

دست بند ضد برق گرفتگی دارای قابلیت تشخیص برق گرفتگی فاز به فاز از طریق ارتباط بی سیم

شهاب والی زاده علوی^۱، نیما امجدی^{۲*}

اطلاعات مقاله	چکیده
دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۰۷/۲۶ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۱/۱۸	<p>شیوه تشخیص برق گرفتگی در ابزارهای پیشین ضد برق گرفتگی مثل کلید محافظ جان کاملاً وابسته به مسیر برگشت جریان از زمین است. حال اگر در محیطی صنعتی فردی از زمین عایق شده باشد و دو دست وی در بین دو فاز قرار گیرد، قطعاً دچار برق گرفتگی خواهد شد. استفاده از ترانسفورماتور ایزولاسیون نیز نمی تواند کمکی برای رفع این مشکل بکند؛ چون ترانسفورماتور ایزولاسیون تنها مسیر برگشت جریان را حذف می کند. پس برق گرفتگی فاز به فاز در صورت استفاده از ترانسفورماتور ایزولاسیون نیز قابل تشخیص نیست. دست بند ضد برق گرفتگی طراحی شده، دست بندی است که با محاسبه شار ناشی از جریان عبوری از دست فردی که دچار برق گرفتگی شده به وسیله حسگر اثر هال و با الهام از آمپرمترهای چنگکی، قادر به تشخیص عبور جریان الکتریکی از دست انسان و ارسال فرمان قطع از طریق یک مجموعه فرستنده و گیرنده و در انتها قطع مسیر اصلی جریان الکتریکی است که مشخصاً این طرح هیچ وابستگی به مسیر برگشت جریان ندارد و کاملاً بر روی فرد در معرض خطر متمرکز شده است.</p>
<p>واژگان کلیدی: برق گرفتگی فاز به فاز، دست بند ضد برق گرفتگی، حسگر اثر هال، فرستنده و گیرنده رادیویی.</p>	

۱- مقدمه

الکتریسیته، جزئی جدایی ناپذیر از زندگی و صنعت انسان امروزی شده است. در کنار مزیت هایی که الکتریسیته برای انسان به ارمغان آورده است، خطرهایی نیز به همراه خود دارد. بنابر آمار اعلام شده توسط سازمان پزشکی قانونی ایران، در چهار ماه نخست سال ۱۳۹۴ مجموعاً ۲۱۱ نفر به دلیل برق گرفتگی جان باختند [۱].

آمار فوق نشان می دهد برق گرفتگی در کشور در چهار سال پیش مجموعاً ۳۰۶۷ نفر را به کام مرگ کشانده است که آماری بسیار تکان دهنده است [۲]. این آمار اهمیت فعالیت در زمینه کاهش مرگ و میر در اثر برق گرفتگی را کاملاً روشن می کند.

برق گرفتگی ها به طور کلی گریبان گیر دو گروه از افراد می شود، اول مردم عادی که در کار با برق تک فاز منازل خویش دچار برق گرفتگی می شوند و دوم متخصصان و کارگران محیط های صنعتی که در معرض انواع شبکه ها از جمله تک فاز، سه فاز و ولتاژهای مختلف دچار برق گرفتگی

می شوند. برق گرفتگی های تک فاز که مردم عادی دچار آن می شوند، به کمک فرهنگ سازی و تجهیزاتی مانند کلید محافظ جان و ترانسفورماتور ایزولاسیون قابل پیشگیری هستند. همچنین در برق گرفتگی های صنعتی تک فاز به زمین به دلیل دخیل بودن زمین در مسیر برگشت جریان، به کمک دو دستگاه ترانسفورماتور ایزولاسیون و کلید محافظ جان می توان از برق گرفتگی جلوگیری کرد. اما در این میان، برق گرفتگی فاز به فاز (که زمین در مسیر برگشت جریان نقشی ایفا نمی کند) به کمک دستگاه های فوق، قابل پیشگیری نیست.

اولین سیستم ضد برق گرفتگی دارای حساسیت قطع جریانی در حدود ۱۰ آمپر بود. نوع کاربردی کلید محافظ جان توسط Henri Rubin به منظور جلوگیری از برق گرفتگی های متوالی در معادن آفریقای جنوبی ارائه شد که جریان حدود ۲۵۰ میلی آمپر را تشخیص می داد. وی در سال ۱۹۵۶ با طراحی جدید خود توانست نوعی از کلید محافظ جان را عرضه کند که حساسیت قطع جریانی آن از

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: amjady@semnan.ac.ir

۱. کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه سمنان

۲. استاد، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه سمنان

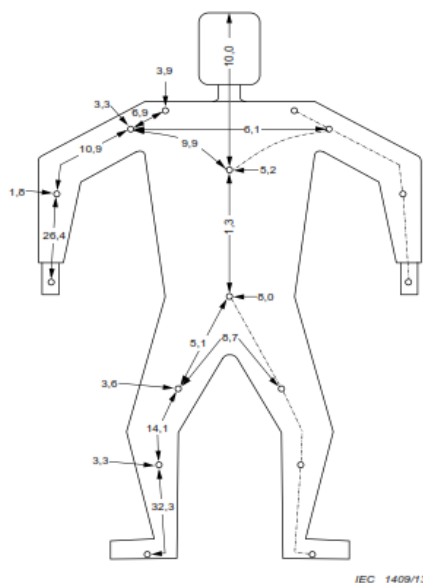
ساختار و نحوه طراحی دست‌بند ضد برق‌گرفتگی اختصاص دارد. در بخش سوم مدل ریاضی دست‌بند را به‌طور دقیق بررسی می‌کنیم و حساسیت دستگاه را به دست می‌آوریم. در بخش چهارم نتایج عملی یک مدل آزمایشگاهی ساخته‌شده از این دست‌بند را ارائه می‌کنیم.

۲- تئوری‌های اولیه

در این قسمت به ارائه تئوری‌های اولیه موردنیاز در ادامه بحث می‌پردازیم.

۲-۱- امپدانس بدن انسان

دو عامل تأثیرگذار در برق‌گرفتگی یک شخص وجود دارد؛ اول سطح ولتاژ تماسی و دوم امپدانس موجود در دو سر اختلاف پتانسیل (یا مسیر عبور جریان). هر قدر سطح ولتاژ کم باشد یا امپدانس مسیر زیاد باشد، جریان الکتریکی کاهش می‌یابد. بر اساس استاندارد IEC60479-1 امپدانس‌های قسمت‌های مختلف بدن انسان به‌صورت درصدی از امپدانس مسیر بین دست تا پای انسان در شکل (۱) آمده است [۵].



شکل ۱: درصد امپدانس قسمت‌های مختلف بدن نسبت به امپدانس مسیر بین دست تا پای انسان [۵]

در شکل (۲) می‌توانید امپدانس مسیر بین دست تا پای انسان را به‌ازای سطح ولتاژهای مختلف و ۵ سطح تماس مختلف ببینید [۵].

