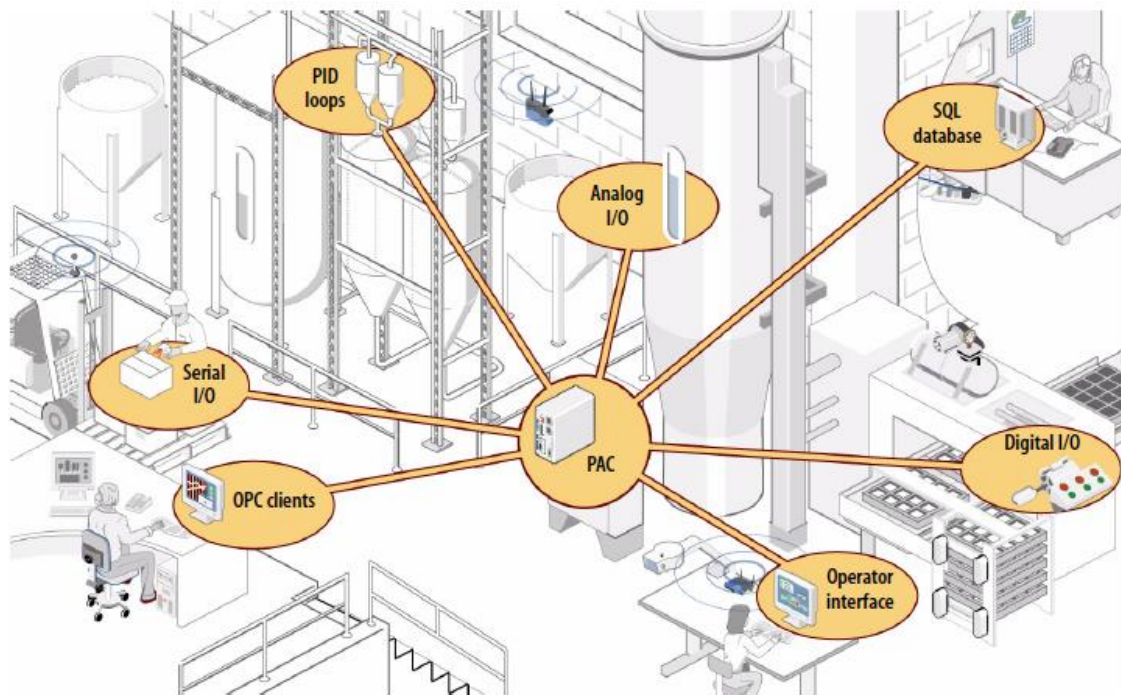




**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Ενεργειακή Βελτιστοποίηση Συστημάτων"**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**“ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ - ΈΛΕΓΧΟΣ ΜΕ
ΔΙΚΤΥΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΩΝ ΛΟΓΙΚΩΝ ΕΛΕΓΚΤΩΝ (PLC)”**



Υπεύθυνος Καθηγητής: Καμινάρης Σταύρος, Αναπληρωτής Καθηγητής

Φοιτητής: Κυριακάκης Ξενοφών

**Αιγάλεω
Νοέμβριος 2017**

Copyright © Ανώτατο Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά Τεχνολογικού Τομέα

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή της για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Ανώτατου Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πειραιά Τεχνολογικού Τομέα.

Αιγάλεω
Νοέμβριος 2017

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Πριν την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της διπλωματικής εργασίας, θεωρώ χρέος μου αλλά και ευχαρίστησή μου να αναφέρω και να ευχαριστήσω θερμά όλους όσους με βοήθησαν, με συμβούλευσαν και μου συμπαραστάθηκαν, ώστε να φέρω εις πέρας την εργασία αυτή.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου κ. Σταύρο Καμινάρη, τόσο για την ακριβή καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια όλων των σταδίων της διεξαγωγής της εργασίας, καθώς και για την εμπιστοσύνη του, στο να μου αναθέσει το συγκεκριμένο θέμα.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά το δάσκαλό μου κ. Αλέκο Κανέλλο, για τις πολύ σημαντικές πληροφορίες που μου προσέφερε κατά την εξέλιξη της εργαστηριακής άσκησης, καθώς και για το χρόνο που διέθεσε στο εργαστήριο ώστε να μπορέσουμε να ξεπεράσουμε τα προβλήματα που ανέκυψαν.

Τέλος, ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, που χωρίς την ψυχική και υλική βοήθειά τους και την αμέριστη συμπαράστασή τους, δεν θα ήταν δυνατό να ολοκληρώσω τις μεταπτυχιακές σπουδές μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περιεχόμενα	iii
Περίληψη.....	iv
Executive Summary	vi
Πρόλογος.....	1
Εισαγωγή	2
Κεφάλαιο 1 εισαγωγή των προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών στη βιομηχανία	3
1.1 Ιστορική περίληψη της εισαγωγής των δικτύων στον βιομηχανικό αυτοματισμό	3
1.2 Τεχνολογία προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών.....	5
1.3 Πλεονεκτήματα των PLC	7
1.4 Αναβάθμιση της λειτουργικότητας των PLC μέσω δικτύωσης.....	8
1.5 Συνδυασμός δικτύωσης και PLC στην βιομηχανία.....	10
1.6 Ιεραρχία επιπέδων των βιομηχανικών δικτύων.....	11
1.7 Τοπολογίες βιομηχανικών δικτύων	14
1.8 Μέσα και τρόποι μετάδοσης δεδομένων βιομηχανικών δικτύων.....	22
1.9 Εξοπλισμός βιομηχανικών δικτύων.	28
Κεφάλαιο 2 ΠΡΟΤΥΠΑ ΚΑΙ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ. .	30
2.1 Η αρχιτεκτονική των πρωτοκόλλων επικοινωνίας.	30
2.2 Το πρότυπο OSI (Open Source Interconnection).	32
2.3 Τα πρότυπα επικοινωνίας RS422, RS485 και RS232.	35
2.4 Το μοντέλο βιομηχανικού δικτύου πεδίου Fieldbus.....	40
2.5 Τα δίκτυα πεδίου Fieldbus και το μοντέλο αναφοράς OSI.	41
2.6 Τα πρωτόκολλα επικοινωνίας των βιομηχανικών δικτύων πεδίου.	44
2.7 Το δίκτυο επικοινωνίας Profibus.....	46
2.8 Το πρωτόκολλο επικοινωνίας Modbus.....	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	56
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΠΡΟΓΡΑΜΑΤΙΖΟΜΕΝΩΝ ΛΟΓΙΚΩΝ ΕΛΕΚΤΩΝ.	56
3.1 Περίληψη της εργαστηριακής διάταξης.	56
3.2 Περιγραφή λειτουργίας της εργαστηριακής διάταξης	57
3.3 Ρυθμίσεις επικοινωνίας της εργαστηριακής διάταξης	61
Παράρτημα Α : Ηλεκτρολογικό σχέδιο εφαρμογής.	66
Παράρτημα Β : Πρόγραμμα PLC	67
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ : Εικόνες από την οθόνη λειτουργίας.	68

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η βελτιστοποίηση της λειτουργίας ενός βιομηχανικού συστήματος αυτοματισμού χρησιμοποιώντας τη δυνατότητα επικοινωνίας μεταξύ των προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών (PLC), μέσω βιομηχανικού δικτύου πεδίου. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή έχουμε αναπτύξει παράδειγμα λειτουργίας από ένα βιομηχανικό περιβάλλον, το οποίο χρησιμοποιεί τεχνολογία PLC για την επίτευξη του αυτοματισμού, σύμφωνα με το οποίο δίνεται η δυνατότητα να έχουμε ταυτόχρονα είτε τοπικό έλεγχο μέσω του τοπικού σταθμού PLC είτε απομακρυσμένο έλεγχο μέσω του κεντρικού σταθμού. Στην παραπάνω εφαρμογή προσπαθούμε να πετύχουμε το βέλτιστο οικονομικό αποτέλεσμα όσον αφορά τον εξοπλισμό, αφού δε χρειάζονται ιδιαίτερες απαιτήσεις ως προς την υπολογιστική δύναμη των τοπικών σταθμών, καθώς και μειωμένες απαιτήσεις εγκατάστασης – καλωδίωσης, αφού υπάρχει η δυνατότητα διασποράς του εξοπλισμού σε περίπτωση που η εκάστοτε εφαρμογή το απαιτεί. Παράλληλα υπάρχει η δυνατότητα εφεδρικού τοπικού ελέγχου, σε περίπτωση που λόγω βλάβης χαθεί η επικοινωνία.

Στο πλαίσιο της εργασίας πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική έρευνα, που αφορούσε στην ανάπτυξη και τη γενικότερη χρήση των βιομηχανικών δικτύων πεδίου. Το συμπέρασμα που προέκυψε, από την έρευνα που εκπονήθηκε, ήταν πως η ανάπτυξη των προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών (PLC) σε συνδυασμό με την εξέλιξη των τεχνολογιών ψηφιακής μετάδοσης πληροφορίας, έπαιξαν πολύ σημαντικό ρόλο για τη ραγδαία ανάπτυξη των παραγωγικών διαδικασιών, καθώς και για την αρχιτεκτονική αυτοματισμού που παρουσιάζεται σήμερα στις μεγάλες βιομηχανίες.

Η δομή της παρούσας διπλωματικής εργασίας έχει ως εξής:

- Μετά από μία σύντομη εισαγωγή, παρατίθενται στο Κεφάλαιο 1 γενικές πληροφορίες που αφορούν τα βιομηχανικά δίκτυα αυτοματισμού. Έτσι, γίνεται αρχικά μία σύντομη ιστορική περίληψη της εισαγωγής των δικτύων στον βιομηχανικό αυτοματισμό, ενώ στη συνέχεια παρουσιάζεται η σύνδεση των δικτύων με την τεχνολογία των προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών

και η αναβάθμιση της λειτουργικότητάς τους. Στη συνέχεια γίνεται μία περιγραφή στα στοιχεία που χαρακτηρίζουν την αρχιτεκτονική τέτοιων δικτύων, όπως τα **ιεραρχικά επίπεδα** διαβάθμισής τους, οι **τοπολογίες** τους, οι **τρόποι μετάδοσης**, καθώς και ο εξοπλισμός από τον οποίο αποτελούνται.

- Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται πιο εξειδικευμένη πλέον αναφορά των πρωτόκολλων επικοινωνίας καθώς παρουσιάζονται οι διάφορες αρχιτεκτονικές που έχουν αναπτυχθεί, καθώς και τα πρότυπα που δημιουργήθηκαν κατά την εξέλιξή τους. Εδώ γίνεται αναφορά του προτύπου **OSI (Open Source Interconnection)**, το οποίο αποτελεί το βασικότερο μοντέλο πάνω στο οποίο στηρίχθηκαν όλες οι μετέπειτα επικρατούσες τεχνικές, ενώ παράλληλα γίνεται εκτενής αναφορά στα ευρέως διαδεδομένα δίκτυα επικοινωνίας το Profibus και το Modbus.
- Στο τρίτο κεφάλαιο έχει αναπτυχθεί το εργαστηριακό μέρος της εργασίας, όπου γίνεται περιγραφή του εξοπλισμού και της λειτουργίας του. Ακολούθως περιγράφεται η λειτουργία της διάταξης καθώς και ο τρόπος με τον οποίο έχει γίνει η ρύθμιση της επικοινωνίας. Τέλος επισυνάπτονται ως παραρτήματα, το αναλυτικό σχέδιο της διάταξης με φωτογραφίες, το πρόγραμμα των τριών PLC με τις λίστες των φυσικών εισόδων και εξόδων και οι εικόνες από την οθόνη λειτουργίας.

EXECUTIVE SUMMARY

The purpose of this diploma thesis is the operational optimization of an industrial automation system interconnecting programmable logic controllers (PLCs), using fieldbus technology. In this application we have developed an example from an industrial environment that uses PLC technology, according to which it is possible to have both local control via the local PLC station or remote control via the central operation panel station. In the above application, we tried to achieve the best financial result in terms of equipment, since the application do not require special requirements regarding the hardware utilities of the local stations, as well as reduced cabling requirements, where there is the possibility to disperse the equipment in case the application requires it. At the same time, there is the possibility of local control as a back-up, if the communication is lost. In the framework of this thesis, a bibliographic research was carried out, which concerned the development and general use of industrial field network.

The conclusion that emerged from the research was that the development of PLCs in conjunction with the evolution of digital information technology, have played a very important role in the rapid development of production processes, as well as in the todays automation architecture in major industries.

The structure of this diploma thesis is as follows:

- After a brief introduction, general information on industrial automation networks is listed in Chapter 1. Thus, a brief historical summary of the introduction of networks into industrial automation is initially made followed by the connection of the networks with the technology of the programmable logic controllers and the upgrade of their functionality. Then a description is made of the elements that characterize the architecture of such networks, such as their **hierarchical levels** of classification, their **topologies**, **the modes of transmission**, and the equipment from which they are composed.
- In the second chapter, a more specific reference is made to the communication protocols as the various architectures that have been developed and the patterns created during their development are presented. Here reference is made to the Open Source Interconnection (OSI) model, which is the most basic model on which all the prevailing techniques have been based, while Profibus and

Modbus are extensively referenced in the widespread communications networks.

- In the third chapter has been developed the laboratory side of the thesis, describing the equipment and its function. The following describes the operation of the layout as well as the way the communication is configured. Finally, as annexes are attached the detailed drawing of the layout with photographs, the program of the three PLCs with the lists of the natural inputs and outputs and the images from the operating screen.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία με τίτλο “Εφαρμογή Βιομηχανικού Αυτοματισμού - Έλεγχος με Δίκτυο Προγραμματιζόμενων Λογικών Ελεγκτών (PLC)” εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Εσωτερικών Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του Α.Ε.Ι. Πειραιά Τ.Τ..

Το θέμα της εργασίας αφορά τα βιομηχανικά δίκτυα πεδίου (Fieldbus). Η ανάπτυξη της τεχνολογίας των επικοινωνιών και της πληροφορικής αποτέλεσε τον ακρογωνιαίο λίθο πάνω στον οποίο οικοδομήθηκε η σύγχρονη βιομηχανία. Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται μία περιγραφή των βιομηχανικών δικτύων πεδίου, ενώ δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στα δίκτυα που έτυχαν ευρείας αποδοχής και χρήσης.

Η εκπόνηση της μεταπτυχιακής εργασίας πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών Τ.Ε. με τίτλο «Διαχείριση και Ενεργειακή Βελτιστοποίηση Συστημάτων» και το θέμα της μελέτης ανατέθηκε από τον επιβλέποντα Καθηγητή κ. Σταύρο Καμινάρη, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του ΑΕΙ Πειραιά Τ.Τ..

Λέξεις κλειδιά: Βιομηχανικός Αυτοματισμός, Δίκτυο Προγραμματιζόμενων Λογικών Ελεγκτών, Βιομηχανικά Δίκτυα Πεδίου .

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι ολοένα αυξανόμενες ανάγκες στη σύγχρονη βιομηχανία για συμβατότητα του εξοπλισμού, καθώς και η ενοποίηση δεδομένων των επιχειρήσεων, οδήγησε στην ανάπτυξη τεχνικών διασύνδεσης δικτύων εφαρμόζοντας πολλές φορές σύνθετες και υψηλών απαιτήσεων λύσεις.

Τον ρόλο της επιτήρησης της διαδικασίας έχουν αναλάβει οι προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές (PLC's), οι οποίοι διασφαλίζουν την σωστή και ομαλή λειτουργία, μίας διαδικασίας, διασυνδέοντας αισθητήρια ασφαλείας μηχανών, όργανα μέτρησης μέχρι και συσκευές αναγνώρισης. Μέσα από την ευελιξία των υλικών που προσφέρονται, από τους κατασκευαστές υλικών αυτοματισμού, μπορεί να ενσωματωθεί ο έλεγχος πολλαπλών μηχανών αποκτώντας κεντρική διαχείριση υψηλού επιπέδου, βελτιώνοντας έτσι την ποιότητα παραγωγής και τα λειτουργικά κόστη.

Στην πράξη, ένα τυπικό σύστημα αυτοματισμού συντίθεται από τυποποιημένα σήματα τα οποία παράγονται από πολύ απλά έως πολύ σύνθετα αισθητήρια – όργανα. Τα προτερήματα των PLC είναι γνωστά. Η συνεισφορά τους για την ενίσχυση της αποτελεσματικότητας με την υποστήριξη των βιομηχανικών δικτύων μπορούν να πραγματοποιήσουν έλεγχο πολύ υψηλού επιπέδου ικανοποιώντας τις πιο δύσκολες απαιτήσεις. Ο συνδυασμός των δύο αυτών τεχνολογιών κάνουν την επικοινωνία μεταξύ ανθρώπου μηχανής, απρόσκοπτα, έναν κερδοφόρο συνδυασμό. Με προηγμένες δυνατότητες πλήρη λειτουργικότητα και απλοποιημένη πλέον εγκατάσταση, τα PLC αποτελούν τον ακρογωνιαίο λίθο στις κατασκευές. Παρόλα αυτά για τη βέλτιστη χρήση των εφαρμογών αυτών, ο μηχανικός πρέπει να κατανοεί τον σημαντικό ρόλο της δικτύωσης καθώς και τις ειδικές απαιτήσεις, ανάλογα με τις συνθήκες κάθε εφαρμογής, προκειμένου να επιτευχθεί μία αποτελεσματική λύση [27], [24].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΠΡΟΓΡΑΜΑΤΙΖΟΜΕΝΩΝ ΛΟΓΙΚΩΝ ΕΛΕΓΚΤΩΝ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΝΙΑ

1.1 Ιστορική περίληψη της εισαγωγής των δικτύων στον βιομηχανικό αυτοματισμό

Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα τα συστήματα ελέγχου, στη βιομηχανία, στηρίζονταν κυρίως στη μηχανολογία μέσω αναλογικών διατάξεων. Εκείνη την περίοδο αναπτύχθηκαν τα πνευματικά συστήματα ελέγχου και η υδραυλική ισχύς. Τα πνευματικά συστήματα ελέγχου εισήγαγαν για πρώτη φορά τον απομακρυσμένο έλεγχο μέσω ενός κεντρικού συστήματος.

Στις αρχές της δεκαετίας του 1960 χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής ως ψηφιακός ελεγκτής. Τότε απέδωσαν τον όρο «άμεσος ψηφιακός έλεγχος» (Direct Digital Control - DDC) για να δοθεί έμφαση στο γεγονός ότι για πρώτη φορά ένας ψηφιακός ηλεκτρονικός υπολογιστής είχε την άμεση εποπτεία της διαδικασίας μίας εφαρμογής. Τη δεκαετία του 1960 η χρήση ενός μικροϋπολογιστή ήταν ακόμη πολύ δαπανηρή για τις βιομηχανικές εφαρμογές. Στα τέλη της δεκαετίας του 1960 εξελίχθηκαν οι προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές αντικαθιστώντας τις συμβατικές τεχνικές αυτοματισμού οι οποίες στηρίζονταν στη λογική των ηλεκτρονόμενων.

Με τη συνεχώς αυξανόμενη διάδοση των ηλεκτρονικών υπολογιστών, εξελίχθηκαν και τα δίκτυα επικοινωνίας στηριζόμενα σε πρωτόκολλα επικοινωνίας ψηφιακής λογικής. Ήδη από τα μέσα της δεκαετίας του 1960 εφαρμόστηκαν οι πρώτες τεχνικές δικτύωσης για ανταλλαγή δεδομένων στη βιομηχανία.

Το πρώτο μεγάλο βήμα έγινε από την εταιρεία «Honeywell» στα μέσα της δεκαετίας του 1970 όπου ανακοίνωσε το πρώτο κατανεμημένο σύστημα ελέγχου με υπολογιστή (DCCS) ως ένα ιεραρχικά δομημένο σύστημα αποτελούμενο από μεγάλο πλήθος μικροελεγκτών. Από την πρώτη εφαρμογή της Honeywell και μετά, η ιδέα

του DCCS διαδόθηκε ευρέως σε πολλά βιομηχανικά συστήματα όπως μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, βιομηχανικές μονάδες παραγωγής κ.α.

Μετάπειτα, στις εφαρμογές συστημάτων βιομηχανικού αυτοματισμού, άρχισε να επικρατεί η λογική των αποκεντρωμένων μονάδων όπου μέσω τοπικών δικτύων επικοινωνίας ,συνδεόταν στο κεντρικό σύστημα ελέγχου, Η επικοινωνία γινόταν με υπολογιστές ή μονάδες αυτοματισμού άλλων τοπικών δικτύων μέσω θυρών επικοινωνίας ενός ευρύτερου δικτύου. Καθώς τα συστήματα βιομηχανικού αυτοματισμού άρχισαν να μεγαλώνουν και να αυξάνεται ο αριθμός των στοιχείων, έγινε επιβεβλημένη η ανάγκη ανάπτυξης πρωτοκόλλων τα οποία είχαν την δυνατότητα να διασυνδέουν πλήθος διαφορετικών συσκευών αυτοματισμού μέσω μίας ενιαίας τυποποίησης.

Στα τέλη της δεκαετίας του 1970 ανακοινώθηκε το Open System Interconnection (OSI) από την International Organization for Standardization (ISO) και την Telecommunication Standardization Sector (ITU-T). Το πρότυπο OSI ήταν μία προσπάθεια ώστε να γίνει εφικτή η ανάπτυξη των βιομηχανικών μονάδων αυτοματισμού και υπόλοιπων συσκευών σε ένα κοινό πρότυπο δικτύωσης, διότι μέχρι τότε ήταν σύνηθες να διαμορφώνονται εκτεταμένα δίκτυα αποτελούμενα από διαφορετικές πλατφόρμες με αποτέλεσμα τη μη ικανοποιητική συμβατότητα του εξοπλισμού. Ωστόσο παρόλο που το πρότυπο OSI ανέπτυξε τα πρώτα πρωτόκολλα δικτύωσης, το πρωτόκολλο TCP/IP γνώρισε ευρεία απήχηση στις βιομηχανικές εφαρμογές με αποτέλεσμα την εκτενή διάδοσή του. Το πρωτόκολλο OSI αποτέλεσε μία σημαντική πρόοδο στην διδασκαλία των εννοιών του δικτύου εφόσον προώθησε την ιδέα ανάπτυξης πρότυπου μοντέλου διασύνδεσης εξασφαλίζοντας διαλειτουργικότητα μεταξύ των συσκευών τόσο σε επίπεδο εξοπλισμού (hardware) όσο και σε επίπεδο λογισμικού (software).

Ήδη από τις αρχές της δεκαετίας του 1980 χρησιμοποιήθηκαν σε πολλές εφαρμογές, τυποποιημένα βιομηχανικά δίκτυα όπου ανάλογα με τον εξοπλισμό, τον όγκο δεδομένων και τις ταχύτητες, που καλούνταν να υποστηρίξουν καθορίζαν και το είδος του δικτύου. Τη ραγδαία εξέλιξη στο χώρο των δικτύων, ακολούθησε η αντίστοιχη ανάπτυξη των δικτυακών συσκευών καθώς και των μέσων μεταφοράς δεδομένων. Έτσι άρχισε να γίνεται χρήση θωρακισμένων καλωδίων με συνεστραμμένα ζεύγη για μεγαλύτερη αντοχή στον θόρυβο και επίτευξη υψηλότερων

ταχυτήτων. Παράλληλα εξελίχθηκαν και οι τεχνολογίες των οπτικών ινών όπου μεταδίδουν την πληροφορία ψηφιακά με μηδενική παρενόχληση από τον ηλεκτρομαγνητικό θόρυβο που υπάρχει στις βιομηχανικές εφαρμογές. Τέλος αναπτύχθηκε μία μεγάλη ποικιλία ενεργού εξοπλισμού δικτύωσης όπου μπορεί να μετατρέπει το σήμα από ηλεκτρικό σε οπτικό ή σε ασύρματο καλύπτοντας με αυτόν τον τρόπο ακόμα και τις πιο απαιτητικές εφαρμογές [5], [28].

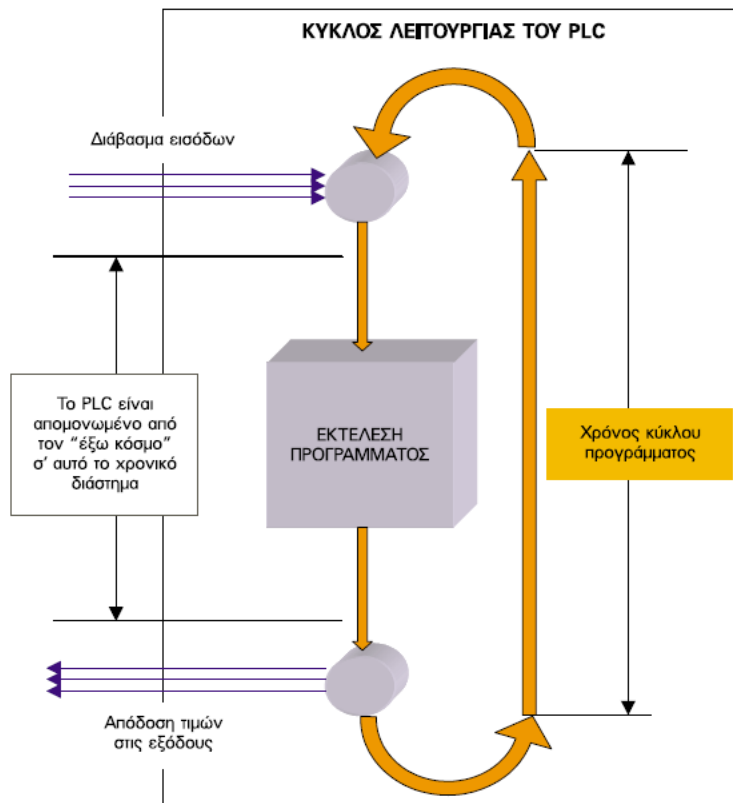
1.2 Τεχνολογία προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών.

Η συνεχής εξέλιξη της αρχιτεκτονικής ελέγχου σε συνδυασμό με την πρόοδο και την ανάπτυξη των βιομηχανικών δικτύων έχει οικοδομήσει ένα ολοκληρωμένο σύστημα διεπαφής μεταξύ τεχνικού και εγκατάστασης, αξιοποιώντας πλέον δυνατότητες φορητού ελέγχου και προγραμματισμού. Στις μέρες μας τα PLC χρησιμοποιούνται σε ευρεία κλίμακα εφαρμογές αφού έχουν πλέον τη δυνατότητα από το να ελέγχουν τη λειτουργία ή παύση ενός απλού κινητήρα έως να εκτελούν σύνθετους μαθηματικούς λογισμούς. Αξιοποιώντας την δυναμικότητα τους στην επιτήρηση των διαδικασιών, την αποθήκευση δεδομένων και τη δυνατότητα διασύνδεσης πολλών μονάδων, μέσω δικτύωσης, τα PLC παρέχουν πλέον δυνατότητες ευφυούς ελέγχου κυρίως στον χώρο της βιομηχανίας. Τα PLC ανήκουν στην κατηγορία των μικροϋπολογιστών με την διαφορά ότι είναι σχεδιασμένα να μπορούν να ανταπεξέλθουν και να λειτουργούν αξιόπιστα ακόμα και σε εφαρμογές με δύσκολο περιβάλλον, όπως ακραίες θερμοκρασίες, συνθήκες ισχυρών δονήσεων, ηλεκτρικού θορύβου.

Αρχικά η γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιήθηκε ήταν η “Ladder” η οποία μοιάζει πολύ με τα σχηματικά διαγράμματα των κυκλωμάτων συμβατικού αυτοματισμού και αυτό την κατέστησε εύκολα αποδεκτή στους τεχνικούς. Με την πάροδο του χρόνου αναπτύχθηκαν πιο εξελιγμένες μορφές προγραμματισμού προσφέροντας έτσι μεγαλύτερη ευελιξία και ταχύτητα στον προγραμματιστή.

Τα PLC διασυνδέονται με το περιβάλλον το οποίο ελέγχουν μέσω των φυσικών εισόδων και εξόδων που διαθέτουν. Οι εισοδοί ενός PLC δέχονται σήματα από μία μεγάλη ποικιλία αισθητηρίων, διακοπών και άλλων συσκευών ελέγχου. Στις περισσότερες περιπτώσεις ο τρόπος λειτουργίας ενός PLC βασίζεται στην

αρχιτεκτονική του κύκλου προγράμματος όπου ισχύει, αν όχι σε όλα, στη συντριπτική πλειοψηφία των μοντέλων της αγοράς. Στην αρχή ο μικροεπεξεργαστής "διαβάζει" τις εισόδους. Αυτό σημαίνει ότι για κάθε είσοδο ελέγχει αν έχει "υψηλή τάση" (λογικό 1) ή «χαμηλή τάση» (λογικό 0). Η τιμή αυτή αποθηκεύεται σε μία ειδική περιοχή μνήμης η οποία ονομάζεται εικόνα εισόδων. Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας ως δεδομένα τις τιμές από την εικόνα εισόδων, εκτελεί τις λογικές πράξεις του προγράμματος το οποίο έχουμε αποθηκεύσει. Τα αποτελέσματα των πράξεων αυτών αποθηκεύονται σε μία ειδική περιοχή μνήμης που ονομάζεται εικόνα εξόδων. Στο τέλος του κύκλου αυτού ο μικροεπεξεργαστής αποδίδει τις τιμές της εικόνας εξόδου στις φυσικές εξόδους. Αυτό σημαίνει ότι θα δοθεί "υψηλή τάση" σε όποια έξοδο έχει την τιμή "1" και "χαμηλή τάση" σε όποια έξοδο έχει την τιμή "0". Μετά την ενημέρωση των εξόδων συμπληρώνεται ένας πλήρης κύκλος λειτουργίας και η διαδικασία ξαναρχίζει από την αρχή. Ο κύκλος λειτουργίας εκτελείται συνεχώς όσο το PLC βρίσκεται σε κατάσταση "RUN". Δηλαδή ένα PLC εκτελεί συνεχώς τα βήματα του κύκλου λειτουργίας:



Διάγραμμα 1.1: Κύκλος προγράμματος PLC [32].

Ο χρόνος που χρειάζεται για να εκτελέσει το PLC ένα πλήρη κύκλο λειτουργίας ονομάζεται χρόνος κύκλου και εξαρτάται από την ταχύτητα του μικροεπεξεργαστή που διαθέτει το PLC αλλά και από τον αριθμό και το είδος των λογικών πράξεων που είναι αποθηκευμένα στο πρόγραμμα. Ο χρόνος κύκλου αποτελεί ένα μέτρο σύγκρισης μεταξύ των PLC. Για να μπορούν να συγκριθούν τα PLC ως προς την ταχύτητα εκτέλεσης του προγράμματος, ορίζουμε τον μέσο χρόνο κύκλου, σαν τον χρόνο κύκλου ενός προγράμματος που περιλαμβάνει 1 Kbyte δυαδικές εντολές. Πάντως στη χειρότερη περίπτωση και σε ένα αργό PLC ο χρόνος κύκλου δεν ξεπερνά μερικές εκατοντάδες χιλιοστά του δευτερολέπτου [27], [29].

1.3 Πλεονεκτήματα των PLC

Είναι πλέον απολύτως κατανοητό ότι η τεχνολογία των PLC εμφανίζει σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι του συμβατικού αυτοματισμού. Με τη χρησιμοποίηση τέτοιου εξοπλισμού μπορούμε να πετύχουμε αυξημένες επιδώσεις χρησιμοποιώντας λιγότερα υλικά και καταλαμβάνοντας λιγότερο χώρο. Με αυτόν τον τρόπο αποκομίζουμε και ενεργειακό όφελος αφού μειώνουμε το ενεργειακό αποτύπωμα που δημιουργεί η πληθώρα των υλικών. Η νέα γενιά PLC αποτελείται κυρίως από εξοπλισμό ο οποίος έχει τη δυνατότητα να συντίθεται από επιμέρους μονάδες ώστε να εφαρμόζει όσο ο δυνατό περισσότερο στις απαιτήσεις της εφαρμογής για την οποία προορίζονται, προσφέροντας με αυτόν τον τρόπο μεγαλύτερη οικονομία σε περιττό εξοπλισμό και κατ' επέκταση σε οικονομικό κόστος. Ο σχεδιασμός των PLC γίνεται με γνώμονα την απλοποίηση της εγκατάστασής του καταλαμβάνοντας λιγότερο χώρο. Επιπλέον τα PLC μπορούν να διασυνδέονται με οθόνες οι οποίες υπερτερούν κατά πολύ σε σχέση με τις συμβατικές ενδεικτικές λυχνίες και τα πλήκτρα χειρισμού που συνήθως συναντάμε στον συμβατικό αυτοματισμό, προσφέροντας έτσι πολύ υψηλού επιπέδου επιτήρηση στον χειριστή ώστε να γίνεται πιο αποδοτική η παραγωγική διαδικασία. Η εξέλιξη των PLC οδήγησε τους μηχανικούς, οι οποίοι ασχολήθηκαν με τον σχεδιασμό και την ανάπτυξή τους, σε λύσεις οι οποίες υποστηρίζουν την απρόσκοπτη λειτουργία μίας παραγωγικής διαδικασίας προσφέροντας γρήγορη συντήρηση και επιδιόρθωση σε περίπτωση βλάβης. Ένα πολύ χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι οι μονάδες που αποτελούνται από εξαρτήματα τύπου βύσματος τα οποία για την αντικατάστασή τους

(αποξήλωση παλαιού και εγκατάσταση νέου ανταλλακτικού) δεν απαιτούν καν εργαλεία και ολοκληρώνεται μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα. Με τον τρόπο αυτό ο χρόνος από τη στιγμή που θα συμβεί ένα σφάλμα μέχρι τη στιγμή που θα ολοκληρωθεί η επιδιόρθωσή του μειώνεται σε πολύ μεγάλο ποσοστό αφού δεν απαιτείται οποιαδήποτε καλωδίωση ή επανασύνδεση εξοπλισμού μέσα στον πίνακα. Σε πολλές περιπτώσεις τα PLC προσφέρουν τη δυνατότητα να αντιμετωπιστεί μία βλάβη, έστω και προσωρινά, παρεμβαίνοντας άμεσα αλλάζοντας κάποια λογική πράξη από τον κώδικα που είναι αποθηκευμένος στο PLC. Επίσης προσφέρει τη δυνατότητα επίβλεψης του εξοπλισμού που είναι διασυνδεδεμένος μαζί του, ενημερώνοντας τον τεχνικό άμεσα σε ενδεχόμενη δυσλειτουργία. Τέλος, ένα από τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα που μας παρέχει η τεχνολογία των προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών, είναι η δυνατότητα επίβλεψης της ροής του προγράμματος την στιγμή που αυτό εκτελείται. Με αυτόν τον τρόπο πετυχαίνουμε λεπτομερή παρακολούθηση, του εξοπλισμού που είναι συνδεδεμένος με το PLC, διακρίνοντας με πολύ μεγάλη ευκολία την βλάβη ώστε να επέμβουμε άμεσα προς αποκατάστασή της [27], [30].

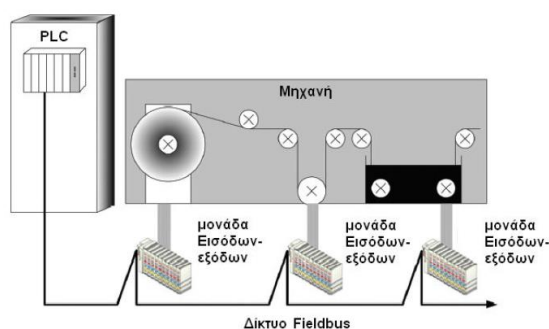
1.4 Αναβάθμιση της λειτουργικότητας των PLC μέσω δικτύωσης

Η εισαγωγή των PLC στον βιομηχανικό αυτοματισμό πρωτοπόρησε στην απεικόνιση του ελεγχόμενου εξοπλισμού μέσα από οπτικά μέσα επιτήρησης όπως μηνύματα κειμένου, οθόνες χειρισμού κ.α. Παρόλα αυτά η δικτύωση των στοιχείων που συνθέτουν ένα σύστημα αυτοματισμού έφερε πραγματική επανάσταση στην απεικόνιση του εξοπλισμού

Η συνεχής εξέλιξη της τεχνολογίας δημιουργεί αυξανόμενες λειτουργικές απαιτήσεις συνεπώς οι τεχνικές και ο εξοπλισμός που συνθέτουν ένα δίκτυο εξελίσσονται, ώστε να μπορέσουν να υποστηρίξουν τις ανάγκες της αγοράς. Στις μέρες μας ο ανταγωνισμός έχει οδηγήσει τους κατασκευαστές να αναπτύξουν μεγάλη ποικιλία προϊόντων τα οποία υποστηρίζουν διάφορους τύπους και πρωτόκολλα επικοινωνίας. Αυτό μπορούμε να το διαπιστώσουμε ανατρέχοντας στους καταλόγους υλικών, οποιασδήποτε εταιρίας αυτοματισμού, όπου θα δούμε πως για κάθε μοντέλο PLC υπάρχουν κάρτες ή και θύρες επικοινωνίας με τις οποίες μπορεί να διασυνδεθεί

σε διάφορα δίκτυα. Παράλληλα έχουν αναπτυχθεί τα μέσα δικτύωσης πετυχαίνοντας την μετάδοση σήματος είτε ηλεκτρικά μέσω καλωδίων, είτε μέσω οπτικών ινών ή ακόμα και ασύρματα. Με τον τρόπο αυτό και σε συνδυασμό με τις διάφορες τοπολογίες που έχουν αναπτυχθεί (π.χ. αστέρας, δέντρο, δακτύλιος κ.α.) καλύπτονται οι τεράστιες πλέον ανάγκες που έχει αναδείξει ο σκληρός ανταγωνισμός.

Σε μεγάλες βιομηχανικές μονάδες υπάρχει άμεση αλληλεπίδραση μεταξύ των βαθμίδων που την αποτελούν. Σε μία τέτοια περίπτωση θα χρειαζόμασταν ένα PLC με πολύ μεγάλο αριθμό εισόδων και εξόδων καθώς και τεράστια υπολογιστική δύναμη ώστε να μπορέσει να ανταπεξέλθει στις ανάγκες μίας τέτοιας εφαρμογής. Σε τέτοιες περιπτώσεις γίνεται χρήση μικρότερων μονάδων ελέγχου οι οποίες επιλέγονται με βάση τις ανάγκες του τμήματος στο οποίο θα εγκατασταθούν. Με τον τρόπο αυτό πετυχαίνουμε την κατανομή της υπολογιστικής δύναμης και των φυσικών εισόδων – εξόδων, μέσω κατάλληλων ελεγκτών. Ένα από τα μεγαλύτερα οφέλη που μας παρέχει η διασύνδεση των PLC σε δίκτυο, είναι η δυνατότητα κατανεμημένου ελέγχου μέσω του οποίου, δίνεται η δυνατότητα στους χρήστες να εφαρμόσουν πιο ευέλικτο σχεδιασμό προβλέποντας με μεγαλύτερη ακρίβεια τις ανάγκες επέκτασης όποτε κριθεί απαραίτητο. Επίσης με αυτόν τον τρόπο μειώνουμε το υπολογιστικό φορτίο στους ελεγκτές δημιουργώντας τις προϋποθέσεις αναβάθμισης των λειτουργιών χωρίς να είναι αναγκαία η αντικατάσταση του ελεγκτή.



Εικόνα 1.1: Απεικόνιση απομακρυσμένων μονάδων εισόδου – εξόδου (Remote I/O).

Από την άλλη πλευρά υπάρχουν εφαρμογές οι οποίες είναι διεσπαρμένες σε επιμέρους βαθμίδες αλλά, λόγω ειδικών συνθηκών, δεν αποτελούν μεμονωμένα, ολοκληρωμένο σύστημα αυτοματισμού. Σε αυτές τις περιπτώσεις δεν είναι οικονομικά αποδοτική η εγκατάσταση ενός ελεγκτή σε κάθε βαθμίδα, συνεπώς προτιμάται η χρήση αποκεντρωμένων μονάδων εισόδου – εξόδου οι οποίες

διασυνδέονται σε χαμηλότερο επίπεδο με τον κεντρικό ελεγκτή έτσι ώστε να επιτύχουμε συνδεσιμότητα υψηλού επιπέδου σε εφαρμογές όπου επιβάλουν μεγάλη διασπορά στα σημεία ελέγχου. Σε εγκαταστάσεις όπου είναι απαραίτητη η εκτενής παρακολούθηση και ο έλεγχος του εξοπλισμού θα ήταν επίπονη και δαπανηρή η διαδικασία καλωδίωσης όλων των σημείων ελέγχου μέχρι τον κεντρικό ελεγκτή. Επιπρόσθετα με αυτόν τον τρόπο μειώνουμε και τις πιθανότητες σφάλματος, όπως π.χ. κακής εγκατάστασης καλωδίου, μεταφέροντας μέσω δικτύου πολύ μεγάλους όγκους δεδομένων.

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας δικτύωσης, των προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών, έχει ξεπεράσει τους φραγμούς της τυποποιημένης δυαδικής λογικής του ψηφιακού ή αναλογικού σήματος εισόδου ή εξόδου. Είναι πλέον σε θέση να υποστηρίζει περισσότερο πολύπλοκους τύπους δεδομένων επικοινωνίας όπως τεχνολογίες ραδιοσυχνότητας, barcode, τήρηση βάσης δεδομένων, SSID τεχνολογία για έλεγχο πρόσβασης και δύο διαστάσεων πίνακες αναγνώρισης.

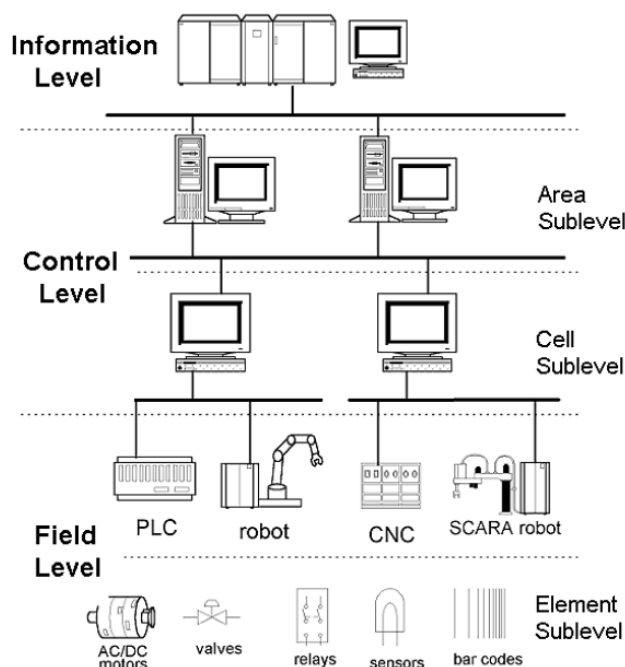
1.5 Συνδυασμός δικτύωσης και PLC στην βιομηχανία

Σε παραγωγικές διαδικασίες όπου το περιβάλλον χαρακτηρίζεται επικίνδυνο (Hazardous area), επιβάλλεται να δίνουμε έμφαση στην ακρίβεια και την αξιοπιστία του εξοπλισμού για λόγους ασφαλείας. Για τον λόγο αυτό, μέσω της δικτύωσης του ενεργού εξοπλισμού, έχουμε τη δυνατότητα χρησιμοποίησης τεχνικών ασφάλειας έναντι αστοχίας (Fail Safe και Redundancy). Για εφαρμογές για τις οποίες εκτός από αξιόπιστη λειτουργία απαιτείται και ευελιξία ως προς την εξέλιξη του συστήματος, επιβάλλεται λύση η οποία επιτρέπει την γρήγορη αποσύνδεση και εύκολη αντικατάσταση των επιμέρους στοιχείων. Για τέτοιου είδους εφαρμογές είναι απαραίτητη η χρήση modular δομικών στοιχείων όπου πετυχαίνουν επικοινωνία μεταξύ μεγάλων αποστάσεων χωρίς να θυσιάζονται επιδόσεις από τη λειτουργικότητα, καθώς παραμένουν ανεπηρέαστα από τις εκάστοτε περιβαλλοντικές συνθήκες. Σε αυτές τις εγκαταστάσεις η πρόκληση είναι να καλυφθεί ο εκτενής σχεδιασμός διάσπαρτων σημείων, το οποίο απαιτεί να ενσωματωθεί στο δίκτυο μεγάλος αριθμός σημάτων ενώ ταυτόχρονα να μειώνεται το αποτύπωμα καλωδίωσης προσφέροντας μεγαλύτερη διαθεσιμότητα του χώρου [27].

1.6 Ιεραρχία επιπέδων των βιομηχανικών δικτύων

Συνήθως στη βιομηχανία, τα συστήματα αυτοματισμού είναι σύνθετα και πολύπλοκα. Πιο συγκεκριμένα, ένα δίκτυο που θα καλύπτει τις ανάγκες ενός σύγχρονου εργοστασίου, δομείται από διαφορετικά επίπεδα ιεραρχίας καθένα από τα οποία χαρακτηρίζεται από τις ανάγκες τις οποίες εξυπηρετεί. Οι ανάγκες αυτές, καθορίζουν τον τρόπο επικοινωνίας καθώς και τον χώρο στον οποίο εκτείνεται το συγκεκριμένο τμήμα του δικτύου.

Στο διάγραμμα 1.2 απεικονίζεται ένα παράδειγμα όπου γίνονται διακριτά τα επίπεδα ιεραρχίας σε δίκτυο που υποστηρίζει σύστημα βιομηχανικού αυτοματισμού.



Διάγραμμα 1.2: Επίπεδα ιεραρχίας βιομηχανικού δικτύου [5].

Όπως βλέπουμε και στο διάγραμμα 1.2 τα βιομηχανικά δίκτυα αποτελούνται από διαφορετικές κατηγορίες ανάλογα την λειτουργία τους. Έτσι όπως διαμορφώνεται το διάγραμμα διακρίνουμε το επίπεδο του πεδίου, το επίπεδο ελέγχου και το επίπεδο της πληροφορίας.

➤ Επίπεδο πεδίου.

