

حسگرهای مبتنی بر اثر هال

امیرمهدی نامجو

دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی کامپیوتر

شماره دانشجویی: ۹۷۱۰۷۲۱۲

درس اندازه‌گیری و کنترل کامپیوتری

استاد گرامی: جناب آقای دکتر همتیار

- (۲) نرخ پاسخگویی بالاتر
- (۳) قابلیت اطمینان^۱ بالاتر
- (۴) قابلیت اتکا بالاتر
- (۵) کارایی پیوسته و بیش‌تر (بدون استهلاک)
- (۶) مقاومت بیش‌تر نسبت به گرد و خاک

۱.۳. نمونه‌هایی از حسگرهای غیرتماسی

حسگرهای غیرتماسی، به شکل‌های مختلف و برای امورمختلفی ساخته شده‌اند. بعضی از انواع این حسگرها به شرح زیر است:

(۱) LVDT: مبدل تفاضلی متغیر خطی یا LVDT، گونه‌ای از حسگرهای غیرتماسی است که کارکرد آن – همان‌طور که در درس اندازه‌گیری و کنترل کامپیوتری دیدیم – مبتنی بر جریان القایی، سیم‌پیچ‌های فلزی و هسته فلزی است. در LVDT ها از حداقل دو سیم‌پیچ فلزی استفاده می‌شود [۱].

(۲) RVDT: مبدل تفاضلی متغیر زاویه‌ای یا RVDT گونه‌ای دیگر از حسگرهای تماسی است که کارکردی شبیه LVDT دارد ولی مبنای حرکتی آن به صورت حرکت‌های چرخشی است [۱].

(۳) PIPS: این حسگرها که تکنولوژی انحصاری شرکت Positek هستند، کارکردی شبیه LVDT ها دارند ولی برخلاف LVDT ها، در این نوع حسگرها از یک سیم پیچ استفاده می‌شود [۱].

(۴) حسگرهای فراصوتی: حسگرهای فراصوتی^۲ از امواج صوتی با فرکانس بالا برای کار استفاده می‌کنند. مثلاً برای تشخیص فاصله، موجی به

چکیده – در این گزارش، به حسگرهای مبتنی بر اثر هال می‌پردازیم. این حسگرها، جزو حسگرهای غیرتماسی هستند. در ابتدا به طول خلاصه به حسگرهای غیرتماسی پرداخته و پس از تبیین کلی موضوع، به بررسی حسگرهای مبتنی بر اثر هال می‌پردازیم. در ابتدا به تشریح اثر هال و سپس نحوه استفاده از آن به عنوان حسگر و کاربردهای آن در قسمت‌های مختلف و همچنین مزایا و معایب استفاده از این حسگرها می‌پردازیم. کلمات کلیدی – حسگرهای غیرتماسی – اثر هال – حسگرهای مبتنی بر اثر هال

۱. حسگرهای غیرتماسی

۱.۱. تعریف

حسگرهای غیرتماسی، گونه‌ای از حسگرها هستند که با فناوری‌های گوناگون، بدون نیاز به تماس مستقیم، مقدار مد نظر را اندازه‌گیری می‌کنند. در این نوع حسگرها اصطکاک و اجزای متحرک نقش اساسی ایفا نکرده و در نتیجه فرسودگی کاهش می‌یابد.

حسگرهای تماسی، در نقطه مقابل حسگرهای تماسی هستند. در حسگرهای تماسی نیاز به تماس مستقیم فیزیکی برای اندازه‌گیری متغیر مدنظر وجود دارد. این تماس می‌تواند از طریق جا به جایی یک پیستون، جابه‌جایی یک رسانا روی رسانای دیگر (نظیر پتانسیومتر) و موارد دیگر باشد؛ اما به هر حال اصل نیاز به جابه‌جایی و تماس مستقیم در ساختار خود حسگر نقش اساسی دارد [۱].

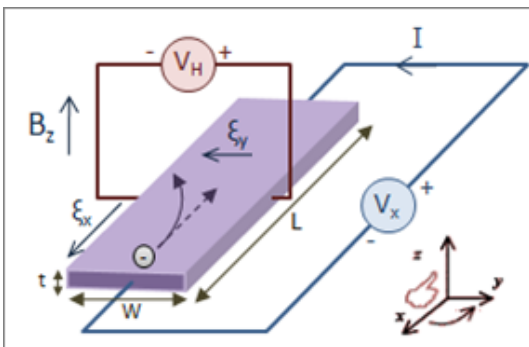
۱.۲. دلایل عمومی استفاده از حسگرهای غیرتماسی

حسگرهای غیرتماسی، مزایای بالایی دارند که باعث شده امروزه با گسترش تکنولوژی و کاهش هزینه ساخت آن‌ها، شاهد افزایش اقبال عمومی نسبت به آنان هستیم. از جمله این دلایل، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [۱].

(۱) طول عمر بیش‌تر

¹Reliability

²Ultrasonic



شکل ۱: نمودار کلی اثر هال [۴]

مفصل‌تری در این گزارش بررسی می‌کنیم.

