بسمه تعالی

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی برق

دستورکار آزمایشگاه کنترل فرآیندهای صنعتی

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

آخرین تاریخ بروزرسانی: ۹۴/۱۱/۱۵

بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

مقدمه

اهمیت کنترل اتوماتیک در صنایع و زندگی روزمره عصر حاضر، برهیچکس پوشیده نیست و به جرأت می‌توان گفت که یکی از مهمترین بخش‌های صنایع پیشرفته امروزی را سیستم‌های کنترل اتوماتیک تشکیل می‌دهند. کاربرد کنترل اتوماتیک موجب بالا رفتن کیفیت و کمیت تولید محصول شده و همچنین ایمنی محیط‌های صنعتی را به طور چشمگیری بالا برده است. در صنعت، اندازه‌گیری و کنترل کمیت‌های زیر بسیار حائز اهمیت می‌باشد.

۱- اندازه‌گیری و کنترل ارتفاع سطح مایعات
۲- اندازه‌گیری و کنترل شدت جریان (فلوی) مایعات
۳- اندازه‌گیری و کنترل فشار
۴- اندازه‌گیری و کنترل درجه حرارت (دما)
۵- اندازه‌گیری و کنترل pH

در این آزمایشگاه تنها با سه مورد اول از سیستم‌های فوق آشنا خواهیم شد. آزمایش‌ها نیز در این دستورکار بر همین اساس در سه بخش تدوین شده‌اند و معرفی اجمالی نحوه ارتباط سیستم‌ها در بخش چهارم آورده شده است. برای استفاده بهتر از جلسات آزمایشگاه، رعایت نکات زیر توصیه می‌شود:
پیش‌مطالعه دستور کار مربوط به هر آزمایش قبل از تشکیل کلاس، منجر به تسهیل فرآیند یادگیری خواهد شد؛ فلذا آمادگی پیش از حضور در کلاس قویا توصیه می‌گردد. رعایت نظم و قوانین آزمایشگاه و حضور به موقع، نکته دیگری است که می‌تواند به استفاده مفید از جلسات آزمایشگاه کمک نماید. همچنین سایر جزییات و نحوه ارزیابی بصورت برگه مجزا در اختیار شما قرار خواهد گرفت.

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست شکل‌ها ..... ب

بخش ۱- سامانه آزمایشگاهی کنترل سطح RT512 ..... ۳

۱-۱- پیشگفتار ۳

۱-۲- آشنایی با دستگاه ۳

۱-۳- معرفی اجزاء ۴

۱-۴- شرح آزمایش ۸

بخش ۲- سامانه آزمایشگاهی کنترل دبی RT522 ..... ۱۰

۲-۱- مقدمه ۱۰

۲-۲- آشنایی با دستگاه ۱۰

۲-۳- معرفی اجزاء ۱۱

۲-۴- شرح آزمایش ۱۴

بخش ۳- سامانه آزمایشگاهی کنترل فشار RT532 ..... ۱۶

۳-۱- مقدمه ۱۶

۳-۱-۱- آشنایی با دستگاه ۱۶

۳-۱-۲- معرفی اجزاء ۱۷

۳-۱-۳- شرح آزمایش ۱۹

بخش ۴- معرفی شبکه ارتباطی ۲۱

۴-۱- مقدمه ۲۱

۴-۲- مزایای خط ارتباطی Profibus ۲۱

۴-۳- شبکههای صنعتی ۲۱

ضمیمه أ -دیتاشیت دستگاه کنترل سطح ۲۳

ضمیمه ب -دیتاشیت دستگاه کنترل دبی ۲۵

ضمیمه ج - دیتاشیت دستگاه کنترل فشار ۲۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱: سامانه کنترل سطح RT512 شرکت GUNT [1] ۴

شکل ۲-۱: سامانه کنترل دبی RT522 شرکت GUNT [1] ۱۱

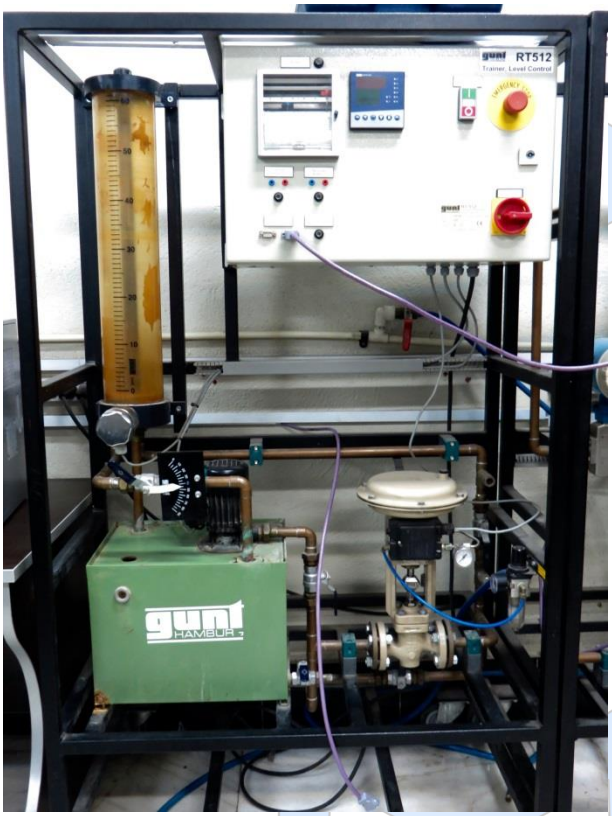
شکل ۳-۱: سامانه کنترل فشار RT532 شرکت GUNT [1] ۱۷

شکل ۴-۱: شبکه صنعتی ۲۲

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

بخش ۱– سامانه آزمایشگاهی کنترل سطح RT512

۱–۱– پیشگفتار



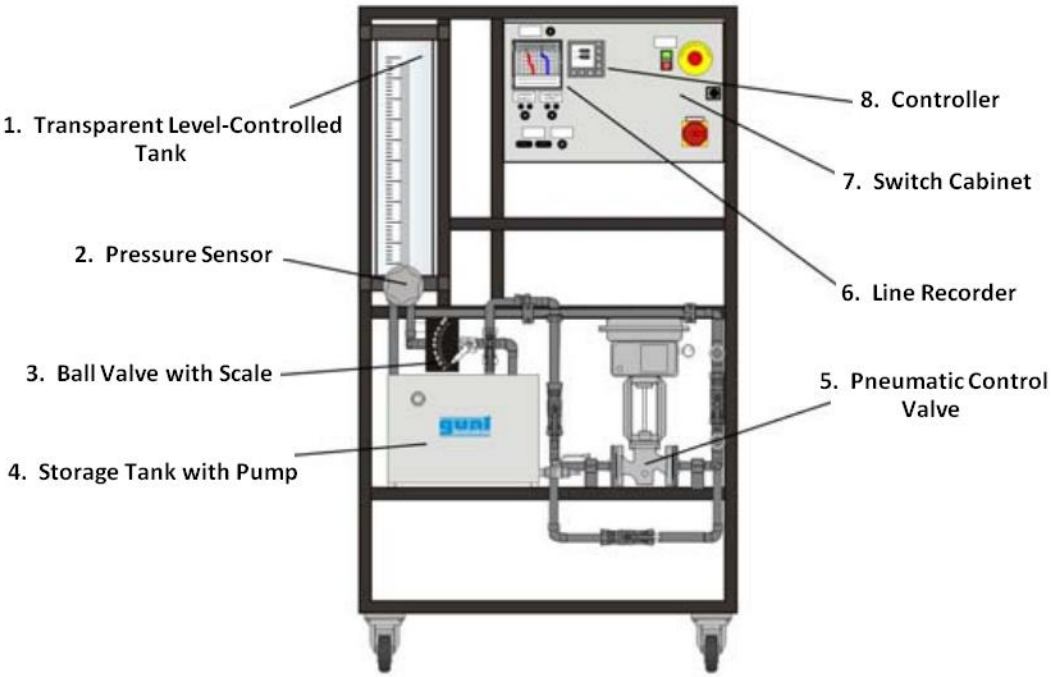
هدف این سامانه کنترل ارتفاع آب مخزنِ استوانه شیشه‌ای می‌باشد. همان‌طور که در ادامه بررسی خواهد شد، در این سامانه آب از طریق یک پمپ الکتریکی از درون مخزن ذخیره سبز رنگ به درون خطوط سامانه وارد می‌شود. ارتفاع استوانه‌ی مذکور از طریق اندازه‌گیری فشار انجام خواهد شد. شیر نیوماتیکی که کاربر به موقعیت آن دسترسی دارد، به‌عنوان عملگر این سامانه شناخته می‌شود. مسیر خروج آب از استوانه‌ی شیشه‌ای به درون مخزن، از طریق دو مسیر امکان‌پذیر است. شیر توپی شکل[۱]، امکان تغییر میزان سرعت خروج آب را در یک مسیر فراهم می‌کند که منجر به تغییر در میزان تأخیر و سرعت سیستم می‌شود.

