانس غیر خطی دارند و شکل موج جریان آنها نسبت به شکل موج خالص سینوسی فرکانس پایه اعوجاج پیدا می کند یعنی دارای هارمونیک می باشند.برای کنترل زمان های روشن و خاموش شدن Statcom روش های PWM و SPWM و باند هیسترزیس وجود دارد.زمانی که قطار برقی در حالت ژنراتوری قرار می گیرد، انرژی الکتریکی تولید شده توسط آن بوسیله Statcom به شبکه برگردانده می شود که می تواند قسمتی از جریان پست های LS را تامین کند. بنابراین جریان های مرجع Statcom مورد نظر را درصدی از جریان پست LS در نظر می گیریم که بستگی به دامنه جریان DC دارد.

۳- سیستم پانتوگراف قطارهای برقی پرسرعت

در قطارهای برقی پرسرعت، جریان از شبکه بالاسری به وسیله یک بازوی مکانیکی بهنام پانتوگراف به قطار فرستاده می شود. پانتوگراف باید نیرویی را در حد کافی به سیم های برق اعمال نماید تا در تمامی زمان ها با شبکه برق ارتباط داشته باشد. (Akin, 2013) وقتی ارتباط ضعیف باشد و یا قطع شود، قوس الکتریکی ایجاد شده و باعث صدمه به پانتوگراف می گردد.کیفیت جریان گرفته شده از شبکه به وسیله پانتوگراف ، به نیروی تماسی بین پانتوگراف و شبکه بستگی دارد. در صورت کم بودن نیروی تماسی، کیفیت جریان افت خواهد کرد و در نتیجه توان مورد نیاز محرک های الکتریکی قطار تامین نشده و نمی توان به سرعت مطلوب دست پیدا کرد که این موضوع به خصوص در قطارهای پرسرعت بسیار اثرگذار است از سوی دیگر افزایش نیروی تماسی باعث افزایش کیفیت جریان می شود.اما در اکثر پانتوگراف ها در محل تماس پانتوگراف با شبکه بالاسری از یک نوار گرافیتی جهت جمع آوری جریان استفاده می شود. به خاطر خاصیت شکنندگی گرافیت، وارد آوردن فشار زیاد به آن منجر به سایش بیشتر و حتی شکستن می شود.همچنین وجود بیش از حد نیروی تماس باعث پارگی سیم های برق می گردد و به این ترتیب نمی توان نیروی تماس را از یک حد مجاز افزایش داد.از طرفی تغییرات نیروی تماسی منجر به تغییرات مقاومت تماس الکتریکی شده و به تبع آن منجر به تغییر شدت جریان الکتریکی جذب شده توسط پانتوگراف می گردد که در نهایت منجر به تغییر سرعت قطار می‌شود. به این ترتیب نگه داشتن نیروی تماسی بین پانتوگراف و شبکه برق در یک حد مطلوب و جلوگیری از نوسان زیاد آن بسیار مهم و حائز اهمیت می باشد . (Liu, 2015) در زمینه کنترل وضعیت و نیروی تماسی پانتوگراف کارهای زیادی صورت گرفته است.با توجه به متغیر بودن پارامترهای شبکه بالاسری، سیستم پانتوگراف دارای عدم قطعیت می باشد. بنابراین برای طراحی،کنترل کننده سه فاکتور سادگی، تطبیق پذیری و عملکرد مناسب مد نظر می باشند. کنترل کننده های مد لغزشی، H2 و H∞ دارای پیچیدگی محاسبات زیاد هستند. کنترل کننده های بهینه علاوه بر پیچیدگی محاسبات زیاد، انطباق پذیر نیستند و برای تطبیق پذیریشان نیاز به محاسبات دو چندان می باشد. کنترل کننده PID پیچیدگی محاسبات ندارد و از طرفی انطباق پذیری زیادی ندارد. کنترل کننده های فازی دارای پیچیدگی محاسبات متوسط بوده و همچنین دارای انطباق پذیری خوبی هستند.در این مقاله با ترکیب کنترل کننده PID با روش جدول بندی بهره و منطق فازی، علاوه بر حل مشکل پیچیدگی محاسبات زیاد در طراحی کنترل کننده، می توان به انطباق پذیری خوبی نیز دست پیدا کرد .برای این منظور ابتدا معادلات دینامیکی سیستم پانتوگراف استخراج شده و یک کنترل کننده PID برای سیستم طراحی گردیده است. در گام بعد با استفاده از روش جدول بندی بهره، ضرایب کنترل کننده PID را تنظیم کرده و سپس با روش جدول بندی بهره فازی پارامترهای PID به صورت برخط به روز می شوند. در نهایت با انجام شبیه سازی عملکرد کنترل کننده ها بر روی سیستم پانتوگراف با ملاحظات عملی بررسی شده است. (ikeda, 2015) پانتوگراف ها به دو دسته غیرفعال و فعال تقسیم بندی می شوند. پانتوگراف های غیرفعال دارای یک مجموعه فنر–دمپر می باشند و از هیچ عنصری جهت کنترل ارتفاع و نیروی تماسی استفاده نمی کنند. به این ترتیب ثابت نگه داشتن نیروی تماسی در این نوع از پانتوگراف ها ممکن نیست .پانتوگراف های فعال علاوه بر دارا بودن مجموعه فنر – دمپر، دارای محرکی هستند که می توان به وسیله آن نیروی تماسی را کنترل نمود. اکثر پانتوگراف ها از سیلندرهای پنوماتیکی برای تامین نیرو استفاده می کنند. این سیلندرها دارای ساختار ساده ای هستند و استفاده از آنها راحت می باشد. همچنین، قابلیت خراب ایمن بودن آنها باعث می شود که در موارد بروز خطا و افزایش بیش از حد نیرو، نیرو آزاد شود و به شبکه و سیستم آسیب وارد نشود.

