



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

UNIVERSITY OF WEST ATTICA
SCHOOL OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE

Διπλωματική εργασία:

**Ανάπτυξη συστήματος αυτοματισμού μέσω Π.Λ.Ε.,
για τυπικές εφαρμογές στη ναυτική μηχανολογία**

***Development of a P.L.C.-based automation system,
for typical applications in marine engineering***

**Ιωάννης-Εμμανουήλ Ν. Λατσός
Α.Μ.: 51114047**

**Επιβλέπων Καθηγητής:
Δημήτριος Ν. Παγώνης**

ΑΙΓΑΛΕΩ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2021

- Η σελίδα αυτή είναι σκοπίμως κενή -



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
UNIVERSITY OF WEST ATTICA
SCHOOL OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE

Πτυχιακή εργασία:

Ανάπτυξη συστήματος αυτοματισμού μέσω Π.Λ.Ε.,
για τυπικές εφαρμογές στη ναυτική μηχανολογία

Συγγραφέας:

Ιωάννης-Εμμανουήλ Ν. Λατσός (51114047)

Επιβλέπων:

Δημήτριος Νικόλαος Παγώνης,
Αναπληρωτής Καθηγητής, ΠΑ.Δ.Α

Ημερομηνία εξέτασης:

14/10/2021

Εξεταστική Επιτροπή:

Δημήτριος Ν. Παγώνης,
Αναπληρωτής Καθηγητής
ΠΑ.Δ.Α

Σωτηρία Δημητρέλλου,
Αναπληρώτρια Καθηγήτρια
ΠΑ.Δ.Α

Θωμάς Μαζαράκος,
Επίκουρος Καθηγητής
ΠΑ.Δ.Α

- Η σελίδα αυτή είναι σκοπίμως κενή -

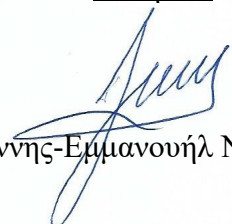
Δήλωση Συγγραφέα Διπλωματικής Εργασίας

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος **Ιωάννης-Εμμανουήλ Λατσός** του **Νικήτα**, με αριθμό μητρώου **51114047** φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής **Μηχανικών** του Τμήματος **Ναυπηγών Μηχανικών**, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου»

Ο Δηλών


Ιωάννης-Εμμανουήλ Ν. Λατσός

- Η σελίδα αυτή είναι σκοπίμως κενή -

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου, Δρ. Δημήτριο Νικόλαο Παγώνη για τη συμμετοχή του στην περάτωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, τόσο μέσω των γνώσεων που μου μετέδωσε μέσω του διδακτικού του έργου κατά τη φοίτηση μου στο ίδρυμα, όσο και μέσω της θεωρητικής υποστήριξης που παρείχε ακούραστα σε κάθε σημείο που κρίθηκε αναγκαία. Επίσης, πολύτιμη ήταν η βοήθεια των κυρίων Αναστάσιου Κωνσταντινίδη και Αναστάσιου Μισθού, μέλη του τεχνικού προσωπικού του τμήματος, στις μεταλλουργικές εργασίες που απαιτήθηκαν. Τέλος, ευχαριστώ τους οικείους μου για την εξαιρετικά σημαντική στήριξη που μου παρείχαν, δίχως την οποία η περάτωση αυτής της εργασίας θα ήταν οπωσδήποτε δυσχερέστερη, στο ιδιαίτερα νοσηρό κλίμα που περιήλθαμε εξαιτίας της πανδημίας του ιού «*COVID-19*».

- Η σελίδα αυτή είναι σκοπίμως κενή -

Περίληψη

Αντικείμενο αυτής της εργασίας είναι η δημιουργία μιας εκπαιδευτικής διάταξης, μέσω της οποίας εξερευνώνται οι τομείς των ηλεκτρικών μηχανών, των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου και των παρελκόμενων στοιχείων τους. Από την προκαταρκτική μελέτη του συστήματος και την αξιολόγηση του εξοπλισμού, στην οργάνωση και την υλοποίηση της κατασκευής, είναι διακριτά τα βήματα που ακολουθήσαμε, τα ζητήματα που κληθήκαμε να αντιμετωπίσουμε και οι ιδιαιτερότητες ενσωμάτωσης κάθε στοιχείου που χρησιμοποιήθηκε. Ολοκληρώνοντας, ορίσαμε το πλαίσιο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μελλοντική έρευνα και καταρτίσαμε μια σειρά ασκήσεων για την ένταξη της διάταξης στις εργαστηριακές δραστηριότητες.