۱–۲– آشنایی با دستگاه

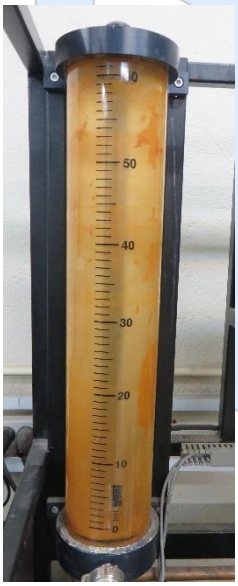
سیستم کنترل سطح آب تانک موجود در آزمایشگاه کنترل فرآیند، یک فرآیند مرسوم در صنعت می‌باشد. شمای کلی سیستم کنترل سطح در شکل ۱-۱ دیده می‌شود. این سیستم آموزشی جهت کنترل سطح آب داخل تانک شیشه‌ای، شیر آب ورودی به تانک را کنترل می‌کند. اجزای این سیستم از نوع صنعتی هستند ولی ابعاد تانک و مسیر لوله ها در حد یک مدل آموزشی در آزمایشگاه درنظر گرفته شده‌اند. همانطور که در شکل ۱-۱ مشاهده می‌شود، این سامانه از ۸ قسمت کلی تشکیل شده است که در بخش ۳-۱ به معرفی اجمالی هر یک از این اجزاء خواهیم پرداخت. اطلاعات بیشتر در مورد این سامانه و قطعات آن در ضمیمه آ و مرجع [1] قابل دریافت می‌باشد.

---

[۱] Ball Valve



شکل ۱-۱: سامانه کنترل سطح RT512 شرکت GUNT [1]



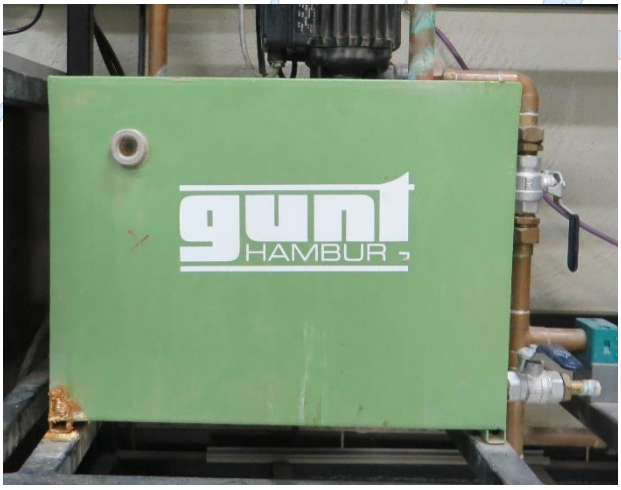
۱-۳-معرفی اجزاء

۱. تانک

تانک استوانه‌ای با حجم تقریبی ۷ لیتر و قطر ۱۲ سانتیمتر، به ارتفاع تقریبی ۷۰ سانتیمتر است که از ۰ تا ۶۰ سانتیمتر مدرج شده است.

۲. مخزن آب

مخزنی با حجم حدود ۳۰ لیتر



دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۳. پمپ آب

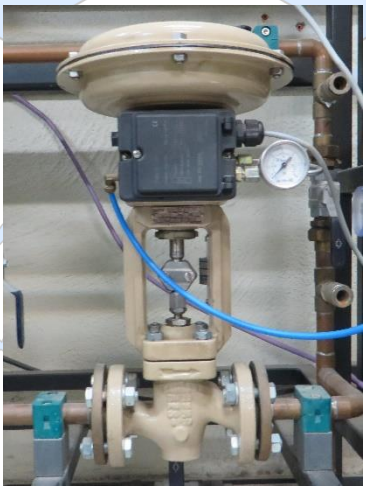
پمپ الکتریکی ۲۲۰ ولتی با مقادیر نامی ۲۸۰۰ دور بر دقیقه، فشار هـد ۷ متـر (آب) و فلـوی ۱۵۰ لیتر بر دقیقه

۴. شیر دستی ورودی

تغییر میزان دبی ورودی به شیر نیوماتیکی

۵. شیر کنترلی

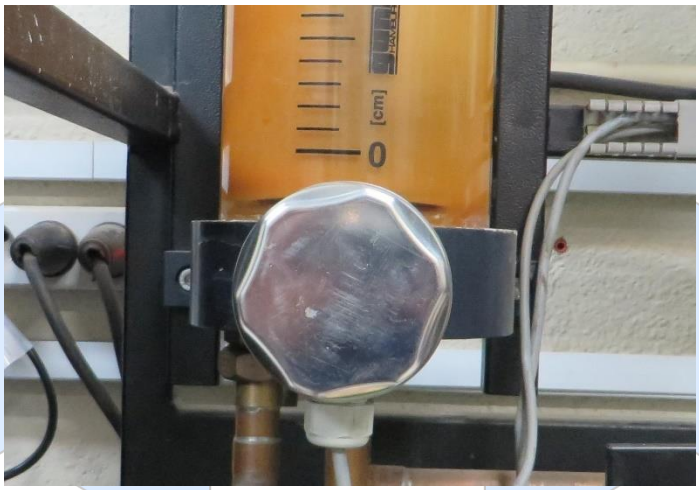
شیر نیوماتیکی متناسب بـا سـیگنال فـشار هـوای ورودی خـود، فلـوی ورودی تانـک را کنتـرل می‌کند. موقعیت شیر به عنوان سیگنال کنترل در دسترس می‌باشد.



دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۶. سنسور فشار

سنسور فشار کف مخزن ۰-۱۰۰ میلی بار بالاتر از فشار آزاد را اندازه‌گیری می‌کند. خروجی این سنسور، سیگنال جریانی در بازه ۴-۲۰ میلی‌آمپر است.



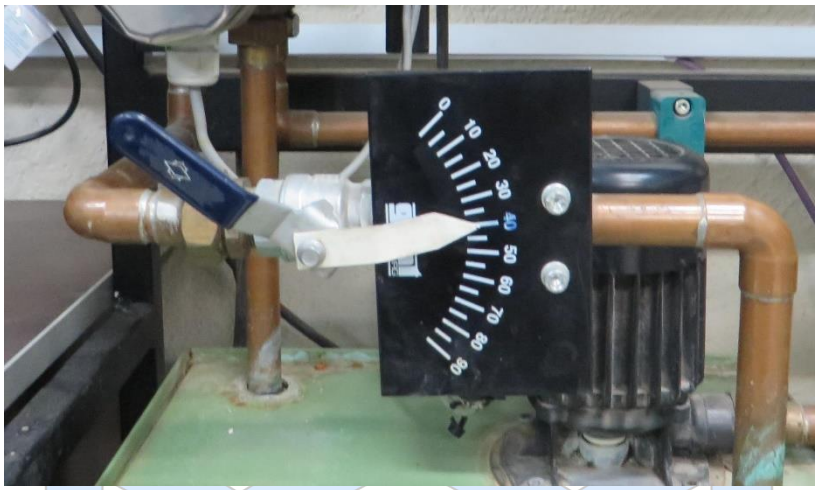
۷. مبدل جریان الکتریکی به فشار

مبدل متناسب با جریان الکتریکی ورودی (خروجی کنترل کننده) فشار هوای خروجی خود را بین ۰/۲ تا ۱ بار تنظیم می‌کند (جهت اعمال به شیر کنترلی). این مبدل به یک منبع فشار باد نیاز دارد.

۸. شیر خروجی

شیر دستی مدرجی که میزان فلوی خروجی تانک را تغییر می‌دهد، همچنین این شیر بر نسبت تاخیر به ثابت زمانی فرآیند تاثیر بسزایی خواهد داشت.

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی



۹. شیر دستی Bypass

این شیر هنگامی‌که کاملا بـاز باشـد، شـیر کنترلـی را از سیستم خارج می‌کند. با بیانی این شیر وضعیت کنترل‌پذیری سیستم را تغییر خواهد داد.

۱۰. شیر دستی جهت کنترل تودرتو[1]

برای اتصال دو سیستم کنترل دبی و کنترل سطح استفاده می‌شود. میزان باز یا بسته بودن این شیر نقش بسزایی در میزان افزایش یا کاهش تداخل بین دو سامانه دارد.

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

[1] Cascade

۱-۴-شرح آزمایش

- **جلسه‌ی اول:**

هدف نهایی در این جلسه بدست آوردن یک مدل مرتبه‌ی اول با تأخیر در ناحیه کار خطی سیستم می‌باشد تا در جلسات بعدی بر مبنای مدل بدست آمده، کنترل‌کننده‌های مختلفی طراحی شوند. برای رسیدن به این هدف، مراحل زیر را انجام دهید.

- ناحیه مرده سیستم را بدست آورید.
- ناحیه اشباع سیستم را تعیین نمایید.
- با ایجاد پله‌های متوالی بین ناحیه‌ی مرده و اشباع، میزان تغییرات بهره را محاسبه کنید.
- دو یا چند پله از آزمایش قبل را بر اساس تغییرات بهره انتخاب نموده و سپس با میانگین گیری از مقادیر پارامترها، یک مدل مرتبه اول با تاخیر[۱] برای ناحیه خطی مذکور ارائه نمایید.

