فصلنامه مهندسی حمل و نقل، دوره ۱۳، شماره ۱، پاییز ۱٤۰۰، ص. ۱۱۱۸-۱۱۰۳
مقاله علمی-پژوهشی

بررسی و مطالعه برد آزمایشگاهی کنترل‌کننده ماشین سوزن AC سه فاز

سجاد فارسی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده راه‌آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
محمد علی صندیدزاده (مسئول مکاتبات)، دانشیار، دانشکده راه‌آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
E-mail: sandidzadeh@iust.ac.ir
فرزاد سلیمانی، دانشجوی دکتری، دانشکده راه‌آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۰٤ پذیرش: ۱٤۰۰/۰۱/۰۱

چکیده

برد کنترل کننده ماشین سوزن به عنوان بخشی از سیستم کنترل تجهیزات کنار خط بوده که عملکرد صحیح و ایمن آن نقش بسزایی در ایمنی حرکت قطارها و جابجایی آن‌ها بین خطوط ریلی و امنیت جان مسافران دارد. این برد می تواند دو ماشین سوزن را به صورت همزمان کنترل کند و وضعیت آن ها را به سیستم اینترلاکینگ مرکزی ارسال کند. طراحی این بردها با عملیات میدانی با حفظ انطباق در خطوط مترو تهران از جمله خطوط ۱،۲،۷ که تجهیزات از سازنده خارجی تامین شده اند صورت پذیرفته است. برد طراحی و شبیه سازی شده برای کنترل ماشین سوزن AC سه فاز و هفت سیمه است. محل قرار گیری این برد در کابینتهای کنترل کننده های اجزای کنار خط می باشد تا بتواند ضمن جمع آوری داده های ماشین سوزن نسبت به ارسال وضعیت به اینترلاکینگ و دریافت فرمان از آن برای تغییر جهت سوزن اقدام نماید. در این مقاله به ساختار اجزای کنترل کننده کنار خط بکار رفته در متروی تهران که برد طراحی شده در آن قرار می گیرد پرداخته شده است. برای سنجش عملکرد، مدار طراحی شده در حالت های مختلف مورد شبیه سازی قرار گرفته و نتایج مورد انتظار حاصل شده است.

واژه‌های کلیدی: ایمنی در سیگنالینگ، برد آزمایشگاهی کنترل کننده، ماشین سوزن AC، سیستم کنترل تجهیزات کنار خط

۱. مقدمه

به منظور حفظ ایمنی قطار و احتراز از بروز سوانح مثل تصادم، حفظ فاصله مناسب بین قطار قبلی و بعدی ضروری می‌باشد. همچنین در محورهای یک خطه جهت جلوگیری از برخورد دو قطار هنگامی‌که یک قطار مابین دو ایستگاه در حال سیر می‌باشد، استفاده از تجهیزات علائم اجتناب ناپذیر است. هنگامی که قطار یا واگن در مسیر شامل سوزن، مطابق نمای سیگنال حرکت می-کند نباید به مسیر دیگر وارد شده و یا ریل را ترک نماید. نقش تجهیزات علائم، حفظ ایمنی، وقت‌شناسی و سرعت در حمل و نقل راه‌آهن است. بروز هر خرابی در تجهیزات ایمنی علائم ممکن است عملیات قطار را مختل نموده و متعاقباً بر سرعت و زمان حمل و نقل راه‌آهن اثر منفی بگذارد. اگر بدلیل خرابی جدی در تجهیزات علائم، تصادم یا خروج از خط رخ دهد حتی امنیت حمل و نقل که اصول اولیه کارهای حمل و نقل است از دست می‌رود. بنابراین تجهیزات ایمنی علائم بایستی از قابلیت اطمینان بسیار بالایی با حداقل خرابی برخوردار باشد. واحد اینترلاکینگ یکی از مهمترین بخش‌های مجموعه‌ی علائم الکتریکی می‌باشد، که با ایجاد روابط منطقی بین چراغ-ها و سوزن‌ها شرایط لازم برای رفت و آمد روان و امن قطارها را فراهم می‌نماید. چون در محوطه ایستگاه خطوط همگرا و واگرای متعددی وجود دارد و همچنین عملیات بسیار پیچیده‌ای از قبیل ورود, اعزام و مانور قطارها ضرورت دارد، بنابراین مامور باید به دفعات سوزن‌ها و سیگنال‌ها را بکار بیاندازد. اما از آنجایی که انجام این عملیات پیچیده تکراری بدون خطا از عهده‌ی انسان خارج است. لذا به منظور احتراز از این نقیصه سیستم اینترلاکینگ بکار گرفته می‌شود که بوسیله آن از هرگونه خطای عامل انسانی جلوگیری گردد، در این سیستم نظم خاصی در بکارگیری سوزن‌ها و سیگنال‌ها وجود دارد که هر یک از آنها متقابلاً با یکدیگر قفل می‌شوند این وضعیت را عمل اینترلاک یا قفل متقابل می‌نامند و فرایند ایجاد انواع قفل متقابل بین تجهیزات محوطه را اینترلاکینگ می‌گویند. تمامی عملیات فوق توسط تجهیزات الکتریکی یا الکترونیکی که در داخل ساختمان ایستگاه نصب شده است انجام می‌شود. آقایان موسوی‌کیا و رحیمی به همراه دیگر همکاران در راه آهن جمهوری اسلامی ایران به توضیح قسمت‌های مختلف سیستم اینترلاکینگ همراه با نحوه‌ی عملکرد و ارتباط آن‌ها با سایر زیر سیستم‌ها در سیستم علائم راه‌آهن پرداخته-اند[Mousavikia,Rahimi,2013].

آقای فارسی در پایان‌نامه خود به بررسی و شبیه‌سازی برد کنترل-کننده ماشین سوزن استفاده شده در سیستم بمباردیه در خطوط مترو پرداخته‌است. [Farsi,2018].

در سند داخلی شرکت بمباردیه که مربوط به سیستم کنترل تجهیزات کنار خط (OCS)[1] است، قسمت‌های مختلف این سیستم شامل بردها، کابینت، ساب‌رک‌ها و سایر زیرسیستم‌ها شرح داده شده است که در قسمتی از آن به برد کنترل‌کننده ماشین‌سوزن و مشخصات این برد اشاره شده است[Bombardier signaling,2016].

سیستم کنترل تجهیزات کنار خط بخشی از سیستم اینترلاکینگ کامپیوتری است که وظیفه کنترل تجهیزات کنار خط شبیه ماشین سوزن و سیگنال‌ها و دریافت دستورات از سیستم اینترلاکینگ مرکزی و اجرای آن‌ها، مدیریت وضعیت تجهیزات و ارسال وضعیت آن‌ها به سیستم اینترلاکینگ را بر عهده دارد.سیستم کنترل تجهیزات کنار خط یک سیستم ماژولار و کاملاً الکترونیکی بوده و مستقیماً به تجهیزات کنار خط نظیر ماشین سوزن و سیگنال و بالیس و محورشمار و ... متصل می-شود [Bombardier signalling,2001].

یوجیا چنگ و همکاران به بررسی روش‌های خطایابی و تصحیح خطا به روش فازی پرداخته‌اند. در این روش با استفاده از جریان ماشین سوزن و روش فازی مدل T-S چهار شاخصه خطا را به

عنوان ورودی و شش شاخص خطا را به عنوان خروجی در نظر گرفته‌شده‌است [Cheng & Zhao, 2015].آقای کیم و همکاران نیز روش‌های خطایابی در ماشین سوزن به روش انحراف زمانی را بررسی کرده‌اند [Yoon, Sa, Chung, Park, & Kim, 2016].

آقای ماکز و همکاران نیز برای درایور الکتریکی ماشین سوزن با استفاده از روش مجموعه ابزارهای عیب‌یابی گسترش یافته، یک کنترلر طراحی کرده اند[Mezitis, Karevs, & Freimane, 2016]

آقای جنگوک و همکاران نیز به بررسی روش‌های عیب‌یابی و خطایابی ماشین سوزن در راه آهن با استفاده از آنالیز صدا پرداخته‌اند [Lee et al., 2016].

