

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
وَالْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ
وَالصَّلَاةُ وَالسَّلَامُ عَلَى سَيِّدِنَا مُحَمَّدٍ
وَعَلَىٰ آلِهِ وَصَحْبِهِ أَجْمَعِينَ
أَمَّا بَعْدُ فَيَسْمَعُونَ مِنْكَ
وَيَسْمَعُونَ مِنْكَ



دانشکده برق رباتیک

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق - کنترل

عنوان:

طراحی , شبیه سازی یک سیستم کنترل دیجیتال پیشرفته برای کنترل سطح

مایع در مخازن نفتی و نیروگاهها به روش تطبیقی با عملکرد بهینه

استاد راهنما:

دکتر حیدر طوسیان شانديز

استاد مشاور :

دکتر مهدي بانژاد

ارائه دهنده:

حمزه سلجوقی

بهمن ۱۳۸۶

تقديم به

مادرم که نمونه کامل گذشت و فداکاری بود

و

پدرم اسوه سادگی و مهربانی

و

بهترین همراهم، همسرم

تقدیر

این اثر تحقیقی در وهله اول نتیجه رحمت و لطف خدا و در وهله دوم زحمات و راهنماییهای استاد فرزانه و گرانقدر آقای دکتر طوسیان است که از لطف بی اندازه شان کمال تشکر دارم، برخود لازم می دانم از راهنماییها و مساعدت استاد گرامی جناب آقای دکتر بانژاد کمال تشکر و سپاس را بنمایم

فهرست مطالب

عنوان.....صفحه

فصل اول - مقدمه

- ۱-۱) نگاه کلی به سیستمهای هیدرولیک و مخازن..... ۲
- ۲-۱) آشنایی اولیه با نیروگاهها ۵
- ۱-۲-۱) نیروگاه حرارتی..... ۶
- ۳-۱) نیروگاه غیر حرارتی ۸
- ۴-۱) لزوم کنترل و حلقه های کنترلی در نیروگاهها ۱۰
- ۱-۴-۱) کنترل در نیروگاه بخار..... ۱۱
- ۲-۴-۱) حلقه های کنترلی در نیروگاه بخار..... ۱۲
- ۵-۱) فصل بندی پروژه ۱۳

فصل دوم- سیستمهای هیدرولیک و مدل سازی سیستم های کنترل سطح

- ۱۵-۲(۱)مقدمه.....
- ۱۶-۲(۱-۱) تجهیزات اصلی در سیستم های نیروی هیدرولیکی.....
- ۱۸-۲(۲)سیستمهای سطح مایع و مدلسازی آنها.....
- ۱۸-۲(۱-۲) خطی سازی ریاضی.....
- ۲۰-۲(۲-۲) مقدماتی از سیستم های سطح مایع و مدلسازی.....
- ۲۵-۲(۳)حلقه های کنترل سطح مایع در نیروگاهها.....
- ۲۶-۲(۱-۳) کنترل سطح کندانسور.....
- ۲۷-۲(۲-۳) کنترل سطح هیترهای فشارضعیف و فشار قوی.....
- ۳۱-۲(۳-۳) کنترل سطح تانکهای AIR Preheater-BlowDown.....
- ۳۲-۲(۴-۳) کنترل سطح درام و دیاراتور.....
- ۴۰-۲(۴)ملاحظات عملی.....
- ۴۰-۲(۱-۴) سنسورهای کنترل سطح.....
- ۴۲-۲(۲-۴) فرایند اندازه گیری سطح.....
- ۵۸-۲(۵) انواع مدارهای کنترل فیدبک صنعتی.....
- ۶۶-۲(۶)اجرای دو روش مرسوم کنترل سطح.....

۶۶ (۱-۶-۲) فرایند کنترل سطح

۶۸ (۲-۶-۲) کنترل سطح مایع ساده با عمل کنترل دو وضعیتی

۷۰ (۳-۶-۲) کنترل انتگرالی سیستم های کنترل سطح مایع

فصل سوم - پیاده سازی کنترل تطبیقی بهینه روی سطح یک تانک

۷۳ (۱-۳) مقدمه

۷۵ (۲-۳) معرفی کنترل تطبیقی و فرم گسسته آن

۷۵ (۱-۲-۳) چرا کنترل تطبیقی؟

۷۶ (۲-۲-۳) کنترل تطبیقی چیست؟

۷۶ (۳-۲-۳) جدول بندی بهره

۷۷ (۴-۲-۳) تخمین پارامتر

۷۷ (۱-۴-۲-۳) حداقل مربعات

۷۸ (۲-۴-۲-۳) محاسبات بازگشتی

۷۹ (۳-۴-۲-۳) تخمین حداقل مربعات بازگشتی

۸۰ (۵-۲-۳) رگولاتورهای خود تنظیم

۸۱ (۱-۵-۲-۳) طراحی جایابی قطب

۸۳ (۲-۵-۲-۳) رگولاتور خود تنظیم غیر مستقیم

۸۴ (۳-۵-۲-۳) رگولاتور خود تنظیم مستقیم

۸۵ (۶-۲-۳) کنترل تطبیقی مدل مرجع

۳-۳) تعریف مساله و اجرای انواع روشهای تطبیقی روی مدل خطی سطح تانک..... ۸۷

۳-۳-۱) رگولاتورهای خود تنظیم (روش اول) ۸۸

۳-۳-۱-۱) رگولاتور خود تنظیم غیر مستقیم ۸۹

۳-۳-۱-۲) رگولاتور خود تنظیم مستقیم ۹۴

۳-۳-۲) کنترل تطبیقی مدل مرجع (روش دوم) ۹۸

۳-۳-۲-۱) قاعده **MIT** ۹۸

۳-۳-۲-۲) روش **MRAC** ۹۹

۳-۳-۳) مقایسه روش پیشنهادی با روشهای دیگر ۱۱۰

مقایسه روش پیشنهادی با روشهای دیگر ۱۱۱

فصل چهارم - جمع بندی

۴-۱) جمع بندی مطالب و پیشنهادات ۱۱۴

منابع ۱۱۵

چکیده

همانطور که میدانیم بسیاری از صنایع و پروسه های علمی به محفظه ها و تانک های مواد نیاز دارند مهمترین بخش یک نیروگاه بخار تانک های حاوی مایعات هستند که عملیات کنترلی مختلفی روی آنها بایستی انجام پذیرد از جمله: کنترل غلظت مواد درون آنها. کنترل دما و کنترل سطح مایع. از آنجا که کنترل سطح مایع یک عمل ضروری در یک سیستم موفق کنترل است، ایده های کارا تر به بهبود کیفیت خروجی و افزایش بهره وری اقتصادی می انجامد. کنترل تطبیقی نوع خاصی از کنترل با فیدبک غیر خطی است که در آن حالت های سیستم به دو دسته تقسیم می شوند. پارامترهایی با تغییرات آرام و متغیرهای حالت با تغییرات سریع تر. بسیاری از پروسه های به این صورت مشخص می شوند که پارامترهای آنها یا متغیرند و یا مجهول که سیستم های تطبیقی را برای کنترل شان می طلبد سیستم های کنترل تطبیقی غیر خطی اند حتی اگر سیستم تحت کنترل، یک سیستم غخطی باشد و یا بصورت یک مدل خطی شده در نظر گرفته شده باشد. ساختار سیستمهای تطبیقی و مکانیزم مورد استفاده برای تطبیق پارامترهای متغیر یا مجهول باعث غیر خطی شدن سیستم کنترل می شود.

پایان نامه حاضر چندین نوع سیستم کنترل تطبیقی (رهیافت گرادیان: روش **MIT** برای تطبیق پارامتر، مدل مرجع و رگولاتورهای خود تنظیم) و کاربردهای آنها را برای کنترل سطح ارائه میکند. سیستم کنترل سطح هیدرولیکی از یک نقطه نظر متفاوت بررسی شده اند سیستم های کنترل سطح هیدرولیکی استاندارد به این صورت می باشند که بایستی سطح مایع درون یک مخزن در یک مقدار ثابت، تثبیت شود. این هدف را میتوان با یک سیستم کنترل بهره فید بک خطی تحصیل کرد. اما هر گاه هدف کنترل این باشد که سطح درون مخزن طبق یک تابع از پیش تعیین شده تغییر کند، آنگاه استفاده از کنترل تطبیقی اجتناب ناپذیر است، چرا که پارامترهای سیستم بر اساس سطح متغیر، مایع تغییر میکنند. همچنین وضعیتی که پارامترهای سیستم نیز نامعلوم باشند در نظر گرفته شده اند. توانایی روش پیشنهادی با مقایسه این روش و روش مرسوم **PID** تشریح شده است.

فصل اول

مقدمه

۱-۱ نگاه کلی به سیستمهای هیدرولیک

امروزه در بسیاری از فرآیندهای صنعتی، انتقال قدرت آن هم به صورت کم هزینه و با دقت زیاد مورد نظر است در همین راستا بکارگیری سیال تحت فشار در انتقال و کنترل قدرت در تمام شاخه های صنعت رو به گسترش است. استفاده از قدرت سیال به دو شاخه مهم هیدرولیک و نیوماتیک (که جدیدتر است) تقسیم میشود .

از نیوماتیک در مواردی که نیروهای نسبتا پایین (حدود یک تن) و سرعت های حرکتی بالا مورد نیاز باشد (مانند سیستمهایی که در قسمتهای محرک رباتها بکار می روند) استفاده میکنند در صورتیکه کاربردهای سیستمهای هیدرولیک عمدتا در مواردی است که قدرتهای بالا و سرعت های کنترل شده دقیق مورد نظر باشد(مانند جک های هیدرولیک ، ترمز و فرمان هیدرولیک و...).

حال این سوال پیش میاید که مزایای یک سیستم هیدرولیک یا نیوماتیک نسبت به سایر سیستمهای مکانیکی یا الکتریکی چیست؟ در جواب می توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- طراحی ساده

۲- قابلیت افزایش نیرو

۳- سادگی و دقت کنترل

۴- انعطاف پذیری

۵- راندمان بالا

۶- اطمینان

در سیستم های هیدرولیک و نیوماتیک نسبت به سایر سیستمهای مکانیکی قطعات محرک کمتری وجود دارد و میتوان در هر نقطه به حرکتی خطی یا دورانی با قدرت بالا و کنترل مناسب دست یافت ، چون انتقال قدرت توسط جریان سیال پر فشار در خطوط انتقال (لوله ها و شیلنگ ها) صورت

میگیرد ولی در سیستمهای مکانیکی دیگر برای انتقال قدرت از اجزایی مانند بادامک ، چرخ دنده ، گاردان ، اهرم ، کلاچ و... استفاده میکنند.

در این سیستمها میتوان با اعمال نیروی کم به نیروی بالا و دقیق دست یافت همچنین میتوان نیروهای بزرگ خروجی را با اعمال نیروی کمی (مانند بازو بسته کردن شیرها و ...) کنترل نمود.

استفاده از شیلنگ های انعطاف پذیر ، سیستم های هیدرولیک و نیوماتیک را به سیستمهای انعطاف پذیری تبدیل میکند که در آنها از محدودیتهای مکانی که برای نصب سیستمهای دیگر به چشم می خورد خبری نیست. سیستم های هیدرولیک و نیوماتیک به خاطر اصطکاک کم و هزینه پایین از راندمان بالایی برخوردار هستند همچنین با استفاده از شیرهای اطمینان و سوئیچهای فشاری و حرارتی میتوان سیستمی مقاوم در برابر بارهای ناگهانی ، حرارت یا فشار بیش از حد ساخت که نشان از اطمینان بالای این سیستمها دارد.[1]

اکنون که به مزایای سیستم های هیدرولیک و نیوماتیک پی بردیم به توضیح ساده ای در مورد طرز کار این سیستمها خواهیم پرداخت.

برای انتقال قدرت به یک سیال تحت فشار (تراکم پذیر یا تراکم ناپذیر) احتیاج داریم که توسط پمپ های هیدرولیک میتوان نیروی مکانیکی را تبدیل به قدرت سیال تحت فشار نمود. مرحله بعد انتقال نیرو به نقطه دلخواه است که این وظیفه را لوله ها، شیلنگ ها و بست ها به عهده میگیرند .

بعد از کنترل فشار و تعیین جهت جریان توسط شیرها سیال تحت فشار به سمت عملگرها (سیلندرها یا موتور های هیدرولیک) هدایت میشوند تا قدرت سیال به نیروی مکانیکی مورد نیاز(به صورت خطی یا دورانی) تبدیل شود.

اساس کار تمام سیستم های هیدرولیکی و نیوماتیکی بر قانون پاسکال استوار است.

قانون پاسکال:

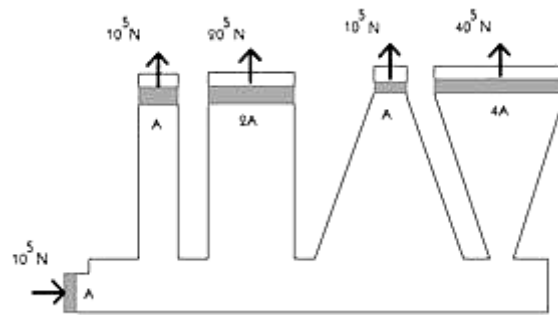
۱. فشار سرتاسر سیال در حال سکون یکسان است .(با صرف نظر از وزن سیال)

۲. در هر لحظه فشار استاتیکی در تمام جهات یکسان است.

۳. فشار سیال در تماس با سطوح بصورت عمودی وارد میگردد.

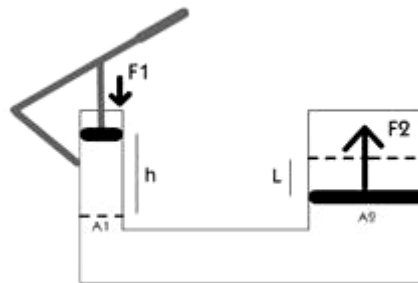
همانطور که در شکل ۱ می بینید یک نیروی ورودی نیوتنی میتواند نیروی مورد نیاز چهار سیلندر دیگر را

تامین کند. [1]



شکل ۱-۱

یا در شکل ۲ داریم :

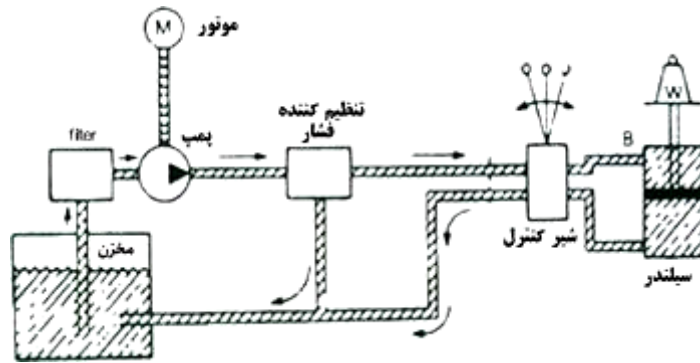


شکل ۲-۱

اجزای تشکیل دهنده سیستم های هیدرولیکی:

- ۱- مخزن : جهت نگهداری سیال
- ۲- پمپ : جهت به جریان انداختن سیال در سیستم که توسط الکترو موتور یا ۳- موتور های احتراق داخلی به کار انداخته می شوند.
- ۴- شیرها : برای کنترل فشار ، جریان و جهت حرکت سیال
- ۵- عملگرها : جهت تبدیل انرژی سیال تحت فشار به نیروی مکانیکی مولد کار(سیلندرهای هیدرولیک برای ایجاد حرکت خطی و موتور های هیدرولیک برای ایجاد حرکت دورانی).

شکل ۳ یک سیستم هیدرولیکی را نشان میدهد. [1]

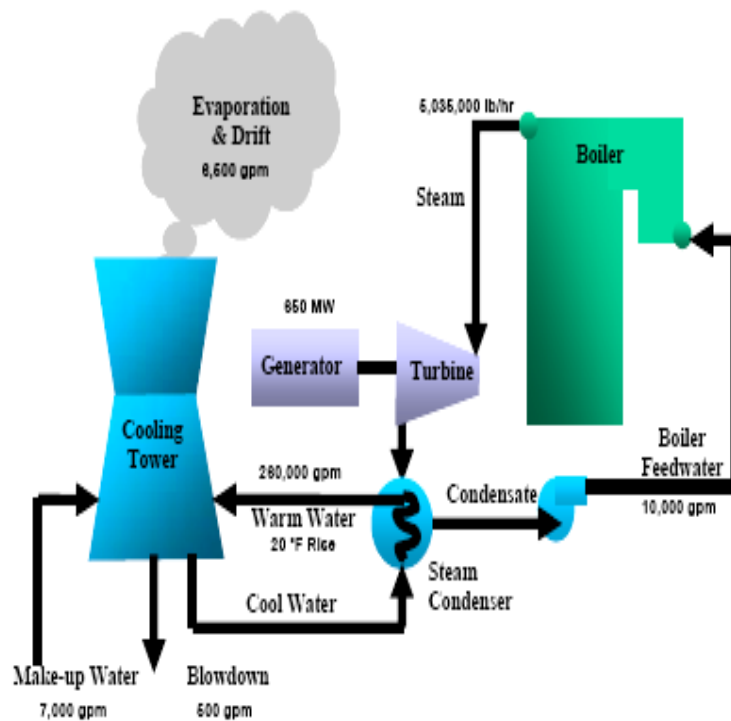


شکل ۱-۳

برخی مشخصات دیگر:

- در سیستمهای هیدرولیک از سیال تراکم ناپذیر مثل روغن استفاده می کنند.
- در سیستمهای هیدرولیک روغن علاوه بر انتقال قدرت وظیفه روغن کاری قطعات داخلی سیستم را نیز بر عهده دارد
- دقت محرک های هیدرولیکی در هر سرعتی رضایت بخش است.

۱-۲ آشنایی اولیه با نیروگاهها



شکل ۱-۴ بلوک دیاگرام یک نیروگاه بخار

نیروگاه چیست؟

به مجموعه ای از دستگاه ها تجهیزات و سیستم های اصلی و کمکی که به همراه نیروهای متخصص انسانی دست به دست هم داده تا انرژی الکتریکی تولید کنند را نیروگاه گویند. در حالت کلی نیروگاهها را می توان به دو دسته تقسیم کرد:

نیروگاههای غیر حرارتی مانند نیروگاههای آبی و بادی

نیروگاههای حرارتی مانند نیروگاههای بخاری، گازی، سیکل ترکیبی، هسته ای و...

در تمام نیروگاههای ذکر شده فصل مشترکی وجود دارد که آن همان تبدیل انرژی مکانیکی حاصل از چرخش پره های توربین به انرژی الکتریکی توسط ژنراتور می باشد. صرفه نظر از مقایسه نوع دستگاهها، توربین ژنراتور و تجهیزات بکار رفته در نیروگاهها این مسئله که همه آنها هدفشان تبدیل انرژی مکانیکی به انرژی الکتریکی است مشهود است. آنچه نیاز به توضیح دارد فرآیندی است که تا قبل از این مرحله به وقوع می پیوندد. که از این حیث نیروگاهها را تقسیم بندی مینمایند.

۱-۲-۱ نیروگاه حرارتی

از اواخر قرن نوزدهم بشر برای تولید الکتریسیته از نیروگاه های حرارتی استفاده می کند. در این نیروگاه ها ابتدا زغال سنگ مصرف می شد و بعدها فرآورده های سنگین نفتی مورد استفاده قرار گرفت. اساس کار این نیروگاه ها بر گرم کردن آب تا حالت بخار است و سپس بخارهای تولید شده توربین های تولیدکننده الکتریسیته را به حرکت در می آورند. عیب این نوع نیروگاه ها تولید گاز کربنیک فراوان و اکسیدهای ازت و گوگرد و غیره است که در جو زمین رها شده و محیط زیست را آلوده می کنند. دانشمندان بر این باورند که در اثر افزایش این گازها در جو زمین اثر گلخانه ای به وجود آمده و دمای کره زمین در حال افزایش است.

۱-۲-۲ نیروگاه بخاری

نیروگاه بخار همانطور که از اسم آن مشخص است در عمل پره های توربین بخار توسط فشار زیاد بخار آب، به حرکت در آمده و ژنراتور را که با توربین کوپل شده است، به چرخش در می آورد. در نتیجه ژنراتور انرژی الکتریکی تولید می کند. نیروگاه بخار به مقدار زیادی آب جهت تولید بخار و مصرف برج خنک کن و سیستم آتش نشانی نیاز دارد. در نتیجه در محلهایی که آب به فراوانی یافت می شود، ترجیحا از این نوع نیروگاه استفاده می شود. سوخت نیروگاه شامل مازوت و یا گازوئیل و گاز طبیعی است. قسمتهای مهم نیروگاه عبارتند از: توربین، کندانسور، ژنراتور

سیستم خنک کن: برج خنک کن ممکن است از نوع خشک یا تر باشد

سیستم تصفیه آب که شامل: سیستم تصفیه آب جهت برج خنک کن و سیستم تصفیه آب جهت تولید بخار می باشد، بویلر: دارای دو درام بالائی و پائینی می باشد.

۱-۲-۳ نیروگاه دیزلی

در نیروگاه دیزل با استفاده از سوخت گاز یا مایع در سیلندرها، انرژی مکانیکی به دست می آید که توسط ژنراتور به انرژی الکتریکی تبدیل می گردد. نیروگاه دیزل برخلاف دیگر نیروگاه های حرارتی و آبی، فاقد توربین می باشد.

این ساده ترین نوع نیروگاه است که به راحتی نصب و راه اندازی می شود. اگر وقت صرف شده جهت نصب و راه اندازی یک واحد نیروگاه دیزلی را یک فرض کنیم، نیروگاه گازی ۱۰، نیروگاه بخاری ۲۰، و نیروگاه آبی ۹۰ واحد زمان لازم خواهد داشت. امروزه حتی اگر نیروگاه های دیزلی را بخواهیم به طور کامل کنار بگذاریم، بازهم استفاده از دیزل ژنراتور در نیروگاه ها ضروری است. زمانی که شبکه سراسری Black Out می شود، برق اولیه به وسیله یک دیزل ژنراتور تأمین می گردد که به نوبه خود توربین گازی را با برق ۳۸۰ ولت AC به عنوان Prime Mover راه می اندازد. توربین گازی به نوبه خود بار لازم برای راه اندازی توربین های بخار را تأمین می کند. [2]

۱-۲-۴ نیروگاه گازی

نیروگاه گازی طبق چرخه برایتون و با استفاده از گاز حاصل از احتراق، توربین را به گردش درمی آورد. نیروگاه گازی دارای توربین گازی است، یعنی باسیکل رایتون کار می کند. ساختمان آن در مجموع ساده است شامل:

۱- کمپرسور: جهت فشرده کردن هوا

۲- اتاق احتراق: وظیفه سوزاندن سوخت در محفظه ..

۳- توربین: جهت گرداندن ژنراتور

کمپرسور به کاررفته در نیروگاه های گازی شبیه توربین است، دارای رتوری است که بر روی این رتور پره متحرک است، هوا به حرکت درآمده و به پره های ساکنی برخورد کرده، در نتیجه جهت حرکت هوا عوض شده و این هوا باز به پره های متحرک برخورد کرده و این سیکل ادامه دارد. مهمترین مزایای نیروگاه گازی در مقایسه با نیروگاه بخار به شرح زیر است:

۱- نیروگاه توربین گازی، در مقایسه با نیروگاه بخار کوچکتر است، وزن کمتری دارد و هزینه اولیه آن برای تولید هر واحد توان از هزینه مربوط به نیروگاه بخار کمتر است.

۲- مدت زمان لازم برای تحویل توربین گازی نسبتاً کوتاه است و می توان آن را سریعاً نصب کرد و مورد استفاده قرارداد.

۳- راه اندازی و توقف توربین های گازی ساده است و در عرض ده دقیقه این اعمال انجام می گیرد.

۴- آلودگی کمتری نسبت به توربین های دیگر دارد و به همین جهت در همه جا می توان آن را نصب کرد.

۵- اکثر توربین های گازی با هوا خنک می شوند و در نتیجه نیاز به آب و تصفیه خانه ندارند. اما این نیروگاه معایب مهمی هم به شرح زیر دارد:

۱- بازده چرخه برایتون، اصولاً به اندازه بازده چرخه رانکین (نیروگاه بخار) نیست.

۲- قطعات یدکی آن گران است.

توأم بودن هزینه سرمایه‌گذاری پایین و بازده پایین در توربین گازی موجب می‌شود که از آن عمدتاً به‌عنوان نیروگاه تأمین بار پیک استفاده شود و طبعاً از چنین نیروگاهی انتظار نمی‌رود بیش از ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ ساعت در سال در مدار باشد. بدیهی است که برای چنین مواردی، استفاده از نیروگاه‌های بزرگ بخار، غیراقتصادی خواهد بود. راندمان در حدود ۳۵٪ است

۱-۲-۵ نیروگاه سیکل ترکیبی

نیروگاه چرخه ترکیبی به نیروگاهی گفته می‌شود که در آن هم در توربین گازی و هم در توربین بخار، قدرت تولید می‌شود. به این ترتیب از انرژی بسیار زیاد گازهای خروجی توربین، برای تولید بخار جهت یک نیروگاه بخار استفاده می‌شود. این روش کاملاً عملی است زیرا توربین گاز، یک ماشین با دمای نسبتاً بالا و توربین بخار، یک ماشین با دمای نسبتاً پایین است. این کارکرد توأم توربین گازی در «طرف گرم» و توربین بخار در «طرف سرد» را نیروگاه چرخه ترکیبی می‌نامند.

چرخه ترکیبی علاوه بر داشتن بازده و توان بالا، از مزایای دیگری نیز مانند انعطاف‌پذیری، راه‌اندازی سریع، مناسب بودن برای تأمین بار پایه و عملکرد دوره‌ای و بازده بالا در محدوده گسترده‌ای از تغییرات بار برخوردار است. راندمان این نیروگاه‌ها ۵۰٪ می‌باشد. [2]

۱-۲-۶ نیروگاه اتمی

نیروگاه‌های اتمی: در دهه اول و دوم قرن بیستم نظریه‌های نسبیت اینشتین امکان تبدیل جرم به انرژی را به بشر آموخت (فرمول مشهور اینشتین $E = mc^2$). بعد از این مرحله غیر انسانی از کاربرد فرمول اینشتین، و از آن پس نیروگاه‌های اتمی متکی بر پدیده شکست اتم‌های اورانیم-تبدیل بخشی از جرم آنها به انرژی-برای تولید الکتریسیته ساخته شد.

۱-۳ نیروگاه‌های غیر حرارتی

۱-۳-۱ نیروگاه آبی

نیروگاه‌های آبی:

در این نیروگاه‌ها انرژی پتانسیل آب به انرژی مکانیکی تبدیل می‌شود. مقدار انرژی تولید شده به دبی آب و مقدار نشتی بستگی دارد. توربین‌های آبی معمولاً به سه دسته تقسیم می‌شوند:

پلتون، فرانسیس و کاپلان که در هر نیروگاه متناسب با همدیگر دبی آب نصب می‌شوند. هر توربین شامل اجزای زیر است:

۱- محفظه حلزونی ۲- حلقه ثابت ۳- پره‌های تنظیم‌کننده جریان آب ۴- رانر ۵- درافت تیوب

در مناطقی از جهان که رودخانه‌های پر آب دارند به کمک سد آب‌ها را در پس ارتفاعی محدود کرده و از ریزش آب بر روی پره‌های توربین انرژی الکتریکی تولید می‌کنند.

بلندا، میزان آب (دبی)، تداوم جریان آب، در دسترس بودن و نیز مناسب بودن زمینی که باید زیر آب برود، عواملی هستند که در مورد نیروگاه‌های آبی از اهمیت بسیار برخوردارند. حتی وجود یک رودخانه مرتفع دائمی پرآب، سرمایه عظیمی به حساب می‌آید زیرا می‌توان در مسیر آن سدهای متعددی احداث کرد و برق بسیاری تولید نمود.

۱-۳-۲ نیروگاه بادی

عامل تولید برق در این نیروگاه باد می‌باشد، چراکه توربین‌های آنها از نوع بادی میباشند. توربین بادی: توربین وسیله‌ای است که انرژی باد را به گشتاور و توان الکتریکی تبدیل می‌کند. یک واحد خود از ۴ قسمت اصلی تشکیل شده است:

امبیدر سیلندر (سیلندر مدنون)، برج (تهتانی و فوقانی)، نافل (ماشین فونه) و نويز کون (دماغه) ژنراتور نیروگاه‌های بادی از نوع آسنکرون میباشند توان تولید شده در یک توربین به سه عامل مهم بستگی دارد. ۱- چگالی انرژی باد: چگالی انرژی باد به صورت وات برهرمترمربع اندازه‌گیری می‌شود و نشان‌گر این است که چقدر انرژی برای تبدیل شدن توسط یک توربین بادی در مکان موجود می‌باشد. هر چه چگالی هوا بیشتر باشد انرژی بیشتری را می‌توان از توربین دریافت کرد. ۲- مساحت روتور: مساحت روتور عامل بسیار مهمی در قدرت بدست آمده از توربین است. توان با مساحت جاروب شده توسط پره‌ها و در نتیجه با توان دوم قطر روتور رابطه مستقیم دارد.

۳- سرعت باد: معمولاً انتخاب محل نصب توربین در جاهایی است که پتانسیل بادی خوبی دارند انرژی موجود در جریان باد نسبتی است از مکعب سرعت باد. بدین معنا که دوبرار شدن سرعت باد انرژی تولیدی را هشت برابر می‌کند. معمولاً توربین‌های بادی در یک بازه سرعت ۲۵ m/s تا ۵۰ m/s کار می‌کنند. [2]

قسمت‌های مختلف یک توربین بادی:

به طور کلی توربین‌های بادی به دو نوع توربین‌های با محور افقی^۱ و توربین‌های با محور عمودی^۲ البته چون باد در سطح زمین سرعت کمی دارد و همچنین قابلیت استفاده از مکانیزم کنترلی (yaw مکانیزم کنترلی yaw مکانیزمی است که توسط یک سیستم کنترلی توربین را در جهت باد قرار می‌دهد). که توسط موتور و درایو yaw انجام می‌شود. باعث شده تا توربین‌های عمودی نسبت به توربین‌های افقی مقداری متداول تر باشند.

یک توربین بادی برای تولید برق مراحل زیر را طی می‌کند:

1 - Horizontal Axis Wind Turbine HAWT

2 - Vertical Axis Wind Turbine VAWT

- الف. باد از پره‌های چرخان عبور می‌کند و یک نیروی چرخش دهنده ایجاد می‌کند.
- ب. نیروی چرخش دهنده توسط شفت سرعت پایین به جعبه دنده (گیربکس) منتقل می‌شود.
- ج. جعبه دنده سرعت چرخش برای ژنراتور را افزایش می‌دهد.
- د. ژنراتور از میدان مغناطیسی برای تبدیل انرژی چرخشی به انرژی الکتریکی استفاده می‌کند.
- ه. ترانسفورماتور انرژی حاصل از ژنراتور را که حدود ۷۰۰ ولت است را به ولتاژ مناسب برای سیستم توزیع که معمولاً ۲۰ کیلو ولت است تبدیل می‌کند و به شبکه‌ی توزیع می‌دهد. [2]

۳-۳-۱ انرژی های نو

۱- انرژی خورشیدی

یک نیروگاه خورشیدی شامل تاسیساتی است که انرژی تابشی خورشید را جمع کرده و با متمرکز کردن آن، درجه حرارت‌های بالا ایجاد می‌کند. انرژی جمع آوری شده از طریق مبدل‌های حرارتی، توربین ژنراتورها و یا موتورهای بخار به انرژی الکتریکی تبدیل خواهد شد. نیروگاه‌های خورشیدی بر اساس نوع متمرکز کننده‌ها به سه دسته تقسیم می‌شوند.

۱- نیروگاه سهموی خطی^۳

۲- نیروگاه دریافت کننده مرکزی (C.R.S)

۳- نیروگاه دیش استرلینگ (این تکنولوژی در نیروگاه‌های خورشیدی مورد استفاده کمتری دارد و در کاربردهای غیر نیروگاهی بیشتر استفاده می‌شوند)

۲- انرژی زمین گرمایی

ز انرژی زمین گرمایی در دو بخش کاربردهای نیروگاهی (غیر مستقیم) و غیر نیروگاهی (مستقیم) استفاده می‌شود.

۳- فن آوری هیدروژن، پیل سوختی و زیست توده

۴-۱ لزوم کنترل و حلقه های کنترلی در نیروگاهها

۱-۴-۱ کنترل در نیروگاه بخار

کنترل علمی است که در مورد چگونگی تحت اختیار در آوردن و هدایت رفتارهای پروسه‌ها صحبت می‌نماید و همانطور که می‌دانیم در عمل و کنترل کاربردی برای روشن شدن نقش انسان سیستم‌های کنترل را به دو دسته تقسیم مینمایند سیستم‌های کنترل اتوماتیک و سیستم‌های دستی یا غیر خودکار .

اهمیت کنترل اتوماتیک در صنایع و زندگی روزمره عصر حاضر بر هیچکس پوشیده نیست و به جرات می‌

³ - Parabolic Trough Collectors

توان گفت که یکی از مهمترین بخشهای صنایع امروز را سیستم های کنترل اتوماتیک تشکیل می دهد کاربرد کنترل اتوماتیک موجب بالا رفتن کیفیت و کمیت تولید محصول شده و همچنین ایمنی محیطهای صنعتی را بالا برده است

کنترل پروسه های بزرگ و پیچیده مسائل و مشکلات مخصوص به خود را دارد بعنوان مثال شمار حلقه های کنترلی در یک مجتمع پتروشیمی گاهی بیش از یک هزار حلقه می رسد در نیروگاهها نیز حلقه های کنترلی زیادی بکار گرفته شده است همچنین هریک از این حلقه ها علاوه بر ارتباطات داخلی ممکن است با حلقه های دیگر نیز ارتباطاتی داشته باشند .

در دهه های اخیر بدنبال رشد و توسعه روز افزون صنعت سیستم های کنترل صنعتی نیز رشد و توسعه فراوانی یافته اند که شناخت این سیستمها و قسمتهای آن از اهمیت ویژه ای برخوردار است که به اختصار شامل: فرآیند ، اندازه گیر، مبدل و انتقال دهنده ، مقایسه کننده ، کنترل کننده ، تقویت کننده، محرک و عنصر نهایی میباشد . که در اینجا فرایند ما فرایند سطح مایع میباشد که هدف تحت اختیار در آوردن آن میباشد.

سیستم کنترل سطح مایع در مخازن، در اغلب پروسه های صنعتی دیده می شود و یکی از مهمترین حلقه های کنترلی در مخازن نیروگاهها و پالایشگاهها به شمار می رود. روش مرسوم در پیاده سازی این سیستم کنترل که حتی هنوز هم بطور وسیعی در صنایع داخلی بکار گرفته می شود، استفاده از تکنیکهای کنترل خطی از جمله خانواده PID است. گرچه سادگی ساخت و استفاده از این گونه کنترلرها، امتیاز ویژه ای برای آنها محسوب می شود لکن بازده فرآورده ها، عملکرد بهتر، بهره وری اقتصادی بیشتر و قابلیت اطمینان و حتی امنیت کاربر در ایده های جدیدتری وجود دارد که امروزه بسیاری از شرکتها و کارخانه های بزرگ در صدد پیاده سازی عملیاتی آنها هستند. از این روست که شناخت حلقه های کنترلی در یک مجتمع صنعتی اهمیت ویژه ای برای بهره برداران و مهندسان خواهد داشت. که ما در اینجا به معرفی پاره ای از حلقه های کنترلی در یک نیروگاه بخار خواهیم پرداخت(نیروگاه بخار اصفهان(اسلام آباد))

۱-۴-۲ حلقه های کنترلی در نیروگاه بخار

۱-۴-۲-۱ حلقه های کنترل در مسیر آب

کنترل سطح کندانسور

حلقه کنترل مینیمم فلوی پمپ های کندانسور

کنترل سطح هیترهای فشار قوی و فشار ضعیف

حلقه های کنترل در دیاراتور

حلقه های کنترل مینیمم فلوی فید پمپها

۱-۴-۲-۲ حلقه های کنترل در سیستمهای کمکی واحد

- کنترل فشار بخار کمکی

- کنترل فشار و دمای بخار پودر کننده سوخت

- کنترل سطح تانکهای AIR preheater- Blow Down

- کنترل فشار بخار گلندهای توربین

۱-۴-۲-۳ حلقه های کنترل مسیر سوخت و هوا و دود

- کنترل فشار و دمای سوخت

- کنترل دمای ژنگستروم

- کنترل هوای دمپهای کمکی

- کنترل فشار هوای پیلوتها

۱-۴-۲-۴ حلقه های کنترل بویلر و توربین

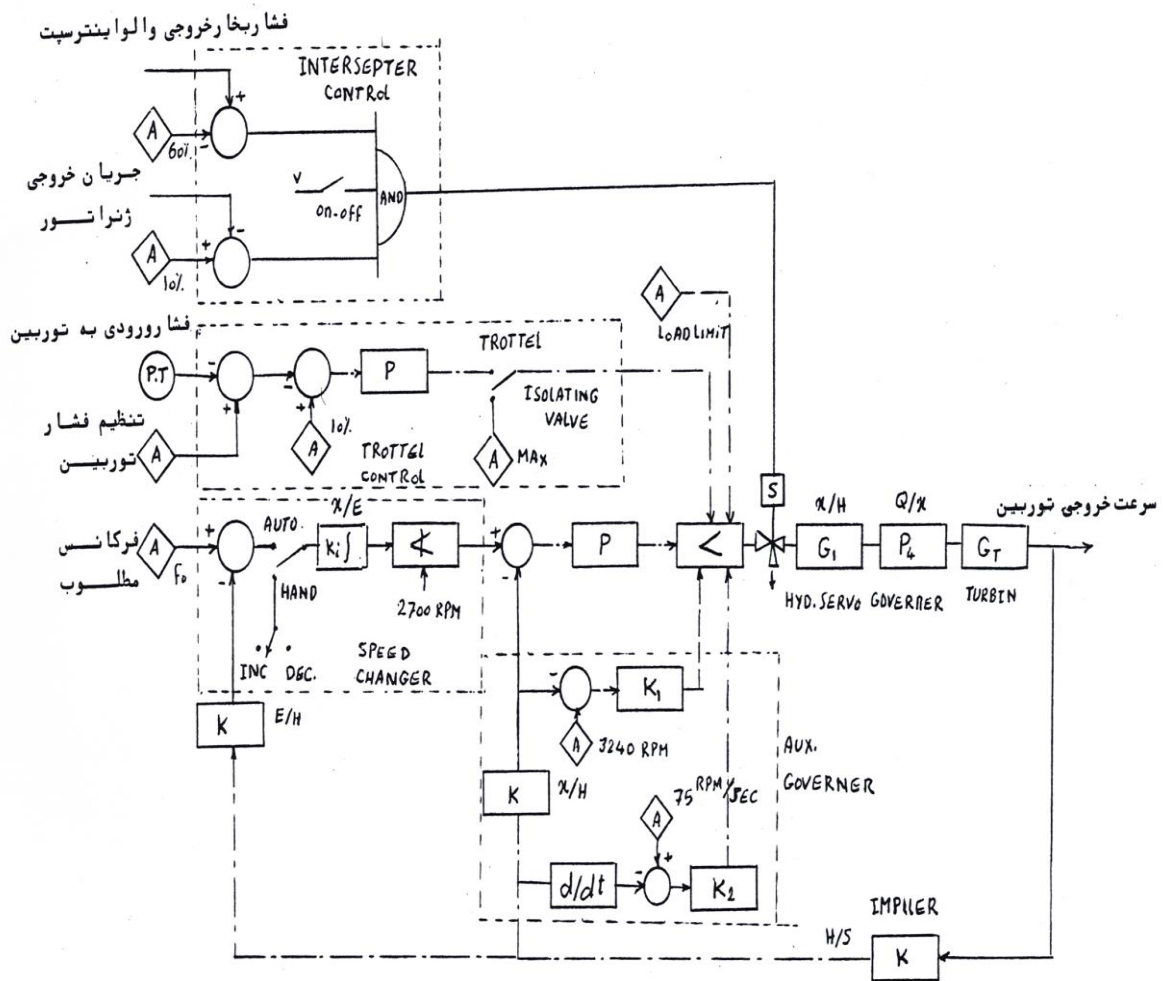
- کنترل سطح درام (آب تغذیه)

- کنترل دمای بخار

- کنترل احتراق (دبی سوخت و هوا)

- کنترل دور توربین

۱-۴-۲-۵ کنترل بار واحد



شکل ۱-۵ بلوک دیاگرام سیستم کنترل توربین [4]

با توجه به اینکه پرداختن به مسائل و حلقه های کنترلی خارج از بحث اصلی ما که همان کنترل سطح مخازن و تانکهای نیروگاهی میباشد لذا تنها در همین حد و بصورت معرفی به آنها اشاره نموده و تنها حلقه های کنترل سطح را در ادامه بحث مورد توجه قرار می دهیم

۱-۵ فصل بندی پروژه

با توجه به مطالب فصل قبل، اینک روند و رویکرد پروژه را به ترتیبی که در فصول بعد می آید تشریح خواهیم نمود

با توجه به اهمیت سیستمهای هیدرولیک و ارتباط نزدیکی که با مبحث اصلی دارد، در ابتدای فصل دوم نگاه دقیقتری را به سیستمهای هیدرولیک خواهیم انداخت و ضمن معرفی سیستمهای کنترل سطح به مدلسازی این سیستمها خواهیم پرداخت در ادامه مبحث به حلقه های کنترل سطح در نیروگاه ها خواهیم پرداخت (البته نیروگاه بخار مورد نظر) که تقریبا پایه بحث ما از اینجا شروع خواهد شد در قسمت بعد به پاره ای از ملاحظات عملی در خصوص کنترل و خصوصا کنترل سطح اشاره مینماییم. در بخش بعد اجرای دو روش معمول و رایج کنترل سطح را در دستور کار قرار می دهیم که شامل کنترل دو وضعیتی on-off و تناسبی - انتگرالی-مشتق گیر PID خواهد بود.

در فصل بعد روش کنترل تطبیقی بهینه را روی یک تانک پیاده خواهیم نمود بدین صورت که با توجه به نیاز ابتدا ضمن معرفی اجمالی کنترل تطبیقی شرحی در چگونگی این روش و فرم گسسته آن نگاشته ایم سپس ضمن تعریف مساله مد نظر روش کنترل تطبیقی بهینه را بر روی مدل خطی شده سطح تانک اجرا نموده و به کمک شبیه سازی نتایج را بررسی مینماییم و در پایان روش پیشنهادی را با روشهای دیگر مقایسه نموده و نتایج آنرا استخراج نموده و پیشنهادات لازم را ارائه نموده ایم

فصل دوم

سیستمهای هیدرولیک و مدل سازی سیستم های کنترل سطح

۲- سیستم‌های هیدرولیک و مدل سازی سیستم های کنترل سطح

۱-۲ مقدمه

در دهه های اخیر بدنبال رشد و توسعه روز افزون صنعت، سیستم های کنترل صنعتی نیز رشد و توسعه فراوانی یافته اند، که شناخت این سیستمها و قسمتهای آن از اهمیت ویژه ای برخوردار است که به اختصار شامل: فرآیند، اندازه گیر، مبدل و انتقال دهنده، مقایسه کننده، کنترل کننده، تقویت کننده، محرک و عنصر نهایی میباشند. و همانطور که میدانیم کنترل یعنی در اختیار در آوردن فرآیندها، و کنترل صنعتی یعنی تحت اختیار آوردن فرایندهای صنعتی، از آنجا که در این بخش فرایند ما فرایند سطح مایع میباشد، که هدف تحت اختیار در آوردن آن میباشد. همانطور که میدانیم در یک سیستم کنترل مثلا سطح مایع پس از اندازه گیری سطح با استفاده از اندازه گیرها مقدار اندازه گیری شده به کنترل کننده منتقل شده و کنترل کننده با توجه به خطای موجود (اختلاف رفتار پروسه با رفتار مطلوب) با در نظر گرفتن قوانین کنترل (استراتژی کنترل) دستور را به قسمتهای دیگر محرک، عنصر نهایی ارسال می دارد. از سوی دیگر با توجه به اینکه کنترل کننده ها از نظر نیرو و انرژی محرکه به سه دسته تقسیم میشوند یعنی:

کنترل کننده های الکتریکی و الکترونیکی، کنترل کننده های پنوماتیکی و کنترل کننده های هیدرولیکی و از آنجا که سیستمهای کنترل سطح مایع ارتباط تنگاتنگی با سیستمهای هیدرولیکی دارند لذا قدری به معرفی سیستمهای هیدرولیک خواهیم پرداخت. همانطور که در فصل قبل بیان شد سیستمهای هیدرولیک در تمام شاخه های صنعت رو به گسترش است و استفاده از سیالات برای انتقال انرژی از دیر باز متداول بوده است چرخ های آبی مثالی آشنا و قدیمی در این مورد است در این چرخها از جریان آب (انرژی جنبشی) و یا سقوط آن (انرژی پتانسیل) برای به حرکت در آوردن چرخ استفاده می شود.

