



اولین کنفرانس ملی سیستم‌های قدرت و انرژی‌های تجدیدپذیر دانشگاه آزاد اسلامی واحد انار



بررسی تداخل بین سیستم‌های قطار برقی AC/DC و اثرات آن بر کیفیت توان

یاسر دامچی، رضا قاضی

دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی، گروه برق، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران، استاد گروه برق، دانشکده مهندسی، گروه برق، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

rghazi@um.ac.ir , damchi_pe@yahoo.com

واژه‌های کلیدی: اعوجاج هارمونیکی کل، سیستم‌های قطار برقی AC/DC، نامتعادلی ولتاژ

چکیده

آن مورد تحلیل قرار می‌گیرد. هم‌چنین برای کاهش THD، مقادیر بهینه فیلتر با استفاده الگوریتم ژنتیک (GA) تعیین گردیده‌است. این مطالعه بر روی شبکه‌ای که شامل سیستم قطار برقی ۲۵ کیلوولت ۶۰ هرتز AC و ۳ کیلوولت DC می‌باشد، انجام شده‌است. نتایج مطالعه ضمن نشان دادن پدیده تداخل و در نتیجه کاهش کیفیت توان ناشی از آن، بیانگر این است که نحوه مدل‌سازی اجزای سیستم قطار برقی AC / DC در بررسی پارامترهای تداخل تاثیر بسزایی دارد.

۱- مقدمه

با توسعه شهرها و پیشرفت تکنولوژی، سیستم حمل و نقل قطارهای برقی دارای روند رو به گسترش می‌باشد، زیرا قطارهای برقی دارای مزایای متعددی از جمله راه-اندازی سریع سیستم، گشتاور راه‌اندازی بالا، آلوده نکردن محیط زیست و راندمان بالا هستند، لذا جایگاه خاصی در

با توجه به افزایش روزافزون وسایل الکترونیکی حساس به سیستم‌های کنترل‌شده با کامپیوتر و فرآیند اتوماسیون کارخانجات، کیفیت توان از اهمیت زیادی برخوردار است. استفاده از سیستم‌های قطار برقی DC / AC در کنار هم باعث ایجاد اعوجاج و نامتعادلی در شکل موج‌های ولتاژ و جریان شبکه می‌شود و در نتیجه سبب کاهش کیفیت توان و افزایش تلفات شبکه می‌گردد، خصوصاً زمانی که این دو سیستم قطار برقی از شبکه انتقال یکسان تغذیه می‌شوند. با توجه به گسترش سیستم‌های قطار برقی، بررسی مشکلات ناشی از اعوجاج هارمونیکی و نامتعادلی لازم به نظر می‌رسد. در این مقاله، ابتدا به شناسایی اغتشاشات ناشی از تداخل بین سیستم‌های قطار برقی AC / DC پرداخته و سپس جهت تکمیل مطالعات قبلی، تأثیر نحوه مدل‌سازی اجزاء در وقوع تداخل و میزان



برخوردار شود. حالت دوم استفاده از یک شبکه توزیع انرژی الکتریکی مستقل برای قطارهای برقی می‌باشد، که از شبکه توزیع انرژی الکتریکی منطقه مستقل باشد. در این حالت چون شبکه تأمین‌کننده انرژی الکتریکی قطارهای برق مستقل از شبکه توزیع می‌باشد، نامتعادلی و اغتشاشات ناشی از تداخل بین قطارها بر کیفیت برق تأثیری ندارد [۱]. مطالعات متعددی در زمینه خرابی کیفیت توان، ناشی از سیستم‌های قطارهای برقی AC/DC انجام شده است. اما در این مطالعات سیستم‌ها به صورت مستقل از هم در نظر گرفته شده‌اند [۶،۷].