بر اساس شکل (۲) مشاهده می‌شود که هر قدر سطح ولتاژ بیشتر می‌شود، امپدانس بدن انسان کاهش می‌یابد. در سطح ولتاژ ۲۲۰ ولت (ولتاژ فاز به زمین) حتی با سطح

۱۲/۵ تا ۱۷/۵ میلی‌آمپر قابل تنظیم بود [۳ و ۴].

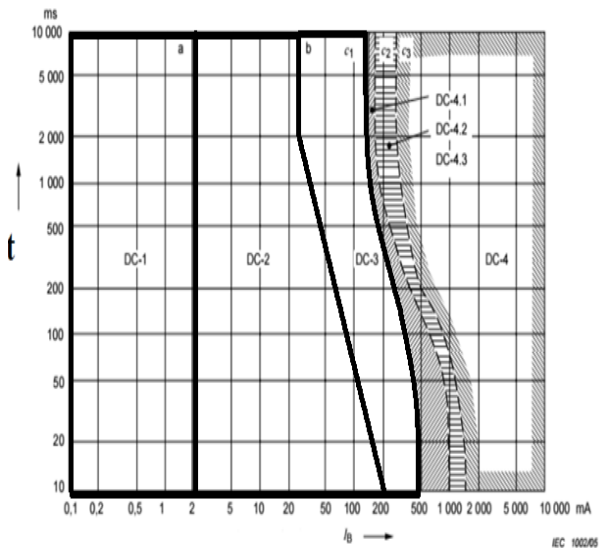
در ادامه با عرضه ترانسفورماتور ایزولاسیون شرایطی پیش آمد تا در صورتی که فرد با سیم فاز برخورد داشت، دچار برق‌گرفتگی نشود و همچنین سیستم قطع نشود. این کار با جداکردن سیم برگشت جریان ثانویه ترانس از سیم برگشت جریان شبکه که به زمین وصل شده است، صورت می‌گیرد.

سیستم‌های فوق در زمان برق‌گرفتگی فاز به زمین بسیار خوب کار می‌کنند و حساسیت‌های بسیار قابل قبولی دارند اما در یک حالت، این مجموعه قادر به شناسایی صحیح برق‌گرفتگی نیست. سیستم سه‌فازی را در نظر بگیرید که یک کلید محافظ جان سه‌فاز در آن محل نصب شده است. چنانچه شخص برای کاهش جریان خطای فاز به زمین از کفش عایق استفاده کرده باشد یا زمین کف پوش باشد، یا اینکه در آن محل ترانسفورماتور ایزولاسیون وصل شده باشد، شخص پس از تماس یک دستش با سیم فاز در معرض خطری نخواهد بود و به‌لذات ناچیز بودن جریان خطا، سیستم حفاظتی (کلید محافظ جان) هم عمل نمی‌کند. حالا اگر این فرد با فاز دوم تماس پیدا کند، به‌طور قطع، دچار برق‌گرفتگی می‌شود. در حقیقت تناقض کاهش جریان خطای فاز به زمین و از طرفی قراردادن تجهیزاتی که جریان فاز به زمین را تشخیص می‌دهد و مدار را قطع می‌کند، باعث این امر شده است.

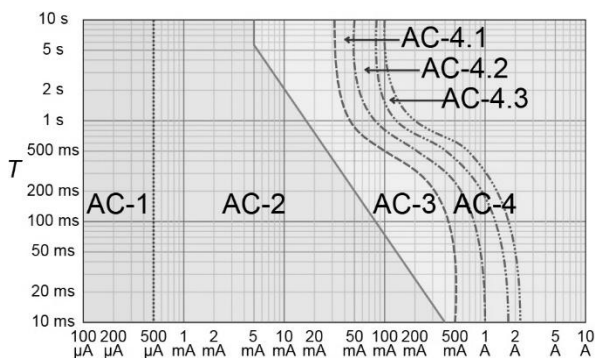
ارائه راه‌حلی مستقل از جریان برگشتی زمین می‌تواند گره‌گشای این مشکل باشد. طرح ارائه شده با عنوان «دست‌بند ضد برق‌گرفتگی» با الهام از آمپرمترهای چنگکی قادر به شناسایی برق‌گرفتگی به‌طور کاملاً مستقل از مسیر برگشت جریان است. این تجهیز با شناسایی میدان مغناطیسی ناشی از جریان عبوری از دست انسان به کمک حسگر اثر هال و به یاری یک مجموعه فرستنده و گیرنده می‌تواند دستور قطع را به تابلو صادر کند و فرد را از برق‌گرفتگی نجات دهد. زمان عملکرد این دستگاه در حد چند میلی‌ثانیه و حساسیت جریانی دستگاه در صورت استفاده از هسته‌های مغناطیسی مرغوب در حد چند میلی‌آمپر خواهد بود که در ادامه به بررسی دقیق‌تر این موارد خواهیم پرداخت.

در بخش اول به بررسی اطلاعات لازم درباره امپدانس بدن انسان و همچنین تئوری‌های مورداستفاده در طراحی دست‌بند ضد برق‌گرفتگی می‌پردازیم. بخش دوم به معرفی

تا دست را برای شرایط برق‌گرفتگی فاز به فاز در حدود ۱ کیلو اهم در نظر می‌گیرند.
در شکل (۳) تأثیر عبور جریان الکتریکی به‌ازای زمان‌های مختلف بر بدن انسان بررسی شده است [۵].
در شکل (۴) می‌توانید تأثیر جریان متناوب (AC) با فرکانس‌های ۱۵ تا ۱۰۰ هرتز را بر بدن انسان به‌ازای زمان‌های مختلف مشاهده کنید [۵].



شکل ۳: تأثیر عبور جریان مستقیم الکتریکی (DC) از بدن انسان به‌ازای زمان‌های مختلف [۵]

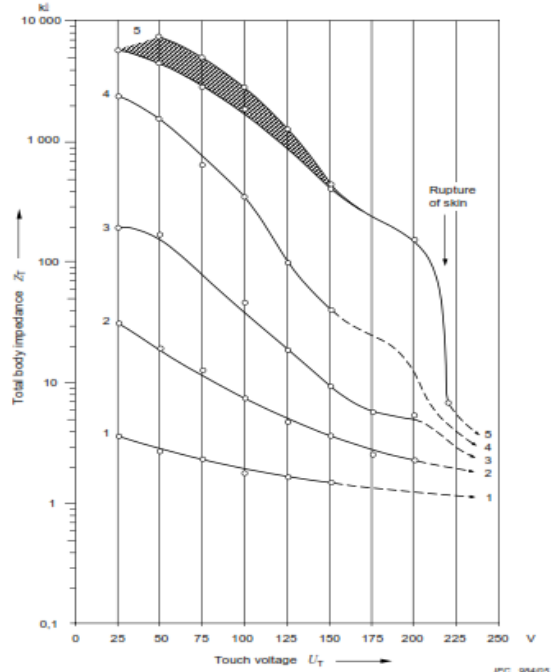


شکل ۴: تأثیر عبور جریان متناوب الکتریکی (AC) در رنج فرکانس‌های ۱۵ تا ۱۰۰ هرتز از بدن انسان به‌ازای زمان‌های مختلف [۵]