۴- ارتعاشات آزاد غیرخطی ورق کامپوزیت در بدنه قطارهای پرسرعت

از آنجایی که سازه های موجود در صنایع مختلف همانند هوافضا، راه آهن، خودرو و غیره همیشه تحت بارهای دینامیکی هستند، تحلیل و ارتعاشات این سازه ها و بررسی میزان خمش، خیز و تغییر شکل آنها بسیار حائز اهمیت است و یکی از مهم ترین مسائلی که در طراحی بدنه واگن قطار پرسرعت وجود دارد ارتعاشات بدنه واگن است. به منظور طراحی بهینه چه از لحاظ اقتصادی و چه از لحاظ دید مهندسی یعنی داشتن یک ماده با سختی بالا، افزایش عمر خستگی، افزایش تحمل نسبت به آسیب، خصوصیات حرارتی و مقاومت سایشی با داشتن وزن پایین استفاده از کامپوزیت ها بسیار مهم است. (Sadri ,2014) مطالعات زیادی در زمینه

ارتعاشات ورق ها و همچنین استفاده از این ورق ها در صنایع مختلف و راه آهن در سال های اخیر انجام گرفته است و با توجه کاربرد زیاد کامپوزیت ها امروزه صنایع به این سمت در حرکت است. این موضوع در صنعت حمل و نقل ریلی حائز اهمیت است و کاربرد وسیعی در راه آهن دارد از جمله آن استفاده ازکامپوزیت ها در بدنه واگن ها، سقف واگن ها،دماغه جلوی کابین، درهای داخل واگن و قسمت های جداکننده داخلی، درها و پنل های بیرونی، محفظه داخلی مخصوص وسایل مسافران و سایر قسمت های دیگر قطار به کار می رود.استفاده از تقریب برگر نتایج دقیقی را به دست نمی دهد و به جای آن باید از روابط مربوط به تئوری ونکارمن استفاده کرد. وی نشان داد که در حل تک مود سیستم در حالت خمش و کشش ترم های غیرخطی سیستم به صورت مستقیم بر دامنه فرکانس وارد نمی شود. اما در صورتی که فرکانس خطی سیستم را در معادلات تأثیر دهیم ترم های غیرخطی مؤثر واقع شده و بر درجات غیرخطی سیستم اثر می گذارند.(Mahmoodi ,2013) پراهاکارا به بررسی ارتعاشات آزاد ورق مستطیل شکل اورتوتروپیک و چیا در شرایط مرزی مختلف ساده وگیردار پرداختند. آنها در بررسی خود ازمعادلات ونکارمن استفاده کردند. به منظور حل سیستم در حالتی که شرایط مرزی را ارزا کند از سری دوتایی که ضرایب آن توابعی از زمان هستند استفاده کرد. معادلات مودهای مختلف سیستم را با استفاده از تابع فوریه کسینوسی بسط دادند و سپس فرکانس های غیرخطی سیستم را برای مودهای مختلف شیشه اپوکسی، بوراپوکسی و گرافیت اپوکسی به صورت عددی محاسبه کردند. آنها موفق به دستیابی به نتایج بسیار دقیقی برای فرکانس های غیرخطی ورق های خصوصا ورق های با ضرایب بزرگ شدند.