Λέξεις κλειδιά: Προγραμματιζόμενος Λογικός Ελεγκτής, συστήματα αυτομάτου ελέγχου, ηλεκτρικές μηχανές, βιομηχανικός αυτοματισμός, ναυτική μηχανολογία

- Η σελίδα αυτή είναι σκοπίμως κενή -

Abstract

The main objective of this work is the design and development of an autonomous educational system, through which the subjects of electric machines, automatic control systems, and their relative supplementary areas can be explored. From the preliminary study of the system, and the evaluation of the available equipment, to the final design and implementation of its construction, all the necessary steps implicated are presented. In addition, we describe the main technical challenges addressed, along with various peculiarities concerning the integration of each key-element. Finally, we propose a framework that can be employed for further development of the apparatus, as well as a series of laboratory experiments that can be carried out using the developed system.

Key words: *Programmable Logic Controller, automatic control systems, electric machines, industrial automation, marine engineering*

- Η σελίδα αυτή είναι σκοπίμως κενή -

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή	
1.1. Πρόλογος.....	1
1.2. Ιστορική Αναδρομή.....	2
1.2.1. Συστήματα ελέγχου	3
1.2.2. Προγραμματιζόμενος λογικός ελεγκτής.....	10
2. Θεωρητική Επισκόπηση	
2.1. Συστήματα ελέγχου	14
2.1.1. Γενικά στοιχεία.....	14
2.1.2. Μορφές ελέγχου	17
2.2. Προγραμματιζόμενος Λογικός Ελεγκτής	23
2.2.1. Βασικά λειτουργικά στοιχεία	26
2.2.2. Είδη μνήμης.....	28
2.2.3. Μονάδες επέκτασης.....	29
2.2.4. Συσκευές παρέμβασης και παρακολούθησης του ελέγχου	32
2.2.5. Ζητήματα εγκατάστασης και συντήρησης	34
2.3. Ηλεκτρικές μηχανές	36
2.3.1. Γενικά στοιχεία.....	36
2.3.2. Μηχανές που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάπτυξη της διάταξης.....	43
2.3.3. Βασικές εξισώσεις εναλλασσόμενου ρεύματος.....	47
2.4. Αισθητήρες.....	48
2.5. Ηλεκτρονόμοι.....	54
3. Πορεία Έργου	
3.1. Λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε.....	61
3.2. Προπαρασκευαστική διαδικασία.....	65
3.2.1. Ορισμός γενικού πλαισίου και οργάνωση κατασκευής.....	65
3.2.2. Διερεύνηση πιθανών εφαρμογών και καθορισμός στόχων	68
3.2.3. Καθορισμός γενικών χωροταξικών προδιαγραφών.....	79
3.2.4. Επιλογή νέου εξοπλισμού.....	82
3.3. Υλοποίηση του φυσικού μέρους	90
3.3.1. Συντήρηση του υπάρχοντος εξοπλισμού.....	90
3.3.2. Σύσταση της διάταξης	107
3.4. Προγραμματισμός των ηλεκτρονικών μονάδων	121
3.4.1. Σύντομη περιγραφή της δομής προγραμματισμού	122
3.4.2. Παραμετροποίηση του ελεγκτή.....	124
3.4.3. Εκκίνηση του κινητήρα	131

3.4.4.	Μέτρηση της ταχύτητας του κινητήρα.....	137
3.4.5.	Στοιχεία διαχείρισης αναλογικών σημάτων	141
3.4.6.	Έλεγχος στάθμης.....	144
3.4.7.	Συμπληρωματικά στοιχεία.....	152
3.4.8.	Συσκευή διεπαφής ανθρώπου-μηχανής.....	155
3.5.	Τεχνικές σημειώσεις και κατασκευαστικές παρατηρήσεις	163
4.	Αποτελέσματα	
4.1.	Παρουσίαση του συστήματος.....	170
4.2.	Ενδεικτικές ασκήσεις	174
4.2.1.	Έλεγχος στάθμης.....	174
4.2.2.	Ηλεκτρικές μηχανές	183
4.2.3.	Κατανόηση της δομής προγραμματισμού ενός Π.Λ.Ε.	190
5.	Συμπεράσματα και προτάσεις	
5.1.	Συμπεράσματα.....	195
5.2.	Προτάσεις.....	195
6.	Βιβλιογραφία.....	197
7.	Τεχνική Βιβλιογραφία	200
8.	Πηγές Εικόνων	202

