

دانشگاه صنعتی شریف

دانشکده مهندسی برق

کنترل صنعتی

تالیف : محمود تارخ

تابستان ۱۳۷۰

پیشگفتار :

درس کنترل صنعتی برای اولین بار در سال ۱۳۵۰ توسط نویسنده در دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی شریف عرضه گردید. جزوه این درس بشکل مدون در سال ۱۳۶۰ تهیه و تکثیر شد و بجا ست که از همکاران مهندس حسن نفیسی نیا دانشجوی برجسته فوق لیسانس دانشکده در تدوین جزوه که در ۲۲ بهمن سال ۱۳۶۰ در تنگ جزابه شهید شد، قدردانی گردد. درس کنترل صنعتی در سال ۱۳۶۲ توسط وزارت فرهنگ و آموزش عالی بعنوان یکی از دروس الزامی رشته کنترل تعیین گردید. در طی سالهای دهه ۱۳۶۰ جزوه کنترل صنعتی مورد استقبال بسیاری از استادان و مدرسین دانشکده های فنی و مهندسی کشور قرار گرفت و بعنوان جزوه درسی تکثیر و استفاده شد. در این مورد باید از کوششهای تعدادی از دانشجویان سابق این درس در دانشکده برق دانشگاه صنعتی شریف از جمله آقایان مهندس کیا نیپور و مهندس حاج محمدی که بعداً " درس کنترل صنعتی را در دانشکده های دیگر کشور تدریس و مطالبی به جزوه افزودند یاد شود.

جزوه حاضر تکمیل یافته جزوه سال ۱۳۶۰ میباشد که با پنج فصل (فصلهای ۱۵ تا ۱۹) افزوده شده است این فصول در مورد کاربردهای روشهای کنترل در نیروگاههای حرارتی میباشد. عمده مطالب این فصلها را نویسنده جهت مهندسان و کارشناسان قدس نیرو، مهندسی مشاور وزارت نیرو در سالهای ۱۳۶۱ و ۱۳۶۲ تهیه نمود و بعنوان بخشی از درس کنترل صنعتی تدریس میشد مدون نگردیده بود. گرچه مطالب فصلهای ۱۶ تا ۱۸ بیشتر در مورد کنترل واحدهای ۳۲۰ مگاواتی نیروگاههای حرارتی اصفهان و بندرعباس میباشد، مطالب آن میتواند در ارائه نمونه های کاربردهای کنترل در صنایع دیگر مفید واقع شود. فصل ۱۸ در مورد ساختن مدل ریاضی بویلر توربین یک واحد صنعتی بزرگ است که برای اولین بار در ایران در سال ۱۳۶۳ با انجام آزمایشهای مانند پاسخ ضربه ای و پله ای بر روی واحد نیروگاه اصفهان و با استفاده از تئوریهای ارائه شده در فصول قبل مدل دینامیکی بویلر توربین تعیین گردید و نمونه ای است از یک کار علمی که نهایتاً " به درک و بهره برداری بهتر منجر خواهد گردید. این فصل موضوع قسمتی از پروژه فوق لیسانس مهندس محمد حسین فردوسی بود و لازم است از فعالیت

نا مبرده و نیز از مهندسان بهره برداری آن زمان نیروگاه که با اعتماد به
کارما پذیرفتند برای انجام این مطالعه نیروگاه در شرایط دشوار جنگ
و کمبود برق و در حال بهره برداری مورد آزمایشات مربوطه قرار گیرد،
قدردانی شود. خوشبختانه این آزمایشها بدون هیچگونه اختلال در کار
بهره برداری در طی چند ماه انجام یافت.

فصل ۱۹ مقدمه ای بر کاربرد کامپیوتر در واحدهای صنعتی میباشد.
این مبحث از همان ابتدای عرضه درس در سال ۱۳۵۰ مورد تدریس
قرار میگرفت. بدیهی است طی بیست سال گذشته کاربرد کامپیوتر در
صنایع وسعت بسیار یافته و علاوه بر آن روشهای تجزیه و تحلیل، طراحی
سیستمهای کنترل و کنترل کننده توسط کامپیوتر انجام میگردد. این
امر تجدید نظر کلی در ارائه مطالب جزوه کنترل صنعتی را ایجاب مینماید و
نویسنده در نظر دارد دبیرانی خدا در آینده نزدیک این مهم را با انجام
برسانند.

محمود — تاریخ

تابستان ۱۳۷۰

۱	پیش‌گفتار
	<u>بخش ۱- پروسسه‌های صنعتی و طرز کنترل آنها</u>
	فصل اول - پروسسه‌های مایعی و کنترل آنها
۳	۱-۱- مقدمه
۳	۲-۱- تعاریف و آنالیز پروسسه‌های مایعی
۷	۳-۱- خطی کردن معادلات دیفرانسیل غیرخطی
۱۲	۴-۱- کنترل ارتفاع در مخزن
۱۲	۱-۴-۱- کنترل ارتفاع توسط شیرکنترل
۱۶	۲-۴-۱- کنترل ارتفاع توسط پمپ
۱۹	۵-۱- کنترل دبی
۱۹	۱-۵-۱- کنترل دبی توسط شیر
۲۲	۲-۵-۱- کنترل دبی توسط پمپ
۲۳	۶-۱- کنترل فشار
۲۴	۱-۶-۱- کنترل فشار توسط شیرسراه
۲۷	۷-۱- پروسس تانک بهم زن
	۸-۱- مثالی از کنترل پروسسه‌های مایعی واحد
۲۹	تولید نفت
	فصل دوم- پروسسه‌های حرارتی و کنترل آنها
۳۸	۱-۲- مقدمه و تعاریف
۳۸	۲-۲- انواع پروسسه‌های حرارتی
۳۹	۱-۲-۲- مخلوط شدن
۴۱	۲-۲-۲- تبادل حرارت
۴۳	۳-۲-۲- احتراق و واکنش‌های شیمیایی
۴۵	۴-۲-۲- تشعشع
۴۵	۵-۲-۲- تولید حرارت توسط الکتریسته
۴۶	۳-۲- مثالهایی از پروسسه‌های حرارتی

۵۳	فصل سوم - پروسهای نور
۵۳	۱-۳- مقدمه
۵۳	۲-۳- کنترل صخامت درنورد قطعات فلزی
۵۴	۱-۲-۳- نیروی نور
۵۴	۲-۲-۳- مشخصه دستگاه نور
۵۶	۳-۲-۳- تعیین صخامت خروجی
۵۷	۴-۲-۳- علل تغییر صخامت خروجی
۶۱	۵-۲-۳- سیستم کنترل مکان یا سرعت
۶۳	۳-۳- کنترل کشش در نور
۶۴	۱-۳-۳- کشش در ورقه ها
۶۷	۲-۳-۳- اندازه گیری کشش
۷۰	فصل چهارم - تعیین مشخصه پروسها بروش تجربی
۷۰	۱-۴- مقدمه
۷۱	۲-۴- تقریب پروس با تابع تبدیل درجه یک
۷۷	۳-۴- پروسهای با تاخیر زمانی
۷۷	۱-۳-۴- علل بوجود آمدن تاخیر زمانی
	۲-۳-۴- تقریب پروس با یک ثابت
۸۴	زمانی و یک تاخیر زمانی
	۳-۳-۴- تقریب پروس در حالت کلی
	با یک ثابت زمانی و یک تاخیر
۸۵	زمانی

بخش ۲ - کنترل کننده ها و تنظیم آنها

	فصل پنجم - تنظیم کنترل کننده های پیوسته و آنالیز
۸۸	کنترل کننده های دو وضعیتی
۸۸	۱-۵- مقدمه
۸۸	۲-۵- انواع کنترل کننده های پیوسته

۸۹	۱۰۲۰۵- انواع کنترل کننده های پیوسته
۸۹	۲۰۲۰۵- کنترل کننده متناسب + انتگرال گیر
۹۲	۳۰۲۰۵- کنترل کننده متناسب + انتگرال گیر + مشتق گیر
۹۵	۳۰۵- معیارهای تنظیم کنترل کننده ها
۹۷	۱۰۳۰۵- معیار ISE
۹۸	۲۰۳۰۵- معیار IAE
۹۸	۳۰۳۰۵- معیار ITAE
۹۹	۴۰۳۰۵- معیار ZN
۹۹	۴۰۵- تنظیم کنترل کننده ها برای $G(S) = \frac{Ke^{-CS}}{1+TS}$
۱۰۰	۵۰۵- کاربرد و مقایسه معیارهای چهارگانه
۱۰۶	۶۰۵- آنالیز کنترل کننده های دووضعیتی
۱۰۸	۱۰۶۰۵- کنترل دووضعیتی پروسس درجه یک
۱۱۱	۲۰۶۰۵- کنترل دووضعیتی پروسس درجه یک با تاخیر در اندازه گیری

۱۲۳	فصل ششم - ساختمان کنترل کننده ها
۱۲۳	۱۰۶- مقدمه
۱۲۳	۲۰۶- انواع و ساختمان کلی کنترل کننده ها
۱۲۴	۱۰۲۰۶- ساختمان کلی کنترل کننده متناسب
۱۲۵	۲۰۲۰۶- ساختمان کلی کنترل کننده PD
۱۲۵	۳۰۲۰۶- ساختمان کلی کنترل کننده PI
۱۲۶	۴۰۲۰۶- ساختمان کلی کنترل کننده PID
۱۲۷	۳۰۶- کنترل کننده های بادی

۱۲۷	۱-۳-۶ اجزاء کنترل کننده های بادی
۱۳۰	۲-۳-۶ کنترل کننده متناسب بادی
	۳-۳-۶ کنترل کننده متناسب +
۱۳۱	مشتق گیر بادی
۱۳۳	۴-۳-۶ کنترل کننده PI بادی
۱۳۵	۵-۳-۶ کنترل کننده PID بادی
۱۳۷	۴-۶ کنترل کننده های الکترونیکی
۱۴۱	۵-۶ شکل ظاهری کنترل کننده ها

بخش ۳ - دستگا ههای محرک (شیرهای کنترل) و دستگا ههای

اندازه گیری

۱۴۶	شیرهای کنترل	فصل هفتم -
۱۴۶	۱-۷ انواع شیرهای کنترل	
۱۴۸	۲-۷ ساختمان شیرهای کنترل	
۱۵۲	۳-۷ شیرهای الکتریکی	
۱۵۴	۴-۷ عوامل مشخصه شیرها	
۱۵۵	اندازه گیری تنش	فصل هشتم -
۱۵۵	۱-۸ مقدمه	
۱۵۶	۲-۸ ضریب تنش سنج	
۱۵۷	۳-۸ انواع تنش سنج	
۱۵۹	۴-۸ مدار تنش سنج	
۱۶۱	۵-۸ پل اندازه گیری	
۱۶۲	۶-۸ اندازه گیری تنش در محورهای گردان	
۱۶۴	اندازه گیری تغییر مکان	فصل نهم -
۱۶۴	۱-۹ مقدمه	
۱۶۴	۲-۹ اندازه گیری های الکترواستاتیک	
۱۶۹	۳-۹ اندازه گیری های الکترومغناطیسی	

۱۷۰	۱۰۳۰۹- کوپلاژ تیفر	
۱۷۳	۲۰۳۰۹- رلوکتانس تیفر	
۱۷۶	۳۰۳۰۹- اندوکتانس تیفر	
۱۷۷	۴۰۹- اندازه گیرهای مقاومتی	
۱۷۸	فصل دهم- اندازه گیری فشار	
۱۷۸	۱۰۱۰- روشهای اندازه گیری فشار	
۱۷۸	۲۰۱۰- اندازه گیری فشارستونی از سیال	
۱۸۰	۳۰۱۰- اندازه گیری تغییر شکل مکانیکی	
۱۸۲	۴۰۱۰- اندازه گیری غیرمستقیم	
۱۸۴	فصل یازدهم- اندازه گیری دبی	
۱۸۴	۱۰۱۱- روشهای اندازه گیری دبی	
۱۸۴	۲۰۱۱- ایجاد مانع در مسیر جریان سیال	
۱۸۸	۳۰۱۱- دستگاههای اندازه گیری توربینی	
	۴۰۱۱- دستگاههای اندازه گیری الکترو-	
۱۸۹	مغناطیسی	
۱۹۲	فصل دوازدهم- اندازه گیری درجه حرارت	
۱۹۲	۱۰۱۲- روشهای اندازه گیری درجه حرارت	
۱۹۲	۲۰۱۲- تغییر در ابعاد جسم	
۱۹۲	۱۰۲۰۱۲- دماسنج مایعی	
۱۹۳	۲۰۲۰۱۲- بی متال	
۱۹۴	۳۰۲۰۱۲- دماسنج فشاری	
۱۹۶	۳۰۱۲- تغییر در خواص الکتریکی	
۱۹۶	۱۰۳۰۱۲- دماسنج مقاومتی	
۲۰۱	۲۰۳۰۱۲- ترمیستر	
۲۰۲	۳۰۳۰۱۲- ترموکوپل	

۲۰۶	تغییر در قابلیت تشعشع	۴۰۱۲-
۲۰۷	تابش سنج تشعشعی	۱۰۴۰۱۲-
۲۱۰	تابش سنج نوری	۲۰۴۰۱۲-
۲۱۲	فصل سیزدهم- اندازه گیری سطح	
۲۱۲	مقدمه	۱۰۱۳-
۲۱۳	لوله قابل رویت	۲۰۱۳-
۲۱۴	سیستم های شناور	۳۰۱۳-
۲۱۵	سیستم های شناور مکانیکی	۱۰۳۰۱۳-
۲۱۶	سیستم های شناور هیدرولیکی	۲۰۳۰۱۳-
۲۱۷	سیستم الکترومکانیکی	۳۰۳۰۱۳-
۲۱۸	اندازه گیر خازنی	۴۰۱۳-
۲۱۹	اندازه گیر هیدروستاتیک	۵۰۱۳-
۲۲۰	سیستم توزینی	۱۰۵۰۱۳-
۲۲۲	سیستم فشار	۲۰۵۰۱۳-
۲۲۲	سیستم حباب گاز	۳۰۵۰۱۳-
۲۲۳	اندازه گیر رادیواکتیو	۶۰۱۳-
۲۲۴	اندازه گیر صوتی	۷۰۱۳-
۲۲۵	اندازه گیر حرارتی	۸۰۱۳-
۲۲۷	فصل چهاردهم- اندازه گیری با مواد رادیواکتیو	
۲۲۷	مقدمه	۱۰۱۴-
۲۲۹	اندازه گیری وزن و ضخامت	۲۰۱۴-
۲۳۰	اندازه گیری چگالی	۳۰۱۴-
۲۳۱	اندازه گیری سطح مایعات	۴۰۱۴-
۲۳۲	کاربردهای دیگر مواد رادیواکتیو	۵۰۱۴-
۲۳۳	تعیین محل عیب	۱۰۵۰۱۴-
۲۳۴	جدا کردن مواد	۲۰۵۰۱۴-
۲۳۵	درجه مخلوط شدن دوسیال	۳۰۵۰۱۴-
۲۳۶	یافتن روزنه در محفظه بسته	۴۰۵۰۱۴-
۲۳۷	تشخیص تغییر سرعت سیال	۵۰۵۰۱۴-

۲۴۷	مشخصات دستگا ههای اندازه گیری صنعتی	فصل پانزدهم -
۲۳۸	۱۰۱۵- کمیتهای مشخص کننده دستگا هها	
۲۴۷	۲۰۱۵- روشهای تست دستگا ههای اندازه گیری	
۲۵۴	سیستم کنترل احتراق دردیگ بخار	فصل شانزدهم -
۲۵۴	۱۰۱۶- حلقه های اصلی کنترل سوخت و هوا	
۲۵۸	۲۰۱۶- تأثیر اکسیژن در تنظیم میزان هوا	
۲۶۰	۳۰۱۶- کنترل احتراق با دوسوخت	
۲۶۳	سیستم های کنترل آب و دما دردیگ بخار	فصل هفدهم -
۲۶۳	۱۰۱۷- سیستم کنترل تغذیه آب	
۲۶۶	۲۰۱۷- سیستمهای کنترل دمای بخار	
۲۶۶	۱۰۲۰۱۷ کنترل دمای بخار سوپرهیتر	
۲۶۸	۲۰۲۰۱۷ کنترل دمای بخارری هیتر	
۲۶۹	۳۰۲۰۱۷ طرح کامل کنترل دما	
۲۷۰	مدل بویلر - توربین	فصل هیجدهم -
۲۷۴	۱۰۱۸ معادلات کلی بویلر-توربین	
۲۷۶	۲۰۱۸ تعیین پارامترهای مدل ریاضی	
۲۷۹	مقدمه ای بر کاربرد کامپیوترها و میکرو کامپیوترها در کنترل واحدهای صنعتی	فصل نوزدهم -
۲۸۰	۱۰۱۹ کنترل واحدهای صنعتی توسط کامپیوتر	
۲۸۳	۲۰۱۹ روشهای کنترل غیر متمرکز و استفاده از رایانکها	

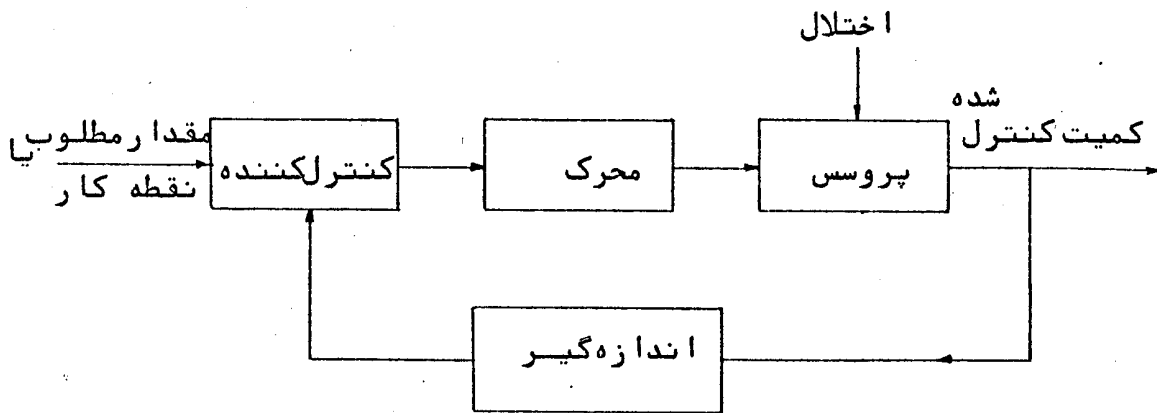
بخش ۱

پروسسهای صنعتی

و طرز کنترل آنها

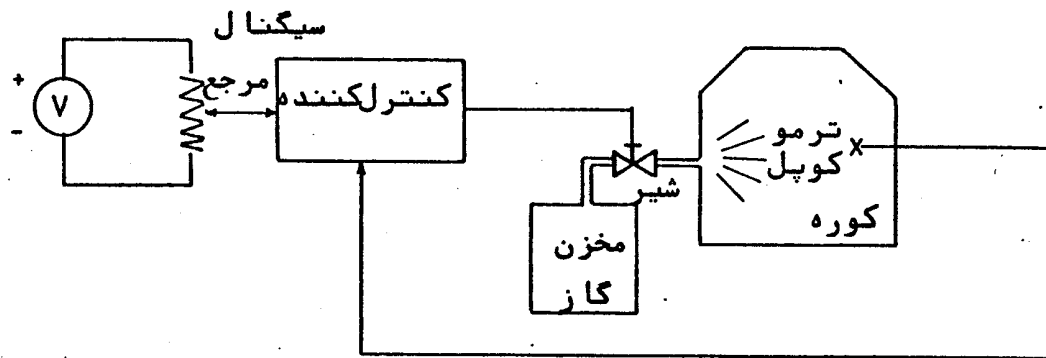
بنام خدا پیش‌گفتار

یک سیستم کنترل صنعتی معمولاً دارای چهار قسمت پروسس، اندازه‌گیر، کنترل‌کننده و محرک می‌باشد. (شکل زیر)



برای کنترل یک کمیت (درجه حرارت، فشار و غیره) باید آن کمیت را ابتدا بتوسط وسیله مناسبی اندازه گرفت و سپس آنرا با مقدار مطلوب آن کمیت مقایسه نمود و تفاوت بین مقدار واقعی (اندازه‌گیری شده) و مقدار مطلوب را به دستگاهی بنام کنترل‌کننده داد. وظیفه کنترل‌کننده ایجاد تغییر مناسبی بر روی خطا و اعمال یک سیگنال به محرک می‌باشد. منظور از تغییر مناسب آنستکه کنترل‌کننده بطوری محرک را هدایت نماید که خطای موجود بسرعت بصفر برسد. اکثراً عمل مقایسه نیز بتوسط کنترل‌کننده انجام می‌گیرد. محرک (actuator) پس از دریافت فرمان از کنترل‌کننده تغییراتی در حالت پروسس بوجود می‌آورد و این تغییرات باعث می‌شود که مقدار کمیت کنترل شده به مقدار مطلوب آن نزدیک گردد. اختلال سیگنال‌های مزاحمی هستند که در نقاط مختلف وارد شده و بر روی کار پروسس تاثیر نامطلوب می‌گذارند. از آنجا که عمل مقایسه و محاسبه با کمیت‌های الکتریکی ساده‌تر از سایر کمیت‌ها (مثلاً حرارتی) است بدین جهت اکثراً در دستگاه‌های اندازه‌گیر پروسس سیگنال‌های غیر الکتریکی (فشار، سرعت و غیره) تبدیل به سیگنال‌های الکتریکی میشوند. با اینحال بشرحی که بعداً خواهد آمد در کاربردهای بخصوص سیگنال‌های دیگری مانند باد و مکانیکی نیز در مقایسه‌کننده‌ها و کنترل‌کننده‌ها بکار می‌رود.

مثال : در کوره شکل زیر لازمست درجه حرارت کوره ثابت نگاهداشته شود.



در اینجا ترموکوپل درجه حرارت کوره را تبدیل به ولتاژی متناسب با درجه حرارت مینماید و این ولتاژ بواسطه کوچک بودن مقدار آن تقویت میشود. در این مثال ترموکوپل و تقویت کننده مجموعاً " وسیله اندازه گیر میباشند. سیگنال مرجع پس از مقایسه با سیگنال اندازه گیری شده و انجام تغییر شکل مناسب در کنترل کننده به یک شیر سلونوئید (محرک) داده میشود و بسته به مقدار ورودی این شیر مقداری باز یا بسته شده و میزان گازی که در کوره میسوزد را تنظیم مینماید. این موضوع باعث میشود که درجه حرارت داخل کوره در جهت مطلوب تغییر نماید. در این مثال عمل پروسس، سوختن گاز و تبدیل آن به گرمای کوره است و اختلال در پروسس ممکن است کم شدن فشار مخزن (در نتیجه کمتر شدن مقدار گازی که در کوره میسوزد) و یا تغییرات درجه حرارت محیط اطراف کوره و یا نوسانات ولتاژ منبع باشد که همه بنحوی در عدم تعادل کار کوره دخالت مینمایند. وظیفه دستگاه کنترل در اینصورت ثابت نگاهداشتن درجه حرارت کوره در مقدار مطلوب آن علیرغم این اختلالات می باشد.

این جزوه شامل سه بخش اصلی است. در بخش اول مشخصات پروسسهای مختلف معمول در صنعت و طرز کلی کنترل آنها مورد مطالعه قرار میگیرد. بخش دوم مربوط به کنترل کننده های صنعتی می باشد و بالاخره در بخش سوم محرک ها و بعضی انواع دستگاههای اندازه گیر صنعتی بررسی میگردد.

فصل اول - پروسسهای مایعی و کنترل آنها

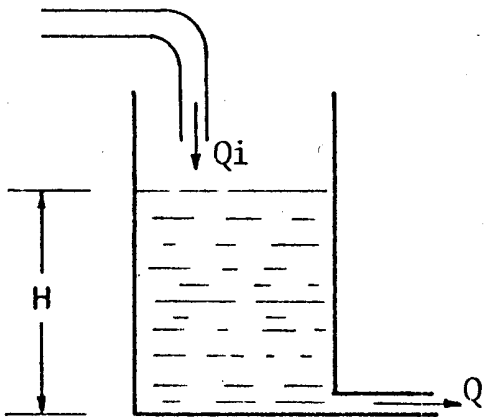
۱-۱- مقدمه:

پروسسهای مایعی قسمت بزرگ و مهمی از پروسسهای صنعتی را تشکیل میدهد. پروسسهای مایعی با وجودیکه بسیار متنوع هستند اما دارای خصوصیات مشترکی میباشند و آنالیز آنها با کمک قوانین مکانیک سیالات انجام میشود.

از نقطه نظر کنترل در هر پروسس مایعی کنترل یک یا چند عامل ارتفاع، دبی، فشار، غلظت، درجه حرارت مورد نظر است. در این فصل ابتدا با پروسسهای مایعی و دینامیک آنها آشنا میشویم سپس نحوه کنترل هر یک از عوامل فوق را ذکر میکنیم.

۲-۱- تعاریف و آنالیز پروسسهای مایعی:

از آنجاکه تمام خصوصیات مایع در ضمن جریان (حرکت) و ذخیره شدن آن ظاهر میشود برای انجام تعاریف و آنالیز پروسسهای مایعی، یک مخزن با یک مجرای خروجی و یک مجرای ورودی در نظر میگیریم.



اگر در شکل ۱ حجم مایع درون مخزن را با V نشان دهیم و Q_i به ترتیب دبی های حجمی ورودی و خروجی باشند بنا به قانون اصل بقا ماده میتوان نوشت:

$$\frac{dv}{dt} = Q_i - Q \quad (1)$$

دبی حجمی خروجی - دبی حجمی ورودی = تغییرات حجم مایع مخزن
معادله (۱) که دینامیک مخزن را تشریح میکند معادله دینامیک مخزن نامیده میشود و در آن حجم دارای واحد m^3 و دبی های

حجمی ورودی و خروجی دارای واحد m^3/Sec هستند.

اگر دبی های ورودی و خروجی بصورت دبی های وزنی در نظر گرفته شوند تغییرات وزن مایع درون مخزن برابر تفاضل دبی های وزنی ورودی و خروجی خواهد بود و معادله (۱) بصورت معادله (۲) در می آید.

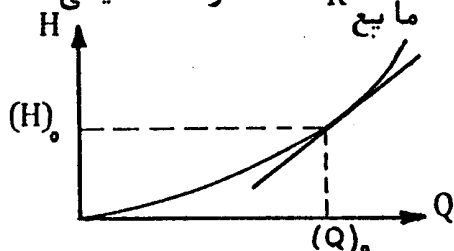
$$\frac{dw}{dt} = Q_i^w - Q^w \quad (2)$$

که در آن W وزن مایع درون مخزن بر حسب kg و Q_i^w و Q^w به ترتیب دبی های وزنی ورودی و خروجی و بر حسب kg/Sec هستند.

از قانون برنولی نتیجه میشود: $Q = C \sqrt{2gH}$ (۳)
در رابطه فوق C ضریب ثابتی است که به شکل مجرای خروجی و صافی سطح داخلی آن بستگی دارد.

اگر رابطه (۳) با رابطه ولتاژ و جریان که بصورت $i = \frac{1}{R} v$ است مقایسه شود، مشاهده میشود Q مشابه جریان الکتریکی و H اختلاف سطح مایع مشابه اختلاف سطح الکتریکی است. اما در الکتریسیته رابطه بین ولتاژ و جریان خطی است در حالی که رابطه بین Q و H خطی نیست. همانطور که خواهیم دید در عمل رابطه غیر خطی (۳)، خطی میشود و مقاومت مایع بصورت نسبت تغییرات H به تغییرات Q در ارتفاع بخصوصی از مایع که بیشتر اوقات مایع درون مخزن آن ارتفاع را دارد و موسوم به نقطه کار است تعریف میشود:

$$R_{\text{مایع}} = \left(\frac{dH}{dQ} \right) \quad (4)$$



(۰) مصرف نقطه کار است.

از قرار دادن رابطه (۳) در رابطه

(۱) نتیجه میشود:

$$\frac{dV}{dt} = Q_i - C \sqrt{2gh}$$

و حجم مایع درون مخزن برابر حاصل ضرب سطح مقطع مخزن و ارتفاع

مایع درون آن است و اگر سطح مقطع مخزن را با A نشان دهیم خواهیم داشت:

$$V = A.H$$

باید توجه داشت که در مورد ظروف و مخازنی که سطح مقطع آنها متغیر است A تابعی از ارتفاع H است. اما معمولاً "سطح مقطع A ثابت است در نتیجه معادله (۱) بصورت زیر درمیآید:

$$A \frac{dH}{dt} = Q_i - C \sqrt{2gH} \quad (5)$$

معادله (۵) یک معادله دیفرانسیل غیرخطی است که با تعاریف:

$$\sqrt{H} = x \quad C \sqrt{2g} = k$$

$$2Ax \frac{dx}{dt} = Q_i - kx \quad \text{بفرم آشنای مقابل درمیآید:}$$

معادله دیفرانسیل غیرخطی فوق قابل حل است اما حل آن کار مناسبی نیست زیرا ارتفاع مایع درون مخزن را بصورت نسبتاً پیچیده ای بدست میدهد و از طرف دیگر بعلت غیرخطی بودن، نمیتوان از تبدیل لاپلاس که در نشان دادن خصوصیات معادلات و دیفرانسیل کمک شایانی میکند و حل آنها را نیز آسان میسازد استفاده کرد. بدلائیل فوق از جهت آنکه معمولاً "کنترل و تنظیم ارتفاع مایع حول نقطه کار مشخصی مورد نظر است. معادله دیفرانسیل غیرخطی را حول نقطه کار خطی مینمایند. از اینرو تعریف نقطه کار یا نقطه تعادل حائز اهمیت است.

تعریف نقطه کار یا نقطه تعادل: نقطه کار یا نقطه تعادل حالتی است که در آن کمیت مقدار مطلوب خود را دارد و تغییرات صفر است.

با توجه به تعریف نقطه تعادل نتیجه میشود:

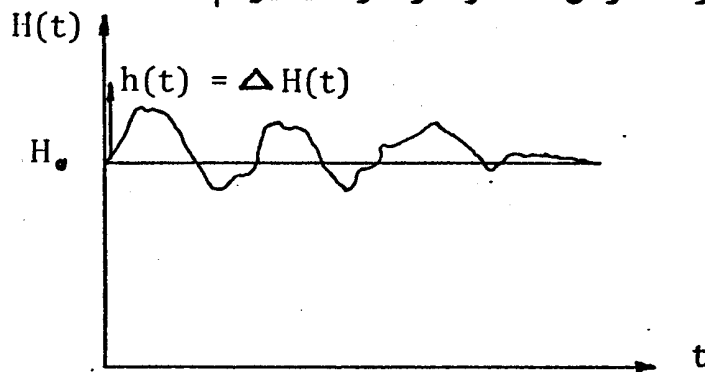
$$A \frac{dH_0}{dt} = (Q_i)_0 - (Q)_0 = 0$$

و چون $(Q)_0 = k\sqrt{H_0}$ است نتیجه میشود:

$$(Q_i)_0 = k\sqrt{H_0} \quad (6)$$

که در آن H_0 همان $(H)_0$ است.

تعریف نقطه کار یا نقطه تعادل و معادله (۶) که دبی ورودی را در حالت تعادل مشخص میکند و مستقیماً از تعریف نقطه کار یا نقطه تعادل بدست آمده، این مفهوم را در بردارند که مناسب است کمیات بصورت اختلاف از مقدار حالت تعادل در نظر گرفته شوند. از اینرو کمیات را بر حسب مقدار حالت تعادل و انحراف از آن مقدار در نظر میگیریم.



شکل ۳- کمیات مطلق و نسبی از حالت تعادل

$$Q_i(t) = (Q_i)_0 + q_i(t)$$

$$H(t) = (H)_0 + h(t)$$

از قرار دادن مقادیر فوق در رابطه (۵) نتیجه میشود:

$$A \frac{d}{dt} (H_0 + h) = (Q_i)_0 + q_i - c \sqrt{2g(H_0 + h)} \quad (7)$$

اما میتوان نوشت:

$$C \sqrt{2g(H_0 + h)} = \sqrt{H_0 + h} = \sqrt{H_0} \sqrt{1 + \left(\frac{h}{H_0}\right)}$$

چون h بصورت تغییر از حالت تعادل تعریف شده و معمولاً این تغییرات کوچک است در نتیجه $\frac{h}{H}$ کوچک بوده و از قضیه بسط دو جمله ای میتوان نتیجه گرفت:

$$C \sqrt{2g(H + h)} \approx \sqrt{H_0} \left(1 + \frac{1}{2} \frac{h}{H_0}\right) \approx \sqrt{H_0} + \frac{1}{2} \frac{C}{\sqrt{H_0}} h \quad (8)$$

بنابراین مشاهده میشود که با تعریف کمیات نسبی (نسبت مقدار کمیت در حالت تعادل) جزئی که در معادله دینامیک پروسس مایعی ایجاد غیر خطی میکرد (دبی خروجی) بسط ساده ای خطی گردید. از قرار دادن رابطه (۸) در معادله

(۷) نتیجه میشود:

$$A \frac{d}{dt} (H_0 + h) = (Q_i) + q_i - k \sqrt{H_0} - \frac{1}{2} \frac{k}{\sqrt{H_0}} h \quad (9)$$

با توجه به اینکه H_0 مقدار ثابتی است که به زمان بستگی ندارد و نیز با توجه به رابطه (۶) معادله دینامیک پروسس مایعی بصورت زیر ساده میشود:

$$A \frac{dh}{dt} = q_i - \frac{1}{2} \frac{k}{\sqrt{H_0}} h \quad (10)$$

بین رابطه فوق که معادله دینامیک مخزن است و معادله خازن که بصورت $C \frac{dv}{dt} = i$ است از طریق تشابه نتیجه میشود که در معادله دینامیک مخزن، A مشابه ظرفیت الکتریکی است بدین جهت ظرفیت مخزن نامیده میشود و دارای واحد m^2 است. اگر از معادله (۱۰) تبدیل لاپلاس بگیریم خواهیم داشت:

$$A s h(s) + \frac{k}{2\sqrt{H_0}} h(s) = q_i(s)$$

و تابع تبدیل آن:

$$\frac{\text{خروجی}}{\text{ورودی}} = \frac{h(s)}{q_i(s)} = \frac{1}{A s + \frac{k}{2\sqrt{H_0}}} = \frac{\frac{2\sqrt{H_0}}{k}}{s + 1} \quad (11)$$

که در مقایسه با فرم استاندارد سیستم درجه یک $\frac{k}{TS + 1}$ بهره آن $k = \frac{2\sqrt{H_0}}{k}$ و ثابت زمانی مخزن $T = \frac{2A\sqrt{H_0}}{k}$ است.

۳-۱- خطی کردن معادلات دیفرانسیل غیرخطی:

بطور کلی سیستم های موجود در طبیعت غیر خطی هستند و علاوه بر آن در صنعت گاهی عمداً "ایجاد غیرخطی مینمایند. در نتیجه معادلات دیفرانسیلی که سیستم ها را تشریح مینمایند غیرخطی هستند اما از آنجا که روشی عمومی و کلی

برای حل این گونه معادلات در دست نیست و فقط گروه خاصی از آن ها را میتوان حل کرد در حالیکه ابزار ریاضی کافی برای حل معادلات دیفرانسیل خطی در دسترس است معمولا " معادلات دیفرانسیل دینامیک هر سیستمی را خطی مینمایند. در قسمت قبل معادله دیفرانسیل غیرخطی دینامیک مخزن را با استفاده از قصیه بسط دو جمله ای، خطی نمودیم اما همواره مسئله به این سادگی نیست و لازم است روشی کلی و عمومی برای خطی کردن انواع مختلف معادلات دیفرانسیل غیرخطی ارائه کرد. در این قسمت مابه این مهم میپردازیم.

در عمومی ترین فرم، معادله دیفرانسیل غیر خطی دینامیک سیستمی با ورودی U و خروجی Y میتوان بصورت زیر در نظر گرفت:

$$F\left(Y, \frac{dy}{dt}, \frac{d^2Y}{dt^2}, \dots, \frac{d^n Y}{dt^n}, U, \frac{dU}{dt}, \frac{d^2U}{dt^2}, \dots, \frac{d^m U}{dt^m}\right) = 0 \quad (12)$$

با تعاریف:

$$\begin{aligned} Y_1 &= \frac{dY(t)}{dt} & U_1(t) &= \frac{dU(t)}{dt} \\ Y_2 &= \frac{d^2Y(t)}{dt^2} & U_2(t) &= \frac{d^2U(t)}{dt^2} \\ &\vdots & &\vdots \\ Y_n &= \frac{d^n Y(t)}{dt^n} & U_m(t) &= \frac{d^m U(t)}{dt^m} \end{aligned}$$

رابطه (12) را میتوان بصورت زیر نوشت:

$$F(Y, Y_1, \dots, Y_n, U, U_1, \dots, U_m) = 0 \quad (13)$$

در نقطه تعادل که کمیات مقدار مطلوب خود را دارا هستند و تغییرات آنها صفر است معادله دیفرانسیل دینامیک سیستم عبارتست از:

$$F_0 = F(Y_0, 0, \dots, 0, U_0, 0, \dots, 0) = 0 \quad (14)$$

همانطور که در قسمت قبل دیدیم مناسب است که کمیات بصورت تغییر و اختلاف از مقدار مربوطه اش در حالت تعادل در نظر گرفته شوند. بنابراین با تعاریف:

$$\begin{aligned} Y &= (Y)_0 + y & U &= (U)_0 + u \\ Y_1 &= (Y_1)_0 + y_1 & U_1 &= (U_1)_0 + u_1 \\ &\vdots & &\vdots \\ Y_n &= (Y_n)_0 + y_n & U_m &= (U_m)_0 + u_m \end{aligned}$$

و با توجه به اینکه تغییرات کمیات از حالت تعادل کوچک هستند با استفاده از بسط تیلورو توجه به معادله (۱۴) میتوان نتیجه گرفت:

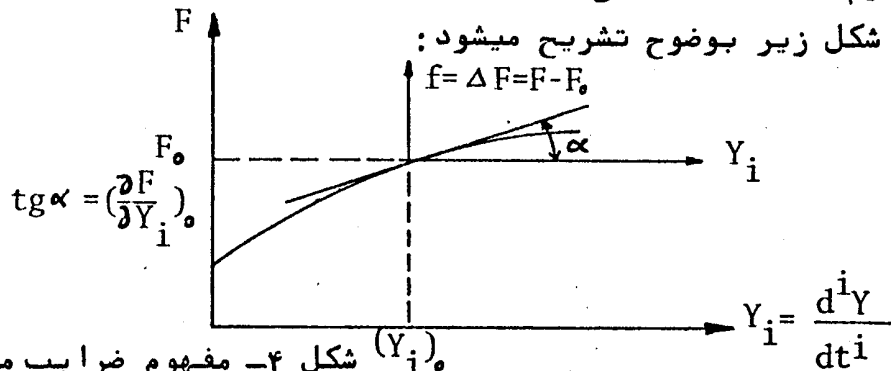
$$\Delta F = \left(\frac{\partial F}{\partial Y_0}\right)_0 y + \left(\frac{\partial F}{\partial Y_1}\right)_0 y_1 + \dots + \left(\frac{\partial F}{\partial Y_n}\right)_0 y_n + \left(\frac{\partial F}{\partial U_0}\right)_0 u + \dots + \left(\frac{\partial F}{\partial U_m}\right)_0 u_m = 0 \quad (15)$$

در رابطه فوق مشتقات نسبی چون در نقطه تعادل که نقطه ثابتی است محاسبه میشوند مقدار های ثابتی دارند در نتیجه معادله دینامیک سیستم به فرم خطی درمیآید که متغیرهای آن بطور نسبی از حالت تعادل در نظر گرفته شده اند. یعنی بصورت

$$f(y, y_1, \dots, y_n, u, u_1, \dots, u_n) = 0$$

است که در آن f معادله دیفرانسیلی خطی از متغیرهای نسبی y و u است.

مفهوم مشتق های نسبی در رابطه (۱۵) که مقادیر ثابتی هستند



شکل ۴- مفهوم ضرایب معادله دینامیک خطی شده

معمول است که معادله دیفرانسیل خطی را بفرم زیر بنویسند:

$$y + T_1 \frac{dy}{dt} + T_2 \frac{d^2y}{dt^2} + \dots + T_n \frac{d^ny}{dt^n} = k (u + C_1 \frac{du}{dt} + \dots + C_m \frac{d^m u}{dt^m}) \quad (16)$$

که از مقایسه روابط (15) و (16) نتیجه میشود:

$$T_1 = \frac{(\partial F / \partial Y_1)_0}{(\partial F / \partial Y)_0} \quad k = \frac{(\partial F / \partial U)_0}{(\partial F / \partial Y)_0}$$

$$T_2 = \frac{(\partial F / \partial Y_2)_0}{(\partial F / \partial Y)_0} \quad k C_1 = \frac{(\partial F / \partial U_1)_0}{(\partial F / \partial Y)_0}$$

$$T_n = \frac{(\partial F / \partial Y_n)_0}{(\partial F / \partial Y)_0} \quad k C_m = \frac{(\partial F / \partial U_m)_0}{(\partial F / \partial Y)_0}$$

اگر از معادله (16) با شرایط اولیه صفر تبدیل لاپلاس بگیریم تابع تبدیل بصورت زیر بدست میآید:

$$\frac{Y(S)}{U(S)} = k \frac{1 + C_1 S + C_2 S^2 + \dots + C_m S^m}{1 + T_1 S + T_2 S^2 + \dots + T_n S^n}$$

مثال: برای تشریح کاربرد روش خطی کردن معادلات دیفرانسیل غیر خطی، معادله دینامیک مخزن را که در قسمت قبل بدست آمد در نظر میگیریم که میتوان آنرا بصورت زیر

$$A \frac{dH}{dt} + k \sqrt{H} - Q_i = 0 \quad \text{نوشت:} \quad (17)$$

با تعاریف:

$$H = Y \quad \frac{dH}{dt} = Y_1 \quad Q_i = U$$

$$h = y \quad \frac{dh}{dt} = y_1 \quad q_i = u$$

در مورد این مثال رابطه کلی (15) را میتوان بصورت زیر نوشت:

$$\left(\frac{\partial F}{\partial Y}\right)_0 y + \left(\frac{\partial F}{\partial Y_1}\right)_0 y_1 + \left(\frac{\partial F}{\partial U}\right)_0 u = 0$$

و چون:

$$F(Y, Y_1, U) = k \sqrt{Y} + A Y_1 - U = 0$$

است، نتیجه میشود:

$$\left(\frac{\partial F}{\partial Y}\right)_0 = \left(\frac{k}{2\sqrt{Y}}\right)_0 = \frac{k}{2\sqrt{Y_0}}$$

$$\left(\frac{\partial F}{\partial Y_1}\right) = A$$

$$\left(\frac{\partial F}{\partial U}\right) = -1$$

و معادله دینامیک خطی شده مخزن عبارت است از:

$$\frac{k}{2\sqrt{Y_0}} y + A \frac{dy}{dt} - u = 0$$

که از قراردادن مقادیر مربوطه y و u نتیجه میشود:

$$A \frac{dh}{dt} + \frac{k}{2\sqrt{H_0}} h = q_i$$

و در فرم متداول رابطه (۱۶) معادله دینامیک مخزن عبارت است از:

$$h + \frac{2A\sqrt{H_0}}{k} \frac{dh}{dt} = \frac{2\sqrt{H_0}}{k} q_i$$

و پس از تبدیل لاپلاس گرفتن از معادله دیفرانسیل خطی فوق تابع تبدیل مخزن بصورت زیر بدست میآید:

$$\frac{h(s)}{q_i(s)} = \frac{\frac{2\sqrt{H_0}}{k}}{\frac{2A\sqrt{H_0}}{k} S + 1} \quad (18)$$

که در مقایسه با فرم استاندارد سیستم درجه یک $\frac{k}{TS + 1}$ بهره آن $K = \frac{2\sqrt{H_0}}{k}$ و ثابت زمانی آن برابر $T = \frac{2A\sqrt{H_0}}{k}$ است. از مقایسه روابط (۱۸) و (۱۱) نتیجه میشود که هر دو تابع تبدیل یکی هستند و روش خطی کردن اثری در نتیجه ندارد ولی روشی که در قسمت قبل در بدست آوردن رابطه (۱۱) مورد استفاده قرار گرفت روش عمومی نیست و همواره در تمام موارد نمیتوان از آن استفاده کرد، درحالیکه روش خطی کردن که در این قسمت ارائه شد یک روش عمومی است و برای خطی کردن هر معادله دیفرانسیل غیرخطی میتواند از آن استفاده کرد.

۴.۱- کنترل ارتفاع در مخزن :

برای کنترل ارتفاع مایع در مخزن دو عامل دبی ورودی و دبی خروجی در دسترس است که با کنترل هر یک از آنها میتوان دبی خالص ورودی و در نتیجه ارتفاع مایع در مخزن را کنترل نمود. هر یک از دو عامل فوق را میتوان از طریق :

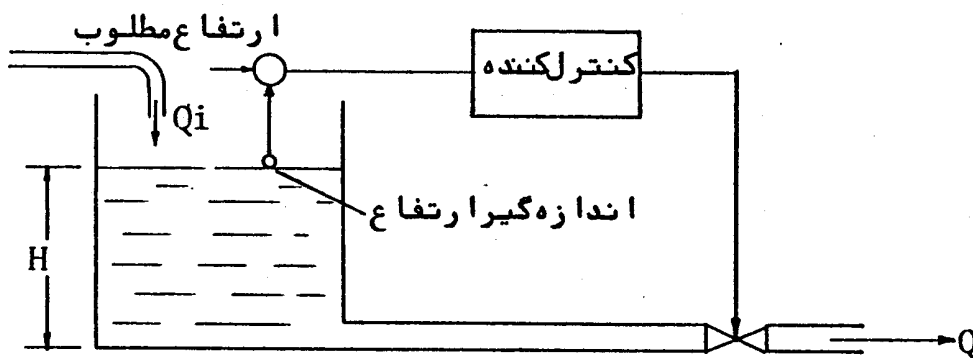
۱- شیر کنترل

۲- پمپ

کنترل نمود. در این قسمت کنترل ارتفاع مایع در مخزن را از دو طریق فوق بررسی میکنیم.

۱.۴.۱- کنترل ارتفاع توسط شیر کنترل:

همانطور که گفتیم برای کنترل ارتفاع شیر کنترل را میتوان در مسیر دبی خروجی و یا در مسیر دبی ورودی قرار داد. در اینجا حالتی را در نظر میگیریم که شیر کنترل در مسیر خروجی قرار داشته باشد. شمای سیستم کنترل بصورت شکل زیر است :



شکل ۵- کنترل ارتفاع توسط شیر کنترل در مسیر خروجی

دبی خروجی از شیر کنترل بفرم رابطه (۳) است که ضریب ثابت آن به موقعیت ساقه شیر کنترل بستگی دارد

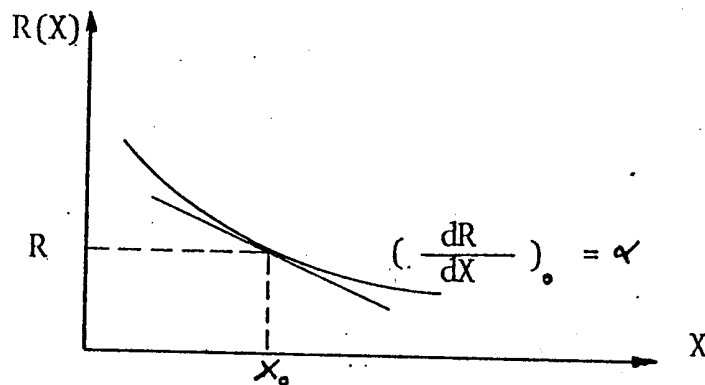
و بصورت زیر نمایش داده میشود:

$$Q(t) = \frac{1}{R(X)} \sqrt{2gH(t)} \quad (19)$$

$R(X)$ که مقاومت شیر یا مشخصه شیر نامیده میشود دارای واحد $\frac{1}{m^2}$ است و به تغییر مکان و وضعیت ساقه شیر X بستگی دارد. معمولاً مشخصه شیر بوسیله سازنده بصورت یک منحنی داده میشود. این مشخصه غیر خطی است و از آنجا که دبی خروجی به ارتفاع مایع H و تغییر مکان ساقه شیر X بستگی دارد بطوری که در قسمت قبل دیدیم تغییر دبی حاصل از تغییر ارتفاع مایع h و تغییر مکان ساقه شیر x عبارتست

$$q_0 = \left(\frac{\partial Q}{\partial H} \right)_0 h + \left(\frac{\partial Q}{\partial X} \right)_0 x \quad \text{از:}$$

$$\left(\frac{\partial Q}{\partial X} \right)_0 = \left(\frac{\partial Q}{\partial R} \right)_0 \cdot \left(\frac{dR}{dX} \right)_0 \quad \text{که در آن:}$$



شکل ۶- مشخصه شیر کنترل

و از رابطه (۱۹) میتوان نتیجه گرفت:

$$\left(\frac{\partial Q}{\partial R} \right)_0 = - \frac{1}{(R^2(X))} (\sqrt{2gH})_0 = - \frac{\sqrt{2gH}_0}{R^2(X)_0}$$

که چون $\left(\frac{\partial Q}{\partial R} \right)_0$ تغییرات دبی خروجی نسبت به تغییرات مقاومت شیر در نقطه تعادل است و مقدار ثابتی است

$$\left(\frac{\partial Q}{\partial R} \right)_0 = \beta \quad \text{میتوان نوشت:}$$

در نتیجه :

$$\left(\frac{\partial Q}{\partial X}\right)_0 = \left(\frac{\partial Q}{\partial R}\right)_0 \left(\frac{dR}{dx}\right)_0 = \beta \alpha$$

و نیز از رابطه (۱۹) نتیجه میشود :

$$\left(\frac{\partial Q}{\partial H}\right)_0 = \left(\frac{1}{R(X)} \frac{\sqrt{2g}}{2\sqrt{H}}\right)_0 = \frac{\sqrt{2g}}{2R(x) \sqrt{H_0}}$$

که چون $\left(\frac{\partial Q_c}{\partial H}\right)_0$ مقدار ثابتی است میتوان نوشت :

$$\left(\frac{\partial Q}{\partial H}\right)_0 = \gamma$$

به این ترتیب معادله دینامیک مخزن با شیر کنترل در مسیر خروجی را میتوان بصورت زیر نوشت :

$$A \frac{dh}{dt} = q_i - q = q_i - \gamma h - \beta \alpha x \quad (20)$$

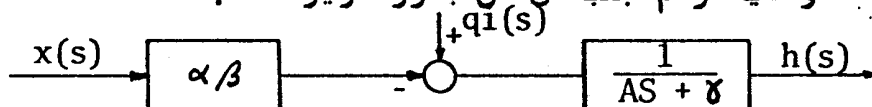
پس از تبدیل لاپلاس گرفتن از معادله دیفرانسیل خطی (۲۰) خواهیم داشت :

$$ASh(s) = q_i(s) - \gamma h(s) - \beta \alpha x(s)$$

و تابع تبدیل آن عبارتست از :

$$h(s) = \frac{1}{AS + \gamma} [q_i(s) - \beta \alpha x(s)] \quad (21)$$

و دیاگرام جعبه‌ای آن بصورت زیر است :

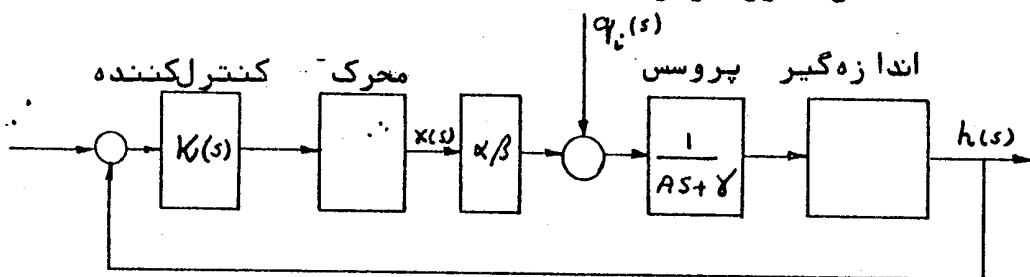


شکل ۷- دیاگرام جعبه‌ای مدار باز مخزن با شیر کنترل

تابع تبدیل رابطه (۲۱) و دیاگرام جعبه‌ای شکل ۷ رابطه بین ارتفاع مایع درون مخزن و تغییر مکان ساقه شیر کنترل را بیان میکنند و مربوط به سیستم

مدار باز هستند. برای بستن حلقه کنترل با ایدارتفاع مایع اندازه گیری شود و پس از مقایسه آن با ارتفاع مطلوب مایع در مخزن واحد کنترل کننده عامل مناسب کنترل را ایجاد نماید و عامل کنترل از طریق محرک تغییر مکان لازم را در وضعیت ساقه شیر کنترل ایجاد نماید.

در عمل اندازه گیری و ایجاد تغییر حالت لازم بر اساس عامل کنترل همراه با تاخیر است در نتیجه دیگرام جعبه‌ای مدار بسته مخزن با شیر کنترل در خروجی آن بصورت زیر است.

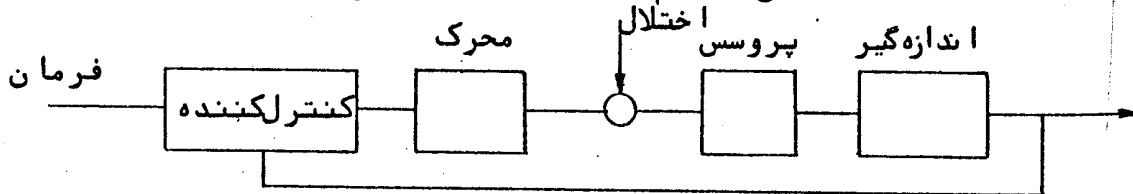


شکل ۸- دیگرام جعبه‌ای مدار بسته مخزن با شیر کنترل

دبی وزودی q_i بعلت آنکه هیچ کنترلی بر روی آن نیست اختلال نامیده میشود و در سیستم کنترل هدف آنست که علیرغم تغییرات آن، ارتفاع مایع درون مخزن ثابت نگاهداشته شود.

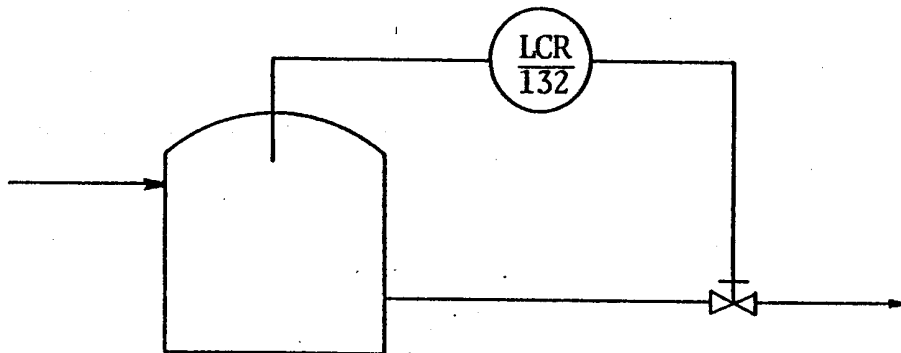
در عمل ثابت زمانی اندازه گیری و ثابت زمانی محرک نسبت به ثابت زمانی پروسس کوچک هستند. در این حالت سیستم مدار بسته از درجه یک خواهد بود.

ساختمان سیستم کنترل در حالت کلی بصورت زیر است:



شکل ۹- دیگرام جعبه‌ای مدار بسته سیستم کنترل

نمایش سیستم کنترل بصورت شکل ۵ مفصل و دقت گیر است. برای سهولت آنرا میتوان بصورت دیاگرام یک خطی شکل زیر نشان داد که در آن LCR مخفف Level controller, recorder و شماره 132 مربوط به حلقه کنترل شماره 132 است.

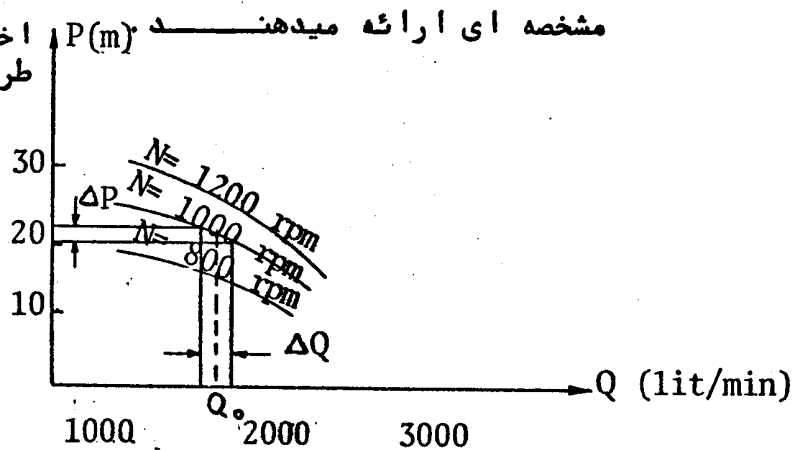


شکل ۱۰- دیاگرام یک خطی کنترل ارتفاع

۲۰۴۰۱- کنترل ارتفاع توسط پمپ:

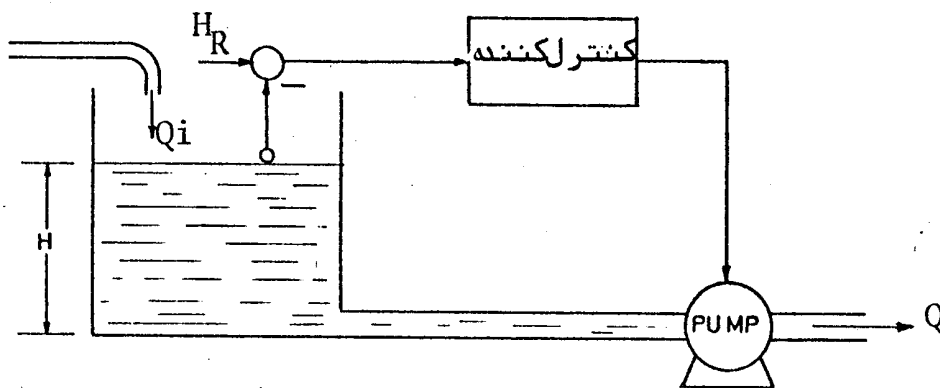
در پروسسهای مایعی پمپ گریز از مرکز بیش از انواع دیگر پمپ مورد استفاده قرار میگیرد. رابطه بیندبی پمپ و اختلاف فشار دو طرف آن و سرعت گردش آن پیچیده است و معمولاً سازندگان پمپ برای هر پمپ منحنی

مشخصه ای ارائه میدهند - اختلاف فشار دو طرف پمپ (متر)



شکل ۱۱- مشخصه پمپ

در این فرض برای اینست که پمپ در مسیر دبی خروجی از مخزن قرار دارد. شمای سیستم کنترل بصورت زیر است:



شکل ۱۲- سیستم کنترل ارتفاع مایع در مخزن توسط پمپ
معادله دینامیک مخزن همانطور که قبلاً دیدیم بصورت
زیر است:

$$A \frac{dH}{dt} = Q_i - Q$$

با تعریف کمیات بصورت نسبی از مقدار مربوطه در
حالت تعادل میتوان نوشت:

$$A \frac{dh}{dt} = q_i - q$$

ولی دبی خروجی پمپ به اختلاف فشار دو طرف پمپ P و
سرعت گردش پمپ N بستگی دارد یعنی:

$$Q = Q(P, N)$$

از آنجا که رابطه دبی و اختلاف فشار و سرعت گردش
پمپ غیرخطی است باید این رابطه را خطی نمود. برای
این منظور از رابطه زیر استفاده میشود:

$$q = \Delta Q = \left(\frac{\partial Q}{\partial P} \right)_0 \Delta P + \left(\frac{\partial Q}{\partial N} \right)_0 \Delta N$$

برای تعیین مشتق نسبی دبی خروجی به فشار، مماس بر
منحنی مشخصه در نقطه کار رسم میشود و شیب آن تعیین
میگردد. و برای تعیین مشتق نسبی دبی خروجی به سرعت
گردش پمپ، در فشار ثابت نسبت تغییرات دبی به
تغییرات سرعت گردش پمپ بوسیله تغییر دبی خروجی و

اندازه‌گیری سرعت گردش پمپ (و یا بالعکس) محاسبه
 میشود. از آنجا که مشتق‌های نسبی دبی خروجی در
 نقطه کار مقادیر ثابتی هستند با تعاریف:

$$\left(\frac{\partial Q}{\partial P}\right)_0 = \beta \quad , \quad \left(\frac{\partial Q}{\partial N}\right)_0 = \gamma$$

و نیز با فرض اینکه اختلاف فشار دو طرف پمپ متناسب
 با ارتفاع مایع در مخزن است، یعنی:

$$p = \alpha h$$

$$q = \beta \alpha h + \gamma n \quad \text{میتوان نوشت:}$$

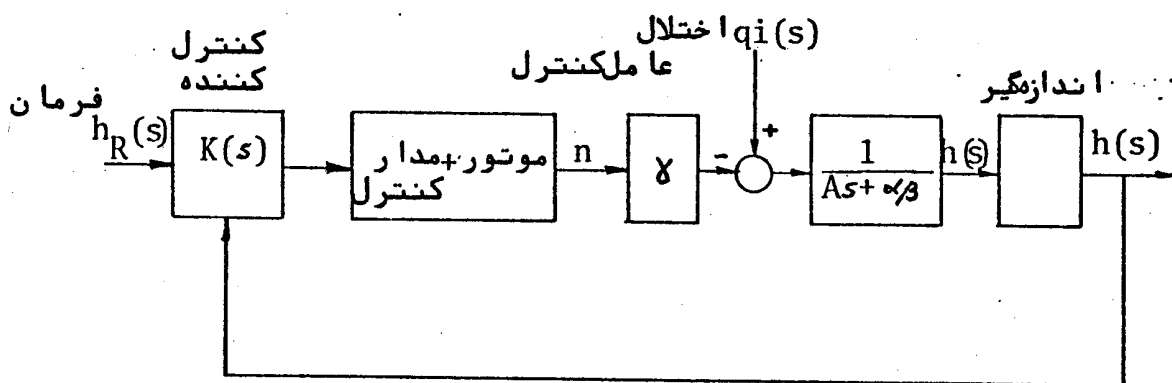
که از قرار دادن مقدار q در معادله دینامیک
 مخزن نتیجه میشود:

$$A \frac{dh}{dt} = q_i - \alpha \beta h - \gamma n \quad (22)$$

پس از تبدیل لاپلاس گرفتن از آن خواهیم داشت:

$$(As + \alpha\beta) h(s) = q_i(s) - \gamma n(s) \quad (23)$$

در این طرح سرعت گردش پمپ n عامل کنترل و تغییرات
 q_i اختلال هستند. دیاگرام جعبه‌ای مدار بسته این
 سیستم با فرض اینکه ثابت زمانی اندازه‌گیر در مقایسه
 با پروسس ناچیز است، بصورت زیر است:



شکل ۱۳- دیاگرام جعبه‌ای مدار بسته سیستم کنترل ارتفاع در مخزن
 بوسیله پمپ

۵.۱- کنترل دبی :

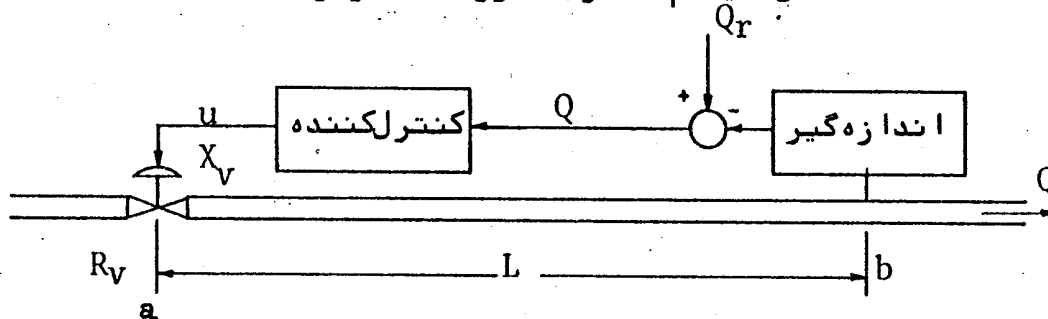
جریان در مایعات در اثر نیروی هیدرولیکی وارد بر مایع ایجاد میشود و برای خنثی کردن تغییرات دبی لازم است نیروی هیدرولیکی را که باعث این تغییرات میگردد تعیین نمود و سپس نیروی خنثی کننده لازم را به آن اعمال نمود.

اختلالات در دبی در اثر تغییرات سطح مایع در مخزن سرباز و یا تغییرات فشار در مخزن سربسته ایجاد میشود. در صورتیکه در مدار پمپ وجود داشته باشد تغییر در سرعت گردش پمپ و یا مقدار دبی آن میتواند سبب این اختلالات گردد.

کنترل دبی با دو وسیله پمپ و شیر کنترل امکان پذیر است. در این قسمت هر دو مورد را بررسی میکنیم.

۱.۵.۱- کنترل دبی توسط شیر:

شماي سیستم کنترل بصورت شکل زیر است :



شکل ۱۴- شماي سیستم کنترل دبی

در اثر تغییر وضعیت ساقه شیر کنترل، مقاومت شیر R_V در برابر جریان تغییر میکند. بعبارت دیگر وضعیت شیر یا مقدار X_V مقاومت R_V را تعیین میکند که مقاومت R_V افت فشاری برابر $P_V = QR_V$ ایجاد مینماید که از نیروی هیدرولیکی که منشاء جریان است کاسته میشود. با استفاده از قانون برنولی میتوان

نتیجه گرفت :

$$Q = \frac{1}{R_V(X)_V} \sqrt{2g \Delta H - \frac{2P}{\rho}} \quad (24)$$

در رابطه فوق P چگالی جرمی مایع است و

$$\Delta H = H_a - H_b$$

$$\Delta P = P_a - P_b$$

با فرض اینکه اندازه گیر دارای تابع تبدیلی $G_m(S)$ باشد دبی اندازه گیری شده برابر است با :

$$Q_m = G_m(S) \cdot Q \quad (25)$$

و خطای دبی اندازه گیری شده و مقدار مطلوب دبی برابر است با :

$$Q_e = Q_r - Q_m \quad (26)$$

به فرض آنکه کنترل کننده دارای تابع تبدیلی $K(S)$ باشد سیگنال کنترل عبارتست از :

$$u = K(S) Q_e \quad (27)$$

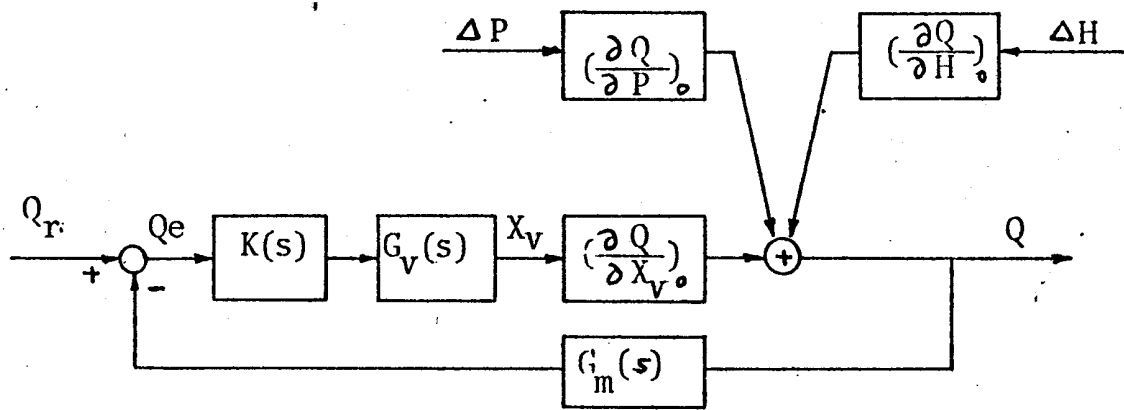
و با در نظر گرفتن $G_V(S)$ بعنوان تابع تبدیل شیر کنترل ، وضعیت ساقه شیر کنترل عبارتست از :

$$X_V = G_V(S) \cdot u \quad (28)$$

رابطه غیرخطی (24) بصورت زیر خطی میشود :

$$\Delta Q = \left(\frac{\partial Q}{\partial H}\right)_0 \Delta H + \left(\frac{\partial Q}{\partial P}\right)_0 \Delta P + \left(\frac{\partial Q}{\partial X}\right)_0 \Delta X \quad (29)$$

با توجه به این نکته که این پروسس شامل دینامیک نیست دیاگرام جعبه‌ای آن را با استفاده از روابط (25 - 29) میتوان بصورت زیر رسم کرد.



شکل ۱۵- دیاگرام جعبه‌ای سیستم کنترل دبی بوسیله شیر تغییرات فشار و تغییرات ارتفاع دو نقطه a و b در شکل ۱۴ بصورت اختلال بر روی پروسس تاثیر میکنند و سبب تغییر دبی میشوند که تغییر مقاومت شیر بوسیله تغییر مکان ساقه شیر آنرا جبران مینماید.

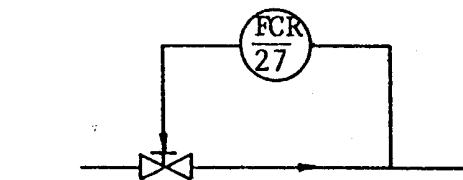
پایداری سیستم بوسیله رابطه زیر تعیین میشود:

$$1 + K(S) G_V(S) \cdot G_m(S) \cdot \left(\frac{\partial Q}{\partial X_V}\right) = 0 \quad (30)$$

از رابطه (۳۰) ملاحظه میشود که پایداری سیستم به آن قسمت از مشخصه دبی ارتباط دارد که X_V یعنی تغییر مکان ساقه شیر بستگی دارد و مشخصات اندازه-گیر و شیر کنترل در پایداری سیستم کنترل مؤثرند.

معمولاً بین محل اندازه‌گیری و محل انجام عمل کنترل فاصله‌ای موجود است که اگر آن فاصله برابر با سرعت مایع V باشد تاخیری برابر $\tau = \frac{L}{V}$ در عمل کنترل بوجود می‌آید و در نتیجه تابع تبدیل پروسس عبارت خواهد بود از:

$$G(S) = e^{-\tau S}$$

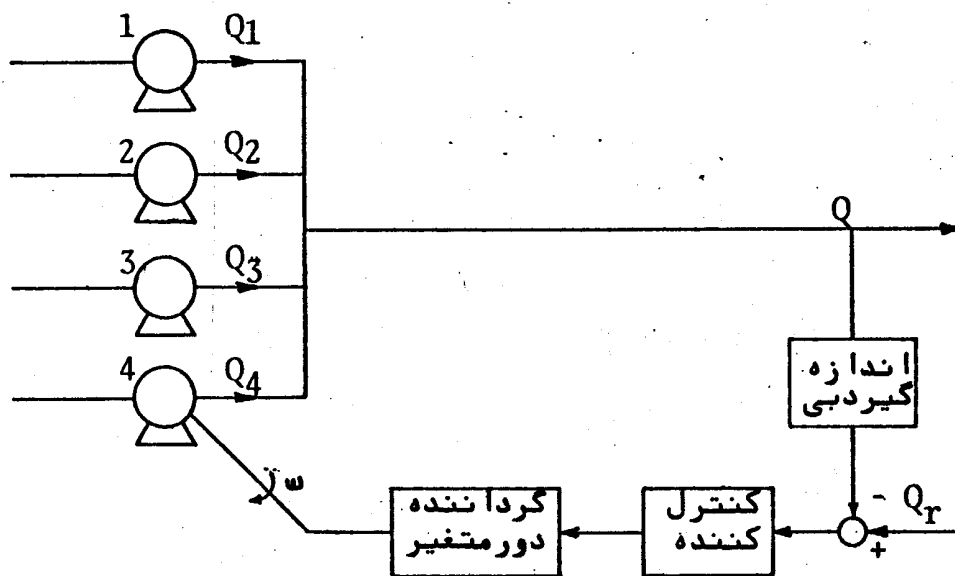


شکل ۱۶- دیاگرام یک خطی کنترل دبی توسط شیر

برای سهولت این سیستم کنترل را با دیاگرام یک خطی بالا میتوان نشان داد.

۲۰۵۰۱- کنترل دبی توسط پمپ :

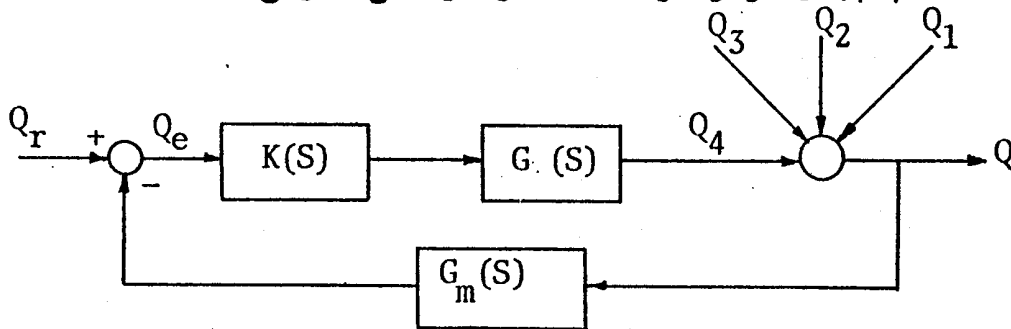
در مواردیکه در یک خط لوله و یا پروسس دبی مایع در جریان آن بوسیله پمپ تامین شود برای کنترل دبی میتوان سرعت گردش پمپ و در نتیجه دبی مایع پمپ شده را تغییر داد. برای این منظور باید از پمپی استفاده کرد که سرعت آن قابل تغییر باشد اما از آنجا که چنین پمپی گرانتر از پمپهای است که با دبی ثابت کار میکنند معمولاً " حداقل دبی را بوسیله پمپهای که در سرعت ثابت کار میکنند تامین مینمایند و برای تغییر و کنترل دبی از پمپی که بتواند در دبی های مختلف کار کند استفاده میشود. شکل زیر ترکیب چنین سیستم کنترلی را نشان میدهد.



شکل ۱۷- سیستم کنترل دبی توسط پمپ

در شکل فوق سه پمپ با سرعت ثابت دبی های Q_1 و Q_2 و Q_3 را تامین میکند و پمپ چهارم میتواند در سرعت های مختلف کار کند و دبی متغیر Q را تامین نماید و هدف ثابت نگهداشتن دبی Q است.

اگر پمپ هیچگونه نشت نداشته باشد و از نوع جابجائی مثبت باشد دبی آن مستقیماً متناسب با سرعت گردش آن خواهد بود یعنی:
 $Q_4 = K \cdot \omega$
 در این سیستم اختلالات موثر بر سیستم عبارتند از تغییر دبی پمپهای ۱ و ۲ و ۳ و یا تغییر در دبی مصرفی.

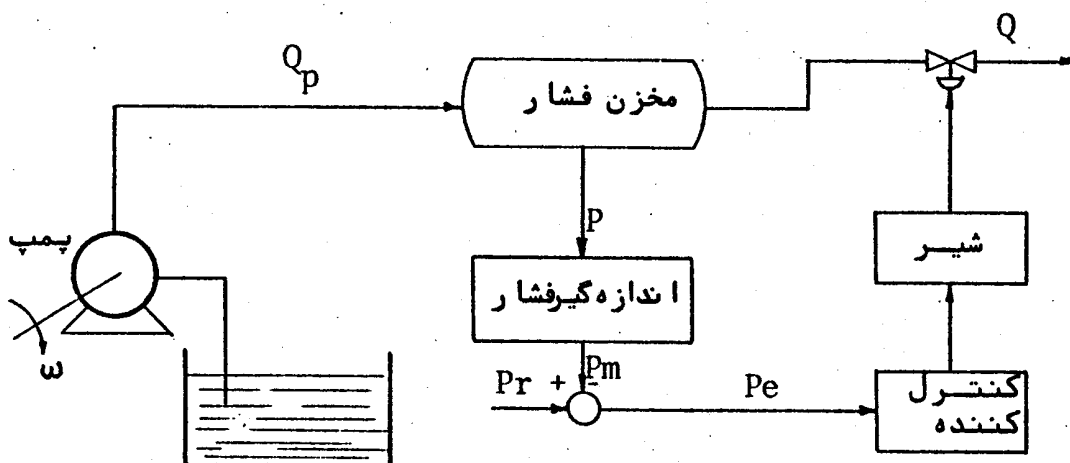


شکل ۱۸- دیاگرام جعبه‌ای سیستم کنترل دبی توسط پمپ

۶.۱- کنترل فشار :

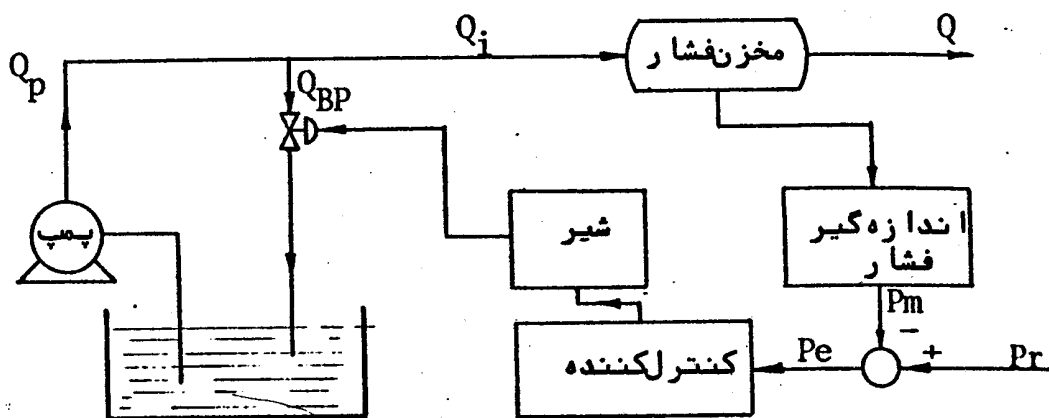
یکی از عواملی که باید در مخازن کنترل شود فشار است. در کنترل فشار باید مقدار فشار علی‌رغم تغییرات دبی، درجه حرارت و غیره ثابت نگاه داشته شود. فشار را میتوان باد و وسیله شیرسراه و شیربای پس کنترل نمود.

در مواردیکه کنترل فشار از طریق تغییر دبی خروجی مخزن فشار اشکالی نداشته باشد از شیرسراه برای کنترل فشار میتوان استفاده کرد. در چنین مواردی معمولاً "پمپی که استفاده میشود میتواند در سرعتهای مختلف کار کند و برای تنظیم دبی خروجی میتوان سرعت گردش پمپ را تغییر داد.



شکل ۱۹- کنترل فشار توسط شیرسراه

در مواردیکه برای کنترل فشار از روش بای پس استفاده شود کنترل بر روی دبی خروجی از مخزن فشار نیست و مقدار آن مستقیماً "بوسیله مصرف تعیین میشود. در چنین مواردی میتوان از پمپی استفاده کرد که در سرعت ثابت کار کند. آن مقدار از دبی پمپ شده که لازم است به مخزن فشار راه مییابد و بقیه آن از طریق شیر بای پس به مخزن اصلی بر میگردد.



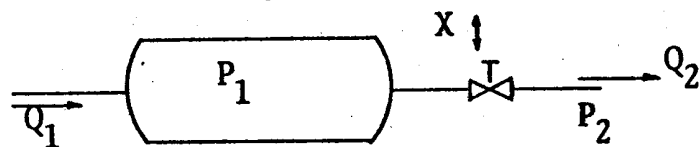
شکل ۲۰- کنترل فشار توسط شیر بای پی

۱-۶-۱- کنترل فشار در مخزن توسط شیر کنترل سوراخ:

در گازها فشار مشابه ارتفاع در مایعات است (در مایعات فشار معمولاً "توسط ارتفاع که دارای واحد متر است بیان میشود) نحوه آنالیز در مورد گازها و مایعات مشابه است و اگر کمیت فشار مستقیماً "در نظر گرفته شود روابط در هر دو مورد یکی خواهد بود. در اینجا حالتی را بررسی میکنیم که در شکل زیر نشان داده شده است.

معادله دینامیک مخزن فشار عبارتست از:

$$Q_1 - Q_2 = C \frac{dP_1}{dt}$$



شکل ۲۱- کنترل فشار مخزن فشار

بر حسب کمیات نسبی معادله دینامیک بصورت زیر است :

$$q_1 - q_2 = C \frac{dp_1}{dt} \quad (۳۱)$$

دبی خروجی Q_2 تابعی از فشارهای ورودی و خروجی مخزن و وضعیت ساقه شیر X است یعنی :

$$Q_2 = Q_2(P_1, P_2, X) \quad (۳۲)$$

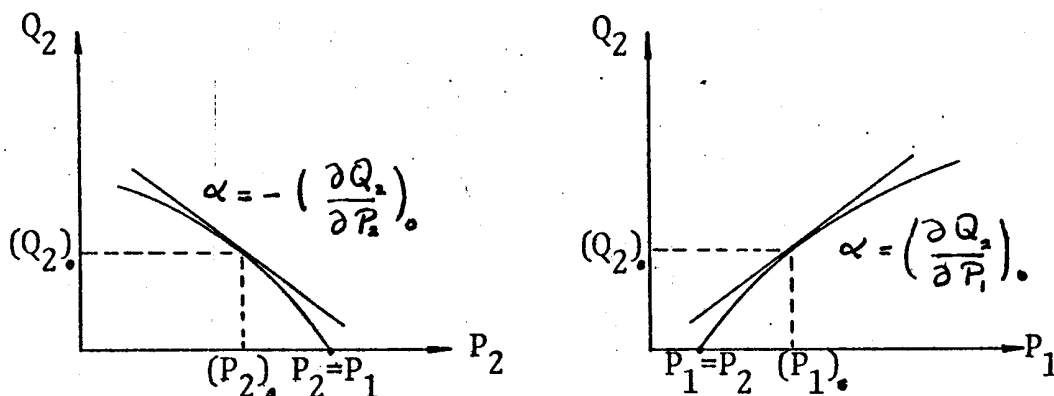
از قانون برنولی دبی خروجی بصورت زیر بدست میآید :

$$Q_2 = \frac{K}{R(X)} \sqrt{P_1 - P_2} \quad (۳۳)$$

رابطه (۳۳) بصورت زیر خطی میشود تا بفرم قابل استفاده ای برای بکار بردن آن در رابطه (۳۱) درآید :

$$q_2 = \Delta Q_2 = \left(\frac{\partial Q_2}{\partial P_1} \right)_0 P_1 + \left(\frac{\partial Q_2}{\partial P_2} \right)_0 P_2 + \left(\frac{\partial Q_2}{\partial R} \right)_0 \Delta R \quad (۳۴)$$

مشتقهای نسبی Q_2 نسبت به P_1 و P_2 از منحنی های دبی بر حسب فشار ورودی و خروجی تعیین میگردد.



شکل ۲۲- مشخصه دبی بر حسب فشار ورودی و خروجی

باید توجه داشت که :

$$\left(\frac{\partial Q_2}{\partial P_2} \right)_0 = \left(\frac{K}{2R(X) \sqrt{P_1 - P_2}} \right)_0 = \frac{K}{2R(X)_0 \sqrt{(P_1)_0 - (P_2)_0}}$$

$$\left(\frac{\partial Q_2}{\partial P_1} \right)_0 = \left(\frac{K}{2R(X) \sqrt{P_1 - P_2}} \right)_0 = \frac{K}{2R(X)_0 \sqrt{(P_1)_0 - (P_2)_0}}$$

$$\left(\frac{\partial Q_2}{\partial P_1} \right)_0 = - \left(\frac{\partial Q_2}{\partial P_2} \right)_0 = \alpha \quad \text{در نتیجه میتوان نوشت :} \quad (۳۵)$$

واز رابطه (۳۳) میتوان نتیجه گرفت :

$$\left(\frac{\partial q_2}{\partial R}\right)_0 = - \left(\frac{K \sqrt{P_1 - P_2}}{R^2(X)}\right)_0 = - \frac{K \sqrt{(P_1)_0 - (P_2)_0}}{R^2(X)_0} = \beta \quad (36)$$

همانطور که قبلاً دیدیم با توجه به مشخصه شیرکنترل (شکل ۶) میتوان نوشت :

$$\Delta R = \left(\frac{dR}{dX}\right)_0 \Delta X = \gamma \Delta X = \gamma x \quad (37)$$

از قراردادن روابط (۳۵-۳۷) در رابطه (۳۴) نتیجه میشود :

$$q_2 = \alpha p_1 - \alpha p_2 + \beta \gamma x \quad (38)$$

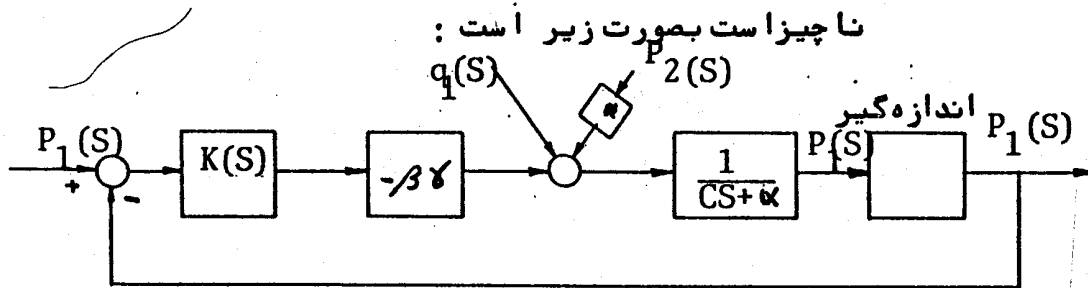
از قراردادن رابطه (۳۸) در رابطه (۳۱) معادله دیفرانسیل خطی شده سیستم بصورت زیر بدست میآید :

$$q_1 - (\alpha p_1 - \alpha p_2 + \beta \gamma x) = C \frac{dP_1}{dt} \quad (39)$$

پس از تبدیل لاپلاس گرفتن از رابطه فوق خواهیم داشت :

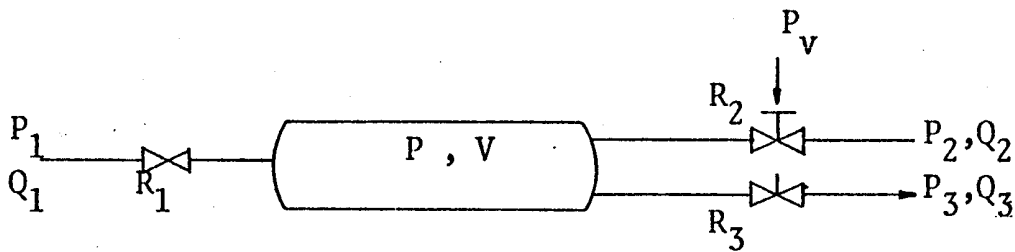
$$(CS + \alpha) p_1(S) = q_1(S) + \alpha p_2(S) - \beta \gamma x(S) \quad (40)$$

دیاگرام جعبه‌ای سیستم مدار بسته با فرض اینکه ثابت زمانی المان اندازه گیر در مقایسه با پروسس ناچیز است بصورت زیر است :



شکل ۲۳- دیاگرام جعبه‌ای سیستم کنترل فشار

تمرین - معادله پروسس مخزن فشار یک ورودی و دو خروجی (شکل زیر) را که تغییرات P را به تغییرات P₂ و P₃ و P_v مربوط می‌کند بدست آورید.



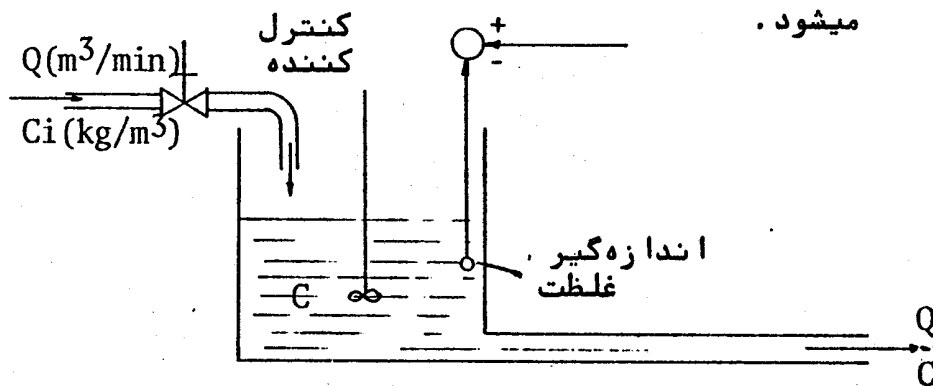
شکل ۲۴ - مخزن فشار با یک ورودی و دو خروجی

۷.۱- پروسس تانک بهم زن :

یکی از کمیاتی که در پروسسهای مایعی کنترل میشود غلظت است. این پروسس شامل مخزنی است که دارای یک مجرای خروجی است و درون آن مایعی با غلظت یکنواخت C وجود دارد و از طریق مجرای ورودی همان مایع با غلظتی مانند C_i وارد میشود مخلوط درون مخزن توسط یک بهم زن بطور پیوسته هم زده میشود تا غلظت یکنواخت C در تمام حجم بوجود آید. مایع خروجی از مخزن دارای غلظت C میباشد.

در این پروسس ساده که اساس تمام پروسسهای است که غلظت در آنها تغییر میکند فرض بر اینست که هیچ واکنشی روی نمیدهد و علاوه بر این فرض میشود:

- الف - مخلوط کاملاً در مخزن یکنواخت است و محلول خروجی دارای همان غلظت محلول درون مخزن است.
- ب - حجم محلول داخل مخزن ثابت است. این حالت را بوسیله کنترل ارتفاع یا سرریز کردن بوجود میآورند. در این پروسس غلظت محلول خروجی توسط دبی ورودی کنترل میشود.



شکل ۲۵ - پروسس تانک بهم زن

با توجه به فرض الف، معادله دینامیک پروسس بصورت زیر بدست میآید:

$$Q C_i - Q C = V \frac{dC}{dt} \quad (41)$$

اگر کمیات را بصورت نسبی از حالت تعادل در نظر بگیریم رابطه (41) را میتوان بصورت زیر نوشت:

$$[(Q_0 + \Delta Q)] [(C_i)_0 + \Delta C_i] - [(Q_0 + \Delta Q)] [(C)_0 + \Delta C] = V \frac{d[(C)_0 + \Delta C]}{dt}$$

و یا:

$$(Q_0)(C_i)_0 + q(C_i)_0 + (Q_0) c_i + q c_i - (Q_0)(C)_0 - q(C)_0 - (Q_0) c - q c = V \frac{dc}{dt} \quad (42)$$

اما در حالت تعادل رابطه زیر برقرار است:

$$(Q_0)(C_i)_0 - (Q_0)(C)_0 = 0 \quad (43)$$

از قراردادن رابطه (43) در معادله (42) نتیجه میشود:

$$\frac{V}{Q} \frac{dc}{dt} + c = c_i \quad (44)$$

از حل رابطه (44) نتیجه میشود (با فرض اینکه در ابتدا غلظت مایع درون مخزن \hat{C} بوده است):

$$C(t) = (C_i - \hat{C}) \left(1 - e^{-t/\tau}\right) + \hat{C} \quad (45)$$

که نتیجه میشود ثابت زمانی پروسس $\tau = \frac{V}{Q}$ است.

