گزارش کار پروژه درس ابزار دقیق

موضوع پروژه: شبیه‌سازی اتوماسیون و مانیتورینگ خط تولید کارتریج‌های شیمیایی

استاد محترم: جناب آقای دکتر اسماعیل‌زاده

تهیه‌کننده: علی افخمی

دانشکده: مهندسی برق

۱. مقدمه و هدف پروژه

هدف از اجرای این پروژه، طراحی منطق کنترلی (Ladder Logic) برای یک خط تولید نیمه اتوماتیک کارتریج‌های شیمیایی در محیط نرم‌افزار Delta ISPSoft است. این خط تولید متشکل از ۵ ایستگاه فرآیندی مجزا (شامل ورود قطعه، تزریق مواد، پرس و درپوش‌گذاری، برچسب‌زنی و کنترل وزن نهایی) است. منطق سیستم به گونه‌ای پیاده‌سازی شده است که علاوه بر کنترل دقیق محرک‌ها، با استفاده از سیستم حفاظتی اینترلاک (Interlock)، ایمنی و اتکاپذیری خط تولید در برابر خطاهای احتمالی تضمین گردد.

۲. منطق کنترلی و شرح عملکرد ایستگاه‌ها

ایستگاه اول: تشخیص و ورود کارتریج خام

با فشردن شستی استارت (X0)، نوار انتقال (کانوایر) شروع به حرکت می‌کند. با رسیدن کارتریج به سنسور مجاورتی ورودی (X2)، کانوایر با **نوار نقاله** متوقف شده و تایمر تأیید موقعیت برای مدت ۲ ثانیه (K20) فعال می‌شود. پس از اتمام زمان تایمر، حضور قطعه تأیید شده، یک واحد به شمارنده اضافه می‌گردد و کانوایر حرکت خود را برای انتقال قطعه به ایستگاه بعدی از سر می‌گیرد.

ایستگاه دوم: عملیات تزریق ماده فرآیندی (محاسبات آنالوگ)

در این ایستگاه از توابع ریاضی PLC برای محاسبه پیوسته حجم ماده تزریق شده استفاده گردید. محاسبه حجم به صورت لحظه‌ای و بر اساس رابطه زیر در رجیسترهای داده (Data Registers) انجام می‌شود:

$$CurrentVolume = FlowRate \times Filltime$$

- **فرضیات و تنظیمات:** برای راه‌اندازی شبیه‌ساز، حجم هدف (Target Volume) برابر با ۱۰۰۰ واحد و نرخ جریان (Flow Rate) برابر با ۱۰۰ واحد بر ثانیه در نظر گرفته شد.
- **تشخیص خطا (Underfill):** حداکثر زمان مجاز فرآیند ۱۵ ثانیه (K150) تنظیم گردید. در صورتی که زمان تزریق از این مقدار تجاوز کند اما حجم هنوز به مقدار هدف نرسیده باشد، سیستم خطای Underfill صادر کرده و فرآیند متوقف می‌شود. همچنین در صورت عدم وجود فیزیکی کارتریج زیر نازل، آلارم چشمک‌زن (M1013) فعال می‌گردد.

ایستگاه سوم: عملیات پرس و بستن درپوش

این ایستگاه شامل کنترل جک پنوماتیک/هیدرولیک و موتور چرخشی است.

- با رسیدن قطعه، پرس به سمت پایین حرکت کرده و پس از فعال شدن سنسور حد پایین، متوقف می‌شود.
- پس از ۱ ثانیه تأخیر، موتور درپوش‌بند شروع به کار می‌کند.

- **تایمر محدودیت زمانی:** در این بخش یک بازه زمانی ۵ ثانیه‌ای تعریف شده است. در صورت بسته شدن صحیح درپوش (فعال شدن سنسور گشتاور X7) در کمتر از ۵ ثانیه، پرس به بالا باز می‌گردد. در غیر این صورت، خطای طولانی شدن زمان صادر شده و چراغ آلارم روشن می‌شود.

