

کنترل ولتاژ تماسی ریل در سیستم های حمل و نقل ریلی برقی با تغذیه DC

احمد غلامی^۱
gholami@iust.ac.ir

محسن نیاستی^{۱ و ۲}
m_niasati@iust.ac.ir

۱- دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی برق
۲- دانشگاه سمنان، دانشکده مهندسی برق

کلمات کلیدی: حمل و نقل ریلی برقی، ولتاژ تماسی، کنترل ولتاژ ریل، جریان سرگردان

و روشهای مختلفی استفاده می شود. در اغلب این روشها و تجهیزات، وقتی ولتاژ ریل به زمین از حد معینی تجاوز کند، ریلها و باسبارهای منفی پستها بطور مستقیم به شبکه زمین متصل می شوند تا سطح ولتاژ ریل کاهش یابد. در این مقاله اصول کار تجهیزات کنترل ولتاژ ریل و اثر پارامترهای موثر بر مقدار ولتاژ تماسی ریل مورد بررسی قرار می گیرد.

ترن، نقش مسیر برگشت جریان الکتریکی ترن به باسبار منفی پست ها را نیز ایفاء می کنند. در اغلب سیستمهای قدیمی حمل و نقل ریلی برقی، سطح ریلها با سطح زمین در تماس بوده و همچنین باسبارهای منفی پستهای DC تغذیه کننده ترنها نیز مستقیماً به شبکه زمین متصل می شد. در این سیستم که اصطلاحاً به سیستم مستقیماً زمین شده^۱ مشهور می باشد، بخش قابل ملاحظه ای از جریان برگشتی (مصرفی) ترن بجای آنکه از طریق ریلها به سمت باسبار منفی پستها

چکیده

در اغلب سیستمهای جدید حمل و نقل ریلی برقی DC، از سیستم زمین کاملاً شناور یا سیستم زمین نشده استفاده می شود. یکی از مهمترین مشکلات مربوط به استفاده از سیستم زمین کاملاً شناور در شبکه ترن برقی، تولید ولتاژ تماسی ریل با دامنه بالا و ایجاد خطرات جانی برای مسافران و پرسنل می باشد. از اینرو به منظور کاهش ولتاژ ریل به زمین، از تجهیزات ۱. مقدمه سیستم های حمل و نقل ریلی برقی به علت دارا بودن مزایای متعددی مثل قابلیت شتابگیری بالا، کارایی مطمئن، ظرفیت بالا در جابجایی مسافر و کالا، استفاده بهینه از منابع انرژی و زمین، کاهش حجم ترافیک در شهرهای بزرگ و پرجمعیت، کاهش آلودگی هوا و همچنین حفظ محیط زیست از اهمیت بالایی در مقایسه با انواع سیستمهای حمل و نقل برخوردارند [۱].

به دلایل اقتصادی، در اکثر سیستمهای حمل و نقل ریلی برقی، ریلها علاوه بر نقش تکیه گاه و مسیر حرکت واگنهای

^۱ - Directly connected earth system

معادل ولتاژ تماسی^۴، مطابق شکل ۱، پاها با یکدیگر موازی بوده و مقاومت معادل آنها برابر با $1.5\rho_s$ می باشد. بنابراین مقدار ولتاژ گام برابر است با:

$$E_{Touch} = (R_B + 1.5\rho_s) \times I \quad (1)$$

برای مدار معادل ولتاژ گام^۵، مطابق شکل ۲، مقاومت پاها با هم سری شده و مقاومت معادل پاها برابر $6\rho_s$ می شود. بنابراین مقدار ولتاژ گام از رابطه (۲) محاسبه می شود:

$$E_{Step} = (R_B + 6\rho_s) \times I \quad (2)$$

مطابق استاندارد IEEE-۸۰ مقاومت داخلی بدن یک انسان معمولی حدود ۱۰۰۰ اهم ($R_B = 1000\Omega$) می باشد. حال با فرض $\rho_s = 100\Omega.m$ (مقاومت سطحی آسفالت تر)، مقدار ولتاژ تماسی و ولتاژ گام برابر است با:

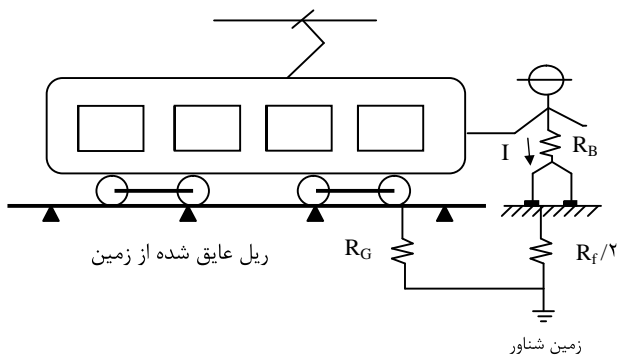
$$E_{Touch} = (1000 + 1.5 \times 100) \times I = 1150I \quad (3)$$

$$E_{Step} = (1000 + 6 \times 100) \times I = 1600I \quad (4)$$

جریان عبوری از بدن برابر است با:

$$I = \frac{E_{Touch}}{1150} \text{ (A)} \quad (5)$$

بیشترین نگرانی درباره ولتاژ تماسی مربوط به مساله ایمنی انسان در برابر خطرات برق گرفتگی می باشد. حداقل جریان قابل درک توسط بدن، حدود 2mA ، حداکثر جریان آستانه (شک) برابر با 60mA و حداکثر جریان مجاز برابر با 80mA می باشد. در نتیجه ماکزیمم ولتاژ آستانه مرگ حدود 69V و ماکزیمم ولتاژ مجاز حدود 92V می باشد [۵].