در سیالات انرژی به صورت فشار نیز میتواند ذخیره و انتقال یابد برای داشتن ایده ای واقعی تر از این اثر میتوان یک فنر فشرده را در نظر گرفت انتقال فنر فشرده از یک نقطه به نقطه دیگر به معنی انتقال انرژی

ذخیره شده در آن از یک نقطه به نقطه دیگر می باشد

سیستمهایی که از روغن هیدرولیک به عنوان سیال تحت فشار استفاده میکنند را اصطلاحاً سیستمهای هیدرولیکی گویند

همانطور که در فصل پیش نیز عنوان کردیم این سیستمها مزایای خاصی نسبت به سیستمهای پنوماتیکی و الکتریکی دارند یکی از ویژگی های مهم آنها انتقال سریع و بدون تاخیر انرژی و سیگنالهای کنترلی می باشد. چرا که روغن هیدرولیک (سیال تراکم ناپذیر) هر گونه تغییر فشاری را سریعاً منتقل می نماید در حالیکه در سیستمهای پنوماتیکی بدلیل تراکم پذیر بودن سیال (هوا) و در سیستم های الکتریکی به دلیل تاخیر در مدارات مغناطیسی سرعت انتقال پایین تر است

۲-۱-۱ تجهیزات اصلی در سیستم های نیروی هیدرولیکی

سه عنصر اساسی در سیستم های هیدرولیکی عبارتند از :

۱- پمپها

۲- شیرها

۳- محرک ها

البته مدارهای هیدرولیکی دارای لوازم و ملحقات دیگری نیز میباشند که در اینجا به آنها اشاره نمی کنیم.

۱- پمپها

پمپها مهمترین قسمت سیستمهای هیدرولیکی می باشند ، شاید یک پمپ را عامل ایجاد فشار بدانیم، اما در واقع پمپها عامل ایجاد فلو در مدارهای هیدرولیکی میباشند و به عبارت دیگر از طریق ایجاد فلو فشار تولید میشود از نظر معادل الکتریکی یک پمپ را میتوان یک منبع جریان (فلو) تصور نمود که بر روی مقاومت الکتریکی (هیدرولیکی) تولید ولتاژ (فشار) می کند

پمپها به لحاظ به لحاظ ساختمان، انواع گوناگون دارند و هر یک به دلیل ویژگی های مخصوص ، کاربرد خاصی دارند

پمپها را میتوان به سه دسته کلی تقسیم نمود:

۱- پمپ های دنده ای (Gear-pump)

۲- پمپ های پره ای (Vane- pump)

۳- پمپهای پیستونی (Piston-pomp)

از ویژگی های مهم یک پمپ میتوان به دبی خروجی، فشار، سرعت دوران، میزان سر و صدا، نوسانات فشار، راندمان، آب بندی دوام، استهلاک و قیمت اشاره نمود [6]

۲- شیرها

در مدارهای هیدرولیکی شیرها معمولا وظایفی نظیر قطع و وصل، هدایت جهت دبی، کم و زیاد کردن مقدار دبی و تنظیم فشار را بر عهده دارند

شیرها با علائم و اختصارات خاصی نمایش داده می شوند

شناسایی انواع شیرها و آشنایی با عملکرد آنها امری لازم در طراحی مدارهای فرمان و کنترل هیدرولیکی میباشد

شیرها را معمولا بر اساس تعداد اتصال به آنها (ورودی و خروجی ها) و تعداد وضعیت ممکن شیر نامگذاری میکنند

۳- محرکها

محرک ها عناصری هستند که انرژی هیدرولیکی را به انرژی مکانیکی تبدیل میکنند .

محرکهای متداول در مدارات هیدرولیکی، سیلندر پیستونها (جکها) و موتورهای هیدرولیکی (هیدرو موتورها) می باشند از جکها برای تولید حرکت خطی (جابجایی) واز هیدروموتورها برای تولید حرکت دورانی استفاده میشود

ممکن است عناصر فرعی دیگری نیز در سیستمهای هیدرولیک مورد استفاده قرار بگیرند که پاره ای از آنها عبارتند از:

۱- فیلترها که به منظور گرفتن ذرات معلق و آشغال از مدار هیدرولیک بکار میروند.

۲- مدارهای خنک کننده روغن

چون دما بر ویژگی های روغن تاثیر میگذارد لذا لازم است از افزایش دما جلوگیری شود که این کار توسط مدارهای خنک کننده صورت میگیرد

۳- آکومولاتور

نقش آکومولاتور در یک مدار هیدرولیک شبیه نقش خازن صافی در یک منبع تغذیه می باشد

۲-۲ سیستمهای سطح مایع و مدلسازی آنها

۱-۲-۲ خطی سازی ریاضی

بسیاری از سیستم های صنعتی دارای دینامیک غیر خطی می باشند. به منظور استفاده از تکنیک های طراحی کنترل کننده های خطی برای اینگونه سیستم ها لازم است ابتدا معادلات غیر خطی سیستم را به صورت ریاضی خطی سازی کنیم. در سیستم های کنترل، تقریب خطی از یک مدل ریاضی غیر خطی خوب عمل می کند چرا که اگر سیستم کنترل درست طراحی شده باشد هدف سیستم کنترل یعنی تنظیم پارامترهای خروجی در نزدیکی شرایط کارکرد نامی ارضا خواهد شد. لذا تقریب خطی دارای درجه اعتبار خوبی در نزدیکی نقطه کار سیستم می باشد.

برای خطی سازی سیستم لازم است دو مرحله زیر صورت پذیرد:

الف) تعیین شرایط ماندگار سیستم یا نقطه تعادل با توجه به مقادیر نامی خروجی و ورودی.

ب) طراحی سیستم کنترلی بر اساس تغییرات تفاضلی سیستم از شرایط نامی.

با این توصیف متغیرهای کنترلی سیستم (u) سبب می گردند تغییرات پاسخ سیستم از شرایط ماندگار با سرعت مناسبی به سمت صفر میل نموده و همواره در نزدیکی شرایط نامی باقی بماند. این موضوع به نوبه خود باعث می شود تقریب خطی از یک معادله غیر خطی معتبر باقی بماند. با معادله برداری و عمودی یک سیستم غیر خطی شروع می کنیم:

$$\begin{aligned}\dot{x} &= f(x, u) \\ y &= h(x, u)\end{aligned}\quad (1-2)$$

در عمل برای انجام دو قدم طرح شده در بالا برای خطی سازی به صورت سیستماتیک، ابتدا مقادیر ماندگار را تعیین نموده سپس معادلات دینامیکی سیستم را برای تغییرات کوچک حول مقادیر ماندگار بدست می آوریم. در حالت ماندگار دیگر تغییراتی در متغیرهای حالت وجود نداشته لذا در حالت تعادل داریم:

$$\dot{x}^* = 0 \quad (2-2)$$

از حل دستگاه معادلات زیر مقادیر متغیرهای حالت ماندگار، ورودی های لازم و خروجی های نتیجه شده در حالت ماندگار و یا تعادل تعیین می شوند.

$$\begin{cases} f(x^*, u^*) = 0 \\ h(x^*, u^*) = y^* \end{cases} \quad (3-2)$$

دقت شود که این معادله دارای $m+n$ معادله بوده اما با توجه به ابعاد $x^*_{n \times 1}$, $u^*_{r \times 1}$, $y^*_{m \times 1}$ تعداد $m+n+r$ مجهول داریم. لذا در حالت کلی قابل حل نیست. پس برای حل بایستی برای تعیین مقادیر ماندگار تعداد r مجهول دانسته فرض شود. این کاملاً منطبق بر فیزیک مسأله است. چرا که به ازای اعمال ورودی دلخواه (u^*) به سیستم، مسلماً خروجی سیستم نیز متنظراً به مقدار ماندگار دیگری میل خواهد نمود. لذا بایستی یا $y^* = y_d$ یا $x^* = x_d$ یا $u^* = u_d$ به تعداد r معادله مفروض در نظر گرفته شود و سایر مقادیر را از حل معادله (۲-۳) بدست می آوریم. در عین حال این معادلات غیر خطی اند. لذا ممکن است جواب نداشته و یا جواب تکراری داشته باشند. انجام این مرحله در عمل بسیار مهم ولی به صورت تحلیلی معمولاً مشکل است. لذا برای حل این معادلات در عمل می توان از طریق دیگری همانند تعیین مقادیر ماندگار از روی فیزیک مسأله و یا شبیه سازی سیستم و یا حل عددی استفاده نمود.

مرحله بعدی بدست آوردن معادلات دینامیکی برای متغیرهای تفاضلی است.^۴ متغیرهای تفاضلی Dy, Dx و Du ، اختلاف جزئی متغیرهای سیستم به حالت خود میباشند:

$$\begin{cases} x(t) = x^* + \Delta x(t) \\ y(t) = y^* + \Delta y(t) \\ u(t) = u^* + \Delta u(t) \end{cases} \quad (۴-۲)$$

با توجه به اینکه $\dot{x}^* = 0$ ، معادلات سیستم براساس متغیرهای جدید Δ به فرم زیر تغییر میکنند:

$$\begin{cases} \Delta \dot{x} = f(x^* + \Delta x(t), u^* + \Delta u(t)) \\ \Delta y = h(x^* + \Delta x(t), u^* + \Delta u(t)) - y^* \end{cases} \quad (۵-۲)$$

که توابع f و h را حول حالت‌های u^* , x^* با تقریب چند متغیره سری تیلور نمایش می دهیم:

$$f_i(x^* + \Delta x, u^* + \Delta u) = f_i(x^*, u^*) + \left. \frac{\partial f_i}{\partial x} \right|_* \Delta x + \left. \frac{\partial f_i}{\partial u} \right|_* \Delta u + h.o.t \quad (۶-۲)$$

که در آن Δx بردارهای ستونی و Δu هم بردارهای ستونی است.

با توجه به فرض خطی سازی که در آن تغییرات متغیرهای حالت و ورودی های سیستم از شرایط نامی Δx و Δu بسیار کوچکتر از x و u است، می توان براحتی از جملات بالاتر صرفنظر نمود. این فرض مهم در عمل زمانی که سیستم کنترل خوب عمل می کند معتبر است، لذا:

⁴ Incremental -variables

$$\begin{cases} \Delta \dot{x} = \left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_* \Delta x + \left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_* \Delta u \\ \Delta y = \left. \frac{\partial h}{\partial x} \right|_* \Delta x + \left. \frac{\partial h}{\partial x} \right|_* \Delta u \end{cases} \quad (7-2)$$

دقت شود که کلیه ژاکوبین ها در نقطه تعادل مقدار دهی شده اند. لذا ماتریس معینی را تشکیل میدهند و میتوان معادله فوق را به فرم استاندارد معادلات حالت خطی غیر متغیر با زمان نمایش داد :

$$\begin{cases} \Delta \dot{x} = A\Delta x + B\Delta u \\ \Delta y = C\Delta x + D\Delta u \end{cases} \quad (7-2)$$

ضمناً اگر سیستم غیر خطی دارای ورودی های اغتشاشی w و نویز اندازه گیری v نیز باشند و به صورت زیر قابل نمایش باشد :

$$\begin{cases} \dot{x} = f(x, y, w) \\ y = h(x, u, v, w) \end{cases} \quad (8-2)$$

و به صورت مشابه سیستم تفاضلی حول نقطه کار یا مسیر را میتوان به صورت زیر و به کمک بسط تیلور خطی سازی نمود:

$$\begin{cases} \Delta \dot{x} = \left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_* \Delta x + \left. \frac{\partial f}{\partial u} \right|_* \Delta u + \left. \frac{\partial f}{\partial w} \right|_* \Delta w \\ \Delta y = \left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_* \Delta x + \left. \frac{\partial f}{\partial u} \right|_* \Delta u + \left. \frac{\partial f}{\partial v} \right|_* \Delta v + \left. \frac{\partial f}{\partial w} \right|_* \Delta w \end{cases} \quad (9-2)$$

و یا به صورت ماتریسی :

$$\begin{cases} \Delta \dot{x} = A\Delta x + B\Delta u + F\Delta w \\ \Delta y = C\Delta x + D\Delta u + G\Delta v + H\Delta w \end{cases} \quad (10-2)$$

۲-۲-۲-۲ مقدماتی از سیستم های سطح مایع

در تحلیل سیستم های مربوطه به جریان سیال باید رژیم های عبور سیال را بسته به اندازه عدد رینولدز به دو دسته تقسیم کرد:

- جریان لایه ای (آرام) Laminar

- جریان متلاطم (آشفته) Turbulant

اگر عدد رینولدز از حدود ۳۰۰۰ تا ۴۰۰۰ بزرگتر باشد، جریان متلاطم است و اگر عدد رینولدز از ۲۰۰۰ کمتر باشد، جریان لایه ای است. در حالت لایه ای، سیال بدون آشفتگی و در خطوط شار عبور می کند. سیستم های مشتمل بر جریان متلاطم را غالباً باید با معادلات دیفرانسیل غیر خطی توصیف کرد در حالیکه سیستم های مشتمل بر جریان لایه ای را می توان با معادلات دیفرانسیل خطی توصیف کرد. البته در

فرآیندهای صنعتی غالباً سیال در لوله ها و مخزن های متصل به هم جریان دارد. در چنین فرآیندهایی جریان ها غالباً متلاطم هستند نه لایه ای .

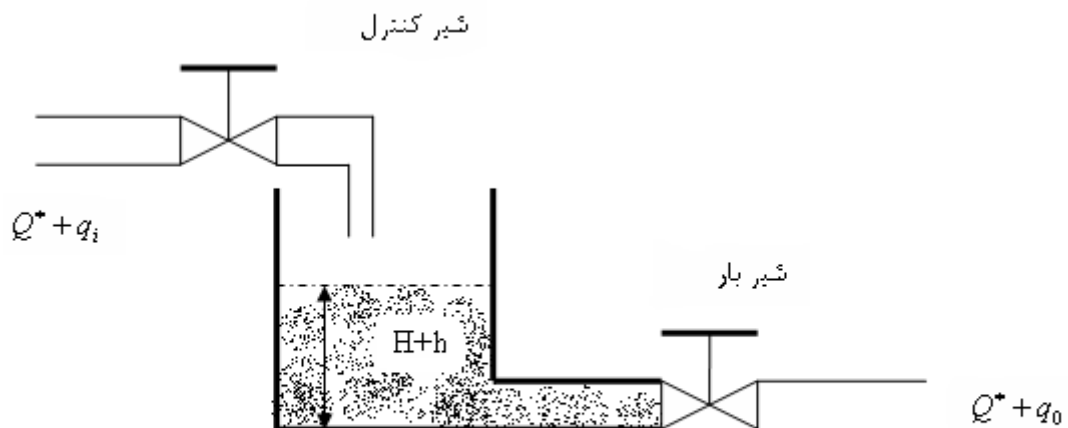
برای مدلسازی سیستم های هیدرولیکی سطح مایع به دو مفهوم « مقاومت » و « ظرفیت » سیستم های سطح مایع نیازمندیم که متعاقباً به تعریف آنها می پردازیم.

الف) مقاومت و ظرفیت سیستم های سطح مایع

جریانی که از یک لوله کوتاه واصل بین دو مخزن می گذرد را در نظر بگیرید. مقاومت R این لوله یا مانع در مقابل عبور سیال به صورت تغییر اختلاف سطح لازم (اختلاف سطح مایع در دو مخزن) برای ایجاد یک واحد در آهنگ جریان تعریف می شود. یعنی :

$$R = \frac{\text{تغییر اختلاف سطح (متر)}}{\text{تغییر آهنگ جریان سیال (} m^3/sec \text{)}} \quad (11-2)$$

چون رابطه آهنگ جریان و اختلاف سطح برای جریان لایه ای و متلاطم تفاوت دارد، در ادامه هر دو را در نظر می گیریم. سیستم سطح مایع شکل زیر را در نظر بگیرید.



شکل ۱-۲ مخزن دارای شیر بار

در این سیستم، مایع از طریق شیر بار از مخزن خالی می شود. اگر جریان از این مانع به صورت لایه ای بگذرد، رابطه آهنگ جریان و اختلاف سطح در حالت ماندگار به صورت زیر است.

$$Q=KH \quad (۱۲-۲)$$

که در آن

- Q : آهنگ جریان مایع در حالت ماندگار (m^3/sec)

- K : ضریب تناسب (m^3/sec)

- H : ارتفاع در حالت ماندگار (m)

توجه کنید که قانون حاکم بر جریان لایه ای مشابه قانون کولن است که می گوید جریان با اختلاف پتانسیل نسبت مستقیم دارد. همانطور که گفتیم، مقاومت برای شیر بار تعریف می شود؛ بدین ترتیب برای جریان لایه ای مقاومت شیر بار به صورت زیر بدست می آید.

$$R = \frac{dH}{dQ} = \frac{H}{Q} \quad (۱۳-۲)$$

مقاومت جریان لایه ای ثابت و مشابه مقاومت الکتریکی است.

اگر جریان از مانع به صورت متلاطم بگذرد، آهنگ جریان در حالت ماندگار از رابطه زیر بدست می آید.

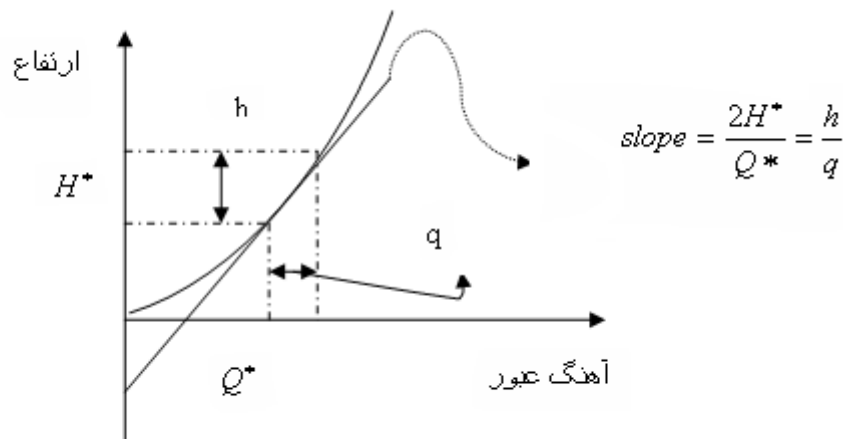
$$Q = K\sqrt{H} \quad (۱۴-۲)$$

بنابراین مقاومت شیر بار در حالت جریان متلاطم به صورت زیر بدست می آید.

$$R = \frac{dH}{dQ} \quad , \quad dQ = k \frac{dH}{2\sqrt{H}} \Rightarrow R = \frac{2\sqrt{H}}{K} = \frac{2\sqrt{H}\sqrt{H}}{Q} = \frac{2H}{Q} \quad (۱۵-۲)$$

دیده می شود که مقاومت شیربارد در این وضعیت به آهنگ جریان و ارتفاع بستگی دارد. اما اگر تغییرات ارتفاع و آهنگ جریان کوچک باشد می توان R را ثابت فرض کرد.

در بسیاری از موارد عملی مقدار ضریب K، که به ضریب جریان و سطح بستگی دارد، معلوم نیست. بنابراین مقاومت را می توان با منحنی ارتفاع بر حسب آهنگ جریان، بر اساس داده های تجربی و اندازه گیری شیب منحنی در نقطه کار به دست آورد.



شکل ۲-۲ منحنی مقاومت، ارتفاع بر حسب آهنگ جریان

نقطه p را نقطه کار با وضعیت تعادلی ($H^*.Q^*$) می نامند. ترتیب خطی در شکل فوق بر این اساس صورت گرفته است که اگر شرایط نقطه تغییرات زیادی نداشته باشد منحنی واقعی و خط مماس در نقطه کار تفاوت زیادی ندارند. در واقع در حالت کلی برای یک سیستم چند متغیره اگر L نمودار واقعی و T نمودار مماسی و یا تقریب خطی آن باشد بایستی داشته باشیم:

$$\|L-T\| \ll 1$$

ظرفیت مخزن C طبق تعریف نسبت تغییر حجم مایع ذخیره شده در مخزن به تغییر ارتفاع است.

$$C = \frac{\text{تغییر حجم مایع ذخیره (m}^3\text{)}}{\text{تغییر ارتفاع (m)}} = \frac{du}{dh}$$

(۱۶-۲)

تهیه بتن حجم (m3) با ظرفیت (m2) تفاوت دارد. ظرفیت مخزن با مساحت مقطع آن برابر است. اگر سطح مقطع ثابت باشد ظرفیت نیز به ازای هر ارتفاعی یکسان است.

به عنوان یک مثال نوعی، شکل (۳-۲) را در نظر بگیرید که در آن متغیرها را به صورت ذیل تعریف می کنیم:

- Q^* : آهنگ جریان در حالت ماندگار قبل از بروز اغتشاش (m^3/sec)
- q_i : تغییرات کوچک آهنگ جریان ورودی نسبت به حالت ماندگار (m^3/sec)
- q_o : تغییرات کوچک آهنگ جریان خروجی نسبت به حالت ماندگار (m^3/sec)
- H^* : ارتفاع حالت ماندگار قبل از بروز اغتشاش (m)
- H: تغییرات کوچک ارتفاع نسبت به مقدار حالت ماندگار (m)

چنانچه قبلا گفتیم اگر جریان لایه ای باشد سیستم را میتوان خطی فرض کرد حتی در صورت متلاطم بودن جریان نیز می توان به ازای تغییرات کوچک، سیستم را خطی فرض کرد. بر اساس فرض خطی بودن می توان معادله دیفرانسیل این سیستم را به این صورت یافت:

چون تفاضل آهنگ جریان ورودی و خروجی در فاصله زمانی dt با تغییر حجم مایع ذخیره شده برابر است پس می توان نوشت:

$$Cdh = (q_i - q_o)dt \quad (17-2)$$

از طرفی برای شیر میتوانیم بنویسیم:

$$R = \frac{h}{q_o} \quad (17-2)$$

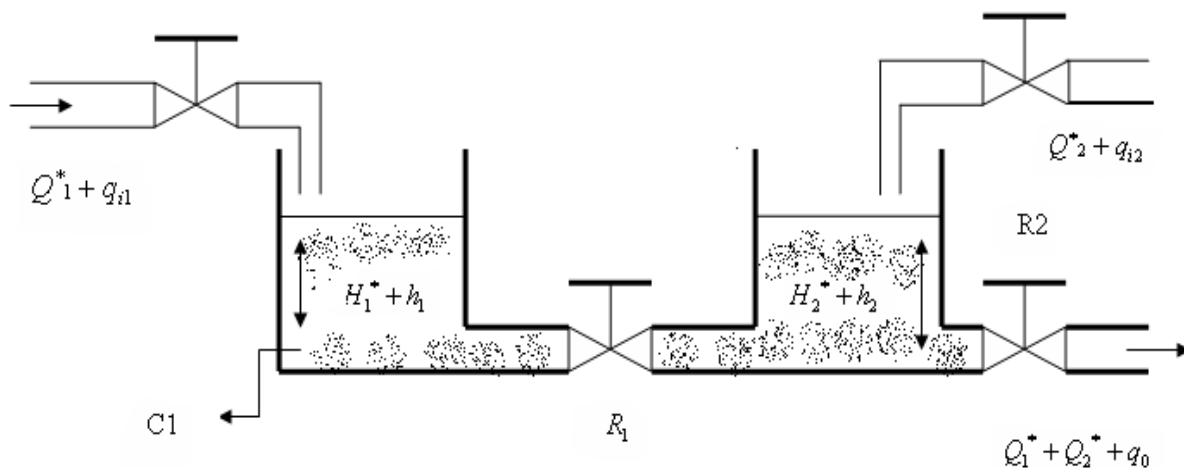
پس :

$$Cdh = (q_i - \frac{h}{R})dt \Rightarrow C\dot{h} + \frac{h}{R} = q_i \Rightarrow RC\dot{h} + h = Rq_i \quad (18-2)$$

و تابع تبدیل سیستم عبارت است از:

$$\frac{H(s)}{Q_i(s)} = \frac{R}{RCS + 1} \quad (19-2)$$

یک حالت مرسوم در سیستم های سطح مایع، سیستمهای دارای اندر کنش هستند. شکل زیر را در نظر بگیرید.



شکل ۲-۳ دو تانک دارای اندر کنش

متغیرهای * را در وضعیت های ماندگار سیستم و حروف کوچک نماینده تغییرات کوچک حول نقطه تعادل سیستم فوق است. معادلات توصیف کننده سیستم را بدین ترتیب می یابیم:

$$\text{تانک ۲: } \begin{cases} c_2 dh_2 = (q_{i2} + q_1 - q_0) dt \\ R_2 = \frac{h_2}{q_0} \end{cases} \quad (20-2)$$

$$\text{تانک ۱: } \begin{cases} c_1 dh_1 = (q_{i1} - q_1) dt \\ R = \frac{h_1 - h_2}{q_1} \end{cases} \quad (21-2)$$

و بدین ترتیب با انتخاب متغیرهای حالت و متغیرهای خروجی به صورت زیر :

$$\left. \begin{array}{l} \text{متغیرهای حالت} \\ \begin{cases} x_1 = h_1 \\ x_2 = h_2 \end{cases} \end{array} \right\} \left[\begin{array}{c} \dot{x} \\ \dot{x} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{cc} -\frac{1}{R_1 C_1} & \frac{1}{R_1 C_1} \\ -\frac{1}{R} & -\left(\frac{1}{R_1 C_2} + \frac{1}{R_2 C_2}\right) \end{array} \right] \left[\begin{array}{c} x_1 \\ x_2 \end{array} \right] + \left[\begin{array}{cc} \frac{1}{C_1} & 0 \\ 0 & \frac{1}{C_2} \end{array} \right] \left[\begin{array}{c} u_1 \\ u_2 \end{array} \right] \quad (22-2)$$

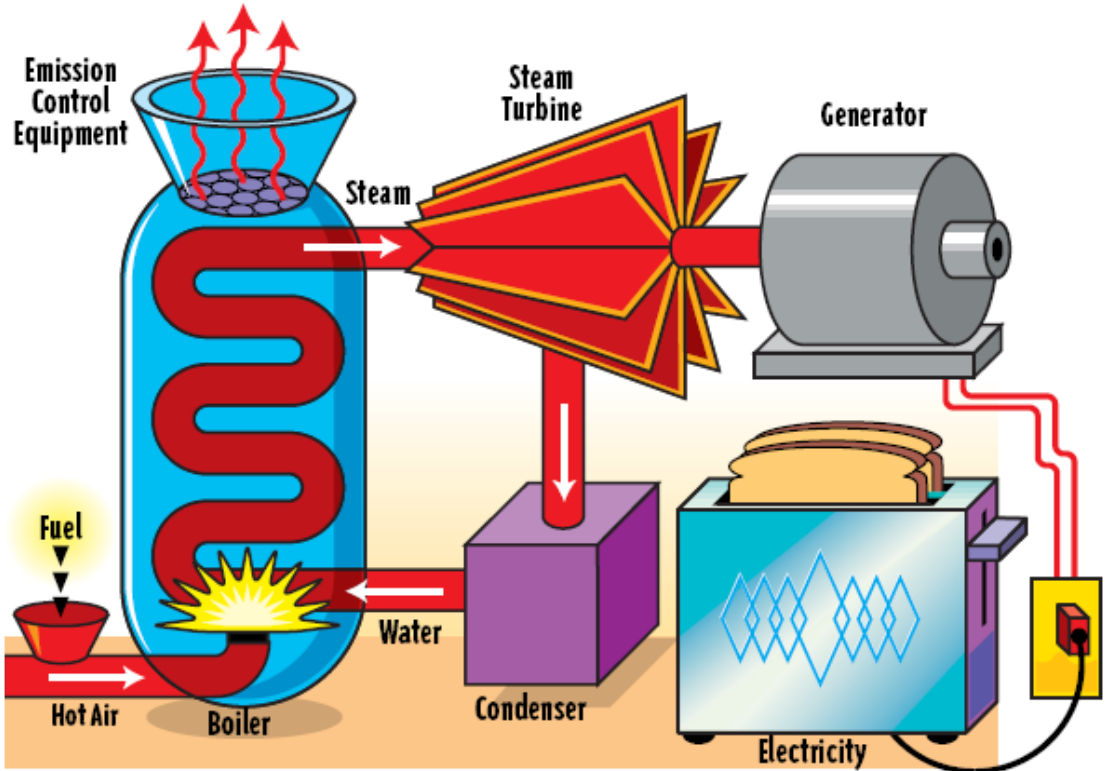
$$\left. \begin{array}{l} \text{متغیرهای خروجی} \\ \begin{cases} y_1 = h_1 = x_1 \\ y_2 = h_2 = x_2 \end{cases} \end{array} \right\}$$

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

$$\text{متغیرهای ورودی} \begin{cases} u_1 = q_{i1} \\ u_2 = q_{i2} \end{cases}$$

(۲۳-۲)

۳-۲ حلقه های کنترل سطح مایع در نیروگاههای بخار

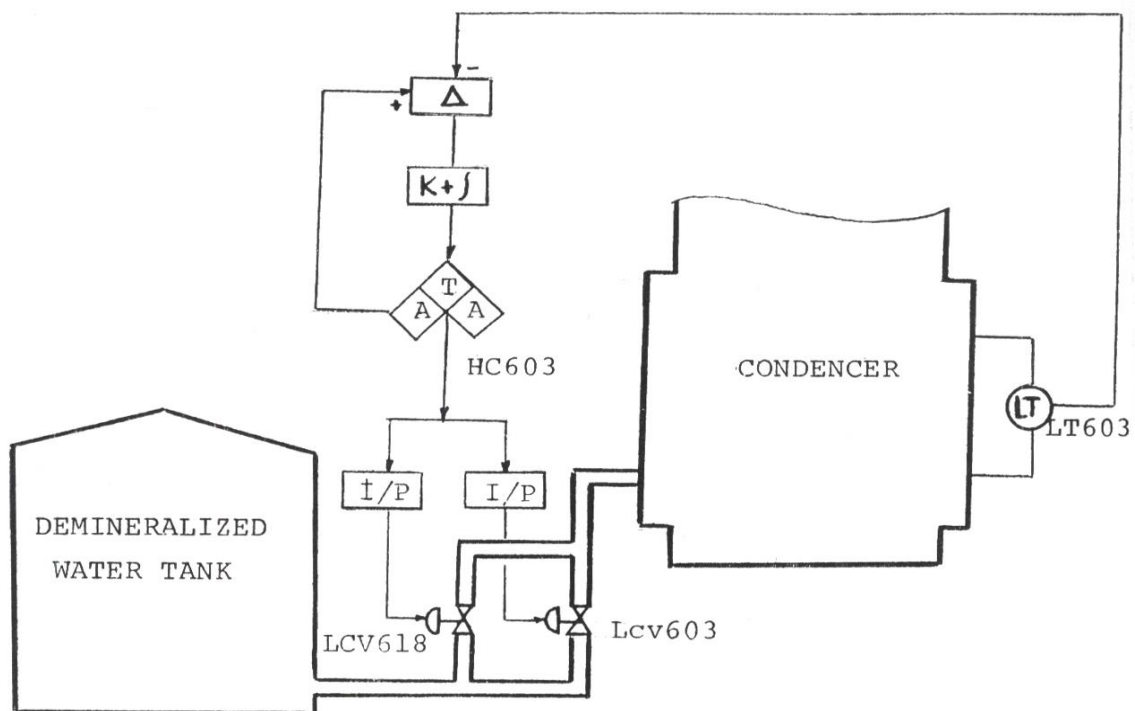


شکل ۲-۴ شمای یک نیروگاه بخار [4]

۱-۳-۲ کنترل سطح کندانسور

یکی از حلقه های کنترلی مرسوم در نیروگاه ها و برخی پالایشگاه ها، حلقه های کنترل در مسیر سیکل آب است که از چندین حلقه کنترلی تشکیل شده است. یکی از این حلقه ها، حلقه کنترل سطح آب کندانسور است که شرح مختصری از آن به صورت ذیل است:

بخار خروجی از مرحله آخر توربین فشار ضعیف، توسط آب خنک کن سیکل کندانسور، تغییر فاز داده و به صورت قطرات آب به حوضچه کف کندانسور می ریزد و سپس توسط پمپ های کندانسور، مجدداً وارد سیکل آب می شود. کمبود آب ناشی از تلفات یا مصرف آب و بخار داخل سیکل، از طریق تانک ذخیره آب تامین می گردد.



شکل ۲-۵ سیستم و مدار کنترل سطح کندانسور. [4]

اندازه گیری سطح آب داخل کندانسور، درحقیقت معیاری از میزان تلفات یا مصرف آب و بخار سیکل بوده که توسط یک مدار کنترل به طور دائمی تامین می گردد. ترانزسمیتر سطح، یک محدوده معین (در برخی نیروگاهها حدود $\pm 17\text{cm}$) از حوضچه کندانسور را به سیگنال 0% تا 100% تبدیل می نماید. این سیگنال، با سیگنال سطح مطلوب از پیش تعیین شده از طریق ایستگاه کنترل سطح کندانسور مقایسه شده و یک کنترلر PI بر اساس این خطا، فرمان لازم جهت باز یا بسته نمودن شیرهای کنترل موازی رابط بین کندانسور و تانک ذخیره را صادر می کند. البته به علت وجود هد طبیعی بین کندانسور و تانک ذخیره فقط از تانک وارد کندانسور شود. اگر سیگنال فرمان 0% باشد، هر دو شیر کنترل بسته شده و اگر 100% باشد هر دو شیر کنترل باز می شود و اگر 50% باشد یکی باز و دیگری بسته خواهد شد. در این صورت، با تغییر

سیگنال از ۰٪ تا ۵۰٪ شیر اول متناسباً باز خواهد شد در حالیکه شیر دوم کاملاً بسته است و با تغییر سیگنال از ۵۰٪ تا ۱۰۰٪ در عین باز بودن شیر اول، شیر دوم نیز باز خواهد شد.

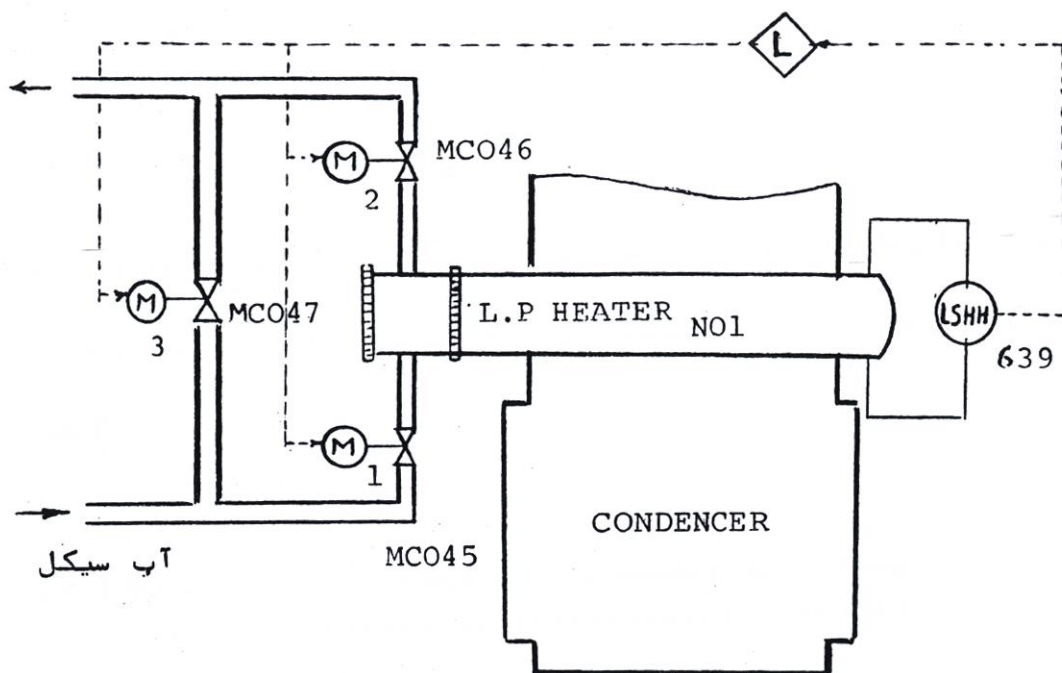
عمل انتقال ایستگاه کنترل از حالت manual به automatic و یا برعکس، با فشار دادن یک دکمه و بدون هیچ گونه پرشی انجام خواهد گرفت و لی توصیه مهندسین این است که در انتقال از حالت manual به automatic، سعی گردد خطای مدار کنترل، توسط اپراتور با تغییر set point و یا تغییر سطح آب، حتی الامکان کاهش داده شود. بدیهی است اگر سطح آب کندانسور از حد مطلوب تحت شرایط خاصی بالاتر رود، شیرهای کنترل شروع به بسته شدن خواهند نمود و در صورتی که این عمل نیز باعث کاهش سطح آب کندانسور نگردد، لزوماً اپراتور باید جهت کاهش سطح آب کندانسور، شیرهای کنترل آب ورودی به دیاراتور را باز نموده با استفاده از پمپ های کندانسور، آب کندانسور را به داخل دیاراتور تخلیه نماید.[4]

۲-۳-۲ کنترل سطح هیترهای فشار ضعیف و فشار قوی

عمل گرم نمودن آب سیکل در هیترهای فشار ضعیف و فشار قوی، توسط بخارهای اخذ شده از قسمت‌های مختلف توربین و یا بویلر، انجام می‌گیرد. بخار ورودی به هیترها، پس از عمل انتقال حرارت به آب سیکل، کندانسه شده و در داخل هیترها جمع می‌گردد. با تغییر بار، دبی آب عبوری سیکل و به موازات آن دبی بخار هیترها، افزایش می‌یابد. سطح آب جمع شده در داخل هیترها، جهت بالا بردن راندمان آنها، باید در حد معینی کنترل گردد. این عمل، با کنترل میزان درین آب خروجی هیترها، انجام می‌گیرد. حلقه های کنترل سطح هیترها، نیوماتیکی بوده و در اطاق فرمان، ایستگاه کنترلی ندارند.

۱- هیترهای فشار ضعیف: قبل از ورود آب به دیاراتور، به ترتیب در سه مرحله، توسط هیترهای شماره ۱ و ۲ و ۳، گرم می‌شود.

الف- هیتر شماره ۱: به صورت افقی در داخل کندانسور نصب گردیده است. مطابق شکل (۳-۲)، درین آب خروجی این هیتر، بدون هیچ مانعی، وارد کندانسور می‌گردد.

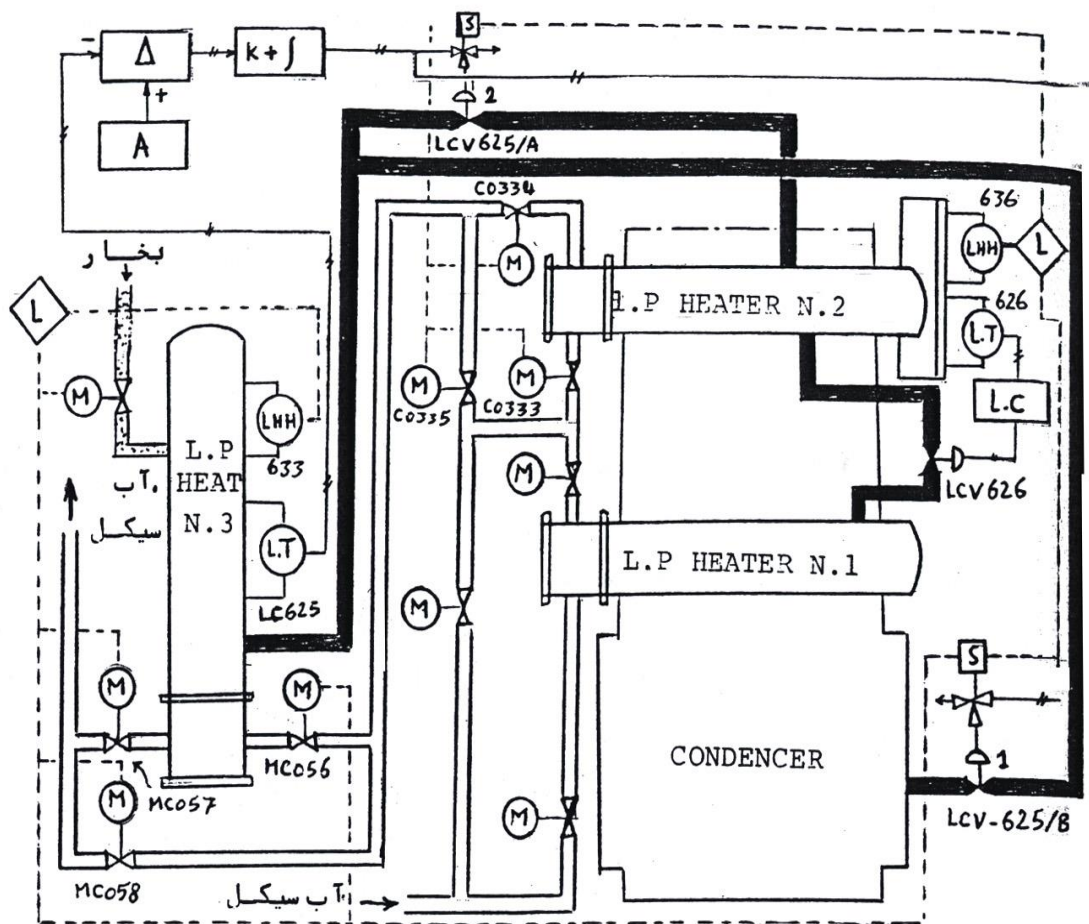


شکل ۲-۶ مدارات فرمان و کنترل سطح هیتر فشار ضعیف شماره ۱ [4]

بر روی مسیر آب سیکل عبوری، سه والو دوحالته موتوری قرار دارد. اگر سطح آب داخل این هیتر، از حد معینی بالاتر رود (مبین سوراخ شدن لوله های داخل هیتر و مخلوط شدن آب سیکل با آب کندانسه هیتر)، شیر موتوری بایپاس بر روی مسیر آب سیکل، باز می گردد. سپس، و شیر موتوری در مسیر آب به داخل هیتر بسته خواهند شد. (اصطلاحاً، هیتر بایپاس می گردد) [4]

ب- هیتر شماره ۲: این هیتر نیز به صورت افقی و در داخل کندانسور نصب شده است. مطابق شکل (۵-۲)، درین آب کندانسه آن، از طریق یک شیر کنترل، به هیتر شماره ۱ می ریزد.

در شرایط نرمال، توسط یک حلقه کنترل تک پارامتری، سطح هیتر در حد مطلوب از پیش تعیین شده، کنترل می گردد. اگر سطح این هیتر، از حد معینی بالاتر رود، نه تنها هیتر بایپاس می گردد (مانند هیتر شماره ۱)، بلکه شیر کنترل مسیر درین هیتر شماره ۳ به هیتر شماره ۲ نیز بسته خواهد شد.



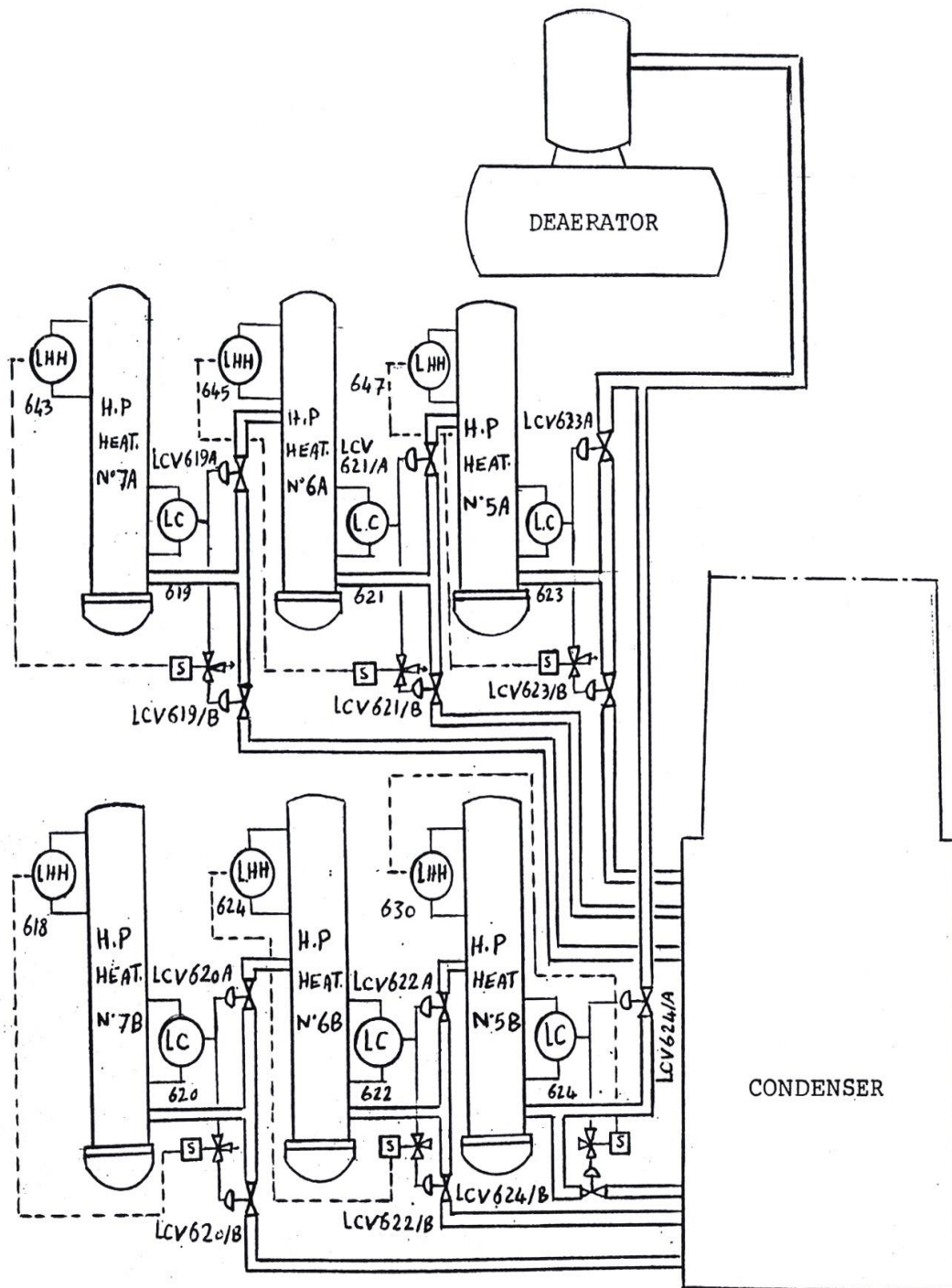
شکل ۲-۵ سیستم و مدارهای کنترل و فرمان هیترهای فشار ضعیف ۲، ۳ [4]

ج- هیتر شماره ۳: این هیتر، به صورت عمودی نصب شده و آب کندانسه آن، از طریق دو مسیر درین، یکی به هیتر شماره ۲ و دیگری به داخل کندانسور خارج می گردد. یک حلقه کنترل تک پارامتری، باتوجه به سطح مطلوب از قبل تعیین شده و توسط یک کنترلر تناسبی- انتگرالی، سعی در کنترل سطح این هیتر، با استفاده از دو شیر کنترل مسیر درین، دارد. در شرایط نرمال، سطح این هیتر، توسط شیر کنترل مسیر درین به هیتر شماره ۲ کنترل می گردد، ولی اگر این شیر کنترل بسته شو، فرمان کنترلر به شیر کنترل مسیر درین به کندانسور، اعمال می گردد. درضمن، اگر تحت شرایط خاصی، سطح هیتر شماره ۳ از حد معینی بالاتر رود، نه تنها این هیتر بایپاس شده، و مسیر بخار ورودی آن قطع می

۲- هیترهای فشار قوی

آب خروجی پمپ ها وارد یک هدر شده و از آنجا توسط دو انشعاب وارد دو سری هیتر سه تایی که به صورت قائم نصب شده اند می گردد. یک مسیر بایپاس آب نیز بین هدر ورودی و خروجی هیترها وجود دارد. سطح هر هیتر، توسط میزان درین آب خروجی آن همواره کنترل می گردد. اگر سطح یکی از هیترها، از حد معینی

تجاوز کند، نه تنها مسیر بخار هر سه هیتر آن انشعاب بسته شده، بلکه مسیر آب انشعاب مربوطه (برای هر سه هیتر) نیز قطع شده و مسیر بایپاس بین هدر ورودی و خروجی باز می گردد.