خطوط قطار در کره به خاطر داشتن کوه های منطقه دارای منحنی های زیادی است. محدودیت سرعت بالا در قطارهای قدیمی وتعمیر و نگهداری آن باید در قطارهای پرسرعت روی خطوط قدیمی لحاظ شود. برای کاهش ریسک واژگون شدن در منحنی ها در قطار پرسرعت و کاهش عدم راحتی مسافران از نیروهای گریز از مرکز قطار پرسرعت TTX توسعه یافته است. سازه به کار رفته در قطارهای پرسرعت پنل ساندویچی است که شامل دو رویه و یک هسته است .ساختار ساندویچی قطار شامل یک رویه داخلی و بیرونی رزین گرافیت اپوکسی و هسته داخلی لانه زنبوری آلومینیوم است. برای کاهش سایش و گسیختن روی خطوط، بالای بدنه قطار TTX از سازه ساندویچی همراه با قاب داخلی محافظ دور پنجره ها، درها و سایر جای خالی ها ساخته شده است. (Razavi ,2014) قاب زیرین از فولاد ضد زنگ ساخته شده که دارای مرکز جرم پایین به منظور داشتن پایداری در طول منحنی ها است. قاب زیرین فولادی همچنین باعث افزایش سختی در برابر خمش کلی می شود.طراحی اولیه بدنه قطار بدون قاب داخلی محافظ بود. با این حال در طول نتایج صحت سنجی تغییر شکل پوسته بدنه در طول بارگذاری عمودی بیش از حد فرض شده بود. به منظور تقویت سازه قاب های داخلی در طرفین سقف و انتهای سازه بدنه قطار جا داده می شود .قطار TTX دارای ۴ واگن کشنده و ۲واگن تریلر و سرعت۲۰۰کلیومتر بر ساعت است المان های ساختار ساندویچی شامل کربن اپوکسی برای رویه ها و هسته آلومینیوم لانه زنبوری برای هسته می باشد. کل بدنه از یک ساختار واحد تولید شده است. یعنی در یک مقیاس بزرگ سرهم بندی شده و بهم چسبیده شده است. (Björhag ,2012) ابتدا رویه بیرونی روی سطح پخش شده است، سپس فرم داخلی و هسته زنبوری روی پوسته بیرونی گذاشته شده است. هسته و پوسته به وسیله یک فیلم چسب بهم چسبیده اند. چسب بر رویه داخلی کشیده شده است. در نهایت کل سازه بعد از هواگیری توسط کیسه خلأ مناسب سر هم شده است بدین وسیله با ساخت کل بدنه قطار به عنوان سازه، لینک های ضعیف بین پنل ها قابل صرف نظر است و تنها لینک ضعیف باقیمانده بین بدنه بالایی و قاب زیرین است. ساختار ساندویچی وزن بدنه بالایی قطار در مقایسه با بدنه فولاد ضد زنگ تا ۳۹ درصد کاهش داده است. وزن کل شامل قاب زیرین تا ۲۸ درصد کاهش داده است.

