به نام خدا

آشنایی با راه‌آهن برقی

گردآوری و تدوین: حسین نادری فشتالی

گروه آموزش راه‌آهن برقی
مرکز آموزش و تحقیقات راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران
تابستان ۱۳۹۳

سرشناسه	:	نادری فشتالی، حسین، ۱۳۵۷ -، گردآورنده
عنوان و نام پدیدآور	:	آشنایی با راه‌آهن برقی/گردآوری و تدوین حسین نادری‌فشتالی ؛ [به سفارش] مرکز آموزش و تحقیقات راه‌آهن.
مشخصات نشر	:	تهران : ج، ۱۳۹۳.
مشخصات ظاهری	:	۷۲ ص.: مصور ،جدول ،نمودار .
شابک	:	۹۷۸-۹۶۴-۸۲۴۷-۶۳-۳
وضعیت فهرست نویسی	:	فیپا
موضوع	:	راه‌آهن برقی
شناسه افزوده	:	راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران. مرکز آموزش و تحقیقات
رده بندی کنگره	:	۱۳۹۳ ۵آ۲ن/TF۸۵۵
رده بندی دیویی	:	۶۲۱/۳۳
شماره کتابشناسی ملی	:	۳۵۳۴۴۱۶

مرکز آموزش و تحقیقات راه آهن

آدرس: میدان راه آهن، خیابان دشت آزادگان، درب غربی حوزه شش راه‌آهن، ساختمان مرکز آموزش و تحقیقات راه آهن

انتشارات مرکز آموزش و تحقیقات راه‌آهن

آشنایی با راه‌آهن برقی

گردآوری و تدوین: حسین نادری فشتالی

ویراستار ادبی و پرداخت نهایی: ناصر مجیدی فرد

صفحه‌آرایی، امور گرافیکی و رایانه‌ای: مهشید جهانتاب

چاپ اول: ۱۳۹۳

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

بها: ۳۵۰۰ تومان

«کلیه حقوق این اثر برای مرکز آموزش و تحقیقات راه آهن محفوظ می باشد»

- **پست الکترونیکی:** **Rwamaouzesh @ rai.ir**
- **سایت مرکز آموزش:** **http://www.raitc.rai.ir**
- **شماره تماس:** **۵۵۱۲۴۱۲۹-۳۰**

فهرست مطالب

پیشگفتار ۵
سخنی با خواننده ۶

فصل اول- مبانی راه آهن برقی **۷**
۱-۱- تعریف راه آهن برقی ۹
۱-۲- منافع برقی کردن ۱۰
۱-۳- ویژگی‌های نامطلوب راه‌آهن برقی ۱۱
۱-۴- مطالعات توجیه فنی – اقتصادی راه آهن برقی ۱۲

فصل دوم- مباحث فشار قوی **۱۷**
۲-۱- مشخصات بار راه‌آهن برقی ۱۹
۲-۲- پست‌های راه آهن برقی ۲۰
۲-۳- اتصالات در طرف فشار قوی ۲۱
۲-۴- ترانسفورماتورهای راه‌آهن برقی ۲۲
۲-۵- سیستم‌های مختلف تغذیه ۲۴

فصل سوم- مباحث فشار ضعیف **۲۹**
۳-۱- سطوح ولتاژ در راه‌آهن برقی ۳۱

۳-۲- شبکه‌ی بالاسری OCS ۳۲
۳-۳- ریل سوم ۴۱
۳-۴- شبکه بالاسری سخت یا ریل هادی سخت ۴۴

فصل چهارم- اسکادا **۴۵**

۴-۱- مقدمه ۴۷
۴-۲- دیسپاچینگ و اهداف آن ۴۷
۴-۳- ساختار سیستم دیسپاچینگ و تجهیزات آن ۴۹
۴-۴- سیستم‌های مخابراتی ۵۱

فصل پنجم-ماشین آلات و کشنده های برقی **۵۵**

۵-۱- مقدمه ۵۷
۵-۲- ماشین‌آلات راه آهن برقی ۵۷
۵-۳- کشنده‌های برقی ۶۱
۵-۴- سیستم‌های انتقال توان در کشنده‌های برقی ۶۴

مراجع ۶۸
کتاب‌های منتشرشده‌ی مرکز آموزش و تحقیقات راه‌آهن ۶۹

پیشگفتار

بـا رویکرد سیاسـت‌های بهره‌مندی از انـرژی پاک، بهـره‌وری و اصلاح الگوی مصرف، کاهش آلودگی‌های صوتی و زیست محیطی، ضرورت توسعه‌ی شبکه‌ی برقی در حمل و نقل ریلی و ارتقای ظرفیت حمل بار و مسافر به منظور ارائه خدمات رفاهی و اقتصادی بیشـتر به ویژه اسـتفاده از قطارهای تندروی مسافری را در کشور ایجاب می‌کند.

از آنجـا که تجربه‌ی دانش فنی مرتبط با احداث شـبکه‌ی خط برقی محورهای تبریـز – جلفـا و تبریز – صوفیان در راه‌آهن و همچنین خط ۵ متروی تهران – کرج (که به طور محدود انجام گردیده) مسـتندات تدوین شـده و کاملی برای استفاده‌ی متخصصـان و دانش‌پژوهـان وجود نـدارد، لذا مرکز آموزش و تحقیقات در راسـتای این سیاسـت‌گزاری و باتوجه به رسـالت آموزشـی خود تلاش نموده ضمن گردآوری و مستندسـازی تجربیات قبلی، ترجمه‌ی کتب مرجع و معتبر در زمینه‌ی پست‌های تغذیه‌ی ترانسـفورماتورها و شـبکه‌ی انتقال، فن‌آوری لکوموتیوهای برقی، سـرویس و نگهـداری بخش‌هـای مربوطه، و همچنین تدوین، تألیـف و چاپ کتاب، جزوه‌های آموزشی و ... در تکمیل زنجیرهٔ دانش طرح برقی کردن خطوط راه‌آهن کشور گام‌های مؤثری بردارد.

بدین منظور از سـال ۱۳۹۱ کمیته‌ی تخصصی خط برقی در معاونت آموزشـی مرکز تشکیل و کتاب حاضر با عنوان «آشنایی با راه‌آهن برقی» ویژه مدیران، به عنوان چهارمین اثر چاپ شـده در این حوزه توسـط آقای مهندس حسـین نادری فشتالی از اعضـای گـروه آموزش راه‌آهن برقی گـردآوری و تدوین و پـس از تأیید کمیته‌ی تخصصی و تصویب هیئت تحریریه این مرکز، چاپ و انتشار یافته است..

در خاتمه ضمن تقدیر و تشکر از زحمات ارزشمند ایشان، شایسته است از آقای ناصر مجیدی‌فرد کارشناس حوزه‌ی مطالعات و برنامه‌ریزی این مرکز نیز برای ویرایش ادبی و آماده‌سازی این مجموعه تشکر و قدردانی گردد.

امید اسـت با مشارکت و همکاری اسـاتید و متخصصین محترم و بهره‌مندی از نظرات جامع و سـازنده‌ی ایشـان، بتوانیم در آینده‌ای نزدیک منابع آموزشی کامل و جامعی در گستره‌ی حمل و نقل ریلی کشور ارائه نماییم.

سید مصطفی داوری
مدیرکل مرکز آموزش و تحقیقات
راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران

سخنی با خواننده

تحقق اهداف برنامه‌ریزی شـــده در راه‌آهن همانند برنامه‌ی افق ۱۴۰۴ از یک ســـو و نیاز به ارتقای ســـطح سرویس‌دهی جهت برآورده کردن انتظارات مشتریان از سوی دیگر، استفاده از فن‌آوری‌های روز دنیا را ضروری می‌نماید که احداث خطوط جدید برقی و برقی‌کردن بســـیاری از خطوط موجود یکی از این الزام‌هاســـت. البته همواره باید توجه داشـــت که خودکفایی در صنعت برق به معنای خودکفایی در برقی کردن راه‌آهن نیست، بلکه باید با توجه به تجربیات موجود در صنعت برق، برنامه و نقشه‌ی راه انتقال تکنولوژی و خودکفایی در برقی کردن را تدوین و اجرا نمود. بر این اســـاس به نظر می‌رسد که نیاز باشد تا کلیه‌ی تصمیم‌گیران و تصمیم‌سازان، آشنایی نسبی با کلیه‌ی ابعاد برقی کردن راه‌آهن داشـــته باشند تا بتوان گام مناسبی به جلو با نگاه به آینده در این مسیر برداشت.

امیـــدوارم کتـــاب حاضر که بر گرفته از تحصیلات و تجربیات اینجانب در زمینه‌ی برقی کردن می‌باشـــد بتواند اصول پایه‌ی این شاخه را معرفی نموده و راهنمایی برای مدیران و کارشناســـان در دستیابی به نقشـــه‌ی راه برقی کردن راه‌آهن باشد. لازم به ذکر است که با توجه به دامنه‌ی نفوذ برقی‌کردن و توسعه‌ی تکنولوژی در این صنعت، در این نوشـــته تنها به معرفی زوایای مختلف برقی‌کردن پرداخته شـــده است و انتظار می‌رود مدیران ارشد سازمان، با تدارک تیمی جامع با کلیه‌ی تخصص‌های مورد نیاز، برنامه‌ریزی، اجرا و توسعه‌ی خطوط برقی‌کردن را در راه‌آهن به پیش ببرند.

در پایـــان امیـــدوارم کلیه‌ی دوســـتان برای بهبود و ارتقای کتـــاب حاضر نظرات، انتقادات و پیشنهادات خود را از اینجانب دریغ نفرمایند.

با تشکر
حسین نادری فشتالی
کارشناس ارشد مهندسی راه‌آهن برقی
تابستان ۱۳۹۳

۱

مبانی راه‌آهن برقی

۱–۱ تعریف راه‌آهن برقی

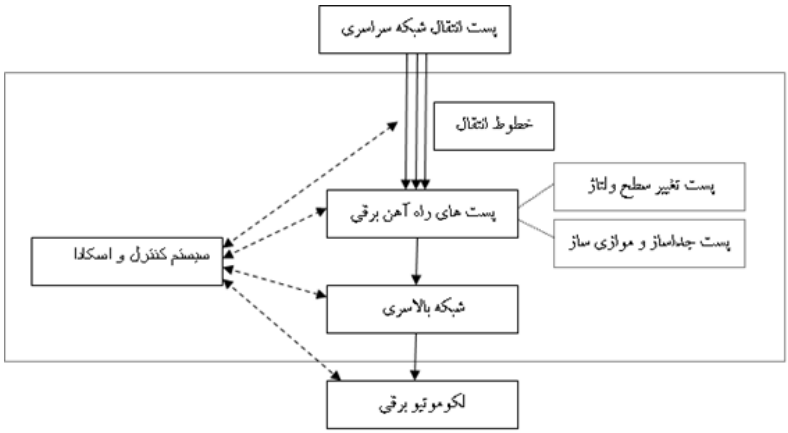
۱–۲ منافع برقی‌کردن

۱–۳ ویژگی‌های نامطلوب راه‌آهن برقی

۱–۴ مطالعات توجیه فنی– اقتصادی راه‌آهن برقی

۱-۱- تعریف راه‌آهن برقی

راه آهن برقی شامل کلیه‌ی تجهیزات سخت افزاری و نرم افزاری لازم جهت انتقال برق از پست انتقال شبکه‌ی سراسری از سطح ولتاژ فشار قوی به سطح ولتاژ مناسب لکوموتیو برقی است. طرح شماتیک راه‌آهن برقی به صورت زیر می‌باشد:



شکل(۱-۱) طرح شماتیک راه آهن برقی

هر زیر بخش در راه آهن برقی دارای حالت‌های مختلف هستند که متناسب با مشخصات، اهداف و محدودیت‌های تعریف شده در هر پروژه، انتخاب و طراحی می‌گردند. نگاهی اجمالی به زیر سیستم‌های راه آهن برقی گویای این مطلب است که انتخاب هر گزینه و بهینه سازی طراحی و هزینه‌ی ساخت، مستلزم داشتن تیمی کامل و آشنا به مسایل زمین شناسی، برق فشار قوی، برق فشار ضعیف، بهره‌برداری و راه‌آهن برقی می‌باشد. در شکل (۱-۱) بخش نمایش داده شده در بلوک

نشـــان دهنده‌ی راه آهن برقی اســـت که بر این اساس می‌توان راه آهن برقی را به سه بخش به شرح زیر تقسیم کرد:

۱- بخش فشار قوی

۲- بخش فشار ضعیف

۳-بخش کنترل و اسکادا

در ســـال ۱۹۹۷ ســـهم راه‌آهن برقی از کل خطوط ریلـــی موجود در جهان حدود ۲۵ درصد بود، با این حال تقریباً ۵۰ درصد ترافیک انتقالی توســـط کشـــش برقی و ۵۰ درصد آن توســـط کشـــش دیزل جابجا می‌شـــد؛ یعنی در آن سال، حجم ترافیک انتقالی در خطوط برقی ســـه برابر خطوط غیر برقی بود. لازم به ذکر اســـت بر اساس آمار ســـال ۲۰۰۷ ، یعنی در یک بازه ده ســـاله بیش از نصف خطوط موجود در دنیا برقی شـــده اســـت که این مطلب گویای گرایش به احداث خطوط جدید برقی و برقی نمودن خطوط موجود در دنیا می‌باشد.

۱-۲- منافع برقی کردن

منافع راه آهن برقی را می‌توان به صورت منافع کیفی و منافع کمی ازدیدگاه ملی یا بنگاهی مورد ارزیابی قرار داد، که در ادامه این منافع معرفی می‌گردند.

- **منافع کیفی برقی کردن**

الف. تنوع در منبع تولید انرژی

ب. کمک به صنعت برق

پ. کاهش آلودگی صوتی

ت. قدرت بالا

ث. وزن کم

ج. عدم انحصاری بودن ساخت و تولید لکوموتیو برقی

چ. عمر مفید بالاتر

ح. امکان بومی کردن

- **منافع کمی برقی کردن**

الف. افزایش ظرفیت

ب. کاهش مصرف سوخت
پ. کاهش آلودگی هوا
ت. کاهش نیاز به لکوموتیو اضافی وتناسب با شرایط جغرافیایی کشور
ث. هزینه تعمیر و نگهداری پایین
ج. افزایش قابلیت اعتماد(Reliability)
چ. کاهش هزینه‌های احداث خطوط جدید با استفاده از راه‌آهن برقی
ح. کاهش زمان سفر

۱-۳- ویژگی‌های نامطلوب راه آهن برقی

با توجه به کلیه‌ی محاسنی که در خصوص راه‌آهن برقی مطرح شد این سیستم دارای معایبی نیز می‌باشد. در نگاه اول، بزرگترین عیب راه‌آهن برقی هزینه‌ی اولیه‌ی نسبتاً زیاد احداث آن است، اما با نگاه ابزاری به راه‌آهن برقی باید به این نکته تاکید نمود که این کار یک سرمایه گذاری در راستای ارتقای راه آهن است و عیبی محسوب نمی‌شود.

استفاده‌ی گسترده از بارهای غیرخطی مانند مبدل‌های الکترونیکی، سیکلوکانورترها در سطوح بالای توان- تحت شرایط غیرسینوسی- منجر به بروز پدیده‌های غیرمطلوب می‌شود. پدیده‌ی هارمونیک در هر دو نوع سیستم تغذیه AC و DC وجود دارد. در زمان طراحی خطوط بالاسری نیز این پدیده به عنوان یکی از منابع اصلی EMI در محاسبات لحاظ می‌گردد.

در خطوط AC نیز منابع مختلفی برای هارمونیک‌ها وجود دارد که اصلی‌ترین آنها عبارتند از: مدارهای الکترونیک قدرت سیستم درایو موتورهای تراکشن و ترانسفورماتورهای کشش. علاوه براین نامتعادل بودن بار راه‌آهن‌های برقی در شبکه‌ی تغذیه AC نیز، با ایجاد عدم تعادل بار موجب ایجاد مؤلفه توالی منفی در خطوط تغذیه بالادست آن می‌گردد. در حال حاضر با به‌کارگیری انواع روش‌ها از جمله چرخش فاز در پست‌های کشش، استفاده از ترانسفورماتورهای اسکات و یا تجهیزات متعادل کننده‌ی شبکه های تغذیه تک‌فاز می‌توان تا حدود زیادی اثرمنفی عدم تعادل بار را از بین برد.