رابطه (44) دینامیک غلظت مایع درون مخزن را بر حسب غلظت ورودی بدست میدهد ولی همانطور که ملاحظه میشود غلظت مایع درون مخزن را با تغییر دبی ورودی نمیتوان کنترل نمود. زیرا همچنانکه از رابطه (45) ملاحظه میشود با گذشت زمان از غلظت ماده درون مخزن بتدریج تغییر میکند و غلظت آن به سمت غلظت ورودی میل میکند.

برای کنترل غلظت به دو مایع ورودی با غلظت های مختلف احتیاج است تا با تنظیم نسبت آنها بتوان غلظت مخلوط را کنترل کرد.

اگر در این پروسس واکنش شیمیائی رخ دهد با توجه به اینکه نرخ واکنش $r = k.V.C$ kg/hr است. که در آن k ثابت نرخ واکنش است معادله دینامیک (۴۱) بصورت زیر خواهد بود:

$$QC_i - QC - KVC = V \frac{dc}{dt}$$

۸.۱- مثالی از کنترل پروسس های مایعی - واحد تولید نفت:

در قسمت های قبل کنترل کمیات مختلف در پروسسهای مایعی مورد بررسی قرار گرفت. در این قسمت کار برد آنها را بررسی میکنیم. برای این منظور کنترل یک واحد تولید نفت مورد بحث قرار میگیرد.

واحد تولید نفت به تاسیساتی گفته میشود که در آن طبیعی عملیاتی گاز طبیعی و نفت خام که بصورت مخلوطی از نفت و گاز از چاهها استخراج میگردد جدا میشوند. جدا شدن کامل گاز از نفت از نظر ذخیره کردن، حمل و نقل و جلوگیری از حریق در مخازن نفت کشها حائز اهمیت است.

نفت به هنگام خروج از چاه حاوی مقدار قابل ملاحظه ای گاز طبیعی است و از نظر فیزیکی شباهت زیادی به مایعات گازدار دارد. گاز موجود در واحد حجم نفت استخراج شده و یا بعبارت دیگر نسبت گاز به نفت برای معادن مختلف متفاوت است و این نسبت را پس از رسیدن چاه به نفت و نمونه گیری در آزمایشگاه تعیین میکنند.

برای محاسبه و طرح تاسیسات واحد تولید نفت قبلاً باید نسبت گاز به نفت و عواملی از قبیل فشار، درجه حرارت و چکالی نفت و گاز و حداکثر جریان چاه معلوم شوند.

قسمت های اصلی یک واحد تولید نفت عبارت است از جدا کننده ها مخزن، لوله های رابط با اتصالات و شیرها، و اندازه گیریها

و کنترل کننده هستند. دستگاههای کنترل کننده ممکن است دو نوع هوایی یا الکتریکی و یا ترکیبی از این دو نوع باشند. عمل جدا کردن گاز از نفت به کمک کم کردن فشار در مراحل مختلف انجام میگیرد و طی این مراحل فشار نفت از فشار چاه (بطور متوسط حدود 900 Psi) به فشار اتمسفر تنزل داده میشود. قرار دادن مراحل مختلف که معمولاً سه مرحله است و بطور سری با هم قرار میگیرند به دلیل آنست که انبساط از فشار چاه به فشار اتمسفر در یک مرحله موجب زیخ زدگی و انسداد کامل مجرای حامل نفت در محصل انبساط میشود.

اخیراً " شیرهای مخصوصی که با بخار یا نفت گرم میشوند توسط کارخانجات سازنده عرضه شده و بوسیله این شیرها میتوان انبساطی با اختلاف فشار زیادتر از شیرهای معمول انجام داد.

نفت پس از عبور از سه مرحله جدا کننده به داخل مخزنی که تحت فشاری نزدیک فشار اتمسفر قرار دارد وارد میشود. این مسیر تشکیل یک خط تولید را میدهد. در یک واحد تولید میتواند خطوط تولید متعددی وجود داشته باشد و نفت خروجی از آنها توسط لوله مشترکی به داخل مخزنی هدایت شود و از مخزن توسط پمپ جهت بارگیری نفت کش ها ببیند و یا برای تصفیه به پالایشگاه فرستاده شود.

با توجه به شکل ۲۶ که در آن بطور مثال فقط مسیر جریان نفت در یک خط تولید نشان داده شده است ملاحظه میشود اولین عاملی که باید کنترل شود دبی نفت در لوله ورودی به جدا کننده مرحله اول است زیرا جریانی را که هر خط تولید میتواند از خود عبور دهد و یا بعبارت دیگر ظرفیت هر خط تولید بستگی به ابعاد جدا کننده ها دارد و مقدار آن محدود است حلقه کنترل جریان (دبی) FRC به ترتیب از اجزاء زیر تشکیل شده است :

- ۱- اندازه گیری جریان که معمولاً "اریفیس" است.
- ۲- انتقال دهنده علائم متناسب با جریان (که متناسب با اختلاف فشار دو طرف اریفیس است) که با علامت \otimes نشان داده شده است.
- ۳- کنترل کننده و ثبت کننده که قسمت کنترل کننده آن معمولاً ترکیبی از جمله های متناسب، انتگرال و مشتق است.
- ۴- شیر کنترل که با دریافت علائم از کنترل کننده جریان نفت را در مقدار معین شده که کنترل کننده روی آن تنظیم شده است ثابت نگاه میدارد.

اولین مرحله افت فشار با انبساط در همین شیر کنترل انجام میشود زیرا فشار داخل اولین جداکننده که توسط حلقه کنترل فشار $\frac{PRC}{1}$ کنترل میشود در مقداری به مراتب پائین تر از فشار قبل از شیر کنترل قرار دارد. در اولین جداکننده جدا کننده های مراحل بعدی، کمپاتی که کنترل میشوند عبارتند از: فشار و سطح مایع. کنترل فشار در جداکننده با تغییر مقدار گاز خروجی و کنترل سطح مایع با تغییر جریان نفت خروجی از جدا کننده انجام میشود.

برای جریان ورودی ثابت و افت فشار معین در شرایط یکنواخت مقدار معینی و ثابتی گاز و نفت از جداکننده مرحله اول خارج میشود. همانطور که در شکل ۲۶ نشان داده شده هر یک از حلقه های کنترل فشار و سطح مایع نیز مانند حلقه کنترل جریان از اجزاء اندازه گیر و انتقال دهنده علائم، کنترل کننده و شیر کنترل تشکیل شده است.

گاز خروجی از مراحل مختلف پس از اندازه گیری جریان (اندازه گیری هائی که عمل کنترل انجام نمیدهند در شکل نشان داده نشده اند) به محل های فروش و یا پالایش منتقل میشود و نفت خروجی از مرحله اول که در آنجا مقداری از گاز

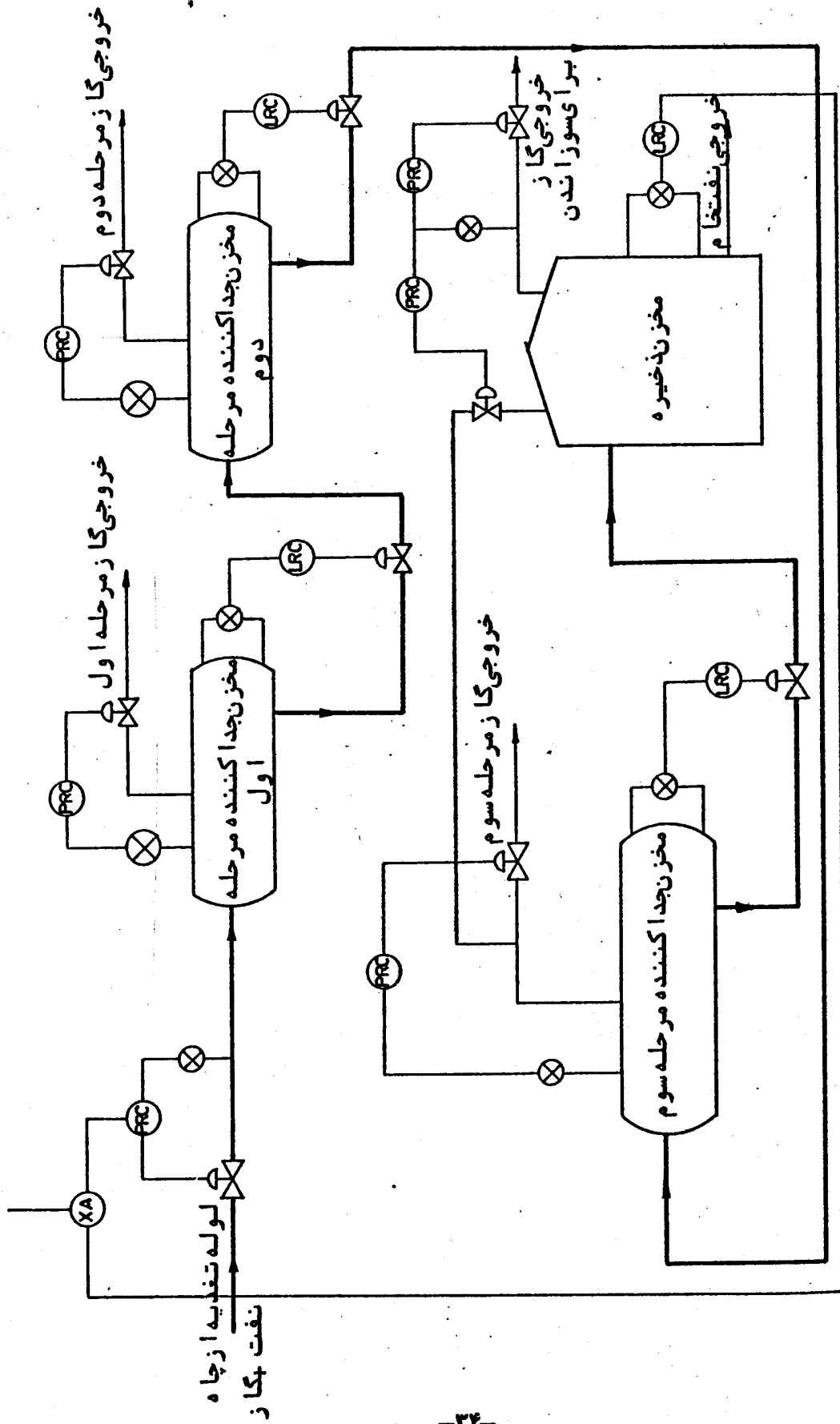
خود را از دست داده است و ارد جداکننده مرحله دوم و از آنجا به جداکننده مرحله سوم و بالاخره تحت فشار کمی بالاتر از اتمسفر در مخزن ذخیره میشود. سطح مایع در مخزن و هم چنین فشار گاز در بالای آن عوامی هستند که باید کنترل شوند. سطح مایع در مخزن ذخیره توسط اندازه گیری که معمولاً از نوع شناور و یا اختلاف فشار سنج است اندازه گیری میشود و توسط فرستنده علائم به کنترل کننده LRC منتقل میشود.

کنترل کننده سطح، فرمانهای لازم را مستقیماً به کنترل کننده جریان ورودی به خط تولید میفرستد و نقطه تنظیم آنرا بر حسب احتیاج تغییر میدهد.

با توجه به اینکه فشار گاز خروجی از مخزن در حدود فشار اتمسفر میباشد، هیچگونه استفاده تجارتي از آن مقرون به صرفه نیست و بناچار جهت جلوگیری از آلودگی محیط آنرا میسوزانند. چون حمل گاز از مخزن ذخیره به محل شعله (که در آن گاز سوزانده میشود) بدلیل پائین بودن فشار باید با لوله ای با قطر زیاد انجام شود، احتمال برگشت شعله و هوا و نفوذ آن به داخل مخزن و در نتیجه بوجود آمدن حریق وجود دارد. لذا باید اقدامات لازم برای جلوگیری از این واقعه بعمل آید. برای این منظور از دو حلقه کنترل فشار که بطور همزمان عمل میکنند استفاده میشود. در نتیجه کم شدن احتمالی فشار گاز داخل مخزن، حلقه اول PRC شیر کنترل لوله خروجی گاز را که برای سوزاندن به طرف شعله میرود بکلی میبندد و مانع ورود شعله و هوا بداخل مخزن میگردد و در همان حال حلقه دوم PRC شیر کنترل لوله حامل گاز خروجی مرحله سوم را باز مینماید و با وارد کردن مقداری گاز بداخل مخزن ذخیره، فشار آنرا بالا میبرد و بدینوسیله وضعیت را به حالت عادی برگردانده و شیر کنترل لوله خروج گاز از مخزن ذخیره را مجدداً باز نموده و گاز کنترل را از سر میگیرد.

در واحدهای تولید نفت معمولاً " دستگاههای مختلف کنترل کننده و اندازه گیر را از نوع هوایی انتخاب میکنند زیرا بعلت قابل اشتعال بودن فضای تاسیسات استفاده از دستگاه های الکتریکی و الکترونیکی که احتمال تولید جرقه در آنها وجود دارد دور از احتیاط بوده و معمول نیست.

واحدهای تولید اکثراً " از خطوط تولید متعدد تشکیل شده و هر یک یا چند خط تولید از یک چاه تغذیه میشوند و چون نفت خروجی کلی خطوط تولید بیک مخزن وارد میشود برای کنترل سطح مخزن و ذخیره باید فرمانهای لازم را به حلقه های کنترل جریان تمام خطوط تولید وارد نمود و با کم و زیاد کردن جریان کل ورودی به واحد تولید ، سطح مخزن کنترل کرد. در اینگونه موارد غالباً " لازم است که جریان هر چاه را بنا به مقتضیات و مشخصات آن به مقدار متفاوت کم و یا زیاد کرد. برای این منظور علائم خروجی کنترل کننده سطح مخزن ذخیره را باید قبلاً" بوسیله دستگاهی که در شکل ۲۶ به XA نشان داده شده است در مقدار معینی ضرب نمود و سپس به حلقه کنترل جریان مورد نظر وارد کرد و بدین ترتیب جریان هر چاه را به مقدار معین و بطور دلخواه تغییر داد.



شکل ۲۶- سیستم های کنترل در پروسس تولید نفت

تمرین فصل اول :

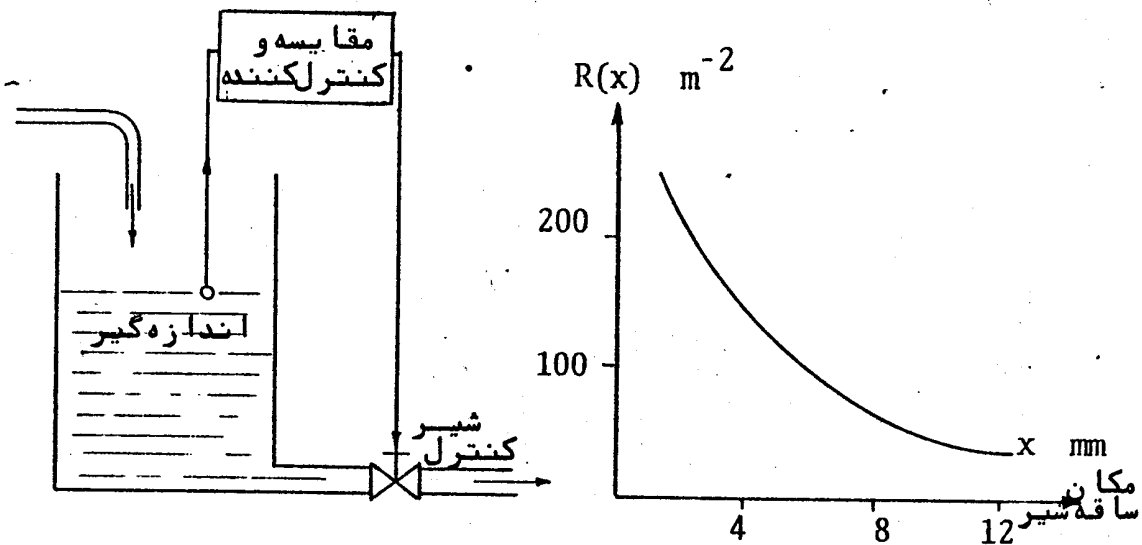
۱- در سیستم کنترل ارتفاع شکل زیر در حال عادی ارتفاع آب در مخزن 2m و دبی خروجی $2.2 \frac{m^3}{min}$ است .

الف : تابع تبدیل تغییر مکان را تعیین کنید .
تغییر مکان ساقه شیر

ب : از نظر کنترل آیا بهتر است بهره کنترل کننده کم باشد یا زیاد؟

ج : تاثیر دینامیک محرک (شیر کنترل) بر روی سیستم مدار بسته چیست؟

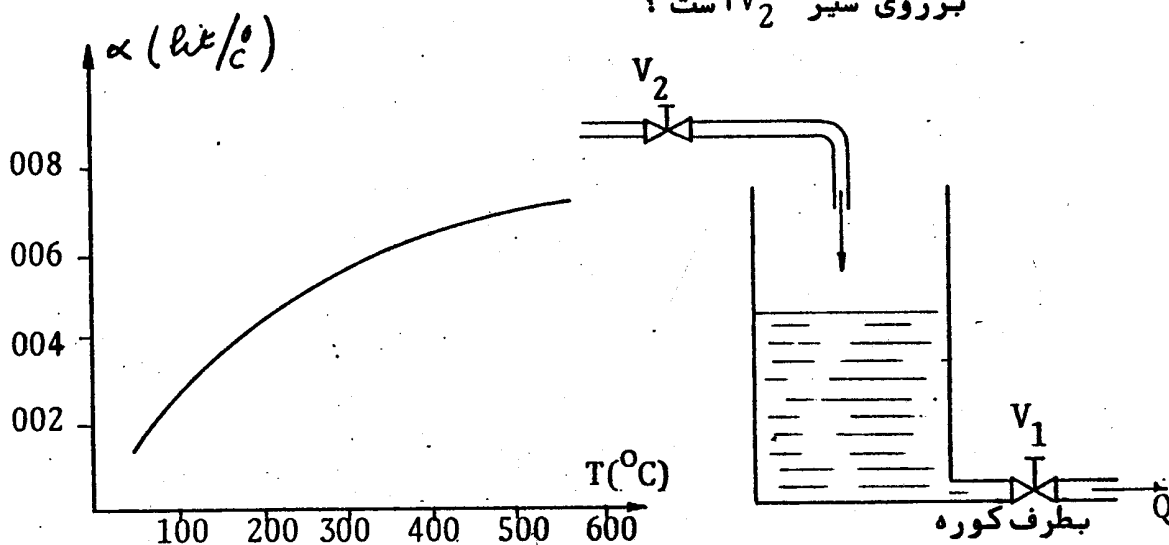
د : چگونه میتوان علاوه بر ارتفاع، دبی خروجی مایع را نیز کنترل نمود؟ طرحی پیشنهاد کنید .



۲- کوره ای در اثر سوختن مازوت گرم میشود و رابطه بین درجه حرارت کوره $T(^{\circ}C)$ و مقدار سوخت Q (lit/min) عبارتست از :
 $\frac{dT}{dt} = Q \propto T$ که در آن \propto بستگی به T دارد (مطابق شکل زیر) سوخت کوره توسط مخزنی مطابق شکل زیر تامین میشود. در حال عادی ارتفاع سوخت در مخزن 1.2m و دبی سوخت کوره 1 lit/min و درجه

حرارت کوره 400°C است. مدت زمان لازم برای رسیدن سوخت از خروجی مخزن به ورودی کوره 2 min است.

- الف: تابع تبدیل $\frac{T(S)}{H(S)}$ را بدست آورید.
- ب: برای کنترل کوره بهتر است کنترل بر روی شیر V_1 باشد یا شیر V_2 ؟
- ج: اگر کنترل کننده متناسب باشد و اختلال ناگهانی در درجه حرارت کوره پیدا شود خطای ماندگار در حالتی که کنترل بر روی شیر V_1 است کمتر می باشد یا در حالتی که کنترل بر روی شیر V_2 است؟



۳- مایعی با دبی $Q (\text{m}^3/\text{Sec})$ و غلظت $C_1 (\text{Kg}/\text{m}^3)$ وارد مخزنی می شود. حجم مایع درون مخزن ثابت و برابر V است. مایع درون مخزن بخوبی مخلوط و یکنواخت شده بطوریکه غلظت داخل مخزن C می باشد. دبی ورودی و خروجی همواره مساوی هستند.

- الف: معادله دیفرانسیل بین غلظت ورودی، غلظت محلول درون مخزن و دبی ورودی را بدست آورید.
- ب: چگونه میتوان غلظت مایع خروجی از مخزن را کنترل نمود؟

۴- مخزنی استوانه‌ای شکل به قطر 10ft و ارتفاع 15ft بین دو پروسس وجود دارد. ارتفاع مایع در مخزن توسط شیر کنترل هوایی که در خروجی مخزن قرار دارد کنترل میشود. در حال عادی ارتفاع مایع در مخزن 7ft و دبی خروجی آن $155\text{ft}^3/\text{min}$ است. فشار هوا بر روی ساقه شیر در حالت عادی 9psi بوده و هنگامی که فشار هوا بر روی شیر 15psi گردد، شیر بسته میشود. هنگامیکه ارتفاع از 0 تا 15ft تغییر میکند اندازه گیر ارتفاع بطور خطی بین 3 تا 15psi فشار ایجاد میکند. بهره کنترل کننده بادی $5\text{psi}/\text{psi}$ میباشد.

الف: بلوک دیاگرام سیستم و توابع تبدیل را بدست آورید.

ب: اگر دبی ورودی به $58\text{ft}^3/\text{min}$ تغییر یابد ارتفاع نهائی مایع چقدر میگردد؟

ج: ثابت زمانی پروسس را در دو حالت دبی خروجی $35\text{ft}^3/\text{min}$ و $75\text{ft}^3/\text{min}$ تعیین نموده و نتیجه گیری کنید.

د: با در نظر گرفتن اینکه این مخزن برای کاهش اثر تغییرات دبی ورودی بر روی دبی خروجی است آیا در این پروسس بهره کنترل کننده باید کم باشد یا زیاد؟

فصل دوم - پروسسهای حرارتی و کنترل آنها

۱-۲- مقدمه و تعاریف:

پروسسهای حرارتی آن دسته پروسسها هستند که در آنها بنحوی تبادل حرارت انجام میگیرد. اما همواره در مقابل تبادل حرارت مقاومتی موجود است. مقاومت حرارتی که با R نشان داده میشود و بصورت زیر تعریف میگردد به نوع انتقال حرارت و جنس موادیکه در تبادل حرارت شرکت دارند بستگی دارد.

$$R = \frac{\text{تغییر در نیروی محرکه برای انتقال حرارت } ^{\circ}\text{C}}{\text{تغییر در تبادل حرارت } \text{Cal/hr}}$$

تبادل حرارت به سه صورت امکان پذیر است.

الف: هدایت: در تبادل حرارت هدایتی که در جامدات و اجسام مجاور انجام میشود مقاومت حرارتی برابر:

$$R = \frac{X}{kA} \quad (1)$$

است که در آن X ضخامت جسم (در جهت انتقال حرارت) k ضریب هدایت و دارای واحد $\text{Cal/hr.m}^2.^{\circ}\text{C/m}$ است و A سطح هدایت حرارت است.

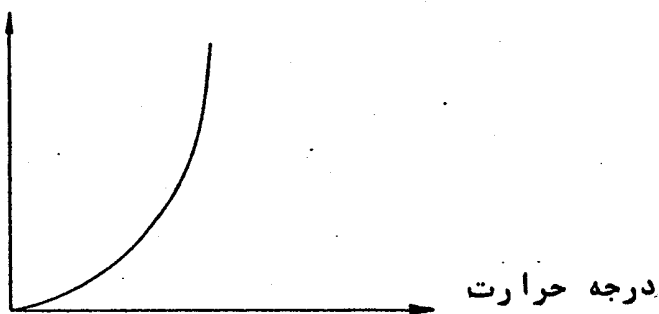
ب: جابجایی: در تبادل حرارت جابجایی که در سیالات انجام میگیرد مقاومت ایجاد شده در برابر انتقال حرارت جابجایی برابر:

$$R = \frac{1}{hA} \quad (2)$$

است که در آن h ضریب تبادل حرارت و A سطح تماس جسم با سیال است.

ج: تشعشع: تبادل حرارتی تشعشعی با توان چهارم دمای مطلق بستگی دارد و در گازها انجام میشود. بعلا آنکه

منحنی تبادل حرارت تشعشی بر حسب درجه حرارت غیرخطی است مقاومت حرارتی در دماهای مختلف ، متفاوت است و برای بدست آوردن مقاومت حرارتی باید در هر درجه حرارت شیب منحنی تبادل حرارت را تعیین نمود. باید توجه داشت چون منحنی درجه چهار است در عمل خطی کردن یا تغییرات درجه حرارت خیلی کوچک در نظر گرفته شود.



شکل ۱- منحنی تبادل حرارت تشعشی

۲۰۲- انواع پروسسهای حرارتی :

پروسسهای حرارتی عبارتند از :

- الف : مخلوط شدن مایعات (گازهای) سرد و گرم .
- ب : تبادل حرارت بین اجسام یا مایعات و گازها .
- ج : تولید حرارت توسط احتراق یا واکنش های شیمیائی.
- د : تولید حرارت در اثر تشعشع .
- ه : تولید حرارت توسط الکتریسیته .

در پروسسهای حرارتی فوق که عمل انتقال حرارت در آنها از طریق یک یا چند روش از روشهای سه گانه هدایت ، جابجائی و تشعشع انجام میشود هدف کنترل ، ثابت نگاه داشتن مقدار حرارت متبادله و یا درجه حرارت مایع ، گاز و یا جسم مورد نظر است .

۱۰۲۰۲- مخلوط شدن :

نمونه ای از این پروسس که در شکل ۲ مشاهده میشود و در آن جریانهای مایع (یا گاز) های سرد و گرم در یک

مخزن مخلوط میشوند و مخلوط خروجی دارای درجه حرارت متوسطی است. انتقال حرارت بروش جابجائی انجام میشود و انرژی حرارتی متبادله توسط مایع (یا گاز) گرم عبارتست از:

$$H = \rho \cdot C_p \cdot T \cdot Q \quad (3)$$

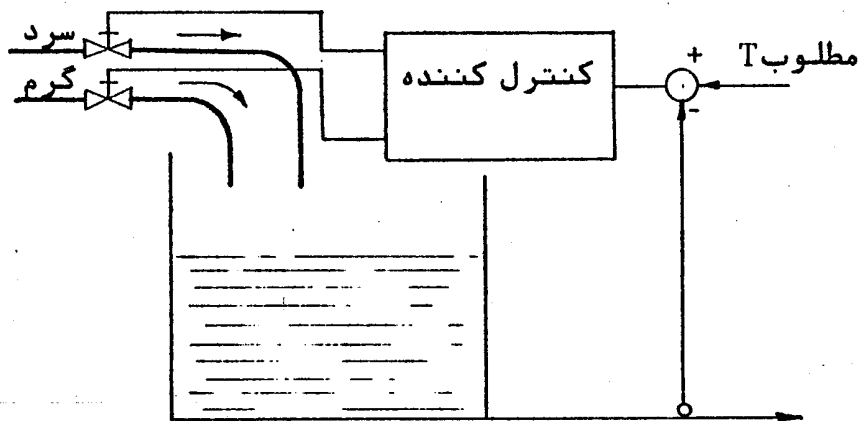
که در آن H نرخ حرارت متبادله دارای واحد Cal/Sec و ρ چگالی مایع یا گاز دارای واحد kg/m^3 و C_p گرمای ویژه آن با واحد $\text{Cal/kg}^\circ\text{C}$ و T دمای آن با واحد $^\circ\text{C}$ و Q دبی آن دارای واحد m^3/Sec است.

در این پروسس هدف کنترل درجه حرارت است. برای کنترل درجه حرارت باید نرخ انتقال حرارت H را کنترل نمود از رابطه (3) میتوان نتیجه گرفت که اینکار از دو طریق زیر امکان پذیر است:

الف: کنترل توسط تغییر دبی مایع یا گاز گرم (یا سرد). این نوع کنترل وقتی انجام میشود که تغییرات دبی خروجی مهم نباشد در صورتیکه تغییرات دبی خروجی مهم باشد از طریق دیگر کنترل استفاده میشود.

ب: کنترل نسبت مایع (یا گاز) گرم به سرد و ثابت نگه داشتن دبی مجموع. در این حالت دبی خروجی ثابت است و با تغییر نسبت مایع (یا گاز) سرد و گرم مقدار حرارت متبادله و در نتیجه درجه حرارت پروسس کنترل میشود.

شمای سیستم کنترل در شکل زیر مشاهده میشود. در حالتی که کنترل بروش الف انجام شود کنترل کننده یک کنترل کننده دبی است و در صورتیکه کنترل بروش ب انجام شود از کنترل کننده نسبت دبی استفاده میشود.



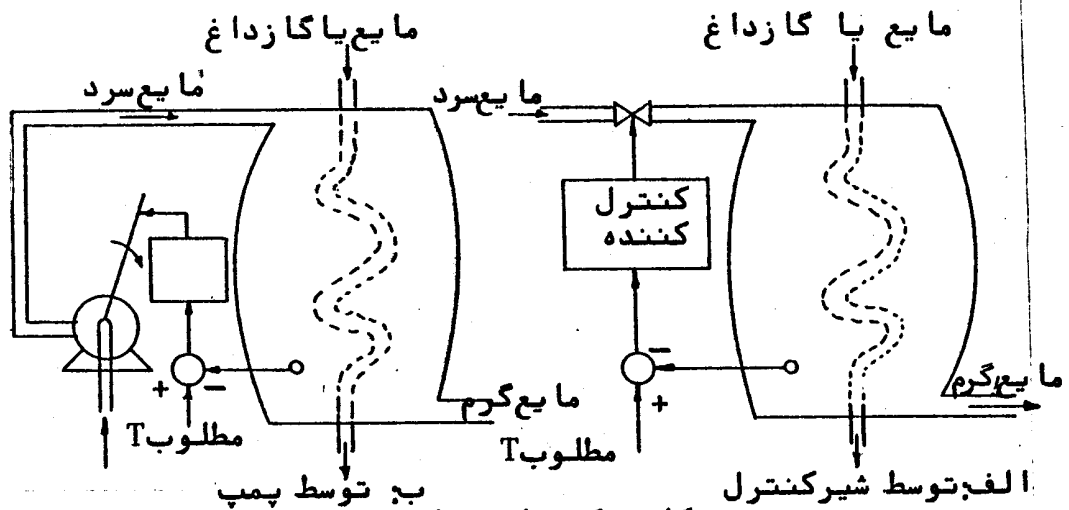
شکل ۲- پروسس حرارتی مخلوط شدن

۲-۲-۲- تبادل حرارت:

در این پروسس مایعات یا گازهایی که در تبادل حرارت شرکت دارند مخلوط نمیشوند بلکه حرارت از طریق جداره فلزی لوله هائی که یک مایع یا گاز در آن جریان دارد به مایع یا گاز دیگر انتقال مییابد. مثلاً همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است مایع یا گاز داغ از داخل لوله عبور میکنند و آنرا گرم میکنند مایع یا گاز سردی که در مخزن اطراف لوله جریان دارد حرارت را از جداره لوله جذب مینماید. مقدار حرارت انتقال یافته از مایع یا گاز گرم به مایع یا گاز سرد عبارتست از:

$$H = k.A. \Delta T \quad (4)$$

که در آن k قابلیت هدایت جداره لوله و A سطح تماس لوله با مایع یا گازها ΔT اختلاف دمای دو طرف آن است. برای کنترل مقدار حرارت متبادله و در نتیجه کنترل درجه حرارت میتوان سه عامل مؤثر در انتقال حرارت را تنظیم نمود اما از آنجا که سطح لوله از



شکل ۳- کنترل دبی مایع سرد ورودی

مشخصات مبدل حرارتی است و در ضمن پروسس تغییر آن امکان ندارد برای کنترل درجه حرارت از تنظیم قابلیت هدایت جداره که به دبی سیالات دو طرف لوله بستگی دارد و یا اختلاف دما استفاده میشود. بر حسب آنکه عمل کنترل بر روی سیال سرد یا گرم انجام گیرد دوروش کلی کنترل امکان پذیر است.

۱- کنترل دبی مایع سرد ورودی :

اینکار میتواند از دو طریق شیر (شکل ۳- الف) و یا پمپ (شکل ۳- ب) انجام شود. در حالتی که از شیر استفاده شود در صورت بالا رفتن درجه حرارت خروجی، شیر بازتر میشود و دبی بیشتری از مایع سرد به مخزن جریان مییابد که این امر کاهش دمای خروجی را سبب میشود. و در صورت کاهش درجه حرارت خروجی، شیر مقداری بسته میشود و دبی کمتری از مایع سرد را به مخزن اجازه ورود میدهد که این امر سبب افزایش دمای خروجی میشود. در حالتی که از پمپ استفاده شود در صورت کاهش درجه حرارت خروجی سرعت گردش پمپ کاهش داده میشود تا دبی کمتری از مایع سرد به مخزن برسد و در نتیجه دمای خروجی افزایش یابد.

و در صورت افزایش درجه حرارت خروجی، سرعت گردش پمپ افزایش مییابد تا دبی بیشتری از مایع سرد به مخزن جریان یابد و در نتیجه دمای خروجی کاهش یابد.

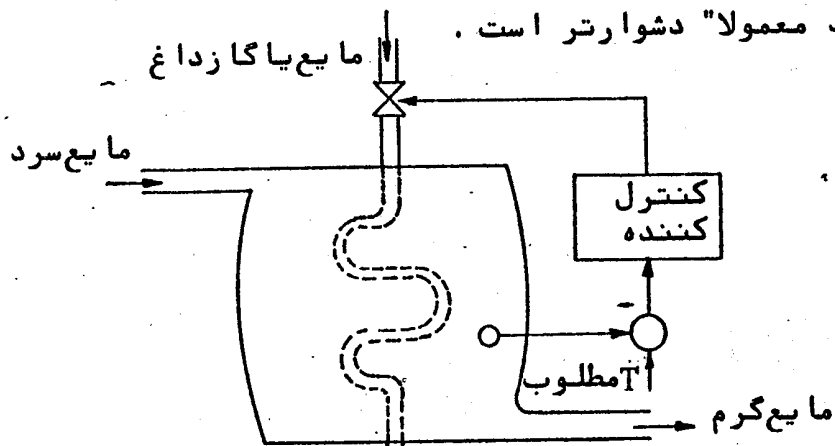
۲- کنترل مایع یا گاز داغ:

کنترل مایع یا گاز داغ از دو طریق ممکن است:

الف: تغییر و تنظیم دبی ورودی بوسیله شیر کنترل

ب: تنظیم درجه حرارت گاز یا مایع داغ.

کنترل دبی مایع یا گاز داغ ورودی مشابه کنترل دبی مایع یا گاز سرد است. تنظیم درجه حرارت گاز یا مایع داغ بعلت آنکه باید بر روی سیستم تولید سیال داغ (مثلاً دیگ بخار) عمل کنترل را انجام داد معمولاً دشوارتر است.



شکل ۴- کنترل سیال داغ بوسیله شیر کنترل

۳-۲-۲- احتراق و واکنش‌های شیمیایی:

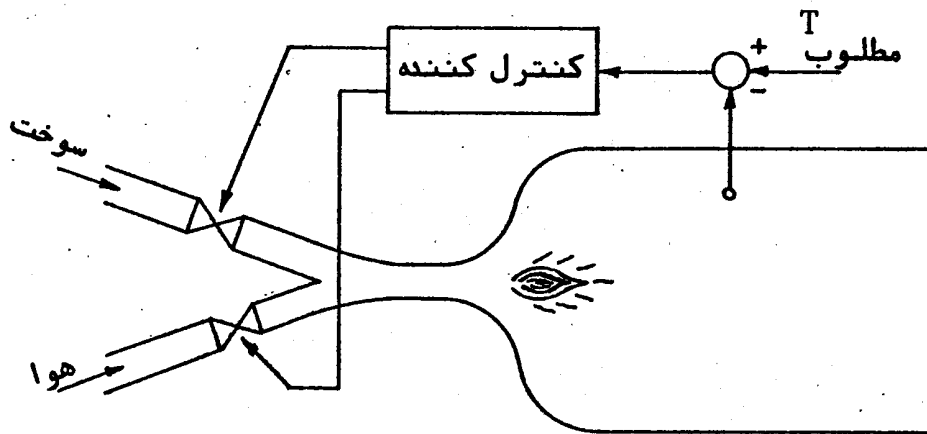
سوختن مواد قابل احتراق و نیز بعضی از نقل و انتقالات شیمیایی تولید حرارت مینمایند که از این حرارت میتوان برای گرم کردن مایعات یا گازهای مورد نظر استفاده کرد. شکل ۵ یک پروسه احتراق را نشان میدهد.

در این پروسس انتقال حرارت بدو صورت جابجائی و تشعشع انجام میشود اما بعلمت آنکه طبق قانون استفان بولتزمان میزان تشعشع حرارتی برابر است با :

$$H = \epsilon \sigma A T^4 \quad (5)$$

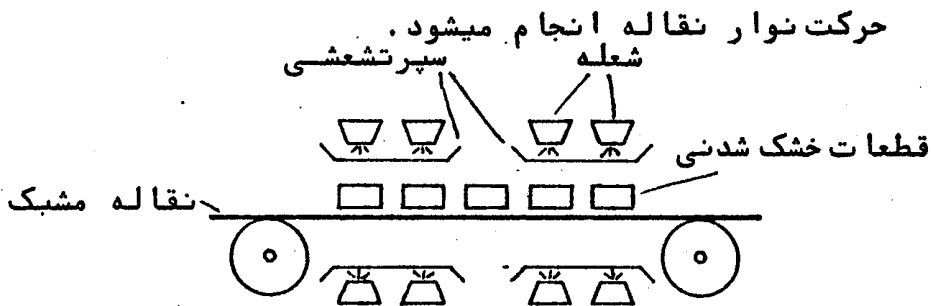
که در آن ϵ ضریب صدور ماده تشعشع کننده و σ ضریب ثابت تشعشع استفان بولتزمان برای اجسام سیاه A سطح تشعشع است. بدلیل آنکه انتقال حرارت تشعشعی با توان چهارم دما متناسب است و در احتراق دما بالاست قسمت عمده انتقال حرارت بصورت تشعشع انجام میشود.

برای کنترل حرارت در این پروسس میتوان مقدار سوخت را تنظیم نمود. از آنجاکه برای انجام احتراق خوب و کامل یک مقدار حداقل برای نسبت سوخت به هوا وجود دارد تنظیم مقدار سوخت به تنهایی، روش مناسبی نیست بلکه باید سوخت و هوا را تنظیم نمود تا نسبت سوخت به هوا نیز بتوان کنترل نمود.



شکل ۵ - کنترل پروسس احتراق

علاوه بر آنچه در قسمت قبل دیدیم، تشعشع مستقیم نیز برای گرم کردن و خشک کردن موادی که روی نقاله قرار دارند بکار میرود (شکل ۶). مقدار حرارتی که منبع تشعشعی به نقاله میدهد به درجه حرارت منبع و قابلیت تشعشعی گازهای اطراف دارد و مقدار حرارتی که توسط قطعات روی نقاله جذب میشود علاوه بر عوامل فوق به سرعت حرکت نوار نقاله بستگی دارد. کنترل و تنظیم خشک شدن قطعات روی نوار نقاله بوسیله تنظیم سرعت حرکت نوار نقاله انجام میشود.

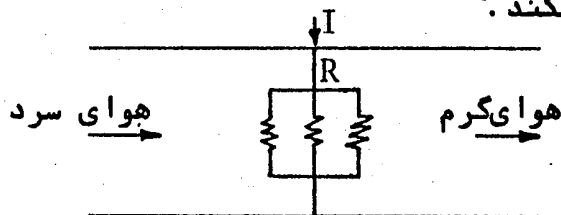


شکل ۶ - پروسس تشعشع

۵۰۲۰۲ - تولید حرارت توسط الکتریسیته :

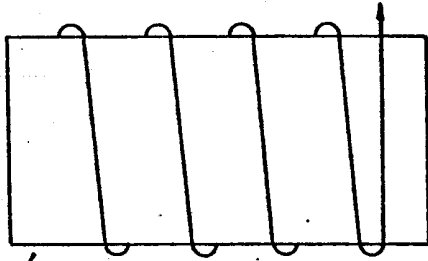
تولید حرارت توسط الکتریسیته به سه روش انجام میشود:

الف : تلفات حرارتی . در این روش ولتاژی بدو طرف مقاومت های حرارتی اعمال میشود و جریانی که از مقاومت عبور میکند تلفاتی برابر RI^2 مینماید که I جریان و R مقاومت هستند . این تلفات صرف گرم کردن سیالی میشود که از روی آن عبور میکند .



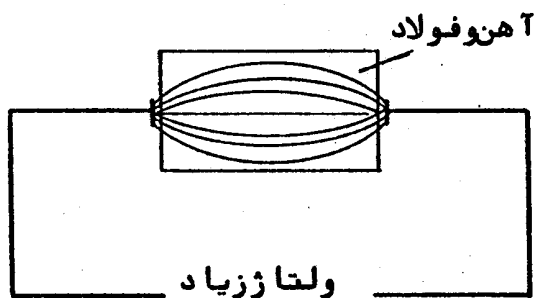
شکل ۷ - تولید حرارت از روش تلفات

ب : اندوکسیون مغناطیسی. در این روش که برای حرارت دادن فلزات مورد استفاده قرار میگیرد سیستم پیچی که جریان بافرکانس زیادی از آن عبور میکند دور محافظه‌ای که فلزات در آن قرار دارد پیچیده شده است. تلفات هیستریزیس و جریان فوکو سبب گرم شدن فلزات میگردد.



شکل ۸- تولید حرارت بروش اندوکسیدن

ج : قوس الکتریک. در این روش ولتاژ بسیار زیادی بین دو الکترود ایجاد میشود. موادی که در مسیر این قوس الکتریکی وجود دارند داغ میشوند. میزان حرارت بقدری است که مواد موجود در مسیر قوس الکتریکی، ذوب میشوند.

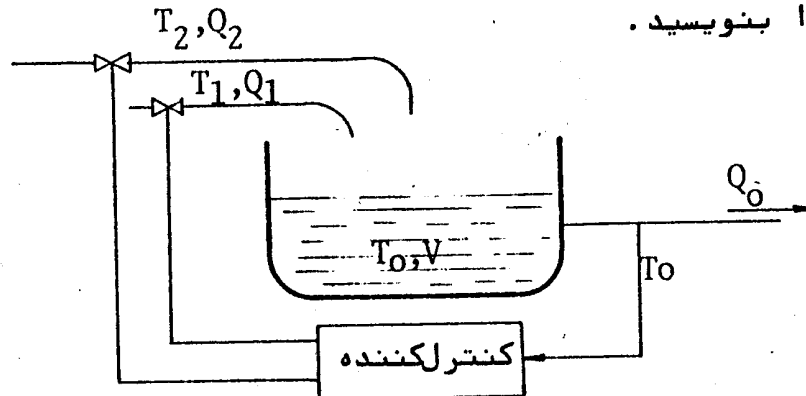


شکل ۹- تولید حرارت بروش قوس الکتریک

۳۰۲- مثالهایی از پروسسهای حرارتی :

مثال ۱- مخلوط شدن : در پروسس حرارتی شکل ۱۰ درجریان مایع وارد مخزنی به حجم ۷ است میشوند. مایعات دارای دبی های

Q_1 و Q_2 و دماهای T_1 و T_2 هستند. در داخل مخزن مخلوط دو مایع خوب بهم زده میشود بطوریکه مخلوط داخل مخزن دارای دمای یکنواخت T_0 و مساوی دمای خروجی است در صورتیکه دبی خروجی Q_0 باشد معادلات دیفرانسیل و تابع تبدیل پروسس را بنویسید.



شکل ۱۰- پروسس مخلوط شدن

مقدار حرارت خالص که در مخزن ذخیره میشود و باعث افزایش درجه حرارت مایعات مخلوط شده داخل مخزن میگردد و عبارت است از :

$$H = H_1 + H_2 - H_0 \quad (۶)$$

H_1 و H_2 به ترتیب حرارت های ورودی به مخزن از دو مجرای مایعات T_1 و T_2 هستند و H_0 مقدار حرارت خروجی از مخزن است. با توجه به رابطه (۳) معادله (۶) را میتوان بصورت زیر نوشت :

$$\rho_0 C_{p_0} V \frac{dT_0}{dt} = \rho_1 C_{p_1} T_1 Q_1 + \rho_2 C_{p_2} T_2 Q_2 - \rho_0 C_{p_0} T_0 Q_0 \quad (۷)$$

رابطه (۷) را میتوان بصورت زیر نوشت :

$$\frac{V}{Q_0} \frac{dT_0}{dt} + T_0 = \frac{\rho_1 C_{p_1}}{\rho_0 C_{p_0}} \frac{Q_1}{Q_0} T_1 + \frac{\rho_2 C_{p_2}}{\rho_0 C_{p_0}} \frac{Q_2}{Q_0} T_2 \quad (۸)$$

پس از تبدیل لاپلاس گرفتن از رابطه (۸) تابع تبدیل پروسس بصورت زیر بدست میآید :

$$T_0(S) = \frac{1}{C_{p_0} Q_0 (1 + \frac{V}{Q_0} S)} [H_1(S) + H_2(S)] \quad (۹)$$

که در آن :

$$H_1(S) = \int [\rho_1 C_{p1} Q_1 T_1]$$

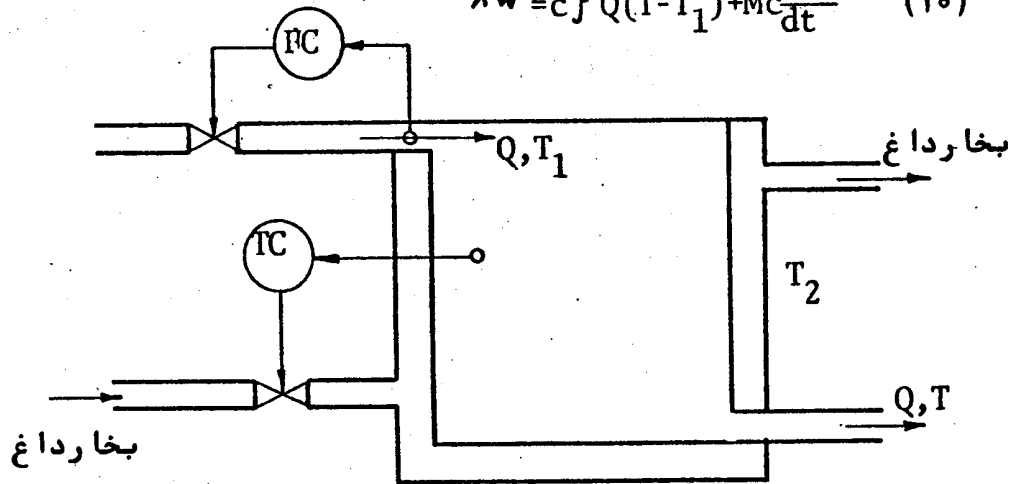
$$H_2(S) = \int [\rho_2 C_{p2} Q_2 T_2]$$

از رابطه (۹) ملاحظه میشود که تابع تبدیل مربوط کننده درجه حرارت خروجی به مقدار حرارت‌های ورودی دارای ثابت زمانی $\tau = \frac{V}{Q_0}$ است یعنی ثابت زمانی نسبت مستقیم با حجم مخزن و نسبت معکوس با دبی خروجی دارد.

مثال ۲- تبادل حرارت : در پروسس حرارتی شکل ۱۱ برای گرم کردن مایعی که با دبی Q در جریان است و هدف افزایش آن از دمای T_1 به دمای T است از بخار داغ استفاده میشود که ارزش حرارتی آن λ (cal/kg) است. معادلات دیفرانسیل و تابع تبدیل پروسس را بدست آورید.

مقداری از حرارت متبادله صرفاً افزایش درجه حرارت و بقیه صرفاً ایجاد تغییرات دما میشود که متناسب با وزن مایع درون مخزن M و نرخ تغییرات درجه حرارت است یعنی:

$$\lambda W = c_f Q (T - T_1) + M c \frac{dT}{dt} \quad (10)$$



شکل ۱۱- پروسس تبادل حرارت

در رابطه فوق ρ چگالی مایع در حال جریان در مخزن و دارای واحد kg/m^3 و w دبی وزنی بخار داغ و واحد آن kg/sec میباشد.

از مقایسه معادله دیفرانسیل (۱۰) با معادله دینامیک پروسس مایعی که بصورت $C \frac{dh}{dt} = q_i - q_o$ است ملاحظه میشود تشابهی بین این دو معادله وجود دارد و در این مثال λw نقشی مشابه q_i و $c \rho Q (T - T_1)$ نقشی مشابه q_o و Mc ظرفیت حرارتی سیال درون مخزن است که نقشی مشابه C ظرفیت پروسس مایعی دارد. بنابراین در این نوع پروسسها رابطه عمومی زیر برقرار است:

(۱۱) جریان ورودی - جریان خروجی - ظرفیت \times تغییرات پتانسیل

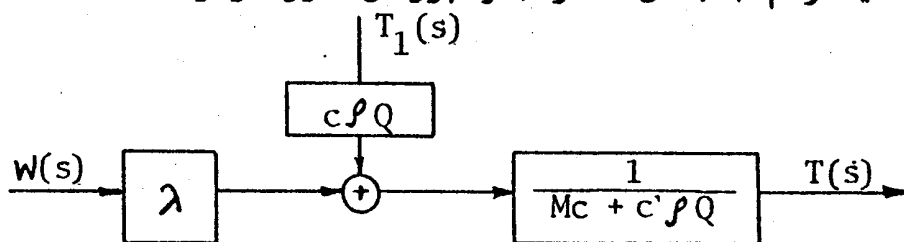
معادله دینامیک (۱۰) را میتوان بصورت زیر نوشت:

$$Mc \frac{dT}{dt} + c \rho Q T = \lambda w - c \rho Q T_1 \quad (12)$$

از تبدیل لاپلاس معادله (۱۲) نتیجه میشود:

$$(sMc + c \rho Q) T(s) = \lambda w(s) - c \rho Q T_1(s) \quad (12)$$

دیاگرام جعبه‌ای مدار باز پروسس بصورت زیر است:



شکل ۱۲- دیاگرام جعبه‌ای مدار باز پروسس تبادل حرارت

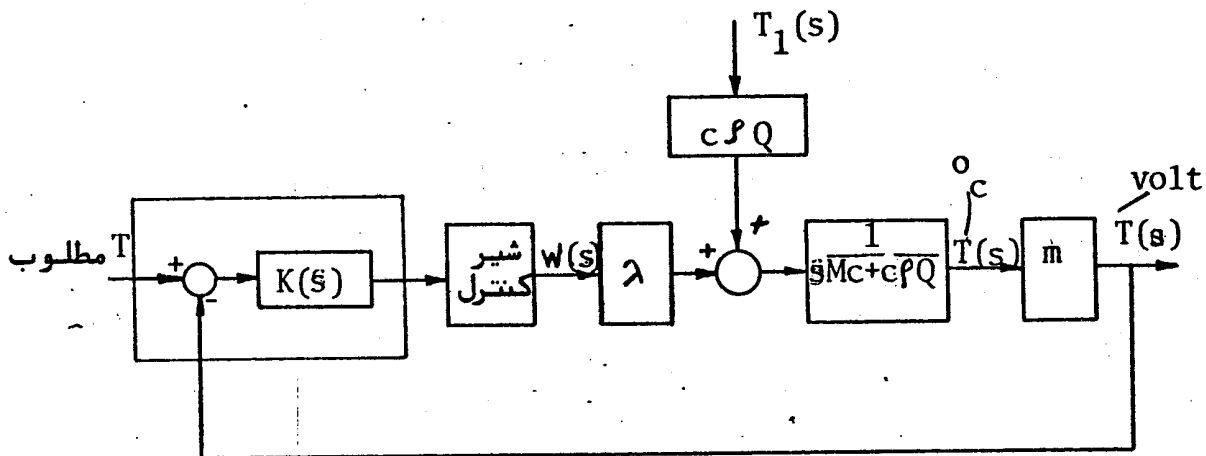
دز مقایسه با فرم استاندارد پروسس درجه یک:

$$\frac{\frac{1}{c \rho Q}}{\frac{Mc}{c \rho Q} s + 1} = \frac{1}{s \tau + 1} \quad (12)$$

نتیجه میشود ثابت زمانی پروسس برابر است با:

$$\tau = \frac{Mc}{c\rho Q}$$

برای کنترل درجه حرارت سیال خروجی T باید دبی بخار داغ ورودی به مبدل حرارتی را تنظیم نمود و برای کنترل دبی از شیرکنترل در مسیر ورودی سیال به مخزن استفاده میشود. دیاگرام جعبه‌ای مدار بسته پروسس با فرض اینکه ثابت زمانی اندازه گیری درجه حرارت در مقایسه با ثابت زمانی پروسس ناچیز است بصورت زیر میباشد.



شکل ۱۳- دیاگرام جعبه‌ای مدار بسته پروسس تبادل حرارت

معادله دینامیک و تابع تبدیل پروسس بفرض کاملاً عایق بودن جداره مبدل حرارتی بدست آمد. اگر جداره کاملاً عایق نباشد خواهیم داشت:

$$(16) \text{ حرارت خارج شده از جداره} + Mc \frac{dT}{dt} = c\rho Q(T - T_1) + \lambda W$$

حرارت خارج شده از جداره به اختلاف دمای محیط و داخل مخزن و نیز مقاومت حرارتی (عایق) جداره بستگی دارد زیرا:

$$R = k \frac{d}{A} \quad \text{جریان حرارتی جداره} = \frac{T - T_2}{R}$$

که k ضریبی است که به جنس جداره بستگی دارد و d ضخامت جداره و A سطح مقطع جداره است.

تمرین ۱ - مثال ۱ را برای حالتی حل کنید که جداره مخزن کاملاً عایق نباشد و مقداری از حرارت خود را به صورت هدایت به محیط خارج با دمای T_3 بدهد. اگر سطح مشترک مخزن و محیط A و ضریب هدایت جداره K باشد بلوک دیاگرام پروسس را رسم کرده و ثابتهای زمانی را در دو حالت مقایسه کنید.

تمرین ۲ - اگر علاوه بر فرضیات تمرین ۱ مقداری از حرارت در جداره مخزن ذخیره شود معادلات جدید را بنویسید و بلوک دیاگرام پروسس را رسم کنید. حجم جداره V_3 و حرارت ویژه آن C_{p_m} و چگالی آن ρ_m می باشد.

تمرین فصل دوم :

دو مایع وارد محفظه‌ای با حجم V میشوند. مایعات دارای دبی‌های Q_1 و Q_2 و درجه حرارت‌های T_1 و T_2 و گرمای ویژه C_1 و C_2 و وزن مخصوص‌های ρ_1 و ρ_2 میباشند. در داخل محفظه مایعات خوب مخلوط شده و سپس مایع مخلوط با دبی $Q_0 = Q_1 + Q_2$ و درجه حرارت T_0 و گرمای ویژه C_0 و وزن مخصوص ρ_0 از محفظه خارج میشود.

الف : اگر جداره محفظه کاملاً عایق شده باشد معادله دیفرانسیل پروسس را بنویسید.

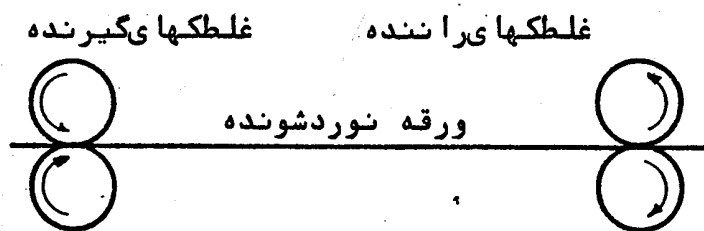
ب : چگونه میتوان درجه حرارت T_0 را کنترل نمود.

ج : اگر جداره خوب عایق نشده باشد و مخلوط مقداری از حرارت خود را به محیط خارج که دارای درجه حرارت T_3 است از دست بدهد معادله دیفرانسیل جدید را بنویسید. سطح مشترک محفظه با محیط خارج A و ضریب هدایت جداره K است رابطه ثابت زمانی در این حالت با حالت قبل چیست؟

فصل سوم - پروسسهای نورد

۱-۳- مقدمه :

این پروسسها در صنایع فولاد، آلومینیوم، نساجی، کاغذ و پلاستیک سازی انجام میشود. پروسس نورد توسط غلطک هائیی که ماده نورد شونده بین آنها قرار میگیرد، انجام میگردد. در هر پروسس نورد غلطک های متعددی وجود دارد که دوزوج از آنها حائز اهمیت هستند. یک زوج غلطک بنام غلطک های گیرنده و زوج دیگری بنام غلطک های راننده، که غلطک های راننده نقش و وظیفه جلو راندن ماده نورد شونده و غلطک های گیرنده وظیفه نگاهداشتن ماده رابعده دارند.



شکل ۱ - اجزاء اصلی پروسس نورد

در هر پروسس نورد دو عامل ضخامت و کشش ورقه های نورد شونده مطرح است که کنترل آنها مسئله اساسی در هر پروسس نورد است.

۲-۳- کنترل ضخامت در نورد قطعات فلزی :

کنترل ضخامت در نورد ورقه های فلزی مطرح است. پروسس نورد بدو صورت سرد و گرم انجام میشود. در نورد گرم فلز بر حسب نوع در کوره تادمای $1200^{\circ}C - 600^{\circ}C$ حرارت دیده و گرم میشود سپس تحت عمل نورد قرار میگیرد. در نورد سرد فلز بدون گرم شدن تحت عمل نورد قرار میگیرد.

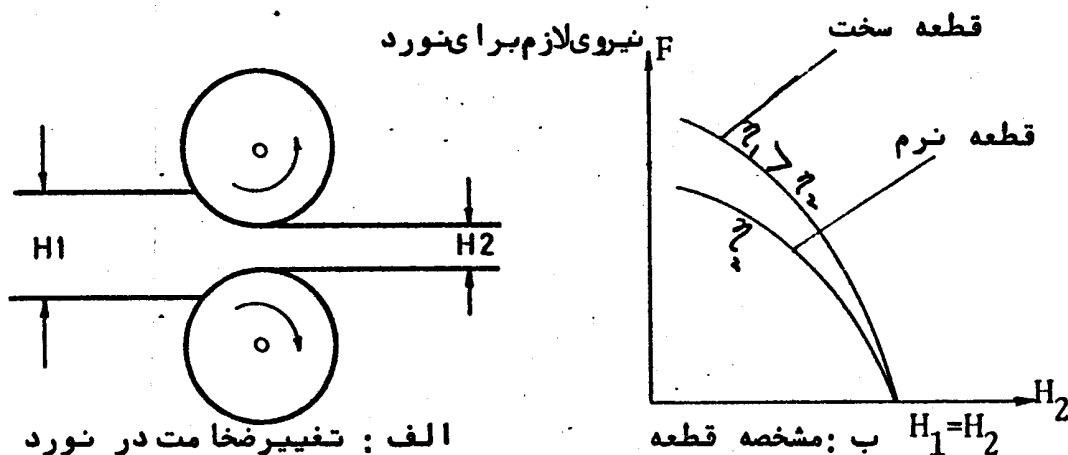
برای کنترل ضخامت ورقه نورد شونده لازم است عوامل موثر بر آن را شناخت. بدین جهت به بررسی عوامل موثر بر ضخامت میپردازیم.

۱-۲-۳- نیروی نورد:

نیروی لازم برای نورد یک قطعه فلز از ضخامت H_1 به H_2 برای واحد عرض قطعه پس از ساده شده بصورت زیر است:

$$F = C \cdot \eta \sqrt{H_1 - H_2} \quad (1)$$

که در آن C مقدار ثابت و η سختی فلز است. سختی فلز به جنس و درجه حرارت آن بستگی دارد و هر چه درجه حرارت آن بیشتر باشد سختی کمتر است.



شکل ۲ - نیروی نورد

۲-۲-۳- مشخصه دستگاه نورد:

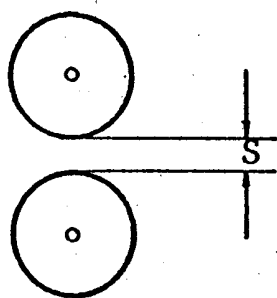
در قسمت قبل با رابطه مشخصات قطعه و نیروی لازم برای نورد آشنا شدیم اما از آنجاکه نیروی نورد علاوه بر مشخصات قطعه به مشخصات دستگاه نورد

نیز بستگی دارد. بدین جهت لازم است رابطه نیروی لازم برای نورد و مشخصات دستگاه نورد تعیین گردد.

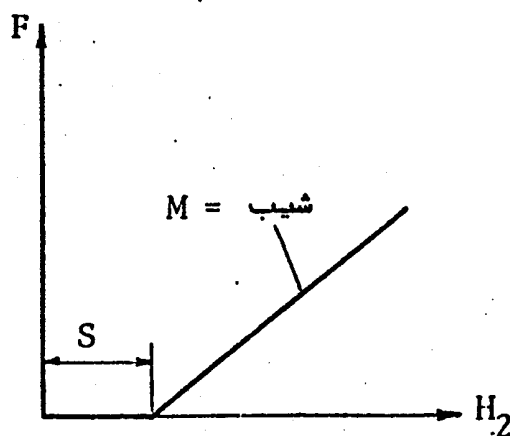
فاصله بین دو غلطک در اثر قرار گرفتن قطعه بین آنها زیاد میشود که این افزایش فاصله بستگی به نیروی نورد دارد. این افزایش فاصله در اثر اعمال نیرو به محفظه دستگاه نورد ایجاد میشود، در نتیجه به خصوصیات دستگاه نورد که بصورت ضریب سختی یا مدول دستگاه نورد M تعریف میشود، بستگی دارد. بطوریکه :

$$H_2 = S + \frac{F}{M} \quad (2)$$

مدول یا ضریب سختی دستگاه نورد بستگی مستقیم با سختی دستگاه نورد دارد و هرچه این مدول بزرگتر و یا عبارتی دستگاه نورد سخت تر باشد، نیروی نورد بیشتر خواهد بود.



الف : فاصله بین غلطکها

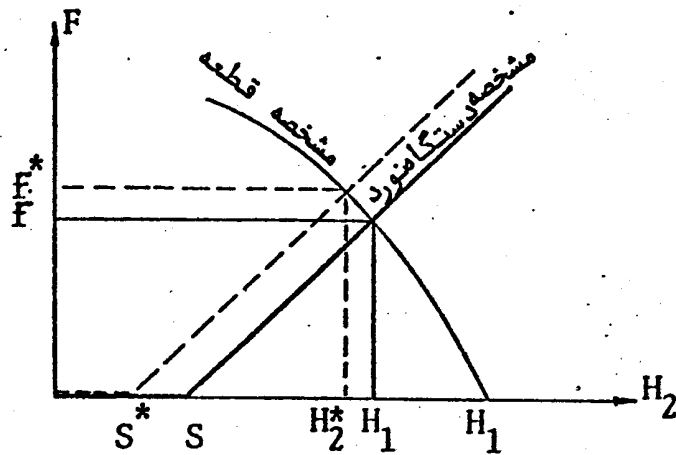


ب : مشخصه دستگاه نورد

شکل ۳- اثر دستگاه نورد بر نیروی نورد

۳-۲-۳- تعیین ضخامت خروجی :

ضخامت خروجی قطعه نورد شونده H_2 طبق رابطه (۱) با ضخامت ورودی قطعه H_1 و نیروی نورد بستگی دارد و نیروی نورد طبق رابطه (۲) به مدول دستگاه نورد بستگی دارد. در نتیجه ضخامت خروجی قطعه از تلاقی مشخصه های قطعه و دستگاه نورد بدست می آید. شکل ۴ اثر فاصله بی باری غلطکها را بر ضخامت خروجی قطعه نشان میدهد.



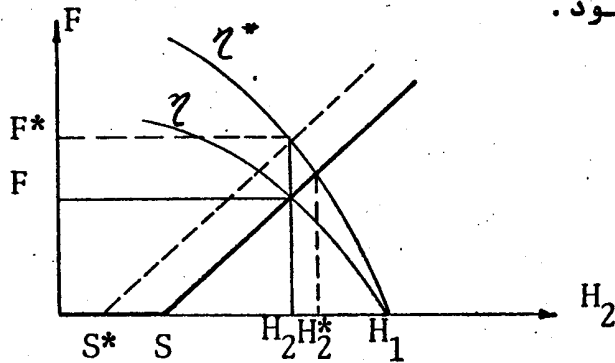
شکل ۴- اثر فاصله بی باری بر ضخامت خروجی

از شکل ۴ ملاحظه میشود برای قطعه ای با ضخامت ورودی H_1 در صورتیکه فاصله بی باری غلطکها S باشد ضخامت قطعه خروجی H_2 است و اگر فاصله بی باری غلطکها به S^* کاهش یابد ضخامت قطعه خروجی به H_2^* کاهش مییابد. البته نیروی نورد از F به F^* افزایش مییابد. بنابراین میتوان نتیجه گرفت برای کنترل ضخامت خروجی قطعه باید فاصله غلطکها را تنظیم نمود.

۴.۲.۳- علل تغییر ضخامت خروجی :

با مقدار ثابت فاصله بی باری غلطکها اگر هر یک از عوامل ضخامت ورودی H_1 و یا سختی قطعه η تغییر نماید ، ضخامت خروجی نیز تغییر مینماید. یعنی در پروسس نورد ضخامت ورودی و سختی قطعه بصورت اختلال عمل مینمایند. در این قسمت به بررسی اثر ایندو عامل میپردازیم .

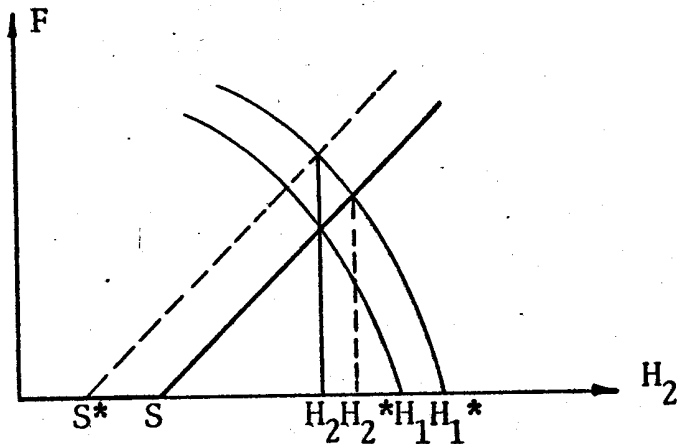
الف : تغییر سختی فلز : در صورتیکه سختی قطعه η و فاصله بی باری غلطکها S باشد ، ضخامت خروجی H_2 خواهد بود . اگر سختی قطعه از η به η^* تغییر نماید به ازاء همان فاصله بی باری غلطکها ضخامت خروجی H_2^* خواهد بود . برای کنترل ضخامت خروجی (برای آنکه به ازاء سختی فلز η^* همان ضخامت خروجی H_2 بدست آید) باید فاصله بی باری غلطکها را به S^* کاهش داد (شکل ۵) بنابراین برای جبران تغییرات سختی قطعه باید فاصله بی باری غلطکها را تنظیم نمود .



شکل ۵- اثر تغییر سختی فلز بر ضخامت خروجی

ب : تغییر ضخامت ورودی : در صورتیکه ضخامت ورودی قطعه H_1 و فاصله بی باری غلطکها S باشد ضخامت خروجی H_2 خواهد بود . اگر ضخامت ورودی به H_1^* تغییر یابد به ازاء همان فاصله

بی باری غلطکها ضخامت خروجی به H_2^* تغییر خواهد یافت. برای کنترل ضخامت خروجی (برای آنکه به ازاء ضخامت ورودی H_1^* ، ضخامت خروجی همان مقدار H_2 بدست آید) باید فاصله بی باری غلطکها را به S^* تغییر داد. در نتیجه برای جبران تغییرات ضخامت ورودی باید فاصله بی باری غلطکها را تنظیم نمود.



شکل ۶- اثر تغییر ضخامت ورودی بر ضخامت خروجی

برای بررسی نحوه اثر این تغییرات بر روی پروسس نورد روابط (۱) و (۲) را بصورت زیر در نظر میگیریم:

$$F = C \cdot \sqrt{H_1 - H_2}$$

$$H_2 = S + \frac{F}{M}$$

اگر کمیات را بصورت تغییرات از مقادیر مربوطه در نقطه کار در نظر بگیریم رابطه مشخمه دستگاه نورد را میتوان بصورت زیر نوشت:

$$\Delta H_2 = \Delta S + \frac{\Delta F}{M} \quad (۳)$$

و با نمایش تغییرات به حروف کوچک رابطه
(۳) را میتوان بصورت زیر نوشت :

$$h_2 = \epsilon + \frac{f}{M} \quad (4)$$

رابطه غیرخطی مشخصه قطعه را بصورت زیر
میتوان خطی نمود :

$$f = \Delta F = \left(\frac{\partial F}{\partial \eta}\right)_0 \Delta \eta + \left(\frac{\partial F}{\partial H_1}\right)_0 \Delta H_1 + \left(\frac{\partial F}{\partial H_2}\right)_0 \Delta H_2 \quad (5)$$

و چون :

$$\left(\frac{\partial F}{\partial \eta}\right)_0 = C \sqrt{(H_1)_0 - (H_2)_0} = p \quad (6)$$

$$\left(\frac{\partial F}{\partial H_1}\right)_0 = \frac{C}{2\sqrt{(H_1)_0 - (H_2)_0}} = q \quad (7)$$

$$\left(\frac{\partial F}{\partial H_2}\right)_0 = -q \quad (8)$$

p مقداری ثابت میباشد .

q معرف سختی قطعه است و هرچه مقدار آن
زیادتر باشد قطعه سخت تر است. از قرار دادن
روابط (۶)-(۸) در رابطه (۵) نتیجه میشود :

$$f = p \cdot \eta + q \cdot h_1 - q \cdot h_2 \quad (9)$$

از قراردادن رابطه (۹) در رابطه (۴) نتیجه
میشود :

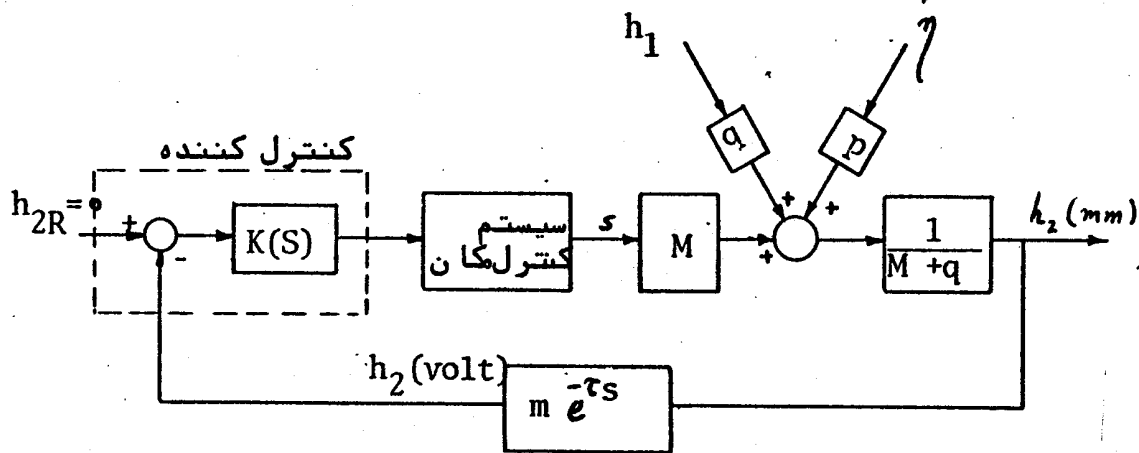
$$h_2 = \epsilon + \frac{1}{M} (p \cdot \eta + q \cdot h_1 - q \cdot h_2)$$

و یا :

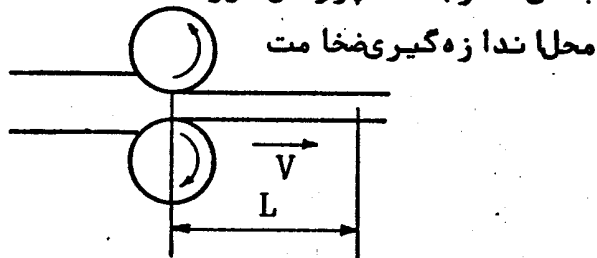
$$h_2 = \frac{M}{M+q} \epsilon + \frac{1}{M+q} (p \cdot \eta + q \cdot h_1) \quad (10)$$

از رابطه (۱۰) ملاحظه میشود، پروسس نورد فاقد دینامیک است و چون s بوسیله سیستم کنترل مکان قابل تنظیم است فاصله غلطکها سیگنال کنترل و سختی قطعه و ضخامت ورودی اختلالهای موثر بر پروسس هستند.

چون غلطکها فلز را نورد میکنند، داغ میشوند که اگر خنک نشوند اکسیده شده و اصطلاحاً " میسوزند. بدین جهت بر روی غلطکها آب پاشیده میشود تا آنها را خنک کنند. از اینرو در این محل بخار داغ وجود دارد و به علت بالا بودن دما امکان اندازه گیری ضخامت در این محل وجود ندارد. بالاجبار عمل اندازه گیری دو تا سه متر دورتر از غلطکها انجام میشود. در نتیجه در اندازه گیری تاخیری برابر $\tau = \frac{L}{V}$ بوجود میآید. (شکل ۷)



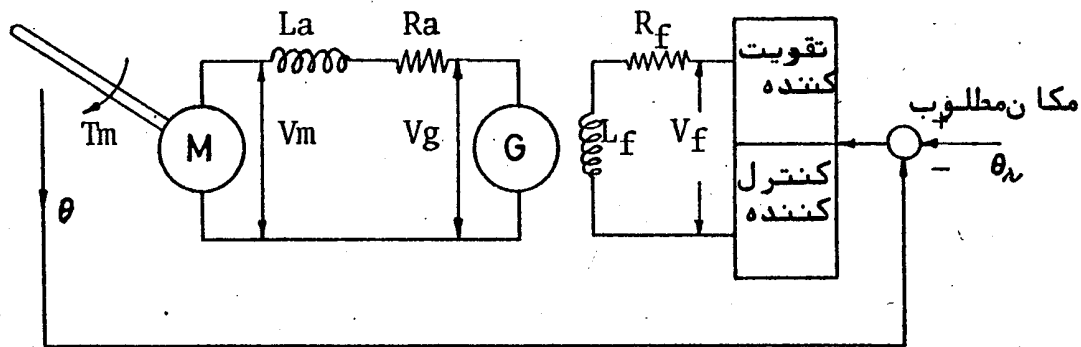
شکل ۸- دیاگرام جعبه‌ای مدار بسته پروسس نورد



شکل ۷- تاخیر در اندازه‌گیری ضخامت

۵.۲.۲- سیستم کنترل مکان یا سرعت :

در قسمت های قبل دیدیم برای کنترل ضخامت خروجی قطعه نورد شونده لازم است فاصله بی باری غلطکها تنظیم گردد. برای این منظور به سیستم کنترل مکان نیاز است. یکی از این سیستم ها که بسیار متداول است سیستم وارد - لئونارد Ward-Leonard میباشد. از اینرو به بررسی این سیستم میپردازیم.



شکل ۹- سیستم کنترل مکان وارد- لئونارد

با توجه به شکل ۹ جریان میدان تحریک برابر است با :

$$I_f(S) = \frac{V_f(S)}{SL_f + R_f} \quad (11)$$

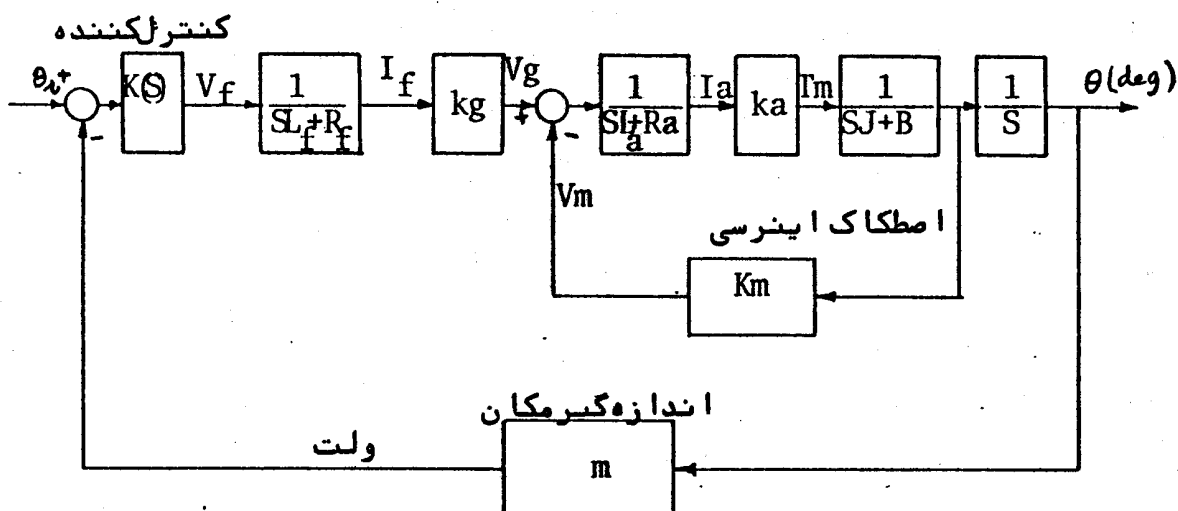
و چون ولتاژ القایی در ژنراتور متناسب با جریان تحریک است میتوان نوشت :

$$V_g(S) = K_g I_f(S) \quad (12)$$

و جریان آرمیچر را طبق قانون ولتاژ کیرشف میتوان از رابطه زیر بدست آورد :

$$V_g(S) - V_m(S) = I_a(S) \cdot (SL_a + R_a) \quad (13)$$

از طرفی سرعت گردش موتور متناسب با ولتاژ آن است
در نتیجه میتوان نوشت :



شکل ۱۰ - دیاگرام جعبه‌ای سیستم کنترل مکان وارد- لئونارد

$$V_m(S) = K_m \cdot (S) \quad (14)$$

و چون گشتاور محرک متناسب با جریان آرمیچر است
میتوان نوشت :

$$T_m(S) = K_a \cdot I(S) \quad (15)$$

بر روی محور موتور یک سیستم انتقال قدرت مکانیکی
(معمولاً "چرخنده") قرار دارد که شامل اصطکاک B و
اینرسی J است (J اینرسی کل روی محور موتور است) در
نتیجه میتوان نوشت :

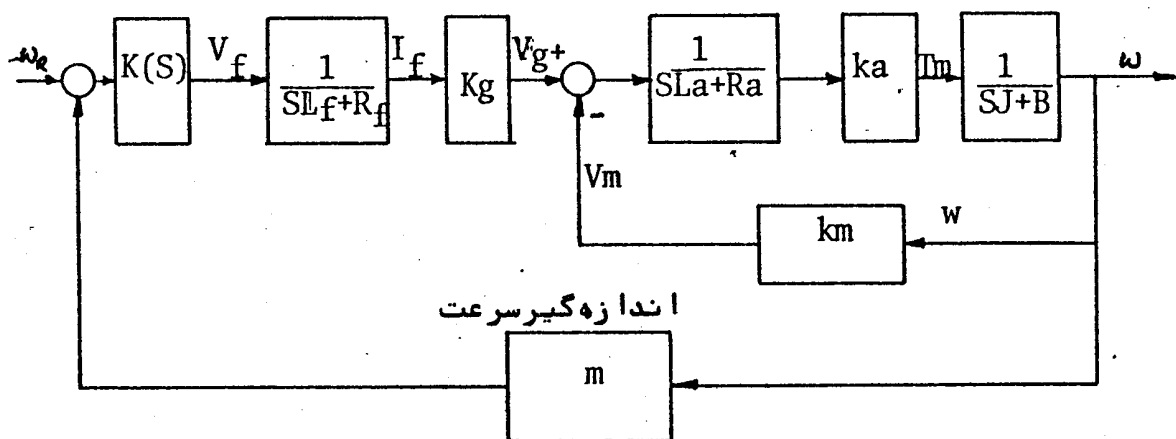
$$T_m(S) = JS \omega(S) + B \omega(S) \quad (16)$$

که در آن $\omega(S)$ سرعت زاویه‌ای میباشد یعنی $\omega = \frac{d\theta}{dt}$
دیاگرام جعبه‌ای این سیستم کنترل مکان در شکل ۱۰
ملاحظه میشود.

از این سیستم برای کنترل سرعت نیز میتوان استفاده کرد. در این مورد دیاگرام جعبه‌ای بصورت شکل ۱۱ است.

برای گرداندن موتور بعلت بارزیادی که بر روی آن قرار دارد قدرت زیاد مورد نیاز است و چون V_f ولتاژ خروجی از کنترل کننده به اندازه کافی نیست آنرا تقویت الکترو دینامیکی مینمایند تا ولتاژ V_g تقویت شده به حد مورد نیاز برسد.

ثابت های زمانی الکتریکی یعنی $\frac{L_f}{R_f}$ و $\frac{L_a}{R_a}$ نسبت به ثابت زمانی مکانیکی $\frac{J}{B}$ کوچک و قابل اغماض هستند در نتیجه سیستم کنترل مکان عملی از درجه دو است و سیستم کنترل سرعت از درجه یک میباشد.



شکل ۱۱- دیاگرام جعبه‌ای سیستم کنترل سرعت وارد- لئونارد

۳-۲- کنترل کشش در نورد :

کنترل کشش در پروسسهای نورد حائز اهمیت است زیرا عدم یکنواختی کشش در ورقه ها و صفحات اثرات زیر را در بر دارد :

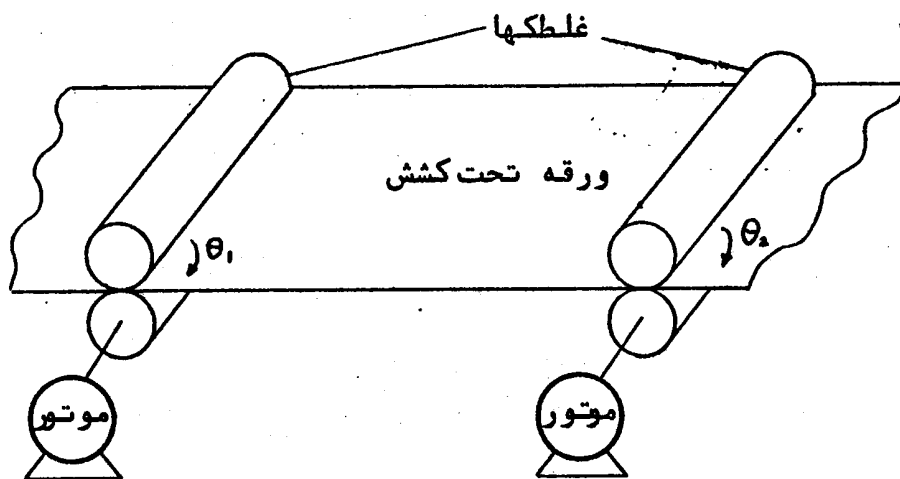
الف : در مورد پلاستیک ، پارچه ، کاغذ و امثال آنها سبب شل شدن یا کشیده شدن ورقه ها میگردد و این موضوع

سبب دشواریهای چاپ روی ورقه ها و یا رنگ زدن و غیره
میشود .

ب : در مورد فلزات باعث اعوجاج صفحات و نامسطح بودن آنها
میکردد .

۱-۲-۳- کشش در ورقه ها :

برای آنکه ورقه ها پاره یا شل نشوند کشش باید
کنترل شود. برای آنکه کشش ثابت نگاه داشته شود
لازم است ورقه زیاد کشیده نشود و شل نیز نگردد. اگر
غلطکها با سرعت سنکرون و ثابت گردش کنند کشش
یکنواخت خواهد بود مگر آنکه خود از نظر داخل
یکنواخت نباشد .



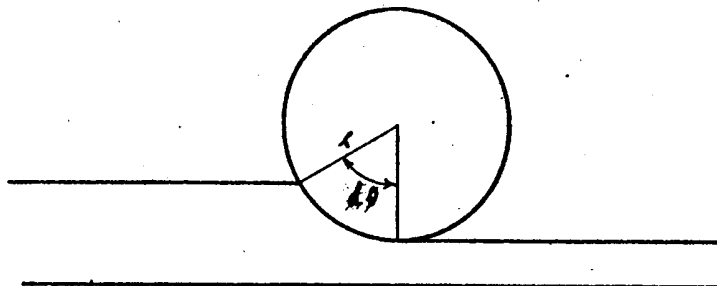
شکل ۱۲- کشش در نورد ورقه ها

وقتی روی ورقه عملیات مکانیکی یا شیمیائی انجام
میگیرد نیروهای اعمال شده سبب تغییر سرعت و در نتیجه
تعییر کشش ورقه میگردد .

ورقه ها را میتوان مواد الاستیکی ایده‌آل فرض کرد .
همچنین قسمتی از ورقه که بین دو غلطک قرار دارد جرمی

نسبتاً " کوچک در مقایسه با جرم و اینرسی غلطکها دارد . وقتی که ورقه بین دو جفت غلطک کشیده میشود قانون هوک Hooke در مورد آن صدق میکند و ورقه متناسب با نیروی وارده از دیاد طول مییابد . و رابطه هوک بصورت زیر در مورد آن صدق مینماید .

$$dT = \frac{EA}{l} dl \quad (17)$$



شکل ۱۳ - تغییر طول در کشش ورقه

که در آن l طول بین دو غلطک متوالی، dl تغییر طول ورقه ، A سطح مقطع ورقه و E مدول الاستیسته است . با توجه به شکل ۱۳ برای $d\theta_1$ کوچک تغییر طول ناشی از زوج غلطک اول برابر است :

$$dl_1 = r d\theta_1$$

و بطریق مشابه تغییر طول ناشی از زوج غلطک دوم با فرض مساوی بودن قطر غلطکها (که معمولاً چنین است) برابر است با :

$$dl_2 = r d\theta_2$$

و چون تغییر طول دوم از محدوده بین غلطکها خارج میشود ، تغییر طول خالص برابر است با :

$$dl = dl_1 - dl_2 = r (d\theta_1 - d\theta_2) \quad (18)$$

از قراردادن رابطه (۱۸) در رابطه (۱۷) نتیجه میشود:

$$dT = \frac{AE}{l} r(d\theta_1 - d\theta_2)$$

از رابطه فوق میتوان نتیجه گرفت:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{AEr}{l} \left(\frac{d\theta_1}{dt} - \frac{d\theta_2}{dt} \right) \quad (19)$$

$$k = \frac{AEr}{l} \quad \text{باتعریف:}$$

رابطه (۱۹) را میتوان بصورت زیرنوشت:

$$\frac{dT}{dt} = k (w_1 - w_2) \quad (20)$$

از رابطه (۲۰) نتیجه میشود برای کشش یکنواخت

$$\frac{dT}{dt} = 0 \quad (\text{ثابت } T = \text{باید})$$

و در نتیجه $w_1 = w_2$ باشد. باتوجه به اینکه رابطه

(۲۰) در نتیجه صرفنظر کردن از اینرسی و اصطکاک

بدست آمده و بطور کلی $\frac{dT}{dt}$ تابعی غیرخطی از T و w

است ولی در اساس این نتیجه و کنترل کشش توسط

تنظیم سرعت گردش غلطکها، صحیح میباشد.

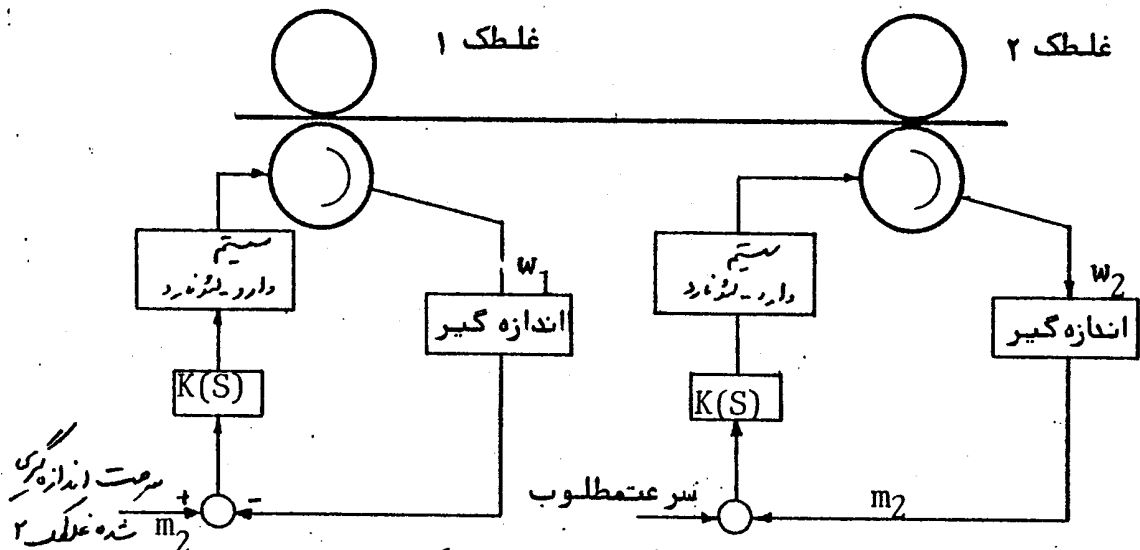
کنترل کشش توسط تنظیم سرعت نسبی غلطکها، روشی غیر

مستقیم است که در آن یکی از غلطکها در سرعت مطلوب

کنترل میشود و غلطک دوم برای ایجاد کشش یکنواخت

برای گردش در سرعتی برابر سرعت غلطک اول کنترل

میشود. (شکل ۱۴)



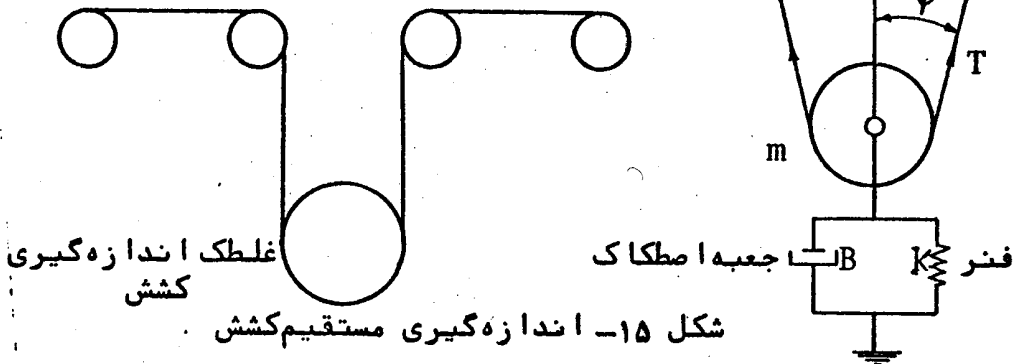
شکل ۱۴- کنترل غیرمستقیم کشش

۲.۳.۳- اندازه‌گیری کشش:

در روش کنترل غیرمستقیم کشش، نیازی به اندازه‌گیری کشش نیست از اینرو این روش بیشتر در مواردیکه اندازه‌گیری کشش بطور مستقیم دشوار است مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در کنترل مستقیم کشش به اندازه‌گیری کشش نیاز است. این روش در صنایعی مانند صنایع نساجی که امکان اندازه‌گیری مستقیم کشش وجود دارد مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای اندازه‌گیری کشش از یک غلطک که نحوه قرار گرفتن آن در پروسس نورد در شکل ۱۵ نشان داده شده است استفاده می‌گردد. در اثر تغییر کشش، غلطک اندازه‌گیری کشش تغییر مکان می‌یابد و بععلت وجود فنر برای نگهداشتن غلطک اندازه‌گیری کشش، شروع به نوسان مینماید. برای مستهلک ساختن نوسانات از جعبه اصطکاک استفاده میشود.

