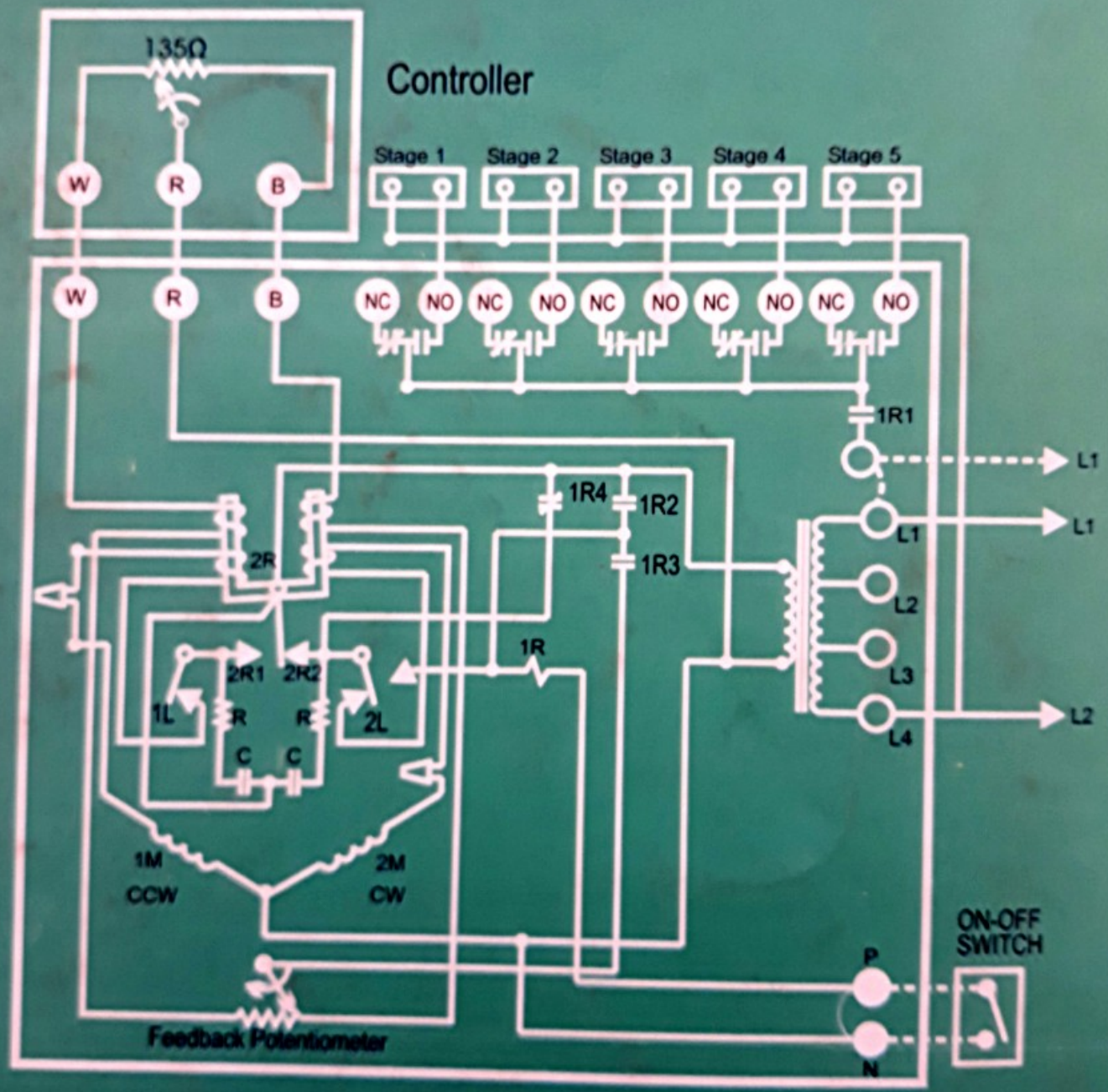
چاپ دهم

سیستم‌های کنترل تأسیسات حرارتی و برودتی



تألیف:

مهندس محمدرضا کریمی

مهندس نعمت‌الله اعرابیان

فهرست مطالب

فصل اول ۱

کنترل چیست؟ ۱

هدف از کنترل-سیستمهای کنترل ۲

انواع انرژی‌ها و پتانسیل‌های مورد استفاده در سیستم‌های کنترل ۳

سنسور(واحد حس کننده) ۵

شناخت مواد و خواص آنها ۵

انبساط طولی-انبساط حجمی مایعات و گازها-الاستیسیته ۶

سنسورهایی که تغییرات آنها قابل روئیت نمی‌باشد ۷

ترمیستور ۷

واریستور ۱۰

خاصیت فتوالکتریکی، خاصیت مغناطیسی ۱۰

خاصیت پیروالکتریک، ایزوتوپهای مواد رادیواکتیو ۱۱

خصوصیات و ویژگیهای سنسورها ۱۲

اتخاب و محل نصب سنسورها، سنسورهای درجه حرارت ۱۳

سنسورهای بی‌متالی-سنسورهای گازی یا مایعی ۱۴

سنسورهای فشار ۱۶

سنسورهای رطوبت ۲۱

سنسورهای جریان سیالات ۲۲

سنسورهای سطح مایعات ۲۳

محل نصب حس کننده‌ها ۲۴

فصل دوم ۲۷

کنترل کننده‌های درجه حرارت ۲۷

تعریف ترموستات ۲۷

انواع ترموستاتها، عملکرد ترموستاتها ۲۸

ترموستاتهای سیستمهای گرم‌کننده ۳۰

دیفرنشیال ۳۱

انواع آکوستات، آکوستات مستغرق ۳۲

آکوستات جداری ۳۳

آکوستات حد ۳۴

ترموستات اطاقی ۳۵

ترموستاتهای اطاقی مجهز به آنتی‌سیپاتور ۳۸

ترموستات زمستانی ۳۸

ترموستات تابستانی ۳۹

ترموستات اطاقی دوفصلی ۴۰

ترموستات اطاقی با کلید فن‌کویل ۴۱

ترموستات کانالی ۴۲
موارد استفاده از ترموستاتهای تابستانی ۴۳
ترموستات آنتی‌فریز ۴۴
تاثیر سردشدن بیش از حد آب در اواپراتورها ۴۵
کنترل درجه حرارت سیم‌پیچهای موتور کمپرسور ۴۶
ترموستات دیجیتالی ۴۹
ترموستات ساعت ۵۰
ترموستات مرحله‌ای ۵۱
ترموستاتهای تدریجی ۵۳
انواع ترموستاتهای تدریجی ۵۳
استپ کنترلر ۵۶
انواع استپ کنترلر ۵۷
کنترل آنتالپی ۶۱
طرز تنظیم ترموستاتها ۶۲
فصل سوم ۶۵
کنترلهای فشار ۶۵
کلید کنترل فشار گاز ۶۵
کلید کنترل فشار هوا ۶۶
کلید کنترل فشار کم ۶۷
سیستم کنترل پمپ داون ۶۸
پمپ اوت ۷۱
محل نصب کلید کنترل فشار کم ۷۴
کلید کنترل فشار زیاد ۷۶
کاربرد کلید کنترل فشار زیاد ۷۷
محل نصب و طریقه تنظیم کلید کنترل فشار زیاد ۷۸
کلید اطمینان فشار روغن ۷۹
عوامل کاهش فشار روغن ۸۱
طرز کار کلید کنترل فشار روغن ۸۲
کلید کنترل فشا رمرکب ۸۳
کنترل فشار تدریجی ۸۴
کنترل فشار استاتیکی اطاق ۸۶
فصل چهارم ۸۹
کنترل رطوبت ۸۹
تحولهای مختلف هوا در سیستمهای تهویه مطبوع ۹۲
تحول گرمایش با رطوبت مخصوص ثابت ۹۲
تحول گرم کردن در رطوبت زدن ۹۳