Πίνακας εικόνων

Εικόνα 1.2-1: Σκαρίφημα του υδραυλικού ρολογιού του Κτησίβιου.....	4
Εικόνα 1.2-2: Σκαριφηματική αναπαράσταση εκκολαπτηρίου <i>Drebbel</i> με θερμοστατικό έλεγχο	5
Εικόνα 1.2-3: Φυγοκεντρικός ρυθμιστής στροφών σε ατμομηχανή των <i>Boulton</i> και <i>Watt</i>	7
Εικόνα 1.2-4: Εγκατάσταση γυροσκοπικού σταθεροποιητή <i>Sprey</i> στο πλοίο « <i>USS Henderson</i> »	8
Εικόνα 1.2-5: Εγκατάσταση ελέγχου με ηλεκτρονόμους σε σιδηροδρομική εφαρμογή.....	11
Εικόνα 1.2-6: Η μονάδα ελέγχου <i>MODICON 184</i>	12
Εικόνα 2.1-1: Γραμμική αναπαράσταση ενός ήλεκτρο-υδραυλικού συστήματος πηδαλίου ..	17
Εικόνα 2.1-2: Απόκριση ελεγκτή δύο βαθμίδων και συμπεριφορά της ελεγχόμενης μεταβλητής	19
Εικόνα 2.1-3: Αναπαράσταση της απόκρισης ενός αναλογικού ελεγκτή σε βηματική και γραμμική μεταβολή	19
Εικόνα 2.1-4: Αναπαράσταση της απόκρισης ενός ολοκληρωτικού ελεγκτή σε βηματική και γραμμική μεταβολή	20
Εικόνα 2.1-5: Σύγχρονη, αυτόνομη συσκευή συνεχούς ελέγχου	22
Εικόνα 2.1-6: Ιδανική απόκριση ελεγκτή <i>PID</i>	23
Εικόνα 2.2-1: Μορφές προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών	25
Εικόνα 2.2-2: Συσκευές παρακολούθησης.....	33
Εικόνα 2.3-1: Δρομέας με περιελίξεις και δακτύλιο ολίσθησης	38
Εικόνα 2.3-2: Σύγχρονος στάτης με τυλίγματα τύπου "φουρκέτας" (<i>hairpin</i>)	38
Εικόνα 2.3-3: Αναγνώριση κατασκευαστικών στοιχείων κινητήρα κλωβού	43
Εικόνα 2.3-4: Τυπική διάταξη ρότορα κλωβού.....	44
Εικόνα 2.3-5: Γραφική αναπαράσταση των σταδίων κατασκευής του στάτη.....	44
Εικόνα 2.3-6: Γραμμική αναπαράσταση των συνδεσμολογιών αστέρα και τριγώνου.....	45
Εικόνα 2.3-7: Περιελίξεις και δακτύλιοι σε ρότορα τριών φάσεων.....	47
Εικόνα 2.4-1: Διαφορετικές μορφές μετατροπέων πίεσης	52
Εικόνα 2.4-2: Διαφορετικές μορφές επαγωγικών αισθητήρων	53
Εικόνα 2.4-3: Αισθητήρες αερίων μικρού μεγέθους	53
Εικόνα 2.5-1: Διαφορετικά είδη ηλεκτρονόμων	60
Εικόνα 3.1-1: Το περιβάλλον του " <i>AutoCAD Electrical</i> "	61
Εικόνα 3.1-2: Το περιβάλλον του " <i>Autodesk Inventor</i> "	62
Εικόνα 3.1-3: Το περιβάλλον του " <i>Microsoft Excel</i> "	63
Εικόνα 3.1-4: Το περιβάλλον του " <i>Rhinoceros 3D</i> "	64
Εικόνα 3.1-5: Το περιβάλλον του " <i>TIA Portal</i> "	64
Εικόνα 3.2-1: Υπάρχουσα εκπαιδευτική μονάδα Π.Λ.Ε.	65
Εικόνα 3.2-2: Οργάνωση της διαδικασίας σύστασης της διάταξης	67
Εικόνα 3.2-3: Γενική άποψη της διάταξης	68
Εικόνα 3.2-4: Εργοστασιακή μονάδα επιτήρησης κινητήρα.....	69
Εικόνα 3.2-5: Φωτορεαλιστική απεικόνιση του συστήματος <i>Green Instruments G1000</i>	70
Εικόνα 3.2-6: Το κιβώτιο ηλεκτρονικών της μονάδας.....	71
Εικόνα 3.2-7: Παρεμβύσματα (φλάντζες) εγκατάστασης των οπτικών κεφαλών στον αγωγό καυσαερίων	72
Εικόνα 3.2-8: Διαδικασία πειραματικής αξιολόγησης της λειτουργίας του συστήματος	72
Εικόνα 3.2-9: Οπτική κεφαλή και φακός	73
Εικόνα 3.2-10: Γενική άποψη της διάταξης ηλεκτρικού κινητήρα-γεννήτριας κατά την περίοδο δοκιμών.....	74
Εικόνα 3.2-11: Το τροφοδοτικό " <i>De Lorenzo-DL30195</i> "	74