Το επίπεδο του πεδίου αποτελεί τη χαμηλότερη βαθμίδα στην ιεραρχία των δικτύων βιομηχανικού αυτοματισμού. Στη βαθμίδα αυτή περιλαμβάνονται οι

συσκευές πεδίου όπως είναι οι ενεργοποιητές και οι αισθητήρες. Η λειτουργία των στοιχείων αυτών μέσα στο επίπεδο του πεδίου, είναι η μεταφορά δεδομένων μεταξύ του παραγόμενου προϊόντος και της τεχνικής διαδικασίας κατά την οποία το προϊόν εξελίσσεται. Η μεταδιδόμενη πληροφορία μπορεί να είναι είτε δυαδική (binary) είτε αναλογικής τιμής σε μορφή πραγματικού, ακέραιου ή δεκαεξαδικού αριθμού. Πολλές φορές ανάλογα με τον αριθμό και το είδος των στοιχείων που συνθέτουν το επίπεδο του πεδίου μπορεί να γίνει περεταίρω ομαδοποίησή τους σε επιμέρους τομείς.

Για την επικοινωνία σε αυτό το επίπεδο χρησιμοποιούνται συνήθως παράλληλα, πολύκλινα καλώδια και πρότυπα μεταφοράς σήματος ρεύματος 20mA. Τα πρότυπα σειριακής επικοινωνίας όπως τα RS232C, RS422, και RS485 είναι τα συνηθέστερα για αυτό το σκοπό μαζί με το πρότυπο παράλληλης επικοινωνίας IEEE488. Αυτές οι μέθοδοι επικοινωνίας, οι οποίες καλούνται «επικοινωνία από-σημείο-σε-σημείο» (point-to-point communication), αναπτύχθηκαν για να αντιμετωπίσουν το πρόβλημα υψηλού κόστους καλωδίωσης και να παρέχουν υψηλής ποιότητας και γρήγορη μεταφορά δεδομένων. Επειδή στο χώρο των βιομηχανικών διεργασιών υπάρχει, περισσότερο από οπουδήποτε αλλού, ο χρονικός περιορισμός οι εφαρμογές σε αυτό το επίπεδο απαιτούν την λειτουργία κυκλικής μεταφοράς δεδομένων όπου η πληροφορία μεταδίδεται σε τακτά χρονικά διαστήματα. Η απεικόνιση των δεδομένων φυσικά, πρέπει να είναι όσο «λακωνική» και απλή γίνεται, για να είναι χαμηλός και ο χρόνος μεταφοράς τους μέσα στο δίκτυο.

➤ Επίπεδο Ελέγχου.

Το αμέσως ανώτερο επίπεδο στην ιεραρχία των δικτύων, είναι το επίπεδο ελέγχου. Σε αυτή τη βαθμίδα γίνεται η διασύνδεση μεταξύ των ελεγκτών που συνθέτουν μία εφαρμογή και των συσκευών μέσα από τις οποίες γίνεται ο έλεγχος και η λειτουργία του εξοπλισμού (π.χ. H/Y, οθόνες χειρισμού, servers κ.α.). Εδώ η ροή της πληροφορίας αποτελείται κυρίως από την προσπέλαση των προγραμμάτων και την φόρτωση των παραμέτρων και των δεδομένων. Στο επίπεδο του ελέγχου, σε εφαρμογές εκτεταμένες σε εξοπλισμό, μπορούμε να διακρίνουμε την «υποομάδα κελιού» (cell sublevel) και την «υποομάδα περιοχής» (area sublevel). Στην ομαδοποίηση κελιού γίνεται η επικοινωνία των βιομηχανικών ελεγκτών (PLC), των ρομποτικών βραχιόνων ή αυτόματων εργαλειομηχανών με τα τερματικά χειρισμού (π.χ SCADA clients, operation panels κ.α.), τα οποία αποτελούν ομαδοποιημένα ένα

«κελί». Όλα τα κελιά που συνθέτουν μία εφαρμογή, ανάλογα με την αρχιτεκτονική του δικτύου όπως είναι διαμορφωμένη, αποτελούν την «περιοχή».

Για τις ανάγκες του δικτύου, σε αυτή τη βαθμίδα, απαιτείται πολύ μικρός χρόνος απόκρισης μετάδοσης της πληροφορίας. Μετά τη εισαγωγή της ιδέας του DCSS πολλές εταιρείες ανέπτυξαν τα δικά τους κατάλληλα πρότυπα δικτύωσης για το επίπεδο ελέγχου. Τα επικρατέστερα που χρησιμοποιούνται πλέον στη βιομηχανία είναι το Ethernet μαζί με το TCP/IP (transmission control protocol/internet protocol), το οποίο έγινε εν μέρει αποδεκτό σαν de-facto πρότυπο στη βιομηχανία, παρόλο που δεν μπορεί να παρέχει μία πραγματικού χρόνου (real time) επικοινωνία.

➤ Επίπεδο πληροφορίας.

Το επίπεδο πληροφορίας είναι το υψηλότερο στην ιεραρχία των δικτύων βιομηχανικού αυτοματισμού. Εδώ γίνεται εποπτεία όλης της πληροφορίας από τις περιοχές του επιπέδου ελέγχου και διαχείριση όλου του συστήματος αυτοματισμού.

Σε αυτό το επίπεδο συναντάμε εκτεταμένα δίκτυα για την οργάνωση της παραγωγικής διαδικασίας και την διαχείριση ανταλλαγής πληροφοριών. Εδώ πλέον έχει επικρατήσει το Ethernet καθώς δίνει δυνατότητα απομακρυσμένης διασύνδεσης ακόμα και μέσω διαδικτύου .

Η Ολοκληρωμένη Παραγωγή με Υπολογιστές (CIM) αποτελεί τη νέα ιεραρχική δομή ελέγχου των παραγωγικών μονάδων. Με τη δομή αυτή, εργασίες όπως η συλλογή πληροφοριών, η λειτουργία συστημάτων ψηφιακού αυτομάτου ελέγχου, η επιτήρηση και ο προγραμματισμός της παραγωγής γίνονται από αντίστοιχα υπολογιστικά συστήματα με συγκεκριμένους βαθμούς ευθύνης όπου οι αποφάσεις των υψηλότερων επιπέδων μεταδίδονται για εκτέλεση στις κατώτερες βαθμίδες υπολογιστικών συστημάτων. Η τεχνολογία CIM είναι βέβαιο ότι θα φέρει επαναστατικές αλλαγές στην παραγωγική διαδικασία των μικρών και μεγάλων βιομηχανιών, τις επόμενες δεκαετίες. Συνεχώς αναπτύσσονται νέοι υπολογιστές, νέοι τύποι επικοινωνιακών συσκευών, λογισμικά εργαλεία και συστήματα CAD/CAM που θα ενσωματώσουν όλες τις δυνατότητες της παραγωγής σε ένα πολύπλοκο σύστημα πληροφορικής. Το σύστημα αυτό θα αλλάξει τις δραστηριότητες σχεδιασμού, προγραμματισμού, πρόβλεψης, ποιοτικού ελέγχου, πωλήσεων και συντήρησης των διεργασιών. Η υλοποίηση μιας στρατηγικής CIM απαιτεί αυστηρή διαίρεση στα

ιεραρχικά επίπεδα οργάνωσης, εποπτείας και ελέγχου, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 1.2. Το επίπεδο της πληροφορίας εποπτεύει το σύστημα και με βάση τις ποιοτικές απαιτήσεις της παραγωγής, παράγει αποφάσεις που έχουν σχέση με τη διαχείρισή της.

Το επίπεδο ελέγχου δέχεται την γενική στρατηγική και αναλαμβάνει την υλοποίησή της, ελέγχοντας τον εξοπλισμό που βρίσκεται στο πεδίο. Το επίπεδο ελέγχου εκτελεί τις προηγούμενες αποφάσεις έχοντας στενή φυσική σύνδεση με τις διεργασίες και εξασφαλίζει τη λειτουργική ευστάθεια των διεργασιών. Το ιεραρχικό σύστημα του διαγράμματος 1.2 έχει τις ιδιότητες συνεχούς αύξησης της κρισιμότητας των αποφάσεων που λαμβάνονται και ταυτόχρονα μείωσης του ρυθμού των αποφάσεων καθώς και συνεχούς αύξησης του όγκου της πληροφορίας προς επεξεργασία όσο ανεβαίνουμε επίπεδο ιεραρχίας.

Για παράδειγμα σε μία σύγχρονη βιομηχανική εγκατάσταση στη γραμμή παραγωγής μπορούμε να διακρίνουμε και τα τρία επίπεδα. Στο κατώτατο επίπεδο λαμβάνει χώρα η παραγωγική διαδικασία, η οποία μπορεί να διαιρείται σε διάφορες υπό-ομάδες. Το σύνολο της "πληροφορίας" των υπό-ομάδων μεταφέρεται στο επόμενο επίπεδο μέσω ενός δικτύου επικοινωνίας. Στο επόμενο επίπεδο βρίσκονται οι κεντρικοί σταθμοί ελέγχου μέσω των οποίων εκτελούνται οι διαδικασίες του προηγούμενου επιπέδου και επιβλέπεται η λειτουργία της διαδικασίας σαν σύνολο. Τέλος το μεσαίο επίπεδο επικοινωνεί με το ανώτερο έτσι ώστε να λαμβάνονται αποφάσεις για την στρατηγική παραγωγής καθώς και να διασφαλίζεται η σωστή προμήθεια πρώτων υλών [5], [15], [16].

1.7 Τοπολογίες βιομηχανικών δικτύων

Με τον όρο «τοπολογία δικτύου» αναφερόμαστε στον τρόπο με τον οποίο συνδέονται και επικοινωνούν τα στοιχεία που το απαρτίζουν. Προκειμένου να καθοριστεί η τοπολογία είναι σημαντικό να γνωρίζουμε τον τρόπο με τον οποίο γίνεται η ροή της πληροφορίας. Με βάση τον τρόπο διακίνησης της πληροφορίας μπορούμε να διακρίνουμε τρεις ομάδες «λογικής τοπολογίας», την κεντρική (centralized) την αποκεντρωμένη (de-centralized) και την υβριδική.

Στην λογική του κεντρικού ελέγχου υπάρχει μία ενεργή μονάδα, όπως ένας υπολογιστής ή ένα PLC, η οποία αναλαμβάνει τον έλεγχο της επικοινωνίας στο

δίκτυο. Αυτή η μονάδα καλείται κεντρικός ελεγκτής (master controller) και συντονίζει τις υπόλοιπες μονάδες του δικτύου (slave) οι οποίες δεν συμμετέχουν στην επικοινωνία με βάση τις εντολές που δέχονται από τον κεντρικό ελεγκτή. Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι σε εκτεταμένα δίκτυα τα οποία αποτελούνται από πολλά στοιχεία, ο κεντρικός ελεγκτής θα πρέπει να διαθέτει ιδιαίτερα αυξημένη υπολογιστική ισχύ, ώστε να μπορεί να υποστηρίξει τη διακομιδή μεγάλου όγκου δεδομένων. Επίσης είναι σημαντικό να επισημάνουμε πως σε δίκτυα κεντρικής λογικής δεν υποστηρίζονται οι περισσότερες αρχιτεκτονικές απευθείας συνδέσεων μεταξύ των σταθμών (peer to peer). Με βάση τα παραπάνω συμπεραίνουμε πως τα δίκτυα κεντρικής λογικής διακρίνονται για την απλότητά τους καθώς όλη η παραμετροποίηση, η ρύθμιση και η διάγνωση σφαλμάτων επικεντρώνονται μόνο σε ένα σταθμό.

Στα δίκτυα λογικής αποκεντρωμένου ελέγχου δεν απαιτείται η ύπαρξη ενός κεντρικού ελεγκτή για να εκτελέσει τη διακομιδή της πληροφορίας. Εδώ ο κάθε σταθμός διαθέτει τα ίδια προνόμια αποστολής και παραλαβής μηνυμάτων πραγματοποιώντας από μόνος του τη αποστολή και τη λήψη της πληροφορίας από τους υπόλοιπους σταθμούς με τους οποίους επικοινωνεί. Σε αυτά τα δίκτυα η μεταφορά δεδομένων επιβαρύνει μόνο δύο σταθμούς επιτρέποντας μεγαλύτερη διαθεσιμότητα εύρους ζώνης. Στα αποκεντρωμένα δίκτυα, η αύξηση της αποδοτικότητας του συστήματος, οφείλεται στη φυσική εγγύτητα μεταξύ ελεγκτή και ενεργοποιητή. Όπως είναι αναμενόμενο, λόγω της άμεσης επικοινωνίας, εξαφανίζονται εντελώς οι καθυστερήσεις οι οποίες εισάγονται από την φύση των δικτύων Fieldbus. Έτσι τα δεδομένα των αισθητηρίων επεξεργάζονται άμεσα από τον τοπικό ελεγκτή, πετυχαίνοντας, με αυτόν τον τρόπο, απόλυτο συγχρονισμό μεταξύ μετατροπέα ισχύος και ελεγκτή πράγμα που σημαίνει γρηγορότερο και ακριβέστερο έλεγχο. Επιπροσθέτως, ένα πολύ μεγάλο πλεονέκτημα που παρουσιάζουν τα δίκτυα αποκεντρωμένου ελέγχου έναντι των δικτύων κεντρικού ελέγχου, είναι η εύκολη επεκτασιμότητά τους. Κατά το σχεδιασμό ενός αποκεντρωμένου δικτύου δεν χρειάζεται να έχουμε ειδική μέριμνα για τα περιθώρια επεκτασιμότητάς του διότι με την προσθήκη νέων σταθμών στο δίκτυο αυξάνεται και η συνολική υπολογιστική ισχύς.

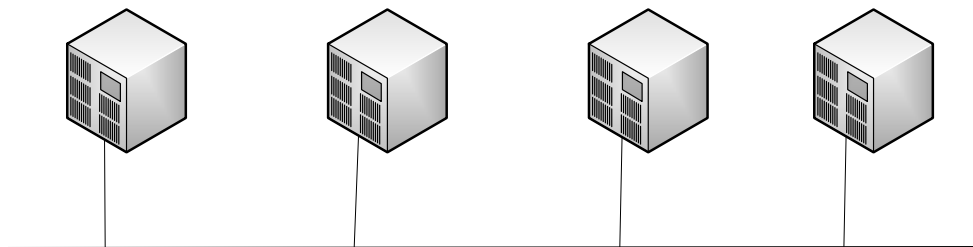
Το κυριότερο μειονέκτημα που παρουσιάζουν τα δίκτυα αποκεντρωμένου ελέγχου είναι η πολυπλοκότητα που έχουν όσον αφορά την παραμετροποίηση, τη διάγνωση σφαλμάτων και τη συντήρησή τους.

Τέλος συναντάμε την αρχιτεκτονική των υβριδικών δικτύων, σύμφωνα με την οποία υπάρχει ένα κεντρικός ελεγκτής ο οποίος συντονίζει μία ομάδα σταθμών. Σε αυτόν τον τύπο δικτύων, κάθε τοπικός σταθμός δεν ανταλλάσσει πληροφορίες πραγματικού χρόνου με τον κεντρικό ελεγκτή, όπως διορθωτικά σήματα και σήματα ανάδρασης, με συνέπεια να υπάρχει η δυνατότητα οικονομικής διαστασιολόγησης της υπολογιστικής ισχύος του κεντρικού ελεγκτή. Συνήθως τα όρια δικτύου κάθε ομάδας σταθμών είναι φυσικά διαχωρισμένα μεταξύ τους. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να υπάρχει περιορισμένος αριθμός σταθμών σε κάθε τομέα αυξάνοντας τη συνολική απόδοση του δικτύου και εξασφαλίζοντας εγγυημένη και γρήγορη μεταφορά δεδομένων.

Με βάση τα παραπάνω αντιλαμβανόμαστε ότι τα υβριδικά δίκτυα συγκεντρώνουν τα περισσότερα προτερήματα των κατακεκομμένων και κεντρικών δικτύων [16], [17].

Κατά το σχεδιασμό ενός δικτύου, οι τρεις προαναφερθείσες φιλοσοφίες διακίνησης της πληροφορίας καθορίζουν τον τρόπο διασύνδεσης των σταθμών ορίζοντας έτσι την φυσική τοπολογία των δικτύων. Οι κυριότεροι τρόποι διασύνδεσης του ενεργού εξοπλισμού μπορεί να είναι οι εξής :

- Τοπολογία Διαύλου.



Διάγραμμα 1.3: Τοπολογία Διαύλου.

Μία από τις πιο συνηθισμένες φυσικές τοπολογίες, που συναντούμε στη βιομηχανία, είναι η τοπολογία **διαύλου**. Εδώ όλοι οι σταθμοί συνδέονται σε μια

κοινή γραμμή επικοινωνίας η οποία ονομάζεται διάυλος. Αυτό καθιστά την τοπολογία αρκετά απλή, από άποψη σχεδιασμού, αφού όλοι οι κόμβοι του δικτύου συνδέονται άμεσα μέσω κατάλληλων συνδετήρων, βυσμάτων ή τερματισμών.

Η πληροφορία που εκπέμπεται από ένα σταθμό περιέχει τη διεύθυνση του παραλήπτη και μεταδίδεται σε όλο τον διάυλο επικοινωνίας. Αυτή η πληροφορία λαμβάνεται από όλους τους υπόλοιπους σταθμούς οι οποίοι ελέγχουν την διεύθυνση του παραλήπτη όπου τελικώς απορρίπτεται από τους σταθμούς των οποίων δεν έχουν τη διεύθυνση του μηνύματος. Σύμφωνα με τα παραπάνω οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι όλοι οι σταθμοί έχουν τα ίδια προνόμια αποστολής και παραλαβής μηνυμάτων, οπότε η λογική του διαύλου κατατάσσεται στην αποκεντρωμένη (decentralized) λογική τοπολογία.

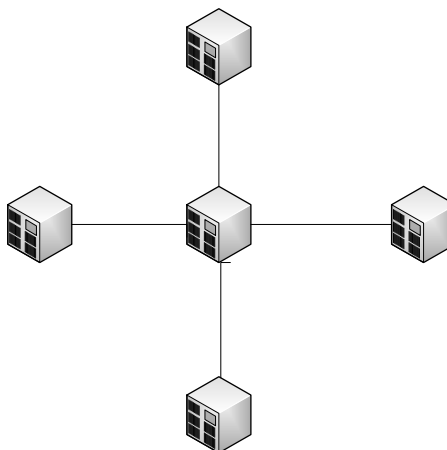
Εξαιτίας της φυσικής θέσης των σταθμών δημιουργούνται δυσανάλογες αποστάσεις μεταξύ τους. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι σταθμοί που βρίσκονται πιο κοντά σε αυτόν που εκπέμπει κάθε φορά την πληροφορία, να λαμβάνουν ισχυρότερο σήμα από τους πιο απομακρυσμένους. Αυτή η ιδιότητα επιβάλλει κάποιους περιορισμούς όσον αφορά το μήκος του διαύλου (όταν πρόκειται για καλώδιο), το πλήθος των διασυνδεδεμένων σταθμών και το είδος των υλικών που χρησιμοποιούνται στις συνδέσεις.

Τα δίκτυα διαύλου είναι πολύ απλά όσον αφορά την κατασκευή, ενώ παρουσιάζουν μεγάλη ευκολία και στην επεκτασιμότητά τους. Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 1.3, τα άκρα του δικτύου μπορούν να παραμένουν ανοικτά έτσι ώστε να είναι άμεσα επεκτάσιμα. Τις περισσότερες φορές, στα φυσικά άκρα του διαύλου, χρειάζεται να εγκατασταθεί μία διάταξη τερματισμού (terminator). Αυτή μπορεί να αποτελείται μόνο από ένα παθητικό στοιχείο (π.χ. μία τερματική αντίσταση) είτε μπορεί να διαθέτει κάποιο κύκλωμα, που απορροφά τις ανακλάσεις του σήματος, το οποίο χρειάζεται τάση για να λειτουργήσει. Στην πρώτη περίπτωση καλούνται παθητικοί τερματικοί (passive terminators) ενώ στη δεύτερη περίπτωση ενεργοί τερματικοί (active terminators).

Το γεγονός ότι δεν απαιτούνται πολλαπλές συνδέσεις ούτε ενέργειες δρομολόγησης μεταξύ των σταθμών του δικτύου στους διάφορους κόμβους, έχει σαν αποτέλεσμα να είναι οικονομικά συμφέρουσα λύση. Παράλληλα παρουσιάζουν

αρκετά μεγάλη αξιοπιστία γιατί η βλάβη ενός σταθμού δεν επηρεάζει τη λειτουργία όλου του δικτύου, παρά μόνο στην σπάνια περίπτωση που υπάρξει βλάβη στον κεντρικό δίαυλο όπου καταρρέει όλο το δίκτυο. Για τους παραπάνω λόγους η τοπολογία διαύλου είναι από τις πιο συνηθισμένες τοπολογίες που θα βρούμε στη βιομηχανία [16], [17], [18].

- **Τοπολογία Αστέρα.**



Διάγραμμα 1.4: Τοπολογία Αστέρα.

Στην τοπολογία αστέρα όλοι οι σταθμοί διασυνδέονται μέσω ενός κεντρικού σταθμού ο οποίος δέχεται τα πακέτα πληροφορίας από τους περιφερειακούς σταθμούς και τα κατευθύνει προς τους σταθμούς προορισμού. Αυτό σημαίνει ότι μπορούμε να την κατατάξουμε στην κεντρική (centralized) λογική τοπολογία.

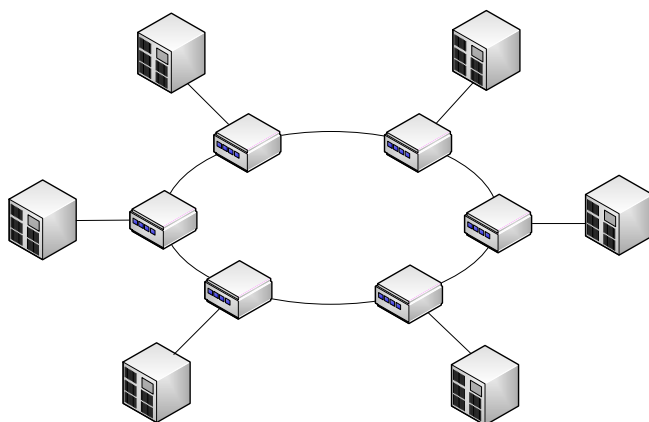
Η τοπολογία αστέρα έχει το πλεονέκτημα ότι για την αποστολή και τη λήψη ενός πακέτου μεταξύ δύο τυχαίων σταθμών, μεσολαβούν το πολύ δύο βαθμίδες επικοινωνίας – λήψη του πακέτου από τον κεντρικό ελεγκτή και αποστολή στον παραλήπτη. Αυτό σημαίνει ότι ο χρόνος που απαιτείται, συνολικά, για τη διακίνηση του πακέτου μπορεί να είναι πολύ μικρός. Παρόλα αυτά όμως, επειδή ο κεντρικός σταθμός υπεισέρχεται στη διαδικασία διακίνησης κάθε πληροφορίας που διανέμεται, μπορεί να δημιουργήσει καθυστερήσεις στη διακίνηση των μηνυμάτων λόγω συντονισμού. Οι καθυστερήσεις αυτές μπορεί να επιβαρύνονται περισσότερο όταν ο κεντρικός σταθμός εκτελεί και άλλες λειτουργίες εκτός της διακίνησης μηνυμάτων. Για παράδειγμα, αν ο κεντρικός σταθμός είναι και το κεντρικό σύστημα

επεξεργασίας, όπως συμβαίνει συχνά, οι υπολογιστικές απαιτήσεις υψηλής προτεραιότητας μπορεί να καταστήσουν προσωρινά αδύνατη τη διεκπεραίωση των διαδικασιών επικοινωνίας.

Αυτό σημαίνει ότι σε περίπτωση βλάβης του κεντρικού σταθμού συνεπάγεται παύση της λειτουργίας ολοκλήρου του δικτύου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να στερείται από την αξιοπιστία του. Παρόλα αυτά σε περίπτωση βλάβης ενός οποιουδήποτε άλλου σταθμού, δεν έχει σοβαρές επιπτώσεις στη λειτουργία του υπόλοιπου δικτύου. Για τον λόγο αυτό, σε δίκτυα τοπολογίας αστέρα, έχουν αναπτυχθεί τεχνικές οι οποίες χρησιμοποιούν εφεδρικό κεντρικό σταθμό (**hot stand by**) ο οποίος παρακολουθεί την κίνηση των πακέτων χωρίς να συμμετέχει σε αυτή. Τη στιγμή που θα διαγνώσει ότι «έπεσε» ο κεντρικός ελεγκτής ο οποίος ήταν ενεργός μέχρι εκείνη τη στιγμή αναλαμβάνει «καριαία» την διεκπεραίωση της επικοινωνίας υποστηρίζοντας έτσι την αδιάλειπτη λειτουργία της.

Η επεκτασιμότητα ενός αστεροειδούς δικτύου δεν παρουσιάζει ιδιαίτερες δυσκολίες επειδή δεν χρειάζονται πολλές παρεμβάσεις στο υπάρχον δίκτυο, παρά μόνο η σύνδεση του νέου με τον κεντρικό σταθμό. Στα δίκτυα τα οποία είναι σχεδιασμένα με τη τοπολογία αστέρα, η διακίνηση της πληροφορίας, στηρίζεται στον κεντρικό σταθμό ο οποίος συντονίζει όλη την επικοινωνία. Για εκτεταμένα δίκτυα η αστεροειδής τοπολογία αποτελεί συνήθως πιο δαπανηρή λύση απ' ότι ένα δρομολογούν δίκτυο πλήρους επικοινωνίας [16], [17], [18].

- Τοπολογία Δακτυλίου.



Διάγραμμα 1.5: Τοπολογία Δακτυλίου.

Στην τοπολογία **δακτυλίου** όλοι οι σταθμοί συνδέονται μεταξύ τους σε ένα κλειστό βρόχο ενώ η πληροφορία διακινείται, όπως στην περίπτωση του διαύλου, σημείο προς σημείο. Έτσι λοιπόν η εκπεμπόμενη πληροφορία, περιέχει τη διεύθυνση του παραλήπτη και λαμβάνεται από όλους τους υπόλοιπους σταθμούς. Οι σταθμοί που παραλαμβάνουν την πληροφορία, ελέγχουν την διεύθυνση του παραλήπτη, και αν συμφωνεί με τη διεύθυνσή, τους την αντιγράφουν.

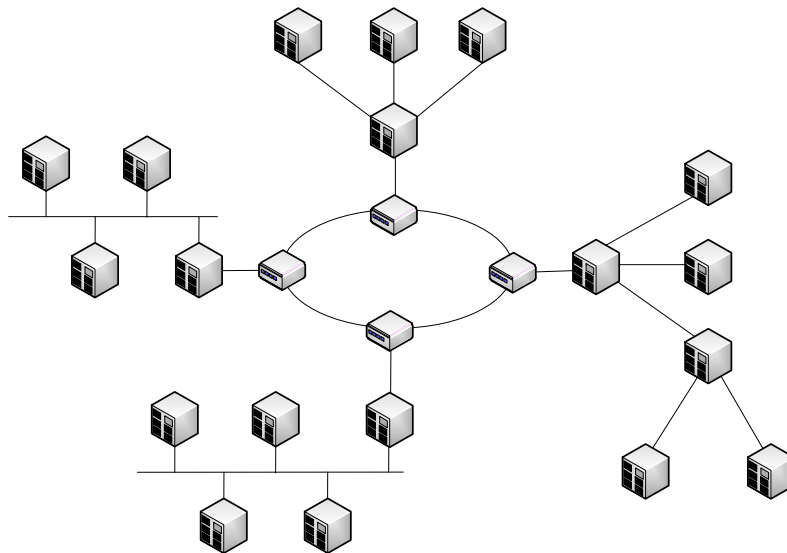
Όπως βλέπουμε στο διάγραμμα 1.5, οι σταθμοί συνδέονται στο δίκτυο μέσω ενός αναμεταδότη. Οι αναμεταδότες είναι κατάλληλοι να υποστηρίζουν τοπολογία δακτυλίου, ελέγχοντας την φορά της επικοινωνίας. Η ροή των πακέτων στο δακτύλιο ακολουθεί συγκεκριμένη και από πριν συμφωνημένη φορά η οποία μπορεί να είναι είτε αυτή των δεικτών του ρολογιού ή αντίστροφη. Ένας από τους αναμεταδότες αναλαμβάνει την επιτήρηση του βρόγχου και όσο υπάρχει επικοινωνία και από τις δύο πλευρές του, διακόπτει το δίκτυο ώστε να μη «βραχυκυκλώνει». Μόλις συμβεί κάποιο σφάλμα το οποίο προκαλέσει διακοπή στον δακτύλιο, τότε ο αναμεταδότης που επιτηρεί το δίκτυο το αναγνωρίζει και ακαριαία συνδέει το δίκτυο ώστε να συνεχίσει αδιάληπτα η λειτουργία του. Σε αυτή την περίπτωση, η τοπολογία του δικτύου έχει μετατραπεί σε δίαυλο.

Κάθε αναμεταδότης στο δίκτυο, ενισχύει το σήμα που μεταδίδεται με αποτέλεσμα να μην παρουσιάζονται ιδιαίτερες καθυστερήσεις στην μετάδοση των δεδομένων. Επειδή όλοι οι κόμβοι μεταδίδουν και μοιράζονται το ίδιο φυσικό μέσο, χρειάζεται κάποιο είδος ελέγχου πρόσβασης ώστε να αποφασίζεται κάθε φορά ποιος κόμβος έχει δικαίωμα μετάδοσης. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιείται η τεχνική πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση χρόνου (time division multiple access), σύμφωνα με την οποία γίνεται διαίρεση του εύρους ζώνης (bandwidth) σε πολλές αποστολές δεδομένων. Αυτό σημαίνει ότι όλοι οι σταθμοί του δικτύου χρησιμοποιούν τον δακτύλιο ως μέσο μεταφοράς δεδομένων ακολουθιακά, το οποίο επιτυγχάνεται είτε μέσω κεντρικού ελέγχου, με την τεχνική της σφυγμομέτρησης (polling), με την μετάδοση ενός χαρακτηριστικού δεδομένου (token) και την τυχαία πρόσβαση των σταθμών, είτε με αποκεντρωμένο τρόπο με την τεχνική των χρονικών σχισμών (time slots).

Με βάση τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι η τοπολογία δακτυλίου διακρίνεται για την αξιοπιστία της αφού προσφέρει ασφαλή λειτουργία σε **μία** βλάβη του κεντρικού διαύλου επικοινωνίας. Παράλληλα πετυχαίνει ομοιόμορφη κατανομή χωρητικότητας δικτύου στους σταθμούς δίνοντάς τους τη δυνατότητα να στέλνουν

όλοι με ίδιους ρυθμούς μετάδοσης. Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι για λόγους ασφάλειας τηρούνται κάποιοι κανόνες για τη θέση εγκατάστασης του δακτυλίου. Έτσι για παράδειγμα δεν συνίσταται η παράλληλη όδευση δύο διαφορετικών σημείων του, από την ίδια όδευση έτσι ώστε ο λόγος που θα προκαλέσει βλάβη στο μέσο μεταφοράς να μην επηρεάσει και δεύτερο σημείο του, πράγμα που θα σήμαινε απώλεια ενός τμήματος του δικτύου. Η τοπολογία δακτυλίου υπάρχει και σε παραλλαγή με διπλό δακτύλιο όπου τα δεδομένα κινούνται με αντίθετη κατεύθυνση σε κάθε δακτύλιο. Ο διπλός δακτύλιος χρησιμοποιείται στα δίκτυα υψηλών επιδόσεων [6], [16], [17], [18].

- **Υβριδική τοπολογία.**



Διάγραμμα 1.6: Υβριδική τοπολογία.

Τα δίκτυα υβριδικής τοπολογίας αποτελούνται, τμηματικά, από τον συνδυασμό των τοπολογιών που αναφέραμε πιο πάνω. Στο διάγραμμα 1.6 βλέπουμε ένα παράδειγμα δικτύου υβριδικής τοπολογίας, όπου αποτελείται από ένα κεντρικό δακτύλιο στον οποίο ο ενεργός εξοπλισμός συνδέεται με άλλους σταθμούς σε τοπολογίες αστέρα ή διαύλου. Όλοι οι σταθμοί χρησιμοποιούνται για επεξεργασία και ανταλλαγή δεδομένων, ενώ σε πολύ μεγάλες εφαρμογές οι σταθμοί του κεντρικού δακτυλίου μπορεί να ασχολούνται μόνο με τη μεταφορά μηνυμάτων.

Οι υβριδικές τοπολογίες είναι οι πιο συνήθεις, στις βιομηχανικές εφαρμογές και σχεδιάζονται με γνώμονα την εκμετάλλευση των πλεονεκτημάτων που

διακρίνουν κάθε επιμέρους τοπολογία. Κατά τον σχεδιασμό ενός τέτοιου δικτύου, συνήθως γίνεται μία ιεράρχηση ως προς την σημαντικότητα κάθε επιπέδου διεργασίας καθώς και της μεταδιδόμενης πληροφορίας, χτίζοντας έτσι το δίκτυο από την περιφέρεια όπου βρισκόμαστε στο επίπεδο του πεδίου, προς το κέντρο του δικτύου, όπου πλέον περνάμε στο επίπεδο της πληροφορίας, δίνοντας έμφαση στην αξιοπιστία, την ταχύτητα και το κόστος κατασκευής και συντήρησής του [16].

1.8 Μέσα και τρόποι μετάδοσης δεδομένων βιομηχανικών δικτύων.

Η τεχνολογική εξέλιξη στον τομέα των δικτύων έχει σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη ποικίλων τρόπων όσον αφορά τα μέσα μετάδοσης των σημάτων. Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά είναι το είδος του σήματος το οποίο μπορεί να είναι είτε **αναλογικό** είτε **ψηφιακό**. Τα αναλογικό σήμα εκπέμπεται μέσω συνεχώς μεταβαλλόμενων συχνοτήτων και έχει τη μορφή ημιτονοειδούς καμπύλης. Το ψηφιακό σήμα μπορεί να πάρει **μόνο δύο** καταστάσεις, τις τιμές 0 και 1. Οι καταστάσεις αυτές μπορούν να αποδοθούν με την ύπαρξη ή μη τάσης, όταν πρόκειται για μετάδοση μέσω χαλκού ενώ στην περίπτωση των οπτικών ινών, όπως θα δούμε και πιο κάτω, ύπαρξη ή μη φωτός. Επειδή στα δίκτυα βιομηχανικού αυτοματισμού μεταδίδονται κυρίως υπολογιστικά δεδομένα, που είναι ψηφιακά σήματα, στην παρούσα εργασία θα μας απασχολήσουν κυρίως τα δίκτυα μετάδοσης ψηφιακής πληροφορίας.

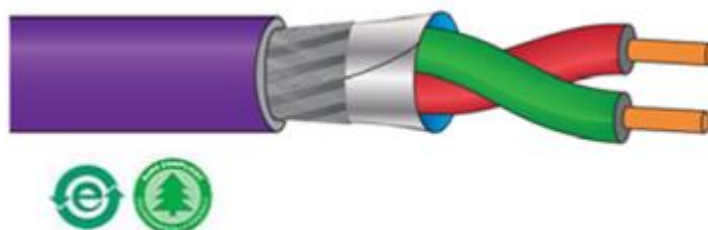
Ένα άλλο στοιχείο που χαρακτηρίζει ένα δίκτυο είναι ο τρόπος μετάδοσης της πληροφορίας ο οποίος μπορεί να είναι **ασύγχρονος** ή **συγχρονισμένος**. Στην ασύγχρονη μετάδοση κάθε χαρακτήρας αποστέλλεται χρησιμοποιώντας εντολές εκκίνησης και παύσης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μπορούν να μεταδίδονται ανεξάρτητα οι χαρακτήρες με ανομοιόμορφο ρυθμό. Στην συγχρονισμένη μετάδοση η πληροφορία αποστέλλεται ως πακέτα δεδομένων σε καθορισμένα χρονικά διαστήματα. Σε αυτήν την περίπτωση υπάρχει η δυνατότητα για ακριβείς πρόβλεψη της χρονικής στιγμής αποστολής ή λήψης ενός πακέτου, εφόσον ο αποστέλλων και ο παραλήπτης είναι απολύτως συγχρονισμένοι.

Κάθε πηγή, ανάλογα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά της, εκπέμπει σε ορισμένο εύρος συχνοτήτων. Η διαφορά ανάμεσα στη μέγιστη και την ελάχιστη συχνότητα που μπορεί να εκπέμψει καθορίζει τη **ζώνη εκπομπής** της. Κατά αντιστοιχία μπορούμε να πούμε ότι κάθε μέσο μετάδοσης μπορεί να μεταφέρει ένα συγκεκριμένο εύρος

συχνοτήτων. Η διαφορά ανάμεσα στη μέγιστη και την ελάχιστη συχνότητα που μπορεί να μεταφέρει, εκφράζει το **εύρος ζώνης** του (**bandwidth**). Στην ψηφιακή μετάδοση, ο μέγιστος ρυθμός με τον οποίο μπορούμε να στείλουμε ή να λάβουμε μία πληροφορία χωρίς σφάλμα, έχει άμεση σχέση με το εύρος ζώνης του αναλογικού μέσου μετάδοσης και εκφράζει την **χωρητικότητα** (capacity) του. Όσο μεγαλύτερο είναι το εύρος ζώνης ενός μέσου, άρα και η χωρητικότητά του, τόσο μεγαλύτερος είναι και ο ρυθμός μετάδοσης των ψηφιακών δεδομένων. Η χωρητικότητα, των δικτύων δεδομένων, μετριέται σε ψηφία ανά δευτερόλεπτο (bits per second ή bps).

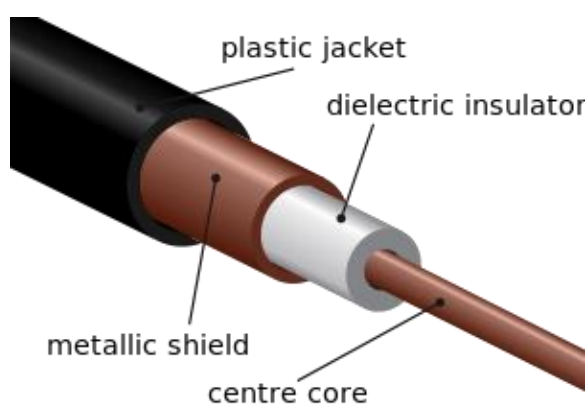
Με βάση τα παραπάνω μπορούμε να διακρίνουμε τα μέσα μετάδοσης ψηφιακού σήματος σε τρεις γενικές κατηγορίες ανάλογα με τη χωρητικότητά τους. Έτσι έχουμε τα μέσα μετάδοσης **στενής ζώνης (narrowband)** όπου χρησιμοποιούνται για μετάδοση ψηφιακών σημάτων από 45 έως 600 bps. Τα μέσα αυτά δεν έχουν επαρκή χωρητικότητα για να μεταδώσουν δεδομένα φωνής. Από 1.200 έως 33.600 bps έχουμε τα μέσα μετάδοσης **βασικής ζώνης (baseband)** τα οποία έχουν επαρκή χωρητικότητα να μεταφέρουν δεδομένα φωνής. Τέλος, διακρίνουμε τα μέσα μετάδοσης **ευρείας ζώνης (broadband)** τα οποία χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση ψηφιακών σημάτων με ρυθμούς από 48.000 bps έως 1,5 Mbps.

Κατά το σχεδιασμό ενός βιομηχανικού δικτύου, τα παραπάνω χαρακτηριστικά παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην επιλογή του φυσικού μέσου μετάδοσης του σήματος. Όπως είναι γνωστό, η επικοινωνία μπορεί να είναι «ενσύρματη» ή ασύρματη. Στην ενσύρματη επικοινωνία η πληροφορία μεταδίδεται μέσω κάποιου καλωδίου, από τα οποία έχουν επικρατήσει τα συνεστραμμένα ζεύγη καλωδίων, τα ομοαξονικά καλώδια και οι οπτικές ίνες. Στην ασύρματη επικοινωνία, ως μέσο μετάδοσης, χρησιμοποιείται ο ατμοσφαιρικός αέρας [5], [16].



Εικόνα 1.2: Καλώδιο συνεστραμμένου ζεύγους.

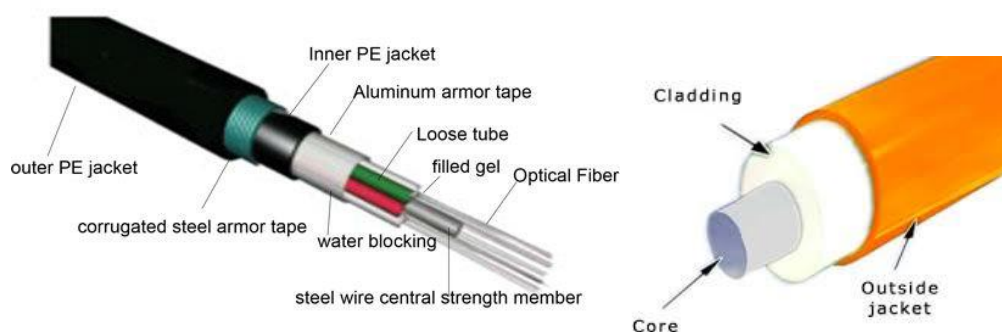
Ένα από τα πιο συνηθισμένα μέσα μετάδοσης είναι το **συνεστραμμένο ζεύγος καλωδίων** (βλ. Εικ. 1.2). Αποτελείται από δύο χάλκινους αγωγούς, μονωμένους μεταξύ τους, οι οποίοι έχουν συστραφεί μεταξύ τους προκειμένου να αποσβένεται το μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί ηλεκτρομαγνητικό θόρυβο σε γειτονικά καλώδια. Η χρήση καλωδίων συνεστραμμένου ζεύγους γίνεται κυρίως σε δίκτυα εκπομπών βασικής ζώνης (baseband) ενώ δεν απαιτείται ενίσχυση για αποστάσεις λίγων χιλιομέτρων. Παρόλα αυτά σε εφαρμογές όπου απαιτούν διασύνδεση πολύ μεγάλων αποστάσεων, χρησιμοποιούνται οι κατάλληλοι αναμεταδότες. Μέσω ενός συνεστραμμένου ζεύγους καλωδίων μπορεί να γίνει μετάδοση τόσο αναλογικών όσο και ψηφιακών σημάτων. Το εύρος ζώνης επηρεάζεται από το πάχος των αγωγών και την απόσταση μετάδοσης. Για αποστάσεις μικρότερες του χιλιομέτρου και με τη σωστή εγκατάσταση, μπορούν να επιτευχθούν ταχύτητες μερικών Mbit/sec. Τα συνεστραμμένα ζεύγη καλωδίων, ως μέσον μετάδοσης δεδομένων, διακρίνονται από το χαμηλό κόστος κατασκευής και την ευκολία της εγκατάστασής τους, αφού δεν χρειάζονται ειδικά εργαλεία και εξαρτήματα τερματισμού. Από την άλλη πλευρά, δεν παρουσιάζουν ανοχή σε ηλεκτρομαγνητικούς θορύβους, όπου είναι ένα πολύ συχνό φαινόμενο στο βιομηχανικό περιβάλλον. Για τον λόγο αυτό, σχεδόν πάντα, χρησιμοποιούμε καλώδια με θωράκιση (shielded) όπως φαίνεται και στην εικόνα 1.2.



Εικόνα 1.3: Ομοαξονικό καλώδιο.

Το **ομοαξονικό καλώδιο** (βλ. Εικ. 1.3) αποτελείται από ένα χάλκινο αγωγό, τον πυρήνα (central core), ο οποίος περιβάλλεται από ένα αγωγίμο υλικό, τον μεταλλικό μανδύα (metallic shield), το οποίο είναι σε μορφή πλέγματος. Ενδιάμεσα από τον πυρήνα και τον μανδύα, υπάρχει ένα μονωτικό υλικό (dielectric insulator)

ώστε τα δύο αγώγιμα υλικά να είναι ηλεκτρικά διαχωρισμένα. Εξωτερικά από τον μανδύα υπάρχει η τελική εξωτερική μόνωση (plastic jacket). Το ομοαξονικό καλώδιο παρουσιάζει μεγαλύτερη αντοχή στον θόρυβο έναντι των καλωδίων συνεστραμμένου ζεύγους με αποτέλεσμα να έχει την ικανότητα μετάδοσης σημάτων βασικής ζώνης (baseband) σε μεγαλύτερη απόσταση από αυτά. Παράλληλα μπορούμε να βρούμε τύπους ομοαξονικού καλωδίου όπου μπορούν να μεταδώσουν σήματα ευρείας ζώνης (broadband) έως 10 Mbps. Σήμερα, στην αγορά, βρίσκουμε δύο είδη ομοαξονικών καλωδίων, το καλώδιο 50-Ohm που χρησιμοποιείται για ψηφιακή μετάδοση βασικής ζώνης και το καλώδιο 75-Ohm που χρησιμοποιείται για αναλογική μετάδοση ευρείας ζώνης. Τα ομοαξονικά καλώδια των 50 Ohm, επειδή μπορούν να έχουν αρκετά υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης σε μικρές αποστάσεις, χρησιμοποιούταν στο παρελθόν ευρύτατα στα τοπικά δίκτυα. Παρόλα αυτά οι νέες τυποποιήσεις συστημάτων δομημένης καλωδίωσης απαιτούν ειδικούς τύπους καλωδίων συνεστραμμένου ζεύγους (UTP ή SFTP) ή οπτικής ίνας, γιατί τα μέσα αυτά μπορούν να μεταδίδουν σε ρυθμούς που κυμαίνονται από 100 Mbps έως 1 Gbps. Δηλαδή 10 έως 100 φορές υψηλότερα από τους αντίστοιχους ρυθμούς μετάδοσης του ομοαξονικού καλωδίου.

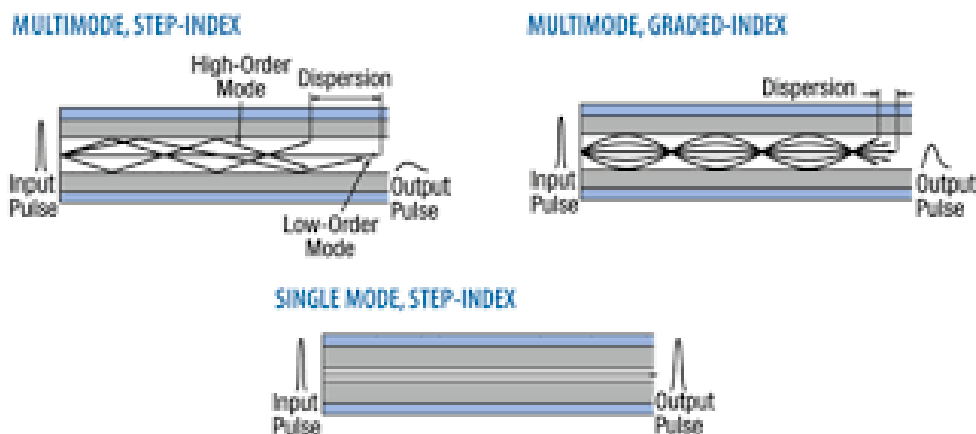


Εικόνα 1.4: Οπτική ίνα.