شکل ۲-۶ سیستم و مدارات کنترل و فرمان هیترهای فشار قوی. [4]

مطابق شکل (۲-۶) در شرایط عادی، آب کندانسه شده هیترهای 7A , 7B وارد هیترهای 6A و 6B و آب کندانسه هیترهای 6A و 6B وارد هیترهای 5A و 5B و آب کندانسه هیترهای 5A و 5B، به داخل دیاراتور می ریزد.

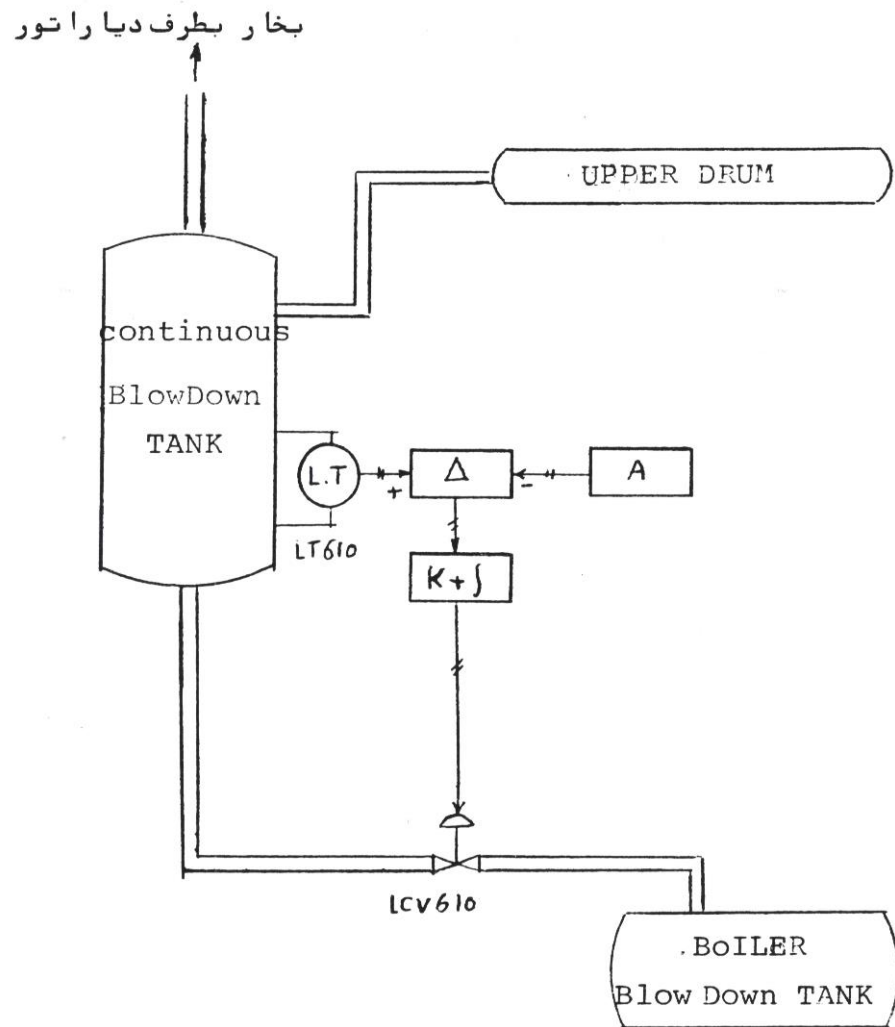
بر روی آب درین هر هیتر، دو مسیر و دو شیر کنترل وجود دارد. یک شیر کنترل بر روی مسیر درین هر هیتر، به هیتر بعدی (برای 6A و 7A و 6B و 7B) و به دیاراتور (برای 5A و 5B) وجود دارد که در شرایط عادی، توسط یک حلقه کنترل تک پارامتری، سطح هیتر مربوطه مطابق ست پوینت کنترل می گردد، ولی اگر سطح یک هیتر، از حد معینی بیشتر گردد، علاوه بر بایپاس شدن آن خط انشعاب هیتر، و بسته شدن مسیر بخار هیتر مربوطه، یک شیر کنترل دیگر، بر روی مسیر درین آن هیتر به کندانسور مطابق سیگنال کنترلر، باز شده و باتوجه به هد طبیعی بین هیترها و کندانسور، آب هیتر را تا حد ست پوینت تنظیم شده اش، به داخل کندانسور تخلیه می نماید.

۲-۳-۳ کنترل سطح تانکهای IR Preheater-BlowDown

تانک BlowDown، جهت جداسازی آب و بخار درین های درام بکار برده میشود. شکل (۲-۷) مدارهای ارتباطی این تانک و مدار کنترل سطح آب داخل آنرا نشان می دهد.

یک کنترلر تناسبی - انتگرالی از طریق یک مدار کنترل تک پارامتری فرمان لازم به شیر کنترل بر روی مسیر آب خروجی را جهت تثبیت سطح آب داخل این تانک در حد مطلوب را صادر می نماید.

تانک Air preheater، جهت جمع آوری و ذخیره آب تقطیر شده لوله های Air preheater، اصلی بکار برده می شود. سطح این تانک نیز توسط میزان آب خروجی از آن مانند مدار کنترل سطح تانک BlowDown کنترل می گردد.



شکل ۲-۷ سیستم و مدار کنترل سطح تانک BlowDown [4]

۲-۳-۴ حلقه کنترل آب تغذیه (سطح درام)

منظور از کنترل آب تغذیه آن است که دبی آب ورودی به درام، طوری تنظیم گردد که سطح آب درام، در تمام شرایط در حد مشخص و معینی ثابت باقی بماند. مقدار حد کنترل سطح درام، براساس بار متفاوت است به طوری که هرچه سطح درام، پایین تر کنترل گردد، حجم بیشتری از بخار در داخل درام ذخیره شده و جواب بویلر، نسبت به تغییرات سریع بار، بهتر خواهد بود. به علت گنجایش کم درام نسبت به میزان بارگیری از آن، همچنین به علت تغییرات فشار داخل درام و دو فاز بودن سیال داخل آن، کنترل و اندازه گیری سطح درام، یکی از حساس ترین سیستم های کنترل بویلر می باشد. در شرایط راه اندازی اولیه بویلر، قبل از رسیدن فشار درام به حدود 10 kg/cm^2 ، سطح درام به وسیله اپراتور و با فرمان روشن و خاموش شدن پمپ filling انجام می گیرد. در فشارهای بالاتر 10 kg/cm^2 ، پس از روشن نمودن یک عدد از فید پمپ ها (با

حداقل کوپلینگ)، سطح درام تا بار حدود ۳۰٪ توسط یک شیر کنترل^۵، خواه به صورت دستی و خواه به طور اتوماتیک، کنترل می گردد. در بارهای بالاتر از ۳۰٪، پس از باز نمودن والو، موتوری اصلی، عمل تغییر دبی جهت کنترل سطح درام، توسط تغییر میزان کوپلینگ های هیدرولیکی و تغییر دور پمپ ها، انجام می گیرد.

قبل از بررسی حلقه های کنترل سطح درام، به علت مسائل خاص اندازه گیری سطح درام، توضیحاتی در مورد روش اندازه گیری و جبران سطح درام خواهیم داد.

الف- روش اندازه گیری سطح درام

درام یک مخزن استوانه ای ته گرد و به قطر حدود ۱۳۰cm می باشد. محدوده اندازه گیری و کنترل سطح مجاز درام، حدود ۵۳cm می باشد. اگر سطح درام از حدی بالاتر رود، آب وارد جداکننده های آب و بخار می گردد و اگر از حدی کمتر گردد، خطر بدون آب شدن لوله های دیواره ای بویلر، ایجاد می گردد.

جهت اندازه گیری سطح درام، می توان براساس رابطه $\Delta P = \gamma \Delta h$ ، از اختلاف هد آب داخل درام استفاده نمود، ولی به علت اختلاط آب و بخار (دو فاز بودن سیال)، و تغییر فشار داخل درام، مقدار دانسیته γ ثابت نبوده و تغییرات زیادی خواهد داشت.

رابطه واقعی بین اختلاف فشار ΔP و ارتفاع h به صورت زیر می باشد:

$$\Delta P = H \cdot \gamma_r - [(H - h) \gamma_s + h \cdot \gamma_w] \quad (24-2)$$

γ_r : چگالی آب در لوله مرجع (ثابت)

γ_s : چگالی بخار

γ_w : چگالی آب

برای مقادیر حدی h داریم:

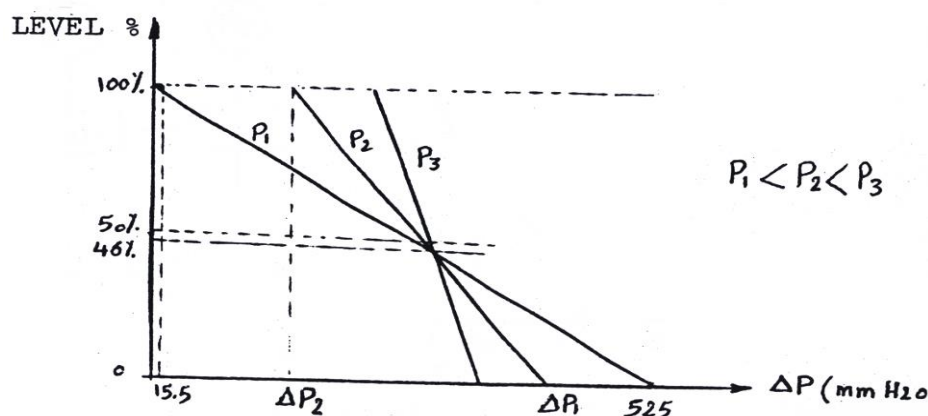
$$\text{اگر } h = 0 \Rightarrow \Delta P_1 = H \gamma_r - H \gamma_s$$

$$\text{اگر } h = H \Rightarrow \Delta P_2 = H \gamma_r - H \gamma_w \quad (27-2)$$

در روابط فوق، γ_r تقریباً ثابت است ولی γ_s و γ_w به میزان زیادی وابسته به فشار و دمای بخار داخل درام دارند، از این رو، برای یک سطح خاص داخل درام دارند، از این رو، برای یک سطح خاص داخل درام، در

⁵ - Low Load Control Valve

فشارهای مختلف ΔP های متفاوتی خواهیم داشت. بنابراین، تنها با اندازه گیری ΔP ، نمی توان سطح درام را تخمین زد، بلکه باید پارامترهای تأثیرگذارنده دیگر، مانند فشار بخار را نیز جهت جبران این خطا اندازه گیری نمود. منحنی های تجربی شکل (۲-۸)، ارتباط بین سطح درام را با اختلاف فشار اندازه گیری شده، در فشارهای مختلف درام، نشان می دهد.

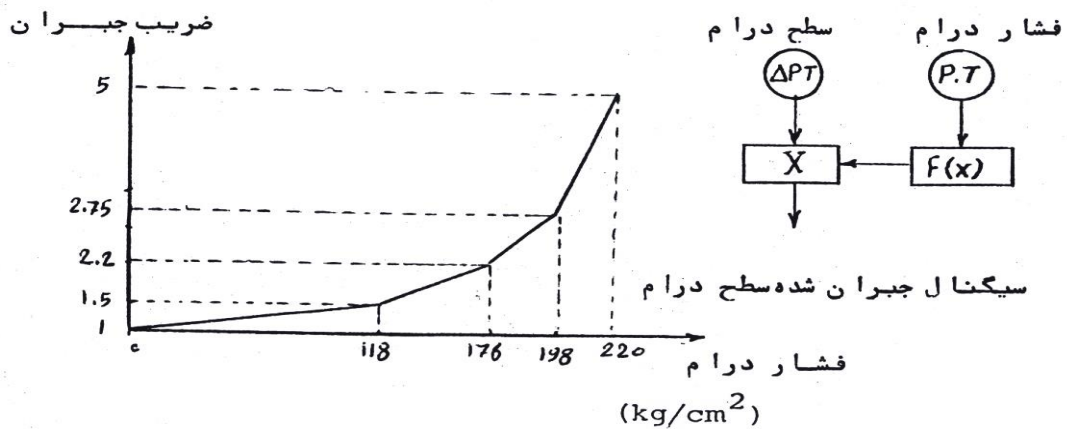


شکل ۲-۸ منحنی تجربی سطح درام براساس اختلاف فشار اندازه گیری شده در فشارهای مختلف [4]

همانطوریکه مشاهده می گردد، با افزایش فشار درام، مقادیر اختلاف فشار در یک سطح خاص از درام، بسیار متفاوت است، و همچنین به نظری رسد که با افزایش فشار، آب داخل درام سبک تر شده است.

محل تلاقی منحنی ها، تقریباً از یک نقطه خاصی عبور می کند (حدود ۴۶٪ سطح درام) و آن را نقطه نول سطح درام می نامند، بدیهی است که در این نقطه خاص، فشار درام، تأثیری بر روی مقدار نخواهد گذاشت!؟

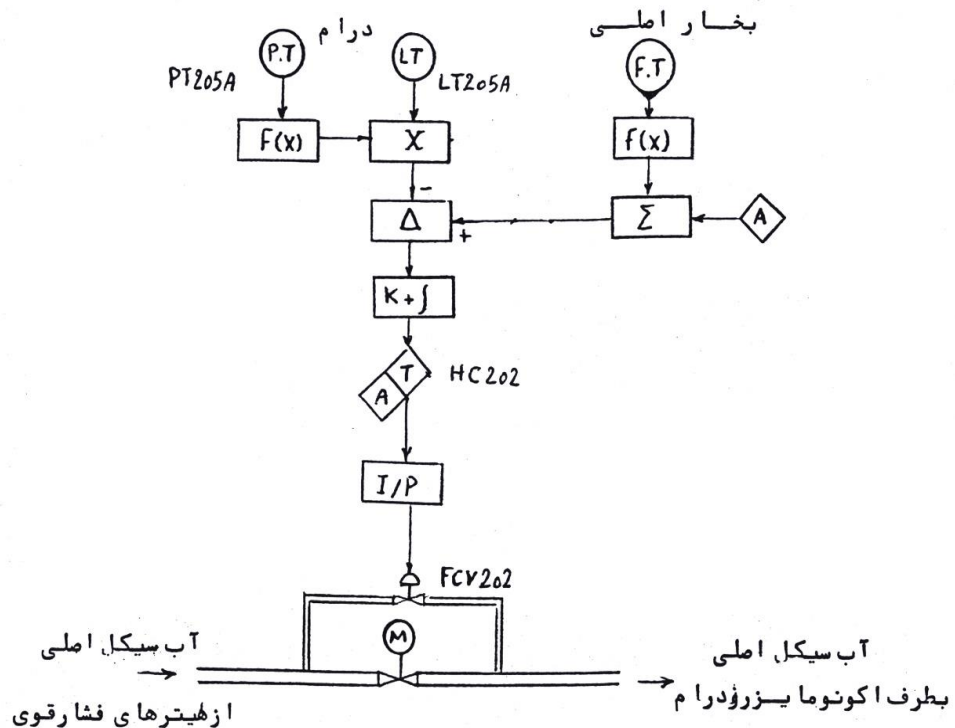
جهت جبران خطای ناشی از اندازه گیری سطح، منحنی P_1 (در ارتباط با فشار اتمسفر) را به عنوان منحنی معیار در نظر گرفته و با ضرب منحنی های دیگر، در ضرایب غیرخطی، بقیه منحنی ها را بر منحنی P_1 ، منطبق می نمایند. در اینصورت، جهت اندازه گیری سطح درام، سیگنال اندازه گیری شده را در یک ضریب تابع فشار، ضرب می نمایند. شکل (۲-۹)، تغییرات غیرخطی این ضریب برحسب فشار درام را که به صورت تجربی بدست آمده است، به همراه مدار جبران کننده نشان می دهد.



شکل ۲-۹ منحنی تابع ساز تعیین کننده ضریب جبران سطح درام براساس فشار آن [4]

ب- کنترل سطح درام در بارهای پایین

کنترل سطح درام در راه اندازی بارهای کمتر از ۲۵٪، به علت اینکه حساسیت درام، نسبت به فشار کمتر بوده و میزان بارگیری از آن کمتر است، لذا یک حلقه کنترل تک پارامتری، با فرمان به یک شیر کنترل مطابق شکل (۲-۱۰)، قادر به کنترل سطح درام خواهد بود.



شکل ۲-۱۰ مدار کنترل سطح درام در راه اندازی و بارهای پایین [4].

مقدار مطلوب سطح درام، مطابق منحنی شکل (۲-۱۰) تابعی از بار خواهد بود، ولی اپراتور می تواند از طریق یک ایستگاه بایاس دستی، مقدار ست پوینت سطح درام را تغییر دهد.

ج- کنترل آب تغذیه در بارهای بالا

پس از آنکه بار بویلر به حدود ۲۵٪ رسید، اپراتور، ایستگاه کنترل Low Load را در حالت دستی قرار داده و پس از باز نمودن والو، موتوری مسیر آب فیدپمپ به درام، با استفاده از تغییر کوپلینگ های هیدرولیکی و تغییر دور فیدپمپ ها، سطح درام را کنترل نمود و شیر کنترل بار پایین را خواهد بست. شکل (۲-۱۱)، مدار کنترل سطح درام را در بارهای بالاتر از ۲۵٪ نشان می دهد.

نوع مدار کنترل، سری- پیش تغذیه (روش کنترل توأم) می باشد.

در اینجا، تقاضای اصلی آب ورودی به درام، سیگنال پیش تغذیه دبی بخار، (خروجی فیزیکی سیستم) بوده و متغیر کنترل کننده، دبی آب فیدپمپ ها می باشد. بدیهی است که هرگونه مصرف بخار از درام (به جز دبی بخار اصلی)، و یا هرگونه درین آب از آن و همچنین تغییرات فشار درام به عنوان اختلال هایی هستند که به طور ناخودآگاه بر روی سطح درام اثر خواهند گذاشت.

تحت این شرایط، کنترل فرمانده به علت صفر بودن خطای ورودیش، خروجیش را ثابت نگه داشته و فرمان جدیدی را جهت کنترل سطح درام، صادر نمی کند، ولی اگر تغییرات بار طوری باشد که بویلر بتواند همزمان به آن جواب دهد و فشار بخار تغییر ننماید، پدیده Sweel Effect، پیش نیامده و حلقه کنترل اولیه، در جهت تثبیت سطح درام، فرمان خواهد داد. براساس اینکه یک یا دو یا سه فید پمپ، در سرویس و در حالت Auto باشند، سیگنال، خطای کنترلر فرمانبر را در ضرایب ۱ و $\frac{1}{4}$ و $\frac{1}{8}$ ضرب می نمایند. این عمل، باعث یکنواخت نمودن سرعت عمل جوابدهی به دبی خاص، با تغییر فید پمپ ها، خواهد شد. (زیرا فرمان دبی برای هر سه فید پمپ به طور موازی، اعمال می گردد)

با قراردادن ایستگاههای بایاس و کنترل برای هر فید پمپ، می توان به دلخواه تعداد فید پمپ های در حالت Auto را تعیین نمود و در صورت لزوم، دبی تقاضا شده از یک فید پمپ را نسبت به دیگری (توسط بایاس) تغییر داد. یک مدار حفاظتی نیز در صورتیکه سطح درام از حدی بالاتر رود، فرمان فیدپمپ را از ایستگاه کنترل جدا نموده و میزان فرمان کولپینگ های هیدرولیکی را در حد مینیمم قرار خواهد داد.

د- حلقه های کنترل در دیاراتور

دیاراتور، مخزنی است که در مسیر سیکل اصلی آب، بعد از هیتر فشار ضعیف شماره ۳ و قبل از پمپ های تغذیه بویلر، قرار دارد. دیاراتور، علاوه بر ذخیره سازی آب و تأمین آب تغذیه درام، جداسازی هوای وارد شده در آب سیکل را نیز انجام می دهد و در حین این عمل، آب سیکل نیز مقداری گرمتر خواهد شد.

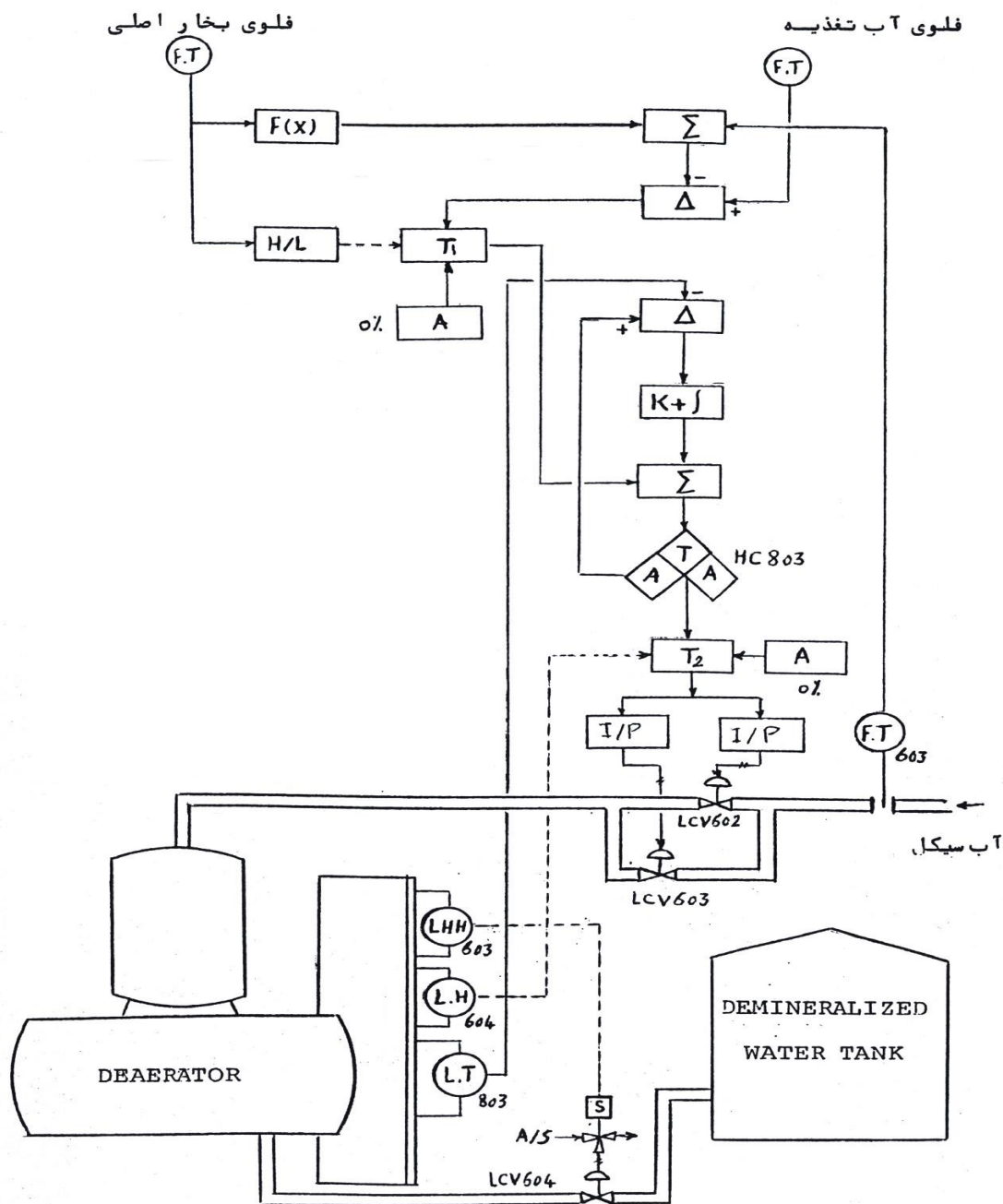
به علت حساسیت زیاد در تغییرات سطح دیاراتور، که ناشی از تغییرات سریع بار، دبی آب خروجی و یا تغییرات فشار داخل دیاراتور می باشد، جهت کنترل سطح آن در شرایط نرمال، از یک حلقه کنترل سه پارامتری استفاده شده و نهایتاً توسط دو شیر کنترل در مسیر آب ورودی، سطح دیاراتور، کنترل می گردد، ولی در شرایط راه اندازی و بارهای کم، تغییرات سطح حساس نبوده و از یک حلقه کنترل تک پارامتری استفاده شده است. همچنین، یک حلقه کنترل دو حالتی مجزا، در شرایطی که سطح دیاراتور بالاتر از حد مجازی شود، آب دیاراتور را به داخل تانک ذخیره، تخلیه می نماید.

چون بخار ورودی به دیاراتور (جهت هوازدایی) در شرایط نرمال، از مسیر اکستراکشن های توربین تا مین می گردد و در شرایط راه اندازی و یا اضطراری، لازم است که بخار دیاراتور از طریق هدر کمکی تأمین گردد. لذا یک مدار کنترل نیز جهت جلوگیری از افت فشار بخار دیاراتور، عمل فوق را انجام خواهد داد.

الف- حلقه کنترل سطح در بارهای پایین: همانطوریکه گفته شد، حلقه کنترل سطح دیاراتور در بارهای پایین، یک حلقه کنترل تک پارامتری است. مطابق شکل (۲-۱۲)، سیگنال ۰٪ تا ۱۰۰٪ ترانزمیتر سطح، به ازای $\pm 190.5\text{CM}$ ، از مرکز هندسی مخزن دیاراتور، تهیه شده و با مقدار سطح مطلوب دیاراتور (که از طریق ایستگاه کنترل در اطاق فرمان تعیین می گردد) مقایسه می گردد. یک کنترلر فرمانده تناسبی-انتگرالی، براساس خطا عمل کرده و سیگنال خروجی آن در صورتیکه دبی بخار اصلی بویلر از حدی کمتر باشد ۱ بار

پایین)، از رله انتقال حالت T_1 عبور کرده و تحت شرایط اتوماتیک بودن ایستگاه کنترل، فرمان باز و بسته شدن شیرهای کنترل آب ورودی به دیاراتور را فراهم می نماید.

با افزایش سیگنال فرمان شیرهای کنترل از ۰٪ تا ۵۰٪، یکی از آنها باز شده و با افزایش سیگنال از ۵۰٪ تا ۱۰۰٪، شیر دیگر نیز باز خواهد نمود. [4]



شکل ۲-۱۲ سیستم و مدارات کنترل سطح دیاراتور [4]

ب- حلقه کنترل سطح در بارهای بالا: در صورتیکه دبی بخار بویلر از حدی بیشتر گردد، رله T_1 ، سیگنال خروجی کنترلر فرمانده را عبور نداده و تحت این شرایط، یک حلقه کنترل توأم (سری- پیش تغذیه)، با

اطلاع از سیگنالهای سطح دیاراتور (متغیر تحت کنترل) - دبی آب ورودی (متغیر کنترل کننده)، دبی آب خروجی (متغیر اختلال اصلی) و تابعی از دبی بخار (اختلال فرعی و قابل ملاحظه)، سطح دیاراتور را بنحو احسن، کنترل خواهد نمود.

مطابق شکل (۲-۱۲)، سیگنال خروجی کنترلر فرمانده، (که براساس رفع خطای سطح موجود و مطلوب تهیه می گردد)، با سیگنال دبی خروجی دیاراتور (سیگنال اصلی تقاضا - روش پیش تغذیه) جمع شده و یک تقاضای دینامیکی برای دبی آب، ورودی به دیاراتور (متغیر کنترل کننده - روش سری) می نماید. در شرایط کار نرمال، تقریباً حدود ۷۰٪ آب ورودی به دیاراتور، از طریق شیرهای کنترل ورودی و ۳۰٪ آن شامل درین آب هیترهای فشار قوی و بخار ورودی به دیاراتور، که تابعی از بار بویلر است می باشد. از این رو، لازم است که جهت توازن بین تقاضا و عرضه آب ورودی، نه تنها دبی آب ورودی، بلکه میزان درین های دیگر، که تابعی از بخار اصلی هستند، نیز اندازه گیری شود.

به هر جهت، مجموع سیگنال های خروجی تابع ساز و دبی آب ورودی، به عنوان سیگنال آب ورودی به دیاراتور (عرضه آب)، با سیگنال تقاضای آب، مقایسه شده و یک کنترلر فرمانبر تناسبی - انتگرالی، سعی در ازبین بردن این خطا خواهد نمود.

خروجی این کنترلر، پس از عبور از رله T_2 و ایستگاه کنترل، میزان دبی آب ورودی به دیاراتور را تعیین خواهد نمود. بدیهی است که این مدار کنترل، نه تنها تحت شرایط مختلف همواره سطح دیاراتور را مطابق مطلوب نگه می دارد، بلکه هرگونه تغییرات در پارامترهای تأثیر گذارنده بر روی سطح (دبی آب خروجی - دبی آب ورودی - بار بویلر - فشار داخل دیاراتور)، را قبل از اینکه ب روی سطح تأثیر قابل ملاحظه ای ایجاد نمایند، مد نظر گرفته و عمل کنترل را انجام می دهد. (مزایای روش کنترل سری - پیش تغذیه)

ج - حلقه کنترل سطح در شرایط اضطراری: اگر تحت شرایط خاص، به هر علتی سطح دیاراتور از حد مجازی بالاتر رود، مطابق شکل (۲-۱۲)، نه تنها از طریق یک سویچ حساس به سطح و رله T_2 ، هر دو شیر کنترل آب ورودی، بسته خواهند شد، بلکه یک شیر کنترل دیگر، در مسیر بین دیاراتور، و تانک ذخیره، باز شده و در جهت کاهش سطح از حد فوق، عمل خواهد شد.

با رسیدن سطح دیاراتور به مقدار کمتر از حد مجاز فوق، مجدداً فرمان شیرهای کنترل ورودی از طریق ایستگاه کنترل فراهم شده و شیر کنترل در مسیر تانک ذخیره نیز بسته خواهد شد.

۴-۲ ملاحظات عملی

در کنترل صنعتی و خصوصاً کنترل سطح مخازن یکی از مهمترین کارها اندازه گیری میباشد که در این راستا سنسورها نقش بسیار مهمی ایفا مینمایند

سنسور یا حسگر چیست؟

حسگر یا سنسور همان حس کننده ای است که کمیت‌های فیزیکی مانند فشار، حرارت، رطوبت، دما، و ... را به کمیت‌های الکتریکی پیوسته (آنالوگ) یا غیر پیوسته (دیجیتال) تبدیل می کند. در واقع آن یک وسیله الکتریکی است که تغییرات فیزیکی یا شیمیایی را اندازه گیری می کند و آن را به سیگنال الکتریکی تبدیل می نماید.

سنسورها در انواع دستگاههای اندازه گیری، سیستمهای کنترل آنالوگ و دیجیتال مانند PLC مورد استفاده قرار می گیرند. عملکرد سنسورها و قابلیت اتصال آنها به دستگاههای مختلف از جمله PLC باعث شده است که سنسور بخشی از اجزای جدا نشدنی دستگاه کنترل اتوماتیک و رباتیک باشد. سنسورها اطلاعات مختلف از وضعیت اجزای متحرک سیستم را به واحد کنترل ارسال نموده و باعث تغییر وضعیت عملکرد دستگاهها می شوند.

۱-۴-۲ سنسورهای کنترل سطح

سنسورهای نوری کنترل سطح

سنسورهای نوری کنترل سطح به منظور تشخیص سطح مایعاتی مثل الکل، اتر، آب مقطر، انواع اسیدها و روغن های صنعتی،... بکار می روند.

این سنسورها، بر مبنای ارسال امواج مادون قرمز مدوله شده و دریافت امواج شکست یافته از نوک منشوری شکل سنسور عمل می نمایند.

اگر نوک سنسور در تماس با مایع باشد زاویه شکست امواج تغییر یافته و به گیرنده نمی رسند و خروجی سنسور تغییر حالت می دهد.

جنس بدنه این سنسورها از فولاد ضدزنگ و جنس پروب آنها از آکرولیک انتخاب شده است که در مقابل مایعات مختلف و اسیدها بسیار مقاوم می باشد.

سنسورهای خازنی کنترل سطح

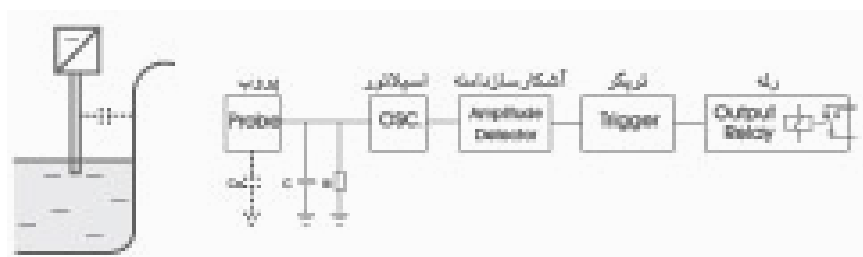
سنسورهای خازنی کنترل سطح بمنظور تشخیص وجود مواد در مخازن فلزی بکار گرفته می شود. سطح مواد پودری، دانه دانه، مایعات و ... که در مخازن فلزی انباشته می شوند را می توان توسط این سنسورها کنترل کرد.

سنسورهای خازنی، سنسورهای بدون تماس و بدون کنتاکت الکتریکی هستند که در مقابل فلزات و اغلب غیر فلزات عمل می نمایند. این سنسورها برای کنترل سطوح در مخازنی که از مواد پودری، مایع و یا دانه دانه پر شده اند مناسب می باشند. همچنین از آنها می توان به عنوان مولد پالس بمنظور کنترل وضعیت برنامه ماشین آلات، برای شمارنده ها و آشکارسازی تقریباً تمام مواد فلزی و غیرفلزی استفاده کرد.

قسمت اساسی اسیلاتور از دو قطعه فلزی تشکیل شده، وضعیت قرارگیری این قطعات فلزی نسبت به هم طوری است که باعث ایجاد یک ظرفیت خازنی می شود. هر گاه قطعه ای با ضریب الکتریکی E به صفحه حساس نزدیک گردد باعث تغییر ظرفیت خازنی بین صفحات می شود. این تغییر ظرفیت خازنی باعث تغییر دامنه خروجی اسیلاتور می شود.

دمدولاتور دامنه اسیلاتور را آشکار می کند و این مقدار را با سطح مرجع مقایسه می نماید. هر گاه دامنه این مقدار از دامنه مرجع بیشتر باشد، خروجی سنسور تحریک می شود. آمپلی فایر خروجی وظیفه تأمین جریان را بر عهده دارد

اساس کار این سنسورها بصورت زیر است :



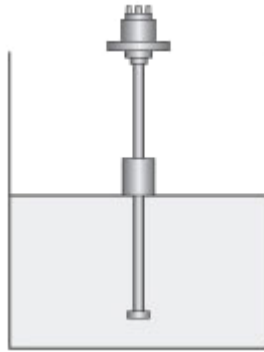
شکل ۲-۱۳ بلوک دیاگرام اساس کار سنسورهای خازنی کنترل سطح [8]

سنسورهای مغناطیسی کنترل سطح:

سنسورهای مغناطیسی کنترل سطح برای تشخیص سطح مایعات در یک یا چند نقطه مشخص در مخازن بکار می روند. این سنسور که بصورت عمودی بدون نیاز به منبع تغذیه در مخزن نصب می شود دارای شناوری از جنس پلی آمید است که در سطح مایعات موجود در مخزن قرار می گیرد و به همراه مایع جابجا می شود.

حرکت شناور در طول میله باعث تحریک سویچهای داخل میله می گردد و خروجی دستگاه را فعال می کند.

توجه: طول میله و محل قرار گرفتن سویچ طبق سفارش قابل تغییر است.



شکل ۲-۱۴ نمونه ای از سنسورهای مغناطیسی [8]

در اینجا شرح مختصری از سنسورها اشاره نمودیم در قسمت بعد به تشریح فرایند اندازه گیری سطح خواهیم پرداخت

۲-۴-۲ فرایند اندازه گیری سطح

۱-۲-۴-۲ نصب

سیستم های تعیین سطح مخازن عموماً جهت راه اندازی به سهولت طراحی می شوند و قابلیت های زیادی برای استفاده در مسائل عملی دارند و در گستره وسیعی مورد کاربرد قرار می گیرند . با این وجود تعیین یک سنسور مناسب برای یک سیستم خاص ، حتی برای مخازن اغلب مشکل است . اگر سیستم مورد نظر پیچیده تر از اینها باشد ، دقت بیشتری برای انتخاب سنسور مناسب باید داشت تا جایکه ممکن است انتخاب سنسور مناسب ، از خود سیستم به دقت بیشتری نیاز داشته باشد .

سنسور را باید جایی نصب کرد که تحت تأثیر اغتشاشات جریان ورودی و خروجی قرار نگیرد ، همچنین موقعیت سنسور برای کنترل خطاها مهم است ، برای مثال دستگاه تقطیری که در خارج مخزن قرار گرفته ممکن است دمای متفاوتی نسبت به مخزن داشته باشد و نیاز به یک سنسور کامل برای جداسازی کامل بدون اینکه مخزن تخلیه شود دارد .

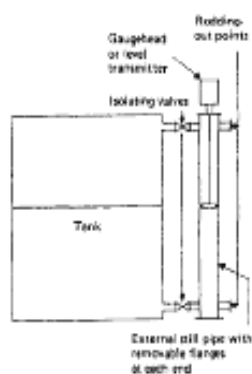
همچنین خوردگی تدریجی که در اثر مواد محتوی مخزن بر روی سیستم سنسورها تأثیر می گذارد می بایست در نظر گرفته شود ، دماهای بالا، فلزات خورنده و سایش مواد گرانولی (دانه های درشت) از شاخصه های خطرناک در سیستم ها هستند که می بایست با تمهیداتی همچون کم کردن اصطحکاک و کاهش وزن شناور سیستم و کاهش زمان کاری و زمان در تماس بودن شناور با محلول ، این مشکل را برطرف کرد.در

سالهای اخیر کارهای زیادی بر روی وسایل ، بدون تماس مستقیم اندازه گیری سطح انجام شده تا بدینوسیله عمر کاری دستگاه افزایش یابد . همچنین سنسورهای تعیین سطح می بایست قابلیت تنظیم ارتفاع های مختلف را داشته باشد و در وضعیت های مختلف قرار گیرد که بعضی از این سیستم ها بصورت مکانیکی ومابقی بصورت الکترونیکی کار می کنند

۲-۲-۴-۲ منابع خطا

اولین گروه از خطاها مربوط به مسائلی است که در آن محتوی مخزن در یک سطح وسیعی گسترده شده اندازه گیری سنسور در یک نقطه خاص انجام می شود . بطور کلی تعیین سطح برای ماده محتوی ظرف ممکن است در حدود ۰,۵mm درمقیاس صنعتی خطا داشته باشد .

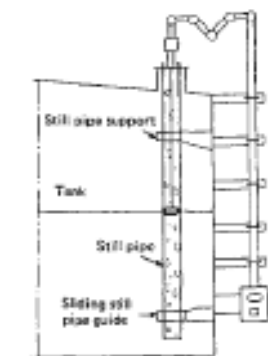
روش هایی که سطح را اندازه می گیرند بدلیل اثر کشش سطحی که بوسیله هیستریزیس ایجاد میشود دارای خطا هستند . همچنین نوع ماده محتوی ظرف در ایجاد رسوب بر روی اجزای سنسور از دیگر منابع خطاست از دیگر موارد وجود خطا ، در مواد گرانولی است که عموماً نمی توانند سطوح صافی همچون مایعات ایجاد کنند که اگر شکل هندسی توزیع مواد در ورودی و خروجی معلوم نباشد استفاده از یک سنسور نقطه ای باعث افزایش خطا می شود . همچنین جریان مغشوش بوجود آمده در اطراف سنسور و یا اغتشاشات بوجود آمده در اثر لرزش مخزن می تواند خطا ایجاد کند . استفاده از سنسور تعیین سطح مکانیکی که در بعضی از سطوح جریان متحرک غیر دائم یک مکانیسم معمول است ، این مکانیسم که در مخزن جمع کننده آب از آن استفاده شده از یک لوله تقطیر و یا یک لوله که در پایین آن سوراخ کوچکی تعبیه شده و سطح آب داخل لوله با سطح آب داخل مخزن برابر است(شکل ۲-۱۵)استفاده میکندنرخ زمانی تغییرات سطح آب به لوله تقطیر بستگی دارد و برای سیستم های با تغییرات سریع سطح می بایست جداسازی فاز بخار و آب و قدرت رقیق سازی تعیین شود . [8]



شکل ۲-۱۵ نشانگر با لوله ثابت داخلی [8]

همچنین تغییرات در وزن شناور منجر به خوردگی و یا رسوبات در شناور و سنسور میشود که این به دلیل تغییر عمق نفوذ شناور در ماده محتوی بوجود می آید .

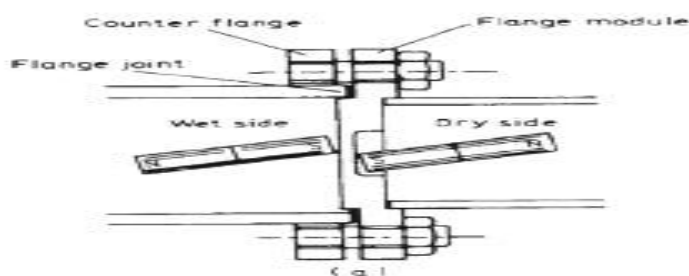
نوع دوم از خطاها در اثر تغییرات دما و فشار محفظه بوجود می آید و می بایست ، حجم و جرم مخزن تعیین شود . بنابراین یک مرحله علاوه بر آنچه گفته شد اضافه میشود و میبایست چگالی نیز تعیین شود .



شکل ۲-۱۶ نشانگر با لوله ثابت داخلی [8]

بطور کلی همه مواد با تغییرات دمایی تغییر حجم پیدا می کنند و حتی این موضوع اساس کار دما سنج ها هم هست ، بنابراین می بایست سطح اندازه گیری شده تصحیح شود . بعضی از انواع سنسورهای تعیین سطح که در خارج مخزن نصب میشوند همچون لوله تقطیر ، می بایست در همان دمایی که مخزن قرار دارد ، باقی بماند زیرا دادن گرما یا سرما می تواند باعث تغییر دانسیته لوله تقطیر گردد و در نتیجه در تعیین سطح خطا ایجاد می کند .

همچنین روشهایی که براساس نیروهای شناوری در مخازن عمل می کنند با تغییر دما و چگالی دچار خطا میشوند زیرا نیروی شناوری وابسته به چگالی است . یک کوپل مغناطیسی که میان میل راهنمای شناور و اهرم رابط قرار گرفته در (شکل ۲-۱۷) بعنوان نمونه ای از اجزای شناور نشان داده شده است .



شکل ۲-۱۷ نمونه ای از یک شناور مغناطیسی [8]

شناور ها عموماً از چوب پنبه ضد آب ، استیل ، مس و مواد پلاستیکی ساخته میشوند . مواد بکار رفته می بایست در برابر خوردگی مقاوم باشند زمانیکه جنس خورنده باشند و یا بر خلاف آن اجزای سنسور خورنده باشد ، بهتر است که از تعداد اجزای شناور در محلول کاسته شود .