۲. اثر هال

اثر هال، پدیده‌ای الکترومغناطیسی است که اولین بار در سال ۱۸۷۹ میلادی توسط ادوین هال^۴، کشف و گزارش شد و از این رو به افتخار نام این دانشمند، این نام بر روی آن قرار گرفته‌است [۴].

اثر هال مبتنی بر ذات جریان الکتریکی است. جریان الکتریکی از جا به جایی حاملان بار در یک رسانا اتفاق می‌افتد. این ذرات حامل بار، الکترون‌ها و یون‌ها هستند و البته در عمل، گاهی اوقات به جای الکترون، مفهوم جا به جایی حفره‌هایی با بار مثبت هم مطرح می‌شود. این ذرات بردار در صورتی که در حضور یک میدان مغناطیسی قرار بگیرند، تحت تأثیر نیروی لورنتز خواهند بود. در صورت نبود میدان مغناطیسی، این ذرات بردار در مسیری تقریباً مستقیم در رسانا که اندکی به دلیل ناخالصی‌ها ممکن است جا به جا شود، حرکت می‌کنند.

برای یک قطعه فلزی ساده که تنها الکترون‌ها در آن حرکت می‌کنند، می‌توان به راحتی از روی رابطه نیروی لورنتز، این پدیده را توجیه کرد. برای این منظور باید به شکل ۱ توجه کرد.

فرمول نیروی لورنتز به صورت

$$\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad (1)$$

است. [۵]

با فرض سرعت در راستای x و میدان مغناطیسی در راستای z می‌دانیم که عبارت $v_x B_z$ به صورت منفی ظاهر

سمت هدف فرستاده شده و از مدت زمانی که طول می‌کشد تا انعکاس این موج دوباره به حسگر برسد، برای بدست آوردن فاصله استفاده می‌شود. از این حسگرها عموماً برای اندازه‌گیری‌های فواصل طولانی استفاده می‌شود ولی امکان اندازه‌گیری فواصل کوتاه‌تر نظیر عمق یک مایع در مخزن هم به کمک آنان وجود دارد [۲].

(۵) دماسنج‌های تابشی: هر جسمی با دمای بالاتر

از صفر کلوین، تابش‌های گرمای دارد که به کمک حسگرهای خاص، قابل اندازه‌گیری هستند. این حسگرها عموماً نقشه‌ای یک یا دوبعدی از توزیع دما در نقاط مختلف یک محیط را براساس تابش‌های دریافتی در اختیار کاربر قرار می‌دهند. یکی از رایج‌ترین کاربردهای آنان، در اندازه‌گیری دمای بدن انسان به شکل سریع است [۲].

(۶) حسگرهای مبتنی بر جریان گردابی^۳: این

حسگرها که از به نوعی مبتنی بر القای الکتریکی هستند، از طریق میدان‌های مغناطیسی ایجاد شده در اثر جریان متناوب و تغییر جهت این میدان‌های مغناطیسی و جریان القایی در اثر این تغییر جهت، موقعیت اجسام را تشخیص می‌دهند. این حسگرها معمولاً در ابعاد کوچک ساخته شده و برای کاربردهای مکانی ریزمقیاس‌تر نظیر تنظیم کردن ماشین‌ابزار، اندازه‌گیری لرزش اجسام و... استفاده می‌شود [۳].

(۷) حسگرهای نوری فاصله‌ای: از تعدادی از

حسگرهای نوری هم مشابه حسگرهای فراصوتی برای تشخیص فاصله یا جابه‌جایی از طریق اندازه‌گیری شدت و زمان نور بازتابی از سطوح مختلف استفاده می‌شود. البته گاهی اوقات نوع جنس سطوح و یکسری ویژگی‌های آن می‌تواند بر کارکرد این سنسورها اثرگذار باشد و در نتیجه باید در زمینه استفاده از آنان مطالعه کافی داشت [۲].

(۸) حسگرهای مبتنی بر اثر هال: این حسگرها با تکیه

بر اثر هال که یک پدیده الکترومغناطیسی است و بر مبنای اختلاف ولتاژ ایجاد شده در اثر قرار گرفتن یک صفحه فلزی حامل جریان در میدان مغناطیسی، کار می‌کنند. این حسگرها را به طور

^۴Edwin Hall

^۳Eddy Current

خواهد شد. در حالتی که نیروی وارده صفر باشد، رابطه

$$\bullet = E_y - v_x B_z \quad (2)$$

را خواهیم داشت. البته باید توجه داشت که عملاً به ازای الکترون‌ها، $v_x \rightarrow -v_x$ و $q \rightarrow -q$ است. E_y همان میدان الکتریکی القایی است که منجر به ایجاد ولتاژ القایی اثر هال می‌شود. در نتیجه از آن جایی که $E_y = \frac{-V_H}{w}$ به رابطه نتیجه با جایگزینی در عبارت (۲) به رابطه

$$V_H = v_x B_z w \quad (3)$$

می‌رسیم.