در توضیح شکل‌های (۳) و (۴):

غیرقابل احساس	:DC-1, AC-1
قابل احساس، بدون لرزش	:DC-2, AC-2
ماهیچه‌ها	
لرزش ماهیچه‌ها با تأثیرات	:DC-3, AC-3
قابل بازگشت	

تماس ۱ میلی‌متر مربع (که کمتر پیش می‌آید) امپدانس بدن انسان کمتر از ۱۰ کیلو اهم خواهد بود. اگر ولتاژ فاز به فاز را در نظر بگیریم، قطعاً امپدانس بدن انسان در مسیر دست تا پا کمتر از این‌ها خواهد بود. اگر امپدانس دست تا پای انسان را در سطح ولتاژ ۳۸۰ ولت حدود ۱/۵ کیلو اهم در نظر بگیریم به کمک شکل (۲) می‌توان امپدانس دست به دست را محاسبه کرد. اگر عددهای مسیر بین دست تا دست در شکل (۲) را جمع بزنیم به عدد ۹۰.۹ می‌رسیم. این عدد به این معنی است که امپدانس دست تا دست انسان در حدود ۹۰/۹ یا ۹۱ درصد امپدانس بین دست تا پای انسان خواهد بود. پس با این روش امپدانس دست تا دست انسان در حدود ۱/۳۶ کیلو اهم محاسبه شد.



شکل ۲: مقاومت مسیر دست تا پای انسان به‌ازای ولتاژ تماس‌های متفاوت و به‌ازای سطح تماس‌های مختلف بدن انسان در حالت بدون رطوبت [۵]

- ۱: سطح تماس 8200 mm^2
- ۲: سطح تماس 1250 mm^2
- ۳: سطح تماس 100 mm^2
- ۴: سطح تماس 10 mm^2
- ۵: سطح تماس 1 mm^2

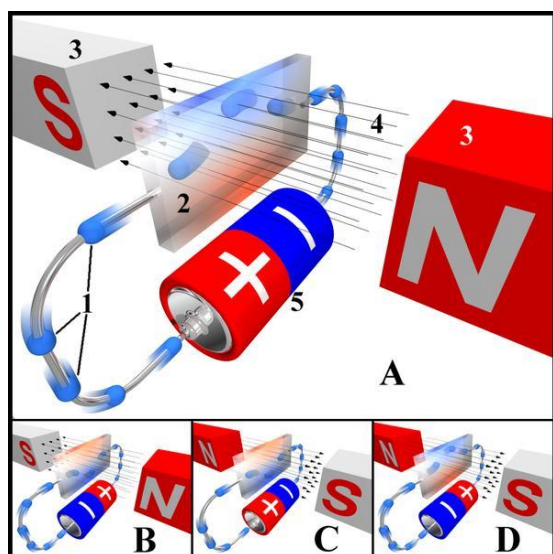
در نظر داشته باشید که در این روش امپدانس ۱,۳۶ کیلو اهم دست بالا محاسبه شده است و در صورتی که سطح تماس بالاتر باشد یا سطح تماس خشک نباشد، امپدانس به‌شدت کاهش می‌یابد، به‌طوری که معمولاً امپدانس دست

نوع اول: نوع آنالوگ؛ خروجی این حسگر به صورت آنالوگ است و در حالتی که میدان حضور ندارد، خروجی در حالت بین ماکزیمم و مینیمم مقدار ممکن است. با حضور میدان در یک جهت، خروجی به سمت ماکزیمم مقدار ممکن و در جهتی دیگر از میدان، خروجی به سمت مینیمم مقدار ممکن می‌رود. حسگرهای UGN3503 و A1321 از این نوع هستند.

در مدلی دیگر از نوع آنالوگ این حسگر، خروجی در ابتدا صفر است و هرچه میدان قوی‌تر باشد، خروجی، ولتاژ بیشتری پیدا می‌کند و به مقدار نهایی خود نزدیک‌تر می‌شود. حسگر OH090U از این نوع است.

نوع دوم: نوع دیجیتال (نوع Latch)؛ با حضور میدان، خروجی حسگر فعال می‌شود و مانند یک Latch عمل می‌کند و با حذف میدان، خروجی فعال باقی می‌ماند. خروجی این حسگر به صورت دیجیتال است و با وجود میدان در حدی خاص، خروجی در ولتاژ ثابتی قرار می‌گیرد. حسگرهای SS460S و UGN3175 و نیز US1881 از این نوع هستند.

به طور کلی تمام حسگرهای اثر هال، دارای جهت قرارگیری هستند؛ بدین صورت که اگر در یک جهت قرار بگیرند، با نزدیک شدن قطب N به آن‌ها به عنوان مثال در جهت افزایش خروجی پیش می‌روند و اگر حسگر را برعکس کنیم با نزدیک شدن قطب N خروجی آن کاهش می‌یابد (جهت قرارگیری برای حسگرهای اثر هال مهم است).



شکل ۵: اثر هال

احتمال وقوع آثار
DC-4, AC-4

غیرقابل بازگشت

بالای ۵ درصد احتمال تارلرزه
DC-4.1, AC-4.1

۵ تا ۵۰ درصد احتمال تارلرزه
DC-4.2, AC-4.2

بالای ۵۰ درصد احتمال وقوع

تارلرزه تارلرزه به معنی

انقباض سریع ماهیچه‌ها است
DC-4.3, AC-4.3

که اگر در مورد قلب رخ دهد،

باعث ایست قلبی می‌شود

با توجه به نتایج فوق، قسمت‌های AC-4 و DC-4 می‌توانند خطر آفرین باشند. در بخش جریان مستقیم (DC) به ازای جریان ۵۰۰ میلی‌آمپر که بیش از ۵۰۰ میلی‌ثانیه دوام داشته باشد خطر برق‌گرفتگی جدی است و در جریان متناوب به ازای جریان ۵۰۰ میلی‌آمپر که بیش از ۲۰۰ میلی‌ثانیه دوام داشته باشد خطر جدی است. این موضوع نشان می‌دهد که جریان متناوب از نظر برق‌گرفتگی ذاتاً خطرناک‌تر از جریان مستقیم است.

۲-۲-۲- اثر هال و حسگر اثر هال

در بخش دوم این فصل به بررسی تئوری اثر هال و نیز حسگرهای شناسایی این اثر می‌پردازیم.

۲-۲-۲-۱- اثر هال^۲

اگر از یک هادی که در میدان مغناطیسی وجود دارد، جریان الکتریکی عبور دهیم، ولتاژی در هادی القا می‌شود که این ولتاژ در جهت عمود بر میدان مغناطیسی و جریان الکتریکی است. دلیل ایجاد این ولتاژ نیز نیروی لورنتز و در حقیقت ماهیت جریان الکتریکی است. الکترون‌ها که جریان الکتریکی را ایجاد می‌کنند در اثر حرکت در میدان مغناطیسی نیرویی به نام نیروی لورنتز را تجربه می‌کنند که در اثر جابه‌جاشدن الکترون‌ها و فقدان الکترون، ولتاژ ایجاد می‌شود [۶]. شکل (۵) اثر هال را نمایش می‌دهد.