Η μετάδοση ψηφιακών δεδομένων μέσω **οπτικών ινών** έχει πλέον εδραιωθεί στον χώρο των βιομηχανικών αλλά και των εμπορικών δικτύων. Έχουν πλέον κατασκευαστεί πολλοί τύποι καλωδίων ώστε να καλύπτουν τις ανάγκες κάθε εφαρμογής. Όπως φαίνεται στην εικόνα 1.4, ένα καλώδιο οπτικής ίνας αποτελείται από τον πυρήνα (core) ο οποίος είναι η κύρια περιοχή της οπτικής ίνας και

μεταφέρει την πληροφορία. Τα πιο συχνά μεγέθη πυρήνα που υπάρχουν στις τηλεπικοινωνίες σήμερα είναι 8.3 μm για τις **μονότροπες** και τα 50 μm και 62.5 μm για **πολύτροπες** ίνες. Έξω από τον πυρήνα βλέπουμε την επένδυση (cladding) η οποία πλαισιώνει τον πυρήνα και είναι κατασκευασμένη από γυαλί με μικρότερο δείκτη διάθλασης από τον πυρήνα. Έτσι το φως δεν περνάει την επένδυση και μένει στην περιοχή του πυρήνα. Η διάμετρος της επένδυσης είναι 125 μm ενώ ο πυρήνας και η επένδυση δεν μπορούν να ξεχωριστούν καθώς κατασκευάζονται σαν ενιαίο κομμάτι γυαλιού από πυρίτιο με ελαφρώς διαφορετικές συνθέσεις. Έξω από την επένδυση βλέπουμε τον εξωτερικό μανδύα (outside jacket ή coating) το οποίο είναι το εξωτερικό στρώμα της ίνας που είναι κατασκευασμένο από πλαστικό και την προστατεύει από εξωτερικές παρεμβολές φωτός και υγρασίας. Η διάμετρος του επιστρώματος μπορεί να είναι 250 μm ή 900 μm . Κάθε καλώδιο οπτικής ίνας περιέχει ένα πλήθος από ίνες, όπως τις περιγράψαμε πιο πάνω, οι οποίες μπορεί να βρίσκονται απευθείας εντός της εξωτερικής μηχανικής προστασίας (tight buffered) ή εντός ενδιάμεσου σωλήνα όπου κινούνται ελεύθερα (loose tube). Στα καλώδια χαλαρού σωλήνα (loose tube) μπορεί να υπάρχει πετρελαϊκή μάζα (jelly) η οποία είναι μία επιπλέον προστασία από υγρασία. Εξωτερικά συνήθως περιβάλλονται από ίνες αραμίδης για να αποφορτίζουν τους πυρήνες από τις μηχανικές τάσεις που υποβάλλονται κατά την εγκατάσταση. Τέλος υπάρχει η εξωτερική μόνωση η οποία συνήθως είναι από πλαστικά πολυμερή (PVC). Όπως όλοι οι τύποι καλωδίων έτσι και οι οπτικές ίνες μπορούν να έχουν έξω από τον χαλαρό σωλήνα κάποια μεταλλική επένδυση, η οποία συνήθως είναι ατσάλινη ταινία (steel tape), για μηχανική προστασία των κλώνων.

Στις οπτικές ίνες η μεταφορά των δεδομένων γίνεται με παλμούς φωτός οι οποίοι εκπέμπονται από ένα οπτικό-ηλεκτρονικό συζεύκτη ως πομπό και συλλέγονται από ένα άλλο οπτικό-ηλεκτρονικό συζεύκτη ως δέκτης. Ο ρόλος των συζευκτών είναι να μετατρέπουν το ηλεκτρονικό σήμα σε φωτεινό παλμό, όταν πρόκειται για πομπό και το αντίθετο όταν πρόκειται για δέκτη. Κάθε παλμός φωτός αντιπροσωπεύει το ψηφίο 1 ενώ η απουσία παλμού το ψηφίο 0. Το φως μεταδίδεται πάντα προς μία κατεύθυνση μέσα από τον πυρήνα και διαθλάται από την επένδυση (cladding). Οι οπτικές ίνες ανάλογα με την διάμετρο του πυρήνα που διακρίνονται σε μονότροπες και πολύτροπες, δημιουργούν διαφορετικό τρόπο διάθλασης του φωτός (βλ. Εικόνα 1.5).



Εικόνα 1.5: Τρόποι διάθλασης σε μονότροπη και σε πολύτροπες ίνες.

Όπως βλέπουμε και στην εικόνα 1.5, στις πολύτροπες ίνες η εκπομπή του σήματος διακρίνεται σε κλιμακωτή εκπομπή (step index) ή βαθμιαία (graded index), με βάση τις οποίες επηρεάζεται η ταχύτητα και η απόσταση μετάδοσης.

Ένας από τους σημαντικότερους τρόπους μετάδοσης δεδομένων είναι οι **ασύρματες** επικοινωνίες. Αρχικά αναπτύχθηκαν για τη μετάδοση φωνής στις τηλεπικοινωνίες όμως αργότερα χρησιμοποιήθηκαν και για τη μεταφορά δεδομένων. Το βασικότερο πλεονέκτημα που παρουσιάζουν τα ασύρματα μέσα, είναι ότι δεν χρειάζονται κάποιο ιδιαίτερο μέσο για τη μετάδοση του σήματος γιατί πραγματοποιείται μέσω του ατμοσφαιρικού αέρα. Παρόλα αυτά προκύπτουν κάποια μειονεκτήματα όπως η ευαισθησία στον θόρυβο, και ο χαμηλός βαθμός ασφάλειας, αφού η προσβασιμότητα στο δίκτυο δεν είναι πλήρως ελεγχόμενη. Εδώ η μετάδοση και η λήψη της πληροφορίας γίνεται από κεραιές οι οποίες μετατρέπουν το ηλεκτρικό σήμα σε ηλεκτρομαγνητικό κύμα και το αντίστροφο.

Ένα από τα χαρακτηριστικά των μέσων ασύρματης μετάδοσης είναι το εύρος ζώνης συχνοτήτων, το οποίο ορίζεται από την περιοχή συχνοτήτων στην οποία μπορεί να εκπέμπει. Το εύρος ζώνης συχνοτήτων επηρεάζει άμεσα τον ρυθμό μετάδοσης και κατ' επέκταση τον όγκο της πληροφορίας που μπορεί να μεταδοθεί. Ένα ακόμα χαρακτηριστικό, των μέσων ασύρματης μετάδοσης, είναι η μέγιστη απόσταση που μπορεί να μεταδοθεί η πληροφορία. Η μέγιστη απόσταση μετάδοσης εξαρτάται και από τις απώλειες που εισάγει το μέσο στη μεταδιδόμενη πληροφορία.

Τέλος η ευαισθησία, που παρουσιάζει το μέσο σε θορύβους οι οποίοι παρενοχλούν το μεταδιδόμενο σήμα [5], [16].

1.9 Εξοπλισμός βιομηχανικών δικτύων.

Τα βιομηχανικά δίκτυα πετυχαίνουν την διασύνδεση και την εφαρμογή των πρωτοκόλλων επικοινωνίας μεταξύ του εξοπλισμού, που είναι εγκατεστημένος στο πεδίο, των ψηφιακών ελεγκτών και διάφορων εφαρμογών εξωτερικών συστημάτων. Προκειμένου να επιτευχθεί η διασύνδεση όλων των παραπάνω στοιχείων, γίνεται χρήση εξειδικευμένου εξοπλισμού και προγραμμάτων.

Ένα από τα κομβικά στοιχεία όπου συναντάμε στα βιομηχανικά δίκτυα είναι οι προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές (**PLC**). Τα PLC είναι εξειδικευμένες ηλεκτρονικές συσκευές, βασισμένες στην τεχνολογία των ηλεκτρονικών επεξεργαστών, οι οποίες ελέγχουν τις διεργασίες που εξελίσσονται σε μία βιομηχανία. Τα τελευταία χρόνια έχουν εξελιχθεί αρκετά διαθέτοντας πλέον μία μεγάλη ποικιλία μοντέλων, εξειδικευμένων δυνατοτήτων. Ως ένα από τα κύρια στοιχεία, ενός βιομηχανικού δικτύου, αναλαμβάνουν τον έλεγχο διαδικασιών που εξελίσσονται στη βιομηχανία γεφυρώνοντας την επικοινωνία μεταξύ του επιπέδου ελέγχου και του πεδίου. Τα PLC διαθέτουν αποκεντρωμένες μονάδες εισόδων – εξόδων μέσω των οποίων διασυνδέεται όλος ο εξοπλισμός του πεδίου και μεταφέρουν τα δεδομένα προς το PLC χρησιμοποιώντας κάποιο από τα τυποποιημένα **δίκτυα πεδίου (fieldbus)**. Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφέρουμε ότι υπάρχουν διατάξεις που διαθέτουν εξελιγμένη ηλεκτρονική υποδομή και έχουν τη δυνατότητα να επικοινωνούν απευθείας με τα PLC μέσω του τοπικού δικτύου πεδίου. Τέτοιες μονάδες μπορούν να είναι μετρητικές διατάξεις φυσικών μεγεθών ή διατάξεις ελέγχου κινητήρων.

Από την άλλη πλευρά τα PLC έχουν τη δυνατότητα να επικοινωνούν με άλλους κεντρικούς ελεγκτές ή και με μέσα οπτικής παρακολούθησης (Human Monitor Interface). Με τον τρόπο αυτό μεταφέρεται η επικοινωνία στο επίπεδο του ελέγχου όπου γίνεται χρήση κεντρικών συστημάτων εποπτικού ελέγχου και συλλογής δεδομένων (Supervisory Control Data Acquisition ή **SCADA**). Τα συστήματα SCADA είναι εφαρμογές που αναπτύσσονται σε επίπεδο λογισμικού και εφαρμόζονται στο επίπεδο ελέγχου. Παρόλα αυτά δεν εκτελούν κάποιον έλεγχο,

εκτός από το να μεταφέρουν την εικόνα του πεδίου προς τον χειριστή και αντιστρόφως τις εντολές – ρυθμίσεις του χειριστή προς το πεδίο μέσω των PLC. Κάθε σύστημα SCADA είναι προσαρμοσμένο ώστε να μπορεί να προσφέρει κεντρική οπτική παρακολούθηση και έλεγχο σε εξοπλισμό ο οποίος είναι γεωγραφικά διεσπαρμένος. Αυτός είναι και ο κυριότερος λόγος επικράτησής του, μιας και ένα εργοστάσιο μπορεί να καταλαμβάνει από αρκετές εκατοντάδες έως αρκετές χιλιάδες τετραγωνικά μέτρα.

Κάθε εφαρμογή SCADA αποτελείται από την κεντρική μονάδα (**Server**), η οποία καταχωρεί και οργανώνει τις βάσεις δεδομένων από το πεδίο και τους τερματικούς σταθμούς (**Terminal Station**) οι οποίοι δέχονται τα δεδομένα από τους Server και τα αναπαράγουν σε διαφορετικές θέσεις εργασίας. Σε κάθε σύστημα μπορεί να υπάρχουν περισσότεροι από ένας server προκειμένου να είναι εξασφαλισμένη η λειτουργία του συστήματος σε περίπτωση βλάβης του κύριου server. Η επικοινωνία μεταξύ των τερματικών και των server γίνεται κυρίως με χρήση Ethernet πρωτοκόλλων επικοινωνίας. Οι εφαρμογές SCADA εκτός από την επικοινωνία μεταξύ server – client υποστηρίζει επιπλέον λογισμικά εργαλεία διαχείρισης βάσης δεδομένων και έχει τη δυνατότητα να τις εξάγει σε εξωτερικές εφαρμογές όπως προγράμματα συντήρησης εξοπλισμού, παραγγελίες πρώτων υλών κ.α. [1], [5].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

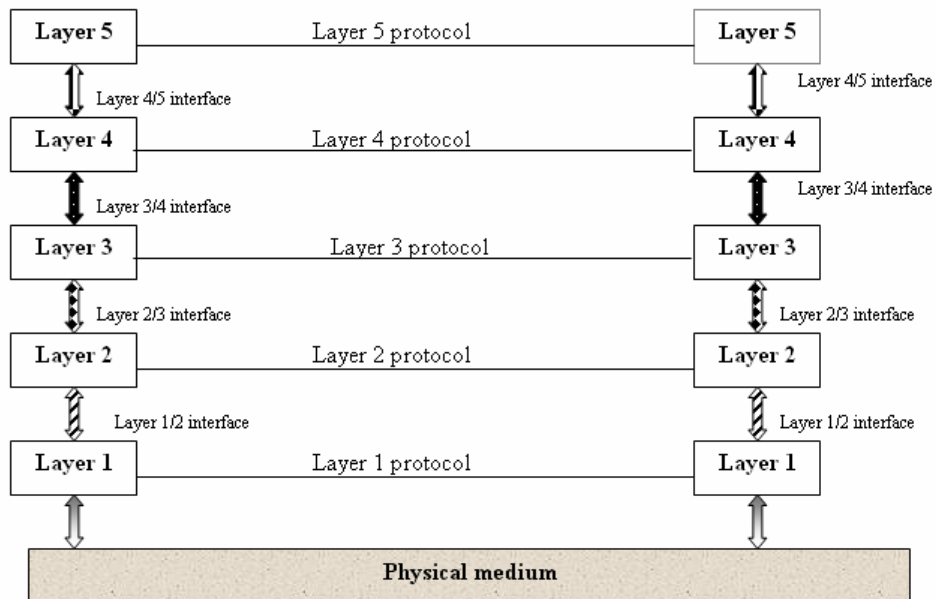
ΠΡΟΤΥΠΑ ΚΑΙ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΣΤΗ

ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ.

2.1 Η αρχιτεκτονική των πρωτοκόλλων επικοινωνίας.

Ένα από τα σπουδαιότερα εργαλεία που έχει αναπτύξει ο άνθρωπος στον τομέα των παραγωγικών διαδικασιών είναι η τυποποίηση. Επάνω στην τυποποίηση υλικών και διαδικασιών, στηρίζεται όλη η σύγχρονη βιομηχανία προκειμένου να συμβάλει στην αναβάθμιση του βιοτικού επιπέδου της ζωής των ανθρώπων. Μέσα από την τυποποίηση γεννήθηκε η ανάγκη καθορισμού πρωτοκόλλων. Γενικότερα μπορούμε ορίσουμε το πρωτόκολλο ως ένα σύνολο από συμβάσεις που καθορίζουν το πώς πρέπει να πραγματοποιηθεί κάποια διαδικασία. Ειδικότερα στα δίκτυα, με τον όρο πρωτόκολλο επικοινωνίας εννοούμε το σύνολο των συμβάσεων που καθορίζουν το πώς ανταλλάσσουν μεταξύ τους δεδομένα οι δικτυακές συσκευές. Συνεπώς μπορούμε να πούμε πως για να επιτευχθεί η επικοινωνία μεταξύ δύο δικτυακών συσκευών, θα πρέπει να συντελεστεί ένα σύνολο φυσικών και λογικών συνδέσεων διαφόρων ανεξάρτητων τμημάτων. Η κυριότερη τεχνική που εφαρμόζεται, στις επικοινωνίες δικτύων, είναι η διάσπαση σε μικρότερα τμήματα, της πληροφορίας που αποστέλλεται, δημιουργώντας έτσι τα «**πακέτα δεδομένων**». Η όλη διαδικασία που εκτελείται καθορίζεται μέσα από τα αντίστοιχα πρωτόκολλα επικοινωνίας, με την βοήθεια των οποίων ξεπερνιέται η διαφορετικότητα και η ανομοιογένεια των διαφόρων τμημάτων που επικοινωνούν.

Ο αρχικός σχεδιασμός των δικτύων δεν είχε γίνει βάσει κάποιων προτύπων, αλλά με τις εκάστοτε ανάγκες και την πολιτική κάθε εταιρείας. Παρόλα αυτά λόγω της ραγδαίας εξέλιξης της τεχνολογίας και την συνεχώς αυξανόμενη χρήση των δικτύων στη ζωή μας γεννήθηκε η ανάγκη θέσπισης γενικών αρχών, βάσει των οποίων στηρίζεται η σχεδίαση των δικτύων. Το μοντέλο αναφοράς που επικράτησε στηρίζεται στην αρχιτεκτονική δομημένων επιπέδων και στην θέσπιση κοινών σημείων αναφοράς που αφορούν τον τρόπο με τον οποίο διακινείται η πληροφορία μεταξύ των δομημένων επιπέδων.



Εικόνα 2.1: Δομή των επιπέδων [8].

Με γνώμονα την απλοποίηση των πολύπλοκων διεργασιών που εκτελούνται κατά τη διακίνηση μίας πληροφορίας, έγινε διαχωρισμός τους σε διακριτά επίπεδα (**layers**). Το κάθε επίπεδο αφορά διαφορετική φυσική διεργασία οι οποίες όμως σχετίζονται άμεσα παρέχοντας υπηρεσίες μεταξύ δύο διαδοχικών επιπέδων (βλ.Εικ.2.1). Βάσει των παραπάνω συμπεραίνουμε πως ο σχεδιασμός και την ανάπτυξη ενός δικτύου, ακολουθεί την τυποποίηση που ορίζουν τα επίπεδα επικοινωνίας, σύμφωνα με τα οποία καθορίζεται το πλήθος τους και ο ρόλος που επιτελεί το κάθε ένα από αυτά [8].

Κάθε δομημένο επίπεδο συντελεί στην διακίνηση της πληροφορίας μεταξύ δύο τερματικών σταθμών. Για να επιτευχθεί αυτό, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, γίνεται διαίρεση και αποστολή του μηνύματος σε πακέτα δεδομένων. Τα πακέτα παραλαμβάνονται από τον σωστό σταθμό ο οποίος τα μετατρέπει πάλι στο αρχικό μήνυμα. Οι λειτουργίες των διαφόρων επιπέδων ενός δικτύου έχουν να κάνουν με τα εξής θέματα:

- Την διασύνδεση μεταξύ σταθμού και δικτύου.
- Τον τρόπο διασύνδεσης δύο σταθμών σε σχέση με το δίκτυο.

- Την δρομολόγηση των πακέτων σε όλο το δίκτυο, συμπεριλαμβανομένης της κατανομής των δρομολογίων και τον χειρισμό της κυκλοφοριακής συμφόρησης.
- Την σωστή διευθέτηση των πακέτων ώστε να αντικατοπτρίζει την αρχική σειρά των δεδομένων.
- Συλλογή στατιστικών στοιχείων (π.χ. ρυθμός των μεταδιδόμενων πακέτων) για τον έλεγχο της απόδοσης του δικτύου.
- Διασύνδεση ενός τοπικού δικτύου με άλλα δίκτυα.

Κάθε επίπεδο παρέχει τις υπηρεσίες στο ως αυτόνομη διαδικασία στο επόμενο χωρίς να αποκαλύπτει τις διεργασίες μέσα από τις οποίες τις υλοποίησε γιατί κάτι τέτοιο δεν είναι απαραίτητο [9], [10].

2.2 Το πρότυπο OSI (Open Source Interconnection).

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, στα τέλη της δεκαετίας ρου 70' ανακοινώθηκε από τον διεθνή οργανισμό τυποποίησης (ISO) το πρότυπο διασύνδεσης ανοικτών συστημάτων, το οποίο αποτέλεσε σταθμό στην μετέπειτα εξέλιξη των επικοινωνιών. Το πρότυπο OSI αποτέλεσε το πλαίσιο μέσα στο οποίο αναπτύχθηκαν τα περισσότερα βιομηχανικά αλλά και πολλά εμπορικά τυποποιημένα δίκτυα. Βασισμένο στη μέχρι τότε εμπειρία της αρχιτεκτονικής των δομημένων επιπέδων (layers), προσέβλεπε στην ανοικτή και ελεύθερη επικοινωνία των συσκευών που προέρχονταν από διαφορετικές εταιρείες. Αποτελείται από επτά επίπεδα, οι λειτουργίες των οποίων είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους ώστε να μην επηρεάζονται από τις διαφορές που υπάρχουν μεταξύ του εξοπλισμού διαφορετικών εταιρειών.

Τα επίπεδα όπου περιλαμβάνει το πρότυπο OSI είναι τα εξής :

Επίπεδο 1 : Φυσικό (Physical Layer).

Επίπεδο 2 : Σύνδεσης δεδομένων (Data Link Layer).

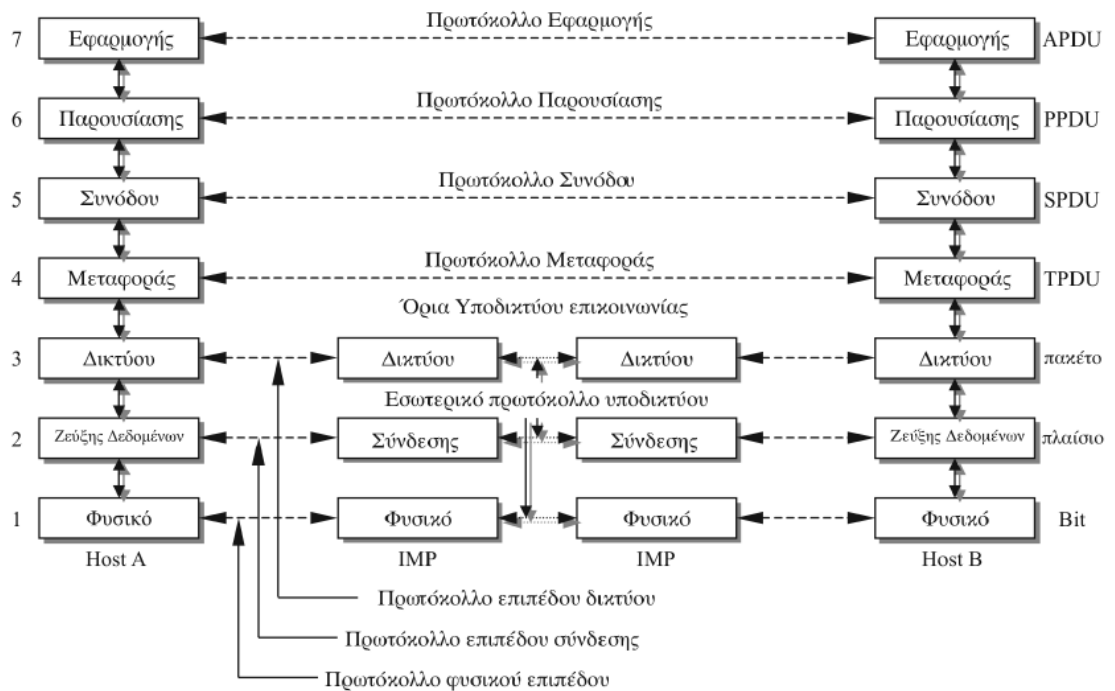
Επίπεδο 3 : Δικτύου (Network Layer).

Επίπεδο 4 : Μεταφοράς (Transport Layer).

Επίπεδο 5 : Συνόδου (Session Layer).

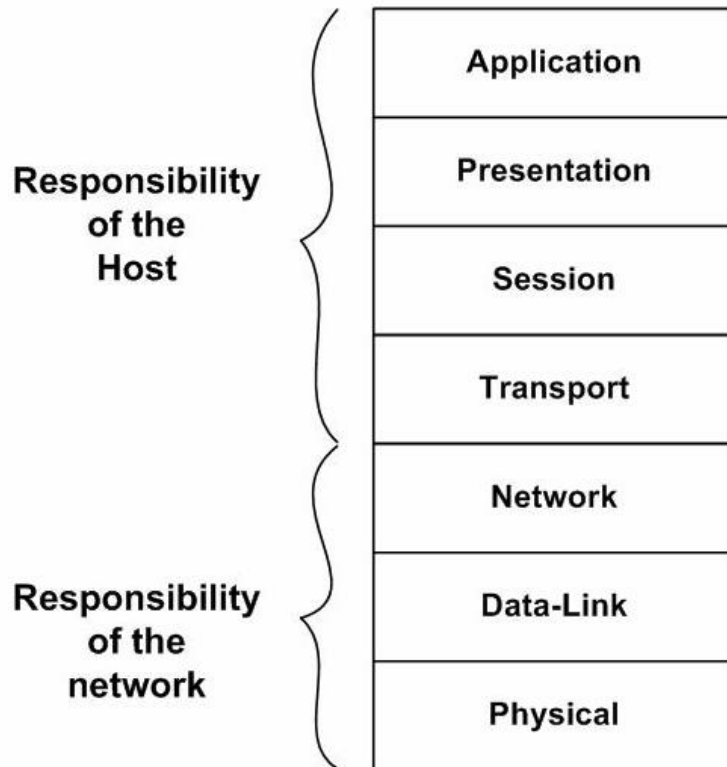
Επίπεδο 6 : Παρουσίασης (Presentation Layer).

Επίπεδο 7 : Εφαρμογής (Application Layer).



Εικόνα 2.2: Αναλυτικό διάγραμμα των δομημένων επιπέδων στο πρότυπο OSI.

Τα επτά επίπεδα του μοντέλου αναφοράς OSI μπορούμε να τα χωρίσουμε στα ανώτερα επίπεδα και στα κατώτερα επίπεδα όπως φαίνεται στην Εικ.2.3. Τα ανώτερα επίπεδα αφορούν ζητήματα εφαρμογής και γενικά έχουν να κάνουν μόνο με λογισμικό (Software). Το υψηλότερο επίπεδο, το επίπεδο εφαρμογής, είναι το πιο κοντινό στον τελικό χρήστη. Μερικές φορές, ο όρος ανώτερο επίπεδο στο μοντέλο OSI, αναφέρεται σε οποιοδήποτε επίπεδο είναι πάνω από ένα άλλο. Τα χαμηλότερα επίπεδα διεκπεραιώνουν θέματα μεταφοράς δεδομένων. Το φυσικό επίπεδο και το επίπεδο σύνδεσης δεδομένων αφορούν λειτουργίες που έχουν να κάνουν τόσο με φυσικό εξοπλισμό (hardware) όσο και με λογισμικό (software). Το χαμηλότερο επίπεδο, το φυσικό, είναι το πιο κοντινό στο φυσικό μέσο μετάδοσης της πληροφορίας (π.χ. το καλώδιο) και διεκπεραιώνει τη διάθεση των δεδομένων στο φυσικό μέσο.



Εικόνα 2.3: Διάκριση των επιπέδων στο πρότυπο OSI [8].

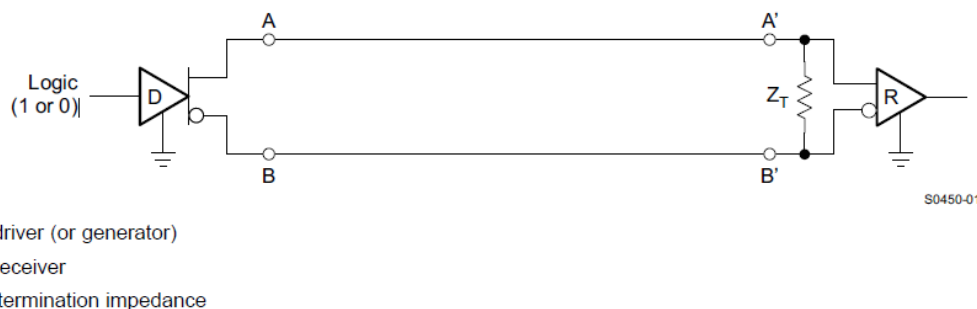
Και τα επτά επίπεδα, πάνω στα οποία στηρίζεται το πρότυπο, περιγράφουν ένα ολοκληρωμένο σύστημα επικοινωνίας. Παρόλα αυτά υπάρχουν τυποποιημένα πρωτόκολλα επικοινωνίας, όπως θα δούμε σε επόμενες παραγράφους όπου θα κάνουμε εκτενέστερη αναφορά, τα οποία δεν περιέχουν και τα επτά επίπεδα του προτύπου. Αυτό συμβαίνει γιατί ένα επίπεδο δημιουργείται μόνο εφόσον είναι απαραίτητο για την λειτουργία του εκάστοτε πρωτοκόλλου. Επίσης πρέπει να σημειώσουμε ότι κάθε επίπεδο εκτελεί μία συγκεκριμένη λειτουργία, η οποία ακολουθεί κατά το δυνατό διεθνή πρότυπα πρωτοκόλλων [8], [11].

2.3 Τα πρότυπα επικοινωνίας RS422, RS485 και RS232.

Στη βιομηχανία γίνεται ευρεία χρήση συσκευών που χρησιμοποιούνται συνήθως για την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ δύο ή περισσότερων σημείων (κόμβων) σε ένα δίκτυο. Σε ένα δύσκολο περιβάλλον, όπως συμβαίνει στις περισσότερες βιομηχανίες, όπου η παρουσία ηλεκτρομαγνητικού θορύβου, η ολίσθηση του δυναμικού αναφοράς της γης από το 0V και η παραμόρφωση των χαρακτηριστικών μεγεθών της πηγής τροφοδοσίας είναι πολύ συχνά φαινόμενα, εμφανίζονται πολλά προβλήματα που έχουν να κάνουν με την αξιόπιστη λειτουργία των βιομηχανικών δικτύων. Για τον λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί τα πρότυπα μετάδοσης ώστε να διασφαλίσουν τη συμβατότητα μεταξύ των μονάδων που προέρχονται από διαφορετικούς κατασκευαστές, και να γίνεται με επιτυχία η μεταφορά δεδομένων μέσα στα προκαθορισμένα όρια ταχύτητας μετάδοσης δεδομένων σε σχέση με την απόσταση. Η **Electronics Industry Association (EIA)** έχει αναπτύξει τα πρότυπα **RS485**, **RS422**, **RS232** και **RS423** τα οποία αφορούν ζητήματα που έχουν να κάνουν με τις επικοινωνίες δεδομένων. Οι προτάσεις γίνονται συχνά για την αντιμετώπιση πρακτικών προβλημάτων που μπορεί να προκύψουν σε ένα τυπικό δίκτυο. Παλαιότερα, τα πρότυπα **EIA**, επισημαίνονταν με το πρόθεμα "RS" για να υποδείξουν ότι ήταν προτεινόμενα πρότυπα (**Recommended Standard**). Ενώ τα πρότυπα συνεισφέρουν στην ομοιομορφία των επικοινωνιών, υπάρχουν τομείς που δεν περιγράφονται και παραμένουν ως «γκρίζες περιοχές» οι οποίες διευθετούνται από τον χρήστη κατά την εγκατάσταση.

Το πρότυπο TIA / EIA-422, γνωστό ως **RS422**, περιγράφει τον τρόπο μετάδοσης δεδομένων με τη χρήση ισορροπημένη μετάδοση δεδομένων μέσω πολλαπλών ζευγών καλωδίων για την επικοινωνία μεταξύ μίας κύριας μονάδας (**Master**) με έως και 10 δευτερέων αποδεκτών (**Slaves**). Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό μέσω του RS422 απαιτούνται τουλάχιστον δύο συνεστραμμένα ζεύγη καλωδίων από τα οποία το ένα χρησιμοποιείται για την επικοινωνία από την κύρια μονάδα προς τις δευτερεύουσες ενώ το άλλο για τη διαβίβαση από τις δευτερεύουσες προς τις κύριες μονάδες. Επειδή στο δεύτερο ζεύγος μετάδοσης συνδέονται πάνω από μία μονάδες (slaves), πρέπει η κάθε μονάδα να διατηρεί την έξοδο εκπομπής της σε κατάσταση αναμονής το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου. Όταν ζητηθεί από την κύρια μονάδα να στείλει δεδομένα μία δευτερεύουσα, τότε ενεργοποιείται το κανάλι

εκπομπής της μεταδίδοντας το μήνυμα και μόλις τελειώσει η εκπομπή απενεργοποιείται και πάλι για να επιτρέψει τη μετάδοση από άλλη μονάδα. Με τη χρήση δύο ξεχωριστών ζευγών δίνεται η δυνατότητα να γίνεται μετάδοση πληροφορίας από την κύρια μονάδα προς τις δευτερεύουσες και ταυτόχρονα από μία δευτερεύουσα προς την κύρια, έτσι με αυτό τον τρόπο έχουμε αμφίδρομη επικοινωνία (**Full – duplex**).

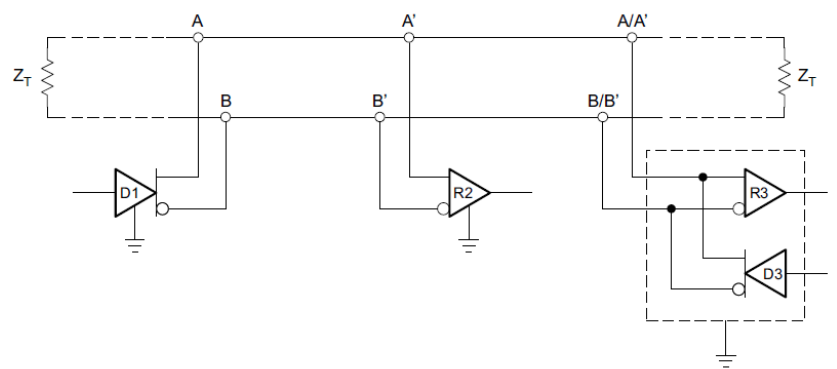


Σχήμα 2.1: Αρχή λειτουργίας του προτύπου RS422 [19].

Στο Σχήμα 2.1 βλέπουμε αναλυτικά την ψηφιακή διασύνδεση μεταξύ ενός μεταδότη και ενός δέκτη. Ο μεταδότης συμβολίζεται με D, ο δέκτης με R, και η σύνθετη αντίσταση τερματισμού με Z_T . Η τιμή της σύνθετης αντίστασης τερματισμού πρέπει να είναι ίση με τη χαρακτηριστική σύνθετη αντίσταση του καλωδίου Z_0 , και συνδέεται μόνο μία φορά στο τέλος του καλωδίου. Στο σχήμα 2.1 μπορούν να συνδεθούν έως και εννέα επιπλέον δέκτες μήκος του διαύλου που ορίζεται από τα σημεία A – A' και B – B' αντιστοίχως. Στο πρότυπο RS422 δεν προβλέπεται περιορισμός στο μέγιστο μήκος του καλωδίου. Για αυτό τον λόγο, στην πραγματικότητα συναντάμε εφαρμογές με αποστάσεις έως 1 km με ταχύτητες μετάδοσης έως 100 kbps. Όπως σε όλες τις περιπτώσεις μετάδοσης σημάτων, η ταχύτητα μετάδοσης είναι αντιστρόφως ανάλογη με το μήκος καλωδίου μέσα από το οποίο γίνεται η μετάδοση. Παρόλα αυτά η πράξη έχει υποδείξει ένα κανόνα σύμφωνα με τον οποίο η ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων σε bps πολλαπλασιαζόμενη με το μήκος του καλωδίου σε μέτρα, δεν πρέπει να ξεπερνάει την τιμή 10^8 . Για παράδειγμα, σε δίκτυο όπου το μήκος καλωδίου φτάνει στα 500m, η αναμενόμενη μέγιστη ταχύτητα μετάδοσης θα είναι τα 200 kbps.

Όπως και το πρότυπο RS422, το πρότυπο TIA / EIA-485 που είναι γνωστό ως **RS485**, περιγράφει τον τρόπο μετάδοσης δεδομένων με τη χρήση ισορροπημένης

μετάδοσης μέσω πολλαπλών ζευγών καλωδίων, με τη διαφορά ότι εδώ επικοινωνία γίνεται έως και 32 «μονάδων φορτίου». Συνήθως, κάθε συσκευή του δικτύου, διαθέτει ένα πομπό και ένα δέκτης και αποτελεί μία «μονάδα φορτίου», καταλήγοντας σε ένα δίκτυο έως 32 συσκευών. Το πρότυπο RS485, ορίζει τη μετάδοση δεδομένων μέσω του δυναμικού δύο γραμμών σε σχέση με το δυναμικό αναφοράς (0V GND). Το λογικό ψηφίο 1 μεταδίδεται με δυναμικό μεγαλύτερο από -200 mV, ενώ το λογικό ψηφίο 0 μεταδίδεται με δυναμικό μεγαλύτερο από 200 mV. Συνήθως η τάση εξόδου των διατάξεων οδήγησης του σήματος, κυμαίνεται από $\pm 1,5$ V έως ± 6 V [26]. Η επικοινωνία γίνεται μέσω ενός (τουλάχιστον) συνεστραμμένου ζεύγους καλωδίων, όπου η ροή των δεδομένων γίνεται προς τις δύο κατευθύνσεις. Κάθε συσκευή ενεργοποιεί το κανάλι εκπομπής της μόνο όταν της ζητείται να μεταδώσει την πληροφορία, ενώ όλο τον υπόλοιπο χρόνο το κρατάει απενεργοποιημένο ώστε να επιτρέψει σε άλλες συσκευές να μεταδώσουν την πληροφορία τους. Αυτό σημαίνει ότι για μία δεδομένη στιγμή, μόνο ένας κόμβος μπορεί να μεταδίδει. Με βάση αυτό ο τρόπος επικοινωνίας ονομάζεται ημιαμφίδρομος (**Half Duplex**). Παρόλα αυτά στο πρότυπο RS485 μπορεί να έχουμε λειτουργία δύο ζεύγη καλωδίων, ένα για τη μετάδοση και ένα για τη λήψη δεδομένων οπότε η επικοινωνία γίνεται αμφίδρομα (Full Duplex), όπως περιγράφεται για το RS422.



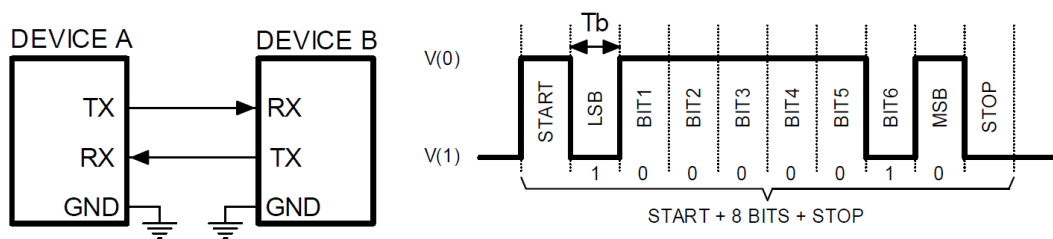
- A D1 = driver
- B D3/R3 = transceiver
- C R2 = receiver
- D Z_T = termination impedance
- E Up to 32 U.L.s [receiver, driver (off state), transceiver]

Σχήμα 2.2: Αρχή λειτουργίας του προτύπου RS485 [19].

Όπως βλέπουμε στο Σχήμα 2.2, το RS485 υποστηρίζει λειτουργία πολλαπλών οδηγών επικοινωνίας (**Multidrop**), σε αντίθεση με το RS-422 όπου μπορεί να υποστηρίξει μόνο ένα οδηγό ανά γραμμή επικοινωνίας. Οι τιμές των παραμέτρων που ορίζονται στο RS-485 είναι παρόμοιες με εκείνες που καθορίζονται στο RS-422. Επιπλέον, στο RS-485 η συμβατότητα των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών μεταξύ δέκτη και οδηγού, καθορίζονται έτσι ώστε να καλύπτουν τις απαιτήσεις του RS422. Αυτό επιτρέπει σε εξοπλισμό που είναι συμβατός με το πρότυπο RS485, τις περισσότερες φορές να είναι συμβατός με εξοπλισμό που χρησιμοποιείται από το RS422. Παρόλα αυτά στο πρότυπο RS485 διευκρινίζεται ότι μόνο ένας οδηγός μπορεί να μεταδίδει κάθε δεδομένη στιγμή (half duplex λειτουργία), με αποτέλεσμα να προκύπτουν σφάλματα λόγω ταυτοχρονισμού μετάδοσης. Για τον λόγο αυτό, ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται στο RS485 σχεδιάζεται έτσι ώστε να διευθετεί τέτοιου είδους ζητήματα. Για παράδειγμα, αν θεωρήσουμε ότι στην περίπτωση του σχήματος 2.2, όταν ο οδηγός D1 έχει ως στόχο να στείλει ένα σήμα στον δέκτη R2, αλλά οδηγός D3 είναι ακόμα ενεργοποιημένος. Αν βάσει της αρχιτεκτονικής του δικτύου δεν περιμένει ο D1 μέχρι να απενεργοποιηθεί ο D3, πριν από την έναρξη της μετάδοσης του, τότε στο δέκτη R2 θα μεταδοθεί εσφαλμένο μήνυμα. Το μέγιστο μήκος του καλωδίου συνίσταται 1200m. Στην περίπτωση του RS485 ισχύει η ίδια σχέση που συνδέει την ταχύτητα με το μήκος του καλωδίου [19], [20].

Το πρότυπο επικοινωνίας **RS232** χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις ασύγχρονης σειριακής επικοινωνίας. Όπως συμβαίνει στις ασύγχρονες επικοινωνίες, έτσι και στην περίπτωση της επικοινωνίας μέσω RS232, τα δεδομένα μεταδίδονται προς τον δέκτη χωρίς σήμα συγχρονισμού από κάποιο ρολόι. Κατά τη μετάδοση της πληροφορίας αποστέλλονται κωδικοποιημένα μηνύματα όπου ορίζεται η έναρξη ή η παύση εκπομπής (**Start – Stop bit**) ή και κατά περίπτωση βοηθητικές εντολές ανίχνευσης λαθών (**Parity bit**) βάσει των οποίων γίνεται ο συγχρονισμός του πομπού και του δέκτη. Όπως βλέπουμε στο διάγραμμα 2.1, στην αρχή της πληροφορίας προστίθεται ένα bit εκκίνησης, πριν τη μεταδιδόμενη πληροφορία, ενώ στο τέλος προστίθεται το bit ισοτιμίας, για διαγνωστικούς λόγους και τέλος η σηματοδότηση λήξης της εκπομπής. Εδώ η χρήση του διαγνωστικού bit ισοτιμίας είναι προαιρετική. Όπως

φαίνεται και στο διάγραμμα 2.1, το πλήθος των bit δεδομένων που μπορούν να αποσταλούν είναι από πέντε έως 8 bit. Η εντολή έναρξης αποτελείται από ένα bit με την τιμή 0, ενώ η εντολή παύσης μπορεί να αποτελείται από 1, 1+1/5, ή 2 bit με τιμή 1. Για να γίνει επαλήθευση για την εγκυρότητα της μετάδοσης, παρέχεται το λεγόμενο bit ισοτιμίας (Parity). Σύμφωνα με αυτό προστίθεται ένα μόνο bit, από τον πομπό, πριν από το bit τερματισμού. Η τιμή του parity bit επιλέγεται ώστε να κάνει είτε περιττό είτε άρτιο το πλήθος των ψηφίων που έχουν την τιμή 1 σε κάθε μεταδιδόμενο Byte. Το πλήθος των ψηφίων που έχουν την τιμή 1 ελέγχεται κατά την παραλαβή, από τον αποδέκτη και αν δεν ταιριάζει με την απαιτούμενη τιμή, η μετάδοση θα πρέπει να επαναληφθεί. Επιπλέον, στο πρωτόκολλο RS232 προβλέπεται τεχνική διάγνωσης για τον δέκτη, αν είναι σε θέση να λαμβάνει εισερχόμενες πληροφορίες. Για το λόγο αυτό ορίζει δύο επιπλέον αγωγούς που ονομάζονται **RTS** (Request To Send) και **CTS** (Clear To Send) μεταξύ των συσκευών [3], [13].



Διάγραμμα 2.1: Απεικόνιση διασύνδεσης και κυματομορφή ασύγχρονης επικοινωνίας RS232 [13].

Το πρότυπο ορίζει πως όταν το δυναμικό ενός αγωγού, ως προς το δυναμικό αναφοράς GND (0 V), είναι μεταξύ -3 V και -25 V θεωρείται ως τιμή 1, ενώ όταν είναι μεταξύ +3 V και +25 V, θεωρείται η τιμή 0. Οι λογικές τιμές του σήματος συνήθως αναφέρονται ως «**σήμα**» για την τιμή 1 και «**κενό**» για την τιμή 0. Όλες οι στάθμες δυναμικού μεταξύ ± 3 V θεωρούνται άκυρες, παρέχοντας με αυτόν τον τρόπο ένα σεβαστό περιθώριο ανοχής θορύβου που προκαλείται από το περιβάλλον. Στην πράξη, η απόδοση των λογικών τιμών 0 και 1 γίνεται με επίπεδα δυναμικού που κυμαίνονται μεταξύ ± 5 V έως ± 15 V αντιστοίχως [21].

Η χρονική διάρκεια T_b κάθε bit (Βλ. διάγραμμα 2.1) καθορίζει την ταχύτητα μετάδοσης και καλείται ρυθμός μετάδοσης (**baud-rate**). Η πιο συνηθισμένη τιμή, του ρυθμού μετάδοσης, είναι τα 9600 bps και αντιστοιχεί σε χρόνος $T_b = 104.16 \mu s$. Άλλοι ρυθμοί μετάδοσης που συναντάμε συχνά είναι: 19200 bps, 38400 bps, 57600 bps και 115200 bps [13].

Ως μέσο μετάδοσης χρησιμοποιούνται χάλκινοι αγωγοί είτε σε παράλληλα σύρματα είτε ως συνεστραμμένα ζεύγη. Το μήκος του καλωδίου καθορίζει το ανώτερο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, ενώ στο πρότυπο RS232 δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 50 πόδια (**15 m**). Ωστόσο, μπορεί να πετύχουμε λειτουργία σε πολύ μεγαλύτερα μήκη καλωδίων όμως σε πολύ χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων. Ένας ακόμη πολύ σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την ταχύτητα μετάδοσης είναι η χωρητικότητα μεταξύ των αγωγών, η οποία δεν πρέπει να ξεπερνάει τα 2500 pF. Με βάση αυτό το χαρακτηριστικό περιορίζεται ο ανώτερος ρυθμός μετάδοσης σε περίπου 20 Kbps [21], [31].

2.4 Το μοντέλο βιομηχανικού δικτύου πεδίου Fieldbus.

Η έννοια του βιομηχανικού δικτύου Fieldbus ορίζεται ως η κατανομή και διανομή δεδομένων στον χώρο με σκοπό την κεντρική και ενιαία διαχείριση του εξοπλισμού. Το είδος των δεδομένων μπορεί να είναι τιμές από όργανα μετρήσεων, φυσικές είσοδοι ή έξοδοι, δεδομένα από εξοπλισμό κ.α. Ειδικότερα μπορούμε να πούμε πως το Fieldbus είναι ένα βιομηχανικό μοντέλο δικτύου επικοινωνίας πραγματικού χρόνου. Ο κυριότερος λόγος επικράτησής του είναι η αντικατάσταση των πολλαπλών συνδέσεων των συσκευών πεδίου, όπως τα απλά αισθητήρια, οι ενεργοποιητές, ελεγκτές πεδίου (PLC), διατάξεις οδήγησης κινητήρων κ.τ.λ. από μια ψηφιακή σύνδεση μέσω ενός ενιαίου διαύλου. Όλες οι συσκευές συνδέονται παράλληλα στον δίαυλο του δικτύου (**Multidrop Network**) εκτελώντας αμφίδρομη επικοινωνία [15]. Όπως θα δούμε και πιο κάτω, η λογική του fieldbus διέπεται από τις αρχές των μοντέλων επικοινωνίας δομημένων επιπέδων, για τον λόγο αυτό γίνεται διάσπαση της πληροφορίας σε μικρότερου μεγέθους πακέτων, τα οποία εν συνεχεία μεταδίδονται με σειριακό τρόπο [12]. Στα βιομηχανικά πεδία, εγκαθίσταται εξοπλισμός που απαιτεί τουλάχιστον ένα ζεύγος καλωδίων ανά σημείο προκειμένου να μεταδώσει το σήμα του σύμφωνα με τα διάφορα πρότυπα διασύνδεσης σημάτων, όπως τα 4 - 20 mA ή 0 - 10 V για τα αναλογικά σήματα, το 0 - 24 V για ψηφιακές

εισόδους, κλπ. Όλες αυτές οι πληροφορίες θα πρέπει να μεταφερθούν σε ένα κεντρικό σημείο ελέγχου όπου γίνεται η συνολική εποπτεία και οι χειρισμοί. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει να εγκατασταθεί μία τεράστια ποσότητα καλωδίων. Με την εισαγωγή της έννοιας του Fieldbus και του κατανεμημένου ελέγχου, όλα αυτά τα σήματα οδηγούνται σε τοπικούς σταθμούς διασύνδεσης (**Remote I/O**), από όπου μεταδίδονται μέσω ενός διαύλου Fieldbus προς το κέντρο ελέγχου [2].

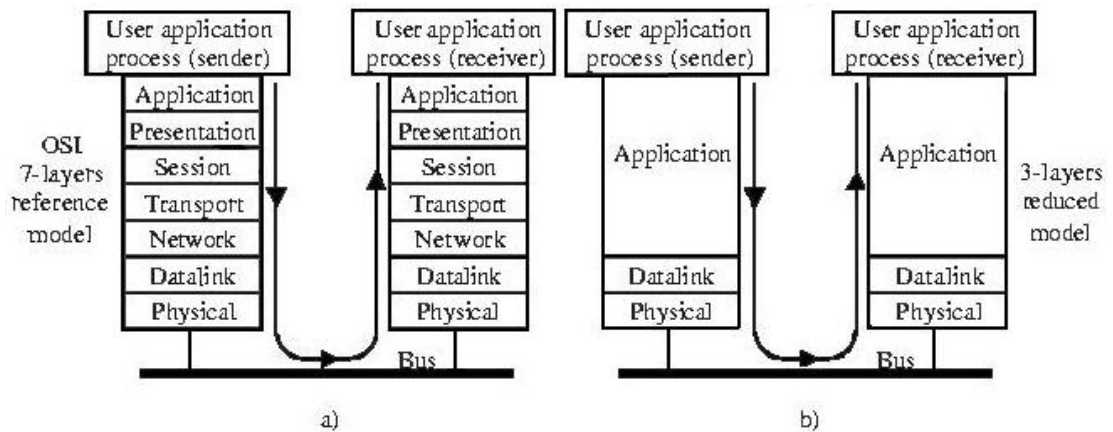
Η ανάπτυξη του μοντέλου fieldbus είχε ως στόχο την τυποποίηση μετάδοσης δεδομένων με τρόπο ώστε να προσαρμόζεται και να ανταποκρίνεται στις ιδιαίτερες απαιτήσεις της εκάστοτε βιομηχανίας. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να υπερτερεί σε πολλά σημεία έναντι της σημειακής καλωδίωσης (point to point). Παρόλο που το αρχικό κόστος αγοράς του εξοπλισμού, που διαθέτει την υποδομή να συνδεθεί σε δίκτυο, είναι μεγαλύτερο, βλέπουμε ότι αποσβένεται λόγω του μικρότερου όγκου καλωδίων, που συνεπάγεται μικρότερο κόστος υλικών, εγκατάστασης καθώς και σε υποδομή καλωδίωσης (κανάλια, εσχάρες, κλπ). Αν σε αυτό υπολογίσουμε και το χαμηλότερο κόστος συντήρησης και επιδιόρθωσης βλαβών, εφόσον παρέχει τη δυνατότητα αναβαθμισμένων εργαλείων διάγνωσης, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το τελικό κόστος είναι ανταγωνιστικό. Ένα επίσης πολύ σημαντικό πλεονέκτημα, της τεχνικής του fieldbus, είναι η πολύ μεγάλη ευκολία που παρέχει ως προς την επέκταση, ή την προσθήκη νέου εξοπλισμού. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μη χρειάζεται να προβλεφθούν εξ' αρχής υποδομές για επέκταση του εξοπλισμού, ως προς τον αυτοματισμό, πράγμα που είναι πολύ σημαντικό σε μία δυναμική, αναπτυσσόμενη βιομηχανία. Τέλος θα πρέπει να τονίσουμε ότι, μέσα από ένα δίκτυο fieldbus, υπάρχει η δυνατότητα μεταφοράς δεδομένων σε πολύ μεγαλύτερες αποστάσεις από ότι με τον κλασικό τρόπο σημειακής καλωδίωσης [12].

2.5 Τα δίκτυα πεδίου Fieldbus και το μοντέλο αναφοράς OSI.

Η αρχιτεκτονική των δικτύων πεδίου στηρίχθηκε στις αρχές του ανοικτού μοντέλου επικοινωνίας OSI. Την εποχή που άρχισε να καλλιεργείται η ιδέα του fieldbus, το OSI ήταν ένα σύγχρονο μοντέλο όπου μέσα από τα επτά επίπεδα του αποτελούσε την πιο ολοκληρωμένη περιγραφή ως προς την επίτευξη επικοινωνίας. Τα περισσότερα δίκτυα πεδίου αναπτύχθηκαν στηριζόμενα στα τρία από τα επτά δομημένα επίπεδα που περιγράφονται στο OSI. Η απλοποιημένη αρχιτεκτονική των δικτύων πεδίου επικράτησε διότι, από την εμπειρία που είχε αποκτηθεί έως τότε,

επισημάνθηκε πως σε ένα δίκτυο πραγματικού χρόνου θα πρέπει να περιοριστούν οι χρονικές καθυστερήσεις που προκαλούνται από τις διεργασίες των επτά επιπέδων. Όπως βλέπουμε και στην εικόνα 2.4, τα τρία απαραίτητα επίπεδα, σύμφωνα με τα οποία έχουν δομηθεί σχεδόν όλα τα πρωτόκολλα επικοινωνίας των δικτύων πεδίου, είναι :

- Το φυσικό επίπεδο που είναι το πρώτο πεδίο του μοντέλου OSI.
- Το επίπεδο ζεύξης δεδομένων που αποτελεί το δεύτερο επίπεδο του OSI.
- Το επίπεδο εφαρμογής που αποτελεί το έβδομο επίπεδο του OSI.



Εικόνα 2.4: Τα επτά επίπεδα του μοντέλου αναφοράς OSI (a) και η δομή τριών επιπέδων των Fieldbus (b) [12].

Το φυσικό επίπεδο είναι απαραίτητο σε κάθε δίκτυο διότι έχει να κάνει με το μέσο διασύνδεσης των συσκευών που το αποτελούν. Σε αυτό το επίπεδο, εκτός από το μέσο διασύνδεσης, περιγράφονται και οι τοπολογίες που υποστηρίζονται από το συγκεκριμένο τύπο δικτύου.

Το επίπεδο ζεύξης είναι επίσης απαραίτητο διότι ευθύνεται για την αξιόπιστη μετάδοση των μη δομημένων ροών πακέτων. Εκτελεί διεργασίες συγχρονισμού, ελέγχει τη ροή των δεδομένων και κάνει έλεγχο σφαλμάτων. Το επίπεδο ζεύξης δεδομένων συνήθως χωρίζεται σε δύο υπό στρώματα. Το ανώτερο αλληλοεπιδρά με το επίπεδο δικτύου και καλείται **Logical Link Control (LLC)** ενώ το χαμηλότερο στρώμα αλληλοεπιδρά με το φυσικό επίπεδο και το ονομάζουμε **Media Access**

Control (MAC). Η λειτουργία LLC είναι υπεύθυνη για το χειρισμό πολλαπλών πρωτοκόλλων (multiplexing / de-multiplexing) καθώς και υπηρεσιών κίνησης δικτύου όπως την αξιοπιστία και τον έλεγχο ροής πακέτων. Η λειτουργία MAC κάνει τον έλεγχο της δρομολόγησης των πακέτων, όταν στο δίκτυο διασυνδέονται πάνω από ένας κεντρικούς σταθμούς. Η λειτουργία αυτή σε συνδυασμό με την χρήση ειδικού εξοπλισμού που λειτουργούν ως γέφυρες επικοινωνίας (Communication Couplers), στην περίπτωση πολλαπλών κεντρικών σταθμών, αντικαθιστά το επίπεδο δικτύου όπου είναι το τρίτο επίπεδο στο μοντέλο OSI. Μία ακόμη λειτουργία που εκτελείται μέσω του επιπέδου διασύνδεσης δεδομένων είναι ο έλεγχος ροής των πακέτων. Στα δίκτυα fieldbus υπάρχουν πρωτόκολλα ελέγχου πληροφορίας τα οποία μεταφέρονται με τη μεταδιδόμενη πληροφορία. Με βάση αυτά γίνεται η διάσπαση, η διευθέτηση και η ανασύνταξη των πακέτων, όπως ακριβώς περιγράφεται στο επίπεδο μεταφοράς του μοντέλου OSI.

Στο επίπεδο εφαρμογής ορίζεται η διεπαφή του συστήματος με τον χρήστη. Μέσω του επιπέδου εφαρμογής παρέχεται η πρόσβαση του χρήστη στο λειτουργικό περιβάλλον του δικτύου. Επίσης στην περίπτωση των βιομηχανικών δικτύων πεδίου το επίπεδο εφαρμογής παρέχει συμβατότητα επικοινωνίας μεταξύ σταθμών που μεταδίδουν την πληροφορία με διαφορετική σύνταξη. Η λειτουργία αυτή πετυχαίνεται με χρήση ενός πρωτοκόλλου επικοινωνίας κοινό για τους δύο σταθμούς, γνωστή ως Application Protocol Data Unit (APDU). Η παραπάνω λειτουργία περιγράφεται από το έκτο επίπεδο του μοντέλου OSI, που είναι το επίπεδο της παρουσίασης.

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι το μοντέλο επικοινωνίας του fieldbus αποτελεί μία απλοποιημένη μορφή του μοντέλου OSI. Είναι φανερό ότι δεν εξαιρεί τις λειτουργίες των επιπέδων που δεν αναφέρονται στο μοντέλο fieldbus, αλλά τις ενσωματώνει στα τρία επίπεδα ως παράλληλες λειτουργίες των τριών επιπέδων του. Ως εξαίρεση, από το μοντέλο OSI, μπορούμε να θεωρήσουμε το επίπεδο της συνόδου, το οποίο χρησιμοποιείται για την διαχείριση ανταλλαγής πολύ μεγάλων μηνυμάτων. Αυτή η λειτουργία δεν έχει πρακτική εφαρμογή στο μοντέλο του fieldbus, διότι τέτοιου είδους επικοινωνίες αναφέρονται σε μεγαλύτερου επιπέδου ενεργό εξοπλισμό και όχι σε συσκευές πεδίου. Παρόλα αυτά μπορούμε να αντιπαραβάλουμε τη λειτουργία αυτή με τη λειτουργία συγχρονισμού που περιλαμβάνεται στο επίπεδο εφαρμογής [2].

2.6 Τα πρωτόκολλα επικοινωνίας των βιομηχανικών δικτύων πεδίου.

Οι συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες στο πεδίο της βιομηχανίας και οι εξελίξεις στην τεχνολογία των δικτύων επικοινωνίας, δημιούργησαν τις προϋποθέσεις για την ευρεία χρήση τους. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα τη θέσπιση ενός συνόλου κανόνων το οποίο ονομάζεται «**Πρωτόκολλο επικοινωνίας**». Το πρωτόκολλο ορίζει δύο σημαντικές λειτουργίες στο δίκτυο, την μέθοδο πρόσβασης κάθε μονάδας στο δίκτυο και τον συγχρονισμό των μονάδων μεταξύ τους. Για τον λόγο αυτό όταν θέλουμε να σχεδιάσουμε ένα σύστημα βιομηχανικού αυτοματισμού θα πρέπει να λάβουμε υπόψιν μας το πρωτόκολλο επικοινωνίας που θα χρησιμοποιήσουμε, την συμβατότητα του εξοπλισμού που θέλουμε να συμπεριλάβουμε και την τοπολογία του δικτύου που θέλουμε να κατασκευάσουμε [12].

Η τεχνολογία των βιομηχανικών δικτύων πεδίου ξεκίνησε από τη δεκαετία του 80', ενώ σχεδόν ταυτόχρονα ξεκίνησαν οι προσπάθειες για την θέσπιση προτύπων από την Διεθνή Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή (**I**nternational **E**lectro-technical **C**ommission **IEC**). Την εποχή εκείνη εμφανίστηκαν διάφορες προτάσεις όπως το MIL 1553B (Haverty, 1986), το HART (Rosemount, 1991) και το BITBUS (Intel, 1984) τα οποία ήταν είτε νέες εκδοχές υφιστάμενων συστημάτων είτε πρωτότυπα. Παράλληλα εμφανίστηκαν προτάσεις, οι οποίες ήταν απλώς στα χαρτιά. Έτσι, μέχρι το τέλος της δεκαετίας του '80 δεν επιτεύχθηκε κάποια πρόοδος σε αυτό το επίπεδο, μέχρι το 1993 όπου δημοσιεύθηκε το πρώτο διεθνές πρότυπο το οποίο περιέγραφε το φυσικό επίπεδο του μοντέλου fieldbus μέσω του IEC 61158 - 2, 1993 [12], [2].

Παρόλα αυτά, στην Ευρώπη είχαν κάνει την εμφάνισή τους, σε εθνικό επίπεδο, κάποια πρωτόκολλα επικοινωνίας τα οποία είχαν ως βάση την κατανομή διευθύνσεων του εξοπλισμού (**N**odes), όπως το **FIP** (Γαλλία 1989), το **Profibus** (Γερμανία 1990) και το **P-NET** (Δανία 1990). Η ευρεία χρήση των παραπάνω συστημάτων είχε ως αποτέλεσμα προταθεί, από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή Ηλεκτροτεχνικής Τυποποίησης (**CENELEC**), ένα ενδιάμεσο ευρωπαϊκό πρότυπο, το οποίο περιλαμβάνει τα τρία πρωτόκολλα επικοινωνίας που είχαν επικρατήσει στην Ευρώπη, συμπεριλαμβάνοντας ένα νέο πρωτόκολλο σχετικό με την εξέλιξη του **WorldFIP** (που ήταν η μετονομασία του FIP) με την ονομασία **Fieldbus**

Foundation. Η δημοσίευση έγινε το 1996, με αριθμό **EN 50170**. Παράλληλα, μέσω των διεθνών προτύπων, καθορίστηκαν και άλλες τεχνικές δικτύωσης (LAN) για συγκεκριμένους τομείς, όπως το ISO TC72 για την κλωστοϋφαντουργία, το ISO/IEC-JTC1 SC25 για τον κτηριακό αυτοματισμό, το ISO TC9 για τα τραίνα, το ISO TC8 για τα καράβια, το ISO TC67 για τις βιομηχανίες ορυκτών και πετρελαίου και το ISO TC82 για τα ορυχεία [12].

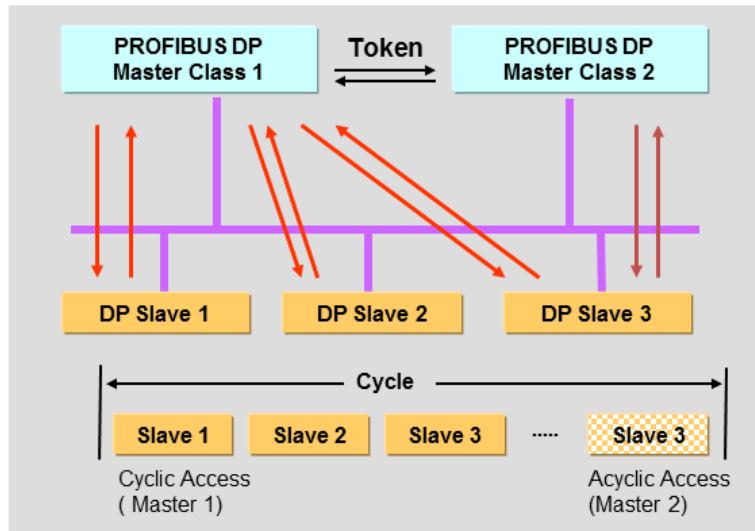
Ωστόσο από την Διεθνή Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή, μετά το IEC 61158-2, 1993 που αφορούσε το φυσικό επίπεδο, εκδόθηκαν πρότυπα όπου καλύπτουν και τα υπόλοιπα επίπεδα της αρχιτεκτονικής των δικτύων πεδίου και αποτελούν μία συλλογή από διαφορετικά εθνικά πρότυπα και προδιαγραφές. Έτσι έχουμε τα IEC 61158-3 και IEC 61158-4 όπου περιγράφουν το επίπεδο διασύνδεσης δεδομένων και τα IEC 61158-5 και IEC 61158-6 όπου περιγράφουν το επίπεδο εφαρμογής. Οι ουσιαστικές διαφορές μεταξύ των πρωτοκόλλων επικοινωνίας εστιάζονται στο επίπεδο διασύνδεσης δεδομένων, όπου βάσει των IEC 61158-3 και IEC 61158-4 καλύπτονται 8 διαφορετικοί τύποι οι οποίοι επιγραμματικά είναι το TR1158, το οποίο δεν είναι πλέον σε ισχύ, το ControlNet, το PROFIBUS, το P-Net, το Foundation fieldbus, το SWIFT-Net, το World-FIP και το INTERBUS. Αντίστοιχα στα IEC 61158-5 και IEC 61158-6 όπου αναφέρονται στο επίπεδο εφαρμογής, καλύπτονται οι οχτώ παραπάνω τύποι και επιπλέον καθορίζονται το Foundation Fieldbus H1 και το Profi-Net.

Παράλληλα έχει εκδοθεί ένα νέο πρότυπο για την διάκριση της μεγάλης ποικιλίας πρωτοκόλλων επικοινωνίας που έχουν καθοριστεί από το IEC 61158. Το νέο αυτό πρότυπο είναι το IEC 61784 και ορίζει υπηρεσίες και πρωτόκολλα με βάση την αρχιτεκτονική επιπέδων του μοντέλου OSI και προδιαγράφει ένα πλήρες πακέτο τύπων (**Profiles**) πρωτοκόλλων βασισμένα στα προηγούμενα. Το πρότυπο αυτό αποτελείται από δύο μέρη, το πρώτο είναι το IEC 61784-1 και αποτελείται από 18 τύπους και το δεύτερο μέρος είναι το IEC 61784-2, βασισμένο σε επικοινωνία Ethernet πραγματικού χρόνου και αποτελείται από 9 τύπους, όλους βασισμένους στο Ethernet [2].

2.7 Το δίκτυο επικοινωνίας Profibus.

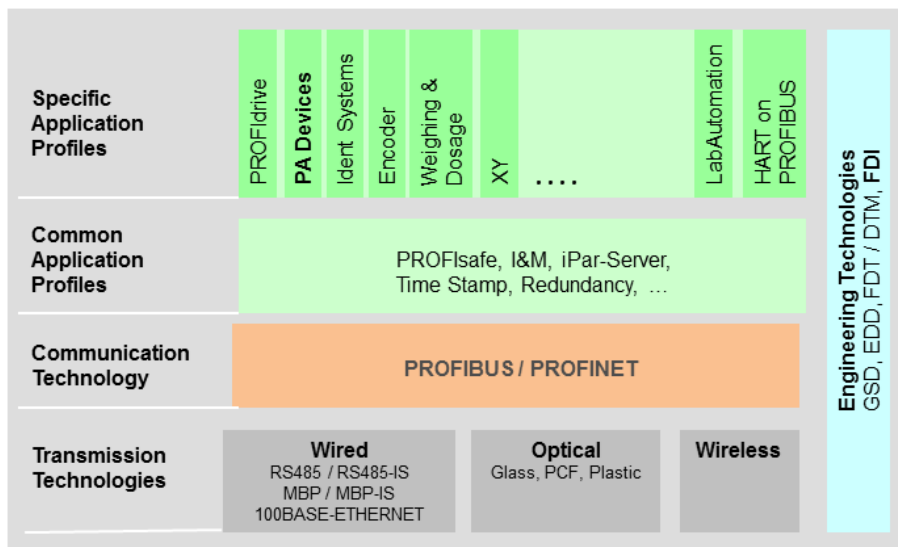
Το δίκτυο επικοινωνίας PROFIBUS έχει αναπτυχθεί από την SIEMENS και αποτελεί ένα από τα επικρατέστερα Ευρωπαϊκά πρότυπα. Το PROFIBUS είναι ένα βιομηχανικό δίκτυο αυτοματισμού, βασισμένο στα πρότυπα PROFIBUS & PROFINET International.

Στο δίκτυο PROFIBUS η επικοινωνία γίνεται μέσω του πρωτοκόλλου επικοινωνίας, **PROFIBUS DP** (Decentralized Periphery), η οποία επιτρέπει κυκλική (**Cyclical**) και μη κυκλική (**Acyclical**) επικοινωνία, καθορίζοντας κανόνες για το σκοπό αυτό. Η διαδικασία της επικοινωνίας γίνεται με τη μέθοδο **master - slave**, όπου ένας ενεργός ως προς την επικοινωνία κύριος κόμβος (Master : PLC, PC, operation panel) καλεί κυκλικά, μέσω ενός μηνύματος αίτησης, τις συνδεδεμένες συσκευές οι οποίες είναι παθητικές ως προς την επικοινωνία (Slaves : Remote I/O, Field devices, Log file discs) για την ανταλλαγή δεδομένων. Η καλούμενη συσκευή απαντά ένα στέλνοντας το μήνυμα απόκρισης. Ένα μήνυμα αίτησης συνήθως περιέχει δεδομένα εξόδου (π.χ. επιθυμητή τιμή για τις στροφές ενός κινητήρα), ενώ το σχετικό μήνυμα απόκρισης περιέχει δεδομένα εισόδου (π.χ. η μετρημένη τιμή από έναν αισθητήρα). Ο κύκλος προσπέλασης φτάνει στο τέλος του όταν κληθούν με τη σειρά όλες οι συνδεδεμένες παθητικές συσκευές. Εκτός από την κυκλική επικοινωνία για την γρήγορη ανταλλαγή δεδομένων εισόδου και εξόδου μεταξύ των master και των slave nodes, υπάρχει η δυνατότητα μετάδοσης δεδομένων που αφορά την παραμετροποίηση των δικτυακών συσκευών. Ο κύριος κόμβος έχει τη δυνατότητα ανάγνωσης ή εγγραφής των λειτουργικών δεδομένων των παθητικών συσκευών, μόνο όταν αυτό απαιτηθεί (Acyclical). Επίσης, μπορεί να υποστηρίξει περισσότερους από ένα κύριο κόμβο. Σε μια τέτοια περίπτωση, η άδεια πρόσβασης περνά από τον ενεργό master στον επόμενο, η οποία είναι η αρχή λειτουργίας Token – passing (Εικόνα 2.5).



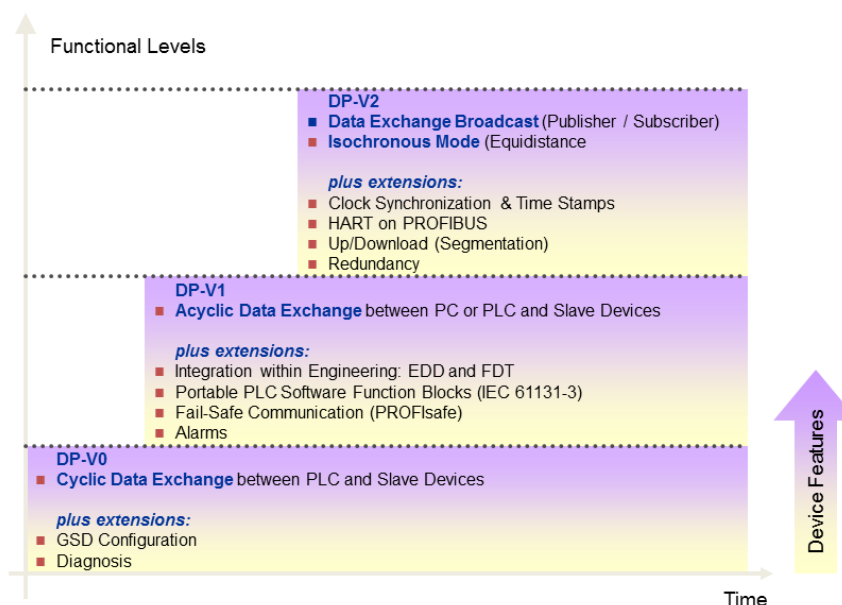
Εικόνα 2.5: Παράδειγμα επικοινωνίας Profibus DP [22].

Ο τρόπος μετάδοσης δεδομένων ποικίλει ανάλογα με την περίπτωση χρήσης. Το Profibus DP είναι ο πιο σύνηθες τρόπος μετάδοσης όπου προορίζεται για επικοινωνία μεταξύ αισθητήρων και ενεργοποιητών και ενός κεντρικού ελεγκτή, μέσω του προτύπου RS-485, ενώ αντίστοιχα μέσω της τεχνολογίας MBP υπάρχει το Profibus PA. Σε εφαρμογές οι οποίες χαρακτηρίζονται ως εκρηκτικές (**Ex**) μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε το Profibus DP μέσω του RS485-IS (**Intrinsically Safe**), είτε το Profibus PA μέσω του **MBP-IS (Manchester Bus Powered)**, τα οποία καλύπτουν τις απαιτήσεις για χρήση σε εκρηκτικό περιβάλλον. Παράλληλα, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.6, υποστηρίζει επικοινωνία μέσω οπτικής ίνας και ασύρματης μετάδοσης [22].



Εικόνα 2.6: Χάρτης λειτουργικών διασυνδέσεων του PROFIBUS [22].

Για τη βέλτιστη εκπλήρωση των απαιτήσεων σε διαφορετικούς τομείς χρήσης, οι λειτουργίες του πρωτοκόλλου επικοινωνίας PROFIBUS DP διαχωρίζονται σε τρεις εκδόσεις λειτουργίας.



Εικόνα 2.7: Οι τρεις τύποι επικοινωνίας του Profibus DP [22].

Στην εικόνα 2.7 βλέπουμε τις τρεις ομάδες που είναι το DP-V0, το DP-V1 και το DP-V2. Η έκδοση DP-V0 παρέχει μόνο τις βασικές λειτουργίες του Profibus DP. Αυτό περιλαμβάνει την κυκλική επικοινωνία μεταξύ master station και slaves καθώς και λειτουργίες διάγνωσης για τα στοιχεία του (Profibus Nodes) και για το δίκτυο ώστε να γίνεται γρήγορος ο εντοπισμός των σφαλμάτων. Η έκδοση DP-V1 περιέχει τις λειτουργίες της έκδοσης DP-V0 και επιπρόσθετα παρέχει τη δυνατότητα μέσω εξειδικευμένων εργαλείων (κυρίως λογισμικά και κάρτες επικοινωνίας), να παραμετροποιεί τις δικτυακές συσκευές. Στην έκδοση DP-V2 περιέχονται επιπλέον οι οποίες χρησιμοποιούνται στον έλεγχο κινητήρων και περιλαμβάνουν εξειδικευμένες λειτουργίες επικοινωνίας μεταξύ των παθητικών στοιχείων, λειτουργίες κυκλικού συγχρονισμού (Cycle synchronization) και χρονικού προσδιορισμού (Time stamping).

Ως ένα από τα βιομηχανικά δίκτυα επικοινωνίας, η αρχιτεκτονική του στηρίζεται στα τρία γνωστά επίπεδα του μοντέλου OSI. Εδώ η διαδικασία της επικοινωνίας, μεταξύ δύο κόμβων διεκπεραιώνεται μέσα από το φυσικό επίπεδο, το επίπεδο διασύνδεσης δεδομένων και το επίπεδο εφαρμογής. Στον πίνακα 2.1 μπορούμε να διακρίνουμε τα τρία λειτουργικά επίπεδα του Profibus σε σχέση με τα επτά δομημένα επίπεδα του προτύπου αναφοράς OSI [14], [22].

User program		Application profiles	
7	Application Layer		PROFIBUS DP Protocol (DP-V0, DP-V1, DP-V2)
6	Presentation Layer		Not used
5	Session Layer		
4	Transport Layer		
3	Network Layer		
2	Data link Layer		Fieldbus Data Link (FDL): Master Slave principle Token principle
1	Physical Layer		Transmission technology
OSI Layer Model		OSI implementation at PROFIBUS	

Πίνακας 2.1: Τα δομημένα επίπεδα του Profibus σε σχέση με το OSI [22].

Στο πρώτο επίπεδο καθορίζεται το μέσω μετάδοσης, που όπως είδαμε και πιο πάνω, δίνει τη δυνατότητα μετάδοσης με χαλκό, με χρήση οπτικής ίνας ή ασύρματα. Όταν πρόκειται για χαλκό γίνεται μέσω ενός διαύλου πολλαπλών συνδέσεων (Multi drop) από ένα συνεστραμμένο ζεύγος καλωδίων. Στην εικόνα 2.7 βλέπουμε τα τεχνικά χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει το καλώδιο τόσο στην περίπτωση του Profibus DP όσο και στην περίπτωση του Profibus PA.

Transmission rate [Kbit/s]	Transmission range per segment [m]	Applies to
9,6 19,2 45,45 93,75	1,2	RS485
187,5	1	RS485
500	400	RS485
1,5	200	RS485
3,000 6,000 12,000	100	RS485
The values above apply to <u>cable type A</u> with the following properties		
	PROFIBUS DP	PROFIBUS PA
Wave resistance	135 ... 165 Ω	80 ... 120 Ω
Capacitance per unit	≤ 30 pf/m	≤ 2 pf/m
Loop resistance	≤ 110 Ω/km	≤ 44 Ω/km
Core diameter	> 0.64 mm	≥ 1 mm
Core cross-section	> 0,34 mm ²	≥ 0,8 mm ²

Πίνακας 2.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά καλωδίων για το Profibus DP και Profibus PA [22].

Σε κάθε δίκτυο πρέπει να καθοριστεί μία συγκεκριμένη ταχύτητα μετάδοσης ώστε να δώσει αρκετό χρόνο για την επικοινωνία με όλες τις συσκευές που υπάρχουν

στο δίκτυο. Στην περίπτωση του PROFIBUS DP χρησιμοποιούνται ταχύτητες μεταξύ 9.6 kbit/s και 12 Mbit/s. Στο PROFIBUS PA η ταχύτητα είναι χαμηλότερη και τρέχει σε σταθερή τιμή τα 31.2 kbit/s. Με την τεχνολογία μετάδοσης MBP, τα δεδομένα και η τάση τροφοδοσίας γίνεται μέσω του ίδιου καλωδίου. Η ισχύς περιορίζεται με τέτοιο τρόπο ώστε σε περίπτωση σφάλματος να μη δημιουργούνται οι προϋποθέσεις για έκρηξη σε επικίνδυνα περιβάλλοντα. Σε περίπτωση που έχουμε πολύ μακρινές αποστάσεις ή περιβάλλον δυσμενές από άποψη ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών, μπορεί να γίνει χρήση οπτικής ίνας. Στην περίπτωση αυτή οι συνήθεις διαθέσιμες τοπολογίες είναι η τοπολογία διαύλου (Bus) και ο δακτύλιος (Ring). Προκειμένου να γίνει η μετατροπή του σήματος από ηλεκτρικό σε οπτικό, υπάρχουν οι διαθέσιμες συσκευές όπου ουσιαστικά διεκπεραιώνουν την διεπαφή μεταξύ του RS-485 και της οπτικής ίνας. Στον πίνακα 2.3 βλέπουμε τα τεχνικά χαρακτηριστικά και τις προδιαγραφές της διασύνδεσης μέσω οπτικής ίνας.

Fiber type	Core diameter [μm]	Transmission range
Multi-mode glass fiber	62.5 / 125	2 - 3 km
Single-mode glass fiber	9 / 125	> 15 km
Plastic fiber	980 / 1,000	Up to 100 m
HCS® fiber	200 / 230	Approx. 500 m

Πίνακας 2.3: Τεχνικά χαρακτηριστικά οπτικής ίνας σε δίκτυο Profibus [22].

Η επικοινωνία μέσω PROFIBUS μπορεί να γίνει και ασύρματα. Αν και δεν υπάρχει ακόμα κάποιου τύπου προδιαγραφή, για την ασύρματη μετάδοση, ωστόσο η συμβατότητά του με τον υπόλοιπο εξοπλισμό είναι εξασφαλισμένη. Στο PROFIBUS, υπάρχουν λύσεις για την ασύρματη διασύνδεση αισθητήρων και ενεργοποιητών.

Ένα ιδιαίτερο πλεονέκτημα του PROFIBUS είναι η συμβατότητά του με μεγάλο αριθμό συσκευών από διαφορετικούς κατασκευαστές. Αυτό σημαίνει ότι ο εξοπλισμός που προέρχεται από πολυάριθμους διαφορετικούς κατασκευαστές συσχετίζεται με ένα αντίστοιχα μεγάλο αριθμό από διαφορετικές συσκευές διεπαφής ανθρώπου μηχανής (HMIs). Η ενσωμάτωση του εξοπλισμού, σε ένα κεντρικό σύστημα αυτοματισμού, γίνεται τυποποιημένα ώστε να μην απαιτείται μεγάλο ποσοστό χρόνου σε σχέση με την εγκατάσταση, τη διαχείριση και τη λειτουργία της συσκευής. Για τον λόγο αυτό οι συσκευές ενσωματώνονται μέσω της χαρτογράφησης των λειτουργιών τους ως προς το λογισμικό διαχείρισης. Για κάθε συσκευή που

πρέπει να ενσωματωθεί σε ένα δίκτυο Profibus, έχει αναπτυχθεί η γενική περιγραφή του σταθμού που είναι γνωστή ως GSD (General Station Description) η οποία παρέχεται από τον κατασκευαστή της συσκευής και είναι το ηλεκτρονικό φύλλο δεδομένων για τις ιδιότητες επικοινωνίας της σε σχέση με το δίκτυο. Το GSD παρέχει όλες τις πληροφορίες που είναι απαραίτητες για την κυκλική επικοινωνία της από τον κύριο σταθμό του PROFIBUS. Η παραπάνω περιγραφή γίνεται με τη μορφή ενός τυποποιημένου κειμένου όπου περιέχει τα βασικά δεδομένα της συσκευής, σχετικά με τις δυνατότητες επικοινωνίας της, καθώς και περαιτέρω πληροφορίες σχετικά με λειτουργίες διάγνωσης. Το GSD για την ένταξη της συσκευής.

Σε ένα δίκτυο Profibus υπάρχει η δυνατότητα επικοινωνίας περιφερειακών συσκευών με τη χρήση τυποποιημένων μπλοκ λειτουργίας (**Function Block ή FBs**). Με τη χρήση τους γίνεται δυνατή η ενσωμάτωση διαφορετικών ελεγκτών χωρίς ειδική δήλωση των χαρακτηριστικών του κατασκευαστή στο πρόγραμμα εφαρμογής. Τα function block περιέχουν τις πολύπλοκες λειτουργίες των εκάστοτε συσκευών πεδίου (π.χ. την βαθμονόμηση οργάνου ή την αλλαγή της ταχύτητας ενός κινητήρα κ.λ.π.) σε τυποποιημένη δομή. Κατά συνέπεια, λειτουργούν ως ένας «εκπρόσωπος» (μεσολάβησης FB) της αντίστοιχης συσκευής πεδίου και τοποθετείται στο πρόγραμμα ελέγχου. Τα function block δημιουργούνται στην τυποποιημένη γλώσσα προγραμματισμού της «Λογικής Δομημένου Κείμενο» (STL) σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61131-3 [22].

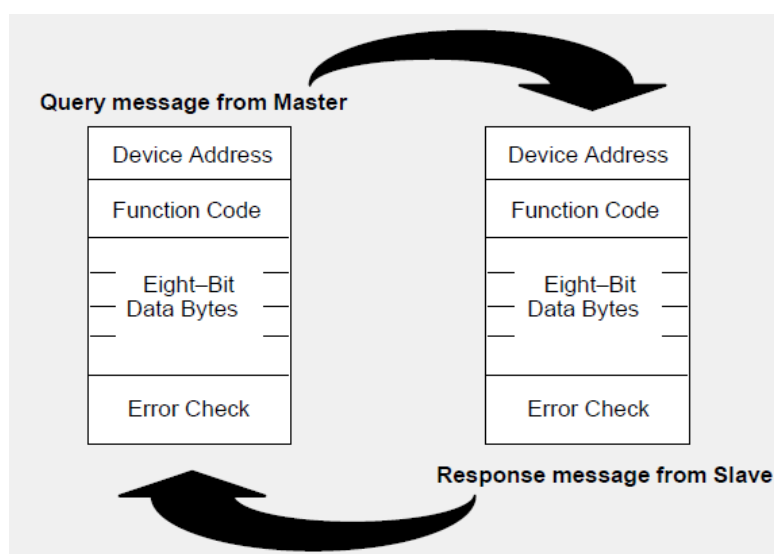
Σύμφωνα με όσα είδαμε σε προηγούμενες ενότητες, το μοντέλο επικοινωνίας OSI καθορίζεται πλέον από τυποποιημένα πρότυπα, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η συμβατότητά του, όταν τηρούνται οι κανόνες. Όπως συμβαίνει με όλα τα τυποποιημένα συστήματα fieldbus, το Profibus αποτελεί μέρος του IEC 61158 (Digital data communication for measurement and control – Fieldbus for use in industrial control systems) και του IEC 61784 (Profile sets for continuous and discrete manufacturing relative to fieldbus use in industrial control systems). Πιο αναλυτικά, το πρότυπο IEC 61158-2 περιγράφει το φυσικό επίπεδο της τεχνολογίας των βιομηχανικών δικτύων, το οποίο συμφωνεί με τον αντίστοιχο σχεδιασμό του Profibus. Παράλληλα το επίπεδο διασύνδεσης δεδομένων και το επίπεδο εφαρμογής, αποτελούν τον «τύπο 3», των εκδόσεων του IEC και είναι σύμφωνα με τα όσα ορίζονται στο IEC 61158-3 και -4, καθώς και του IEC 61158-5 και -6, αντίστοιχα

[2]. Το IEC 61784 καθορίζει τα υποσύνολα των λειτουργιών επικοινωνίας, που προκύπτουν από τις εκδόσεις του IEC 61158. Τα υποσύνολα αυτά ονομάζονται «οικογένειες προφίλ επικοινωνίας» (**C**ommunication **P**rofile **F**amilies ή **CPF**), όπου το Profibus κατατάσσεται στην οικογένεια 3 με τις υπό διακρίσεις 3/1 για την επικοινωνία μέσω RS485 και οπτικών ινών, 3/2 για μετάδοση MBP (Profibus PA) και 3/3 για επικοινωνία μέσω ProfiNet [22].

2.8 Το πρωτόκολλο επικοινωνίας Modbus.

Το **Modbus** είναι ένα από τα πιο διαδεδομένα πρωτόκολλα επικοινωνίας της οικογένειας των Fieldbus, το οποίο είχε δημοσιευθεί από την εταιρεία Modicon το 1979 και χρησιμοποιείται κυρίως σε βιομηχανικές, αλλά και σε πολλές κτηριακές εφαρμογές. Πρόκειται για ένα σειριακό πρωτόκολλο επικοινωνίας, μέσω RS-232, με τη λογική **Master – Slave**. Σε ένα δίκτυο Modbus, ο κύριος κόμβος (Master) συγχρονίζει την μετάδοση δεδομένων από τις δευτερεύουσες μονάδες (Slave). Ο Master καλεί τον slave είτε να μεταδώσει πληροφορίες, είτε να εκτελέσει μία ενέργεια. Έτσι, ξεκινά μια διαδικασία από τον Master με την αποστολή ενός κώδικα λειτουργίας όπου καθορίζει τον τύπο της συναλλαγής που θα εκτελέσει η Slave μονάδα. Στην επικοινωνία μέσω Modbus, καθορίζεται η διαδικασία σύμφωνα με την οποία η master μονάδα αποκτάει πρόσβαση στις Slave μονάδες, πώς θα ανταποκριθεί σε αιτήματα άλλων συσκευών καθώς και ο τρόπος ανίχνευσης και αναφοράς σφαλμάτων. Σε περίπτωση που η διεύθυνση και η μορφή δεδομένων είναι σωστή, τότε γίνεται ανάγνωση ή εγγραφή της επιθυμητής περιοχής μνήμης και εντέλλεται μήνυμα κατάστασης ορθής εγγραφής [4]. Παράλληλα, το πρωτόκολλο καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο δηλώνεται η διεύθυνση των δικτυακών συσκευών και πως συνοδεύει τη μεταδιδόμενη πληροφορία. Σύμφωνα με την αρχή λειτουργίας της επικοινωνίας master – slave, μόνο ο κεντρικός σταθμός μπορεί να καλέσει για επικοινωνία ή κάποια άλλη ενέργεια. Οι υπόλοιπες συσκευές ανταποκρίνονται με την αποστολή των δεδομένων προς την κεντρική μονάδα, ή την εκτέλεση της απαιτούμενης ενέργειας [26]. Η κύρια μονάδα μπορεί να καλέσει μεμονωμένα τις δευτερεύουσες μονάδες, ή να μεταδώσει ένα κοινό μήνυμα σε όλες ταυτόχρονα. Οι δευτερεύουσες μονάδες επιστρέφουν τα μήνυμα απάντησης στις κλήσεις που απευθύνονται σε αυτές ξεχωριστά, όμως δεν επιστρέφουν απαντήσεις σε γενικευμένες κλήσεις της κύριας μονάδας [23].

Όταν ένα μήνυμα αποστέλλεται από την κεντρική μονάδα, αποτελείται από την δήλωση της διεύθυνσης (Device Address) η οποία καταδεικνύει την slave μονάδα όπου καλείται, στη συνέχεια ακολουθεί ο κώδικας όπου περιγράφει την ενέργεια (Function Code) που καλείται να εκτελέσει η συγκεκριμένη μονάδα ακολουθούμενος από την περιοχή μνήμης στην οποία αναφέρεται η συγκεκριμένη ενέργεια (Data Bytes). Τέλος ακολουθεί ένα πεδίο ελέγχου (Error Check) με βάση το οποίο η slave μονάδα επικυρώνει την ακεραιότητα του περιεχομένου του μηνύματος. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει σφάλμα, η απάντηση αποτελείται από τον ίδιο κωδικό ενέργειας ακολουθούμενο από τα δεδομένα του μηνύματος που έχει να αποστείλει η slave μονάδα. Σε περίπτωση λάθους, κατά την αποστολή της κλίσης, ο κωδικός ενέργειας μετατρέπεται για να δηλώσει ότι η απάντηση είναι ένα μήνυμα δήλωσης λάθους και τα δεδομένα που ακολουθούν δηλώνουν το είδος του σφάλματος. Τέλος το πεδίο ελέγχου σφαλμάτων (Error Check) επιτρέπει στην κύρια μονάδα να επιβεβαιώσει ότι το μήνυμα απάντησης είναι σωστό.



Εικόνα 2.8: Ανταλλαγή μηνύματος μεταξύ Master και Slave [23].

Σε ένα δίκτυο βιομηχανικού αυτοματισμού πεδίου Modbus, υπάρχουν δύο τρόποι μετάδοσης του σήματος, η μετάδοση μέσω **ASCII** χαρακτήρων και η **RTU**. Με βάση τους παραπάνω τρόπους μετάδοσης καθορίζονται και οι βασικές παράμετροι για τη σειριακή επικοινωνία, όπως ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων, ο έλεγχος μηνυμάτων (parity check) κ.α. Οι δύο τρόποι μετάδοσης καθορίζουν τα ψηφία τα οποία συνθέτουν το μεταδιδόμενο μήνυμα, καθώς και τον τρόπο κωδικοποίησης ή αποκωδικοποίησης της πληροφορίας.

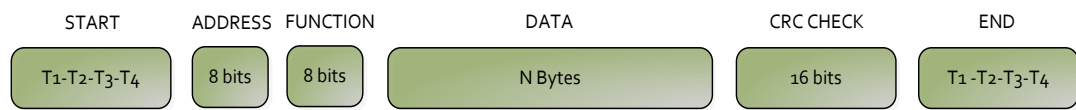
Στη μετάδοση μέσω ASCII (American Standard Code for Information Interchange) χαρακτήρων, κάθε Byte, το οποίο αποτελείται από οχτώ ψηφία (bits) αντιστοιχίζεται με δύο ASCII χαρακτήρες. Το βασικότερο πλεονέκτημα, της τεχνικής αυτής είναι ότι επιτρέπονται χρονικά διαστήματα έως και ενός δευτερολέπτου, μεταξύ της μετάδοσης δύο χαρακτήρων, χωρίς να προκύψει σφάλμα στην επικοινωνία. Εδώ κάθε μήνυμα ξεκινάει με ένα χαρακτήρα «στήλη» (colon) (:) και τελειώνει με μία γραμμή (-). Μετά τον χαρακτήρα έναρξης μηνύματος, όλα τα επόμενα πεδία που ακολουθούν αποτελούνται από δεκαεξαδικούς αριθμούς. Μόλις η κεντρική μονάδα μεταδώσει τον χαρακτήρα έναρξης (ASCII 3A hex), όλες οι δευτερεύουσες μονάδες ελέγχουν τους επόμενους δύο χαρακτήρες που δηλώνουν τη διεύθυνση της μονάδας που πρέπει να ανταποκριθεί. Μετά τη διεύθυνση ακολουθούν δύο χαρακτήρες που δηλώνουν την ενέργεια που πρέπει να εκτελεστεί και στη συνέχεια ακολουθούν n χαρακτήρες που δηλώνουν την περιοχή μνήμης που αφορά την καλούμενη ενέργεια. Στο τέλος ακολουθούν δύο χαρακτήρες όπου κάνουν τον έλεγχο της επικοινωνίας και ολοκληρώνεται το μήνυμα με δύο χαρακτήρες που δηλώνουν το τέλος μηνύματος (ASCII 0D και 0A hex).



Εικόνα 2.9: Πλαίσιο μηνύματος ASCII.

Στη μετάδοση μέσω RTU (Remote Terminal Unit) κάθε Byte πληροφορίας αποτελείται από δύο δεκαεξαδικούς χαρακτήρες των τεσσάρων ψηφίων. Αντίστοιχα με την προηγούμενη μέθοδο μετάδοσης, εδώ λόγω της μεγαλύτερης πυκνότητας των ψηφίων, για τον ίδιο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, πετυχαίνουμε μεγαλύτερο όγκο πληροφορίας. Εδώ η εκκίνηση του μηνύματος γίνεται με μία παύση διάρκειας περίπου τριών με τεσσάρων χαρακτήρων, το οποίο συνήθως δηλώνεται ως ο πολλαπλασιασμός του χαρακτήρα χρονισμού του ρυθμού μετάδοσης που χρησιμοποιείται ($T1 - T2 - T3 - T4$). Όλοι οι χαρακτήρες που ακολουθούν είναι είναι σε μορφή Byte των οχτώ bit. Έτσι ακολουθεί η διεύθυνση με οχτώ bit, η καλούμενη ενέργεια με οχτώ bit, η περιοχή μνήμης με $n \times$ οχτώ bit και ο έλεγχος μηνύματος σε μορφή λέξης των δέκα έξι bit. Στο τέλος ακολουθεί η ίδια παύση των τεσσάρων χαρακτήρων με την οποία δηλώνεται το τέλος μηνύματος. Στη τεχνική μετάδοσης RTU, όλο το μήνυμα μεταδίδεται ως μία συνεχόμενη ακολουθία. Σε

περίπτωση που υπάρξει παύση μεγαλύτερη του ενάμιση χαρακτήρα, πριν τελειώσει η μετάδοση, τότε η μονάδα που έχει κληθεί μεταδίδει ένα κωδικό λάθους [23].



Εικόνα 2.10: Πλαίσιο μηνύματος RTU.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΠΡΟΓΡΑΜΑΤΙΖΟΜΕΝΩΝ ΛΟΓΙΚΩΝ ΕΛΕΚΤΩΝ.

3.1 Περίληψη της εργαστηριακής διάταξης.

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία, για την καλύτερη κατανόηση των βιομηχανικών δικτύων πεδίου, συμπεριλάβαμε πειραματική διάταξη περιγράφοντας ένα παράδειγμα επικοινωνίας μεταξύ προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών. Για τον λόγο αυτό, στο εργαστήριο Εσωτερικών Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων του ΑΕΙ Πειραιά ΤΤ πραγματοποιήσαμε διασύνδεση τριών σταθμών, της εταιρείας FATEK, μέσω της θύρας επικοινωνίας Modbus RTU.

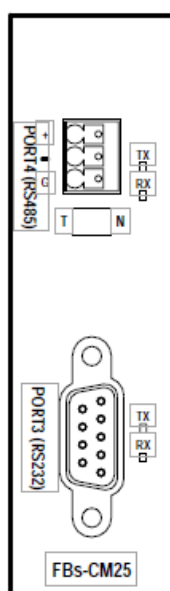
Η διάταξη αποτελείται από τρεις σταθμούς PLC σειράς FBs 32MC. Πιο συγκεκριμένα, ο πρώτος σταθμός έχει μία μονάδα επέκτασης με τέσσερις αναλογικές εισόδους και δύο αναλογικές εξόδους (FBs-4A2D) και μία μονάδα επέκτασης με έξι εισόδους RTD για σύνδεση αισθητηρίων PT100 με τρεις αγωγούς (FBs-6RTD). Ο δεύτερος σταθμός διαθέτει τρεις επιπλέον μονάδες επέκτασης. Μία μονάδα έξι αναλογικών εισόδων (FBs-6AD), μία μονάδα δύο αναλογικών εξόδων (FBs-2DA) και μία μονάδα σύνδεσης έξι θερμοστοιχείων (FBs-6TC). Τέλος ο τρίτος σταθμός, διαθέτει μία μονάδα επέκτασης με τέσσερις αναλογικές εισόδους και δύο αναλογικές εξόδους (FBs-4A2D), μία μονάδα επέκτασης με έξι εισόδους RTD για σύνδεση αισθητηρίων PT100 με τρεις αγωγούς (FBs-6RTD) και μία μονάδα επέκτασης για σύνδεση μίας δυναμοκυψέλης.

Κάθε PLC ελέγχει τρεις κινητήρες οι οποίοι εκκινούν απευθείας (Direct On Line **DOL**) με ηλεκτρονόμο ισχύος. Για κάθε κινητήρα υπάρχει διακόπτης ισχύος για προστασία του κινητήρα έναντι υπερέντασης και έναντι υπερφόρτισης, βοηθητικός διακόπτης δύο θέσεων (0 – 1) με τον οποίο γίνεται επιλογή τοπικού ή απομακρυσμένου ελέγχου, τοπική διάταξη δύο επαφών τύπου button για εκκίνηση και παύση της λειτουργίας και ηλεκτρονόμος ισχύος με διάταξη θερμικής επιτήρησης του κινητήρα (τύπου θερμικού). Σε κάθε PLC υπάρχει και ένας επικεφαλής διακόπτης τύπου μανιτάρι ο οποίος έχει τεθεί ως διακόπτης στάσης ανάγκης (Emergency Stop Button). Τέλος υπάρχει μία οθόνη επαφής (Touch Panel) η οποία είναι συνδεδεμένη

και επικοινωνεί με τον πρώτο σταθμό. Στο παράρτημα I επισυνάπτεται αναλυτικό ηλεκτρολογικό σχέδιο όπου φαίνονται οι παραπάνω συνδεσμολογίες.

3.2 Περιγραφή λειτουργίας της εργαστηριακής διάταξης.

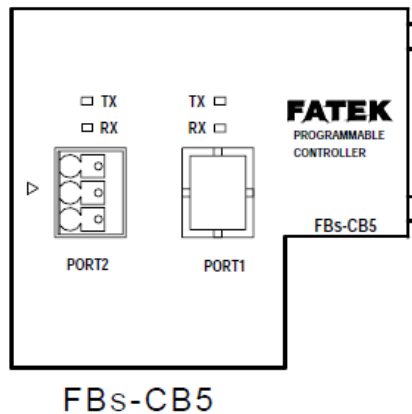
Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω η διάταξη αποτελείται από τρία PLC της εταιρείας FATEK. Ο πρώτος σταθμός (PLC 1) έχει οριστεί ως ο κύριος σταθμός της διάταξης (Master PLC). Για το λόγο αυτό έχει προστεθεί κάρτα επικοινωνίας (Communication Module FBs – CM25) η οποία, όπως βλέπουμε και στην εικόνα 3.1 διαθέτει επιπλέον δύο θύρες επικοινωνίας, μία RS – 232 (Port 3) και μία RS 485 (Port 4).



Εικόνα 3.1: Communication Module FBs – CM25 [33].

Ο δεύτερος σταθμός (PLC 2) έχει επιπλέον την ενσωματωμένη κάρτα επικοινωνίας FBs-CB5 η οποία απεικονίζεται στην εικόνα 3.2 και διαθέτει μία θύρα επικοινωνίας RS – 485 την Port 2.

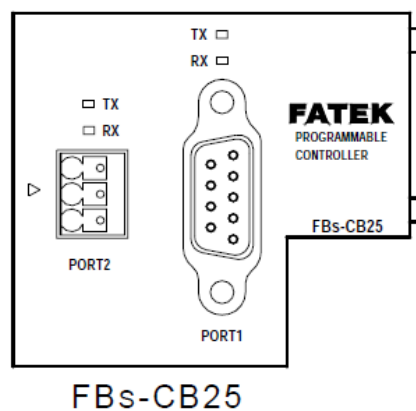
- 1 RS485 port



Εικόνα 3.2: Communication Board FBs – CB5 [33].

Στον τρίτο σταθμό (PLC3) έχει εγκατασταθεί η ενσωματωμένη κάρτα επικοινωνίας FBs-CB25 η οποία όπως φαίνεται στην εικόνα 3.3 διαθέτει μία θύρα RS-232 (Port 1) και μία θύρα RS-485 (Port 2).

- 1 RS232 + 1 RS485 ports

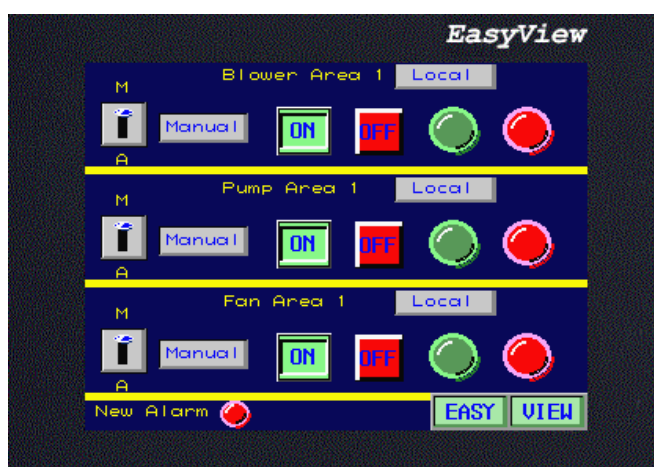


Εικόνα 3.3: Communication Board FBs – CB25 [33].

Η διασύνδεση έχει γίνει μέσω της θύρας 4 του Master (PLC1) και της θύρας 2 για τα δύο Slave (PLC2 & 3). Το πρωτόκολλο επικοινωνίας που επιλέχτηκε είναι το Modbus RTU και έχει προγραμματιστεί, όπως θα δούμε αναλυτικότερα πιο κάτω, μέσα από το Master PLC με την ρουτίνα FUN150 (Modbus) Instruction.

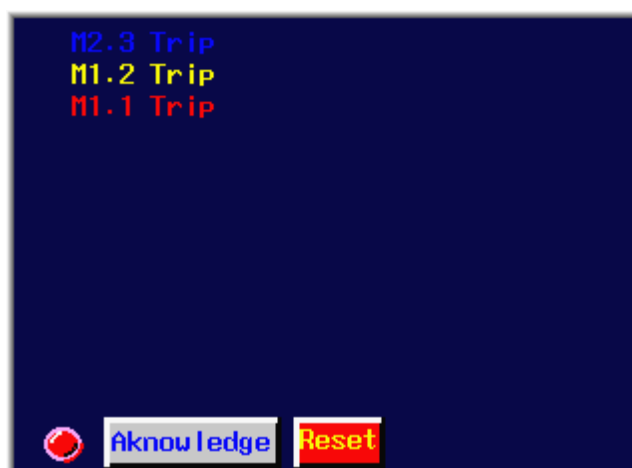
Σύμφωνα με την περιγραφή λειτουργίας της εργαστηριακής εφαρμογής, θα πρέπει το πρόγραμμα ελέγχου για όλο τον εξοπλισμό να «τρέχει» στον κύριο σταθμό (PLC1). Σε περίπτωση που διακοπεί η επικοινωνία του κύριου με τον εκάστοτε τοπικό σταθμό, το πρόγραμμα θα εκτελείται αυτομάτως στο τοπικό PLC ώστε να υπάρχει δυνατότητα τοπικού χειρισμού.

Για τον έλεγχο κάθε κινητήρα υπάρχει δυνατότητα επιλογής τοπικής ή απομακρυσμένης λειτουργίας, από τοπικό επιλογικό διακόπτη (Local – Remote). Στον τοπικό έλεγχο η εκκίνηση γίνεται από εξωτερική επαφή, κανονικά ανοικτή (NO) χωρίς αυτοσυγκράτηση, τύπου button ενώ η παύση γίνεται από αντίστοιχη τοπική επαφή κανονικά κλειστή (NC), όπως συνηθίζεται στα κυκλώματα εκκίνησης κινητήρων κλασικού αυτοματισμού. Στον απομακρυσμένο έλεγχο η εκκίνηση και η παύση των κινητήρων δίνεται από την οθόνη επαφής η οποία είναι εγκατεστημένη στον κύριο σταθμό (PLC1). Στην περίπτωση αυτή υπάρχει η δυνατότητα επιλογής από την οθόνη αυτόματης ή χειροκίνητης λειτουργίας. Στην αυτόματη λειτουργία για να εκκινήσει μία διάταξη χώρου (φουσητήρας, ανεμιστήρας και αντλία) θα πρέπει στο αντίστοιχο θερμόμετρο να έχει περάσει η πραγματική τιμή (**Process Value** ή **PV**) την αντίστοιχη επιθυμητή τιμή (**Set Point** ή **SP**). Πρώτη εκκινεί η αντλία, για την ψύξη του φουσητήρα, μετά από 30 δευτερόλεπτα εκκινεί ο ανεμιστήρας του εναλλάκτη νερού αέρα και τέλος αφού έχουν εκκινήσει και οι δύο προηγούμενοι κινητήρες, μετά από τριάντα δευτερόλεπτα εκκινεί ο φουσητήρας. Στην περίπτωση που ένας από τους τρεις κινητήρες σημάνει σφάλμα, τότε παύει η λειτουργία των υπόλοιπων κινητήρων της διάταξης.



Εικόνα 3.4 : Σελίδα χειρισμού διάταξης περιοχής 1.

Στην εικόνα 3.4 βλέπουμε τη σελίδα χειρισμού για τη διάταξη των τριών κινητήρων της πρώτης περιοχής. Για τις άλλες δύο περιοχές η εικόνα είναι ίδια, αλλάζουν μόνο οι ονομασίες των κινητήρων. Όπως βλέπουμε για κάθε κινητήρα εκτός από τα πεδία χειρισμού Auto –Manual, On και Off, υπάρχουν και τα πεδία ενδείξεων όπως το Local – Remote, Auto – Manual, Run, Fault. Σε όλες τις σελίδες που εμφανίζονται στην οθόνη, κάτω αριστερά, υπάρχει ένδειξη νέου σφάλματος.



Εικόνα 3.5: Σελίδα σφαλμάτων.

Στην εικόνα 3.5 βλέπουμε τη σελίδα όπου εμφανίζονται τα σφάλματα. Η ενεργοποίηση των σφαλμάτων έχει γίνει με πρόγραμμα μέσα από το PLC1. Η διαχείριση των σφαλμάτων γίνεται ομαδοποιημένα για όλα τα μηνύματα σφάλματος που έχουν προκύψει. Έτσι όταν έχουμε ένα νέο σφάλμα και συνεχίζει να υφίσταται, εμφανίζεται μήνυμα κειμένου με κόκκινο χρώμα. Όταν ένα σφάλμα είναι ενεργό και γίνει γνωστοποίηση (Acknowledgment) από τον χειριστή, τότε το μήνυμα αλλάζει χρώμα και γίνεται κίτρινο, μέχρι να σταματήσει να υφίσταται, όπου και αποσύρεται από τη οθόνη σφαλμάτων. Σε περίπτωση που έχει έρθει ένα νέο σφάλμα και έχει σταματήσει να υφίσταται πριν γίνει γνωστοποίηση από τον χειριστή, τότε αλλάζει χρωματισμό και γίνεται μπλε, ώστε να ενημερωθεί για αυτό ο χειριστής και να το εξαλείψει κάνοντας γνωστοποίηση από τη σελίδα σφαλμάτων. Σε κάθε περίπτωση σε οποιοδήποτε από τα τρία παραπάνω στάδια βρίσκεται ένα σφάλμα, ο κινητήρας ο οποίος επηρεάζει δεν μπορεί να εκκινήσει και η ένδειξη σφάλματος στην τοπική σελίδα είναι ενεργοποιημένη. Παράλληλα, σε όλες τις σελίδες χειρισμού υπάρχει ένδειξη η οποία ενημερώνει τον χειριστή ότι πρέπει να επιθεωρήσει τη λίστα

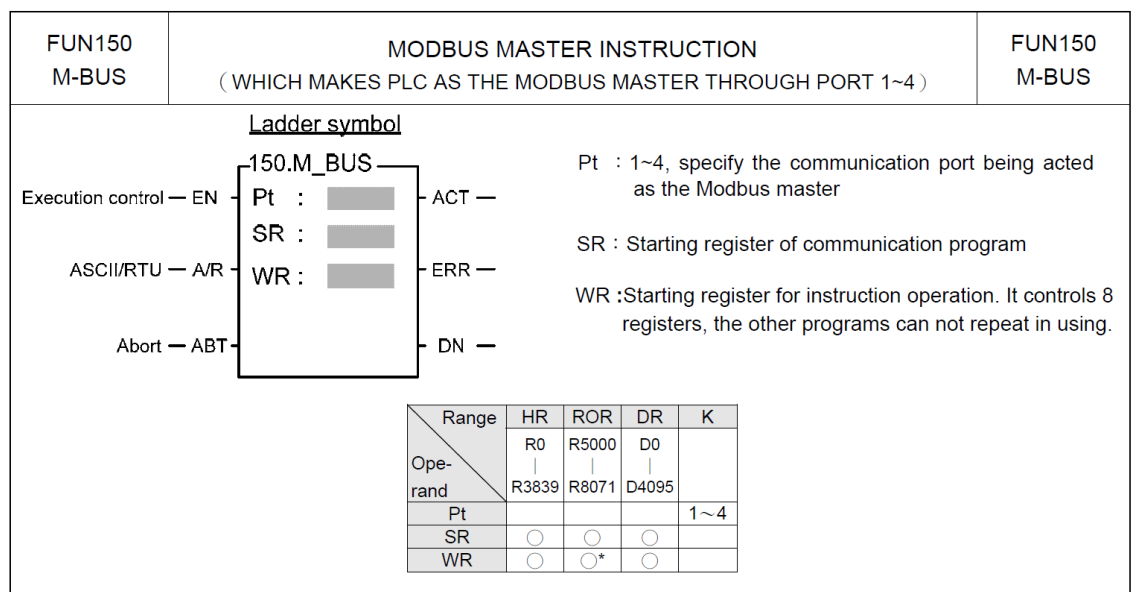
σφαλμάτων διότι έχουν προκύψει νέοι συναγερμοί από την τελευταία φορά που έκανε γνωστοποίηση.

3.3 Ρυθμίσεις επικοινωνίας της εργαστηριακής διάταξης.

Η οικογένεια προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών FBs της Fatek, υποστηρίζουν εφαρμογές επικοινωνίας με «έξυπνες» περιφερειακές συσκευές, μέσω των θυρών (Port 1 ~ Port 4), οι οποίες διαμορφώνονται μέσα από τη γλώσσα προγραμματισμού (**Ladder Program Control Interface**). Η επικοινωνία αυτή μπορεί να γίνει είτε μέσω του δικού της πρωτόκολλου επικοινωνίας (Fatek Communication Protocol) είτε μέσω του γνωστού πρωτοκόλλου επικοινωνίας Modbus, με το οποίο έγινε η εφαρμογή της παρούσης διπλωματικής εργασίας.

Στους τρεις σταθμούς ρυθμίστηκε μέσα από το μενού (PLC -> Setting -> Station Number) οι διευθύνσεις 1 για τον κύριο σταθμό ενώ και για τους σταθμούς No2 και No3, οι διευθύνσεις 2 και 3 αντίστοιχα. Παράλληλα στο ίδιο μενού (PLC -> Setting -> Protocol) ορίστηκε στον πρώτο σταθμό για την Port 4 η επιλογή Modbus Slave, ενώ στους άλλους δύο σταθμούς ορίστηκε η ίδια επιλογή για την Port 2.

Για την επικοινωνία μέσω Modbus καλείται μία εντολή (FUN150) μέσα από την οποία ορίζονται οι βασικές παράμετροι επικοινωνίας.



Εικόνα 3.6: Συνοπτική περιγραφή της εντολής FUN150.

Μέσω της εντολής FUN150 ορίζονται οι θύρες επικοινωνίας 1 έως 4 ως Modbus RTU/ASCII master, ώστε να διασυνδέονται, με πολύ απλό τρόπο, πληθώρα περιφερειακών συσκευών οι οποίες υποστηρίζουν το αντίστοιχο πρωτόκολλο επικοινωνίας. Η εντολή FUN150 εκτελείται μόνο στον σταθμό ο οποίος έχει οριστεί ως κύριος στο δίκτυο. Στην προκειμένη περίπτωση είναι ο σταθμός Νο1. Ο μέγιστος αριθμός σταθμών που μπορούν να συνδεθούν ως μη κύριοι (Slaves) μέσω της RS 232 θύρα επικοινωνίας είναι 247. Η εντολή εκτελείται όταν η είσοδος «EN» αλλάζει κατάσταση από 0 σε 1 ενώ ταυτόχρονα η είσοδος «ABT» είναι 0. όπως φαίνεται στον πίνακα 3.1, υπάρχουν κάποιες ειδικές περιοχές μνήμης (Special Registers) οι οποίες χρησιμοποιούνται για τις λειτουργίες της επικοινωνίας.

Comm Port	Port 1	Port 2	Port 3	Port 4
1. Port Ready Indicator	M1960	M1962	M1936	M1938
2. Port Finished Indicator	M1961	M1963	M1937	M1939
3. Port Communication Parameters	R4146	R4158	R4043	R4044
4. TX Delay & RX Time-out Span	R4147	R4159	R4045	R4048
5. Setting of RX Time-out Span	D4043			
6. Edge Trigger Execution	D4044			

Πίνακας 3.1: Ειδικές περιοχές μνήμης επικοινωνίας μέσω Modbus.

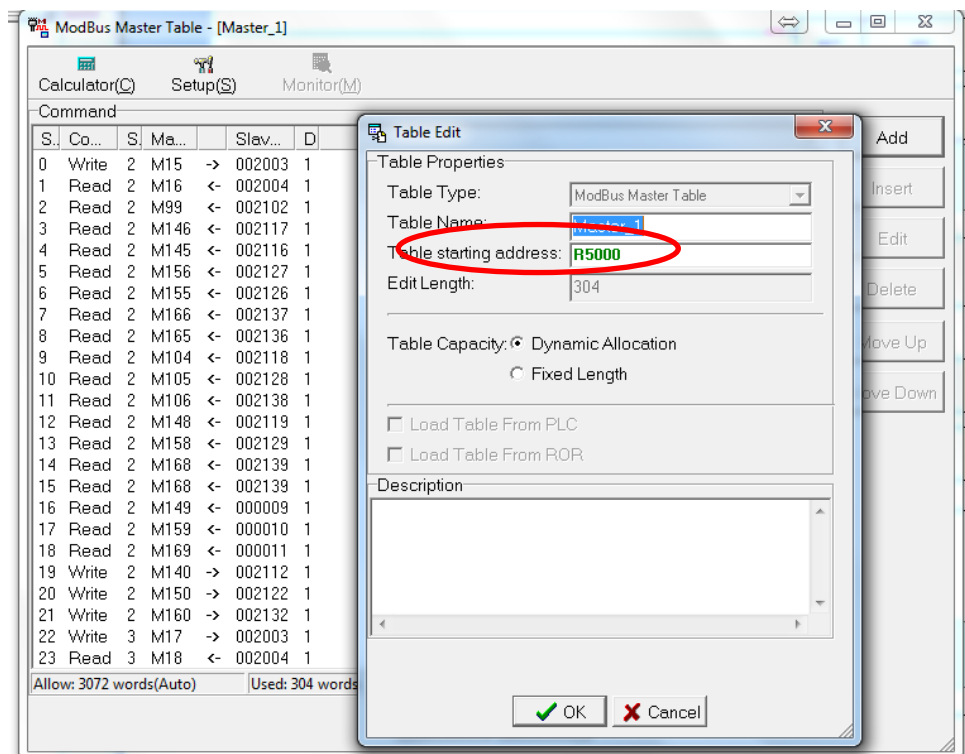
Σύμφωνα με τον πίνακα 3.1 βλέπουμε ότι όταν μία πόρτα δεν είναι δεσμευμένη και είναι ελεύθερη να ξεκινήσει επικοινωνία, το αντίστοιχο ψηφίο της πρώτης γραμμής (Port Ready Indicator) είναι σε κατάσταση 1. Τα ψηφία της δεύτερης γραμμής του πίνακα 3.1 γίνονται 1 για ένα κύκλο προγράμματος μετά από την ολοκλήρωση διακίνησης και του τελευταίου πακέτου, εφόσον έχει εκκινήσει να εκτελείται η αντίστοιχη επικοινωνία. Για το λόγο αυτό, όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.7, ορίζουμε το αντίστοιχο ψηφίο ως είσοδο για την εκτέλεση της επικοινωνίας, έτσι ώστε αν η συγκεκριμένη θύρα χρησιμοποιείται εκείνη τη στιγμή από άλλο σημείο του προγράμματος, να μένει ανενεργή η εντολή έως ότου ελευθερωθεί η θύρα και μπορεί να εκκινήσει η επικοινωνία.



Εικόνα 3.7: Εντολή FUN150 για επικοινωνία μέσω Modbus.

Όταν η συγκεκριμένη εντολή εκτελείται η έξοδος «ACT» μεταβαίνει σε κατάσταση 1. Επίσης κάθε φορά που ολοκληρώνεται η εντολή FUN150 η έξοδος «DN» γίνεται 1, ενώ σε περίπτωση που ανιχνευθεί κάποιο λάθος στην επικοινωνία, παράλληλα με την «DN» γίνεται 1 και η έξοδος «ERR».

Κάθε φορά που καλείται η εντολή επικοινωνίας FUN150 πρέπει να συνδέεται με τον αντίστοιχο πίνακα δεδομένων επικοινωνίας (Modbus Master Table). Όπως βλέπουμε στις εικόνες 3.7 και 3.8 προκειμένου να γίνει η αντιστοίχιση του πίνακα δεδομένων με τη συγκεκριμένη εντολή FUN150, πρέπει να ταυτίζεται η περιοχή μνήμης Table Starting Address.



Εικόνα 3.8: Πίνακας επικοινωνίας Modbus Master Table.

Στην εικόνα 3.8, φαίνεται πως στον πίνακα επικοινωνίας Modbus Master Table ορίζεται για κάθε πακέτο πληροφορίας, με ποιο σταθμό πρέπει να επικοινωνήσει, την ενέργεια που καλείται να κάνει (π.χ. Read ή Write) και την περιοχή της μνήμης που καλείται να επεξεργαστεί από τον κάθε σταθμό. Όσον αφορά τον τρόπο με τον οποίο δηλώνεται η περιοχή μνήμης για τους περιφερειακούς σταθμούς, ορίζεται από τον πίνακα 3.2.

<u>Data of Master</u>		<u>Data of Slave</u>	<u>Data length</u>
Y0 ~ Y255	←	000001 ~ 065535	1 ~ 255
M0 ~ M1911	←	000001 ~ 065535	1 ~ 255
S0 ~ S999	←	000001 ~ 065535	1 ~ 255
Y0 ~ Y255	←	100001 ~ 165535	1 ~ 255
M0 ~ M1911	←	100001 ~ 165535	1 ~ 255
S0 ~ S999	←	100001 ~ 165535	1 ~ 255
R0 ~ R3839	←	400001 ~ 465535	1 ~ 125
D0 ~ D3999	←	400001 ~ 465535	1 ~ 125
R0 ~ R3839	←	300001 ~ 365535	1 ~ 125
D0 ~ D3999	←	300001 ~ 365535	1 ~ 125
Y0 ~ Y255	→	000001 ~ 065535	1 ~ 255
M0 ~ M1911	→	000001 ~ 065535	1 ~ 255
S0 ~ S999	→	000001 ~ 065535	1 ~ 255
R0 ~ R3839	→	400001 ~ 465535	1 ~ 125
D0 ~ D3999	→	400001 ~ 465535	1 ~ 125

Πίνακας 3.2: Αντιστοίχιση περιοχής μνήμης Master ~ Slave.

Είναι πολύ σημαντικό να προσέξουμε την περιοχή μνήμης που χρειάζεται ώστε να διακινηθούν τα πακέτα πληροφορίας που έχουμε ορίσει στον πίνακα επικοινωνίας. Στην εικόνα 3.9 φαίνεται η δομή που έχει το τηλεγράφημα σύμφωνα με το οποίο γίνεται η διακίνηση δεδομένων. Σύμφωνα με την παρακάτω ανάλυση χρειάζονται τρεις περιοχές μνήμης (Registers) ως πάγιες για την επικοινωνία, ενώ για κάθε πακέτο απαιτούνται επιπλέον επτά περιοχές μνήμης. Σύμφωνα με τα παραπάνω μπορούμε να υπολογίσουμε ακριβώς την περιοχή μνήμης που χρειαζόμαστε προκειμένου να πετύχουμε την επικοινωνία που θέλουμε. Στην περίπτωση της παρούσης διπλωματικής, τα πακέτα που ορίστηκαν στην επικοινωνία είναι 43. Με βάση τα παραπάνω η περιοχή μνήμης που χρειαζόμαστε για την επικοινωνία είναι $2+(43 \times 7)+1=304$. Αυτό σημαίνει ότι από τη στιγμή που έχουμε ορίσει ως αρχή για τη καταγραφή της επικοινωνίας μας την περιοχή μνήμης R5000, δεσμεύεται από το πρόγραμμα η περιοχή μνήμης έως την R5304. Ο παραπάνω υπολογισμός φαίνεται και στις ρυθμίσεις του πίνακα επικοινωνίας (Εικόνα 3.8), στο πεδίο Edit Length.

Starting register for communication program of M-BUS instruction

SR : Starting register for communication program of M-BUS instruction

SR+0	A5h	50h	• A550h · it means valid M-BUS program
SR+1	07h	Total transactions	• Low Byte : Total number of transactions · one transaction needs 7 registers to describe.
SR+2	Slave station No. Which is about to transact with		• Low Byte is valid, 0~247 (0 means that master PLC broadcasts the data to all slaves, the slaves do not reply).
SR+3	Command code		• Low Byte is valid ; =1, means "Read data from slave station" =2, means "Write multiple data to slave station" =3, means "Write single data to slave station"
SR+4	Data length of this transaction		• Low Byte is valid; the range is 1~125 (Reg.) or 1~255 (Discrete).
SR+5	Data type of Master PLC		• Low Byte is valid, and its range is 1~3 or 12~13; it defines the data type of master PLC (see next page).
SR+6	Starting reference of Master PLC		• Word is valid; it defines the starting address of data (master).
SR+7	Data type of slave station		• Low Byte is valid, and its range is 0 or 4; it defines the data type of slave station (see next page).
SR+8	Starting reference of Slave station		• Word is valid; it defines the starting address of data (slave).
SR+9	Slave station No. which is about to transact with		} Description of the 2 _{nd} packet of transaction
SR+10	Command code		
SR+11	Data length of this transaction		
SR+12	Data type of Master PLC		
SR+13	Starting reference of Master PLC		
SR+14	Data type of slave station		
SR+15	Starting reference of Slave station		
•			
•			
•			
SR+2+n×7	Reserved		• N is the total number of transaction

Εικόνα 3.9: Ανάλυση τηλεγραφήματος της επικοινωνίας.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α:

Ηλεκτρολογικό σχέδιο διάταξης.



ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΣΤΕΦ

ΘΗΒΩΝ & ΠΕΤΡΟΥ ΡΑΜΛΗ
ΠΕΙΡΑΙΑΣ

Phone. +030 210-5381460

Company / customer

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Project description

“ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ - ΈΛΕΓΧΟΣ ΜΕ ΔΙΚΤΥΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΩΝ ΛΟΓΙΚΩΝ ΕΛΕΓΚΤΩΝ (PLC)”

Job number

IEC_tpl002

Commission

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΗΕ ΙΙ

Manufacturer (company)

ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΣΤΕΦ

Path

EPLAN sample project

Project name

PMS_Thesis Kiriakakis

Place of installation

ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

Responsible for project

ΚΑΜΙΝΑΡΗΣ ΣΤΑΥΡΟΣ

Created on

6/7/2017

Edit date

17/11/2017

by (short name) ΧΚΙΡΙΑΚΑΚΙΣ

Number of pages 9

Modification	Date	Name	Original

Date	14/7/2017
Eg.	ΧΚΙΡΙΑΚΑΚΙΣ
Appr	
Original	

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΗΕ ΙΙ	ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΣΤΕΦ
“ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ - ΈΛΕΓΧΟΣ ΜΕ ΔΙΚΤΥΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΩΝ ΛΟΓΙΚΩΝ ΕΛΕΓΚΤΩΝ (PLC)”	ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΣΤΕΦ
Replaced by	

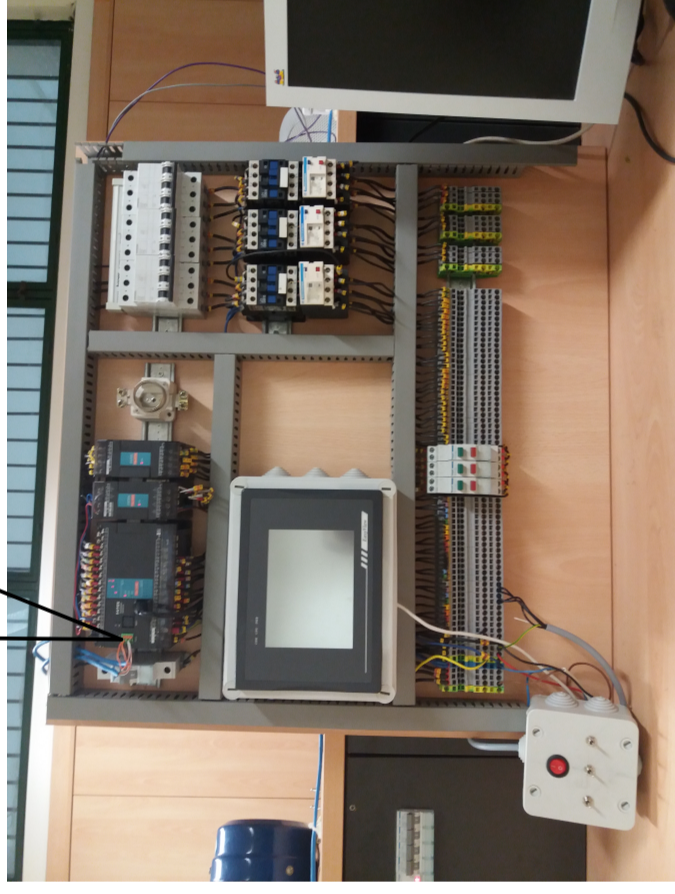
IEC_tpl002	

	=
	+

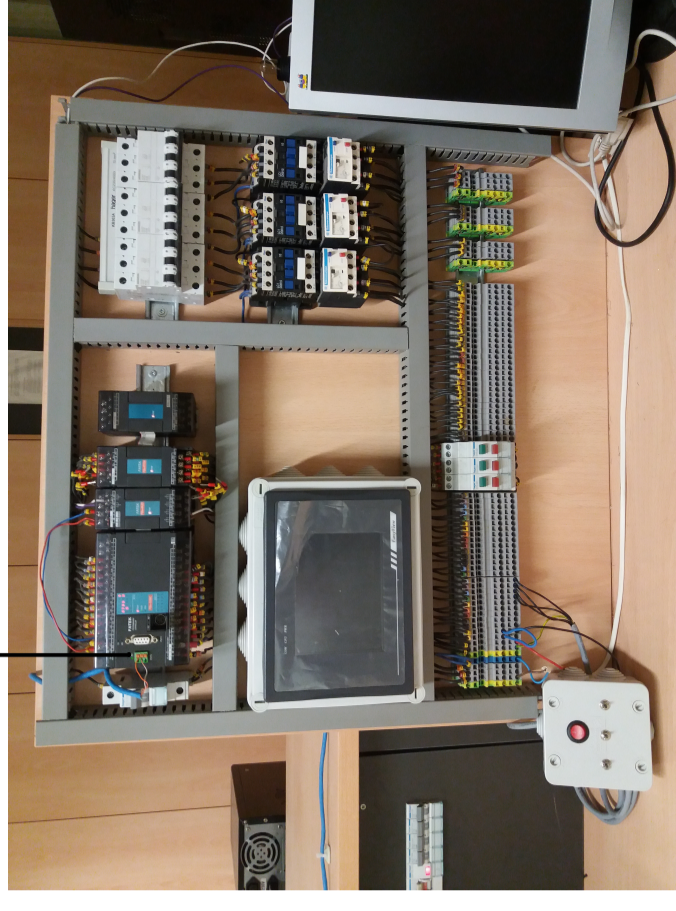
Page	1
Page	9



ΣΤΑΘΜΟΣ 1
MASTER PLC

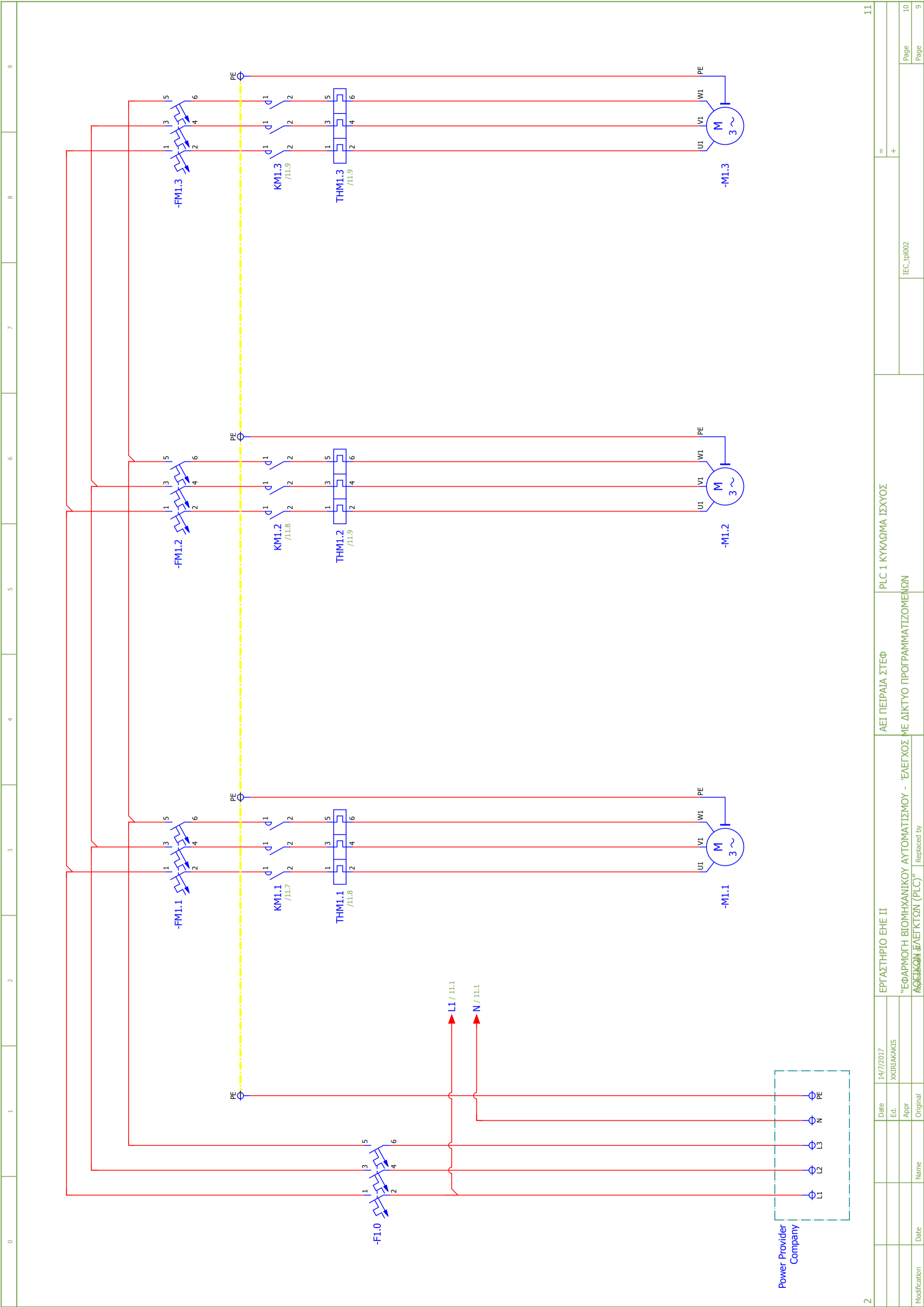


ΣΤΑΘΜΟΣ 2
SLAVE PLC



ΣΤΑΘΜΟΣ 3
SLAVE PLC

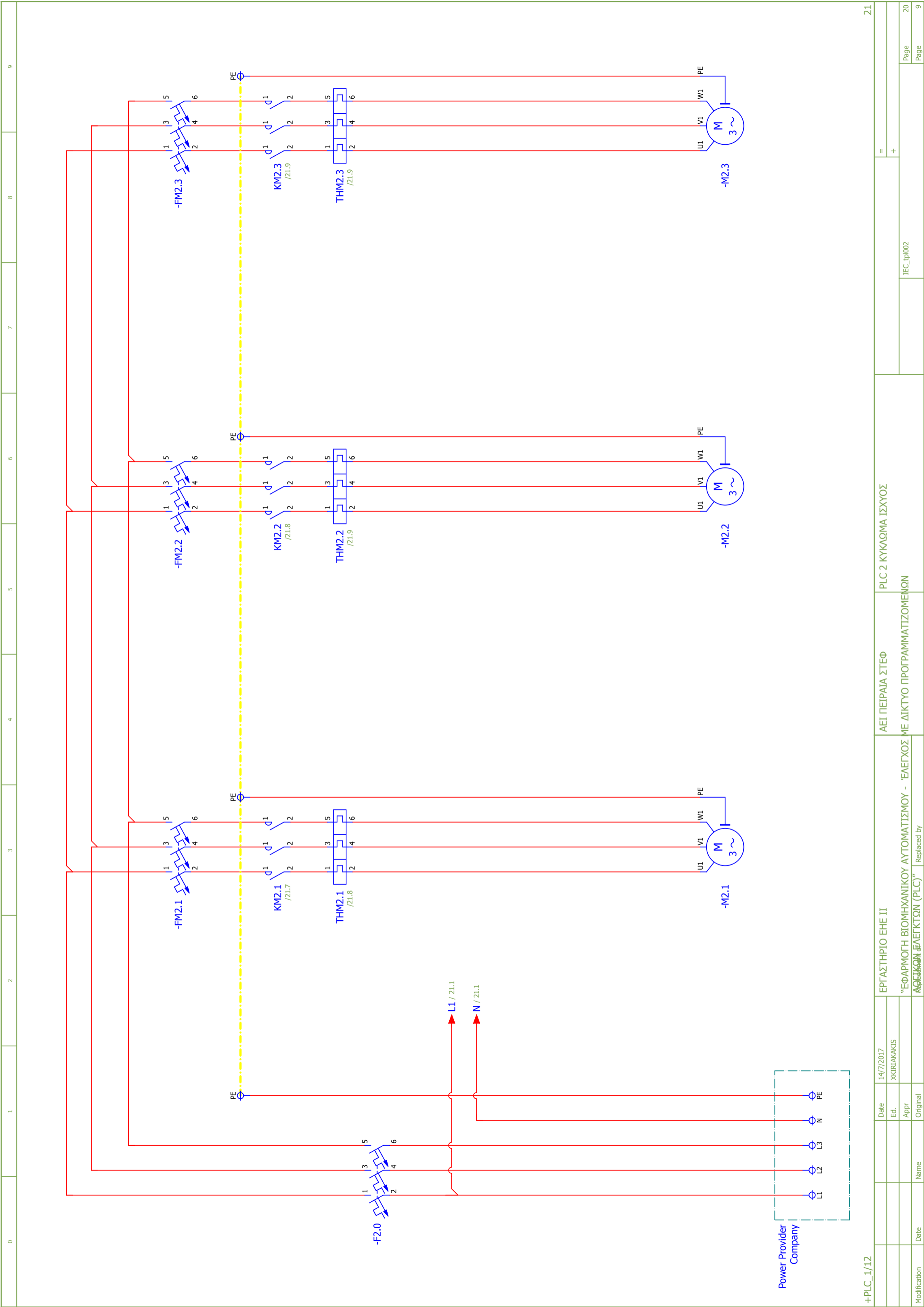
Date	14/7/2017	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΠΕ ΙΙ	ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΣΤΕΦ	+PLC_1/10
Ed.	ΧΚΙΡ/ΑΚΑΚΙΣ			
Appr		"ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ - ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΕ ΔΙΚΤΥΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΕΝΩΝ ΑΦΕΛΙΚΩΝ ΕΛΕΓΚΤΩΝ (PLC)"	IEC_tpi002	
Original		Replaced by		
Modification	Date	Name		Page
				2
				9



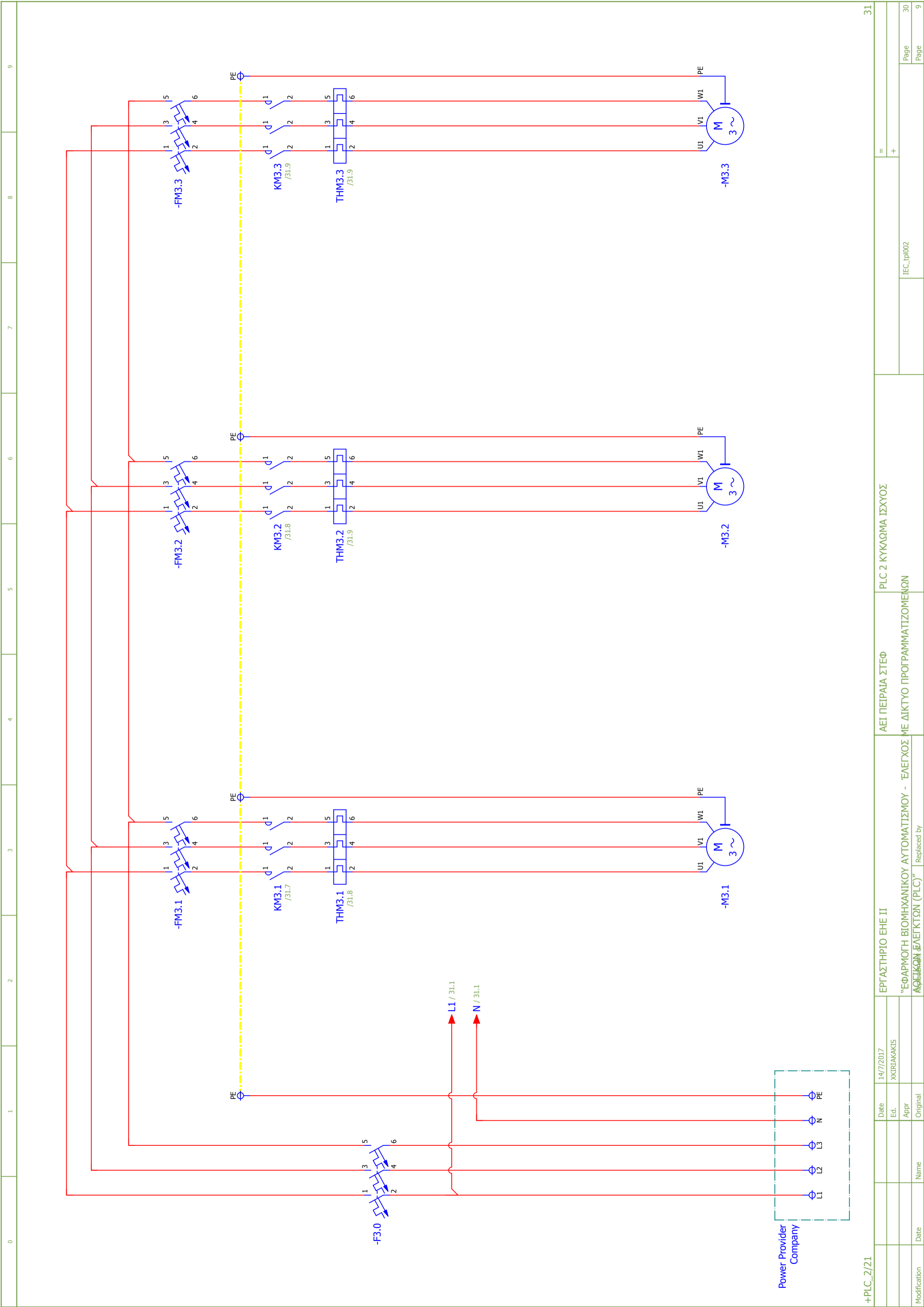
Date	14/7/2017
Eg.	XKIRIAKAKIS
Appr	
Original	
Name	
Date	

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΠΕ ΙΙ
 "ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ - ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΕ ΔΙΚΤΥΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΩΝ ΑΦΕΛΙΚΩΝ ΕΛΕΓΚΤΩΝ (PLC)"
 Replaced by

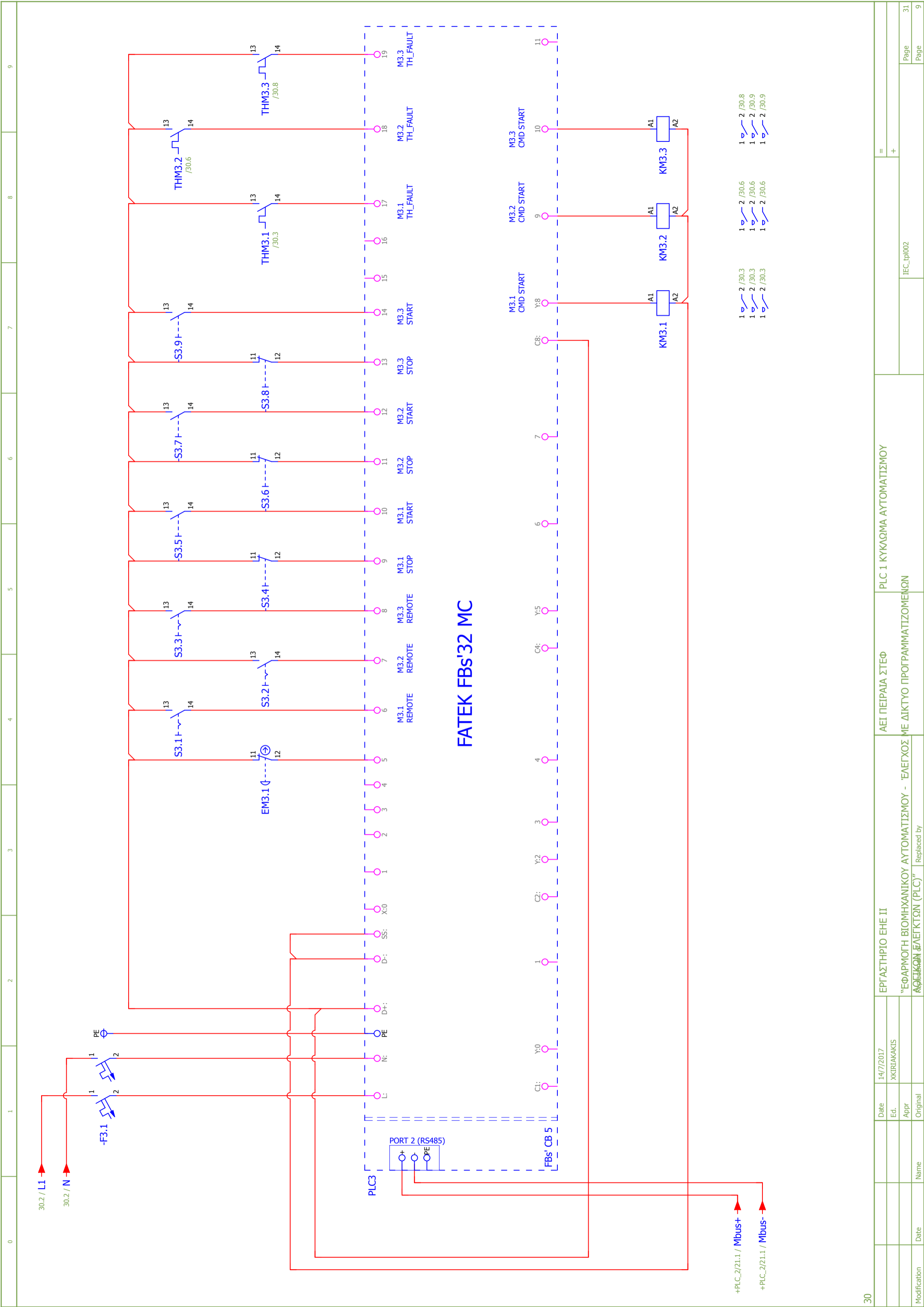
ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΣΤΕΦ
 PLC 1 ΚΥΚΛΩΜΑ ΙΣΧΥΟΣ
 ΔΙΚΤΥΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΩΝ



Date	14/7/2017	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΠΕ II	ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΣΤΕΦ	PLC 2 ΚΥΚΛΩΜΑ ΙΣΧΥΟΣ	21
Eg.	XKIRIAKAKIS	"ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ - ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΕ ΔΙΚΤΥΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΩΝ ΑΦΕΛΙΚΩΝ ΕΛΕΓΚΤΩΝ (PLC)"	ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΣΤΕΦ	PLC 2 ΚΥΚΛΩΜΑ ΙΣΧΥΟΣ	
Appr		ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΣΤΕΦ	ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΣΤΕΦ	ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΣΤΕΦ	
Original		ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΣΤΕΦ	ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΣΤΕΦ	ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΣΤΕΦ	
Name		ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΣΤΕΦ	ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΣΤΕΦ	ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΣΤΕΦ	
Date		ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΣΤΕΦ	ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΣΤΕΦ	ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΣΤΕΦ	
Modification		ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΣΤΕΦ	ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΣΤΕΦ	ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΣΤΕΦ	
Page	20	ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΣΤΕΦ	ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΣΤΕΦ	ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΣΤΕΦ	9
Page	9	ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΣΤΕΦ	ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΣΤΕΦ	ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΣΤΕΦ	9



Date	14/7/2017	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΠΕ ΙΙ	PLC 2 ΚΥΚΛΩΜΑ ΙΣΧΥΟΣ	31
Eg.	ΧΚΙΡΓΙΑΚΑΚΙΣ	ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΣΤΕΦ		
Appr		"ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ - ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΕ ΔΙΚΤΥΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΩΝ ΑΡΧΕΤΙΚΩΝ ΕΛΕΓΚΤΩΝ (PLC)"	ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΣΤΕΦ	
Original		Replaced by		
Name				
Date				
Modification				
Page	30			
Page	9			

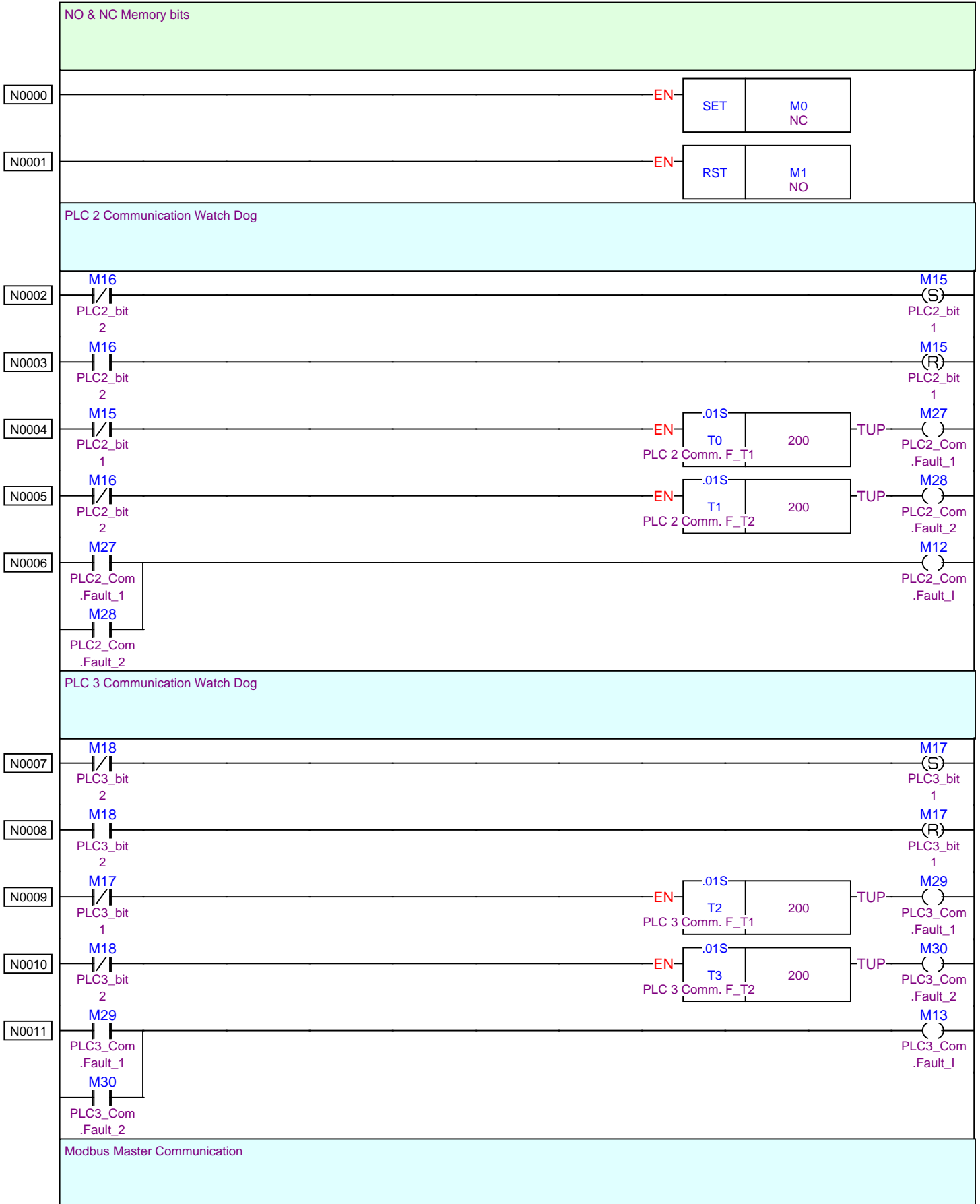


FATEK FBS'32 MC

- 1 2 /30.3
- 1 2 /30.3
- 1 2 /30.3
- 1 2 /30.6
- 1 2 /30.6
- 1 2 /30.6
- 1 2 /30.9
- 1 2 /30.9
- 1 2 /30.9

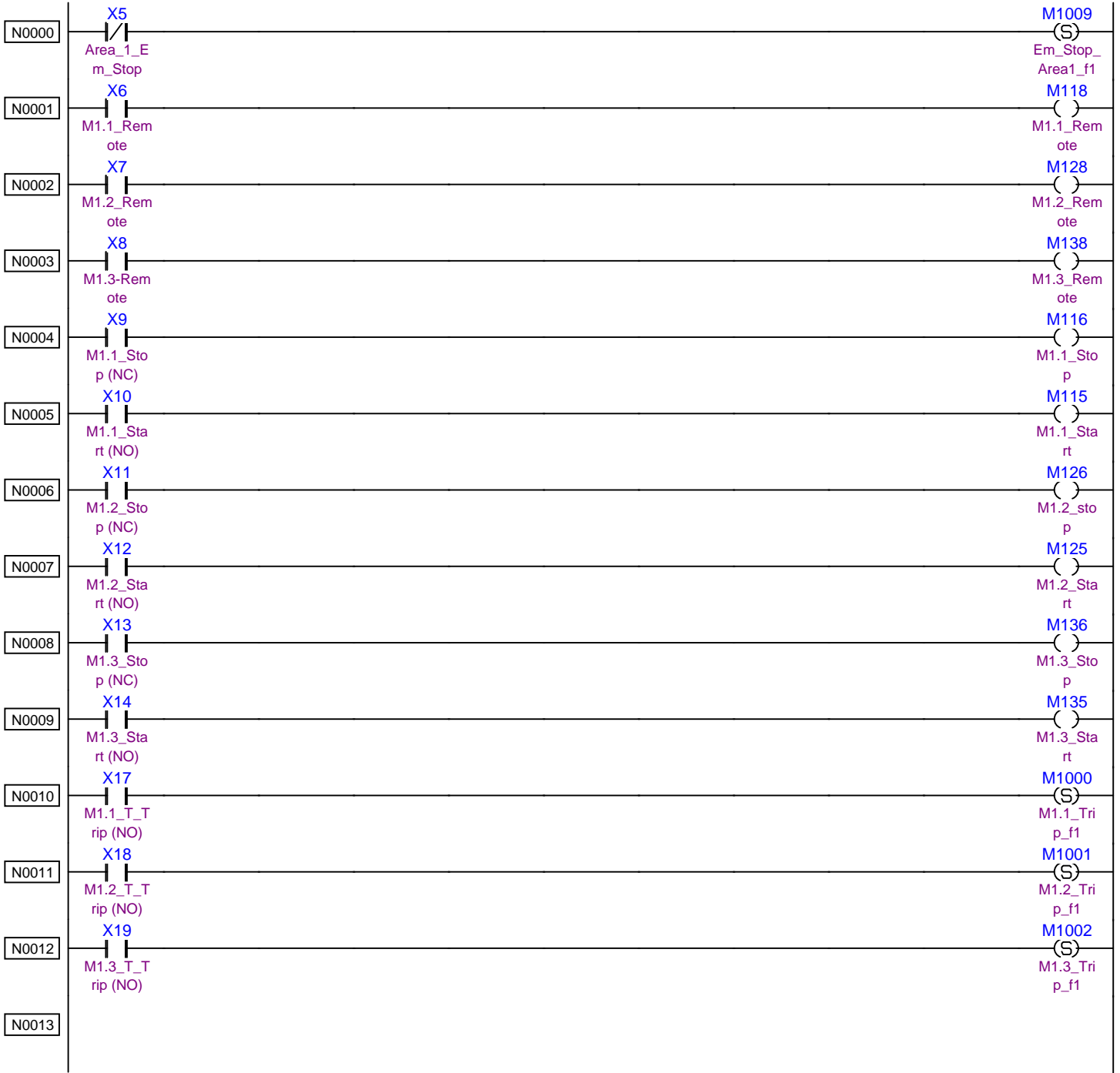
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

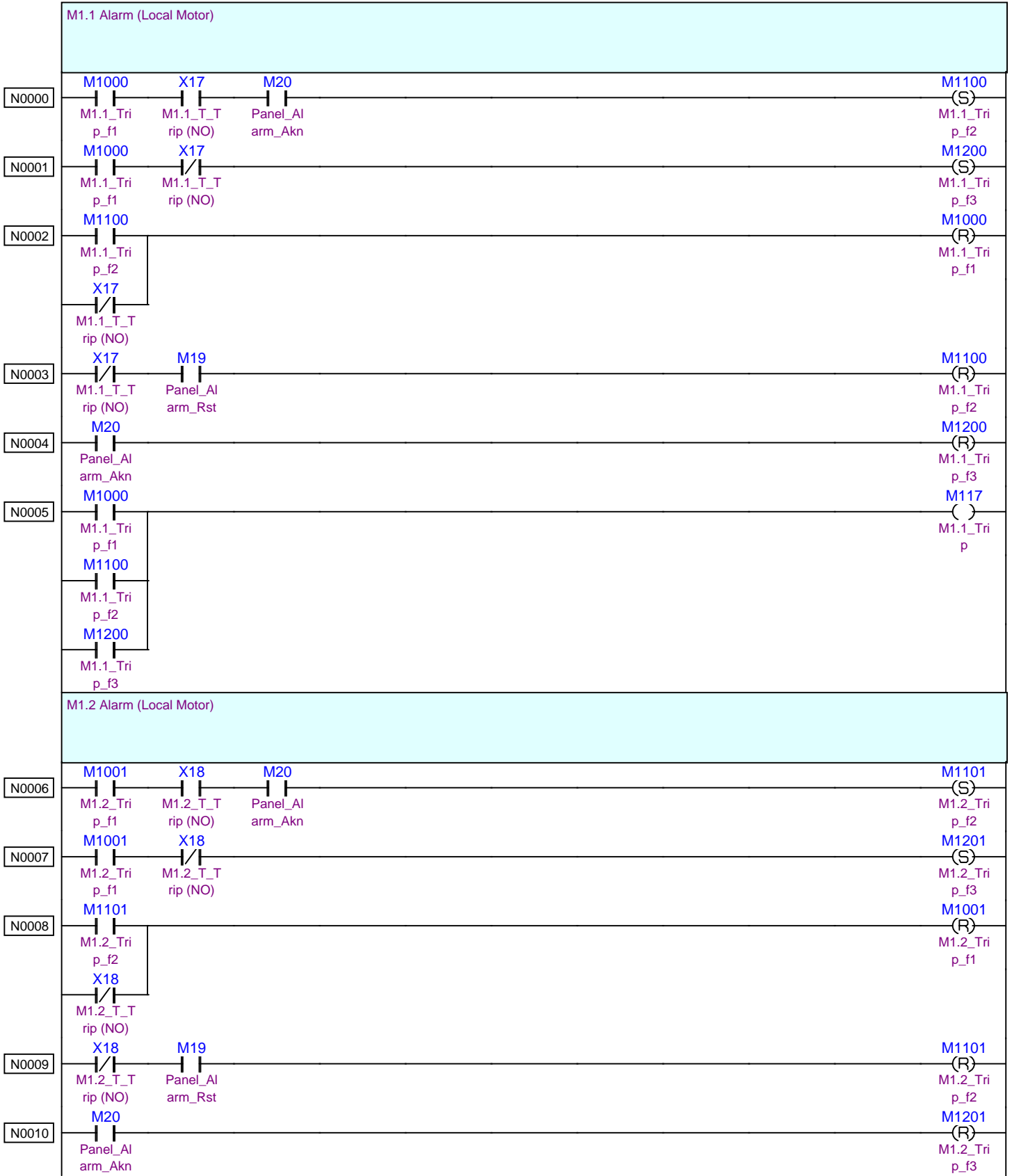
Πρόγραμμα PLC.



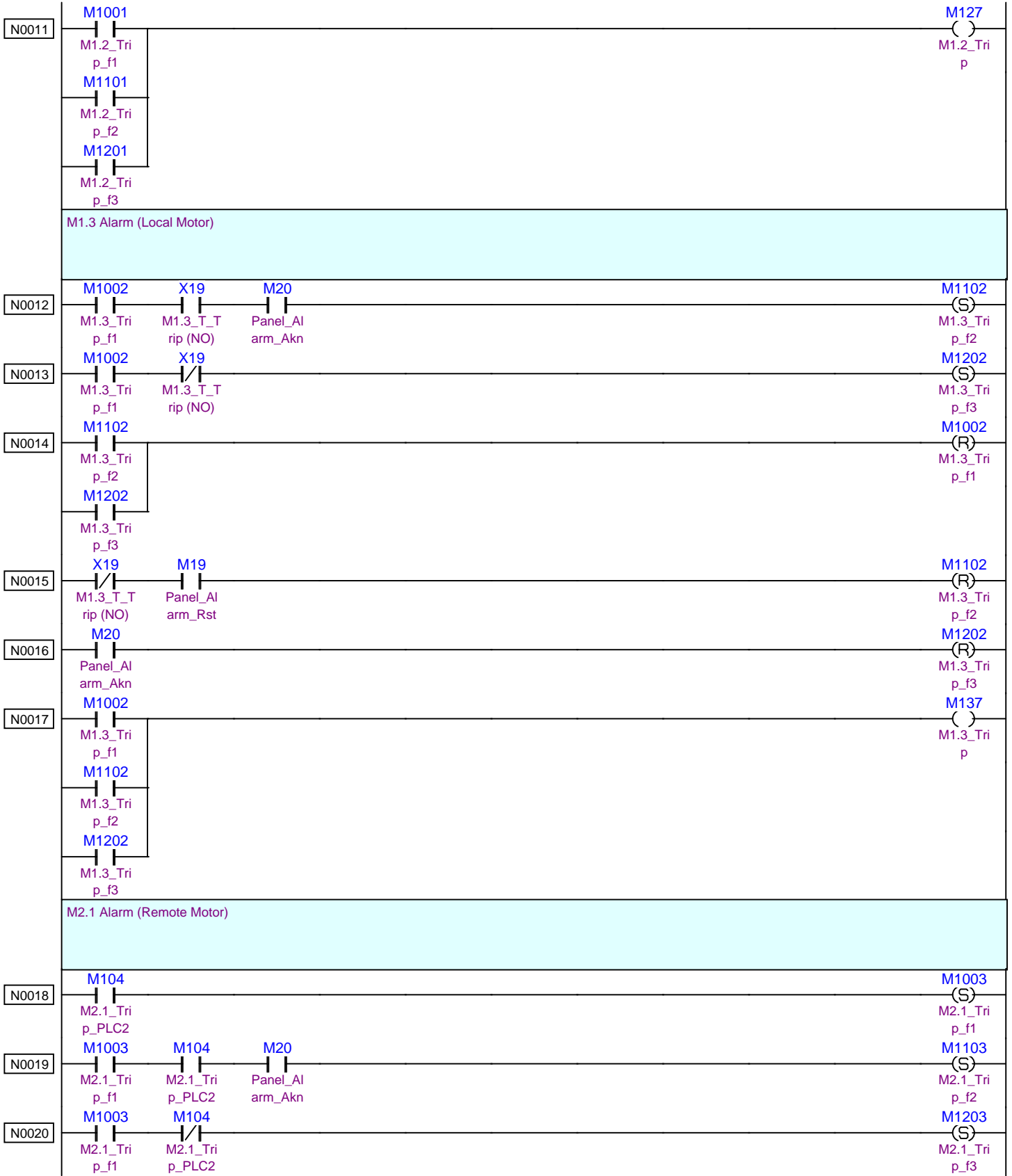


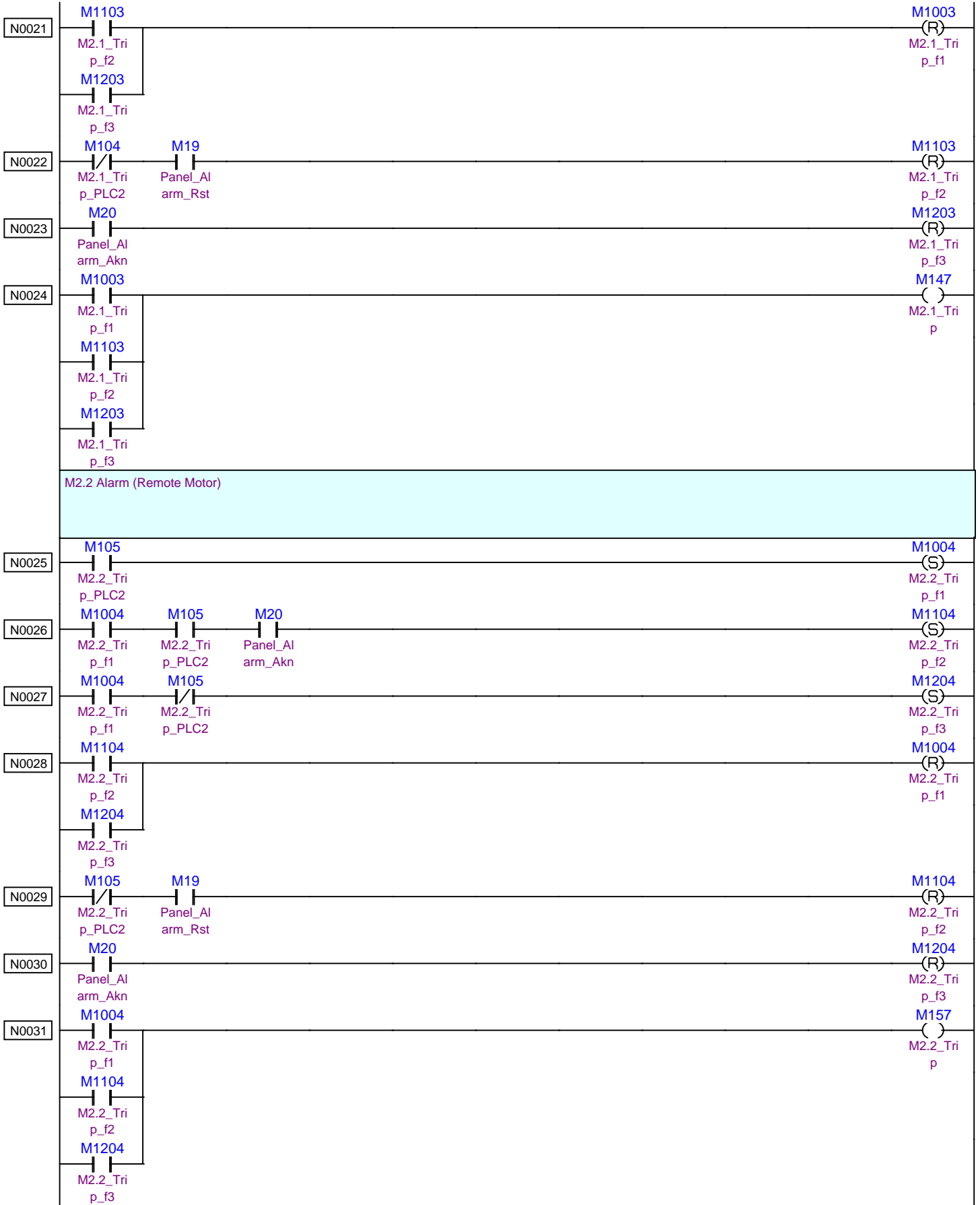
Printed Item: Ladder Diagram - Read PLC 1 Inputs

