التقرير الفني الشامل لنظام التحكم البرمجي للمصاعد والسيور متعددة المستويات (PLC Elevator & Conveyor Sorting System)

تم إعداد هذا التقرير ليكون بمثابة مرجع هندسي متكامل ودليل تفصيلي شامل لتحليل وتوثيق نظام التحكم الآلي الخاص بمنظومة الفرز والنقل اللوجستي متعددة الأدوار. يعتمد النظام برمجياً على منصة Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal) وربطها ببيئة المحاكاة الفيزيائية وثلاثية الأبعاد Factory I/O، CPU 1511-1 PN لتشغيل وحدة التحكم المنطقية القابلة للبرمجة.

الفصل الأول: الوصف الهيكلي وفلسفة تشغيل المنظومة

تتكون المنظومة اللوجستية محل الدراسة من خط إنتاج ونقل ذكي متكامل يعمل على توزيع الصناديق وفرزها عبر ثلاثة مستويات عمودية مختلفة (الأرضي، الأول، والثاني). يعتمد التصميم الميكانيكي والكهربائي على المكونات الرئيسية التالية:

- **منطقة التغذية والدخول (Entry Zone):** تحتوي على سير تغذية رئيسي يقوم بنقل الصناديق من خطوط الإنتاج السابقة نحو منصة الشحن الخاصة بالمصعد الأيسر.
- **منظومة الرفع الرأسي اليسرى (Left Lift Elevator):** مصعد كهربائي ثنائي الاتجاه مزود بمحرك ذي سرعتين (سريع وبطيء) لرفع الصناديق بدقة إلى المستويات العليا وتجنب الصدمات الميكانيكية عند التوقف.
- **شبكة السيور الناقلة البينية الوسطى (Intermediate Conveyors 0, 1, 2):** سيور ناقلة أفقية متمصلة في المستويات المختلفة لربط المصعد الأيسر بالمصعد الأيمن ونقل الطرود أفقياً.
- **منظومة الرفع الرأسي اليمنى (Right Lift Elevator):** مصعد كهربائي مماثل للمصعد الأيسر، يقوم باستقبال الصناديق القادمة عبر السيور البينية وخفضها أو رفعها لتوجيهها إلى خط الطرد النهائي.
- **منطقة الطرد النهائي (Exit Zone):** سير ناقل نهائي يقوم بإخراج الطرود الجاهزة خارج المنظومة مع تسجيلها رقمياً.

فلسفة التحكم التتابعي (Sequential Control Control Philosophy): يعتمد الكود بالكامل على مبدأ الـ Sequential Machine أو نظام الانتقال بين الحالات الثابتة (State Machine). يعني ذلك أن الخطوة البرمجية اللاحقة مشروطة برمجياً وميكانيكياً بتمام انتهاء الخطوة السابقة عبر تلامسات الحساسات الرقمية، مما يمنع حدوث أي عشوائية في حركة السيور أو المصاعد ويحقق أقصى معايير السلامة الصناعية.

الفصل الثاني: جدول تخصيص المداخل والمخارج والذاكرة الداخلية (PLC Tags Mapping)

يوضح الجدول التالي العناوين الرقمية (Digital Inputs/Outputs) والذاكرة الداخلية (Memory Markers) المستخدمة في بناء المنطق البرمجي للمشروع كوثيقة مرجعية أساسية:

اسم الرمز (Tag Name)	العنوان الفيزيائي (Address)	نوع البيانات (Data Type)	الوصف والوظيفة الهندسية
Start	%I3.0	Bool	زر التشغيل الرئيسي للنظام (Normally Open)
Stop	%I3.2	Bool	زر الإيقاف العادي للنظام