۲-۲-۲-۲- حسگر اثر هال^۳

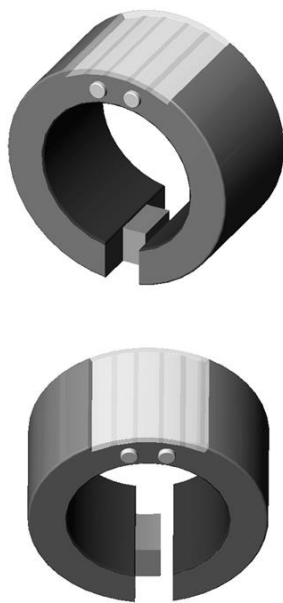
حسگر اثر هال، مبدلی است که متناسب با شار مغناطیسی عبوری از آن، در خروجی تولید ولتاژ می‌کند. به لحاظ کاربردی این حسگرها به دو دسته تقسیم می‌شوند:

³ Hall-Effect Sensor

¹ Fibrillation

² Hall-Effect

باشد میدان مغناطیسی‌ای ایجاد کند که باعث فعال شدن حسگر اثر هال نوع دیجیتال شود. حسگر SS460S ساخت شرکت Honeywell دارای حساسیت بالایی است و مناسب برای کاربرد مدنظر ماست. در بررسی دقیق‌تر حسگر اثر هال نوع دوم (نوع دیجیتال) باید متذکر شد که خروجی این نوع از حسگرهای اثر هال با میدان مغناطیسی مشخصی (که در برگه اطلاعات آن‌ها ذکر شده) فعال می‌شود و فعال باقی می‌ماند و زمانی که میدان مغناطیسی‌ای با همان مقدار در خلاف جهت به این حسگرها اعمال شود، خروجی حسگر به حالت صفر برمی‌گردد.



شکل ۶: دست‌بند ضد برق‌گرفتگی

شکل (۷) مشخصات میدانی را برای حسگر SS460S مطرح کرده که به‌طور معمول ۳۰ گاوس و در بدترین حالت ۵۵ گاوس برای عملکرد این حسگر لازم است؛ بدین معنی که با اعمال ۵۵ گاوس خروجی فعال می‌شود و با اعمال ۵۵ گاوس در جهت مخالف خروجی به حالت اولیه برمی‌گردد [۷].

حالا در صورتی که از حسگر اثر هال نوع اول (نوع آنالوگ) استفاده کنیم، با استفاده از یک مرحله یا چند مرحله تقویت به کمک تقویت‌کننده عملیاتی^۱ خروجی آنالوگ خطی داریم و حالا می‌توانیم با یک مبدل آنالوگ به دیجیتال، این خروجی را تحلیل و در جریان مدنظر خود فرمان دیجیتالی

۳- معرفی ساختار و نحوه طراحی دست‌بند ضد برق‌گرفتگی

این بخش مربوط به طراحی تجهیز است تا بتواند بدون وابستگی به مسیر برگشت جریان از طریق زمین، برق‌گرفتگی را به‌صورت مستقیم با تمرکز بر روی شخصی که دچار برق‌گرفتگی شده است، تشخیص دهد. در روند این طراحی از خاصیت ایجاد میدان مغناطیسی در اثر عبور جریان الکتریکی استفاده شده است. دست انسان به عنوان محتمل‌ترین عضو که عموماً در مسیر برق‌گرفتگی قرار دارد در نظر گرفته شده است. چه‌بسا بتوان گفت تقریباً بیشتر برق‌گرفتگی‌های فاز به فاز از طریق برق‌گرفتگی دست به دست یا دست به دست به یک قسمت دیگر از بدن رخ می‌دهد. در صورتی که در اثر برق‌گرفتگی جریانی از دست انسان عبور کند، در اثر ایجاد میدان مغناطیسی در اطراف آن، می‌توانیم به کمک حسگر اثر هال این میدان را شناسایی کرده، به‌سرعت اقدام به قطع تابلو کنیم.

دست‌بندی مشابه شکل (۶) را در نظر بگیرید. این شبیه‌سازی به کمک نرم‌افزار SolidWorks انجام شده است. جنس این دست‌بند از یک ماده فرومغناطیس است و شکافی برای ورود دست بر روی این دست‌بند وجود دارد. به کمک حسگر اثر هال میدان مغناطیسی ناشی از جریان عبوری از دست انسان شناسایی می‌شود، سپس به کمک فرستنده بی‌سیم نصب‌شده بر روی دست‌بند، سیگنالی به گیرنده نصب‌شده بر روی تابلو فرستاده می‌شود. این گیرنده به کلید اصلی تابلو متصل است و تابلوی اصلی برق را قطع می‌کند و فرد را از برق‌گرفتگی نجات می‌دهد.

در ادامه به بررسی جزئیات در انتخاب تمام بخش‌های استفاده‌شده در دست‌بند می‌پردازیم.

در انتخاب حسگر اثر هال، دو گزینه داریم. اول اینکه از حسگر اثر هال نوع دیجیتال یا Latch که پیش‌تر ذکر شد استفاده کنیم، بدین صورت که اگر میدان مغناطیسی از مقدار مشخصی بالاتر برود، خروجی این حسگر، سطح یک منطقی می‌شود. دوم اینکه از حسگر اثر هال نوع آنالوگ استفاده کنیم و با افزایش میدان مغناطیسی، خروجی حسگر به‌صورت خطی افزایش یابد.

در صورتی که از حسگر دیجیتال استفاده کنیم، تنها کافی است جریان الکتریکی که برای تشخیص مدنظر ماست قادر

^۱ Operational Amplifier (Op Amp)

به منظور جمع کردن خروجی حسگر و بخش تنظیم صفر در نظر گرفته شده است. در همین قسمت یک پتانسیومتر به منظور تنظیم ضریب تقویت‌کنندگی U1-C در نظر گرفته شده است. حال V_{out} باید به ورودی یک مبدل آنالوگ به دیجیتال وارد شود. در شکل (۹) یک میکروکنترلر برای تحلیل V_{out} پیشنهاد شده است؛ زیرا ابزاری است که دارای مبدل آنالوگ به دیجیتال است، قابلیت برنامه‌ریزی برای تحلیل مقدار آنالوگ را دارد و در نهایت دارای خروجی دیجیتال است.

همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد، جهت قرارگیری حسگر اثر هال مهم است. این نکته باعث می‌شود ورود یا خروج جریان از دست برای ما مهم شود. اگر جریان برق از دست انسان خارج شود شاری ساعت‌گرد در دست ایجاد می‌کند در صورتی که اگر این شار به دست انسان وارد شود شاری ساعت‌گرد ایجاد می‌کند. حال اگر یک حسگر در هر جهتی قرار دهیم، تنها یکی از دو حالت بالا را تشخیص می‌دهد و به همین دلیل مجبوریم از دو حسگر اثر هال استفاده کنیم. با توجه به وجود ماده فرومغناطیس، شار تمایل دارد از مسیر آهنی عبور کند و نباید مسیری آهنی موازی با حسگر اثر هال وجود داشته باشد تا شار از مسیری به‌جز حسگر اثر هال عبور کند و دستگاه دچار خطا شود. محل قرارگیری حسگرهای اثر هال در همان شکافی خواهد بود که دست از آن محل وارد می‌شود و در ضمن مسیرهای موازی شکاف را از جنسی به‌جز آهن قرار می‌دهیم تا شار حتماً از مسیر حسگر اثر هال عبور کند. موارد ذکرشده در شکل (۱۰) نمایش داده شده است.

