



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΑΙΓΑΙΟΥ**
Τμήμα Ναυτιλίας και
Επιχειρηματικών Υπηρεσιών

&

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**
Τμήμα Μηχανικών Βιομηχανικής
Σχεδίασης και Παραγωγής



**ΔΙΔΡΥΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΝΕΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ ΚΑΙ ΤΙΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ»**

Διπλωματική Εργασία

Τίτλος Εργασίας:

*Εφεδρικό Σύστημα Ελέγχου Δικτυωμένων Επιστομιών με Εφαρμογές στα
Σύγχρονα Πλοία*

*Backup System for the Control of Networked Valves with Applications to
Modern Ships*

Ονοματεπώνυμο Σπουδαστή:

Αλεξανδρόπουλος Επαμεινώνδας

Ονοματεπώνυμο Υπεύθυνου Καθηγητή:

Μ. Παπουτσιδάκης

ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Φεβρουάριος 2019



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΑΙΓΑΙΟΥ**

Τμήμα Ναυτιλίας και
Επιχειρηματικών Υπηρεσιών

&

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**

Τμήμα Μηχανικών Βιομηχανικής
Σχεδίασης και Παραγωγής



*Εφεδρικό Σύστημα Ελέγχου Δικτυωμένων Επιστομίων με Εφαρμογές στα
Σύγχρονα Πλοία*

ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΠΟΥΛΟΣ ΕΠΑΜΕΙΝΩΝΔΑΣ

**Μεταπτυχιακή Διατριβή που υποβάλλεται στο καθηγητικό σώμα για την μερική
εκπλήρωση των υποχρεώσεων απόκτησης του μεταπτυχιακού τίτλου του Διδρυματικού
Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Νέες Τεχνολογίες στη Ναυτιλία και τις
Μεταφορές» του Τμήματος Ναυτιλίας και Επιχειρηματικών Υπηρεσιών του
Πανεπιστημίου Αιγαίου και του Τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και
Παραγωγής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.**



Ο/Η κάτωθι υπογεγραμμένος / η, του, με αριθμό μητρώου φοιτητής / τρια του Διδρυματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Νέες Τεχνολογίες στη Ναυτιλία και τις Μεταφορές» του Τμήματος Ναυτιλίας και Επιχειρηματικών Υπηρεσιών του Πανεπιστημίου Αιγαίου και του Τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι: «Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής διπλωματικής διατριβής και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην διατριβή. Επίσης έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης βεβαιώνω ότι αυτή η διατριβή προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά ειδικά για τη συγκεκριμένη μεταπτυχιακή διπλωματική διατριβή».

Ο δηλών

Ημερομηνία



Περίληψη

Η ύπαρξη διπλών συστημάτων ελέγχου στα κύρια μηχανήματα και συστήματα των πλοίων για αύξηση της ασφάλειας εν πλω και εν όρμω είναι απαραίτητη. Η εφαρμογή που σχεδιάστηκε, υλοποιήθηκε και παρουσιάζεται στην τρέχουσα εργασία, επιχειρεί την αύξηση της ασφάλειας ενός πλοίου, μέσω της κατασκευής εφεδρικού συστήματος ελέγχου επιστομίων των κυριότερων δικτύων θαλάσσης αυτού. Η εγκατεστημένη εφαρμογή SCADA του πλοίου, παρουσιάζει μειονέκτημα στην μη ύπαρξη εφεδρικού συστήματος για τον έλεγχο των επιστομίων των δικτύων θαλάσσης του πλοίου. Ο έλεγχος των επιστομίων γίνεται μέσω του εγκατεστημένου συστήματος SCADA του πλοίου το οποίο αποτελείται από τα HMI, το PLC μέσα στο οποίο εκτελείται ο αυτοματισμός και ελέγχονται τα επιστόμια, και το δίκτυο AS-i (Actuator Sensor Interface). Το δίκτυο AS-i περιλαμβάνει τα AS-i Master (Gateway) τα οποία λαμβάνουν την πληροφορία από το PLC, μέσω δικτύου Profibus και την μετατρέπουν σε πρωτόκολλο AS-i για να την μεταφέρουν πάνω στο δίκτυο και να επικοινωνήσουν με τις slave μονάδες. Επίσης, περιλαμβάνει την γραμμή μεταφοράς (πληροφορίας και τροφοδοσίας), η οποία είναι ένα δισύρματο καλώδιο συγκεκριμένων προδιαγραφών και τις μονάδες slave οι οποίες λαμβάνουν και αποστέλλουν πληροφορίες στο AS-i Master. Όπως γίνεται αντιληπτό, για να δημιουργηθεί το εν λόγω εφεδρικό σύστημα πρέπει να προγραμματιστούν και να εγκατασταθούν ένα HMI, ένα PLC, μέσω του οποίου θα γίνεται ο έλεγχος των επιστομίων, και των AS-i Master.

Η τεχνολογία που χρησιμοποιήθηκε στο εγκατεστημένο σύστημα Control & Monitoring του πλοίου είναι του πρώτου μισού του 2000. Αποτελεί λοιπόν ερωτηματικό η συμβατότητα της με την σημερινή τεχνολογία, μιας και πρέπει να συνδυαστούν συσκευές παλαιότερης με συσκευές νεότερης τεχνολογίας.

Λέξεις κλειδιά: SCADA, PLC, AS-i BUS, HMI, Valves



Abstract

Redundancy in critical control systems and ship's machinery in order to increase safety on ship, is necessary in modern ships. The project that was designed, implemented and is presented in this thesis, is trying to increase safety of a board, through the construction of a backup system that is able to control seawater valves. The installed SCADA system, does not have a redundant control system for seawater valves and this is a disadvantage. Control of the valves achieved through the ship's installed SCADA system. The SCADA system consists of an HMI, the PLC in which is executed the automation and control of the valves, and the AS-i Bus (Actuator Sensor Interface). AS-i Bus (Network) consists of the AS-i Master (Gateways) that receive data from the PLC, through Profibus protocol and convert it to AS-i protocol in order to send data over AS-i cable to AS-i slaves. It also consists of AS-i cable that transfers data and power to the slaves. In order to create a backup system to control the seawater valves we have to program and install an HMI, a PLC and AS-i Master.

The technology of the installed Control & Monitoring System is from the first half of 2000. It is a question the compatibility of AS-i modules and PLC that are going to be used with the slave modules that have already been installed in the system.

Keywords: Λέξεις κλειδιά: SCADA, PLC, AS-i BUS, HMI, Valves



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΑΙΓΑΙΟΥ** &
Τμήμα Ναυτιλίας και
Επιχειρηματιών Υπηρεσιών

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**
Τμήμα Μηχανικών Βιομηχανικής
Σχεδίασης και Παραγωγής



Στους γονείς μου!



Ευχαριστίες

Η υλοποίηση της παρούσας εργασίας ήταν για μένα μια ενδιαφέρουσα και δημιουργική διαδικασία μέσω της οποίας αποκόμισα πολλά και σημαντικά οφέλη!

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή κ. Μιχαήλ Παπουτσιδάκη για την στήριξη και την βοήθεια που μου προσέφερε κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας.

Τέλος θέλω να ευχαριστήσω την σύζυγο μου Κουτσοδήμου Κωνσταντίνα, για την συμπαράσταση της καθ' όλη την διάρκεια του Μεταπτυχιακού προγράμματος καθώς και για την βοήθεια της με τις πλούσιες γνώσεις της!



Περιεχόμενα

1.	Εισαγωγή	- 10 -
2.	Συστήματα SCADA	- 12 -
2.1	Εισαγωγή στα συστήματα SCADA.....	- 12 -
2.1.1	Field Devices & Signals (Συσκευές πεδίου & σήματα).....	- 15 -
2.1.2	Δίκτυα Επικοινωνίας	- 17 -
2.1.2.1	PROFINET IO	- 20 -
2.1.3	SCADA Operations User Workstation (Σταθμοί Εργασίας Χρηστών)	- 21 -
2.1.4	SCADA Server Computer	- 22 -
3.	PLC (Programmable Logic Controllers).....	- 23 -
3.1	Ιστορική αναδρομή	- 23 -
3.2	Το πρότυπο IEC 61131.....	- 25 -
3.2.1	Γλώσσες προγραμματισμού PLC (IEC 61131-3)	- 28 -
3.3	Περιγραφή και πλεονεκτήματα των PLC.....	- 34 -
3.4	Δομικά στοιχεία των PLC.....	- 37 -
3.5	PLC SIEMENS S7-1200.....	- 40 -
3.5.1	Καταστάσεις Λειτουργίας της CPU	- 42 -
3.5.2	Δυνατότητες επέκτασης της CPU	- 44 -
3.5.2.1	CM 1243-2 ASi Master	- 45 -
4.	Πρωτόκολλο AS-i (Actuator Sensor Interface).....	- 46 -
4.1	Layer 1: Φυσικό επίπεδο Δικτύου ASi (Physical Layer - OSI model)	- 50 -
4.1.1	Καλώδιο AS-i	- 51 -
4.1.2	Modulation procedure ASi	- 52 -
4.2	Layer 2: Data Link Layer AS-i (Data Link Layer - OSI model)	- 55 -
4.2.1	AS Interface Messages.....	- 55 -
4.2.2	Data Safety	- 58 -
5.	Εγκατεστημένο σύστημα αυτοματισμού	- 60 -
5.1	Δομή του εγκατεστημένου συστήματος αυτοματισμού	- 61 -
5.2	Εγκατεστημένο σύστημα ελέγχου επιστομίων (Valves) δικτύων εξαντλήσεως, ζυγίσεως κ.α. πλοίου, με δίκτυο AS-i.	- 63 -
6.	Σύστημα ελέγχου Επιστομίων Δικτύων Εξαντλήσεως, Ζυγίσεως και Ψύξεως Πλοίων, μέσω PLC & δικτύου AS-Interface.	- 66 -
6.1	Δομή Δικτύου και Διασύνδεση συσκευών.	- 70 -



6.2	Δημιουργία του Hardware Configuration της εγκατάστασης στο TIA Portal, ενσωμάτωση AS-i Master & AS-i Slaves και προγραμματισμός της CPU S7-1214C.....	- 72 -
6.3	Προγραμματισμός της CPU S7 1214C και του HMI	- 76 -
7.	Συμπεράσματα - Προτάσεις.....	- 85 -
8.	Βιβλιογραφία.....	- 86 -
9.	Παραρτήματα	- 88 -
10.	Πίνακας Εικόνων	- 88 -



1. Εισαγωγή

Η αυτοματοποίηση της βιομηχανικής παραγωγής αλλά και της ναυτιλιακής βιομηχανίας και των πλοίων έχει επεκταθεί, με την χρήση των συστημάτων SCADA και των PLC να θεωρείται πλέον δεδομένη. Σε αυτό έχει συμβάλλει τα μέγιστα η ανάπτυξη που εμφανίζει τα τελευταία χρόνια ο τομέας της πληροφορικής αλλά και η βελτίωση της τεχνολογίας των υλικών καθώς και η τεχνολογία των αισθητήρων. Τα σύγχρονα πλοία είναι πλέον αυτοματοποιημένα και ένα μεγάλο και κρίσιμο μέρος τους ελέγχεται με συστήματα SCADA και τα ενσωματωμένα σε αυτό PLC, μέσω αισθητήρων και ενεργοποιητών οι οποίοι είναι διασκορπισμένοι στο πλοίο. Αυτό επιτρέπει τον έλεγχο του σκάφους από τους χειριστές, οι οποίοι βρίσκονται στο Κέντρο Ελέγχου (Control Room), έχοντας πλήρη εικόνα των συστημάτων του πλοίου, της κατάστασης λειτουργίας τους και της απόδοσης τους. Εκμεταλλευόμενοι όλες τις πληροφορίες που παρέχει η εγκατάσταση, ο χειριστής μπορεί να λάβει τις σωστές αποφάσεις για την λειτουργία του πλοίου με αποτέλεσμα να αυξάνεται η αποδοτικότητα των συσκευών, η ασφάλεια της εγκατάστασης αλλά και αυτή των μηχανημάτων κ.α.

Τα συστήματα που ελέγχονται μέσω των συστημάτων SCADA και των PLC είναι όλα τα βασικά συστήματα για την λειτουργία ενός πλοίου, όπως οι Κύριες Μηχανές Πρόωσης, Γεννήτριες, Δίκτυο διανομής Ισχύος, Στάθμη δεξαμενών, Air Condition, Αερισμός, Δίκτυο θαλασσίου ύδατος Ψύξεως μηχανημάτων, Δίκτυο πλήρωσης δεξαμενών (Ζυγίσεως), Δίκτυο εξάντλησης ύδατος και πολλά άλλα κύρια ή δευτερεύοντα συστήματα. Τα συστήματα αυτά είναι πολύ κρίσιμα για την λειτουργία ενός πλοίου και πολλά από αυτά είναι είτε διπλά με στόχο να επιτυγχάνεται ο έλεγχος τους ακόμα και σε περίπτωση βλάβης ενός πίνακα ελέγχου είτε υφίσταται εναλλακτικός τρόπος χειρισμού από το προσωπικό έτσι ώστε να επιτυγχάνεται ο επιθυμητός έλεγχος σε περίπτωση βλάβης.

Η παρούσα μελέτη προέκυψε από την ανάγκη ύπαρξης ενός εναλλακτικού τρόπου χειρισμού των επιστομίων των δικτύων θαλάσσης ενός πλοίου. Στην περίπτωση που θα αναλυθεί παρακάτω, ο έλεγχος των επιστομίων των δικτύων θαλάσσης ενός πλοίου γίνεται από το σύστημα SCADA του πλοίου είτε μέσω αυτόματων βηματικών διαδικασιών (Sequence) είτε από τους χρήστες. Σε αυτή την περίπτωση όμως δεν υπάρχει εφεδρικό



σύστημα μέσω του οποίου να μπορούν να ελεγχθούν τα επιστόμια παρά μόνο τοπικά χειροκίνητα. Αυτό σημαίνει ότι απαιτούνται άτομα τα οποία θα μεταβαίνουν σε όλο το μήκος του πλοίου προκειμένου να χειριστούν τα επιστόμια τοπικά, ανάλογα με την επιθυμητή διάταξη του δικτύου, έχοντας επικοινωνία μεταξύ τους αλλά και με τον χειριστή στο κέντρο ελέγχου προκειμένου να εκτελεστεί μια διαδικασία όπως πλήρωση θαλασσίου ύδατος σε δεξαμενές, εξάντληση, ψύξη μηχανημάτων και άλλα όπως θα αναλυθούν παρακάτω. Η παραπάνω διαδικασία που περιεγράφηκε είναι χρονοβόρα, απαιτεί ύπαρξη διαθέσιμου προσωπικού και καλό συγχρονισμό. Έτσι αποφασίστηκε η μελέτη και εγκατάσταση ενός συστήματος (εφεδρικού) το οποίο θα εγκατασταθεί παράλληλα με το εγκατεστημένο και θα ελέγχει τα επιστόμια του πλοίου σε περίπτωση βλάβης του αυτοματοποιημένου συστήματος. Το δε αυτοματοποιημένο σύστημα ελέγχου επιστομιών (valves) είναι μέρος του ολοκληρωμένου συστήματος αυτοματισμού του πλοίου. Αποτελείται από τα HMI τα οποία βρίσκονται στο κέντρο ελέγχου, τα PLC (ένα από αυτά ελέγχει την λειτουργία των επιστομιών) από τα οποία ελέγχεται ο αυτοματισμός και εκτελείται το πρόγραμμα του, το δίκτυο AS-i και τα επιστόμια (Valves). Το δίκτυο AS-i αποτελείται από τα AS-i Master (Gateways) τα οποία επικοινωνούν μέσω Profibus με το PLC, την γραμμή AS-i και τα AS-i slaves τα οποία είναι δίπλα στα επιστόμια και είτε είναι ψηφιακών εισόδων και “βλέπουν” την θέση των επιστομιών είτε είναι ψηφιακών εξόδων και δίνουν εντολές κίνησης στους ενεργοποιητές.

Όπως γίνεται κατανοητό, για να δημιουργηθεί ένα τέτοιο σύστημα το οποίο θα λειτουργεί σε περίπτωση βλάβης του υπάρχοντος, πρέπει να προγραμματιστούν ένα HMI και ένα PLC για τον έλεγχο των επιστομιών καθώς και να τοποθετηθούν νέα AS-i Master με τα τροφοδοτικά τους. Αυτό που δεν δύναται να επέμβουμε, και δεν κρίνεται αναγκαίο, είναι η γραμμή AS-i η οποία εκτείνεται σε όλο το πλοίο καθώς και τα AS-i slaves, τα οποία είναι δίπλα από κάθε επιστόμιο. Για αυτά δεν κρίνεται σκόπιμη η παρέμβαση διότι το καλώδιο AS-i, όπως θα αναλυθεί παρακάτω, είναι ένα απλό δισύρματο καλώδιο όπου σε περίπτωση αποκοπής του η αποκατάσταση είναι εύκολη και άμεση ενώ όσον αφορά τα slaves, αν χαθεί ένα από αυτά χάνεται ένα μικρό μέρος της όλης λειτουργίας.

Στην παρούσα εργασία για κατανόηση του συστήματος αναλύονται τα αντικείμενα των συστημάτων SCADA, PLC, και πρωτοκόλλου AS-i τα οποία είναι συστατικά στοιχεία της εγκατάστασης ενώ γίνεται αναφορά στο υπάρχον εγκατεστημένο σύστημα. Τέλος αναλύεται



το νέο Σύστημα ελέγχου Επιστομίων Δικτύων Εξαντλήσεως, Ζυγίσεως και Ψύξεως πλοίων, μέσω PLC & Δικτύου AS-i, όπως αυτό σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε. Στα παραρτήματα παρατίθεται και ο κώδικας προγραμματισμού του PLC μέσω του οποίου γίνεται ο έλεγχος αλλά και τα σχέδια της εγκατάστασης και τα σημεία όπου υπήρχε παρέμβαση.

2. Συστήματα SCADA

2.1 Εισαγωγή στα συστήματα SCADA

Τα συστήματα SCADA υπάρχουν από την στιγμή που δημιουργήθηκαν τα συστήματα ελέγχου. Ο όρος SCADA προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων **S**upervisory **C**ontrol **A**nd **D**ata **A**cquisition και δηλώνει ακριβώς τον ρόλο που επιτελεί, όπως είναι ο έλεγχος αυτοματοποιημένων διεργασιών και η συλλογή δεδομένων της διεργασίας.

Σύμφωνα με τον κανονισμό ANSI¹, ένα σύστημα εποπτικού ελέγχου (Supervisory Control And Data Acquisition) είναι μία διάταξη για έλεγχο και εποπτεία του εξοπλισμού ή της διαδικασίας, όπου βρίσκονται σε απομακρυσμένες θέσεις από κάποιο χειριστή, με χρήση τεχνικών πολυπλεξίας δια μέσου καναλιών επικοινωνίας, και ελέγχουν καθώς και αποκτούν δεδομένα από απομακρυσμένες μονάδες (RTU Remote Terminal Unit).

Τα συστήματα SCADA αποτελούν μια εφαρμογή της πληροφορικής στη βιομηχανία με σκοπό την εποπτεία και έλεγχο της παραγωγικής διαδικασίας. Με τα συστήματα SCADA επιτυγχάνουμε εποπτεία και έλεγχο σε πραγματικό χρόνο (Real time) μέσω προγραμματιζόμενων ελεγκτών ή απομακρυσμένων τερματικών μονάδων καθώς και την καταγραφή αυτών των κρίσιμων παραμέτρων σε βάσεις δεδομένων του συστήματος. Ένα τυπικό σύστημα SCADA περιλαμβάνει ένα κέντρο ελέγχου όπου, μεταξύ άλλων, υπάρχει ένας κεντρικός υπολογιστής, αρκετά μεγάλης υπολογιστικής ισχύος, στον οποίο βρίσκεται το λογισμικό SCADA εγκατεστημένο. Στο γραφικό περιβάλλον του υπολογιστή υπάρχουν διαγράμματα απεικόνισης της πραγματικότητας (μιμικά) όλων των διεργασιών της

¹ IEEE Std. C37.1-1994, *IEEE Standard Definition, Specification, and Analysis of Systems Used for Supervisory Control, Data Acquisition, and Automatic Control*, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1994.



παραγωγής, απεικόνιση συσκευών και μηχανημάτων που χρησιμοποιούνται στην παραγωγική διαδικασία (π.χ. μοτέρ), συναγερμούς (alarms) σε περίπτωση βλάβης ή ένδειξης ασυνήθιστων τιμών, καθώς και βάσεις δεδομένων για αποθήκευση των πληροφοριών για μελλοντική χρήση. (Krutz, 2013, σ. Chapter 1) (MCCRADY, 2013, pp. 1-12)

Ένα σύστημα SCADA αποτελείται από Υλικό (Hardware) και λογισμικό (Software). Μία κλασική διάταξη SCADA περιλαμβάνει τις παρακάτω κατηγορίες οι οποίες και θα αναλυθούν παρακάτω, με αυτή των PLC να αναλύεται εκτενώς σε ξεχωριστό κεφάλαιο:

- ✓ Field Devices & Signals
- ✓ PLC (Programmable Logic Controllers)
- ✓ Communication Networks
- ✓ SCADA Operations User Workstation
- ✓ SCADA Server Computer

(MCCRADY, 2013, σ. 12)

Το πακέτο Software του SCADA, πρέπει να έχει κάποια χαρακτηριστικά, πέρα από την αποδοτικότητα και την επίδοση, τα οποία χαρακτηρίζουν αυτά τα συστήματα. Το λογισμικό SCADA πρέπει να είναι εύκολα αναβαθμίσιμο και η αρχιτεκτονική του να είναι τέτοια ώστε να είναι επεκτάσιμο σε περίπτωση που η εφαρμογή απαιτεί να προστεθούν νέες διεργασίες. Υπάρχουν δύο προσεγγίσεις για τον σχεδιασμό ενός SCADA software:

- ✓ Συγκεντρωτικός, όπου ένας μόνο υπολογιστής εκτελεί όλες τις διεργασίες, αποθηκεύει και επεξεργάζεται δεδομένα της εγκατάστασης και διαμοιράζει, όπου αυτό απαιτείται τις πληροφορίες (Server Computer).
- ✓ Διανεμημένος, όπου το SCADA είναι ουσιαστικά διανεμημένο σε πολλούς μικρότερους υπολογιστές και HMI (Workstations).

Υπάρχουν πέντε διεργασίες που εκτελεί ένα τυπικό σύστημα SCADA:

1. Input/Output Task. Είναι η διαδικασία επικοινωνίας μεταξύ του συστήματος Control & Monitoring και των συσκευών πεδίου της εγκατάστασης.
2. Alarm Task. Αυτή η λειτουργία ανιχνεύει όλα τα ψηφιακά Alarm και ταυτόχρονα συγκρίνει όλες τις τιμές αναλογικών σημάτων με όρια τιμών που έχουν τεθεί σε αυτά



και να αναδεικνύει. Διαχειρίζεται όλα τα φυσικά(Disturbed) και λογικά (WA, AL) σφάλματα, τα Events κ.α.

3. Trends Task. Αυτή η λειτουργία, συλλέγει δεδομένα και τα απεικονίζει σε καμπύλες με βάση το χρόνο και με διάφορες λειτουργίες.
4. Reports Task. Τα Report παράγονται από την εγκατάσταση και μπορούν να είναι περιοδικά, να ενεργοποιούνται από το χειριστή ή από γεγονότα.
5. Display Task. Αυτή η λειτουργία διαχειρίζεται όλα τα δεδομένα που απεικονίζονται στο χειριστή και ελέγχει τις ενέργειες που εκτελούνται από το χειριστή.

(IDC, 2012, σσ. 148-149)

Τέλος είναι σημαντικό να αναφερθούν τα πλεονεκτήματα αλλά και τα μειονεκτήματα των συστημάτων SCADA PLC/DCS.

Πλεονεκτήματα:

- Οι υπολογιστές μπορούν να καταγράψουν και να αποθηκεύσουν πολύ μεγάλο όγκο δεδομένων.
- Χιλιάδες αισθητήρες, σε μια ευρεία περιοχή², μπορούν να διασυνδεθούν στο σύστημα.
- Διάφοροι τύποι δεδομένων μπορούν να συλλεχθούν από τα PLC.
- Τα δεδομένα μπορούν να απεικονιστούν από πολύ μακριά και όχι μόνο τοπικά από τον χειριστή.
- Τα δεδομένα μπορούν να απεικονιστούν με οποιοδήποτε τρόπο επιθυμεί ο χειριστής.
- Ο χειριστής μπορεί να ενσωματώσει πραγματικές προσομοιώσεις δεδομένων στο σύστημα.
- Τα δεδομένα που συλλέγονται είναι δυνατόν να επεξεργαστούν και να βοηθήσουν στην καλύτερη λειτουργία της εγκατάστασης αλλά και για άλλους σκοπούς, όπως είναι η απόδοση των μηχανημάτων, η εφαρμογή της μεθόδου Predictive Maintenance και Condition Based Maintenance μέσω της ανάλυσης αυτών των δεδομένων κ.α.

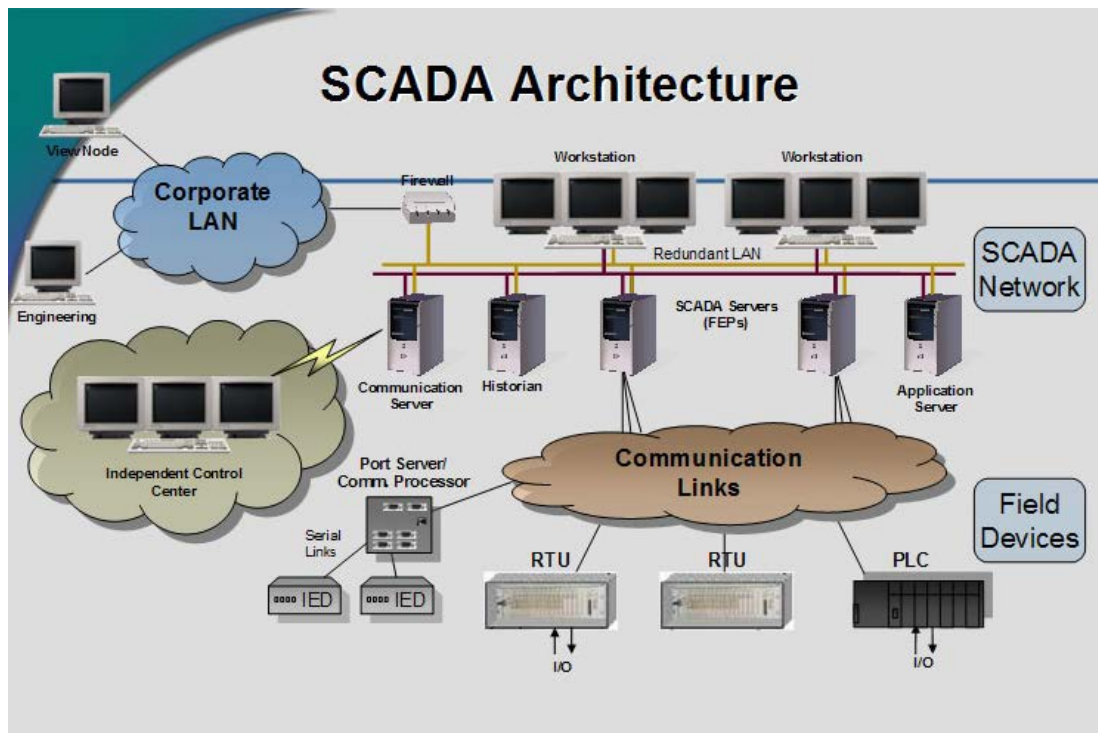
Μειονεκτήματα:

- Το σύστημα είναι εξαιρετικά περίπλοκο σε σχέση με παλαιότερα συστήματα.

² Η περιοχή δεν έχει περιορισμό γεωγραφικό αφού πλέον με το Internet και την δυνατότητα διασύνδεσης των PLC σε αυτό μπορούμε να αποκτήσουμε δεδομένα από οποιοδήποτε μέρος στη γη.

- Απαιτούνται επιπλέον δεξιότητες των καθιερωμένων όπως προγραμματιστές, αναλυτές κ.α.
- Όσο μεγαλύτερο είναι το σύστημα τόσο περισσότερα είναι τα καλώδια που απαιτούνται.
- Ο χειριστής δεν έχει ίδια άποψη της εγκατάστασης παρά μόνο από τις πληροφορίες που του παρέχει το PLC.

(IDC, 2012, σσ. 141-142) (MCCRADY, 2013, σ. 12)



Εικόνα 1 Αρχιτεκτονική SCADA Πηγή: <http://ovsyslimited.com/scadapl/>

2.1.1 Field Devices & Signals (Συσκευές πεδίου & σήματα)

Όταν σχεδιάζεται ένα σύστημα SCADA πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν αυτό που απαιτείται να απεικονιστεί αλλά και οι συσκευές που θα ελεγχθούν. Η απεικόνιση και ο έλεγχος αυτών γίνεται με διακριτά ή αναλογικά σήματα. Οι συσκευές πεδίου (Field Devices) μπορεί να είναι signal Transmitters, όπως transmitter στάθμης ή πίεσης, μπορεί να είναι



διακριτά σήματα που δείχνουν την θέση μίας βαλβίδας, (ανοικτή - κλειστή), συσκευές που μεταδίδουν πολλαπλά σήματα όπως στάθμη, πίεση, μέτρηση pH, αισθητήρες θερμοκρασίας όπως θερμοαντιστάσεις ή θερμοζεύγη κ.α. Όλα αυτά τα αισθητήρια/συσκευές πεδίου προσαρμόζονται σε ένα PLC και τα σήματα που συλλέγει το PLC επεξεργάζονται ανάλογα με το πρόγραμμα του και κατ' επέκταση του SCADA software.

Τα σήματα που δέχεται μία συσκευή όπως το PLC είναι αναλογικά ή ψηφιακά (διακριτά).

Τα Ψηφιακά σήματα (διακριτά) είναι εισερχόμενα και εξερχόμενα. Αυτά τα σήματα έχουν δύο καταστάσεις και δεν μπορεί σε καμία περίπτωση να υπάρξει κάποια ενδιάμεση κατάσταση, διαφορετική από αυτές τις δύο. Τα διακριτά σήματα μπορεί να είναι σήματα κατάστασης μιας βαλβίδας όπως ανοικτή ή κλειστή, από ένα limit switch ή από ένα proximity sensor, σήμα από ένα Pushbutton ή από ένα επιλογικό διακόπτη. Τα διακριτά σήματα εξόδου μπορούν να περιλαμβάνουν μία ενδεικτική λυχνία, έλεγχο κινητήρα μέσω ρελέ, έλεγχο βαλβίδων κ.α.

Τα αναλογικά σήματα είναι επίσης εισερχόμενα και εξερχόμενα σε ένα PLC. Τα σήματα αυτά, σε αντίθεση με τα διακριτά, μπορούν να λάβουν ένα προκαθορισμένο εύρος τιμών. Τα σήματα αυτά είναι πρότυπα και οι κατασκευαστές αναλογικών αισθητηρίων όπως και οι κατασκευαστές PLC ακολουθούν αυτή την τυποποίηση. Τέτοια σήματα είναι τα σήματα τάσης 0..10V, 1..5V, +-10V κ.α., έντασης 0..20mA, 4..20mA +-20mA κ.α., θερμοστοιχεία (θερμοαντιστάσεις Pt100, Pt1000, θερμοζεύγη κ α.). Όλα αυτά τα σήματα μπορούν και παίρνουν προκαθορισμένες τιμές (ελάχιστη και μέγιστη τιμή) . Στις εξόδους των PLC τα σήματα αυτά μπορούν να καθορίσουν τη θέση μιας αναλογικής βαλβίδας, τις στροφές ενός κινητήρα κ.α.

Τα παραπάνω αναλογικά και ψηφιακά σήματα, τα οποία είναι είσοδοι και έξοδοι των PLC, ελέγχουν την εγκατάσταση και προσφέρουν στον χειριστή όλες τις πληροφορίες για την ασφαλή λειτουργία της. Έτσι, από τα παραπάνω αντιλαμβανόμαστε την σημαντικότητα των PLC, τα οποία θεωρούνται ως η καρδιά του αυτοματισμού μιας εγκατάστασης, όπου με τον κατάλληλο προγραμματισμό επιτυγχάνουν τον έλεγχο και την λειτουργία της. Οι λειτουργίες αυτές των PLC εκτελούνται αφού προηγουμένως έχουν εγκατασταθεί οι κατάλληλες συσκευές πεδίου όπως αισθητήρες και ενεργοποιητές κ.α. (MCCRADY, 2013, σσ. 13-14)



2.1.2 Δίκτυα Επικοινωνίας

Στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις και τα πλοία, τα δίκτυα επικοινωνίας είναι πλέον ευρέως χρησιμοποιούμενα, σε αντίθεση με παλιότερα. Αυτό συμβαίνει γιατί οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις έχουν πλέον γιγαντωθεί και απαιτείται απομακρυσμένος έλεγχος. Συμβαίνει επίσης γιατί οι απαιτήσεις έχουν αυξηθεί και ο όγκος των πληροφοριών που διακινείται είναι τεράστιος. Τα PLC και τα SOWs (SCADA Operations Workstations PCs) αλλά και τα HMI (Human Machine Interface), διασυνδέονται μέσω τοπικού δικτύου LAN (Local Area Network), το οποίο συνήθως χρησιμοποιεί Industrial Ethernet ή άλλα δίκτυα υψηλής ταχύτητας μετάδοσης δεδομένων. Κάποια συστήματα SCADA εκτείνονται εκτός των ορίων της εγκατάστασης, σε γραφεία διοίκησης ή ελέγχου παραγωγής, οπότε απαιτείται επικοινωνία μέσω διαδικτύου με συνδέσεις DSL, με χρήση modem κλπ. Τα βιομηχανικά δίκτυα επικοινωνίας είναι πάρα πολλά, με χαρακτηριστικά τα οποία συνεχώς εξελίσσονται και μεταβάλλονται με το χρόνο και συμβαδίζουν με την ανάπτυξη της τεχνολογίας. Οι εταιρείες κατασκευής βιομηχανικού υλικού είναι προσανατολισμένες σε ορισμένα δίκτυα, αυτό δεν σημαίνει όμως ότι δεν δίνουν την δυνατότητα χρησιμοποίησης και άλλων δικτύων με το υλικό τους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η SIEMENS, όπου χρησιμοποιεί και προωθεί τα δίκτυα Profibus, PROFINET, MPI, Industrial Ethernet, δίνοντας παράλληλα την δυνατότητα χρησιμοποίησης και άλλων δικτύων (όπως ModBus, AS-i, IO-Link κ.α.) από το υλικό αυτοματισμού που κατασκευάζει.

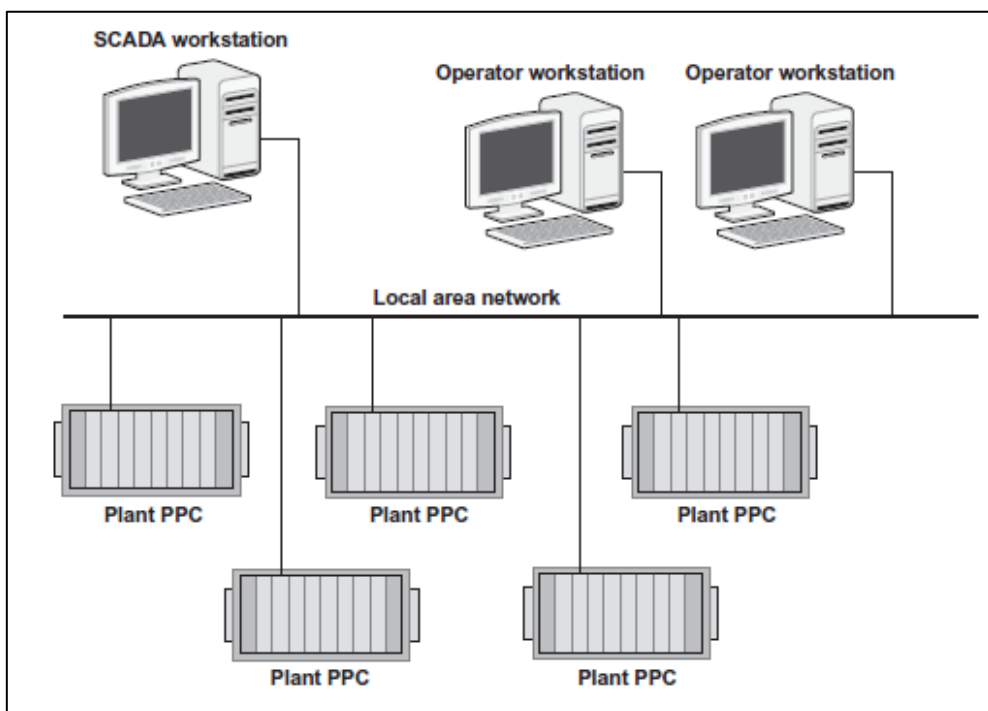
Παρακάτω παρουσιάζονται τοπολογίες δικτύων τις οποίες μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε σε ένα SCADA αλλά και μία περιγραφή του PROFINET IO που χρησιμοποιείται ως επι το πλείστον.

Στην τοπολογία διαύλου (bus topology) (Εικόνα 2), κάθε κόμβος συνδέεται σε ένα κεντρικό καλώδιο. Αυτό το κεντρικό καλώδιο είναι ο κορμός του δικτύου και είναι γνωστό ως δίαυλος ή αρτηρία. Ένα πακέτο δεδομένων που έχει αφετηρία έναν από τους κόμβους, ταξιδεύει και στις δύο κατευθύνσεις και διαδοχικά διέρχεται από όλους τους άλλους κόμβους του διαύλου. Κάθε κόμβος ελέγχει τη διεύθυνση παραλήπτη του πακέτου και αν ταιριάζει με την δική του το αποδέχεται, αλλιώς το αγνοεί. Είναι χαμηλού κόστους και εύκολο στην εγκατάσταση, κυρίως για τα μικρά δίκτυα, λόγω του μοναδικού κεντρικού καλωδίου.

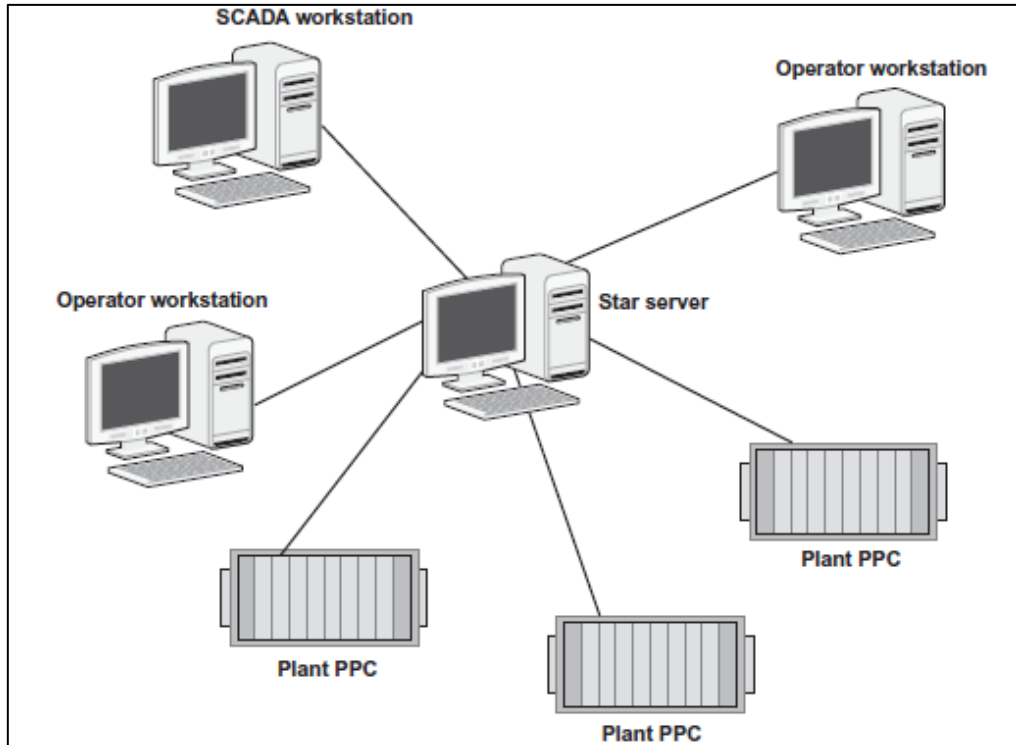


Δεδομένου ότι τα πακέτα διασχίζουν όλο το δίκτυο ανεξάρτητα της θέσης του κόμβου-αποδέκτη ενδέχεται να επιβαρύνουν την συνολική του απόδοση. Ένα ακόμα μειονέκτημα είναι ότι αν προσθέσουμε ή αφαιρέσουμε έναν κόμβο, ολόκληρο το δίκτυο τίθεται εκτός λειτουργίας. Το ίδιο συμβαίνει και στην περίπτωση κάποιας βλάβης στο κεντρικό καλώδιο.

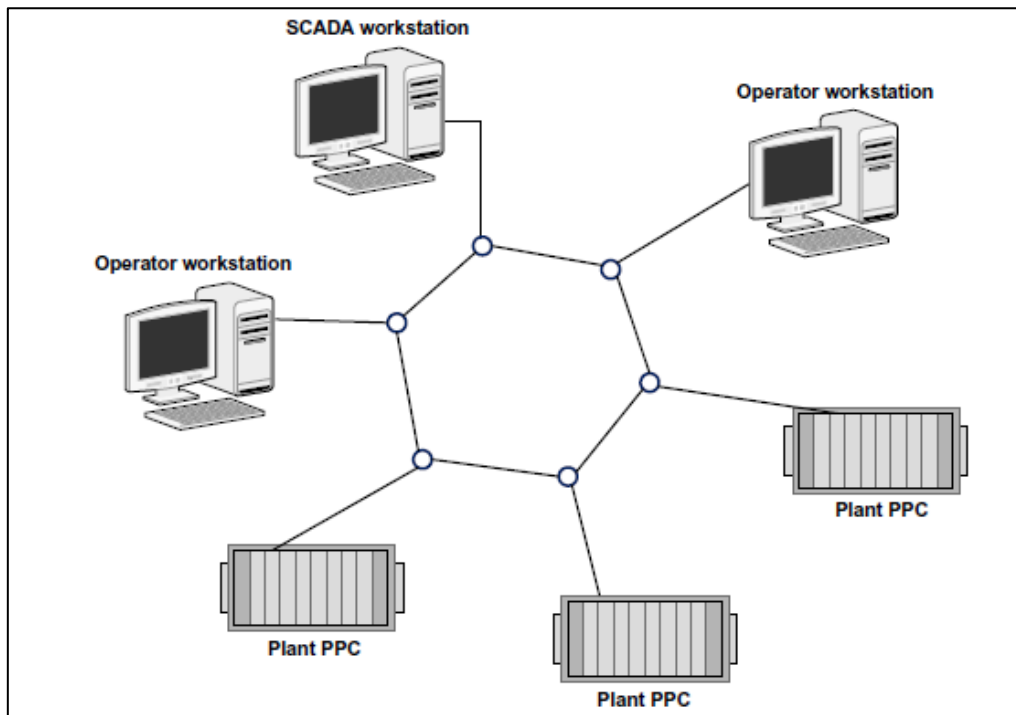
Στην τοπολογία αστέρα (star topology) (Εικόνα 3) κάθε κόμβος είναι συνδεδεμένος σε ένα "κεντρικό" κόμβο. Σε αυτή την τοπολογία ένα πακέτο δεδομένων που έχει αφετηρία έναν από τους περιφερειακούς κόμβους κατευθύνεται πάντα στον κεντρικό κόμβο (Ένα ή δύο υπολογιστές που λειτουργούν ως Server) ο οποίος το αναμεταδίδει σε όλους τους κόμβους. Οι περιφερειακοί κόμβοι επικοινωνούν μεταξύ τους με αποστολές και λήψεις στον κεντρικό κόμβο. Η αποδοτική λειτουργία του δικτύου εξαρτάται πολύ από τον κεντρικό κόμβο. Όπως και στην τοπολογία διαύλου, η απόδοση του δικτύου επιβαρύνεται λόγω της μεταφοράς πακέτων σε όλους τους κόμβους. Το δίκτυο γίνεται πιο αποτελεσματικό όταν ο κεντρικός κόμβος είναι μεταγωγέας (switch) και όχι hub. Ο μεταγωγέας διαβάζει την διεύθυνση παραλήπτη του πακέτου και το στέλνει αποκλειστικά στον κόμβο-αποδέκτη. Σε αυτή την τοπολογία μπορεί να προστεθεί ή να αφαιρεθεί περιφερειακός κόμβος χωρίς να επηρεαστεί η λειτουργία του υπόλοιπου δικτύου. Ο κεντρικός κόμβος υποστηρίζει περιορισμένο αριθμό συνδέσεων.



Εικόνα 2 Τοπολογία Bus (MCCRADY, 2013, p. 16)



Εικόνα 3 Τοπολογία Αστέρα (Star) (MCCRADY, 2013, p. 17)



Εικόνα 4 Τοπολογία Δακτυλίου (Token Ring) (MCCRADY, 2013, p. 17)



Η τοπολογία δακτυλίου (Token Ring topology) (Εικόνα 4) είναι σαν την *τοπολογία διαύλου* (bus) στην οποία όμως τα δύο άκρα ενώνονται σε έναν κλειστό βρόχο. Τα δεδομένα μεταδίδονται προς μία κατεύθυνση, αν και υπάρχουν δακτύλιοι διπλής κατεύθυνσης. Όταν ένας κόμβος στέλνει πακέτα δεδομένων σε έναν άλλο, τα πακέτα περνούν από κάθε ενδιάμεσο κόμβο καθώς διατρέχουν τον δακτύλιο μέχρι να φτάσουν στον κόμβο που προορίζονται. Δεδομένου ότι το σήμα στις καλωδιώσεις των δικτύων εξασθενεί με την απόσταση, είναι σημαντικό ότι ο κάθε ενδιάμεσος κόμβος, εκτός του ότι ελέγχει τη διεύθυνση του πακέτου για να δει αν είναι ο αποδέκτης, το επαναπροωθεί στον επόμενο κόμβο αφού το ενισχύσει. Γι' αυτό το λόγο αυτή η τοπολογία μπορεί να καλύψει μεγάλες αποστάσεις. Όπως ισχύει και στην τοπολογία διαύλου αν το δίκτυο υποστεί βλάβη, δεν λειτουργεί στο σύνολό του. Πλεονεκτεί της *τοπολογίας αστέρα* στο ότι δεν χρειάζεται τον "κεντρικό" κόμβο. Μειονέκτημα είναι ότι αν μία από τις συνδέσεις μεταξύ των κόμβων έχει μικρότερη ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων καθυστερεί ολόκληρο το δίκτυο. (MCCRADY, 2013, σσ. 15-18)

2.1.2.1 PROFINET IO

Οι τεχνολογίες αυτοματισμού υποβάλλονται σε συνεχείς αλλαγές λόγω των καινοτόμων ιδεών αλλά και της ραγδαίας ανάπτυξης της τεχνολογίας. Η χρήση των δικτύων στις βιομηχανικές διεργασίες χρησιμοποιήθηκε ευρέως την δεκαετία του '90 με την ανάπτυξη των βιομηχανικών δικτύων. Έτσι ο έλεγχος των βιομηχανικών διεργασιών πέρασε από τον κεντρικό έλεγχο στον αποκεντρωμένο, με τον έλεγχο μιας βιομηχανικής εγκατάστασης να επιτυγχάνεται από πολύ μακριά. Το PROFINET (PROcess FieId NETwork) είναι ένα δίκτυο το οποίο αναπτύχθηκε στα μέσα της δεκαετίας 2000 από τον οργανισμό PROFINET & Profibus International Organization (PI) και καλύπτει όλες τις απαιτήσεις ενός βιομηχανικού δικτύου.

Το PROFINET παρέχει μια τυποποιημένη διασύνδεση για επικοινωνία πάνω στο Industrial Ethernet το οποίο είναι εναρμονισμένο με τα πρότυπα του IEEE και καλύπτει την επικοινωνία στο επίπεδο των ελεγκτών, στον τυπικό αυτοματισμό με μονάδες I/O ακόμα και σε απαιτητικές εφαρμογές όπως είναι του ελέγχου κίνησης. Το πρότυπο του PROFINET είναι το



IEC 61158 & IEC 61784 ενώ το πρότυπο του Industrial Ethernet είναι το IEEE 802.3 (Ethernet) ενώ για το WLAN είναι το IEEE 802.11a/b/g/h/n (Wireless LAN).

Προκειμένου να παρέχει την βέλτιστη υποστήριξη για διαφορετικούς τύπους εφαρμογών, το PROFINET προσφέρει δύο δυνατές επιλογές. Το PROFINET IO για την ενσωμάτωση αποκεντρωμένων μονάδων IO και το PROFINET CBA για την δημιουργία και τον έλεγχο εγκατάστασης με διανεμημένη αυτοματοποίηση.

Το PROFINET IO επιτρέπει την διασύνδεση των κατανεμημένων συσκευών πεδίου στο Ethernet. Το PROFINET IO καθορίζει την πλήρη ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των ελεγκτών IO (PLC) και των μονάδων IO, καθώς και την παραμετροποίηση και διάγνωση τους. Έχει σχεδιαστεί για γρήγορη ανταλλαγή δεδομένων με χρόνους κύκλου διαύλου μερικών miliseconds και είναι βασισμένο στο μοντέλο παροχέα / καταναλωτή.

Το PROFINET CBA (Component Based Automation) ορίζει μια περαιτέρω όψη της εγκατάστασης αυτοματισμού. Η εγκατάσταση αυτοματισμού μπορεί σε πολλές περιπτώσεις να χωριστεί σε αυτόνομες μονάδες, αποκαλούμενες και τεχνολογικές μονάδες. Σε ένα τέτοιο project αυτοματισμού για την εφαρμογή αποκεντρωμένων ελέγχων η διασύνδεση μεταξύ των ελεγκτών (PLC) προτιμάται να γίνεται με PROFINET CBA. Το PROFINET CBA χρησιμοποιεί και τα δύο, δηλαδή TCP/IP (Transmission Control Protocol / Internet Protocol) και Real – Time (RT) επικοινωνία και επιτυγχάνει χρόνους κύκλου επικοινωνίας των 100ms με TCP/IP ενώ με RT 10ms. (Pigan, 2008, pp. 18-20) & (Berger H. , 2016, pp. 252-254) & (Zurawski, 2015, pp. 12-1...12-4)

2.1.3 SCADA Operations User Workstation (Σταθμοί Εργασίας Χρηστών)

Οι σταθμοί εργασίας των χρηστών, συνήθως αναφερόμενοι ως Human Machine Interface (HMI), απαιτούν τον προγραμματισμό των γραφικών απεικονίσεων, διαδικασιών με γραφικά, τα οποία είτε είναι έτοιμα από την πλατφόρμα προγραμματισμού της οθόνης είτε προγραμματίζονται, συνήθως με VBS, εκμεταλλευόμενοι τα αρχεία μιας βάσης δεδομένων της διεργασίας. Απαιτείται προγραμματισμός για τη δημιουργία της βάσης δεδομένων της διαδικασίας, της ιστορικής βάσης δεδομένων και της διεπαφής επικοινωνίας με τους ελεγκτές πεδίου ή τα PLC. Επιπλέον προγράμματα υποβάθρου, που ονομάζονται δέσμες ενεργειών, χρησιμοποιούνται συχνά για την εκτέλεση εργασιών "πίσω από τις σκηνές" για



την εφαρμογή. Οι σταθμοί εργασίας SCADA παρουσιάζουν τις γραφικές απεικονίσεις μιας διεργασίας με την αλληλεπίδραση του χειριστή, όπως τον έλεγχο του εξοπλισμού και την ανάκτηση πληροφοριών. Το λογισμικό σε αυτό το επίπεδο περιλαμβάνει τη δημιουργία οθονών ελέγχου διαδικασιών (προσαρμοσμένη στις ανάγκες του χειριστή για την βέλτιστη λειτουργία της εγκατάστασης), εμφάνισης καμπυλών και ιστορικών αναφορών, οθόνες μηνυμάτων (Warning & Alarm) και οθόνες καταγεγραμμένων γεγονότων (Events) καθώς και τη βάση δεδομένων των διεργασιών. Επιπλέον, υπάρχουν σενάρια υποβάθρου (scripts) για την επίκληση εντολών στο PLC και σε άλλο εξοπλισμό.

Αυτοί οι σταθμοί είναι συνήθως βιομηχανικές οθόνες με προεγκατεστημένο το λογισμικό, είτε υπολογιστές εμπορίου στους οποίους εγκαθίσταται το απαραίτητο λογισμικό SCADA και γίνεται ο προγραμματισμός του ανάλογα με τις απαιτήσεις της εγκατάστασης.

2.1.4 SCADA Server Computer

Τα περισσότερα συστήματα SCADA περιλαμβάνουν τουλάχιστον έναν, αν όχι δύο για λόγους Redundancy, υπολογιστή διακομιστή δεδομένων (Server Computer). Αυτοί οι υπολογιστές διατηρούν όλο το λογισμικό διαμόρφωσης για το σύστημα SCADA και για το λόγο αυτό δεν είναι απλοί υπολογιστές αλλά μηχανήματα με αυξημένη επεξεργαστική ισχύ και δυνατότητες. Ο Server βρίσκεται στο φυσικό κέντρο της τοπολογίας Αστέρα (Star). Τα ιστορικά δεδομένα που συλλέγονται με την πάροδο του χρόνου διατηρούνται στον υπολογιστή διακομιστή (Server Computer) με τη μορφή βάσεων δεδομένων. Τα τρέχοντα δεδομένα λειτουργίας του συστήματος από όλους τους ελεγκτές πεδίου διατηρούνται επίσης σε βάσεις δεδομένων στον Server Computer.

Ο Server Computer εκτελεί όλες τις επικοινωνίες με το PLC στο δίκτυο SCADA. Κάθε PLC διατηρεί και συλλέγει δεδομένα που σχετίζονται με τις περιοχές επεξεργασίας του. Αυτά τα δεδομένα ανακτώνται στη συνέχεια από τον Server για να ενημερώσουν την τρέχουσα διαδικασία και τις ιστορικές βάσεις δεδομένων. Οι εντολές και οι ρυθμίσεις από τους σταθμούς εργασίας των λειτουργιών αποστέλλονται στο PLC μέσω του Server Computer. Σε μικρά συστήματα, ένας σταθμός εργασίας μπορεί να εκτελέσει το έργο τόσο του διακομιστή (Server Computer) όσο και του σταθμού εργασίας χρήστη (Operations User Workstation).



Ένας άλλος σκοπός του SCADA Server Computer είναι να διασυνδέει μια εγκατάσταση ή ένα γραφείο με άλλη εγκατάσταση, συνήθως μέσω του Διαδικτύου, χρησιμοποιώντας Firewalls κ.α. Είναι σημαντικό το ότι η εξωτερική πρόσβαση δεν μπορεί να επηρεάσει τις εσωτερικές λειτουργίες του συστήματος SCADA, οπότε ο Server Computer παρέχει συχνά ασφαλή διασύνδεση. Άλλα τμήματα και χρήστες ενδέχεται να απαιτούν δεδομένα που έχουν συλλεχθεί από το σύστημα SCADA και, συνεπώς, ένα μέσο πρόσβασης στα δεδομένα αυτά μπορεί να παρέχεται μέσω του Server Computer SCADA με τα κατάλληλα μέτρα ασφαλείας. (MCCRADY, 2013, σσ. 18-19)

3. PLC (Programmable Logic Controllers)

3.1 Ιστορική αναδρομή

Τα PLC έχουν προέλευση από συστήματα ελέγχου βασισμένα σε ρελέ, δηλαδή στον κλασικό αυτοματισμό. Πριν τα PLC γίνουν ευρέως γνωστά και διαδεδομένα στις βιομηχανικές εφαρμογές, όλος ο βιομηχανικός έλεγχος γινόταν με κυκλώματα κλασικού αυτοματισμού αποτελούμενα από ρελέ, διακόπτες, χρονικά και μετρητές. Η κατασκευή ενός τέτοιου συστήματος για έλεγχο, απαιτούσε μεγάλους πίνακες με αντίστοιχα μεγάλη και περίπλοκη καλωδίωση αλλά και έναν πίνακα γεμάτο ρελέ, χρονικά και άλλα εξαρτήματα. Τα διαγράμματα καλωδίωσης με ρελέ απεικόνιζαν πώς είναι συνδεδεμένα όλα τα εξαρτήματα ενός συστήματος αυτοματισμού. Ένα τέτοιο διάγραμμα είναι ο πρόδρομος της γλώσσας προγραμματισμού LADDER (LAD), η οποία είναι από τις πρώτες γλώσσες που δημιουργήθηκαν και η οποία χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα, με αρκετές παραλλαγές και βελτιώσεις. Η συγκεκριμένη γλώσσα είναι ίσως η πιο ευρέως διαδεδομένη αλλά και απλή γλώσσα για τον προγραμματισμό των PLC.

Βεβαίως υπήρχαν αρκετά μειονεκτήματα σε αυτά τα συστήματα ελέγχου. Εκτός του ότι καταλάμβαναν αρκετά μεγάλο χώρο, απαιτούσαν πολύ χρόνο και εργασία για την υλοποίηση τους αλλά και για ενδεχόμενη τροποποίηση τους. Μια τέτοια εφαρμογή απαιτούσε πάρα πολλά ρελέ και καλωδίωση, η οποία ήταν πολύπλοκη και εκτεινόταν σε μεγάλο χώρο. Εάν η εφαρμογή απαιτούνταν να αλλαχθεί ή να επεκταθεί, τότε όλη η εγκατάσταση έπρεπε να



ανακαλωδιωθεί κάτι το οποίο μεταφράζεται σε υψηλό κόστος σε εργατώρες. Τέλος, τα ρελέ είναι ηλεκτρομηχανικές διατάξεις, κάτι το οποίο σημαίνει ότι έχουν περιορισμένη διάρκεια ζωής με αποτέλεσμα η όλη βιομηχανική εγκατάσταση να οδηγείται συχνά σε διακοπές λόγω της αστοχίας ή της παρέλευσης χρόνου ζωής ενός τέτοιου υλικού. (Hansen, 2015, σ. 3)

Το πρώτο PLC³ βγήκε στην αγορά όταν η General Motors αναζητούσε την αντικατάσταση του βιομηχανικού ελέγχου με ρελέ, με κάτι πιο προηγμένο. Οι αυξημένες απαιτήσεις των πελατών αλλά και ο ανταγωνισμός των κατασκευαστών συστημάτων αυτοματισμού, σήμαιναν την αυξημένη απαίτηση για ένα σύστημα ελέγχου με μεγάλη αποδοτικότητα, το οποίο θα ήταν σχεδιασμένο πάνω σε λογισμικό κατάλληλο έτσι ώστε να αντικαταστήσει τον κλασικό αυτοματισμό. Οι προδιαγραφές που έπρεπε να πληροί το νέο σύστημα ήταν οι ακόλουθες:

- Ανταγωνιστικό στην τιμή σε σχέση με το παραδοσιακό σύστημα αυτοματισμού με ρελέ.
- Να είναι ευέλικτο (Να μπορεί να δεχθεί όλων των ειδών τους αισθητήρες και να επικοινωνεί με άλλες συσκευές με διάφορα πρωτόκολλα επικοινωνίας).
- Να είναι ανθεκτικό στο σκληρό βιομηχανικό περιβάλλον.
- Να είναι σπονδυλωτό (modular) σε σχέση με τον αριθμό των εισόδων και των εξόδων, άρα και επεκτάσιμο.
- Να είναι δυνατόν να προγραμματιστεί εκ νέου.

Ενώ αρκετές εταιρίες δούλεψαν ώστε να προτείνουν μια λύση, η Bedford Associates Inc. από το Bedford Massachusetts, πρότεινε κάτι το οποίο αποκάλεσε “modular digital controller” (MODICON). Το MODICON 84 ήταν το πρώτο PLC που βγήκε στην παραγωγή. Ο αριθμός 84 δείχνει πώς αυτό ήταν το 84^ο project της εταιρείας, η οποία μετά από αυτό επανιδρύθηκε με την ονομασία MODICON και κατασκεύαζε PLC. Το κλειδί της επιτυχίας θεωρείται πώς ίσως ήταν η γλώσσα προγραμματισμού LD (Ladder) η οποία ήταν βασισμένη πάνω στα ηλεκτρικά διαγράμματα και ήταν οικεία στους ηλεκτρολόγους.

Τα πρώτα PLC ήταν σχετικά απλά, υπό την έννοια ότι αντικαθιστούσαν την λογική του αυτοματισμού με ρελέ και τίποτε άλλο. Αργότερα και με την συνεχιζόμενη ανάπτυξη των PLC,

³ Το πρώτο PLC αναπτύχθηκε το 1969. (Bolton, 2015, σ. 6)



νέες λειτουργίες και δυνατότητες προστέθηκαν, όπως η δυνατότητα επεξεργασίας αναλογικών σημάτων (Analog Inputs/Outputs) καθώς και η εκτέλεση αριθμητικών πράξεων. Η περαιτέρω ανάπτυξη των υπολογιστών και των επεξεργαστών όδευε παράλληλα με την ανάπτυξη των PLC. Σήμερα βέβαια τα PLC έχουν αναπτυχθεί τόσο ώστε οι δυνατότητες τους είναι τέτοιες που δύσκολα θα βρούμε εφαρμογή όπου τα PLC δεν μπορούν να ανταποκριθούν.

Παράλληλα με την ανάπτυξη των PLC αναπτύχθηκαν και τα δίκτυα επικοινωνιών. Η ανάγκη τοποθέτησης απομακρυσμένων μονάδων ή PLC για συλλογή σημάτων και πληροφοριών, από χώρους που βρίσκονταν μακριά από την CPU αλλά και οι αυξημένες απαιτήσεις επικοινωνίας μεταξύ των PLC, επιτάχυναν την ανάπτυξη πρωτοκόλλων επικοινωνίας. Το 1973 η Modicon ανέπτυξε ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας που το ονόμασε MODBUS . Το πρωτόκολλο αυτό κάλυπτε τις παραπάνω απαιτήσεις και έδινε ακόμη την δυνατότητα να διαχειριστεί αναλογικά σήματα. Πλην της MODICON όμως και άλλες εταιρείες επένδυσαν στην νέα τεχνολογία των PLC και ανέπτυξαν δικά τους πρωτόκολλα επικοινωνίας. Η έλλειψη τυποποίησης όμως, έκανε την ενσωμάτωση σε ένα PLC, εξοπλισμού από διαφορετικές εταιρίες εξαιρετικά δύσκολο. Ο σκόπελος αυτός ξεπεράστηκε (εν μέρει) με την τυποποίηση των πρωτοκόλλων επικοινωνίας και της κατασκευής PLC⁴. (Hansen, 2015, σ. 5) (Kamel & Kamel, 2014, p. 17)

3.2 Το πρότυπο IEC 61131

Το πρότυπο IEC 61131 συνοψίζει τις απαιτήσεις ενός συστήματος PLC, οι οποίες αφορούν το υλικό αλλά και το λογισμικό των PLC. Τα πρότυπα γενικά, βοηθούν στην επίτευξη συμβατότητας, διαφάνειας, και διαλειτουργικότητας μεταξύ προϊόντων διαφόρων κατασκευαστών. Με αυτό τον τρόπο αυξάνουν την αξιοπιστία των χρηστών στα προϊόντα και βοηθά την ανάπτυξη εργαλείων και μεθοδολογίας κάτω από μια κοινή ομπρέλα τεχνικών προδιαγραφών. (Manesis & Nikolakourou, 2018, σ. 273) Το πρότυπο παρέχει ένα σημείο αναφοράς το οποίο επιτρέπει στους κατασκευαστές και στους χρήστες να εκτιμήσουν κατά πόσο ένα προϊόν συμμορφώνεται με τους κανόνες αυτού (π.χ. complies with IEC 61131-3).

⁴ Το πρότυπο για τα PLC και τις γλώσσες προγραμματισμού αυτών σήμερα είναι το IEC 61131-3.



(Karl-Heinz, 2010, σ. 12) Το πρότυπο IEC 61131 συντάχθηκε από την ομάδα εργασίας SC65B WG7 του διεθνούς οργανισμού τυποποίησης IEC (International Electrotechnical Commission), η οποία αποτελούνταν από εκπροσώπους διαφόρων κατασκευαστών PLC, οίκων ανάπτυξης λογισμικού αλλά και χρήστες. Αυτό, έχει το πλεονέκτημα ότι το συγκεκριμένο πρότυπο είναι αποδεκτό και συμμορφώνονται οι περισσότεροι κατασκευαστές PLC. Έτσι το πρότυπο IEC 61131-3 είναι το μοναδικό για προγραμματισμό PLC, το οποίο έλαβε την απαραίτητη διεθνή (και βιομηχανική) αποδοχή. (Karl-Heinz, 2010, σ. 12)

Το πρότυπο IEC 61131 αποτελείται από επτά (7) τμήματα και είναι οργανωμένο ως ακολούθως:

Part	Title	Edition
1	General Information	Ed.2 (2003)
2	Equipment requirements and tests	Ed.3 (1994, 2007)
3	Programming languages	Ed.2 (1993, 2003)
4	User guidelines	Ed.2 (1995, 2004)
5	Communications	Ed.1 (2000)
6	Safety-related PLC	
7	Fuzzy control programming	Ed.1 (2000)
8	Guidelines for the application and implementation of programming languages for programmable controllers	Ed.2 (1997, 2003)

(Karl-Heinz, 2010, σ. 14) & (IDC Technologies, 2007)

Το πρότυπο χρησιμοποιεί το ακρωνύμιο PC (Programmable Controllers), όταν αναφέρεται στους Προγραμματιζόμενους Λογικούς Ελεγκτές (PLC), αλλά ο όρος αυτός δεν είναι διαδεδομένος καθώς συγχέεται με τον όρο PC όπου παραπέμπει στα Personal Computers. Έτσι έχει επικρατήσει ο όρος PLC (Programmable Logic Controllers), όρος ο οποίος χρησιμοποιείται και στην παρούσα εργασία. (IDC Technologies, 2007)



Παρακάτω δίνεται μία σύντομη περιγραφή του κάθε μέρους του προτύπου:

Part 1: General Information:

Το πρώτο μέρος περιλαμβάνει γενικούς ορισμούς και τυπικά λειτουργικά χαρακτηριστικά τα οποία διαχωρίζουν τα PLC από άλλα συστήματα. Αυτά περιλαμβάνουν τυπικά χαρακτηριστικά των PLC, όπως είναι η κυκλική επεξεργασία του προγράμματος, η αποθήκευση σε μνήμες των σημάτων εισόδου και εξόδου κ.α.

Part 2: Equipment Requirements and Tests:

Εδώ ορίζονται οι ηλεκτρικές, μηχανολογικές και λειτουργικές απαιτήσεις καθώς και τα αντίστοιχα τεστ πιστοποίησης. Ορίζονται ακόμη οι περιβαλλοντικές συνθήκες λειτουργίας των PLC.

Part 3: Programming Languages:

Σε αυτό το μέρος, ορίζεται το βασικό μοντέλο λογισμικού και οι γλώσσες προγραμματισμού, μέσω του ορισμού των τυπικών, κοινώς παραδεκτών κανόνων, ορισμών λέξεων, συντακτικών και μερικής σημασιολογικών περιγραφών και παραδειγμάτων. Οι γλώσσες προγραμματισμού που χρησιμοποιούνται στα PLC, έχουν συντονιστεί σε μία εναρμονισμένη και μελλοντικά προσανατολισμένη έκδοση.

Part 4: User Guidelines

Το τέταρτο μέρος προορίζεται ως οδηγός (υποβοήθηση) για τον χρήστη PLC σε όλες τις φάσεις ενός έργου αυτοματισμού.

Part 5: Communications

Αυτό το μέρος αφορά τα πρωτόκολλα επικοινωνίας μεταξύ των PLC διαφορετικών κατασκευαστών αλλά και με άλλες συσκευές. Σε συνεργασία με τις προδιαγραφές ISO 9506 (προδιαγραφές κατασκευής μηνυμάτων, MMS) ορίζονται οι προδιαγραφές που επιτρέπουν στα PLC να επικοινωνούν μέσω δικτύων.



Part 6: Safety Related PLC

Η επιτροπή τυποποίησης επεξεργάζεται το πρώτο τεύχος του IEC 61131-6 “ Safety Related PLC” στα PLC, με στόχο την προσαρμογή των απαιτήσεων του προτύπου ασφαλείας IEC 61508 (Λειτουργική ασφάλεια ηλεκτρικών / ηλεκτρονικών / προγραμματιζόμενων ηλεκτρονικών, Safety Related, συστημάτων) καθώς και του IEC 62061(Ασφάλεια μηχανών-Λειτουργική ασφάλεια ηλεκτρικών, ηλεκτρονικών και προγραμματιζόμενων ηλεκτρονικών συστημάτων ελέγχου).

Part 7: Fuzzy Control Language

Ο στόχος αυτού του μέρους είναι να παρέχει στους κατασκευαστές και στους χρήστες μια κοινή κατανόηση της ενσωμάτωσης εφαρμογών ασαφούς ελέγχου και να διευκολύνει τη δυνατότητα μεταφοράς ασαφών προγραμμάτων μεταξύ διαφορετικών κατασκευαστών.

Part 8: Guidelines for the application and implementation of programming languages for Programmable Logic Controllers

Αυτό το μέρος περιλαμβάνει οδηγίες εφαρμογής, οδηγίες χρήσης προς τον τελικό χρήστη καθώς και βοήθεια στον προγραμματισμό.

Το πρότυπο περιγράφει μια σύγχρονη τεχνολογία και επομένως υπόκειται σε ισχυρή πίεση καινοτομίας. Αυτό εξηγεί γιατί η περαιτέρω ανάπτυξη των ευρημάτων του προτύπου διεξάγεται τόσο σε εθνικό όσο και σε διεθνές επίπεδο.

3.2.1 Γλώσσες προγραμματισμού PLC (IEC 61131-3)

Υπάρχουν διάφορες γλώσσες προγραμματισμού PLC. Η πιο κοινή, ευρέως χρησιμοποιούμενη αλλά και από τις πρώτες που αναπτύχθηκαν είναι η Ladder Diagram. Ο λόγος που είναι τόσο διαδεδομένη η Ladder είναι απλός. Τα PLC προγραμματίζονται από μηχανικούς οι οποίοι (συνήθως) δεν έχουν γνώσεις προγραμματισμού. Έτσι αυτή η γλώσσα είναι κοντά στην relay logic, με κάποιες διαφορές και είναι πιο εύκολα κατανοητή και διαχειρίσιμη. Το πρωτόκολλο IEC 61131-3 αναφέρεται στις γλώσσες προγραμματισμού και



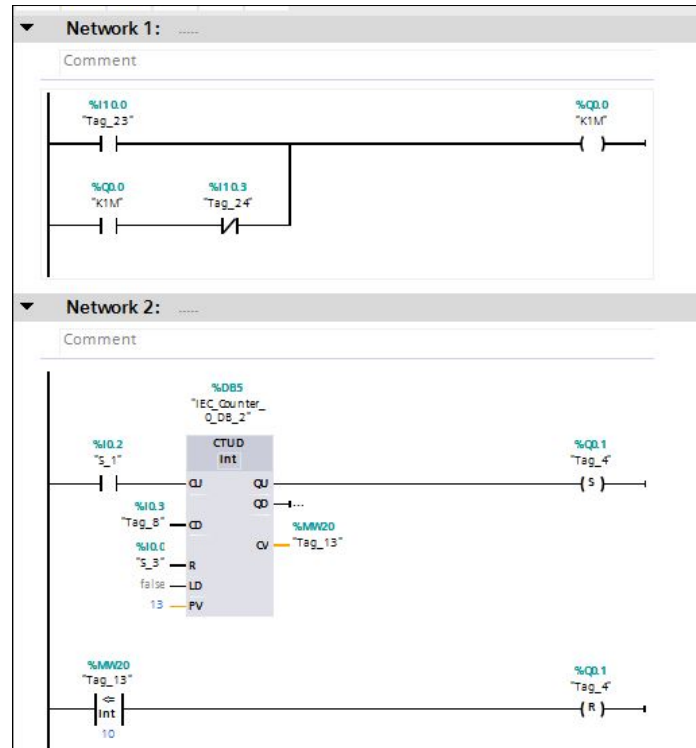
τις τυποποιεί. Οι περισσότεροι κατασκευαστές έχουν υιοθετήσει το πρωτόκολλο και τα στάνταρ του και έτσι οι γλώσσες προγραμματισμού που αναπτύσσονται συμμορφώνονται με αυτό. Κάθε κατασκευαστής όμως, προκειμένου να διαφοροποιηθεί προς το καλύτερο και να γίνει πιο ανταγωνιστικός, εξελίσσει τις γλώσσες προγραμματισμού και τα προγράμματα.

Υπάρχουν πέντε γλώσσες προγραμματισμού οι οποίες διαχωρίζονται σε δύο γενικές κατηγορίες: Τις γλώσσες κειμένου (Textual language) και τις γραφικές γλώσσες (Graphical language). Οι γλώσσες κειμένου περιλαμβάνουν την Instruction list και την Structured text ενώ οι γραφικές γλώσσες περιλαμβάνουν την Ladder Diagram (LD) την FBD (Functional Block Diagram) και την SFC (Sequential Function Chart).

(Bolton, 2015, σ. 16) (Petruzella, 2017, σ. 81)

Ladder Diagram (LD) (Εικόνα 5)

Είναι η πλέον διαδεδομένη γλώσσα προγραμματισμού. Ανήκει στις γραφικές γλώσσες και η απεικόνιση μοιάζει πολύ με τα σχέδια του κλασσικού αυτοματισμού, βοηθώντας όσους προτιμούν να προγραμματίζουν βλέποντας επαφές και πηνία. Βέβαια δεν είναι εύκολο ολόκληρο το πρόγραμμα τα θυμίζει κλασσικό αυτοματισμό. Έτσι, στην περίπτωση μας η SIEMENS αλλά και οι υπόλοιπες εταιρείες, έχουν αναπτύξει μπλόκ εντολών, όπως αυτά στο Network 2 και έχουν ενσωματώσει μέσα σε αυτά διάφορες εντολές. Στην συγκεκριμένη περίπτωση βλέπουμε έναν απαριθμητή άνω και κάτω. Αυτό λοιπόν που πρέπει να κάνει ο προγραμματιστής σε αυτές τις γλώσσες είναι να χρησιμοποιήσει έτοιμα μπλόκ εντολών και να συμπληρώσει τις απαραίτητες παραμέτρους. Αυτό κάνει πολύ πιο εύκολο και απλό τον προγραμματισμό και οι εταιρείες επενδύουν πολύ σε αυτό ενώ οι προγραμματιστές PLC χρησιμοποιούν αυτά τα block εντολών αφού απλοποιούν τον προγραμματισμό.



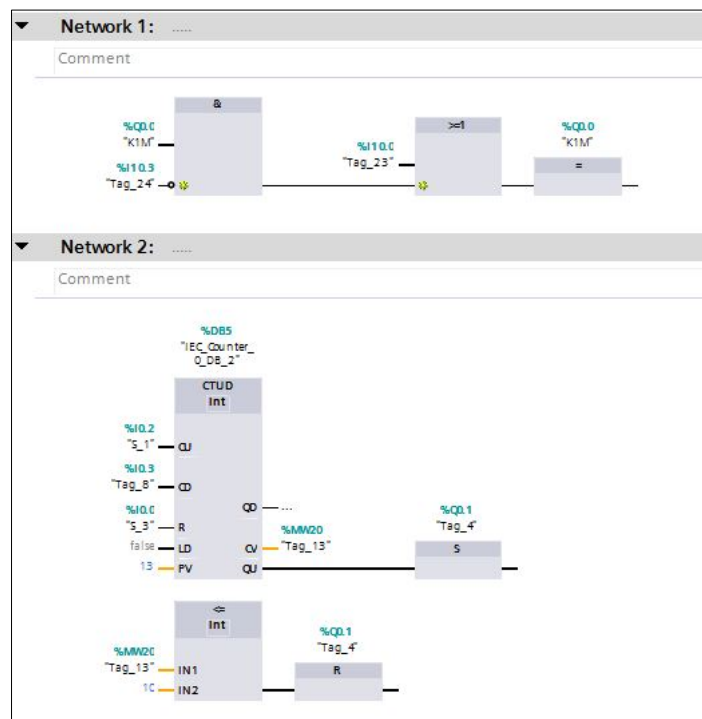
Εικόνα 5: Απεικόνιση γλώσσας Ladder diagram στο πρόγραμμα STEP 7 μέσα στο TIA PORTAL v15

Function Block Diagram (FBD) (Εικόνα 6)

Η γλώσσα αυτή ανήκει στις γραφικές γλώσσες προγραμματισμού όπως και η Ladder. Χρησιμοποιεί εντολές οι οποίες προγραμματίζονται ως μπλόκ και συνδέονται μεταξύ τους. Ακόμη, χρησιμοποιεί μπλόκ εντολών, όπως και η Ladder για πιο σύνθετες εντολές όπως τα χρονικά οι απαριθμητές οι συγκριτές και άλλα. Τα λειτουργικά διαγράμματα είναι παρόμοια σε διάταξη με ηλεκτρικά / ηλεκτρονικά μπλοκ διαγράμματα που χρησιμοποιούνται για την απλοποίηση σύνθετων συστημάτων με την εμφάνιση λειτουργικών ομάδων. Η κύρια έννοια πίσω από ένα λειτουργικό διάγραμμα είναι η ροή δεδομένων. Τα μπλοκ λειτουργιών συνδέονται μεταξύ τους για να ολοκληρώσουν ένα κύκλωμα που ικανοποιεί μια απαίτηση ελέγχου. Η Ροή των δεδομένων σε μια διαδρομή γίνεται από τις εισόδους, μέσα από τις λειτουργικές μονάδες ή τις εντολές και στη συνέχεια στις εξόδους.

Sequential Function Chart (SFC) (Εικόνα 7)

Η γλώσσα αυτή ανήκει επίσης στις γραφικές γλώσσες προγραμματισμού. Η απεικόνιση της γλώσσας είναι παρόμοια με το διάγραμμα ροής που φτιάχνεται πριν από τον προγραμματισμό κάθε διεργασίας. Η γλώσσα αυτή είναι φτιαγμένη για να προγραμματίζονται πιο προηγμένες και σύνθετες διεργασίες. Με την SFC μπορούμε να κατακερματίσουμε ένα πρόγραμμα σε μικρότερα, τα οποία είναι πιο διαχειρίσιμα. Έτσι μπορούν να δημιουργηθούν βηματικές αλλά και παράλληλες διεργασίες οι οποίες είναι είτε στατικές (καθορίζονται από το πρόγραμμα) είτε δυναμικές (ανάλογα με το I/O). Τα μικρότερα προγράμματα που δημιουργούνται μπορούν να προγραμματιστούν είτε σε γλώσσα SFC είτε με μία από τις άλλες τέσσερις γλώσσες του πρωτοκόλλου IEC61131-3.



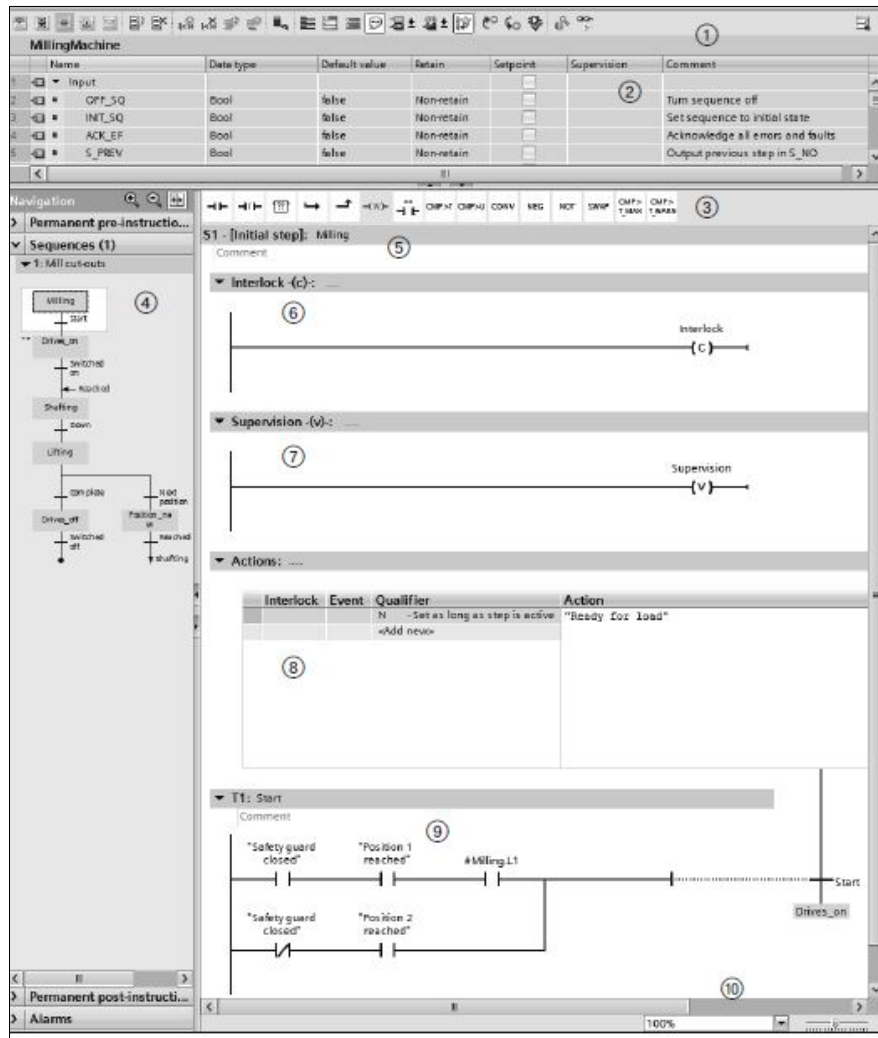
Εικόνα 6 Απεικόνιση γλώσσας FBD στο πρόγραμμα STEP 7 μέσα στο TIA PORTAL v15

Instruction List (IL) (Εικόνα 8)

Αυτή η γλώσσα προγραμματισμού ανήκει στις γλώσσες κειμένου (Textual language). Είναι γλώσσα χαμηλού επιπέδου προγραμματισμού⁵ και χρησιμοποιεί εντολές οι οποίες

⁵ Μια γλώσσα προγραμματισμού χαμηλού επιπέδου είναι μια γλώσσα η οποία είναι πολύ κοντά στην γλώσσα μηχανής γι' αυτό και ονομάζεται χαμηλού επιπέδου. Μια γλώσσα χαμηλού επιπέδου δεν

είναι κυρίως μνημονικές. Πλέον, λόγω της ανάπτυξης των γλωσσών προγραμματισμού παρατηρείται ότι και σε αυτή τη γλώσσα χρησιμοποιούνται



Εικόνα 7 Απεικόνιση γλώσσας SFC (S7-GRAPH) στο πρόγραμμα STEP 7 μέσα στο TIA PORTAL v15 (Berger H., 2017, p. 504)

εντολές έτοιμες σε μπλόκ. Η βασική ιδέα είναι ότι αυτή η γλώσσα εκμεταλλεύεται πλήρως τους Accumulators των CPU και ο προγραμματιστής καθορίζει κάθε φορά τι θα φορτωθεί στον καθένα, την πράξη που θα εκτελέσουν αλλά και την μεταφορά του αποτελέσματος. Είναι δύσκολη στην εκμάθηση αλλά ενδείκνυται για περίπλοκες εφαρμογές καθώς

χρειάζεται μεταγλωττιστή ή διερμηνευτή, ο επεξεργαστής για τον οποίο γράφτηκε η γλώσσα μπορεί να τρέξει το πρόγραμμα όπως είναι.



υποστηρίζει περισσότερες εντολές από την Ladder και την FBD. Στην SIEMENS η ονομασία αυτής της γλώσσας είναι Statement List (STL) και συμμορφώνεται πλήρως με το πρότυπο IEC 61131-3 και την γλώσσα IL. Στα μικρά PLC της SIEMENS (S7-1200 & LOGO8!) δεν υπάρχει δυνατότητα προγραμματισμού σε αυτή τη γλώσσα παρα μόνο στα PLC μεγαλύτερων σειρών όπως είναι τα S7-300, S7-1500, S7-400.

```
Block title: .....
Comment
Network 1: .....
Comment
1 L "Tag_7" %MW30
2 L "Tag_8" %MW32
3 +I
4 T "Tag_9" %MW34
5 A "Tag_1" %I0.0
6 A "Tag_2" %I0.1
7 = "Tag_3" %Q0.2
8 CALL ION, "Paradigm" %DB1
9 Time
10 IN := "Tag_4" %I0.4
11 PT := T#3s T#3s
12 Q := "Tag_5" %Q0.7
13 ET := "Tag_6" %MD25
14
15
16
```

Εικόνα 8 Απεικόνιση γλώσσας IL (STL) στο πρόγραμμα STEP 7 μέσα στο TIA PORTAL v15

Structured Text (ST) (Εικόνα 9)

Αυτή η γλώσσα προγραμματισμού ανήκει στις γλώσσες κειμένου (Textual language). Είναι γλώσσα υψηλού επιπέδου προγραμματισμού, όπως η C ή η PASCAL ειδικά αναπτυγμένη για χρήση σε βιομηχανικές εφαρμογές για δύσκολες εφαρμογές, εκεί όπου οι γραφικές γλώσσες δεν μπορούν να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις.

(Petruzella, 2017, σσ. 81-83) & (Karl-Heinz, 2010, σσ. 99-205)



```
Block_2
Name      Data type  Default value  Comment
1 Input
2 <Add new>

IF... CASE... FOR... WHILE... (*...) REGION
OF... TO DO.. DO...

1 IF _condition_ THEN
2   // Statement section IF
3   ;
4 END_IF;
5 CASE _variable_name_ OF
6   1: // Statement section case 1
7   ;
8   2..4: // Statement section case 2 to 4
9   ;
10  ELSE // Statement section ELSE
11  ;
12 END_CASE;
13 "IEC_Timer_0_DB".TON(IN:=_bool_in,           "IEC_Timer..."
14   PT:=_time_in,
15   Q=>_bool_out,
16   ET=>_time_out_);
17
18 WHILE _condition_ DO
19   // Statement section WHILE
20   ;
21 END_WHILE;
22
23
```

Εικόνα 9 Απεικόνιση γλώσσας ST (SCL) στο πρόγραμμα STEP 7 μέσα στο TIA PORTAL v15

3.3 Περιγραφή και πλεονεκτήματα των PLC

Τα PLC είναι πλέον τα πιο ευρέως διαδεδομένα, παγκοσμίως χρησιμοποιούμενα μέσα στις αυτοματοποιημένες βιομηχανικές διεργασίες. Τα PLC είναι μια ειδική μορφή ελεγκτή, βασισμένα σε μικροεπεξεργαστή, τα οποία χρησιμοποιούν προγραμματιζόμενη μνήμη για να αποθηκεύουν εντολές και για να υλοποιούν λειτουργίες λογικής, αλληλουχίας, χρονικά, απαρίθμηση καθώς και αριθμητικές πράξεις με σκοπό τον έλεγχο μηχανών και διεργασιών. Είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να έχουν πολλές εισόδους και εξόδους, να λειτουργούν σε ιδιαίτερα δύσκολο περιβάλλον, όπως είναι το βιομηχανικό περιβάλλον, είναι ανθεκτικά στον θόρυβο ενώ αντέχουν σε κραδασμούς.

Είναι σχεδιασμένα να χρησιμοποιούνται και να προγραμματίζονται από μηχανικούς, οι οποίοι πιθανόν να έχουν ελάχιστες γνώσεις πάνω στον προγραμματισμό υπολογιστών, και όχι από προγραμματιστές. Για τον λόγο αυτό οι γλώσσες προγραμματισμού είναι απλές, φιλικές προς τον χρήστη και κάποιες από αυτές, όπως είναι η LADDER και η FBD, είναι κοντά στους μηχανικούς. Μάλιστα η εξέλιξη των PLC και των λογισμικών προγραμματισμού αυτών, έχει οδηγήσει τις εταιρείες στην περαιτέρω απλοποίηση και εξέλιξη των εντολών



προγραμματισμού όπου πλέον με μία εντολή (instruction) είναι δυνατόν να επιτυγχάνεται αποτέλεσμα όπου παλιότερα απαιτούνταν δύο ή και παραπάνω εντολές.

Αρχικά τα PLC κατασκευάστηκαν για να αντικαταστήσουν τον κλασικό αυτοματισμό με ηλεκτρονόμους (**relay logic**) αλλά οι συνεχώς αυξανόμενες λειτουργίες που μπορούσαν να εκτελέσουν τα εδραίωσαν σε πλήθος διεργασιών. Λόγω της δομής τους, η οποία βασίζεται στην αρχιτεκτονική των PC, είναι δυνατόν να εκτελούνται περίπλοκες διεργασίες και εφαρμογές, όπως υπολογισμοί και συγκρίσεις αλλά και η επεξεργασία αναλογικών σημάτων. Έτσι πέρα από την κλασική εφαρμογή σε relay logic εφαρμογές είναι δυνατόν να εκτελούνται περίπλοκες διεργασίες οι οποίες περιέχουν επεξεργασία αναλογικών σημάτων, λήψη δεδομένων από παλμογεννήτριες για έλεγχο κινητήρα κ.α. (Bolton, 2015, σ. 5) (Petruzella, 2017, σ. 2)

Τα πλεονεκτήματα των εφαρμογών αυτοματισμού με PLC σε σχέση με τον κλασικό αυτοματισμό είναι πολλά! Εκτός του ότι τα PLC είναι επαναπρογραμματιζόμενα, καταλαμβάνουν μικρότερο χώρο ενώ μπορούν και επιτελούν περισσότερες διεργασίες, υπάρχουν και τα παρακάτω κύρια πλεονεκτήματα:

- Αυξημένη αξιοπιστία. Μόλις ολοκληρωθεί ο προγραμματισμός του PLC μιας εγκατάστασης αλλά και οι δοκιμές, τότε το πρόγραμμα μπορεί να “κατέβει” (download) και σε άλλα PLC χωρίς πιθανότητα λάθους. Αυτό συμβαίνει γιατί το πρόγραμμα περιλαμβάνει ένα μεγάλο μέρος της εγκατάστασης με κλασικό αυτοματισμό (όπως αυτή θα υλοποιούνταν χωρίς PLC), μέσα στο πρόγραμμα. Η «λογική» της εγκατάστασης, αλλά και το πρόγραμμα, βρίσκεται μέσα στην κάρτα μνήμης και συνεπώς είναι αδύνατον να γίνει λάθος κατά την μεταφορά της σε άλλο PLC. Το παραπάνω έχει ως αποτέλεσμα την μείωση των καλωδιώσεων σε μια τέτοια εγκατάσταση άρα και η πιθανότητα λάθους κατά την καλωδίωση μειώνεται.
- Περισσότερη Ευελιξία. Είναι ευκολότερο να αλλάξεις το πρόγραμμα σε ένα PLC από το να αλλάξεις καλωδίωση σε ένα πίνακα κλασικού αυτοματισμού. Από τη στιγμή που η “λογική” της εγκατάστασης περιέχεται στο PLC, είναι εύκολο να αναπροσαρμοστεί το πρόγραμμα χωρίς να αλλαχτεί η καλωδίωση και το υλικό. Επίσης, ενημερώσεις και αλλαγές του συστήματος εφαρμόζονται αλλάζοντας το πρόγραμμα του PLC με μικρές αλλαγές υλικού και καλωδιώσεων.



- Χαμηλότερο κόστος. Τα PLC αρχικά δημιουργήθηκαν για να αντικαταστήσουν τους πίνακες αυτοματισμού με ρελέ. Η μείωση του κόστους ήταν τόσο σημαντική όπου πλέον οι πίνακες με ρελέ έχουν εξαλειφθεί (πλὴν των εφαρμογών που απαιτούν ηλεκτρονόμους ισχύος) και την θέση τους έχουν πάρει τα PLC.
- Δυνατότητες επικοινωνίας. Πλέον τα PLC μπορούν και επικοινωνούν με άλλα PLC, με PC ή HMI (Human Machine Interface) έτσι ώστε να επιτευχθεί αυξημένος εποπτικός έλεγχος σε συστήματα αυτοματισμού, με συλλογή δεδομένων, επεξεργασία αλλά και απεικόνιση τους. Ακόμη είναι δυνατός ο απομακρυσμένος έλεγχος μιας μονάδας που ελέγχεται με PLC από αποστάσεις λίγων μέτρων μέχρι δεκάδων χιλιομέτρων μέσω internet.
- Αυξημένη χρονική απόκριση. Τα PLC είναι σχεδιασμένα για εφαρμογές που απαιτούν υψηλή ταχύτητα επεξεργασίας και απόκρισης αλλά και για real-time εφαρμογές. Έτσι, μηχανές και συστήματα που λειτουργούν με PLC απαιτούν την ικανότητα γρήγορης απόκρισης του και διαμόρφωση των εξόδων ανάλογα με τα δεδομένα των εισόδων του. Ο χρόνος ενός κύκλου προγράμματος των PLC κυμαίνεται από λίγα nanoseconds έως μερικά milliseconds.
- Ευκολότερη η ανεύρεση βλάβης. Τα PLC διαθέτουν λειτουργίες διαγνωστικών είτε για αυτοδιάγνωση βλάβης σε κάποιο από τα module του ίδιου του PLC, είτε για την διάγνωση λάθους του κώδικα αλλά ακόμη και για διάγνωση βλάβης σε περιφερειακές μονάδες. Αυτό μεταφράζεται σε λιγότερες εργατώρες για την ανίχνευση βλάβης αλλά και ευκολότερη ανεύρεση της!
- Έλεγχος συσκευών πεδίου. Ένα ακόμη πλεονέκτημα είναι η δυνατότητα ελέγχου των διασυνδεδεμένων συσκευών πεδίου μέσω του PLC. Έχοντας διασυνδέσει όλες τις περιφερειακές συσκευές όπως αισθητήρες, όργανα κ.α. μπορούμε μέσα από το PLC να ελέγξουμε την ορθή λειτουργία τους είτε ενεργοποιώντας τους αισθητήρες και βλέποντας το αποτέλεσμα της αλλαγής online στο PLC είτε ενεργοποιώντας εξόδους για να δούμε το αποτέλεσμα στις συσκευές.

(Petruzella, 2017, σσ. 4-5)_(Bolton, 2015, σσ. 5-6)_(Hansen, 2015, σσ. 3-5)



3.4 Δομικά στοιχεία των PLC

Υπάρχουν πολλοί κατασκευαστές PLC καθώς και διάφοροι τύποι PLC στην αγορά. Όλοι οι κατασκευαστές ακολουθούν τις προδιαγραφές του προτύπου κατασκευής των PLC που προαναφέρθηκε αλλά παρ' όλα αυτά οι εταιρείες διαφοροποιούν το υλικό και το λογισμικό τους με σκοπό να αναπτυχθούν περισσότερο και να ξεχωρίσουν, μέσα στο πλαίσιο του ανταγωνισμού.

Τα PLC, ανάλογα το μέγεθος της μνήμης που έχουν αλλά και τα I/O που μπορούν να διαχειριστούν, χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες. Τα πιο μικρά, είναι συνήθως συμπαγή (Compact), με σταθερές εισόδους και εξόδους πάνω στην CPU. Ένα τέτοιο PLC είναι το S7-1200 της SIEMENS, το οποίο έχει διάφορες CPU στις μικρές εκ των οποίων (π.χ. S7-1211) δεν υπάρχει δυνατότητα διασύνδεσης άλλων καρτών (module) με εισόδους και εξόδους, ενώ όσο μεγαλύτερη είναι η CPU⁶ (π.χ. S7-1214 ή οι σειρές S7-1500, S7-300, S7-400) μπορούν να συνδεθούν και άλλες κάρτες εισόδων και εξόδων και έτσι να γίνει σπονδυλωτό. Τα μεγαλύτερα PLC είναι σπονδυλωτά (modular), και μπορούν να δεχτούν κάρτες εισόδων - εξόδων και κάρτες επικοινωνίας, κάτι το οποίο καθορίζεται από τον προγραμματιστή, αξιολογώντας τις απαιτήσεις της εγκατάστασης και λαμβάνοντας υπόψιν την αύξηση του κόστους. (Hansen, 2015, pp. 7-8) (Petruzella, 2017, p. 4) (Berger H. , 2016)

Τα PLC αποτελούνται από τα εξής μέρη:

- ❖ Το τροφοδοτικό (Power Supply), το οποίο τροφοδοτείται με την τάση δικτύου και παρέχει την απαιτούμενη τάση στο PLC για να λειτουργήσει (συνήθως 5VDC ή 24VDC).
- ❖ Την CPU (Central Processing Unit), η οποία είναι η μονάδα που περιέχει τον μικροεπεξεργαστή. Εκεί αποθηκεύεται και επεξεργάζεται το πρόγραμμα χρήστη, επικοινωνεί με τη συσκευή προγραμματισμού και οποιονδήποτε άλλο σταθμό, ελέγχει τις κεντρικές και καταναμημένες μονάδες εισόδων και εξόδων. Η CPU περιέχει τη μνήμη, θύρες επικοινωνίας, ενδεικτικές λυχνίες λειτουργίας και ενίοτε

⁶ Όσο μεγαλύτερη είναι η CPU τόσο μεγαλύτερη επεξεργαστική ισχύ έχει το PLC, άρα μπορεί να διαχειριστεί και περισσότερες πληροφορίες από εισερχόμενα και εξερχόμενα σήματα.



τροφοδοτικό. Οι εκδόσεις διαφέρουν από άποψη σχεδιασμού, χωρητικότητας και επέκτασης μνήμης, δομής και ποσότητας τελεστών και ταχύτητας επεξεργασίας.

Το μέγεθος της μνήμης διαφέρει ανάλογα με το μοντέλο και τον κατασκευαστή.

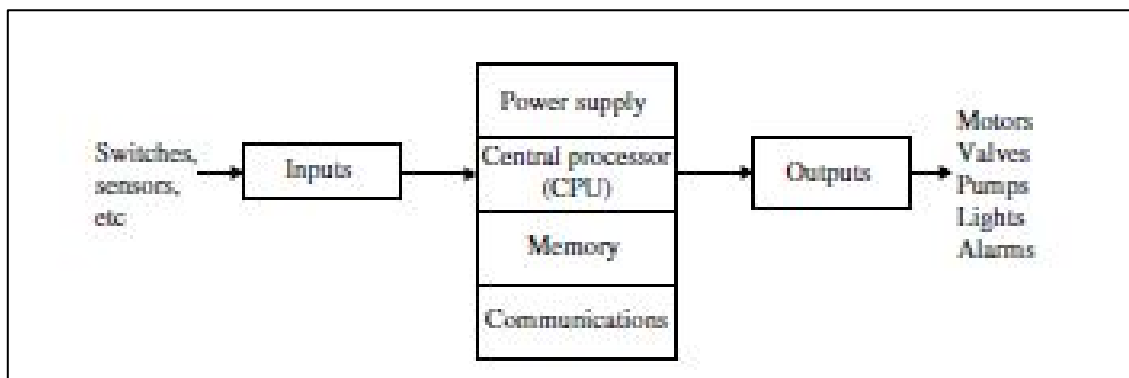
Οι CPU των PLC έχουν τις ακόλουθες μονάδες μνήμης:

- ✓ Read Only Memory (ROM ή Load Memory στα PLC της SIEMENS). Σε αυτή τη μνήμη αποθηκεύεται το HW Configuration του PLC (μέσα στο οποίο ορίζεται η CPU, οι κάρτες επικοινωνίας και I/O καθώς και τα χαρακτηριστικά αυτών), το πρόγραμμα του χρήστη (σε γλώσσα LAD, FBD, STL κ.α.) καθώς και τα σχόλια αυτού. Μια επανεγγράψιμη μνήμη βρίσκεται σε αυτή τη θέση η οποία δεν απαιτεί τάση για να διατηρήσει τα δεδομένα ενώ μπορεί να επανεγγραφεί αλλάζοντας έτσι το πρόγραμμα που αποθηκεύουμε στο PLC. Συνήθως υπάρχει στην CPU του PLC και μπορεί να επεκταθεί αλλά αν δεν υπάρχει είναι απαραίτητο να τοποθετηθεί κάρτα SD ως LOAD Memory.
- ✓ Random Access Memory (RAM ή Work Memory στα PLC της SIEMENS). Είναι μια μνήμη ιδιαίτερα γρήγορη η οποία όμως δεν μπορεί να διατηρήσει τα δεδομένα σε περίπτωση απώλειας τάσης και η οποία λειτουργεί κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του προγράμματος (όταν το PLC είναι σε κατάσταση RUN). Το λειτουργικό του PLC αντιγράφει τον κώδικα προγράμματος, που αφορά την εκτέλεση, από την ROM στην μνήμη RAM και εκεί εκτελείται το πρόγραμμα όταν το PLC έρθει σε κατάσταση RUN.
- ✓ Retentive Memory είναι αυτό το μέρος της μνήμης όπου αποθηκεύονται δεδομένα, τα οποία εμείς επιλέγουμε, ακόμα και όταν χαθεί η τροφοδοσία του PLC με σκοπό την χρησιμοποίησή τους στο πρόγραμμα όταν αυτό επανεκκινήσει.
- ✓ System Memory είναι η μνήμη του συστήματος που περιέχει τους τελεστές που απευθύνονται στο πρόγραμμά μας. Οι τελεστές αντιστοιχούνται σε περιοχές της μνήμης οι οποίες είναι συγκεκριμένες (το μέγεθος τους ποικίλει ανάλογα με την CPU). Οι τελεστές μπορεί να είναι είσοδοι, έξοδοι, Bit μνήμης (Bit Memories), χρονικά, απαριθμητές κ.α.



