

بررسی اثرات قطار برقی تبریز - جلفا بر نامتعادلی ولتاژ شبکه فوق توزیع تغذیه کننده آن و ارائه راهکارهای بهبود و رفع نامتعادلی

فرهاد شهینیا^۱ میترا سرهنگ زاده^۲ - سید حسین حسینی^۳
^۱ دفتر تحقیقات و استانداردها - شرکت توزیع نیروی برق آذربایجان شرقی
^۲ شرکت توزیع نیروی برق تبریز
^۳ دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه تبریز

واژه‌های کلیدی: قطار برقی، کیفیت برق، نامتعادلی ولتاژ و جریان، بهبود نامتعادلی

چکیده

استفاده از سیستمهای تکفاز یا دو فاز متداول برای تغذیه قطارهای برقی موجب ایجاد نامتعادلی در شکل موجهای جریان و ولتاژ شبکه های تغذیه کننده آن شده و نهایتاً موجب کاهش کیفیت توان شبکه می گردد. با توجه به روند رو به گسترش استفاده از سیستمهای قطارهای برقی برون شهری در ایران خصوصاً در مسیرهای تهران- اصفهان و تهران- مشهد لزوم بررسی مشکلات نامتعادلی ولتاژ و جریان شبکه های تغذیه کننده آنها ضروری بنظر می رسد. در این مقاله ابتدا به بررسی اثرات نامتعادلی ناشی از سیستمهای تغذیه قطارهای برقی بر شبکه های قدرت می پردازیم. آنگاه ساختار سیستم قطار برقی تبریز- جلفا بعنوان یک بار نامتعادل در شبکه برق آذربایجان مورد بررسی قرار گرفته و ویژگیهای نامتعادلی شبکه بصورت شبیه سازیهای انجام شده بررسی می گردد. سپس راهکارهای بهبود و حذف نامتعادلی در شبکه های تغذیه قطارهای برقی پیشنهاد شده و این راهکارها از لحاظ حداقل و حداکثر میزان تولید نامتعادلی در شبکه مقایسه می گردند.

۱- مقدمه

بموازات توسعه شهرها و پیشرفت تکنولوژی، ناوگان ترابری زمینی خصوصاً قطارهای برقی اهمیت روزافزونی پیدا می کند زیرا قطارهای برقی بدلیل دارا بودن مزایای متعدد از قبیل آلوده نکردن محیط زیست، گشتاور راه اندازی بالا، راه اندازی سریع سیستم و راندمان بالا جایگاه خاصی در سیستم ترابری زمینی دارند. قطارهای برقی برای اولین بار در سال ۱۸۹۰ در انگلیس مورد استفاده قرار گرفتند و هم اکنون قسمت اعظم ناوگان ترابری زمینی سراسر جهان را تشکیل می دهند. ویژگیهای سیستمهای تغذیه انرژی الکتریکی قطارهای برقی به موارد مختلفی از جمله بار قطارها، سیستم توزیع انرژی الکتریکی منطقه و تکنولوژی هر کشور بستگی دارد بطوریکه سیستمهای تغذیه قطارهای مسافری، باری و سریع السیر متفاوت از یکدیگر است. این انتخاب بایستی از لحاظ اقتصادی مقرون بصرفه بوده و قابلیت اطمینان زیادی را برای سیستم قطار برقی و سایر مصرف کنندگان انرژی الکتریکی شبکه فراهم آورد. ویژگیهای متغیر و غیرخطی بودن ذاتی سیستم قطارهای برقی، همواره موجبات ایجاد اعوجاج و

بیستمین کنفرانس بین المللی برق

شبکه توزیع برق منطقه در آمده و در آن ادغام می شود که این عمل موجب می گردد تا شبکه برق سراسری از ویژگیهای کیفیت توان پایین قطار برقی متاثر گردد. راه حل دوم، ایجاد یک شبکه توزیع انرژی الکتریکی مستقل برای قطار برقی بصورت جدا از شبکه توزیع انرژی الکتریکی منطقه است که در این روش، یک یا چند پست اصلی در حوالی مرکز جغرافیایی سیستم تراکشن نصب می شوند و منحصراً تغذیه شبکه مستقل برق قطار را بعهده می گیرند. در این روش، شبکه برق قطار هیچگونه ارتباطی با شبکه توزیع عمومی برق منطقه ندارد و لذا حوادث پیش بینی نشده در سیستم شهر بر کار قطار و بالعکس تاثیر نمی گذارد.