در این مقاله مشابه مرجع [۲]، ابتدا مسأله تداخل بین سیستم‌های قطارهای برقی AC/DC و اغتشاشات ناشی از آن نشان داده شده است. در این حالت اجزاء سیستم قطار برقی که شامل فیلتر، خط تغذیه DC و موتورهای قطار هستند، به صورت ساده مدل شده‌اند. با توجه به اینکه در این حالت هدف شناسایی تداخل می‌باشد، مدل ساده شده کفایت می‌نماید. در ادامه جهت تکمیل نمودن مطالعات قبلی و ارزیابی کمی از شاخص‌های کیفیت توان و نشان دادن نقش مدل‌سازی اجزاء، هر یک از اجزاء فوق به صورت دقیق مدل‌سازی شده‌اند و تأثیر آن‌ها بر روی مقدار اعوجاج هارمونیک و نامتعادلی ولتاژ، مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج، چگونگی تأثیر مدل‌سازی اجزاء را بر روی پارامترهای تداخل نشان می‌دهد. در ادامه بر اساس این نتایج، جهت بهبود THD، مقادیر بهینه فیلتر با استفاده از الگوریتم ژنتیک (GA) تعیین گردیده است. با توجه به نتایج بدست آمده در این مطالعه، در مقایسه با مرجع [۲] تحقیق تکمیلی صورت گرفته است.

سیستم حمل و نقل زمینی دارند. ساختار توزیع انرژی الکتریکی منطقه، بار قطارها و پیشرفت تکنولوژی در هر کشور، تعیین‌کننده نوع سیستم‌های تغذیه‌کننده انرژی الکتریکی قطارهای برقی می‌باشند. در نتیجه سیستم‌های تغذیه قطارهای مسافری، باری و سریع‌السیر از یکدیگر متفاوت است. البته باید ذکر کرد که انتخاب نوع سیستم‌های تغذیه‌کننده باید دارای توجیه اقتصادی باشد [۱]. تداخل بین سیستم‌های قطار برقی AC/DC سبب ایجاد اغتشاش در شبکه می‌شود، به طوری که کیفیت توان را در شبکه کاهش می‌دهد. این دو سیستم وقتی از سیستم‌های تغذیه AC مستقل تغذیه می‌شوند نسبت به حالتی که از خطوط انتقال مشترک تغذیه می‌شوند، دارای تداخل کمتری هستند [۲،۳]. استفاده از مبدل‌های AC/DC در سیستم قطار برقی DC سبب اعوجاج در شکل موج ولتاژ و جریان می‌گردند [۲]. از آنجایی که قطارهای برقی AC به صورت تک‌فاز و یا دو فاز تغذیه می‌شوند سبب ایجاد نامتعادلی ولتاژ گردیده [۱،۴،۵] و در صورت استفاده از مبدل کنترل شده، اعوجاج ولتاژ و جریان را به همراه خواهند داشت [۲]، که تأثیر منفی بر روی کیفیت توان می‌گذارند. انرژی قطارهای برقی معمولاً به دو صورت تأمین می‌شود. حالت اول استفاده از شبکه توزیع برق منطقه‌ای است، که در آن هر یک از پست‌های یکسوکننده فرعی بخشی از خطوط قطار را تغذیه می‌کنند. در صورت استفاده از این روش، شبکه قطار به عنوان بخشی از شبکه توزیع برق منطقه‌ای محسوب شده و در اثر تداخل بین سیستم‌های قطار برقی سبب ایجاد اغتشاش در شبکه توزیع می‌شود. این اغتشاشات بر روی کیفیت توان تأثیر گذاشته و سبب می‌شود تا شبکه برق سراسری از کیفیت توان پایین‌تری



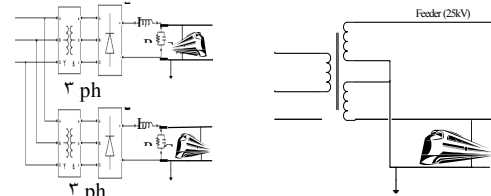
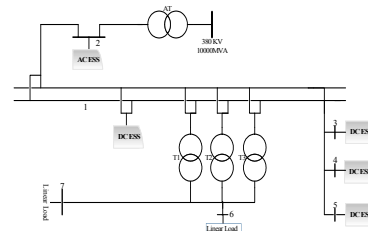
اولین کنفرانس ملی سیستم‌های قدرت و انرژی‌های تجدیدپذیر