با این وجود جریان قراردادی که عملاً جریان حفره‌های حامل بار مثبت است، در خلاف جهت جریان الکترون‌ها و با بار منفی است، در نتیجه می‌توانیم برای جریان به رابطه

$$I_x = ntw(-v_x)(-e) \quad (4)$$

برسیم که در آن n چگالی تعداد حاملین بار با واحد m^{-3} است و tw هم سطح مقطع عبوری را مشخص می‌کند. با حل معادله برحسب w و جایگذاری آن در (۳) داریم [۴]:

$$V_H = \frac{I_x B_z}{nte} \quad (5)$$

البته رایج است که در این رابطه ضریبی تحت نام ضریب هال به صورت

$$R_H = \frac{1}{ne} \quad (6)$$

با واحد m^3/C یا $\Omega cm/G$ تعریف کنند و رابطه نهایی به صورت

$$V_H = R_H \left(\frac{IB}{t} \right) \quad (7)$$

نمایش داده می‌شود. در نتیجه عوامل اصلی در تعیین ولتاژ، شدت جریان، ضخامت ورقه و میدان مغناطیسی است [۶].

نکته مهمی که در این روابط وجود دارد، این است که عملاً جنس ذره حامل بار در آن اثر دارد. یعنی این که حامل جریان را الکترون فرض کردیم، در روابط بدست آمده اثرگذار بود. در نتیجه اگر فرض کنیم جهت میدان مغناطیسی برعکس شود، اثر برعکس بر الکترون‌ها گذاشته و منجر به تغییر علامت ولتاژ القایی می‌شود و از این طریق، می‌توانیم در جهت میدان مغناطیسی نیز تمایز قائل شویم [۴].

نکته حائز اهمیت دیگر این است که در عمل، بیش‌تر

اوقات برای ورقه، از یک نیم‌رسانا استفاده می‌شود. دلیل این موضوع هم تاثیر گذاری همزمان الکترون‌ها و حفره‌ها در نیم‌رسانا است که باعث می‌شود ضرایب R_H بزرگ‌تری بدست آمده و آشکارسازی ولتاژ به شکل راحت‌تری صورت بگیرد. برای نیم‌رساناها می‌توان در یک تقریب نسبتاً خوب، R_H را به صورت

$$R_H = \frac{p\mu_h^2 - n\mu_e^2}{e(p\mu_h + n\mu_e)^2} \quad (8)$$

بدست آورد که در آن، n ضریب تجمع الکترون‌ها، p ضریب تجمع حفره‌ها، μ_e تحرک‌پذیری الکتریکی الکترون‌ها و μ_h تحرک‌پذیری الکتریکی حفره‌ها و e بار الکترون است. البته در چنین مواردی، تحلیل نهایی تمامی روابط موجود به سادگی رابطه (۷) نیست اما آن رابطه می‌تواند دیدی سطح بالا و کلی از نحوه اثرگذاری پدیده هال به ما بدهد [۴].

اگر بخواهیم به شکل شهودی و مستقل از روابط ریاضیاتی به اثر هال نگاه کنیم، می‌توانیم آن را این‌طور توجیه کنیم که در اثر قرار گرفتن در میدان مغناطیسی، الکترون‌ها به جای عبور یک نواخت از نوار رسانا (نیم‌رسانا)، در یک سمت آن تجمع بیش‌تری پیدا کرده و در نتیجه آن حفره‌های مثبت در سمت دیگر تجمع خواهند کرد و به همین دلیل، اختلاف ولتاژ بین دو قسمت رسانا (نیم‌رسانا) ایجاد خواهد شد.

۳. حسگرهای مبتنی بر اثر هال

۳.۱. نحوه ساخت و طراحی مدار

نحوه کار کلی حسگرهای مبتنی بر اثر هال، اساساً براساس تئوری توضیح داده شده در قسمت قبل است. عموماً حسگرهای مبتنی بر اثر هال، از ورقه نازک مستطیلی شکلی از جنس نیم‌رسانای نوع P نظیر گالیم آرسنید (GaAs)، ایندیم آنتیموان (InSb)، ایندیم آرسنید (InAs) و یا ایندیم فسفید (InP) و البته در مواردی از گرافن که یکی از آلوتروپ‌های کربن و رسانا است، ساخته می‌شود که یک جریان به طور پیوسته در حال عبور از آن است. بر اثر تاثیرات مغناطیسی متغیر موردن اندازه‌گیری، اختلاف ولتاژی در دو سر این ورقه ایجاد می‌شود که به اندازه‌گیری این اختلاف ولتاژ و علامت آن، می‌توان به شدت این میدان مغناطیسی و همچنین جهت آن پی برد [۷].

از خروجی این نوع حسگرها هم در سیستم‌های خطی آنالوگ و هم در سیستم‌های دیجیتال استفاده می‌شود.

قطب مغناطیسی برای فعال شدن و غیرفعال شدن کافیت و صرفا براساس خروج یا ورود به این میدان، امکان قطع و وصل خروجی نهایی وجود دارد.

نکته دیگری که وجود دارد این است که عموما خروجی جریان خیلی زیاد نبوده و در حدود ۱۰ تا ۲۰ میلی آمپر است. در نتیجه اگر لود مدار بالا باشد، یک حسگر معمولی شاید نتواند چندان خوب عمل کند و برای رفع این مشکل در مدارهایی که لود مقابل خروجی بزرگ است، یک ترانزیستور NPN به صورت Open-Collector به خروجی مدار اضافه می شود [۶].

