

تعیین موقعیت مطلوب اجزا حسگر القایی مجاورتی یک طرفه سیستم

محور شمار

آرش موسایی¹، دانشجوی کارشناسی ارشد

۱- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه تبریز - ایران

a.mousaei97@ms.tabrizu.ac.ir

چکیده: سیستم محور شمار یکی از مهم ترین تجهیزات تشخیص حضور قطار در یک سیستم سیگنالینگ می باشد. روش های مختلفی برای طراحی این سیستم پیشنهاد شده است. یکی از بهترین نوع این سیستم ها که امروزه بیشترین کاربرد صنعتی را در بین سایر روش ها دارد استفاده از حسگر القایی مجاورتی یک طرفه به عنوان بخش تشخیص حضور چرخ بر روی ریل می باشد. در این سیستم، حسگر چرخ از طریق تشخیص تغییرات میدان مغناطیسی منتشر شده توسط حسگر بر اثر عبور چرخ، حضور و یا عدم حضور قطار را تشخیص می دهد. در این مقاله با ارائه یک نمونه حسگر القایی مجاورتی یک طرفه، تغییرات میدان مغناطیسی حسگر و هم چنین دامنه نیرو محرکه الکتریکی القا شده در کویل های گیرنده حسگر را در سه وضعیت حضور چرخ، نصب شده در کنار ریل بدون حضور چرخ و جدا از ریل با استفاده از نرم افزار شبیه سازی مبتنی بر روش المان محدود بررسی شده است.

واژه های کلیدی: تشخیص چرخ، حسگر القایی مجاورتی، روش المان محدود، سیستم محور شمار

Determine Optimal Position Component of Unilateral Inductive Axle Counting Sensor System

Arash mousaei¹

¹Tabriz University of Science and Technology, Iran

a.mousaei97@ms.tabrizu.ac.ir

Abstract :

The axle counter system is one of the most important equipment for detecting the presence of a train in a signaling system. Several methods have proposed to design this system. Which is the applicable method among on them, the use of a unilateral proximity inductive sensor as a part of the detection of the wheel's presence on the rail. In this system, the wheel sensor detects the presence or absence of a train by detecting changes in the magnetic field released by the sensor through the wheel's passing. In this paper, by providing a kind of unilateral inductive sensor, the magnetic field changes of the sensor as well as the amplitude of the electromotive force in the sensor receiver coils, which is investigate in three positions of the wheel, installed alongside the wheel without the wheel and separated from the rail using a finite element methods.

Keywords: Wheel Detection, Inductive Sensor, Finite Element Method, Axle Counting System.

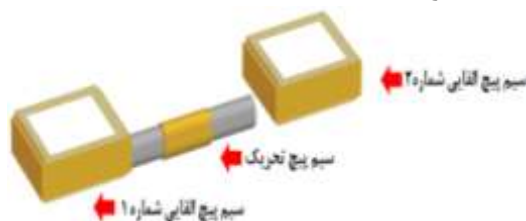
۱- مقدمه

شده در کویل‌های گیرنده حسگر را در سه وضعیت حضور چرخ، نصب شده در کنار ریل بدون حضور چرخ و جدا از ریل با استفاده از نرم افزار شبیه سازی مبتنی بر روش المان محدود بررسی می‌کنیم.

۲- اصول عملکردی حسگر القایی مجاورتی یک طرفه

۲-۱. ساختار کلی سیستم

حسگر القایی مجاورتی شامل یک کویل تحریک و دو کویل القایی می‌باشد. میدان مغناطیسی متناوب تولید شده توسط سیم پیچ تحریک بر اثر عبور چرخ قطار از روی حسگر منحرف شده که این امر سبب افت ولتاژ القایی بر روی سیم پیچ گیرنده می‌شود. از طرف دیگر، با توجه به فرومغناطیسی بودن جنس چرخ قطار، شار ناشی از جریان گردابی موجود در سطح چرخ قطار که در خلاف جهت با میدان مغناطیسی تولیدی توسط سیم پیچ تحریک می‌باشد سبب افت ولتاژ در سیم پیچ گیرنده می‌شود. به دلیل قابلیت نفوذپذیری مغناطیسی فلنج چرخ نسبت به هوا، با حضور فلنج چرخ بر روی حسگر خطوط شار مسیر خود را از طریق فلنج چرخ بسته که این امر سبب متراکم‌تر شدن آن‌ها در ناحیه سیم پیچ گیرنده شده و اندکی نیرو محرکه القایی بر روی سیم پیچ گیرنده ایجاد می‌کند. شمای کلی حسگر را می‌توان در شکل (۱) ملاحظه کرد.



شکل (۱): شمایی از حسگر القایی مجاورتی

همانطور که در شکل (۱) ملاحظه می‌شود، کویل تحریک متشکل از یک هسته فریت و دو کویل دیگر فاقد هسته فریت می‌باشند. لازم به ذکر است که به منظور جلوگیری از اشباع هسته در سیم پیچ‌های القایی در هنگام عبور ترمز جریان گردابی از روی حسگر و افت شدید نیرو محرکه القا شده بر روی سیم پیچ‌های القایی که موجب خطا در شمارش تعداد چرخ‌های عبوری از روی حسگر القایی می‌شود سیم پیچ‌های القایی بدون هسته طراحی شده‌اند. به عبارت دیگر در صورت استفاده از هسته، هنگامی که هسته یک سیم پیچ در حالت اشباع قرار می‌گیرد آن سیم پیچ همانند یک سیم پیچ با هسته هوایی عمل می‌کند و ضریب نفوذ آن برابر با ضریب نفوذپذیری هوا خواهد بود. بنابراین به منظور جلوگیری از تغییرات شدید رفتار حسگر در حالات مختلف که منجر به خطا در شمارش تعداد چرخ‌های عبوری می‌شود از هسته هوا برای سیم پیچ‌های القایی گیرنده استفاده شده است. مزیت اصلی سیم پیچ‌های با هسته هوا خطی بودن منحنی B-H آن‌ها بوده که این امر منجر به این می‌شود که هسته‌ها هیچ‌گاه در حالت اشباع قرار

سیستم محورشمار یکی از مهم‌ترین تجهیزات تشخیص حضور قطار در یک سیستم سیگنالینگ می‌باشد. در این سیستم، حسگر چرخ از طریق تشخیص تغییرات میدان مغناطیسی منتشر شده توسط حسگر بر اثر عبور چرخ، حضور و یا عدم حضور قطار را تشخیص می‌دهد [۱]. این سیستم به علت مزایایی نظیر استفاده از بستر ارتباطی سریال و اترنت در ابتدا و انتهای تراک و کاهش قابل ملاحظه حجم کابل کشی، عدم نیاز به عایق و نصب امپدانس باند و عبور جریان برگشتی سیستم از طریق ریل، عدم محدودیت در انتخاب طول تراک و هم چنین امکان تشخیص جهت حرکت قطار تنها با استفاده از یک محورشمار بطور گسترده‌ای در سیستم‌های سیگنالینگ جهان به کار گرفته شده است [۲].

در گذر زمان، روش‌های مختلفی به منظور شمارش تعداد چرخ‌های قطار ارائه شده است که در حالت کلی، می‌توان آن‌ها را به سه گروه اصلی تقسیم‌بندی کرد:

۱- سیستم‌های تشخیص مکانیکی

۲- سیستم‌های تشخیص مغناطیسی

۳- سیستم‌های تشخیص الکترونیکی

امروزه می‌توان گفت که اکثر سیستم‌های محورشمار ارائه شده براساس روش تشخیص الکترونیکی کار می‌کنند [۳-۴].

حسگر محورشمار یک طرفه، نوع جدیدی از تجهیزات تشخیص اشغالی خط است که مزایای زیادی نسبت به حسگر دو طرفه دارد. به عنوان اولین مزیت می‌توانیم به این موضوع اشاره کنیم که جهت خطوط میدان مغناطیسی به علت حضور کویل‌های القایی و تحریک در یک سمت ریل، موازی با ریل راه‌آهن بوده که این امر سبب جلوگیری از تداخلات میدان‌های مغناطیسی ناشی از جریان موتورهای کششی می‌شود. مزیت دومی که می‌توان به آن اشاره کرد این است که حسگر محور شمار یک طرفه علاوه بر تشخیص تعداد محورهای عبوری، قادر به تشخیص سرعت و جهت حرکت قطار نیز می‌باشد. موضوع سومی که می‌توان به آن اشاره کرد این است که حسگرهای یک طرفه قابلیت نصب آسان‌تری داشته و علاوه بر این موضوع هزینه تعمیر و نگهداری به مراتب کمتری دارند. با وجود تمامی مزایای ذکر شده، مطالعات ناچیزی در رابطه با حسگر محورشمار یک طرفه در مقایسه با حسگر دو طرفه وجود دارد [۳].

تحقیق حاضر به این موضوع ورود کرده و به طور خاص بر محاسبات میدان مغناطیسی حسگر یک طرفه با استفاده از روش المان محدود متمرکز شده است. علاوه بر این، با استفاده از مدلسازی و بررسی تغییرات نیروی الکتروموتوری القا شده توسط کویل‌ها در موقعیت‌های مختلف و تجزیه و تحلیل آن‌ها، مناسب‌ترین روابط فضایی بین کویل‌های القاء و تحریک را بدست آورده علاوه بر این موضوع، تغییرات میدان مغناطیسی حسگر و هم چنین دامنه نیرو محرکه الکتریکی القا

نگیرند.

R_E میزان رلوکتانس هسته فریت است. R_{C1} و R_{C2} به ترتیب میزان رلوکتانس فاصله هوایی گذرنده از سیم پیچ‌های گیرنده شماره ۱ و ۲ که مقادیر یکسانی دارند می‌باشد. R_I نیز میزان رلوکتانس شار نشستی در سایر فضا پیرامون حسگر را بیان می‌کند. در هنگام عدم حضور فلنج چرخ بر روی حسگر به علت یکسان بودن فاصله هوایی سیم پیچ‌های گیرنده، مقاومت مغناطیسی هر دو کوئل گیرنده به همراه مقاومت نشستی شار تقریباً یکسان می‌باشد. به دلیل وجود جنس فریت هسته سیم پیچ تحریک، مقاومت مغناطیسی آن نسبت به سایر مقاومت‌ها بسیار کوچک است. خطوط شار سعی در پیمایش کل مسیر هسته فریت را دارند که با توجه به حضور دو سیم پیچ گیرنده در دو طرف هسته فریت بیشتر خطوط شار از فضای داخلی سیم پیچ‌های گیرنده می‌گذرند. معادلات مدار فوق را بصورت معادله (۱) می‌توان بیان کرد.

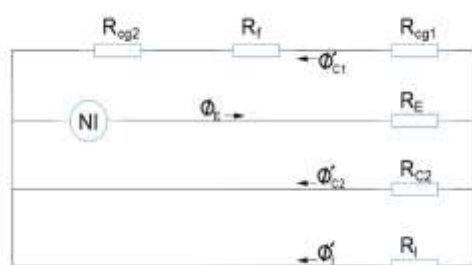
$$NI = (R_E + (R_{C1} \parallel R_{C2} \parallel R_I)) \phi_E \quad (1)$$

$$R_E \ll (R_{C1} \parallel R_{C2} \parallel R_I)$$

$\phi_E = \phi_{C1} + \phi_{C2} + \phi_I$
میزان شار عبوری از سیم پیچ گیرنده شماره یک را بصورت رابطه (۲) می‌توان محاسبه نمود.

$$\phi_{C1} = \frac{(R_{C2} \parallel R_I)}{R_{C1}} \phi_E \quad (2)$$

با حضور چرخ قطار بر روی یک سیم پیچ گیرنده به علت خاصیت فرومغناطیسی فلنج چرخ، خطوط شار پراکنده مسیر خود را از راه فلنج چرخ بسته و بصورت متراکم‌تر از درون فاصله هوایی سیم پیچ گیرنده عبور می‌کنند. مدار معادل این حالت را می‌توان با فرض حضور فلنج چرخ بر روی سیم پیچ گیرنده شماره یک به صورت شکل (۵) ترسیم کرد.

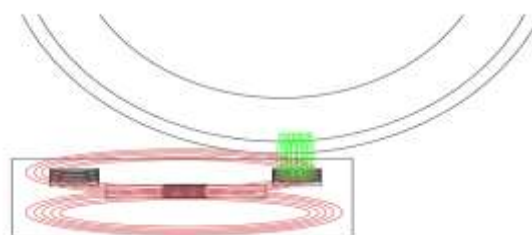


شکل (۵): مدار معادل حسگر القایی در حضور چرخ

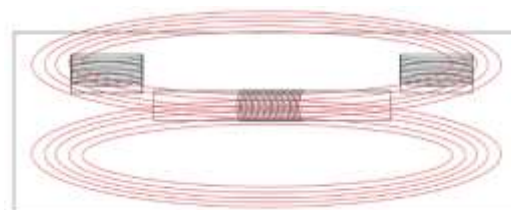
در مدار فوق R_{cg1} رلوکتانس فاصله هوایی مابین هسته فریت، سیم پیچ گیرنده شماره یک و فلنج چرخ و R_{cg2} رلوکتانس فاصله هوای بین فلنج چرخ و هسته فریت را بیان می‌کنند. R_I رلوکتانس فلنج چرخ قرار گرفته بر روی سیم پیچ گیرنده شماره یک می‌باشد. با فرض اینکه فلنج چرخ کل سطح مقطع سیم پیچ شماره یک را پوشش دهد و با در نظرگیری تاثیرپذیری یک سانتی متری فلنج در فاصله هوایی، می‌توان تغییرات رلوکتانس سیم پیچ شماره یک را

۲-۲. تحلیل مدار معادل مغناطیسی

به منظور درک بهتر اصول عملکردی حسگر پیشنهاد شده شکل (۲) به خط شار مغناطیسی را در حضور فلنج چرخ و شکل (۳) خطوط شار را در حالت عدم حضور قطار نشان می‌دهد.

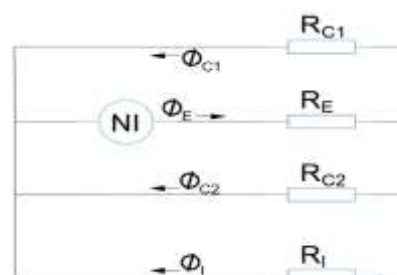


شکل (۲): خطوط میدان مغناطیسی در حضور چرخ بر روی ریل



شکل (۳): خطوط میدان مغناطیسی در حالت عدم حضور چرخ بر روی ریل

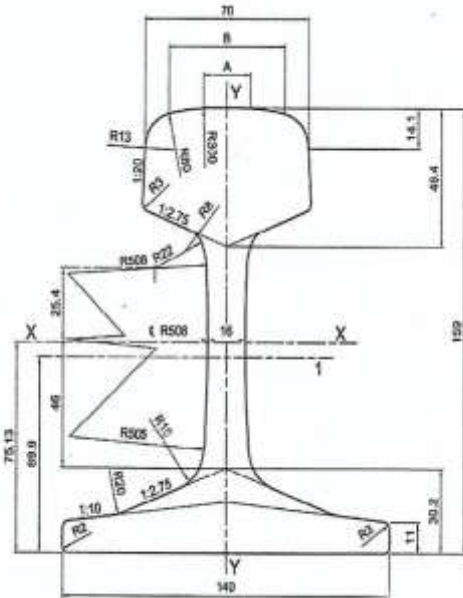
با توجه به شکل‌های (۲) و (۳) تاثیر حضور چرخ بر روی حسگر القایی و متمرکز شدن خطوط شار در سیم پیچ گیرنده دوم و همچنین القا نیرو محرکه الکتریکی ناشی از جریان گردابی موجود در سطح فلنج به خوبی دیده می‌شود. برای کاهش میزان خطا تشخیص چرخ در حسگر، اجزا حسگر باید به گونه ای طراحی و جانمایی بشوند که حداکثر اختلاف ممکن را در میزان نیرو محرکه القا شده در سیم پیچ گیرنده مابین حضور و عدم حضور فلنج چرخ بر روی حسگر ایجاد کنند. مدار معادل مغناطیسی حالت عدم حضور چرخ بر روی فلنج را می‌توان به صورت شکل (۴) بیان کرد.



شکل (۴): مدار معادل حسگر القایی در حالت عدم حضور چرخ

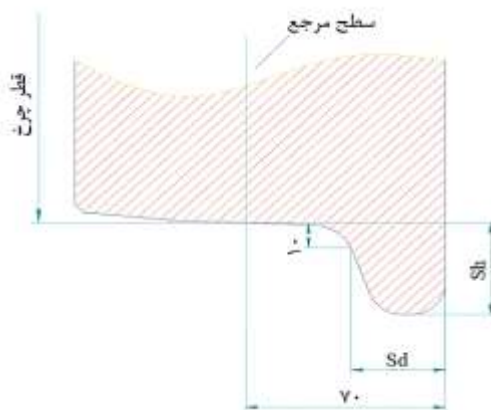
۲-۳. محاسبه ابعاد حسگر

در مطالعه ابعاد فلنچ چرخ و تاج ریل نقش تعیین کننده‌ای در طراحی ابعاد حسگر القایی دارند. با انتخاب پروفیل ریل UIC54 (که اطلاعات ابعادی آن در شکل (۶) ارائه شده است) به عنوان یک ریل پرکاربرد در صنعت ریلی جمهوری اسلامی ایران، می‌توان با بررسی قطر چرخ‌های مختلف بر روی ریل میزان سطح فلنچ چرخ بر روی ناحیه کمر ریل که محل استقرار حسگر القایی مجاورتی است، میزان فاصله مورد نیاز مابین دو سیم پیچ القا از یکدیگر را بدست آورد.



شکل (۶): پروفیل ریل UIC54

همانطور که در شکل (۶) ملاحظه می‌شود ارتفاع تاج ریل برابر ۴۹/۴ میلی‌متر می‌باشد. بررسی اندازه چرخ‌های مختلف (که نمونه‌ای از آن‌ها در شکل (۷) ارائه شده است)، تعیین کننده اندازه فاصله مابین دو سیم پیچ القا می‌باشد.



شکل (۷): فلنچ چرخ

بررسی کرد. فلنچ چرخ از جنس فولاد است. بنابراین با توجه به جدول تراوایی مغناطیسی مواد ضریب نفوذپذیری نسبی آن برابر با ۱۰۰ می‌باشد. با توجه به این موضوع رابطه (۳) حاصل می‌شود.

$$(3) \quad \begin{cases} R_f = \frac{l_c}{\mu_r \mu_0 A_c} \\ l_c = 0.01 \text{ meter} \\ \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \frac{T}{A.M} \\ \mu_r = 100 \\ A_c = 0.03 \times 0.02 m^2 \end{cases} \Rightarrow R_f = \frac{0.01}{100 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 0.03 \times 0.02} = 132696 \frac{A.N}{Weber}$$

حال اگر چرخ بر روی سیم پیچ حضور نداشته باشد می‌بایست سطح مقطع هسته را از جنس هوا در نظر گرفت و به رلوکتانس کل اضافه کرد. با در نظر گرفتن این فرض، رابطه (۳) به رابطه (۴) تبدیل خواهد شد.

$$(4) \quad \begin{cases} R_g = \frac{l_c}{\mu_r \mu_0 A_c} \\ l_c = 0.01 \text{ meter} \\ \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \frac{T}{A.M} \\ \mu_r = 1 \\ A_c = 0.03 \times 0.02 m^2 \end{cases} \Rightarrow R_g = \frac{0.01}{1 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 0.03 \times 0.02} = 13269600 \frac{A.N}{Weber}$$

با مقایسه دو رابطه (۳) و (۴) مشاهده می‌کنیم که $R_f < R_g \Rightarrow (R_f + R_{cg1} + R_{cg2}) < R_{C1}$ بنابراین در نهایت رلوکتانس فاصله هوایی سیم پیچ گیرنده شماره یک بر اثر حضور فلنچ چرخ بر روی حسگر کاهش می‌یابد که این امر خود منجر به افزایش شار عبوری از سیم پیچ گیرنده و در نهایت افزایش نیرو محرکه القایی در سیم پیچ می‌شود. این موضوع در رابطه (۵) ارائه شده است.

$$(5) \quad \begin{cases} \phi_{C1} = \frac{(R_{C2} \parallel R_f)}{R_{C1}} \phi_E \\ R_f < R_g \Rightarrow (R_f + R_{cg1} + R_{cg2}) < R_{C1} \end{cases} \Rightarrow \phi'_{C1} > \phi_{C1}$$

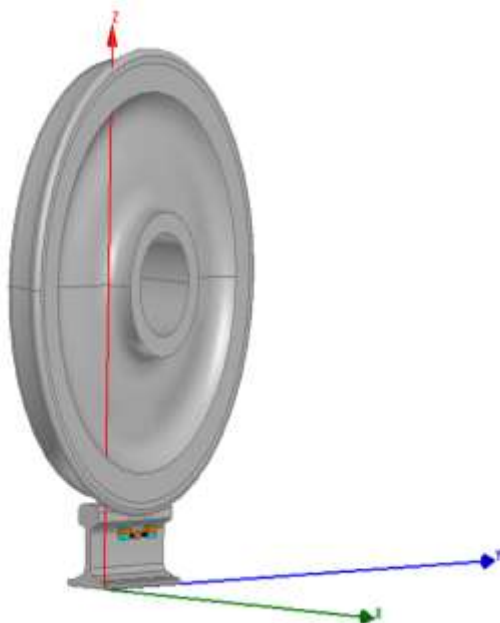
از طرف دیگر، میدان مغناطیسی متناوب در فلنچ چرخ باعث به وجود آمدن جریان گردابی بر روی سطح می‌شود و هرچه میزان میدان مغناطیسی قوی‌تر باشد، جریان گردابی قابل توجه‌تری حاصل می‌شود. در مقابل، میدان مغناطیسی تولید شده توسط جریان گردابی در خلاف جهت خطوط شار میدان سیم پیچ تحریک بوده و سبب تضعیف آن در سیم پیچ گیرنده شماره یک گیرنده شده و ولتاژ القایی را کاهش می‌دهد. تاثیر جریان گردابی بیشتر از تاثیر تراکم خطوط شار ناشی از به حساب آوردن فلنچ چرخ به عنوان یک رسانای خوب می‌باشد و جریان گردابی زمانی که فرکانس کاری در حدود ۲۵۰ کیلوهرتز است بسیار قوی می‌باشد. با توجه به این موضوع، می‌بایست عوامل تاثیرگذار بر جریان گردابی را در نظر بگیریم. بدین ترتیب نیاز به بررسی تئوری مسئله با استفاده از معادلات دیفرانسیل ماکسول داریم.

بدین ترتیب در صورتی که فرض کنیم تمامی رساناهای خارجی مشابه باشند، بردار موثر میدان مغناطیسی در هوا را با در نظر داشتن این مسئله که تاثیر جریان گردابی بر روی سیم پیچ تنها در یک مولفه است به صورت رابطه (۶) می‌توان بدست آورد [۴].

جدول (۱): ابعاد فلنج چرخ‌های مورد استفاده در خطوط ریلی

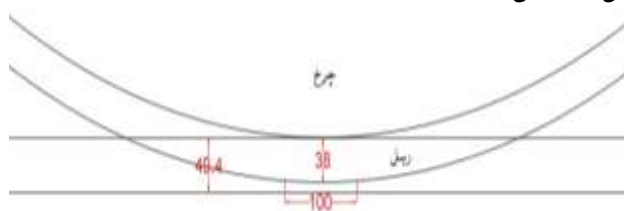
عنوان	قطر چرخ (mm)	حداقل اندازه (mm)	حداکثر اندازه (mm)
قطر فلنج چرخ (Sh)	بین ۳۰۰ تا ۷۶۰	۳۲	۳۸
قطر فلنج چرخ (Sh)	بین ۷۶۰ تا ۲۱۰۰	۲۶	۳۸
ضخامت فلنج چرخ (Sd)	بین ۳۰۰ تا ۸۴۰	۲۷/۵	*
ضخامت فلنج چرخ (Sd)	بین ۸۴۰ تا ۲۱۰۰	۲۰	*

تعیین موقعیت قرارگیری سیم‌پیچ‌های تحریک و القا در کنار ریل و همچنین فاصله بین‌ها آن‌ها برای دستیابی به حداکثر اختلاف میزان نیرو محرکه القا شده در سیم پیچ القا بین دو وضعیت حضور و عدم حضور چرخ بر روی سیم پیچ القا ضروری می‌باشد. در این تحقیق، به دلیل پیچیدگی هندسی اشکال سعی شده با استفاده از روش المان محدود و مش بندی اجزاء سیستم، میزان تغییرات میدان مغناطیسی و به طبع آن میزان تغییرات نیرو محرکه مغناطیسی القا شده بر روی سیم پیچ القا را در سه وضعیت عدم اتصال به ریل، اتصال به ریل بدون حضور چرخ و اتصال به ریل در حضور چرخ بر روی سیم پیچ القا بررسی کنیم. لازم به ذکر است که با تعیین حداقل ابعاد و حداکثر تعداد مش برای هر یک از اجزا براساس میزان دقت محاسبات بر روی هر جزء به کمک نرم افزار ماکسول اجزاء سیستم را مش بندی می‌کنیم.



شکل (۹): مدل شبیه سازی شده در نرم افزار ماکسول

همانطور که پیش‌تر ذکر شد، چرخ با بزرگترین قطر و بیشترین قطر فلنج تعیین کننده اصلی فاصله بین دو حسگر القا می‌باشد. به عبارت دیگر فاصله بین دو سیم پیچ می‌بایست به نحوی انتخاب شود که در زمان حضور چرخ بر روی یک سیم پیچ، سیم پیچ دیگر قادر به تشخیص حضور چرخ نباشد. بدین ترتیب با توجه به جدول (۱) میزان طول اشغالی چرخ با قطر ۲۱۰۰ میلی متر و قطر فلنج ۳۸ میلی متر بر روی کمر ریل UIC54 تعیین کننده فاصله دو سیم پیچ از یکدیگر می‌باشد که این مقدار حدود ۱۰ سانتی متر می‌باشد. این موضوع در شکل (۸) نشان داده شده است.



شکل (۸): میزان مساحت فلنج چرخ بر روی ریل UIC54

از طرف دیگر کوچک‌ترین ضخامت فلنج چرخ تعیین کننده ابعاد سیم پیچ القا می‌باشد که با توجه به شکل (۸) مقدار ۲۰ میلی متر به عنوان کوچکترین ضخامت برای عرض سیم پیچ القا مناسب می‌باشد. بدلیل محدودیت‌های موجود در تامین هسته مناسب در کشور ابعاد ۲۰*۳۰ میلی متر انتخاب شده است. جدول زیر مشخصات اجزا حسگر القایی را نشان می‌دهد.