دانشگاه آزاد اسلامی واحد انار



۲- ساختار شبکه مورد مطالعه

ساختار شبکه قدرت الکتریکی مورد استفاده در شکل ۱ نشان داده شده است، که در آن سیستم قطار برقی از یک شین ۳۸۰ کیلوولتی ۱۰۰۰۰ مگاوات آمپری تغذیه می‌شود. این شبکه از یک قطار برقی AC، ۲۵ کیلوولت ۶۰ هرتز و چهار قطار برقی DC، ۳ کیلوولت و مبدل‌های AC/DC شش پالسه ۱۳۲ کیلوولتی ۵/۴ مگاواتی، که یکی از عوامل اعوجاج هارمونیکی هستند، تشکیل شده است. توان جذب شده در ایستگاه قطار برقی AC برابر ۵۴ مگاوات است و به صورت دوفاز تغذیه می‌شود. توان جذب شده در هر ایستگاه قطار برقی DC برابر ۴/۱ مگاوات می‌باشد و فرض شده است که قطارهای DC از خطوطی که قطار برقی AC را تغذیه می‌کنند، تغذیه شوند. این شبکه که تغییر یافته شبکه مورد مطالعه در مرجع [۲] می‌باشد، اطلاعات آن در ضمیمه در جداول ۱ الی ۴ آمده است.



شکل ۱: (الف) سیستم انتقال سه فاز در کنار سیستم‌های قطار برقی AC و DC، (ب) زیرسیستم قطار برقی DC، (ج) زیرسیستم قطار برقی AC

۳- پارامترهای کیفیت توان

۱-۳- اعوجاج هارمونیکی

در سال‌های اخیر، افزایش استفاده از عناصر غیرخطی در صنعت، اعوجاج هارمونیکی در سیستم قدرت را افزایش داده‌اند [۸]. استفاده از یکسوکننده‌ها و مبدل‌های الکترونیک قدرت، در سیستم حمل و نقل برقی مانند قطارهای برقی باعث می‌شود سطوح زیادی از هارمونیکی به سیستم توزیع تزریق شود. وجود هارمونیکی‌ها در شبکه سبب اثرات نامطلوبی، چون کاهش راندمان ترانسفورماتور و تلفات بیشتر در موتورهای می‌شود. لذا باید به نحوی اعوجاج هارمونیکی را در شبکه تا سطح استاندارد کاهش داد. کاهش هارمونیکی‌ها در شبکه مزایای متعددی دارد که از آن جمله افزایش راندمان موتورهای الکتریکی، افزایش طول عمر تجهیزات به دلیل کاهش تلفات، آزادسازی ظرفیت تجهیزات شبکه مانند خطوط و ترانسفورماتورها و بویژه بهبود کیفیت توان و افزایش رضایت مشترکین است. لذا شناسایی این اغتشاشات و تعیین مقدار کمی آن‌ها و نهایتاً کاهش آن‌ها در سیستم‌های قطار برقی حائز اهمیت است. یکی از راه‌های اولیه و ارزان کاهش هارمونیکی‌ها در شبکه استفاده از فیلترهای پسیو است، و در صورتی می‌تواند دارای کارایی لازم باشد که مقدار عناصر این فیلترها به صورت بهینه انتخاب شود. برای ارزیابی دقیق از کارایی سیستم با توجه به خرابی کیفیت توان، انتخاب یک شاخص مناسب لازم است. در این مطالعه از THD که مشهورترین شاخص اعوجاج هارمونیکی می‌باشد، برای بررسی کیفیت توان در این مقاله استفاده شده است. رابطه (۱) نشان‌دهنده شاخص THD برای ولتاژ می‌باشد، که در آن V دامنه مؤلفه‌های هارمونیکی‌های ولتاژ است [۹].



اولین کنفرانس ملی سیستم‌های قدرت و انرژی‌های تجدیدپذیر دانشگاه آزاد اسلامی واحد انار



از تداخل مورد بررسی بیشتر قرار گیرد. لذا برای بررسی تأثیر مدل‌سازی دقیق اجزاء (فیلتر، خط هوایی و موتور قطار) بر روی مقدار THD شبکه، علاوه بر شبیه‌سازی حالت ۱ (مدل مرجع [۲])، حالت‌های زیر مورد تحلیل قرار گرفته و نتایج حاصل از شبیه‌سازی با هم مقایسه شده‌اند:

حالت ۱- در این حالت که مبنای مقایسه نتایج می‌باشد، فیلتر، خط تغذیه DC و موتور با مقاومت مدل شده‌اند به طوری که توان اکتیو جذب شده در هر ایستگاه را مصرف کنند.

حالت ۲- فیلتر با مدل کامل، خط تغذیه DC و موتور با مقاومت مدل‌سازی شده‌اند.

حالت ۳- خط تغذیه DC با مدل کامل، فیلتر و موتور با مقاومت مدل‌سازی شده‌اند.