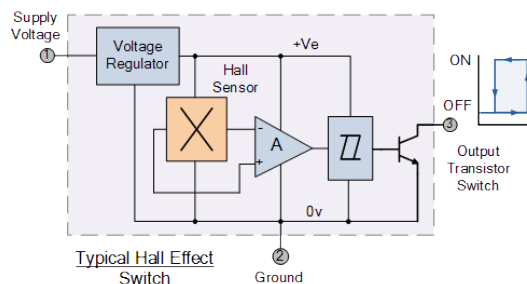
۳.۲. نحوه کارکرد

از حسگرهای مبتنی بر اثر هال، در بسیاری از مواقعی که نیاز به اندازه گیری نوعی حرکت و جابه جایی بدون برخورد مستقیم است، استفاده می شود. این حرکت و جابه جایی هم می تواند به صورت مستقیما رو به حسگر بوده و هم در جهت طرفین باشد. عموما جسمی که قرار است حرکت آن اندازه گیری شود، ماهیتی فلزی داشته و با متصل کردن آهنربا به آن، خاصیت مغناطیسی در آن ایجاد می شود تا در اثر این میدان مغناطیسی، ولتاژی در حسگر مبتنی بر اثر هال ایجاد بشود.

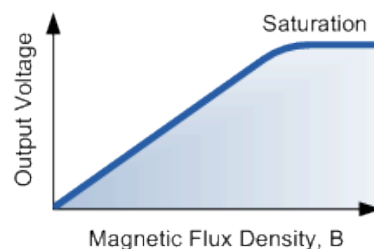
۳.۲.۱ شناسایی حرکت رو به حسگر: حرکت رو به حسگر یا Head-on همان طور که مشخص است، نشان دهنده نزدیک یا دور شدن یک میدان مغناطیسی در جهت عمود بر حسگر است. در اثر دور یا نزدیک شدن یک جسم که خاصیتی مغناطیسی دارد، میدان و شار مغناطیسی گذرا از حسگر دچار تغییر شده و به همین دلیل، ولتاژهای متفاوتی به عنوان خروجی داده می شوند که می توان از مقدار آن برای بدست آوردن فاصله جسم تا حسگر استفاده کرد.

از آن جایی که میدان مغناطیسی در نقطه ای مشخص با فاصله از منبع میدان نسبت عکس مجذوری دارد، عموما مدارهایی که خروجی حسگر را تحلیل می کنند و مثلا منجر به تغییر وضعیت یک چراغ و ورود آن به وضعیت روشن یا خاموش می شوند، ساختار غیرخطی دارند. برای درک بهتر این نوع کاربرد به شکل ۴ توجه کنید.

۳.۲.۲ شناسایی حرکت رو به طرفین: روش دیگر استفاده از حسگر مبتنی بر اثر هال برای تشخیص حرکت به طرفین است. این شیوه به خصوص برای تشخیص



شکل ۲: شمای کلی مدار اشمیت تریگر استفاده کننده از حسگر اثر هال. حسگر اثر هال با نماد مربعی که وسط آن ضربدر قرار دارد نمایش داده شده است [۶].

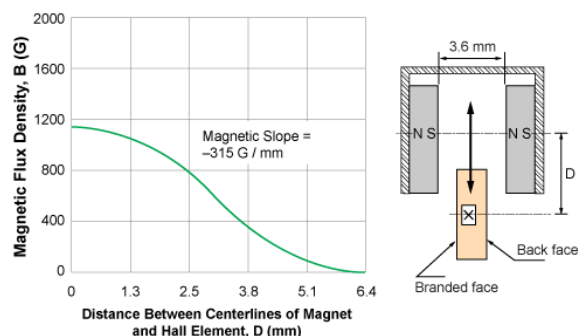


شکل ۳: نمودار کیفی خروجی ولتاژ حسگر آنالوگ نسبت به چگالی شار مغناطیسی عبوری. بعد از مقداری به بعد، به دلیل محدودیت تغذیه کننده تقویت کننده عملیاتی، ولتاژ به حالت اشباع می رسد [۶].

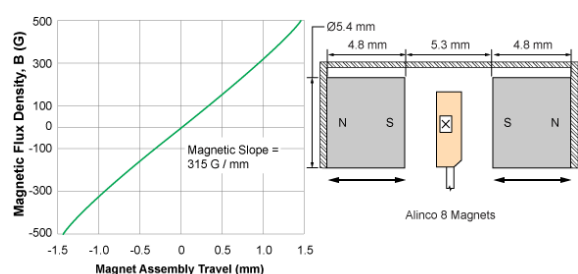
از آن جایی که عموما مقدار ولتاژ القایی بسیار کوچک و در حد میکروولت است، نیاز به تقویت کننده وجود دارد. در سیستم های آنالوگ، خروجی مستقیما وارد یک تقویت کننده عملیاتی شده و پس از آن به عنوان خروجی داده می شود. در سیستم های دیجیتالی این خروجی ممکن است وارد یک مبدل آنالوگ به دیجیتال شده و یا این که در بعضی سیستم ها که حالت روشن و خاموش دارند، وارد یک مقایسه گر اشمیت تریگر^۵ بشود. برای درک بهتر به شکل های ۲ و ۳ توجه کنید.

