

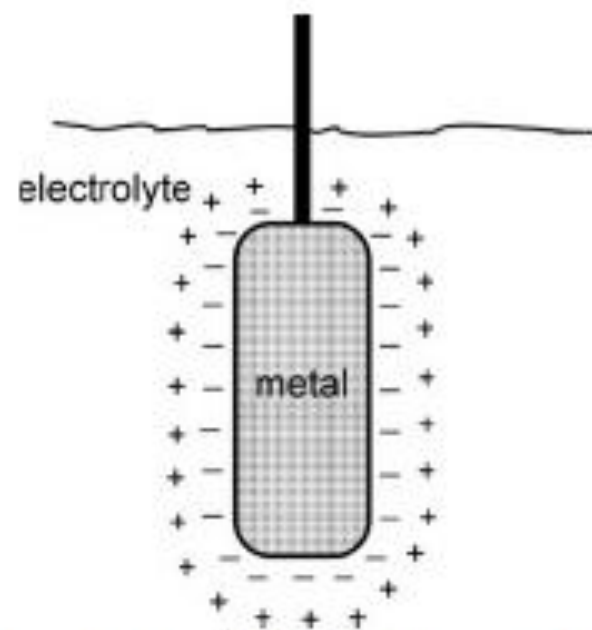
مقدمه ای بر مهندسی پزشکی

جلسه دوازدهم

ادامه مبحث سنسورها در مهندسی پزشکی

تماس الکترولیت ها با الکترودهای فلزی

- هنگامی که یک فلز در یک محلول الکترولیت قرار می گیرد، توزیعی از بارهای الکتریکی در سطح تماس فلز با الکترولیت ایجاد می شود.
- الکترولیت: محلولی با قابلیت یونیزه شدن.
- این توزیع بار محلی، پتانسیل الکتریکی ایجاد می کند که پتانسیل نیم سلولی نامیده می شود و مابین الکتروود و محلول الکترولیت قابل اندازه گیری است.
- پتانسیل نیم سلولی برخی از فلزات مهم در جدول ارائه شده اند.
- یادآور می شود الکتروود هیدروژنی به عنوان الکتروود استاندارد فرض شده و پتانسیل نیم سلولی سایر الکترودهای فلزی نسبت به آن، سنجیده شده اند.



Distribution of charges at a metal/electrolyte interface.

ادامه ...

FIGURE 10.5 Distribution of charges at a metal/electrolyte interface.

TABLE 10.2 Half-Cell Potentials of Important Metals

Primary metal and chemical reaction	Half-cell potential (V)
$\text{Al} \rightarrow \text{Al}^{3+} + 3\text{e}^{-}$	-1.706
$\text{Cr} \rightarrow \text{Cr}^{3+} + 3\text{e}^{-}$	-0.744
$\text{Cd} \rightarrow \text{Cd}^{2+} + 2\text{e}^{-}$	-0.401
$\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^{-}$	-0.763
$\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^{-}$	-0.409
$\text{Ni} \rightarrow \text{Ni}^{2+} + 2\text{e}^{-}$	-0.230
$\text{Pb} \rightarrow \text{Pb}^{2+} + 2\text{e}^{-}$	-0.126
$\text{H}_2 \rightarrow 2\text{H}^{+} + 2\text{e}^{-}$	0.000 (standard by definition)
$\text{Ag} \rightarrow \text{Ag}^{+} + \text{e}^{-}$	+0.799
$\text{Au} \rightarrow \text{Au}^{3+} + 3\text{e}^{-}$	+1.420
$\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^{-}$	+0.340
$\text{Ag} + \text{Cl}^{-} \rightarrow \text{AgCl} + \text{e}^{-}$	+0.223

مثال ۱- اختلاف پتانسیل بین دو الکترود نقره و روی در یک محلول الکترولیت؟

$$0.799 - (-0.763) = 1.562 \text{ V}$$

ادامه ...

- معمولاً اندازه‌گیری پتانسیل‌های حیاتی به کمک دو الکتروود مشابه که از فلزاتی یکسان ساخته شده‌اند، صورت می‌پذیرد.
- بنابراین پتانسیل نیم‌سلولی حاصل از این الکتروودها باهم برابر خواهد بود. به عنوان مثال، دو الکتروود مشابه می‌توانند بر روی سینه و نزدیک قلب قرار بگیرند تا پتانسیل الکتریکی تولید شده توسط قلب (الکتروکاردیوگرام ECG) را اندازه بگیرند.
- در حالت ایده‌آل، چنانچه فرض کنیم امپدانس سطح تماس هر یک از این دو الکتروود با پوست کاملاً مشابه است، تقویت‌کننده‌ی تفاضلی اختلاف پتانسیل بین این دو الکتروود را تقویت کرده و پتانسیل‌های نیم‌سلولی باهم خنثی می‌شوند.
- در عمل، ناهمگونی ماده سازنده الکتروود و یا مقاومت محل تماس با پوست به اختلاف پتانسیل dc قابل توجهی می‌انجامد که به برقراری جریانی بین دو الکتروود می‌شود.

ادامه ...

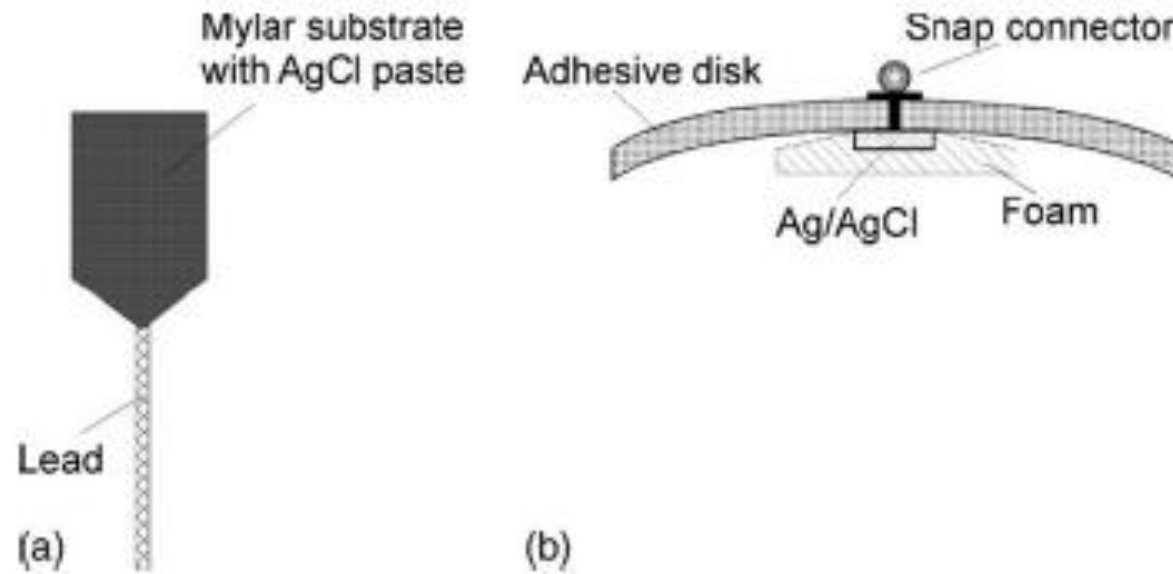
- این جریان به وجود اختلاف پتانسیلی (افت ولتاژی) در بدن، بین دو الکترود می‌انجامد و ولتاژ آفست به خروجی تقویت کننده افزوده می‌شود که ممکن است به ناپایداری و یک ولتاژ دریافت پیش زمینه در پتانسیل حیاتی ثبت شده بیانجامد.
- مثال ۲- دو الکترود یکی از جنس نقره و دیگری آلومینیوم در محلول الکترولیت قرار گرفته‌اند. جریانی که بین این دو الکترولیت برقرار می‌شود را محاسبه نمایید، چنانچه مقاومت معادل محلول ۲ کیلو اهم فرض شود.

$$0.799 - (-1.706) = 2.505$$

$$2.505 / 2 \text{ K} = 1.252 \text{ mA}$$

الکترودهای ECG

- در شکل نمونه‌ای از الکترودهای اندازه‌گیری پتانسیل حیاتی غیرتهاجمی که برای ثبت سیگنال ECG استفاده می‌شود، آورده شده است:



ادامه ...