- ❖ Τις μονάδες Εισόδων Εξόδων (I/O Modules) οι οποίες είναι η διασύνδεση του “εξωτερικού κόσμου” και της CPU του PLC. Σε ένα PLC όλες οι έξοδοι και οι εισοδοι είναι σε κάρτες όπου η κάθε μία από αυτές δέχεται διάφορα σήματα όπως ψηφιακά (Digital Inputs/Outputs), αναλογικά (Analog Inputs/Outputs), θερμοαντιστάσεις, θερμοζεύγη, παλμογεννήτριες (encoders) κ.α. , τα ψηφιοποιούν και τα στέλνουν μέσω διαύλου επικοινωνίας στην CPU για επεξεργασία.
- ❖ Τις μονάδες επικοινωνίας (Communication Units) οι οποίες χρησιμοποιούνται για να ανταλλάσσουν δεδομένα μέσω δικτύων επικοινωνίας με άλλα PLC, HMI (Human Machine Interface), συσκευές προγραμματισμού, εκτυπωτές κ.α. Θύρες επικοινωνίας διαθέτουν ενσωματωμένες οι CPU των PLC είτε για την επικοινωνία με συσκευές προγραμματισμού είτε για επικοινωνία με άλλες συσκευές. Ακόμη υπάρχουν ξεχωριστές κάρτες επικοινωνίας που ενσωματώνονται σε σπονδυλωτά PLC και υποστηρίζουν διάφορα πρωτόκολλα επικοινωνίας όπως Profibus, Industrial Ethernet, Profinet, ASi Bus, Modbus κ.α.
- ❖ Τέλος, ένα ακόμη στοιχείο που θεωρείται μέρος του PLC είναι και οι συσκευές προγραμματισμού (Programming Device) οι οποίες έχουν εγκατεστημένο κατάλληλο λογισμικό για την δημιουργία του προγράμματος και την επικοινωνία με το PLC για την μεταφορά του σε αυτό. Οι εταιρείες πλέον έχουν αναπτύξει περίπλοκες και μεγάλες πλατφόρμες και λογισμικά για να υποστηρίξουν τον πιο εύκολο προγραμματισμό των PLC αλλά και την διασύνδεση συσκευών και ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ τους. Αυτό σημαίνει ότι, πλέον απαιτούνται ισχυροί υπολογιστές για την εγκατάσταση τέτοιων προγραμμάτων, τα οποία οι εταιρείες προσφέρουν με αρκετά υψηλό κόστος.

(Hansen, 2015, σσ. 7-10), (Bolton, 2015, σσ. 7-9), (Petruzella, 2017, σσ. 4-7) (Berger., 2014, σσ. 51-54)



(Hansen, 2015, σ. 8)

3.5 PLC SIEMENS S7-1200

Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμη η αναφορά στο PLC S7-1200 της SIEMENS και η περιγραφή του, μιας και αυτό είναι το PLC που χρησιμοποιήθηκε στην ανάπτυξη της εφαρμογής του συστήματος ελέγχου επιστομιών μέσω ASi Bus. Το εν λόγω PLC αντικατέστησε το παλαιότερο S7-200. Ανήκει στην νεότερη και πιο εξελιγμένη γενιά PLC της SIEMENS, μαζί με το S7-1500, το οποίο έχει σημαντικά αυξημένες δυνατότητες και λειτουργίες όπως ενσωματωμένο web server, υψηλές ταχύτητες επεξεργασίας προγράμματος, ενσωματωμένες λειτουργίες που αφορούν εργασίες απαρίθμησης, μέτρησης, έλεγχο κλειστού βρόγχου, επικοινωνία με την συσκευή προγραμματισμού (PG) μέσω θύρας PROFINET, δυνατότητα ενσωμάτωσης καρτών επικοινωνίας (CM Communication Module) οι οποίες υποστηρίζουν πολλά πρωτόκολλα επικοινωνίας, επέκταση καρτών εισόδων και εξόδων μέχρι 8 κάρτες κ.α.

Το S7-1200 είναι ένα Compact PLC το οποίο δύναται να γίνει modular με ενσωμάτωση καρτών και είναι ενδεδειγμένο PLC για ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών. Η CPU, η οποία όπως προαναφέρθηκε είναι compact, περιλαμβάνει τον μικροεπεξεργαστή, ένα ενσωματωμένο τροφοδοτικό, καθώς και τις μονάδες εισόδων και εξόδων, ψηφιακών και αναλογικών. Αναλόγως τον τύπο της CPU, στο S7-1200 μπορούν να συνδεθούν από καμμία έως οκτώ κάρτες εισόδων εξόδων (I/O Modules). Επίσης ένας σχεδιασμός μονάδων δύο επιπέδων μπορεί να επιτευχθεί με την βοήθεια καλωδίου. Αυτή η διάταξη δεν αυξάνει τον αριθμό των καρτών εισόδων εξόδων που μπορούν να τοποθετηθούν. Ακόμη το S7-1200 μπορεί να δεχθεί



SIMATIC Memory Card (Κάρτα Μνήμης) η οποία μπορεί να επεκτείνει την ενσωματωμένη Load Memory (ROM) αλλά και να χρησιμεύσει για την φόρτωση του προγράμματος και του configuration του σταθμού από αυτήν.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι CPU (π.χ. CPU 1211, 1214, 1217 κ.α.) οι οποίες έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά όπως για παράδειγμα η μνήμη RAM (Work Memory) η μνήμη ROM (Load Memory), οι δυνατότητες επέκτασης, η ταχύτητα επεξεργασίας προγράμματος κ.α. Όλες όμως είναι διαθέσιμες στις εξής εκδόσεις: DC/DC/DC, AC/DC/RLY, DC/DC/RLY. Το πρώτο από αυτά αναφέρεται στην τάση τροφοδοσίας της CPU οι οποίες είναι είτε DC είτε AC, το ενδιάμεσο αναφέρεται στην τάση λειτουργίας των Ψηφιακών εισόδων (DI) που είναι ενσωματωμένες στην CPU, ενώ το τελευταίο αναφέρεται στον τύπο των Ψηφιακών εξόδων (DQ) οι οποίες είναι είτε έξοδος με επαφή ρελέ (RLY) είτε έξοδος με τρανζίστορ (DC). (Berger H. , 2013, σσ. 43-50) & (Kamel & Kamel, 2014, σσ. 43-47)

Η CPU S7-1214C7 η οποία χρησιμοποιήθηκε στην εφαρμογή έχει τα εξής χαρακτηριστικά: Work memory 100 KB με 14 Ψηφιακές Εισόδους (DI14 x 24VDC) και 10 Ψηφιακές Εξόδους (DQ10 x 24VDC), δύο ενσωματωμένες αναλογικές εισόδους (AI2 0...10V) 6 high-speed counters και 4 pulse outputs ενσωματωμένες. Η CPU είναι επεκτάσιμη είτε με SB (signal board) είτε με SM (Signal Module, έως 8 κάρτες επέκτασης). Μπορεί να δεχθεί έως 3 CM (communication modules) για σειριακή επικοινωνία ή για επικοινωνία μέσω Profibus, RS422, GPRS ενώ στη θέση των CM (Communication Modules) μπορούν να τοποθετηθούν AS-i Master για επικοινωνία με AS-i slaves, όπως υλοποιήθηκε στην εφαρμογή της παρούσας εργασίας. Η ταχύτητα επεξεργασίας των εντολών είναι 0.04 ms/1000 εντολές ενώ τα πλήρη χαρακτηριστικά της CPU S7-1214C αλλά και όλων των CPU S7-1200 φαίνονται στον Πίνακα 1. (SIEMENS, 2018)

⁷ Ο Κωδικός προϊόντος της SIEMENS είναι 6ES7214-1AG40-0XB0



Table A- 47 General

Technical data	CPU 1214C AC/DC/Relay	CPU 1214C DC/DC/Relay	CPU 1214C DC/DC/DC
Article number	6ES7214-1BG40-0XB0	6ES7214-1HG40-0XB0	6ES7214-1AG40-0XB0
Dimensions W x H x D (mm)	110 x 100 x 75		
Shipping weight	475 grams	435 grams	415 grams
Power dissipation	14 W		
Current available (SM and CM bus)	1600 mA max. (5 V DC)		
Current available (24 V DC)	400 mA max. (sensor power)		
Digital input current consumption (24 V DC)	4 mA/input used		

Table A- 48 CPU features

Technical data	Description	
User memory (Refer to "General technical specifications", (Page 1343) "Internal CPU memory retention".)	Work	100 Kbytes
	Load	4 Mbytes internal, expandable up to SD card size
	Retentive	10 Kbytes
Onboard digital I/O	14 inputs/10 outputs	
Onboard analog I/O	2 inputs	
Process image size	1024 bytes of inputs (I)/1024 bytes of outputs (Q)	
Bit memory (M)	8192 bytes	
Temporary (local) memory	<ul style="list-style-type: none">• 16 Kbytes for startup and program cycle (including associated FBs and FCs)• 6 Kbytes for each of the other interrupt priority levels (including FBs and FCs)	
Signal modules expansion	8 SMs max.	
SB, CB, BB expansion	1 max.	
Communication module expansion	3 CMs max.	
High-speed counters	Up to 6 configured to use any built-in or SB inputs. Refer to "Hardware input pin assignment" (Page 566) for CPU 1214C: HSC default address assignments. <ul style="list-style-type: none">• 100/180 kHz (Ia.0 to Ia.5)• 30/120 kHz (Ia.6 to Ib.5)	

Πίνακας 1 Χαρακτηριστικά CPU S7-1200 (SIEMENS, 2018, p. 1382)

3.5.1 Καταστάσεις Λειτουργίας της CPU

Η CPU έχει τρεις καταστάσεις λειτουργίας, STARTUP, RUN και STOP. Οι τρόποι λειτουργίας έχουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Στο STOP η CPU δεν εκτελεί πρόγραμμα. Οι είσοδοι και οι έξοδοι δεν ενημερώνονται και δεν μπορεί να εκτελεστεί καμία διεργασία όσον αφορά την εγκατάσταση. Η συσκευή προγραμματισμού μπορεί να συνδεθεί στην CPU και να κατεβάσει νέο

πρόγραμμα ή να ανεβάσει το υπάρχον, να ελέγξει τα διαγνωστικά και να εκτελέσει μια σειρά από άλλες εργασίες.

- Στο STARTUP η CPU εκτελεί την αρχικοποίηση και καλούνται συγκεκριμένα OB (Organization Blocks) από το λειτουργικό σύστημα του PLC. Αν ο προγραμματιστής έχει προγραμματίσει τα OB αρχικοποίησης, τότε αυτά θα εκτελεστούν μία φορά και ποτέ ξανά κατά την διάρκεια εκτέλεσης του προγράμματος.
- Στο RUN η CPU εκτελείται το πρόγραμμα κυκλικά, όπως το έχει ορίσει ο προγραμματιστής (μέσα στα code blocks: Functions & Function Blocks), και οι έξοδοι ενημερώνονται σύμφωνα με την λογική του προγράμματος. Σε αυτή την κατάσταση εκτελούνται και τα OB (Organization Blocks), τα οποία ενεργοποιούνται από το λειτουργικό σύστημα και παρέχουν πληροφορίες εκμεταλλεύσιμες από τον προγραμματιστή. (Kamel & Kamel, 2014, p. 45)



Εικόνα 10 SIEMENS CPU 1214C DC/DC/DC



3.5.2 Δυνατότητες επέκτασης της CPU

Η οικογένεια των ελεγκτών SIMATIC S7-1200 προσφέρει μια σειρά από κάρτες επέκτασης (όπως Signal Modules, Signal Board, Communication Modules, Communication Board κ.α.) για την αύξηση των δυνατοτήτων της CPU.

Αυτές οι μονάδες είναι οι παρακάτω, όπως φαίνονται και στην Εικόνα 11:

① Communication module (CM) ή communication processor (CP)

Τα CM είναι κάρτες επικοινωνίας οι οποίες υποστηρίζουν διάφορα πρωτόκολλα επικοινωνίας όπως PROFIBUS, ASi Bus, GPRS, RS232, RS422, RS485 τοποθετούνται στα αριστερά της CPU, ο αριθμός των οποίων δεν μπορεί να ξεπεράσει τα τρία. Υποστηρίζει εξής πρωτόκολλα επικοινωνίας με τα εξής CM:

- ✓ CM 1242-5 PROFIBUS DP Slave
- ✓ CP 1242-7 GPRS
- ✓ CM 1243-2 ASi Master
- ✓ CM 1241 RS232, RS 422/485 & CB 1241 RS 485

② CPU είναι η βασική μονάδα του PLC πάνω στην οποία ενσωματώνονται όλες οι υπόλοιπες μονάδες.

③ Signal Board (SB), Communication Board (CB) & Battery Board (BB).

Τα Signal Board τοποθετείται στο μπροστινό μέρος της CPU και επεκτείνει τις δυνατότητες της. Υπάρχουν διάφορες κάρτες SB για την κάλυψη μεγάλου εύρους απαιτήσεων όπως RTD, TC, RS422/485, Digital I/O 24V & 5V, Analog Inputs & Analog Outputs κ.α.

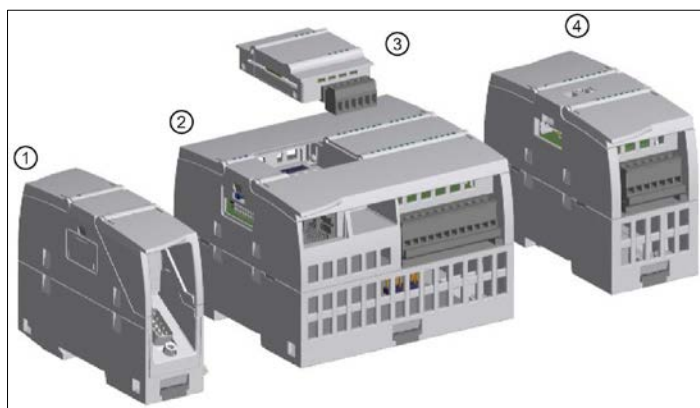
Τα CB (Communication Board) επεκτείνουν τις δυνατότητες επικοινωνίας της CPU χωρίς ουσιαστικά να αλλάζουν τις διαστάσεις της. Το module CB 1241 RS485 είναι διαθέσιμο για επικοινωνία δεδομένων με πρωτόκολλα ASCII, USS drives, Modbus RTU.

Το BB (Battery Board) 1297 είναι διαθέσιμο και επεκτείνει την διάρκεια τήρησης χρόνου από 10 ημέρες σε ένα χρόνο.

④ Τα Signal Modules (SM) τοποθετούνται στα δεξιά της CPU. Μπορούν να τοποθετηθούν από κανένα έως οκτώ SM, αναλόγως των δυνατοτήτων της CPU. Υπάρχουν modules Ψηφιακών εισόδων και εξόδων (DI & DQ) τα οποία υποστηρίζουν διάφορες τάσεις

(24VDC, 120/250VAC) και αναλόγως την έξοδο (Transistor ή Relay) μπορούν και παρέχουν διαφορετικό ρεύμα. Τα Modules αναλογικών εισόδων και εξόδων (AI & AQ) παρέχουν μια ευρεία γκάμα καρτών για την υποστήριξη διαφόρων σημάτων όπως RTD, TC, 0-10V, +10V, 0...20mA, 4...20mA κ.α., κάρτες οι οποίες έχουν διαφορετική ανάλυση σε bit, αναλόγως των απαιτήσεων μας.

(Berger H. , 2013, pp. 43-55) & (Kamel & Kamel, 2014, pp. 45-47) & (SIEMENS, 2018, pp. 31-32)



Εικόνα 11 CPU & Μονάδες επέκτασης S7-1200 ((SIEMENS, 2018, p. 30))

3.5.2.1 CM 1243-2 ASi Master

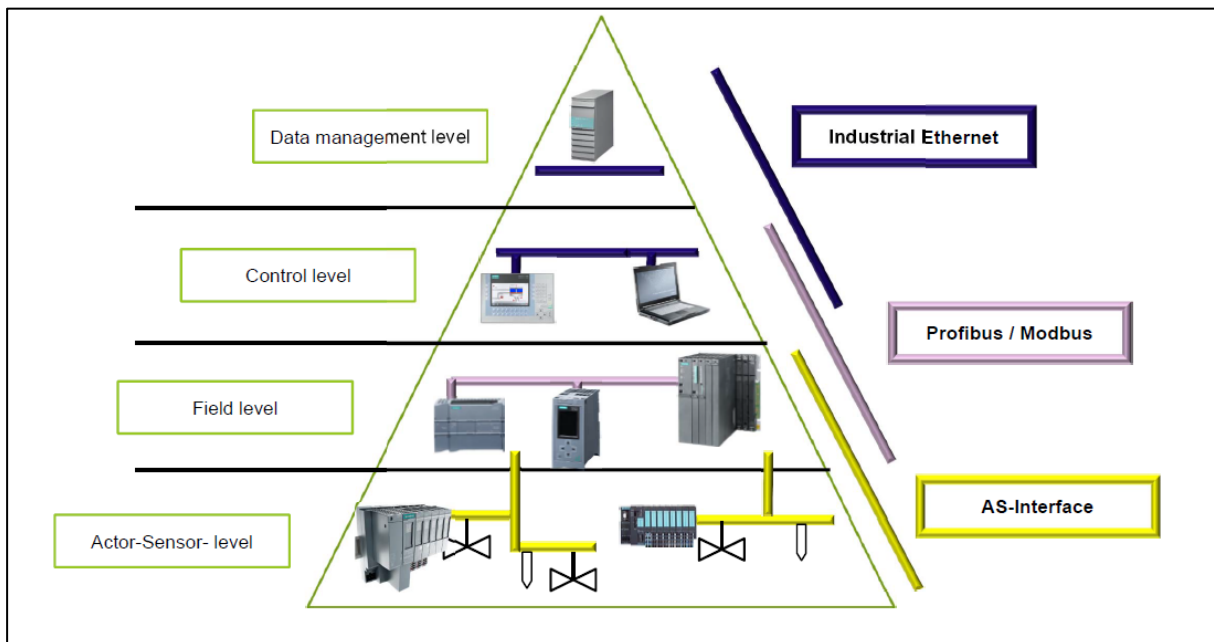
Η κάρτα επικοινωνίας CM1243-2 AS-i Master είναι η κύρια κάρτα πάνω στην οποία βασίστηκε η εφαρμογή του Συστήματος ελέγχου Επιστομιών, όπως αυτή εφαρμόστηκε . Η CM1243-2 AS-i Master συνδέει μία CPU S7-1200 με το δίκτυο AS-i και τις slave μονάδες που είναι κρεμασμένες πάνω σε αυτό, σύμφωνα με το πρωτόκολλο AS-i v3.0 (Actuator Sensor Interface). Ένα τέτοιο module μπορεί να διαχειριστεί μέχρι 62 υποτελείς μονάδες (Slave modules). Αυτό σημαίνει ότι οι εισοδοι και έξοδοι ενός S7-1200 μπορούν να αυξηθούν πάρα πολύ αν λάβουμε υπόψιν ότι κάθε CM μπορεί να υποστηρίξει μέχρι 496 Inputs και 496 Outputs. Όσον αφορά τα αναλογικά σήματα κάθε CM μπορεί να διαχειριστεί, με 31 slaves, μέχρι 4 αναλογικά σήματα έκαστο slave, ενώ με 62 slaves, 2 αναλογικά σήματα έκαστο slave.

Για την λειτουργία του CM1243-2 AS-i Master αλλά και των slave, απαιτείται τάση τροφοδοσίας 24VDC σε συνδυασμό με την μονάδα DCM 1271 Data Decoupling Module. Σε περίπτωση που χρησιμοποιούμε ξεχωριστό τροφοδοτικό, με προδιαγραφές που να

καλύπτουν το πρωτόκολλο AS-i, τότε δεν απαιτείται η μονάδα DCM 1271. Η χρησιμοποίηση του CM 1243-2 και η διαχείριση των σημάτων (αναλογικών και ψηφιακών) είναι αρκετά εύκολη και προσφέρει πλεονεκτήματα που χρησιμοποιήθηκαν στην εφαρμογή της εργασίας, όπως διαγνωστικά για τις slave μονάδες, απώλειες τροφοδοσίας κ.α. (Berger H. , 2013, σ. 53) & (SIEMENS, 2018, σ. 1530)

4. Πρωτόκολλο AS-i (Actuator Sensor Interface)

Το πρωτόκολλο AS-i (Actuator Sensor Interface, διεπαφή αισθητήρων ενεργοποιητή) είναι ένα πρωτόκολλο σχεδιασμένο για να χρησιμοποιείται στο επίπεδο των συστημάτων ελέγχου των διεργασιών. Δηλαδή διασυνδέει αισθητήρες και ενεργοποιητές, οι οποίοι βρίσκονται στο χαμηλότερο επίπεδο της βιομηχανικής διεργασίας, με συσκευές όπως PLC , μέσω των AS-i Gateways, συσκευές οι οποίες βρίσκονται στο υψηλότερο επίπεδο στην πυραμίδα της βιομηχανικής διεργασίας και επικοινωνίας (βλ. Εικόνα 12).



Εικόνα 12 Πυραμίδα Δικτύων βιομηχανικών Διεργασιών (Σημειώσεις μαθήματος Συστήματα Επιτήρησης & Ελέγχου ΠΙΜΣ Νέες Τεχνολογίες στη Ναυτιλία και τις Μεταφορές)

Το AS-i είναι ένα ανοικτό δίκτυο επικοινωνίας το οποίο αναπτύχθηκε από έντεκα εταιρείες. (Μερικές από τις πιο γνωστές είναι η Pepperl-Fuchs, Allen Bradley, Banner



Engineering, Datalogic Products, Siemens, Telemecanique, Omron, Festo κ.α.). Το διοικητικό όργανο είναι ο ATO⁸, ASi Trade Organization ο οποίος αριθμεί πάνω από πενήντα ενεργά μέλη και συνεχίζει να μεγαλώνει.

Το πρωτόκολλο AS-i σχεδιάστηκε για την διασύνδεση ψηφιακών (binary) αισθητήρων και ενεργοποιητών, τα οποία απαιτούν πολύ μικρό αριθμό bit, στην ακολουθία του τηλεγραφήματος, για να διαβάσουν την κατάσταση του αισθητήρα ή για να δώσουν εντολή ενεργοποίησης ενός actuator. Η πρώτη έκδοση του ASi αναπτύχθηκε το 1990-1994, περίοδο όπου πολλά fieldbus είχαν αναπτυχθεί αλλά κανένα δεν είχε τις προδιαγραφές διασύνδεσης αισθητήρων και ενεργοποιητών. Από την πρώτη έκδοση του ASi (v2.0) το 1994 ακολούθησαν και άλλες οι οποίες έλυσαν λειτουργικά θέματα αλλά παράλληλα ενσωμάτωσαν νέες λειτουργίες (Reynders, 2005, σ. 271)

Το πρωτόκολλο ASi είναι διαθέσιμο σε τρεις εκδόσεις:

Την πρώτη έκδοση v2.04 (1994), την δεύτερη έκδοση v2.11 (1998) και την τρίτη έκδοση v3.0 (2005/2007) η οποία είναι αυτή που χρησιμοποιείται αυτή τη στιγμή ενώ η έκδοση ASi-5 έχει μόλις εκδοθεί εδώ και λίγους μήνες⁹ (παρουσιάστηκε τον Νοέμβριο 2018) αλλά δεν θα γίνει αναφορά σε αυτή καθώς τα στοιχεία που μπορούν να αντληθούν από τη διεθνή βιβλιογραφία είναι μηδαμινά.

Παρακάτω ακολουθεί σύντομη περιγραφή των εκδόσεων AS-i και των χαρακτηριστικών της κάθε μίας.

Η έκδοση 2.04 (1994) μπορούσε να δεχτεί έως 31 slaves, όπου το κάθε slave μπορεί να έχει 4 εισόδους και 4 εξόδους, σύνολο 124 ψηφιακές εισόδους και 124 ψηφιακές εξόδους. Μια σημαντική λειτουργία είναι η αντικατάσταση χαλασμένου slave με άλλο ενώ το δίκτυο είναι εν λειτουργία και υπό τάση. Ο χρόνος ανανέωσης (κάθε slave- κόμβου) εκτιμάται στα 150μs ενώ ο συνολικός χρόνος είναι το γινόμενο των κόμβων επί τον προκαθορισμένο χρόνο ανανέωσης για κάθε κόμβο.

⁸ Ο ATO πιστοποιεί προϊόντα υπό ανάπτυξη, τα οποία πληρούν τις προδιαγραφές του πρωτοκόλλου ASi. Αυτό διασφαλίζει την διασύνδεση προϊόντων από διαφορετικούς κατασκευαστές.

⁹ Στο site του οργανισμού (<https://www.as-interface.net/en/>) αναφέρεται ότι είναι έτοιμη η νέα έκδοση του πρωτοκόλλου, ASi-5, η οποία θα παρουσιάστηκε τον Νοέμβριο του 2018. Αυτή περιλαμβάνει βελτιώσεις σε σχέση με το ASi v3.0 όπως: Δυνατότητα διασύνδεσης 96 συσκευών, μειωμένο χρόνο κύκλου 1,2ms 16bit process data, αυξημένες δυνατότητες διαγνωστικών, ενσωματωμένο IO Link κ.α.



Η έκδοση v2.11 διπλασίασε τον αριθμό των slaves που μπορεί να ενσωματώσει ένα AS-i Master από 31 σε 62, A & B channel, ενώ ο αριθμός των ψηφιακών εισόδων και εξόδων αυξήθηκε σε 434 (ψηφιακές εισοδοί/έξοδοι), όπου οι 248 είναι εισοδοί ενώ οι 186 έξοδοι.

Η έκδοση v3.0 παρουσιάστηκε σαφώς πιο βελτιωμένη και αναβαθμισμένη αφού αν και ο αριθμός των slaves παρέμεινε ο ίδιος, στα 62, αυξήθηκε ο αριθμός των I/O σε 496 I/O, όπου 248 αφορούν τις ψηφιακές εισόδους και 248 τις ψηφιακές εξόδους. Επίσης μπορούσαν να μεταφερθούν μέσω του δικτύου αναλογικά σήματα με ανάλυση 8, 12 ή 16bit από τους A/D converter των slaves (Sunit Kumar Sen, 2014, σ. 214).

Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι στο καλώδιο του δικτύου ASi μεταφέρεται η ενέργεια για την λειτουργία των slaves αλλά ταυτόχρονα και η πληροφορία προς και από τις slaves μονάδες. Για να λειτουργήσει το πρωτόκολλο ASi πρέπει να πληρούνται οι εξής προϋποθέσεις:

- ✓ Τροφοδοσία στην έξοδο του δικτύου AS-i (master) με τάση 24V DC.
- ✓ Safety: Να διασφαλίζεται η απομόνωση από την τροφοδοσία του κυρίως δικτύου τροφοδοσίας (mains) (PELV)
- ✓ Balancing of the Network: Να διασφλίζεται η συμμετρία του δικτύου (καλωδιώσεων) για να αυξάνεται έτσι η ανοχή στο θόρυβο.
- ✓ Data Decoupling: Διαχωρισμός πληροφορίας και τροφοδοσίας.

Power Supply

Στο δίκτυο ASi, μέσω του καλωδίου δικτύου, παρέχεται και η τάση τροφοδοσίας των slaves αλλά και του master. Η τάση τροφοδοσίας αυτών είναι 24VDC. Για τον λόγο αυτό, τα τροφοδοτικά ASi παρέχουν μια τάση 30VDC (29.5V-30.5V) με ρεύμα έως 8A, έτσι ώστε να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις της γραμμής η οποία εκτείνεται έως 100 μέτρα χωρίς επαναλήπτες και έως 300 μέτρα με επαναλήπτες σήματος.

Safety

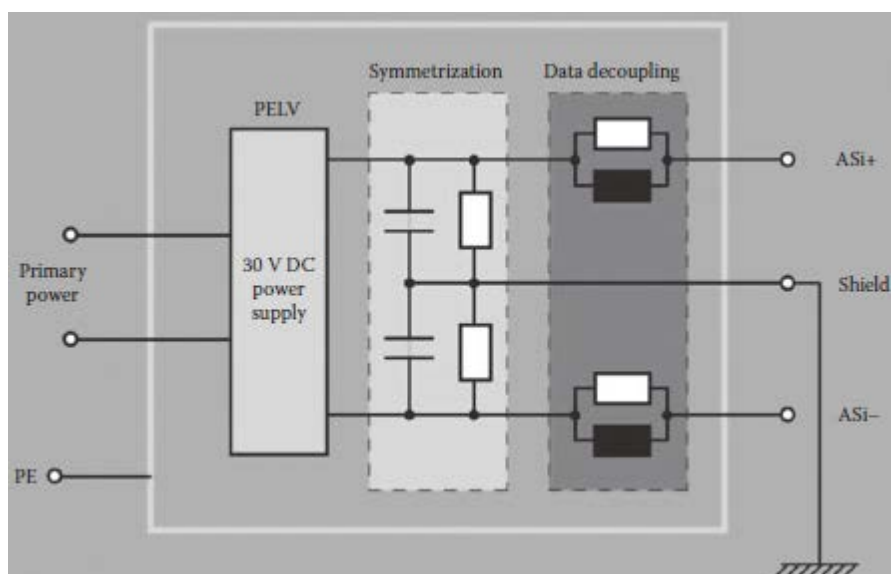
Το πρωτόκολλο ASi είναι σχεδιασμένο να λειτουργεί με χαμηλή τάση με ασφαλή απομόνωση (protective extralow voltage [PELV]). Αυτό σημαίνει, σύμφωνα με τα σχετικά διεθνή πρότυπα IEC, ότι απαιτείται ασφαλής απόζευξη του τροφοδοτικού, μεταξύ του δικτύου τροφοδοσίας και της τάσης τροφοδοσίας του δικτύου ASi.

Balancing

Το τροφοδοτικό χρησιμοποιείται για να εξισορροπήσει το δίκτυο ASi. Το δίκτυο ASi λειτουργεί ως ένα συμμετρικό μη γειωμένο σύστημα. Για βελτιστοποίηση της ανοχής ενάντια στο θόρυβο, το καλώδιο ASi πρέπει να τοποθετείται συμμετρικά, κατά το δυνατόν. Έτσι επιτυγχάνεται καλύτερη εξισορρόπηση μέσω του κυκλώματος που φαίνεται στην Εικόνα 13. Επίσης το ASi γειώνεται μέσω του Shield σε κατάλληλο σημείο και είναι το μοναδικό στο δίκτυο ASi που συνδέεται με τη γη (GND).

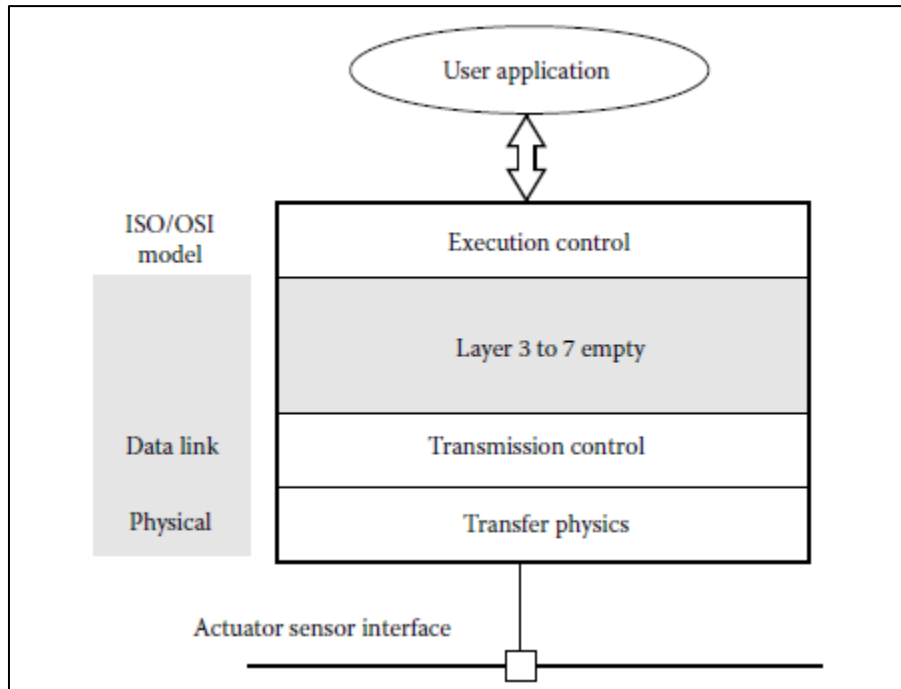
Data Decoupling

Η μονάδα Data Decoupling (Αποσύζευξη δεδομένων) είναι τοποθετημένη συνήθως μέσα στο τροφοδοτικό ASi. Αποτελείται από δύο αντιστάσεις και δύο πηνία παράλληλα συνδεδεμένα όπως φαίνεται στην Εικόνα 13. Τα πηνία χρησιμοποιούν τους παλμούς ρεύματος των ASi transmitters για να δημιουργήσουν τους αντίστοιχους παλμούς τάσης προκειμένου να μεταφερθεί η πληροφορία. Αν χρησιμοποιηθεί κοινό τροφοδοτικό 24V στο δίκτυο ASi, τότε απαιτείται να χρησιμοποιηθεί και ξεχωριστή μονάδα Data Decoupling για κάθε δίκτυο ASi. (Zurawski, 2015, p. 272)



Εικόνα 13 ASi Power Supply (Zurawski, 2015, pp. 6-3)

Παρακάτω στην Εικόνα 14 φαίνεται το πρωτόκολλο ASi και η συσχέτιση του με το OSI model. Βάσει αυτού του μοντέλου θα αναλυθεί στα παρακάτω κεφάλαια η καλωδίωση, η μεταφορά δεδομένων, η ανίχνευση λαθών στην μεταφορά δεδομένων κ.α.



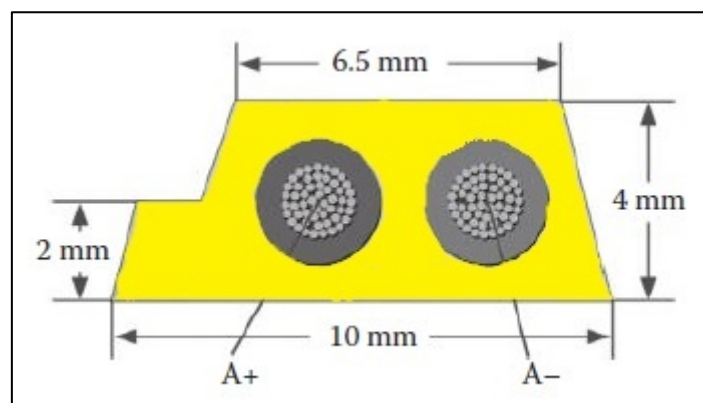
Εικόνα 14 OSI model και πρωτόκολλο ASi (Sunit Kumar Sen, 2014, σ. 215)

4.1 Layer 1: Φυσικό επίπεδο Δικτύου ASi (Physical Layer - OSI model)

Το Physical Layer είναι το πρώτο επίπεδο του μοντέλου OSI (Open System Interconnection). Αφορά τη μετάδοση δεδομένων μεταξύ διαφορετικών συσκευών και υποστηρίζει ηλεκτρικές και μηχανικές διεπαφές που συνδέονται με φυσικό μέσο για συγχρονισμένη επικοινωνία. Το φυσικό στρώμα είναι συνήθως ένας συνδυασμός προγραμματισμού λογισμικού και υλικού ενώ περιλαμβάνει ηλεκτρομηχανικές συσκευές. Στο Δίκτυο ASi, το φυσικό επίπεδο επικοινωνίας (Layer1) είναι υπεύθυνο για την επικοινωνία μεταξύ του master και των slaves. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιείται ένα δισύρματο καλώδιο, μη συνεστραμμένο και μη θωρακισμένο, το οποίο διατίθεται σε δύο εκδόσεις.

4.1.1 Καλώδιο AS-i

Το καλώδιο που χρησιμοποιείται είναι ένα δισύρματο μη συνεστραμμένο, μη θωρακισμένο, το οποίο εξυπηρετεί δύο σκοπούς: αφενός την επικοινωνία μεταξύ του master με τα slaves και αφετέρου την τροφοδοσία, η οποία είναι απαραίτητη για την λειτουργία των master & slaves καθώς και για τους αισθητήρες και ενεργοποιητές. Στην έκδοση AS-i v3.0 μπορούν να χρησιμοποιηθούν μέχρι 62 slaves σε αντίθεση με την v 2.04 έκδοση όπου μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν μέχρι 31 Slaves. Δύο τύποι καλωδίου χρησιμοποιούνται στο δίκτυο ASi: Ο πρώτος τύπος είναι ένα εύκαμπτο καλώδιο σύμφωνο με τα πρότυπα CENELEC ή DIN VDE 0281 με χαρακτηριστικά H05VV-F 2x1.5, (#16AWG, 1.5mm) το οποίο είναι πολύ φθηνό και βρίσκεται εύκολα στην αγορά. Ο δεύτερος τύπος είναι το τυπικό κίτρινο καλώδιο AS-i, με παρόμοια χαρακτηριστικά με το ανωτέρω καλώδιο αλλά με διαφορετικά χαρακτηριστικά εγκατάστασης. Το τυπικό καλώδιο εγκατάστασης δικτύου ASi στην βιομηχανία είναι το δεύτερο, το οποίο είναι ένα κίτρινο καλώδιο, όπως φαίνεται στην Εικόνα 15 (ή διαφορετικά με μαύρο περίβλημα αν χρησιμοποιείται για την παροχή μόνο τροφοδοσίας), το οποίο έχει δύο αγωγούς 2x1,5mm και το οποίο έχει τέτοια μορφή για να μπορεί να διασφαλίζει την σωστή τοποθέτηση του και κατά συνέπεια την σωστή πολικότητα A+, A-. Η σύνδεση ενός slave με το δίκτυο, επιτυγχάνεται μέσω τρυπήματος του καλωδίου από ακίδες οι οποίες βρίσκονται στο slave module και διαπερνούν το κίτρινο περίβλημα και τον αγωγό. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται όχι μόνο η σωστή διασύνδεση του slave με το δίκτυο αλλά και η προστασία του καλωδίου και του module από σκόνη, υγρασία κλπ.



Εικόνα 15 Καλώδιο ASi (Zurawski, 2015)



Με τον ίδιο τρόπο μπορούν και διασυνδέονται όλες οι slave μονάδες πάνω στο δίκτυο αποφεύγοντας τις ενώσεις καλωδίων, τις κλέμμες και το κόψιμο καλωδίου. Αυτό συμβαίνει γιατί τα slave modules είναι κατασκευασμένα ειδικά για εφαρμογές ναυτιλίας με πιστοποιήσεις και προστασία που διαφέρει από αυτές της βιομηχανίας. Στις εγκαταστάσεις δικτύων AS-i σε πλοία συνήθως προτιμάται ο πρώτος τύπος καλωδίου. Τέλος να αναφέρω ότι σε ειδικές περιπτώσεις, όπως ένα περιβάλλον με υψηλή στάθμη θορύβου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί θωρακισμένο καλώδιο.

Κάθε slave μονάδα μπορεί να καταναλώνει μέχρι 65mA με την τάση τροφοδοσίας να είναι στα 30V. Ο λόγος είναι για να μην υπάρχει πτώση τάσης τέτοια ώστε να δημιουργήσει προβλήματα όταν το μήκος καλωδίου είναι στα 100 μέτρα. Στην περίπτωση που απαιτείται μεγαλύτερο μήκος καλωδίου τότε χρησιμοποιείται ξεχωριστό καλώδιο τροφοδοσίας για τα slaves. Κατά την επιλογή και εγκατάσταση του καλωδίου πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η εσωτερική αντίσταση του επιλεγμένου καλωδίου, η οποία παίζει ρόλο στην πτώση τάσης που δημιουργείται και μπορεί να επηρεάσει την λειτουργία είτε των slaves είτε των αισθητήρων και ενεργοποιητών¹⁰. (Sunit Kumar Sen, 2014, σ. 215) (Zurawski, 2015, σσ. 6-2 έως 6-5) (Reynders, 2005, σσ. 272-273)

4.1.2 Modulation procedure ASi

Η επιλογή της διαμόρφωσης του σήματος για το πρωτόκολλο ASi ήταν μια διαδικασία στην οποία έπρεπε να ληφθούν υπόψη αρκετές παράμετροι καθώς δεν υπήρχε κάποιο πρωτόκολλο με τις ανάλογες προδιαγραφές έως τότε. Οι παράμετροι που έπρεπε να ληφθούν υπόψη ήταν οι εξής: Το σήμα το οποίο μεταφέρεται πάνω στην τάση τροφοδοσίας για τους αισθητήρες και ενεργοποιητές, πρέπει να είναι απαλλαγμένο από τάση DC. Τα slaves πρέπει να είναι σε θέση να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις επικοινωνίας και να δημιουργούν το κατάλληλο σήμα επικοινωνίας και να είναι φθηνά και μικρά σε μέγεθος. Να

¹⁰ Το ρεύμα που θεωρούμε ως μέγιστη κατανάλωση για ένα master με 31 slaves είναι περίπου στα 2A. Αυτό μπορεί να αυξηθεί στα 4 A με 62slaves. Παρατηρούμε όμως ότι πλέον τα τροφοδοτικά μπορούν και παρέχουν έως 8A για slaves και αισθητήρες/ενεργοποιητές με μεγαλύτερες καταναλώσεις ρεύματος. Αυτό έχει να κάνει και με την τάση τροφοδοσίας 24ή 30VDC αλλά και με τις προδιαγραφές του εκάστοτε κατασκευαστή οι οποίες πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και να ακολουθούνται κατά γράμμα.

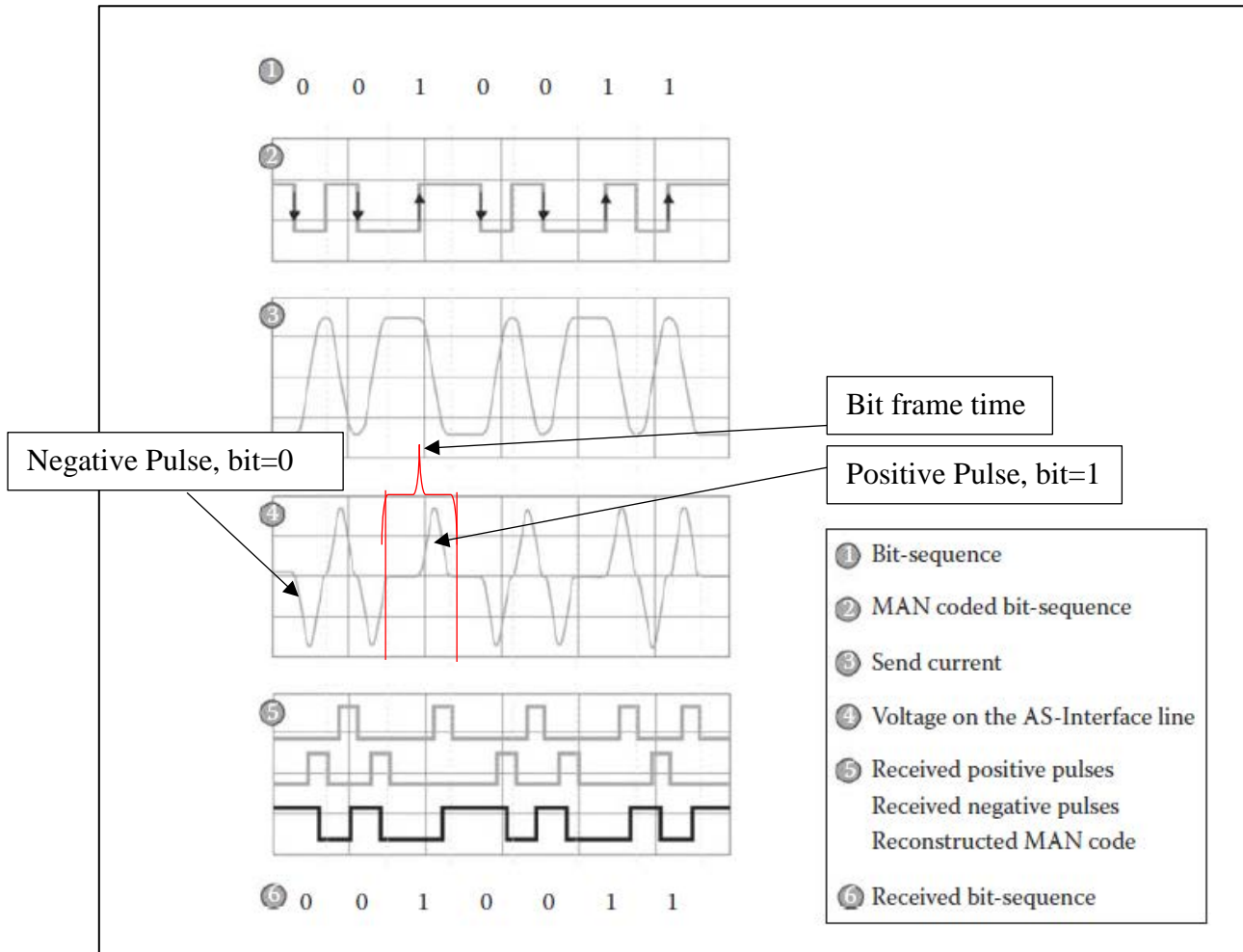


μην δημιουργούν ηλεκτρομαγνητικό θόρυβο εκτός ορίων. Αυτά τα κύρια χαρακτηριστικά δεν ενσωματώνονταν σε κανένα ανεπτυγμένο πρωτόκολλο μέχρι εκείνη τη στιγμή και κατά συνέπεια έπρεπε να αναπτυχθεί κάτι καινούργιο.

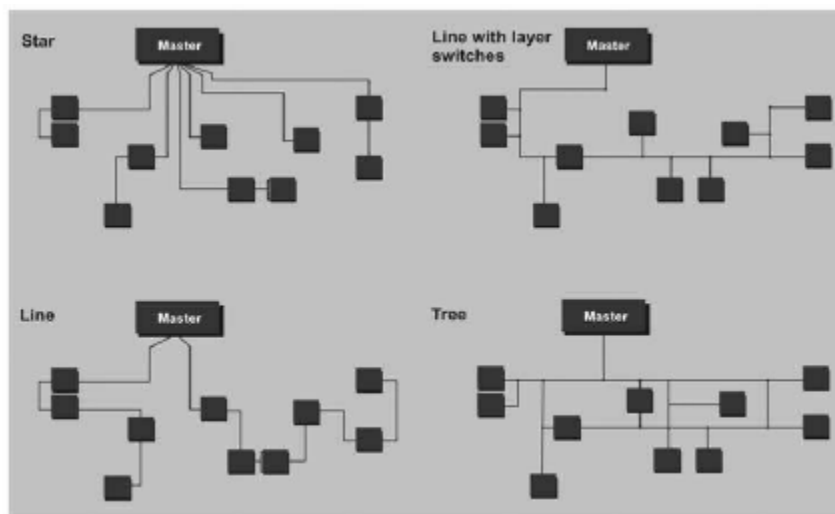
Το αποτέλεσμα αυτών ήταν η ανάπτυξη του Alternative Pulse Modulation (APM) μια διαδικασία για σειριακή μετάδοση δεδομένων. Η αλληλουχία των bit προς αποστολή, πρώτα κωδικοποιείται σε μια αλληλουχία bit η οποία εκτελεί αλλαγή φάσης κάθε φορά που το σήμα προς αποστολή αλλάζει. Το αποτέλεσμα είναι η αλλαγή του ρεύματος αποστολής το οποίο δημιουργεί το επιθυμητό επίπεδο τάσης πάνω στο καλώδιο AS-i. Έτσι κάθε άνοδος στο ρεύμα έχει ως αποτέλεσμα έναν αρνητικό παλμό τάσης ενώ κάθε πτώση στο ρεύμα δημιουργεί έναν θετικό παλμό τάσης. Στην πλευρά του δέκτη τώρα, αυτές οι μεταβολές τάσης, ανιχνεύονται και μετατρέπονται σε αλληλουχία σημάτων bit, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 16. Ο δέκτης συγχρονίζεται με τον πρώτο αρνητικό παλμό, το οποίο μεταφράζει ως αρχικό bit ενός μηνύματος. Η μεταβολή της τάσης προσεγγίζει \sin^2 παλμούς και έτσι οι απαιτήσεις για χαμηλή στάθμη θορύβου καθώς και για χαμηλό όριο συχνότητας επιτυγχάνονται ταυτόχρονα. Χρησιμοποιώντας αυτή την τεχνική και τις διαθέσιμες τοπολογίες σύνδεσης επιτυγχάνεται ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων που φτάνει τα 167Kbit/sec ενώ ο χρόνος ενός bit (bit time frame) είναι 6μs.

Ο ορισμός ενός bit γίνεται όπως και στο πρωτόκολλο Manchester II. Κάθε bit έχει ένα πλαίσιο χρόνου (bit frame time). Ο δέκτης για να αντιληφθεί την κατάσταση ενός bit πρέπει η μεταβολή της τάσης να γίνει στο δεύτερο μισό του πλαισίου χρόνου του bit. Όταν η μεταβολή της τάσης (ξεκινά στο μέσο του πλαισίου χρόνου και ολοκληρώνεται στο τέλος αυτού) είναι αρνητική όπως φαίνεται και επεξηγείται στην Εικόνα 16 (στο 4) τότε ο δέκτης λαμβάνει αυτή τη μεταβολή ως bit=0 ενώ αν η μεταβολή της τάσης είναι θετική τότε ο δέκτης λαμβάνει αυτή τη μεταβολή ως bit=1 (Εικόνα 16). Αν η μεταβολή της τάσης είναι σε οποιοδήποτε άλλο χρονικό σημείο του πλαισίου χρόνου, τότε ο δέκτης δεν λαμβάνει υπόψιν αυτή τη μεταβολή ως αλλαγή σήματος bit. (Reynders, 2005, pp. 272-274) (Sunit Kumar Sen, 2014, pp. 213-215) (Zurawski, 2015, pp. 6-1...6-10)

Τέλος, όσον αφορά την τοπολογία δικτύου, ένα Single master Gateway module μπορεί να συνδεθεί με διάφορες διατάξεις όπως bus, tree, ring, όπως φαίνεται και στην παρακάτω Εικόνα 17.



Εικόνα 16 APM - MAN Code (Zurawski, 2015, pp. 6-7)



Εικόνα 17 AS-i Configurations (Reynders, 2005, p. 272)



4.2 Layer 2: Data Link Layer AS-i (Data Link Layer - OSI model)

Το επίπεδο διασύνδεσης δεδομένων (Data Link Layer) έχει ως κύρια αποστολή να μετασχηματίσει τα ακατέργαστα δεδομένα, που μεταδίδονται από το Layer 1, σε δεδομένα τα οποία αποκτούν νόημα μέσω προσυμφωνημένων πλαισίων και τα οποία εμφανίζονται ελεύθερα από σφάλματα μετάδοσης στο επίπεδο δικτύου. Για να επιτευχθεί αυτό, γίνεται διάσπαση δεδομένων σε πλαίσια δεδομένων (data frames), μετάδοση αυτών, επεξεργασία τους, και αποστολή από τον αποδέκτη πλαισίων επιβεβαίωσης λήψης (Acknowledgement frames). Για την επιβεβαίωση ορθής λήψης των δεδομένων, υπάρχουν τεχνικές ανίχνευσης και διόρθωσης λαθών (στα bit), οι οποίες ενσωματώνονται στα frame μετάδοσης. (TANENBAUM, 1992)

Το πρωτόκολλο AS-i σχεδιάστηκε για να αντικαταστήσει τις παραδοσιακές διασυνδέσεις με τοπολογία star & point to point και έτσι επιλέχθηκε ένα δίκτυο το οποίο αποδίδει αυτή την τοπολογία, όπως και άλλες (line, tree), ενώ είναι σε θέση να διασφαλίσει προκαθορισμένο χρόνο επικοινωνίας μεταξύ master – slave. Η επικοινωνία περιλαμβάνει την “ερώτηση” του master και την απάντηση του “slave”. Το master στέλνει το τηλεγράφημα το οποίο λαμβάνει ένα slave με συγκεκριμένη διεύθυνση και το slave με την διεύθυνση αυτή απαντά μέσα στον προκαθορισμένο χρόνο. Επικοινωνία μπορεί να υπάρχει μεταξύ του master και ενός από τα 62 slaves την ίδια χρονική στιγμή. Η διαδικασία αυτή που επιλέχθηκε επιτρέπει την κατασκευή πολύ απλών και φθηνών slaves ενώ την ίδια στιγμή ευελιξία και ακεραιότητα δεδομένων. Σε περίπτωση διαταραχής στη γραμμή για παράδειγμα, το master μπορεί να επαναλάβει το τηλεγράφημα για το οποίο δεν έλαβε απάντηση ή έλαβε λανθασμένη απάντηση. Αυτό σημαίνει ότι δεν απαιτείται να επαναληφθεί ολόκληρος ο κύκλος επικοινωνίας.

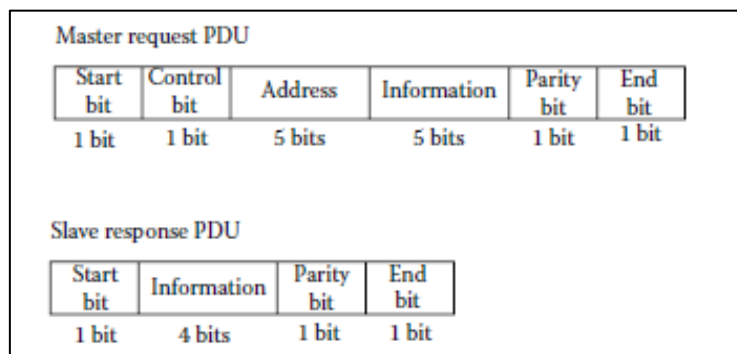
4.2.1 AS Interface Messages

Διάφοροι συνδυασμοί επικοινωνίας είναι δυνατοί, στο τμήμα πληροφορίας του τηλεγραφήματος που αποστέλλεται από το master, και είναι αυτοί οι συνδυασμοί που χρησιμοποιούνται για να γράψουν και να διαβάσουν πληροφορίες από τα slaves. Το



τηλεγράφημα του master αποτελείται από 14 bit ενώ το τηλεγράφημα του slave αποτελείται από 7 bit όπως φαίνεται στην Εικόνα 18¹¹.

Όταν γίνει η αποστολή του τηλεγραφήματος από το master ακολουθεί μια παύση η οποία διαρκεί από 2 bit έως 10bit το μέγιστο. Εάν το slave συγχρονιστεί μπορεί να στείλει το τηλεγράφημα αμέσως μετά από 2 bit παύσης. Εάν δεν συγχρονιστεί, απαιτεί 2bit παραπάνω χρόνο, για να θεωρήσει το τηλεγράφημα ως αξιόπιστο και υπό την προϋπόθεση ότι παρακολουθεί την παύση του master ή την αποστολή έτερης πληροφορίας. Εάν το master, παρ' όλα αυτά δεν λάβει το Start bit μετά από την χρονική διάρκεια των 10bit, θεωρεί ότι δεν έλαβε απάντηση από το slave και ξεκινά εκ νέου την αποστολή τηλεγραφήματος (ερώτηση). Η παύση από το τέλος της απάντησης του slave μέχρι την επόμενη ερώτηση του master δεν ξεπερνά το χρονικό διάστημα των 2 bit.



Εικόνα 18 Τηλεγράφημα master & slave AS-i (Sunit Kumar Sen, 2014, p. 216)

Τα περιεχόμενα κάθε τηλεγραφήματος φαίνονται στις παρακάτω εικόνες 19, 20 και 21. Το τηλεγράφημα του master, το οποίο αποτελείται από 14 bit φαίνεται στην Εικόνα 19, ενώ το τηλεγράφημα του slave, φαίνεται στην Εικόνα 20.

Με την AS-i έκδοση 2.1, η οποία εκδόθηκε το 1998, υπάρχει η δυνατότητα επικοινωνίας με 62 slaves σε αντίθεση με το v2.0 η οποία είχε την δυνατότητα επικοινωνίας με 31slaves. Έτσι για να αυξηθούν τα slaves που μπορούν να χρησιμοποιηθούν αλλά και να διατηρηθεί η συμβατότητα των ήδη υπαρχόντων slaves, τροποποιήθηκε το τηλεγράφημα του master ως εξής, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 21: Στο τηλεγράφημα του master, προστέθηκε ένα

¹¹ PDU - Protocol Data Unit



παραπάνω bit στην διεύθυνση (Address) ενώ τα bit της πληροφορίας (Information) μειώθηκαν αντίστοιχα κατά ένα από 5 σε 4. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να αυξηθεί ο αριθμός των διευθύνσεων από 31 σε 62 ενώ ταυτόχρονα να διατηρηθεί η συμβατότητα όλων των παλαιότερων slaves αφού το τηλεγράφημα της απάντησης από τα slaves παρέμεινε το ίδιο.

Σημαντικό είναι να παρατηρήσουμε αυτό που προαναφέρθηκε, ότι το bit συγχρονισμού ή Start bit είναι το 0, δηλαδή πρέπει το slave για να συγχρονιστεί να “δει” έναν αρνητικό παλμό. (Zurawski, 2015, σσ. 6-8...6-11), (Reynders, 2005, σσ. 274-276), (Sunit Kumar Sen, 2014, σσ. 215-216) (AS-Interface Organization, n.d.)

Bit	Reference
Start bit ST	Identifies the beginning of the master request = 0: valid start bit; = 1: not allowed.
Control bit SB	Identifies the type of request = 0: data, parameter request, address assignment = 1 command request.
Address A0–A4	Address of the contacted slave (5 bit).
Information I0–I4	These 5 bits contain in order to the type of request, the information to be transferred to the slave. Details are described by the respective call type.
Parity bit PB	Parity bit the number of all “1” in the master call has to be even.
End bit EB	Identifies the end of the master request = 0: not allowed; = 1: valid end bit.

Εικόνα 19 Master Request (Zurawski, 2015, pp. 6-10)

Bit	Reference
Start bit ST	Identifies the beginning of the slave response = 0: valid start bit; = 1: not allowed.
Information I0–I3	4-bit information.
Parity bit PB	Parity bit the number of all “1” in the slave response has to be even.
End bit EB	Identifies the end of the slave response = 0: not allowed; = 1: valid end bit.

TABLE 6.5 Master Request in Extended Address Mode

Εικόνα 20 Slave Response (Zurawski, 2015, pp. 6-11)



Bit	Reference
Start bit ST	Identifies the beginning of the master request = 0: valid start bit; = 1: not allowed.
Control bit SB	Identifies the type of request = 0: data, parameter request, address assignment; = 1: command request.
Address A0–A4 13	Address of the contacted slave (5 bits and select bit).
Information I0–I2, 14	These 4 bits contain in order to the type of request, the information to be transferred to the slave. Details are described by the respective call type.
Parity bit PB	Parity bit the number of all “1” in the master call has to be even.
End bit EB	Identifies the end of the master request = 0: not allowed; = 1: valid end bit.

Εικόνα 21 Master Request Extended Address Mode (Zurawski, 2015, pp. 6-11)

4.2.2 Data Safety

Στις επικοινωνίες δεδομένων θεωρείται βέβαιο ότι δεν υπάρχει επικοινωνία η οποία να γίνεται χωρίς σφάλματα, λιγότερα ή περισσότερα. Ακόμα και στην μεταφορά δεδομένων με οπτικές ίνες, οι οποίες θεωρούνται από τις πιο αξιόπιστες, υπάρχουν σφάλματα και εφαρμόζονται τεχνικές ανίχνευσης και διόρθωσης λαθών, όπως ο κώδικας Hamming.

Έτσι, όταν σχεδιάζεται ένα Fieldbus, πρέπει να εξασφαλιστεί ότι τα παραποιημένα κατά τη μεταφορά δεδομένα, πρέπει να αναγνωριστούν και να μην επεξεργαστούν. Είναι προφανές ότι ένα παραποιημένο τηλεγράφημα, κατά την εκπομπή από τον αποστολέα στο δέκτη, πρέπει να αναγνωριστεί από τον δεύτερο. Για τον λόγο αυτό ο δέκτης πρέπει, ακολουθώντας έναν αλγόριθμο, να ελέγξει το ληφθέν τηλεγράφημα για πιθανά σφάλματα και να επαναλάβει τον υπολογισμό μέσω του συγκεκριμένου αλγόριθμου. Εάν το αποτέλεσμα του υπολογισμού είναι ορθό, τότε ο δέκτης θεωρεί ότι το τηλεγράφημα απεστάλη σωστά, διαφορετικά το τηλεγράφημα απορρίπτεται και ζητείται από τον αποστολέα εκ νέου αποστολή του τηλεγραφήματος.

Η αξιόπιστη εύρεση λάθους είναι ιδιαίτερα σημαντική στην επικοινωνία AS-i, η οποία γίνεται μέσω του καλωδίου AS-i, το οποίο είναι χωρίς θωράκιση. Ο έλεγχος δεδομένων βασίζεται σε διαφορετικές αρχές από αυτές που χρησιμοποιούνται στα περισσότερα Fieldbus. Στα περισσότερα δίκτυα, για τον έλεγχο σφαλμάτων δεδομένων, χρησιμοποιείται ο κώδικας Hamming. Στο AS-i δεν χρησιμοποιείται αυτός ο κώδικας. Αυτό συμβαίνει γιατί το



τηλεγράφημα του ASi είναι ένα μικρό τηλεγράφημα και εάν εφαρμοστεί αυτή η μέθοδος έπρεπε να σχεδόν να διπλασιαστεί το τηλεγράφημα με αποτέλεσμα την μικρότερη ταχύτητα από την υπάρχουσα των 167kbit/sec. Πιο συγκεκριμένα, η ερώτηση του master περιέχει 11bit για έλεγχο ενώ η απάντηση του slave περιέχει 4 bit για έλεγχο. Για να ελεγχθεί με μέθοδο Hamming, με απόσταση $HD=4$ για ένα τυπικό έλεγχο, έπρεπε να προστεθούν 7bit στο τηλεγράφημα του master και 4 bit στο τηλεγράφημα του slave.

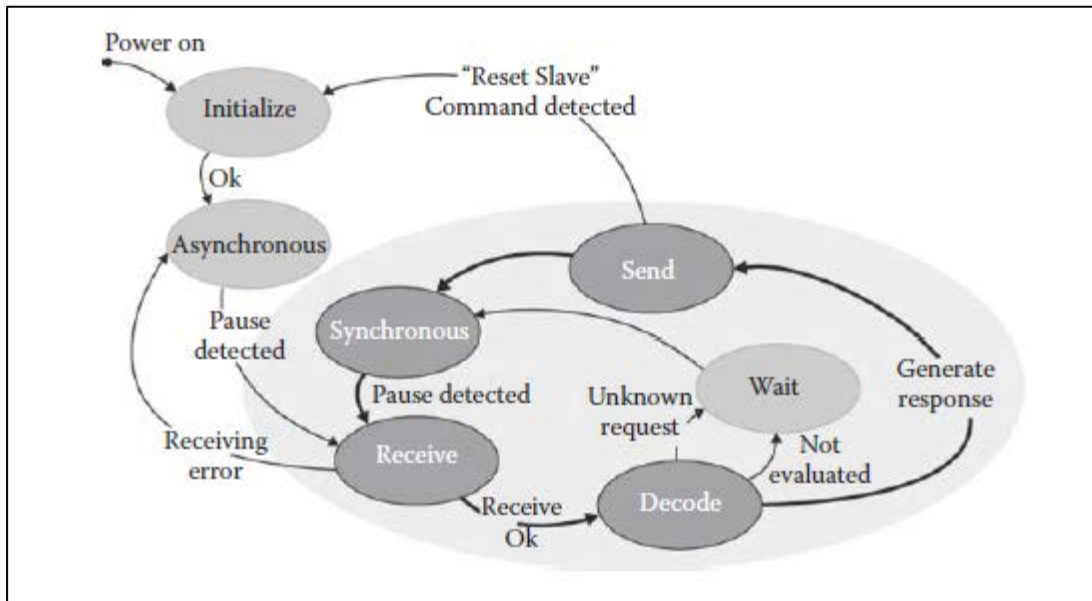
Αντ' αυτού το AS-i εκτελεί μεγαλύτερο έλεγχο στην ίδια την μετάδοση bit. Έτσι το AS-i χρησιμοποιεί το σταθερό μήκος των τηλεγραφημάτων καθώς και τη γνώση των πλεονασμών στον κώδικα. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να ανιληφθεί και να διακρίνει τα εξής σφάλματα:

- Start bit error
- Alternating error
- Pause error
- Information error
- Parity error
- End bit error
- Telegram length error

Κάθε ερώτηση από master και κάθε απάντηση από slave ελέγχεται κατ' αυτόν τον τρόπο. Εάν ένα από τα παραπάνω σφάλματα αναγνωριστεί τότε το τηλεγράφημα θεωρείται εσφαλμένο και απορρίπτεται. Αυτός ο έλεγχος βασίζεται στην τεχνική μετάδοσης APM όπου στο χρονικό πλαίσιο ενός bit, η μετάδοση της πληροφορίας γίνεται στο δεύτερο μισό αυτού του χρονικού πλαισίου. Εάν δηλαδή ο παλμός είναι στο σωστό χρόνο του bit frame.

Όταν το slave λάβει ένα request από το master και ελέγχοντας το τηλεγράφημα εντοπίσει λάθος, τότε μεταπίπτει σε ασύγχρονη κατάσταση (asynchronous state) και περιμένει μέχρι την επόμενη παύση για να μπορεί να διαβάσει το επόμενο τηλεγράφημα του master (Εικόνα 22). Σε αυτή την περίπτωση το slave δεν απαντά στην ερώτηση του master μιας και το λάθος μπορεί να είναι στη διεύθυνση και έτσι ένα άλλο slave θα απαντήσει. Εάν το slave λάβει το τηλεγράφημα αλλά αυτό περιλαμβάνει ένα μη καθορισμένο μήνυμα (εσφαλμένο μήνυμα) το slave μεταπίπτει σε κατάσταση συγχρονισμού (synchronous state) αλλά δεν δημιουργεί κάποιο μήνυμα απάντησης. Μόνο στην περίπτωση όπου το τηλεγράφημα του master προκαλέσει απάντηση από το slave και η απάντηση αυτή ληφθεί από το master με

θετική αναγνώριση, τότε θεωρείται ότι έχει ολοκληρωθεί επιτυχώς η ανταλλαγή ενός μηνύματος. Μπορεί παρά όλ' αυτά το Master να θεωρήσει ότι υπάρχει ένα σφάλμα στην απάντηση οπότε επαναλαμβάνει την ερώτηση. (AS-Interface Organization, n.d.) (Zurawski, 2015, σσ. 6-8...6-15) (Reynders, 2005, σσ. 274-276)



Εικόνα 22 Κύριες καταστάσεις αλληλουχίας ελέγχου ενός Slave (Zurawski, 2015, σσ. 6-20)

5. Εγκατεστημένο σύστημα αυτοματισμού

Η εφαρμογή που αναλύεται παρακάτω σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε στο πρώτο μισό του 2000 με υλικό και λογισμικό σύγχρονο για την εποχή πλην όμως ξεπερασμένο για την σημερινή εποχή. Η εφαρμογή είναι εγκατεστημένη σε πλοίο και είναι μέρος ενός ολοκληρωμένου συστήματος αυτοματισμού (Control & Monitoring System) με PLC & HMI της SIEMENS. Ο λόγος που οδήγησε στην συγκεκριμένη μελέτη, είναι η ύπαρξη ενός εφεδρικού συστήματος χειρισμού των βαλβίδων (επιστομίων) των δικτύων εξαντλήσεως, ζυγίσεως κ.α. του πλοίου, για αύξηση της ασφάλειας, αφού σε περίπτωση βλάβης δεν υπήρχε εναλλακτικός τρόπος λειτουργίας αυτών των επιστομίων παρα μόνο τοπικά χειροκίνητα.

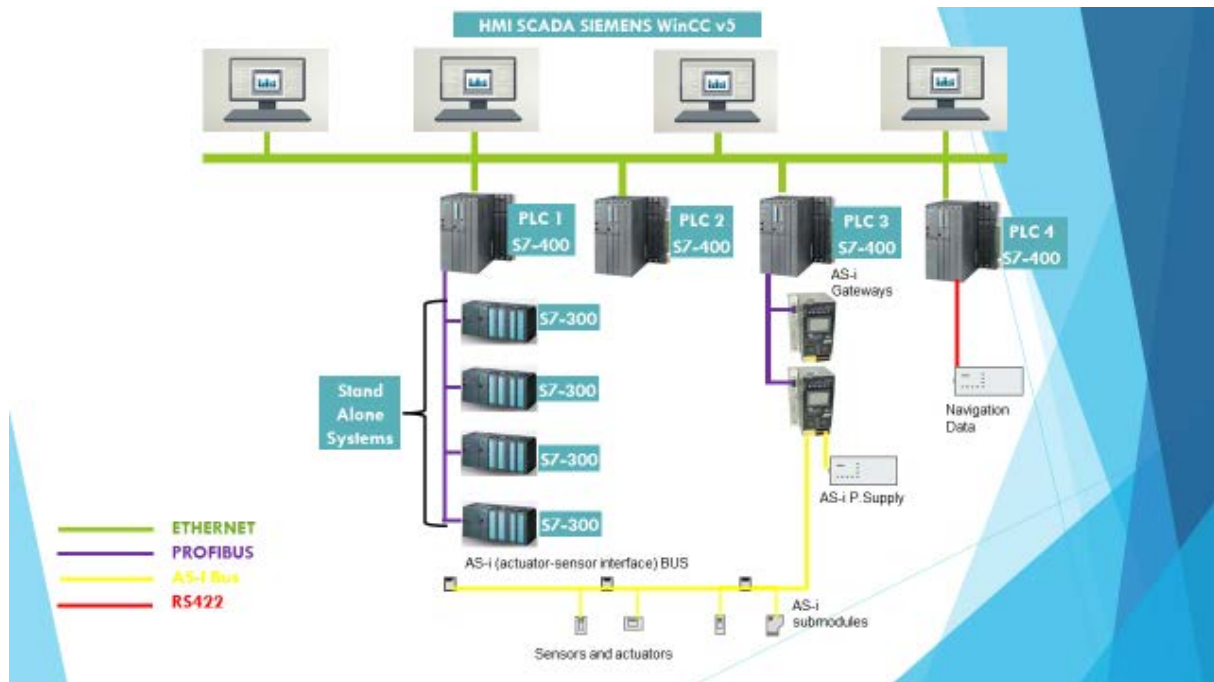


5.1 Δομή του εγκατεστημένου συστήματος αυτοματισμού

Το εγκατεστημένο σύστημα αυτοματισμού (Control & Monitoring System) είναι ένα σύστημα παραμετρικής επιτήρησης και ελέγχου της εγκατάστασης του πλοίου. Είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα αυτοματισμού, το οποίο ελέγχει μέσω PLC όλη την εγκατάσταση του πλοίου ενώ υπάρχουν πολλά αυτόνομα υποσυστήματα τα οποία διασυνδέονται, μέσω Fieldbus, και ελέγχονται από το κεντρικό σύστημα. Το κεντρικό σύστημα Control & Monitoring έχει PLC μέσω των οποίων ελέγχει και διασυνδέεται με όλα τα συστήματα. Το σύστημα Control & Monitoring αποτελείται από τέσσερις SCADA Workstation Computers¹², με εγκατεστημένο Software το WinCC v5 της SIEMENS. Κάτω από αυτούς τους HMI βρίσκονται οκτώ PLC της σειράς S7-400 SIEMENS. Στα PLC εκτελείται το πρόγραμμα του αυτοματισμού. Εκεί είναι γραμμένος ο κώδικας για τον έλεγχο και τη λειτουργία του αυτοματισμού αλλά και μέσω αυτών γίνεται η επικοινωνία με τα αυτόνομα υποσυστήματα (Stand Alone systems) και με άλλες μονάδες για απόκτηση χρήσιμων πληροφοριών όπως UTC χρόνος, πληροφορίες κλίσης πλοίου κ.α.. Η δομή του συστήματος φαίνεται στην Εικόνα 23.

Η διασύνδεση μεταξύ των PLC αλλά και με τα HMI υλοποιείται με διπλό Redundant δίκτυο Industrial Ethernet. Επιλέχθηκε η συγκεκριμένη σύνδεση λόγω ταχύτητας και αξιοπιστίας, μιας και ο όγκος πληροφοριών που μεταφέρεται είναι πολύ μεγάλος και απαιτείται αξιοπιστία στη μεταφορά δεδομένων. Το κυριότερο μειονέκτημα που παρουσιάζει γενικά το Industrial Ethernet είναι ότι για να λειτουργήσει το δίκτυο πρέπει κάθε ενδιαμέσος σταθμός να λειτουργεί και να αναμεταδίδει την πληροφορία (Δεν αποτυπώνεται στην Εικόνα 23 το μειονέκτημα αυτό). Η διασύνδεση των σταθμών επικοινωνίας με Industrial Ethernet δεν είναι όπως εκείνη του Profibus, όπου απαιτείται να είναι τροφοδοτημένος μόνο ο σταθμός που εκπέμπει και αυτός που λαμβάνει για να μεταδοθεί η πληροφορία. Οι ενδιαμέσοι σταθμοί που είναι “κρεμασμένοι” στο δίκτυο, δεν απαιτείται να είναι τροφοδοτημένοι μιας και κάθε σταθμός είναι παράλληλα συνδεδεμένος στο δισύρματο καλώδιο του Profibus.

¹² Ο όρος SCADA Workstation Computers είναι ουσιαστικά ταυτόσημος με τον όρο HMI (Human Machine Interface) στην περίπτωση μας και ως τέτοιος θα χρησιμοποιείται.



Εικόνα 23 Συνοπτική εικόνα Εγκατεστημένου συστήματος Control & Monitoring

Στο Industrial Ethernet οι ενδιάμεσοι σταθμοί απαιτείται να είναι τροφοδοτημένοι καθώς λειτουργούν ως switch για να μεταδοθεί η πληροφορία στους επόμενους σταθμούς. Έτσι αν θέλουμε να συνδέσουμε τρεις σταθμούς, ο ενδιάμεσος είτε θα έχει δύο θύρες για να συνδεθούν οι ακραίοι σταθμοί (και θα παίζει ο ίδιος ο σταθμός το ρόλο του switch που απαιτείται) είτε θα χρησιμοποιήσουμε ξεχωριστό switch και θα συνδεθούν και οι τρεις σταθμοί πάνω σε αυτό. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει switch και πάθει βλάβη ο ενδιάμεσος σταθμός, τότε διακόπτεται η επικοινωνία μεταξύ των ακραίων σταθμών, πράγμα μη αποδεκτό για σύστημα αυτοματισμού. Το ίδιο θα συμβεί στην περίπτωση που υπάρχει ένα switch και πάθει βλάβη. Έτσι η πιο ασφαλής λύση είναι το διπλό δίκτυο Ethernet, με ύπαρξη διπλών switch για μειωθεί η πιθανότητα απώλειας του δικτύου, χάνοντας έναν σταθμό. Στο εγκατεστημένο σύστημα που αναφερόμαστε, το δίκτυο του Industrial Ethernet είναι διπλό, και για την επίτευξη ακόμα υψηλότερων ταχυτήτων μεταφοράς δεδομένων χρησιμοποιείται οπτική ίνα (με Optical Link Modules) μεταξύ των σταθμών.

Ωστόσο, μέχρι εδώ αναφέρθηκαν μόνο τα HMI και τα κύρια PLC (S7-400) της εγκατάστασης. Τα κύρια PLC (S7-400) διασυνδέονται και με πλήθος Stand Alone συστημάτων, τα οποία για την λειτουργία τους χρησιμοποιούν μικρότερα PLC (S7-300) καθώς οι απαιτήσεις είναι μικρότερες, αλλά και διαφορετικού τύπου συσκευές, όπως τα AS-

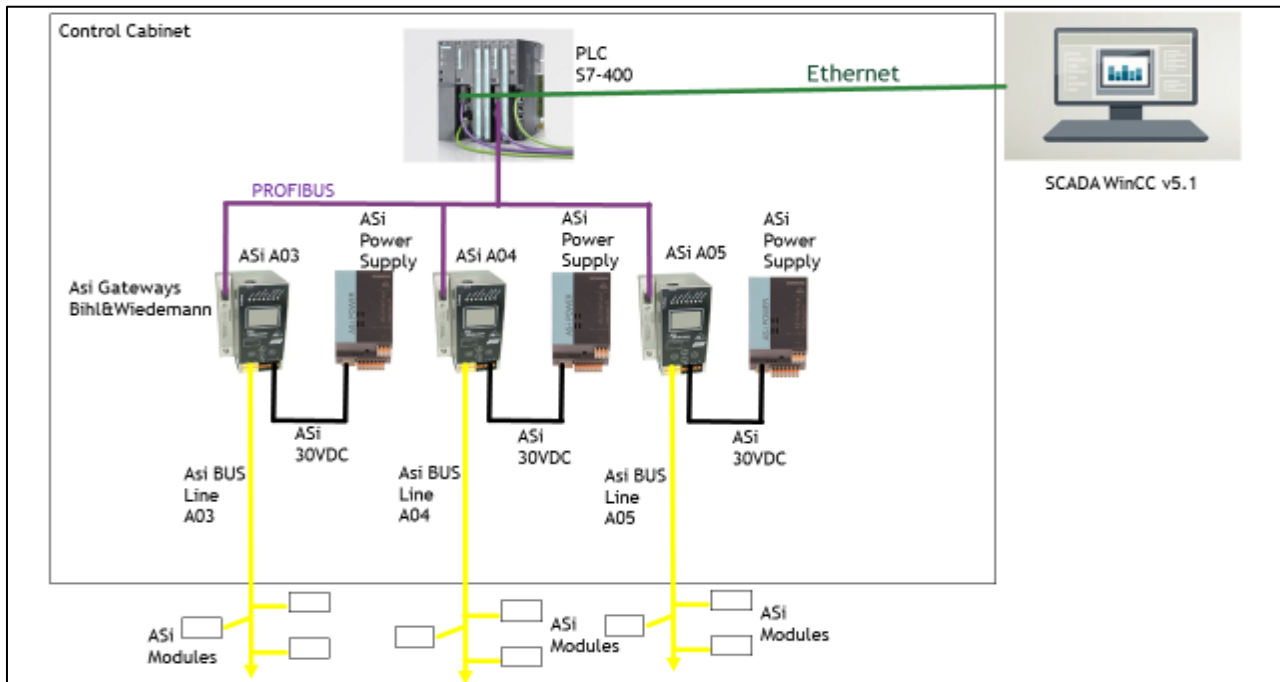


i Gateway, προκειμένου να ελέγξουν ενεργοποιητές και να λάβουν δεδομένα από αισθητήρες για την εγκατάσταση. Η διασύνδεση αυτή γίνεται με διάφορα πρωτόκολλα όπως Profibus, RS-422 κ.α. Τα Stand Alone συστήματα έχουν ξεχωριστό πίνακα με το PLC αλλά και μικρά HMI. Μπορούν και λειτουργούν αυτόνομα, τοπικά αν απαιτηθεί, ενώ είναι συνδεδεμένα με το ολοκληρωμένο σύστημα αυτοματισμού του πλοίου και ο έλεγχος τους γίνεται από εκεί. Τέτοια συστήματα, τα οποία αναφέρονται ως μικρότερα αλλά είναι ζωτικά για την λειτουργία ενός πλοίου, είναι οι αεροσμπιεστές, ο σταθμός ελαίου, ο σταθμός Air Condition, η ψυκτική εγκατάσταση του πλοίου, το σύστημα πυρανίχνευσης κ.α. Επίσης υπάρχουν και άλλα υποσυστήματα τα οποία δεν έχουν PLC αλλά δικά τους Ηλεκτρονικά συστήματα ελέγχου και τα οποία διασυνδέονται με το ολοκληρωμένο σύστημα αυτοματισμού και ελέγχονται από αυτό, όπως είναι οι κύριες μηχανές.

5.2 Εγκατεστημένο σύστημα ελέγχου επιστομίων (Valves) δικτύων εξαντλήσεως, ζυγίσεως κ.α. πλοίου, με δίκτυο AS-i.

Αυτό που παρουσιάζει ενδιαφέρον και είναι το αντικείμενο της εφαρμογής, είναι το σύστημα ελέγχου των επιστομίων του πλοίου, το οποίο έχει υλοποιηθεί μέσω δικτύου AS-i. Το PLC S7-400 που βρίσκεται μέσα σε Control Cabinet, είναι αυτό που ελέγχει τα επιστόμια των δικτύων του πλοίου. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 24, ο έλεγχος των επιστομίων των δικτύων του πλοίου γίνεται μέσω δικτύου AS-i. Πιο αναλυτικά, στα τέσσερα HMI (οι οποίοι στην περίπτωση μας είναι υπολογιστές) είναι εγκατεστημένο το πρόγραμμα WinCC v.5 της SIEMENS. Στα HMI είναι προγραμματισμένο το γραφικό περιβάλλον όπου ο χειριστής δίνει εντολές για να εκτελεστούν οι επιθυμητές λειτουργίες και ταυτόχρονα απεικονίζεται η κατάσταση λειτουργίας της εγκατάστασης και των επιστομίων. Οι πληροφορίες αυτές (είτε εντολές είτε πληροφορίες θέσης) μεταφέρονται μέσω του διπλού δικτύου Industrial Ethernet που διασυνδέει τα PLC S7-400 μεταξύ τους αλλά και με τα HMI και έτσι κάθε εντολή από τα HMI μεταφέρεται στο κατάλληλο PLC για εκτέλεση αλλά και αντίστροφα, για την ανάκτηση των πληροφοριών από τα HMI. Όπως προανέφερα, όλες οι λειτουργίες αυτοματισμού εκτελούνται στα PLC. Έτσι και στην συγκεκριμένη περίπτωση, οι εντολές κίνησης ενός επιστομίου (valve), οι πληροφορίες θέσης αυτών, οι βηματικές διαδικασίες αλλά και οι

κινήσεις των επιστομιών λόγω καταστάσεων ασφαλείας, εκτελούνται από το PLC σύμφωνα με το πρόγραμμα που είναι γραμμένο σε αυτό. Στην περίπτωση μας οι εντολές και οι πληροφορίες από τους αισθητήρες, μεταφέρονται από τα HMI στο PLC (και αντίστροφα) του Control Cabinet που φαίνεται στην Εικόνα 24.

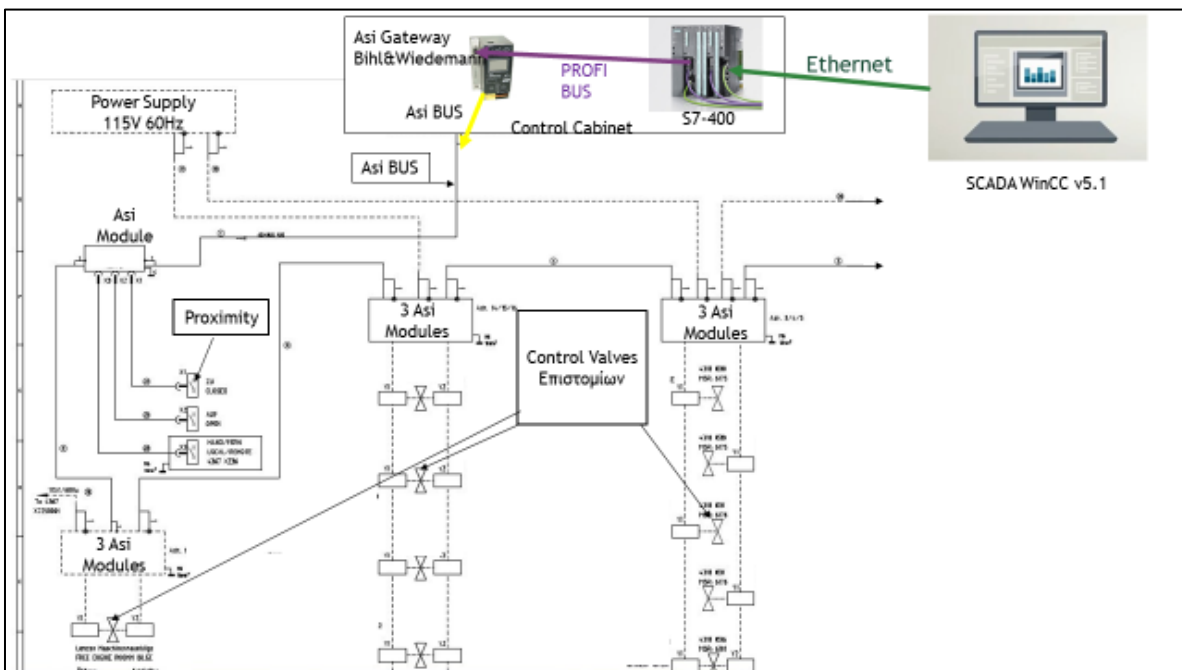


Εικόνα 24 Δομή εγκατεστημένου δικτύου ελέγχου επιστομιών.

Στο Control Cabinet, εκτός από το PLC S7-400, βρίσκονται και τρία ASi Gateway τα οποία διασυνδέονται μεταξύ τους αλλά και με το PLC μέσω δικτύου Profibus. Τα τρία AS-i Gateways (ή AS-i Master¹³) είναι αυτά που μετατρέπουν την πληροφορία που έρχεται από το PLC μέσω δικτύου Profibus, σε πρωτόκολλο AS-i και την μεταφέρουν στα slave modules της γραμμής που ελέγχουν. Κάθε γραμμή AS-i αποτελείται από το AS-i Gateway, τις slave μονάδες (modules) που ελέγχουν τα επιστόμια και τις θέσεις αυτών αλλά και το τροφοδοτικό που χρησιμοποιείται για την τροφοδότηση της γραμμής και των slave modules καθώς και το καλώδιο που εκτείνεται κατά μήκος του πλοίου. Το πρωτόκολλο AS-i που χρησιμοποιήθηκε είναι το version 3.0, αν και μέσω αυτού δεν μεταφέρονται αναλογικά σήματα, ενώ κάθε AS-i Gateway χρησιμοποιεί μία γραμμή. Οι γραμμές (Δίκτυα) AS-i είναι ξεχωριστές με AS-i Master,

¹³ Τα AS-i Gateway είναι οι μονάδες που μετατρέπουν την πληροφορία που αποστέλλεται από τα PLC μέσω πρωτοκόλλου Profibus σε πρωτόκολλο AS-i. Στο δίκτυο AS-i που διασυνδέονται είναι master με όλα τα υπόλοιπα module να είναι slave.

καλώδιο και AS-i slaves ξεχωριστά (Αναφέρονται ως δίκτυα A03, A04, A05). Τα Slaves που είναι “κρεμασμένα” σε κάθε AS-i Master είναι τα εξής: AS-i Master A03 21 slaves, AS-i Master A04 15 slaves, AS-i Master A05 15 slaves. Τα AS-i slaves που χρησιμοποιούνται σε όλη την εγκατάσταση είναι ακριβώς τα ίδια και είναι module της SIEMENS με IP20, ψηφιακών εισόδων και εξόδων, 4DI/4DO, 4 x input για sensors, 4 x output 45mA για ενεργοποίηση ρελέ. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 25, τα modules χρησιμοποιούνται για την συλλογή πληροφοριών, μέσω proximity για την θέση των αισθητήρων αλλά και για την ενεργοποίηση



Εικόνα 25 Δομή δικτύου AS-i με Master & Slaves

των ηλεκτρομαγνητικών βαλβίδων (valves) για την κίνηση των επιστομιών. Τα modules που συλλέγουν τις πληροφορίες θέσης των επιστομιών βρίσκονται δίπλα σε αυτά και χρησιμοποιούν μόνο τα Inputs, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 25 όπου τα proximity αλλά και ο διακόπτης Local / Remote του επιστομιού είναι συνδεδεμένα σε ένα module. Στην Εικόνα 25 φαίνεται ότι υπάρχουν ανά τρία, AS-i modules, τα οποία βρίσκονται κοντά σε μπλοκ ηλεκτρομαγνητικών βαλβίδων και ελέγχουν την λειτουργία τους. Μέσω αυτών των ηλεκτρομαγνητικών βαλβίδων γίνεται υδραυλικά η κίνηση των επιστομιών. Τα AS-i modules που βρίσκονται στα μπλόκ των ηλεκτρομαγνητικών βαλβίδων, χρησιμοποιούν μόνο τις εξόδους τους και μέσω αυτών ενεργοποιούν ρελέ, σπλιζοντας τα, και χρησιμοποιώντας τάση 115V στις βοηθητικές επαφές των ρελέ, κινούν τις ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες.



Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, στο εγκατεστημένο σύστημα υπάρχει redundancy στο δίκτυο Industrial Ethernet, το οποίο είναι διπλό, στα HMI τα οποία είναι τέσσερα και λειτουργούν με πλήρεις λειτουργίες κάθε ένα από αυτά. Το δίκτυο Profibus δεν απαιτείται να είναι διπλό καθώς λόγω της κατασκευής του ακόμα και να χαθεί κάποιος ενδιάμεσος σταθμός δεν χάνεται η επικοινωνία μεταξύ των υπολοίπων ενώ θεωρείται εξαιρετικά δύσκολη η αποκοπή καλωδίου και η απώλεια του δικτύου. Το PLC, τα AS-i Gateways και τα AS-i Power Supply δεν είναι redundant, κάτι το οποίο είναι κρίσιμο, καθώς χάνοντας το PLC χάνεται ο έλεγχος όλης της εγκατάστασης ενώ χάνοντας ένα από τα AS-i Gateway χάνεται ο έλεγχος μιας σειράς επιστομίων τα οποία ελέγχει το συγκεκριμένο AS-i Gateway. Το ίδιο που ισχύει για τα AS-i Gateway ισχύει και για τα τροφοδοτικά αυτών τα οποία τροφοδοτούν τις γραμμές AS-i. Τέλος η γραμμή και τα slave του δικτύου AS-i δεν είναι redundant αλλά η αποκοπή του καλωδίου είναι πολύ δύσκολο να συμβεί και αρκετά εύκολο να αποκατασταθεί ενώ η απώλεια ενός AS-i slave οδηγεί στην απώλεια ενός μόνο μικρού μέρους της όλης λειτουργίας. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι η εγκατάσταση ενός εφεδρικού συστήματος με PLC, AS-i Gateway και τροφοδοτικά αυτών, είναι χρήσιμη και θα οδηγήσει στην αδιάλειπτη λειτουργία της εγκατάστασης μέσω αυτοματισμού, αυξάνοντας έτσι την ασφάλεια του πλοίου.

6. Σύστημα ελέγχου Επιστομίων Δικτύων Εξαντλήσεως, Ζυγίσεως και Ψύξεως Πλοίων, μέσω PLC & δικτύου AS-Interface.

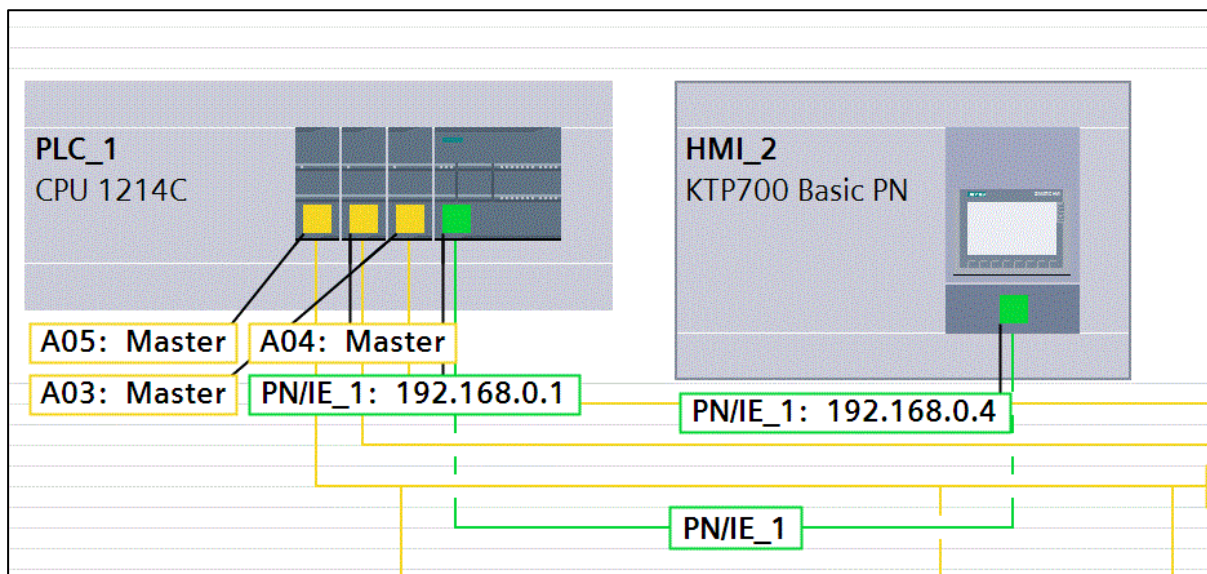
Στο ανωτέρω κεφάλαιο αναπτύχθηκε το δίκτυο ελέγχου επιστομίων AS-i αλλά και το SCADA, όπως είναι εγκατεστημένο με τα PLC S7-400, τα HMI και τα δίκτυα επικοινωνίας. Το σύστημα εγκαταστάθηκε το πρώτο μισό του 2000, με τεχνολογία της εποχής, η οποία ήταν ότι πιο σύγχρονο, σήμερα όμως με την ραγδαία εξέλιξη της, η τεχνολογία αυτή έχει ξεπεραστεί και τα προϊόντα που κατασκευάστηκαν, η τουλάχιστον πολλά από αυτά, έχουν καταργηθεί. Η λειτουργία του συστήματος από το πλήρωμα όλο αυτό το χρονικό διάστημα έχει αναδείξει τις αδυναμίες του. Μια σημαντική αδυναμία και ίσως η μοναδική, είναι η έλλειψη ενός εφεδρικού συστήματος ελέγχου των επιστομίων των δικτύων του πλοίου, σε περίπτωση που χαθεί λόγω βλάβης κάποιο από τα PLC, AS-i Gateway ή τροφοδοτικό AS-i. Για



τον λόγο αυτό έγινε η μελέτη και εγκαταστάθηκε ένα εφεδρικό (Redundant) σύστημα μέσω του οποίου μπορεί να γίνεται ο έλεγχος των επιστομίων (Valves) των δικτύων του πλοίου σε περίπτωση βλάβης του εγκατεστημένου συστήματος. Ο έλεγχος των επιστομίων όλων των δικτύων του πλοίου (Compensating, Freeing κ.α.) γίνεται μέσω του συστήματος Control & Monitoring αυτόματα, ενώ σε περίπτωση βλάβης ο χειρισμός των επιστομίων γίνεται τοπικά από χειριστές οι οποίοι πρέπει να μεταβούν τοπικά στα σημεία χειρισμού των επιστομίων τα οποία είναι διάσπαρτα μέσα στο πλοίο. Αυτό απαιτεί αρκετό κόσμο, συντονισμό και επικοινωνία μεταξύ τους αλλά και με τον χειριστή ο οποίος βρίσκεται στο κέντρο ελέγχου και έχει τον έλεγχο των δικτύων δίνοντας τις κατάλληλες εντολές διάταξης των δικτύων. Όλη αυτή η διαδικασία είναι χρονοβόρα, απαιτεί συντονισμό και αρκετά άτομα για την υλοποίηση της. Εγκαθιστώντας το εφεδρικό σύστημα ελέγχου των δικτύων του πλοίου αποφεύγουμε όλα τα ανωτέρω λαμβάνοντας υπόψιν ότι οι συνθήκες στο πλοίο κατά τον πλου δεν είναι πάντα εύκολες ειδικότερα εν μέσω θαλασσοταραχής.

Μελετώντας την υπάρχουσα εγκατάσταση, έγινε αντιληπτό ότι για να δημιουργηθεί ένα τέτοιο εφεδρικό σύστημα και να έχουμε πλήρη έλεγχο των δικτύων και των επιστομίων του πλοίου, έπρεπε να δημιουργηθεί ένα νέο σύστημα, παράλληλα με το εγκατεστημένο. Έπρεπε να χρησιμοποιηθούν τρία AS-i Master, τρία τροφοδοτικά AS-i (ένα για κάθε γραμμή AS-i), ένα PLC για την λειτουργία του αυτοματισμού και την διασύνδεση με τα AS-i Master και τέλος ένα HMI. Οι μονάδες που χρησιμοποιήθηκαν και η δικτύωση τους φαίνεται στην Εικόνα 26. Δεν απεικονίζονται τα τρία τροφοδοτικά AS-i, τα οποία είναι ένα σε κάθε γραμμή AS-i και διασυνδέονται πάνω στις γραμμές, ενώ χωροταξικά βρίσκονται δίπλα από τα AS-i Master, εντός του ίδιου μεταλλικού πίνακα.

Το σημαντικότερο πρόβλημα που έπρεπε να διευκρινιστεί πρίν γίνει η επιλογή του υλικού ήταν η συμβατότητα ενός νέου PLC και των νέων AS-i Gateways με τα παλιά Slave modules που βρίσκονται πάνω στο δίκτυο AS-i. Καθώς η αντικατάσταση των AS-i slaves δεν είναι οικονομικά συμφέρουσα αλλά ούτε εύκολη να γίνει, έπρεπε να βρεθεί κατάλληλο AS-i Gateway και τροφοδοτικό AS-i τα οποία να είναι συμβατά με το υπάρχον δίκτυο. Κατόπιν αυτού το επόμενο βήμα ήταν η εύρεση των διευθύνσεων όλου του δικτύου.



Εικόνα 26 Υλικό & Δικτύωση νέου συστήματος

Με δεδομένο ότι δεν υπήρχε πρωτογενώς η πληροφόρηση αυτή, έπρεπε να αναζητηθούν οι διευθύνσεις είτε μέσα από το ηλεκτρολογικό σχέδιο της εγκατάστασης είτε τοπικά αναζητώντας τις διευθύνσεις των slave modules πάνω σε αυτά, οι οποίες δεν ήταν εύκολο να βρεθούν. Όσον αφορά τα τρία τροφοδοτικά των γραμμών AS-ί επιλέχθηκε η εύκολη λύση της αναζήτησης του αντικαταστάτη (Successor) του παλαιότερου τροφοδοτικού από την εταιρεία SIEMENS. Τελικώς επιλέχθηκαν τα τροφοδοτικά AS-ί της SIEMENS με κωδικό 6RX9501-1BA00 . Τα χαρακτηριστικά τους είναι τα ίδια με αυτά των εγκατεστημένων τόσο όσον αφορά την τάση η οποία είναι 30VDC αλλά και την ένταση η οποία είναι 3A. Τέλος το κόστος του όλου έργου δεν έπρεπε να είναι υπέρογκο καθώς δεν θα γινόταν δεκτό από το πλοίο.

Όσον αφορά την επιλογή των AS-ί Gateways, η οποία ήταν και η πιο δύσκολη, έπρεπε να πληροί τις εξής προϋποθέσεις:

- Συμβατότητα με τα εγκατεστημένα AS-ί modules τα οποία βρίσκονται τοποθετημένα στο πλοίο, είναι αδύνατον να αντικατασταθούν και η κατασκευή τους είναι πριν το 2005.
- Δυνατότητα διασύνδεσης μέσω δικτύου PROFINET με PLC S7-1200 SIEMENS, καθώς αυτό το PLC επιλέχθηκε για την εφαρμογή λόγω υψηλών δυνατοτήτων σε συνδυασμό με χαμηλό κόστος αγοράς, το οποίο έχει ενσωματωμένη μόνο θύρα PROFINET. Αν γινόταν επιλογή διασύνδεσης με άλλο δίκτυο τότε έπρεπε να αγοραστούν κάρτες επέκτασης του PLC οι οποίες θα ανέβαζαν το κόστος.



- Χαμηλό κόστος.
- Ευκολία αρχικού προγραμματισμού αλλά και αντικατάστασης τους σε περίπτωση βλάβης.

Η δε επιλογή του PLC έπρεπε να πληροί τις εξής προϋποθέσεις:

- ✓ Χαμηλό κόστος.
- ✓ Δυνατότητα επέκτασης.
- ✓ Δυνατότητα διασύνδεσης με AS-i Gateways άλλων εταιρειών.
- ✓ Δυνατότητα ενσωμάτωσης κάρτας (module) η οποία είναι AS-i Gateway.
- ✓ Ευκολία ενσωμάτωσης εξωτερικών AS-i Gateway αλλά και των ενσωματωμένων και ευκολία απόκτησης πληροφοριών από τα AS-i Master για την επεξεργασία στο πρόγραμμα του PLC.