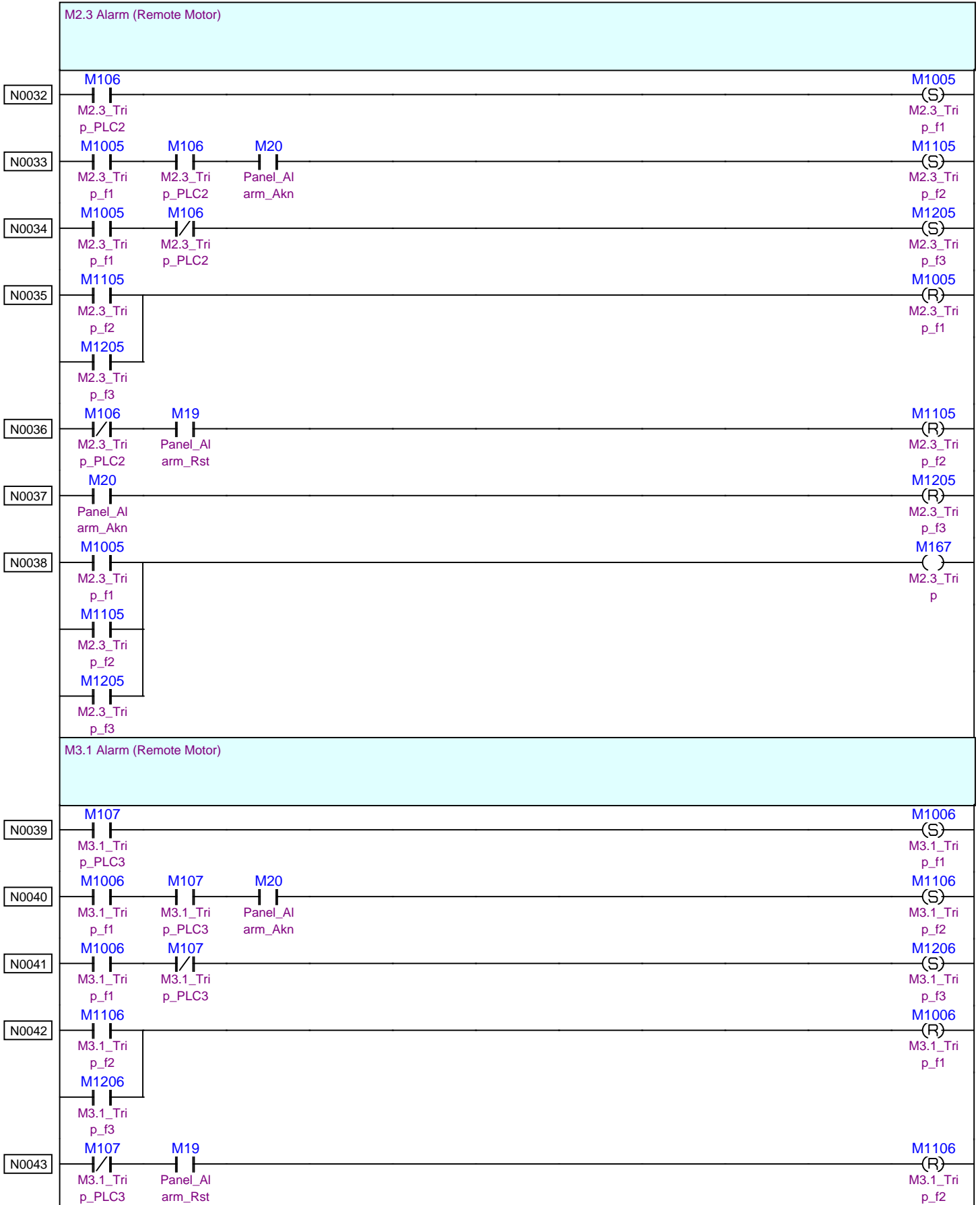




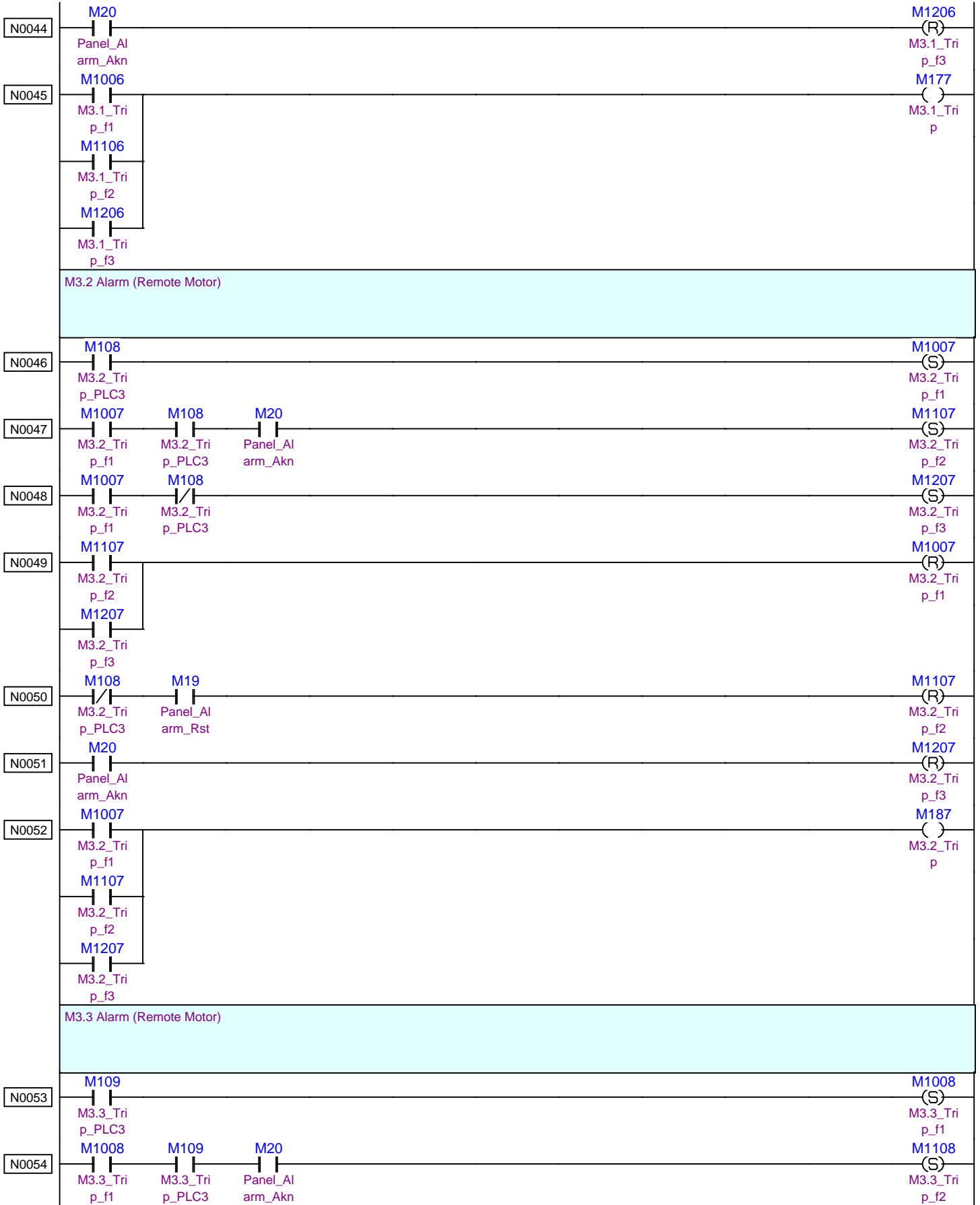
Printed Item: Ladder Diagram - Alarms



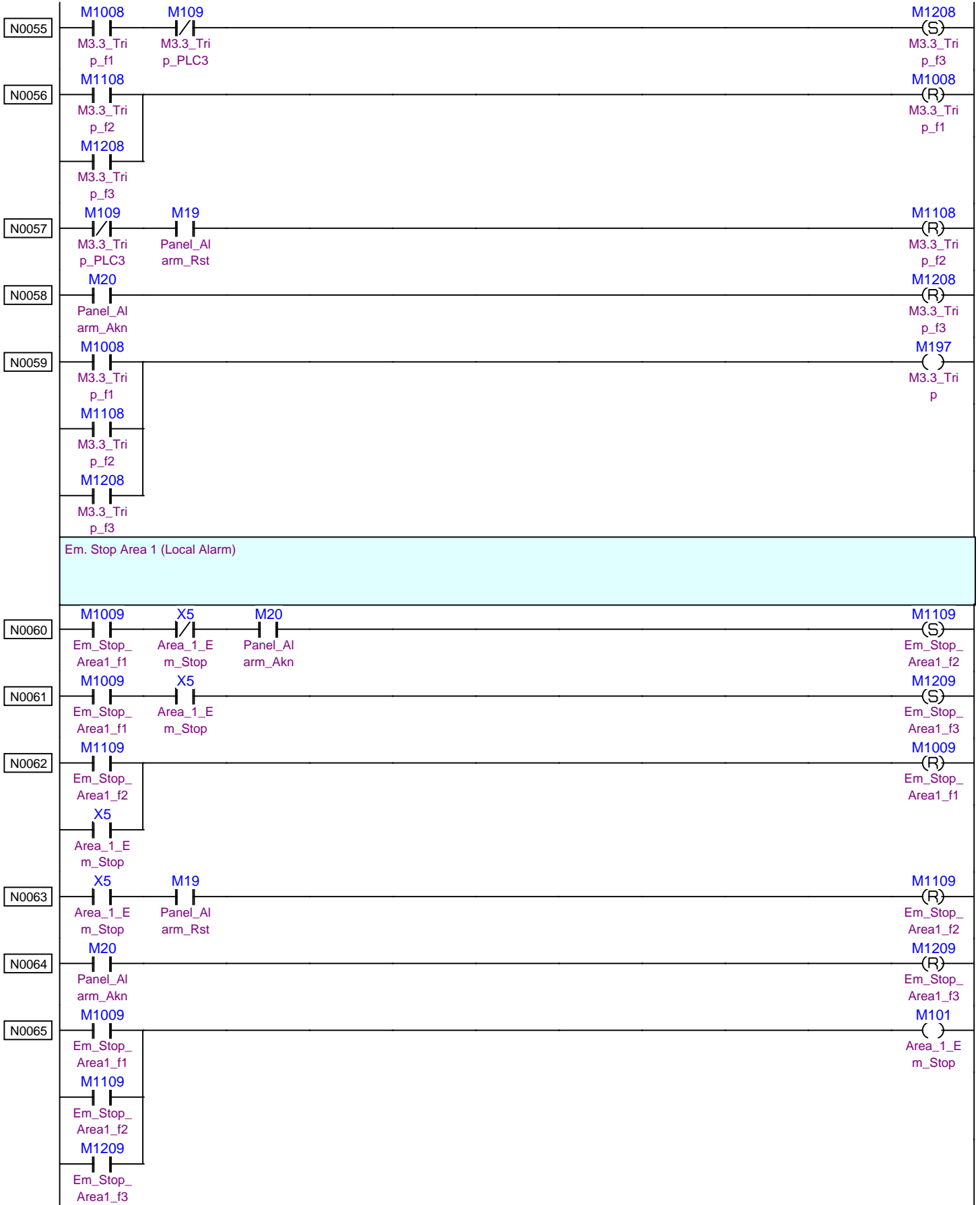


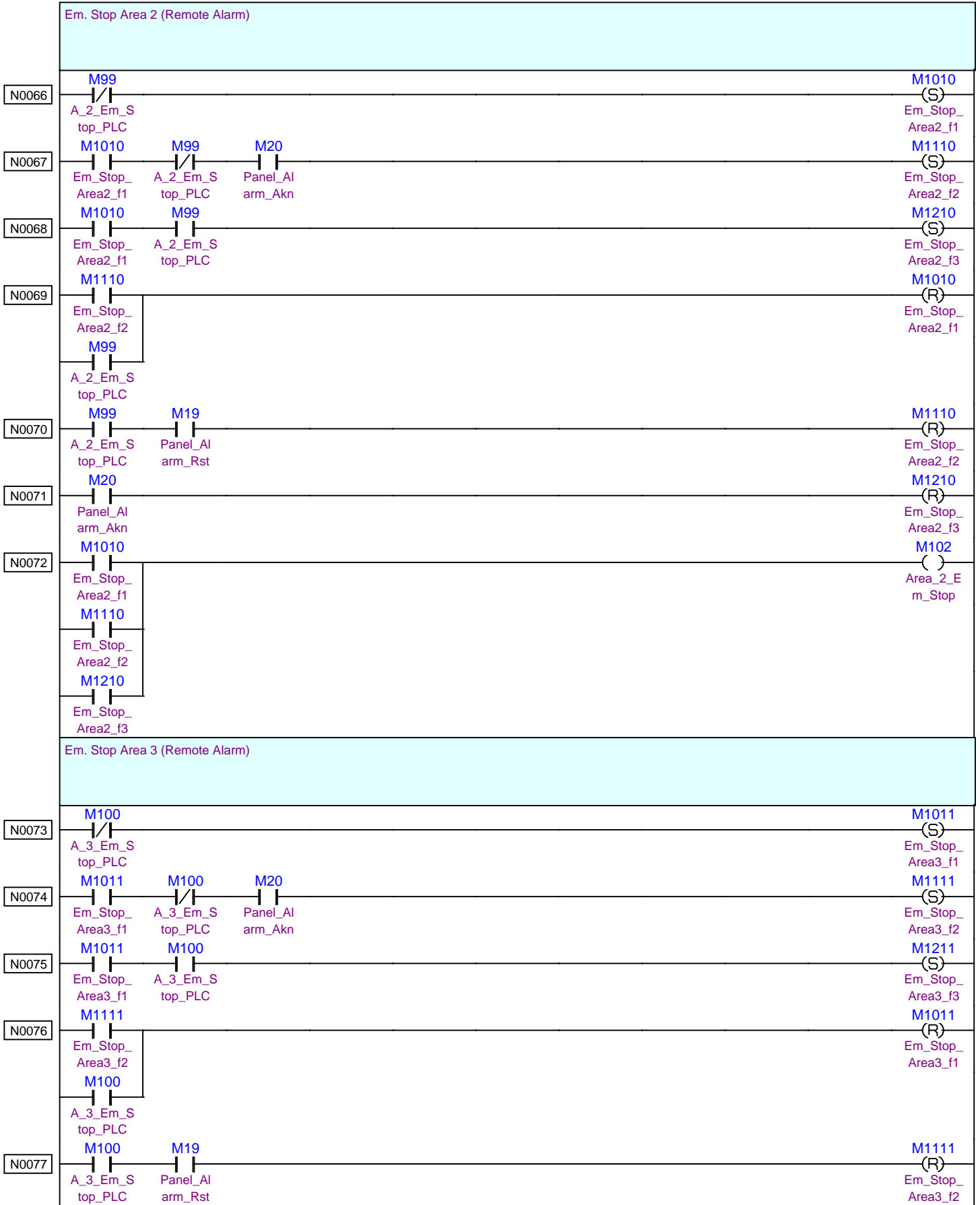


Printed Item: Ladder Diagram - Alarms

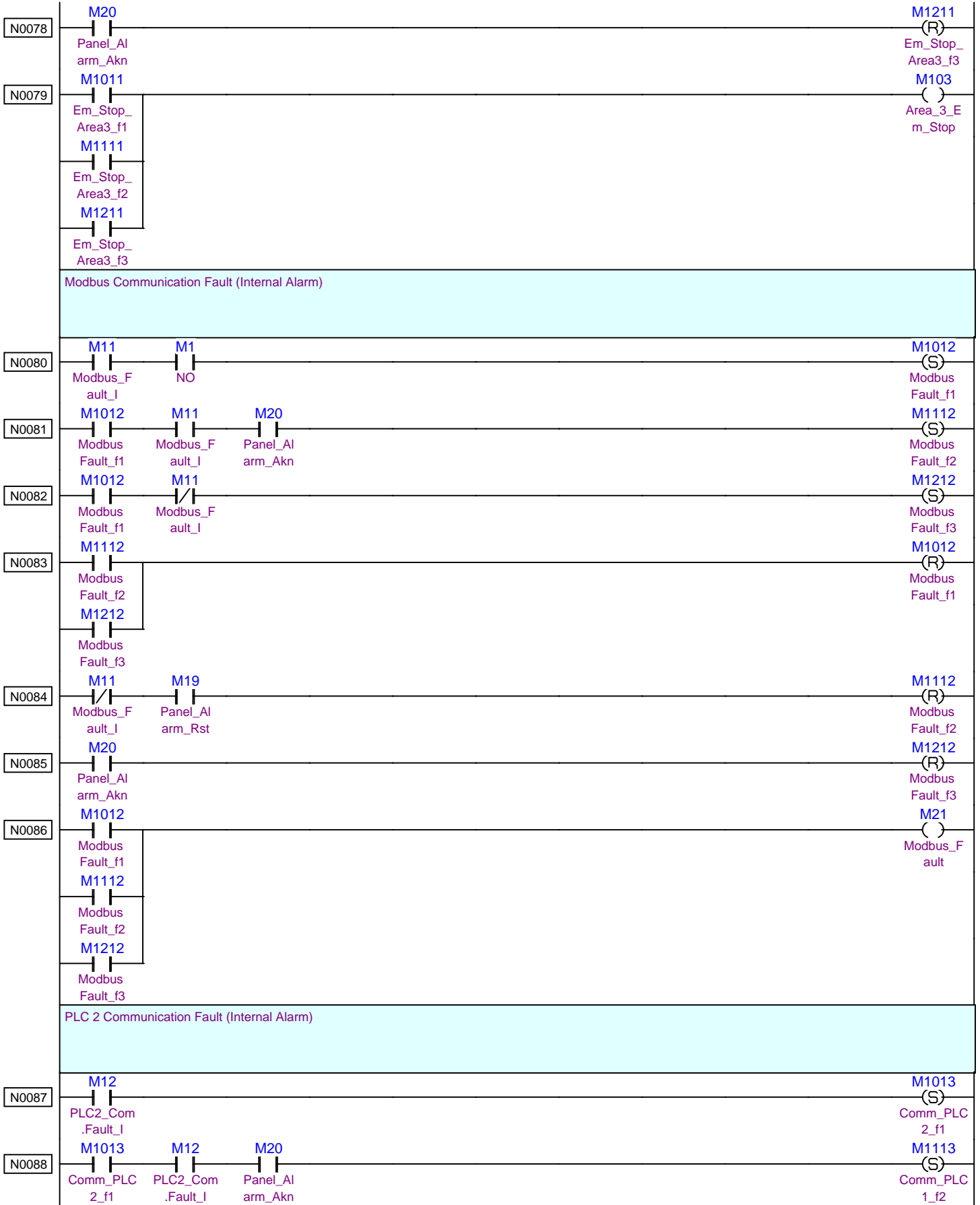


Printed Item: Ladder Diagram - Alarms

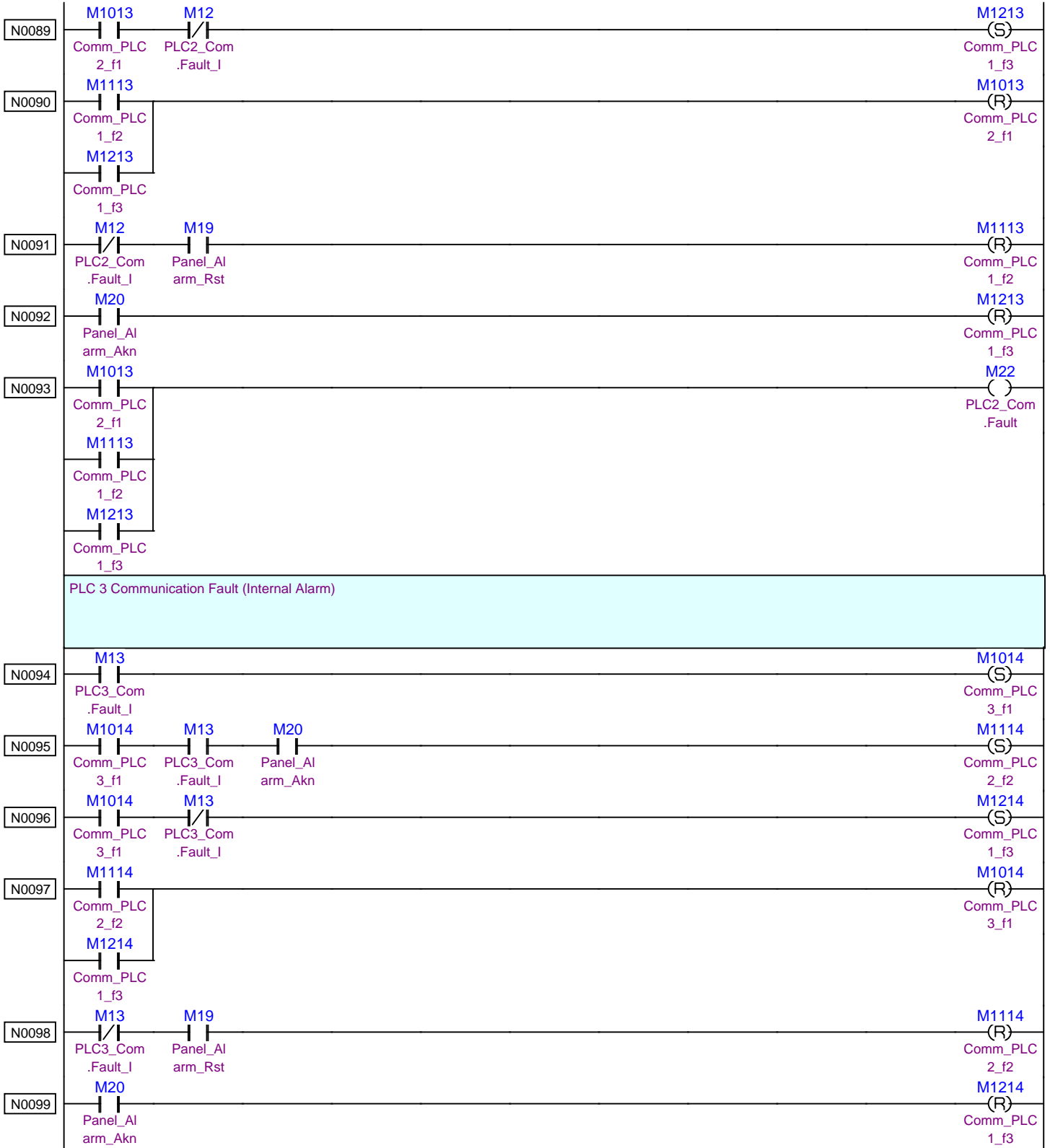


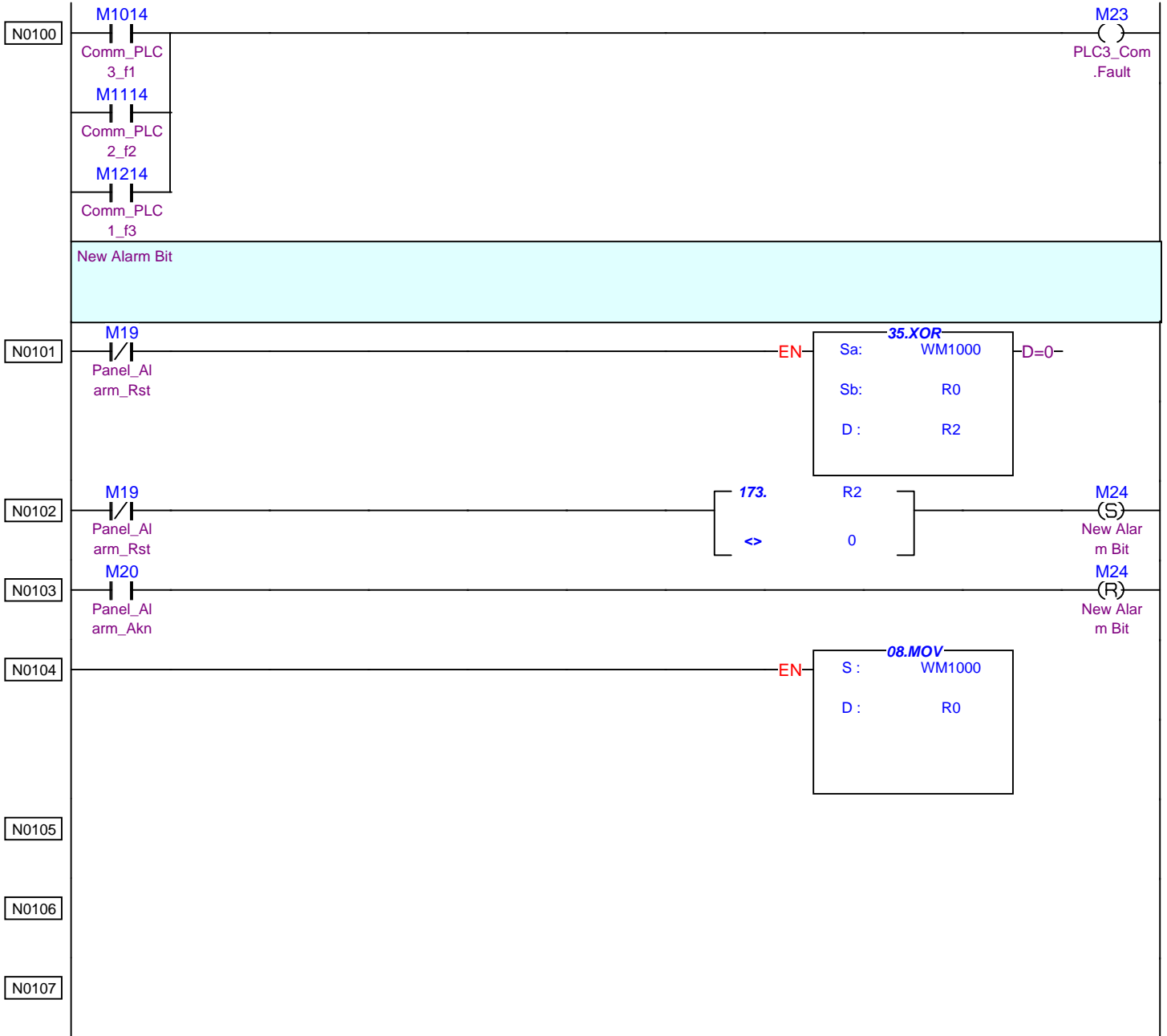


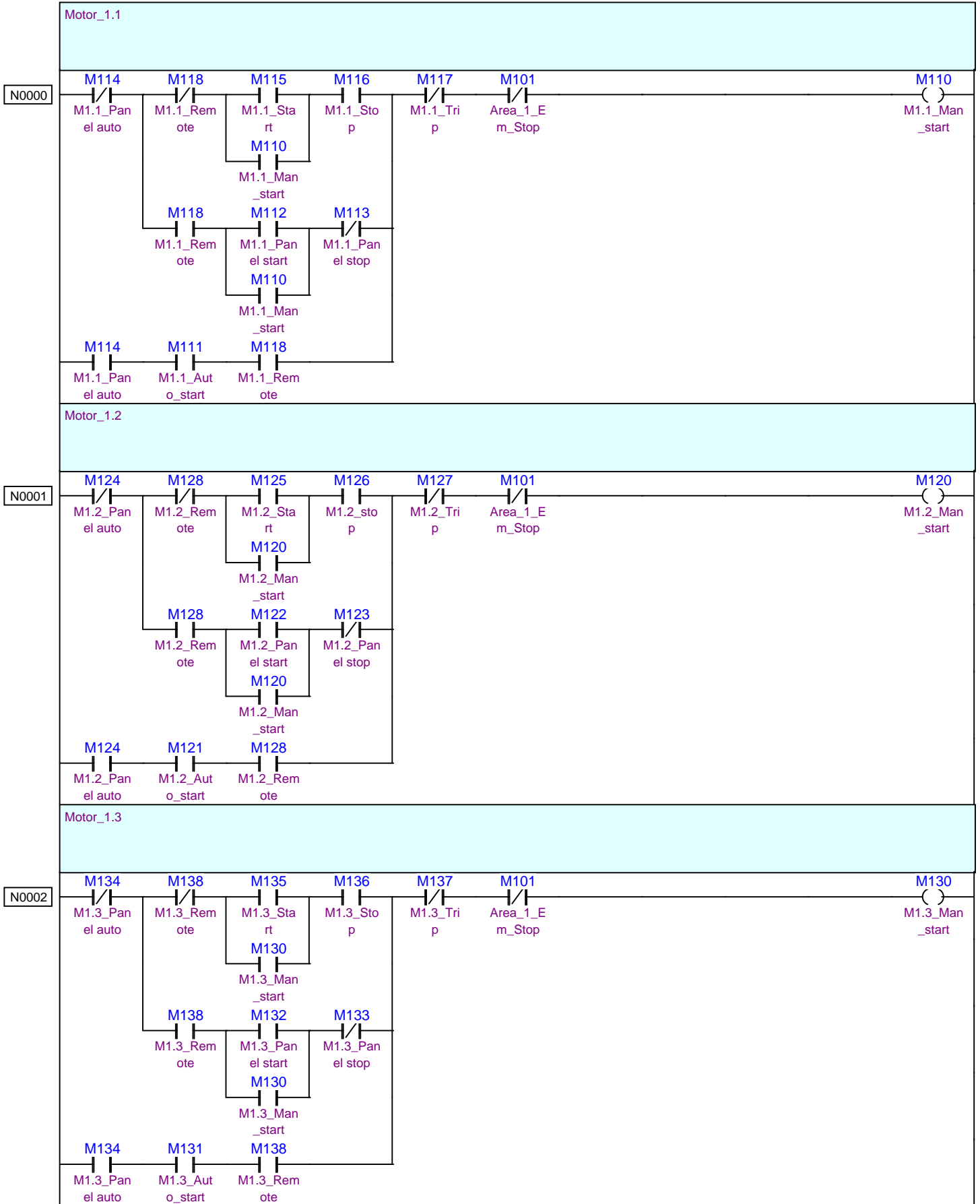
Printed Item: Ladder Diagram - Alarms

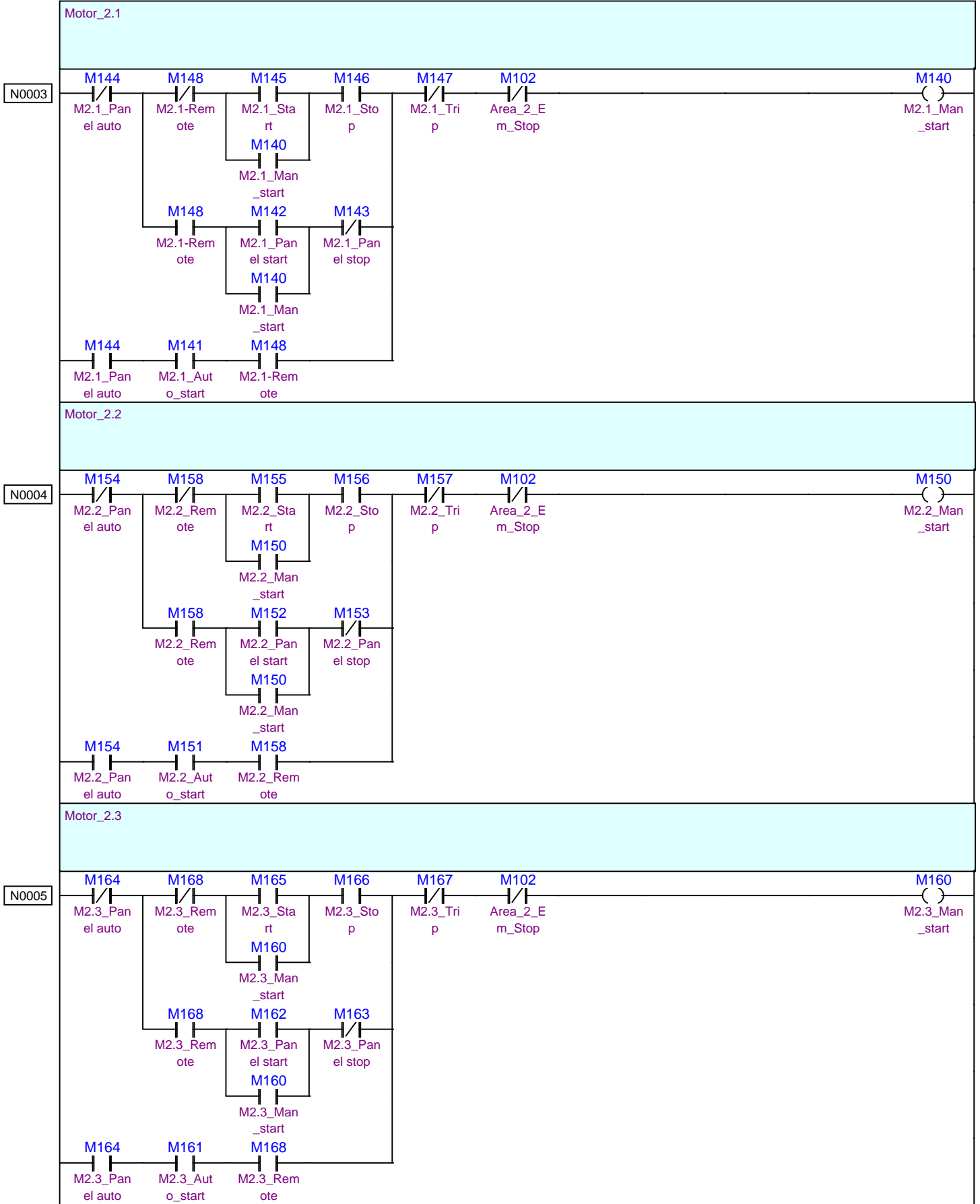


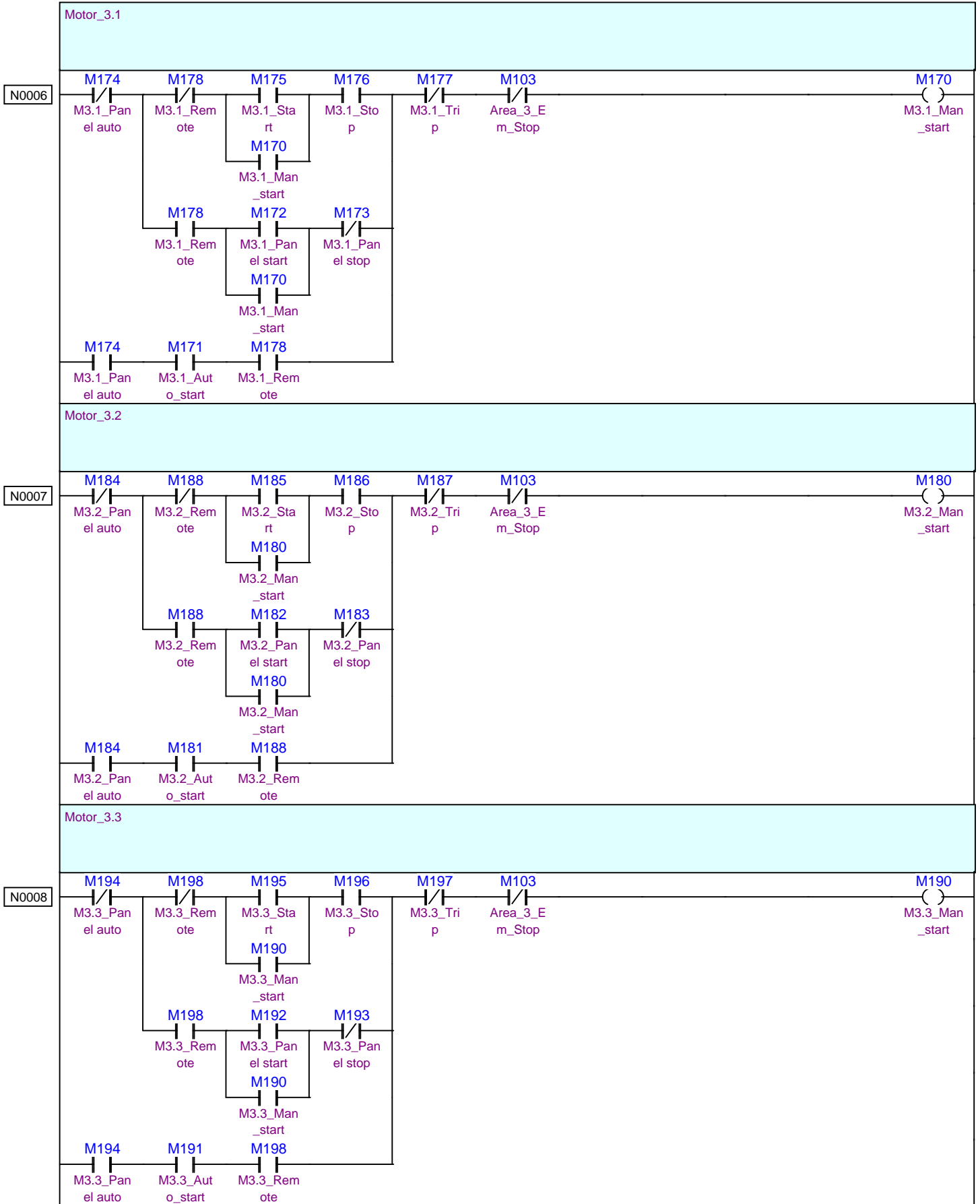
Printed Item: Ladder Diagram - Alarms





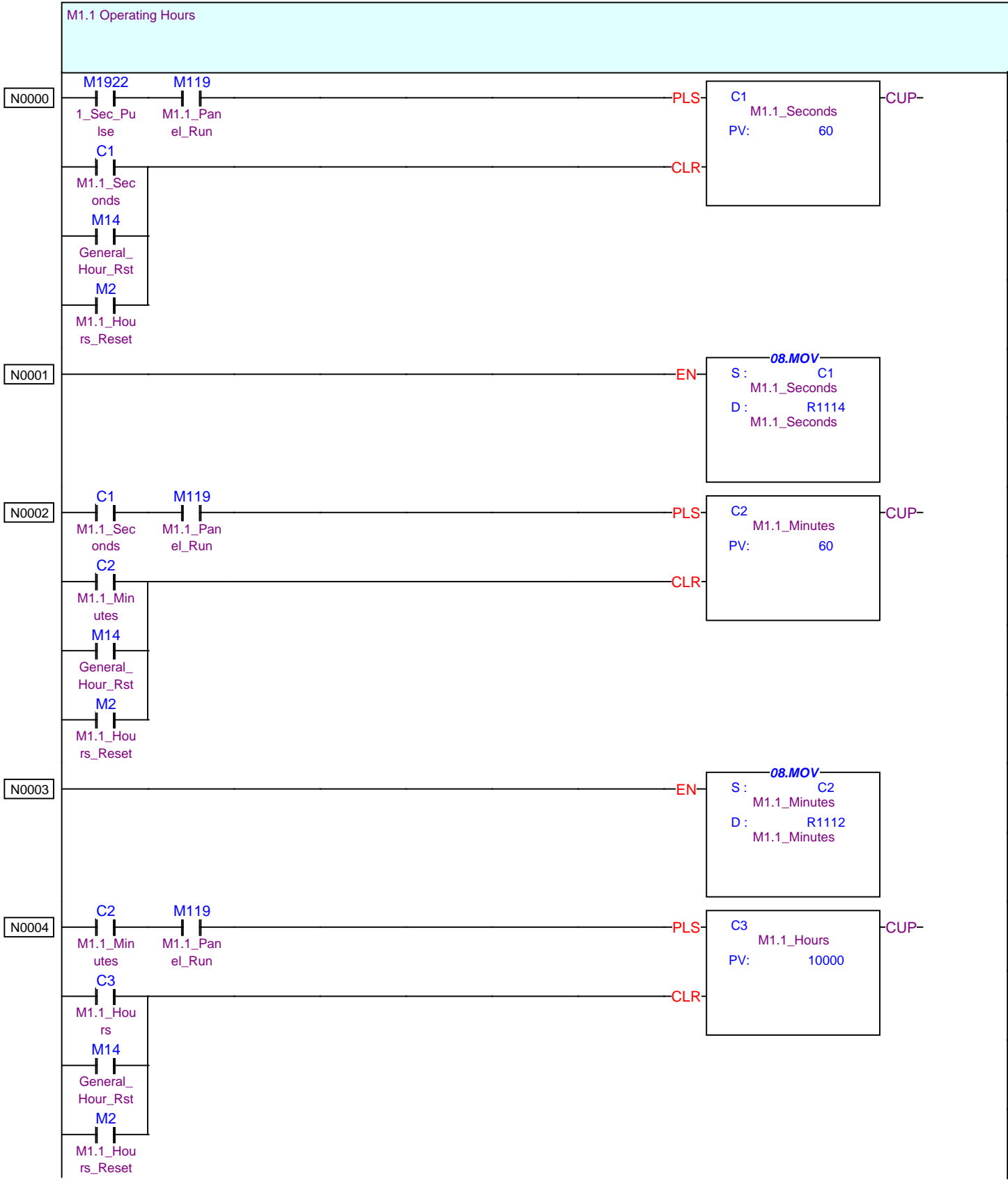


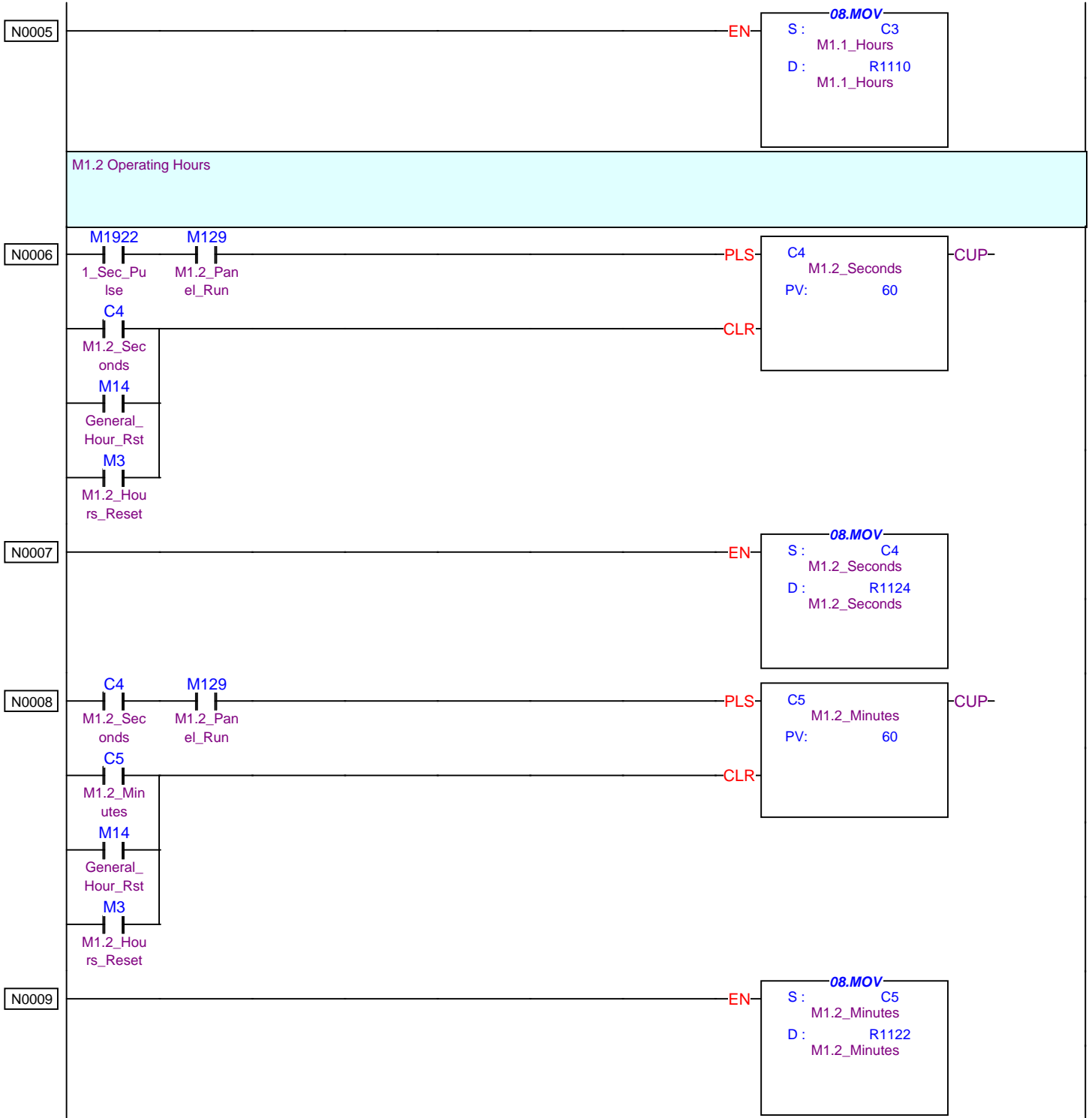


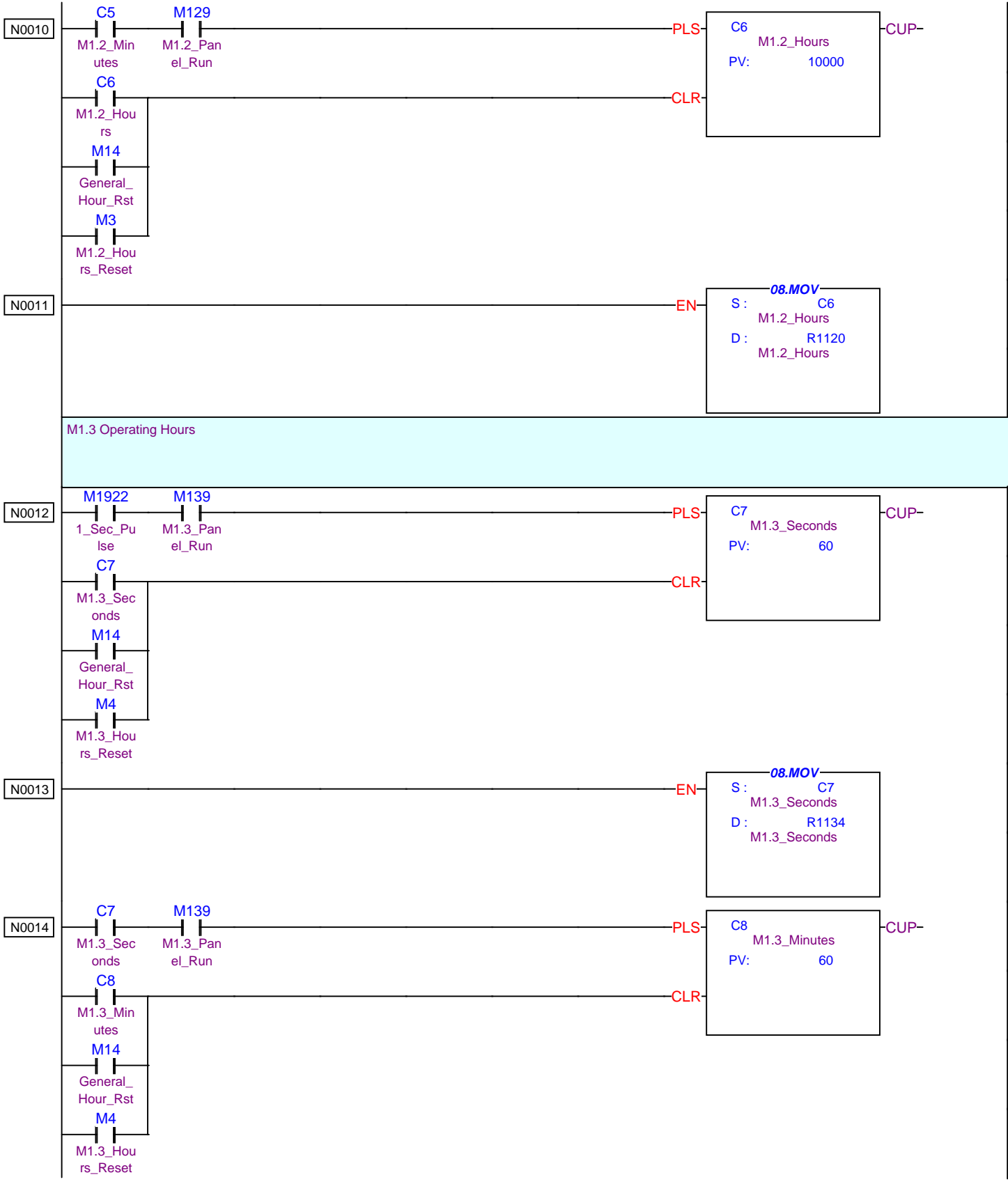


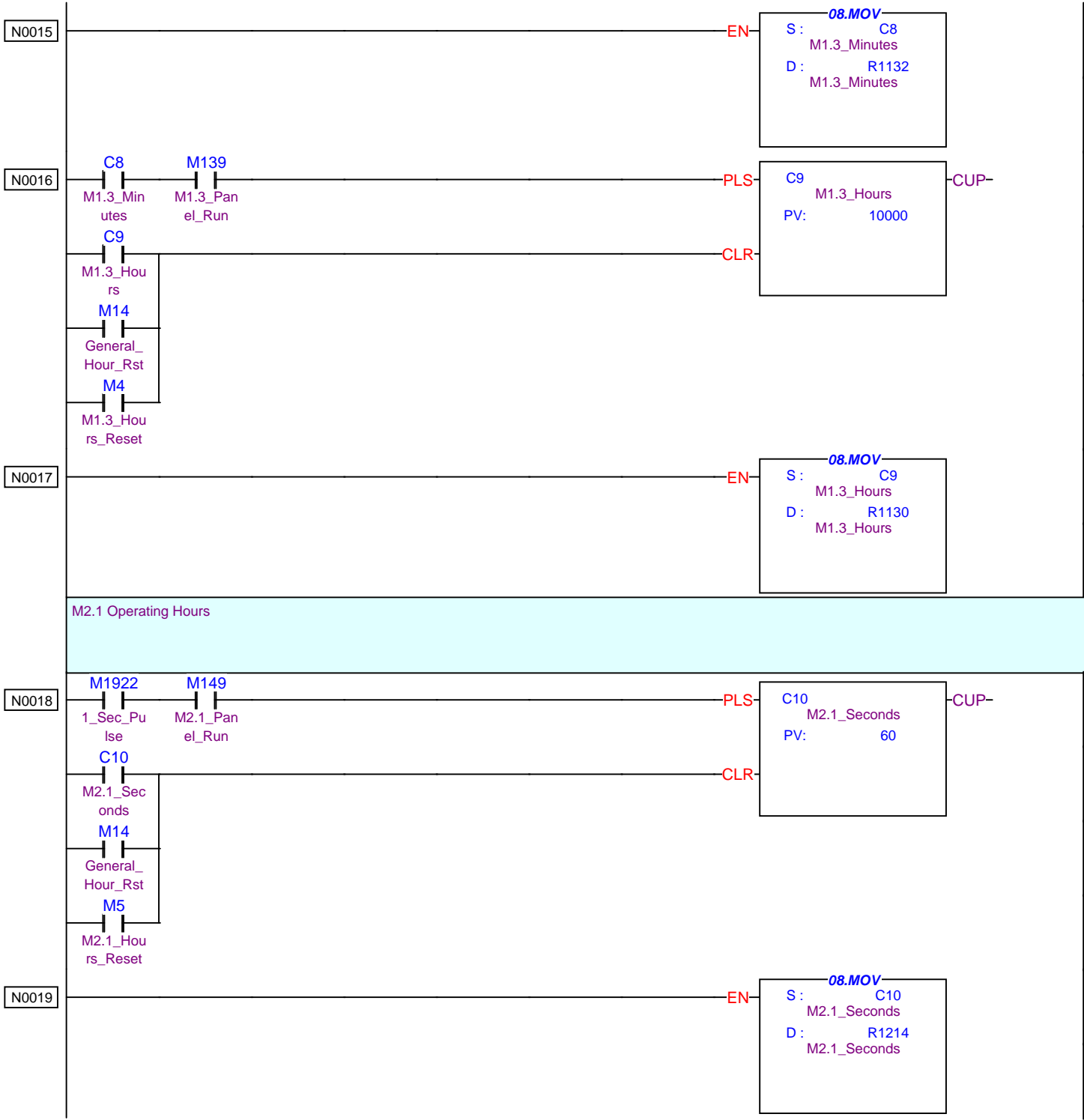
Printed Item: Ladder Diagram - Set Outputs