- یک الکترو د انعطاف پذیر نمونه برای ثبت ECG از نوع خاصی از پلیمر و یا الاستومر ساخته شده است که با افزودن ذرات کربن خالص و یا پودر فلز، رسانا شده است.
- این انواع الکترو د برای استفاده ی سریع و آسان روی پوست، با استفاده از یک نوار دو طرفه قابل کنده شدن، با ژل (چسب) کلرید نقره اندود شده است.
- اما متداول ترین نوع الکترو د اندازه گیری پتانسیل حیاتی، الکترودهای نقره / کلرید نقره (Ag/AgCl) هستند که با قراردهی (ته نشین کردن) الکتروشیمیایی یک لایه بسیار نازک کلراید نقره بر روی یک الکترو د نقره ای ساخته شده اند.
- این الکترودها از سطح پوست دور نگه داشته می شوند (تماس فیزیکی با آن ندارند) و در ماده ای فوم مانند که با الکترو لیت ممزوج شده است، قرار داده می شوند تا تماس الکتریکی خوبی با پوست داشته باشند.

ادامه ...

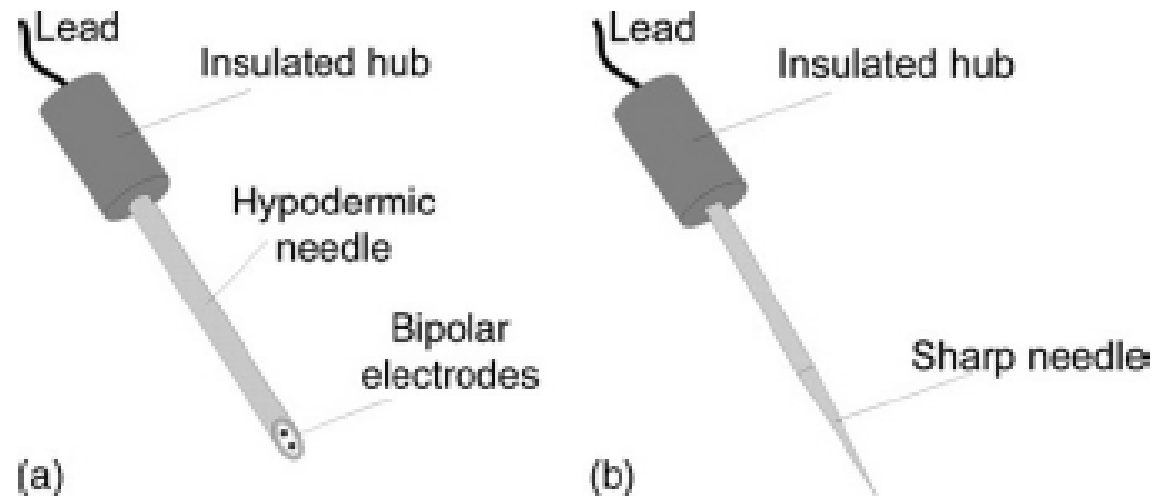
- از فوم اشباع (غوطه ور) شده با الکترولیت به منظور کاهش آرتیفکت حرکتی احتمالی نیز استفاده می شود.
- همچون تست تنش هنگامی که لایه ی پوست به نسبت سطح الکتروود Ag/AgCl حرکت می کند.
- این آرتیفکت حرکتی می تواند تداخل بزرگی در پتانسیل حیاتی ثبت شده ایجاد کند و حتی اندازه گیری را به شدت تحت تاثیر قرار دهد.

الکترودهای EMG

- انواع مختلفی از الکترودهای پتانسیل حیاتی نیز برای ثبت سیگنال‌های الکترومایوگرافی از ماهیچه‌های مختلف بدن، استفاده می‌شود.
- شکل و اندازه (دامنه)ی سیگنال‌های EMG ثبت‌شده به ویژگی‌های الکتریکی این الکترودها و منطقه ثبت (اندازه‌گیری) آن بستگی دارد.
- برای اندازه‌گیری غیرتهاجمی، آماده‌سازی مناسب پوست شامل تمیز کردن پوست با الکل و یا استفاده از مقدار کمی چسب (ژل) الکترولیت که به کاستن از امپدانس سطح پوست با الکترودها می‌انجامد و کیفیت سیگنال ثبت‌شده را به‌طور قابل توجهی افزایش می‌دهد، لازمست.
- متداول‌ترین الکترودها مورد استفاده برای ثبت سیگنال EMG به‌طور سطحی و مطالعه‌ی هدایت عصبی، دیسک‌های گرد هستند که حدود ۱ سانتی‌متر قطر داشته و از نقره و یا پلاتینیوم ساخته می‌شوند.

ادامه ...

- برای ثبت مستقیم سیگنال‌های الکتریکی در اعصاب و فیبرهای ماهیچه‌ای، گستره‌ای از الکترودهای زیرپوستی سوزنی شکل در دسترسند:



ادامه ...

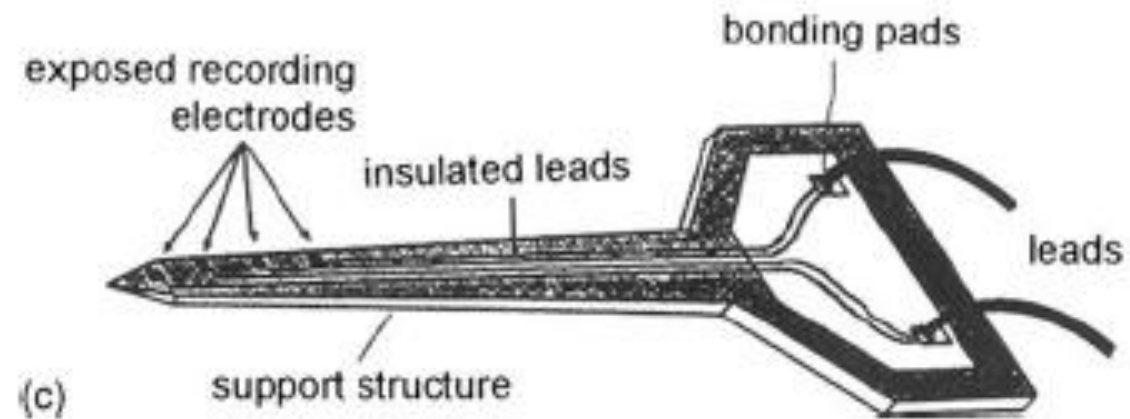
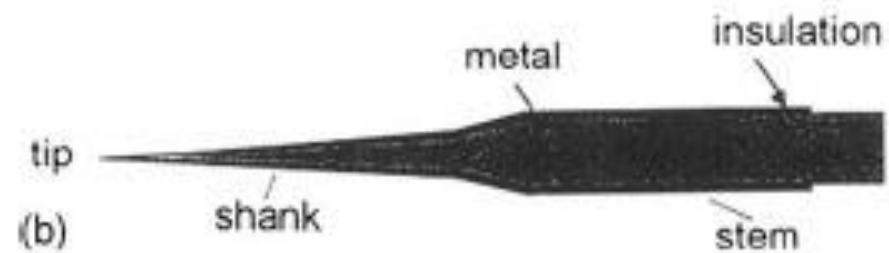
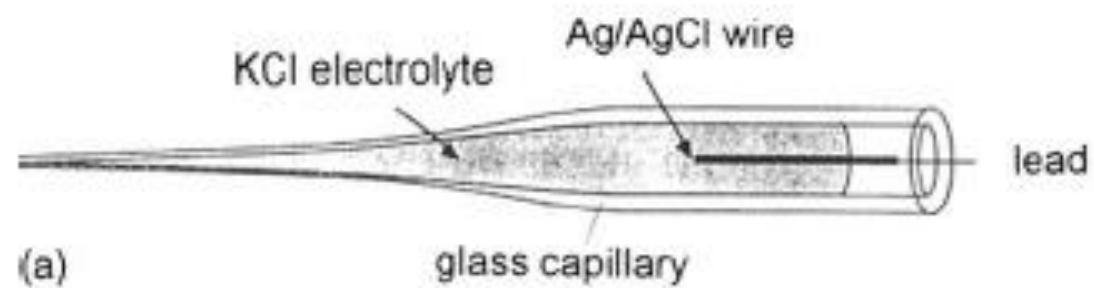
- متداول ترین نوع الکترودهای سوزنی، الکترودهای هم مرکز دوقطبی است.
- این الکترودهای فلزی نازکی که درون غلاف و یا سوزنی زیرپوستی قرار گرفته اند، ساخته شده است.
- این دو سیم وظیفه الکترودهای ثبت و الکترودهای مرجع را دارند.
- نوع دیگر الکترودهای EMG زیرپوستی، الکترودهای تک قطبی است.
- این الکترودهای سیمی نازک ساخته شده است که به خوبی با لایه نازک از تفلون تا فاصله ۳۰۰ میکرومتری نوک آن، از اطراف ایزوله (عایق) شده است.
- برخلاف الکترودهای دوقطبی، این الکترودهای تک قطبی نیاز دارد تا مدارهای بسته الکتریکی را تشکیل دهد. الکترودهای دوم معمولاً در نزدیکی الکترودهای اول و یا روی پوست قرار داده می شود.