Αναζητώντας PLC & AS-i Master για την εφαρμογή και με δεδομένο ότι προϋπήρχε γνώση προγραμματισμού των PLC της SIEMENS, επιλέχθηκε το PLC S7-1200 το οποίο είναι της SIEMENS για μικρές και μεσαίες εφαρμογές και πιο συγκεκριμένα η CPU 1214C DC/DC/DC με κωδικό 6ES7 214-1AG40-0XB0. Το συγκεκριμένο PLC είναι αρκετά φθηνό καθώς η συγκεκριμένη CPU κοστίζει περί τα 350 Ευρώ, έχει δυνατότητα επέκτασης με κάρτες επικοινωνίας όπου μπορούν να εξασφαλίσουν επικοινωνία με όλα τα δίκτυα (Profibus, Modbus, RS-422 κ.α.) ενώ έχουν δυνατότητα να ενσωματώσουν και δικά του AS-i Master (το ανώτερο μέχρι τρία, αριθμός που μας καλύπτει). Η CPU S7-1214C έχει Work Memory 100KB, αρκετή για επεξεργασία μεγάλου όγκου δεδομένων, τροφοδοτείται με 24VDC ενώ έχει ενσωματωμένες 14 DI Ψηφιακές Εισόδους, 10DQ Ψηφιακές Εξόδους και 2 AI Αναλογικές Εισόδους. Έχει ενσωματωμένη μία θύρα PROFINET για διασύνδεση με Οθόνη ή PC. Ο προγραμματισμός των PLC της SIEMENS γίνεται μέσα στην ολοκληρωμένη πλατφόρμα TIA PORTAL, γεγονός που διευκολύνει την ανεύρεση και ενσωμάτωση υλικού στο Hardware Configuration του προγράμματος. Το PLC S7-1200 προσφέρει ένα AS-i Master, το οποίο ενσωματώνεται σε αυτό. Το AS-i Master είναι το module CM 1243-2, το οποίο χρησιμοποιείται αποκλειστικά από αυτό. Υπάρχει η δυνατότητα να ενσωματωθούν τρία AS-i Master στα αριστερά κάθε CPU S7-1200. Το AS-i Master CM 1243-2 της SIEMENS δεν υστερεί από άλλων εταιρειών ενώ είναι ευκολότερη η ενσωμάτωση του στην CPU και η απόκτηση



πληροφοριών από αυτό. Υποστηρίζει τις προδιαγραφές AS-i v3.0 ενώ σε αυτό μπορούν να “κρεμαστούν” AS-i slaves παλαιότερης version, αφού την δυνατότητα αυτή την υποστηρίζει το πρωτόκολλο AS-i. Έχει δύο κανάλια και σε κάθε κανάλι μπορούν να ενσωματωθούν 32slaves. Τέλος επιλέχθηκε το HMI KTP700 Basic PN της SIEMENS, το οποίο είναι ιδιαίτερα αξιόπιστο, είναι Touch panel ενώ διαθέτει και οκτώ Function Keys. Διαθέτει οθόνη 7” με ανάλυση 800x480 pixel και έχει ενσωματωμένη θύρα PROFINET για διασύνδεση με το PLC S7-1214C της SIEMENS.

Αφού έγινε η επιλογή της CPU, των τριών AS-i Master, των τριών τροφοδοτικών και του HMI, έγινε εκτίμηση του κόστους, το οποίο μαζί με όλα τα περιφερειακά όπως τροφοδοτικό 24VDC για την τροφοδοσία του PLC και του HMI, καλώδιο PROFINET, καλώδιο για την διασύνδεση των AS-i slaves, δύο μεταλλικοί πίνακες τοποθέτησης του PLC και των AS-i Master & των τροφοδοτικών τους και τοποθέτησης του HMI, κόστος το οποίο δεν υπερέβη τα 5000Ευρώ σχετικά μικρό για την εφαρμογή αλλά και για τα δεδομένα ενός πλοίου.

6.1 Δομή Δικτύου και Διασύνδεση συσκευών.

Για να εγκατασταθεί το νέο σύστημα, απαιτείται παρέμβαση στο εγκατεστημένο. Εκτός από τους δύο νέους πίνακες που εγκαταστάθηκαν, απαιτείται παρέμβαση στην εγκατεστημένη καλωδίωση του πλοίου έτσι ώστε να τροφοδοτηθεί το νέο αλλά και για να διασυνδεθούν τα AS-i Master και τα τροφοδοτικά των γραμμών με το δίκτυο AS-i για να επικοινωνούν με τις slave μονάδες. Για την υλοποίηση του νέου συστήματος εγκαταστάθηκαν δύο μεταλλικοί πίνακες.

Στον πρώτο πίνακα (ο οποίος ονομάστηκε HMI BOARD) τοποθετήθηκε η οθόνη (HMI) και το τροφοδοτικό 24VDC που απαιτείται για την τροφοδοσία του HMI και του PLC, όπως φαίνεται στα σχέδια της εγκατάστασης που δημιουργήθηκαν, στη σελίδα 5 του Παραρτήματος «Α». Το τροφοδοτικό των 24VDC είναι της εταιρείας SIEMENS με τα εξής χαρακτηριστικά: Input 100-240VAC, Output 24VDC 2,5A. Όπως φαίνεται στην ίδια σελίδα, το τροφοδοτικό χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία του HMI στην κλέμα X80 ενώ στην κλέμα X7 :1,2 διακλαδώνεται και παρέχει τάση τροφοδοσίας στην CPU του PLC, στον έτερο πίνακα, όπως φαίνεται στην σελίδα 4 του Παραρτήματος «Α». Τέλος στον πίνακα αυτό βρίσκεται



τοποθετημένη μια διπολική ασφάλεια 4A για την ενεργοποίηση και προστασία του τροφοδοτικού.

Στον δεύτερο μεταλλικό πίνακα (PLC & AS-i Board) τοποθετήθηκαν η CPU 1214C με τα τρία AS-i Master ενσωματωμένα στα αριστερά της, όπως φαίνεται στη σελίδα 04 Παραρτήματος «Α» και τα τροφοδοτικά AS-i. Η έξοδος των τροφοδοτικών AS-i (30VDC) συνδέεται με την έξοδο των AS-i Master και αποστέλλεται η πληροφορία και η τροφοδοσία προς τα AS-i slaves για ενέργεια. Τα δε τροφοδοτικά AS-i, τροφοδοτούνται με 24VDC από το δίκτυο του πλοίου μέσω της κλέμας X1. Επειδή τα τροφοδοτικά είναι για χρήση σε δίκτυο AS-i, δεν απαιτείται η μονάδα Data Decoupling που χρησιμοποιείται με τα AS-i Master CM1243-2. Με αυτό τον τρόπο, χρησιμοποιώντας δηλαδή τροφοδοτικά AS-i, δεν χρησιμοποιήσαμε τις μονάδες Data Decoupling DCM 1271, αφού ο κατασκευαστής το επιτρέπει, μειώνοντας έτσι το κόστος¹⁴. Κάθε τροφοδοτικό AS-i είναι συνδεδεμένο αποκλειστικά σε ένα AS-i Master και στην αντίστοιχη γραμμή που τροφοδοτεί.

Για να γίνει η ενσωμάτωση του νέου συστήματος πάνω στο παλιό, έπρεπε να γίνει παρέμβαση σε αυτό. Αυτό σημαίνει ότι στον πίνακα του πλοίου τοποθετήθηκαν μεταγωγικοί διακόπτες για να γίνεται η μετάπτωση από το υπάρχον στο νέο (εφεδρικό) σύστημα, όποτε αυτό απαιτείται. Στη σελίδα 6 Παραρτήματος «Α», απεικονίζεται στο σχέδιο το AS-i Master A05 με το εγκατεστημένο τροφοδοτικό AS-i A309, η διασύνδεση με την γραμμή AS-i και τα slaves του AS-i Master και η διασύνδεση με το PLC S7-400 μέσω του δικτύου Profibus. Για να μπορέσει να εγκατασταθεί το νέο σύστημα και να μην επηρεαστεί το παλιό τοποθετήθηκαν δύο μεταγωγικοί διακόπτες ως εξής: Ο ένας μεταγωγικός διακόπτης (S2) τοποθετήθηκε πάνω στην γραμμή AS-i, στην έξοδο του AS-i Master προς τα AS-i slaves ενώ ο δεύτερος μεταγωγικός (S1) τοποθετήθηκε πριν το τροφοδοτικό AS-i στην παροχή των 24VDC προς αυτό. Οι μεταγωγικοί διακόπτες που επιλέχθηκαν είναι τριών θέσεων με την ενδιάμεση θέση να μην συνδέει καμία επαφή.

Για να λειτουργήσει το υπάρχον, εγκατεστημένο σύστημα του πλοίου και οι δύο μεταγωγικοί διακόπτες πρέπει να είναι στη θέση I. Με αυτή τη θέση των μεταγωγικών διακοπών η τάση των 24VDC περνά από τον S1 και τροφοδοτεί το A309, το οποίο είναι το

¹⁴ Η μη χρήση της μονάδας DCM 1271 εφόσον χρησιμοποιείται τροφοδοτικό AS-i και όχι απλό τροφοδοτικό 24VDC, προδιαγράφεται στο εγχειρίδιο της SIEMENS (SIEMENS, 2013)



εγκατεστημένο τροφοδοτικό AS-i του δικτύου και από εκεί τροφοδοτεί το A05 AS-i Master. Ο δε S2 στην θέση I διασυνδέει το εγκατεστημένο AS-i Master A05 με τη γραμμή AS-i και τα AS-i slaves. Για να μεταπέσει η λειτουργία από το εγκατεστημένο σύστημα στο νέο, πρέπει οι μεταγωγικοί διακόπτες S1 και S2 να τεθούν στη θέση II. Μόλις γίνει αυτό, παύει να τροφοδοτείται το εγκατεστημένο τροφοδοτικό AS-i A309 με 24VDC μέσω του S1 και η τάση οδηγείται στην είσοδο του τροφοδοτικού A05 AS-i Power του νέου συστήματος, όπως φαίνεται στη σελίδα 4 Παραρτήματος «Α». Ο δε S2 στην θέση II παύει να διασυνδέει την γραμμή AS-i και τα slaves με το εγκατεστημένο AS-i Master A05 και τα διασυνδέει με το AS-i Master A05 της CPU 1214C και παράλληλα με την έξοδο του τροφοδοτικού AS-i Power A05, μέσω της κλέμας CN2 (4,5), όπως φαίνεται στη σελίδα 4 παραρτήματος «Α». Έτσι για να μεταπέσουμε στην εφεδρική λειτουργία θέτουμε τους διακόπτες στη θέση II.

Με τον ίδιο τρόπο έχει γίνει η καλωδίωση των άλλων δύο AS-i Master και των τροφοδοτικών τους με τις γραμμές AS-i. Οι μεταγωγικοί διακόπτες και η διασύνδεση τους απεικονίζεται στη σελίδα 7 Παραρτήματος «Α» και η μετάπτωση γίνεται με τον τρόπο που περιγράφηκε παραπάνω για το A05. Οι μεταγωγικοί διακόπτες έχουν διαφορετική ονομασία, για το A03 είναι οι S3 & S4 ενώ για το A04 είναι οι S5 & S6.

Η διασύνδεση των εγκατεστημένων (παλιών) AS-i Master με το PLC γινόταν μέσω δικτύου Profibus, όπως φαίνεται στις σελίδες 6 & 7 Παραρτήματος «Α». Η διασύνδεση των νέων AS-i Master με την CPU 1214C γίνεται μέσω βύσματος, αφού και τα τρία AS-i Master είναι της ίδιας εταιρείας και θεωρούνται προέκταση της ενώ τοποθετούνται αριστερά της και διασυνδέονται με βύσμα.

Τέλος το HMI με το PLC διασυνδέονται μέσω δικτύου PROFINET στη θύρα X1 του HMI και στη θύρα CN9 του PLC.

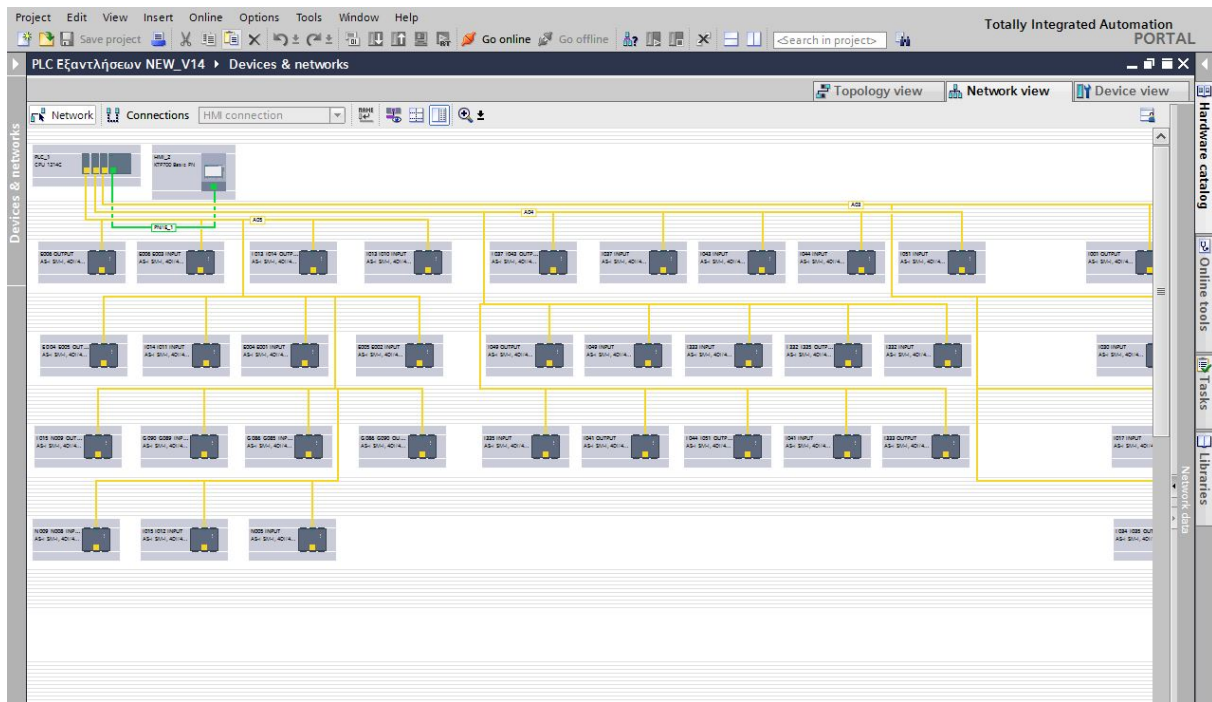
6.2 Δημιουργία του Hardware Configuration της εγκατάστασης στο TIA Portal, ενσωμάτωση AS-i Master & AS-i Slaves και προγραμματισμός της CPU S7-1214C.

Ο προγραμματισμός του νέου συστήματος που επιλέχθηκε να εγκατασταθεί, έγινε εξ' ολοκλήρου μέσω της πλατφόρμας TIA Portal v15 της SIEMENS. Η πλατφόρμα περιλαμβάνει, μεταξύ άλλων, το πρόγραμμα STEP 7 με το οποίο προγραμματίστηκε το PLC και έγινε η



ενσωμάτωση των AS-i Master και των AS-i Slaves καθώς και το στήσιμο του δικτύου AS-i. Περιλαμβάνει το πρόγραμμα WinCC με το οποίο προγραμματίζονται οι οθόνες της SIEMENS αλλά και τα PC, στα οποία όμως πρέπει να εγκατασταθεί το WinCC Runtime για να μπορέσουν να εκτελέσουν το πρόγραμμα. Με το WinCC (inside TIA Portal) προγραμματίστηκε το HMI KTP700 Basic PN (SIEMENS, 2017).

Το πρώτο στάδιο είναι η δημιουργία του Hardware Configuration μέσα στο TIA Portal όπου ορίζουμε το υλικό που θα χρησιμοποιήσουμε. Για να γίνει αυτό δημιουργούμε ένα νέο Project με την ονομασία του. Κατόπιν επιλέγουμε το υλικό (Hardware) από τον κατάλογο του προγράμματος (Hardware Catalog). Στην Εικόνα 27 φαίνεται η εικόνα του δικτύου όπως είναι στημένο στο TIA PORTAL. Η εικόνα αυτή είναι ενδεικτική και δεν είναι πλήρης καθώς δεν περιλαμβάνει όλα τα AS-i slaves του δικτύου A03 που είναι στα δεξιά της εικόνας, λόγω αδυναμίας απεικόνισης όλων των slaves σε μία εικόνα.



Εικόνα 27 Network View του PLC, HMI, AS-i Master & Δικτύου AS-i με τα slaves από το TIA Portal

Στο πλοίο βρίσκονται εγκατεστημένα πενήντα ένα (51) slaves. Τα slaves, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, διαθέτουν τέσσερις εισόδους και τέσσερις εξόδους, όλες ψηφιακές και χρησιμοποιούνται τα ίδια slave modules είτε για να ελέγξουν την κίνηση ενός επιστομίου είτε για να λάβουν την θέση του. Τα AS-i slaves διαθέτουν στο σύνολο 204 εισόδους και ισάριθμες εξόδους. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 25, υπάρχουν AS-i slaves τα οποία είναι τοποθετημένα



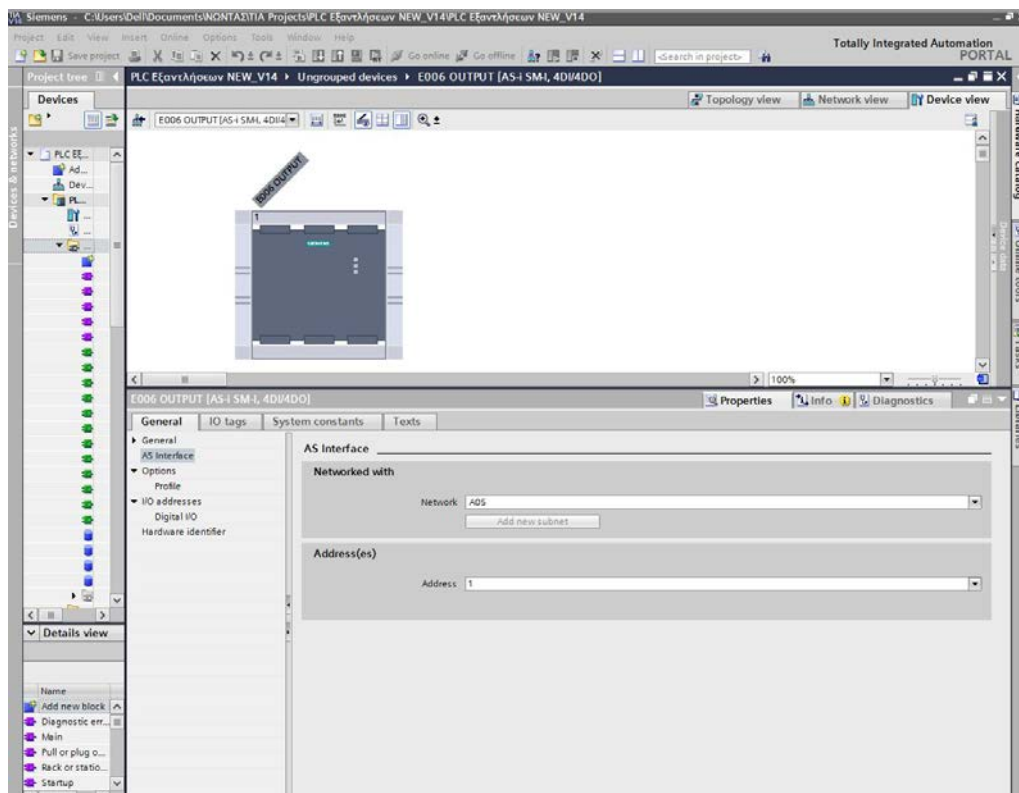
κοντά στα επιστόμια για να λαμβάνουν την θέση αυτών από τα proximity αλλά και την κατάσταση LOCAL ή REMOTE, τα οποία είναι τοποθετημένα ανά ένα και χρησιμοποιούν μόνο τις εισόδους τους (DI), ενώ υπάρχουν AS-i slaves τα οποία είναι τοποθετημένα κοντά σε μπλόκ ηλεκτρομαγνητικών βαλβίδων, ανα τρία, χρησιμοποιούν μόνο τις εξόδους τους (DQ) και ελέγχουν την κίνηση των επιστομίων μέσω των ηλεκτρομαγνητικών βαλβίδων (OPEN/CLOSE). Στο σύνολο ελέγχεται από την εγκατάσταση η κίνηση σαράντα (40) επιστομίων και η θέση αυτών.

Επιλέχθηκε από το HW Catalog του προγράμματος η οθόνη (KTP700 Basic PN), η CPU 1214C του PLC και τα AS-i Master CM 1243-2 τα οποία τοποθετήθηκαν στα αριστερά της CPU όπως φαίνεται στην Εικόνα 26. Κατόπιν αυτού έγινε η δικτύωση της CPU 1214C με την οθόνη KTP700 Basic PN και ορίστηκαν οι IP διευθύνσεις. Η IP διεύθυνση για την CPU1214C είναι η 192.168.0.1 ενώ για το HMI είναι η 192.168.0.4. Οι δύο συσκευές, HMI & PLC διασυνδέονται με δίκτυο PROFINET το οποίο διαθέτει αρκετά πλεονεκτήματα τα οποία αναφέρθηκαν παραπάνω με βασικότερα αυτά της ταχύτητας, της ασφάλειας μεταφοράς δεδομένων και της ύπαρξης θύρας στην CPU και στο HMI.

Επόμενο βήμα ήταν η τοποθέτηση των AS-i slaves και η δικτύωση τους με τα AS-i Master. Τα AS-i slaves επιλέχθηκαν και τοποθετήθηκαν στο HW configuration του προγράμματος. Κατόπιν αυτού τα slaves έπρεπε να διευθυνσιοδοτηθούν. Η διεύθυνση που έχει κάθε slave και Master είναι μοναδική και σύμφωνα με αυτή αποστέλλεται η πληροφορία από και προς τον κατάλληλο αποδέκτη. Οι διευθύνσεις αυτές ήταν προ τοποθετημένες στα AS-i slaves και έπρεπε να βρεθούν και να τοποθετηθούν οι ίδιες στο πρόγραμμα έτσι ώστε να εξασφαλιστεί ότι το νέο AS-i Master έχει τη σωστή διεύθυνση των slaves και η πληροφορία θα πάει στο σωστό αποδέκτη. Δημιουργήθηκαν τρία δίκτυα AS-i. Το A05, το A04 και το A03 και πάνω σε αυτά τα δίκτυα τοποθετήθηκαν από ένα AS-i Master και τα AS-i slaves στα οποία και τοποθετήθηκαν οι διευθύνσεις τους. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 28, σε κάθε AS-i slave πρέπει να τοποθετηθεί μια διεύθυνση δικτύου, π.χ. A05, και μια διεύθυνση slave, π.χ. Addr 1. Κατόπιν αυτού, στις παραμέτρους του κάθε slave (Εικόνα 28) και στο πεδίο I/O Addresses τοποθετήθηκε η διεύθυνση κάθε εισόδου και κάθε εξόδου ορίζοντας ένα Byte σε κάθε μία. Έτσι στο slave της Εικόνα 28 ορίστηκε το Byte 9 για τα Input και το Byte 9 για τα Output. Λαμβάνοντας υπόψιν ότι κάθε slave έχει τέσσερα Input και τέσσερα Output, οι διευθύνσεις



του συγκεκριμένου slave είναι οι εξής: Για τα Input: I9.0, I9.1, I9.2, I9.3 και για τα Output: Q9.0, Q9.1, Q9.2, Q9.3. Έτσι όταν θέλαμε να διαβάσουμε την θέση Close ενός αισθητήρα διαβάζαμε την είσοδο του π.χ. I9.1. Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε για κάθε ένα AS-i slave ξεχωριστά αφού είχαν βρεθεί οι διευθύνσεις των AS-i slaves είτε από τα σχέδια είτε με το όργανο το οποίο έχει την δυνατότητα να διαβάσει αλλά και να αλλάξει διεύθυνση σε ένα slave. Σημαντικό και ίσως το πιο δύσκολο και χρονοβόρο μέρος αυτής της εργασίας ήταν η ανεύρεση της διασύνδεσης κάθε αισθητήρα και ενεργοποιητή με τις εισόδους και εξόδους των slave (και κατ' επέκταση των διευθύνσεων τους) για να μπορούν να αντιστοιχηθούν και να διεθυνσιοδοτηθούν σωστά. Η διαδικασία εύρεσης των διευθύνσεων και η επαλήθευσή τους ήταν αποδείχθηκε εξαιρετικά δύσκολη και χρονοβόρα λόγω της μη ύπαρξης των διευθύνσεων σε αρχείο με αποτέλεσμα να γίνει με διάφορες εναλλακτικές μεθόδους.



Εικόνα 28 AS-i Slave μέσα στο TIA PORTAL V15

Κατόπιν αυτού έπρεπε να βρεθούν από τα σχέδια και να περαστούν στα PLC Tags όλα τα αισθητήρια, οι διευθύνσεις και οι ονομασίες τους καθώς επίσης όλες οι εξοδοί προς τους ενεργοποιητές ώστε να είναι περασμένα στο Tag table και να είναι ευκολότερη η χρήση τους εντός του προγράμματος.



Αφού δημιουργήθηκαν τα τρία δίκτυα AS-i, τοποθετήθηκαν και διευθυνσιοδοτήθηκαν όλα τα AS-i slaves, διευθυνσιοδοτήθηκαν όλα τα αισθητήρια και οι ενεργοποιητές (όλες οι εισοδοί και έξοδοι των slaves) μέσω των AS-i slaves, δημιουργήθηκαν τα Tag tables και περάστηκαν σε αυτά οι διευθύνσεις και οι ονομασίες όλων των αισθητήρων και ενεργοποιητών. Τέλος αφού δημιουργήθηκαν Tag tables για μηνύματα (Alarms) και βοηθητικά, σειρά είχε το στάδιο του προγραμματισμού του PLC και του HMI.

6.3 Προγραμματισμός της CPU S7 1214C και του HMI

Ο προγραμματισμός του PLC S7-1214C χωρίστηκε σε δύο στάδια και έπρεπε να γίνεται παράλληλα με τον σχεδιασμό και προγραμματισμό του HMI. Πρώτα προγραμματίστηκαν οι κινήσεις των επιστομιών, οι ασφαλιστικές διατάξεις, τα Alarm και τα feedback από τις εισόδους για την θέση των επιστομιών (OPEN/CLOSE, LOCAL/REMOTE) μέσα σε FC (Functions) και ύστερα δημιουργήθηκαν τα κατάλληλα OB (Organization Blocks) για την ανίχνευση σφαλμάτων στο υλικό (στα AS-i slaves, AS-i Master, CPU) και για την δημιουργία μηνυμάτων τα οποία απεικονίζονται στη σελίδα ALARM στο HMI. Παράλληλα με τον προγραμματισμό του PLC γινόταν ο προγραμματισμός του HMI.

Ο προγραμματισμός του HMI, ο οποίος έγινε με το WinCC και τα εργαλεία που παρέχει, έγινε σε συνεργασία με τους χειριστές του συστήματος έτσι ώστε να ληφθούν υπόψιν και να ενσωματωθούν οι απαιτήσεις τους. Στην Εικόνα 29, φαίνεται η αρχική σελίδα του συστήματος. Σε αυτή απεικονίζονται οι δύο επιλογές οι οποίες είναι ο χειρισμός όλων των επιστομιών σε Manual Mode και ο χειρισμός των επιστομιών των αντλιών 1 & 2 σε Auto Mode, όπου έχει δημιουργηθεί αυτόματη βηματική διαδικασία και η οποία θέτει τα επιστόμια αυτόματα σε τέτοια θέση ώστε να γίνεται δυνατή η εξάντληση από τις αντλίες, όπως θα επεξηγηθεί παρακάτω. Στο κάτω μέρος της σελίδας υπάρχουν softkeys τα οποία οδηγούν σε άλλες σελίδες. Τα softkeys στο κάτω μέρος της αρχικής σελίδας περιλαμβάνουν τις σελίδες ALARM SCREEN στην οποία υπάρχει το Message System, Parameters Screen, PLC Control και PLC Alarms.

Στη σελίδα ALARM SCREEN απεικονίζονται όλα τα μηνύματα Warning, Alarm & Disturbed τα οποία δημιουργήθηκαν για την εγκατάσταση και είναι στο σύνολο πάνω από 200. Τα



μηνύματα αυτά είναι είτε λογικά π.χ. WA ή AL για καταστάσεις οι οποίες θεωρούνται επικίνδυνες είτε φυσικά σφάλματα, τα οποία είναι τα DI (Disturbed) και είναι τα περισσότερα. Αυτά τα μηνύματα (DI) απεικονίζουν για παράδειγμα την απώλεια θέσης ενός επιστομίου. Αν έχει εντολή το επιστόμιο να είναι σε θέση OPEN και το επιστόμιο μετακινηθεί από αυτή τη θέση χειροκίνητα ή χαθεί η ένδειξη λόγω βλάβης του proximity, τότε εμφανίζεται το μήνυμα για να απεικονίσει ότι το επιστόμιο ενώ ήταν σε μία διαταχθείσα θέση, αυτή άλλαξε χωρίς εντολή. Ακόμη υπάρχει η δυνατότητα να εκμεταλλευτούμε μηνύματα που παράγει το PLC, με κατάλληλο προγραμματισμό του OB82 (Diagnostic Error Interrupt), μηνύματα τα οποία έρχονται είτε από τα Slaves είτε από το AS-i Master είτε ακόμη και από απώλεια του τροφοδοτικού AS-i. Το PLC έχει την δυνατότητα να παρακολουθεί την σωστή λειτουργία των slaves μέσω της επικοινωνίας με το AS-i Master. Σε περίπτωση που το PLC δεν επικοινωνεί με κάποιο slave τότε το PLC θα δημιουργήσει το κατάλληλο alarm μέσα στο OB82 το οποίο πρέπει να εκμεταλλευτούμε και να το μετατρέψουμε σε μήνυμα στην Alarm List.

Στην σελίδα Parameters Screen μπορούμε να παραμετροποιήσουμε το σύστημα. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η εντολή για την κίνηση ενός επιστομίου δίνεται για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα το οποίο μπορεί να οριστεί από τον χρήστη, εντός κάποιων ορίων. Αν το επιστόμιο φτάσει την διαταχθείσα θέση εντός του χρόνου αυτού, τότε η εντολή εξακολουθεί να δίνεται για ένα προκαθορισμένο χρόνο. Οι δύο αυτοί χρόνοι μπορούν να οριστούν και να αλλαχτούν από τους χειριστές μέσα σε κάποια περιθώρια τα οποία είναι προκαθορισμένα.

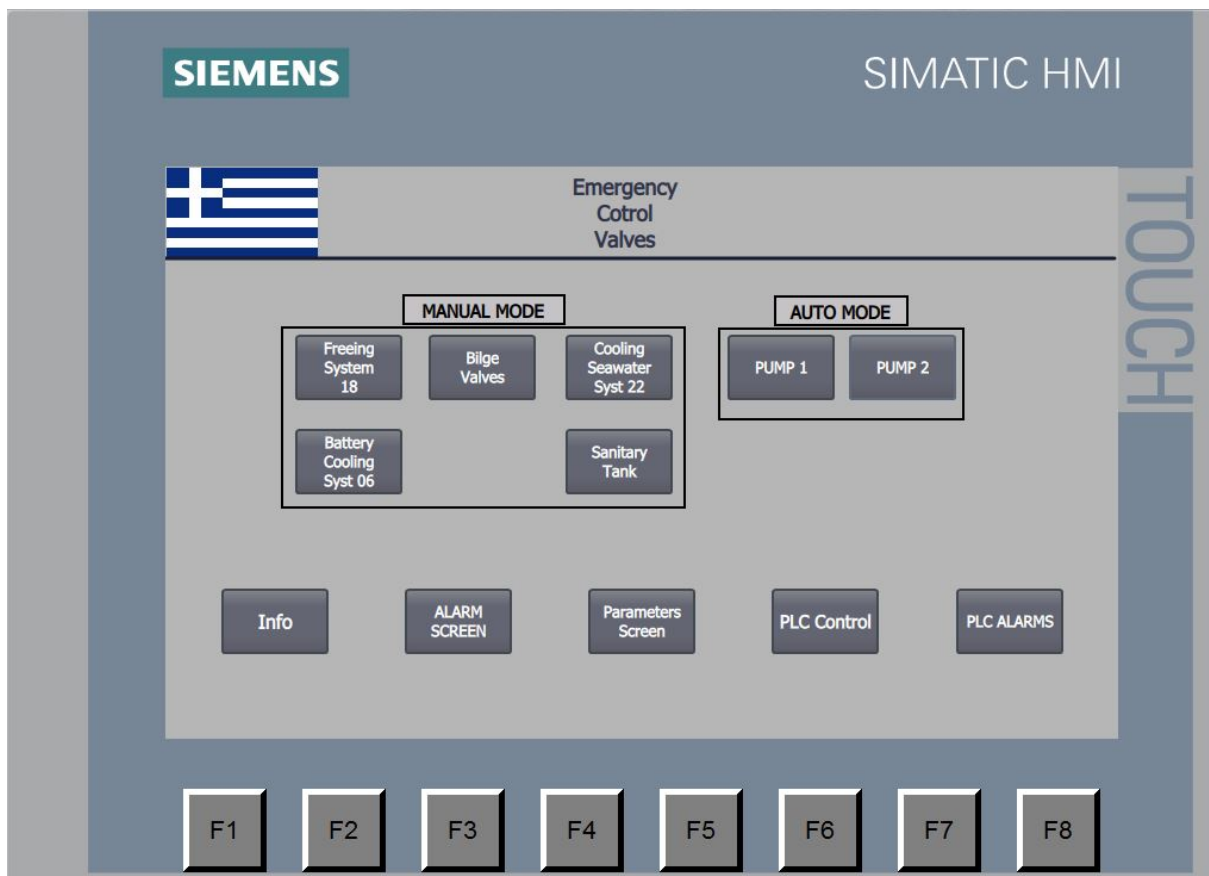
Στην σελίδα PLC Control γίνεται ο έλεγχος του PLC S7-1214C. Επειδή το PLC S7-1200 δεν διαθέτει διακόπτη για να αλλάξουμε την κατάσταση της CPU σε RUN ή σε STOP mode, αυτό μπορεί να γίνει μέσω αυτής της σελίδας και να δούμε και την κατάσταση λειτουργίας του ανά πάσα στιγμή.

Στην σελίδα PLC ALARMS μπορούμε να δούμε πληροφορίες από το Diagnostic Buffer της CPU του PLC. Η CPU δημιουργεί μηνύματα σε διάφορες περιπτώσεις, τα οποία καταγράφονται στο Diagnostic Buffer της και από τα οποία ο χειριστής δύναται να εξάγει χρήσιμα συμπεράσματα για την λειτουργία της εγκατάστασης και του PLC.



Στην Εικόνα 29 βλέπουμε softkeys μέσα σε δύο πλαίσια. Το πρώτο πλαίσιο περιλαμβάνει πέντε softkeys υπό τον τίτλο MANUAL MODE ενώ το δεύτερο περιλαμβάνει δύο softkeys υπό τον τίτλο AUTO MODE.

Στο πλαίσιο Manual Mode υπάρχουν πέντε σελίδες στις οποίες μπορούν να ελεγχθούν όλα τα επιστόμια του πλοίου, ένα προς ένα, και να τεθούν στην επιθυμητή από τον χειριστή θέση, λαμβάνοντας πληροφορίες για αυτά.

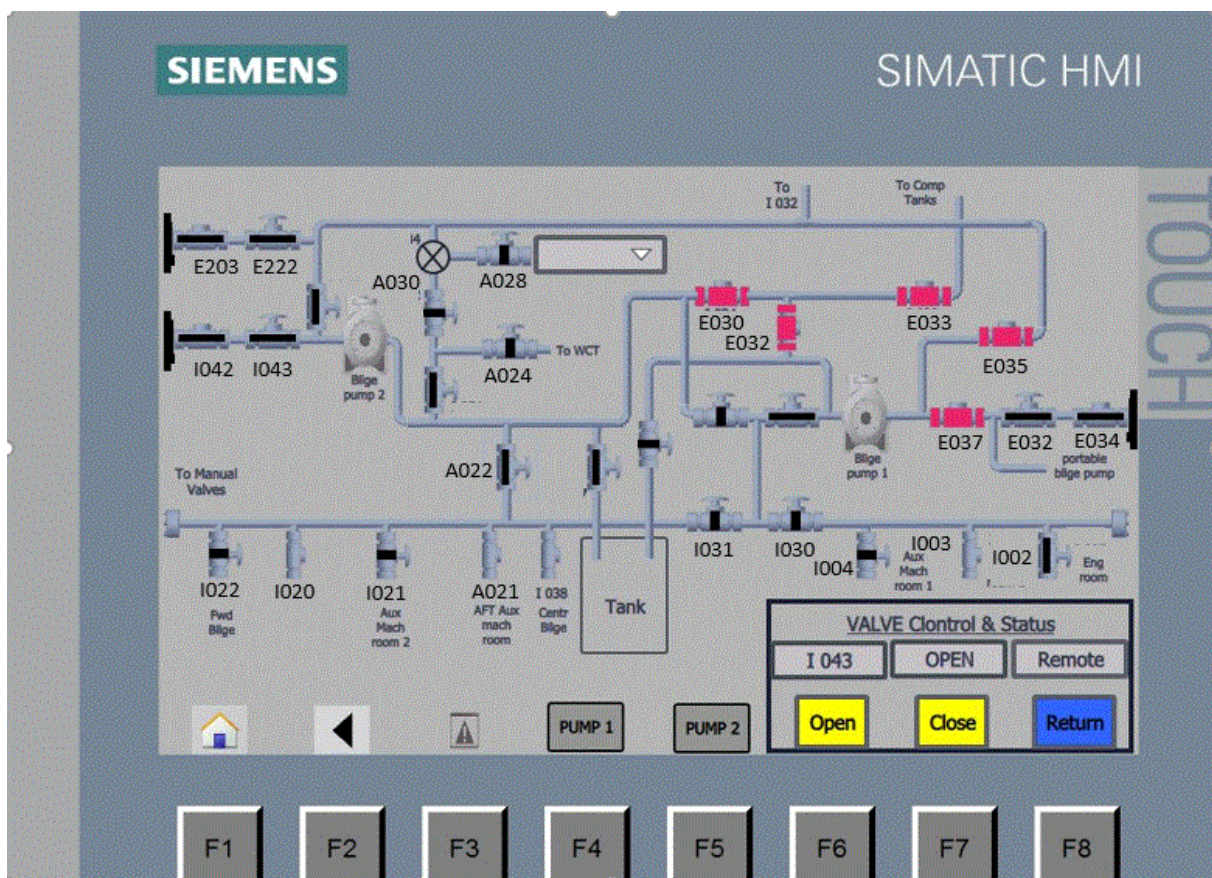


Εικόνα 29 Αρχική σελίδα HMI

Ενδεικτικά παρουσιάζεται, στην Εικόνα 30, ένα από τα δίκτυα θαλασσίου ύδατος του πλοίου και τα επιστόμια του. Όπως φαίνεται, είναι σχεδιασμένα στην σελίδα αυτή, το δίκτυο, τα επιστόμια πάνω σε αυτό, οι αντλίες ενδιάμεσα του δικτύου καθώς και άλλα γραφικά όπως οι δεξαμενές και σημεία αναρρόφησης του δικτύου. Κάθε επιστόμιο για να λειτουργήσει χειροκίνητα επιλέγεται, όπως το I043 στην Εικόνα 30, και μόλις το επιλέξουμε εμφανίζεται κάτω δεξιά στην οθόνη το status του επιστομίου. Από εκεί (Valve Control & Status) παίρνουμε πληροφορία για το επιλεγθέν επιστόμιο, την θέση του (OPEN/CLOSE) και την κατάσταση του (LOCAL/REMOTE). Κάτω από αυτό βρίσκονται τα Function Keys με τα οποία δίνουμε εντολή



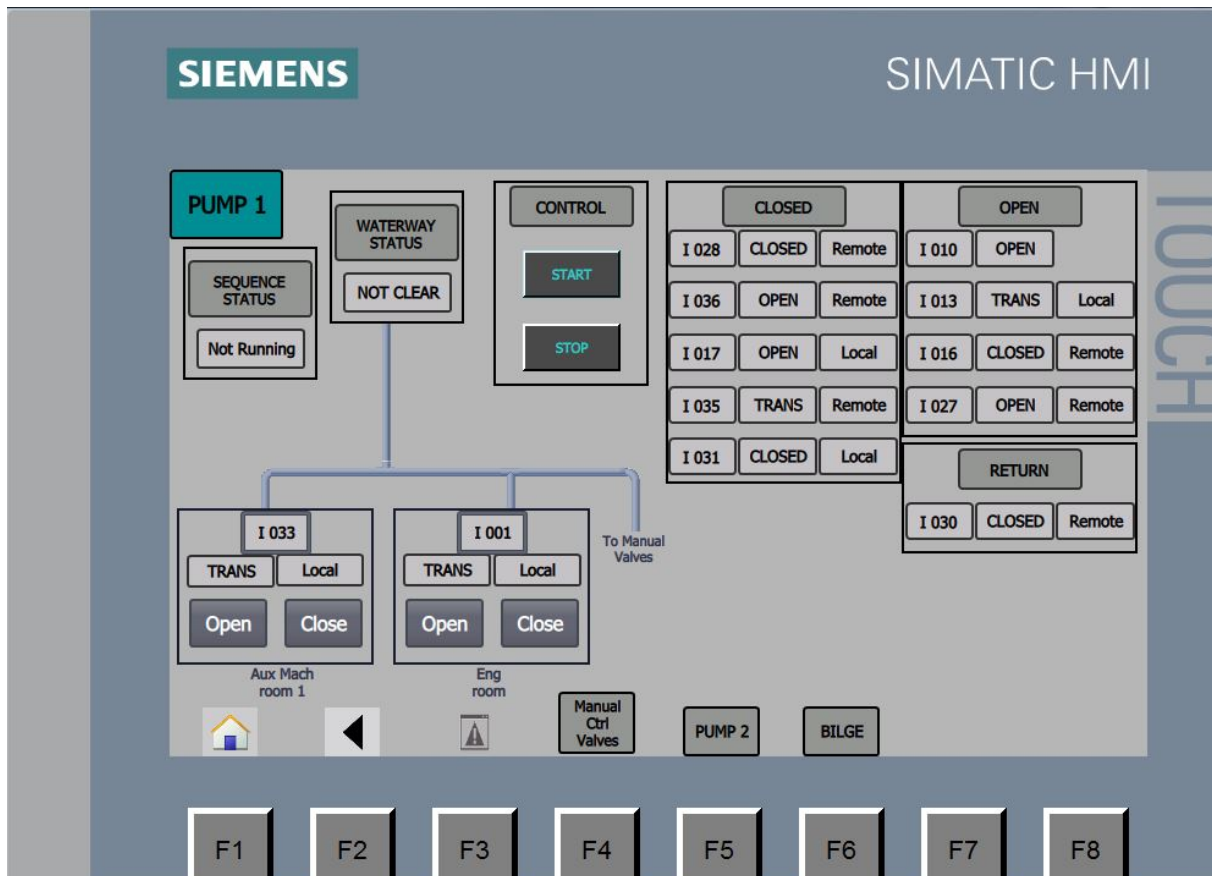
κίνησης σε ένα επιστόμιο, αφού το έχουμε επιλέξει. Η γραφική απεικόνιση του επιστομίου περιέχει πληροφορίες όπως αν το επιστόμιο είναι OPEN ή CLOSE, με την μαύρη γραμμή που είναι παράλληλα στο δίκτυο ή κάθετα σε αυτό, αν είναι LOCAL/REMOTE, με το “καπέλο” το οποίο εμφανίζεται ή εξαφανίζεται ανάλογα την κατάσταση. Τέλος τα επιστόμια σε περίπτωση ύπαρξης σφάλματος λαμβάνουν το αντίστοιχο χρώμα για να γίνεται αντιληπτή η οποιαδήποτε βλάβη ή δυσλειτουργία του. Έτσι σε περίπτωση ύπαρξης DI το επιστόμιο θα γίνει MAGENTA ενώ σε περίπτωση WA ή AL θα γίνει κίτρινο ή κόκκινο αντίστοιχα.



Εικόνα 30 Δίκτυο θαλασσίου ύδατος πλοίου με επιστόμια σε διάφορες καταστάσεις

Στο πλαίσιο AUTO MODE υπάρχουν δύο σελίδες. Τα softkeys PUMP 1 & PUMP 2 οδηγούν στις αντίστοιχες σελίδες. Ενδεικτικά, στην Εικόνα 31 φαίνεται η σελίδα PUMP 1 η οποία έχει σχεδιαστεί για να ελέγχονται ορισμένα επιστόμια μέσω μιας βηματικής διαδικασίας. Στην σελίδα αυτή απεικονίζονται τα επιστόμια (δεξιά) και ποια θέση λάβουν αφού ολοκληρωθεί η βηματική διαδικασία. Φαίνεται ο αριθμός του επιστομίου, η παρούσα θέση του και η κατάσταση του (LOCAL/REMOTE). Ακόμη με το Softkey START γίνεται έναρξη της διαδικασίας, μετά από επιβεβαίωση και με το STOP σταματά η διαδικασία. Στο αριστερό μέρος της οθόνης

φαίνεται το STATUS της διαδικασίας (Running/Not Running) ενώ στο κάτω μέρος απεικονίζονται επιστόμια και δίκτυο με το οποίο μπορούμε να συνδέσουμε τα επιστόμια της βηματικής διαδικασίας.



Εικόνα 31 Σελίδα Επιστομίων Δικτύου Θαλάσσης (Αντλίας 1) με βηματική Διαδικασία

Ο προγραμματισμός του PLC έγινε με γλώσσα FBD¹⁵ (Function Block Diagram), εξ' ολοκλήρου με χρήση FC (Functions). Μέσα σε αυτά γράφτηκε ο κώδικας για τον έλεγχο των επιστομίων του πλοίου. Όπως φαίνεται στο Παράρτημα «B» αλλά και στην Εικόνα 32, δημιουργήθηκαν συνολικά δώδεκα FC (Functions). Για την ανάπτυξη του προγράμματος χρησιμοποιήθηκαν οι αρχές του δομημένου προγραμματισμού. Έτσι αφενός όλο το πρόγραμμα είναι γραμμένο σε FC τα οποία καλούνται από το Main OB, αφετέρου έγινε ομαδοποίηση με συγκεκριμένα κριτήρια για ευκολότερη διαχείριση των πληροφοριών.

¹⁵ Η γλώσσα FBD (Function Block Diagram) είναι η μία από τις τρεις που διαθέτει για προγραμματισμό το PLC S7-1200. Οι άλλες δύο γλώσσες είναι η Ladder και η SCL.



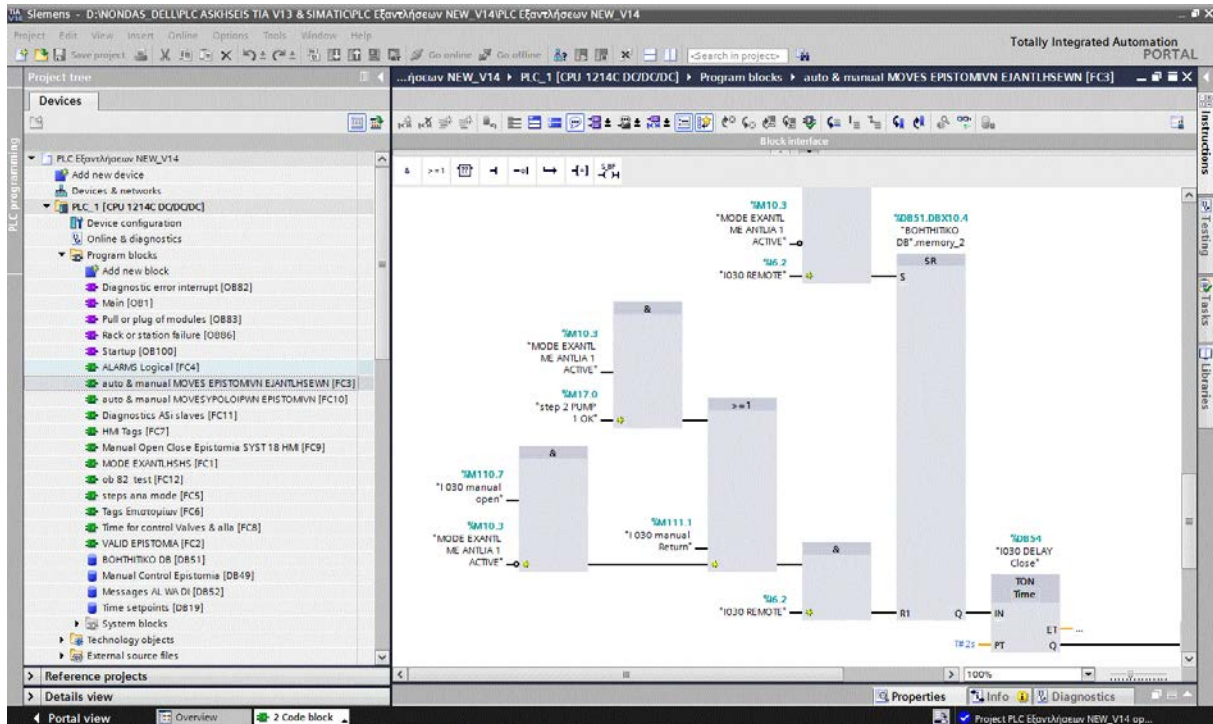
Η ομαδοποίηση αρχικά έγινε στα PLC Tags όπου δημιουργήθηκαν τρία Tag Tables, ένα για κάθε AS-i Master με τις διευθύνσεις του κάθε ενός από αυτά (Tag Tables: AS-i Address A03, AS-i Address A04, AS-i Address A05). Σε αυτά συμπεριελήφθησαν όλες οι διευθύνσεις Input & Output των AS-i slaves & AS-i Master. Στο σύνολο οι διευθύνσεις I/O ξεπερνούν τις 150, όπου όλα τα I/O είναι ψηφιακά, κάτι που έκανε αυτή την ομαδοποίηση επιτακτική. Δημιουργήθηκαν συνολικά έξι διαφορετικά Tag Tables όπου εκτός των παραπάνω περιλάμβαναν τα εξής: “HMI Tags”, όπου δημιουργήθηκαν Tags για την αποστολή μηνυμάτων στο HMI, “Tags M” όπου δημιουργήθηκαν βοηθητικά Tags για την διευκόλυνση της ανάπτυξης του προγράμματος, “Γενικά Tags” όπου περιλάμβανε Γενικά Tags.

Ακόμη για την διευκόλυνση της ομαδοποίησης, του προγραμματισμού και της βελτίωσης του χρόνου κύκλου προγράμματος της CPU και της αποστολής δεδομένων στο HMI δημιουργήθηκαν Data Blocks. Το σημαντικότερο Data Block είναι το DB52 (Εικόνα 33), μέσα στο οποίο δημιουργήθηκαν όλα τα μηνύματα (WA, AL, DI) της εγκατάστασης, τα οποία εγείρονται υπό συνθήκες οι οποίες καθορίζονται μέσα στο πρόγραμμα (σε συγκεκριμένο FC μηνυμάτων) του PLC και έχοντας δημιουργήσει αντίστοιχα μηνύματα στο Message system του HMI, ενημερώνουν τον χειριστή για την λειτουργία και τα σφάλματα της εφαρμογής. Αυτά τα μηνύματα είναι πάνω από 300 στον αριθμό και περιλαμβάνουν διάφορα μηνύματα σφάλματος, όπως Hardware (ενός slave, ή AS-i Master ή AS-i Power Supply) με συγκεκριμένη διεύθυνση, μήνυμα απώλειας θέσης ενός επιστομίου (Position Lost), μήνυμα καθυστέρησης μετάβασης από την μία θέση στην άλλη μετά από εντολή (Runtime Failure) καθώς και άλλα μηνύματα. Πλέον του ανωτέρω Data Block, δημιουργήθηκαν και άλλα Data Blocks (DB51, DB49, DB19) το κάθε ένα από αυτά εξυπηρετώντας ξεχωριστό σκοπό.

Το πρόγραμμα (ο κώδικας) που εκτελεί η CPU είναι γραμμένο στα FC (Functions). Δημιουργήθηκαν δώδεκα FC τα οποία περιλαμβάνουν τον κώδικα για τον χειρισμό των επιστομίων, την ένδειξη θέσεως αυτών, την δημιουργία μηνυμάτων, την επικοινωνία με το HMI, κ.α.

Για τον έλεγχο των επιστομίων δημιουργήθηκαν FC (Functions) τα οποία ελέγχουν την κίνηση τους σε Manual mode και σε Auto mode, στο πλαίσιο μιας βηματικής διαδικασίας. Τα FC3 & FC10 (Εικόνα 32) είναι τα FC μέσα στα οποία γίνεται ο έλεγχος των επιστομίων. Από εκεί δίνονται οι εντολές για την διάταξη των επιστομίων (OPEN/CLOSE) αφού ληφθούν

υπόψιν οι προϋποθέσεις, οι ασφαλιστικές διατάξεις και οι περιορισμοί κίνησης των επιστομίων. Η εντολή κίνησης ενός επιστομίου διαρκεί κάποια δευτερόλεπτα



Εικόνα 32 Program Blocks (FC, OB, DB & Instance DB)

(τα οποία μπορεί να προκαθορίσει ο χειριστής εντός κάποιων ορίων) και παύει όταν παρέλθει ο προκαθορισμένος χρόνος ή όταν το επιστόμιο λάβει την θέση. Όταν το επιστόμιο λάβει την διαταχθείσα θέση η εντολή κίνησης εξακολουθεί να δίνεται για ένα μικρό χρόνο ακόμη για λόγους ασφαλείας. Ο χρόνος αυτός καθορίζεται από τον χειριστή (από το HMI), χρόνος ο οποίος δεν μπορεί να είναι εκτός προκαθορισμένων ορίων.

Απαραίτητη κρίθηκε η δημιουργία της αυτόματης κίνησης ορισμένων των επιστομίων (Auto Mode) εντός βηματικής διαδικασίας, για διευκόλυνση του χειριστή και ταχύτερη διάταξη του δικτύου του πλοίου στην επιθυμητή κατάσταση. Η επιλογή ανάμεσα στις δύο βηματικές διαδικασίες, ξεχωριστές η μία από την άλλη, γίνεται από την αρχική σελίδα, στο πλαίσιο Auto Mode, και οδηγεί στη σελίδα της Εικόνα 31. Η βηματική διαδικασία (Sequence) ελέγχεται από το FC 5 (Function 5) για τα step του sequence αλλά η κίνηση των επιστομίων ελέγχεται από το FC3. Σε αυτή, όπως περιεγράφηκε νωρίτερα, δίνοντας εντολή να εκκινήσει η διαδικασία μέσω του softkey START, εντολοδοτούνται τα επιστόμια που ελέγχει η εκάστοτε



διαδικασία να μεταβούν στην προκαθορισμένη θέση. Η εντολή δίνεται όχι σε όλα τα επιστόμια ταυτόχρονα, αλλά ανά τρία, και μόλις ολοκληρωθεί η κίνηση των τριών επιστομίων

Name	Data type	Offset	Start value	Retain	Accessible f...	Write...	Visible in ...	Setpoint	Comment
295	Struct	40.0			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
296	Bool	40.0	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
297	Bool	40.1	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
298	Bool	40.2	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
299	Bool	40.3	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
300	Bool	40.4	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
301	Bool	40.5	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
302	Bool	40.6	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
303	Bool	40.7	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
304	Bool	41.0	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
305	Bool	41.1	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
306	Bool	41.2	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
307	Bool	41.3	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
308	Bool	41.4	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
309	Bool	41.5	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
310	Bool	41.6	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
311	Struct	42.0			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
312	Bool	42.0	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
313	Bool	42.1	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
314	Bool	42.2	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
315	Bool	42.3	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
316	Bool	42.4	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
317	Bool	42.5	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
318	Bool	42.6	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
319	Bool	42.7	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
320	Bool	43.0	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
321	Bool	43.1	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
322	Bool	43.2	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
323	Bool	43.3	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
324	Bool	43.4	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
325	Bool	43.5	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
326	Bool	43.6	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
327	Struct	44.0			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
328	Bool	44.0	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
329	Bool	44.1	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
330	Bool	44.2	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
331	Bool	44.3	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
332	Bool	44.4	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
333	Bool	44.5	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

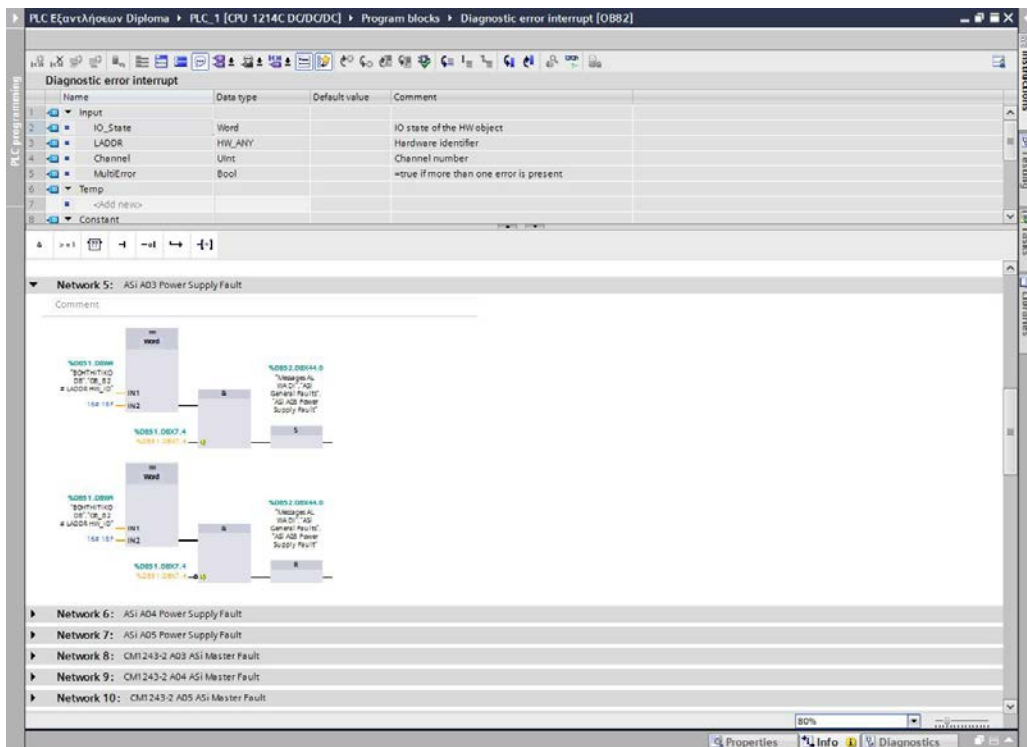
Εικόνα 33 DB52 (Data Block) Μηνυμάτων WA, AL, DI

δίνεται εντολή στα επόμενα τρία κ.ο.κ. Αυτό γίνεται γιατί τα επιστόμια κάθε βηματικής διαδικασίας είναι τουλάχιστον δέκα και για λόγους αποφυγής αύξησης του φορτίου στο δίκτυο AS-i αλλά και του υδραυλικού δικτύου επιλέχθηκε η βηματική διαδικασία. Για να ξεκινήσει η διαδικασία αυτή ισχύει ότι και για την “manual” κίνηση των επιστομίων. Τα επιστόμια πρέπει να είναι VALID, χωρίς μηνύματα σφαλμάτων, να μην εκτελούν κάποια κίνηση σε manual mode κ.α. Αυτές οι ασφαλιστικές διατάξεις ενσωματώθηκαν για να αποφευχθούν καταστάσεις όπως να δίνεται εντολή “Open” σε Manual Mode ενώ ταυτόχρονα να δίνεται εντολή “Close” από την αυτόματη διαδικασία (Auto Mode).

Ο προγραμματισμός του PLC δεν έγινε μόνο μέσα στα FC. Τα OB (Organization Blocks) προγραμματίζονται, όχι για να εκτελέσουν τυποποιημένες κινήσεις σε μία εγκατάσταση αλλά για να εκμεταλλευτούμε πληροφορίες που μας προσφέρει η CPU προς όφελος μας. Άλλωστε τα OB είναι η διασύνδεση του λειτουργικού της CPU με τον χρήστη. Το λειτουργικό καλεί ένα



OB όταν ένα συγκεκριμένο σφάλμα εμφανιστεί και δίνει πληροφορίες για το σφάλμα αυτό, όπως σε ποιο module είναι, τότε εμφανίστηκε και τότε αποκαταστάθηκε κ.α. Ο προγραμματιστής έχει την δυνατότητα αυτές τις πληροφορίες να τις εκμεταλλευτεί και να τις εμφανίσει στον χειριστή (στο HMI), μέσω μηνυμάτων ή να τις εκμεταλλευτεί στο πρόγραμμα των FC. Σε περίπτωση που δεν προγραμματιστούν τα OB, τότε αυτές οι πληροφορίες μένουν ανεκμετάλλευτες αλλά δεν επηρεάζεται η λειτουργία της CPU. Στο συγκεκριμένο πρόγραμμα, εκμεταλλευθήκαμε τα OB προγραμματίζοντας τα και αξιοποιήθηκαν οι πληροφορίες που προσφέρουν. Στην Εικόνα 34 φαίνεται ένα μέρος του προγράμματος του OB82. Σε αυτό το OB, το οποίο είναι και το κυριότερο λόγω των πληροφοριών που μας προσφέρει, υπάρχουν οι πληροφορίες σφαλμάτων για τα AS-i Master CM1243-2, τα AS-i slaves αλλά και για την τροφοδοσία (AS-i Power) της γραμμής AS-i. Έτσι δημιουργήθηκε πρόγραμμα μέσα στο OB, το οποίο σε περίπτωση εμφάνισης σφάλματος, μας δίνει την πληροφορία αυτή καθώς και την θέση του σφάλματος (ποια μονάδα έχει σφάλμα) και τότε αποκαταστάθηκε. Όλες αυτές οι πληροφορίες σφαλμάτων για το υλικό (Hardware) οι οποίες είναι άνω των 55 εμφανίζονται και σε μήνυμα στο HMI προκειμένου ο χειριστής να κάνει τις κατάλληλες ενέργειες ενώ ταυτόχρονα έχουν ενσωματωθεί και στον κώδικα των FC.



Εικόνα 34 OB82 Diagnostic Error Interrupt



7. Συμπεράσματα - Προτάσεις

Η μελέτη και εγκατάσταση του εφεδρικού συστήματος χειρισμού επιστομίων των δικτύων εξαντλήσεως, ζυγίσεως, ψύξεως ενός πλοίου, μέσω AS-i Bus αποδείχθηκε ιδιαίτερα χρήσιμη, σύμφωνα με τα σχόλια των χειριστών. Άλλωστε η απαίτηση για κατασκευή αυτής της εφαρμογής ήρθε μετά από αρκετά χρόνια χρήσης του εγκατεστημένου συστήματος SCADA του πλοίου και την παρατήρηση ότι ενώ τα σημαντικότερα συστήματα διέθεταν εφεδρικά (Redundant) συστήματα, το συγκεκριμένο δεν διέθετε, με αποτέλεσμα να μειονεκτεί σε αυτό.

Για την δημιουργία του συστήματος μελετήθηκε η δυνατότητα ενσωμάτωσης μέρους του παλιού στο νέο σύστημα που σχεδιάστηκε, αφού δεν ήταν δυνατό αλλά ούτε και απαιτούνταν, να αντικατασταθεί εξ' ολοκλήρου. Τα ολοκληρωμένα συστήματα SCADA, και οι εταιρείες που τα αναπτύσσουν, πρέπει να λαμβάνουν υπόψιν τους και να μελετούν τη δυνατότητα τα νεότερα συστήματα που κατασκευάζουν, είτε υλικού είτε λογισμικού, να μπορούν να ενσωματώνουν τα παλιά. Ιδιαίτερα τα λογισμικά SCADA πρέπει να είναι αναβαθμίσιμα για να ανταποκρίνονται σε μελλοντικές απαιτήσεις αναβάθμισης του συστήματος. Στην περίπτωση της συγκεκριμένης μελέτης, σημαντικό ήταν ότι νεότερες εκδόσεις του πρωτοκόλλου AS-i (v3.0) δύναται να ενσωματώσουν slaves παλιότερων version (v2.11 & v 2.04). Αν δεν συνέβαινε αυτό, τότε τα νέα AS-i Master CM1243-2 που χρησιμοποιήθηκαν δεν θα μπορούσαν να επικοινωνήσουν με τα παλιότερα slaves και η εφαρμογή δεν θα ήταν δυνατόν να υλοποιηθεί.



8. Βιβλιογραφία

- AS-Interface Organization*. (n.d.). Ανάκτηση από <https://www.as-interface.net/?lang=en>
- Berger, H. (2016). *Automating with SIMATIC* (6η εκδ.). Erlangen: Publicis.
- Berger, H. (2013). *Automating with SIMATIC S7-1200* (2η εκδ.). Erlangen: Publicis.
- Berger, H. (2017). *Automating with SIMATIC S7-1500* (2η εκδ.). Erlangen: Publicis.
- Berger., H. (2014). *Automating with SIMATIC S7-300* (2η εκδ.). Erlangen: Publicis.
- Bolton, W. (2015). *Programmable Logic Controllers* (6η εκδ.). Waltham MA: ELSEVIER.
- Hansen, D. (2015). *Programmable Logic Controllers A practical approach to IEC 61131-3 Using Codesys*. John Wiley & Sons, Ltd.
- IDC Technologies. (2007). *Practical Industrial Programming using 61131-3 for PLCs*. IDC Technologies.
- IDC, T. (2012). *Industrial Automation*. IDC Technologies.
- Kamel, K., & Kamel, E. (2014). *Programmable Logic Controllers Industrial Control*. N.Y.: McGraw-Hill Education.
- Karl-Heinz, J. (2010). *IEC 61131-3: Programming Industrial Automation Systems*. N.Y.: Springer.
- Krutz, R. (2013). *Industrial Automation and Control Principles*. ISA.
- Lamb, F. (2013). *Industrial Automation*. Hill.
- Manesis, S., & Nikolakopoulos, G. (2018). *Introduction to Industrial Automation*. CRC Press.
- MCCRADY, S. (2013). *Designing SCADA Application Software*. Λονδίνο: Elsevier.
- Petruzella, F. (2017). *Programmable Logic Controllers 5th ed*. New York,: McGraw-Hill Education.
- Pigan, R. (2008). *Automating with PROFINET Industrial Communication Based on Industrial Ethernet*. Erlangen: Publicis.
- Reynders, D. (2005). *Practical Industrial Data Communications*. Elsevier.
- SIEMENS. (2013, 04). AS- Interface AS-i Master CM 1243-2 & AS-i data decoupling unit DCM 1271. Nurnberg, Germany: SIEMENS.



SIEMENS. (2017, 12). STEP 7 and WinCC Engineering V15 System Manual. Nurnberg, Germany.

SIEMENS. (2018, 08). S7-1200 Programmable controller, System Manual.

Sunit Kumar Sen. (2014). *Fieldbus and Networking in Process Automation*. CRC Press.

TANENBAUM, A. (1992). *Δίκτυα Υπολογιστών*. (Ν. Παπαντώνης, & Κ. Καραϊσκος, Μεταφρ.) Αθήνα: Παπασωτηρίου.

Wilamowski, B., & Irwin, D. (2011). *Industrial Communication Systems*. CRC Press.

Zurawski, R. (2015). *Industrial Communication Technology Handbook*. CRC Press.

Μαραντίδης, Ν. (2000). *Αυτοματισμός με SIMATIC S7*. Αθήνα: SIEMENS.



9. Παραρτήματα

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ «Α» Σχέδια και Καλωδίωση Συστήματος Ελέγχου Επιστομίων Δικτύων Πλοίου

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ «Β» Πρόγραμμα PLC

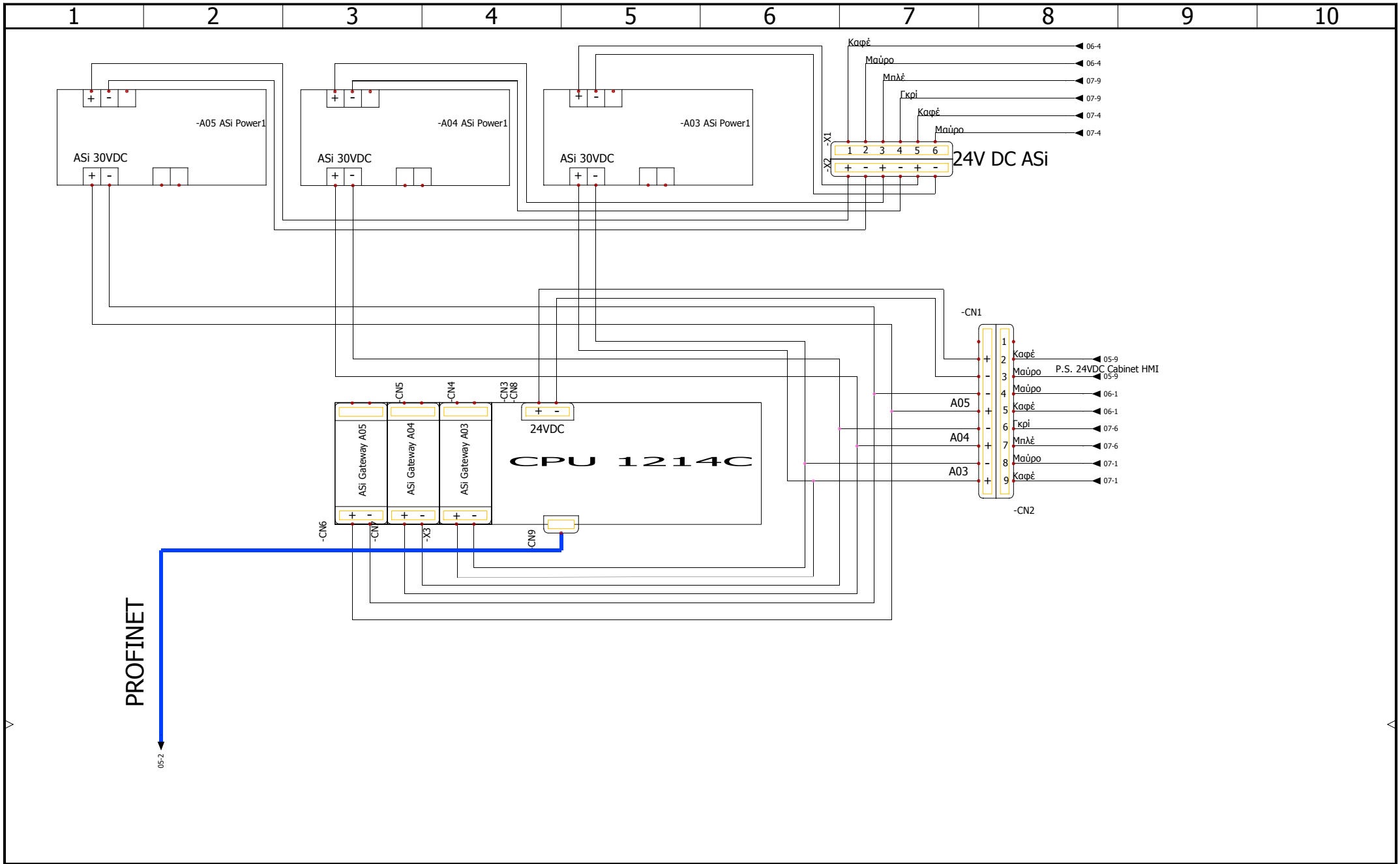
10. Πίνακας Εικόνων

ΕΙΚΟΝΑ 1 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ SCADA ΠΗΓΗ: HTTP://OVSYSLIMITED.COM/SCADAPLCL/	15 -
ΕΙΚΟΝΑ 2 ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ BUS (MCCRADY, 2013, Ρ. 16)	18 -
ΕΙΚΟΝΑ 3 ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ ΑΣΤΕΡΑ (STAR) (MCCRADY, 2013, Ρ. 17)	19 -
ΕΙΚΟΝΑ 4 ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ ΔΑΚΤΥΛΙΟΥ (TOKEN RING) (MCCRADY, 2013, Ρ. 17).....	19 -
ΕΙΚΟΝΑ 5: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΓΛΩΣΣΑΣ LADDER DIAGRAM ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ STEP 7 ΜΕΣΑ ΣΤΟ TIA PORTAL V15	30 -
ΕΙΚΟΝΑ 6 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΓΛΩΣΣΑΣ FBD ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ STEP 7 ΜΕΣΑ ΣΤΟ TIA PORTAL V15	31 -
ΕΙΚΟΝΑ 7 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΓΛΩΣΣΑΣ SFC (S7-GRAPH) ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ STEP 7 ΜΕΣΑ ΣΤΟ TIA PORTAL V15 (BERGER H., 2017, Ρ. 504).....	32 -
ΕΙΚΟΝΑ 8 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΓΛΩΣΣΑΣ IL (STL) ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ STEP 7 ΜΕΣΑ ΣΤΟ TIA PORTAL V15.....	33 -
ΕΙΚΟΝΑ 9 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΓΛΩΣΣΑΣ ST (SCL) ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ STEP 7 ΜΕΣΑ ΣΤΟ TIA PORTAL V15.....	34 -
ΕΙΚΟΝΑ 10 SIEMENS CPU 1214C DC/DC/DC.....	43 -
ΕΙΚΟΝΑ 11 CPU & ΜΟΝΑΔΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΗΣ S7-1200 ((SIEMENS, 2018, Ρ. 30))	45 -
ΕΙΚΟΝΑ 12 ΠΥΡΑΜΙΔΑ ΔΙΚΤΥΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ (ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΙΤΗΡΗΣΗΣ & ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΜΣ ΝΕΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ ΚΑΙ ΤΙΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ).....	46 -
ΕΙΚΟΝΑ 13 ASI POWER SUPPLY (ZURAWSKI, 2015, ΡΡ. 6-3).....	49 -
ΕΙΚΟΝΑ 14 OSI MODEL ΚΑΙ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ASI (SUNIT KUMAR SEN, 2014, Σ. 215)	50 -
ΕΙΚΟΝΑ 15 ΚΑΛΩΔΙΟ ASI (ZURAWSKI, 2015)	51 -
ΕΙΚΟΝΑ 16 APM - MAN CODE (ZURAWSKI, 2015, ΡΡ. 6-7).....	54 -
ΕΙΚΟΝΑ 17 AS-I CONFIGURATIONS (REYNDERS, 2005, Ρ. 272)	54 -
ΕΙΚΟΝΑ 18 ΤΗΛΕΓΡΑΦΗΜΑ MASTER & SLAVE AS-I (SUNIT KUMAR SEN, 2014, Ρ. 216).....	56 -
ΕΙΚΟΝΑ 19 MASTER REQUEST (ZURAWSKI, 2015, ΡΡ. 6-10)	57 -
ΕΙΚΟΝΑ 20 SLAVE RESPONSE (ZURAWSKI, 2015, ΡΡ. 6-11)	57 -
ΕΙΚΟΝΑ 21 MASTER REQUEST EXTENDED ADDRESS MODE (ZURAWSKI, 2015, ΡΡ. 6-11)	58 -
ΕΙΚΟΝΑ 22 ΚΥΡΙΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΛΛΗΛΟΥΧΙΑΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΝΟΣ SLAVE (ZURAWSKI, 2015, ΣΣ. 6-20).....	60 -
ΕΙΚΟΝΑ 23 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ CONTROL & MONITORING	62 -
ΕΙΚΟΝΑ 24 ΔΟΜΗ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΠΙΣΤΟΜΙΩΝ.....	64 -
ΕΙΚΟΝΑ 25 ΔΟΜΗ ΔΙΚΤΥΟΥ AS-I ΜΕ MASTER & SLAVES.....	65 -
ΕΙΚΟΝΑ 26 ΥΛΙΚΟ & ΔΙΚΤΥΩΣΗ ΝΕΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	68 -
ΕΙΚΟΝΑ 27 NETWORK VIEW ΤΟΥ PLC, HMI, AS-I MASTER & ΔΙΚΤΥΟΥ AS-I ΜΕ ΤΑ SLAVES ΑΠΟ ΤΟ TIA PORTAL	73 -
ΕΙΚΟΝΑ 28 AS-I SLAVE ΜΕΣΑ ΣΤΟ TIA PORTAL V15	75 -
ΕΙΚΟΝΑ 29 ΑΡΧΙΚΗ ΣΕΛΙΔΑ HMI	78 -
ΕΙΚΟΝΑ 30 ΔΙΚΤΥΟ ΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΥΔΑΤΟΣ ΠΛΟΙΟΥ ΜΕ ΕΠΙΣΤΟΜΙΑ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ.....	79 -
ΕΙΚΟΝΑ 31 ΣΕΛΙΔΑ ΕΠΙΣΤΟΜΙΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ ΘΑΛΑΣΣΗΣ (ΑΝΤΛΙΑΣ 1) ΜΕ ΒΗΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....	80 -
ΕΙΚΟΝΑ 32 PROGRAM BLOCKS (FC, OB, DB & INSTANCE DB).....	82 -
ΕΙΚΟΝΑ 33 DB52 (DATA BLOCK) ΜΗΝΥΜΑΤΩΝ WA, AL, DI	83 -
ΕΙΚΟΝΑ 34 OB82 DIAGNOSTIC ERROR INTERRUPT.....	84 -

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ "Α"

PROJECT EJANTLHSEVN IEC PROJECT ΕΞΑΝΤΛΗΣΕΩΝ

REV.	DATE	NAME	CHANGES	REVISION
1	25/10/2018	NONDAS	27-10-2018	
0	25/10/2018	NONDAS	1.0	
KATSONIS			NONDAS ALEXANDROPOULOS	1
CONTRACT :			User data 1	PAGE
			User data 2	01



NONDAS ALEXANDROPOULOS

PROJECT ΕΞΑΝΤΛΗΣΕΩΝ

REVISION

1	25/10/2018	NONDAS	27-10-18
0	25/10/2018	NONDAS	
REV.	DATE	NAME	CHANGES

1

PAGE

04

CONTRACT:

LOCATION:

+PLC S7-1200 BOARD

Main electrical closet

User data 1

User data 2

SIEMENS SIMATIC
KEY TOUCH PANEL
KTP700

PROFINET (LAN)
X1

USB
X60

DC24V
X80

PROFINET

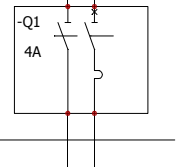
POWER SUPPLY PM1207
Input:100-240VAC
Output:24VDC

-24VDC OUT

-100-240VAC INPUT

-X7 1
-X7 2
-X7 3
-X7 4
-X7 5
-X7 6

04-8
04-8



Λευκό Καλώδιο
από μηρίζα 115VAC

NONDAS ALEXANDROPOULOS

PROJECT ΕΞΑΝΤΛΗΣΕΩΝ

REVISION

1	25/10/2018	NONDAS	27-10-18
0	25/10/2018	NONDAS	
REV.	DATE	NAME	CHANGES

1

PAGE

05

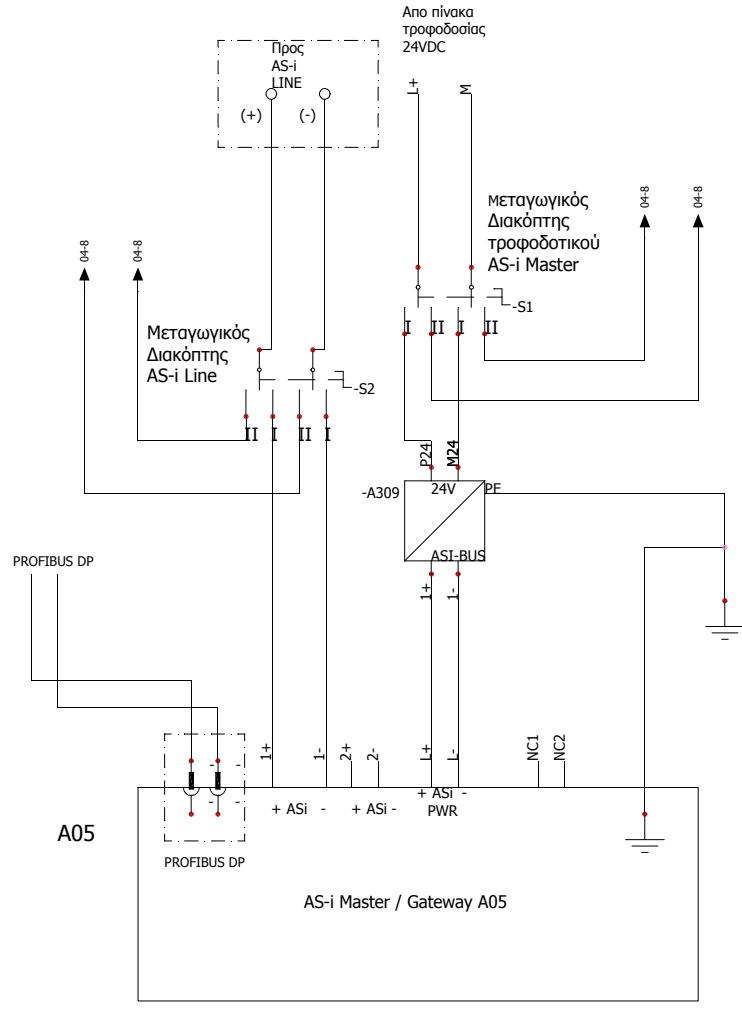
CONTRACT:

LOCATION:

+HMI BOARD

User data 1

User data 2



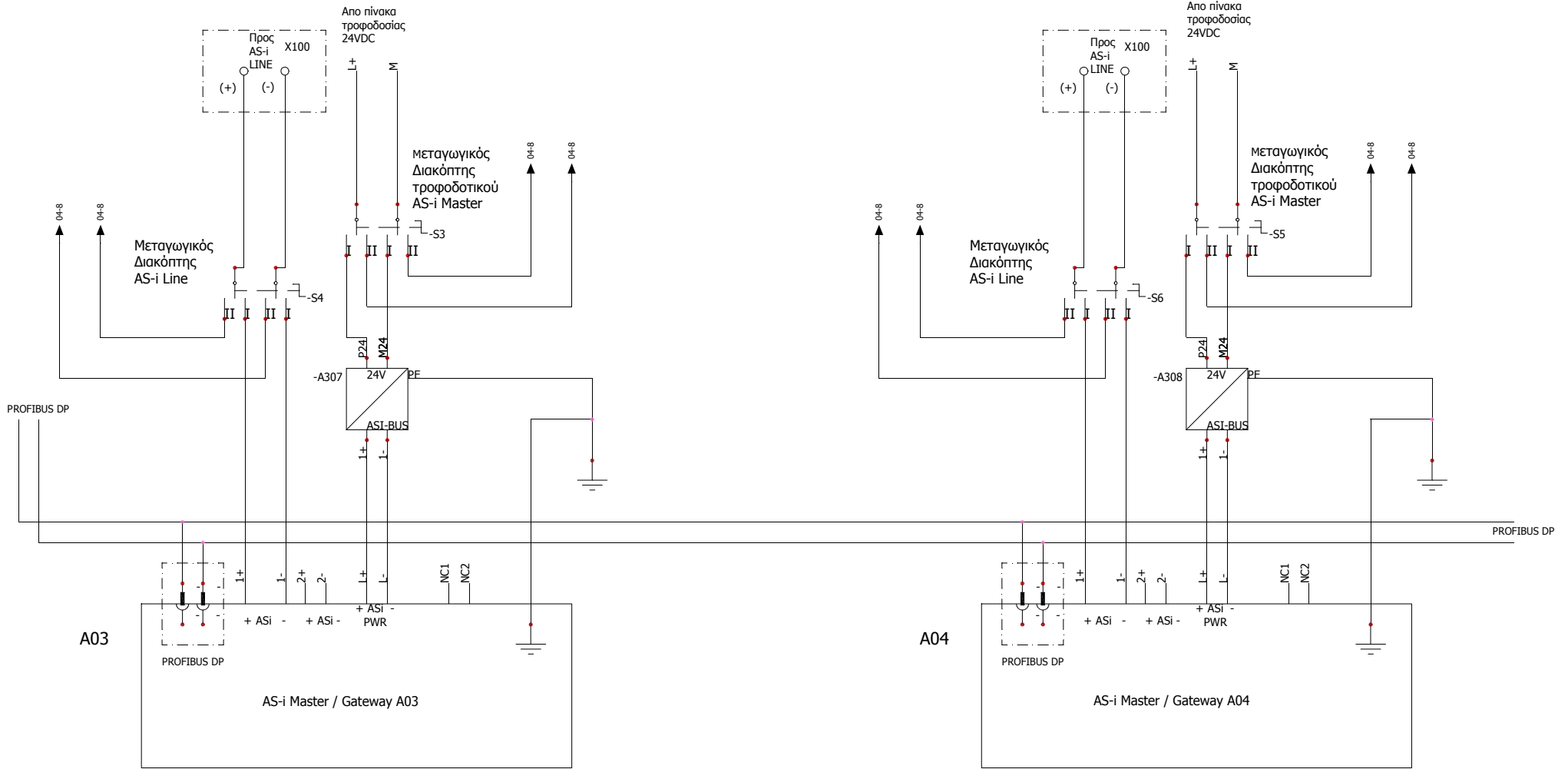
NONDAS ALEXANDROPOULOS

PROJECT ΕΞΑΝΤΛΗΣΕΩΝ

REVISION
1
PAGE
06

1	25/10/2018	NONDAS	27-10-18
0	25/10/2018	NONDAS	
REV.	DATE	NAME	CHANGES
User data 1			User data 2

CONTRACT: LOCATION: Ship Board



NONDAS ALEXANDROPOULOS

PROJECT ΕΞΑΝΤΛΗΣΕΩΝ

REVISION

1	27/10/2018	NONDAS	27-10-2018
0	25/10/2018	NONDAS	27-10-18
REV.	DATE	NAME	CHANGES

1

PAGE

07

CONTRACT:

LOCATION: +SHIP BOARD

User data 1

User data 2

Program blocks

Main [OB1]

Main Properties

General

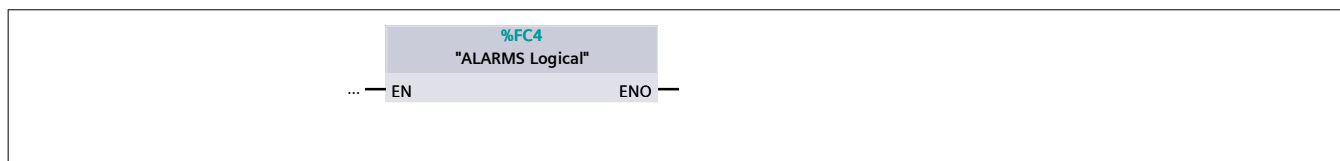
Name	Main	Number	1	Type	OB
Language	FBD	Numbering	Automatic		

Information

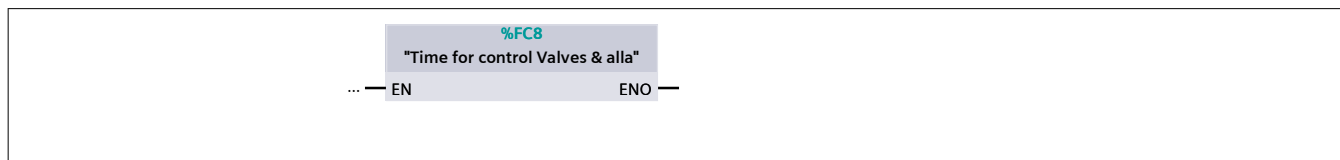
Title	"Main Program Sweep (Cycle)"	Author		Comment	
Family		Version	0.1	User-defined ID	

Name	Data type	Default value
▼ Input		
Initial_Call	Bool	
Remanence	Bool	
Temp		
Constant		

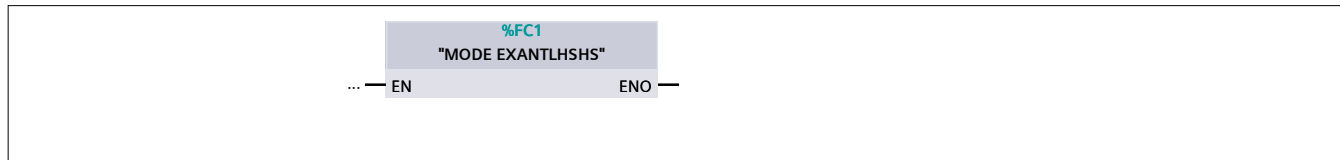
Network 1:



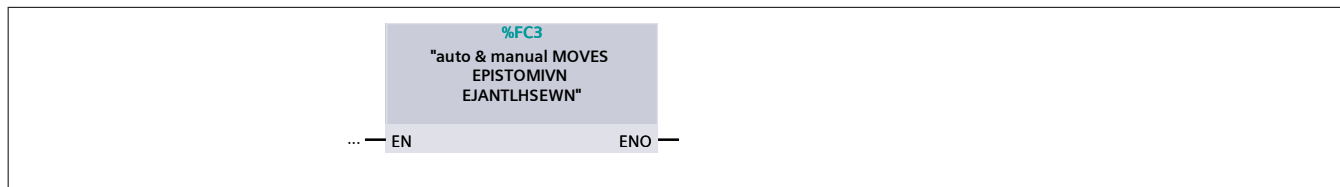
Network 2:



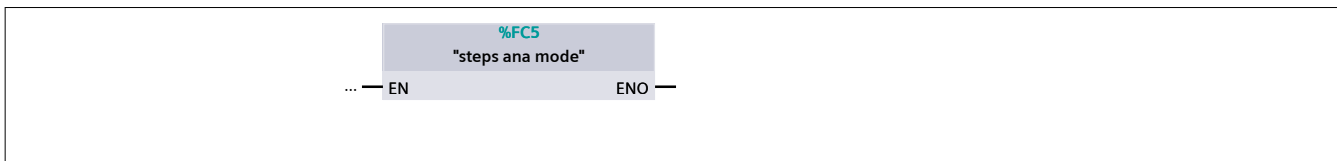
Network 3:



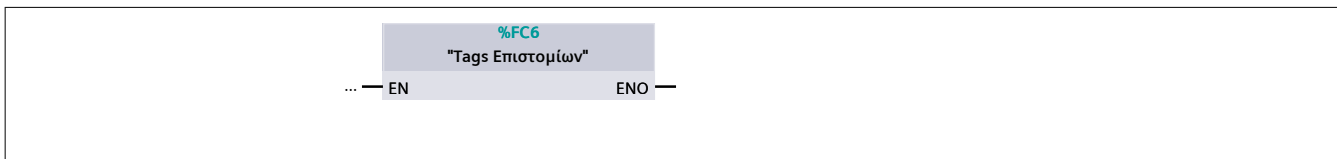
Network 4:



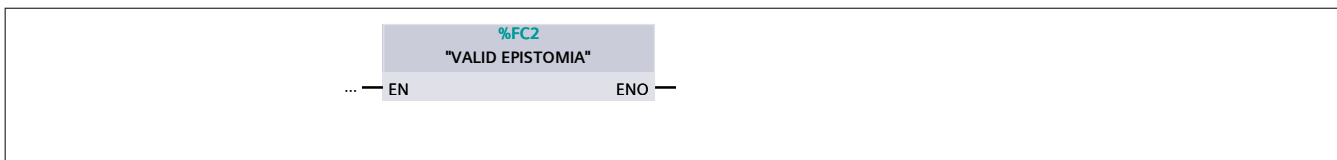
Network 5:



Network 6:



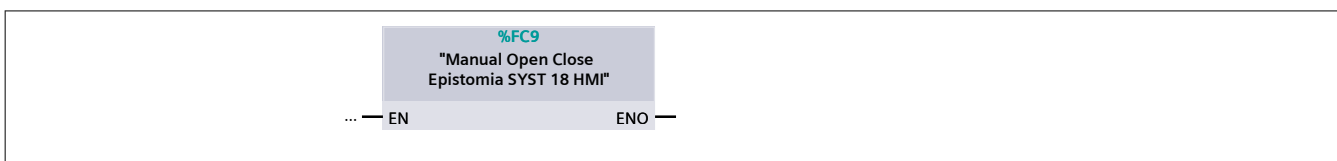
Network 7:



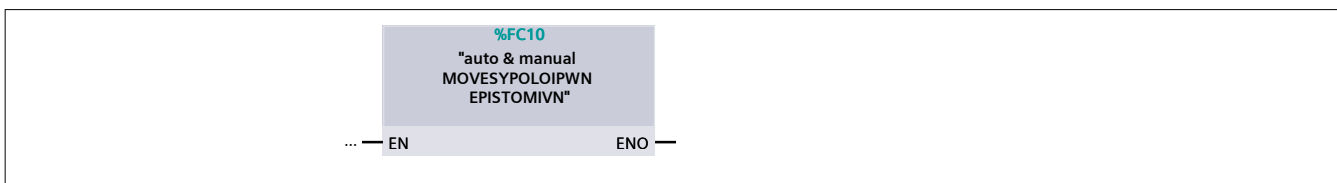
Network 8:



Network 9:



Network 10:



Program blocks

MODE EXANTLHSHS [FC1]

MODE EXANTLHSHS Properties

General

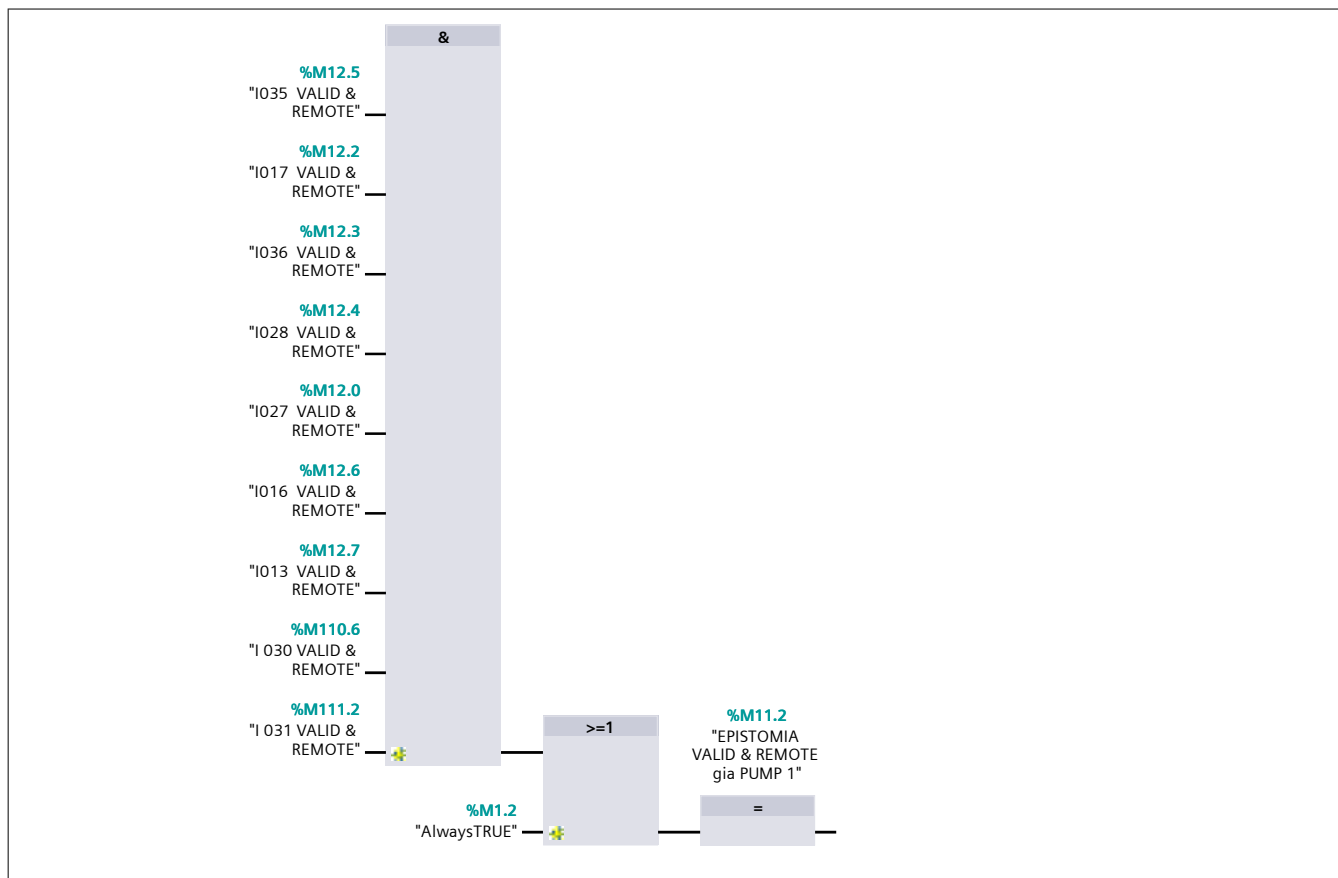
Name	MODE EXANTLHSHS	Number	1	Type	FC
Language	FBD	Numbering	Automatic		

Information

Title		Author		Comment	
Family		Version	0.1	User-defined ID	

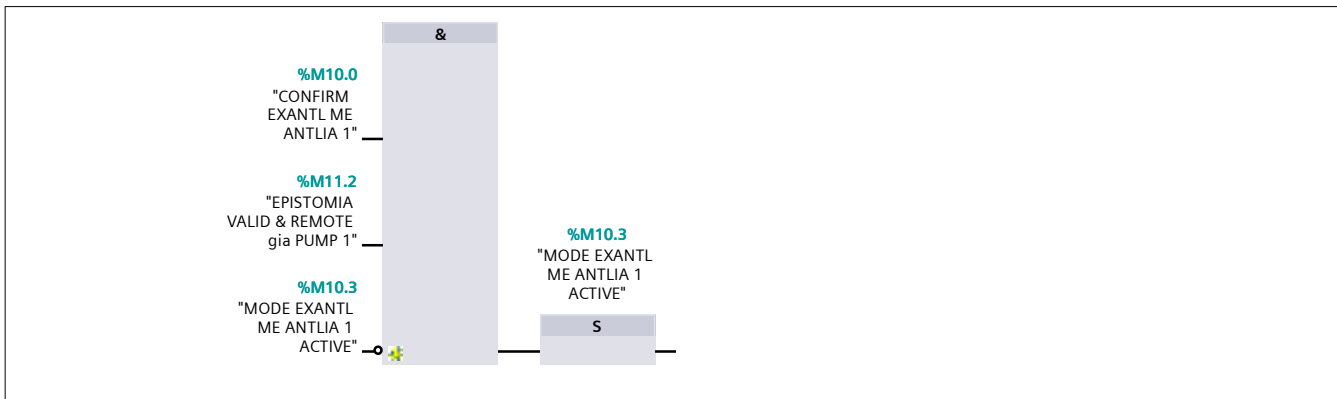
Name	Data type	Default value
Input		
Output		
InOut		
Temp		
Constant		
▼ Return		
MODE EXANTLHSHS	Void	

Network 1: CHECK EPISTOMIVN GIA PUMP 1



Network 2: ΕΝΤΟΛΗ ΕΞΑΝΤΛΗΣΗΣ ΚΥΤΟΥΣ ΜΕ ΑΝΤΛΙΑ No1 START

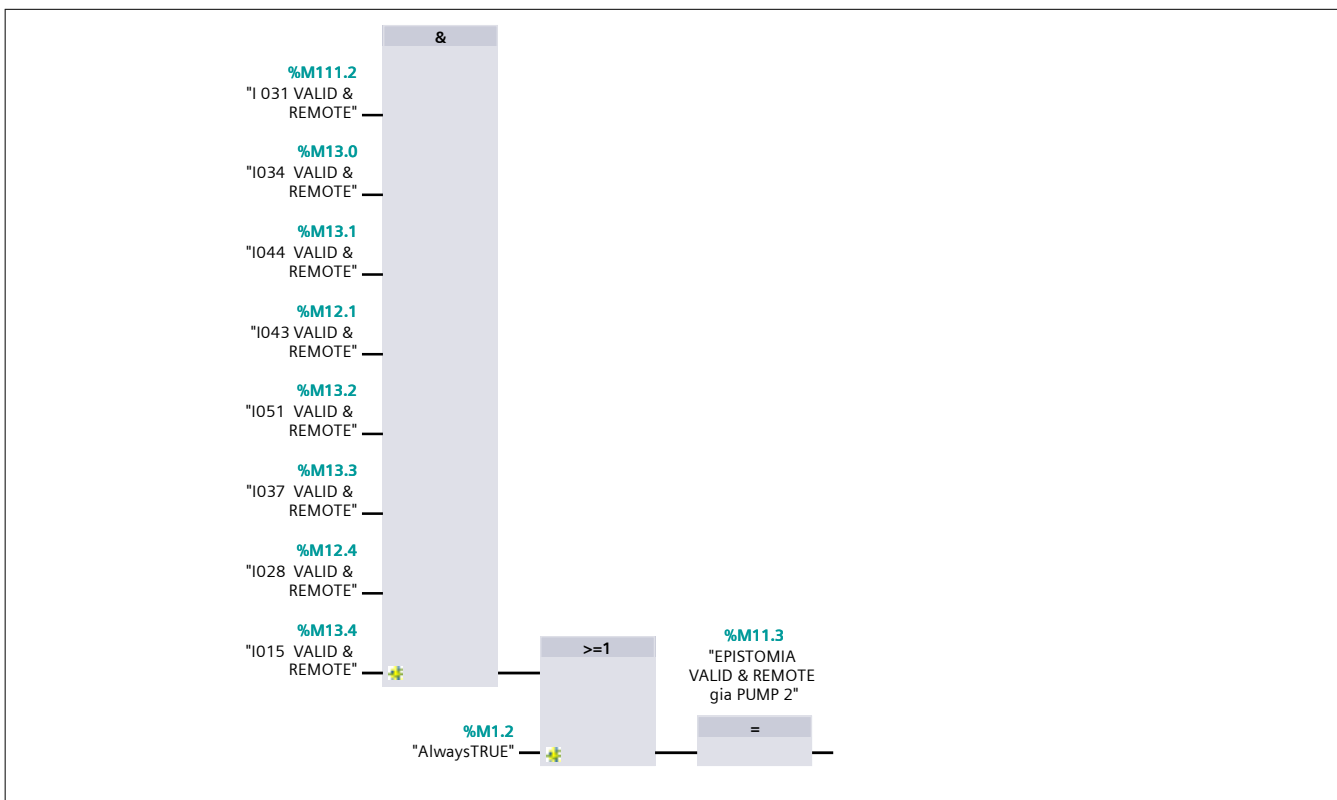
Το M10.0 ("CONFIRM EXANTL ME ANTLIA 1") γίνεται SET από το HMI και γι'αυτό το κάνω Reset σε αυτό το Network, γιατί δεν το θέλω μόνιμα set αλλά θέλω απλά ένα click (δηλ να γίνει 1 για ένα κύκλο μόνο)



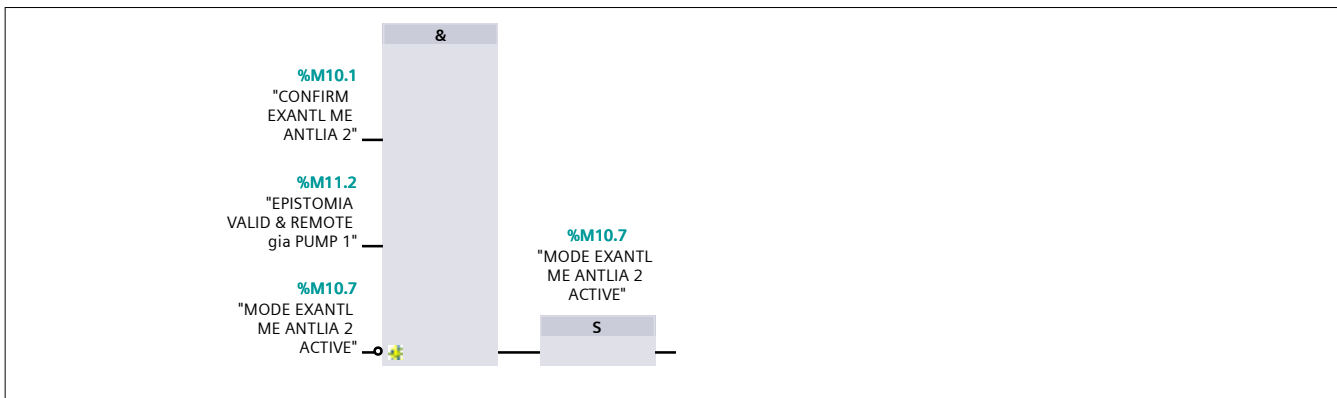
Network 3: ΕΝΤΟΛΗ ΕΞΑΝΤΛΗΣΗΣ ΚΥΤΟΥΣ ΜΕ ΑΝΤΛΙΑ Νο1 STOP



Network 4: CHECK EPISTOMIVN GIA MODE 2



Network 5: ΕΝΤΟΛΗ ΕΞΑΝΤΛΗΣΗΣ ΚΥΤΟΥΣ ΜΕ ΑΝΤΛΙΑ Νο2 START



Network 6: ΕΝΤΟΛΗ ΕΞΑΝΤΛΗΣΗΣ ΚΥΤΟΥΣ ΜΕ ΑΝΤΛΙΑ Νο2 STOP



Program blocks

VALID EPISTOMIA [FC2]

VALID EPISTOMIA Properties

General

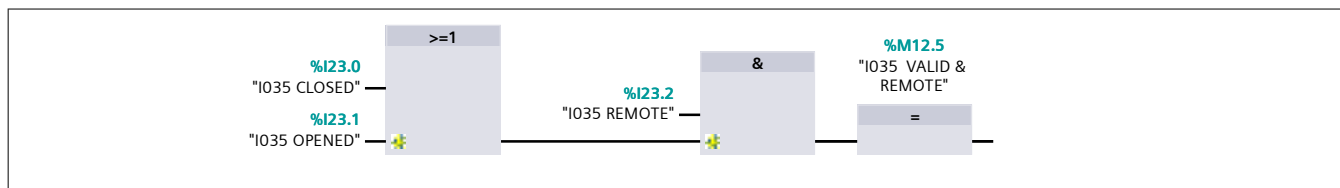
Name	VALID EPISTOMIA	Number	2	Type	FC
Language	FBD	Numbering	Automatic		

Information

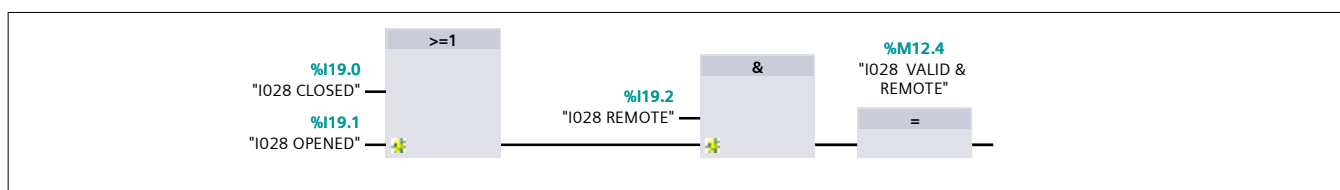
Title		Author		Comment	
Family		Version	0.1	User-defined ID	

Name	Data type	Default value
Input		
Output		
InOut		
Temp		
Constant		
▼ Return		
VALID EPISTOMIA	Void	

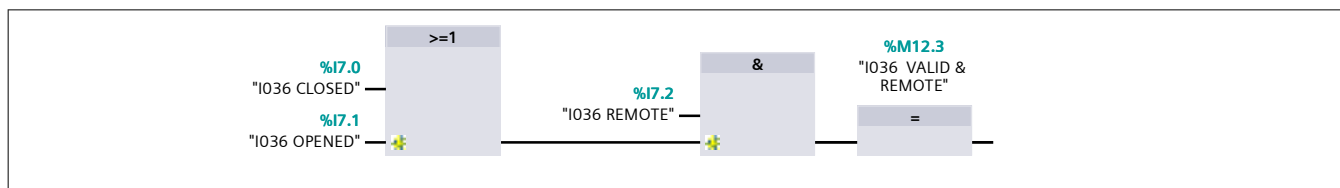
Network 1: I035 VALID & REMOTE



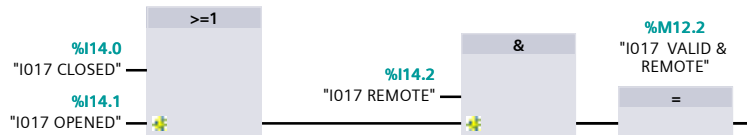
Network 2: I028 VALID & REMOTE



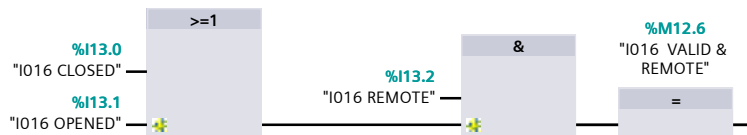
Network 3: I036 VALID & REMOTE



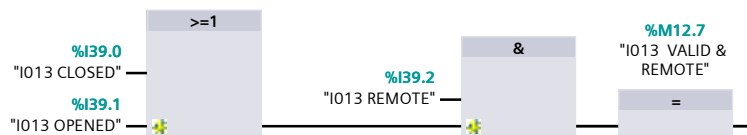
Network 4: I017 VALID & REMOTE



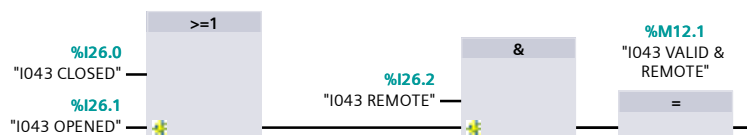
Network 5: I016 VALID & REMOTE



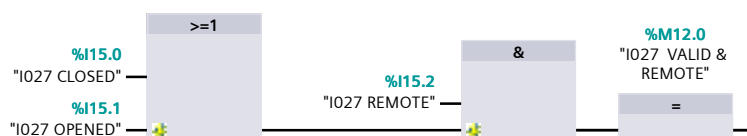
Network 6: I013 VALID & REMOTE



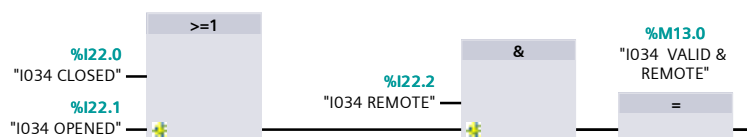
Network 7: I043 VALID & REMOTE



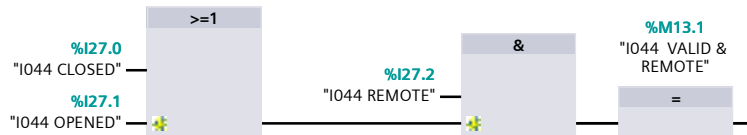
Network 8: I027 VALID & REMOTE



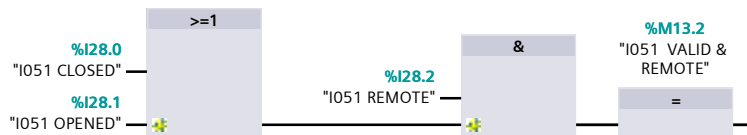
Network 9: I034 VALID & REMOTE



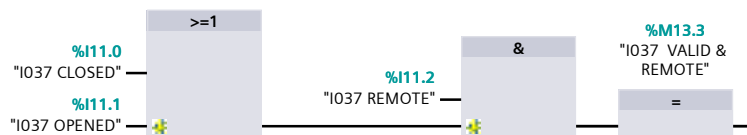
Network 10: I044 VALID & REMOTE



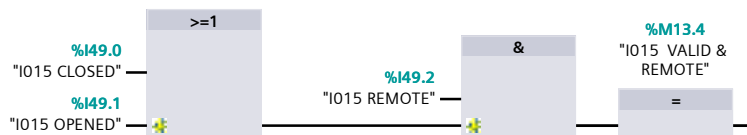
Network 11: I051 VALID & REMOTE



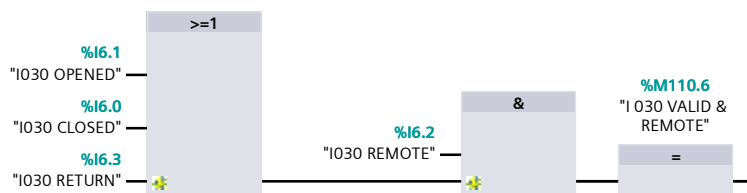
Network 12: I037 VALID & REMOTE



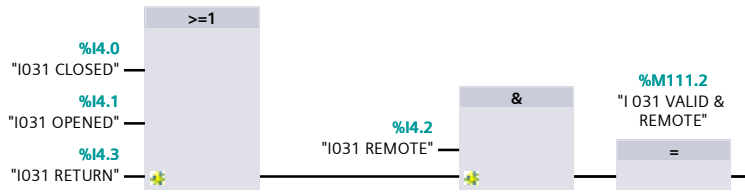
Network 13: I015 VALID & REMOTE



Network 14: I 030 VALID & REMOTE



Network 15: I 031 VALID & REMOTE



Program blocks

auto & manual MOVES EPISTOMIVN EJANTLHSEWN [FC3]

auto & manual MOVES EPISTOMIVN EJANTLHSEWN Properties

General

Name	auto & manual MOVES EPISTOMIVN EJANTLH-SEWN	Number	3	Type	FC
-------------	---	---------------	---	-------------	----

Language	FBD	Numbering	Automatic
-----------------	-----	------------------	-----------

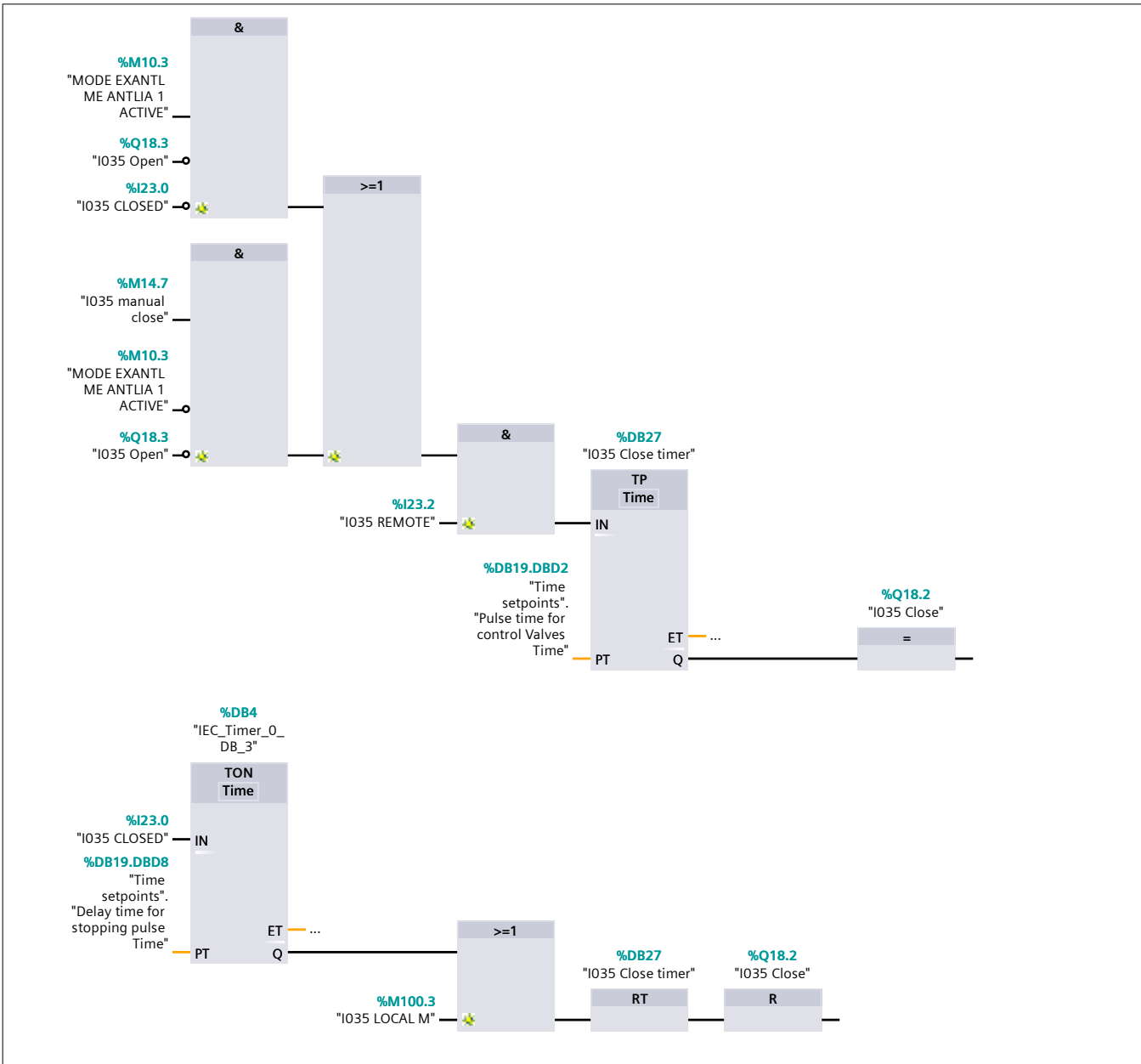
Information

Title		Author		Comment	
Family		Version	0.1	User-defined ID	

Name	Data type	Default value
Input		
Output		
InOut		
Temp		
Constant		
▼ Return		
auto & manual MOVES EPISTOMIVN EJANTLH-SEWN	Void	

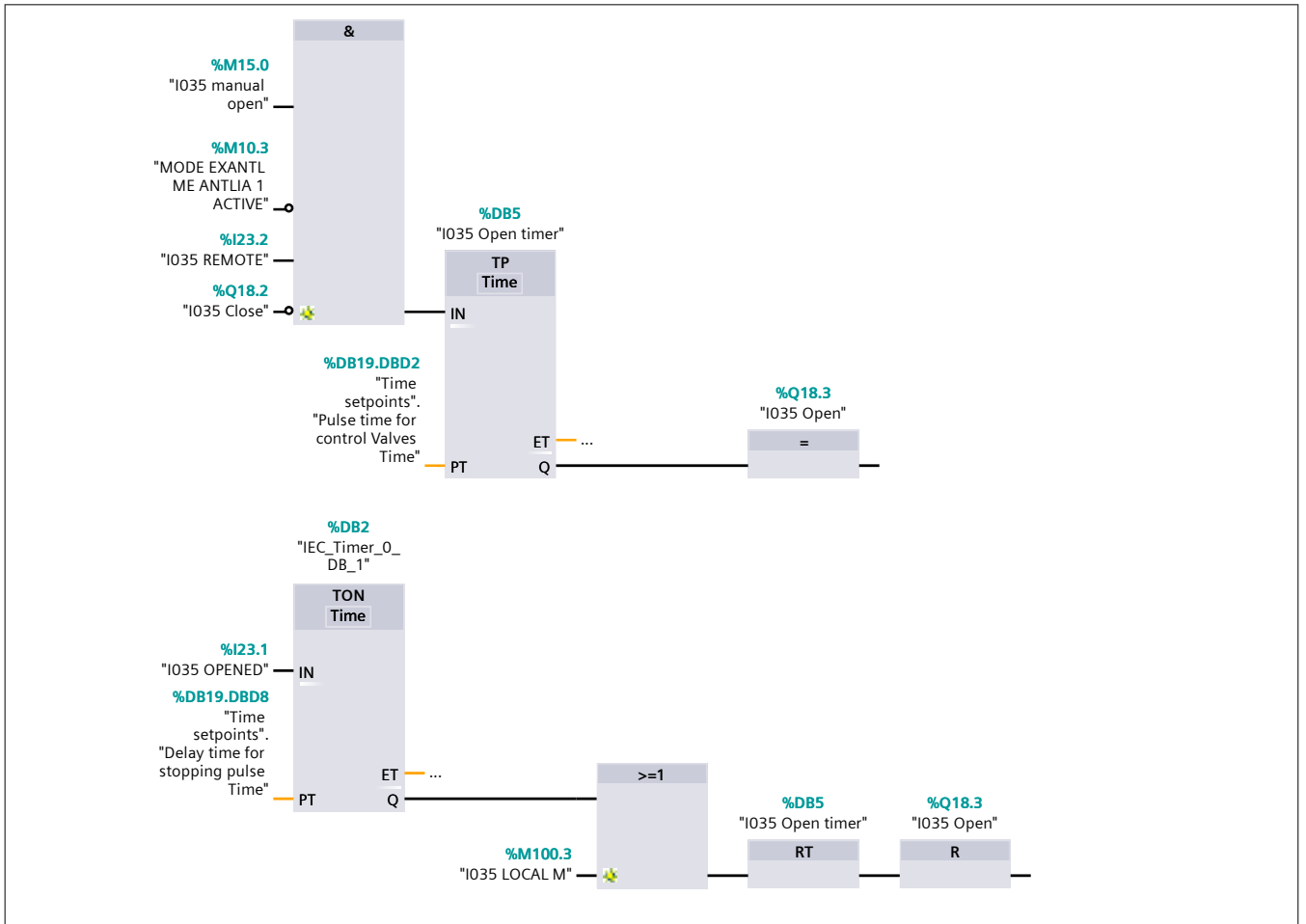
Network 1: I035 Close

Η εντολή δίνεται στο MODE 1 & Manual...

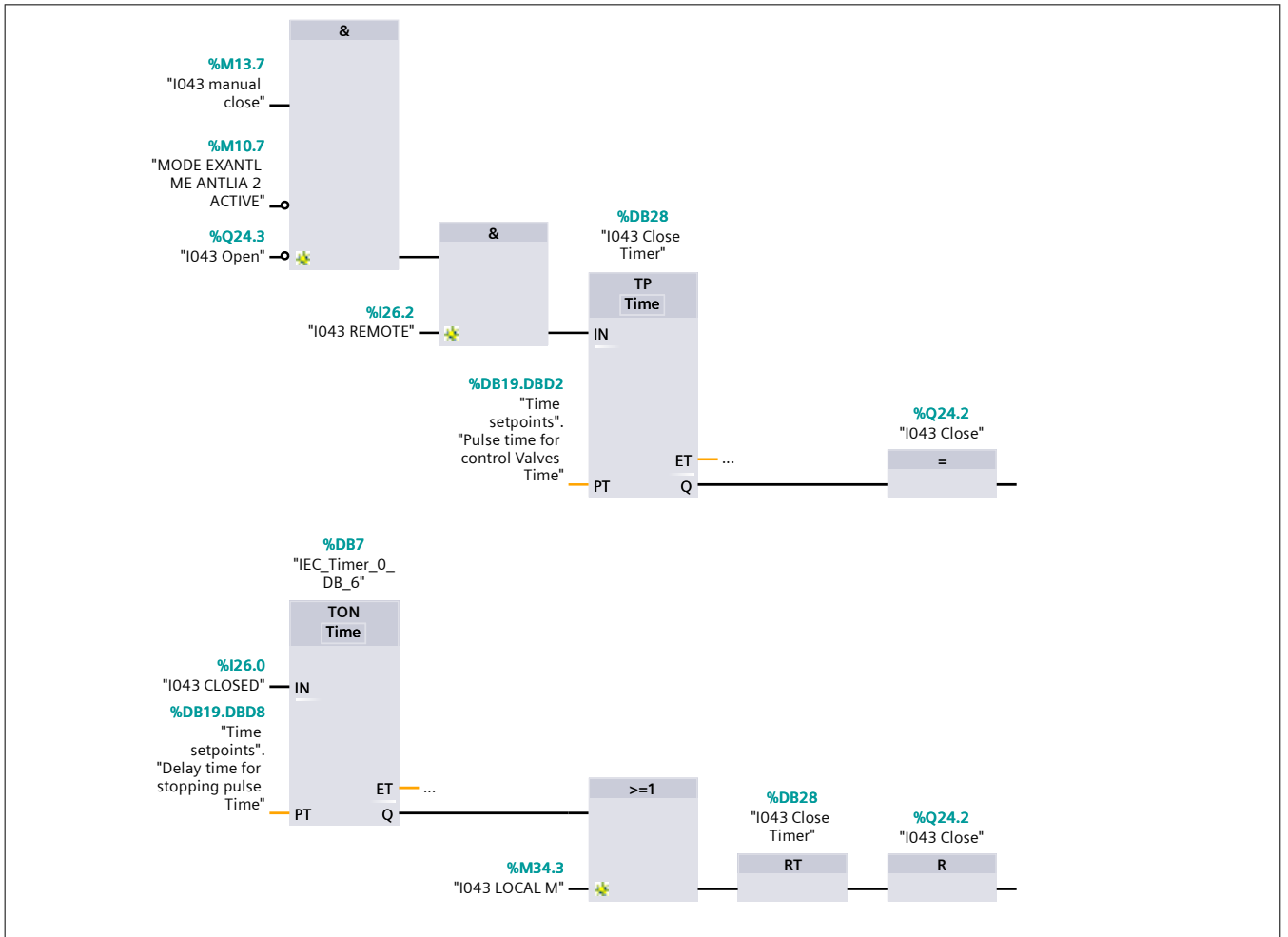


Network 2: I035 Open

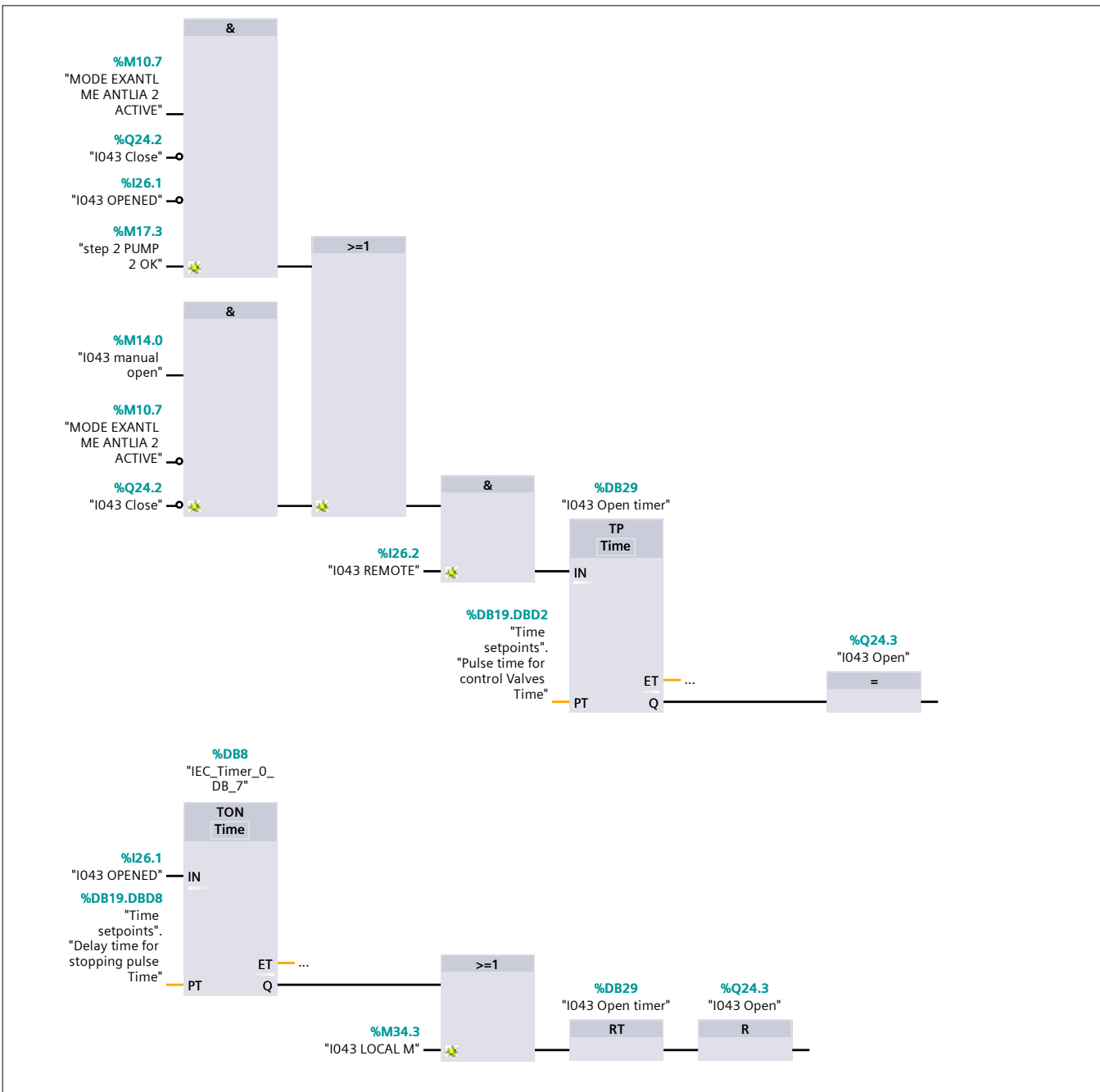
To I035 λαμβάνει εντολή Open μόνο Manual



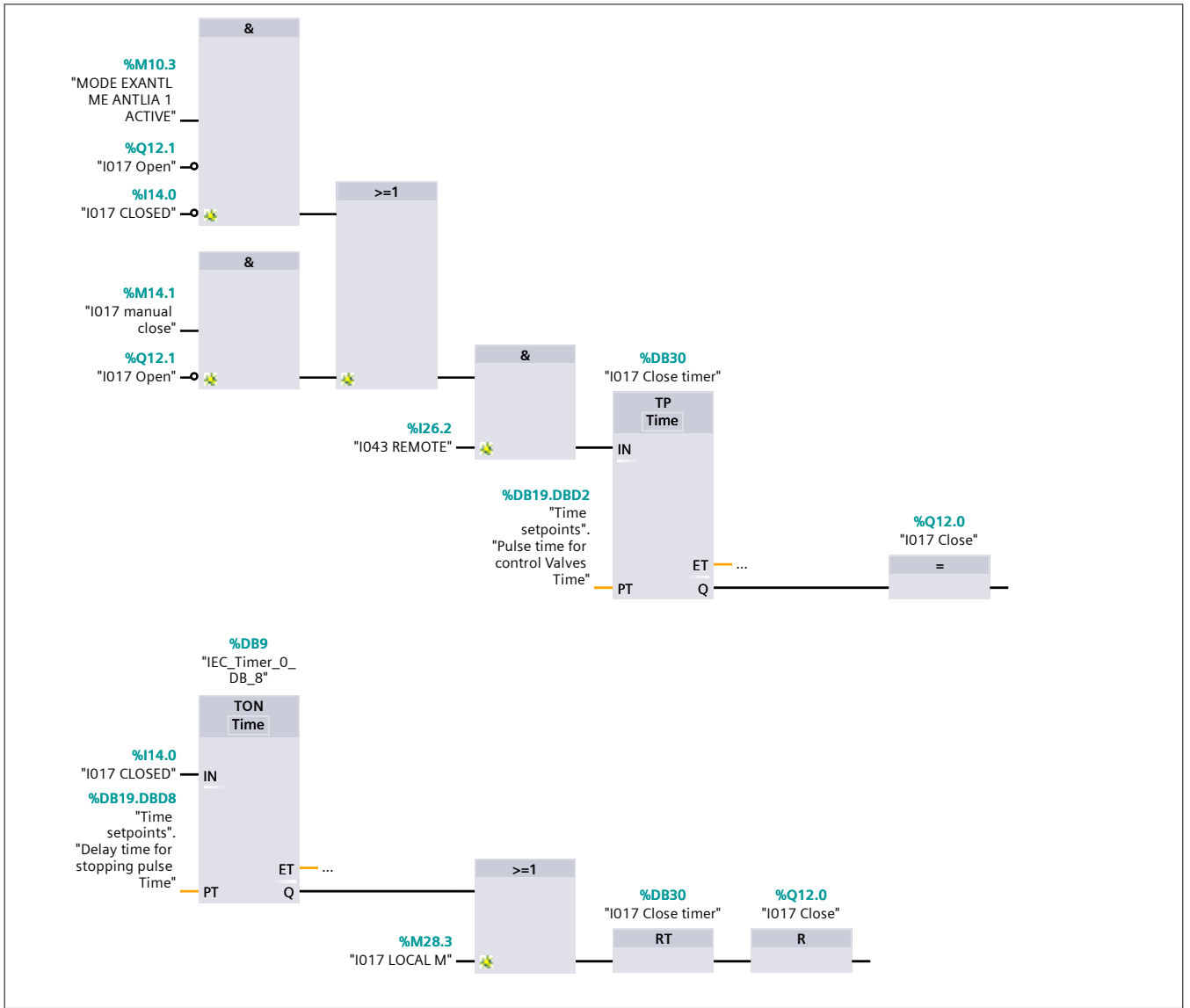
Network 3: I043 Close



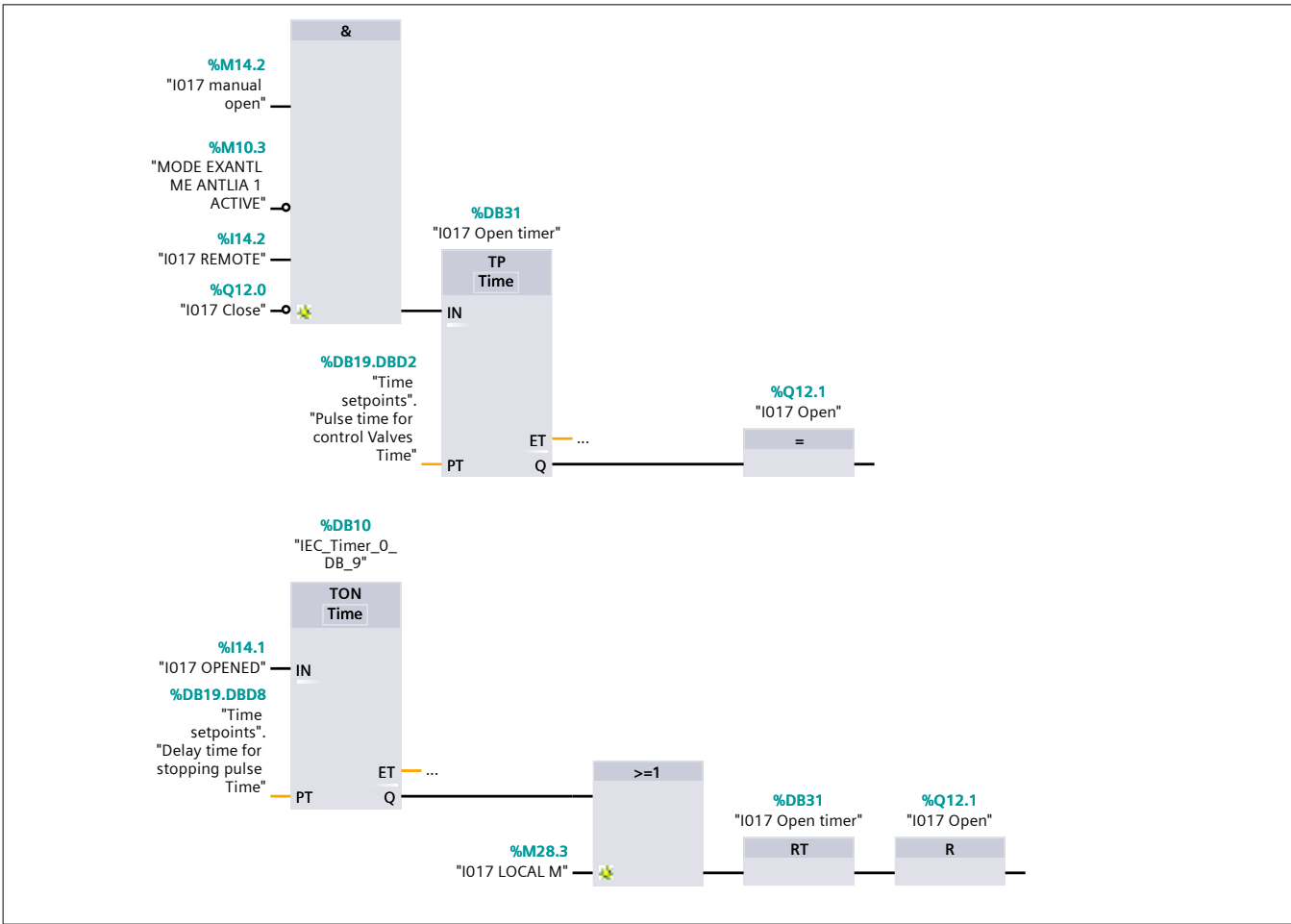
Network 4: I043 Open



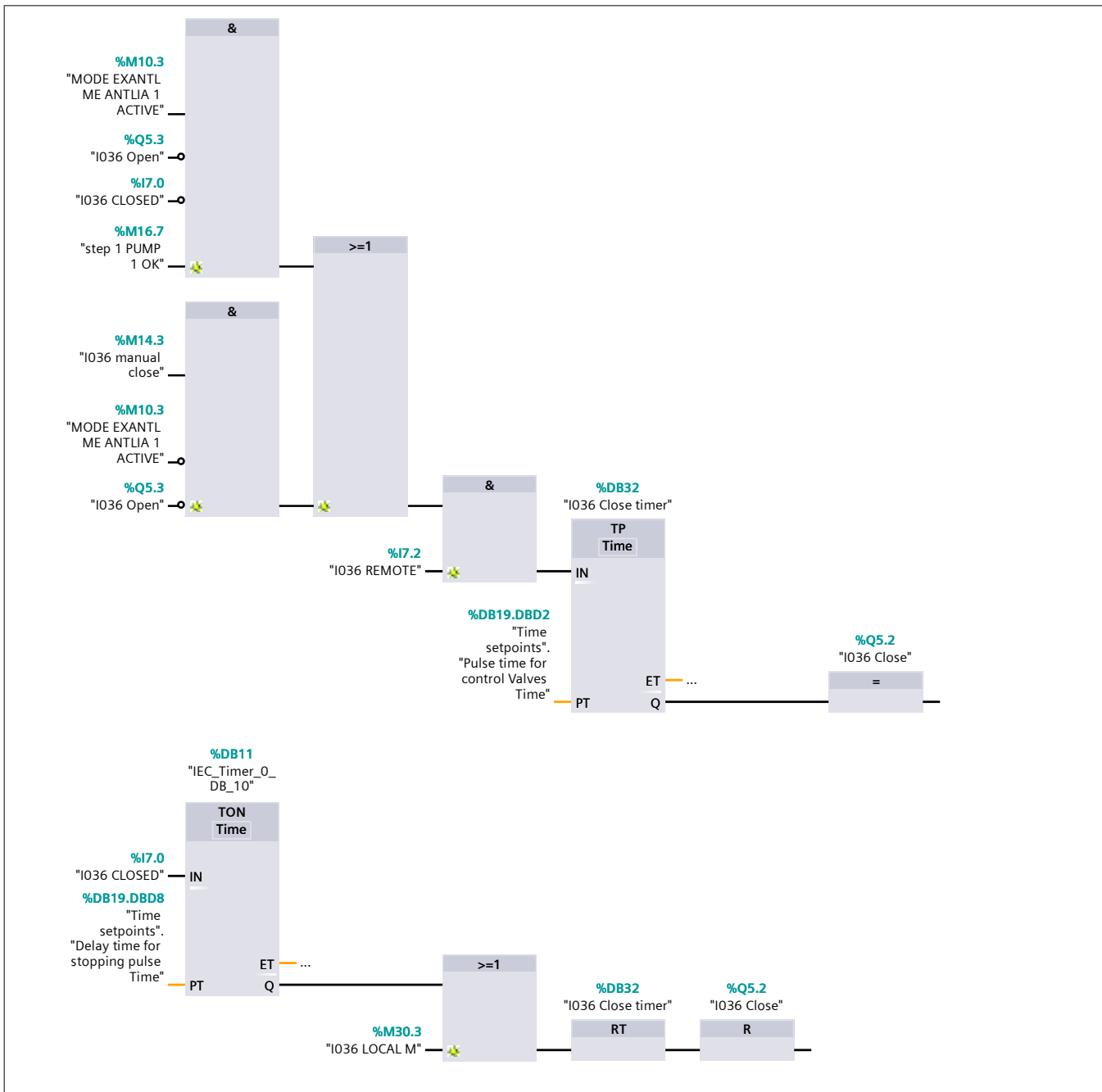
Network 5: I017 Close



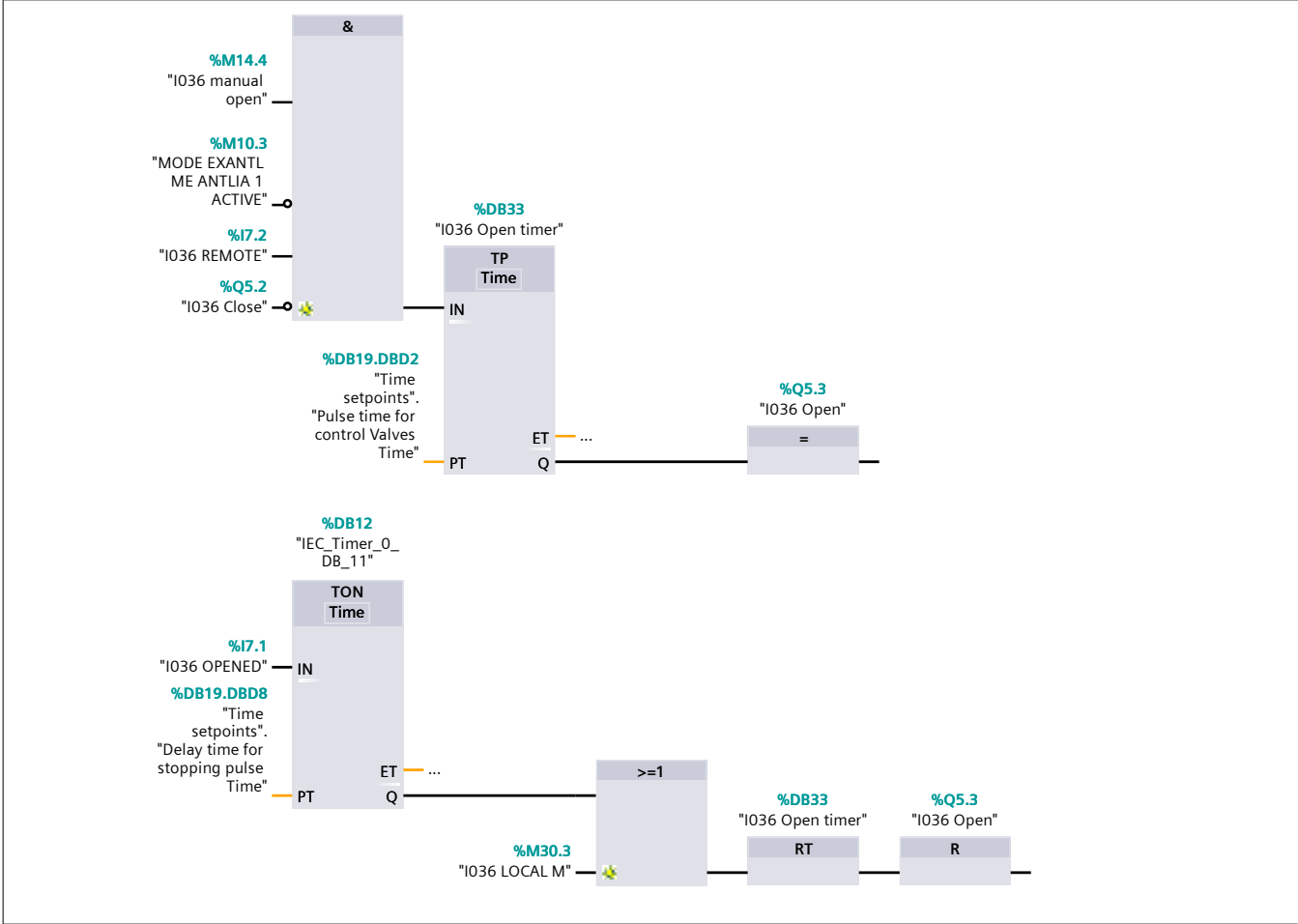
Network 6: I017 Open



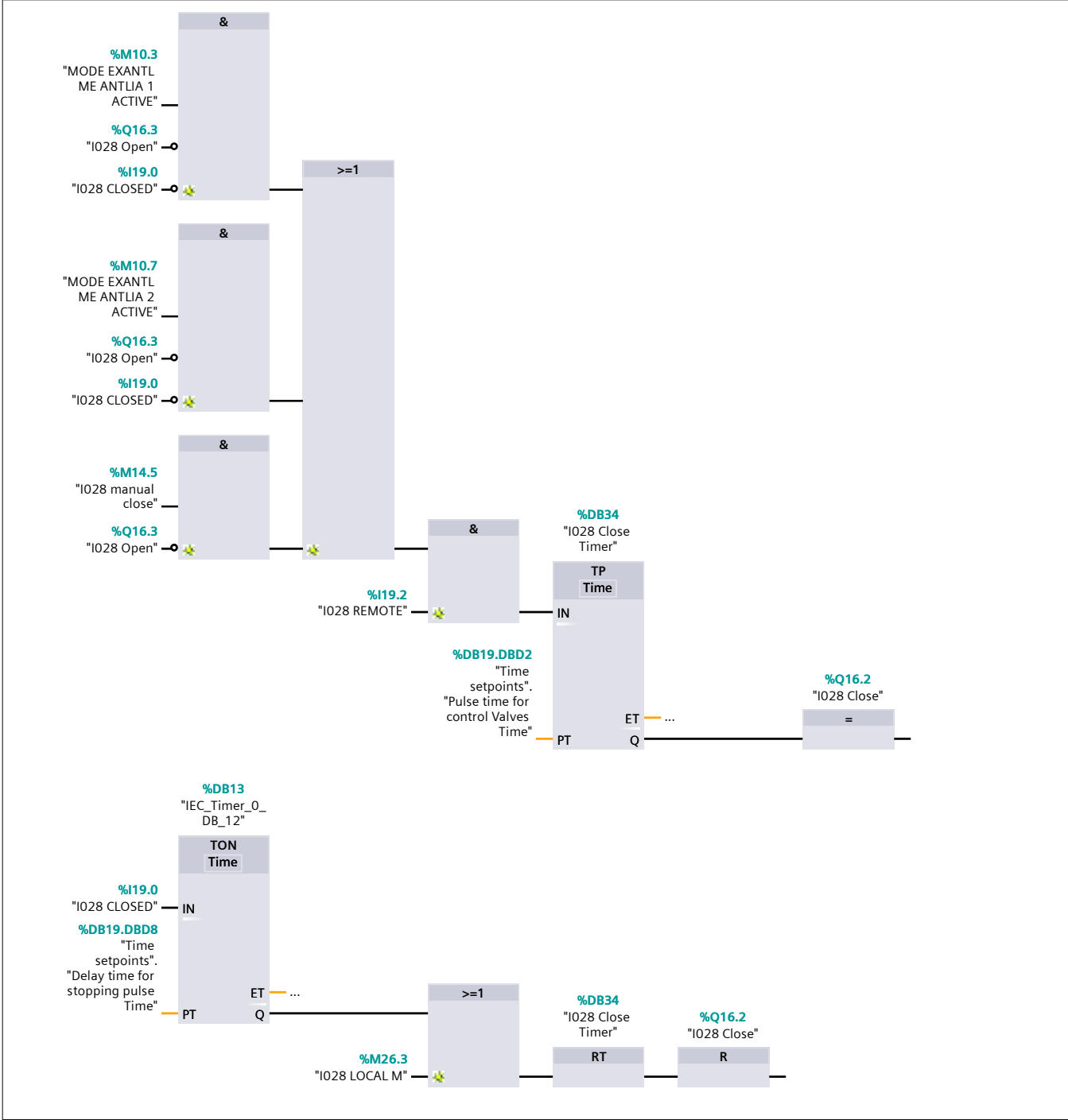
Network 7: I036 Close



Network 8: I036 Open

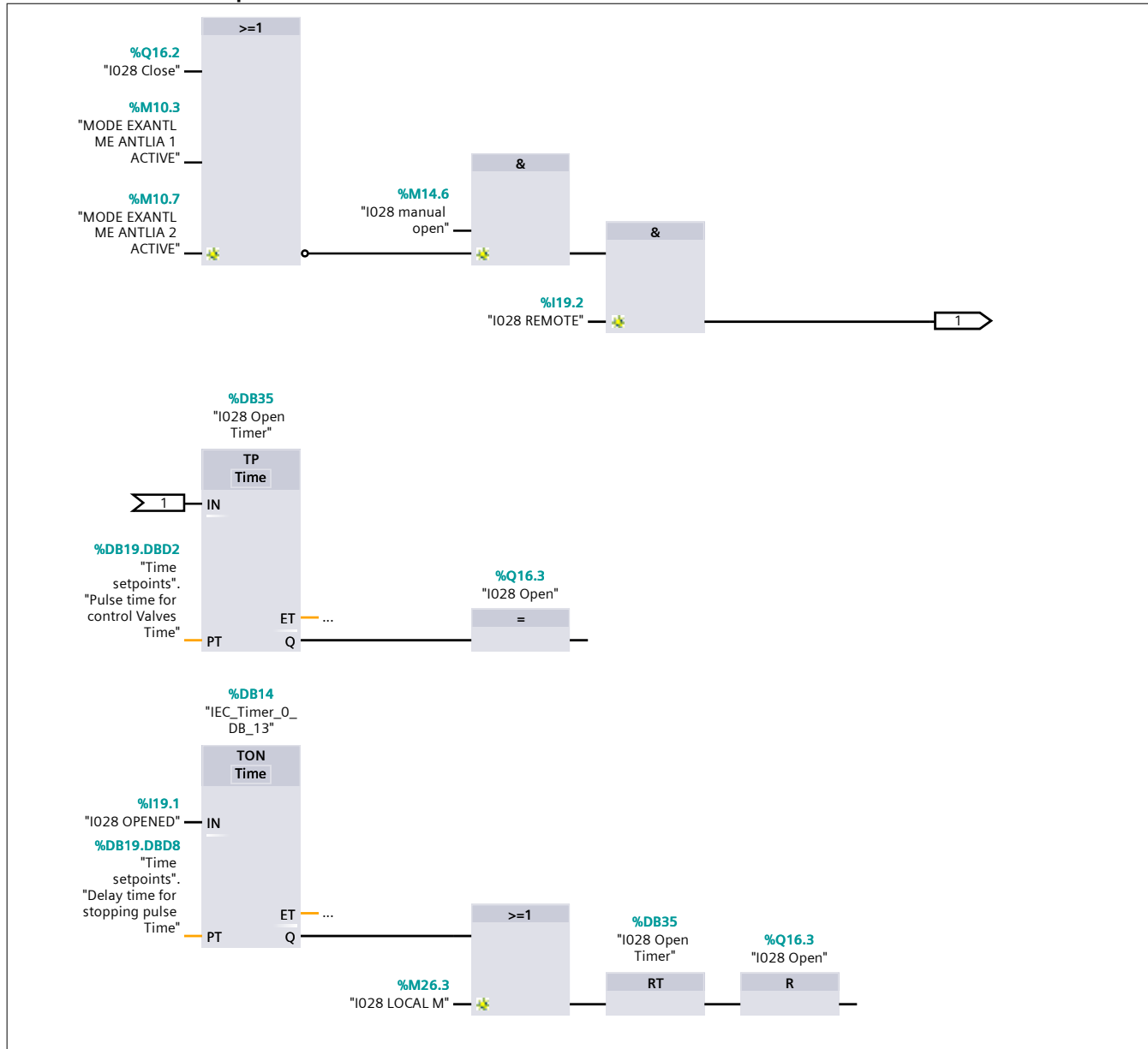


Network 9: I028 Close



Network 10: I028 Open

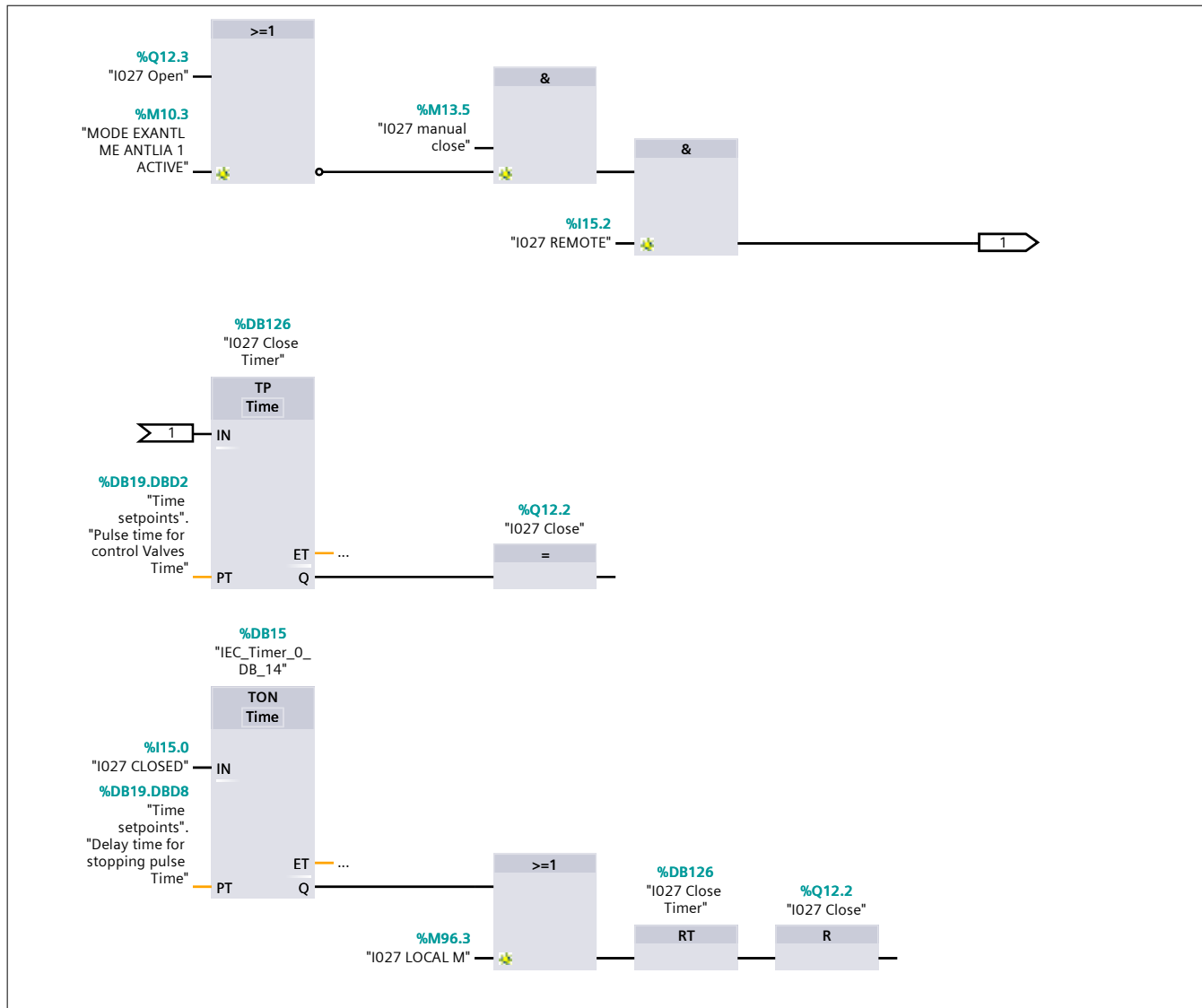
Network 10: I028 Open



Network 11: I027 Close

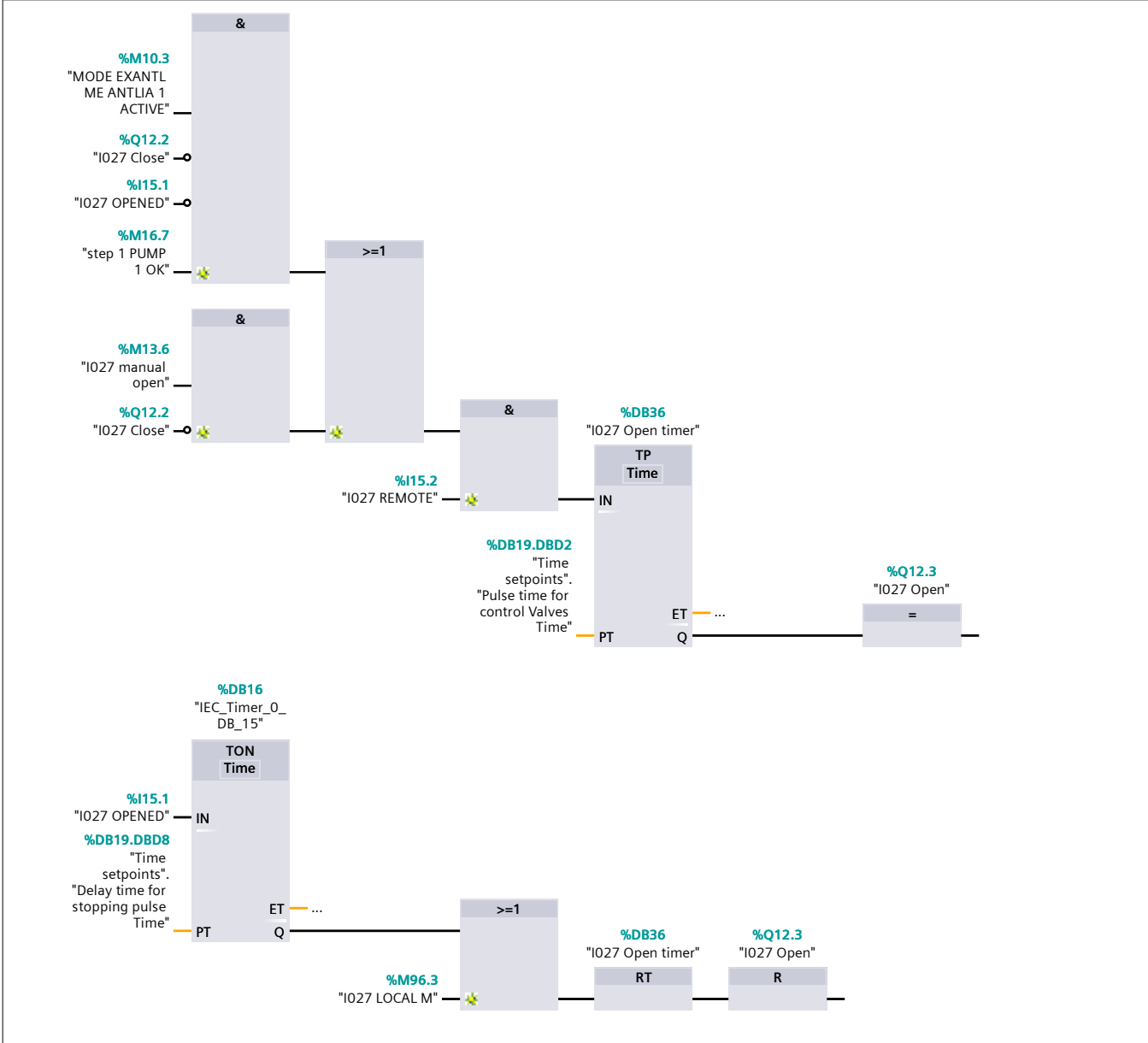


Network 11: I027 Close

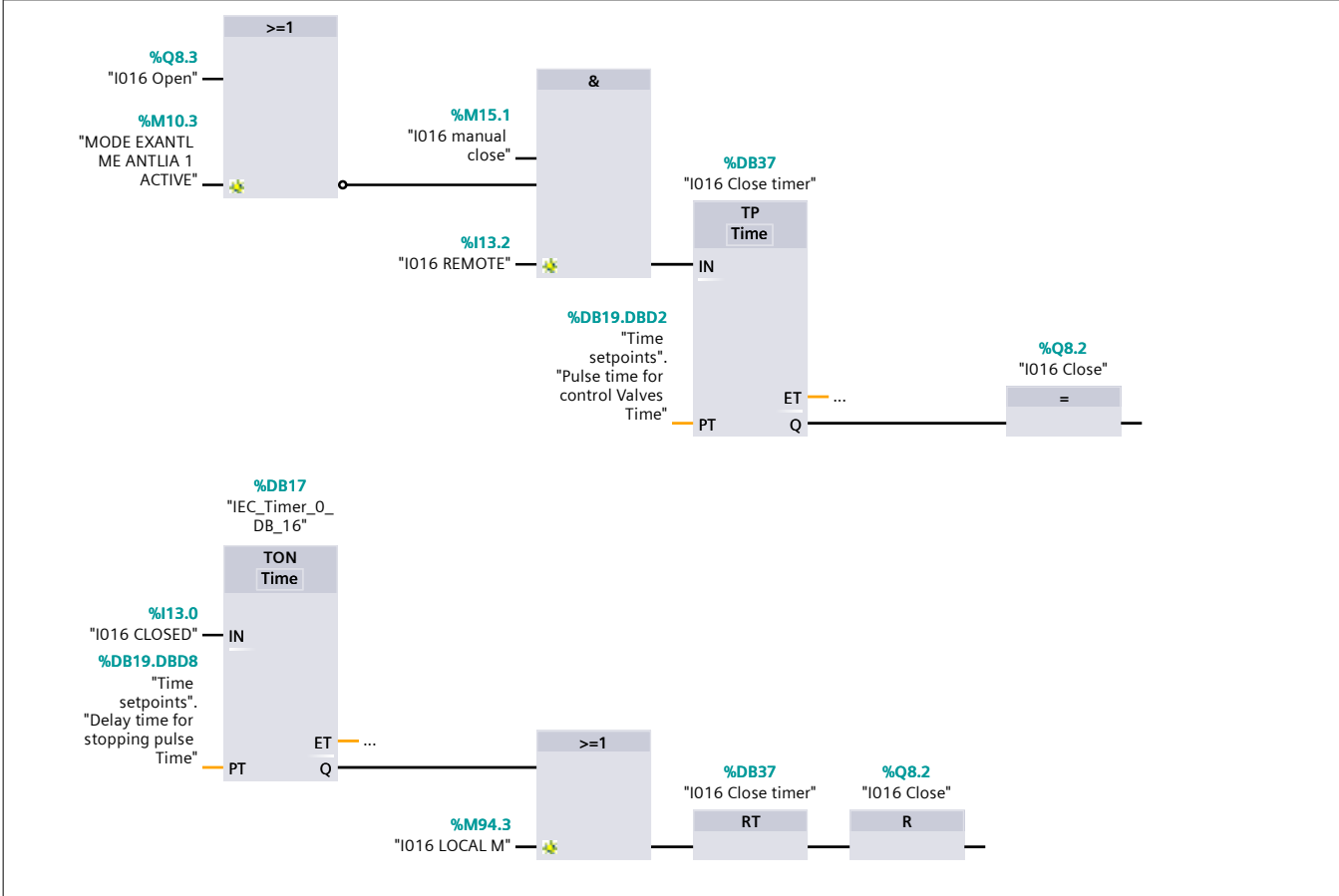


Network 12: I027 Open

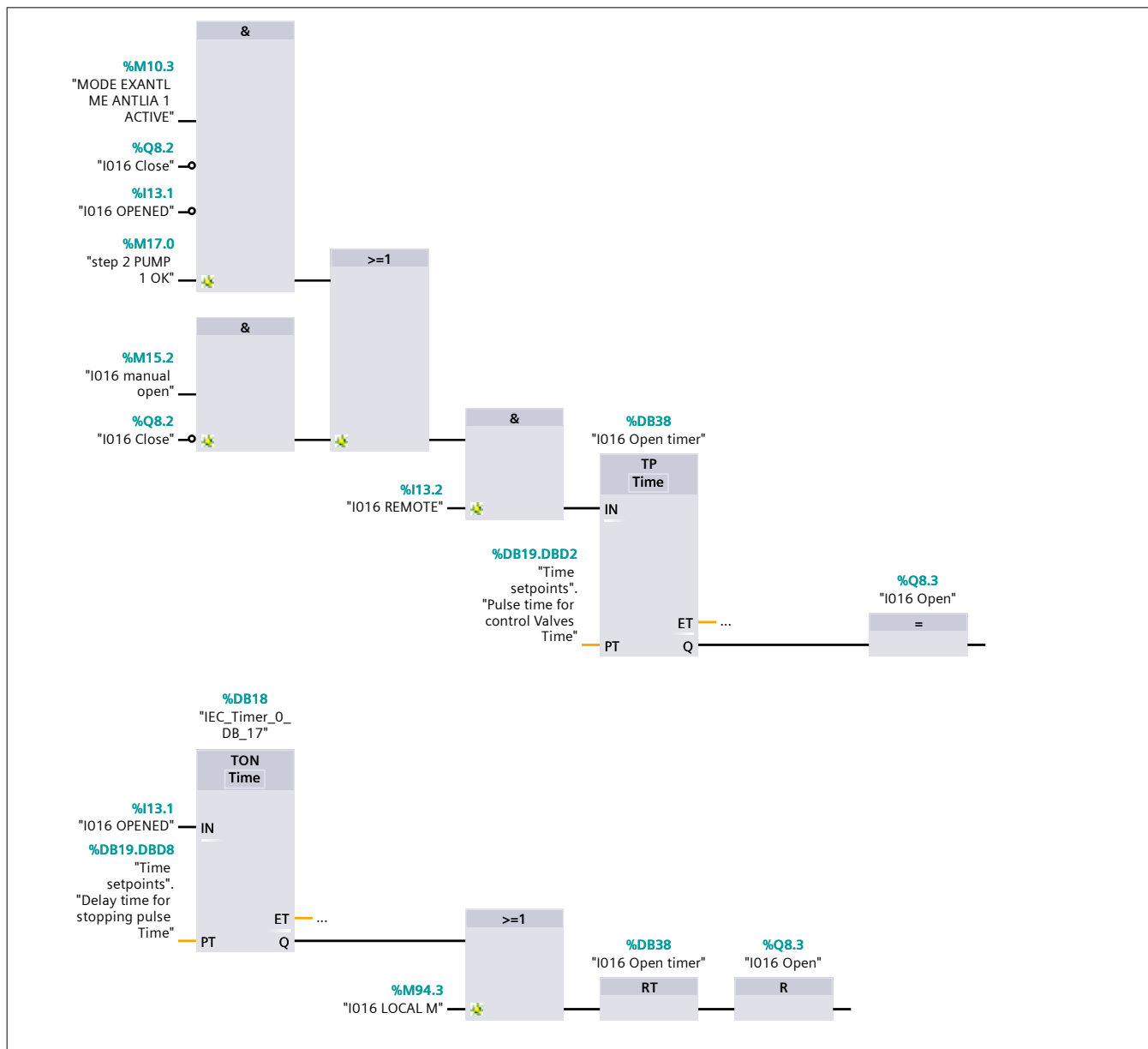




Network 13: I016 Close



Network 14: IO16 Open



Network 15: I013 Open (Μόνο Open γιατί είναι δεύτερο επί ανθεκτικού)

Το I013 ανοίγει με 3 τρόπους.

1ος τρόπος:

Όταν ενεργοποιηθεί η εξάντληση με την αντλία 1 (MODE 1) και δεν είναι ανοικτό ή δεν δίνεται εντολή open και να έχουν εκτελεστεί και τα προηγούμενα step.

2ος τρόπος:

Όταν ενεργοποιηθεί η εξάντληση με την αντλία 1 & 2 (MODE 1 & 2) και δεν είναι ανοικτό ή δεν δίνεται εντολή open.-----ΔΕΝ ΙΣΧΥΕΙ ΠΛΕΟΝ-----

3ος τρόπος:

manual open υπό την προϋπόθεση να μην είναι ενεργό κανένα από τα δύο MODE εξάντλησης. "MODE EXANTL ME ANTLIA 1 ACTIVE" ή "MODE EXANTL ME ANTLIA 1 & 2 ACTIVE"

***Προϋπόθεση είναι το επιστόμιο να είναι Remote ***

Για να κλείσει το I013 πρέπει να γίνει Reset το open αφού είναι 2ο επί ανθεκτικού.

RESET το open γίνεται όταν:

1ον:

Να δοθεί εντολή manual close και να μην είναι ενεργοποιημένο κάποιο MODE εξάντλησης

2ον:

Όταν δοθεί "stop EXANTL ME ANTLIA 1 & 2" και δεν είναι ενεργοποιημένο το άλλο MODE εξάντλησης ("MODE EXANTL ME ANTLIA 1 ACTIVE")

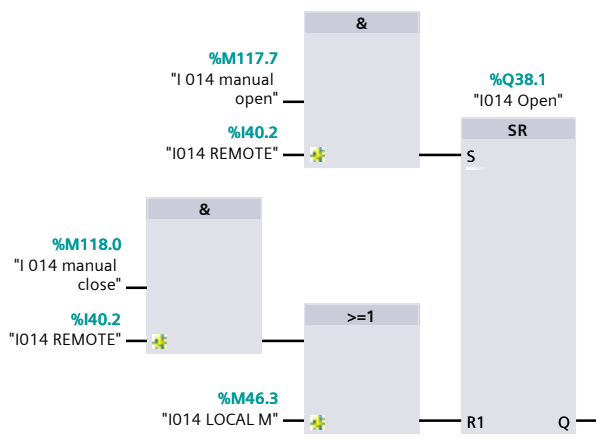
3ον:

Όταν δοθεί "stop EXANTL ME ANTLIA 1" και δεν είναι ενεργοποιημένο το άλλο MODE εξάντλησης ("MODE EXANTL ME ANTLIA 1 & 2 ACTIVE")

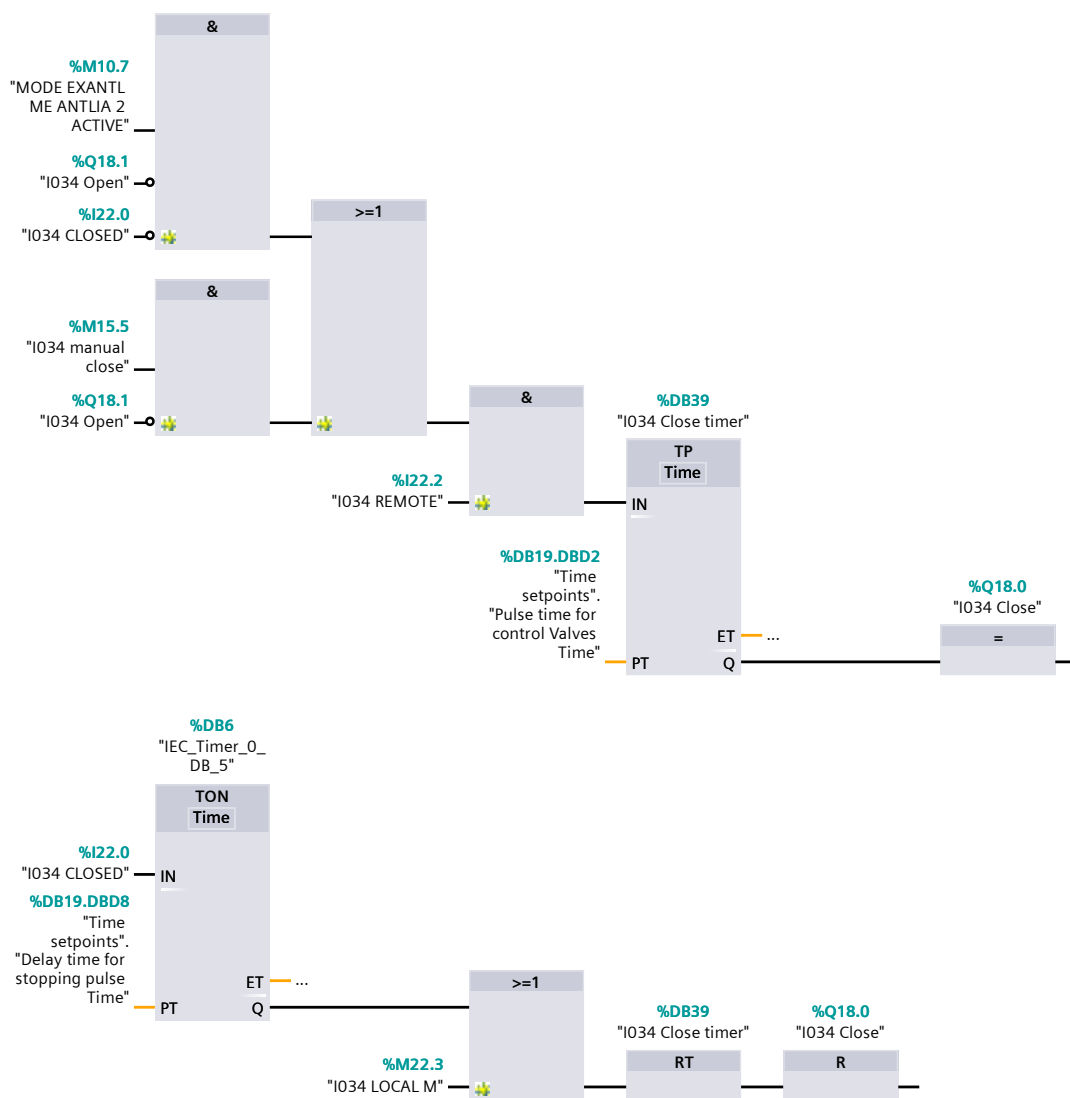
**Αυτό σημαίνει ότι δίνοντας "stop EXANTL ME ANTLIA 1 & 2" κλείνει το I013 εκτός αν είναι ενεργοποιημένο το "MODE EXANTL ME ANTLIA 1 ACTIVE" καθώς επίσης πως δίνοντας "stop EXANTL ME ANTLIA 1" κλείνει το I013 εκτός αν είναι ενεργοποιημένο το "MODE EXANTL ME ANTLIA 1 & 2 ACTIVE"



Network 16: I 014 Open (Μόνο Open γιατί είναι δεύτερο επί ανθεκτικού)

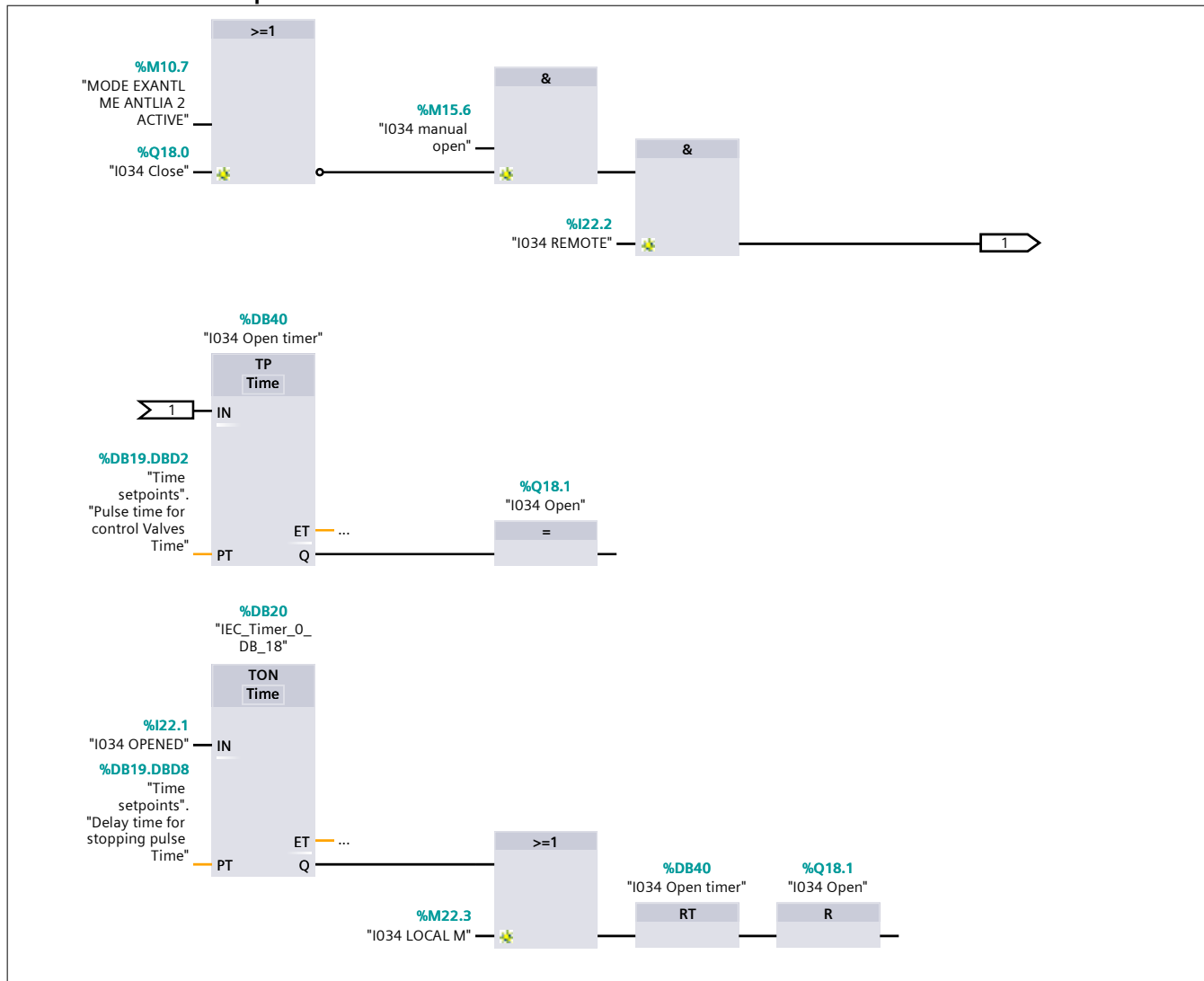


Network 17: I 034 Close



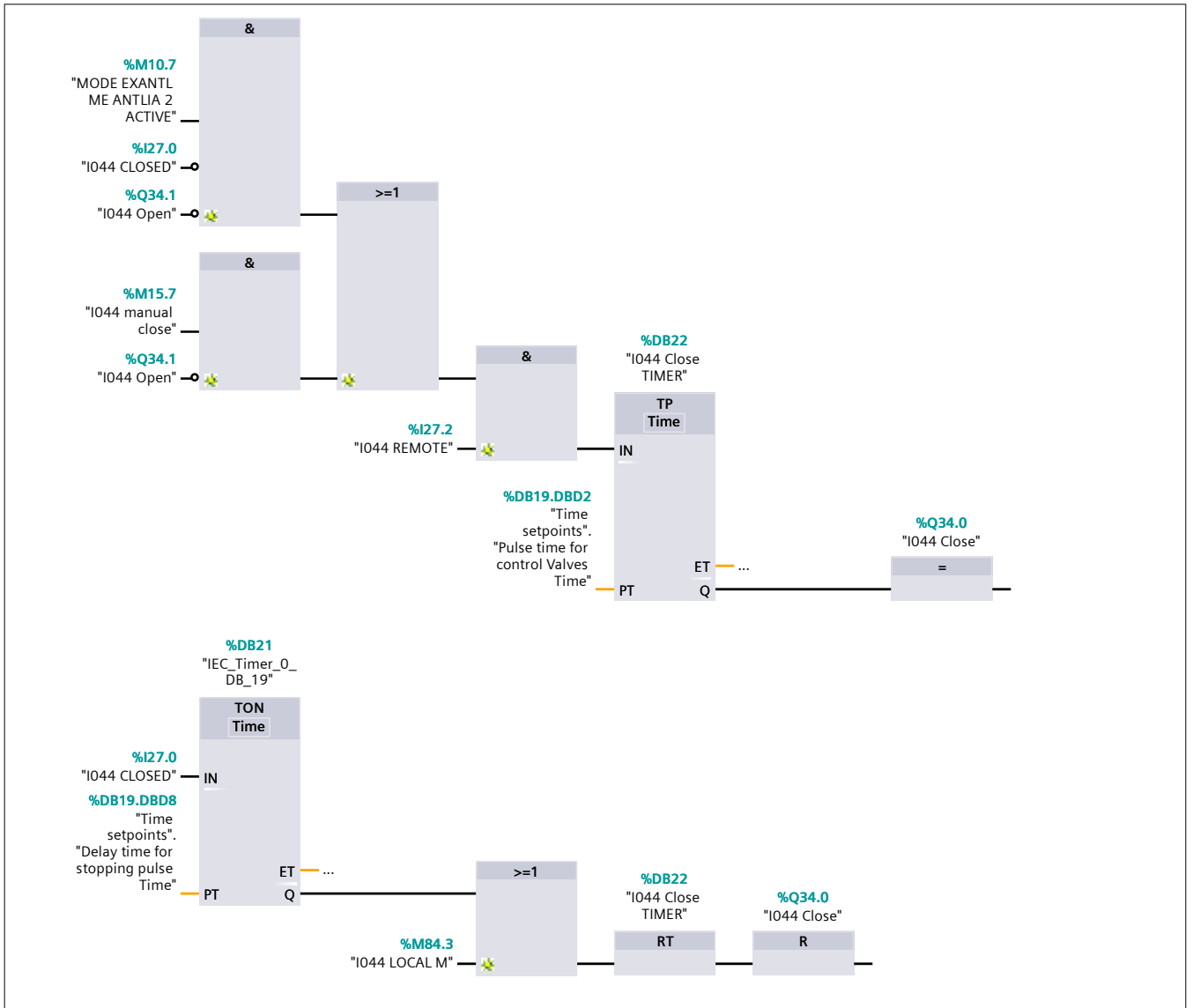
Network 18: I 034 Open

Network 18: I 034 Open



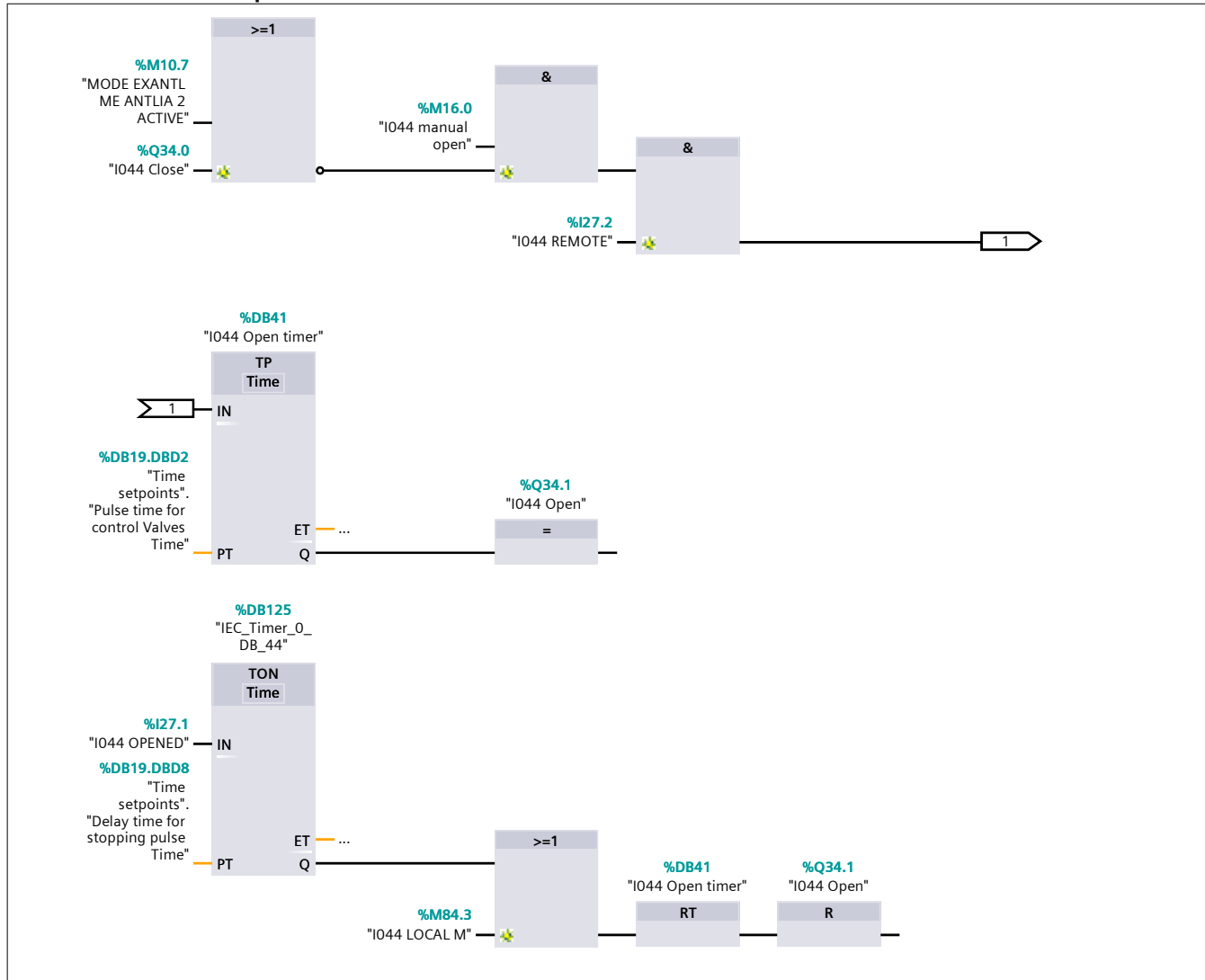
Network 19: I 044 Close





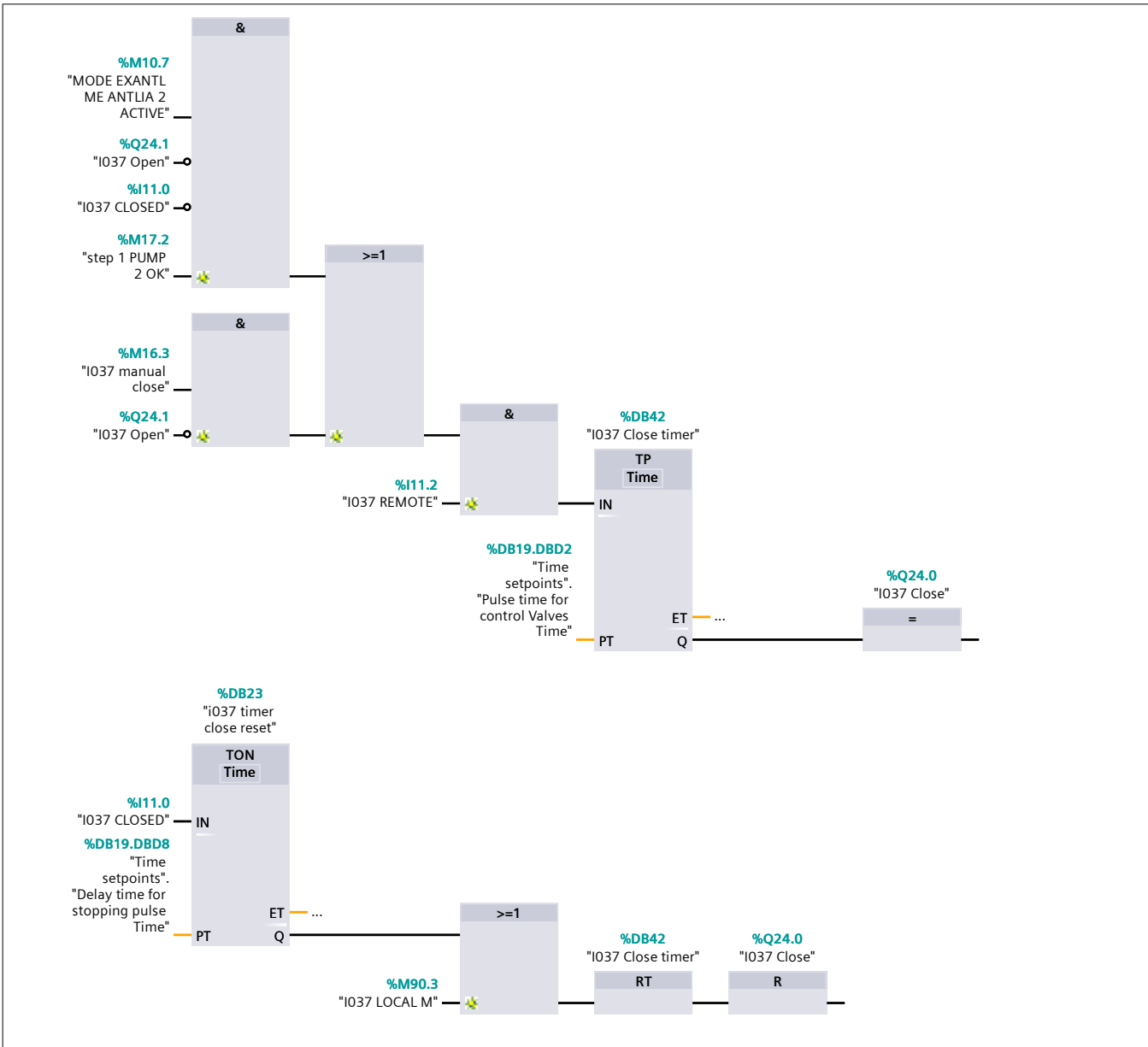
Network 20: I 044 Open

Network 20: I 044 Open



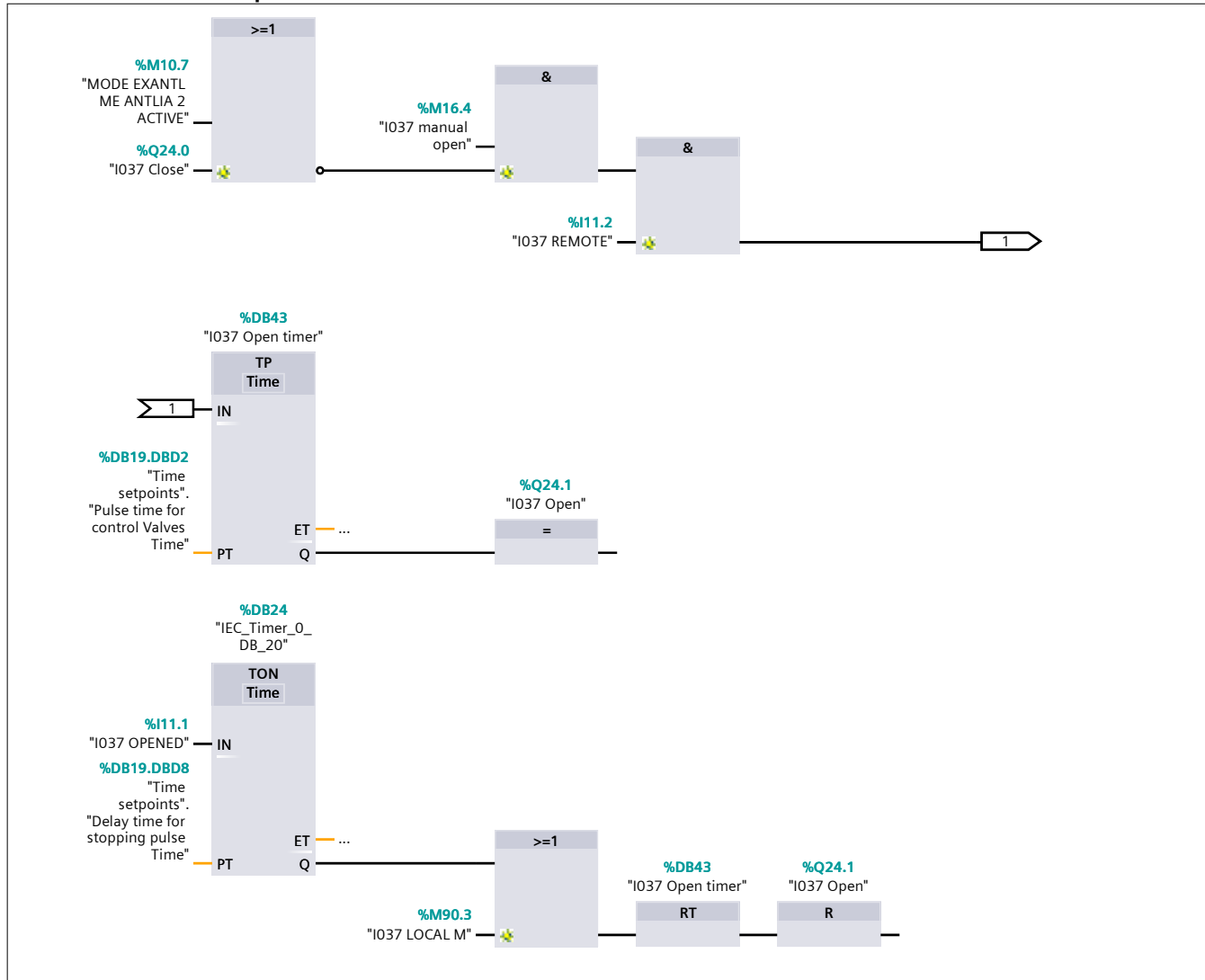
Network 21: I 037 Close



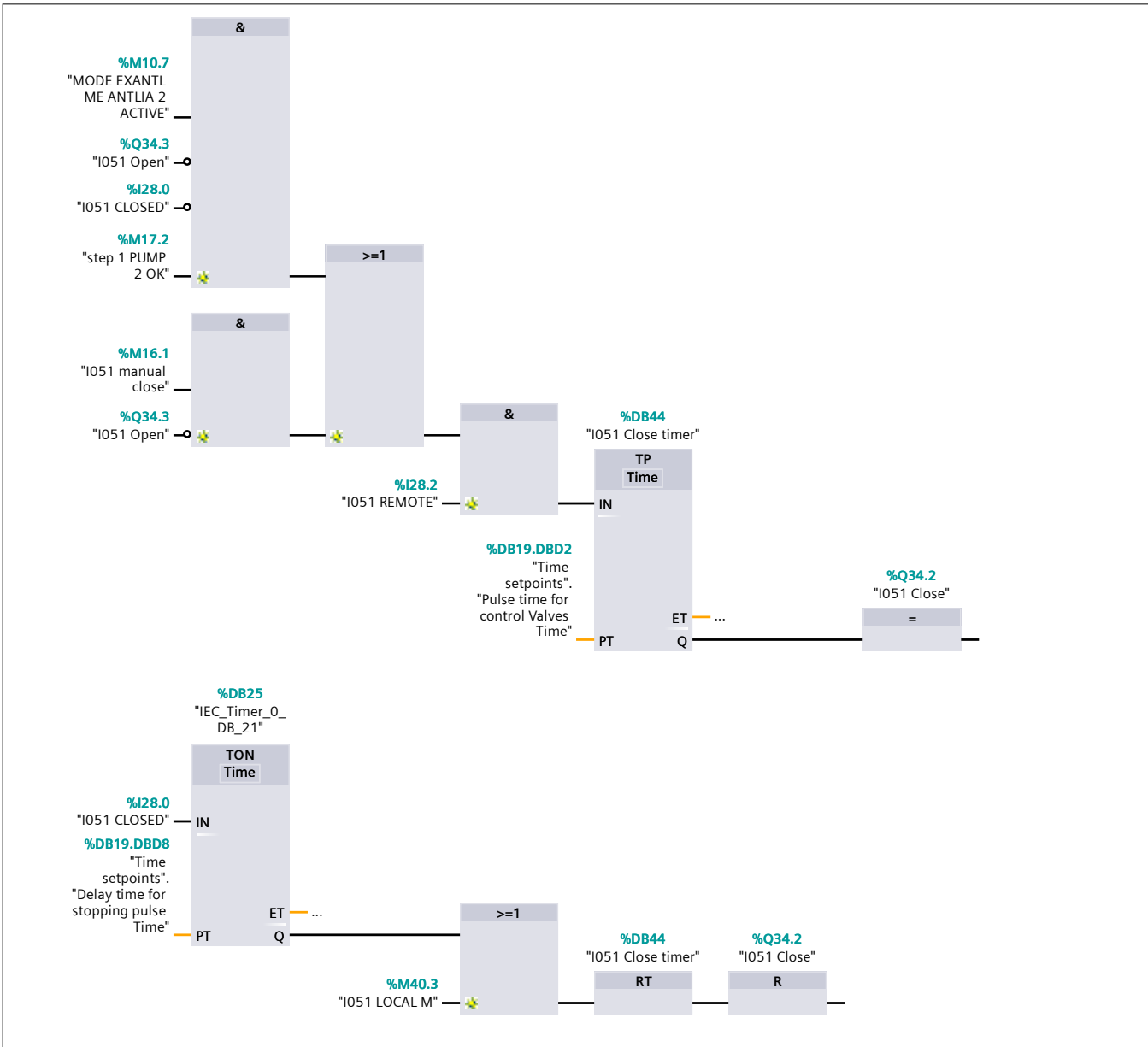


Network 22: I 037 Open

Network 22: I 037 Open

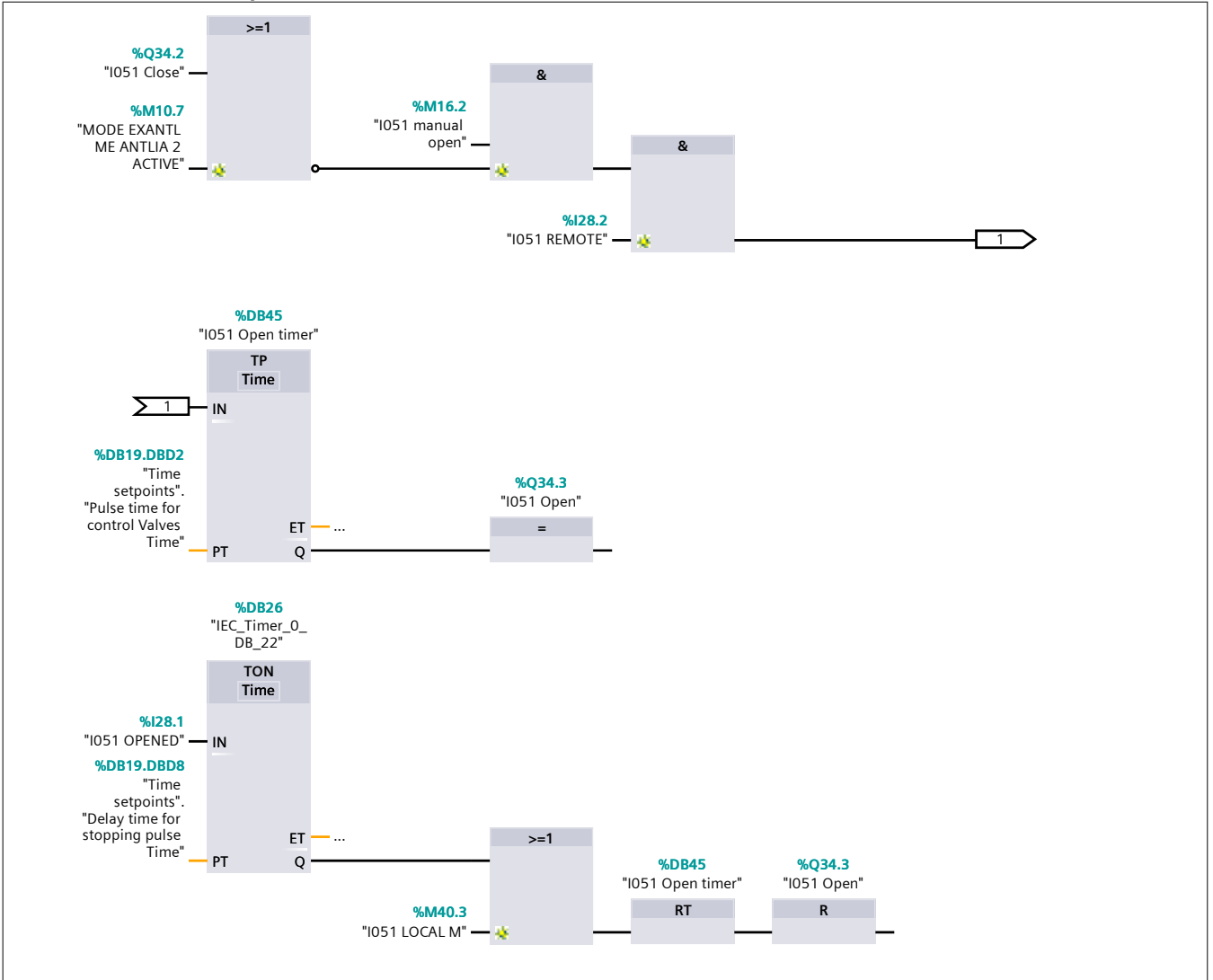


Network 23: I 051 Close

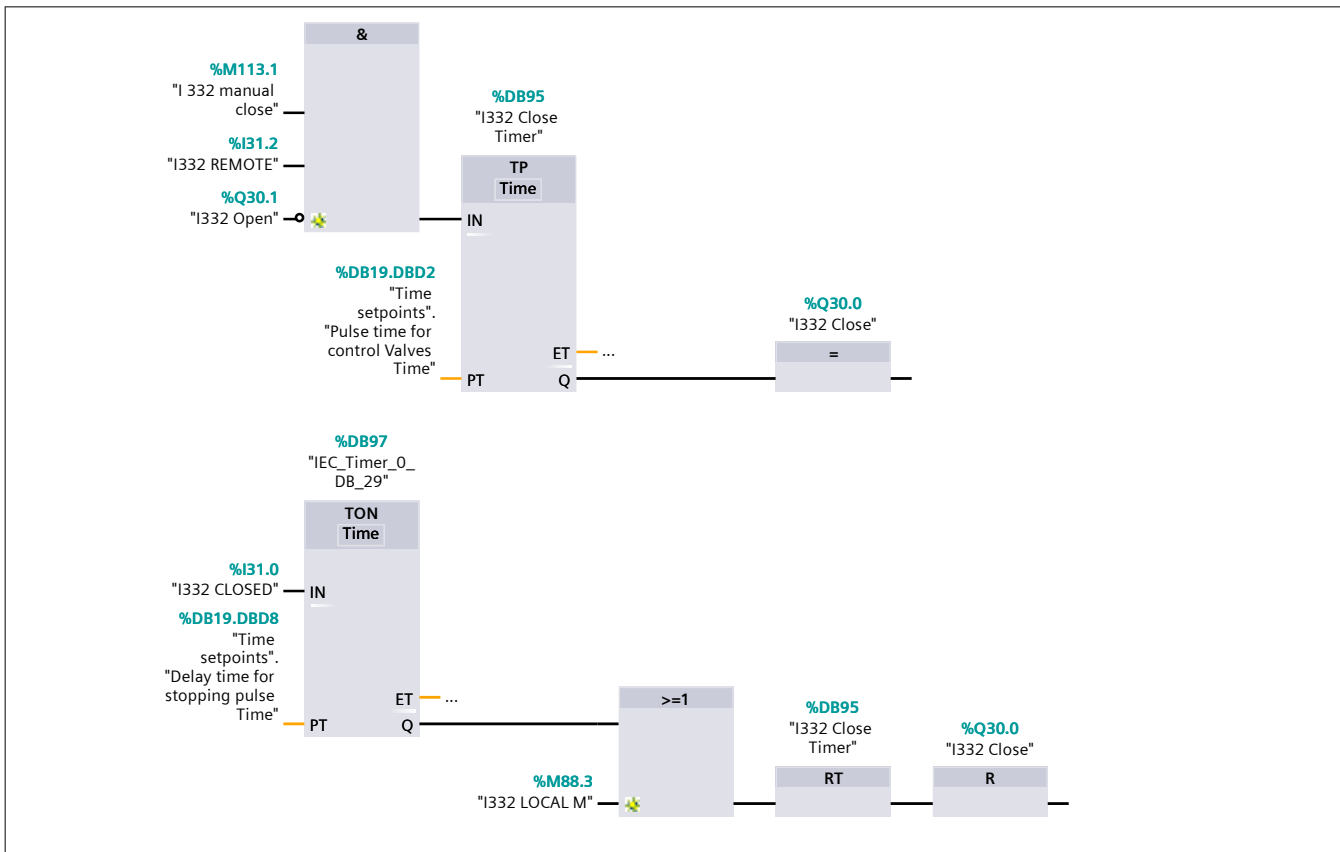


Network 24: I 051 Open

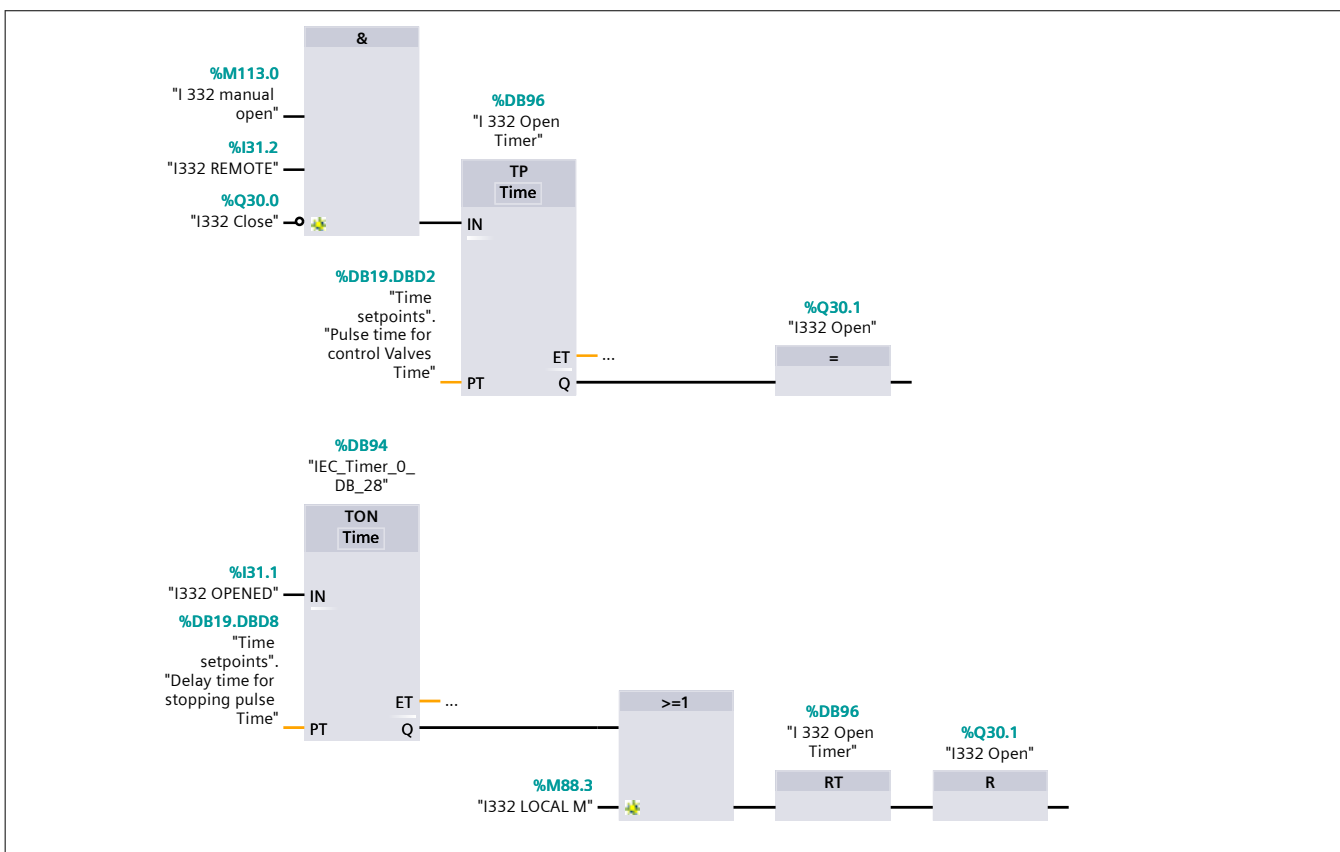
Network 24: I 051 Open



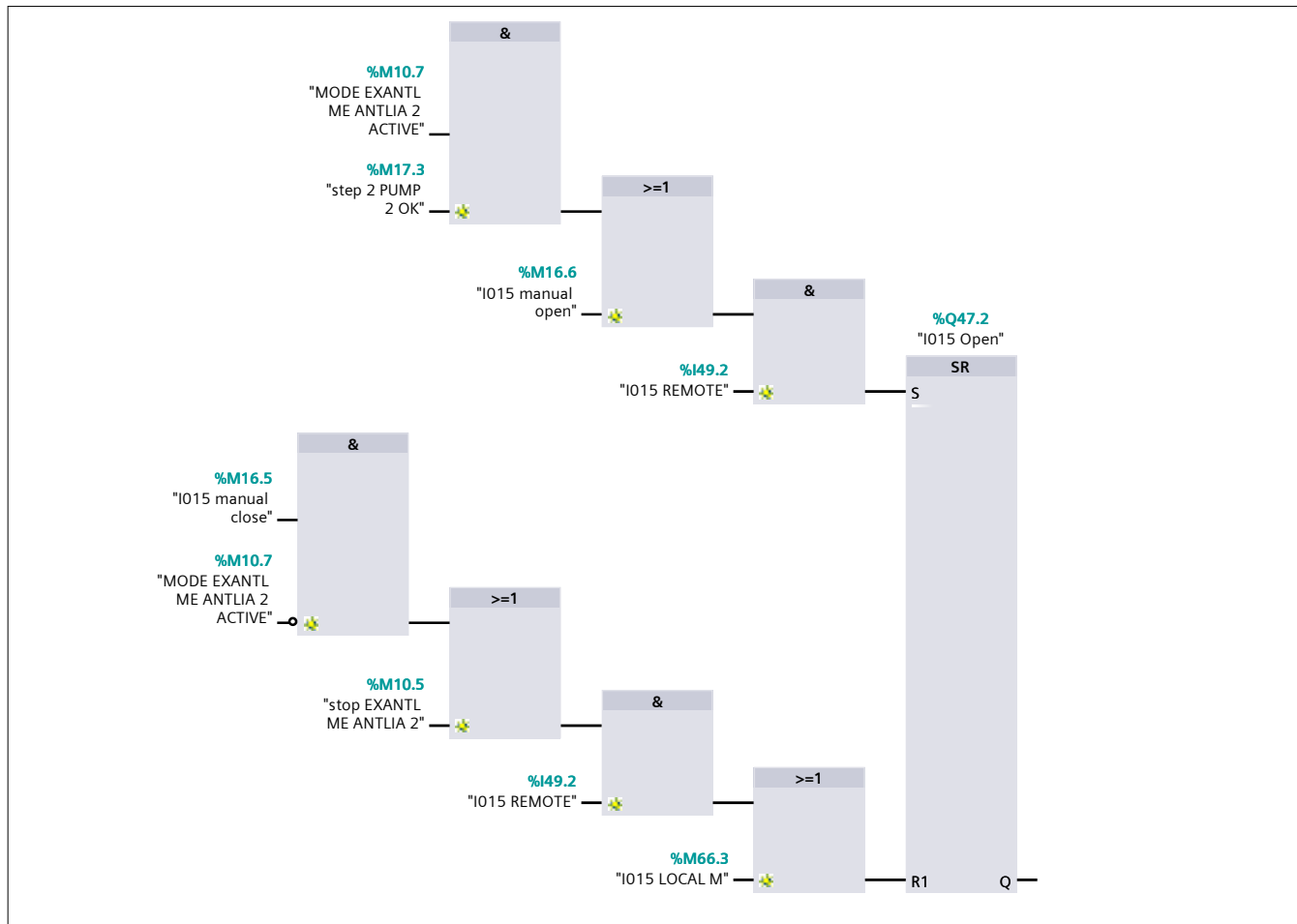
Network 25: I 332 Close



Network 26: I 332 Open

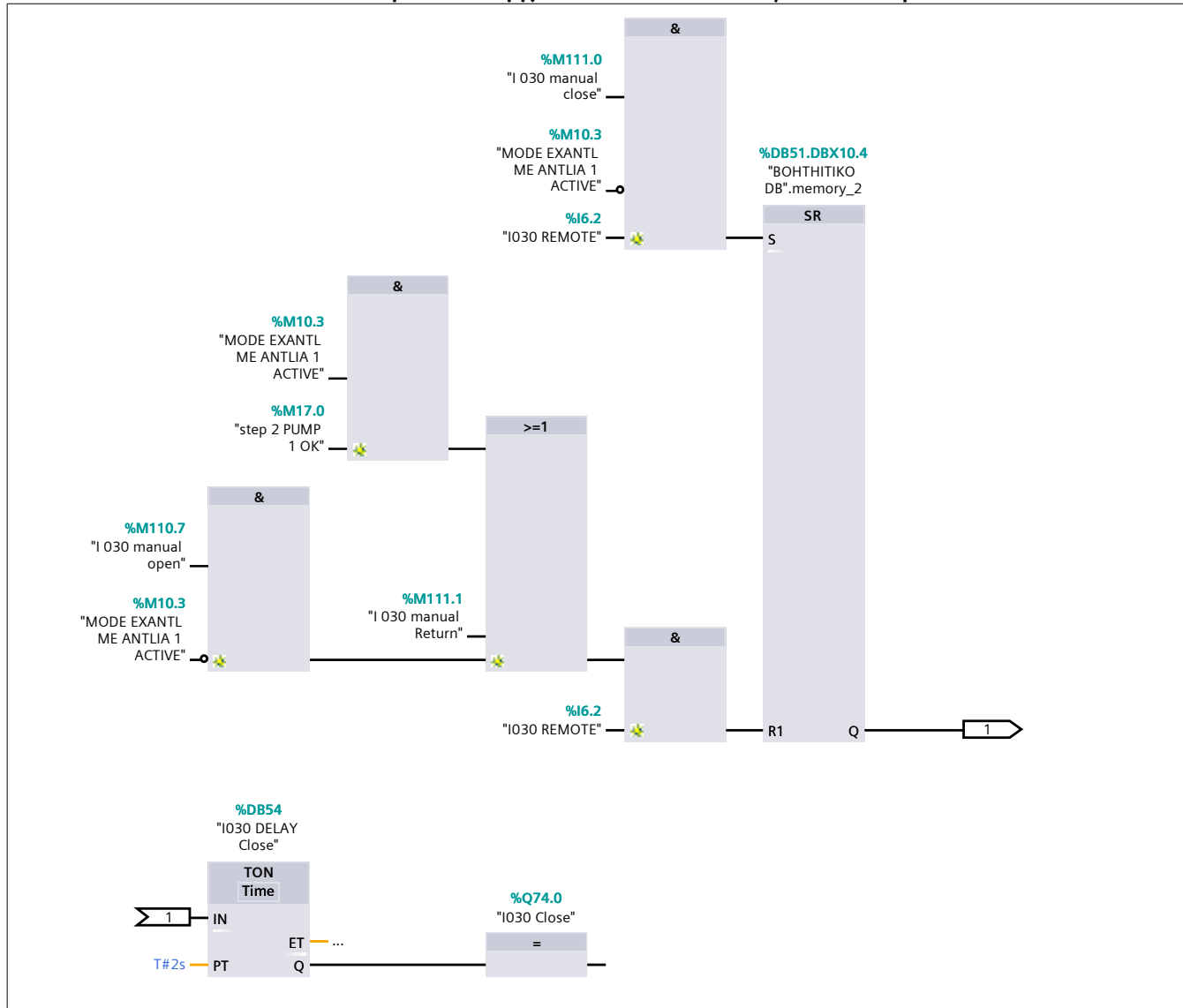


Network 27: I015 Open (Μόνο Open γιατί είναι δεύτερο επί ανθεκτικού)



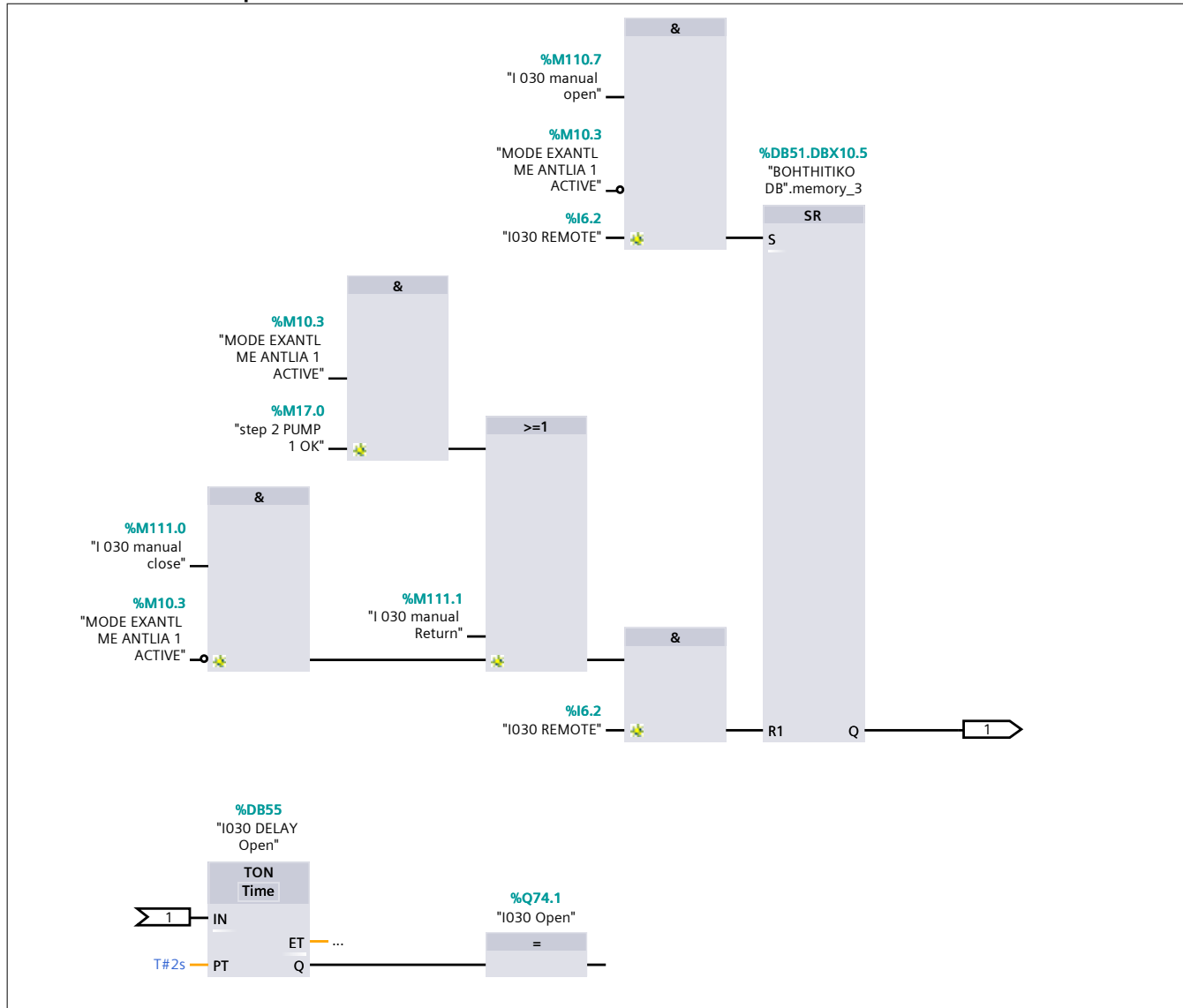
Network 28: I030 Close (Σε θέση Return έρχεται όταν οι εντολές Close & Open είναι 0)

Network 28: I030 Close (Σε θέση Return έρχεται όταν οι εντολές Close & Open είναι 0)



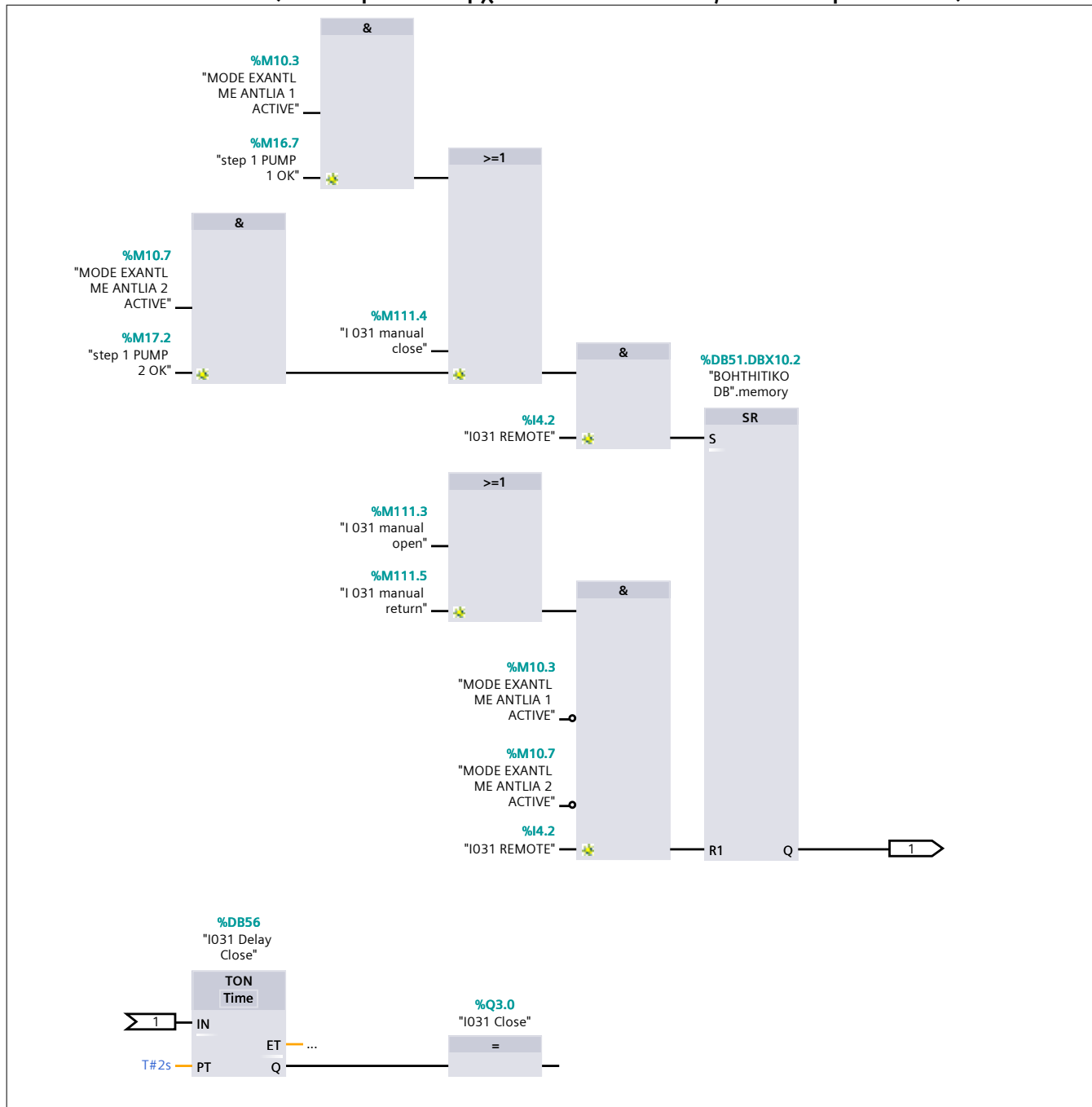
Network 29: I030 Open

Network 29: I030 Open



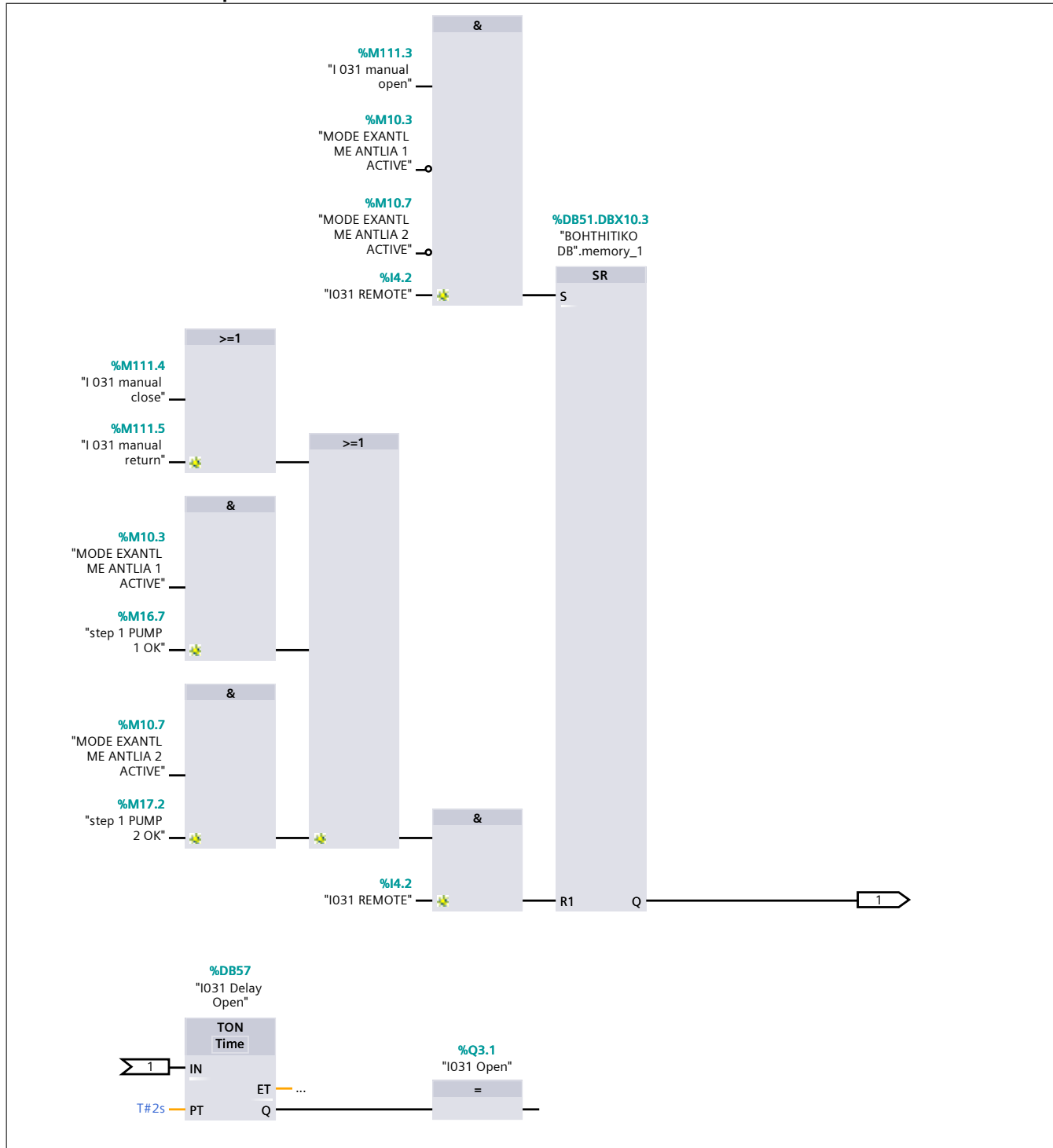
Network 30: I031 Close (Σε θέση Return έρχεται όταν οι εντολές Close & Open είναι 0)

Network 30: I031 Close (Σε θέση Return έρχεται όταν οι εντολές Close & Open είναι 0)

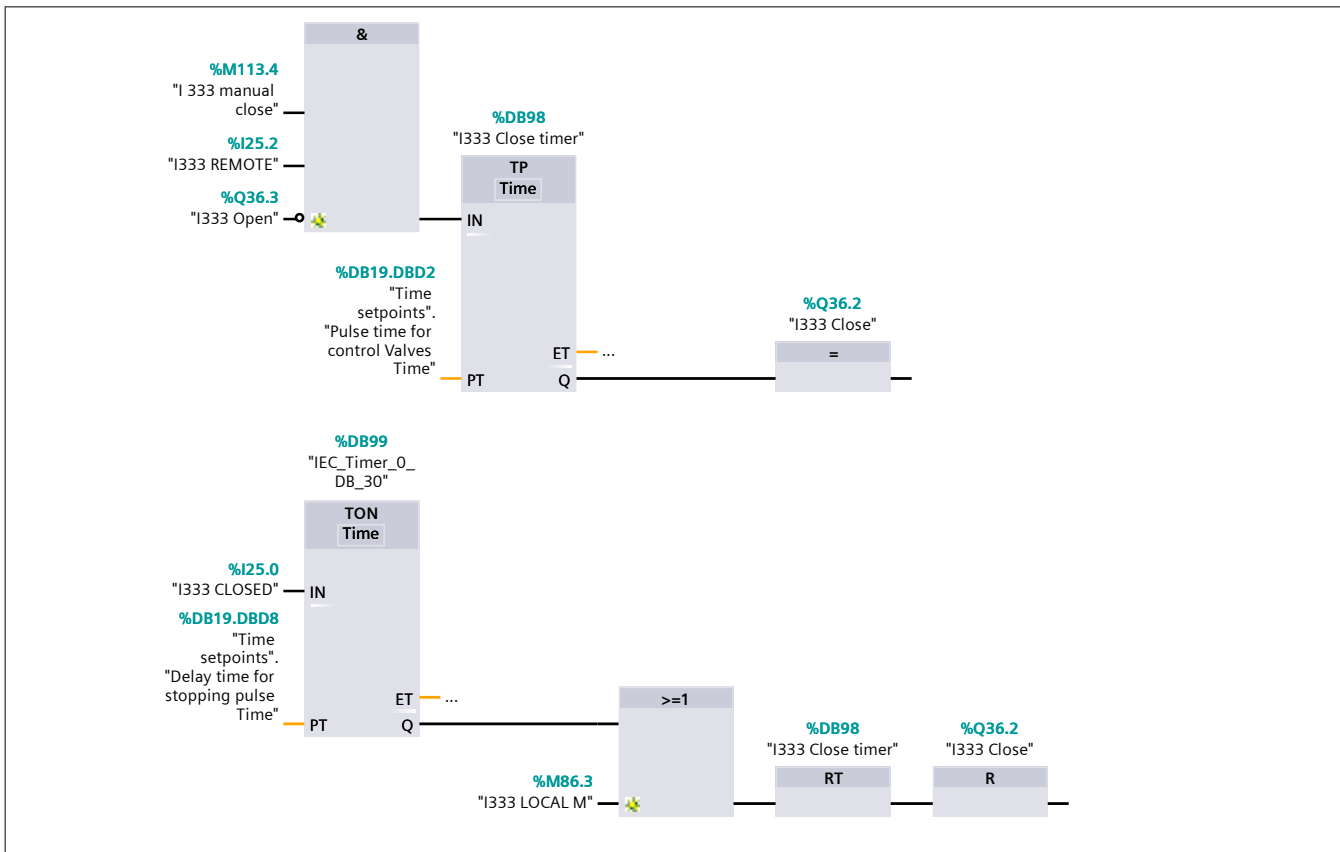


Network 31: I 031 Open

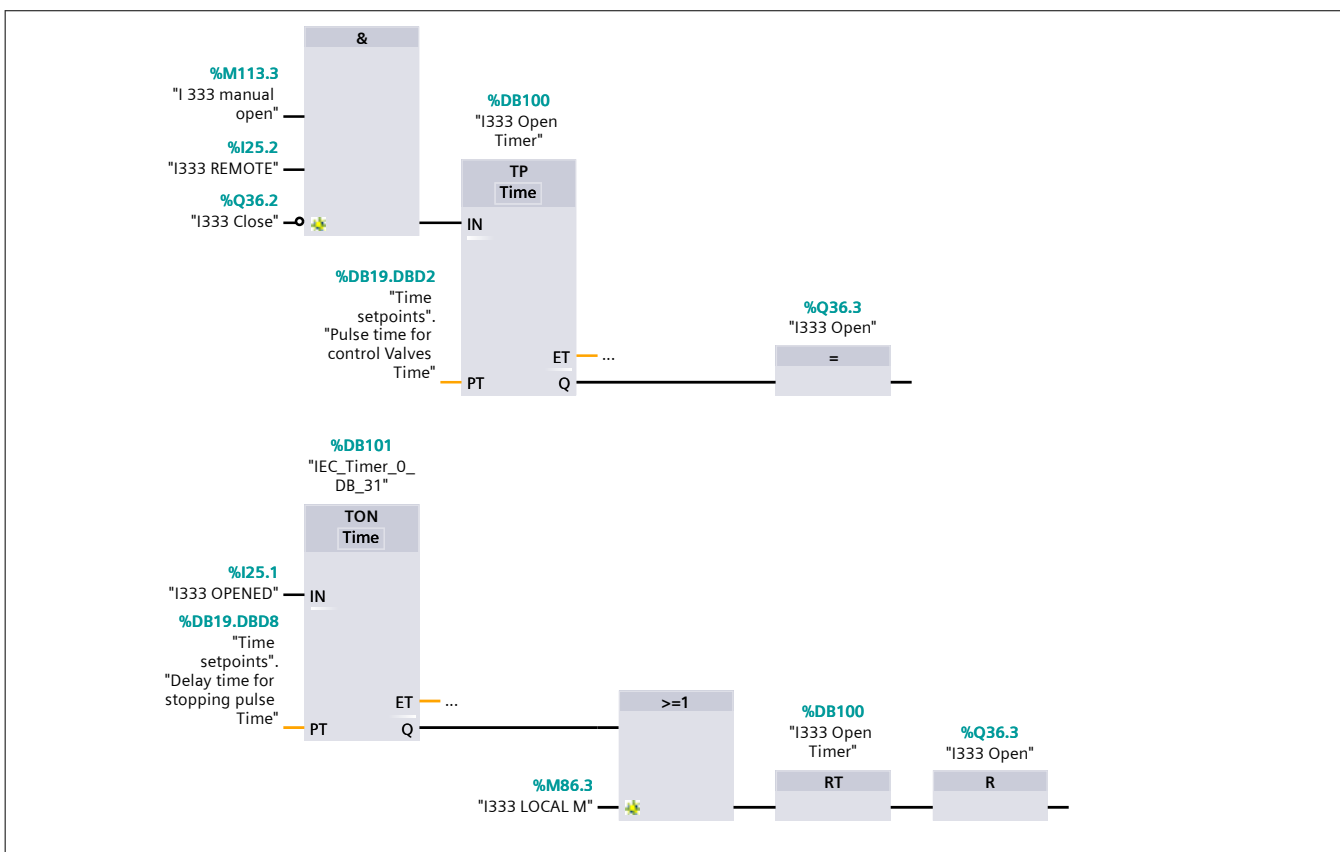
Network 31: I 031 Open



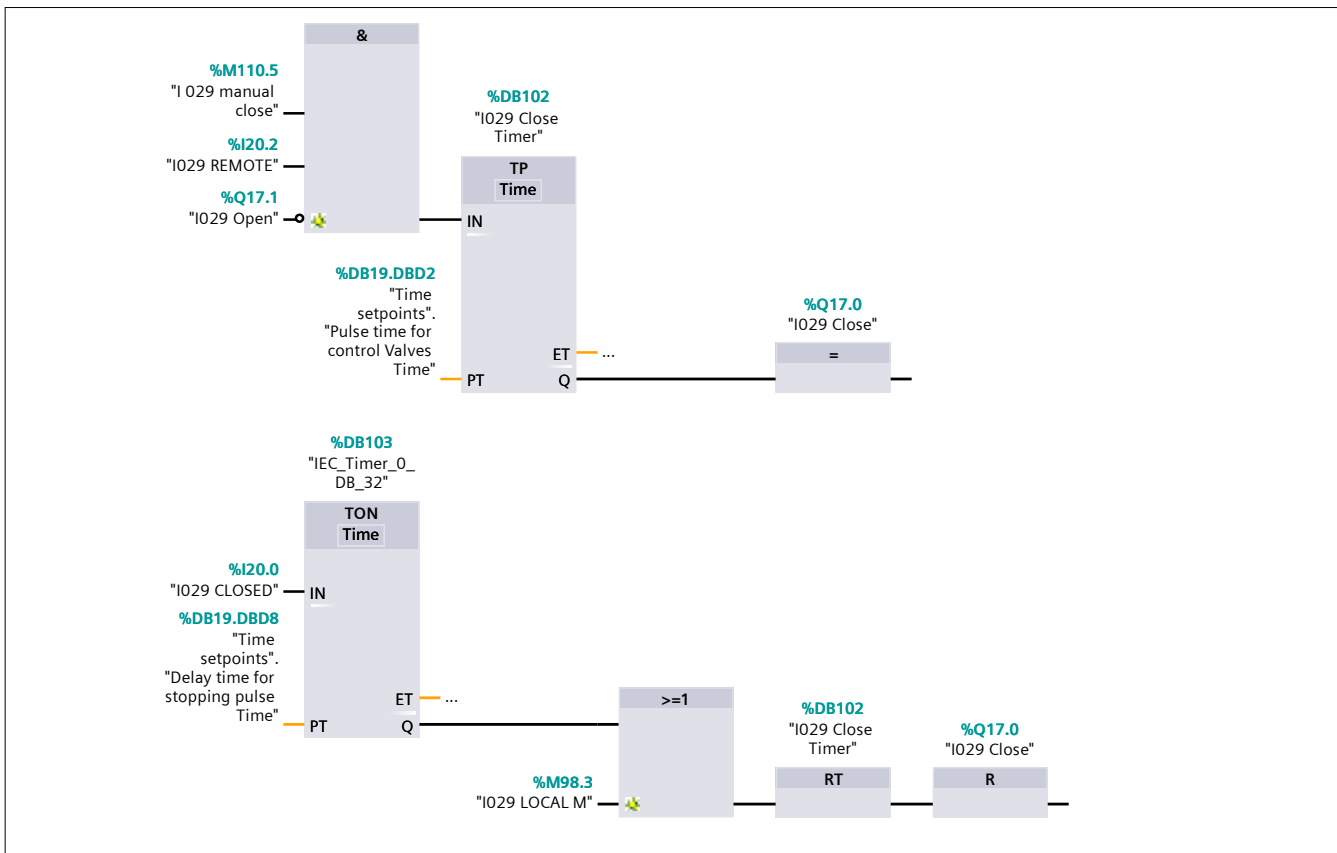
Network 32: I 333 Close



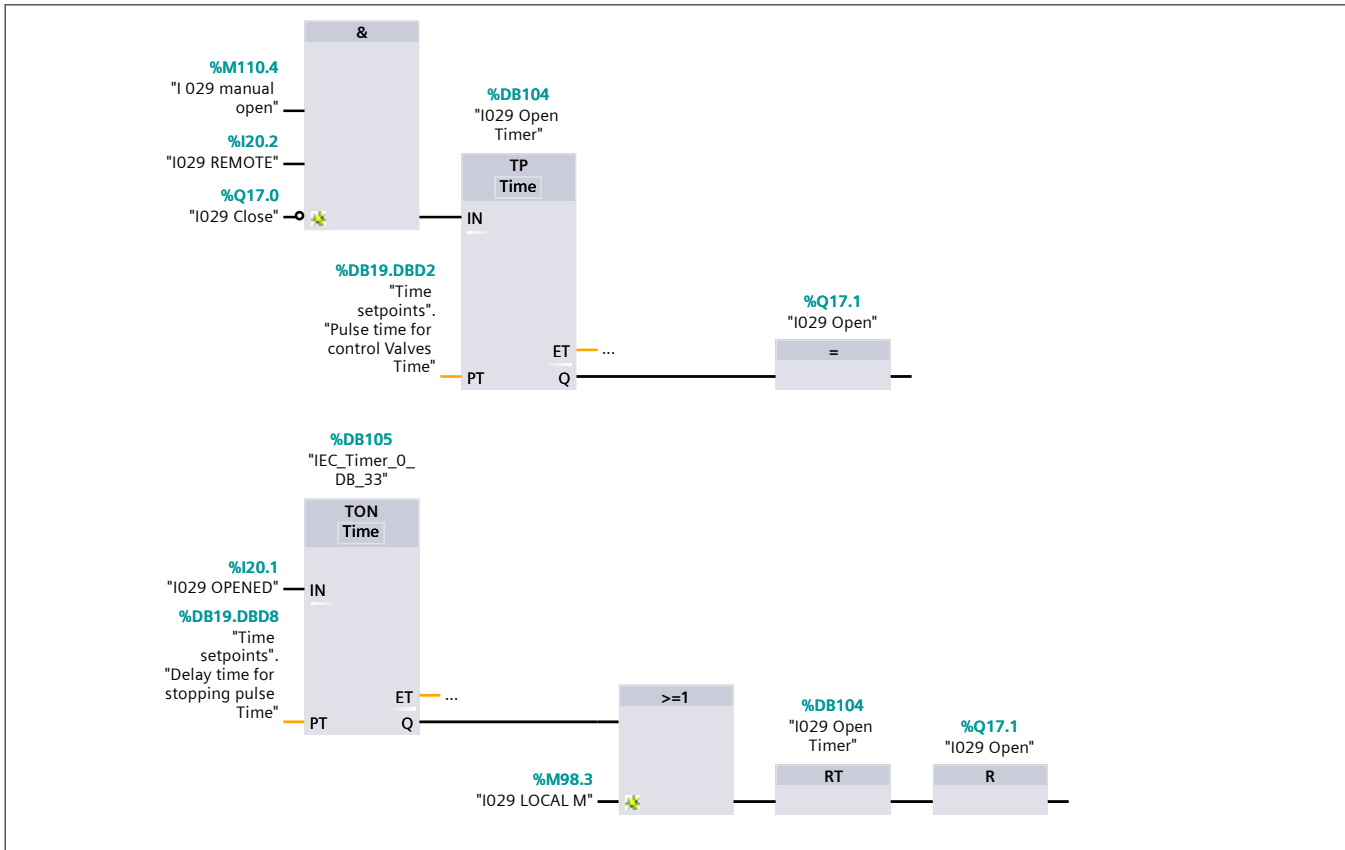
Network 33: I333 Open



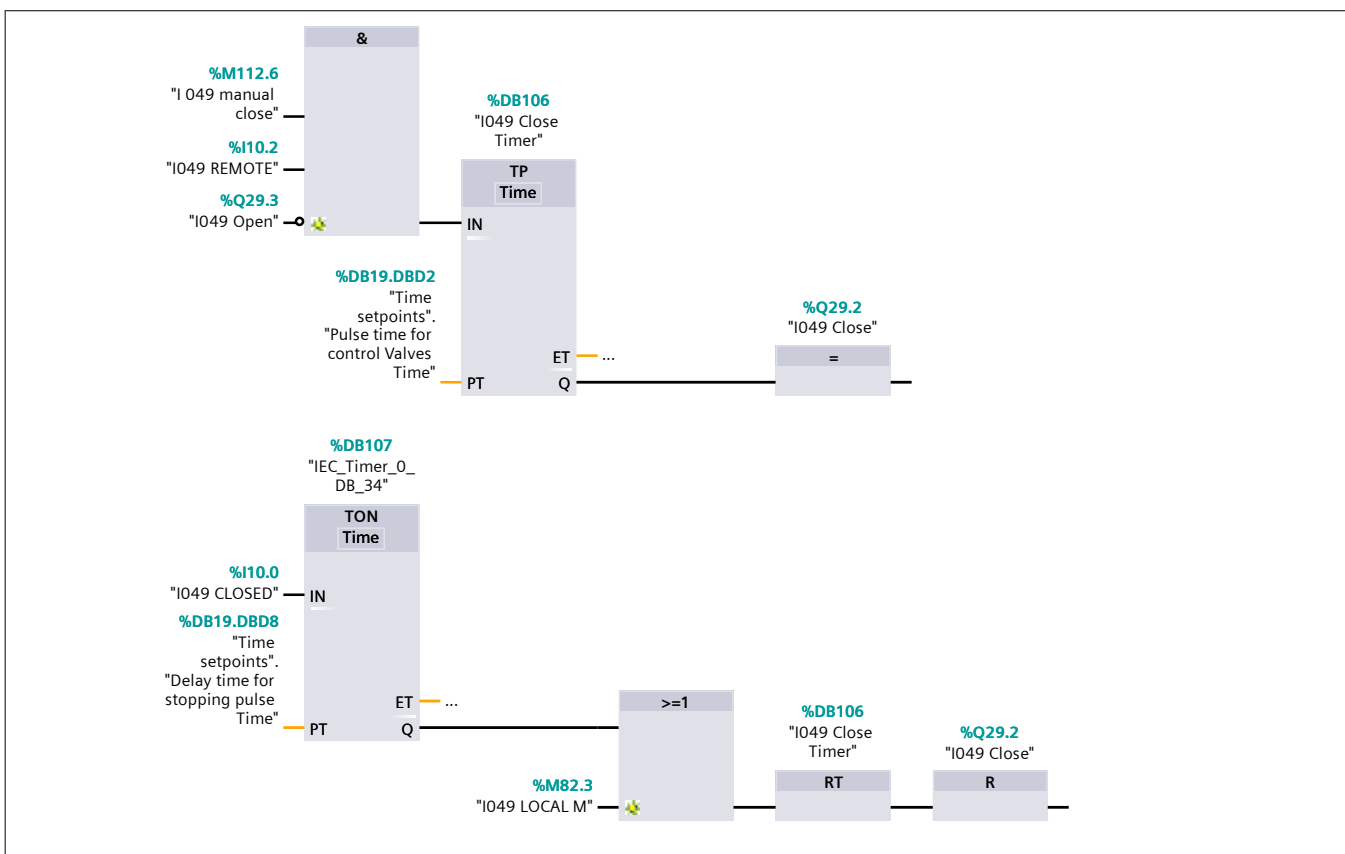
Network 34: I 029 Close



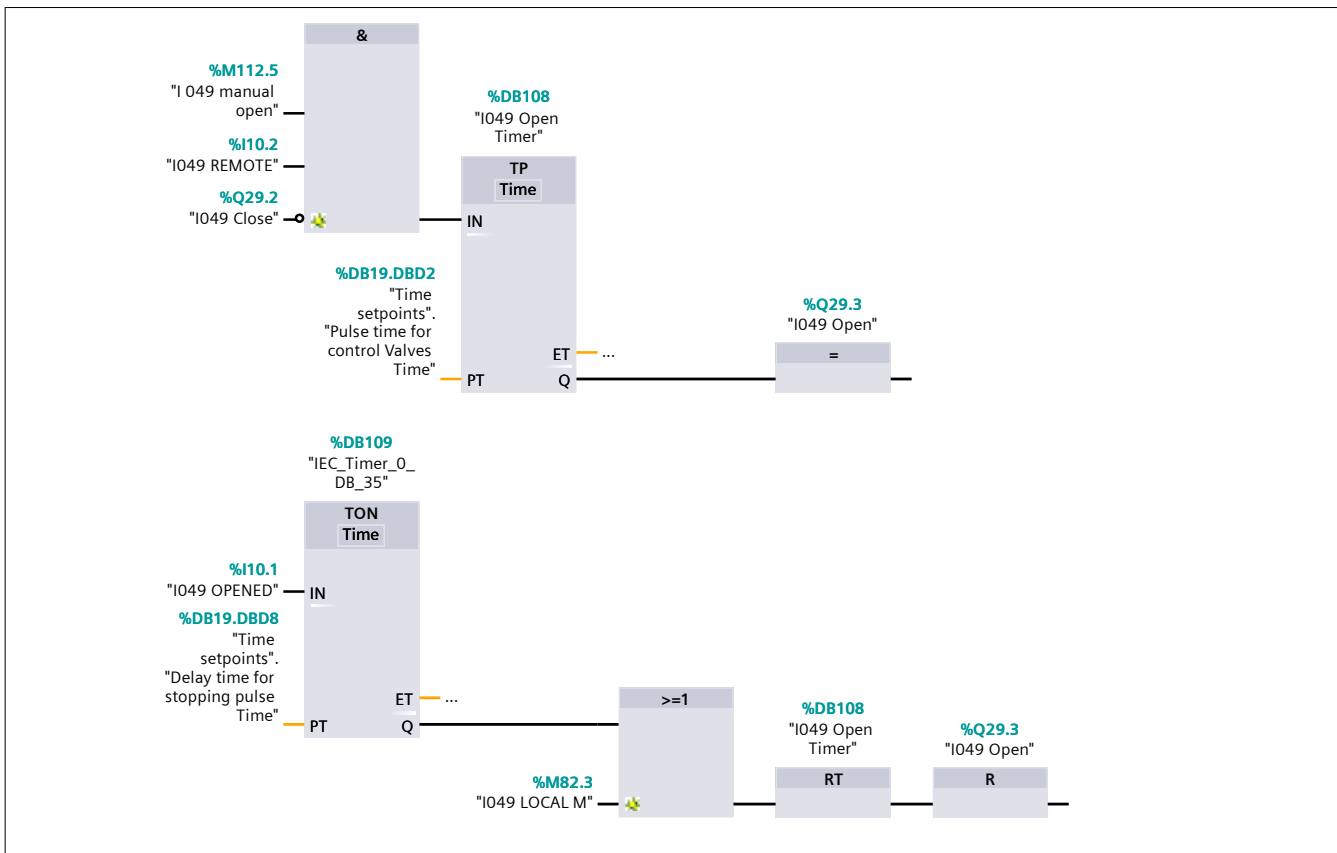
Network 35: I 029 Open



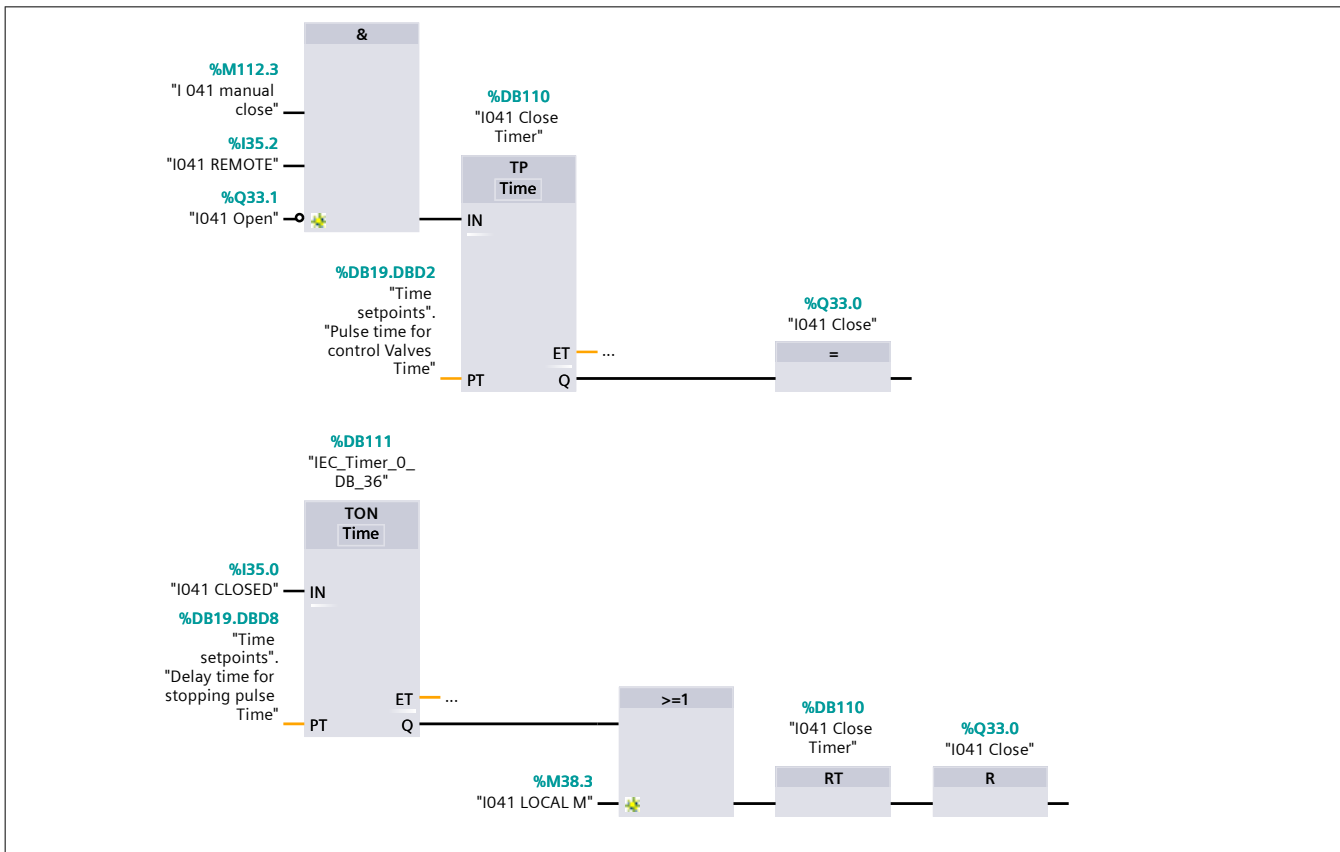
Network 36: I 049 Close



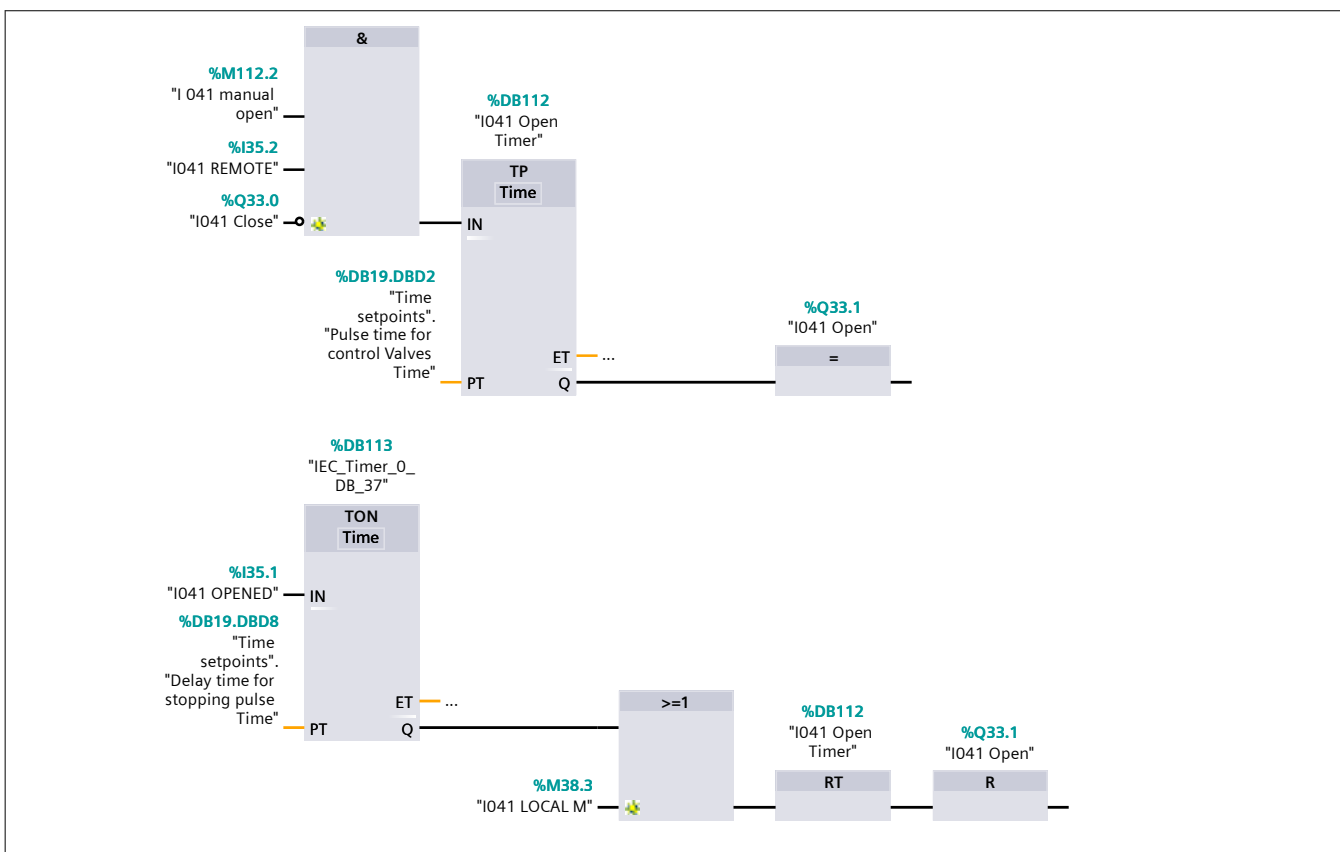
Network 37: I049 Open



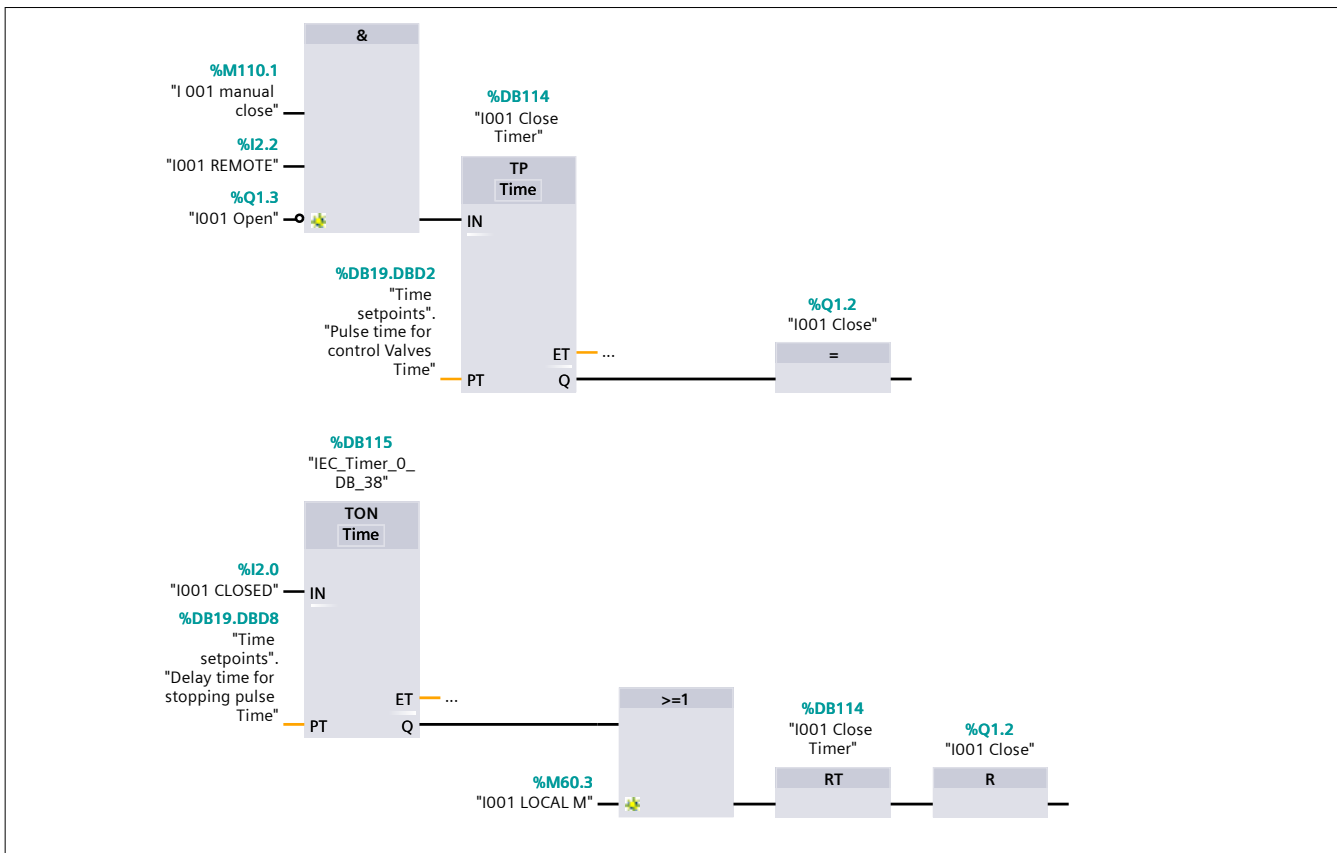
Network 38: I 041 Close



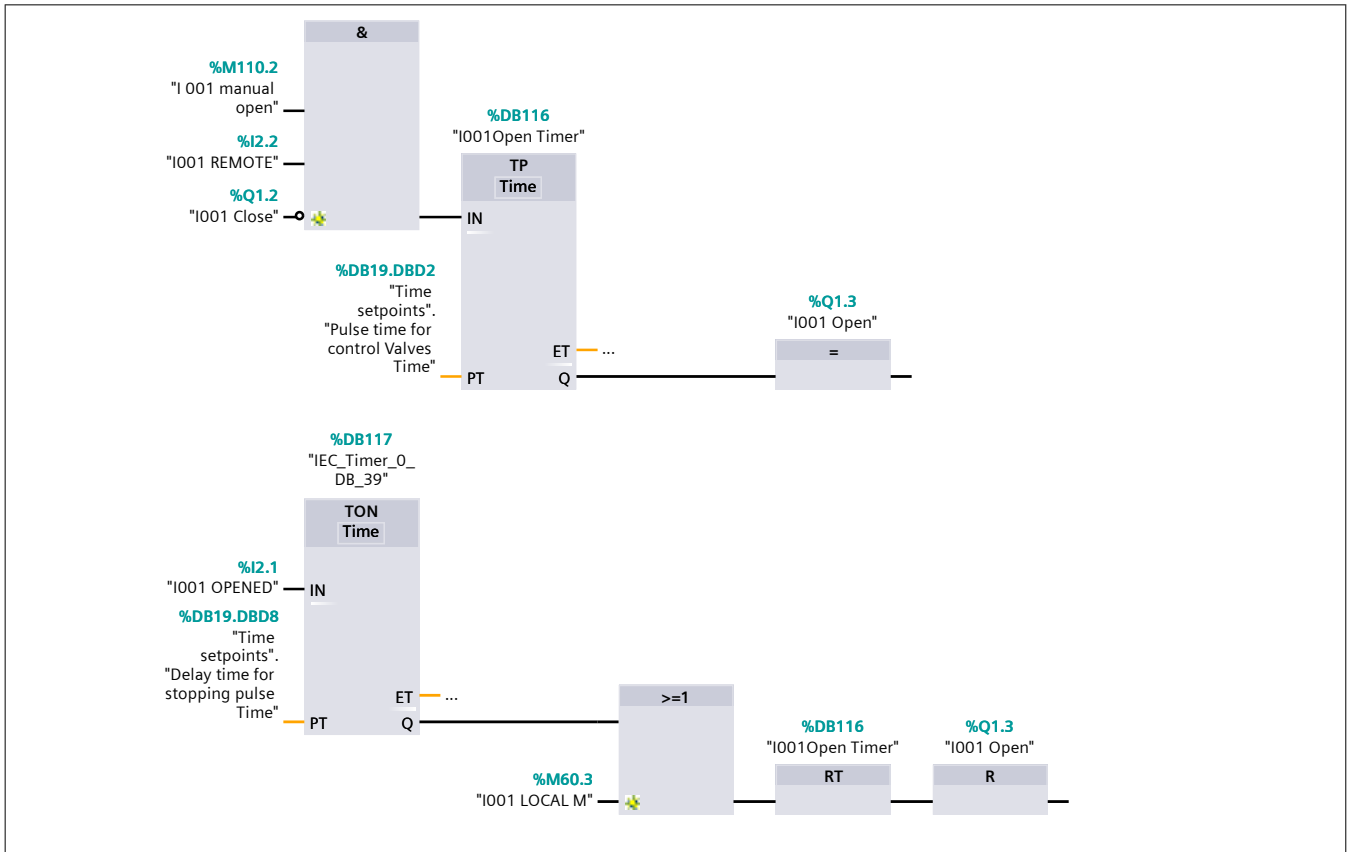
Network 39: I 041 Open



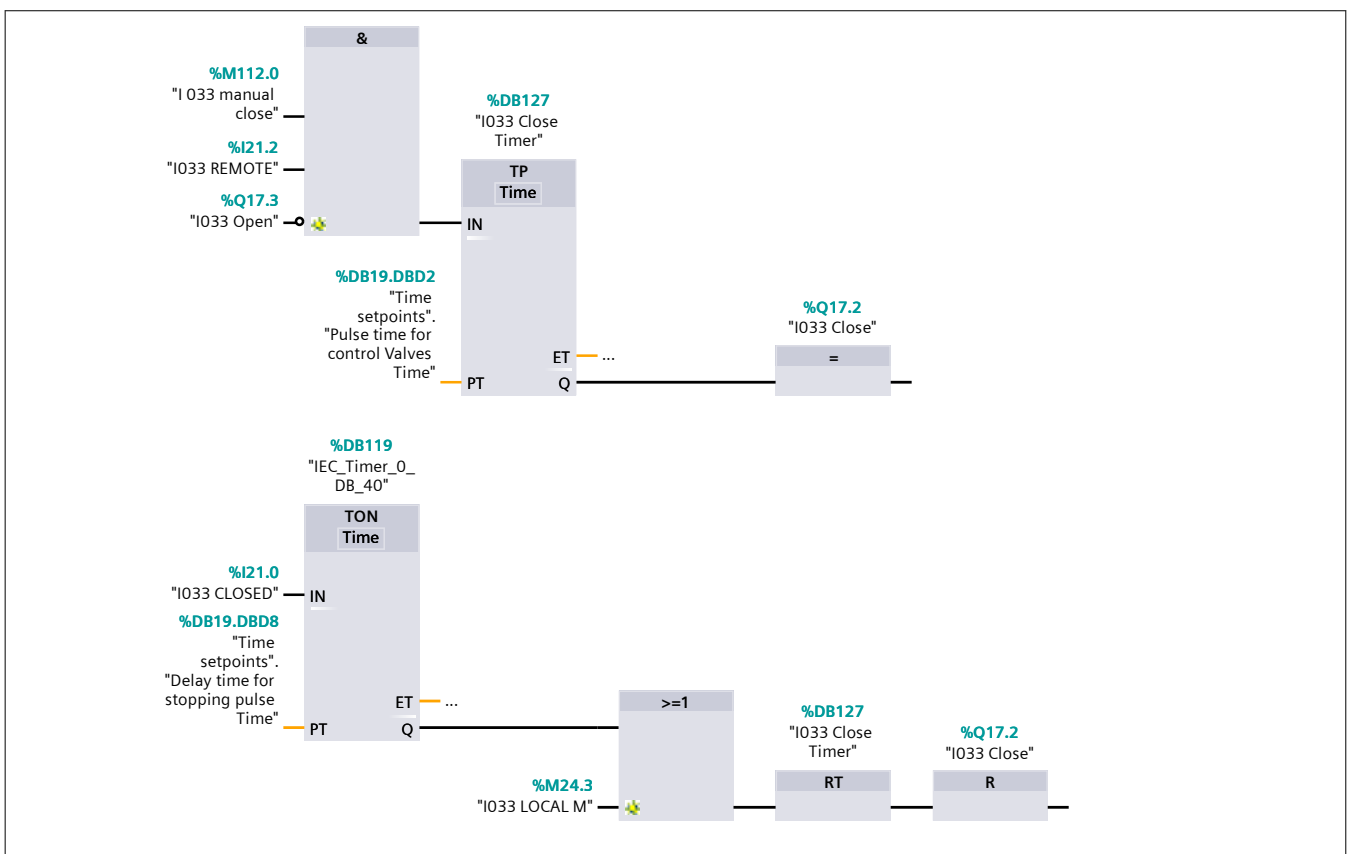
Network 40: I 001 Close



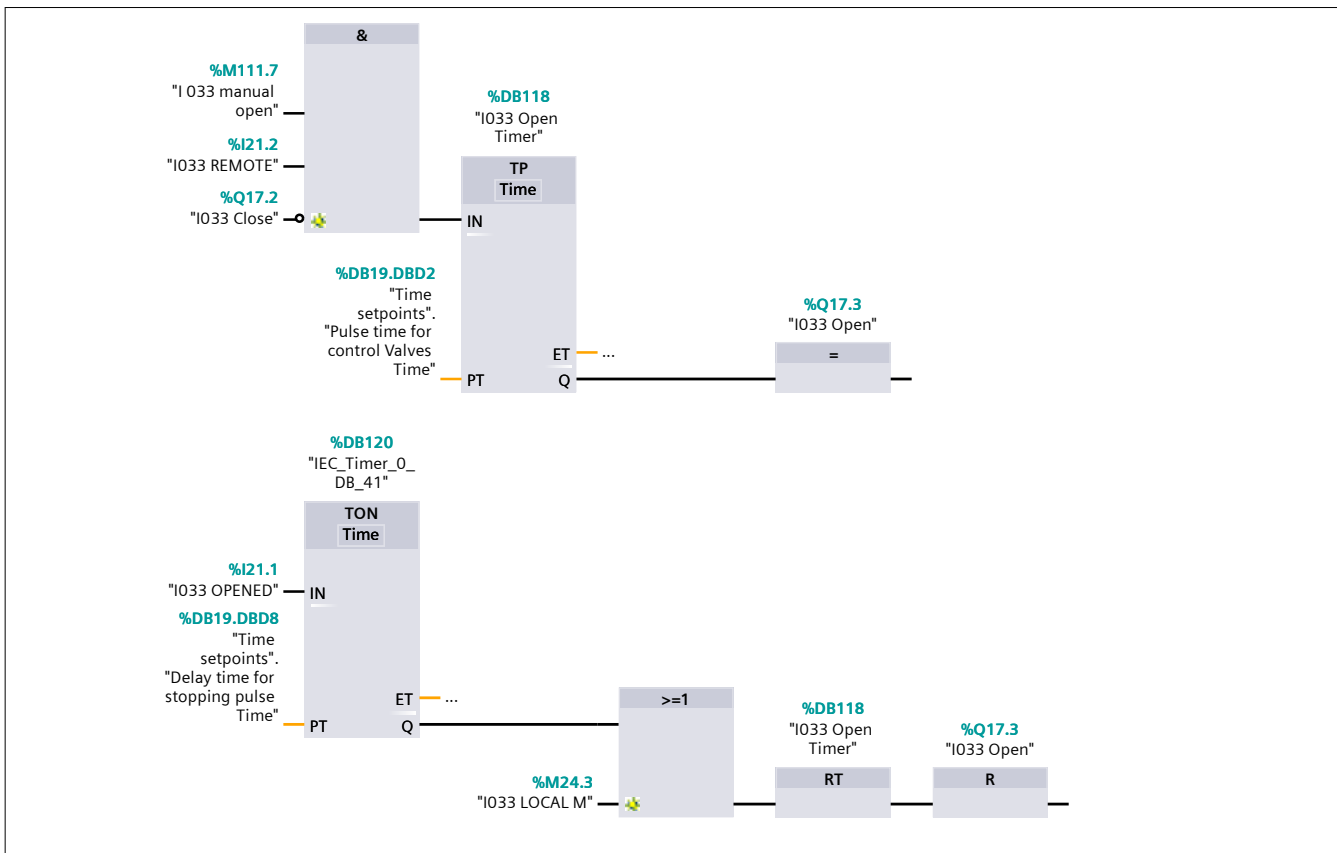
Network 41: I 001 Open



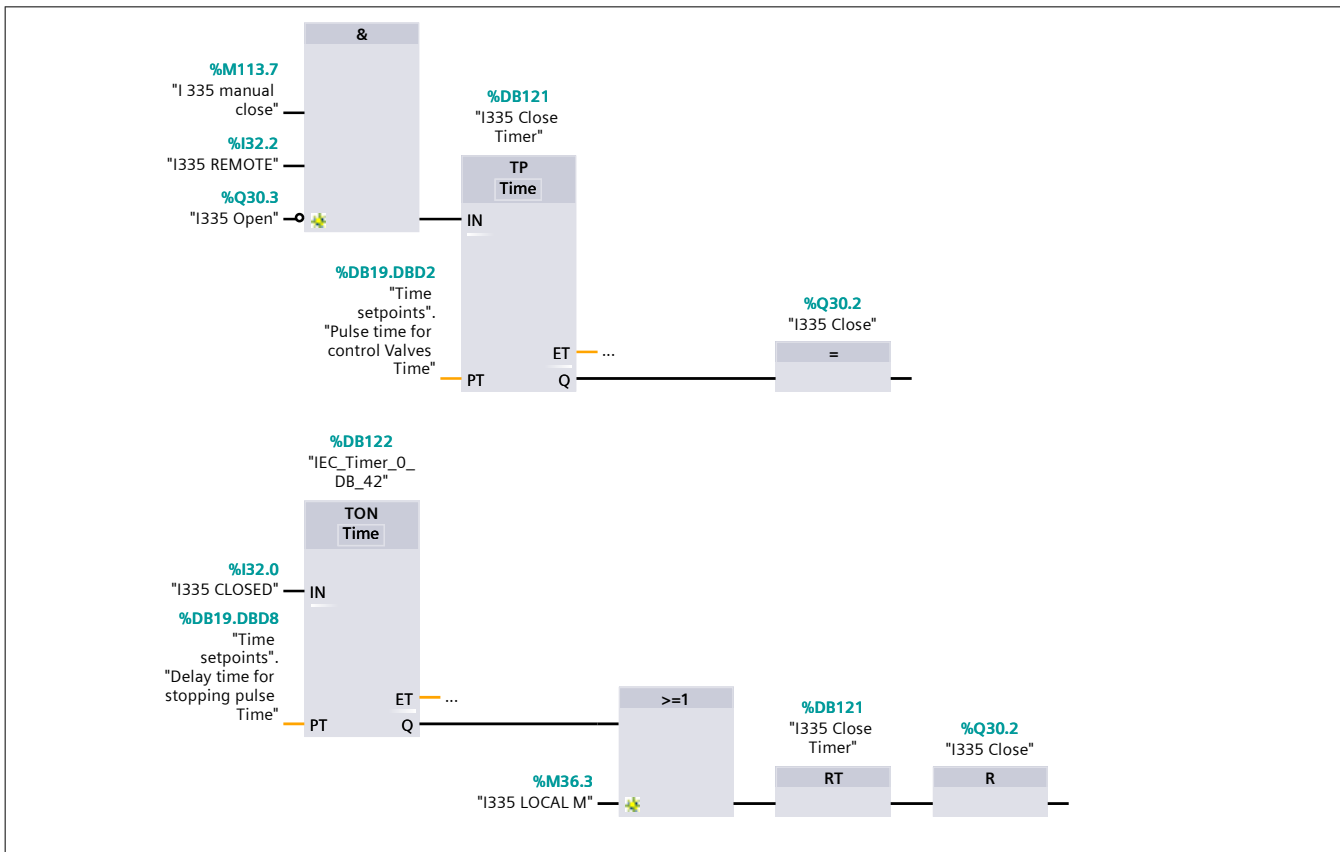
Network 42: I 033 Close



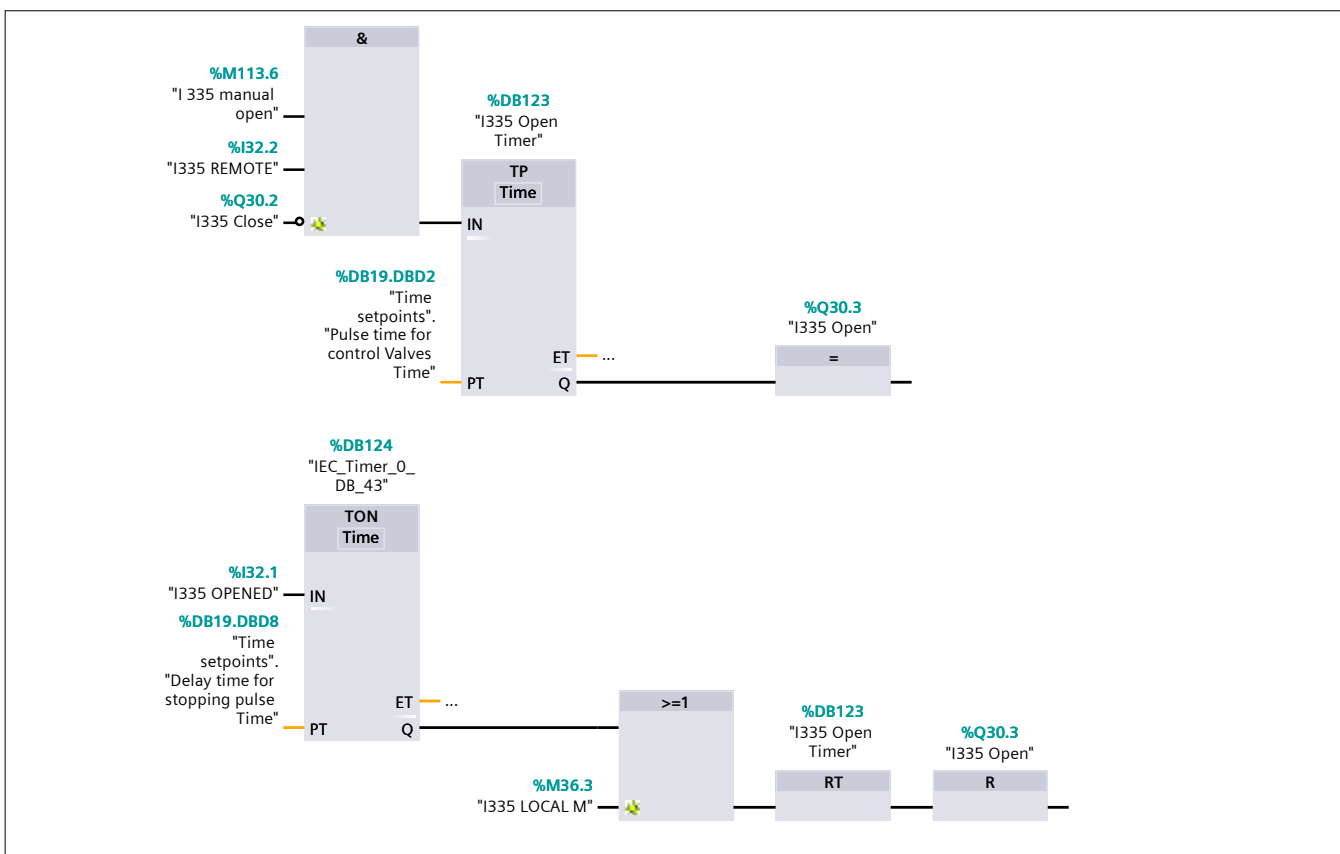
Network 43: I 033 Open



Network 44: I335 From Depth Meas System (Close)



Network 45: I335 To Bilge (Open)



Program blocks

ALARMS Logical [FC4]

ALARMS Logical Properties

General

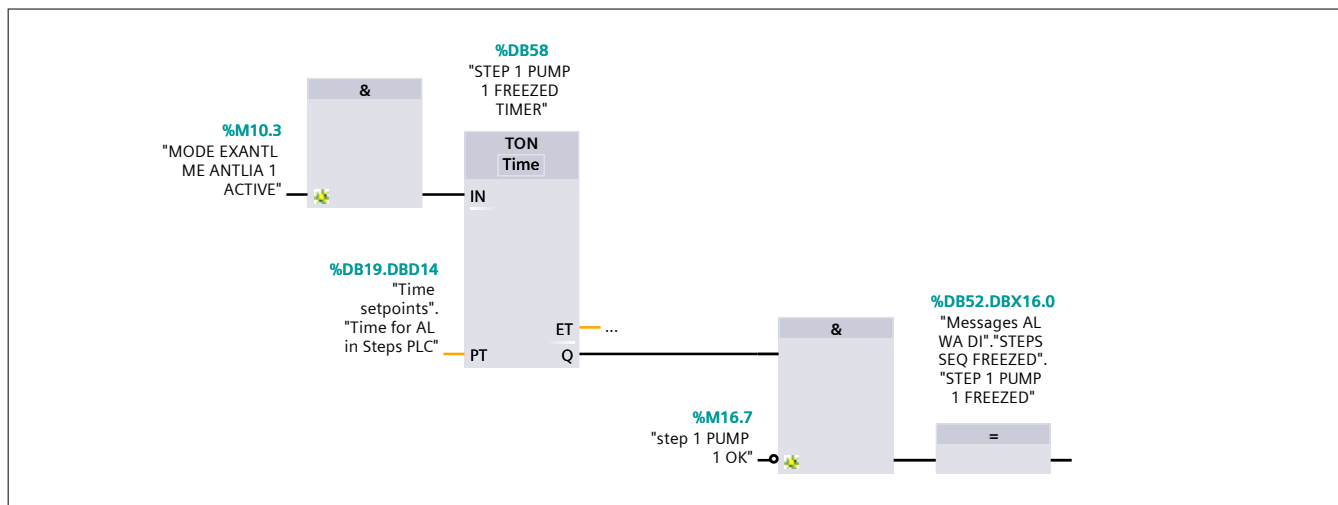
Name	ALARMS Logical	Number	4	Type	FC
Language	FBD	Numbering	Automatic		

Information

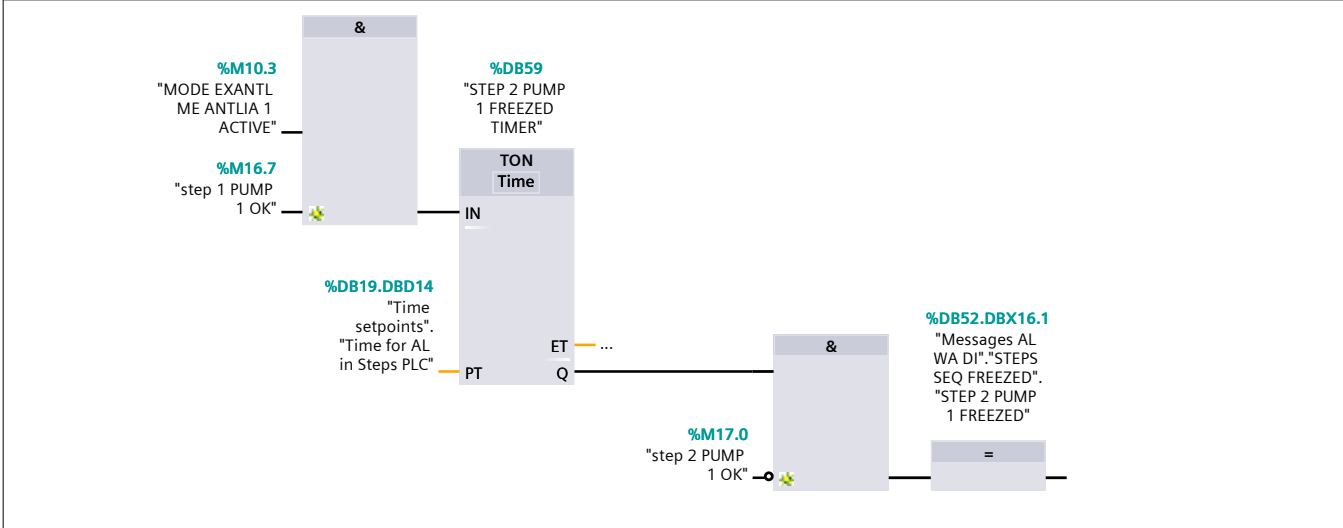
Title		Author		Comment	
Family		Version	0.1	User-defined ID	

Name	Data type	Default value
Input		
Output		
InOut		
Temp		
Constant		
▼ Return		
ALARMS Logical	Void	