^۴- Touch voltage
^۵- Step voltage

برگردد، از طریق شبکه اصلی زمین، مسیر خود را به باسبار منفی پستها می بندد. عبور جریان ترن بصورت جریانهای سرگردان^۱ DC از داخل زمین باعث ایجاد مشکلات متعددی چون افزایش خوردگی سازه ها و تجهیزات فلزی زیرزمینی واقع در مجاورت خطوط ریلی می گردد [۱،۲،۳].

لذا بخاطر وجود جریانهای سرگردان در سیستمهای قدیمی حمل و نقل ریلی برقی DC، در اکثر شبکه های جدید ریلی برقی مسیر برگشت جریان ترنها شامل ریلها و باسبارهای منفی پستها تغذیه کننده ترنها از زمین عایق و جدا شده اند و با آن ارتباط مستقیم ندارند. این سیستم اصطلاحاً به سیستم زمین کاملاً شناور^۲ یا سیستم زمین نشده مشهور می باشد. مشکل اصلی این نوع سیستم زمین، افزایش ولتاژ تماسی ریل ها و ایجاد خطرات جانی برای مسافرین و پرسنل می باشد. بنابراین وقتیکه از ریلهای عایق شده بعنوان مسیر برگشت جریان مصرفی ترنها استفاده می شود باید پیش بینی ها و تمهیدات خاصی برای کنترل ولتاژ ریلها لحاظ شود. از اینرو معمولاً از تجهیزات الکترونیکی که به تجهیزات کنترل ولتاژ ریل^۳ (RPCD) معروفند، برای کنترل و کاهش دامنه ولتاژ ریل استفاده می شود که اغلب به باسبارهای منفی پستها و ریلها در ایستگاه های مسافر متصل می گردند. این تجهیزات باید بطور مناسب و دقیق انتخاب و تنظیم گردند تا از ایجاد بعضی محدودیتها روی مقدار حداقل ولتاژ ریلها که ناشی از چگونگی تنظیمات این تجهیزات می باشد، جلوگیری شود [۱، ۲، ۳، ۴]. در این مقاله با استفاده از شبیه سازی یک سیستم حمل و نقل ریلی برقی با تغذیه DC، اثر مقاومت زمین و همچنین اثر مقدار سطح ولتاژ آستانه تجهیزات RPCD بر دامنه ولتاژ ریل ها مورد بررسی و ارزیابی قرار می گیرد.

۲. محاسبه ولتاژ تماسی و ولتاژ گام

همانطور که در شکل های (۱) و (۲) مشاهده می شود، مدار معادل الکتریکی بدن انسان شامل مقاومت پاها R_L و مقاومت داخلی بدن R_B می باشد. مقاومت هر پای برهنه معادل سه برابر مقاومت سطحی خاک زیر پا ($3\rho_s$) است. برای مدار

^۱ - DC stray current

^۲ - Totally floating earth system

^۳ - Rail potential control device

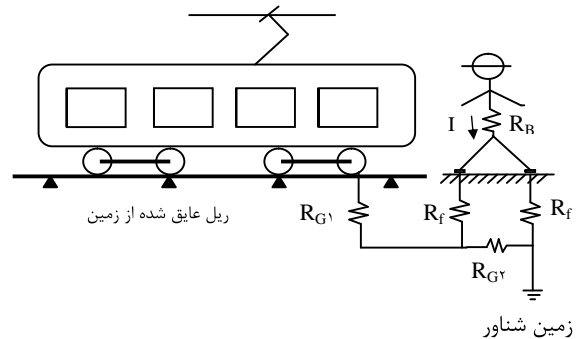
۳. مدلسازی ولتاژهای تماسی ریل

عایق نبودن ریلها و باسبارهای منفی پستها نسبت به زمین، در شبکه های ریلی برقی دارای سیستم مستقیماً زمین شده، باعث افزایش میزان جریانهای سرگردان و در نتیجه افزایش اثرات منفی آنها می گردد. لذا با بکارگیری سیستم زمین کاملاً شناور عملاً هیچگونه ارتباط مستقیمی بین ریلهای حرکت و باسبارهای منفی پست ها با شبکه زمین وجود نخواهد داشت و در نتیجه دامنه جریان های سرگردان نسبت به سیستم کاملاً زمین شده، به مراتب کاهش می یابد. اما بعلاوه عبور کل جریان ترن از ریل (و وجود مقاومت الکتریکی ریل)، بین ریل و زمین اختلاف ولتاژ تولید می شود که می تواند ایمنی پرسنل و مسافران را تهدید نماید. در عمل استراتژی سومی برای زمین کردن ریلها و باسبارهای منفی مطرح می گردد. در این روش ریلها و باسبارهای منفی پستهای dc بوسیله دیودها و تجهیزات الکترونیکی به شبکه زمین متصل می شوند. در اینصورت تا زمانی که اختلاف ولتاژ بین ریلها (یا باسبارهای منفی) با زمین کمتر از مقدار معینی باشد، دیودها در حالت قطع بوده و سیستم مانند شبکه زمین نشده عمل می کند. اما به محض اینکه مقدار اختلاف ولتاژ مذکور از مقدار معین تجاوز کند، دیودها روشن شده و ریلها (یا باسبار منفی) را مستقیماً به شبکه زمین متصل می کنند. در نتیجه دامنه ولتاژ ریلها و یا ولتاژ باسبار منفی پستها کاهش یافته و از مقدار معین شده کمتر می شود [۱، ۲، ۸، ۹].

تجهیزات کنترل ولتاژ ریل (RPCD)، تجهیزات موثرتری نسبت به سایر تجهیزات مشابه می باشند. این تجهیزات اجازه می دهند اتصال بین ریلها و زمین تا زمان دسترسی به مشخصه مطلوب ولتاژ-زمان ریل، باقی بماند. البته اتصال مستقیم بین ریل و زمین باید در مکانهای خاص و حساس از لحاظ ایمنی افراد، مثل ایستگاه های مسافر و بار ایجاد شود [۷، ۹].