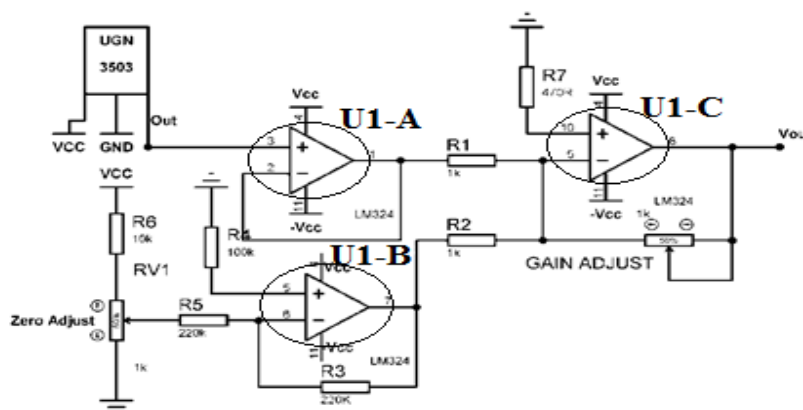
را به یک سویچ اعمال کنیم. حسگر UGN3503 یکی از انواع رایج و پرکاربرد این نوع حسگرهای اثر هال است. با توجه به برگه اطلاعات این حسگر [۸] به‌ازای هر گوس، خروجی حسگر $1/3$ میلی‌ولت تغییر می‌کند و این نشان‌دهنده حساسیت بسیار بالای این حسگر است. مدار پیشنهادی به‌منظور تشخیص به‌کمک حسگر اثر هال از نوع خطی به‌صورت شکل (۸) ارائه شده است. نوع آنالوگ حسگر اثر هال در پیاده‌سازی مدل آزمایشگاهی این کار تحقیقاتی استفاده شده است، به این دلیل که نوع مناسبی (با حساسیت مناسب) از حسگر اثر هال دیجیتال در بازار قطعات الکترونیک ایران موجود نیست.

Characteristic	Min.	Typ.	Max.	Unit
Operate	5	30	55	Gauss
Release	-55	-30	-5	Gauss

شکل ۷: مشخصات میدانی حسگر SS460S [۷]

در مدار پیشنهادی شکل (۸) تقویت‌کننده عملیاتی U1-A به منظور حذف جریان‌کشی حسگر اثر هال در نظر گرفته شده است. بدین صورت که با قراردادن تقویت‌کننده عملیاتی U1-A و اتصال خروجی به پایه منفی آن جریانی از حسگر اثر هال کشیده نمی‌شود و جریان لازم در طبقه بعد از خروجی U1-A تأمین می‌شود.

تقویت‌کننده عملیاتی U1-B برای تنظیم صفر به‌همراه مقاومت‌های قرارگرفته در پایه‌ها و نیز یک پتانسیومتر که می‌تواند یک سطح DC به خروجی اضافه کند، در نظر گرفته شده است. در نهایت تقویت‌کننده عملیاتی U1-C



شکل ۸: مدار پیشنهادی برای استفاده از حسگر UGN3503 (حسگر اثر هال نوع آنالوگ)

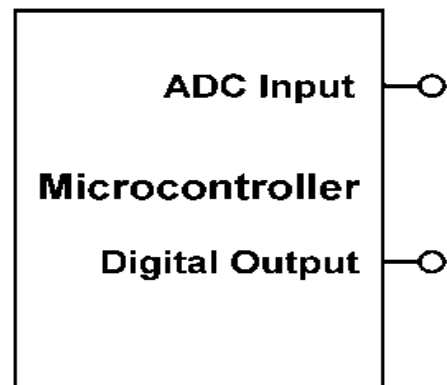
می‌توان از آن‌ها استفاده کرد. در دست‌بند ضدّ برق‌گرفتگی طراحی‌شده از فرکانس ۳۱۵ MHz برای فرستنده و گیرنده استفاده شده است. در شکل (۱۱) مدار پیشنهادی برای نحوه قرارگیری ماژول فرستنده و گیرنده به‌همراه حسگر اثر هال ارائه شده است. همان‌طور که گفته شد، در مدار شکل (۱۱) از دو حسگر اثر هال به‌دلیل اهمیت جهت میدان مغناطیسی در حسگرهای اثر هال استفاده شده است. خروجی دیجیتال دو حسگر اثر هال به گیت منطقی OR متصل شده‌اند تا در صورتی که خروجی هر کدام از دو حسگر فعال شود، خروجی گیت منطقی OR نیز فعال شود. حالا خروجی گیت OR به ورودی دیجیتال یک پردازنده می‌رود. پردازنده طوری برنامه‌ریزی شده که به‌محض فعال شدن ورودی‌اش، با ارسال ۸ بیت مشخص (که می‌تواند ۸ بیت از یک‌های منطقی باشد) به گیرنده می‌فهماند که حداقل خروجی یکی از حسگرهای اثر هال فعال شده است. این مدار توانایی تشخیص هر دو نوع برق‌گرفتگی جریان مستقیم و متناوب را دارد به این دلیل که پردازنده طوری برنامه‌ریزی شده که اگر لحظه‌ای خروجی حسگر اثر هال فعال شود، خروجی دیجیتال خود را فعال کند و فعال نگه دارد.

مطلب دیگری که قابل‌توجه است، تفاوت تشخیص برق‌گرفتگی در حالت جریان متناوب در مقایسه با جریان مستقیم است. حسگرهای اثر هال در حالت عبور جریان مستقیم خروجی خود را فعال می‌کنند و فعال نگه می‌دارند اما در حالت جریان متناوب خروجی در پیک مثبت وصل و سپس در پیک منفی قطع می‌شود. با توجه به قراردادن یک پردازنده، می‌توانیم این پردازنده را طوری برنامه‌ریزی کنیم که اگر یک لحظه خروجی حسگرهای اثر هال فعال شدند پردازنده دیگر به خروجی حسگرهای اثر هال کاری نداشته باشد و شروع به ارسال بیت‌های موردنظر از طریق فرستنده برای گیرنده کند تا گیرنده مدار را قطع کند.