غلطکهای هادی



شکل ۱۵- اندازه‌گیری مستقیم کشش

معادله نیوتن را در امتداد حرکت غلطک میتوان بصورت زیر نوشت :

$$2T\cos\varphi = m \frac{d^2x}{dt^2} + B \frac{dx}{dt} + Kx$$

پس از تبدیل لاپلاس گرفتن از رابطه فوق نتیجه میشود :

$$\mathcal{L}(2T\cos\varphi) = (mS^2 + BS + K) X(S)$$

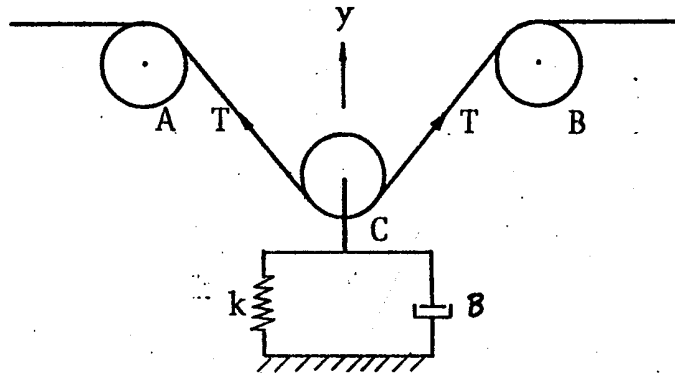
و در نتیجه :

$$X(S) = \frac{\mathcal{L}(2T\cos\varphi)}{mS^2 + BS + K}$$

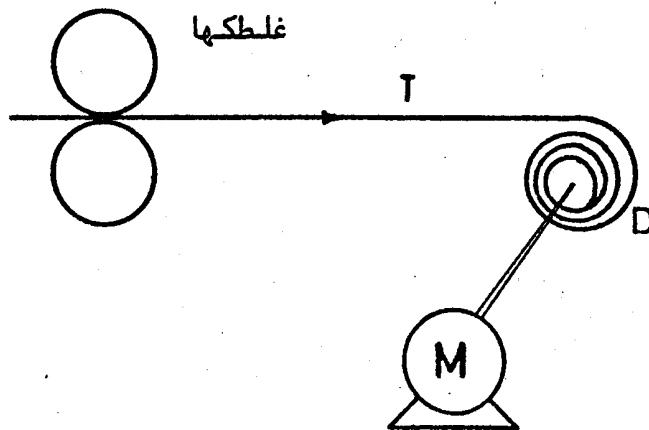
یعنی کشش توسط اندازه گیری تغییر مکان تعیین میشود. چون زاویه φ با تغییر مکان غلطک اندازه گیری تغییر میکند، تبدیل لاپلاس نیرو در امتداد حرکت غلطک بصورت $\mathcal{L}(2T\cos\varphi)$ نشان داده شده است.

تمرین فصل سوم :

۱- در شکل زیر قرقره های A و B در محل خود ثابت و فقط حرکت دورانی دارند. قرقره C که دارای جرم m است علاوه بر حرکت دورانی میتواند در جهت عمودی y نیز حرکت نماید. مرکز قرقره C بتوسط فنری با ضریب k و نیز توسط جعبه اصطکاک با ضریب B به محفظه محکم شده است. نشان دهید با این ترتیب میتوان کشش در ورق یعنی T را اندازه گیری نمود.



۲- در سیستم شکل زیر، موتور M ورق را پس از نورد شدن به دور قرقره D میپیچد. توضیح دهید چگونه میتوان کشش ورق T را در هنگام پیچیده شدن بدور قرقره با تنظیم جریان آرمیچر موتور کنترل نمود. معادلات مربوطه را نوشته و بلوک دیاگرام سیستم کنترل را رسم کنید.



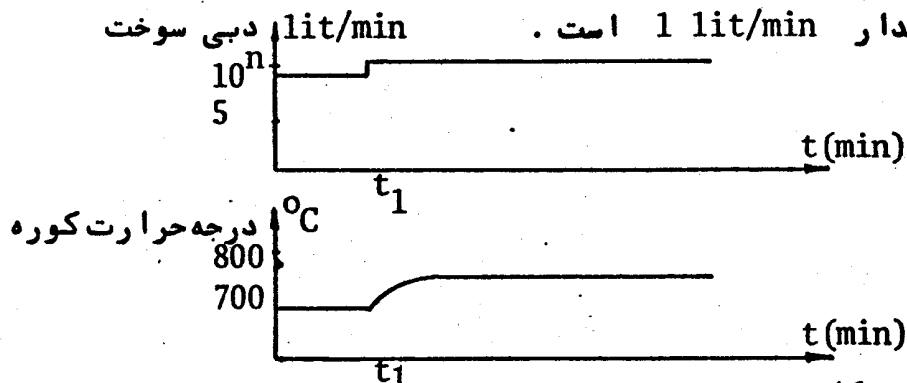
فصل چهارم - تعیین مشخصه پروسسها بروش تجربی

۱۰۴ - مقدمه :

برای تنظیم دستگاہهای کنترل کننده ، مشخصه پروسسها لازم است . اما همواره نمیتوان مشخصه پروسسها (تابع تبدیل آنها) را از روشهای تحلیلی بدست آورد . ازاینرو برای تعیین مشخصه پروسسها از روش تجربی استفاده میشود که در مورد تمام پروسسها قابل اعمال است . برای بدست آوردن مشخصه پروسسها پاسخ پلهائی آنها تعیین میگردد که تابع تبدیل آنها را بدست میدهد . یعنی از تغییر مقدار ورودی بطور ناگهانی و بمیزان کم حول نقطه کار و رسم خروجی ، تابع تبدیل پروسس بدست میآید .

مثال - برای تشریح بیشتر مطلب کوره ای را در نظر میگیریم که در شرایط عادی سوخت بادبی 10 lit/min وارد کوره میشود و درجه حرارت کوره در این نقطه کار 700°C است .

برای تعیین مشخصه این پروسس ، دبی سوخت را که ورودی پروسس است در زمان t_1 بطور ناگهانی از مقدار 10 lit/min به 1 lit/min تغییر داده میشود . در نتیجه اینکار درجه حرارت کوره تغییر یافته و در حالت ماندگار به 800°C میرسد . پاسخ خروجی ، مشخصه پروسس به ازاء تغییر ورودی بطور ناگهانی و بمقدار 1 lit/min است .



شکل ۱- تعیین مشخصه پروسس بروش تجربی

۲۰۴- تقریب پروسس با تابع تبدیل درجه یک :

در تقریب پروسسها سه حالت امکان دارد که هر یک بطور جداگانه مورد بررسی قرار میگیرد.

الف : مشخصه پروسس بطور کامل در دسترس است : در این حالت از طریق اعمال ورودی پله به پروسس میتوان مشخصه پروسس را بطور کامل بدست آورد و در اعمال پله از نظر زمان محدودیتی وجود ندارد. در این صورت مشخصه پروسس مانند شکل ۲ در دست است. بفرض آنکه پروسس از درجه یک باشد میتوان نوشت :

$$\frac{Y(S)}{U(S)} = G(S) = \frac{K}{1+ST} \quad (1)$$

و هدف از تقریب پروسس با تابع تبدیل درجه یک ، بدست آوردن پارامترهای بهره پروسس K و ثابت زمانی T است.

اگر برای بدست آوردن مشخصه پروسس ، ورودی پلهای دامنه a اعمال شده باشد میتوان نوشت :

$$u(t) = a \quad U(S) = \frac{a}{S}$$

در نتیجه :

$$Y(S) = G(S) \cdot U(S) = \frac{K}{1+ST} \cdot \frac{a}{S} \quad (2)$$

پس از معکوس تبدیل لاپلاس گرفتن از رابطه (۲) نتیجه میشود :

$$y(t) = aK(1-e^{-t/T}) \quad (3)$$

که برای ملاحظه خواص سیستم درجه یک میتوان نوشت :

$$y(t) - aK = aKe^{-t/T}$$

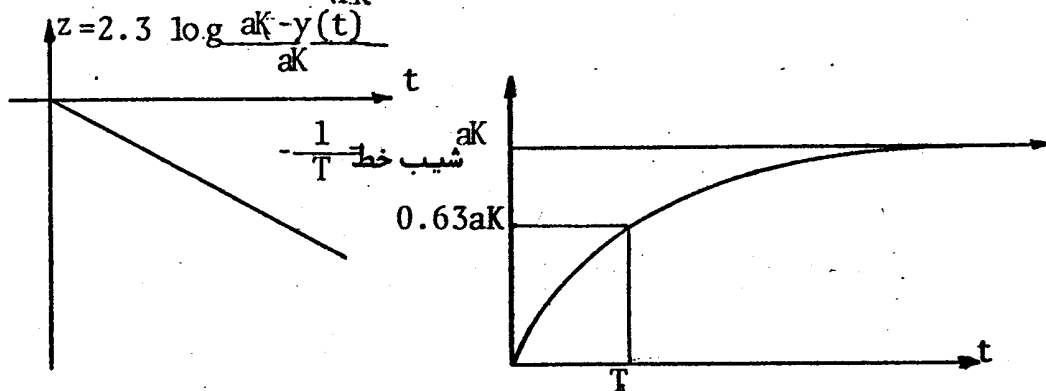
$$\frac{aK - y(t)}{aK} = e^{-t/T} \quad (4) \quad \text{ویا :}$$

که پس از لگاریتم گرفتن از رابطه نتیجه میشود:

$$\ln \frac{aK - y(t)}{aK} = -t/T \quad (5)$$

یعنی بین زمان و لگاریتم پاسخ رابطه خطی برقرار است. برای درک بهتر این مطلب رابطه (5) را میتوان بصورت

$$z = 2.3 \log \frac{aK - y(t)}{aK} = -t/T \quad (6) \quad \text{زیر نوشت:$$



شکل ۳- معیار درجه یک بودن پروس

شکل ۲- پروس درجه یک

بعبارتی اگر تمام نقاط تابع $z = 2.3 \log \frac{aK - y(t)}{aK}$ روی یک خط مستقیم قرار داشته باشد، سیستم درجه یک بوده و در غیر این صورت درجه یک نخواهد بود. بنابراین برای پاسخ به این سوال که پروس از درجه یک است یا خیر؟ باید تابع را برای آن پروس رسم نمود. اگر این تابع خطی بود پروس از درجه یک بوده و بطریقی که بیان خواهد شد میتوان ثابت زمانی و بهره آن را تعیین نمود.

باید توجه داشت که تعیین و یا حدس نادرست بهره K در نتیجه درجه یک بودن یا نبودن پروس تأثیری ندارد.

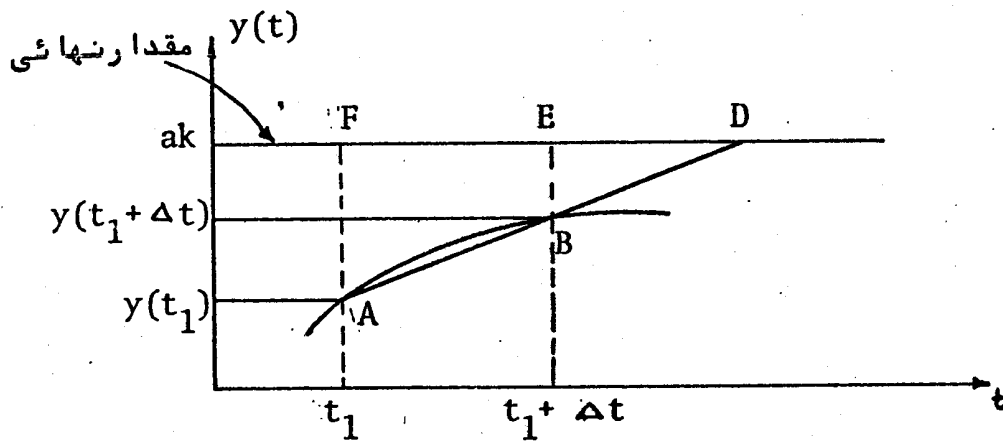
برای تعیین بهره و ثابت زمانی پروسس بطوریکه در شکل ۲ تشریح شده است عمل میشود. یعنی برای تعیین بهره پروسس، مقدار ماندگار (نهائی) پاسخ اندازه گرفته میشود که برابر aK است و با معلوم بودن دامنه ورودی پله a ، بهره پروسس K بدست میآید. و برای تعیین ثابت زمانی با توجه به اینکه:

$$y(T) = aK(1 - e^{-T/T}) = 0.632aK$$

از روی منحنی مشخصه پروسس زمان T را که در آن مقدار پاسخ پروسس به 63.2% مقدار نهائی میرسد بدست میآید.

ب: مشخصه پروسس بطور کامل در دسترس نیست: اگر مشخصه پروسس بطور کامل در دسترس نباشد و یا بدلایلی از قسمتی از منحنی مشخصه برای تعیین بهره و ثابت زمانی پروسس استفاده شود روش فوق را نمیتوان بکار برد. در چنین مواردی از روشی که در این قسمت معرفی میشود، استفاده میگردد.

در این روش باید مقدار نهائی پاسخ و یا عبارتی بهره پروسس در دست باشد. برای تعیین ثابت زمانی پروسس، دو نقطه A و B بر روی منحنی مشخصه پروسس که از نظر زمانی بقدر Δt فاصله دارند در نظر گرفته میشود و خط مستقیمی بین آن دو نقطه رسم میشود (شکل ۴) تا در نقطه D به مقدار نهائی پروسس برسد. و نقاط E و F به ترتیب در زمانهای مربوط به نقاط B و A بر خطی که مصرف مقدار نهائی پاسخ پروسس است، مشخص میگرددند.



شکل ۴- تعیین مشخصه پروسس با استفاده از قسمتی از منحنی

در مثلث های متشابه BDE و ADF میتوان نوشت :

$$\frac{ED}{FD} = \frac{BE}{AF} \quad (7)$$

رابطه (7) را میتوان بصورت زیر نوشت :

$$\frac{FD - \Delta t}{FD} = \frac{BE}{AF} \quad (8)$$

اما : $AF = Ka - y(t_1) = Ka - Ka(1 - e^{-t_1/T}) = Ka e^{-t_1/T}$

$$BE = Ka - y(t_1 + \Delta t) = Ka - Ka(1 - e^{-\frac{t_1 + \Delta t}{T}}) = Ka e^{-\frac{t_1 + \Delta t}{T}} \quad (9)$$

از قراردادن روابط (9) در رابطه (8) نتیجه میشود :

$$\frac{BE}{AF} = e^{-\frac{\Delta t}{T}} = \frac{FD - \Delta t}{FD} \quad (10)$$

با لگاریتم گرفتن از رابطه (10) خواهیم داشت :

$$\frac{BE}{AF} = e^{-\frac{\Delta t}{T}}$$

در نتیجه ثابت زمانی پروسس از رابطه زیر بدست میآید :

$$T = \frac{t}{\ln AF/BE} \quad (11)$$

بر اساس همین روش ، ثابت زمانی را میتوان بنحو دیگری محاسبه نمود . برای این اساس رابطه (۱۰) را میتوان بصورت زیر نوشت :

$$FD = \frac{\Delta t}{1 - e^{-\frac{\Delta t}{T}}} \quad (12)$$

اما بر اساس بسط تیلور میتوان نوشت :

$$1 - e^{-\frac{\Delta t}{T}} = \frac{\Delta t}{T} - \frac{1}{2!} \left(\frac{\Delta t}{T}\right)^2 + \frac{1}{3!} \left(\frac{\Delta t}{T}\right)^3 - \dots \quad (13)$$

از روابط (۱۲) و (۱۳) نتیجه میشود :

$$FD = T + \frac{\Delta t}{2} \left[1 + \frac{1}{6} \frac{\Delta t}{T} - \frac{1}{360} \left(\frac{\Delta t}{T}\right)^2 + \dots \right] \quad (14)$$

که اگر $\Delta t < T$ باشد از رابطه (۱۴) میتوان نتیجه گرفت :

$$T \approx FD - \frac{\Delta t}{2} \quad (15)$$

ج : مدت آزمایش محدود باشد : اکثر پروسه‌های صنعتی آهسته هستند و مدت زمانی طولانی برای رسیدن پروسس به حالت ماندگار لازم است . در این موارد برای بدست آوردن مشخصه پروسس لازم است ورودی پله برای مدتی طولانی به پروسس اعمال شود . این امر یعنی خارج کردن پروسس از شرایط عادی کار برای مدت طولانی ، امری نامطلوب است که پروسس را مختل مینماید .

برای رفع اشکال فوق در تعیین مشخصه پروسس بجای اعمال ورودی پله‌ای ، ورودی بصورت پالس اعمال میگردد (شکل ۵) بدین ترتیب که از نقطه کار برای مدت محدودی ورودی بطور ناگهانی به مقدار در حدود نقطه کار تغییر مینماید و پس از آن ورودی به مقدار مربوط به نقطه کار برگردانده میشود .

درچنین موردی مناسب است کمیات بصورت تغییر از مقدار مربوط به نقطه کار اندازه گرفته شوند. همانطور که در شکل ۶ نشان داده شده است در فاصله زمانی t_1 که ورودی پاس به پروسس اعمال شده پاسخ پروسس روالی را طی خواهد کرد که در زمان t_1 به حالت y_1 میرسد. در این لحظه ورودی پله در جهت مخالف به پروسس اعمال میشود که پاسخ پروسس به T ن مسیری مانند δ را طی خواهد کرد.

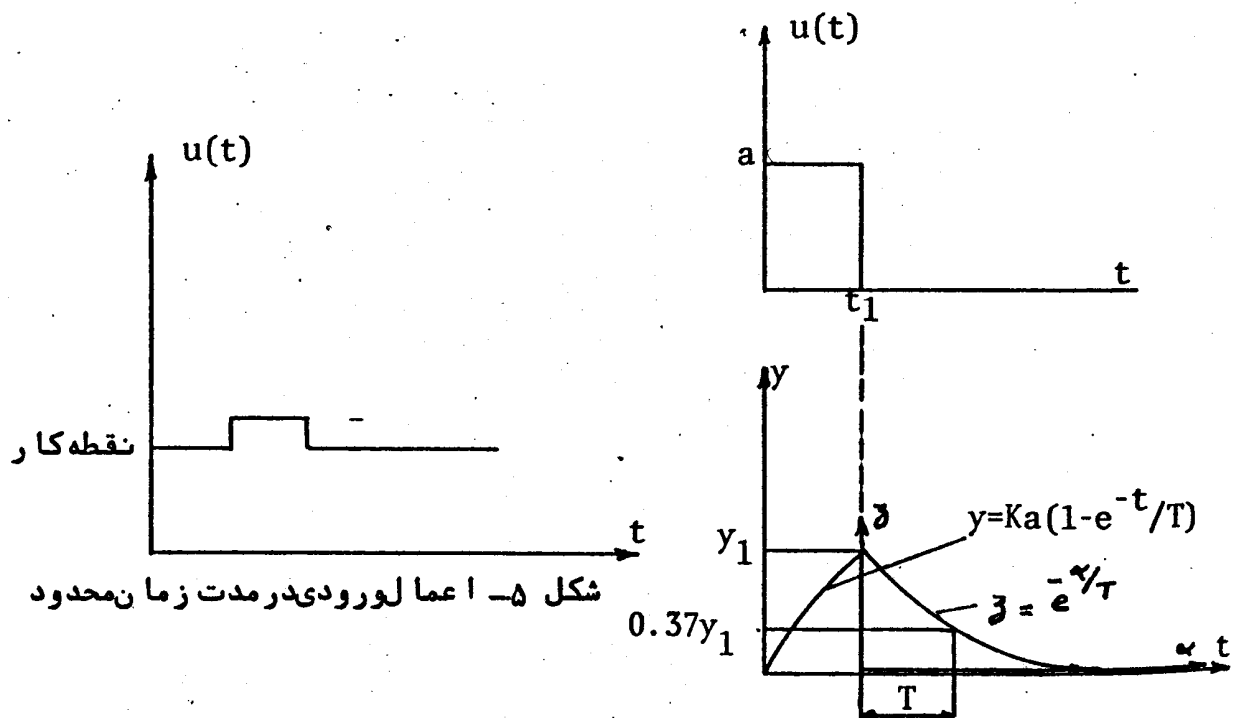
با فرض درجه اول بودن پروسس میتوان نوشت :

$$y_1 = K(1 - e^{-t_1/T}) \cdot a$$

در نتیجه بهره پروسس از رابطه زیر بدست میآید :

$$K = \frac{y_1}{a(1 - e^{-t_1/T})} \quad (16)$$

ثابت زمانی پروسس بصورتی که در شکل ۶ نشان داده شده است تعیین میگردد.



شکل ۵- اعمال ورودی در مدت زمان محدود

شکل ۶- تعیین مشخصه پروسس با اعمال ورودی پاس

۳۰۴- پروسسهای با تاخیر زمانی :

در آنچه که تاکنون مورد بررسی قرار گرفت بین اعمال ورودی به پروسس و شروع تغییرات پاسخ در اثر آن فاصله‌ای زمانی وجود نداشت. اما در اکثر پروسسهای صنعتی بین اعمال ورودی و شروع تغییرات پاسخ فاصله‌ای زمانی وجود دارد که تاخیر زمانی نامیده میشود. در این قسمت این امر مورد بررسی قرار گرفته و روشهایی برای تقریب زدن این نوع پروسسها با پروسسهای درجه یک ارائه میگردد.

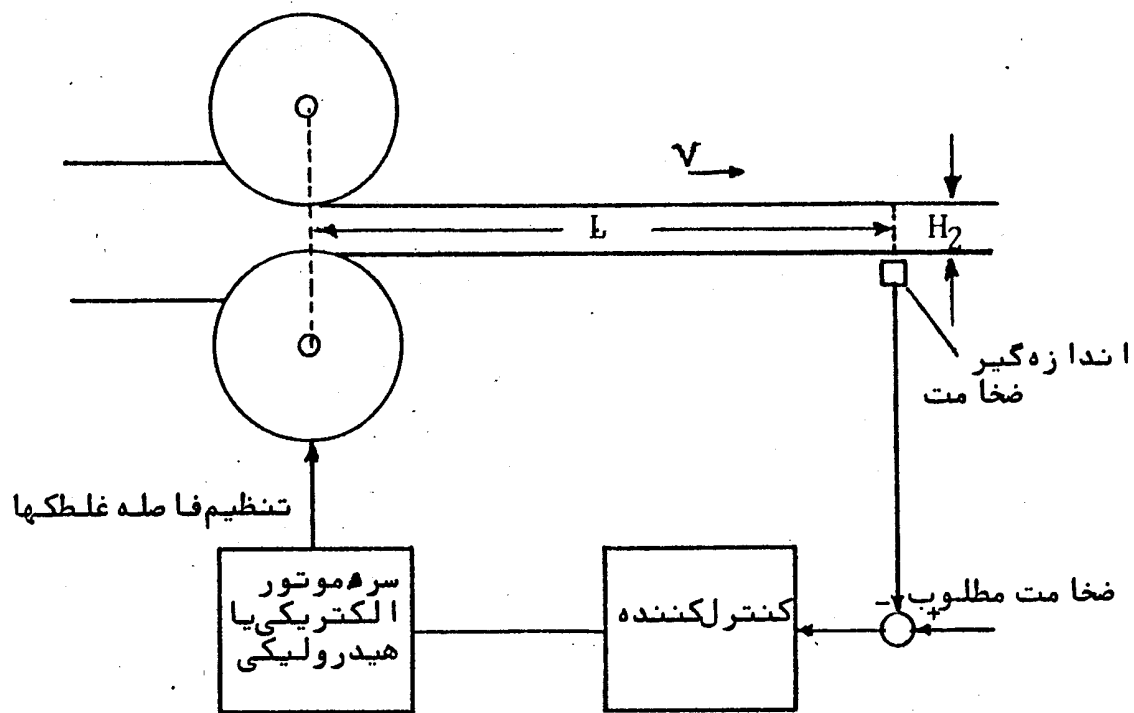
۱.۳.۴- علل بوجود آمدن تاخیر زمانی:

تأخیر زمانی ممکن است بدو صورت در پروسسها ظاهر گردد: یکی در اثر قرار گرفتن وسیله اندازه‌گیری در فاصله‌ای از محل اعمال کنترل و دیگری بواسطه نحوه کار و طبیعت پروسس که هر دو مورد با ذکر چند مثال بررسی میگردد.

الف: تاخیر زمانی بواسطه موقعیت وسیله اندازه‌گیر:

در بسیاری از پروسسها نمیتوان وسیله اندازه‌گیری را در محلی که در آن عمل کنترل انجام میگردد قرار داد. این موضوع سبب ایجاد تاخیر زمانی در سیستم کنترل میگردد.

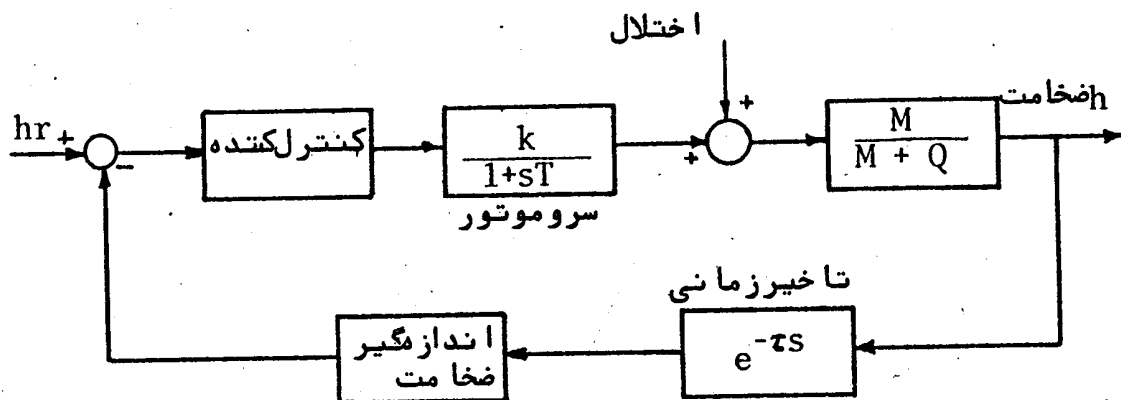
مثال ۱- کنترل ضخامت در پروسس نورد - قطعاً ت فولادی در پروسس نورد در حین عبور از بین غلطکها در اثر نیروهای وارد فشرده شده و از ضخامت آنها کاسته و بر طول آنها افزوده میگردد. کنترل ضخامت یکی از مسائل اساسی پروسس نورد است و شکل ۷ نحوه کنترل را بطور خلاصه نشان میدهد.



شکل ۷- کنترل ضخامت در پروسس نورد

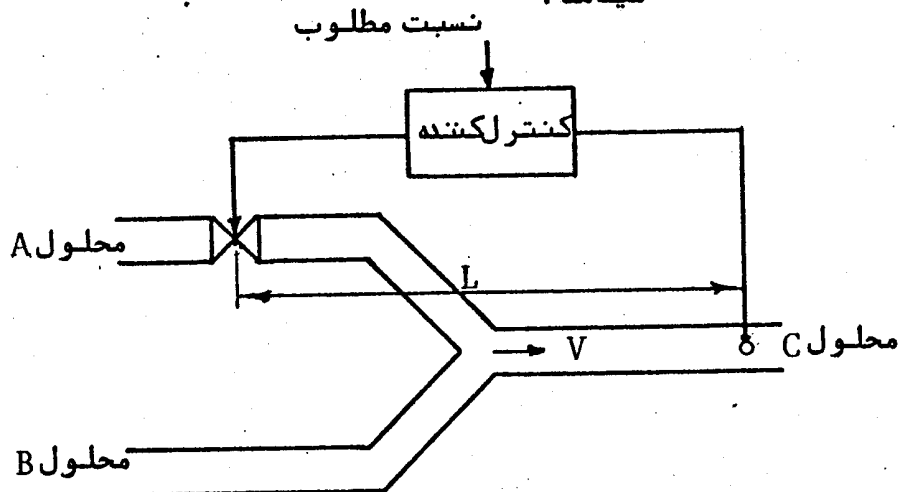
بعلت کار مکانیکی زیادی که در دهانه غلطکها برای تغییر فرم دادن فولاد انجام میگیرد و نیز بدلیل دمای زیاد فولاد و غلطکها در نورد گرم، حرارت زیادی تولید میشود و از اینرو برای خنک کردن سطح غلطکها روی آنها آب پاشیده میشود که بلافاصله بخار میگردد. بعلت وجود بخار آب و حرارت زیاد در دهانه غلطکها و در نزدیکی آنها قرار دادن وسیله اندازه گیر امکان پذیر نیست. از اینرو اندازه گیر ضخامت در فاصله چند متری از دهانه غلطکها قرار میگیرد. اگر فاصله اندازه گیر تا محل دهانه غلطکها با L و سرعت قطع با V نشان داده شود هر نقطه از صفحه فولادی پس از مدت زمان $t = \frac{L}{V}$ به محل اندازه گیری میرسد. پس از اندازه گیری

ضخامت و مقایسه با مقدار مطلوب آن ، کنترل کننده مقدار تنظیم لازم در دهانه غلطکها را انجام میدهد. در این پروس دیاگرام جعبه‌ای پروس مدار بسته بصورت شکل ۸ است که در آن اختلال ممکن است در اثر تغییر سختی صفحه فولادویا تغییر ضخامت ورودی صفحه فولادی بر روی ضخامت خروجی اثر بگذارد.



شکل ۸- دیاگرام جعبه‌ای سیستم کنترل ضخامت در پروس نورد

مثال ۲- کنترل نسبت محلولها در پروس شیمیایی: شکل ۹ مثال دیگری از وجود تاخیر زمانی در اثر موقعیت محل اندازه گیری نشان میدهد.



شکل ۹- تاخیر در اثر اندازه گیری در پروس شیمیایی

در این پروسس دو محلول A و B با یکدیگر مخلوط میشوند و لازم است نسبت دو محلول در مخلوط C کنترل شود. غلظت محلول C و یا عبارتی نسبت محلولها در فاصله‌ای از شیر کنترل اندازه گیری شده و پس از مقایسه از طریق کنترل مقدار دبی محلول A را بطوری تنظیم مینماید که نسبت محلولها (غلظت مخلوط) در خروجی از لوله C ثابت باقی بماند. و سیله اندازه گیر را در این پروسس نمیتوان در نزدیکی شیر کنترل قرارداد زیرا در آن محل هنوز دو محلول A و B فرصت نیافته اند خوبی با هم مخلوط شوند و از این نظر به ناچار وسیله اندازه گیری در محل گذاشته میشود که از اختلاط کامل محلولها B و A اطمینان وجود داشته باشد. اگر سرعت محلول A بطور متوسط V و فاصله اندازه گیر تا شیر کنترل L باشد تاخیر زمانی ناشی از اندازه گیری برابر $t = \frac{L}{V}$ خواهد بود.

ب: تاخیر زمانی بواسطه طبیعت پروسس: اگر در پروسسی تعداد مدارهای RC زیاد باشد و این مدارها به دنبال یکدیگر قرار گرفته باشند، در آن پروسس تاخیر زمانی بوجود میآید. منظور از مدار RC منحصر به مدارهای الکتریکی نیست بلکه شامل کلیه پروسسهای حرارتی، هیدرولیکی، گازی و غیره است که دارای مقاومت و ظرفیت میباشند. این مسئله را یک مثال روشن خواهد کرد.

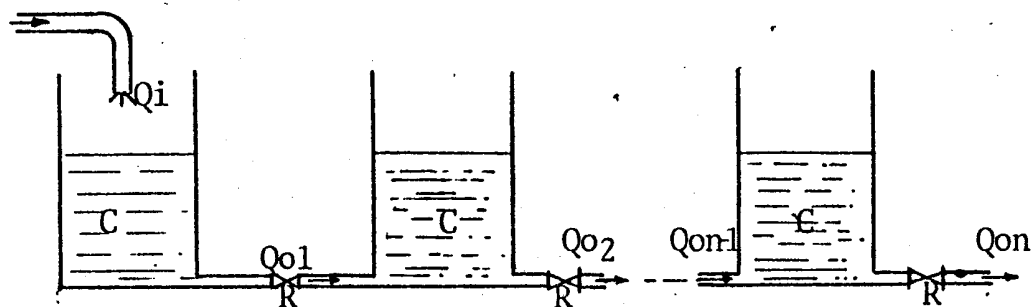
مثال - شکل ۱۰ یک پروسس مایعی را نشان میدهد که در آن چند مخزن به دنبال یکدیگر قرار

دارند بطوریکه دبی خروجی یک مخزن، دبی ورودی مخزن بعدی را تشکیل میدهد.

با توجه به تعاریف مقاومت و ظرفیت که در فصل اول آمده است در صورتیکه مخازن کاملاً مشابه ولی مستقل از یکدیگر باشند میتوان نوشت:

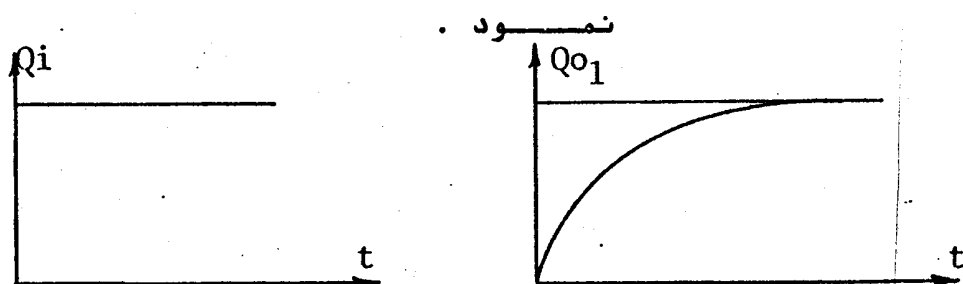
$$\frac{Q_{o1}(s)}{Q_i(s)} = \frac{1}{1+RCS} = \frac{1}{1+TS} \quad (17)$$

که در آن C ظرفیت مخزن و R مقاومت شیر کنترل در مسیر خروجی مخزن است. اگر دبی ورودی بطور ناگهانی تغییر نماید دبی خروجی از مخزن لوله بصورتی که در



شکل ۱۰- تاخیر زمانی بعلمت طبیعت پروسس

شکل ۱۱ نشان داده شده است تغییر خواهد



شکل ۱۱- تغییر دبی Q_{o1} در اثر تغییر ناگهانی Q_i

تابع تبدیل دبی خروجی مخزن دوم به دبی ورودی بصورت زیر است :

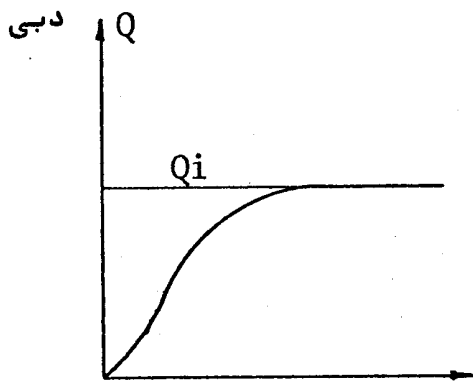
$$\frac{Q_{o2}(s)}{Q_i(s)} = \frac{1}{(1+TS)^2} \quad (18)$$

دبی خروجی مخزن دوم Q_{o2} در اثر تغییر ناگهانی دبی ورودی Q_i بصورتی که در شکل ۱۲ نشان داده شده است تغییر خواهد نمود. ملاحظه میشود که دبی خروجی مخزن دوم Q_{o2} پس از مدت کوتاهی از اعمال تغییر ناگهانی در دبی ورودی، شروع به تغییر مینماید. یعنی پاسخ تغییرات دبی Q_{o2} به تغییرات Q_i با تاخیر کمی همراه است. به همین ترتیب تابع تبدیل دبی خروجی مخزن چهارم Q_{oH} به دبی ورودی بصورت زیر بوده :

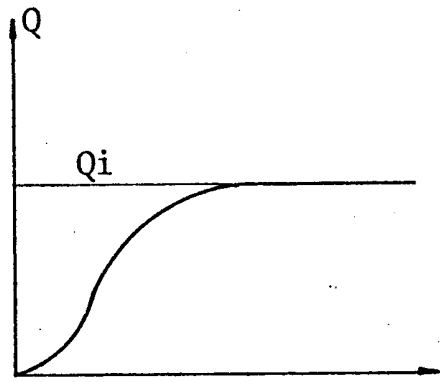
$$\frac{Q_{oH}(s)}{Q_i(s)} = \frac{1}{(1+TS)^4} \quad (19)$$

و پاسخ زمانی Q_{o4} به تغییر ناگهانی Q_i بصورتی است که در شکل ۱۳ نشان داده شده است. و ملاحظه میشود که تاخیر زمانی نسبت به مخازن دوم و سوم افزایش یافته است. این امر یعنی افزایش تاخیر زمانی هر قدر تعداد مخازن بیشتر باشد، زیادتر خواهد بود. اگر تعداد مخازن n باشد تابع تبدیل دبی خروجی مخزن n به دبی ورودی بصورت زیر است :

$$G(s) = \frac{Q_{on}(s)}{Q_i(s)} = \frac{1}{(1+TS)^n} \quad (20)$$



شکل ۱۲- تغییر Q_0 در اثر تغییر ناگهانی Q_i



شکل ۱۳- تغییر Q_0 در اثر تغییر ناگهانی Q_i

اگر تعداد مخازن خیلی زیاد باشد ($n \rightarrow \infty$) خواهیم داشت:

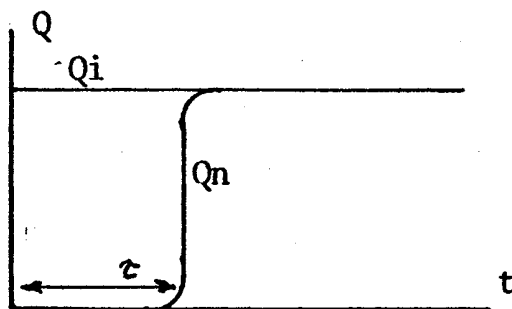
$$G(s) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{(1+TS)^n} \quad (21)$$

که با تعریف $T = \frac{1}{n}$ رابطه (۲) را میتوان بصورت زیر نوشت:

$$G(s) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{Q_{on}(s)}{Q_i(s)} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{(1+TS)^n} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{(1+\frac{\tau}{n}S)^n} = e^{-\tau s} \quad (22)$$

یعنی اگر تعداد زیادی برابر با n مدار RC بدنبال یکدیگر قرار داشته باشند و ثابت زمانی هر یک T باشد و اگر ورودی پله‌ای در زمان $t=0$ به مدار اول اعمال شود پس مدت زمانی برابر $nT = \tau$ اثر این ورودی در خروجی آخرین مدار ظاهر میگردد. این مطلب در شکل ۱۴ نشان داده شده است. بسیاری از پروسسهای صنعتی بخصوص پروسسهای پارامترهای گسترده بعلت آنکه

از تعدادی مدارهای RC گسترده تشکیل یافته‌اند دارای تاخیر زمانی میباشند.



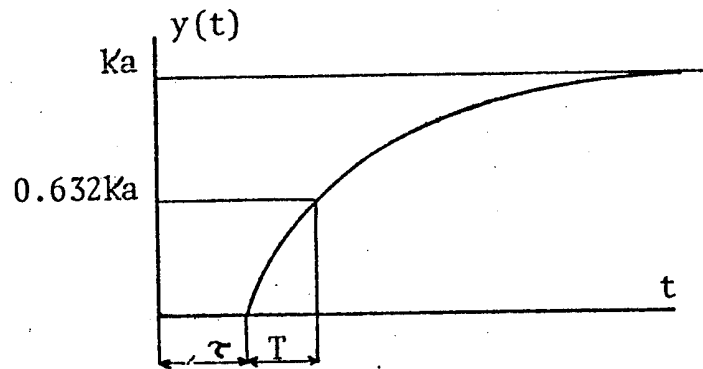
شکل ۱۴ - تغییر دبی Q_n در اثر تغییر ناگهانی دبی Q_i

۲۰۳۰۴ - تقریب پروسس با یک ثابت زمانی و یک تاخیر زمانی:

در تقریب پروسسها با یک ثابت زمانی و یک تاخیر زمانی روشها و نحوه عمل همان روشها و نحوه عملی است که در قسمت ۲-۴ تشریح گردیدند. با این تفاوت که در این لازم است علاوه بر ثابت زمانی و بهره پروسس، تاخیر زمانی نیز تعیین گردد.

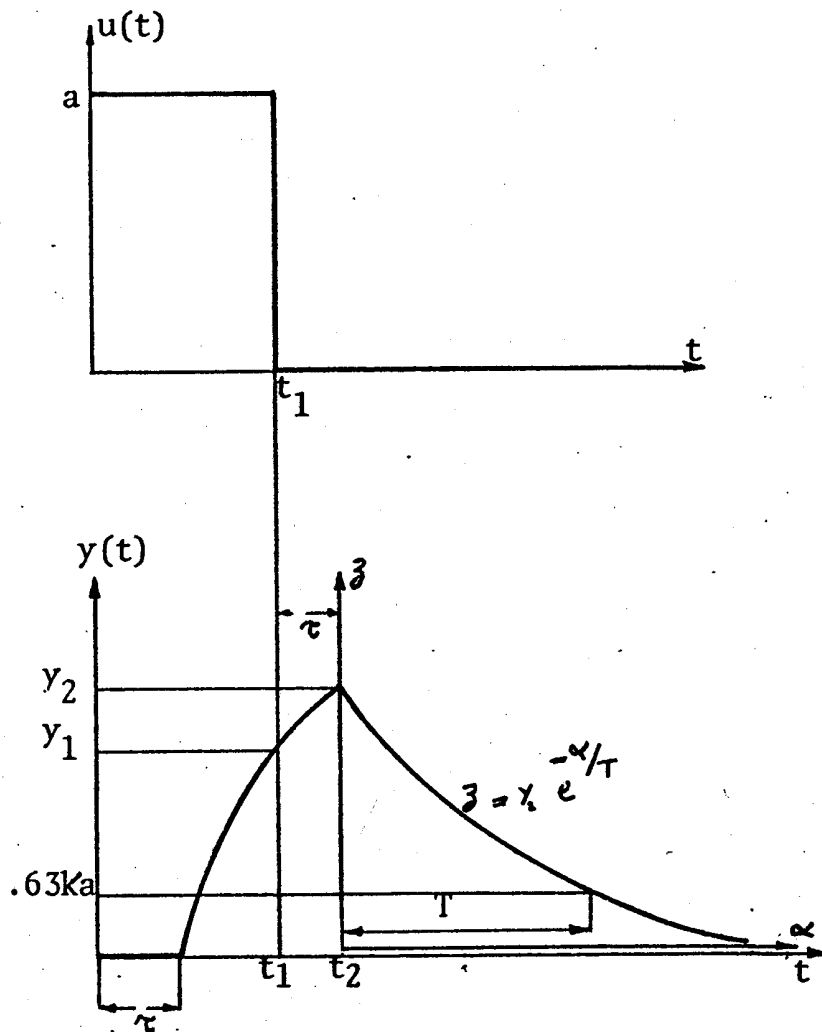
در این قسمت برای تعیین پارامترهای پروسس دو حالت در نظر گرفته میشود:

الف: مشخصه پروسس بطور کامل در دسترس است: اگر مشخصه پروسس بطور کامل در دسترس بوده و به فرمی باشد که در شکل ۱۵ نشان داده شده است، سه پارامتر اصلی بهره پروسس K ، ثابت زمانی T و تاخیر زمانی τ را بصورتی که در شکل تشریح شده است میتوان تعیین نمود.



شکل ۱۵- پاسخ سیستم درجه یک با تاخیر به ورودی پله با دامنه a

ب: مدت انجام آزمایش محدود است: در چنین موردی همانطور که در قسمت ۴-۲ بیان گردید به ورودی پروسس یک پالس اعمال میگردد و کمیات بصورت تغییر از مقدار مربوط به نقطه کار اندازه گرفته میشوند. در اثر وجود تاخیر زمانی پس از مدتی که برابر ثابت زمانی پروسس است پروسس به ورودی پالس پاسخ میدهد و در زمان t_1 که زمان پایان اعمال پالس ورودی است پاسخ پروسس به مقداری مانند y_1 خواهد رسید. اما بعلت وجود تاخیر زمانی پاسخ پروسس به پالس ورودی که دیگر زمان اعمال آن پایان یافته است ادامه مییابد تا در زمانی مانند t_2 پروسس پایان یافتن اعمال پالس را احساس مینماید. در این زمان پاسخ پروسس به حالتی مانند y_2 رسیده است. از این زمان پروسس به ورودی پله ای که در زمان t_1 به آن اعمال گردیده پاسخ میدهد. از اینرو از قسمتی از منحنی پاسخ پروسس که مربوط به زمانهای بعد از زمان t_2 است بصورتی که در شکل ۱۶ نشان داده شده است برای تعیین ثابت زمانی پروسس میتوان استفاده کرد.



شکل ۱۶- پاسخ پروسس درجه یک به ورودی پالس با دامنه a
 ۳۰۳۰۴- تقریب پروسس در حالت کلی با یک ثابت زمانی و یک تاخیر
 زمانی:

بطور کلی برای اکثر پروسسها منحنی پاسخ پله‌ای به صورت شکل ۱۷ است زیرا پروسسها از تعدادی مدار RC تشکیل شده است. یک روش عمومی و کلی برای تقریب پروسسها با یک ثابت زمانی و یک تاخیر زمانی — گامهای زیراستوار است: (شکل ۱۷)

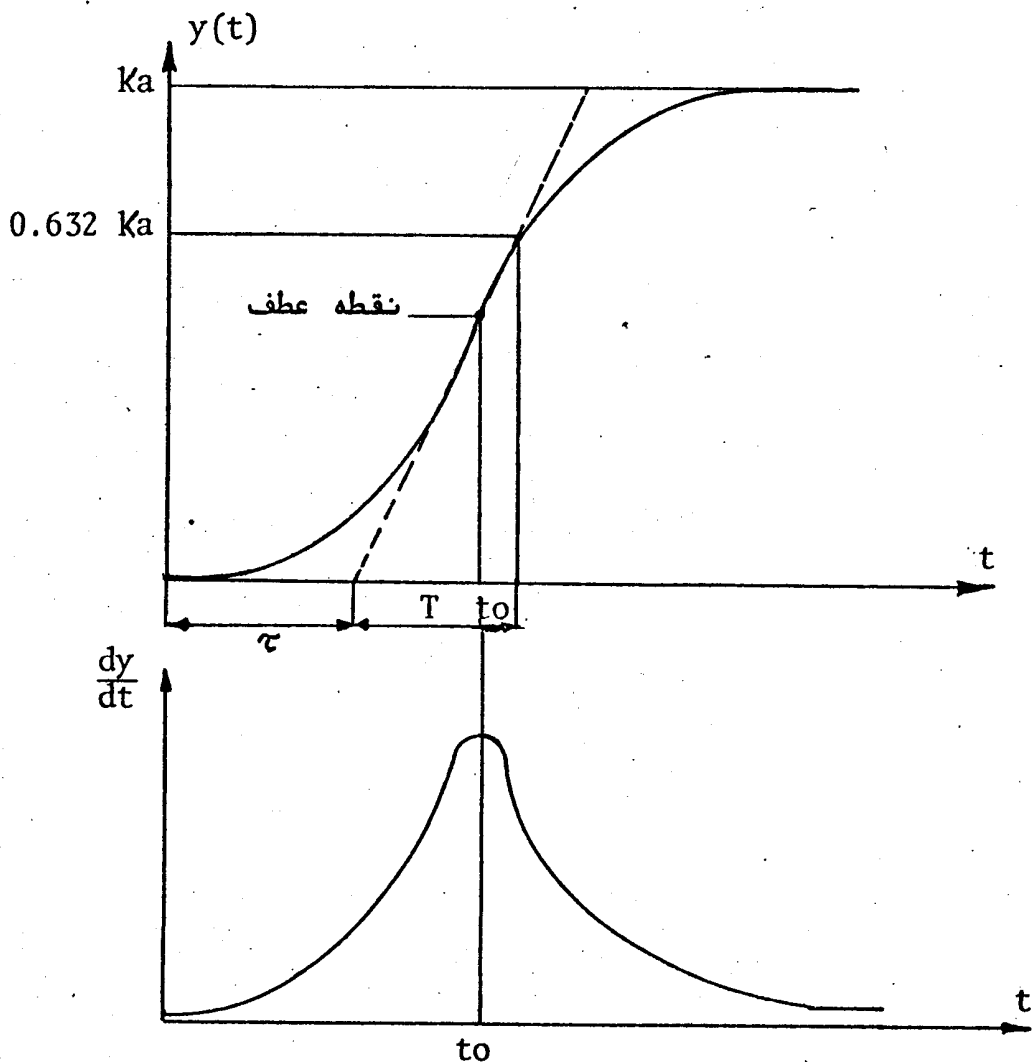
- ۱- نقطه عطف منحنی پاسخ پله‌ای تعیین گردد.
 - ۲- خط مماسی در نقطه عطف بر منحنی پاسخ رسم گردد.
- محل برخورد خط مماس مذکور و محور زمان، تاخیر

زمانی پروسس را مشخص میکنند.
 ۳- ثابت زمانی بصورت زمانی که پس از تاخیر زمانی ، پاسخ پروسس به 63.2% مقدار نهائی میرد تعیین میگردد.

اگر پاسخ واقعی پروسس با $y(t)$ و پاسخ تقریب زده شده پروسس به روش فوق با $\hat{y}(t)$ مشخص گردد مقدار Q بصورت زیر تعریف شود:

$$Q = \int_0^{\infty} [y(t) - \hat{y}(t)]^2 dt$$

میتوان نشان داد که روش تقریب زدن فوق Q را حداقل مینماید.



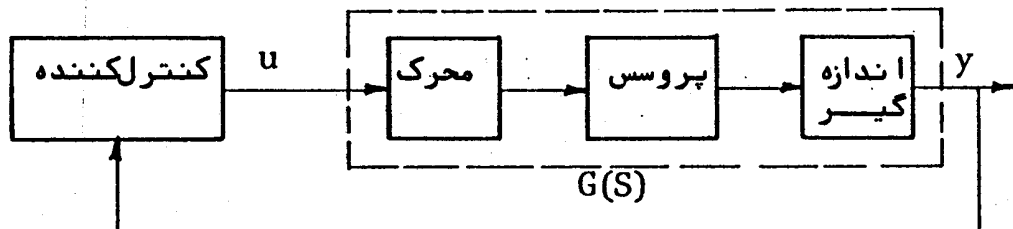
شکل ۱۷- تقریب پروسس در حالت کلی با یک ثابت زمانی و یک تاخیر زمانی

فصل پنجم - تنظیم کنترل کننده‌های پیوسته و آنالیز کنترل کننده‌های دو وضعیتی

۱-۵ - مقدمه :

در کنترل دو حالت دستی و اتوماتیک وجود دارد. در حالت دستی کنترل کننده عملاً از مدار خارج و سیستم مدار باز است. در حالت اتوماتیک مدار از طریق کنترل کننده بسته است.

نقش کنترل کننده تعیین سیگنال کنترل u شکل ۱ است، به ترتیبی که خطای موجود در سیستم کنترل که در اثر بروز اختلالها بوجود می‌آیند به سرعت و در حداقل زمان با حداقل جهش به صفر و یا کمترین مقدار برسد. کنترل کننده‌های صنعتی بدو دسته اصلی کنترل کننده‌های پیوسته و کنترل کننده‌های دو وضعیتی (قطع و وصل یا ناپیوسته) تقسیم میشوند. در این فصل ابتدا انواع، نحوه کار و تنظیم کنترل کننده‌های پیوسته بررسی شده و سپس کنترل کننده‌های دو وضعیتی آنالیز میگردد.



شکل ۱ - سیستم کنترل

۲-۵ - انواع کنترل کننده‌های پیوسته :

کنترل کننده‌های پیوسته بر حسب نوع خود بر روی سیگنال خطا، عمل میکنند که در اینجا به بررسی این امر میپردازیم. کنترل کننده‌های پیوسته که در صنعت بکار میروند سه نوع هستند :

- الف : کنترل کننده متناسب (P)
 ب : کنترل کننده متناسب + انتگرال گیر (PI)
 ج : کنترل کننده متناسب + انتگرال گیر + مشتقگیر (PID)

۱-۲-۵- کنترل کننده متناسب :

در کنترل کننده متناسب رابطه زمانی

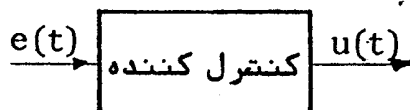
$$u(t) = K_c \cdot e(t) \quad (1)$$

و یا تابع تبدیل (2) $\frac{U(S)}{E(S)} = K_c$

برقرار است که در آن K_c مقدار ثابت و بهره کنترل کننده است .

در رابطه (۱)، $e(t)$ سیگنال خطا است که بصورت زیر تعریف

میشود: (3) $e(t) = V(t) - y(t)$



شکل ۲- تاثیر کنترل کننده برخطا

در رابطه فوق $v(t)$ و $y(t)$ به ترتیب فرمان و خروجی پروسس هستند .

باید توجه داشت کنترل کننده متناسب بطور لحظه‌ای عمل میکند یعنی سیگنال کنترل در هر لحظه فقط به خطا (فرمان و خروجی) در همان لحظه بستگی دارد و در آن گذشته و آینده پروسس هیچ نقشی ندارند .

۲-۲-۵- کنترل کننده متناسب + انتگرال گیر:

در این کنترل کننده که کنترل کننده دو عبارتی یا دو جمله‌ای (Two-term controller) نیز نامیده

میشود رابطه زمانی بین خطا و سیگنال کنترل بصورت

$$u(t) = K_c \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt \right] \quad (4)$$

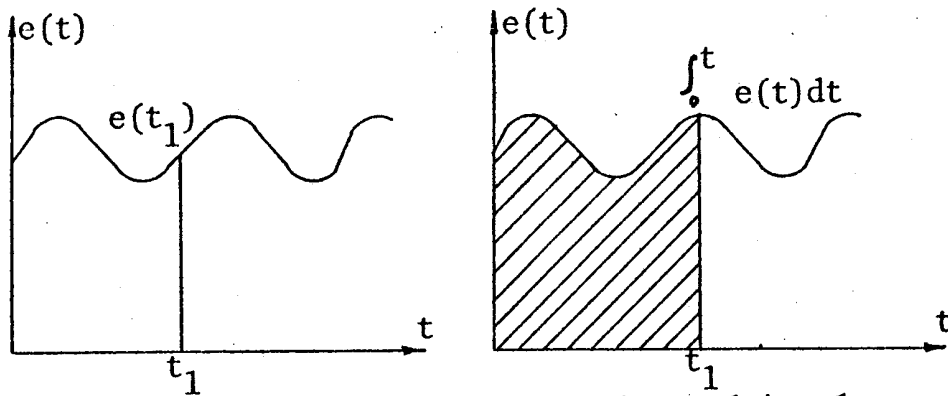
و تابع تبدیل بفرم زیر است :

$$\frac{U(S)}{E(S)} = K(S) = K_c \left(1 + \frac{1}{T_i S} \right) \quad (5)$$

در روابط (4) و (5)، T_i ثابت زمانی انتگرال گیری است. اگر T_i زیاد باشد اثر عمل انتگرال گیری از خطا در مقابل عمل جمله متناسب کنترل کننده کم است و بالعکس هنگامیکه T_i کوچک انتخاب شود سیگنال خروجی کنترل کننده تقریباً " مساوی انتگرال (مقدار متوسط) سیگنال خطا خواهد بود.

این نوع کنترل کننده در مواردی بکار میرود که سیگنال خطا مرتباً " با زمان تغییر نماید ولی مقدار متوسط آن تغییر محسوسی نداشته باشد و بعبارت دیگر در مواردی که در سیستم نوساناتی با مقدار متوسط حدود صفر وجود داشته باشد از این نوع کنترل کننده استفاده میشود. انتگرال گیر سبب صفر کردن خطای ماندگار به ورودی پله‌ای میشود و بعبارت دیگر با استفاده از این نوع کنترل کننده، اختلال پله‌ای تأثیری در خروجی در حالت ماندگار نمیگذارد.

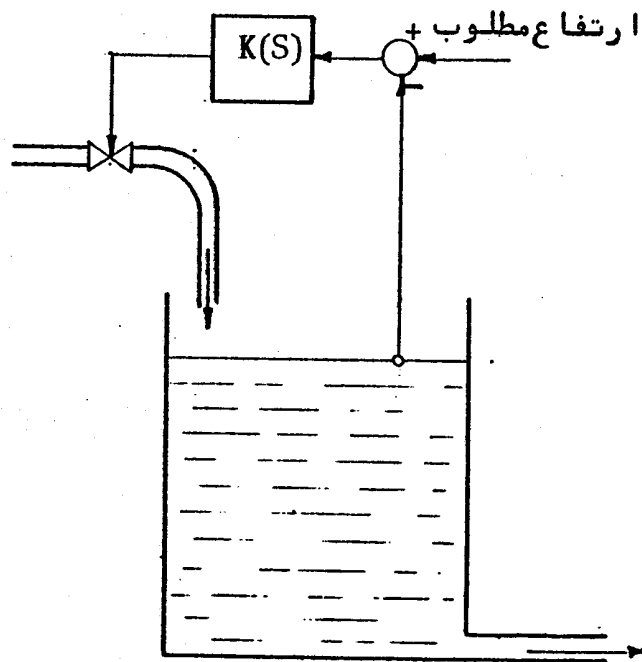
برخلاف کنترل کننده متناسب که بطور لحظه‌ای عمل میکند و سیگنال کنترل آن در هر لحظه فقط به خطای پروسس در آن لحظه بستگی دارد کنترل کننده انتگرال گیر از گذشته تا لحظه انتگرال گیری را در نظر گرفته و بر مبنای آن سیگنال کنترل ایجاد مینماید.



ب : کنترل کننده انتگرالگیر الف : کنترل کننده متناسب

شکل ۳ - مقایسه تاثیر کنترل کننده برخطا

مثال - برای تشریح بیشتر کارکنترل کننده انتگرال گیر و خاصیت آن به ذکر یک مثال میپردازیم. در پروسس مایعی شکل ۴ هدف کنترل ارتفاع مایع درون مخزن است. بعلت ریزش مایع از مجرای ورودی سطح مایع درون مخزن متلاطم است. اگر کنترل کننده متناسب باشد بعلت تلاطم مایع، ارتفاع مایع درون مخزن و در نتیجه e سیگنال خطا مرتبا در حال تغییر خواهند بود. و شیر کنترل مرتبا باز و بسته میگردد. این امر سبب فرسودگی و کاهش عمر شیر کنترل میگردد. از طرف دیگر بازو بسته شدن مرتب شیر سبب تغییرات بیشتر ارتفاع مایع درون مخزن و ناپایداری تر شدن پروسس میگردد. در حالیکه در کنترل کننده متناسب، انتگرال گیر از خطای لحظه‌ای انتگرال گرفته میشود که مقدار خطای متوسط ممکن است بسیار کوچک باشد و در نتیجه لازم باشد ساقه شیر تغییر مکان کمتری داشته باشد در نتیجه بازو بسته شدن کمتر شیر، عمر آن زیادتر و پایداری پروسس بیشتر خواهد بود.



شکل ۴ - کنترل ارتفاع در پروسس مایعی

۳.۲.۵ - کنترل کننده متناسب + انتگرال گیر + مشتق گیر:

در این نوع کنترل کننده که کنترل کننده سه جمله‌ای یا سه عبارتی (3 term controller) نیز نامیده میشود رابطه زمانی بین خطا و سیگنال کنترل

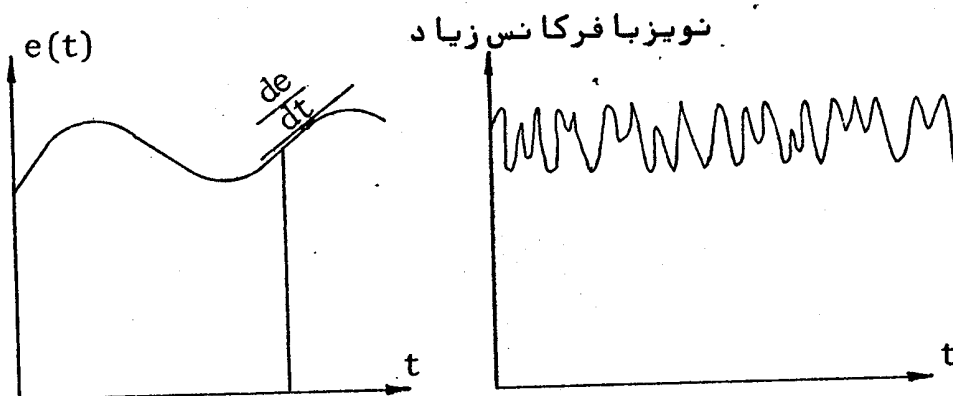
$$u(t) = K_c \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (۶)$$

و تابع تبدیل آن بصورت زیر است :

$$\frac{U(S)}{E(S)} = K_c \left(1 + \frac{1}{T_i S} + T_d S \right) \quad (۷)$$

کنترل کننده مشتق گیر در مواقعی بکار میرود که پاسخ پروسس آهسته باشد. در چنین مواردی سیستم کنترل باید به محض مشاهده تغییراتی در خطا فوراً کنترل را اعمال نماید در غیر این صورت کار پروسس مطلوب نخواهد بود. از اینروست که کنترل کننده مشتق گیر که بر مبنای روال تغییرات خطا عمل کنترل را انجام میدهد در کنترل پروسسهای آهسته

استفاده میشود. همانطور که در قسمت قبل ذکر کردید کنترل کننده انتگرال گیر در هر لحظه سیگنال کنترل را بر اساس خطا تا آن لحظه ایجاد مینماید در حالیکه کنترل کننده مشتق گیر در هر لحظه سیگنال کنترل را بر اساس تغییرات خطا در آن لحظه و یا بعبارت دیگر با در نظر گرفتن رفتار پروس در آینده ایجاد مینماید در کنترل کننده مشتق گیر وجود نویز اشکالات عمده و اساسی ایجاد میکند. این اشکالات بخصوص در حالتی که نویز با فرکانس زیاد در پروس وجود داشته باشد تشدید میگردد. اگر نویز بصورتی که در شکل ۶ مشاهده میشود دارای فرکانس زیاد باشد روال تغییرات خطا زیاد بوده و سیگنال کنترل دارای مقدار زیاد و تغییرات سریع خواهد بود در نتیجه محرکهای پروس بشدت تحریک شده و عکس العمل نشان میدهد که سبب کاهش عمر و فرسودگی بیشتر آنها میگردد.



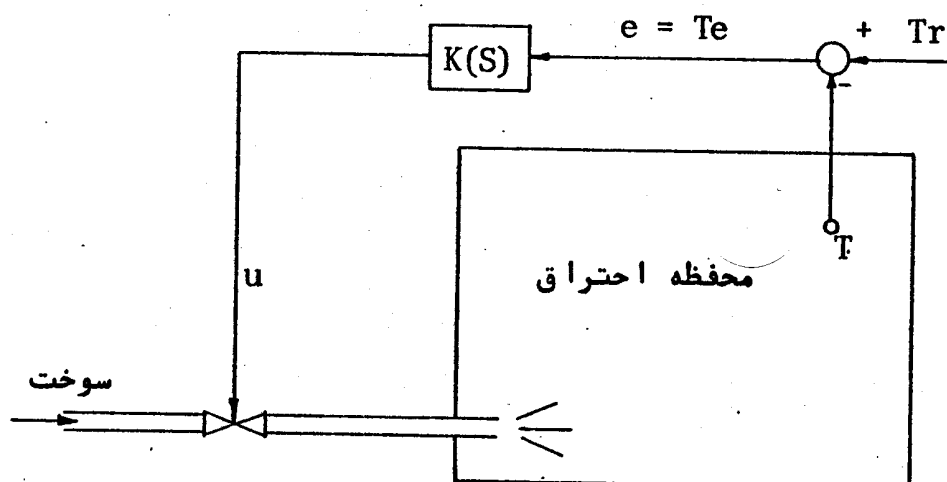
شکل ۵- تاثیر خطا در کنترل کننده مشتق گیر

شکل ۶- نویز با فرکانس زیاد

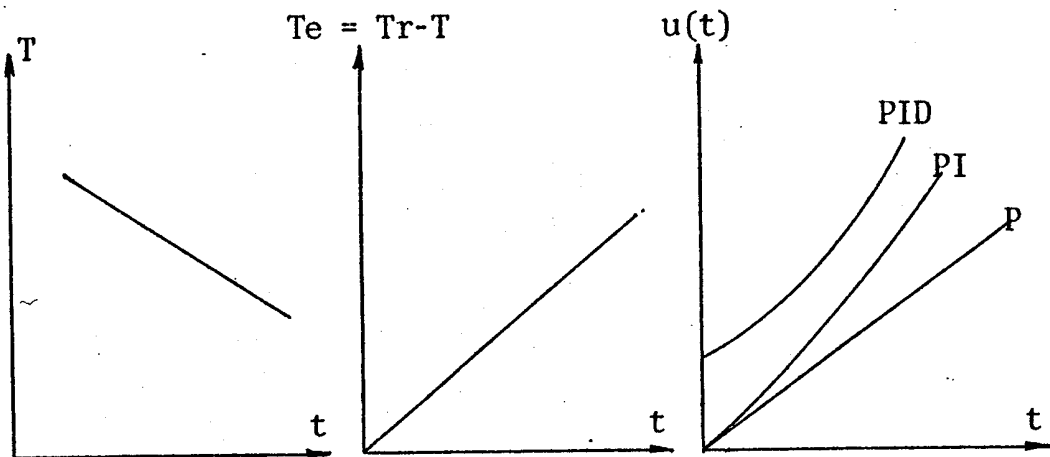
وجود جمله مشتق گیر در کنترل کننده سه جمله‌ای بعلت آنکه یک ضربه پروس اضافه میکند سبب پایداری تر شدن پروس میگردد. این امر را با نوشتن تابع تبدیل کنترل کننده سه جمله‌ای بصورت مقابل میتوان نشان داد.

$$K(S) = K_c \frac{1 + T_i S + T_d S^2}{T_i S}$$

مثال - برای بشریح بیشتر نحوه کار کنترل کننده های سه جمله ای پروسس شکلی در نظر گرفته میشود . در این پروسس درجه حرارت محفظه احتراق باید کنترل گردد و تغییر سوخت پس از مدتی نسبتاً طولانی سبب تغییر درجه حرارت محفظه میگردد . اگر درجه حرارت کوره (محفظه احتراق) به عللی در حال کم شدن باشد ، خطا روبه افزایش خواهد گذاشت . در این مورد اگر کنترل کننده P و یا PI بکار رود چون در ابتدا سیگنال داده شده به شیر کنترل کم است سوخت چندان تغییری نمیکند و باز هم درجه حرارت کوره کاهش میابد و ممکن است بکلی از کنترل خارج گردد . در حالیکه اگر در همان لحظات اولیه سیگنالی متناسب با تغییرات خطا به شیر کنترل داده شود قبل از آنکه محفظه سردتر گردد ، شیر کنترل بازتر شده و سوخت بیشتری به کوره وارد میشود و مانع سرد شدن آن میگردد .

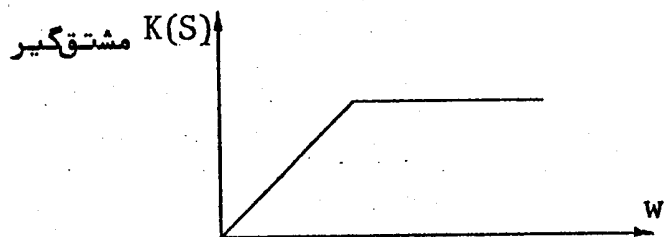


شکل ۷ - کنترل درجه حرارت در پروسس احتراق



شکل ۸ - مقایسه کنترل کننده ها در کنترل درجه حرارت کوره

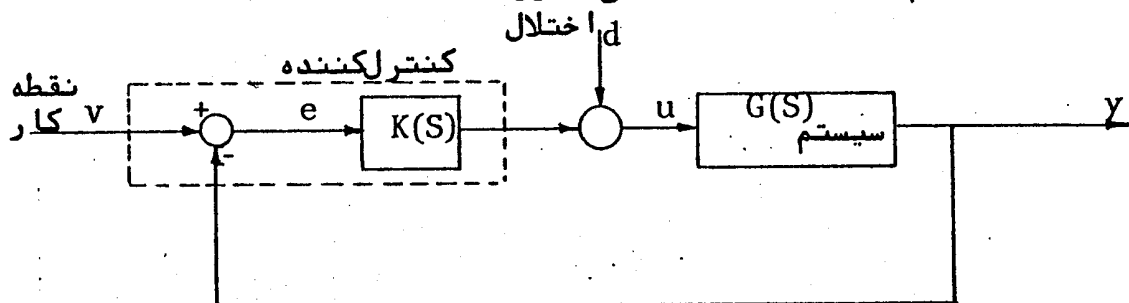
در عمل تابع تبدیل مشتق گیر را با مدارهای الکترونیک بصورت $\frac{1+dS}{1+\beta S}$ و یا $\frac{S}{1+\beta S}$ میسازند که محدوده مشتق گیری را محدود میکند و پاسخ فرکانسی آن (دیاگرام بود) بصورت زیر است :



شکل ۹ - دیاگرام بود مشتق گیر الکترونیک

۳-۵ - معیارهای تنظیم کنترل کننده ها :

یک سیستم کنترل در حالت کلی بصورت شکل ۱۰ است.



شکل ۱۰ - سیستم کنترل در حالت کلی

در شکل ۱۰، $G(S)$ شامل تابع تبدیل پروسس + محرک + اندازه گیر است. در سیستم های کنترل فیدبک دو مسئله مطرح است:

- ۱- تبعیت از فرمان ورودی - یعنی خروجی باید تغییرات ورودی را دنبال کند. این مسئله در کنترل سرومکانیسم و سیستم های هدایت مطرح است.
- ۲- تنظیم در اثر اختلال - یعنی سیستم کنترل باید طوری عمل نماید که اختلال تأثیری در خروجی نگذارد. بعبارت دیگر در این مورد مسئله ثابت نگهداشتن خروجی علیرغم تغییرات اختلال است.

در پروسسهای صنعتی مسئله تبعیت از فرمان ورودی مسئله اصلی نیست چون نقطه کار ثابت است. اما مسئله اساسی، مسئله تنظیم یعنی ثابت نگهداشتن خروجی علیرغم تغییرات اختلال است.

بنابراین هدف از طرح کنترل کننده، تنظیم پارامترهای آن بنحوی است که خطا در اثر اختلال سرعت و با حداقل جهش از بین برود. اما سرعت از بین رفتن خطا و حداقل بودن جهش را باید با معیاری سنجید. بنابراین معیاری که برای این منظور در نظر گرفته میشود باید تابعی از خطا و زمان یعنی:

$$J = J(e, t) \quad (۸)$$

که J تابع معیار نامیده میشود و هدف از طرح کنترل کننده حداقل کردن آن است باید توجه داشت خطا به پارامترهای کنترل کننده هر دو بستگی دارد. اگر کنترل کننده سه جمله ای و سیستم درجه یک با تابع تبدیل

$$G(S) = \frac{Ke^{-\tau S}}{1+TS}$$

در نظر گرفته شوند خطا تابعی بصورت تابع زیر خواهد بود:

$$e = e(K, T, \tau, kc, Ti, Td)$$

برای طرح کنترل کننده از آنجا که هدف تنظیم پارامترهای کنترل کننده بنحوی است که تابع معیار J حداقل شود.

مشتقهای نسبی تابع معیار نسبت به پارامترهای کنترل کننده مساوی صفر قرار داده میشوند. یعنی پارامترهای T_d و T_i و K_c کنترل کننده از دستگاه معادلات زیرتعیین میگردد :

$$\frac{\partial J}{\partial K_c} = 0$$

$$\frac{\partial J}{\partial T_i} = 0$$

$$\frac{\partial J}{\partial T_d} = 0$$

(۹)

برای طرح کنترل کننده ها توابع معیار متفاوتی ارائه شده است که در هر یک از آنها خصوصیات مختلفی مورد توجه قرار گرفته است. در اینجا به معرفی چهار تابع معیار میپردازیم .

۱۰۳۰۵- معیار ISE :

در معیار ISE که مخفف عبارت Intergral Square Error است تابع معیار بصورت

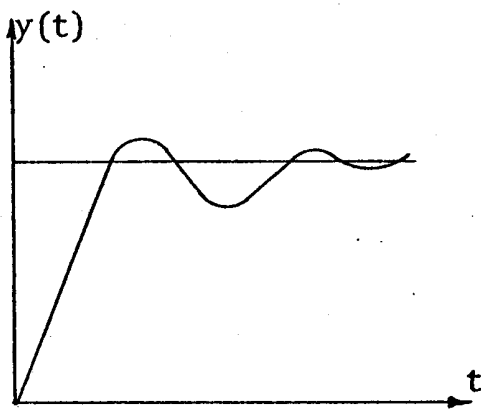
$$J = \int_0^{\infty} e^2 dt \quad (10)$$

زیر تعریف شده است :

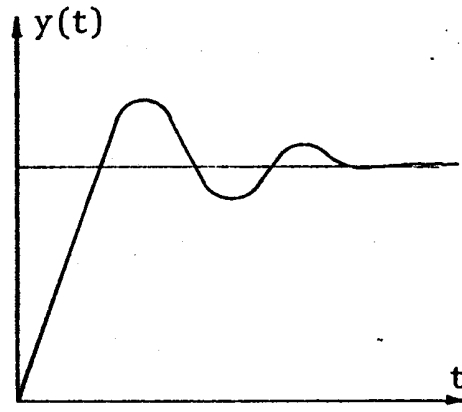
خصوصیات این معیار عبارتند از :

الف : خطاهای مثبت و منفی یکسان در نظر گرفته میشوند .

ب : خطاهای کوچک سهم کم و خطاهای بزرگ سهم خیلی بزرگتری در تابع معیار دارند. یعنی اگر با این معیار عمل شود سعی میگردد خطاهای بزرگ با وزن بیشتری حداقل شوند .



شکل ۱۱- پاسخ در معیار ISE



شکل ۱۲- پاسخ در معیار IAE

۲۰۳۰۵- معیار IAE :

در معیار IAE که مخفف عبارت
(Integral Absolute Error) است تابع معیار
بصورت $J = \int_0^{\infty} |e(t)| dt$ بوده و خصوصیات
آن عبارتند از :

الف : خطاهای مثبت و منفی یکسان در نظر گرفته
میشوند.

ب : خطاهای کوچک و بزرگ یکسان در نظر گرفته
میشوند در نتیجه در مقایسه با معیار
ISE این معیار حساسیت بیشتری به خطاهای
کوچک دارد.

۳۰۳۰۵- معیار ITAE :

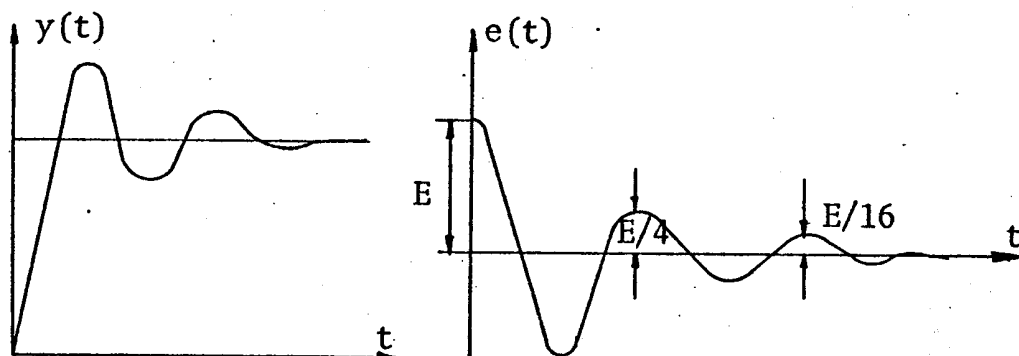
در معیار ITAE که مخفف عبارت
(Integral Time Absolute Error) است
تابع معیار بصورت $J = \int_0^{\infty} t|e| dt$ بوده و خصوصیات
آن عبارتند از :

این معیار به خطاهایی که مدت زیادی وجود دارند
اهمیت بیشتری میدهد و بر خطاهای اولیه که اجتناب

ناپذیرند تاکید کمی میگذارد.

۴.۳.۵ - معیار ZN :

در معیار ZN که مخفف اساسی (Zigler-Nicholes) است سعی میشود نسبت ماکزیم خطا در هر پریود $\frac{1}{4}$ باشد از این جهت به معیار $(\frac{1}{4} \text{ decay})$ نیز موسوم است.



شکل ۱۴ - تغییرات خطا در معیار ZN شکل ۱۳ - پاسخ در معیار ITAE

تابع معیار در حالت کلی تابعی پیچیده از پارامترهای کنترل کننده و سیستم است و حل دستگناه معادلات (۹) مشکل و فقط با روشهای عددی ممکن است. نتیجه این محاسبات طی جداولی ارائه شده است.

۴.۵ - تنظیم کنترل کننده هابرای $G(S) = \frac{Ke^{-\tau S}}{1+TS}$

معیار	a	b
ZN	1.0	1.0
IAE	0.9	0.98
ISE	1.4	0.92
ITAE	0.5	1.08

الف : کنترل کننده متناسب

تابع تبدیل کنترل کننده

$$K(S) = Kc$$

$$Kc = \frac{1}{K} a \left(\frac{\tau}{T} \right)^{-b}$$

ب : کنترل کننده متناسب + انتگرال گیر

$$K(S) = K_c \left(1 + \frac{1}{T_i S}\right) \quad \text{تابع تبدیل کنترل کننده}$$

$$K_c = \frac{1}{K} a \left(\frac{\tau}{T}\right)^{-b}$$

$$T_i = T \cdot \tau \left(\frac{\tau}{T}\right)^d$$

معیار	a	b	c	d
ZN	0.9	1.0	3.33	1.0
IAE	0.98	0.98	1.65	0.71
ISE	1.3	0.96	2.03	0.74
ITAE	0.86	0.98	1.48	0.68

ج : کنترل کننده متناسب + انتگرال گیر + مشتق گیر

$$K(S) = K_c \left(1 + \frac{1}{T_i S} + T_d S\right) \quad \text{تابع تبدیل کنترل کننده}$$

$$K_c = \frac{1}{K} a \left(\frac{\tau}{T}\right)^{-b}$$

$$T_i = T \cdot \tau \left(\frac{\tau}{T}\right)^d$$

$$T_d = T \cdot e \left(\frac{\tau}{T}\right)^f$$

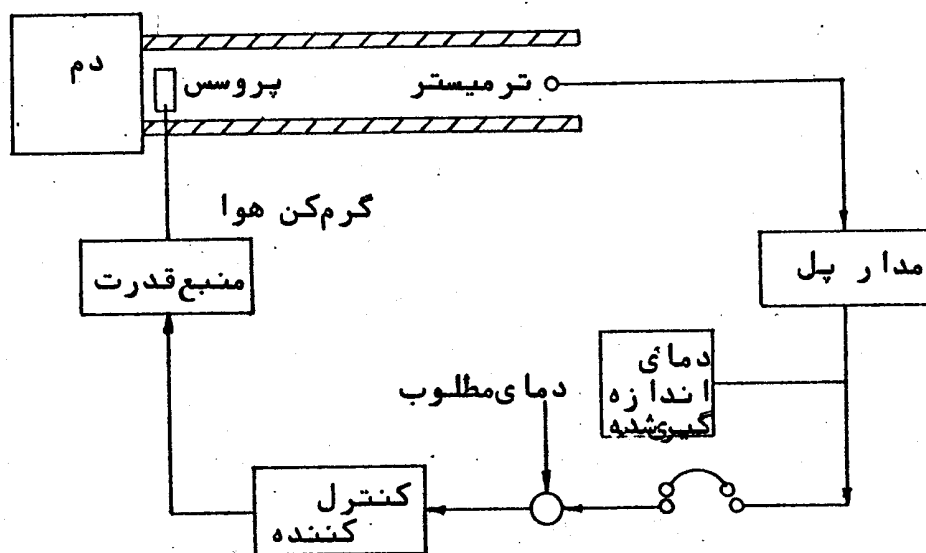
معیار	a	b	c	d	e	f
ZN	1.2	1.0	2.0	1.0	0.5	1.0
IAE	1.43	0.92	1.14	0.75	0.48	1.14
ISE	1.5	0.95	0.92	0.77	0.56	1.0
ITAE	1.36	0.95	1.18	0.74	0.38	1.0

۵-۵- کار برد و مقایسه معیارهای چهارگانه :

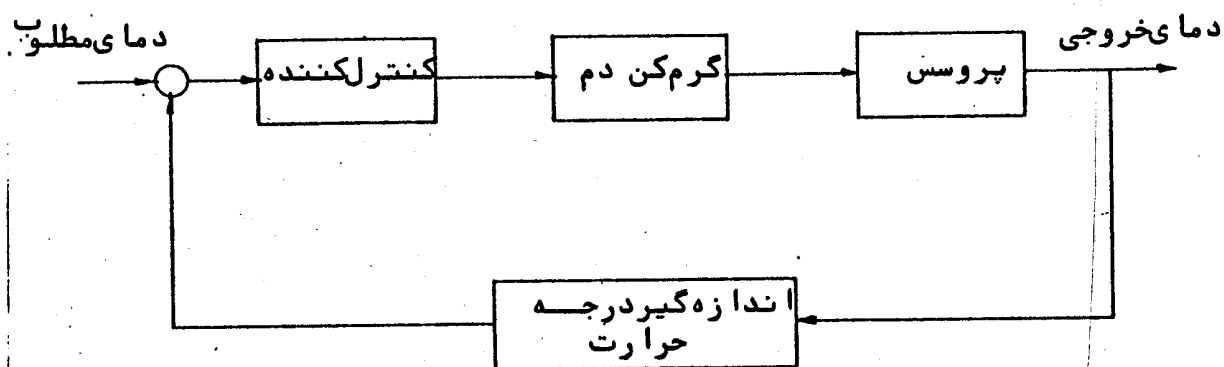
در این قسمت کاربرد و اثر کنترل کننده‌هایی که از طریق معیارهای چهارگانه بدست می‌آیند در مورد یک پروسس واقعی نشان داده می‌شود. پروسسی که این بررسی در مورد آن انجام شده است یک پروسس حرارتی است (شکل ۱۵). در این پروسس هوا توسط یک دم (blower) به داخل لوله‌ای فرستاده

میشود. در ابتدای لوله مزبور یک رشته سیم قرار دارد که در آن جریان الکتریسیته برقرار است. هوای فرستاده شده به لوله ضمن عبور از روی رشته سیم گرم میشود. دمای هوا در انتهای لوله توسط ترمیستر (وسیله‌ای برای اندازه گیری دماست که مقاومت آن در اثر تغییر دما تغییر مینماید) و از طریق مدار پل اندازه گیری میشود.

بعلت اندازه گیری دمای هوا درمحل دورتر از محل حرارت دادن و گرم کردن هوا این پروسس دارای تاخیر زمانی است. دیاگرام جعبه‌ای این پروسس که در صنعت وجود دارد به صورت شکل ۱۶ است.



شکل ۱۵- شمای پروسس حرارتی



شکل ۱۶- دیاگرام جعبه‌ای پروسس حرارتی

شکل ۱۷ پاسخ مدار باز این پروسس را به ورودی پله‌ای نشان می‌دهد. همانطور که در شکل نشان داده شده است پروسس حرارتی مزبور پروسسی از درجه یک با بهره $K = 1$ و ثابت زمانی $T=0.48 \text{ Sec}$ و تاخیر زمانی $\tau=0.28 \text{ Sec}$ است و تابع تبدیل مدار باز بصورت $G(S) = \frac{e^{-0.28S}}{1+0.48S}$ است. برای کنترل متناسب این پروسس، بهره کنترل کننده در معیارهای چهارگانه بصورت جدول ۱ است.

معیار	ISE	ZN	IAE	ITAE
بهره کنترل کننده Kc	2.3	1.7	1.5	0.89

جدول ۱ - بهره کنترل کننده متناسب در معیارهای چهارگانه

پاسخ مدار بسته پروسس با کنترل P در معیارهای چهارگانه طی شکل ۱۸ نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه میشود در معیار ISE بعلت زیاد بودن بهره پاسخ سریع و درعین حال دارای نوساناتی میباشد. در حالیکه در معیار ZN که بهره کنترل کننده کمتر است پاسخ کندتر بوده و تعداد نوسانات نیز کمتر است. در این حالت کاهش خطا در هر پریود به یک چهارم خطا در پریود قبل مشاهده میشود. در معیار IAE که بهره کنترل کننده کمتر است پاسخ کندتر است و بعلت آنکه خطاهای مثبت و منفی یکسان در نظر گرفته میشوند مقدار خطا کمتر است. در معیار ITAE نوسانات کمتر بوده و خطا به سرعت از بین میرود.

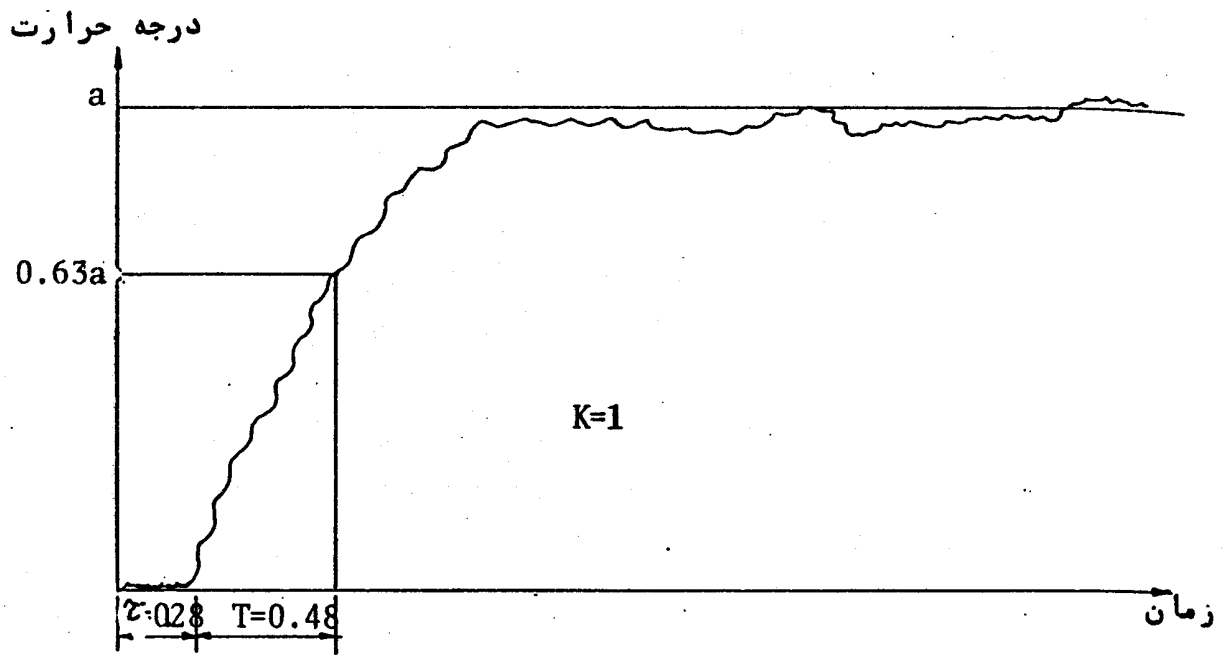
شکل ۱۹ پاسخ مدار بسته این پروسس را با کنترل PI در معیارهای مختلف نشان میدهد. جدول زیر نمایشگر مشخصات کنترل کننده است.

بطوریکه ملاحظه میشود بعلت زیاد بودن بهره کنترل کننده در معیار ISE پاسخ سریع و نوسانات نسبت به معیارهای دیگر زیاد است. در معیار ZN که بهره کنترل کننده کمتر است سرعت پاسخ و نوسانات و دامنه آن کمتر است. در این معیار دامنه خطا در هر پریود به یک چهارم خطا در پریود قبل کاهش مییابد. در معیار IAE سرعت پاسخ بسیار کم است و بدلیل یکسان در نظر گرفته شدن خطاهای مثبت و منفی، خطای خالص کم است. در معیار ITAE به دلیل آن که زمان وزن مقدار خطاست، خطا به سرعت از بین میرود.