۵- بازیابی شبکه های توزیع انرژی الکتریکی

امروزه با پیشرفت های چشم گیری که در صنعت برق رخ داده است انتظار می رود شرکت های توزیع در هر شرایطی، توان با کیفیت بالا را به دست مشتریان خود برسانند. یکی از شرایطی که می تواند این انرژی رسانی به مشترکین را دچار مشکل کند، رخداد خطا در شبکه و به خاموشی فرو رفتن قسمتی از آن است. پس از وقوع خطا و عمل کردن کلیدهای حفاظتی، به دلیل شعاعی بودن ساختار شبکه توزیع، تا زمانی که المان خطادار تعمیر یا تعویض نشود، بارهای پایین دست نقطه خطا بی برق باقی می مانند. (Chien, 2017) در مدت زمان بین جداسازی خطا و رفع عیب، می توان با تغییر در وضعیت کلیدهای شبکه، از مسیرهای دیگر قسمتی یا تمام بارهای بی برق را بازیابی کرد.روند بازیابی باید به گونه ای است که از یک طرف، رضایت مشترکین را برآورده سازد و از طرف دیگرکاهش درآمدهای ناشی از قطعی برق شرکت های توزیع را بهبود بخشد. پس از رخداد خطا و پاکسازی آن باید یک برنامه ریزی دقیق و کارآمد در اختیار اپراتورهای شرکت های توزیع قرار گیرد که با کمترین هزینه، بیشترین بارهای بی برق شبکه را بازیابی کند. اصلی ترین هزینه های بازیابی شامل هزینه های کلیدزنی و انرژی توزیع نشده می باشد که اولی با کاهش تعداد کلیدزنی و دومی با افزایش مقدار بارهای بازیابی شده کاهش می یابند.(Watanabe, 2018) در شرایطی که در شبکه توزیع هیچ منبع تولید پراکنده ای وجود نداشته باشد، بارهای شبکه تنها از طریق فیدرهای شبکه تغذیه می شوند و بازیابی

نیز تنها از طریق انتقال بارهای بی برق به فیدرهای برق دار همسایه امکان پذیر خواهد بود. در این حالت پس از وقوع خطا و پاکسازی آن، تمام ناحیه پایین دست خطا به خاموشی فرو می رود.از آنجا که با افزایش ابعاد شبکه، ترکیب کلیدزنی های ممکن برای بازیابی آن نیز افزایش می یابد، با تقسیم بندی کلیدها در شش گروه مختلف، فضای جستجو کاهش یافته و روند بازیابی سریع تر شده است. کلیدها در شش گروه مختلف بدین صورت دسته بندی می شوند.گروه اول: کلیدهای حفاظتی (کلیدهایی که ناحیه سالم شبکه را از ناحیه بی برق جدا کرده اند و در حالت باز هستند. گروه دوم: کلیدهای ایزوله سازی (کلیدهایی که ناحیه خطادار را به ناحیه بی برق متصل کرده اند و در حالت بسته قرار دارند و پس از خطا برای ایزوله کردن آن باز می شوند.گروه سوم: کلیدهای بسته (کلیدهای که دو ناحیه یکسان را به هم وصل کرده اند و در حالت بسته قرار دارند. گروه چهارم: کلیدهای بین دو گروه فعال (کلیدهای در حالت عادی باز بین دو گروه برق دار. گروه پنجم: کلیدهای بین دو گروه غیر فعال (کلیدهای در حالت عادی باز بین دو گروه بی برق.گروه ششم: کلیدهای بازیابی (کلیدهای در حالت عادی باز که بین یک گروه برق دار و یک گروه بی برق قرار دارند (طبق این دسته بندی، کلیدهای گروه اول و دوم را می توان در روند بازیابی در نظر نگرفت، کلیدهای گروه سوم، چهارم و پنجم برای انتقال بار از یک بخش به بخش دیگر به کار می روند (کلیدهای لازم جهت بازآرایی) و کلیدهای گروه ششم کلیدهای اساسی هستند که می توانند بارهای قابل بازیابی را به شبکه برق دار متصل کنند (کلیدهای لازم جهت بازیابی اولیه).(Pastrone, 2017) پس با این نحوه دسته بندی کلیدها می توان فضای جستجوی الگوریتم را کاهش داد و به مراتب زمان رسیدن به جواب بهینه نیز کاهش می یابد.بازآرایی شبکه و بهینه سازی عملیات قطع بار با هدف بازیابی حداکثر بار ممکن شبکه با کمترین عملیات کلیدزنی انجام می شود. پس از وقوع خطا در شبکه و بی برق شدن ناحیه پایین دست خطا، ابتدا با بستن کلیدهای در حالت عادی باز و رعایت قیود بهره برداری شبکه، سعی در بازیابی حداکثر بار ممکن می شود (مرحله بازیابی اولیه شبکه) در صورتی که تمامی بارهای بی برق بازیابی نشده باشند، با بازآرایی شبکه تلاش می شود که انرژی رسانی مجدد به بارهای بی برق انجام شود و در نهایت چنان چه قیود شبکه هنوز رعایت نشده باشند، عملیات بهینه سازی قطع بار تا برقراری کامل قیود انجام می شود.

