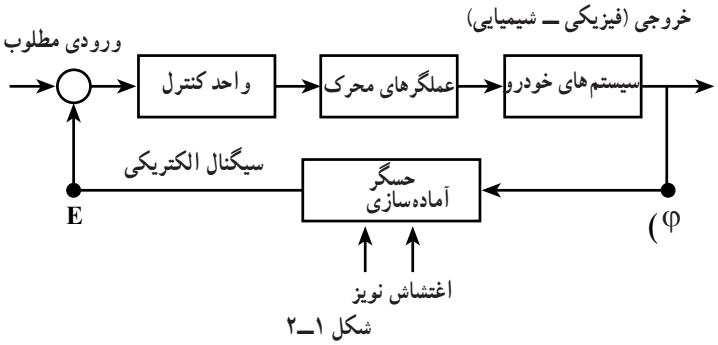
فصل دوم

حسگرهای خودرو

۱ــ حسگرهای خودرو (Automotive Sensors)

امروزه در صنعت خودرو انواع وسیعی حسگر مورد استفاده قرار می‌گیرند. این قطعات از طریق ورودی‌های فیزیکی و شیمیایی حالت‌های اجزای خودرو را احساس و شبیه‌سازی می‌کنند و می‌توانند به‌وسیله‌ی سیگنال‌های الکتریکی تولیدی، اسباب موردنیاز واحدهای کنترل (Ecuها) را جهت اجرای تکنیک کنترل حلقه‌ی بسته یا حلقه‌ی باز برای سیستم‌های مدیریت موتور فراهم سازند و موجب ایمنی و آسایش گردند: (در شکل ۱ــ۲ جایگاه حسگرها در سیستم کنترل حلقه بسته نشان داده شده است).



شکل ۱ــ۲

۱ــ۱ــ تعاریف و اصطلاحات

در این کتاب اصطلاح «حسگر» به وسایلی (پراب و پیکاپ) اطلاق می‌شود که دارای تشابه رفتاری در کاوش و انتخاب باشد. حسگر با دریافت مقادیر متغیر (y_i)، یک کمیت فیزیکی یا شیمیایی ورودی (Φ) را به یک کمیت خروجی الکتریکی (E) تبدیل می‌کند. خروجی الکتریکی حسگرها فقط در قالب جریان و ولتاژ نیست، بلکه به صورت یک نوسان الکتریکی ظهور می‌کند؛ از جمله در امپدانس، فرکانس، پالس زمانی، سیکل یا پریود، جریان یا ولتاژ و یا در تغییر پارامترهای مقاومت، کاپاسیتانس و اندوکتانس ظهور می‌کند (شکل ۲ــ۲ و ۳ــ۲). یک حسگر را می‌توان با استفاده از معادلات زیر تعریف کرد:

۱ــ معادله‌ی سیگنال خروجی حسگر

$$E=F(\varphi,y_1,y_2,...)$$

۲ــ معادله‌ی اندازه‌گیری متغیرها

$$\varphi=g(E,y_1,y_2,...)$$

اگر توابع F و g معلوم باشند، این معادلات نمایش‌دهنده‌ی آن است که یک مدل حسگر به کدام‌یک از اندازه‌گیری‌های قابل تغییر نیاز دارد و هم‌چنین می‌توان استفاده‌ی محاسباتی و کاربردی سیگنال خروجی (E) و مقادیر متغیر (y_i) را به درستی استنتاج نمود. برای مثال در یک حسگر شتاب خودرو E (خروجی) می‌تواند ولتاژ باشد. (φ) همان شتاب خودرو است و y_iها، می‌توانند جابه‌جایی اجزای مکانیکی حسگر به دلیل وارد آمدن شتاب به آن‌ها باشند. برای آن‌که بتوان حسگرها را از اجزای فرآیند تولید سیگنال محسوب کرد و یا مخالف را مطرح نمود قانونی وجود ندارد.

۲ــ۱ــ کاربرد در وسایل نقلیه

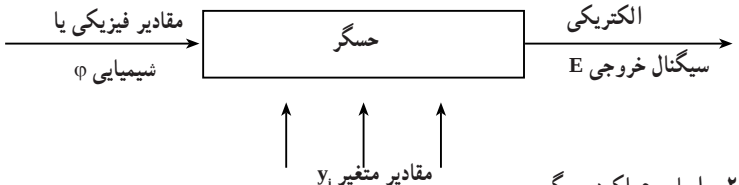
حسگرها و عملگرها بخشی از وسیله‌ی نقلیه‌اند که جهت هدایت و ناوبری، بین عملکرد پیچیده مدیریت موتور، فرمان، ترمز، تعلیق و ... جهت هدایت و ناوبری فعالیت دارند و به همراه واحد کنترل مرکزی (Ecu) فرآیند هر واحد را اداره می‌کنند.

برای سازگاری این واحدهای کنترل با سیگنال حسگرها و هماهنگی با مدارها به یک قانون استاندارد نیاز است (اندازه‌گیری

زنجیره‌ای، اندازه‌گیری داده‌های جمع‌آوری شده (شکل ۴ــ۲).

ساختار هماهنگی بین مدارها مناسب با ویژگی حسگرها و شرایط واقعی وسیله‌ی نقلیه است. هم‌چنین این مدارها به صورت مجموعه، طراحی می‌شوند و نسخه‌های متنوعی دارند و پردازش واحدهای کنترل دیگر، اطلاعات حسگر یا فرامین راننده بر فرآیند پردازش پیچیده یا حلقه کنترل در وسیله‌ی نقلیه تأثیر می‌گذارد.

در شکل ۵ــ۲ سیستم‌های الکترونیکی متداول خودرو به نمایش درآمده است.



شکل ۲ــ۲ــ اساس عملکرد حسگر

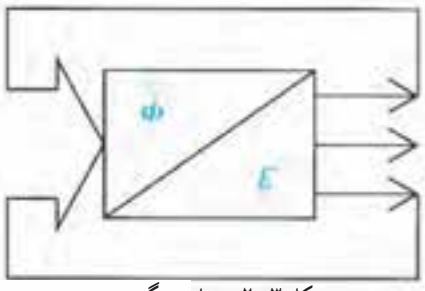
۳ــ۱ــ طبقه‌بندی

حسگرهای وسایل نقلیه را می‌توان به سه روش طبقه‌بندی کرد.

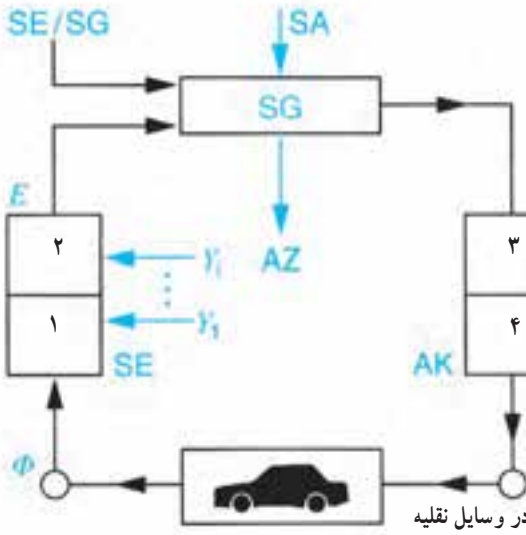
الف ــ وظایف و کاربرد

از این دیدگاه می‌توان برای حسگرها سه گروه متمایز تعیین نمود :

- حسگرهای به‌کار رفته جهت کنترل حلقه‌ی باز یا حلقه‌ی بسته
- حسگرهای به‌کار رفته جهت ایمنی سرنشین و ضد سرقت
- حسگرهای به‌کار رفته جهت پایش[1] (عیب‌یابی هوشمند (OBD)، مصرف سوخت و پارامترهای فرسایشی) و اطلاعات راننده و سرنشین



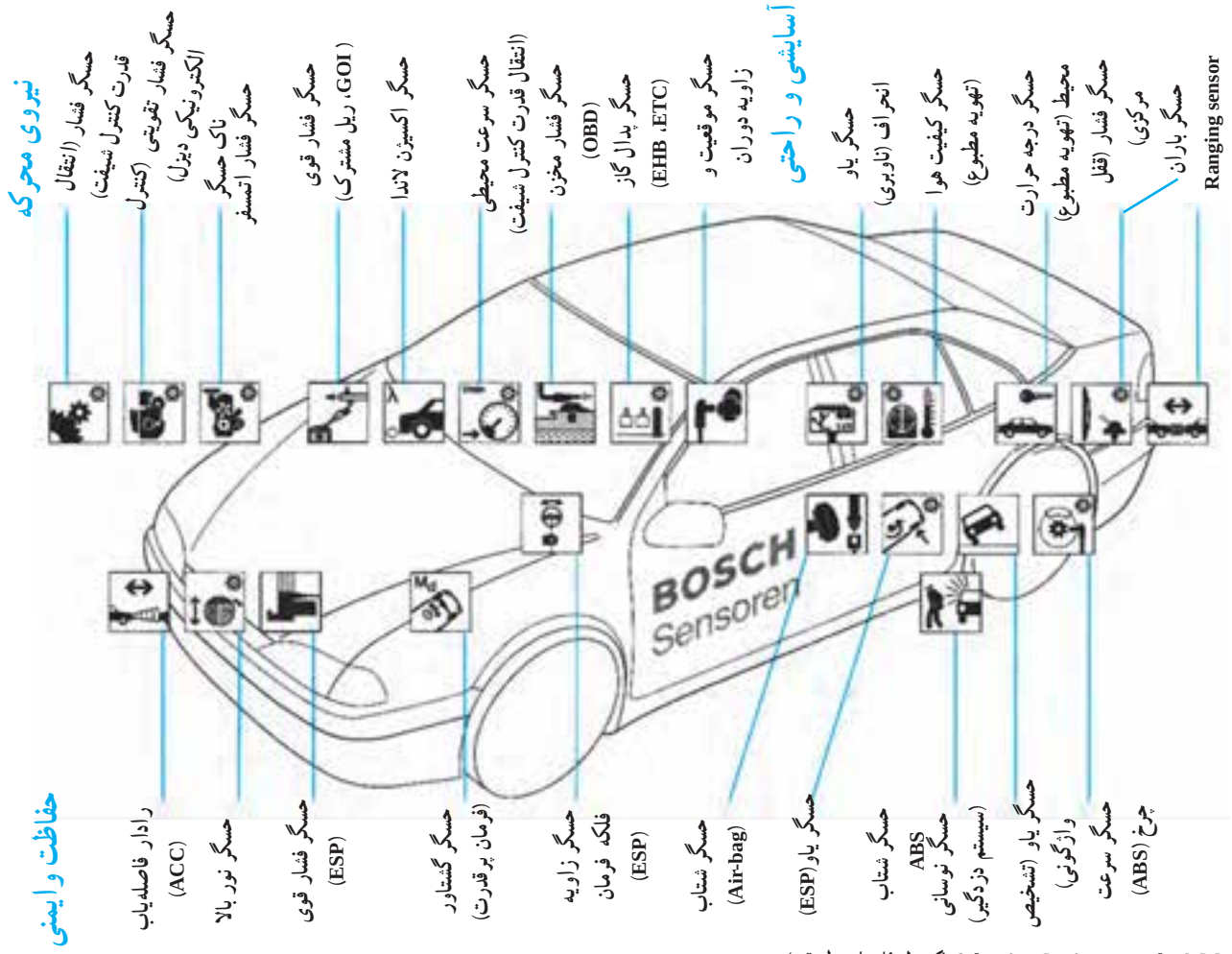
شکل ۳ــ۲ــ نماد حسگر



شکل ۴ــ۲ــ حسگر در وسایل نقلیه

۱ــ اندازه‌گیری حسگر
۲ــ مدار انطباق‌دهنده
۳ــ راننده
۴ــ عملگرها
AK عملگر
AZ نمایشگر
SA سوئیچ
SE حسگر
SG واحد کنترل
Φ مقادیر فیزیکی
E مقادیر بار الکتریکی
y_1 ...i مقادیر متغیر