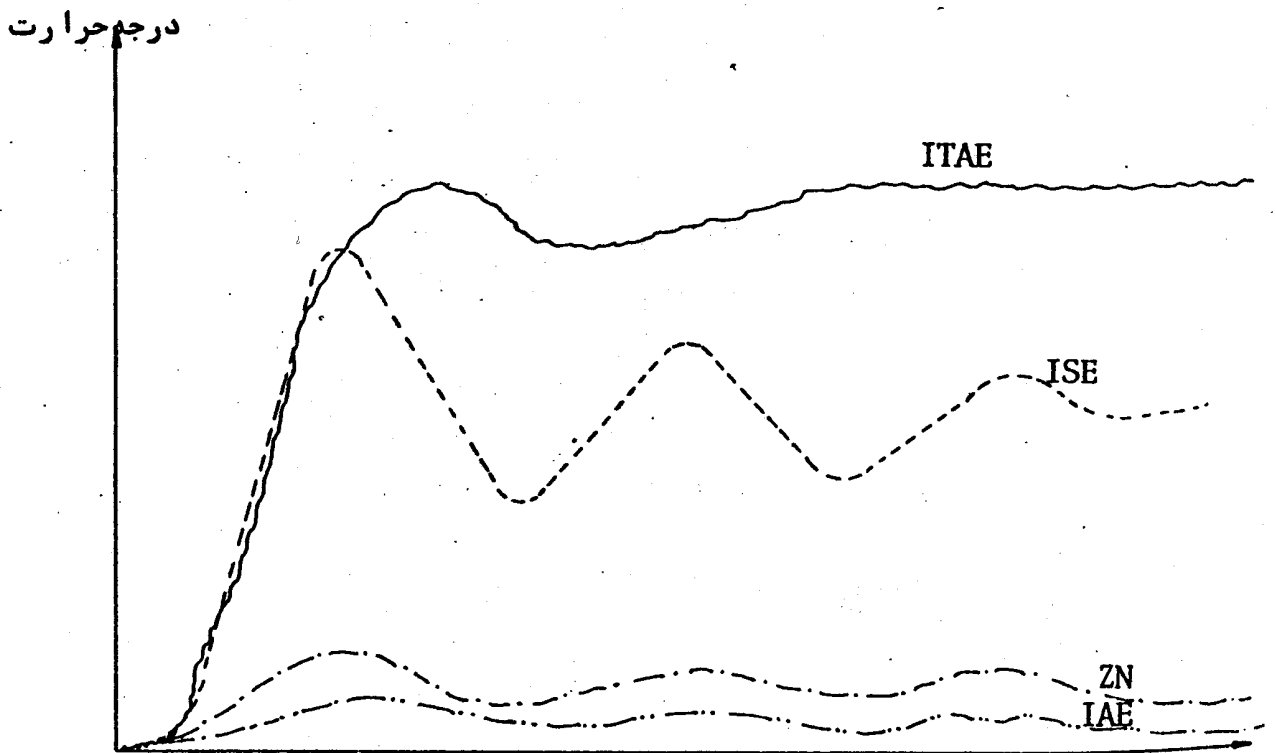
معیار	ISE	ZN	IAE	ITAE
Kc	2.18	1.54	1.66	1.46
Ti	0.97	0.93	0.54	0.49

جدول ۲ - مشخصات کنترل کننده PI در معیارهای چهارگانه البته ذکر این نکته ضروری است که در کنترل متناسب P در تمام حالات خطای ماندگار وجود دارد (شکل ۱۸). در صورتیکه در کنترل متناسب و انتگرال گیر PI خطای ماندگار صفر است و در تمام حالات مقدار رنهای بسمت مقدار مطلوب کمیت میرسد.

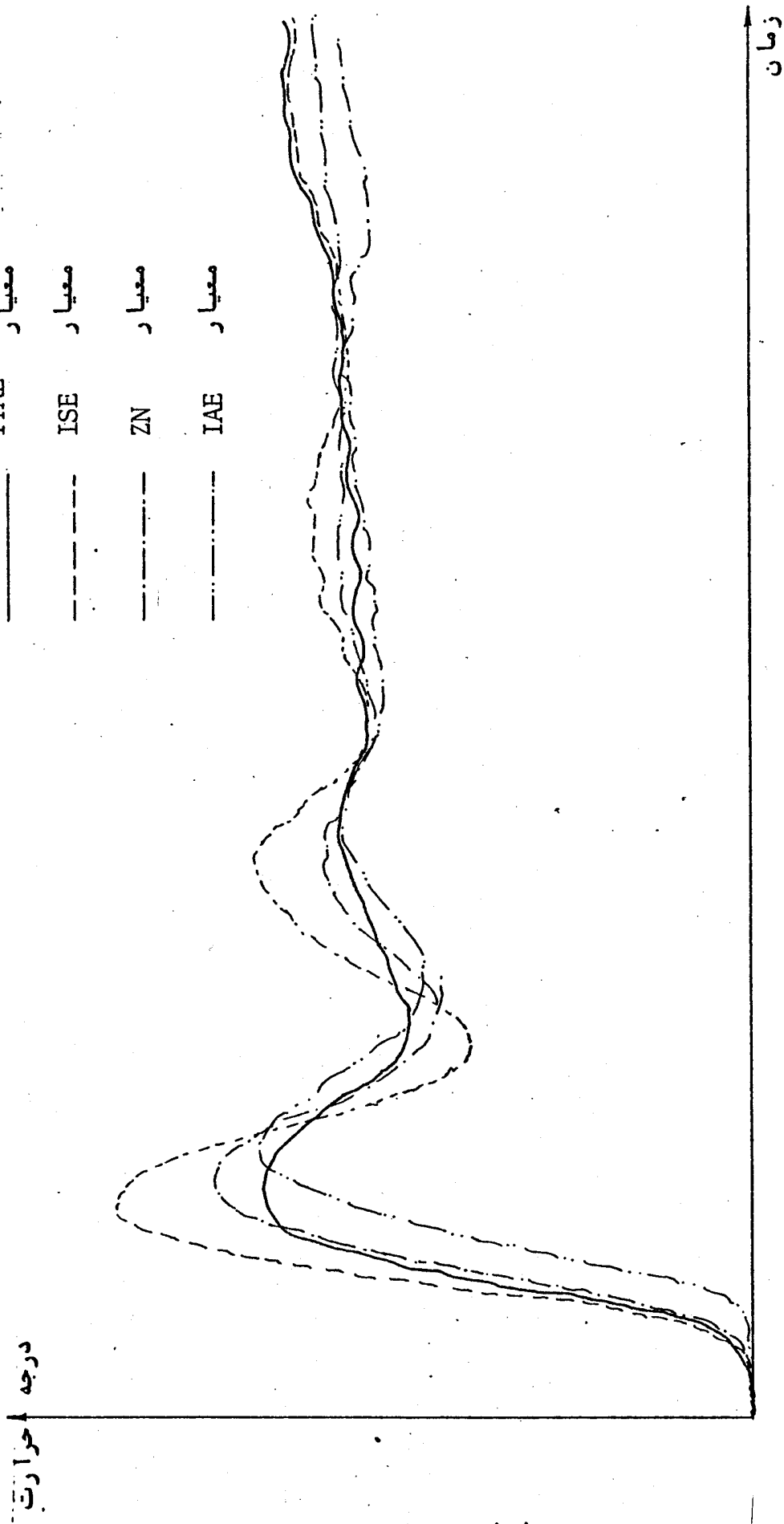
(شکل ۱۹)



شکل ۱۷- پاسخ مدار با زپروس حرارتی به ورودی پله‌ای با دامنه a



شکل ۱۸- پاسخ مدار بسته پروسس حرارتی با کنترل P در معیارهای چهارگانه



ITAE معیار
 ISE معیار
 ZN معیار
 IAE معیار

شکل ۱۹- پاسخ مدار بسته پیروسی حرارتی با کنترل PI در معیارهای چهارگانه

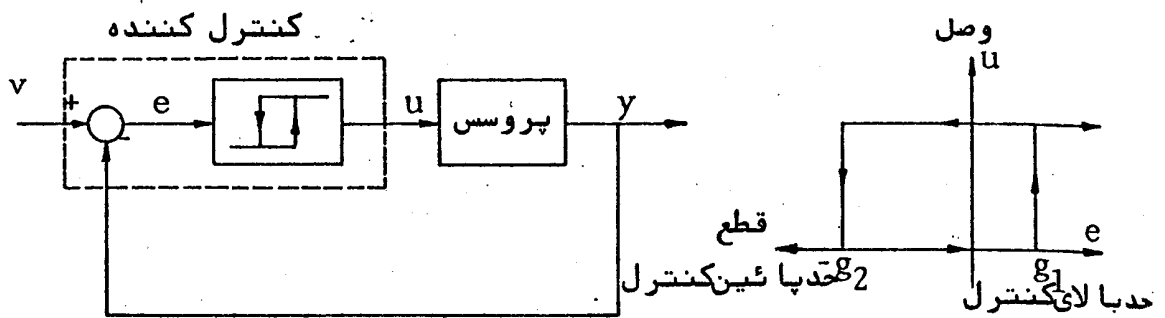
۶.۵ - آنالیز کنترل کننده های دو وضعیتی :

کنترل کننده های دو وضعیتی (ON-OFF) به دلایل سادگی ساختمان ، ارزانی و سهولت نگهداری موارد استفاده فراوانی دارند . این نوع کنترل کننده ها در مواردی بکار میروند که کنترل دقیق کمیت مطرح نیست و یا ارزانی و سادگی کنترل کننده بر کنترل دقیق کمیت ترجیح دارد .

کنترل کننده دو وضعیتی حدود کمیت مورد نظرا کنترل نموده و آن را بین دو حد نگاه میدارد . در این حالت سیگنال کنترل دو مقدار میتواند داشته باشد . وقتی کمیت مورد کنترل به حد بالائی خود رسید کنترل کننده قطع مینماید . در این حالت سیگنال کنترل مقدار حداقل خود را که معمولا " صفر است ، دارا میباشد و هنگامیکه کمیت مورد کنترل به حد پائین خود رسید کنترل کننده وصل مینماید . در این حالت سیگنال کنترل مقدار حداکثر خود را دارد . در صورتی که تغییرات کمیت مورد کنترل بین دو حد بالائی و پائینی قرار داشته باشد کنترل کننده تغییر وضعیت نمیدهد . این فاصله به حوزه کنترل موسوم است . در شکل زیر مشخصه کنترل کننده دو وضعیتی و نحوه نمایش آن در حلقه کنترل مشاهده میشود .

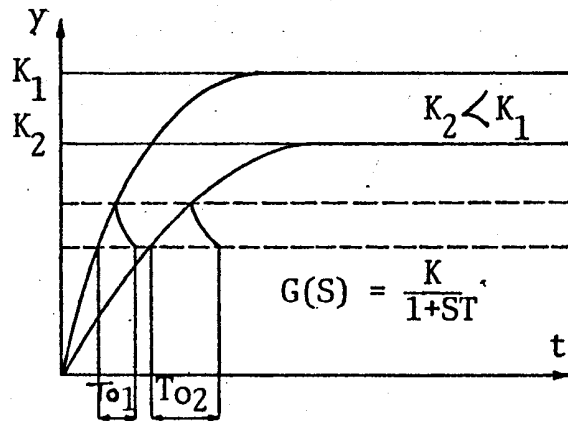
از آنجا که این نوع کنترل کننده فقط عمل قطع و وصل را انجام میدهد ، عمر آن توسط تعداد قطع و وصل هادر واحد زمان تعیین میگردد . تعداد قطع و وصل ها در واحد زمان به عوامل زیر بستگی دارد :

۱- حوزه کنترل (فاصله بین دو حد کنترل) : تعداد قطع و وصل (فرکانس عمل کنترل کننده) با کم شدن حوزه کنترل ، زیاد میشود .

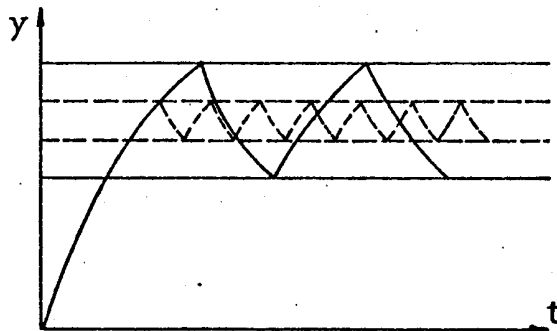


ب: مشخصه کنترول کننده دو وضعیتی الف: کنترول کننده دو وضعیتی در حلقه کنترول

شکل ۲۰ - کنترول کننده دو وضعیتی



شکل ۲۱ - تاثیر بهره در تعداد قطع و وصل



شکل ۲۲ - تاثیر حوزة کنترول بر تعداد قطع و وصل

۲- ثابت زمانی : هر قدر ثابت زمانی پروسس کمتر باشد فرکانس عمل کنترل کننده زیادتر است .

۳- بهره پروسس : هر قدر بهره پروسس زیادتر باشد تعداد قطع و وصل در واحد زمان بیشتر است .

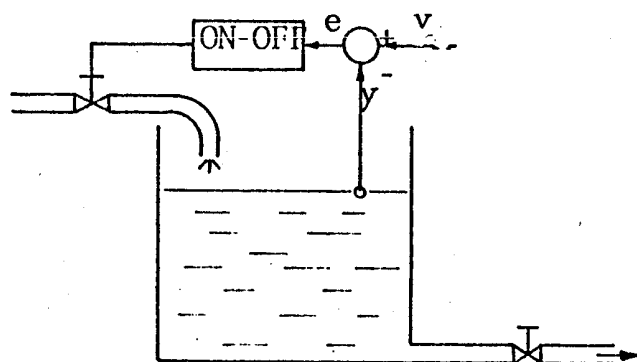
از سه عامل فوق، عامل اول برای تنظیم تعداد قطع و وصلها بکار میرود . یعنی با تنظیم شگاف کنترل تعداد قطع و وصلها کنترل میگردد. اینکار از طریق عوامل ۱ و ۲ امکان پذیر نیست زیرا این عوامل به مشخصه پروسس بستگی دارند .

معمولا" برای مشخص کردن نحوه عمل کنترل کننده دو وضعیتی پیروی قطع و وصل که با T_0 نشان داده میشود بصورت مدت زمانی که یک قطع و وصل طول میکشد تعریف میگردد .

باید توجه داشت نوسان خروجی خاصیت ذاتی سیستم های کنترل دو وضعیتی است . هر چه حوزة کنترل کمتر باشد نوسان مزبور دارای دامنه کمتر و در نتیجه دقت سیستم کنترل زیادتر خواهد بود ولی تعداد قطع و وصلها بیشتر بوده و کنترل کننده ، محرک و سایر دستگاهها سریعتر فرسوده میگرددند .

۱-۶-۵- کنترل دو وضعیتی پروسس درجه یک :

در این قسمت تاثیر کنترل کننده دو وضعیتی را بر روی یک پروسس درجه یک با تابع تبدیل $G(S) = \frac{K}{1+ST}$ مانند شکل زیر بررسی مینمائیم .



شکل ۲۳ - کنترل ارتفاع با کنترل کننده دووضعیتی

در مدتی که کنترل کننده وصل است ورودی ثابت با دامنه a به پروسس اعمال میشود:

$$U(S) = \frac{a}{s}$$

بنابراین در مدت وصل تغییرات خروجی بصورت زیر است:

$$y(t) = Ka (1 - e^{-t/T})$$

اگر حد پائینی کنترل را با y_1 و حد بالایی آن را با y_2 مشخص نماییم. در فاصله $y_1 - y_2$ و یا در فاصله زمانی $t_1 - t_2$ که خروجی بین دو حد پائین و بالای کنترل تغییر مینماید تغییرات خروجی بصورت رابطه فوق بوده و لحظه‌ای که اولین وصل (t_1) انجام میشود خروجی دارای مقدار y_1 است یعنی:

$$y_1 = y(t_1) = Ka (1 - e^{-t_1/T})$$

زمان انجام عمل وصل به حد پائینی کنترل بستگی داشته و عبارتست از:

$$t_1 = T \ln \frac{Ka}{Ka - y_1}$$

و بطریق مشابه زمان انجام قطع به حد بالای کنترل بستگی داشته و عبارتست از:

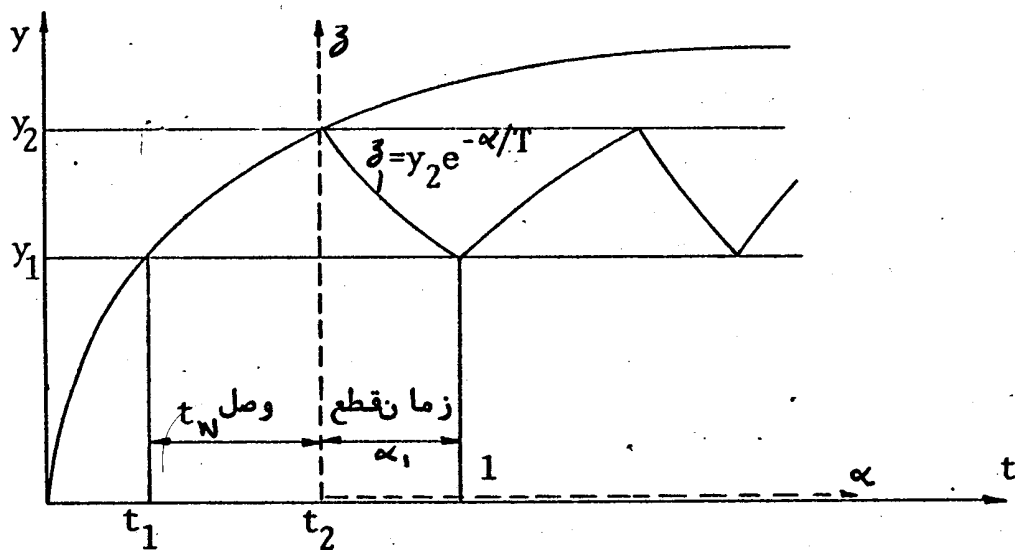
$$t_2 = T \ln \frac{Ka}{Ka - y_2}$$

در نتیجه مدت زمانی که کنترل کننده در حالت وصل قرار دارد عبارتست از :

$$t_w = t_2 - t_1 = T \ln \frac{Ka - y_1}{Ka - y_2}$$

در لحظه t_2 که کنترل کننده قطع مینماید سیگنال کنترل به صفر تغییر نموده و در تمام مدت قطع صفر خواهد بود در این مدت تغییرات خروجی بصورت زیر خواهد بود (شکل ۲۴).

$$\bar{z}(\alpha) = y_2 e^{-\alpha/T}$$



شکل ۲۴ - پروسس درجه یک با کنترل دو وضعیتی

در طی زمان قطع خروجی از y_2 به y_1 تغییر مینماید. در نتیجه ، زمان قطع از رابطه زیر محاسبه میگردد.

$$\bar{z}(\alpha_1) = y_1 = y_2 e^{-\alpha_1/T}$$

$$\alpha_1 = T \ln \frac{y_2}{y_1} \quad \text{یعنی :}$$

در نتیجه پریود قطع و وصل عبارتست از :

$$T_o = t_w + \alpha_1 = T \ln \frac{y_2}{y_1} + \frac{Ka - y_1}{Ka - y_2} \quad (11)$$

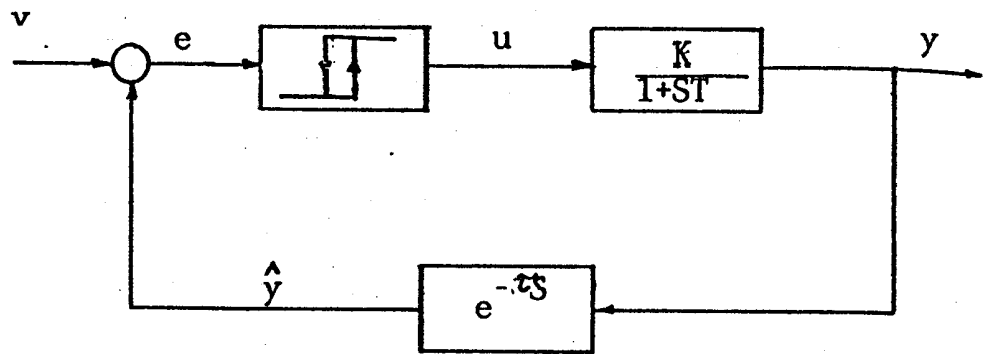
از آنجا که $y_1 = v - g_1$ و $y_2 = v + g_2$ هستند از رابطه فوق ملاحظه میشود که پریود قطع و وصل کنترل کننده به ثابت زمانی پروسس T بهره پروسس K حوزه کنترل و نیز نقطه کار v بستگی دارد.

۲۰۶۰۵- کنترل دو وضعیتی پروسس درجه یک با تاخیر در اندازه گیری :

در پروسسهائی که همراه با تاخیر هستند پس از قطع شدن ورودی و یا وصل شدن آن، خروجی تا مدتی که برابر تاخیر موجود در حلقه کنترل است به تغییرات خود در جهتی که قبل از وصل شدن و یا قطع گردیدن ورودی داشته، ادامه میدهد. از اینرو دامنه تغییرات و نوسانات خروجی حول نقطه کار بیش از حوزه کنترل است. در این قسمت مورد خاصی از این گروه مورد بررسی قرار میدهیم.

یکی از تاخیرهایی که بطور متداول در پروسسها وجود دارد تاخیر در اندازه گیری است. شکل زیر سیستم کنترل دو وضعیتی را با تاخیر زمانی τ در اندازه گیری خروجی یک پروسس درجه یک را نشان میدهد.

خروجی واقعی y و مقدار اندازه گیری شده آن \hat{y} تغییراتی مشابه داشته و فقط از نظر زمانی به اندازه τ بین آنها تاخیر وجود دارد.



شکل ۲۵ - کنترل دود وضعیت پیروسی با تاخیر زمانی در اندازه گیری

در این موارد یکی از مسائل، تنظیم حوزه کنترل به نحوی است که خروجی از محدوده معینی خارج نگردد. در طی مدتی که سیگنال کنترل وصل است تغییرات خروجی تابع رابطه مقابل است.

$$y(t) = Ka(1 - e^{-t/T})$$

اگر حد بالایی کنترل را با y_2 و حد پائینی آنرا با y_1 مشخص نماییم در لحظه t_2 خروجی بمقدار t_1 میرسد و که این زمان عبارتست از:

$$t_2 = T \ln \frac{Ka}{Ka - y_2}$$

اما خروجی اندازه گیری شده (y) در زمان $t_3 = t_2 + \tau$ به این مقدار رسیده و در آن لحظه است که سیگنال ورودی قطع میشود و از آن لحظه به بعد خروجی رو به کاهش مینهد. در لحظه t_3 خروجی به مقدار ماکزیم خود (y_{max}) رسیده که برابر است:

$$y_{max} = Ka(1 - e^{-t_3/T}) = Ka(1 - e^{-\tau/T} \cdot e^{-t_2/T})$$

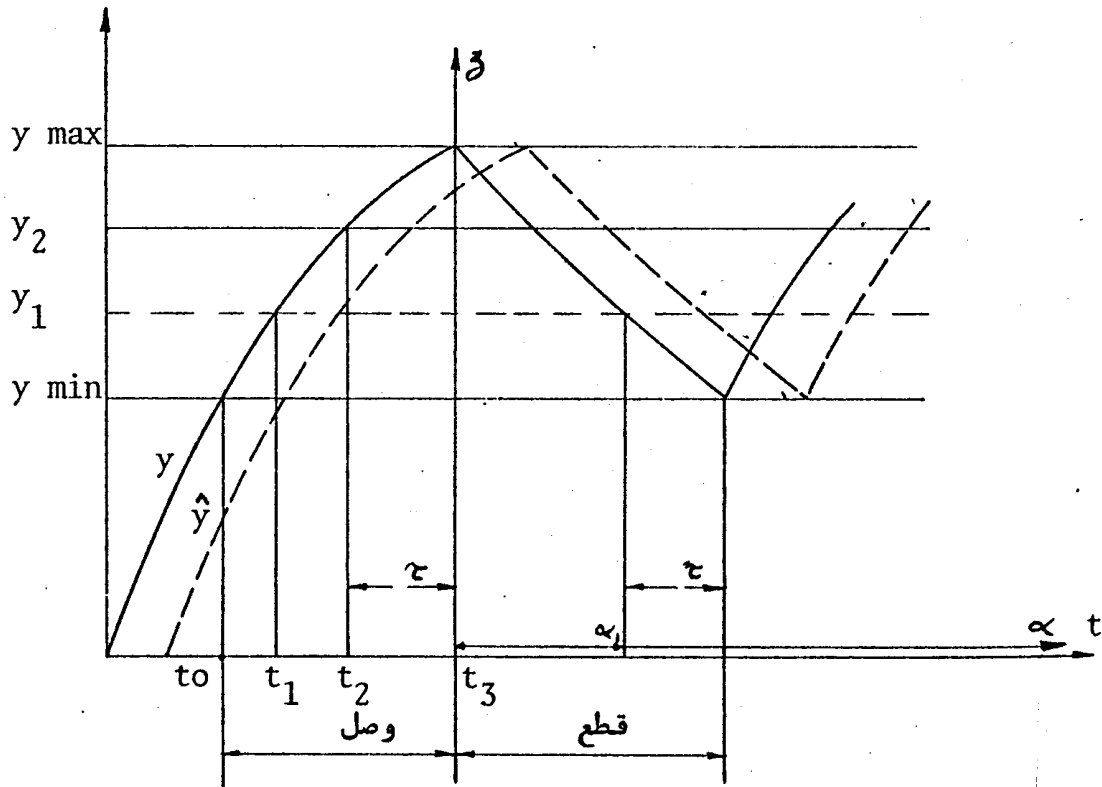
با تعریف $\theta = \tau/T$ که مقدار ثابتی است میتوان نوشت:

$$y_{\max} = Ka \left(1 - e^{-\theta} \cdot e^{-\ln \frac{Ka}{Ka - y_2}} \right) = Ka \left(1 - e^{-\theta} \cdot \frac{Ka - y_2}{Ka} \right)$$

و یا :

$$\frac{y_2}{Ka} e^{-\theta} = \frac{y_{\max}}{Ka} - 1 + e^{-\theta}$$

در نتیجه برای آنکه خروجی y از مقدار y_{\max} تجاوز ننماید لازم است کنترل کننده در حد بالایی y_2 که کمتر از y_{\max} بوده و از رابطه زیر محاسبه میشود تنظیم گردد:

$$y_2 = e^{\theta} (y_{\max} - Ka) + Ka$$


شکل ۲۶- پروسس درجه یک همراه با تاخیر در اندازه گیری با کنترل دو وضعیتی

از لحظه t_3 تا زمانی که سیگنال کنترل قطع است
تغییرات خروجی بصورت زیر است :

$$z(\alpha) = y_{\max} e^{-\alpha/T} \quad (12)$$

در لحظه $t_3 + \alpha_1$ خروجی y به مقدار y_1 حد پائینی
کنترل میرسد ولی خروجی اندازه گیری شده \hat{y} پس
از ثانیه به این مقدار رسیده و در آن لحظه
سیگنال کنترل وصل میگردد و در این لحظه
خروجی به مقداری برابر y_{\min} که کمتر از y_1 میباشد
رسیده است. α_1 مدتی که خروجی پس از قطع
سیگنال کنترل به y_1 میرسد برابر است با :

$$\alpha_1 = T \ln \frac{y_{\max}}{y_1}$$

و حداقل مقدار خروجی عبارتست از :

$$y_{\min} = y_{\max} e^{-(\alpha_1 + \tau)/T} = y_{\max} e^{-\theta} \cdot e^{-\ln \frac{y_{\max}}{y_1}}$$

و یا :

$$y_{\min} = y_1 e^{-\theta}$$

در نتیجه برای آنکه خروجی y از مقدار y_{\min} کمتر
نشود باید حد پائینی کنترل در $y_1 = y_{\min} e^{\theta}$ تنظیم
گردد.

مسئله دیگری که قابل بررسی است پیوسته و وصل
میباشد. همانطور که در شکل ۲۶ نشان داده شده
است در فاصله زمانی t_3 تا t_0 سیگنال کنترل وصل
است. t_0 زمانی است که خروجی y به مقدار y_{\min}
میرسد و برابر است با :

$$t_0 = T \ln \frac{K_a}{K_a - y_{\min}}$$

در نتیجه زمان وصل برابر است با :

$$t_{\text{وصل}} = t_3 - t_0 = T \ln \frac{Ka}{Ka - y_{\text{max}}} - T \ln \frac{Ka}{Ka - y_{\text{min}}} = T \ln \frac{Ka - y_{\text{min}}}{Ka - y_{\text{max}}}$$

و با توجه به رابطه (۲) زمان قطع برابر است با :

$$t_{\text{قطع}} = T \ln \frac{y_{\text{max}}}{y_{\text{min}}}$$

و بنابراین پریود قطع و وصل عبارتست از :

$$T_0 = t_{\text{وصل}} + t_{\text{قطع}} = T \ln \frac{y_{\text{max}}}{y_{\text{min}}} \cdot \frac{Ka - y_{\text{min}}}{Ka - y_{\text{max}}} \quad (13)$$

از مقایسه روابط (۱۱) و (۱۳) میتوان نتیجه گرفت
در اثر تاخیر در اندازه‌گیری پریود قطع و وصل
در کنترل دو وضعیتی افزایش مییابد.

تمرین های فصل های چهارم و پنجم :

۱- دریک پروسس نورد ورق فولادی از بین غلطکهای به قطر $1.2m$ که با سرعت $45r.p.m$ درگردش هستند عبورمینمایید و ضخامت آن با دستگاهی که در فاصله دومتری دهانه غلطکها قرار دارد اندازه گیری میشود. ضخامت اندازه گیری شده پس از مقایسه با ضخامت مورد نظر به کنترل کننده و سروموتور هیدرولیکی که فاصله بین غلطکها را تنظیم میکند، وارد میشود. تابع تبدیل سروموتور $\frac{2.4}{v} \frac{mm}{s}$ و ضریب اندازه گیری $1 + 0.05 S$ است 1 volt/mm .

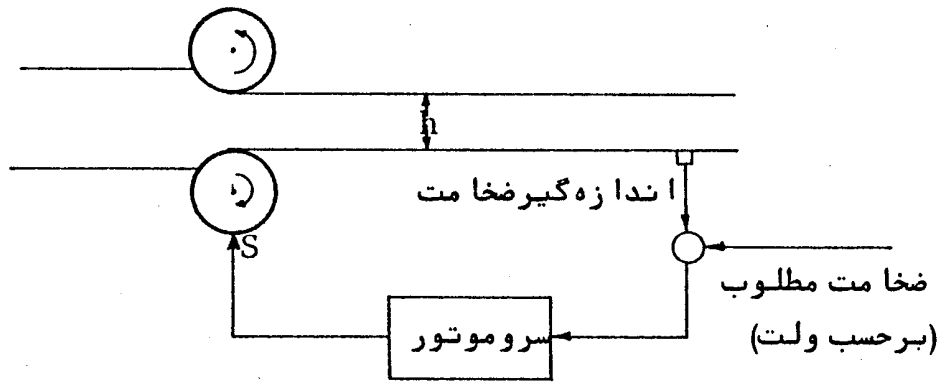
تغییر ضخامت صفحه فولادی به تغییر فاصله دو غلطک $\frac{h}{S} = 0.2$ و کنترل کننده متناسب با باند 100% (بهره واحد) میباشد.

الف: اگر بطور ناگهانی ضخامت ورق فولادی که از دهانه غلطکها خارج میشود یک میلی متر ضخیم تر شود تقریباً " چه طولی از ورق قبل از آنکه سیستم کنترل بتواند آنرا تصحیح کند ضایع میشود. توضیح آنکه اگر قسمتی از ورق ضخامتش از ضخامت مطلوب 0.1 mm کمتر یا بیشتر باشد آن قسمت ضایع محسوب میشود.

ب: برای آنکه ضایعات حداقل شود دستگاه اندازه گیر را در چه فاصله ای قبل و یا بعد از دهانه باید قرار داد؟

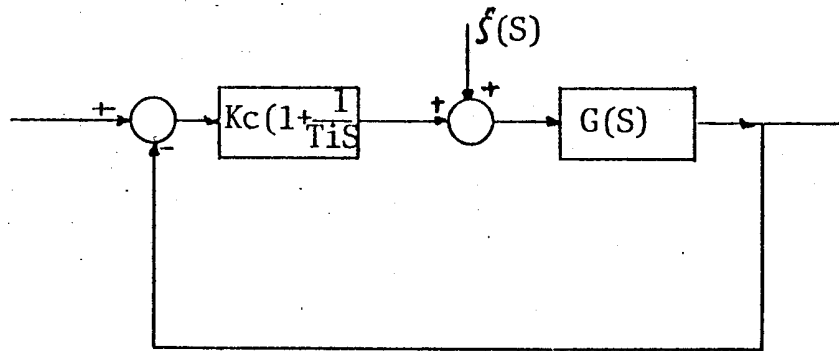
ج: آیا بطور کلی از نظر کنترل بهتر است تغییر فاصله بین دو غلطک کوچکتر، مساوی و یا بزرگتر از تغییر ضخامت باشد؟ چرا؟

د: اگر بجای کنترل کننده متناسب، از کنترل کننده PID استفاده شود، ضرایب این کنترل کننده را طبق معیارهای ISE، IAE و نیز روش Ziegler-Nichols تعیین نمود، و با یکدیگر مقایسه نمائید.



۲- تابع تبدیل سیستمی $G(S) = \frac{e^{-S}}{(1+S)(1+0.5S)}$ است. پاسخ این سیستم را به ورودی پله‌ای محاسبه و روی کاغذ میلیمتری ترسیم کنید. از دیاگرام رسم شده، سیستم را با یک تاخیر زمانی و یک ثابت زمانی تقریب بزنید. (برای این کار از روش مختلف استفاده کنید).

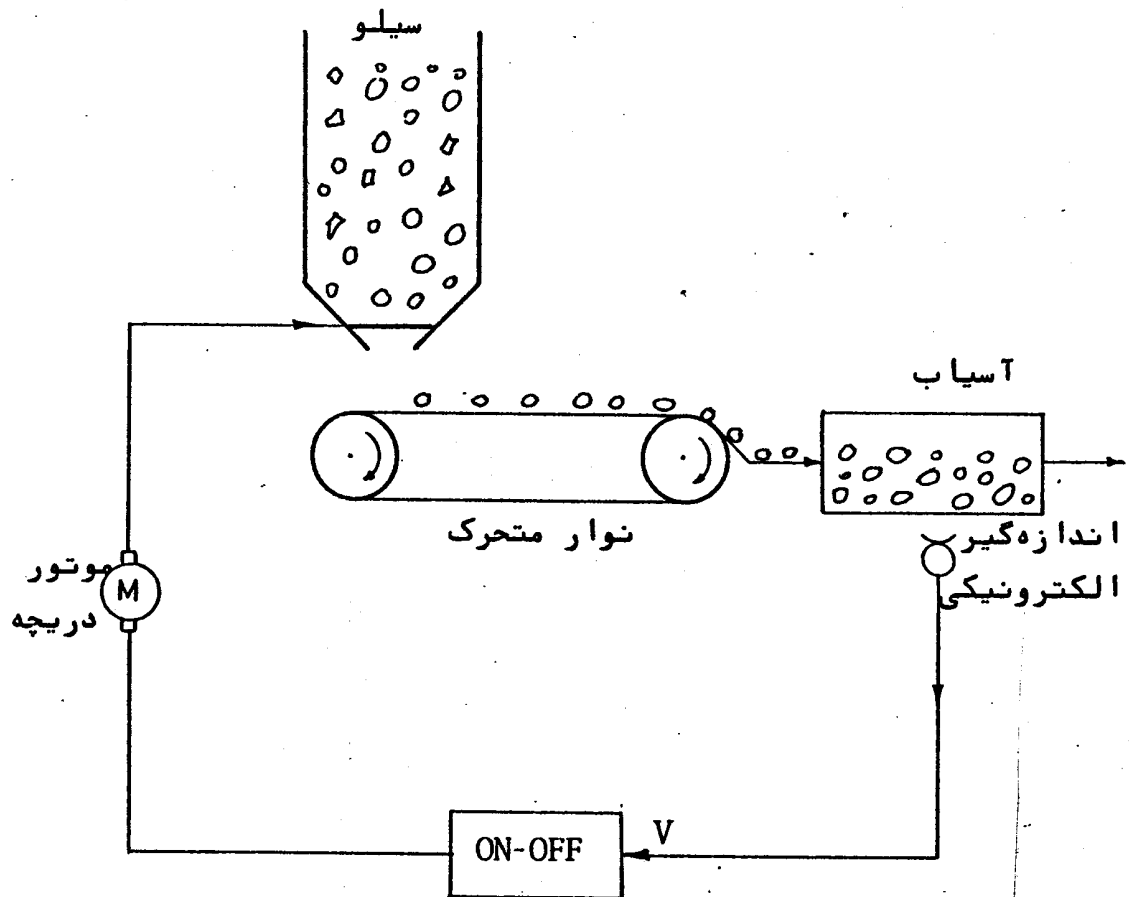
با استفاده از تابع تبدیل تقریبی که بدست آورده- اید، بهره و ثابت زمانی کنترل کننده PI را بروش Ziegler- Nichols و نیز ITAE بدست آورید. پاسخ سیستم را به ازاء اختلال پله‌ای بطور تقریبی با دو معیار فوق رسم نموده، آنها را مقایسه کنید.



۳- شکل زیر سیستم ساده کنترل وزن مواد در یک آسیاب سیمان را نشان می‌دهد. تابع تبدیل آسیاب عبارتست

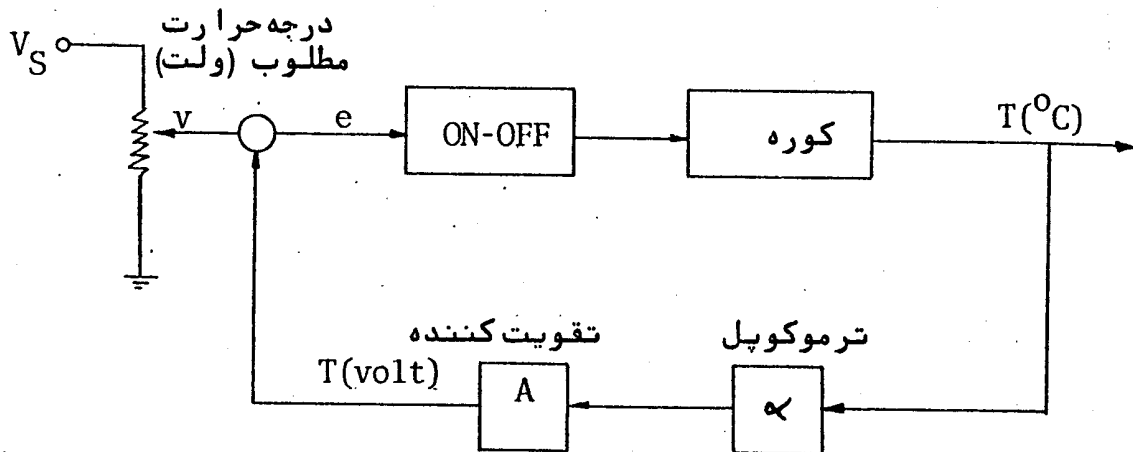
از:

$\frac{W(S)}{Q(S)} = \frac{0.5}{1+500S}$ که در آن W [ton] وزن مواد در آسیاب و Q [ton/hr] میزان مواد ورودی به آسیاب است. وزن مواد در آسیاب توسط اندازه گیر الکترونیکی با ضریب $2 \frac{\text{volt}}{\text{ton}}$ اندازه گیری میشود و به یک کنترل کننده ON-OFF وارد میشود کنترل کننده بستگی به وزن مواد در آسیاب درجه سیلو را میبندد و یا باز میکند. هنگامیکه درجه باز است 30 ton/hr مواد از سیلو خارج میشود که پس از عبور از روی نوار متحرک وارد آسیاب میگردد. مدت زمانی که طول میکشد تا مواد از خروجی سیلو به ورودی آسیاب برسد، یک دقیقه میباشد. سرعت نوار ثابت و نوار همواره در حال حرکت بوده و نمیتوان آنرا متوقف نمود.



میخواهیم وزن مواد در داخل آسیاب سیمان هیچگاه از 12 ton بیشتر و از 8 ton کمتر نشود. تعیین کنید به ازاء چه ولتاژی در ورودی کنترل کننده V دریچه سیلو باید باز شود و به ازاء چه ورودی کنترل کننده دریچه سیلو باید بسته گردد.

۴- شکل زیر بلوک دیاگرام کنترل درجه حرارت یک کوره را نشان میدهد. کوره در اثر سوختن گاز، داغ میشود. در این پروسس



درجه حرارت مطلوب توسط پتانسیومتری تنظیم میشود بطوریکه میخواهیم هنگامیکه ولتاژ سروسط پتانسیومتر v از V_S تا ولتاژ منبع V_S تغییر میکند درجه حرارت کوره بطور خطی از 500°C تا 1000°C تغییر نماید. ضریب ترموکوپل برابر $\alpha = 0.05 \frac{\text{mV}}{^{\circ}\text{C}}$ میباشد. در نظر است درجه حرارت کوره در حدود $T_R \pm 20^{\circ}\text{C}$ که در آن T_R درجه حرارت مطلوب است نگاه داشته شود و دستگاه طوری عمل نماید که تا هنگامیکه درجه حرارت کوره به 20°C بیش از T_R نرسیده جریان گاز ادامه یابد و بعد قطع شود و نیز هنگامیکه درجه حرارت کوره به 20°C کمتر از T_R نرسیده جریان گاز وصل نشود. برای وصل جریان گاز باید ورودی کنترل کننده $e \geq 0.5 \text{ volt}$ و برای قطع گاز $e \leq -0.5 \text{ volt}$ باشد هنگامیکه گاز میسوزد درجه حرارت کوره طبق رابطه $T = 1200(1 - e^{-t/30})$ زیاد میشود و هنگامیکه جریان گاز قطع میشود ثابت زمانی کوره 20 Sec است.

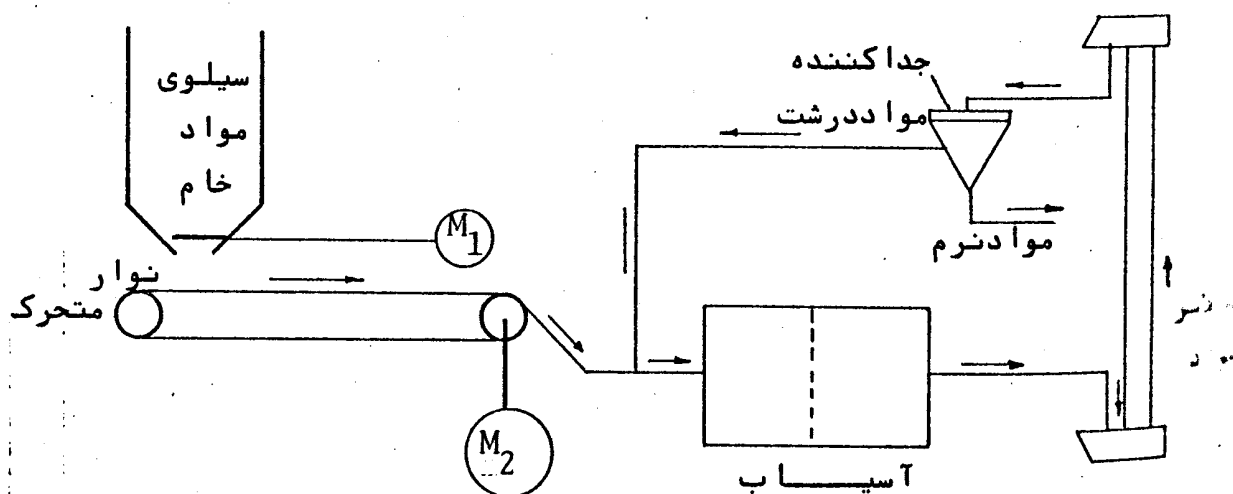
- الف : بهره تقویت کننده A و ولتاژ منبع لازم Vs را تعیین کنید.
- ب : اگر درجه حرارت مطلوب کوره 800°C باشد تعداد قطع و وصل را در دقیقه تعیین کنید.
- ج : چگونه میتوان تعداد قطع و وصل در دقیقه را کاهش داد و تاثیر آن روی کار پروسس چیست ؟

شکل زیر دیاگرام ساده کار آسیاب مواد خام در یک کارخانه سیمان را نشان میدهد. مواد خام از سیلو از طریق دریچه‌ای بر روی نوار متحرک میریزد. ارتفاع مواد روی نوار متحرک توسط دریچه قابل تنظیم میباشد (با استفاده از موتور M_1) سرعت نوار متحرک را نیز میتوان توسط موتور M_2 تنظیم نمود. مواد پس از خرد شدن در آسیاب و خروج از آن توسط بالابری وارد جداکننده میشود تا مواد نرم و درشت از هم تفکیک شوند. مواد درشت بار دیگر به آسیاب برمیگردند. برای کار رضایت بخش آسیاب لازم است:

الف: میزان (وزن در واحد زمان) مواد ورودی به آسیاب ثابت نگاهداشته شود (حدود 30ton/hr)

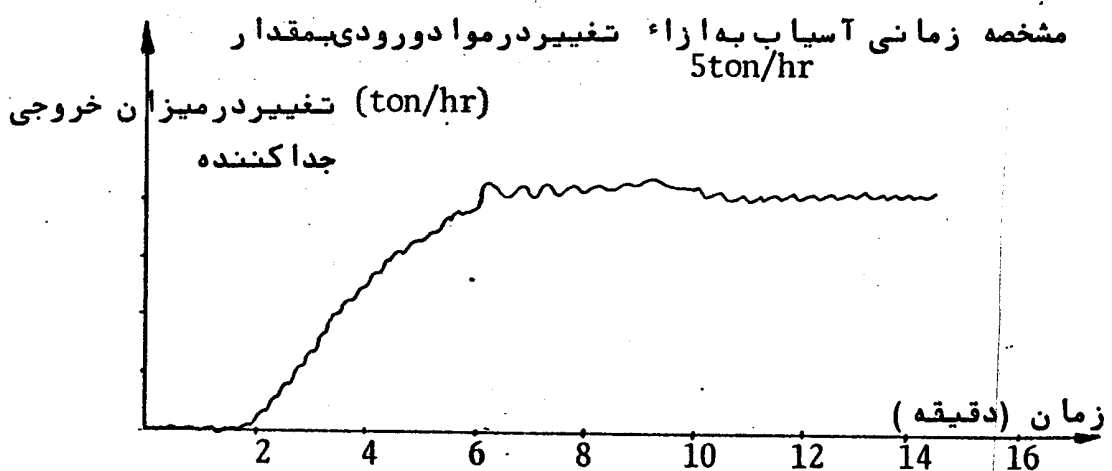
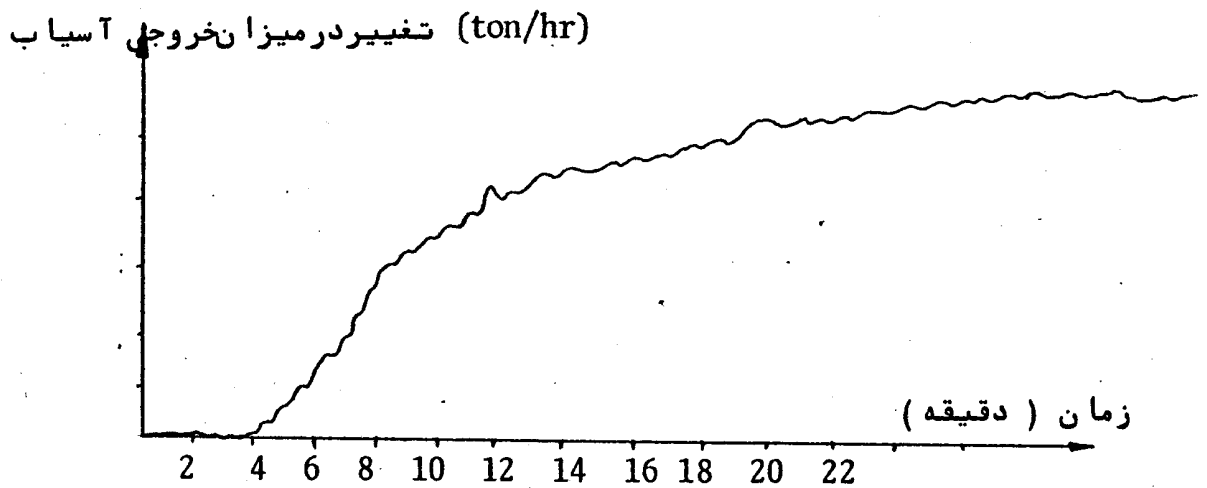
ب: وزن مواد در آسیاب هیچگاه از مقدار معینی (10 ton) تجاوز نکند.

سیستم کنترلی برای آسیاب پیشنهاد نمائید. در این سیستم کنترل کمیت‌هایی که باید اندازه‌گیری شوند و محل‌هایی که باید اندازه‌گیری انجام گیرد و نیز کمیت‌هایی که باید روی آنها کنترل اعمال نمود و نیز نوع کنترل‌کننده‌ها، محل آنها و ضرایب آنها را مشخص کنید. توجه داشته باشید که در سیستم کنترل پیشنهادی باید تعداد کمیت‌های مورد اندازه‌گیری و کنترل، حداقل سیستم کنترل ساده و قابل اجرا باشد.



اطلاعات زیر در مورد سیستم بالاموجود است .

فاصله سیلو تا آسیاب سیمان 10m ، سرعت سادی نوار متحرک 8 r.p.m. ثابت زمانی موتور درجه (M_1) برابر 40 Sec ، ثابت زمانی موتور نوار 30 Sec مدت زمان لازم برای آنکه مواد از خروجی آسیاب به ورودی جداکننده برسد 2 min مدت زمانی که طول میکشد تا مواد درشت از جدا کننده به ورودی آسیاب برسد 3 min و نسبت وزنی مواد درشت به کل مواد ورودی به جداکننده بطور متوسط 40% است . مشخصه زمانی تجربی آسیاب سیمان و جداکننده در صفحه زیر ارائه شده است . سایر مقادیر کمیتهای مورد نیاز را برای طرح سیستم کنترل به تشخیص خود فرض نمائید ولی توضیح دهید این مقادیر را چگونه در عمل میتوان بدست آورد .



مشخصه زمانی جداکننده به ازاء 4 ton/hr تغییر در مواد ورودی به جدا کننده

بخش ۲

کنترل کنندگان و تنظیم آنها

فصل ششم - ساختمان کنترل کننده‌ها

۱-۶ - مقدمه :

کنترل کننده‌ها بطور کلی دو نوع هستند: الکترونیکی و بادی! کنترل کننده‌های الکترونیکی بلحاظ راحتی عملیات با سیگنال‌های الکتریکی برکنترل کننده‌های بادی ترجیح دارند. اما گاهی تعمیر آنها در مقایسه با کنترل کننده‌های بادی مشکل‌تراست. علاوه بر این در کنترل کننده‌های الکترونیکی احتمال جرقه زدن وجود دارد. بدین جهت این نوع کنترل کننده‌ها در صنایعی که با مواد قابل انفجار سروکار دارند مورد استفاده قرار نمیگیرند. در این موارد از کنترل کننده‌های بادی استفاده میشود. کنترل کننده‌های بادی بیشتر در صنایع پتروشیمی کار بردارند.

۲-۶ - انواع و ساختمان کلی کنترل کننده‌ها :

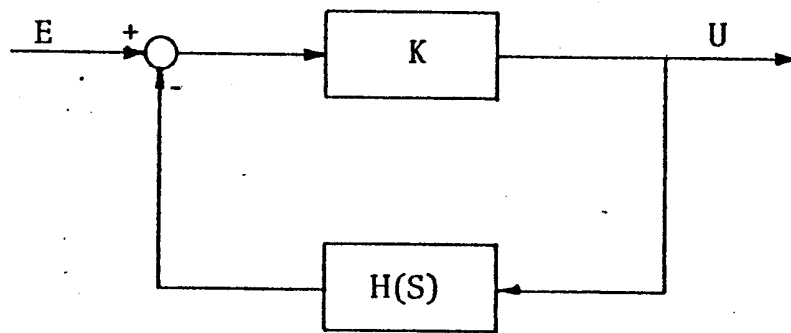
کنترل کننده‌ها بطور کلی شامل اجزاء زیر هستند:

- ۱- اجزاء اصلی: شامل یک تقویت کننده با بهره زیاد (اپراسیونل) است و در مدار پیشرو قرار دارد.
- ۲- اجزاء RC: مدار RC معمولاً در فیدبک قرار میگیرد.

انواع کنترل کننده‌هایی که بطور وسیع مورد استفاده قرار میگیرند عبارتند از: متناسب (P)، متناسب + انتگرال (PID)، متناسب + انتگرال + مشتق گیر (PID)، اکثر انواع کنترل کننده‌ها بصورت شکل ۱ میباشند که در آن K بهره تقویت کننده است. تابع تبدیل سیستم بسته عبارتست از:

$$G_c(s) = \frac{K}{1+KH(s)} \quad (1)$$

1. Pneumatic



شکل ۱- ساختمان کلی کنترل کننده

از آنجا که بهره K خیلی زیاد است میتوان نتیجه گرفت :

$$G(S) \approx \frac{1}{H(S)} \quad (2)$$

یعنی تابع تبدیل مدار بسته شکل (۱) تقریباً " معکوس تابع تبدیل فیدبک می باشد . بعبارتی اگر مدار فید بک فقط شامل انتگرال گیر باشد سیستم مدار بسته مشتق گیر خواهد بود. و اگر در فیدبک مدار مدار RC بصورت $H(S) = \frac{K}{1+ST}$ وجود داشته باشد سیستم مدار بسته ، کنترل کننده PD خواهد بود :

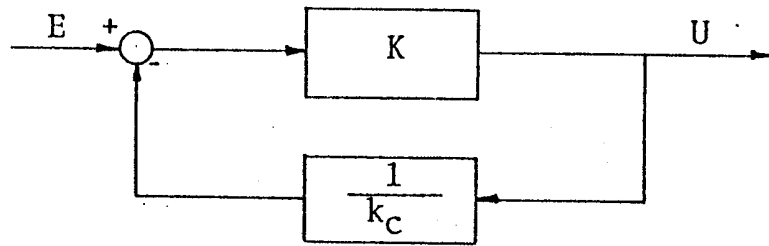
$$G_c(S) = \frac{1}{K} (1+TS)$$

براین اساس با فیدبک های مختلف میتوان انواع کنترل کننده ها را بوجود آورد .

۱.۲.۶- ساختمان کلی کنترل کننده متناسب :

با فیدبک متناسب $H(S) = \frac{1}{K_C}$ میتوان کنترل کننده متناسب با بهره K_C بدست آورد.

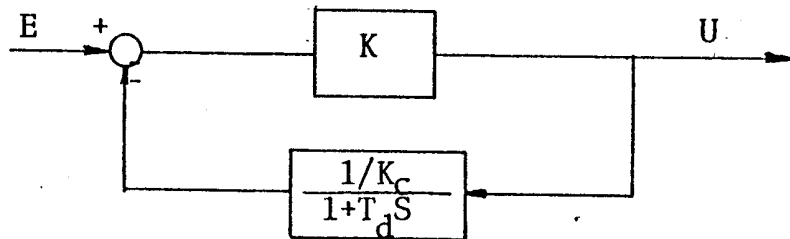
$$K(S) = K_C$$



شکل ۲ - کنترل کننده متناسب

۲-۲-۶ - ساختمان کلی کنترل کننده PD :

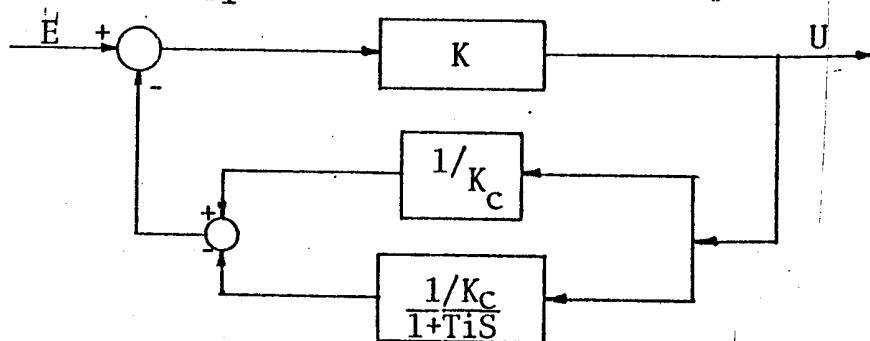
با انتخاب فیدبک پس فنساز $H(S) = \frac{1/K_C}{1+T_d S}$ میتوان کنترل کننده PD ایجاد نمود که تابع تبدیل آن بصورت $K(S) = K_C(1+T_d S)$ است .



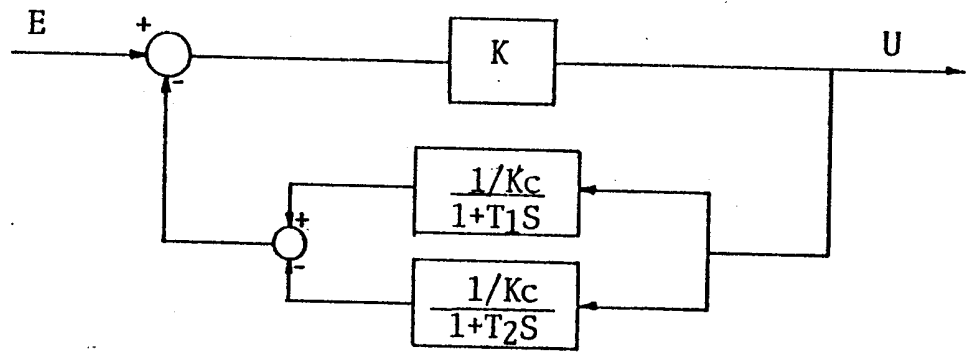
شکل ۳ - کنترل کننده PD

۳-۲-۶ - ساختمان کلی کنترل کننده PI :

کنترل کننده PI شامل دو حلقه فیدبک است (شکل ۴) که یک حلقه آن مربوط به جمله متناسب و حلقه دیگر آن مربوط به جمله انتگرال میباشد و این دو حلقه مجموعاً " کنترل کننده PI را بصورت زیر تشکیل میدهند . $K(S) = K_C (1 + \frac{1}{T_i S})$



شکل ۴ - کنترل کننده PI



شکل ۵- کنترل کننده PID

۴۰۲۰۶- ساختمان کلی کنترل کننده PID :

در کنترل کننده PID نیز به علت وجود جمله انتگرال گیر فیدبک شامل دو مسیر است. هر دو در ثابت مسیر شامل جمله مدار پیس فامیباشند و هر دو در ثابت های زمانی انتگرال و مشتق کنترل کننده دخالت دارند. در این مورد تابع تبدیل مسیر فیدبک عبارتست از :

$$H(S) = \frac{1}{Kc} \left(\frac{1}{1+T_1S} - \frac{1}{1+T_2S} \right) = \frac{1}{Kc} \frac{(T_2 - T_1)S}{T_1 T_2 S^2 + (T_1 + T_2)S + 1}$$

در نتیجه تابع تبدیل سیستم شکل ۵ عبارتست از :

$$K(S) = \frac{1}{H(S)} = Kc \frac{T_1 + T_2}{T_2 - T_1} \left(1 + \frac{1}{(T_1 + T_2)S} + \frac{T_1 T_2}{T_1 + T_2} S \right) \quad (۳)$$

از مقایسه رابطه (۳) با فرم استاندارد کنترل کننده PID که بصورت زیر است :

$$K(S) = Kc \left(1 + \frac{1}{T_i S} + T_d S \right)$$

ملاحظه میشود ثابت های زمانی انتگرال و مشتق (T_i, T_d) به پارامترهای T_1 و T_2 بستگی داشته و عبارتند از :

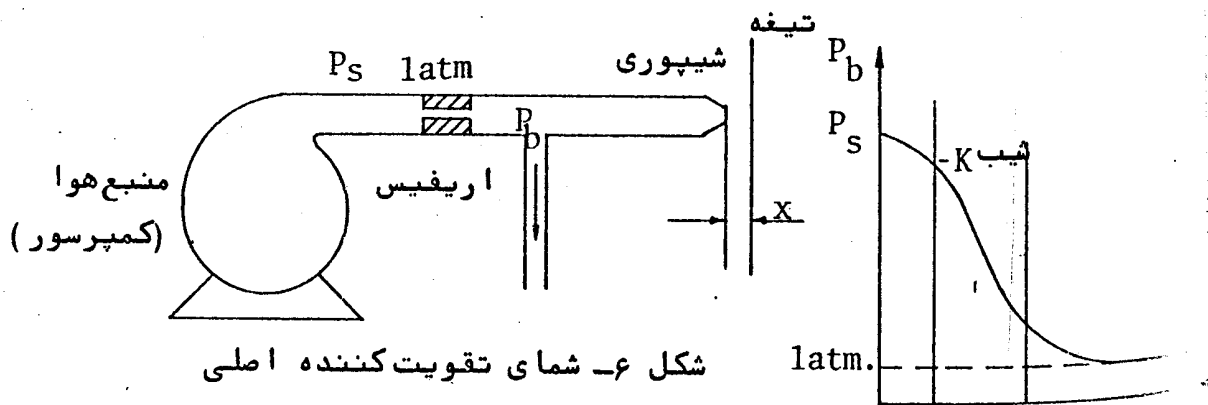
$$T_i = T_1 + T_2$$

$$T_d = \frac{T_1 T_2}{T_1 + T_2}$$

۱.۳.۶- اجزاء کنترل کننده های بادی :

در کنترل کننده های بادی سیگنال ها فشار هوا و در حدود 1.5 atm (حدود 20psi) میباشد. این نوع کنترل کننده ها شامل دو تقویت کننده (تقویت کننده اصلی و تقویت کننده قدرت) هستند.

تقویت کننده اصلی : این تقویت کننده شامل لوله ای است که یک انتهای آن باریکتر بوده و به (Nozzle) یا شیپور موسوم است. انتهای دیگر این لوله به منبع هوای فشرده یا کمپرسور متصل است. در جلوی شیپوری تیغه ای (flapper) وجود دارد که از دو سر دارای اتصال است (شکل ۶). با زیاد شدن فاصله تیغه از دهانه شیپوری (x) هوای فشرده درون شیپوری و لوله به آتمسفر وارد شده و در نتیجه فشار پشت شیپوری کاهش میابد و به $P_b = 1 \text{ atm}$ میرسد و اگر بین تیغه و شیپوری فاصله ای وجود نداشته باشد ($x = 0$) فشار پشت شیپوری برابر فشار تخلیه کمپرسور یا فشار منبع هوای فشرده ($P_b = P_s$) خواهد بود.



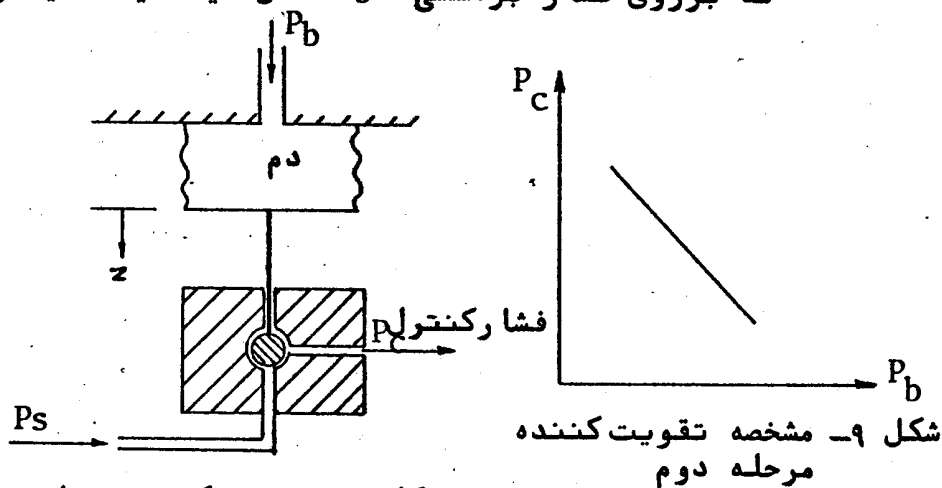
شکل ۶- شمای تقویت کننده اصلی

۷- مشخمه تقویت کننده اصلی

مشخصه این تقویت کننده بطوریکه در شکل ۷ مشاهده میشود مشخصه ای غیرخطی است که در x خیلی کم و یا خیلی زیاد درجه غیرخطی بودن آن زیاد است در صورتی که برای x های متوسط مشخصه تقریباً خطی و دارای شیب منفی ($-K$) بسیار زیاد است.

تقویت کننده فوق دارای شیب منفی است در حالیکه در قسمت (۶-۲) در طرح ساختمان کلی کنترل کننده ها بهره تقویت کننده مثبت در نظر گرفته شد. بنا بر این آنچه که بعنوان تقویت کننده اصلی از آن نام برده شد تنها یک مرحله از تقویت کننده را تشکیل میدهد.

برای بدست آوردن کنترل کننده با بهره مثبت، تقویت کننده مرحله دومی در نظر گرفته میشود که بر روی فشار برگشتی P_b عمل مینماید. این



شکل ۸- تقویت کننده مرحله دوم

تقویت کننده از یک دم و یک گلوله تشکیل شده است. در اثر افزایش فشار برگشتی P_b دم مزبور منبسط شده و گلوله ای که به آن متصل است در مسیر خود پائین میرود و مسیر فشار P_s به فشار کنترلر را مینماید. در نتیجه فشار کنترل P_c کاهش مییابد. و بالعکس با کاهش فشار برگشتی P_b ، فشار کنترل P_c افزایش مییابد. با تعاریف:

A سطح مقطع دم
 K_0 ضریب فنر دم
 z تغییر مکان انتهای دم

معادله تقویت کننده مرحله دوم را بصورت زیر
 میتوان نوشت :

$$P_b \cdot A = K_0 \cdot z$$

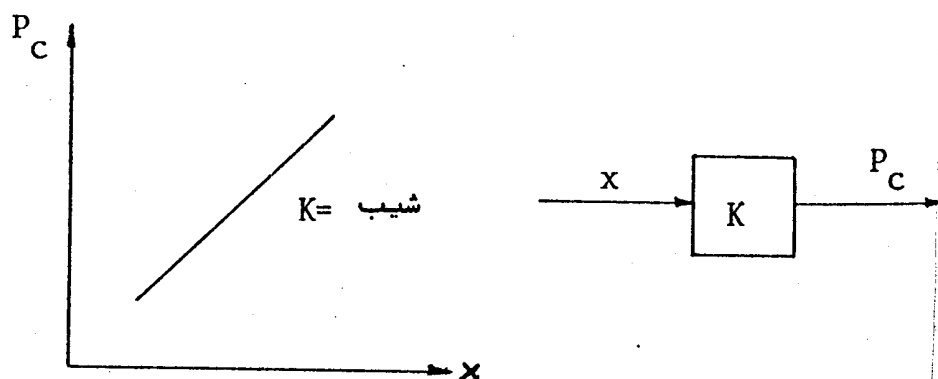
در نتیجه تغییر مکان انتهای دم از طریق رابطه
 خطی زیر با فشار برگشتی مربوط است :

$$z = \frac{A}{K_0} P_b \quad (4)$$

به این ترتیب تقویت کننده مرحله دوم دو وظیفه
 را انجام میدهد :

- ۱- تغییر علامت ایجاد مینماید و علامت منفی
 بهره مرحله اول تقویت کننده را به علامت
 مثبت تبدیل میکند.
- ۲- تقویت قدرت انجام میدهد .

در نتیجه استفاده از دو مرحله تقویت کننده، مشخصه
 آن بصورت شکل ۱۰ در میآید .



شکل ۱۰- مشخصه تقویت کننده دومرحله‌ای

۲۰۳۰۶ - کنترل کننده متناسب بادی :

آنچه تاکنون مورد بررسی قرار گرفت یک کنترل کننده یا تقویت کننده مدار باز بود. قراردادن فیدبک بر روی این سیستم بصورت نشان داده شده در شکل ۱۱ انجام میپذیرد .

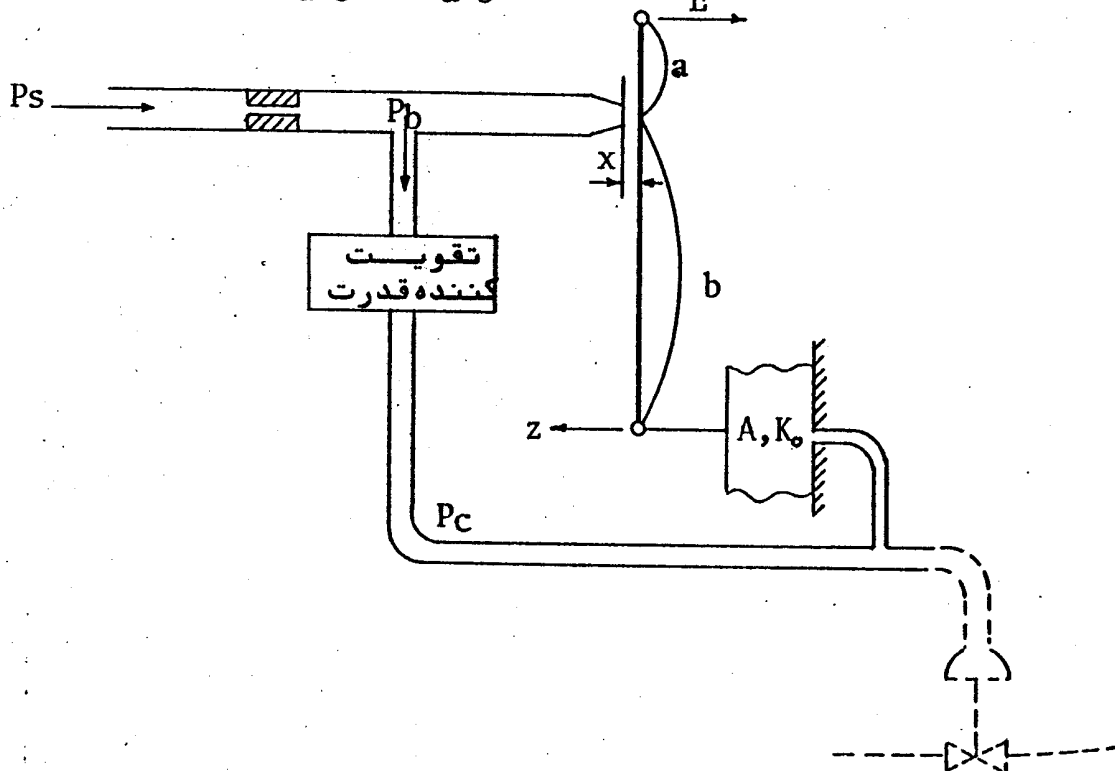
بطور کلی فاصله تیغه تا دهانه شیپوری (X) تابعی از دو سیگنال خطا (E) و تغییر مکان دم (Z) میباشد (شکل ۱۱) یعنی :

$$X = X(E, Z)$$

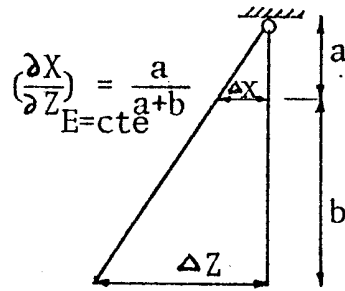
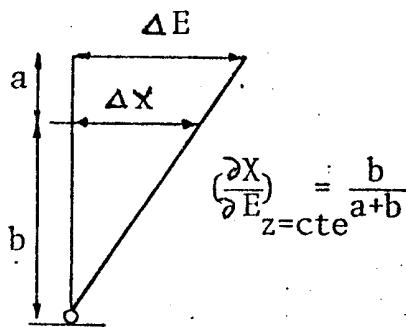
در نتیجه تغییران آن عبارتست از :

$$\Delta X = x = \left(\frac{\partial X}{\partial E} \right)_{Z=cte} \cdot E - \left(\frac{\partial X}{\partial Z} \right)_{E=cte} \cdot \Delta Z$$

با توجه به شکل تشریحی ۱۲ میتوان نوشت : $x = \frac{b}{a+b} e - \frac{a}{a+b} z = \frac{1}{a+b} (be - az)$ (۵)



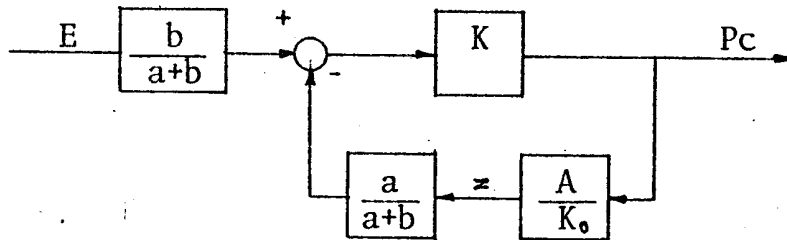
شکل ۱۱ - کنترل کننده متناسب



شکل ۱۲- تغییرات فاصله تیغه از دهانه شیپوری

$$z = \frac{A}{K} Pc$$

از آنجا که



شکل ۱۳ - دیاگرام جعبه‌ای کنترل کننده متناسب بادی

بلوک دیاگرام کنترل کننده بصورت شکل ۱۳ خواهد بود .

$$\frac{Pc}{E} = \frac{b}{a+b} \cdot \frac{a+b}{a} \cdot \frac{K}{A} = \frac{K_0}{A} \cdot \frac{b}{a} \quad (۶)$$

مشاهده میشود که سیستم کنترل کننده شکل ۱۱ یک کنترل کننده متناسب است . و بهره آن با تغییر نسبت $\frac{b}{a}$ قابل تنظیم است .

۳-۳-۶- کنترل کننده متناسب + مشتق گیر بادی :

در فصل اول معادله دینامیک مخزن بصورت مقابل

$$A \frac{dh}{dt} = Q_i - Q \quad \text{بدست آمد :}$$

درمورد سیستم شکل ۱۴ ، دم مشابه مخازن بوده و دارای ظرفیت میباشد از اینرو میتوان نوشت :

$$\frac{Pc - P}{R_d} = C \frac{dp}{dt} \quad (۷)$$

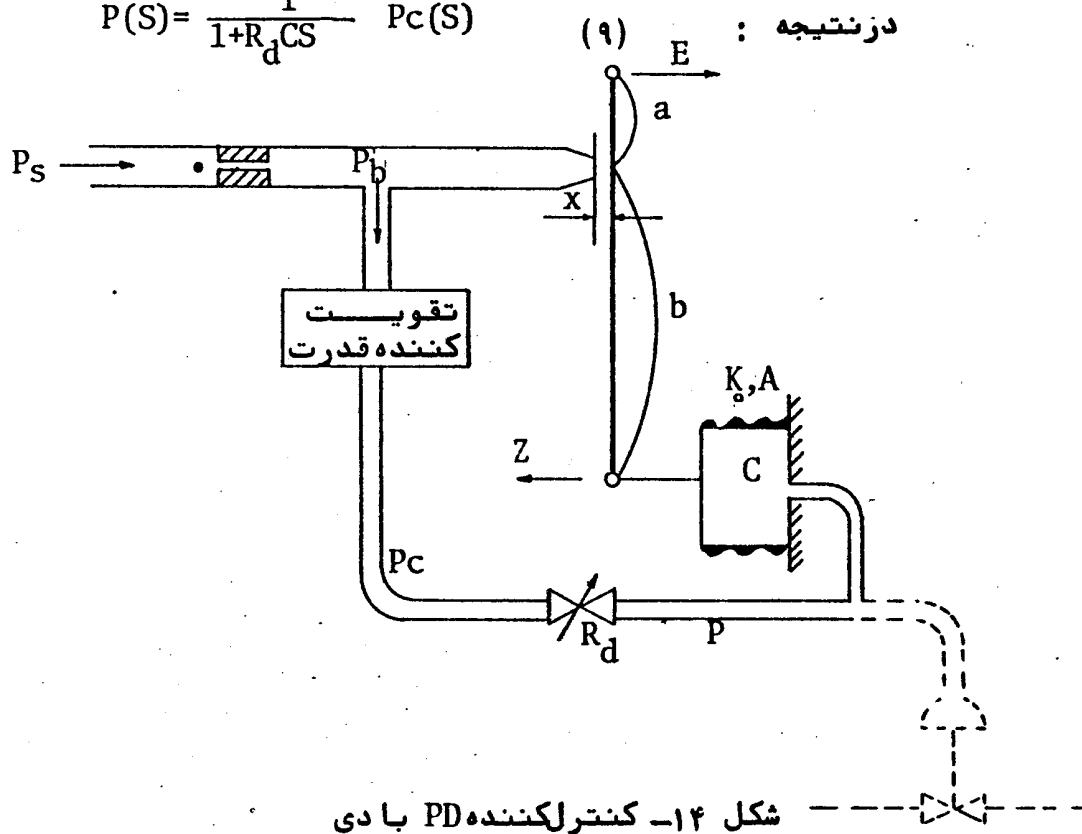
از طرف دیگر بعلت خاصیت فنرودم تغییر مکان
انتهای آن عبارتست از :

$$z = \frac{A}{K_0} P \quad (8)$$

رابطه (۷) را میتوان بصورت زیر نوشت :

$$\frac{P_c(S)}{R_d} - \frac{P(S)}{R_d} = CSP(S)$$

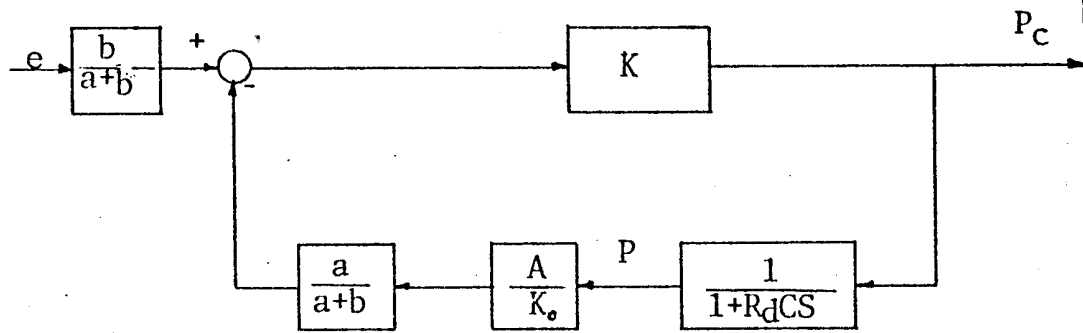
$$P(S) = \frac{1}{1+R_dCS} P_c(S)$$



از اینرو میتوان دیاگرام جعبه‌ای آنرا بصورت شکل
۱۵ رسم نمود و تابع تبدیل آنرا میتوان بصورت زیر
نوشت :

$$K(S) = \frac{P_c(S)}{e(S)} = \frac{K_0}{A} \cdot \frac{b}{a} (1+R_dCS) = k_c (1+T_dS) \quad (10)$$

سیستم مزبور یک کنترل کننده PD است که بهره آنرا
با تغییر نسبت $\frac{b}{a}$ و T_d را با تغییر مقاومت شیر
 R_d میتوان تنظیم نمود.

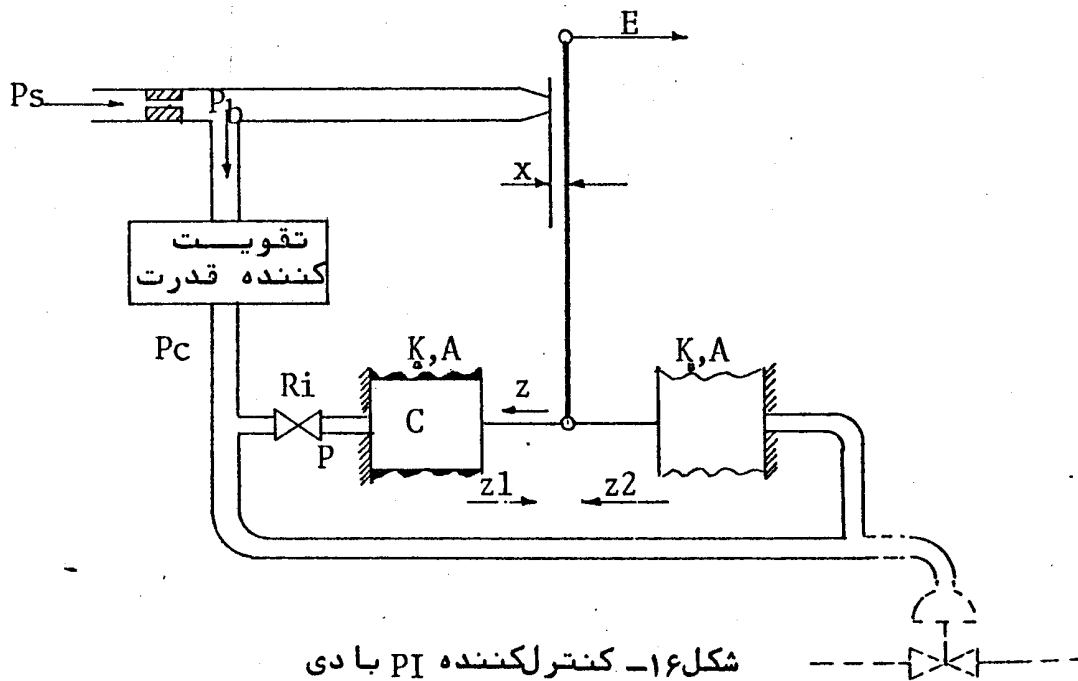


شکل ۱۵- دیاگرام جعبه‌ای کنترل کننده PD بادی

۴۰۳۰۶- کنترل کننده PI بادی :

این نوع کنترل کننده شامل دو مسیر فیدبک است. یکی از دو مسیر فیدبک مثبت بوده و جمله انتگرال گیر کنترل کننده را تامین مینماید و مسیریگر که فیدبک منفی است جمله متناسب آنرا ایجاد مینماید (شکل ۱۶).

در مسیر فیدبک مثبت یک شیر و یک دم با ظرفیت وجود دارد. معمولاً دو دم موجود در دو حلقه سطح مقطع و ضریب فنر یکسانی دارند.



شکل ۱۶- کنترل کننده PI بادی

در مورد مسیر فیدبک مثبت میتوان نوشت :

$$P(S) = \frac{1}{1+RiCS} P_c(S)$$

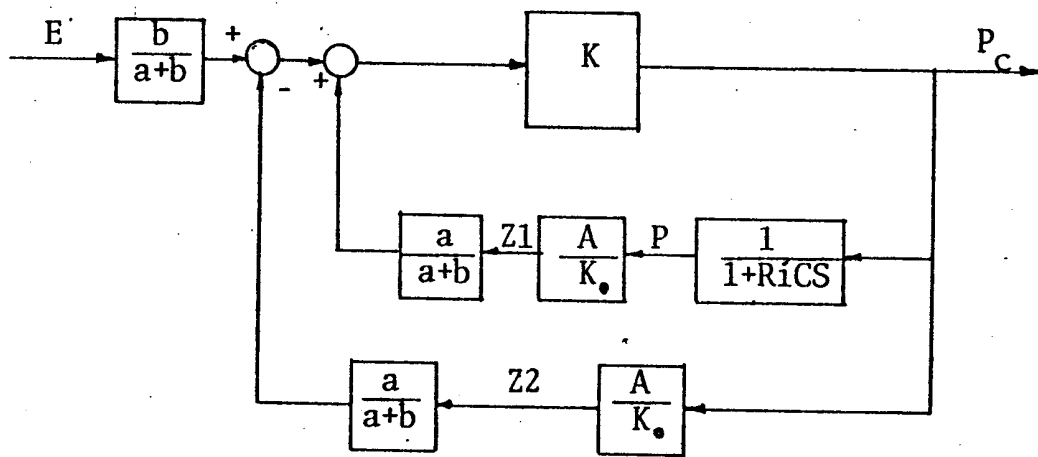
$$Z_1 = \frac{A}{K_0} P \quad (11)$$

$$Z_2 = \frac{A}{K_0} \quad \text{در مسیر فیدبک منفی :} \quad (12)$$

تغییر مکان خالص Z در تیغه برابر است با :

$$Z = Z_2 - Z_1$$

در نتیجه دیاگرام جعبه‌ای این سیستم را میتوان به صورت شکل ۱۷ رسم نمود.



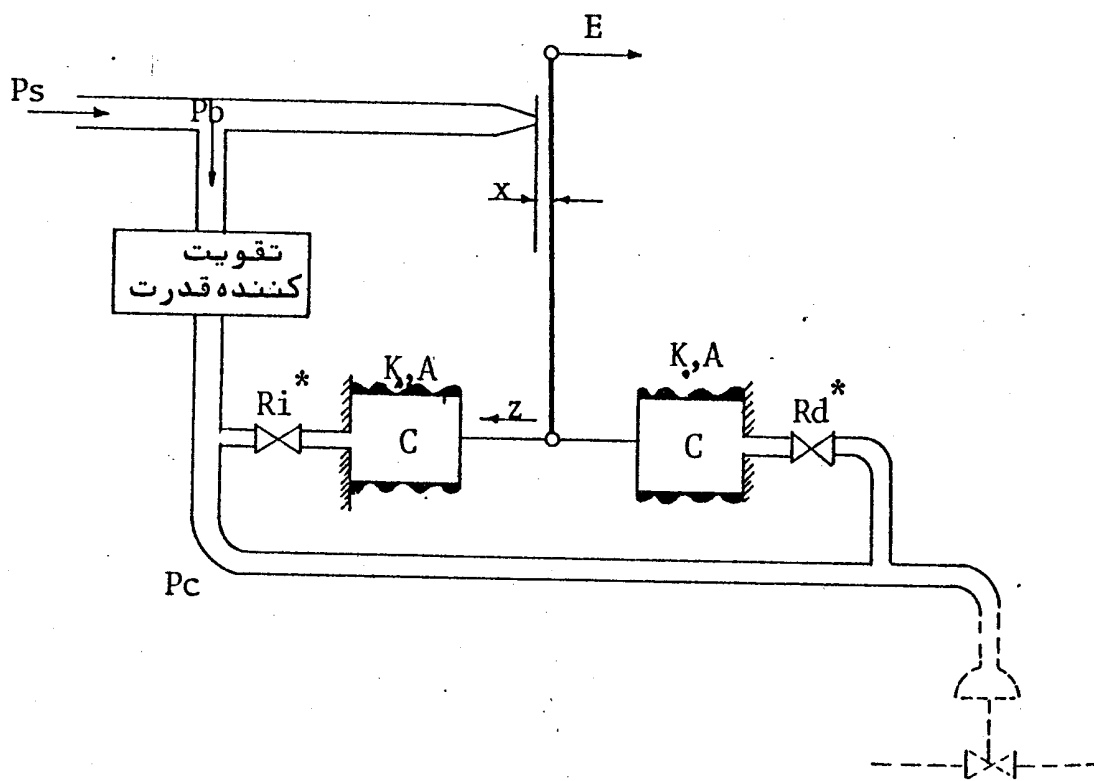
شکل ۱۷- دیاگرام جعبه‌ای کنترل کننده PI بادی

تابع تبدیل این سیستم بصورت زیر است :

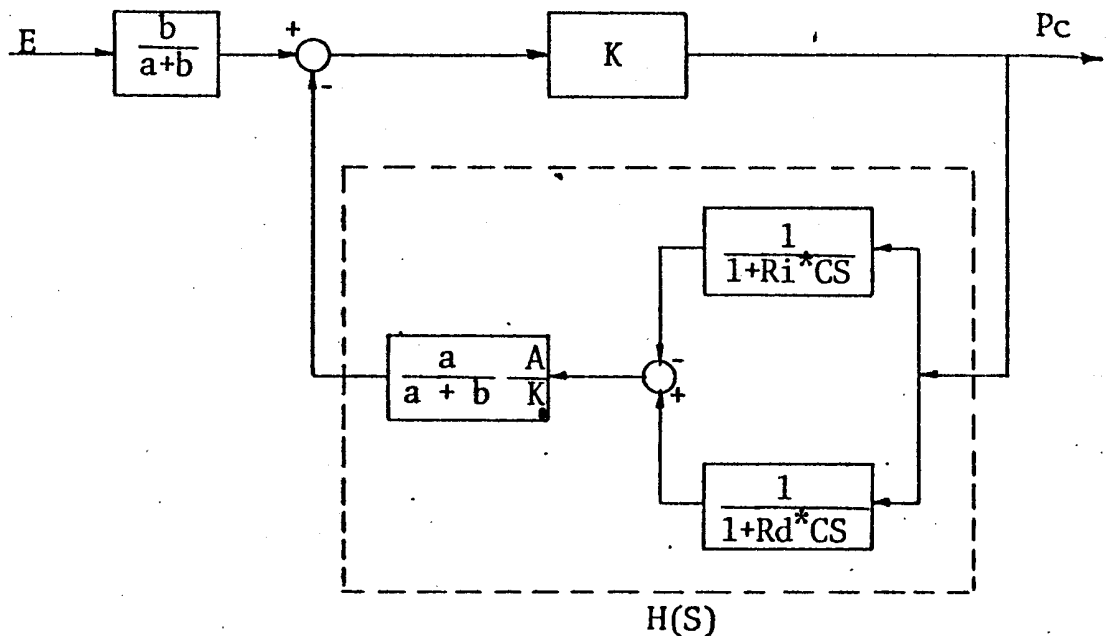
$$\frac{P_c(S)}{E(S)} = \frac{K_0}{A} \cdot \frac{b}{a} \left(1 + \frac{1}{RiCS} \right) = K_c \left(1 + \frac{1}{TiS} \right) \quad (13)$$

ملاحظه میشود که سیستم شکل ۱۶ یک کنترل کننده PI است که بهره آن توسط نسبت $\frac{b}{a}$ و ثابت انتگرال گیری آن Ti ، توسط شیر Ri قابل تنظیم میباشند.

این نوع کنترل کننده مانند کنترل کننده PI شامل دو مسیر فیدبک است. در هر دو مسیر شیر و دم های با ظرفیت وجود دارد (شکل ۱۸). دیاگرام جعبه ای این نوع کنترل کننده را میتوان مستقیماً "از ترکیب دیاگرام های جعبه ای کنترل کننده های PI و PD بدست آورد (شکل ۱۹)



شکل ۱۸ - کنترل کننده PID بادی



شکل ۱۹- دیاگرام جعبه‌ای کنترل‌کننده PID بادی

باتوجه به شکل ۱۹ میتوان نوشت :

$$H(S) = \frac{a}{a+b} \cdot \frac{A}{K_0} \left(\frac{1}{1+R_d^*CS} - \frac{1}{1+R_i^*CS} \right) \quad (14)$$

باتعاریف $T_i^* = R_i^*C$ و $T_d^* = R_d^*C$ رابطه (۱۴) را

میتوان بصورت زیر نوشت :

$$\frac{1}{H(S)} = \frac{K_0}{A} \cdot \frac{a+b}{a} \cdot \frac{(1+T_i^*S)(1+T_d^*S)}{(T_i^* - T_d^*)S}$$

در نتیجه تابع تبدیل سیستم شکل ۱۸ عبارتست از :

$$K(S) = \frac{K_0}{A} \cdot \frac{1+(T_i^*+T_d^*)S + T_i^*T_d^*S^2}{(T_i^* - T_d^*)S} \cdot \frac{b}{a}$$

$$= \frac{K_0}{A} \cdot \frac{b}{a} \cdot \frac{T_i^* + T_d^*}{T_i^* - T_d^*} \left[1 + \frac{1}{(T_i^*+T_d^*)S} + \frac{T_i^*T_d^*}{T_i^*+T_d^*} S \right]$$

$$= K_c \left(1 + \frac{1}{T_i S} + T_d S \right) \quad (15)$$

ملاحظه میشود در رابطه (۱۵) با تغییر T_i^* و T_d^* یعنی تغییر R_i^* و R_d^* تمام پارامترهای کنترل‌کننده تغییر مینماید. این امر تداخل پارامترها نامیده میشود. بعبارت دیگر تغییر مقاومت هر یک از

شیرها سبب تغییر تمام ضرایب کنترل میگردند.