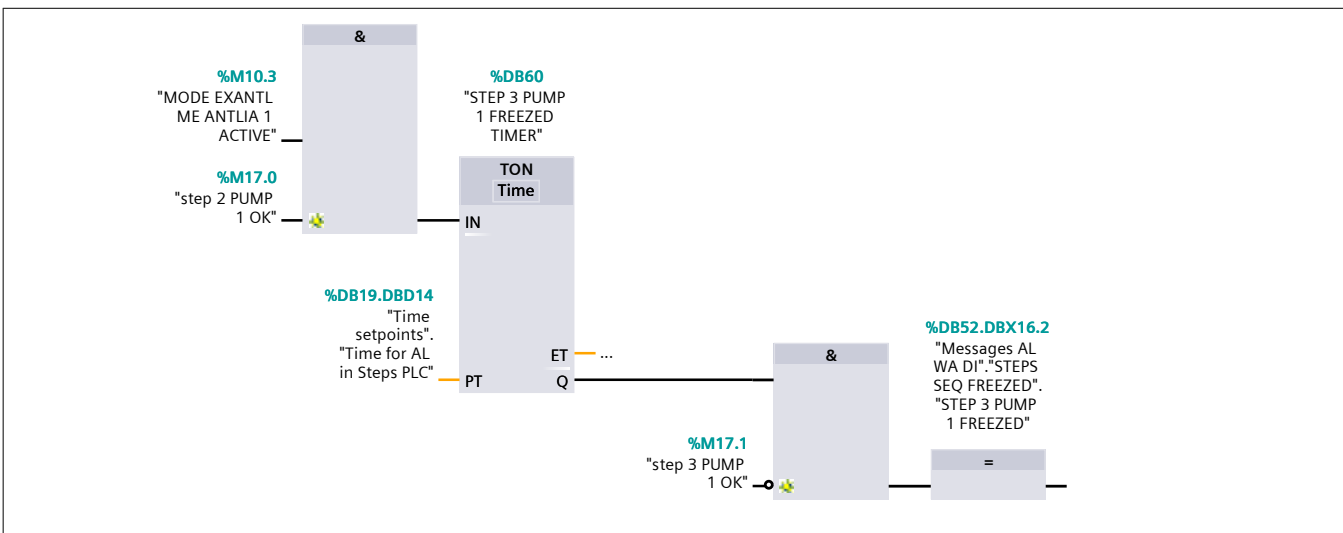
Network 1: STEP 1 PUMP 1 FREEZED



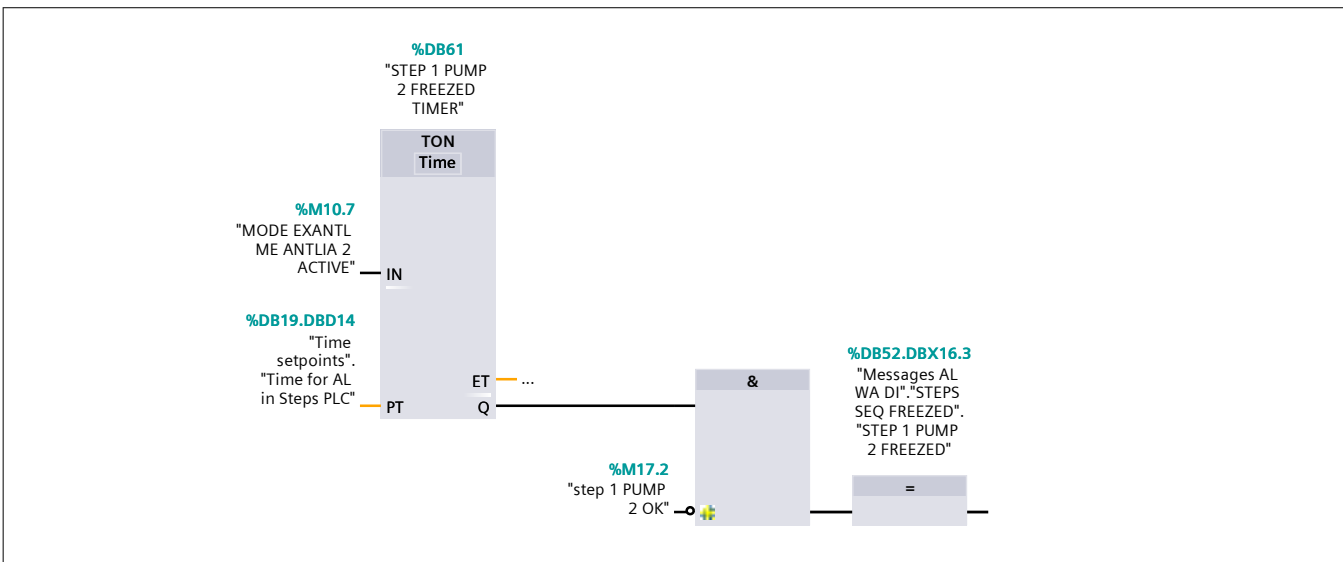
Network 2: STEP 2 PUMP 1 FREEZED



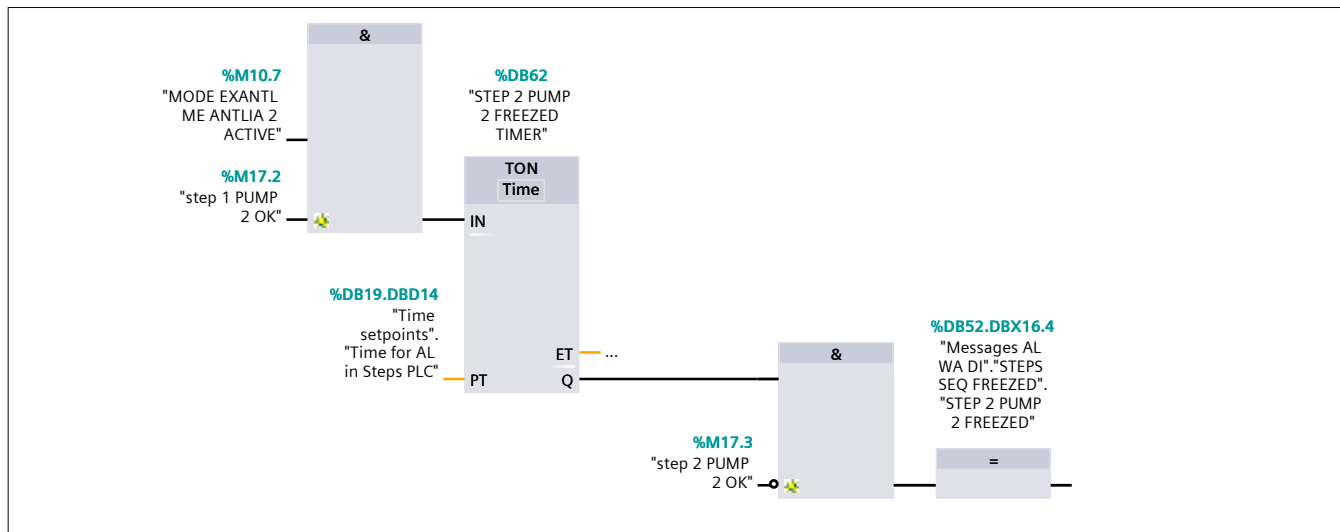
Network 3: STEP 3 PUMP 1 FREEZED



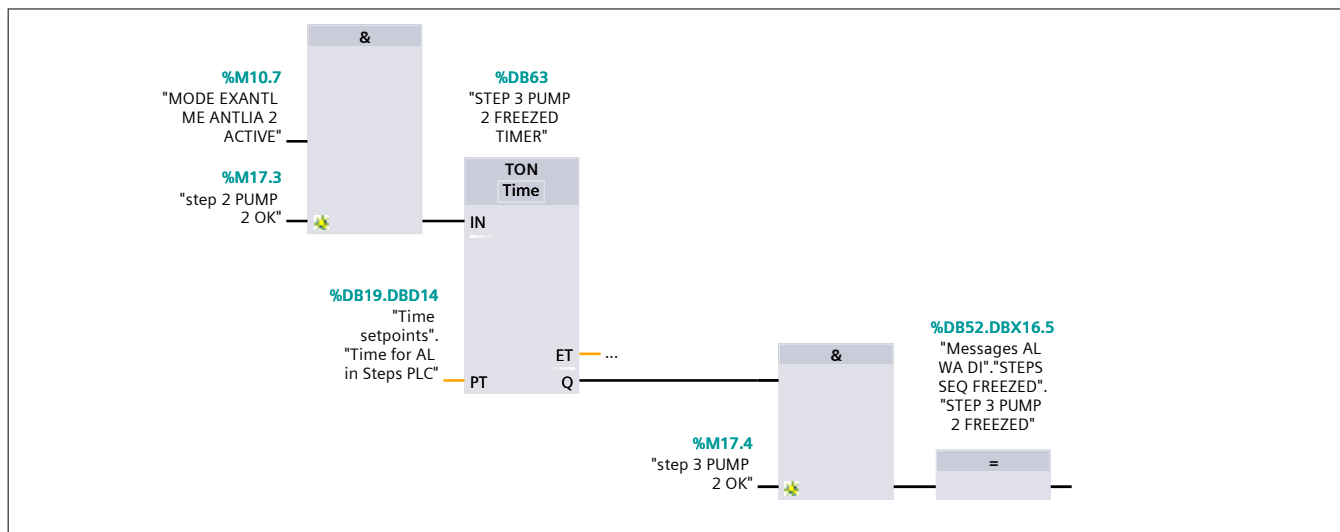
Network 4: STEP 1 PUMP 2 FREEZED



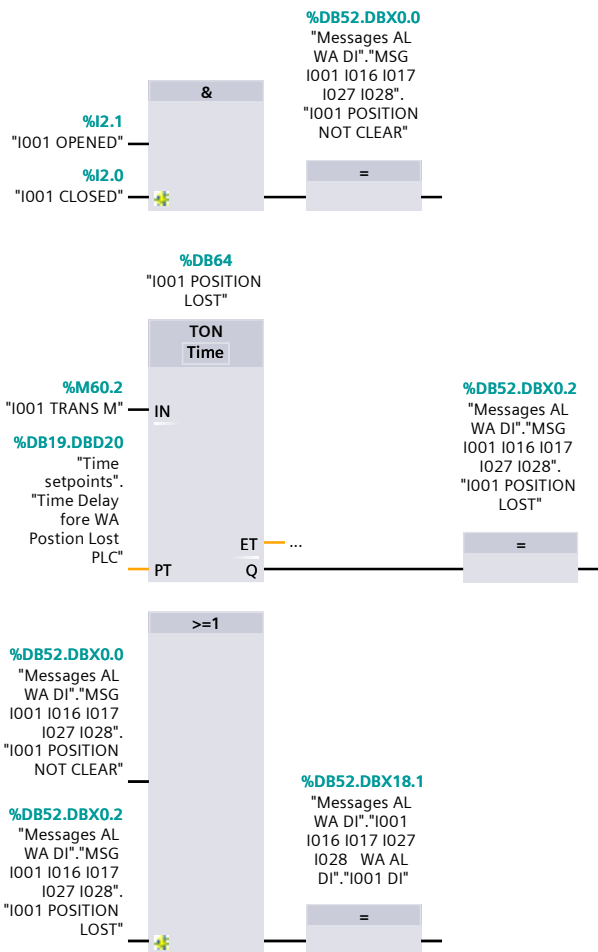
Network 5: STEP 2 PUMP 2 FREEZED



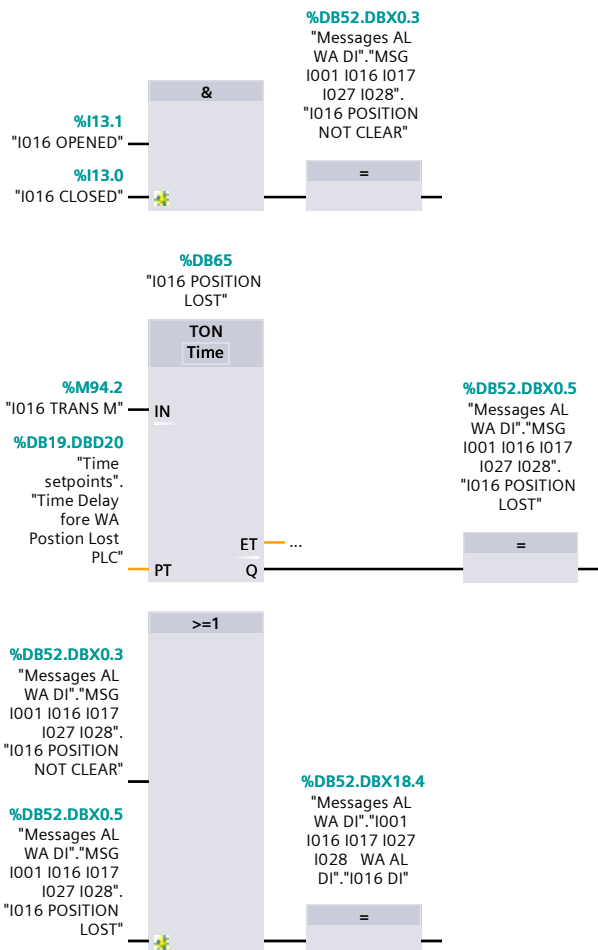
Network 6: STEP 3 PUMP 2 FREEZED



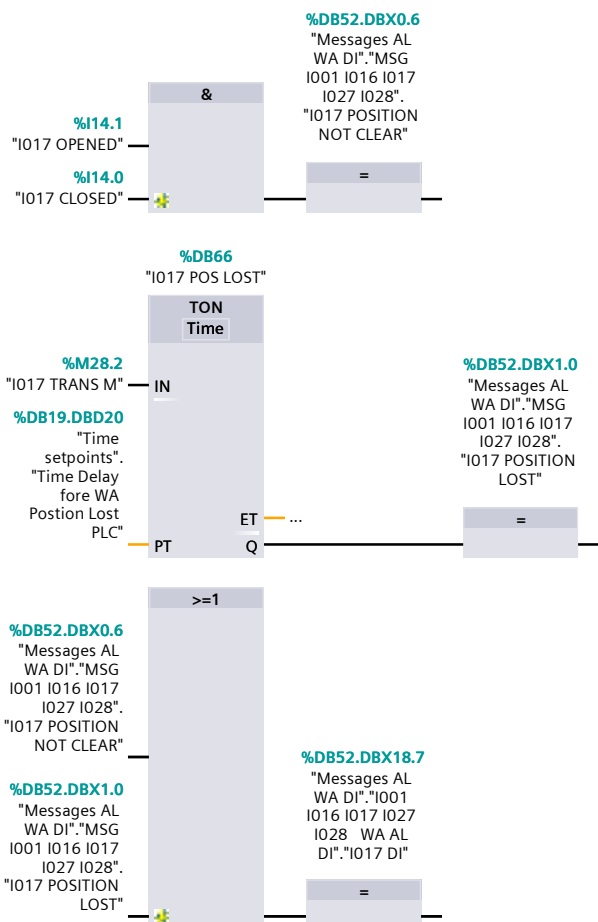
Network 7: I001



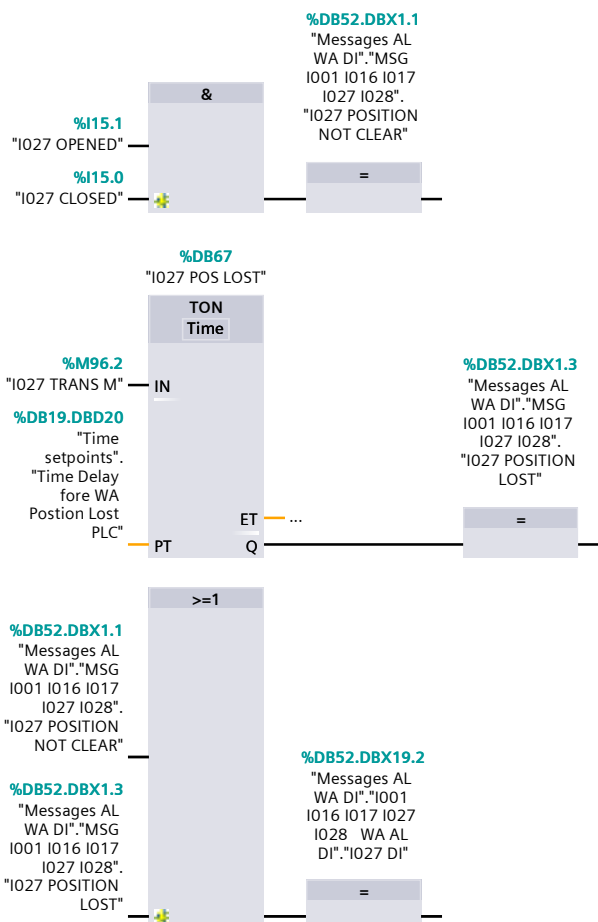
Network 8: I016



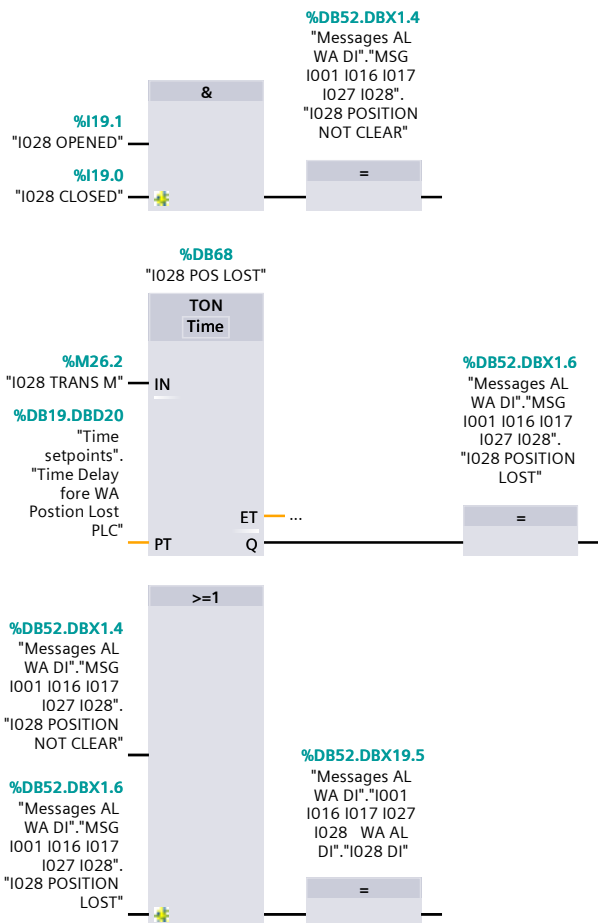
Network 9: I017



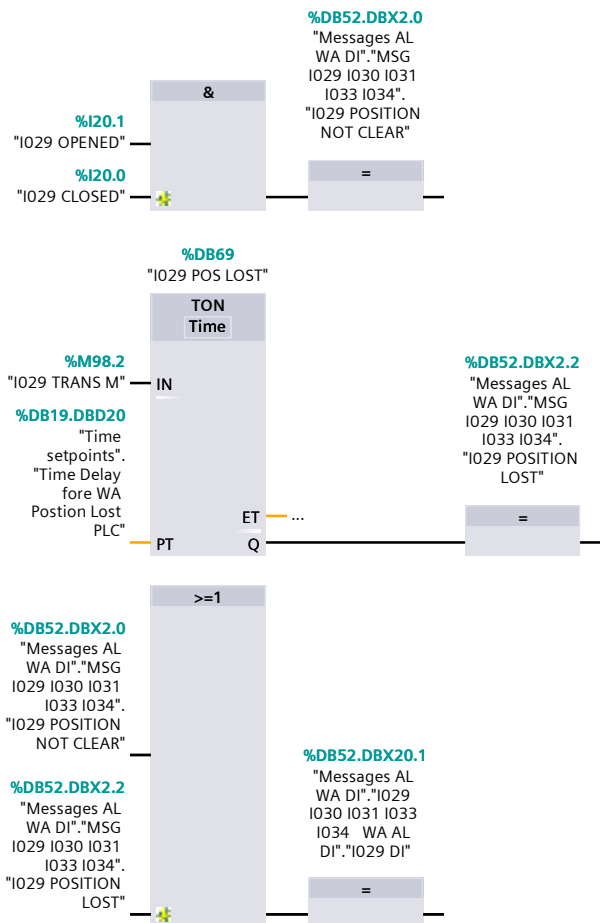
Network 10: I027



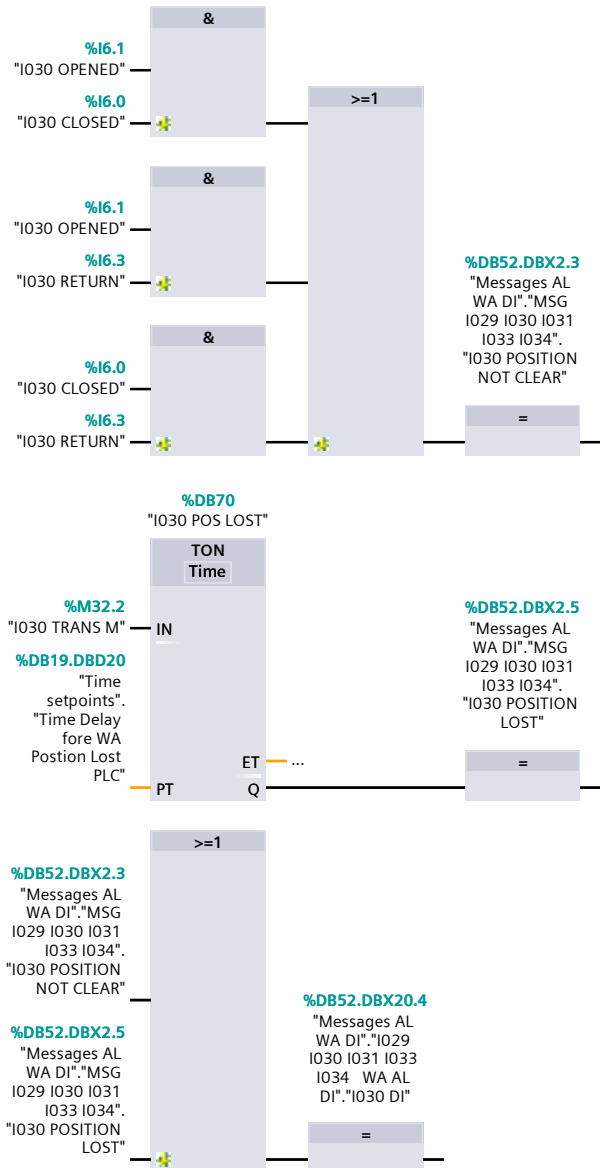
Network 11: I028



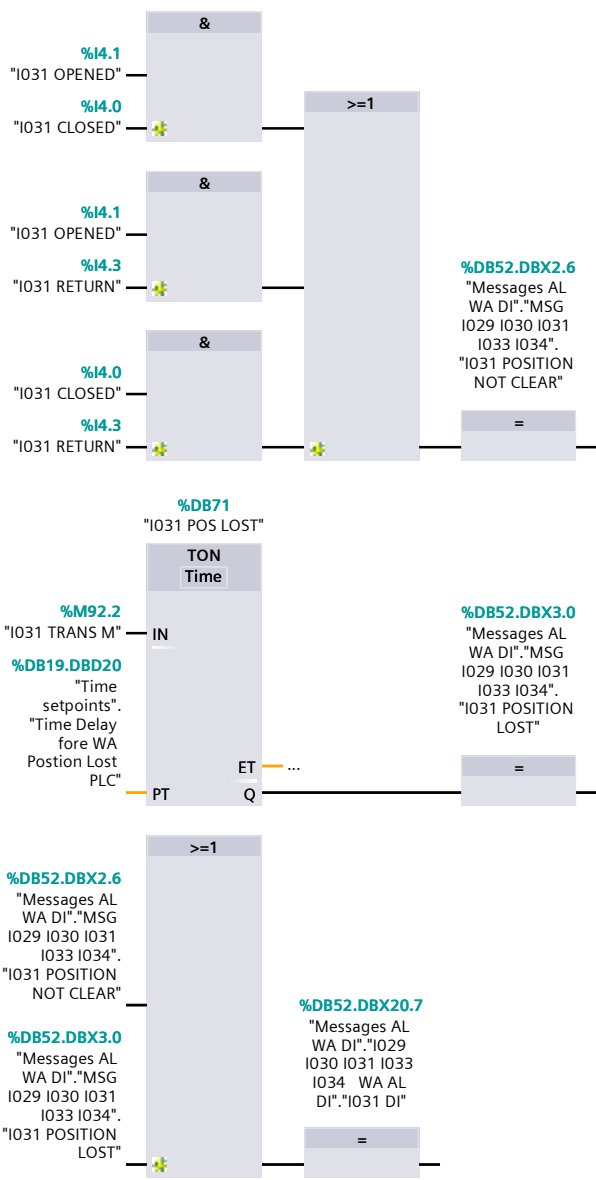
Network 12: I029



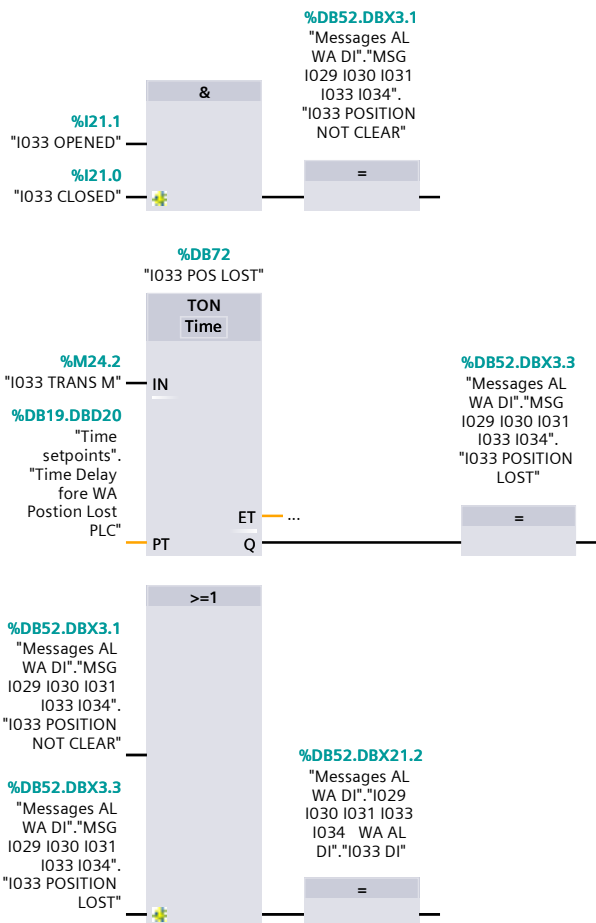
Network 13: I030



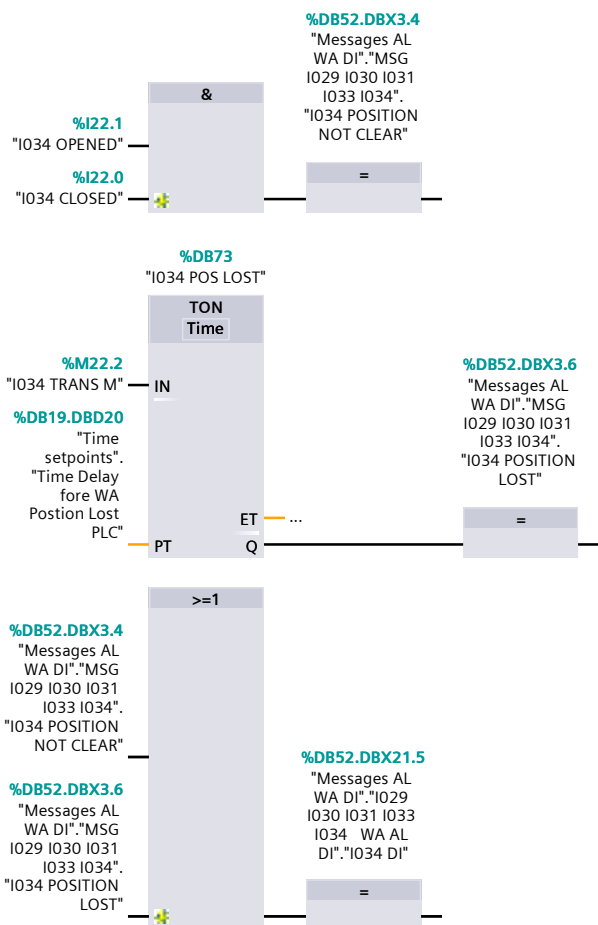
Network 14: IO31



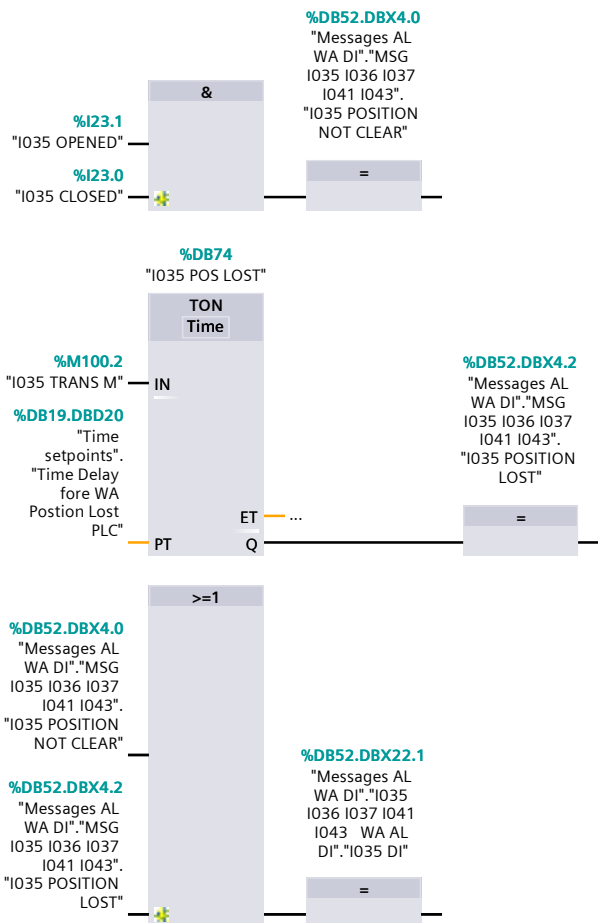
Network 15: I033



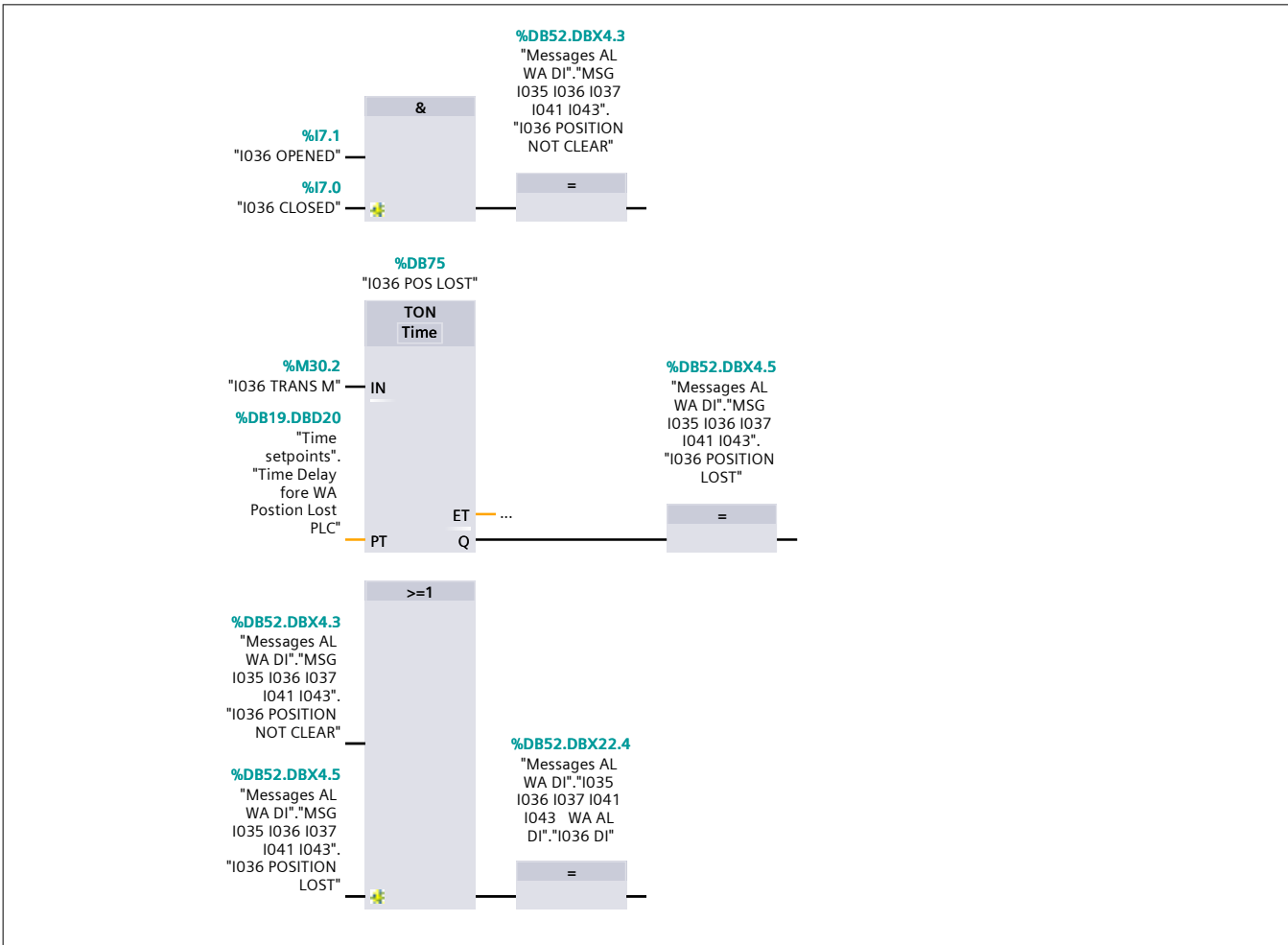
Network 16: I034



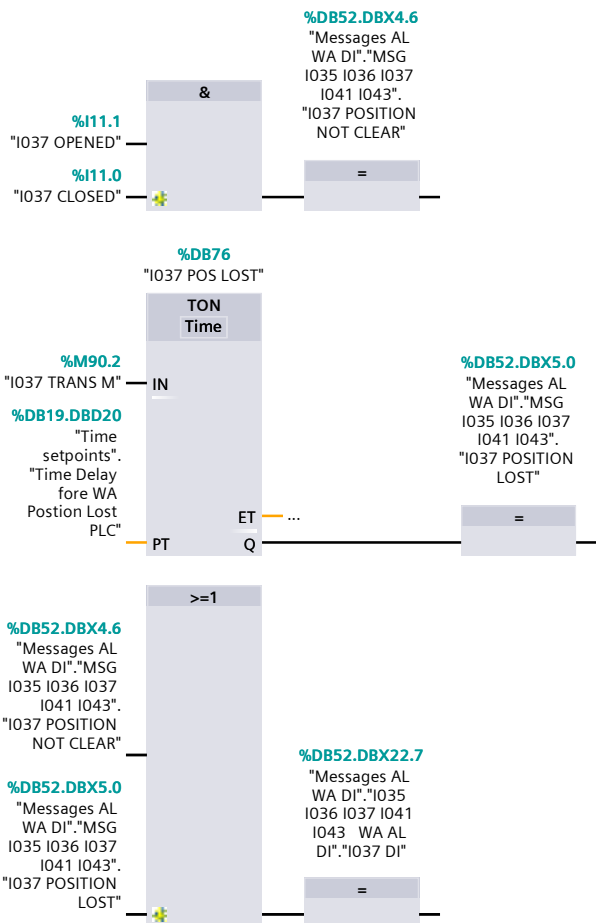
Network 17: I035



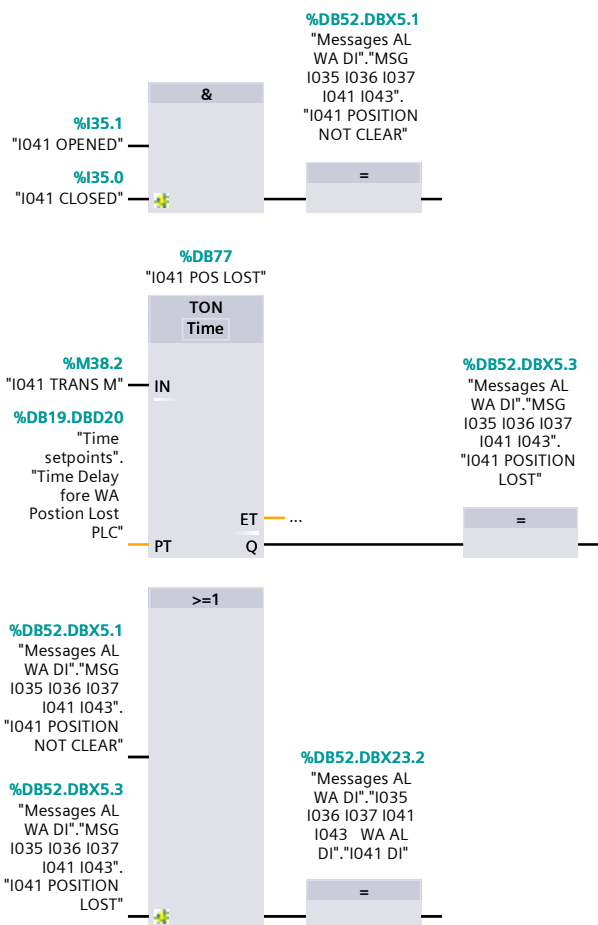
Network 18: I036



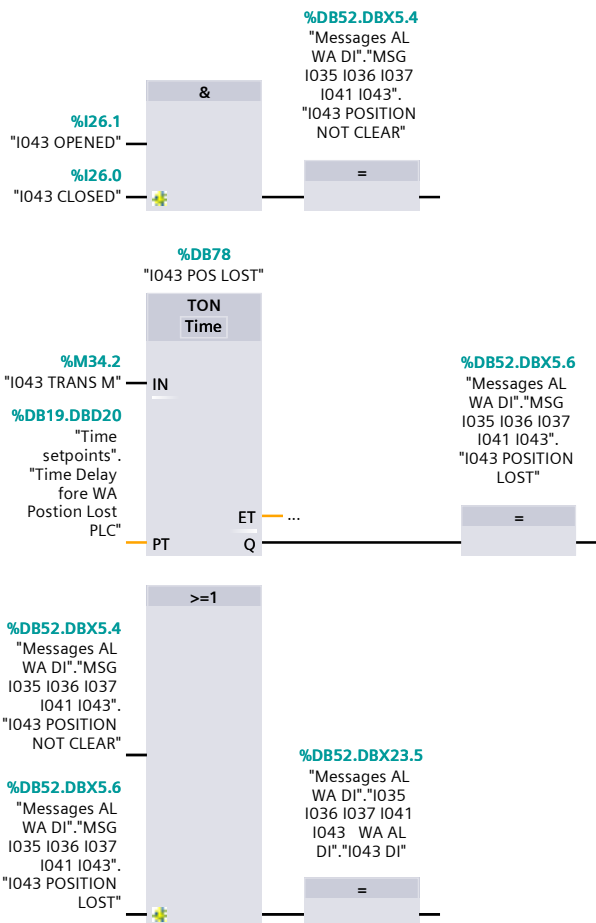
Network 19: I037



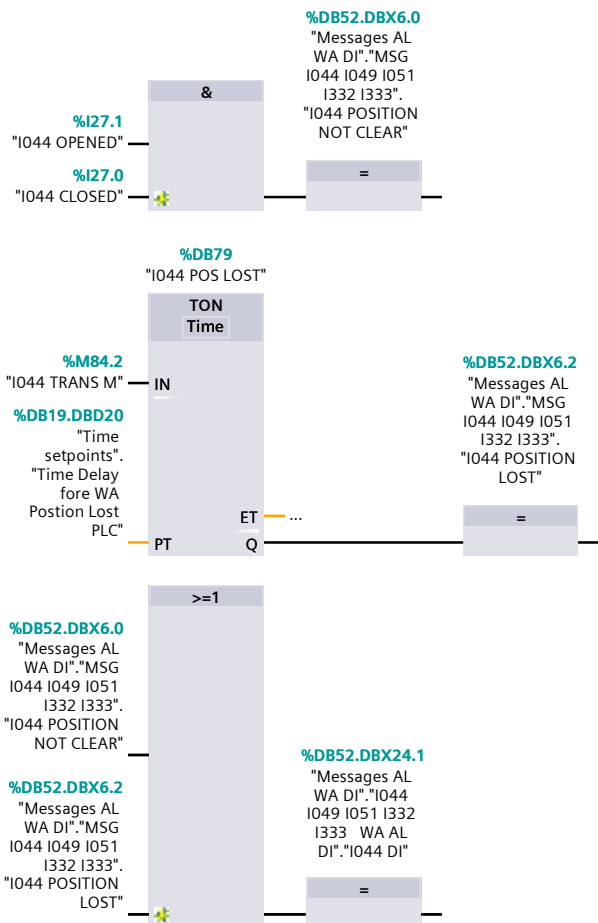
Network 20: I041



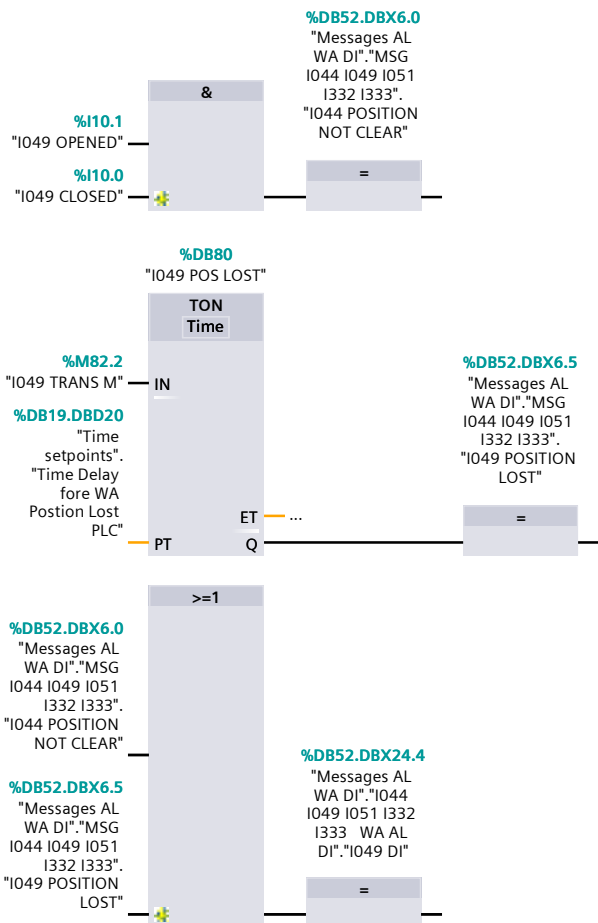
Network 21: I043



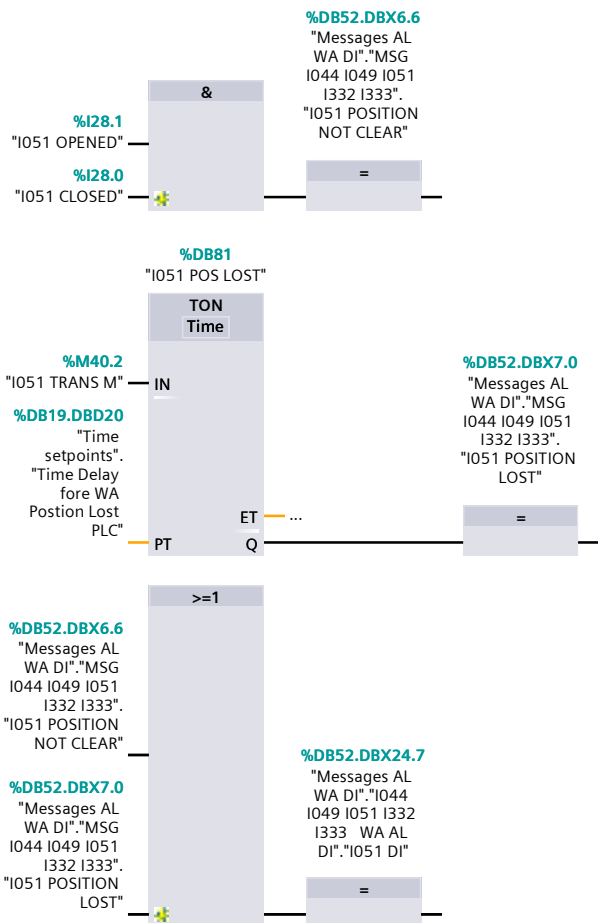
Network 22: I044



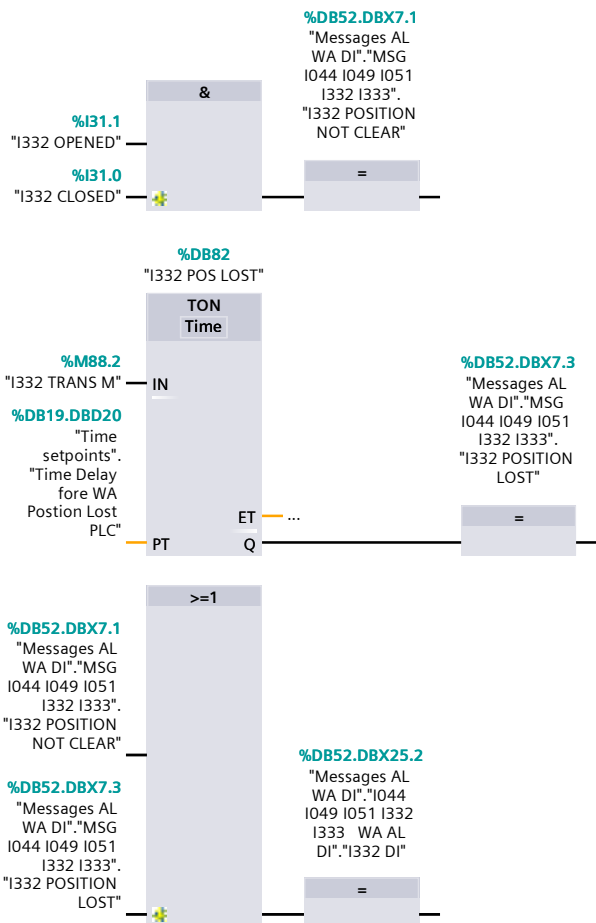
Network 23: I049



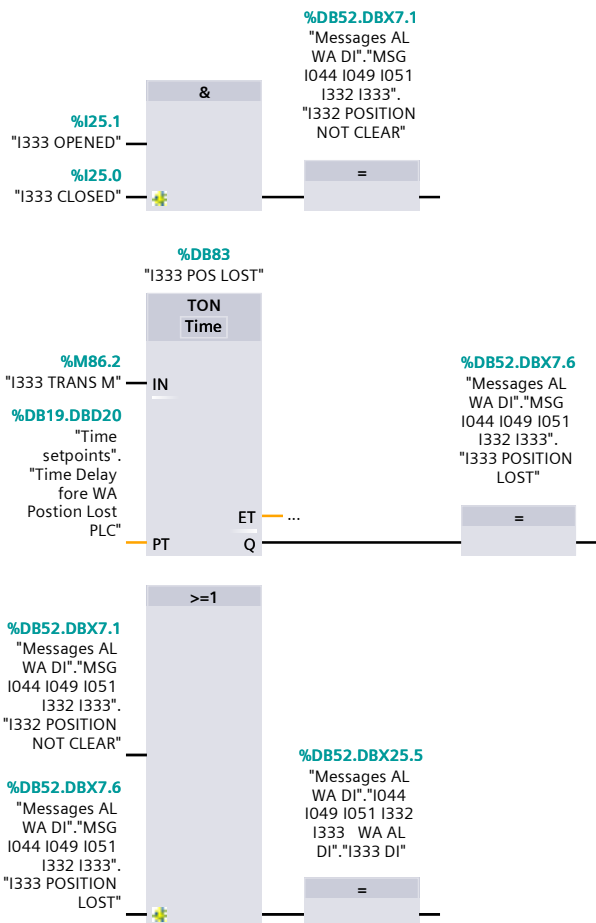
Network 24: I051



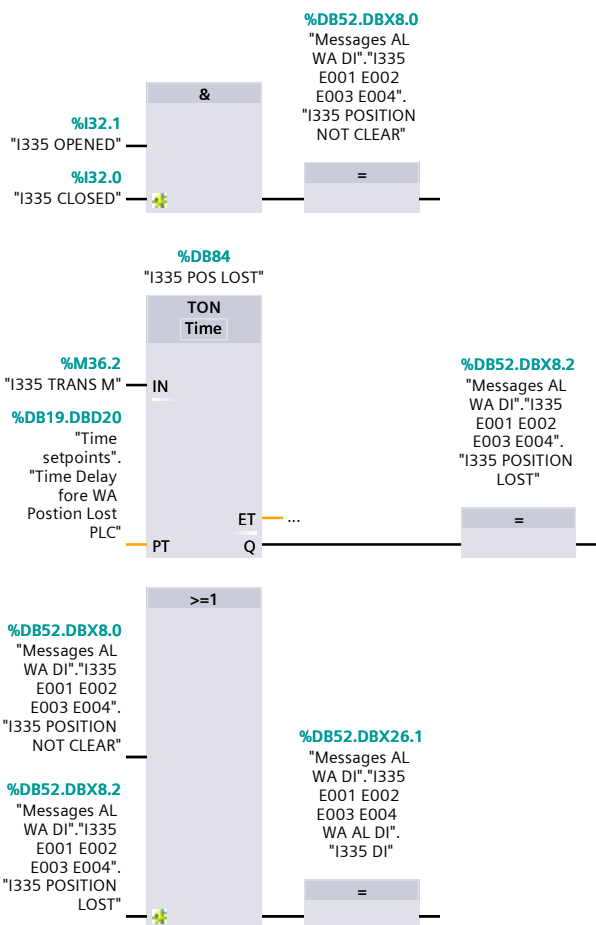
Network 25: I332



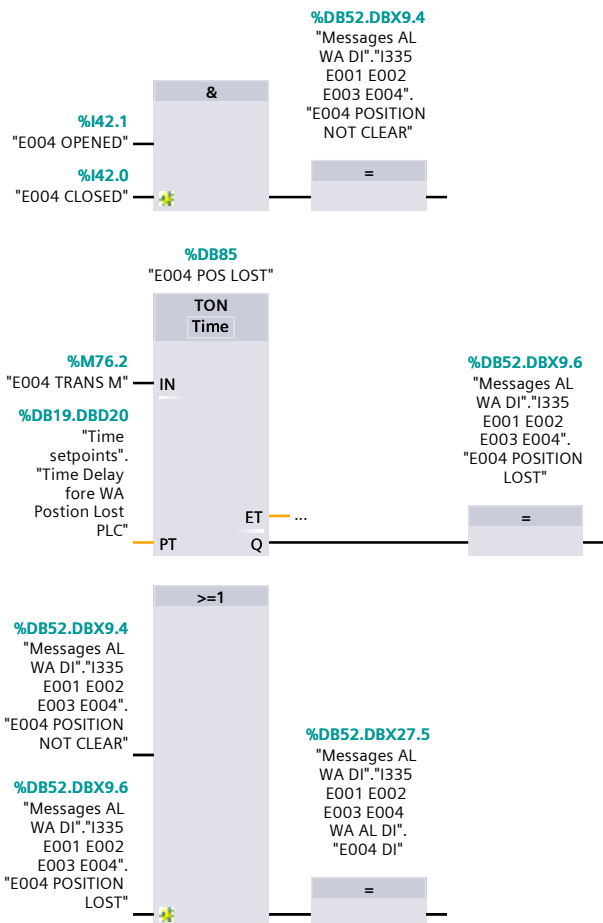
Network 26: I333



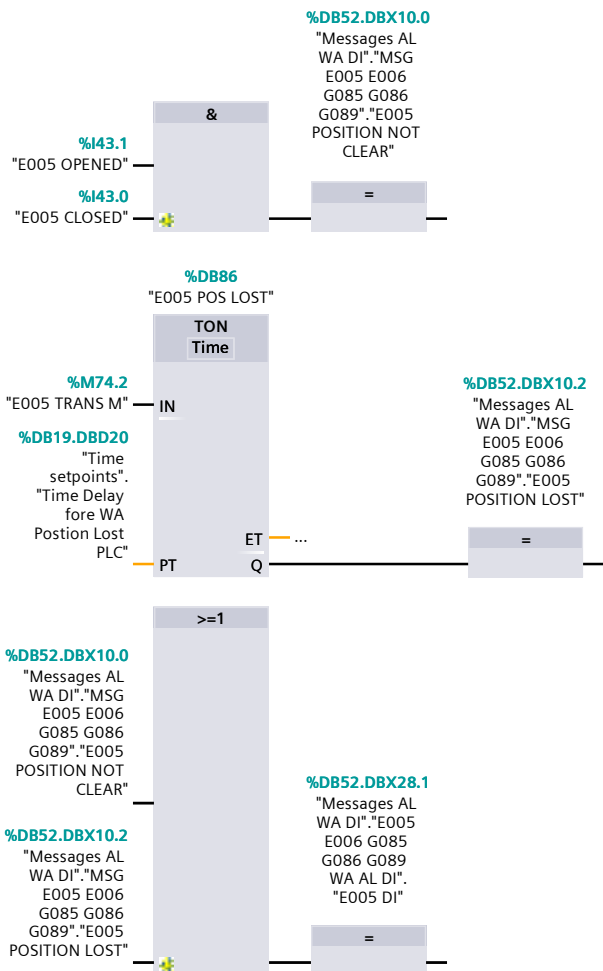
Network 27: I335



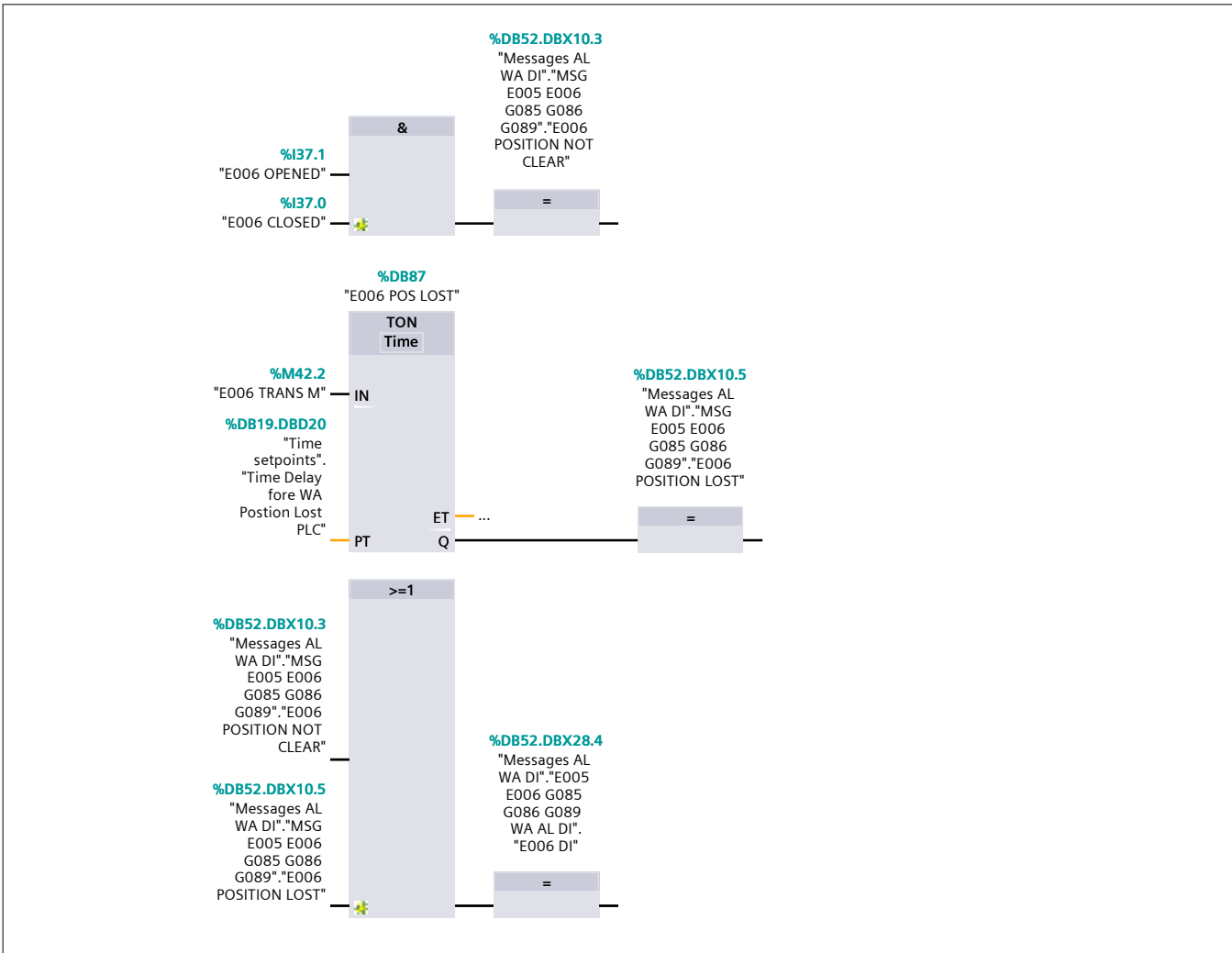
Network 28: E004



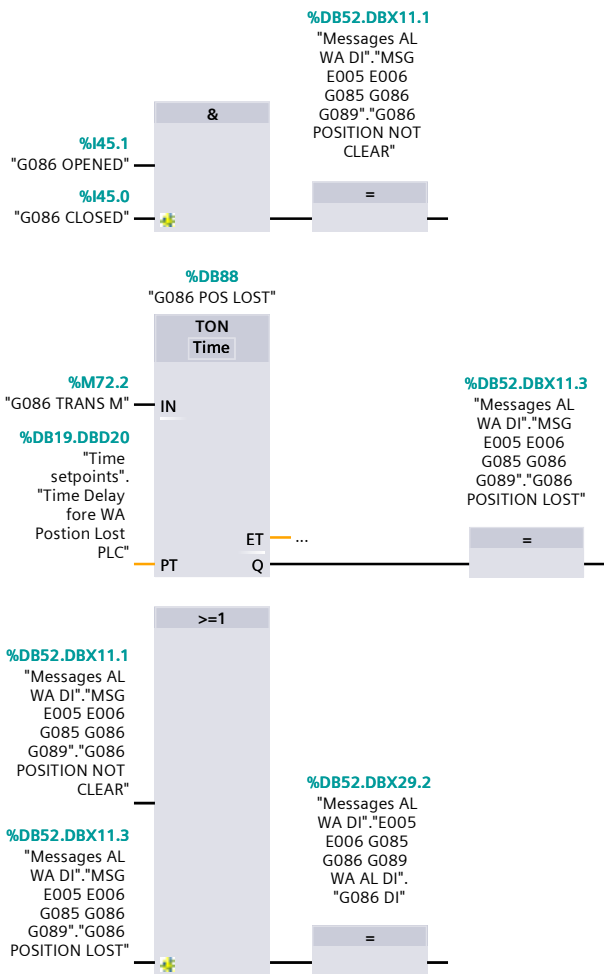
Network 29: E005



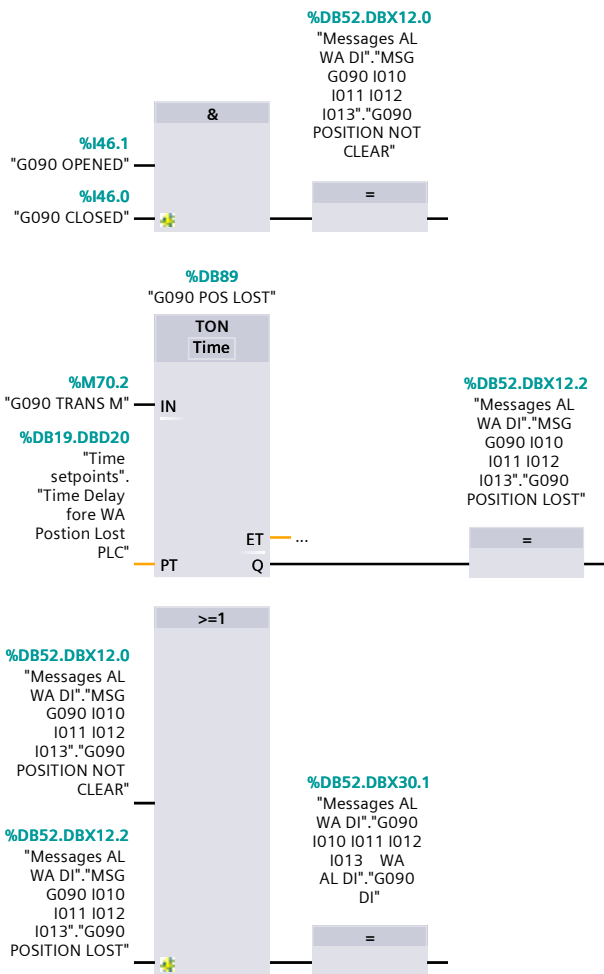
Network 30: E006



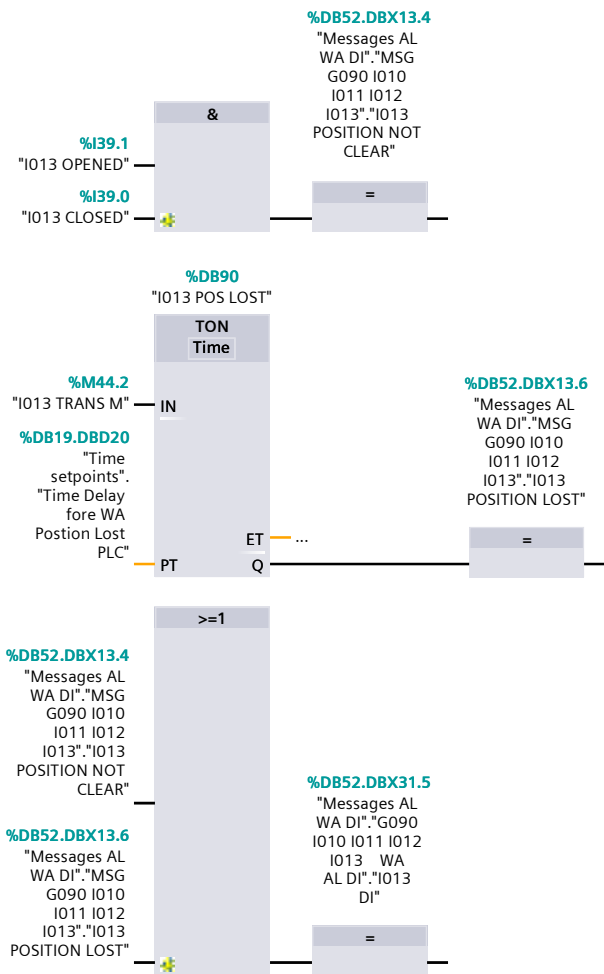
Network 31: G086



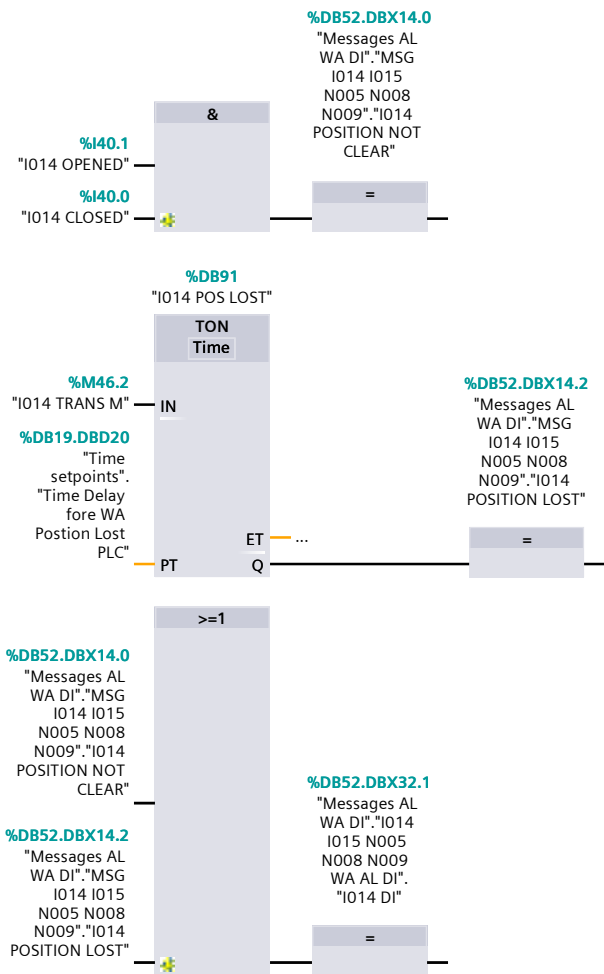
Network 32: G090



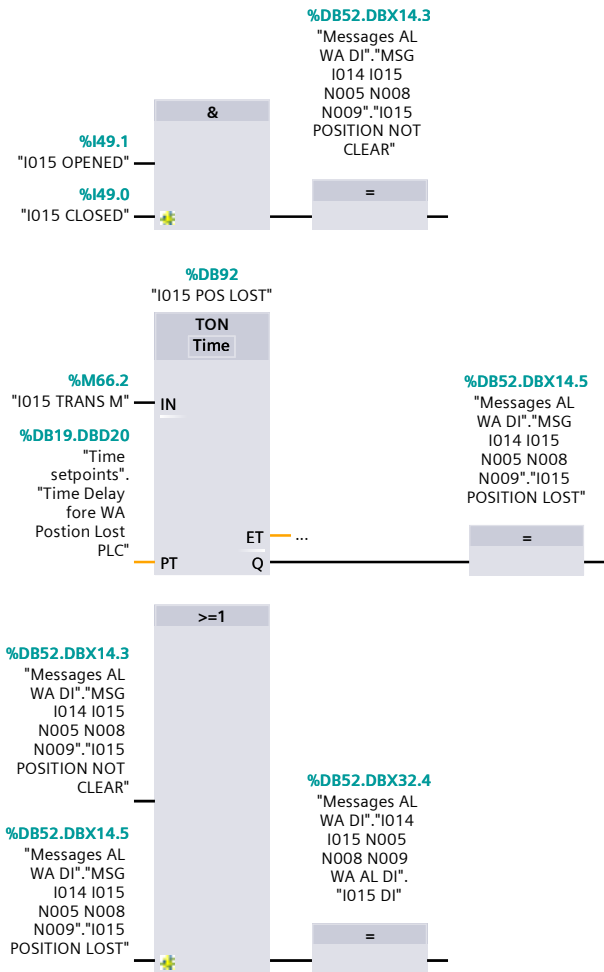
Network 33: I013



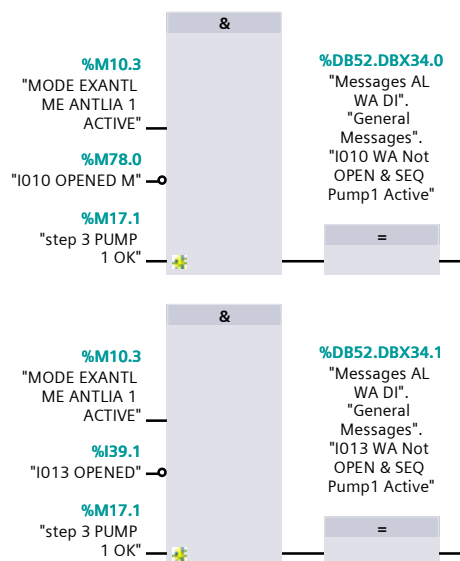
Network 34: I014



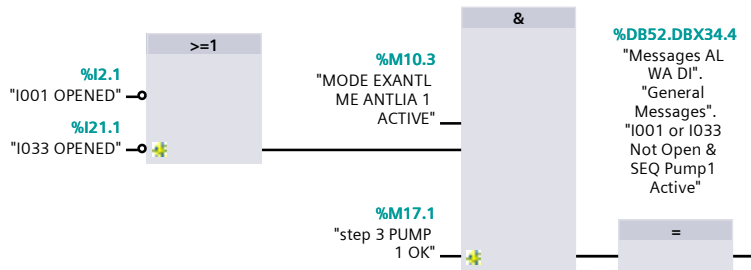
Network 35: I015



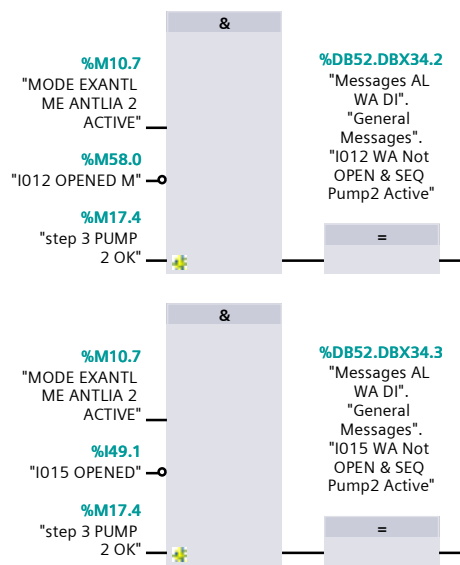
Network 36: WA I010 & I013



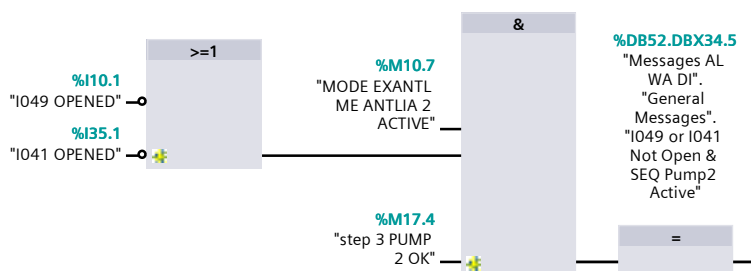
Network 37: I001 or I033 Not Open & SEQ Pump1 Active



Network 38: WA I012 & I015



Network 39: I049 or I041 Not Open & SEQ Pump2 Active



Program blocks

steps ana mode [FC5]

steps ana mode Properties

General

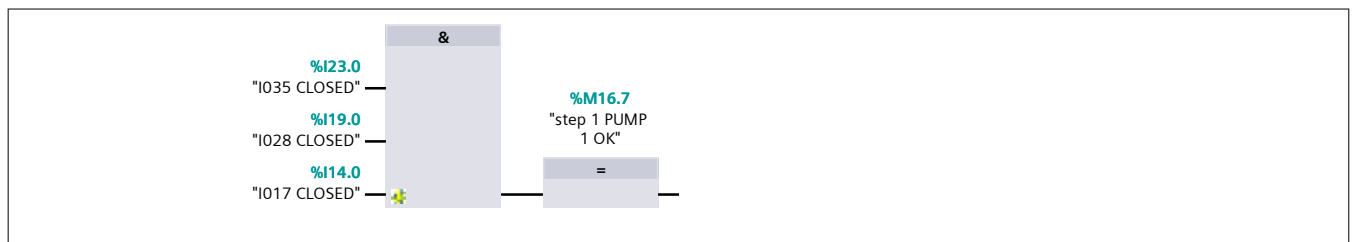
Name	steps ana mode	Number	5	Type	FC
Language	FBD	Numbering	Automatic		

Information

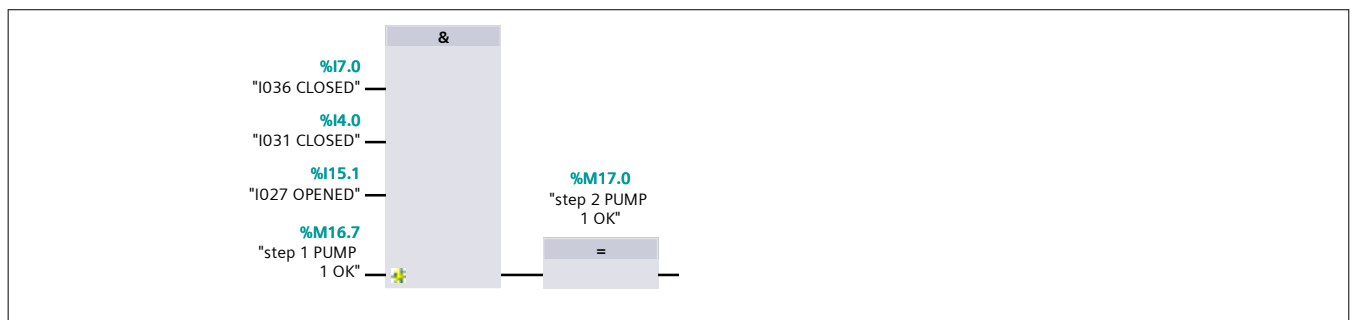
Title		Author		Comment	
Family		Version	0.1	User-defined ID	

Name	Data type	Default value
Input		
Output		
InOut		
Temp		
Constant		
▼ Return		
steps ana mode	Void	

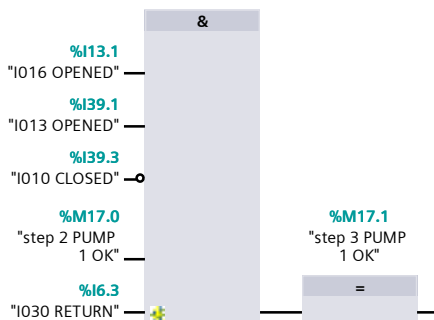
Network 1: step 1 PUMP 1



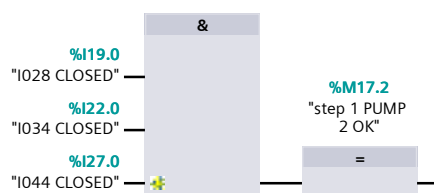
Network 2: step 2 PUMP 1



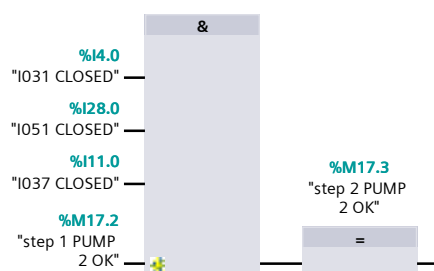
Network 3: step 3 PUMP 1



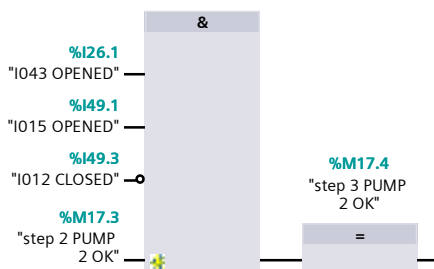
Network 4: step 1 PUMP 2



Network 5: step 2 PUMP 2



Network 6: step 3 PUMP 2



Program blocks

Tags Επιστομίων [FC6]

Tags Επιστομίων Properties

General

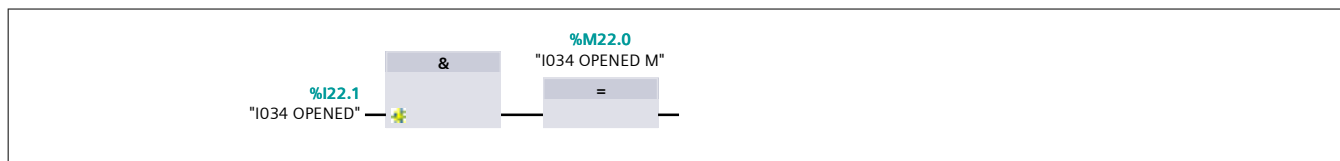
Name	Tags Επιστομίων	Number	6	Type	FC
Language	FBD	Numbering	Automatic		

Information

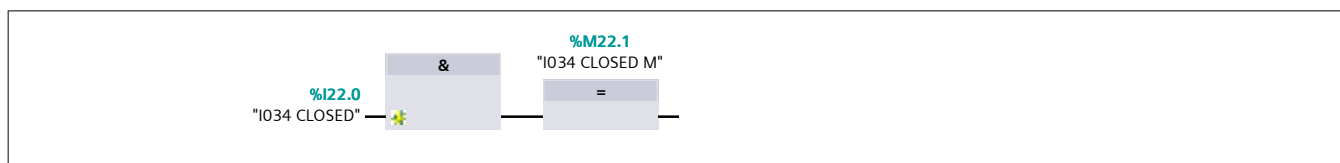
Title		Author		Comment	
Family		Version	0.1	User-defined ID	

Name	Data type	Default value
Input		
Output		
InOut		
Temp		
Constant		
▼ Return		
Tags Επιστομίων	Void	

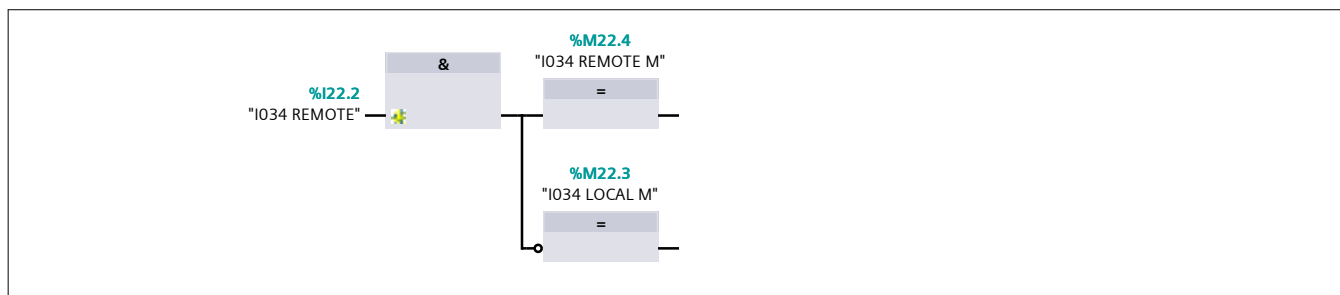
Network 1: I 034 OPEN



Network 2: CLOSED



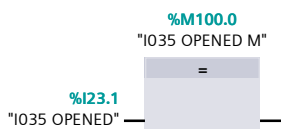
Network 3: REMOTE LOCAL



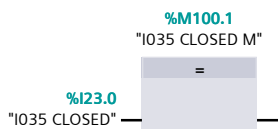
Network 4: TRANS



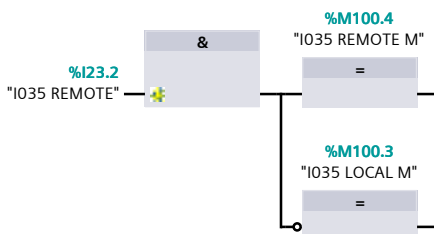
Network 5: I 035 OPEN



Network 6: CLOSED



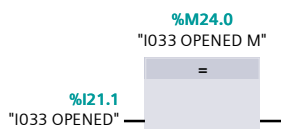
Network 7: REMOTE LOCAL



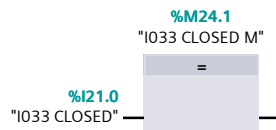
Network 8: TRANS



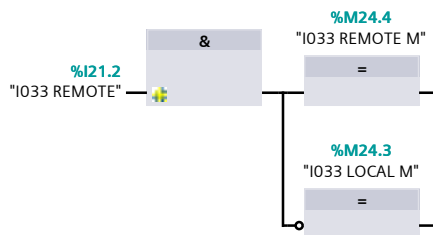
Network 9: I 033 OPEN



Network 10: CLOSED



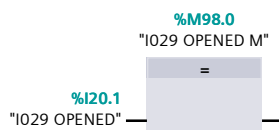
Network 11: REMOTE LOCAL



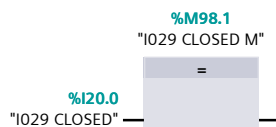
Network 12: TRANS



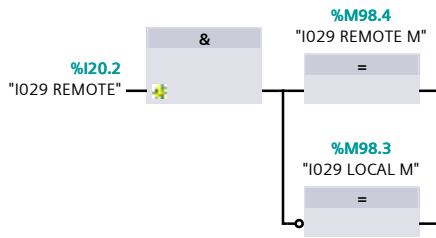
Network 13: I 029 OPEN



Network 14: CLOSED



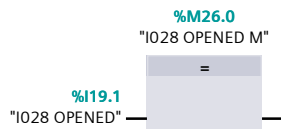
Network 15: REMOTE LOCAL



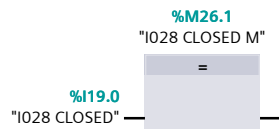
Network 16: TRANS



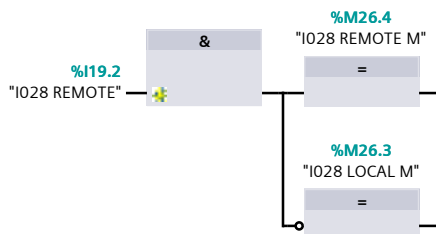
Network 17: I 028 OPEN



Network 18: CLOSED



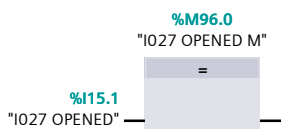
Network 19: REMOTE LOCAL



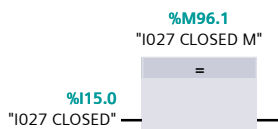
Network 20: TRANS



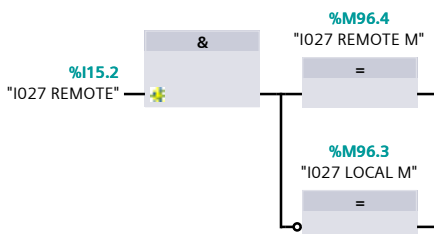
Network 21: I 027 OPEN



Network 22: CLOSED



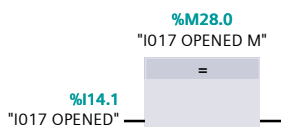
Network 23: REMOTE LOCAL



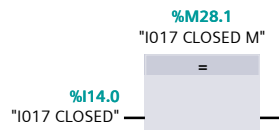
Network 24: TRANS



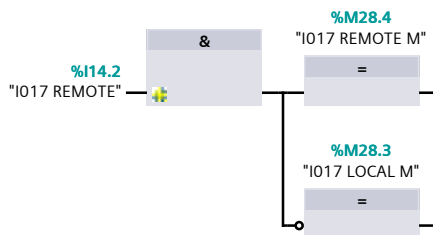
Network 25: I017 OPEN



Network 26: CLOSED



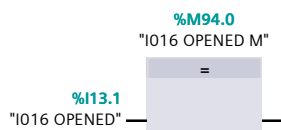
Network 27: REMOTE LOCAL



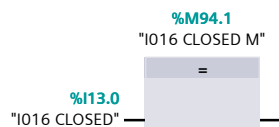
Network 28: TRANS



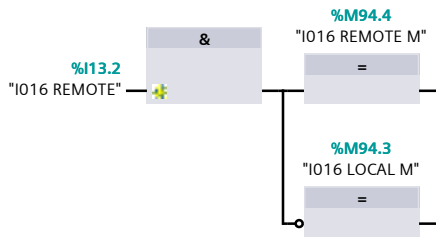
Network 29: I016 OPEN



Network 30: CLOSED



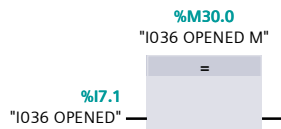
Network 31: REMOTE LOCAL



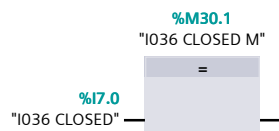
Network 32: TRANS



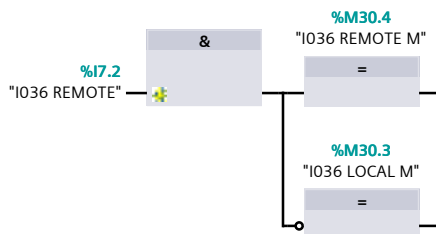
Network 33: I036 OPEN



Network 34: CLOSED



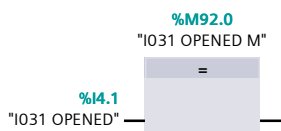
Network 35: REMOTE LOCAL



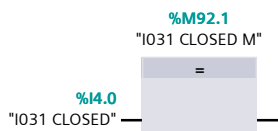
Network 36: TRANS



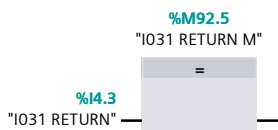
Network 37: I031 OPEN



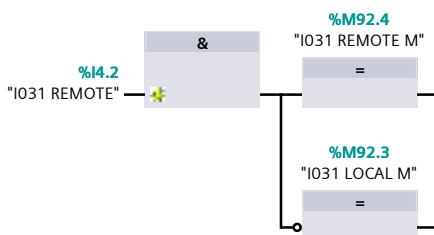
Network 38: CLOSED



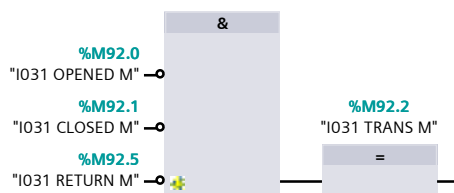
Network 39: RETURN



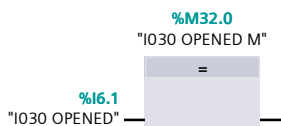
Network 40: REMOTE LOCAL



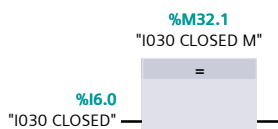
Network 41: TRANS



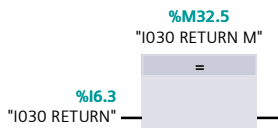
Network 42: IO30 OPEN



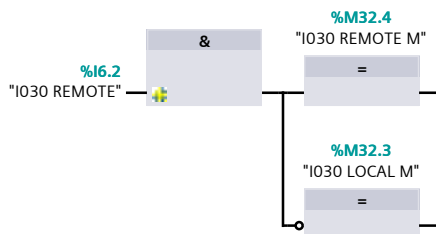
Network 43: CLOSED



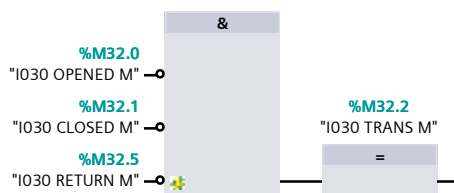
Network 44: RETURN



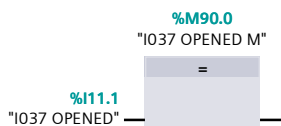
Network 45: REMOTE LOCAL



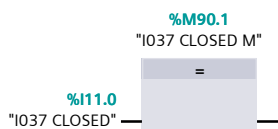
Network 46: TRANS



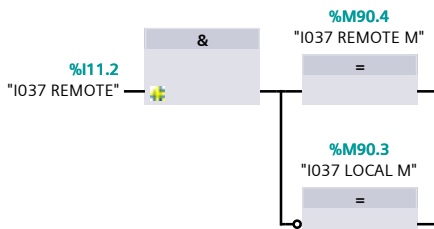
Network 47: I037 OPEN



Network 48: CLOSED



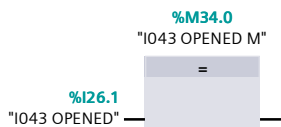
Network 49: REMOTE LOCAL



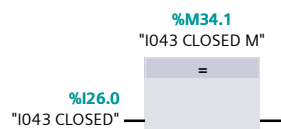
Network 50: TRANS



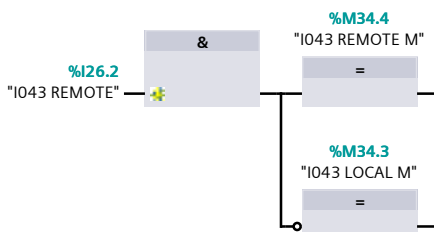
Network 51: I043 OPEN



Network 52: CLOSED



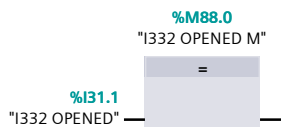
Network 53: REMOTE LOCAL



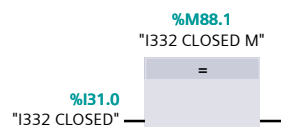
Network 54: TRANS



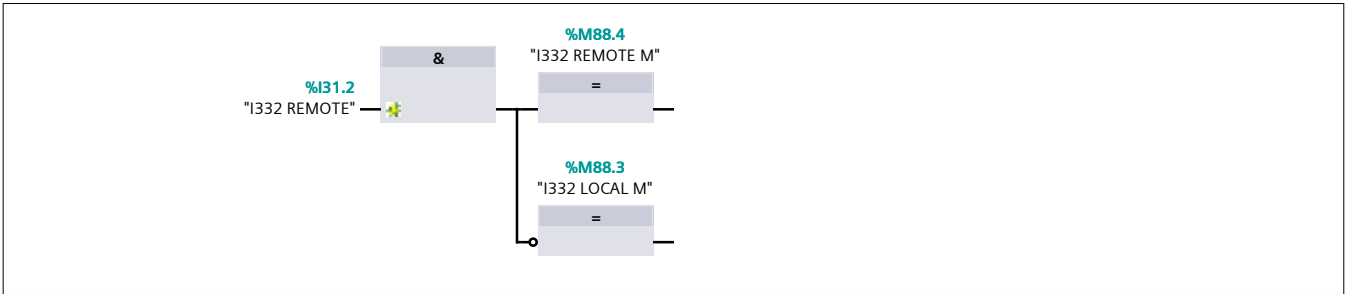
Network 55: I332 OPEN



Network 56: CLOSED



Network 57: REMOTE LOCAL



Network 58: TRANS



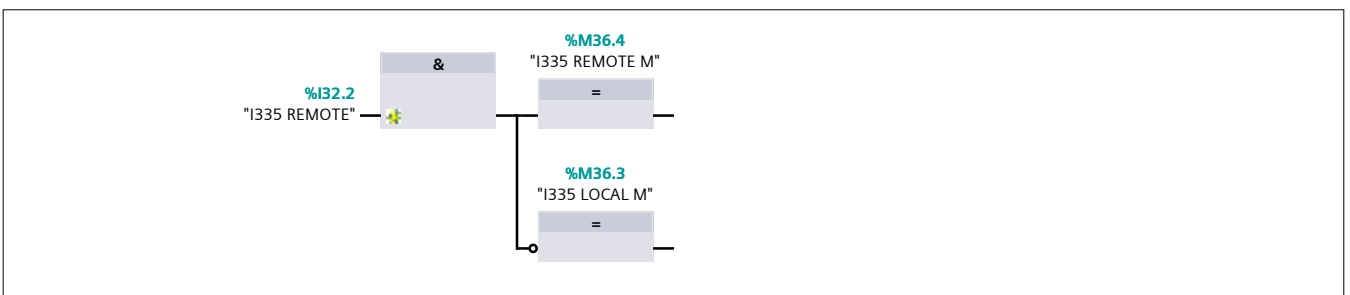
Network 59: I335 OPEN



Network 60: CLOSED



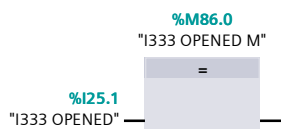
Network 61: REMOTE LOCAL



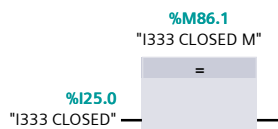
Network 62: TRANS



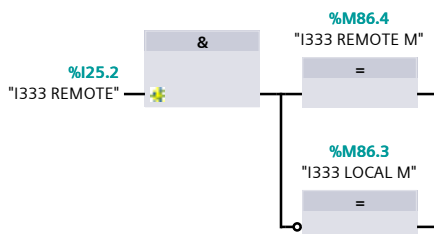
Network 63: I333 OPEN



Network 64: CLOSED



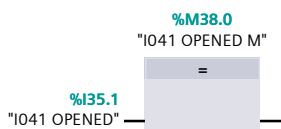
Network 65: REMOTE LOCAL



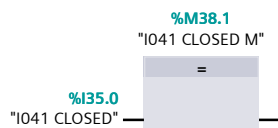
Network 66: TRANS



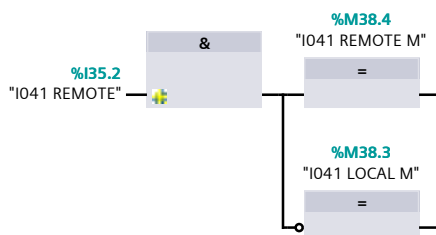
Network 67: I041 OPEN



Network 68: CLOSED



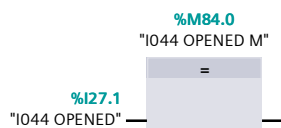
Network 69: REMOTE LOCAL



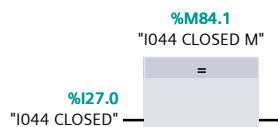
Network 70: TRANS



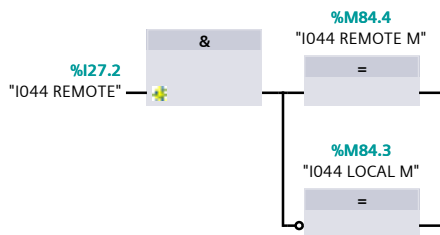
Network 71: I044 OPEN



Network 72: CLOSED



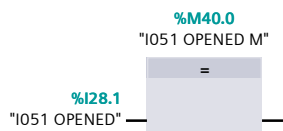
Network 73: REMOTE LOCAL



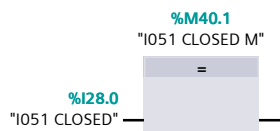
Network 74: TRANS



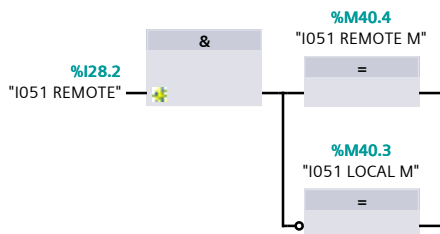
Network 75: I051 OPEN



Network 76: CLOSED



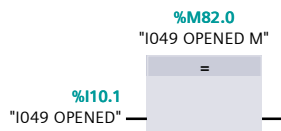
Network 77: REMOTE LOCAL



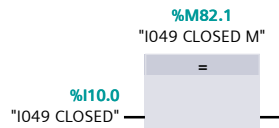
Network 78: TRANS



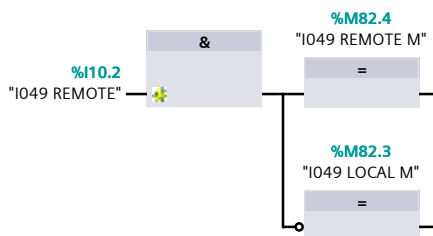
Network 79: I049 OPEN



Network 80: CLOSED



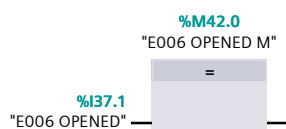
Network 81: REMOTE LOCAL



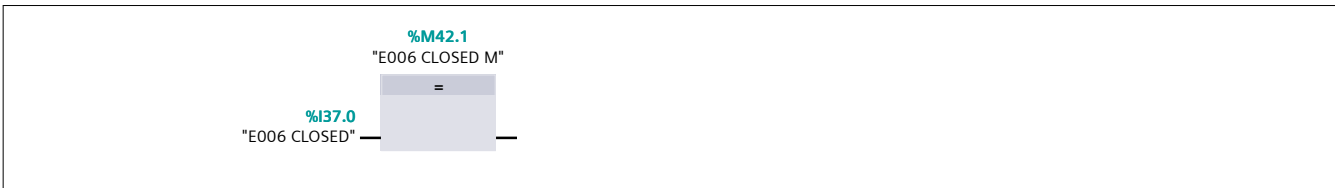
Network 82: TRANS



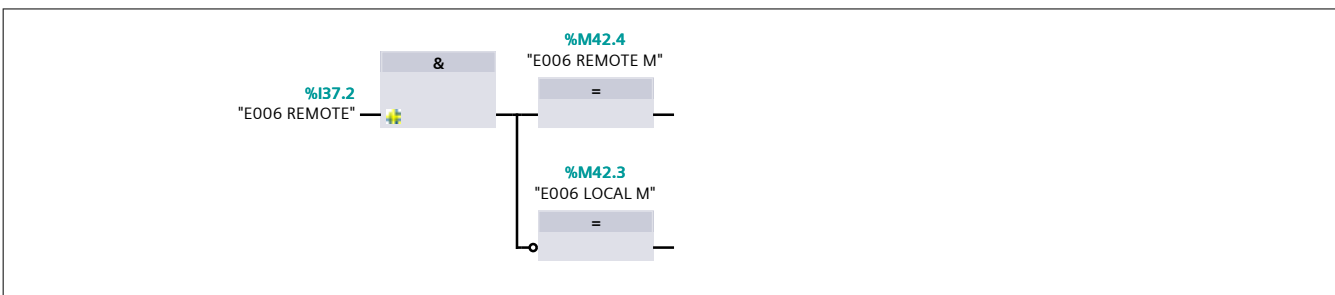
Network 83: E006 OPEN



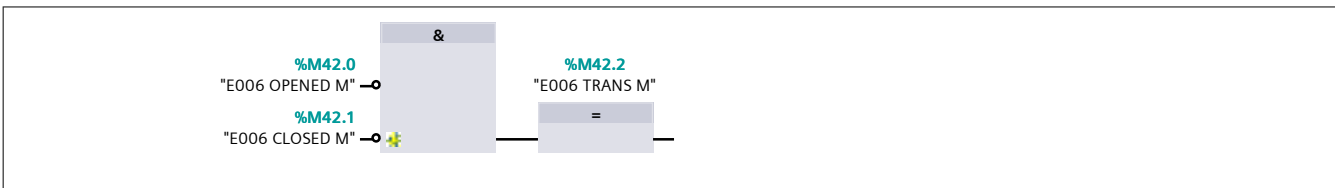
Network 84: CLOSED



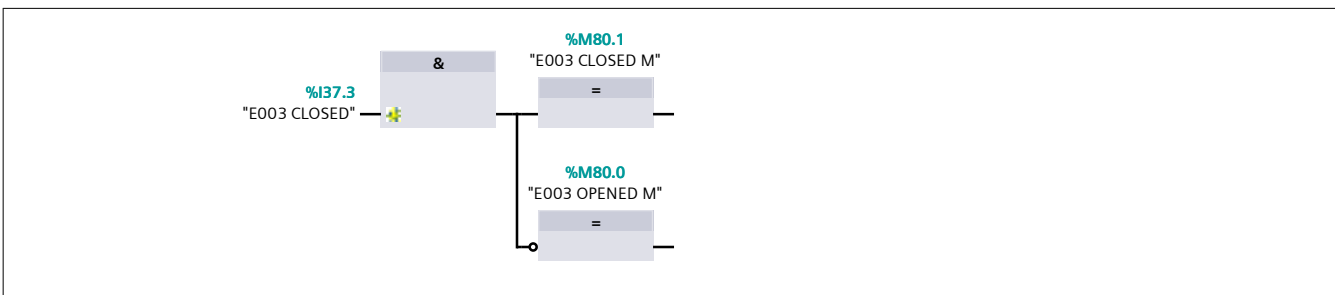
Network 85: REMOTE LOCAL



Network 86: TRANS



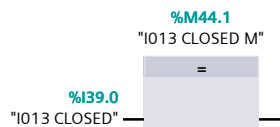
Network 87: E003 OPEN ___ CLOSED



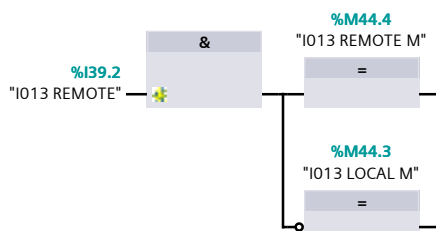
Network 88: I013 OPEN



Network 89: CLOSED



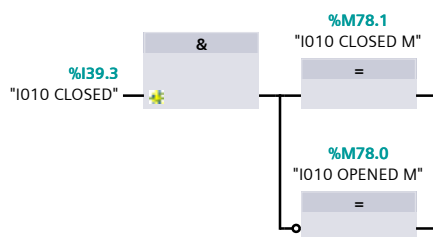
Network 90: REMOTE LOCAL



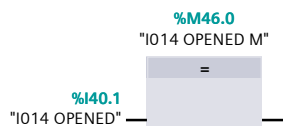
Network 91: TRANS



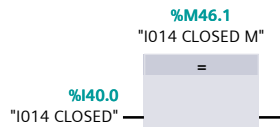
Network 92: I010 OPEN CLOSED



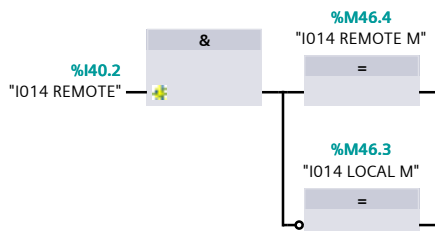
Network 93: I014 OPEN



Network 94: CLOSED



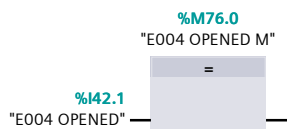
Network 95: REMOTE LOCAL



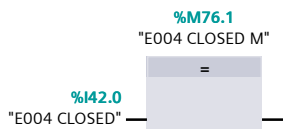
Network 96: TRANS



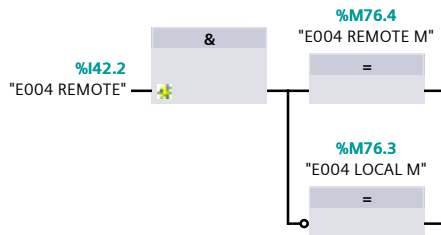
Network 97: E004 OPEN



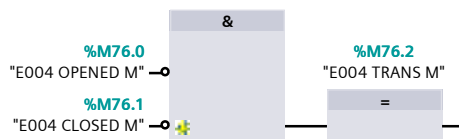
Network 98: CLOSED



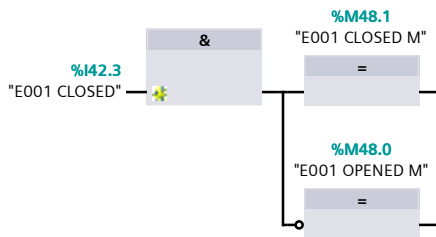
Network 99: REMOTE LOCAL



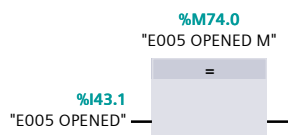
Network 100: TRANS



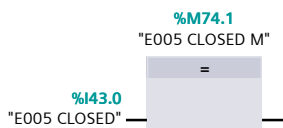
Network 101: E001 OPEN CLOSED



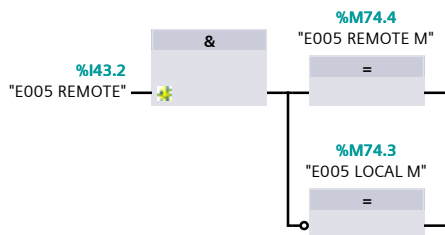
Network 102: E005 OPEN



Network 103: CLOSED



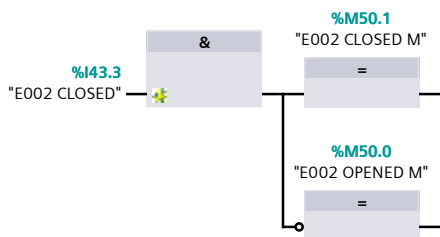
Network 104: REMOTE LOCAL



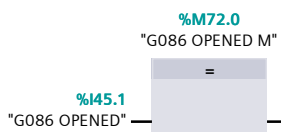
Network 105: TRANS



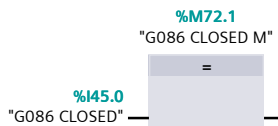
Network 106: E002 OPEN CLOSED



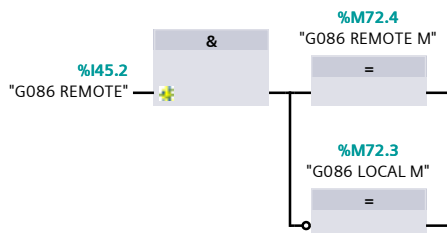
Network 107: G086 OPEN



Network 108: CLOSED



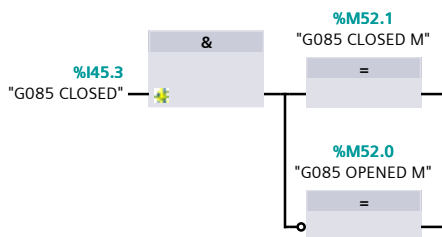
Network 109: REMOTE LOCAL



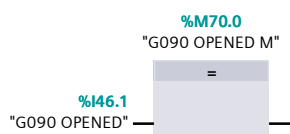
Network 110: TRANS



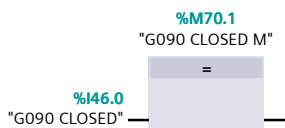
Network 111: G085 OPEN CLOSED



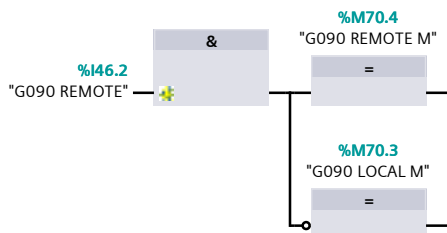
Network 112: G090 OPEN



Network 113: CLOSED



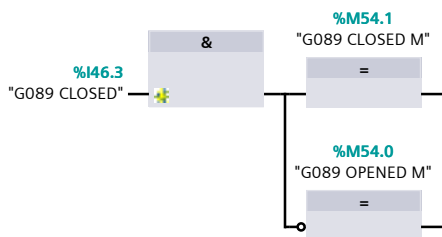
Network 114: REMOTE LOCAL



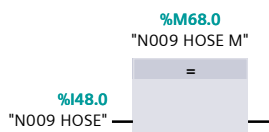
Network 115: TRANS



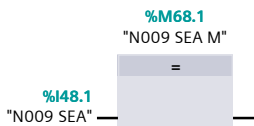
Network 116: G089 OPEN CLOSED



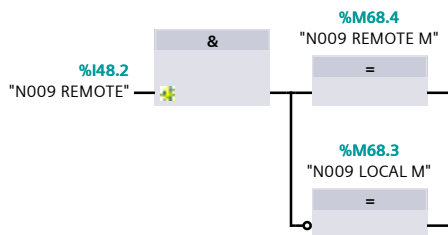
Network 117: N009 HOSE



Network 118: SEA



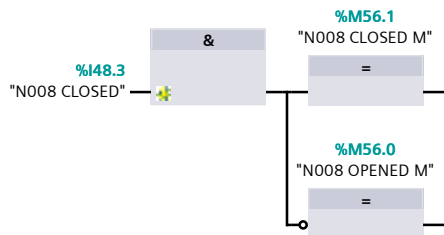
Network 119: REMOTE LOCAL



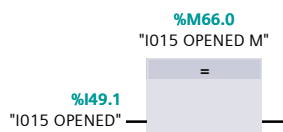
Network 120: TRANS



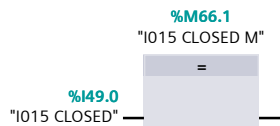
Network 121: N008 OPEN CLOSED



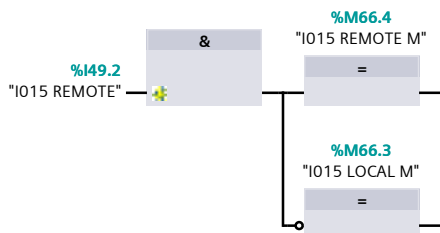
Network 122: I015 OPEN



Network 123: CLOSED



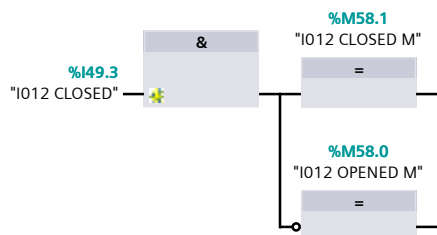
Network 124: REMOTE LOCAL



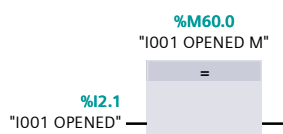
Network 125: TRANS



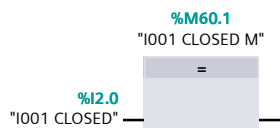
Network 126: I012 OPEN CLOSED



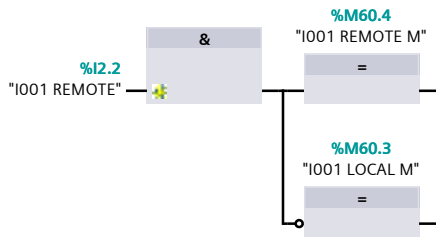
Network 127: I001 OPEN



Network 128: CLOSED



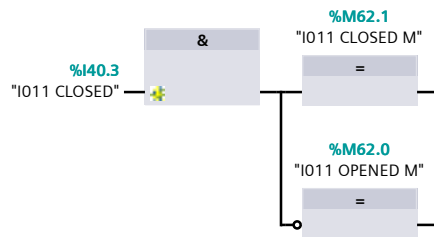
Network 129: REMOTE LOCAL



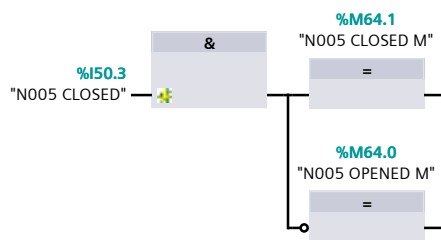
Network 130: TRANS



Network 131: I 011OPEN CLOSED



Network 132: N 005



Program blocks

HMI Tags [FC7]

HMI Tags Properties

General

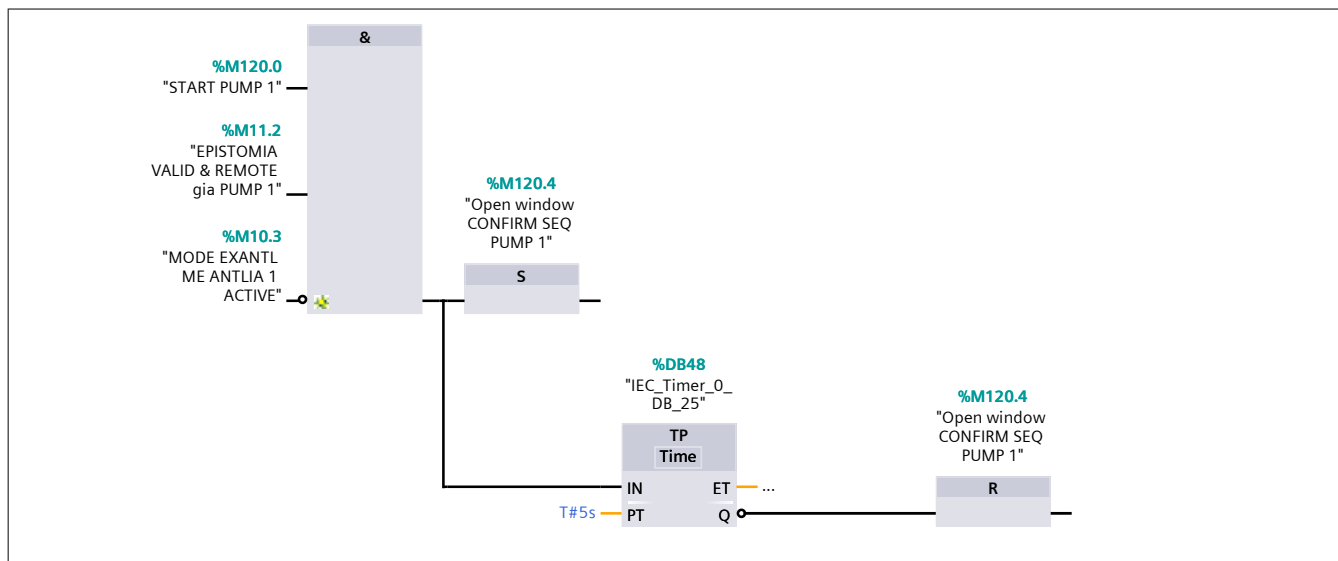
Name	HMI Tags	Number	7	Type	FC
Language	FBD	Numbering	Automatic		

Information

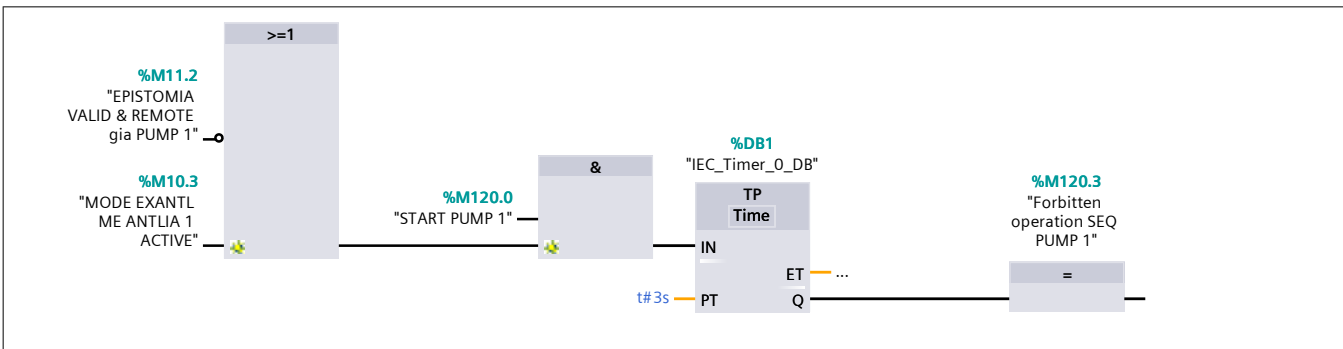
Title		Author		Comment	
Family		Version	0.1	User-defined ID	

Name	Data type	Default value
Input		
Output		
InOut		
Temp		
Constant		
▼ Return		
HMI Tags	Void	

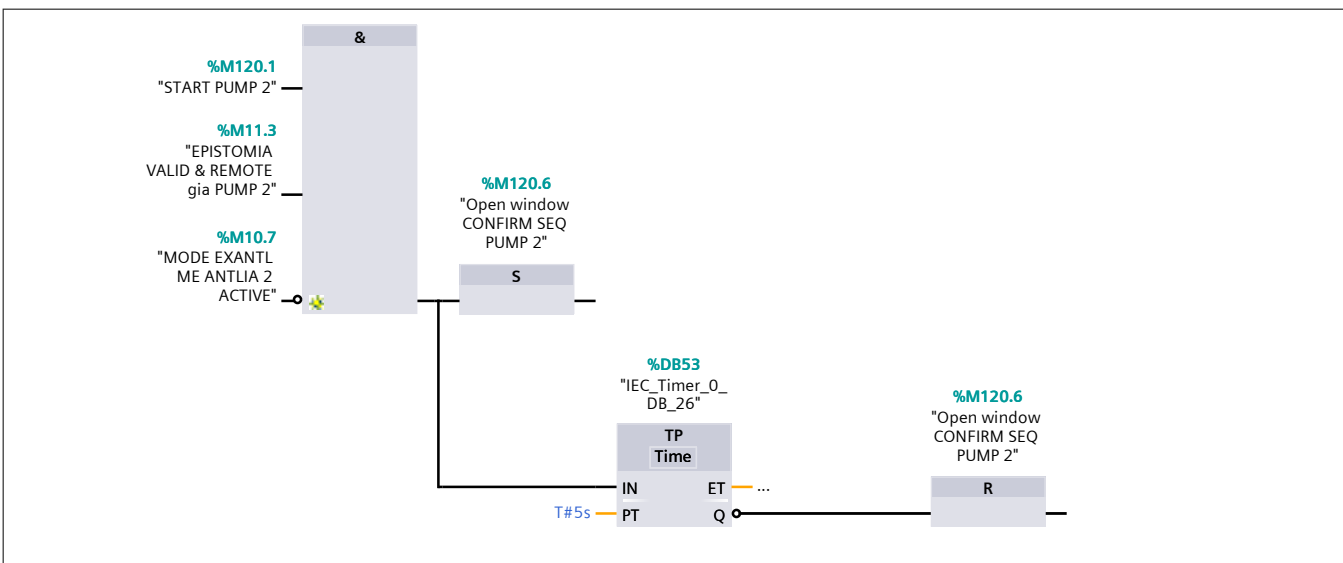
Network 1: Ανοίγει το παράθυρο για ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΣΗ έναρξης Seq PUMP 1



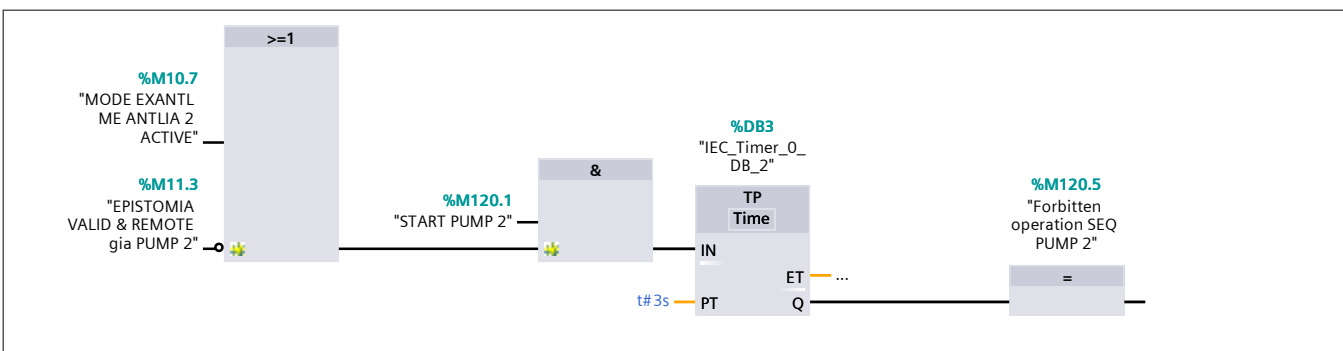
Network 2: Ανοίγει εικόνα όπου λέει ότι δεν πληρούνται οι προϋποθέσεις για το Seq PUMP 1



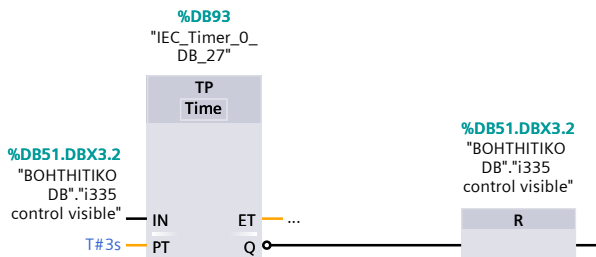
Network 3: Ανοίγει το παράθυρο για ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΣΗ έναρξης Seq PUMP 2



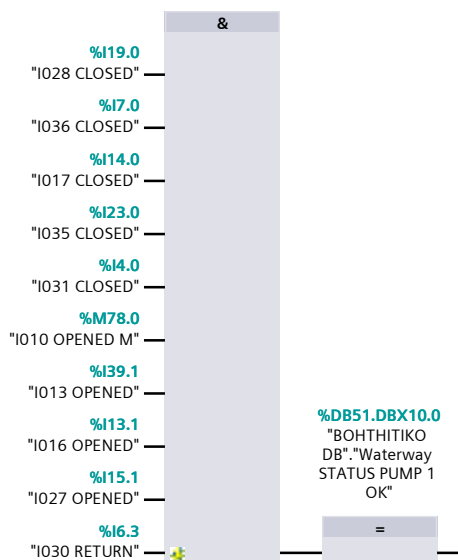
Network 4: Ανοίγει εικόνα όπου λέει ότι δεν πληρούνται οι προϋποθέσεις για το Seq PUMP 2



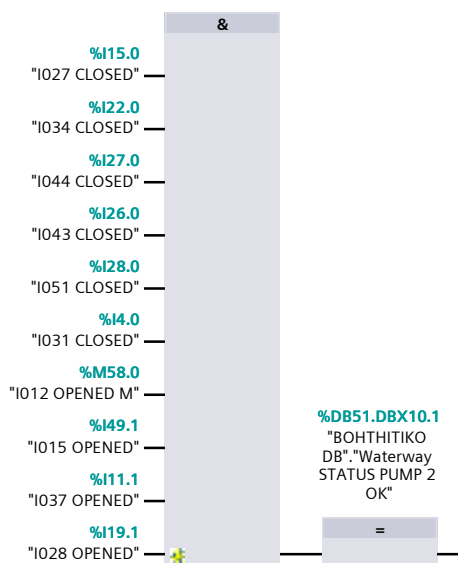
Network 5: I335 Control Visible



Network 6: Waterway STATUS PUMP 1



Network 7: Waterway STATUS PUMP 2



Program blocks

Pull or plug of modules [OB83]

Pull or plug of modules Properties

General

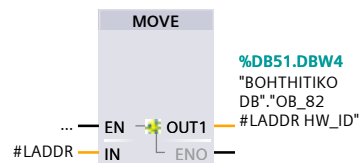
Name	Pull or plug of modules	Number	83	Type	OB
Language	FBD	Numbering	Automatic		

Information

Title		Author		Comment	
Family		Version	0.1	User-defined ID	

Name	Data type	Default value
▼ Input		
LADDR	HW_IO	
Event_Class	Byte	
Fault_ID	Byte	
Temp		
Constant		

Network 1:



Program blocks

auto & manual MOVESYPOLOIPWN EPISTOMIVN [FC10]

auto & manual MOVESYPOLOIPWN EPISTOMIVN Properties

General

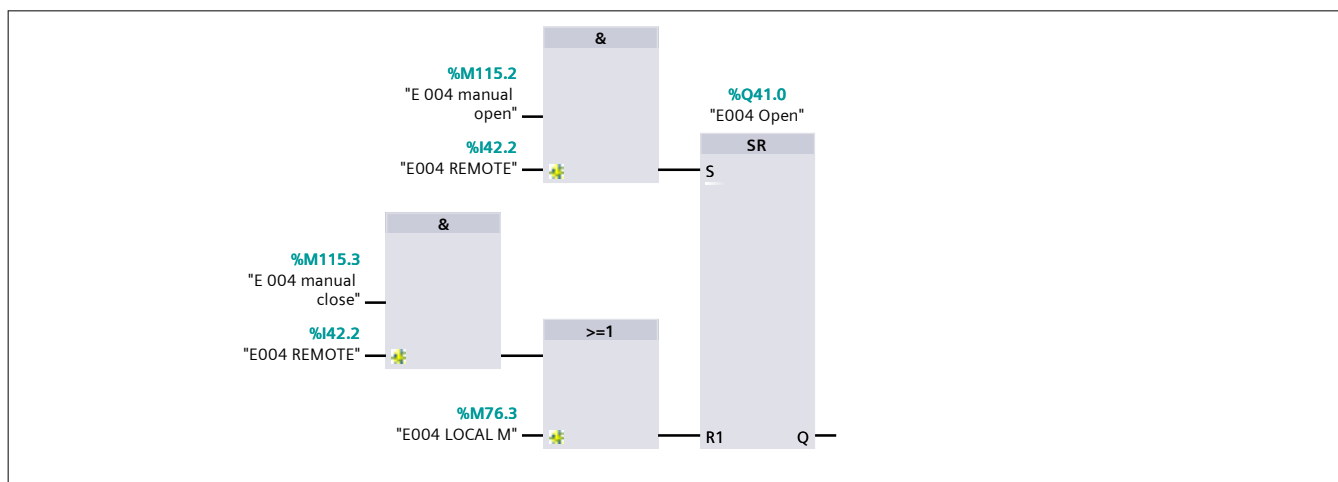
Name	auto & manual MOVESY-POLOIPWN EPISTOMIVN	Number	10	Type	FC
Language	FBD	Numbering	Automatic		