اسم الرمز (Tag Name)	العنوان الفيزيائي (Address)	نوع البيانات (Data Type)	الوصف والوظيفة الهندسية
			(Normally Closed للمحافظة على الأمان)
Emergency stop	%I3.3	Bool	زر الطوارئ لقطع التغذية والتشغيل فوراً (Normally Closed)
Starting	%M0.0	Bool	ماركر التشغيل العام الحافظ لحالة النظام (Master Latch Bit)
Entry conveyor	%Q0.0	Bool	إشارة تشغيل محرك سير الدخول الرئيسي
At entry	%I10.0	Bool	حساس رصد وجود الصندوق عند مدخل سير الشحن
Left lift Empty	%M0.3	Bool	ماركر داخلي لتأكيد خلو المصعد الأيسر وجاهزيته
Left up	%Q0.7	Bool	إشارة تشغيل موتور المصعد الأيسر للسرعة السريعة صعوداً
Left slow	%Q1.0	Bool	إشارة تشغيل السرعة البطيئة للمصعد الأيسر (التهدئة)
Left down	%Q1.1	Bool	إشارة تشغيل موتور المصعد الأيسر نزولاً للعودة للأرضي
Load left	%Q0.2	Bool	محرك السير الداخلي لعربة المصعد الأيسر لسحب وطرد الصندوق
Right up	%Q1.2	Bool	إشارة تشغيل موتور المصعد الأيمن صعوداً سريعاً
Right down	%Q1.4	Bool	إشارة تشغيل موتور المصعد الأيمن نزولاً سريعاً
Right slow	%Q1.3	Bool	إشارة تشغيل السرعة البطيئة للمصعد الأيمن للتهدئة بدقة
Load right	%Q0.5	Bool	محرك السير الداخلي لعربة المصعد الأيمن لسحب وطرد الصندوق
Exit conveyor	%Q0.6	Bool	إشارة تشغيل سير الطرد

اسم الرمز (Tag Name)	العنوان الفيزيائي (Address)	نوع البيانات (Data Type)	الوصف والوظيفة الهندسية
			والإنهاء النهائي للطرود
total input boxes	%MW11	Int	مسجل الذاكرة الخاص بعداد الصناديق الداخلة بالكامل للسيستم
total output boxes	%MW14	Int	مسجل الذاكرة الخاص بعداد الصناديق الخارجة بنجاح
digital display 0	%QD30	Dint	مخرج الشاشة الرقمية الأولى لعرض عدد المدخلات
digital display 1	%QD34	Dint	مخرج الشاشة الرقمية الثانية لعرض عدد المخرجات

الفصل الثالث: التحليل التفصيلي والبرمجي للشبكات (Network-by-Network Analysis)

يتكون البرنامج البرمجي الرئيسي المتواجد داخل كتلة التنظيم الدورية (Main [OB1]) من 24 شبكة مترابطة، وفيما يلي تفكيك وتحليل هندسي دقيق لكل شبكة برمجية على حدة ووظيفتها في التتابع العام:

الشبكة الأولى (Network 1: System Initialization)

تُستخدم للربط بين بيئة العمل وربط المتغيرات الخارجية القادمة من نظام المحاكاة عبر بلوكات استدعاء الموديول والتأكد من تفعيل بيئة الاتصال والجاهزية البرمجية دون وجود أخطاء في الـ Configuration.

الشبكة الثانية والثالثة (Network 2 & 3: Sequence of Levels Left & Right)

يتم في هاتين الشبكتين استدعاء كتل البيانات التنظيمية المسؤولة عن الـ Sequence الذكي للمصعدين الأيسر والأيمن (1,2,3 Left/Right DB). تعمل هذه الكتل كـ Floor Tracker ؛ حيث تتبع باستمرار إشارات حساسات الأدوار للتأكد من الحالة الحالية للمصعد ومكانه (الدور الأرضي، الأول، أو الثاني) لتحديد الإجراء البرمجي التالي دون تداخل الأوامر العشوائية.