دو نوع کلی سنسور دیجیتالی مبتنی بر اثر هال وجود دارد. دوقطبی و تک قطبی. در انواع دو قطبی، برای رفتن به حالت فعال نیاز به یک قطع مغناطیسی و برای رفتن به حالت غیرفعال نیاز به یک قطب مغناطیسی دیگر است. به بیان دیگر حدود مقایسه گر اشمیت تریگر طوری تنظیم شده است که تنها با خروج از ناحیه میدان مغناطیسی، به حالت قبل بر نمی گردد. در نوع تک قطبی، تنها حضور یک

⁵Schmitt Trigger (Hysteresis) Comparator



شکل ۶: حسگر نوع Push-Pull. در این نوع، دو قطب ناهمنام آهنربا در دو طرف حسگر قرار می‌گیرند [۸].



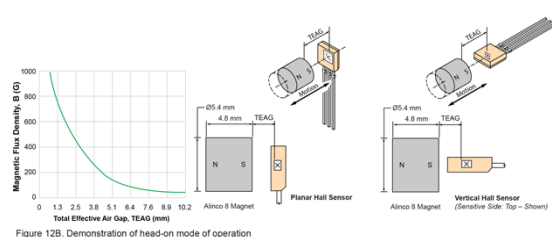
شکل ۷: حسگر نوع Push-Push. در این نوع، دو قطب همنام S آهنربا در دو طرف حسگر قرار می‌گیرند [۸].

حسگرها قطب N یک آهنربا در مقابل قطب S آهنربای دیگر است که به این نوع حسگرها، Push-Pull گفته می‌شود. در نوع دیگر دو قطب همنام S رو به روی هم قرار می‌گیرند و حسگر در میان آنها قرار می‌گیرد که به این نوع حسگرها، Push-Push گفته می‌شود. شکل‌های ۶ و ۷ مربوط به این دو نوع هستند [۸].

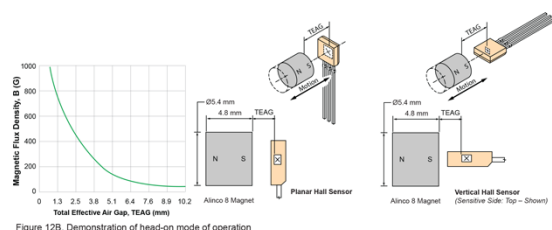
۳.۳. کاربردها، مزایا و معایب

۳.۳.۱ کاربردها: یکی از مهم‌ترین حوزه‌هایی که از حسگرهای مبتنی بر اثر هال در آن استفاده می‌شود، صنعت خودروسازی است.

یکی از کاربردهای حسگرهای اثر هال در خودرو، اندازه‌گیری سطح سوخت است. در بعضی خودروها، آهنرباهای دائمی کوچکی درون مخزن سوخت قرار دارند که چگالی آنها کمتر از سوخت بوده و با ورود سوخت به درون مخزن، بالا می‌آیند. در بالای مخزن، حسگر اثر هال قرار دارد و با نزدیک شدن این آهنرباها به آن، میدان مغناطیسی گذرنده از آن افزایش یافته و در نتیجه ولتاژ خروجی آن



شکل ۴: حرکت رو به حسگر (Head-On). معیار TEAG در نمودار بیانگر فاصله منبع مغناطیسی تا نزدیک‌ترین بخش قسمت فعال درون حسگر - یعنی همان ورقه اصلی سازنده آن - است [۸].



شکل ۵: حرکت رو به طرفین (Sideways). معیار TEAG در نمودار بیانگر فاصله منبع مغناطیسی تا نزدیک‌ترین بخش قسمت فعال درون حسگر - یعنی همان ورقه اصلی سازنده آن - است [۸].

میدان‌های مغناطیسی دوار و اندازه‌گیری سرعت چرخش موتورها و سایر سیستم‌های چرخان موثر است.

بسته به نحوه قرارگیری میدان مغناطیسی، می‌توان تغییرات مثبت و منفی در ولتاژ را که می‌توانند ناشی از حرکات عمودی یا افقی باشند، تشخیص داد. برای درک بهتر این بخش به شکل ۵ توجه کنید.

استفاده از این حسگرها برای تشخیص سرعت چرخش موتور، خصوصا در کاربردهای مربوط به خودروسازی که حسگر در معرض آب، لرزش، روغن، گرد و خاک و عوامل دیگر قرار می‌گیرد، بدلیل عدم تاثیرگذاری جدی این موارد بر کارکرد حسگر و همچنین غیرتماسی بودن آن، بر حسگرهای تماسی و همچنین حسگرهای غیرتماسی دیگر نظیر حسگرهای نوری ارجحیت دارد [۶].

۳.۲.۳ حرکات آهنرباهای مرکب: اساس کار بعضی از این حسگرها، مبتنی بر وجود یک جفت آهنربا است که خود حسگر در میان آنها قرار می‌گیرد. در یکسری از این

هم افزایش می‌یابد و از این طریق سطح سوخت در مخزن مشخص می‌شود [۹].