Εικόνα 3.2-12: Γενική άποψη της διάταξης της δεξαμενής	75
Εικόνα 3.2-13: Ο ελεγκτής που χρησιμοποιήσαμε, ως μέρος μονάδας εκμάθησης.....	76
Εικόνα 3.2-14: Η μονάδα επέκτασης, αναλογικής εξόδου.....	77
Εικόνα 3.2-15: Η συσκευή διεπαφής μηχανής/χρήστη	77
Εικόνα 3.2-16: Ο επαγωγικός αισθητήρας <i>IGC222</i>	78
Εικόνα 3.2-17: Σκαριφηματική αναπαράσταση της οργάνωσης σε δύο αυτοτελείς μονάδες.	80
Εικόνα 3.2-18: Σκαριφηματική αναπαράσταση της οργάνωσης με τη μορφή κεκλιμένου πίνακα ελέγχου	81
Εικόνα 3.2-19: Σκαριφηματική αναπαράσταση της οργάνωσης με τη μορφή κάθετου πίνακα ελέγχου	81
Εικόνα 3.2-20: Ο ηλεκτρονόμος <i>LC1D09BL</i>	83
Εικόνα 3.2-21: Ο ηλεκτρονόμος <i>LC1K0910P5</i>	83
Εικόνα 3.2-22: Ο ηλεκτρονόμος <i>Schrack RT114024</i>	84
Εικόνα 3.2-23: Το τροφοδοτικό <i>Mean Well EDR-150-24</i>	85
Εικόνα 3.2-24: Ο υποβαθμιστής τάσης <i>LM317</i>	86
Εικόνα 3.2-25: Ο αισθητήρας μονοξειδίου <i>MQ-7</i>	86
Εικόνα 3.2-26: Ο ελεγκτής ηλεκτρικού κινητήρα συνεχούς ρεύματος <i>HS2077</i>	87
Εικόνα 3.2-27: Ενδεικτικό σχέδιο γενικής διάταξης της κατασκευής	90
Εικόνα 3.3-1: Επιγραφή στοιχείων του κινητήρα	91
Εικόνα 3.3-2: Ο χώρος που στέγαζε το μηχανουργείο της εταιρείας "Τεχνικά Σ. Μαλκότσης"	92
Εικόνα 3.3-3: Αρχική κατάσταση καλωδίωσης κινητήρα.....	93
Εικόνα 3.3-4: Τοποθέτηση στυπιοθλιπτών στο κυτίο συνδέσεων του κινητήρα	94
Εικόνα 3.3-5: Καθαρισμός του κινητήρα	94
Εικόνα 3.3-6: Γενική άποψη της γεννήτριας κατά την έναρξη των εργασιών	95
Εικόνα 3.3-7: Επιγραφή στοιχείων του κατασκευαστή της γεννήτριας.....	95
Εικόνα 3.3-8: Επιγραφή της εμπορευόμενης εταιρείας της γεννήτριας.....	96
Εικόνα 3.3-9: Κατάσταση της Γαλλικής εταιρείας " <i>EDUTEC</i> ".....	97
Εικόνα 3.3-10: Επιθεώρηση, καθαρισμός και λίπανση του εδράνου κύλισης (ρουλεμάν) της γεννήτριας.....	98
Εικόνα 3.3-11: Επιθεώρηση και καθαρισμός των δακτυλίων ολίσθησης και των ψηκτρών ..	99
Εικόνα 3.3-12: Επιθεώρηση της καλωδίωσης στο κυτίο συνδέσεων της γεννήτριας	99
Εικόνα 3.3-13: Στιγμιότυπο της περιόδου δοκιμών της διάταξης κινητήρα-γεννήτριας	100
Εικόνα 3.3-14: Εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για τη διέγερση της γεννήτριας κατά την περίοδο δοκιμών	101
Εικόνα 3.3-15: Διαγραμματική απεικόνιση των μετρήσεων θερμοκρασίας και ταχύτητας του H/Z.....	102
Εικόνα 3.3-16: Γενική άποψη της προβληματικής περιοχής στη διάταξη της δεξαμενής	103
Εικόνα 3.3-17: Εντοπισμός του στοιχείου πρόκλησης του υδραυλικού κωλύματος	104
Εικόνα 3.3-18: Η προβληματική περιοχή μετά τις διορθωτικές ενέργειες.....	105
Εικόνα 3.3-19: Το δοχείο αποθήκευσης του υγρού της δεξαμενής και η αντλία.....	105
Εικόνα 3.3-20: Τροποποίηση της συνδεσμολογίας για την αφάλατωση του συστήματος....	107
Εικόνα 3.3-21: Ενδεικτική απεικόνιση των αλάτων που αφαιρέθηκαν από το σύστημα	107
Εικόνα 3.3-22: Παράδειγμα διαμόρφωσης κυτίου εξοπλισμού	108
Εικόνα 3.3-23: Παράδειγμα κυτίου εξοπλισμού με εγκατεστημένα τα επιμέρους στοιχεία.	109
Εικόνα 3.3-24: Ενδεικτική απεικόνιση της καλωδίωσης των σταθερών συσκευών σε κυτίο εξοπλισμού	110
Εικόνα 3.3-25: Συγκεντρωτική απεικόνιση των ολοκληρωμένων κυτίων εξοπλισμού	110
Εικόνα 3.3-26: Ενδεικτική απεικόνιση της προετοιμασίας δομικών στοιχείων του κυτίου καλωδίωσης.....	111
Εικόνα 3.3-27: Στιγμιότυπο της διαδικασίας κατασκευής του κυτίου καλωδίωσης.....	112