الشبكة الرابعة (Network 4: Master Start/Stop Control)

يتحول ماركر التشغيل الرئيسي، Start (%I3.0) دائرة الحفظ اللاتش الرئيسية للنظام بأكمله. عند الضغط على زر التشغيل النبضي والطوارئ Stop (%I3.2) تم وضع حماية برمجية عن طريق توصيل زري الإيقاف. (True) إلى الحالة (%M0.0) "Starting" هذا التصميم يضمن SR Latch. الخاص ببلوك الـ Reset كتلامسات مفتوحة تؤدي مباشرة إلى طرف الـ Emergency (%I3.3) ؛ ففي حالة انقطاع السلك في الواقع أو الضغط على زر الإيقاف، تفقد الإشارة قيمتها وتصبح (0)، مما يجبر(Fail-Safe) حماية حتمية فوراً وإيقاف المنظومة بالكامل Reset الكود على تفعيل الـ.

الشبكة الخامسة (Network 5: Entry Conveyor Control)

تتحكم هذه الشبكة في تشغيل سير الدخول الأولي لتقديم الطرود. يشترط تشغيل السير وجود إشارة التشغيل العام للمصنع وبقاء المصعد وفصل أوتوماتيكي Reset ويتم عمل ،(%M0.3) "LeftLiftEmpty" الأيسر فارغاً وجاهزاً في الأسفل بناءً على الماركر المساعد للمحرك لتجنب تكدس الصناديق في نهاية السير عندما يلقط حساس الوصول المنصة بنجاح.

الشبكة السادسة (Network 6: Box Presence Tracking on Left Lift)

تقوم بفحص حالة التواجد الميكانيكي داخل عربة المصعد الأيسر. من خلال حساس التواجد الداخلي، يتحدد ما إذا كان المصعد يحمل طرداً أم أنه فارغ تماماً، مما يولد المتغير البرمجي "LeftLiftEmpty" الذي يبنى عليه شروط الصعود والنزول في الشبكات التالية.

الشبكة السابعة والثامنة (Network 7 & 8: Input & Output Counter Logic)

منظومة العد الرقمي ومراقبة الجودة والإنتاجية في المصنع:

- **شبكة 7 (عداد الدخول):** تستخدم بلوك عد تصاعدي (CTU). يأخذ نبضة من حساس الدخول "At entry" (%I10.0)، وكلما مر صندوق، تزداد القيمة المخزنة في الكلمة الذاكرية "total input boxes" (%MW11).
- **شبكة 8 (عداد الخروج):** تعمل بنفس الطريقة عبر بلوك (CTU) مستقل، تأخذ النبضة من حساس الخروج النهائي "At exit" (%I10.7) لتسجيل عدد المواد الخارجة بالكامل من النظام في المسجل الذاكري "total output boxes" (%MW14).

الشبكة التاسعة (Network 9: Data Type Conversion for Display)

هنا تبرز تريكة هندسية برمجية بالغة الأهمية؛ حيث إن العدادات البرمجية تُخرج البيانات بنوع رقم صحيح قصير (Int - 16 Bit)، بينما الشاشات الرقمية والمقاييس المتواجدة في موديل المحاكاة الخارجي مصممة هندسياً لاستقبال نوع بيانات رقم صحيح مزدوج الطول (Dint - 32 Bit). لذلك، تم دمج بلوكات التحويل البرمجي (CONV - Int to Dint) لتعديل صياغة البيانات ونقلها بدقة إلى العناوين الخارجية للشاشات %QD30 و %QD34 دون التسبب في حدوث System Fault للـ PLC.

الشبكة العاشرة والحادية عشرة (Network 10 & 11: Load Left & Conveyor 0 Logic)

لسحب الطرد القادم من سير (%Q0.2) "Load left" تتحكم الشبكة 10 في تشغيل آلية سحب الصندوق الفعلي للمصعد الأيسر مع توظيف بلوكات الحافة الصاعدة ،%Q0.3 بقيمة (Conveyor 0) التغذية. بينما تتحكم الشبكة 11 في السير الناقل السفلي الأولي لالتقاط لحظة عبور الطرد بدقة متناهية دون التأثر بطول الطرد أو استمرار وقوفه P_TRIG (Positive Edge) الحساسة للنبضات الميكانيكي فوق الحساس.

الشبكات الثانية عشرة والثالثة عشرة والرابعة عشرة (Network 12, 13 & 14: Left Elevator Motion Control)

هذا الثلاثي البرمجي يدير حركة المحرك الرأسي للمصعد الأيسر بالكامل:

- **Network 12 (Left up):** عند تفعيل ماركر تحميل الصندوق (%Q0.7) تطلق إشارة الصعود السريع للمصعد الأيسر وثبوت رغبة النظام في رفع الطرد للمستويات العليا بناءً على قراءة الـ Sequence.
- **Network 13 (Left slow):** تعمل برمجياً قبل وصول المصعد. (%Q1.0) إشارة السرعة البطيئة والتهدئة الميكانيكية إلى المستوى المستهدف بمسافة وجيزة، مما يمنح المصعد استقراراً ميكانيكياً ويمنع الارتجاجات العنيفة، مما يحافظ على عمر المحرك والتروس.
- **Network 14 (Left down):** للعودة بالمصعد الأيسر فوراً إلى الدور الأرضي بمجرد (%Q1.1) إشارة النزول السريع طرد الصندوق بنجاح لتكرار عملية الشحن والتغذية مجدداً.

الشبكة الخامسة عشرة والسادسة عشرة (Network 15 & 16: Sorting Conveyors 1 & 2)

Conveyor 2 و (Conveyor 1 (%Q1.5 تتحكم في تشغيل السيور الأفقية العلوية المتواجدة بالمستويين الأول والثاني هذه السيور تنقل الصناديق المطرودة من المصعد الأيسر أفقياً عبر المسارات المحددة لفرزها ونقلها بالتتابع الزمني نحو .((%Q1.6) منصة الاستقبال الخاصة بالمصعد الأيمن التالي.

الشبكة السابعة عشرة (Network 17: Left Elevator Warning Signaling)

شبكة الأمان الصناعي للمصعد الأيسر. تتحكم برمجياً في مخرج المصباح أو جهاز الإنذار التحذيري "Left warning" (%Q1.7). المنطق البرمجي مبني على تجميع إشارتي الحركة (Left up أو Left down) عبر بوابة منطقية عريضة (OR Gate)، مما يجعل الإنذار يعمل بشكل آلي وتلقائي ومستمر طالما كان المصعد في حالة حركة رأسية، وذلك لتنبيه مشغلي الخطوط والعمال في البيئة الصناعية الحقيقية.

الشبكة الثامنة عشرة والتاسعة عشرة (Network 18 & 19: Exit Lift Presence & Loading Logic)

تقوم الشبكة 18 بمراقبة وصول وتواجد الطرود المقتربة من عربة المصعد الأيمن وتوليد الماركر الخاص بالتحقق من خلوه "RightLiftEmpty" (%M6.1). ثم تقوم الشبكة 19 بتفعيل آلية سير السحب الداخلي للمصعد الأيمن "Load right" (%Q0.5) لسحب الطرد القادم أفقياً من السيور البينية والاحتفاظ به داخل العربة إعداداً للحركة العمودية التالية.

الشبكة العشرون (Network 20: Final Exit Conveyor Control)

تتحكم برمجياً في تشغيل محرك سير الطرد والإنهاء النهائي للطرود "Exit conveyor" (%Q0.6). يعمل هذا السير بشكل تتابعي بمجرد وصول المصعد الأيمن إلى النقطة السفلية النهائية وتفريغ الطرد عليه، ليدفع الصندوق نحو الخروج النهائي ويمر أمام حساس العداد الأخير.

الشبكات الحادية والعشرون والثانية والعشرون والثالثة والعشرون (Network 21, 22 & 23: Right Elevator Motion Control)

تدير هذه السيستم البرمجي المتكامل حركة المصعد الأيمن المسؤول عن تسليم المنتجات وتوجيهها إلى خط الإنهاء:

- **Network 21 (Right up):** تعطي أمر الصعود السريع للمصعد الأيمن (%Q1.2) في حالة الحاجة للارتفاع لاستقبال طرد من المستويات العليا.
- **Network 22 (Right slow):** تعطي إشارة التهدئة والسرعة البطيئة للمصعد الأيمن (%Q1.3) لضمان وقوف دقيق وثبات متناهٍ أمام أطراف السيور العلوية البينية ومنع صدمات الطرود وتلفها.
- **Network 23 (Right down):** أمر النزول السريع للمصعد الأيمن (%Q1.4) للهبوط بالطرد نحو مستوى الطرد الأرضي النهائي تمهيداً لعملية الإنهاء.