- **جلسه‌ی دوم:**

در این جلسه طراحی کنترل‌کننده‌های ردیابی و رگولاتوری بر اساس جداول تنظیم، مورد بررسی و آزمایش قرار خواهد گرفت که شامل مراحل زیر می‌باشد.

- یک کنترل‌کننده PI یا PID به‌منظور حذف اغتشاش بر اساس جداول تنظیم [۲] طراحی و پیاده‌سازی نمایید.
- یک کنترل‌کننده PI یا PID به‌منظور ردیابی بر اساس جداول تنظیم طراحی و پیاده‌سازی نمایید.
- کنترل‌کننده‌های طراحی‌شده بر روی یک پروفایل ردیابی با حضور اغتشاش ورودی و خروجی مورد آزمایش قرار دهید. اغتشاش به دو صورت نرم‌افزاری و همچنین تغییر در موقعیت شیر توپی شکل می‌تواند انجام پذیرد.
- عملکرد کنترل‌کننده‌های طراحی‌شده را از نظر هزینه کنترلی، کیفیت ردیابی، کیفیت حذف اغتشاش، تضعیف نویز اندازه‌گیری و ویژگی‌های پاسخ حالت گذرا مقایسه نمایید.

- **جلسه‌ی سوم:**

در این جلسه طراحی کنترل‌کننده‌های ورودی مرجع وزن‌دار و پایان‌پذیری انتگرالگیر[۱] به‌عنوان هدف معرفی می‌شوند.

---

[۱] First Order Plus Dead Time (FOPDT)

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

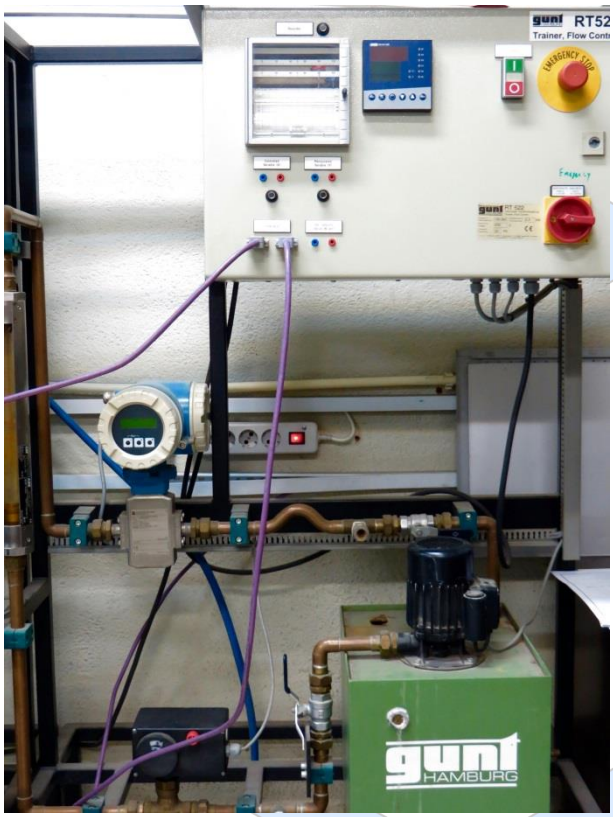
- یک کنترل‌کننده ورودی مرجع وزن‌دار را با وزن مناسب طراحی و پیاده سازی نمایید.
- کنترل‌کننده طراحی‌شده را بر روی پروفایل ایجادشده در جلسه قبل مورد آزمایش قرار دهید. نتیجه حاصل‌شده را با دو کنترل‌کننده پیشین مقایسه نموده و چراییِ بهبود و یا تضعیف کیفیت عملکرد کنترل‌کننده ورودی مرجع وزن‌دار را توجیه نمایید.
- کنترل کننده‌ای که به منظور حذف اغتشاش طراحی شده را در نواحی بالا مخزن تست نمایید بنحوی که سیگنال کنترل سیستم به اشباع برود.
- جهت رفع مشکل فوق، یک کنترل‌کننده با پایان‌پذیری انتگرالگیر طراحی کنید [۲].
- کنترل‌کننده طراحی‌شده را مورد آزمایش قرار داده و نتایج را تحلیل نمایید.
- کیفیت عملکرد و هزینه‌های پرداختیِ کنترل‌کننده‌های طراحی‌شده در این جلسه را مقایسه نمایید.

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

[۱] Anti Windup

بخش ۲– سامانه آزمایشگاهی کنترل دبی RT522

۲–۱– مقدمه

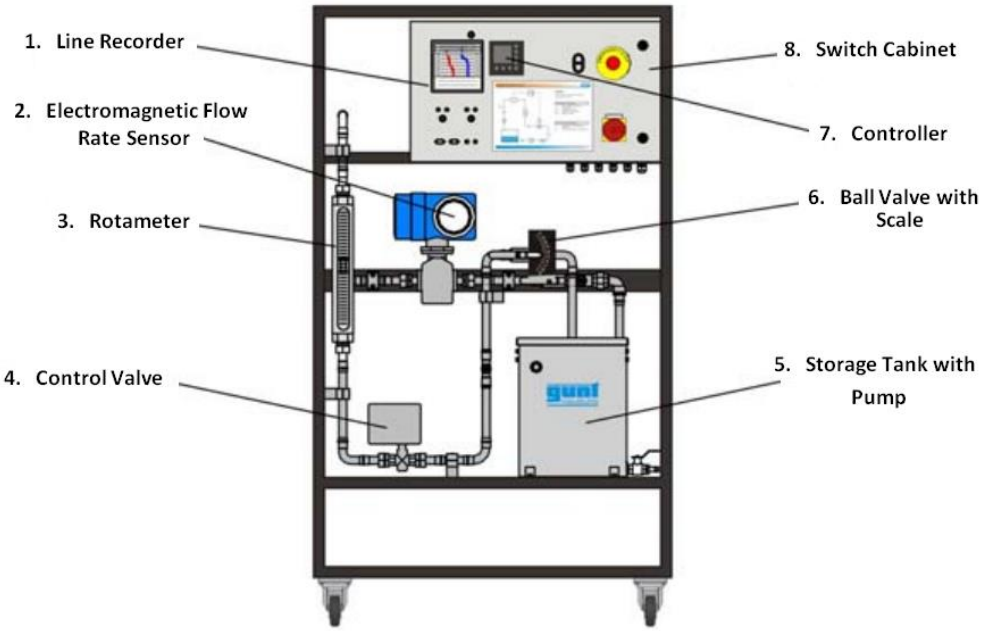


هدف این سامانه کنترل دبی در خطوط انتقال می-باشد. در این سامانه آب به‌عنوان مایعی است که از طریق یک پمپ الکتریکی از درون مخزن ذخیره (سبز رنگ) به درون خطوط سامانه وارد می‌شود. دبی از طریق یک فلومتر الکترومغناطیسی اندازه-گیری خواهد شد. به‌علاوه، یک فلومتر مکانیکی نیز جهت اطمینان از صحت میزان فلو در سامانه در نظر گرفته شده است. شیر برقی که کاربر به سرعت آن دسترسی دارد، به‌عنوان عملگر این سامانه می‌باشد. همچنین شیر توپی شکل که در ابتدای مسیر خروجی مخزن قرار دارد، امکان تغییر میزان سرعت خروج آب را فراهم می‌کند، که در هنگام استفاده از حالت تودرتو دو سامانه سطح و دبی نقش بسزایی دارد.

۲–۲–آشنایی با دستگاه

این سامانه در شکل ۲-۱ نشان داده شده است. این سیستم آموزشی جهت کنترل دبی خطوط انتقال استفاده خواهد شد. اجـزای ایـن سیستم از نوع صنعتی هستند ولی ابعاد تانک و مسیر لوله ها در حد یک مدل آموزشی در آزمایشگاه در نظر گرفته شده‌اند. همانطور که در شکل ۲-۱ مشاهده می‌شود، این سامانه از ۸ قسمت کلی تشکیل شده است که در بخش ۲-۳ به معرفی اجمالی هر یک از این اجزاء خواهیم پرداخت. اطلاعات بیشتر در مورد این سامانه و قطعات آن در ضمیمه ب و مرجع [1] قابل دریافت می‌باشد.

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی



شکل ۲-۱: سامانه کنترل دبی RT522 شرکت GUNT [1]

۲-۳- معرفی اجزاء

۱. چاپگر

وظیفه چاپ داده‌های سنسوری و عملگری بر روی کاغذ را دارد.

۲. فلومتر مکانیکی:

فلومتری جهت نمایش میزان دبی سامانه که نقش مشابه با Transparent دستگاه کنترل سطح دارد.