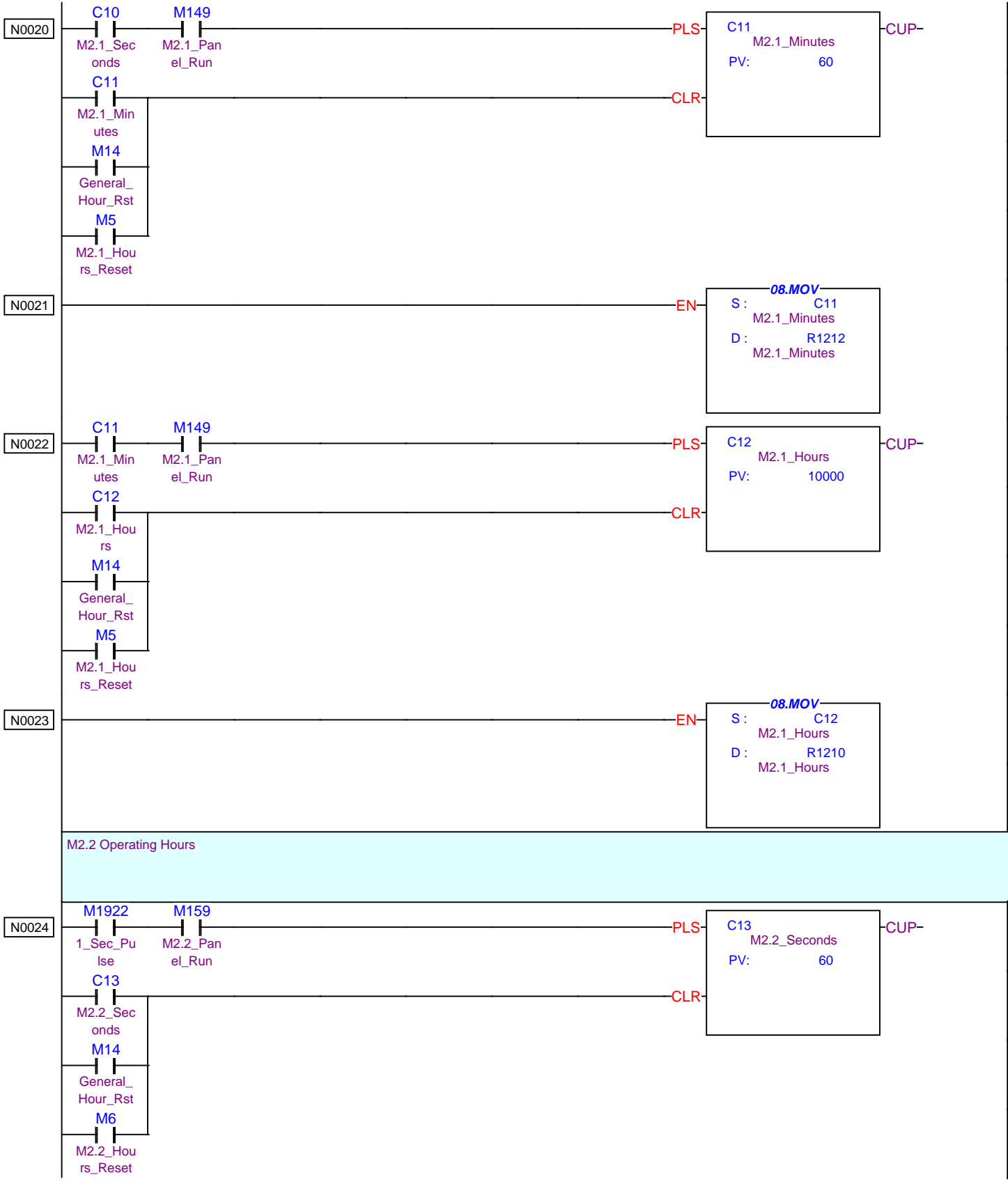


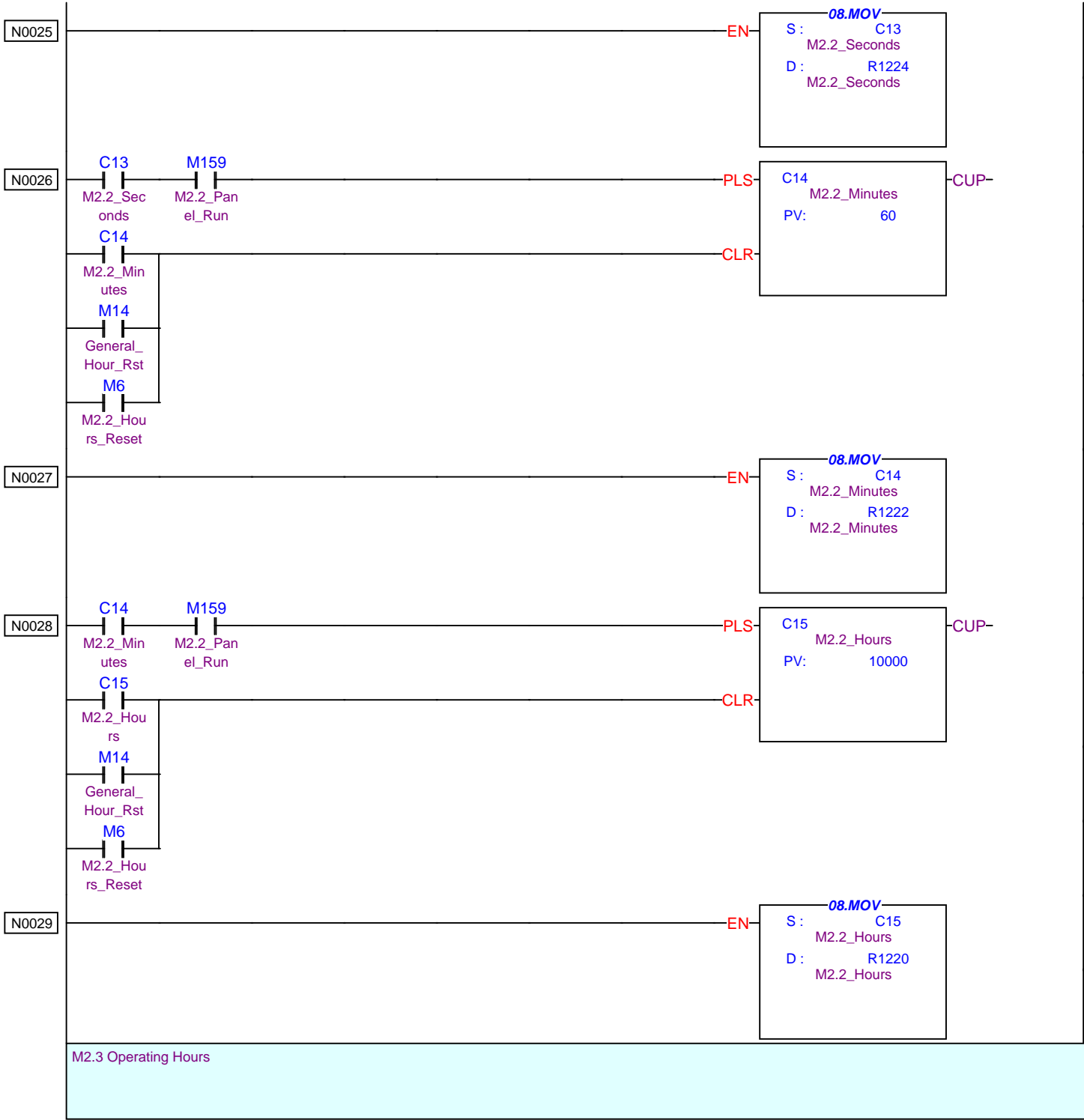




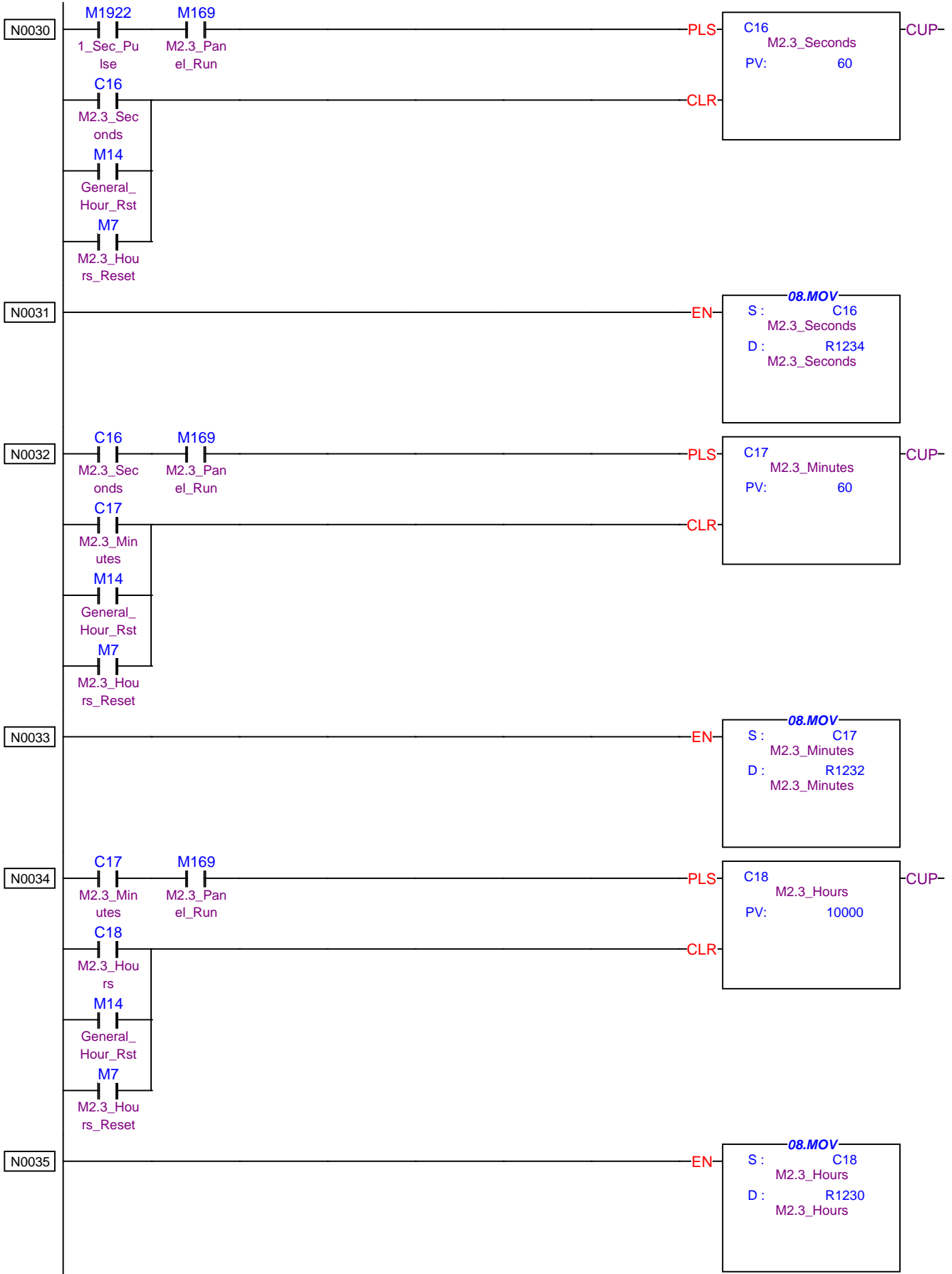


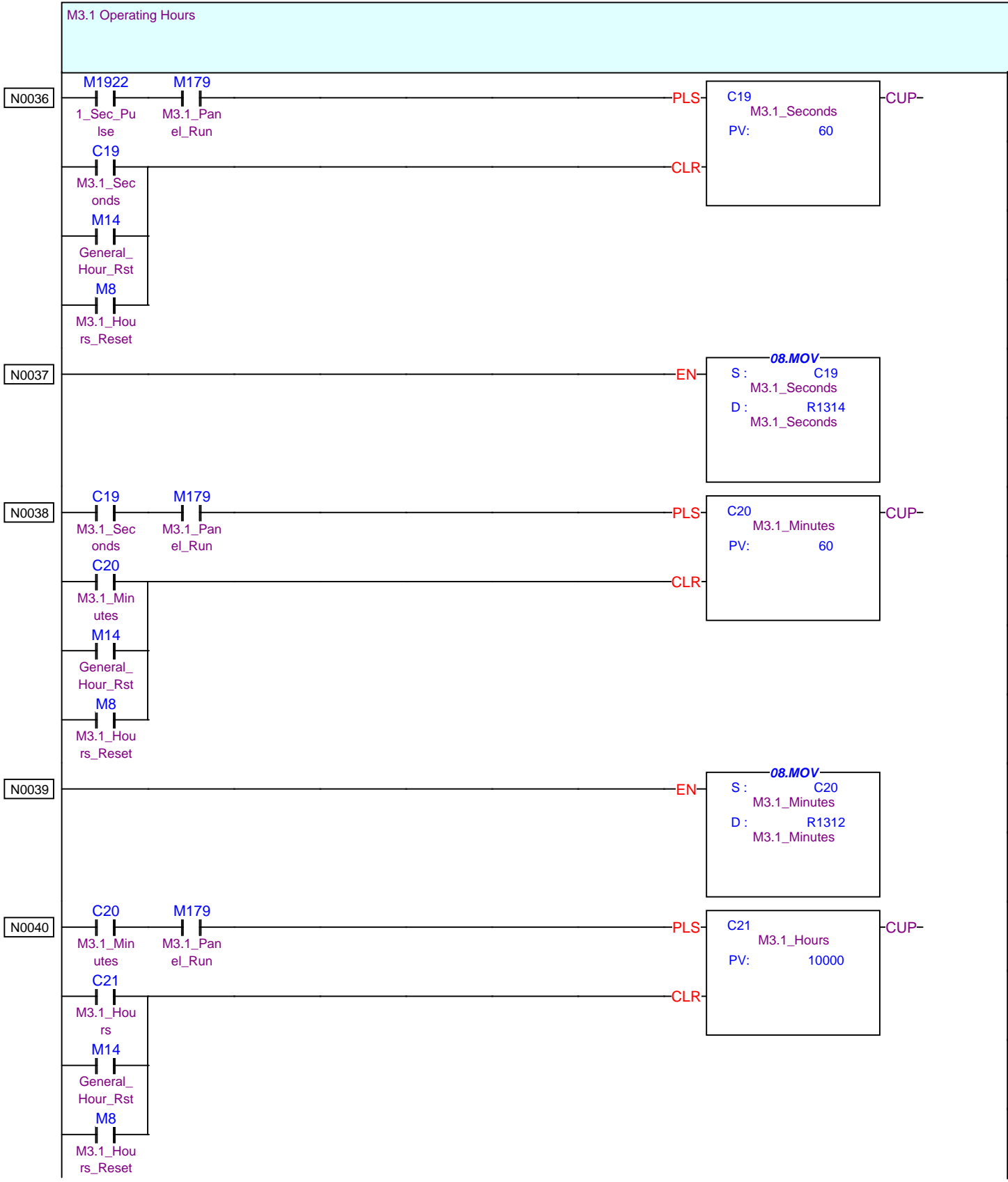


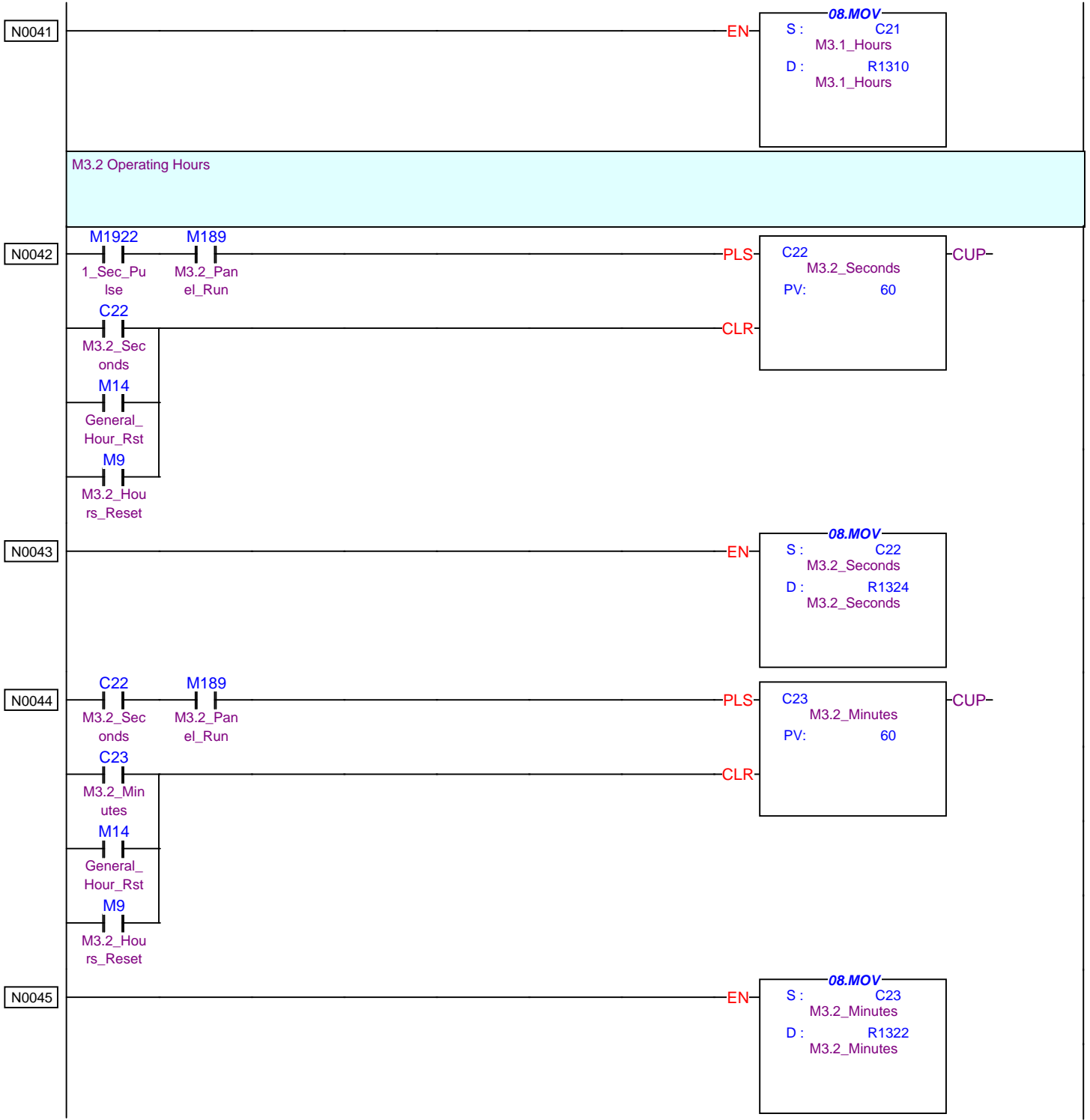


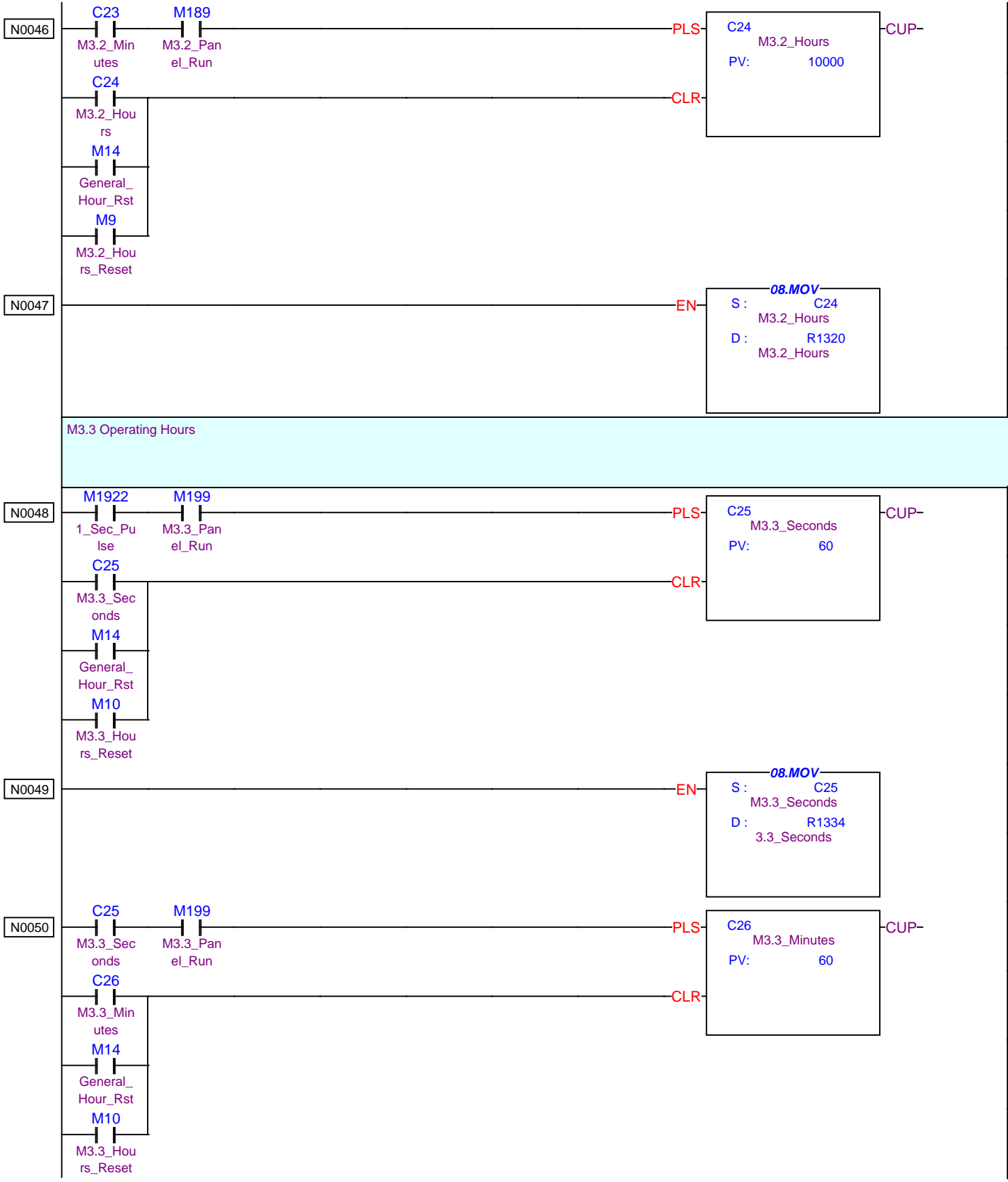


Printed Item: Ladder Diagram - Operation Hours

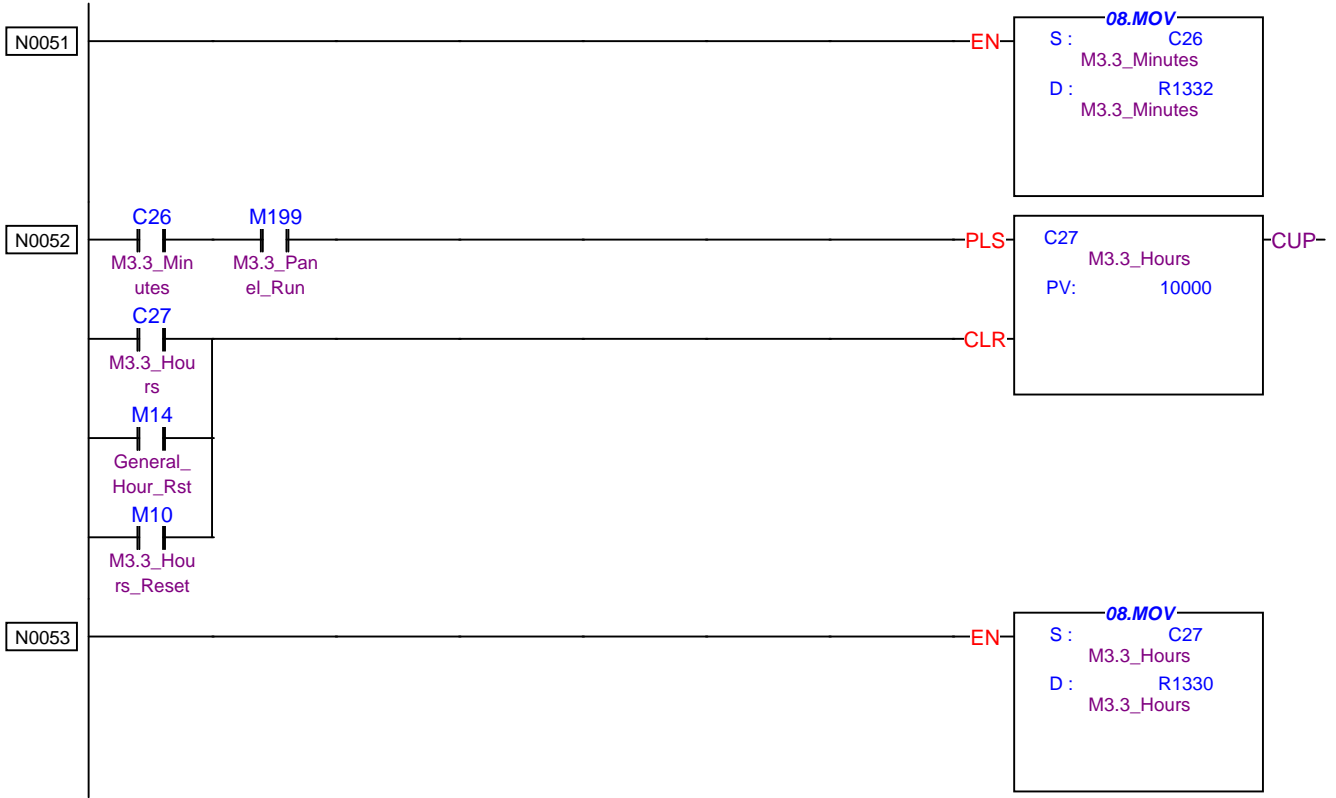


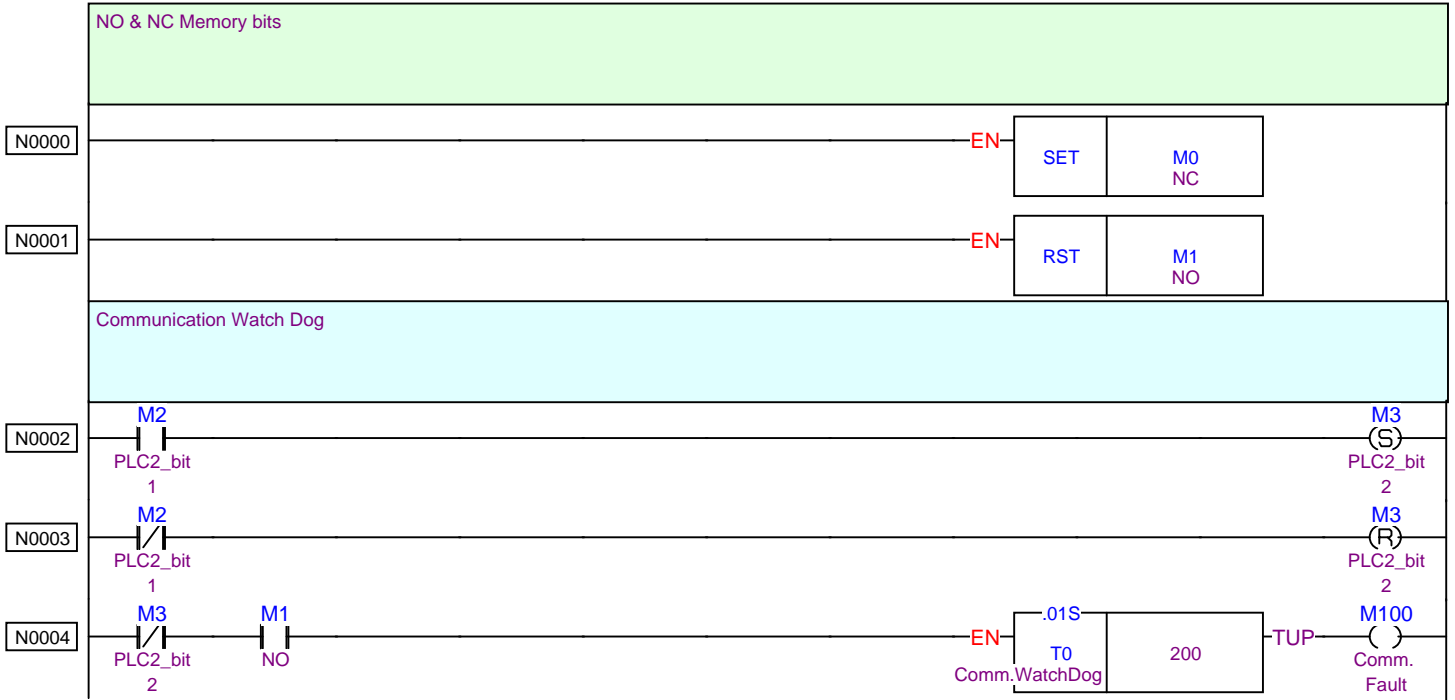




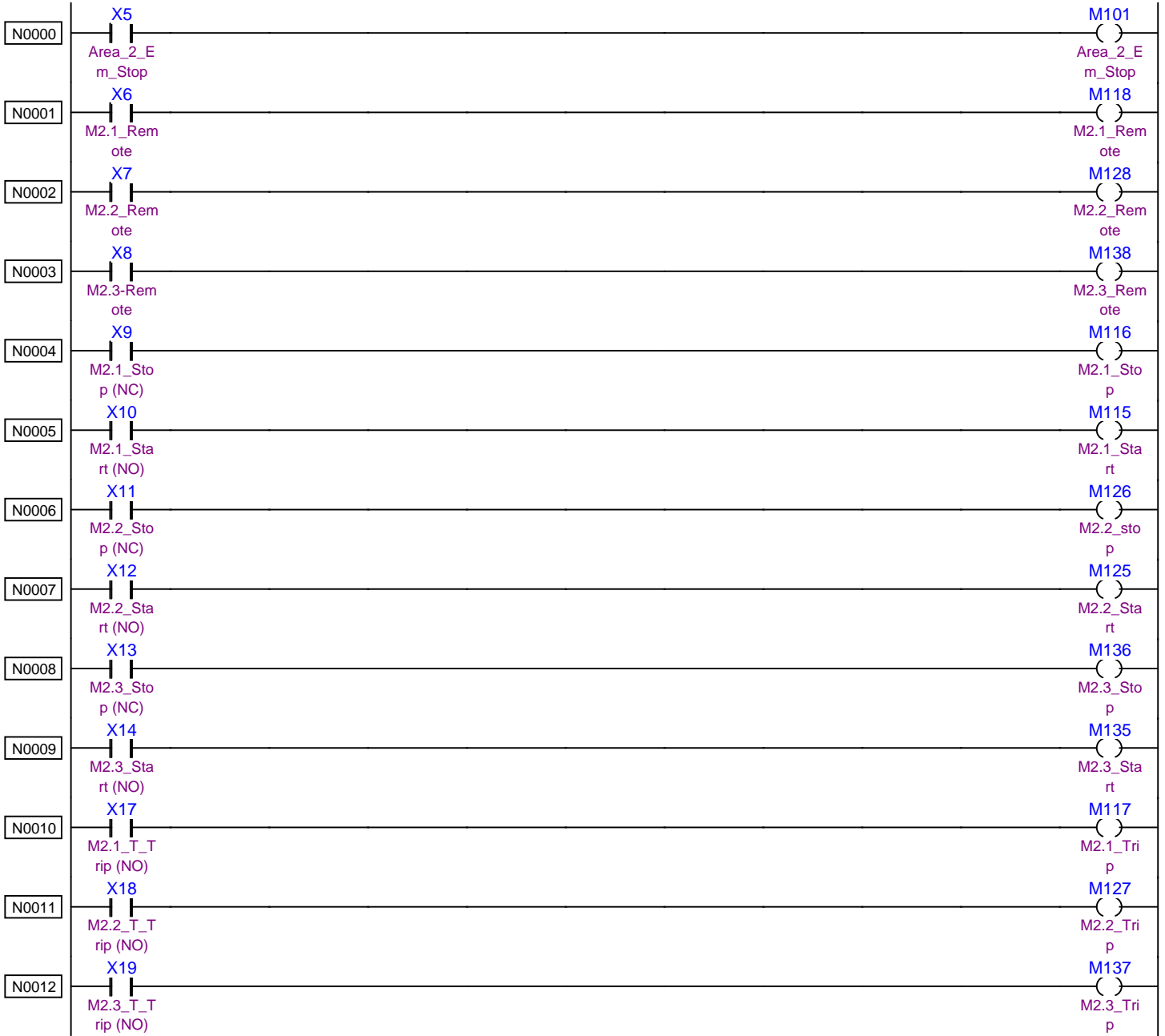


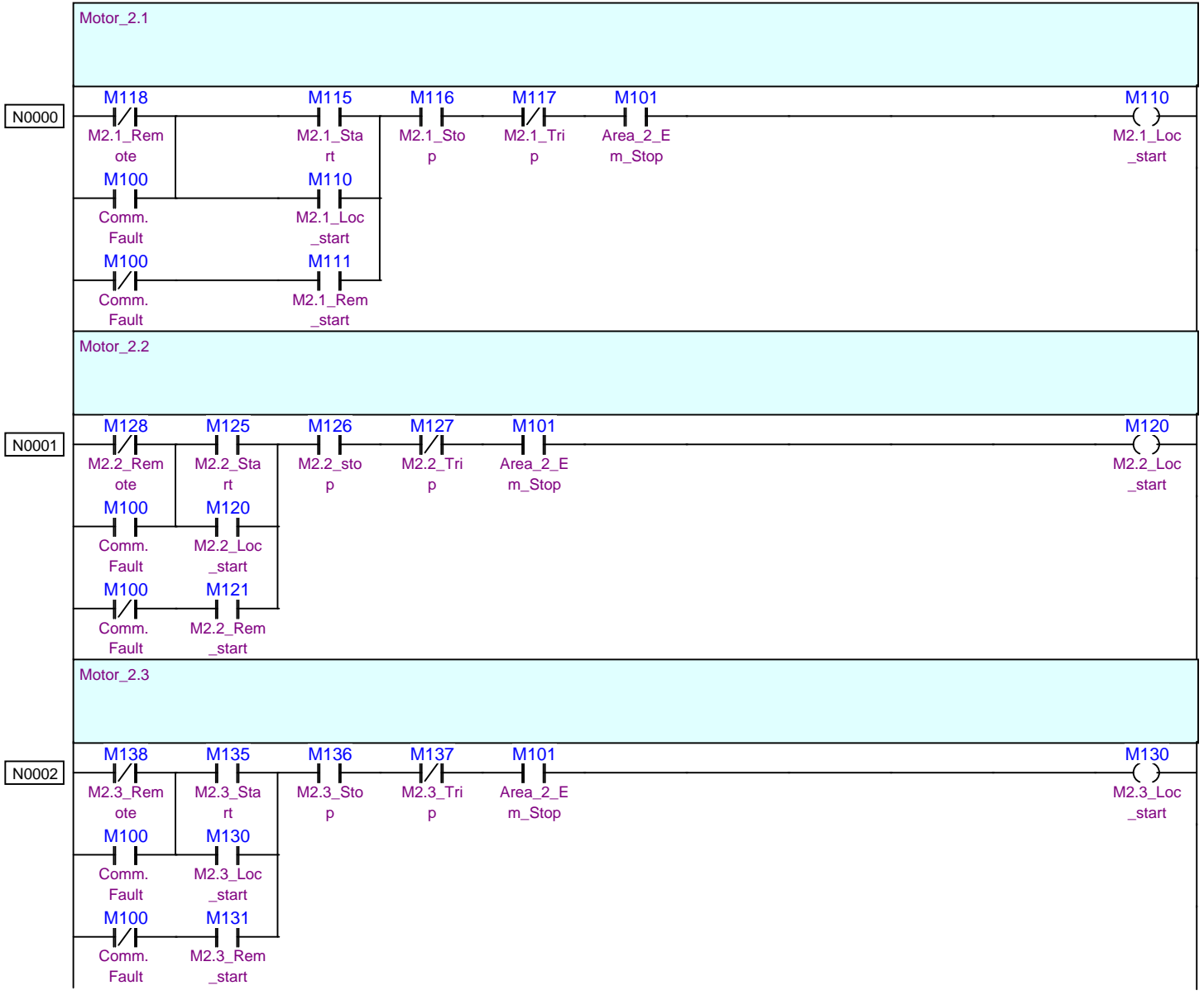
Printed Item: Ladder Diagram - Operation Hours



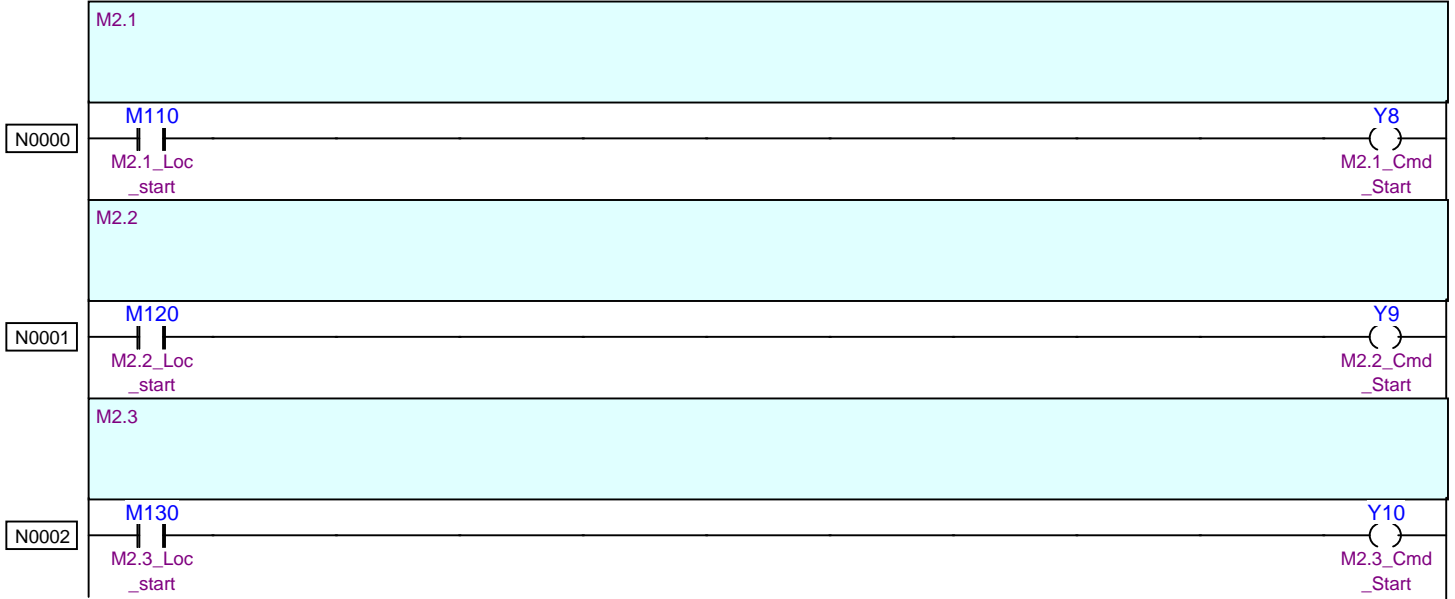


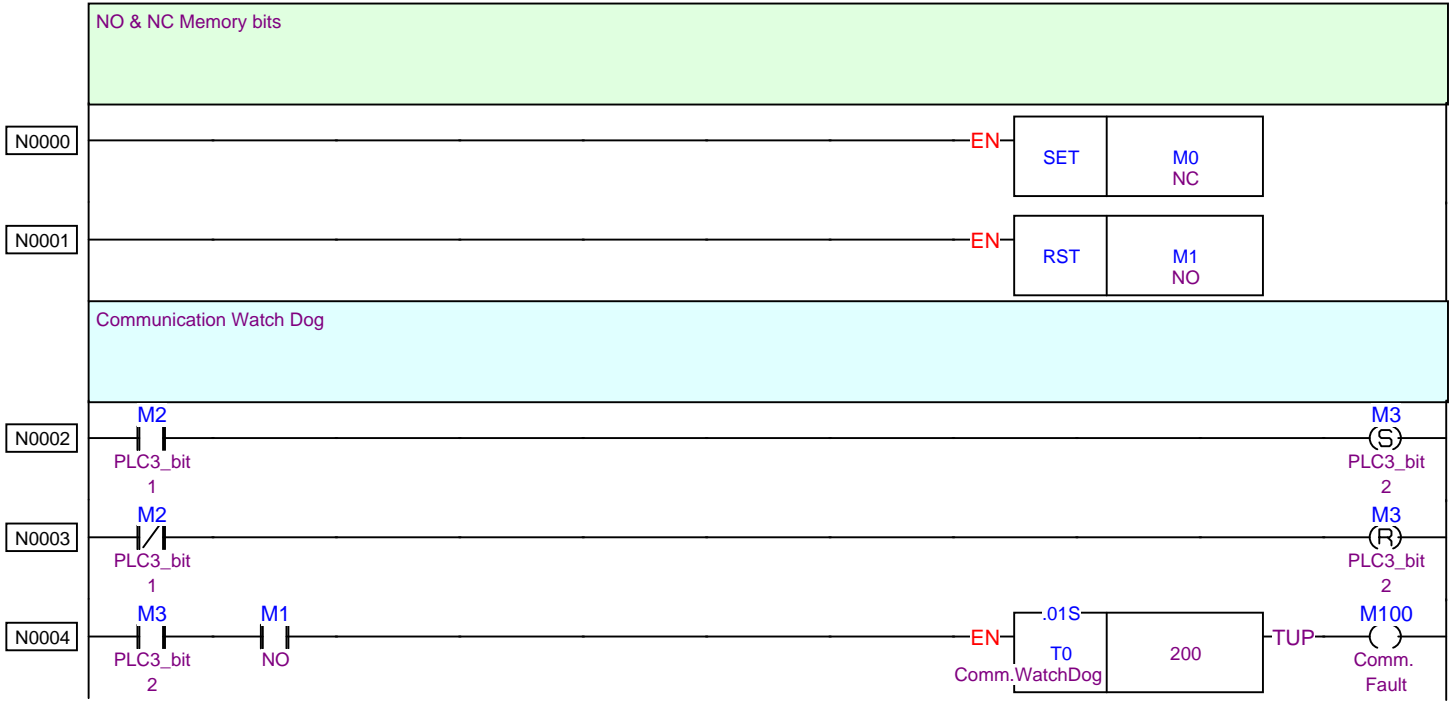
Printed Item: Ladder Diagram - Read PLC 2 Inputs 1



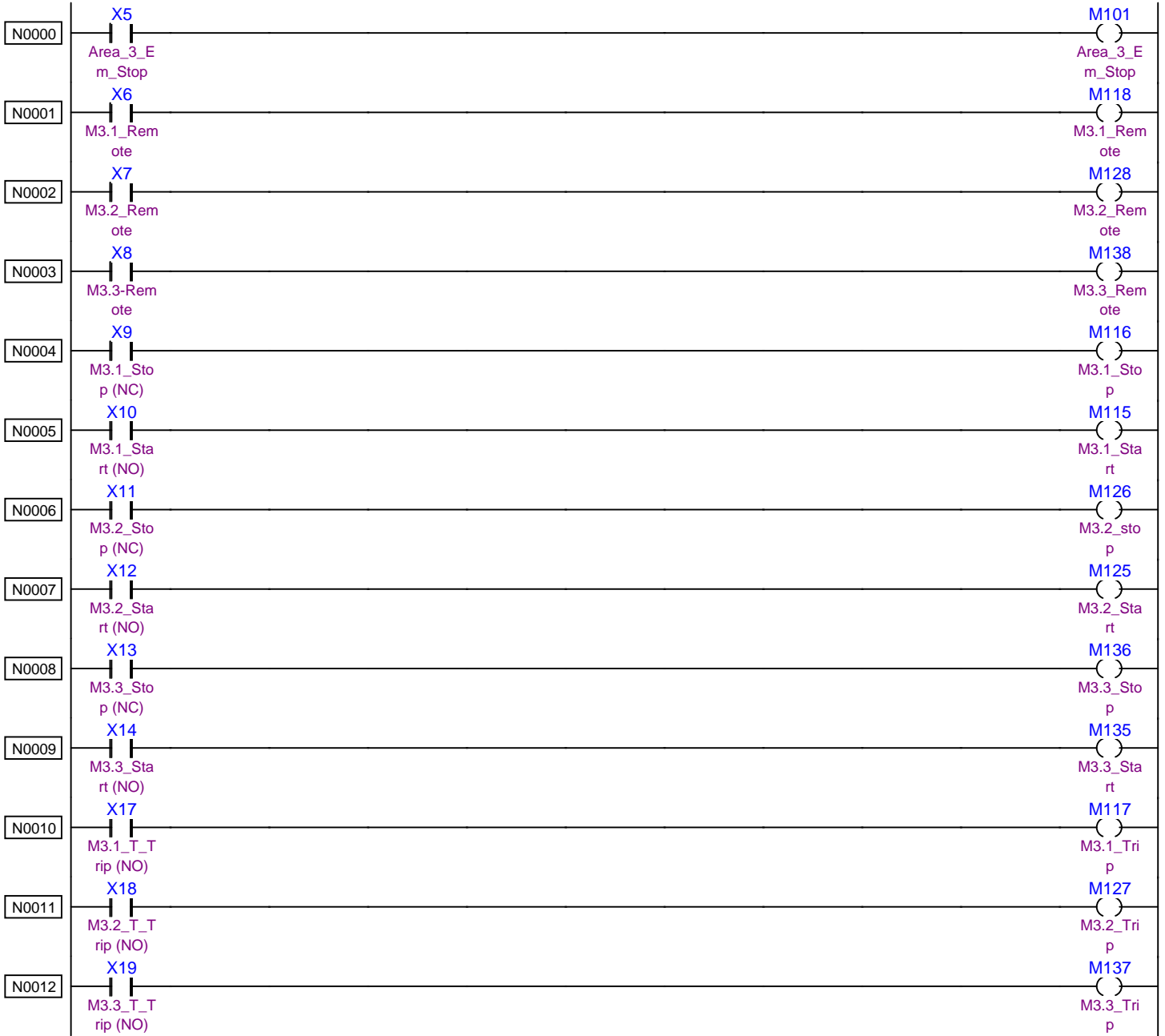


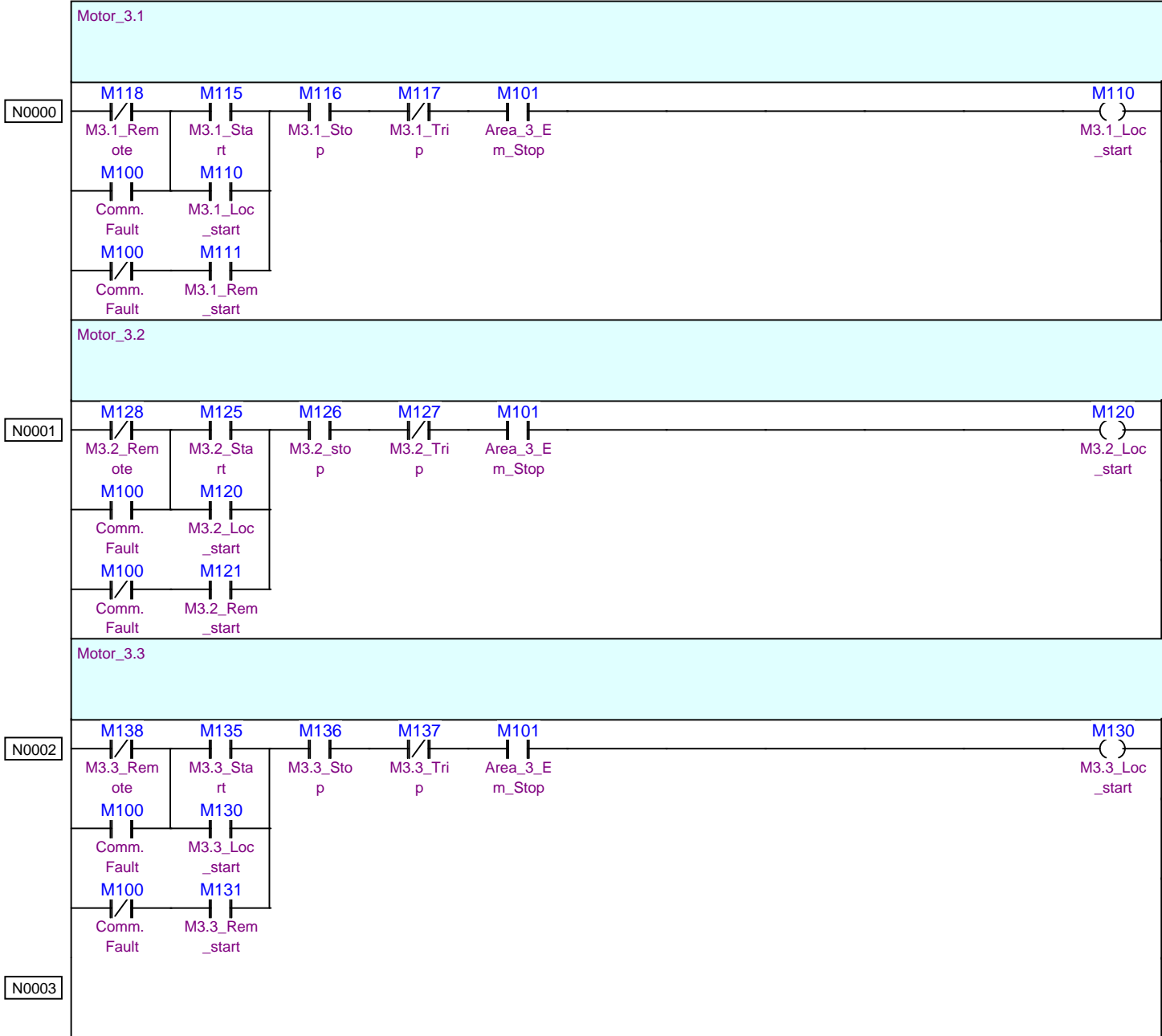
Printed Item: Ladder Diagram - Set Outputs 1



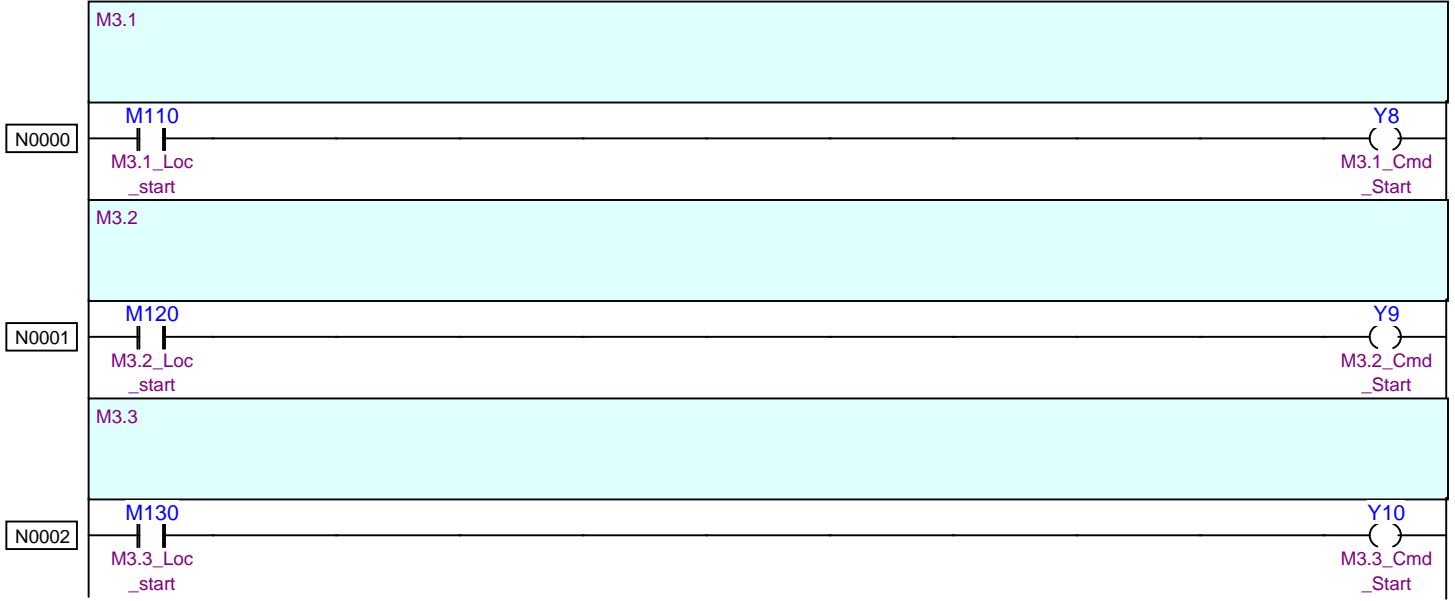


Printed Item: Ladder Diagram - Read PLC Inputs 1





Printed Item: Ladder Diagram - Set Outputs 1



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

ΕΙΚΟΝΕΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΟΘΟΝΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.



Εικ. ΠΓ.1 :Αρχική οθόνη



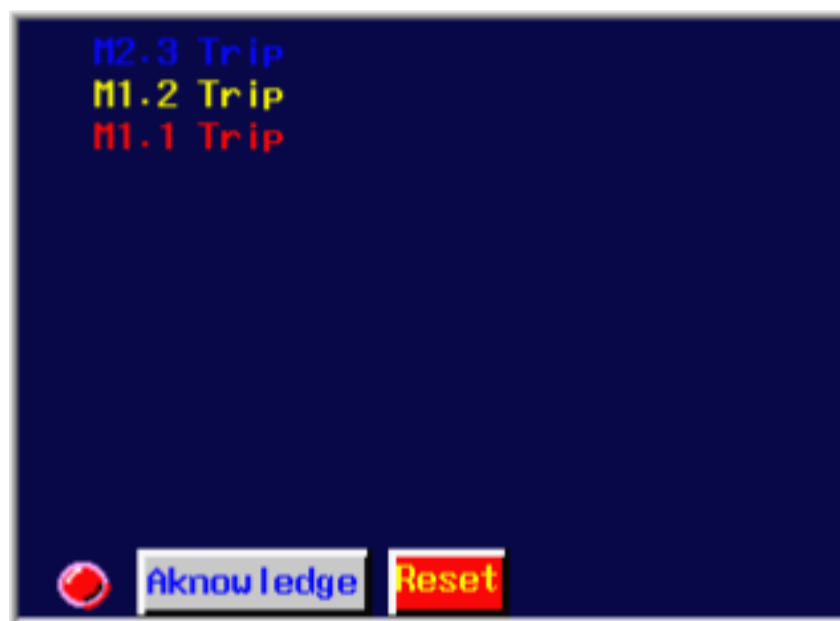
Εικ. ΠΓ.2 :Περιοχή 1



Εικ. ΠΓ.3 :Περιοχή 1



Εικ. ΠΓ.4 :Περιοχή 3



Εικ. ΠΓ.5 :Οθόνη Σφαλμάτων



Εικ. ΠΓ.5 :Χρόνος Λειτουργίας

Βιβλιογραφία

- [1] Brendan Galloway & Gerhard P. Hancke, Senior Member IEEE, "Introduction to Industrial Control Networks". London, 2012 June.
- [2] Jean-Pierre Thomesse, "Fieldbus technology in industrial automation". France, 2007 November.
- [3] MR.SHITAL N.GAVADE & PROF.R.N.PATIL, "COMMUNICATION PROTOCOL RS232 IMPLEMENTATION ON FPGA". India, 2015 December.
- [4] A.S. Gundale & K.M. Vakani & P.D.R. Patnaik, "Development of A web and GSM Based Monitoring and Controlling System for PLC Based Application". India, 2013 May.
- [5] S Djiev, "Industrial Networks for Communication and Control". 2013 July.
- [6] Γιώργος Χασάπης, "Μηχανική Λογισμικού Συστημάτων Βιομηχανικού Ελέγχου". Ελλάδα, 2015.
- [7] William Stallings, "Data And Computer Communications". New Jersey, 2007.
- [8] Version 2 CSE IIT, Kharagpur, "Module 1 introduction"
- [9] Qianping Gu, "Network Mechanisms". 2008 Jenuary.
- [10] Sharam Hekmat, "Communication Networks". PragSoft 2005.
- [11] Paul Simoneau, "The OSI Model Understanding the Seven Layers of Computer Networks". Global Knowledge Training LLC, 2006.
- [12] "Introduction to Fieldbus Systems"
- [13] "Playing with STM32F407 test board – Serial communication – RS232"
- [14] "Κατανεμημένα Ενσωματωμένα Συστήματα Πραγματικού Χρόνου".
- [15] Κουμπλής Μάριος, "Πρωτόκολλα βιομηχανικών δικτύων / δικτύων αυτοματισμού". Πανεπιστήμιο Μακεδονίας, 2006 Αύγουστος.
- [16] Σταμ. Α. Μάνεση, "Βιομηχανικά Δίκτυα Προγραμματιζόμενων Λογικών Ελεγκτών". Πάτρα 2003.
- [17] Κ. Κοντογιάννης & Α. Σαφάκας, "Ανάλυση δικτύων ηλεκτρονικών μετατροπέων ισχύος σε σύνθετα βιομηχανικά ηλεκτροκινητήρια συστήματα". Αθήνα 2006.
- [18] Schneider Electric οδηγός προδιαγραφών, "asg-9-industrial-networks_EN", 2006 December.
- [19] Manny Soltero, Jing Zhang, and Chris Cockril, Updated by Kevin Zhang, Clark Kinnaird, and Thomas Kugelstadt, "RS-422 and RS-485 Standards Overview and System Configurations", 2010 May.
- [20] Novus Produtos Eletronicos LTDA, "RS485 & RS422 Basics"
- [21] Electronics Design, "What's the difference Between the RS-232 and RS-485 serial interfaces?", 2013 April, source: <http://electronicdesign.com/what-s-difference-between/what-s-difference-between-rs-232-and-rs-485-serialinterfaces>
- [22] PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. (PNO), order number 4.332, "PROFIBUS System Description Technology and Application" Germany, 2016 April.
- [23] MODICON, Inc., Industrial Automation Systems, "Modbus Protocol Reference Guide", Massachusetss, 1996 June

- [24] OPTO 22, “Understanding Programmable Automation Controllers (PACs) in Industrial Automation”, USA, 2008 May.
- [25] Texas Instruments, “An inside look at industrial Ethernet communication protocols”, 2013 November.
- [26] National Instruments, “Introduction to MODBUS”, 2009 February.
- [27] Randy Durick, Chris Vitale, Matt Boudjouk, “Industrial networking expands PLC functionality”, 2013 September.
- [28] https://en.wikipedia.org/wiki/Open_Systems_Interconnection#History
- [29] ΣΗΜΕΝΣ Α.Ε., “Βιομηχανικοί αυτοματισμοί με PLC”, 2005 Jun
- [30] https://maredu.gunet.gr/modules/document/file.php/ASP309/Sae_b_tomos_sel9-106.pdf
- [31] https://www.google.gr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUK Ewio162R2P7SAhUDshQKHW1MBMYQFggmMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.analog.com%2Fmedia%2Fen%2Ftechnical-documentation%2Ftechnical-articles%2F293650195InterfacePrimer.doc&usg=AFQjCNH5k5cxcBW_EipDa_k6Wyx6XsJRGa&bvm=bv.151325232,d.bGs
- [32] Ζούλης Νικόλαος & Καφφετζάκης Παναγιώτης & Σούλης Γεώργιος, “ Προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές (PLC)”, 2000 Νοέμβριος, Source: http://www.jimkava.com/wp-content/uploads/2011/10/Sae_b_tomos_sel9-106.pdf
- [33] FBs PLC Main Unit manual -1 Hardware & Instruction “Chapter 1” 2012 May.