به علت استفاده از ولتاژهای بالا در خطوط شبکه‌ی بالاسری خط برقی، جریان‌ها و ولتاژهای موجود در شبکه می‌توانند منجر به اثرات ناخواسته‌ای شوند. در یک بیان کلی می‌توان گفت تداخلات موجب عوارض نامطلوب بر روی عملکرد سیستم‌ها و ایجاد نویز در آنها می‌شود. این اثرات می‌تواند موجب بروز خطا در انتقال داده‌ها، افزایش خطاهای سیستم، تداخل با سیستم‌های پردازش الکترونیکی یا کامپیوتری و حتی اثرات ناخواسته بر روی تجهیزات کنترلی و تأمین ایمنی شود که در نهایت باعث اختلال در عملیات بهره‌برداری و یا بروز حادثه می‌گردد.

کلیه‌ی معایب ذکر شده در بالا را می‌توان با استفاده از راهکارهای فنی در طراحی و تجهیزات رفع نمود یا تأثیرات آن را به حداقل کاهش داد. اما بزرگترین عیب احداث راه‌آهن برقی وابستگی شدید این سیستم به مطالعات پایه و ترافیکی قبل ازانتخاب سیستم‌ها است. با احداث راه‌آهن برقی با توجه به نوع سیستم و ظرفیت‌های طراحی شده، محدودیت هایی به سیستم بهره‌برداری اعمال خواهد شد که اصلاح این موارد در برخی از موارد غیرممکن و در برخی از موارد هزینه‌ی بسیار بالایی را دربر می‌گیرد.

نکته

برای برقی‌کردن یک مسیر ابتدا می‌بایست مطالعات ترافیک صورت گرفته و براساس آن نوع ناوگان مشخص شود، سپس رژیم بهره‌برداری طرح تعیین گردد تا بتوان وارد مباحث طراحی وانتخاب سیستم در راه‌آهن برقی شد.

۱-۴- مطالعات توجیه فنی - اقتصادی راه آهن برقی

معمولاً دو روش برای توجیه هر پروژه وجود دارد:

۱- تخریب دیگر گزینه‌ها

۲- نگاه ابزاری به لزوم و قابلیت‌های پروژه

برای مطالعات توجیه فنی- اقتصادی برقی‌کردن نیز می‌توان از این دو روش استفاده کرد. در روش اول در اولین گام راه‌آهن با دیگر انواع سیستم حمل و نقل مقایسه می‌گردد و در گام بعد راه‌آهن دیزلی با راه آهن برقی مقایسه شده و معمولاً با اتکاء به مصرف سوخت و صرفه‌جویی حاصل از آن پروژه برقی‌کردن از نگاه ملی و بنگاهی توجیه می‌شود. این روش تنها متکی به قیمت سوخت بوده و با تغییرات

آن احتمال دارد پروژه فاقد توجیه اقتصادی گردد؛ در این روش گزارش بانک جهانی با عنوان "راه‌آهن و انرژی" که در سال ۱۹۸۴ انتشار یافته یکی از منابعی است که مطالعات بر اساس آن صورت می‌گیرد و مصرف انرژی در حالت برقی و دیزلی مقایسه می‌شود. اما در روش دوم، با توجه به این باور که انواع مختلف حمل و نقل باید مکمل یکدیگر باشند در گام اول می‌بایست مشکل و مفروضات موجود در طرح را بررسی کرد و هدف مورد نظر را نیز به طور کامل شفاف نمود و در مرحله‌ی بعد هر یک از سیستم‌ها و زیر سیستم‌های حمل و نقل را که می‌توانند ما را به هدف مورد نظر برسانند مشخص نمود و هر راهکار را با توجه به قابلیت‌ها و مفروضات مسأله مورد ارزیابی قرار داد تا گزینه‌ی بهینه مشخص گردد.

امروزه در تمام دنیا وقتی که به دنبال بهینه‌ترین راهکار برای کاهش میزان آلاینده‌ها ویا کاهش زمان سیر در یک محور باشند، برقی کردن آن مسیر نیز همانند دیگرگزینه‌ها مورد ارزیابی فنی- اقتصادی قرار می‌گیرد و پیش فرض‌هایی همانند دوخطه بودن و یا مجهزبودن مسیر به سیستم های علائمی پیشرفته به هیچ وجه در تصمیم‌گیری لحاظ نمی‌شود؛ به عبارت دیگر ، اگرمسیری دوخطه نبوده و یا مجهز به سیستم‌های کنترل اتوماتیک نباشد ولی به دنبال راهکاری برای کاهش میزان آلاینده‌ها و یا کاهش زمان سیر در آن باشند، برقی کردن آن مسیر به عنوان یک گزینه‌ی اصلی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

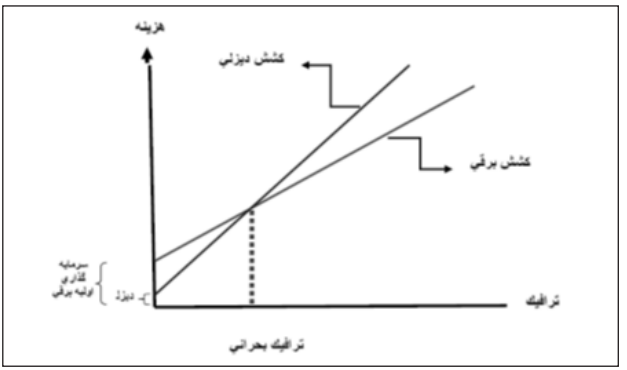
نکته

لازم به ذکر است راه‌آهن برقی نه تنها در ارتقای خطوط موجود می‌بایست مورد ارزیابی قرار گیرد، بلکه در احداث خطوط جدید نیز باید لحاظ گردد، اما پارامترهای مورد ارزیابی در هر کدام متفاوت می باشد.

یکی از روش‌های متداول در توجیه فنی- اقتصادی راه آهن برقی استفاده از ترافیک بحرانی در طرح می‌باشد که در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

ترافیک بحرانی عبارت است از مقدار تن- کیلومتر ناخالصی که در یک خط مشخص جابجا شده و به ازای آن هزینه‌های کشش برقی و دیزلی در آن یکسان باشد؛ به عبارت دیگر اگر ترافیک به یک مقدار خاصی افزایش یابد هزینه‌های کشش

برقی و دیزلی ســـربه ســـر می‌گردد و برای ترافیک‌های بالاتر هزینه‌های کشش برقی کمتر از کشش دیزلی خواهد شد. شکل (۱-۲) نشان دهنده‌ی ترافیک بحرانی است.



شکل(۱-۲) تعریف ترافیک بحرانی

عمده پارامترهایی که در تعیین ترافیک بحرانی نقش اساســـی دارند به شرح ذیل است:

۱- ماکزیمم سرعت
۲- هزینه‌ی تأسیسات ثابت خط برقی وتعمیر و نگهداری آنها
۳- تعداد لکوموتیوهای مورد نیاز وهزینه‌ی خرید آنها
۴- هزینه‌ی تعمیر و نگهداری لکوموتیوها
۵- مقدار مصرف انرژی انواع لکوموتیوها
۶- هزینه‌ی انرژی مصرفی
۷- نوع ترافیک (باری، مسافری، باری- مسافری)
۸- پروفیل خطوط
۹- ظرفیت خط
۱۰- دپوهای مورد نیاز
۱۱- مأمورین بهره برداری
۱۲- شبکه‌ی برق سراسری

۱۳- علائم و ارتباطات
۱۴- مصرف روغن
۱۵- نرخ بازگشت سرمایه

پارامترهایی که در برقی کردن خطوط دارای ارزش اقتصادی قابل ملاحظه‌ای می‌باشند، عبارتند از:

۱- هزینه‌ی تجهیزات ثابت کشش برقی
۲- هزینه‌ی سالیانه تعمیر و نگهداری
۳- هزینه‌ی خرید لکوموتیو و صرفه جویی حاصل از آنها
۴- هزینه‌ی مصرف انرژی وصرفه جویی در مصرف سوخت
۵- هزینه‌ی بهره برداری وصرفه جویی در هزینه های تعمیر ونگهداری
۶- صرفه‌جویی ناشی از افزایش ظرفیت محور

هر یک از این پارامترها بر اساس متغیرهای مختلف و فرمول‌های مشخص تعیین شده و در نهایت می‌توان بر اساس هزینه ها و صرفه‌جویی ها ترافیک بحرانی را طریق فرمول زیر محاسبه کرد:

$$T = \frac{C_F + M_F - \frac{W}{S}}{W + M_L - C_L}$$

که در این رابطه:

T : ترافیک بحرانی بر حسب تناژ ناخالص

C_F: هزینه تجهیزات ثابت کشش برقی برای هر کیلومتر بر حسب دلار

M_F: هزینه سالیانه تعمیر و نگهداری تاسیسات ثابت برقی برای هر کیلومتر

S : طول مسیر بر حسب کیلومتر

W : تفاوت سرمایه گذاری برای افزایش ظرفیت بدون برقی کردن

M_L: اختلاف هزینه تعمیر و نگهداری لکوموتیو برقی و دیزلی در هر تن کیلومتر ناخالص

C_L: اختلاف هزینه خرید ناوگان برقی و دیزلی به ازای هر تن کیلومتر ناخالص

جمع‌بندی

بـا توجـه به ویژگی‌هـای راه آهن برقی هرگاه یکی از اهداف زیر در یک مسـیر مد نظر باشـد می‌بایسـت برقی کردن راه آهـن را با دیگر راهکارهـا از لحاظ فنی و اقتصادی مقایسه کرد:

۱- کاهش آلاینده‌ها
۲- کاهش زمان سفر
۳- عدم دسترسی به بازارهای روز تامین کنندگان لکوموتیو دیزل- الکتریک
۴- کاهش زمان سیر بار
۵- استفاده از تونل‌های طویل در احداث خطوط جدید
۶- استفاده از شیب و فراز بیشتر در احداث خطوط جدید

نکته

در هر مسیری که کاهش زمان در بهره برداری مدنظر باشد، برقی کردن آن مسیر همانند دیگر گزینه ها مانند دو خطه کردن، سیستم کنترل اتوماتیک، بازگشـایی نیم ایسـتگاه و تغییر نوع ناوگان می‌بایسـت مورد ارزیابی قرار گیرد.

۲

مباحث فشار قوی

۲–۱ مشخصات بار راه‌آهن برقی
۲–۲ پست‌های راه‌آهن برقی
۲–۳ اتصالات در طرف فشار قوی
۲–۴ ترانسفورماتورهای راه‌آهن برقی
۲–۵ سیستم های مختلف تغذیه

۲-۱- مشخصات بار راه‌آهن برقی

بـار الکتریکی راه آهن برقی از نظر رفتار دینامیک و اسـتاتیک با بارهای صنعتی تفاوت‌های بسیاری دارد از جمله:

- مقدار بار با زمان تغییر می‌کند؛
- محل بار با زمان تغییر می‌کند؛
- تک‌فاز است (حضور مؤلفه توالی منفی)؛
- بار یکسو شده (غیر خطی) بزرگی است (حضور هارمونی بالا)؛
- دارای ضریب قدرت کم است؛
- ضریب استفاده‌ی کوچک برای کلیه‌ی تجهیزات.

شبکه‌ی تغذیه‌ی فشار قوی

این شـبکه وظیفه‌ی انتقال انرژی الکتریکی از محل نیروگاه‌ها یا پسـت‌های فشار قوی شـرکت تأمین‌کننده‌ی انرژی الکتریکی به محل پست‌های تغذیه‌کننده راه‌آهن برقی را بر عهده دارد.

طراحی خطوط و تحلیل شـبکه‌ی فشـار قوی در راه‌آهن‌های برقی دقیقاً مشـابه طراحی خطوط و تحلیل شـبکه‌ی فشار قوی در سیسـتم‌های انتقال قدرت معمولی است و مباحث مربوط به آن در کلیه‌ی کتب تحلیل سیستم‌های قدرت یافت می‌شود.

۲-۲- پست‌های راه آهن برقی

پســت مجموعه تجهیزات ثابتی اســت که انرژی الکتریکی را دریافت و با کنترل، تبدیل سطح و نوع ولتاژ آن را برای مصرف در راه‌آهن برقی هدایت می‌نماید.

شبکه راه‌آهن برقی دارای انواع پست‌های متفاوتی است که وظایف مختلفی را بر عهده دارند، از جمله :

- پست کشش
- پست یکسوساز
- پست جداساز
- پست موازی‌ساز
- پست اتوترانسفورماتور
- پست بوسترترانسفورماتور

پست کشش

پســت کشــش پستی است که انرژی الکتریکی را از شبکه‌ی فشار قوی دریافت و با تبدیل سطح و نوع ولتاژ، آن را برای مصرف در راه‌آهن آماده می‌نماید.

پست یکسوساز

در صورت اســتفاده از برق جریان مســتقیم در تغذیه‌ی راه آهن برقی می‌بایســت یکسوسازی نیز صورت پذیرد که این امر در راه آهن‌های بین شهری به صورت ترکیب پســت کشــش و یکسوساز و در راه آهن شهری هر پست کشش چند پست یکسوساز را تغذیه می‌کند.

پست جداساز

این پســت وظیفه‌ی جداســازی قســمت‌های مختلف شــبکه از یکدیگر را بر عهده دارد. عمل جداســازی ممکن اســت به علت وجود اختلاف پتانسیل بین دو قسمت یا جلوگیری از برقراری جریان گردشــی بین دو قســمت صورت گیرد. این پست شامل چند کلید قدرت می‌باشد.

پست موازی‌ساز

وظیفه‌ی این پست ایجاد مسیرهای مشترک جریانی توسط موازی کردن قسمت‌های مختلف و با هدف کاهش افت ولتاژ در شــبکه اســت. در مواردی این پســت و پست

جداساز به صورت یک‌پارچه طراحی و اجرا می‌گردند.

پست اتوترانسفورماتور

سیستم اتوترانسفورماتور یکی از سیستم‌هایی است که برای جبران اثر سیستم راه‌آهن برقی بر سیستم‌های مخابراتی و سیگنالینگ استفاده می‌شود. در این سیستم نیاز به محلی به نام پست اتوترانسفورماتور برای نصب تجهیزات آن است. این پست شامل یک اتوترانس با سر وسط می‌باشد که ولتاژ اولیه‌ی آن دو برابر ولتاژ شبکه بالاسری و ولتاژ ثانویه‌ی آن برابر ولتاژ بالاسری است. سر وسط این ترانس به ریل وصل می‌گردد. توضیحات تکمیلی در بخش سیستم تغذیه ارائه می‌گردد.

پست بوسترترانسفورماتور

سیستم بوسترترانسفورماتور یکی از سیستم‌هایی است که برای جبران اثر سیستم راه‌آهن برقی بر سیستم‌های مخابراتی و سیگنالینگ استفاده می‌شود. در این سیستم نیاز به محلی به نام پست بوسترترانسفورماتور برای نصب تجهیزات آن است. در این پست یک ترانسفورماتور با نسبت تبدیل یک قرار می‌گیرد که سیم‌پیچ اولیه آن با هادی بالاسری و سیم‌پیچ ثانویه‌ی آن با مسیر برگشت جریان سری می‌شوند. توضیحات تکمیلی در بخش سیستم تغذیه ارائه می‌گردد.