در طرح کنترل کننده پارامترهای T_i, T_d و K_c مشخص و معلوم هستند و هدف از طرح کنترل کننده محاسبه سه مجهول T^*i, T^*d و K^*c است بنحوی که:

$$K_c = K^*c \frac{T^*i + T^*d}{T^*i - T^*d}$$

$$T_i = T^*i + T^*d$$

$$T_d = \frac{T^*i T^*d}{T^*i + T^*d}$$

$$K^*c = \frac{K_o}{A} \frac{b}{a} \quad \text{که در آن}$$

اگر $T^*d \ll T^*i$ باشد که به مفهوم $R^*d \ll R^*i$ است رابطه (۱۵) به صورت زیر ساده میشود:

$$K(S) \approx \frac{K_o}{A} \cdot \frac{b}{a} \left(1 + \frac{1}{T^*i S} + T^*d S \right) \quad (۱۶)$$

مشاهده میشود در فرم فوق پارامترهای سه گانه کنترل کننده مستقل هستند و تغییر هر یک از آنها در دو پارامتر دیگر بی تاثیر است. و در این حالت در کنترل کننده تداخلی وجود ندارد. از اینرو برای برقراری شرط عدم تداخل لازم است R^*d در مقایسه با R^*i خیلی کوچک انتخاب شود.

۴.۶ کنترل کننده های الکترونیکی:

این نوع کنترل کننده ها به جهاتی که قبلاً ذکر گردید در مواردی بر کنترل کننده های بادی رجحیت دارند و چون سیگنالها الکتریکی هستند پروسس و انتقال سیگنالها راحت تر و آسان تر است.

1. interaction

مسئله اساسی در این نوع کنترل کننده ها احتمال انفجار در اثر جرقه زدن یا اتصال کوتاه سیم هاست. تعمیر این نوع کنترل کننده گاه‌های شوارتراز تعمیرکنترل کننده های بادی است.

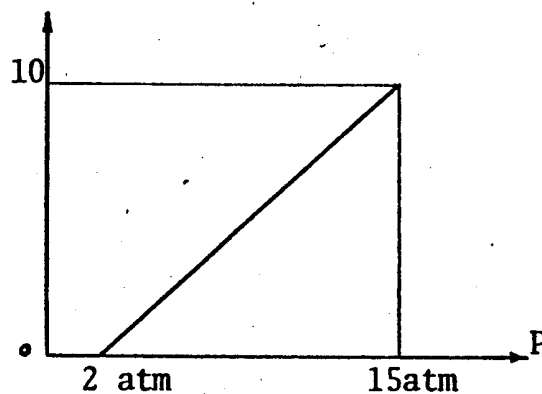
در کنترل کننده ها سیگنالها معمولا" استاندارد هستند. در مورد سیگنالهای الکتریکی دو نوع استاندارد متداول است.

۱- جریان: دو محدوده استاندارد جریان الکتریکی متداول است. یکی محدوده (0 - 20 mA) و دیگری (4 - 20 mA). استاندارد اخیر بیشتر مورد استفاده قرار میگیرد زیرا مبنای 4 mA معیاری از صفر بودن کمیت است و بین صفر بودن کمیت و قطع بودن سیم تفاوت قائل است.

۲- ولتاژ. دو محدوده استاندارد ولتاژ متداول است یکی (0 - 10^V) و دیگری (0 - 24^V).

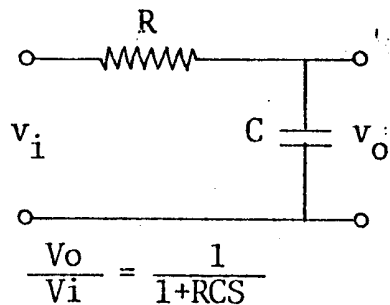
مفهوم استاندارد سیگنالها از این قرار است که اگر مثلاً فشاری اندازه گیری شود که بین 2at و 15at تغییر مینماید و در اندازه گیری و کنترل آن از استاندارد ولتاژ (0 - 10^V) استفاده شود. در اثر تغییرات فشار از 2atm به 15 atm ، ولتاژ از 0^V تا 10^V تغییر مینماید.

یعنی :

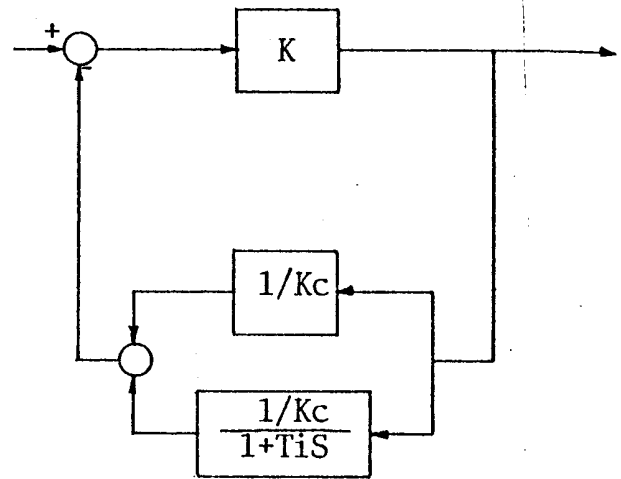


شکل ۲۰- استاندارد ولتاژ در اندازه گیری و کنترل فشار

در کنترل کننده های الکترونیکی ، فیدبک در ساختمان کلی کنترل کننده (قسمت ۲-۶) شامل مدار RC مانند شکل ۲۱ میباشد . اشکال این



شکل ۲۱- نمونه مدار RC



شکل ۲۲- ساختمان کلی کنترل کننده PI

نوع ساختمان آنستکه مثلاً " برای کنترل کننده PI حداقل دو تقویت کننده اپراسیونل مورد نیاز است (شکل ۲۲) . از اینرو گاهی در کنترل کننده های صنعتی ساختمان دیگری در نظر گرفته میشود که به تعداد کمتری تقویت کننده اپراسیونل نیاز داشته باشند . شکل ۲۳ یک کنترل کننده PID از این نوع را نشان میدهد .

تابع تبدیل قسمتی از مدار که در شکل ۲۳ با نقطه چین مشخص شده است عبارتست از :

$$\frac{V_f(S)}{V_o(S)} = \frac{R_i C_i S}{R_i C_i R_d C_d S^2 + (R_i C_i + R_d C_i + R_d C_d) S + 1}$$

از طرف دیگر

$$(V_i - V_p) K = V_o$$

و چون بهره K خیلی زیاد است میتوان نتیجه گرفت :

$$\frac{V_o(S)}{V_i(S)} = \frac{R}{R_i} \cdot \frac{T_i^* T_d^* S^2 + (T_i^* + T_d^* + C_i R_d) S + 1}{T_i^* S}$$

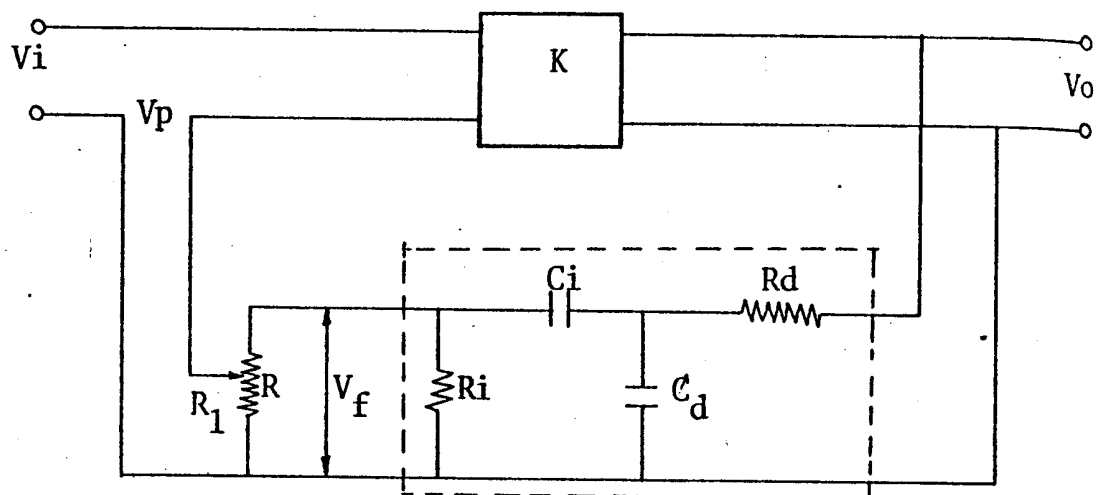
در رابطه فوق :

$$T_i^* = R_i C_i$$

$$T_d^* = R_d C_d$$

و تابع تبدیل کنترل کننده عبارتست از :

$$K(S) = K_c^* \left[\left(1 + \frac{R_d}{R_i} + \frac{T_d^*}{T_i^*} \right) + \frac{1}{T_i^* S} + T_d^* S \right] \quad (19)$$



شکل ۲۳ - کنترل کننده PID با یک تقویت کننده

ملاحظه میشود در این کنترل کننده مسئله تداخل وجود دارد. با انتخاب $R_d \ll R_i$ تابع تبدیل (۱۹) بصورت زیر در میآید :

$$K(S) \approx K_c^* \frac{T_i^* + T_d^*}{T_i^*} \left[1 + \frac{T_i^* T_d^*}{T_i^* + T_d^*} S + \frac{1}{(T_i^* + T_d^*) S} \right] \quad (20)$$

از مقایسه رابطه (۲۰) با فرم استاندارد کنترل کننده PID که بصورت زیر است :

$$K(S) = K_c \left(1 + T_d S + \frac{1}{T_i S} \right)$$

نتیجه میشود:

$$K_c = K_c^* \frac{T_i^* + T_d^*}{T_i^*} \quad T_d = \frac{T_i^* T_d^*}{T_i^* + T_d^*} \quad T_i = T_i^* + T_d^*$$

بازیاد شدن نسبت $\frac{T^*i}{T^*d}$ اثر تداخل تضعیف میگردد. بطوری
 که اگر $T^*i > T^*d$ باشد خواهیم داشت :

$$K_c \cong K^*c \quad T_i \cong T^*i \quad T_d \cong T^*d$$

۵.۶ - شکل ظاهری کنترل کننده ها :

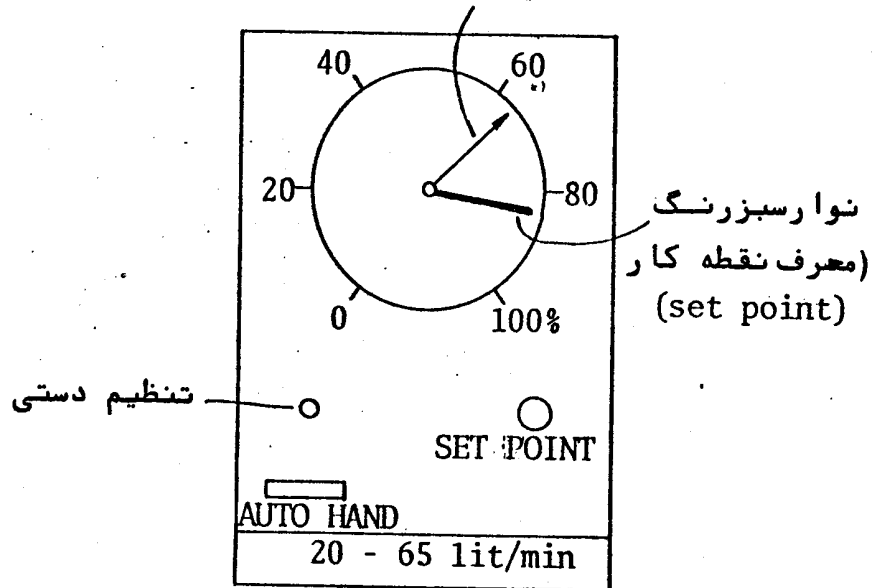
نمونه‌ای از کنترل کننده ها در شکل ۲۴ نشان داده شده است. معمولاً کنترل کننده ها بصورت بلوکهای کشویی هستند که درجای خود به جلو یا عقب میتوانند حرکت کنند. در این نمونه در جملی صفحه مدوری وجود دارد که از 0 تا 100% مدرج شده است. بر روی این صفحه یک عقربه قرمز رنگ وجود دارد که مقدار کمیت مورد کنترل را نشان میدهد. در همین صفحه و بر روی عقربه مزبور، نوار سبز رنگی وجود دارد مقدار کمیت تنظیم شده (set point) را نشان میدهد. نقطه کار توسط پیچی که در سمت راست و زیر صفحه مدرج قرار دارد تنظیم میگردد. این پیچ با عبارت SET POINT مشخص شده و دز اثر تنظیم آن نوار سبز رنگ صفحه مدرج حرکت میکند.

هر کنترل کننده قادر است در دو حالت دستی و اتوماتیک کار کند. از اینرو در سمت چپ صفحه جلوئی کنترل کننده‌های اهرمی وجود دارد که میتواند دو دو موقعیت دستی (HAND) و یا اتوماتیک (AUTO) قرار گیرد. در هنگامیکه اهرم مزبور در موقعیت دستی قرار داشته باشد بوسیله یک پیچ که در بالای آن قرار دارد میتوان سیگنال کنترل را تنظیم نمود .

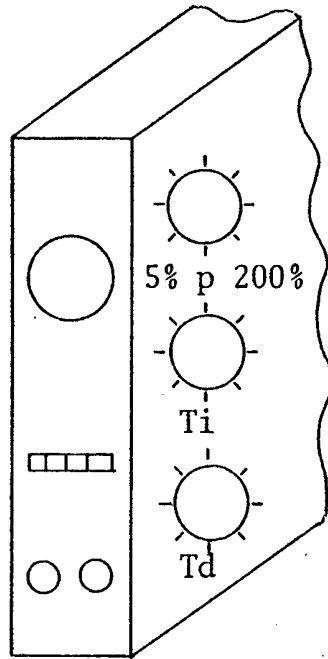
در قسمت پائین صفحه جلوئی کنترل کننده ، پلاکی از خارج چسبانده میشود که محدوده کار کنترل کننده را مشخص مینماید. بعنوان مثال اگر بر روی پلاک کنترل کننده ای عبارت 20-65 lit/min نوشته شده باشد ، کنترل کننده مزبور دبی را در محدوده 20 lit/min و 65 lit/min کنترل مینماید و درجه صفر صفحه مدرج آن نمایشگر 20 lit/min و درجه 100% آن معرف 65 lit/min است. در طرح دیگری از کنترل کننده ها ، صفحه مدرج ممکن است بصورت عمودی باشد.

بر روی صفرا جانی کنترل کننده سه پیچ برای تنظیم پارامترهای بهره ، ثابت زمانی انتگرال گیر و ثابت زمانی مشتق گیر کنترل کننده وجود دارد. معمولاً ثابتهای زمانی بر حسب دقیقه و بهره کنترل کننده بصورت باند کنترل بصورت رابطه (۲۱) تعریف میشود که در آن KC بهره کنترل کننده است. (۲۱)
$$p = \frac{100}{Kc}$$
 باند کنترل

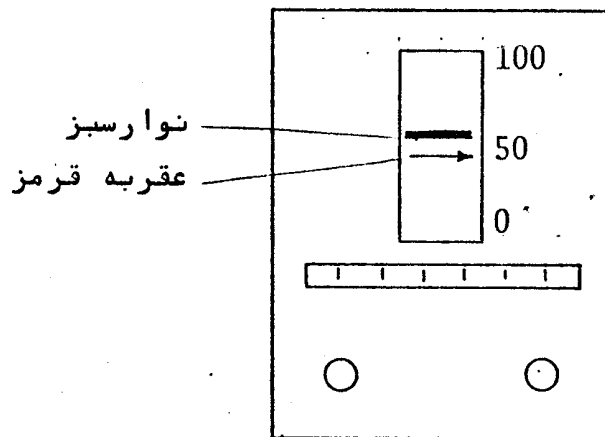
عقربه قرمز (کمیت اندازه گیری شده)



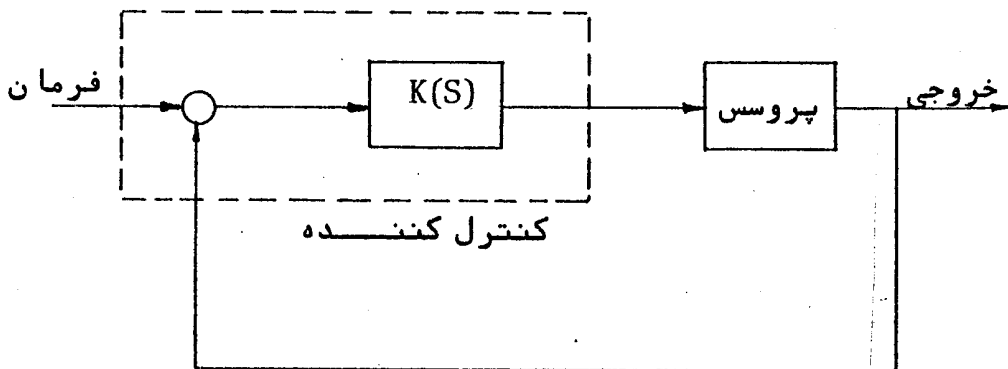
شکل ۲۴- الف : صفحه جلوئی کنترل کننده



ب : شمای کلی کنترل کننده



ج : طرح دیگری از صفحه جلوئی



د : کنترل کننده در یک سیستم کنترل

شکل ۲۴ - شکل ظاهری کنترل کننده

۴- چرا اکثر کنترل کننده های صنعتی از نوع متناسب + انتگرال
گیر + مشتق گیر (PID) هستند؟ خصوصیت چنین تابعی چیست
و هر یک از اجزاء کنترل کننده P, I و D چه عملی انجام میدهند
و نقش آنها چیست؟ در چه مواردی استفاده از کنترل کننده
PD مجاز نیست؟

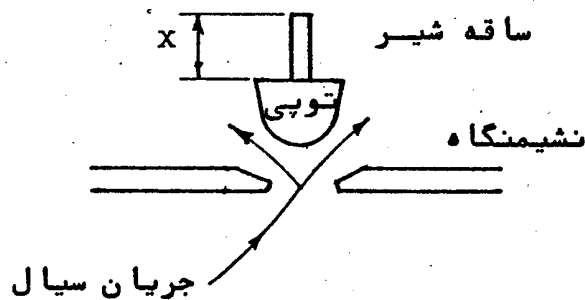
۱.۷ - انواع شیرهای کنترل :

شیرهای کنترل موارد استفاده فراوان داشته و از اینرو انواع مختلفی از آن ساخته و عرضه گردیده است. شیرها را از جنبه خصوصیات و نحوه عمل آنها تحت عناوین گوناگون تقسیم بندی مینمایند.

هر شیر شامل سه جزء اصلی است که عبارتند از:
ساقه شیر ، توپی ، نشیمنگاه

یکی از تقسیم بندهای متداول شیرها برحسب نوع عامل محرکه ساقه شیر است. برحسب این تقسیم بندی سه نوع شیر وجود دارد :

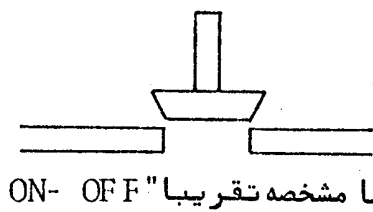
- ۱- شیرهایی که با سیگنال الکتریکی عمل میکنند (شیرهای الکتریکی) .
- ۲- شیرهایی که با سیگنال بادی عمل میکنند (شیرهای بادی) .
- ۳- شیرهایی که با سیگنال هیدرولیک عمل میکنند (شیرهای هیدرولیکی) .



شکل ۱ - اجزاء اصلی شیر

از دیدگاه دیگر برحسب رابطه بین دبی خروجی (Q) از شیر و تعییر مکان ساقه آن (X) ، شیرها را میتوان تحت

عناوین زیر تقسیم بندی نمود:



الف: شیرهای خطی $Q = \alpha x$

ب: شیرهای مجذوری $Q = \beta x^2$

ج: شیرهای زادیگالی $Q = \gamma \sqrt{x}$

شیرها مشخسه تقریبا "ON- OFF"

مشخصات فوق با طرح مناسب شکل توپی شیر ایجاد میشود. و با شکلهای مختلف توپی میتوان شیرهایی با مشخصه های گوناگون ساخت بعنوان مثال توپی شکل مقابل مشخصه ای تقریبا "ON- OFF" ایجاد مینماید.

شیرها را از نظر مسیر و جهت جریان سیال میتوان به انواع زیر تقسیم کرد:

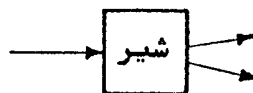
۱- شیر یکراه

این شیر دارای یک مسیر ورودی و یک مسیر خروجی است.



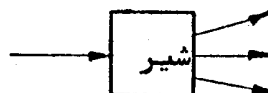
۲- شیر دوراه

این شیر که دارای یک مسیر ورودی و دو مسیر خروجی است گاهی سه راه نامیده میشود.



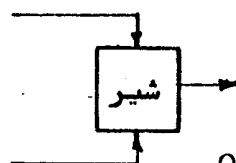
۳- شیر سه راه

این نوع شیر از یک مسیر ورودی و سه مسیر خروجی تشکیل شده است.



۴- شیرهای مخلوط کن

این نوع شیر دو مسیر ورودی و یک مسیر خروجی است. سیالاتی که از دو مسیر ورودی وارد شیر میشوند پس از مخلوط شدن از مسیر خروجی خارج میگردند.



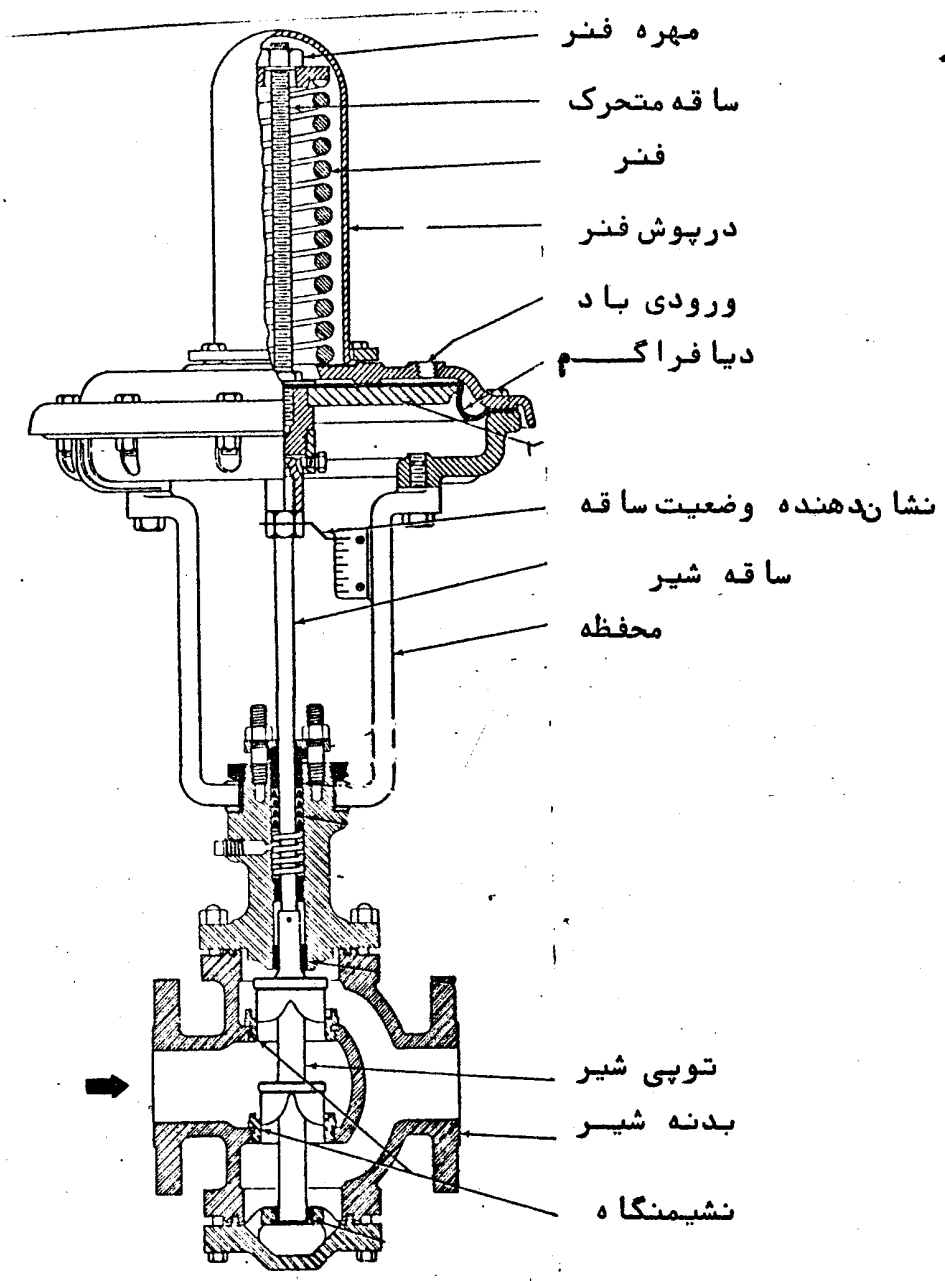
۵- شیرهای ON-off

این نوع شیرها بصورت دووضعیتی عمل نموده و برخلاف انواع دیگر شیرها که تغییرات دبی خروجی آنها پیوسته است، دبی خروجی دو مقدار صفر (در حالت بسته بودن شیر) و یا ماکزیم خود را (در حالت باز بودن شیر) داراست.

۲۰۷- ساختمان شیرهای کنترل :

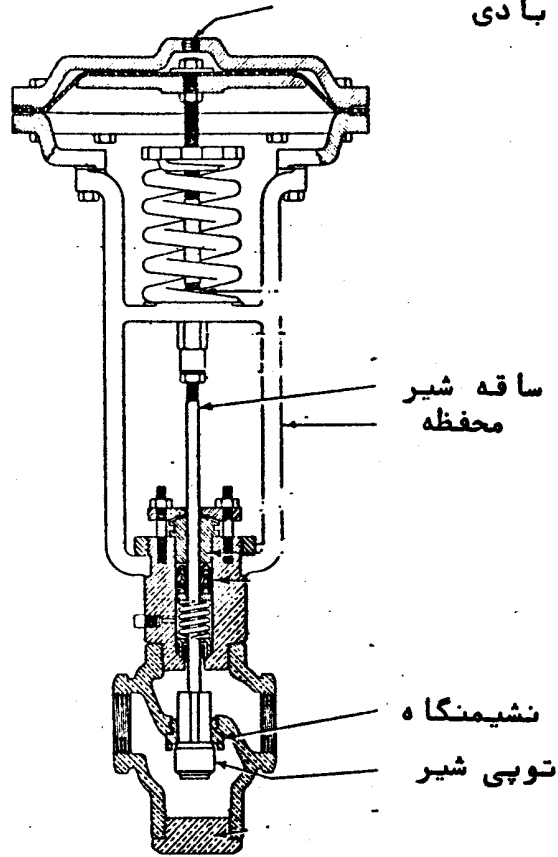
انواع مختلف شیرها شامل سه جزء ساقه شیر، توپسی و نشیمنگاه هستند. این اجزا در طرح ها و انواع گوناگون شیرها و کاربردهای مختلف ممکن است شکلهای متفاوتی اختیار نماید. در بعضی از شیرها برخلاف شیرهای معمول دو نشیمنگاه وجود دارد (شکل ۲). شکلهای ۲-۵ شیرها تپی را نشان میدهد که در دارا بودن سه جزء اصلی مشترک بوده ولی طرحهای گوناگونی دارند.

شیرهای بادی (شکلهای ۲ و ۴) در قسمت بالای خود شامل دیافراگمی قابل ارتجاع و فنری که ممکن است در بالا و یا پائین آن قرار گیرد هستند. فشردگی فنر که فشار کار (نقطه کار) شیر را تعیین میکند بوسیله پیچی که در قسمت بالای فنر قرار دارد تنظیم میشود. در بالای دیافراگم محلی برای اتصال لوله هوای فشرده وجود دارد.

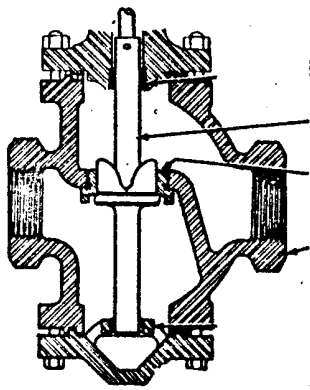


شکل ۲ - شیر با دو نشیمنگاه

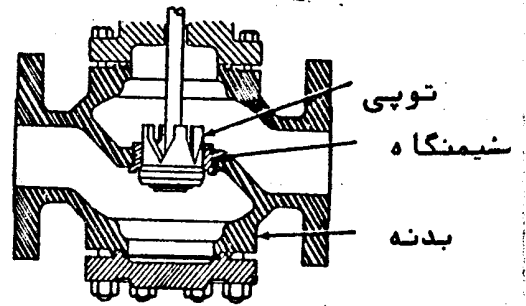
ورودی بادی



شکل ۴ - شیر بایک نشیمگاه از نوع (Poppet)



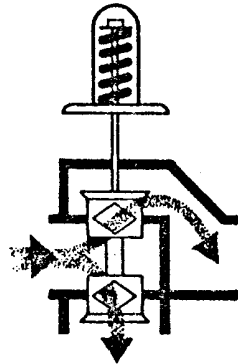
شکل ۳ - شیر بایک نشیمگاه از نوع (Stabilflo)



شکل ۵ - شیر بایک نشیمگاه از نوع (V Port)

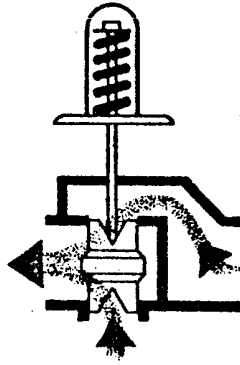
شکل‌های ۸ و ۷ و ۶ سه نوع شیر سه راه را نشان می‌دهد. شیرهای سه راه دارای دو نشیمنگاه هستند. برای تغییر سطح عبور جریان در یک نشیمنگاه باید ساقه شیر در نتیجه توپیی آن حرکت نماید. در اثر این امر سطح عبور جریان در نشیمنگاه دیگر نیز تغییر میکند. یعنی ظرفیت کل شیر سه راه مجموع دبی های عبوری از دو دریچه خروجی شیر است.

شکل ۶ نوعی شیر سه راه متناسب را نشان می‌دهد که از عهده انجام وظیفه دو شیر کنترل متناسب برمی‌آید. فشار جریان ورودی را بطور متناسب در دو جهت متقابل تقسیم مینماید بطوریکه نیروی هیدرولیکی دینامیکی موثر در جهات مختلف یکدیگر را خنثی نمایند. در اثر خنثی شدن نیروی هیدرولیکی مزبور، محرک بادی امکان اعمال کنترل دائم و هم‌سواری که برای سیستم های کنترل متناسب لازم است، می‌یابد.



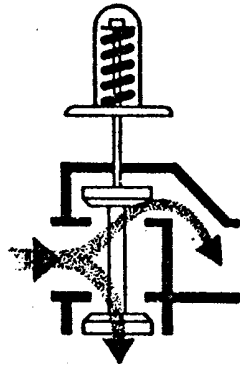
شکل ۶ -

شکل ۷ یک نوع شیر سه راه با دو توپیی را نشان می‌دهد توپیی های مزبور با شکل خاصی که دارند امکان اختلاط متناسب دو جریان ورودی را ایجاد مینماید. در این شیر نیروهای فشاری دو جریان ورودی که بر یک توپیی اثر میکنند، یکدیگر را خنثی میکنند. توازن نیروهای دینامیکی بصورت فوق، به محرک بادی امکان آنرا میدهد که عمل کنترل را بصورت دائم و هموار انجام دهد.



شکل ۷ -

شکل ۸ نوع دیگری از شیرهای سه راه را نشان میدهد که دارای دو توپی دیسکی شکل میباشد. این نوع شیردرکنترل دو وضعیتی (ON-OFF) و فقط در مواردیکه تمام دبی از یکی از دو دریچه خروجی ، خارج گردد استفاده میشود. در این شیرجریان ورودی سعی در باز کردن هر یک از دو دریچه خروجی دارد . با نیروی هیدرولیکی تولید شده بوسیله نیروی فنر یا فشار هوا در دیافراگم مخالفت میشود که در هنگام کاملاً بسته شدن یکی از دریچه‌ها از برخورد شدید و ناگهانی توپی و نشیمنگاه جلوگیری مینماید.



شکل ۸ -

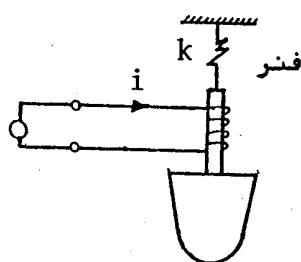
۲-۲- شیرهای الکتریکی :

شیرهای الکتریکی بر حسب قدرت تقسیم بندی میشوند :

۱- شیرهای سولونوئید: این نوع شیرها که در شکل ۹ شمائی از آن ملاحظه میشود در مواردیکه به قدرتهای کم نیاز باشد استفاده میشوند. جریان الکتریکی که در سیم سیم پیچی که بدور ساقه شیر کنترل پیچیده شده است نیروی f را ایجاد میکند (این نیرو متناسب با مجذور جریان است) که صرف حرکت دادن ساقه شیر میشود:

$$f = f(i) = m \frac{d^2x}{dt^2} + B \frac{dx}{dt} + kx$$

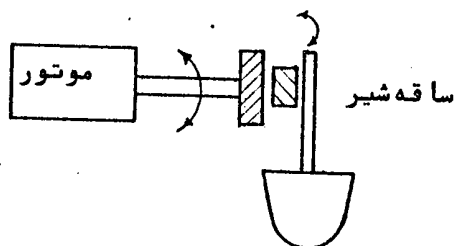
در رابطه فوق x تغییر مکان ساقه شیر، m جرم توپی و ساقه شیر، B ضریب اصطکاک و K ضریب فنر متصل به ساقه شیر هستند.



شکل ۹- شیر سولونوئید

۲- شیرهای موتوری: این نوع شیرها در قدرتهای زیاد برای کنترل دبی زیاد گاز یا مایع استفاده میشوند حرکت دادن ساقه شیر بوسیله یک موتور به ساقه شیر متصل است امکان پذیر میشود. شکل ۱۰ شمائی از این نوع شیرها را نشان میدهد.

در این نوع شیرها، سیستم حرکت ساقه ممکن است شامل یک حلقه کنترل مکان باشد.



شکل ۱۰- شیر موتوری

یک شیر کنترل توسط عوامل زیر مشخص شده و سفارش داده میشود :

- ۱- نوع سیگنال : الکتریکی ، هواشی.
- ۲- مشخصه شیر : خطی ، ON-OFF و غیره.
- ۳- حداکثر دبی عبوری از شیر.
- ۴- قطر لوله‌ای که شیربر روی آن نصب میشود.
- ۵- نوع مایع ، مقدار اسید تیه ، PH.
- ۶- غلظت مایع یا گاز .
- ۷- درجه حرارت .
- ۸- فشار دو طرف شیر.

بخش ۳

دستگاههای محرك

و اندازه گیرهای صنعتی

در تمام اندازه گیری ها ، دستگاه اندازه گیری توسط پنج خاصیت ارزیابی میشود. این خواص عبارتند از :

- ۱- حساسیت : حساسیت در دستگاه های اندازه گیری بصورت نسبت تغییرات مقدار قرائت شده بوسیله اندازه گیرنده تغییر کمیت اندازه گیری شونده تعریف میشود. برای دقت اندازه گیری و قدرت تشخیص تغییرات کوچک کمیت اندازه گیری شده ، لازم است حساسیت اندازه گیر زیاد باشد.
- ۲- دقت : دستگاه اندازه گیری باید بنحوی باشد که مقدار قرائت شده توسط آن برابر مقدار کمیت اندازه گیری شده باشد.
- ۳- بارگذاری : دستگاه اندازه گیری باید دارای امپدانس خروجی کم باشد تا در کمیت اندازه گیری شونده و دستگاههای دیگر تغییراتی ایجاد ننماید.
- ۴- قابلیت تکرار : دستگاه اندازه گیری باید آنچنان باشد که بکرات بتوان عمل اندازه گیری را انجام داد بدون آنکه دقت دستگاه کم شود.
- ۵- پهنای باند : دستگاه اندازه گیری باید پهنای زیاد باشد. به این معنا که اندازه گیری در محدوده فرکانسی وسیعی با دقت خوب ، ممکن باشد.

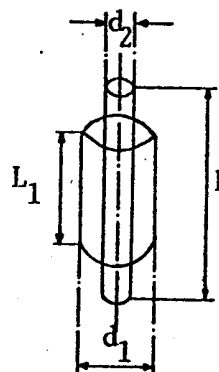
یکی از اندازه گیری های مهم و متداول اندازه گیری تنش است. اینکار توسط تنش سنج^۱ انجام میشود. اندازه گیری تنش در مواردی از قبیل اندازه گیری نیرو، فشار، تغییر مکان ، شتاب و غیره بکار میرود.

-
1. strain
 2. strain guage

اندازه گیری تنش براساس تغییر مقاومت فلزات در اثر تغییر طول آنها، استوار است. براین اساس تغییر مقاومت المان اندازه گیر در اثر تغییر طول آن، بعنوان معیاری از تغییر طول آن اندازه گیری میشود.

۲۰۸- ضریب تنش سنج :

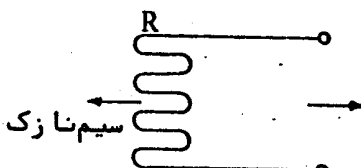
در اثر کشیده شدن میله‌ای به ابعاد L_1 و d_1 ابعاد آن به مقادیری چون L_2 و d_2 تغییر مینماید (شکل ۱). در این مورد دو تنش تعریف میشود



$$\epsilon_x = \frac{L_2 - L_1}{L_1} \quad \text{تنش طولی یا محوری}$$

$$\epsilon_y = \frac{d_2 - d_1}{d_1} \quad \text{تنش عرضی}$$

در اثر کشیده شدن میله یا سیم، طول آن زیاد شده و قطرش کاهش مییابد. در نتیجه مقاومت الکتریکی آن افزایش مییابد. بنابراین تنش به تغییر مقاومت تبدیل میگردد. از آنجاکه مقاومت سیم با طول L و مقطع A برابر است با :



$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (1)$$

بجای تنش سنج در حالت کشش

شکل ۱- تنش و تغییر مقاومت

$$A = CD^2 \quad (2)$$

و مقطع را میتوان بصورت مقابل نوشت: (۲) در مورد مقاطع دایره‌ای $C = \frac{\pi}{4}$ و D قطر مقطع و در مورد مقاطع مربعی $C = 1$ و D ضلع مربع است. در نتیجه تغییر مقاومت ناشی از تنش عبارتست از :

$$dR = \frac{CD^2(\rho dL + Ld\rho)}{(CD^2)^2} - \frac{2CDL\rho dD}{CD^2} = \frac{1}{CD^2} (\rho dL + Ld\rho) - \frac{2L\rho dD}{CD^3}$$

که پس از ساده شدن نتیجه میشود :

$$\frac{dR}{R} = \frac{d\rho}{\rho} + \frac{dL}{L} - 2\frac{dD}{D} \quad (3)$$

رابطه (۳) را بصورت زیر میتوان نوشت :

$$\frac{dR/R}{dL/L} = 1 - \frac{2dD/D}{dL/L} + \frac{d\rho/\rho}{dL/L} \quad (4)$$

در مورد سیم فوق حجم بصورت $V=CD^2L$ و مقداری ثابت است. از اینرو :

$$\frac{dD/D}{dL/L} = \frac{1}{2} \quad (5)$$

از اینرو در مورد سیم فوق رابطه (۴) را بصورت رابطه (۶) میتوان نوشت :

$$\frac{dR/R}{dL/L} = 2 + \frac{d\rho/\rho}{dL/L} \quad (6)$$

از آنجا که $d\rho/\rho \ll dL/L$ است میتوان نتیجه گرفت :

$$F = \frac{dR/R}{dL/L} \approx 2 \quad (7)$$

در رابطه فوق F ضریب تنش سنج نامیده میشود.

ضخیم ترین سیمی که در تنش سنج بکار میرود دارای قطر 0.025 mm است و معمولاً مقاومت آن در حالت عادی (بدون تنش) 120 kg است.

۳۰۸- انواع تنش سنج :

تنش سنج ها بر اساس نحوه عرضه و استفاده آنها به سه دسته قابل تقسیم هستند.

۱- شبکه مسطح : این نوع تنش سنج (شکل ۱-ب) از سیمی با مقطع یکنواخت تشکیل شده است .

۲- شبکه پایه کاغذی : در این نوع تنش سنج، سیم بر روی پایه‌ای کاغذی پیچیده شده است . پایه کاغذی تنش سنج باید دارای خصوصیات زیر باشد :

الف : حداقل ضخامت

ب : مقاومت مکانیکی زیاد

ج : مقاومت دی الکتریک زیاد (عایق خوبی باشد)

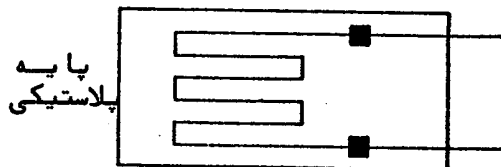
د : مقاومت در برابر حرارت

ه : چسبندگی خوب با سیمان مخصوص



شکل ۲- تنش سنج شبکه پایه کاغذی
حداقل مقاومت بین پایه و جسمی که تنش در آن اندازه گیری میشود $50M\Omega$ بوده و این مقاومت در حدود $100M\Omega$ برای اندازه گیری خوبست .

۳- شبکه مدار چاپی : این نوع تنش سنج با تکنیک مدار چاپی بر روی پایه پلاستیکی ساخته میشود . این تکنیک ، ساخت شبکه را با قطرهای متفاوت در نقاط مختلف (بخصوص در دو انتها) امکان پذیر میسازد .



شکل ۳- تنش سنج شبکه مدار چاپی

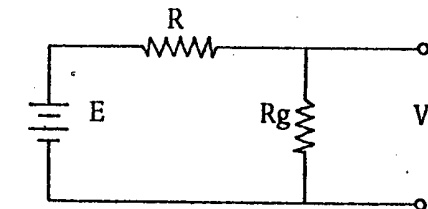
این نوع شبکه باید دارای خصوصیات زیر باشد :

- الف : حساسیت کم به درجه حرارت .
- ب : مشخصات الکتریکی پایدار (در طول زمان ثابت باشد) .
- ج : مقاومت مکانیکی زیاد .
- د : بتوان آنرا لحیم کرد .
- ه : emf تولیدی در نقطه اتمال کم باشد .
- و : مقاومت در برابر خوردگی .

در ساخت تنش سنج ها از آلیاژهای نیکروم (Nichrom) شامل 80% Ni و 20% Cr، کنستانتان (Constantan) شامل 45% نیکل و 55% مس و آلیاژ ایریدیم - پلاتین شامل 95% پلاتین و 5% ایریدیم استفاده میشود.

۴.۸ - مدار تنش سنج :

در مدار شکل ۴ در اثر تنش مقاومت تنش سنج R_g تغییر نموده و در نتیجه ولتاژ V که تابعی از تغییرات R_g است تغییر مینماید. و تغییرات آن معیاری از تنش بدست میدهد. در این مدار ولتاژ V برابر است با : (۸)



شکل ۴ - مدار تنش سنج

در اثر تنش مقاومت R_g به $R_g + dR_g$ و در نتیجه ولتاژ V به $V + dV$ تغییر مییابد. تغییرات ولتاژ برابر است با :

$$dV = \frac{R + R_g - R_g}{(R + R_g)^2} E \cdot dR_g = \frac{R dR_g}{(R + R_g)^2} E \quad (9)$$

که میتوان آنرا به صورت زیر نوشت :

$$dV = \frac{R R_g}{(R + R_g)^2} \cdot \frac{dR_g}{R_g} E \quad (10)$$

از طرف دیگر :

$$\frac{dR_g}{R_g} = \frac{dR_g/R_g}{dL/L} \cdot dL/L = F \cdot \epsilon$$

در نتیجه رابطه (10) را میتوان بصورت زیر نوشت :

$$dV = \frac{R R_g}{(R + R_g)^2} E \cdot F \cdot \epsilon \quad (11)$$

حساسیت این مدار که بصورت تغییرات ولتاژ V به ازاء تغییرات مقاومت R_g تعریف میشود، عبارتست از :

$$S = \frac{dV}{dR_g} = \frac{R}{(R + R_g)^2} E$$

برای ماکزیم بودن حساسیت لازم است :

$$\frac{dS}{dR} = 0 \quad \frac{dS}{dR} = \frac{R_g - R}{(R + R_g)^3} = 0 \quad (12)$$

ملاحظه میشود برای ماکزیم بودن حساسیت باید $R = R_g$ باشد.

اما مسئله اساسی اینجاست که ماکزیم بودن حساسیت به مفهوم تغییرات زیاد ولتاژ V در اثر تغییرات مقاومت R_g است یا خیر؟ به این سوال از طریق مثال زیر پاسخ داده میشود.

مثال - مقاومت تنش سنجی $R_g = 120$ است. برای ماکزیم بودن حساسیت از مقاومت $R = 120$ در مدار استفاده میشود.

در صورتیکه ولتاژ تغذیه $E=12\text{ volt}$ و ضریب تنش سنج $F=2$ باشند در اثر تنش $\epsilon=1 \text{ } \mu\text{m/m}$ ولتاژ V چه مقدار تغییر مینماید؟

$$dV = \frac{RR_g}{(R+R_g)^2} \cdot E F \epsilon = \frac{(120)^2}{(2 \times 120)^2} \times 12 \times 2 \times 10^{-6} = 6 \times 10^{-6} \text{ volt}$$

(۱۳)

در حالت عادی ولتاژ V برابر است با :

$$V = \frac{R_g}{R+R_g} E = \frac{120}{240} \times 12 = 6 \text{ volt}$$

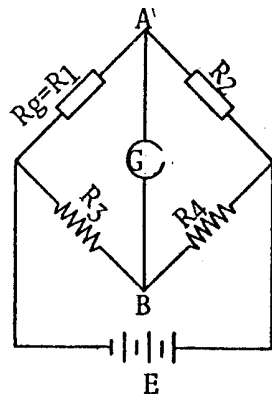
یعنی برای اندازه گیری تنش مزبور باید تغییراتی برابر :

$$\frac{dV}{V} = \frac{6 \times 10^{-6}}{6} = 10^{-6}$$

را اندازه گرفت و وسیله وجود ندارد که بتواند در ولتاژ مبنای 6 volt چنین تغییراتی را اندازه بگیرد. از اینرو لازم است در مدار تنش سنج فقط تغییرات را اندازه گرفت.

۵-۸- پل اندازه گیری :

بر اساس محدودیتی که در قسمت قبل ملاحظه شد تغییرات مقاومت تنش سنج در اثر تنش، بوسیله پل اندازه گیری میشود. شکل ۵ پل اندازه گیری را نشان میدهد. در این



$$V = V_{AB} = \left(\frac{R_1}{R_1+R_2} - \frac{R_3}{R_3+R_4} \right) E$$

و تغییرات آن برابر است با :

$$dV = \frac{(R_1 + dR_1)R_1 - R_1^2}{(2R_1 + dR_1) 2R_1} E = \frac{dR_g/R_g}{4 + 2dR_g/R_g} \cdot E \quad (14)$$

در حالت تعادل که تنش وجود ندارد $V=0$ بوده و $R_g=R_1=R_2=R_3=R_4$ است .

با پل فوق اگر تنش مثال قسمت قبل اندازه گیری شود تغییرات ولتاژ برابر خواهد بود :

$$dV = \frac{F E \epsilon}{4 + 2 F \epsilon} = \frac{2 \times 12 \times 10^{-6}}{4 + 2 \times 2 \times 10^{-6}} = 6 \times 10^{-6} \text{ volt} \quad (15)$$

ملاحظه میشود تغییرات ولتاژ در هر دو مورد برابرند (روابط ۱۳ و ۱۵) اما از آنجاکه در مدار پل ولتاژ مینا وجود ندارد اندازه گیری چنین تغییراتی امکان پذیر است .

مسئله‌ای که در این اندازه گیری وجود دارد تاثیر تغییرات درجه حرارت در مقاومت R_g است . از آنجا که در حالت تعادل رابطه $R_2 R_3 = R_g R_4$ برقرار است در صورتیکه مقاومت R_2 تنش سنج مشابه تنش سنج R_g ، انتخاب شود تغییرات درجه حرارت تاثیر در اندازه گیری نخواهد داشت زیرا $R_g R_4 = R_g R_3$

۶.۸ - اندازه گیری تنش در محورهای گردان :

اندازه گیری تنش در محورهای گردان به سه روش امکان پذیر است :

- ۱- استفاده از حلقه و جاروبک : برای انتقال سیگنال ولتاژ در مدار پل میتوان مانند ماشین های DC از مکانیزم حلقه و جاروبک استفاده کرد . این روش همراه با مشکلاتی از قبیل فرسودگی و تغییر مقاومت تماس است که در اندازه گیری ایجاد خطا مینمایند .

۲- روش اتصال مستقیم : این روش در مواردی که فقط یکبار اندازه گیری لازم است بکار میرود. در این روش سیمهایی را که به اندازه کافی بلند هستند از دو سرتنش سنج در خلاف جهت گردش محور بر روی آن میپیچند. وقتی محور شروع به گردش مینماید سیم پیچیده شده بدور محور باز میشود و پس از کاملاً باز شدن در خلاف جهت اولیه ، بدور محور میپیچد. مقدار این پچش برابر تعداد دورهای سیم است که سیم در ابتدا به دو محور پیچیده شده بود پس از آن سیم پاره میشود. زمان اندازه گیری، مقدار زمانی است که محور دو برابر تعداد دورهای پیچیده شدن سیم بدور آن ، میگردد. این زمان با انتخاب طول سیم و در نتیجه تعداد دورهای پیچیده شدن آن بدور محور قابل تنظیم است .

۳- روش تله متری : در این روش یک فرستنده کوچک بر روی محور نصب میشود و گیرنده ای سیگنال های ارسال شده از تنش سنج را دریافت میکند. عیب عمده این روش در هزینه زیاد آن است .

1. Telemetry

۱-۹- مقدمه :

اکثر سیگنال‌های مکانیکی به راحتی قابل تبدیل به تغییر مکان هستند. از اینرو اندازه‌گیری تغییر مکان اهمیت ویژه‌ای دارد. در اندازه‌گیری تغییر مکان متداول است که تغییر مکان به سیگنال الکتریکی شود. برای اساس دستگاه‌های اندازه‌گیری تغییر مکان از نظر خصوصیات الکتریکی آنها دسته بندی میشوند که عبارتند از:

- ۱- دستگاه‌های اندازه‌گیری الکترواستاتیک.
- ۲- دستگاه‌های اندازه‌گیری الکترومغناطیسی.
- ۳- دستگاه‌های اندازه‌گیری مقاومتی.

۲-۹- اندازه‌گیری‌های الکترواستاتیک :

این نوع دستگاه‌های اندازه‌گیری بر اساس تغییر ظرفیت خازن در اثر تغییر فاصله و یا سطح مشترک دو صفحه آن کار میکنند. در شکل ۱ چند نمونه از این وسایل که برای اندازه‌گیری تغییر مکانهای خیلی کوچک بکار میروند، مشاهده میشود.

در شکل ۱- الف خازن صفحه‌ای مشاهده میشود که یک صفحه آن ثابت بوده و صفحه دیگر متصل به وسیله‌ای است که اندازه‌گیری تغییر مکان آن مورد نظر است. در اثر تغییر فاصله دو صفحه خازن، ظرفیت آن تغییر مینماید. ظرفیت این نوع خازن عبارتست از: (۱)

$$C = \frac{k \epsilon A}{d}$$

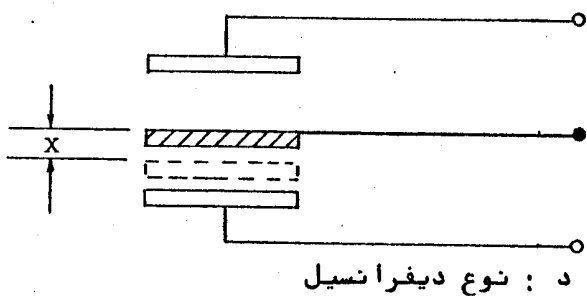
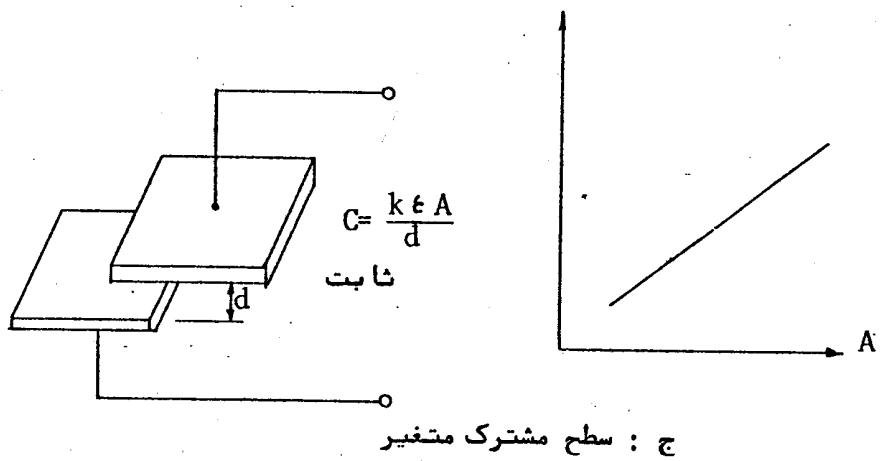
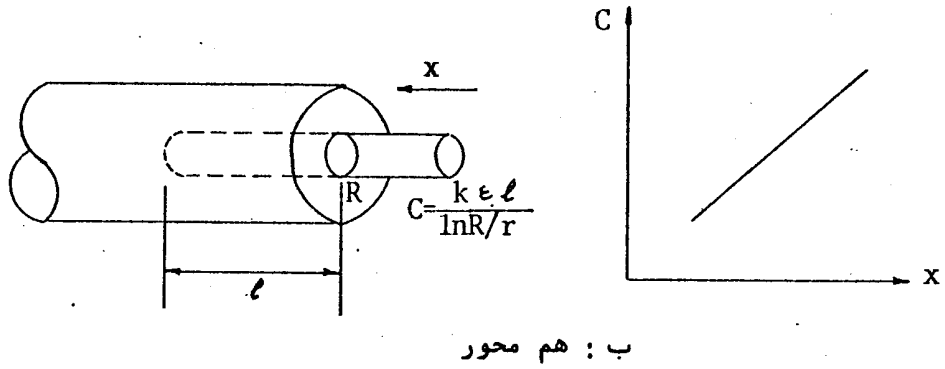
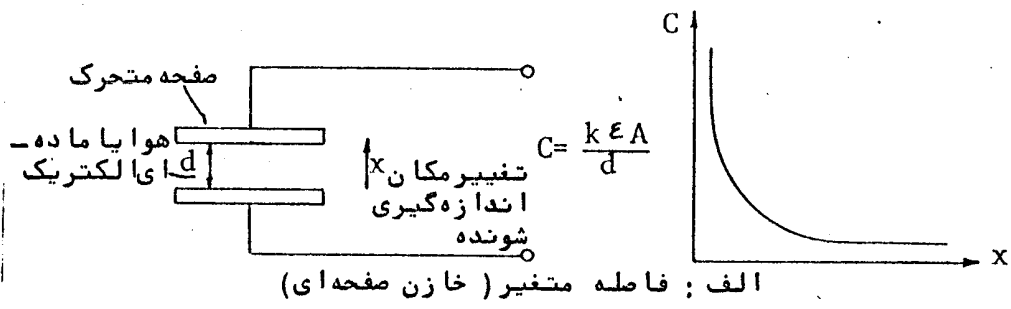
که در آن :

ϵ = پرمیٹیوتیو، نسبی دی الکتریک

A = سطح صفحات خازن

k = ضریب ثابت

d = فاصله دو صفحه خازن



شکل ۱ - انواع وسایل اندازه گیری تغییر مکان الکترواستاتیک

این نوع اندازه گیر تغییر مکان که ساده ترین و در ضمن کم کار برد ترین نوع وسایل اندازه گیری تغییر مکان است دارای مشخصه غیرخطی است (تغییر ظرفیت در اثر تغییر فاصله دو صفحه که همان تغییر مکان اندازه گیری شونده است، غیر خطی میباشد).

نوع دیگر اندازه گیر، خازن هم محور، که کاربرد بیشتری دارد از دو استوانه هم محور تشکیل شده است (شکل ۱-ب)

و ظرفیت آن عبارتست از: (۲)

$$C = \frac{k \epsilon l}{\ln R/r}$$

که در آن :

l = طول مشترک دو استوانه

R = قطر استوانه خارجی

r = قطر استوانه داخلی

بطوریکه از رابطه (۲) ملاحظه میشود بعلمت ارتباط مستقیم طول مشترک دو استوانه (d) با تغییر مکان مورد اندازه گیری (x) مشخصه این وسیله اندازه گیری تغییر مکان، خطی است از اینرو کاربرد بیشتری دارد.

نوع دیگر اندازه گیر تغییر مکان (شکل ۱-ج) شامل خازنی است که ظرفیت آن در اثر تغییر سطح مشترک دو صفحه خازن تغییر مییابد. ظرفیت این نوع خازن عبارتست از:

$$C = \frac{k \epsilon A}{d} \quad (۳)$$

که در آن d فاصله دو صفحه خازن ثابت بوده و A سطح مشترک دو صفحه مذکور متغیر است و در اثر تغییر آن، ظرفیت خازن تغییر مییابد. مشخصه این وسیله اندازه گیری که بصورت تغییرات ظرفیت بر حسب تغییرات سطح مشترک دو صفحه تعریف میگردد، خطی است.

درسه مورد ارتباط تغییر مکان مورد اندازه گیری و ظرفیت مشخص گردید. نحوه این ارتباط، تغییرات ظرفیت را بر حسب تغییر مکان را که بصورت حساسیت بیان میشود، تعیین میکند. بعنوان مثال حساسیت که بصورت تغییر ظرفیت بسبب تغییر فاصله دو صفحه در خازن صفحه‌ای تعریف شده و با S نشان داده میشود عبارت است از:

$$S = \frac{dc}{dd} = - \frac{k \epsilon A}{d^2} \quad (4)$$

ملاحظه میشود حساسیت با معکوس مجذور فاصله دو صفحه خازن متناسب است و هرچه این فاصله کمتر باشد حساسیت بیشتر است. اما حداقل فاصله دو صفحه خازن بوسیله شدت میدان الکتریکی بین صفحات خازن و ولتاژ شکست دی الکتریک تعیین میشود. بعنوان مثال برای خازنی با ولتاژ 10 volt این فاصله سه هزار میلیمتر (3×10^{-3} mm) است.

نوع دیگر اندازه گیرهای الکترواستاتیک که بصورت دیفرانسیل عمل مینمایند (شکل ۱-د) شامل دو خازن هستند که ظرفیت آنها از طریق حرکت صفحه مشترکشان تغییر مینماید. بر حسب اینکه در استفاده از این نوع اندازه گیرها، هدف تقویت سیگنال و یا تبدیل آن باشد، کاربرد و رفتار آنها بدو صورت متفاوت است. در مورد اول مدار اندازه گیری به اختلاف خروجی خازنها پاسخ میدهد و رفتار آن خطی است (خروجی تابعی خطی از تغییر مکان است). در مورد دوم اندازه گیری توسط پل و نسبت سنج انجام میشود که به نسبت ظرفیت دو خازن پاسخ میدهد. در این حالت بغیر از مواردیکه تغییر مکان کوچک است رفتار کاملاً غیرخطی است.

بطور کلی در اندازه گیرهای الکترواستاتیک کمیات مکانیکی از طریق تبدیل به تغییر مکان و آن از طریق تبدیل به ظرفیت و ظرفیت بوسیله ولتاژ ناشی از آن اندازه گیری میشود. این تبدیل کمیات را میتوان بصورت زیر نشان داد:

ولتاژ (V) → ظرفیت (C) → تغییر مکان (x) → کمیت مکانیکی

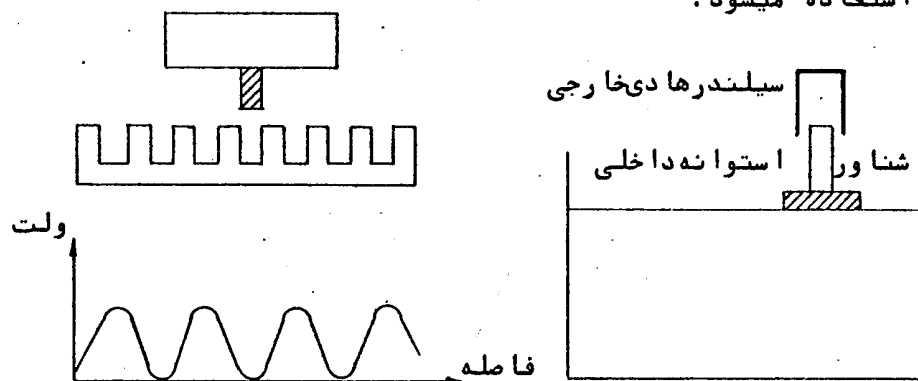
مزیت اندازه گیرهای الکترواستاتیک در سادگی آنهاست و معایب عمومی زیر باعث میشوند این نوع دستگاهها برای اندازه گیری تغییر مکانهای کوچک بکار روند و در صنعت کاربرد وسیعی نداشته باشند:

- ۱- در بعضی موارد دستگاههای الکترواستاتیک غیرخطی عمل مینمایند.
- ۲- امپدانس خروجی به فرکانس بستگی دارد ($\frac{1}{\omega C}$) و معمولاً زیاد است (10 kΩ تا 1 MΩ) از اینرو طبقه بعدی تقویت کننده باید دارای امپدانس ورودی بسیار بسیار زیاد باشد.
- ۳- رطوبت خواص دی الکتریک را تغییر میدهد.
- ۴- کابلهای اتصال باعث تغییر ظرفیت و ایجاد نویز نمیتوانند بلند باشند.

با وجود معایب فوق اندازه گیرهای الکترواستاتیک در بعضی موارد عملکرد جالبی دارند. بعنوان مثال از دو مورد اندازه گیری طول و ارتفاع مایعات میتوان نام برد. شکل ۲ دستگاه اندازه گیری طول را نشان میدهد که شامل یک صفحه ثابت و یک صفحه متحرک است. بر روی صفحه متحرک دندانهای بسیاری وجود دارد که در هنگام قرار گرفتن آنها در مقابل صفحه خازنی که بر روی صفحه ثابت نصب گردیده پالسهای ایجاد میشود. تعداد پالسها متناسب با طول آن قسمت از صفحه متحرک است که از مقابل صفحه ثابت عبور کرده است. هر پیک در سری پالسها مصرف یک دندان بر روی صفحه

متحرک است . در نتیجه هرچه فواصل دندانه ها کمتر باشد وقت اندازه گیری بیشتر خواهد بود . این سیستم قادر به کنترل تغییر مکانهای خیلی بزرگ است .

شکل ۳ دستگاه اندازه گیری ارتفاع مایعات را نشان میدهد که شامل خازنی استوانه ای است . استوانه داخلی بر روی سطح مایع شناور و سیلندر خارجی خازن در بالای آن ثابت است . در اثر تغییر ارتفاع ، استوانه داخلی در سیلندر خارجی بطرف داخل یا خارج حرکت نموده و در نتیجه ظرفیت خازن تغییر مینماید . از تغییر ظرفیت برای تولید ولتاژی متناسب با ارتفاع مایع استفاده میشود .



شکل ۳- اندازه گیر الکترود- استاتیک ارتفاع
شکل ۲- اندازه گیر الکترود استاتیک طول

۳.۹- اندازه گیرهای الکترومغناطیسی :

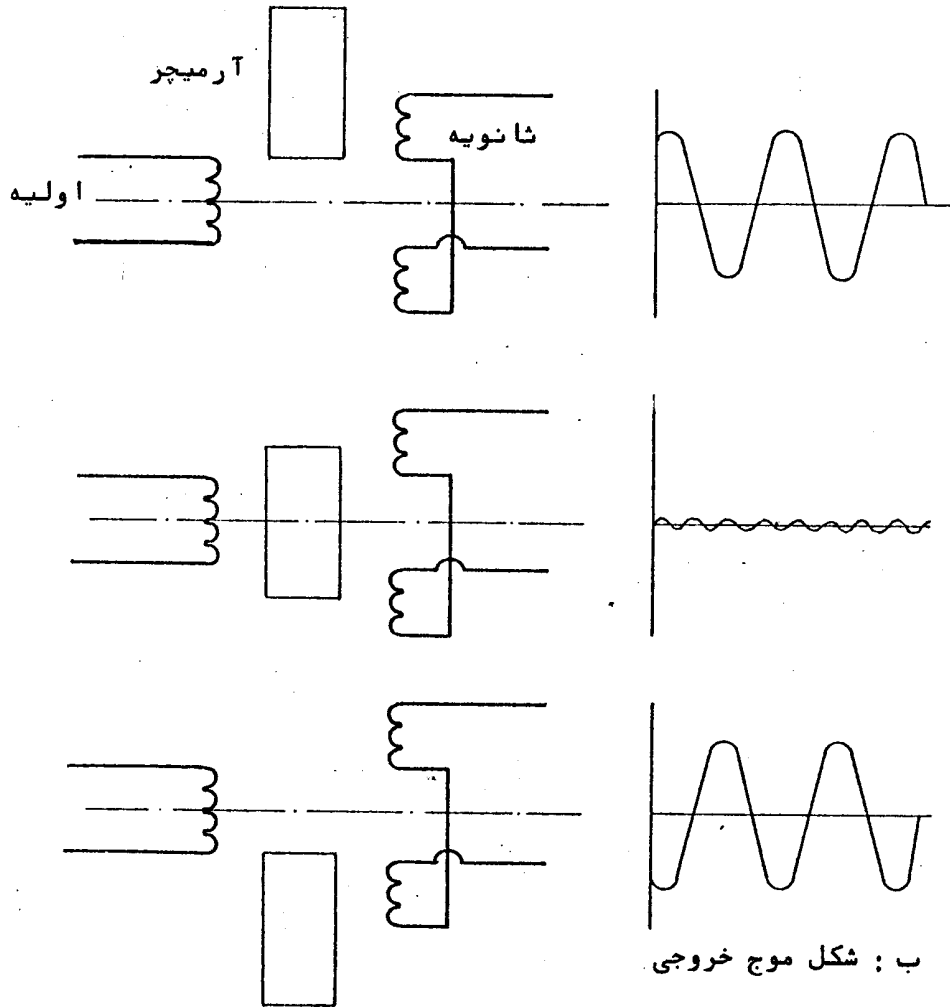
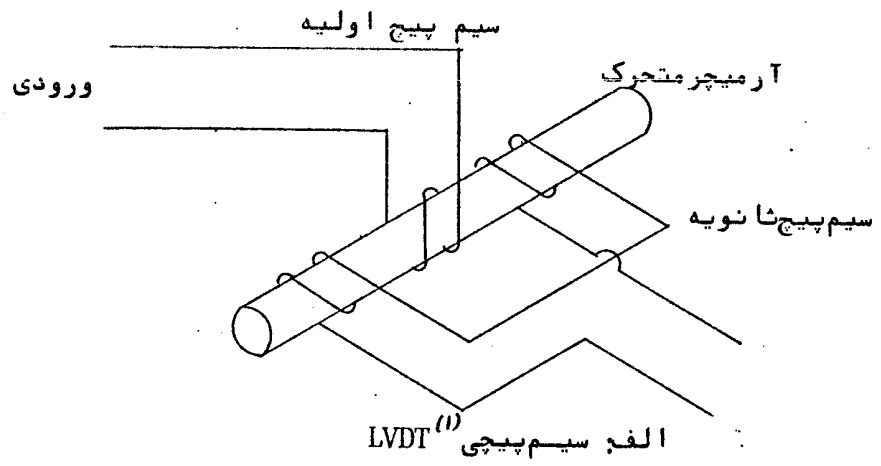
این نوع دستگاهها به سه دسته قابل تقسیم هستند :

- الف : کوپلاژ متغییر
- ب : رلوکتانس متغییر
- ج : اندوکتانس متغییر

هریک از گروههای فوق بطور جداگانه بررسی میشوند .

این نوع دستگا ههای اندازه گیری تغییر مکان LVDT نامیده میشوند متداول ترین اندازه گیرهای تغییر مکان هستند. این نوع اندازه گیر از بوبینی تشکیل شده که شامل یک سیم پیچ اولیه در وسط و یک جفت سیم پیچ ثانویه در اطراف آن است. یک آرمیچر فرومغناطیس از وسط بوبین میگذرد که به جسم متحرکی که اندازه گیری تغییر مکان آن مورد نظر است متصل میباشد (شکل ۴). ولتاژ متناوبی به سیم پیچ اولیه اعمال میشود و ولتاژ دوسر ثانویه خروجی را تشکیل میدهد. سیم پیچ های ثانویه به یکدیگر متصل بوده و در خلاف جهت یکدیگر پیچیده شده اند. هنگامیکه خط مرکزی الکترومغناطیسی آرمیچر منطبق با خط مرکزی الکترومغناطیسی سیم پیچ هاست ولتاژ القائی در ثانویه ها مساوی است و از آنجا که سیم پیچ های ثانویه سری و در خلاف جهت یکدیگر هستند، ولتاژ خروجی حداقل است .

با حرکت آرمیچر خطوط میدان مغناطیسی در یک سیم پیچ ثانویه بمقدار بیشتری در هسته فرومغناطیسی آرمیچر بسته شده و در سیم پیچ دیگر خطوط مزبور بیشتر در هوا بسته میشوند. در اثر این امر ولتاژ بیشتری در یکی از سیم پیچ های ثانویه نسبت به سیم پیچ دیگر ایجاد میشود. جهت حرکت آرمیچر بوسیله فاز نسبی خروجی مشخص میشود. به این معنا که در اثر حرکت آرمیچر بیکطرف ولتاژ القائی در سیم پیچ ثانویه ای که در همان طرف قرار دارد افزایش و ولتاژ در سیم پیچ دیگر کاهش مییابد در نتیجه ولتاژ خروجی که تفاضل ولتاژ در دو سیم پیچ ثانویه است کاهش (و یا افزایش) مییابد و در اثر حرکت آرمیچر بطرف مقابل ولتاژ القائی در سیم پیچ ثانویه دیگر افزایش مییابد و در نتیجه خروجی برعکس حالت قبیل افزایش (و یا کاهش) مییابد.



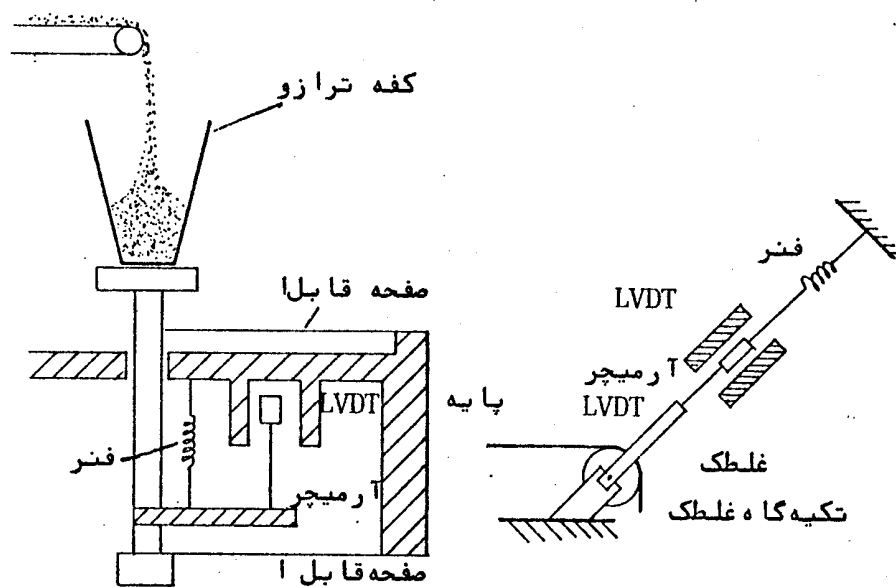
شکل ۴ - اندازه گیر الکترومغناطیسی کوپلاژ متغیر

1. linear variable differential transformer

مزایای این نوع اندازه گیر تغییر مکان، خطی بودن و دقت زیاد آن است. میزان غیرخطی بودن از نیم درصد تجاوز نمیکند و دقت آن حدود 0.05% است. بوسیله این دستگاه تغییر مکانهای زیاد را اندازه گرفت. این نوع اندازه گیر بطور متداول برای اندازه گیری تغییر مکانهای چند سانتی متر بکار میرود و انواعی از آن برای اندازه گیری تغییر مکانهای حدود متر وجود دارد. مزیت دیگر این نوع دستگاه اندازه گیری تغییر مکان، ایجاد ولتاژ خروجی زیاد با امپدانس خروجی کم است و انواعی از آن با قدرت خروجی 0.5 W وجود دارد. علاوه بر این، دستگاه اندازه گیر LVDT به تغییرات درجه حرارت غیر حساس است و به ازاء 50°C تغییر درجه حرارت، خروجی با ضریب 0.1 درصد تغییر مینماید.

با افزودن دو صفحه موازی قابل انحنای و یک فنر مارپیچ به یک LVDT میتوان دستگاهی برای اندازه گیری دقیق وزن ایجاد نمود (شکل ۵). موادی که بر روی کفه ترازو میریزند سبب پائین رفتن کفه و انحنای صفحات قابل انحنای شده و در نتیجه آرمیچری که به محور زیر کفه نصب است در میدان سیم پیچ LVDT حرکت میکند و در اثر آن ولتاژی القا میشود که متناسب با وزن مواد درون کفه ترازو است.

از دستگاه اندازه گیر LVDT میتوان برای کنترل کشش نیز استفاده نمود (شکل ۶) در این مورد آرمیچر LVDT به فنری که غلطکی را نگاه میدارد متصل است. در اثر تغییر کشش، غلطک در تکیه گاه خود حرکت میکند و نیز آرمیچر در سیم پیچ LVDT حرکت مینماید که سبب ایجاد ولتاژ خروجی میشود. سیستم معمولاً طوری تنظیم میشود که آرمیچر در کشش دلخواه در وضعیت خنثی قرار داشته باشد. فاز ولتاژ خروجی جهت تغییرات کشش را مشخص میسازد. ولتاژ خروجی را میتوان برای ثابت نگهداشتن کشش به سیستم کنترل فرستاد.



شکل ۵ - اندازه گیری وزن توسط LVDT

شکل ۶ - کنترل کشش توسط LVDT

۲۰۳۰۹ - رلوکتانس متغیر :

این نوع اندازه گیرهای تغییر مکان که کمتر از نوع LVDT کار برد دارد از سه سیم پیچ تشکیل شده است که بر روی یک هسته آهنی E شکل پیچیده شده اند. شکل ۷ شمائی از اصول کار این نوع اندازه گیر را نشان میدهد. این نوع اندازه گیر از نظر شکل سیم پیچی مشابه LVDT است و آرمیچر آن بصورت حلقه ای است که سیم پیچ ها را در برمیگیرد و به قطعه ای که اندازه گیری تغییر مکان آن مورد نظر است متصل میباشد.

خروجی این نوع اندازه گیر به رلوکتانس مسیر آهن - هوا از آرمیچر به سیم پیچ های اولیه و ثانویه و بالعکس بستگی دارد. وقتی آرمیچر در وسط قرار داد مدارهای مغناطیسی ثانویه دارای رلوکتانس برابر بوده در نتیجه ولتاژ القائی در هر یک از سیم پیچ ها مساوی

بوده و از اینرو ولتاژ خروجی که تفاضل ولتاژ القائی در سیم پیچ های ثانویه است حداقل میباشد . در اثر حرکت آرمیچر فاصله هوائی بین آرمیچر و یکی از سیم پیچ های ثانویه افزایش یافته و فاصله هوائی مربوط به سیم پیچ دیگر کاهش مییابد . این امر سبب افزایش رلوکتانس در مدار سیم پیچ ثانویه دیگر کاهش مییابد و رلوکتانس در مدار ولتاژ القائی در آن بیشتر شده و ولتاژ ایجاد شده در مدار دیگر کاهش مییابد . در اثر حرکت آرمیچر بطرف مقابل، نحوه تغییرات رلوکتانس و ولتاژ بالعکس بوده و فاز ولتاژ القائی در خروجی نسبت به حالت قبل معکوس میگردد .

مزیت عمده این نوع اندازه گیر حساسیت زیاد آن است . از آنجا که ولتاژ القائی در هر سیم پیچ متناسب با فلوی گذرنده از آن سیم پیچ است که این به نوبه خود با رلوکتانس مسیر مغناطیسی متناسب است ، ولتاژ خروجی E_0 را میتوان بصورت زیر نوشت :

$$E_0 = \frac{Kmmf}{y} \quad (5)$$

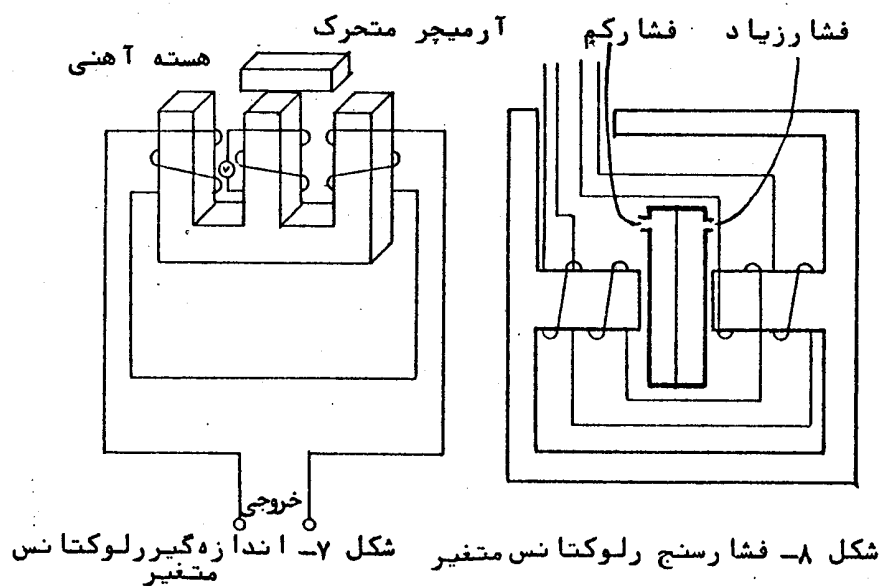
که در آن mfm نیروی موتوری مغناطیسی (مشابه نیروی الکتروموتوری) است که به جریان سیم پیچ و تعداد دور آن بستگی دارد و y طول فاصله هوائی و K ضریب ثابت هستند . از اینرو حساسیت عبارتست از :

$$S = \frac{dE_0}{dy} = - \frac{Kmmf}{y^2} \quad (6)$$

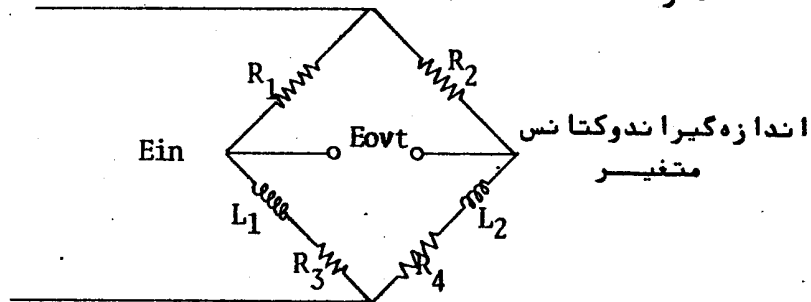
از آنجا که y میتواند کاملاً کوچک اختیار شود حساسیت این وسیله اندازه گیری تغییر مکان میتواند خیلی بزرگ باشد . و تغییر مکانهای ورودی کوچک ، ولتاژ خروجی زیادی ایجاد نماید . با این نوع اندازه گیر با سطوح تحریک کمتر و امپدانس های کمتر نسبت به اندازه گیر LVDT میتوان با حساسیت بیشتری اندازه گیری نمود .

این نوع اندازه گیر دارای دو عیب عمده است: یکی آنکه با افزایش تغییر مکان (کاهش فاصله هوایی) خروجی بصورت هیپربولیک تغییر میکند و دیگر آنکه کنترل سیگنال از نظر نویز با دشواری همراه بوده و قابلیت تکرار آن کم است. علیرغم این معایب دستگاه اندازه گیر تغییر مکان رلوکتانس متغییر بخصوص در کنترل یا کاربردهای سر که غیرخطی بودن اهمیت چندانی ندارد عملکرد بسیار مفیدی دارد.

از این دستگاه برای اندازه گیری فشار نسبی نیز میتوان استفاده کرد. در شکل ۸ نمونه ای از آن ملاحظه میشود که شامل یک دیافراگم نازک مغناطیسی است که قسمت فشار بالا را از محفظه فشار پائین جدا میکنند فشار زیاد در یک طرف دیافراگم سبب انحنای آن و در نتیجه عدم توازن ولتاژ خروجی سیم پیچ ها میشود فاز نسبی خروجی نسبت به ولتاژ ورودی جهت تغییرات فشار نسبی را مشخص میکند. این دستگاه معمولاً طوری تنظیم میشود که در اختلاف فشار صفر ولتاژ خروجی صفر باشد حساسیت زیاد این دستگاه سبب ایجاد خروجی زیاد به ازای تغییر مکانهای کوچک میگردد.



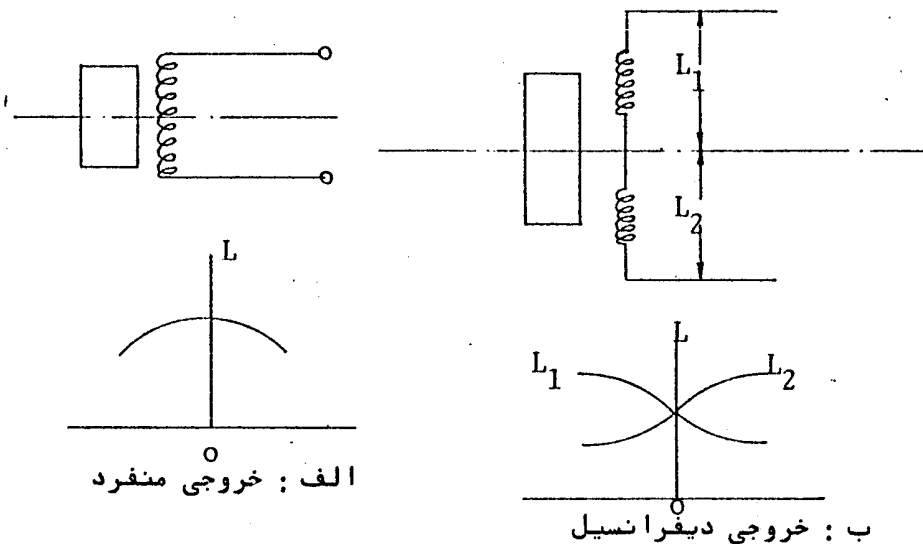
این نوع اندازه گیر تغییر مکان نسبت به دو نوع اندازه گیر تغییر مکان مغناطیسی دیگر کاربرد کمتری داشته و همواره در مدار پل مانند شکل ۹ قرار دارد.



شکل ۹- مدار پل اندازه گیر اندوکتانس متغیر

در اندازه گیر اندوکتانس متغیر مدار سیم پیچ اولیه یا تحریک وجود ندارد و خروجی آن همانطور که در شکل ۱۰ نشان داده شده است ممکن است بصورت منفرد و یا دیفرانسیل باشد.

مزیت عمده اندازه گیر اندوکتانس متغیر آسانی طرح مدار پل آن و معایبش کمی درجه خطی بودن و حساسیت می باشد. در این نوع اندازه گیر تغییر مکان، سیم های رابط نباید بلند باشند.



شکل ۱۰- انواع خروجی در اندازه گیر تغییر مکان اندوکتانس متغیر

۴۰۹- اندازه گیرهای مقاومتی :

اندازه گیرهای مقاومتی متداول عبارتند از : پتانسیومترهای خطی و تنش سنج .

پتانسیومترهای خطی، نوعی تقسیم کننده ولتاژ هستند که قادر به اندازه گیری دقیق تغییر مکانهای خیلی بزرگ میباشند. درجه غیرخطی بودن این نوع اندازه گیرها در تغییر مکانهای خیلی زیاد، کم و ناچیز است. از مزایای دیگر این نوع اندازه گیر تغییر مکان، خوب بودن مشخصه دمائی آن و نیز نداشتن خروجی مجزا است. در این نوع اندازه گیرها اصطکاک مکانیکی که سبب فرسودگی سیم پیچ پتانسیومتر و در نتیجه کاهش عمر آن میگردد، یک مسئله است که این مسئله با تکنولوژی فیلم پلاستیک تا حدودی مرتفع گردیده است.

پتانسیومترهای زغالی نیز در این زمره قرار دارند که سائیدگی و فرسایش سطح آن، مسئله اساسی است.

همانطور که در فصل هشتم تشریح گردید از تنش سنج ها نیز برای اندازه گیری تغییر مکان استفاده میشود.

فصل دهم: اندازه گیری فشار

۱-۱۰- روشهای اندازه گیری فشار :

در اندازه گیری فشار روشهای مختلفی بکار میرود. این روشها عبارتند از :

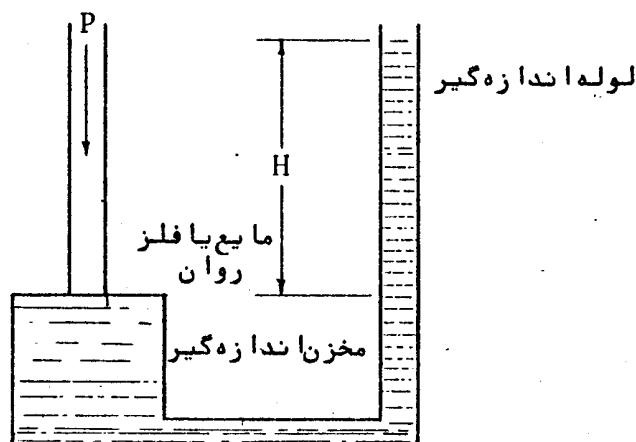
- ۱- اندازه گیری فشار سیال بوسیله اندازه گیری فشارستونی از مایع یا جیوه
- ۲- اندازه گیری متوسط تغییر شکل مکانیکی در اثر فشار.
- ۳- اندازه گیری غیرمستقیم از طریق اندازه گیری نیرو.

۲-۱۰- اندازه گیری فشار ستونی از سیال :

یکی از روشهای بسیار متداول اندازه گیری فشار سیالات اندازه گیری فشار ستونی از مایع یا جیوه است. در این روش که شمائی از آن در شکل ۱ ملاحظه میشود فشاری که در اندازه گیری آن مورد نظر است بر مخزنی از مایع یا جیوه اعمال میشود. برای جلوگیری از فراری یا اختلاط سیالی که فشار آن اندازه گیری میشود با مایع درون مخزن اندازه گیری فشار باید چگالی مایع درون مخزن مزبور بیش از چگالی سیال باشد. مخزن مایع یا جیوه از طریق مجرائی به لوله ای که معمولاً "برای قابل رویت بودن از جنس شیشه است متصل میباشد. در حالیکه بر مخزن اندازه گیری فشار خارجی اعمال نمیشود ارتفاع مایع یا جیوه در لوله و مخزن برابر است. در اثر اعمال فشار خارجی، ستون مایع یا جیوه درون لوله متصل به مخزن اندازه گیری بالا میرود تا فشار ناشی از وزن ستون مایع یا جیوه اندازه گیری برابر فشاری که بر مخزن اندازه گیری اعمال میگردد، شود.

در این حالت با اندازه گیری ارتفاع مایع یا جیوه در لوله فشار اندازه گیری میشود . اگر این ارتفاع با H و وزن مخصوص مایع یا جیوه درون لوله با γ نشان داده شود فشار برابر است با :

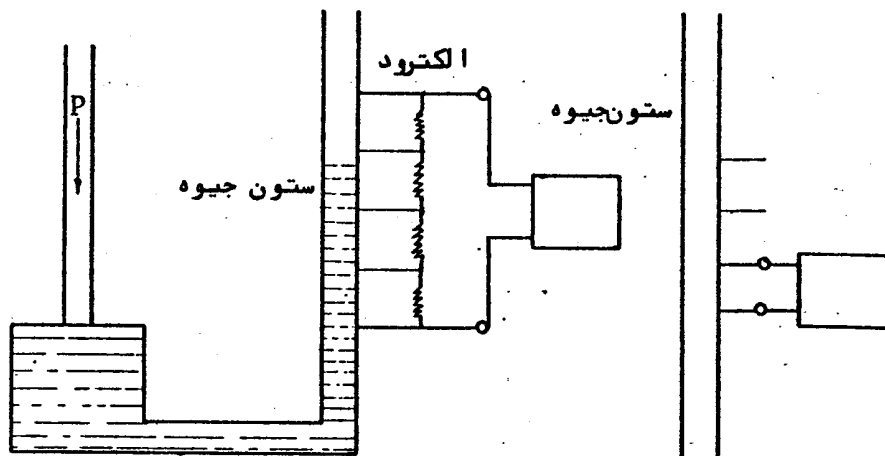
$$P = \gamma \cdot H \quad (1)$$



شکل ۱- اندازه گیری فشار ستونی از مایع یا فلز روان

فشار را میتوان به سیگنال الکتریکی تبدیل نمود. در شکل ۲ دو روش تبدیل فشار به سیگنال الکتریکی تشریح شده است. در شکل ۲ - الف برای تبدیل فشار به سیگنال الکتریکی در نقاط مختلف لوله اندازه گیر الکترودهائی تعبیه شده است که بین آنها مقاومت قرار دارد و در الکترودی که در حد بالائی و پائینی لوله که در اندازه گیری فشار ستون مایع یا فلز روان ممکن است به آن نقاط برسد به پل اندازه گیر مقاومت وصل است. هرچه فشار بیشتر شده و ارتفاع ستون جیوه در لوله اندازه گیری بالاتر رود قسمت بیشتری از مدار الکتریکی اتصال کوتاه میگردد.

در مواردیکه هدف از تبدیل فشار به سیگنال الکتریکی، استفاده از آن در مدار قطع و وصل باشد روش شکل ۲- ب مورد استفاده قرار میگیرد که در آن به جای الکترودها، کنتاکتور بکار رفته است.



الف : تبدیل فشار به سیگنال الکتریکی

ب : تبدیل فشار به سیگنال الکتریکی توسط کنتاکتور

شکل ۲ - تبدیل فشار به سیگنال الکتریکی

۳.۱۰ - اندازه گیری تغییر شکل مکانیکی :

منداولترین وسیله‌ای که فشار را از طریق اندازه گیری متوسط تغییر شکل مکانیکی ناشی از فشار ، اندازه میگیرد فشار سنج بوردن (Bourdon) است . این فشار سنج از لوله ای فلزی با مقطع بیضی یا دایره‌ای شکل تشکیل شده است . این لوله قوسی شکل بوده و درون محفظه‌ای قرار دارد یک انتهای آن فشارمورد اندازه‌گیری متصل و انتهای دیگر آن بسته است . انتهای بسته مزبور از طریق مکانیزمی بیک عقربه متصل است . در اثر تغییر فشار ، زاویه قوس لوله فلزی تغییر کرده و در نتیجه انتهای لوله که متصل به عقربه است حرکت میکند . در اثر این امر عقربه بر روی صفحه مدرجی که بر روی قاب فشار سنج بوردن نصب شده است حرکت میکند .

فشار سنج مورد ن برای اندازه گیری فشار نسبی (فشار نسبت به اتمسفر) بکار میرود و جنس لوله (سختی) ، طول قوس سطح مقطع و ضخامت آن همگی به حدود فشار مورد اندازه گیری بستگی دارند .

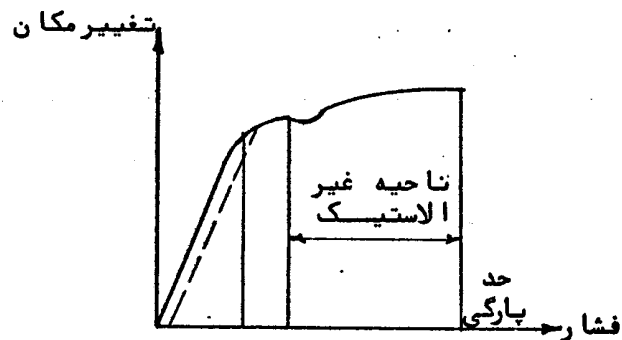


شکل ۳- فشار سنج مورد ن

در اندازه گیری بوسیله فشار سنج موردون باید نکات زیر را رعایت گردد :

- ۱- فشار معمول نباید بیش از 60% حد قابل اندازه گیری باشد مثلاً" اگر حدود اندازه گیری 10 - 0 atm است این دستگاه نباید برای اندازه گیری فشار بیش از 6 atm بطور دائم بکار رود .
- ۲- جنس فلز لوله باید طوری انتخاب شود که سیال از نظر شیمیائی از بین نبرد .
- ۳- اگر دستگاه تحت فشار خیلی زیاد قرار گیرد تنظیم آن بهم میخورد . اگر فشار مورد اندازه گیری زیاد باشد بطوریکه فلز لوله در ناحیه الاستیک (ناحیه الاستیک بعد از حد خطی بودن) قرار گیرد ، پس از کاهش فشار تغییر شکل لوله طبق خط چین در شکل زیر خواهد بود که برگشت بصورت

هیستریزیس استه این امر سبب بهم خوردن فشار سنج میگردد. در ناحیه غیرالاستیک ، اصولاً پس از کاهش فشار ، لوله اندازه گیر به حالت اولیه خود برنمیگردد.



شکل ۴ - منحنی تنش- فشار

زاویه قوس به حدود فشار مورد اندازه گیری بستگی داشته و بین 90° تا 270° است. برای زاویه کمان بیش از 360° لوله را حلزونی شکل میسازند. لوله حلزونی شکل برای اندازه گیری فشار های کم مورد استفاده قرار میگیرد.



لوله حلزونی



لوله مارپیچ

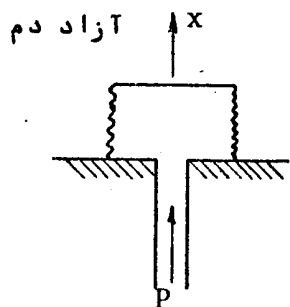
شکل ۵- شمای لوله های حلزونی و مارپیچ

در اندازه گیری فشارهای زیاد از لوله مارپیچی شکل باصفاقت زیاد ، استفاده میشود.

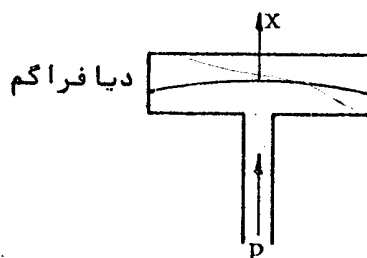
فشار سنج های دیگری که براساس اندازه گیری تغییر شکل مکانیکی ناشی از فشار عمل میکنند عبارتند از دم، دیافراگم.

دم (Bellows) نوعی فنر هوایی است که خاصیت ارتجاعی دارد. در اثر افزایش فشار، دم منبسط شده و تغییر مکان انتهای آزاد آن بعنوان معیاری از فشار (تغییر مکان انتهای دم متناسب با فشار است) اندازه گرفته میشود. در اثر کاهش فشار دم منقبض شده و انتهای آزاد آن در خلاف جهت افزایش فشار تغییر مکان مییابد.

تغییر مکان انتهای



شکل ۶ - دم



شکل ۷ - دیا فراگم

دیا فراگم غشائی نازک و قابل ارتجاع است که بدیواره صلبی متصل است. دیا فراگم برای اندازه گیری فشار و یا اختلاف فشار میتواند مورد استفاده قرار گیرد. در اندازه گیری اختلاف فشار دو فشاری که هدف اندازه گیری اختلاف آنهاست بدو طرف دیا فراگم اعمال میشود و در اندازه گیری فشار در یک طرف دیا فراگم فشار هوا وجود دارد. از اینرو در این حالت دیا فراگم فشار نسبی را اندازه میگیرد.

تقریباً در تمام فشار سنج ها، فشار تبدیل به تغییر مکان میشود. برای ایجاد سیگنال الکتریکی میتوان از دستگاههای اندازه گیر تغییر مکان (الکترواستاتیکی، الکترومغناطیسی مقاومتی) استفاده نمود.

۴.۱۰ - اندازه گیری غیرمستقیم :

دسته‌ای دیگر از فشارسنج‌ها، نیروئی را که بوسیله فشار ایجاد میشود اندازه‌گیری میکنند. اندازه‌گیری نیرو توسط دستگاهی از قبیل تنش‌سنج انجام میشود.

۱-۱- روشهای اندازه گیری دبی

دبی سیالات به روشهای گوناگون قابل اندازه گیری است. سه طریق اصلی اندازه گیری آن که بیشترین کاربرد را دارند عبارتند از:

- ۱- ایجاد مانع در مسیر جریان سیال و اندازه گیری افت فشار حاصله
- ۲- دستگا‌ه‌های اندازه گیری توربینی
- ۳- دستگا‌ه‌های اندازه گیری الکترومغناطیسی

۱-۲- ایجاد مانع در مسیر جریان سیال

این روش بر اساس ایجاد مانعی در مسیر جریان سیال که در آن سرعت جریان سیال در محل مانع افزایش و در نتیجه فشار در آن محل کاهش مییابد و اندازه گیری اختلاف فشار استاتیک بین محلی که مانع در آن محل قرار دارد و نقطه‌ای قبل از آن استوار است. این روش میتواند برای اندازه گیری دبی سیالات اعم از مایع، گاز و یا بخار بکار رود. بوسیله این روش دبی‌های مختلف (حتی دبی‌های خیلی زیاد) را در هر درجه حرارت و فشار استاتیک میتوان اندازه گرفت.

در اندازه گیری دبی سیالات با این روش، باید نکات زیر مورد توجه قرار گیرد:
الف - سیالی که دبی آن اندازه گرفته میشود تمام سطح مقطع لوله‌ای را که در آن جریان دارد پر نماید.

ب - جریان سیال لایه‌ای (Laminar) یا نیمه لایه‌ای (quasi-laminar) باشد. یعنی در محل اندازه گیری جریان سیال تغییرات خیلی آهسته جریان مجاز است.

ج - سیال اندازه گیری شونده در فاصله‌ی خالی باشد. این روش برای اندازه گیری دبی در سیالات دو فازی مناسب نیست.

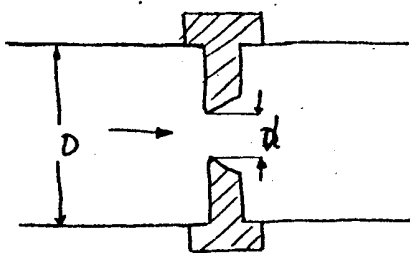
د - چگالی، ترکیب و نیز فشار و درجه حرارت و رطوبت سیال جهت انتخاب مانع باید معلوم باشند.

موانعی که در مسیر جریان سیال قرار داده میشوند اشکال مختلفی میتوانند داشته باشند. سه شکل متداول مانع عبارتند از:

الف - اریفیس (Orifice) - این مانع از یک صفحه تشکیل شده است که در وسط آن سوراخی وجود دارد. این سوراخ معمولاً دایروی شکل بوده ولی در بعضی موارد به اشکال دیگر از قبیل نیم دایره

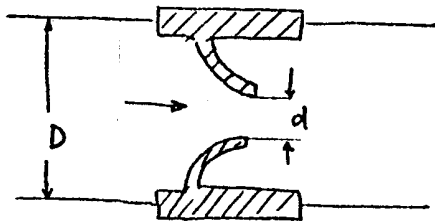
نیز می باشد. این مانع که در مسیر خط لوله طول کمی را اشغال می کند دارای -
 ساختمانی ساده بوده و در نتیجه از آن است و معمولاً "برای اندازه گیری
 دبی های زیاد بکار می رود و افت فشار در دو طرف آن بغلت تغییرناگهانی سطح
 عبور جریان، زیاد است.

ب- شیپوری (Nozzle) - این نوع
 مانع سطح عبور جریان را به تدریج کاهش
 می دهد و لبه های تیز است. فرسایش
 و خوردگی در این نوع مانع نسبت به
 اریفیس که دارای لبه های تیز می باشد
 کمتر است و افت فشار در دو طرف آن کمتر از افت فشار در دو طرف اریفیس بوده و
 برای اندازه گیری دبی های متوسط و یا در مواردیکه مسئله خوردگی و فرسایش
 اریفیس ایجاد اشکال مینماید بکار می رود.

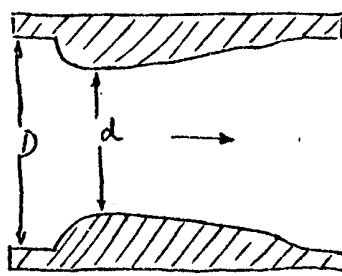


شکل ۱ - اریفیس

ج - ونتوری (Venturi) - این مانع از
 یک لوله تشکیل شده است که سطح مقطع آن
 به تدریج کاهش یافته و سپس به تدریج به
 سطح اولیه افزایش می یابد. به علت
 تغییرات تدریجی سطح مقطع، طول این
 مانع از دو مانع دیگر بیشتر بوده و افت
 فشار در دو طرف آن کمتر است. این مانع
 برای اندازه گیری دبی های کم بکار
 می رود.



شکل ۲ - شیپوری



شکل ۳ - ونتوری

از قانون برنولی نتیجه میشوددبی متناسب با جذرا اختلاف فشار در دو طرف مانع موجود در مسیر جریان سیال است یعنی

$$Q = k \sqrt{\Delta P} \quad (1)$$

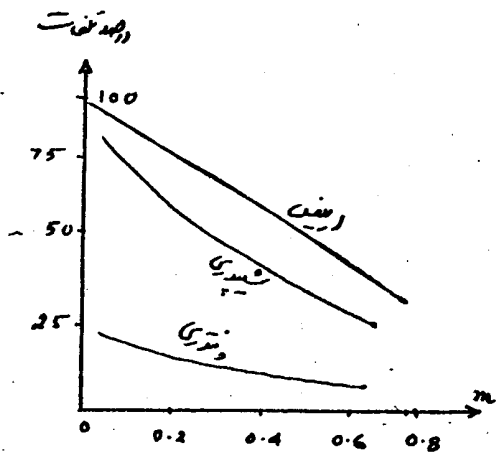
که در آن k ضریب ثابتی است که به شکل مانع، غلظت و درجه حرارت سیال بستگی دارد.

همانطور که ذکر شد در عبور سیال از مانع انرژی پتانسیل به انرژی جنبشی تبدیل میشود (کاهش فشار و افزایش سرعت) و پس از عبور سیال از مانع مقداری از انرژی جنبشی سیال به انرژی پتانسیل (بصورت کاهش سرعت و افزایش فشار استاتیک سیال) تبدیل میشود. در این تبدیل انرژیها، مقداری از انرژی سیال تلف میشود که بستگی به شکل مانع و نسبت سوراخ مانع m دارد.

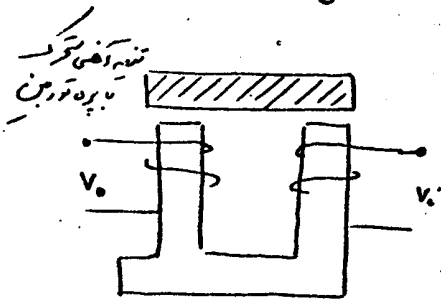
که بصورت زیر تعریف میشود:

$$m = \left(\frac{d}{D}\right)^2 \quad (2)$$

شکل ۴ تلفات انرژی را بر حسب سوراخ مانع برای اشکال مختلف مانع، نشان میدهد.



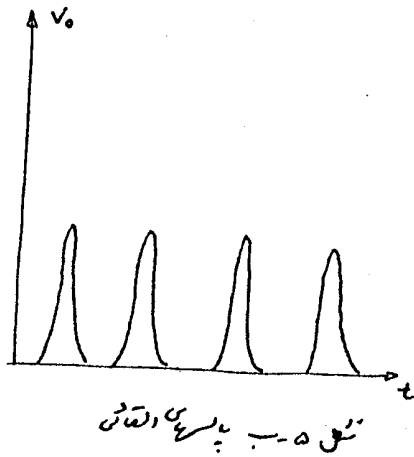
شکل ۴: تلفات انرژی



شکل ۵: پهن کردن ریشه ریشته

۱۱-۳- دستگاههای اندازه گیری توربینی

دستگاههای اندازه گیری توربینی از محوری تشکیل شده است که داخل لوله ای که سیال در آن جریان دارد قرار دارد. بر روی این محور توربینی تعبیه گردیده است که در اثر جریان سیال میگردد. بر روی پره های توربین قطعات آهنی قرار دارد. در مجموعه ای که بر روی لوله



و در بالای توربین قرار می‌گیرد یک سیم‌پیچ وجود دارد در ضمن گردش توربین هرگاه که یکی از تیغه‌های آهنی نصب شده بر روی توربین در مقابل کویل مزبور قرار گیرد ولتاژی در آن القاء میشود که به صورت پالس ظاهر میگردد. تعداد پالسها متناسب با سرعت گردش توربین و در نتیجه متناسب با دبی است.

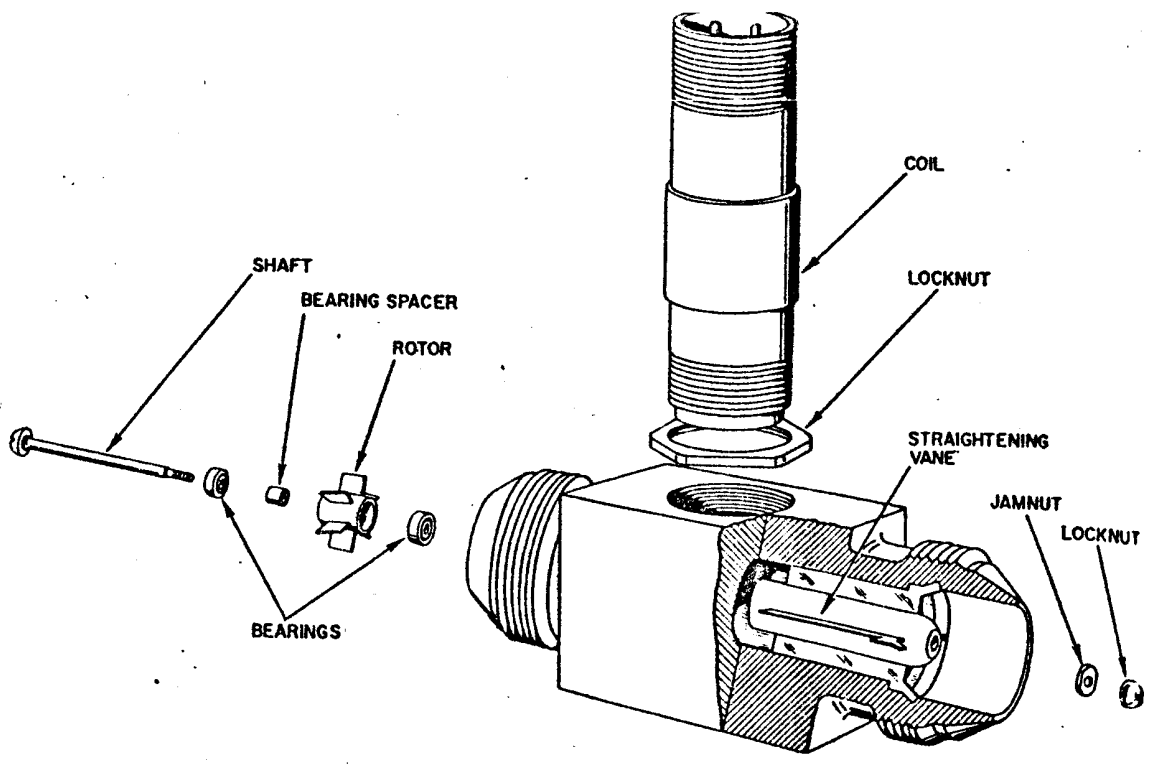
با شمارش پالسهای القائی، سرعت توربین و در نتیجه دبی سیال تعیین میگردد. شکل‌های ۷ و ۸ اجزاء و ترتیب قطعات این نوع اندازه‌گیری دبی را نشان میدهد.

۱۱-۴- دستگا‌های اندازه‌گیری الکترومغناطیسی

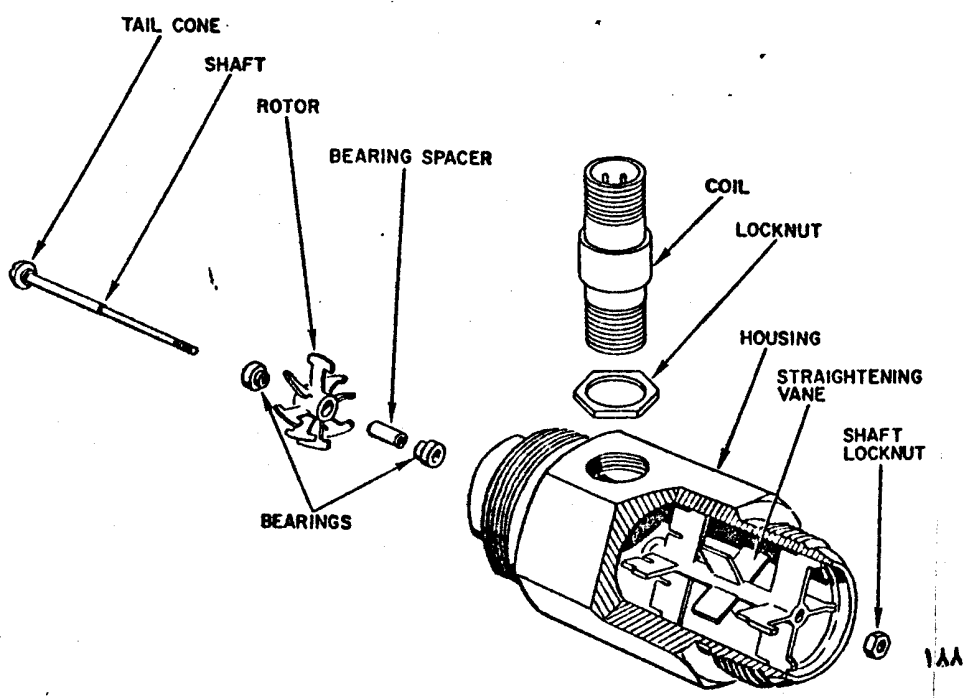
دبی سنج الکترومغناطیسی که گاهی دبی سنج مغناطیسی نیز نامیده میشود بر اساس قانون اندوکسیون فاراده کار میکند. طبق قانون فاراده هرگاه یک هادی با طول l در میدان مغناطیسی به شدت B با سرعت v حرکت کند ولتاژی در آن القاء میشود که برابر است با:

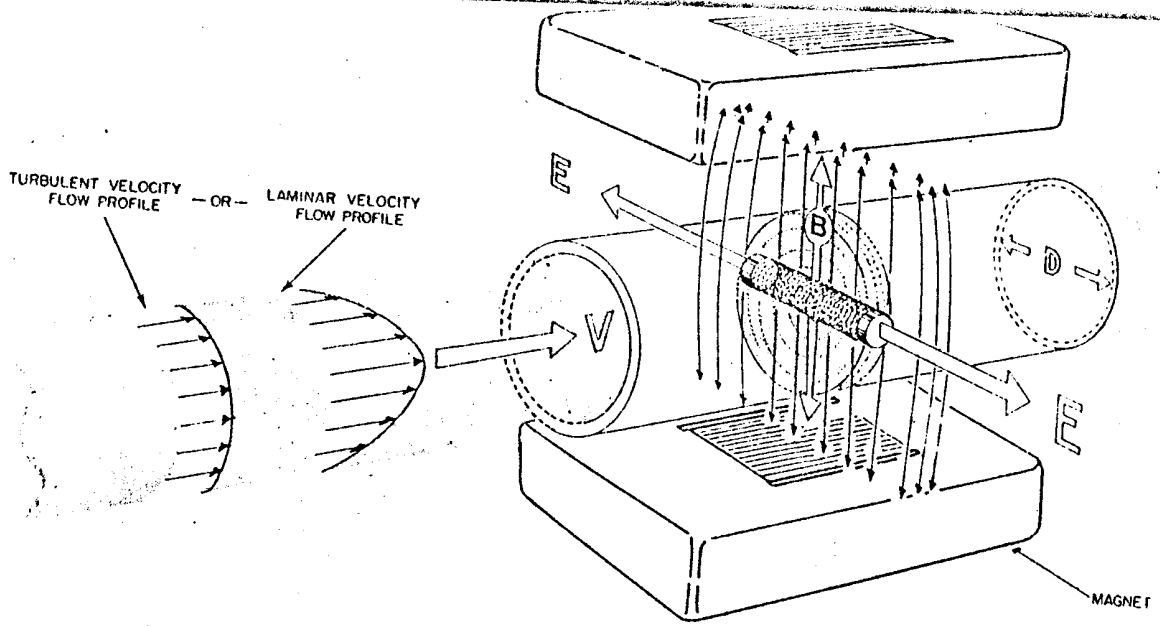
$$E = c B l v \quad (۲)$$

که در آن c ضریب ثابتی است. برای این اساس همانطور که در شکل‌های ۹ و ۱۰ ملاحظه میشود در دبی سنج مغناطیسی، قسمتی از لوله که سیال اندازه‌گیری شونده در آن جریان دارد در میدان مغناطیسی که جهت آن عمود بر محور لوله است قرار داده میشود. جریان سیال را میتوان بصورت جریان پیوسته‌ای از دیسک‌های از سیال



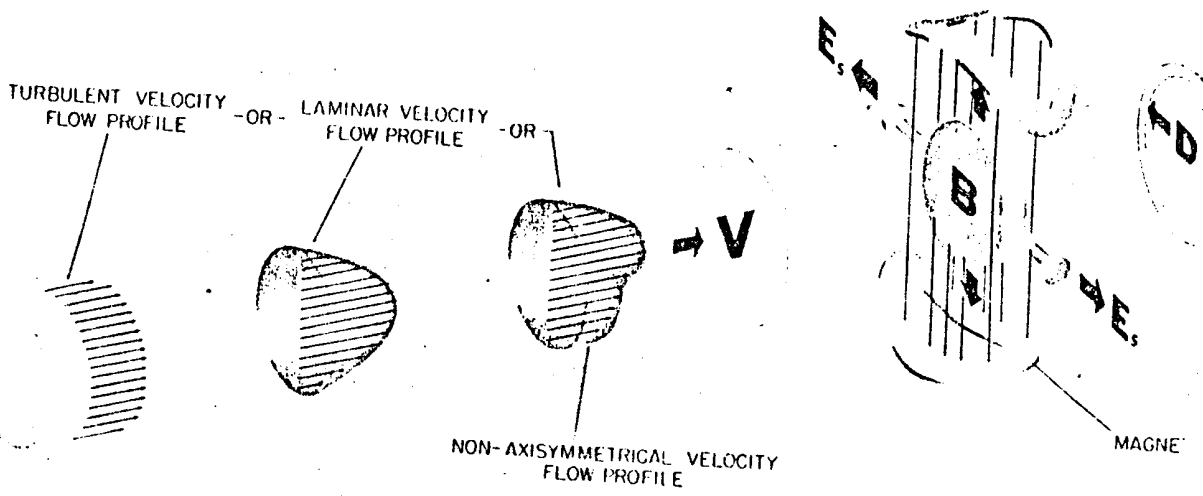
شکلوی ۷۶: افراہ روی سنج قرربینی



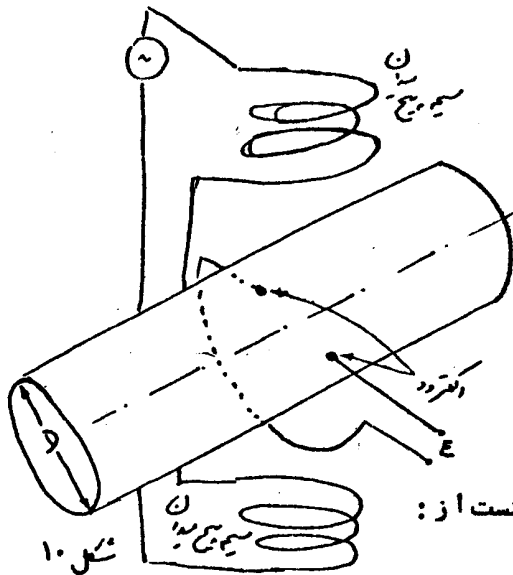


شکل ۸ : اصول کار دیسج اکتورنفاطیسی

Br 1332



شکل ۹ : پردیس کا سرعت پلے



در نظر گرفت که در رابطه (۳)، نقش یک
 هادی با طول D (قطر داخلی لوله) را
 دارا هستند (باید توجه داشت این روش
 فقط برای اندازه گیری دبی سیالاتی
 که هادی با شند قابل استفاده است).
 در نتیجه ولتاژ القاء شده برابر است با:

$$E = c B D v$$

و چون سرعت سیال بر حسب دبی آن عبارتست از:

$$v = \frac{Q}{A}$$

که در رابطه (۵) A سطح مقطع لوله ($A = \frac{\pi}{4} D^2$) است میتوان نتیجه گرفت:

$$E = c B D \frac{Q}{A} = c B \frac{4Q}{\pi D} = c_1 Q$$

یعنی ولتاژ القاء شده متناسب با دبی سیال است.

یک دبی سنج مغناطیسی با شدت میدان مغناطیسی فقط در صورتی قادر به
 اندازه گیری صحیح دبی سیال است که پروفیل سرعت سیال حول محور لوله،
 متقارن باشد و مثلاً اگر پروفیل سرعت مانند پروفیل سرعت غیر متقارن شکل
 و با شدت اندازه گیری دبی صحیح نخواهد بود. از این رو این نوع دبی سنج
 نباید در نزدیکی زانویا شیر نیم بسته ای قرار داشته باشد.

در این روش اندازه گیری دبی باید به نکات زیر توجه داشت:

الف - مایعی که با این روش دبی آن اندازه گیری میشود، باید دارای حداقل
 هدایت ($\rho < 20 \mu \Omega \text{ cm}^2 / \text{cm}$) باشد.

ب - تغییرات درجه حرارت نباید سبب شود که هدایت مخصوص مایع از مقدار
 حداقلی، کمتر گردد.

ج - سایر کمیات از قبیل غلظت، چگالی و دمای سیال در اندازه گیری دبی
 تأثیری ندارند.

فصل دوازدهم: اندازه گیری درجه حرارت

۱۰۱۲- روشهای اندازه گیری درجه حرارت:

روشهای مختلف اندازه گیری درجه حرارت براساس یکی از عوامل زیر استوار میباشند:

- ۱- تغییر در ابعاد جسم .
- ۲- تغییر در خواص الکتریکی جسم .
- ۳- تغییر در قابلیت تشعشع .
- ۴- تغییر در خواص فیزیکی .
- ۵- تغییر در خواص شیمیائی .

روشهایی که براساس عوامل ۴ و ۵ استوار هستند کمتر مورد استفاده صنعتی دارند.

۲۰۱۲- تغییر در ابعاد جسم:

دماسنج هایی که براساس تغییر در ابعاد جسم کار میکنند شکل و ساختمان متفاوتی میتوانند داشته باشند. از اینرو در سه گروه تقسیم میشوند: دماسنج مایعی، بی متال دماسنج فشاری.

۱۰۲۰۱۲- دماسنج مایعی:

این نوع دماسنج ها از یک لوله موئین شیشه ای تشکیل شده اند که در یک انتهای آن مخزنی هادی حرارت قرار دارد. در این مخزن مایعی رنگی (ویا جیوه) وجود دارد. در اثر تغییر درجه حرارت حجم مایع درون مخزن دماسنج تغییر کرده و در نتیجه ارتفاع در لوله موئین شیشه ای تغییر

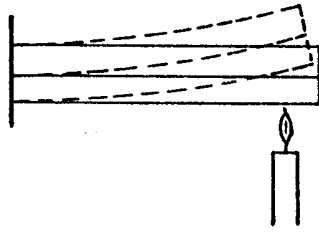
مینماید. مایعاتی که بیشتر بکار میروند از : الکل و جیوه ، دماسنج هائی با این نوع الکل و یا جیوه نیز وجود دارند. اساسی در این نوع دماسنج، امکان جدا شدن مایع در لوله شیشه‌ای میباشد. جدول ۱ این نوع دماسنج را مشخص میکند.

ماده	محدود کار کرد عملی	بهترین دقت	ملاحظات
جیوه	۴۰ تا ۶۰۰°C	۰/۰۱°C	برای کارهای دقیق بهترین است
جیوه - زالیوم	۰°C تا ۵۵°C	۰/۰۲°C	برای دماهای در تغییرات کم
الکل	۸۰°C تا ۱۸۰°C		برای دماهای احتمال جدا شدن
الکل - تولون	۵۰°C تا ۱۰۰°C	۰/۱°C	برای دماهای پائین، احتیاط استئوپن

جدول ۱ - خصوصیات دماسنج های مایع

۲۰۲۰۱۲ - بی متال :

بی متال (Bimetal) شامل دو نوار از دو آلیاژ مختلف با ضرایب انبساط متفاوت میباشد. این وسیله در اثر تغییر دما تفاوت ضرایب انبساط در آلیاژ خم شده آزاد آن تغییر مکان مییابد (شکل ۱) تغییر مکان میتواند سیگنال الکتریکی شده و یا بوسیله یک شاخص بر روی یک مدرج اندازه گیری شود.



شکل ۱ - تغییر مکان بی متال در اثر حرارت

از آنجائیکه عامل تصحیح کننده‌ای در این وسیله وجود ندارد لازم است تمام المان که طول آن ۲ تا ۸ سانتیمتر است درون ماده‌ای که اندازه گیری دمای آن مورد نظر است قرار گیرد.

بی متال در دستگاه‌های قطع و وصل خودکار مورد استفاده قرار میگیرد. جدول ۲ مشخصات سه نوع آن را ارائه میدهد.

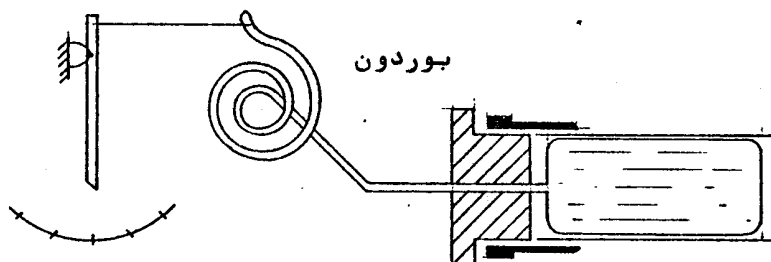
۳۰۲۰۱۲ - دماسنج فشاری :

این نوع دماسنج شامل یک مایع، گاز و یا بخار است که درون یک ظرف بسته قرار دارد. با افزایش درجه حرارت سیال مزبور حجم و یا فشار آن افزایش مییابد. این افزایش از طریق لوله موثینی به یک فشار سنج بوردون که معمولاً "مارپیچ" یا حلزونی است انتقال مییابد (شکل ۲).

دقت	دامنه عملی کا رکورد		نوع
	حد اقل تفاوت دما	حدود	
نیم درصد تفاوت دما	۵۰°C	-۱۸۵°C تا ۲۶۰°C	آزمایشگاهی
یک درصد تفاوت دما	۵۰°C	-۱۸۵°C تا ۵۵۰°C	صنعتی
دو درصد تفاوت دما	۲۵°C	-۸۰°C تا ۱۲۰°C	ثبات

جدول ۲- مشخصات انواع بی متال

جدول ۳ خصوصیات این نوع دماسنج را ارائه میدهد.



شکل ۲ - دماسنج فشاری

ملاحظات	دقت ذاتی %	محدود کارکرد عملی	ماده انبساطی	اصل کار - کرد
عکس العمل کند، خطی	۱ تا ۲	۳۱۵°C تا -۵۲°	مایع	تغییرات حجم
عکس العمل کند، خطی	۱ تا ۲	۳۳۵°C تا -۴۰°	جیوه	
سرعت متوسط، غیر خطی	۱ تا ۲	۳۱۵°C تا -۴۰°	بخار یک مایع	تغییرات فشار
سریعترین سیستم، غیر خطی	۱ تا ۲	۳۳۵°C تا -۲۴۰°	گاز	

جدول ۳ - مشخصات دماسنج فشاری

۳-۱۲- تغییر در خواص الکتریکی:

دماسنج هائی که بر اساس تغییر خواص الکتریکی عمل میکنند در سه دسته قابل بررسی میباشند: دماسنج مقاومتهی ترمیستر، ترموکوپل.

۱-۳-۱۲- دماسنج مقاومتهی:

در اثر تغییر درجه حرارت مقاومت الکتریکی فلزات تغییر مینماید. این پدیده اساس کار دماسنج مقاومتهی را تشکیل میدهد.

با تعریف ضریب حرارتی مقاومت (α) بصورت تغییر مقاومت یک مقاومت اهمی در اثر تغییر دما. تغییرات مقاومت بر حسب دما عبارتست از:

$$R = R_0 (1 + \alpha \Delta T) \quad (1)$$

در رابطه فوق R_0 مقاومت المان در دمای مرجع و ΔT تفاوت های اندازه گیری شده از دمای مرجع و R مقاومت المان در دمای اندازه گیری شده میباشد. معمولاً دمای مرجع 0°C اختیار میشود در این حالت $\Delta T = T$ ، R_0 مقاومت المان اندازه گیر در دمای 0°C میباشد. در این صورت مقاومت المان اندازه گیری در دمای $T^\circ\text{C}$ که با R_T نشان داده میشود برابر است با:

$$R_T = R_0 (1 + \alpha T) \quad (2)$$

از آنجا که ضریب حرارتی مقاومت (α) فقط به جنس مقاومت بستگی نداشته بلکه تابعی از درجه حرارت نیز میباشد.

$$\alpha = \frac{R_T - R_0}{T R_0} \quad (3)$$

معمولاً مقدار متوسط آن بین 0°C ، 100°C بکار

$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100 R_0} \quad (4)$$

معمولاً $R_0 = 100$ انتخاب میشود. فلزاتی که بعنوان المان اندازه گیر در دماسنج مقاومتی بکار میروند باید ضریب حرارتی مقاومت (α) زیاد داشته و داشته و در برابر مواد شیمیائی مقاوم بوده و نیز در محدوده اندازه گیری بزرگی قابل استفاده باشند. از اینرو فلزاتی از قبیل پلاتین و نیکل (در مواردی هم مس) مورد استفاده قرار میگیرند. ضریب حرارتی این دو فلز عبارتست از:

$$Pt : = (3.85 \pm 0.01) \times 10^{-3} \frac{1}{^{\circ}C}$$

$$Ni : = (6.17 \pm 0.07) \times 10^{-3} \frac{1}{^{\circ}C}$$

همانطور که قبلاً ذکر شد ضریب حرارتی مقاومت به درجه حرارت بستگی دارد. اما مقدار این وابستگی در مورد پلاتین کمتر بوده و از این جهت پایدار تر نامیده میشود. از طرف دیگر مقدار این ضریب در مورد نیکل بیشتر بوده و به ازاء مقدار مشخص تغییر دما، مقاومت بمقدار بیشتری تغییر مینماید از اینرو نسبت به تغییرات دما حساس تر است. جدول ۴ خلاصه‌ای از مشخصات سه نوع دماسنج مقاومتی متداول را ارائه میدهد.

ملاحظات	دقت ذاتی C	دامنه دمای اندازه‌گیری	افزایش مقاومت ($0-100^{\circ}$ %)	ماده
مقاومت یکنواخت و بالا، پایدار و گران	۰/۰۱	1000° تا -258°	۳۹	پلاتین
تغییرات زیاد مقاومت با تغییر غیر یکنواخت، محتاج تنظیم انفرادی	۰/۵	300° تا -150°	۶۲	نیکل
مقاومت یکنواخت و کم، پایدار ارزان	۰/۱	120° تا -200°	۴۳	مس

جدول ۴ - مشخصات دماسنج مقاومتی

یک دماسنج مقاومتی با جنس و مقاومت آن در $0^{\circ}C$ مشخص میشود مثلاً Pt100 مصرف دماسنج مقاومتی از جنس پلاتین است که مقاومت آن در $0^{\circ}C$ برابر 100Ω میباشد. مشخصه دماسنج مقاومتی (تغییرات مقاومت بر حسب دما) بوسیله منحنی و یا جدول

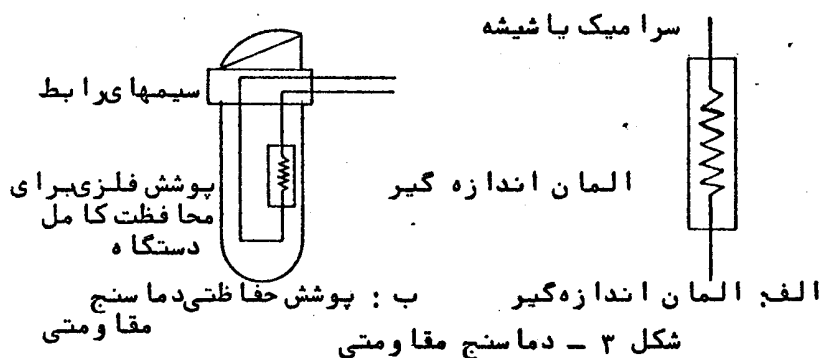
ارائه میشود بعنوان مثال جدول ۵ مشخصه دماسنج مقاومتی Pt 100 را بدست میدهد.

$T^{\circ}C$	۰	۵۰	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰	۳۰۰	۴۰۰	۵۰۰
R	۱۰۰/۰۰	۱۱۹/۴۰	۱۳۸/۵۰	۱۵۷/۳۳	۱۷۵/۸۶	۲۱۲/۰۸	۲۴۷/۰۷	۲۸۰/۹۴

$T^{\circ}C$	-۲۰۰	-۱۵۰	-۱۰۰	-۵۰
R	۱۸/۵۳	۳۹/۶۵	۶۰/۲۰	۸۰/۲۵

جدول ۵ - جدول مشخصه Pt 100

المان اندازه گیر دماسنج مقاومتی بصورت سیم نازکی است که درون سرامیک یا شیشه قرار داده میشود (شکل ۳ - الف) این مجموعه برای محافظت کامل در پوششی فلزی قرار داده میشود (شکل ۳ ب).



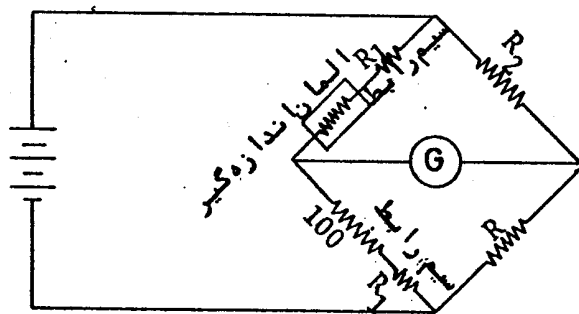
شکل ۳ - دماسنج مقاومتی جنس و نوع لوله محافظ به شرایط اطراف و نیز درجه حرارت محیط بستگی دارد. جنس آن ممکن است از برنج برای درجه حرارتهای کم (250°)، برنز و فولاد (برای درجه حرارت های متوسط $400-600^{\circ}$) و یا آلیاژهای کرم نیکل و غیره برای درجه حرارت های زیاد انتخاب گردد.

جنس و مقاومت سیم های رابط در اندازه گیری درجه حرارت موثرند. بطور کلی مقاومت سیم های رابط باید کم باشد. جدول ۶ جنس سیم های رابط را در موارد مختلف مشخص میکند.

ملاحظات	جنس سیم رابط	حد بالای اندازه گیری دما	المان اندازه گیر
مقاومت الکتریکی کم در سیم رابط	مس	۱۵۰	نیکل
مقاومت الکتریکی کم در سیم رابط	نقره	۴۰۰	پلاتین
مقاومت سیم های رابط باید معلوم باشد	کرم-نیکل	۸۵۰	پلاتین

جدول ۶ - کاربرد انواع سیم های رابط در دماسنج مقاومتی

تغییرات مقاومت دماسنج مقاومتی توسط پل اندازه گیری می شود. در اندازه گیری باید مقاومت سیم های رابط از مقدار معینی تجاوز ننماید. و حتی المقدور طول سیم ها کوتاه باشد تا اثر درجه حرارت در آنها کم باشد. برای خنثی کردن اثر مقاومت سیم های رابط از سیستم چهار سیم استفاده میشود (شکل ۴).



شکل ۴ - پل اندازه گیری در دماسنج مقاومتی

همانطور که قبلاً اشاره شد جنس لوله محافظ به شرایط محیط (شرایط مکانیکی و شیمیائی) بستگی دارد . اگر شرایط مکانیکی یا شیمیائی سخت باشد پوشش باید محکم باشد در اینصورت ثابت زمانی اندازه گیر (τ) که از رابطه زیر بدست می‌کید، زیاد میشود :

$$\Delta R(S) = \frac{k \Delta T(S)}{1 + \tau S} \quad (5)$$

ثابت زمانی دماسنج مقاومتی ممکن است از چند ثانیه تا چند دقیقه باشد .

۲۰۳۰۱۲- ترمیستور:

همانطور که مقاومت فلزات در اثر تغییر درجه حرارت تغییر مینماید و این تغییر اساس کار دماسنج مقاومتی را تشکیل میدهد، مقاومت نیمه هادیها نیز در اثر تغییرات درجه حرارت تغییر مینماید و این امر اساس کار نوع دیگری دماسنج را تشکیل میدهد که موسوم به ترمیستور (Thermistor) است .

ترمیستر مشابه دماسنج مقاومتی است با این تفاوت که المان اندازه گیر آن از جنس نیمه هادی، مثلاً " اکسیدهای منگنز، نیکل و کبالت ، میباشد . مقاومت نیمه هادیها تابعی غیرخطی از درجه حرارت میباشد :

$$R = R_0 e^{\frac{A}{T}} \quad (6)$$

که در رابطه فوق R_0 مقاومت نیمه هادی در دمای مرجع و R مقاومت آن در دمای T میباشد. همانطور

که ملاحظه میشود با افزایش دما مقاومت نیمه هادی کاهش مییابد. ضریب β در رابطه (۶) در حدود ۳۹۰۰ تا ۳۴۰۰ میباشد از اینرو تغییرات مقاومت نیمه هادی در مقایسه با تغییر مقاومت المان اندازه گیر دماسنج مقاومتی در اثر تغییرات دما بسیار بزرگتر است یعنی :

$$(۷) \quad \left| \left(\frac{\partial R}{\partial T} \right) \right|_{\text{ترمیستر}} > \left| \left(\frac{\partial R}{\partial T} \right) \right|_{\text{مقاومت فلزی}}$$

ولی پایداری مقاومت فلزی بیشتر از پایداری نیمه هادیهاست.

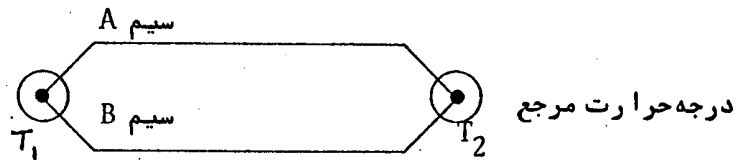
ترمیستر برای اندازه گیری دماهای پائین (300°C تا 100°C) بکار میرود و بعلت کوچک بودن تقریباً " درهرجا میتوان از آن استفاده نمود. عیب این نوع دماسنج آنستکه هر یک از آنها باید بطور جداگانه کالیبره شود.

۳-۳-۱۲- ترموکوپل :

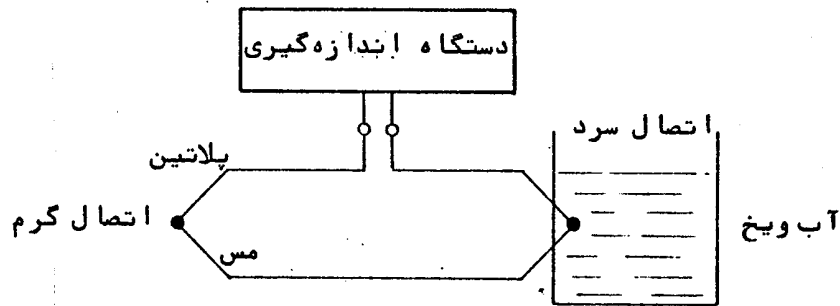
اگر مداری شامل دو سیم از دو ماده مختلف که از دو انتها به یکدیگر متصل میباشند، تشکیل شده باشد و محل های اتصال در دماهای متفاوت قرار داشته باشد جویانی در آن ایجاد میشود که مقدار آن به اختلاف دمای محل اتصال سیم ها بستگی دارد. این پدیده اساس کار نوعی وسیله اندازه گیری درجه حرارت است، موسوم به ترموکوپل را تشکیل میدهد.

براین اساس برای اندازه گیری درجه حرارت یکی از محل های اتصال دو سیم ترموکوپل در درجه

حرارت ثابتی که درجه حرارت مرجع نامیده میگردد قرار داده میشود و محل اتصال دیگر در محیطی که اندازه گیری دمای آن مورد نظراست قرارداده میشود (شکل ۵). درجه حرارت مرجع میتواند هر مقداری داشته باشد. یکی از دماهای مرجع متداول دمای صفر درجه است که در این حالت محل اتصالی که در دمای مرجع قرار میگیرد و موسوم به اتصال سرد (cold junction) است در مخلوط آب و یخ قرارداده میشود (شکل ۶).



شکل ۵ - ترموکوپل



شکل ۶ - اندازه گیری دما نسبت به صفر درجه

هر دو فلزی که بعنوان ترموکوپل بکار روند و نقطه اتصال آنها حرارت داده شود تولید ولتاژی متناسب با درجه حرارت مینماید. این ولتاژ نیروی الکتروموتوری، به جنس فلزات مسورد استفاده در ترموکوپل بستگی دارد. برای دقت بیشتر در ترموکوپل فلزاتی بکار میروند که

ولتاژ زیادی تولید نمایند. جدول ۷ مشخصات انواع ترموکوپلهائی را که مورد استفاده قرار میگیرند معرفی مینماید. باید که ولتاژ ایجاد شده در ترموکوپل مقدار کم است بعنوان مثال در ترموکوپلی از جنس پلاتین-وقتیکه درجه حرارت از 700°C به 800°C تغییر مینماید ولتاژ تغییراتی حدود 50 mV مییابد.

جنس سیم ها	محدوده کارکرد $^{\circ}\text{C}$	دقت ذاتی $^{\circ}\text{C}$	کاربرد
پلاتین - پلاتین با ۱۰% رودیوم	1450° تا 0°	۰/۱	مواردیکه دقت زیاد در دماهای با لالازم است و نیز بعنوان استاندارد درگاه لیبره کردن
پلاتین - پلاتین با ۱۳۱ رودیوم	1450° تا 0°	۰/۱	
کرمیل - آلومیل	1100° تا -200°	۰/۵	کنترل و اندازه گیری دما در کوره های تجارتي
کرمیل-کنستانتان	1000° تا -100°	۰/۵	
آهن-کنستانتان	750° تا -200°	۰/۵	
مس-کنستانتان	350° تا -200°	۰/۲	کنترل و اندازه گیری دما در کوره های تجارتي

جدول ۷ - مشخصات انواع ترموکوپلهای

معمولا دو سیم ترموکوپل به یکدیگر لحیم میگردند ولی همواره نمیتوان آنها را لحیم نمود. درچنین مواردی برای اتصال دادن آنها به یکدیگر در سیم دو مجاورت یکدیگر تحت فشار قرارداده شده و یا گره زده میشوند.



شکل ۷ - اتصالات سیم های ترموکوپل

باعلت کم بودن ولتاژ ایجاد شده در ترموکوپل در بعضی موارد تعدادی ترموکوپل بصورت سری به یکدیگر متصل میگردند تا ولتاژ ایجاد شده در هر ترموکوپل با یکدیگر جمع شده و مجموعاً "ولتاژ بیشتری بدست آید. این مجموعه ترموپیل (Thermopile) نامیده میشود.

ترموپیل باید کوچک باشد تا خطاهای ناشی از بزرگ بودن اندازه که بعلت تاثیرات محیطی ممکن است بوجود آید، زیاد نباشد. از اینرو ترموکوپلهای تشکیل دهنده آن باید بهم نزدیک و سیم ها کاملاً از یکدیگر عایق باشند.

در ترموکوپل برای حفاظت سیم ها از زنگ زدگی و اکسیداسیون در اتمسفر در دماهای بالا و یا در بعضی از گازها و بخارها و نیز جلوگیری از خطای ناشی از این امر، استفاده از لوله های مناسب محافظ سیم ها ضروری است.

خصوصیات و مزایای عمومی این نوع دستگاه
اندازه گیری دما عبارتند از : الکتریکی بودن
سیگنال تولیدی، خطی بودن دستگاه، قابلیت
اندازه گیری دماهای خیلی بالا.

۴-۱۲- تغییر در قابلیت تشعشع :

هر جسمی که دمای آن بیش از صفر مطلق باشد مقداری انرژی
تشعشع مینماید. تشعشع اجسام بصورت متقابل است. به این
معنا که هر جسم انرژی تشعشع کرده و از اجسام اطراف
خود، انرژی تشعشع یافته را دریافت مینماید. مقدار
انرژی تشعشعی به دمای مطلق بستگی دارد و طبق قانون
استفان بولتزمان انرژی تشعشعی برابر است با :

$$E = \sigma \epsilon (T^4 - T_a^4) \quad (۸)$$

در رابطه فوق E انرژی تشعشع یافته خالص از جسمی با
دمای مطلق T_a است که در محیطی (در معرض تشعشع جسمی)
با دمای مطلق T_a است. σ ثابت استفان بولتزمان و ϵ
ضریب صدور جسم میباشد.

ضریب صدور برای اجسام مختلف، متفاوت میباشد در مورد
جسم سیاه ضریب صدور ماکزیم و $\epsilon = 1$ میباشد. جسم سیاه
جسمی ایده‌آل است که تمام انرژی را بصورت تشعشع از خود
مادر مینماید. در عمل کلیه اجسامی که درون حفره‌ای
قرار دارند بصورتیکه اشعه ورودی به آن حفره نتواند
از آن خارج گردد (مانند کوره ها) جسم سیاه مجسوم
میشود.

همچنانکه از رابطه (۸) ملاحظه میشود انرژی تشعشعی
در دماهای پائین بسیار ناچیز بوده و در دماهای بالا
مقدار آن با نرخ زیادی افزایش مییابد. از انیرو خاصیت

تغییر در قابلیت تشعشع در اندازه گیری دمای اجسامی که درجه حرارت آنها بسیار زیاد است مورد استفاده قرار میگیرد. روشهای اندازه گیری دما که براساس خاصیت تغییر در قابلیت تشعشع پایه گذاری شده اند موسوم به روشها تابش سنجی میباشند و برای اندازه گیری دماهای بیش از 600°C تا 5500°C بکار میروند. از آنجای که دماهای اندازه گیری شونده به این روش بسیار زیاد بوده و در مقابل آن Ta ناچیز بوده، در نتیجه تقریباً تمام انرژی تشعشعی ناشی از دمای اندازه گیری شونده است یعنی:

$$E \approx \sigma \epsilon T^4 \quad (9)$$

در روشهای تابش سنجی از دو خاصیت نورانی و حرارتی انرژی تشعشعی استفاده میشود. از اینرو در اندازه گیری درجه حرارت از دور روش تابش سنجی تشعشعی و تابش سنجی نوری استفاده میشود.

۱۰۴۰۱۲- تابش سنج تشعشعی:

تشعشع انرژی بصورت امواج الکترومغناطیسی بوده و طبق قانون پلانک حاصل ضرب طول موج و دما مقدار ثابتی است.

$$\lambda T = \text{Const.} \quad (10)$$

از اینرو تراکم انرژی تشعشعی با افزایش دما در طول موج های کوتاهتر حداکثر مقدار خود را دارد. همانطور که خواهیم دید برای تمرکز دادن انرژی تشعشع یافته از سیستم های نوری از قبیل عدسی و یا آئینه معر استفاده میشود که این سیستم ها، فیلترهای پائین گذر هستند. از اینرو

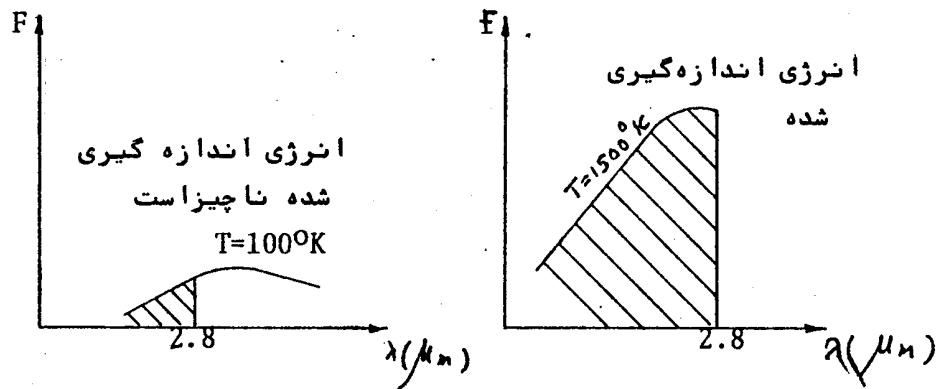
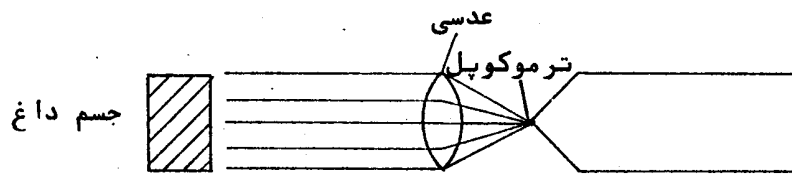
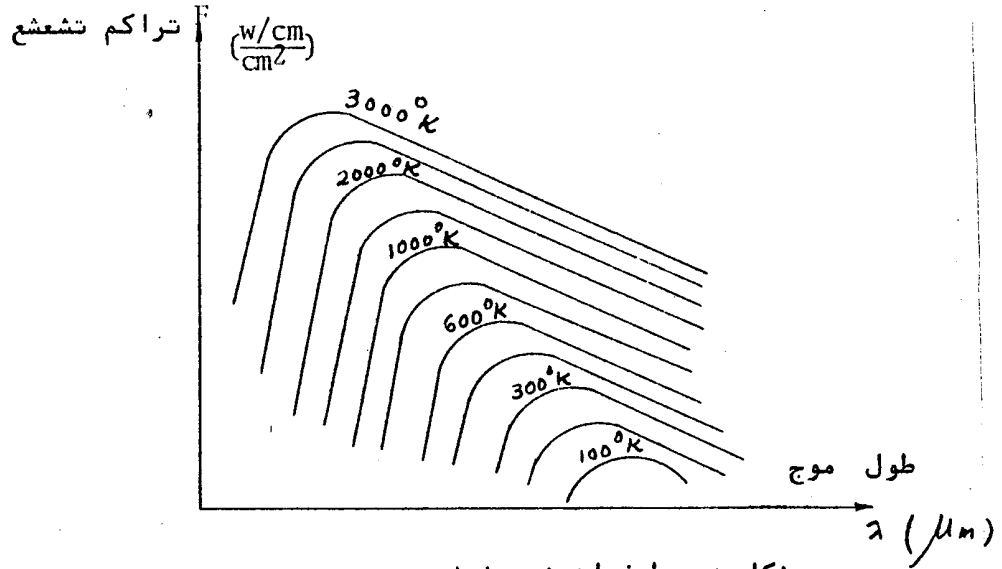
آن قسمت از انرژی تشعشعی که در اندازه گیری
دما مورد استفاده قرار میگیرند طول موجهای
کوتاه میباشند.

در تابش سنج ایده‌آل انرژی تشعشعی در تمام
طول موج ها اندازه گرفته میشود یعنی انرژی
تشعشعی شرکت کننده در اندازه گیری دما عبارت
است از :

$$E = \int_0^{\infty} F(\lambda) d\lambda \quad (11)$$

اما همانطور که گفته شد تمام انرژی فوق
اندازه گرفته نمیشود و فقط انرژی هائی که
طول موج آنها در محدوده طول موجهای عبور
کننده از سیستم نوری (عدسی یا آئینه مقعر)
است اندازه گیری میشود. سیستم های نوری موج
با طول موج کمتر از $2/83$ را از خود عبور میدهند
(شکل ۱۰).

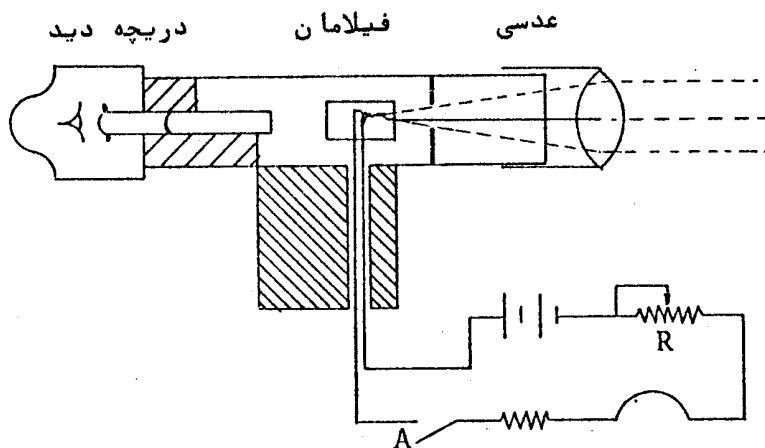
در تابش سنج تشعشعی ، انرژی تشعشعی از جسم
بوسیله عدسی یا آئینه مقعر متمرکز میشود. در
کانون عدسی یا آئینه مقعر که تراکم انرژی
بیشترین مقدار را داراست یک وسیله دریافت
انرژی مثلا " ترموپیل قرار دارد که در اثر
دریافت انرژی حرارتی ، سیگنال الکتریکی ایجاد
مینماید. (شکل ۹) ولتاژ ایجاد شده متناسب
با انرژی تشعشعی و در نتیجه متناسب با توان
چهارم دمای اندازه گیری شونده است. از اینرو
این سیستم اندازه گیری درجه حرارت ، غیرخطی
است.



در این نوع تابش سنج آن قسمت از طیف تشعشعی در اندازه گیری درجه حرارت شرکت دارند که قابل رویت باشند. محدوده طول موج طیفهای قابل رویت محدود کوچکی است (امواج با طول موج $0.4 \mu m$ تا $0.75 \mu m$) مقدار انرژی اندازه گیر شونده بوسیله این روش عبارتست از:

$$E = \int_{0.4}^{0.75} F(\lambda) d\lambda \quad (12)$$

این نوع تابش سنج براساس مقایسه نوری عمل نموده و از اینرو به تابش سنج نوری موسوم است. تابش سنج نوری از یک رشته سیمی تشکیل شده که در مداری الکتریکی قرار دارد. رشته سیمی مزبور از طریق یک سیستم نوری (مانند عدسی) در زمینه محیط یا جسمی که اندازه گیری دمای آن مورد نظر است قرار دارد. (شکل ۱۱) همانطور که در شکل ۱۱ نشان داده شده است این سیستم بدو صورت میتواند مورد استفاده قرار گیرد. درحالتی که سوئیچ A بسته است با تغییر مقاومت R جریان الکتریکی گذرنده از فیلامان (رشته سیمی) تنظیم میگردد. در اثر عبور جریان از فیلامان، فیلامان ملتهب شده و از خود نور ساطع مینماید. عمل تنظیم جریان الکتریکی در مدار تا زمانی که نور ساطع از فیلامان و محیط یا جسمی که اندازه گیری دمای آن مورد نظر است ادامه مییابد. زمانی که هر دو یک نور با طول موج یکسانی ساطع نمایند درجه حرارت آن دو برابر بوده و فیلامان در زمینه آن که همان محیط یا جسم است که دمای آن قابل اندازه گیری میباشد، دیده نمیشود. در این حالت مقاومت R و یا جریان الکتریکی گذرنده در مدار معیاری از درجه حرارت است.



شکل ۱۱ - تابش سنج نوری

دستگاههای تابش سنج برای اندازه گیری دماهای بالا (600°C تا 5500°C) بکار میرود و دقت آن در صورتیکه تصحیح ضریب صدور در نظر گرفته شود $\pm 5^{\circ}\text{C}$ است. تصحیح ضریب صدور شامل دو جزء است. یک جزء مربوط به ضریب صدور جسم داغی است که دمای آن اندازه گیری میشود و ضریب صدور آن $\epsilon = 1$ نیست و دیگر آنکه در مسیر عبور انرژی تشعشعی و رسیدن به سیستم دریافت کننده انرژی، مقداری از آن توسط دریچه های ورودی حفره ای که سیستم دریافت کننده انرژی در آن قرار دارد و نیز بخار موجود در هوا جذب میگردد و باید برای این مسئله نیز ضریب صدور تصحیح گردد.

ثابت زمانی دستگاههای تابش سنج به سیستم دریافت کننده انرژی بستگی داشته و حداقل برابر 0.5 Sec میباشد. این نوع دستگاهها در موارد چون، فلزات مذاب در کوره یا ریخته گری، قطعات حرارت دیده در کوره و یا در هنگام نورد شدن، و تمام کوره ها برای اندازه گیری درجه حرارت بکار میروند.

اندازه گیری سطح یا ارتفاع مواد درون مخازن که بسیار متداول میباشد از زمانهای بسیار قدیم معمول بوده است. از اینرو در اندازه گیری سطح وسایل بسیار متفاوتی چون چوب یا میله اندازه گیری تا پیشرفته تریس دستگاههای تشعشی و رادیواکتیو مورد استفاده قرار میگیرد. برخی از وسایل اندازه گیری سطح در زمان های بسیار قدیم بکار برده میشد امروزه نیز بعلت سادگی و ارزانی در مواردیکه اندازه گیری توسط عامه مردم انجام میشود تقریباً " به همان صورت ابتدائی مورد استفاده قرار میگیرد (مانند میله اندازه گیری سطح روغن در موتورهای درون سوز).

روشهای اندازه گیری سطح بسیار متفاوت بوده و بطور کلی بدو صورت مستقیم و غیر مستقیم انجام میشود. در روشهای مستقیم از سیستم های شناور (در مورد جامدات که مسئله شناوری مصداق ندارد از روشهای مشابه چون روش الکترو- مکانیکی استفاده میشود) و یا لوله ها قابل رویت استفاده میگردد. در روشهای غیر مستقیم از اثر ارتفاع ماده بر کمیتی چون فشار، وزن، میزان انتقال حرارت، جذب تشعشعات و غیره استفاده میشود.

روشهای مستقیم بیشتر در مورد اندازه گیری سطح مایعات و روشهای غیر مستقیم معمولاً برای اندازه گیری سطح جامدات مورد استفاده قرار میگیرند. اندازه گیری سطح در مخازن بسته بوسیله روشهای مشابهی امکان پذیر است ولی بعلت شرایط هر مورد در شکل ظاهری وسایل اندازه گیری تفاوتی وجود دارد. روشها و طریقه های متداول اندازه گیری سطح عبارتند از:

الف - روشهای مستقیم :

- ۱- میله اندازه گیر
- ۲- لوله قابل رویت
- ۳- سیستم های شناور (مکانیکی - هیدرولیکی، بادی الکترومکانیکی)

ب - روشهای غیر مستقیم :

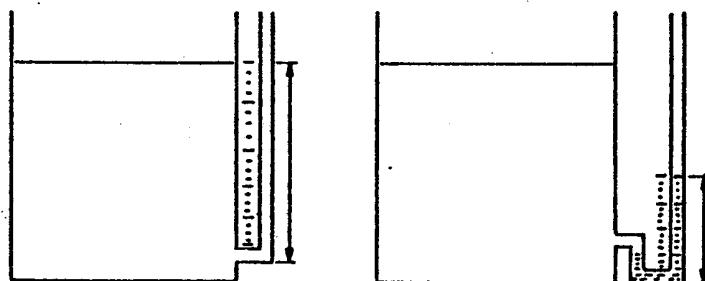
- ۱- طریقه خازنی
- ۲- طریقه هیدرواستاتیک ، فشار سیال
- ۳- طریقه رادیو اکتیو
- ۴- طریقه صوتی
- ۵- طریقه حرارتی

۲۰۱۳- لوله قابل رویت :

در این روش اندازه گیری سطح ، لوله‌ای قابل رویت (از شیشه یا مواد مصنوعی پلاستیکی قابل رویت) در کنار مخزنی که ارتفاع مواد داخل آن اندازه گیری میشود قرار دارد که به مخزن متصل است . این روش برای اندازه گیری ارتفاع مایعات در مخازن باز استفاده میشود . طبق قانون ظروف مرتبط ارتفاع مایع در مخزن و لوله اندازه گیری برابر خواهد بود . در مواردیکه ارتفاع مخزن زیاد باشد میتوان از سیالی سنگین تر از مایع درون مخزن در لوله اندازه گیر استفاده نمود که معمولاً این سیال جیوه است . در اینصورت مشاهده و اندازه گیری ارتفاع آسانتر خواهد بود (شکل ۱) .

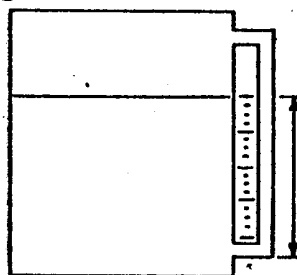
گاهی این روش در اندازه گیری جامدات و مایعات مورد مخازن نیز بکار میرود در اینگونه موارد لوله قابل رویت بصورت جداگانه وجود نداشته بلکه بر روی مخزن سیواری قابل رویت (شیشه‌ای) وجود دارد و ارتفاع مواد داخل مخزن مستقیماً دیده میشود .

این روش در مورد مخازن بسته نیز بکار میرود. در اینگونه موارد بعلت آنکه در اثر تغییر ارتفاع سیال درون مخزن، فشار مخزن تغییر مینماید، لوله قابل رویت از قسمت بالا به ناحیه‌ای از مخزن که هیچگاه ارتفاع سیال به آن نمیرسد متصل میگردد (شکل ۲).



ب : استفاده از سیال سنگینتر در لوله اندازه گیر
 الف : سیال در لوله اندازه گیر و مخزن یکی است

شکل ۱ - اندازه گیری ارتفاع توسط لوله قابل رویت



شکل ۲ - لوله اندازه گیر در مخازن بسته

۳-۱۲ - سیستم های شناور :

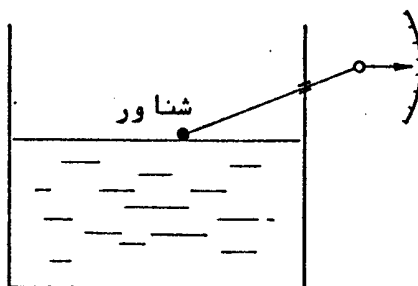
سیستم های شناور که در اندازه گیری ارتفاع مایعات بکار میروند از یک گوی تشکیل شده است که همواره بر روی سطح مایع شناور است. در نتیجه با تغییر سطح مایع موقعیت آن نیز تغییر مینماید. تغییر موقعیت گوی شناور

را بطرق مختلف میتوان اندازه گرفت و یا به سیگنال الکتریکی تبدیل نمود. براساس نحوه استفاده از تغییر مکان گوی، انواع مختلف سیستم های شناور بوجود آمده است که مهمترین آنها سیستم های مکانیکی و هیدرولیکی میباشند.

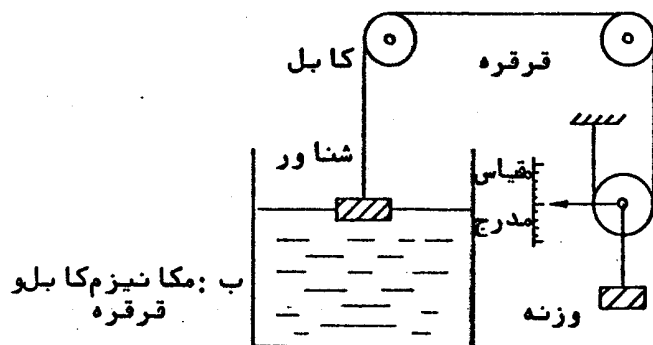
سیستم های شناور در اندازه گیری سطح مایعات بکار میروند. در اندازه گیری سطح جامدات از سیستم های مشابهی که الکترومکانیکی هستند استفاده میشود.

۱۰۳۰۱۳- سیستم های شناور مکانیکی :

مکانیزم های مختلفی برای استفاده از تغییر مکان گوی شناور وجود دارد که در شکل ۳ دو نمونه از آنها ملاحظه میشود. در شکل ۳ الف تغییر مکان شناور از طریق مکانیزم اهرم بر روی یک صفحه مدرج منعکس میشود. در شکل ۳ ب از سیستم کابل و قرقره برای این منظور استفاده شده است. این نوع سیستم اندازه گیری سطح علیرغم سادگی از دقت خوبی برخوردار است (حدود ۲٪) و درمداری که تغییرات ارتفاع مایع خیلی زیاد نیست بکار میرود.



۳-الف : مکانیزم اهرم



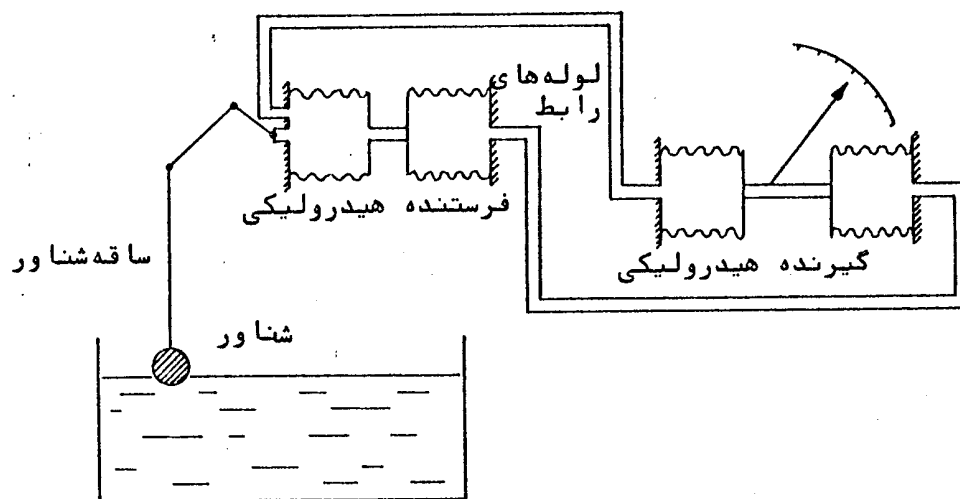
شکل ۳ سیستم های شناور مکانیکی

سیستم های شناور هیدرولیکی : ۲۰۳۰۱۳

سیستم های شناور هیدرولیکی که نمونه ای از آن در شکل ۴ ملاحظه میشود شامل فرستنده و گیرنده هیدرولیکی هستند که هر یک از دو دم تشکیل شده اند. موقعیت سطح مایع توسط ساقه شناور به فرستنده هیدرولیکی منتقل شده و از آنجا به گیرنده فرستاده میشود و بوسیله عقربه‌ای که بر روی گیرنده وجود دارد موقعیت شناور و در نتیجه سطح مایع بر روی صفحه مدرج اندازه‌گیری میشود.

در اثر انبساط دم ها ، دمای سیال درون آنها تغییر مییابد این امر برخواص سیال مزبور تاثير مینماید. برای حداقل کردن خطای ناشی از تغییر دما، دم دومی برای فرستنده و گیرنده در نظر گرفته شده است. علاوه بر این ، دم ها نقش فیدبک داشته و به پایداری سیستم کمک میکنند.

کارسیستم های شناور بادی نیز مشابه هیدرولیکی بوده از دم های بادی در آن استفاده میشود.

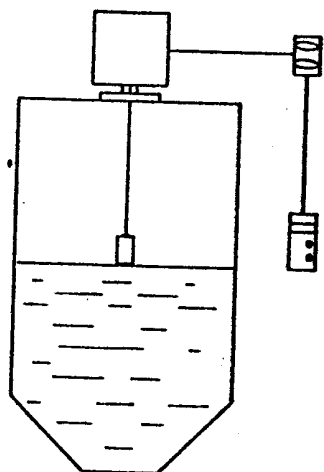


شکل ۴ - سیستم شناور هیدرولیکی

۳۰۳۰۱۳ - سیستم الکترومکانیکی :

سیستم های شناور در اندازه گیری سطح مایعات قابل استفاده میباشند. سیستم مشابه آن که الکترومکانیکی است قادر به اندازه گیری سطح جامدات نیز میباشد. در سیستم الکترومکانیکی وزنه ای که شامل المان حساس است از طریق کابل و بوسیله الکتروموتور در مخزن پائین آورده میشود تا المان حساس سطح ماده درون مخزن را حس نماید در این حالت پالی ایجاد میشود (توسط المان حساس) که بوسیله کابل پالسهای گیرنده ای انتقال مییابد. از مقایسه پالسهای رسیده و پالسهای مشابهی در سیستم الکترومکانیکی ایجاد میشود طول کابل که پالس در آن انتقال یافته اندازه گیری میشود.

این روش میتواند برای اندازه گیری و کنترل سطح مایعات و جامدات اعم از پودر و یا مواد بلوکه بکار رود.

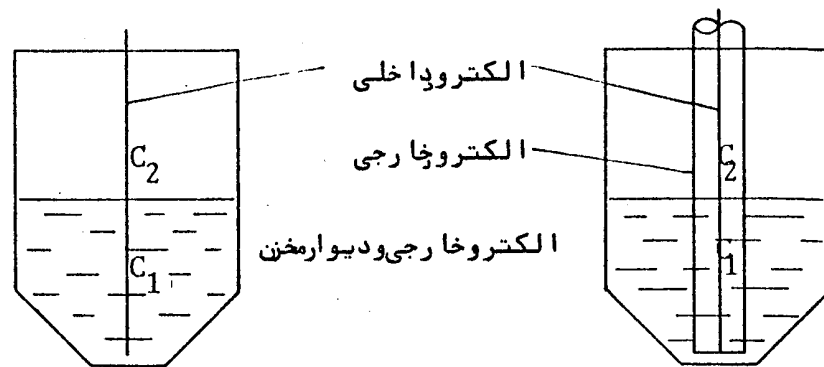


شکل ۵- سیستم الکترومکانیکی

۴-۱۲- اندازه گیر خازنی :

این نوع اندازه گیر سطح ، از خازنی تشکیل شده که شامل یک الکتروود داخلی و یک الکتروود خارجی است . در موارد زیادی دیواره مخزن الکتروود خارجی را تشکیل می دهد (شکل ۶- الف) در مواردی نیز از الکتروود خارجی اضافی استفاده میشود (شکل ۶- ب)

در اثر تغییر سطح ماده درون مخزن پرمیتوتیر نسبی خازن که شامل دو قسمت است (یکی قسمتی که عایق بین دو الکتروود هوا ، و قسمتی دیگر که عایق بین دو الکتروود ماده درون مخزن است) در قسمتی از مخزن که ماده وجود دارد تغییر مینماید در نتیجه با تغییر سطح ماده درون مخزن ظرفیت خازن تغییر مینماید . حسن عمده این نوع مخزن در اینست که با انتخاب شکل هندسی خازن میتواند دارای مشخصه خطی باشد . یعنی ظرفیت خازن بر حسب تغییرات ارتفاع بالا درون مخزن بطور خطی تغییر نماید . اندازه گیری سطح از طریق اندازه گیری تغییرات ظرفیت خازن و بوسیله پل اندازه گیری انجام میشود .



الف : سیستم یک الکترودی

ب : سیستم دو الکترودی

شکل ۶ - اندازه گیر خازنی

این دستگاه میتواند در اندازه گیری سطح مایعات هادی و یا غیر هادی مورد استفاده قرار گیرد.

۵-۱۳ - اندازه گیر هیدروستاتیک :

در این نوع اندازه گیر، از رابطه بین فشار حاصل از وزن ستونی از ماده و ارتفاع آن استفاده میشود. از این رابطه به طرق مختلف استفاده شده و از این جهت طرحهای مختلفی از این نوع اندازه گیر وجود دارد که از نظر شکل و ساختمان نیز متفاوت میباشند. سه طرح متداول از این نوع اندازه گیر عبارتند از:

الف : سیستم توزینی

ب : سیستم فشار

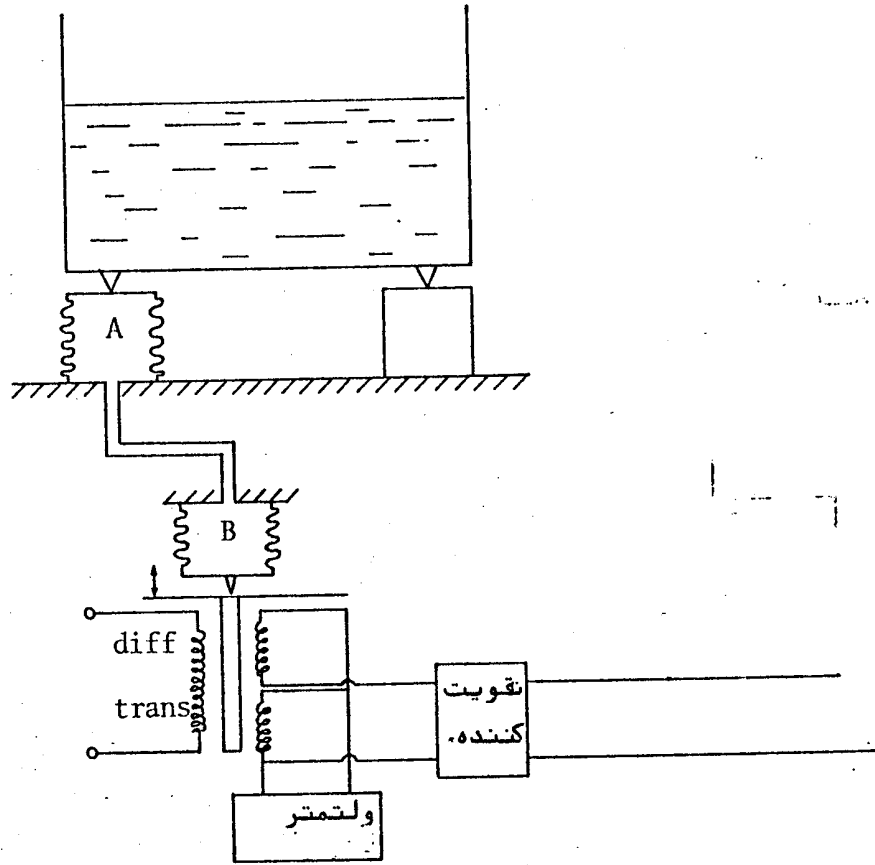
ج : سیستم حباب گاز

در سیستم توزینی که شا ی آن در شکل ۷ مشاهده میشود وزن ماده درون مخزن بعنوان معیاری از ارتفاع ماده اندازه گیری میشود همچنانکه در شکل ۷ نشان داده شده است وزن اندازه گیری شده را میتوان به سیگنال الکتریکی تبدیل نمود.

در این سیستم مجموع وزن ماده درون مخزن و وزن مخزن اندازه گیری میشود که با کالیبره کردن دستگاه بر حسب وزن مخزن و شکل هندسی آن میتوان سطح ماده درون مخزن را اندازه گرفت.

طرز کار این سیستم بدینصورت است که در اثر افزایش سطح ماده درون مخزن ، دم A منقبض شده و مقداری از سیال درون آن به دم B جریان مییابد. در اثر این امر انتهای آزاد دم B تغییر مکان یافته و سبب تغییر مکان هسته آهنی در مدار الکتریکی سیستم میشود که منجر به ایجاد سیگنال الکتریکی میگردد.

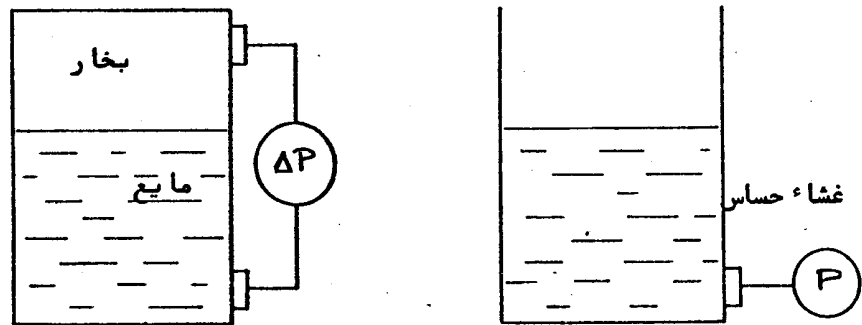
این سیستم برای اندازه گیری سطح تمام مواد اعم از مایع یا جامد (مایعات با غلظت زیادرا میتوان با این وسیله اندازه گرفت) مناسب است .



شکل ۷ - سیستم توزینی

۲۰۵۰۱۳ - سیستم فشار:

در این سیستم که مشابه سیستم توزینی است فشار استاتیک ماده درون مخزن که متناسب با ارتفاع آن است بوسیله یک غشاء حساس اندازه گیری میشود. غشاء حساس در قسمت پائین مخزن قرار دارد (شکل الف). در مخازن بسته لازم است برای تعیین ارتفاع ماده درون مخزن، فشار بخار قسمت بالای مخزن در نظر گرفته شده از این جهت در این حالت از اختلاف فشار سنج (فشارسنج دیفرانسیل) استفاده میشود (شکل ب).



ب: مخزن بسته

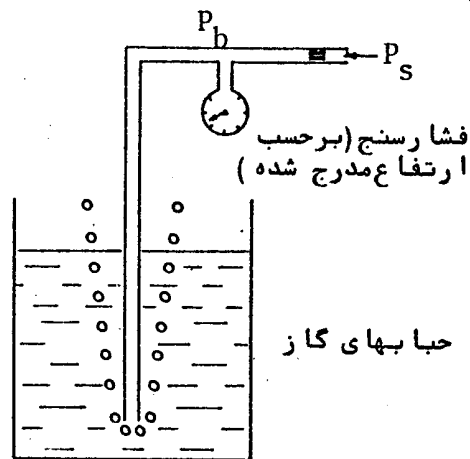
الف: مخزن باز

شکل ب - اندازه گیری سطح توسط سیستم فشار

۳۰۵۰۱۳ - سیستم حباب گاز:

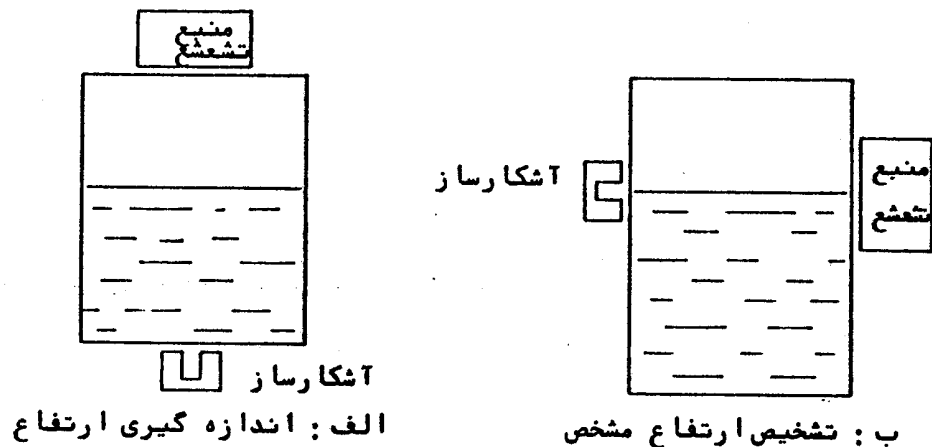
یکی از سیستم هائی که براساس فشار مایع ارتفاع آن را اندازه گیری مینماید سیستم حباب گاز است. در این سیستم گازی (که معمولاً هوا است) تحت فشار به قسمت پائین مخزن وارد میشود. حبابهای گاز به علت وزن مخصوص کمتر، تمایل به بالا رفتن در مایع و رسیدن به سطح آزاد آن دارند که در

مسیر فشار مایع با جریان حبابهای گاز مخالفت مینماید. در اثر مخالفت فشار مایع (کله متناسب با ارتفاع آن است) از حرکت حبابهای گاز فشار P_b افزایش مییابد. این فشار در حالتی که مایعی در مخزن موجود نیست برابر آتمسفر است. فشار P_b معیاری از ارتفاع مایع درون مخزن است. در این سیستم مایع نباید یخ بزند و نیز گاز قابل حل در مایع نباشد.



۶۰۱۲- اندازه گیر رادیواکتیو : شکل ۹- سیستم حباب گاز

دستگاه اندازه گیر رادیواکتیو از منبعی که اشعه تشعشع میکند و یک آشکار ساز (دتکتور) تشکیل شده است. معمولاً از سزیمویا کبالت بعنوان ماده رادیواکتیو استفاده میشود. ماده درون مخزن مقداری از اشعه γ را که به آن برخورد میکند جذب مینماید. مقدار جذب اشعه γ بمقدار ماده‌ای که در مسیر اشعه قرار داشته بستگی دارد. این نوع اندازه گیر برحسب آنکه برای اندازه گیری ارتفاع ماده درون مخزن و یا تشخیص ارتفاع مشخصی از ماده بدو صورتی که در شکل ۱۰ مشاهده میشود ممکن است نصب شود.

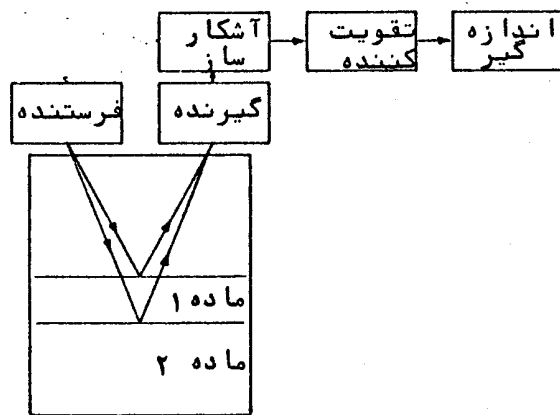


شکل ۱۵ - اندازه گیر رادیواکتیو

این روش برای اندازه گیری سطح در مورد تمام موادبخصوص موادی که تحت فشار و درجه حرارت بالا قراردارند مناسب میباشد.

۷-۱۳ - اندازه گیر صوتی :

در این روش توسط فرستنده‌ای امواج ماوراء صوت فرستاده میشود که در برخورد با سطح ماده درون مخزن مقداری از آن از ماده عبور کرده و بقیه منعکس میگردد. امواج انعکاسی توسط گیرنده‌ای دریافت شده و با موج فرستاده شده مقایسه میگردد. زمان تاخیر بین پالسهای فرستاده شده و پالسهای انعکاسی به ارتفاع ماده درون مخزن بستگی دارد.



شکل ۱۱- اندازه گیر صوتی

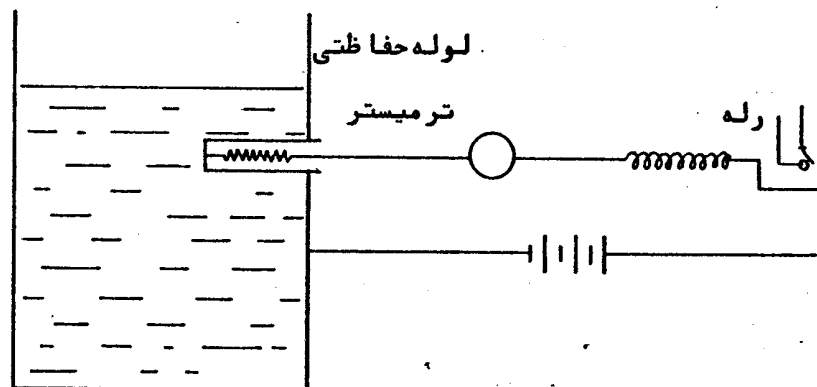
این روش برای اندازه گیری ارتفاع تمام موادی که خاصیت انعکاسی خوبی دارند مناسب میباشد. و میتوان در مواردی که لایه هائی از مواد مختلف بر روی هم قرار دارند برای تعیین ارتفاع هر یک از مواد، از این روش استفاده کرد.