Information

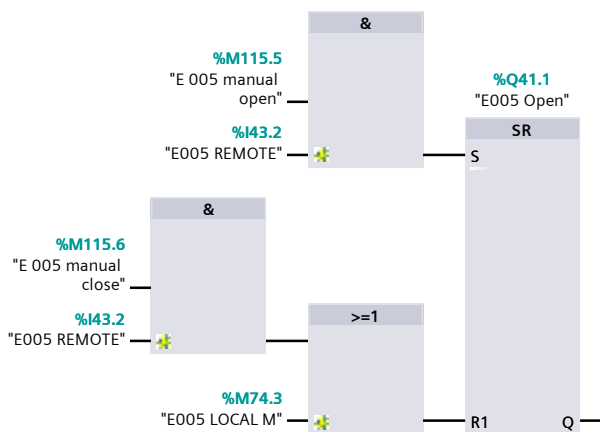
Title		Author		Comment	
Family		Version	0.1	User-defined ID	

Name	Data type	Default value
Input		
Output		
InOut		
Temp		
Constant		
▼ Return		
auto & manual MOVESYPOLOIPWN EPISTOMIVN	Void	

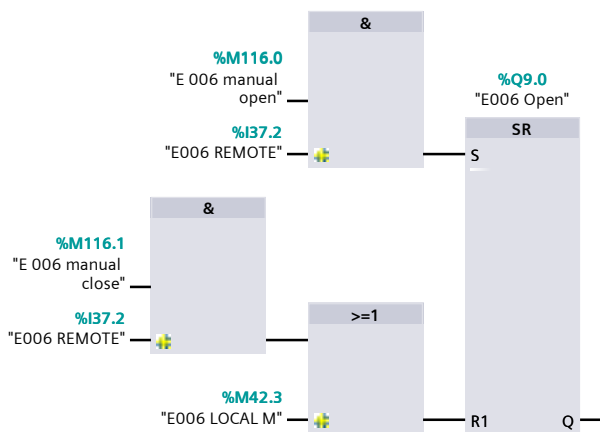
Network 1: E004 Open_Close



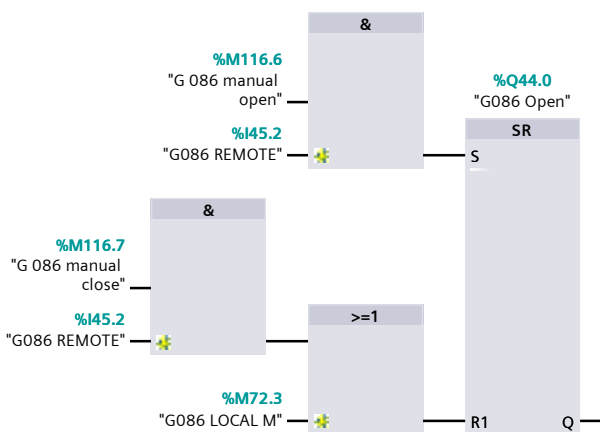
Network 2: E005 Open_Close



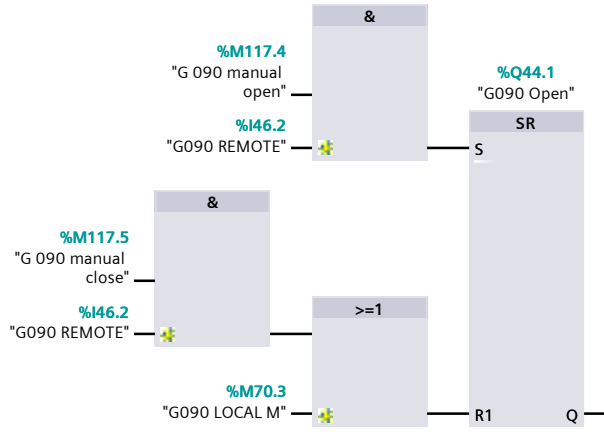
Network 3: E006 Open_Close



Network 4: G086 Open_Close



Network 5: G090 Open_Close



Program blocks

Time for control Valves & alla [FC8]

Time for control Valves & alla Properties

General

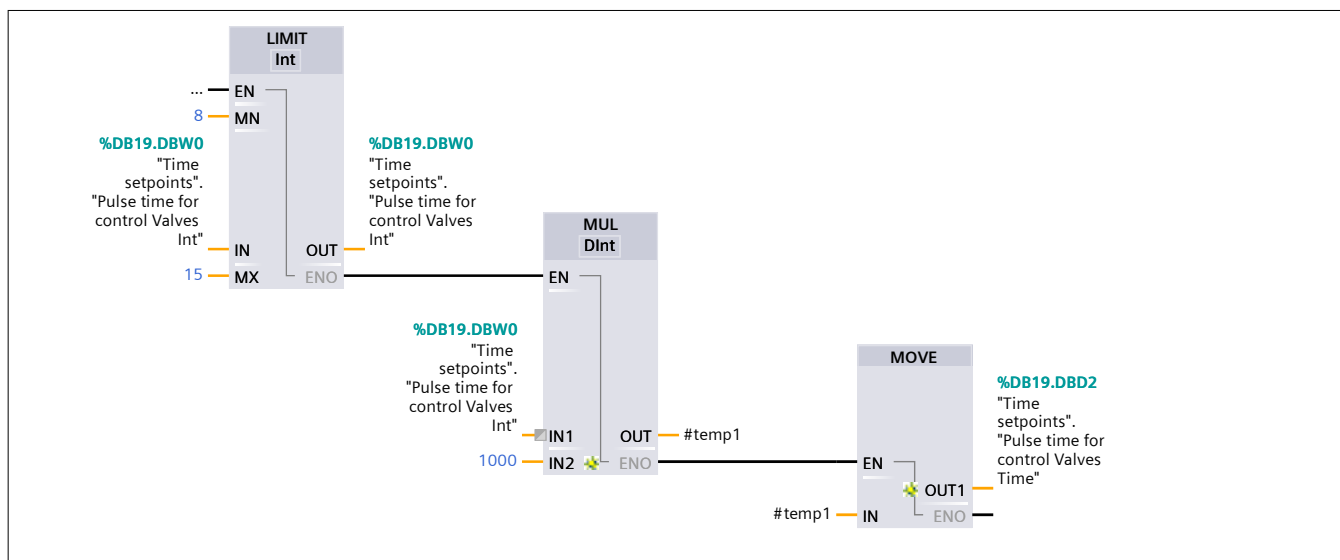
Name	Time for control Valves & alla	Number	8	Type	FC
Language	FBD	Numbering	Automatic		

Information

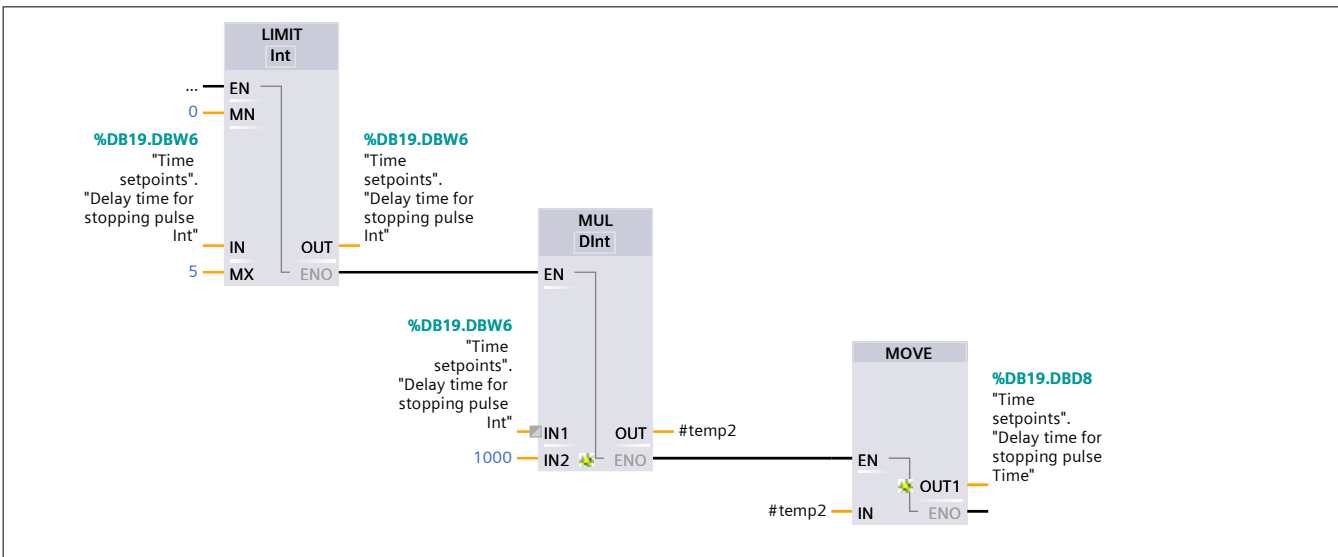
Title		Author		Comment	
Family		Version	0.1	User-defined ID	

Name	Data type	Default value
Input		
Output		
InOut		
▼ Temp		
temp1	DInt	
temp2	DInt	
temp3	DInt	
4	DInt	
5	DInt	
Constant		
▼ Return		
Time for control Valves & alla	Void	

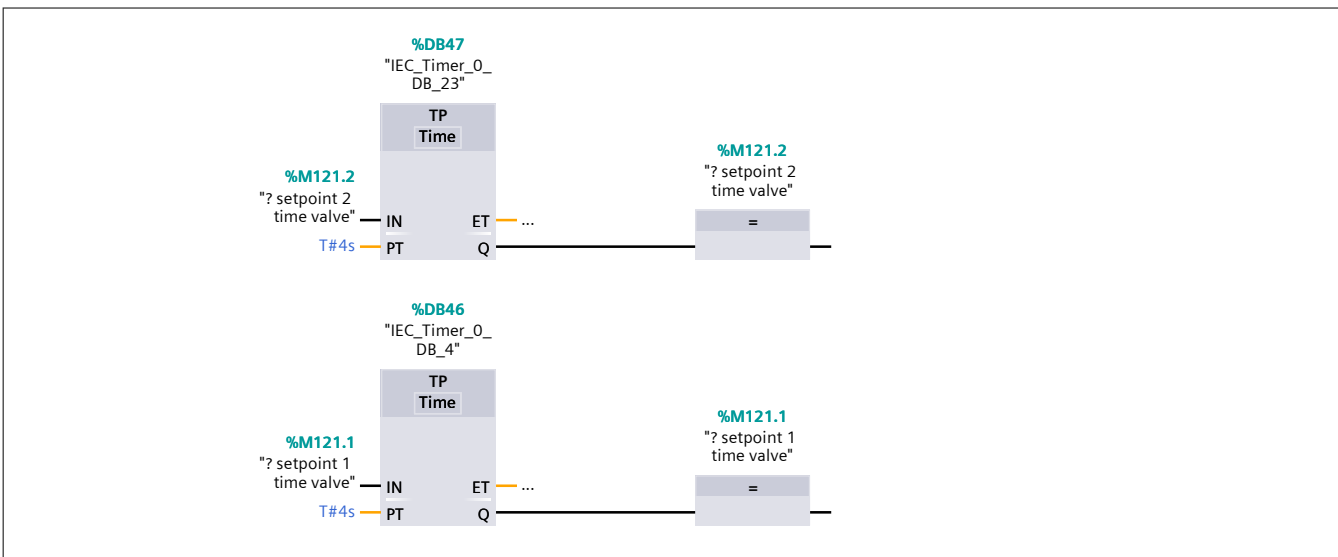
Network 1: Pulse time for control Valves



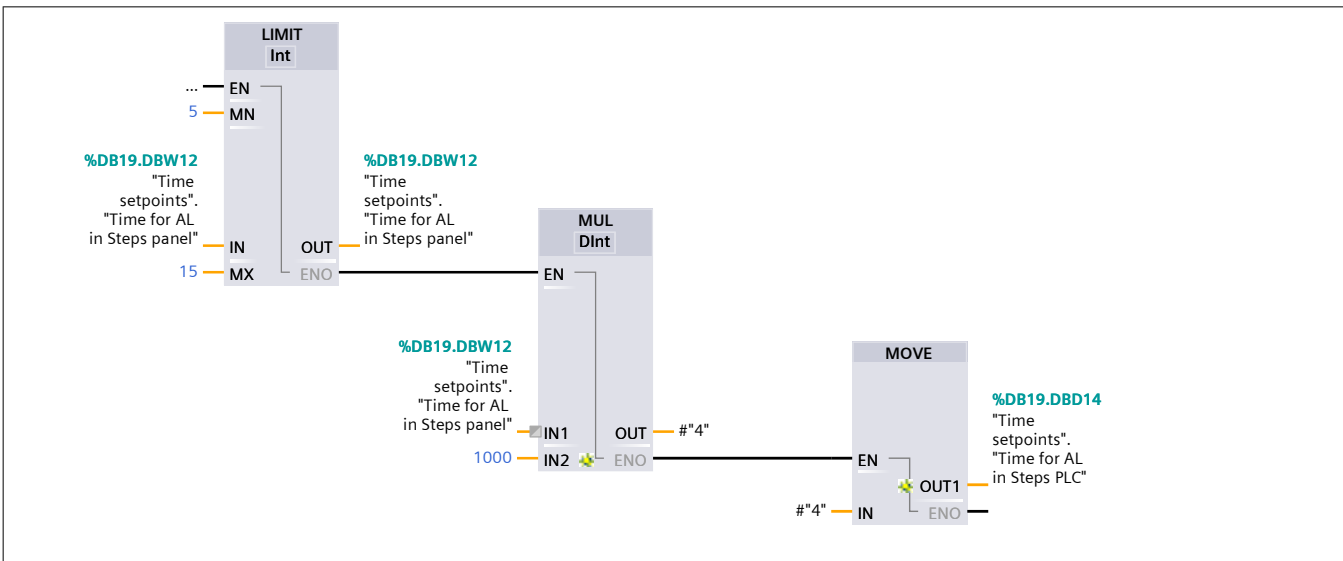
Network 2: Delay time for stopping pulse



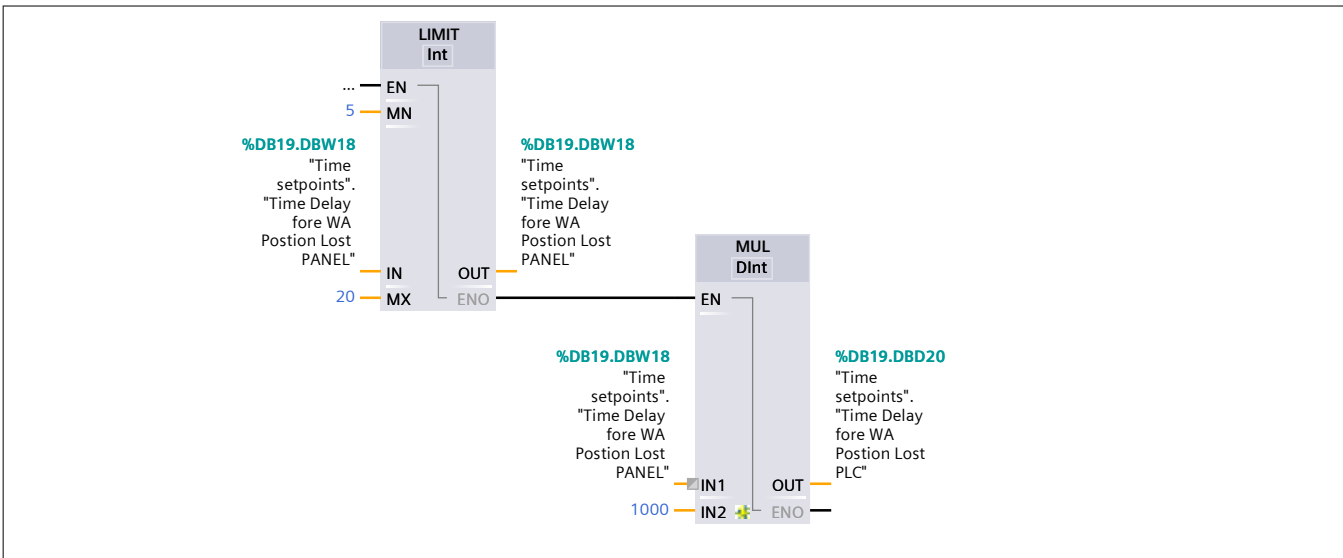
Network 3:



Network 4: Time for AL in Steps PLC



Network 5: TIME DELAY FOR POSITION LOST



Program blocks

Diagnostic error interrupt [OB82]

Diagnostic error interrupt Properties

General

Name	Diagnostic error interrupt	Number	82	Type	OB
Language	FBD	Numbering	Automatic		

Information

Title		Author		Comment	
Family		Version	0.1	User-defined ID	

Name	Data type	Default value
▼ Input		
IO_State	Word	
LADDR	HW_ANY	
Channel	UInt	
MultiError	Bool	
Temp		
Constant		

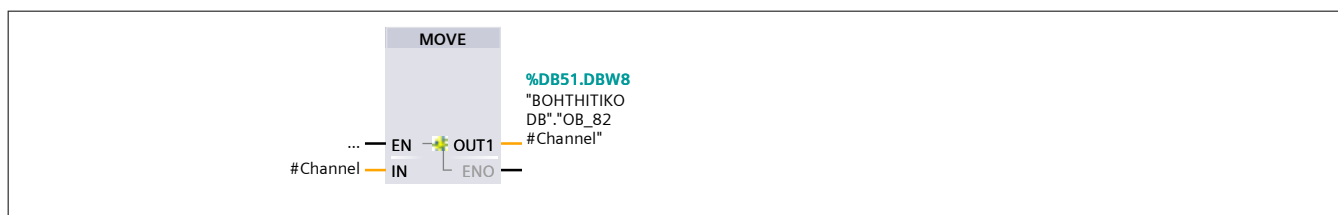
Network 1:



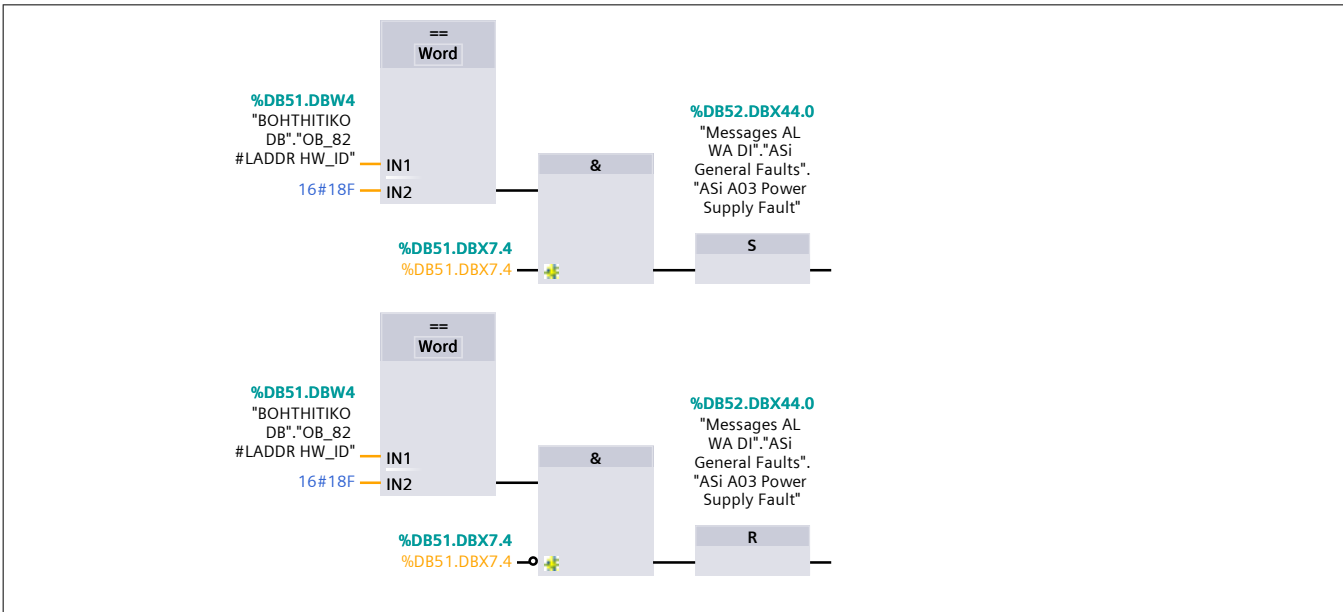
Network 2:



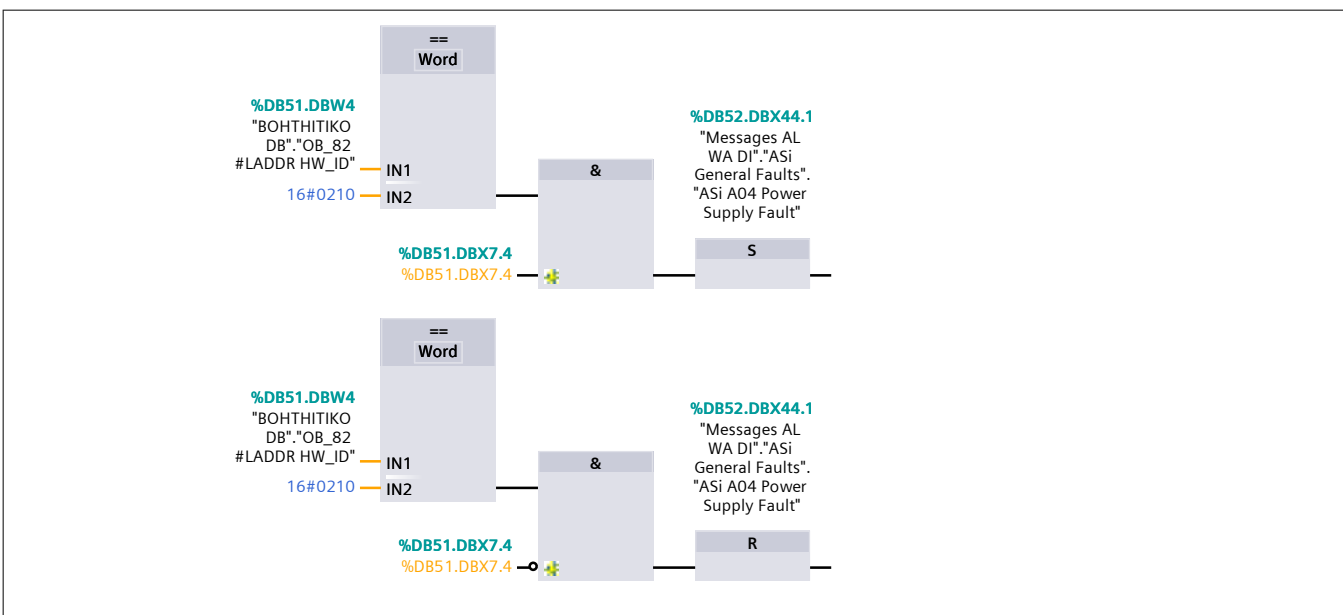
Network 3:



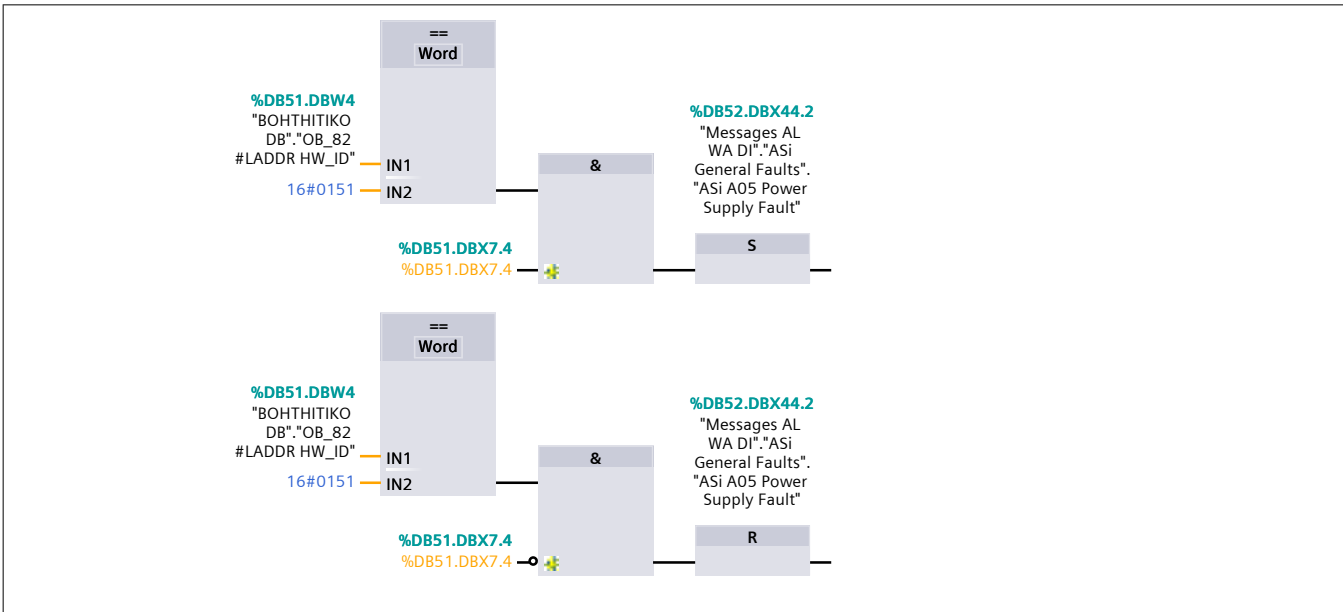
Network 5: ASi A03 Power Supply Fault



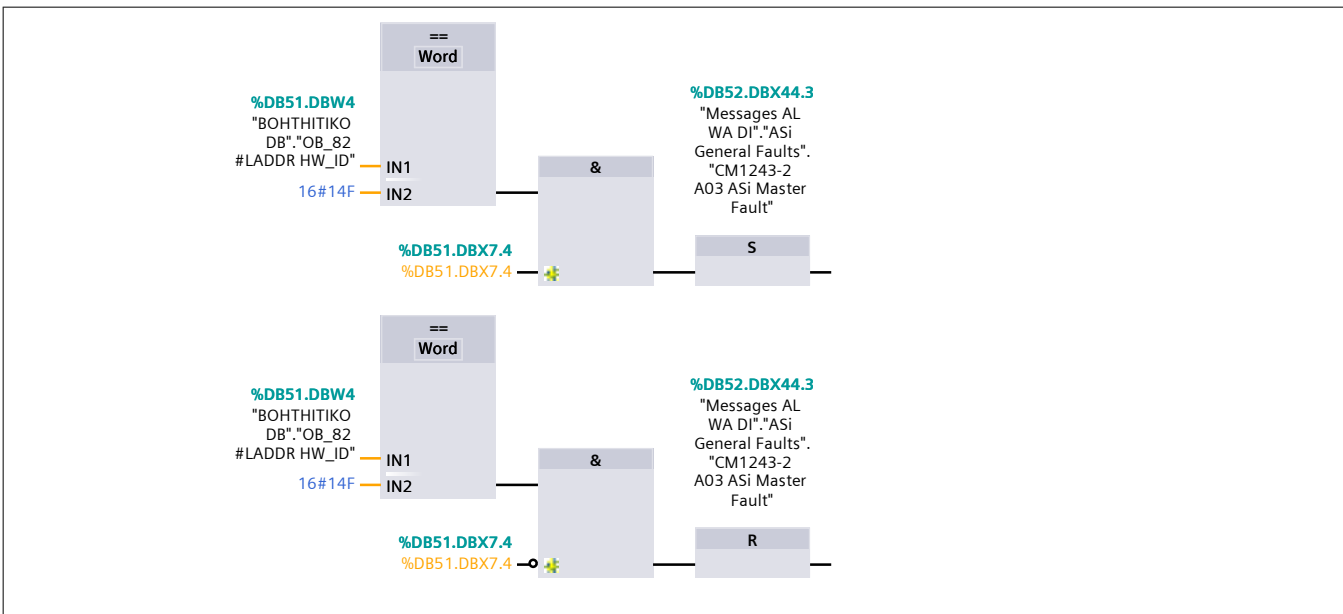
Network 6: ASi A03 Power Supply Fault



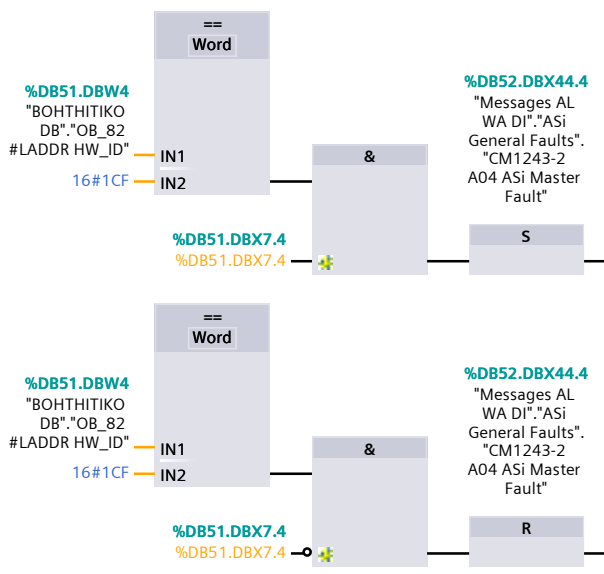
Network 7: ASi A05 Power Supply Fault



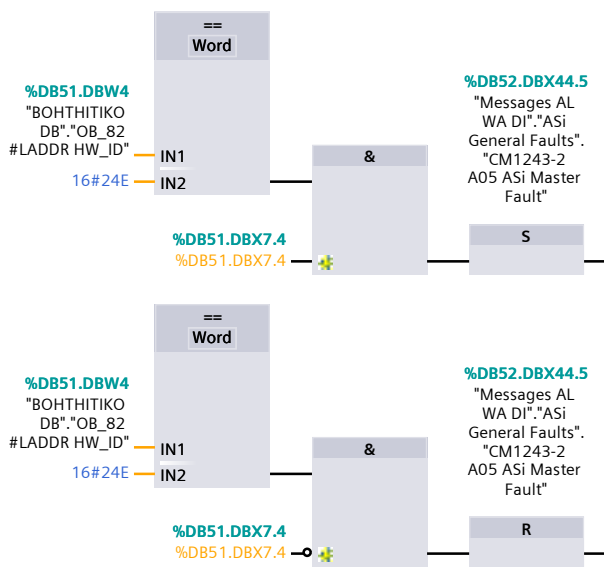
Network 8: CM1243-2 A03 ASi Master Fault



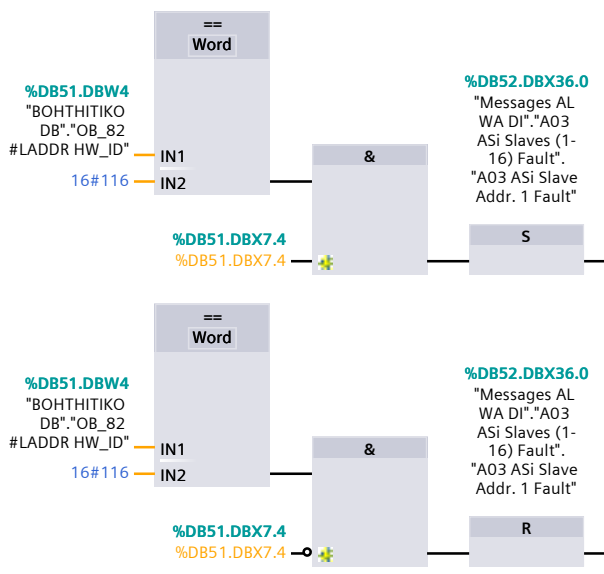
Network 9: CM1243-2 A04 ASi Master Fault



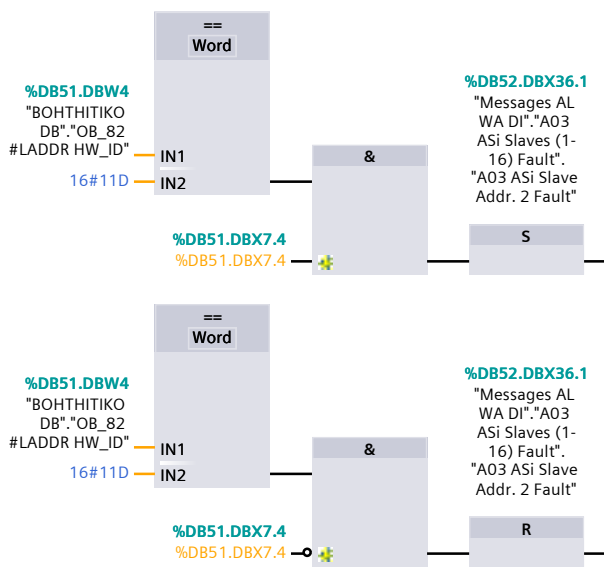
Network 10: CM1243-2 A05 ASi Master Fault



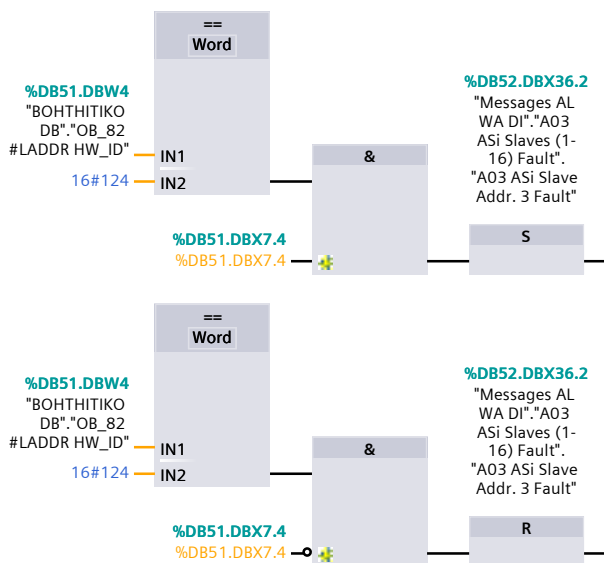
Network 11: A03 ASi Slave Addr. 1 Fault



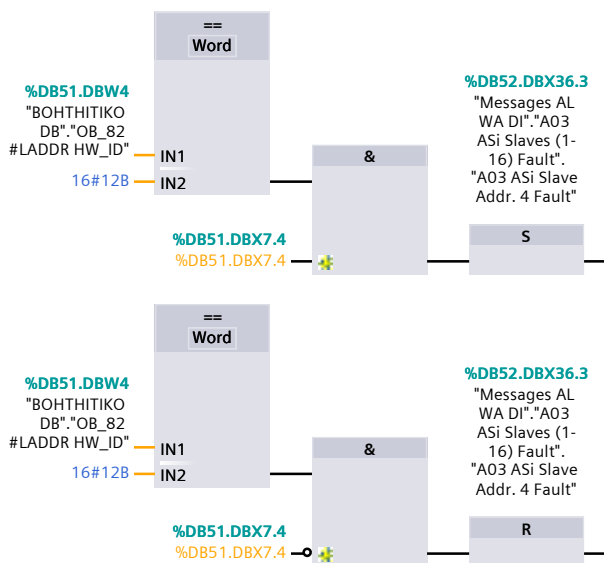
Network 12: A03 ASi Slave Addr. 2 Fault



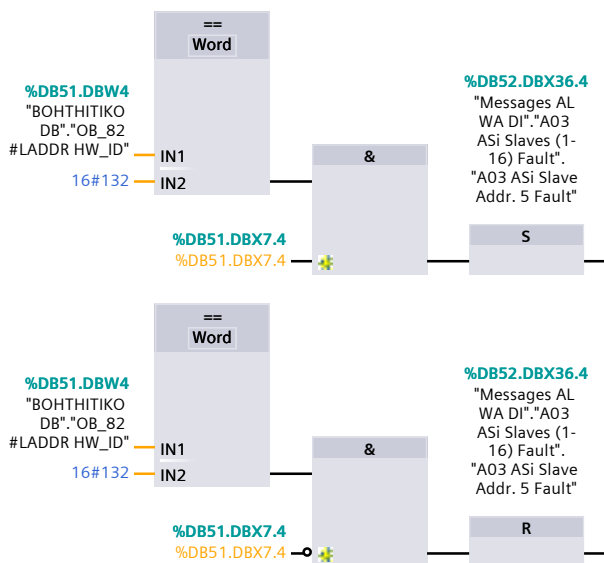
Network 13: A03 ASi Slave Addr. 3 Fault



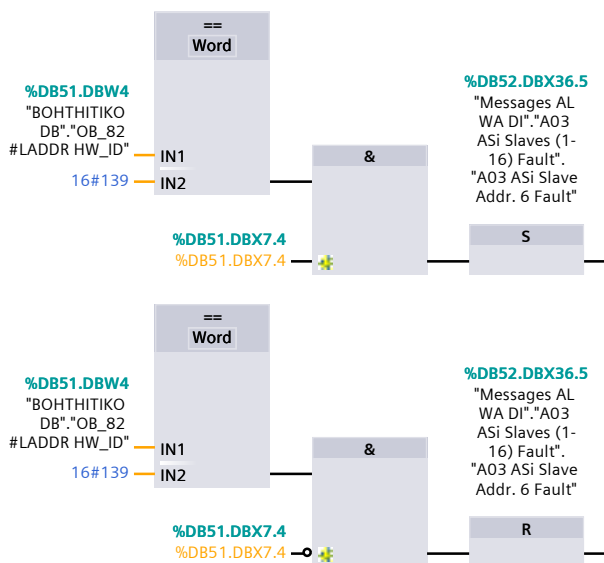
Network 14: A03 ASi Slave Addr. 4 Fault



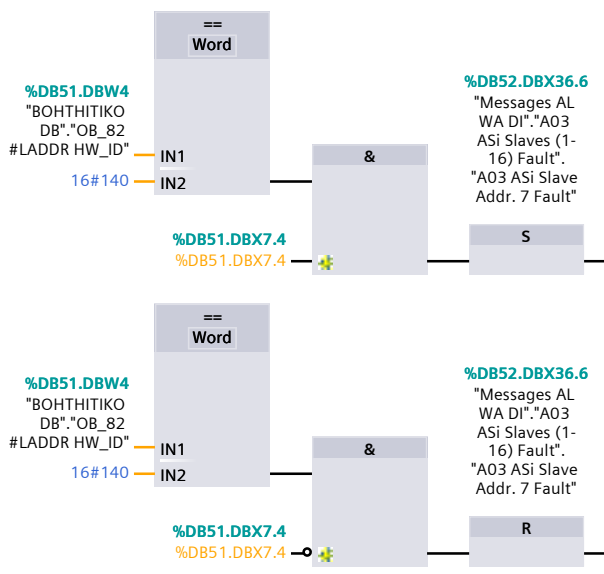
Network 15: A03 ASi Slave Addr. 5 Fault



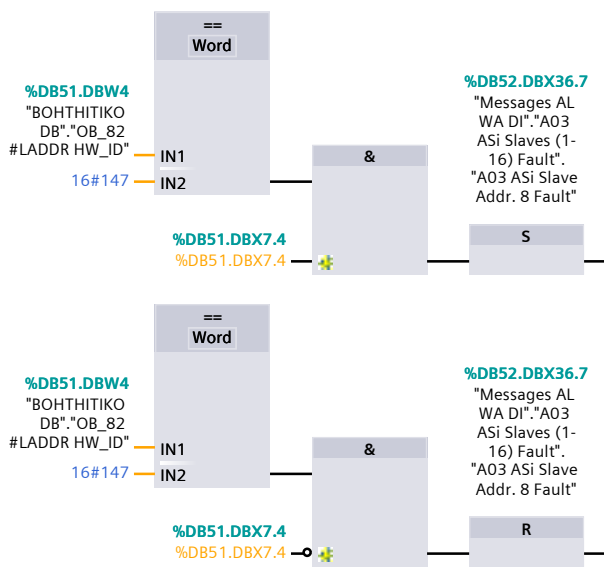
Network 16: A03 ASi Slave Addr. 6 Fault



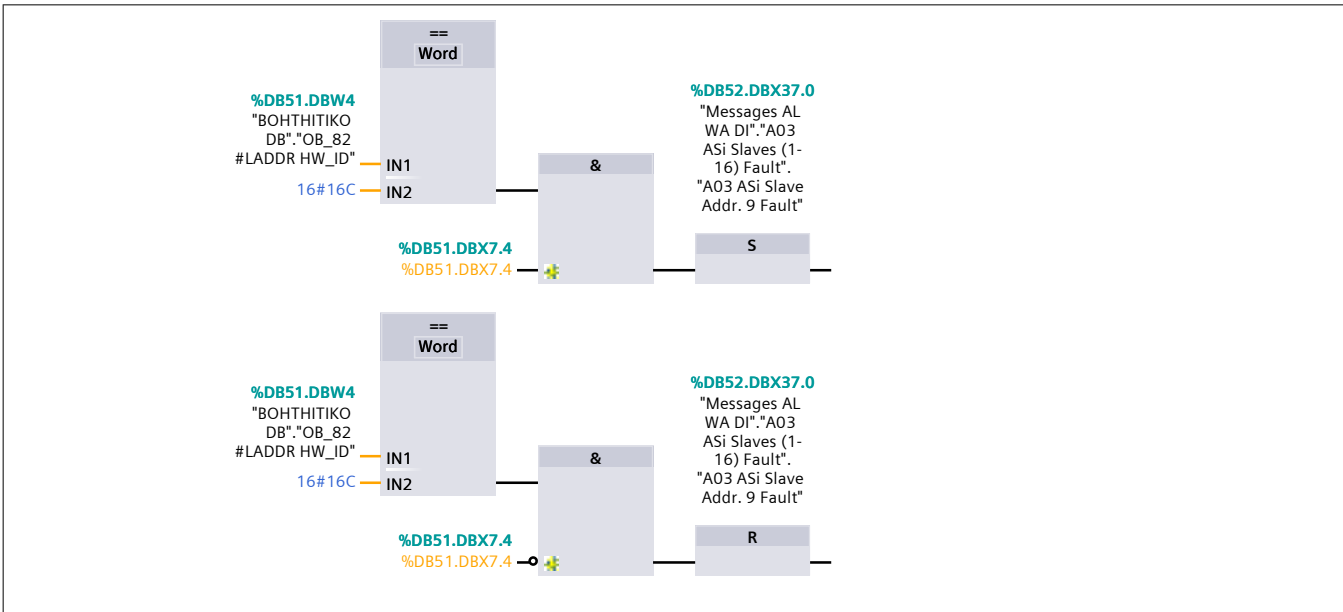
Network 17: A03 ASi Slave Addr. 7 Fault



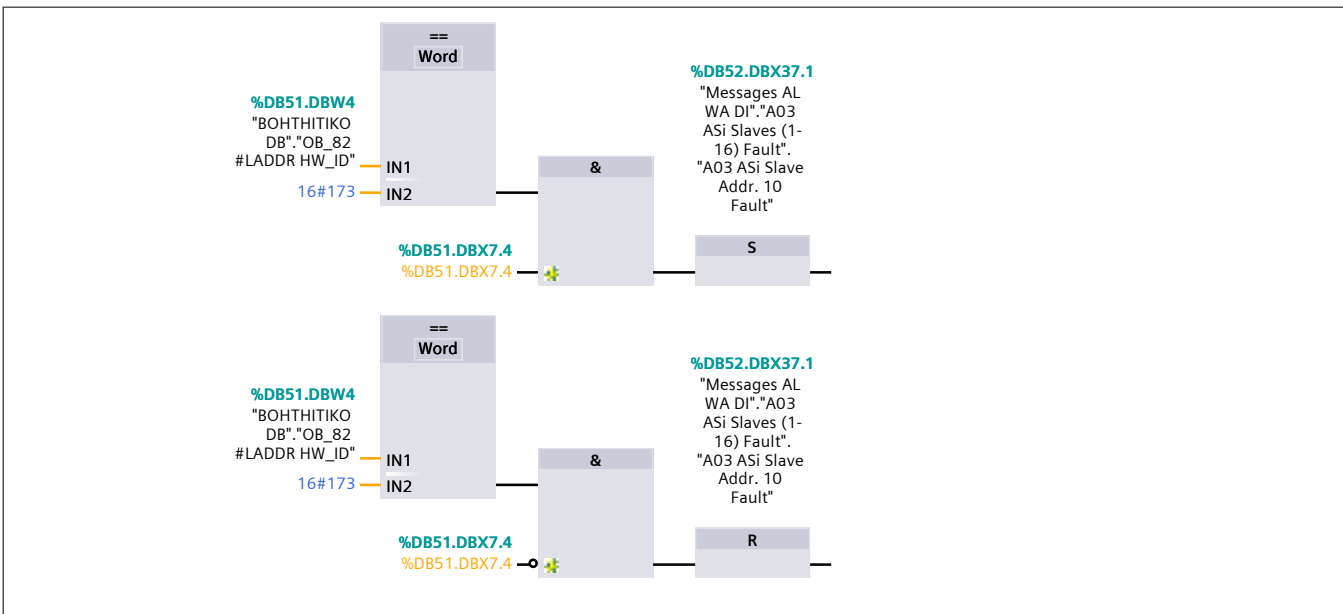
Network 18: A03 ASi Slave Addr. 8 Fault



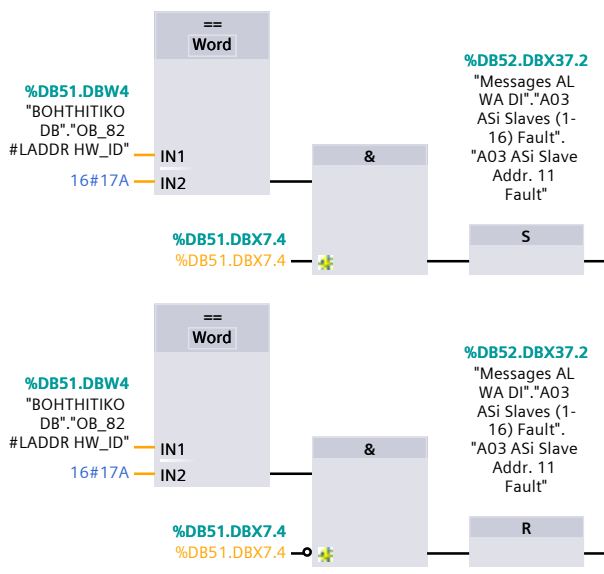
Network 19: A03 ASi Slave Addr. 9 Fault



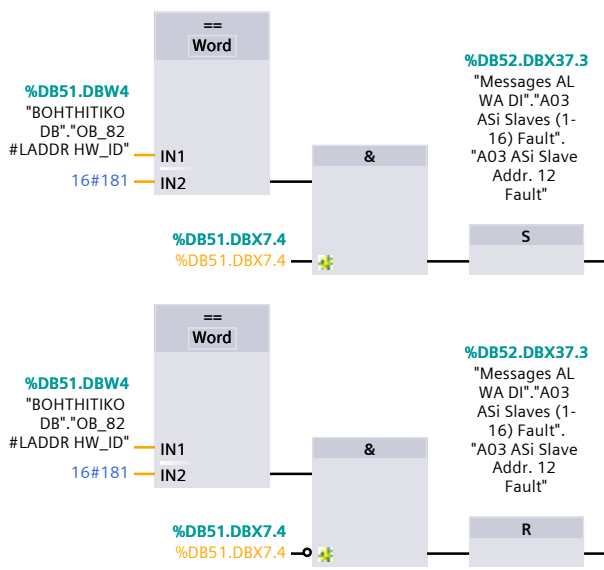
Network 20: A03 ASi Slave Addr. 10 Fault



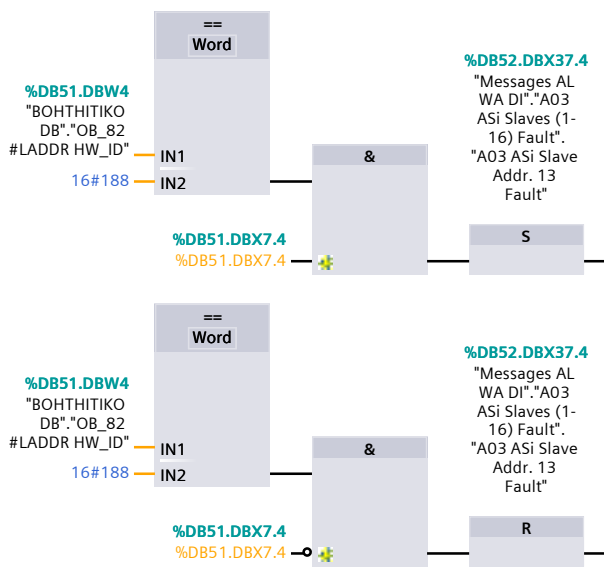
Network 21: A03 ASi Slave Addr. 11 Fault



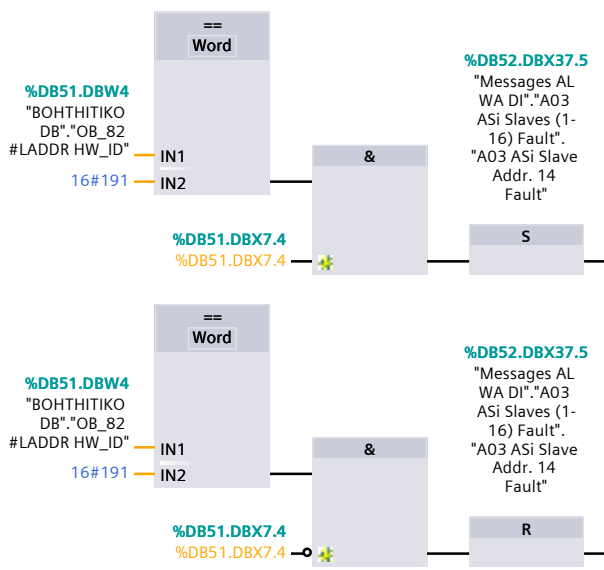
Network 22: A03 ASi Slave Addr. 12 Fault



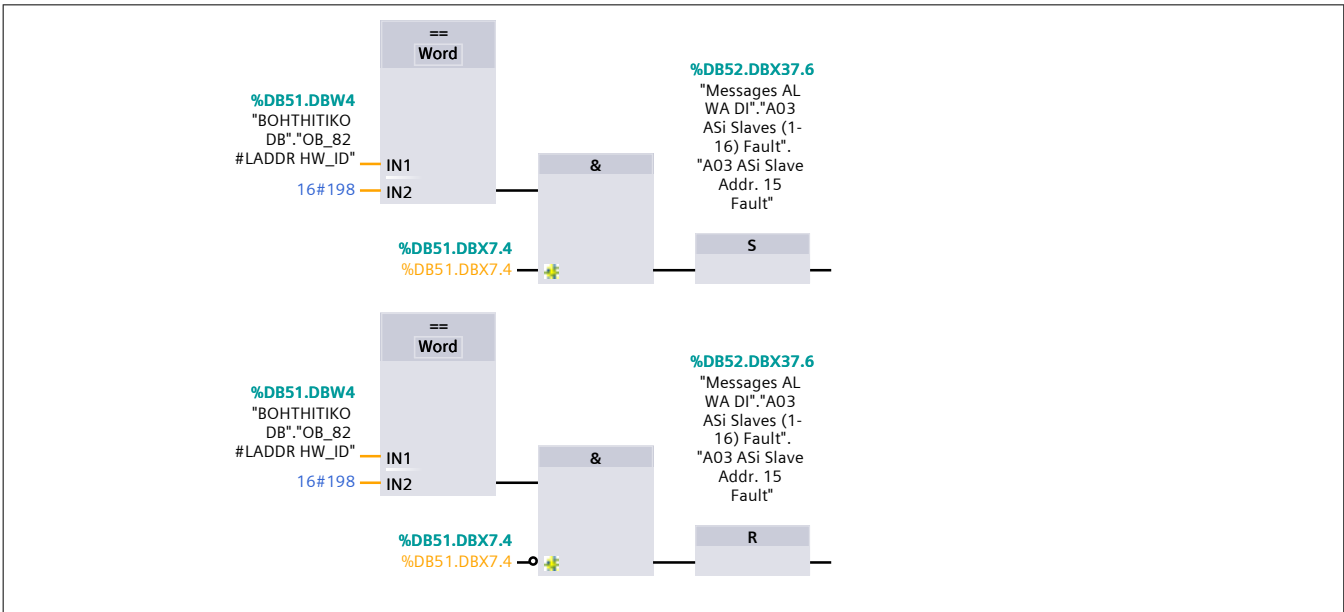
Network 23: A03 ASi Slave Addr. 13 Fault



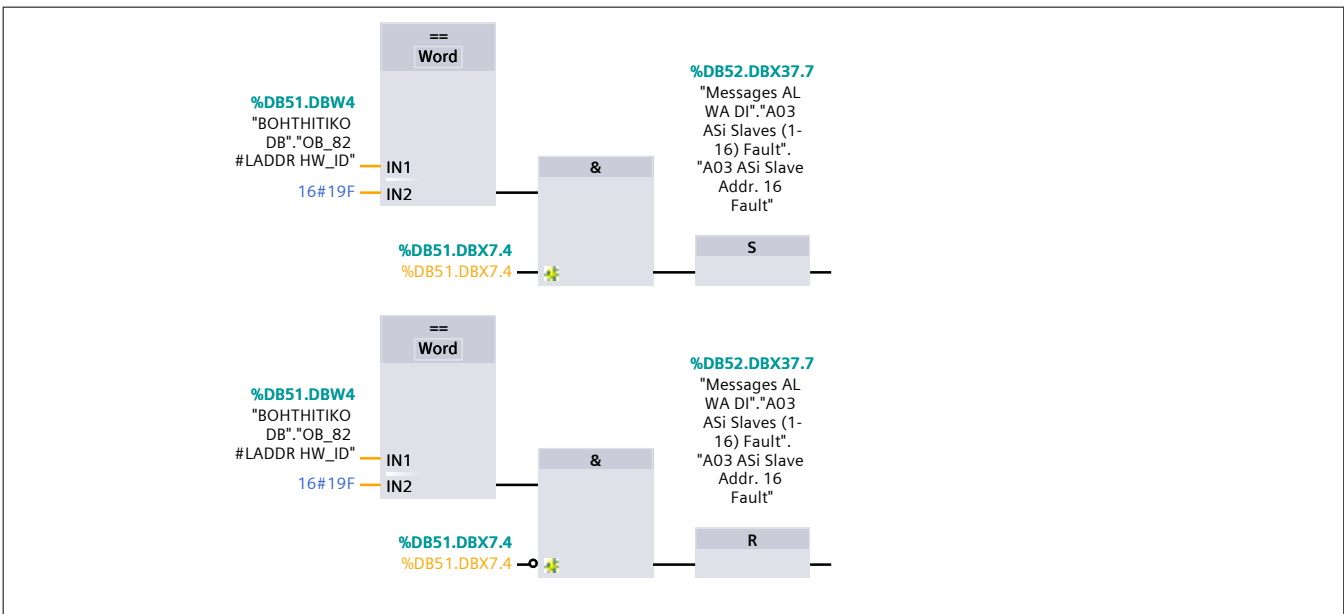
Network 24: A03 ASi Slave Addr. 14 Fault



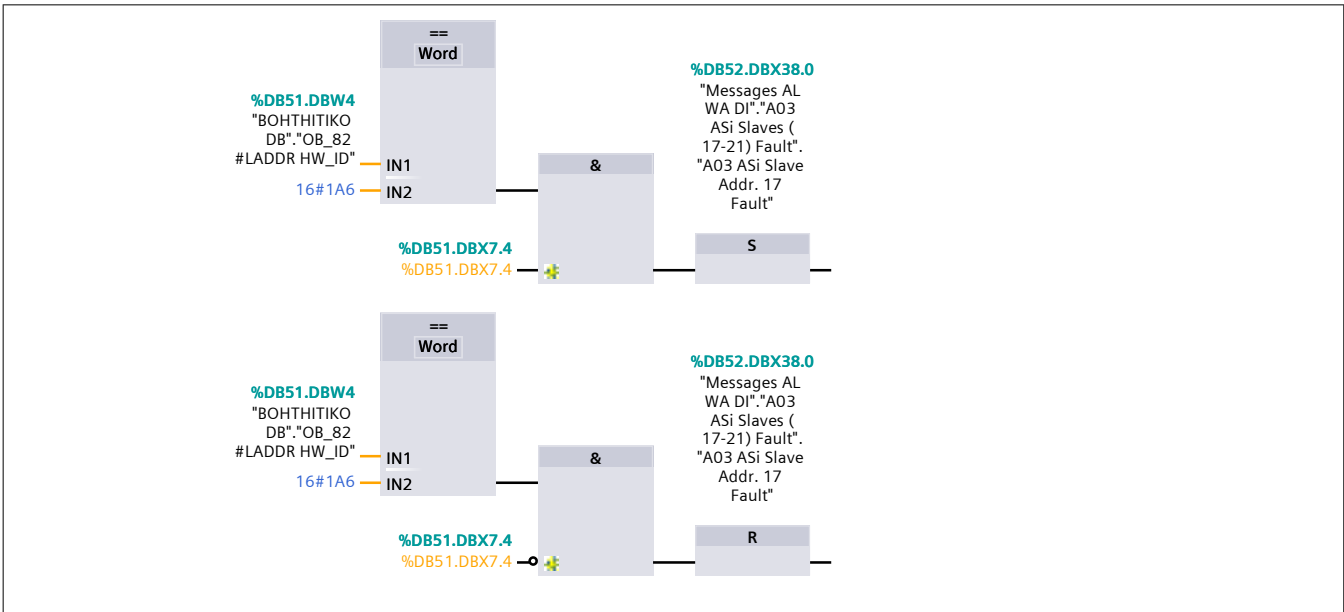
Network 25: A03 ASi Slave Addr. 15 Fault



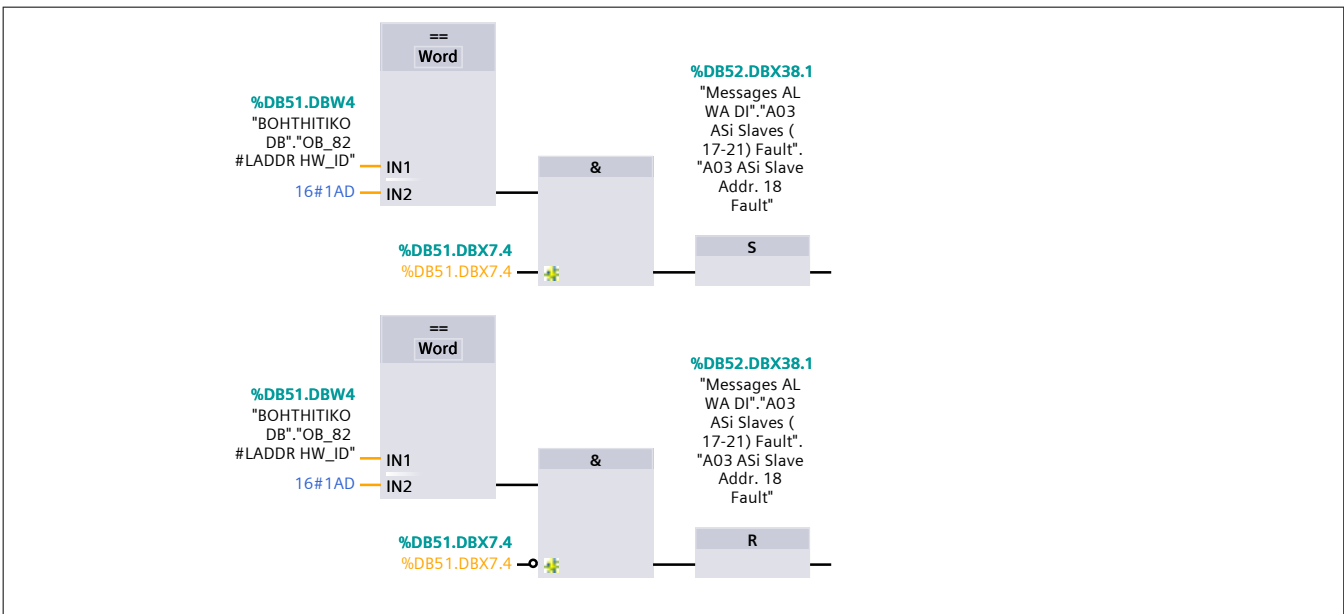
Network 26: A03 ASi Slave Addr. 16 Fault



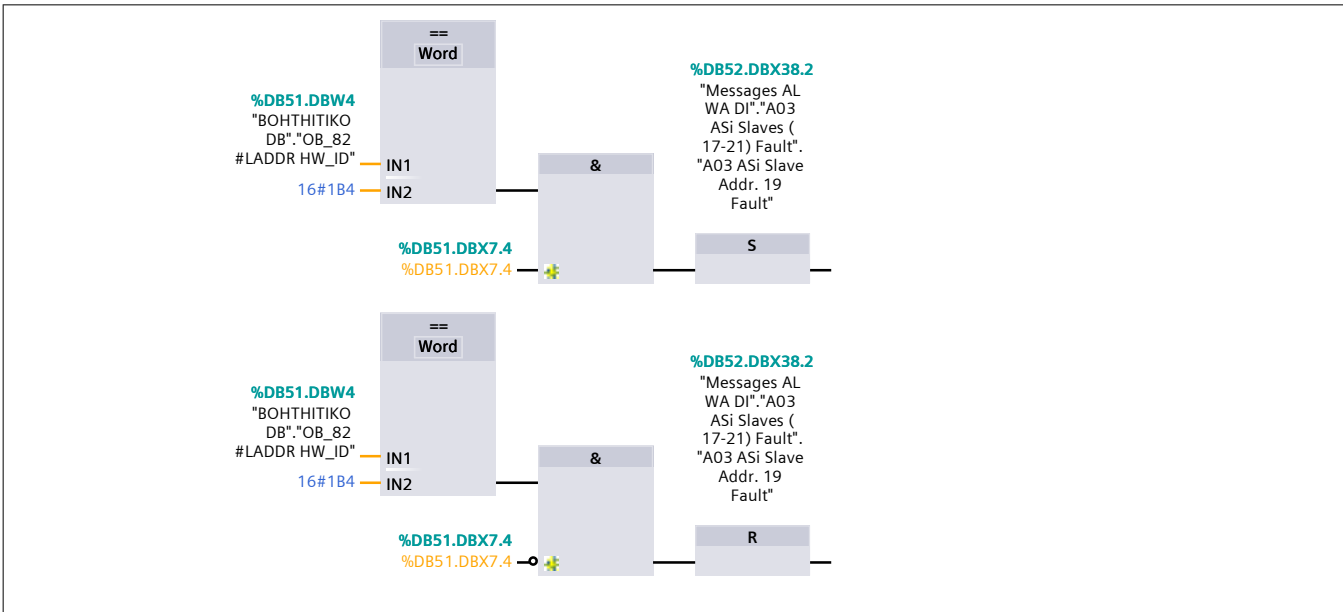
Network 27: A03 ASi Slave Addr. 17 Fault



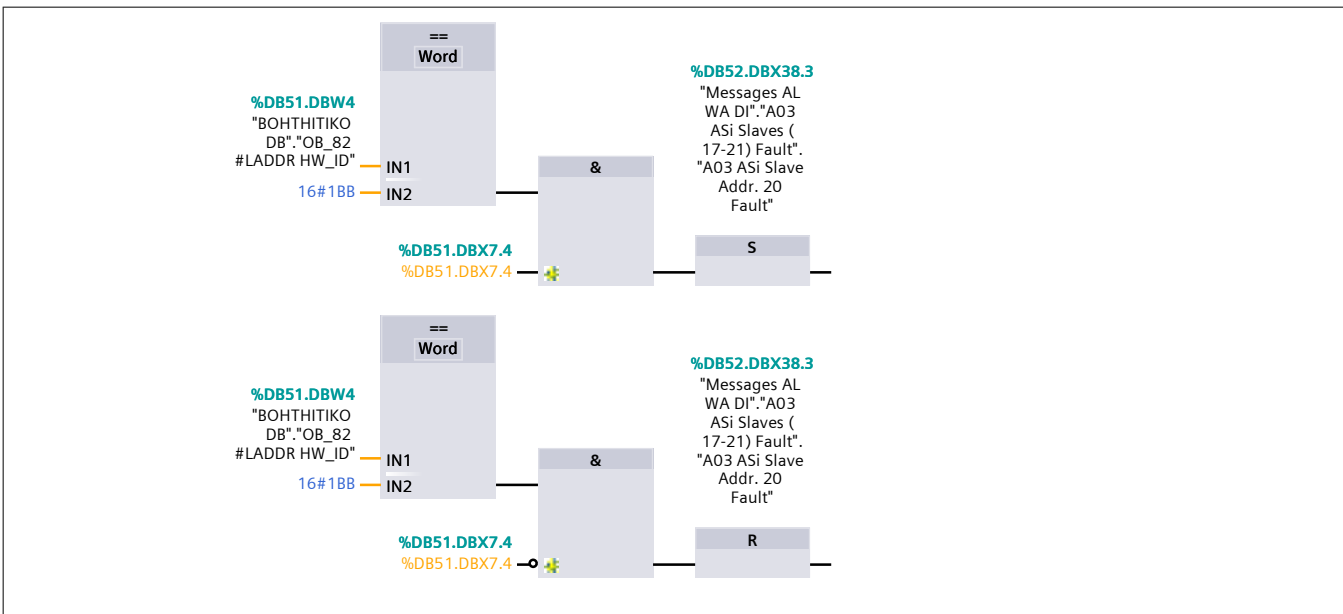
Network 28: A03 ASi Slave Addr. 18 Fault



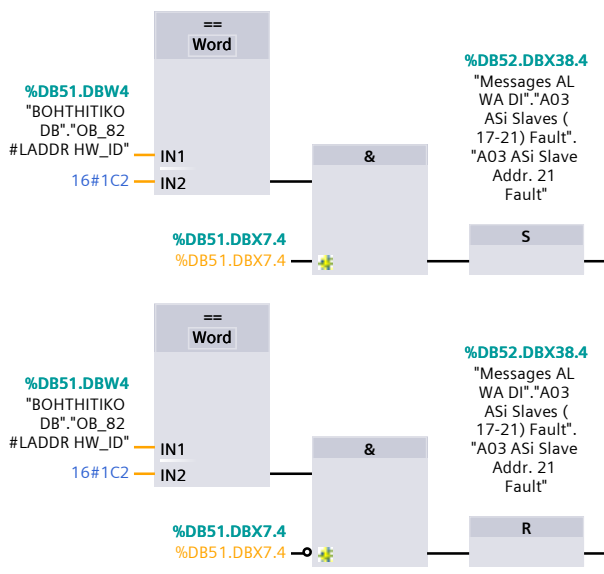
Network 29: A03 ASi Slave Addr. 19 Fault



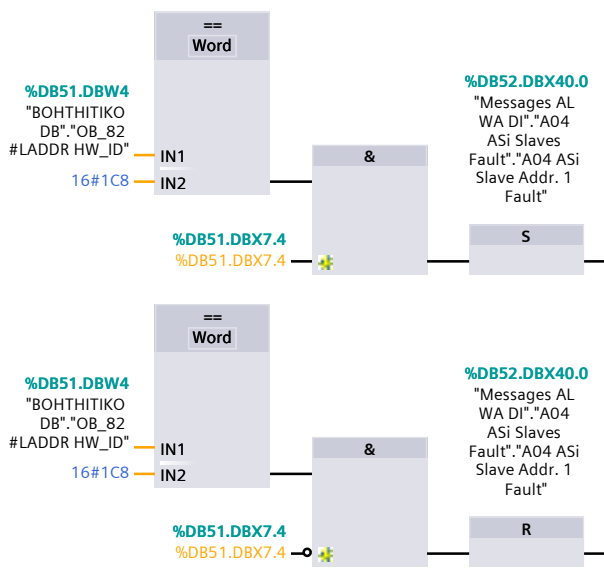
Network 30: A03 ASi Slave Addr. 20 Fault



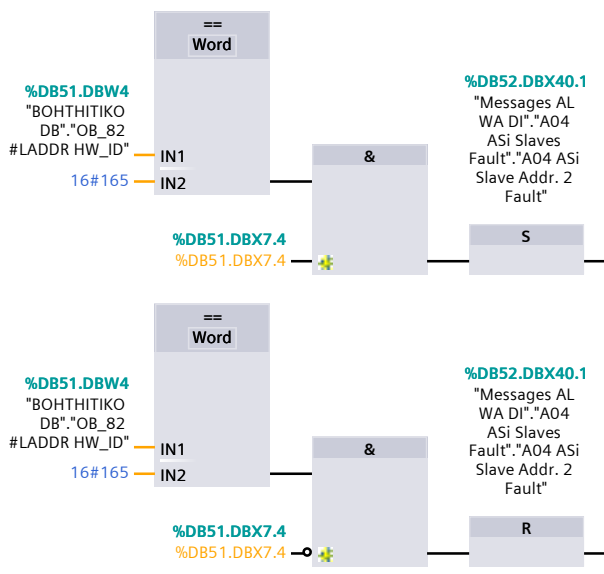
Network 31: A03 ASi Slave Addr. 21 Fault



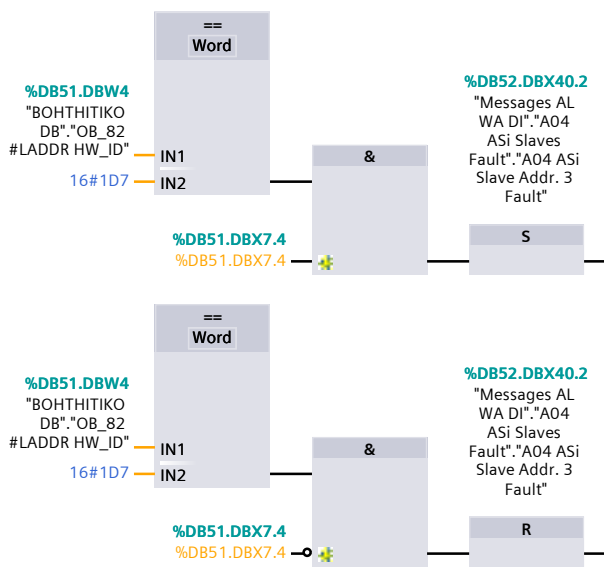
Network 32: A04 ASi Slave Addr. 1 Fault



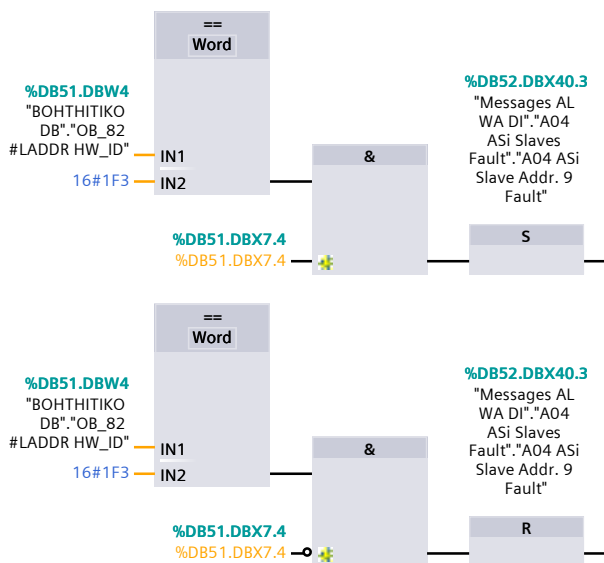
Network 33: A04 ASi Slave Addr. 2 Fault



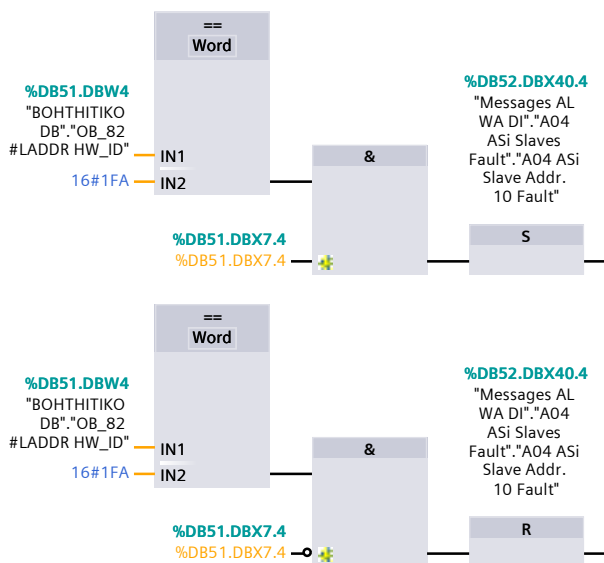
Network 34: A04 ASi Slave Addr. 3 Fault



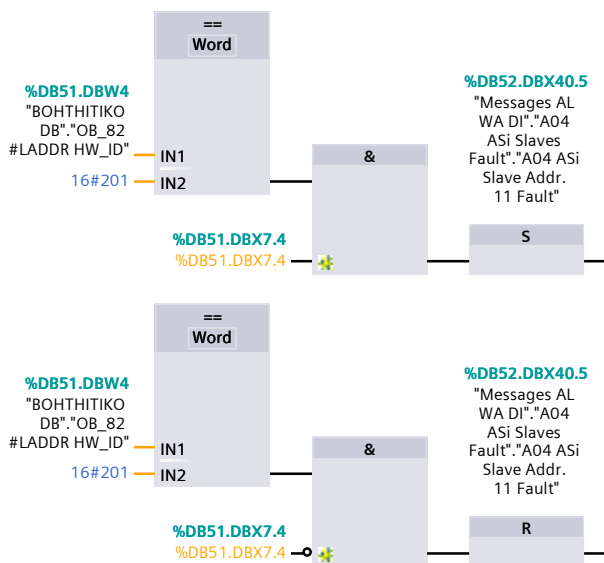
Network 35: A04 ASi Slave Addr. 9 Fault



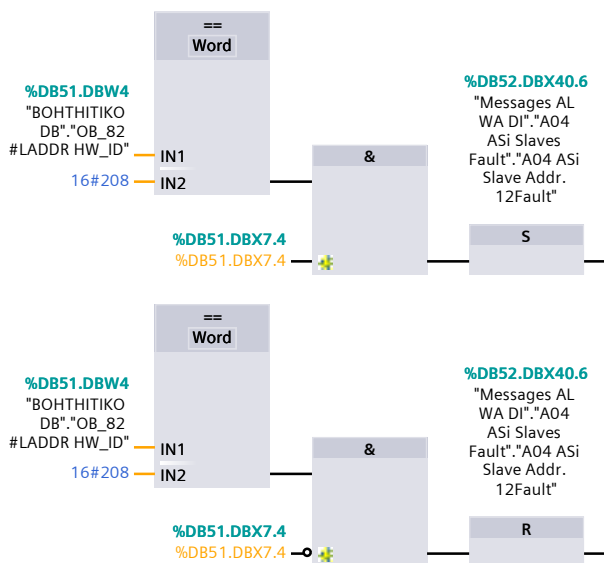
Network 36: A04 ASi Slave Addr. 10 Fault



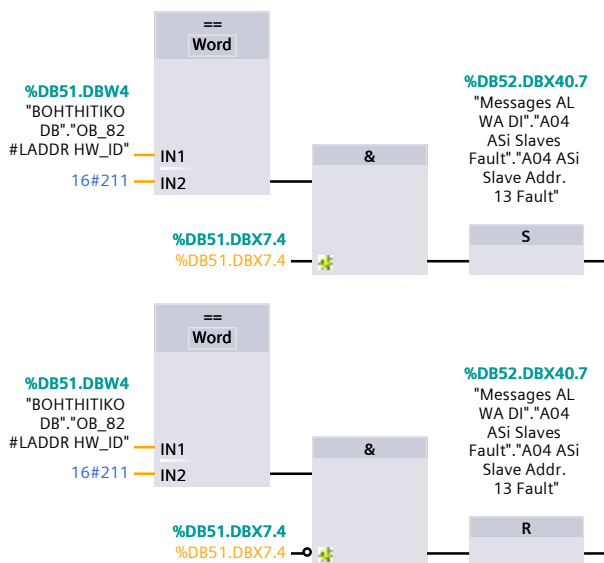
Network 37: A04 ASi Slave Addr. 11 Fault



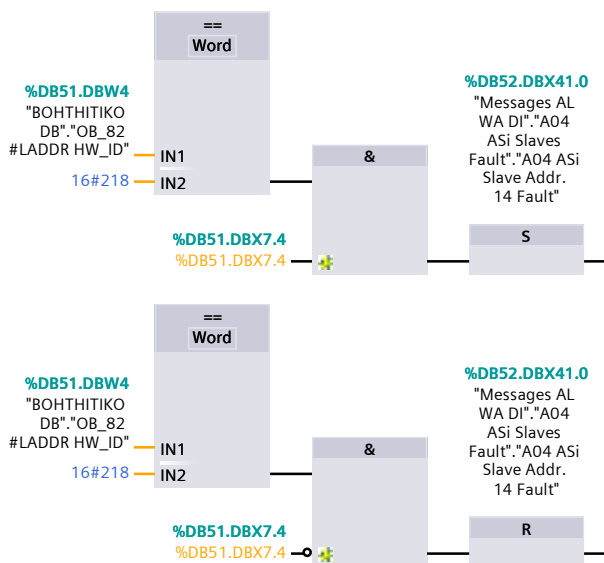
Network 38: A04 ASi Slave Addr. 12 Fault



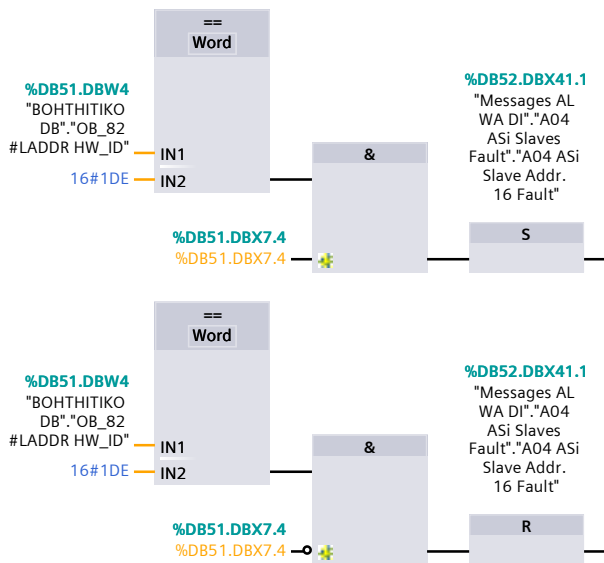
Network 39: A04 ASi Slave Addr. 13 Fault



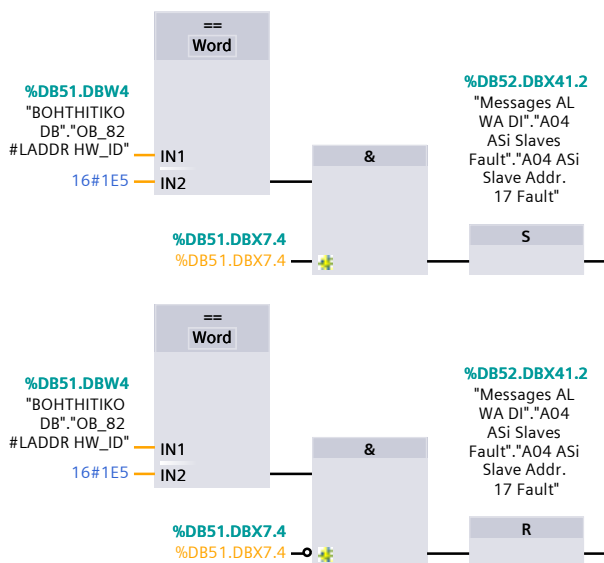
Network 40: A04 ASi Slave Addr. 14 Fault



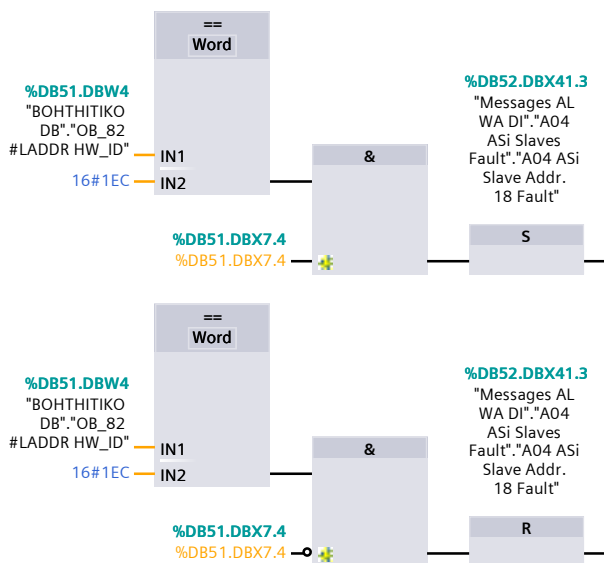
Network 41: A04 ASi Slave Addr. 16 Fault



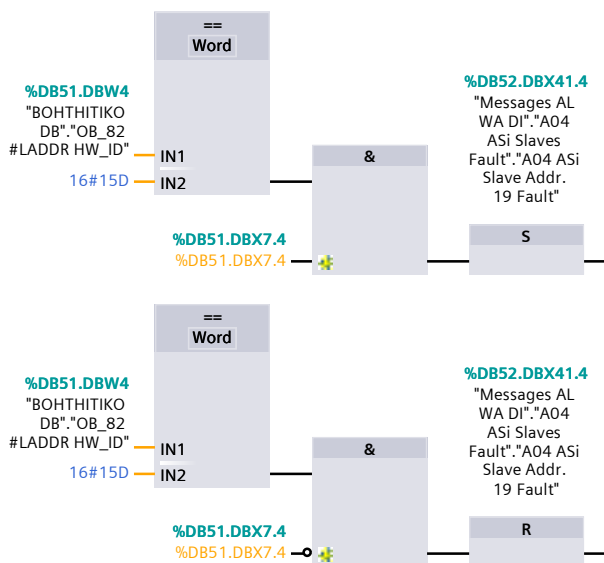
Network 42: A04 ASi Slave Addr. 17 Fault



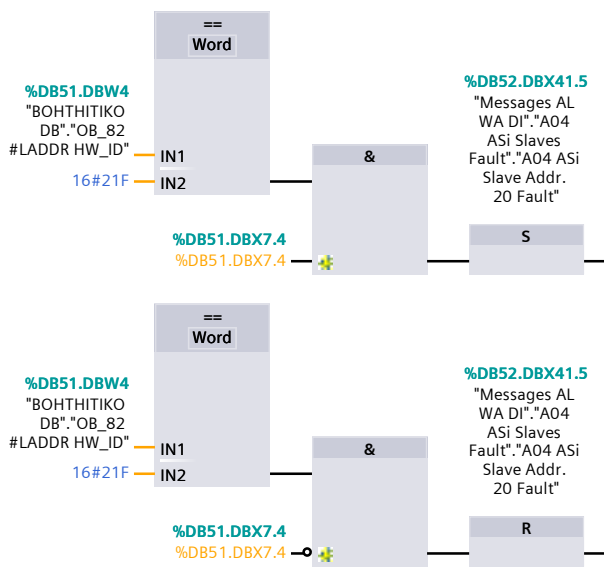
Network 43: A04 ASi Slave Addr. 18 Fault



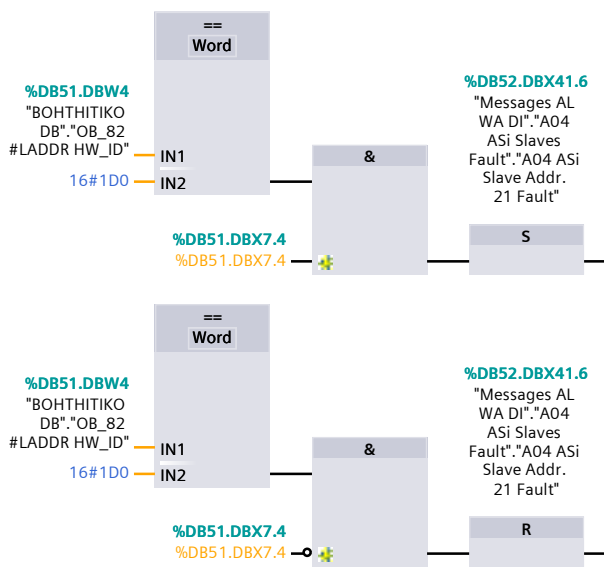
Network 44: A04 ASi Slave Addr. 19 Fault



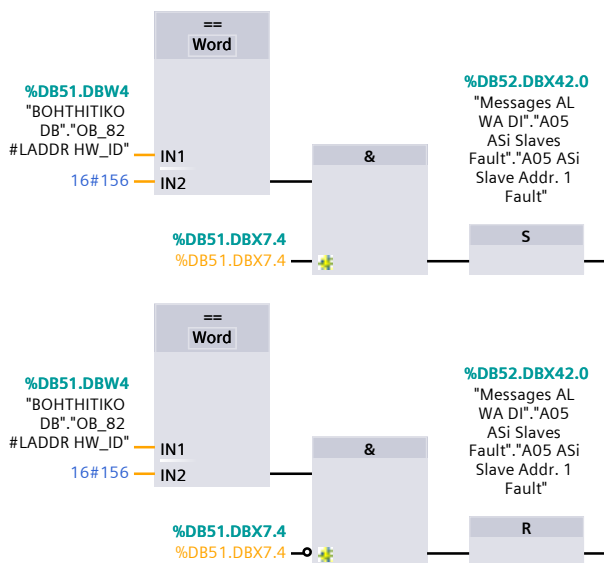
Network 45: A04 ASi Slave Addr. 20 Fault



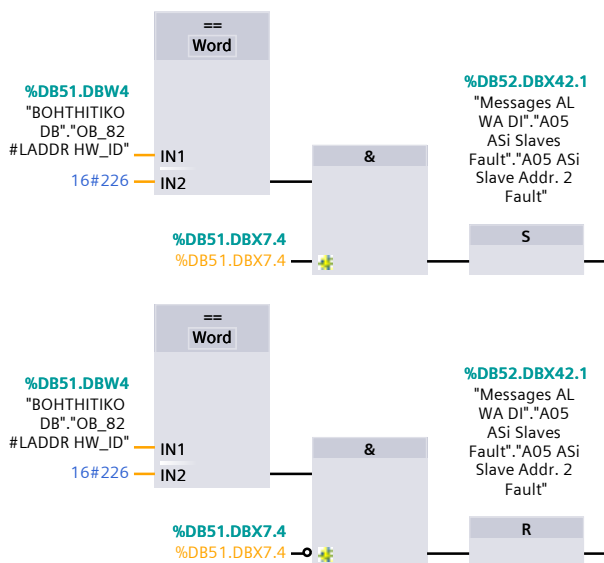
Network 46: A04 ASi Slave Addr. 21 Fault



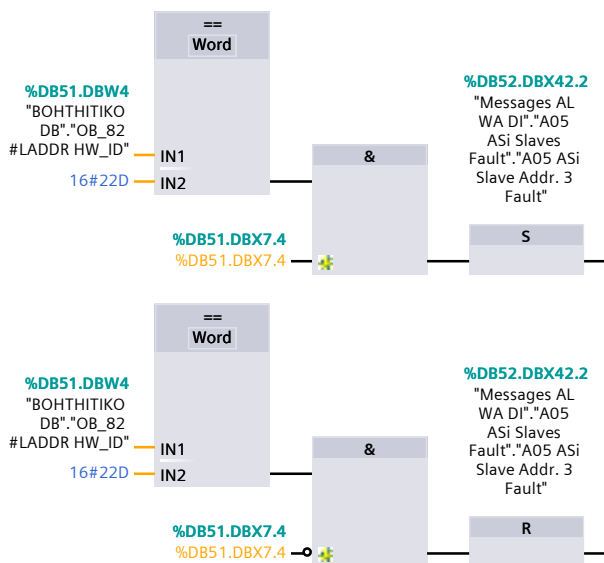
Network 47: A05 ASi Slave Addr. 1 Fault



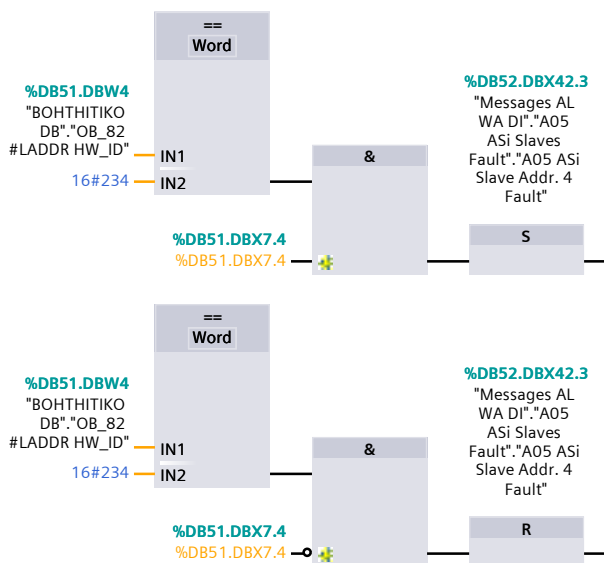
Network 48: A05 ASi Slave Addr. 2 Fault



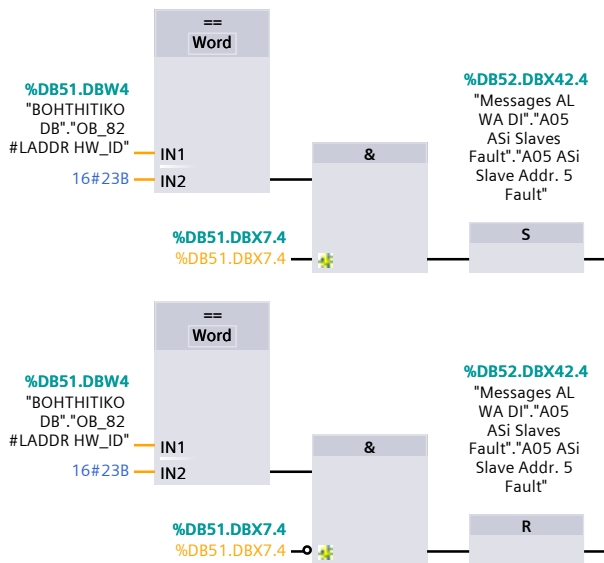
Network 49: A05 ASi Slave Addr. 3 Fault



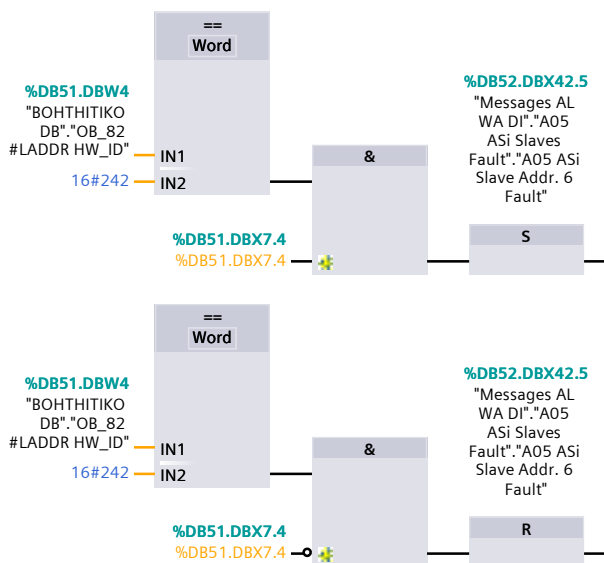
Network 50: A05 ASi Slave Addr. 4 Fault



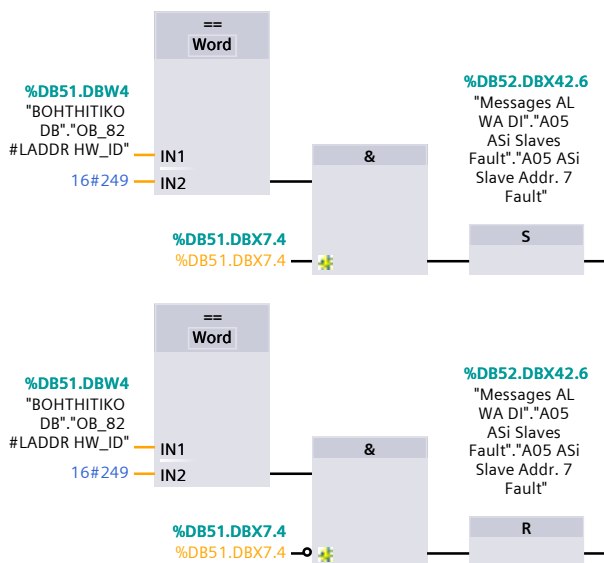
Network 51: A05 ASi Slave Addr. 5 Fault



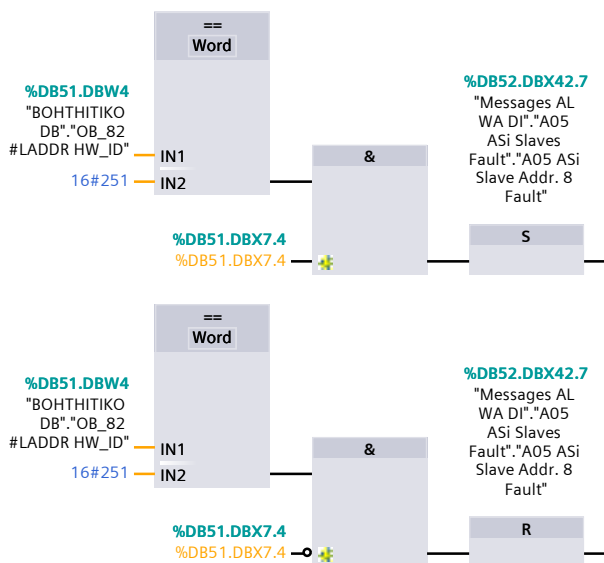
Network 52: A05 ASi Slave Addr. 6 Fault



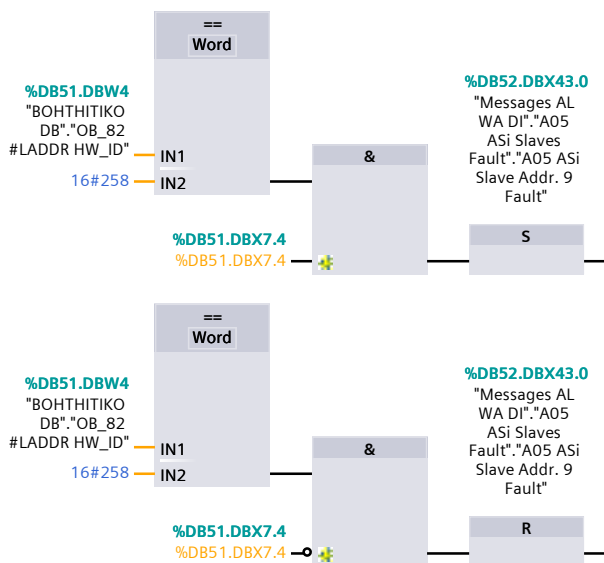
Network 53: A05 ASi Slave Addr. 7 Fault



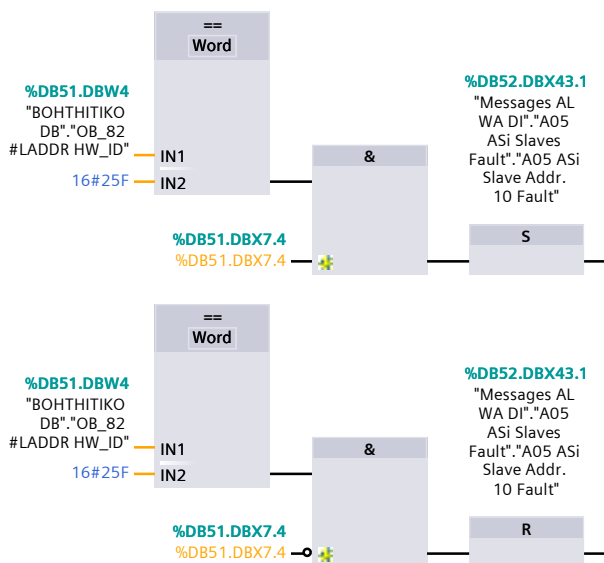
Network 54: A05 ASi Slave Addr. 8 Fault



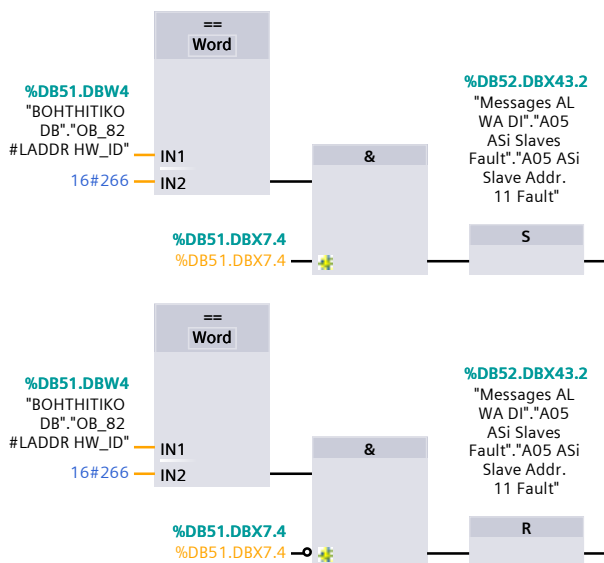
Network 55: A05 ASi Slave Addr. 9 Fault



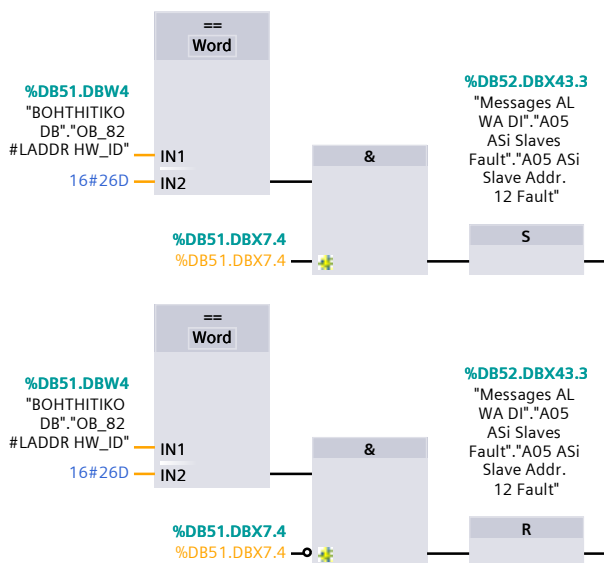
Network 56: A05 ASi Slave Addr. 10 Fault



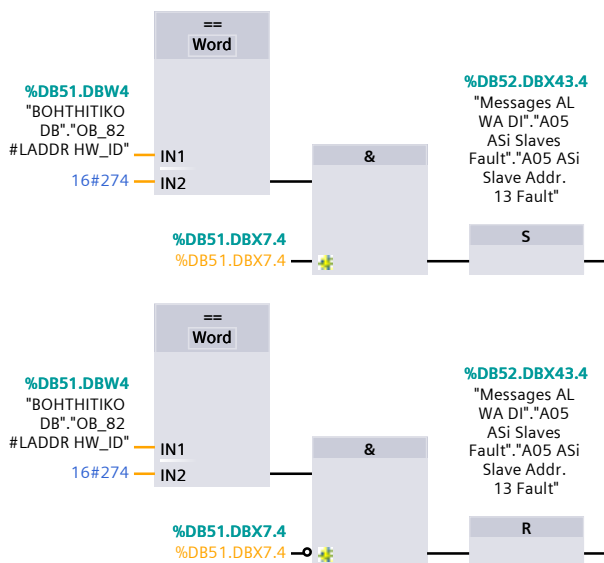
Network 57: A05 ASi Slave Addr. 11 Fault



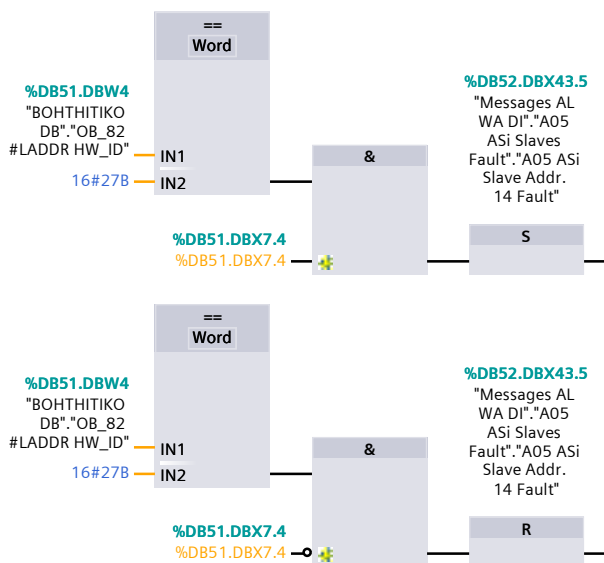
Network 58: A05 ASi Slave Addr. 12 Fault



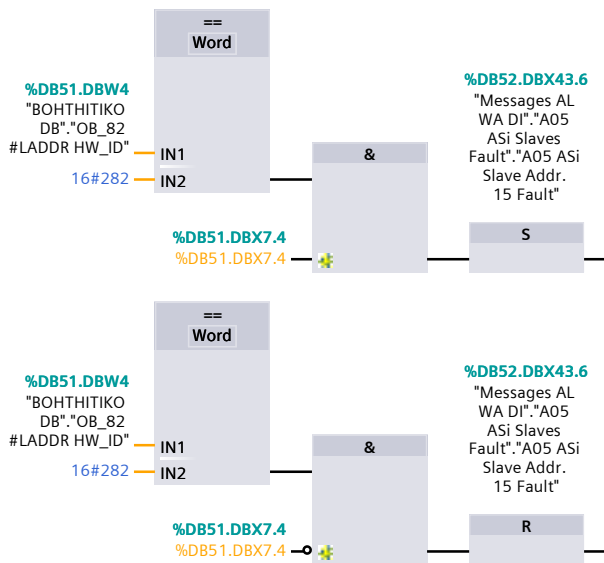
Network 59: A05 ASi Slave Addr. 13 Fault