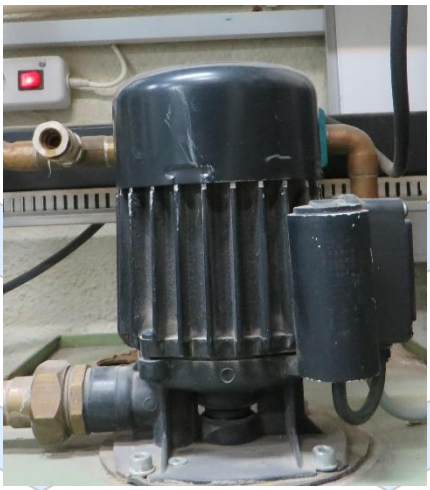
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۳. **مخزن آب:**

مخزن آب (سبز رنگ) مشابه با مخزن دستگاه کنترل سطح با حجم حدود ۳۰ لیتر.

۴. **پمپ آب:**

پمپ الکتریکی مشابه با پمپ دستگاه کنترل سطح با مشخصات ۲۲۰ ولت، توان ۲۵۰ وات، فشار هد ۷ متر (آب) و فلو ۳۰ لیتر بر دقیقه.



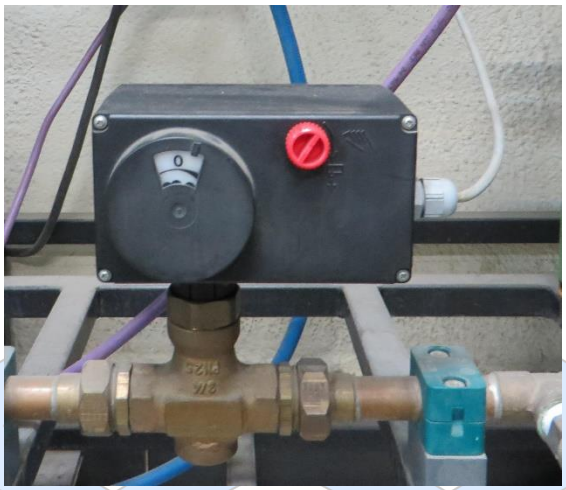
۵. **شیر دستی ورودی:**

شیر دستی درجه‌بندی شده که جهت تغییر میزان باز و بسته شدن مسیر حرکت آب استفاده می‌شود. یکی از نقش‌های اصلی این شیر جهت استفاده از حالت تودرتو دو سامانه کنترل سطح و دبی می‌باشد.

۶. **شیر کنترلی الکتریکی:**

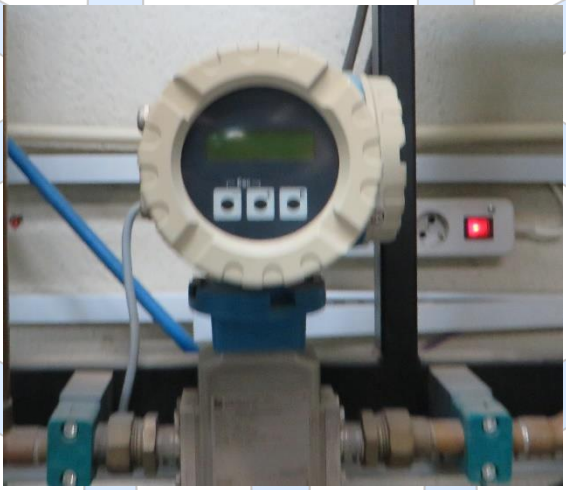
شیر برقی به عنوان عملگر در سامانه‌ی کنترل دبی شناخته می‌شود. در این شیر، به عنوان کاربر به سرعت باز و بسته شدن آن دسترسی وجود دارد.

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی



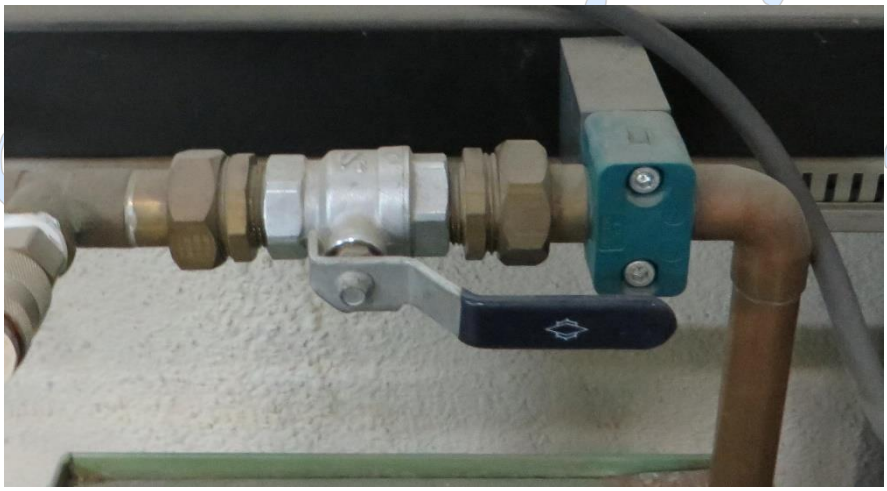
۷. فلومتر مغناطیسی:

سنسوری مغناطیسی جهت اندازه‌گیری فلو با واحد لیتر بر ساعت (حداکثر مقدار ۶۰۰۰ لیتر بر ساعت).



۸. شیر دستی خروجی:

شیر دستی درجه‌بندی شده مشابه با شیر دستی ورودی که جهت تغییر میزان باز و بسته شدن مسیر حرکت آب استفاده می‌شود. یکی از نقش‌های اصلی این شیر جهت استفاده از حالت تودرتو دو سامانه کنترل سطح و دبی می‌باشد.



۲-۴- شرح آزمایش

- **جلسه‌ی اول:**

هدف نهایی در این جلسه بدست آوردن یک مدل انتگرالیِ با تأخیر[۱] در ناحیه کاری خطی سیستم می‌باشد تا در جلسات بعدی بر مبنای مدل بدست آمده کنترل‌کننده‌های مختلفی طراحی شوند. برای رسیدن به این هدف لازم است که انجام مراحل ذیل در دستور کار قرار گیرد.

- حداکثر سرعت باز شدن شیر برقی را با توجه به بازه‌ی زمانی باز بودن بدست آورید.
- مقدار مناسب سطح زیر منحنی پالس را جهت تعیین ناحیه‌ی مرده و ناحیه‌ی اشباع با دقت مناسب، تعیین نمایید.
- پالس‌های متناوب که سطح زیر نمودار آن‌ها پیش‌تر محاسبه‌شده را به سیستم اعمال نموده و مدل سامانه را در بزرگ‌ترین ناحیه‌ی خطی ممکن بدست آورید.

- **جلسه‌ی دوم:**

در این جلسه طراحی کنترل‌کننده‌های P و PD با استفاده از جایابی قطب[۲] و تقریب پده[۳] مورد توجه قرار می‌گیرد.

- یک کنترل‌کننده تناسبی جهت دست‌یابی به پایداری و پاسخ حالت گذارای مناسب طراحی و پیاده‌سازی نمایید.
- یک کنترل‌کننده تناسبی- مشتق‌گیر جهت دست‌یابی به پایداری و پاسخ حالت گذرای مناسب طراحی و پیاده‌سازی نمایید.
- کنترل‌کننده‌های طراحی‌شده را بر روی یک پروفایل ردیابی با حضور اغتشاش (اغتشاش به دو صورت نرم‌افزاری و در دو ناحیه‌ی قبل و بعد از بلوک سیستم باید اعمال شود) مورد آزمایش قرار داده و علت حذف و یا عدم حذف هریک از اغتشاش‌ها با ذکر دلیل توجیه نمایید.
- کنترل‌کننده‌های طراحی‌شده را از حیث کیفیت عملکرد و هزینه‌های پرداختی مقایسه نمایید.

- **جلسه‌ی سوم:**

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

---

[۱] Integral Plus Dead Time (IPDT)

[۲] Pole Placement

[۳] Pade Approximation

در این جلسه چرایی، مزایا و معایب استفاده از روش دوحلقه‌ای[1] جهت کنترل مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

- کنترل‌کننده تناسبی (مشابه جلسه گذشته) را مجددا پیاده سازی نمایید.
- پاسخ پله حلقه بسته بدست آمده از بند قبل را با یک مدل مرتبه اول با تاخیر تخمین بزنید.
- برای سیستم شناسایی شده در بند قبل، یک کنترل‌کننده تناسبی-مشتق‌گیر-انتگرالگیر به منظور دست‌یابی به عملکرد مناسب طراحی و آزمایش کنید.
- نتایج حاصل از آزمایش را تحلیل و بررسی نمایید.