Εικόνα 3.3-28: Στάδια καθαρισμού και προστασίας των μεταλλικών δοκών.....	113
Εικόνα 3.3-29: Συγκεντρωτική απεικόνιση των μεταλλικών στοιχείων του πρόσθετου τμήματος της βάσης.....	113
Εικόνα 3.3-30: Στιγμιότυπο της διαδικασίας συγκόλλησης του τμήματος που προστέθηκε στη βάση.....	114
Εικόνα 3.3-31: Βαφή των μεταλλικών επιφανειών.....	115
Εικόνα 3.3-32: Εγκατάσταση της βοηθητικής επιφάνειας.....	115
Εικόνα 3.3-33: Τοποθέτηση κυτίου καλωδίωσης και ενισχυτικών στοιχείων.....	116
Εικόνα 3.3-34: Τοποθέτηση ηλεκτρικών πινάκων και κυτίων εξοπλισμού.....	116
Εικόνα 3.3-35: Γείωση των εκτεθειμένων μεταλλικών στοιχείων στο κytίο καλωδίωσης...	117
Εικόνα 3.3-36: Τοποθέτηση ηλεκτρολογικού και ηλεκτρονικού υλικού.....	118
Εικόνα 3.3-37: Αποψη του κυτίου καλωδίωσης μετά την ολοκλήρωση των ηλεκτρικών συνδέσεων.....	118
Εικόνα 3.3-38: Ενδεικτική απεικόνιση της ολοκληρωμένης καλωδίωσης σε κytίο εξοπλισμού.....	119
Εικόνα 3.3-39: Αποψη της ολοκληρωμένης μονάδας.....	119
Εικόνα 3.3-40: Μονοφασικός, βιομηχανικός ρευματολήπτης που καταλήγει σε ρευματοδότη τύπου "F" (schuko).....	120
Εικόνα 3.3-41: Βιομηχανικός, τριφασικός ρευματολήπτης που καταλήγει σε μπόρνες.....	120
Εικόνα 3.3-42: Η τελική μορφή της μονάδας του ελεγκτή της αντλίας (driver).....	121
Εικόνα 3.4-1: Δημιουργία δομοστοιχείων οργάνωσης.....	123
Εικόνα 3.4-2: Δημιουργία αντικειμένου συνάρτησης.....	123
Εικόνα 3.4-3: Ενδεικτική απεικόνιση λίστας ετικετών του συστήματος.....	124
Εικόνα 3.4-4: Οθόνη σύστασης νέου προγράμματος στο λογισμικό "TIA Portal".....	125
Εικόνα 3.4-5: Αρχική οθόνη προσθήκης νέας συσκευής.....	125
Εικόνα 3.4-6: Διαδικασία προσθήκης μονάδων επέκτασης στο λογισμικό προγραμματισμού.....	126
Εικόνα 3.4-7: Γραφική απεικόνιση της επιτυχούς προσθήκης της μονάδας επέκτασης.....	126
Εικόνα 3.4-8: Παραμετροποίηση των πληροφοριών της συσκευής.....	127
Εικόνα 3.4-9: Δημιουργία υπό-δικτύου στο προγραμματιστικό περιβάλλον.....	128
Εικόνα 3.4-10: Ρυθμίσεις διεύθυνσεως δικτυακού πρωτοκόλλου (IP).....	128
Εικόνα 3.4-11: Ρυθμίσεις <i>PROFINET</i>	129
Εικόνα 3.4-12: Λίστα ρυθμίσεων των φυσικών θυρών του ελεγκτή.....	129
Εικόνα 3.4-13: Μεταβολή του φίλτρου εισόδου για την πύλη του επαγωγικού αισθητήρα.....	129
Εικόνα 3.4-14: Ενεργοποίηση μετρητή υψηλής ταχύτητας.....	130
Εικόνα 3.4-15: Ρύθμιση της λειτουργίας του μετρητή υψηλής ταχύτητας.....	130
Εικόνα 3.4-16: Επιλογή της πύλης εισόδου που θα χρησιμοποιηθεί από τον ελεγκτή υψηλής ταχύτητας.....	131
Εικόνα 3.4-17: Εντολές εκκίνησης και τερματισμού του κινητήρα.....	132
Εικόνα 3.4-18: Χρονική καθυστέρηση της εντολής εκκίνησης του κινητήρα.....	133
Εικόνα 3.4-19: Ενεργοποίηση του κύριου ηλεκτρονόμου και αυτόματη μεταγωγή αστέρα/τρίγωνου.....	134
Εικόνα 3.4-20: Χειροκίνητη μεταγωγή αστέρα/τριγώνου μέσω του Π.Λ.Ε.....	136
Εικόνα 3.4-21: Επιβολή αυτόματης μεταγωγής αστέρα/τριγώνου με χρήση της φυσικής διεπαφής.....	137
Εικόνα 3.4-22: Κλήση του μετρητή υψηλής ταχύτητας.....	138
Εικόνα 3.4-23: Κλήση της συνάρτησης υπολογισμού της ταχύτητας.....	138
Εικόνα 3.4-24: Κώδικας υπολογισμού της ταχύτητας.....	140
Εικόνα 3.4-25: Μεταφορά της τιμής της ταχύτητας.....	141
Εικόνα 3.4-26: Συνάρτηση ανάγνωσης αναλογικής εισόδου.....	142
Εικόνα 3.4-27: Συνάρτηση διαμόρφωσης αναλογικής εξόδου.....	143

Εικόνα 3.4-28: Συνάρτηση ελεγκτή δύο θέσεων.....	145
Εικόνα 3.4-29: Δομοστοιχείο συνάρτησης ελεγκτή δύο θέσεων με ανάδραση	146
Εικόνα 3.4-30: Εισαγωγή δομοστοιχείου οργάνωσης με κυκλική διακοπή.....	148
Εικόνα 3.4-31: Δομοστοιχείο προγράμματος ελεγκτή PID.....	148
Εικόνα 3.4-32: Εύρεση των ετικετών που χρησιμοποιούνται από τον ελεγκτή PID	149
Εικόνα 3.4-33: Δίκτυα προγράμματος ελέγχου στάθμης (1/2)	150
Εικόνα 3.4-34: Δίκτυα προγράμματος ελέγχου στάθμης (2/2)	151
Εικόνα 3.4-35: Δομοστοιχείο οργάνωσης συναγερωμένων	152
Εικόνα 3.4-36: Ανάγνωση αισθητήρα μονοξειδίου.....	153
Εικόνα 3.4-37: Μεταφορά ετικετών μνήμης στις ετικέτες των φυσικών εξόδων	154
Εικόνα 3.4-38: Προσθήκη του HMI στο τρέχον έργο.....	156
Εικόνα 3.4-39: Αναεωμένη μορφή του δικτύου <i>PROFINET</i>	156
Εικόνα 3.4-40: Ρύθμιση της διεύθυνσης διαδικτυακού πρωτοκόλλου.....	157
Εικόνα 3.4-41: Ενδεικτική απεικόνιση των παραμέτρων ενός ψηφιακού πλήκτρου.....	157
Εικόνα 3.4-42: Ορισμός ενέργειας για αλληλεπίδραση με τα στοιχεία της οθόνης διεπαφής	158
Εικόνα 3.4-43: Εισαγωγή στοιχείου εισόδου που εδράζεται σε λίστα κειμένου	158
Εικόνα 3.4-44: Δημιουργία λίστας κειμένου.....	159
Εικόνα 3.4-45: Δημιουργία αναλογικού συναγερωμού	159
Εικόνα 3.4-46: Στοιχεία ανάγνωσης ημερομηνίας και ώρας από τον ελεγκτή	160
Εικόνα 3.4-47: Εντολή λήψης ημερομηνίας και ώρας από τη μονάδα διεπαφής.....	161
Εικόνα 3.4-48: Ενεργοποίηση διεύθυνσης συντονισμού	161
Εικόνα 3.4-49: Εντολή αξιολόγησης της κατάστασης του επεξεργαστή της ελεγκτικής μονάδας	162
Εικόνα 3.4-50: Δομοστοιχείο δεδομένων των λειτουργιών διαχείρισης του συστήματος....	162
Εικόνα 3.4-51: Ερμηνεία της κατάστασης του επεξεργαστή ως κείμενο.....	163
Εικόνα 3.5-1: Ο σύνδεσμος κινητήρα-γεννήτριας	164
Εικόνα 3.5-2: Στιγμιότυπο της διαδικασίας σύσφιξης των κοχλιών συγκράτησης της γεννήτριας.....	165
Εικόνα 3.5-3: Συνδεσμολογία ψηφιακών οργάνων	166
Εικόνα 3.5-4: Το ποτενσιόμετρο ρύθμισης τάσης της μονάδας τροφοδοσίας	167
Εικόνα 3.5-5: Υποβαθμιστές τάσης.....	167
Εικόνα 3.5-6: Σύνδεση εξωτερικών συσκευών τροφοδοσίας σε σειρά.....	168
Εικόνα 3.5-7: Ρύθμιση μετατροπέα πίεσης	169
Εικόνα 4.1-1: Φωτορεαλιστική άποψη της διάταξης	170
Εικόνα 4.1-2: Άποψη της ολοκληρωμένης κατασκευής	170
Εικόνα 4.1-3: Κατασκευαστική λεπτομέρεια στην καλωδίωση της γεννήτριας	171
Εικόνα 4.1-4: Παράδειγμα εφαρμοσμένης οπτικής και ηχητικής σήμανσης.....	171
Εικόνα 4.1-5: Χειρισμός του κινητήρα με το διακόπτη μεταγωγής αστέρα-τριγώνου	172
Εικόνα 4.1-6: Χειρισμός του κινητήρα μέσω του Π.Λ.Ε.	172
Εικόνα 4.1-7: Παράδειγμα διεργασίας ελέγχου με ελεγκτή τριών σημείων	173
Εικόνα 4.1-8: Λειτουργία της γεννήτριας σε επαγωγική φόρτιση	173
Εικόνα 4.1-9: Τροφοδοσία φορτίων από τη γεννήτρια	174
Εικόνα 4.2-1: Πλήκτρο μετάβασης στις οθόνες του συστήματος.....	175
Εικόνα 4.2-2: Κατάλογος οθονών συστήματος.....	176
Εικόνα 4.2-3: Οθόνη διαχείρισης συστήματος.....	176
Εικόνα 4.2-4: Πλήκτρο μετάβασης στην οθόνη του διαχείρισης του προγράμματος ελέγχου στάθμης	177
Εικόνα 4.2-5: Επιλογή τύπου ελεγκτή.....	177
Εικόνα 4.2-7: Ορισμός επιθυμητής στάθμης.....	178
Εικόνα 4.2-8: Ορισμός μέγιστης τάσης εξόδου.....	179

Εικόνα 4.2-9: Ορισμός της τιμής της υστέρησης.....	180
Εικόνα 4.2-10: Ενεργοποίηση του ελεγκτή τριών όρων	181
Εικόνα 4.2-11: Παράμετροι του συστήματος ελέγχου.....	182
Εικόνα 4.2-6: Σκαριφηματική απόδοση της συνδεσμολογίας των ασκήσεων ελέγχου στάθμης	183
Εικόνα 4.2-12: Ο διακόπτης εκτάκτου ανάγκης.....	184
Εικόνα 4.2-13: Κύριος διακόπτης τροφοδοσίας.....	184
Εικόνα 4.2-14: Οπτική σήμανση λειτουργίας του κυκλώματος διακοπής.....	185
Εικόνα 4.2-15: Διακόπτης ενεργοποίησης της εξόδου της γεννήτριας.....	185
Εικόνα 4.2-16: Υποδοχές εξωτερικής πηγής διέγερσης.....	185
Εικόνα 4.2-17: Πίνακας ελέγχου του κινητήρα.....	186
Εικόνα 4.2-18: Οθόνη ελέγχου του κινητήρα σε αυτόματη λειτουργία.....	186
Εικόνα 4.2-19: Οθόνη ελέγχου του κινητήρα σε χειροκίνητη λειτουργία	187
Εικόνα 4.2-20: Επιγραφή στοιχείων του κινητήρα	187
Εικόνα 4.2-21: Πίνακας επιτήρησης της γεννήτριας.....	188
Εικόνα 4.2-22: Σκαριφηματική απόδοση της συνδεσμολογίας των ηλεκτροτεχνικών ασκήσεων	189
Εικόνα 4.2-23: Δομοστοιχείο συνάρτησης ελέγχου δύο βημάτων με υστέρηση	190
Εικόνα 4.2-24: Πρόγραμμα αισθητήρα μονοξειδίου.....	192
Εικόνα 4.2-25: Στοιχείο χρονικής καθυστέρησης.....	192
Εικόνα 4.2-26: Πρόγραμμα εκκίνησης με αυτόματη μετάβαση αστέρα-τριγώνου.....	193