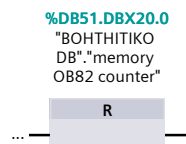
Network 60: A05 ASi Slave Addr. 14 Fault



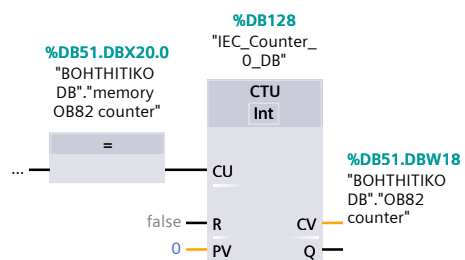
Network 61: A05 ASi Slave Addr. 15 Fault



Network 62:



Network 63:



Program blocks

Manual Open Close Epistomia SYST 18 HMI [FC9]

Manual Open Close Epistomia SYST 18 HMI Properties

General

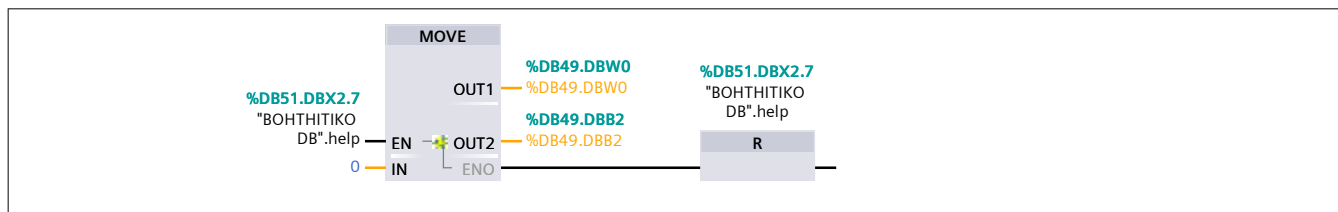
Name	Manual Open Close Epistomia SYST 18 HMI	Number	9	Type	FC
Language	FBD	Numbering	Automatic		

Information

Title		Author		Comment	Στα 5 πρώτα Networks επιλέγω ποιό επιστόμιο θα είναι ενεργό και αποθηκεύεται στο DB 51. Μόλις γίνει ενεργό εμφανίζεται κάτω ΔΕ στην οθόνη το ενεργό επιστόμιο. Αυτό διαρκεί 10sec ή όσο εγώ ορίσω στο Network 4 με τον P Timer. Όσο είναι ενεργό, μεταφέρω την πληροφορία του ενεργού επιστομίου (Network 3) στο Tag MW126 που διαβάζουν τα Text list για να εμφανιστεί η πληροφορία του ενεργού επιστομίου στα πεδία κάτω ΔΕ
Family		Version	0.1	User-defined ID	

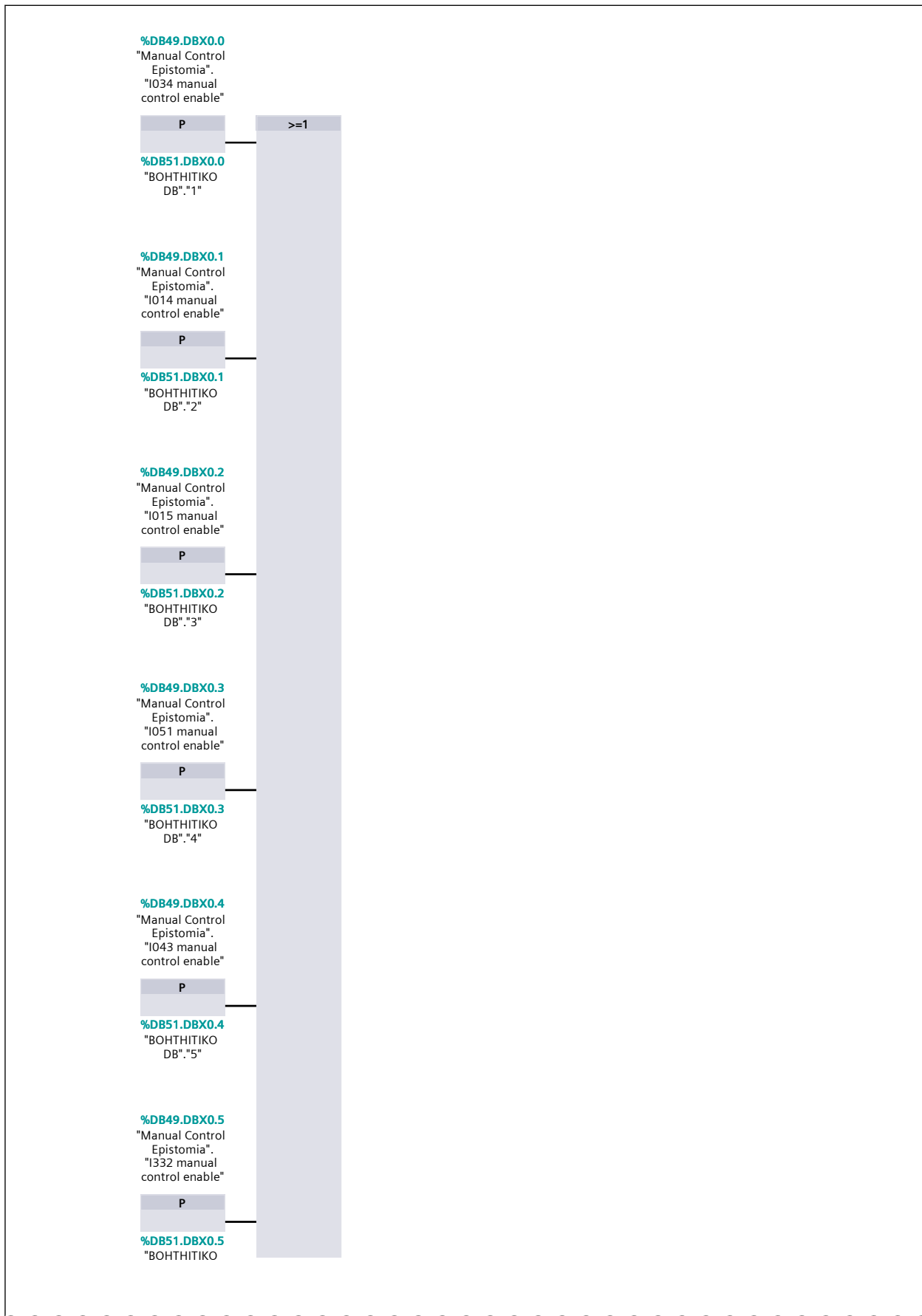
Name	Data type	Default value
Input		
Output		
InOut		
Temp		
Constant		
▼ Return		
Manual Open Close Epistomia SYST 18 HMI	Void	

Network 1:



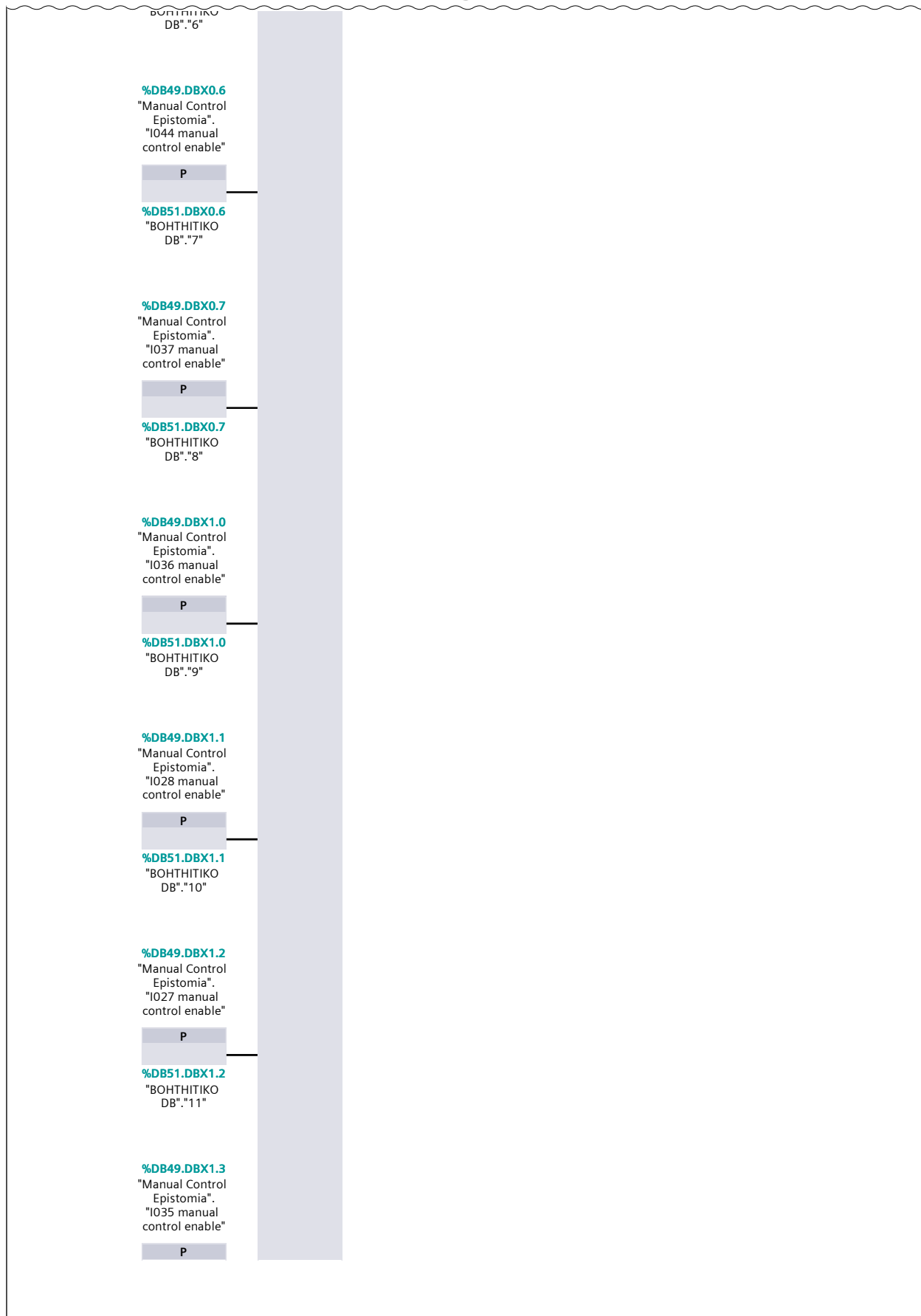
Network 2:

Network 2: (1.1 / 5.1)



Network 2: (2.1 / 5.1)

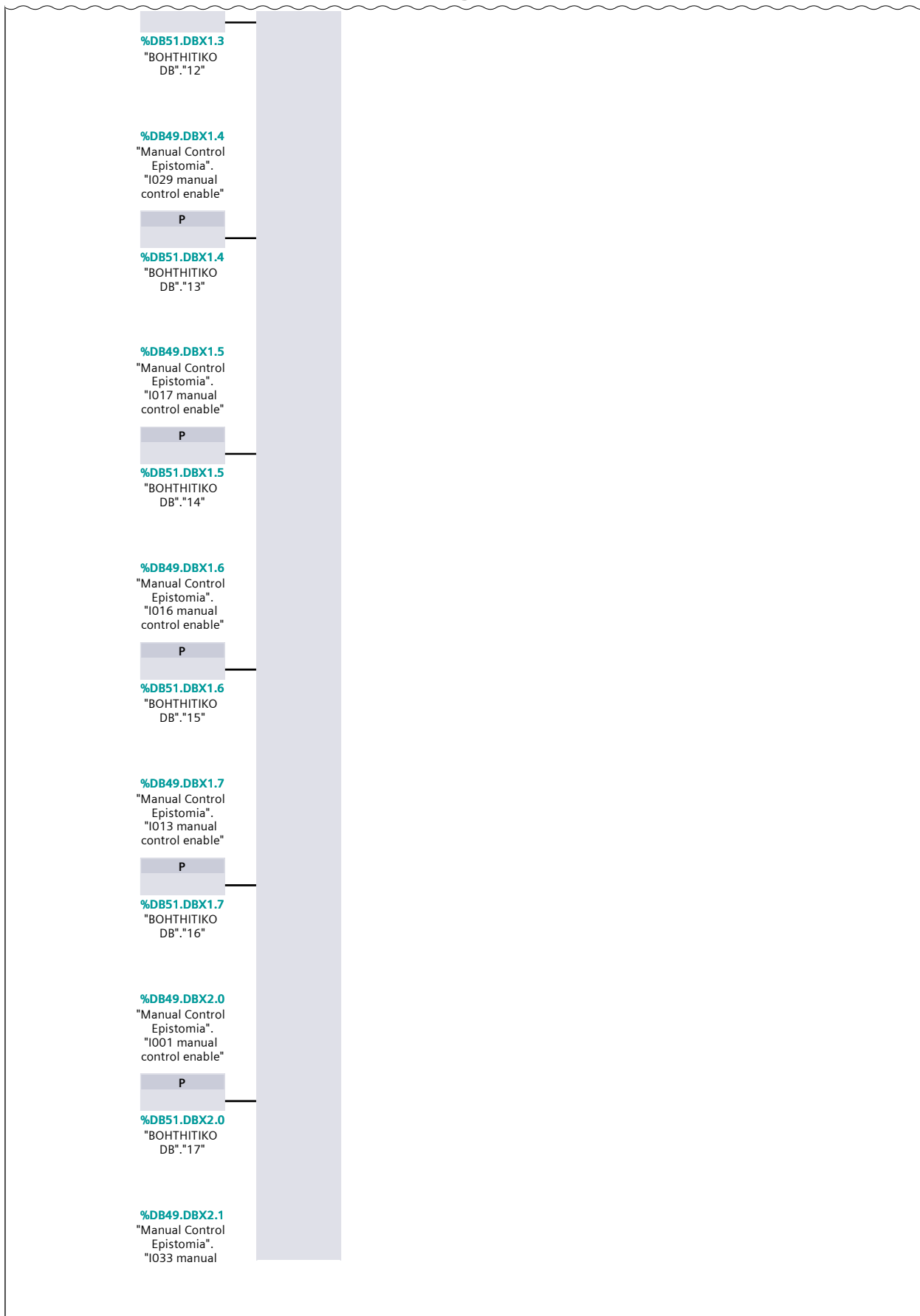
1.1 (Page13 - 2)



3.1 (Page13 - 4)

Network 2: (3.1 / 5.1)

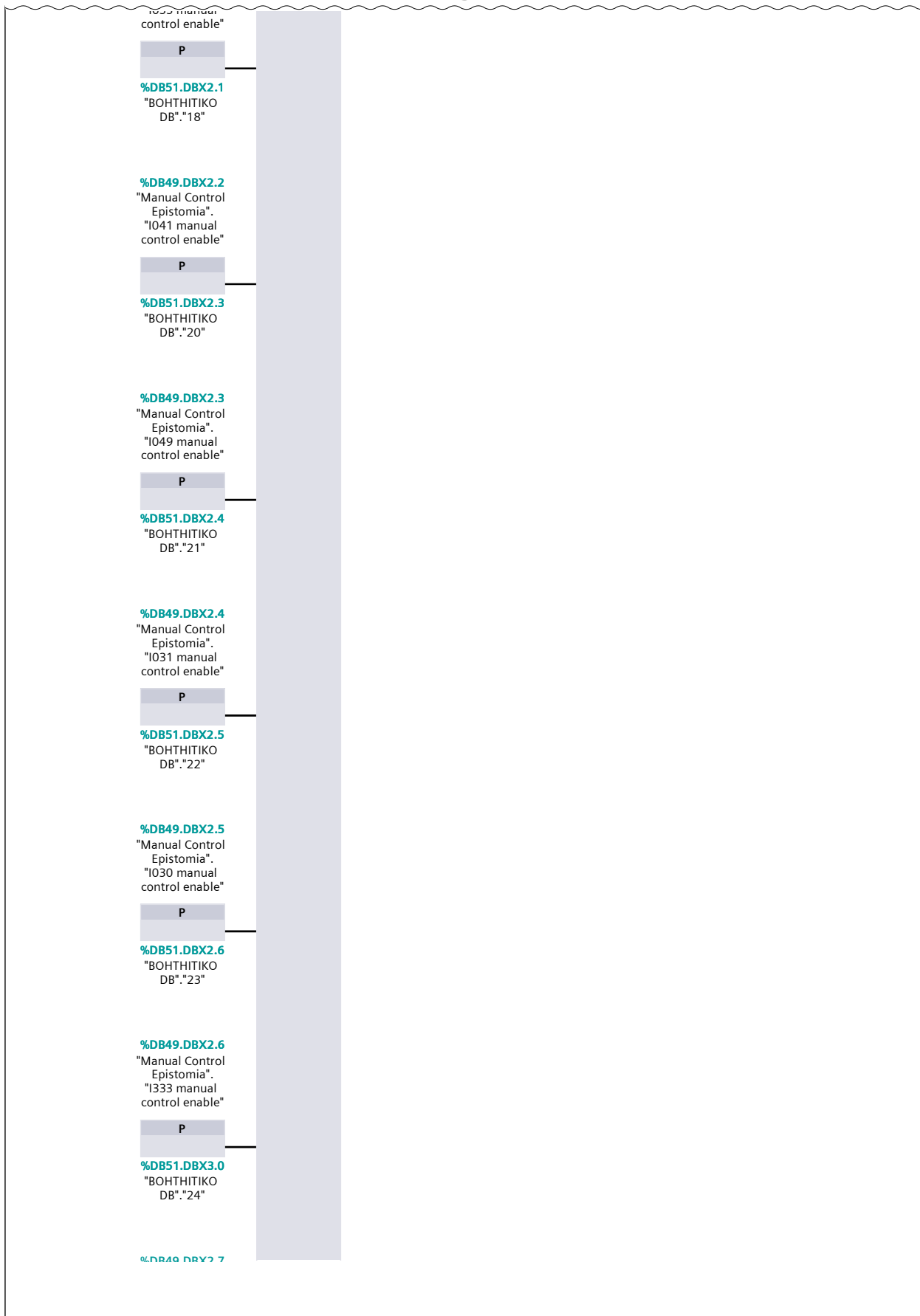
2.1 (Page13 - 3)



4.1 (Page13 - 5)

Network 2: (4.1 / 5.1)

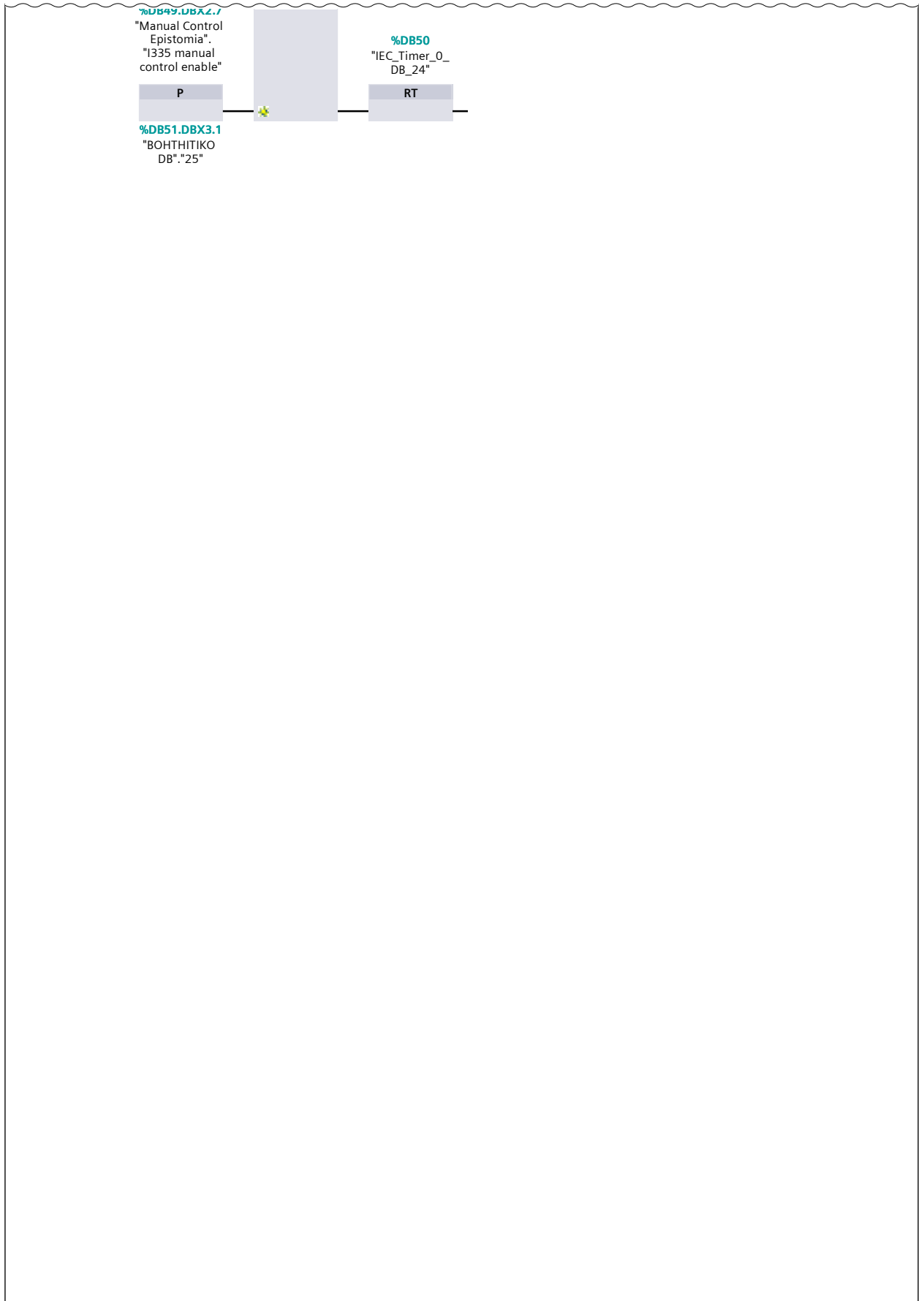
3.1 (Page13 - 4)



5.1 (Page13 - 6)

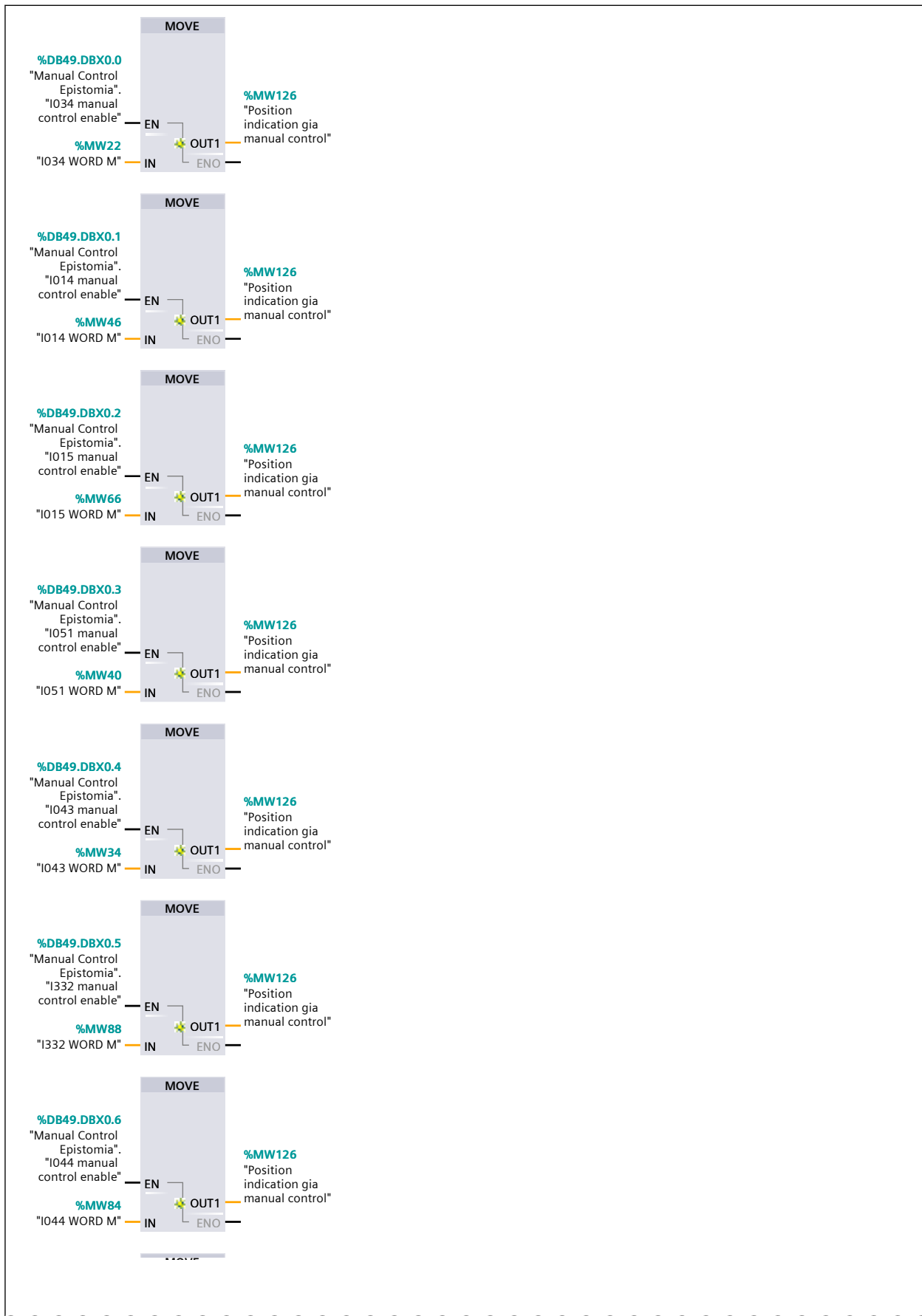
Network 2: (5.1 / 5.1)

4.1 (Page13 - 5)



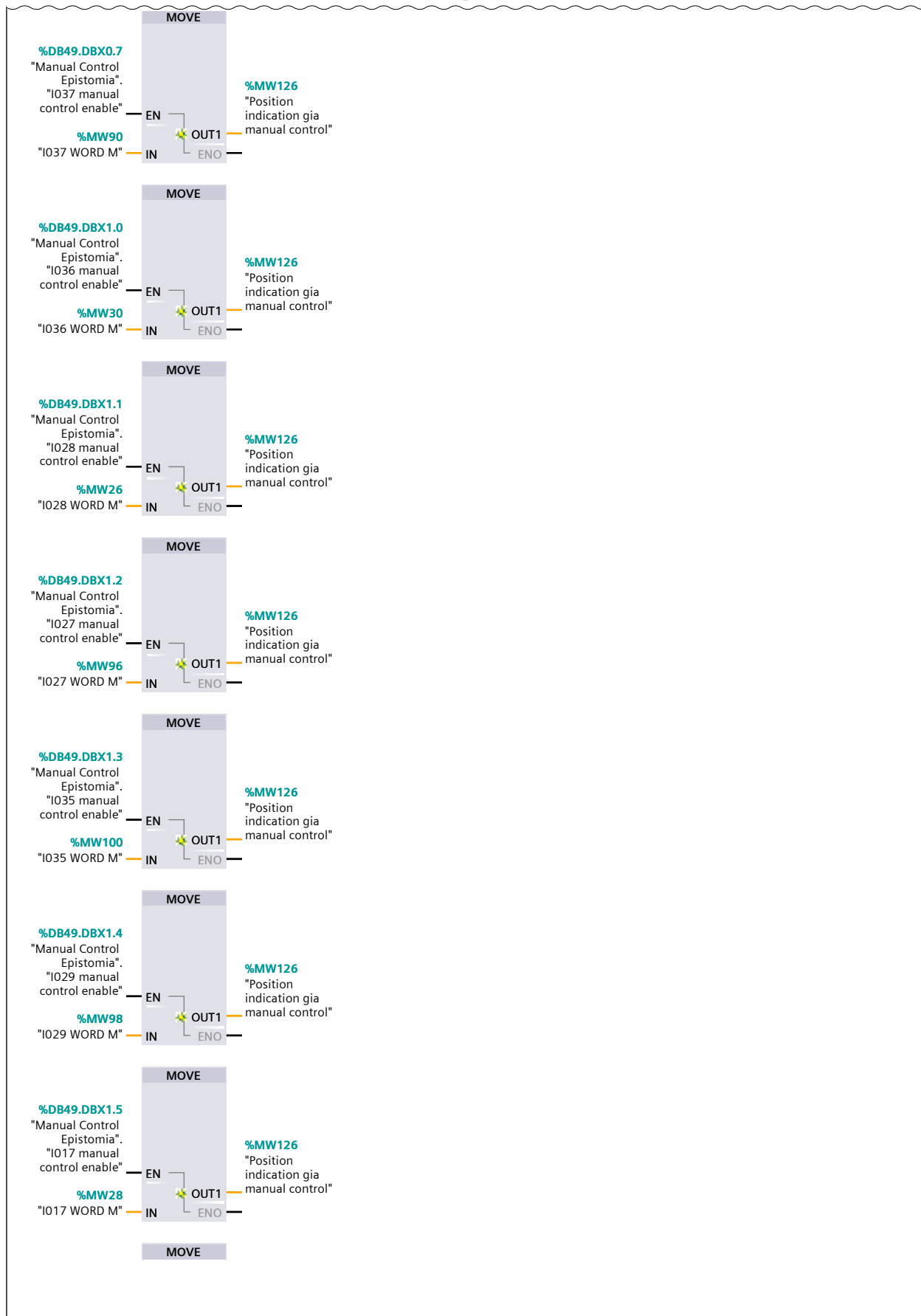
Network 3:

Network 3: (1.1 / 4.1)



Network 3: (2.1 / 4.1)

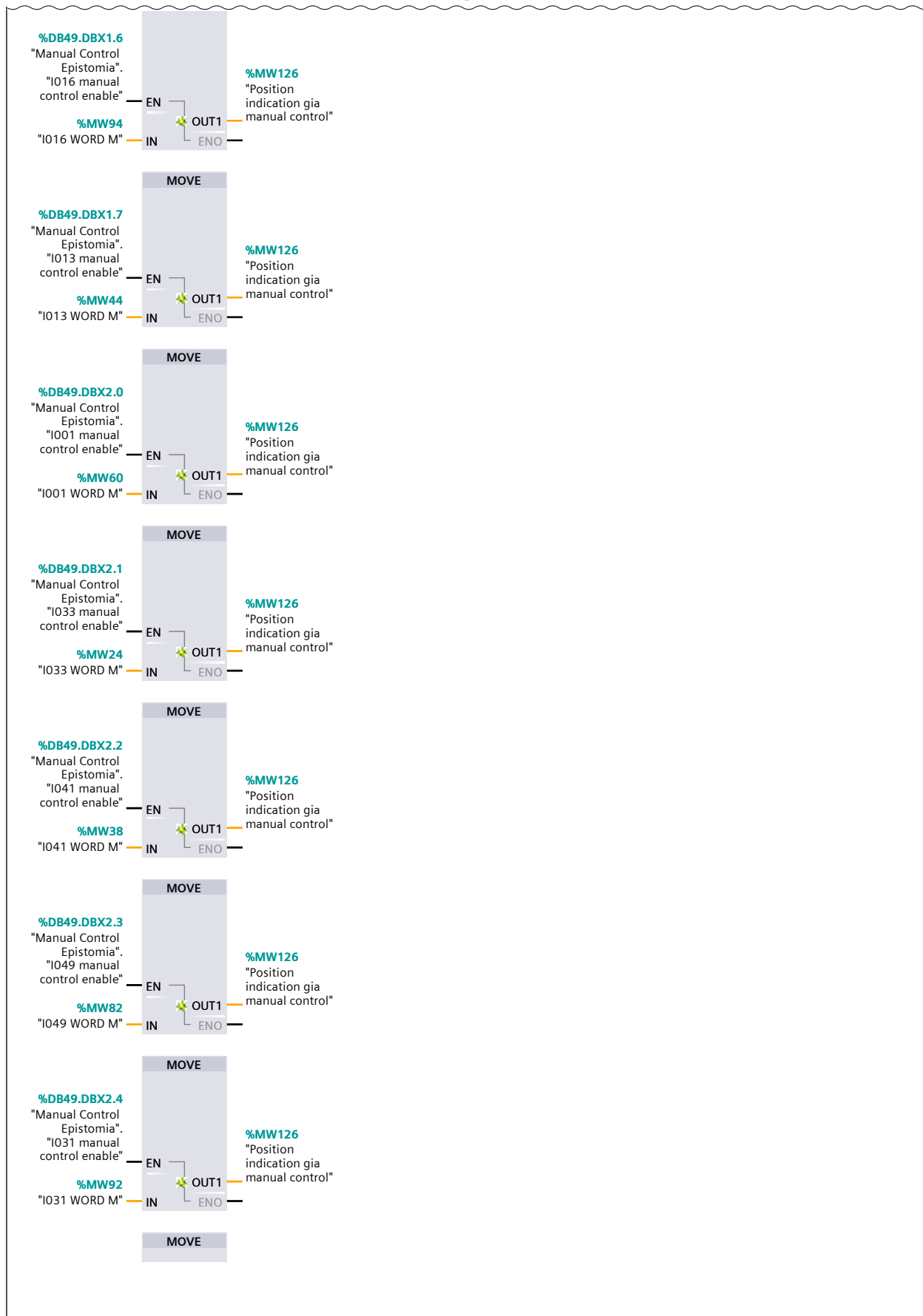
1.1 (Page13 - 8)



3.1 (Page13 - 10)

Network 3: (3.1 / 4.1)

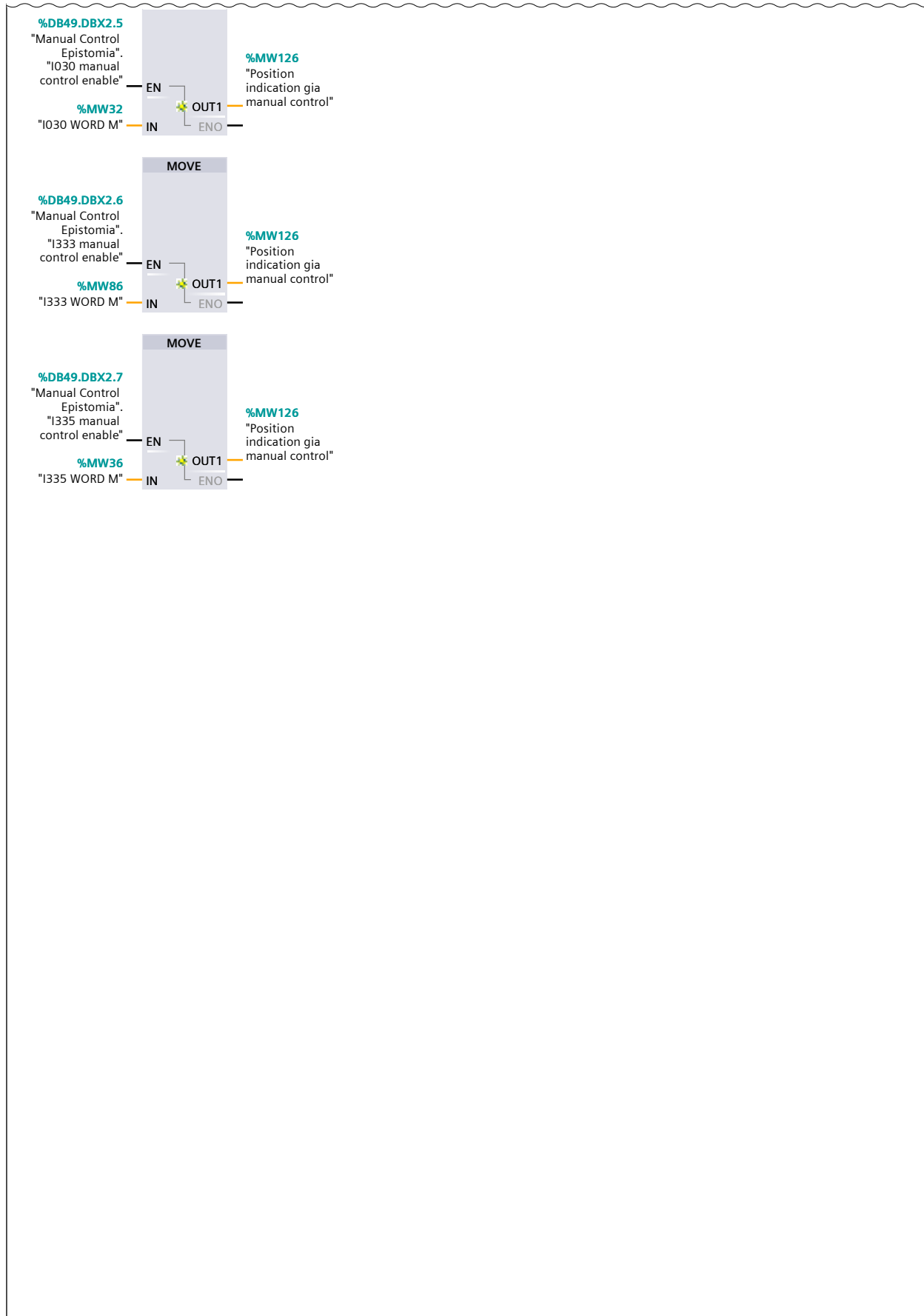
2.1 (Page13 - 9)



4.1 (Page13 - 11)

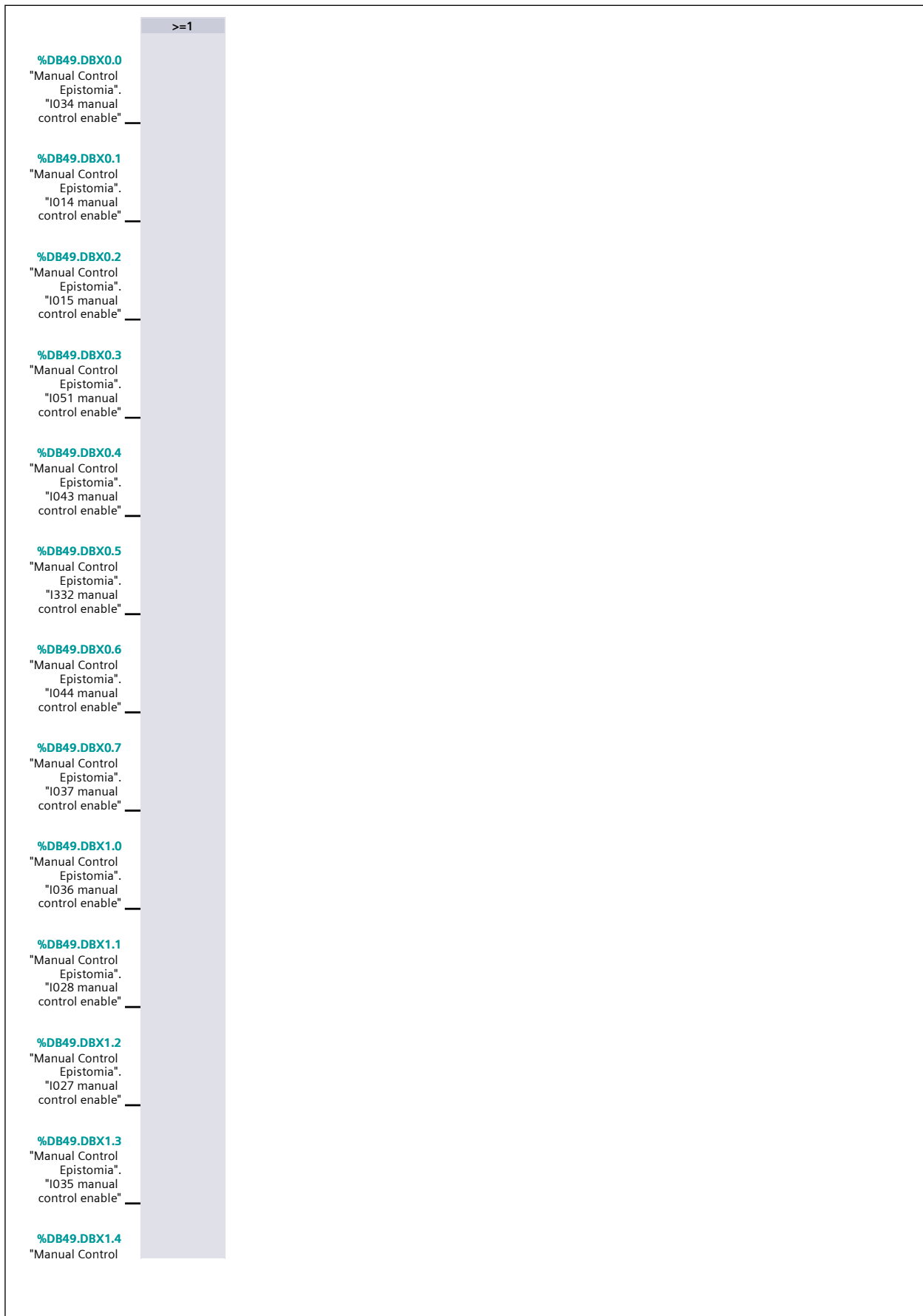
Network 3: (4.1 / 4.1)

3.1 (Page13 - 10)



Network 4:

Network 4: (1.1 / 3.1)



Network 4: (2.1 / 3.1)

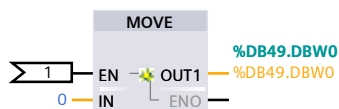
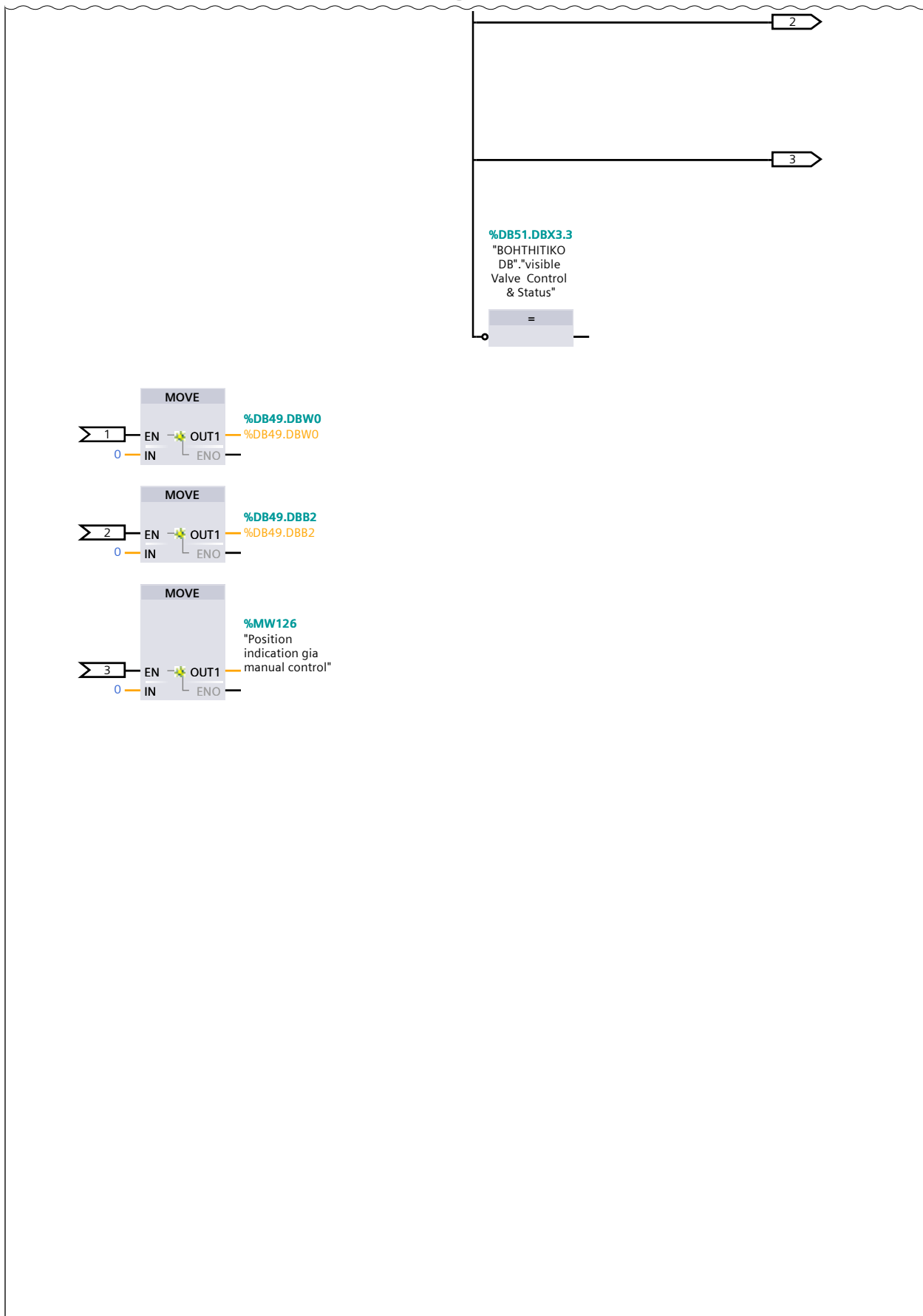
1.1 (Page13 - 13)



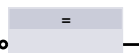
3.1 (Page13 - 15)

Network 4: (3.1 / 3.1)

2.1 (Page13 - 14)

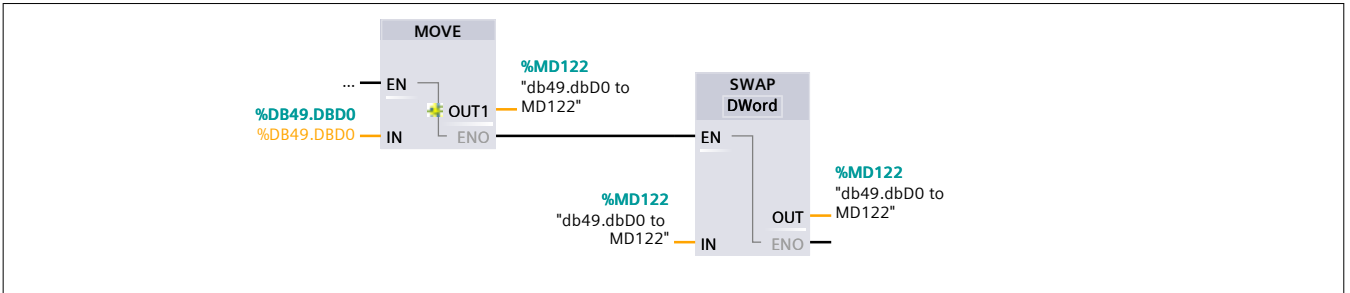


%DB51.DBX3.3
"BOHHTHIKO
DB", "visible
Valve Control
& Status"

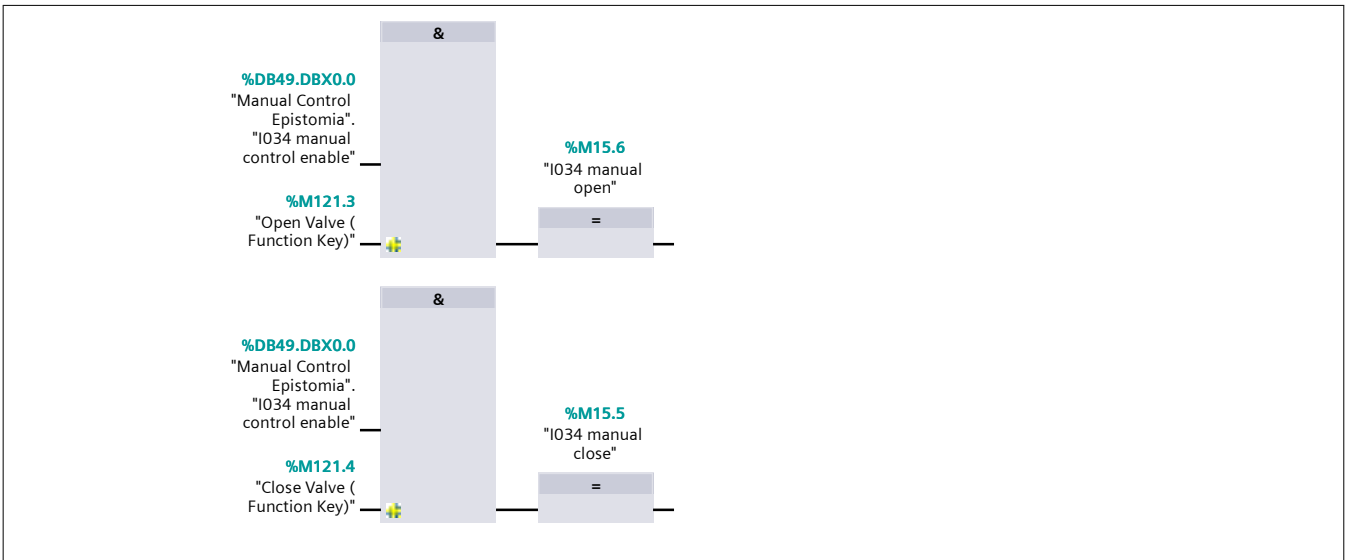


Network 5: DBD0 to MD122 & SWAP gia va διαβαστούν απο Text Lists

μεταφέρω το Status των επιστομιών απο το DB στο MD122, κάνω SWAP στο MD122 για να μπορ'ω να διαβάσω στο Text list τα Byte σωστά (επειδή όταν τα παίρνω από το DB και τα μεταφέρω στο MD έρχονται ανάποδα).



Network 6: I 034 Εντολές κίνησης επιστομιών



Network 7: I 014



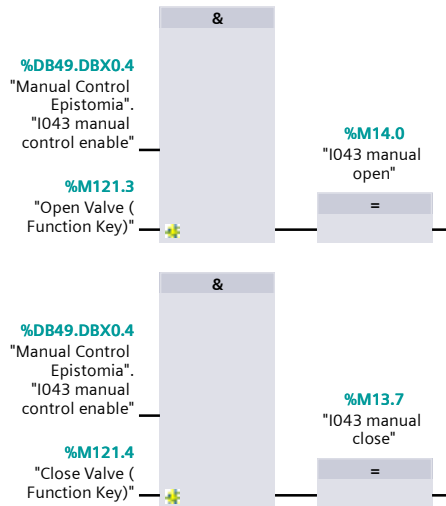
Network 8: I 015



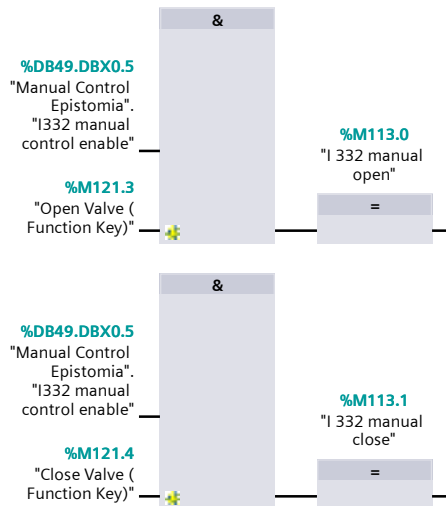
Network 9: I 051



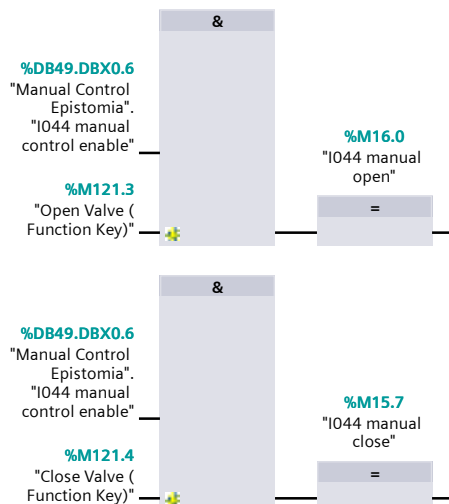
Network 10: I 043



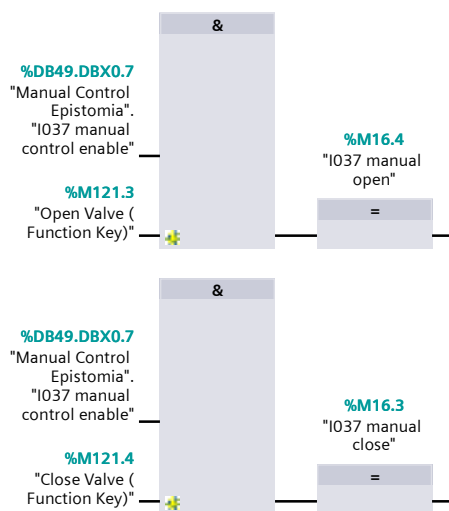
Network 11: I 332



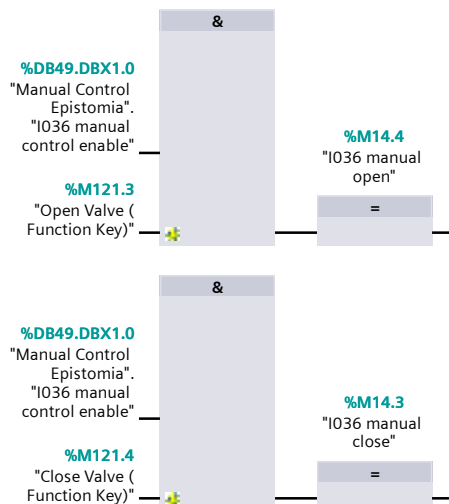
Network 12: I 044



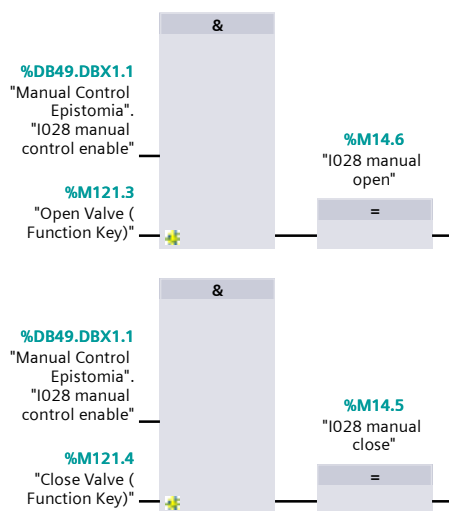
Network 13: I 037



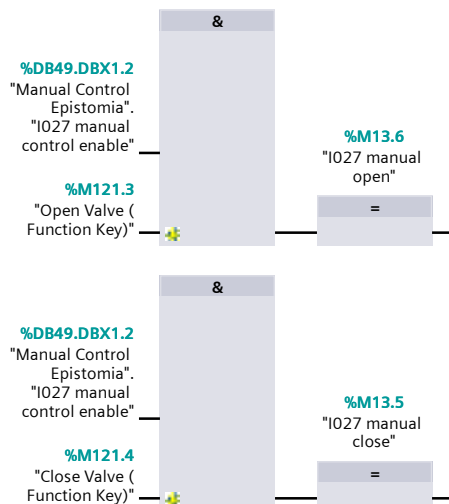
Network 14: I 036



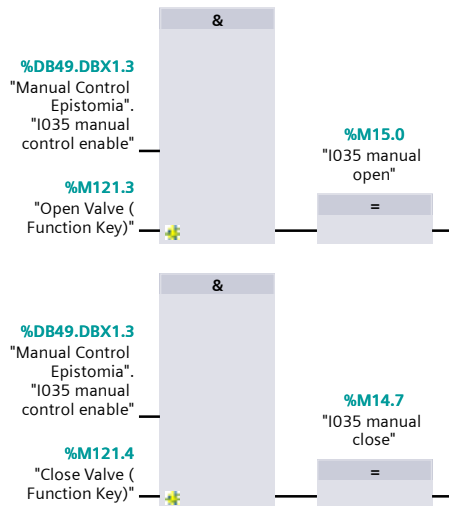
Network 15: I 028



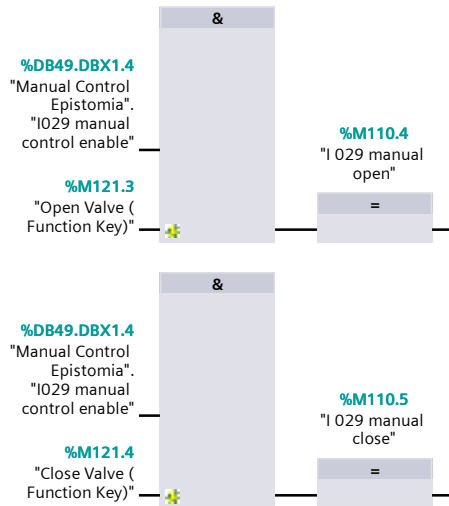
Network 16: I 027



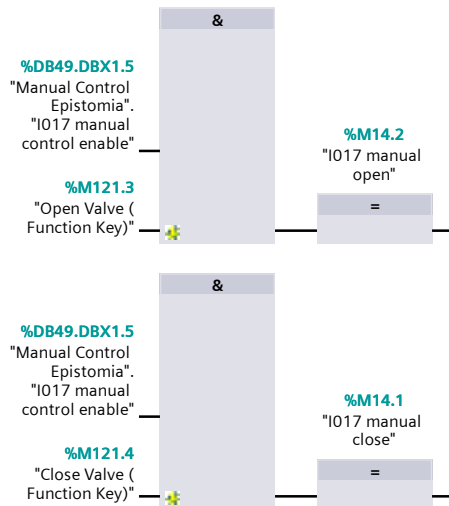
Network 17: I 035



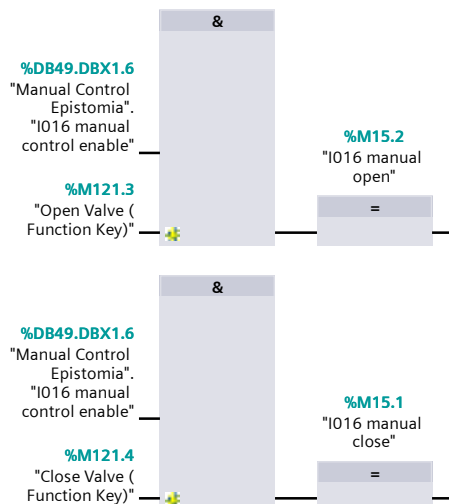
Network 18: I 029



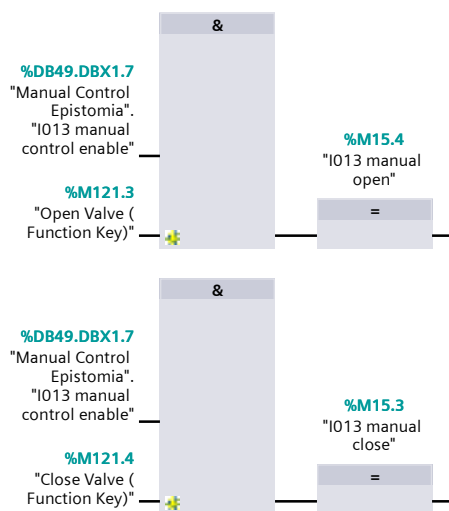
Network 19: I 017



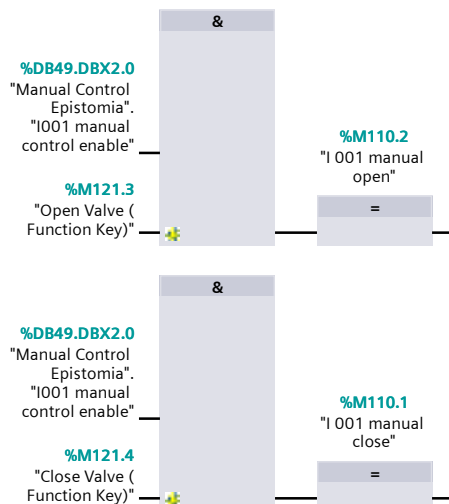
Network 20: I 016



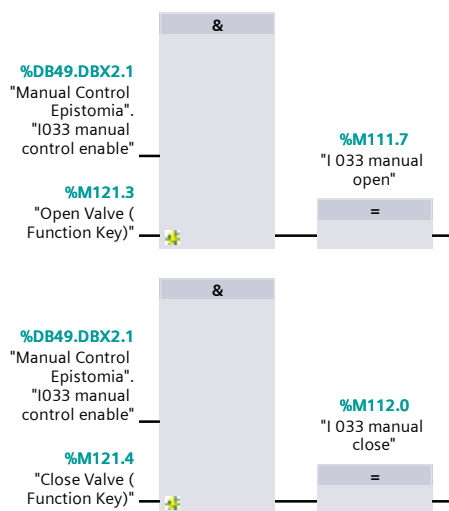
Network 21: I 013



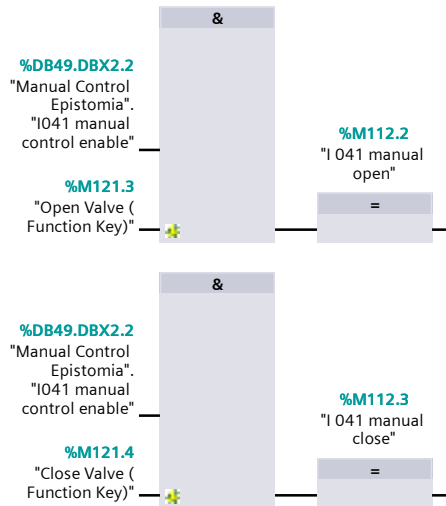
Network 22: I 001



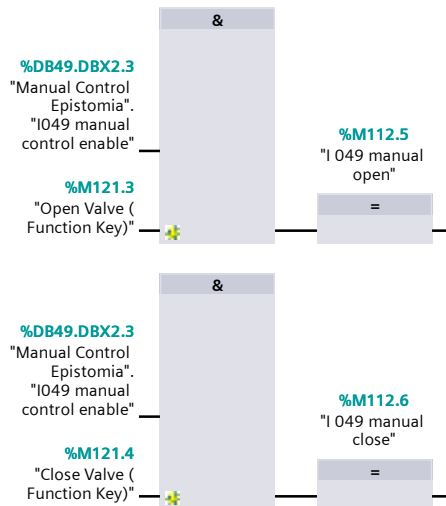
Network 23: I 033



Network 24: I 041

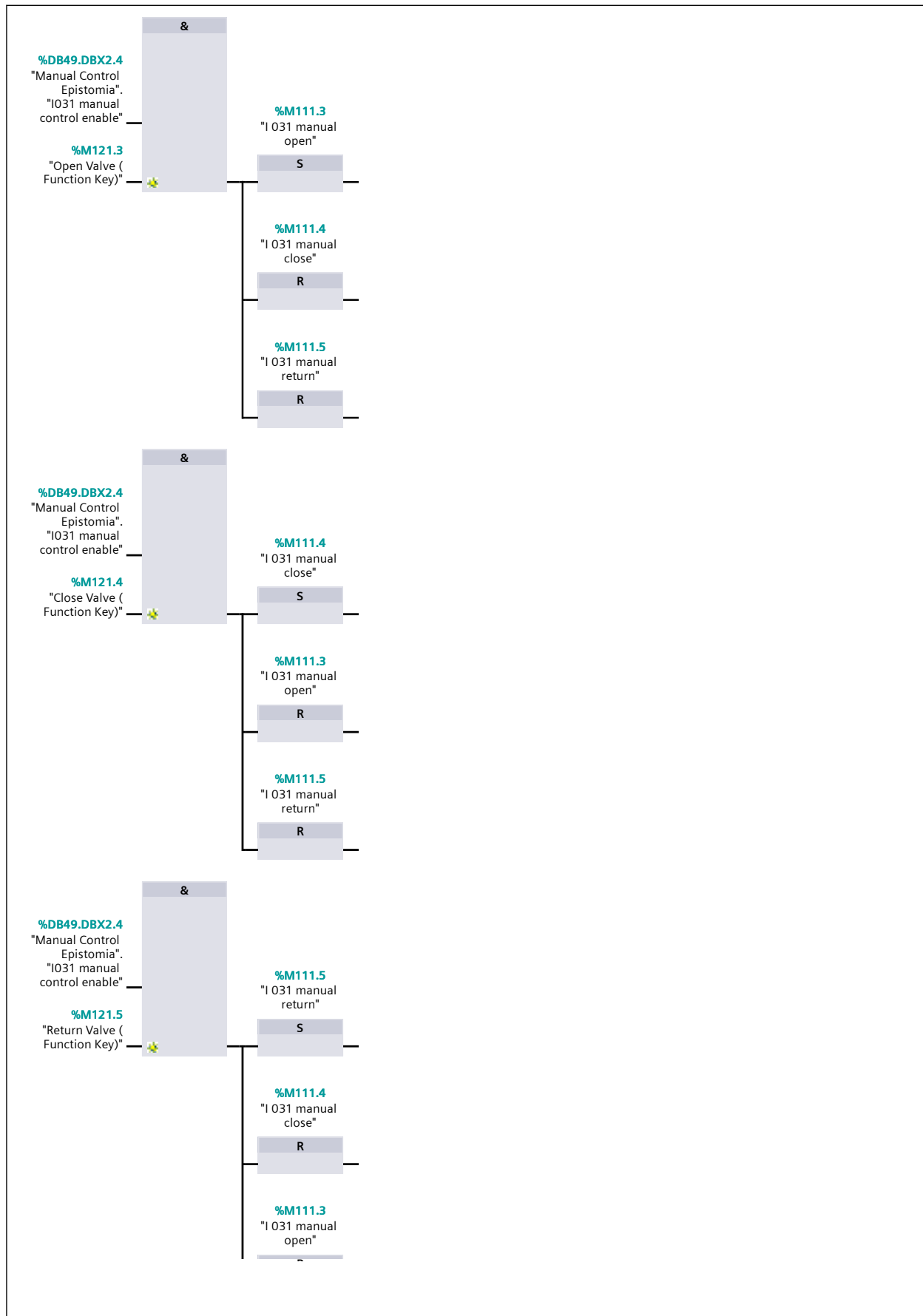


Network 25: I 049



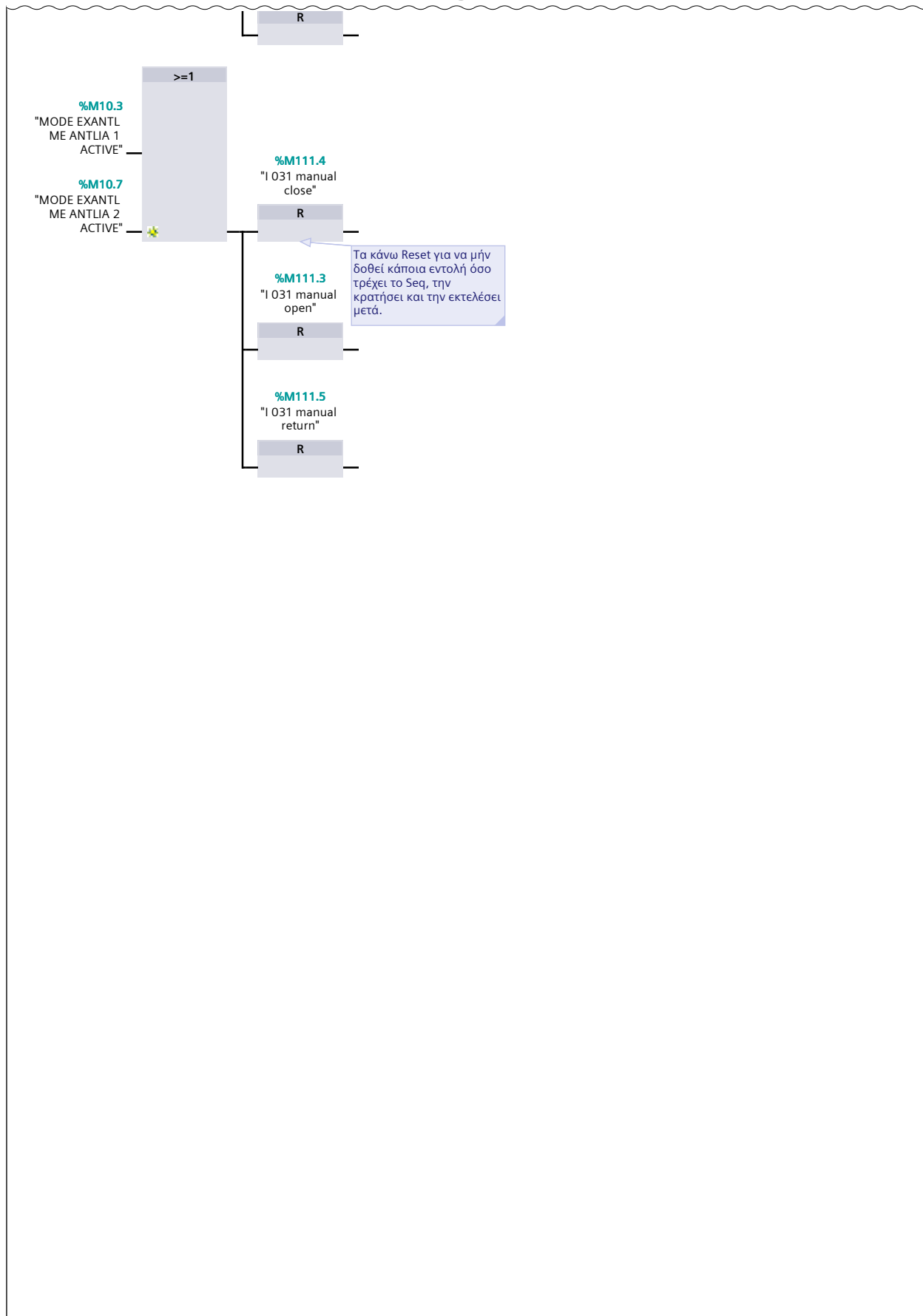
Network 26: I 031

Network 26: I 031 (1.1 / 2.1)



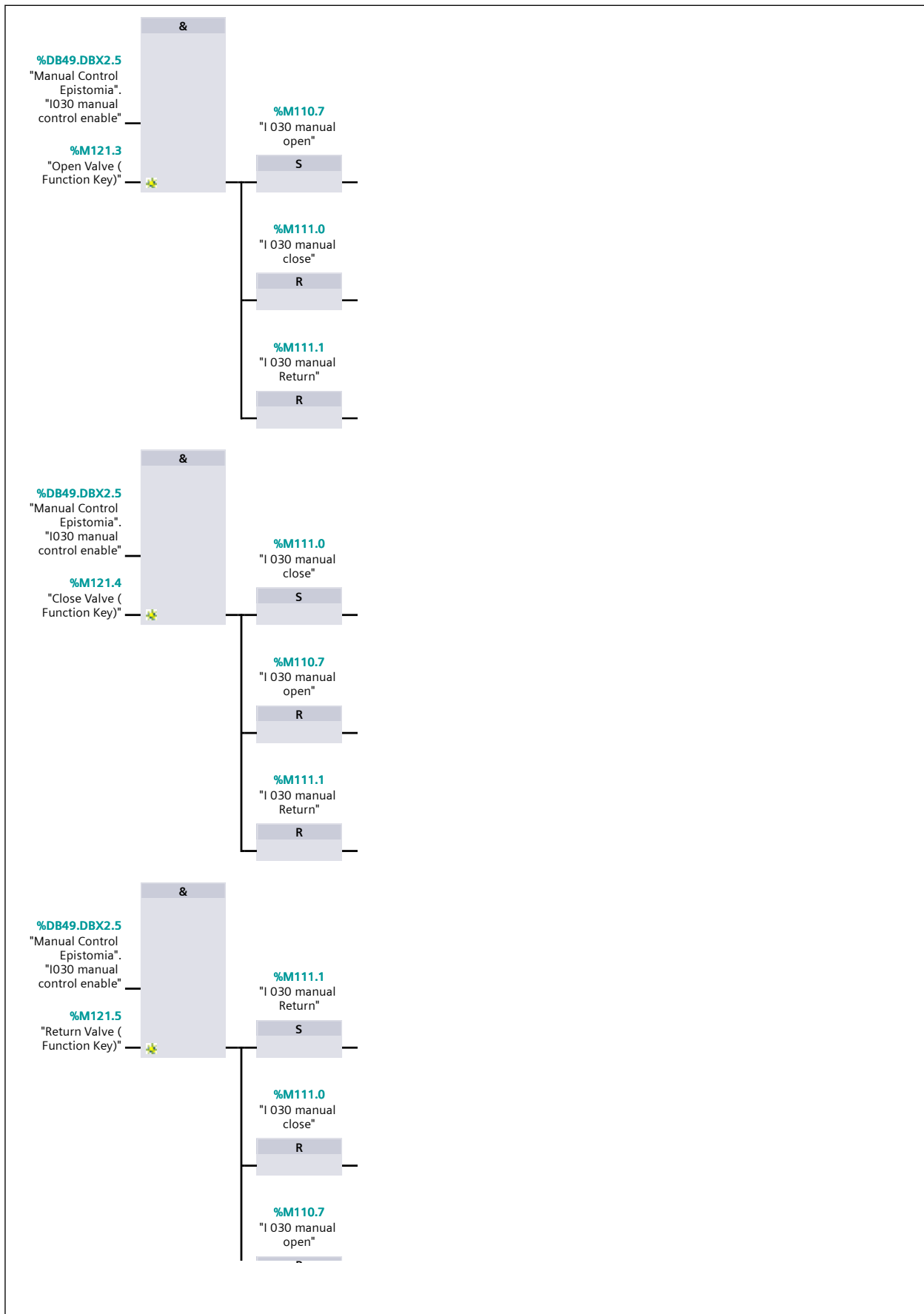
Network 26: I 031 (2.1 / 2.1)

1.1 (Page13 - 26)



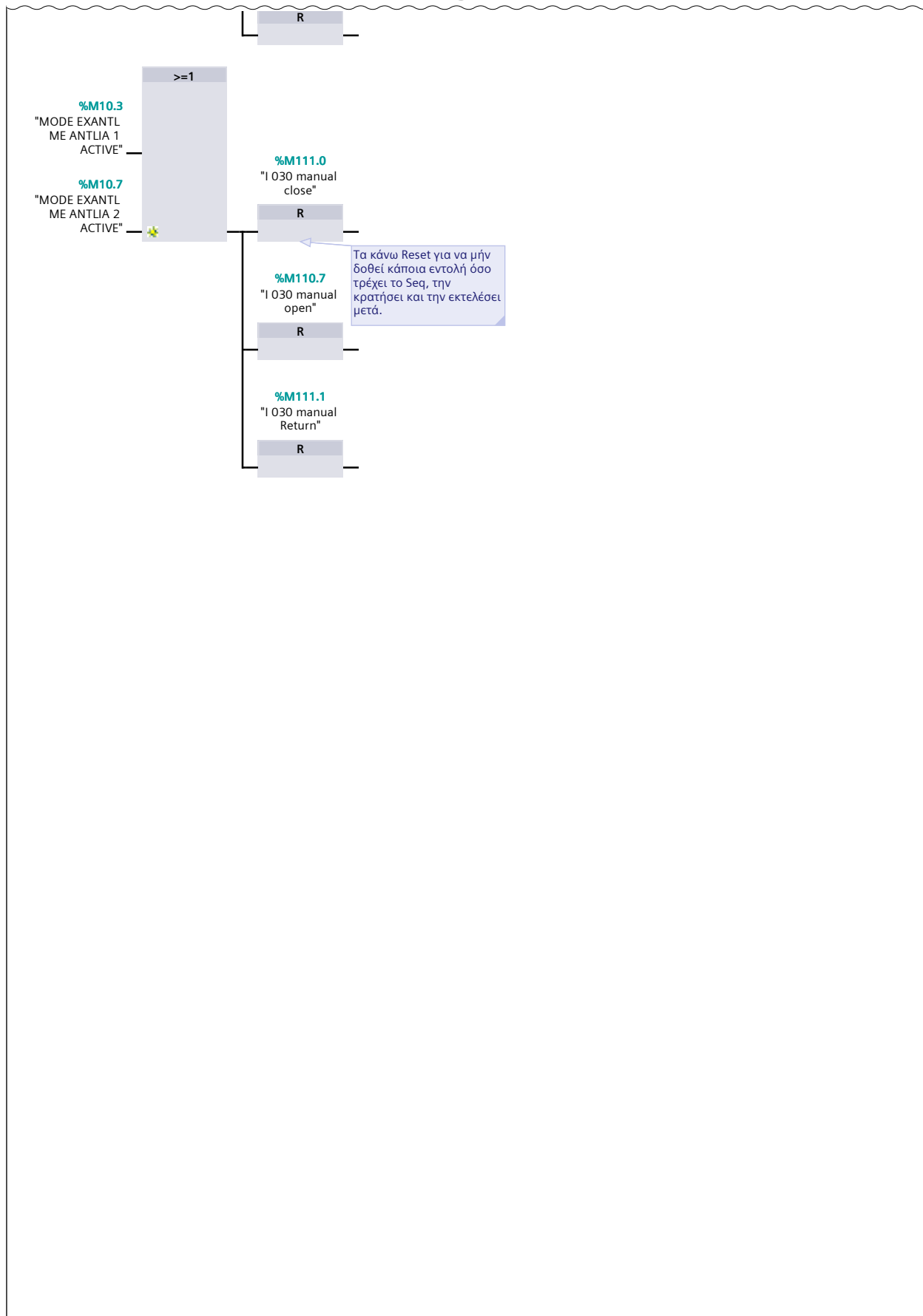
Network 27: I 030

Network 27: I 030 (1.1 / 2.1)



Network 27: I 030 (2.1 / 2.1)

1.1 (Page13 - 29)



Network 28: I 333



Program blocks

Time setpoints [DB19]

Time setpoints Properties

General

Name	Time setpoints	Number	19	Type	DB
Language	DB	Numbering	Automatic		

Information

Title		Author		Comment	
Family		Version	0.1	User-defined ID	

Name	Data type	Start value	Retain
▼ Static			
Pulse time for control Valves Int	Int	0	True
Pulse time for control Valves Time	Time	T#0ms	True
Delay time for stopping pulse Int	Int	0	True
Delay time for stopping pulse Time	Time	T#0ms	True
Time for AL in Steps panel	Int	10	True
Time for AL in Steps PLC	Time	T#0ms	True
Time Delay fore WA Postion Lost PANEL	Int	10	True
Time Delay fore WA Postion Lost PLC	Time	T#0ms	True

Program blocks

Manual Control Epistomia [DB49]

Manual Control Epistomia Properties

General

Name	Manual Control Epistomia	Number	49	Type	DB
Language	DB	Numbering	Automatic		

Information

Title		Author		Comment	
Family		Version	0.1	User-defined ID	

Name	Data type	Start value	Retain
▼ Static			
I034 manual control enable	Bool	false	False
I014 manual control enable	Bool	false	False
I015 manual control enable	Bool	false	False
I051 manual control enable	Bool	false	False
I043 manual control enable	Bool	false	False
I332 manual control enable	Bool	false	False
I044 manual control enable	Bool	false	False
I037 manual control enable	Bool	false	False
I036 manual control enable	Bool	false	False
I028 manual control enable	Bool	false	False
I027 manual control enable	Bool	false	False
I035 manual control enable	Bool	false	False
I029 manual control enable	Bool	false	False
I017 manual control enable	Bool	false	False
I016 manual control enable	Bool	false	False
I013 manual control enable	Bool	false	False
I001 manual control enable	Bool	false	False
I033 manual control enable	Bool	false	False
I041 manual control enable	Bool	false	False
I049 manual control enable	Bool	false	False
I031 manual control enable	Bool	false	False
I030 manual control enable	Bool	false	False
I333 manual control enable	Bool	false	False
I335 manual control enable	Bool	false	False

Program blocks

BOHTHITIKO DB [DB51]

BOHTHITIKO DB Properties

General

Name	BOHTHITIKO DB	Number	51	Type	DB
Language	DB	Numbering	Automatic		

Information

Title		Author		Comment	
Family		Version	0.1	User-defined ID	

Name	Data type	Start value	Retain
▼ Static			
1	Bool	false	False
2	Bool	false	False
3	Bool	false	False
4	Bool	false	False
5	Bool	false	False
6	Bool	false	False
7	Bool	false	False
8	Bool	false	False
9	Bool	false	False
10	Bool	false	False
11	Bool	false	False
12	Bool	false	False
13	Bool	false	False
14	Bool	false	False
15	Bool	false	False
16	Bool	false	False
17	Bool	false	False
18	Bool	false	False
19	Bool	false	False
20	Bool	false	False
21	Bool	false	False
22	Bool	false	False
23	Bool	false	False
help	Bool	false	False
24	Bool	false	False
25	Bool	false	False
i335 control visible	Bool	false	False
visible Valve Control & Status	Bool	false	False
OB_82 #LADDR HW_ID	Word	16#0	False
OB_82 #IO_STATE	Word	16#0	False
OB_82 #Channel	UInt	0	False
Waterway STATUS PUMP 1 OK	Bool	false	False
Waterway STATUS PUMP 2 OK	Bool	false	False
memory	Bool	false	False
memory_1	Bool	false	False
memory_2	Bool	false	False
memory_3	Bool	false	False
teeest	Bool	false	False

Name	Data type	Start value	Retain
hepl2	DWord	16#0	False
multi error (OB82)	Bool	false	False
OB82 counter	Int	0	False
memory OB82 counter	Bool	false	False
OB86 counter	Int	0	False
memory OB86 counter	Bool	false	False
ob82 # IO STATE Bin	Word	16#0	False

Program blocks

Messages AL WA DI [DB52]

Messages AL WA DI Properties

General

Name	Messages AL WA DI	Number	52	Type	DB
Language	DB	Numbering	Automatic		

Information

Title		Author		Comment	
Family		Version	0.1	User-defined ID	

Name	Data type	Start value	Retain
▼ Static			
▼ MSG I001 I016 I017 I027 I028	Struct		False
I001 POSITION NOT CLEAR	Bool	false	False
I001 RUNTIME FAILURE	Bool	false	False
I001 POSITION LOST	Bool	false	False
I016 POSITION NOT CLEAR	Bool	false	False
I016 RUNTIME FAILURE	Bool	false	False
I016 POSITION LOST	Bool	false	False
I017 POSITION NOT CLEAR	Bool	false	False
I017 RUNTIME FAILURE	Bool	false	False
I017 POSITION LOST	Bool	false	False
I027 POSITION NOT CLEAR	Bool	false	False
I027 RUNTIME FAILURE	Bool	false	False
I027 POSITION LOST	Bool	false	False
I028 POSITION NOT CLEAR	Bool	false	False
I028 RUNTIME FAILURE	Bool	false	False
I028 POSITION LOST	Bool	false	False
▼ MSG I029 I030 I031 I033 I034	Struct		False
I029 POSITION NOT CLEAR	Bool	false	False
I029 RUNTIME FAILURE	Bool	false	False
I029 POSITION LOST	Bool	false	False
I030 POSITION NOT CLEAR	Bool	false	False
I030 RUNTIME FAILURE	Bool	false	False
I030 POSITION LOST	Bool	false	False
I031 POSITION NOT CLEAR	Bool	false	False
I031 RUNTIME FAILURE	Bool	false	False
I031 POSITION LOST	Bool	false	False
I033 POSITION NOT CLEAR	Bool	false	False
I033 RUNTIME FAILURE	Bool	false	False
I033 POSITION LOST	Bool	false	False
I034 POSITION NOT CLEAR	Bool	false	False
I034 RUNTIME FAILURE	Bool	false	False
I034 POSITION LOST	Bool	false	False
▼ MSG I035 I036 I037 I041 I043	Struct		False
I035 POSITION NOT CLEAR	Bool	false	False
I035 RUNTIME FAILURE	Bool	false	False
I035 POSITION LOST	Bool	false	False
I036 POSITION NOT CLEAR	Bool	false	False
I036 RUNTIME FAILURE	Bool	false	False

Name	Data type	Start value	Retain
I036 POSITION LOST	Bool	false	False
I037 POSITION NOT CLEAR	Bool	false	False
I037 RUNTIME FAILURE	Bool	false	False
I037 POSITION LOST	Bool	false	False
I041 POSITION NOT CLEAR	Bool	false	False
I041 RUNTIME FAILURE	Bool	false	False
I041 POSITION LOST	Bool	false	False
I043 POSITION NOT CLEAR	Bool	false	False
I043 RUNTIME FAILURE	Bool	false	False
I043 POSITION LOST	Bool	false	False
▼ MSG I044 I049 I051 I332 I333	Struct		False
I044 POSITION NOT CLEAR	Bool	false	False
I044 RUNTIME FAILURE	Bool	false	False
I044 POSITION LOST	Bool	false	False
I049 POSITION NOT CLEAR	Bool	false	False
I049 RUNTIME FAILURE	Bool	false	False
I049 POSITION LOST	Bool	false	False
I051 POSITION NOT CLEAR	Bool	false	False
I051 RUNTIME FAILURE	Bool	false	False
I051 POSITION LOST	Bool	false	False
I332 POSITION NOT CLEAR	Bool	false	False
I332 RUNTIME FAILURE	Bool	false	False
I332 POSITION LOST	Bool	false	False
I333 POSITION NOT CLEAR	Bool	false	False
I333 RUNTIME FAILURE	Bool	false	False
I333 POSITION LOST	Bool	false	False
▼ I335 E001 E002 E003 E004	Struct		False
I335 POSITION NOT CLEAR	Bool	false	False
I335 RUNTIME FAILURE	Bool	false	False
I335 POSITION LOST	Bool	false	False
E001 POSITION NOT CLEAR	Bool	false	False
E001 RUNTIME FAILURE	Bool	false	False
E001 POSITION LOST	Bool	false	False
E002 POSITION NOT CLEAR	Bool	false	False
E002 RUNTIME FAILURE	Bool	false	False
E002 POSITION LOST	Bool	false	False
E003 POSITION NOT CLEAR	Bool	false	False
E003 RUNTIME FAILURE	Bool	false	False
E003 POSITION LOST	Bool	false	False
E004 POSITION NOT CLEAR	Bool	false	False
E004 RUNTIME FAILURE	Bool	false	False
E004 POSITION LOST	Bool	false	False
▼ MSG E005 E006 G085 G086 G089	Struct		False
E005 POSITION NOT CLEAR	Bool	false	False
E005 RUNTIME FAILURE	Bool	false	False
E005 POSITION LOST	Bool	false	False
E006 POSITION NOT CLEAR	Bool	false	False
E006 RUNTIME FAILURE	Bool	false	False
E006 POSITION LOST	Bool	false	False
G085 POSITION NOT CLEAR	Bool	false	False
G085 RUNTIME FAILURE	Bool	false	False
G085 POSITION LOST	Bool	false	False

Name	Data type	Start value	Retain
G086 POSITION NOT CLEAR	Bool	false	False
G086 RUNTIME FAILURE	Bool	false	False
G086 POSITION LOST	Bool	false	False
G089 POSITION NOT CLEAR	Bool	false	False
G089 RUNTIME FAILURE	Bool	false	False
G089 POSITION LOST	Bool	false	False
▼ MSG G090 I010 I011 I012 I013	Struct		False
G090 POSITION NOT CLEAR	Bool	false	False
G090 RUNTIME FAILURE	Bool	false	False
G090 POSITION LOST	Bool	false	False
I010 POSITION NOT CLEAR	Bool	false	False
I010 RUNTIME FAILURE	Bool	false	False
I010 POSITION LOST	Bool	false	False
I011 POSITION NOT CLEAR	Bool	false	False
I011 RUNTIME FAILURE	Bool	false	False
I011 POSITION LOST	Bool	false	False
I012 POSITION NOT CLEAR	Bool	false	False
I012 RUNTIME FAILURE	Bool	false	False
I012 POSITION LOST	Bool	false	False
I013 POSITION NOT CLEAR	Bool	false	False
I013 RUNTIME FAILURE	Bool	false	False
I013 POSITION LOST	Bool	false	False
▼ MSG I014 I015 N005 N008 N009	Struct		False
I014 POSITION NOT CLEAR	Bool	false	False
I014 RUNTIME FAILURE	Bool	false	False
I014 POSITION LOST	Bool	false	False
I015 POSITION NOT CLEAR	Bool	false	False
I015 RUNTIME FAILURE	Bool	false	False
I015 POSITION LOST	Bool	false	False
N005 POSITION NOT CLEAR	Bool	false	False
N005 RUNTIME FAILURE	Bool	false	False
N005 POSITION LOST	Bool	false	False
N008 POSITION NOT CLEAR	Bool	false	False
N008 RUNTIME FAILURE	Bool	false	False
N008 POSITION LOST	Bool	false	False
N009 POSITION NOT CLEAR	Bool	false	False
N009 RUNTIME FAILURE	Bool	false	False
N009 POSITION LOST	Bool	false	False
▼ STEPS SEQ FREEZED	Struct		False
STEP 1 PUMP 1 FREEZED	Bool	false	False
STEP 2 PUMP 1 FREEZED	Bool	false	False
STEP 3 PUMP 1 FREEZED	Bool	false	False
STEP 1 PUMP 2 FREEZED	Bool	false	False
STEP 2 PUMP 2 FREEZED	Bool	false	False
STEP 3 PUMP 2 FREEZED	Bool	false	False
▼ I001 I016 I017 I027 I028 WA AL DI	Struct		False
I001 AL	Bool	false	False
I001 DI	Bool	false	False
I001 WA	Bool	false	False
I016 AL	Bool	false	False
I016 DI	Bool	false	False

Name	Data type	Start value	Retain
I016 WA	Bool	false	False
I017 AL	Bool	false	False
I017 DI	Bool	false	False
I017 WA	Bool	false	False
I027 AL	Bool	false	False
I027 DI	Bool	false	False
I027 WA	Bool	false	False
I028 AL	Bool	false	False
I028 DI	Bool	false	False
I028 WA	Bool	false	False
▼ I029 I030 I031 I033 I034 WA AL DI	Struct		False
I029 AL	Bool	false	False
I029 DI	Bool	false	False
I029 WA	Bool	false	False
I030 AL	Bool	false	False
I030 DI	Bool	false	False
I030 WA	Bool	false	False
I031 AL	Bool	false	False
I031 DI	Bool	false	False
I031 WA	Bool	false	False
I033 AL	Bool	false	False
I033 DI	Bool	false	False
I033 WA	Bool	false	False
I034 AL	Bool	false	False
I034 DI	Bool	false	False
I034 WA	Bool	false	False
▼ I035 I036 I037 I041 I043 WA AL DI	Struct		False
I035 AL	Bool	false	False
I035 DI	Bool	false	False
I035 WA	Bool	false	False
I036 AL	Bool	false	False
I036 DI	Bool	false	False
I036 WA	Bool	false	False
I037 AL	Bool	false	False
I037 DI	Bool	false	False
I037 WA	Bool	false	False
I041 AL	Bool	false	False
I041 DI	Bool	false	False
I041 WA	Bool	false	False
I043 AL	Bool	false	False
I043 DI	Bool	false	False
I043 WA	Bool	false	False
▼ I044 I049 I051 I332 I333 WA AL DI	Struct		False
I044 AL	Bool	false	False
I044 DI	Bool	false	False
I044 WA	Bool	false	False
I049 AL	Bool	false	False
I049 DI	Bool	false	False
I049 WA	Bool	false	False
I051 AL	Bool	false	False
I051 DI	Bool	false	False
I051 WA	Bool	false	False

Name	Data type	Start value	Retain
I332 AL	Bool	false	False
I332 DI	Bool	false	False
I332 WA	Bool	false	False
I333 AL	Bool	false	False
I333 DI	Bool	false	False
I333 WA	Bool	false	False
▼ I335 E001 E002 E003 E004 WA AL DI	Struct		False
I335 AL	Bool	false	False
I335 DI	Bool	false	False
I335 WA	Bool	false	False
E001 AL	Bool	false	False
E001 DI	Bool	false	False
E001 WA	Bool	false	False
E002 AL	Bool	false	False
E002 DI	Bool	false	False
E002 WA	Bool	false	False
E003 AL	Bool	false	False
E003 DI	Bool	false	False
E003 WA	Bool	false	False
E004 AL	Bool	false	False
E004 DI	Bool	false	False
E004 WA	Bool	false	False
▼ E005 E006 G085 G086 G089 WA AL DI	Struct		False
E005 AL	Bool	false	False
E005 DI	Bool	false	False
E005 WA	Bool	false	False
E006 AL	Bool	false	False
E006 DI	Bool	false	False
E006 WA	Bool	false	False
G085 AL	Bool	false	False
G085 DI	Bool	false	False
G085 WA	Bool	false	False
G086 AL	Bool	false	False
G086 DI	Bool	false	False
G086 WA	Bool	false	False
G089 AL	Bool	false	False
G089 DI	Bool	false	False
G089 WA	Bool	false	False
▼ G090 I010 I011 I012 I013 WA AL DI	Struct		False
G090 AL	Bool	false	False
G090 DI	Bool	false	False
G090 WA	Bool	false	False
I010 AL	Bool	false	False
I010 DI	Bool	false	False
I010 WA	Bool	false	False
I011 AL	Bool	false	False
I011 DI	Bool	false	False
I011 WA	Bool	false	False
I012 AL	Bool	false	False
I012 DI	Bool	false	False
I012 WA	Bool	false	False
I013 AL	Bool	false	False

Name	Data type	Start value	Retain
I013 DI	Bool	false	False
I013 WA	Bool	false	False
▼ I014 I015 N005 N008 N009 WA AL DI	Struct		False
I014 AL	Bool	false	False
I014 DI	Bool	false	False
I014 WA	Bool	false	False
I015 AL	Bool	false	False
I015 DI	Bool	false	False
I015 WA	Bool	false	False
N005 AL	Bool	false	False
N005 DI	Bool	false	False
N005 WA	Bool	false	False
N008 AL	Bool	false	False
N008 DI	Bool	false	False
N008 WA	Bool	false	False
N009 AL	Bool	false	False
N009 DI	Bool	false	False
N009 WA	Bool	false	False
▼ General Messages	Struct		False
I010 WA Not OPEN & SEQ Pump1 Active	Bool	false	False
I013 WA Not OPEN & SEQ Pump1 Active	Bool	false	False
I012 WA Not OPEN & SEQ Pump2 Active	Bool	false	False
I015 WA Not OPEN & SEQ Pump2 Active	Bool	false	False
I001 or I033 Not Open & SEQ Pump1 Active	Bool	false	False
I049 or I041 Not Open & SEQ Pump2 Active	Bool	false	False
▼ A03 ASi Slaves (1-16) Fault	Struct		False
A03 ASi Slave Addr. 1 Fault	Bool	false	False
A03 ASi Slave Addr. 2 Fault	Bool	false	False
A03 ASi Slave Addr. 3 Fault	Bool	false	False
A03 ASi Slave Addr. 4 Fault	Bool	false	False
A03 ASi Slave Addr. 5 Fault	Bool	false	False
A03 ASi Slave Addr. 6 Fault	Bool	false	False
A03 ASi Slave Addr. 7 Fault	Bool	false	False
A03 ASi Slave Addr. 8 Fault	Bool	false	False
A03 ASi Slave Addr. 9 Fault	Bool	false	False
A03 ASi Slave Addr. 10 Fault	Bool	false	False
A03 ASi Slave Addr. 11 Fault	Bool	false	False
A03 ASi Slave Addr. 12 Fault	Bool	false	False
A03 ASi Slave Addr. 13 Fault	Bool	false	False
A03 ASi Slave Addr. 14 Fault	Bool	false	False
A03 ASi Slave Addr. 15 Fault	Bool	false	False
A03 ASi Slave Addr. 16 Fault	Bool	false	False
▼ A03 ASi Slaves (17-21) Fault	Struct		False
A03 ASi Slave Addr. 17 Fault	Bool	false	False
A03 ASi Slave Addr. 18 Fault	Bool	false	False
A03 ASi Slave Addr. 19 Fault	Bool	false	False
A03 ASi Slave Addr. 20 Fault	Bool	false	False
A03 ASi Slave Addr. 21 Fault	Bool	false	False
▼ A04 ASi Slaves Fault	Struct		False
A04 ASi Slave Addr. 1 Fault	Bool	false	False

Name	Data type	Start value	Retain
A04 ASi Slave Addr. 2 Fault	Bool	false	False
A04 ASi Slave Addr. 3 Fault	Bool	false	False
A04 ASi Slave Addr. 9 Fault	Bool	false	False
A04 ASi Slave Addr. 10 Fault	Bool	false	False
A04 ASi Slave Addr. 11 Fault	Bool	false	False
A04 ASi Slave Addr. 12Fault	Bool	false	False
A04 ASi Slave Addr. 13 Fault	Bool	false	False
A04 ASi Slave Addr. 14 Fault	Bool	false	False
A04 ASi Slave Addr. 16 Fault	Bool	false	False
A04 ASi Slave Addr. 17 Fault	Bool	false	False
A04 ASi Slave Addr. 18 Fault	Bool	false	False
A04 ASi Slave Addr. 19 Fault	Bool	false	False
A04 ASi Slave Addr. 20 Fault	Bool	false	False
A04 ASi Slave Addr. 21 Fault	Bool	false	False
▼ A05 ASi Slaves Fault	Struct		False
A05 ASi Slave Addr. 1 Fault	Bool	false	False
A05 ASi Slave Addr. 2 Fault	Bool	false	False
A05 ASi Slave Addr. 3 Fault	Bool	false	False
A05 ASi Slave Addr. 4 Fault	Bool	false	False
A05 ASi Slave Addr. 5 Fault	Bool	false	False
A05 ASi Slave Addr. 6 Fault	Bool	false	False
A05 ASi Slave Addr. 7 Fault	Bool	false	False
A05 ASi Slave Addr. 8 Fault	Bool	false	False
A05 ASi Slave Addr. 9 Fault	Bool	false	False
A05 ASi Slave Addr. 10 Fault	Bool	false	False
A05 ASi Slave Addr. 11 Fault	Bool	false	False
A05 ASi Slave Addr. 12 Fault	Bool	false	False
A05 ASi Slave Addr. 13 Fault	Bool	false	False
A05 ASi Slave Addr. 14 Fault	Bool	false	False
A05 ASi Slave Addr. 15 Fault	Bool	false	False
▼ ASi General Faults	Struct		False
ASi A03 Power Supply Fault	Bool	false	False
ASi A04 Power Supply Fault	Bool	false	False
ASi A05 Power Supply Fault	Bool	false	False
CM1243-2 A03 ASi Master Fault	Bool	false	False
CM1243-2 A04 ASi Master Fault	Bool	false	False
CM1243-2 A05 ASi Master Fault	Bool	false	False

Program blocks

Startup [OB100]

Startup Properties

General

Name	Startup	Number	100	Type	OB
Language	FBD	Numbering	Automatic		

Information

Title	"Complete Restart"	Author		Comment	
Family		Version	0.1	User-defined ID	

Name	Data type	Default value
▼ Input		
LostRetentive	Bool	
LostRTC	Bool	
Temp		
Constant		

Program blocks

Diagnostics ASi slaves [FC11]

Diagnostics ASi slaves Properties

General

Name	Diagnostics ASi slaves	Number	11	Type	FC
Language	FBD	Numbering	Automatic		

Information

Title		Author		Comment	
Family		Version	0.1	User-defined ID	

Name	Data type	Default value
Input		
Output		
InOut		
Temp		
Constant		
▼ Return		
Diagnostics ASi slaves	Void	

Program blocks

Rack or station failure [OB86]

Rack or station failure Properties

General

Name	Rack or station failure	Number	86	Type	OB
Language	FBD	Numbering	Automatic		

Information

Title		Author		Comment	
Family		Version	0.1	User-defined ID	

Name	Data type	Default value
▼ Input		
LADDR	HW_DEVICE	
Event_Class	Byte	
Fault_ID	Byte	
Temp		
Constant		

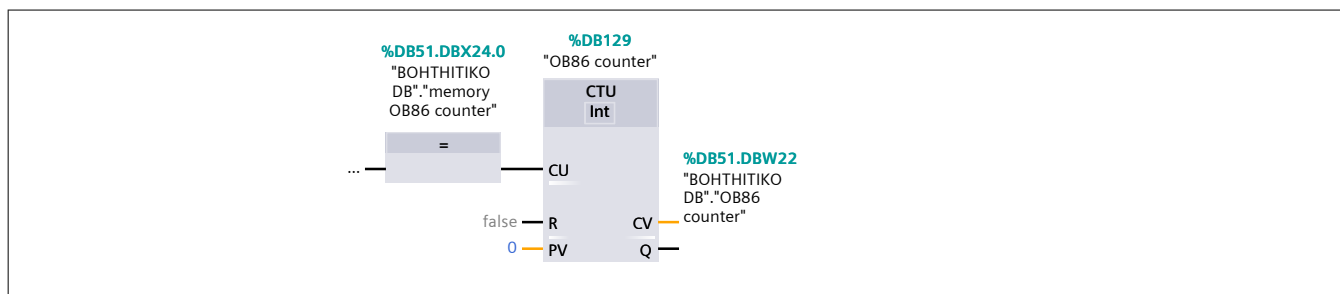
Network 1:



Network 2:



Network 3:



Program blocks

ob 82 test [FC12]

ob 82 test Properties

General

Name	ob 82 test	Number	12	Type	FC
Language	FBD	Numbering	Automatic		

Information

Title		Author		Comment	
Family		Version	0.1	User-defined ID	

Name	Data type	Default value
Input		
Output		
InOut		
Temp		
Constant		
▼ Return		
ob 82 test	Void	

Network 1:

