۴ــ۲ــ حسگرهای سرعت و دور در دقیقه (RPM)

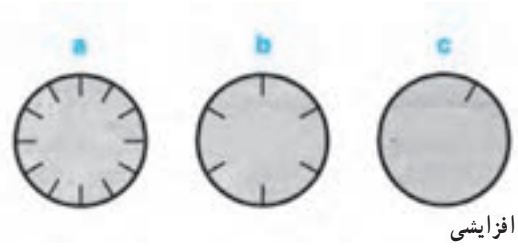
حسگرهای سرعت و دور (rpm)، تعداد دَوَران یا فاصله‌ی طی شده در واحد زمان را اندازه‌گیری می‌کنند.

دست‌یابی به اطلاعات برای خودرو در دو حالت الف) اندازه‌گیری مابین دو قطعه ب) اندازه‌گیری نسبت به سطح جاده یا وسایل نقلیه‌ی دیگر، صورت می‌گیرد.

بعضی از اندازه‌گیری‌ها نیاز به مقدار مطلق سرعت دورانی یا انحراف محور خودرو دارند. برای مثال می‌توان به برنامه‌ی پایداری الکترونیکی (ESP) اشاره کرد که در آن مقدار انحراف عمودی (یاو) محور خودرو به‌وسیله‌ی pick_off حس می‌گردد.

مقدار تغییرات تشخیص داده شده (وابسته به تعداد و مقدار اسکن روتور علامت‌گذاری شده در حسگرها، در انواع مختلف به شرح زیرند (شکل ۳۱ــ۲).

- **حسگر افزایشی (Incremental Sensor)** : در حسگر افزایشی محیط جانبی یک روتور به دقت علامت‌گذاری می‌شود و توسط این نوع حسگر و از طریق نقاط روی محیط، که به زوایای خیلی ظریف تقسیم شده است، امکان ثبت سرعت لحظه‌ای میسر می‌گردد.
- **حسگر سگمنت (قطایی) (Segment Sensor)** : روتور این حسگرها دارای تعداد کمی علامت جانبی است. (برای مثال اندازه‌گیری تعداد سیلندرها)
- **حسگر دور ساده** : روتور حسگرها دارای یک علامت جهت اسکن چرخش است و فقط می‌تواند مجموع سرعت دورانی را ثبت کند.



a ــ حسگر افزایشی

b ــ حسگر سگمنت

c ــ حسگر سرعت دورانی

شکل ۳۱ــ۲ــ انواع روتور سرعت دورانی

شکل‌های مختلف این حسگرها به‌صورت میله‌ای، چنگالی و پیچشی وجود دارد.

مثال‌هایی برای سرعت دورانی :

- سرعت میل لنگ و میل سوپاپ
- سرعت چرخ (ESP/ TCS/ ABS)
- سرعت پمپ سوخت پاش (پمپ انژکتور) موتور دیزل

در موارد ذکر شده همیشه با استفاده از سیستم پیکاپ صعودی که شامل یک چرخ فرمان دندانه‌دار و یک حسگر سرعت است عمل اندازه‌گیری صورت می‌گیرد.

مثال‌هایی از روش‌های پیشرفته :

- اندازه‌گیری سرعت دورانی با استفاده از حسگر دور ساده در بلبرینگ (بلبرینگ چرخ یا حسگر مرکب با کاسه نمد میل لنگ)

مقدار انحراف کم محور طولی خودرو (غلتش) و حداکثر آن (واژگونی)

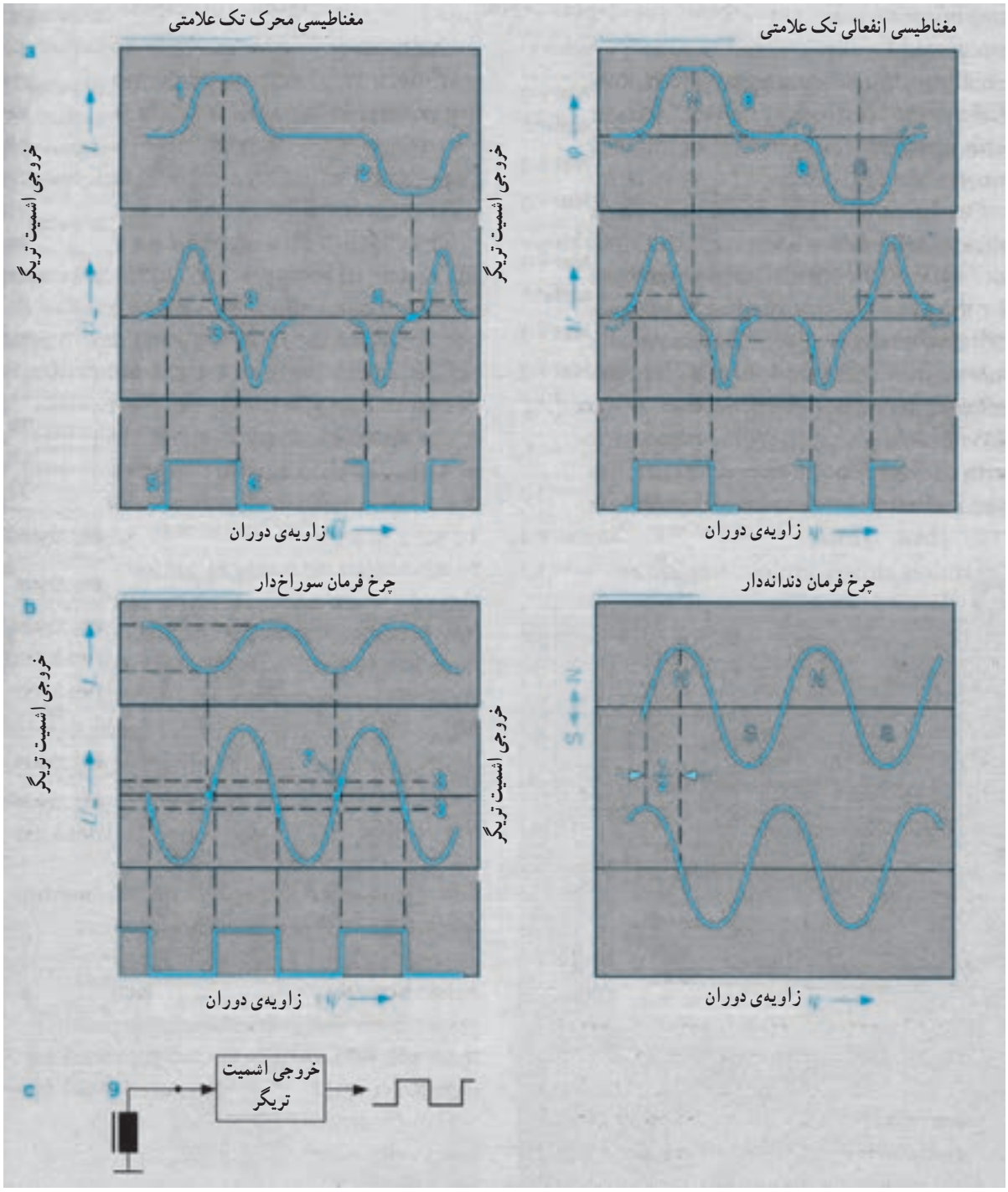
اصول اندازه‌گیری : اصول اندازه‌گیری در حسگرهای سرعت و دور بر مبنای القا و اثر هال است. اثر القایی در اندازه‌گیری سرعت دورانی و اثر هال برای اندازه‌گیری مطلق سرعت دورانی به‌کار می‌روند. حسگرهای اندازه‌گیر مطلق، یک مدار ارزیاب الکترونیکی به‌صورت یک‌پارچه دارد تا بعد از اندازه‌گیری، سیگنال خروجی را آماده‌سازی نماید (شکل ۳۲ــ۲).

از مزایا و معایب حسگرهای سرعت و دور به‌موارد زیر می‌توان اشاره کرد :

مزایا :

- هزینه‌ی ساخت کم
- مقاومت پایین استاتیکی و مقاومت دینامیکی بالا (مقاوم در برابر تداخل)
- فاقد مدار الکترونیکی بودن حسگرهای انفعالی
- توانایی کار با ولتاژ DC (مقاوم در برابر تغییرات ولتاژ)
- دامنه‌ی دمای کاری بالا
- **معایب** : محدودیت درکاهش اندازه به دلیل استفاده از سیم‌پیچ و تکنولوژی آن
- حساسیت نسبت به فاصله‌ی هوایی

شکل ۳۲ــ۲مسیر حوزه و منحنی ولتاژ برای یک حسگر نوع القایی با یک سیگنال مغناطیسی مطابق چرخش علامت، یک ساختار افزایش متناوب (چرخ فرمان دندانه‌دار یا سوراخ‌دار) و یک مدار ارزیاب را مشخص می‌کند.



a ــ سیگنال مغناطیسی مطابق چرخش علامت
b ــ ساختار افزایش متناوب
c ــ مدار ارزیاب
۱ ــ بادامک
۲ــ دهانه باشکاف
۳ــ نقطه‌ی سوئیچ‌کردن
۴ــ نقطه‌ی صفر از شیب منفی
۵ــ Priming edge
۶ــ Switching Flank
۷ــ نقطه‌ی سوئیچ‌کردن
۸ــ قطب میله‌ای
۹ــ حسگر
$\frac{\gamma}{2}$ ــ فاز شفت
L ــ اندوکتانس
U ــ ولتاژ
Q ــ شار مغناطیسی

شکل ۳۲ــ۲

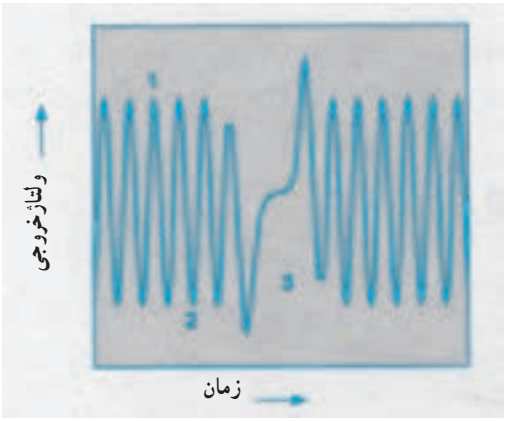
۱ــ۴ــ۲ــ حسگر سرعت موتور القایی :این قبیل حسگرهای سرعت موتور برای اندازه‌گیری پارامترهایی به‌شرح زیر مورد استفاده قرار می‌گیرند :

- دور موتور (دَوَران موتور در دقیقه)
- موقعیت میل لنگ (برای اطلاع دربـاره‌ی موقعیت پیستون‌های موتور)

سیگنال خروجی حسگرسرعت دورانی یک کمیت خیلی مهم در مدیریت الکترونیکی موتور است و مقدار سرعت دورانی از فرکانس سیگنال حسگر برآورد می‌گردد.

طراحی و نحوه‌ی عملکرد : حسگر مستقیماً در مقابل یک چرخ فرمان (۷) فرو مغناطیسی قرار دارد، (شکل ۳۴ــ۲) و با یک فاصله‌ی هوایی کم، این دو قطعه از یکدیگر جدا شده‌اند. حسگر دارای یک هسته از جنس آهن نرم (قطب میله‌ای) (۴) است که به سیم سلونوئید (۵) ضمیمه می‌گردد. این قطب میله‌ای (هسته) از طرف دیگر به یک آهن‌ربای دائم (۱) متصل است که با عبور یک حوزه‌ی مغناطیسی از میان آن در امتداد قطب به داخل چرخ فرمان نفوذ می‌کند.

میدان مغناطیسی پراکنده به‌وسیله‌ی یک دندانه‌ی متمرکز و هدایت شده و موجب افزایش میدان فعال در سراسر سیم پیچ می‌گردد و کاهش آن به‌وسیله‌ی فاصله (دهانه) صورت می‌پذیرد. پس میزان حوزه‌ی مغناطیسی سراسر سیم پیچ وابسته به آن، که دندانه‌ی چرخ فرمان یا فاصله (دهانه) در مقابل حسگر قرار بگیرد، به‌دلیل کاهش و افزایش حوزه‌ی مغناطیسی که در زمان دَوَران چرخ فرمان به‌وقوع می‌پیوندد یک ولتاژ سینوسی در سیم پیچ که متناسب با نسبت تغییر یا نوسان حوزه است، تولید می‌شود (شکل ۳۳ــ۲).



۱ــ دندانه ۲ــ فاصله (دهانه) ۳ــ علامت مرجع

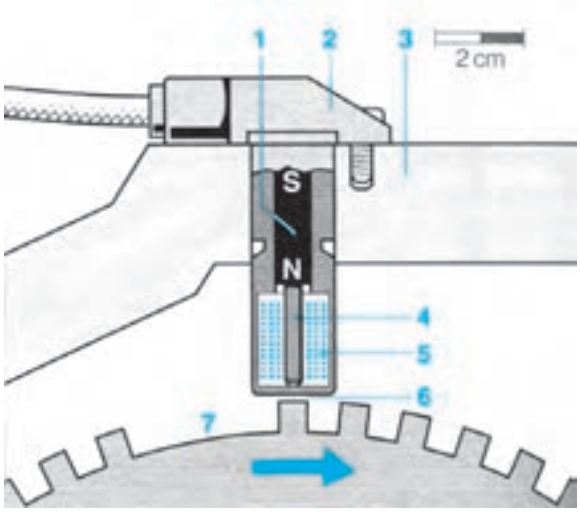
شکل ۳۳ــ ۲ــ سیگنال القایی یک حسگر rpm

همراه با افزایش سرعت چرخ فرمان، دامنه‌ی ولتاژ AC تولیدی نیز شدیداً افزایش می‌یابد (ولتاژ با دور متناسب است)، از چند mv تا ۱۰۰v و کم‌ترین میزان تعداد دوران مورد نیاز برای تولید یک سیگنال کافی ۳۰rpm است.

تعداد دندانه‌های روی چرخ فرمان دارای مشخصات ویژه‌ای است. برای مثال معمولاً در سیستم مدیریت موتور روی فلایویل، چرخ فرمانی با ۶۰ گام استفاده شده که دو دندانه‌ی آن حذف گردیده است (۷) یعنی چرخ فرمان دارای ۵۸=۲-۶۰ دندانه است.

در روی چرخ فرمان برای تعریف یک موقعیت از میل‌لنگ و علامت مرجع جهت برآورد و همزمان‌سازی با واحد کنترل الکترونیکی(ECU) یک فاصله‌ی (دهانه) خیلی بزرگ اختصاص یافته است.

در نوع دیگر از چرخ فرمان، برای هر سیلندر موتور یک دندانه وجود دارد، یعنی در این نوع برای یک موتور چهار سیلندر، چهار دندانه و در نتیجه در هر دور از دَوَران موتور چهار پالس تولید می‌گردد. در واحد کنترل الکتریکی با تبدیل ولتاژ سینوسی از کل مدار ارزیابی الکترونیکی صورت می‌گیرد و این کار توسط میکروکنترل موجود در آن (ECU) و تبدیل ولتاژ با دامنه‌های جدا و مختلف از یکدیگر به یک ولتاژ با موج مربعی شکل صورت می‌گیرد.



۱ــ آهن‌ربای دائم ۲ــ محفظه‌ی حسگر ۳ــ بلوکه‌ی سیلندر ۴ــ قطب

۵ــ سیم پیچ ۶ــ فاصله‌ی‌هوایی ۷ــ چرخ فرمان با علامت مرجع

شکل ۳۴ــ۲ــ حسگر دور القایی

۲ــ۴ــ۲ــ حسگر فاز اثرهال : به‌دلیل نامعین بودن وضعیت پیستون برای رسیدن به TDC و با توجه به این‌که سرعت میل سوپاپ نصف سرعت دوران موتور است. می‌توان از موقعیت دورانی میل سوپاپ به‌عنوان یک نشانه جهت مشخص شدن فاز کورس کمپرس یا تخلیه‌ی پیستون استفاده کرد.

حسگر فاز روی میل سوپاپ این اطلاعات را برای ECU آماده می‌کند.

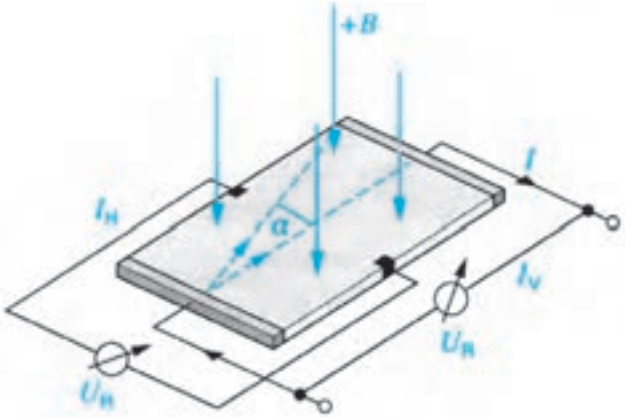
نحوه‌ی عملکرد

حسگر میله‌ای اثرهال: همان‌طوری‌که از نام آن پیداست این نوع حسگرها (شکل ۳۶ــ۲) با استفاده از اثر هال ساخته شده‌اند.

یک چرخ فرمان فرو مغناطیسی با دندانه و فاصله (دهانه) یا روتور سوراخ‌دار (شماره‌ی ۷) به میل سوپاپ متصل می‌شود و دوران می‌کند.

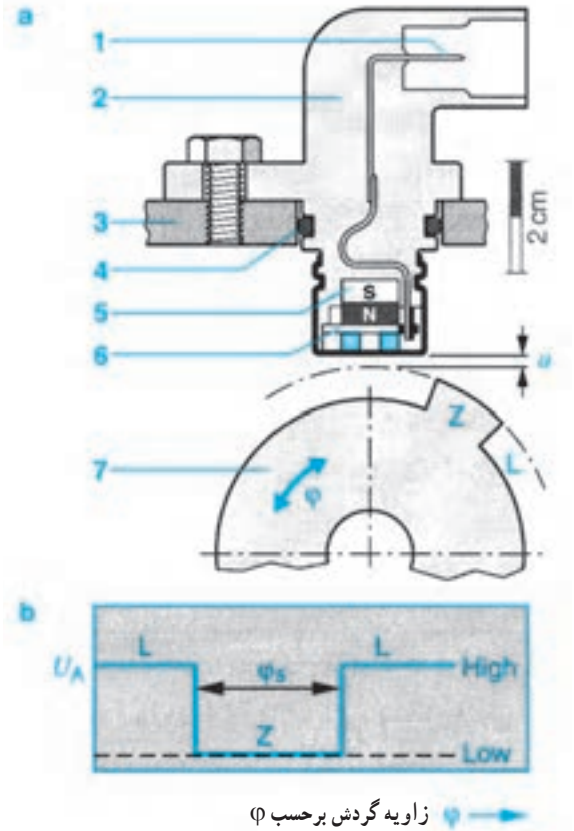
محل قرار گرفتن IC اثر هال ما بین چرخ فرمان و یک آهن‌ربای دائم (شماره‌ی ۵) است که حوزه‌ی مغناطیسی عمود بر المنت هال را ایجاد می‌کند. اگر یک دندانه‌ی چرخ فرمان (z) از مقابل المنت (ویفرنیمه رسانا) حسگر میله‌ای عبور کند در شدت حوزه‌ی مغناطیسی عمود بر المنت‌های تغییر ایجاد می‌شود و این حالت دلیل حرکت و انحراف الکترون‌ها در سوئیچ اثر هال شده (شکل ۳۵ــ۲ زاویه‌یα) و در نتیجه‌ی این عمل یک سیگنال ولتاژ فرمان (ولتاژهال) که در محدوده‌ی میلی ولت و مستقل از نسبت سرعت ما بین حسگر و چرخ فرمان است، تولید می‌گردد.

سنجش کلی و الکترونیکی شرایط سیگنال IC هال و یک صفحه‌ی سوراخ‌دار یا طرح ویژه (شکل ۳۷ــ۲ــ a) و یک چرخ فرمان دو دندانه‌ی مجاور (شکل ۳۷ــ۲ــ b) برای تولید سیگنال و اندازه‌گیری مورد استفاده قرار می‌گیرند (شکل ۳۸ــ۲). این حسگرها در خودروهایی که دقت ساخت درآن‌ها بالاست به‌کاررفته و از مزایای آن‌ها می‌توان به فاصله‌ی زیاد بین حسگر و محل اندازه‌گیری و هم‌چنین خنثی کردن حرارت اشاره کرد.



I. جریان ویفر — I_M . جریان هال — I_V. جریان تولیدی
U_H. ولتاژ هال — U_R. ولتاژ طولی
B. القای مغناطیسی — α. انحراف الکترون در اثر حوزه‌ی مغناطیسی

شکل ۳۵ــ۲ــ المنت هال (تیغه‌ی سوئیچ اثرهال)



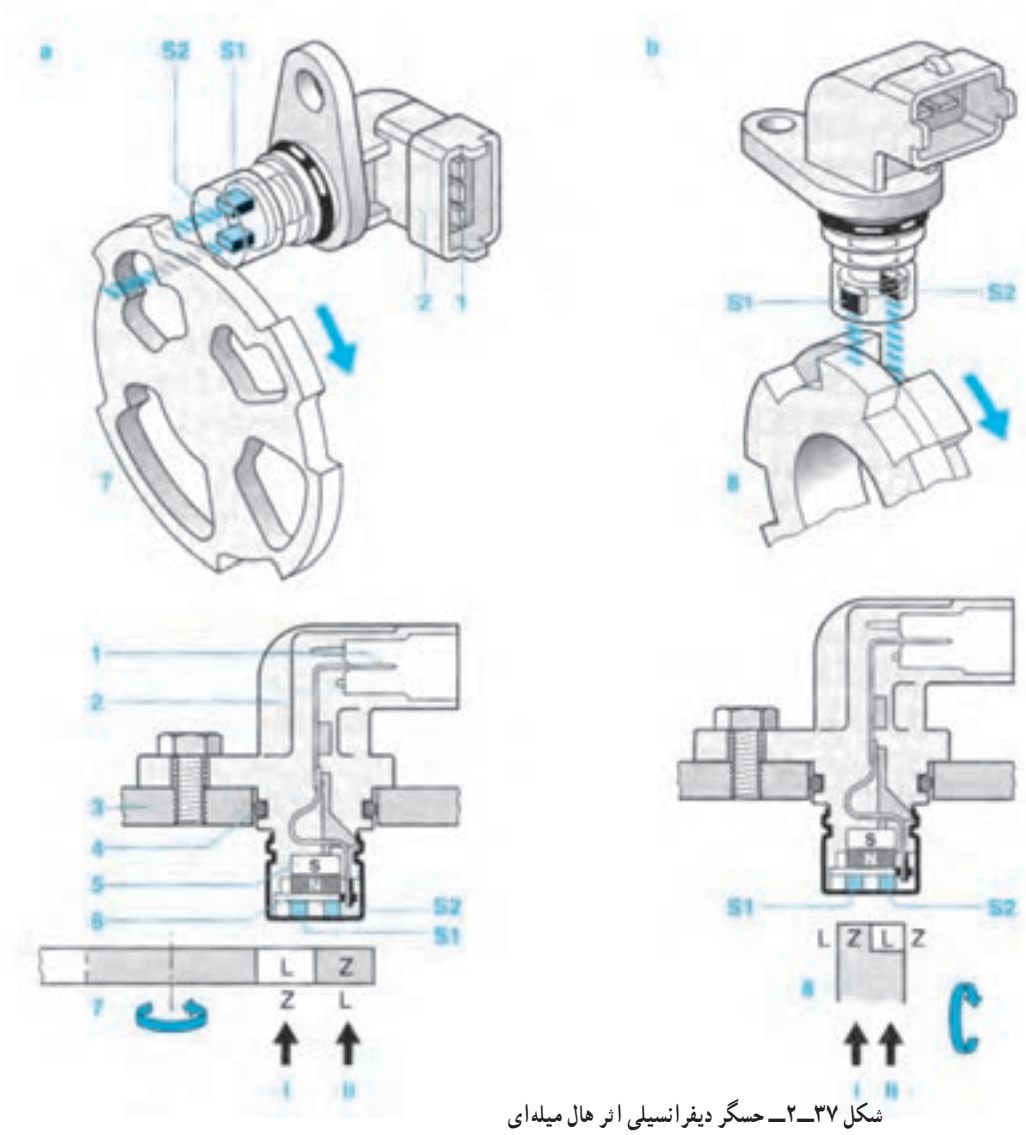
زاویه گردش برحسب φ

a ــ موقعیت حسگر و چرخ فرمان تک شیاری

b ــ مشخصات سیگنال خروجی U_A

۱ ــ اتصال الکتریکی — ۲ــ پوسته‌ی حسگر
۳ ــ بلوکه‌ی موتور — ۴ــ اُــ رینگ
۵ ــ آهن‌ربای دائم — ۶ــ IC هال
۷ــ چرخ فرمان با دندانه یا شیار (z) و فاصله (دهانه‌ی L)
a ــ فاصله هوایی — φ ــ زاویه‌ی چرخش

شکل ۳۶ــ۲ــ حسگر اثرهال میله‌ای



a ــ محوری (صفحه‌ی سوراخ‌دار)

b ــ شعاعی (چرخ فرمان با دو دندانه)

۱ــ اتصال الکتریکی

۲ــ پوسته‌ی حسگر

۳ــ بلوکه‌ی موتور

۴ــ اُ ــ رینگ

۵ــ آهن‌ربای دائم

۶ــIC هال دیفرانسیلی با المنت‌های S_1 و S_2

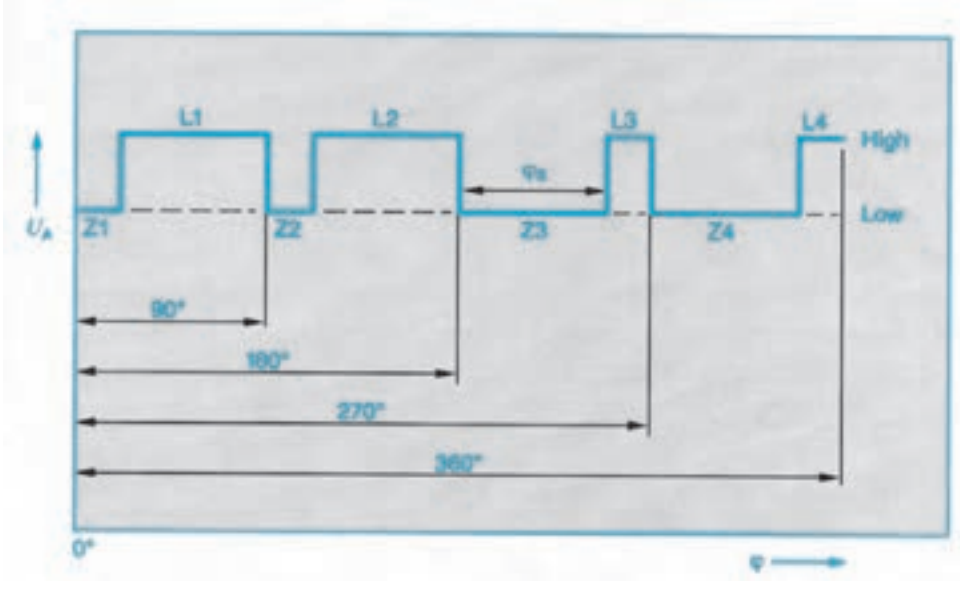
۷ــ صفحه‌ی سوراخ‌دار

۸ــ چرخ فرمان با دودندانه

۱ــ شیار ۱

۲ــ شیار ۲

شکل ۳۷ــ۲ــ حسگر دیفرانسیلی اثر هال میله‌ای



سیگنال خروجی «پایین» : دندانه‌ی z در جلو S_1 و شیار در جلوی S_2

سیگنال خروجی «بالا» : شیار در جلوی S_1 و دندانه‌ی z در جلوی S_2

φ_s عرض سیگنال

شکل ۳۸ــ۲ــ مشخصات منحنی سیگنال خروجی U_A از یک حسگر دیفرانسیلی اثر هال میله‌ای

۳ــ۴ــ۲ــ حسگر سرعت چرخ : از طریق سیگنال‌های حسگر سرعت چرخ، ECU، سیستم‌های ABS، ESP و TCS مقدار دَوَران هر چرخ را برآورد می‌کنند. کاربرد اندازه‌گیری سرعت چرخ درپیش‌گیری از توقف یا دوران غیر مؤثر (لغزش) چرخ است و در ایجاد وضعیت مناسب و کارایی صحیح در پایداری و فرمان‌پذیری خودرو، نقش مؤثری دارد. هم‌چنین، سیگنال‌های ارسالی توسط حسگر چرخ در سیستم ناوبری جهت محاسبه‌ی فاصله‌ی پیموده شده توسط خودرو به‌کار می‌رود. این حسگرها در دو نوع انفعالی (passive) و فعال (Active) وجود دارند. در زیر به شرح نوع انفعالی آن می‌پردازیم :

حسگر سرعت چرخ انفعالی: قطب میله‌ای حسگر و سرعت چرخ القایی توسط سیم پیچ احاطه و مستقیماً در بالای یک چرخ فرمان (روتور) و روی توپی چرخ نصب شده است.

قطب میله‌ای از جنس آهن نرم بوده و به یک آهن‌ربای دائم متصل است و میدان مغناطیسی از طریق آن به داخل چرخ فرمان انتشار می‌یابد.

حرکت بدون توقف چرخ فرمان به‌طور مستمر القای نظیر به نظیر میدان مغناطیسی را در داخل قطب میله‌ای و سیم پیچ ایجاد می‌کند و دندانه‌ها و فواصل بین آن‌ها موجب می‌شود برای تولید جریان متناوب و مطلوب جهت پایش، در یک انتهای سیم پیچ نوسانات القایی ایجاد شود.

فرکانس و دامنه‌ی جریان متناوب، با سرعت چرخ فرمان متناسب است و نداشتن دَوَران چرخ، مقدار ولتاژ القایی را به صفر می‌رساند. شکل دندانه‌ها و فاصله‌ی هوایی در مقدار افزایش ولتاژ و مقدار تعریف شده برای حساسیت ECU (نسبت به تعداد دوران چرخ قابل اندازه‌گیری جهت سوئیچینگ ABS) مؤثر است.

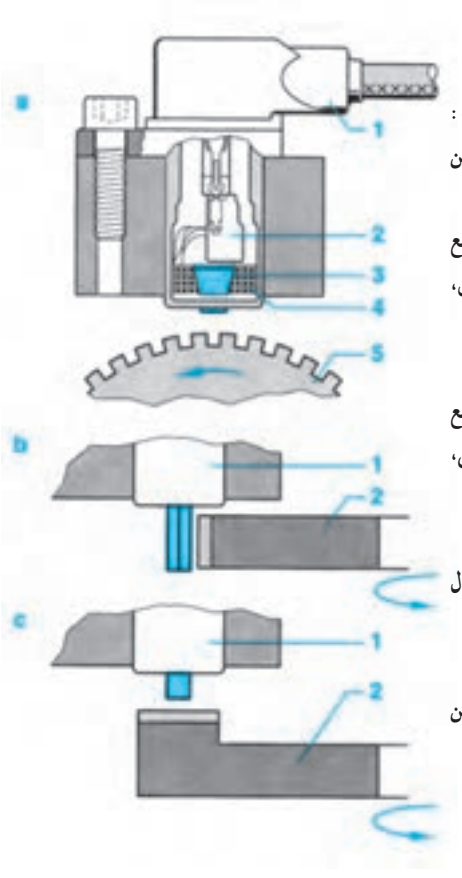
فاصله‌ی بیش از حد حسگر از چرخ فرمان، مطمئناً تداخل امواج الکترومغناطیس و ایجاد سیگنال منفی را به‌دنبال دارد و مقدار تلرانس مجاز آن در حدود ۱mm است. حسگر سرعت چرخ روی یک پایه‌ی محکم نصب می‌شود تا از نوسان و لرزش در آن که موجب بدکارکردن ترمز و نقصان در سیگنال‌های حسگر می‌شود، جلوگیری به‌عمل می‌آید.

در موقع انتخاب نوع قطب و روش نصب قابل اجرا و سازگار با سیستم‌های کنترلی، با شرایط مختلف نصب روی چرخ مواجه می‌شویم.

از متداول‌ترین نوع اسکنه‌ی قطب، که آن‌را قطب نوع تخت می‌نامند (شکل ۳۹ــ۲)، برای نصب محیطی (یعنی محور حسگر عمود بر محور چرخ فرمان باشد) و عمود بر روتور پالس (چرخ فرمان) استفاده می‌گردد.

نوع لوزی شکل قطب (شکل ۳۹ــ۲) مخصوص نصب محوری (یعنی محور حسگر موازی با محور چرخ فرمان باشد) وبه‌صورت محیطی با چرخ فرمان در رابطه است.

در طرح فوق‌الذکر برای دریافت پالس درست، قطب باید به‌طور دقیق و در راستای چرخ فرمان قرار گیرد. ولی در نوع میله‌ای شکل (شکل cــ ۳۹ــ۲)، که دارای مقطع گرد است، دقیق ودر راستا قرار گرفتن قطب و چرخ فرمان ضرورتی ندارد. فقط چرخ فرمان باید دارای قطر بزرگ‌تر و تعداد دنده‌ی بیش‌تر باشد.



a ــ قطب میله‌ای تخت : نصب محیطی، اسکن شعاعی

b ــ قطب میله‌ای با مقطع لوزی : نصب محوری، اسکن شعاعی

c ــ قطب میله‌ای با مقطع گرد : نصب شعاعی، اسکن محوری

۱ــ حسگر با اتصال الکتریکی

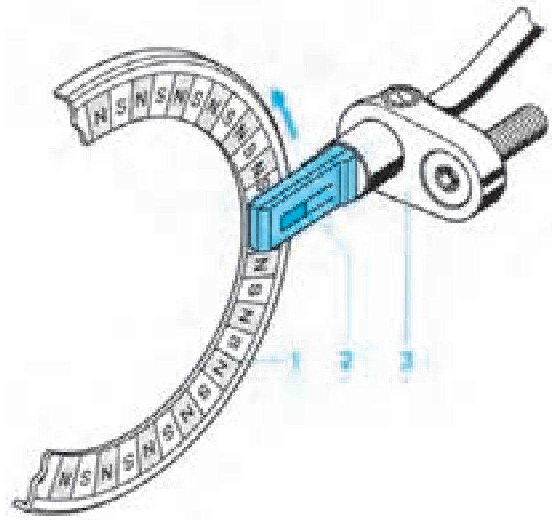
۲ــ آهن‌ربای دائم

۳ــ قطب میله‌ای (آهن نرم)

۴ــ سیم پیچ

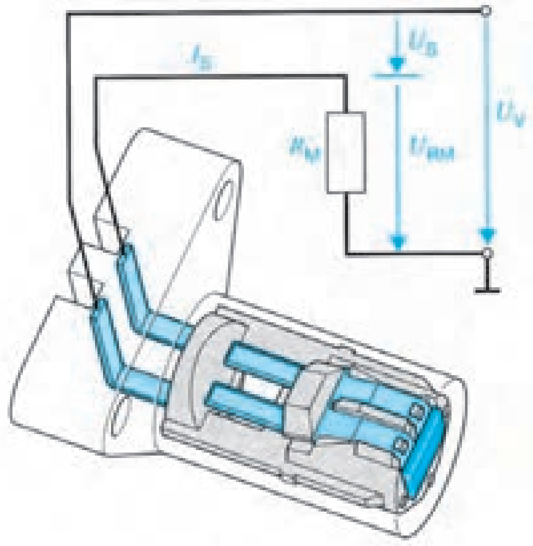
۵ــ چرخ فرمان

شکل ۳۹ــ۲ــ حسگر انفعالی سرعت چرخ با شکل‌های مختلف قطب و نوع قرارگیری



۱ــ رینگ چند قطبی ۲ــ المنت حسگر ۳ــ محفظه‌ی حسگر

شکل ۴۰ــ۲ــ حسگر فعال سرعت چرخ با رینگ چند قطبی



I_S ــ جریان حسگر (تغذیه و سیگنال) R_M ــ مقاومت اندازه‌گیری (در Ecu)
R_{RM} ــ سیگنال ولتاژ U_V ــ ولتاژ تغذیه
U_Sــ ولتاژ حسگر

شکل ۴۱ــ۲ــ نمونه‌ای از یک حسگر اثرهال با ۲ سیم

۴ــ۴ــ۴ــ حسگرهای دور جعبه دنده : این حسگرهای جعبه دنده، اسکن سرعت را در سیستم‌های انتقال قدرت AT، انتقال قدرت CVT، AST انجام می‌دهند. مشخصات این حسگرها به‌گونه‌ای طراحی شده است که در مقابل روغن‌های مورد مصرف در انتقال قدرت اتوماتیک (ATF) غیر حساس‌اند و بسته بندی حسگر امکان یک پارچه‌سازی با مدول تعیین وضعیت انتقال قدرت و یا استفاده‌ی مجزا از آن‌را میسر می‌سازد.

این حسگرها جهت کارکرد، احتیاج به منبع تغذیه‌ای با ولتاژ ۴/۵ الی ۱۶/۵ ولت دارند. و هم‌چنین دمای مجاز عملکرد آن‌ها ۴۰ الی ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد است.

نحوه‌ی عملکرد : حسگر دور، از یک IC هال و دو سیم هادی جریان تشکیل شده است، که برای شروع به‌کار آن (حسگر)، باید به منبع تغذیه (U_V) متصل گردد.

اِعمال اثر هال در موقع اسکن روتور با دندانه‌ی فرومغناطیس، روتور با صفحه‌ی سوراخ‌دار یا رینگ‌های چند قطبی، که دارای فاصله‌ی هوایی ۰/۱ الی ۲/۵ میلی‌مترند، یک سیگنال با دامنه‌ی ثابت و مستقل از سرعت دورانی تولید می‌کند. این وسیله امکان ثبت سرعت‌های دورانی پایین را در حدود n=۰ ایجاد می‌کند، و جریان تغذیه باعث افزایش سیگنال خروجی از آن می‌گردد.

با استفاده از یک مقاومت اندازه‌گیر R_M و یا تعدیل جریان (حداقل ۷_{MA} و حداکثر ۱۴_{MA}) می‌توان پس از تبدیل داخلی، یک سیگنال ولتاژ U_{RM} را به ECU ارسال کرد.

دو نوع مختلف حسگر در جعبه دنده وجود دارد که به شرح زیرند :

نوع اول (Rs50)

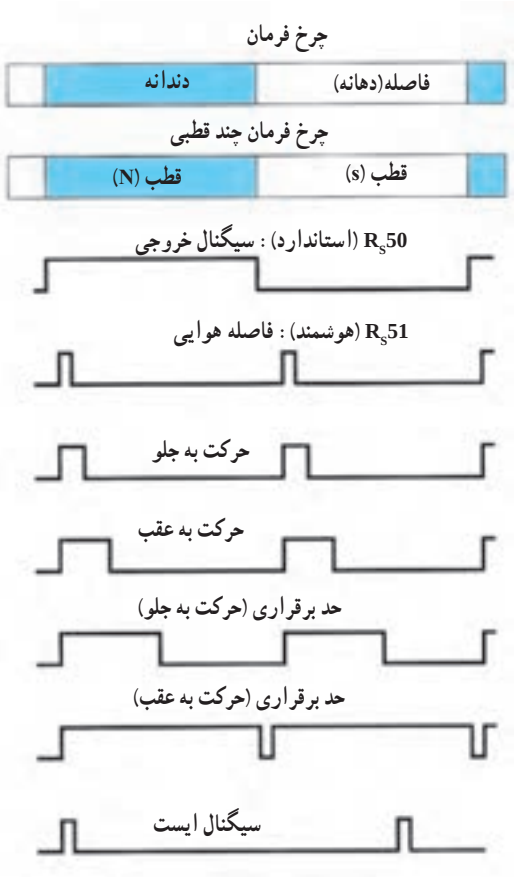
پروتکل دیتا (استاندارد تبادل داده‌ها) : اطلاعات دور در دقیقه به شکل یک سیگنال پالس مستطیلی

نمایش فرآیند داخلی : یک فرکانس سیگنال فرمان به‌وسیله‌ی عبور نور از مقابل حسگر که متناسب با سرعت روتور است.

نوع دوم (Rs51)

پروتکل دیتا : اطلاعات دور در دقیقه به شکل سیگنال پالس مستطیلی که اطلاعات متمم با استفاده از اصول مدوله‌سازی پهنای پالس (P_{wm}) ارسال می‌گردد.

نمایش فرآیند داخلی : سیگنال دوردر دقیقه آشکارسازی است، جهت دَوَران، فاصله هوایی و موقعیت اتصال.



شکل ۴۲ــ۲ــ شکل و محتوای اطلاعات سیگنال‌های خروجی از نسخه‌های مختلف حسگر

۵ــ۲ــ حسگرهای نوع القایی برای سیستم جرقه زنی

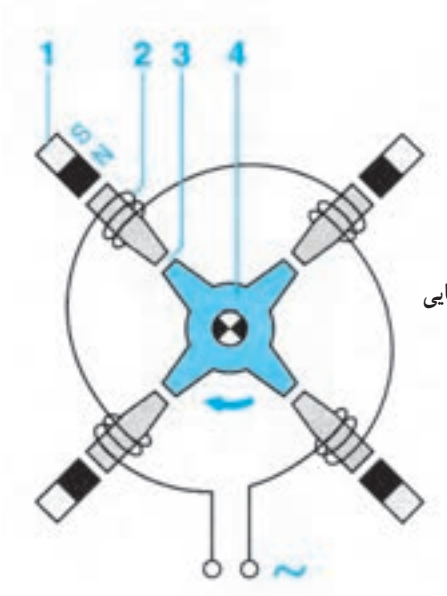
برای فرمان جرقه‌زنی از یک حسگر نوع القایی به‌عنوان یک ژنراتور ACدر سیستم جرقه‌زنی ترانزیستوری استفاده می‌گردد.

به‌ازای زاویه‌ی داول، نقطه‌ی سوئیچ تعریف می‌شود، که به‌وسیله‌ی مقایسه‌ی سیگنال AC با یک سیگنال ولتاژ مطابق با زمان کنترل، جریان حاصل می‌آید.

طراحی وساختمان : حسگرهای القایی در محفظه‌ی توزیع کننده‌ی جرقه (دلکو) و در محل نقاط قطع و وصل جریان قرار دارند (شکل ۴۳ــ۲). هسته، که از جنس آهن نرم و متورق است و سیم پیچ را القا می‌کند، به همراه سیم پیچ و آهن‌ربای دائم، یک مجموعه‌ی ثابت را تشکیل می‌دهد که به آن «استاتور» اطلاق می‌شود.

روتور (چرخ فرمان) به شفت توزیع کننده‌ی جرقه متصل است و همراه آن(دلکو) دَوَران می کند و از انتهای استاتورها عبور می‌نماید و همانند بادامک جداکننده‌ی پلاتین عمل می‌کند.

هسته و روتـور از جنس آهن نرم‌اند و دندانه دارند. دندانه‌های استاتور به‌صورت باله و عمود به طرف بالا، در انتهای آن قرار دارد وروتور هم دندانه‌ی یکسان با استاتور ولی عمود به طرف پایین دارد. دندانه‌های روتور واستاتور، زمانی که مستقیماً روبـه‌روی یکدیگر قرار دارنـد، دارای فاصله‌ای برابر ۰/۵ میلی‌مترند.



۱ــ آهن‌ربای دائم

۲ــ سیم پیچ و هسته‌ی القایی

۳ــ فاصله‌ی هوایی متغیر

۴ــ روتور

شکل ۴۳ــ۲ــ حسگر نوع القایی در توزیع کننده‌ی جرقه

نحوه‌ی عملکرد : اصول کارکرد به‌فاصله‌ی هوایی مابین دندانه‌ی روتور و دندانه‌ی استاتور وابسته است و به همراه دَوَران روتور مرتباًحوزه‌ی مغناطیسی آن‌ها تغییر می‌کند. این تغییرات در حوزه‌ی مغناطیسی یک ولتاژ AC را در سیم پیچ القا می‌کند و مقدار پیک (حداکثر) ولتاژ سیم پیچ ±US متناسب با سرعت دورانی روتور است. در حداقل سرعت این ولتاژ۰/۵V و در حداکثر سرعت تقریباً ۱۰۰V است. همچنین فرکانس (F) این ولتاژ AC (شکل ۴۴ــ۲) برابر تعداد جرقه‌ی شمع در دقیقه است.

رابطه‌ی فرکانس به‌شرح زیر است :

در فرمول

$$F = Z.\frac{n}{z}$$

F ــ فرکانس یا تعداد جرقه (min^{-1})

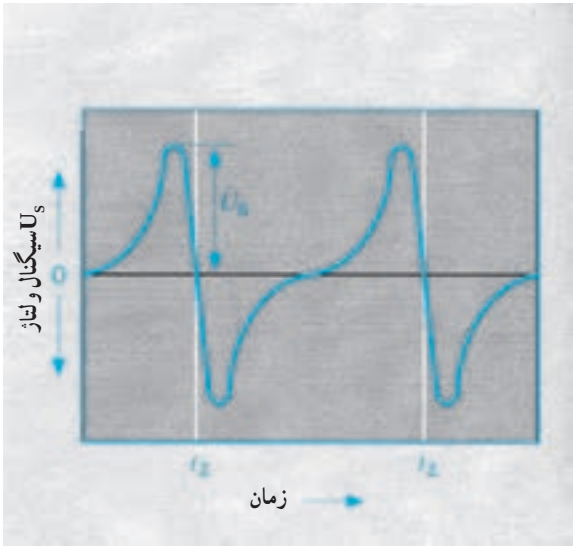
z ــ تعداد سیلندر موتور

n ــ سرعت موتور(min^{-1})

U_Sــ سیگنال ولتاژ

$\hat{U}_S$ ــ ولتاژ پیک (حداکثر)

t_z ــ نقطه‌ی جرقه



شکل ۴۴ــ۲ــ منحنی مشخصه‌ی حسگر القایی

۶ــ۲ــ حسگر پیزوالکتریک یا دیاپازونی Tuning - fork yaw- rate sensor

در این روش اطلاعات مورد نیاز از تغییر مکان خودرو با محاسبه فواصل راندن برآورد شده و نقشه دیجیتال جاده روی CD-ROM سیستم ناوبری خودرو ذخیره می‌گردد.

در موقع گردش خودرو (برای مثال در تقاطع جاده‌ها) مقدار انحراف خودرو حول محور عمودی توسط حسگر دیاپازونی (yaw- rete sensor) سیستم ناوبری ثبت می‌گردد.

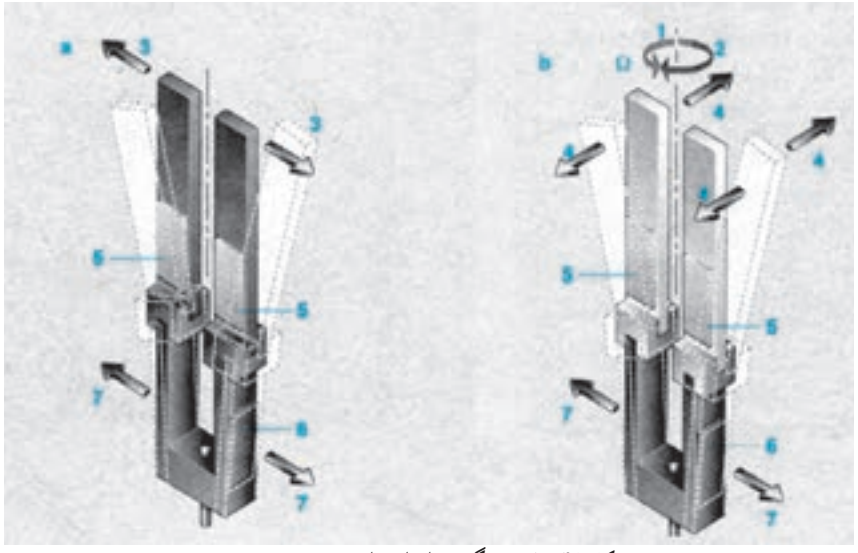
سیگنال ولتاژ تولیدی در این فرآیند و پردازش سیگنال‌های ارسالی از سرعت سنج یا حسگر را دارد (در محاسبه‌ی شعاع انحنای حرکت از راستای مسیر خودرو)، در کامپیوتر سیستم ناوبری به‌کار می‌روند.

طراحی و ساختمان : حسگر زاویه‌ی گردش شامل چهار المنت پیزو است (دو عدد بالا دو عدد پایین)، که به شکل یک دوشاخه‌ی واحد در آمده و قسمت الکترونیک حسگر می‌باشد.

نحوه‌ی عملکرد : در زمان اعمال ولتاژ، المنت پیزوی پایین شروع به نوسان می‌کند و در نتیجه قسمت بالای دوشاخه تحریک می‌شود و بعد از حرکت توأم المنت پیزوی بالا و پایین، فاز شمارش نوسان شروع می‌گردد.

حرکت در مسیر مستقیم به جلو: در زمان راندن خودرو درمسیر مستقیم به جلو نیروهای پیچشی روی دو شاخه اثر نمی‌گذارد ولی همیشه در فاز شمارش، المنت پیزوی بالایی نوسان می‌کند، آن‌ها فقط به نوسانات در جهت عمودی (شکل ۴۶ــ۲) حساس‌اند و توانایی تولید ولتاژ در حرکت مستقیم را ندارند.

پیچیدن : در زمان پیچیدن به یک سمت، شتاب پیچشی (کریولیس) رخ می‌دهد و نوسانات عمودی ایجاد شده جهت اندازه‌گیری مورد استفاده قرار می‌گیرند. حرکت پیچشی خودرو سبب نوسان قسمت بالایی دو شاخه (شکل b ــ۴۶ــ۲) و تولید ولتاژ AC در المنت‌های پیزوی بالایی می‌شود. این ولتاژ از طریق مدار الکتریکی موجود در محفظه‌ی حسگر به کامپیوتر سیستم ناوبری انتقال می‌یابد. دامنه‌ی سیگنال ولتاژ تولیدی تابعی از سرعت نوسان و میزان انحراف المنت‌هاست. هم‌چنین این دو پارامتر متأثر از مسیر منحنی طی شده و در جهت حرکت به چپ یا راست خودرو است.



a ــ در زمان راندن خودرو در مسیر مستقیم به جلو
b ــ در زمان پیچیدن خودرو
۱ــ جهت دو شاخه در اثر نوسان پیچشی
۲ــ جهت پیچیدن خودرو
۳ــ جهت نوسان در اثر راندن، در مسیرمستقیم و به جلو
۴ــ نیروی پیچشی
۵ــ المنت‌های پیزوی بالایی (حسگر)
۶ــ المنت‌های پیزوی پایینی (محرک)
۷ــ جهت نوسانات تحریک
Ω ــ انحراف

شکل ۴۵ــ۲ــ حسگر مقدار انحراف دیاپازونی

۷ــ۲ــ حسگر پیزوالکتریک یاو یا نوسانگر استوانه‌ای

در خودروهای با سیستم کنترل دینامیکی (ESP) حسگرهای پیزوالکتریک در شرایطی مانند پیچیدن یا سرخوردن خودرو، که انحراف ایجاد می‌شود، مقدار گردش خودرو را حول محور عمودی ثبت می‌کنند.

طراحی و ساختمان : حسگر پیزوالکتریک یاو، از نوع حسگرهای مکانیکی بسیار دقیق و دارای هشت پیزوالکتریک است. روی یک سیلندر فلزی توخالی دوالمنت پیزو الکتریک (شکل۴۶ــ۲، ´۱+۱) در امتداد قطر و در مقابل یکدیگر، برای ثبت نوسان‌ها با فاز موافق به‌کار رفته است.

زوج المنت پیزوالکتریک (´۲+۲) برای کنترل و ادامه‌ی نوسان در یک دامنه‌ی ثابت مورداستفاده قرار می‌گیرد وبرای دریافت نوسانات چهار نقطه‌ی اتصال موازی درزاویه‌ی ۴۵° وجود دارد. (به شکل ۴۶ــ۲ الی ۴۸ــ۲ مراجعه کنید).

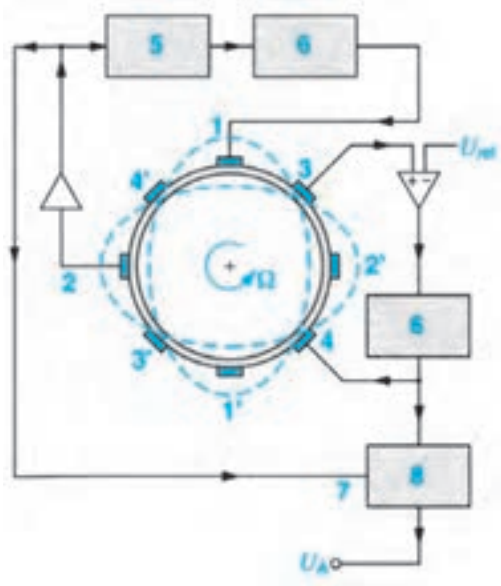
در زمان گردش خودرو، محور استوانه در یک میزان انحراف Ω قرار می‌گیرد و نقاط اتصال در محیط استوانه، در اثر شتاب پیچشی (کریولیس) اندکی تغییر مکان می‌یابد و در غیر این صورت مقدار نیروی مؤثر صفر است.

نیروی تولیدی، متناسب با سرعت دورانی است و به‌وسیله‌ی زوج سوم المنت پیزوالکتریک (´۳+۳) نمایان می‌شود. برای کنترل حلقه‌ی بسته از پیزوالکتریک چهارم استفاده می‌شود و نیروهای اعمالی بعد از تطبیق با مقدار مبنای $U_{ref}=0$ برگشت می‌کنند.

ایجاد یک سیگنال خروجی بدون خطا، نیاز به فیلترکردن و یک‌سوسازی با دقت زیاد است.

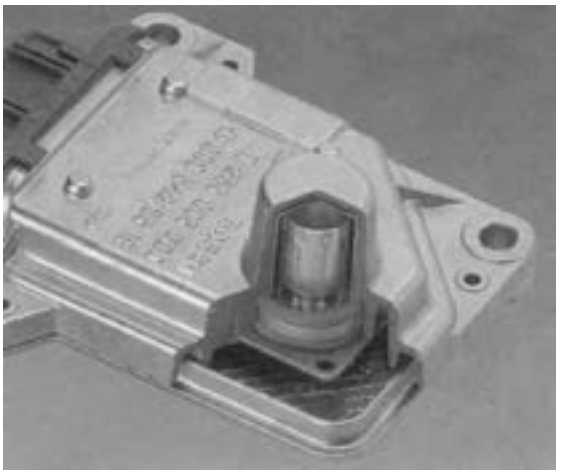
انتخاب لحظه‌ای مقادیر حاصل شده و تبدیل آن‌ها به $U_{ref}=0$ اجازه‌ی بررسی آسان کل سیستم حسگر را ایجاد می‌نماید.

این حسگرها در مقابل حرارت حساس‌اند و نیاز به مدار جبران کننده دارند و ماده‌ی تشکیل دهنده بر مبنای المنت پیزوسرامیک است.

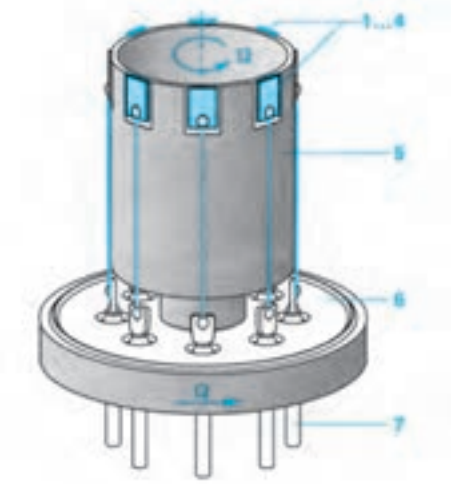


۱ ..... ۴ ــ المنت‌های پیزو
۵ــ مدار
۶ــ Bandpass Filter (Phase- locked)
۷ــ فاز مرجع
۸ــ یک‌سو ساز (فاز انتخابی)
U_Aــ ولتاژ خروجی
Ω ــ دَوَران
$U_{ref}=0$ (عملکرد طبیعی)
$U_{ref}\neq 0$ (در موقع تست)

شکل ۴۶ــ۲ــ طرح واره‌ی حسگر پیزوالکتریک



شکل ۴۷ــ۲ــ حسگر پیزوالکتریک یاو



۱...۴ ــ زوج المنت پیزو
۵ــ استوانه‌ی نوسانگر
۶ــ صفحه‌ی پایه
۷ــ پین‌های اتصال
Ω ــ یاو

شکل ۴۸ــ۲ــ حسگر یاو پیزوالکتریک (اصول طراحی)

۸ــ۲ــ حسگرهای یاو میکرومکانیکال

انحراف محوری خودرو موقع پیچیدن فرمان، کشیده شدن به یک سمت در اثر ترمز کردن و یا سرخوردن خودرو به‌وجود می‌آید. در خودروهای مجهز به برنامه‌ی پایداری الکترونیکی ESP، مقدار گردش خودرو حول محور عمودی (یاو) به‌وسیله‌ی حسگرهای مقدار یاو انحراف میکرومکانیکال ثبت می‌شود و برای کنترل دینامیکی خودرو به‌کار می‌روند.

۱ــ۸ــ۲ــ حسگر یاو میکرومکانیکال با حرکت سطحی : برای دست‌یابی به کارکرد صحیح سیستم دینامیکی خودرو نیاز به استفاده از یک تکنولوژی ترکیبی است، که در ادامه توضیح داده شده است :

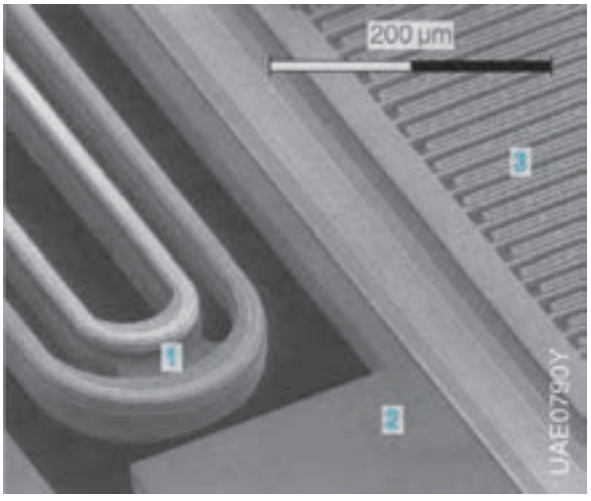
دو مدار که قطعات آن‌ها روی یک پایه‌ی عایق قرار دارند و در صورت نیاز به یکدیگر متصل می‌شوند در سطح یک ویفر زدایش شده (Etch) که المنت‌های نوسانی را تشکیل می‌دهند.

هنگام اندازه‌گیری اجزای حسگر، میکرومکانیکال نوسان می‌کند و به‌وسیله‌ی جرم و زوج فنرهای موجود تشدید فرکانس بیش‌تر از ۲KHz را معین می‌کند و هرالمنت نوسانی شامل یک حسگر شتاب خازنی میکرومکانیکال سطحی مینیاتوری است.

سرعت زاویه‌ای Ω که میزان شتاب پیچشی (کریولیس) است، زمانی‌که تراشه‌ی حسگر حول محور عمودی اندکی دَوَران کند، جهت نوسان عمودی در ویفر ثبت می‌شود (شکل ۴۹ــ۲ و ۵۰ــ۲).

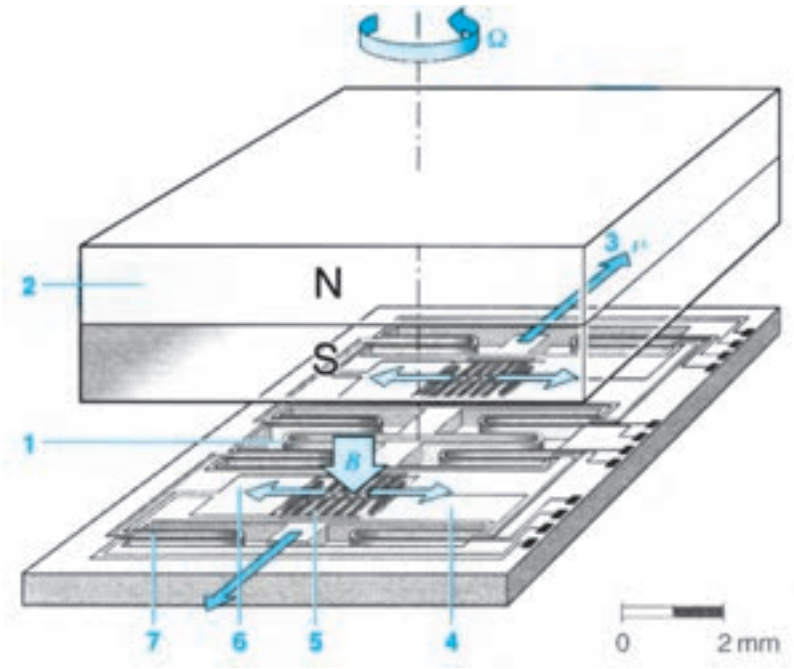
این شتاب متناسب با مقدار انحراف وسرعت نوسانی است که با روش الکترونیکی در یک مقدار ثابت نگه‌داری می‌شود و تمام حرکات حسگر را به روی مدار چاپی رسانای هریک از المنت‌های نوسانی منتقل می‌کند.

در ویفر حوزه‌ی مغناطیسی آهن‌ربای دائم B، عمود بر سطح تراشه، عامل تولید پیزوالکترودینامیک (Lorentz) روی المنت نوسان کننده است و از طرف دیگر با کاربرد یک رسانای چاپی روی سطح تراشه، به‌همراه میدان مغناطیسی موجود، می‌توان اندازه‌ی سرعت نوسان را به‌وسیله‌ی القا مشخص نمود.



۱ــ فنر راهنما یا نگه‌دارنده
۲ــ قسمتی از المنت نوسانگر
۳ــ حسگر شتاب پیچشی (کریولیس)

شکل ۴۹ــ۲ــ ساختمان حسگر یاو میکرو مکانیکال با حرکت سطحی



۱ــ فنر تعیین کننده‌ی فرکانس رزونانس
۲ــ آهن‌ربای دائم
۳ــ جهت نوسان
۴ــ المنت نوسانگر
۵ــ حسگر شتاب پیچشی (کریولیس)
۶ــ جهت شتاب پیچشی (کریولیس)
۷ــ فنر راهنما یا نگه‌دارنده
Ω ــ سرعت زاویه‌ای (یاو)
V ــ سرعت نوسانی
B ــ حوزه‌ی آهن‌ربای دائم

شکل ۵۰ــ۲ــ طرح واره‌ی حسگر یاو میکرو مکانیکال

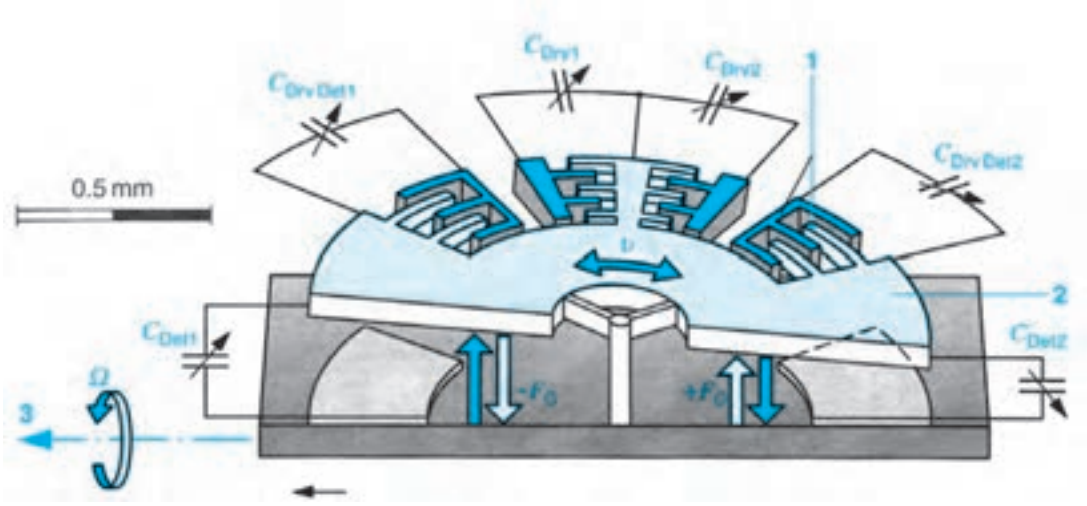
ساختمان فیزیکی سیستم حرکت با سیستم حسگر از اتصال نامطلوب دو بخش جلوگیری می‌کند. اثراتی از شتاب خارجی، که برای اندازه‌گیری مورد نیاز نیست باعث کاهش سیگنال حسگر می‌شود و جهت رفع این حالت، اندازه‌گیری به‌صورت کلی صورت می‌گیرد. هم‌چنین، دقت بالا در ساخت ساختمان میکرومکانیکال اثرات شتاب نوسانی زیاد را که تحت تأثیر بیش از ده فاکتور است، از بین می‌برد و امکان سنجش شتاب پیچشی (کریولیس) سطوح پایین یعنی حساسیت کم‌تراز $40 d_B$ را به‌وجود می‌آورد.

۲ــ۸ــ۲ــ حسگر میکرومکانیکال با ساختمان شانه‌ای : این حسگر یاو از نوع سیلیکونی است و در ساخت آن تکنولوژی میکرومکانیکال سطحی استفاده شده است و یک سیستم الکترونیکی، جایگزین مغناطیس محرک و سیستم کنترل موجود در حسگر قبلی شده و تفکیک سیستم قدرت یا محرک از سیستم اندازه‌گیری غیر ممکن است.

ساختمان داخلی حسگر به‌شکل دندانه‌های شانه است (شکل‌های ۵۱ــ۲ و۵۲ــ۲) و نیروی الکترواستاتیکی در اثر نوسانات یک نوسانگر، که روی نقطه مرکز خود مهار شده، ایجاد می‌شود و دامنه‌ی نوسانات به کمک یک pick-off [۱] که همانند یک خازن عمل می‌کند، ثابت می‌شود.

در اثر نیروهای پیچشی (کریولیس) ومتناسب با آن صفحه به مقدار Ω انحراف پیدا می‌کند و الکترودها در زیر نوسانگر، دارای حالت خازنی می‌شوند. برای دوری از استهلاک ارتعاش حرکات اجزاء، حسگر باید درخلأ کار کند. درحسگر قبلی، کوچک کردن تراشه‌ها برساده شدن پردازش تأثیر می‌گذارد و موجب کاهش قیمت حسگر می‌گردد. اما مینیاتور سازی، علاوه بر کاهش قیمت، رسیدن به دقت لازم را میسر می‌سازد. این سیستم دارای انعطاف‌پذیری بالاست و نیروی جاذبه‌ی زمین، که بر محور آن اعمال می‌شود، از تأثیر عوامل دیگر به غیر از نیروی شتاب جلوگیری می‌کند.

۱ــ **Pick-off** : وسیله‌ای که حرکات مکانیکی را به سیگنال الکتریکی تبدیل می‌کند.

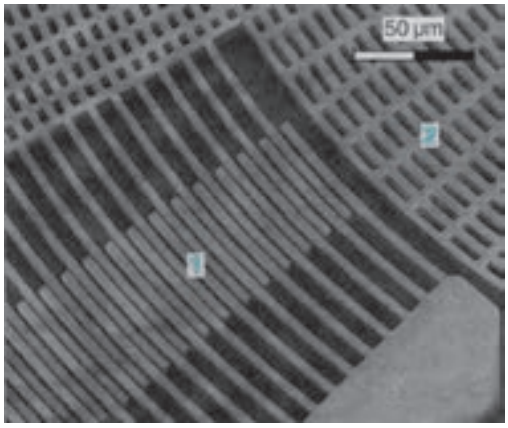


۱ــ ساختمان شانه‌ای شکل ۲ــ نوسانگر ۳ــ محور اندازه‌گیری

C_{Drv} ــ الکترودها C_{Det} ــ off ــ Pick خازنی

F_C ــ نیروی پیچشی v ــ سرعت نوسانی $\Delta C_{Det} = \Omega$ زاویه‌ای (یاو)

شکل ۵۱ــ۲ــ طرح واره‌ی حسگر زاویه‌ای (یاو) میکرومکانیکال با ساختمان شانه‌ای



۱ــ ساختمان شانه‌ای شکل ۲ــ نوسانگر

شکل ۵۲ــ۲ــ حسگر زاویه‌ای (یاو) با ساختمان شانه‌ای

۹ــ۲ــ حسگرهای شتاب و ارتعاش

حسگرهای شتاب و ارتعاش برای استفاده در IC کنترل ناک موتور (کوبش) مناسب‌اند و برای فرامین درسیستم‌های محافظت سرنشین و بازدارنده (ایر ــ بگ، کشنده‌ی کمربند صندلی و ...)، ثبت شتاب‌گیری و تغییرات سرعت در جاده برای خودروهای چهار چرخ محرک مجهز به ABS یا ESP و کنترل سیستم تعلیق، به‌خوبی کاربرد دارند.

شتاب a یک کمیت قابل اندازه‌گیری است و از شتاب جاذبه‌ی g ($۱ g = ۹/۸ m/s^۲$) مستقل است.

نمونه‌های کاربردی اندازه‌گیری شتاب در مهندسی خودرو رادر جدول زیر ملاحظه می‌کنید.

جدول ۳ــ۲

حسگرهای شتاب و ارتعاش	
مشخصات	دامنه‌ی اندازه‌گیری
کنترل ناک (کوبش)	۱ الی ۱۰g
سیستم‌های محافظت وبازدارنده‌ی سرنشین ــ ایرــ بک، کشنده‌ی کمربند صندلی ــ میله‌ی محافظ سرنشین (Roll- overbar) ــ قفل کننده‌ی کمربند صندلی	 ۵۰g ۴g ۰/۴g
ABS, ESP	۰/۸ الی ۱/۲g
سیستم کنترل تعلیق : ــ بدنه ــ اکسل	 ۱g ۱۰g

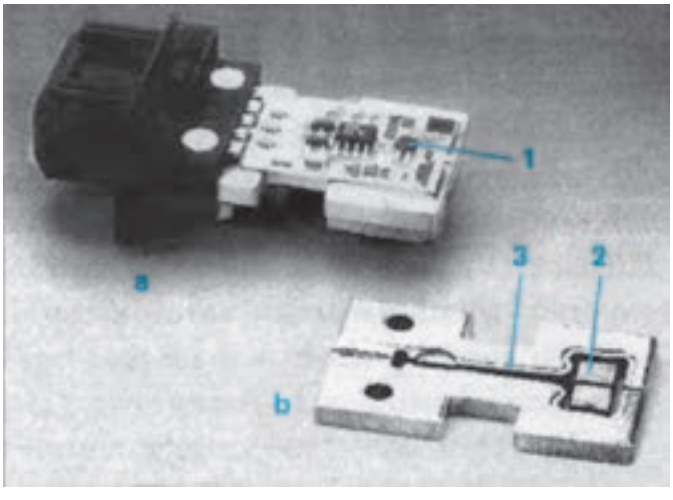
اصول اندازه‌گیری : اصول اندازه‌گیری تمام حسگرهای شتاب بر مبنای قوانین پایه‌ی مکانیک است، یعنی با اعمال نیروی F بر جرم m و صرف نظر از مقاومت هوا، شتابی به مقدار a در آن به‌وجود می‌آید.

$$F = m.a$$

اندازه‌گیری مقدار نیرو در سیستم‌های دارای جابه‌جایی و حرکت همانند اندازه‌گیری در سیستم کوبش مکانیکی است.

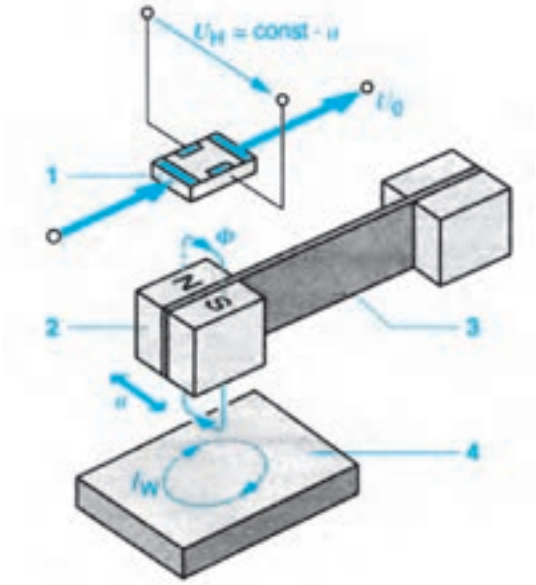
۱ــ۹ــ۲ــ حسگر شتاب اثرهال : خودروهای مجهز به سیستم‌های ترمز ضد قفل ABS، کنترل گشتاور TCS،تمام چرخ‌ها محرک و یا برنامه‌ی الکترونیکی پایداری ESP دارای یک حسگر شتاب،علاوه بر حسگرهای سرعت چرخ هستند که شتاب‌های طولی و عرضی خودرو را منوط به موقعیت نصب و جهت حرکت اندازه‌گیری می‌کند.

طراحی و ساختمان : در حسگر شتاب اثر هال، یک سیستم جرم ــ فنر ارتجاعی قرار دارد (شکل‌های ۵۳ــ۲ و۵۴ــ۲) این سیستم شامل یک فنر (۳) که از طرف لبه‌ی نازک و یک انتها ثابت و از انتهای دیگر به آهن‌ربای دائم (۲) که به منزله‌ی جرم مرتعش عمل می‌کند، متصل است. حسگر اثر هال (۱) به همراه مدار الکتریکی در بالای آهن‌ربای دائم واقع است و یک صفحه‌ی میرا کننده‌ی مسی (۴) در زیر آهن ربای دائم قرار دارد.



a ــ مدار الکترونیکی　　b ــ سیستم جرم ــ فنر
۱ــ حسگر اثرهال　　۲ــ آهن‌ربای دائم　　۳ــ فنر

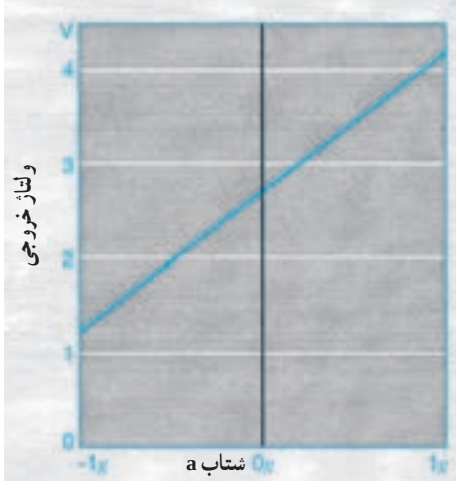
شکل ۵۳ــ۲ــ حسگر اثرهال



۱ــ حسگر اثرهال　　۲ــ آهن‌ربای دائم　　۳ــ فنر
۴ــ صفحه‌ی میراکننده　　I_W ــ جریان گردابی (میراکننده)
U_Hــ ولتاژ هال　　U_oــ ولتاژ تولیدی
Ø ــ حوزه‌ی مغناطیسی　　a ــ شتاب مؤثر

شکل ۵۴ــ۲ــ طرح واره‌ی حسگر اثرهال

نحوه‌ی عملکرد : وقتی حسگر در معرض شتاب پیچشی (نسبت به فنر) قرار می‌گیرد، سیستم جرم ــ فنر از حالت تعادل خارج می‌شود و این انحراف یک اندازه برای شتاب است. حرکت آهن ربا و حوزه‌ی مغناطیسی در حسگر اثرهال یک ولتاژ هال U_H تولید می‌کند. ولتاژ خروجی U_A از مدار الکترونیکی مشتق از ولتاژ هال است و همراه با شتاب به‌صورت خطی افزایش می‌یابد (شکل ۵۵ــ۲ دامنه‌ی تقریبی اندازه‌گیری ۱g). این حسگر برای اندازه‌گیری باند با پهنای کم یعنی چند H_Z طراحی شده و میراکننده الکترودینامیکی است.



شکل ۵۵ــ۲ــ مثالی از نمودار حسگر اثرهال

۲ــ۹ــ۲ــ حسگر شتاب میکرومکانیکال سطحی :
حسگرهای میکرومکانیکال سطحی در سیستم‌های بازدارنده، مقدار شتاب ایجاد شده در اثر تصادف از روبه‌رو یا طرفین خودرو را ثبت می‌کنند و این قطعات فرمان‌های کشنده‌ی کمربند صندلی، ایر ــ بگ و میله‌ی محافظ سرنشین را صادر می‌کنند.

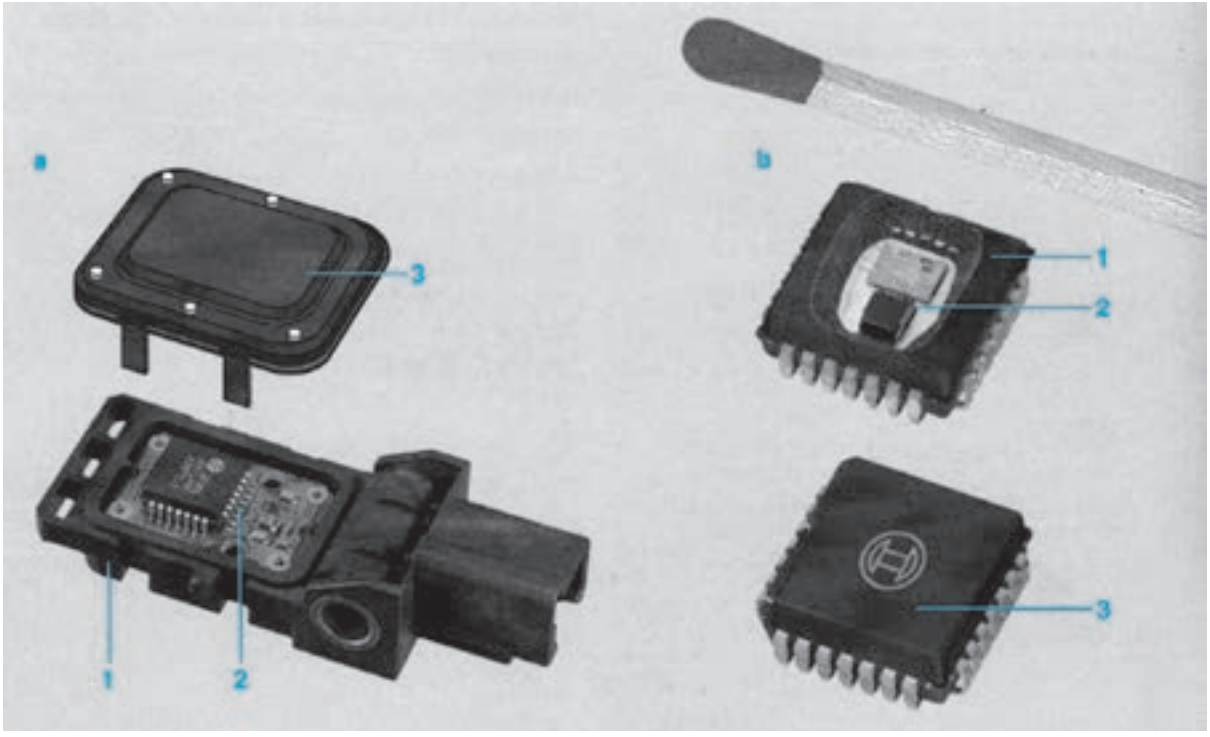
طراحی و نحوه‌ی عملکرد : اگر چه این حسگرها در ابتدا برای استفاده در شتاب‌های بالا (۵۰ الی ۱۰۰g) در نظر گرفته شده بودند ولی به‌دلیل توانایی کارکرد در شتاب‌های پایین، از آن‌ها در سیستم‌های بازدارنده استفاده گردید. این قطعات از حسگرهای سیلیکونی بسیار کوچک هستند (طول لبه‌ی آن‌ها تقریباً ۱۰۰ الی ۵۰۰μm) و روی یک مدار ارزیاب نصب می‌شوند و در داخل یک محفظه‌ی آب‌بندی شده قرار دارند (شکل ۵۶ــ۲).

یک فرآیند چند جانبه برای ساخت سیستم جرم ــ فنر روی ویفرسیلیکونی انجام می‌شود.

در سلول اندازه‌گیری،جرم ارتعاش کننده با الکترودهای شانه‌ای (شکل ۵۶ــ۲ ، ۵۷ــ۲ و شماره‌ی ۱) روی فنر نصب شده‌اند. این پیکره‌بندی مطابق الکترودهای متحرک است و مدار آن با دوخازن دیفرانسیلی (با ظرفیت الکتریکی ساختمان شانه‌ای حسگر حدود $_{PF}$۱) به‌طور سری است. در مقابل اجزای ثابت، جرم ارتعاش کننده و مولد فاز AC است، که هیچ گونه ارتباط مکانیکی مابین ترمینال‌های C_1 و C_2 و C_m (اندازه‌گیری ظرفیت الکتریکی) وجود ندارد.

جرم ارتعاش کننده (۲) در نتیجه‌ی شتاب خطی، تغییری در فضای مابین الکترودهای ثابت و متحرک ایجاد می‌کند و این دگرگونی موجب تغییر ظرفیت الکتریکی C_1 و C_2 و هم‌چنین سیگنال الکتریکی می‌گردد.

مدار الکترونیکی می‌تواند به‌صورت یک‌پارچه با حسگر و یا جدا از آن باشد و تغییرات دامنه، فیلتر کردن و آماده‌سازی دیجیتالی برای سیگنال ثانویه‌ی پردازش در ECU ایر ــ بگ در آن صورت می‌گیرد و مقدار تغییرات ظرفیت در حدود $_{PF}$۱ است.



a ــ حسگر ایر ــ بگ جانبی
b ــ حسگر ایر ــ بگ جلو
۱ــ محفظه
۲ــ حسگر و چیپ ارزیابی
۳ــ کاور

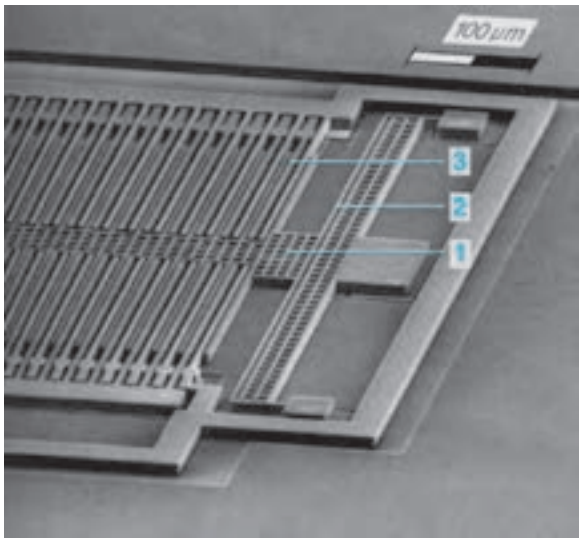
شکل ۵۶ــ ۲ــ نمونه‌ای از حسگر میکرومکانیکال شتاب برای ایر ــ بگ

دستورات ترکیبی برنامه برای دو منظور، یعنی جبران انحراف حسگر و راه‌اندازی حسگر برای فاز عیب‌یابی هوشمند در مدار ارزیاب وجود دارد.

در مدت عیب‌یابی هوشمند، نیروی الکترواستاتیک جهت انحراف ساختار شانه‌ای به‌کار می‌رود و پردازش را در مدت شتاب خودرو شبیه‌سازی می‌کند.

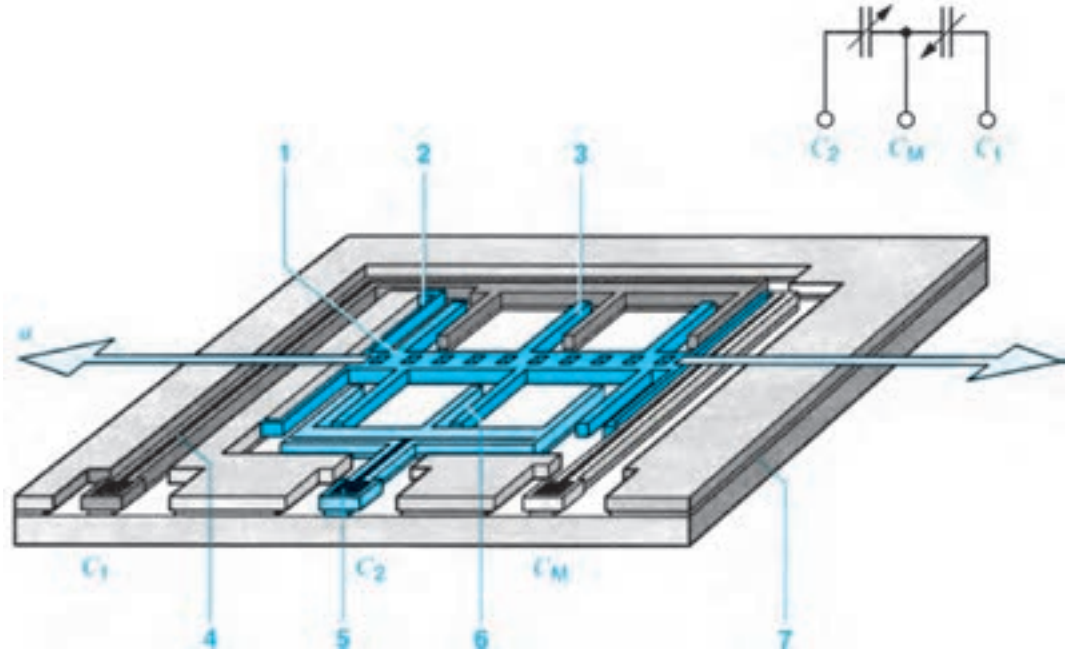
برای مثال، در برنامه‌ی کنترل پایداری خودرو (ESP) یک جفت حسگر میکرومکانیکال به‌کار رفته است (شکل ۵۹ــ۲) اصولاً در این ترکیب از دو حسگر مختلف یعنی یک حسگر میکرو مکانیکال زاویه‌ای (yaw-rate sensor) و یک حسگر میکرومکانیکال شتاب استفاده شده و یک واحد را تشکیل می‌دهند.

تبدیل تعداد اجزای خاص و سیگنال آن‌ها موجب اشغال فضای کم‌تر و کاهش وابستگی خودرو به سخت افزار می‌شود.



شکل ۵۷ــ۲ــ المنت اندازه‌گیری حسگر با ساختار شانه‌ای

۱ــ فنر و جرم ارتعاش کننده ۲ــ فنر ۳ــ الکترودهای ثابت

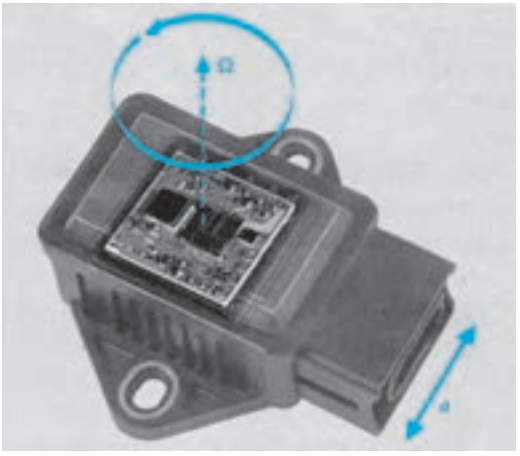


۱ــ فنر و جرم ارتعاش کننده ۲ــ فنر ۳ــ الکترودهای ثابت با ظرفیت C_1 ۴ــ رسانای چاپی AL

۵ــ محل ارتباط روی مدار چاپی ۶ــ الکترودهای ثابت با ظرفیت C_2 ۷ــ اکسید سیلیکون

a ــ جهت دریافت شتاب C_m ــ ظرفیت اندازه‌گیری

شکل ۵۸ــ۲ــ حسگر میکرومکانیکال شتاب و اندازه‌گیری خازنی



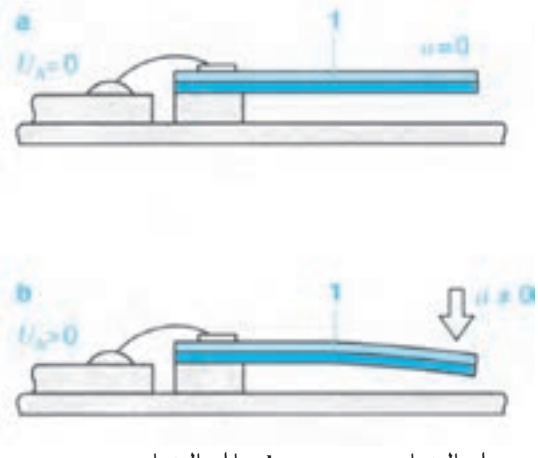
α ــ جهت دریافت شتاب Ω ــ مقدار انحراف زاویه‌ای یاو

شکل ۵۹ــ۲ــ ترکیب حسگر شتاب جانبی با حسگر زاویه‌ای یاو

۳ــ۹ــ۲ــ حسگرهای شتاب پیزوالکتریک:

این حسگرها المنت‌های خمشی هستند و از دولایه‌ی المنت پیزوسرمیک تشکیل شده‌اند و در سیستم‌های بازدارنده برای فرمان‌های کشنده‌ی کمربند صندلی، ایر ــ بگ و میله‌ی محافظ سرنشین به‌کار می‌روند.

طراحی و نحوه‌ی عملکرد: المنت خمشی پیزو به منزله‌ی قلب حسگر شتاب است و ساختار آن شامل دولایه‌ی پیزوالکتریک (که پلاریته‌ی مخالف یکدیگر دارند) است. در زمان اعمال شتاب، یک نیمه از ساختار لایه‌ای دچار کشش و دیگری فشرده می‌شود و نتیجه‌ی آن یک تنش خمشی مکانیکی است (شکل ۶۰ــ۲).



a ــ بدون اعمال شتاب b ــ با اعمال شتاب a

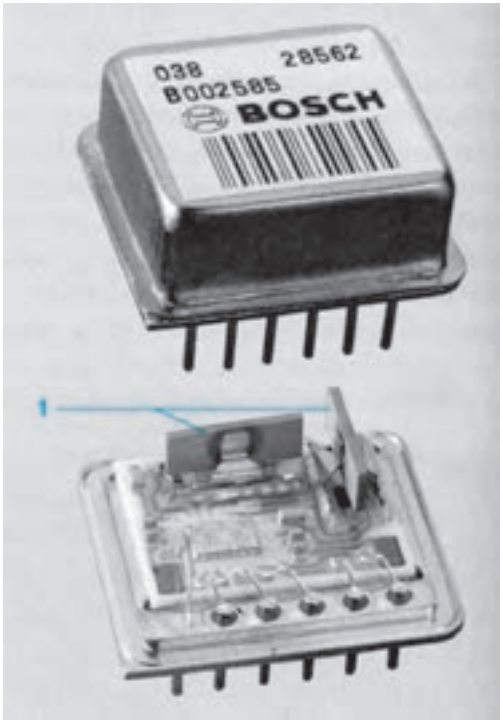
۱ــ المنت‌های خمشی پیزو الکتریک

U_Aــ ولتاژ اندازه‌گیری

شکل ۶۰ــ۲ــ المنت خمشی از یک حسگر شتاب پیزوالکتریک

ولتاژ تولیدی در اثر خمش المنت از طریق الکترود فلزی متصل به سطح حسگر خارج می‌شود و جهت حفاظت مکانیکی این حسگر در داخل ژل قرار دارد و محفظه‌ی آن ممهور است. برای اصلاح و تقویت سیگنال حسگر شتاب، از یک مدار چند لایه (Hybrid circuit)،شامل یک مبدّل امپدانس، یک فیلتر و یک تقویت کننده استفاده شده است و مقدار حساسیت و دامنه‌ی سیگنال اجزا را معین می‌کند. وقتی نیروی شتاب به حسگر اعمال می‌شود در المنت‌های خمشی پیزو انحراف به‌وجود می‌آید و به‌اندازه‌ی جرم آن‌ها نیروی دینامیکی تولید و سنجش سیگنال غیر α با یک فرکانس حداکثر $۱۰ H_Z$ ممکن می‌گردد. در چهار چوب عیب‌یابی هوشمند با اعمال ولتاژ معکوس از طریق یک الکترود در پایه‌ی حسگر تبدیل به یک عملگر شده است و می‌توان عملکرد صحیح حسگر را بررسی نمود.

نوع کاربرد حسگرهای شتاب پیزوالکتریک وابسته به موقعیت نصب و جهت شتاب دارد ولی مدلی از حسگر با طرحی خاص وجود دارد که می‌توان آن را در دو محور افقی و عمودی مورد استفاده قراردارد (شکل ۶۱ــ۲).



شکل ۶۱ــ۲ــ حسگر شتاب پیزوالکتریک (حسگر دوبل برای نصب عمومی)