دکتر میرآبادی و همکاران نیز به بررسی روش تشخیص و شناسایی خطا در سیستم سوزن با استفاده از الگوریتم فازی پرداخته‌اند[Mirabadi,sandidzadeh,zarei,2010] .

در این مقاله تحقیق و توسعه بیشتر و به منظور کمک به بومی-سازی تجهیزات مترو از جمله سیستم سیگنالینگ مترو، برد کنترل کننده ماشین‌سوزن مورد استفاده در سیستم مترو تهران مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته‌است.

۲. سیستم کنترل تجهیزات کنار خط

سیستم کنترل تجهیزات کنار خط بخشی از سیستم اینترلاکینگ است که نشان دهنده شبکه کنار خط است و وضعیت تجهیزات کنار خط اعم از تجهیزات خراب-ایمن و غیر خراب-ایمن را نمایش می دهند.

سیستم اینترلاکینگ مرکزی که منطق اینترلاکینگ را کنترل می‌کند در یک کامپیوتر مرکزی پیاده سازی شده است و به منظور افزایش دسترس پذیری این کامپیوتر از دو پردازنده استفاده کرده که یکی به حالت آماده به کار و دیگری به عنوان پردازنده‌ی اصلی کار می‌کند. تجهیزات کنار خط با استفاده از حلقه‌های مختلف به سیستم مرکزی اینترلاکینگ متصل می‌شوند. هر حلقه به عنوان یک خط اتصال تعداد ۱۵متمرکز کننده را به هم متصل می‌کند. مفهوم حلقه باعث می‌شود که به یک نقطه از دو سمت دسترسی داشته باشیم که در صورت خرابی کابل دسترس‌پذیری سیستم افزایش یابد. هر متمرکزکننده می‌تواند به هشت سیستم کنترل تجهیزات کنار خط متصل می‌شود. هر سیستم کنترل تجهیزات کنار خط می‌تواند از یک تا چند تجهیز کنارخط را کنترل و نظارت کرده و از پردازنده مخصوص جهت ارتباط استفاده می‌کند.

معماری توزیع‌شده سیستم سیستم کنترل تجهیزات کنار خط به کنترل‌کننده‌ها این اجازه را می‌دهد که به صورت متمرکز در یک اتاق قرار گیرند و یا در کنار خط و نزدیک به تجهیزات باشند.حالت دوم زمانی که فواصل طولانی باشد هزینه‌های ناشی از کابل‌کشی را کاهش می‌دهد. هر سیستم کنترل تجهیزات کنار خط با تعداد مشخصی ماژول ارتباطی حالت‌های مختلفی از نوع خاصی از تجهیزات کنارخط را کنترل و نظارت می‌کند.هر سیستم کنترل تجهیزات کنار خط پیام‌های فرمان را از متمرکزکننده دریافت و آن‌ها را به سیگنال‌های کنترلی برای تجهیزات کنارخط تبدیل می‌کند. به طور مشابه سیستم کنترل تجهیزات کنار خط سیگنال‌های وضعیت را از تجهیزات کنارخط دریافت و آن‌ها را به متمرکزکننده و از آن‌جا به سیستم اینترلاکینگ ارسال می‌کند. در صورت بروز خرابی سیستم کنترل تجهیزات کنار خط سیستم تجهیز مورد نظر را از بقیه تجهیزات ایزوله می‌کند و این تجهیزات در آخرین وضعیت خود که وضعیت ایمن هستند باقی می‌مانند .[Bombardier Signaling,1999]

هر کابینت سیستم کنترل تجهیزات کنار خط از یک تا چندین متمرکز کننده را می‌تواند در خود نگهداری کند و با استفاده از یک منبع تغذیه مناسب آن‌ها را تغذیه کند.باتوجه به تعداد تجهیزات موجود در هر ایستگاه هر سیستم کنترل تجهیزات کنار خط می‌تواند بخشی از یک ایستگاه، یک ایستگاه و یا چندین ایستگاه را کنترل کند.

قسمت‌های مختلف سیستم کنترل تجهیزات کنارخط عبارتند از:

- کابینت
- ساب رک
- منابع تغذیه
- بردها

شکل ۱ ارتباط قسمت‌های مختلف سیستم اینترلاکینگ را نمایش می‌دهد.

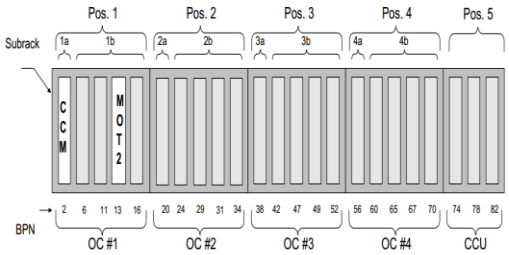
شکل ۱. ارتباط بخش‌های مختلف اینترلاکینگ با یکدیگر

۲-۱ کابینت

کنترل‌کننده‌ها معمولا در کابینت‌های داخل اتاق فنی قرار می‌گیرند. همچنین این کنترل‌کننده‌ها می‌توانند در کابینت‌های مقاوم در برابر آب در محوطه بیرونی قرار گیرند. دو نمونه از کابینت‌های داخلی وجود دارند که برحسب نیاز مورد استفاده قرار می‌گیرند. این کابینت‌ها دارای استاندارد متری بوده و دارای ورودی کابل از بالا و پایین هستند [Bombardier Signaling,1999].

۲-۲ ساب رک

هر قفسه شامل ۲۳ قسمت می‌باشد که به پنج قسمت تقسیم شده است. قسمت‌های ۱ تا ٤ مربوط به کنترل‌کننده‌ها است و قسمت ۵ مربوط به متمرکزکننده (CCU)[۲] می‌باشد. هر قسمت شامل دو بخش a و b می‌باشد. بردی که در قسمت a قرار می‌گیرد به عنوان برد سرور عمل می‌کند به همین منظور برد CCM[۳] باید همیشه در قسمت a قرار گیرد و بقیه بردها در قسمت b قرار می‌گیرند. بسته به پهنای بردها در هر کنترل‌کننده می تواند تا چهار برد علاوه بر برد CCM قرارگیرد. مدارچاپی موجود در قسمت پشتی قفسه شامل سیگنال‌های کنترلی و تغذیه ۲٤ ولت مستقیم برای تغذیه بردها است.این مدار همچنین شامل کانکتورهای می‌باشد که به جفت‌هایی عمودی تقسیم می‌شوند.بخش a و اولین قسمت از بخش b از هر چهار قسمت آدرس‌پذیر هستند و از طریق مدارچاپی به متمرکزکننده متصل می‌شوند. فقط قسمت a از هر بخش می‌تواند به عنوان سرور باشد.زمانی که که یک آدرس مشخص به هر کنترل‌کننده و یا متمرکزکننده اختصاص داده می‌شود، مهندسین تیم نصب با استفاده از دیپ سوییچ‌های موجود در مدارچاپی هر متمرکزکننده این آدرس را آن‌ها اختصاص می‌دهد. مدارچاپی موجود در قسمت پشتی قفسه شامل سیگنال‌های کنترلی و تغذیه ۲٤ ولت مستقیم برای تغذیه بردها است.این مدار همچنین شامل کانکتورهای می‌باشد که به جفت‌هایی عمودی تقسیم می‌شوند.بخش a و اولین قسمت از بخش b از هر چهار قسمت آدرس‌پذیر هستند و از طریق مدارچاپی به متمرکزکننده متصل می‌شوند. فقط قسمت a از هر بخش می‌تواند به عنوان سرور باشد. شکل ۲ قسمت‌های مختلف یک ساب‌رک را نمایش می‌دهد.[Bombardier Signalling,2001]



شکل ۲. قسمت‌های مختلف یک ساب رک

مدارچاپی موجود در قسمت پشتی قفسه شامل سیگنال‌های کنترلی و تغذیه ۲٤ ولت مستقیم برای تغذیه بردها است.این مدار همچنین شامل کانکتورهای می‌باشد که به جفت‌هایی عمودی تقسیم می‌شوند.بخش a و اولین قسمت از بخش b از هر چهار

قسمت آدرس‌پذیر هستند و از طریق مدارچاپی به CCU متصل می‌شوند. فقط قسمت a از هر بخش می‌تواند به عنوان سرور باشد. زمانی که که یک آدرس مشخص به هر کنترل‌کننده و یا متمرکزکننده اختصاص داده می‌شود، مهندسین تیم نصب با استفاده از دیپ سوییچ‌های موجود در مدارچاپی هر متمرکزکننده این آدرس را آن‌ها اختصاص می‌دهد.