۱ــ Monitoring : پایش (نظارت و کنترل)



Adaptive Cruise control : ACC (کنترل فاصله تطبیقی)

Electronic Stability Program : ESP (برنامه پایداری الکترونیکی)

Antilock Braking System : ABS (سیستم ضد قفل ترمز)

gasoline direct-injection : GDI (با شش مستقیم سوخت)

on - Board Diagnostics (عیب‌یابی هوشمند)

Electronic the rottle control : ETC (کنترل الکترونیکی دریچه)

electrohydraulic brake : EHB (ترمز الکتروهیدرولیکی)

شکل ۵ــ۲ــ سیستم‌های خودرو و حسگرهای مربوطه

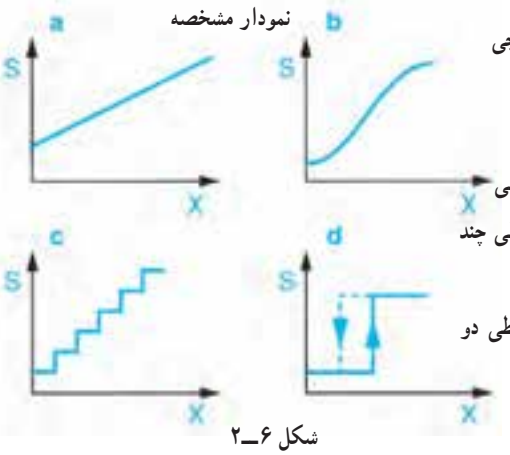
ب ــ انواع نمودار و شکل سیگنال خروجی

حسگرها را می‌توان با توجه به شکل و نوع سیگنال‌های خروجی و هم‌چنین مشخصات پایش و کنترل حلقه‌ی باز و بسته طبقه‌بندی کرد (شکل ۴ــ۲). شکل سیگنال‌های خروجی به انواع زیر تقسیم می‌شوند :

ــ ***نمودار خطی پیوسته :*** از این نمودار، به‌طورکلی، برای مشخصات کنترل یک دامنه‌ی اندازه‌گیری استفاده می‌گردد. به علاوه نمودارهای خطی ابزار تشخیصی جهت آزمایش و مقیاس اندازه‌گیری‌های ساده‌اند.

ــ ***نمودار غیرخطی پیوسته :*** از این نمودار برای کنترل حلقه‌ی بسته، جهت اندازه‌گیری منظم و سراسری یک دامنه‌ی خاص و محدود از یک مقدار متغیر، استفاده می‌گردد.

(**مثال** : کنترل گاز خروجی اگزوز λ ۱، تغییر ارتفاع خودرو)



s ــ سیگنال خروجی

x ــ مقدار متغیر

a ــ نمودار خطی

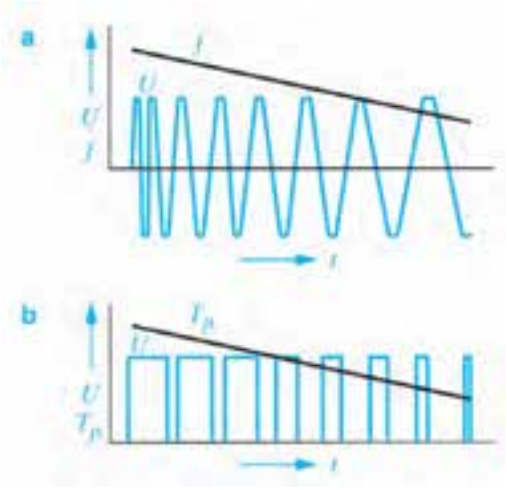
b ــ نمودار غیرخطی

c ــ نمودار غیرخطی چند مرحله‌ای (پله‌ای)

d ــ نمودار غیرخطی دو مرحله‌ای

شکل ۶ــ۲

نمونه‌ای از شکل سیگنال خروجی



شکل ۷ــ۲

a ــ سیگنال خروجی U با فرکانس F

b ــ سیگنال خروجی U زمان پالس Tp

برای مثال وقتی منظور از برآورد، انحراف نسبت به کل دامنه و اندازه‌گیری باشد (جریان سنج هوا) هر کدام از دو شکل نمودار غیرخطی و نوع خاص (مانند نمودار لگاریتمی) مزیّتی دارند.

ــ ***نمودار غیرخطی دو مرحله‌ای:*** از این نوع نمودار (شکل هیستر زیسی) برای پایش یک مقدار مرزی استفاده می‌شود. در این حالت‌ها وقتی مقادیر به حد مرزی رسید موقعیت مناسب جهت اندازه‌گیری آسان حاصل می‌گردد.

ج ــ نوع سیگنال خروجی

تفاوت دیگر حسگرها در ارتباط با سیگنال‌های خروجی آن‌هاست (شکل ۷ــ۲)

سیگنال‌های خروجی پیوسته (آنالوگ)

- جریان / ولتاژ
- فرکانس/ پریود
- زمان پالس

سیگنال خروجی گسسته

- دو مرحله‌ای (کد باینری)
- چند مرحله‌ای با مراحل منظم (کدآنالوگ)
- چند مرحله‌ای با مراحل متساوی الفاصله (کد آنالوگ یا دیجیتال)

نکته : تفاوت حسگرها در تغییرات مداوم سیگنال‌های خروجی یا در تغییرات زمانی که به صورت گسسته و لحظه‌ای بروز می‌کند، وجود دارد.

۴ــ۱ــ نیاز سنجی و روند توسعه حسگر در خودرو

با توجه به ساخت و کاربرد انواع گوناگون حسگرها در وسایل مختلف، نمونه‌های مورد استفاده از خودرو نیز باید متناسب با نیازمندی‌های سیستم‌های الکتریکی و الکترونیکی خاص آن وسیله‌ی نقلیه، طراحی و ساخته شود.

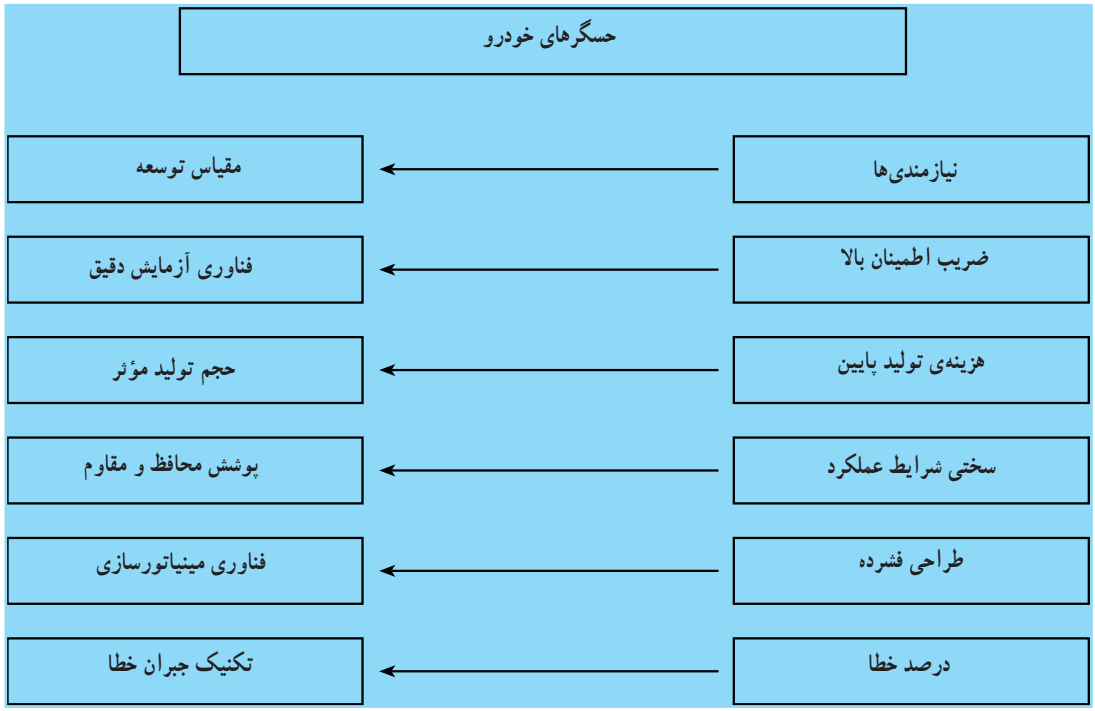
در هر شرکت خودروسازی، دپارتمان پژوهش و توسعه عهده‌دار پی‌گیری پنج نیازمندی اصلی (بیان شده در شکل ۸ــ۲) است و برآورده شدن این نیازمندی‌ها در روند مهندسی حسگر بسیار مهم و چشم‌گیر است.

۱ــ۴ــ۱ــ ضریب اطمینان بالا : مشخصات حسگرهای اتومبیل را براساس رده‌ی ضریب اطمینان می‌توان به شرح زیر تقسیم‌بندی نمود :

- فرمان، ترمز، ایمنی سرنشین؛
- موتور و خط انتقال قدرت، تعلیق، تایر؛
- راحتی و آسایش، عیب‌یابی هوشمند (OBD) و اطلاعات و سیستم ضد سرقت.

در مهندسی خودرو رده‌ی ضریب اطمینان جایگاه ویژه‌ای دارد و همانند بعضی از حالت‌های اندازه‌گیری مانند سیستم‌های هوانوردی و فضانوردی است.

برنامه‌ریزی تولید: ساخت با طراحی اختصاصی، میزان تضمین در ضریب اطمینان است. برای مثال، به منظور ایجاد ضریب اطمینان، استفاده از مواد با کیفیت بالا همراه با روش‌های آزمایش دقیق مهندسی لازم است.



شکل ۸ ــ۲ــ نیازمندی‌های اصلی برای حسگرهای خودرو و مقیاس توسعه‌ی آن‌ها

اتصالات یکی از عوامل ایجاد خرابی‌اند. برای رفع این نقیصه حتی‌المقدور سیستم‌های یکپارچه و یا حسگرهای «رادیواسکن» را می‌توان به کار گرفت. این سیستم‌ها براساس امواج اکوستیکی سطحی (SAW) فعالیت می‌کنند و کاملاً بدون سیم‌اند.

توجه بیش‌تر به ایمنی باعث می‌شود حسگرهای استفاده شده در سیستم‌های خودرو افزایش یابند. این حسگرها به‌طور موازی به سیستم متصل می‌شوند و مطابق وظیفه‌ی خود اندازه‌گیری لازم را انجام می‌دهند.

۲ــ۴ــ۱ــ هزینه‌ی تولید پایین : روش جدید نصب قطعات الکترونیکی، که بخشی از فناوری خودرو است، به آسانی امکان استفاده از ۶۰ الی ۷۰ حسگر را ایجاد می‌کند. تقاضای استفاده از حسگر در بخش‌های مختلف خودرو خیلی زیاد است و این درخواست به شرطی امکان‌پذیر است که هزینه‌ی تولید پایین باشد.

برنامه‌ریزی و روش تولید : روش‌های تولید خودکار مؤثرترین عامل در ساخت حسگر است، برای مثال می‌توان در حسگرهای ساخته شده از نیمه‌ی رسانا با استفاده از «پردازش و تولید دسته‌ای[۱]» روی یک تراشه با مبنای سیگنال SI ۱۰۰ تا ۱۰۰۰۰ حسگر ایجاد کرد.

از طرف دیگر ساخت حسگرهای مشابه به تعداد زیاد و به منظور تولید تجهیزات، باید توجیه اقتصادی داشته باشد.

تعداد درخواست صنایع خودروسازی، معمولاً مابین ۱ الی ۱۰ میلیون قطعه در سال است. این تعداد حسگر موردنیاز صنایع خودروسازی نقش انقلابی و بی‌سابقه‌ای برای صنعت ساخت حسگر به‌وجود آورد و استانداردهای جدیدی تعیین و ایجاد کرد.