کاربرد دیگر این حسگرها در سرعت‌سنج‌های خودرو^۶ است. این حسگرها در نزدیکی اجزای چرخان ماشین نظیر شفت‌ها و چرخ‌ها نصب شده و به این اجزا نیز خاصیت آهنربایی داده می‌شود. از طریق شناسایی چرخش و حرکت رو به طرفین این قطعات نسبت به حسگر، میزان تعداد دورهای چرخش آنان در دقیقه و به طبع آن سرعت خودرو تعیین می‌شود [۹]. به دلیل توانایی کنترل سرعت چرخش چرخ‌ها، در سیستم‌های ترمز ضدقفل^۷ هم از این نوع حسگرها استفاده می‌شود [۱۰].

همچنین برای برخی از سیستم‌های ایمنی خودروها نظیر کنترل وضعیت صندلی، کنترل وضعیت بسته بودن کمربند ایمنی و همچنین تشخیص برخورد برای فعال‌سازی کسپه‌هوا هم از حسگرهای مبتنی بر اثر هال استفاده می‌شود [۱۰].

از آنجایی که این اجزا در ماشین در معرض برخورد آب، گرد و غبار و همچنین لرزش فراوان هستند، استفاده از این نوع حسگرها نسبت به حسگرهای تماسی و همچنین حسگرهای نوری ارجحیت دارد. البته توجه کنید که با توجه به گستردگی صنعت خودروسازی، ممکن است برای موارد ذکر شده در بالا در بعضی خودروها از روش‌های دیگری استفاده شود ولی روش مبتنی بر حسگرهای اثر هال هم جزو روش‌های رایج است.

صنعت دیگری که در آن از این حسگرها استفاده می‌شود، صنعت تولید گوشی‌های هوشمند و لپ‌تاپ است. برای بعضی از گوشی‌های هوشمند کاورهای مغناطیسی وجود دارد که در اثر بسته شدن آن، باید صفحه گوشی خاموش بشود. این موضوع برای لپ‌تاپ‌ها هم صادق است و با بسته شدن درب، باید سیستم به وضعیت خواب برود و حداقل صفحه نمایش آن خاموش شود. در این سیستم‌ها از حسگرهای مبتنی بر اثر هال در وسیله استفاده می‌شود که با بسته شدن درب که خاصیت مغناطیسی دارد، ولتاژ خروجی حسگر افزایش یافته و این ولتاژ وارد یک مدار اشمیت‌تریگر می‌شود تا بعد از رسیدن به سطح مشخصی، سیگنال مربوط به خاموش کردن مشخص می‌شود [۹].

توجه کنید که لپ‌تاپ‌ها و همچنین گوشی‌های موبایل ممکن است با تغییرات دمای محسوسی از حدود دمای اتاق گرفته تا دمای نزدیک به 90°C مواجه شوند و در نتیجه استفاده از حسگرهای غیرتماسی که نسبت به دما تغییر چشمگیری نداشته باشند، در این جا از اهمیت چشمگیری برخوردار است.

در سایر قسمت‌های صنایع مرتبط با الکترونیک هم از این حسگرها استفاده می‌شود. سرعت چرخش دیسک‌های سخت^۸ نیز به کمک این حسگرها اندازه‌گیری می‌شود. همچنین کنترل مکانیزم زمان‌بندی در بعضی از دوربین‌ها هم از طریق این حسگرها با چرخاندن پیچ مربوط به زمان‌بندی، موقعیت یک منبع میدان مغناطیسی نسبت به حسگر تغییر کرده و با بازگشت آن به نقطه قبل، حسگر سیگنال مربوط به گرفتن عکس را تولید می‌کند [۱۰].

علاوه بر این، در سیستم‌های مربوط به اتوماسیون امور روزمره هم از این حسگرها استفاده می‌شود. در سیستم‌هایی نظیر سینک‌های ظرفشویی خودکار که با نزدیک شدن دست، باز می‌شوند، سیستم‌های خشک‌کن دست و همچنین درهای اتوماتیک هم از انواع دیجیتالی حسگرهای مبتنی بر اثر هال استفاده شده است. البته بعضی از این سیستم‌ها از طریق سنسورهای دیگر نظیر حسگرهای نوری هم ساخته می‌شوند ولی انواع مبتنی بر حسگر اثر هال هم رایج است [۱۰].

حتی در بسیاری از لوازم خانگی دیگر که شاید در نگاه اول چندان مرتبط به این نوع حسگر نباشند هم از آن‌ها استفاده شده است. در ماشین لباس‌شویی، جاروبرقی و همچنین ماشین ظرفشویی برای کنترل دور موتور از این نوع حسگرها استفاده می‌شود. در ماشین لباس‌شویی علاوه بر کنترل دور موتور، سرعت چرخش محفظه درونی و همچنین سطح آب، از این سنسورها برای تعیین تعادل ماشین لباس‌شویی هم استفاده می‌شود تا در اثر چرخش با سرعت بالا در جهت خاصی، سقوط نکند و در صورت خارج شدن از تعادل، سرعت کنترل بشود. در یخچال و همچنین اجاق برقی، حسگرهای اثرهالی که براساس عناصر مغناطیسی موجود در درب کار می‌کنند، با باز شدن در آن منجر به روشن شدن چراغ می‌شوند [۱۱].