تحول سرمایش ۹۴
تحول آدیاباتیک ۹۵
کنترل رطوبت ۹۷
کنترل‌کننده رطوبت ۹۷
انواع کنترل‌کننده‌های رطوبت ۹۸
کنترل رطوبت اطاقی ۹۸
کنترل رطوبت کانالی ۹۹
کنترل رطوبت تدریجی ۱۰۰
سیستمهای مختلف کنترل رطوبت ۱۰۱
رطوبت زدن ۱۰۱
رطوبت زدن با بخار ۱۰۱
رطوبت زدن با آب ۱۰۳
سرمایش تبخیری دومرحله‌ای ۱۰۴
ایرواشر با کویل پیش‌گرمایش ۱۰۶
ایرواشر با کویل پیش‌گرمایش و کویل پس‌گرمایش و تبرید ۱۰۸
رطوبت‌گیری ۱۱۰
رطوبت‌گیری با سیستم تبرید ۱۱۰
رطوبت‌گیری شیمیایی ۱۱۲
فصل پنجم ۱۱۷
سیستمهای کنترل جریان سیالات و سطح مایعات ۱۱۷
کنترل‌کننده جریان آب ۱۱۷
فلوسوئیچ هوا ۱۲۲
موتورهای الکتریکی سیستم‌های کنترل ۱۲۳
موتور تدریجی دوحالته ۱۲۴
انتخاب موتورهای تدریجی ۱۲۷
طریقه نصب موتورهای تدریجی ۱۲۸
کنترلهای حد در کنترلهای تدریجی ۱۲۹
موتورهای تدریجی با فنر برگشت ۱۳۸
موتور تدریجی یک حالته ۱۳۸
کنترلهای مقدار جریان ۱۳۹
کنترل مقدار جریان هوا ۱۳۹
دمپرهای دستی-دمپرهای اتوماتیک ۱۴۰
دمپر سطحی و کنارگذر ۱۴۱
دمپر زونینگ ۱۴۲
دمپر آزادکننده ۱۴۲
شیرهای کنترل ۱۴۴

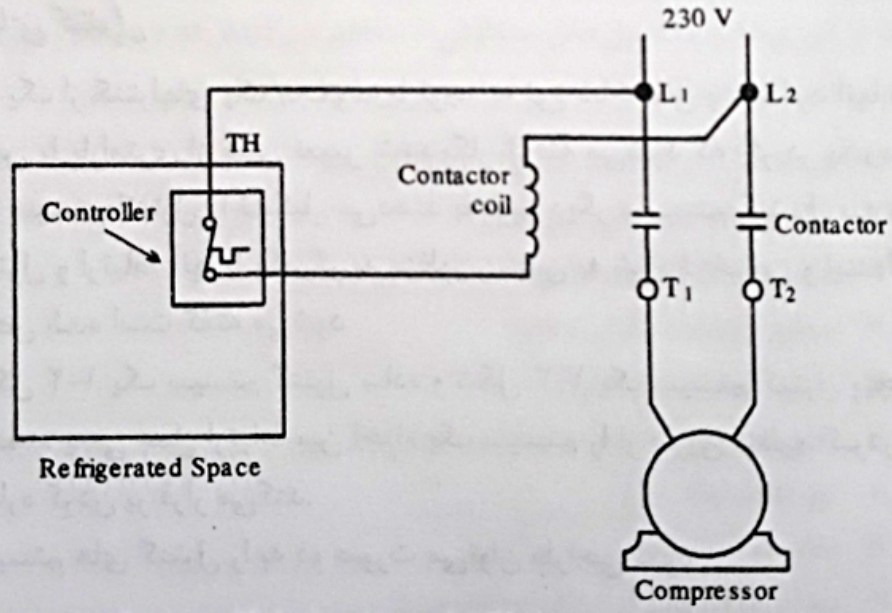
۱۴۶
۱۴۸
شیر معکوس کننده
۱۵۰
شیر کنترل ظرفیت یا شیر بی‌بارکننده کمپرسور
۱۵۱
شیرهای فانوسه‌ای یا ترموستاتیکی
۱۵۳
شیرهای موتوری دوراهه
۱۵۷
شیرهای موتوری سه‌راهه
۱۵۸
لینکیج
۱۶۱
طریقه نصب و راه‌اندازی شیرهای موتوری سه‌راهه
۱۶۵
کنترلهای سطح مایعات
۱۶۶
طریقه نصب کنترل سطح حیوه‌ای روی دیگهای بخار
کنترل سطح الکتریکی
۱۷۱
فصل ششم
۱۷۱
سیستمهای کنترل ساده
۱۷۳
کنترل حداقل هوای خارج
۱۷۵
گرمایش-کنترلهای گرمایش معمولی
۱۷۶
کنترل دود(رله دود)
۱۷۷
کنترل الکترونیک(رله مشعل)
۱۷۹
فتوسل
۱۸۱
کنترلهای مشعلهای گازسوز
۱۸۶
میله یونیزاسیون
۱۸۹
پیش گرمایش و روشهای مختلف کنترل پیش گرمایش
۱۹۵
پس گرمایش
۱۹۵
سرمایش
۱۹۷
هواساز با کویل انبساط مستقیم و کنترل دوحالته
۱۹۸
هواساز با کویل انبساط مستقیم ودمپر فیس‌اندبای‌پاس
۲۰۰
هواساز با کویل انبساط مستقیم و کنترل فشار مکش
۲۰۰
هواساز با کویل انبساط و کنترل دومرحله‌ای
۲۰۲
هواساز با کویل انبساط و کنترل ظرفیت بوسیله گاز داغ
۲۰۳
هواساز با کویل آبسرد و شیر سه‌راهه
۲۰۴
هواساز با کویل آبسرد و شیر سه‌راهه و پمپ سیرکولاسیون
۲۰۵
فصل هفتم
۲۰۵
کنترل ظرفیت سیستمهای حرارتی و برودتی
۲۰۵
کنترل ظرفیت سیستمهای سرمایش
۲۰۶
تغییر ظرفیت در کمپرسورهای رفت و برگشتی
۲۰۶
تغییر ظرفیت در کمپرسورهای گریز از مرکز
۲۰۹
تغییر ظرفیت در کمپرسورهای حلزونی
۲۱۱
کنترل ظرفیت در سیستمهای جذبی
۲۱۲

کنترل ظرفیت اواپراتورها ۲۱۳
کنترل ظرفیت کندانسرها ۲۱۶
روشهای مختلف کنترل فشار در کندانسرهای آبی ۲۱۸
روشهای کنترل فشار در کندانسرهای هوایی ۲۲۵
روشهای کنترل فشار در کندانسرهای تبخیری ۲۳۱
فصل هشتم ۲۳۵
کنترلهای تبرید(سردخانه‌ها) ۲۳۵
ترموستات داخل سردخانه و محل نصب آن ۲۳۵
ترموستات سردخانه ساعت‌دار و ثبات ۲۳۷
کاربرد انواع ترموستاتهای برودتی-ترمودیسک ۲۳۸
دیفراست-تایمر دیفراست ۲۴۰
ساعت دیفراست ۲۴۲
ساعت دیفراست هفتگی ۲۴۳
کنترل دیفراست چندگانه ۲۴۴
روشهای برفک‌زدایی ۲۵۰
برفک‌زدایی با آبگرم یا آب نمک ۲۵۰
برفک‌زدایی با هیترهای برقی ۲۵۲
برفک‌زدایی با گاز داغ ۲۵۴
برفک‌زدایی با هوای گرم ۲۵۹
برفک‌زدایی به روش Vapot ۲۵۹
کنترل‌کننده‌های جریان مایع مبرد ۲۶۰
فصل نهم ۲۷۳
تمرینهای کاربردی کتاب ۲۷۳

فصل ۱

کنترل چیست؟

کنترل از لحاظ لغوی یعنی محدودکردن و دراختیارگرفتن و یا اداره کردن، جهت عملیاتی مشخص می‌باشد و در علوم فنی به مجموعه عملیاتی گفته می‌شود تا حتی‌الامکان بتوان از لحاظ کمی و کیفی و صرفه‌جویی در انرژی و نیروی انسانی و همچنین حفاظت و ایمنی به یک پارامتر مشخص نائل‌آمد. شکل ۱-۱ یک سیستم ساده کنترل درجه حرارت مربوط به کابین یخچال را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱: یک سیستم سادهٔ کنترل درجه حرارت کابین یخچال

عمل کنترل

با پیشرفت مهمی که در علم و تکنولوژی ساخت در زمینهٔ کنترلهای خودکار و قابل برنامه ریزی بوجود آمده است، دست‌یابی به اطلاعات و تکنولوژی و هدفهای تعیین شده را به میزان قابل توجهی میسر ساخته است. درک کاملی از اساس کار، طراحی، ساختمان، کاربرد صحیح و موارد استفاده از کنترلها و نشان دهنده‌ها اهمیت زیادی داشته

و تا شخص اپراتور یا سرویس کار شناخت کاملی از کنترلها و نشان دهنده‌ها نداشته باشد نمی‌تواند به هدف خود برسد هر چند که ساعت‌ها وقت خود را صرف این کار بکند. در این کتاب سعی شده است تا بصورت ساده و روان با کنترلهای تأسیسات حرارتی و برودتی نیاز دانشجویان این رشته بر آورده شود.