یک روش رایج برای بیان رسانایی بین ریل و زمین، تقسیم کردن طول ریل به بخشهای کوچکتر به نام المان و مدلسازی رسانایی ریل-زمین هر المان بوسیله یک مقاومت در آن نقطه می باشد. شکل ۳ مدل ساده ای برای مدلسازی جریان

شکل (۱)- مدار معادل الکتریکی بدن انسان برای محاسبه ولتاژ تماسی



شکل (۲)- مدار معادل الکتریکی بدن انسان برای محاسبه ولتاژ گام

نتایج بررسی ها نشان داده است که مهمترین عامل مرگ در اثر برق گرفتگی، انقباض عضلات مهم بدن مثل عضلات قلب و شش می باشد و شدت انقباض عضله های بدن نیز تابعی از شدت جریان و مدت زمان عبور آن از بدن می باشد [۵، ۶]. طبق رابطه دالتزیل^۱، حداکثر جریان مجاز (جریان ac) برای یک شخص با وزن ۵۰ کیلوگرم برابر است با:

$$I = 116 / \sqrt{t} \text{ (mA)} \quad (۶)$$

که t مدت زمان عبور جریان از بدن برحسب ثانیه می باشد. البته در سیستمهای dc، ماکزیمم جریان مجاز قابل تحمل بدن حدود سه برابر مقدار متناظر ac می باشد [۷، ۵]:

$$I = 384 / \sqrt{t} \text{ (mA)} \quad (۷)$$

مقدار t برای سیستمهای ریلی برقی سبک شهری (مترو و تراموا) حدود ۵ ثانیه (در زمان شتابگیری ترن) و برای سیستمهای ریلی برقی خیلی سریع حدود ۰/۰۸ ثانیه (زمان لازم برای قطع بریکر فیدر dc در شرایط اتصال کوتاه) می باشد. بنابراین مطابق رابطه (۷)، ماکزیمم جریان قابل تحمل توسط بدن در شرایط اتصال کوتاه برابر ۱/۲ آمپر بدست می آید [۷، ۶].

^۱ Dalziel

جدول ۱ - سطح ولتاژ ریل و جریان سرگردان برای انواع

سیستم زمین

نوع سیستم زمین	ولتاژ ریل به زمین	سطح جریان سرگردان
مستقیماً زمین شده	پایین	بالا
زمین شده بوسیله دیود	متوسط / پایین	متوسط / بالا
زمین نشده یا کاملاً شناور	بالا	پایین

۴. شبیه سازی سیستم مورد مطالعه

بمنظور بررسی اثر ولتاژ آستانه RPCD روی دامنه ولتاژ تماسی ریل، یک سیستم ریلی ساده مطابق شکل‌های ۳ و ۴ جهت انجام شبیه سازی ها انتخاب شده است.



ایستگاه مسافر (PS)

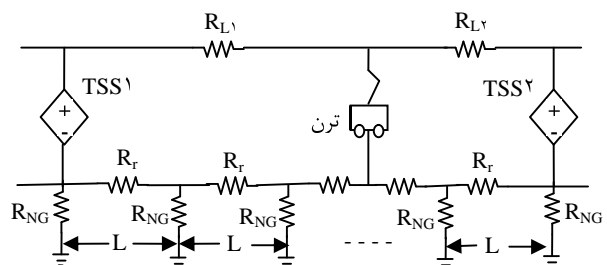
پست تغذیه کننده ترن (TSS)

شکل ۴- سیستم حمل و نقل ریلی برقی نمونه جهت انجام شبیه سازی

به منظور ساده شدن شبیه سازی ها، در اینجا فقط حالت تک ریلی و تک ترنی که از دو پست ۷۵۰VDC تغذیه می شود مورد بررسی قرار می گیرد. طول کل مسیر حدود ۶km بوده که از ۷ ایستگاه مسافر و دو پست تغذیه کننده تشکیل شده است. جدول ۲ موقعیت مکانی ایستگاه های مسافر را در طول مسیر بیان می کند. پستهای تغذیه کننده ترن در فواصل ۱۵۰۰ و ۴۵۰۰ متری ابتدای خط (PS¹) قرار گرفته و همچنین حد مجاز سرعت ترن، ۷۰ کیلومتر بر ساعت انتخاب شده است.

سرگردان و ولتاژ ریل یک سیستم متشکل از یک ترن، یک خط ریل و دو پست یکسوساز را ارائه می دهد. در اینجا R_{NG} مقاومت بین باس منفی پست یکسوساز و زمین، R_F مقاومت ریل در واحد طول، R_{L1} و R_{L2} مقاومت خط تغذیه بالاسری یا ریل سوم و L طول هر المان طول ریل می باشد.

در حالت اتصال مستقیم باسبار منفی به زمین، مقاومت R_{NG} مقدار کوچکی (کمتر از یک اهم) دارد و برای سیستم زمین نشده، مقاومت R_{NG} دارای مقدار بزرگ می باشد. در روش زمین شدن بوسیله دیود، بجای مقاومت R_{NG} ، یک دیود قرار میگیرد تا اختلاف ولتاژ بین باسبار منفی پست dc و شبکه زمین را محدود نماید. بررسی ها نشان می دهند که بکارگیری سیستم زمین شده بوسیله دیود، ممکن است ولتاژ تماسی با دامنه بالا و همچنین جریان های سرگردان زیادی را بطور همزمان تولید نماید. بطور کلی اثر انواع روشهای مختلف زمین کردن سیستم ریلی برقی مطابق جدول ۱ می باشد [۱،۳،۴،۹]. در این مقاله استراتژی زمین کاملاً شناور یا سیستم زمین نشده مجهز به تجهیز RPCD مورد بررسی قرار می گیرد.