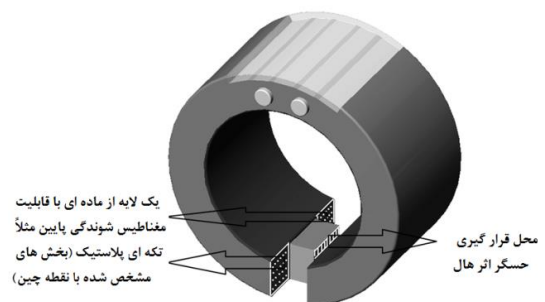
مدار شکل (۱۲) برای زمانی پیشنهاد شده است که بخواهیم از حسگرهای اثر هال از نوع آنالوگ استفاده کنیم.

در مدار فوق خروجی‌های دو حسگر اثر هال به ورودی آنالوگ به دیجیتال (ADC) متصل هستند. پردازنده طوری برنامه‌ریزی شده است تا در صورتی که عدد خروجی مبدل آنالوگ به دیجیتال به مقداری مشخص رسید (این مقدار مشخص بستگی دارد به هسته مغناطیسی و جریانی که قصد قطع آن را داریم) با ارسال ۸ بیت مشخص به‌کمک

حال که به‌کمک حسگر اثر هال میدان مغناطیسی ناشی از جریان عبوری از دست انسان تشخیص داده شد، با یک فرستنده، دستوری به گیرنده نصب‌شده بر روی تابلوی اصلی ارسال می‌شود. فرستنده و گیرنده‌های بی‌سیم در فرکانس‌های مختلفی موجودند. قوانینی در سراسر جهان فرکانس‌های مختلف را به گروه‌ها و دستگاه‌های مختلف اختصاص می‌دهد تا از تداخل‌های احتمالی جلوگیری کند. کامل‌ترین قوانینی که در یک جا گردآوری شده، مربوط به اتحادیه بین‌المللی مخابرات است که فرکانس‌های مختلف را برای سه ناحیه در سراسر جهان به‌طور جداگانه مشخص کرده است [۹]. کشور ایران نیز از این قوانین پیروی می‌کند و البته این قوانین در سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی نیز ارائه شده است [۱۰].



شکل ۹: استفاده از میکروکنترلر به‌منظور تحلیل ولتاژ خروجی (Vout)



شکل ۱۰: محل قرارگیری حسگر اثر هال و جنس لایه‌ها

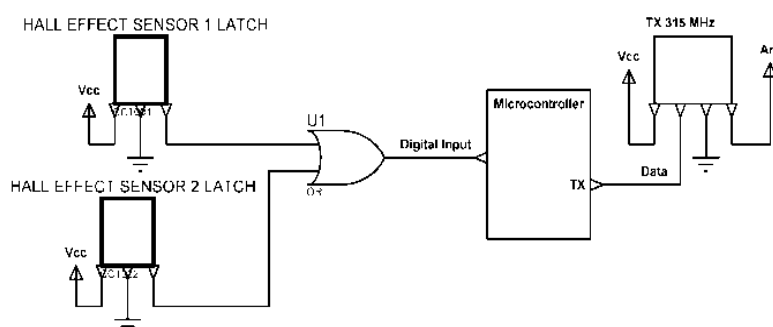
تعدادی از فرستنده‌ها و گیرنده‌ها برای استفاده همگانی با فرکانس‌های مختلف در نظر گرفته شده‌اند. از معروف‌ترین فرکانس‌هایی که این فرستنده‌ها و گیرنده‌ها با آن فرکانس‌ها کار می‌کنند فرکانس‌های ۳۱۵ و ۴۳۳ مگاهرتز است که تحت تبصره‌ای در بیشتر کشورها در برد کوتاه

داده‌اند. در این صورت بلافاصله خروجی دیجیتال پردازنده فعال می‌شود و یک ترانزیستور را فعال می‌کند. این ترانزیستور یک رله الکترومغناطیسی را فعال می‌کند که به تغذیه اصلی تابلوی برق متصل است و برق تابلو را قطع می‌کند. با این کار فرد از برق‌گرفتگی نجات پیدا می‌کند. درباره انتخاب هسته مغناطیسی دست‌بند باید گفت به‌طور کلی هر قدر ماده فرومغناطیس استفاده شده به عنوان جنس دست‌بند، ضریب نفوذپذیری مغناطیسی^۱ بالاتری داشته باشد، برای کاربرد ما بهتر خواهد بود.

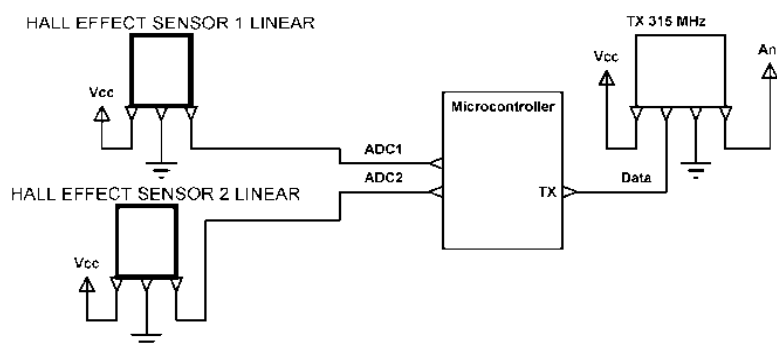
فرستنده، گیرنده را از شناسایی جریان توسط حسگرهای اثر هال با خبر سازد.

مدار شکل (۱۳) مدار پیشنهادی برای ماژول گیرنده‌ای است که بر روی تابلوی اصلی برق نصب شده است.

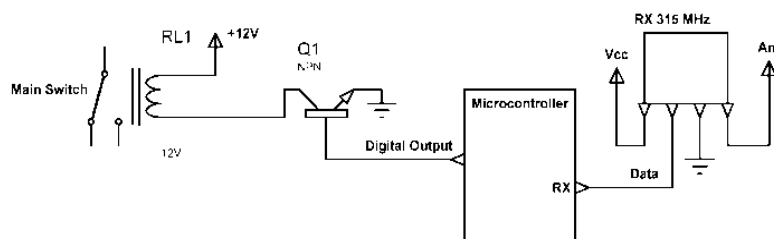
در مدار فوق، اطلاعات دریافتی به کمک گیرنده به ورودی یک پردازنده وارد می‌شود. پردازنده بیت‌های دریافتی را پردازش می‌کند و در صورتی که به عنوان مثال ۸ بیت یک منطقی ارسال شود، مشخص می‌شود که حسگرهای اثر هال در مدار فرستنده جریانی را بر روی دست فرد تشخیص



شکل ۱۱: مدار پیشنهادی برای نحوه قرارگیری ماژول فرستنده و دو حسگر اثر هال از نوع دیجیتال (Latch)



شکل ۱۲: مدار پیشنهادی برای نحوه قرارگیری ماژول فرستنده و دو حسگر اثر هال از نوع آنالوگ