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

[1] Double Feedback Loop Method

بخش ۳– سامانه آزمایشگاهی کنترل فشار RT532

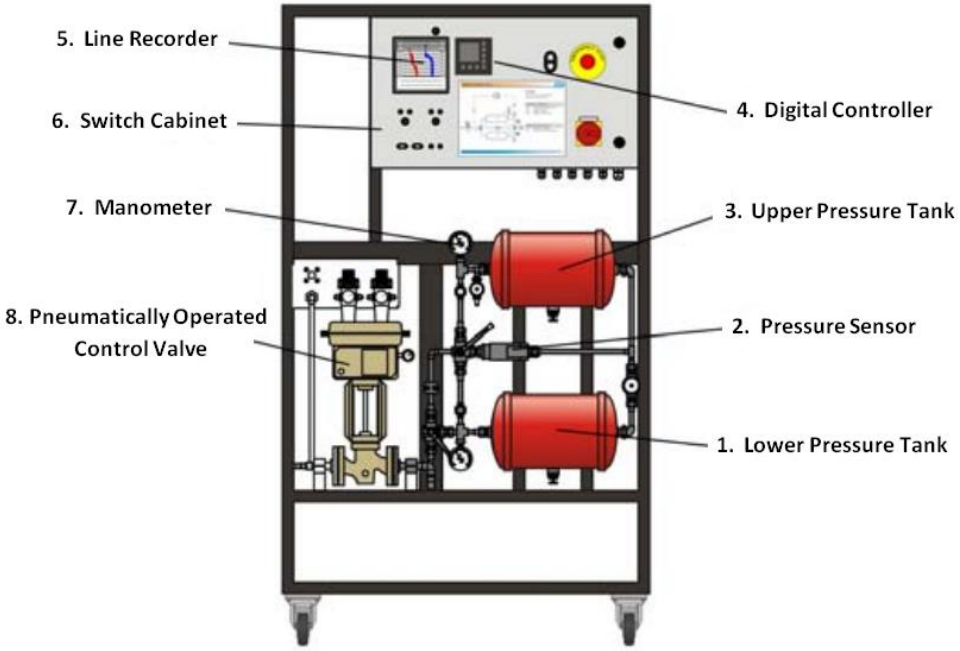
۳–۱–مقدمه

هدف این سامانه کنترل فشار مخزنِ پایین می‌باشد. قابل‌ذکر است که مخزن فوقانی با توجه به نحوه باز و یا بسته شدن شیرهای واسط موجود در سامانه می‌تواند به‌صورت سری و یا موازی با مخزن تحتانی در سیستم قرار گیرد. در این سامانه، هوای فشرده شده از طریق کمپرسور پس از عبور از رگولاتور فشار به درون خطوط سامانه وارد می‌شود. شیر نیوماتیکی که کاربر به موقعیت آن دسترسی دارد، به‌عنوان عملگر این سامانه می‌باشد. مسیر خروج هوا از مخزن زیرین به‌وسیله پیچ خروجی قابل تغییر می‌باشد. تغییر در وضعیت پیچ مذکور منجر به افزایش و یا کاهش تأخیر، سرعت و میزان غیرخطی‌گری سیستم می‌شود. به‌علاوه از این پیچ می‌توان به‌عنوان اغتشاش در حین آزمایش نیز استفاده نمود.

۳–۱–۱– آشنایی با دستگاه

در سیستم کنترل فشار مخزن، هدف کنترل فشار هوای فشرده شده در مخزن می‌باشد. در این سیستم، نرخ مصرف و تغییرات دمای محیط می‌تواند باعث تغییر فشار داخل مخزن شود که می‌توان آن را به عنوان عامل اختلال یا اغتشاش در کنترل مطرح نمود. در حالت کنترل دستی، فشار مخزن به وسیله رگولاتور دستی که روی شیر کنترل نصب می‌شود و با مشاهده فشار مورد نظر از روی دستگاه فشار سنج، در یک مقدار دلخواه نگه داشته می‌شود. همانطور که در شکل ۳-۱ مشاهده می‌شود، این سامانه از ۶ قسمت کلی تشکیل شده است که در بخش ۳-۳ به معرفی اجمالی هر یک از این اجزاء خواهیم پرداخت. اطلاعات بیشتر در مورد این سامانه در ضمیمه ج و مرجع [1] قابل دریافت می‌باشد.

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی



شکل ۳-۱: سامانه کنترل فشار RT532 شرکت GUNT [1]

۳-۱-۲- معرفی اجزاء

۱. رگولاتور فشار هوای ورودی به تانک‌ها و شیر نیوماتیکی:

رگولاتور نقش تنظیم‌کننده فشار هوای ورودی به تانک‌ها و شیر نیوماتیکی را به عهده دارد که در افزایش و یا کاهش یافتن نوسانات خروجی نقش بسزایی دارد.

۲. شیر نیوماتیکی:

شیری که به عنوان عملگر در سامانه نقش ایفا می‌نماید که کاربر به موقعیت آن دسترسی دارد.

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۳. سنسور فشار:

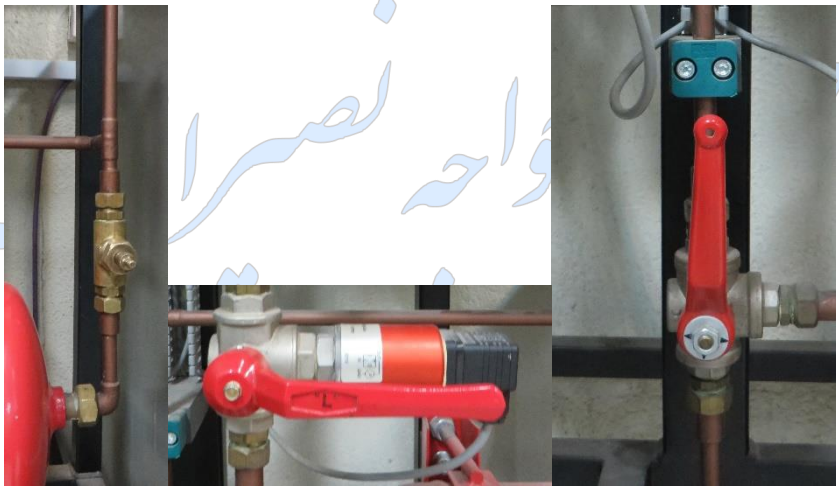
سنسور اندازه‌گیری فشار مخزن (یا مخازن) که واحد اندازه‌گیری آن کیلوپاسگال می‌باشد.

۴. تانک پایین و بالا:

دو تانک فشار در سامانه قرار دارد که کاربر فشار هریک از آنها و یا ترکیب سری یا موازی آنها را می‌تواند به عنوان هدف کنترلی درنظر بگیرد.

۵. سه شیر دستی:

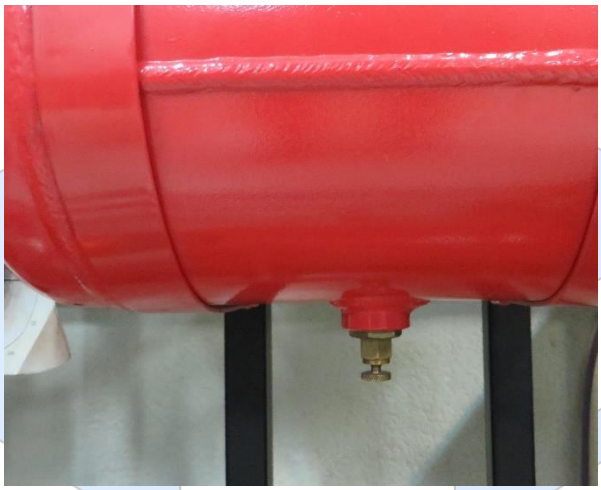
این سامانه دارای ۳ شیر دستی بوده که با باز و بسته کردن هریک از آنها می‌توان ترکیب‌های مختلفی از این مخازن را جهت کنترل انتخاب کرد. (تک مخزن پایین، تک مخزن بالا، ترکیب سری و ترکیب موازی دو مخزن).



دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

۶. **پیچ مخازن:**

هر یک از مخازن، دارای یک پیچ خروجی می‌باشد. باز و یا بسته شدن هر یک از این پیچ‌ها در تغییر سرعت و میزان رفتار غیرخطی‌گری سامانه نقش بسیار مهمی را ایفا می‌نماید.



۳-۱-۳- شرح آزمایش

- **جلسه‌ی اول:**

هدف نهایی در این جلسه بدست آوردن یک مدل مرتبه‌ی اول با تأخیر در ناحیه کاری خطی سیستم می‌باشد تا در جلسات بعدی بر مبنای مدل بدست آمده کنترل‌کننده‌های مختلفی طراحی شوند. برای رسیدن به این هدف لازم است که انجام مراحل ذیل در دستور کار قرار گیرد.

- ناحیه مرده سیستم را بدست آورید.
- ناحیه اشباع سیستم را تعیین نمایید.
- با ایجاد پله‌های متوالی بین ناحیه‌ی مرده و اشباع، میزان تغییرات بهره را محاسبه نمایید.
- دو یا چند پله از آزمایش قبل را بر اساس تغییرات بهره انتخاب نموده و سپس با میانگین-گیری از مقادیر پارامترها، یک مدل $FOPDT$ برای ناحیه خطی مذکور ارائه نمایید.