اتصالات اصلی پست‌ها عمدتاً شامل سه قسمت است:

- اتصالات در طرف فشار قوی
- اتصالات ترانسفورماتور اصلی
- اتصالات فیدرها (مدار فشار ضعیف)

۲-۳- اتصالات در طرف فشار قوی

مدار الکتریکی این قسمت معمولاً بر اساس مشخصات مدار الکتریکی تغذیه کننده اصلی شکل می‌گیرد و معمولاً دارای سه شکل عمده‌ی زیر است:

۱- اتصال انشعابی یا اتصال T دوگانه

۲- اتصال پل شامل اتصال پل داخلی واتصال پل خارجی

۳- مدار یکباسبار (شین)

اتصالات دیگری هم در پست‌های کشش می‌تواند به کار رود اما به علت محدودیت

تعـداد ورودی و خروجی‌هـا (معمـولاً فقط دو ورودی و دو خروجـی) و نیز به جهت کاهش هزینه‌ها استفاده از این روش‌ها منطقی نمی‌باشد.

اتصال انشعابی یا T دوگانه

این اتصال پرکاربردترین اتصال در پسـت‌های کشـش است. از مزایای این سیستم کـم بودن تجهیزات و فضای مورد نیاز، هزینه‌ی کم، سـهولت در نصب، بهره برداری روزانه و نگهداری و تعمیرات است.

اتصالات پل

ایـن اتصـال دارای دونوع پل داخلی و پل خارجی اسـت. انتخـاب بین پل داخلی وخارجـی با توجه به وضعیت مدار صـورت می‌گیرد؛ به عنوان مثال اتصال پل داخلی بیشتر زمانی به کار می‌رود که احتمال بروز خطا روی خطوط فشار قوی زیاد باشد.

مدار یک باسبار

اگـر چه در این مدار تجهیزات بیشـتری نسـبت به حالت‌های قبـل به کار رفته و نصب آن فضای بیشـتری اشغال می‌کند و هزینه‌ی بیشتری در بردارد، اما کارکرد آن با ضریب اطمینان بالاتری همراه است.

۲-۴- ترانسفورماتورهای اصلی

ترانسـفورماتور اصلی پسـت کشش وظیفه تبدیل سـطح ولتاژ شبکه اصلی تغذیه کننده به مقدار مورد نیاز برای مدار کشش را برعهده دارد. ترانسفورماتوراصلی متداول در یک پست کشش ممکن است به صورت‌های زیر باشد:

۱- ترانسفورماتور تک‌فاز
۲- ترانسفورماتور تک‌فاز با اتصال V/V
۳- ترانسفورماتور سه فاز
۴- ترانسفورماتور اسکات

نکته

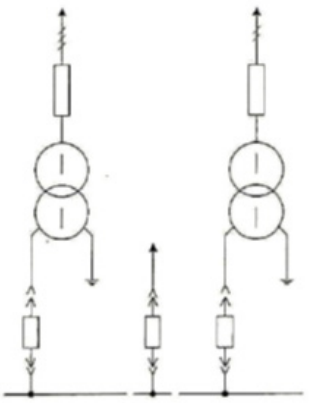
با توجه به پیشـرفت تکنولوژی امروزه مدل‌های دیگری از ترانس‌ها نیز در راه‌آهن برقی دیده می‌شود، که لازم است تیم‌های مذاکره کننده با طراحان خارجـی، قبل از مذاکرات، تکنولوژی‌های کشـور مورد نظر را مورد بررسـی قرار داده باشند.

ترانسفورماتور تک‌فاز

در این حالت سیم پیچ اولیه یک ترانسفورماتور تک‌فاز بین دو فاز از شبکه انتقال انرژی الکتریکی قرار می‌گیرد. کلیه خطوط بالاسری متصل به پست کشش توسط فازهای یکسان تغذیه می‌شوند. ساختمان و مدار این ترانسفورماتور نسبت به انواع دیگر ساده‌تر و ارزان‌تر است.

ترانسفورماتور یک‌فاز با اتصال V/V

شکل(۲-۱) مدار الکتریکی یک پست کشش با ترانسفورماتور یک‌فار با اتصال V/V را نشان می‌دهد که در آن دوترانسفورماتور تک‌فاز به گونه‌ای بین فازهای مختلف قرارگرفته‌اند که تشکیل اتصال V/V بدهند. از محاسن این سیستم ضریب استفاده بیشتر از ترانسفورماتور (تقریباً ۱۰۰ درصد) و تجهیزات ساده‌تر نسبت به ترانسفورماتور سه فاز است. از معایب این سیستم آن است که با از دست رفتن یک ترانسفورماتور عملاً تبدیل توان به صورت تک فاز غیرممکن خواهد بود.



شکل(۲-۱)- مدار الکتریکی یک پست کشش با ترانسفورماتوریک‌فاز با اتصال V/V

نکته

سازندگان ترانس امروزه ترانسفورماتورهای با اتصال V/V را به صورت یک پک در یک ترانس نیز ارائه می‌نمایند.

ترانسفورماتور سه فاز

این نوع ترانس بیشتر در چین، روسیه و اروپای شرقی استفاده شده است. در صورت استفاده از این ترانس امکان تغذیه‌ی مصرف کنندگان غیر راه‌آهنی در اطراف پست وجود خواهد داشت. در این مدار ممکن است یک ترانسفورماتور به عنوان ترانسفورماتور اصلی و دیگری به عنوان ترانسفورماتور کمکی عمل کند.

ترانسفورماتور اسکات

این ترانسفورماتور بر اساس تبدیل سیستم سه فاز به دو فاز عمل می‌کند و تنها ترانسفورماتوری است که در حالت ایده‌ال (برابر بودن بار در دو طرف پست کشش) می‌تواند در محل پست کشش ایجاد بار متعادل در طرف سه فاز نماید. ضریب استفاده از ترانسفورماتور در این حالت کمتر از ضریب استفاده از ترانسفورماتور با اتصال V/V و بیش از ضریب استفاده ترانسفورماتور سه فاز است.

۲-۵- سیستم‌های مختلف تغذیه AT، BT، Simple

در سیستم تغذیه AC سه روش ساده، بوستر ترانس و اتوترانس برای برقرسانی به شبکه‌ی بالاسری شناخته شده است که مدار هر یک در زیر ترسیم شده است. قابل ذکر است که جدیداً یک سیستم تغذیه به صورت ترکیبی از سیستم ساده و بوستر ترانس به کار گرفته می‌شود که در آن معایب مربوط به سیستم بوستر ترانس رفع می‌گردد. در این سیستم بوستر ترانس‌ها حذف شده و به جای آن یک مدار برگشت منفی (Negative feeder NF) موازی با شبکه بالاسری و در کنار آن کشیده و در نقاطی به ریل‌ها وصل می‌گردد.

ساده [۱]

این سیستم اولین نوع تغذیه‌ی قطارهای برقی است در این سیستم قیمت تمام شده‌ی شبکه‌ی برقی کمتر از سایر روش‌ها بوده، لیکن دو فاکتور شامل القاء روی کابل‌های مخابراتی و شبکه‌های علائم interference و نیز پتانسیل ریل بیشتر از روش‌های دیگر است.

۱- Simple

بوستر ترانس[۱]

این روش تغذیه صرفاً در قسمت‌هایی مطرح و به کار گرفته می‌شود که موضوع Interference مشکل‌زا باشد، به جز این مورد، این سیستم هیچ مزیتی نداشته و از نظر مخارج نیز به دلیل اضافه شدن بوسترترانس‌ها و پیچیده شدن آرایش شبکه‌ی بالاسری، پرهزینه‌تر از سیستم ساده بوده و به طور کلی امپدانس کل رفت و برگشت نیز افزایش یافته و به همین دلیل فاصله بین پست‌های کشش در مقایسه با سیستم ساده، کاهش و تعداد کل پست‌های کشش در طول مسیر افزایش می‌یابد.

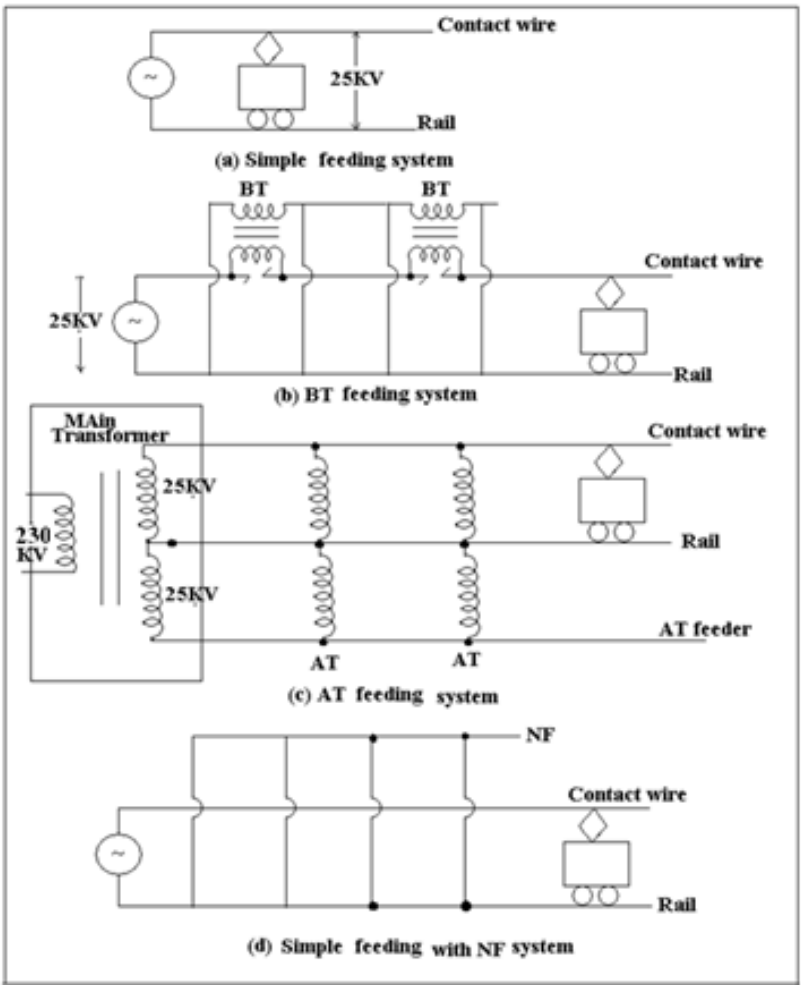
سیستم تغذیه‌ی اتو ترانسفورماتوری[۲]

در سیستم تغذیه اتوترانس ولتاژ خروجی پست کشش به جای ۲۵ کیلو ولت، ۵۰ کیلو ولت بوده و این ولتاژ وارد یک اتوترانس با سر وسط، که سر وسط آن به ریل وصل شده است، می‌شود و در خروجی اتوترانس دو سطح ولتاژ ۲۵+ کیلو ولت و ۲۵- کیلو ولت حاصل می‌گردد که سطح ولتاژ مثبت ۲۵ کیلو ولت برای تغذیه‌ی شبکه‌ی بالاسری استفاده می‌شود. بنابراین می‌توان تصور نمود هر چند شبکه‌ی بالاسری به ولتاژ ۲۵ کیلو ولت وصل است اما در حقیقت از یک منبع ولتاژ ۵۰ کیلو ولت تغذیه می‌نماید، بدین جهت با صرف‌نظر کردن از بعضی از موارد الکتریکی، تقریباً مقدار جریان کلی از منبع ولتاژ، نصف حالت تغذیه‌ی ساده با ولتاژ ۲۵ کیلو ولت است. بنابراین مقدار افت فشار کمتر بوده و می‌توان فواصل بین پست‌های کشش را افزایش داد.

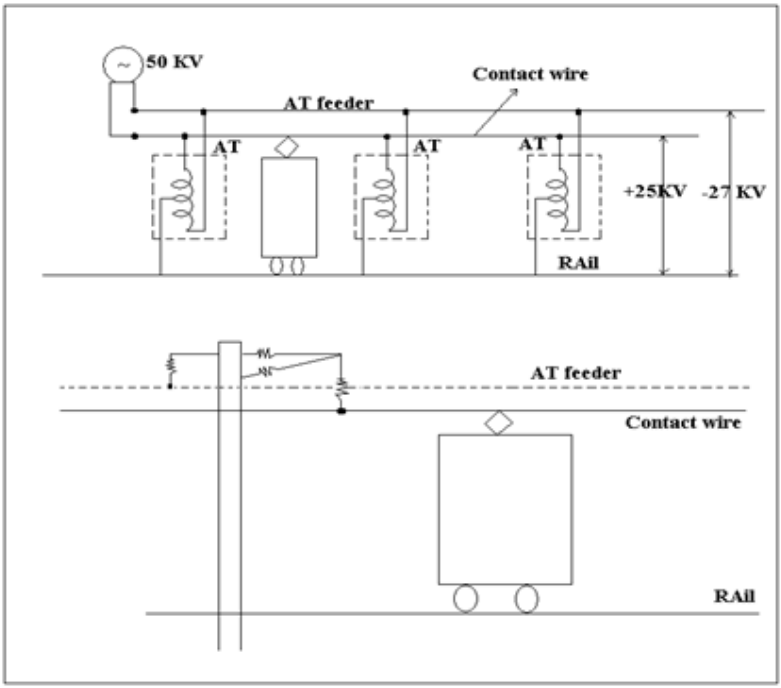
سیستم تغذیه Simple همراه با سیم NF

همان‌گونه که قبلاً بیان شد این سیستم مانند BT است، با این تفاوت که ترانس‌های BT در این روش حذف می‌گردد. در این سیستم قسمتی از جریان برگشت مربوط به ریل‌ها به طرف سیم NF که در کنار سیم کنتاکت نصب می‌باشد، سوق داده می‌شود؛ لذا مقدار ولتاژ القایی Interference پایین آمده و با نصب NF امپدانس سیستم برگشت نیز کاهش می‌یابد که این یکی از محاسن این سیستم می‌باشد.

۱- BT
۲- AT



شکل (۲-۲) سیستم‌های مختلف تغذیه AT, BT, Simple



شکل (۲-۳) سیستم تغذیه AT

امپدانس سیستم تغذیه

امپدانس سیستم تغذیه بستگی به نوع تغذیه (AT, BT, Simple) و نیز آرایش سیم‌های حاوی جریان مانند سیم کنتاکت، NF، AT feeder دارد و نمی‌توان مقدار آن را دقیقاً و به عنوان یک مبنا بیان نمود، لکن برای آگاهی از مقدار آن می‌توان مقدار تقریبی هر کدام را به شرح ذیل بیان نمود:

جدول (۲-۱) مقدار تقریبی امپدانس سیستم تغذیه

Feeding system	Impedance totally Ω/km
Simple feeding	0.61ے71
BT feeding	0.93ے60
AT feeding	0.23 ے 60

۳

مباحث فشار ضعیف

۳-۱ سطوح ولتاژ در راه‌آهن برقی
۳-۲ شبکه بالاسری OCS
۳-۳ ریل سوم
۳-۴ شبکه‌ی بالاسری سخت

۳-۱- سطوح ولتاژ در راه‌آهن برقی

سیستم تغذیه از نظر نوع ولتاژ (DC یا AC) به چهار دسته DC، AC تک فاز با فرکانس کم، AC تک فاز با فرکانس صنعتی، AC سه فاز تقسیم می شود. هر یک از این انواع دارای سطوح مختلف ولتاژ هستند. در ابعاد جهانی، بیش از نیمی از همه سیستم‌های کشش الکتریکی هنوز از جریان مستقیم استفاده می‌کنند. ولتاژ پایین مورد استفاده در سیستم های کشش DC یکی از مشخصه‌های نامناسب سیستم است که باعث افزایش جریان در شبکه تغذیه می‌گردد. هرگاه از ولتاژ DC در تغذیه‌ی قطار استفاده شود در محل پست کشش عمل یک‌سوسازی نیز صورت می‌گیرد. در کشور ایران هنوز مرجعی برای استاندارد کردن نوع جریان الکتریکی و سطح ولتاژ به طور رسمی وجود ندارد. قابل ذکر است بر اساس استاندارد EN50163 سیستم‌های ولتاژ راه آهن برقی در اروپا مطابق جدول شماره (۳-۱) می‌باشد.

جدول شماره (۳-۱)- سیستم های ولتاژ راه آهن برقی اروپا برطبق استاندارد EN50163

نوع تغذیه	ولتاژ نامی	حد پایین ولتاژ دائمی	حد پایین ولتاژ غیر دائم، برای حداکثر ۱۰ ثانیه	حد بالای ولتاژ دائمی	حد بالای غیر دائم، حداکثر ۵ دقیقه	اضافه ولتاژ کوتاه مدت برای حداکثر ۲۰ میلی ثانیه
DC ۶۰۰ ولت	۶۰۰		۴۰۰	۷۲۰	۷۷۰	۱۰۱۵
DC ۷۵۰ ولت	۷۵۰		۵۰۰	۹۰۰	۹۵۰	۱۲۶۹
DC ۱۵۰۰ ولت	۱۵۰۰		۱۰۰۰	۱۸۰۰	۱۹۵۰	۲۵۳۸
DC ۳۰۰۰ ولت	۳۰۰۰		۲۰۰۰	۳۶۰۰	۳۹۰۰	۵۰۷۵
AC ۱۵ کیلو ولت ۱۶/۷ هرتز	۱۵۰۰۰	۱۱۰۰۰	۱۲۰۰۰	۱۷۲۵۰	۱۸۰۰۰	۲۴۳۱۱
AC ۲۵ کیلو ولت ۵۰ هرتز	۲۵۰۰۰	۱۷۵۰۰۰	۱۹۰۰۰	۲۷۵۰۰	۲۹۰۰۰	۳۸۷۴۶

قابل ذکر است در بعضی از راه آهن‌های قدیمی در کشورهای اروپایی برای کاهش جریان‌هـای القائی در شـبکه‌های مخابراتی مانند کابل‌های ارتباطی در طول مسـیر راه‌آهن، از فرکانس غیر صنعتی مانند ۲۵ یا ۱۶/۷ هرتز استفاده نموده‌اند که در حال حاضر این سیستم به دلیل مشکلات فنی و هزینه‌ی بیشتر منسوخ شده است و برای کاهش جریان القائی روش های دیگری به کار گرفته می‌شود.

به هر حال تغذیه‌ی راه‌آهن برقی باید ایمن، اقتصادی و ساده باشد. انتقال قدرت در طول خط به وسـیله شبکه‌ی بالاسـری یا شبکه همسطح زمین انجام می‌شود. در سیسـتم AC به علت ولتاژ بالا تقریباً همیشـه از شبکه‌ی بالاسری استفاده می‌شود. سیستم DC شامل هر دو نوع سیستم می‌باشد.

عمومی‌ترین نوع شبکه‌ی همسطح زمین، استفاده از هادی دیگری غیر از ریل‌های اصلی است که در طول خط و کنار ریل‌های حرکتی کشیده شده است، به این هادی « ریل سوم » می‌گویند.

در هر دو سیسـتم بالاسـری و ریل سوم، وسیله‌ای در قطار وجود دارد که دائماً در تماس با هادی بالاسـری یا ریل سـوم است و انتقال قدرت از هادی به قطار را ممکن می‌سـازد. در شبکه‌ی هوایی این وسـیله «پانتوگراف» نامیده می‌شود و در ریل سوم این کار از طریق کفشک انجام می‌گردد.

شبکه‌ی بالاسری به صورت شبکه‌ی بالاسری انعطاف پذیر (Elastic OCS) و ریل هادی سـخت RCR (Rigid Conductor Rail) مورد استفاده قرار می‌گیرد. در ادامه شبکه‌ی بالاسری و ریل سوم معرفی و مزایا و معایب آنها آورده می‌شود.

۳-۲- شبکه‌ی بالاسری OCS

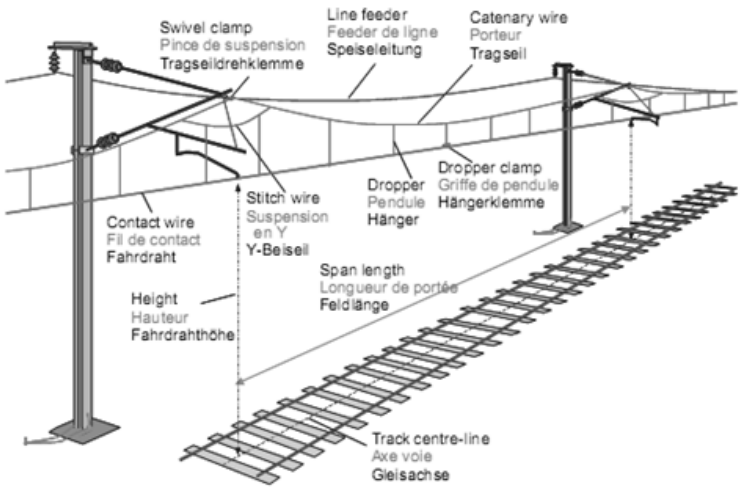
شبکه‌ی بالاسری انعطاف پذیری

یک شبکه‌ی بالاسری انعطاف پذیر شامل موارد ذیل است:

- سیم شبکه‌ی بالاسری (NF, dropper, messenger, contact wire)
- ادوات نگهدارنده‌ی شبکه (Cantilever) OCS
- ادوات عایقی شامل عایق های قسمتی، مقره ها و ....
- تیرهای نگهدارنده‌ی شبکه‌ی بالاسری
- ادوات کشش سیم ها شامل چرخ دنده ، وزنه ها و غیره

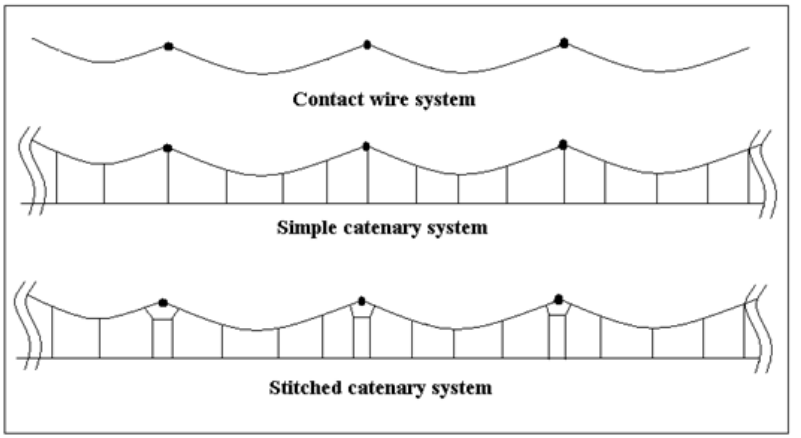
سیم‌های شبکه‌ی بالاسری

سیم‌های شبکه‌ی بالاسری عمدتاً شامل Messenger ، Contact wire و Dropper می باشد که وظایف هر کدام به ترتیب شامل عبور جریان اصلی، نگه‌داشتن سیم کنتاکت حتی‌الامکان به صورت افقی و رابط بین سیم کنتاکت و Messenger می باشد. شکل زیر نمونه‌ای از آرایش شبکه سیمی بالاسری را نشان می‌دهد.



شکل (۳-۱) نمونه‌ای از آرایش شبکه‌ی سیمی بالاسری

آرایش شبکه OCS، فاصله‌ی بین دو تیر نگه‌دارنده، فاصله‌ی بین دراپرها، جنس و سطح مقطع سیم‌ها و غیره، نوع سیستم OCS را معرفی می نماید. این آرایش بستگی به سرعت قطار و سایر فاکتورها دارد. بنابراین هر اندازه سرعت قطار بالاتر رود، شبکه OCS باید به نحوی طراحی شود که انعطاف پذیرتر گردد؛ بدین منظور در سرعت‌های عادی تا حدود ۲۰۰ کیلومتر بر ساعت کلاً ۳ نوع آرایش تعریف می‌گردد که شکل هر کدام به قرار ذیل است:



شکل (۳-۲) سه نوع آرایش شبکه بالاسری

در این آرایش‌ها معمولاً سیستم اولی (Contact wire system) در مکان‌هایی اســتفاده می شود که سرعت قطار بســیار کم باشد مانند محوطه‌های داخل ایستگاه، دپوها و غیره. حالت دوم مخصوص مســیرهایی است که سرعت قطار حدود ۱۲۰ الی ۱۶۰ کیلومتر بر ساعت باشد و آرایش سوم (Stitched catenary) برای مسیرهای با سرعت بین ۱۶۰ الی ۲۰۰ کیلومتر در ساعت است. در این آرایش شبکه OCS در محل اتصال به تیرهای مســیر حالت انعطاف پذیرتری نســبت به دو حالت قبلی پیدا می‌کند که این موضوع پس از کسب تجربیات زیاد طراحی شده است.

نکته

آرایش شـبکه‌ی بالاسـری بر اسـاس نوع جنس و سـطح مقطع سـیم‌ها می‌تواند برای سرعت‌های مختلف مورد استفاده قرار گیرد.

قابل ذکر اســت فواصل بین پایه‌های OCS در مســیر مستقیم و قوس با یکدیگر متفاوت بوده، به طوری که در قوس‌ها فاصله‌ی پایه ها کمتر خواهد بود.

تعداد ســیم‌های شبکه‌ی بالاسری می‌بایست پاســخگوی میزان جریان مورد نیاز بین دو پست کشش باشد، که این میزان جریان وابسته به تعداد قطار بین دو پست، نوع کشنده‌ها ، مشخصات خط و رژیم بهره‌برداری در محور می‌باشد.

مشخصات سیم های شبکه OCS

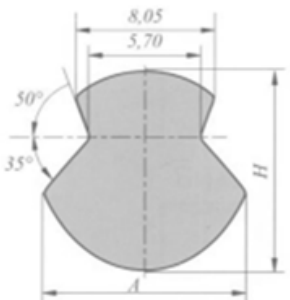
در شبکه OCS انعطاف پذیر سیم های زیر به کار گرفته می‌شود:

- سیم کنتاکت Contact wire
- سیم حمال Messenger wire
- سیم Dropper
- سیم Stitch
- سیم برگشت جریان
- سیم حفاظت

که در ادامه سه نوع اول معرفی می‌گردد.

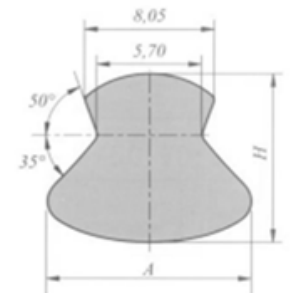
سیم کنتاکت

سیم‌های کنتاکت عمدتاً از مس به صورت Hard drawn copper ساخته می‌شود. شکل ظاهری این سیم دارای شیار است به طوری که بتوان توسط سازه فلزی به شکل خاص آن را از یک سو مهار کرده و سطح دیگر آن کاملاً باز است تا بتواند به پانتوگراف اتصال یابد. شکل ظاهری این سیم مطابق شکل روبرو است:



(الف)

امروزه جهت افزایش سطح تماس بین پانتوگراف و سیم تماس شکل ظاهری آن را به صورت زیر اصلاح نموده‌اند:

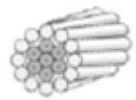


(ب)

شکل (۳-۳) مقطع سیم کنتاکت

سیم حمال (Messenger)

سیم حمال برای نگهداری سیم کنتاکت به کار می رود. سیم کنتاکت در فواصل مشخصی توسط سیم های dropper به سیم حمال وصل می‌گردد تا شکل آن حتی‌الامکان به صورت خطی درآید. با توجه به مطالب فوق سیم حمال باید دارای مشخصات مکانیکی خوبی از نظر تحمل فشار داشته باشد، ضمناً ضریب هدایت آن از نظر الکتریکی باید به اندازه‌ای باشد که قادر به عبور دادن قسمتی از جریان شبکه OCS باشد؛ بر این اساس معمولاً سیمی که ترکیبی از سیم‌های فولاد و مس باشد، به عنوان سیم حمال استفاده می‌شود (به صورت STRAND).



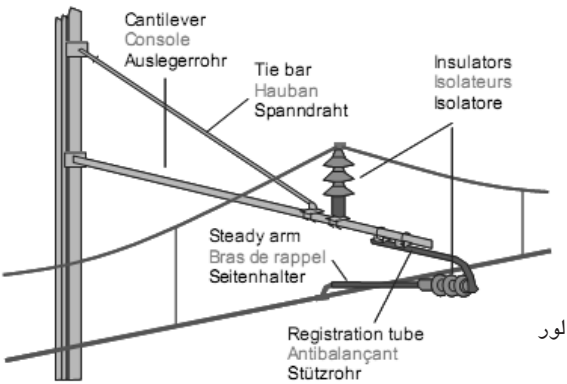
شکل (۳-٤) مقطع سیم حمال

دراپر (Dropper)

دراپرها سیم کنتاکت را به سیم حمال وصل می‌نمایند. در این رابطه دو طرح وجود دارد نوع اول بصورت سخت و Rigid و نوع دوم بصورت انعطاف پذیر Flexible .

کانتی لور

کانتی لور یک مجموعه ادواتی است که به پایه وصل شده و دو سیم کنتاکت و حمال را نگه می‌دارد. این تجهیزات از نظر الکتریکی نسبت به پایه های OCS عایق هستند.



شکل (۳-٥) کانتی لور

- **انواع کانتی لورها**

کانتی‌لورها به طور کلی به دو صورت ثابت (Fixed) و لولایی (Hinged) ساخته می‌شوند.

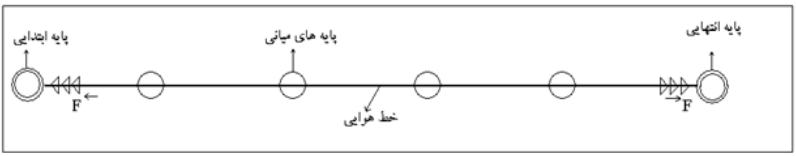
بازوی نگهدارنده (Steady Arm)

یکی از مهم‌ترین قطعات موجود در کانتی‌لورها، بازوی نگهدارنده Steady Arm می‌باشد. این قطعه فلزی با شکل خاص خود سیم کنتاکت را نگه می‌دارد.

به منظور افزایش طول عمر پد پانتوگراف، سیم کنتاکت دارای زیگزاک می‌باشد. ایجاد زیگزاگ در شبکه OCS که مقدار آن حدود ۳۰ ± سانتیمتر می‌باشد توسط این قطعه حاصل خواهد شد.

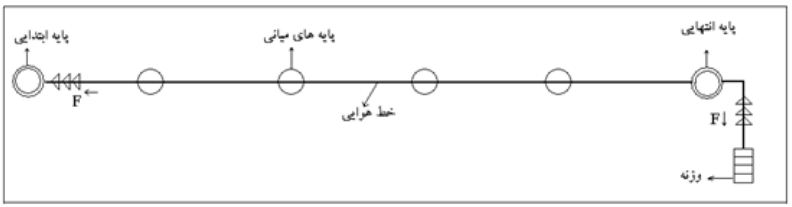
سیستم کشش سیم های OCS

اگر بخواهید یک خط انتقال (Transmission Line) هوایی را طراحی نمایید به طوری که تقریباً فاصله‌ی آن نسبت به افق ثابت باشد دو راه حل وجود دارد: راه حل اول آنکه دو سر ابتدایی و انتهایی را توسط مقره‌هایی به تیرهای ابتدایی و انتهایی با یک نیروی معین وصل کنیم که به آن کشش ثابت گفته شده و مانند شکل زیر است:



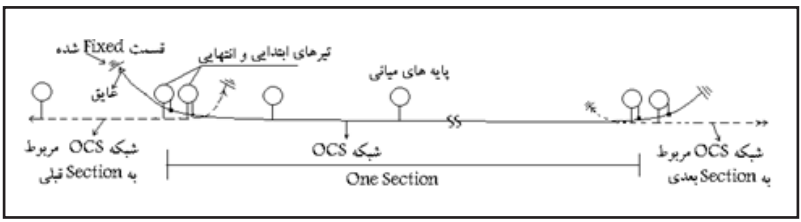
شکل (۳-۶) اتصال ساده خط هوایی به تیرهای ابتدا و انتها

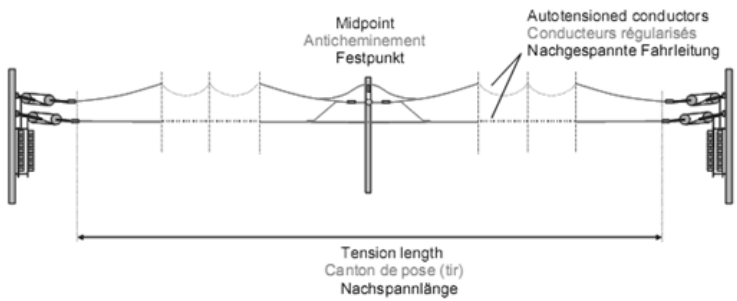
در روش دیگر یک طرف شبکه OCS به طور ثابت به پایه ها متصل شده و طرف دیگر با یک سیستم خاص کشیده می‌شود به طوری که همیشه نیروی کشش ثابت بماند مانند شکل (۳-۷).



شکل (۳-۷) خط هوایی با سیستم کشش

لذا در عمل، یک شبکه OCS ابتدا به قسمت های مختلفی تقسیم شده که به هر قسمت یک Section گفته می‌شود. هر Section مطابق شکل زیر است.



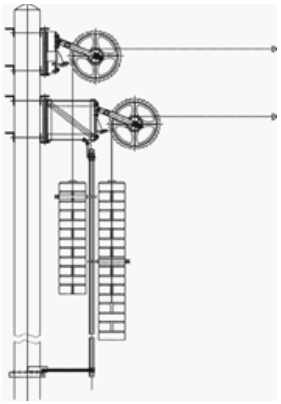


شکل (۳-۸) یک section شبکه OCS

جهت کشش شبکه OCS یک سری ادوات خاص شامل چرخ قرقره، وزنه‌ها، ادوات نگهدارنده و آرایش‌دهنده و غیره وجود دارد. در خصوص نحوه‌ی کشش سیم‌های OCS شامل سیم حمال و سیم کنتاکت نیز گزینه‌های مختلفی مطرح است.

- **گزینه ۱**

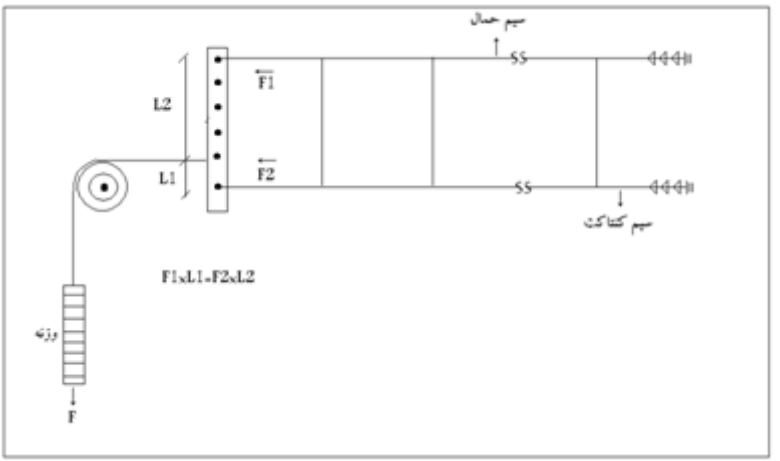
در ایــن گزینه هریک از ســیم هــای حمال و کنتاکت به طور جداگانــه و با یک وزنه‌های خاص کشیده می‌شود که به آن «کشش تمام اتوماتیک» گفته می‌شود.



شکل (۳-۹) کشش جداگانه سیم‌های حمال و کنتاکت

- **گزینه ۲**

در ایــن گزینه یک سیســتم وزنه موجود اســت و ســیم های حمــال و کنتاکت فقط توســط این وزنه کشیده می‌شــود، لکن برای تقســیم مقدار نیروی کشش بین ســیم‌های حمال و کنتاکت قطعه‌ای به نام « بازوی تقسیم کننده » استفاده می‌شود (اهرم بندی) که در آن چون هر کدام از ســیم‌ها، سیســتم کشش جداگانه‌ای ندارند، «کشش نیمه اتوماتیک» گفته می‌شود.



شکل (۳-۱۰) کشش مشترک سیم‌های حمال و کنتاکت

مناطق خنثی (Neutral Section)

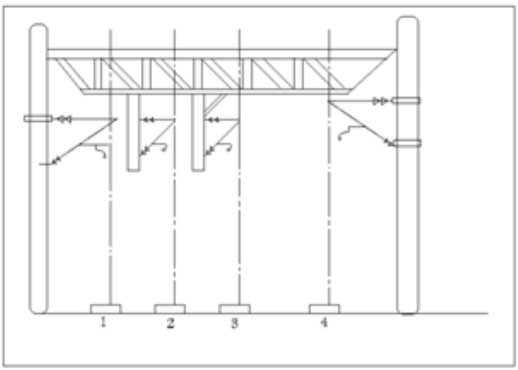
در شـــبکه OCS مناطقی به نام مناطق خنثی ایجاد می‌گردد. این مناطق به دو دســـته تقسیم می‌شوند دســـته‌ی اول مناطقی است که در طرفین آن پتانسیلی با دو فاز مختلف وجود دارد که در شـــرایط عادی نباید به هم اتصال یابند و دســـته‌ی دوم مناطق خنثی هســـتند که در طرفین آن پتانســـیل هم فاز وجود دارد. به طور معمول یک کلید سکسیونری در این مناطق باید نصب نمود تا در شرایط خاص بتوان طرفین این مناطق را به هم وصل نمود.

تقسیم بندی خطوط راه آهن در ایستگاهها (Sectioning)

در یک ایستگاه خطوط مختلفی وجود دارد. طراحی و تغذیه‌ی این خطوط باید به نحوی انجام گیرد که در هر شرایط بتوان هر قسمت و هر خط را بی برق و یا برق‌دار نمود تا بتوان امور تعمیرات را روی آنها به انجام رساند.

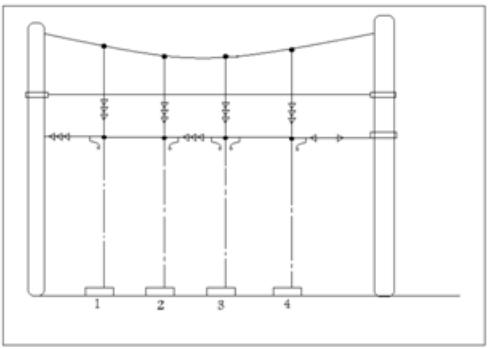
Head – Span

در محوطه‌ی ایســـتگاه‌ها که دارای خطوط زیادی هستند جهت نگه‌داشتن شبکه OCS معمولاً از سیستم Head-Span استفاده می‌شود. با این روش می‌توان تعداد زیـــادی از خطـــوط را تغذیه نمود. به طـــور کلی دو نـــوع Head-Span وجود دارد. نوع اول که به صورت Rigid می‌باشـــد از یک ســـازه‌ی فلزی به صورت خرپا استفاده می‌شـــود و به آن Portal Structure اطلاق می‌شـــود. شـــکل ظاهری این سیستم مطابق شکل زیر است.



شکل (۳-۱۱) Portal head span

نــوع دوم بــه صــورت Suspension بوده که دارای ســازه‌ی انعطاف پذیر بوده و هزینــه‌ی کمتری دارد. در اغلب ایســتگاه‌ها و در مکان‌هایــی که تعداد خطوط زیر پوشش Head span خیلی زیاد نباشد از این نوع استفاده می‌شود. در این سیستم، سیم‌های گالوانیزه با قطر کافی به عنوان نگهدارنده هستند. شکل ظاهری یک نوع از این سیستم در زیر ترسیم شده است.



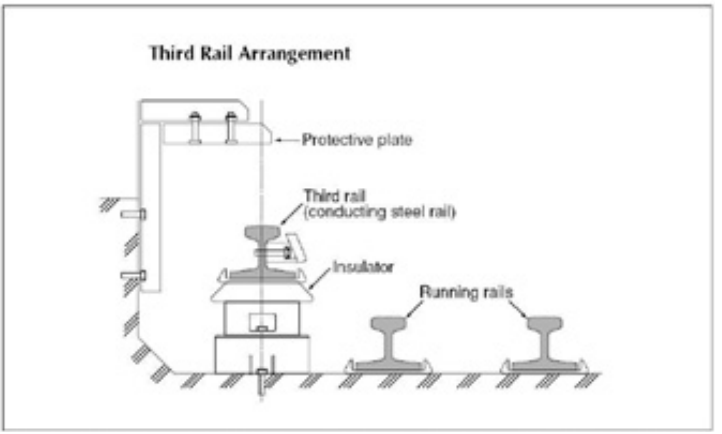
شکل (۳-۱۲) Suspension head span

امروزه بر اســاس تجربیات طراحان، چنانچه عرض ایســتگاه کمتر از ۴۰ متر باشد از سیســتم «سخت» استفاده شده و در صورتی که عرض ایستگاه بین ۴۰ تا ۷۰ متر باشد از سیستم «معلق» استفاده می‌گردد.

۳-۳- ریل سوم

ریل سوم در واقع هادی‌های صلبی هستند که در کنار خط و برروی پایه‌های عایق بــه منظور انتقــال انرژی نصب می‌گردند و افراد در مقابل تماس عمدی یا غیر عمدی بــا آن، محافظــت می‌گردند. گرفتن جریان از ریل ســوم می‌تواند از بالا، کنار و یا زیر ریل باشــد. حفاظت در برابر تماس با ریل برقدار توســط نصب پوشش عایق با خواص الکتریکی، حرارتی و مکانیکی مناسب در شرایط آب و هوایی مربوطه حاصل می‌گردد. پوشش ریل سوم برروی عایق‌های نصب شده بر روی قسمت ثابت ریل سوم یا بر روی تکیه‌گاه‌های ریل ســوم نصب می‌گردند. فاصله‌ی حقیقی تکیه‌گاه‌ها به نوع تراورس و

زیرســازی خط بســتگی دارد و تا ۶ متر نیز می‌رسد. معمولاً مسیر برگشت جریان از طریق ریل‌های حرکتی تأمین می‌شود اما در مواردی، از یک ریل چهارم برای برگشت جریان استفاده شده است. ریل‌های حرکتی دارای پتانسیل زمین هستند.
ریل ســوم بیشتر برای انتقال انرژی به وسایل نقلیه در سیستم‌های راه‌آهن زیرزمینی و متروها استفاده می‌شود.



شکل(۳-۱۳) ساختار ریل سوم

محاسن ریل سوم

- سادگی سیستم خط، نصب ریل سوم ساده‌تر و ارزان‌تر است.
- سادگی سیستم قطار
- نســبت به شــرایط محیطی کمتر صدمه‌پذیر اســت (به غیر از ســیل و یخبندان)
- در پل‌ها و تونل‌ها فضای کمتری اشغال می‌کند. درنتیجه به علت کاهش سطح مقطع تونل‌ها و پل‌ها هزینه احداث کاهش می‌یابد.
- بهترین انتخاب برای خطوط زیرزمینی و متروها

قفط یک ریل، آن هم با تجهیزات کوچک و کم به خط اضافه می‌شود که سیستم خطوط برقی را بسیار ساده کرده و عملاً هیچ فضای اضافی را اشغال نمی‌کند؛ اما باید

به خاطر داشــت که لکوموتیو با ریل ســوم می‌تواند در تونل‌های طویل (مثل متروها) بــه راحتی حرکت کند، در حالی که ایــن کار برای لکوموتیوهای دیزل الکتریک، غیر ممکن و برای لکوموتیو با شــبکه‌ی تغذیه‌ی هوایی، سطح مقطع بزرگی را برای تونل می‌طلبد.

معایب ریل سوم

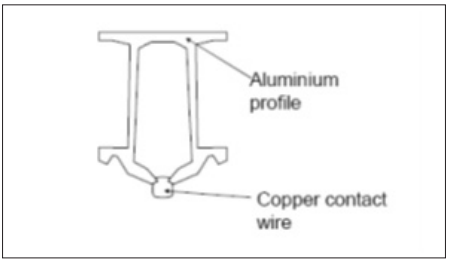
معایب ریل سوم عبارتند از:

- ایمنی- به علت در دسترس بودن، عدم رعایت نکات ایمنی می‌تواند منجر به مرگ شود.
- ضریب اطمینان پایین- پایین بودن ضریب ایمنی و تاثیرپذیری از شرایط جوی، ضریب اطمینان سیستم را نیز کاهش می‌دهد.
- بــه علت مســایل ایمنی و نیــز عایق‌بنــدی، ولتاژ شــبکه از حد معینی (معمولاً ۱۵۰۰ ولت) نمی‌تواند بیشتر باشد.
- در تقاطع‌ها در ریل سوم یک فاصله ایجاد می‌شود. در صورت توقف قطار در این فواصل به علت عدم اتصال به ریل ســوم، عملاً حرکت قطار به جز باکمک عوامل کمکی دیگر غیرممکن است.
- به علت غیر پیوســته بودن سیستم تغذیه، دارای محدودیت سرعت است. (۱۶۰ کیلومتر بر ساعت)
- وجود جرقه هنگام عبور از گپ‌ها
- شــرایط جوی می‌تواند بر کیفیت تماس کفشک و ریل سوم مؤثر باشد.در شرایط بد جوی و بوران و یخبندان، سطح ریل را لایه‌ای از یخ می‌پوشاند که این موضوع باعث می‌شــود در این شــرایط جــوی تماس مؤثری بین کفشک و ریل سوم به وجود نیامده و سیستم قطار از کار بیفتد.
- در صورت قرار داشــتن در فضای باز، برگ درختان، یخ و ... می‌تواند مانع تماس کامل جاروبک و ریل سوم شود.
- فاصله کم پست‌ها نسبت به هم
- کوچک بودن section ها

- قدرت کم
- مشکل اتصال کوتاه و جرقه ناشی از آن
- عمر کم
- سایش
- افتادگی تراورس‌هایی که نگهدارنده ساپورت‌ها است
- افت ولتاژ بالا (به علت جریان زیاد)

۳-۴- شبکه‌ی بالاسری سخت یا ریل هادی سخت (Rigid Conductor Rail) RCR

در چند سال اخیر سیستم RCR بر اساس مزایای دو سیستم اشاره شده در بالا، مورد استفاده قرار گرفته است. سیستم RCR از یک پروفیل آلومینیومی که سیم تماس مسی را به وسیله یک گیره‌ی انعطاف‌پذیر نگه‌داشته، ساخته شده است. شکل (۳-۱۴) نمونه‌ای از RCR را نشان می‌دهد.



شکل (۳-۱۴) ساختار ریل هادی سخت

از لحاظ عملکرد، RCR دارای عمر متوسط بیش از ۶۰ سال معادل یک دهم میلی‌متر خوردگی در سال است و تیم تعمیراتی آن شامل دو ناظر به همراه سه کارگر است که این تیم برای دیگر سیستم‌ها شامل پنج ناظر به همراه ۲۵ کارگر می‌باشد. قابلیت اعتماد این سیستم یک اشکال در سال در برابر سیزده اشکال در سال سیستم‌های دیگر است. نصب سیستم RCR در مقایسه با شبکه بالاسری انعطاف‌پذیر آسان‌تر بوده و به زمان کمتری نیازمند است.

۴

اسکادا

۴-۱ مقدمه
۴-۲ دیسپاچینگ و اهداف آن
۴-۳ ساختار سیستم دیسپاچینگ و تجهیزات آن
۴-۴ سیستم‌های مخابراتی

۴-۱- مقدمه

اسکادا SCADA مخفف « Supervisory Control And Data Acquisition » به معنی سیستم‌های کنترل و کسب اطلاعات است که امروزه به طور گسترده در صنایع مختلف از جمله نفت، گاز، پتروشیمی، برق و راه آهن برای جمع آوری اطلاعات و انجام عملیات کنترلی به صورت نظارتی در پروسه‌های صنعتی کاربرد وسیعی دارد. سیستم کنترل مرکزی ترافیک در راه آهن خود گویای یک سیستم اسکادا است، اما اسکادای مورد نظر در راه‌آهن برقی همان سیستم دیسپاچینگ صنعت برق می‌باشد که در اجرای آن، جمع‌آوری اطلاعات بیشترین اولویت را داشته و امکانات کنترلی در درجه بعدی اهمیت قرار می‌گیرند که در ادامه معرفی خواهد شد.

۴-۲- دیسپاچینگ و اهداف آن

دیسپاچینگ معادل فارسی واژه «Dispatch» به معنی هدایت و راهبری می‌باشد. منظور از دیسپاچینگ در شبکه‌های الکتریکی، مجموعه ای از ابزارها، ادوات، سیستم‌ها و سازمان اداری است که وظیفه‌ی نظارت بر شبکه را بر عهده دارد. اصولاً انجام وظایف دیسپاچینگ به کمک بخش مخابرات امکان پذیر است و لذا نام دیسپاچینگ همواره در کنار مخابرات می‌آید.

در حالت کلی در مراکز کنترل در شبکه‌های تغذیه راه‌آهن برقی وظایف زیر انجام می‌گردد:

۱. جمع‌آوری داده‌های اندازه‌گیری شده نظیر توان، ولتاژ، جریان و غیره از کلیه‌ی تجهیزات شبکه‌ی قدرت مانند ترانسفورماتورهای اصلی، کلیدهای قدرت و ...
۲. پردازش اطلاعات

۳. عملیات کنترلی: نظارت وکنترل بر وضعیت بریکرها (on/off)، ایجاد فرمان (start/stop) برای واحدهای تولیدی، فرمان Set point برای کنترل تولید و یا توزیع توان، سطح ولتاژ و سایر پارامترهای بهره برداری.
۴. نظارت و سرپرستی: در این سیستم فرآیند جمع‌آوری اطلاعات به صورت کاملاً اتوماتیک صورت می‌گیرد. مشخص کردن وضعیت بریکرها، میزان دقت آلارم‌های خطا و یا میزان افزایش و یا کاهش اندازه‌گیری شده (ولتاژ و جریان و ...) از حد مشخص تعیین شده جزء وظایف واحد سرپرستی است.
۵. نمایش اطلاعات: نمایش اطلاعات جمع آوری شده از سیستم قدرت، به علاوه نمایش اطلاعات وضعیتی سیستم کنترلی می‌بایست در هر زمان امکان‌پذیر باشد.

بر این اساس مهم‌ترین مزیت‌های سیستم اسکادا نیز به شرح ذیل خواهد بود:

۱. امکان مونیتور و کنترل کردن پروسه های دور دست و کاهش هزینه های مربوط به بازدیدهای دورهای
۲. کاهش خطای اپراتور به جهت کیفیت و دقت بالای اطلاعات
۳. داشتن امکاناتی جهت تغییرات و گسترش سیستم، تجزیه و تحلیل سیستم و قابلیت عیب‌یابی همچنین اعلام خطا قبل از بروز حادثه جدی
۴. نمایش اجزای تشکیل دهنده‌ی پروسه به همراه جزئیات آن به صورت لحظه‌ای
۵. اعلام خطا یا آلارم و ضبط آن بلافاصله بعد از وقوع و تهیه‌ی گزارشات وابسته
۶. محاسبه‌ی ساعت کارکرد تجهیزات اصلی و استفاده از آن در انجام تعمیرات دوره‌ای و پیشگیرانه
۷. تهیه‌ی گزارشات مدیریتی به منظور تجزیه و تحلیل اقتصادی و تصمیم‌گیری کلان
۸. بهره‌گیری از نرم افزارهای شبیه‌ساز جهت بررسی رفتار فیلد در صورت تغییر در پارامترهای آن

۴-۳- ساختار یک سیستم دیسپاچینگ و تجهیزات آن

یک سیســـتم دیســـپاچینگ به طور کلی از ۳ بخش سیســـتم اینترفیس، سیستم مخابراتی و مرکز کنترل تشکیل شده و شامل قسمت‌های زیر است:

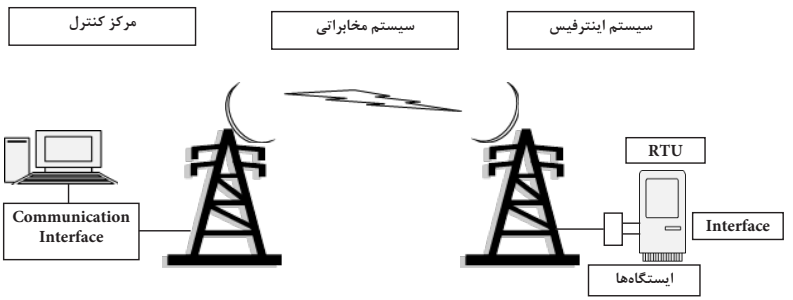
۱- تجهیزات فیلد (ایستگاه)

۲- RTU(Remote Terminal Unit)

۳- تجهیزات مرکز کنترل

۴- مخابرات

شکل (۴-۱) نمای بلوکی یک سیستم دیسپاچینگ را نشان می‌دهد.



شکل (٤-١)- اجزای سیستم دیسپاچینگ

تجهیزات فیلد(ایستگاه)

این تجهیزات عبارت اند از:

- سیستمی جهت همزمانی پایانه با مرکز
- تابلوی پایانه و مارشالینگ‌راک
- تابلوی پایانه HVI
- رله‌های واسط
- کابلهای ارتباطی
- ترانسمیتر ، ترانسدیوسر
- باتری و باتری شارژرها

پایانه راه دور (RTU)

پایانــه راه دور(RTU) بــه عنوان تجهیز جمع‌آوری اطلاعــات از راه دور بوده که مخفــف پایانــه راه دور اســت. پایانه‌های راه دور یکی از اجزای مهم در سیســتم‌های دیســپاچینگ هســتند پایانه‌ها وظیفه‌ی جمع‌آوری اطلاعات و ارســال آنها به مراکز دیســپاچینگ را به عهده دارند بنابراین این تجهیزات هوشــمند بوده و دارای پایگاه داده‌ی مستقل از مرکز نیز می‌باشند. اطلاعات جمع‌آوری شده شامل وضعیت‌ها (نقاط دیجیتال)، مقادیر آنالوگ (جریان ولتاژ و غیره)، تعداد پالس‌ها و دیگر اطلاعات مورد نیاز است. همچنین پایانه فرامین کنترلی را نیز از مرکز کنترل دریافت می‌کند و آنها را به فیلد ارسال می‌نماید. اطلاعات دریافتی در پایانه از لحاظ صحت بررسی می‌شود و درصورت درســت بودن اطلاعات، به مرکز کنترل ارســال می‌شــوند (بعضی مواقع پردازش نیز در RTUها انجام می‌شود).

به این ترتیب پایانه به عنوان یک محیط میانی برای عبور اطلاعات بین دو قطب مرکز و فیلد به حساب می‌آید.

ساختار پایانه بسته به پارامترهای زیر مشخص می‌شود:

۱- جایگاه و هدف استفاده از پایانه در سیستم‌های اسکادا
۲- تأثیر لایه‌های بالاتر کنترلی مانند مرکز کنترل در سیستم پایانه
۳- تأثیر شبکه‌ی مخابراتی در سیستم پایانه
۴- نوع و تعداد سیگنال‌های موجود
۵- نوع عملیات انجام شده روی اطلاعات و ارتباط آنها
۶- وسایل جانبی در نظر گرفته شده برای پایانه
۷- محیط به کارگیری پایانه

در واقــع RTU بــه عنوان تجهیز جمــع آوری اطلاعات راه دور، عمده وظیفه‌اش جمع آوری اطلاعات مختلف ایســتگاه‌ها و ارســال آنها توسط پروتکل‌های صنعتی به مرکز کنترل از راه دور (SCADA) می‌باشد.

مرکز کنترل دیسپاچینگ

وظیفــه تجهیزات مســتقر در مرکز کنترل، که در واقع قلب سیســتم اســکادا را تشــکیل می‌دهند، جمع‌آوری اطلاعات و دیتاهای رســیده از پایانه راه دور، آنالیز آنها

و همچنین آماده نمودن نتایج برای اپراتورها اســت. اپراتورها با توجه به این نتایج بر پروســه سیســتم قدرت تأثیر می‌گذارند. ابعاد مرکز کنترل و نوع تجهیزات مستقر در آن به عوامل متعددی بستگی دارد، که مهم‌ترین آنها عبارت از میزان کارایی سیستم، میزان اطلاعات جمع‌آوری شده از سیستم قدرت و تعداد اپراتورها است.

اطلاعاتی که USER (دیسپاچر) معمولاً توسط سیستم اسکادا دریافت می‌کند عبارت است از:

۱- وضعیت نقشه‌ی تک‌خطی تمامی پست‌ها (مقادیر و وضعیت کلیدها و ...)
۲- نقشه‌ی کلی شبکه‌ی تحت کنترل (Over View)
۳- Alarm List لیست تمامی آلارم‌های اتفاق افتاده در شبکه تحت کنترل
۴- Event List لیست تمامی حوادث اتفاق افتاده در شبکه
۵- صفحه Report (گزارش‌گیری از حوادث و اتفاقات)
۶- صفحه‌ی وضعیت تجهیزات اسکادا

شکل (٤-٢) نمایی از یک مرکز دیسپاچینگ

۴-۴- سیستم‌های مخابراتی

در ســال‌های اولیه‌ی سیستم‌های اســکادا، انتقال اطلاعات از سوی مراکز کنترل محلی به مرکز کنترل و یا بالعکس توســط ارتباطات تلفنی صورت می‌پذیرفت، لیکن

با پیشـرفت سیستم‌های مخابراتی تحول چشـمگیری در ساختار سیستم‌های اسکادا حـادث گردیـد، به طوری که می‌تـوان ادعا نمود که بزرگترین عامل در پیشـرفت و توسـعه‌ی سیستم‌های اسـکادا، پیشـرفت سیسـتم‌های مخابراتی بوده است. انتقال اطلاعات در سیسـتم‌های اسـکادا، در حال حاضر در کمترین زمان و با اطمینان بالا توسط انواع واسـطه‌های مخابراتی نظیر امواج رادیویی و ماهواره‌ای صورت می‌پذیرد. در سالیان آینده با ورود اجتناب ناپذیر اینترنت به عرصه‌ی سیستم‌های اسکادا، تحول عظیمی را در مدیریت و بهره برداری سیستم‌های قدرت شاهد خواهیم بود.

انواع ساختارهای مخابراتی سیستم اسکادا

پیکره بندی مخابراتی پایانه با مرکز کنترل می‌تواند به صورت سـتاره، شـعاعی، حلقه‌ای و یا به صورت ترکیبی از همه‌ی آن‌ها باشد.

انواع شبکه‌های مخابراتی

شـبکه‌ی مخابراتی به تجهیزات مخابراتی گفته می‌شـود کـه اطلاعات آنالوگ و دیجیتال جمع‌آوری شده از نقاط کنترلی را به اتاق کنترل مرکزی فرستاده و برعکس فرمان‌های صادر شـده از سیسـتم کنترل مرکـزی را به نقاط تحـت کنترل منتقل می‌کند.

در شبکه‌های مخابراتی معمولاً دو نوع پیکربندی برای سیستم اسکادا وجود دارد:

- پیکربندی نقطه به نقطه (Point to Point)
- پیکربندی نقطه به چند نقطه (Point to Multi Point)

پیکربندی نقطه به نقطه، سـاده‌ترین شـکل پیکربندی برای شـبکه‌های تله‌متری بـوده و در این حالت اطلاعات فقط بین دو ایسـتگاه تبادل می‌گردد و در این حالت یک ایسـتگاه، اصلی (Master Station) و ایستگاه دیگر فرعی (Slave Station) محسوب می‌گردد.

ولی در پیکربندی یک نقطه به چند نقطه، یک ایستگاه به‌عنوان اصلی معرفی شده و دیگر ایستگاه‌ها به‌عنوان فرعی درنظر گرفته می‌شوند. در ایستگاه اصلی، اتاق فرمان

مرکـــزی که دربرگیرنده‌ی کامپیوتر اصلی اســـت، پیش‌بینی می‌گردد؛ در حالی‌که در ایستگاه‌های فرعی، ترمینال‌های راه دور (RTU) قرار دارند که با یک آدرس منحصر به فرد ، به ایستگاه اصلی معرفی می‌گردند.

به‌طور کلی، انتخاب شبکه‌ی مخابراتی، متأثر از عوامل زیر است:

- تعداد ایستگاه‌های فرعی
- تعداد اطلاعات ورودی به ترمینال RTU و زمان تازه شدن اطلاعات
- محل RTU ها
- امکانات مخابراتی موجود
- تجهیزات و تکنولوژی‌های مخابراتی موجود

هر یک از انواع تکنولوژی‌های مخابراتی، محاسن و معایب خاص خود را دارا هستند که آن‌ها را برای کاربردی خاص، مناسب و در کاربردی دیگر نامطلوب می‌نماید. انواع شبکه‌های مخابراتی برای این طرح شامل موارد زیر است:

- سیستم رادیویی
- کابل(خطوط زمینی)
- ماهواره

محیط‌ها و واسطه‌های مخابراتی مناسب برای سیستم‌های دیسپاچینگ

واســـطه مخابراتـــی آن قســـمت از لینک مخابراتی اســـت که بـــرای اتصال و ایجاد ارتباط بین اجزای سیســـتم اســـکادا به کار می‌رود. این واسطه ها که راهی برای عبور اطلاعات هســـتند، به دو گروه اصلی با ســـیم و بدون سیم تقسیم می‌شوند. گروه اول یک ارتباط فیزیکی را میان اجزای سیســـتم برقرار می‌نماید. کابل‌های کواکســـیال و فیبرهای نوری به عنوان مثال از این گروه هستند. گروه دوم شامل واسطه‌هایی نظیر خطوط ماکروویو و خطوط رادیویی می‌باشند.

الف- مخابرات با سیم (Wired Line Telecommunication)

۱) سیستم مخابرات کابلی

۲) سیستم مخابرت نوری

ب- مخابرات بیسیم (Wireless Telecommunication)

۱) سیستم مخابرات رادیویی VHF و UHF

۲) سیستم مخابرات رادیویی طیف گسترده

۳) سیستم مخابرات ماهواره ای

۳-۱) VSAT

۳-۲) INMARSAT

۵

ماشین‌آلات و کشنده‌های برقی

۵-۱ مقدمه
۵-۲ ماشین آلات راه‌آهن برقی
۵-۳ کشنده‌های برقی
۵-۴ سیستم های انتقال توان در کشنده‌های برقی

۵-۱- مقدمه

ماشین آلات و ناوگان برقی در راه‌آهن برقی نقش بسیار تأثیرگذاری را از مرحله‌ی توجیه فنی- اقتصادی تا اجرا و بهره‌برداری داشـــته و عدم توجه به این امر می‌تواند در هر مرحله‌ای باعث ایجاد موانع ســـخت در روند برقی‌کردن و بهره‌برداری از خطوط و حتی در شـــرایطی توجیه‌پذیر بودن طرح را دچار اشـــکال نماید. بر این اســـاس در این‌گونه طرح‌ها شـــناخت کامل از ماشین آلات و ناوگان برقی یکی از الزامات حساس می‌باشد.

در این بخش در ادامه ماشـــین‌آلات مخصوص راه‌آهن برقی و انواع کشـــنده های برقی به صورت اجمال معرفی می‌گردند.

۵-۲- ماشین‌آلات راه‌آهن برقی

ماشین‌آلات راه‌آهن برقی را می‌توان از منظره‌ای مختلفی دسته‌بندی کرد. یکی از این دسته بندی‌ها بر اساس نوع کاربری ماشین آلات صورت می‌گیرد که بدین منظور در راه‌آهن برقی ماشین آلات در سه گروه قابل دسته‌بندی هستند:

- ماشین آلات مخصوص نصب و اجرا
- ماشین آلات مخصوص تعمیر و نگهداری
- ماشین آلات مخصوص بازرسی

لازم به ذکر است قبل از انتخاب ماشین‌آلات برای اجرای هر پروژه می‌بایست روش اجرا و زمانبندی مورد نظر به همراه مشـــخصات فنی اولیه‌ی شبکه تعیین شده باشد تا بر اســـاس آن ماشین آلات مناسب طرح انتخاب گردد. در پاره‌ای از موارد می‌توان بر اساس روش اجرا و دستورالعمل بهره‌برداری در طرح، از ماشین های چند منظوره استفاده کرد.

بر اساس روش اجرا، شرایط محیطی طرح و روش بهره‌برداری می‌توان در پارهای از موارد از ماشین‌های ریلی/جاده‌ای استفاده کرد.

نکته

قبل از تهیه ماشـین آلات برای یک مسـیر برقی می‌بایسـت به مشخصات فنـی برقی کردن (از قبیل سـطح ولتـاژ، حداقل ارتفـاع و حداکثر ارتفاع در شبکه)، روش‌ها و زمانبندی های در رژیم بهره‌برداری کاملاً دقت نمود.

- **ماشین حفاری فنداسیون**

این ماشین بیشتر برای اجرای پروژه‌های برقی کردن مورد استفاده قرار می‌گیرد و بهتر است هر دو یا سه گروه تعمیر و نگهداری حداقل یک ماشین حفاری فنداسیون داشته باشد. این ماشین دارای دو مدل ریلی و یا ریل/جاده‌ای است.

قبل از تأمین این ماشین بهتر است جنس خاک در مسیر طرح مورد ارزیابی قرار گرفته و می‌بایست ابعاد فنداسیون مورد استفاده در طرح مشخص شده باشد.

- **ماشین نصب دکل**

این ماشین بیشتر برای اجرای پروژه‌های برقی کردن مورد استفاده قرار می‌گیرد و بهتر است هر ناحیه حداقل یک ماشین نصب دکل برای تعمیر و نگهداری و بازسازی خطوط برقی داشـته باشد. انتخاب این ماشـین بر اساس جنس دکل‌ها و ابعاد آنها متغییر خواهد بود.

- **ماشین نصب یا باز کردن سیمهای شبکه**

واگـن نصـب و باز کردن سـیم ها در اجرا و تعمیر و بازسـازی خطوط برقی مورد اسـتفاده قرار می‌گیرد. انتخاب نوع ماشین می‌بایسـت بر اساس قابلیت آن در تعداد سـیم جهت نصب/ باز کردن صورت پذیرد که این کار مسـتلزم مشخص بودن طرح آرایش شبکه‌ی بالاسری در پروژه مورد نظر است.

وجود حداقل یک دسـتگاه از این ماشین در اکیپ تعمیر و نگهداری شبکه الزامی است. برخی از این ماشین‌آلات سایر تجهیزات لازم برای حمل یراق آلات و تنظیمات

شبکه را نیز دارند که می‌توان از آنها به عنوان « قطاربرقی‌کردن » نام برد.

- **ماشین های سبددار**

این ماشـــین در نصب و یا تعویض یراق آلات شـــبکه‌ی و همچنین برای تنظیمات شـــبکه بالاســـری، هم در مرحله‌ی اجرای طرح و هم در تعمیر و نگهداری و بازرســـی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مشخصات شبکه‌ی بالاسری به ویژه ارتفاع سیم‌ها تا سطح ریل از مهمترین پارامترها در تأمین این ماشـــین‌آلات اســـت. این ماشـــین‌ها در مدل ریلی/جاده‌ای متداول‌تر می‌باشند.

بر اســـاس روش تعمیرات مشخص شـــده در طرح، این ماشین می‌تواند قابلیت کار در حالت برق‌دار بودن زیر شـــبکه را داشـــته باشد؛ در غیر این صورت تنها در صورتی می‌توان از این ماشین استفاده کرد که شبکه بی‌برق باشد.

- **نردبان ریلی**

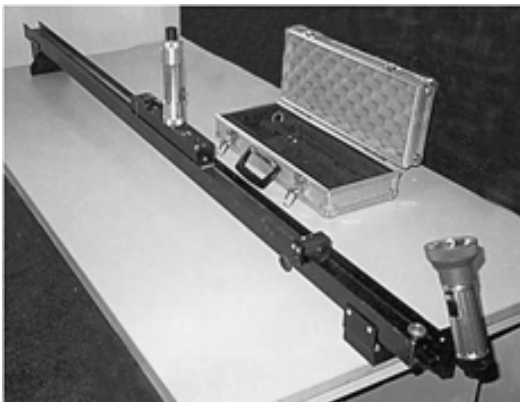
این ماشـــین در نصب و یا تعویض یراق آلات شـــبکه‌ی و همچنین برای تنظیمات شـــبکه‌ی بالاسری در داخل ایســـتگاه، هم در مرحله‌ی اجرای طرح و هم در تعمیر و نگهداری و بازرســـی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مشخصات شبکه‌ی بالاسری به ویژه ارتفاع سیم‌ها تا سطح ریل از مهمترین پارامترها در تأمین این ماشین آلات است. بر اساس روش تعمیرات مشخص شده در طرح، این ماشین می‌تواند قابلیت کار در حالت برق‌دار بودن زیر شـــبکه را داشته باشد؛ در غیر این صورت تنها در صورتی می‌توان از این ماشین استفاده کرد که شبکه بی‌برق باشد.

- **ماشین اندازه‌گیری پارامترهای شبکه‌ی بالاسری**

این ماشـــین جهت بازرســـی وضعیت پارامترهای شـــبکه‌ی بالاسری مورد استفاده قرار می‌گیرد و خروجی آن پارامتر تعیین‌کننده‌ای در تعمیر و نگهداری شـــبکه است. این ماشـــین منطبق با ســـرعت بهره‌برداری در طرح انتخاب می‌گـــردد و پارامترهای مختلفی از قبیل ارتفاع ســـیم تماس، میزان خوردگی ســـیم تمـــاس، میزان زیگزاک، میزان جریان در ســـیم تماس، وضعیت مقره‌های شـــبکه بالاســـری و میزان ولتاژ در

شبکه را اندازه‌گیری مینماید.

در مواردی که طول شـــبکه برقی و میزان بهره‌برداری از خط، تأمین ماشـــین‌آلات اندازه‌گیری پارامترهای شـــبکه بالاسری را از نظر اقتصادی توجیه نکند، در این موارد می‌بایست از تجهیزات اندازه‌گیری دستی و غیرموتوردار استفاده کرد. تصاویر تعدادی از این تجهیزات در ادامه ارائه می‌گردد.



شکل (۵-۱) دستگاه لیزر برای اندازه‌گیری ارتفاع سیم تماس و میزان زیگزاگ شبکه

شکل (۵-۲) دستگاه اندازه‌گیری میزان تنش کابل‌ها

شکل (۵-۳) دستگاه اندازه گیری حرارت تجهیزات شبکه بالاسری

۵-۳- کشنده‌های برقی

کشـــنده‌های متداول در راه‌آهن غیربرقی، لکوموتیوهای دیزل- الکتریک هســـتند. در ساده‌ترین تعریف، کشنده‌های برقی را می‌توان همانند کشنده‌های دیزل- الکتریک تصـور کرد که سیســـتم دیزل آن حذف شـــده و بـــه جای آن تجهیـــزات لازم جهت اخـــذ برق و تبدیل آن از راه‌آهن برقی به برق مطلوب تجهیزات الکترونیکی کشـــنده جایگزین شـــده اســـت. برای اخذ ولتاژ از راه‌آهن برقی در سطوح ولتاژ بالاتر از ۱۰۰۰ ولت از پانتوگراف و در سطوح ولتاژپایین‌تر از ۱۰۰۰ ولت از کفشک استفاده می‌گردد. در ســـطوح ولتـــاژ AC برای قابل اســـتفاده بودن ولتاژ راه‌آهن برقـــی برای تجهیزات راهبری قطار معمولاً از ترانسفورماتور استفاده می‌گردد.

سطح ولتاژ کشنده‌های برقی

یکی از معیارهای مهم در کشـــنده‌های برقی ســـطح ولتاژ و نوع سیستم تغذیه این کشنده‌ها است، که بر این اساس دسته‌بندی‌ای به صورت زیر وجود دارد:

- کشنده‌های تک ولتاژه
- کشنده‌های چند ولتاژه
- کشنده‌های هیبرید

کشنده‌های تک ولتاژه در مسیرهایی که تنها از طریق یک سطح ولتاژ بهره‌برداری می‌گردد، مورد استفاده قرار می‌گیرند و کشنده‌های چند ولتاژه در مسیرهایی که بین مبدأ تا مقصد دارای سطوح مختلف ولتاژ هستند، به کار برده می‌شوند. در کشنده‌های چند ولتاژه استفاده از چند پانتوگراف در سطح ولتاژهای مختلف امری عادی است، اما مجهز بودن کشنده‌ها به پانتوگراف و کفشک بندرت مورد استفاده قرار می‌گیرد و در این مورد کشنده‌های یورواستار که بین پاریس و لندن به کار برده می‌شوند شاهکاری در این زمینه است؛ چرا که شامل ۴ پانتوگراف برای سطوح ولتاژی ۲۵۰۰۰، ۱۵۰۰۰ ولت AC و ۳۰۰۰ و ۱۵۰۰ ولت DC به همراه کفشک برای اتصال به ریل سوم در ولتاژ ۷۵۰ ولت DC است.

در مسیرهایی که بین مبدأ تا مقصد مناطق برقی و غیر برقی وجود داشته باشد برای سهولت در بهره‌برداری از کشنده‌های هیبرید استفاده می‌گردد. کشنده‌ی هیبرید، کشنده‌ای است با دومنبع قدرت که در اینجا می‌تواند ترکیبی از راه‌آهن برقی و باتری یا راه‌آهن برقی و دیزل باشد.

آرایش کشنده‌های برقی

بر اساس رژیم بهره‌برداری برای یک مسیر، آرایش‌های زیر برای کشنده‌های برقی قابل تصور است:

- لکوموتیو- واگن
- PUSH-PULL
- خود کششی

سیستم لکوموتیو- واگن معمولاً شامل یک لکوموتیو برقی و تعدادی واگن است که تعداد آنها مطابق با شیب و فراز مسیر و محدودیت طول ایستگاه‌های مسیر انتخاب می‌گردد. این سیستم در مواردی که فاصله ایستگاه‌ها زیاد بوده و شتاب حرکتی و ترمزی معمولی مورد نیاز باشد، به کار گرفته می‌شود و بیشتر شامل واگن‌های خواب است.

سیستم Push-Pull شامل دو لکوموتیو برقی و تعداد مناسبی واگن است. یک لکوموتیودر جلو وظیفه‌ی کشیدن قطار و دیگری در عقب وظیفه‌ی هل دادن قطار را دارد. این سیستم در مواردی که شتاب ترمزی و شتاب حرکتی بیشتر از حد معمول

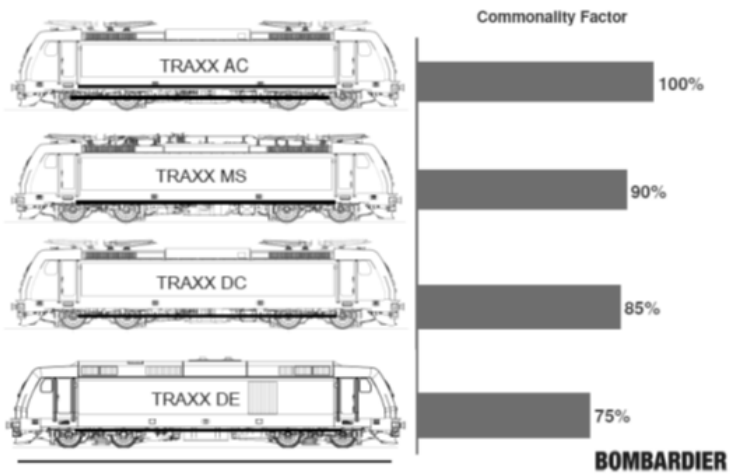
مورد نیاز باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

سیستم خودکششی شامل تعدادی واگن کشنده و واگن حمال است. تعداد واگن‌ها و نسبت کششی و حمال بودن آنها، با توجه به نیازهای تعریف شده در الگوی بهره‌برداری مطابق با هندسه‌ی مسیر تعیین می‌گردد. در این سیستم به دلیل عدم وجود لکوموتیو حداکثر باری محوری مجاز ۱۸ تن بر اساس فیش‌های UIC در نظر گرفته شده است. قطارهای خودکشش به دو صورت: توزیع شده و غیر توزیع شده، وجود دارند. در سیستم غیرتوزیع شده واگن حمال شامل هیچ یک از تجهیزات کنترلی و راهبری قطار نمی‌باشد و حذف یا اضافه کردن تعداد این واگن‌ها مطابق با توان قطار امکان پذیر است، اما در قطارهای خودکششی توزیع شده واگن‌های حمال هر چند فاقد تراکشن هستند، اما تجهیزات دیگر کنترلی یا راهبری بر روی آنها نصب شده است و در یک رام قطار خودکششی توزیع شده امکان اضافه یا حذف کردن یک واگن نمی‌باشد و تنها می‌توان رام‌های مختلف قطار را با یکدیگر کوپل کرد.

بر اساس الگوی بهره‌برداری و شرایط هندسی خط در سیستم‌های خودکششی امکان استفاده از سیستم های کج شونده نیز وجود دارد که در این حالت می‌توان قوس‌های مسیر را با سرعت بیشتری طی نمود و زمان سفر را کاهش داد.

تولیدات هم‌خانواده

بسیاری از سازندگان کشنده‌های ریلی به منظور کاهش هزینه‌های تولید امروزه از استراتژی تولید بر اساس وجود بخش‌های مشترک در یک خانواده از تولیدات خود استفاده می‌نمایند. برای این منظور در یک خانواده از پلاتفرم مشترک استفاده شده و بسیاری از زیر سیستم‌ها یکسان بوده و طراحی اکثر بخش‌ها به صورت مدال صورت می‌پذیرد. برای نمونه شکل (۵-۴) میزان اشتراک محصولات خانواده TRAXX شرکت بمباردیر را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌گردد در خانواده TRAXX لکوموتیو دیزل-الکتریک با پیچیده‌ترین لکوموتیو برقی این خانواده که لکوموتیو برقی AC با قابلیت تغذیه توسط ولتاژ ۲۵ کیلو ولت AC ۵۰ هرتز و ۱۵ کیلو ولت AC با فرکانس می‌باشد به میزان ۷۵ درصد المان‌های مشترک دارند.



شکل(۵-٤) میزان اشتراک محصولات خانواده TRAXX بمباردیر

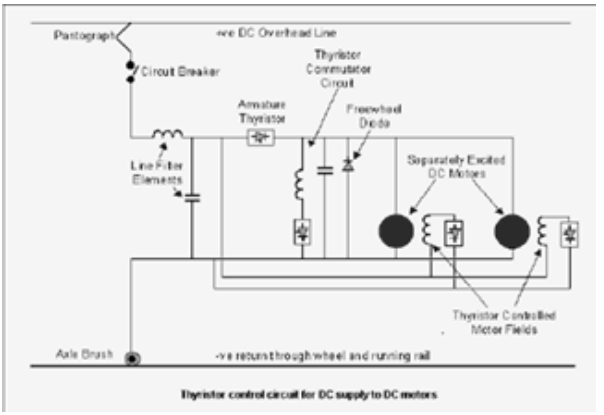
۵-۴- سیستم‌های انتقال توان در کشنده‌های

براســاس نــوع ولتاژ راه آهن برقی و نوع تراکشــن لکوموتیو برقــی، چهار آرایش مختلف برای انتقال توان در لکوموتیو برقی به صورت زیر امکان پذیر خواهد بود:

- DC-DC : راه آهن برقی DC و تراکشن لکوموتیو DC
- DC-AC : راه‌آهن برقی DC و تراکشن لکوموتیو AC
- AC-DC : راه‌آهن برقی AC وتراکشن لکوموتیو DC
- AC-DC-AC : راه‌آهن برقی AC وتراکشن لکوموتیو AC

DC-DC

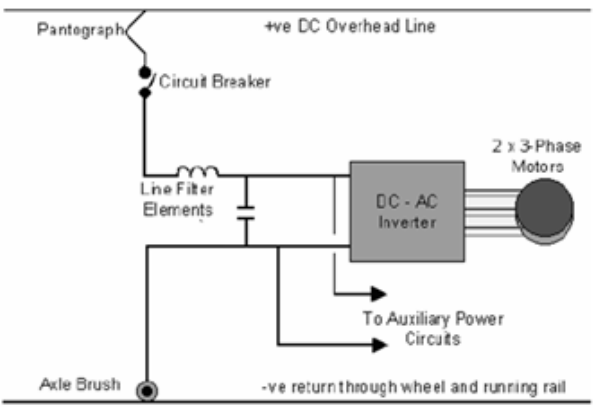
در این سیستم شبکه‌ی تغذیه DC است. لکوموتیو از طریق پانتوگراف یا کفشک، جریــان را از راه‌آهن برقی دریافت نموده و از طریق سیســتم کنترل ســطح ولتاژ به تراکشن DC کشــنده اعمال می‌نماید. شکل (۵-۵) یک نمونه از این سیستم انتقال را نشــان می‌دهد. سیستم انتقال DC-DC ســاده‌ترین مدل انتقال بوده و کم‌ترین تجهیزات را دارا است.



شکل(۵-۵) سیستم انتقال قدرت DC-DC

DC-AC

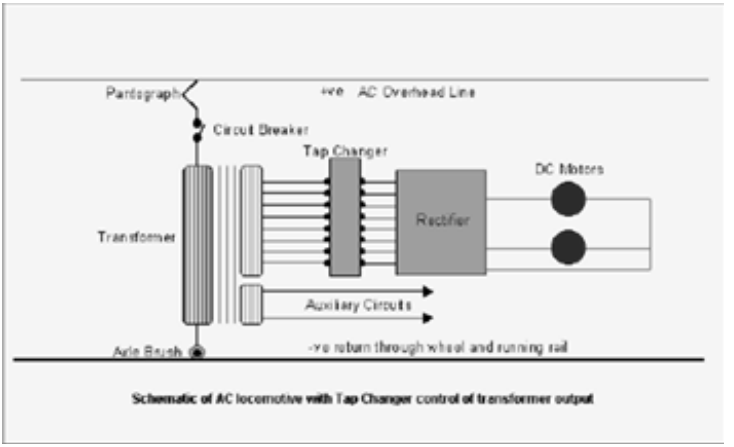
در این سیستم شبکه‌ی تغذیه DC است. لکوموتیو از طریق پانتوگراف یا کفشک، برق را از راه‌آهن برقی دریافت نموده و از طریق سیستم کنترل که شامل اینورتر بوده، جریان سه فاز مطلوب را تولید نموده و به تراکشن AC اعمال می‌نماید. شکل (۵-۶) یک نمونه از این سیستم انتقال را نشان می‌دهد.



شکل (۵-۶) سیستم انتقال قدرت DC-AC

AC-DC

در این سیســـتم شـــبکه‌ی تغذیه AC است. لکوموتیو از طریق پانتوگراف، جریان را از شـــبکه بالاسری راه‌آهن برقی دریافت نموده و از طریق سیستم کنترل که شامل ترانسفورماتور و یک‌سوساز بوده، جریان مستقیم مطلوب را تولید نموده و به تراکشن DC اعمال می‌نماید. شکل (۵-۷) یک نمونه از این سیستم انتقال را نشان می‌دهد.



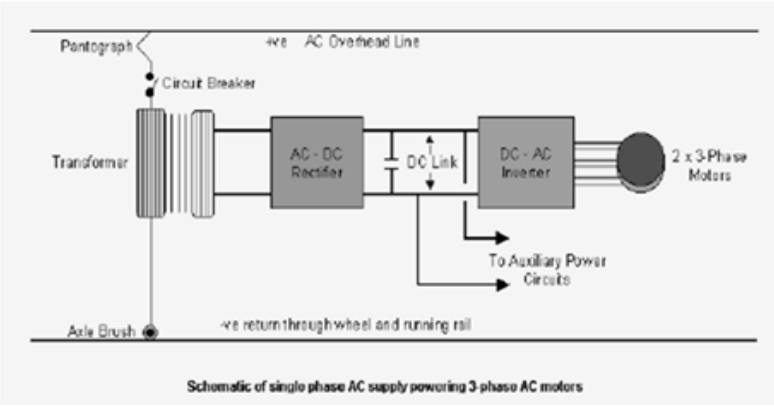
شکل (۵-۷) سیستم انتقال قدرت AC-DC

زمانی که سیســـتم تغذیه AC باشـــد، وجود یک ترانسفورماتور در کشنده الزامی اســـت که این امر موجب افزایش بار محوری کشنده می‌گردد. افزایش بار محوری در خطوط باری یک امتیاز محســـوب می‌گردد هر چند در خطوط ویژه مسافری کاهش بار محوری هزینه‌ی احداث خط را کاهش می‌دهد.

AC- DC – AC

در این سیســـتم شـــبکه‌ی تغذیه AC اســـت و تراکشـــن‌ها نیز AC می‌باشـــند. و از آنجایـــی که کنترل در مد DC آســـانتر اســـت جریـــان AC دریافتی به جریان مستقیم تبدیل شده و سپس همانند سیستم انتقال توان DC-AC سیگنال کنترلی به تراکشـــن اعمال می‌گردد. در این سیســـتم جریان از طریق پانتوگراف از شـــبکه‌ی

بالاسری دریافت شده و پس از کاهش سطح ولتاژ توسط ترانسفورماتور، یکسو شده و در مرحله‌ی بعد از طریق اینورتر به جریان سه فاز تبدیل و به تراکشن اعمال می‌گردد. شکل (۵-۸) یک نمونه از این سیستم انتقال توان را نشان می‌دهد.



شکل (۵-۸) سیستم انتقال توان AC- DC- AC

مراجع

۱. جواد نیکزاد مقدم،" معرفی انواع پســت‌های کشــش، جداســاز و موازی ســاز در راه‌آهن برقی و تدوین اصول طراحی آنها"، پایان نامه کارشناســی ارشد، دانشکده راه‌آهن، دانشگاه علم وصنعت، ۱۳۸۳

۲. ســیامک فرشاد،" بررسی فنی و اقتصادی برقی کردن در راه‌آهن ایران"، کارفرکا: ســازمان بهینه سازی مصرف ســوخت و راه آهن جمهوری اسلامی ایران، اسفند ۱۳۸۳

۳. حسین نادری فشتالی،" پارامترهای موثر در انتخاب سطح ولتاژ سیستم برق‌رسانی به قطارهای حومه‌ای ۲۵ کیلوولت AC یا ۳ کیلو ولت "DC، پانزدهمین همایش بین المللی حمل و نقل ریلی، مهر ۱۳۹۲

۴. حســین نادری فشتالی، مهزاد چیت‌ساز،" تاثیر انتخاب سطح ولتاژ مطلوب تغذیه راه آهــن شــهری بر میــزان صرفه‌جویی انرژی"، ســومین کنفرانــس بین‌المللی رویکردهای نوین در نگه‌داشت انرژی ، اسفند ۱۳۹۲

۵. حســین نادری فشتالی، دوره آموزشــی Modern system of AC electric power supply traction for railway transport. Design, technical maintenance and operation، دانشــگاه ایالتی حمل و نقل راستوف- روسیه، ۲۰۱۲

۶. حسین نادری فشتالی، دوره آموزشی Rail Electrification Fundamentals ، دانشگاه ایالتی حمل و نقل راستوف- روسیه، تبریز، ۱۳۹۲

کتاب‌های منتشر شده
مرکز آموزش و تحقیقات راه‌آهن

● **مرکز آموزش و تحقیقات راه‌آهن کتاب های زیر را منتشر کرده است:**

۱- راهنمای عیوب ریل ها - ۱۳۶۸
۲- فرهنگ شش زبانه عمومی واژگان و اصطلاحات راه آهن - ۱۳۷۲
۳- عیوب پل های راه آهن و اقدامات اصلاحی آنها - ۱۳۷۶
۴- اطلاعات جامع ترمز راه آهن با شرح آحاد و مختصات سیستم کنور - ۱۳۷۹
۵- فرهنک توصیفی اصطلاحات علایم الکتریکی راه آهن - ۱۳۸۱
۶- شناسایی و طریقه بهره برداری از تجهیزات مکانیکی لکوموتیوهای دیزل الکتریک - ۱۳۸۲
۷- نگهداری و تعمیرات زیر سازی و روسازی خطوط ریلی - ۱۳۸۳
۸- شناسایی و طریقه بهره برداری از تجهیزات الکتریکی لکوموتیوهای دیزل الکتریک - ۱۳۸۳
۹- واژه نامه سه زبانه ماشین آلات روسازی ریلی - ۱۳۸۴
۱۰- بازدید قطار در ایستگاه - ۱۳۸۴
۱۱- آموزش سوزنبان - ۱۳۸۴
۱۲- مقدمه ای برمدیریت نگهداری و تعمیرات خطوط راه آهن - ۱۳۸۴
۱۳- اصول مهندسی روسازی خط اهن - ۱۳۸۵
۱۴ - الفبای چرخ واگن و لکوموتیو - ۱۳۸۵
۱۵- اصول مهندسی خط راه آهن - ۱۳۸۵

۱۶- ترمز لکوموتیو و قطار - ۱۳۸۶
۱۷- آموزش مانورچی - ۱۳۸۶
۱۸- ایمنی علائم الکتریکی راه آهن - ۱۳۸۶
۱۹- مجموعه پرسش و پاسخ مشاغل سیر و حرکت راه آهن - ۱۳۸۶
۲۰- مجموعه پرسش و پاسخ شغل لکوموتیورانی - ۱۳۸۶
۲۱- مجموعه پرسش و پاسخ شغل بازدید کننده قطار - ۱۳۸۶
۲۲- الکترونیک قطار - ۱۳۸۶
۲۳- مجموعه پرسش و پاسخ مشاغل سیر و حرکت راه آهن
(چاپ دوم - همراه با اصلاحات) - ۱۳۸۶
۲۴- راهنمای کاربردی مهندسی راه آهن - ۱۳۸۶
۲۵- دستور العمل تعمیر موتور روستون - ۱۳۸۷
۲۶- آشنایی با سازمان بین المللی راه آهن ها (OSJD) - ۱۳۸۷
۲۷- مبانی علائم الکتریکی راه آهن - ۱۳۸۷
۲۹- آشنایی با جرثقیل های راه آهن ایران - ۱۳۸۷
۳۰- آموزش سرمانورچی - ۱۳۸۷
۳۱- آشنایی با واگن های باری راه آهن - ۱۳۸۷
۳۲- ایمنی و ریل (جلد اول و دوم) - ۱۳۸۸
۳۳- راهنمایی علامات اختصاری کاربردی در لکوموتیو آلستوم - ۱۳۸۸
۳۴ - ترمز لکوموتیو و قطار (چاپ دوم - همراه با اصلاحات) - ۱۳۸۸
۳۵- آموزش رییس قطار باری - ۱۳۸۸
۳۶- آشنایی و طریقه بهره برداری از لکوموتیوهای برقی RC۴ - ۱۳۸۹
۳۷- آشنایی با لکوموتیوهای برقی-۱۳۸۹
۳۸- تجهیزات شبکه تماس خطوط برقی راه آهن- ۱۳۸۹
۳۹- مجموعه پرسش و پاسخ شغل بازدید کننده قطار (ویرایش دوم)- ۱۳۸۹
۴۰- سیستم ترمز لکوموتیوهای آلستوم-۱۳۸۹
۴۱- مجموعه پرسش و پاسخ شغل لکوموتیورانی (ویرایش دوم) - ۱۳۹۰
۴۲- بررسی خروج از خط - ۱۳۹۰
۴۳- ابنیه فنی و حفاظتی- ۱۳۹۰
۴۴- توصیه های ایمنی برای راهبران درزین - ۱۳۹۰

۴۵- آشنایی با واگن‌های باری راه‌آهن (ویرایش دوم)-۱۳۹۰
۴۶- پرسش و پاسخ شغل سوزنبانی-۱۳۹۱
۴۷- پرسش و پاسخ شغل مانورچی و سرمانورچی - ۱۳۹۱
۴۸- پرسش و پاسخ شغل رییس قطار باری - ۱۳۹۱
۴۹- پرسش و پاسخ شغل مسئول و متصدی ترافیک، رییس و معاون ایستگاه - ۱۳۹۱
۵۰- پرسش و پاسخ شغل مسئول و متصدی کنترل و کنترلر - ۱۳۹۱
۵۱- شناسایی و طریقه بهره برداری از تجهیزات الکتریکی لکوموتیوهای GM ۰ویرایش دوم) - ۱۳۹۱
۵۲- مبانی ارتباطات راه آهن-۱۳۹۱
۵۳- آشنایی با راه آهن پرسرعت -۱۳۹۱
۵۴- راهنمای کاربری لکوموتیو زیمنس مدل ER۳۴PC - ۱۳۹۱
۵۵- آشنایی با تجهیزات ارتباطات و علائم الکتریکی راه آهن - ۱۳۹۱
۵۶- آشنایی با سیستم های علائم الکتریکی -۱۳۹۱
۵۷- مدارات الکتریکی لکوموتیوهای GM - ۱۳۹۲
۵۸- ارتباطات در لوکوموتیو-۱۳۹۲
۵۹- توصیه‌های ایمنی برای متصدیان ترافیک-۱۳۹۲
۶۰- ترمز هوا و بهره‌برداری از آن در راهبری قطار-۱۳۹۲
۶۱- آشنایی با واگن‌ها و سیستم‌های ترمز- ۱۳۹۲
۶۲- ارتباطات و علائم راه‌آهن از دیروز تا فردا - ۱۳۹۳
۶۳- راهنمای راهبری لکوموتیوهای زیمنس (ویرایش دوم) - ۱۳۹۳
۶۴- آشنایی با راه‌آهن برقی - ۱۳۹۳

● کتب ارتقای ایمنی (آموزش سیار)

۶۵- آموزش پیشگیری از سوانح و رعایت اصول ایمنی در سیر و حرکت - ویژه سوزنبان - ۱۳۸۰
۶۶- آموزش پیشگیری از سوانح و رعایت اصول ایمنی در سیر و حرکت - ویژه رؤسا و معاونین ایستگاه های غیر تشکیلاتی - ۱۳۸۰

۶۷- شناسایی عیوب خط و پارامترهای نگهداری و ایمنی - ویژه رؤسا، معاونین قطعات و متصدیان تعمیرات خط -۱۳۸۱
۶۸- ماشـــین آلات مکانیزه در نگهداری، بهســـازی و نوسازی خطوط راه آهن - ویژه رؤسا، معاونین قطعات ومتصدیان تعمیرات خط - ۱۳۸۱
۶۹- آمـــوزش نـــکات ایمنـــی و حفاظتـــی در امـــور ناوگان و ســـیر و حرکـــت و دپو - ویژه لکوموتیورانان- ۱۳۸۱
۷۰- نکات ایمنی در کنترل و بازرسی فنی قطارها - ۱۳۸۱
۷۱- دســـتورالعمل هـــای تشـــخیص خرابـــی و نـــکات ایمنـــی در اینترلاکینگ رله ای - ۱۳۸۱
۷۲- آمـــوزش پیشـــگیری از ســـوانح و رعایـــت اصـــول ایمنی در ســـیر و حرکت - ویژه رؤسای قطار - ۱۳۸۲
۷۳- آموزش پیشـــگیری از ســـوانح و رعایت اصول ایمنی در ســـیر و حرکت - ویژه سرمانورچی و مانورچی -۱۳۸۳
۷۴- آمـــوزش نکات ایمنی و حفاظتی لکوموتیوهای GM - ویژه لکوموتیورانان - جلد دوم - ۱۳۸۳
۷۵- شناسایی و بازرسی فنی واگن های باری اکراینی - ۱۳۸۴
۷۶- راهنمای بی سیم - ۱۳۸۵
۷۷- استفاده از جرثقیل های ریلی در جمع آوری سوانح - ۱۳۸۶
۷۸- شناســـایی و بازرســـی فنی واگن های باری با سیستم روسی (چاپ دوم) - ۱۳۸۶

● کتاب های در مرحله آماده سازی و چاپ

۱- نیروی محرکه قطار (ویژه متصدیان ترافیک)
۲- جوش درز ریل