الشبكة الرابعة والعشرون (Network 24: Right Elevator Warning Signaling)

"Right warning" منظومة الأمان والتحذير المستقلة للمصعد الأيمن؛ حيث تقود مخرج إشارة الإنذار الصوتي أو الضوئي (Right down أو Right up) يجمع بين أمري تشغيل المصعد صعوداً وهبوطاً (OR) لتفعيل التنبيه تلقائياً عبر منطق (%Q2.0)

بشكل منفصل لضمان عزل وتحديد منطقة الخطر بالمصنع.

الفصل الرابع: أنظمة الحماية والأمان الصناعي والإنترلوك (Industrial Interlocking & Safety)

تم إعداد الكود البرمجي بتبني أعلى معايير الحماية الهندسية المتبعة في الأنظمة الصناعية الحقيقية لتفادي التلف الميكانيكي أو الأخطاء البشرية القاتلة، وتتمثل في الآتي:

1. **الحماية البرمجية المتبادلة للمحركات (Software Interlocking):** في شبكات التحكم بالمصاعد (الشبكات 12، 14، 21، 23)، تم دمج تلامس مغلق (Normally Closed contact) من أمر الحركة المعاكسة في سطر الحركة المقابلة. على سبيل المثال، تم وضع تلامس مغلق من مخرج النزول (Left down) في سطر إشارة الصعود (Left up)، والعكس صحيح. هذا يضمن برمجياً وقطيعاً استحالة تغذية موتور الرفع بأمرين متضادين في نفس الوقت حتى لو انهارت برمجيات الحساسات، مما يحمي الملفات الكهربائية للمحرك من الاحتراق الكامل.
2. **منظومة الإيقاف الآمن في حالات الطوارئ (Fail-Safe Emergency System):** تصميم قراءة زري الإيقاف والطوارئ يعتمد على القراءة المباشرة للأجهزة الفيزيائية NC، مما يضمن أنه في حالة حدوث أي قطع حقيقي في التوصيلات أو الأسلاك، سيعتبر الـ PLC الإشارة (0) ويفعل أمر الفصل الفوري والحتمي لحماية الأرواح والمعدات.
3. **الحماية الميكانيكية بالتهدئة (Two-Speed Slowdown Interlock):** فصل أوامر الحركة إلى سرعتين (سريع وبطيء) يضمن عدم توقف كابينة الأسانسير بشكل فجائي وهي محملة بالأوزان الثقيلة، مما يخفض من قوى العزم الارتدادية والإجهادات الميكانيكية الواقعة على سيور وجنازير الرفع.

الفصل الخامس: دليل الأسئلة النموذجية المتوقعة في المناقشة الشفهية (Oral Exam Preparation)

يستعرض هذا القسم أهم الأسئلة العميقة والذكية التي يطرحها أساتذة التحكم والمناقشون بخصوص هذا الكود، مع الإجابات الهندسية النموذجية والمثالية المقفلة للدرجة:

س1: ما هي فلسفة اختيارك لنوع التلامسات (مفتوحة/مغلقة) لزر الـ Emergency والـ Stop داخل كود الـ Ladder مقارنة بالواقع؟

الرد الهندسي: في الواقع الصناعي وفي برنامج الـ Factory I/O، بشكل فيزيائي Emergency والـ Stop يتم توصيل أزرار الـ (Normally Closed) كمفاتيح مغلقة دائماً لأسباب تتعلق بالأمان الفائق (Fail-Safe)، (1) وبالتالي فهي ترسل إشارة مستمرة بقيمة (1) طالما لم يتم الضغط عليها. بناءً على ذلك، قمت بوضعها داخل كود الـ PLC إلى مداخل الـ Ladder | | كتلامسات مفتوحة عادية لتمرير الطاقة البرمجية طالما الوضع آمن، وعند الضغط على الزر أو حدوث قطع في الأسلاك، تسقط الإشارة في الواقع إلى (0)، فينفتح التلامس في الكود فوراً وينقطع اللاتش الرئيسي ويتوقف النظام كلياً.