شکل ۱۳: مدار گیرنده و قطع تابلوی اصلی به کمک خروجی دیجیتال پردازنده

^۱ Magnetic Permeability

در بررسی نوع اول (نوع آنالوگ) حسگر اثر هال نیز باید سعی شود تا حد امکان جنس هسته مغناطیسی مرغوب انتخاب شود؛ به این دلیل که تقویت خروجی حسگر اثر هال به کمک تقویت‌کننده عملیاتی در بیش از یک طبقه می‌تواند تأثیرات نویز را زیاد کند. به هر صورت در حسگر اثر هال نوع آنالوگ گستره مانور بیشتر است و در صورتی که نویز مشکلی ایجاد نکند می‌توان تغییرات اندک در خروجی حسگر اثر هال را به کمک یک مبدل آنالوگ به دیجیتال تشخیص داد. حساسیت جریانی که می‌توان در این حالت به دست آورد کاملاً وابسته به جنس هسته مغناطیسی و تأثیر نویز است. در حقیقت اگر نویز نبود حتی می‌توانستیم تا ۱ میلی‌آمپر را تشخیص دهیم اما با توجه به وجود نویز، خروجی حسگر اثر هال را تا جایی می‌توان تقویت کرد که نویز محیط تأثیرات کمتری نسبت به جریانی که می‌خواهیم آن را تشخیص دهیم در خروجی حسگر داشته باشد. پس بهتر است خروجی حسگر به کمک هسته مرغوب از طریق غیرمستقیم تقویت شود و مجبور نشویم به صورت مستقیم و به کمک تقویت‌کننده عملیاتی آن را تقویت کنیم. در جدول ۱ لیست لوازم موردنیاز، برآورد قیمت همه اجزا و قیمت تمام‌شده‌ی محصول بیان شده است.

جدول شماره ۱: لیست قیمت اجزای دست‌بند ضد برق‌گرفتگی

نام جزء و خدمات	قیمت (ریال)
حسگر اثر هال	۵۰,۰۰۰
تقویت‌کننده عملیاتی	۲۰,۰۰۰
میکروکنترلر	۵۰,۰۰۰
هسته مغناطیسی (ورقه آهن)	۳۰۰,۰۰۰ الی ۷۰۰,۰۰۰
هزینه برش (ایجاد فاصله هوایی)	۵۰۰,۰۰۰

قیمت بیان‌شده برای هسته‌های ورق آهن با توجه به شرکت‌های مختلف و مرغوبیت، دارای تنوع است. با توجه به قیمت‌های ذکرشده، قیمت نهایی دستگاه در حدود ۱,۱۰۰,۰۰۰ ریال است.

۴- نتایج مربوط به یک نمونه آزمایشگاهی

در این بخش به ارائه یک نمونه آزمایشگاهی ساخته‌شده و نتایج به‌دست‌آمده‌ی این نمونه می‌پردازیم. در این نمونه آزمایشگاهی از هسته مغناطیسی از جنس مواد فریتی استفاده شده است. مواد با جنس مرغوب‌تر از جمله نانوکریستال فلز نیز در بازار ایران موجود است اما

دو راه‌حل کلی به‌منظور تهیه هسته مغناطیسی این دست‌بند وجود دارد. اول اینکه تحلیل ماده (درصد تمام ترکیب‌های موجود) را به‌طور کامل مشخص کنیم و از طریق ریخته‌گری یک حلقه گرد ساخته شود. سپس به کمک ماشین‌کاری یک فاصله هوایی برای این حلقه مغناطیسی ایجاد شود. دوم اینکه، از حلقه‌های مغناطیسی آماده‌ای که در بازار با جنس‌های مختلف وجود دارد استفاده کنیم. از نظر اقتصادی و فنی روش دوم به‌صرفه‌تر است؛ چون اولاً قیمت جنس آماده بسیار پایین‌تر است و دیگر اینکه این هسته‌ها دقیقاً به‌منظور هدایت شار مغناطیسی طراحی شده‌اند و مشخصات فنی مناسبی دارند.

به‌طور کلی سه نوع ماده اصلی در ساخت حلقه‌های مغناطیسی به کار گرفته می‌شود.

نوع اول: پودرهای فریتی که ضریب نفوذپذیری مغناطیسی کم و البته قیمت پایینی دارند.

نوع دوم: هسته‌های فریتی که ضریب نفوذپذیری مغناطیسی متوسط و قیمت متعادلی دارند.

نوع سوم: مواد نانوکریستال فلز که از جنس‌های متفاوتی از جمله آلیاژ آهن و نیکل ساخته می‌شوند و ضریب نفوذپذیری مغناطیسی زیاد و قیمت بالایی دارند.

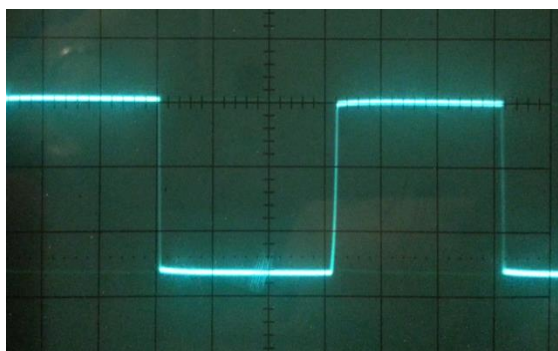
ضریب نفوذپذیری مغناطیسی در مواد نوع سوم بالاترین مقدار را دارد و با توجه به جنس این مواد، ماشین‌کاری بر روی آن‌ها ممکن است.

بنا بر اطلاعات سایت معتبر Magnetics هسته‌های مغناطیسی حلقوی^۱ از نوع مواد W (که از مواد نوع دوم هستند) با ضریب نفوذپذیری مغناطیسی نسبی ۱۰,۰۰۰ تولید شده است [۱۱]. نوع پیشرفته‌تری از این هسته‌ها از جنس آلیاژ آهن و نیکل نیز تولید شده که با توجه به اطلاعات موجود می‌توانند ضریب نفوذپذیری مغناطیسی نسبی تا ماکزیمم ۱,۰۰۰,۰۰۰ داشته باشد [۱۲].

در حالت کلی اگر بتوانیم ثابت کنیم حسگرهای اثر هال حساسیت مناسبی به‌منظور تشخیص جریان‌های کمتر از جریان‌هایی که به‌دلیل برق‌گرفتگی فاز به فاز و فاز به زمین از بدن انسان عبور می‌کند دارند، قطعاً با توجه به اینکه حساسیت تشخیص خطا در طرح پیشنهادی بر عهده حسگر اثر هال است، این دستگاه نیز قدرت تشخیص برق‌گرفتگی را خواهد داشت.

^۱ Toroid

دارد.



شکل ۱۴: خروجی دیجیتال پردازنده نصب‌شده بر روی مدار گیرنده

در شکل (۱۵) نمونه آزمایشگاهی ساخته شده دست‌بند ضد برق‌گرفتگی نمایش داده شده است.

همان‌طور که مشخص است در این نمونه از چنگک مربوط به آمپر متر چنگکی (که یک هسته مغناطیسی دو تکه است) استفاده شده و حسگر اثر هال میان این دو قسمت قرار گرفته است.



شکل ۱۵: نمونه آزمایشگاهی دست‌بند ضد برق‌گرفتگی

۵- نتیجه‌گیری

دست‌بند ضد برق‌گرفتگی طراحی شده با مشخصات ذکر شده، تنها تجهیزاتی است که تاکنون به منظور جلوگیری از برق‌گرفتگی فاز به فاز طراحی شده است. این دست‌بند به کمک یک مجموعه فرستنده و گیرنده رادیویی می‌تواند

به منظور کاهش هزینه از این ماده استفاده کردیم و البته این ماده نیز می‌تواند خواسته ما را برآورده سازد.

در این نمونه ساخته شده از حسگر اثر هال نوع اول (نوع آنالوگ) استفاده شده است.

همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد حساسیت جریانی در دست‌بندی که از حسگر اثر هال نوع اول (نوع آنالوگ) بهره می‌برد، ارتباط مستقیمی با مرغوبیت هسته مغناطیسی دارد.

مدار پیاده‌سازی شده بر روی نمونه آزمایشگاهی دست‌بند ضد برق‌گرفتگی کاملاً مشابه با مدار شکل (۱۲) است و مدار نصب‌شده بر روی تابلو به‌عنوان گیرنده، مدار شکل (۱۳) است. در نمونه آزمایشگاهی، پردازنده را طوری برنامه‌ریزی کردیم که هر وقت عدد خروجی مبدل آنالوگ به دیجیتال از عدد ۲۵۰ بالاتر رفت، پردازنده ۸ بیت را به کمک فرستنده بی‌سیم ارسال کند. پردازنده نصب‌شده بر روی گیرنده نیز طوری برنامه‌ریزی شده است که هر زمان گیرنده، اطلاعات فرستنده را دریافت کرد خروجی دیجیتال خود را فعال کند، در غیر این صورت خروجی دیجیتال پردازنده غیرفعال باشد.

این نوع برنامه‌ریزی تنها به این منظور است که بتوان نتایج را بر روی اسیلوسکوپ مشاهده کرد و در دست‌بند نهایی پردازنده نصب‌شده در مدار فرستنده با یک مرتبه فعال شدن خروجی حسگر اثر هال، دیگر به خروجی حسگر اثر هال کاری ندارد و دستور قطع را به کمک فرستنده به گیرنده ارسال می‌کند. در حقیقت اینجا قطع و وصل خروجی حسگر اثر هال را در نظر گرفتیم و در مدل آزمایشگاهی تابلوی اصلی مدام قطع و وصل می‌شود تا بتوان خروجی را بر روی اسیلوسکوپ دید اما در دست‌بند نهایی تنها یک بار وصل شدن خروجی حسگر اثر هال کافی است تا مدار قطع شود و دیگر وصل نشود.

در نمونه فوق با عبور جریان AC با فرکانس ۵۰ هرتز و دامنه ۲۵۰ میلی‌آمپر خروجی پردازنده در مدار گیرنده به صورت شکل (۱۴) به دست آمده است.

زمان عملکرد دستگاه بسیار سریع و تقریباً برابر با زمان عملکرد رله الکترومغناطیسی است؛ زیرا زمان عملکرد المان‌های الکترونیکی و مازول فرستنده و گیرنده مجموعاً به‌سختی به ۱ میلی‌ثانیه می‌رسد. بنابراین زمان عملکرد این دست‌بند کاملاً مشابه با عملکرد کلید محافظ جان است که در این تجهیز نیز یک رله، مسئولیت قطع تابلو را بر عهده

به فاز برای تجهیز تفاوتی ندارد و این دستگاه تنها شار مغناطیسی ناشی از جریان عبوری از دست انسان را محاسبه می‌کند و با توجه به این شار عمل می‌کند. با توجه به شیوه عملکرد این دست‌بند، لازمه تشخیص برق گرفتگی فاز به فاز و یا فاز به زمین این است که محل تماس سیم فاز پایین‌تر از مچ دست انسان باشد. بدین منظور برای افزایش قابلیت اطمینان لازم است که از دو دست‌بند ضد برق گرفتگی به طور همزمان بر روی دو دست استفاده شود که البته با این افزایش قابلیت اطمینان، هزینه نیز دو برابر می‌شود. دست‌بند ضد برق گرفتگی طراحی شده، به‌عنوان اختراع با شماره ۸۵۰۲۳ در تاریخ ۱۳۹۳/۱۱/۲۱ در اداره ثبت اختراعات ایران به ثبت رسیده است.

تارنج ۵۰ متر فاصله از تابلوی برق، در صورتی که فرد دچار برق گرفتگی شود، با ارسال ۸ بیت (۱ بایت) مشخص، گیرنده را از برق گرفتگی باخبر سازد و پردازنده نصب‌شده بر روی تابلوی اصلی در زمانی بسیار کوتاه اقدام به قطع تابلوی اصلی می‌کند و فرد را از برق گرفتگی نجات می‌دهد. دست‌بند ضد برق گرفتگی طراحی شده، تجهیزاتی است که باید به‌صورت هم‌زمان در کنار کلید محافظ جان و ترانسفورماتور ایزولاسیون به کار گرفته شود و علاوه بر وظیفه اصلی خود که جلوگیری از برق گرفتگی فاز به فاز است، می‌تواند به‌عنوان پشتیبان برای دستگاه‌هایی نظیر کلید محافظ جان و ترانسفورماتور ایزولاسیون به کار گرفته شود. با توجه به شیوه عملکرد دست‌بند ضد برق گرفتگی که کاملاً متمرکز بر شخص در معرض برق گرفتگی است، قطعاً هر نوع برق گرفتگی از جمله برق گرفتگی فاز به زمین یا فاز

۶- مراجع

- [۱] سازمان پزشکی قانونی ایران، آمار مرگ‌های ناشی از برق گرفتگی در چهار ماهه اول سال ۱۳۹۴.
- [۲] سازمان پزشکی قانونی ایران، آمار مرگ‌های ناشی از برق گرفتگی در سال‌های ۱۳۹۰، ۱۳۹۱، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳.
- [3] Donahue, Simon, "The Study Of The Effect Of Smart Meter Rf Transmissions On Ground Fault Circuit Interrupters", 2015.
- [4] E. W. Roberts, Overcurrents and Undercurrents – All about GFCIs: Electrical Safety Advances through Electronics, Mystic Publications, Mystic CT, 1996.
- [5] IEC, IECTS, "60479-1, 2005, Effects of current on human beings and livestock–Part 1: General aspects", Geneva: IEC, 2005.
- [6] D. G. B. Armen, "Hall Effect Experiment P.2", The University of Tennessee, Department of Physics and Astronomy, 2007.
- [7] Honeywell, "Hall-Effect Sensors - SS460S," Datasheet <http://sensing.honeywell.com/honeywell-sensing-ss360nt-ss360st-ss460-hall-effect-sensors-productsheet-005947-3-en.pdf>.
- [8] Allegro, "3503 ratiometric, linear hall-effect sensors", Datasheet http://www.bristolwatch.com/hall_effect/ugn3503.pdf.
- [9] ITU, "Radio Regulations", 2012, www.itu.int
- [10] سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی، جدول تخصیص فرکانس: www.cra.ir
- [11] mag-inc, "Ferrite Toroids" www.mag-inc.com.
- [12] mag-inc, "Tape Wound Cores" www.mag-inc.com.