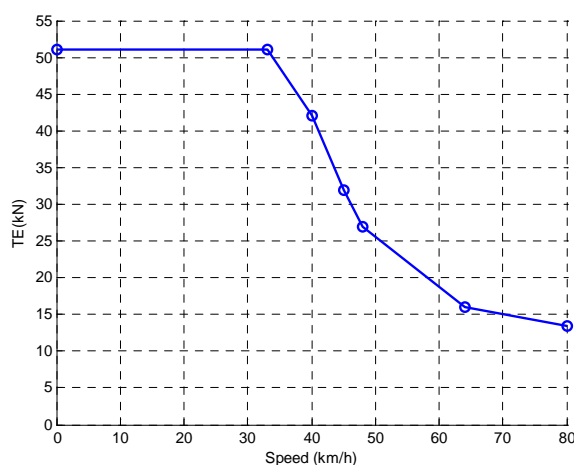


شکل ۳- مدل ساده استفاده شده برای شبیه سازی جریان های سرگردان

در حالت کششی و یا توان خروجی ترن در حالت ترمزی و a , b , c ضرایب نیروهای مقاوم در برابر حرکت ترن می باشند. با تعیین توان مصرفی کل ترن و بکمک رابطه (۹)، مقدار جریان مصرفی ترن محاسبه می شود [۱۱، ۱۲، ۱۳].

$$I(v) = P(v)/V_{dc}(v) \quad (9)$$

که در آن، $P(v) = TE(v) \times v$ ، $I(v)$ جریان ترن در سرعت v ، $V_{dc}(v)$ ولتاژ dc خط تغذیه کننده ترن در سرعت v و $P(v)$ توان الکتریکی ترن در سرعت v می باشد.



شکل ۵- منحنی نیروی کششی - سرعت ترن مورد مطالعه

حداکثر ولتاژ تماسی ریل برای سیستم تک ریلی مورد مطالعه عموماً در دورترین نقطه از پستها یعنی در نزدیکی ایستگاه های مسافر شماره ۱ (PS۱) و شماره ۷ (PS۷) و درست در لحظه شتاب گیری ترن و ترک ایستگاه اتفاق می افتد. تغییرات شتاب ترن و ولتاژ تماسی ریل در نقطه PS۱ مطابق شکل ۶ می باشد. ولتاژ ریل بطور یکنواخت و پیوسته در طول مدتی که ترن با شتاب ثابت 0.7 m/s^2 حرکت می کند افزایش می یابد و مقدار حداکثر ولتاژ ریل (۷۵/۱V) در لحظه ای که شتاب حرکت ترن شروع به کاهش می نماید، اتفاق می افتد.

لازم به ذکر است که در سیستمهای چند ترنی و چند ریلی (افزایش جریان ریل)، مقدار ولتاژ تماسی ریل می تواند به مراتب بزرگتر از مقدار فوق باشد و ایمنی افراد را بطور جدی

جدول ۲- موقعیت ایستگاه های مسافر در طول مسیر مورد نظر

شماره ایستگاه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
موقعیت (متر)	۵	۱۲۰۰	۲۰۵۰	۲۷۵۰	۳۸۰۰	۵۱۴۰	۵۹۹۰

مقاومت سیم بالاسری، $0.15 \Omega/\text{km}$ و مقاومت ریل $0.206 \Omega/\text{km}$ می باشد. مشخصات مهم الکتریکی و مکانیکی ترن مطابق جدول ۳ در نظر گرفته شده است.

جدول ۳- مشخصات الکتریکی و مکانیکی ترن سبک شهری مورد مطالعه

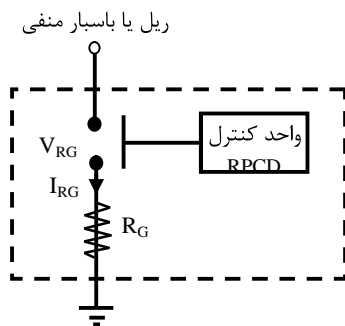
مقدار	مشخصه
۸۰	حداکثر سرعت (km/s)
۰/۷	حداقل شتاب (m/s^2)
۱/۱	حداکثر شتاب (m/s^2)
۵۰۲۰۰	وزن ترن با بار کامل (kg)
۲۹۰۰۰	وزن ترن بدون بار (kg)
۸	سطح جلوی ترن (m^2)
۹۰۰	حداکثر ولتاژ مجاز (V)
۵۲۵	حداقل ولتاژ مجاز (V)
۹۰۰	حداکثر ولتاژ در حالت ترمزی (V)

با توجه به مشخصات الکتریکی و مکانیکی سیستم مورد مطالعه و بکمک معادله حرکت ترن (رابطه ۸)، مقدار نیروی محرکه تولید شده توسط ترن به ازاء سرعت های مختلف حرکت آن بصورت منحنی شکل ۵ می باشد [۱].

$$(M + DM) \frac{dv}{dt} = T.E. - (a + bv + cv^2) \quad (8)$$

که در آن، M جرم ترن، DM جرم دینامیکی ترن بعنوان انرژی چرخشی موجود در قسمتهای دوار ترن (در حدود ۵٪ تا ۱۰٪ مقدار M)، v سرعت حرکت ترن، $T.E.$ توان مصرفی ترن

از مدار RPCD از مقدار معین I_r کمتر باشد و زمان وصل کلید نیز از مدت زمان مشخص T_{ON} گذشته باشد. اما عملاً اتصال مستقیم ریل به زمین با مقاومت صفر ممکن نیست. از اینرو یک مقاومت کوچک (R_G) بین تجهیز RPCD و زمین در نظر گرفته می شود. در عمل معمولاً تجهیز RPCD براساس یک مشخصه ولتاژ_زمان معینی عمل می کند [۲، ۱۱]، بنابراین برای ساده سازی شبیه سازی ها، فرض شده است که کلید RPCD هنگامی وصل می شود که حداقل V_r از زمان افزایش ولتاژ ریل از مقدار ولتاژ آستانه گذشته باشد.

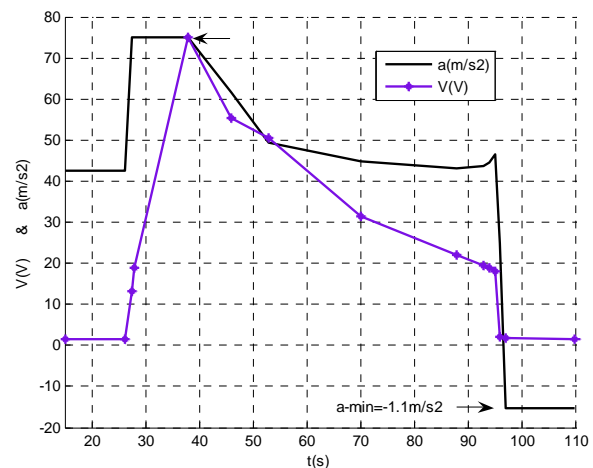


شکل ۷- ساختار کلی تجهیز RPCD

به منظور بررسی عملکرد تجهیزات کنترل ولتاژ ریل، در هر یک از ایستگاههای مسافر و باسبارهای منفی پستهای تغذیه سیستم حمل و نقل ریلی برقی شکل ۴، یک تجهیز RPCD در نظر گرفته شده است. همچنین مقادیر $I_r=100A$ و $T_{ON}=2s$ بترتیب بعنوان مقادیر جریان آستانه قطع و حداقل زمان قطع RPCD انتخاب شده اند.

با فرض $R_G = 0,1\Omega$ (زمین شدن خیلی خوب RPCD) و تنظیم ولتاژ آستانه $V_r = 65V$ ، تغییرات شتاب ترن، ولتاژ ریل_زمین (V_{RG}) و جریان (I_{RG}) تجهیز RPCD واقع در ایستگاه مسافر شماره یک (PS1) مطابق شکل ۸ بدست آمده است. مشاهده می گردد که RPCD بلافاصله بعد از اینکه دامنه ولتاژ ریل از مقدار ولتاژ آستانه ($V_r=65V$) تجاوز کرد (در زمان $t=38$ ثانیه)، کلید را وصل نموده و اجازه می دهد تا جریان زیادی از ریل وارد زمین شود و باعث کاهش ولتاژ ریل

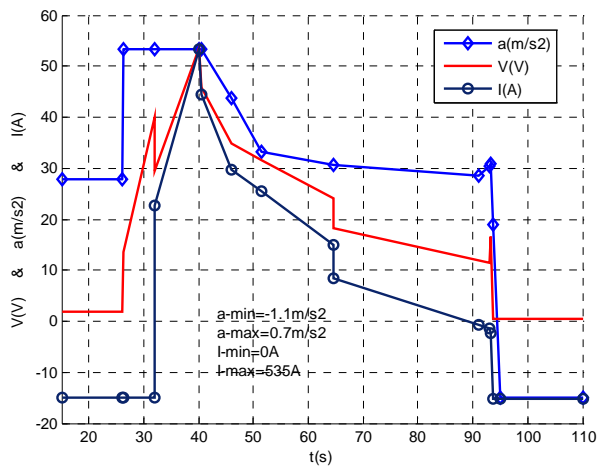
تهدید نماید. بنابراین کاهش مقدار ماکزیمم ولتاژ ریل، یک مساله جدی از لحاظ ایمنی پرسنل و افراد در سیستمهای حمل و نقل ریلی برقی پیشرفته و جدید می باشد. از اینرو بکارگیری تجهیزات کنترل ولتاژ ریل (RPCD) می تواند یک روش موثر در کاهش ولتاژ ریل باشد که در ادامه مورد بررسی قرار میگیرد.



شکل ۶- تغییرات ولتاژ تماسی ریل و شتاب ترن در محل ایستگاه مسافر PS1، بدون نصب تجهیزات کنترل ولتاژ ریل

۵. تجهیزات کنترل ولتاژ ریل (RPCD)

همانطور که مشاهده گردید، در سیستم زمین کاملاً شناور لازم است که ولتاژ ریل_زمین مخصوصاً در محل ایستگاههای مسافر و بار محدود و کنترل شود تا از ایمنی پرسنل و مسافران اطمینان حاصل گردد. این اطمینان عموماً با بکارگیری تجهیزات کنترل ولتاژ ریل حاصل می گردد. ساختار ساده یک تجهیز RPCD در شکل ۷ نشان داده شده است. در اینجا، یک سیستم کنترلی بطور پیوسته اختلاف پتانسیل و میزان جریان عبوری بین ریل (یا باسبار منفی پست) و زمین را اندازه گیری می نماید. در شرایط عادی (زمین شناور)، کلید باز می باشد و ارتباطی بین ریل و زمین وجود ندارد. هنگامیکه ولتاژ ریل_زمین از مقدار ولتاژ آستانه V_r بیشتر شود، کلید بسته شده و اجازه می دهد تا جریان ریل وارد زمین شده و در نتیجه ولتاژ ریل کاهش یابد. واحد کنترل فقط هنگامی کلید را به حالت عادی (قطع) خود برمی گرداند که جریان عبوری



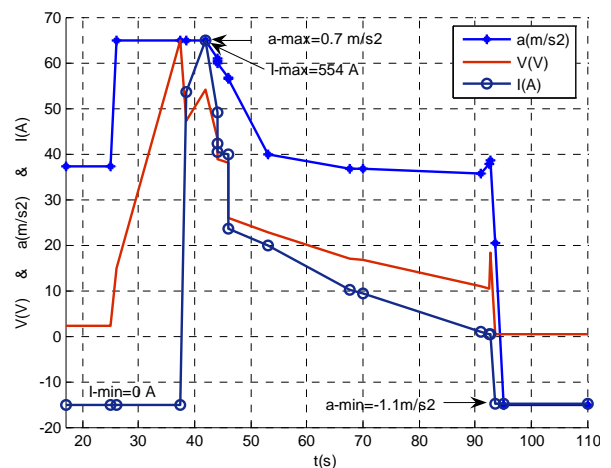
شکل ۹- تغییرات ولتاژ و جریان RPCD در طول حرکت ترن
به ازای ولتاژ آستانه $V_r = 40V$

با تکرار شبیه سازی ها به ازای مقادیر مختلف ولتاژ آستانه، ماکزیمم ولتاژ ریل سیستم مذکور بصورت تابعی از ولتاژ آستانه تجهیز RPCD، مطابق شکل ۱۰ بدست می آید. همچنین مشاهده گردید که انتخاب ولتاژ آستانه زیر $55V$ نمی تواند ولتاژ ریل را در حد ولتاژ آستانه مفروض محدود نماید. از اینرو مقدار ولتاژ $55V$ به عنوان حد ولتاژ ریل^۱ (V_{RL}) برای سیستم مورد مطالعه انتخاب می شود. علاوه بر این انتخاب ولتاژ آستانه کمتر از حد ولتاژ ریل، باعث افزایش جریان سرگردان می شود، زیرا جریان بزرگتر و برای مدت طولانی تر از طریق RPCD وارد زمین می گردد در نتیجه خوردگی بیشتری بدنبال خواهد داشت [۱۱، ۱۲، ۱۳].

تا مقدار $47V$ ولت گردد. باید توجه داشت که در سیستم زمین کاملاً شناور (مطابق شکل ۶)، ولتاژ ریل بطور پیوسته تا لحظه ای که شتاب ترن شروع به کم شدن نماید افزایش می یابد. بنابراین ولتاژ ریل هرگز از مقدار $65V$ ولت تجاوز نمی کند. همچنین تجهیز RPCD تا زمانی که جریان I_{RG} بالای 100 آمپر می باشد (تا لحظه $t=94$ ثانیه) در حالت وصل باقی می ماند.

۶. تعیین حد ولتاژ ریل (V_{RL})

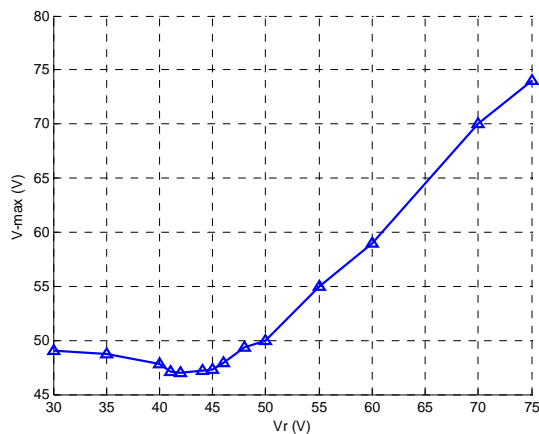
در اینجا اثر مقدار ولتاژ آستانه تجهیزات RPCD روی دامنه ولتاژ ریل مورد بررسی قرار می گیرد. در شکل ۹، شتاب ترن، ولتاژ ریل (V_{RG}) و جریان I_{RG} مربوط به تجهیز RPCD ایستگاه PS۱ به ازای انتخاب ولتاژ آستانه $40V$ ولت ($V_r=40V$) نشان داده شده است. مشاهده می گردد که محض اینکه ولتاژ ریل در لحظه $t=32$ ثانیه از مقدار ولتاژ آستانه تجاوز می کند، RPCD روشن شده و ولتاژ ریل را به مقدار $30V$ کاهش می دهد. با اینحال تا زمانی که ترن به شتاب گیری خود ادامه می دهد، ولتاژ ریل از مقدار $30V$ به مقدار ماکزیمم $53/56V$ (در لحظه شروع کاهش شتاب حرکت ترن) افزایش می یابد. بنابراین تجهیز RPCD نمی تواند ولتاژ ریل را به مقدار سطح ولتاژ آستانه مورد نظر ($40V$) محدود نماید.



شکل ۸- تغییر ولتاژ و جریان تجهیز RPCD نصب شده در ایستگاه مسافر PS۱ در طول دوره حرکت ترن

^۱ Rail Voltage Limit

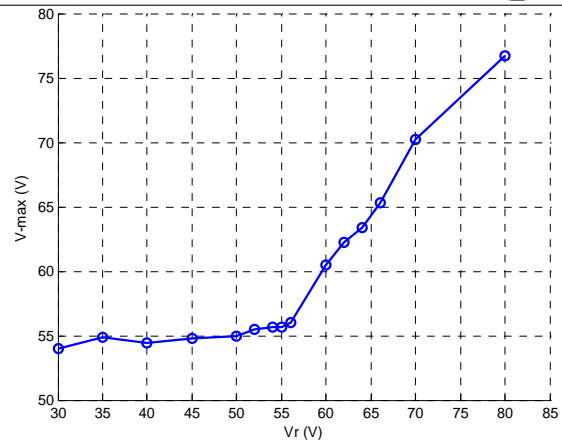
شود. بعنوان مثال، ماکزیمم ولتاژ ریل (V_{max}) بصورت تابعی از ولتاژ آستانه RPCD به ازای مقاومت زمین $R_G = 0,08 \Omega$ در شکل ۱۱ نشان داده شده است. می توان مشاهده نمود که در این حالت مقدار حد ولتاژ ریل به سطح ۴۷ ولت ($V_{RL} = 47 V$) کاهش می یابد. در شکل ۱۲، ماکزیمم ولتاژ ریل به ازای مقادیر مختلف ولتاژ آستانه V_r و مقاومت R_G نشان داده شده است.



شکل ۱۱- ماکزیمم ولتاژ ریل نسبت به ولتاژ آستانه به ازای $R_G = 0,08 \Omega$

برای سیستم مورد مطالعه، حد ولتاژ ریل بصورت تابعی از مقاومت ریل_زمین، مطابق شکل ۱۳ بدست می آید. بکارگیری سیستم زمین موثرتر (مقادیر کوچکتر مقاومت R_G) باعث بدست آمدن مقادیر کوچکتر حد ولتاژ ریل می شود. رابطه حد ولتاژ ریل و مقاومت R_G بصورت یک تابع غیر خطی می باشد.

در شکل ۱۳ مشاهده می گردد برای آنکه عملکرد تجهیز کنترل ولتاژ ریل موثرتر باشد، مقاومت R_G باید کمتر از $0,5 \Omega$ باشد. بطوریکه برای مقاومت R_G حدود $0,1 \Omega$ ، کاهش قابل ملاحظه ای در مقدار حد ولتاژ ریل مشاهده می گردد. البته رسیدن به مقاومت $R_G = 0,1 \Omega$ مستلزم بکارگیری شبکه زمین بسیار خوب و موثر می باشد. از اینرو احداث شبکه زمین مناسب و موثر و همچنین حفظ و نگهداری آن در طول بهره برداری سیستم حمل و نقل ریلی برقی، مسئله بسیار مهم



شکل ۱۰- ماکزیمم ولتاژ ریل نسبت به ولتاژ آستانه V_r تجهیز RPCD برای $R_G = 0,1 \Omega$

۷. تاثیر مقاومت زمین بر مقدار حد ولتاژ ریل

مقدار حد ولتاژ ریل به پارامترهای متعددی مثل موقعیت و ساختار خط (ریل)، حداکثر فاصله بین پستها، خصوصیات الکتریکی ریلها، بکارگیری بازیابی انرژی در حالت ترمزی ترن، اتصالات و جداکننده های سراسر خط ریل بستگی دارد [۳،۴،۸]. در اینجا فقط اثر مقاومت زمین RPCD روی حد ولتاژ ریل مورد بررسی قرار می گیرد.

معمولاً در لحظه شتاب گیری ترن، جریان زیادی از ترن و ریل های حرکت عبور می کند. ترن این جریان را از پستهای برق نزدیک خود و یا از توان تولید شده توسط ترن دیگری که در حالت بازیابی انرژی در هنگام ترمزی می باشد، دریافت می کند. جریان برگشتی عبوری از ریل باعث تولید اختلاف ولتاژ بین هر نقطه از ریل و زمین زیر آن می شود. به منظور کاهش این اختلاف ولتاژ، بوسیله تجهیز RPCD و شبکه زمین، یک مسیر جایگزین برای عبور بخش عمده ای از جریانهای برگشتی ترن به باسبار منفی پستها ایجاد می شود. مقاومت این مسیر جایگزین، اساساً بعنوان مقاومت ریل_زمین (R_G) تجهیز RPCD شناخته می شود که مقدار آن شدیداً به وضعیت و چگونگی شبکه زمین سیستم بستگی دارد.

انتخاب مقادیر R_G کوچکتر باعث عبور جریان بیشتری از ریل به زمین شده و در نتیجه اختلاف ولتاژ ریل_زمین کمتر می

در این مقاله، ولتاژ ریل در سیستم حمل و نقل ریلی برقی DC با سیستم زمین کاملاً شناور، مورد بررسی قرار گرفت. بطور خاص نشان داده شده است که تجهیزات کنترل ولتاژ ریل می توانند نقش موثری در کنترل ولتاژ تماسی ریل ایفاء نمایند. عملکرد موثر تجهیزات RPCD بستگی به انتخاب درست و مناسب ولتاژ آستانه آنها دارد.

مشاهده گردید که معمولاً حد پایینی برای ولتاژ آستانه RPCD هر سیستم وجود دارد بطوریکه تنظیم نمودن ولتاژ آستانه در سطح پایینتر از این حد، نمی تواند ولتاژ ریل را به آن حد کاهش دهد و فقط باعث افزایش جریان سرگردان می گردد. بنابراین تنظیم درست و مناسب ولتاژ آستانه تجهیز RPCD برای یک سیستم ریلی برقی معین، علاوه بر افزایش ایمنی پرسنل، باعث کاهش مشکلات ناشی از جریان های سرگردان نیز می گردد.

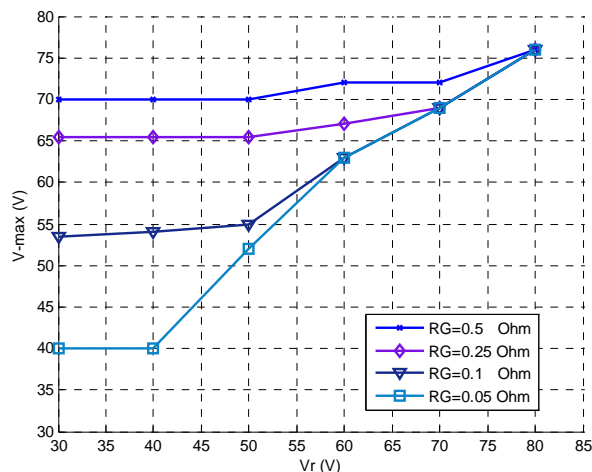
همچنین در این مقاله نشان داده شد که مقدار مقاومت سیستم زمین و یا مقاومت زمین تجهیز RPCD نقش مهمی در مقدار حد ولتاژ ریل دارد. بطوریکه افزایش جزئی و کوچک در مقدار مقاومت زمین ممکن است افزایش قابل ملاحظه ای در ولتاژ ریل به همراه داشته باشد. بنابراین می بایست حالتها و وضعیتهای مختلف و محتمل هر سیستم ریلی برقی بوسیله مدلسازی و انجام شبیه سازی ها مورد بررسی قرار گیرد. همچنین لازم است به منظور اطمینان از ایمنی سیستم حمل و نقل ریلی برقی دارای سیستم زمین کاملاً شناور، اندازی گیری و نظارت منظم ولتاژ ریل صورت گیرد.