حالت ۴- موتور با مدل کامل، فیلتر و خط تغذیه DC با مقاومت مدل‌سازی شده‌اند.

حالت ۵- فیلتر و خط تغذیه DC با مدل کامل و موتور با مقاومت مدل‌سازی شده‌اند.

حالت ۶- فیلتر و موتور با مدل کامل و خط تغذیه DC با مقاومت مدل‌سازی شده‌اند.

حالت ۷- موتور و خط تغذیه DC با مدل کامل و فیلتر با مقاومت مدل‌سازی شده‌اند.

حالت ۸- فیلتر، موتور و خط تغذیه DC با مدل کامل مدل‌سازی شده‌اند.

در حالت‌های بالا، خط با مدل π و فیلتر با مدل نشان داده شده در شکل ۱- ب و با مقادیر داده شده در مرجع [۲] و موتور با مدل یک موتور گشتاور ثابت (برای ساده‌سازی) به عنوان مدل کامل عناصر، برای تحلیل کمی

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} v_n^2}}{v_1} \quad (1)$$

۳-۲- نامتعادلی ولتاژ

با توجه به این که سیستم‌های قطار برق AC به صورت تک‌فاز یا دو فاز تغذیه می‌شوند، سبب بروز نامتعادلی ولتاژ در شبکه توزیع الکتریکی سیستم قطار برقی می‌شوند، که این امر کاهش کیفیت توان شبکه را به همراه خواهد داشت. برای بررسی نقش مدل‌سازی اجزاء بر روی میزان نامتعادلی ولتاژ در سیستم‌های قطار برقی AC/DC از شاخص ضریب نامتعادلی ولتاژ (VUF) که در رابطه (۲) تعریف شده، استفاده گردیده است [۲]:

$$VUF\% = \frac{U}{U_+} \times 100 \quad (2)$$

در رابطه (۲) U مؤلفه منفی ولتاژ و U_+ مؤلفه مثبت ولتاژ می‌باشند.

۴- نتایج شبیه‌سازی

۴-۱- بررسی اعوجاج هارمونیک

همان‌طور که بیان شد جهت بررسی وقوع پدیده تداخل و اغتشاش هارمونیک ناشی از شبیه‌سازی برای شرایط مرجع [۲] جهت مقایسه انجام گرفته است که در ابتدا فیلتر، خط هوایی و موتورهای قطار با مقاومت مدل‌سازی شده‌اند، به طوری که توان اکتیو جذب شده در هر ایستگاه را مصرف کنند. با توجه به اینکه در وهله اول، این نوع ساده‌سازی به خصوص در مورد موتور قطار برقی صحیح به نظر نمی‌رسد و میزان THD بدست آمده نمی‌تواند قابل اعتماد باشد. بنابراین لازم شد، که در این بررسی نقش مدل‌سازی اجزاء در شناسایی اغتشاشات ناشی



اولین کنفرانس ملی سیستم‌های قدرت و انرژی‌های تجدیدپذیر

دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک



پارامترهای فیلتر در صورتی که دارای مقادیر خاصی باشند، حداکثر تأثیرگذاری در کاهش مقدار THD را خواهند داشت، که بایستی مقادیر بهینه برای آن‌ها محاسبه شود.

دقیق‌تر در نظر گرفته شده‌اند. نتایج حاصل از مدل‌سازی دقیق اجزاء بر روی THD شین‌های مختلف، در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱: تأثیر مدل‌سازی اجزاء بر میزان THD

حالت	مقدار THD			
	شین (۱)	شین (۲)	شین (۳)	شین (۴)
حالت (۱)	۶/۵۵٪	۶/۳۶٪	۱۱/۱۹٪	۱۲/۰۵٪
حالت (۲)	۵/۸۴٪	۵/۹٪	۷/۳۳٪	۱۰/۴۰٪
حالت (۳)	۶/۴۹٪	۶/۳۰٪	۱۱/۱۳٪	۱۱/۹۸٪
حالت (۴)	۴/۶۹٪	۴/۷۳٪	۵/۲۶٪	۶/۸۶٪
حالت (۵)	۵/۸۴٪	۵/۹٪	۷/۳۳٪	۱۰/۴۰٪
حالت (۶)	۳/۳۰٪	۳/۳۵٪	۴/۵۷٪	۵/۰۳٪
حالت (۷)	۴/۶۹٪	۴/۷۳٪	۵/۲۹٪	۶/۸۸٪
حالت (۸)	۳/۳۰٪	۳/۳۵٪	۴/۵۷٪	۵/۰۳٪

۴-۱- بررسی نامتعادلی ولتاژ

برای بررسی تأثیر مدل اجزاء بر روی میزان نامتعادلی ولتاژ، حالت‌های مطالعه قبلی شبیه‌سازی شده و نتایج در جدول ۲ ارائه شده است.

با توجه به نتایج جدول ۲، استنباط می‌شود که مدل-سازی دقیق اجزاء تأثیر چندانی بر میزان کمی و کیفی نامتعادلی ولتاژ در سیستم‌های قطار برقی ندارد و لذا در تحلیل نامتعادلی ولتاژ در سیستم‌های قطار برقی می‌توان از مدل ساده اجزاء استفاده کرد و این ساده‌سازی موجب خطای فاحش نمی‌شود.

جدول ۲: تأثیر مدل‌سازی اجزاء بر میزان VUF

حالت	مقدار VUF			
	شین (۱)	شین (۲)	شین (۳)	شین (۴)
حالت (۱)	۳/۰۹۱۴٪	۳/۰۸۹۷٪	۳/۱۱۸۱٪	۳/۱۲۹۸٪
حالت (۲)	۳/۱۰۳۵٪	۳/۱۰۱۴٪	۳/۱۳۹۵٪	۳/۱۵۴۷٪
حالت (۳)	۳/۰۹۰۰٪	۳/۰۸۸۳٪	۳/۱۱۵۱٪	۳/۱۲۵۹٪
حالت (۴)	۲/۸۹۵۸٪	۲/۸۹۸۴٪	۲/۸۵۸۰٪	۲/۸۵۰۱٪
حالت (۵)	۳/۱۰۳۵٪	۳/۱۰۱۳٪	۳/۱۳۹۵٪	۳/۱۵۴۷٪
حالت (۶)	۳/۰۰۴۰٪	۳/۰۰۵۰٪	۲/۹۸۲۴٪	۲/۹۷۳۸٪
حالت (۷)	۲/۸۹۵۳٪	۲/۸۹۷۹٪	۲/۸۵۷۴٪	۲/۸۴۹۴٪
حالت (۸)	۲/۹۸۴۲٪	۲/۹۸۵۷٪	۲/۹۵۹۶٪	۲/۹۵۰۰٪

با توجه به نتایج جدول ۱ ملاحظه می‌شود که مدل-سازی دقیق اجزاء نقش تعیین‌کننده‌ای در مقدار THD دارد. مدل‌سازی دقیق موتور و فیلتر به طور قابل ملاحظه‌ای مقدار THD را تحت تأثیر قرار می‌دهد به طوری که به عنوان مثال THD در شین (۳) از مقدار ۱۱/۱۹٪ با فرض حالت (۱) به مقدار ۵/۲۶٪ با فرض حالت (۴) و به مقدار ۷/۳۳٪ با فرض حالت (۲) کاهش یافته است. ولی مدل‌سازی دقیق خط هوایی چندان نقش تعیین‌کننده‌ای در مقدار THD ندارد به طوری که به عنوان مثال THD در شین (۳) از مقدار ۱۱/۱۹٪ به مقدار ۱۱/۱۳٪ کاهش یافته است. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که با توجه به طول خط هوایی و نسبت R/X، برای مدل‌سازی خط، می‌توان از مدل ساده استفاده کرد. ولی چنین ساده‌سازی برای موتور و فیلتر به هیچ‌وجه صادق نیست. ضمن اینکه



اولین کنفرانس ملی سیستم‌های قدرت و انرژی‌های تجدیدپذیر

دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک



جدول ۴: تأثیر مقادیر بهینه فیلتر بر مقدار THD

حالت	THD			
	شین (۱)	شین (۲)	شین (۳)	شین (۴)
حالت (۲)	۴/۹۶٪	۴/۹۳٪	۶/۳۱٪	۸/۳۰٪
حالت (۸)	۲/۲۵٪	۲/۲۰٪	۴/۲۶٪	۳/۷۸٪

نتایج جدول ۴ حاکی از آن است که اگر فیلتر با مقادیر بهینه، خط هوایی و موتور به صورت کامل مدل‌سازی شوند، مقدار THD در شین ۱ از ۳/۳۰٪ به ۲/۲۵٪ کاهش یافته، و در حالتی که فیلتر با مقادیر بهینه، خط هوایی و موتور به صورت مقاومت مدل شده‌اند مقدار THD در شین ۱ از ۵/۸۴٪ به ۴/۹۶٪ کاهش می‌ابد، که این کاهش THD مطلوب می‌باشد.

۶- نتیجه‌گیری

تداخل بین سیستم‌های قطار برقی AC و DC سبب ایجاد اعوجاج هارمونیک می‌شود، در صورتی که شبکه تغذیه‌کننده شبکه قطار مستقل از شبکه توزیع سراسری نباشد، موجب کاهش کیفیت توان شبکه می‌گردد. در این مقاله، نحوه مدل‌سازی دقیق اجزای سیستم‌های قطار برقی در تحلیل هارمونیک مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که این پدیده موجب کاهش کیفیت توان گردیده و همچنین مدل‌سازی دقیق اجزاء در تحلیل هارمونیک و اثرات ناشی از آن بسیار مؤثر است. این بررسی نشان می‌دهد که در بین این اجزاء، در نظر گرفتن مدل دقیق برای موتورهای سیستم‌های قطار برقی و فیلتر در مقایسه با مدل خط هوایی در تحلیل هارمونیک تأثیر قابل ملاحظه‌ای دارد. لذا برای بررسی چنین پدیده‌ای در نظر

۵- بهینه‌سازی پارامترهای فیلتر

برای افزایش کیفیت توان، مقدار THD را باید به نحوی کاهش داد. در این مقاله برای کاهش THD، ضریب کیفیت فیلتر (Q) به عنوان تابع هدف در نظر گرفته شده است، که با استفاده از الگوریتم ژنتیک مقدار (Q) طوری بهینه‌سازی شده است که THD بیشترین کاهش را داشته باشد. ضریب کیفیت فیلتر به صورت زیر تعریف شده، که در آن Z امپدانس فیلتر می‌باشد.

(۳)

$$Z = R + jX$$

$$Q = \frac{|X|}{|R|}$$

$$Q = \frac{\left| \omega \times (L_{dc} + R_{dc}^2 \times C_{dc}^2 \times L \times \omega^2 - R_{dc}^2 \times C_{dc}) \right|}{R_{dc}}$$

مقادیر بهینه‌ای که با استفاده از الگوریتم ژنتیک و با توجه به تابع هدف مورد نظر برای فیلتر بدست آمده، در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۳: مقادیر بهینه فیلتر

R_{dc} (kΩ)	L_{dc} (mH)	C_{dc} (μF)
۱۳	۱۰	۱۵۰

با استفاده از مقادیر بهینه تعیین شده برای فیلتر، حالت‌های ۲ و ۸ برای بررسی تأثیر مقادیر اجزای فیلتر بر روی کیفیت توان، شبیه‌سازی شده‌اند و نتایج حاصل از تأثیر بهینه‌سازی مقدار عناصر فیلتر بر روی مقدار THD در جدول ۳ ارائه شده است.



اولین کنفرانس ملی سیستم‌های قدرت و انرژی‌های تجدیدپذیر

دانشگاه آزاد اسلامی واحد اناز



Railway Electrification, pp. ۲۶۰-۲۶۴,
Sep ۱۹۸۹

- [۵] R.E. Morrison, "Power Quality Issues on AC Traction Systems", *Proceedings IEEE PES International 8th of Conference on Harmonics and Quality of Power, Orlando (USA)*, Vol. ۲, pp. ۷۰۹-۷۱۴, (۲۰۰۰).

- [۶] A. Capasso, "The Power Quality Concern in Railway Electrification Studies", *Proceedings of ۸th IEEE PES International Conference on Harmonics and Quality of Power, Athens (Greece)*, Vol. ۲, pp. ۶۴۷-۶۵۲, (۱۹۹۸).

- [۷] R. E. Morrison, "Parameters that Influence Power Quality on Industrial Frequency AC traction Systems", *IEEE Power Engineering Society Summer Meeting*, Vol. ۱, pp. ۲۰۴-۲۰۹, July ۲۰۰۱.