- **جلسه‌ی دوم:**

در این جلسه طراحی کنترل‌کننده‌های ردیابی و حذف اغتشاش بر اساس جداول تنظیم [۲] مورد بررسی و آزمایش قرار خواهد گرفت که شامل مراحل زیر می‌باشد.

- یک کنترل‌کننده PI و یا PID به‌منظور حذف اغتشاش بر اساس جداول تنظیم [۲] طراحی و پیاده‌سازی نمایید.
- یک کنترل‌کننده PI و یا PID به‌منظور ردیابی بر اساس جداول تنظیم [۲] طراحی و پیاده‌سازی نمایید.

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

- کنترل‌کننده‌های طراحی‌شده را بر روی یک پروفایل ردیابی با حضور اغتشاش (اغتشاش به‌صورت نرم‌افزاری و در دو ناحیه‌ی قبل و بعد از بلوک سیستم باید اعمال شود) مورد آزمایش قرار دهید.
- عملکرد کنترل‌کننده‌های طراحی‌شده را ازنظر هزینه کنترلی، کیفیت ردیابی، کیفیت حذف اغتشاش، تضعیف نویز اندازه‌گیری و ویژگی‌های پاسخ حالت گذرا مقایسه نمایید.

- **جلسه‌ی سوم:**

هدف از این جلسه تبیین ساختار اسمیت، چگونگی طراحی و حوزه کاربرد آن می‌باشد. توقع می‌رود در پایان این جلسه دانشجویان به نقاط ضعف و قوت ساختار اسمیت استاندارد تسلط پیدا نمایند.

- یک کنترل‌کننده PI مبتنی بر ساختار اسمیت استاندارد [3] برای مدل سامانه فشار طراحی و پیاده‌سازی نمایید.
- کنترل‌کننده طراحی‌شده را بر روی پروفایل ایجاد شده در جلسه قبل، در حضور اغتشاش ورودی و خروجی مورد آزمایش قرار دهید. نتیجه حاصل‌شده را با دو کنترل‌کننده پیشین مقایسه نموده و توجیه چراییِ بهبود و یا تضعیف کیفیت عملکرد کنترل‌کننده مبتنی بر ساختار اسمیت استاندارد را ارائه دهید.
- سیگنال‌های کنترلی ساختار اسمیت استاندارد و ساختار حلقه بسته ساده که در جلسه پیشین طراحی‌شده را با یکدیگر مقایسه نمایید.
- ناحیه کاری سیستم را تغییر داده تا ارزیابی واقعی از میزان قوام کنترل‌کننده اسمیت استاندارد بدست آید.
- جهت بهبود قوام کنترل‌کننده مبتنی بر ساختار اسمیت فیلتر شده، راه‌حلی را پیشنهاد نمایید.

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

بخش ۴- معرفی شبکه ارتباطی

۴-۱-مقدمه

تمامی فرامین به سیستم و اندازه‌گیری‌ها از طریق کنترل‌کننده موسوم به JUMO صورت می‌پذیرد. این کنترل‌کننده جهانی تمامی سیگنال‌های ورودی و خروجی و همچنین تنظیمات تمامی ادوات دستگاه را برعهده دارد. علاوه بر این امکان، ارتباط با رابط Profibus بر روی کنترل‌کننده تعبیه‌شده، که می‌تواند تمامی سیگنال‌های ورودی و خروجی را با پروتکلی خاص (DP) توسط کامپیوتر انتقال دهد.

۴-۲- مزایای خط ارتباطی Profibus

مزایای این خط شامل موارد زیر است:

۱. صرفه‌جویی در هزینه‌های مختلف در یک واحد صنعتی

۲. سرعت بالا (این خط قابلیت انتقال اطلاعات را از ۹/۶ کیلوبایت بر ثانیه تا ۱۲ مگابیت بر ثانیه را دارا می‌باشد)

۳. راحتی نصب (فقط با یک سیم تمامی ارتباطات انجام می‌پذیرد)

۴. قابلیت نصب تا ۱۲۶ دستگاه (البته در صورت وجود repeater این امکان وجود دارد)

۵. فاصله بین اتاق کنترل و دستگاه‌ها تا ۱/۹ کیلومتر می‌تواند باشد.

۴-۳- شبکه‌های صنعتی

شبکه‌های صنعتی به طور گسترده در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرند، به نحوی که کاهش هزینه‌ها را در حدود ۳۰٪ امکان پذیر ساخته است. شکل ۴-۱ یک شبکه صنعتی را نشان می‌دهد که مراجعین[۱] مختلف توسط یک شبکه ساده کامپیوتری به یک سرور (سرویس دهنده) موسوم به OPC[۲] (این سرور برای کار با فرایندهای مختلف طراحی شده است و یک ساختارمرسوم جهت ارتباط با شبکه‌های صنعتی می‌باشد) متصل شده‌اند.

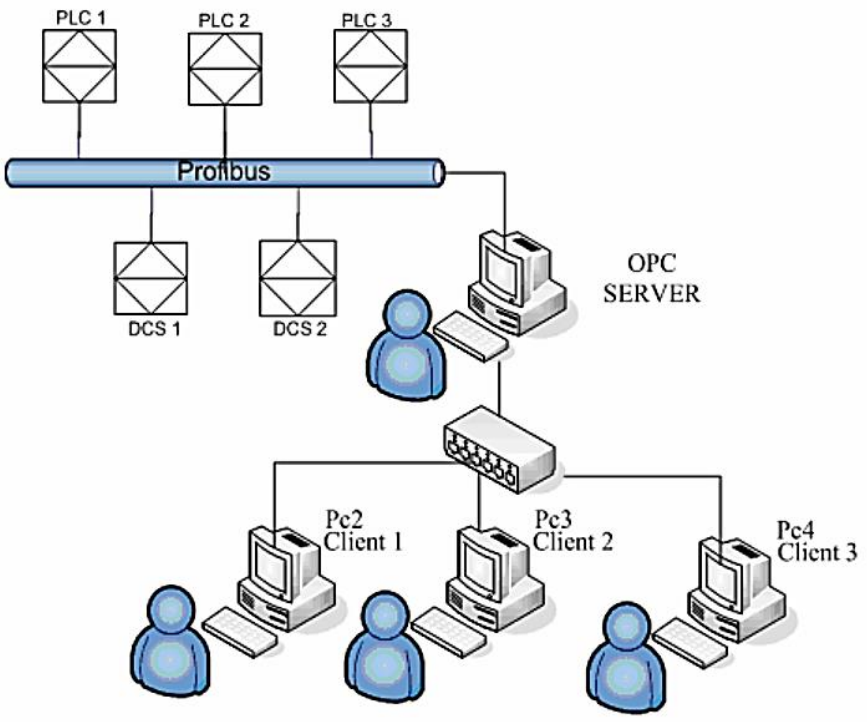
---

[۱] Client

[۲] OLE for Process Control

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

در واقع به وسیله این سرور تمامی مراجعین می‌توانند به صورت مجزا با تمامی کنترل‌کننده‌های متصل به خط Profibus ارتباط برقرار کنند. از طرف دیگر نرم افزارهای Labview و OPC Toolbox Matlab به عنوان یک Client می‌توانند به OPC server متصل شوند.



شکل ۴-۱: شبکه صنعتی

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

ضمیمه أ – دیتاشیت دستگاه کنترل سطح

RT 512 Level Control Trainer

* **Experimental introduction to control engineering using an example of level control**
* **Construction of the system with components commonly used in industry**
* **Digital controller with freely selectable parameters: P, I, D and all combinations**
* **Integrated 2-channel line recorder**
* **Optional process control software RT 650.50 available**
* **Construction of a complete networked system via Profibus interface possible**

Technical Description

This trainer provides a comprehensive experimental introduction to the fundamentals of control engineering using an example of level control.

A pump delivers water from a storage tank to the transparent level-controlled tank. The liquid level is measured by a pressure transducer installed at the base of the level-controlled tank. The controller used is a state-of-the-art digital industrial controller. The actuator in the control loop is a pneumatically operated control valve with an electro-pneumatic positioner. A ball valve in the outlet line enables defined disturbance variables to be generated. The controlled variable X and the manipulating variable Y are plotted directly on an integrated 2-channel line recorder. Alternatively, the variables can be tapped as analogue signals at lab jacks on the switch cabinet. This enables external recording equipment, such as an oscilloscope or a flatbed plotter, to be connected.