الکترودهای EEG

- متداولترین نوع الکترودهای مورد استفاده برای ثبت سیگنالهای الکتروانسفالوگرافی مغز (EEG)، الکترودهای کاسه‌ای (cup) و الکترودهای سوزنی هستند.
- الکترودهای کاسه‌ای از پلاتینیوم و یا قلع ساخته شده‌اند و حدوداً ۵ الی ۱۰ میلی‌متر قطر دارند. این الکترودهای کاسه‌ای از ژل الکترولیت رسانا پر شده و به کمک یک نوار چسب می‌توانند بر روی پوست سر قرار گیرند.
- ثبت پتانسیل‌های الکتریکی از مجموعه مشکل است چراکه مو و پوست چرب اتصال الکتریکی خوب را مشکل می‌سازند. بنابراین، محققین برخی اوقات استفاده از الکترودهای EEG زیرپوستی را ترجیح می‌دهند.
- این الکترودهای سوزنی بر پایه پلاتینیوم و یا stainless-steel با ۱۰ میلی‌متر طول و ۰.۵ میلی‌متر عرض ساخته شده‌اند و در زیر پوست قرار می‌گیرند تا اتصال الکتریکی بهتری را موجب شوند.

مایکرو (ریز) الکترودها

- مایکرو الکترودها، الکترودهای دریافت (ثبت) پتانسیل حیاتی هستند با سر (نوک) بسیار ریز مخروطی مانند که میتوانند مستقیماً درون سلول زنده قرار گیرند.
- این الکترودها نقش مهمی در ثبت پتانسیل عمل (action potential) سلولها داشته و استفاده از آنها در مطالعات نوروفیزیولوژیکی متداول است.
- نوک اینگونه الکترودها باید با توجه به ابعاد سلولها کوچک باشد و در عین حال از آسیب به سلولها جلوگیری کند و به اندازه کافی برای نفوذ در دیواره سلول قوی باشد.
- در شکل ساختمان سه نمونه از این میکروالکترودها مشهود است:
- میکرو پیپتهای شیشه ای، مایکرو الکترودهای فلزی و میکرو پروب های حالت جامد.



ادامه ...

- در مورد اول یک لوله توخالی شیشه ای با قطر حدودا یک میلی متر، در درون یک کوره کوچک گرم شده و در قسمت میانی نرم میشود سپس به سرعت از دو سر خود کشیده میشود.
- این روش به ایجاد دو مایکروالکتروود با سر باز می انجامد که قطری در حدود ۰/۱ تا ۱۰ میکرومتر دارد.
- لوله شیشه ای از سر دیگر، معمولا با سه مول محلول KCl (کلرید پتاسیم) پر میشود. یک سیم Ag/AgCl کوتاه نیز در درون میله قرار داده می شود تا ارتباط با محلول الکترولیت برقرار شود.
- هنگامی که نوک این مایکرو الکتروود در درون یک محلول الکترولیت قرار داده شود، همچون مایع درون سلولی، جریان یونی به مایع درون الکتروود راه می یابد و این عمل مدار الکتریکی سیم Ag/ AgCl و مایع درون سلولی را کامل می کند.

ادامه ...

- نوع دیگر مایکرو الکترودها از یک سیم مستحکم (همچون تنگستن و یا stainless steel) ساخته می شود.
- نوک این الکترودها با یک فرایند الکتروشیمیایی در حد چند میکرومتر تیز (باریک) می شود و سپس الکتروود تا نزدیکی نوک آن عایق می شود.
- دست آخر، تکنیک های ساخت ادوات حالت جامد که در مدارات مجتمع به کار می روند نیز، می توانند در ساخت مایکرو (ریز) پروب ها برای ثبت پتانسیال های حیاتی به صورت چند کاناله و یا تحریک سلولهای عصبی در مغز و یا نخاع به کار روند.
- مطابق شکل، این پروب از یک لایه ی سیلیکونی با چهار درگاه ثبت سیگنال تشکیل شده است.
- مزیت اصلی این روش ساخت، امکان تولید انبوه مایکرو سنسورهای بسیار کوچک و پیشرفته با ویژگیهای الکتریکی و فیزیکی قابل تکرار است.

مبدل‌های جابجایی

- مقدمه:

از مبدل‌های جابجایی معمولاً برای اندازه‌گیری تغییرات در موقعیت یک جسم و یا محیط استفاده می‌شود.

از این مبدل‌ها می‌توان برای شناخت تغییرات در طول، فشار یا نیرو استفاده می‌شود.

تغییرات در این کمیت‌ها می‌توانند نشانگر عملکرد فیزیکی غیرطبیعی بدن باشند که از دید بالینی و پزشکی حائز اهمیت است.

در این بخش مبدل‌های جابجایی شناخته شده، اصول عملکرد هر یک و کاربردهای آنها به اختصار مورد بررسی قرار می‌گیرد.

مبدل‌های جابجایی القایی

- این مبدل‌ها برپایه ی اندوکتانس (القاگری) یک سیم پیچ که با رابطه ی:

$$L = \mu \times n^2 \times l \times A$$

مشخص می شود، ساخته شده اند.

- در این رابطه، μ ضریب نفوذ پذیری هسته ی داخل سیم پیچ (با واحد هانری بر متر)، n تعداد دورهای سیم پیچ (بر متر)، l طول کویل و A سطح مقطع کویل هستند.
- این مبدل‌ها، جابجایی را به واسطه ی تغییر در اندوکتانس (خود القایی) یک سیم پیچ و یا اندوکتانس متقابل دو و یا چند سیم پیچ تزویج شده در پی حرکت یک هسته ی فریت و یا آهنی در میان آنها، اندازه می گیرند.
- یکی از پرکاربردترین مبدل‌های جابجایی القایی، مبدل تفاضلی متغیر خطی (LVDT) است.