س2: لماذا استخدمت بلوكات الحافة الصاعدة P_TRIG في شبكة التحكم بسير Conveyor 0 والسيور الأخرى؟

الرد الهندسي: تم استخدام الـ Positive Edge Trigger فقط لالتقاط لحظة التحول الفوري للإشارة من الحالة (0) إلى الحالة (1) (لحظة مقدمة وصول الصندوق أمام الحساس). هذا البلوك يعطي نبضة برمجية دقيقة جداً تدوم لدورة مسح واحدة فقط (One Scan Cycle). لو قمنا باستخدام تلامس عادي مستمر، لظلت الإشارة مفعلة طوال فترة وقوف أو مرور جسم الصندوق الطويل أمام الحساس، مما يسبب تداخلاً في الخطوات التتابعية ويعطل حركة الـ Sequence البرمجي المطلوب.

س3: اشرح بوضوح هندسي سبب حاجتك لاستعمال بلوكات الـ CONVERT في الشبكة التاسعة؟

الرد الهندسي: نستخدم بلوكات الـ CONV لمعالجة مشكلة عدم توافق أنواع البيانات (Data Types Mismatch). مخرجات قيم العدادات التصاعدية المخزنة في الـ Accumulator تخرج كبيانات من نوع رقم صحيح قصير (Int - 16 Bit)، بينما وحدات

مثل (Double Word) متصلة برمجياً بقنوات مخرجات مزدوجة Factory I/O العرض والشاشات الرقمية الممتدة في الـ بتحويل صياغة البيانات برمجياً CONV يقوم بلوك الـ .(Dint - 32 Bit) وتستقبل حصراً نوع بيانات رقم صحيح طويل %QD30 لضمان قراءة الشاشة للقيم بشكل دقيق ومنع حدوث أخطاء المعالجة الرقمية Dint إلى Int من الـ.

في نظام حركة المصاعد؟ (Left slow / Right slow) س4: ما الفائدة الهندسية من دمج بلوك السرعة البطيئة

الرد الهندسي: الفائدة ميكانيكية وكهربائية بحتة؛ المحركات الكبيرة في المصاعد الصناعية تمتلك عزوماً وقوى قصور ذاتي عالية عند التحميل بالأوزان. الانتقال المباشر من السرعة العالية إلى التوقف التام يسبب صدمات ميكانيكية عنيفة تؤدي إلى تآكل سريع للتروس يجعل المصعد يهدئ من سرعته قبل الوصول التام للدور (Slow Speed) والسيور وسقوط المنتجات. دمج منطق السرعة البطيئة متوافقاً مع مستويات السيور الأفقية (Smooth & Accurate Positioning) بأجزاء من الثانية، مما يحقق توقفاً ناعماً ودقيقاً.

منفصلين بدلاً من بلوك واحد مشترك ثنائي CTU س5: لماذا قمت بالفصل التام بين عدادات الدخول وعدادات الخروج عبر بلوكي الاتجاه (CTUD)؟

عند استخدام الـ .(Memory Isolation & System Stability) **الرد الهندسي:** لضمان الفصل التام للبيانات واستقرار الذاكرة المشترك، يؤدي التداخل والسرعة العالية لحركة المصاعد وتزامن لقط الحساسات في الدخول والخروج في نفس اللحظات إلى CTUD الفصل البرمجي جعل لكل مسار عداده الخاص المستقل .Accumulator حدوث عشوائية رقمية وتصفير تلقائي للقيمة الحالية في الـ والمستقر تماماً في الذاكرة لتوفير مراقبة ومتابعة دقيقة وخالية من التداخل الهامشي للإشارات.