هدف از کنترل

هدف از یک سیستم کنترل عبارتست از کنترل خروجیها به روش معین و به کمک ورودیها، از طریق سیستم کنترل که می‌تواند شامل: اجزاء مکانیکی، الکتریکی، شیمیایی و غیره که به تناسب نوع سیستم کنترل می‌باشد بعلاوه سود آوری (هدف نهایی) از طریق کنترل و بهینه‌سازی انرژی و نیروی انسانی در زمینه‌های طراحی، ساخت، بهره‌برداری، نظارت، نگهداری، راهبری، مدیریت ساختمان (B.M.S)[1] و یا مدیریت انرژی (EMS)[2] عملیات در سیستم می‌باشد.

سیستم: عبارتست از ترتیب قرار گرفتن یا جمع شدن وسایل مربوطه در کنار هم بطوریکه یک مجموعه کاملی را بسازند.

سیستم‌های کنترل

هر یک از کنترلهای یک مجموعه با توجه به نوع ساختمان و عملکرد آنها به منظور هدفی خاص یا پارامتری از پیش تعیین شده بکار گرفته می‌شود که اگر در یک مدار قرار گیرند یک سیستم کنترل را تشکیل می‌دهند بعبارت دیگر سیستم کنترل به مجموعه وسایل کنترل و ارتباط آنها با یکدیگر به منظور رسیدن به شرایط خاص و ایده‌آل که از قبل مشخص شده است گفته می‌شود.

شکل ۲-۱ یک سیستم کنترل ساده و شکل ۳-۱ یک سیستم کنترل پیچیده‌تر را نشان می‌دهد. یعنی عمل ارتباط بین اجزاء یک سیستم را از طریق تنظیم کردن، فرمان دادن یا اداره کردن بر قرار می‌کند.

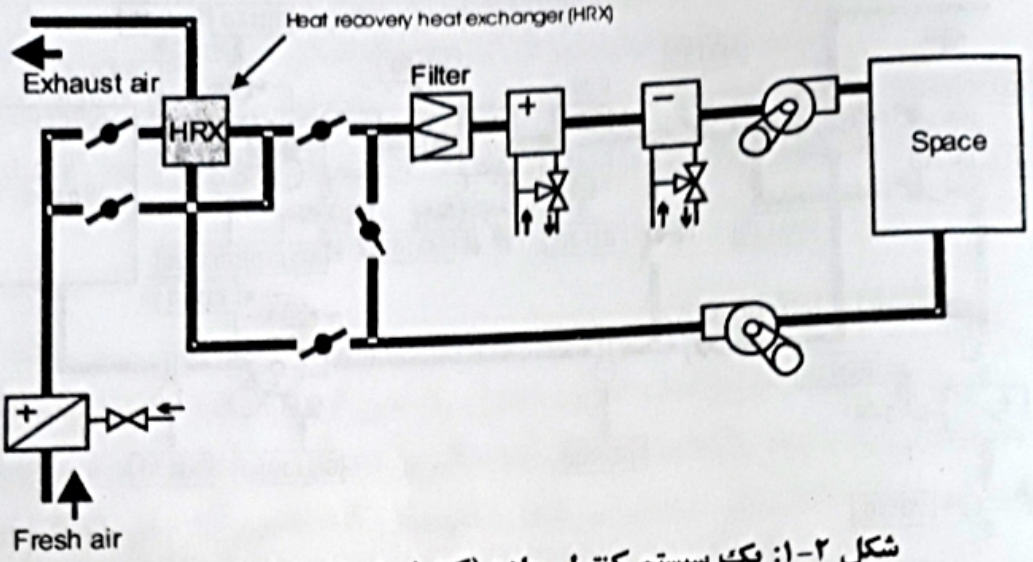
سیستم های کنترل را به دو صورت می‌توان طراحی نمود:

- سیستم کنترل باز (Open control system)
- سیستم کنترل بسته (Closed control system)

سیستم کنترل باز سیستمی است که عمل کنترل به خروجی (output) آن بستگی ندارد مانند تایمرها و سیستم کنترل بسته سیستمی است که عمل کنترل به خروجی آن بستگی دارد مانند عمل ترموستات حد در مقابل‌ترموستات تحریک کننده (اتوماتیک).

---

[1] Building Management system
[2] Energy management system



شکل ۲-۱: یک سیستم کنترل ساده (کنترل درجه حرارت محل)

انواع انرژی‌ها و پتانسیل‌های مورد استفاده در سیستم‌های کنترل

کنترلهایی که در سیستمهای حرارتی و برودتی و همچنین دستگاههای تهویه مطبوع خانگی، صنعتی، رطوبت‌گیری و رطوبت زن، کنترل جریان هوا، صافیها و غیره به کار می‌روند از انرژی‌ها و پتانسیل‌های متفاوتی استفاده می‌کنند که در مقابل تغییرات هر یک از پارامترهای زیر حساس هستند و اساسی‌ترین آنها عبارتند از:

- درجه حرارت (انواع ترموستها و ترموکوپل‌ها)
- فشار (انواع کلیدهای تابع فشار)
- مایعات و گازها (فلوسوئیچ‌ها یا کلیدهای جریان)
- سطح مایعات (کنترل سطح)
- زمان (تایمرها و ساعتها)
- رطوبت (رطوبت سنج ها و کنترل رطوبت)
- نور (فتوسلها)
- مقاومت الکتریکی
- میدان مغناطیسی (رله‌های مغناطیسی)
- ولتاژ
- امواج صوت
- جریان الکتریکی
- محصولات احتراق (فایراستات)
- مواد شیمیایی (آشکارساز گاز کلر، دستگاههای اندازه‌گیری CO و CO_2 در سیستم‌های تهویه مطبوع)

سنسورهایی که تغییرات آنها قابل رویت نمی‌باشد

ترمیستور[1]

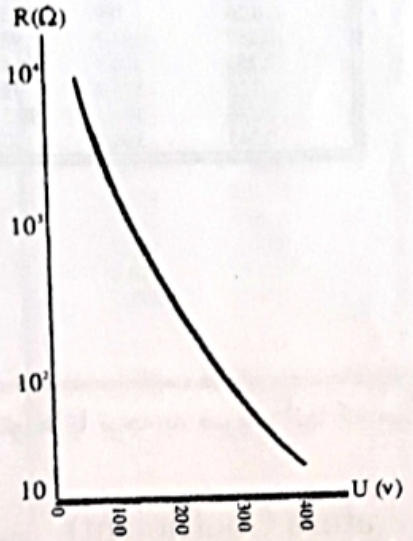
ترمیستور یک قطعه مقاومت تابع دماست که با تغییر در جه حرارت مقاومت اهمی آن تغییرمی‌کند. معمولاً مقاومت اغلب مواد با افزایش درجه حرارت کاهش می‌یابد و بدلیل تغییرات بوجود آمده در مقاومت اهمی می‌توان ترمیستور را بعنوان یک حس کننده در محلهایی که تغییر درجه حرارت انجام می‌گیرد قرارداد و آنرا در مدار الکتریکی یک رله مغناطیسی نصب نمود بطوریکه با تغییر مقاومت اهمی مدار، جریان مدار نیز تغییرکند و باعث تحریک رله مغناطیسی گردد.

بدلیل کم بودن حجم ترمیستور می‌توان برای کنترل سیم پیچ موتور کمپرسورها از آن استفاده نمود (فصل دوم - کنترل‌های درجه حرارت) جدول ۲-۱ تغییرات مقاوت اهمی و همچنین تغییرات ولتاژ را نسبت به تغییرات دما رانشان می‌دهد بعنوان مثال یک ترمسیتوروقتی در درجه حرارت ^{o}C ۳۲- قرار می‌گیرد مقاومت اهمی آن حدود ۱۰۰۰۴۹ اهم و افت ولتاژ معادل ۴/۶۹۰ ولت ایجاد خواهد کرد و اگر درجه حرارت به ^{o}C ۱۰۰ افزایش یابد مقاومت اهمی آن ۳۶۶/۵ اهم کاهش می‌یابد و افت ولتاژ معادل ۰/۲۴۳ ولت خواهد بود. و این به آن معنی است که در طی یک تغییرات چشم‌گیر(^{o}C ۱۳۲) مقاومت اهمی به شدت کاهش می‌یابد و افت ولتاژ مدار نیز کم می‌شود. نمودار شکل ۴-۱ تغییرات درجه حرارت را نسبت به مقاومت اهمی نشان می‌دهد.

[1] Thermaly Sensitive Resistor = Thermistor

واریستور[1]

یکی دیگر از مقاومتهای متغیر که در مقابل تغییرات ولتاژ حساس بوده و مقاومت اهمی آن در برابر عبور جریان تغییر می‌کند متناسب با تغییرات ولتاژ در وسایل کنترلی مقاومت آن تغییر کرده و همواره ولتاژ ثابتی در مدار بوجود می‌آورد واریستور نام دارد بعبارت دیگر مقاومت با ولتاژ رابطه معکوس دارد منحنی واریستور (در شکل ۵-۱) نشان داده شده است.



شکل ۵-۱ منحنی تغییرات ولتاژ - مقاومت

خاصیت فتوالکتریکی

بعضی از مواد مانند کادمیم درمقابل تغییرات نور حساس هستند مانند (فتوسل) بطوریکه وقتی قسمت حساس آن (سنسور) در مقابل تابش نور طبیعی یا مصنوعی قرار گیرد مقاومت اهمی آن بشدت کاهش می‌یابد و در برابر عبور جریان مقاومت کمتری نشان می‌دهد. بطوریکه اگر در مدار الکتریکی، یک رله مغناطیسی قرار گیرد با کاهش نور مقاومتش زیاد و افت ولتاژ در مدار زیاد می‌شود. در نتیجه جریان لازم برای تحریک رله مغناطیسی تأمین نمی‌شود. ولی با افزایش شدت نور مقاومت مدار کم می‌شود و جریان لازم جهت تحریک رله تأمین می‌گردد و رله مغناطیس می‌شود. اگر این رله مجهز به تیغه‌های بسته یا باز باشد می‌توان آنرا در مدار کنترل قرار داد کنترل شعله نمونه‌ایی از این کنترل‌کننده می‌باشد یا برای خاموش و روشن کردن اتوماتیک چراغهای خیابانی در طی شبانه روز از فتوسل استفاده شده است.

خاصیت مغناطیسی

خطوط شار مغناطیسی با چشم دیده نمی‌شوند و در یک مغناطیس مصنوعی دائماً در حال حرکتند که از قطبN خارج و از قطب S وارد می‌شوند. بطوریکه تغییرات مقدار جریان یا تغییرات ولتاژ باعث تغییر شار مغناطیسی در هسته می‌شود. در نتیجه نیروی مغناطیسی بوجود آمده نیز تغییر می‌کند. از این خاصیت در راه‌اندازی موتور کمپرسورهای تک فاز و یا عمل سؤچینگ استفاده می‌شود. رله جریان و رله ولتاژ نمونه‌ای از کاربرد تغییرات میدان مغناطیسی می‌باشند.

خاصیت پیزوالکتریک (اثر ضربه)

پیزوالکتریک یکی از پدیده‌هایی است که امکان تبدیل انرژی مکانیکی را بطور مستقیم به انرژی الکتریکی میسر می‌سازد. خاصیت پیزوالکتریک باعث می‌شود که لرزشهای مکانیک تبدیل به پتانسیل الکتریکی گردد. وقتی به اجسامی مانند کریستال نمک یا کریستال کوارتز فشار وارد می‌گردد در اثر این فشار تغییر شکل و جابجایی ایجاد شده و در کریستالهای این اجسام اختلاف پتانسیل الکتریکی در سطوح جانبی آنها ایجاد می‌گردد. و بر عکس چنانچه یک اختلاف پتانسیل (ولتاژ) به دو سطح متقابل وارد گردد یک تغییر شکل‌وحرکت مکانیکی در کریستال بوجود می‌آید.

ایزوتوپ‌های مواد رادیواکتیو

بعضی از مواد بطور مداوم درحال تجزیه شدن می‌باشند که در طی این تجزیه ذرات دارای انرژی از خود منتشر می‌کنند. این عناصر موادی نظیر رادیم یا اورانیم و یا تبدیلات مواد اورانیم و تبدیلات مواد رادیو اکتیو می‌باشند که ایزوتوپ نامیده می‌شوند. ایزوتوپها دو یا چند نوع اتم از یک عنصر هستند که هسته مرکزی آنها دارای تعداد مساوی پروتون بوده ولی تعداد نوترونهای آن متفاوت است. مانند کربن با عدد اتمی ۱۲ که در اثر تجزیه مواد راداکتیو بعضی از عناصر کاملاً متفاوت بدست می‌آید و درنهایت تبدیل به ایزوتوپهای غیر رادیواکتیو می‌شود.حدود ۱۶۰۰ سال طول می‌کشد تا ذرات رادیم بر اثر تجزیه به ۵۰٪ وزن خود برسند ۵۰٪ وزن باقیمانده بصورت ایزوتوپ جسم مزبور و پرتوهای رادیواکتیو می‌باشند. این دورهٔ زمانی را نصف عمر عناصر رادیواکتیو می‌گویند نصف عمر عناصر رادیواکتیو متفاوت است.

بعضی از ذرات منتشر شده از ایزوتوپها انرژی زیادی دارند. این ذرات بنام اشعه‌های α, β, γ شناخته شده‌اند. بعضی از این ذرات از یک اینچ فولاد عبور می‌نمایند. در حالیکه بعضی بوسیله صفحه کاغذ ممکن است متوقف شوند. میزان انرژی جذب شده در جسم می‌تواند مبین ضخامت مواد یا دلیل بر وجود یا عدم وجود ماده در ظروف باشد. که در وسایل کنترل سطح مایعات در مخازن از آن استفاده می‌شود. این کار برد جدیدی از خاصیت غیر معمول بعضی از مواد می‌باشد.

➢ خصوصیات و ویژگی سنسورها

یک سنسور یا حس کننده بایستی دارای ویژگیهای زیر باشد:

- ➢ رنج (Range): در حقیقت مقداریست که یک اندازه‌گیر یا کنترل کننده می‌تواند از حداقل (می‌نیمیم) تا حداکثر (ماکزیمیم) مقدار خود را داشته باشد. البته مواد و عناصر مختلف نیز دارای حداقل و حداکثر تغییرات متفاوت هستند.
- ➢ Span: یعنی حدود اندازه‌گیری یک وسیله سنجش و یا کنترل کننده که به جنس سنسور بستگی دارد.
- ➢ دقت صحت و درستی (Accuracy): یعنی اینکه کنترل یا وسیله سنجش بایستی دارای دقت بالا و کمترین خطا باشد مانند یک ترمومتر که دارای دقت $\pm 0/1^{ok}$ در دمای ۲۵^{oC} است.در حقیقت عملکرد صحیح، درستی و صحت را مشخص می‌کند که بایستی با دقت انجام شود.
- ➢ بازگشت به حالت اولیه (Repeatability): سنسور بایستی به حالت اولیه خود تحت شرایط نسبی یا شرایطی که کالیبره شده برگردد. مانند مواد الاستیک.
- ➢ حساسیت (Sensitivity) : بطور کلی سنسورها که به آنها حسامه نیز می‌گویند بایستی در برابر کوچکترین تغییرات مورد نظر حداکثر تغییرات را داشته باشند، بعبارت دیکر با کوچکترین تغییر در اندازه‌گیری یا کنترل اثر آن در خروجی دیده شود.
- ➢ تغییر تدریجی(Drift): سنسورها بایستی تغییرات تدریجی و پیوسته داشته باشند و حرکت سریع یا منقطع باعث خطای بیشتر می‌گردد.
- ➢ حرکت خطی (Linearity): یعنی حرکت در طول رنج کنترل‌کننده بصورت خطی و یکنواخت باشد.(با شتاب ثابت)
- ➢ زمان پاسخگویی (Response time): در یک مدت زمان معین بایستی در مقابل تغییرات دریافتی، زمان ثابتی در خروجی داشته باشد.(هر چقدر زمان پاسخگویی کوتاه باشد حساسیت بیشتر است)
- ➢ نگهداری (Maintenance): هرسنسوری بایستی قابلیت نگهداری در شرایط متفاوت سیستم را داشته باشد که معمولاً با کالیبراسیون به حالت اولیه خود باز می‌گردد.
- ➢ سازگاری (Compatibility):یعنی یک سنسور بایستی با تغییرات فیزیکی و شیمیایی شرایط اولیه خود را حفظ کند و با استانداردهای جهانی مطابقت داشته باشد. (با پارامتر مورد سنجش سازکار باشد)
- ➢ دخالت (پارازیت) (Interference): سنسورها بایستی فقط به تغییرات پارامتر مورد نظر حساس باشند و سایر عوامل نباید در عملکرد یک سنسور تأثیر بگذارد بعبارت دیگر پارازیت‌پذیر نباشند.

انتخاب و محل نصب سنسورها

یکی از مسائل بسیار مهم و حساس در وسایل اندازه‌گیری و کنترل‌کننده‌ها انتخاب صحیح سنسور می‌باشد و بهتر است که ابتدا مشخص شود که چه پارامتری را بایستی اندازه‌گیری و یا کنترل نماییم با انتخاب صحیح و دقیق نوع سنسور و سپس عمل صحیح و مناسب نصب سنسور گامی موثر در ایجاد یک سیستم کنترل برداشته می‌شود بطور کلی می‌توان سنسورهایی را که در تأسیسات حرارتی و برودتی بکار می‌روند به یکی از تقسیمات زیر طبقه‌بندی کرد:

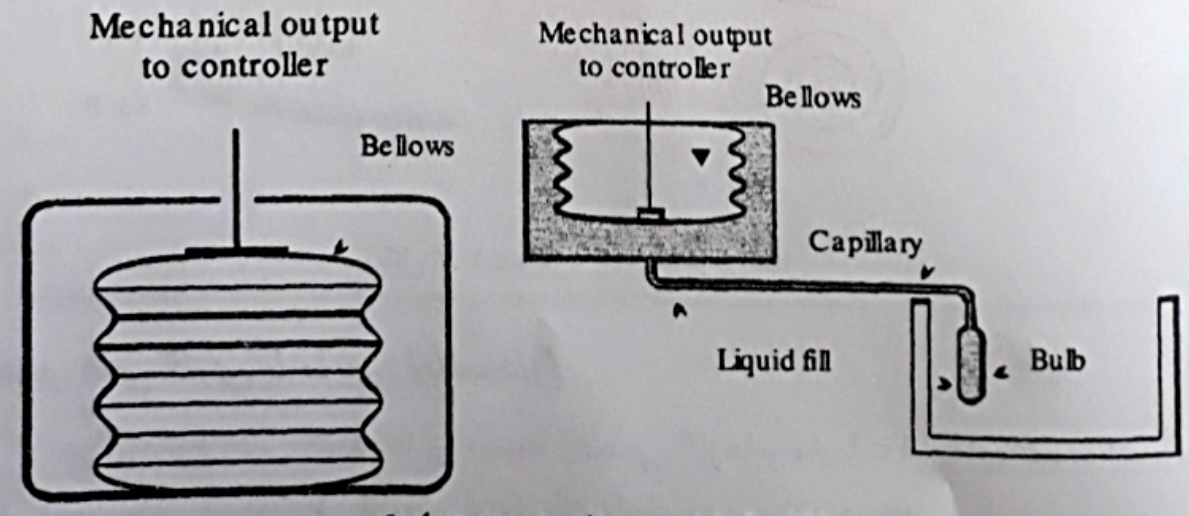
- سنسورهای درجه حرارت
- سنسورهای فشار
- سنسورهای رطوبت
- سنسورهای جریان سیالات
- سنسورهای سطح مایعات

سنسورهای درجه حرارت

سنسورهای درجه حرارت خود نیز شامل انواع گوناگون مواد با خواص متفاوت هستند و عبارتند از:

- سنسورهای بی‌متالی
- سنسورهای گازی یا مایعی
- سنسورهای ترمیستوری یا ترموکوپل

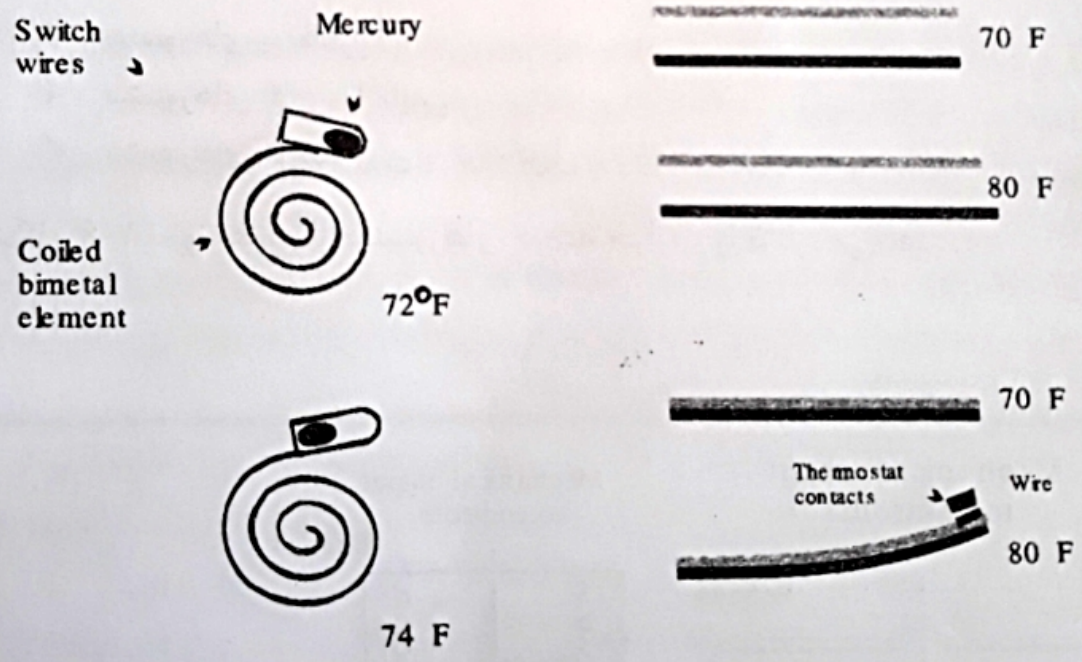
شکل ۶-۱ نمونه‌هایی از سنسورهای درجه حرارت را نشان می‌دهد.



شکل ٦-١ :سنسورهای درجه حرارت

سنسورهای بی‌متالی

بی‌متال متشکل از دو فلز باضریب انبساط طولی متفاوت است که روی هم پرس شده‌اند بطوریکه وقتی در مجاورت حرارت قرار می‌گیرند با تغییرات درجه حرارت طول آنها افزایش یا کاهش می‌یابد در نتیجه فلزی که دارای ضریب انبساط طولی بیشتری باشد (با یک Δt ثابت) نسبت به فلز دیگر (با انبساط طولی کمتر) طول بیشتری را طی می‌کند بعبارت دیگر بلندتر می‌شود. از این تغییر می‌توان یک حرکت خطی در یک جهت بدست آورد. این نوع سنسورها بیشتر در نشان‌دهنده‌ها (ترمومترها) برای اندازه‌گیری درجه حرارت ذوب فلزات بکار می‌رود و معمولا درجات حرارت بالایی دارند. مانند ترموکوپل یا رله دود که سابقاً در مشعلهای گازوئیلی برای کنترل شعله و عملکرد صحیح مشعل بکار می‌رفت. و همینطور در بسیاری از کنترلها و ترمومترها در صنایع و تأسیسات تجاری و خانگی کاربرد دارد. بی‌متال را می‌توان بصورت حلقه نازک هم درآورد که در بسیاری از وسایل اندازه‌گیری و ترموستانهای جیوه‌ای کاربرد دارد. شکل ۷-۱ عملکرد چند نوع بی‌متال را نشان میدهدکه در اثر درجه حرارت و انبساط طولی پلاتینهایی را قطع و یا وصل می‌کنند.

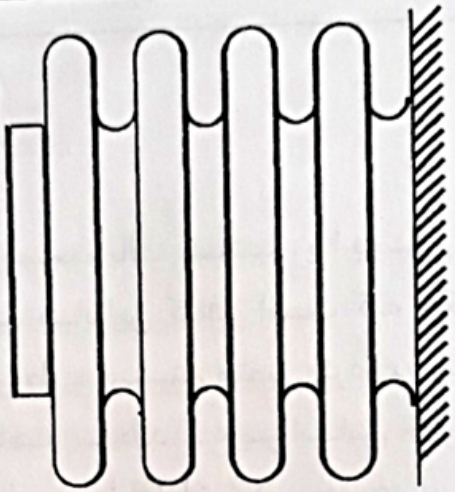


شکل ۷-۱ عملکرد چند نوع بی‌متال

سنسورهای گازی یا مایعی (بالب‌دار)

در این نوع حس کننده‌ها از انبساط حجمی گازها و مایعات استفاده شده است. و طبق قانون بویل ماریوت در ترمودینامیک که رابطه بین فشار، درجه حرارت و حجم به

صورت $\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$ نوشته می‌شود در یک کپسول که اصطلاحاً به آن بالب گفته می‌شود مقداری گاز یا مایع را شارژ می‌کنند. ارتباط بالب توسط یک لولهٔ مؤئین به قسمت فانوسه‌ای وصل می‌باشد شکل (۸-۱) و انبساط و یا انقباض گاز و یا مایع درون بالب به قسمت فانوسه‌ای منتقل می‌گردد یعنی تغییرات درجه حرارت به تغییرات فشار تبدیل می‌شود.در نتیجه نیرویی به فانوسه منتقل می‌شود و از طریق آن نیروی مکانیکی بوجود می‌آید که برای حرکت دادن یا قطع و وصل یک میکروسوئیچ استفاده می‌شود.



شکل۸-۱: تغییرات فانوسه براثر تغییر حجم گاز درون بالب

جدول (۳-۱) انبساط حجمی مواد مایع مورد استفاده در سنسورها و جدول(۴-۱) حدود درجات حرارت بعضی از مواد را برای ترموستات‌ها و یا ترمومترها نشان می‌دهند.

* **توجه:** به دلیل عدم تراکم‌پذیری مایعات، سنسورهای گازی را در حالت مایع اشباع(تبدیل گاز به مایع) شارژ می‌کنند. به عبارت دیگر گاز را تحت فشار درون بالب قرار داده و تبدیل به مایع می‌گردد. مانند اتر در فشار اتمسفر گاز فرار می‌باشد یا فریونها که اغلب در فشار اتمسفر بصورت گاز می‌باشند.

جدول۳-۱: انبساط حجمی بعضی مواد

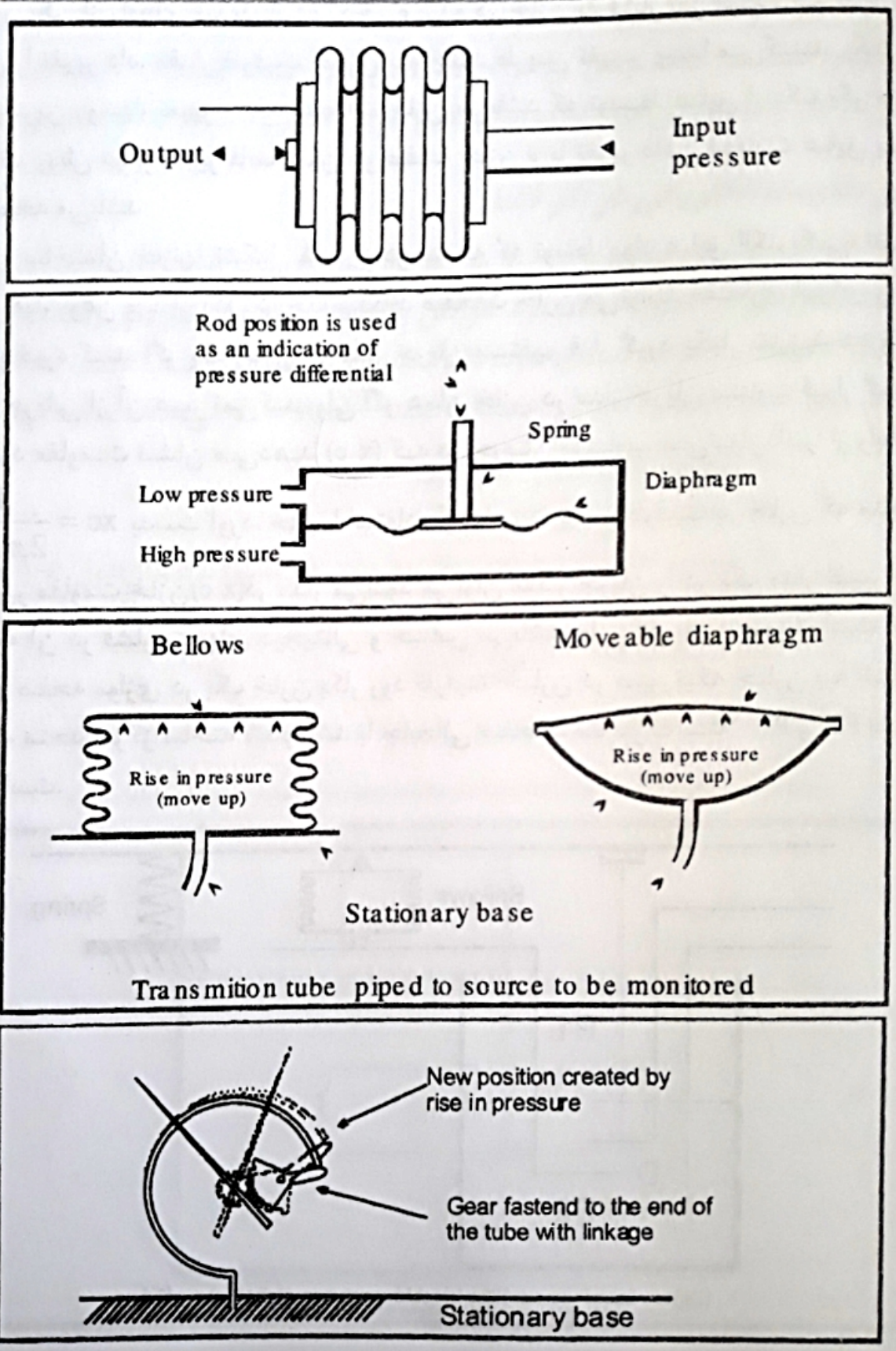
مواد	حدود درجه حرارت °C	ضریب انبساط حجمی
الکل اتیلیک	۴۶ - ۲۷	۱/۱۲۸ × ۱۰-۳
بنزین	۸۱ - ۱۱	۱/۲۳ × ۱۰-۳
تتراکلراید کربن	۷۶ - ۷	۱/۲۳۶ × ۱۰-۳
جیوه	۱۰۰ - ۰	۰/۱۸۱ × ۱۰-۳
نفت خام‌باچگالی ۰/۸۴۵	۱۲۰ - ۰	۰/۹۵۵ × ۱۰-۳
آب	۳۳ - ۰	۰/۲۰۷ × ۱۰-۳

جدول ٤-١: حدود درجه حرارت بعضی از مواد

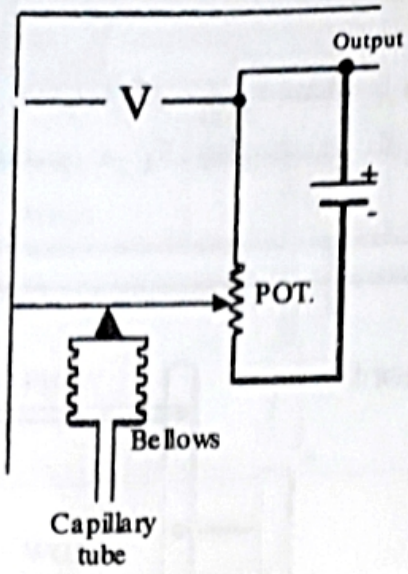
نام مایع	حداقل دما	حداکثردما
پنتان	-۲۰۰	+۳۰
کرئوزوست	-۵	+۲۰۰
کِسی لن	-۴۰	+۴۰۰
اِتیر	۲۰	+۹۰
دی اتیل اتر	۶۰	+۱۶۰
الکل	-۸۰	+۷۰
تولوئن	-۸۰	+۱۰۰

سنسورهای فشار

سنسورهای فشار اغلب فاقد قسمت بالب هستند زیرا بایستی در یک سیستم بسته تغیرات فشار سیستم را منتقل کنند بنابراین کافی است که یک قسمت الاستیک، دیافراگم و یا فانوسه به وسیلهٔ یک رابط به سیستم متصل گردند. شکل ۹-۱ را ملاحظه کنید. اخیراً سنسورهای مختلفی ساخته شده‌اند که بر اساس خواص مواد و یا تحت نیروهایی اعمال شده به برخی از عناصر و یا قطعات یک مجموعه آنرا به تغییرات فشار تبدیل میکند در این قسمت تعدادی از این خواص مورد بررسی قرار می‌گیرد که اغلب در ساخت کنترلها و مانومترها (فشار سنجها) کاربرددارند.



شکل ۹-۱: چند نمونه سنسور فشار



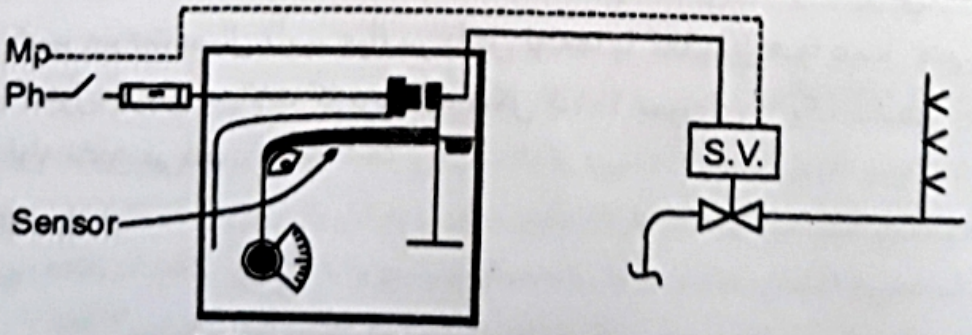
شکل۱۲-۱ ترانس دیوسر فشار (ولتاژ)

سنسورهای رطوبت

کنترل رطوبت نسبی (Relative Humidity) یکی از پارامترهای مهم در سیستمهای تهویه مطبوع می‌باشد. بنابراین بایستی سنسوری که نسبت به تغییرات رطوبت نسبی هوا حساس باشد در وسایل اندازه‌گیری و کنترل رطوبت ساخته شود. سه نوع سنسور متداول و قابل استفاده در کنترل رطوبت به شرح زیر می‌باشد:

موی یال اسب:

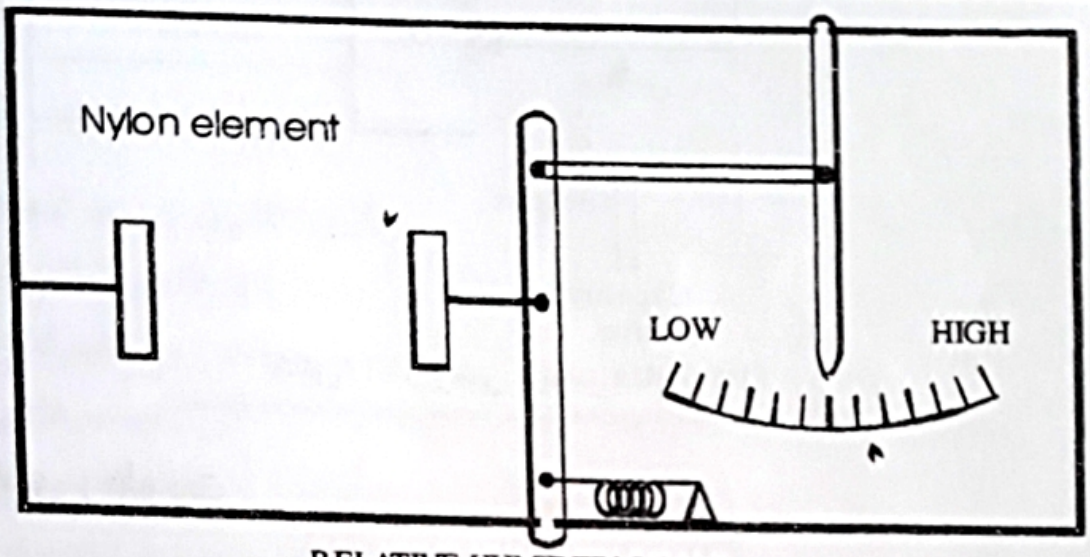
موی یال اسب یا انسان به صورت طبیعی با تغییرات رطوبت تغییر طول می‌دهد بطوریکه با افزایش رطوبت طول آن زیاد و با کاهش رطوبت طول آن کم می‌شود. از این تغییرات می‌توان بعنوان حس کننده رطوبت در وسایل اندازه‌گیری و کنترل‌های رطوبتی استفاده نمود. در فصل چهارم کنترل رطوبت بیشتر توضیح داده شده است. (شکل ۱۳-۱)



شکل۱۳-۱: سیستم کنترل رطوبت با سنسورموی یال اسب

نایلون یا الیاف مصنوعی:

نایلون خاصی که در این کنترلها بکار می‌رود مشابه با موی یال اسب عمل می‌کند. در شکل ۱۴-۱ نمونه‌ای از این سنسور در یک رطوبت‌سنج بکار گرفته شده است.



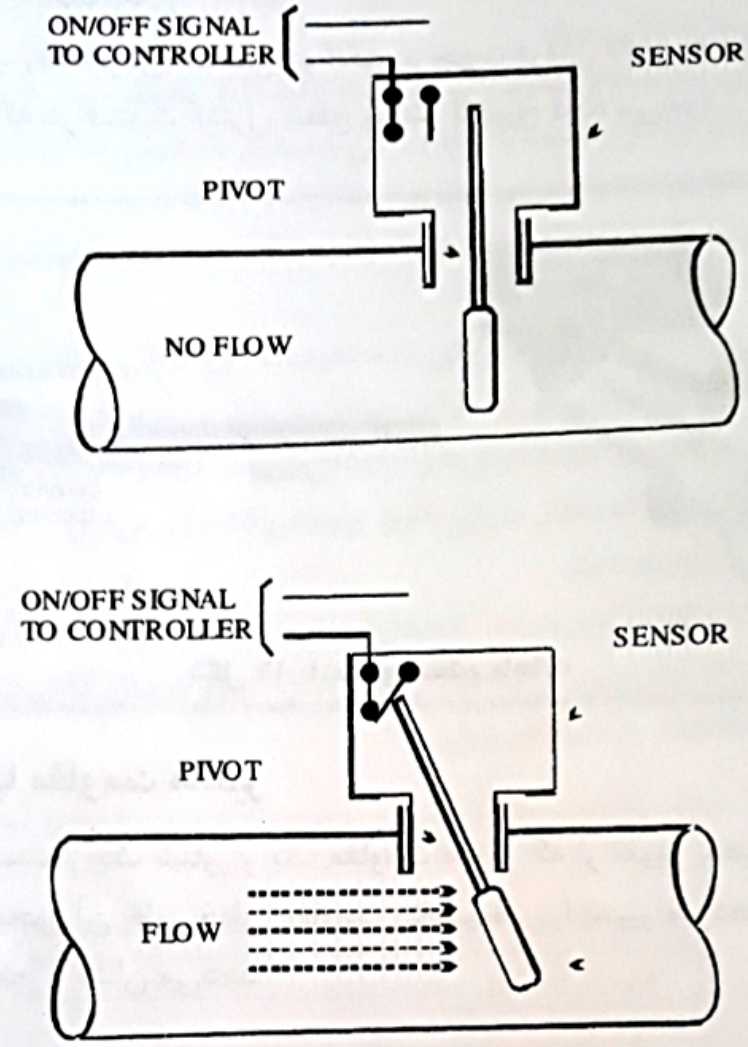
شکل ١٤-١: رطوبت‌سنج با سنسور نایلونی

خازن:

از خاصیت دی‌الکتریک بین صفحات خازن و از رطوبت بعنوان هادی جریان الکتریکی در این نوع سنسورها استفاده شده است بطوریکه با افزایش رطوبت نسبی جریان بیشتری از صفحات عبور نموده و ا ز تغییر جریان برای تحریک رله یا یک نشان دهنده استفاده گردیده است. درکنترلهای دیجیتالی و الکترونیکی بیشتر از این سنسور استفاده شده است.

سنسورهای جریان سیالات

این سنسور که به شکل یک تیغه یا صفحهٔ (معمولاً مسی یا آلومینیومی) است. با حرکت و تغییر سرعت سیال (آب، هوا) در داخل لوله‌ها یا کانالهای هوا عمل می‌کند. و بیشتر در کنترل جریان سیالات کاربرد دارد شکل ۱۵-۱ نمونه‌ای از یک سنسور جریان را در داخل لوله نشان می‌دهد.



شکل۱۵-۱: سنسور جریان سیالات

سنسورهای سطح مایعات

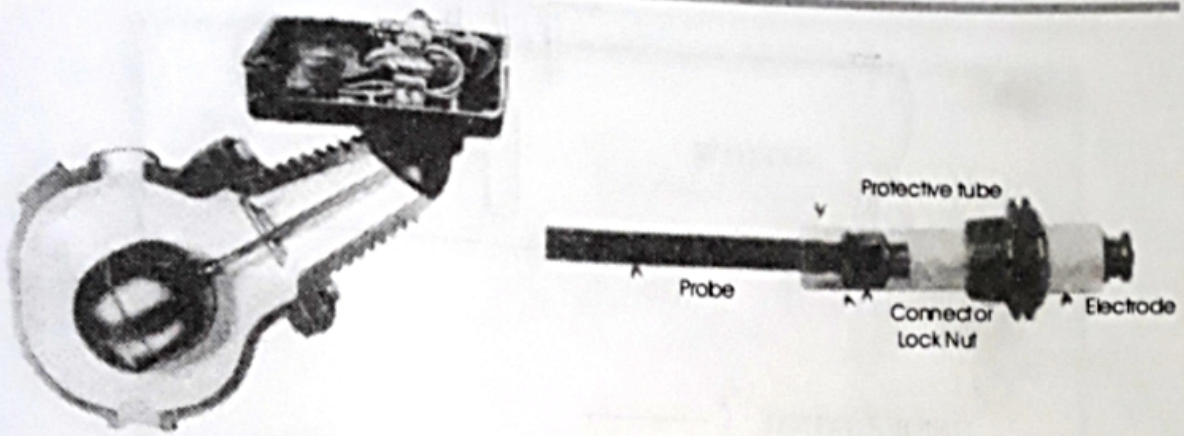
از اختلاف سطح مایعات و با استفاده از خواص سیالات سنسورهایی جهت کنترل سطح مایعات ساخته شده است که به آنها اشاره می‌شود:

شناورهای مکانیکی:

یک گوی فلزی (معمولاً مسی) یا پلاستیکی که داخل آن پر از هواست و وقتی روی سطح مایع قرار می‌گیرد از طرف مایع نیرویی به آن وارد می‌شود که از این نیرو برای حرکت یک عقربه (نشان‌دهنده) و یا یک میکروسوئیچ و یا کنترل سطح استفاده می‌کنند. با کاهش سطح مایع بر اثر نیروی ثقل شناور (فلوتر) به حالت قبلی بر می‌گردد.

سنسورهای الکترودی:

از خاصیت رسانا بودن آب بین دو الکترود جهت فرمان دادن به یک رلهٔ مغناطیسی استفاده می‌شود که در قسمت کنترل سطح بیشتر توضیح داده می‌شود.



شکل ۱۶-۱: سنسور سطح مایعات

پتانسیومتر با مقاومت متغیر

ترکیبی است از یک شناور و یک مقاومت متغیر که از تغییر سطح مایعات شناور حرکت نموده و محور آن بطور خطی مقاومت پتانسیومتر را تغییر می‌دهد. شکل ۱۶-۱ دو نمونه سنسور سطح را نشان می‌دهد.

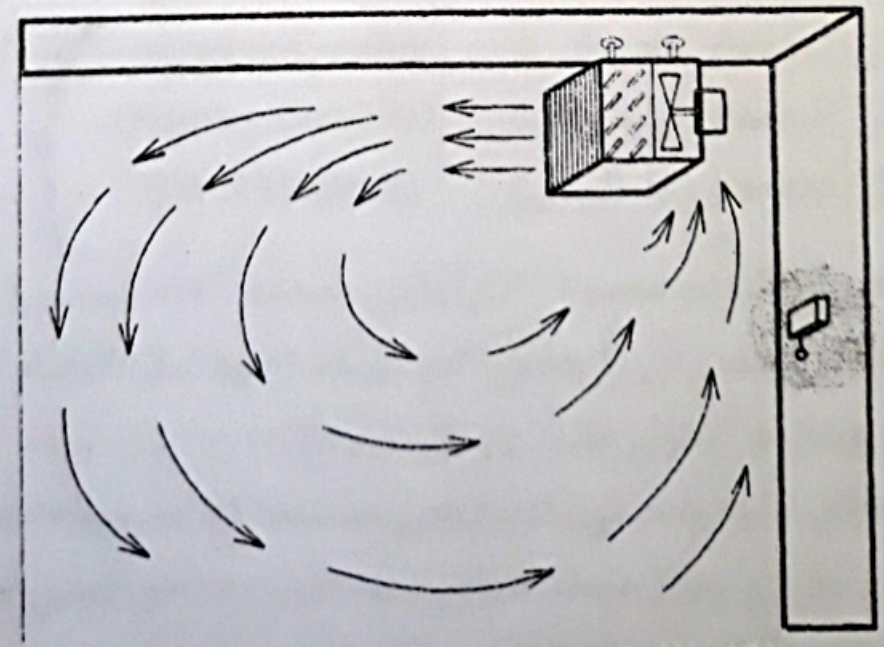
محل نصب حس کننده‌ها (سنسورها)

در انتخاب محل و نوع سنسورهای مختلف بایستی نکات زیر را مورد توجه قرارداد و حتی‌الامکان رعایت نمود:

- هر سنسور بایستی با توجه به نوع پارامتر مورد کنترل و یا اندازه‌گیری انتخاب شود.
- حسامه (سنسور) در تماس کامل و یا ارتباط صحیح با پارامتر مورد سنجش یا کنترل باشد.
- برای کاهش خطا عواملی که غیر از پارامتر مورد سنجش یا کنترل در عملکرد کنترل کننده مؤثرند را حذف نمود به عنوان مثال برای کنترل درجه حرارت داخل یک مخزن سنسور فقط در تماس با داخل مخزن باشد و نسبت به محیط بایستی ایزوله گردد.
- سنسور را متناسب با شرایط کار انتخاب و به دامنهٔ (رنج) آن توجه داشت. به عنوان مثال آنتی فریز نمی‌تواند برای کنترل آب دیگ (گرمایش) بکار گرفته شود.
- در برابر ارتعاشات، ضربه و خطرات فیزیکی محفوظ گردد.

- حتی‌الامکان نزدیک به پارامتر مورد سنجش یا کنترل‌شونده قرار گیرد تا خطای آن به حداقل برسد.
- برای سنسورهای فانوسه‌ای که تحت تأثیر فشار اتمسفر محل قرار می‌گیرند پیچ تنظیم ارتفاع متناسب با ارتفاع محل و مطابق با جدولی که ارائه می‌شود تنظیم گردد.
- سنسورهایی که در معرض شوک (ضربه) قرار می‌گیرند بایستی پس از مدتی کالیبره گردند.
- در مورد سنسورهای الکتریکی به محدودیت‌های جریان و ولتاژ و ... توجه شود.
- اگر چنانچه سنسوری که دارای حساسیت باشد و مقدار تغییرات آن ناچیز باشد، بایستی تقویت کنندهٔ آمپلی‌فایر برای آن در نظر گرفت مانند ترموکوپل یا میله یونیزاسیون که مقدار جریان ناچیز تولید می‌کند ولی می‌توان آنرا به وسیله یک مبدل تقویت نمود.
- اگر چنانچه سنسوری نیاز به مبدل۱ داشته باشد مبدل متناسب با آن سنسور و دستگاه پیش‌بینی گردد. مانند وسایل اندازه‌گیری جریان الکتریکی (آمپرمتر) در دستگاهها و یا تابلوهای برق.

شکل ۱۷-۱ محل مناسب نصب سنسور ترموستات سردخانه را نشان می‌دهد.



شکل ۱۷-۱: محل نصب ترموستات سردخانه