ایستگاه چهارم: عملیات مارکینگ و برچسب‌گذاری

پس از استقرار کارتریج در این ایستگاه، دستگاه برچسب‌زن فعال می‌شود. شرط اصلی برای عبور قطعه از این ایستگاه، تأیید صحت چسبیدن برچسب توسط سنسور نوری (X12) است. با رویت برچسب سالم، قطعه شمارش شده و مسیر حرکت ادامه می‌یابد. در صورت استارت عملیات بدون حضور قطعه، سیستم اخطار چشمک‌زن صادر می‌کند.

ایستگاه پنجم: کنترل نهایی، بسته‌بندی و منطق ریجکت

پیچیده‌ترین منطق تصمیم‌گیری (Decision Making) در این ایستگاه پیاده‌سازی شده است:

- قطعه وارد ایستگاه شده و توقف کانوایر انجام می‌شود.
- **بررسی وزن:** اگر سنسور کنترل وزن خروجی تأیید دهد، ربات (Y12) فعال شده و قطعه را درون جعبه قرار می‌دهد.
- **منطق بازگشت و ریجکت (Looping):** در صورتی که وزن برای **بار اول** نامعتبر باشد، قطعه به مسیر بررسی مجدد هدایت شده و یک پرچم حافظه داخلی (Flag) فعال می‌شود تا وضعیت قطعه ثبت گردد. اگر همین قطعه برای **بار دوم** در تأیید وزن شکست بخورد، به مسیر ریجکت (ضایعات) هدایت شده و شمارنده قطعات معیوب افزایش می‌یابد.
- پس از رسیدن تعداد قطعات سالم داخل جعبه به عدد ۶، کانتر فرمان اتمام بسته‌بندی را صادر کرده و فرآیند پلمپ جعبه به مدت ۵ ثانیه انجام می‌شود. سپس کانتر به صورت خودکار ریست شده و چرخه تکرار می‌گردد.

۳. پیاده‌سازی مکانیزم ایمنی (Interlock System)

به منظور ارتقاء سطح اتکاپذیری سیستم‌های صنعتی، مکانیزم **اینترلاک زنجیره‌ای** برای مدیریت ایستگاه‌ها برنامه‌نویسی شد:

- **تأییدیه مرحله‌ای (Done Flags):** شروع به کار هر ایستگاه منوط به دریافت سیگنال اتمام کار (Done Bit) از ایستگاه ماقبل خود است. این ارتباطِ زنجیره‌ای مانع از تداخل فیزیکی قطعات در کانوایر می‌شود.
- **مدیریت وضعیت کلی خط:** با استفاده از رجیسترهای داخلی، سه وضعیت مانیتورینگ برای کل خط تولید استخراج گردید:
  - **وضعیت Run:** روشن بودن مداوم خط تولید (چراغ سبز).
  - **وضعیت Fail:** فعال شدن در صورت بروز خطاهای حیاتی مانند خطای Underfill در ایستگاه دوم یا خطای تایم‌آوت پرس در ایستگاه سوم (چراغ قرمز).
  - **وضعیت Idle:** زمانی که سیستم روشن نیست اما هیچ اروری نیز ثبت نشده و دستگاه آماده آغاز به کار است (چراغ زرد).
- **توقف ایمن:** با فشردن کلید قطع اضطراری، هر ایستگاه چرخه جاری خود را متوقف کرده و به دلیل ساختار اینترلاک، توقف به صورت آبشاری و ایمن به سایر ایستگاه‌ها منتقل می‌شود.