مراجع

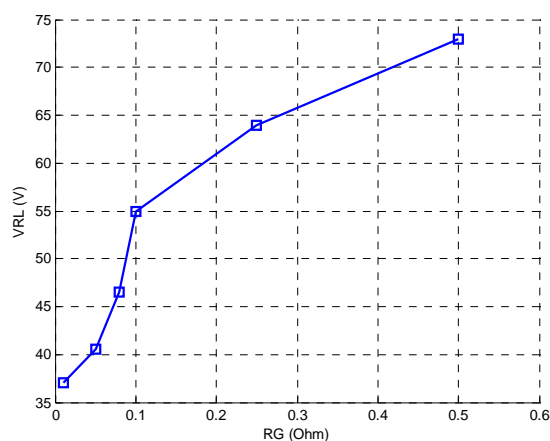
[۱] احمد غلامی، محسن نیاستی؛ "مدلسازی سیستمهای حمل و نقل ریلی برقی DC بمنظور کنترل جریانهای سرگردان"؛ بیست و یکمین کنفرانس بین المللی مهندسی برق، ایران، تهران، آذر ۱۳۸۵، صفحات ۱۲۷۹ تا ۱۲۸۷.

[۲] احمد غلامی، محسن نیاستی، ...؛ "بررسی عوامل موثر بر پدیده جریانهای سرگردان در سامانه حمل و نقل ریلی برقی"؛

و حائز اهمیت در کنترل ولتاژ ریل و در نتیجه حفظ ایمنی افراد می باشد.



شکل ۱۲- ماکزیمم ولتاژ ریل به ازای مقادیر مختلف ولتاژ آستانه V_r و مقاومت R_G برای سیستم مورد مطالعه



شکل ۱۳- تغییرات حد ولتاژ ریل (V_{RL}) نسبت به تغییرات مقاومت R_G برای سیستم مورد مطالعه

۸. نتیجه گیری

- [۷] D. Paul. "DC Traction Power System Grounding", IEEE Transactions on Industry Applications, vol. ۳۸, no ۳, ۲۰۰۲.
- [۱۰] K.D. Pham, R.S. Thomas, W.E. Stinger. "Analysis of Stray Current, Track-to-Earth Potentials & Substation Negative Grounding in DC Traction Electrification System", IEEE/ASME Joint Rail Conference, pp. ۱۴۱-۱۶۰, ۲۰۰۱.
- [۱۱] J.G. Yu, C.J. Goodman. "Modelling of Rail Potential Rise and Leakage Current in DC Rail Transit Systems", IEE Colloq. on Stray Current Effects of DC Railways and Tramways, pp. ۲/۲/۱-۲/۲/۶, ۱۹۹۰.
- [۱۲]- Natarajan, R.; Imece, A.F.; Popoff, J.; Agarwal, K.; Meliopoulos, P.S., "Analysis of grounding systems for electric traction"; Power Delivery, IEEE Transactions on Volume ۱۶, Issue ۳, July ۲۰۰۱.
- [۱۳]- Ian Cotton, Pete Aylott, and Petra Ernst; "Stray Current Control in DC Mass Transit Systems"; IEEE Transactions On Vehicular Technology, Vol. ۵۴, No. ۲, March ۲۰۰۵
- فصلنامه انجمن خوردگی ایران، سال هفتم، شماره ۲۴، بهار ۱۳۸۵، صفحات ۳ تا ۹.
- [۳] J.G. Yu. "The Effects of Earthing Strategies on Rail Potential and Stray Currents in D.C. Transit Railways", Int. Conf. on Developments in Mass Transit Systems, pp. ۳۰۳-۳۰۹, ۱۹۹۸.
- [۴] K.J. Moody. "Stray Current Characteristics of Grounded, Ungrounded, and Diode Grounded DC Transit Systems", Stray Current Corrosion: The Past, Present and Future of Rail Transit Systems, Houston, Texas, pp.۳۳۱-۳۴۲, ۱۹۹۴
- [۵] K.J. Moody, "Stray Current Control and Platform Voltages", proceedings of the ۱۹۸۹ APTA Rapid Transit Conference, Pittsburgh, PA.
- [۶] Dr.Stanimir, D.Jacimovic, "Rail Potential Rise and Public Safety", APTA paper.
- [۷] Dev Paul, "Operation Safety and Maintenance Considerations for People Movers 'DC Grounding Systems", proceedings of the ۱۹۸۸ APTA Rapid Transit Conference, Buffalo, NY.
- [۸] B.-Y. Ku, T. Hsu. "Computation and Validation of Rail-to-Earth Potential for Diode Grounded DC Traction System at Taipei Rapid Transit System", ASME/IEEE Joint Rail Conference, pp. ۴۱-۴۶, ۲۰۰۴.
- [۹] K.S. Bahra, R.B. Catlow. "Control of Stray Currents for D.C. Traction Power Systems", Electrical Railways in a United Europe, pp. ۱۳۶-۱۴۲, ۱۹۹۵.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.