۲-۳ منابع تغذیه

در سیستم کنترل تجهیزات کنار خط از منبع تغذیه‌های مختلفی استفاده می‌شود که این منابع تغذیه هر کدام دارای ورودی و خروجی‌های مشخصی بوده و هر کدام برای تجهیز خاصی مورد استفاده قرار می‌گیرند.. انواع منابع تغذیه عبارتند از:

- منبع تغذیه PSU74
- منبع تغذیه PSU330
- منبع تغذیه PSU321

این منابع تغذیه بر حسب نوع استفاده به منابع سه فاز و تکفاز تقسیم می‌شوند. به عنوان مثال منبع PSU74 منبع تغذیه تکفاز که برای تغذیه بردها و فن‌ها و منبع تغذیه PSU331 منبع سه فاز برای تغذیه کارت ماشین سوزن مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲-٤ بردها

هر ساب رک دارای بردهای مختلفی می‌باشد که هر برد برای کاربرد خاصی استفاده می‌شود. انواع بردهای سیسم کنترل تجهیزات کنارخط عبارتند از:

۲-٤-۱ برد COM

این برد ارتباطات خارجی متمرکزکننده را با سیستم اینترلاکینگ کنترل می‌کند. هر برد از دو کانکتور RS-232 تشکیل شده است یکی به صورت یک طرفه برای آنالیز پروتکل ارتباطی و دیگری که به صورت دو طرفه و برای ارتباط با بقیه متمرکزکننده‌ها و همچنین برای ارتباط با کامپیوترها استفاده می‌شود. در هر CCU از دو برد COM[٤] و یک برد منبع تغذیه (OCT)[٥] استفاده می‌شود [Bombardier Signaling, 2016].

- ارتباط بین سیستم کنترل تجهیزات کنار خط(OC)[٦] و اینترلاکینگ
- ارتباط بین دو OC

۲-٤-۲ برد OCT

این برد به عنوان برد تغذیه ، ولتاژ مورد نیاز تمامی برد های موجود در OC را تامین می‌کند.این ولتاژ ٢٤ ولت می‌باشد.هر برد شامل ٤ کلید بوده که به وسیله‌ی آن‌ها می تواند تغذیه بردها را قطع و وصل کرد.

- انتقال ولتاژ ٢٤ ولت از منبع تغذیه به تمامی بردهای موجود در OC و تنظیم جریان هر OC
- ایجاد ارتباط بین دو سابرک

۲-٤-۳ برد CCM

پردازنده اصلی هر سیستم کنترل تجهیزات کنار خط برد CCM که همان برد کنترل کننده و ناظر اتصالات می‌باشد و دارای یک پردازنده می‌باشد. این برد دارای ٤ کانال اتصالات حیاتی(رله های مدار راه) می باشد.

۲-٤-٤ برد LMP[٧]

برد کنترل کننده چراغ سیگنال(LMP) برای کنترل نمای سیگنال‌ها و روشنایی نمایشگرها استفاده می‌شود.هر سیستم کنترل تجهیزات کنار خط می تواند حداکثر ١٢ چراغ را در غالب ٦ تجهیز مستقل ادرس دهی و کنترل کند(با استفاده از یک برد CCM و دو برد LMP و هر برد کنترل کننده چراغ سیگنال می‌تواند حداکثر دو چراغ قرمز یا ٤ چراغ سبز یا زرد را کنترل کند.

۲-٤-٥ برد MOT[٨]

برد (MOT) برای کنترل ماشین سوزن استفاده می‌شود و هر سیستم کنترل تجهیزات کنار خط می‌تواند با استفاده از یک برد CCM و دو برد MOT از یک تا چهار ماشین سوزن را کنترل کند. ولتاژ ورودی و خروجی این برد بین ٨٠ تا ٤٠٠ ولت می‌باشد. با توجه به انواع مختلف ماشین سوزن که از نظر نوع تغذیه به جریان متناوب یا جریان مستقیم و در حالت جریان متناوب

به تکفاز و سه فاز و از نظر ارتباط با سیستم اینترلاکینگ به ٤ سیمه و ٥ سیمه تقسیم می‌شوند.

٦-٤-٢ برد SRC

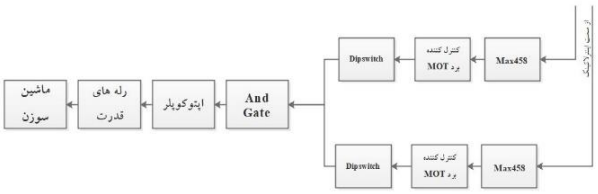
برد کنترل رله‌های ایمنی[٩] SRC یک ولتاژ حیاتی ایمن برای رله‌ها تولید می‌کند. هر سیستم کنترل تجهیزات کنار خط می تواند با استفاده از یک برد CCM و سه برد SRC تا ١٢ خروجی برای رله‌ها داشته باشد.ولتاژ ورودی این برد ١٢ ولت و خروجی آن ٦٠ ولت می‌باشد.[Bombardier Signaling, 2016]

٣. برد کنترل‌کننده ماشین سوزن(MOT)

همان‌گونه که گفته شد این برد دستورات را از واحد اینترلاکینگ مرکزی دریافت و به ماشین سوزن‌های کنارخط انتقال می‌دهد و همچنین وضعیت تیغه‌های ماشین سوزن را از دریافت و به سیستم اینترلاکینگ مرکزی ارسال می‌کند.

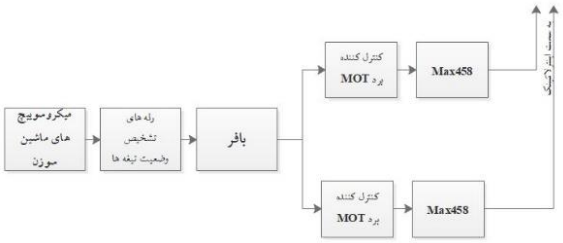
٣-١ معیار طراحی برد

از آنجایی که طراحی برد اصلی ایمن است، در این برد سعی شده تا در حد امکان نحوه‌ی چیدمان قطعات استفاده شده بر اساس اسناد موجود از شرکت اصلی شبیه به برد اصلی باشد. همچنین ساختار FBD برد به صورت سری و موازی به صورت بلوک دیاگرام نمایش داده شده است. این دیاگرام‌ها شامل چیدمان قطعات و مسیر سیگنال‌ها از اینترلاکینگ تا تجهیز کنارخط که همان ماشین سوزن است به صورت شکل ٣ نمایش داده شده است.



شکل ٣. مسیر سیگنال از اینترلاکینگ تا ماشین سوزن

همچنین مسیر برگشت سیگنال که برای تشخیص وضعیت تیغه-های سوزن به اینترلاکینگ ارسال می‌شود به صورت شکل ٤ نمایش داده شده است.



شکل ٤. مسیر سیگنال از ماشین سوزن به سمت اینترلاکینگ

٣-٢ تشخیص وضعیت تیغه‌های سوزن

زمانی که فرمان نرمال یا ریورس از طریق اینترلاکینگ به برد کنترل‌کننده ماشین سوزن ارسال می‌شود، برد فرمان تغییر وضعیت را به موتور ارسال می‌کند. موتور با چرخش خود باعث جابجایی تیغه‌ها می‌شود و تا زمانی‌که به حالت انتهایی برسند موتور به چرخش خود ادامه می‌دهد. تشخیص وضعیت انتهایی از طریق میکروسوییچ‌هایی که در برروی ماشین‌سوزن وجود دارند صورت می‌گیرد. با رسیدن به وضعیت انتهایی و ارسال وضعیت تیغه‌ها به برد برد کنترل‌کننده ماشین سوزن موتور متوقف می‌شود. این تشخیص به وسیله میکروسوییچ‌هایی که درون ماشین سوزن قرار دارند، ولی به دلیل اینکه در حالت شبیه-سازی به دلیل اینکه امکان شبیه‌سازی حرکت مکانیکی تیغه‌ها وجود ندارد از رله به جای میکروسوییچ‌های ماشین سوزن استفاده شده است.