جدول (۲): مشخصات سیم‌پیچ‌های گیرنده و تحریک

نام	جنس هسته	سیم پیچ	جریان ورودی	اندوکتانس	تعداد دور سیم پیچ
سیم پیچ تحریک	فریت	مس	۹۶mA	۰/۱۱ mH	۲۲
گیرنده یک	-	مس	-	۲/۲ mH	۳۰
گیرنده دو	-	مس	-	۲/۲ mH	۳۰

همانطور که در قسمت طراحی بیان شد تعیین فاصله بین حسگر و ریل، یکی از کلیدی‌ترین بخش‌های طراحی سیستم است. با استفاده تغییرات نیرو محرکه القایی سیم پیچ‌های القا، می‌توانیم نصب صحیح حسگر در کنار ریل را به‌طور مداوم توسط واحد ارزیاب بررسی کنیم. شکل (۹) نشان‌دهنده مدل ارائه شده برای فاصله بین هسته فریت و سیم پیچ القا در نرم‌افزار ماکسول می‌باشد.

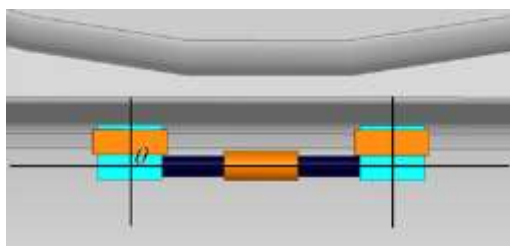
۳-۱. انتخاب فاصله حسگر و ریل

میلی متری کمر ریل ایجاد شده است. به عبارت دیگر با خروج حسگر از ناحیه ریل دیگر میدان مغناطیسی ناشی جریان گردابی ریل تاثیری بر میزان نیرو محرکه القایی سیم پیچ القا ندارد و چون در حالت عدم حضور ریل چرخ بر روی سیم پیچ وجود ندارد میدان مغناطیسی ناشی از جریان گردابی چرخ نیز وجود نخواهد داشت. با توجه به این موضوع، حداکثر میزان ممکن نیرو محرکه القایی در سیم پیچ القا ایجاد می شود. با این وجود، این فاصله مطلوب نمی باشد. دلیل این امر این است که در صورت جدا شدن حسگر از ریل، تغییری در نیرو محرکه القایی ایجاد نشده و واحد ارزیاب قادر به تشخیص عدم اتصال حسگر به ریل و یا نصب صحیح حسگر نمی باشد. بدین ترتیب برای زمانی که حسگر به درستی بر روی ریل نصب شده است، با تعیین ۱۰ درصد افت در ولتاژ القایی در سیم پیچ القا می توان وضعیت نصب حسگر را پایش کرد. افت یکسان دو سیم پیچ القا گواه نصب صحیح حسگر در کنار ریل می باشد. بنابراین با توجه به حداکثر نیرو محرکه $E_{max} = 960mV$ ، در زمان نصب صحیح حسگر در کنار ریل می توان میزان نیرو محرکه القایی را برابر $E_{max} = 864mV$ در نظر گرفت.

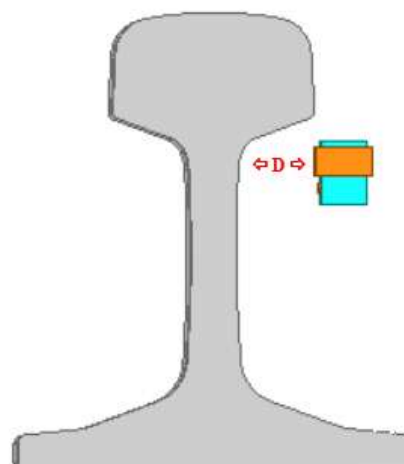
۳-۲. بررسی زاویه بین سیم پیچ های القا و هسته فریت

سیم پیچ تحریک

تغییر زاویه سیم پیچ القا نسبت به هسته فریت تاثیر مستقیمی بر میزان نیرو محرکه القایی سیم پیچ القا دارد. با توجه به این موضوع، شماتیک ارائه شده در شکل (۱۳) در نرم افزار ماکسول طراحی شده و نتایج شبیه سازی حسگر در شش زاویه مختلف $0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ$ ارائه شده است. شکل (۱۴) میزان نیرو محرکه القایی سیم پیچ القا را به ازای ۶ زاویه مختلف در دو حالت حضور و عدم حضور چرخ بر روی سیم پیچ القا نمایش می دهد. به صورت معادل درصد تغییرات ولتاژ القا شده در سیم پیچ القا در زوایای مختلف نصب در شکل (۱۵) ارائه شده است.

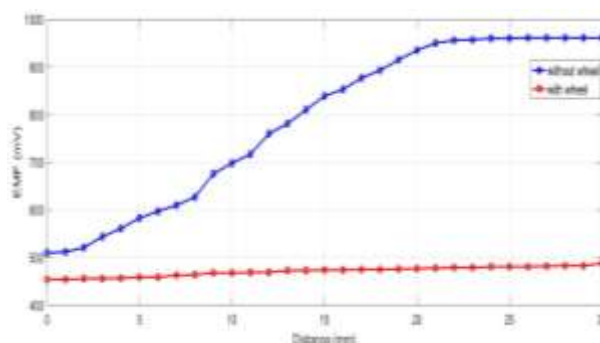


شکل (۱۳): تعریف زاویه بین هسته فریت و سیم پیچ القا

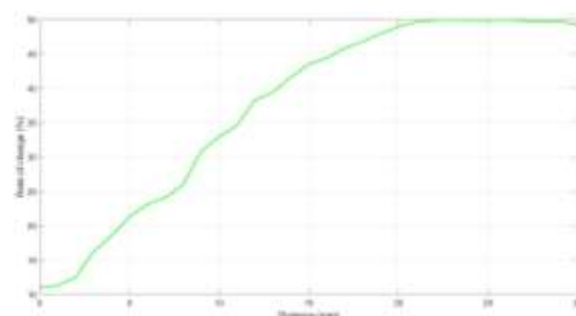


شکل (۱۰): فاصله مابین هسته فریت و سیم پیچ القا

شکل (۱۰) میزان نیرو محرکه القا شده در سیم پیچ القا را به ازای فواصل مختلف حسگر در بالاترین بخش میانی ریل در دو حالت حضور و عدم حضور چرخ بر روی سیم پیچ القا نشان می دهد. میزان ولتاژ اعمالی به سیم پیچ تحریک ثابت و برابر ۱۰ ولت می باشد. شکل (۱۲) نیز نشان دهنده نرخ تغییرات نیرو محرکه مغناطیسی نسبت به فاصله سیم پیچ القا می باشد.



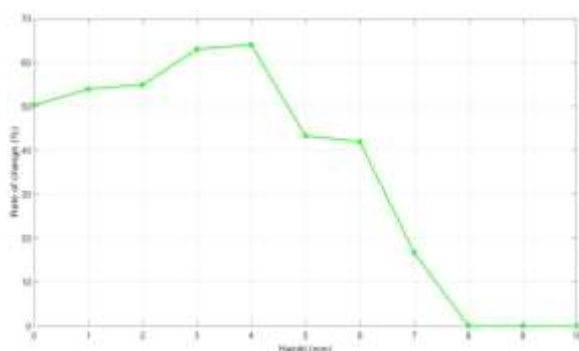
شکل (۱۱): نمودار تغییرات نیرو محرکه القایی نصب به فاصله سیم پیچ القا



شکل (۱۲): نرخ تغییرات نیرو محرکه مغناطیسی نسبت به فاصله سیم پیچ القا

بیشترین میزان اختلاف نیرو محرکه القا شده در سیم پیچ القا در دو حالت حضور و عدم حضور ریل بر روی سیم پیچ، در فاصله ۲۵

شکل (۱۶): وضعیت ولتاژ القا شده در سیم پیچ القا در ارتفاع های مختلف نصب به هسته فریت

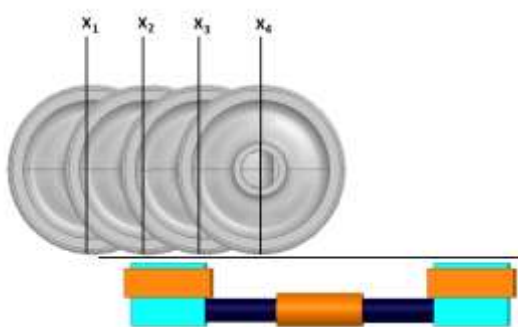


شکل (۱۷): درصد تغییرات ولتاژ القا شده در سیم پیچ القا در ارتفاع- های مختلف نصب به هسته فریت در دو حالت مختلف

همانطور که در شکل (۱۷) مشاهده می شود، بیشترین میزان تغییرات در ارتفاع ۴ میلی متری از هسته فریت حاصل شده است. با این وجود، به دلیل کاهش قابل توجه میزان نیرو محرکه القایی سیم پیچ القا و همچنین میزان نرخ تغییرات حدود ۴۰ درصد در فاصله صفر نسبت به هسته فریت برای نصب و ساخت آسان تر حسگر القایی فاصله برابر با صفر در نظر گرفته می شود.

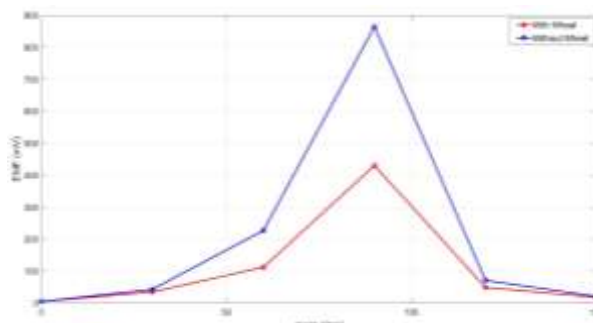
۳-۵. بررسی تغییرات ولتاژ القایی در سیم پیچ القا با عبور چرخ از روی سیم پیچ

با شبیه سازی عبور چرخ از روی سیم پیچ القا می توان عملکرد حسگر را در تولید سیگنال تشخیص به خوبی مشاهده کرد.

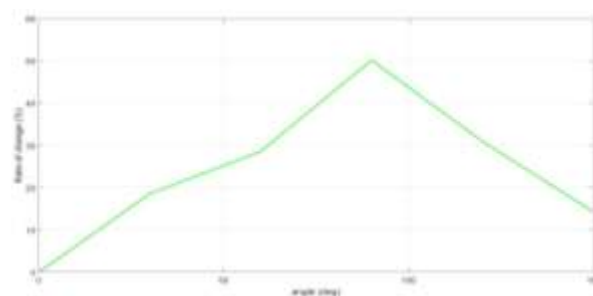


شکل (۱۸): موقعیت های مختلف قرارگیری چرخ بر روی ریل

در صورتی که X_1 و X_4 را به ترتیب به عنوان نقطه شروع و پایان یک حرکت ۶ سانتی متری در نظر بگیریم، شکل (۱۹) ولتاژ القا شده در سیم پیچ القا را به ازای ۳۰ نقطه مختلف حضور چرخ بر روی ریل نشان می دهد.



شکل (۱۴): وضعیت ولتاژ القا شده در سیم القا در زوایا مختلف نصب

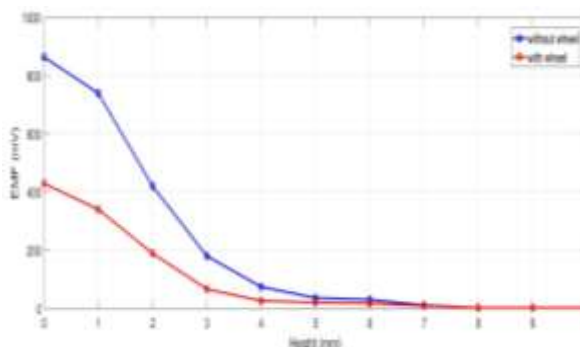


شکل (۱۵): درصد تغییرات ولتاژ القا شده در سیم پیچ القا در زوایا مختلف نصب به هسته فریت در دو حالت مختلف

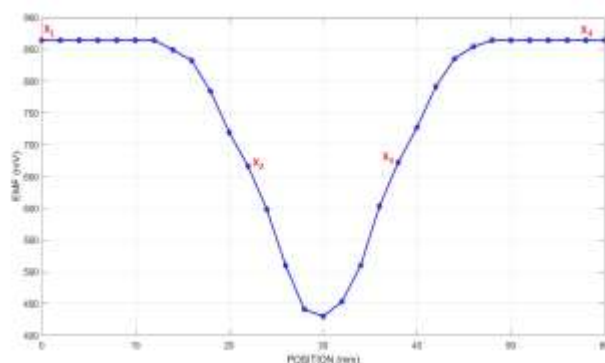
همانطور که در شکل (۱۵) مشاهده می شود بیشترین نرخ تغییرات متعلق به زاویه ۹۰ درجه می باشد. به عبارت دیگر هرچه خطوط میدان بر سیم پیچ القا بیشتر عمود باشند میزان نیرو محرکه القایی بیشتر خواهد بود. از سوی دیگر، با توجه به عمود بودن خطوط میدان مغناطیسی ناشی از جریان گردابی سطح چرخ، تاثیر این میدان بر تقابل و کاهش میدان مغناطیسی سیم پیچ تحریک بیشتر بوده و این امر سبب افزایش میزان تغییرات نیرو محرکه القایی سیم پیچ القا در دو حالت حضور و عدم حضور چرخ بر روی سیم پیچ القا می گردد.

۳-۳. بررسی زاویه بین سیم پیچ های القا و هسته فریت سیم پیچ تحریک

نمودارهای شکل (۱۶) و (۱۷) نتایج شبیه سازی حاصل از تغییر ارتفاع سیم پیچ القا نسبت به هسته فریت را در بازه ۱ الی ۱۰ میلی متری نشان می دهد.



- [4] Rosenberger, M., Future challenges to wheel detection and axle counting. SIGNAL+ DRAHT, 2011. 9: p. 37-43.
- [5] Nikolić, M.V., et al. Railway axle counter prototype.in Telecommunications Forum Telfer (TELFOR. 2014). IEEE.
- [6] Jin, Yang, Tian Gui-yun, and Gao Yun-lai. "High reliable unilateral inductive axle counting sensor system and applications." Technology & Application Forum (FENDT), 2016 IEEE Far East NDT New. IEEE, 2016.



شکل (۱۹): ولتاژ القا شده سیم پیچ القا بازای موقعیت های مختلف چرخ بر روی ریل

با قراردادی چرخ در نقاط تعیین شده تغییر نیرو محرکه القایی را به ازای نزدیک شدن چرخ به مرکز سیم پیچ القا را می توان مشاهده کرد. همانطور که در مشاهده می شود، حداکثر میزان افت نیرو محرکه مغناطیسی در موقعیت قرارگیری چرخ در مرکز سیم پیچ القا می باشد.

۴- نتیجه

با توجه به اهمیت تشخیص درست حضور چرخ در سیستم محور شمار، ارائه روابط فضایی مابین اجزا حسگر تشخیص چرخ برای دستیابی به بالاترین دقت الزامی است. بدین منظور مدل سازی اجزا حسگر و بررسی حالات مختلف قرارگیری اجزا حسگر در کنار یکدیگر از جمله موقعیت حسگر نسبت به ریل، زاویه بین سیم پیچ های القا و هسته فریت و ارتفاع مابین سیم پیچ های القا و هسته فریت توانسته است بهترین حالت قرارگیری اجزا برای رسیدن به حداکثر اختلاف ممکن بین دو حالت حضور و عدم حضور چرخ بر روی حسگر را بدست آورد.

مراجع

- [1] Lee, K.-H., et al., Performance Evaluation of Wheel Detection Sensor Using an Inductive Proximity Sensor for The High Speed Railway. The Transactions of The Korean Institute of Electrical Engineers, 2016. 65(5): p. 895-901
- [2] Thurston, D. and B. Kozol. Axle Counters vs. Track Circuits—Safety in Track Vacancy Detection and Broken Rail Detection. in American Railway and Maintenance-of-Way Association 2010 Annual Conference and Exposition, Orlando, Florida. 2010. Plamondon, R., Lorette, G., "Automatic Signature Verification and Writer Identification - The State of the Art", Pattern Recognition, Vol. 22, pp. 107-131, 1989.
- [3] Frauscher, J., From track switch to inductive wheel sensor using a variety of technologies. Signal und Draht, 2006. 98(1): p. 56.