مبدل‌های LVDT

- این وسیله چنانچه در شکل نیز مشاهده می شود از یک سیم پیچ اولیه و دو سیم پیچ ثانویه که به طور سری ولی با قطبیت مخالف، برای افزایش محدوده ی عملکرد خطی، به هم متصل شده اند، تشکیل شده است.
- اندوکتانس متقابل این سیم پیچها در پی حرکت هسته ی با نفوذپذیری بالا تغییر می کند.
- هنگامیکه این هسته در مرکز ابزار و به طور متقارن بین دو سیم پیچ ثانویه قرار گرفته است، سیم پیچ اولیه که با یک ولتاژ ac در حال تحریک شدن است، در هر یک از دو سیم پیچ ثانویه ولتاژی برابر و با قطبیت متفاوت ایجاد می کند که این به صفر شدن خروجی می انجامد.
- حال اگر هسته به سمت یکی از سیم پیچها بلغزد، ولتاژ القا شده در آن سیم پیچ افزایش و در سیم پیچ دیگر کاهش می یابد که این به نمودار ولتاژ- جابجایی همچون شکل می انجامد.
- از آنجا که ولتاژ القا شده در هر سیم پیچ فاقد اطلاعات فاز است، مدارهای الکترونیک ویژه ای برای تشخیص موقعیت و جهت حرکت هسته لازم است.

شکل یک مبدل LVDT

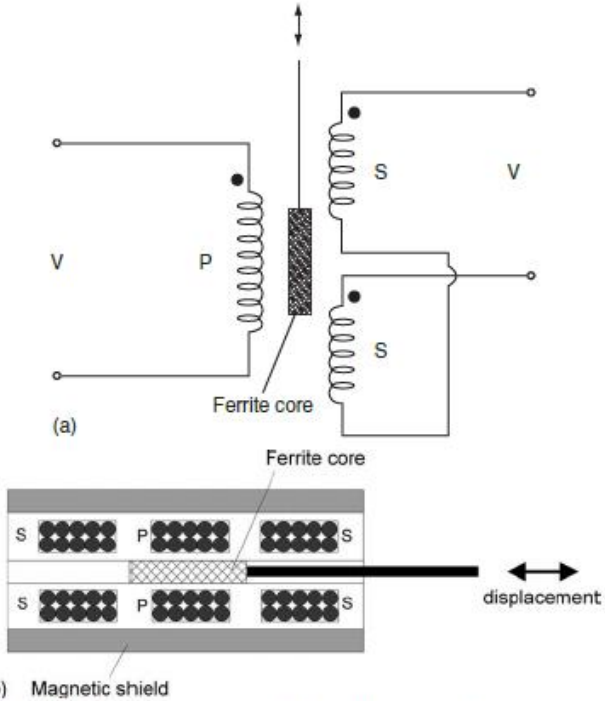


FIGURE 10.9 LVDT transducer: (a) an electric diagram and (b) a cross-section view.

نمودار ولتاژ-جابجایی یک مبدل LVDT

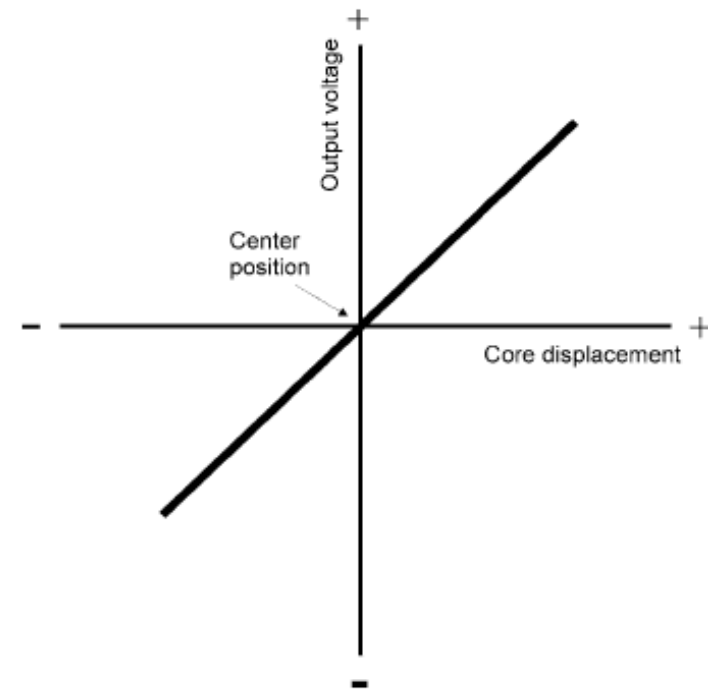


FIGURE 10.10 Output voltage versus core displacement of a typical LVDT transducer.

مبدل الکترومغناطیسی شارش (فلو)

- شارش (جریان) خون در یک رگ در دسترس، می تواند با یک مبدل الکترومغناطیسی شارش اندازه گیری شود.
- این روش در اندازه گیری جریان خون در عروق مجاور قلب، همچون آئورت، کاربرد دارد.
- رگی خونی به قطر a که خون با سرعت u یکنواخت در آن جریان دارد را در نظر بگیریم.
- اگر این رگ در معرض شار (فلو) مغناطیسی یکنواخت B ، عمود بر جهت جریان خون قرار بگیرد، بر آنیونهای دارای بار مثبت و کاتیونهای دارای بار منفی خون نیرویی متعامد بر هر دو جهت حرکت و شار وارد می آید:

$$\vec{F} = q(\vec{u} \times \vec{B})$$

- که q نیز مقدار بار هر الکترون (برابر با $1.6(10)^{-19}$ کولن) است.

ادامه ...

- در نتیجه این ذرات باردار در جهات متضاد منحرف شده و در راستای قطر رگ و بر اثر نیروی وارده حرکت می کنند. این حرکت بر اساس رابطه ی زیر به نیروی مخالف می انجامد:

$$\vec{F}_o = q \times \vec{E} = q \times \frac{V}{l}$$

- که E میدان الکتریکی حاصل از حرکت ذرات باردار بوده و V نیز اختلاف پتانسیل پدید آمده در دو سوی رگ است.
- در حالت تعادل این دو نیرو با هم برابر بوده و اختلاف پتانسیل نیز بر اساس رابطه ی زیر با سرعت حرکت خون در رگ متناسب خواهد بود:

$$V = B \times l \times u$$

مثال ۱.

مطلوبست ولتاژ القا شده در یک پروب الکترومغناطیس شار اگر پروب رگی به قطر 5 mm را در بر بگیرد. سرعت خون را 0.05 m/s و میدان مغناطیسی را $1.5(10)^{-5} \text{ Wb/m}^2$ فرض کنید.

$$V = B \times l \times u = (1.5 \times 10^{-5} \text{ Wb/m}^2) \times (5 \times 10^{-3} \text{ m}) \times (5 \times 10^{-2} \text{ m/s}) = 37.5 \times 10^{-10} \text{ V}$$

(Note: $[\text{Wb}] = [\text{V} \times \text{S}]$)

ادامه ...

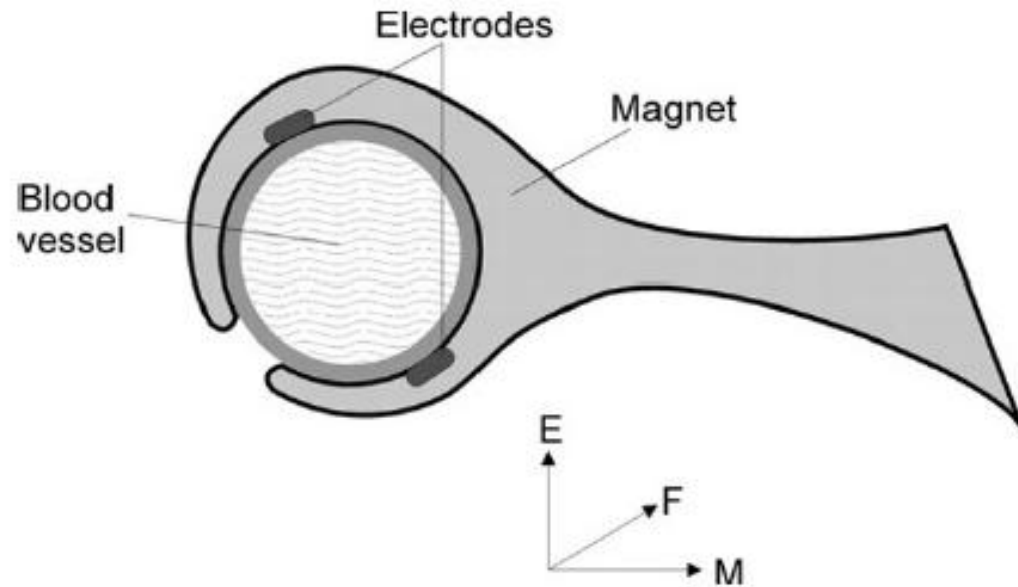


FIGURE 10.11 Electromagnetic blood flow transducer.

- در شکل نمونه ای از این سنجشگر ملاحظه می شود که در عمل شامل پروبی دربرگیرنده (کلیپ مانند) است که به راحتی رگ را احاطه می کند.
- این پروب شامل برای تولید میدان الکترومغناطیسی عمود بر جهت حرکت خون، دارای سیم پیچهایی الکتریکی است. این سیم پیچها معمولاً با جریان ac تحریک می شوند.
- الکترودهای بسیار کوچکی نیز در جدار داخلی این پروب قرار گرفته اند تا اختلاف پتانسیل حاصل را اندازه گیری کنند.
- فرکانس این ولتاژ با فرکانس جریان ac مورد استفاده برابر است. استفاده از جریان ac در عوض تحریک dc موجب حذف خطای دریافت احتمالی بین الکترودها و دیواره ی رگ می شود.

مبدل‌های پتانسیومتری

- پتانسیومتر، مبدلی مقاومتی است که حرکتی خطی و یا زاویه ای (دوار) را با حرکت دادن یک نقطه ی تماس لغزنده بروی المان مقاومتی، به ولتاژ بدل می کند.
- در شکل نمونه های خطی و مدور پتانسیومتر مشاهده می شود.

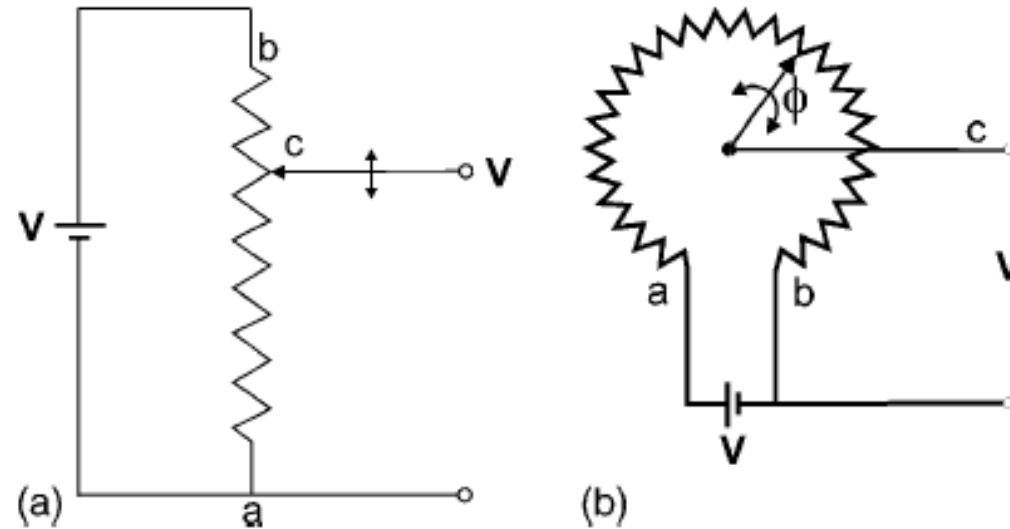


FIGURE 10.12 Linear translational (a) and angular (b) displacement transducers.

ادامه ...

- ولتاژ V_i ، به دو سر پتانسیومتری با مقاومت R اعمال می شود. ولتاژ خروجی، V_o ، بین نقطه ی تماس لغزنده و یک سر پتانسیومتر به طور خطی با جابجایی متناسب است.
- معمولاً یک جریان ثابت در مقاومت متغیر برقرار می شود و تغییرات اندک ولتاژ خروجی با یک ولتمتر حساس سنجیده میشود.

مبدل‌های مقاومتی الاستیک (کش سان، ارتجاعی)

- در برخی از حالات، پزشکان در پی اندازه گیری حجم جانبی پای بیمار هستند هنگامی که جریان وریدی پا با شریان بند (cuff) مسدود شده است.
- این روش اندازه گیری حجم پا، پلتیسموگرافی (plethysmography) نام دارد و می تواند وجود لخته های خونی بزرگ را درون پا نشان دهد.
- این تکنیک با بستن یک مبدل مقاومتی الاستیک به دور پا و اندازه گیری نرخ تغییرات مقاومتی بر حسب زمان، امکان پذیر است. این تغییر متناظر با تغییرات نسبی حجم خون درون پا است. اگر لخته ای درون پا وجود داشته باشد، زمان بیشتری طول خواهد کشید تا پس از باز کردن طناب لاستیکی، خون ذخیره شده در پا درون عروق جریان یابد.
- مبدل مشابهی نیز می تواند برای مطالعه ی الگوی تنفس بیمار با بستن آن دور قفسه ی سینه ی بیمار، به کار رود.

ادامه ...

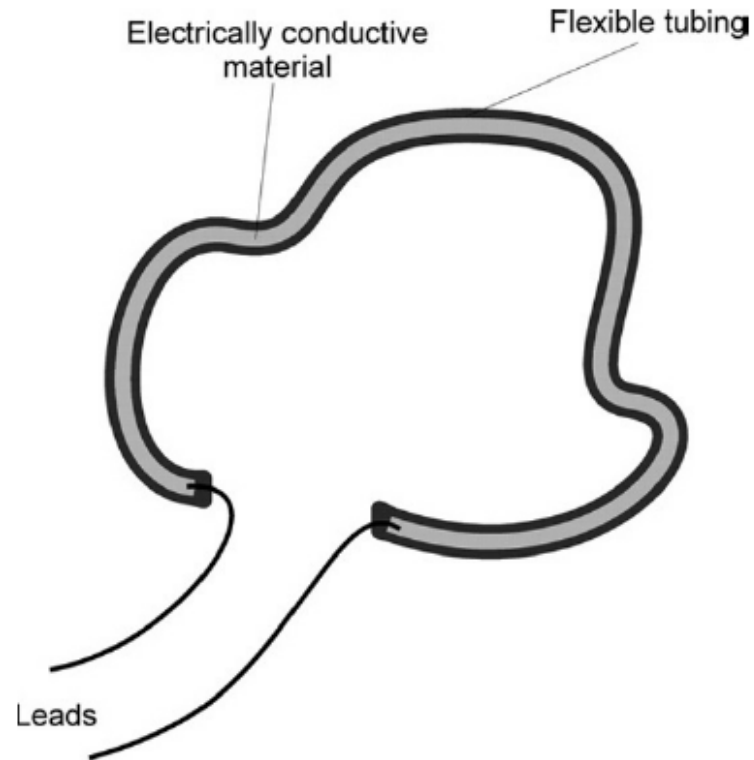


FIGURE 10.13 Elastic resistive transducer.

- یک مبدل مقاومتی الاستیک، از یک لوله ای الاستیک (ارتجاع پذیر) باریک که با ماده ای رسانا پر شده است تشکیل شده است.
- مقاومت رسانای داخل لوله عبارت است از:

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

- که ρ رسانایی (مقاومت ویژه) رسانا، l طول و A سطح مقطع رسانا است.

مثال ۲.

یک مبدل مقاومتی کش سان، با طول 0.1 m و قطر 0.005 m دارای مقاومت 1 kΩ است. با فرض ثابت ماندن سطح مقطع مبدل،

- مقاومت ویژه ی این مبدل و

- مقاومت آن هرگاه طولش به 1.2 m افزایش یابد را بیابید.

1. The cross-sectional area of the transducer (A) is equal to $\pi (0.0025)^2 \text{ m}^2 = 1.96 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$. From

$$\text{Eq. (10.5), } \rho = \frac{RA}{l} = \frac{1 \cdot 10^3 \Omega \cdot 1.96 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2}{0.1 \text{ m}} = 0.196 \Omega \cdot \text{m}$$

2.

$$R_{\text{stretched}} = 0.196 \Omega \cdot \text{m} \cdot \left(\frac{1.2 \text{ m}}{1.96 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2} \right) = 12 \text{ k}\Omega$$

کرنش سنج (Strain Gauge)

- کرنش سنج از انواع مبدل های جابجایی است که تغییرات طول را در نتیجه ی اعمال نیرو، اندازه می گیرد.
- این مبدل تغییرات کوچک و نسبی طول را که کرنش نام دارد:

$$S = \frac{\Delta l}{l}$$

- به تغییر در مقاومت (با حفظ تناسب) بدل می کند. نمونه های موجود ساخته شده از سیمهای مقاومتی و یا مواد نیمه هادی هستند.
- برای آشنایی بیشتر با مکانیزم عملکرد کرنش سنج ها، یک سیم هادی مرغوب، با رسانایی (مقاومت ویژه) ρ ، طول l و سطح مقطع A را در نظر بگیرید.

ادامه ...

- فرض کنیم بر اثر اعمال نیرو (کشش) طول هادی به $l + \Delta l$ افزایش می یابد.
- از آنجا که حجم این سیم هادی باید ثابت بماند، سطح مقطع آن به $A_{\text{stretched}}$ کاهش می یابد. بر اساس روابط زیر و فرض $\Delta l \ll l$ می توان نشان داد:

$$lA = (l + \Delta l) \times A_{\text{stretched}} \quad R_{\text{stretched}} = \rho \times \frac{l + \Delta l}{A_{\text{stretched}}}$$
$$\Delta R = R_{\text{stretched}} - \rho \times \frac{l}{A}$$

$$\Delta R = \rho \times \frac{(l + \Delta l)^2}{l \times A} - \rho \times \frac{l}{A} = \frac{\rho \times (l^2 + 2l\Delta l + \Delta l^2 - l^2)}{l \times A}$$

$$\Delta R = \rho \times \frac{2 \times \Delta l}{A} = \frac{2 \times \Delta l}{l} \times R$$

ادامه ...

- تغییرات نسبی مقاومت به تغییرات نسبی طول، عامل کرنش (Gauge factor) G نامیده می شود و به گونه ای حساسیت کرنش سنج در تغییر مقاومت را به نسبت تغییرات طول می رساند.
- در حالت کلی عامل کرنش وابسته به دما است و در حالت ایده آل به دنبال موادی هستیم که عامل کرنش بالا و وابستگی دمایی اندکی را حاصل دهند.
- عامل کرنش برای یک کرنش سنج فلزی، ۲ و برای انواع نیمه هادی آن ۷۰ تا ۱۰۰ برابر بیشتر است.
- دو دسته ی کلی از کرنش سنجهای، کرنش سنجهای مقید و غیرمقید وجود دارند.

ادامه ...

- مطابق شکل کرنش سنجهای مقید سیمهای تا شده ی نازکی دارد که در یک ساختار نیمه انعطاف پذیر قرار داده شده اند.
- کرنش سنجهای غیر مقید، شامل چند (معمولا چهار) سیم مقاومتی چندگانه هستند که در بین دو ساختار ثابت و متحرک سخت (غیر قابل انعطاف پذیر) قرار گرفته اند.
- اعمال نیرو موجب افزایش طول دو سیم و کاهش طول دو سیم دیگر می شود. اینگونه کرنش سنجها در سنجش فشار خون کاربرد دارند.
- باید در نظر داشت که تغییرت مقاومت در کرنش سنجها بسیار کوچک است که می توانند با تأثیر دما در مقاومت، مخدوش شود. بنابراین ادوات شامل کرنش سنج به مدارهای خاصی برای جبران سازی اثرات تغییر دما، نیازمندند.

ادامه ...

کرنش سنج های مقید

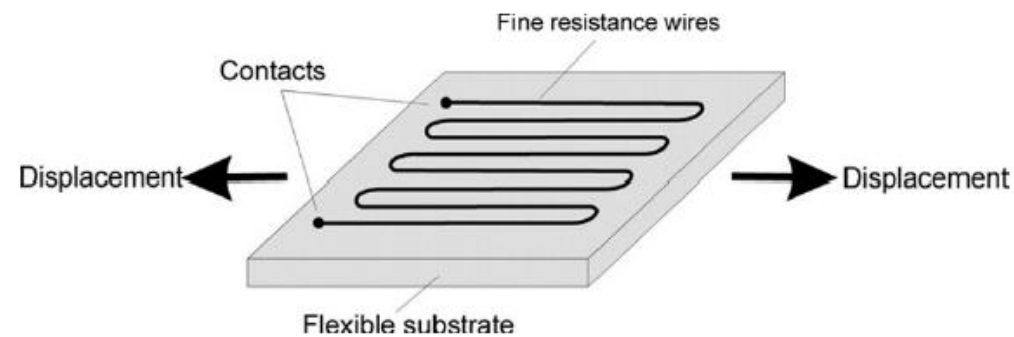


FIGURE 10.14 A bonded-type strain gauge transducer.

کرنش سنج های غیرمقید

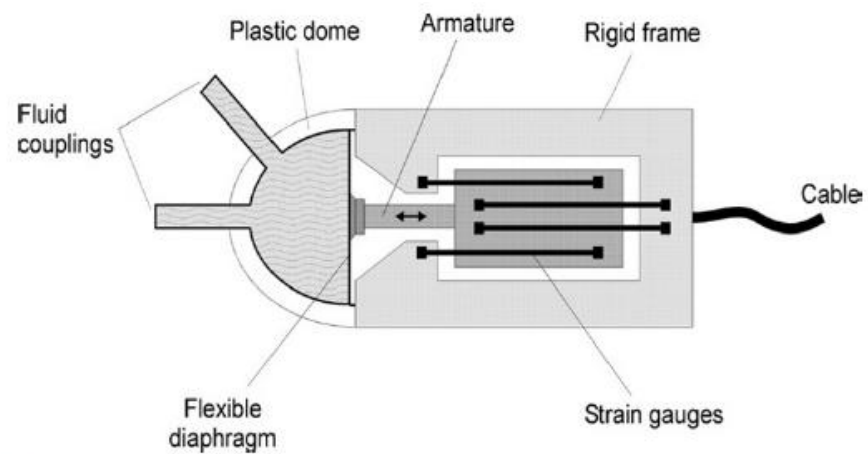


FIGURE 10.15 A resistive strain gauge (unbounded-type) blood pressure transducer.

مبدل‌های خازنی

- ظرفیت بین دو صفحه هم اندازه موازی، سطح مقطع A و فاصله ی d عبارتست از:

$$C = \epsilon_0 \times \epsilon_r \times \frac{A}{d}$$

- که ϵ_0 ثابت دی الکتریک فضای آزاد و ϵ_r نیز ثابت دی الکتریک نسبی ماده ایست که فضای بین دو صفحه ی خازن را پر کرده است.
- متداولترین روش اندازه گیری جابجایی، تغییر فاصله ی بین دو صفحه ی خازن d مطابق شکل است. این آرایش می تواند برای اندازه گیری نیرو، فشار و شتاب استفاده شود.

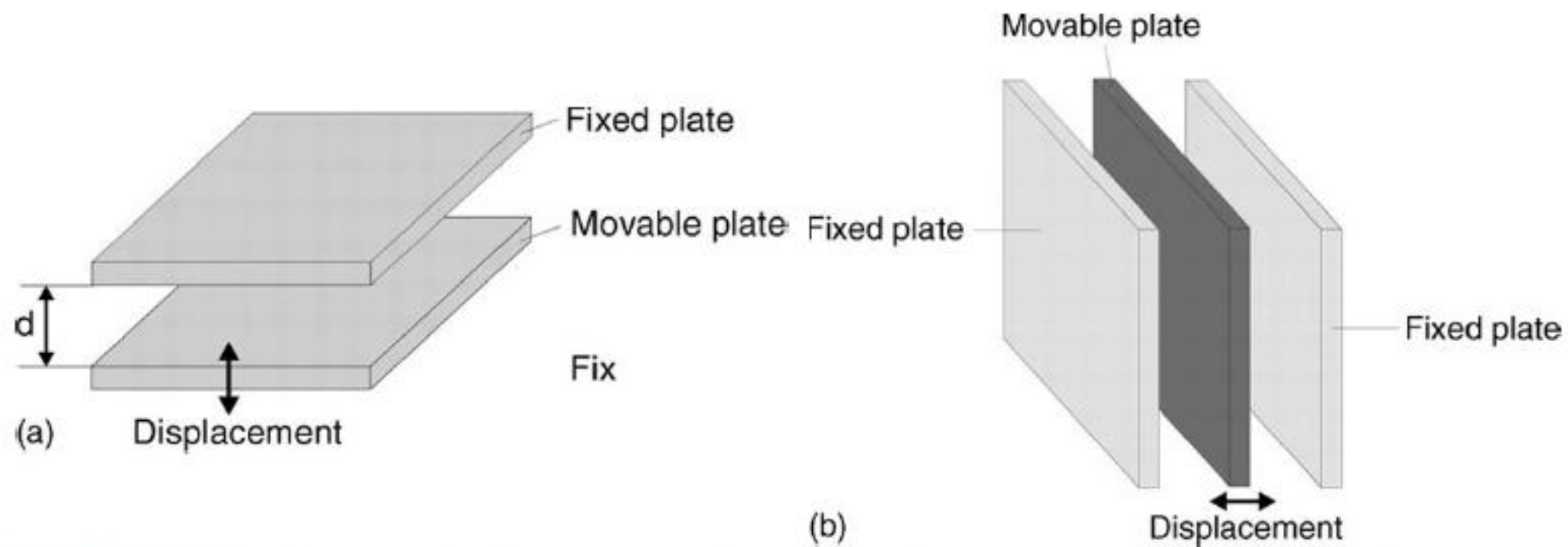


FIGURE 10.16 Capacitive displacement transducer: (a) single capacitance and (b) differential capacitance.

ادامه ...

- راهکار دیگر افزودن یک صفحه ی سوم و ایجاد مبدل خازنی تفاضلی است. در این راهکار، دو صفحه بیرونی ثابت بوده و صفحه ی میانی به سادگی در میان آنها حرکت می کند و دو مبدل خازنی با فاصله ی صفحات متغیر می سازد.
- در پی حرکت صفحه ی میانی، فاصله ی بین صفحات یکی از خازنها کاهش و ظرفیت آن افزایش می یابد، همزمان فاصله ی بین صفحات خازن دوم افزایش و ظرفیت آن کاهش می یابد. این آرایش دو خازنی، حساسیت را افزایش داده و می تواند در پل و تستون به کار رود.
- امکان تولید انبوه مبدل‌های خازنی با استفاده از تکنیک‌های حالت جامد وجود دارد و کاربرد زیادی در مدارات مجتمع دارند.
- از جمله کاربردهای مبدل‌های خازنی:
 - اندازه گیری جابجایی ناشی از تنفس با قراردهی مبدل در تشک بیمار و
 - همچنین اندازه گیری فشار با اتصال صفحه ی متحرک به یک دیافراگم و اعمال ولتاژ به دو سر خازن است.

مبدل‌های پیزوالکتریک

- از مبدل‌های پیزوالکتریک در مطالعات قلبی-عروقی و برای شنیدن صدای قلب (phonocardiography)، اندازه‌گیری خودکار فشار خون و اندازه‌گیری نیروها و شتاب‌های فیزیولوژیکی استفاده می‌شود.
- اما مهم‌ترین کاربرد آنها تولید امواج اولتراسوند است که از اصلی‌ترین بخش‌های این تکنیک بسیار سودمند و متداول تصویربرداری پزشکی است.
- مطابق شکل، مبدل پیزوالکتریک تشکیل شده از کریستالی کوچک (همچون کوارتز) است که با میدان الکتریکی (حاصل از اعمال یک پالس الکتریکی کوتاه بین دو وجه آن) برهم‌کنش انجام می‌دهد. همین‌طور اگر کریستال به طور مکانیکی تحت فشار (کرنش) قرار گیرد، پتانسیل الکتریکی کوچکی تولید می‌کند.
- به غیر از کوارتز، مواد سرامیکی چندی مانند ترکیبات تیتانیوم، زیرکونیوم و سرب نیز از خود خاصیت پیزوالکتریک نشان می‌دهند.

ادامه ...

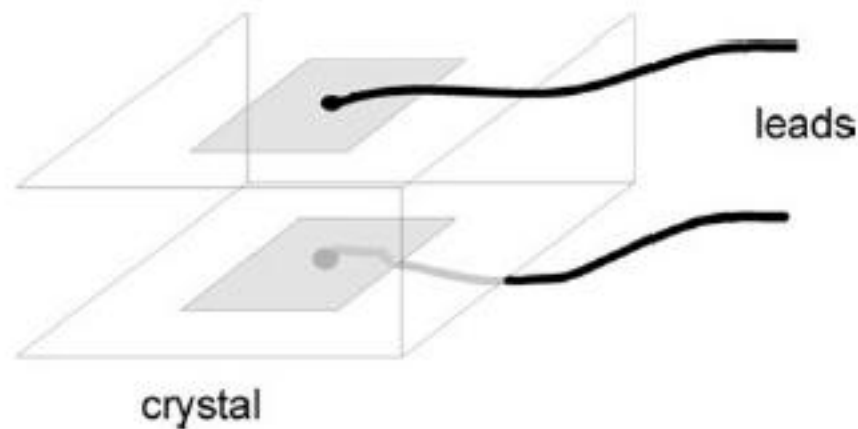


FIGURE 10.17 Ultrasonic transducer.

- پدیده ی پیزوالکتریک بر این اصل استوار است که هنگامی که یک شبکه ی نامتقارن کریستالی با اعمال نیرو دچار تغییر شکل می شود، بارهای مثبت و منفی بازپخش می شوند. این پدیده به القای بار سطحی Q در دو وجه متقابل مبدل می انجامد.

- بار القا شده با نیروی اعمالی نسبت مستقیم دارد:

$$Q = k \times F$$

که k ثابت ماده ی پیزوالکتریک است.

ادامه ...

- با فرض اینکه کریستال پیزوالکتریک همچون خازنی با صفحات موازی عمل میکند، ولتاژ دو سر کریستال از رابطه ی

$$\Delta V = \frac{\Delta Q}{C}$$

- به دست می آید که C نیز ظرفیت معادل کریستال پیزوالکتریک است.
- از آنجا که کریستال یک مقاومت نشتی داخلی دارد، این بار بین دو صفحه به تدریج از بین می رود. بنابراین مبدل‌های پیزوالکتریک برای اندازه گیری حالت ماندگار نیروها و یا نیروهای فرکانس پایین مناسب نیست.
- در عوض در نوسان سازها و یا تجهیزات اولتراسوند با فرکانس کار در حد ۱ الی ۱۰ مگاهرتز، به عنوان مبدلی الکترومکانیکی استفاده ی گسترده ای دارند.

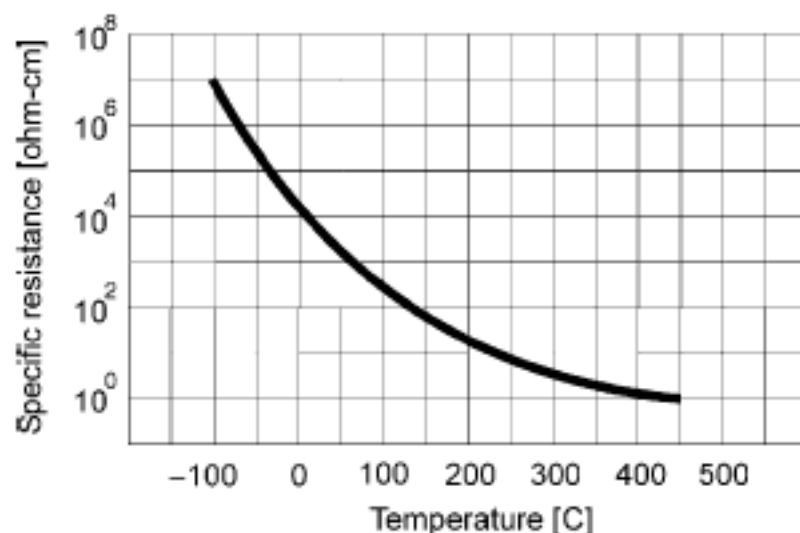
ادامه ...

- در کاربردهای پزشکی، از مبدل‌های پیزوالکتریک در اندازه گیری ضخامت و یا پایش غیرتهاجمی فشار خون استفاده می شود.
- به عنوان مثال اگر دو کریستال مشابه در دو سوی یک رگ قرار بگیرند و یکی تحریک شده تا موجی اولتراسوند از خود ساطع کند، با فرض سرعت 1500 m/s برای موج اولتراسوند در درون بافت، کافیت زمان دریافت این موج در سوی دیگر رگ و توسط کریستال دیگر را در این سرعت ضرب کنیم تا به فاصله ی این دو کریستال (ضخامت رگ) برسیم.
- یادآور میشود با استفاده از خود دستگاه اولتراسوند روشهایی بسیار پیشرفته و دقیق تری برای سنجش ضخامت توسط یک مبدل، همچون سنجش ضخامت قرنیه، وجود دارد.

اندازه گیری (مبدل‌های) دما

- دمای بدن یکی از مهمترین شاخصه های فیزیولوژیکی است که اندازه گیری روزانه آن می تواند به بررسی سلامت بیمار کمک کند.
- دمای درونی بدن در حالت طبیعی ۳۷ درجه سانتیگراد است و ممکن است در حد ± 0.5 درجه تغییرات داشته باشد.
- افزایش دمای بدن میتواند نشانه ای از بیماری بوده و افت دمای سطح پوست نیز ممکن است بر اثر شوک رخ دهد.
- دمای بدن معمولاً در دو ناحیه سنجیده می شوند، در سطح پوست همچون ناحیه ی زیر بغل و درون بدن همچون داخل دهان.
- در این بخش به بررسی دو نمونه از سنسورهای مهمتر اندازه گیری دما می پردازیم.

ترمیستور



- ترمیستورها مبدل‌های حساس به حرارت هستند که از اکسیدهای فلزی فشرده (همچون: نیکل، منگنز و یا کبالت) ساخته شده و مقاومت آنها با دما تغییر می‌کند.
- مطابق شکل و به طور ریاضی رابطه ی مقاومت- دما در مورد یک ترمیستور به صورت زیر تقریب زده می‌شود:

$$R_T = R_0 \times \exp \left[\beta \times \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right]$$

ادامه ...

- که در این رابطه R_0 و R مقاومت ترمیستور به ترتیب در دمای T_0 و T (برحسب کلوین) و β نیز ضریب ماده هستند.
- برخلاف مقاومت های فلزی و عادی که ضریب تغییرات مقاومت با دما خطی و افزایشی است، در مورد ترمیستور ضریب تغییرات مقاومت با دما، غیرخطی و منفی است. یعنی افزایش دما موجب کاهش مقاومت ترمیستور می شود.
- اندازه و جرم پروب ساخته شده از ترمیستور در یک دماسنج پزشکی باید به گونه ای باشد که پاسخ زمانی سریعی را حاصل آورد.
- چنین پروبهای معمولاً با پلاستیک بسیار نازک استریلی پوشانده می شوند که البته بنا به دلایل بهداشتی، یکبار مصرف هستند.

مثال ٣.

A thermistor with a material constant β of 4,500 K is used as a thermometer. Calculate the resistance of this thermistor at 25°C. Assume that the resistance of this thermistor at body temperature (37°C) is equal to 85 Ω .

Solution

Using the resistance-temperature characteristic of a thermistor (Eq. (10.16)) gives

$$R_T = 85 \times \exp \left[4500 \times \left(\frac{1}{298} - \frac{1}{310} \right) \right] = 152.5 \, \Omega$$

ترموکوپل

- ترموکوپلها مبدل‌های حرارتی هستند که از به هم پیوستن دو فلز متفاوت ساخته می شوند.
- هنگامی که دو محل پیوند این دو فلز متفاوت، در دماهای متفاوت نگه داشته شوند، نیروی محرکه الکتریکی پدید می آید.
- دامنه ی این نیروی محرکه به دما و همینطور خواص آن دو فلز وابسته است.
- این بدان معناست که مبدل حرارتی تنها قادر به اندازه گیری اختلاف پتانسیل بین دو نقطه بوده و امکان سنجش دمای یک نقطه به تنهایی را ندارند. بنابراین در عمل باید به دمای نقطه ی دیگر (دمای مرجع، مثلاً 0°C) و وارد کردن آن در محاسبات توجه داشت.

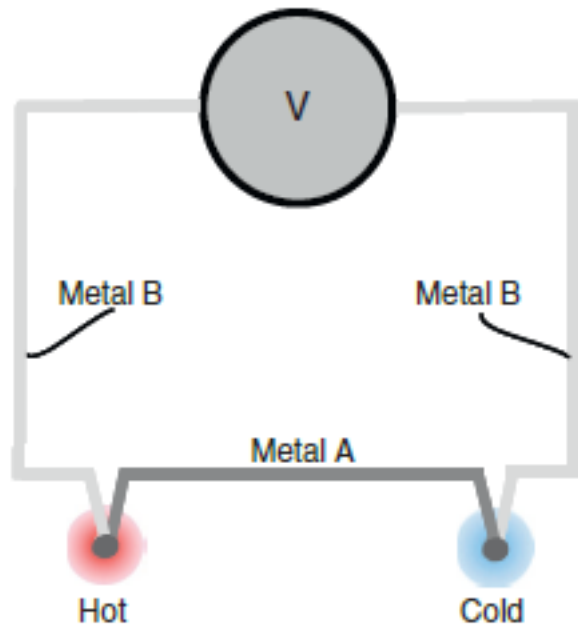
ادامه ...

- رابطه ی ریاضی پتانسیل (نیرو محرکه) دو سر ترموکوپل (بر حسب mV) که یک سر آن در دمای T و سر دیگر در دمای مرجع 0°C را به صورت زیر بیان کرد:

$$E = c_0 + c_1T + c_2T^2 + \dots$$

و به طور مشابه حساسیت دمایی ترموکوپل نیز به صورت مشتق پتانسیل به دما عبارت خواهد بود از:

$$\alpha = \frac{dE}{dT} = c_1 + 2c_2T + \dots$$



ادامه ...

- در جدول مقادیر نمونه برای حساسیت و گستره ی کاری ترموکوپل های حاصل از فلزات مختلف ذکر شده است:

TABLE 10.3 Properties of Selected Thermocouple Materials

Thermocouple	Sensitivity $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ (@25°C)	Operating Range ($^\circ\text{C}$)
Chromel/Alumel	40.6	-270 to 1,300
Copper/Constantan	40.9	-270 to 600
Iron/Constantan	51.7	-270 to 1,000
Chromel/Constantan	60.9	-200 to 1,000