۶- یافته های تحقیق

۶-۱- موتور القائی برای قطار برقی

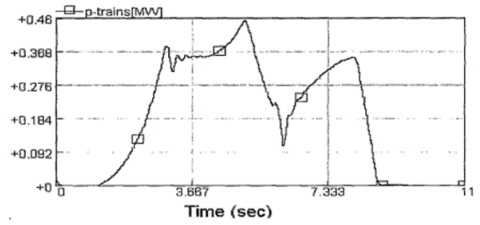
انتظارات خاص از یک خودرو عموما به توانایی گشتاور ، شتاب و سرعت ماکزیمم آن مربوط می شود. حداکثر گشتاور موتور و سیاست خاص کنترلی ، قدرت صعود و شتاب گیری خودرو را مشخص می کند حداکثر گشتاور و توان ،موتور حداکثر سرعت خودرو را محدود می سازد. سرانجام نوع محرکه بر اساس نوع سیاست کنترلی و انتظارات خودرو امکانات مورد نیاز خودرو و نیز امکانات جانبی مثل ترمز دینامیکی و برگشت انرژی آن را در سراشیبی فراهم می آورد. بنابراین محرکه الکتریکی باید بتواند موتور را در ناحیه گشتاور ثابت از سرعت صفر تا سرعت پایه و در ناحیه توان ثابت از سرعت اسمی تا حداکثر سرعت کنترل کند همچنین در صورت پیش بینی امکانات برگشت انرژی ترمز و حرکت در سرازیری باید قابلیت کار در ناحیه گشتاور و توان معکوس را نیز داشته باشد.برای برآورد شدن این خواسته ها از یک اینورتر سه فاز استفاده می کنیم که دارای شش عنصر اصلی و شش عنصر فرعی یعنی دیودهای چرخش آزاد است.

۶-۲- ترمز دینامیکی و مولدی

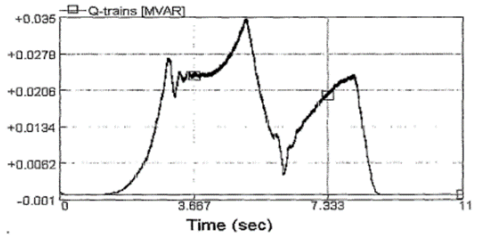
در محرکه های ac سرعت متغیر ممکن است برای کاهش سرعت ماشین ها نیاز به ترمز الکتریکی داشته باشیم در این حالت موتور در حالت ژنراتوری کار کرده و انرژی جنبشی ذخیره شده در سیستم به انرژی الکتریکی تبدیل می شود. سپس انرژی حاصله در یک مقاومت موازی با سیستم محرک تلف شده و یا اینکه به منبع تغذیه بر می گردد. مورد اول به عنوان ترمز دینامیکی و مورد دوم به عنوان ترمز مولدی شناخته می شود یک موتور القایی می تواند در سرعت فوق سنکرون به عنوان ژنراتور کار کند این عمل را می توان با پائین آوردن فرکانس اینورتر به زیر سرعت ماشین $We<Wr$ ممکن ساخت.

۶-۳- پست یکسو کننده

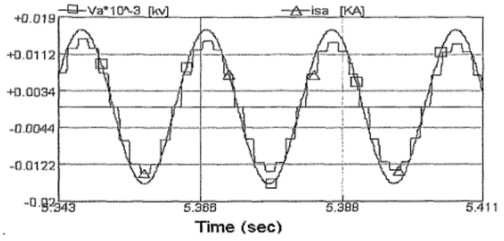
تمام مبدل های P, AC/DCپاسه دارای هارمونیک های $pfn\pm1$ در سمت ac و هارمونیک های pfn در سمت DC می‌باشند بنابراین برای کاهش هارمونیک ها و صاف تر شدن ولتاژ DC از مبدل های با پالس های بالا مثل ۱۲ پالسه استفاده می‌کنند.