---

۵. چالش‌های شبیه‌سازی و رفع خطاهای نرم‌افزاری (Troubleshooting)

در مرحله اجرای مدار در محیط شبیه‌ساز (DVP Simulator)، چالش‌های فنی زیر بررسی و برطرف گردیدند:

- **مقداردهی به رجیسترهای داده (Data Registers):** در محیط برنامه‌نویسی آفلاین (ISPSoft)، درج مستقیم مقادیر در بلوک‌های توابع (مانند `D2=1000`) منجر به ارور `Unknown Symbol` در زمان کامپایل می‌شود. برای رفع این

مشکل، در ساختار برنامه تنها آدرس حافظه‌ها (مثل D2 و D4) تعریف شد. سپس در زمان اجرای آنلاین (Online Mode)، از طریق راست‌کلیک بر روی رجیسترها و انتخاب گزینه Change Present Value (یا استفاده از ابزار Device Monitor)، مقادیر اولیه برای حجم هدف و نرخ جریان به سیستم تزریق گردید.

- **شبیه‌سازی حرکت فیزیکی کانوایر:** از آنجا که شبیه‌ساز فاقد محیط گرافیکی سه‌بعدی است، برای تست صحیح اینترلاک و توالی فرآیند، باید حرکت فیزیکی قطعه با تغییر وضعیت سنسورها شبیه‌سازی می‌شد. به این معنا که پس از اتمام کار هر ایستگاه، پیش از فعال کردن سنسور ورود ایستگاه بعدی، سنسورهای ایستگاه فعلی باید به صورت دستی Set OFF می‌شدند تا خروج قطعه از ایستگاه به درستی به PLC تفهیم شود.

---

۶. سناریوی تست و بررسی عملکرد (Validation Scenario)

برای اطمینان از صحت عملکرد منطق کنترلی در نرم‌افزار DVP Simulator، سناریوی تست زیر به صورت گام‌به‌گام اجرا و خروجی‌ها ارزیابی شدند:

تست ایستگاه ۱: راه‌اندازی و ورود قطعه

- **هدف:** بررسی روشن شدن خط و عملکرد نوار نقاله.
- **اقدام شما:** روی X0 (دکمه استارت) راست‌کلیک کرده، گزینه Set ON و بلافاصله Set OFF را بزنید (شبیه‌سازی فشردن شستی).
- **چه اتفاقی می‌افتد:** رله M0 فعال می‌شود. چراغ سبز خط (Y20 در نتورک وضعیت) روشن شده و موتور نوار نقاله (Y0) شروع به کار می‌کند.
- **اقدام بعدی:** با فرض رسیدن کارتریج به سنسور، روی X2 راست‌کلیک کرده و Set ON کنید.
- **چه اتفاقی می‌افتد:** نوار نقاله (Y0) متوقف می‌شود. تایمر شروع به شمارش ۲ ثانیه می‌کند. بعد از اتمام ۲ ثانیه، عدد کانتر ایستگاه اول (C0) یک واحد بالا می‌رود و نوار نقاله دوباره روشن می‌شود.

تست ایستگاه ۲: محاسبات آنالوگ و تزریق

- **هدف:** بررسی اجرای فرمول ریاضی و پر شدن دقیق مخزن.
- **اقدام شما:** ابتدا برای تنظیم پارامترها، روی رجیستر D2 (حجم هدف) کلیک راست کرده، Change Present Value را زده و عدد ۱۰۰۰ را وارد کنید. برای D4 (نرخ جریان) نیز عدد ۱۰۰ را وارد کنید. سنسور قبلی (X2) را Set OFF کنید و سپس روی X3 (سنسور موقعیت) و X4 (سنسور حضور کارتریج) Set ON کنید.
- **چه اتفاقی می‌افتد:** شیر تزریق (Y1) باز می‌شود. با بررسی رجیسترهای D6 (زمان) و D0 (حجم فعلی)، مشاهده می‌شود که مقادیر به سرعت در حال افزایش هستند. دقیقاً پس از ۱۰ ثانیه که حجم به عدد ۱۰۰۰ رسید، شیر (Y1) بسته شده و مقادیر رجیسترها برای قطعه بعدی صفر می‌شوند.