۲-۴-۳ کالیبراسیون سیستم های اندازه گیری سطح مخازن

محموله هایی که ارزش اقتصادی تجاری دارند همچون مواد پتروشیمی غذاها ، شیر و الکل ، می بایست بر اساس وزن نسبی خود اندازه گیری و کالیبره شود در بعضی مواقع نمونه ای از همان ماده ها برای کالیبره کردن استفاده می شود که می بایست در نهایت دقت انجام شود از پروسه های غیر مستقیم جهت تعیین حجم و یا جرم ماده محتوی بر اساس اندازه گیری سطح نیز می توان استفاده کرد بدین صورت که جدولی از ضرائب تهیه شده و بر آن اساس هر مقدار سطح اندازه گیری شده ، به ضرائب مربوط به جدول تبدیل می شود و حجم کل بدست می آید .

جدول کالیبره اسیون برای یک تانک بزرگ اغلب به سهولت با استفاده از نقشه مهندسی آن تهیه می شود با این که این روش اغلب دقیق نیست ، ولی بدلیل مشکلات بدست آوردن دقت در اندازه گیری ، تولید کنندگان مخازن . مخازن را با یک روش مرسوم می سازند .

روشهای اندازه گیری سطح

روش دقیق جهت اندازه گیری حجم ، اندازه گیری دقیق ابعاد مخزن بعد از ساخت است . که این کار کمی با اتلاف دقت همراه است ، در هر حال می توان از جدول تبدیل و با اندازه گیری سطح ، حجم مخزن را بدست آورد .

روش دیگر اندازه گیری حجم برای مخازن که بوسیله پمپ تخلیه یا پر می شود استفاده از فلومتر است همچنین می توان وزن مخزن به همراه ماده محتوی آن را اندازه گرفت و از وزن مخزن خالی کم کرد و با توجه به چگالی نسبی آن حجم ماده محتوی را محاسبه کرد.

از جمله روش اندازه گیری با دقت بالا ، نمایش پیوسته تغییرات منابع خطا که پیشتر ذکر شده است و بدینوسیله خطاها را تصحیح نمود ، برنامه نمایش پیوسته خطا ، نیاز به تمیز سازی شناور و الکتروود و همچنین زدودن رسوبات دارد . روش دیگر استفاده از عمق یاب های دستی است که بوسیله یک میله بلند سطحی از مایع که مخزن را طی کرده باشد اندازه گیری می کند . [8]

۲-۴-۴ روشهای اندازه گیری سطح تمام برد

روشهای اندازه گیری و کنترل سطح به دو دسته تقسیم می شود:

۱- روشهای پیوسته کنترل سطح که در همه ارتفاع ها سطح آب مخزن را کنترل می کند

۲- روشهای نقطه ای در تغییرات کوچک سطح.

بطور کلی روشهای پیوسته کنترل سطح ، بسیار مقبولیت دارند .



شکل ۲-۱۸ روشهای پیوسته کنترل سطح

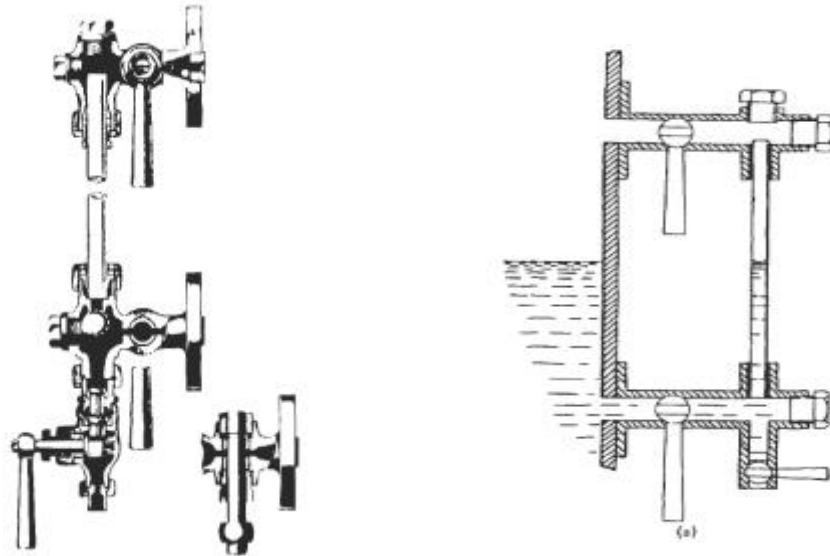


شکل ۲-۱۹ روشهای نقطه ای در تغییرات کوچک سطح

۲-۴-۱-۴ نشانگرهای شیشه ای

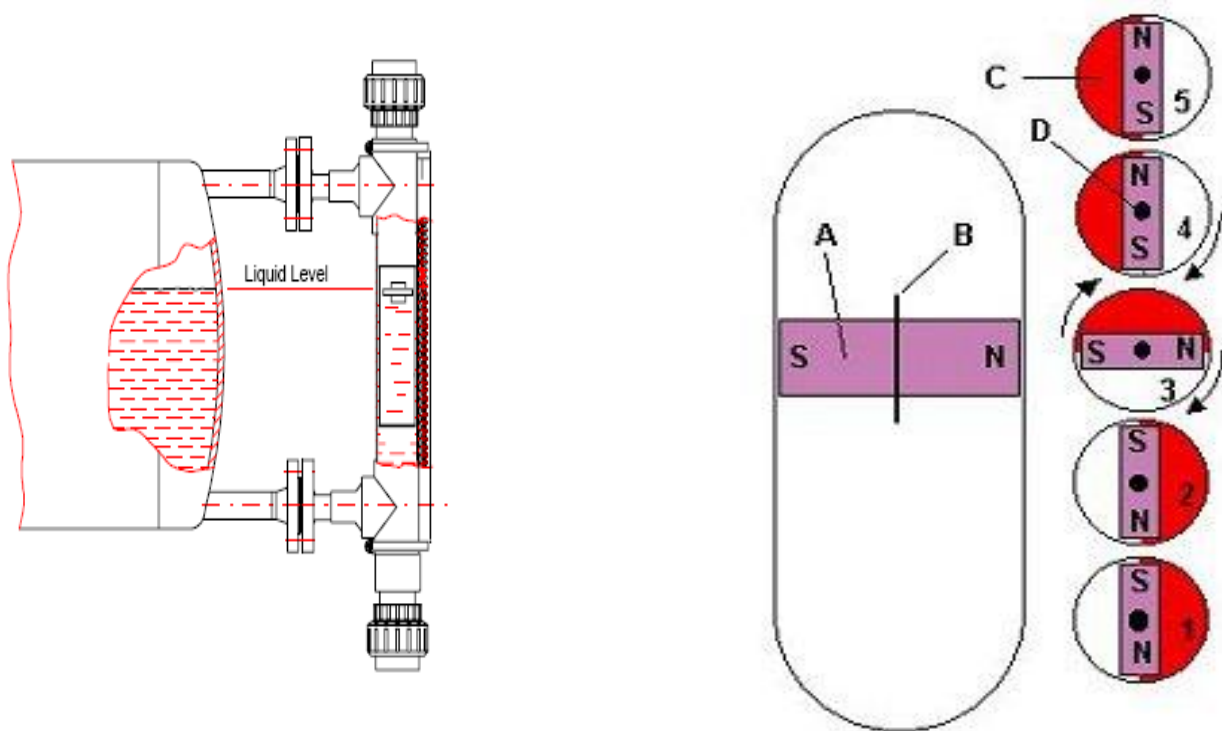
نشانگرهای شیشه ای خارجی که در جداره مخزن نصب می شود که می توان جهت دیدن و کنترل سطح آب مخازن بسته نظیر بویلرهای بخار استفاده کرد .

بطور کلی این نشانگر از یک لوله شیشه ای سخت شده (بروسیلیکات) که بوسیله یک شیر به تانک متصل شده است (قطر لوله می بایست به قدر کافی بزرگ باشد تا حباب ها در لوله باعث بالا آمدن غیر واقعی سطح آب نشود) ساختار پایه و سائیلی از این قبیل در (شکل ۲-۲۰) نشان داده شده است که ماده تحت فشار محتوی ظرف نیاز به یک فشار شکن دارد تا فشار ورودی به لوله نشانگر شیشه ای را کاهش دهد . بعلاوه در صورتیکه ماده محتوی خورنده باشد می بایست از روشهای دیگری همچون شیشه نشانگر استفاده کرد . همچنین در این سیستم از یکسری شیر استفاده شده است که اجازه می دهد این سیستم نشانگر بدون افت فشار بر دستگاه نصب شود. [8]

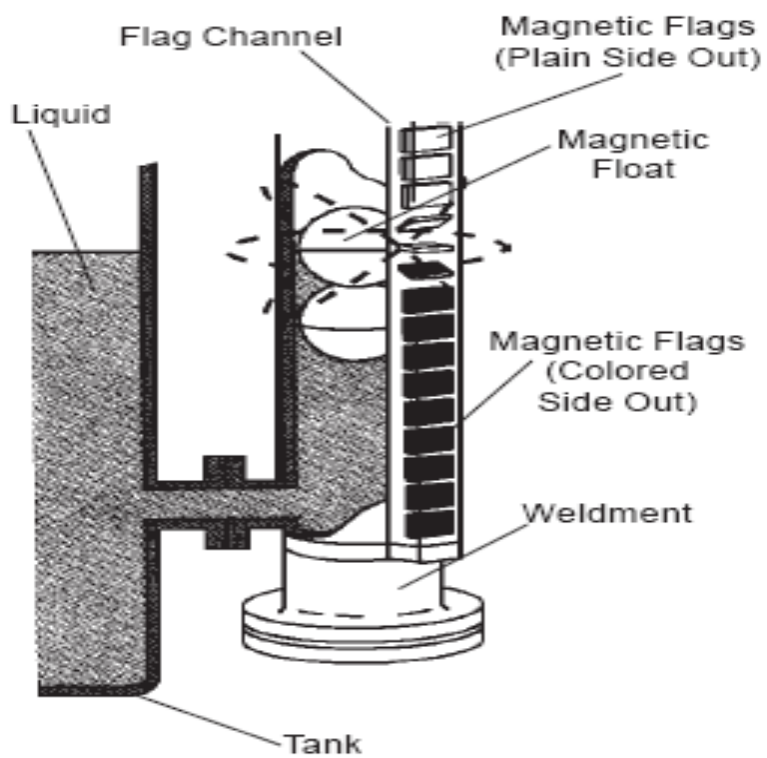


شکل ۲-۲۰ نشانگر شیشه ای (سمت راست برش نشانگر) [9]

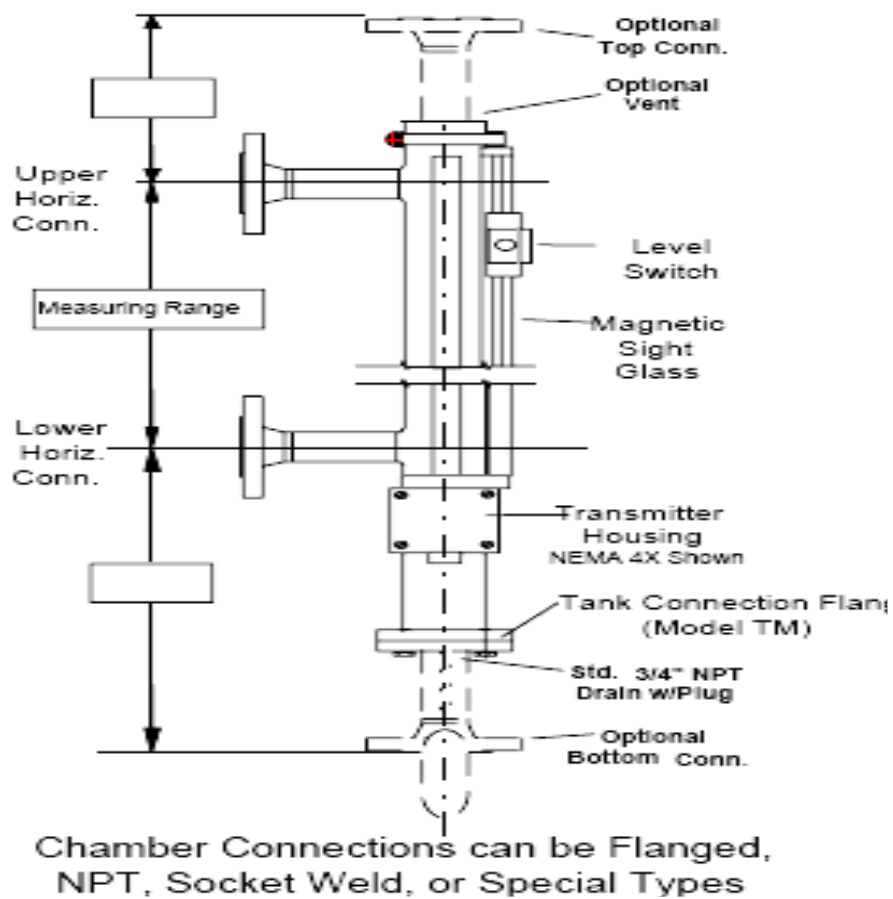
روش های پیشرفته تر از شیشه نشانگر استفاده از نشانگر سطح مغناطیسی است که در (شکل ۲-۲۱) نشان داده شده است که یک میله ی مغناطیسی به یک شناور متصل است که سطح آزاد مایع را در داخل لوله تقطیر دنبال می کند . در قسمت نشانگر یکسری صفحات کوچک مغناطیسی با رنگ های متفاوت قرار داده که تحت تأثیر میله مغناطیسی داخل مخزن ، تغییر وضعیت می دهند و رنگ متفاوت پیدا می کنند و بدین ترتیب سطح مایع داخل مخزن را نشان می دهند شناور این سیستم بگونه ای انتخاب می شود که از وزن مخصوص مناسبی نسبت به سیل برخوردار باشند . همچنین از عملکردهای مغناطیسی که در سوئیچ های کنترلی و هشدار دهنده بکار رفته می توان استفاده نمود . باید توجه داشت که محدوده اثر این نشانگر های مغناطیسی در حدود 5mm است و نشانگر های مغناطیسی نباید در خارج از این حوزه قرار گیرند ، همچنین دما های بالا اثرات نامطلوبی بر این نشانگر های مغناطیسی خواهد گذاشت و در راهنمای این سیستم گفته شده که از این نشانگر ها برای فشار پایینتر از ۳۰۰ بار و دمای کمتر از 400C باید استفاده کرد .



شکل ۲-۲۱ نشانگر مغناطیسی



شکل ۲-۲۲ نشانگر مغناطیسی



شکل ۲-۲۳ نشانگر مغناطیسی

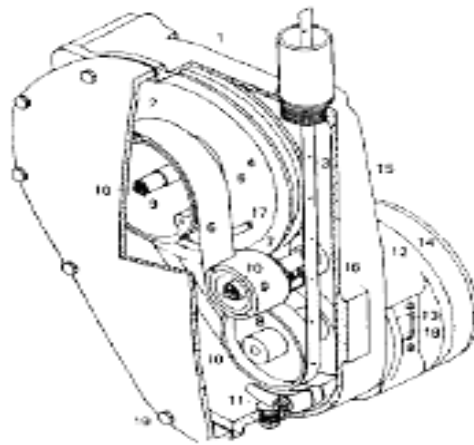
در برخی موارد امکان دیدن سطح مایع، نه از شیشه نشانگر بلکه از طریق لوله U شکل مدرج (شکل ۲-۲۴) وجود دارد که سطح مایع را تعیین می کند. [8]



شکل ۲-۲۴ لوله U شکل [8]

۲-۴-۴-۲ ابزارهای متحرک شناور

سیستم نشانگر مغناطیس که در بالا توضیح داده شد از جمله نشانگر های سطح است که با استفاده از شناور سطح مایع را دنبال می کند . در مواردی که عملکرد شناور بصورت مکانیکی است از یک مکانیزم رابط مکانیکی مابین شناور و نشانگر خروجی استفاده می شود تا سطح مایع را نشان می دهد باید توجه داشت که مکانیزم رابط مکانیکی نباید موجب وارد شدن نیروی اضافی به شناور شود . چون سطح مایع را بصورت غیر واقعی نشان می دهد ، همچنین نیروهای اصطکاکی مکانیزم رابط نیز ممکن است خطا ایجاد کند و می بایست این نیروها بوسیله تجهیزاتی همچون جرم و فنر ، خنثی شود (شکل ۲-۲۵) نمایر از این وسیله را نشان می دهد که بوسیله یک موتور گشتاور ، وزن و نیروهای اصطکاکی را خنثی می کند تا شناور سطح واقعی مایع را نشان دهد .



شکل ۲-۲۵ موتور گشتاور که نیروی اصطکاکی را خنثی می کند

هزینه تولید یک سیستم مکانیکی دقیق بسیار زیادتر از تجهیزات الکترونیکی است با این وجود سیستم های مکانیکی از مزایای همچون عدم نیاز به منبع تغذیه و رنج وسیعی کارکرد های مختلف که براحتی برای مسائل مختلف استفاده میشود . همچنین در صورت امکان از سیستم های تماس غیر مستقیم برای کنترل سطح مایع استفاده می کنیم.

۲-۴-۴-۳ پروبهای ظرفیتی

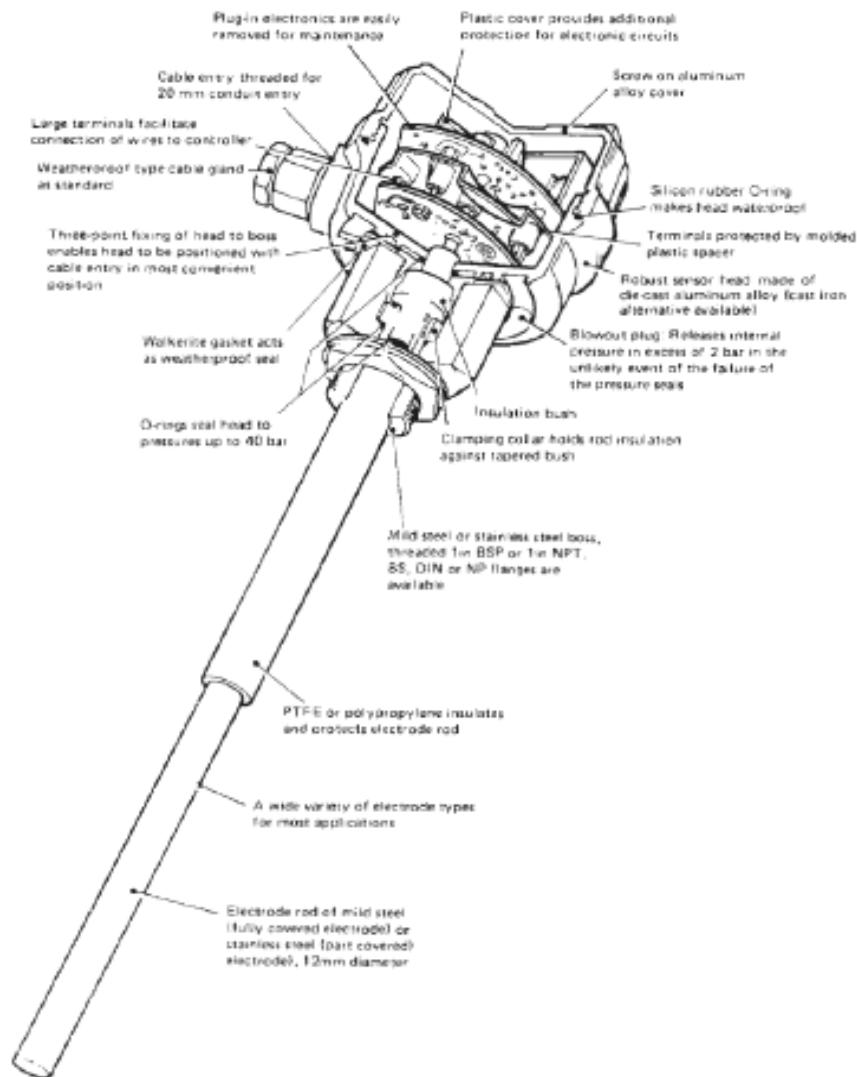
ظرفیت الکتریکی C میان دو صفحه به مساحت A که در فاصله d از هم قرار گرفته ، برابر است با $c = \epsilon \frac{A}{d}$

ϵ ثابت دی الکتریک ماده میان دو صفحه است . در حقیقت الکتروود غوطه ور در مخزن از این رابطه تبعیت می کند . وجود مایع یا گرانول در اطراف الکتروود در ظرفیت الکتریکی میان الکتروود و جداره مخزن تغییراتی ایجاد میکند و ظرفیت توسط مدارات الکترونیکی اندازه گیری میشود . (شکل ۲-۲۶) نمای برش از این سیستم

را ارائه می کند .

الکتروود در نوک سیستم قرار دارد که از یک میله فلزی سخت ، کابل های انعطاف پذیر و لوله های روکش شده، تشکیل یافته است و ظرفیت الکتریکی الکتروود با توجه به ماده در حال تماس با الکتروود تغییر می کند و اگر هدف اندازه گیری سطح مواد گرانوی همچون دانه های غذایی باشد ، توزیع ماده در اطراف الکتروود غیریکنواخت است و ماده میان محفظه به شکل گودال در می آید





شکل ۲-۲۶ پروبهای ظرفیتی [8]

بنابراین مکان الکتروود و زاویه تماسی الکتروود نسبت به محور عمودی کمک زیادی جهت کاهش خطا می کند ، همینطور برای اندازه گیری سطح ، از الکتروود که بطور کامل در محلول قرار دارد و در چندین نقطه از مدارهای جداگانه ای ، با مکانیسم مشابهی با الکتروود تک نقطه ای استفاده می شود.

در کلیه سیستمها ، برای جلوگیری از حادثه احتمالی ، پتانسیل الکتریکی و توان الکتروود به اندازه کافی کوچک در نظر گرفته می شود

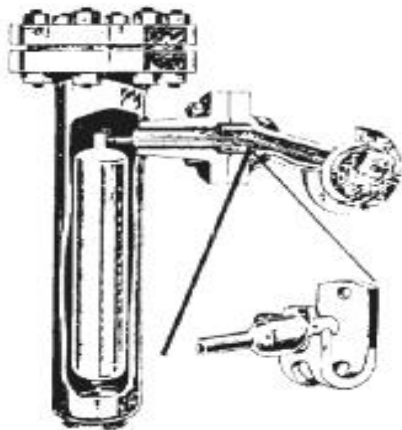
۲-۴-۴-۲ سنجش وزن محتویات :

می توان حجم ماده محتوی ظرف را از طریق اندازه گیری وزن ماده محتوی محاسبه کرد .

۲-۴-۵ نیروی شناوری رو به بالا

با توجه به عمق نفوذ شناور در مایع در جهت قائم و به سمت بالا به شناور نیرو وارد می شود ، در حالتی که شناور بر روی سطح مایع شناور است ، نیروی وزن شناور با نیروی شناوری به تعادل رسیده است برای اندازه گیری نیروی شناوری ، می توان از یک شناور که در مایع غوطه ور است استفاده کرد که بوسیله یک بازویی به طول ۲ به محور گشتاور متصل شده است و نمی تواند سطح مایع را دنبال کند . بدین ترتیب با اندازه گیری گشتاور تعادلی معادل با نیروی شناوری می توان نیروی شناوری را تعیین کرد .

از آنجاییکه نیروی شناوری با ارتفاع مایع رابطه مستقیم دارد ، می توان سطح مایع را بدین وسیله بدست آورد . همچنین این نیرو با چگالی مخصوص مایع ارتباط مستقیم دارد بنابراین می بایست با چگالی مایع در هر وضعیت کالیبره شود و از آنجاییکه چگالی با تغییر دما تغییر می کند ، برای افزایش دقت می بایست تصححات چگالی لحاظ شود . (شکل ۲-۲۷) مکانیزم اندازه گیری نیروی شناوری را نشان می دهد .



شکل ۲-۲۷ گشتاور تعادلی معادل با نیروی شناوری

۲-۴-۶ اندازه گیری فشار

موادی که رفتار سیال گونه دارد و نمی تواند در محفظه جاری شود مواد گرانولی این قابلیت را ندارند . در یک ارتفاع معین از محفظه به کلیه نقاط سطح ، فشار یکسانی وارد می کنند که این فشار به ارتفاع مایع و چگالی آن وابسته است . در اغلب موارد چگالی یکنواخت است ، بنابراین سنسور فشار را میتوان در هر نقطه ای از کف ظرف قرار داد و بدین ترتیب سطح آزاد مایع را تعیین کرد .

با توجه به اینکه فشار به چگالی و ارتفاع مایع وابسته است. میتوان بوسیله تخلیه محلول از انتهای ظرف و اندازه گیری فشار در نازل خروجی ارتفاع مایع را تعیین نمود . این وسیله bubbler نامیده میشود که فشار مایع را بطور مستقیم یا بصورت سیگنال اندازه گیری می کند . کاملاً واضح است که از این وسیله نمی توان برای اندازه گیری فشار مواد گرانروی استفاده کرد.[9]

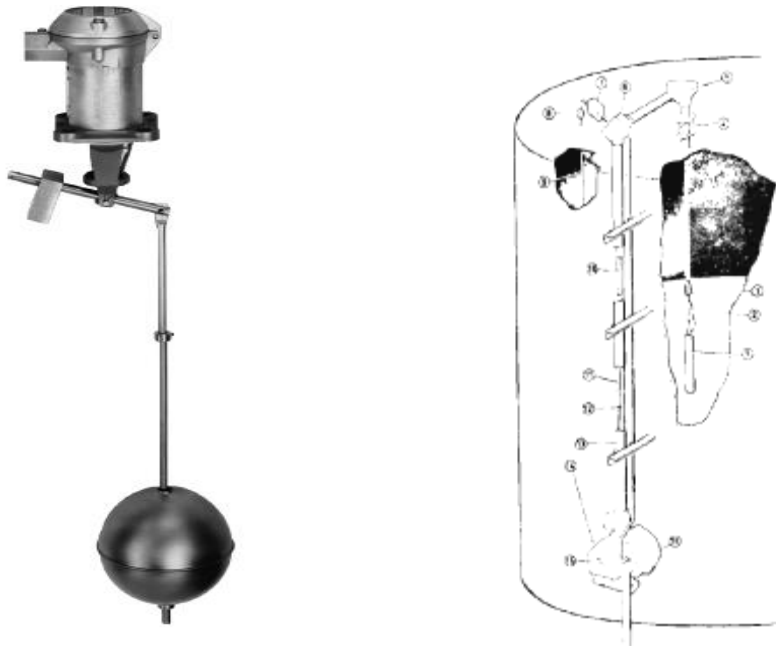
۷-۴-۲ میکروویو، فرا صوت و روش های گذر زمانی

از منابع تشعشعی همچون فراصوت یا میکروویو می توان جهت اندازه گیری سطح مایع استفاده کرد . بدین ترتیب که با ارسال اشعه از بالا به پایین ، با برخورد به سطح مایع ، اشعه منعکس می شود و به گیرنده هایی که در بالای محفظه قرار دارد بازتابش میشود و با اندازه گیری زمان رفت و برگشت که بوسیله مدارهای الکتریکی انجام می پذیرد و همچنین با داشتن سرعت امواج ، می توان ارتفاع مایع را تعیین کرد .

البته بسیاری از تغییرات همچون نوع منبع تشعشعی ، مکان منبع (که بالا یا پایین محفظه نصب شود)، فرکانس تشعشع(که به نوع ماده و دقت مورد نیاز بستگی دارد) می بایست تعیین شود تعداد پالسهایی که در دقیقه ارسال میشود می بایست به قدر کافی زیاد باشد تا نتایج بصورت پیوسته به نشانگر خروجی داده شود [9].

۸-۴-۲ تعادل مکان یا نیرو

در این روش از یکسری سنسور کوتاه برد جهت بالا و پایین بردن کابل متصل به شناور و سنسور تعیین سطح استفاده میشود (شکل ۲-۲۸) نمایی از این سیستم رانشان می دهد که از یک سنسور با فرکانس رادیویی برای تعیین سطح استفاده می کند با توجه به تعادل خودکار سنسور کنترل کننده شناور ، در این روش نیروهای اضافی همچون وزن اجزای مکانیکی و نیروهای اصطکاکی اهمیت چندانی ندارد [8].



شکل ۲-۲۸ نشانگر سطح تعادلی [9]

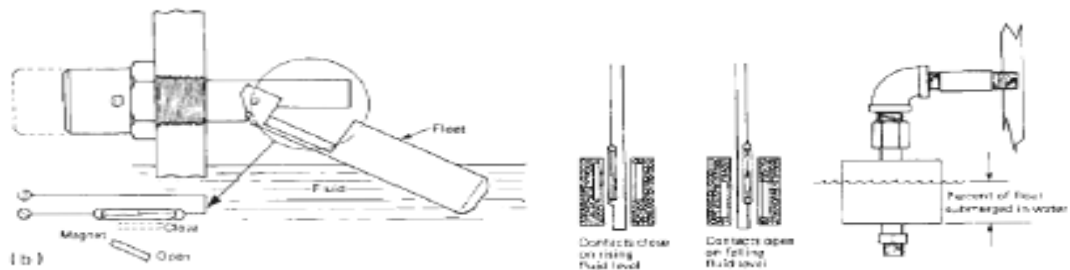
۱-۹-۴-۲ روشهای اندازه گیری در محدوده های کوچک

در برخی کارکردها، تنها نیاز به اندازه گیری فشار و یا حجم مخزن بود که بوسیله سویچ های خاموش و روشن و یا سیستم هشدار دهنده کنترل می شود. در حالیکه در روشهای اندازه گیری پیوسته، نیاز به کنترل اجزای متحرک وسایل اندازه گیری در محدوده های کوچک است.

در این بخش به وسایل تعیین سطح در محدوده های کوچک می پردازیم.

۲-۹-۴-۲ آهنربایی:

حرکت آهنربای غیر دائم که بوسیله شناور در سطح مایع شناور است با تماس با آهنربای سویچ، قطع و وصل می شود (شکل ۲-۲۹) یک سیستم عمل کننده بوسیله بازویی به شعاع ۲ را نشان می دهد که عمکرد الاکلنگی دارد و بوسیله نیروی مغناطیسی بالا و پایین می رود. حالت های مختلف مکانیزم مورد استفاده در بالا آمدن آهنربا که در نزدیک آهنربای سوئیچ تماسی قرار می گیرد در (شکل ۲-۲۹) نشان داده شده که به دو صورت هم محور و یا سنسور نزدیک شونده استفاده می شود.

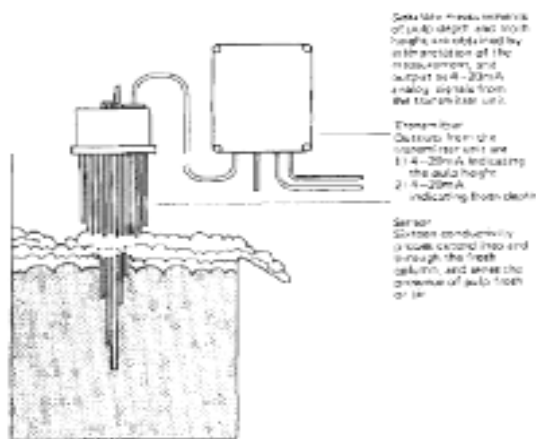


شکل ۲-۲۹ نشانگر مغناطیسی [9]

۲-۹-۴-۳ هدایت الکتریکی

مایعاتی همچون فاضلاب، آب دریا و آب شهری، که محتوی نمک های محلول هستند و دارای هدایت الکتریکی بالاتری نسبت به آب خالص هستند. بطور کلی هدایت اغلب مواد از هدایت الکتریکی هوا بیشتر است. بنابراین اگر جریان الکتریسیته ما بین هوا و سیال ایجاد شود بوسیله تغییرات هدایت الکتریکی در سطح مشترک مایع و هوا می توان موقعیت سطح آب را تعیین کرد.

(شکل ۲-۳۰) یک سیستم با چند حسگر است که برای تشخیص غلظت در ارتفاع های مختلف که در پروسه تولید مواد معدنی بوجود می آید استفاده می شود.



شکل ۲-۳۰ یک سیستم چند الکترونی برای تشخیص سطح های مختلف در سیستم هوا بین کف

حسگرهای هدایتی در بویلرهای آب نیز برای تعیین سطح آب از این روش استفاده می کنند همچنین از هدایت برای اندازه گیری پیوسته سطح نیز می توان استفاده کرد و بدین ترتیب که وقتی سطح مایع در امتداد الکتروود بالا می آید : مقاومت الکتریکی تغییر می کند و بوسیله مدارهای الکترونیکی می توان سطح را تشخیص داد [9].

۲-۴-۹-۴ اشعه مادون قرمز :

زمانیکه سیال سطح تجهیزات نوری را تر کند ، بازتابش نور از سطح در اثر شکست نور تغییر می کند که بدین روش می توان سطح مایع را تشخیص داد .

تجهیزات نوری اغلب از منشور نوری استفاده می کنند . اشعه مادون قرمز براحتی بوسیله پراکنش نور ایجاد می شود .

اگر یک منشور در خارج سطحی که تر شده قرار گیرد با توجه به مقدار نور عبوری از منشور به سیال که بوسیله فتوسل اندازه گیری می شود می توان سطح آب را تشخیص داد . این روش نیاز به نصب تجهیزات الکتریکی ندارد و استفاده از آن بسیار ایمن است . ضمن اینکه خطای این روش در حدود $1mm$ است .

۲-۴-۹-۵ فرکانس رادیویی :

بخش اندازه گیری مخزن می تواند امواج رادیویی با فرکانس $160MH$ ایجاد کند . به نوک الکتروود حسگر ، فرکانس $50 HZ$ داده شده این حسگر بوسیله یک آنتن که بدنبال حسگر قرار دارد ، پوشانده شده و زمانیکه نوک آنتن به سطح مایع برخورد کند ، فرکانس رزونانس بوجود می آید و ولتاژ بوجود آمده از رزونانس آنتن با ولتاژ پایه مقایسه می شود و بدین ترتیب سطح مایع تعیین می شود .

۲-۴-۹-۶ روش ترکیبی :

اساس این روش مشابه روش های قبلی است . کشتاور مورد نیاز جهت چرخش پدال در زمانیکه اطراف پدال مواد باشد تغییر می کند و فرکانس رزونانس لرزشی میله تماسی در هنگامیکه در ماده غوطه ور باشد تغییر می کند و مقاومت الکتریکی صفحه گرم شده نسبت به محیط تغییر خواهد کرد.

سرانجام برای دستیابی به یک انتخاب کلی از سیستم تعیین سطح جدول زیر با نام (lazenby ۱۹۸۰) برای انتخاب متد مناسب آورده شد و به کار گرفته شد. [9]

جدول ۱-۲ در این جدول برخی راهنماییها برای یک حسگر مناسب ارائه شده است

<p>پاسخ مثبت یعنی عدم نیاز به گیج های شناور مکانیکی، شیشه های مرئی، عمق سنج ها و دیگر وسایل طراحی شده برای کنترل در محل.</p>	<p>آیا کنترل از راه دور یا استفاده از نمایشگر مناسب است؟</p>
<p>پاسخ مثبت یعنی عدم نیاز به عمق سنج ها، شیشه های مرئی، گیج های شناور مکانیکی و برخی سیستمهای توازنی خاص.</p>	<p>در استفاده از نمایشگرهای سطح، آیا میزان زمان سپری شده برای خواندن اطلاعات، اهمیت دارد؟</p>
<p>پاسخ منفی یعنی حذف همه موارد اما در عوض اولتراسونیکها، پرتو افکنی، رادار، سلولهای نوری و سلولهای بار، را می توان به کار برد.</p>	<p>آیا حسگر (سنسور) می تواند با ماده تحت اندازه گیری تماس پیدا کند؟</p>
<p>پاسخ مثبت یعنی انتخابها تنها به سلولهای باری محدود می گردد اما در مخازن هم تراز، وسایل دیگر از قبیل ظرفیت سنج ها را می توان برای اندازه گیری وزن، بویژه در اندازه گیری مایعات، تنظیم نمود.</p>	<p>آیا به جای ارتفاع باید وزن را اندازه گرفت؟</p>
<p>پاسخ مثبت، اجازه انتخاب ابزارهای شیشه های مرئی و ظرفیت سنج، اولتراسونیک، پرتو افکنی، رسانایی، رادار، سلول بار، نوری، ترمیستور و کپسول را می دهد.</p>	<p>آیا استفاده از قطعات متحرک مکانیکی، ایراد دارد؟</p>
<p>پاسخ مثبت یعنی اجتناب از لرزاننده ها و پاروهای مخصوص.</p>	<p>آیا کاربرد در مورد مایعات است؟</p>
<p>پاسخ مثبت یعنی حذف عمق سنج ها، شیشه های مرئی، شناورها، ترمیستورها، وسایل رسانایی، ابزار فشار (به استثنای کلیدهای فشار)، کپسولها و جانشینگر ها.</p>	<p>آیا کاربرد در مورد مواد دانه ای و پودری است؟</p>
<p>پاسخ مثبت یعنی حذف ترمیستورها، لرزاننده ها، پاروها، وسایل نوری، کلیدهای واژگون معلق، و ابزارهای رسانایی. موارد دیگر را می توان در نظر</p>	<p>آیا نشانگرهای سطح باید دارای دقت حدود ۰.۲٪ باشند؟</p>

گرفت اما ممکن است گيج های شناور و ابزار پرتو افکن موجب کاهش دقت گردند.	
پاسخ مثبت، فهرست وسایل مجاز را به عمق سنج ها، برخی جانشینگرها و ابزار توازن کاهش، می دهد.	آیا نشانگرهای سطح می بایست دارای دقتی خیلی بهتر از ۱٪ باشند؟

۲-۴-۱۰ کدام سنسور مناسب تر است؟

همانطور که در مباحث گذشته عنوان شد در انتخاب سنسور مناسب بایستی دقت زیادی را بکار بست و موارد و پارامترهای مختلفی را بررسی نمود از بین سنسور های کنترل سطح سنسور نوری از جایگاه ویژه ای برخوردار است و همچنین با توجه به اینکه سنسورهای نوری اغلب هیچگونه اثر بارگذاری روی خروجی سیستم و همچنین کنترلر ندارند لذا در گستره وسیعتری نسبت به دیگر سنسور ها بکار می روند

۲-۵ انواع مدارهای کنترل فیدبک صنعتی

برای بهبود هرچه بیشتر جواب خروجی سیستمها، داشتن اطلاعات (فیدبک) از متغیرهای مختلفی که بر روی یکدیگر اثر می گذارند، ضروری می باشد. در حالت کلی، هرچه از متغیرهای مرتبط یک سیستم اطلاعات بیشتر به مراکز تصمیم گیری (کنترلرها) برسد، عمل کنترل دقیق تر و سریع تر انجام خواهد گرفت. براین اساس، سیستم های کنترل فیدبک به چند دسته تقسیم می گردند که اهم آنها عبارتند از:

۱. کنترل سری

۲. کنترل پیش تغذیه

۳. کنترل تقسیم مقیاس

۴. کنترل نسبت

۵. کنترل انتخاب خودکار

در این بخش، مزایا و موارد استفاده هریک از روشهای فوق با ذکر مثالهای کاربردی مورد بررسی و تجزیه تحلیل قرار می گیرند. [10]

۱. روش کنترل سری^۷

در این روش کنترل، علاوه بر اطلاع از متغیر اصلی تحت کنترل، از متغیر (متغیرهای) کنترل کننده نیز (که اثرات مستقیم بر روی متغیر اصلی دارند)، اطلاعات به مدار کنترل داده می شود. در این روش، مطابق شکل صفحه بعد، حلقه کنترل اولیه، بر روی متغیر اصلی تحت کنترل بوده و خروجی کنترلر آن، ایجاد نقطه تنظیم اتوماتیک برای کنترلر حلقه ثانویه (بر روی متغیر کنترل کننده) می نماید.

در اینجا، در مسیر پیشرو، دو کنترلر به صورت سری با یکدیگر قرار می گیرند. کنترلر حلقه اولیه را کنترلر فرمانده^۸، و کنترلر حلقه ثانویه را کنترلر تابع یا فرمانبر^۹ می نامند.

۲- روش کنترل پیش تغذیه^{۱۰}

در این روش، علاوه بر اطلاع از متغیر اصلی تحت کنترل، از متغیر (متغیرهای) اختلال، که به طور ناخواسته بر روی متغیر اصلی تحت کنترل اثر می گذارند، اطلاع به مدار کنترل داده می شود. در این روش مطابق شکل زیر (۲-۳۱)، سعی می گردد با ایجاد تعادل انرژی بین ورودی و خروجی فیزیکی یک سیستم، از بوجود آمدن خطا و انحراف و رشد آن جلوگیری گردد. (وضعیت تغییرات متغیر اصلی، پیش بینی می گردد) در اینحالت، اختلالات اصلی، قبل از اینکه روی متغیر تحت کنترل اثر بگذارند، توسط متغیر (متغیرهای) کنترل کننده، خنثی خواهد شد. در این روش، مطابق بلوک دیاگرام زیر، وضعیت فرمان محرک را همواره دو سیگنال تعیین می نماید. یکی کمیت خروجی سیستم که تغییرات آن نامشخص است و به عنوان سیگنال

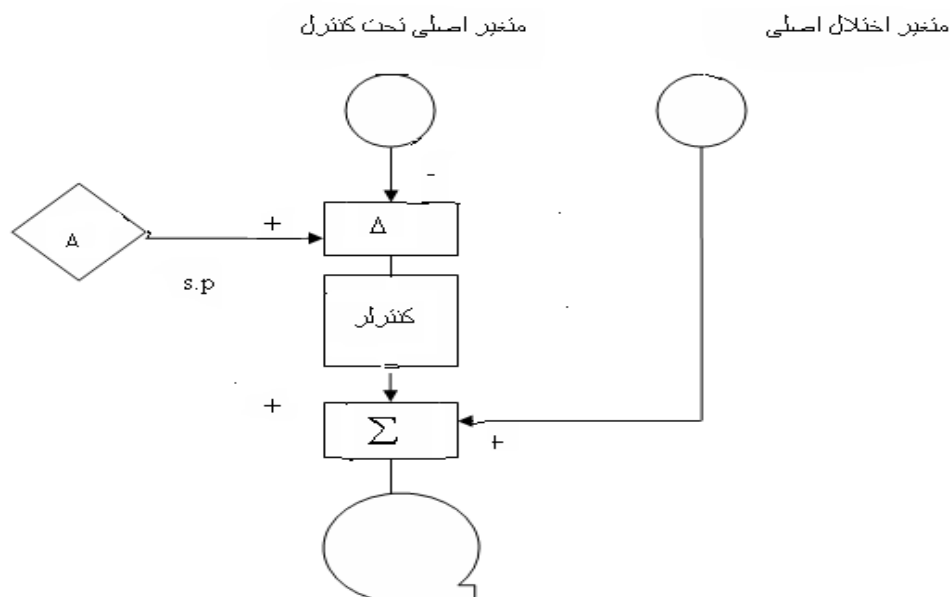
⁷ - Cascade Control

⁸ - Master Controller

⁹ - Slave Controller

¹⁰ - Feed Forward Control

اصلی فراهم کننده تعادل انرژی و پیش بینی کننده محسوب می گردد، و دیگری خروجی کنترلی که بر روی خطای ناشی از متغیر اصلی تحت کنترل و میزان مطلوب¹¹، عمل می کند که این سیگنال، حالت جبران کنندگی دارد.

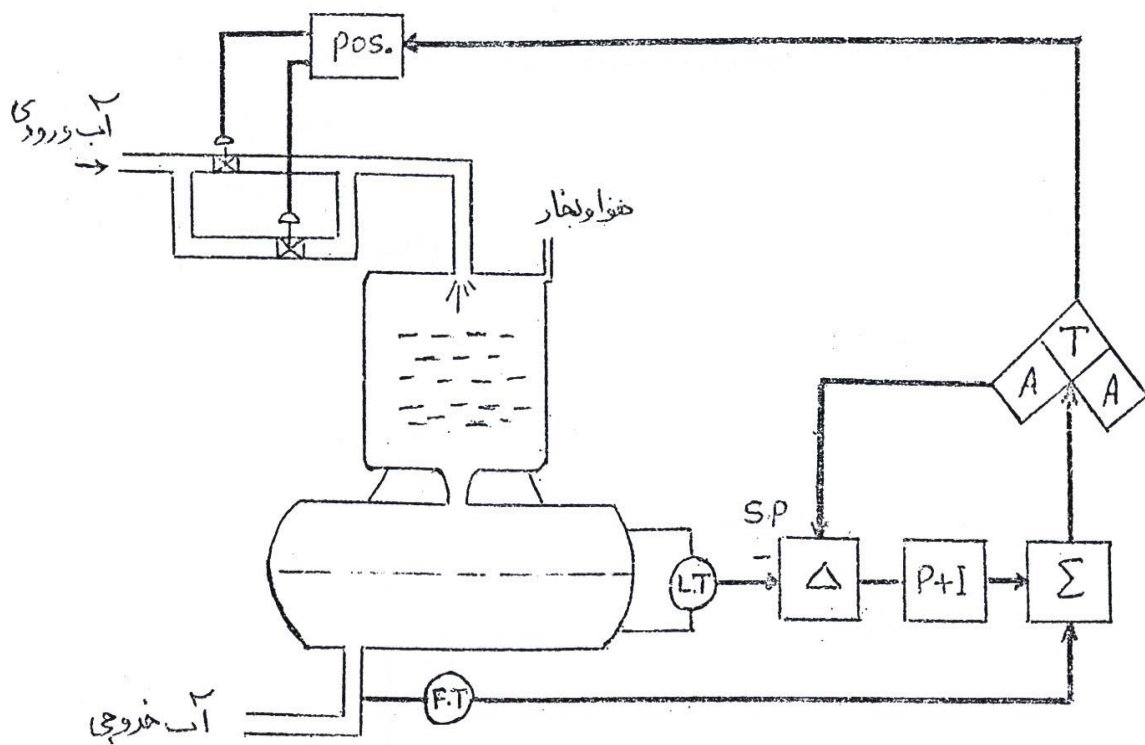


شکل ۲-۳۱ روش کنترل پیش تغذیه [10]

این روش کنترل، بیشتر در مواردی بکار برده می شود که تغییرات خروجی سیستم، اثرات زیادی بر روی متغیر تحت کنترل ایجاد می نماید و به عبارت دیگر، ثابت زمانی سیستم تحت کنترل، نسبتاً زیاد باشد.

سیستم زیر (شکل ۲-۳۲)، جهت کنترل سطح یک مخزن تحت فشار، (دیاراتور) که تغییرات دبی مصرفی آن زیاد و ظرفیت سیستم نسبتاً کم می باشد، بکار برده شده است. (در این سیستم، متغیر تحت کنترل سطح آب، متغیر کنترل کننده دبی ورودی یا متغیر اختلال اصلی، دبی آب خروجی می باشد)

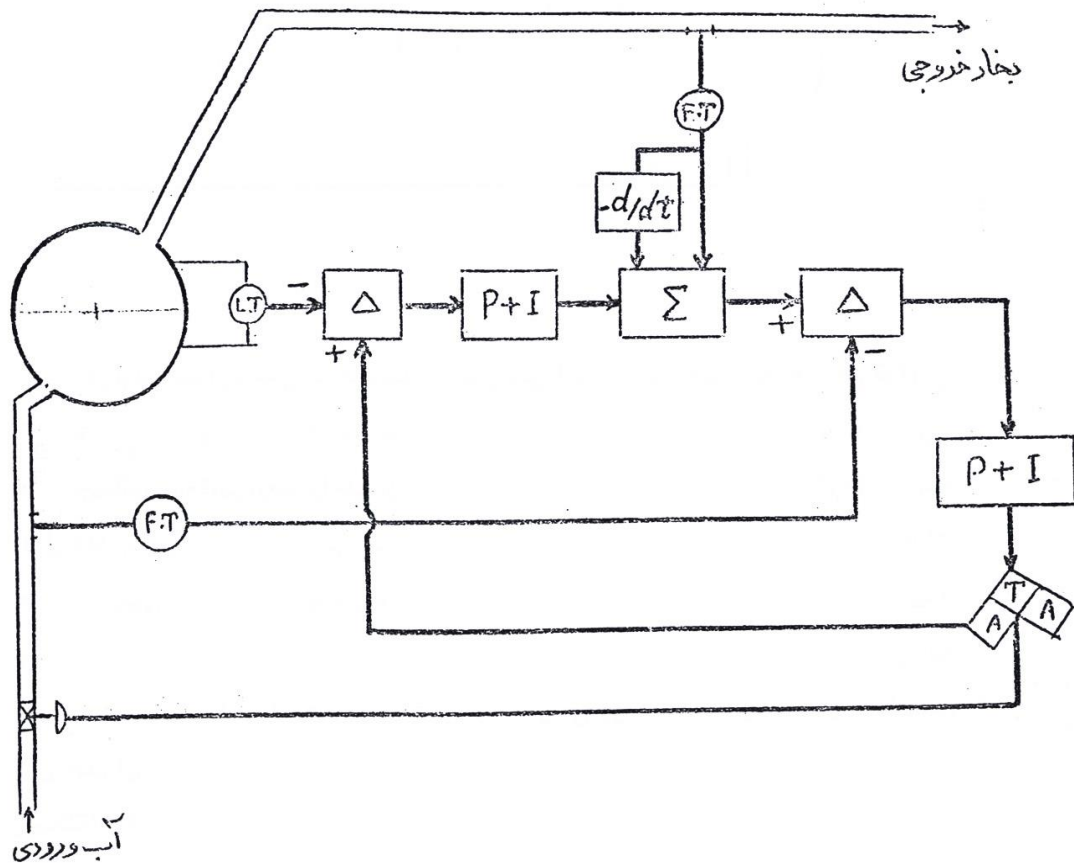
¹¹ - Set Point



شکل ۲-۳۲ جهت کنترل سطح یک مخزن تحت فشار [10]

سیستم زیر (شکل ۲-۳۳)، جهت کنترل هرچه سریعتر و دقیقتر سطح درام (مخزن تولید بخار تحت فشار زیاد) بکار گرفته می شود.

در اینجا، متغیر تحت کنترل سطح درام، متغیر کنترل کننده، دبی آب ورودی و متغیر اختلال اصلی دبی بخار خروجی می باشد.



شکل ۲-۳۳ کنترل سطح درام [10]

گرفتن اطلاعات از سه متغیر فوق و اعمال آنها در مدار (کنترل سه عنصری) پایداری بیشتر و سرعت عمل زیاد و از بین بردن خطا را تضمین می نماید. کنترلر اولیه، براساس خطای سطح درام و سطح مطلوب (که توسط L.S.P تعیین می گردد) و درجهت صفر نمودن این خطا، سیگنالی فراهم می نماید و با جمع شدن با فلوی آب تغذیه (روش پیش تغذیه)، تقاضای اصلی آب مورد نیاز را از کنترلر ثانویه (که به دبی آب ورودی فرمان می دهد)، می نماید. (روش سری) به علت وجود قسمت تناسبی در کنترلر ثانویه و جلوگیری از تغییر ناگهانی شیر کنترل (به خاطر تقاضای ناگهانی فلوی بخار)، مشتق معکوس فلوی بخار را نیز به صورت پیش تغذیه اعمال می نمایند. در این حالت، اگر دبی بخار، تغییر ناگهانی نماید، خروجی جمع کننده به صورت زیر، سیگنال تقاضای دبی بخار را اعمال نموده از ضربه ناگهانی به محرک، جلوگیری می نماید.

نقش اصلی ترانزیسمتر دبی بخار در اینجا، جلوگیری از عملکرد اشتباه کنترلر اولیه در مواقع تغییر ناگهانی فلوی بخار می باشد. بدین صورت که با تغییر دبی بخار، فشار درام تغییر کرده به خاطر پدیده «باد کردگی آب»^{۱۲} سطح درام به صوت کاذب تغییر می کند به طوری که تغییرات آن، تا زمانی که فشار درام به حد تنظیم شده اش نرسد، درجهت عکس تغییرات فلوی بخار، فرمان تقاضای آب می دهد. مثلاً فرض کنید که فلوی بخار به صورت ناگهانی افزایش یافته است، در این حالت، فشار درام موقتاً کم خواهد شد. (زیرا هنوز توسط سیستم احتراق، بخار تولید نشده است) با کم شدن فشار درام، حباب های داخل آب زیادتر شده و

¹² - Swell Effect

سطح آب درام بالاتر می رود (باد می کند)، در اینصورت، یک خطای منفی ایجاد شده و کنترلر اولیه، تقاضای کاهش آب می نماید. (دقت شود که در اینحالت، به علت افزایش فلوی بخار، تقاضای افزایش آب ورودی خواهد شد)، بنابراین در لحظات اولیه تغییرات فلوی بخار، خروجی جمع کننده تغییر محسوسی نمی کند ولی با تأمین بخار توسط حلقه کنترل احتراق و رسیدن فشار به حد مطلوب، خروجی جمع کننده افزایش یافته و تقاضای آب براساس تقاضای بخار خواهد شد. فرض کنید فلوی بخار، یک تغییر ناگهانی نموده و به علت تغییر فشار درام، در لحاظت اول سطح درام به صورت زیر، افزایش یافته (به صورت کاذب)، ولی به مرور زمان، سطح آب کاهش یافته است. در اینحالت، سیگنال فرمان، تقاضای آب به صورت زیر خواهد بود. [10]

همچنین، هرگونه تغییر در دبی آب ورودی (به جز تغییر ساقه شیر کنترل)، قبل از اینکه بر روی سطح درام اثر گذارد، توسط فلوتر انژمیتر آب و حلقه کنترل سری جبران می گردد و از طریق مدار کنترل پیش تغذیه نیز، تغییرات دبی بخار قبل از تأثیر بر روی سطح درام توسط کنترلر ثانوی، بلافاصله جواب داده می شود.

۳- روش کنترل تقسیم مقیاس^{۱۳}

در این روش فرمان، دو یا سه محرک عمل کننده توسط یک کنترل کننده صادر می گردد.

روش اول: سیگنال کنترل، همزمان به دو یا سه محرک موازی فرمان می دهد، به طوری که با قرار دادن امکان بایاس بر روی مسیر هریک از محرکها، می توان تقاضا برای یک محرک نسبت به بقیه را متفاوت انتخاب نمود.

در روش دوم: سیگنال خروجی کنترلر، به دو یا سه محدوده تقسیم شده و در هر محدوده، به یکی از محرکها فرمان می دهد.

۴- روش کنترل نسبت^{۱۴}

در این روش کنترل، همواره تقاضا برای یک متغیر، در یک نسبت معین (قابل تنظیم) نسبت به متغیر دیگر فراهم می گردد. در این حالت، تقاضای متغیر ثانویه تحت کنترل، همواره به وسیله ضریب معینی از یک متغیر دیگر (که تغییرات آن مشخص نیست) تهیه می گردد. این روش کنترل، بیشتر در پروسسهای مخلوط کن که نسبت متغیرها برای مخلوط شدن مهم می باشد، بکار برده می شد.

مثلاً فرض کنید می خواهیم مقدار جریان سیال عبوری از مسیر B را با یک مقدار معینی نسبت به جریان عبوری از مسیر A تعیین کنیم. در صورتی که این نسبت معین همواره ثابت باشد، این کار را می توان با تنظیم رنج مینیمم و ماکزیمم تارنژیمترهای مسیر A و B معین نموده و سیگنال دبی مسیر A را به عنوان ست پوینت مسیر B بکار برد. مثلاً اگر دبی مسیر A از $0-100 \text{ lit/sec}$ تغییر کند، حداقل و حداکثر سیگنال تارنژیمتر A را خواهیم داشت. حال، اگر تارنژیمتر مسیر B بین $0-10 \text{ lit/sec}$ را به عنوان مینیمم و ماکزیمم سیگنال تلقی کند، در اینصورت نسبت سیال مسیر B نسبت به A همواره 1:10 خواهد بود، ولی درحالی که

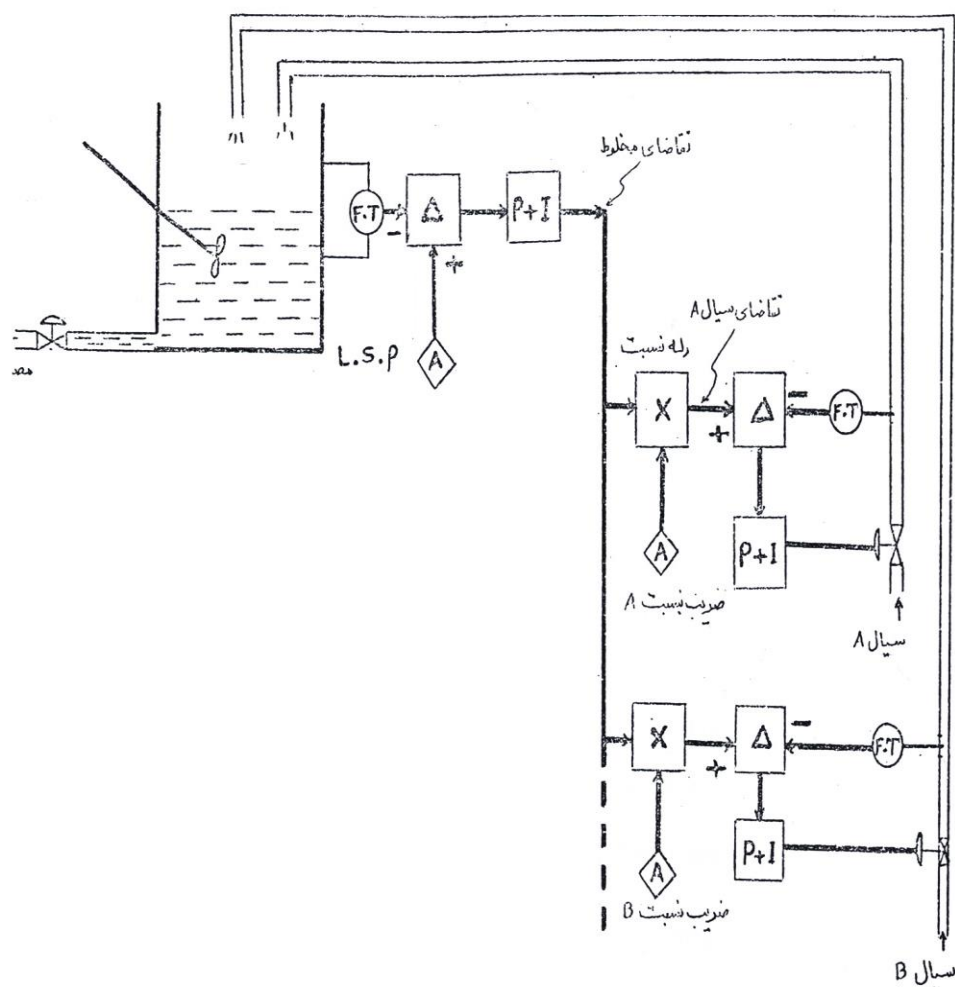
¹³ - Split Range Control

¹⁴ - Ratio Control

لازم است نسبت فوق درحین کار به وسیلهٔ اپراتور تغییر کند، سیگنال فلوی مسیر A را در نسبت قابل تنظیم ضرب کرده و به عنوان تقاضای دبی از مسیر B بکار خواهیم برد.

در این شرایط، دبی مسیر B همواره متناسب با ضریبی از دبی مسیر A تعیین خواهد شد. در اینجا، با استفاده از روش کنترل سری بر روی مسیر B، اختلالات در دبی این مسیر، خودبخود توسط کنترلر مربوطه اش خنثی خواهد شد.

در سیستم زیر (شکل ۲-۳۳)، با ثابت نگه داشتن سطح مخزن حاوی مخلوطی از چند سیال، توازن بین مصرف و تولید مخلوط همواره برقرار می گردد. در اینجا، متغیر تحت کنترل، سطح مخزن، متغیرهای کنترل کننده، دبی سیالهای مسیر A و B و... و متغیر اختلال اصلی دبی مصرفی از مخزن می باشد.



شکل ۲-۳۳ سطح مخزن حاوی مخلوطی از چند سیال [10]

در اینجا، از روش کنترل سری و نسبت توأم استفاده شده است. سیگنال خروجی کنترلر اولیه، تقاضای مخلوط جهت ثابت نگه داشتن سطح مخزن در حد مطلوب را می نماید. این تقاضا، توسط ضریب نسبت های

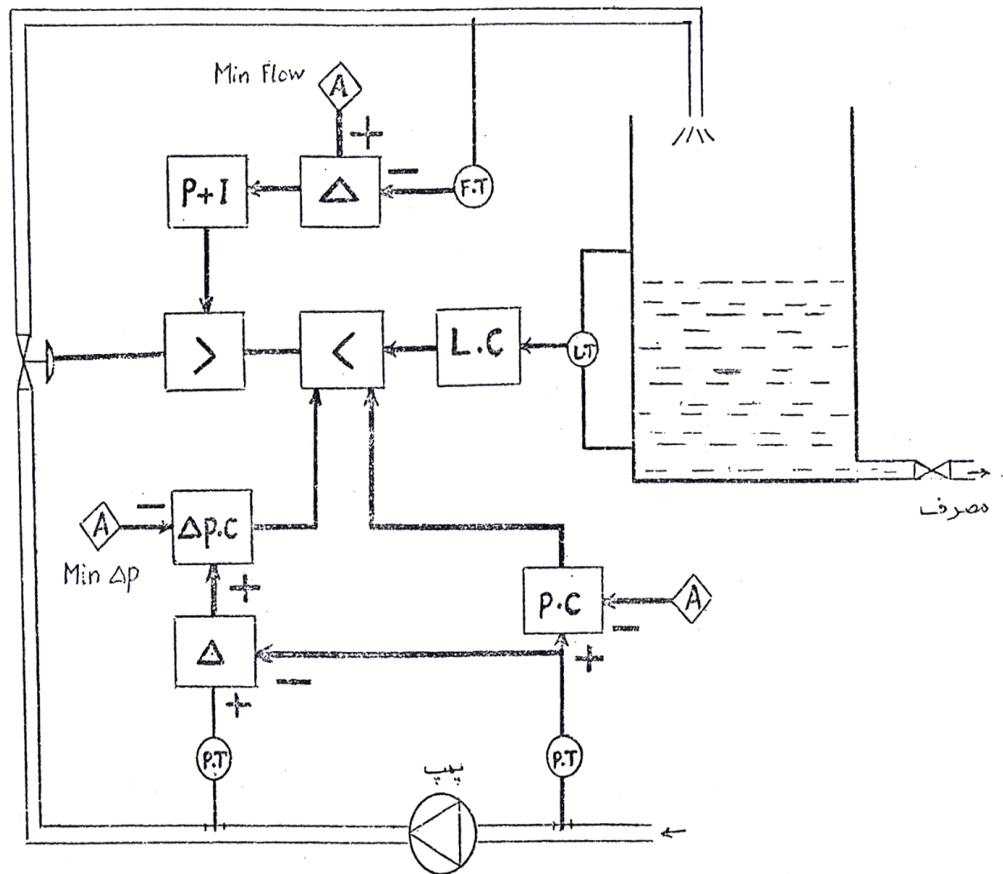
مختلف A و B و... با نسبت های معینی قابل تنظیم، تقسیم می نماید، به طوری که سیگنال تقاضای هر مسیر با دبی موجود آن مسیر مقایسه شده و کنترلر آن، میزان تقاضا و عرضه را در مسیر مربوطه اش یکسان می نماید.

مثلاً فرض کنید به علتی (به جز تغییر ساقه شیر کنترل)، دبی در مسیر A زیاد شود، در اینصورت چون سیگنال تقاضا برای مسیر A توسط نیاز سیستم تعیین شده و ثابت است، یک خطای منفی باعث می شد که کنترلر مسیر A، شیر کنترل مربوطه اش را تا اندازه ای که تقاضا شده است، ببندد. بنابراین، اختلال مزبور، باعث بهم خوردن نسبت سیالات داخل مخزن نخواهد شد. در این مثال، اگر مخلوط شامل دو سیال A و B باشد، می توان ضریبی از سیگنال تقاضای اصلی را به عنوان تقاضای مسیر A و مابقی تقاضا را مطابق زیر، به عنوان تقاضای مسیر B تلقی نمود.

۵- روش کنترل انتخاب خودکار^{۱۵}

این روش کنترل، هنگامی بکار می رود که بخواهیم با تغییر محرک نهائی، متغیرهای دیگری که در رابطه مستقیم با متغیر اصلی هستند را در محدوده های خاصی نگه داریم. درحقیقت، حلقه اصلی کنترل در شرایط عادی، با تغییر محرک نهائی، سعی در ثابت نگه داشتن متغیر تحت کنترل خواهد نمود، ولی در شرایط غیرعادی، محدوده متغیرهای دیگری اهمیت و اولویت بیشتری پیدا می کنند، به طوری که تحت این شرایط، حلقه کنترل اولی، بلااثر مانده و حلقه کنترل جدیدی براساس تثبیت متغیری دیگر، عمل کنترل منحرک نهایی را به عهده خواهد گرفت. انتخاب حلقه های کنترل مختلف به وسیله انتخاب کننده های بزرگترین یا کوچکترین، براساس نیاز انجام خواهد گرفت

در شکل زیر (۲-۳۴)، هدف کنترل سطح سیال مخزن با تغییر دبی ورودی سیال می باشند، لیکن لازم است که وضعیت شیر کنترل در شرایط زیر، تغییر نماید.



شکل ۲-۳۴ کنترل سطح سیال مخزن با تغییر دبی ورودی سیال [10]

۱. اختلاف فشار طرفین پمپ به خاطر مسئله کاپیتاسیون نباید از حد مجازی کمتر شود. (دبی ماکزیمم پمپ)
۲. فشار ورودی به پمپ، نباید از حد مجازی کمتر گردد. (پدیده کاپیتاسیون)
۳. دبی حداقل پمپ، نباید از حد مجازی کمتر گردد.

در اینجا، حلقه کنترل اصلی درصد کنترل سطح مخزن در حد مطلوب و در شرایط عادی می باشد.

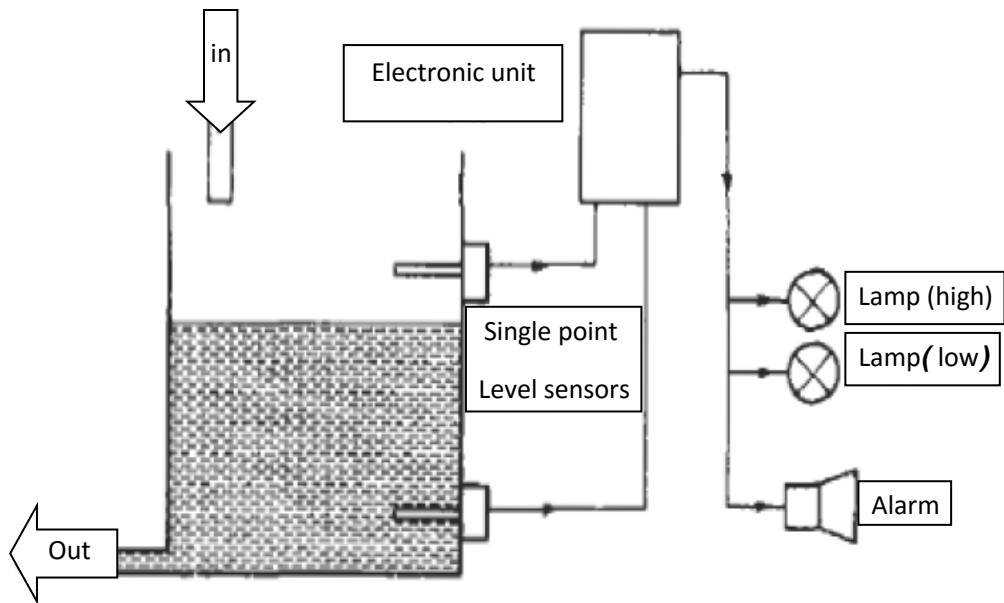
اگر تحت شرایطی، دبی پمپ بیش از حد مجازی گردد و آن صورت اختلاف فشار طرفین پمپ از حد مجازی کمتر شده و خروجی کنترلر مربوط به این حلقه، شروع به کاهش نموده و بالأخره از انتخاب کننده کوچکترین عبور خواهد نمود. تحت این شرایط، شیر کنترل براساس حفظ اختلاف فشار مینیمم طرفین پمپ عمل خواهد نمود و حلقه کنترل سطح، عملاً کاری انجام نخواهد داد.

همچنین، در شرایطی که فشار ورودی پمپ از حد مجازی کاهش یابد، شیر کنترل براساس ثابت نگه داشتن فشار مزبور، عمل می کند. در صورتی که از پمپ از حد مجازی کمتر گردد، در این صورت حلقه کنترل دبی، باعث جلوگیری از بیشتر بسته شدن شیر کنترل، از طریق انتخاب کننده بزرگترین خواهد شد.

۶-۲ اجرای دو روش مرسوم کنترل سطح

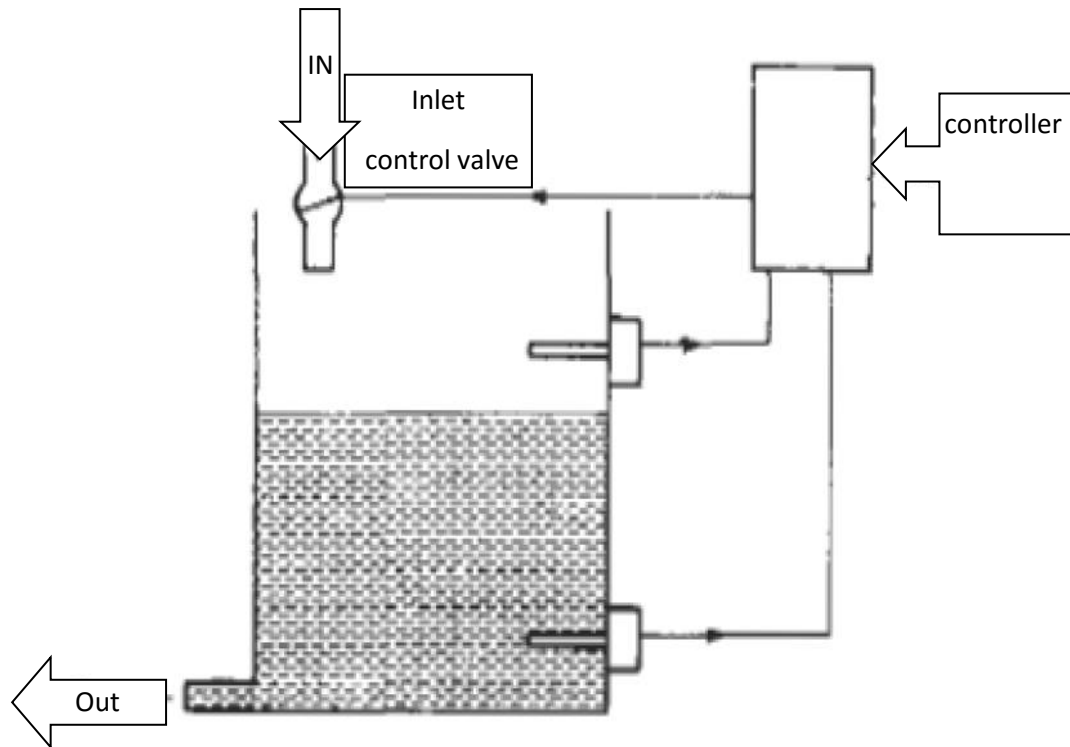
۱-۶-۲ فرایند کنترل سطح

بسیاری از صنایع و پروژه های علمی به محفظه ها و تانک های مواد نیاز دارند و در بسیاری از موارد امکان دید مستقیم در داخل محفظه وجود ندارد ، پارامتر های مورد نیاز جهت اندازه گیری مواد داخل یک محفظه عموماً سطح و حجم مواد است . در شکل های زیر (۲-۳۵ و ۲-۳۶) نشان داده شده که چگونه بوسیله سیستم هشدار دهنده و یا سیستم کنترلر ، سطح ماده محتوی مخزن را کنترل می کنیم که این عمل با توجه به نوع کاربرد و نیاز بوسیله کنترلر های دستی یا اتوماتیک انجام میشود .

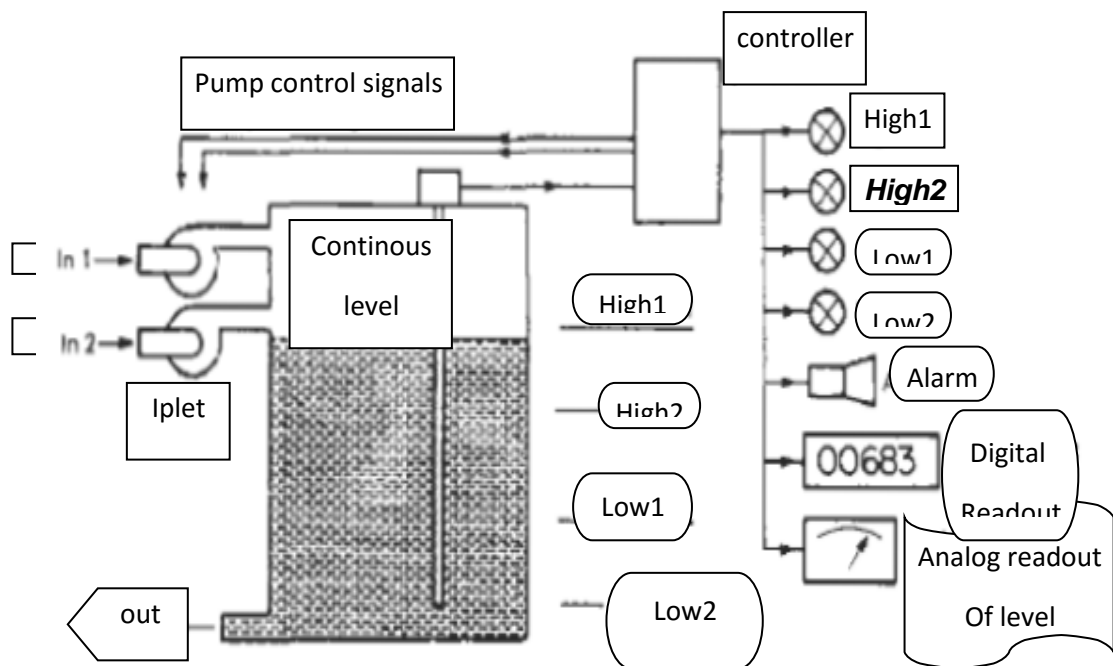


شکل ۲-۳۵ دو سنسور نشانگر سطح که در بالا و پایین مخزن نصب شده و بوسیله سیستم هشدار دهنده و لامپ اعلام وضعیت می کند

ممکن است که بدلیل نصب آسان روشهای دستی ارزان قیمت همچون کنترلر اتوماتیک dipstick را انتخاب کنیم ، با این وجود این سیستم ها هم نیاز به کنترل سیگنال ها برای کارکرد عملکرد ها یا سیستم هشدار دارند ، برای این موارد ، چندین گزینه برای سیگنال های خروجی داریم که شامل سیستم های تماس غیرمستقیم الکتریکی با خروجی های الکترونیکی و یا جریان سیال مستقیم و شیر های پیوماتیکی می شود .



شکل ۲-۳۶ دو سنسور نشانگر سطح که در بالا و پایین مخزن نصب شده و در صورتیکه سطح آب پایین و بالاتر رود، مستقیماً شیر ورودی کنترل می کند.



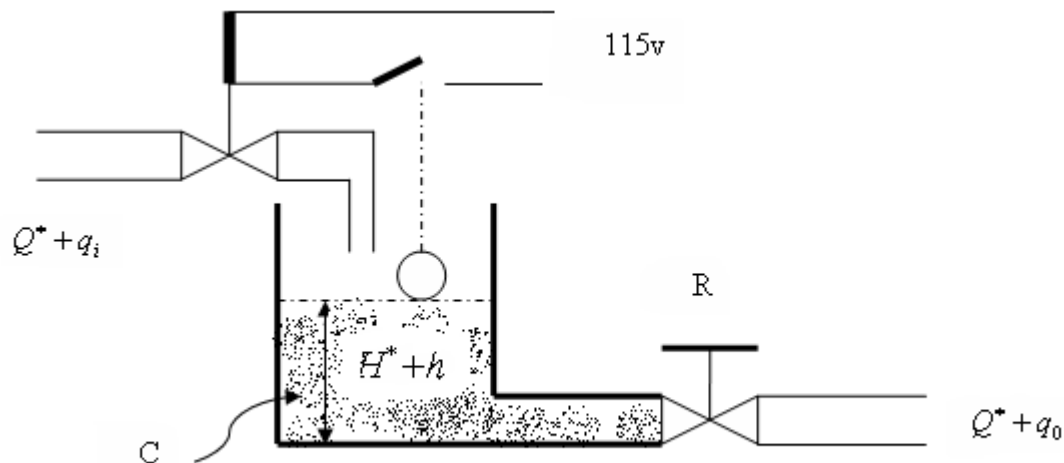
شکل ۲-۳۷ سیستم کنترل کامل که سطح آب را بصورت پیوسته کنترل می کند و مقدار دقیق آن توسط مانیتوز خروجی می توان دید، این سیستم به کنترلر و هشداردهنده هم مجهز است.

همانطور که سطح مواد مایع همچون آب، روغن، نفت، شیر قابل اندازه گیری است، سنسورهای تشخیص سطح برای اندازه گیری سطح مواد جامد همچون، آرد، کانی های معدنی، دانه های غذایی، سیب زمینی و زغال سنگ هم استفاده میشوند، سطح سیستم های دو فاز نیز اغلب قابل اندازه گیری است برای مثال مایع و کف تشکیل شده و بر روی آن در سیستم های تولید آجیو و مواد معدنی

با توجه به نیاز های وسیعی که به تحلیل پارامتر هایی از این قبیل وجود دارد، انواع دستگاه های تعیین سطح وجود دارد که جزئیات چگونگی نصب آنها از اهمیت به سزایی برخوردار است.

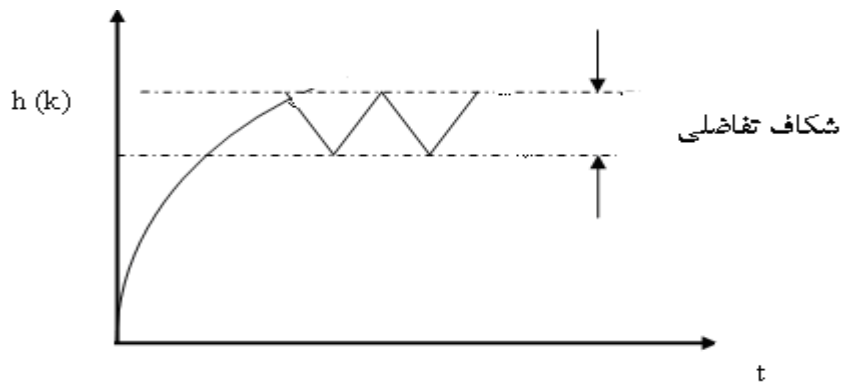
۲-۶-۲ کنترل سطح مایع ساده با عمل کنترل دو وضعیتی

سیستم کنترل سطح مایع شکل زیر را در نظر بگیرید



شکل ۲-۳۸ سیستم کنترل سطح مایع

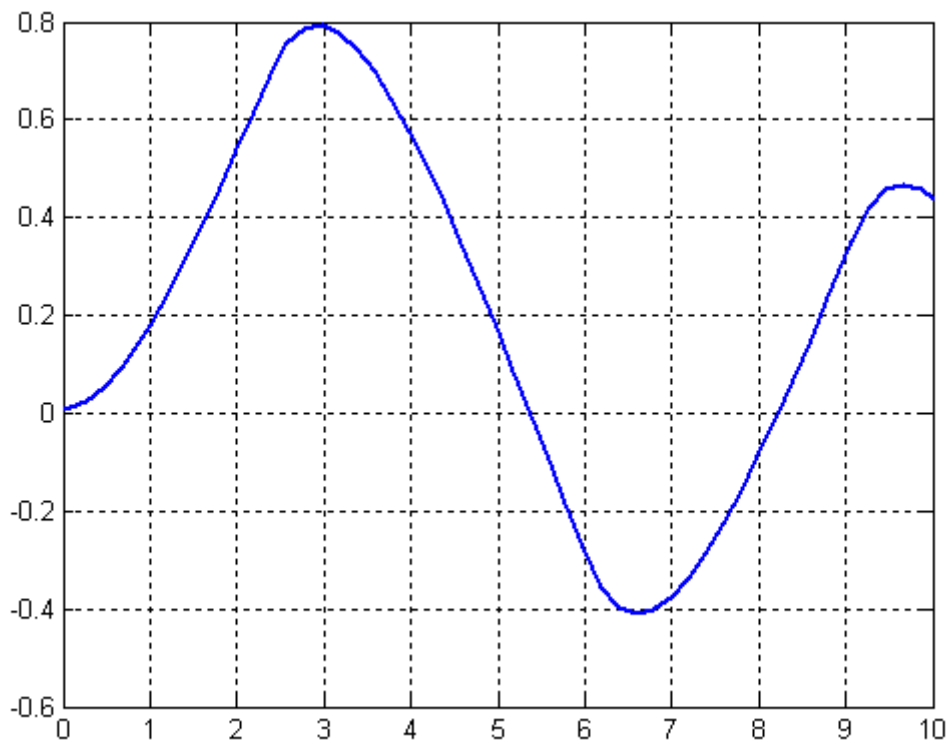
که در آن عملکرد کنترل یک شیر مغناطیسی است که برای کنترل عبور سیال ورودی به کار رفته است. این شیر یا باز است یا بسته. به این ترتیب آهنگ ورود آب یا صفر است یا یک. مقدار ثابت، یک نتیجه شبیه سازی شده به صورت روبرو است.



شکل ۲-۳۹

دیده می شود سیگنال خروجی (ارتفاع تانک) دائماً بین دو حدی که باعث رفتن عملگر از یک وضعیت به وضعیت دیگر می شود، حرکت می کند. منحنی خروجی بخشی از دو منحنی نمایی است. منحنی پر شدن مخزن و منحنی تخلیه مخزن. این گونه نوسان بین دو حد مشخصه، پاسخ نوعی سیستم هایی است که با کنترلرهای دو وضعیتی کنترل می شود.

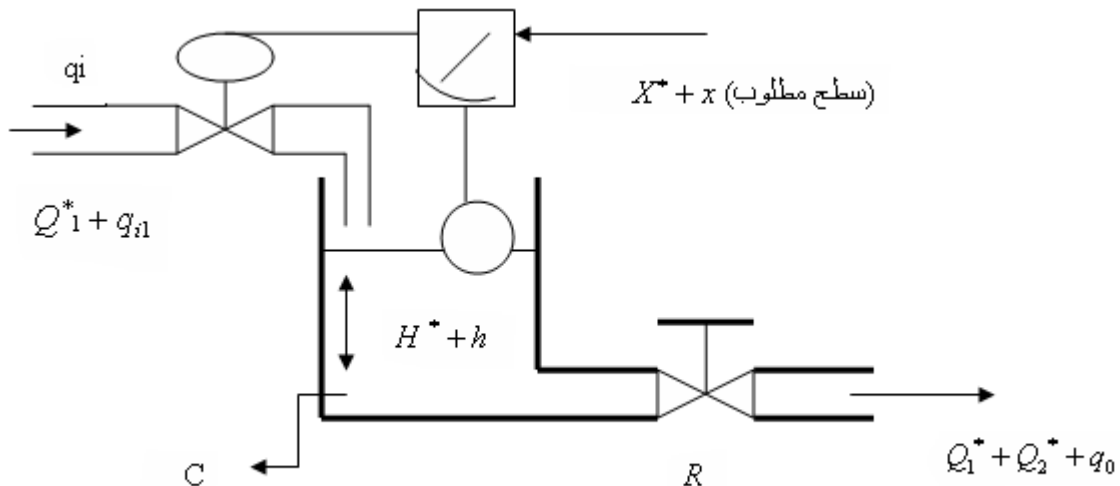
همانطور که از شکل فوق بر می آید دامنه نوسان خروجی را می توان با کم کردن شکاف تفاضلی کم کرد. ولی کاهش شکاف تفاضلی تعداد خاموش- روشن شدن در دقیقه را زیاد می کند و این به نوبه خود از عمر مفید وسیله می کاهد.



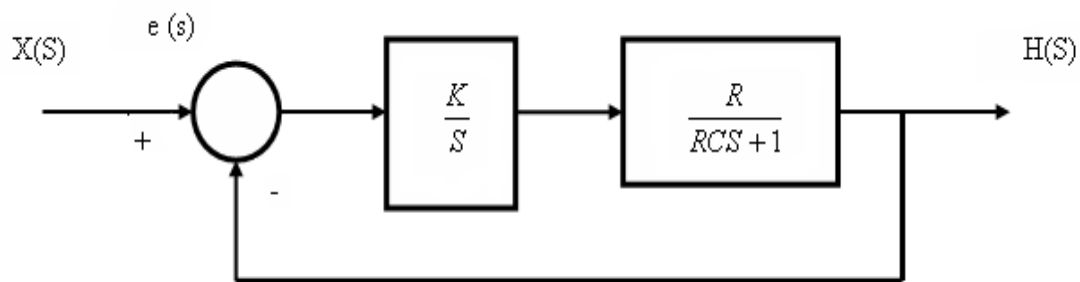
شکل ۲-۴۰ شکل موج برای یک ثابت زمانی خاص

۲-۶-۳) کنترل انتگرالی سیستم های کنترل سطح مایع

سیستم شکل زسر را در نظر بگیرید: فرض کنید کنترلر انتگرالی است. هم چنین فرض کنید متغیرهای x ، q_i ، q_0 و h که نسبت به مقادیر حالت ماندگارشان H^* ، Q^* ، X^* سنجیده می شوند مقادیر کوچکی هستند: بنابر این می توان سیستم را خطی فرض نمود. در این شرایط نمودار بلوکی سیستم به صورت روبرو است. بدین ترتیب تابع تبدیل سیستم بصورت زیر است



شکل ۲-۴۱ کنترل انتگرالی سیستم های کنترل سطح مایع [11]



$$\frac{H(S)}{X(S)} = \frac{KR}{RCS^2 + S + KR} \quad (28-2)$$

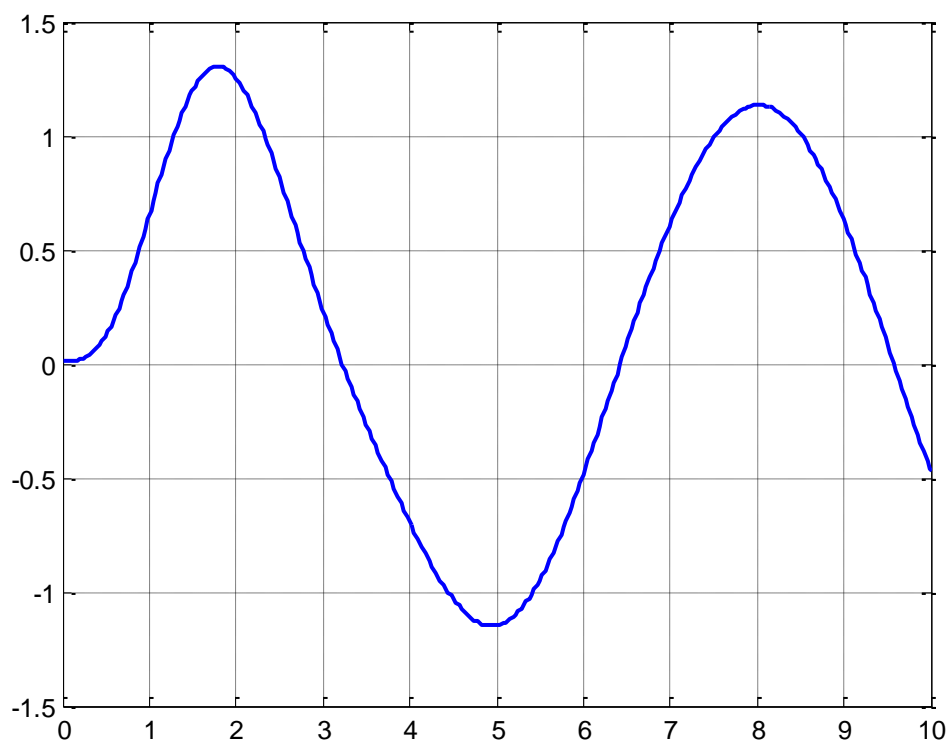
با فرض اینکه مقادیر R, C, K مثبت اند سیستم پایدار است و سیگنال خطای کار انداز به صورت زیر است

$$E(S) = \frac{RCS^2 + s}{RCS^2 + S + KR} \cdot X(S) \quad (29-2)$$

اجازه دهید سطح مطلوب یک مقدار ثابت بگیریم یعنی $X(S) = \frac{1}{S}$ بنا بر قضیه مقدار نهایی مقدار خطای حالت ماندگار به صورت زیر است:

$$\begin{aligned} e_{ss} &= sE(s) = 0 \\ s &\rightarrow 0 \end{aligned} \quad (30-2)$$

بنابر این با کنترل انتگرالی سطح مایع، خطای حالت ماندگار پاسخ به ورودی پله برابر صفر است. نسبت به کنترل تناسبی تنها که باعث آفست می شود بهبود بزرگی حاصل شده است.



شکل ۲-۴۲ شکل موج برای یک ثابت زمانی خاص

فصل سوم

پیاده سازی کنترل تطبیقی بهینه روی سطح یک مخزن

۳- پیاده سازی کنترل تطبیقی بهینه روی سطح یک مخزن

۳-۱ مقدمه

تطبیق به معنای تغییر رفتار برای وفق یافتن با وضعیت جدید است و بطور حسی کنترلر تطبیقی، کنترلگری است که بتواند رفتارش را در پاسخ به تغییر دینامیک فرایند و اغتشاش تغییر دهد

یک دیدگاه دیگر بیان مینماید که کنترلگر تطبیقی کنترلری است که با پارامترهای قابل تنظیم همراه با مکانیزمی برای تنظیم پارامترها میتوانیم بگوییم که یک سیستم کنترلگر تطبیقی از دو حلقه تشکیل شده است :

۱- حلقه پسخوری معمولی، شامل فرایند و کنترلگر

۲- حلقه تنظیم پارامتر (غالبا کندتر از حلقه پسخورد معمولی است

بسیاری از سیستمهای دینامیکی که بایستی کنترل شوند پارامترهای نا معلوم دارند که یا ثابت اند یا به آهستگی تغییر می کنند. برای مثال، روبات ها ممکن است اجسام بزرگی را با پارامترهای اینرسی نا معلوم حمل کنند. سیستمهای قدرت ممکن است با شرایطی مواجه باشند که تغییرات زیادی در بار صورت پذیرد. کنترل تطبیقی یک روش برای کنترل این چنین سیستم هاست.

در زبان روزمره کلمه " تطبیق " به معنای تغییر رفتار برای وفق یافتن با وضع جدید است. به طور حسی کنترل تطبیقی، کنترلگری است که بتواند رفتارش را در پاسخ به تغییر دینامیک فرایند و اغتشاشها، تغییر دهد. از آنجایی که پسخورد معمولی نیز به منظور کاهش اثرات اغتشاشها و عدم قطعیت فرایند معرفی شده، این سؤال مطرح می شود که تفاوت بین کنترل پسخورد و کنترل تطبیقی چیست؟ " سیستم تطبیقی، هر سیستم فیزیکی است که با دیدی تطبیقی طراحی شده باشد ". البته هنوز تعریفی که به طور فراگیر مورد پذیرش قرار گرفته باشد و تعریفی با معنی از کنترل تطبیقی که بتواند به طور قطعی در مورد تطبیقی بودن

یا نبودن آن نظر دهد، در دست نیست. به هر حال این توافق وجود دارد که پس‌خوردی با بهره ثابت، سیستمی تطبیقی محسوب نمی‌شود.

بهرحال ما از این دید عملی به مسئله نگاه می‌کنیم که کنترلگر تطبیقی، کنترلگری است با پارامترهای قابل تنظیم، همراه با مکانیزمی برای تنظیم پارامترها، چنین کنترلگری به دلیل وجود مکانیزم تنظیم، غیر خطی است؛ لیکن دارای ساختار ویژه ای است. از آنجا که بررسی سیستمهای غیر خطی در حالت کلی مشکل است، در نظر گرفتن دسته‌های خاصی از سیستمهای غیر خطی منطقی به نظر می‌رسد. می‌توان چنین در نظر گرفت که یک سیستم کنترل تطبیقی از دو حلقه تشکیل می‌شود: یک حلقه پس‌خوردی معمولی شامل فرایند و کنترلگر و دیگری حلقه تنظیم پارامتر است.

تاریخچه

در اوایل دهه ۱۹۵۰ تحقیقات وسیعی در زمینه کنترل تطبیقی و در خصوص طراحی اتوپایلوتها برای هواپیماهای با عملکرد بالا انجام گرفت. چنین هواپیمایی، قادر به عمل در محدوده وسیعی از سرعت و ارتفاع هستند. پیش از شروع این تحقیقات، پژوهشگران دریافته بودند که کنترل پس‌خورد خطی با بهره ثابت می‌تواند در یک نقطه کار کارایی خوبی داشته باشد، اما تغییراتی که در نقطه کار بوجود می‌آید، مشکلاتی را پدید می‌آورد؛ در نتیجه لزوم استفاده از کنترلگر پیچیده تری احساس می‌شد که بتواند در محدوده وسیعی از وضعیتهای کاری، بخوبی کار کند.

در دهه ۱۹۶۰ کارهای زیادی در خصوص نظریه کنترل انجام شد که در توسعه کنترل تطبیقی نقش به‌سزایی داشت: مسئله فضای حالت و نظریه پایداری مطرح شد. همچنین نتایج مهمی در مورد نظریه کنترل فرایندهای اتفاقی به دست آمد. همچنین پیشرفتهای عظیمی در مورد شناسایی سیستم^{۱۶} و تخمین پارامتر^{۱۷} حاصل شد.

در دهه ۱۹۷۰ با ترکیب انواع مختلف تخمین و روشهای گوناگون طراحی، دوره جدیدی در کنترل تطبیقی به وجود آمد و کاربردهای زیادی از کنترل تطبیقی معرفی شد. در اواخر دهه ۱۹۷۰ و اوایل دهه ۱۹۸۰ برهانهایی، برای پایداری سیستمهای تطبیقی، البته با فرضهای محدود کننده مطرح شد. در اواخر دهه ۱۹۸۰ و اوایل دهه ۱۹۹۰ بینشهای جدیدی در قوام کنترلگرهای تطبیقی پدید آمد. بررسیهای انجام شده روی سیستمهای غیر خطی، درک کنترل تطبیقی را به طور چشمگیری افزایش داد.

¹⁶ System Identification

¹⁷ Parameter Estimation

۲-۳ معرفی کنترل تطبیقی و فرم گسسته آن

۱-۲-۳ چرا کنترل تطبیقی؟

دلیل اولیه مطرح شدن کنترل تطبیقی، رسیدن به کنترلگرهایی بود که بتواند با تغییر دینامیک فرآیند و مشخصه های اغتشاش تطبیق یابد. این حقیقت ثابت شده که روشهای تطبیقی برای تنظیم خودکار کنترلگرها قابل استفاده است.

در عمل ممکن است تغییرات از منابع مختلفی ناشی شده باشد و همواره ترکیبی از عوامل مختلف مؤثر هستند. در بیشتر حالات دلایل اساسی تغییرات، کاملاً قابل فهم نیست. هنگامی که فیزیک فرآیند به طور قابل قبولی معلوم باشد (مانند هواپیماها)، تعیین پارامترهای کنترلگر مناسب، برای شرایط کاری مختلف به کمک خطی سازی مدلها و استفاده از بعضی روشهای طراحی کنترل، ممکن است. این روش معمول برای طراحی اتو پایلوت هواپیماهاست. شناسایی سیستم، روش دیگری در مقابل مدلسازی فیزیکی است.

بیشتر فرایندهای صنعتی بسیار پیچیده هستند و بخوبی قابل فهم نیستند. بررسی منابع تغییرات فرآیند نه ممکن و نه اقتصادی است. در این حالتها کنترلگرهای تطبیقی انتخاب خوبی هستند. در سایر حالتها ممکن است برخی از دینامیکها بخوبی قابل فهم باشد، اما سایر قسمتها، نا معلوم باشد.

به طور کلی، هدف اصلی کنترل تطبیقی این است که عملکرد سیستم در مقابل عدم قطعیت پارامتری و یا تغییرات نا مشخص آنها به طور سازگار حفظ شود. از آنجا که یک چنین عدم قطعیت پارامتری و یا تغییرات آنها می تواند در بسیاری از مسائل کاربردی صورت پذیرد، کنترل تطبیقی در بسیاری از وضعیتهای صنعتی مفید است.

چند مثال:

جابجا کردن بوسیله روبات: روباتها مجبورند بارهایی را با اندازه، وزن و توزیع وزنهاى متفاوتی جابجا کنند. اینکه فرض شود پارامترهای اینرسی بارها قبل از اینکه روبات آنها را برداشته و جابجا کند از قبل کاملاً معلوم است، خیلی محدود کننده است. اگر پارامترهای بار دقیقاً شناخته شده نباشد و از کنترل کننده های با بهره ثابت استفاده شود، ممکن است حرکت روباتها بدون دقت و یا ناپایدار باشد. از سوی دیگر، کنترل تطبیقی این امکان را ایجاد می کند که روباتها بارهایی با پارامترهای نا معلوم را با سرعت و دقت بالا جابجا کنند.

کنترل فرایند: مدلهاى فرایندهای شیمیایی و متالورژیکی معمولاً پیچیده اند و بدست آوردن آنها کار مشکلی است. پارامترهایی که این فرایندها را مشخص می کنند از یک دسته تا دسته دیگر تغییر می کنند. علاوه بر این، معمولاً شرایط کار نیز تغییر پذیر با زمان است. در حقیقت، کنترل فرایند یکی از مهمترین و فعالترین زمینه های کنترل تطبیقی است. کنترل تطبیقی در زمینه های دیگری مثل سیستمهای قدرت و مهندسی زیست پزشکی نیز به کار گرفته شده است. در اکثر مواردی که از کنترل تطبیقی استفاده می شود، منظور

رسیدگی به تغییرات اجتناب نا پذیر پارامترها یا عدم قطعیت آنهاست. اما در بعضی از کاربردها، بخصوص در کنترل فرایندها، جایی که ممکن است صدها حلقه کنترل در یک سیستم وجود داشته باشد، کنترل تطبیقی می تواند در کاهش تعداد تنظیم کننده های دستی به کار گرفته شده و لذا باعث افزایش توانایی و عملی بودن مهندسی شود.

۲-۲-۳ کنترل تطبیقی چیست؟

یک کنترل کننده تطبیقی با یک کنترل کننده معمولی از این جهت فرق می کند که در آن، پارامترهای کنترل کننده قابل تغییر است، و برای تنظیم بهنگام این پارامترها یک مکانیسم مبتنی بر سیگنالهای سیستم وجود دارد. دو روش اصلی برای ساختن کنترل کننده های تطبیقی موجود است. یکی، روش رگولاتورهای خود تنظیم و دیگری روش کنترل تطبیقی مدل-مرجع. البته بعضی از متخصصین در علم کنترل تطبیقی، جدولبندی بهره و کنترل دوگان را نیز از روشهای کنترل تطبیقی می دانند ولی از آنجا که هنوز اتفاق نظر بین متخصصین در اینکه جدولبندی بهره و کنترل دوگان آیا در زمره روشهای کنترل تطبیقی لحاظ می شود یا خیر، وجود ندارد، ما در اینجا تمرکز اصلی خود را بر رگولاتورهای خود تنظیم و کنترل تطبیقی مدل-مرجع می نهیم و به ذکر خلاصه ای از جدولبندی بهره اکتفا می کنیم.

۳-۲-۳ جدولبندی بهره

در بسیاری از حالات، چگونگی تغییرات دینامیک فرایند با تغییر شرایط کار، معلوم است. یکی از عوامل تغییر دهنده دینامیک، غیر خطی بودنهای معلوم در سیستم است. بنابراین، امکان تغییر پارامترهای کنترلگر با مشاهده شرایط کار وجود دارد. این ایده، جدولبندی بهره نامیده می شود، زیرا این روش در اصل فقط بر اساس همراهی با تغییرات بهره فرایند کار می کند. مفهوم جدولبندی بهره با توسعه سیستمهای کنترل پرواز ارتباط تنگاتنگی دارد و خاستگاه اصلی جدولبندی بهره، سیستمهای کنترل پرواز^{۱۸} و حالات خاص همانند طراحی اتوپیلوت برای هواپیماهای با عملکرد بالا است. در این نوع کنترل، پارامترهای کنترلگر به عنوان توابعی از متغیرهای جدولبندی بهره نمایش داده می شود. نمونه ای از این متغیرها عبارت است از: فشار دینامیکی^{۱۹}، عدد ماخ^{۲۰}، ارتفاع^{۲۱} و زاویه حمله^{۲۲}. در نهایت کنترلگر جدولبندی بهره در سیستم غیر خطی پیاده می شود.

¹⁸ flight control system

¹⁹ Dynamic pressure

²⁰ Mach number

²¹ Altitude

²² Angle of attack

۴-۲-۳ تخمین پارامتر

مشخص کردن بی درنگ پارامترهای فرایند، نکته ای اساسی در کنترل تطبیقی است تخمینگر پارامتر بازگشتی صریحا به شکل عنصری از رگولاتور خود تنظیم ظاهر میشود، تخمین پارامتر به طور ضمنی در رگولاتور تطبیقی مدل مرجع نیز دیده میشود. روش حداقل مربعات شیوهای اساسی در تخمین پارامتر است

۱-۴-۲-۳ حداقل مربعات

براساس این قاعده، پارامترهای مجهول یک مدل ریاضی، باید چنان انتخاب شوند که مجموع مربعات اختلاف بین مشاهده واقعی و مقادیر محاسبه شده ضرب در اعدادی که درجه دقت را اندازه گیری میکنند، کمینه شود

$$y(i) = \varphi_1(i)\theta_1^0 + \varphi_2(i)\theta_2^0 + \dots + \varphi_n(i)\theta_n^0 = \varphi^T(i)\theta^0 \quad (۱-۳)$$

که در آن y متغیر مشاهده شده، $\theta_1^0, \theta_2^0, \dots, \theta_n^0$ پارامترهای مجهول و $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n$ توابع معلومی هستند که ممکن است به متغیرهای معلوم دیگری وابسته باشند

بردارهای زیر را در نظر بگیرید

$$\theta^0 = [\theta_1^0 \theta_2^0 \dots \theta_n^0]^T, \varphi^T(i) = [\varphi_1(i) \varphi_2(i) \dots \varphi_n(i)]$$

اندیس اغلب زمان را نشان می دهد. متغیرهای φ_i متغیرهای رگرسیون میگویند و معادله (۱-۳) را مدل رگرسیون گویند

پارامتر θ باید به گونه ای انتخاب شود که تابع معیار حداقل مربعات زیر را کمینه کند

$$V(\theta, t) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^t (y(i) - \varphi^T(i)\theta)^2 \quad (۲-۳)$$

با توجه به :

$$\varphi(t) = \begin{bmatrix} \varphi^T(1) \\ \vdots \\ \varphi^T(t) \end{bmatrix} \quad \text{و} \quad \begin{aligned} y(t) &= [y(1) y(2) \dots y(t)]^T \\ E(t) &= [\varepsilon(1) \varepsilon(2) \dots \varepsilon(t)]^T \end{aligned}$$

$$P(t) = (\Phi^T(t)\Phi(t))^{-1} = \left(\sum_{i=1}^t \varphi(i)\varphi^T(i)\right)^{-1} \quad (3-3)$$

$$\varepsilon(i) = y(i) - \hat{y}(i) = y(i) - \varphi^T(i)\theta$$

که خطای حد اقل مربعات بصورت زیر خواهد بود

$$V(\theta, t) = \frac{1}{2} \|E\|^2$$

که:

$$E = Y - \hat{Y} = Y - \Phi\theta \quad (4-3)$$

تابع معادله (3-2) به ازای پارامترهای $\hat{\theta}$ ، کمینه است که $\hat{\theta}$ در معادله زیر صدق می کند:

$$\Phi^T \Phi \hat{\theta} = \Phi^T y \quad (5-3)$$

اگر ماتریس $\Phi^T \Phi$ غیر منفرد باشد این مقدار کمینه یکتاست و داریم:

$$\hat{\theta} = (\Phi^T \Phi)^{-1} \Phi^T y \quad (6-3)$$

که با کمک یک برهان قضیه ثابت میشود

با تغییر دادن تابع معیار (3-2) می توان به صورت زیر خطاها را به شکل متفاوتی وزن گذاری کرد.

$$V = \frac{1}{2} E^T W E \quad (7-3)$$

که در آن W ماتریس قطری وزن است. در نتیجه تخمین حد اقل مربعات به کمک تخمین زیر به دست می آید:

$$\hat{\theta} = (\Phi^T W \Phi)^{-1} \Phi^T W Y \quad (8-3)$$

۳-۲-۴-۲ محاسبات بازگشتی

در کنترلرهای تطبیقی مشاهدات پی در پی در زمان حقیقی به دست می آیند. برای این کار استفاده از محاسبات بازگشتی برای صرفه جویی در زمان محاسبه، امر مطلوبی است

$$\begin{aligned} \hat{\theta}(t) &= \hat{\theta}(t-1) - P(t)\varphi(t)\varphi^T(t)\hat{\theta}(t-1) + P(t)\varphi(t)y(t) \\ &= \hat{\theta}(t-1) + P(t)\varphi(t)(y(t) - \varphi^T(t)\hat{\theta}(t-1)) \quad (9-3) \\ &= \hat{\theta}(t-1) + K(t)\varepsilon(t) \end{aligned}$$

که:

$$K(t) = P(t)\varphi(t)$$

$$\varepsilon(t) = y(t) - \varphi^T(t)\hat{\theta}(t-1)$$

مانده $\varepsilon(t)$ را می توان به عنوان خطای پیش بینی (یک گام به جلو) $y(t)$ بر اساس تخمین $\hat{\theta}(t-1)$ تعبیر کرد

۳-۴-۲-۳ تخمین حداقل مربعات بازگشتی

فرض میکنیم ماتریس $\Phi(t)$ دارای رتبه کامل باشد این بدان معناست که $\Phi^T(t)\Phi(t)$ برای تمام $t \geq 0$ غیر منفرد است با داشتن $\hat{\theta}(t_0)$ ، $p(t_0) = (\Phi^T(t_0)\Phi(t_0))^{-1}$ ، تخمین حداقل مربعات $\hat{\theta}$ ، معادلات بازگشتی ذیل را برآورده می سازد:

$$\hat{\theta}(t) = \hat{\theta}(t-1) + K(t)(y(t) - \Phi^T(t)\hat{\theta}(t-1)) \quad (10-3)$$

$$K(t) = P(t)\varphi(t) = P(t-1)\varphi(t)(I + \varphi^T(t)P(t-1)\varphi(t))^{-1} \quad (11-3)$$

$$\begin{aligned} P(t) &= P(t-1)P(t-1)\varphi(t)(I + \varphi^T(t)P(t-1)\varphi(t))^{-1}\varphi^T(t)P(t-1) \\ &= (I - K(t)\varphi^T(t)P(t-1)) \end{aligned} \quad (12-3)$$

سه نکته در اینجا حائز اهمیت است

در معادله (۳-۱۰) تخمین $\hat{\theta}(t)$ با اضافه کردن جمله تصحیحی به مقدار قبلی تخمین $\hat{\theta}(t-1)$ به دست می‌آید که جمله تصحیحی با $Y(t) - \varphi^T(t)\hat{\theta}(t-1)$ متناسب است؛ که در آن جمله آخر می‌توان به عنوان مقدار y در زمان t تعبیر کرد. بنابراین این، جمله تصحیحی با تفاضل اندازه گیری شده $y(t)$ و مقدار پیش بینی شده $y(t)$ بر اساس تخمین های قبلی پارامترها متناسب است

۲- تخمین حداقا مربعات را میتوان به صورت فیلتر کالمن در فرآیند زیر تعبیر نمود:

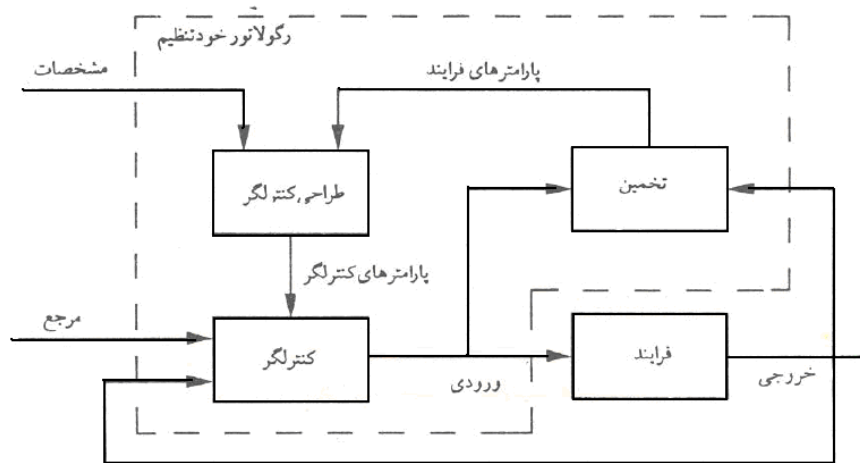
$$\begin{aligned}\theta(t+1) &= \theta(t) \\ y(t) &= \varphi^T(t)\theta(t) + e(t)\end{aligned}\quad (۳-۱۳)$$

۳- معادلت بازگشتی را می‌توان با استفاده از تابع معیار نیز بدست آورد

۳-۲-۵ رگولاتورهای خود تنظیم

توسعه سیستمهای کنترل، کارهای زیادی مانند مدلسازی، طراحی قانون کنترل، پیاده سازی و تعیین اعتبار را در بر دارد. رگولاتورهای خود تنظیم سعی بر خود کار کردن تعدادی از این کارها دارد. این موضوع در شکل (۳-۱) توضیح داده شده است که نمودار بلوکی یک فرایند را همراه با یک رگولاتور خود تنظیم نشان می‌دهد. فرض می‌کنیم که ساختار مدل فرایند مشخص است. پارامترهای مدل بطور بیدرنگ تخمین زده می‌شوند، و بلوک دارای بر چسب «تخمین» در شکل (۳-۱) تخمینی از پارامترهای فرایند را می‌دهد. این بلوک تخمینگری بازگشتی از نوعی است که در فصل پیش توضیح داده شد. بلوک دارای بر چسب «طراحی کنترلر» شامل محاسباتی است که برای طراحی کنترلر با روشی مشخص و تعدادی پارامترهای طراحی لازم است.

نام «رگولاتور خود تنظیم» از یکی از مقالات قدیمی گرفته شده است. دلیل استفاده از کنترلر تطبیقی، تغییرات پیوسته فرایند با محیط اطراف آن است. تحلیل چنین سیستمهایی مشکل است. برای ساده کردن مسئله می‌توانیم فرض کنیم که فرایند دارای پارامترهای ثابت اما مجهول است. عنوان خود تنظیم بیان این ویژگی است که پارامترهای کنترلر به کنترلگری همگرا می‌شود که در حالت معلوم بودن فرایند طراحی شده باشد.



شکل ۱-۳ نمودار بلوکی یک رگولاتور خود تنظیم

کنترلگر نشان داده شده در (شکل ۱-۳) یک ساختار بسیار توانمند است. انتخاب ساختار مدل و پارامتریزه کردن آن برای رگولاتورهای خود تنظیم، مسائل مهمی هستند. یک روش سر راست، تخمین پارامترهای تابع انتقال فرایند است. این کار یک الگوریتم تطبیقی غیر مستقیم را سبب می شود که در آن پارامترهای کنترلگر مستقیماً بهنگام نشده، بلکه بطور غیر مستقیم و از طریق تخمین مدل فرایند بهنگام می شود.

ما در این بخش با ارائه ایده های اصلی به توضیح برخی از خواص رگولاتورهای خود تنظیم خواهیم پرداخت.

۳-۲-۵-۱ طراحی جایابی قطب

در این قسمت روشی ساده برای طراحی کنترل را ارائه می کنیم. ایده این روش تعیین کنترلگری است که قطبهای حلقه-بسته مطلوب را نتیجه دهد. بعلاوه لازم است که سیستم، سیگنالهای فرمان را به طریق مشخصی تعقیب کند. این موضوع روش ساده ای است که اگر بدرستی پیاده شود، کنترلگرهای عملی مفید و همچنین درک خوبی از کنترل تطبیقی به دست می دهد.

ما اغلب با سیستمهای گسسته-زمان روبرو هستیم، از آنجا که روش طراحی، کاملاً جبری است، می توان سیستمهای زمان-پیوسته را با نوشتن معادله زیر در بر گرفت:

$$Ay(t) = B(u(t) + v(t)) \quad (۱۴-۳)$$

که در آن y خروجی، u ورودی فرایند، و v اغتشاش است، A و B چند جمله ایهای بر حسب عملگر دیفرانسیل یا عملگر انتقال پیشرو q است. فرض می شود که A و B نسبت به هم اول هستند که این بدان معناست که نمی توانند عامل مشترک داشته باشند. بعلاوه فرض می کنیم که A تکین^{۲۳} است، یعنی ضریب بزرگترین توان A برابر واحد است.

شکل عمومی کنترلگرهای خطی به صورت زیر است:

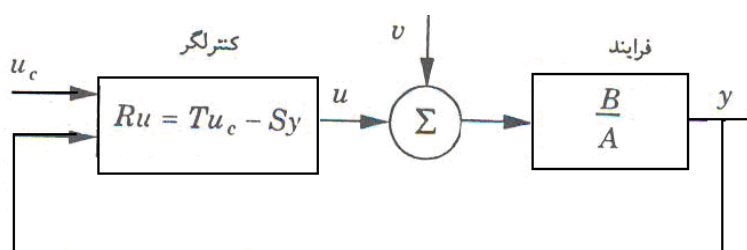
$$Ru(t) = Tu_c(t) - Sy(t) \quad (۱۵-۳)$$

که در آن T, S, R چند جمله ای هستند. این قانون کنترل، بیانگر پسخوری منفی با عملگر تبدیل $\frac{S}{R}$ - و پسخوردی با عملگر تبدیل $\frac{T}{R}$ است.

نمودار بلوکی سیستم حلقه-بسته در (شکل ۳-۲) نشان داده شده است. با حذف u بین معادلات (۳-۱۴) و (۳-۱۵) معادلات زیر برای سیستم حلقه بسته بدست می آید:

$$y(t) = \frac{BT}{AR+BS}u_c(t) + \frac{BR}{AR+BS}v(t) \quad (۱۶-۳)$$

$$u(t) = \frac{AT}{AR+BS}u_c(t) - \frac{BS}{AR+BS}v(t)$$



شکل ۳-۲ یک کنترلگر عمومی با دو درجه آزادی

بنابراین چند جمله ای مشخصه حلقه-بسته به صورت زیر است:

$$AR + BS = A_c \quad (۱۷-۳)$$

ایده کلیدی روش طراحی، مشخص کردن چند جمله ای مشخصه حلقه-بسته مطلوب A_c است، آنگاه چند جمله ایهای R و S را می توان از معادله (۱۷-۳) حل کرد. معادله (۱۷-۳) که نقش اساسی در جبر بازی می کند، معادله دیوفانتین^{۲۴} نامیده می شود. این معادله، اتحاد بزو^{۲۵} یا معادله آریاهاتا^{۲۶} نیز خوانده می شود، که اگر چند جمله ایهای A و B عامل مشترک نداشته باشند این معادله دارای جواب است.

²⁴ Diophantine equation

²⁵ Bezout Identity

²⁶ Aryabhatta Equation

تعقیب مدل

معادله دیوفانتین تنها چند جمله ایهای R و S را تعیین می کند. برای اینکه چند جمله ای T در کنترلگر (۱۷-۳) را تعیین نماییم باید شرایط دیگری معرفی گردد. برای این کار لازم است که پاسخ سیگنال فرمان u_c به خروجی توسط معادلات دینامیکی زیر توصیف شود:

$$A_m y_m(t) = B_m u_c(t) \quad (18-3)$$

بنابراین از معادلات (۱۸-۳) نتیجه می شود که شرایط زیر باید برقرار باشد:

$$\frac{BT}{AR + BS} = \frac{BT}{A_c} = \frac{B_m}{A_m} \quad (19-3)$$

حال پیامدهای شرط تعقیب مدل بررسی می گردد. معادله (۱۹-۳) نتیجه می دهد که عاملهای مشترک BT و A_c حذف می شوند. چند جمله ای B را به صورت ذیل تجزیه می کنیم:

$$B = B^+ B^- \quad (20-3)$$

که B^+ چند جمله ای تکینی است که صفرهای آن پایدار بوده و چنان بخوبی میرا می شوند که می توانند توسط کنترلگر حذف گردند و B^- با عوامل ناپایدار یا عواملی که میرایی ضعیفی داشته و قابل حذف نیستند متناظر است. بنابراین نتیجه می شود که B^- باید عواملی از B_m باشد. پس:

$$B_m = B^- B'_m \quad (21-3)$$

از آنجا که B^+ حذف می شود باید عواملی از A_c باشد. بنابراین چند جمله ای مشخصه حلقه-بسته به شکل زیر است:

$$A_c = A_0 A_m B^+ \quad (22-3)$$

چون B^+ عاملی از B و A_c است، از معادله دیوفانتین نتیجه می شود که عاملی از R نیز می باشد، پس:

$$R = R' B^+ \quad (23-3)$$

و معادله دیوفانتین به معادله زیر تبدیل می گردد:

$$AR' + B^- S = A_0 A_m = A'_c$$

با قرار دادن معادلات (۳-۲۰)، (۳-۲۱) و (۳-۲۲) در معادله (۳-۱۹) خواهیم داشت

$$T = A_0 B_m'$$

بنابراین تمام چند جمله ایها در معادله کنترلگر محاسبه شد و می تواند مورد استفاده قرار گیرد.

۳-۲-۵-۲ رگولاتورهای خود تنظیم غیر مستقیم

روشهای تخمین پارامترهای مدل معادله قبلا ارائه شد. اینک به منظور دستیابی به یک رگولاتور خود تنظیم ساده این روشها با روش طراحی قسمت فبلی ترکیب خواهیم کرد. برای سادگی فرض می کنیم که اغتشاش v در معادله (۳-۱۴) صفر است.

۳-۲-۵-۱ تخمین

می توان از روشهای متعدد تخمین بازگشتی برای تخمین ضرایب چند جمله ای های A و B استفاده کرد. برای این کار از معادلات تخمین حداقل مربعات بازگشتی بهره برده می شود. مدل فرایند (۳-۹) را می توان به طور صریح به شکل زیر نوشت:

$$y(t) = -a_1 y(t-1) - \dots - a_n y(t-n) + b_0 u(t-d_0) + \dots + b_m u(t-d_0-m)$$

مدل نسبت به پارامترها خطی و به صورت زیر قابل بیان است

$$y(t) = \varphi^T(t-1)\theta$$

که در آن

$$\theta^T = [a_1 \quad a_2 \quad \dots \quad a_n \quad b_0 \quad \dots \quad b_m]$$

$$\varphi^T(t-1) = [-y(t-1) \quad \dots \quad -y(t-n) \quad u(t-d_0) \quad \dots \quad u(t-d_0-m)]$$

لذا تخمینگر حداقل مربعات با ضریب فراموش نمائی به صورت زیر بدست می آید

$$\hat{\theta}(t) = \hat{\theta}(t-1) + k(t)\varepsilon(t) \quad (۳-۲۴)$$

$$\varepsilon(t) = y(t) - \varphi^T(t-1)\hat{\theta}(t-1)$$

$$k(t) = p(t-1)\varphi(t-1)(\lambda + \varphi^T(t-1)p(t-1)\varphi(t-1))^{-1}$$

$$p(t) = (I - k(t)\varphi^T(t-1))p(t-1) / \lambda$$

۲-۲-۵-۲-۳ خود تنظیم گر غیر مستقیم

با ترکیب تخمینگر حداقل مربعات بازگشتی (RLS) معادله (۲۴-۳) با روش جایابی قطب برای طراحی کنترلگر داده شده در بخش رگولاتور خود تنظیم زیر بدست می آید: الگوریتم رگولاتور خود تنظیم غیر مستقیم با استفاده از RLS و روش جایابی قطب:

- گام ۱: ضرایب چند جمله ای های A و B در معادله (۱۴-۳) را با استفاده از روش حداقل مربعات بازگشتی (RLS) معادلات (۲۴-۳) تخمین می زنیم

- گام ۲: روش جایابی قطب را اعمال می کنیم تا چند جمله ای های R ، S و T قانون کنترل بدست آوریم

- گام ۳: متغیر کنترل را با استفاده از معادله (۱۵-۳) به صورت زیر محاسبه می نماییم:

$$Ru(t) = Tu_c(t) - Sy(t)$$

- گام ۴: گامهای ۱، ۲ و ۳ را در هر زمان نمونه برداری تکرار می کنیم.

۳-۵-۲-۳ رگولاتورهای خود تنظیم مستقیم

ممکن است محاسبات طراحی در خود تنظیم گرهای غیر مستقیم زمان گیر بوده و موجب تضعیف شرایط برای برخی از مقادیر پارامتر شود. این امکان وجود دارد که بتوان الگوریتمهای دیگری بدست آورد که در آنها محاسبات طراحی، ساده و یا حتی حذف شده باشد. ایده کار، استفاده از معادلات طراحی برای دوباره پارامتریزه کردن بر حسب پارامترهای کنترلگر است.

فرایند توصیف شده با معادله (۱۴-۳) را همراه با $v = 0$ در نظر می گیریم:

$$Ay(t) = Bu(t)$$

و فرض می کنیم پاسخ مطلوب به کمک معادله (۱۸-۳) داده شده باشد:

$$A_m y_m(t) = B_m u_c(t)$$

حال مدل فرایند بر حسب پارامترهای کنترلگر مجدداً پارامتریزه می شود. برای انجام این کار معادله دیوفانتین، یعنی

$$A_0 A_m = AR' + B^- S$$

را به عنوان یک اتحاد اپراتوری در نظر می گیریم و آن را بر $y(t)$ اعمال می کنیم، از این کار نتیجه می شود:

$$A_0 A_m y(t) = R' Ay(t) + B^- Sy(t) = R' Bu(t) + B^- Sy(t)$$

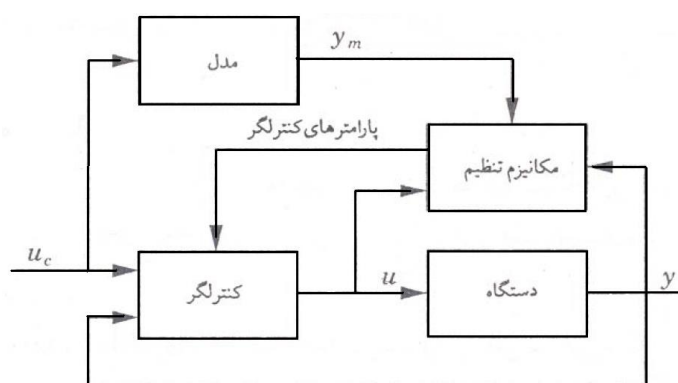
از معادله (۲۳-۳) نتیجه می شود که:

$$A_0 A_m y(t) = B^- (Ru(t) + Sy(t)) \quad (۲۵-۳)$$

بایستی توجه داشته باشیم که این معادله را می توان یک مدل فرایند در نظر گرفت که بر حسب ضرایب چند جمله ایهای B^- ، R و S پارامتریزه شده است. اگر پارامترهای مدل معادله (۳-۲۵) تخمین زده شود، قانون کنترل به طور مستقیم و بدون محاسبات طراحی بدست می آوریم.

۳-۲-۶ کنترل تطبیقی مدل-مرجع

سیستم کنترل تطبیقی مدل-مرجع یکی از کنترلرهای تطبیقی مهم است. این سیستم را می توان بصورت یک سیستم سرو تطبیقی در نظر بگیریم، که در آن عملکرد مطلوب بر حسب مدل مرجعی که به سیگنال فرمان پاسخ مطلوب می دهد بیان شده است. این کار روشی مناسب برای ارائه مشخصات یک مسئله سرو است. به طور کلی، یک سیستم کنترل تطبیقی مدل-مرجع را می توان به صورت طرحوار بوسیله شکل ۳-۳ نمایش.



شکل ۳-۳ نمودار بلوکی سیستم تطبیقی مدل مرجع

البته در سیستم کنترل تطبیقی مدل-مرجع، فرض می شود که دستگاه ساختار معلوم داشته باشد، اگر چه پارامترهای آن نا شناخته اند. در دستگاههای خطی، این بدان معنی است که فرض کنیم تعداد قطبها و صفرهای دستگاه معلوم است، ولی محل این قطبها و صفرها معلوم نیست. در دستگاههای غیر خطی، این فرض منتهی می شود به اینکه ساختار معادلات دینامیکی معلوم ولی بعضی از پارامترها نا معلوم است.

۳-۳-۶-۱) قاعده MIT^{۲۷} :

قاعده MIT روش اصلی کنترل تطبیقی مدل-مرجع است. نام این قاعده بر اساس این واقعیت است که این روش اولین بار در آزمایشگاه ابزار دقیق در MIT مطرح شده است.

برای ارائه قاعده MIT، یک سیستم حلقه بسته را در نظر می‌گیریم که در آن کنترلگر دارای یک پارامتر قابل تنظیم θ است. پاسخ حلقه-بسته مطلوب به کمک مدلی با خروجی y_m مشخص می‌شود. فرض کنید e خطای بین خروجی y سیستم حلقه-بسته و خروجی y_m مدل باشد. یک امکان، تنظیم پارامتر به گونه ای است که تابع تلف زیر کمینه گردد

$$J(\theta) = \frac{1}{2} e^2 \quad (۲۶-۳)$$

برای کوچک کردن J ، منطقی به نظر می‌رسد که پارامترها در جهت گرادیان منفی J تغییر دهیم، در

نتیجه

$$\frac{d\theta}{dt} = -\lambda e \frac{\partial e}{\partial \theta} \quad (۲۷-۳)$$

رابطه فوق همان قاعده معروف MIT است. مشتق جزئی $\frac{\partial e}{\partial \theta}$ که مشتق حساسیت نامیده می‌شود

بیانگر نحوه تأثیر پذیری خطا از پارامترهای قابل تنظیم است. اگر فرض شود که پارامترها بسیار آهسته تر از

سایر متغیرهای سیستم تغییر می‌کنند، مشتقات $\frac{\partial e}{\partial \theta}$ تحت شرایط بودن θ ، قابل محاسبه هستند.

²⁷ Massachusetts Institute of Technology

۳-۳ تعریف مساله و اجرای انواع روشهای کنترل تطبیقی روی مدل خطی سطح مخزن(روش پیشنهادی)

سیستم کنترل سطح مایع در مخازن، در اغلب پروسه های صنعتی دیده می شود و یکی از مهمترین حلقه های کنترلی در مخازن نیروگاهها و پالایشگاهها به شمار می رود. روش مرسوم در پیاده سازی این سیستم کنترل که حتی هنوز هم بطور وسیعی در صنایع داخلی بکار گرفته می شود، استفاده از تکنیکهای کنترل خطی از جمله خانواده PID است. گرچه سادگی ساخت و استفاده از این گونه کنترلرها، امتیاز ویژه ای برای آنها محسوب می شود لکن بازده فرآورده ها، عملکرد بهتر، بهره وری اقتصادی بیشتر و قابلیت اطمینان و حتی امنیت کاربر در ایده های جدیدتری وجود دارد که امروزه بسیاری از شرکتها و کارخانه های بزرگ در صدد پیاده سازی عملیاتی آنها هستند.

یکی از حلقه های کنترلی مرسوم در نیرو گاه ها و برخی پالایشگاه ها، حلقه های کنترل در مسیر سیکل آب است که از چندین حلقه کنترلی تشکیل شده است. یکی از این حلقه ها ،حلقه کنترل سطح آب کندانسور است که روش کنترل تطبیقی روی مدل خطی سطح این نوع تانکها را در اینجا پیاده سازی مینماییم لازم است مروری دوباره به سیستم کنترل سطح کندانسور بیندازیم. همانطور که قبلا گفتیم بخار خروجی از مرحله آخر توربین فشار ضعیف، توسط آب خنک کن سیکل کندانسور، تغییر فاز داده و به صورت قطرات آب به حوضچه کف کندانسور می ریزد و سپس توسط پمپ های کندانسور، مجدداً وارد سیکل آب می شود. کمبود آب ناشی از تلفات یا مصرف آب و بخار داخل سیکل ، از طریق تانک ذخیره آب تامین می گردد.

- اندازه گیری سطح آب داخل کندانسور، درحقیقت معیاری از میزان تلفات یا مصرف آب و بخار سیکل بوده که توسط یک مدار کنترل به طور دائمی تامین می گردد.

با این توضیحات مختصر به به طور ضمنی به برخی معایب سیستمهای قدیمی کنترل سطح مایع در مخازن اشاره شد؛ اما روشی که ما در این پروژه ارائه خواهیم کرد از چند جنبه جدید است. از جمله این نو آوریها عبارتند از:

- پیاده سازی سیستم کنترل سطح مایع به صورت دیجیتالی که مستقیماً بوسیله کامپیوتر یا دیگر پروسورهای صنعتی قابل ساخت است.

- اعمال روش کنترل تطبیقی به عنوان یک روش غیر خطی به سیستم کنترل سطح مایع به جای روش های ساده کنترل خطی مانند PID

- بررسی تحلیل مقاوم بودن (robustness) روش پیشنهادی در مقابل نویزهای اندازه گیری و انواع اغتشاشها) عدم قطعیت‌های مدلسازی، عدم قطعیت‌های غیر ساختاریافته و ...)
 - بررسی روشهای کنترل بهینه در طراحی این سیستم کنترل دیجیتال تطبیقی
 - بررسی تحلیلی مدل‌های اغتشاشها و استفاده از آنها در طراحی مقاوم
- اجمالی از انگیزه ما برای ارائه این تکنیک به قرار زیر است: سیستم‌های کنترلی مبتنی بر کنترلرهای خطی مانند PID، عموماً سیستم‌هایی هستند که نیاز مکرر به تنظیم ضرائب کنترلر دارند. گرچه امروزه هنوز حدود ۹۰٪ کنترلرها از نوع PID هستند اما اتفاقاً حدود ۹۰٪ همین کنترلرها دارای تنظیم غیر صحیح می باشند. ضمن اینکه علاوه بر تنظیمات نادرست، آنالوگ بودن این کنترلرها بستر مناسبی برای تاثیر شدید نویز در مدارات آنها می باشد. هم چنین در بسیاری از سیستم‌های کنترل سطح مایع در صنایع نوین، نیازمند این هستیم که سطح مایع درون یک مخزن بتواند به جای یک نقطه تنظیم (set point)، یک سطح متغیر مطلوب به صورت تابعی از زمان از پیش تعیین شده توسط کاربر را دنبال کند که این عمل با استفاده از کنترلرهای مرسوم عملاً یا غیرممکن است و یا بسیار دشوار و پرهزینه است. از آنجا که طراحی کنترل خطی PID به صورت تحلیلی نیازمند داشتن مدل دقیقی از فرآیند تحت کنترل می باشد، این کنترلر نمی تواند دارای قوام^{۲۸} کافی در مقابل عدم قطعیتها باشد؛ چرا که یکی از مسائل جدید در بحث کنترل مقاوم، در نظر گرفتن دینامیکهای مدل نشده در فرآیند طراحی کنترل است. فرسودگی تدریجی قطعات و تغییرات غیر قابل اجتناب پارامترهای پارامترهای سیستم لازم می دارد که از یک سیستم کنترلی استفاده شود که قادر به پاسخ گویی به سیگنال فرمان بدون دخالت اپراتور انسانی باشد. همه موارد برشمرده و بسیاری مسائل دیگر (از جمله تمهیدات سخت افزاری جهت پیاده سازی فیزیکی) ما را بر آن می دارد که از یک سیستم کنترل پیشرفته مبتنی بر روشهای کنترل تطبیقی استفاده کنیم که پیاده سازی دیجیتالی آن گامی بلند تر در جهت مدرنیزه کردن صنایع داخلی است. یکی از مزایای عمده این سیستم کنترلی قابلیت آن برای استفاده از سیستمهای کنترل گسترده (DCS) و شبکه های Field bus می باشد که پس از یک بار نصب و راه اندازی، هزینه های بعدی بسیار کمتر خواهد شد.
- همانطور که قبلاً گفتیم در طراحی کنترل تطبیقی روشهای متفاوتی بکار گرفته شده است که ما در اینجا با دو روش مرسوم به این طراحی اقدام می نمایم

مدل غیر خطی عملی

$$\begin{aligned}\dot{x}_1 &= -0.625x_1 + \alpha * 0.625 + x_2^2 - 2\beta x_2 + \beta^2 + u \\ \dot{x}_2 &= 0.5x_1 - 0.5\alpha - x_2 + \beta + (x_1 - \alpha)^4\end{aligned}$$

α و β نقاط کار سیستم بوده که مقادیر $\alpha = 5^{cm}$ یا $0.05m$ و $\beta = 7^{cm}$ یا $0.07m$ نقاط کار عملی سیستم بوده که باهماهنگی دفتر فنی نیروگاه اسلام آباد اخذ شده است. [17]

فرایند خطی سازی

$$\begin{aligned}f_1(x_1, x_2) &= -0.625x_1 + 0.625 * 0.05 + (x_2 - 0.07)^2 + u \\ f_2(x_1, x_2) &= 0.5x_1 - 0.5 * 0.05 - x_2 + 0.07 + (x_1 - 0.05)^4\end{aligned} \quad (28-3)$$

$$A = \frac{\partial f}{\partial x} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \end{bmatrix} \quad B = \frac{\partial f}{\partial u} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial u} \\ \frac{\partial f_2}{\partial u} \end{bmatrix} \quad (29-3)$$

$$A = \begin{bmatrix} -0.625 & 2x_2 - 0.14 \\ 0.5 + 4(x_1 - 0.05)^3 & -1 \end{bmatrix} \Big|_{0.05, 0.07} \quad B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

نکته:

با توجه به اینکه قرار است ما از این مدل برای عملیات ردگیری نیز استفاده کنیم به سه نکته زیر اشاره می شود:

۱- اولاً با توجه به قضیه خطی سازی تیلور

$$f(x) = \dots + h.o.t$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\|h.o.t\|}{\|x\|} = 0 \quad (3-30)$$

برد پیشنهادی (α, β) برای عملیات خطی سازی در مقایسه با ارتفاع استاتیک (بین ۱۰ متر تا ۵۰ متر) معقول به نظر می رسد.

۲- سیگنال سینوسی که قرار است بعنوان سیگنال مرجع در نظر گرفته شود دارای تغییراتی است که مقدار پیک تاپیک آن در محدوده خطی ما قرار می گیرد از این نظر بحث ردگیری برای سیگنال سینوسی برای مدل خطی تایید می شود.

۳- با توجه به قضیه هارتمن هرگاه شرط زیر برقرار باشد

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\|h.o.t\|}{\|x\|} = 0$$

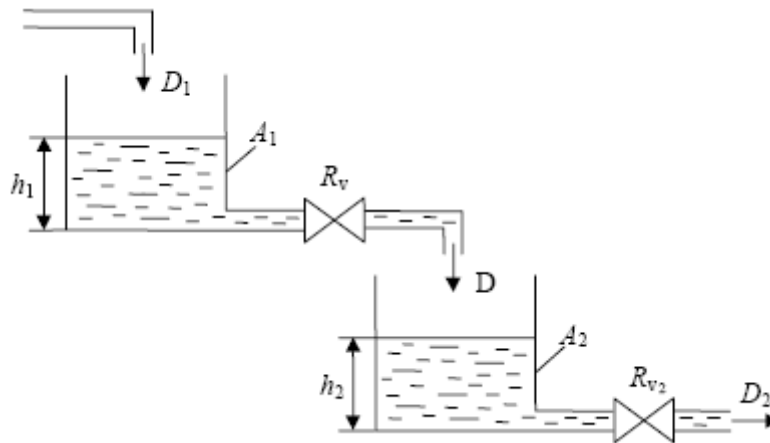
رویه های (mani fold) پایدار و ناپایدار سیستم اولیه (غیر خطی) در حوالی نقطه کار بر بردارهای ویژه در نقطه کار مماس است. و بدین ترتیب یک **desoctrfism** وجود دارد. که mani fold های سیستم اولیه رابه سیستم خطی شده بصورت پیوسته ارتباط میدهد. بدین ترتیب میتوان در نقطه کار و با یک همسایگی خیلی کوچک اطراف آن سیستم اصلی را بانسخه خطی آن جایگزین کرد. [21]

استاتیکی شیر:

در مدل غیر خطی توانهای ۴ و ۲ معادل دینامیک شیر مورد استفاده می باشند [26]

سنسورها:

با توجه به انتخاب سنسور های اپتیکی برای سیستم و از آنجا که هیچگونه اثر بار گذاری بر روی خروجی سیستم و همچنین کنترلر ندارند، دینامیک آن یک در نظر گرفته شده است.



شکل ۳-۴ سیستم کنترل سطح دو مخزن

با توجه به سیستم غیر خطی تابع تبدیل ما به شکل زیر است:

$$\frac{H(s)}{Q_i(s)} = \frac{R}{RCS + 1} \quad (31-3)$$

که در آن ظرفیت مخزن C طبق تعریف نسبت تغییر حجم مایع ذخیره شده در مخزن به تغییر ارتفاع است. و R مقاومت شیر می باشد.

$$C = \frac{\text{تغییر حجم مایع ذخیره (m}^3\text{)}}{\text{تغییر ارتفاع (m)}} = \frac{du}{dh} \quad (32-3)$$

که قبلا در فصل دوم کاملا تشریح شده است بنابراین این تاب تبدیل سیستم برابر است با:

$$\frac{h_2}{D_1} = \frac{0.5}{s^2 + 1.625s + 0.625} = \frac{B}{A} \quad (33-3)$$

نمونه برداری:

همانطور که میدانیم در تبدیل سیگنال زمان پیوسته به زمان گسسته عمل نمونه برداری یک عمل اساسی می باشد .

چندین نوع عملیات نمونه برداری وجود دارد که از لحاظ عملی مهم می باشند: [14]

۱- نمونه برداری از مرتبه مکرر

۲- نمونه برداری متناوب

۳- نمونه برداری با نرخ مکرر

۴- نمونه برداری تصادفی

۵- نمونه برداری تجربی

یک قاعده سرانگشتی درانتخاب دوره تناوب نمونه برداری (دوره تناوب نمونه برداری $T = \frac{2\pi}{\omega_s}$ ، که در آن ω_s فرکانس نمونه برداری است) در سیستم کنترل فرایند آن است که در سیستم های کنترل درجه حرارت دوره تناوب نمونه برداری باید ۱۰ تا ۳۰ ثانیه، در سیستم کنترل فشار ۱ تا ۵ ثانیه و در سیستم کنترل سطح ۱۰ تا ۱۰ ثانیه باشد.

بهینگی LQR

تابع هدف

$$J = \int_0^{\infty} (Q^T \Delta x Q + R^T \Delta u R) dt \quad (۴۱-۳)$$

Δu جهت مینیمم کردن سوخت (سیگنال کنترلی)

Δx تحدید حالت های که باعث اشباع کنترلر می شوند

بهترین حالت این است که هم u و هم x به سمت صفر بروند، شایان ذکر است که نقطه کار u را برابر صفر در نظر گرفته ایم.

۳-۳-۱ رگولاتورهای خود تنظیم (روش اول)^{۲۹}

روشهای کنترلی STR غیر مستقیم و مستقیم را پیاده سازی می کنیم.

²⁹ Self-tuning regulator

گفتیم توسعه سیستمهای کنترل، کارهای زیادی مانند مدلسازی، طراحی قانون کنترل، پیاده سازی و تعیین اعتبار را در بر گرفته است. و همین طور متوجه شدیم که رگولاتورهای خود تنظیم سعی بر خود کار کردن تعدادی از این کارها دارد. این موضوع را در شکل (۳-۱) توضیح دادیم و دیدیم که این شکل نمودار بلوکی یک فرایند را همراه با یک رگولاتور خود تنظیم نشان می دهد. فرض نمودیم که ساختار مدل فرایند مشخص است. پارامترهای مدل بطور بیدرنگ تخمین زده می شوند، و بلوک دارای بر چسب «تخمین» در شکل (۳-۱) تخمینی از پارامترهای فرایند را می دهد. این بلوک تخمینگری بازگشتی است.

ما برای پیاده سازی روش خود نیاز خواهیم داشت برخی خواص را مجددا یادآوری نماییم

۳-۳-۱-۱-۳-۳ رگولاتورهای خود تنظیم غیر مستقیم

تخمین:

می توانیم از روشهای متعدد تخمین بازگشتی برای تخمین ضرایب چند جمله ای های A و B استفاده نماییم. برای این کار از معادلات تخمین حداقل مربعات بازگشتی بهره خواهیم جست. مدل فرایند (۳-۱۴) را می توانیم به طور صریح به شکل زیر بنویسیم:

$$y(t) = -a_1 y(t-1) - \dots - a_n y(t-n) + b_0 u(t-d_0) + \dots + b_m u(t-d_0-m)$$

مدل نسبت به پارامترها خطی و به صورت زیر قابل بیان است

$$y(t) = \varphi^T(t-1)\theta$$

که در آن

$$\theta^T = [a_1 \quad a_2 \quad \dots \quad a_n \quad b_0 \quad \dots \quad b_m]$$

$$\varphi^T(t-1) = [-y(t-1) \quad \dots \quad -y(t-n) \quad u(t-d_0) \quad \dots \quad u(t-d_0-m)]$$

لذا تخمینگر حداقل مربعات با ضریب فراموش نمائی را به صورت زیر بدست می آوریم.

$$\hat{\theta}(t) = \hat{\theta}(t-1) + k(t)\varepsilon(t) \quad (۳-۴۲)$$

$$\varepsilon(t) = y(t) - \varphi^T(t-1)\hat{\theta}(t-1)$$

$$k(t) = p(t-1)\varphi(t-1)(\lambda + \varphi^T(t-1)p(t-1)\varphi(t-1))^{-1}$$

$$p(t) = (I - k(t)\varphi^T(t-1))p(t-1) / \lambda$$

خود تنظیم گر غیر مستقیم:

با ترکیب تخمینگر حداقل مربعات بازگشتی (RLS) معادله (۳-۴۲) با روش جایابی قطب برای طراحی کنترلر داده شده در بخش قبل رگولاتور خود تنظیم زیر بدست می آید:

الگوریتم رگولاتور خود تنظیم غیر مستقیم با استفاده از RLS و روش جایابی قطب:

- گام ۱: ضرایب چند جمله ای های A و B در معادله (۳-۱۴) را با استفاده از روش حداقل مربعات بازگشتی (RLS) معادلات (۳-۴۲) تخمین می زنیم.

- گام ۲: روش جایابی قطب را اعمال می کنیم تا چند جمله ای های R ، S و T قانون کنترل را بدست آوریم.

- گام ۳: متغیر کنترل را با استفاده از معادله (۳-۱۵) به صورت زیر بدست می آوریم:

$$Ru(t) = Tu_c(t) - Sy(t)$$

- گام ۴: گامهای ۱، ۲ و ۳ را در هر زمان نمونه برداری تکرار می کنیم. [23]

این مراحل طراحی کنترلر را بر روی یک سیستم کنترل سطح مایع مطابق شکل زیر پیاده نموده ایم.

روش جایابی قطب برای طراحی تنظیم کننده خودکار، روش کلی طراحی تنظیم کننده است. این روش را می توان زمانیکه پلنت غیر مینیمم فاز باشد بکار برد.

مدل پلنت برای تنظیم کننده خودکار بایستی به فرم چند جمله ای زیر باشد

$$A(q^{-1})y(k+d) = B(q^{-1})u(k) \quad \text{یا} \quad A(q^{-1})y(k) = q^{-d}B(q^{-1})u(k) \quad \text{و} \quad y(0) \neq 0 \quad (۳-۴۳)$$

پارامتر پلنت مطابق زیر خواهند بود

$$A(q^{-1}) = 1 + a_1(q^{-1}) + \dots + a_{n_A}q^{-n_A} = 1 + q^{-1}A^*(q^{-1}) \quad \text{و}$$

$$B(q^{-1}) = 1 + b_1(q^{-1}) + \dots + a_{n_B}q^{-n_B} = 1 + q^{-1}B^*(q^{-1}) \quad \text{و} \quad b_0 \neq 0$$

$$A_m(q^{-1})y(k) = q^{-d}B_m(q^{-1})\omega(k) \quad (۳-۴۴)$$

که چند جمله ای $A(q^{-1})$ مونیک (تک متغیر) بوده و $A(q^{-1})$ و $B(q^{-1})$ نسب به هم اول می باشند

مساله کنترل، تعیین یک کنترل کننده ای است که رابطه بین ورودی مرجع $\omega(k)$ و خروجی سیستم (رابطه (۳-۴۴)) را فراهم نماید که این کار توسط کنترل کننده R-S-T انجام خواهیم شد.

$$R(q^{-1})u(k) = T(q^{-1})\omega(k) - S(q^{-1})y(k) \quad (۳-۴۵)$$

چند جمله ای $B(q^{-1})$ بصورت

$$B(q^{-1}) = B^+(q^{-1})B^-(q^{-1})$$

که $B^+(q^{-1})$ شامل صفرهای پایدار که میتوانند حذف شوند و همچنین $B^-(q^{-1})$ شامل صفرهای ناپایدار می باشند که نمی توان و نباید آنها را حذف نماییم. [17]

از طرفی چند جمله ای $B_m(q^{-1})$ بصورت:

$$B_m(q^{-1}) = B^-(q^{-1})B_m^+(q^{-1})$$

که $B_m^+(q^{-1})$ را میتوانیم آزادانه انتخاب کنیم.

همچنین ما بایستی:

$$T(q^{-1}) = A_0(q^{-1})B_m^+(q^{-1})$$

که چند جمله ای روی تگر $A_0(q^{-1})$ می باشد طوری انتخاب نماییم که ریشه ها بخوبی استقرار پیدا کنند (در محل مورد نظر قرار گیرند)

حال اگر مدل فضای حالت سیستم کنترل سطح خود را با توجه به تابع تبدیل به شکل زیر بنویسیم:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= \begin{bmatrix} -0.625 & 0 \\ 0.5 & -1 \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} u \\ y &= [0 \quad 1]x \end{aligned} \quad (۳-۴۶)$$

با گسسته سازی مدل فضای حالت مدل با استفاده از گسسته سازی zoh و نمایش مدل به فرم تابع انتقال گسسته در عملگر q^{-1} و سپس به فرم چند جمله ای، ضرایب چند جمله ای های $A(q^{-1})$ و $B(q^{-1})$ تعیین می شوند. بصورت زیر:

$$A_m(q^{-1}) = 1 + a_1^m q^{-1} + a_2^m q^{-2} = 1 - q^{-1} + 0.25q^{-2}$$

$$B_m(q^{-1}) = B^-(q^{-1})B_m^+(q^{-1}) = b_0^m + b_1^m q^{-1} = 0.0355 + 0.0118q^{-1}$$

(۳۴-۳)

$$a_1 = -1.8443 \quad a_2 = 0.85 \quad b_0 = 0.0024 \quad b_1 = 0.0022 \quad \text{که}$$

در نهایت پس از حل معادله دیوفانتین قانون کنترل به شرح زیر طراحی می شود:

$$u(k) = \frac{15 + 5q^{-1}}{1 + 0.9473q^{-1}} \omega(k) - \frac{356.4208 - 267.411q^{-1}}{1 + 0.9473q^{-1}} y(k) \quad (۳۵-۳)$$

به عبارت دیگر آنرا به فرم رگرسیونی در می آوریم که برای RLS مناسب باشد.

$$y(k) = -a_1 y(k-1) - a_2 y(k-2) + b_0 u(k-1) + b_1 u(k-2) \quad \text{یا} \quad y(k) = \theta^T(k) \phi(k) \quad (۳۶-۳)$$

سپس فرایند شناسایی سیستم مطابق زیر انجام می شود:

که بردار پارامترهای پلنت برابر است با

$$\theta^T = [a_1 \quad a_2 \quad b_0 \quad b_1] \quad (۳۷-۳)$$

و بردار رگرسیون

$$\phi^T(k) = [-y(k-1) \quad -y(k-2) \quad u(k-1) \quad u(k-2)] \quad (۳۸-۳)$$

و تخمین پارامترها مطابق الگوریتم زیر خواهد بود

$$F(0) = I_4 / 10^{-3}$$

$$F(k+1) = \frac{1}{0.99} \left[F(k) - \frac{F(k) \phi(k) \phi^T(k) F(k)}{1 + \phi^T(k) F(k) \phi(k)} \right] \quad (۳۹-۳)$$

$$\varepsilon(k) = y(k) - \phi^T(k) \hat{\theta}(k-1)$$

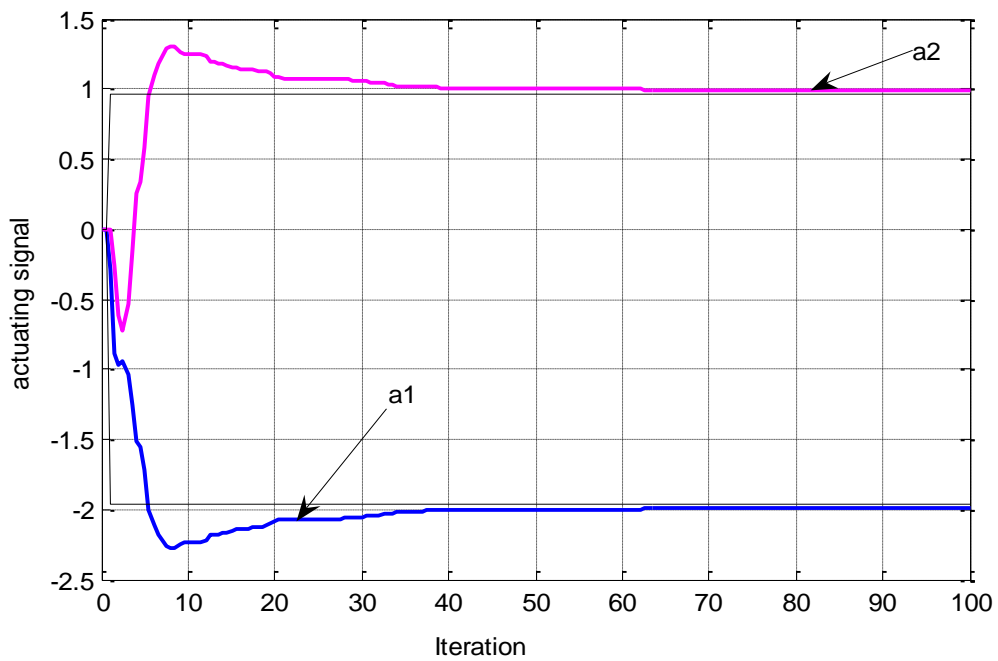
$$\hat{\theta}(k) = \hat{\theta}(k-1) + F(k) \phi(k) \varepsilon(k)$$

$$\hat{\theta}^T(k) = [\hat{a}_1(k) \quad \hat{a}_2(k) \quad \hat{b}_0(k) \quad \hat{b}_1(k)]$$

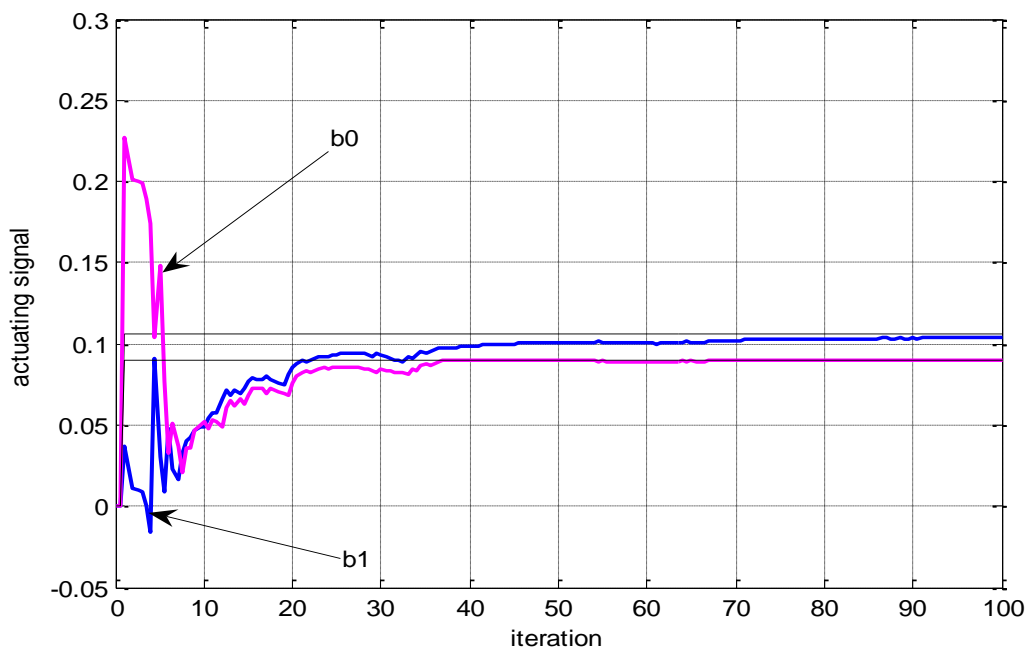
کنترلر طراحی شده به فرم زیر خواهد بود

$$u(k) = \frac{T(q^{-1})}{\hat{R}(q^{-1})} \omega(k) - \frac{\hat{S}(q^{-1})}{\hat{R}(q^{-1})} y(k) \quad (۴۰-۳)$$

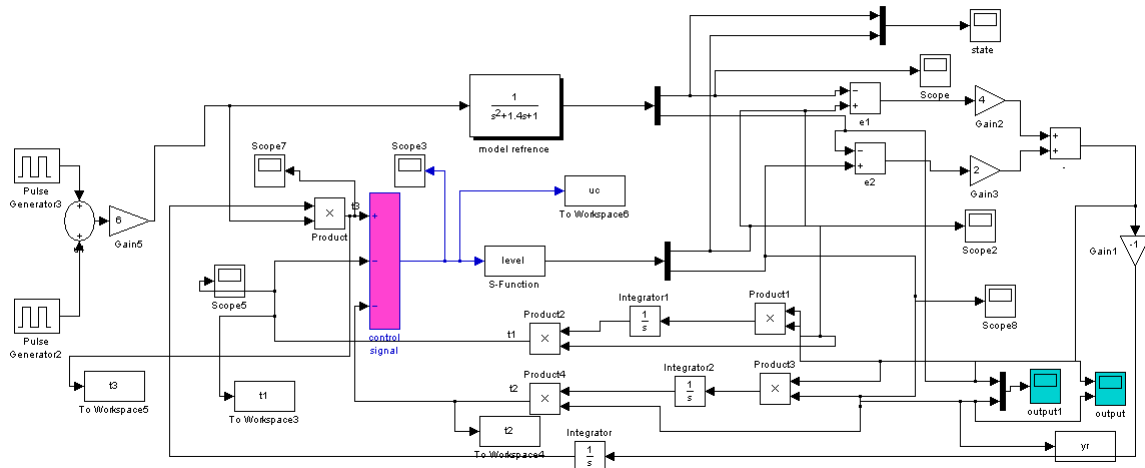
و رویه فوق را بعد از اعمال قانون جایابی قطب و پیاده سازی الگوریتم ذکر شده، برای سیستم کنترل سطح بکار بگیریم، شبیه سازی های زیر برای ما بدست می آیند:



شکل ۳-۵ پارامترهای تخمین زده شده سیستم a_1, a_2



شکل ۳-۶ پارامترهای تخمین زده شده سیستم b_1, b_2

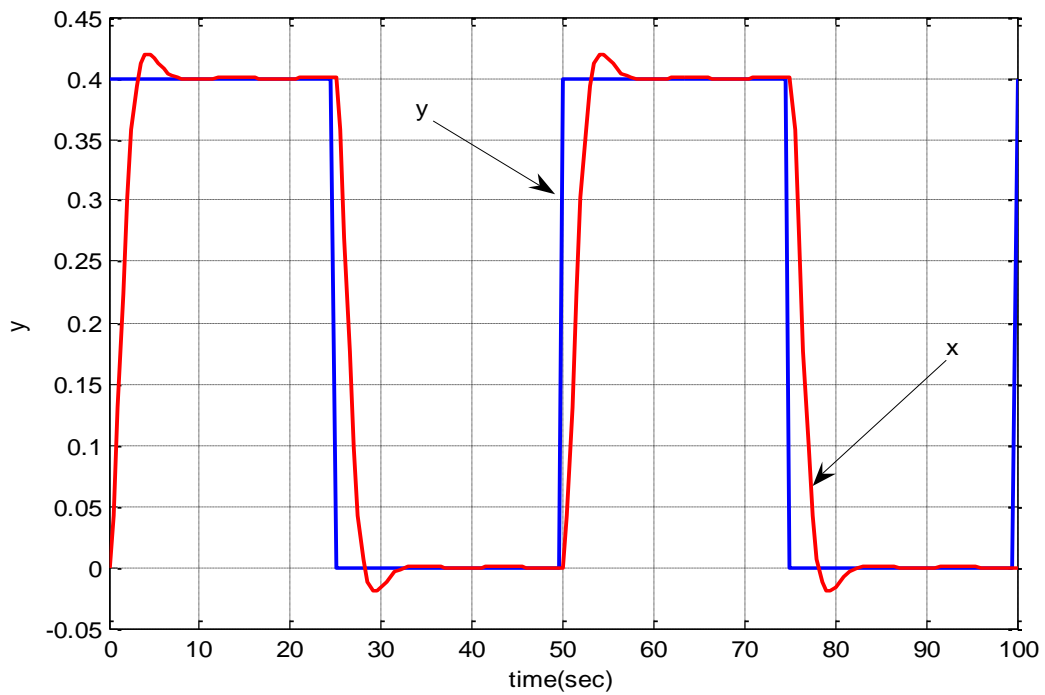


شکل ۳-۷ بلوک دیاگرام سیستم

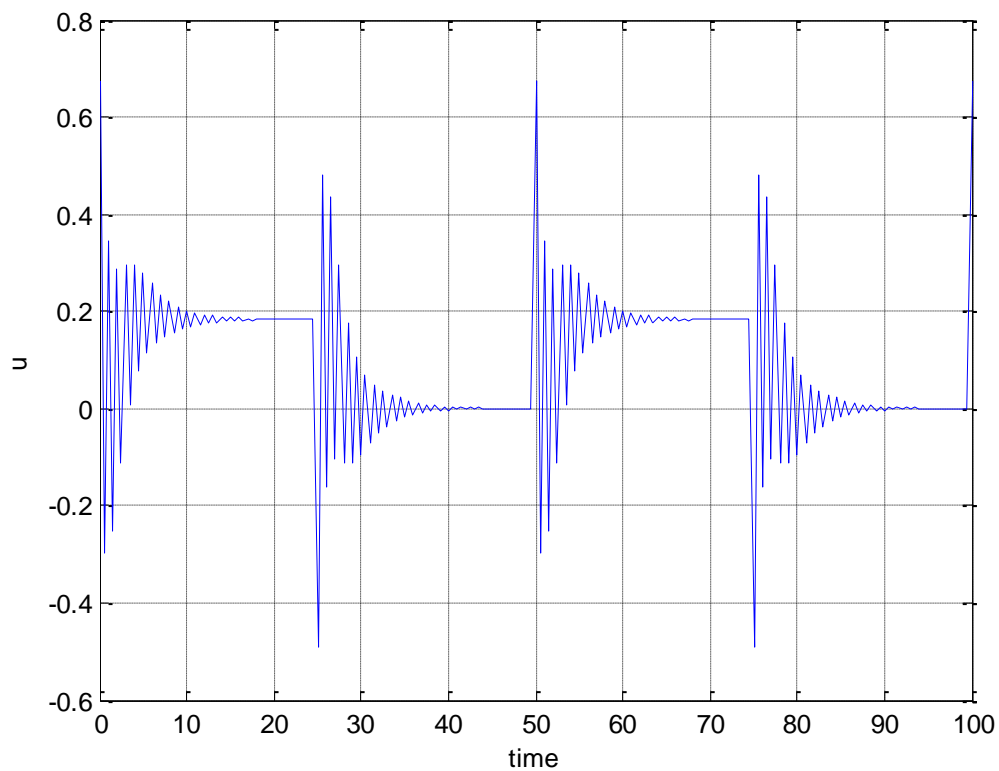
در صورت اجرای شبیه سازی فوق نتایج سیستم خطی و غیرخطی در همسایگی نقطه تعادل بسیار نزدیک به هم خواهد بود.

می بینیم که نوسانات چندان شدید نیست (علیرغم اینکه در اینجا همانند روشهای کنترل مقاوم نوسانات همانند sliding mode ذاتی سیستم بوده) ولی با توجه به اینکه می توانیم actuator را طوری انتخاب کنیم که آستانه اشباع شدن آن بالاتر از مقادیر فوق باشد ، لذا می بینیم که این نوسانات چندان مشکلی ایجاد نخواهد کرد.

نتایج شبیه سازی برای STR غیر مستقیم:



شکل ۳-۸ ۱- خروجی واقعی سیستم، ۲- خروجی مطلوب سیستم



شکل ۳-۹ شکل موج خروجی کنترلر

۳-۳-۲ رگولاتورهای خود تنظیم مستقیم:

محاسبات طراحی در خود تنظیم گرهای غیر مستقیم زمان گیر بوده و موجب تضعیف شرایط برای برخی از مقادیر پارامتر شود. این امکان وجود دارد که بتوان الگوریتمهای دیگری بدست آورد که در آنها محاسبات طراحی، ساده و یا حتی حذف شده باشد. ایده کار، استفاده از معادلات طراحی برای دوباره پارامتریزه کردن بر حسب پارامترهای کنترلگر است.

فرایند توصیف شده با معادله (۳-۱۴) را همراه با $v = 0$ در نظر می گیریم:

$$Ay(t) = Bu(t) \quad (۳-۴۲)$$

و فرض می کنیم پاسخ مطلوب را به کمک معادله (۳-۱۸) داشته باشیم:

$$A_m y_m(t) = B_m u_c(t)$$

حال مدل فرایند بر حسب پارامترهای کنترلگر مجدداً پارامتریزه می شود. برای انجام این کار معادله دیوفانتین، یعنی

$$A_0 A_m = AR' + B^- S$$

را به عنوان یک اتحاد اپراتوری در نظر میگیریم و آن را بر $y(t)$ اعمال می نماییم، از این کار نتیجه می گیریم:

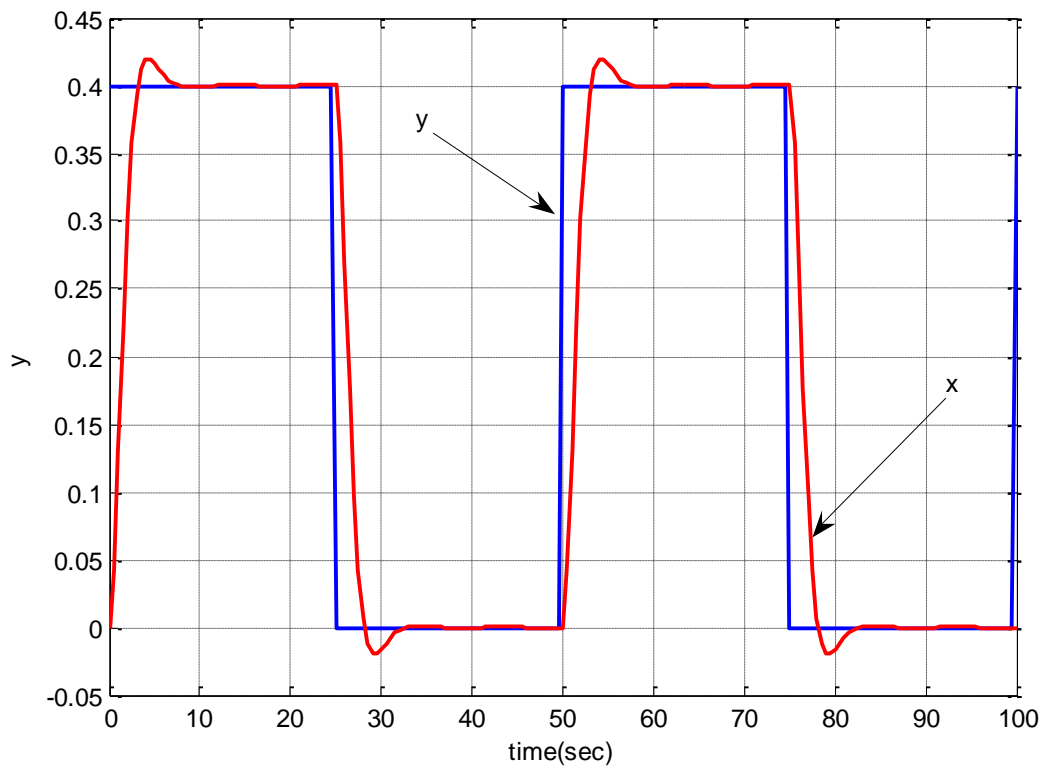
$$A_0 A_m y(t) = R' A y(t) + B^- S y(t) = R' B u(t) + B^- S y(t)$$

از معادله (۳-۲۳) نیز نتیجه می شود که:

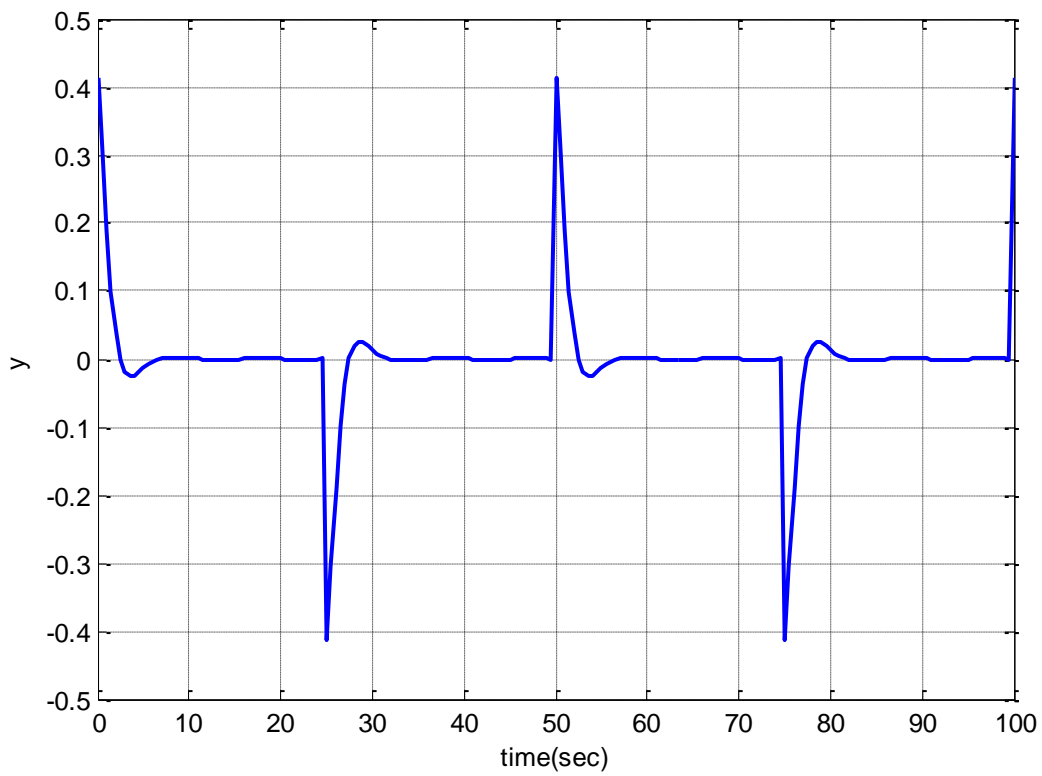
$$A_0 A_m y(t) = B^- (R u(t) + S y(t)) \quad (۳-۴۷)$$

بایستی توجه نماییم که این معادله را می توان یک مدل فرایند در نظر گرفت که بر حسب ضرایب چند جمله ایهای B^- ، R و S پارامتریزه شده است. اگر پارامترهای مدل معادله (۳-۴۶) تخمین زده شود، قانون کنترل به طور مستقیم و بدون محاسبات طراحی بدست خواهیم آورد.

بعد از اعمال قانون کنترل تطبیقی به روش رگولاتورهای خود تنظیم مستقیم نتایج زیر قابل مشاهده خواهد بود:



شکل ۳-۱۰-۱ خروجی واقعی سیستم، y خروجی مطلوب سیستم



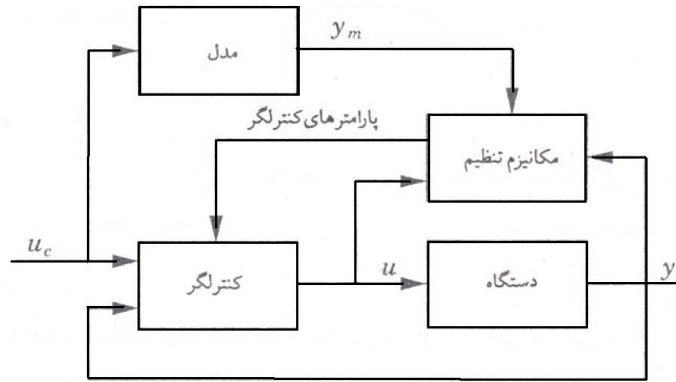
شکل ۳-۱۱ موج خروجی کنترلر در خود تنظیم گر مستقیم

همانطور که ملاحظه میشود در این روش دیگر سیگنال کنترلی دارای حرکت نوسانی نبوده و این یک مزیت نسبت به STR غیر مستقیم می باشد و ضمناً فرا جهش^{۳۰} در این روش نسبت به STR غیر مستقیم کمتر شده است.

یکی از علل عمدهای که سیگنالهای مربعی استفاده مینماییم این است که چون ما طی یک الگوریتم STR داریم یک شناسایی سیستم انجام می دهیم. چنانچه درجه سیستمی که با آن کار میکنیم بالا باشد خوب است که سیگنال سیستم persistent باشد تا مدهای فرکانسی سیستم را بیشتر تقویت نماید مثلاً اگر یک پله اعمال نمودیم ممکن است در یک محدوده خاص از فرکانسهای ذاتی سیستم را تحریک نماید اما سیگنال مربعی بسیاری از فرکانسهای طبیعی سیستم را تحریک می کند و این باعث می شود تا شناسایی بهتری انجام پذیرد. چون سیگنال ما نا دارای قدرت بیشتری می باشد.

۳-۲-۳ کنترل تطبیقی مدل-مرجع (روش دوم):

همانطور که قبلاً نیز عنوان نمودیم سیستم کنترل تطبیقی مدل-مرجع یکی از کنترلگرهای تطبیقی مهم است. این سیستم را می توان بصورت یک سیستم سرو تطبیقی در نظر گرفت، که در آن عملکرد مطلوب بر حسب مدل مرجعی که به سیگنال فرمان پاسخ مطلوب می دهد بیان شده است در این قسمت روش پیشنهادی را با استفاده از کنترل تطبیقی مدل-مرجع اعمال می نماییم. که در این راه نیاز به معرفی یک قاعده مهم خواهیم داشت.



شکل ۳-۱۲ نمودار بلوکی سیستم تطبیقی مدل مرجع

۳-۲-۱) قاعده MIT^{۳۱} :

قاعده MIT روش اصلی کنترل تطبیقی مدل-مرجع است. نام این قاعده بر اساس این واقعیت است که این روش اولین بار در آزمایشگاه ابزار دقیق در MIT مطرح شده است.

برای ارائه قاعده MIT، یک سیستم حلقه بسته را در نظر می‌گیریم که در آن کنترلگر دارای یک پارامتر قابل تنظیم θ است. پاسخ حلقه-بسته مطلوب به کمک مدلی با خروجی y_m مشخص می‌شود. فرض کنید e خطای بین خروجی y سیستم حلقه-بسته و خروجی y_m مدل باشد. یک امکان، تنظیم پارامتر به گونه ای است که تابع تلف زیر کمینه گردد

$$J(\theta) = \frac{1}{2} e^2 \quad (۴۸-۳)$$

برای کوچک کردن J ، منطقی به نظر می‌رسد که پارامترها در جهت گرادیان منفی J تغییر دهیم، در نتیجه

$$\frac{d\theta}{dt} = -\lambda e \frac{\partial e}{\partial \theta} \quad (۴۹-۳)$$

³¹ Massachusetts Institute of Technology

رابطه فوق همان قاعده معروف MIT است. مشتق جزئی $\frac{\partial e}{\partial \theta}$ که مشتق حساسیت نامیده می شود بیانگر نحوه تأثیر پذیری خطا از پارامترهای قابل تنظیم است. اگر فرض شود که پارامترها بسیار آهسته تر از سایر متغیرهای سیستم تغییر می کنند، مشتقات $\frac{\partial e}{\partial \theta}$ تحت شرایط بودن θ ، قابل محاسبه هستند. [23]

۳-۳-۲-۲) روش MRAS

سیستمی را در نظر می گیریم که با مدل زیر مشخص شود:

$$\frac{dy}{dt} = -ay + bu \quad (50-3)$$

که در آن u متغیر کنترل و y خروجی اندازه گیری شده است. فرض کنیم می خواهیم سیستم حلقه-بسته مطلوب با این معادله مشخص نماییم:

$$\frac{dy_m}{dt} = -a_m y_m + b_m u_c$$

ضمناً فرض کنیم کنترلر به صورت زیر باشد:

$$u(t) = \theta_1 u_c(t) - \theta_2 y(t) \quad (51-3)$$

کنترلر دارای دو پارامتر است. اگر این پارامترها به صورت زیر انتخاب کنیم:

$$\theta_1 = \theta_1^0 = \frac{b_m}{b} \quad (52-3)$$

$$\theta_2 = \theta_2^0 = \frac{a_m - a}{b}$$

رابطه ورودی-خروجی سیستم و مدل مانند یکدیگر خواهد بود. این موضوع تعقیب-مدل کامل نامیده می شود.

برای اعمال قاعده MIT، خطای زیر را در نظر میگیریم:

$$e = y - y_m$$

که y بیانگر سیستم حلقه-بسته است. از معادلات (50-3) و (51-3) خواهیم داشت:

$$y = \frac{b\theta_1}{p+a+b\theta_2} u_c$$

در این معادلات p اپراتور دیفرانسیل است. با گرفتن مشتقات جزئی نسبت به پارامترهای کنترلگر (θ_1 و θ_2) مشتقات حساسیت را بدست می آوریم:

$$\frac{\partial e}{\partial \theta_1} = \frac{b}{p+a+b\theta_2} u_c$$

$$\frac{\partial e}{\partial \theta_2} = \frac{-b}{p+a+b\theta_2} y$$

به دلیل نا معلوم بودن پارامترهای فرایند (a و b)، معادلات فوق بطور مستقیم قابل استفاده نیست. بنابراین لازم است از تقریب استفاده نماییم. یک تقریب ممکن است بر این اساس مشاهده شود که وقتی پارامترها تعقیب کامل مدل را نتیجه دهد تساوی $p+a+b\theta_2^0 = p+a_m$ برقرار است. بنابراین از تقریب زیر استفاده می کنیم:

$$p+a+b\theta_2 \approx p+a_m$$

با استفاده از این تقریب معادلات زیر برای بهنگام کردن پارامترهای کنترلگر به دست می آید:

$$\frac{d\theta_1}{dt} = -\gamma \left(\frac{a_m}{p+a_m} u_c \right) e \quad (53-3)$$

$$\frac{d\theta_2}{dt} = \gamma \left(\frac{a_m}{p+a_m} u_c y \right) e$$

و اما گفتیم که روش گرادیان یک روش اساسی در تئوری تطبیق مدل مرجع می باشد که بر پایه حداقل سازی شاخص عملکردی مربعی درجه دوم می باشد.

$$J(\theta) = \frac{1}{2} e^2(KT, \theta) \quad (54-3)$$

که $e(KT, \theta) = y(KT, \theta) - y_m(KT)$ خطای بین خروجی سیستم و خروجی مدل مرجع می باشد به منظور کمینه سازی شاخص عملکردی، بردار پارامتری θ از کنترل کننده تنظیم پذیر، باید در جهت مخالف از گرادیان $\frac{\partial J}{\partial \theta}$ تغییر کند بنا بر این قانون تطبیقی در حالت گسسته به صورت زیر خواهد بود.

$$\theta(KT+T) = \theta(KT) - \gamma \frac{\partial J(KT, \theta)}{\partial \theta} = \theta(KT) - \gamma e(KT, \theta) \frac{\partial e(KT, \theta)}{\partial \theta} \quad (55-3)$$

که مشتق جزئی $\frac{\partial e(KT, \theta)}{\partial \theta}$ ، مشتق حساسیت نامیده میشود.

که γ بهره تطبیق می باشد

بحث پیرامون اتحاد روشهای STR و MRAS

برای مدت طولانی سیستمهای تطبیقی مدل - مرجع و رگولاتورهای خود تنظیم به عنوان دو مبحث کاملاً متفاوت در کنترل تطبیقی در نظر گرفته می شدند در این قسمت نشان خواهیم داد که این دو روش بطور نزدیکی با هم ارتباط دارند نکته کلیدی اینکه خود تنظیم گرههای مستقیمی را که در آنها صفرهای فرایند حذف می شوند را میتوان به عنوان یک MRAS در نظر گرفت. [23]

همانطور که میدانیم قانون تنظیم برای بهنگام کردن پارامترها را می توان بصورت زیر نوشت:

$$\frac{d\theta}{dt} = \gamma \varphi_f \varepsilon \quad (56-3)$$

که φ_f بردار رگرسیون فیلتر شده و ε خطای افزوده به شکل زیر است:

$$\varepsilon = \frac{Q}{P}(y - y_m) + \frac{b_0 Q}{A_0 A_m} \eta \quad (57-3)$$

حال اگر خود تنظیم گر مستقیم زمان - گسسته را در نظر بگیریم . وقتی که همه صفرهای فرایند حذف شود، چند جمله ای B^- ، یک ثابت است و مدل فرایند زیر را داریم:

$$y(t) = \varphi_f^T(t - d_0) \theta \quad (58-3)$$

در الگوریتم مستقیم، پارامترهای تخمینی با پارامترهای کنترلگر برابر است . از این رو می توان با استفاده از مانده ذیل ، از روش حداقل مربعات برای تخمین استفاده کرد:

$$\varepsilon(t) = y(t) - \hat{y}(t) = y(t) - \varphi_f^T(t - d_0) \hat{\theta}(t-1) \quad (59-3)$$

بنابر این پارامترهای بهنگام شده را می توان به صورت زیر نوشت :

$$\hat{\theta} = \hat{\theta}(t-1) + P(t) \varphi_f^T(t - d_0) \varepsilon(t) \quad (60-3)$$

مقدار مانده با عبارت ذیل نشان داده می شود :

$$\varepsilon(t) = y(t) - \hat{y}(t) = y(t) - y_m(t) + y_m(t) - \hat{y}(t) = e(t) + \eta(t) \quad (61-3)$$

مقایسه معادلات (56-3) و (60-3) نشان می دهد که معادله (60-3) را میتوان به عنوان حالت زمان - گسسته معادله (56-3) تعبیر کرد . توجه کنید که بهره γ در MRAS با ماتریس $p(t)$ جایگزین می شود . این ماتریس جهت گرادیان φ_f را تغییر داده ، طول گام مناسبی را نتیجه می دهد . همچنین توجه کنید که از معادله (61-3) نتیجه می شود که افزونی خطا برابر با $y - \hat{y}$ است . بنابر این خطای افزوده ای که یافتن آن در روش MRAS نیاز به ابتکار بالایی دارد، مستقیماً از معادلات حداقل مربعات STR به دست می آید در MRAS به

فیلتر از بیشتری نیاز است زیرا مساله، در زمان پیوسته فرموله شده است. توجه شود که از معادلات (۳-۶۱) نتیجه می شود که:

$$\varphi_t^T(t-d_0) = -grad_{\theta} \varepsilon(t) \quad (۳-۶۲)$$

بردار $\varphi_t^T(t-d_0)$ را می توان به عنوان مشتق حساسیت خطای پیش بینی ε نسبت به پارامتر تعبیر کرد. بنابر این بهنگام کردن پارامتر معادله (۳-۶۱)، صورت زمان گسسته قاعده MIT است. تفاوت اصلی آن این است که مدل خطای $e(t) = y(t) - y_m(t)$ با خطای پیش بینی $\varepsilon(t)$ جایگزین می شود توجه شود که در روشهایی که بر شناسایی استوارند، مانند کنترلر های خود تنظیم، بطور طبیعی سعی میکنیم به شکل زیر برسیم:

$$y(t) = \varphi_f^T \theta \quad (۳-۶۳)$$

با استفاده از روش مدل- مرجع می توانیم مدلی به شکل زیر داشته باشیم:

$$y(t) = G(p)(\varphi_f^T \theta) \quad (۳-۶۴)$$

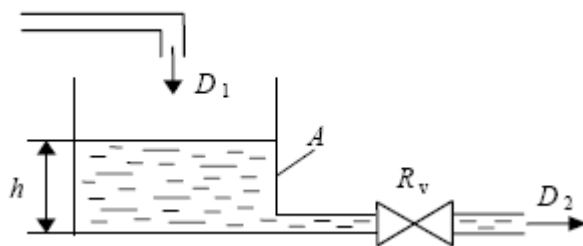
که در آن $G(p)$ ، SPR است. بنابر این بطور خلاصه در می یابیم که الگوریتم های از نوع MRAS را می توان به روش سر راستی، مانند رگولاتور خود تنظیم مبتنی بر طراحی جایابی قطب حداقل درجه با استفاده از حذف چند جمله های کامل B، به دست آورد.

هدف از ارایه بحث فوق این است که نشان دهیم این دو روش معادل می باشند و به این ترتیب برای روش اخیر یک سیستم دیگر را پیاده می نمایم

سیتم ۲:

سیستم با یک متغیر حالت زیر را مطابق شکل در نظر میگیریم.

مدل سازی غیر خطی سیستم:

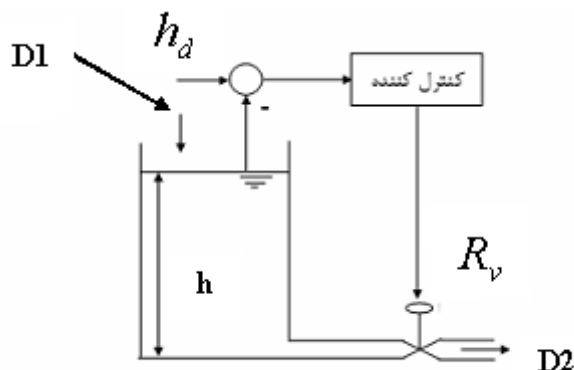


شکل ۳-۱۳ سیستم کنترل سطح هیدرولیکی تک ورودی تک خروجی

اگر مخزن زیر را با سطح مقطع یکسان در نظر بگیریم، جریان سیال ورودی D1 به آن وارد شود و توسط یک شیر کنترل خروجی آن تنظیم شود و بخواهیم عملیات کنترل سطح مخزن را انجام دهیم

ورودی کنترلی ما میزان جابجایی سوزن شیر R_v و جریان ورودی اغتشاشی D1 می باشد. و خروجی مورد نظر سیستم نیز ارتفاع مخزن می باشد

در سیستم فوق D1 دبی ورودی و D2 دبی خروجی ارتفاع را می توان بعنوان پارامترهای واسط در نظر گرفت که در اینجا h خروجی کنترلی ما می باشد



شکل (۳-۱۴) مدل سازی ارتفاع آب در یک مخزن

تغییرات حجم مایع مخزن = حجم خروجی مایع از مخزن - حجم ورودی مایع به داخل مخزن
همانطور که میدانیم فشار آب در هر نقطه معادل وزن ستون مایع بالای آن نقطه می باشد

$$P = P_0 + \rho gh \quad (۳-۶۵)$$

که P_0 فشار اتمسفر یا فشار گاز فوقانی روی مایع مخزن است،

شیر کنترل گفته شده است جریان عبوری از یک گذرگاه متناسب با مجذور فشار دو طرف آن متناسب با سطح عبوری سیال در گذرگاه می باشد

$$D \propto A \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad (۳-۶۶)$$

اگر فرض کنیم شیر کنترلی دارای سطح کنترل شونده ای بوده که متناسب با حرکت سوزن شیر تغییر کند. در این صورت می توان نوشت:

$$D = C' \cdot u \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad (۳-۶۷)$$

اگر تمام ثابت ها را در هم ضرب کنیم خواهیم داشت:

$$D = C \cdot u \sqrt{\Delta P} \quad (۳-۶۸)$$

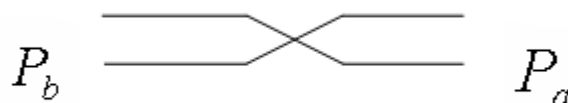
حال از بقای جرم به مدلسازی خواهیم پرداخت:

$$\dot{V} = A \frac{dh}{dt} = D1 - D2 \quad (۶۹-۳)$$

از طرفی داریم:

$$D2 = C \cdot u \sqrt{\Delta P} = Cu \sqrt{P_b - P_a}$$

$$P_b = P_0 + \rho gh \text{ و } P_a = P_0$$



$$D2 = C' u \sqrt{\rho gh} = Cu \sqrt{h} \quad (۷۰-۳)$$

لذا معادله حاکم بر سیستم عبارت است از:

$$\frac{dh}{dt} = \frac{D1}{A} - \frac{Cu \sqrt{h}}{A} \quad (۷۱-۳)$$

که این یک معادله غیر خطی می باشد

خطی سازی مدل غیر خطی حول نقطه کار:

نقطه تعادل را به ازای $h = h_d$ و $D1^* = D_d$ محاسبه می نماییم و مدل خطی حول نقطه تعادل را بدست می آوریم.

ابتدا مدل غیر خطی سیستم را یک بار دیگر می نویسیم

$$\dot{h} = \frac{D1}{A} - \frac{Cu \sqrt{h}}{A} \quad (۷۲-۳)$$

لذا تابع غیر خطی عبارتست از :

$$F(h, u, D1) = \frac{D1}{A} - \frac{Cu \sqrt{h}}{A} \quad (۷۳-۳)$$

جهت خطی سازی ابتدا نقطه تعادل را تعیین میکنیم

فرض میکنیم نقطه کار مورد نظر $h^* = h_d$ به ازای ورودی مورد نظر ثابت $D1^* = D_d$ باشد لذا:

$$0 = -\frac{C}{A} u^* \sqrt{h_d} + \frac{D_d}{A} \Rightarrow u^* = \frac{D_d}{C \sqrt{h_d}} \quad (۷۴-۳)$$

حال ژاکوبین ها را تعیین میکنیم

$$\frac{\partial f}{\partial h} = -\frac{C}{2A} \frac{u}{\sqrt{h}} \Rightarrow \left. \frac{\partial f}{\partial h} \right|_* = -\frac{C}{2A} \frac{D_d}{C \sqrt{h_d}} \cdot \frac{1}{\sqrt{h_d}} = -\frac{D_d}{2A h_d}$$

$$\frac{\partial f}{\partial u} = -\frac{C}{A} \sqrt{h} \Rightarrow \left. \frac{\partial f}{\partial u} \right|_* = -\frac{C}{A} \sqrt{h_d} \quad (۷۵-۳)$$

$$\frac{\partial f}{\partial D_d} = \frac{1}{A} \Rightarrow \left. \frac{\partial f}{\partial D_d} \right|_* = \frac{1}{A}$$

لذا معادله حالت تغییرات عبارت است از:

$$\Delta \dot{h} = \left(\frac{D_d}{2A h_d} \right) \Delta h - \left(\frac{C}{A} \sqrt{h_d} \right) \Delta u + \frac{1}{A} \Delta D_d \quad (۷۶-۳)$$

برای مینیمایز کردن تابع هزینه $J(\theta)$ با استفاده از قضیه مقدار اکسترمم و مدل تفاضلی θ ،

$$\theta(KT+T) = \theta(KT) - \gamma \frac{\partial J(KT, \theta)}{\partial \theta} = \theta(KT) - \gamma e(KT, \theta) \frac{\partial e(KT, \theta)}{\partial \theta} \quad (۷۷-۳)$$

همچنین باید گفت برای سیستم درجه یک تک ورودی و تک خروجی، معادله دیفرانسیل بصورت زیر توصیف می شود.

$$y(KT, T) = -ay(KT) + bu(KT)$$

و برای سیستم حلقه بسته خواهیم داشت:

$$y_m(KT+T) = -a_m y_m(KT) + b_m \omega(KT) \quad (۷۸-۳)$$

که $\omega(KT)$ ورودی مرجع کراندار و $y_m(KT)$ خروجی مدل مرجع می باشد.

و در این صورت ردیابی مدل مرجع با قانون کنترل زیر قابل دستیابی خواهد بود.

$$u(KT) = -f(KT)y(KT) + g(KT)\omega(KT) \quad (۷۹-۳)$$

$$g(kT+T) = g(kT) - \gamma e(kT) \frac{\partial e(kT)}{\partial g} = g(kT) - \gamma \frac{q^{-1}}{1+a_m q^{-1}} \omega(kT)e(kT)$$

$$f(kT+T) = f(kT) - \gamma e(kT) \frac{\partial e(kT)}{\partial f} = f(kT) + \gamma \frac{q^{-1}}{1+a_m q^{-1}} y(kT)e(kT) \quad (۸۰-۳)$$

مدل مورد استفاده:

اگر یک سیستم کنترل سطح مایع را با معادله زیر توصیف کنیم جایی که y خروجی سیستم به عنوان سطح مایع و u به عنوان پارامتر کنترل D (دبی) است

$$\dot{y} = -0.625y + u \quad (۸۱-۳)$$

که هدف ما از کنترل، تطبیق خروجی سیستم با سیستم ایده ال زیر خواهد بود:

$$\dot{y}_m = -2y_m + 2w \quad (۸۲-۳)$$

که w ورودی سیستم مرجع می باشد

$$\begin{cases} \dot{y} = -0.625y + u \\ \dot{y}_m = -2y_m + 2w \end{cases}$$

روند گسسته سازی سیستم و مدل با استفاده از روش zoh:

$$\dot{y} = \frac{y(KT + T) + y(KT)}{T}$$

$$y(KT + T) = -0.625Ty(KT) + Tu + y(kT)$$

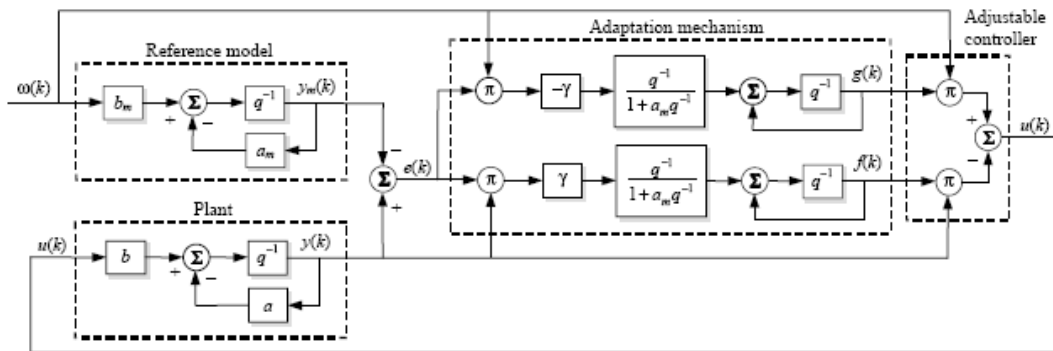
با گسسته سازی مدل سیستم (۸۱-۳) و مدل مرجع (۸۲-۳) با فاصله نمونه برداری یک دهم دقیقه مدل سیستم گسسته زمان و مدل مرجع مطابق زیر خواهد شد

$$y(KT, T) = 0.9394y(KT) + bu(KT) \quad (۸۳-۳)$$

$$y_m(KT + T) = 0.8187y_m(KT) + 0.1813w(KT) \quad (۸۴-۳)$$

که مطابق رویه طراحی سیستم کنترل تطبیقی بر پایه روش گرادیان و معادلات بیان شده در بالا قانون کنترل مطابق (۷۹-۳) خواهد بود

بلوک دیاگرام سیستم کنترل تطبیقی مدل مرجع بر مبنای قائده MIT را میتوانیم بصورت شکل زیر نشان دهیم:



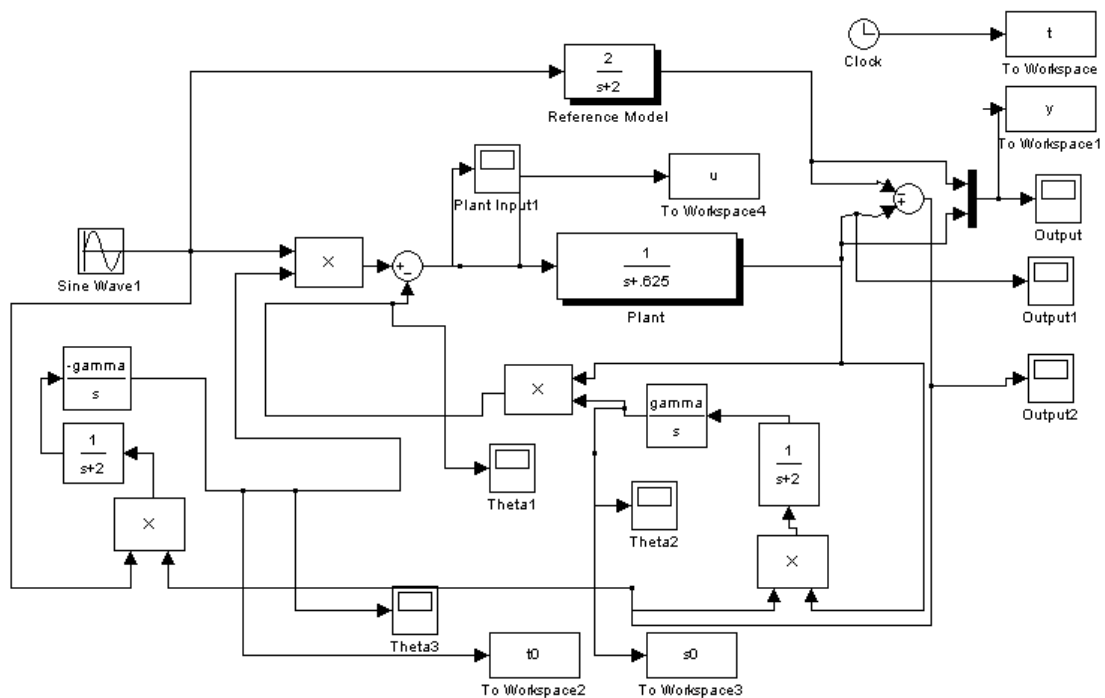
شکل ۳-۱۵ بلوک دیاگرام سیستم کنترل تطبیقی بر اساس MIT دیجیتالی شده

$$\frac{g}{\alpha} = \frac{q^{-1}}{1 + q^{-1}}$$

$$g(k) + g(k-1) = \alpha(k-1)$$

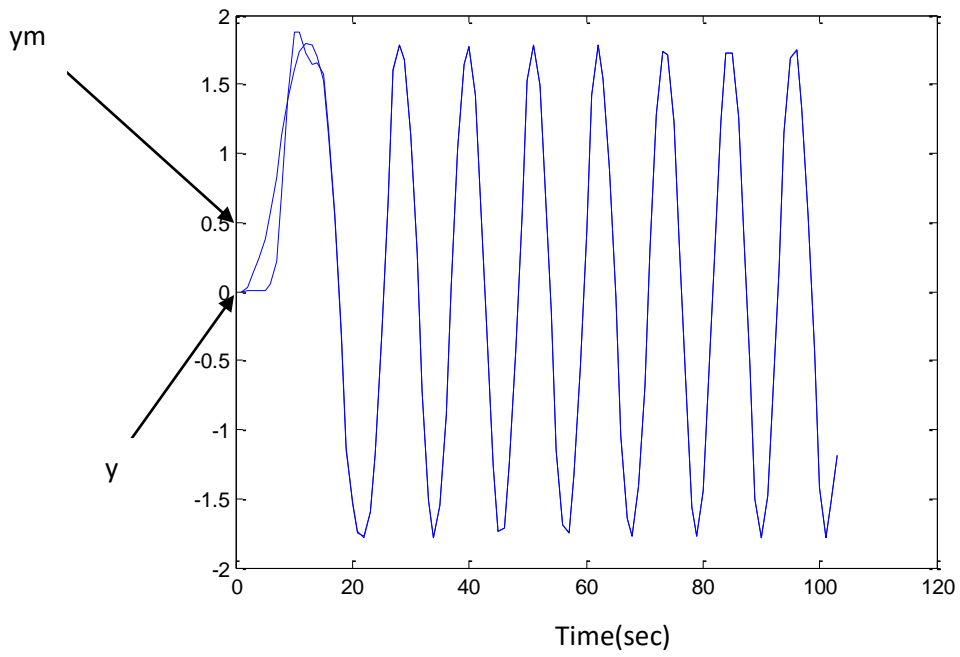
$$g(k) = \alpha(k-1) + g(k-1)$$

نتایج شبیه سازی:

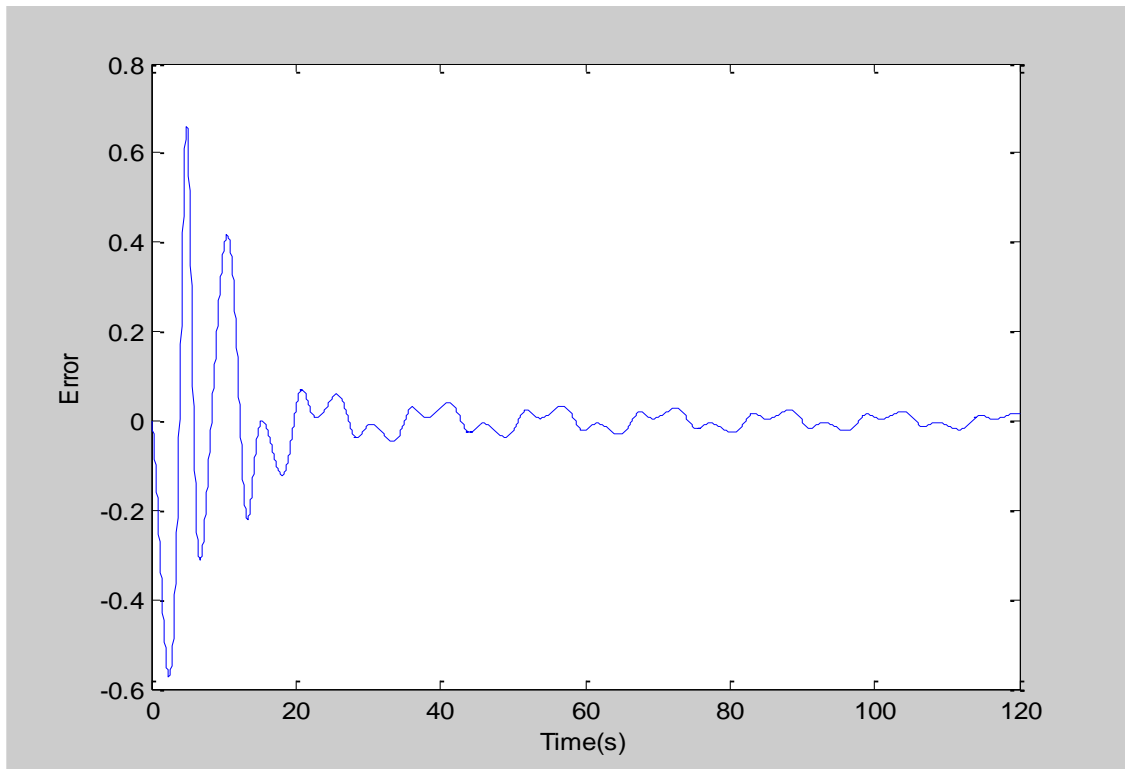


شکل ۳-۱۶ بلوک دیاگرام سیستم کنترل تطبیقی بر اساس MIT دیجیتالی شده

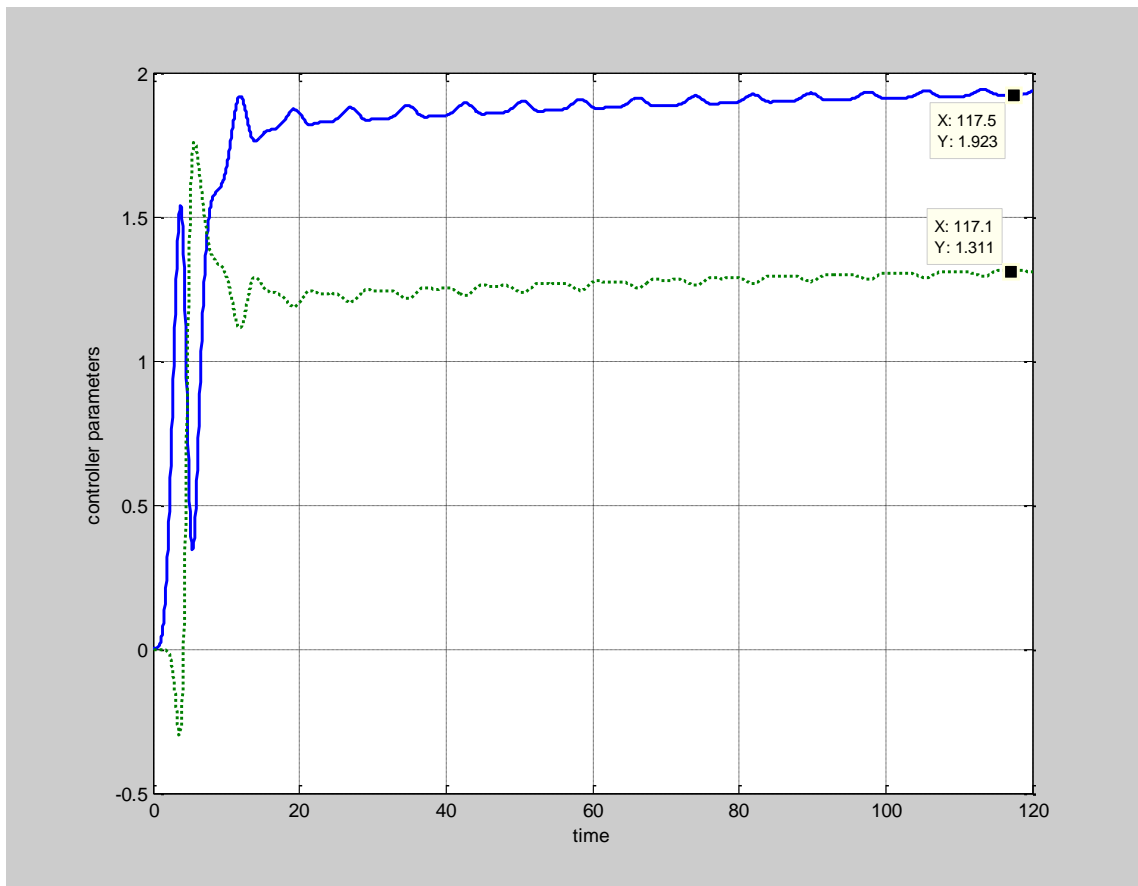
همانطور که ملاحظه می شود خروجی های مختلف بر اساس ورودی های مختلف برای سیستم فوق در شکل های زیر نشان داده شده اند. هم ورودی های سینوسی وهم مربعی به سیستم اعمال شده است و میبینیم که خروجی در زمان کمی ردگیری را انجام داده است..



شکل ۳-۱۷ شبیه سازی خروجی سیستم تطبیقی با ورودی سینوسی به ضریب تطبیقی 0.005
 y_m سیگنال سینوسی مرجع سیگنال خروجی



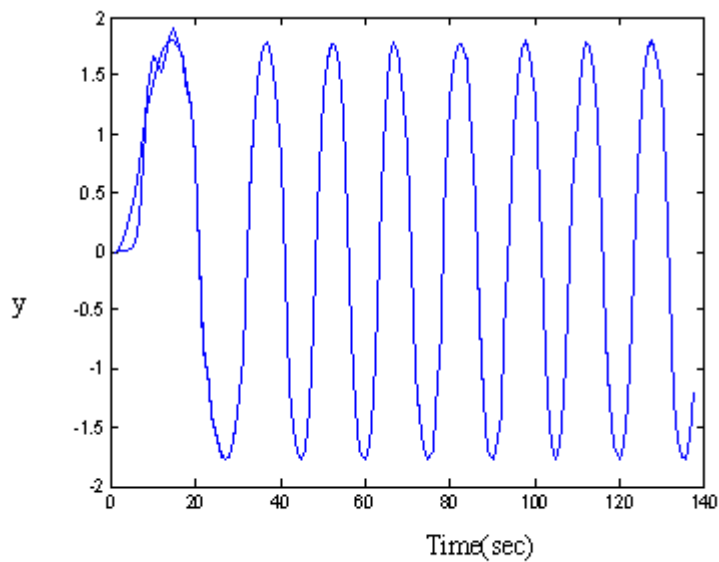
شکل ۳-۱۸ شبیه سازی خطای سیستم



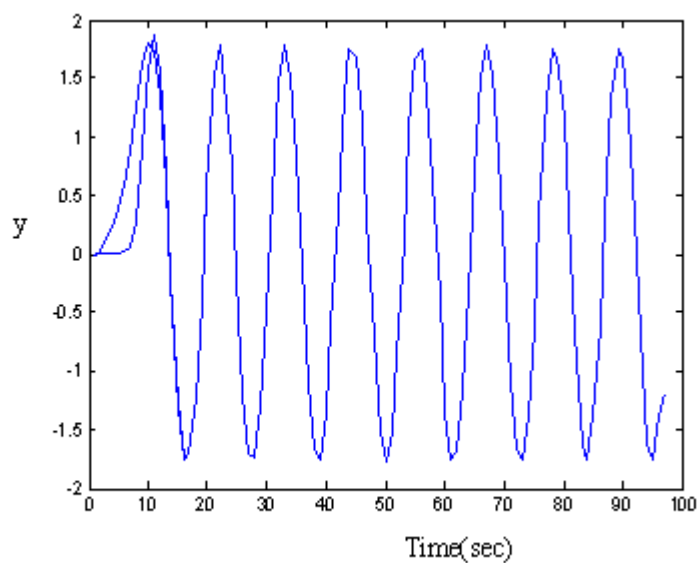
شکل ۳-۱۹ شبیه سازی پارامترهای کنترلر

نکته : همانطور که قبلا نیز متذکر شده ایم در اینجا ما تغییرات را کوچک در نظر گرفته ایم (5cm) و وقتی که یک سیگنال سینوسی را طوری تنظیم کنیم که پیک تا پیک آن در فاصله رنج تغییرات ما (5cm) قرار بگیرد خود بخود مسئله Tracking حل شده است. و وقتی که در رنج $\pm 5cm$ کار میکنیم هر سیگنال در محدوده خطی به ورودی اعمال کنیم دقیقا مشابه آنرا در خروجی خواهیم داشت. مثلا اگر یک پله اعمال نمودیم ممکن است در یک محدوده خاص از فرکانسهای ذاتی سیستم را تحریک نماید اما سیگنال سینوسی

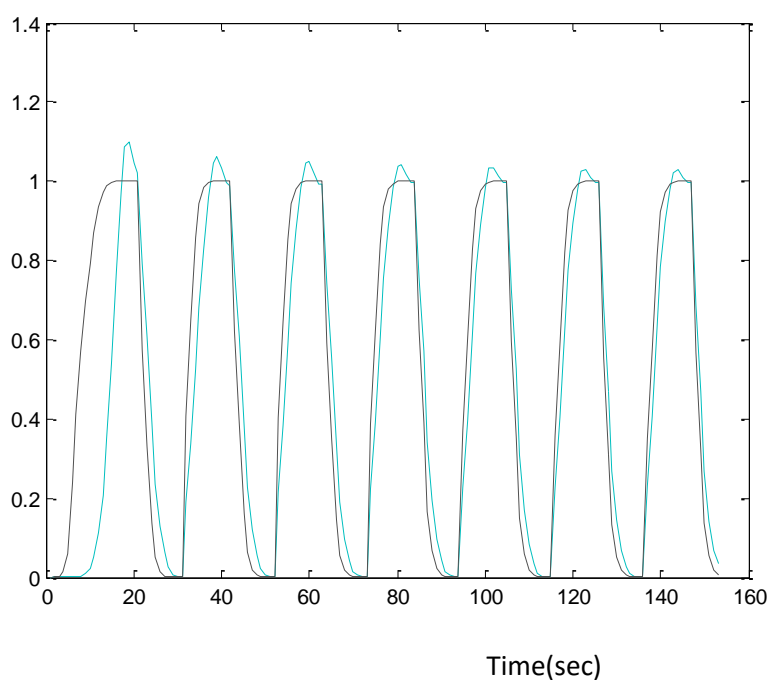
PRBS کل فرکانسهای طبیعی سیستم را تحریک می کند. چون سیگنال مانا دارای قدرت بیشتری می باشد.



شکل ۳-۲۰ شبیه سازی خروجی سیستم تطبیقی با ورودی سینوسی به ضریب تطبیقی 0.02



شکل ۳-۲۱ شبیه سازی خروجی سیستم تطبیقی با ورودی سینوسی به ضریب تطبیقی 0.05

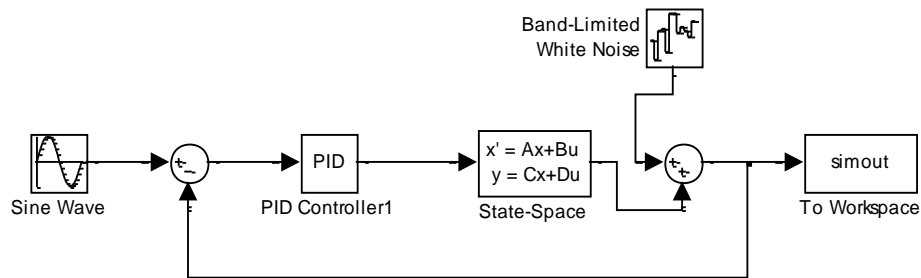


شکل ۳-۲۲ شبیه سازی خروجی سیستم تطبیقی با ورودی مربعی

به عبارت دیگر وهمانگونه که در شبیه سازی ها مشاهده می شود با تغییر ضریب تطبیق سرعت همگرایی مدل واقعی به مدل مرجع تغییر می کند.

شبیه سازی ها نشان می دهد که ردگیری مناسب از مدل مرجع بعد از یک یا دو پریود حاصل می شود.

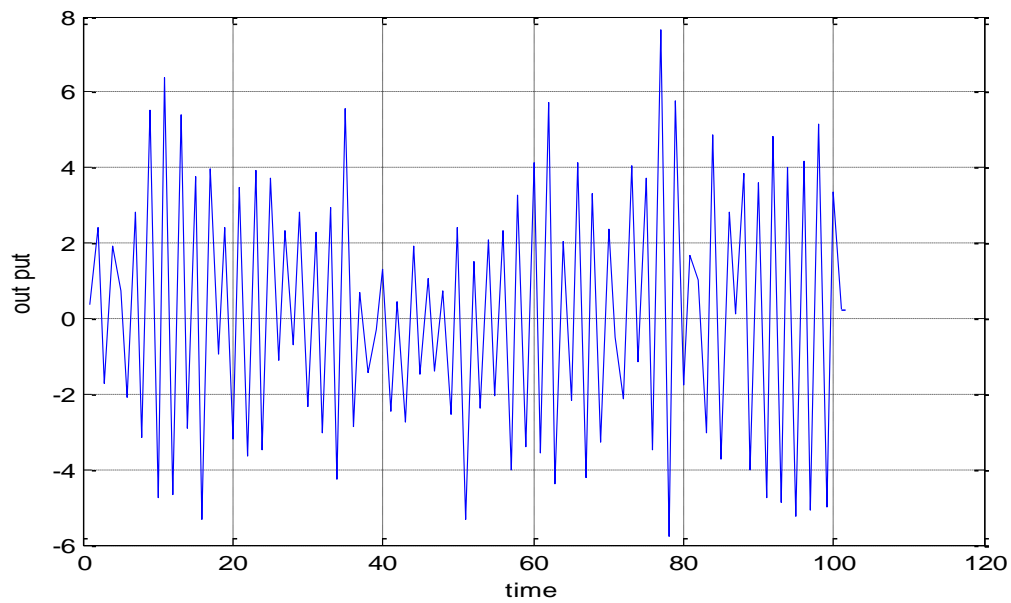
اجرای روش PID



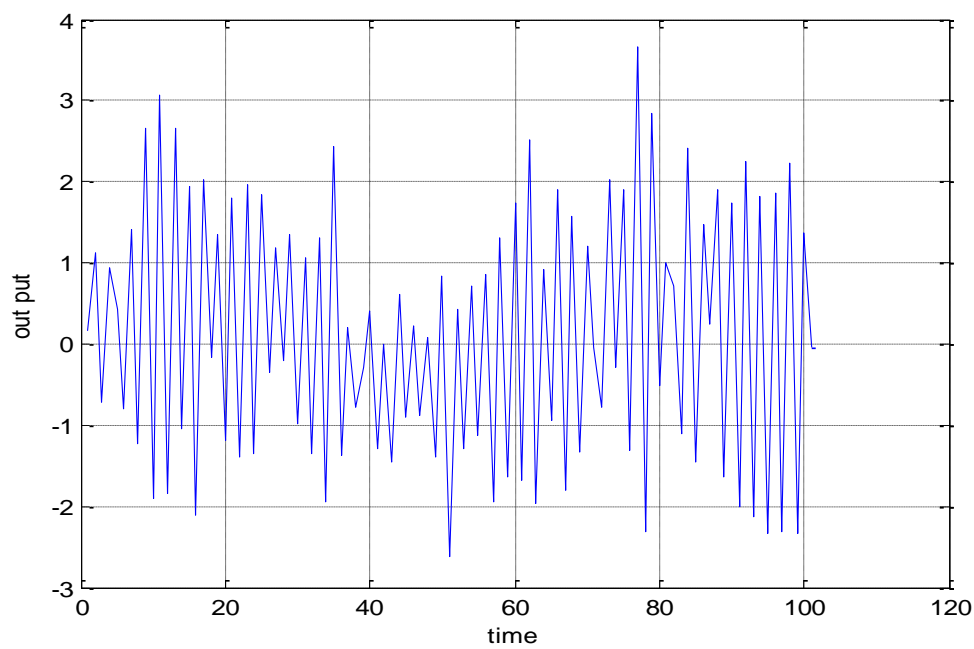
شکل ۳-۲۳ بلوک دیاگرام سیمولینک PID با مدل حالت دو بعدی

ما برای در نظر گرفتن عدم قطعیتها در سبیه سازی با کنترلر PID یک نویز سفید باند محدود با انرژی های مختلف به صورت جمع شونده با خروجی در نظر گرفته ایم که معادل این صحبت دینامیک های مدل نشده بصورت عدم قطعیت داخلی در روش STR وجود دارد.

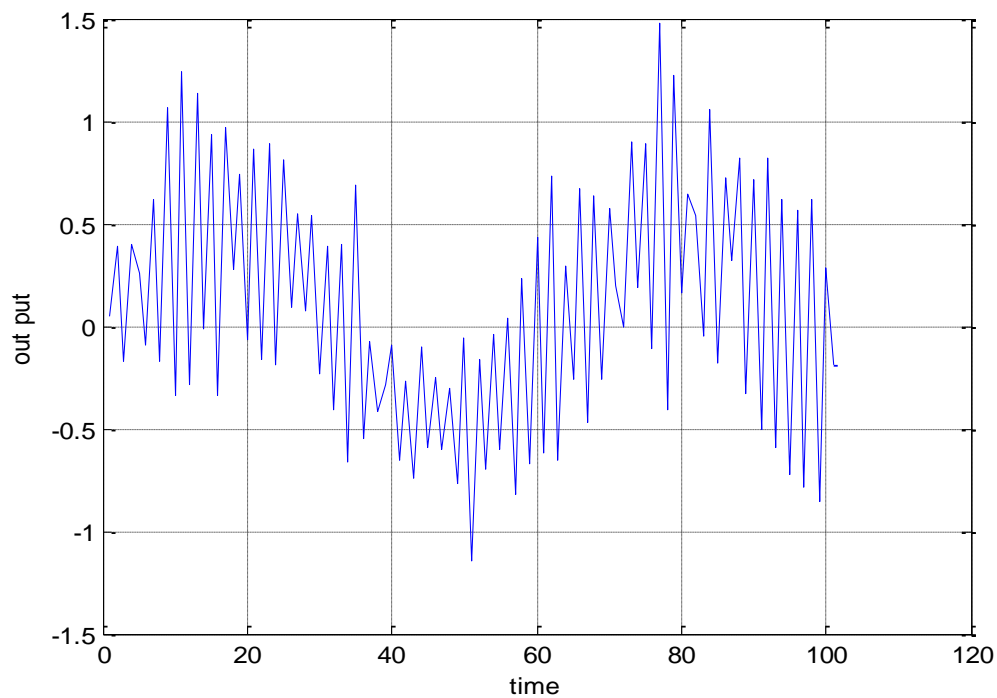
خروجی سیستم به ازای سه عدد noise power متفاوت



شکل ۳-۲۴ خروجی سیستم با 0.2 سیگنال ورودی



شکل ۳-۲۵ خروجی سیستم با 0.02 سیگنال ورودی



شکل ۳-۲۶ خروجی سیستم با 0.002 سیگنال ورودی

همانطور که دیده میشود حتی با انرژی خیلی کم نویز هم باز خروجی بصورت قابل ملاحظه ای دچار اعوجاج می شود که با مقایسه شکلها مزیت روش پیشنهادی بر PID روشن می شود .
 ضمناً تنظیم کردن پارامترهای PID با استفاده از روش زیگلر نیکولز انجام شده است.

فصل چهارم

جمع بندی

جمع بندی مطالب

تاکنون همه مدل‌هایی که برای سیستم هیدرولیکی کنترل سطح در نظر گرفتیم خطی مستقل از زمان فرض کردیم که از نقطه نظر عملی فرض بجا و منطقی است. از فصول گذشته چند نتیجه مهم زیر بطور خلاصه آورده میشود:

۱. دلیل در نظر گرفتن کنترل سطح تانک به عنوان مطالعه موردی ، اهمیت فوق العاده این حلقه کنترلی در بسیاری از ساختارهای یک نیروگاه نوعی است.
۲. بسیاری از روشهای کنترلی که برای کنترل سطح تاکنون پیشنهاد شده است و حتی بیش از نود درصد سیستمهای کنترل سطح عملی نیز جزئی مسائل تنظیم (سیگنال مرجع مقدار ثابتی است) است؛ در این پروژه سعی شده است یک روش تطبیقی برای دنبال کردن یک سطح متغیر ارائه شود. لزوم استفاده از کنترل تطبیقی در فصل سوم به طور مفصل توضیح داده شده است.
۳. در نوشتن برنامه هایی که بوسیله نرم افزار مطلب تهیه شده است در هر حلقه شرطی بهره های کنترلی به صورت بهینه محاسبه شده اند که این ساز و کار باعث تولید یک کنترلر بهینه از نظر ساختار درونی شده است.

پیشنهادهات

اما به عنوان چند پیشنهاد که می تواند در ادامه این کار انجام شود به نکات زیر اشاره می شود:

۱. تدبیری برای مقاوم سازی ایده ارائه شده اندیشیده شود. این کار به دو طریق قابل انجام است. یکی اینکه الگوریتم کنترل تطبیقی به طریقی تغییر داده شود که مقاومت را نیز شامل شود که البته در اینصورت با یک روش " تطبیقی مقاوم" مواجه خواهیم بود که ماهیتا با کنترل تطبیقی متفاوت است. یک روش دیگر این است که با در نظر گرفتن یک نامعینی ضربی برای دینامیکهای مدل نشده سیستم واقعی از تکنیک کنترل مقاوم برای حصول پایداری مقاوم و کارایی مقاوم استفاده کرد
۲. تحلیل طیفی برای آنالیز پایداری سیستم خطی مستقل از زمان از این لحاظ که می تواند اثرات نویز را هم در نظر بگیرد مفید خواهد بود.
۳. یک راه جبری مناسب برای بررسی بهینگی روش کنترلی استفاده از برنامه ریزی پویا می باشد که هرگاه به روشهای فرایندهای اتفاقی تلفیق شود نتایج جالبی حاصل خواهد شد.

۲-۴ منابع

[1] D.D.Banks & D.S.Banks "Industrial Hydraulic Systems An Introduction" Prentice Hall-1988

(۲) تالیف دکتر سلطانی تجهیزات نیروگاه دانشگاه تهران ۱۳۷۰

[3] Merrit H.E., *Hydraulic control systems*, John Wiley & sons, New York, 1967

(۴) صنعتی تالیف سید حجت سبزو پویشان اصول و اجزا کنترل - تهران دانشگاه علم و صنعت، ۱۳۷۹

(۵) نیروگاه ۳۲۰ MW اسلام آباد (اصفهان) نقشه ها و مستندات مدارات کنترلی نقشه های EH604 , HB600

LB605 , و نقشه های LB604 , LB606 , EL621 , نقشه های LB603 , EL20

(۶) ترجمه مهندس محمد طلوع خراسانیان تئوری و عملی ابزار دقیق ۱۳۸۶

(۷) تالیف مهندس محسن تقوی فر ابزار دقیق و کنترل فرایند ۱۳۸۶

[8] P.H.Sydenham and W.H.Boys, *Measurement of level and volume*..1999

[9] J.C.Hamelain *Liquid Level Control Using a pressure sensor* freescale semiconductor Inc.2005

(۱۰) تالیف اکبر حاج احمدی کنترل کاربردی مجتمع سازندگی و آموزش وزارت نیرو ۱۳۷۸

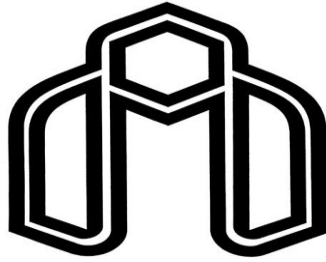
[11] Walters.R.B., *Hydraulic and Electro- hydraulic control system*, Elsevier applied science 1991

- [12] ,Ching-yuTYAN,Paul P.WANG, *The design of an adaptive multiple Agent constraint-Based controller for a complex Hydraulic system*, department of electrical engineering,Duke university Durham,north Carolina,1994
- [13]Asrom K.,Wittenmark B.,*Computer Controlld Systems*, prentice- Hall,Inc.,Englewood Cliff,1984
- [14]staffan haugwitz,Masters Thesis,*Microturbine systems*,lund university.May2002
- [15] Ogata,Katsuhiko.,*Discrete Time Control System*
- [16]Nestorovic',T,Nilclovic' v., *Digital tracking systems design for the hydraulic positioning system of the Forth Order*
- [17] Nestorovic',T.,*Aplication of Digital Control Lows to some groups of Hydraulic Systems and Possibilities for their Microprocessor Implementation*, master's thesis, Faculty of Mechanical Engineering, University of Nis, April 2000
- [18]Paraskevopulos P.N.,*Digital control systems*, Prentice Hall,1996
- [19]Boys,W.H. "*The state of the art in level measurement.*" *Flow control*(February1999)[1]
- [20]Walters R.B.,*Hydraulic and Electro- Hydraulic control systems*,Elsevier Applied Science,Elsevier Science Publishers Ltd.,London and New York,1991
- [21] haymer, *oscillation dynamieal systems and difurcation of vector fileds*
- [22]T,S Cheung,and W,Luyben,*Nonlinear andnonconventionalliquid level controllers*,Ind.Eng,Chem.Fund.,19(1)1980
- [23]K.J.Astrom.and B.Wittenmark *Adaptive control* Adidison-wesly publishing company,New York,1989
- [24]Shinichiro Endo,Masami Konishi ,"*water level controlsmall-scaleHydroelectric power plant*",2000
- [25]Jimens,O.F.and M.H chaudhry,"*Water-level control In Hydropower plants*",*Journal of Engineering*,Vol.118, No3,1992,180-193
- [26] Shinichiro Endo,Masami Konishi,hirosuke Imabyasi,*Water Level Control of small_scale Hydroelectric Power Plant by DwadBeat Control Method*,1998
- [27] Miller,J.T.(ed)*The instrumrnt Manual*,UnitedTrade Press(5thed,1975)

Abstract

Many industrial and scientific processes require knowledge of the quantity of content of tanks and other containers. For example in a steam power plant there are many tanks and control with several control operations, the same as viscosity, temperature and liquid level. Since liquid level control is very important in successful, efficient operation, it is an idea to cause output quality improvement and economic enjoyment. Adaptive control represents a special type of control with nonlinear feedback in which the states of the process could be divided into two categories: parameters which change slowly and state variables which change faster. Many processes are characterized by the fact that their parameters are variable or unknown, which demands adaptive systems for their control. Adaptive control systems are nonlinear even if the system under control represents a linear system or a system which could be described by a linearized mathematical model. The structure of adaptive systems and the mechanisms used for the adaptation of unknown or variable parameters impose the nonlinearity of the control system.

The thesis considers several types of adaptive control systems (gradient approach - MIT rule for parameter adaptation, reference model adaptive and self-tuning regulators) and their application to level control. Known hydraulic level systems are now considered from a different point of view. Standard hydraulic level control systems provided keeping the level of a liquid in a reservoir at a desired constant value. That could be achieved by a linear feedback gain control system. If the aim of control is to make the level of a liquid in a reservoir change according to a specified function, then the adaptive control system is needed, because the parameters of the system under control are variable due to variable liquid level. The case when the system parameters are unknown is also considered. The effectiveness of the proposed method is illustrated via a comparison between that technique and PID method.



shahrood university of technology
Department of Electrical and Robotic

*Thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for Degree of Master Science(M.SC)in control
Engineering*

Supervisor:

Dr Tossian

Advisor:

Dr Banejad

Student:

Hamzeh saljooghi

January 2008