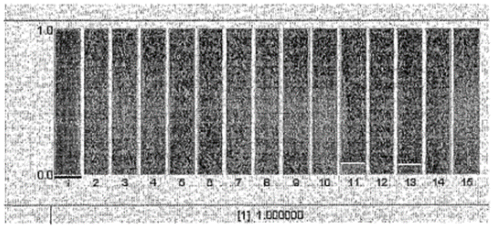
شکل ۱- توان اکتیو بار در وضعیت موجود به مگاوات



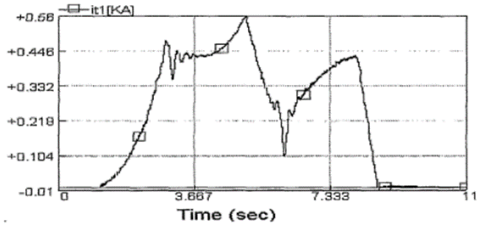
شکل ۲- توان راکتیو بار در وضعیت موجود به مگاوار



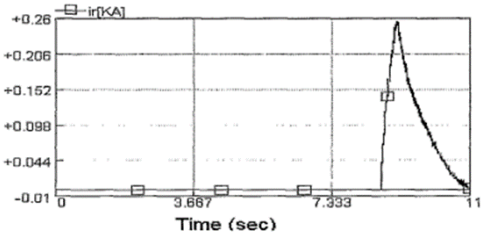
شکل ۳- جریان و ولتاژ فاز در سمت ac به کیلوآمپر



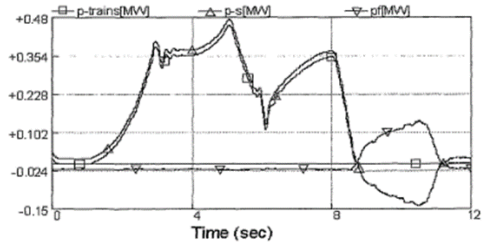
شکل ٤- طیف هارمونیکی جریان قبل از وصل استاتکام



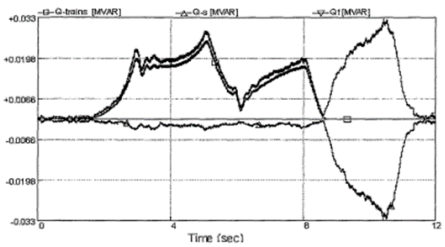
شکل ٥- جریان بار DC پست یکسو کننده به کیلوآمپر در وضعیت موجود



شکل ٦- جریان مقاومت سمت DC به کیلوآمپر در وضعیت موجود

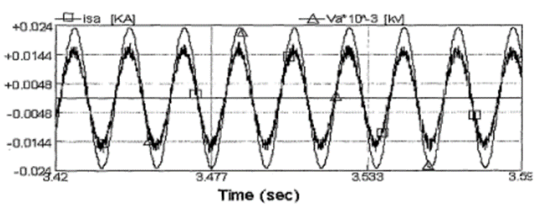


شکل ۷- توان اکتیوبار و استاتکام و منبع به مگاوات بعد از وصل استاتکام

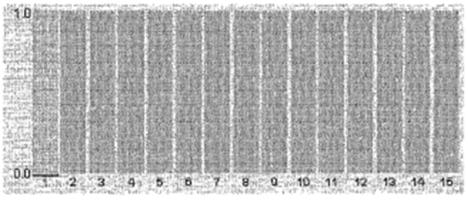


شکل ۸- توان اکتیوبار و استاتکام و منبع به مگاوار بعد از وصل استاتکام

شکل ۹ جریان بار را نشان می دهد که هارمونیک های آن جبران شده و یا ولتاژ اختلاف فاز ندارد و طیف هارمونیکی جریان هم در شکل ۱۰ نشان داده شده است و دیده می شود که هارمونیک های ۱۱ و ۱۳ حذف شده اند.



شکل ۹- جریان بار به کیلو آمپر و اختلاف فاز آن با ولتاژ بعد از وصل استاتکام



شکل ٤- طیف هارمونیکی جریان بعد از وصل استاتکام

۷- نتیجه گیری

در قطارهای برقی پرسرعت، جریان از شبکه بالاسری به وسیله یک بازوی مکانیکی بهنام پانتوگراف به قطار فرستاده می شود. پانتوگراف باید نیرویی را در حد کافی به سیم های برق اعمال نماید تا در تمامی زمان ها با شبکه برق ارتباط داشته باشد. وقتی ارتباط ضعیف باشد و یا قطع شود، قوس الکتریکی ایجاد شده و باعث صدمه به پانتوگراف می گردد.کیفیت جریان گرفته شده از شبکه به وسیله پانتوگراف ، به نیروی تماسی بین پانتوگراف و شبکه بستگی دارد.از آنجایی که سازه های موجود در صنایع مختلف همانند هوافضا، راه آهن، خودرو و غیره همیشه تحت بارهای دینامیکی هستند، تحلیل و ارتعاشات این سازه ها و بررسی میزان خمش، خیز و تغییر شکل آنها بسیار حائز اهمیت است و یکی از مهم ترین مسائلی که در طراحی بدنه واگن قطار پرسرعت وجود دارد ارتعاشات بدنه واگن است. به منظور طراحی بهینه چه از لحاظ اقتصادی و چه از لحاظ دید مهندسی یعنی داشتن یک ماده با سختی بالا، افزایش عمر خستگی، افزایش تحمل نسبت به آسیب، خصوصیات حرارتی و مقاومت سایشی با داشتن وزن پایین استفاده از کامپوزیت ها بسیار مهم است.امروزه با پیشرفت های چشم گیری که در صنعت برق رخ داده است انتظار می رود شرکت های توزیع در هر شرایطی، توان با کیفیت بالا را به دست مشتریان خود برسانند. یکی از شرایطی که می تواند این انرژی رسانی به مشترکین را دچار مشکل کند، رخداد خطا در شبکه و به خاموشی فرو رفتن قسمتی از آن است. پس از وقوع خطا و عمل کردن کلیدهای حفاظتی، به دلیل شعاعی بودن ساختار شبکه توزیع، تا زمانی که المان خطادار تعمیر یا تعویض نشود، بارهای پایین دست نقطه خطا بی برق باقی می مانند.در مدت زمان بین جداسازی خطا و رفع عیب، می توان با تغییر در وضعیت کلیدهای شبکه، از مسیرهای دیگر قسمتی یا تمام بارهای بی برق را بازیابی کرد.روند بازیابی باید به گونه ای است که از یک طرف، رضایت مشترکین را برآورده سازد و از طرف دیگرکاهش درآمدهای ناشی از قطعی برق شرکت های توزیع را بهبود بخشد.وضعیت موجود با استفاده از نرم افزار PSCAD/EMTDC شبیه سازی شد و دیده شد که برای بهبود کیفیت توان مترو در زمان وصل بار نیاز به فیلتر اکتیو است تا هم هارمونیک ها را جبران کند و هم توان راکتیو را جبران کند. انرژی برگشتی توسط قطار در ترمز و سرازیری در مقاومت های داخل واگن ها تلف می شود و این انرژی به خط DC بر می گردد تا اگر قطاری در مسیر باشد مصرف گردد و اگر قطاری در شبکه نباشد این انرژی در مقامت های قرار گرفته در پست یکسوکننده مصرف می شود. بنابراین بهتر است این انرژی به شبکه برگردد در اینجا از یک Statcom استفاده شده است که در یک بازه زمانی به صورت فیلتر اکتیو برای جبران توان راکتیو بار متغیر (قطار) عمل می کند و در یک بازه زمانی به صورت اینورتر، برای برگشت انرژی ایجاد شده توسط قطار به شبکه عمل می کند و وضعیت غیر اقتصادی تلف انرژی را از بین می برد.

۷-۱- پیشنهادهای پژوهش

- ساخت نمونه آزمایشگاهی استاتکام و به کارگیری آن در مترو و مقایسه عملکرد آن با نتایج شبیه سازی
- بررسی در صد کاهش هزینه برق متروبعد از به کارگیری استاتکام
- به کارگیری قطارهای با موتور القایی به جای موتور DC برای کاهش هزینه برق و نگهداری

منابع

۱. احمد صفری، مهدی ترابیان اصفهانی (۱۴۰۰), تحقیق در مورد تأثیر سیستم منبع تغذیه پست‌های کششی مترو شهری بر کیفیت توان شبکه برق, دانشگاه شهید اشرفی اصفهانی، دانشکده فنی و مهندسی

2. S. M. Azimi and S. Lotfifard, "A nonlinear controller design for power conversion units in islanded micro-grids using interconnection and damping assignment tracking control," IEEE Trans. on Sustainable Energy, vol. 12, no. 1, pp. 284-292, May (2020).
3. T. Kerdphol, et al., "Enhanced virtual inertia control based on derivative technique to emulate simultaneous inertia and damping properties for microgrid frequency regulation," IEEE Access, vol. 7, pp. 14422-14433, Jan.(2019).
4. J. A. Adu, et al., "Virtual inertia in a microgrid with renewable generation and a battery energy storage system in islanding transition," in Proc. 1st In. Conf. on Energy Transition in the Mediterranean Area, SyNERGY MED'19, 5 pp., Cagliari, Italy 28-30 May (2019).
5. P. Bhowmik and P. Rout, "Emulation of virtual inertia with the dynamic virtual damping in microgrids," in Proc. Int. Conf. on Applied Machine Learning, ICAML'19, pp. 130-133, Bhubaneswar, Indi,a 25-26 May (2019).

6. Lopez, J. C., Franco, J. F., Rider, M. J. and Romero, R., (2018) "Optimal restoration/maintenance switching sequence of unbalanced three-phase distribution systems," IEEE Trans. Smart Grid, vol.9. pp. 6058-6068, Nov.
7. Watanabe, K., (2018), “Reduction of energy consumption for running in pre-massproduction train set of Series E235: the verification of energy consumption for running and traction control conditions in regenerative braking due to expansion of regenerative brake region”. Japanese Railway Engineering.
8. Yuan, C., llindala, M. S. and Khalsa, A.S., . (2017) "Modified Viterbi algorithm based distribution system restoration strategy for grid resiliency," IEEE Trans. Power Del.vol.32, pp. 310-319, Feb.
9. Allen, L. A., & Chien, S. I. J., (2017), “Reducing Rail Energy Consumption through Coasting and Regenerative Braking” (No. 17-06235).
10. Dalla Chiara, B., De Franco, D., Coviello, N., & Pastrone, D., (2017), “Comparative specific energy consumption between air transport and high-speed rail transport: A practical assessment”. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 52, pp.227-243.
11. Qi Li, Weirong Chen, Zhixiang Liu, Ming Li and Lei Ma (2015) "Development of energy management system based on a power sharing strategy for a fuel cell-batterysupercapacitor hybrid tramway" Journal of Power Sources , vol 279, App, pp. 267–280.
12. H.Hu, Z.He,K.Wang, X.Ma and S.Gao (2015) "Power Quality Impact Assessment for High-speed Railway Associated with High-speed Trains Using Train Timetable —Part II: Verifications, Estimations and Applications", IEEE Trans. Power Delivery, pp. 1-10,Sept.
13. -Lin, Y. C., Shieh, N. C., & Liu, V. T. (2015),“Optimal control for rail vehicle pantograph systems with actuator delays”,Journal of IET Control Theory & Applications, No. 9(13), pp. 1917-1926.
14. -yokoyama, m., yokoyama, s., sakakibara, h., kobayashi, s., usuda, t., &ikeda, m. (2015), “Modeling and robust control of a high speed train pantograph”, Mechanical Engineering Journal, No. 3, Vol. 2.
15. Sadri M, Younesian D. (2014) Nonlinear free vibration analysis of a plate-cavity system. Thin-Walled Structures.;74:191-200.
16. Shooshtari A, Razavi S. (2014) Nonlinear forced vibration of hybrid composite rectangular plates. Engineering Solid Mechanics.;2(3):209-228.
17. Aydin, I., Karakose, E., Karakose, M., Gencoglu, M. T., & Akin, E. (2013), “A new computer vision approach for active pantograph control”,IEEE International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA),Albena, June 19-21, IEEE, pp.1-5.
18. Rafieipour H, Lotfavar A, Masroori A, Mahmoodi E. (2013) Application of Laplace Iteration method to Study of Nonlinear Vibration of laminated composite plates. Latin American Journal of Solids and Structures.;10(4):781-795.
19. Anderberg V, Björhag I. (2012) Evaluation and optimization of orthotropic sandwich plate systems with regard to global deflection, Finite element simulation and analytical evaluation .Göteborg, Sweden: Chalmers University of Technology