تست ایستگاه ۳: پرس و گشتاور درپوش

- **هدف:** بررسی توالی حرکتی جک و محدودیت امنیتی ۵ ثانیه‌ای.
- **اقدام شما:** سنسورهای ایستگاه قبل را Set OFF کنید. روی X5 (سنسور ورود به ایستگاه ۳) Set ON کنید.

- **چه اتفاقی می‌افتد:** خروجی Y4 (پایین آمدن پرس) روشن می‌شود.
- **اقدام بعدی:** روی X6 (سنسور رسیدن جک به پایین) Set ON کنید.
- **چه اتفاقی می‌افتد:** خروجی پایین آمدن قطع می‌شود. سیستم ۱ ثانیه مکث می‌کند و سپس خروجی Y5 (موتور درپوش) روشن شده و تایمر ۵ ثانیه‌ای شروع به کار می‌کند.
- **اقدام سریع:** قبل از اینکه ۵ ثانیه تمام شود، روی X7 (سنسور گشتاور) Set ON کنید.
- **چه اتفاقی می‌افتد:** موتور درپوش‌بند خاموش شده و خروجی Y6 (بالا رفتن پرس) روشن می‌شود که نشان‌دهنده موفقیت عملیات است. با روشن کردن X10 (سنسور حد بالا)، خروجی بالا رفتن نیز قطع شده و ایستگاه ریست می‌شود.

تست ایستگاه ۴: مارکینگ و برچسب‌گذاری

- **هدف:** بررسی عملکرد دستگاه برچسب‌زن و توقف کانوایر.
- **اقدام شما:** سنسورهای قبلی را خاموش کرده و روی X11 (سنسور موقعیت مارکینگ) Set ON کنید.
- **چه اتفاقی می‌افتد:** کانوایر متوقف شده و خروجی دستگاه برچسب‌زن (Y10) فعال می‌گردد.
- **اقدام بعدی:** روی X12 (سنسور تأیید برچسب) Set ON کنید.
- **چه اتفاقی می‌افتد:** کانتر قطعات لیبل‌دار (C3) یک واحد بالا می‌رود، وضعیت مارکینگ ریست شده و کانوایر به صورت خودکار برای انتقال قطعه روشن می‌شود.

تست ایستگاه ۵: کنترل نهایی و بسته‌بندی

- **هدف:** بررسی عملکرد تأیید وزن، ربات، شمارنده ۶ تایی و تایمر پلمپ جعبه.
- **اقدام شما (بخش وزن):** سنسورهای ایستگاه قبل را خاموش کنید. روی X14 (توقف برای وزن‌کشی) و بلافاصله X15 (تأیید وزن سالم) Set ON کنید.
- **چه اتفاقی می‌افتد:** بازوی ربات (Y12) برای برداشتن قطعه سالم روشن می‌شود.
- **اقدام شما (بخش بسته‌بندی):** در نتورک مربوط به سنسور ورود به جعبه (X16)، این سنسور را ۶ بار پشت سر هم Set ON و Set OFF کنید (شبیه‌سازی افتادن ۶ کارتریج درون جعبه).
- **چه اتفاقی می‌افتد:** به محض اینکه عدد کانتر جعبه به ۶ برسد، خروجی Y13 (بسته‌بندی جعبه) روشن می‌شود. پس از گذشت ۵ ثانیه، خروجی به طور خودکار خاموش شده و کانتر صفر می‌گردد.

تست نهایی: حفاظت و توقف اضطراری (Emergency Stop)

- **هدف:** بررسی عملکرد سیستم ایمنی و خروج از حالت Run.
- **اقدام شما:** در حالی که سیستم در حال کار و کانوایر روشن است، روی X1 (کلید استپ اضطراری) Set ON کنید.
- **چه اتفاقی می‌افتد:** تمام موتورها و شیرهای فرآیندی فوراً خاموش می‌شوند. وضعیت خط از حالت Y20) Run) خارج شده و چرخه عملیاتی در امن‌ترین حالت ممکن (Idle/Fail) متوقف می‌گردد.