۸-۱۳- اندازه گیر حرارتی:

یکی از روشهائی که برای تشخیص ارتفاع معینی از مایع بکار میرود روش اندازه گیر حرارتی است. شکل ۱۲ شمائی از این نوع اندازه گیر سطح را نشان میدهد. این سیستم از مداری شامل باطری، ترمیستر و رله تشکیل شده است. در اثر عبور جریان الکتریکی از ترمیستر، ترمیستر گرم میشود. حرارت ترمیستر به بدنه فلزی حفاظتی آن منتقل میشود. اگر سطح مایع درون مخزن بالاتراز محل قرارگرفتن ترمیستر باشد، حرارت لوله حفاظتی توسط مایع جذب شده و آنراخنک میکند. و در صورتیکه سطح مایع درون مخزن پائین تر از محل قرار گرفتن ترمیستر باشد دمای سطح لوله حفاظتی مرتباً افزایش مییابد و بعلت داغ بودن محیط ترمیستر (که همان لوله حفاظتی است) دمای ترمیستر افزایش مییابد. از آنجا که مقاومت ترمیستر با افزایش دما کاهش مییابد این امر سبب عبور جریان بیشتر از ترمیستر میگردد. عبور جریان بیشتر، حرارت بیشتر ایجاد نموده و در نتیجه دمای ترمیستر

باز هم افزایش مییابد این امر تا وقتی که جریان گذرنده از مدار به حد تحریک رله برسد ادامه مییابد.

عامل مهم در این سیستم تاخیر زمانی در عمل رله است. این تاخیر زمانی بوسیله ولتاژ باطری و مقاومت ترمیستر قابل تنظیم است.



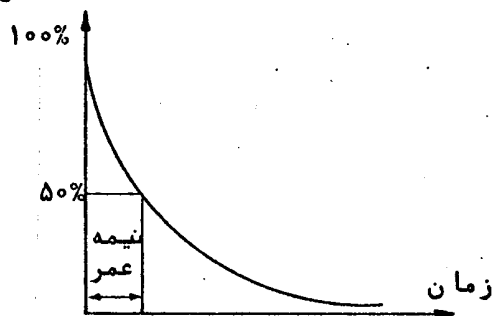
شکل ۱۲ - اندازه گیر حرارتی

یکی از دقیقترین روشهای اندازه گیری در پروسسهای صنعتی استفاده از رادیو ایزوتوپها است. رادیو ایزوتوپ—سوپ عنصری ناپایدار است که پس از یک سلسله قعل وانفعالات همراه با تشعشعات رادیو اکتیو بحالت پایدار میرسد.

معیار تشعشع یک ماده رادیو ایزوتوپ، زمان نیمه عمر آن عنصر است و آن مدت زمانی است که در طی آن مقدار تشعشع عنصر رادیو ایزوتوپ به نصف مقدار اولیه تشعشع آن کاهش مییابد.

در شکل ۱ تغییرات تشعشع مواد رادیو ایزوتوپ نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشاهده میشود یک عنصر رادیو ایزوتوپ همواره دارای تشعشعاتی میباشد که مقدار آن پیوسته در حال کاهش است.

درصد مقدار تشعشع



شکل ۱- تشعشعات مواد رادیو ایزوتوپ

در صنعت معمولاً از مواد رادیو ایزوتوپ با نیمه عمر زیاد (چند ماه و چند سال) استفاده میشود زیرا اولاً "مقدار تشعشع قابل اندازه گیری بوده ثانياً " مقدار تشعشع آنچنان سریع تغییر نکند که همواره به کالیبره کردن دستگاه نیاز باشد.

هر ماده رادیو ایزوتوپ ممکن است چهار نوع تشعشع داشته باشد :

الف : اشعه α : این اشعه شامل ذراتی با بار الکتریکی مثبت متشکل از دو پروتون و دو نوترون (هسته اتم هلیوم) است و ذرات آن نسبت به ذرات تشعشعات دیگر بسیار سنگین تر هستند. از این رو قابلیت نفوذ این اشعه بسیار کم است بطوریکه بوسیله یک ورقه کاغذ نازک متوقف میشود .

ب : اشعه β : این اشعه از ذرات الکترون با بار منفی تشکیل شده و بعلت کمی جرم ذرات ، قابلیت نفوذ آن زیاد است بطوریکه از چند متر هوا عبور میکند و توسط $\frac{1}{2}$ سانتیمتر چوب و یا $\frac{1}{4}$ سانتیمتر آلومینیوم متوقف میشود .

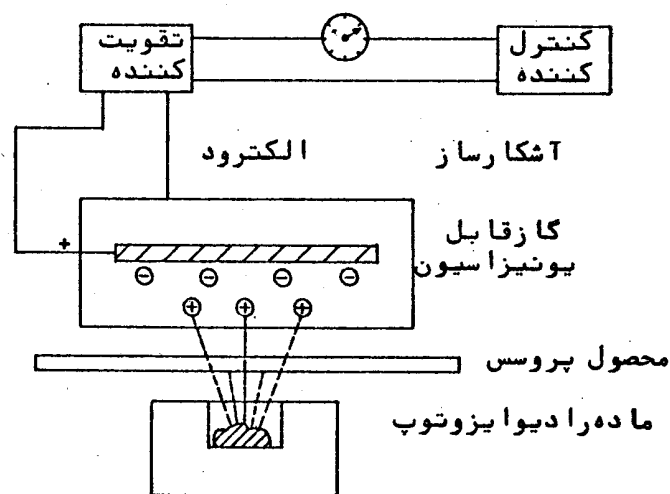
ج : اشعه γ : این اشعه شامل امواج الکترومغناطیس است . از این رو فاقد جرم و بار الکتریکی میباشد و با سرعت نور حرکت میکند . قابلیت نفوذ این اشعه بسیار زیاد و متوقف کردن آن بسیار مشکل است . متوقف کردن این اشعه بوسیله صفحات بسیار ضخیم سرب و یا سیمان امکان پذیر است . خاصیت جالب این اشعه نفوذ بسیار کم آن در مایعات است از این رو در اندازه گیری سطح مایعات از این اشعه استفاده میشود .

د : اشعه نوترونی : این اشعه شامل ذرات نوترون بوده و از این رو فاقد بار الکتریکی است . مورد استفاده این اشعه در پروسه های صنعتی بسیار محدود است .

در اندازه گیریهای صنعتی اغلب از اشعه β و در برخی موارد از اشعه α استفاده میشود. تشعشعات رادیواکتیو کاربرد فراوانی دارند که در این فصل به تشریح چند مورد اندازه گیری کمیات مختلف میپردازیم. در تمام موارد تشریح شده در این فصل به جز یک مورد که در آن تصریح شده اشعه α بکاررفته از اشعه β در اندازه گیری استفاده میشود.

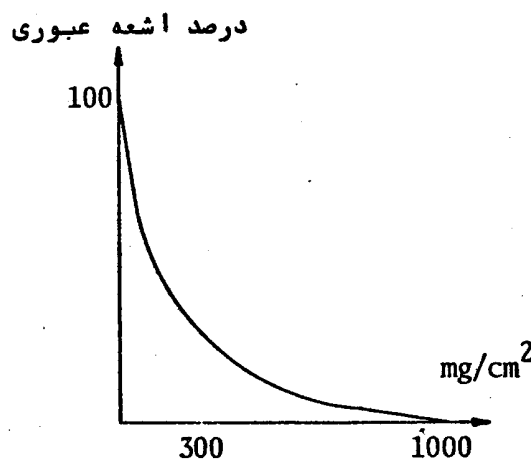
۲۰۱۴- اندازه گیری وزن و ضخامت:

شکل ۲ شمائی از یک اندازه گیر ساده رادیواکتیو را نشان میدهد. در این اندازه گیر، بوسیله یک ماده رادیوایزوتوپ اشعه β به محصول پروس تابانیده میشود. قسمتی از اشعه که از محصول پروس عبور کرده و به سطح آشکارساز میرسد گاز داخل آن رایونیزه میکند. یونیزاسیون گاز، به سروروی الکتروود داخل آشکار ساز اثر گذاشته و جریان بین الکتروود وزمین (بدنه آشکارساز) ایجاد مینماید. این جریان بسیار کم و در حدود ۹-۱۰ آمپراست. این جریان را پس از تقویت میتوان اندازه گرفت و از آن برای کنترل استفاده کرد.



شکل ۲- اندازه گیری با ماده رادیواکتیو

از آنجاکه اشعه عبوری از محصول پروسس به جرم آن بستگی دارد در صورتیکه ضخامت محصول پروسس ثابت بوده ولی توزیع جرم در آن یکنواخت نبوده و وزن مخصوص آن در نقاط مختلف متفاوت باشد سیستم شکل ۲ یک اندازه گیر وزن در واحد سطح میباشد. و در صورت ثابت و یکنواخت بودن توزیع جرم در محصول پروسس، این سیستم بصورت اندازه گیر ضخامت عمل میکند. نکته قابل توجه، غیرخطی بودن رابطه مقدار اشعه گذرنده از یک جسم و جرم آن در واحد سطح میباشد (شکل ۳) برای اجسامی با وزن در سطح بیش از 300 mg/cm^2 تغییرات اشعه گذرنده از جسم قابل تشخیص نیست.



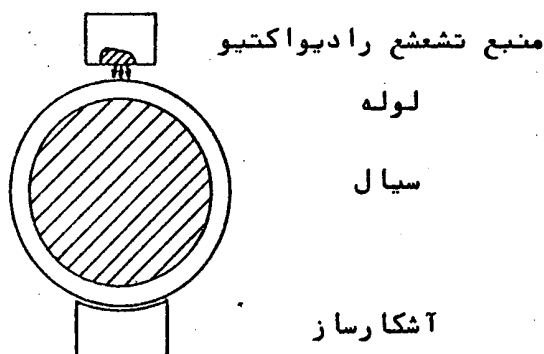
شکل ۳- تغییرات اشعه عبوری از جسم بر حسب وزن جسم

۳-۱۴- اندازه گیری چگالی :

همانطور که در قسمت قبل دیدیم سیستم شکل ۲ یک سیستم اندازه گیری جرم در واحد سطح است. در صورتیکه ضخامت جسم مورد اندازه گیری ثابت باشد از این سیستم بعنوان اندازه گیر چگالی میتوان استفاده کرد.

برای ثابت نگاه داشتن ضخامت جسم ، جسم را بصورت مایع و یا خمیری شکل تغییر حالت داده و در لوله‌ای با قطر ثابت و یکنواخت عبور داده میشود. و لوله مزبور بعنوان محصول پروسس در معرض تابش اشعه رادیواکتیو قرار داده میشود (شکل ۴). در این حالت بعلت ثابت بودن قطر لوله (جسمی که بصورت سیال درآمده تمام لوله را پرمیکند) چگالی سیال درون لوله اندازه گیری و کنترل میشود. باید توجه داشت که مقدار اشعه گذرنده از لوله به چسبندگی و تغییرات سرعت سیال و نیز فشار آن بستگی دارد.

در این مورد نیز مشابه قسمت قبل تغییرات اشعه گذرنده از لوله بر حسب چگالی سیال درون آن غیرخطی است .



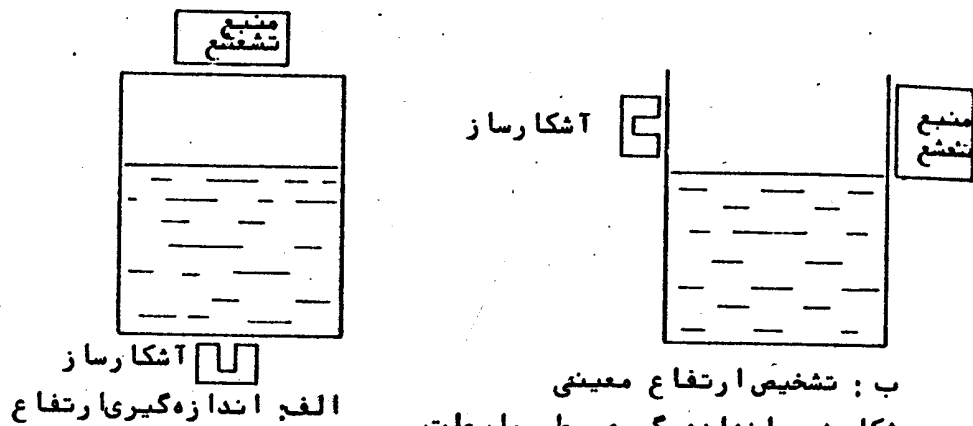
شکل ۴- اندازه گیری چگالی

۴۰۱۴- اندازه گیری سطح مایعات :

در مواردیکه ذکر شد از اشعه β در اندازه‌گیری‌ها استفاده میگردد. ولی در اندازه گیری و کنترل سطح مایعات از اشعه α استفاده میشود. اشعه α از اجسام جامد بخوبی عبور نموده و نفوذ آن در مایعات کم است از اینرو برای اندازه گیری مایعات (که درون ظرف قرار دارند) بسیار مناسب است. شکل ۵ شمائی از اندازه گیری سطح مایعات مخازن را نشان میدهد.

این روش برای اندازه گیری و کنترل پیوسته سطح مایعات و نیز تشخیص سطح مشخصی استفاده میشود. برحسب مسوارد مختلف منبع تشعشع و نیز آشکارساز در موقعیتهای متفاوتی ممکن است قرار گیرند.

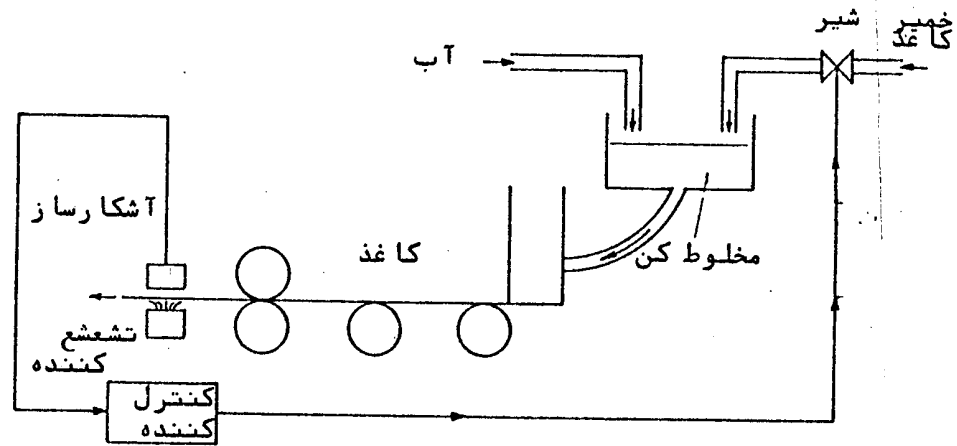
هم چنین در مواردی که مایعات مختلف با چگالی های متفاوت در یک مخزن بر روی یکدیگر لایه های متعددی را تشکیل میدهد برای اندازه گیری سطح لایه های مختلف مورد استفاده قرار میگیرد.



الف: آشکارساز
الغ: اندازه گیری ارتفاع

ب: تشخیص ارتفاع معینی
شکل ۵ - اندازه گیری سطح مایعات
۵-۱۲ - کاربردهای دیگر مواد رادیواکتیو:

یکی از موارد بسیار مهم مواد رادیواکتیو در صنعت استفاده از آن در اندازه گیری و کنترل پروسسها میباشد. بعنوان مثال نحوه کاربرد مواد رادیواکتیو در کنترل ضخامت ورقه کاغذ در شکل ۶ نشان داده شده است.

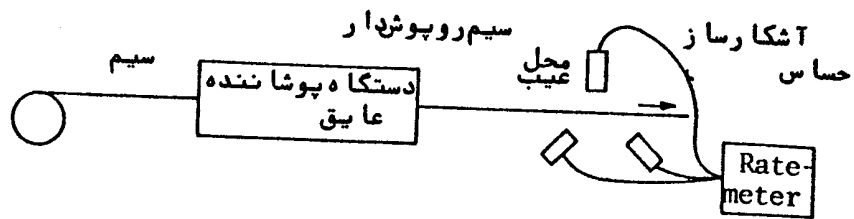


شکل ۶- کاربرد اشعه رادیواکتیو در کنترل ضخامت کاغذ

اما تمام کاربرد مواد رادیواکتیو در صنعت محدود به کنترل و اندازه گیری نیست بلکه در مواردی چون: تعیین محل عیب درجه مخلوط شدن دوسیال، یافتن روزنه در محفظه بسته، تغییرات سرعت سیلان یک سیال، آلودگی و غیره بکار برده میشوند. در این قسمت چند نمونه از این موارد کاربرد تشعشعات رادیواکتیو تشریح میگردد.

۱۰۵۰۱۴- تعیین محل عیب :

شکل ۷ شمائی از کاربرد اشعه رادیواکتیو را در تعیین محل عیب نشان میدهد. در این سیستم، سیم بوسیله دستگاه پوشاننده عایق، عایق پوش میشود. برای کنترل کیفیت عایق کاری از سیستم شکل ۷ استفاده میشود. عایق شامل مقداری ماده رادیوایزوتوپ است.

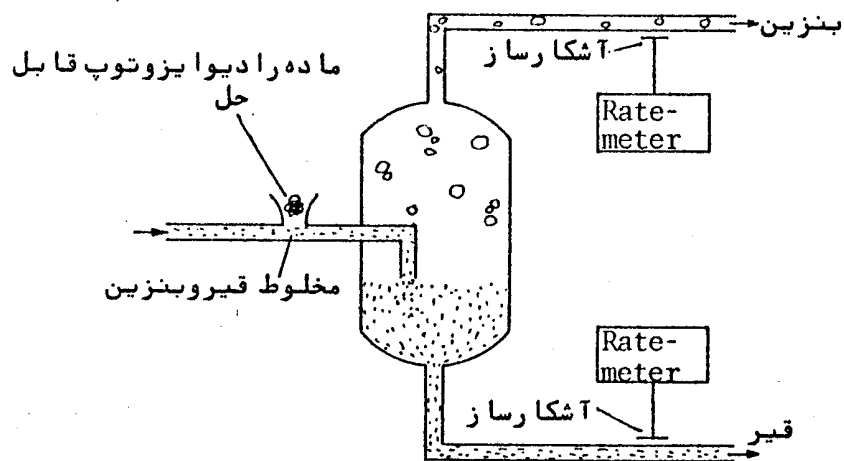


شکل ۷ - تعیین محل عیب به کمک تشعشعات رادیواکتیو

سیم روپوشدار از مقابل آشکارسازهای حساس و سریع (موسوم به جرقه زن) عبور میکنند. توسط مواد رادیوایزوتوپ موجود در عایق سیم، تشعشعات رادیواکتیو صورت میگیرد که بوسیله آشکارسازها جذب میگردد و متناسب با مقدار تشعشعات که متناسب با مقدار ماده رادیواکتیو موجود بر روی سیم است جریانی در دستگاه Ratemeter برقرار میشود. در محل عیب عایق مقدار ماده رادیواکتیو متفاوت از نقاط دیگر سیم بوده و جریان تغییر مینماید.

۲۰۵۰۱۴ - جدا کردن مواد :

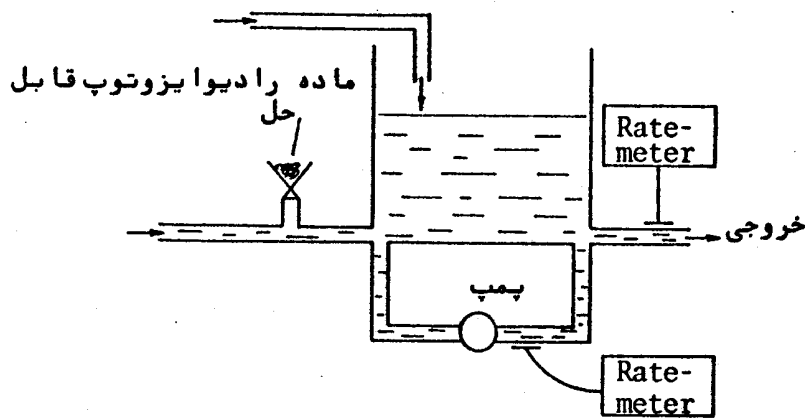
یکی دیگر از موارد استفاده تشعشعات رادیواکتیو، کاربرد آن در جدا کردن مخلوط قیرو بنزین است (شکل ۸). در این روش در مخلوط قیرو بنزین مقداری ماده رادیوایزوتوپ قابل حل میگردد. و مقدار ماده رادیوایزوتوپ توسط اندازه گیری تشعشعات آن در بخار بنزین و قیرو جدا شده اندازه گیری میشود. تغییر در جریان دستگاههای اندازه گیری که در لوله های خروجی قیرو بخار بنزین تعبیه شده است مصرف وجود بنزین در قیرو یا قیرو در بنزین است.



شکل ۸- جدا کردن قیرو بنزین

۳۰۵۰۱۴- درجه مخلوط شدن دو سیال :

مخلوط شدن دو سیال به طریقی که در شکل ۹ نشان داده شده است بوسیله تشعشعات رادیواکتیو قابل تشخیص و اندازه گیری است. در این روش دو دستگاه اندازه گیری مقدار تشعشعات رادیواکتیو یکی در مسیر خروجی مخزن اختلاط دو سیال و دیگری در مسیر اختلاط دو سیال قرار داده میشود در صورتیکه اختلاط دو سیال بطور کامل انجام شود دو دستگاه Rate-meter یک جریان را اندازه خواهند گرفت. فقط یکی از دو سیال با ماده رادیوایزوتوپ مخلوط میشود.



شکل ۹ - درجه مخلوط شدن دو سیال

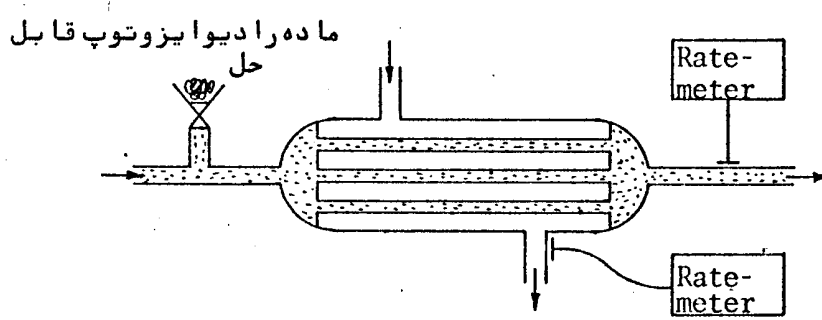
۴۰۵۰۱۴ - یافتن روزنه در محفظه بسته :

برای یافتن روزنه در محفظه های بسته یا لوله ها از تشعشعات مواد رادیواکتیو استفاده میشود به این منظور سیال موجود درون محفظه به مواد رادیوایزوتوپ آغشته میگردد و میزان تشعشعات آن اندازه گیری میشود هر تغییر درمیزان تشعشعات به مفهوم نشت سیال و وجود روزنه میباشد. بعنوان مثال در شکل ۱۰ نحوه یافتن روزنه در رادیاتور نشان داده شده است. در لوله های رادیاتور سیالی که مواد رادیوایزوتوپ در آن حل شده است جریان دارد. در جداره رادیاتور سیال دیگری جریان دارد. در مسیردو جریان سیالات دستگا ههای اندازه گیری تشعشعات رادیواکتیو نصب شده است. هرگاه دریکی از لوله های رادیاتور روزنه ای ایجاد شود جریان دو دستگا ههای اندازه گیری تغییر میکند. روزنه های بسیار کوچک با این روش قابل تشخیص است.

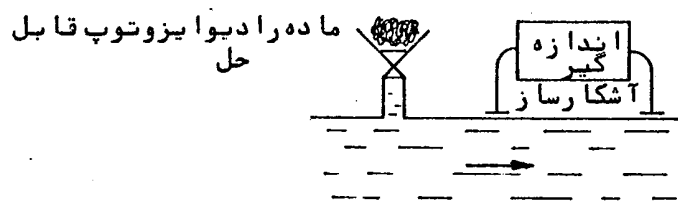
۵۰۵۰۱۴ - تشخیص تغییر سرعت سیال :

تغییرات سرعت سیلان سیالات را توسط مواد رادیو اکتیو میتوان تشخیص داد. برای این منظور در سیال مورد نظر مواد رادیوایزوتوپ حل می‌گردد و تشعشعات سیال در جریان که حاوی مواد رادیوایزوتوپ است اندازه گیری میشود (شکل ۱۱) هر تغییر در مقدار تشعشعات به مفهوم تغییر سرعت سیال است .

این روش برای تشخیص تغییرات سرعت سیال بطور مطلق و یا در مقاطع مختلف مناسب است .



شکل ۱۰ - یافتن روزنه



شکل ۱۱ - تشخیص تغییر سرعت سیال

فصل پنجم - مشخصات دستگاه‌های اندازه‌گیری صنعتی و روش‌های تست

۱-۱- کمیت‌های مشخص‌کننده دستگاه‌ها

برای تست، راه‌اندازی، کالیبره کردن و بطورکلی استفاده از دستگاه‌های اندازه‌گیری لازمست کمیت‌های مشخص‌کننده کارت دستگاه دقیقاً "شناخته شود". در این قسمت این کمیت‌ها را با در نظر گرفتن استانداردهای ISA و ANSI تعریف و تشریح می‌گردد.

۱- شرایط کار دستگاه (Operating Conditions)

هر دستگاه اندازه‌گیری در شرایط بخصوصی قابل استفاده می‌باشد و مشخصات ذکر شده برای دستگاه از طرف سازنده برای این شرایط می‌باشد. شرایط کار ممکن است محدود قابل تحمل دستگاه از نظر دمای محیط، فشار، لرزش، تغییرات منبع تغذیه دستگاه (مانند تغییر ولتاژ و فرکانس) و امواج الکترومغناطیسی باشد. شرایط کار خود به سه دسته بشرح زیر تقسیم بندی می‌شوند:

الف - شرایط کار مرجع (Reference) : شرایطی است که در آن مشخصات مربوط به دقت دستگاه ذکر می‌شود، بعنوان مثال اگر دقت دستگاهی از طرف سازنده در دمای محیط $T_R = 25\text{ C}^0$ برابر با 0.5% ذکر شود، برای چک کردن دقت باید در همین دما آزمایشات انجام شود.

ب - شرایط کار عادی (Normal) : شرایطی است که در آن دستگاه می‌تواند بطور عادی کار کند. معمولاً برای دستگاه‌ها تاثیر تغییر شرایط از شرایط مرجع در دقت اندازه‌گیری ذکر می‌شود. مثال دستگاهی می‌تواند کمیتی را در دمای محیط که از 5 C^0 تا 55 C^0 تغییر می‌کند را اندازه‌گیری نماید. دقت دستگاه در شرایط کار مرجع 25 C^0 برابر با 0.5% بود. و تاثیر تغییر برای محیط بر روی دقت 0.2% با زاویه 10 C^0 می‌باشد. در این صورت دقت دستگاه در دمای محیط 50 C^0 عبارتست از

$$(50-25) \times \frac{0.2}{10} \% + 0.5\% = 1\%$$

ج - شرایط کار حدی (Operative Limits) : شرایطی است که اگر دستگاه خارج از آن کار کند بدستگاه صدمه وارد می‌شود و یا مشخصات آن بطور دائمی تغییر می‌یابد. مثال: اگر شرایط حدی دستگاه فوق 30 C^0 تا 80 C^0 باشد و این دستگاه در محیطی با درجه حرارت بیش از 80 C^0 و یا کمتر از 30 C^0 واقع

شود مشخصات آن تغییر داتی می نماید

۲- ورودی و خروجی (Input and Output)

ورودی دستگاه سیگنال مورد اندازه گیری و خروجی آن سیگنال اندازه گیری شده می باشد ،
بعنوان مثال ، دستگاهی ممکن است دارای ورودی فشار برحسب PSI و خروجی جریان
برحسب mA^A می باشد

۳- محدوده (Range) وسعت (Span) اندازه گیری

محدوده یا رینج دستگاه عبارتست از حد پائین تا حد بالای مقدار کمیت که توسط دستگاه قابل
اندازه گیری می باشد . وسعت و یا اسپن تفاوت بین حد بالا و حد پائین قابل اندازه گیری -
می باشد . بعنوان مثال ، اگر دماسنج بتواند دما را از -20°C تا $+160^{\circ}\text{C}$ اندازه گیری
نماید میگوئیم محدوده یا رینج ورودی دستگاه از -20°C تا -160°C بوده و اسپن آن -
 $160 - (-20) = 180^{\circ}\text{C}$ می باشد . حد میانی (Mid Range) در این
دستگاه برابر با $+70^{\circ}\text{C}$ است .

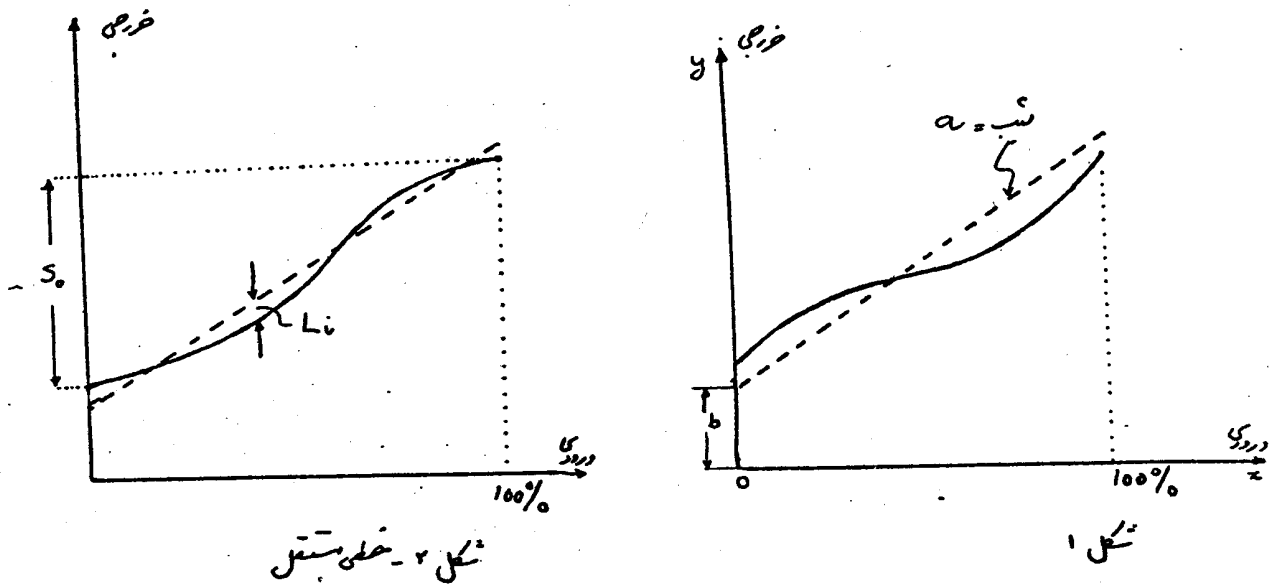
به حالتی که حد پائین کمتر از صفر باشد Elevated zero - range میگویند مانند دستگاهی
که از -25°C تا $+100^{\circ}\text{C}$ را اندازه میگیرد و یا دستگاهی که حد و آن از -100°C تا -20°C -
می باشد ، به حالتی که حد پائین بیش از صفر باشد Suppressed zero - range
میگویند ، مانند دستگاهی که حد و آن $+20^{\circ}\text{C}$ تا $+100^{\circ}\text{C}$ است در این حالت نسبت به حد
پائین به اسپن را (SR) Suppression ratio می نامند ، مثلاً "در دستگاهی که محدوده
آن $+20^{\circ}\text{C}$ تا $+100^{\circ}\text{C}$ است $SR = \frac{20}{80} = 0.25$ و درصد آن 25% است .

۴- منحنی کالیبراسیون (Calibration Curve)

چنانکه به ورودی دستگاه سیگنال اعمال نمائیم مقدار خروجی را با زاویه ورودیهای مختلف یادداشت
نمائیم جدولی بدست می آید که در یک ستون آن مقادیر ورودی و در ستون دیگر آن مقادیر خروجی
درج شده است ، و آنرا جدول کالیبراسیون می نامیم ، چنانکه منحنی تغییرات خروجی را برحسب تغییرات
ورودی رسم نمائیم منحنی بدست آمده منحنی کالیبراسیون می باشد .
توجه : منحنی های کالیبراسیون که در صفحات بعدی آمده است همگی بطور اغراق آمیز رسم
گردیده تا توضیح و فهم مطلب ساده گردد .

۵- خطی بودن (Linearity)

یک دستگاه اندازه گیری دارای مشخصه ورودی و خروجی خطی می باشد و اگر ورودی را با x و خروجی را با y نشان دهیم د و مورد دستگاه ایده ال داریم $(y = ax + b)$ این خط در شکل (۱) بطور نقطه چین رسم شده است ، در همین شکل منحنی واقعی که یعنی منحنی کالیبراسیون با خط پیرامون گردیده است . تفاوت بین این دو منحنی میزان غیر خطی بودن دستگاه را نشان می دهد که آنرا معمولاً "خطی بودن دستگاه" می نامند ، بر حسب اینکه پس از رسم منحنی کالیبراسیون خط مستقیم ایده ال چگونه ترسیم شود سه نوع خطی بودن بشرح زیر تعریف و مشخص میشود .

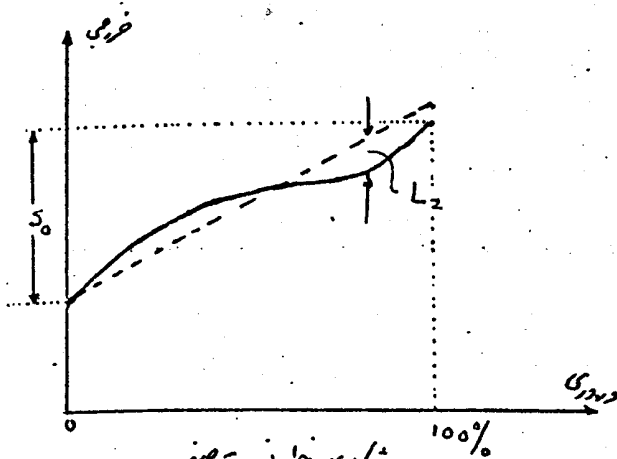


الف - خطی مستقل (Independent Linearity)

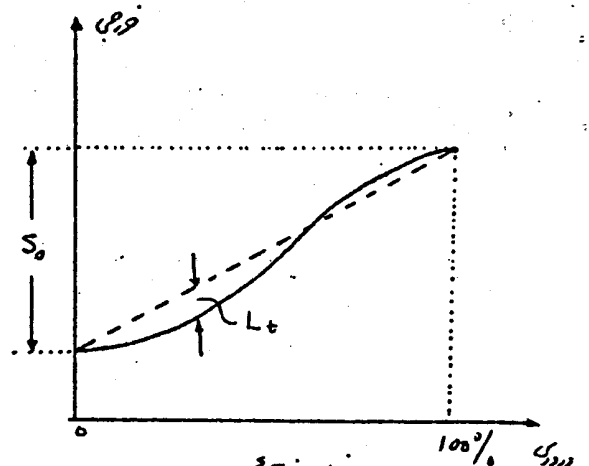
برای این کمیت خط مستقیمی طوری از منحنی کالیبراسیون عبور می دهد که فاصله عمودی بین منحنی کالیبراسیون و خط مستقیم حد اقل گردد (شکل ۲) حال فاصله حد اکثر بین منحنی کالیبراسیون و خط مستقیم را تعیین می کنیم و مقدار $\frac{L_i}{S_0} \times 100$ را درصد خطی مستقیم می نامیم که در آن S_0 (Calibration Span) مطابق شکل است .

ب - خطی انتهائی (Terminal - Based Linearity)

برای تعیین این کمیت د و انتهای منحنی کالیبراسیون را توسط خط مستقیمی بهم وصل می نمائیم و حد اکثر فاصله بین منحنی کالیبراسیون و خط مستقیم را تعیین می کنیم . (شکل ۳) نسبت $\frac{L_t}{S_0} \times 100$ را درصد خطی انتهائی می نامند .



شکل ۴ - خطی نسبت به صفر



شکل ۵ - خطی نسبت به ۱۰۰٪

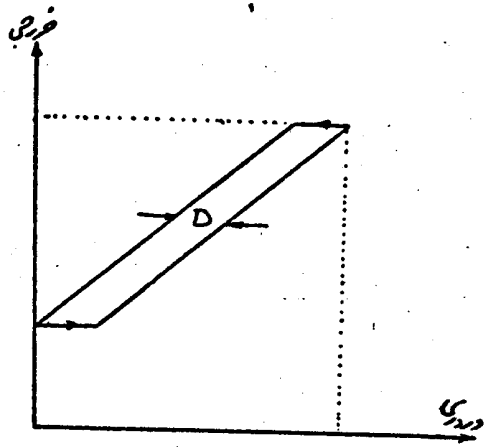
ج - خطی نسبت به صفر (Zero - Based Linearity)

از نقطه حد اقل منحنی کالیبراسیون خط مستقیم طوری رسم می‌نمائیم که فاصله عمودی بین منحنی کالیبراسیون و خط مستقیم رسم شد • حد اقل گردد • حال فاصله حد اکثر بین منحنی کالیبراسیون و خط مستقیم را تعیین می‌کنیم ، در این صورت $\frac{Lz}{S_0} \times 100$ درصد خطی نسبت به صفر میباشند •

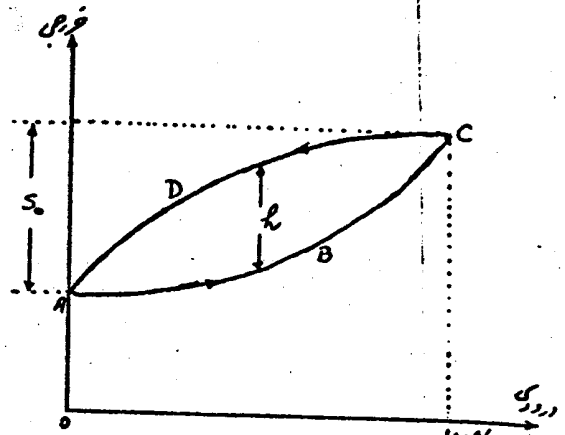
۶ - هیستریزیس (Hysteresis) و نوار ساکن (Dead - Band)

هنگامیکه ورودی اعمال شده به دستگاه را زیاد می‌کنیم خروجی نیز افزایش یافته و یک منحنی نظیر شکل ۵ را طی می‌کنند حال اگر ورودی را کم کنیم منحنی از طریق ABC برمی‌گردد بلکه مسیر دیگری مانند CDA را طی می‌کند این پدیده را هیستریزیس می‌نامند •
 اگر فاصله حد اکثر بین دو منحنی ABC و CDA برابر با h باشد $\frac{h}{S_0} \times 100$ درصد هیستریزیس می‌نامیم •

هنگامیکه جهت تغییر ورودی را عوض می‌کنیم علاوه بر هیستریزیس پدیده دیگری نام نوار ساکن بوجود می‌آید ، بدین ترتیب که در موقع کاهش (یا افزایش) ورودی تا میزان ، هیچگونه تغییری در خروجی دیده نمی‌شود (شکل ۶) ، لازم بتوضیح است که در شکل ۶ غیر خطی بودن و نیز هیستریزیس منظره نشده است و فرض شده دستگاه فقط باند ساکن دارد ، فاصله D در شکل (۶) نوار ساکن نام می‌شود و معمولاً " آنرا بطور درصدی از اسپین ورودی می‌سنجند •



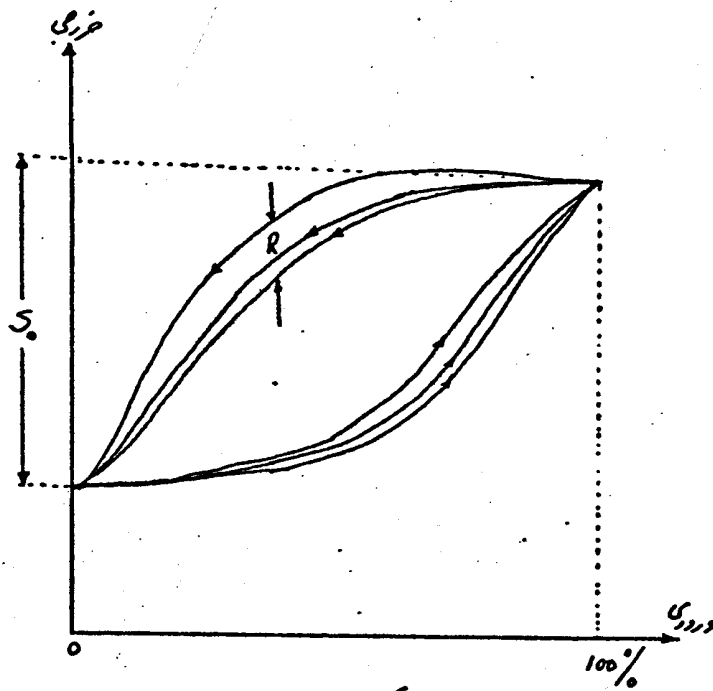
شکل ۶ - نوار سکن



شکل ۵ - همبستگی

۷- قابلیت تکرار (Repeatability)

اگر آزمایش‌تخیرات خروجی بر حسب ورودی را چندین مرتبه در شرایط کار یکسان تکرار نمائیم منحنی‌های مختلف بدست می‌آید، که در شکل (۷) نشان داده شده است، فاصله حد اکثر بین منحنی‌های افزایش (رفت) و یا منحنی‌های کاهش (برگشت) را قابلیت تکرار می‌نامیم و نسبت $\frac{R}{S_0} \times 100$ درصد آن می‌باشد. در شکل ۷ فاصله حد اکثر در منحنی‌های برگشت (کاهش) رخ داده ولی می‌تواند در منحنی‌های رفت (افزایش) نیز واقع شود باید توجه نمود که R شامل همبستگی نمی‌شود.



شکل ۷ - قابلیت تکرار

در یک دستگاه اندازه گیری دقت عبارتست از میزان نزدیک بودن کمیت اندازه گیری شده به مقدار استاندارد و یا مقدار آید آل آن. در شکل (۸) منحنی کالیبراسیون در تحت شرایط کار با تغییرات ورودی از صفر تا 100% و از 100% تا صفر رسم شده است (منحنی پر) منحنی آید آل با نقطه چین مشخص گردیده است. حد اکثر اختلاف مثبت یعنی a^+ و نیز حد اکثر اختلاف منفی یعنی a^- عدم دقت دستگاه را نشان میدهد، گرچه این مقادیر نشانگر عدم دقت دستگاه است ولی مرسوم است که آنها را بعنوان معیاری از دقت دستگاه می نامند.

اگر دو خط موازی و فاصله مساوی ϵ در بالا و پائین منحنی آید آل رسم نمائیم (خط چین در شکل ۸) و چنانکه منحنی کالیبراسیون در بین این دو خط واقع شود یعنی $|a^+| \leq \epsilon$ و $|a^-| \leq \epsilon$ باشد در این صورت میگویند دقت دستگاه $\pm \epsilon$ میباشد، دقت دستگاه که باین ترتیب تعریف میشود شامل هیستریزیس و نوار ساکن و قابلیت تکرار نیز میشود.

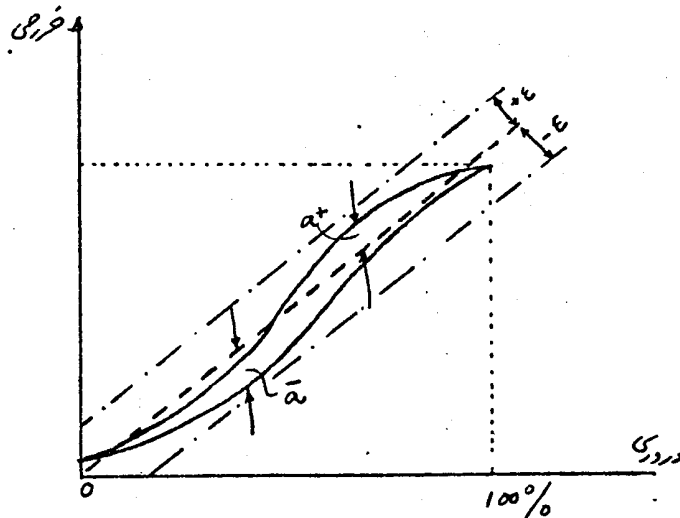
دقت دستگاه بیکی از روشهای زیر بیان میشود:

الف- بیان دقت بر حسب واحد کمیت مورد اندازه گیری، مثال اگر دستگاه اندازه گیری ارتفاع داشته باشیم و دقت آن $\pm 5\text{cm}$ ذکر شود در این صورت خطا اندازه گیری دستگاه هیچگاه بیش از 5 سانتیمتر نخواهد بود.

ب- بیان دقت بر حسب درصد اسپین: مثال اگر در مورد دستگاه اندازه گیری فشار دقت آن $\pm 0.5\%$ اسپین ذکر شود و اسپین دستگاه 300 PSI باشد در این صورت دقت آن در هر اندازه گیری $\pm 1.5\text{ PSI}$ میباشد.

ج- بیان دقت بر حسب حد بالای کمیت

د- بیان دقت بر حسب مقدار قرائت دستگاه: در این صورت برای تعیین دقت بر حسب کمیت در هر اندازه گیری باید مقدار اندازه گیری شده را در درصد دقت ضرب نمود.



شکل ۸- دقت

این کمیت عبارتست از تغییر ناخواسته در خروجی (یعنی بدون آنکه ورودی تغییر نماید) در طول مدت یعنی از زمان شرایط کار مرجع دستگاه. معمولاً "دررفت در حد میانی (Mid-range) دستگاه و برای مدت ۴۸ ساعت اندازه گیری میشود و مقدار قابل قبول آن کمتر از ۰.۱٪ اسپین خروجی است."

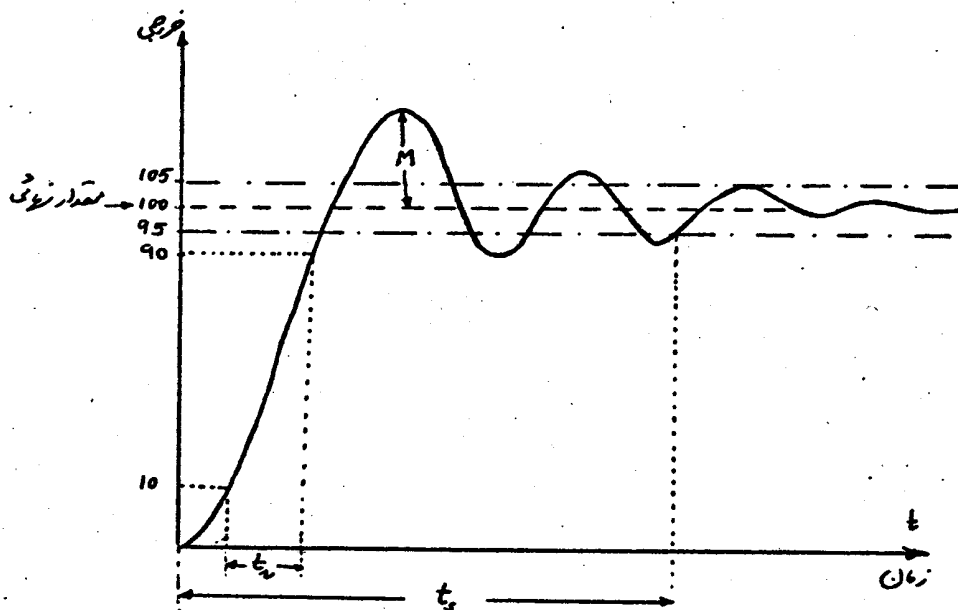
۱۰- قابلیت بازمیانی (Reproducibility)

چنانکه تحت شرایط کار معین و در زمانهای مختلف چندین بار ورودی را از مقدار حداقل و نیز مقدار اقل و اکثر به حد میانی برسانیم، و در هر آزمایش قادر به خروجی را یادداشت نمائیم بین حد اکثر و اقل تفاوتی وجود است که آن را قابلیت بازمیانی (Reproducibility) دستگاه می نامند. این کمیت، کمیت های هیستریزیس، نوار ساکن، دررفت و قابلیت تکرار را در بر میگیرد.

۱۱- پاسخ زمانی (Step Response)

کمیت هایی که تاکنون ذکر گردید مشخصات استاتیکی دستگاه میباشد، پاسخ زمانی یک مشخصه دینامیک دستگاه است، هنگامیکه به ورودی تغییر ناگهانی وارد نمائیم خروجی بتدریج با زمان تغییر یافته پس از مدتی به مقدار جدید خود میرسد. شکل (۹) این مطلب را نشان میدهد.

کمیت های زیر مشخص کنند ه پاسخ زمانی میباشد.



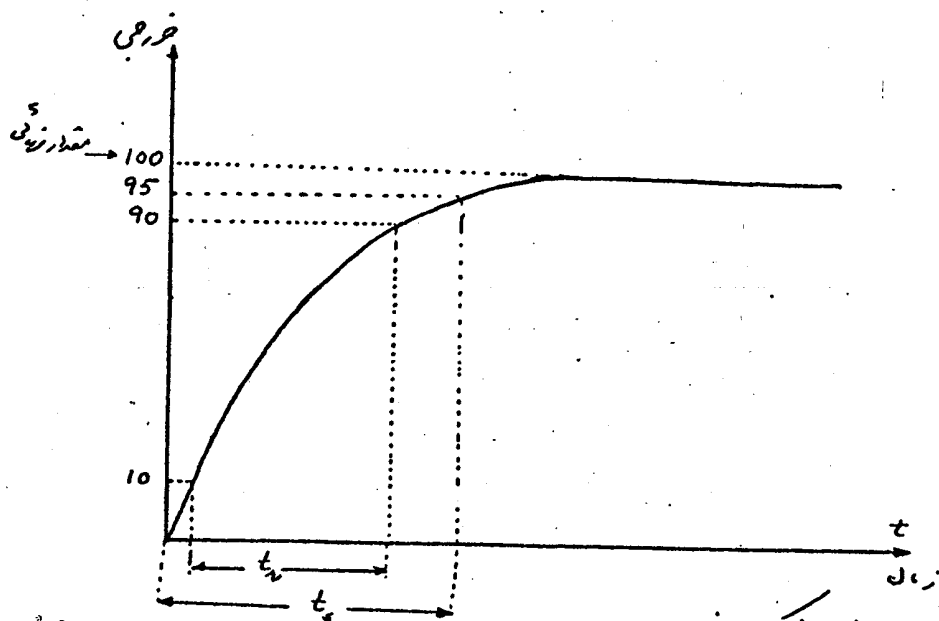
شکل ۹- پاسخ زمانی

الف- زمان نمو (Rise-time) و یا زمان پاسخ (Response time) عبارتست از مدت زمانی که خروجی از 10% به 90% مقدار نهایی برسد در شکل این زمان با t_r نشان داده شده است.

ب- زمان نشست (Settling Time) مدت زمانی است که پاسخ زمانی به نواری بعرض $\pm 5\%$ مقدار نهایی برسد و در داخل این نوار باقی بماند، در این شکل این زمان با t_s نشان داده شده است.

ج- حداکثر جهش (Maximum Overshoot) حداکثر مقداری که خروجی از تعداد نهایی قاصه میگیرد را جهش می نامند، این کمیت در شکل با M نشان داده شده است، اکثر دستگاههای اندازه گیری پاسخ زمانی اکسپونانسیل با معادله $y = a(1 - e^{-t/T})$ دارند که در آن a بستگی به دامنه ورودی و T را ثابت زمانی می نامند. منحنی این پاسخ در شکل (۱۰) رسم شده است برای چنین حالتی زمان نمو و زمان نشست را میتوان بر حسب ثابت زمانی بیان نمود بدین ترتیب که $t_r = 2.2 T$ و $t_s = 3 T$ میباشد.

در این حالت جهش وجود ندارد (صفر است).



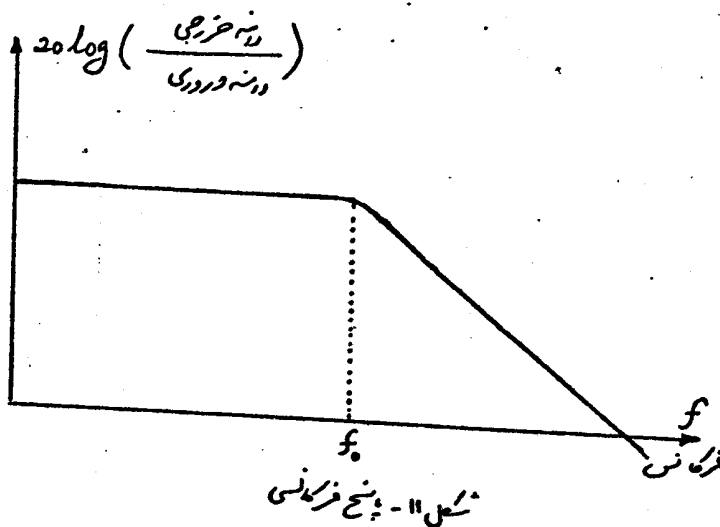
شکل ۱۰ - پاسخ زمانی اکسپونانسیل

پاسخ زمانی نیز یکی از مشخصات دینامیک دستگاه میباشد ، اگرچه ورودی دستگاه موج سینوس با فرکانس f اعمال نمائیم خروجی دستگاه نیز به شکل سینوس با زمان تغییر می کند حال اگر لگاریتم نسبت دامنه سینوس خروجی به دامنه سینوس ورودی را در فرکانسهای مختلف رسم نمائیم منحنی به شکل (۱۱) بدست می آید ، که آنرا مشخصه فرکانس دستگاه می نامند .

۱- عدد 20 در لگاریتم برای بیان نسبت بر حسب دسی بل db میباشد .

بدین ترتیب نسبت دامنه خروجی به دامنه ورودی تا فرکانس f_0 تقریباً ثابت بوده و اگر ورودی موج سینوس با فرکانس بیش از f_0 اعمال نمائیم دامنه خروجی تضعیف میگردد . f_0 را فرکانس گوشه ای Corner Frequency می نامند ، با توجه به این مطلب سیگنالهای توسط دستگاه قابل اندازه گیری صحیح میباشد که فرکانس آنها کمتر از f_0 باشد .

اگر پاسخ زمانی به شکل اسیوناسیل $a(1-e^{-t/T})$ باشد فرکانس گوشه ای با ثابت زمانی رابطه $f_0 = \frac{1}{2\pi T}$ دارد ، یعنی اگر یکی از کمیت های فرکانس گوشه ای f_0 یا ثابت زمانی T و یا زمان پاسخ tr مشخص باشد دیگر را میتوان بدست آورد .



مثالی از مشخصات دستگاه

در صفحه ضمیمه مشخصات سازنده دستگاه اندازه گیر فشار Pressure Transmitter Type KQ ساخت Baily آورده شده است و میتوان کمیت های داده شده در آنرا با تعاریف و توضیحات بالا مورد بررسی قرار داد .

آزمایشهایی که در این جاذب میگرد در برای تعیین مشخصات استاتیک دستگا ههای اندازه گیری باشد ، باین معنی که برای تعیین مشخصاتی مانند خطی بودن و هیستریزیس و غیره باید پس از اعمال ورودی بد ستگا ه با اندازه کافی صبر نمود تا خروجی دستگا ه بحالت نهائی (استاتیک) خود برسد ، نکات زیر را باید قبل از شروع آزمایش در نظر گرفت .

۱- دستگا ه مرجع که توسط آن مشخصات دستگا ه مورد آزمایش تعیین میشود ، بهتر است ده برابر دقیقتر از دستگا ه مورد آزمایش باشد ، ولی بهتر است جهت باید مشخصه دستگا ه مرجع سه برابر بهتر از مشخصه دستگا ه مورد اندازه گیری باشد . بعنوان مثال اگر دستگا ه مورد اندازه گیری دارای نوار ساکن (Dead - Band) 0.3% باشد بهتر است نوار ساکن دستگا ه مرجع 0.03% باشد ولی تا میزان 0.09% نیز قابل قبول است . در صورتیکه مشخصه دستگا ه مرجع بهتر از ده برابر یا بیشتر دستگا ه مورد اندازه گیری باشد میتوان آنرا ایده آل فرض نمود ، ولی در صورتیکه مشخصه دستگا ه مرجع بین سه تا ده برابر دستگا ه مورد اندازه گیری باشد باید غیر ایده آل بودن آنرا در هنگام تعیین مشخصه دستگا ه مورد اندازه گیری در نظر گرفت *

۲- تمام آزمایشها باید در شرایط کار عادی انجام شود ، مگر آزمایشاتی که در مورد آن شرایط کار مرجع لازم باشد .

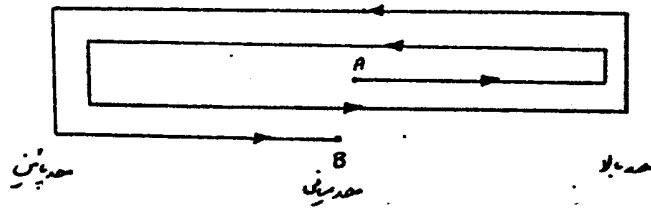
۳- در تمام آزمایشها باید دستگا ه بحالت سکون برسد ، سپس اندازه گیریها یادداشت شود .
۴- حداقل نقاط مورد آزمایش باید ۵ باشد ولی بهتر است بیش از ۵ نقطه آزمایش شود .
۵- نقاط مورد آزمایش باید در محدوده (Range) دستگا ه بطور نسبتاً مساوی پخش شود ، این نقاط باید شامل نقاطی بر روی حد پائین و حد بالا و نقاطی در نزدیکی این دو حد (بفاصله حدود 10%) باشند .

۶- قبل از شروع آزمایش باید با اعمال ورودی ، خروجی در جهت محدود دستگا ه رابطی نماید .

۷- در مدت آزمایش ضربه زدن بد ستگا ه و یا تحت لرزش در آوردن آن مجاز نباشد ، مگر آنکه آزمایش برای چنین شرایطی طرح شده باشد .

سیکل کالیبراسیون

- شرایط آزمایش باید مانند آنچه در بالا ذکر شده مهیا شود، آزمایشها باید از حد میانس (Mid range) شروع گردد و سپس ورودی و خروجی برای تغییرات در جهت افزایش و کاهش (هر کدام دو بار) مطابق شکل ۱۲ یادداشت گردد.
- (نقطه شروع و B نقطه ختم سیکل میباشد)



شکل ۱۲ - سیکل کالیبراسیون

جدول و منحنی کالیبراسیون

- برای آزمایشهای تعیین مشخصات دستگاه جدول و منحنی کالیبراسیون مانند آنچه در بخش (۱) ذکر گردید تهیه میشود، تنها از نظر دقت در تحلیل نتایج بدست آمده بجای مقدار خروجی، خطای معنی تفاوت خروجی از مقدار ایده آل تعیین و نسبت این تفاوت به اسپن ایده آل سنجیده میشود، برای روشن شدن مطلب فرض میکنیم دستگاه فشارمطمینان از 100 تا 500 Psi را اندازه گرفته ربا زاء آن ایجاد سیگنال هوایی (Pneumatic) از 3 تا 15 Psi مینماید. به ورودی دستگاه فشار 300 Psi اعمال شد. و خروجی مقدار 9.03 Psi را نشان میدهد، میخواهیم مشخصات ورودی و خروجی این نقطه که در جدول کالیبراسیون درج میشود را تعیین کنیم، در این نقطه درصد ورودی $\frac{300-100}{500-100} \times 100 = 50\%$ میباشد.
- برای این مقدار، خروجی باید بطور ایده آل $9 \text{ Psi} = (15-3) \times \frac{50}{100} + 3$ را نشان دهد، بنابراین تفاوت $0.03 \text{ Psi} +$ میباشد و خطا معادل $\frac{0.03}{15-3} \times 100 = 0.25\%$ میباشد. و در ستون خروجی جدول عدد $0.25 +$ را قرار دهیم.

فرض میکنیم برای دستگاه پس از طی سیکل کالیبراسیون و تعیین خطابه ترتیب بالا، جدول ضمیمه بدست آمده باشد، در این جدول ستون اول ورودی و ستونهای دوم تا هشتم خطا در دو

جهت افزایش و کاهش مثبت شده است ، ستون نهم و یازدهم متوسط مقدار افزایش و ستون دهم متوسط مقدار کاهش میباشد ، بالا خره ستون دوازدهم متوسط ستونهای نهم و دهم و یازدهم است .

از روی جدول کیفیت های مشخص کنند ه دستگاه بشرح زیر تعیین میگردد .

الف - دقت (Accuracy)

حد اکثر مقدار مثبت و منفی خطا از ستونهای دوم تا هشتم تعیین میگردد ، دقت دستگاهی که مقدار آن در جدول داده شده است از $+0.26\%$ تا -0.32% اسپن خروجی میباشد .

ب - نوار ساکن (Dead Band)

برای تعیین این کیفیت شرایط آزمایش را بشرح مندرج در مقدمه فراهم میآوریم ، حال بایست عملیات زیر را انجام داد :

- ۱- بتدریج ورودی به دستگاه آزمایش را زیاد می نمائیم تا آنکه اولین تغییر در خروجی ظاهر شود ، مقدار ورودی را در این موقع یادداشت می نمائیم .
- ۲- بتدریج ورودی را کم می کنیم تا اولین تغییر در خروجی محسوس شود در این حال مقدار ورودی را ثبت می کنیم .
- ۳- تفاوت بین ورودی در دو مرحله ۱ و ۲ بالا را بدست می آوریم ، این تفاوت مقدار نوار ساکن میباشد .
- ۴- آزمایش را برای چند ورودی مختلف تکرار می نمائیم و در هر آزمایش مقدار نوار ساکن را ثبت می کنیم ، حد اکثر مقدار بدست آمده در این آزمایشها نوار ساکن دستگاه میباشد .
معمولا "نوار ساکن بر حسب درصدی از اسپن ورودی ذکر میشود .

ج - دررفت (Drift)

پس از فراهم شدن شرایط آزمایش و در صورت لزوم منتظر ماندن برای گرم شدن دستگاه ، ورودی به مقدار 50% بدستگاه اعمال نموده و خروجی را یادداشت می کنیم ، دستگاه را بهمین حال بعدت معینی نگاه میداریم ، در اینصورت باید شرایط کار عادی حفظ گردد و تغییری در ورودی داده نشود ، تغییرات خروجی را در طول مدت آزمایش ثبت می کنیم ، حد اکثر تغییر در دررفت را مشخص میکند ، بعنوان مثال دررفت دستگاهی ممکن است در طی ۲۴ ساعت 0.1% اسپن خروجی باشد .

د- هیستریزیس (Hysteresis)

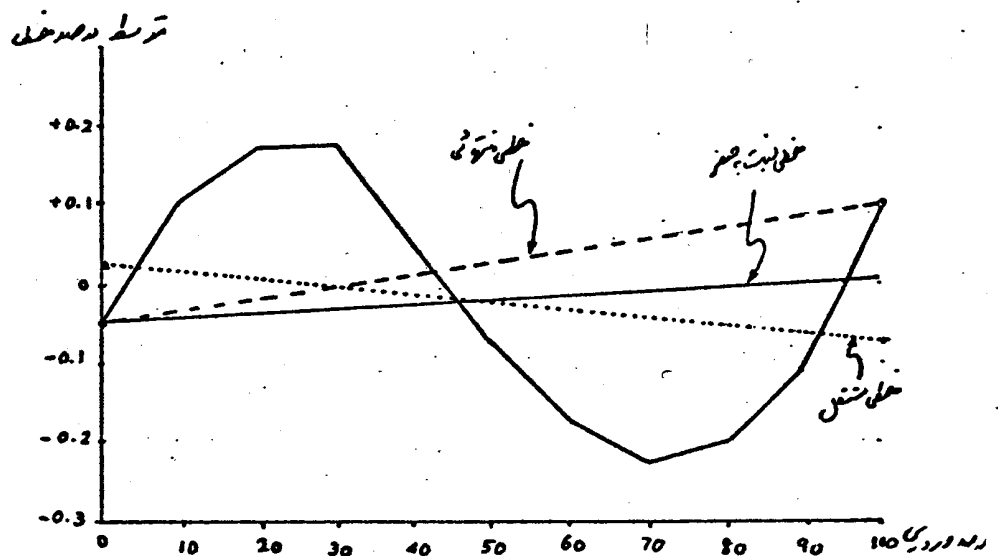
برای تعیین این کمیت از جدول کالیبراسیون استفاده می‌نماییم، بازه مقدار معین از ورودی حد اکثر و حداقل خطای خروجی را از جدول بدست می‌آوریم و تفاوت این دو را بدست می‌آوریم، هم‌چنین در ورودی‌های دیگر نیز حد اکثر و حداقل خطای خروجی و تفاوت بین این دو را مشخص می‌کنیم حد اکثر تفاوتی که بدین ترتیب بدست می‌آید مجموع هیستریزیس و نوار ساکن می‌باشد. در جدول کالیبراسیون ضمیمه حد اکثر تفاوت در مقدار ورودی 40% بوجود آمده است، بازه این مقدار ورودی، خطای خروجی حداقل 0.07% - و حد اکثر 0.15% + است، در این صورت تفاوت یعنی $0.22 = (-0.07) - 0.15$ مجموع هیستریزیس و نوار ساکن می‌باشد، حال اگر مقدار نوار ساکن بدست آمده در آزمایش (ب) را از این مجموع کم کنیم مقدار هیستریزیس بدست می‌آید.

ه- خط مستقل (Independent Linearity)

این کمیت از منحنی کالیبراسیون بدست می‌آید و برای تعیین آن بشرح زیر عمل می‌شود:
 ۱- از جدول کالیبراسیون مقدار متوسط خطا (ستون آخر جدول) را بر حسب ورودی رسم می‌کنیم (شکل ۱۳)

۲- خط مستقیمی طوری رسم می‌کنیم که حد اکثر فاصله بین خط و منحنی حد اقل مقدار خود را داشته باشد (نقطه چین شکل ۱۳)

این خط لزوماً از نقطه صفر یا نقاط انتهایی جدول نخواهد کرد. حد اکثر فاصله بین خط و منحنی را تعیین می‌کنیم، در شکل این حد اکثر مساوی ± 0.18 اسپن خروجی می‌باشد.



شکل ۱۳- منحنی خطی بودن

ب- خط انتهای (Terminal - Based - Linearity)

د و انتهای منحنی کالیبراسیون را توسط خط مستقیمی بهم وصل می‌کنیم (خط چین شکل ۱۳)
در این صورت فاصله حد اکثر بین این خط و منحنی کالیبراسیون مقدار خط انتهای را تعیین
می‌کند در شکل این مقدار 0.28% اسپن خروجی می‌باشد .

ز- خط نسبت به صفر (Zero - Based Linearity)

از نقطه حد اقل منحنی کالیبراسیون خط مستقیمی طوری رسم می‌کنیم که حد اکثر فاصله بین منحنی
و خط کمترین مقدار خود را داشته باشد . پس از رسم این خط حد اکثر فاصله بین خط و منحنی
را بدست می‌آوریم . در شکل این مقدار 0.21% اسپن خروجی می‌باشد .

ج- قابلیت تکرار (Repeatability)

برای ورودی معین حد اکثر تفاوت خطاد رجعت افزایش و نیز حد اکثر تفاوت خطاد رجعت کاهش
را از جدول کالیبراسیون بدست می‌آوریم ، این کمیت را برای ورودیهای دیگر نیز تعیین می‌کنیم
مقدار حد اکثر بدست آمده قابلیت تکرار را مشخص می‌نماید . در جدول داده شده بعنوان مثال -
در سطر ششم (ورودی 50%) اعداد در جهت افزایش $-0.18, -0.16, -0.13, -0.13$ -
می‌باشد ، بنابراین حد اکثر تفاوت خطا -0.05 می‌باشد ، در همین ورودی 50% اعداد در جهت
کاهش $-0.02, +0.01, +0.01, +0.01$ بوده و بنابراین حد اکثر تفاوت خطا 0.03
می‌باشد ، نتیجه می‌گیریم در ورودی 50% قابلیت تکرار 0.05 است ، برای ورودیهای
دیگر نیز همین کار را تکرار می‌کنیم ، در جدول در ورودیهای 20% و نیز 80% قابلیت
تکرار 0.05 بوده ولی در سایر ورودیها قابلیت تکرار کمتر است ، در نتیجه قابلیت دستگاه
 0.05% اسپن خروجی می‌باشد .

درصد %	افزایش	کاهش	افزایش	کاهش	افزایش	کاهش	افزایش	متوسط افزایش	متوسط کاهش	متوسط افزایش	متوسط کاهش
0		-0.04		-0.05		-0.06			-0.05		-0.05
10		+0.14	+0.04	+0.15	+0.05	+0.16	+0.06		+0.15	+0.05	+0.10
20		+0.23	+0.08	+0.26	+0.09	+0.26	+0.13		+0.25	+0.10	+0.175
30		+0.24	+0.09	+0.25	+0.10	+0.26	+0.11		+0.25	+0.10	+0.175
40		+0.13	-0.07	+0.15	-0.04	+0.17	-0.04		+0.15	-0.05	+0.05
50	-0.18	-0.02	-0.16	+0.01	-0.13	+0.01	-0.13	-0.15	0	-0.15	-0.075
60	-0.27	-0.12	-0.25	-0.01	-0.23	-0.08		-0.25	-0.10		-0.175
70	-0.32	-0.17	-0.30	-0.16	-0.28	-0.12		-0.30	-0.15		-0.225
80	-0.27	-0.17	-0.26	-0.15	-0.22	-0.13		-0.25	-0.15		-0.20
90	-0.16	-0.06	-0.15	-0.05	-0.14	-0.04		-0.15	-0.05		-0.10
100	+0.09		+0.11		+0.10			+0.10			+0.10

جدول کاهش و افزایش

فصل نهم - سیستم کنترل احتراق در دیگ بخار

هدف اصلی این سیستم عارتست از تنظیم مقدار سوخت (مایع و گاز) و هوای نحوی که دیگ بخار بتواند میزان بخار مورد نیاز توربین را تحت فشار معین تأمین نماید، در این طرح هنگامیکه بار توربین افزایش یابد جریان بخار زیادتری مورد نیاز بود و گاورنر توربین شیرهای بخار را بیشتر باز میکند و این امر سبب افت فشار بخار در دیگ میگردد. سیستم کنترل احتراق باید با تنظیم مقدار سوخت و هوا مقدار بیشتری از آب را تبدیل به بخار نموده، فشار بخار را به میزان تعیین شده بازگرداند.

۱-۱۶ - حلقه های اصلی کنترل سوخت و هوا

سیستم بسیار ساده شده کنترل فشار از طریق تنظیم سوخت و هوا در شکل (۱) نشان داده شده است، در این سیستم از یک مدار فیدبک و یک مدار پیش‌گیر^۲ استفاده شده است. در مدار فیدبک فشار بخار اندازه‌گیری شده P_s با مقدار مطلوب آن P_r مقایسه شده و تفاوت بین این دو سیگنال یعنی P_e به یک کنترل‌کننده متناسب و انتگرالی که در شکل با $K+$ نشان داده شده است اعمال میگردد تا پس از تنظیم جریان سوخت و هوا فشار را به میزان مطلوب آن برساند.

نظریاتی که تغییرات جریان سوخت و هوا بعد از مدت نسبتاً زیادی در فشار تأثیر میگذارد، لذا برای کنترل بهتر و تنظیم موقع مقدار سوخت و هوا، از میزان بخار نیز یک سیگنال پیش‌گیر به خروجی کنترل‌کننده اضافه میشود و این دو مجموعاً "مقدار مورد نیاز سوخت و هوا را تعیین مینمایند". در اینجا فرض میشود که از یک نوع سوخت (مایع) استفاده میشود مدارهای کنترل باد و سوخت در قسمت‌های بعدی تشریح شده است. میزان سوخت مورد نیاز $(F_f) d$ از طریق شیرهای کنترل سوخت و میزان هوای مورد نیاز $(F_a) d$ از طریق فن‌های مکند^۴ هوا به محفظه احتراق دیگ بخار وارد میشود.

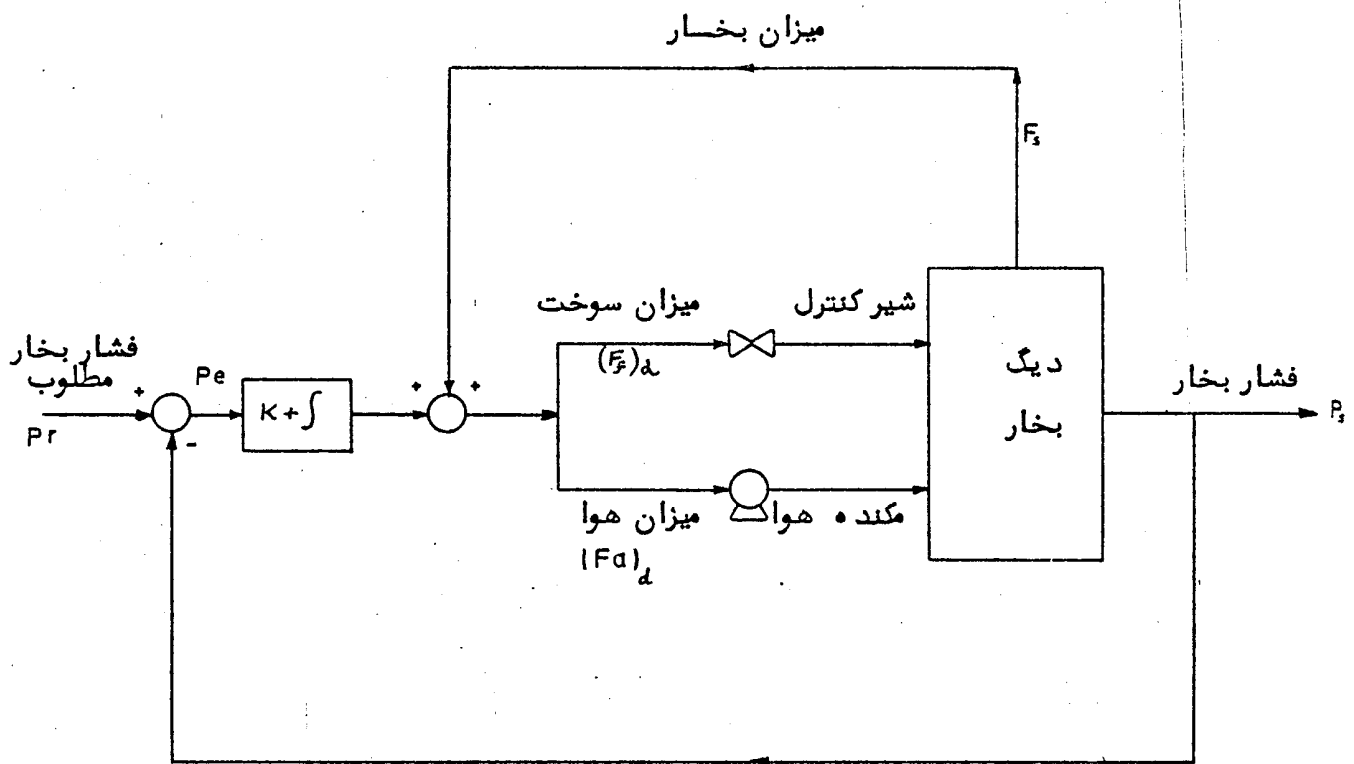
وجود عارت انتگرال در کنترل‌کننده سبب میشود که در حالت ماندگار (یعنی پس از گذشت مدت کافی از تغییر بار) همواره فشار بخار مساوی فشار مطلوب گردد، زیرا در حالت ماندگار خروجی کنترل‌کننده ثابت میباشد بطوریکه ثابت $\int P_e dt = 0$ و در نتیجه $P_e = 0$ و $P_s = P_r$ میشود، ضمناً "این کنترل‌کننده باعث میشود که علیرغم هر نوع تغییر در کیفیت سوخت

1) Flow

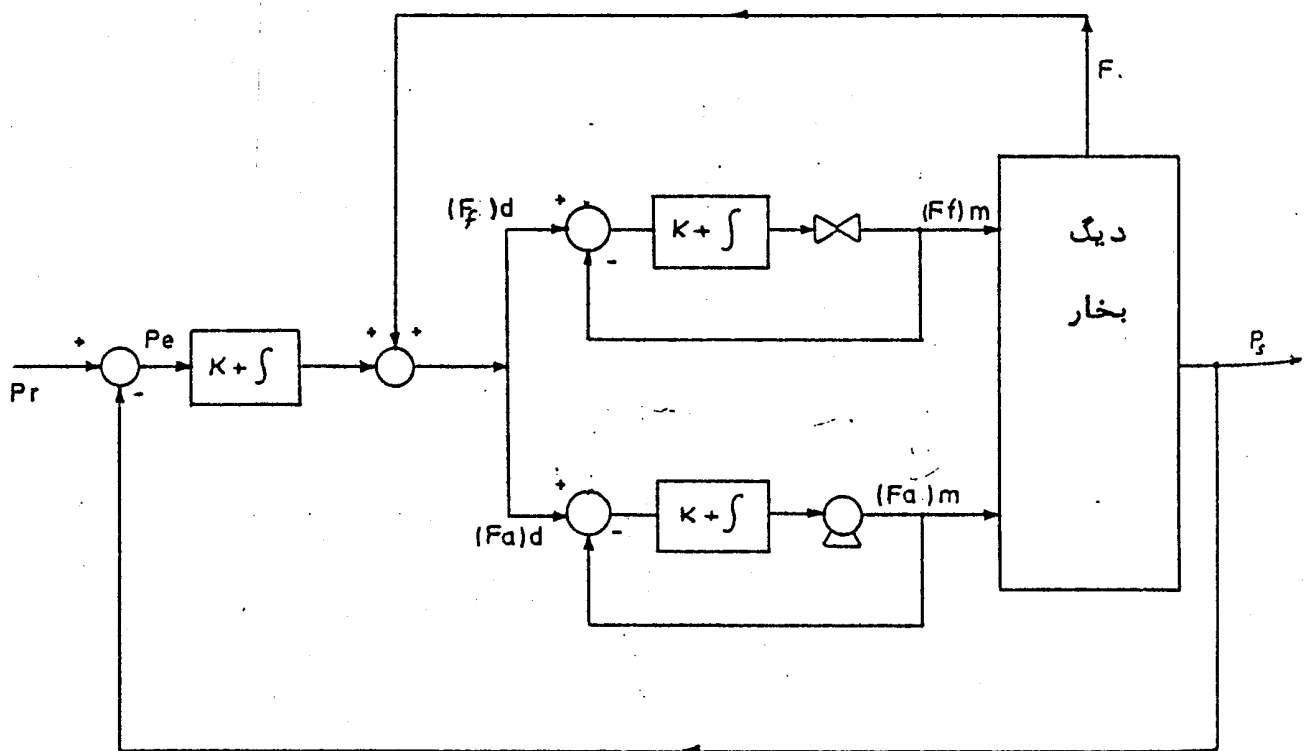
2) Feed forward

3) Set point

4) Forced Draft Fans



شکل (۱)



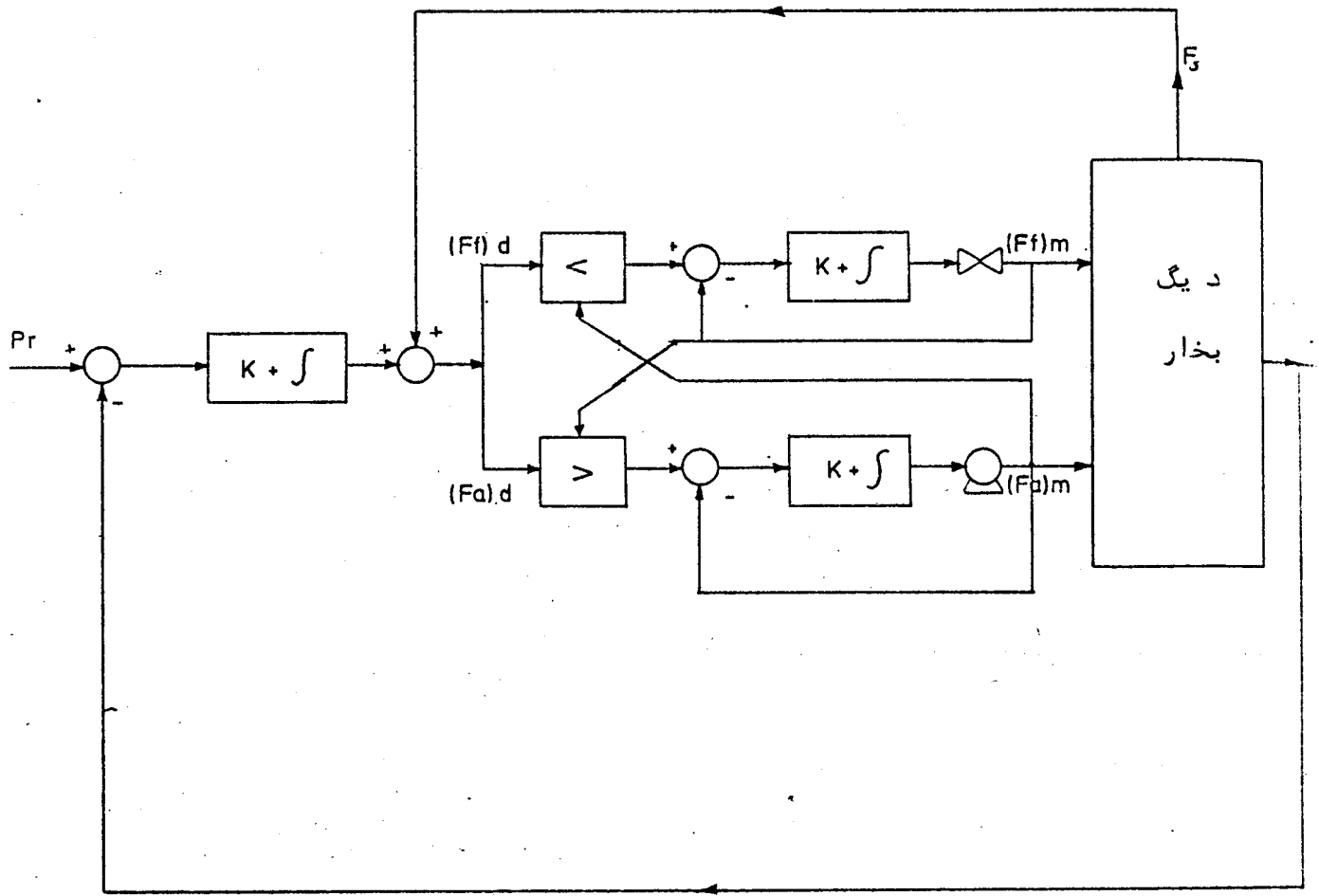
شکل (۲)

ویا تغییرات دیگر همواره در حالت ماندگار فشار بخار در میزان مطلوب باقی بماند، زیرا چنانکه
مثلاً " ارزش حرارتی سوخت کم شود، میزان حرارت داده شده کاهش یافته و این امر باعث
افت فشار بخار میگردد. این امر سبب ایجاد اختلاف بین فشار مطلوب و فشار موجود گردید و
کنترل کنند فرما افزایش سوخت و هوای را به شیر کنترل سوخت و کمند و هوا میدهند و این
افزایش موقع متوقف میشود که فشار بخار مساوی فشار مطلوب شود.

گرچه میزان سوخت مورد نیاز $(F_f)_d$ با تغییر مکان ساقه شیر کنترل تنظیم میگردد
ولی برای کنترل دقیق تر و اطمینان بیشتر لزماً سوخت و واقع وارد شده به محفظه
احتراق یعنی $(F_f)_m$ اندازه گیری شده و با میزان مورد نیاز آن $(F_f)_d$ مقایسه
گردد و توسط کنترل کنند ه ای این دو مساوی شوند در مورد هوا نیز باید وضع مشابهی بوجود
آورد، لذا د و حلقه داخلی کنترل مطابق شکل (۲) به سیستم شکل (۱) اضافه میشود.
در اینجا نیز کنترل کنند ه ای متناسب آنترالی قادر و واقع سوخت و هوای را بر مقدار
مورد نیاز آن نگاه میدارد، بدین ترتیب یک سیستم کنترل متوالی (Cascade) متشکل
از حلقه اصلی که کنترل فشار است و حلقه های فرعی که کنترل میزان سوخت و هوا میباشد ایجاد
میشود.

برای اطمینان از احتراق کامل سوخت باید سیستم کنترل طوری طرح گردد که همیشه
هوای مساوی و یا کمی بیشتر از میزان مورد نیاز آن برای احتراق سوخت وارد محفظه احتراق گردد.
برای رسیدن به این هدف د و انتخاب کنند ه سیگنال مطابق شکل (۳) به مدار کنترل اضافه
میشود. انتخاب کنند ه حداقل که با علامت < نشان داده شده در سه سوخت قرار دارد و
بین سیگنالهای جریان سوخت مورد نیاز $(F_f)_d$ و هوای وارد شده $(F_a)_m$
کمترین آنرا انتخاب نمود و نقطه کار کنترل کنند ه سوخت را در میزان کمتر قرار میدهند.
به همین ترتیب انتخاب کنند ه حداکثر که با علامت > نشان داده شده بین سیگنالهای
سوخت وارد شده $(F_f)_m$ و هوای مورد نیاز $(F_a)_d$ بیشترین آنرا انتخاب نمود و بعنوان
نقطه کار کنترل کنند ه هوا قرار میدهند.

پیش بینی د و مسئله دیگر در این مرحله ضروریست، اول آنکه فشار سوخت در لوله های
تقسیم کنند ه سوخت (Header) نباید از مقدار معینی کمتر شود، لذا در صورتیکه جریان سوخت مورد
نیاز باعث باز شدن شیر کنترل بیش از مقدار معینی شود فشار سوخت در هر از مقدار حداقل آن کمتر
میشود و در این حالت باید مقدار سوخت مورد نیاز را به قدر تعیین شده توسط حداقل فشار هر
تقلیل داد. برای این منظور فشار سوخت در هر از اندازه گیری شده و پس از مقایسه با مقدار حداقل



شکل (۳)

آن به انتخاب کنند حد اقل مطابق شکل (۴) داده میشود • نکته دوم آنکه فشار سوخت جهت احتراق در مشعل ها نیز نباید مقداری کم تر شود ، لذا باید شیر کنترل سوخت بیش از حد اقلس باز شود تا فشار در مشعل ها به میزان کافی باشد ، و برای اینکار همانطور که در شکل (۴) مشاهده میشود فشار سوخت در مشعل با مقدار حد اقل مورد نیاز مقایسه گردید و سپس تفاوت آن به انتخاب کنند حد اکثر داده میشود •

دیگرام شکل (۴) در نقشه های کنترل بصورت شکل (۵) ارائه میشود • اعداد مشخص کنند هر قسمت در شکل های (۴) و (۵) معادل هستند • باید توجه داشت که در نقشه شکل (۵) اثر درجه حرارت بر روی اندازه گیری جریان هوا درست (A) توسط اندازه گیر دمای هوا 1.16 ، و تابع ساز 3.16 و ضرب کنند 3.15 تصحیح گردیده است •

نظیر این تصحیح درست (B) نیز انجام شده است • علاوه بر این در تمام حلقه های کنترل امکان کنترل دستی توسط ایستگاه های که با حروف A/T مشخص گردید و پیش بینی شده است • در این نقشه شیرهای کنترل از نوع بادی بوده در نتیجه مبدل های E/P سیگنال را از فرم الکتریکی (جریان یا ولتاژ الکتریکی) به فرم بادی (فشار هوا) تبدیل نمایند و علامت $f(x)$ معرف مشخصه شیر کنترل میباشد •

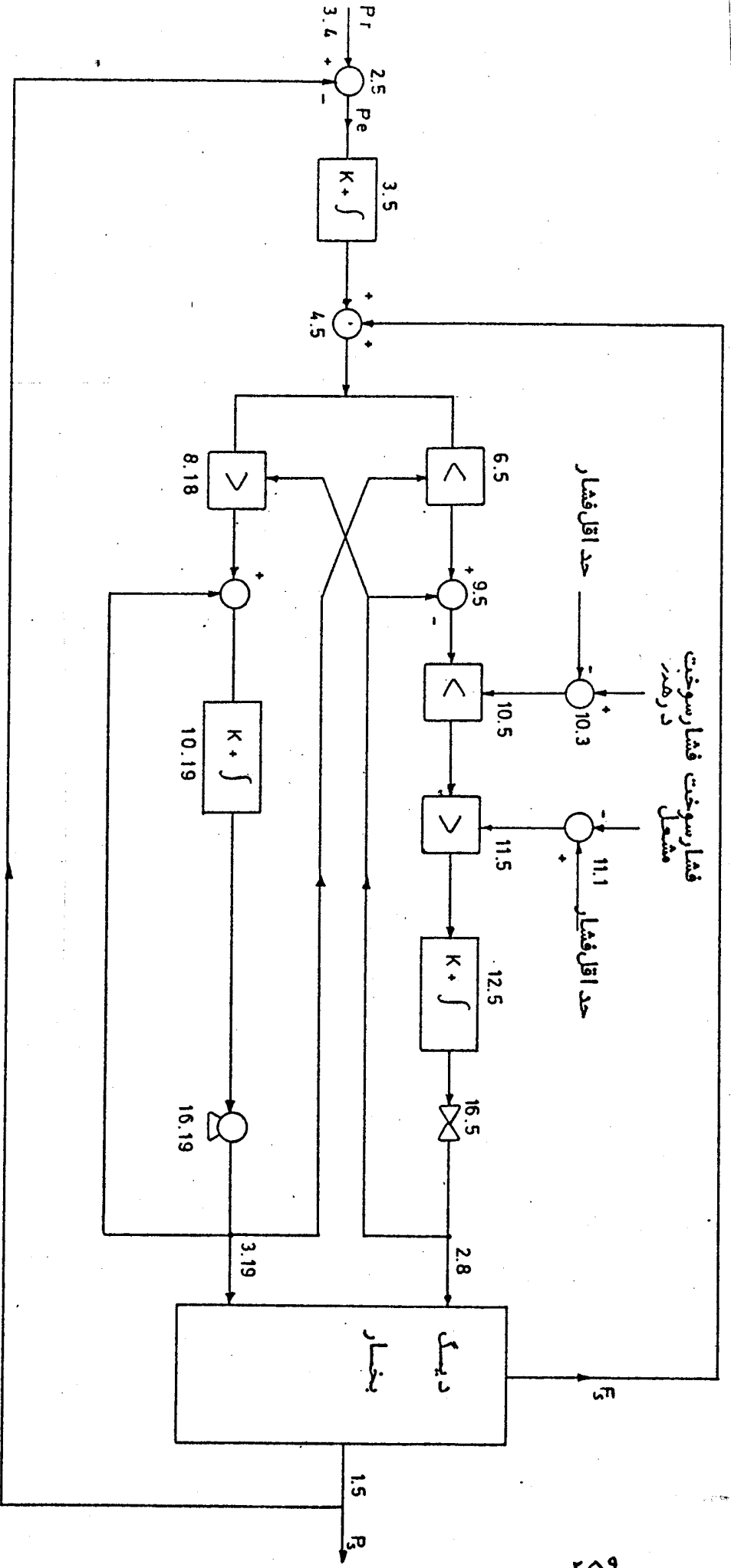
در پایان این قسمت لازم بتذکر میباشد که در صورتیکه از سوخت گاز بجای سوخت مایع استفاده شود نقشه کنترل تفاوت عمده ای نداشته و فقط باید برای تعیین میزان گاز تأثیر دمای آن در نظر گرفته شود •

۱۴-۲- تأثیر اکسیژن در تنظیم میزان هوا

حاصل احتراق دود هائی میباشد که وارد دودکش میشود ، برای ایجاد احتراق کامل باید نسبت مشخص از سوخت و هوا با هم ترکیب گردد ، این نسبت در تمام موارد ثابت نبوده و به کیفیت سوخت ، دمای هوا و دمای سوخت و غیره بستگی دارد •

یکی از روشهای موثر بر دود به کیفیت احتراق تعیین میزان هوای نسوخته (اکسیژن) در دود میباشد • برای اطمینان از احتراق باید همواره مقدار بخصوص اکسیژن (Excess air) در دود وجود داشته باشد ، این مقدار در بارهای مختلف متفاوت بوده و هر قدر بار بیشتر باشد مقدار مطلوب اکسیژن در دود کمتر است •

برای کنترل کیفیت احتراق لازمست تفاوت بین درصد اندازه گیری شده اکسیژن در دود و مقدار مطلوب آن (که بستگی به بار دارد) را بنحوی در میزان هوای ورودی به محفظه احتراق



شکل (۴)

تأثیر داد. نحوه انجام این امر در شکل (۶) نشان داده شده است. میزان بخار وارد شده به توربین F_s (که متناسب با بار می باشد) در تابع $f(x)$ ضرب میشود تا درصد مطلوب اکسیژن یعنی $d(O_2)$ تعیین شود. درصد واقعی اکسیژن $(O_2)_m$ توسط آنالیزر اندازه گیری شده و تفاوت این دو مقدار به کنترل کننده انتقال داده میشود. علت استفاده از کنترل کننده انتقال در این جا آنستکه مقدار اکسیژن اندازه گیری شده مرتباً "نوسان دارد و کنترل کننده انتقال میزان متوسط تفاوت را تعیین مینماید. محدود کننده Δ خروجی کنترل کننده را در محدود خاص نگاه میدارد. درصد تفاوت اکسیژن در میزان هوا ضرب میشود تا میزان هوای مورد نیاز برای تصحیح اکسیژن در دور تعیین گردد. این تفاوت میزان هوا با میزان هوایی که برای احتراق سوخت لازم است جمع شده و پس از مقایسه با میزان هوای واقعی (اندازه گیری شده) به کنترل کننده 10.19 مکده های هواداده میشود.

۱۶-۳- کنترل احتراق با دوسوخت

نقشه کامل کنترل احتراق با تصحیح درصد اکسیژن (هوای اضافی) در حالیکه دیگ بخار باد و سوخت مایع و گاز کار میکنند در ضمیمه گزارش داده شده است.

همانطور که قبلاً ذکر شد مدار کنترل سوخت گاز مشابه مدار سوخت مایع میباشد که این موضوع در نقشه ضمیمه دیده میشود.

در حالتی که هردو سوخت با هم استفاده میشود باید نسبت سوخت توسط اپراتور تعیین گردد.

اینکار توسط قسمت های 7.4, 7.5 نقشه عملی میگردد. خروجی 7.5 میزان سوخت مایع مورد نیاز را تعیین مینماید. در این حال میزان سوخت گاز مورد نیاز برابر با مابه التفاوت کل سوخت مورد نیاز و میزان سوخت مایع مورد نیاز میباشد.

در صورتیکه کنترل سوخت گاز از طریق 13.10 بطور دستی و کنترل سوخت مایع بطور اتوماتیک انجام گیرد، انتقال دهنده سیگنال یعنی 8.5 بجای انتقال سیگنال از ضرب کننده 7.5 به جمع کننده 9.5، خروجی 7.7 را به جمع کننده 9.5 انتقال میدهد. خروجی 7.7 تفاوت بین میزان سوخت گاز وارد شده به محفظه احتراق و میزان کل سوخت مورد نیاز میباشد. به همین ترتیب هنگامیکه کنترل سوخت مایع بطور دستی و کنترل سوخت گاز بطور اتوماتیک انجام میگردد انتقال دهنده سیگنال 6.7 بجای انتقال سیگنال از خروجی ضرب کننده 7.5 به 6.10 مقیدار واقعی سوخت مایع را به 6.10 انتقال میدهد. از 6.10 اختلاف بین میزان کل سوخت مورد نیاز و میزان سوخت واقعی مایع بعنوان میزان سوخت گاز مورد نیاز تعیین میشود. بدین ترتیب خروجی 8.5 همواره میزان سوخت مایع مورد نیاز و خروجی 6.10 همواره میزان گاز مورد نیاز میباشد.

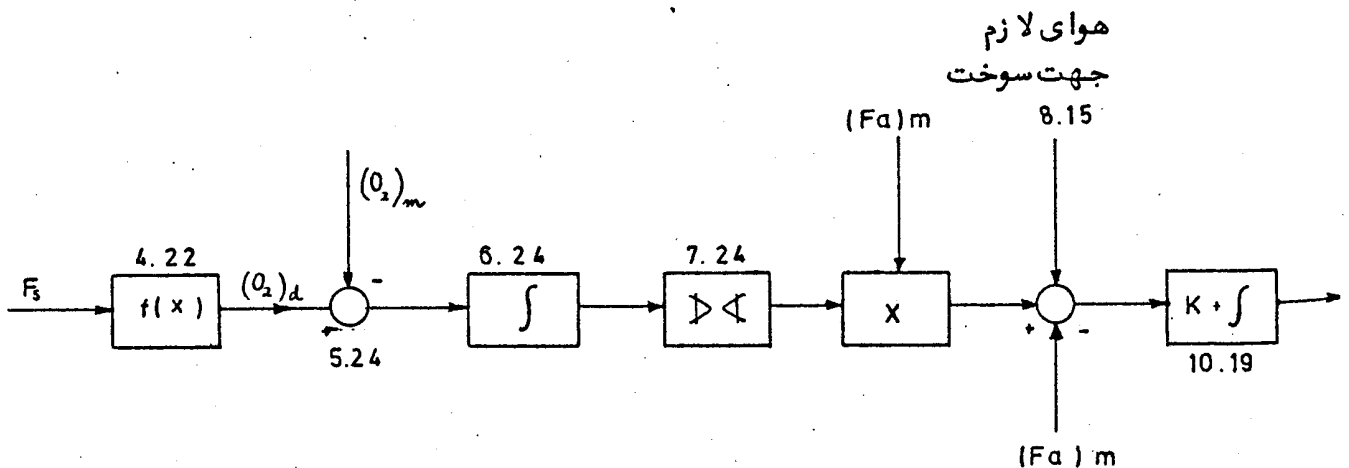
همانطور که قبلاً گفته شد باید فشار سوخت مایع در رهد پرویا در مشعل از مقدار معینی کمتر نشود. این حد و دکه توسط 10.5 و 11.5 اعمال میشود گاهی باعث عبور میزان سوخت مایعی کمتر یا بیشتر از میزان مورد نیاز میگردد، در چنین شرایطی باید کسری یا اضافی سوخت مایع توسط سوخت گاز جبران شود. این موضوع توسط 10.6 و 11.6 تعیین و از طریق 8.10 انجام میگردد.

به همین ترتیب کسری سوخت گاز در اثر کمبود فشار گاز توسط 10.9 و 11.9 تعیین و از طریق 9.5 بوسیله سوخت مایع جبران میشود.

در سمت راست نقشه کنترل هوا مشاهده میشود که در آن درصد اکسیژن در دروازه گیری شده و طبق آنچه قبلاً در شکل (6) توضیح داده شد سبب تصحیح میزان هوا میگردد.

در اینجا درصد مطلوب اکسیژن علاوه بر بار (میزان بخار) که توسط 4.20 تعیین میگردد بستگی به میزان سوخت گاز مصرفی 5.23 و نیز مقداری که توسط اپراتور از طریق 8.24 میتواند اعمال شود دارد.

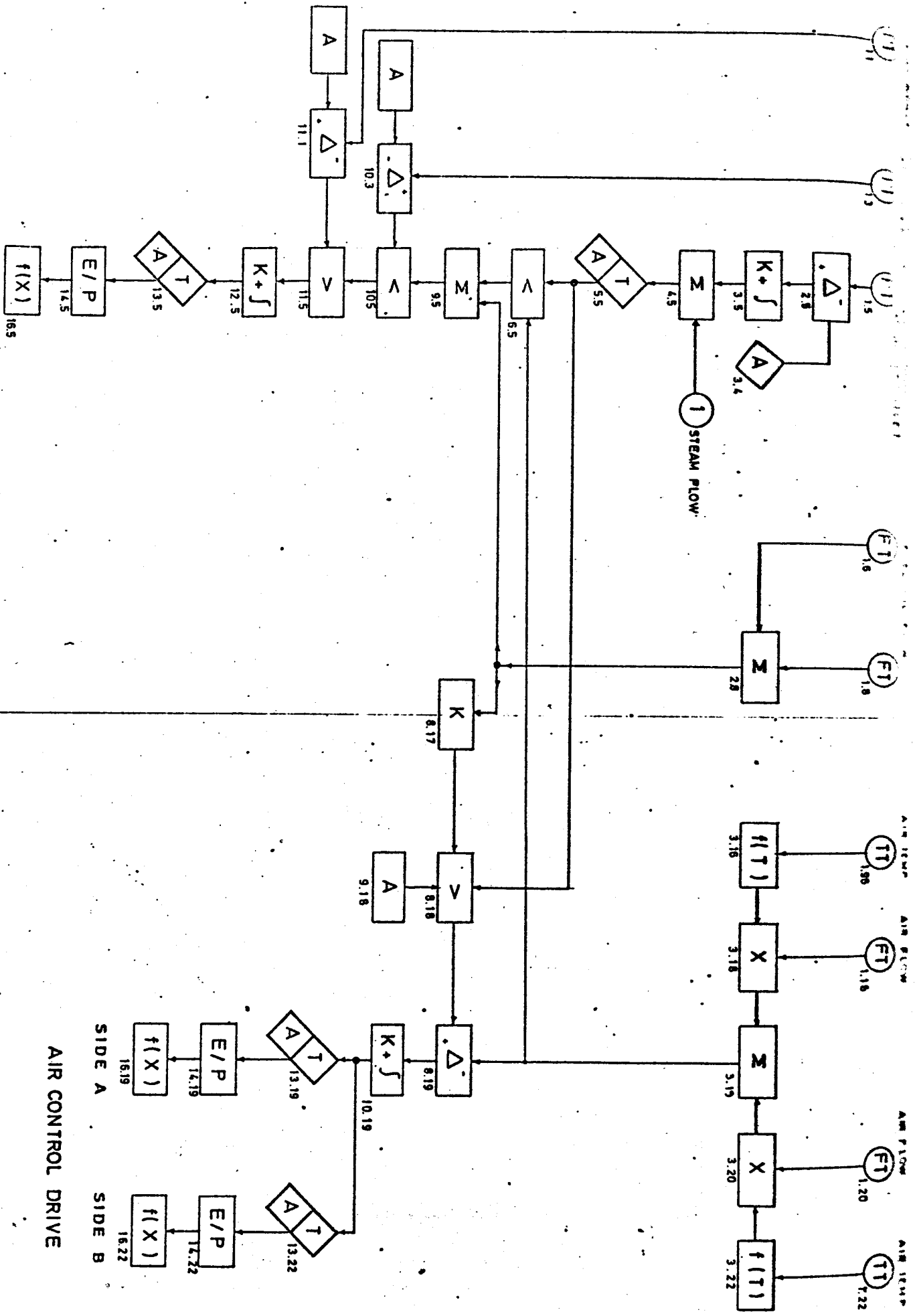
ضمناً "سیگنال خروجی از کنترل کننده هوا 10.19 بستگی به تعداد کننده های هوا در حال کار دارد که از طریق ضرب کنند 11.19 در عدد 1 برای دو کننده و عدد 2 برای یک کننده ضرب میگردد و حاصل آن به کننده های طرف A و B اعمال میشود.



شکل (6)

FUEL OIL CONTROL VALVE

(a) *JK*



فصل ۱۷ - سیستم کنترل آب و بار در مخزن بخار

۱۷-۱ - سیستم کنترل تغذیه آب

وظیفه این سیستم ثابت نگاه داشتن سطح آب در مخزن آب و بخار (Drum) غیرمغ تغیرات بار می باشد هنگامیکه بار افزایش میابد میزان بخاریشتری مورد نیاز بود و باید در نهایت این میزان بخار توسط آب تغذیه به بشکه تامین شود. بدین ترتیب افزایش بار سبب افزایش میزان بخار میشود که این موضوع باعث کم شدن سطح آب در مخزن شده و لازمست میزان تغذیه آب به بشکه متناسباً "تنظیم گردد، در موقع کاهش بار عکس این تغیرات انجام میگردد.

سیستم بسیار ساده شده کنترل در شکل (۱) داده شده است، سطح آب پس از اندازه گیری یعنی H_m با سطح مطلوب یعنی H_d مقایسه شده، تفاوت این دو به کنترل کننده متناسب و انتگرالی $K + \int$ داده میشود که این کنترل کننده میزان آب پمپ های تغذیه آب را تنظیم مینماید. اشکال این طرح ساده آنستکه تغیر بخار پس از مدت نسبتاً "زیادی بر روی سطح آب تاثیر میگذارد، لذا برای تسریع عمل کنترل و ایجاد تعادل بین بخار خروجی از دیگ بخار و آب ورودی به دیگ به سیستم دو حلقه کنترل دیگر اضافه میشود (شکل ۲). در این طرح از میزان بخار خروجی و آب ورودی دو سنکیال به ورودی کنترل کننده اضافه میشود. در حالت تعادل میزان آب ورودی F_w و بخار خروجی F_s مساوی بوده و کار سیستم مانند آنچه در شکل (۱) داده شده است میباشد. در هنگام تغیر بار، میزان بخار بلافاصله عمل تنظیم میزان آب را انجام میدهد تا آنکه سیستم بحالت تعادل برسد.

دو عمل تصحیح دیگر باید به سیستم شکل (۲) اضافه شود، اول آنکه اندازه گیر سطح آب در مخزن در فشارهای بخار مختلف مقادیر متفاوتی را نشان میدهد و در نتیجه باید اثر فشار در اندازه گیری سطح تصحیح گردد. این امر در شکل (۳) توسط اندازه گیر فشار 1.8، تابع ساز 5.8 و ضرب کننده 5.12 انجام گردیده است. نکته دوم آنکه بعلمت پدیده ای که بنام ها (Priming) و یا (Swell & Shrink) موسوم است در اثر افزایش بخار خروجی فشار داخل بشکه ها کاهش یافته و این مسئله موقتا "باعث بالا رفتن سطح آب در مخزن میشود، ولی پس از مدت کوتاهی سطح آب پائین رفته و بعقد واقعی خود میرسد. در موقع کاهش بخار خروجی نیز سطح آب موقتا "پائین رفته، ولی مجدداً "به وضع واقعی خود باز میگردد. برای جبران این موضوع و جلوگیری از تنظیم غلط در فاصله کوتاه بعد از تغیر در بخار، از مشتق گیر 5.2 با ضریب منفی $K - (6.2)$ استفاده میشود. بدین ترتیب در فاصله زمانی کوتاه پس از تغیر بخار، سنکیال تصحیح در جهت مناسب به ورودی کنترل کننده 11.4 اعمال میشود، پس از طی این حالت گذر او تشبیهت میزان بخار

در مقدار جدید مشتق‌گیر هیچ‌گونه عملی انجام نمی‌دهند (زیرا در حالتی که ثابت $F_s = F_w$ میباشد $\frac{dF_s}{dt} = 0$ میگردد).

سیستم کنترل فوق را سه عنصری (Three-element) می‌نامند زیرا از سه سیگنال سطح، میزان بخار و میزان آب در کنترل سطح استفاده میشود.

برای راه اندازی و نیز در بارهای کم (زیرحدود ۲۰٪) بجای پمپ‌های تغذیه آب از شیر کنترل تغذیه آب استفاده میشود و در این حالت از دین بخار استفاده نشود و سیستم کنترل بصورت سیستم یک عنصری Single element شکل (۴) میباشد.

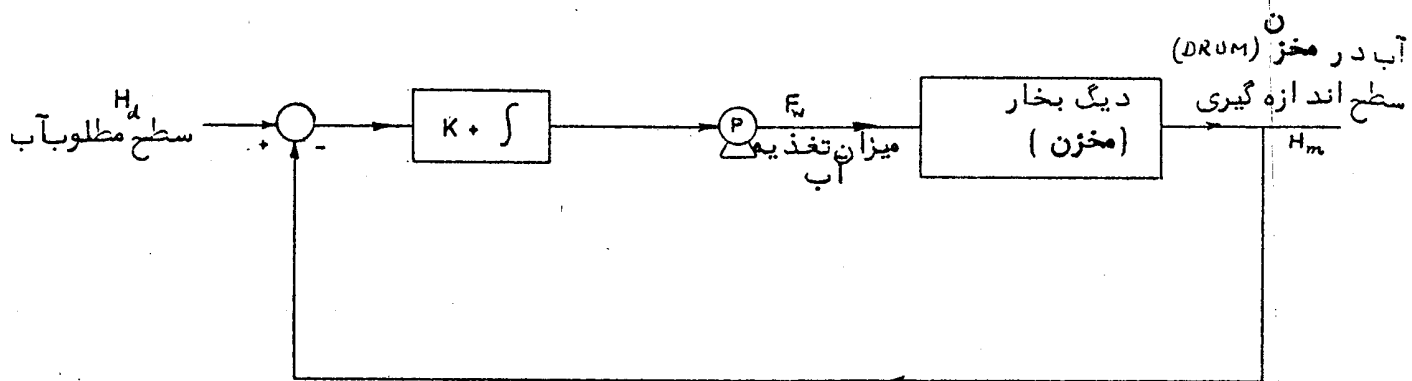
لازم به تذکر است که سیستم کنترل تغذیه آب توسط پمپ‌ها و شیر نباید با هم در حالت اتوماتیک باشند زیرا در این صورت هر دو سیستم کنترل شکل‌های (۳) و (۴) سعی در کنترل سطح آب در بشکه را مینمایند و این حالت میتواند باعث ناپایداری سیستم گردد، لذا در منطقی (لاچیک) شامل OR و AND پیش‌بینی شده که هرگاه حداقل یکی از پمپ‌ها در حالت اتوماتیک باشند کنترل کننده شیر نیز در حالت اتوماتیک قرار داشته باشد اعلام خطر صادر آید.

نقشه کامل کنترل سطح آب در مخزن در ضمیمه داده شده است و شماره اجزای آن متناظر با شماره هائی است که در شکل‌های (۲) و (۴) ذکر گردیده است. در این نقشه سه پمپ تغذیه آب پیش‌بینی شده که حد اکثر دوتای آن در حال کار میباشد در حالیکه دو پمپ در حال کار باشد ضرب کنند ۱۰.۴ سنگیال ورودی به کنترل کنند ۱۱.۴ راد رعد دیک و در حالیکه یک پمپ کار کنند آنرا رعد دیک و ضرب میکنند. علاوه بر این در تمام حلقه‌های کنترل امکان کنترل دستی توسط ایستگاه A/T پیش‌بینی شده است، سیگنال‌های فرمان قبل از اعمال به شیر کنترل و پمپ‌ها توسط مبدل‌های E/P از فرم الکتریکی به فرم بادی تغییر می‌یابند. اعلام خطرهای حد‌های پائین و بالای سطح آب توسط 5.13 و فشار بخار توسط 5.7 صورت می‌گیرد.

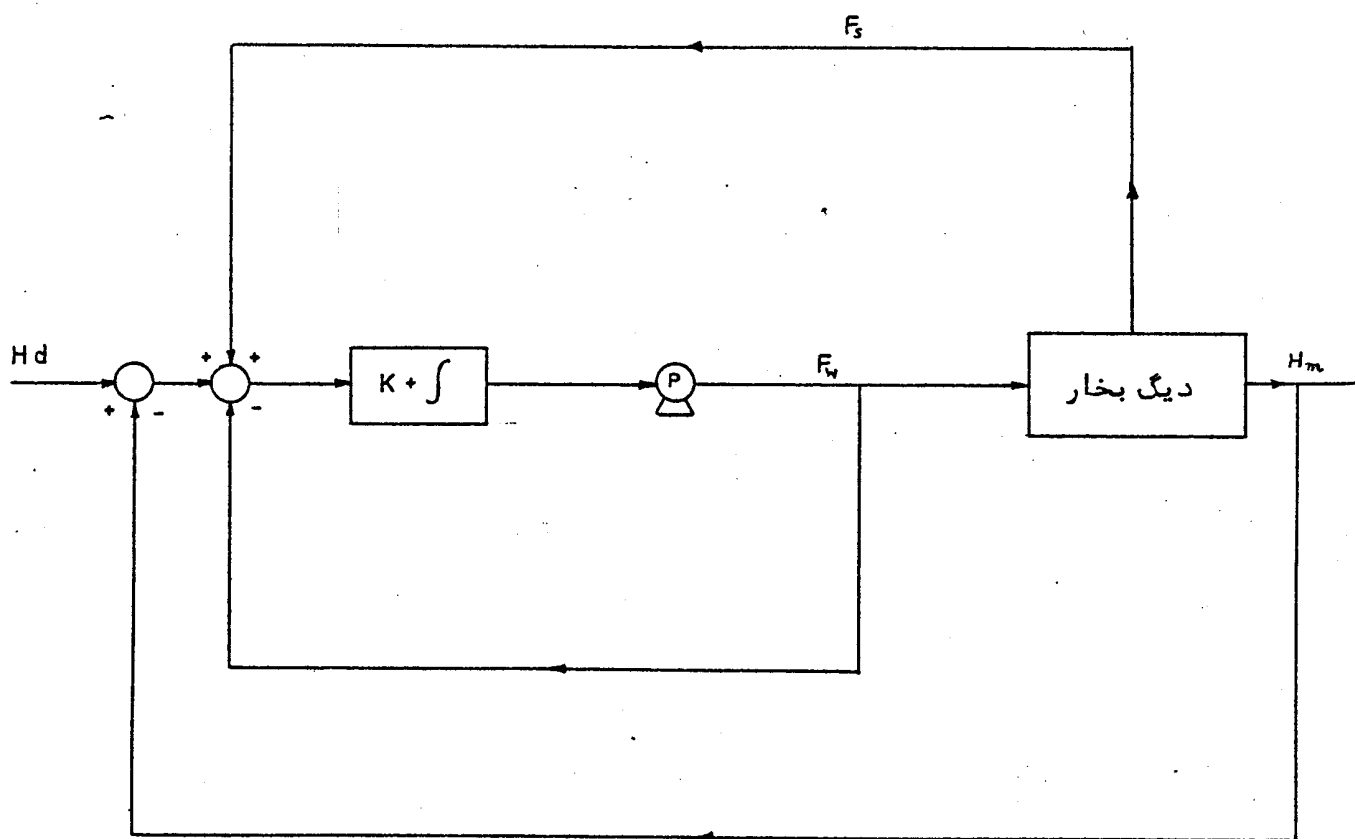
در اینجا ذکر یک مسئله لازم است، همان‌طور که در شکل (۳) دیده میشود در سیستم کنترل تغذیه آب در حالت سکون، ورودی کنترل کننده متناسب و انتگرالی صفر میباشد، یعنی در حالت سکون رابطه زیر برقرار است:

$$H_d - H_m + F_s - F_w = 0$$

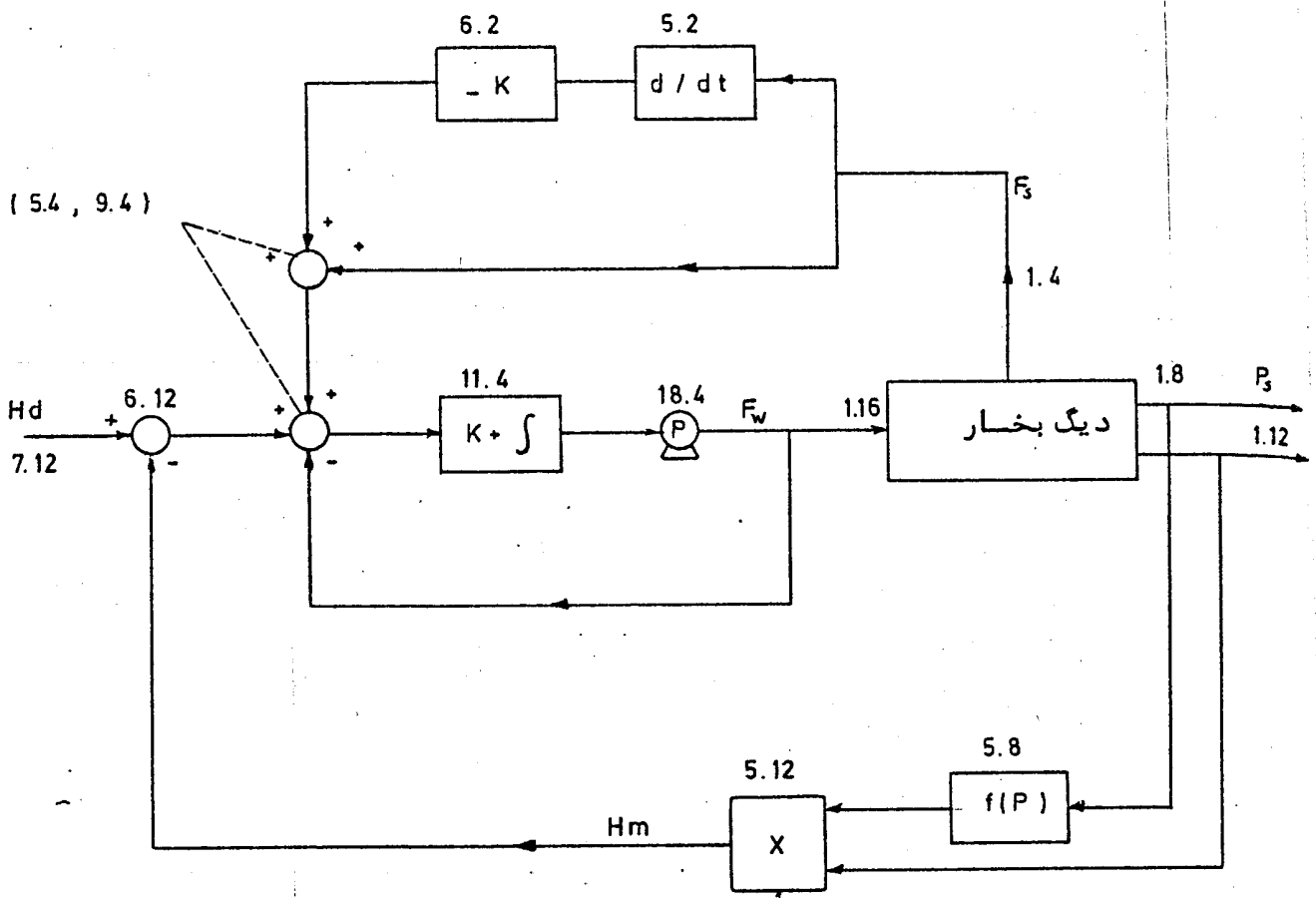
در صورتیکه میزان نوزنی آب و بخار مساوی باشد یعنی $F_s = F_w$ در حالت سکون $H_m = H_d$ یعنی سطح آب در مخزن مساوی سطح مطلوب میشود، ولی در صورتیکه بععلل در حال سکون $F_s \neq F_w$ باشد H_m نیز مساوی H_d نخواهد بود. با توجه به این توضیح بهتر بود یک کنترل کننده متناسب و انتگرالی نیز مستقیماً بر روی سیگنال خروجی از تقایسه کنند 6.12 عمل نماید. اگرچنین کنترل کننده ای اضافه شود همواره در حالت سکون $H_m = H_d$ خواهد بود.



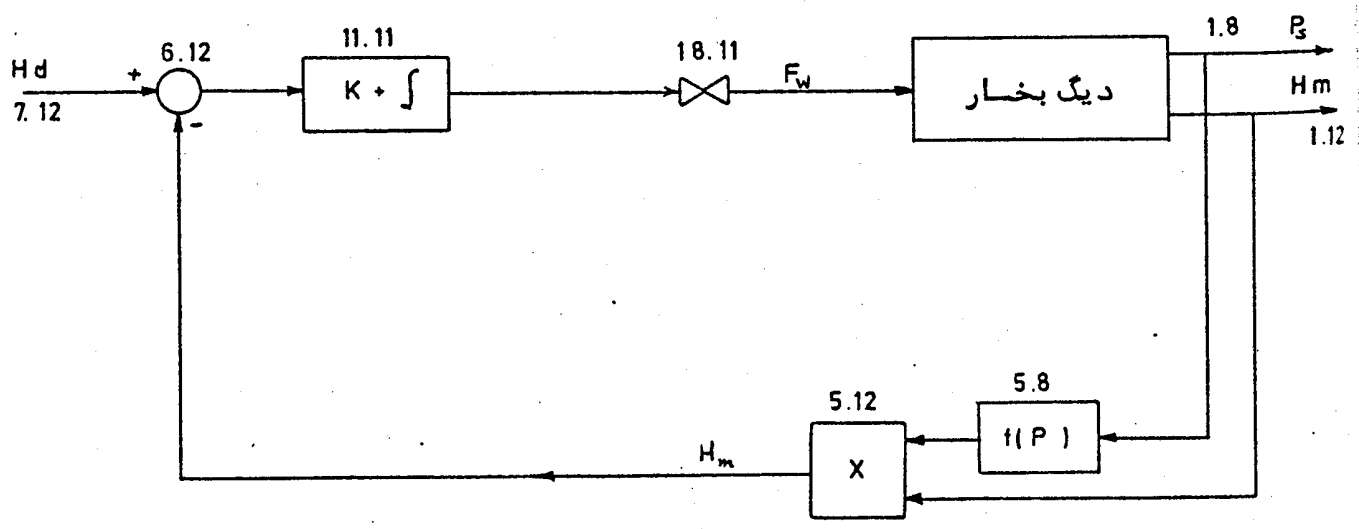
شکل (۱)



شکل (۲)



شکل (۳)



شکل (۴)

۱۷-۲- سیستم های کنترل دمای بخار

هدف اصلی از این سیستم ها کنترل دمای بخار داغ در خروجی های سوپر هیتر (θ_{SH} Super heater) و ری هیتر (θ_{RH} Reheater) میباشد. این دماها با افزایش بار زیاد شده و در بار محدود ۷۵٪ بار کامل به مقدار مطلوب میرسد ($540^{\circ}C$) و در صورتیکه کنترلی موجود نباشد در بارهای بیش از ۷۵٪ از مقدار مطلوب میگذرد. در نتیجه وظیفه سیستم کنترل آنستکه دماها را در حدود مطلوب نگاهدارد.

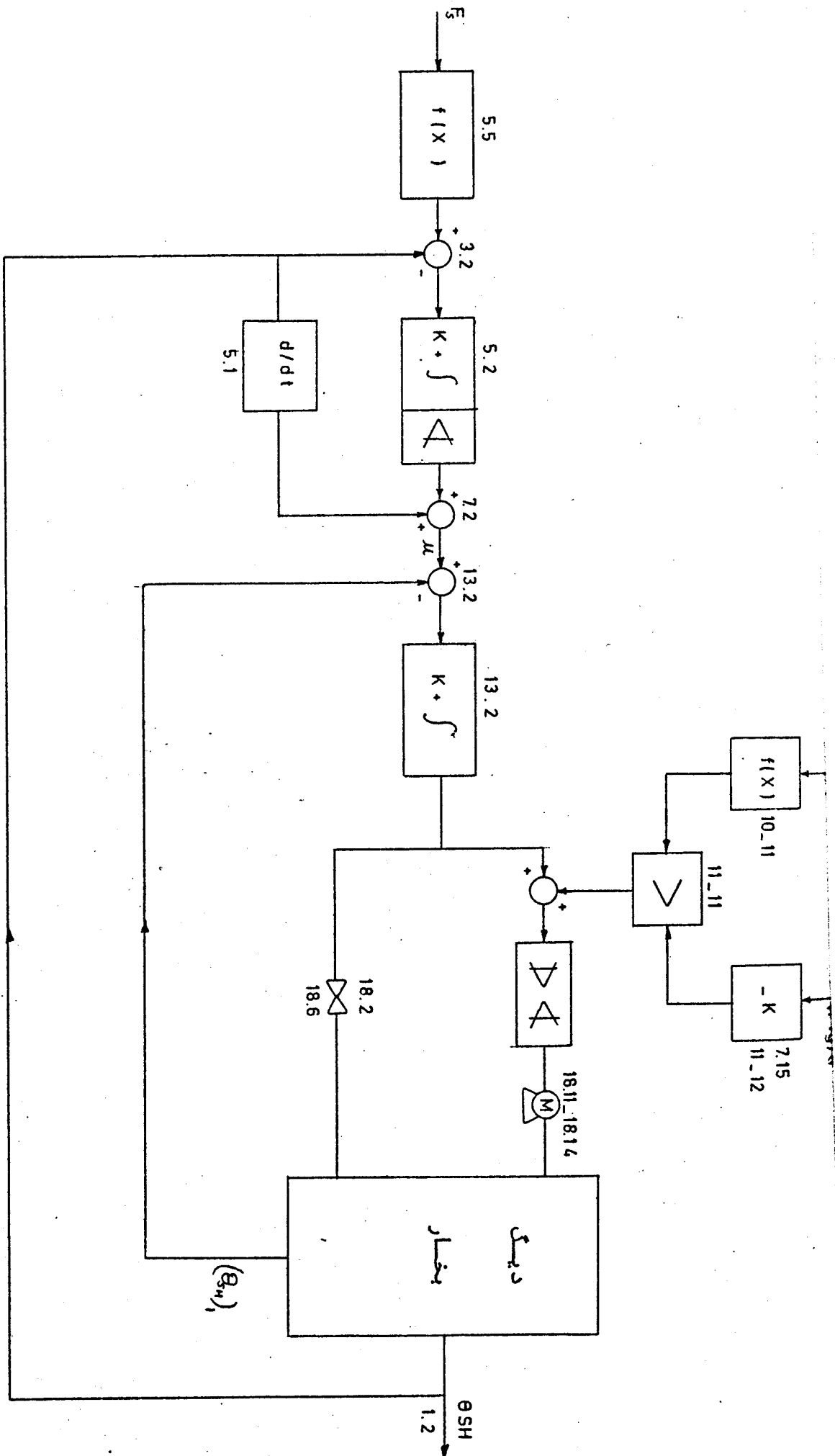
عواملی که برای کنترل دما موجود است عبارتند از:

- ۱- خنک نمودن بخار با پاشیدن آب بر روی بخار سوپر هیتر.
 - ۲- تغییر زاویه مشعلها که سبب تغییر میزان حرارت تشعشع یافته میگردد.
 - ۳- برگردانیدن قسمت از دود حاصل از احتراق بداخل دیگ بخار.
 - ۴- خنک کردن بخار با پاشیدن آب بر روی بخاری هیتر.
- باید توجه داشت که عامل ۱ عمدتاً "برروی دمای بخار سوپر هیتر" و عامل ۲ عمدتاً "برروی دمای بخار ری هیتر" تاثیر میگذارد ولی عوامل ۳ و ۴ بر روی دمای بخار سوپر هیتر و ری هیتر تاثیر میگذارد. گرچه با توجه به وضعیت قرار گرفتن لوله ها بنظر میرسد که عامل ۳ بیشتر بر روی دمای بخار سوپر هیتر و عامل ۴ بیشتر بر روی دمای بخار ری هیتر اثر دارد.

چون این سیستم چند طرح برای کنترل این دما ارائه نموده است که در طرحهای اولیه برای کنترل θ_{SH} از عامل ۱ و برای کنترل θ_{RH} از عوامل ۲ و ۳ و ۴ استفاده شده است. در حالیکه در آخرین طرح ارائه شده در مورد واحد اول اصفهان عوامل ۱ و ۲ برای کنترل θ_{SH} و عوامل ۳ و ۴ برای کنترل θ_{RH} بکار رفته است. در اینجا سیستم کنترل طرح آخر تشریح شده است.

۱۷-۲-۱- کنترل دمای بخار سوپر هیتر θ_{SH}

شکل ۵ دیاگرام ساده شده کنترل θ_{SH} را نشان میدهد. دمای مطلوب بخار در خروجی دیگ بخار $(\theta_{SH})_d$ بستگی به بار (میزان بخار F_s) دارد. بطوریکه $(\theta_{SH})_d = f(F_s)$ بوده و این مطلب توسط تابع ساز 5.5 در شکل نشان داده شده است. دمای بخار سوپر هیتر پس از اندازه گیری با مقدار مطلوب آن $(\theta_{SH})_d$ مقایسه شده و تفاوت آن به کنترل کننده PID داده میشود. باید توجه نمود که همواره مشتق (5.1) بر روی خروجی (در اینجا θ_{SH}) عمل مینماید. در صورتیکه قسمت متناسب و انتگرال گیر (5.2) بر روی خطا (در اینجا $(\theta_{SH})_d - \theta_{SH}$)



۲۳۷

شکل (۱۰)

اعمال میشود •

خروج این کنترل کننده که در شکل با علامت U نشان داده شده همواره باید حداقل داشته باشد که توسط K تعیین میگردد • این خروجی U نقطه کار کنترل کننده K بشماره 13.2 را تعیین میکنند • دمای بخار در مرحله میانی لوله های سوپرهیت در خروجی دی سوپرهیتر $(\theta_{SH})_1$ پس از اندازه گیری و مقایسه با U به کنترل کننده 13.2 که مربوط به شیر کنترل آب و نیز محرک زاویه مشعلها میباشد اعطال میگردد • بدین ترتیب میزان آبی که بر روی بخار سوپرهیتر یا شید • میشود بستگی به دما های قسمت های میانی و نهائی سوپرهیتر دارد •

زاویه مشعلها بر اساس سه عامل ، الف بار (میزان بخار F_S) ب • میزان سوخت گاز $(F_{fg})d$ ج • سیگنال خروجی از کنترل کننده • 13.2 تعیین میگردد • بنظر میرسد الف و ب عوامل اصلی در تعیین زاویه مشعلها بوده و عامل ج فقط اثر تصحیح فرعی دارد • انتخاب کننده حد اکثر ۱-۱ پس از انتخاب بین سیگنالهای F_S ، $(F_{fg})d$ آنرا از طریق جمع کننده 12.11 با خروجی کنترل کننده 13.2 جمع مینماید ، خروجی 12.11 همواره بین دو حد بالا و پائین نگاه داشته میشود و سپس به محرک زاویه مشعلها داده میشود •

۱۷-۴-۲ کنترل دمای بخاری هیتر θ_{RH}

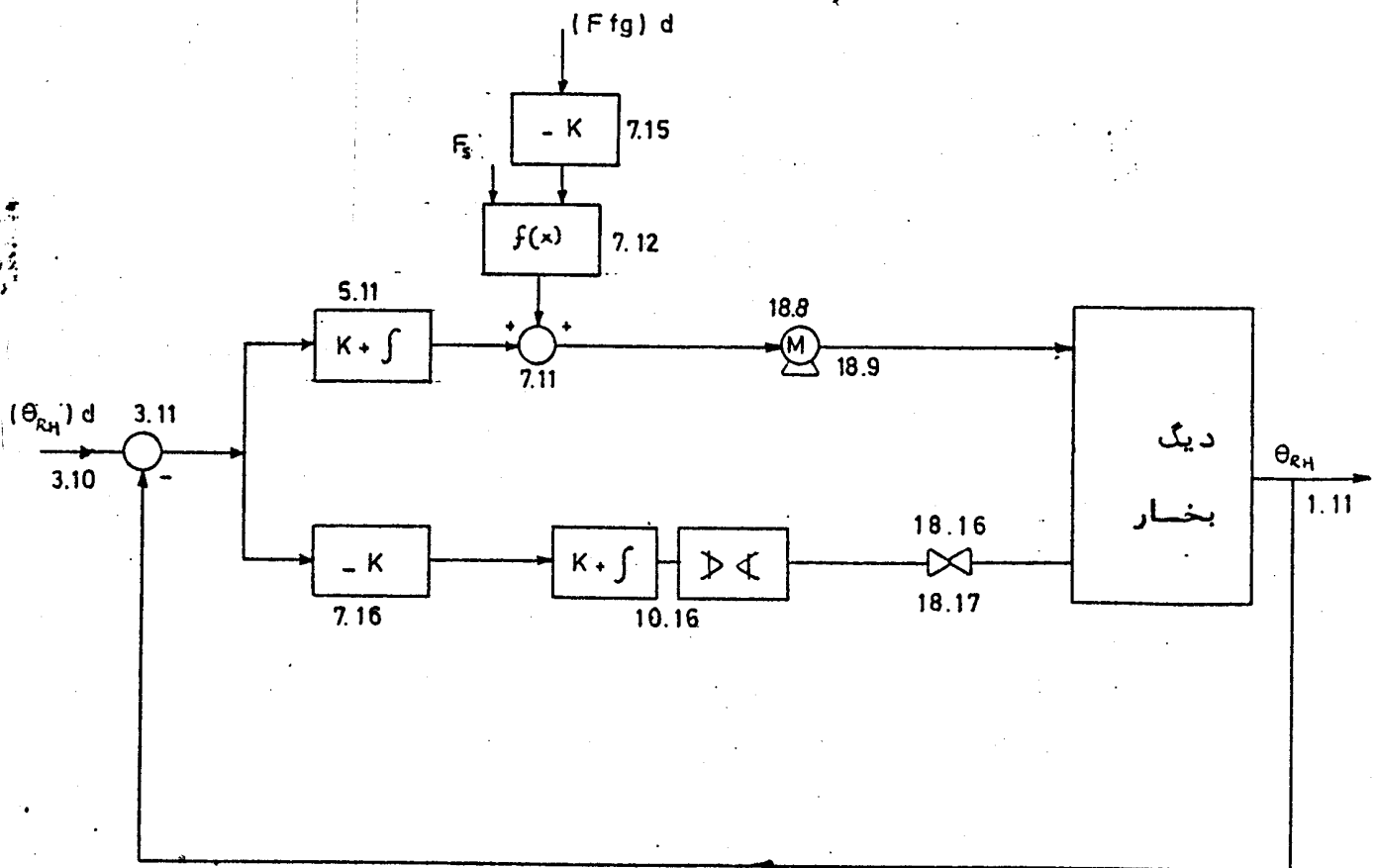
شکل ۶ دیاگرام اصلی کنترل ری هیتر θ_{RH} را نشان میدهد ، دمای بخاری هیتر پس از اندازه گیری در خروجی دیگ بخار θ_{RH} با مقدار مطلوب آن $(\theta_{RH})d$ مقایسه میشود ، اختلاف بین این دو از طریق کنترل کننده های متناسب و انتگرالی 5.11 و 10.16 به ترتیب به محرک های دود حاصل از احتراق برگشتی به دیگ بخار (Flue gas recirculation) و شیرهای کنترل پاشیدن آب اعمال میگردد • نظر باینکه در صورت زیاد بودن دمای بخار باید آب بیشتری پاشیده شود و با توجه به فید بک منفی موجود ، برای عملکرد صحیح در مسیر کنترل آب ، قسمت 7.16 با ضریب منفی در نظر گرفته شده است • در خروجی کنترل کننده متناسب و انتگرالی 10.16 محدود کننده حد های بالا و پائین ، میزان آب را در محدود • معینی نگاه میدارد • بنظر میرسد که بار (میزان بخار F_S) و میزان سوخت گاز $(F_{fg})d$ عوامل اصلی تعیین کننده میزان دود برگشتی به دیگ بخار میباشد و تفاوت بین دمای ری هیتر و دمای مطلوب یعنی $\theta_{RH} - (\theta_{RH})d$ فقط جنبه تصحیح کننده دارد •

اثر میزان بخار F_s و میزان سوخت $(F_{fg})_d$ در تابع ساز 7.12 تعیین و از طریق جمع کننده 7.11 با خروجی کنترل کننده 5.11 جمع شده و سپس به محرکهای دود برگشتی اعمال میشود.

۱۷-۲-۳ طرح کامل کنترل دما

نقشه کامل در ضمیمه گزارش داده شده است و اعداد هر قسمت متناظر با اعداد داده شده در شکل های ۵ و ۶ میباشد. در مورد کنترل دمای سوپر هیتر علاوه بر پیش بینی ایستگاههای کنترل دستی و اتوماتیک A/T، مدل 17.2 در صورت وقوع تریپ Trip در دیگ بخار کنترل شیرهای آب طرفهای A و B بطور اتوماتیک بسته میشوند.

در مورد کنترل دمای ری هیتر امکان کنترل دستی توسط 4.9 جهت دود برگشتی و 12.16 برای پاشیدن آب پیش بینی شده است. درست راست نقشه، مدارهای منطقی Logic جهت بستن کامل شیر آب در صورتیکه توربین بحالی تریپ نماید داده شده است.



شکل (۶)

نصل هیرهم: مدل بویلر - توربین

بویلر را بعنوان منبع ذخیره کننده انرژی در نظر میگیریم. انرژی توسط سوخت و آب تغذیه وارد بویلر میشود. بویلر و توربین انرژی را بصورت قدرت (توان) تحویل میدهد. انرژی در جرم های فولاد و آب و بخار ذخیره میشود و مقدار آن در هر قسمت تابع پیچیدگی های از درجه حرارت و فشار میباشد و میتوان نوشت

$$\frac{dE}{dt} = P_i - P_o \quad (1)$$

که در آن E انرژی ذخیره شده در بویلر و P_i قدرت ورودی و P_o قدرت خروجی میباشد. برای بدست آوردن مدل ریاضی باید P_i و P_o را برحسب متغیرهای اصلی بویلر بیان نمود. نظر باینکه انرژی کل در داخل بویلر بطرز پیچیدگی های توزیع شده است در حالت کلی باید درجه حرارت و فشار را در نقاط مختلف بویلر بعنوان متغیرهای حالت تعیین نمود ولی بدین ترتیب معادلات دیفرانسیل مفصلی حاصل میشود. تجربه نشان داده است که رفتار کلی بویلر را میتوان با معادلات درجه یک تقریب زد و تقریب در بسیاری از موارد برای مطالعه بویلر کافی میباشد. در این جا سعی میشود انرژی ذخیره شده را باینکه متغیر که همان فشار داخل بویلر باشد بیان کرد. بدین ترتیب فرض میشود انرژی ذخیره شده در قسمتهای مختلف بویلر با شرایط کار تغییر نمی یابد. علت انتخاب فشار که از این پس با X نشان داده میشود آنستکه فشار حالت کلی بویلر را بیان میکند و از طرفی میزان تغییر فشار برحسب زمان یعنی $\frac{dX}{dt}$ یک محدودیت مهم از نظر کار بویلر میباشد.

در زیر سه کمیت P_i ، E و P_o برحسب فشار X و سایر کمیت های مهم بیان میگردد:

الف - انرژی ذخیره شده E

اکثر انرژی در جرم لوله های حامل بخار و آب (فولاد) و نیز جرم آب ذخیره میشود. انرژی ذخیره شده بستگی به درجه حرارت های فولاد و آب دارد که این دماها خود

بستگی به دمای بخار و فشار بخار دارد. انرژی ذخیره شده در جرم بخار جزئی می باشد. برای ساده شدن مسئله فرض می شود توزیع انرژی ذخیره شده در جرمهای فولاد و آب و بخار در حالات گذرا (مانند تغییر بار و غیره) ثابت باشد. این فرض بمعنی آنستکه از هر متغیری که بستگی به انرژی داشته باشد میتوان بعنوان معیاری از انرژی استفاده نمود.

معمولا "بویلر طوری ساخته میشود که درجه حرارت بخار در ورودی توربین در محدوده نسبتاً زیادی (حدود ۶۰٪ تا ۱۰۰٪ بار) ثابت باشد ولی فشار بخار با تغییرات بار تغییر محسوسی مینماید. بدین جهت و سایر جهات ذکر شده در بالا میتوان فشار بخار در درام (Drum) که با X نشان داده میشود را بعنوان معیاری از انرژی ذخیره شده فرض نمود یعنی $E = E(X)$ بفرض آنکه محتویات درام ثابت باشد انرژی ذخیره شده در آب و بخار را میتوان تابع ساده زیر تقریب زد (البته پس از یافتن مدل ریاضی باید معتبر بودن این تقریبها را چک کرد)

$$E(X) = ax + b \quad (2)$$

که در آن a و b ثابت هائی می باشد. با فرض انجام شده در مورد ثابت بودن توزیع انرژی تقریب بالا را میتوان تقریب خوبی از انرژی کل ذخیره شده در بویلر دانست. از معادله (۲) داریم

$$\frac{dE}{dt} = a \frac{dx}{dt} \quad (3)$$

ب - قدرت ورودی به بویلر P_i

فرض میشود قدرت ورودی تابعی از دبی سوخت P_f و دبی آب تغذیه F_w باشد. از انرژی ورودی در اثر جریان هوا و انرژی آب خنک کننده بخار صرف نظر میشود و فرض میشود اثر این دو کم باشد. بدین ترتیب داریم:

$$P_i = P_i(F_f, F_w) \quad (4)$$

قدرت آب ورودی عبارتست از حاصلضرب دبی آب ورودی در تفاوت انتالپی بین آب ورودی و انتالپی بخار اشباع در درام. برای ساده شدن مسئله این تفاوت ثابت فرض میشود در این صورت میتوان نوشت

$$P_i = a_1 F_f - a_2 F_w \quad (5)$$

که در آن a_1 و a_2 مقادیر ثابتی میباشد. همچنین فرض میشود در صورت تغییر دبی سوخت دبی هوا نیز متناسباً تغییر خواهد نمود.

ج - قدرت خروجی P_o

قدرت خروجی تابعی از درصد بازبودن شیرهای کنترل بخار v درجه حرارت بخار T و فشار بخار x فرض میشود.

$$P_o = P_o(x, v, T) \quad (6)$$

دو کمیت دیگر نیز در قدرت خروجی موثر میباشد یکی از آنها دبی گازهای سوخته شده و دیگری دبی آب کندانسور میباشد. دبی گازهای سوخته شده (دود) بستگی به دبی سوخت دارد و بنابراین کمیت مستقلی نیست و اثر آنرا میتوان در متغیر F_f منظور نمود. همچنین در صورتیکه انتالپی آب کندانسور ثابت باشد میتوان دبی آب کندانسور را متناسب با دبی آب ورودی F_w فرض نمود و اثر آنرا در F_w در نظر گرفت. بدین ترتیب قدرت خروجی تابعی از سه متغیر درصد بازبودن شیر کنترل بخار، فشار بخار و درجه حرارت بخار میباشد. از طرفی چنانکه در بالا توضیح داده شده معمولاً درجه حرارت بخار در محدوده بار ۶۰ تا ۱۰۰ درصد ثابت میباشد و لذا با تقریب میتوان فرض نمود.

$$P_o = P_o(x, v) \quad (7)$$

برای آنکه تابع فوق مشخص گردد، ابتدا قدرت خروجی را بر حسب دبی بخار و افت انتالپی در توربین بیان مینمائیم. در صورتیکه از افت فشار در سوپرهیترها صرف نظر شود قدرت خروجی را میتوان بصورت حاصلضرب دبی بخار F_s و افت انتالپی در

توربین $\Delta \mathcal{E}$ نوشت یعنی

$$P_o = b_1 F_3 \Delta \mathcal{E} \quad (8)$$

که در آن b_1 مقدار ثابتی است. از طرفی دبی بخار ورودی به توربین با تابع زیر به فشار بخار x و درصد باز بودن شیر کنترل فشار v بستگی دارد.

$$F_3 = b_3 v \sqrt{x} \quad (9)$$

از معادلات (8) و (9) نتیجه میشود:

$$P_o = b_1 b_3 v \sqrt{x} \Delta \mathcal{E} \quad (10)$$

معادله باین معنی است که اگر قدرت خروجی صفر باشد فشار نیز باید صفر باشد که البته چنین نیست و همواره افتی موجود است بنابراین فرم صحیح تر معادله عبارتست از

$$P_o = b_1 b_3 v \sqrt{x} \Delta \mathcal{E} - b_2 \quad (11)$$

که در آن b_2 مقدار ثابتی میباشد یعنی اگر $P_o = 0$ باشد فشار مساوی صفر نمیشد. همانطور که قبلاً بیان گردید میتوان از اثر درجه حرارت در تقریب اول و در محدوده کار حدود ۶۰٪ تا ۱۰۰٪ بار صرف نظر نمود و بدین ترتیب انتالپی را فقط تابعی از فشار فرض نمود یعنی $\Delta \mathcal{E} = \Delta \mathcal{E}(x)$. برای تعیین رابطه اخیر باید با درجه حرارت ثابت T_o (برای واحدهای اصفهان و بندرعباس $T_o \approx 540$)

و فشار کندانسورها ثابت ($X_o = 0.086 \text{ Kg/cm}^2$ برای بندرعباس و

موجود بر حسب فشار رسم نمود و آنرا با معادله $X_o = 0.097 \text{ Kg/cm}^2$ برای اصفهان) انتالپی را از جداول یا منحنی های

$$\Delta \mathcal{E} = b_4 X^\alpha \quad (12)$$

تقریب زد که در آن b_4 و α مقادیر ثابتی میباشد. (در یکی از گزارشات α برای توربین 160 MW برابر با $\alpha = \frac{1}{8}$ بدست آمده است و برای اصفهان و بندرعباس $\alpha \approx 0$ میباشد)

اگر معادله (۱۲) را در معادله (۱۱) قرار دهیم داریم

$$P_0 = b_1 b_3 b_4 v (x)^{\alpha + \frac{1}{2}} - b_2 \quad (13)$$

چنانکه $\alpha + \frac{1}{2} = \gamma$ بنامیم و $b_1 b_3 b_4 = \beta_4$

ثابتی می باشد داریم $\frac{b_2}{b_1 b_3 b_4} = \beta_5$ قرار دهیم که در آن β_4 و β_5 را مقادیری

$$P_0 = \beta_4 (v x - \beta_5) \quad (15)$$

۱-۱۸ معادلات کلی بویلر - توربین

از معادلات بدست آمده برای انرژی ذخیره شده، قدرت ورودی و قدرت ^{خارجی} معادلات کلی بویلر - توربین بدست می آید.

چنانکه روابط (۳)، (۵) و (۱۵) را در رابطه (۱) قرار دهیم داریم

$$\begin{cases} a \frac{dx}{dt} = -\beta_4 (vx^\gamma - \beta_5) + a_1 F_F - a_2 F_W \\ P_0 = \beta_4 (vx - \beta_5) \end{cases} \quad (16)$$

اگر دو طرف معادله (۱۶) بر a تقسیم گردد و $\beta_3 = \frac{a_2}{a}$ ، $\beta_2 = \frac{a_1}{a}$ ، $\beta_1 = \frac{\beta_4}{a}$

قرار داده شود معادله (۱۶) بشکل زیر در می آید.

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = -\beta_1 (vx^\gamma - \beta_5) + \beta_2 F_F - \beta_3 F_W \\ P_0 = \beta_4 (vx - \beta_5) \end{cases} \quad (17)$$

$$P_0 = \beta_4 (vx - \beta_5) \quad (18)$$

معادله (۱۷) یک معادله دیفرانسیل درجه یک غیر خطی می باشد. در حالت سکون

یعنی در صورتیکه متغیرها مقادیر ثابتی با زمان داشته باشند $\frac{dx}{dt} = 0$

بوده و فشار برابر است با

$$x = \frac{(\beta_2 F_f - \beta_3 F_w + \beta_1 \beta_5)}{1 \quad v} \quad (19)$$

چنانکه (۱۹) در رابطه (۱۸) قرار داده شود

$$P_0 = \frac{\beta_4}{\beta_1} (\beta_2 F_f - \beta_3 F_w) = a_1 F_f - a_2 F_w \quad (20)$$

یعنی در حالت سکون قدرت خروجی مساوی قدرت ورودی است. برای تغییرات کوچک حول نقطه کار میتوان معادله (۱۷) را خطی نمود. اگر مشخصات نقطه کار (یا نقطه تعادل مورد نظر) بترتیب با \bar{x} , \bar{F}_f , \bar{F}_w نشان داده شود و $\frac{dx}{dt} = Y$ بنامیم داریم

$$Y = Y(x, v, F_f, F_w)$$

و در صورتیکه کمیت‌ها تغییرات کوچکی نماید میتوان نوشت

$$\Delta Y = \left(\frac{\partial Y}{\partial x} \right) \Delta x + \left(\frac{\partial Y}{\partial v} \right) \Delta v + \left(\frac{\partial Y}{\partial F_f} \right) \Delta F_f + \left(\frac{\partial Y}{\partial F_w} \right) \Delta F_w \quad (21)$$

که در آن $\frac{\partial Y}{\partial x}$ بمعنی مشتق Y از معادله (۱۷) بر حسب x است وقتی سایر کمیت‌ها ثابت باشد. همچنین سایر مشتقات جزئی معانی مشابهی دارند. پس از مشتق‌گیری نتیجه میشود

$$\frac{d\Delta x}{dt} = - \left(\delta / \beta_1 \bar{v}(\bar{x})^{\gamma-1} \right) \Delta x - (\beta_3 \bar{x}^{\gamma}) \Delta v + (\beta_2) \Delta F_f - (\beta_3) \Delta F_w \quad (22)$$

ثابت زمانی سیستم T عکس‌ضریب Δx میباشد یعنی

$$T = \frac{(\bar{x})^{1-\gamma}}{\delta / \beta_1 \bar{v}} \quad (23)$$

بدین ترتیب اگر درصد باز شدن شیر نصف شود ثابت زمانی دوبرابر میگردد.

ثابت زمانی را میتوان بصورت زیر نیز بیان نمود :

$$T = \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{a \bar{x}}{a \beta_1 \bar{v} \bar{x} \gamma} = \frac{1}{\gamma} \frac{E(\bar{x}) - E(0)}{P_0(\bar{x}) - P_0(0)} \quad (24)$$

که در این معادله از روابط (۲) و (۱۸) استفاده شده است.

اگر اندام بویلر $\gamma = k \frac{P_0}{F_f}$ تعریف گردد که در آن k ضریب ثابت برای تبدیل دبی سوخت به دبی حرارتی میباشد در اینصورت در حالت سکون از معادله (۲۰) داریم

$$\gamma = k \left(a_1 - a_2 \frac{F_w}{F_f} \right)$$

اگر نسبت آب به سوخت ثابت باشد در اینصورت اندام بویلر نیز ثابت میباشد .

۲-۱۸ تعیین پارامترهای مدل ریاضی

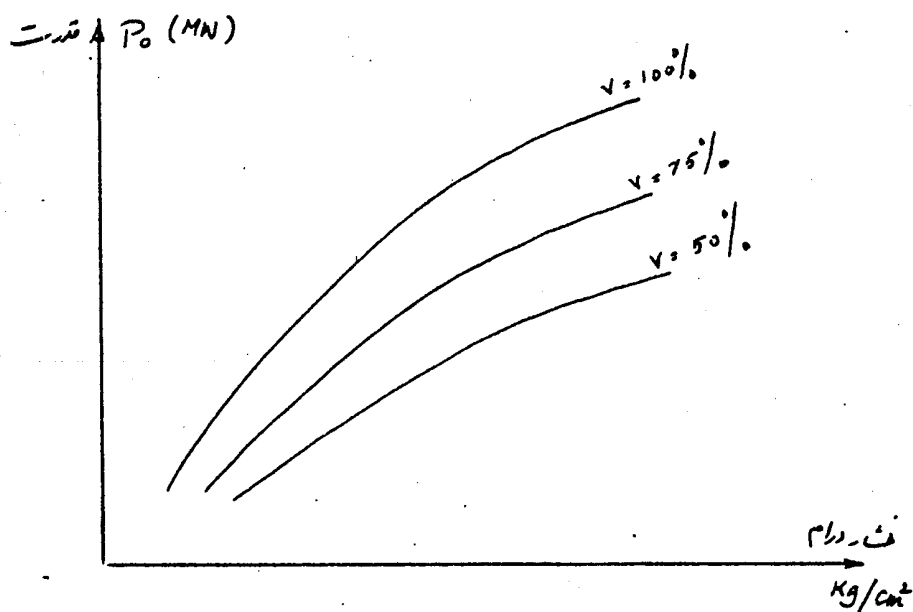
مدل ریاضی که بترتیب بالا بدست آید و در معادلات (۱۷) و (۱۸) خلاصه شده است دارای ۶ پارامتر β_1 تا β_6 و γ میباشد و برای مشخص شدن آن باید این پارامترها را تعیین نمود .

۱- پارامتر γ

این کمیت همانطور که قبلاً گفته شد از منحنی ΔE بر حسب x بدست میآید و بنابراین لازمست این منحنی با در نظر گرفتن معادله انتظاری و مشخصات کار توربین سرد تلف رسم گردد .

۲- پارامترهای β_1, β_2

این پارامترها را میتوان از چند طریق تعیین نمود . در صورتیکه منحنی قدرت قدرت خروجی بر حسب فشار درام و درصد باز بودن شیر کنترل (نظیر منحنی های شکل ۱) در دست باشد میتوان از روی منحنی β_1, β_2 را بدست آورد . وجود این منحنی ها همچنین مشخص خواهد نمود که فرم معادله (۱۸) تاجه حد صحیح میباشد . در صورت امکان آزمایش زیر نیز میتواند β_1, β_2 را تعیین نماید :



شکل (۱)

شیرکنترل بخار را در مقداری مشخص (بین حدود ۸۰٪ تا ۱۰۰٪) باز نگاه داشته و مقدار سوخت را تغییر میدهم تا قدرت خروجی از حدود ۶۰٪ تا حدود ۱۰۰٪ تغییر یابد در اینحال نباید کنترل اتوماتیک بر روی فشار درام موجود باشد. در صورتیکه امکان داشته باشد بهتر است این آزمایش در مقدار دیگری از باز بودن شیر کنترل بخار تکرار شود.

در صورتیکه منحنی شکل ۱ موجود نباشد و آزمایش بالا نیز امکان پذیر نباشد میتوان از log sheet های موجود قدرت را برحسب فشار و درصد شیرکنترل رسم نمود.

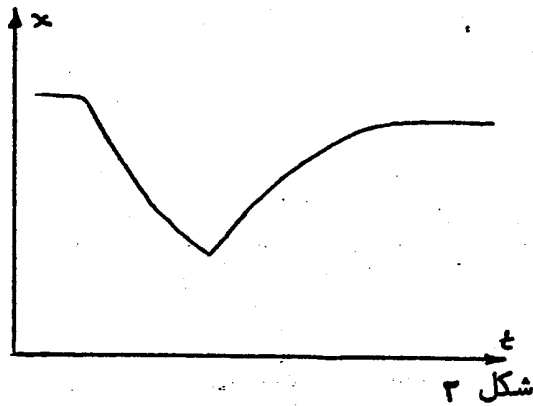
۳- پارامتر β_1

باتوجه به معادله (۲۲) در صورتیکه دبی سوخت و دبی آب تغذیه ثابت باشد

داریم

$$\frac{d\Delta x}{dt} + (\delta/\beta_1 \bar{v} (\bar{x})^{\gamma-1}) \Delta x = -\beta_1 \bar{x}^{\gamma} \Delta v$$

اگر تغییر کمی در شیرکنترل بدیم و پس از مدتی (حدود ۵ دقیقه) آنرا به مقدار اول برگردانیم و منحنی فشار را برحسب زمان رسم نمائیم شکل (۳) بدست میآید. از روی این منحنی β_1 بدست میآید در این آزمایش باید کنترل کننده فشار و سطح درام در مدار نباشد.



شکل ۳

۴- پارامترهای β_2 , β_3

برای تعیین پارامتر β_2 باید v و F_w ثابت باشد و مانند آزمایش برای تعیین β_1 تغییری در میزان سوخت داده شود و منحنی تغییرات فشار بر حسب زمان رسم شود. همچنین برای تعیین β_3 باید v و F_f ثابت باشد و مانند آزمایش قبل تغییر ناگهانی در دبی آب داده شود و منحنی تغییرات فشار بر حسب زمان رسم گردد.

در صورتیکه انجام آزمایش فوق امکان پذیر نباشد و بتوان فشار را ثابت نگه داشت

در این صورت از معادلات (۱۷) و (۱۸) داریم $(\frac{dx}{dt} = 0)$

$$0 = -\frac{\beta_1}{\beta_A} P_0 + \beta_2 F_f - \beta_3 F_w$$

$$\frac{\beta_1}{\beta_A} P_0 = \beta_2 F_f - \beta_3 F_w \quad \text{و یا}$$

چون β_1 و β_2 از آزمایشات قبلی تعیین شده است میتوان با تغییر دبی سوخت (در حالیکه F_w ثابت است) ضریب β_3 و نیز با تغییر دبی آب (در حالیکه F_f ثابت باشد) β_3 را بدست آورد.

مراجع

در تهیه این گزارش از مراجع زیر استفاده شده است :

1. Astrom, K.J. and K. Eklund, "A simplified non-linear model of a drum boiler-turbine unit", Int.J. Control 1972, vol.16, No. 10.
2. Herget, C.J. and C.U. Park, "Parameter identification and verification of low order boiler Models", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-95, No.4.

فصل نوزدهم : مسدود کردن

کاربرد کامپیوترها و میکرو کامپیوترها در کنترل واحدهای صنعتی

کامپیوترها در صنایع برای کنترل واحدهای صنعتی جهت بهبود کیفیت محصول و کاهش هزینه‌های تولید بکار می‌روند . در این قسمت به بررسی و کاربرد کامپیوتر برای کنترل واحدهای صنعتی (کامپیوتر کنترل) می‌پردازیم .

قبل از وارد شدن به بحث کامپیوتر، مروری بر سیر تکاملی کنترل در واحدهای صنعتی و تولیدی می‌نمائیم . ابتدائی‌ترین نحوه کنترل یک کمیت، کنترل دستی کامل توسط اپراتور میباشد . بدین ترتیب که اپراتور از حواس خود (مانند چشم و گوش) برای تعیین و اندازه‌گیری کمیت‌ها استفاده نموده، توسط تجربه و حدس فرمانهای لازم جهت اعمال بدستگاهها و ماشین آلات را تعیین و آنها را خود توسط اعضا بدن مانند (دست و پا) بدستگاهها اعمال میکند . بدیهی است بواسطه خطاهای حواس انسان، این طرز کنترل نتیجه چندان مطلوبی ندارد .

در مرحله بعدی با ساخته شدن دستگاههای اندازه‌گیری و ثبت آنها، اپراتور از مقدار اندازه‌گیری شده استفاده نموده و با مقایسه ذهنی آن با مقدار مطلوب کمیت‌ها، فقط صدور و اجرای فرمانهای کنترل را بعهده داشت .

مرحله سوم تکامل سیستمهای کنترل اتوماتیک، بکارگرفتن کنترل کننده‌های آنالوگ میباشد که کمیت‌های اندازه‌گیری شده از دستگاههای اندازه‌گیر را دریافت و پس از مقایسه با مقدار مطلوب کمیت‌ها، مقدار تنظیم مورد لزوم را تعیین و بدستگاهها اعمال می‌نمایند . در این مرحله هر کنترل کننده و اندازه‌گیر در نزدیکی قسمت مورد کنترل واحد صنعتی واقع است . و اپراتور فقط کمیت مطلوب را به کنترل کننده داده و بقیه اعمال بطور خودکار انجام می‌پذیرد .

این طرح گرچه برای واحدهای کوچک مناسب میباشد ولی در یک واحد صنعتی بزرگ بواسطه دور بودن قسمتهای مختلف از یکدیگر و پراکندگی دستگاههای اندازه‌گیری، نشان دهنده هر کنترل کننده‌ها، قسمتهای مختلف نیاز به اپراتورهای جداگانه داشته و بتعداد زیادی اپراتور برای کنترل واحد صنعتی احتیاج است . علاوه بر این بعلمت عدم اطلاع اپراتورها از اعمال یکدیگر و تاثیر این عملیات بر روی قسمتهای مختلف، اپراتورها ممکن است اعمال غیر هم‌آهنگ و مغایری انجام دهند .

برای رفع مشکلات فوق، در مرحله چهارم تکامل سیستمهای کنترل اتوماتیک، نشان دهند

در این طرح اپراتور میتواند با مشاهده دستگا‌های نشان دهنده از وضع کار قسمتهای مختلف واحد صنعتی و کیفیت محصول مطلع گردیده ، مقدار مورد نیاز کمیتهای را به کنترل کننده‌ها داده و یا در صورت لزوم مقدار قبلی را تغییر دهد ، علاوه بر این برای اطلاع بیشتر اپراتور از وضعیت کار ، تابلوی نمودار کار (MIMIC DIAGRAM) نیز تعبیه گردید . بدین ترتیب واحد صنعتی بطور اتوماتیک توسط کنترل کننده‌ها کنترل گردیده و اپراتور نقش ناظر و هدایت کننده کلی را بعهده دارد .

۱۹-۱ - کنترل واحد های صنعتی توسط کامپیوتر

با وسیع شدن واحد های صنعتی و پیچیده شدن کار آنها و نیاز به وقت زیاد از یکطرف و تقاضا برای تولید بیشتر با کیفیت بهتر از سوی دیگر ، تعداد کمیتهایی که نظارت و کنترل آنها لازم است افزایش یافت و متناسب با آنها تعداد دستگا‌های اندازه گیری و کنترل بسیار زیاد گردید بطوریکه در برخی صنایع مانند پتروشیمی ، تولید نیتر و سیان و غیره ، تعداد کمیتهای مورد اندازه گیری از چند صد عدد تا چند هزار و حلقه های کنترل به چند صد میرسد . در نتیجه این توسعه اکثرا اپراتورها قادر نیستند بنحو مطلوبی بر کار تمام این دستگا‌ها نظارت کنند ، علاوه بر این چنانکه قبلا نیز گفته شد در اکثر پروسس های صنعتی کمیتهای مختلف با هم ارتباط دارند و بر روی یکدیگر اثر میگذارند ، بطوریکه کنترل آنها بطور جداگانه عملا غیر ممکن میباشد . با پیدایش کامپیوتر معلوم شد که کامپیوتر بکمک حافظه زیاد و سرعت فوق العاده خود وسیله مناسبی برای جمع آوری و ضبط اطلاعات از کلیه وسایل اندازه گیری از یکطرف و استفاده از این اطلاعات جهت اتخاذ تصمیم سریع برای ارسال فرمانهای کنترل بدستگا‌های مربوطه از طرف دیگر میباشد . بدین ترتیب کامپیوتر از حدود سال ۱۹۶۰ به عنوان یک وسیله مفید برای کنترل پروسسهای بزرگ و پیچیده وارد صنعت گردید .

نحوه ارتباط کامپیوتر با پروسس و استفاده از آن در واحد های صنعتی بچند طریق میتواند انجام گیرد که زیلا بشرح مختصری از چند روش متداول پرداخته میشود .

الف - گردآوری ، توجیه و نمایش اطلاعات :

در این جا سیستم گردآوری اطلاعات ، اندازه گیری های مختلف را بصورت دیجیتالی برای ورود به کامپیوتر تهیه میکنند . کامپیوتر اینگونه اطلاعات خام را مرتب نموده آنها را جهت استفاده اپراتور تایپ نموده و یا روی صفحه تصویر نشان میدهد . در این نحوه استفاده از کامپیوتر ، عملیات زیر میتواند توسط کامپیوتر انجام گردد .

- جمع آوری اطلاعات از قسمتهای مختلف پروسس بطور تناوبی (پرپودیک)
- محاسبه مقدار مطلوب (SET POINT) کلیه حلقه های کنترول
- تعیین فاصله هر کمیت نسبت به حد بالا و یا حد پائین مجاز
- اعلام وضعیت غیر عادی کمیتهایی که از حدود مجاز خارج شده اند
- از طریق تایپ یا نمایش بر روی صفحه تصویر
- ثبت اتفاقات منجر به وضعیت غیر عادی و زمان آن
- ثبت عملیات برای پیشگیری و یا رفع وضعیت غیر عادی جهت استفاده اپراتور
- ثبت ترتیب عملیاتی که برای راه اندازی یا توقف واحد باید انجام شود
- محاسبات بازده واحد و یا اجزاء آن ، و سایر محاسبات مورد نیاز
- جهت درك بهتر از وضعیت پروسس
- ارائه برنامه های زمانی سرویس و تعمیرات قسمتهای مختلف با دانستن زمان کار کرد و نحوه کار هر قسمت
- تدوین و بایگانی اطلاعات برای مراجعه آینده
- رسم منحنی های تغییرات کمیتها در طول مدت معینی از کار واحد صنعتی
- بدین ترتیب در این روش استفاده از کامپیوتر جهت گردآوری ، توجیه و نمایش اطلاعات ، کامپیوتر ، بعنوان پیک راهنما برای اپراتور و نیز جهت مدییران و برنامه ریزان واحد صنعتی بکار میرود .

ب - کنترل نظارتی (SUPERVISORY CONTROL)

در این نحوه کنترل علاوه بر کلیه وظایف مندرج در بالا یعنی گردآوری، توجیه و نمایش اطلاعات، کامپیوتر پس از محاسبه و تعیین مقدار مورد نیاز هر کیفیت آنرا بعنوان نقطه کار (SET POINT) به کنترل کننده ها می دهد و صدور فرمان توسط کنترل کننده های آنها لوگ انجام می گیرد.

در اینجا در صورت از کار افتادن کامپیوتر، کنترل کننده ها طبق آخرین نقطه کاری که در لحظه قبل از خراب شدن کامپیوتر دریافت کرده بودند پیروسی را کنترل می کنند تا از توقف کار دستگاهها جلوگیری بعمل آید.

بدیهی است در این حالت کیفیت کنترل بخوبی موقعی که کامپیوتر کار میکند نمی باشد.

ج - کنترل مستقیم دیجیتال (DIRECT DIGITAL CONTROL)

در این نحوه کنترل که (DDC) نیز نامیده میشود، کامپیوتر علاوه بر وظایف الف، ب، مندرج در بالا وظیفه کنترل کننده ها را نیز بعهده گرفته مستقیماً فرمانهای کنترل را صادر می نمایند. در این طرح در واقع کار ابراتور و کنترل کننده ها بعهده کامپیوتر واگذار گردیده است.

بدین ترتیب کامپیوتر پس از دریافت اطلاعات از دستگاههای اندازه گیری و پردازش آنها بشرحی که در بند (الف) ذکر گردید، مقدار مورد نیاز هر کیفیت را تعیین و سپس مقدار تصحیحاتی که لازمست انجام شود را محاسبه می نماید و فرمانهای کنترل را جهت اجراء مستقیماً به عمل کننده ها (ACTUATORS) می دهد.

با توجه باینکه در روش کنترل مستقیم دیجیتال (DDC) کار کلیه کنترل کننده ها فقط توسط یک برنامه داخلی کامپیوتر انجام می گیرد و به سبب قابلیت انعطاف زیاد برنامه های کامپیوتر میتوان هر الگوریتم کنترل دلخواهی را پیاده نمود، لذا روش DDC در دهه ۱۹۶۰ مورد -

استقبال واقع گردید ولی نظر باینکه در این طرح کلیه عملیات کنترل توسط یک دستگاه (کامپیوتر) انجام میشد و در آن زمان قابلیت اطمینان کامپیوتر زیاد نبود لذا در بسیاری از طرحهای (DDC) در حلقه های کنترل ، کنترل کننده های آنالوگ کمکی (BACK - UP) استفاده گردید . بدین ترتیب که در حالت عادی کامپیوتر همواره کنترل کننده های کمکی را از تصمیمات خود مطلع نمایی نماید ولی کنترل کننده های کمکی کاری انجام نمیدهند . محض از کار افتادن کامپیوتر ، کنترل کننده های کمکی با اطلاعی که از وضع پروسس تا این لحظه داشته اند بکار خود ادامه میدهند . البته کنترل کننده های کمکی نمیتوانند بخوبی کامپیوتر اعمال کنترل را تعیین نمایند ، ولی بهر جهت تا بازگشت کامپیوتر ، کار دستگاهها متوقف نمایی شود .

روش (DDC) در واقع یک روش کنترل متمرکز (CENTRALIZED) میباشد .

بدین معنی که کلیه اطلاعات از واحد صنعتی به یک مرکز (کامپیوتر) ارسال گردیدند . و کلیه فرامین کنترل نیز از همان مرکز یعنی کامپیوتر صادر میشود .

۱۹-۳- روشهای کنترل غیر متمرکز و استفاده از رایانکها برای کنترل

پس از بوجود آمدن و تولید مینی کامپیوترها بتدریج مورد استفاده روش (DDC) در صنایع بیشتر گردید ولی چنانکه گذشت بعلمت انجام کلیه محاسبات و عملیات کنترل توسط یک کامپیوتر وعدم اطمینان زیاد آن ، اکثراً کنترل کننده های کمکی نیز بکار گرفته میشد . این امر سبب گردید که هزینه سیستم کامپیوتر کنترل نسبت به سیستم کنترل آنالوگ مشابه ، در اکثر موارد بیشتر باشد . بدین جهت پس از استقبال اولیه در سالهای دهه ۱۹۶۰ بعداً روش دی دی سی چندان مورد استفاده قرار نگرفت

و بیشتر سیستمهای کامپیوتر کنترل با روش کنترل نظارتی بکار گرفته میشوند. علاوه بر این کاربرد کامپیوتر کنترل منحصر به صنایع بزرگ بود که بعلت وجود شمار زیاد سیگنالهای اندازه گیری و حلقه های کنترل متعدد، استفاده از کامپیوتر صرفه اقتصادی داشت. با پیشرفت تکنولوژی ساخت مدارهای مجتمع و عرضه میکروپروسورها بازار از واسط دهه هفتاد، روشهای کنترل متمرکز در مواردی زیادی کنار گذاشته شد و روشهای کنترل غیر متمرکز (DECENTRALIZED) و چندین طبقه ای (HIERARCHIAL) مطرح گردید. در روش غیر متمرکز اطلاعات همگی به مرکز ارسال نمی شوند بلکه هر چند حلقه کنترل برای خود سیستم پردازش اطلاعات و صدور فرمان (میکروپروسور) مستقلی دارند و فقط اطلاعات اصلی به سیستم مرکزی ارسال میشود.

نظر باینکه ابعاد فیزیکی و قیمت میکروپروسورها و میکرو کامپیوترها بسیار کم میباشند لذا استفاده تعدادی از آنها در یک واحد صنعتی از نظر اقتصادی و فنی امکان پذیر گردیده است. بدین ترتیب بجای آنکه کلیه حلقه های کنترل توسط یک کامپیوتر مرکزی هدایت گردد میتوان از روش غیر متمرکز کنترل استفاده کرد. کمیت را به یک میکرو کامپیوتر که نقش کنترل کننده را برعهده دارد سپرد. در این حال چنانکه اشکالی در یکی از میکرو کامپیوترها در حلقه کنترل واصله پیدا کند، فقط کار حلقه کنترل وابسته بان مختل گردیده، سایر حلقه های کنترل بکار خود ادامه میدهند. در واقع در این سیستم ها که آنها را سیستمهای کامپیوتر کنترل گسترده (DISTRIBUTED COMPUTER CONTROL) می نامند، کار یک کامپیوتر بزرگ بتعدادی کامپیوتر کوچکتر سپرده شده است و این امر باعث بالا رفتن اطمینان سیستم کل گردیده است.

از طرفی پیدایش میکرو کامپیوترها و ارزان بودن آنها سبب گردیده است که استفاده از سیستمهای کامپیوتر کنترل منحصر به صنایع بزرگ نگردیده بلکه صنایع کوچک نیز بتوانند از مزایای

این سیستمها بهره مند بشوند .

علاوه بر این پیدایش میکرو کامپیوترها قابلیت انعطاف فوق العاده‌ای در طراحی سیستمهای کنترل بوجود آورد . این قابلیت نه تنها در ارائه نحوه‌های مختلف

کنترل بلکه از نظر کنترل اتوماتیک کل واحد صنعتی نقش بسزایی دارد .

از زمانی که اولین کنترل کننده میکرو پروسوری در سال ۱۹۷۳ عرضه گردید صنایع اکثر کشورهای غربی استقبال نسبتاً زیادی بر آن استفاده از میکرو کامپیوتر نشان داده اند و تا کنون هزاران حلقه کنترل با استفاده از میکرو پروسور نصب گردیده است . و بنظر میرسد تا دهه ۱۹۹۰ اکثر قریب باتفاق کنترل کننده‌هایی که ساخته خواهد شد از میکرو پروسور استفاده نمایند . کنترل کننده های میکرو -

پروسسوری ، سیگنالهای آنالوگ را از دستگامهای اندازه گیر و سیگنالهای دیجیتال را از سوئیچ ها ورله‌ها دریافت داشته و پس از پردازش آنها ، سیگنالهای کنترل را بدستگامهای عمل کننده ارسال میدارند . امتیاز اصلی کنترل کننده دیجیتالی (میکرو پرو سوری ها) آنستکه کار آنها مبتنی بر نرم افزار میباشد در صورتیکه کنترل کننده های آنالوگ با سخت افزار ساخته و کار می کنند .

علاوه بر این در سیستمهای کنترل آنالوگ معمولاً به بیش از بیست نوع دستگام

کنترل برای عمل نمودن طرحهای کنترل نیاز می باشد . اما کنترل کننده های دیجیتالی از نظر فیزیکی یکسان بوده و میتوان آنها را با شکل مختلف برنامه نویسی نمود . برای استفاده از اکثر سیستمهای میکرو پروسوری نیازی به تجربه برنامه نویسی با زبان سطح بالا موجود نیست و با استفاده از توابعی که توسط سازنده در حافظه میکرو پروسور ذخیره شده میتوان طرحهای مختلف کنترل را عملی نمود . چندین روش برای شکل داد

برنامه ریاضی کنترل کننده های میکروپروسسور جهت انجام عمل بخصوصی وجود دارد که متداولترین آن از طریق دکمه های مربوط به صفحه (CRT) می باشد

در اکثر کنترل کننده های دیجیتال میکروپروسسور تنها مقداری از وقت خود را صرف یک ورودی یا خروجی و برنامه خاصی نمایند و بقیه وقت خود را به ورودیها خروجیها و برنامه های دیگر می پردازد . واضح است که هر قدر تعداد حلقه های کنترل که توسط یک میکروپروسسور کنترل میگردد کمتر باشد ، میکروپروسسور میتواند وقت بیشتری جهت پردازش اطلاعات و کنترل کمیتها اختصاص دهد ، زیرا در این حالت لزومی به تقسیم زمان بین حلقه های متعدد وجود ندارد .

بدین جهت در صورتیکه کمیتها با تغییرات سریع وجود داشته باشد تعداد کثرتی از حلقه های کنترل را میتوان تحت کنترل یک میکروپروسسور قرارداد . همچنین با کم شدن تعداد حلقه های کنترل وابسته به یک میکروپروسسور قابلیت اطمینان کار کل سیستم نیز افزایش می یابد ، ولی مخارج کل سیستم کنترل نیز زیاد می شود .

در سیستمهای کامپیوتر کنترل مسئله پشتیبانی (REDUNDANCY) بسیار با اهمیت میباشد ، این امر برای افزایش قابلیت اطمینان سیستم لازم بوده و در مورد کمیتها ی مهم یک تا دو درجه سیستم پشتیبانی مطلوب میباشد . بعضی از سازندگان ، یک کنترل کننده میکروپروسسوری رزرو برای چند کنترل کننده در حال کار پیش بینی نموده اند . کنترل کننده رزرو جایگزین اولین کنترل کننده ای که معیوب میشود میگردد .

تعداد حلقه های کنترلی که بمعهد یک میکروپروسسور سپرده میشود متفاوت است و چنانکه گذشت بستگی به نوع کمیتها ی مورد کنترل ، قابلیت اطمینان مورد نظر و عوامل دیگر دارد . معمولاً بین سه تا هشت حلقه کنترل توسط یک میکروپروسسور کنترل میگردد .

کنترل کننده ماطری طرح شده اند که مقدار کمی از وقت خود را صرف امتحان و عیب یابی

خود می نمایند ، برخی از کارتهای الکترونیکی دارای دیدهای نوربخش کسین می باشد که در صورت بروز نقص سیگنال نورانی ایجاد میکند . کنترل کننده های دیگری نیز موجود می باشد که رمزی که مشخص کننده کارت معیوب در یک کنترل کننده بخصوصی می باشد را جهت اطلاع اپراتور به اطاق فرمان ارسال می دارد .

بهمراه هر میکروپروسسور ، سخت افزار ورودی - خروجی برای سیگنالهای مربوط به آن وجود دارد . برخی از عملیات که باید بر روی اطلاعات ورودی انجام شود (مانند خطی کردن ، فیلتر کردن وغیره) را میتوان بطور ساده و اقتصادی توسط سیستمهای دیجیتال و از طریق نرم افزار عملی نمود .

کنترل کننده ها را میتوان در مجاور دستگاهها و یا در اطاق کنترل نصب نمود . برای بدست آوردن مزایای کامل کنترل غیر متمرکز لازمست هم از نظر عملیاتی و هم از نظر مکانسی کنترل کننده ها را در سراسر واحد صنعتی پراکنده (گسترده) نمود یعنی بهتر است کنترل کننده ها را نزدیک دستگاههایی که مورد کنترل هستند قرارداد ، تا از سیم کشی های بسیار زیاد بین اطاق فرمان و نقاط مختلف واحد صنعتی جلوگیری شود .

پراکنده نمودن کنترل کننده ها در قسمت های مختلف واحد صنعتی در اکثر موارد بسبب وجود شرایط نامساعد محیط با مشکلاتی مواجه است و اکثراً لازم میگردد آنها را درون محفظه های قرارداد تا از اثرات گرما ، گرد و غبار ، رطوبت ، بخار و گازهای شیمیایی وغیره مصون بمانند . هزینه این حفاظت معمولاً بیش از هزینه سیم کشی ها به یک اطاق فرمان می باشد . بنابراین در سیستمهای کنترل غیر متمرکز در صنعت ، کنترل کننده ها را از نظر مکانی در نزدیکی اطاق فرمان قرار دارند و سیگنالهای اندازه گیری از طریق مسیرهای اطلاعاتی (DATA BUS) با استفاده از تکنیک های پیشرفته مخابرات به میکرو

کامپیوترها انتقال می یابند . این مسیرها از کابل‌های هم محور (COXIAL)
 یا زوج سیم و یا فیبرهای نوری میباشد ، طرح این مسیرهای اطلاعاتی و نحوه
 ارتباط بین اجزاء مختلف سیستم کنترل از طریق این مسیرها در دهه اخیر سیر تکاملی
 داشته است . جهت اطمینان از صحت اطلاعات اکثراً یک مسیر اطلاعاتی اضافی وجود
 دارد و از هر دو مسیر اصلی و اضافی متناوباً بصورت فعال استفاده میشود تا نقص
 یک مسیر بلافاصله مشخص گردد . جهت سازمان دادن و هم آهنگی انتقال اطلاعات
 در اکثر سیستمهای کنترل غیر متمرکز از یک میکرو کامپیوتر جداگانه استفاده میشود .
 سیستم کنترل غیر متمرکز از نظر عملیاتی به چند طبقه تقسیم میشود ، تعداد طبقات و نحوه
 ارتباط این طبقات با یکدیگر بستگی به واحد صنعتی بخصوص دارد ولی سه طبقه
 یا سطح را بشمار میتوان در اکثر واحدهای صنعتی از هم تفکیک نمود ؛
 طبقه اول : کنترل اجزاء واحد صنعتی مانند موتورها ، شیرها ، و دستگاهها با
 استفاده از روبری فید بک کنترل میباشد . زمان لازم جهت انجام
 عملیات کنترل در این طبقه از چند ثانیه تا چند دقیقه میباشد .
 طبقه دوم : کنترل نظارتی چند جزء از واحد صنعتی و هم آهنگ نمودن کار این
 اجزاء با استفاده از روشهای پیشرفته تر کنترل است ، زمان لازم جهت
 انجام عملیات کنترل در این طبقه از چند دقیقه تا چند ساعت میباشد .
 طبقه سوم : عبارت از مدیریت تولید واحد صنعتی با در نظر گرفتن محدودیست
 دستگاهها ، میزان مواد خام ، میزان تولید ، مخازن و غیره میباشد .
 زمان لازم جهت انجام عملیات کنترل در این طبقه از ساعتها تا روزها و
 ماههاست .
 تا کجین اکثر فعالیتها و موقعیتهای در زمینه کنترل مربوط به طبقات اول و دوم نامبرده در بالا

بوده است و ولی به نظر می‌رسد با وجود میکرو کامپیوتر ها، کنترل در طبقه سوم نیز امکان

عملی شود.

اگر چه کمتر از ده سال از عرضه اولین سیستم کنترل غیر متمرکز یا استفاده از میکرو

کامپیوتر می‌گذرد، امروزه چندین سازنده اروپائی و امریکائی سیستمهای کنترل دیجیتال

غیر متمرکز را بی بازار عرضه نموده اند. این سیستمها قادر به انجام کنترل، محاسبات

و عملیات منطقی (لاچیک) بوده و بصورتی طراحی شده اند که در یک مجموعه کابین

ساخته و عرضه میشوند. این مجموعه در سال ۱۹۷۵ توسط کمپانی ^{ابتدا} HONEYWELL

تحت نام سیستم TDC 2000 و سپس توسط برخی از سازندگان دیگر مانند Fox 80 R0

تحت نام SPECTRUM و کمپانی KENT تحت نام P4000 بی بازار عرضه گردیده است.

در این مجموعه اکثر از قسمت های زیر تشکیل یافته اند:

— مدول های کنترل کننده که هر مدول بارزوش DDC یک یا چند حلقه را کنترل می نمایند

— یک مرکز اطلاعاتی همراه با یک یا چند صفحه تصویر جهت اطلاع اپراتور از وضعیت کابین

واحد صنعتی و بین ماشین تحریر جهت وارد کردن فرمانها و درخواست اطلاعات توسط

اپراتور

— دستگاه طلشی پلکس جهت ورود ترتیبی سیگنالهای کنترل و نیز سیگنالهایی که برای کنترل

اتوماتیک از آنها استفاده نمیشود ولی برای اطلاع اپراتور لازمست.

— یک مسیر اطلاعاتی بشکل کابل هم محور یا یک زوج سیم و یا فیبر نوری که به تمام مدول ها

و دستگاه های اندازه گیری و کنترل متصل می باشد. جهت اطمینان بیشتر یک مسیر اطلاعاتی

اضافی نیز موجود می باشد.

— دستگاه (INTERFACE) جهت ارتباط کامپیوترها به مسیر اطلاعاتی