^۸ Hard Drive Disk

^۶ Tachometer

^۷ ABS

۳.۳.۲ مزایا: اصلی ترین مزیت استفاده از حسگرهای مبتنی بر اثر هال، عدم وابستگی فیزیکی آن‌ها به متغیر مورد اندازه‌گیری و کارکرد آن بدون نیاز به تماس است. در نتیجه این حسگرها دچار استهلاک نشده و عمر بسیار طولانی دارند و در نتیجه عملاً نیاز به صرف هزینه برای نگهداری ندارند [۱۲]. این عدم برخورد فیزیکی، باعث می‌شود که در کاربردهای با فرکانس بالا هم بتوان از این حسگرها استفاده کرد، زیرا برخلاف حسگرهای مکانیکی که در بسامدهای بالا تحت تنش زیادی قرار می‌گیرند، حسگرهای مبتنی بر اثر هال دچار مشکل جدی نخواهند شد [۷].

از طرف دیگر، در محیط‌های که گرد و خاک، آب، روغن لرزش زیاد وجود دارد، استفاده از سایر حسگرها ممکن است با خطای زیادی همراه باشد چون این عناصر می‌توانند حسگرهای تماسی و همچنین حسگرهای غیرتماسی مبتنی بر نور را به شدت تحت تاثیر قرار بدهند. با این وجود، این موارد بر روی حسگرهای مبتنی بر اثر هال تاثیر بسیار اندکی می‌گذارند [۷].

از طرف دیگر، برخی دیگر از حسگرها که مبتنی بر میدان‌های مغناطیسی و القا هستند، تنها توانایی اندازه‌گیری اختلاف و تفاضل را دارند. در حالی که از حسگرهای مبتنی بر اثر هال می‌توان برای اندازه‌گیری میدان مغناطیسی به صورت مطلق و به صورت غیرتفاضلی هم استفاده کرد [۷].

۳.۳.۳ معایب: با وجود مزایای بسیار، این حسگرها معایبی هم دارند. با توجه به این که عموم میدان‌های مغناطیسی ساخته شده توسط آهنرباهای مصنوعی، اندازه کمی دارند، عموماً برای فواصل بیش از ۱۰ سانتی‌متر نمی‌توان از این حسگرها استفاده کرد. مگر این که از آهنرباهای فوق‌العاده قوی استفاده بشود که خود می‌توانند مخاطرات ایمنی جدی را به دنبال داشته باشد [۱۲].

وجود میدان‌های مغناطیسی سایر عناصر موجود در محیط و حتی برخی عناصر داخلی نظیر سیم‌پیچ‌ها می‌تواند بر دقت اندازه‌گیری اثرگذار باشد. خصوصاً در مورد سیم‌های خود دستگاه که در مجاورت سنسور و فاصله کم قرار دارند، باید بررسی‌های لازم جهت کاهش اثر ناشی از آن‌ها و یا وارد کردن اثر آنان در محاسبات انجام بشود [۱۲].

دماهای خیلی بالا یا خیلی پایین می‌تواند تاثیر به

شدت قابل توجهی بر مقاومت درونی ورقه مورد استفاده گذاشته [۱۲] و در نتیجه با تغییرات غیرخطی در مقاومت، دقت حسگر در این دماها به شدت پایین بیاید و حتی در بعضی موارد در اثر بالا رفتن بیش از اندازه مقاومت، ممکن است ولتاژ القایی به قدری کم باشد که عملاً امکان آشکارسازی آن با هزینه معقول وجود نداشته باشد.

۴. بررسی مختصر یک نمونه حسگر صنعتی

با توجه به موارد گفته شده، این حسگرها کاربرد گسترده‌ای در صنعت دارند. با توجه به این موضوع، انواع مختلفی از آن‌ها در ابعاد و اشکال مختلف برای کاربردهای گوناگون تولید می‌شوند. عموم آن‌ها به صورت سه‌پایه هستند که دو پایه تغذیه و یک پایه خروجی است. برخی نمونه‌های چهارپایه هم وجود دارد که کاربردهای خاص خود را دارند. در این جا به طول خلاصه حسگر AH266 ساخته شرکت Diodes Incorporated را بررسی می‌کنیم.

این حسگر، به صورت چهارپایه است و از آن در موتورهای DC بدون جاروبک برای اندازه‌گیری میدان‌های مغناطیسی تولیدی بین سیم‌پیچ‌ها استفاده می‌شود. این حسگر به صورت دیجیتالی کار می‌کند. درون آن علاوه بر حسگر مبتنی بر اثر هال، یک تقویت کننده عملیاتی و یک مقایسه‌گر اشمیت تریگر هم قرار گرفته‌اند. علاوه بر این، چهارترانزیستور Open-Collector با آرایش موسوم به Darlington هم قرار گرفته‌اند تا امکان اتصال آن به خروجی با بار مقاومتی بالا فراهم بشود.