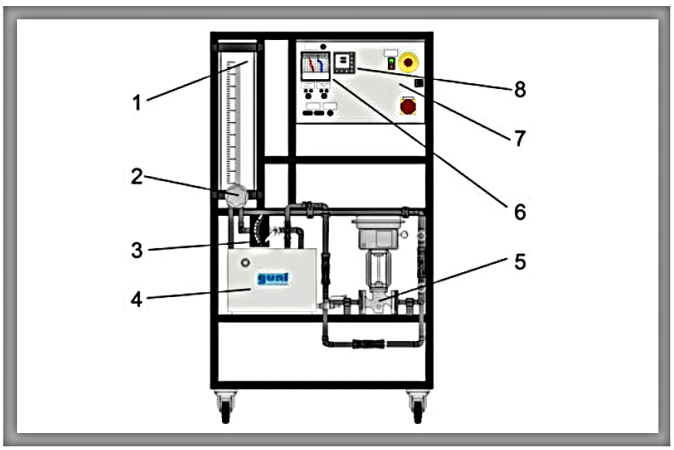
A process control software (RT 650.50) is optionally available. The software permits the construction of a complete networked system comprising multiple trainers from the RT 512 - RT 552 series. The key process variables can also be represented, and control functions executed.

The well-structured instructional material sets out the fundamentals and provides a step-by-step guide through the experiments.

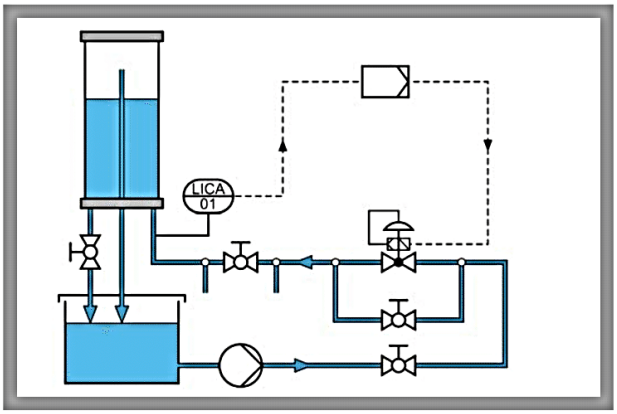
Learning Objectives / Experiments

- fundamentals of control engineering
- real industrial control engineering components: controllers, transducers, actuators
- operation and parameterisation of the local industrial controller
  * manually (by keyboard)
  * using the RT 650.50 process control software
- investigation of disturbance and control response
- controller optimisation
- investigation of the properties of the open and closed control loops
- processing of process variables using external equipment, e.g. oscilloscope or plotter
- together with accessory RT 650.50 and other trainers (RT 522 - RT 552): familiarisation with and use of process control software (SCADA)

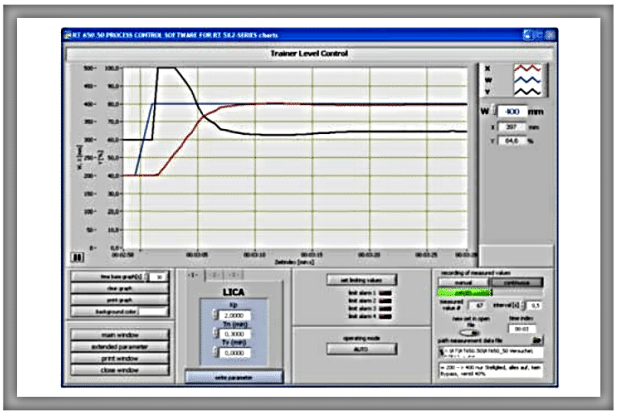
RT 512 Level Control Trainer



1 transparent level-controlled tank, 2 pressure sensor, 3 ball valve with scale, 4 storage tank with pump, 5 pneumatic control valve, 6 line recorder, 7 switch cabinet, 8 controller



Process schematic



Screenshot of optional process control software RT 650.50: step response to change in reference variable, PI controller

Specification

[1] trainer for control engineering experiments
[2] level control process, equipped with standard industrial components
[3] level measurement by pressure sensor
[4] generation of disturbance variables by ball valve with scale in outlet
[5] transparent level-controlled tank with overflow and graduated scale
[6] pneumatically operated control valve with electro-pneumatic positioner
[7] digital controller, parameterisable as a P, PI or PID controller
[8] 2-channel line recorder
[9] process variables X and Y accessible as analogue signals via lab jacks

Technical Data

Storage tank: 30L
Centrifugal pump
- power consumption: 250W
- max. flow rate: 150L/min
- max. head: 7m
- speed: 2800min^{-1}

Level-controlled tank
- max. 7L
- level: 0...0,6m

Pressure sensor: 0...100mbar
Pneumatically operated control valve DN 20
- Kvs: 4,0m³/h
- reference variable: 4...20mA
- nominal stroke: 15mm
- characteristic curve equal-percentage

Line recorder
- 2x 4...20mA
- feed rate 0...7200mm/h, stepped

Controller
- process variables X, Y as analogue signals: 4...20mA

Dimensions and Weight

LxWxH: 1000x700x1750mm
Weight: approx. 124kg

Required for Operation

230V, 50/60Hz, 1 phase or 120V, 60Hz/CSA, 1 phase
Compressed air: 3...8bar

Scope of Delivery

1 trainer
1 set of cables
1 set of hoses
1 set of instructional material

Order Details

080.51200 RT 512 Level Control Trainer

ضمیمه ب – دیتاشیت دستگاه کنترل دبی

RT 522 *Flow Control Trainer*

*** Experimental introduction to control engineering using an example of flow control**

*** Construction of the system with components commonly used in industry**

*** Digital controller with freely selectable parameters: P, I, D and all combinations**

*** Integrated 2-channel line recorder**

*** Optional process control software RT 650.50 available**

*** Construction of a complete networked system via Profibus interface possible**

Technical Description

This trainer provides a comprehensive experimental introduction to the fundamentals of control engineering using an example of flow control.

A pump delivers water from a storage tank through a piping system. The flow rate is measured by an electromagnetic sensor, which permits further processing of the measured value by outputting a standardised current signal. A rotameter indicates the flow. The controller used is a state-of-the-art digital industrial controller. The actuator in the control loop is a control valve with electric motor operation. A ball valve in the outlet line enables defined disturbance variables to be generated. The controlled variable X and the manipulating variable Y are plotted directly on an integrated 2-channel line recorder. Alternatively, the variables can be tapped as analogue signals at lab jacks on the switch cabinet. This enables external recording equipment, such as an oscilloscope or a flatbed plotter, to be connected.

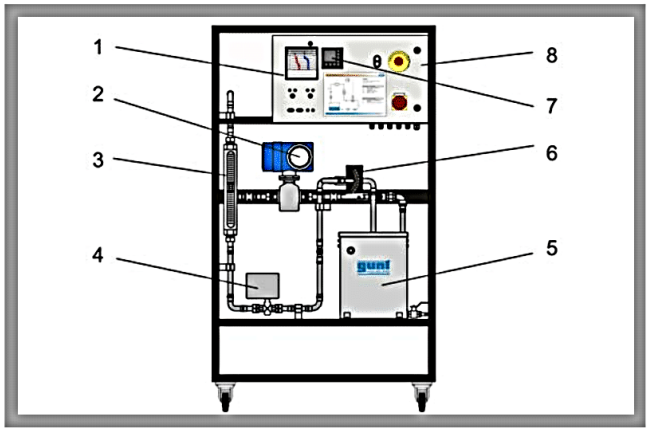
A process control software (RT 650.50) is optionally available. The software permits the construction of a complete networked system comprising multiple trainers from the RT 512 - RT 552 series. The key process variables can also be represented, and control functions executed.

The well-structured instructional material sets out the fundamentals and provides a step-by-step guide through the experiments.

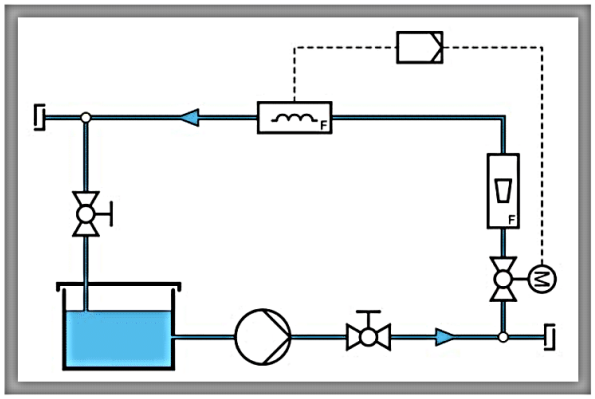
Learning Objectives / Experiments

- fundamentals of control engineering
- real industrial control engineering components: controllers, transducers, actuators
- operation and parameterisation of the local industrial controller
  * manually (by keyboard)
  * using the RT 650.50 process control software
- investigation of disturbance and control response
- controller optimisation
- investigation of the properties of the open and closed control loops
- processing of process variables using external equipment, e.g. oscilloscope or plotter
- together with accessory RT 650.50 and other trainers (RT 512, RT 532 - RT 552): familiarisation with and use of process control software (SCADA)