انواع مختلف قطارهای برقی با توجه به بار مکانیکی و سرعت حرکت خود دارای توانهای مصرفی متفاوتی هستند. قطارهای مسافربری معمولاً با سرعت بالای ۱۲۵ مایل در ساعت بین شهرها تردد می کنند و بطور متوسط در هر ۱۰-۵ مایل یک توقف دارند. این قطارها توان مصرفی در حدود ۴-۳ مگا وات داشته و از خطوطی با ولتاژ ۲۵-۱۵ کیلو ولت تغذیه می شوند و توان پستهای لازم برای این قطارها در حدود ۳۰-۲۰ مگا وات است. قطارهای سریع السیر دارای سرعت بالاتر از ۳۳۰ مایل در ساعت بوده و از خطوط دارای اتوترانس با نسبت ۲۵/۲۵+ کیلو ولت تغذیه می شوند لذا توان مصرفی این قطارها بیشتر از قطارهای مسافربری بوده و توان پستهای تغذیه کننده چنین قطارهایی نیز بیشتر از توان تولیدی پستهای قطارهای مسافربری خواهد بود. قطارهای باری بسیار سنگین و سرعت حرکت آنها کمتر از ۸۰ مایل در ساعت است. این قطارها توان الکتریکی بسیار زیادی یعنی نیاز داشته و توان راکتیو زیادی نیز مصرف می کنند. سیستمهای تغذیه الکتریکی این قطارها در اروپا توانی معادل ۱۰-۶ مگا وات و در آمریکا در حدود ۲۴-۱۸ مگا وات را تامین می نمایند. توان پستهای لازم برای این قطارها نیز در حدود ۱۰۰-۸۰ مگا وات است. لذا با در نظر گرفتن نوع قطارهایی که در یک مسیر حرکت می کنند، توان مصرفی و تعداد پستهای کششی معین می گردد.

هارمونیک را خصوصاً در زمان شروع به حرکت و توقف در ولتاژ شبکه برق سراسری تغذیه کننده قطار ایجاد نموده و موجب کاهش کیفیت توان آن می گردد. قطارهای برقی AC بعلت اثر منفی روی کیفیت توان شبکه از جمله ایجاد نامتعادلی ولتاژ و جریان سیستم قدرت یکی از نامناسبترین بارها می باشد. ایجاد نامتعادلی در سیستم قدرت موجب اختلال و کاهش کیفیت برق شبکه خواهد گردید بطوریکه سایر مصرف کنندگان شبکه را تحت تاثیر قرار خواهد داد.

در این مقاله ابتدا به بررسی اثرات نامتعادلی ناشی از سیستمهای تغذیه قطارهای برقی بر شبکه های توزیع تغذیه کننده آن می پردازیم. آنگاه ساختار سیستم قطار برقی تبریز - جلفا بعنوان یک بار نامتعادل در شبکه برق آذربایجان مورد بررسی قرار گرفته و ویژگیهای نامتعادلی شبکه بصورت شبیه سازیهای انجام شده بررسی می گردد. سپس راهکارهای بهبود و حذف نامتعادلی در شبکه های تغذیه قطارهای برقی پیشنهاد شده و از لحاظ حداکثر و حداقل مقدار نامتعادلی تولید شده در شبکه مقایسه می گردند. این بررسیها با توجه به روند رو به گسترش استفاده از قطارهای برون شهری تهران - مشهد و تهران - اصفهان و جهت حفظ کیفیت توان شبکه های برق تغذیه کننده آنها ضروری بنظر می رسد.

۲- سیستمهای AC تغذیه قطارهای برقی

سیستمهای تغذیه انرژی الکتریکی قطارهای برقی، وظیفه برق رسانی به قطارهای متحرک در طول خط را بر عهده دارد. توان پستهای تراکشن بستگی به بار قطار، زمان رفت و برگشت آن و تعداد قطارهایی دارد که از آن پست تغذیه می شوند. فواصل مابین پستها می تواند بسته به سیستم تغذیه قطارها و نوع بار آنها در حدود ۸۰-۲۰ مایل از هم فاصله داشته باشد. تامین برق قطارهای برقی اصولاً از دو روش امکان پذیر است. حالت اول، استفاده از شبکه توزیع برق می باشد که در آن هر یک از پستهای یکسو کننده فرعی که تغذیه بخشی از خطوط قطار را بعهده دارند، بعنوان یک مصرف کننده نسبتاً بزرگ منطقه در نظر گرفته می شوند که در صورت استفاده از این روش، شبکه قطار بعنوان بخشی از

بیستین کنفرانس بین المللی برق

$$\% \varepsilon_v = \frac{V_-}{V_+} \quad (2)$$

حد نامتعادلی ولتاژ بر اساس مدت زمان تداوم نامتعادلی در شبکه دارای مقادیر مختلفی بوده و باید در پستهای انشعاب شبکه توزیع بنحوی کنترل و از نفوذ آن به شبکه انتقال یا توزیع جلوگیری گردد. در حالت کلی، قطارهای برقی بدلیل تغذیه شدن از سیستمهای AC تکفاز و یا دو فاز موجب ایجاد نامتعادلی در ولتاژ و جریان سیستم می شوند. این مشکلات منجر به کیفیت توان پایین سیستم قدرت شده و برای رفع آنها نیاز به استفاده از دستگاهها و تجهیزات مختلفی در پستهای تراکشن است.

از آنجاییکه سیستمهای تغذیه کننده AC قطارهای برقی معمولاً بصورت تکفاز یا دو فاز و ترانسهای بکار رفته در پستهای تراکشن عموماً از نوع تکفاز، لبلانس یا اسکات هستند، همواره شاهد وجود نامتعادلی در ولتاژ سیستم توزیع انرژی الکتریکی قطار برقی هستیم. لذا بررسی تاثیرات تغییر شبکه در ماهها و فصلهای مختلف سال و میزان نامتعادلی ولتاژ ایجاد شده ناشی از بار قطار برقی تغذیه شونده ضروری است. وجود نامتعادلی موجب می شود تا مولفه های منفی و صفر ولتاژ و جریان از لحاظ دامنه و فاز با یکدیگر اختلاف داشته و تلفات اضافی در ژنراتور، خط انتقال و ترانسفورمر و در نتیجه افزایش هزینه های طرح را به همراه داشته باشند. در جدول ۱ اندازه نامتعادلی ولتاژ تزریق شده به شبکه برق تغذیه کننده قطار برقی با توجه به ساختارهای مختلف ترانسهای پست تراکشن دیده می شود.

جدول ۱- اندازه نامتعادلی ولتاژ تزریق شده به شبکه برق ناشی از

اتصالات مختلف ترانسها در پستهای تراکشن قطارهای برقی

اندازه نامتعادلی ولتاژ	ساختار ترانسهای پست تراکشن
$\varepsilon_v = \frac{S_L}{S_S}$	تکفاز
$\varepsilon_v = \frac{S_{L2} + \alpha^2 S_{L1}}{S_S}$	اتصال سه فاز مثلث باز- مثلث باز V-V
$\varepsilon_v = \frac{S_{L2} - S_{L1}}{S_S}$	اسکات- لبلانس

سیستم تغذیه قطارهای برقی بین شهری عموماً از نوع AC می باشد ولی این سیستم نیز دارای مقادیر مختلف دامنه ولتاژ و فرکانس است. بعنوان مثال سیستم AC با ولتاژ ۱۵/۲۵ کیلوولت ۶۰/۵۰ هرتز که از یک یا دو فاز سیستم سه فاز تغذیه می شود، یکی از آرایشهای بکار رفته برای تغذیه قطارهای برقی بین شهری است که سبب نامتعادلی شبکه می گردد. این سیستم در آمریکا، کانادا، فرانسه و روسیه و اغلب برای قطارهای مسافربری یا باری با توان مصرفی ۴ الی ۵ مگا ولت آمپر بکار می رود. همچنین سیستم AC با ولتاژ بالای ۵۰ کیلو ولت ۶۰/۵۰ هرتز یا تغذیه شونده توسط اتوترانسهای ۲۵/-۲۵ کیلو ولت بصورت تکفاز، اغلب برای تغذیه قطارهای باری با توان ۱۸-۲۴ مگا وات و مسیرهای طولانی بکار می رود. در این میان، سیستمهای AC با فرکانس پایین نیز بیش از یک قرن است که در کشورهای اروپایی بکار می روند و برای قطارهایی با توان مصرفی متوسط نظیر قطارهای مسافری و باری مناسب هستند زیرا بعلافت فرکانس پایین، افت ولتاژ در این سیستم پایین می آید. بنابراین می توان پستها را با فاصله بیشتری از هم انتخاب کرد. همچنین با تبدیل فرکانس می توان از شبکه تکفاز نیز استفاده کرده و نامتعادلی را کاهش داد.

۳- اثرات نامتعادلی ولتاژ و مولفه منفی جریان در شبکه های برق

در یک سیستم سه فاز متعادل، دامنه ولتاژها با هم برابر و دارای ۱۲۰ درجه اختلاف فاز است. در صورت استفاده از بارهای تکفاز یا سه فاز نامتقارن از چنین شبکه ای، افت ولتاژ در هر سه فاز یکسان نبوده و موجب نامتعادلی ولتاژ می گردد که اندازه نامتعادلی ایجاد شده برابر نسبت قدرت بار تکفاز به قدرت اتصال کوتاه شبکه (S_{cc}) می باشد.

$$\% \varepsilon_v = \frac{S_n}{S_S} \quad (1)$$

نامتعادلی ولتاژ منوط بوجود مولفه معکوس ولتاژ در شبکه بوده و برابر نسبت مولفه معکوس ولتاژ به مولفه مستقیم آن است.

بیستین کنفرانس بین المللی برق

۴- ساختار تغذیه قطار برقی تبریز - جلفا

قطار برقی تبریز - جلفا از سال ۱۳۵۷ تا به حال مورد بهره برداری می باشد ولی در طول چند سال گذشته و بدلیل احداث خطوط راه آهن جدید در منطقه، تعدد قطارهای این مسیر کاهش چشمگیری یافته است. بطوریکه هم اکنون تنها ۴-۵ قطار مسافربری و باری در طول هفته از این مسیر تردد می نمایند. این سیستم از ۳ پست فوق توزیع ۱۳۲/۲۷/۵ کیلو ولت تبریز، مرند و جلفا تغذیه می شود. این پستها که به پستهای کششی موسومند، پستهای اختصاصی مسیر قطار برقی تبریز - جلفا بوده و هیچیک از بارهای خانگی یا تجاری در این مناطق از این پستها تغذیه نمی شوند. در هر کدام از پستهای فوق تنها دو فاز از سه فاز شبکه وارد پست می شوند که انتخاب دو فاز بصورت متوالی در هر سه پست تکرار می گردد. ثانویه ترانسهای این پستها به باس ۲۷/۵ کیلوولت وصل می شوند که تغذیه دیو، شبکه بالاسری و محوطه ایستگاه را برعهده دارند. ساختار موتورهای بکار رفته در قطارهای برقی تبریز - جلفا نیز از نوع DC سری بوده که توسط ترانسهایی با نسبت تبدیل ۲۷/۵-۰/۴۹۶ کیلو ولت موجود در درون قطارها تغذیه میشوند.

بدلیل استفاده از سیستم دو فاز، همواره شاهد وجود نامتعادلی ولتاژ در شبکه فوق توزیع تغذیه کننده سیستم قطار برقی تبریز - جلفا خواهیم بود. یکی از راهکارهای کاهش نامتعادلی آن است که در هر یک از سه پست فوق، یکی از فازها را بصورت متقارن حذف نمود تا در مجموع سیستم متعادل گردد. این عمل در کاهش نامتعادلی ولتاژ بسیار موثر است ولی از آنجاییکه این پستها هر سه بصورت همزمان باردار نمی باشند یعنی تعدد قطارها بصورتی نیست که هر سه پست دارای بار یکسان در هر زمانی باشند لذا نامتعادلی شبکه فوق توزیع تغذیه کننده قطار برقی تبریز - جلفا همواره وجود خواهد داشت. ویژگیهای برق تغذیه کننده این سیستم همانند ویژگیهای برق سایر شبکه های توزیع و فوق توزیع نمی باشد. از آنجاییکه سیستم تراکشن همواره در حال تغییر ناگهانی بار است، شاهد وجود ۵٪ نوسان ولتاژ هستیم بعنوان

می توان جریانهای سه فاز نامتقارن شبکه برق تغذیه کننده پستهای تراکشن I_a, I_b, I_c را بصورت سه جریان مولفه ترتیب مثبت، منفی و صفر متقارن I_0, I_+, I_- نوشت. از آنجاییکه ژنراتورهای موجود در فواصل نزدیکی از پستهای تراکشن دارای احتمال بیشتری از جذب مولفه های منفی جریان هستند، اندازه نسبت مولفه منفی جریان جذب شده توسط ژنراتور (I_G^2) به اندازه کل مولفه منفی جریان تزریق شدن به شبکه در محل اتصال پست تراکشن (I_{PCC}^2) همواره مستقل از دامنه و فاز مولفه منفی جریان تزریق شده ثابت است. لذا اندازه فاکتور مولفه منفی جریان برای محل اتصال هر پست تراکشن ($NCDF_G$) از رابطه زیر حاصل می گردد.

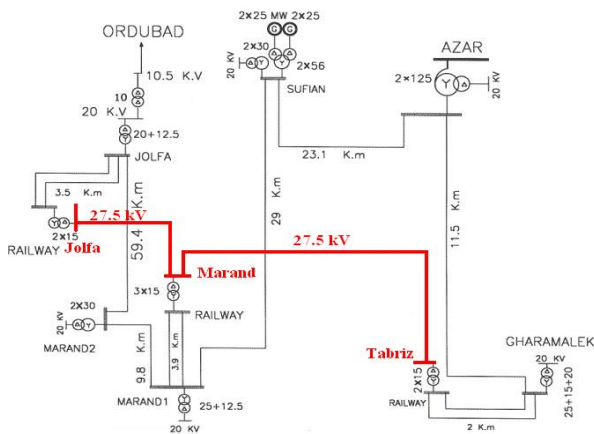
$$NCDF_G = \frac{I_G^2}{I_{PCC}^2} \quad (3)$$

برای اندازه گیری این ضریب کافی است در محل اتصال هر پست تراکشن به شبکه، محاسبات یک عیب اتصال کوتاه خط به خط در محل پست صورت گرفته و نسبت مولفه منفی جریان هر ژنراتور در شبکه به مولفه جریان منفی شبکه در محل اتصال پست تراکشن محاسبه گردد. اندازه مولفه منفی جریان برای تعدادی از ساختارهای مختلف پستهای تراکشن در جدول ۲ آورده شده است. از آنجاییکه شبکه های برق در حالت عادی دارای تقارن کامل نمی باشند، برای حذف خطاهای احتمالی در محاسبه ضریب مولفه منفی جریان لازم است تا محاسبات یکبار برای سیستمی بدون پستهای تراکشن و سپس با مد نظر قرار دادن پستهای تراکشن انجام شود تا دقت محاسبات افزایش یابد.

جدول ۲- اندازه مولفه منفی جریان تزریق شده به شبکه برق ناشی از نامتعادلی برای اتصالات مختلف ترانسها در پستهای تراکشن

ساختار ترانسهای پست تراکشن	اندازه مولفه منفی جریان
تکفاز	$I^2 = \frac{-1}{S_{base}} \cdot \frac{S_S \cdot S_L}{2S_L + S_S}$
اتصال سه فاز مثلث باز - مثلث باز V-V	$I^2 = \frac{-1}{S_{base}} \cdot \frac{S_S^2(S_{L2} + \alpha^2 S_{L1})}{S_S^2 + 2S_S(S_{L1} + S_{L2}) + 3S_{L1}S_{L2}}$
اسکات - بلانس	$I^2 = \frac{-1}{S_{base}} \cdot \frac{S_S^2(S_{L2} - S_{L1})}{S_S^2 + 2S_S(S_{L1} + S_{L2}) + 4S_{L1}S_{L2}}$

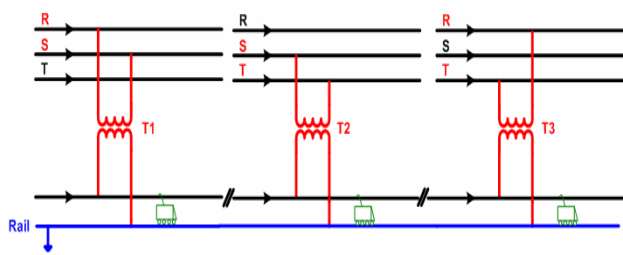
بیستین کنفرانس بین المللی برق



شکل ۲- دیاگرام تک خطی سیستم تغذیه مسیر قطار برقی تبریز- جلفا

۵- ارائه راهکارهای بهبود نامتعادلی ولتاژ و جریان در سیستمهای قطارهای برقی ۱-۵ استفاده از یک ترانس تکفاز

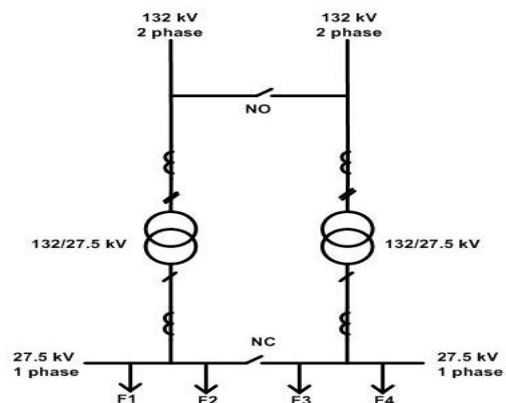
یکی از دلایل ایجاد نامتعادلی در شبکه قدرت، استفاده از ترانسهای تکفاز در پستهای شبکه تراکشن است. برای مینیمم کردن میزان نامتعادلی می توان در پستهای متوالی دارای ترانسهای تکفاز، یک فاز را بصورت متقارن و یک در میان حذف نمود تا نامتعادلی شبکه کاهش یابد. اندازه نامتعادلی ولتاژ در این حالت برابر $5/9\%$ می باشد. اگر در این حالت بارگیری هر سه پست کاملاً یکسان باشد اندازه نامتعادلی ولتاژ بسیار کم و در حدود صفر است ولی در بدترین حالت، اندازه نامتعادلی به $12/8\%$ نیز می رسد. تصویر شماتیک این راهکار در شکل ۳ دیده می شود.



شکل ۳- تصویر شماتیک نحوه کاهش نامتعادلی در صورت استفاده از یک ترانس تکفاز در پستهای تراکشن

مثال ثانویه این سیستم ۲۵ کیلو ولت، همواره دارای ولتاژ متغیر در رنج ۲۹-۱۷/۵ کیلو ولت است، بدون آنکه این امر اختلالی در فعالیت سیستم تراکشن ایجاد نماید و همچنین میزان اعوجاج و هارمونیکها نیز در این سیستم ۲-۳ برابر مقدار مجاز آن در شبکه های متعارف برق است که این امر نیز مشکلات کمی را در سیستمهای تراکشن ایجاد می نماید. قطار برقی تبریز- جلفا نمونه ای از قطارهای برقی است که ایجاد نامتعادلی در شبکه برق میکند که علت آن، بکار بردن تنها دو فاز شبکه ۱۳۲ کیلوولت و همچنین عدم وجود بارهای یکسان در فیدرهای خروجی پست فوق توزیع آن می باشد. تصویر شماتیک دیاگرام تک خطی پست کششی تبریز در شکل ۱ دیده می شود. دیاگرام تک خطی پست کششی جلفا نیز کاملاً مشابه پست کششی تبریز است ولی فیدرهای خروجی از پست کششی مرند دو سمت مختلف از شبکه بالاسری قطار را تغذیه می کنند. همچنین دیاگرام تک خطی قسمتی از شبکه برق آذربایجان که مسیر قطار برقی تبریز- جلفا را تامین می نماید، در شکل ۲ دیده می شود.

مسیر خط ۲۷/۵ کیلو ولت قطار برقی در شکل ۲ به همراه سه پست کششی اختصاصی آن در تبریز، مرند و جلفا دیده می شود. این سه پست از پستهای فوق توزیع قراملک، مرند ۱ و جلفا تغذیه می شوند و توان مصرفی آنها بترتیب برابر ۳۶، ۷۲ و ۳۶ مگاوات است. شبکه ۱۳۲ کیلو ولت حلقوی آذربایجان با توجه به ساختار سیستم در هنگام عبور یک قطار بدلیل باردار شدن غیر یکسان فیدرهای مسیر قطار برقی دارای نامتعادلی می باشد.

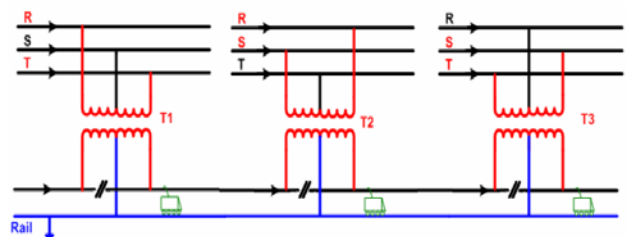


شکل ۱- دیاگرام تک خطی پست کششی تبریز

بسیستم کنفرانس بین المللی برق

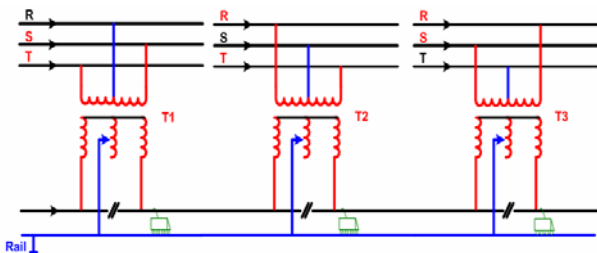
۲-۵ استفاده از دو ترانس تکفاز

در صورت استفاده از دو ترانس تکفاز در پستهای تراکشن متوالی که هر یک نیمی از توان مصرفی را تامین خواهند نمود، حداکثر میزان نامتعادلی ولتاژ برابر $6/5\%$ و در حدود نصف نامتعادلی ایجاد شده در حالت قبل و حداقل آن صفر و در هنگام بارگیری یکسان تمامی پستهاست. تصویر شماتیک این راهکار نیز در شکل ۴ دیده می شود.



شکل ۴- تصویر شماتیک نحوه کاهش نامتعادلی در صورت استفاده از دو ترانس تکفاز در پستهای تراکشن

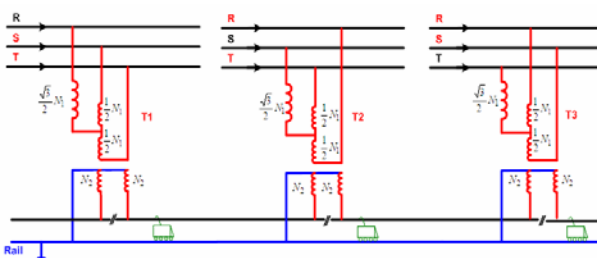
های ترانسها بصورت متقارن می توان نامتعادلی شبکه را تا حد امکان کاهش داد. بگونه ای که در بدترین حالت ممکن نامتعادلی ولتاژ به 11% می رسد. تصویر شماتیک این راهکار در شکل ۶ دیده می شود.



شکل ۶- تصویر شماتیک نحوه کاهش نامتعادلی در صورت استفاده از ترانسهای سه فاز ستاره- ستاره در پستهای تراکشن

۵-۵ استفاده از ترانسهای اسکات

استفاده از ترانسهای اسکات یکی از راههای متداول تغذیه پستهای تراکشن قطارهای برقی و از روشهای سودمند در کاهش نامتعادلی ولتاژ شبکه است زیرا با ساختار ویژه خود یک سیستم سه فاز متعادل را به یک سیستم دو فاز متعادل تبدیل می نماید. ماکزیم نامتعادلی ولتاژ شبکه در بدترین حالت در حدود $10/24\%$ است که در صورت بارگیری یکسان پستها قابل تقلیل به صفر نیز می باشد. تصویر شماتیک این راهکار در شکل ۷ دیده می شود.



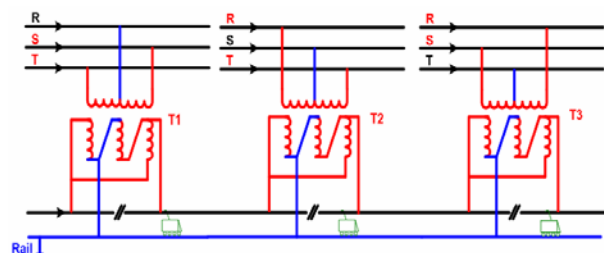
شکل ۷- تصویر شماتیک نحوه کاهش نامتعادلی در صورت استفاده از ترانسهای اسکات در پستهای تراکشن

۶-۵ استفاده از ترانسهای لبلانس

یکی دیگر از روشهای متداول تغذیه قطارهای برقی استفاده از ترانسهای لبلانس در پستهای تراکشن است که همانند

۳-۵ استفاده از ترانسهای سه فاز ستاره- مثلث

در صورت استفاده از ترانسهای سه فاز ستاره- مثلث در پستهای تراکشن و با تغییر متناوب فازهای ورودی سمت ستاره ترانس می توان کل سیستم را متعادل نمود. در این حالت ماکزیم مقدار نامتعادلی در حدود $8/6\%$ بوده ولی در صورت بارگیری یکسان همه پستها قابل تقلیل به صفر می باشد. تصویر شماتیک این راهکار نیز در شکل ۵ دیده می شود.



شکل ۵- تصویر شماتیک نحوه کاهش نامتعادلی در صورت استفاده از ترانسهای سه فاز ستاره- مثلث در پستهای تراکشن

۴-۵ استفاده از ترانسهای سه فاز ستاره- ستاره

در صورت استفاده از ترانسهای سه فاز ستاره- ستاره با تعداد دو برابر سیم پیچی برای هر فاز ثانویه و اتصال اولیه

بیستین کنفرانس بین المللی برق

جدول ۳- برنامه بارگیری پستهای تراکشن تغذیه کننده قطار برقی برای چندین برنامه حرکت قطار

برنامه بارگیری پستهای تراکشن						ساختمان ترانسهای بکار رفته در بخش ۵
پست تراکشن ۳		پست تراکشن ۲		پست تراکشن ۱		
چپ	راست	چپ	راست	چپ	راست	
				✓		۱
				✓	✓	۲
			✓		✓	۳
			✓	✓	✓	۴
		✓	✓	✓	✓	۵
✓			✓		✓	۶

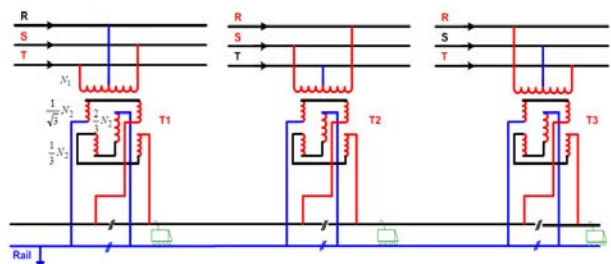
جدول ۴- اندازه نامتعادلی ولتاژ تزریق شده به شبکه ناشی از برنامه

حرکت قطارهای داده شده در جدول ۴

میزان نامتعادلی ولتاژ ایجاد شده						ساختمان ترانسهای بخش ۵
۱	۲	۳	۴	۵	۶	
۵/۹	۱۲/۱	۶/۰۴	۱۰/۹	۱۲/۸	۰	۱-۵
۵/۹	۶/۳	۶/۳۹	۶/۳۹	۲/۶۴	۶/۵	۲-۵
۴/۹	۴/۹۷	۸/۶	۰	۴/۹	۴/۹۴	۳-۵
۵/۷	۳/۹	۱/۹۷	۱۱	۴/۰۴	۹/۹	۴-۵
۵/۷	۰	۵/۶۸	۵/۶۸	۰	۱۰/۲	۵-۵
۳/۳	۰	۳/۳۲	۰	۰	۶/۶۹	۶-۵

با این وجود استفاده از سیستمهای DC برای تغذیه قطارهای برقی بعنوان بهترین راهکار جهت کاهش نامتعادلی می باشد بطوریکه هم اکنون یکی از دلایل عمده استفاده از سیستمهای جریان مستقیم برای تغذیه قطارهای برقی شهری (مترو) را می توان در این موضوع جستجو نمود زیرا تاثیرات نامتعادلی در شبکه برق شهر محسوس تر خواهد بود. حال اگر اصرار به استفاده از سیستم تغذیه AC تکفاز برای قطارهای برقی وجود داشته باشد، راهکار دومی که می توان پیشنهاد کرد استفاده از یک سیستم تبدیل در داخل پستهای کششی است بطوریکه بجای تغذیه شبکه بصورت مستقیم از دو فاز شبکه سه فاز، هر سه فاز را توسط یک کنورتر به ولتاژ DC تبدیل نموده و سپس مجدداً آنرا توسط یک اینورتر به ولتاژ AC دو فاز تبدیل نمود و پس از عبور از ترانس دو فاز به تکفاز موجود، قطارهای برقی را توسط این ولتاژ تغذیه کرد. استفاده از این روشها هیچ مقدار نامتعادلی را در شبکه

ترانسهای اسکات می توان یک سیستم سه فاز متعادل را به یک سیستم دو فاز متعادل تبدیل نماید ولی بدلیل ساختار ویژه خود نسبت به ترانس اسکات برتری دارد. ماکزیمم مقدار نامتعادلی ولتاژ ایجاد شده در بدترین حالت در حدود ۶/۶۹٪ است که در صورت بارگیری یکسان همه پستها قابل تقلیل به صفر نیز می باشد. تصویر شماتیک این راهکار در شکل ۸ دیده می شود.



شکل ۸- تصویر شماتیک نحوه کاهش نامتعادلی در صورت استفاده از ترانسهای لبلانس در پستهای تراکشن

نتایج بررسیهای انجام شده برای اتصالات ترانسهای فوق در شبکه های قطارهای برقی نشان دهنده این موضوع است که بهترین آرایش برای کاهش نامتعادلی استفاده از ترانسهای لبلانس است و در بدترین حالت نامتعادلی برابر ۶/۶۹٪ ایجاد می نمایند که در صورت اعمال آرایشهای فوق، این میزان به ۱/۷۲٪ کاهش می یابد. این بررسیها همچنین نشان می دهد که بدترین اتصال ترانس، استفاده از ترانسهای تکفاز است که در بدترین حالت نامتعادلی برابر ۱۲/۸٪ ایجاد می نمایند که در صورت استفاده از آرایش مذکور این میزان به ۵/۹٪ کاهش می یابد. از اینرو هم اکنون تمایل فراوانی به استفاده از ترانسهای با اتصالات لبلانس و اسکات بجای ترانسهای تکفاز در پستهای سیستمهای قطارهای برقی در جهان وجود دارد. نتایج یک بررسی برای برنامه بارگیریهای مختلف ترانسهای بکار رفته در هر یک از حالات مذکور مطابق جدول ۳ در جدول ۴ آورده شده است.

بیستین کنفرانس بین المللی برق

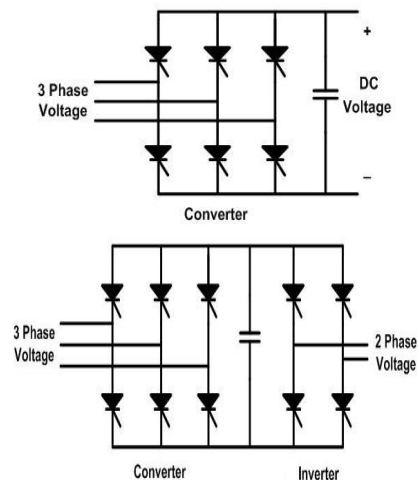
۷- مراجع

- [1] B. Bhargava, "Railway electrification systems and configurations", IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, Vol. 1, pp. 445-450, July 1999.
- [2] R.E. Morrison, "Parameters that influence power quality on industrial frequency ac traction systems", IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, Vol. 1, pp. 204-209, July 2001.
- [3] P.F. Riberio, "An overview of power quality problems in transportation and isolated power systems", IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, Vol. 1, pp. 196-197, July 2001.
- [4] P. Caramia, M. Morrone, P. Varilone, P. Verde, "Interaction between supply system and EMU loco in 15kV-16^{2/3} Hz AC traction systems", IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, Vol. 1, pp. 198-203, July 2001.
- [5] D.C. Howroyd, "Public supply disturbance from AC traction", IEE Int. Conf. on Main Line Railway Electrification, pp. 260-264, Sep. 1989.
- [6] S.L. Chen, R.J. Li, P.H. His, "Traction system unbalance problem- analysis methodologies", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 19, No. 4, pp. 1877-1882, October 2004.
- [7] T.H. Chen, "Simplified models of electric railway substation for three-phase power-flow studies", IEEE Conf. on Industry Applications, Vol. 3, pp. 2245-2248, October 1994.
- [8] S.L. Chen, R.J. Li, P.H. His, Traction system unbalance problem, Analysis methodologies, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 19, No. 4, pp. 1877-1883, October 2004.

[9] فرهاد شهینیا، پایانامه کارشناسی مهندسی برق - قدرت، "اثرات متقابل شبکه توزیع انرژی الکتریکی و قطارهای برقی و استفاده از فیلترهای هیبرید برای بهبود کیفیت توان در این سیستمها"، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تبریز، تیر ۱۳۸۳.

[۱۰] میترا سرهنگ زاده، پایانامه کارشناسی ارشد مهندسی برق - قدرت، "تاثیر استفاده از قطارهای برقی شهری و برون شهری در کیفیت توان شبکه های توزیع نیروی برق و ارائه راهکارهای لازم جهت بهبود آن"، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تبریز، اسفند ۱۳۸۳.

برق سراسری ایجاد نموده و می تواند راهکاری موثر جهت بهبود نامتعادلی شبکه گردد. تصویر شماتیک این راهکارها در شکل ۹ دیده می شود. هر چند استفاده از روشهای فوق، بسیار مناسب بنظر می رسد ولی با این وجود، این روشها بایستی از لحاظ اقتصادی نیز قابل توجیه باشند یعنی جابجایی پستهای تراکشن سیستمهای AC با انواع DC و نیز سایر تجهیزات موجود در داخل قطارها بایستی دارای توجیه اقتصادی در برابر مشکلات کیفیت توان موجود دارا باشند.



شکل ۹- تصویر شماتیک استفاده از سیستم تبدیل DC در پستهای کششی سیستمهای قطارهای برقی AC

۶- نتیجه گیری

استفاده از سیستمهای جریان متناوب تکفاز یا دو فاز برای تغذیه قطارهای برقی موجب ایجاد نامتعادلی در شکل موجهای جریان و ولتاژ شبکه های تغذیه کننده آن شده و نهایتاً موجب کاهش کیفیت توان شبکه می گردد. در این مقاله ابتدا به بررسی اثرات نامتعادلی ناشی از سیستمهای تغذیه قطارهای برقی بر شبکه های قدرت پرداخته شد سپس ساختار سیستم قطار برقی تبریز - جلغا بعنوان یک قطار برقی تغذیه شونده با جریان متناوب در ایران بررسی و اثرات نامتعادلی ناشی از آن در شبکه برق آذربایجان مورد بررسی قرار گرفت. آنگاه راهکارهای بهبود و رفع نامتعادلی ولتاژ و جریان در چنین سیستمهایی معرفی شده و این راهکارها مورد مقایسه قرار گرفتند و استفاده از سیستم تبدیل DC در داخل پستهای کششی یا استفاده از ترانسهای لبلاکس در پستهای تراکشن بعنوان بهترین راهکارها معرفی گردیدند.