- [۸] Joy Mazumdar, Ronald G. Harley, Frank C. Lambert, Ganesh K. Venayaganoorthh, "Neural Network Based Method for Predicting Nonlinear Load Harmonics", *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. ۲۲, No. ۳, pp. ۱۰۳۶-۱۰۴۵, May ۲۰۰۷.

- [۹] G. Beaulieu, G. Borloo, M. H. J. Bollen, R. Koch, S. Malgarotti, X. Mamo, "Recommending Power Quality Indices and Objectives in the Context of an Open Electricity Market", *Proceedings of CIGRE/PES International Symposium on Quality and Security of Electric Power Delivery System, Montreal (Canada)*, October

گرفتن مدل دقیق برای موتور و فیلتر در تعیین دقیق مقدار THD، ضروری است. هم‌چنین در این مطالعه، مقادیر بهینه عناصر فیلتر برای کاهش THD، با استفاده از الگوریتم ژنتیک تعیین شده‌اند، که نشان می‌دهد با انتخاب مقادیر بهینه برای فیلتر، میزان THD به‌طور قابل ملاحظه-ای کاهش می‌یابد.

مراجع

- [۱] فرهاد شهینا، میترا سرهنگ‌زاده، سید حسین حسینی، "بررسی اثرات قطار برقی تبریز-جلفا بر نامتعادلی ولتاژ شبکه فوق توزیع تغذیه‌کننده آن و ارائه راهکارهای بهبود و رفع نامتعادلی"، بیستمین کنفرانس بین‌المللی برق، تهران، ایران، آبان ۱۳۸۴.

- [۲] L. Battistelli, P. Caramia, G. Carpinelli, D. Proto, "Power Quality Disturbance Due to Interaction between AC and DC Traction System", *Proceedings of the IEE International Conference on Power Electronics, Machine and Drives PEMD, Edinburge*, April ۲۰۰۴, pp. ۴۹۲-۴۹۷.

- [۳] L. Battistelli, P. Caramia, G. Carpinelli, D. Lauria, D. Proto, "A Power Quality Compensation Device for Interacting AC-DC Railway Systems", *IEEE Power Tech Conference, St. Petersburg*, Jun ۲۰۰۵.

- [۴] D. C. Howroyd, "Public Supply Disturbance from AC Traction", *IEE International Conference on Main Line*



اولین کنفرانس ملی سیستم‌های قدرت و انرژی‌های تجدیدپذیر

دانشگاه آزاد اسلامی واحد اناز



۲۰۰۳.

ضمیمه

مشخصات خطوط انتقال، بارها و ترانسفورماتورها شبکه و
فیلتر در جداول ۱ الی ۴ ارائه شده است.

جدول ۱: مشخصات خط انتقال

خط	نوع خط	V_n (kV)	r (Ω/km)	x (Ω/km)	c (nf/km)	L (km)
۱-۲	کابل	۱۳۲	۰/۰۲۹۱	۰/۱۲۲	۲۲۰	۳/۵۸
۱-۳	هوایی	۱۳۲	۰/۱۷۲	۰/۴۲۴	۸,۵	۲۴
۱-۷	کابل	۲۰	۰/۰۴	۰/۰۴۶	۷۰۰	۳
۳-۴	هوایی	۱۳۲	۰/۱۷۲	۰/۴۲۴	۸,۵	۱۷
۴-۵	هوایی	۱۳۲	۰/۱۷۲	۰/۴۲۴	۸,۵	۱۸
فیدر تغذیه به شین ۲	کابل	۱۳۲	۰/۰۲۹۱	۰/۱۲۲	۲۲۰	۸/۱۶

جدول ۲: مشخصات بار شبکه

شین	V_n (KV)	P_n (MW)	Q_n (MVar)
۶	۲۰	۸	۶
۷	۲۰	۲۰	۲۱/۸

جدول ۳: مشخصات ترانسفورماتو

ترانس	S_n (MVA)	V_1/V_2 (kv/kv)	r (%)	x (%)
AT	۲۵۰	۳۸۰/۱۳۲	۰/۲	۱۳
T_1	۲۵	۱۳۲/۲۰	۰/۸	۱۴
T_2	۲۵	۱۳۲/۲۰	۰/۸	۱۴
T_3	۲۵	۱۳۲/۲۰	۰/۸	۱۴

جدول ۴: مشخصات فیلتر

R_{dc} (k Ω)	L_{dc} (mH)	C_{dc} (μF)
۱۳,۸	۶	۳۶۰