٣-٣ مکانیزم تشخیص مانع

از روش‌های مختلفی برای تشخیص مانع موجود در بین تیغه‌های ماشین سوزن استفاده می‌شود که در این مقاله از به دو روش رایج‌تر اشاره می‌شود و یکی از آن‌ها در شبیه‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

٣-٣-١ حسگر جریان

زمانی که موتور در حال چرخش برای تغییر وضعیت سوزن است، اگر مانعی بین درها قرار گیرد، در متوقف شده و موتور سعی می‌کند سرعتش را افزایش داده تا بتواند تیغه را به وضعیت نهایی برساند؛ بنابراین جریان زیادی از تغذیه می‌کشد. حال با قرار دادن یک حسگر جریان در مسیر ورودی تغذیه موتور،

چنانچه جریان از میزان مجاز بیش‌تر شود، مانع تشخیص داده شده و فرمان توقف چرخش موتور از میکرو ارسال شده و تغذیه موتور قطع می‌شود.

۳-۳-۲ زمان

در این روش زمان کارکرد موتور در حال چرخش برای تغییر وضعیت سوزن میزان مشخصی دارد. حال اگر در زمان چرخش موتور مانعی در مقابل تیغه‌ها قرار گیرد، این زمان افزایش یافته و مانع تشخیص داده می‌شود. در این حالت میکرو فرمان قطع تغذیه موتور و توقف آن را ارسال می‌کند. در این مقاله از روش زمانی استفاده می‌کنیم. علت استفاده از این روش این است که میکرو دارای تایمر داخلی می‌باشد و بدون نیاز به اضافه کردن قطعه جدید که باعث کاهش قابلیت اطمینان سیستم می‌شود از تایمر میکرو استفاده می‌کنیم.

۳-٤ بافر

بسیاری از المانهای الکترونیکی و به خصوص آی‌سی های دیجیتالی، قابلیت جریان دهی محدودی دارند و قطعاتی مانند موتور، لامپ ، رله و ... که مصرف جریان زیادی دارند را نمی توان مستقیم به آن ها متصل نمود. بافرها ۲ وظیفه ی مهم را انجام می دهند:

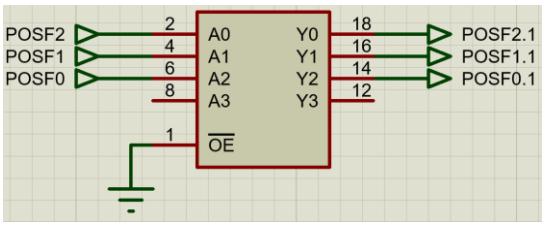
- منطقی کردن ولتاژ ورودی: اگر ولتاژ ورودی بین ۰-۲,۵ ولت باشد، بر روی خروجی مربوطه ولتاژ ۰ قرار گرفته و اگر بین ۲,۵-۵ ولت باشد، ۵ ولت روی آن قرار می گیرد. در حقیقت بر روی پایه های خروجی همواره ولتاژ ۰ یا ۵ ولت (وابسته به ولتاژ ورودی) قرار می گیرد.
- تقویت جریان ورودی ها بر روی خروجی ها

در این مدار ما از آی‌سی بافر 74HC244 استفاده می‌کنیم که یک بافر سه‌حالته است و دارای ۲۰ پایه است که ۸ پایه ورودی و ۸ پایه خروجی و دو پایه‌ی $\overline{OE}$ که به عنوان فعال‌ساز خروجی هستند. برای فعال کردن خروجی باید صفر شوند و دارای خصوصیات زیر است:

- جریان کمی می‌کشد
- تقویت‌کننده جریان بعلت امپدانس ورودی بالا
- ولتاژ وردی و خروجی را تغییر نمی‌دهد.

در این مدار خروجی دیپ‌سوییچ‌ها را از طریق بافر به میکرو متصل کردیم.

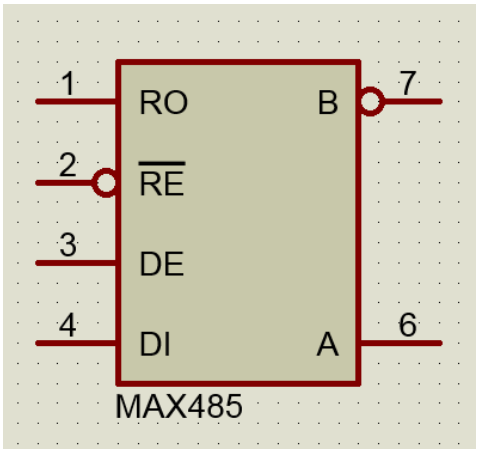
شکل ۵ شبیه‌سازی بافر را در پروتئوس نمایش می‌دهد.



شکل ۵. بافر

۳-۵ ارتباط سریال

در برد CCM برای ارتباط با سایر بردها از پورت سریال و استاندارد RS422 استفاده می‌کنیم و همانطور که در بخش‌های قبلی توضیح داده شده به منظور برقراری ارتباط سریال بهتر و تبدیل سطوح TTL۱۰ به سطوح استاندارد از آی‌سی MAX485 استفاده کنیم. شکل ٦ آی‌سی ارتباط سریال را نمایش می‌دهد.



شکل ٦. آی سی ارتباط سریال

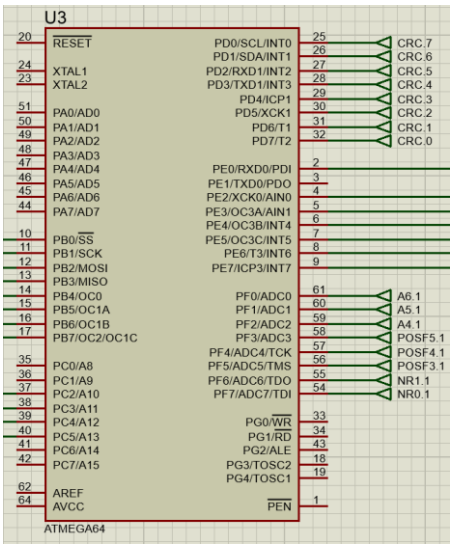
۳-٦ پردازنده مرکزی

این پردازنـده اطلاعـات دریـافتی از برد CCM را پردازش و دسـتوراتی مانند نرمال و ریورس و قفل و ...را به ماشین سوزن

ارسال می‌کند و همچنین وضعیت تیغه‌های سوزن را از ماشین سوزن دریافت کرده و به برد CCM ارسال می‌کند. به همین منظور از یک میکرو ATMEGA128 و یک میکرو ATMEGA64 که با منطق 2oo2 استفاده شده است. در واقع این کار ایجاد نوعی افزونگی برای افزایش قابلیت اطمینان سیستم است. در طراحی افزونگی نیز از دو روش استفاده می‌شود:

- افزونگی با ایجاد تفاوت در نرم‌افزار
- افزونگی با ایجاد تفاوت در سخت افزار

در طراحی این مدار از روش دوم (افزونگی با ایجاد تفاوت در سخت افزار) استفاده شده است. یعنی خروجی هر دو پردازنده در صورتی به ماشین سوزن منتقل می‌شود که هر دو خروجی یکسان باشد. به همین منظور از یک گیت AND استفاده شده که هر دو خروجی را با هم مقایسه می‌کند و در صورتی که یکسان باشند دارای خروجی است. شکل ۷ قطعه میکرو که جهت شبیه‌سازی به عنوان پردازنده برد استفاده شده را نمایش می‌دهد.



شکل ۷. پردازنده مرکزی

۳-۷ سیستم تغذیه

برای کنترل‌کننده ماشین سوزن دو ورودی تغذیه شامل تغذیه دیجیتال و آنالوگ در نظر گرفته شده است. علت جداکردن تغذیه دیجیتال و آنالوگ آن است که قسمت‌های دیجیتال از نظر تغذیه حساس می‌باشند و افت ولتاژ یا جریان ناشی از عملکرد موتور منجر به عدم کارایی آن‌ها می‌گردد.

۳-۷-۱ تغذیه دیجیتال

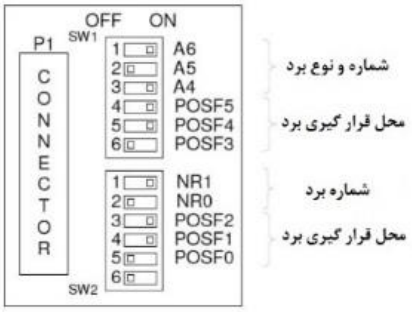
برای تغذیه ریزپردازنده‌ها، آی‌سی‌ها، حسگرها و سایر قسمت-های دیجیتالی در نظر گرفته شده است. در تغذیه دیجیتال، بیش-ترین جریان‌کشی مربوط به رله‌هاست که بسته به نوع رله در بیش‌ترین حالت به حدود ۱۰۰ میلی‌آمپر جریان نیاز دارد. بقیه بخش‌ها (ریزپردازنده‌ها و آی‌سی‌ها) به جریان بسیار کمی نیاز داشته و یک منبع ۱۲ ولت ۱ آمپر کفایت می‌کند.

۳-۷-۲ تغذیه آنالوگ

این تغذیه برای موتور در نظر گرفته‌شده است. با توجه به مدار موتور، از تغذیه سه فاز برای راه‌اندازی آن استفاده شده است. کنترل‌کننده مرکزی برد کنترل‌کننده ماشین سوزن با راه‌اندازی رله‌ها، و تغییر وضعیت آن‌ها موجب انتقال تغذیه سه فاز ورودی به کانکتور خروجی می‌شود [Farsi,2018].

۳-۸ دیپ سوییچ‌های برد استرپ

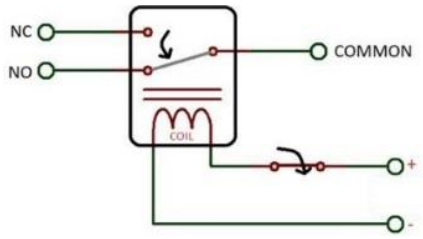
این دیپ سوییچ‌ها به منظور آدرس‌دهی اختصاصی هر برد استفاده می‌شود و بر روی کانکتور خروجی هر برد قرار دارند. کاربرد اصلی این دیپ‌سوییچ‌ها برای زمانی است که بیش از یک برد از یک نوع در یک OBC وجود داشته باشد؛ در این حالت می‌توان شماره هر برد مثلا برد شماره ۱ یا ۲ یا ... و همچنین نوع برد(MOT,LMP,..) و جایگاه قرار گیری آن‌ها را مشخص کرد[Bombardier Signaling, 2016] . شکل ۸ اطلاعاتی که از طریق دیپ‌سوییچ‌های برد استرپ وارد می‌شود را نمایش می‌دهد.



شکل ۸. دیپ‌سوییچ‌های برد استرپ

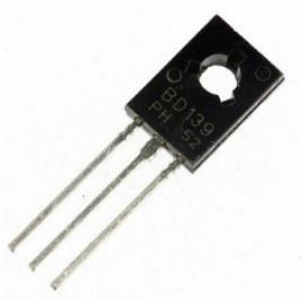
۳-۹ رله‌های تغذیه خروجی

به منظور اتصال ورودی سه فاز برد به کانکتور خروجی جهت اتصال به ماشین سوزن و اعمال دستورات کنترل‌کننده اصلی برد جهت ارسال فرمان به ماشین سوزن از ۵ رله استفاده شده است. این رله‌ها مطابق با فرمان دریافتی از کنترل‌کننده اصلی فازهای ورودی را به خروجی انتقال می‌دهند و جهت چرخش درجهت معکوس موتور جای فازها را تعویض می‌کنند.



شکل ۹. قسمت‌های مختلف رله

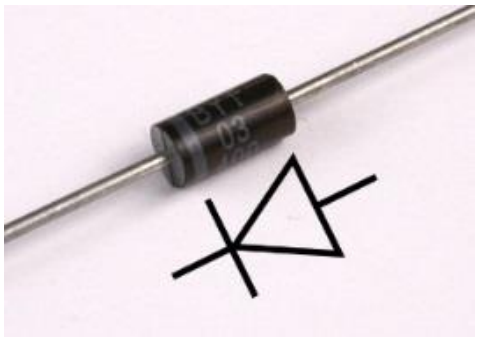
رله دارای دو پایه برای تحریک سیم‌پیچ‌ها، یه پایه مشترک به نام COM[۱۱] می‌باشد و یک پایه بسته(NC[۱۲]) و یک پایه باز (NO[۱۳]) است. با تحریک سیم پیچ تیغه‌ها تغییر وضعیت می‌دهند؛ پایه بسته، باز و پایه باز، بسته می‌شود. اما جهت فعال‌سازی این رله می‌بایست ولتاژ ۵ ولت و جریانی حدود ۱۰۰ میلی‌آمپر به کویل‌های آن داده شود. ریزپردازنده توانایی تامین این جریان را نیز ندارد. شکل ۱۰یک نمونه ترانزیستور BD139 را نمایش می‌دهد.



شکل ۱۰. ترانزیستور BD139

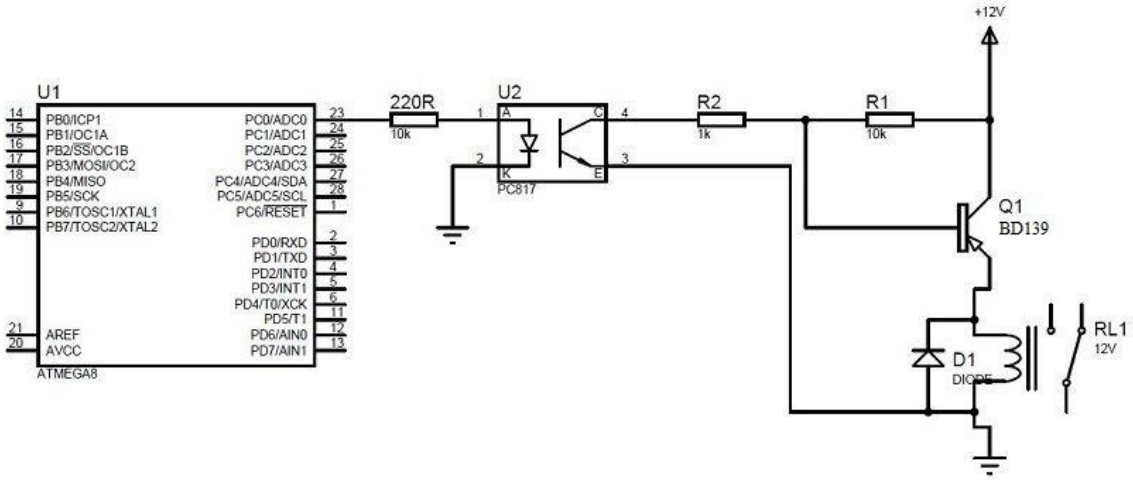
بنابراین برای تقویت جریان خروجی ریزپردازنده از یک ترانزیستور استفاده می‌کنیم. همچنین برای ایزوله کردن مدار راه‌انداز رله از میکرو و جلوگیری از ایجاد نویز و اختلال در عملکرد میکرو از قطعه‌ای به نام اپتوکوپلر استفاده می‌کنیم. در واقع این قطعه دو قسمت از مدار راه از طریق نور ایزوله می‌کند. در مدار کنترل‌کننده ماشین سوزن از قطعه PC817 به عنوان اپتوکوپلر استفاده شده است. این قطعه دارای ٤ پایه است

که یه پایه به میکرو، یکی به زمین و دو پایه دیگر به مدار فعال‌ساز رله متصل می‌شوند. با ارسال فرمان از میکرو دیود نوری درون اپتوکوپلر فعال شده و ترانزیستور مقابل خود را تحریک می‌کند که موجب اتصال دو پایه دیگر مدار فعال‌ساز شده و رله راه‌اندازی می‌شود. ارتباط میکرو با رله از طریق اپتوکوپلر را نمایش می‌دهد.ترانزیستور استفاده شده یک ترانزیستور دوقطبی با شماره BD139 است که توانایی عبور جریان ۱/۵ آمپر از کلکتور (کویل رله) را دارد.

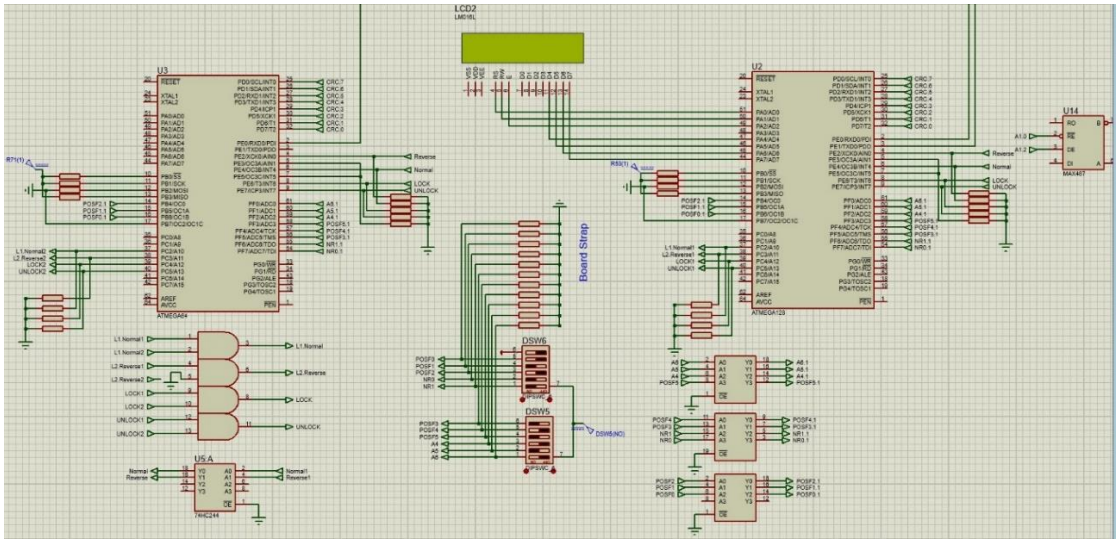


شکل ۱۱. دیود هرزگرد

همچنین از یک دیود هرزگرد برای مقابله با خاصیت سلفی رله استفاده شده است. شکل ۱۱ نمونه یک دیود هرزگرد است.



شکل ۱۲. ارتباط میکرو با رله از طریق اپتوکوپلر



شکل ۱۳. شمای کلی قسمت پردازنده برد کنترل کننده ماشین سوزن

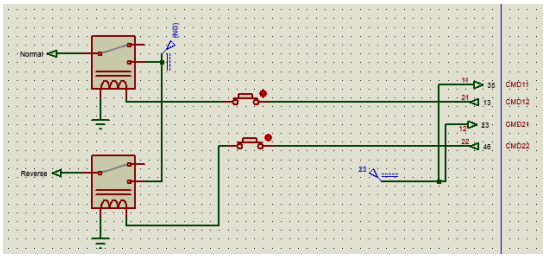
۳-۱۰ آدرس دهی منحصر به فرد

هر برد دارای یک آدرس اختصاصی است که پس از اتصال به برد مدار چاپی برد CCM از اتصال برد فوق مطلع می گردد. نحوه اطلاع این برد از اتصال بردهای مختلف به این گونه است که قسمت خاصی از کانکتور اتصالی هر برد، به برد مدار چاپی به این آدرس اختصاص یافته و با جایگذاری هر برد در جای مخصوص خودش این آدرس به برد CCM ارسال می شود. در واقع این آدرس به صورت چند مقاومت که با اتصال به زمین یا تغذیه صفر یا یک می شوند و چهار بیت از ادرس اصلی برد را تشکیل می دهند. در نحوه شبیه‌سازی این آدرس‌ها نشان داده شده است.

۳-۱۱ رله‌های تشخیص وضعیت سوزن

از آنجا که برد کنترل‌کننده ماشین سوزن موجود برای ماشین سوزن‌های هفت سیمه طراحی شده، این برد از سه سیم به منظور

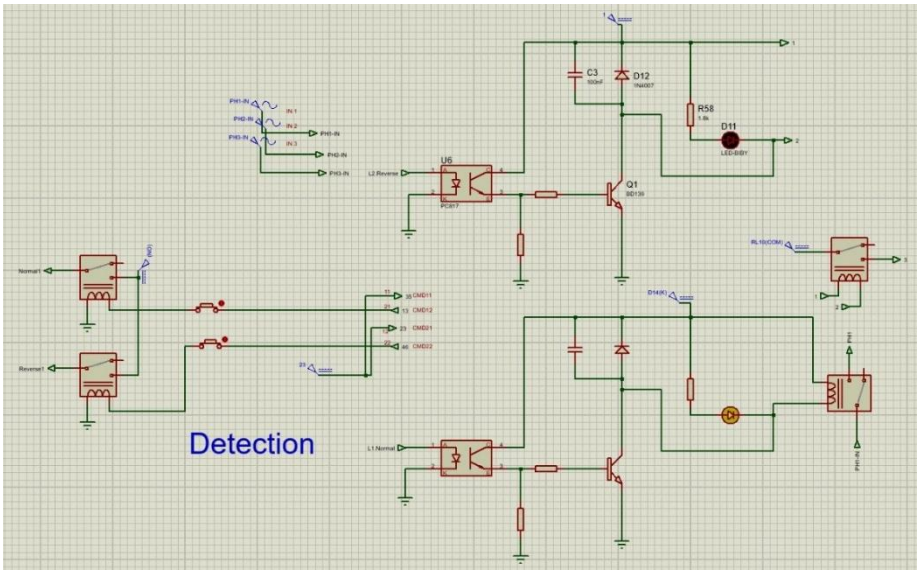
تغذیه ماشین سوزن و چهار سیم جهت تشخیص وضعیت سوزن استفاده می‌کند. در شبیه‌سازی نیز از دو رله جهت این کار استفاده شده است. این برد از چهار پینCMD11، CMD12، CMD21، CMD22 جهت تشخیص وضعیت تیغه‌ها استفاده می‌کند به این صورت که اگر پین‌های CMD11، CMD12به هم متصل باشند وضعیت تیغه‌ها نرمال و اگر پین-های CMD21، CMD22 ، به هم متصل باشند وضعیت تیغه‌ها ریورس می‌باشد. شکل ١٤ ارتباط رله‌های تشخیص وضعیت سوزن را با ماشین سوزن نمایش می‌دهد.



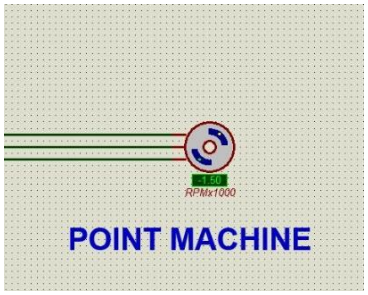
شکل ١٤. رله‌های تشخیص وضعیت سوزن

۳-۱۲ موتور ماشین سوزن

در این مدار از یک موتور سه فاز برای شبیه‌سازی ماشین سوزن استفاده شده است. در واقع کلیه طراحی‌ها بر حسب ماشین سوزن سه فاز شرکت چینی CRSC به نام ZDJ9 که در خط یک مترو تهران از آن استفاده شده است می‌باشد. این ماشین سوزن از سه فاز برای تغذیه و راه اندازی استفاده می‌کند و از ٤ سیم دیگر برای تشخیص وضعیت تیغه‌ها استفاده می‌کند. به این ماشین سوزن، پنج سیمه و یا دقیق‌تر هفت سیمه نیز گفته می‌شود. دلیل این امر این است که در واقع ماشین سوزن‌ها یا چهارسیمه هستند و یا پنج سیمه، ولی در این طراحی به ماشین سوزن پنج سیمه دو سیم کمکی نیز اضافه کرده‌ایم تا عمل تشخیص و تغییر وضعیت تیغه از طریق برد کنترل‌کننده ماشین سوزن آسان‌تر شود. شکل ١٦شبیه‌سازی ماشین سوزن را در پروتئوس نمایش می‌دهد.



شکل ١٥. رله های تشخیص وضعیت تیغه های سوزن



شکل ١٦. ماشین سوزن

٤. نتایج شبیه سازی

در این بخش نتایج نهایی شبیه‌سازی نمایش داده می‌شود. در این شبیه‌سازی سعی شده حالت‌های مختلفی در نظر گرفته شود. در شبیه‌سازی انجام شده فرض شده که از یک برد کنترل‌کننده ماشین سوزن و یک برد CCM و تعدادی کلید که به برد CCM وصل شده‌اند برای شبیه سازی دستورات اینترلاکینگ استفاده شده است. دستورات ارسالی از طریق اینترلاکینگ به صورت زیر در نظرگرفته شده است.

نرمال: این فرمان وقتی که تیغه‌ها در حالت ریورس قرار دارند و قفل نشده‌اند و بدون مسیرسازی صادر می‌شود.

نرمال قفل‌شده: این فرمان زمانی که تیغه‌ها در حالت ریورس قرار دارند و اپراتور با مسیرسازی قصد دارد وضعیت تیغه‌ها را عوض کند. در این حالت تیغه‌ها علاوه بر تغییر وضعیت، قفل می‌شوند و برای تغییر وضعیت یا باید دوباره مسیرسازی شود، یا اینکه از طریق فرمان باز کردن قفل ، قفل سوزن برداشته شده و تغییر وضعیت از طریق دستور ریورس انجام شود.

ریورس: مشابه حالت نرمال

ریورس قفل‌شده: مشابه حالت نرمال قفل‌شده جهت چرخش موتور در حال ریورس منفی و در حالت نرمال مثبت در نظر گرفته شده است.

همچنین در این شبیه‌سازی از توابع نرم افزاری مختلفی برای نشان دادن عملکرد سخت افزار استفاده شده است که از جمله آنها میتوان به توابع زیر اشاره کرد:

- توابع USART برای ارسال و دریافت اطلاعات برد
- توابع تصحیح خطا یا در اصطلاح CRC که در این شبیه‌سازی از کد اصلاح خطا ٨ بیتی استفاده شده است.
- سایر توابع که شامل فعال‌سازی LCD و چک کردن شروط مختلف است.

٤-١ حالت اول

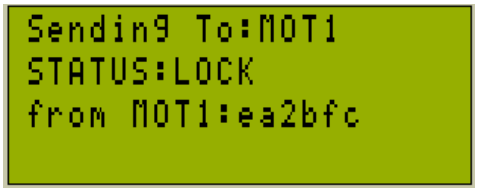
در این حالت فرض شده که تیغه‌ها در حالت نرمال قرار دارند و اپراتور از طریق مسیرسازی فرمان ریورس‌قفل‌شده را صادر می‌کند. همچنین وضعیت دریافت شده توسط برد CCM به صورت زیر است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود قسمت(١) نشان‌دهنده مقصد پیام است که در این‌جا فقط یک برد کنترل‌کننده ماشین سوزن وجود دارد. قسمت(٢) وضعیت ماشین سوزن را نمایش می‌دهد که ریورس قفل‌شده را نمایش می‌دهد. قسمت‌های(٣)و(٤) آدرس گیرنده را نمایش می‌دهند که با توجه به توضیحات فصل قبل در رابطه نحوه‌ی آدرس‌دهی باید دوبایت باشد و به صورت ea2b هگز باشد. قسمت(٥) نوع پیام را نشان می‌دهد که با توجه توضیحات می‌توانست به صورت دستوری یا وضعیت باشد و به دلیل اینکه پیام از سمت ماشین سوزن ارسال می‌شود و وضعیت تیغه‌ها را نمایش می‌دهد باید به صورت 0f هگز باشد. قسمت(٦) وضعیت تیغه‌ها را نمایش می‌دهد که کد 3c نشان‌دهنده ریورس قفل‌شده است. شکل ١٧ حالت اول شبیه‌سازی و کدهای دریافتی توسط میکرو را نمایش می‌دهد.

شکل ١٧. حالت اول

٤-٢ حالت دوم

در این حالت تیغه‌ها در حالت ریورس قفل شده است و اپراتور فرمان نرمال را بدون مسیرسازی را ارسال می‌کند. انتظار می‌رود

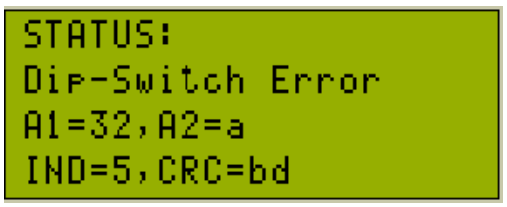
که تیغه‌ها جابجا نشوند و پیام ماشین سوزن قفل است را دریافت کنیم. برای اینکه اپراتور بتواند تیغه‌ها را تغییر وضعیت دهد دو راه وجود دارد اول اینکه از طریق فرمان بازکردن قفل، تیغه‌ها را از حالت قفل درآورد سپس با فرمان نرمال یا نرمال قفل شده تغییر وضعیت دهد. راه دوم می‌تواند از طریق فرمان نرمال قفل-شده مستقیما تغییر وضعیت دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود وضعیت ماشین سوزن قفل اعلام شده است. در پیام ارسال شده حرف(C) انتهای آن نشان‌دهنده قفل بودن سوزن است. حالت دوم در شکل ۱۸ نمایش داده شده است.



شکل ۱۸. حالت دوم

٤-٣ حالت سوم

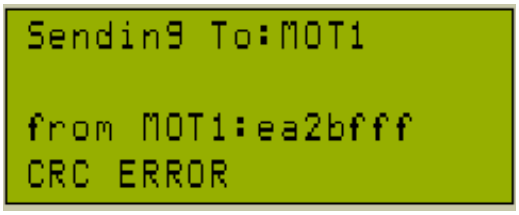
در این حالت اگر آدرس برد CCM به درستی و بوسیله دیپ-سوییچ‌ها تنظیم نشده باشد پیام خطای آدرس‌دهی اعلام می‌شود. در این حالت یکی از دیپ‌سوییچ‌های A1 ، A2 ، IND[۱۴] و یا CRC[۱۵] به درستی تنظیم نشده‌اند. وضعیت پاسخ را در حالت سوم در شکل ۱۹ مشاهده می‌کنید.



شکل ۱۹. حالت سوم

٤-٤ حالت چهارم

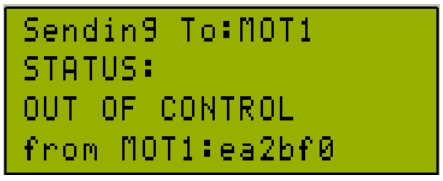
در این وقتی پیام به درستی از فرستنده ارسال نشده باشد و یا در گیرنده خطای دریافت وجود داشته باشد از طریق محاسبه CRC متوجه خطا می‌شویم. در این حالت پیام CRC Error دریافت می‌شود و بدین معنی است که پیام باید دوباره ارسال شود.همانگونه که مشاهده می‌شود پیام CRC Error دریافت شد و قسمت انتهایی پیام یعنی FF به منزله‌ی خطای CRC می‌باشد. شکل ۲۰ وضعیت پاسخ در حالت چهارم را نمایش می‌دهد.



شکل ۲۰. حالت چهارم

٤-٥ حالت پنجم

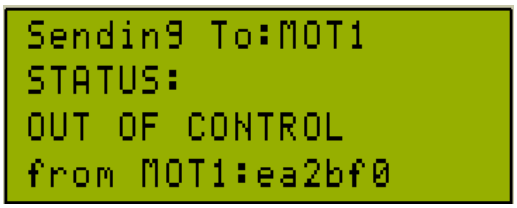
در این حالت اگر فرمان نرمال، ریورس از سوی اپراتور ارسال شود و به دلیل وجود مانع در بین تیغه‌ها و یا قطعی کابل ارتباطی ماشین سوزن و برد آن و یا هر دلیل دیگری وضعیت تیغه‌ها به برد ارسال نشود، برد این حالت را، حالت خطای خارج از کنترل(Out of Control) شناسایی می‌کند و برای جلوگیری از آسیب به موتور، سریعا تغذیه ماشین‌سوزن را قطع می‌کند. همانگونه که مشاهده می‌شود،دستور در نظر گرفته شده برای حالت خارج از کنترل کد صفر هگز است. شکل ۲۱ حالت پنجم شبیه‌سازی را نمایش می‌دهد.



شکل ۲۱. حالت پنجم

٤-٦ حالت ششم

در این حالت اگر فرمان از برد CCM به برد کنترل‌کننده ماشین سوزن ارسال شود، ولی خروجی دو پردازنده برد کنترل‌کننده ماشین سوزن یکسان نباشد. در این صورت فرمانی به سمت ماشین سوزن ارسال نمی‌شود و این حالت خارج از کنترل می-باشد و دستور مربوطه به برد CCM ارسال می‌شود. حالت ششم در شکل ۲۲ نمایش داده شده است[Farsi,2018].



شکل ۲۲. حالت ششم

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

سیستم کنترل تجهیزات کنار خط(OCS)، یک سیستم پیچیده و دارای بخش‌های مختلفی است که برد کنترل‌کننده ماشین سوزن تنها قسمتی از آن محسوب می‌شود. در این‌پایان نامه، برد کنترل-کننده ماشین سوزن مربوط به ماشین سوزن‌های سه فاز جریان متناوب و هفت سیمه بررسی گردید. از انواع دیگر بردهای کنترل کننده ماشین سوزن می‌توان به برد جریان متناوب تک‌فاز و جریان مستقیم که هر کدام شامل پنج سیمه و هفت سیمه هستند، اشاره کرد.این برد با دریافت دستورات از برد CCM و چک کردن، آن‌ها را به ماشین سوزن منتقل کرده و وضعیت تیغه-های سوزن را به اینترلاکینگ منتقل می‌کند.در این پایان نامه قسمتی از این برد و برخی از دستورات اصلی آن مورد شبیه‌سازی قرار گرفت و حالت‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. شبیه سازی با استفاده از نرم افزار پروتئوس صورت گرفت. سیستم کنترل تجهیزات کنار خط(OCS)، یک سیستم پیچیده و دارای بخش‌های مختلفی است که برد MOT تنها قسمتی از آن محسوب می‌شود. از بخش‌های دیگر این سیستم می‌توان به بقیه-ی بردهای ساب‌رک شامل CCM، CTK، OCT، LMP ، SRC، COM و ماژول‌های تغذیه و سوییچ‌های ارتباطی اشاره کرد که هرکدام به صورت جداگانه نیاز به تحقیق و بررسی دارند. در این مقاله ، برد MOT مربوط به ماشین سوزن‌های سه فازAC و هفت سیمه بررسی گردید. از انواع دیگر بردهای کنترل کننده ماشین سوزن می‌توان به برد کنترل کننده ماشین سوزن AC تک‌فاز و DC که هر کدام شامل پنج سیمه و هفت سیمه هستند، اشاره کرد. همچنین در این مقاله به سخت افزار برد کنترل‌کننده ماشین سوزن اشاره شد، این در حالی است که بخش نرم‌افزار این برد نیز دارای قسمت‌های مهمی است که می-توان در جای دیگر به آن پرداخت.

۶. پی‌نوشت‌ها

1. Object Controller System
2. Communication and Control Unit
3. Controller and Contact Monitoring board
4. Communication and Modem board
5. Power supply board (OCTopus)
6. Object Controller
7. LaMP board
8. MOTor control board
9. Safety Relay Control board
10. transistor–transistor logic
11. COMmunication board
12. Normally Close
13. Normally Open
14. INDividual
15. Cyclic Redundant Check

۷. منابع

- موسوی‌کیا، هدایت‌اله و رکنی، غلامحسین (۱۳۹۲)" آشنایی با سیستم‌های علائم الکتریکی"، تهران، مرکز تحقیقات و آموزش راه آهن.

– فارسی، سجاد(۱۳۹۷)" شبیه سازی برد کنترل کننده ماشین سوزن"، پایان نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: محمد علی صندیدزاده، تهران: دانشکده راه آهن، گروه راه آهن برقی، دانشگاه علم وصنعت ایران.

– میرآبادی، احمد و زارعی، خدیجه (۱۳۸۹)" تشخیص و شناسایی خطا در سیستم سوزن با روش الگوریتم فازی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: احمد میرآبادی، تهران: دانشکده راه آهن، گروه راه آهن برقی، دانشگاه علم وصنعت ایران.

- Bomboardier Signaling Internal Document(2016)."Maintenance manual for object controller system 950".

- Cheng, Y. J., & Zhao, H. B. (2015) "Fault detection and diagnosis for railway switching points using fuzzy neural network", Proceedings of the 2015 10th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, pp. 876–881.

- Bombardier Signaling Internal Document (2001)."General Application Information for OCS 950 Object Controller System".

- Lee, J., Choi, H., Park, D., Chung, Y., Kim, H.Y. & Yoon, S. (2016) "Fault detection and diagnosis of railway point machines by sound analysis" Sensors (Switzerland), Vol.16, No.4, PP.12(4). https://doi.org/10.3390/s16040549

- Mezitis, M., Karevs, V., & Freimane, J. (2016). "Object Controller of Electric Drive of Point Machine with Expanded Set of Diagnostic Tools". Procedia Computer Science, 104(December 2016), pp393–399. https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.01.151

- Bombardier Signaling Internal Document (1999)." Object Controller System".

- Yoon, S., Sa, J., Chung, Y., Park, D., & Kim, H. (2016). "Fault diagnosis of railway point machines using dynamic time warping". Electronics Letters, , pp818–819. https://doi.org/10.1049/el.2016.0206

سجاد فارسی، درجه کارشناسی در رشته برق کنترل را در سال ۱۳۹۲ از دانشگاه صنعتی شیراز و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی کنترل و علائم در سال ۱۳۹۷ را از دانشگاه علم و صنعت اخذ نمود. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان سیگنالینگ راه آهن، الکترونیک بوده و هم اکنون در زمینه تحقیق و توسعه در سیستم‌های سیگنالینگ مترو مشغول به فعالیت می باشد.

محمدعلی صندیدزاده، درجه کارشناسی را در رشته مهندسی برق الکترونیک در سال ۱۳۷۰ از دانشگاه تهران و درجه کارشناسی ارشد را در رشته مهندسی برق کنترل در سال ۱۳۷۲ از همان دانشگاه اخذ نمود. در سا ۱۳۷۹ موفق به اخذ درجه دکتری در رشته مهندسی برق کنترل، از دانشگاه صنعتی امیرکبیر گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان کنترل و سیگنالینگ راه آهن و قطار بوده و در حال حاضرعضو هیات علمی با مرتبه دانشیار دردانشگاه علم و صنعت ایران است.

فرزاد سلیمانی، درجه کارشناسی در رشته برق کنترل را در سال ۱۳۹۱ از دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی و درجه کارشناسی ارشد در رشته معندسی برق کنترل در سال ۱۳۹۳ را از دانشگاه تربیت مدرس اخذ نمود. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان سیگنالینگ راه آهن، اینترنت اشیاء و روش های صوری بوده و هم اکنون دانشجوی رشته مهندسی راه آهن گرایش کنترل و علائم در مقطع دکتری می باشد.