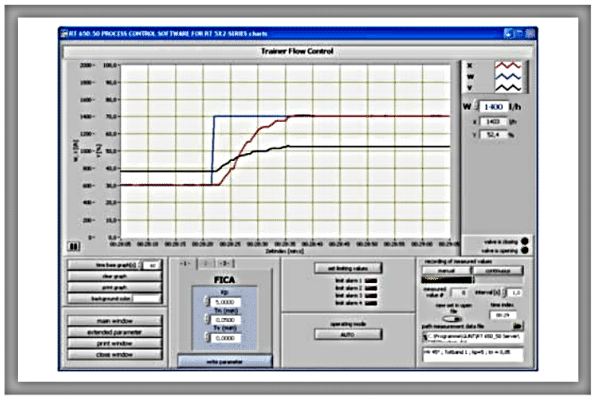
RT 522 Flow Control Trainer



1 line recorder, 2 electromagnetic flow rate sensor, 3 rotameter, 4 control valve, 5 storage tank with pump, 6 ball valve with scale, 7 controller, 8 switch cabinet



Process schematic



Screenshot of optional process control software RT 650.50: step response to change in reference variable, PI controller

Specification

[1] trainer for control engineering experiments
[2] flow control process, equipped with standard industrial components
[3] flow rate measurement by electromagnetic sensor
[4] rotameter for direct observation of the flow
[5] generation of disturbance variables by ball valve with scale in outlet line
[6] control valve with electric motor
[7] digital controller, parameterisable as a P, PI or PID controller
[8] 2-channel line recorder
[9] process variables X and Y accessible as analogue signals via lab jacks

Technical Data

Storage tank: 30L
Centrifugal pump
- power consumption: 250W
- max. flow rate: 150L/min
- max. head: 7m
- speed: 2800min^{-1}

Rotameter: 0...1960L/h
Electromagnetic flow rate sensor: 0...6000L/h
Control valve with electric motor
- Kvs: 5,7m³/h
- stroke: 5mm
- characteristic curve equal-percentage
- valve-opening position sensor: 0...1000 Ohm

Line recorder
- 2x 4...20mA
- feed rate 0...7200mm/h, stepped

Controller
- process variables X, Y as analogue signals: 4...20mA

Dimensions and Weight

LxWxH: 1000x700x1750mm
Weight: approx. 110kg

Required for Operation

230V, 50/60Hz, 1 phase or 120V, 60Hz/CSA, 1 phase

Scope of Delivery

1 trainer
1 set of cables
1 hose
1 set of instructional material

Order Details

080.52200 RT 522 Flow Control Trainer

ضمیمه ج – دیتاشیت دستگاه کنترل فشار

RT 532 *Pressure Control Trainer*

*** Experimental introduction to control engineering using an example of pressure control**

*** Construction of the system with components commonly used in industry**

*** Digital controller with freely selectable parameters: P, I, D and all combinations**

*** Integrated 2-channel line recorder**

*** Optional process control software RT 650.50 available**

*** Construction of a complete networked system via Profibus interface possible**

Technical Description

This trainer provides a comprehensive experimental introduction to the fundamentals of control engineering using an example of pressure control.

The air pressure control system is a 2nd order system. It comprises two in-line pressure tanks interconnected by a flow control valve. An additional valve on the second tank makes air tapping possible and so can be used to simulate a disturbance variable. A pressure sensor measures the pressure in the second vessel. The controller used is a state-of-the-art digital industrial controller. The actuator in the loop is a pneumatically operated control valve with a standardised current signal input. The controlled variable X and the manipulating variable Y are plotted directly on an integrated 2-channel line recorder. Alternatively, the variables can be tapped as analogue signals at lab jacks on the switch cabinet. This enables external recording equipment, such as an oscilloscope or a flatbed plotter, to be connected.

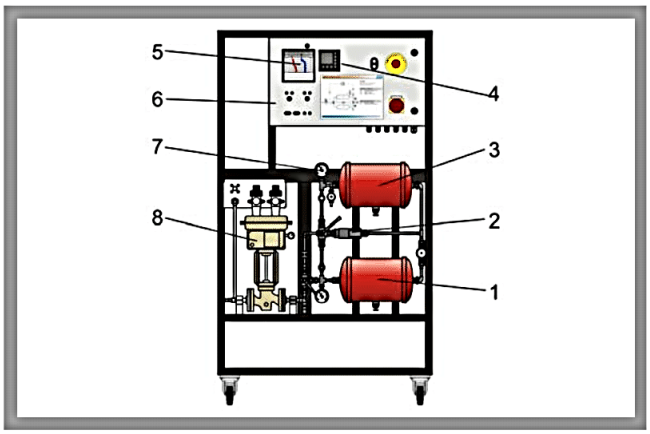
A process control software (RT 650.50) is optionally available. The software permits the construction of a complete networked system comprising multiple trainers from the RT 512 - RT 552 series. The key process variables can also be represented, and control functions executed.

The well-structured instructional material sets out the fundamentals and provides a step-by-step guide through the experiments.

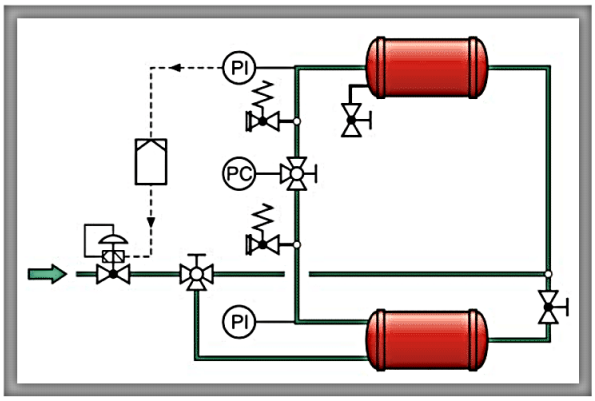
Learning Objectives / Experiments

- fundamentals of control engineering
- real industrial control engineering components: controllers, transducers, actuators
- operation and parameterisation of the local industrial controller
  * manually (by keyboard)
  * using the RT 650.50 process control software
- control response to
  * 1st order controlled system
  * 2nd order controlled system
- investigation of disturbance and control response
- controller optimisation
- investigation of the properties of the open and closed control loops
- processing of process variables using external equipment, e.g. oscilloscope or plotter
- together with accessory RT 650.50 and other trainers (RT 512, RT 522, RT 542, RT 552): familiarisation with and use of process control software (SCADA)

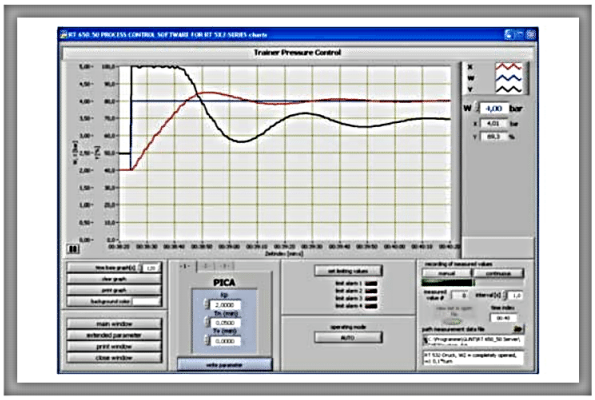
RT 532 Pressure Control Trainer



1 pressure tank, 2 pressure sensor, 3 pressure tank, 4 digital controller, 5 line recorder, 6 switch cabinet, 7 manometer, 8 pneumatically operated control valve



Process schematic



Screenshot of optional process control software RT 650.50: step response to change in reference variable, PI controller

Specification

[1] trainer for control engineering experiments
[2] pressure control process, equipped with standard industrial components
[3] pressure measurement by pressure sensor
[4] generation of disturbance variables by drain valve
[5] 2 pressure tanks with pressure relief valve and manometer for direct observation of the tank pressure
[6] valves permit investigation of a 1st order controlled system (1 tank) or 2nd order controlled system (2 in-line tanks)
[7] pneumatically operated control valve with electro-pneumatic positioner
[8] digital controller, parameterisable as a P, PI or PID controller
[9] 2-channel line recorder
[10] process variables X and Y accessible as analogue signals via lab jacks

Technical Data

2 pressure tanks
- capacity: each 10L
- max. pressure: 10bar
- operating pressure: 6bar

Pressure sensor: 0...6bar
Pneumatically operated control valve
- connecting flanges: DN15
- Kvs: 0,1m³/h
- reference variable: 4...20mA
- stroke: 15mm
- characteristic curve equal-percentage

Line recorder
- 2x 4...20mA
- feed rate 0...3600mm/h, stepped

Controller
- process variables X, Y as analogue signals: 4...20mA

Dimensions and Weight

LxWxH: 1000x700x1750mm
Weight: approx. 110kg

Required for Operation

230V, 50/60Hz, 1 phase or 120V, 60Hz/CSA, 1 phase
Compressed air: 3...8bar

Scope of Delivery

1 trainer
1 set of cables
1 hose
1 set of instructional material

Order Details

080.53200 RT 532 Pressure Control Trainer

مراجع

[1] http://www.gunt.de/networks/gunt/sites

[۲] کتاب کنترل فرآیندهای صنعتی، دکتر علیرضا فاتحی، چاپ انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی

[3] Normey-Rico, Julio E., and Eduardo F. Camacho. "Dead-time compensators: A survey." Control engineering practice 16.4 (2008): 407-428.

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی