

## ۲-۴- حسگرهای سرعت و دور در دقیقه (RPM)

حسگرهای سرعت و دور (rpm)، تعداد دوران یا فاصله طی شده در واحد زمان را اندازه گیری می کنند.

دستیابی به اطلاعات برای خودرو در دو حالت الف) اندازه گیری مابین دو قطعه ب) اندازه گیری نسبت به سطح جاده یا وسایل نقلیه دیگر، صورت می گیرد.

بعضی از اندازه گیری ها نیاز به مقدار مطلق سرعت دورانی یا انحراف محور خودرو دارند. برای مثال می توان به برنامه ی پایداری الکترونیکی (ESP) اشاره کرد که در آن مقدار انحراف عمودی (یاو) محور خودرو به وسیله ی pick\_off حس می گردد.

مقدار تغییرات تشخیص داده شده (وابسته به تعداد و مقدار اسکن روتور علامت گذاری شده در حسگرها، در انواع مختلف به شرح زیرند (شکل ۳۱-۲).

• **حسگر افزایشی (Incremental Sensor):** در حسگر افزایشی محیط جانبی یک روتور به دقت علامت گذاری می شود و توسط این نوع حسگر و از طریق نقاط روی محیط، که به زوایای خیلی ظریف تقسیم شده است، امکان ثبت سرعت لحظه ای میسر می گردد.

• **حسگر سگمنت (قطایی) (Segment Sensor):** روتور این حسگرها دارای تعداد کمی علامت جانبی است. (برای مثال اندازه گیری تعداد سیلندرها)

• **حسگر دور ساده:** روتور حسگرها دارای یک علامت جهت اسکن چرخش است و فقط می تواند مجموع سرعت دورانی را ثبت کند.



a - حسگر افزایشی

b - حسگر سگمنت

c - حسگر سرعت دورانی

شکل ۳۱-۲- انواع روتور سرعت دورانی

شکل های مختلف این حسگرها به صورت میله ای، چنگالی و پیچشی وجود دارد.

**مثال هایی برای سرعت دورانی:**

• سرعت میل لنگ و میل سوپاپ

• سرعت چرخ (ESP/ TCS/ ABS)

• سرعت پمپ سوخت پاش (پمپ اژکتور) موتور دیزل

در موارد ذکر شده همیشه با استفاده از سیستم پیکاپ

صعودی که شامل یک چرخ فرمان دندانه دار و یک حسگر

سرعت است عمل اندازه گیری صورت می گیرد.

**مثال هایی از روش های پیشرفته:**

• اندازه گیری 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 (غلشش) و حداکثر

آن (واژگونی)

**اصول اندازه گیری:** اصول اندازه گیری در حسگرهای

سرعت و دور بر مبنای القا و اثر هال است. اثر القایی در اندازه گیری

سرعت دورانی و اثر هال برای اندازه گیری مطلق سرعت دورانی

به کار می روند. حسگرهای اندازه گیر مطلق، یک مدار ارزیاب

الکترونیکی به صورت یک پارچه دارد تا بعد از اندازه گیری،

سیگنال خروجی را آماده سازی نماید (شکل ۳۲-۲).

از مزایا و معایب حسگرهای سرعت و دور به موارد زیر

می توان اشاره کرد:

**مزایا:**

• هزینه ی 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)

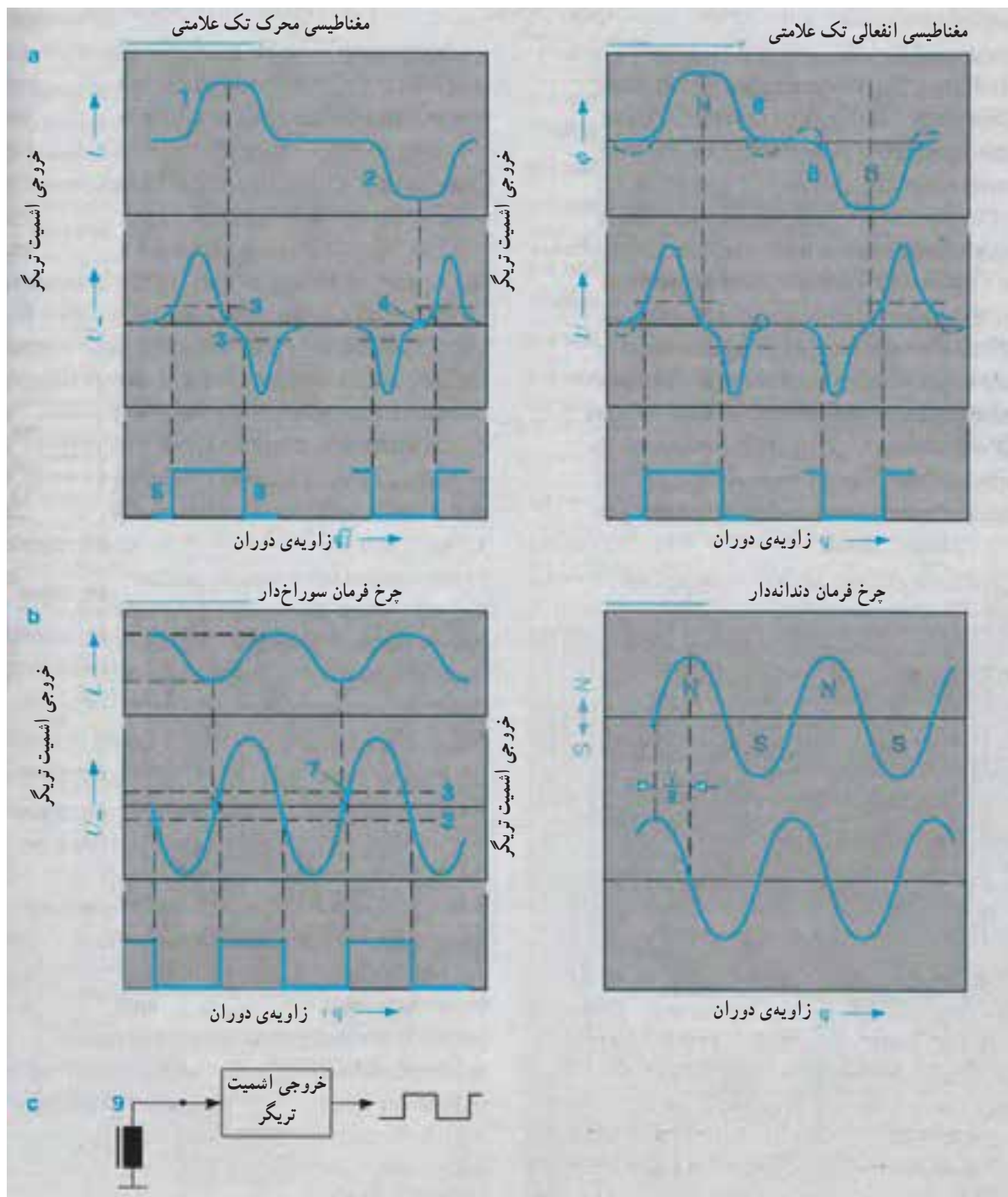
• دامنه ی دمای کاری بالا

• معایب: محدودیت در کاهش اندازه به دلیل استفاده از

سیم پیچ و تکنولوژی آن

• حساسیت نسبت به فاصله ی هوایی

شکل ۳۲-۲ مسیر حوزه و منحنی ولتاژ برای یک حسگر نوع القایی با یک سیگنال مغناطیسی مطابق چرخش علامت، یک ساختار افزایش متناوب (چرخ فرمان دندان‌دار یا سوراخ‌دار) و یک مدار ارزیاب را مشخص می‌کند.



- |                                     |                           |                           |                           |                      |                      |                      |                |         |
|-------------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------|---------|
| ۱- بادامک                           | ۲- دهانه باشکاف           | ۳- نقطه‌ی سوئیچ کردن      | ۴- نقطه‌ی صفر از شیب منفی | ۵- Priming edge      | ۶- Switching Flank   | ۷- نقطه‌ی سوئیچ کردن | ۸- قطب میله‌ای | ۹- حسگر |
| ۲- سیگنال مغناطیسی مطابق چرخش علامت | ۳- نقطه‌ی سوئیچ کردن      | ۴- نقطه‌ی صفر از شیب منفی | ۵- Priming edge           | ۶- Switching Flank   | ۷- نقطه‌ی سوئیچ کردن | ۸- قطب میله‌ای       | ۹- حسگر        |         |
| ۳- ساختار افزایش متناوب             | ۴- نقطه‌ی صفر از شیب منفی | ۵- Priming edge           | ۶- Switching Flank        | ۷- نقطه‌ی سوئیچ کردن | ۸- قطب میله‌ای       | ۹- حسگر              |                |         |
| ۴- مدار ارزیاب                      | ۵- Priming edge           | ۶- Switching Flank        | ۷- نقطه‌ی سوئیچ کردن      | ۸- قطب میله‌ای       | ۹- حسگر              |                      |                |         |
| ۵- بادامک                           | ۶- Switching Flank        | ۷- نقطه‌ی سوئیچ کردن      | ۸- قطب میله‌ای            | ۹- حسگر              |                      |                      |                |         |

شکل ۳۲-۲

## ۱-۴-۲- حسگر سرعت موتور القایی: این قبیل

حسگرهای سرعت موتور برای اندازه‌گیری پارامترهایی به شرح زیر مورد استفاده قرار می‌گیرند:

• دور موتور (دوران موتور در دقیقه)

• موقعیت میل لنگ (برای اطلاع درباره‌ی موقعیت

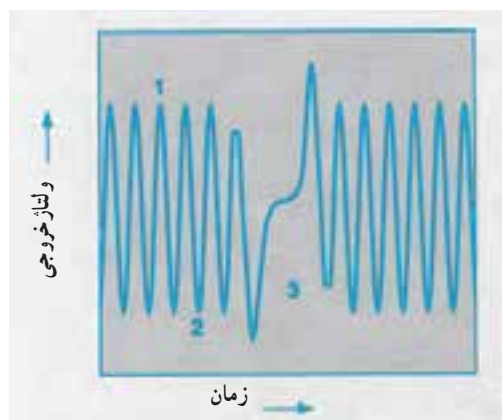
پیستون‌های موتور)

سیگنال خروجی حسگر سرعت 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 ۳۴-۲) 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 به وسیله‌ی یک دندانه‌ی متمرکز و هدایت شده و موجب افزایش میدان فعال در سراسر سیم پیچ می‌گردد و کاهش آن به وسیله‌ی 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، به دلیل کاهش و افزایش حوزه‌ی مغناطیسی که در زمان دوران چرخ فرمان به وقوع می‌پیوندد یک ولتاژ سینوسی در سیم پیچ که متناسب با نسبت تغییر یا نوسان حوزه است، تولید می‌شود (شکل ۳۳-۲).



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

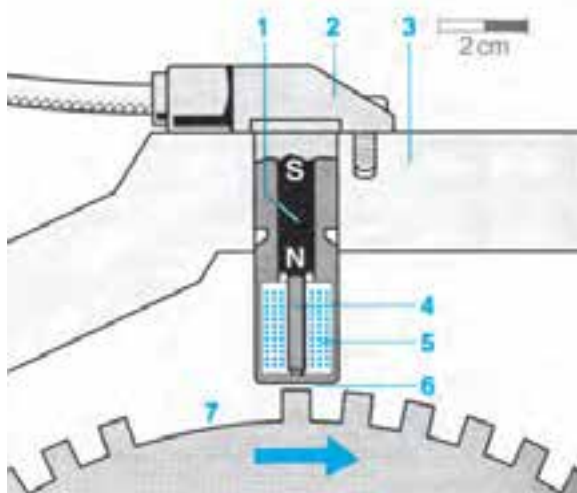
شکل ۳۳-۲- سیگنال القایی یک حسگر rpm

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 ۳۰ rpm است.

تعداد دندانه‌های روی چرخ فرمان دارای مشخصات ویژه‌ای است. برای مثال معمولاً در سیستم مدیریت موتور روی فلاپویل، 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 میل لنگ و علامت مرجع جهت برآورد و همزمان‌سازی با واحد کنترل الکترونیکی (ECU) یک فاصله‌ی (دهانه) خیلی بزرگ اختصاص یافته است.

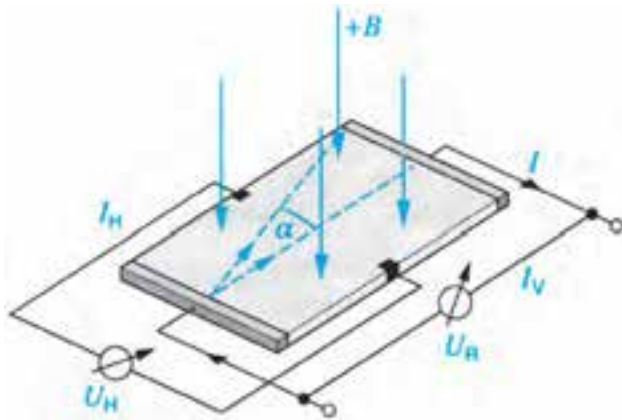
در نوع دیگر از چرخ فرمان، برای هر سیلندر موتور یک دندانه وجود دارد، یعنی در این نوع برای یک موتور چهار سیلندر، چهار دندانه و در نتیجه در هر دور از دوران موتور چهار پالس تولید می‌گردد. در واحد کنترل الکترونیکی با تبدیل ولتاژ سینوسی از کل مدار ارزیابی الکترونیکی صورت می‌گیرد و این کار توسط میکروکنترل موجود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



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

۵- سیم پیچ ۶- فاصله‌ی هوایی ۷- چرخ فرمان با علامت مرجع

شکل ۳۴-۲- حسگر دور القایی



I. جریان ویفر  
 $I_M$ . جریان هال  
 $I_V$ . جریان تولیدی  
 $U_H$ . ولتاژ هال  
 $U_R$ . ولتاژ طولی  
 $B$ . القای مغناطیسی  
 $\alpha$ . انحراف الکترون در اثر حوزه مغناطیسی

شکل ۳۵-۲- المنت هال (تیغی سوئیچ اثر هال)

## ۲-۴-۲- حسگر فاز اثر هال: به دلیل نامعین بودن

وضعیت پیستون برای رسیدن به TDC و با توجه به این که سرعت میل سوپاپ نصف سرعت دوران موتور است. می توان از موقعیت دورانی میل سوپاپ به عنوان یک نشانه جهت مشخص شدن فاز کورس کمپرس یا تخلیه پیستون استفاده کرد.

حسگر فاز روی میل سوپاپ این اطلاعات را برای ECU

آماده می کند.

### نحوه عملکرد

حسگر میله ای اثر هال: همان طوری که از نام آن

پیداست این نوع حسگرها (شکل ۳۶-۲) با استفاده از اثر هال ساخته شده اند.

یک چرخ فرمان فرو مغناطیسی با دندانه و فاصله (دهانه)

یا روتور سوراخ دار (شماره ۷) به میل سوپاپ متصل می شود و دوران می کند.

محل قرار گرفتن IC اثر هال ما بین چرخ فرمان و یک

آهن ربای دائم (شماره ۵) است که حوزه مغناطیسی عمود بر المنت هال را ایجاد می کند. اگر یک دندانه چرخ فرمان (z) از

مقابل المنت (ویفر نیمه رسانا) حسگر میله ای عبور کند در شدت حوزه مغناطیسی عمود بر المنت های تغییر ایجاد می شود و این

حالت دلیل حرکت و انحراف الکترون ها در سوئیچ اثر هال شده (شکل ۳۵-۲ زاویه  $\alpha$ ) و در نتیجه ای این عمل یک سیگنال

ولتاژ فرمان (ولتاژ هال) که در محدوده میلی ولت و مستقل از نسبت سرعت ما بین حسگر و چرخ فرمان است، تولید می گردد.

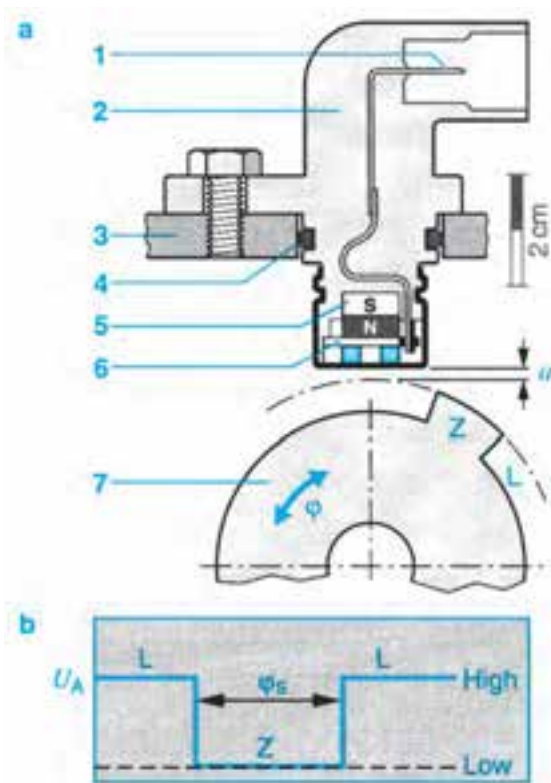
سنجش کلی و الکترونیکی شرایط سیگنال IC هال و یک

صفحه ی سوراخ دار یا طرح ویژه (شکل ۳۷-۲) و یک چرخ فرمان دو دندانه ی مجاور (شکل ۳۷-۲) برای تولید سیگنال

و اندازه گیری مورد استفاده قرار می گیرند (شکل ۳۸-۲).

این حسگرها در خودروهایی که دقت ساخت در آن ها بالاست به کار رفته و از مزایای آن ها می توان به فاصله ی زیاد بین حسگر و

محل اندازه گیری و هم چنین خنثی کردن حرارت اشاره کرد.



زاویه گردش بر حسب  $\phi$

a - موقعیت حسگر و چرخ فرمان تک شیار

b - مشخصات سیگنال خروجی  $U_A$

۱ - اتصال الکتریکی

۲ - پوسته ی حسگر

۳ - بلوک ی موتور

۴ - اُ رینگ

۵ - آهن ربای دائم

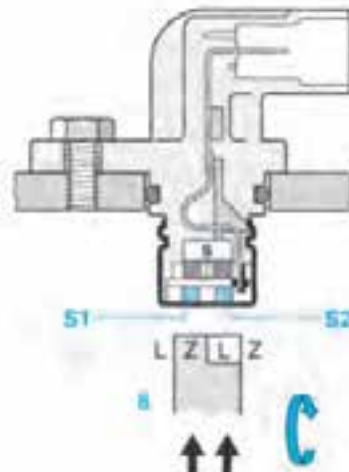
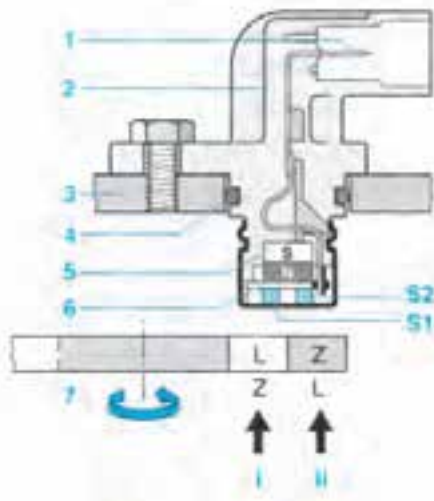
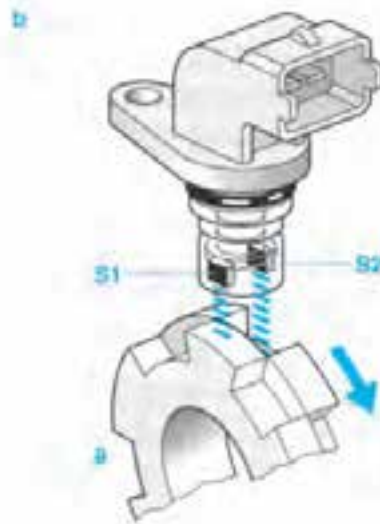
۶ - IC هال

۷ - چرخ فرمان با دندانه یا شیار (z) و فاصله (دهانه ی L)

a - فاصله هوایی  $\phi$  - زاویه ی چرخش

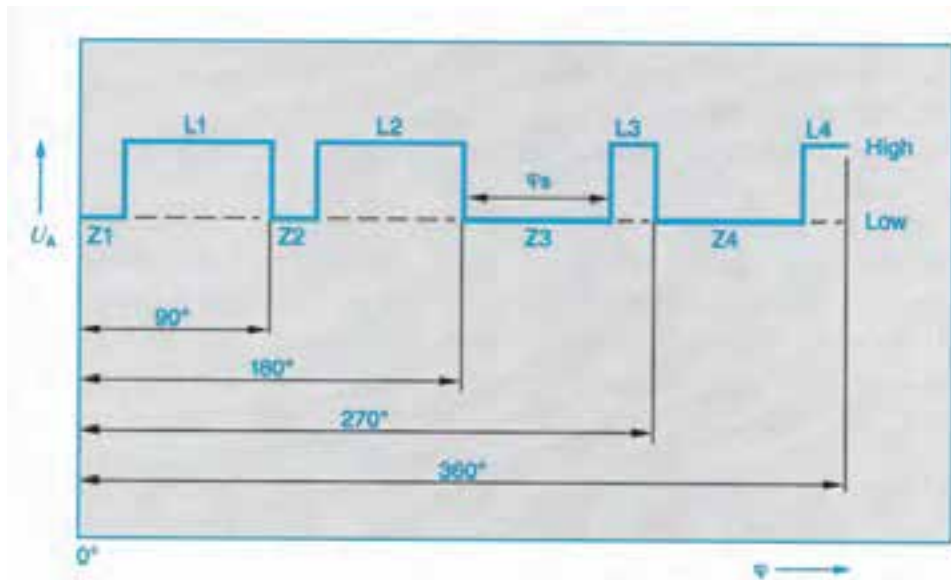
شکل ۳۶-۲- حسگر اثر هال میله ای





- a - محوری (صفحه‌ی سوراخ‌دار)
- b - شعاعی (چرخ فرمان با دو دندانه)
- ۱- اتصال الکتریکی
- ۲- پوسته‌ی حسگر
- ۳- بلوک‌ی موتور
- ۴- اُ رینگ
- ۵- آهن‌ربای دائم
- ۶- IC هال دیفرانسیلی با المنت‌های  $S_2$  و  $S_1$
- ۷- صفحه‌ی سوراخ‌دار
- ۸- چرخ فرمان با دو دندانه
- ۱- شیار ۱
- ۲- شیار ۲

شکل ۳۷-۲- 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  $S_2$
- $\phi_s$ : عرض سیگنال

شکل ۳۸-۲- مشخصات منحنی سیگنال خروجی  $U_A$  از یک حسگر دیفرانسیلی اثر هال میله‌ای

### ۳-۴-۲- حسگر سرعت چرخ: از طریق سیگنال‌های

حسگر سرعت چرخ، ECU، سیستم‌های ABS، ESP و TCS مقدار دوران 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 به کار 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 تویی 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 دوران 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 به دنبال دارد و مقدار تفرانس 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 به عمل می‌آید.

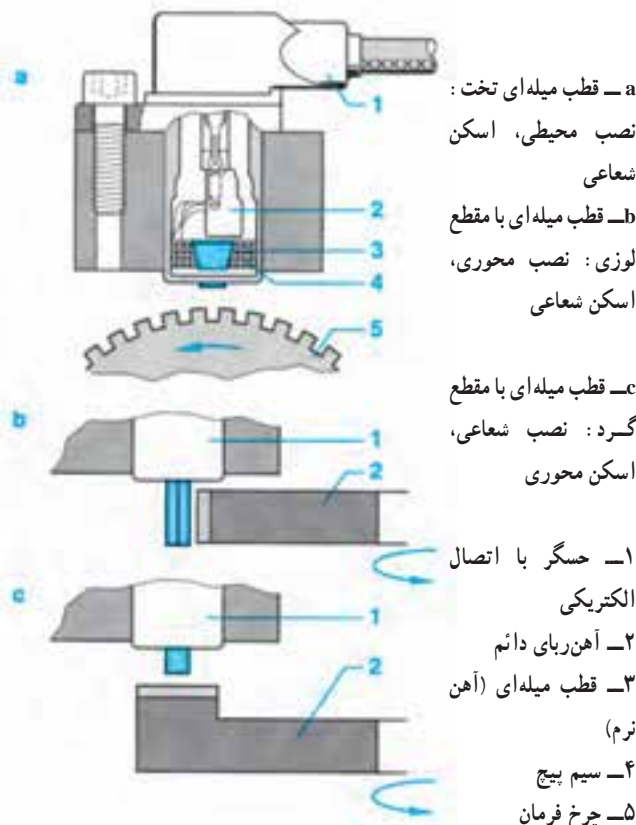
در موقع انتخاب نوع قطب و روش نصب قابل اجرا و

سازگار با سیستم‌های کنترلی، با شرایط مختلف نصب روی چرخ مواجه می‌شویم.

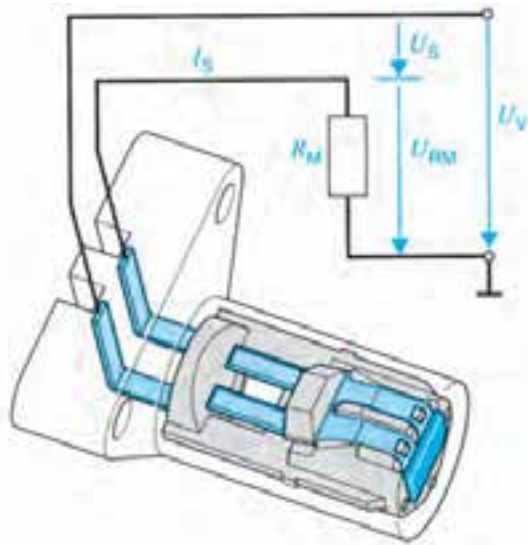
از متداول‌ترین نوع اسکنه‌ی قطب، که آن را قطب نوع تخت می‌نامند (شکل ۲-۳۹)، برای نصب محیطی (یعنی محور حسگر عمود بر محور چرخ فرمان باشد) و عمود بر روتور پالس (چرخ فرمان) استفاده می‌گردد.

نوع لوزی شکل قطب (شکل ۲-۳۹) مخصوص نصب محوری (یعنی محور حسگر موازی با محور چرخ فرمان باشد) و به صورت 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 ۲-۳۹c)، که دارای مقطع گرد است، دقیق و در راستا قرار گرفتن قطب و چرخ فرمان ضرورتی ندارد. فقط چرخ فرمان باید دارای قطر بزرگ‌تر و تعداد دنده‌ی بیش‌تر باشد.



شکل ۲-۳۹- حسگر انفعالی سرعت چرخ با شکل‌های مختلف قطب و نوع قرارگیری



۱-  $I_s$  - جریان حسگر (تغذیه و سیگنال)  $R_{RM}$  - مقاومت اندازه‌گیری (در Ecu)  
 $U_v$  - ولتاژ تغذیه  
 $R_{RM}$  - سیگنال ولتاژ  
 $U_s$  - ولتاژ حسگر

شکل ۴۱-۲ - نمونه‌ای از یک حسگر اثر هال با ۲ سیم

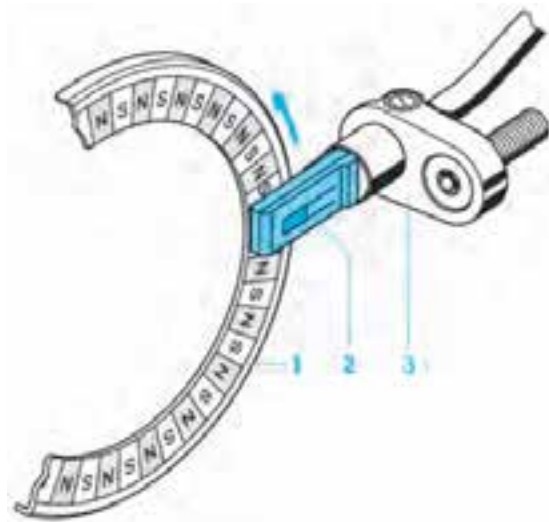
با استفاده از یک مقاومت اندازه‌گیر  $R_M$  و یا تعدیل جریان (حداقل  $V_{MA}$  و حداکثر  $I_{MA}$ ) می‌توان پس از تبدیل داخلی، یک سیگنال ولتاژ  $U_{RM}$  را به ECU ارسال کرد.  
 دو نوع مختلف حسگر در جعبه دنده وجود دارد که به شرح زیرند:

#### 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 به وسیله 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 دور در دقیقه آشکارسازی است، جهت دوران، فاصله هوایی و موقعیت اتصال.



۱- رینگ چند قطبی  
 ۲- المنت حسگر  
 ۳- محفظه‌ی حسگر  
 شکل ۴۰-۲ - حسگر فعال سرعت چرخ با رینگ چند قطبی

#### ۴-۴-۴ - 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 به گونه‌ای 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 آن را 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 به کار آن (حسگر)، باید به منبع تغذیه ( $U_v$ ) متصل گردد.

اعمال اثر هال در موقع اسکن روتور با دندانه‌ی فروم‌مغناطیس، 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  $n =$  ایجاد می‌کند، و جریان تغذیه باعث افزایش سیگنال خروجی از آن می‌گردد.

روتور (چرخ فرمان) به شفت توزیع کننده‌ی جرقه متصل است و همراه آن (دلکو) دَوَران می‌کند و از انتهای استاتورها عبور می‌نماید و همانند بادامک جداکننده‌ی پلاتین عمل می‌کند. هسته و روتور از جنس آهن نرم اند و دندانه دارند. دندانه‌های استاتور به صورت باله و عمود به طرف بالا، در انتهای آن قرار دارد و روتور هم دندانه‌ی یکسان با استاتور ولی عمود به طرف پایین دارد. دندانه‌های روتور و استاتور، زمانی که مستقیماً رویه‌روی یکدیگر قرار دارند، دارای فاصله‌ای برابر  $0.5^\circ$  میلی مترند.

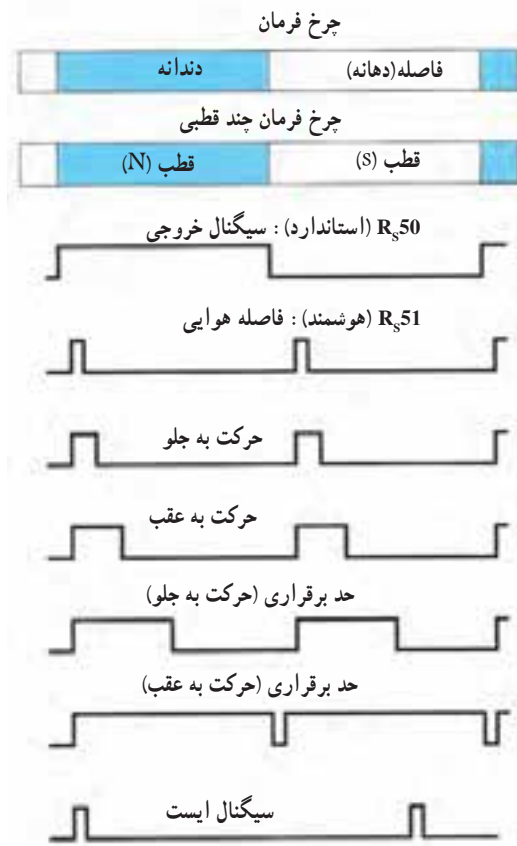


- ۱- آهن‌ربای دائم
- ۲- سیم پیچ و هسته‌ی القایی
- ۳- فاصله‌ی هوایی متغیر
- ۴- روتور

شکل ۴۳-۲ حسگر نوع القایی در توزیع کننده‌ی جرقه

**نحوه‌ی عملکرد:** اصول کارکرد به فاصله‌ی هوایی مابین

دندانه‌ی روتور و دندانه‌ی استاتور وابسته است و به همراه دَوَران روتور مرتباً حوزه‌ی 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  $\pm US$  متناسب با سرعت دورانی روتور است. در حداقل سرعت این ولتاژ  $0.5^\circ$  و در حداکثر سرعت تقریباً  $10^\circ V$  است. همچنین فرکانس (F) این ولتاژ AC (شکل ۴۴-۲) برابر تعداد جرقه‌ی شمع در دقیقه است.



شکل ۴۲-۲ شکل و محتوای اطلاعات سیگنال‌های خروجی از نسخه‌های مختلف حسگر

## ۲-۵ حسگرهای نوع القایی برای سیستم جرقه زنی

برای فرمان جرقه‌زنی از یک حسگر نوع القایی به عنوان یک ژنراتور AC در سیستم جرقه‌زنی ترانزیستوری استفاده می‌گردد.

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

**طراحی و ساختمان:** حسگرهای القایی در محفظه‌ی توزیع کننده‌ی جرقه (دلکو) و در محل نقاط قطع و وصل جریان قرار دارند (شکل ۴۳-۲). 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.



رابطه‌ی فرکانس به شرح زیر است :

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

در فرمول

F – فرکانس یا تعداد جرقه ( $\text{min}^{-1}$ )

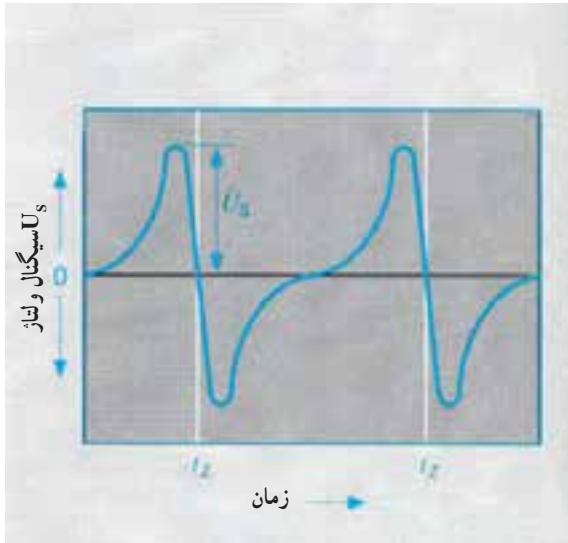
Z – تعداد سیلندر موتور

n – سرعت موتور ( $\text{min}^{-1}$ )

$U_s$  – سیگنال ولتاژ

$\hat{U}_s$  – ولتاژ پیک (حداکثر)

$t_z$  – نقطه‌ی جرقه



شکل ۲-۴۴ – منحنی مشخصه‌ی حسگر القایی

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 در مسیر 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 ۲-۴۶) 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 ۲-۴۶-b) 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.

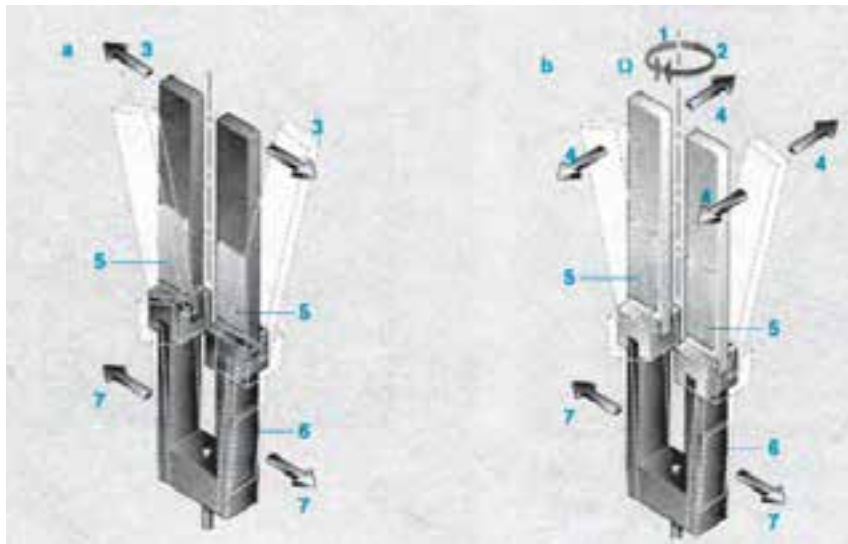
## ۲-۶ حسگر پیزو الکتریک یا و دیپازونی "Tuning - fork" yaw- rate sensor

در این روش اطلاعات مورد نیاز از تغییر مکان خودرو با محاسبه فواصل راندن برآورد شده و نقشه دیجیتالی 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 دیپازونی (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 به کار 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 بالایی دوشاخه

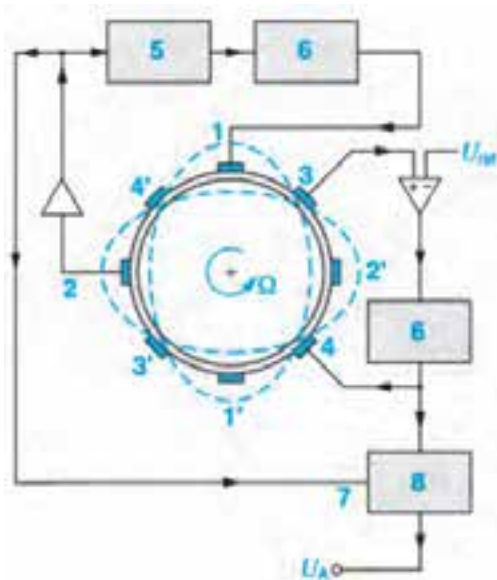


- a - در زمان راندن خودرو در مسیر مستقیم به جلو
- b - در زمان پیچیدن خودرو
- ۱ - جهت دو شاخه در اثر نوسان پیچشی
- ۲ - جهت پیچیدن خودرو
- ۳ - جهت نوسان در اثر راندن، در مسیر مستقیم و به جلو
- ۴ - نیروی پیچشی
- ۵ - المنت‌های پیزوی بالایی (حسگر)
- ۶ - المنت‌های پیزوی پایینی (محرک)
- ۷ - جهت نوسانات تحریک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

شکل ۴۵-۲ حسگر مقدار انحراف دیپازونی

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

انتخاب لحظه‌ای مقادیر حاصل شده و تبدیل آن‌ها به  $U_{ref}$  اجازه‌ی بررسی آسان کل سیستم حسگر را ایجاد می‌نماید. این حسگرها در مقابل حرارت حساس‌اند و نیاز به مدار جبران‌کننده دارند و ماده‌ی تشکیل دهنده بر مبنای المنت پیزوسرامیک است.



- ۱ ... ۴ - المنت‌های پیزو
- ۵ - مدار
- ۶ - Bandpass Filter (Phase- locked) - فاز مرجع
- ۷ - یک‌سوساز (فاز انتخابی)
- ۸ - ولتاژ خروجی  $U_A$
- $\Omega$  - دَوَرن
- $U_{ref} = 0$  (عملکرد طبیعی)
- $U_{ref} \neq 0$  (در موقع تست)
- شکل ۴۶-۲ طرح واردی حسگر پیزوالکتریک

## ۲-۷ حسگر پیزوالکتریک یاو با 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 پیزوالکتریک (شکل ۴۶-۲، ۱'، ۱) در امتداد قطر و در مقابل یکدیگر، برای ثبت نوسان‌ها با فاز موافق به کار رفته است.

زوج المنت پیزوالکتریک (۲' ۲) برای کنترل و ادامه‌ی نوسان در یک دامنه‌ی ثابت مورد استفاده قرار می‌گیرد و برای دریافت نوسانات چهار نقطه‌ی اتصال موازی در زاویه‌ی ۴۵° وجود دارد. (به شکل ۴۶-۲ الی ۴۸-۲ مراجعه کنید).

در زمان گردش خودرو، محور استوانه در یک میزان انحراف  $\Omega$  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.

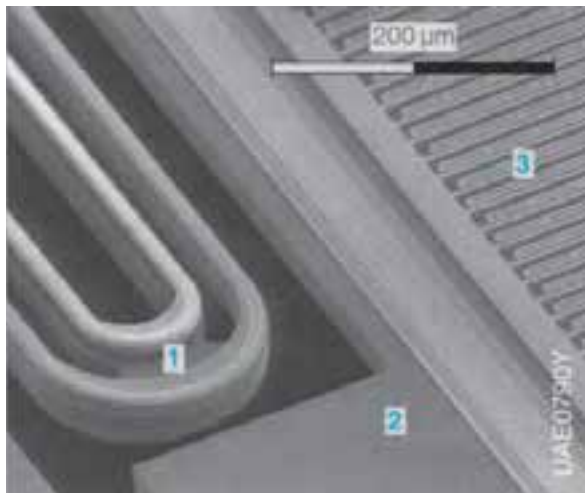
نیروی تولیدی، متناسب با سرعت دورانی است و به وسیله‌ی زوج سوم المنت پیزوالکتریک (۳' ۳) نمایان می‌شود. برای کنترل حلقه‌ی بسته از پیزوالکتریک چهارم استفاده می‌شود و نیروهای اعمالی بعد از تطبیق با مقدار مبنای  $U_{ref}$  برگشت می‌کنند.

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 به وسیله‌ی 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  $\Omega$  که میزان شتاب پیچشی (کریولیس) است، زمانی که تراشه‌ی حسگر حول محور عمودی اندکی دَوَرن کند، جهت نوسان عمودی در ویفر ثبت می‌شود (شکل ۲-۴۹ و ۲-۵۰).

این شتاب متناسب با مقدار انحراف و سرعت 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، به همراه میدان مغناطیسی موجود، می‌توان اندازه‌ی سرعت نوسان را به وسیله‌ی القا مشخص نمود.



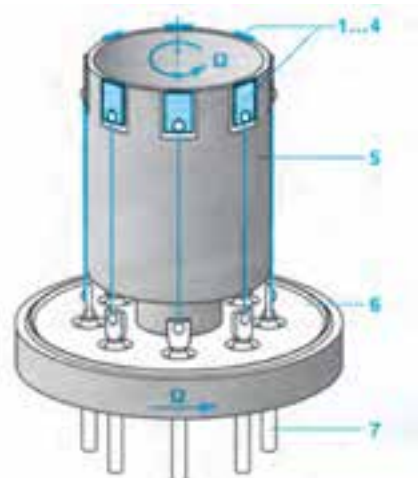
۱- فر راهنما یا نگه‌دارنده ۲- قسمتی از المنت نوسانگر

۳- حسگر شتاب پیچشی (کریولیس)

شکل ۲-۴۹- ساختمان حسگر یاو میکرو مکانیکال با حرکت سطحی



شکل ۲-۴۷- حسگر پیزوالکتریک یاو



۱...۴- زوج المنت پیزو ۵- استوانه‌ی نوسانگر

۶- صفحه‌ی پایه ۷- پین‌های اتصال

$\Omega$  - یاو

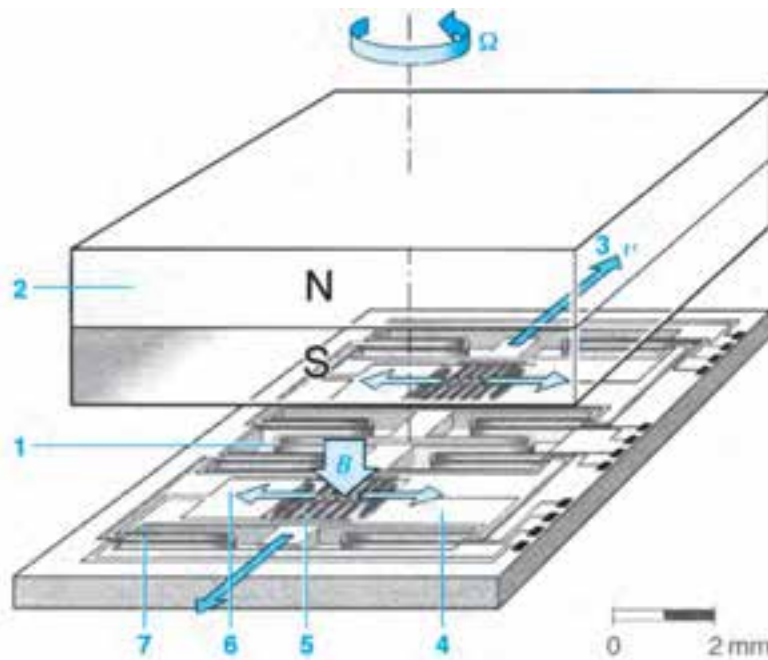
شکل ۲-۴۸- حسگر یاو پیزوالکتریک (اصول طراحی)

## ۲-۸- حسگرهای یاو میکرومکانیکال

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

### ۲-۸-۱- حسگر یاو میکرومکانیکال با حرکت

سطحی: برای دستیابی به کارکرد صحیح سیستم دینامیکی خودرو نیاز به استفاده از یک تکنولوژی ترکیبی است، که در



- ۱- فنر تعیین کننده‌ی فرکانس رزونانس
- ۲- آهن‌ربای دائم
- ۳- جهت نوسان
- ۴- المنت نوسانگر
- ۵- حسگر شتاب پیچشی (کریولیس)
- ۶- جهت شتاب پیچشی (کریولیس)
- ۷- فنر راهنما یا نگه‌دارنده
- $\Omega$  - سرعت زاویه‌ای (یاو)
- ۷- سرعت نوسانی
- B - حوزده‌ی آهن‌ربای دائم

شکل ۲-۵۰- طرح واره‌ی حسگر یاو میکرو مکانیکال

ساختمان داخلی حسگر به شکل دندانه‌های شانه است (شکل‌های ۲-۵۱ و ۲-۵۲) 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<sup>۱</sup> که همانند یک خازن عمل می‌کند، ثابت می‌شود.

در اثر نیروهای پیچشی (کریولیس) و متناسب با آن صفحه به مقدار  $\Omega$  انحراف پیدا می‌کند و الکترودها در زیر نوسانگر، دارای حالت خازنی می‌شوند. برای دوری از استهلاک ارتعاش حرکات اجزاء، حسگر باید در خلأ کار کند. در حسگر قبلی، کوچک کردن تراشه‌ها بر ساده 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.

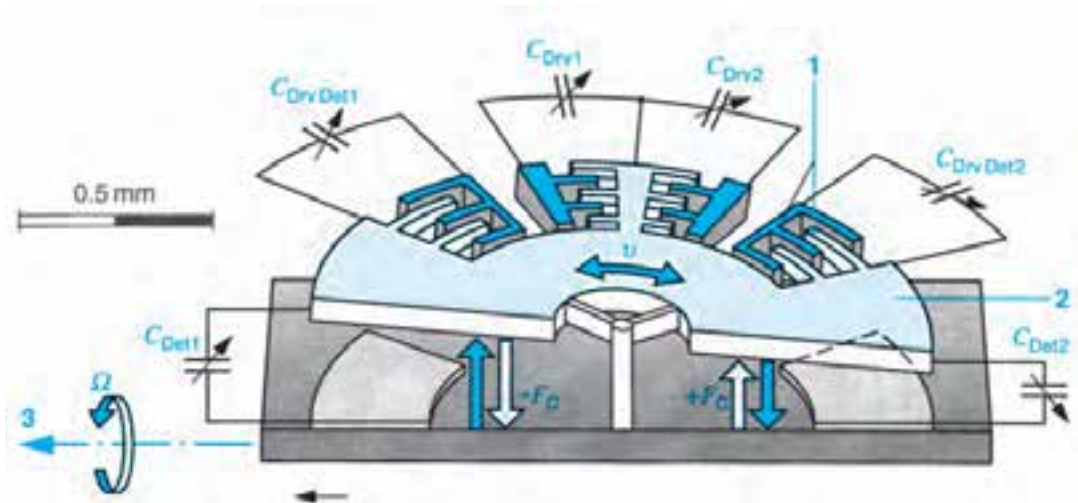
ساختمان فیزیکی سیستم حرکت با سیستم حسگر از اتصال نامطلوب دو بخش جلوگیری می‌کند. اثراتی از شتاب خارجی، که برای اندازه‌گیری مورد نیاز نیست باعث کاهش سیگنال حسگر می‌شود و جهت رفع این حالت، اندازه‌گیری به صورت کلی صورت می‌گیرد. هم‌چنین، دقت بالا در ساخت ساختمان میکرومکانیکال اثرات شتاب نوسانی زیاد را که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

## ۲-۸-۲- 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.

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





۳- محور اندازه‌گیری

۲- نوسانگر

۱- ساختمان شانهای شکل

$C_{Det}$  - Pick-off خازنی

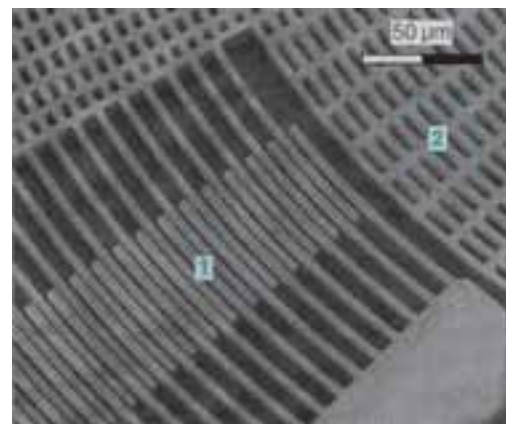
$C_{Drv}$  - الکترودها

۷- سرعت نوسانی  $\Delta C_{Det} = \Omega$  زاویه‌ای (یاو)

$F_c$  - نیروی بیجشی

شکل ۵۱-۲- طرح واره‌ی حسگر زاویه‌ای (یاو) میکرومکانیکال با ساختمان شانهای

شتاب a یک کمیت قابل اندازه‌گیری است و از شتاب  
جاذبه‌ی g ( $9.8 \text{ m/s}^2$ ) مستقل است.  
نمونه‌های کاربردی اندازه‌گیری شتاب در مهندسی خودرو  
رادر جدول زیر ملاحظه می‌کنید.



۱- ساختمان شانهای شکل ۲- نوسانگر

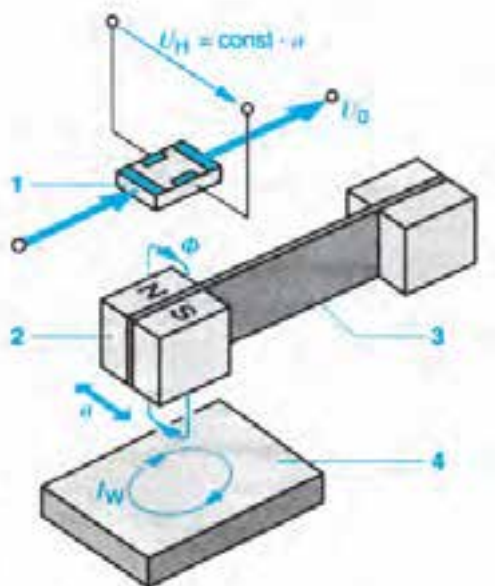
شکل ۵۲-۲- حسگر زاویه‌ای (یاو) با ساختمان شانهای

جدول ۳-۲

حسگرهای شتاب و ارتعاش	
دامنه‌ی اندازه‌گیری	مشخصات
۱ الی ۱۰ g	کنترل ناک (کوبش)
۵ g ۴g /۴g	سیستم‌های محافظت و بازدارنده‌ی سرنشین - ایر- بک، کشنده‌ی کمر بند صندلی - میله‌ی محافظ سرنشین (Roll-overbar) - قفل کننده‌ی کمر بند صندلی
۱/۸ الی ۱/۲g	ABS, ESP
۱g ۱g	سیستم کنترل تعلیق: - بدنه - اکسل

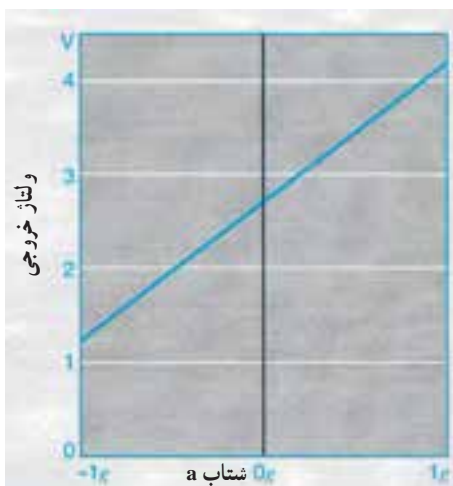
## ۹-۲- حسگرهای شتاب و ارتعاش

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



- ۱- حسگر اثرهال
  - ۲- آهنربای دائم
  - ۳- فنر
  - ۴- صفحه‌ی میراکننده
  - $I_W$  - جریان گردابی (میراکننده)
  - $U_H$  - ولتاژ هال
  - $U_o$  - ولتاژ تولیدی
  - $\Phi$  - حوزه‌ی مغناطیسی
  - $a$  - شتاب مؤثر
- شکل ۵۴-۲ طرح وارده حسگر اثرهال

**نحوه‌ی عملکرد:** وقتی حسگر در معرض شتاب پیچشی (نسبت به فنر) قرار می‌گیرد، سیستم جرم - 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 به صورت خطی افزایش می‌یابد (شکل ۵۵-۲ دامنه‌ی تقریبی اندازه‌گیری  $1g$ ). این حسگر برای اندازه‌گیری باندها با پهنای کم یعنی چند  $H_z$  طراحی شده و میراکننده الکتروپنایمیکی است.



شکل ۵۵-۲ منالی از نمودار حسگر اثرهال

**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 به وجود می‌آید.

$$F = m \cdot a$$

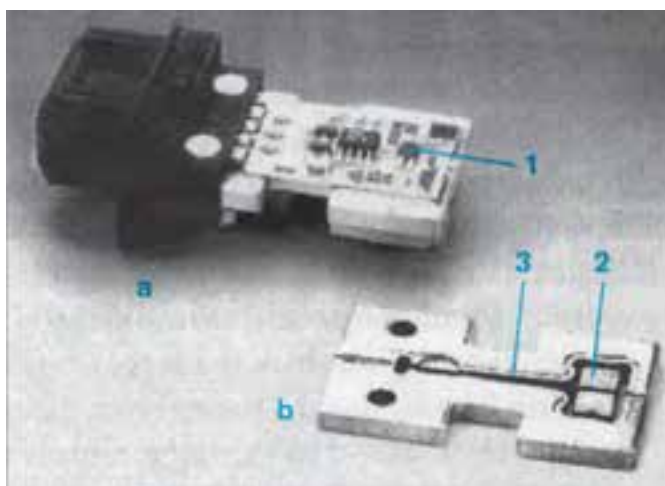
اندازه‌گیری مقدار نیرو در سیستم‌های دارای جابه‌جایی و حرکت همانند اندازه‌گیری در سیستم کوبش مکانیکی است.

### ۱-۹-۲ 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 - فنر ارتجاعی قرار دارد (شکل‌های ۵۳-۲ و ۵۴-۲). 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 الکترونیکی در بالای آهن‌ربای دائم واقع است و یک صفحه‌ی میراکننده‌ی مسی (۴) در زیر آهن‌ربای دائم قرار دارد.



- a - مدار الکترونیکی
  - b - سیستم جرم - فنر
  - ۱- حسگر اثرهال
  - ۲- آهن‌ربای دائم
  - ۳- فنر
- شکل ۵۳-۲ حسگر اثرهال

## ۲-۹-۲- 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- بگ و میله‌ی محافظ سرنشین را صادر می‌کنند.

**طراحی و نحوه‌ی عملکرد :** اگر چه این حسگرها در ابتدا برای استفاده در شتاب‌های بالا ( $50^\circ$  الی  $100^\circ g$ ) در نظر گرفته شده بودند ولی به دلیل توانایی کارکرد در شتاب‌های پایین، از آن‌ها در سیستم‌های بازدارنده استفاده گردید. این قطعات از حسگرهای سیلیکونی بسیار کوچک هستند (طول لبه‌ی آن‌ها تقریباً  $100^\circ$  الی  $50^\circ \mu m$ ) و روی یک مدار ارزیاب نصب می‌شوند و در داخل یک محفظه‌ی آب‌بندی شده قرار دارند (شکل ۲-۵۶).

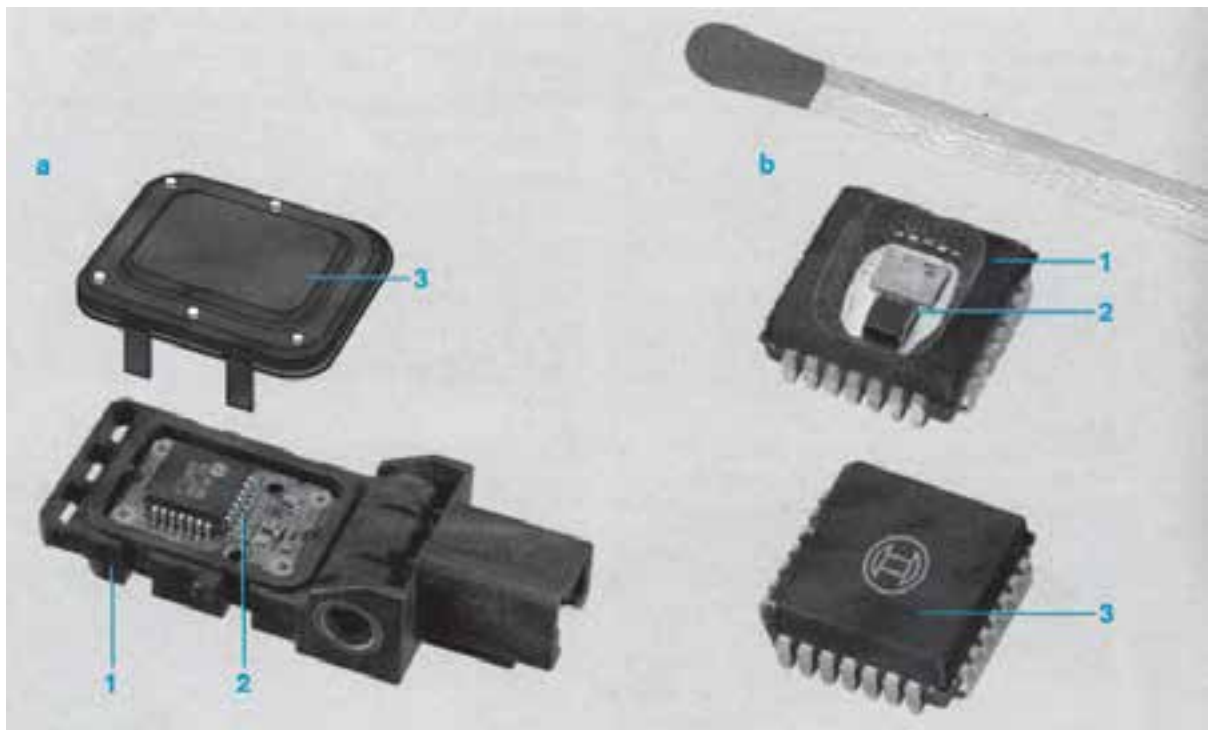
یک فرآیند چند جانبه برای ساخت سیستم جرم - فنر روی ویفر سیلیکونی انجام می‌شود.

در سلول اندازه‌گیری، جرم ارتعاش کننده با الکترودهای

شانه‌ای (شکل ۲-۵۶، ۲-۵۷ 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  $1_{PF}$ ) 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.

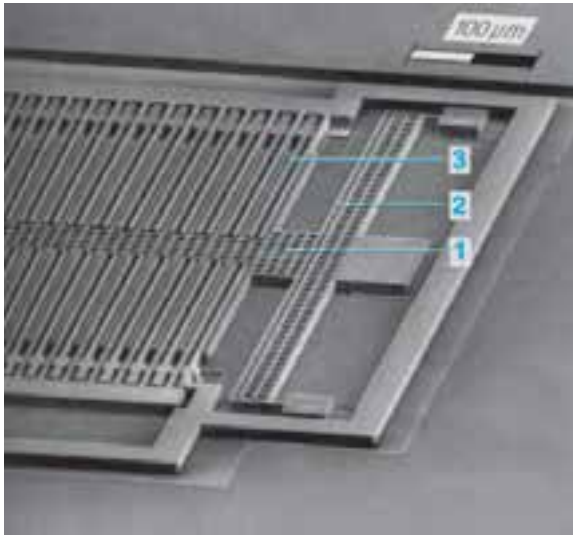
جرم ارتعاش کننده (۲) در نتیجه‌ی شتاب خطی، تغییری در فضای مابین الکترودهای ثابت و متحرک ایجاد می‌کند و این دگرگونی موجب تغییر ظرفیت الکتریکی  $C_1$  و  $C_2$  و هم‌چنین سیگنال الکتریکی می‌گردد.

مدار الکترونیکی می‌تواند به‌صورت یک پارچه با حسگر و یا جدا از آن باشد و تغییرات دامنه، فیلتر کردن و آماده‌سازی دیجیتالی برای سیگنال ثانویه‌ی پردازش در ECU ایر- بگ در آن صورت می‌گیرد و مقدار تغییرات ظرفیت در حدود  $1_{PF}$  است.



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

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



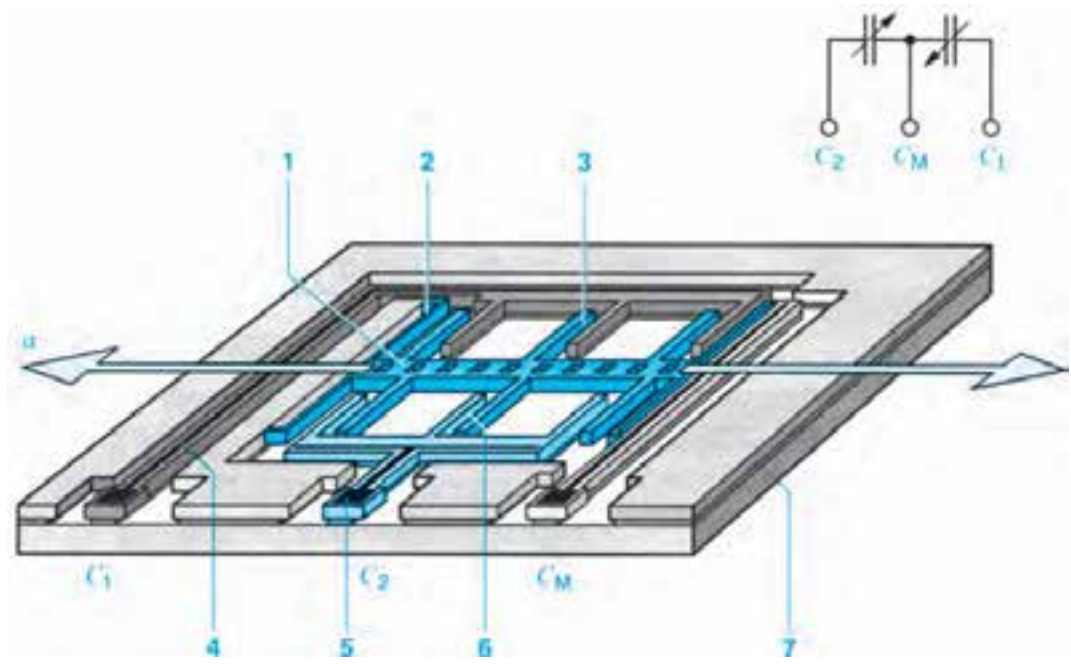
شکل ۲-۵۷- المنت اندازه‌گیری حسگر با ساختار شانه‌ای  
 ۱- فنر و جرم ارتعاش کننده ۲- فنر ۳- الکترودهای ثابت

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 به کار می‌رود و پردازش را در مدت شتاب خودرو شبیه‌سازی می‌کند.

برای مثال، در برنامه‌ی کنترل پایداری خودرو (ESP) یک جفت حسگر میکرومکانیکال به کار رفته است (شکل ۲-۵۹) 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.



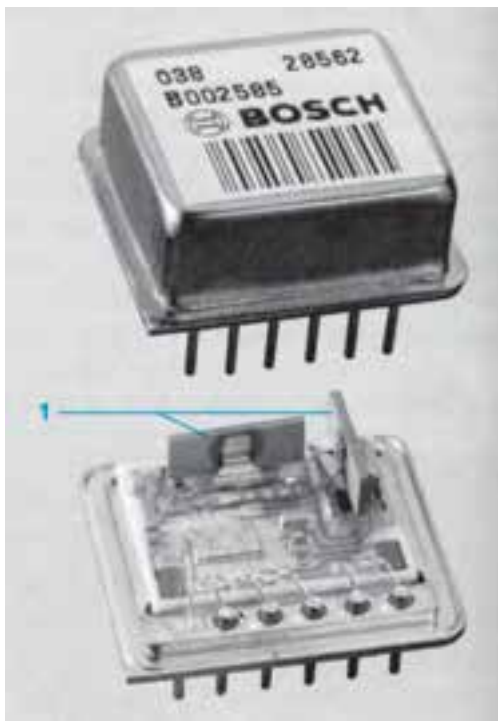
۱- فنر و جرم ارتعاش کننده ۲- فنر ۳- الکترودهای ثابت با ظرفیت  $C_1$  ۴- رسانای چابی AL  
 ۵- محل ارتباط روی مدار چابی ۶- الکترودهای ثابت با ظرفیت  $C_2$  ۷- اکسید سیلیکون  
 a- جهت دریافت شتاب  $C_m$  - ظرفیت اندازه‌گیری

شکل ۲-۵۸- حسگر میکرومکانیکال شتاب و اندازه‌گیری خازنی



ولتاژ تولیدی در اثر خمش المنت از طریق الکتروود فلزی متصل به سطح حسگر خارج می‌شود و جهت حفاظت مکانیکی این حسگر در داخل ژل قرار دارد و محفظه‌ی آن مپهور است. برای اصلاح و تقویت سیگنال حسگر شتاب، از یک مدار چند لایه (Hybrid circuit)، شامل یک مبدل 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 به وجود می‌آید و به اندازه‌ی جرم آن‌ها نیروی دینامیکی تولید و سنجش سیگنال غیر  $\alpha$  با یک فرکانس حداکثر  $10^6 \text{ Hz}$  ممکن می‌گردد. در چهار چوب عیب‌یابی هوشمند با اعمال ولتاژ معکوس از طریق یک الکتروود 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 قرار داد (شکل ۲-۶۱).



شکل ۲-۶۱- حسگر شتاب پیزوالکتریک (حسگر دوپل برای نصب عمومی)

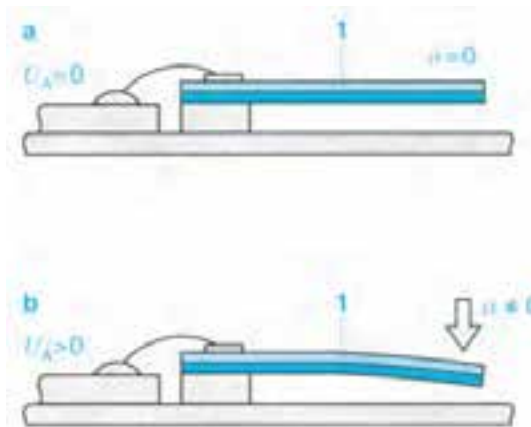


$\alpha$  - جهت دریافت شتاب  $\Omega$  - مقدار انحراف زاویه‌ای یابو

شکل ۲-۵۹- ترکیب حسگر شتاب جانبی با حسگر زاویه‌ای یابو

۳-۹-۲- 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-بگ و میله‌ی محافظ سرنشین به کار 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 ۲-۶۰).



a- بدون اعمال شتاب b- با اعمال شتاب

۱- المنت‌های خمشی پیزو الکتریک

$U_A$  - ولتاژ اندازه‌گیری

شکل ۲-۶۰- المنت خمشی از یک حسگر شتاب پیزوالکتریک