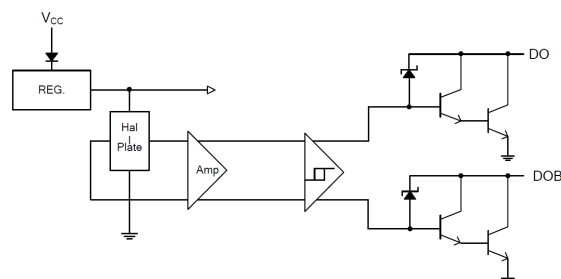
پایه شماره ۱ ورودی برای V_{cc} ، پایه شماره ۴ ورودی برای Gnd و دو پایه ۲ و ۳ خروجی هستند. پایه شماره ۲ DO و پایه شماره ۳ DOB نام دارند. هنگامی که چگالی شار مغناطیسی از مقدار عملیاتی Bop بیش تر بشود، DO وارد حالت روشن می‌شود و DOB خاموش می‌شود که البته با توجه به Active-Low بودن این حسگر، روشن شدن به معنی ولتاژ پایین و خاموش شدن به معنی ولتاژ بالا است. برعکس اگر چگالی شار مغناطیسی از مقدار رهایی Brp کمتر بشود، DO خاموش و DOB روشن می‌شود.

طبق مشخصات فنی نسخه درجه A این محصول مقدار حداقلی و حداکثری Bop برابر ۱۰ و ۷۰ گاوس و مقدار حداقلی و حداکثری Brp برابر ۷۰- و ۱۰- گاوس است و در نتیجه بازه Hysteresis این حسگر ۸۰ گاوس خواهد بود.

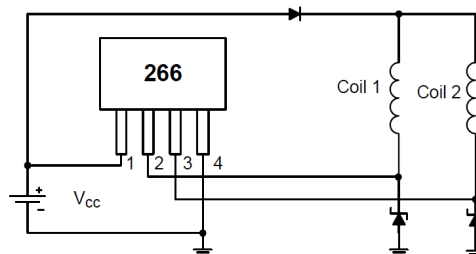
حسگرها در وسایل روزمره مورد ارزیابی قرار گرفت. در نهایت به صورت مختصر به بیان توضیحاتی پیرامون قطعه صنعتی AH266 که یک حسگر مبتنی بر اثر هال است، پرداختیم.

مراجع

- [1] Varriohm, "Non contact sensors," Mar 2020.
- [2] E. Edwards, "Types of noncontact sensors and their applications," 2017.
- [3] I. Ixthus, "What is an Eddy Current Sensor," publisher: Ixthus Instrumentation.
- [4] "Hall effect," May 2021. Page Version ID: 1025727292.
- [5] D. Halliday, J. Walker, and R. Resnick. *Fundamentals of Physics*. Halliday & Resnick Fundamentals of Physics, Wiley, 2010.
- [6] "Hall Effect," 2013.
- [7] "Hall effect sensor," June 2021. Page Version ID: 1028426330.
- [8] "Hall Effect Sensor | Applications Guide,"
- [9] "Everything You Need To Know About Hall Effect Sensors | RS Components | RS Components,"
- [10] "Five Key Applications of Hall Effect Sensors," Nov. 2019.
- [11] "Integrating Hall-Effect Magnetic Sensing Technology into Modern Household Appliances,"
- [12] Ratna, "Hall Effect Sensors - Work, Types, Applications, Advantages and Disadvantages," Apr. 2018.
- [13] AH266, High Voltage Hall Effect Latch.



شکل ۸: مدار شماتیک درونی AH266. این قطعه متشکل از یک صفحه حسگر اثر هال است که خروجی آن ابتدا وارد یک تقویت کننده، سپس یک مقایسه گر اشمیت ترگیر و پس از آن دو ردیف ترانزیستور Open-Collector که با آرایش Darlington قرار گرفته اند می شود [۱۳].



شکل ۹: مدار شماتیک اتصالات و استفاده از حسگر مبتنی بر اثر هال AH266 در یک موتور DC بدون جاروبک [۱۳].

همچنین بازه عملکردی صحیح دستگاه ولتاژ بین ۴ تا ۲۸ ولت و بازه دمایی -20°C تا $+85^{\circ}\text{C}$ است [۱۳].

در شکل ۸ ساختار شماتیک درونی این قطعه نمایش داده شده است. در شکل ۹ هم مدار اتصال مربوط به اتصال این قطعه در مدار موتور DC بدون جاروبک نمایش داده شده است.

۵. جمع بندی

در این گزارش، به حسگرهای غیرتماسی مبتنی بر اثر هال پرداختیم. در ابتدا به طور کلی حسگرهای غیرتماسی و دلایل استفاده از آنان بررسی شد. پس از آنان به توضیح تئوری اثر هال پرداخته و در قالب روابط شناخته شده فیزیک، علت وقوع این پدیده توضیح داده شد. پس از آن حسگرهای مبتنی بر این اثر بررسی شدند. در ابتدا نحوه ساخت و طراحی آنان مورد بررسی قرار گرفت. پس از آن نحوه کارکرد این قطعات به عنوان حسگر به شکل های مختلف مورد مطالعه قرار گرفته و پس از آن کاربردهای واقعی این