۳ــ۴ــ۱ــ سختی شرایط عملکرد : حسگرها در موقعیت‌های خاصی روی خودرو نصب می‌گردند، بنابراین، آن‌ها باید در مقابل طیف گسترده ای از عوامل و بارهای تأثیرگذار زیر، پایداری و مقاومت داشته باشند :

- مکانیکی (ارتعاش و شتاب و ضربه)
- محیطی (درجه‌ی حرارت، رطوبت)

۱ــ **پردازش دسته‌ای :** روشی در رایانه که طی آن داده‌های مورد پردازش ابتدا رمزگذاری و سپس به گروه‌های مختلف تقسیم، آن‌گاه پردازش می‌شوند.

- شیمیایی (پاشش آب، سوخت، روغن، اسید باتری، بخار نمک)
- الکترومغناطیس (تشعشع، پالس خودالقا، افزایش ولتاژ، معکوس شدن قطب)

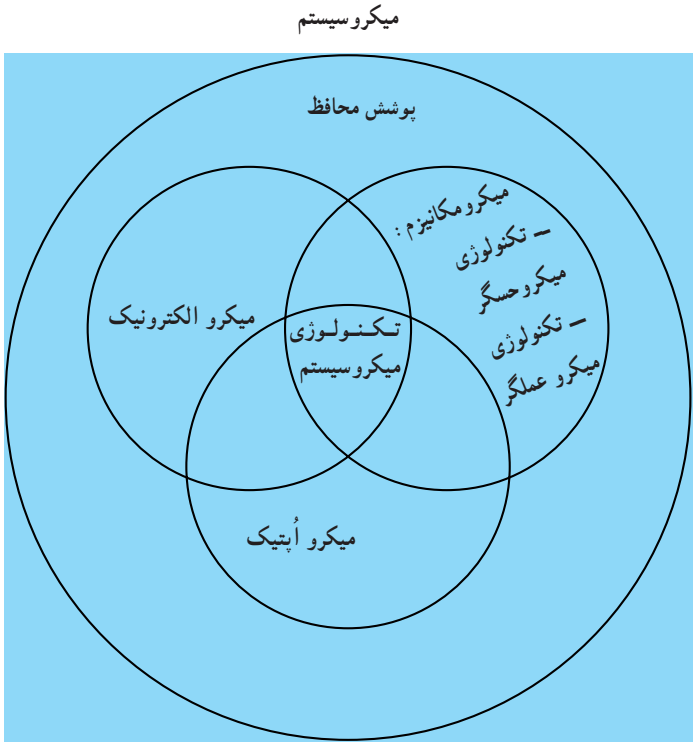
از مزیت‌های اصلی حسگرها، نصب مستقیم در نقطه‌ی اندازه‌گیری است و این حالت تماس، دقت در کار حسگر را به‌طور قابل توجهی افزایش می‌دهد.

برنامه‌ریزی و روش تولید: اقدامات حفاظتی برای حسگر به گونه‌ای باید طراحی گردد که حد بالاتری از بار وارد شده را تحمل نماید. جهت تعیین سطح ایمنی حسگر و قرار دادن قطعه یا مدار در پوشش محافظ مناسب (Packaging[1])، به شناخت دقیق این موارد نیاز داریم:

- روش غیرفعال‌سازی و اتصال نیمه‌ی رسانا
- روش آب‌بندی و اتصال
- سازگاری الکترومغناطیسی
- چگونگی نصب با ارتعاش کم
- طول عمر، آزمایش، مدل‌های شبیه‌سازی
- استفاده تلفیقی از مواد با مقاومت زیاد و آگاهی از جزئیات عوامل و بارهای تأثیرگذار در محل نصب حسگر.

فاکتور اصلی در کیفیت حسگر، در نظر گرفتن مجموعه‌ای از کارآیی و عملکرد صلاحیت‌ها و اجرای مناسب اقدامات حفاظتی است. این اقدامات در تأمین ارزش و بهای حسگر بسیار تأثیرگذار است. در نتیجه باید به صورت یک المنت مستقل برآورد گردد.

۴ــ۴ــ۱ــ طراحی فشرده: امروزه، با توجه به روند رو به صعود تعداد سیستم‌های الکترونیکی در خودرو و نیاز به حداکثر آسایش سرنشین از یک طرف، و به حداقل رساندن وزن و حجم خودرو در جهت کاهش مصرف سوخت از طرف دیگر ضرورت دارد، شرکت‌های تولید برای طراحی فشرده‌ی اجزای سیستم‌ها متمرکز شوند (شکل ۹ــ۲).



شکل ۹ــ۲

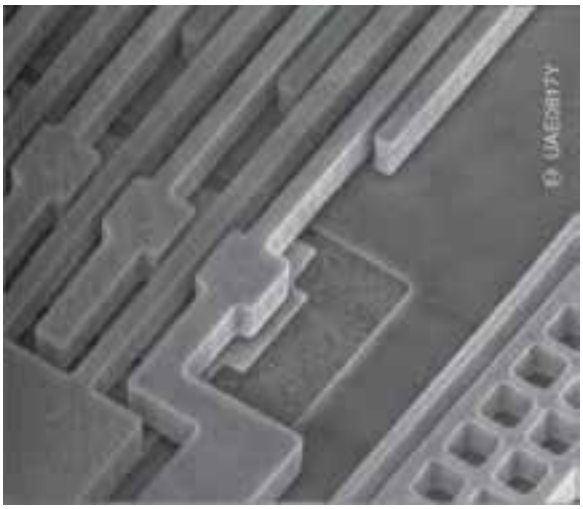
۱ــ **Packaging**: فرآیند در پوشش قرار دادن قطعه یا مدار در پوشش محافظ (نوعی بسته‌بندی)

برنامه‌ریزی و روش تولید: برای کوچک و مینیاتورسازی اجزای الکترونیکی از تکنولوژی‌های ساخت مهندسی مدار به شرح زیر استفاده می‌شود :

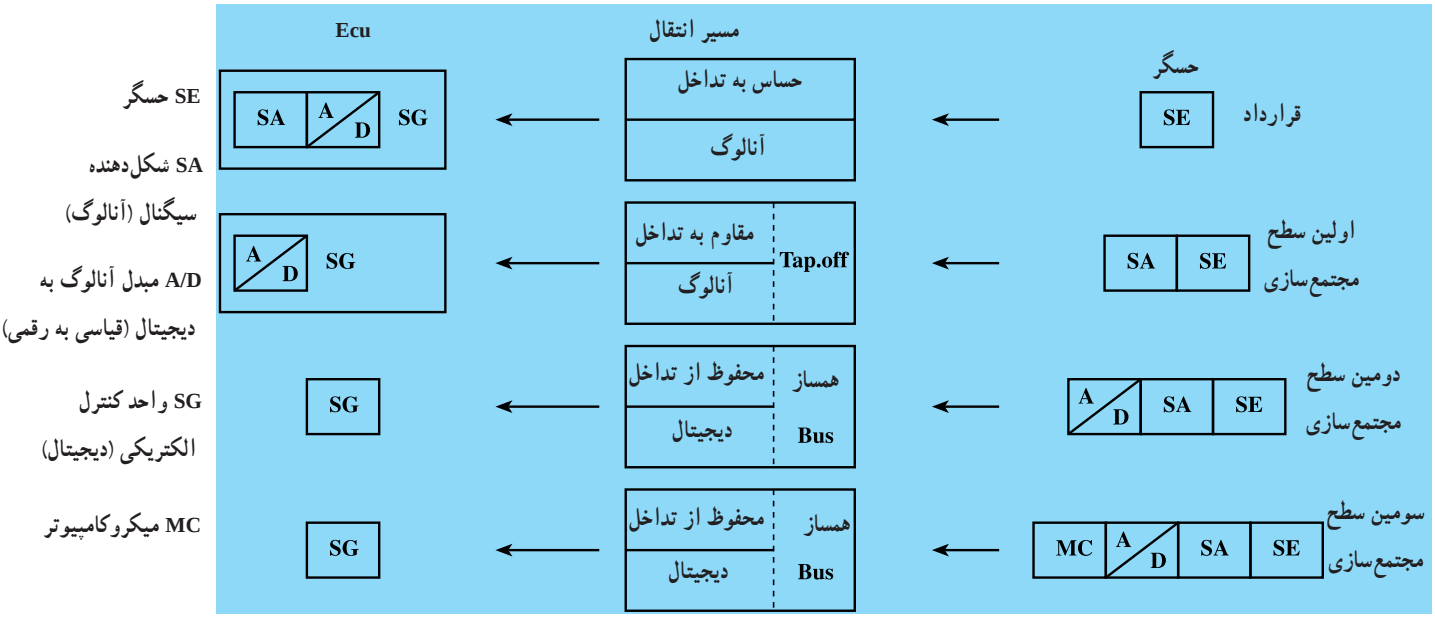
- تکنولوژی فیلم و هیبرید (تغییرشکل و اتصال مقاومت‌ها، ترمیستورها و مگنورزیستورها[1])
- تکنولوژی نیمه‌ی رسانا (اثر هال و حسگرهای درجه‌ی حرارت)
- تکنولوژی میکرومکانیکال سطحی و حجمی (حسگرهای فشار و شتاب شکل ۱۰ــ۲).
- تکنولوژی میکروسیستم (تلفیق و ترکیب دو تکنولوژی میکروالکترونیک و میکرومکانیک)

ضرورت وابستگی کارکرد بین قطعات مکانیکی و حسگرها جایگاه کاربردی و سازگاری کاری ویژه‌ای برای حسگرها به‌وجود می‌آورد. به این ترکیب کاری الکترونیک و مکانیک، مکاترونیک گفته می‌شود و جایگاه خاصی دارد.

۵ــ۴ــ۱ــ درصد خطا (Error percent) : با مقایسه‌ی کاربرد پراب‌ها و حسگرها در پردازش و با کمی اغماض می‌توان دقت انتقال داده‌ها را نسبتاً یک‌نواخت دانست. معمولاً در اثر عوامل فرسایشی اجتناب ناپذیر، خطا ایجاد شده که مقدار مجاز آن حداکثر ٪۱≤ می‌باشد. خطای مجاز را می‌توان به‌وسیله‌ی تکنیک‌های مختلف جبران‌سازی، تصحیح و برطرف نمود و نتیجه‌ی اندازه‌گیری شده را در برابر اختلال سیگنال‌ها به‌کار برد و قابل استفاده نمود. با دقت در مطالب فوق، به این نکته پی می‌بریم که بیش‌ترین موارد استفاده از این تکنیک‌ها در سیستم‌های پیچیده و پیشرفته است.



شکل ۱۰ــ۲ــ ساختمان یک المنت اندازه‌گیری میکرومکانیکال



شکل ۱۱ــ۲ــ سطح‌بندی حسگر

۱ــ **magnetaesistor** : مقاومتی است که مقدار آن با شدت میدان مغناطیسی اعمال شده به آن تغییر می‌کند. از آن‌ها به‌طور معمول به صورت زوج مدار پل استفاده می‌کنند که یک آهن‌ربای دائمی با بایاس مغناطیسی آن را تأمین می‌کند.

برنامه‌ریزی و روش تولید: برای رسیدن به سطح بالایی از دقت در اندازه‌گیری، ساخت همراه با تلرانس کم، کالیبراسیون دقیق و تکنیک، جبران‌سازی ویژه‌ای را می‌طلبد (شکل ۱۱ــ۲).

یک مرحله‌ی مهم در مجتمع‌سازی پیوند عناصر مختلف حسگر، روش Monolithic یا Hybrid است، که در آن سیگنال‌های الکترونیکی، مستقیماً در محل اندازه‌گیری می‌شوند و مدارهای دیجیتال پیچیده‌ای (متشکل از مبدل آنالوگ/دیجیتال و میکروکامپیوترها) را فعال می‌کنند. به این گونه سیستم‌ها حسگرهای هوشمند می‌گویند.

مزیت این حسگرها دقت ذاتی آن‌هاست و مهم‌ترین خصوصیات‌شان عبارت‌اند از :

۱ــ کاهش در بارگذاری واحدهای کنترل مرکزی (Ecuها)

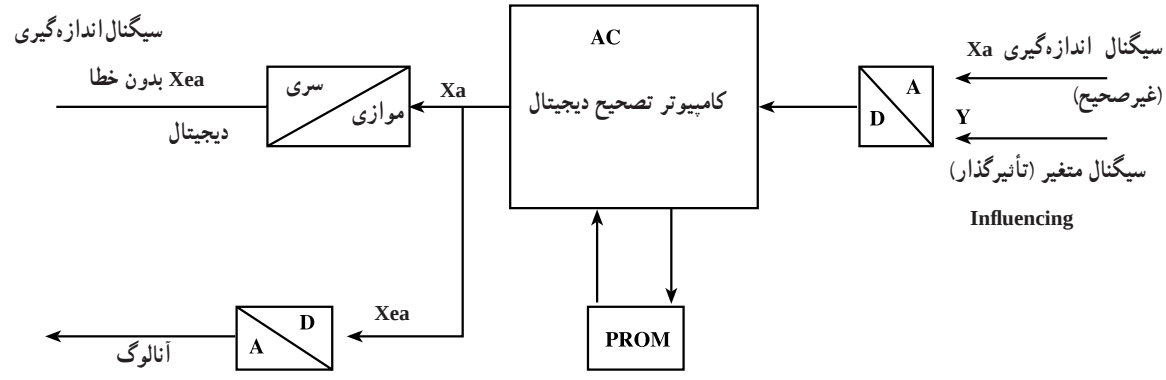
۲ــ یک‌نواختی، انعطاف‌پذیری و سازگاری با Bus

۳ــ توانایی استفاده حسگرها برای پردازش سریع محاسبات توابع مختلف

۴ــ تقویت و تفکیک متناسب عوامل اندازه‌گیری جهت استفاده از خروجی ضعیف و فرکانس بالا

۵ــ تصحیح خطای حسگر در محل اندازه‌گیری و جبران کالیبره کردن حسگر و سیگنال‌های واسط که موجب ساده شدن و بهبود ذخیره‌ی اطلاعات در یک PROM می‌شود.

«حسگرهای هوشمند»، در صورت همزمانی خطای اجرای برنامه و پارازیت تبدیل سیگنال‌های آنالوگ به دیجیتال، می‌توانند تقریباً بدون اشتباه، با تأثیر گذاشتن بر مدل محاسباتی حسگر، داده‌ی قابل تغییر و مورد نیاز را برآورد کنند (معادله‌ی ۲ و ۱)



شکل ۱۲ــ۲ــ الگوی تصحیح و خطا در حسگر هوشمند

از پارامترها، با الگوی مخصوص، دربرآورد مقدار ذخیره‌سازی استفاده می‌شود و موجب ثبت یک مقدار متغیر پردازش شده را، که همانند با کالیبراسیون است، در مکان طراحی شده برای حسگر داخل PROM ثبت می‌کند (شکل ۱۲ــ۲).

در این روش، توسط معادلات دیفرانسیل، هر یک از مقادیر ثبت شده ارزش‌یابی می‌شوند و اصلاح ویژگی‌های استاتیک و دینامیک آن‌ها در سطح وسیعی امکان‌پذیر است.

مدارات الکترونیکی با ساختار چند حسگری (متشکل از تعدادی حسگر مشابه یا متمایز) با استفاده از روش پردازش فوق‌الذکر فشرده می‌شوند و برای ذخیره‌سازی وقایع پیچیده، فضای مناسبی را ایجاد می‌کنند. کاربرد تعداد زیاد حسگر افزایش ضریب اطمینان را در اندازه‌گیری امکان‌پذیر نمی‌کند ولی موجب می‌شود تغییرات در مقادیر اندازه‌گیری شده (خروجی از منبع اصلی تولید) کاهش یابد.

اگر طراحی سیستم به گونه‌ای باشد که از چند حسگر با دامنه‌ی اندازه‌گیری مختلف، در یک زمان، جهت نمونه‌برداری استفاده گردد، می‌توان با این روش، دقت اندازه‌گیری را افزایش و درصد خطا را به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش داد.

به‌طورکلی حسگرها را، با توجه به متغیرهای فیزیکی اندازه‌گیری شده در خودرو، می‌توان به صورت‌های زیر نشان داد.

الف : حسگرهای موقعیت (جابه‌جایی و زاویـه) شامل حسگرهای دریچه‌ی گاز، پدال، موقعیت آینه‌ها، صندلی، سطح سوخت، جابه‌جایی کلاچ سرو، فاصله مانع، فرمان، زاویه چرخ و ...

ب : حسگر سرعت و دور شامل سرعت دورانی حول محور عمودی Yaw، دور میل‌لنگ، دور میل بادامک، دور چرخ‌ها (در ABS)، پمپ تزریق سوخت در دیزل و ...

ج : حسگرهای شتاب و ارتعاش شامل ضربه، کیسه هوا کمربند ایمنی، حسگر به‌کار رفته در سیستم ضد قفل ترمز و ...

د : حسگر فشار : شامل فشار منیفولد ورودی، فشار ترمز، فشار فنر بادی، فشار چرخ، فشار ضربه‌گیر، فشار مخزن هیدرولیک، فشار در کولرگازی و تهویه مطبوع، فشار در سیلندر اصلی و فرعی تقسیم ترمز، فشار محفظه احتراق، فشار ریل سوخت و ...

هـ : حسگر گشتاور و نیرو شامل نیروی دمپینگ در سیستم تعلیق اتوماتیک، محافظت از دستان در سقف‌های اتوماتیک خودرو و ...

و : حسگر دبی : شامل جریان هوا در منیفولد

ز : حسگرهای دما : شامل، کالیپر ترمز، دمای سوخت، باتری، هوای چرخ، مایع خنک‌کاری، روغن، کابین سرنشین

ح : دیگر حسگرها شامل رطوبت، گرد و غبار، باران، تصویر و ...

۲ــ انواع حسگر

۱ــ۲ــ حسگرهای تشخیص موقعیت (جابه‌جایی/ زاویه)

این حسگرها اَشکال مختلف موقعیت جابه‌جایی و زاویه را ثبت می‌کنند و بیش‌ترین کاربرد را در وسایل نقلیه دارند. به دلیل کاربرد طولانی مدت این نوع حسگرها در خودرو، این قطعات تغییرات و تکامل زیادی یافته‌اند.

این حسگرها ضد سایش‌اند. بنابراین، از دوام بالا و قابلیت اطمینان بیش‌تری برخوردارند و غالباً کارخانه‌های تولید وسایل نقلیه از این نوع حسگرها در نقاط مختلف خودرو استفاده می‌کنند.

کیفیت اندازه‌گیری و ابعاد حسگرها به یکدیگر وابسته‌اند و این نوع حسگرها فقط برای مقادیر حدی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

روش طبقه‌بندی مورد استفاده در این بخش مبتنی بر اصول اندازه‌گیری و مقدار شدت تغییر مکان یا حرکت لحظه‌ای است و این حسگرها برای اندازه‌گیری مقادیر نیرو، گشتاور و شتاب که در حد میکرو است کاربرد ندارند.

اندازه‌گیری حسگرهای تشخیص جابه‌جایی، جهت فواصل، دامنه‌ای بزرگ‌تر از (≥۱mm) و زوایـای (≥۱) دارد.

برای درک بهتر مشخصات هر یک از مواضع واقعی اندازه‌گیری جدول‌های ۱ــ۲ و ۲ــ۲ را مطالعه نمایید.

جدول ۱ــ۲ــ تغییرات جابه‌جایی یا زاویه با اندازه‌گیری مستقیم

نوع متغیر	دامنه‌ی اندازه‌گیری
زاویه‌ی دریچه‌ی گاز در موتورهایSI	۹
موقعیت پدال گاز / پدال ترمز	۳
موقعیت صندلی، چراغ جلو، آینه	-
موقعیت میل شانه گاز در پمپ انژکتور خطی	۲۱mm
زاویه‌ی نشست سوخت پاش روی پمپ انژکتور آسیایی	۶
سطح سوخت داخل باک	۲ ــ ۵ cm
فاصله‌ی مابین دو خودرو از مانع	۱۵ m
مسیر حرکت عملگر کلاچ	۵ mm
زاویه‌ی فلکه فرمان	±۲×۳۶
زاویه‌ی مسیر حرکت خودرو	۳۶

جدول ۲ــ۲ــ تغییرات جابه‌جایی یا زاویه با اندازه‌گیری غیرمستقیم	
نوع متغیر	دامنه‌ی اندازه‌گیری
تغییر مکان فنر (ارتفاع چراغ جلو، انحراف محور طولی خودرو نسبت به راستای افق)	۲۵mm
زاویه‌ی پیچش (گشتاور)	۴ــــ۱
انحراف صفحه‌ی حسگر جریان سنج هوا	۹ــــ ۳
انحراف حسگر شتاب	۱mm ــــ/۵
فاصله با دامنه، نزدیک (سیستم پارک کمکی)	۱ m
دوربین مادون قرمز با دامنه‌ی کوچک و بزرگ	۱ m

حسگرهای نوع پتانسیومتری: در پتانسیومتر نوع جاروبکی (شکل ۱۳ــ۲) اندازه‌گیری، توسط مطابقت مابین طول معین از یک سیم یا نوار مقاومتی (از جنس سرمت[1] یا پلاستیک با قابلیت هدایت) و مقاومت کل، صورت می‌گیرد.

در حال حاضر، این نوع حسگرها پایین‌ترین قیمت را برای جابه‌جایی یا زاویه دارند. همیشه، از طریق مقدار ولتاژ عبوری مابین نوار با مقاومت کم و مقاومت RV، می‌توان مقاومت را اندازه‌گیری کرد و کالیبراسیون نقطه‌ی صفر را تعیین نمود.

حسگرهای نوع پتانسیومتری دارای جاروبک در سه طرح «قاشقی»، «تیغه‌ای» و «زغالی» هستند و فرم منحنی نوار مقاومتی هر یک از آن‌ها متأثر از شکل مقطع نوارند.

اتصال نوع جاروبکی همیشه به صورت دوتایی است و در تماس با مسیر متفاوت در مقاومت (رسانا و مقاومت‌دار) طراحی می‌گردد و بار الکتریکی انتقالی آن، در اثر فرسایش یا پوشیده شدن سطح تماس با مواد زاید، کاهش می‌یابد.

مزایای حسگر نوع پتانسیومتری عبارت‌اند از :

- داشتن قیمت پایین
- داشتن طراحی ساده
- نیاز نداشتن به مدار الکترونیکی
- داشتن دامنه‌ی اندازه‌گیری بالا (ولتاژ تغذیه زیاد)
- برخورداری از سطح بالای مصونیت در مقابل امواج الکترومغناطیسی
- داشتن دامنه‌ی وسیع حرارتی (تا c°۲۵۰)
- داشتن دقت بالا یا درصد خطای پایین (۱٪ در کل دامنه‌ی اندازه‌گیری)
- برخورداری از دامنه‌ی حرکت زیاد (تقریباً تا ۳۶۰درجه)
- داشتن قابلیت طراحی و نصب قطعه‌ی اضافی به آن
- داشتن امکان کالیبراسیون
- برخورداری از مشخصات قابل انعطاف (عرض متغیر نوار رسانا)
- داشتن سهولت در تجمیع (اجزا)
- برخورداری از تولیدهای متنوع وگوناگون
- فرآورده‌ای با قابلیت نمونه‌سازی سریع

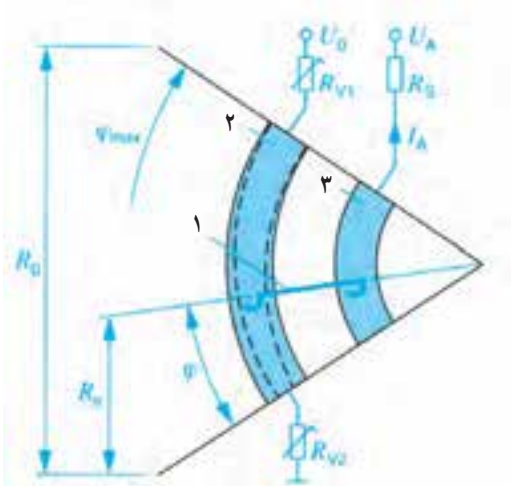
معایب حسگرهای نوع پتانسیومتری عبارت‌اند از :

- داشتن فرسایش مکانیکی
- داشتن خطا در اندازه‌گیری (به سبب ذرات حاصل شده از سایش)
- داشتن شرایط مشکل محیطی (کار کردن در سوخت)
- امکان تغییر در مقاومت تماس بین جاروبک و مسیراندازه‌گیری
- جدا شدن جاروبک در اثر تغییرات شدید شتاب حرکتی (منفی یا مثبت)
- داشتن هزینه‌ی بالای آزمایش
- داشتن محدودیت در مینیاتورسازی
- داشتن نویز (ارتعاش)

مثال‌هایی از کاربرد حسگر نوع پتانسیومتری عبارت‌اند از :

- موقعیت دریچه‌ی گاز
- پدال گاز ــ مدول پدال گاز
- سطح سوخت داخل باک

۱ــ **cermet** : واژه‌ای برای آلیاژ سرامیک ــ فلز. سرمت مخلوطی از پودر یک فلز گران‌بها مانند پالادیم با پودر شیشه و یک چسب فرّار است، که به صورت پوسته‌ی ضخیم رسانا روی بستری سرامیکی قرار داده می‌گیرد و سپس با پخت کوره‌ای سخت می‌شود. عناصر مقاومتی سرمتی در ساخت انواع مختلف مقاومت‌ها و پتانسیومترها به‌کار می‌روند.



۱ــ جاروبک
۲ــ نوار مقاومتی
۳ــ نوار رسانا
I_A ــ جریان جاروبک
U_O ولتاژ تغذیه
U_A ولتاژ اندازه‌گیری
R مقاومت
φmax حداکثر زاویه‌ی پیچش
φ زاویه‌ی اندازه‌گیری

شکل ۱۳ــ۲ــ پتانسیومتر نوع جاروبکی

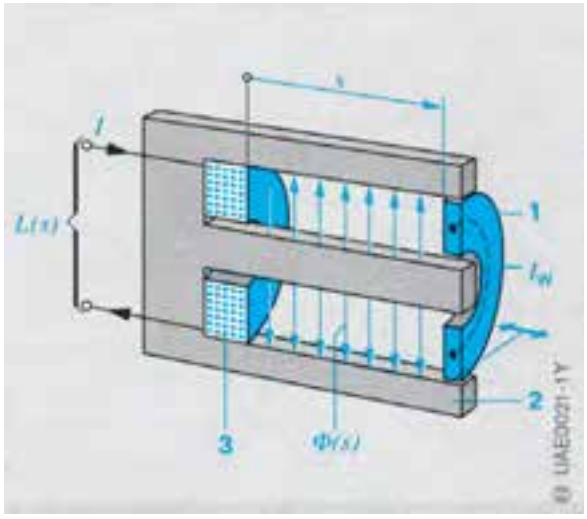
۲ــ۲ــ حسگر با القای مغناطیسی

حسگرهای مغناطیسی، از میان انواع گوناگون حسگرهای مجاورتی و بدون تماس (جهت اندازه‌گیری موقعیت) بیش‌ترین پایداری و عدم حساسیت نسبت به تداخل را دارند و اصول عملکرد آن‌ها بر مبنای جریان متناوب (القای مغناطیسی) استوار است.

در مقایسه با حسگرهای میکرومکانیکال، پیکربندی وشکل سیم‌پیچ به فضای فوق‌العاده زیادی احتیاج دارد و این مسئله امکان طراحی مناسب را کاهش می‌دهد. به علاوه سیم‌پیچ‌ها از لحاظ ضریب اطمینان و قیمت، جایگاه مطلوبی را ندارند.

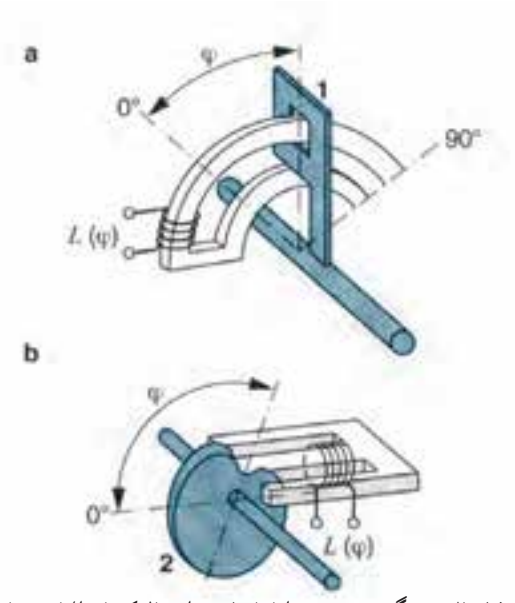
این حسگرها به صورت تک سیم‌پیچ یا دو سیم‌پیچ‌اند و سیم‌پیچ دوم باعث تعادل می‌گردد (انواع این حسگر در شکل‌های ۱۴ــ۲، ۱۵ــ۲ و ۱۶ــ۲ آمده است)

سیم‌پیچ با جریان AC و با فرکانس بالا فعال می‌شود و خطوط شارمغناطیسی ایجاد شده توسط سیم‌پیچ از سطح جسم رسانای الکتریسیته، که به شکل دیسک، حلقه و یا استوانه است، عبور می‌کند و به ایجاد جریان گردابی (Eddy-current) در سطح آن‌ها می‌انجامد. تغییر فاصله‌ی مکانی جسم رسانای الکتریسیته نسبت به سیم‌پیچ باعث می‌شود جریان گردابی و امپدانس در سیم پیچ تغییر کند ودر ولتاژ عبوری از آن نوسان تولید نماید. این تغییر در دامنه‌ی ولتاژ برای اندازه‌گیری به‌کار می‌رود. حسگرهای القایی را می‌توان جهت اندازه‌گیری زوایا یا حرکت خطی به‌کار برد.



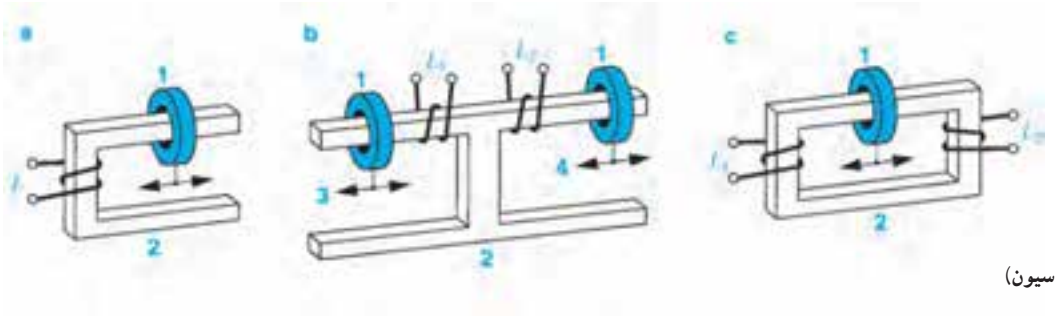
شکل ۱۴ــ۲ــ حسگر با حلقه‌ی اتصال کوتاه

۱ــ حلقه‌ی اتصال کوتاه
۲ــ هسته‌ی آهن‌ربای نرم
۳ــ سیم‌پیچ
I جریان
I_W جریان گردابی Eddy current
l(s) ظرفیت القایی
Φ (S) حوزه‌ی مغناطیسی برای اندازه‌گیری مسیر S



a ـ حسگر با حلقه‌ی اتصال کوتاه
b ـ با دیسک اتصال کوتاه
۱ـ رینگ اتصال کوتاه
۲ـ دیسک اتصال کوتاه
L(φ) ـ ظرفیت القایی
φ ـ زاویه‌ی اندازه‌گیری

شکل ۱۵ـ۲ـ حسگر موقعیت زوایا با حلقه‌ی اتصال کوتاه (القای مغناطیسی)



a- نوع تکی
b- نوع نیمه دیفرانسیلی
c - نوع تمام دیفرانسیلی
۱- حلقه‌ی اتصال کوتاه
۲ـ هسته
۳ـ سیستم اندازه‌گیری
۴ـ سیستم مرجع (کالیبراسیون)
L - ظرفیت القایی

شکل ۱۶ـ۲ـ حسگر اندازه‌گیر طولی با حلقه‌ی اتصال کوتاه

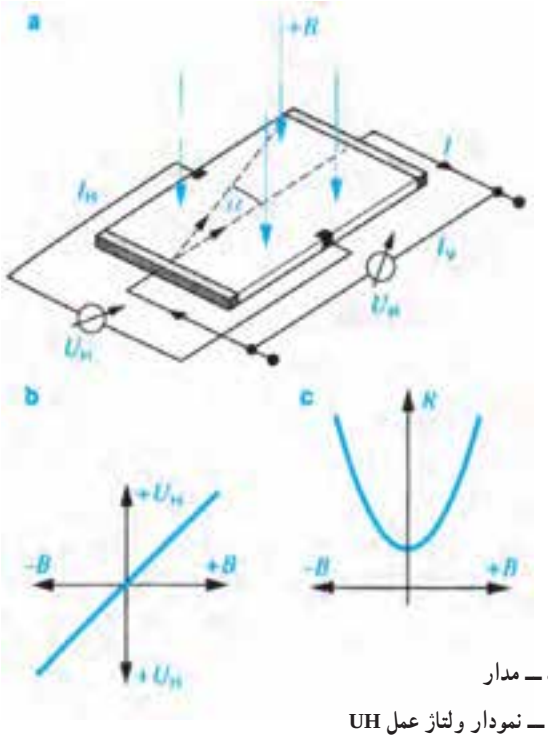
به‌طور خلاصه حسگرهای مجاورتی القایی مغناطیسی به سه نوع تقسیم می‌شوند : ۱ـ نوع جریان گردابی ۲ـ نوع حلقه‌ی اتصال کوتاه ۳ـ حسگر هلا

۱ـ۲ـ۲ـ حسگرهای مگنتواستاتیک[1] : حسگرهای مگنتواستاتیک میدان مغناطیسی DC را اندازه‌گیری می‌کنند (اثر هال، گاوس) در مقایسه با حسگرهای القایی با سیم پیچ، این قطعات برای مینیاتورسازی متناسب‌ترند و می‌توان آن‌ها را با هزینه‌ای مناسب توسط تکنولوژی میکروسیستم تولید نمود.

۲ـ۲ـ۲ـ حسگرهای گالوانو مگنتیک : در این حسگرها میدان مغناطیسی به یک سیگنال الکتریکی تبدیل و تغییر شکل می‌یابد. از موارد کاربردی گالوانومگنتیک می‌توان به ولتاژ هال، مقاومت مغناطیسی و تمرکز مغناطیسی اشاره کرد.

۳ـ۲ـ۲ـ اثر هال (Hall effect) : اگر ماده‌ی نیمه رسانا حامل جریان در یک میدان مغناطیسی عمود بر جریان عبوری قرار گیرد ولتاژی در عرض نیمه رسانا تولید می‌شود که به آن «اثر هال» گفته می‌شود. انحراف الکترون‌ها در اثر میدان مغناطیسی و تجمع الکترون‌ها در یک لبه و کم‌بود آن‌ها در طرف مقابل، به نداشتن تعادل و به‌وجود آمدن ولتاژ هال منجر می‌شود (شکل ۱۷ـ۲).

۱ـ **magnetostatic** : خواص مغناطیسی‌ای است که به حرکت میدان‌های مغناطیسی بستگی ندارد.



a ــ مدار

b ــ نمودار ولتاژ عمل UH

C ــ افزایش مقاومت ویفر R (اثرگاوس)

B ــ القای مغناطیسی

I ــ جریان ویفر

I_H ــ جریان هال

I_V ــ جریان تغذیه

U_R ــ ولتاژ طولی

α ــ انحراف الکترون‌ها در اثر میدان مغناطیسی

شکل ۱۷ــ۲ــ اثر گالوانومگنتیک (هال)

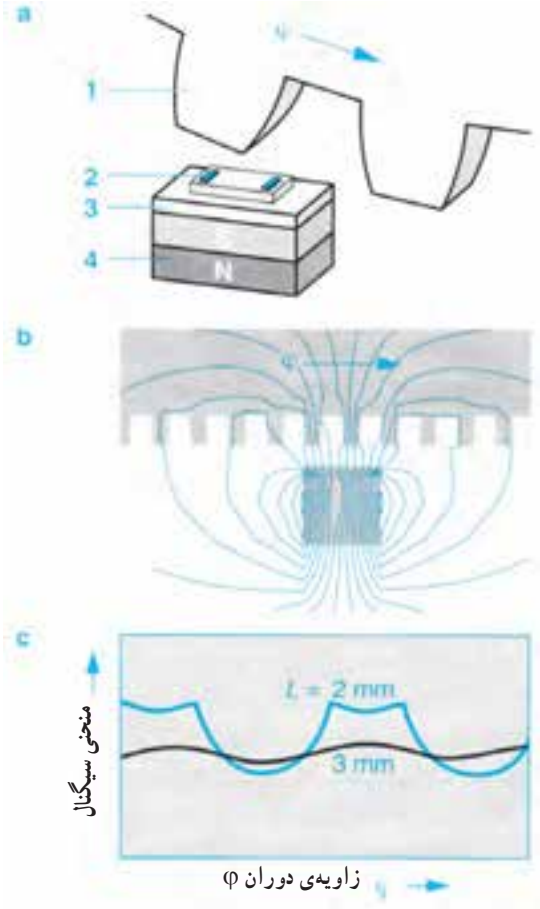
کاربرد اثر هال

الف) سوئیچ هال: با استفاده از یک مولد هال و تقویت آن روی تراشه و کنترل ولتاژ و یک اشمیت تریگر[1] می‌توان عملکرد یک سوئیچ را ایجاد کرد. هم‌چنین می‌توان از این اثر در ساخت حسگرهای اندازه‌گیری جابه‌جایی، سرعت و زاویه استفاده نمود.

حسگرهای دیفرانسیلی اثر هال: اگر دو سیستم کامل هال روی یک تراشه و در یک فاصله معین قرار داشته باشند، مدار الکترونیک اختلاف ولتاژهای هال مابین آن‌ها را ارزیابی می‌کند.

حسگرهای دیفرانسیلی اثر هال فقط تغییر القای مغناطیسی را ثبت می‌کند و پلاریته‌ی سیگنال خروجی آن‌ها نیز مستقل از فاصله‌ی هوایی، بین روتور و حسگر است. سیگنال‌های خروجی این حسگرها را نمی‌توان در واقعیت، از مقدار مطلق شدت میدان مغناطیسی مستقل دانست (نام عمومی این قطعات حسگرهای گرادیان است). این قطعات بیش‌ترین استفاده را جهت اندازه‌گیری سرعت دورانی دارند و برای دست‌یابی به سیگنال خروجی مطلوب دو حسگر روی لبه‌ی تراشه و در فاصله‌ای تقریباً نصف فاصله‌ی دندانه‌های روتور قرار می‌گیرند. (شکل ۱۸ــ۲)

هر چه مقدار فاصله‌ی هوایی کم‌تر باشد کیفیت سیگنال خروجی بهتر خواهد بود.



a ــ طرح و ساختمان

b ــ شدت میدان مغناطیسی

c ــ منحنی سیگنال برای فاصله‌ی هوایی با عرض L

۱ــ روتور

۲ــ IC اثر هال دیفرانسیلی

۳ــ ویفر هموژنیزه (آهن نرم)

۴ــ آهن‌ربای دائم

شکل ۱۸ــ۲ــ حسگر اثر هال دیفرانسیلی

۱ــ **اشمیت تریگر** : مدار فرمانی است که سیگنال ورودی AC را به عملکرد سویچینگ و سیگنال خروجی موج مربعی تبدیل می‌کند.

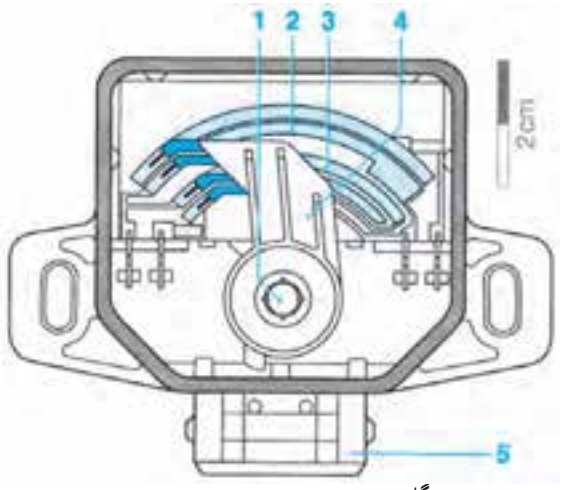
۳ــ۲ــ انواع حسگر موقعیت و زاویه

۱ــ۳ــ۲ــ حسگر دریچه‌ی گاز : از حسگر دریچه‌ی گاز برای ثبت زوایای چرخش دریچه‌ی گاز موتورهای بنزینی استفاده می‌شود (شکل ۱۹ــ۲). از دیگر موارد کاربرد آن می‌توان به وظیفه‌ی تعیین اطلاعات مستمر برای شناسایی دامنه‌ی عملکرد موتور (دور آرام، بخش بار)، حالت واماندگی اولیه (سکته داشتن) و ارسال سیگنال اضطراری اشاره کرد. در حسگرهای دریچه‌ی گاز، که به عنوان حسگر بار موتور مورد استفاده قرار می‌گیرند، برای دست‌یابی به دقت مورد لزوم از دو پتانسیومتر جهت اندازه‌گیری بهره گرفته می‌شود.

طراحی و نحوه‌ی عملکرد: حسگر دریچه‌ی گاز یک پتانسیومتر از نوع حسگر زاویه‌سنج با یک یا دو نوار مقاومتی منحنی شکل است. بازوی جاروبک به صورت مکانیکی از یک طرف به محور دریچه‌ی گاز و از طرف دیگر به ترتیب خاصی به زغال‌های لغزنده به نوارهای مقاومتی پتانسیومتر متصل است.

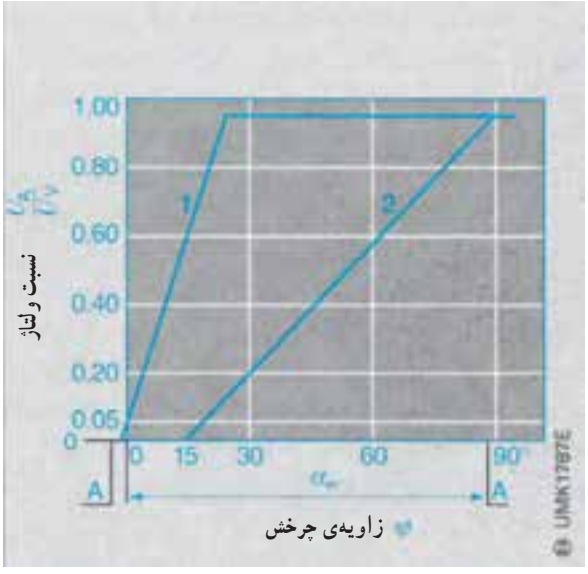
در عمل پردازش، مقدار چرخش محور دریچه‌ی گاز به نسبت ولتاژ $\frac{U_A}{U_V}$ و متناسب با زاویه‌ی چرخش تبدیل می‌شود (شکل ۲۰ــ۲) و ولتاژ عملکردی 5V است.

پتانسیومتر دو نوار مقاومتی دارد، با این توضیح که مدار نوار دوم همیشه از طریق اتصال الکتریکی جاروبک کامل می‌شود. این نوار مقاومتی دارای سطح و شکل یکسان با نوار اول است ولی از مواد رسانا با مقاومت پایین و به صورت چاپی تشکیل شده است (شکل‌های ۱۹ــ۲ و ۲۰ــ۲). جهت محافظت در مقابل بار بیش از حد ولتاژ عبوری و ایجاد نقطه‌ی صفر و کالیبراسیون، مقاومت کوچکی به‌طور سری با نوارهای مقاومتی در مدار نصب می‌شود. تغییر مقاومت در پتانسیومتر را می‌توان با ایجاد شکل ویژه‌ای برای نوار مقاومتی که به صورت تغییر عرض در سراسر نوار یا در بخش‌هایی از آن به‌وجود آورد.



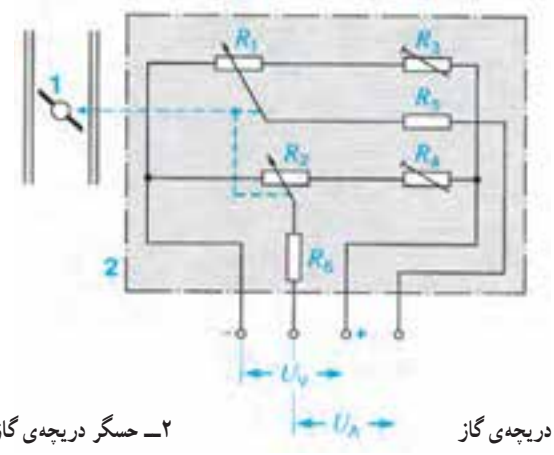
۱ــ محور دریچه‌ی گاز
۲ــ نوار ۱ مقاومت
۳ــ نوار ۲ مقاومت
۴ــ بازو و جاروبک آن
۵ــ اتصال الکتریکی (چهار سیمه)

شکل ۱۹ــ۲ــ حسگر دریچه‌ی گاز



A ــ ایست داخلی
۱ــ منحنی برای دقت زیاد دامنه‌ی زوایای ۲۳ ... ۰
۲ــ منحنی برای دامنه‌ی زوایای ۸۸ ... ۱۵
U_O ــ ولتاژ تغذیه
u_A ــ ولتاژ اندازه‌گیری شده
u_v ــ ولتاژ کاری
a_w ــ زاویه‌ی اندازه‌گیری شده‌ی مؤثر

شکل ۲۰ــ۲ــ حسگر دریچه‌ی گاز با دو منحنی



۱ــ دریچه‌ی گاز ۲ــ حسگر دریچه‌ی گاز

U_A ــ ولتاژ اندازه‌گیری شده U_V ــ ولتاژ عملکرد

R_1 و R_2 ــ نوارهای مقاومت ۱ و ۲

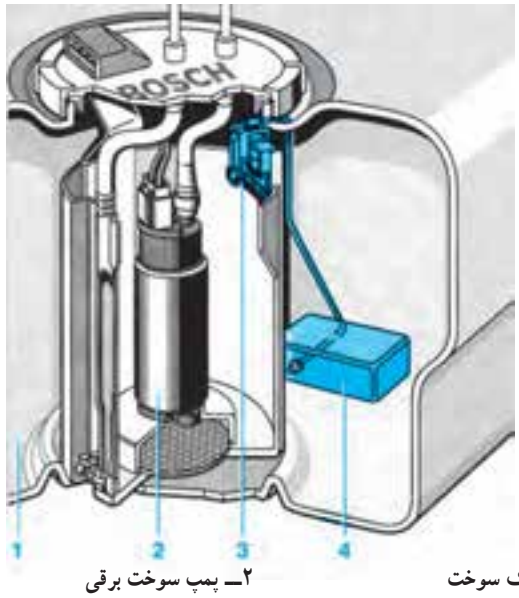
R_3 و R_4 ــ مقاومت کالیبراسیون (واسنجی)

R_5 و R_6 ــ مقاومت حفاظتی

شکل ۲۱ــ۲ــ حسگر دریچه‌ی گاز (مدار)

۲ــ۳ــ۲ــ حسگر سطح سوخت : کار این حسگر ثبت میزان سطح سوخت داخل باک و ارسال سیگنال مقتضی به واحد کنترل الکترونیکی (Ecu) یا صفحه‌ی نشان دهنده‌های خودرو است.

واحد باک شامل پمپ الکتریکی، فیلتر سوخت و حسگر است. این مجموعه داخل باک نصب می‌شود و علاوه بر ارسال سیگنال میزان سطح سوخت، سوخت تمیز را برای موتور تأمین می‌کند (شکل ۲۲ــ۲).



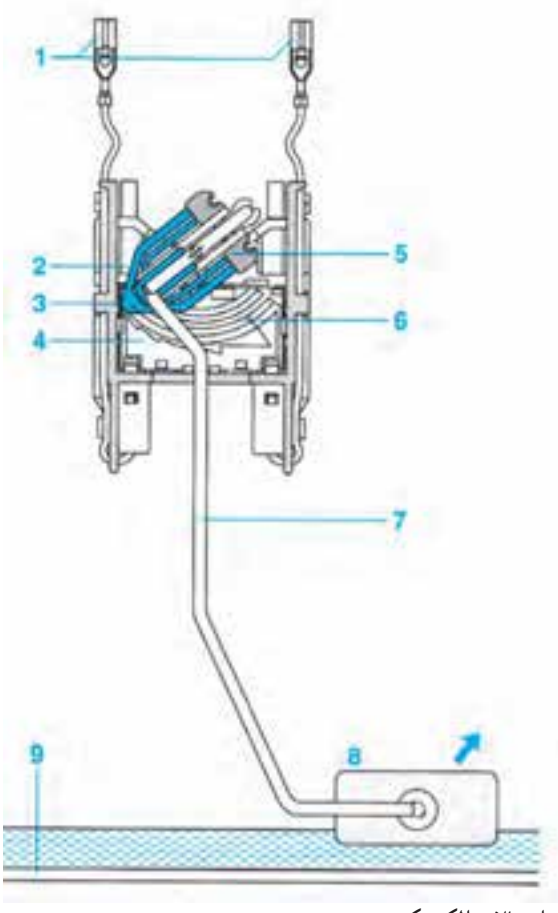
۱ــ باک سوخت ۲ــ پمپ سوخت برقی

۳ــ حسگر میزان سطح سوخت ۴ــ شناور

شکل ۲۲ــ۲ــ حسگر میزان سطح سوخت

ساختمان حسگر: حسگر میزان سطح سوخت (شکل ۲۳ــ۲) شامل یک پتانسیومتر با جاروبک فنری، رسانای چاپی یا اتصال زوجی، صفحه‌ی مقاومت (فیبر مدار چاپی) و اتصالات الکتریکی بوده است. این قطعه داخل محفظه‌ای مقاوم و آب‌بندی (نسبت به سوخت) قرار دارد.

اهرم جاروبک، که قابلیت حرکت چرخشی دارد، از یک انتها به شناور و از طرف دیگر به محور پتانسیومتر متصل است. شناور را می‌توان در دو وضعیت ثابت یاگردش به حالت آزاد روی اهرم شناور نصب کرد. طرح تخته‌ی مقاومت (فیبر مدار چاپی) و شکل اهرم شناور و شناور با طراحی مخصوص باک سوخت متناسب است.



۱ــ اتصالات الکتریکی ۶ــ اتصال زوجی

۲ــ فنر جاروبک ۷ــ اهرم شناور

۳ــ اتصال پرچی ۸ــ شناور

۴ــ صفحه‌ی مقاومت ۹ــ کف باک بنزین

۵ــ پین

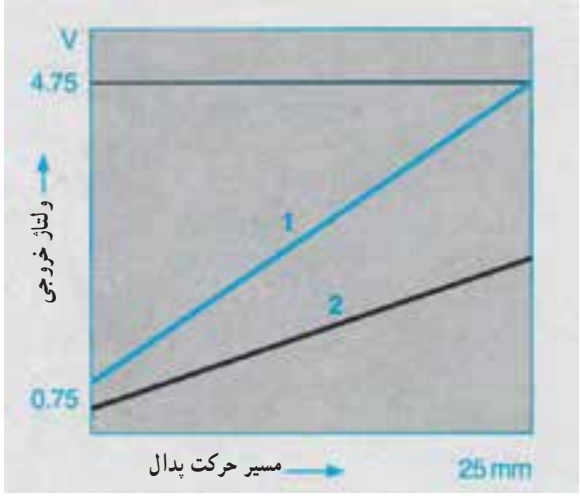
شکل ۲۳ــ۲ــ حسگر سنجش سوخت

نحوه‌ی عملکرد : جاروبک فنری پتانسیومتر به‌وسیله‌ی یک پین به اهرم شناور ثابت می‌شود و از طریق اتصال مخصوصی به شکل پرچ با جاروبک فنری و نوارهای مقاومتی پتانسیومتر در ارتباط است. وقتی اهرم شناور جاروبک‌ها را در مسیر نوارها حرکت می‌دهد، متناسب با هرکدام از زوایای چرخش شناور یک نسبت ولتاژ تولید می‌گردد. حداکثر دامنه‌ی چرخش ۱۰۰° و ولتاژ عملکردی بین ۵ تا ۱۳ ولت است.

۳ــ۳ــ۲ــ حسگر پدال گاز : به‌طور معمول در سیستم مدیریت موتور انتقال درخواست راننده برای شتاب‌دهی، سرعت ثابت یا کاهش سرعت موتور به‌وسیله‌ی کاربرد پدال گاز و تأثیر آن از طریق مکانیکی روی دریچه‌ی گاز موتورهای بنزینی ویا پمپ سوخت‌پاش (پمپ انژکتور) در موتورهای دیزل صورت می‌پذیرد. معمولاً ارتباط از پدال گاز به دریچه‌ی گاز یا پمپ سوخت‌پاش انژکتور به‌وسیله‌ی کابل کنترل یا اهرم‌بندی انجام می‌گیرد ولی امروزه کابل کنترل یا اهرم‌بندی در سیستم مدیریت موتور الکترونیکی جای‌گزین دارد. در نتیجه خروجی پدال گاز راننده به Ecu به‌وسیله‌ی حسگر پدال گاز انجام می‌شود و هر حرکت یا زاویه‌ی استقرار پدال گاز را ثبت و به Ecu موتور یک سیگنال الکتریکی ارسال می‌کند. این سیستم، به عنوان «drive-by-wire» (فرمان به‌وسیله‌ی سیم) شناخته می‌شود. هر مدول پدال گاز (شکل‌های b ــ ۲۵ــ۲ و c ــ ۲۵ــ۲) دارای حسگر پدال گاز منحصر به فردی است (شکل a ــ۲۵ــ۲) و این مدول‌ها در موقع نصب روی خودرو، به تنظیم اولیه نیاز ندارند.

حسگر پدال گاز نوع پتانسیومتری : قلب این حسگر پتانسیومتر است که وضعیت‌های عملکرد پدال گاز را با افزایش ولتاژ عبوری مشخص می‌کند و در واحد کنترل الکتریکی (Ecu) برنامه‌ی ویژه‌ای به‌کار رفته است، که در آن دستور محاسبه‌ی زاویه‌ی استقرار با مسیر پدال گاز از طریق ولتاژ میسر می‌گردد. یک نسخه از حسگر پدال گاز دارای یک پتانسیومتر ثانویه می‌باشد این حسگر ثانویه بخشی از سیستم پایش[1] است. و قابلیت دارد عملکرد نامطلوب را در مدیریت موتور تشخیص دهد. ولتاژ عبوری از پتانسیومتر ثانویه نصف ولتاژ عبوری از پتانسیومتر اولیه است و این سیگنال مستقل عیب‌یابی را میسر می‌سازد (شکل ۲۴ــ۲).

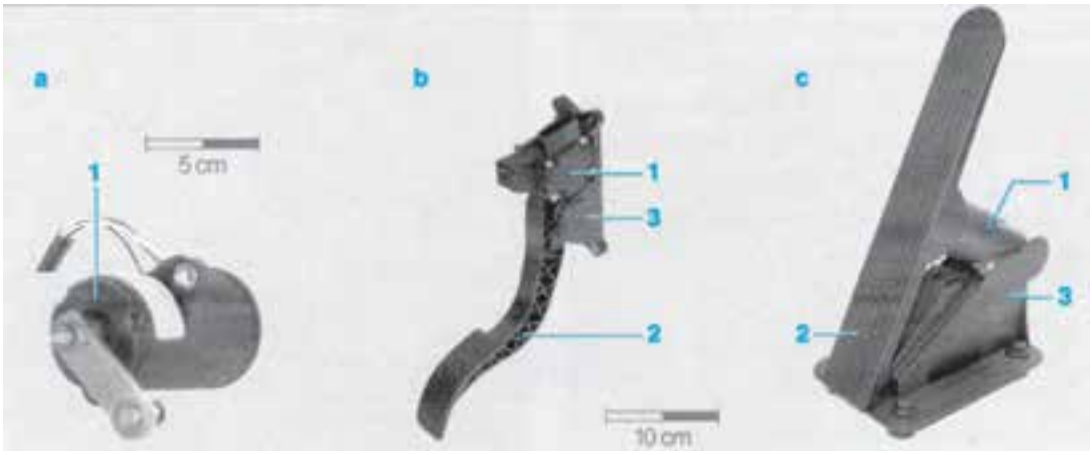
در نسخه‌ی دیگر حسگر پدال گاز پتانسیومتر ثانویه دارای یک سوئیچ دور آرام است که امکان ارسال یک سیگنال برای واحد کنترل الکتریکی (Ecu) را، وقتی پدال گاز در وضعیت دور آرام است، ایجاد می‌کند.



۱ــ پتانسیومتر ۱ــ (پتانسیومتر اصلی)
۲ــ پتانسیومتر ۲ (۰/۵ ولتاژ)

شکل ۲۴ــ۲ــ منحنی مشخصه‌ی یک حسگر پدال گاز با پتانسیومتر ثانویه

۱ــ **Monitoring** : پایش، نظارت و کنترل



a ــ حسگر پدال گاز

b ــ پدال گاز معلق

c ــ پدال گاز مستقر در کف

۱ــ حسگر

۲ــ پدال گاز

۳ــ پایه‌ی پدال

شکل ۲۵ــ۲ــ نسخه‌های حسگر پدال گاز

برای خودروهای مجهز به سیستم انتقال قدرت اتوماتیک، جهت ارسال سیگنال دنده‌ی معکوس، می‌توان از یک سوئیچ اضافی استفاده نمود.

حسگر زاویه‌ی چرخش اثر هال : اصول عملکرد حسگر زاویه‌ی چرخش بر مبنای حرکت مغناطیسی می‌باشد و دامنه‌ی اندازه‌گیری تقریباً ۹۰° است (شکل‌های ۲۶ــ۲ و ۲۷ــ۲).

نوع اول: یک روتور دیسکی از آهن‌ربای دائم و به شکل نیم دایره (شکل ۲۷ــ۲ شماره‌ی ۱) حوزه‌ی مغناطیسی تولید شده را، از طریق قطب کفشکی (۲) و اِلمنت رسانای آهن‌ربای نرم (۳) و شفت (۶) به روتور برگشت می‌دهد.

پردازش مقدار میدان برگشتی از طریق المنت رسانا، زاویه‌ی چرخش φ روتور را مشخص می‌کند و در آن‌جا یک حسگر اثر هال (۵) در مسیر حرکت مغناطیس المنت رسانا وجود دارد که امکان تولید یک منحنی ویژه‌ی خطی و عملی را برای تمام دامنه‌ی اندازه‌گیری ایجاد می‌نماید.

نوع دوم: با نوع اول طراحی یک‌سانی دارد ولی بدون المنت رسانای آهن‌ربای دائم است. یک آهن‌ربا دور حسگر اثر هال چرخش می‌کند و مسیر طی شده توسط آن یک قوس دایره‌ای شکل است (شکل ۲۸ــ۲).

جهت تبدیل منحنی سینوسی به حالت خطی، حسگر اثر هال را اندکی خارج از مرکز قوس (و با زاویه‌ی چرخش بیش‌تر از ۱۸۰°) قرار می‌دهند، ضمن این که نصب این حسگر در داخل مدول گاز به صورت مناسب امکان‌پذیر است.

۱ــ کاور

۲ــ روتور (آهن‌ربای دائم)

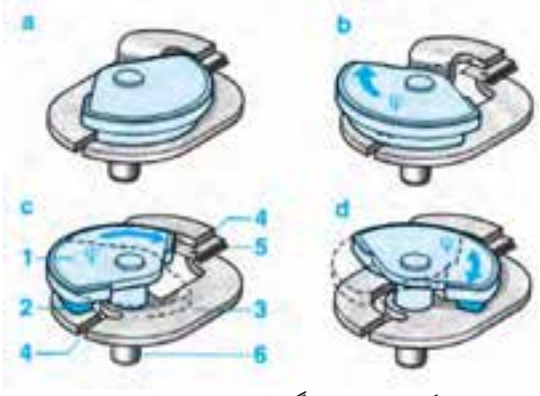
۳ــ سنجش‌گر و حسگر اثر هال

۴ــ پوسته‌ی اصلی

۵ــ فنر برگشت

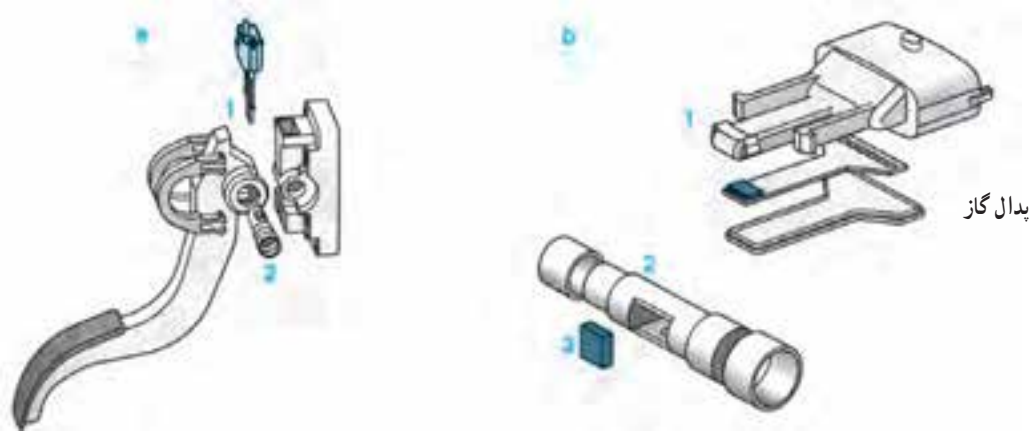
۶ــ دنده‌ی واسط

شکل ۲۶ــ۲ــ حسگر زاویه‌ی چرخش اثر هال



۱ــ روتور (آهن‌ربای دائم)
۲ــ کفشک
۳ــ المنت رسانا
۴ــ فاصله‌ی هوایی
۵ــ حسگر اثر هال
۶ــ شفت (آهن‌ربای نرم)
φــ زاویه‌ی گردش

شکل ۲۷ــ۲ــ حسگر زاویه‌ی چرخش اثر هال



a
۱ــ نصب شده داخل مدول پدال گاز
b ــ اجزا
۱ــ حسگر اثر هال
۲ــ محور پدال
۳ــ آهن‌ربا

شکل ۲۸ــ۲ــ حسگر زاویه‌ی چرخش

۴ــ۳ــ۲ــ حسگر زاویه‌ی فلکه‌ی فرمان : برنامه‌ی پایداری الکترونیکی (Esp) با گزینش ترمز انفرادی چرخ‌ها دستور نگه‌داشتن خودرو را طی مسیر مطلوب و توسط راننده انتخاب می‌کند. در این کنترل، مقادیر زاویه‌ی فلکه‌ی فرمان و فشار ترمزگیری یا حرکت چرخشی واقعی خودرو حول محور عمودی و سرعت خودرو مقایسه می‌شود و در صورت لزوم ترمز چرخ‌ها به صورت انفرادی به‌کار می‌افتند.

این مقایسه‌ی مقادیر برای نگه‌داری زاویه‌ی شناوری؛ یعنی انحراف مابین محور خودرو و میزان گردش واقعی خودرو، کم‌تر از یک مقدار حداقل تا رسیدن به یک محدوده‌ی فیزیکی مناسب از پایداری به منظور جلوگیری از ترمز کردن نامطلوب صورت می‌گیرد. به‌طور کلی تمام انواع حسگرهای زاویه‌ی چرخش برای ثبت زاویه‌ی فلکه فرمان مناسب‌اند. ولی برای رعایت ایمنی بیش‌تر، فقط استفاده از انواعی که اندازه‌گیری را در حالت ایده‌آل و یا به صورت خودکار انجام می‌دهند، توصیه می‌شود. بنابراین، اندازه‌گیری مقادیر فوق‌الذکر با استفاده از حسگرهایی که بر مبنای اصول پتانسیومتر، ثبت کد نوری و اصول مغناطیسی کار می‌کنند، امکان‌پذیر است.

باید در نظر داشت مقدار چرخش فلکه‌ی فرمان یک خودروی سواری $\pm 720^\circ$ است که مساوی با چهار دور گردش فلکه‌ی فرمان است. معمولاً حسگرهای زاویه‌ی گردش فقط می‌توانند حداکثر تا زاویه‌ی 360° را اندازه‌گیری می‌کنند و این به آن معناست که برای این منظور از حسگرهایی می‌توان استفاده کرد که توانایی ثبت و ذخیره‌سازی داده‌ها و اطلاعات موقعیت واقعی فلکه‌ی فرمان را دارا باشند.

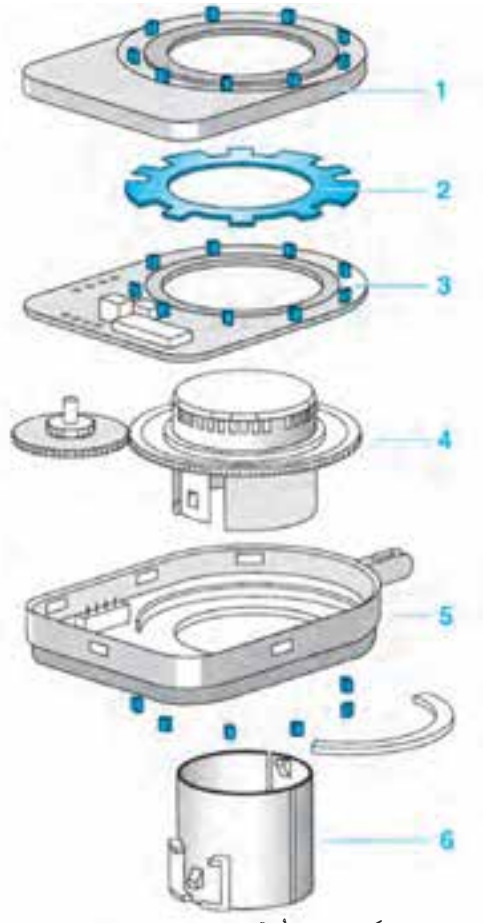
نحوه‌ی عملکرد: دو اندازه گیر مطلق برای بررسی

تفاوت‌های دو مجموعه اطلاعات اندازه‌گیری در حسگرهای زاویه‌ی دوران مغناطیسی وجود دارد. این حسگرها برای زاویه‌ی فلکه فرمان به‌طور کامل و در سراسر محدوده‌ی حرکت فرمان و یا در هر لحظه از زمان دارای خروجی هستند.

۵ــ۳ــ۲ــ حسگرهای زاویه‌ی فلکه‌ی فرمان با اثر هال : در این حسگرها (شکل ۲۹ــ۲) ۱۴ تیغه‌ی سوئیچ اثر هال برای ثبت زاویه‌ی گردش فلکه‌ی فرمان وجود دارد. یک المنت اثر هال، حوزه‌ی مغناطیسی آهن‌ربای هم‌جوار را می‌سنجد و یک دیسک ــ کد مغناطیسی که همراه با میل فرمان دوران می‌کند می‌تواند حوزه‌ی مغناطیسی ایجاد شده را شدیداً کاهش بدهد و یا آن را کاملاً قطع کند.

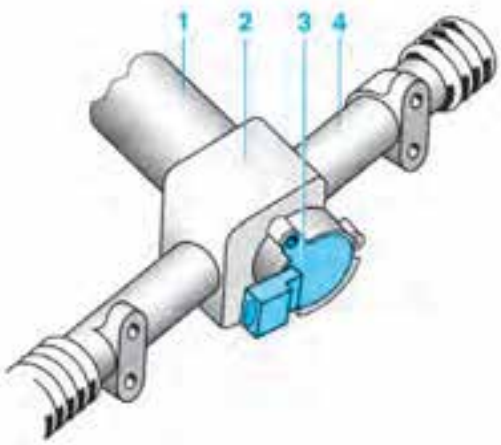
با این روش، نُه حسگر اثر هال امکان به‌دست آوردن موقعیت‌های مختلف زوایای فلکه‌ی فرمان را در حالت دیجیتال ایجاد می‌نمایند و پنج حسگر اثر هال باقی مانده مخصوص ثبت دوران فلکه‌ی فرمان‌اند و این مقدارتوسط دنده‌های موجود و با نسبت چهار به یک، نهایتاً تبدیل به زاویه‌ی ۳۶۰° می‌گردد.

در داخل اولین مورد، که در شکل گسترده‌ی حسگر زاویه‌ی فلکه‌ی فرمان به نمایش درآمده، مشخص شده نُه عدد آهن‌ربای دائم است. (شکل ۲۹ــ۲ شماره‌ی ۱). این حسگرها(در زمانی که به‌وسیله‌ی دیسک ــ کد، که از جنس آهن‌ربای نرم است و با شفت اصلی جعبه فرمان در ارتباط است) مطابق تغییر مکان فلکه‌ی فرمان حرکت کرده و برای هر سوئیچ اثر هال به صورت انفرادی، مانند پرده‌ای حائل عمل می‌کند. سوئیچ‌های اثر هال که در زیر دیسک ــ کد قرار دارند، به همراه یک میکروپروسسور، اطلاعات موقعیت زوایا را به داده‌های کدگذاری شده‌ی هم‌ساز با سیستم CAN - Bus تبدیل می‌کنند.



۱ــ درپوش محفظه‌ی حسگر به همراه نُه آهن‌ربا با فاصله‌ی متقارن
۲ــ دیسک ــ کد (از جنس آهن‌ربای نرم)
۳ــ فیبر مدار چاپی با نُه سوئیچ اثر هال و میکروپروسسور
۴ــ دنده تبدیل دور
۵ــ پنج تیغه‌ی اثر هال باقی‌مانده
۶ــ غلاف نگه‌دارنده‌ی لوله‌ی محافظ میل فرمان

شکل ۲۹ــ۲ــ گسترده‌ی حسگر زاویه‌ی فلکه‌ی فرمان



۱ــ لوله‌ی محافظ میل فرمان
۲ــ جعبه فرمان
۳ــ حسگر زاویه‌ی فلکه فرمان
۴ــ محفظه‌ی میل دنده‌ی شانه‌ای

شکل ۳۰ــ۲ــ حسگر زاویه‌ی فلکه‌ی فرمان برای اتصال به انتهای میل فرمان