- Η σελίδα αυτή είναι σκοπίμως κενή -

1. Εισαγωγή

1.1. Πρόλογος

Ο «αυτοματισμός» είναι μια λέξη ελληνικής ρίζας που περιγράφει κάτι που πραγματοποιείται, κινείται ή λειτουργεί χωρίς τη σύμπραξη του ανθρώπου, σύμφωνα με ετυμολογικά λεξικά. Βέβαια, η πρακτική σημασία που αποδίδεται στον όρο αυτό ποικίλλει αναλόγως της χρονικής περιόδου και του πλαισίου στα οποία χρησιμοποιείται. Επί παραδείγματι στο πρόσφατο παρελθόν ήταν σύνηθες να αποκαλείται αυτοματοποιημένη κάθε εγκατάσταση που περιλάμβανε σε οποιοδήποτε βαθμό μηχανοποιημένες διαδικασίες. Μια σύγχρονη, γενική ταυτοποίηση της αυτοματοποίησης θεωρείται η μετατροπή του χειρισμού ή ελέγχου μιας διαδικασίας, εργασίας ή εξοπλισμού, έτσι ώστε να περιορίζεται στο μέγιστο δυνατό βαθμό η συμμετοχή του ανθρώπινου παράγοντα σε αυτούς. Ασφαλώς, με την αυτοματοποίηση δεν περιγράφεται η αυτούσια μεταφορά των ανθρώπινων λειτουργιών σε μηχανές, αλλά υποδεικνύεται μια εις βάθος αναδιάταξη της ροής μιας εργασίας, μέσω της οποίας επαναπροσδιορίζεται η αλληλεπίδραση του ανθρώπου και της μηχανής.

Όπως έχει παρατηρηθεί ιστορικά, στη διαμόρφωση των προϋποθέσεων για εμπορική ευδοκίμηση, η τεχνολογική πρόοδος διαδραματίζει σημαντικό ρόλο, όπως και η προθυμία του εκάστοτε χώρου να συμπορευθεί με αυτή. Μολονότι γενικότερο γνώρισμα της οποιασδήποτε βιομηχανίας αποτελεί ο προσανατολισμός προς διαχρονικά αξιόπιστες και καθιερωμένες μεθόδους και πρακτικές—συμπεριλαμβανομένου και του πάσης φύσεως εξοπλισμού που απαιτείται για την κάλυψη των λειτουργικών καθηκόντων της—, η ναυτιλία αποτελεί διαχρονικά έναν από τους χώρους στους οποίους έβρισκαν εφαρμογή καινοτόμες τεχνολογικές ιδέες, τόσο στις χερσαίες, όσο και στις θαλάσσιες παρυφές της. Έτσι, από τα πρώτα ίχνη μηχανοποίησης της ναυτιλιακής βιομηχανίας, κατέστη εμφανής η ανάγκη εύρεσης μεθόδων που είτε θα αφορούσαν την προαγωγή των λειτουργικών συνθηκών, είτε θα είχαν ως στόχο τη βελτίωση των εμπορικών συνιστωσών αυτού του ραγδαία αναπτυσσόμενου κλάδου. Είναι λοιπόν εμφανές πως, ανεξαρτήτως του ερείσματος, αναδύθηκε η ανάγκη για μια ευρύτερη τυποποίηση διαδικασιών, χειρισμών και μεθόδων, που θα εγγυόνταν την αξιόπιστη εκτέλεση μιας ενέργειας στο συντομότερο χρονικό διάστημα, αλλά και θα επέτρεπαν τη διαρκή επιτήρηση και παρακολούθηση

των επιμέρους σταδίων της. Την τυποποίηση αυτή αναγνωρίζουμε πλέον ως αυτοματισμό.

Η ευρύτητα της χρήσης των αυτοματισμών στη ναυτιλία, που συνεχώς αυξάνεται, είναι πλέον ευκρινής σε κάθε επίπεδο της. Από την προκαταρκτική σχεδίαση έως το χειρισμό του πλοίου, αλλά και σε ζητήματα διαχείρισης έμψυχου και άψυχου δυναμικού, οι αυτοματοποιημένες διαδικασίες κυριαρχούν. Είναι χρήσιμο, λοιπόν, ο κάθε επιστήμονας ή τεχνικός που ασχολείται με τον τομέα αυτόν να γνωρίζει θεμελιώδεις αρχές των τεχνολογιών που διευκολύνουν κι επιταχύνουν το επαγγελματικό του έργο.

Ένας από τους πλέον αξιόπιστους και διαδεδομένους τρόπους δημιουργίας ενός συστήματος αυτοματισμού για βιομηχανικές εφαρμογές, είναι με τη χρήση ενός Προγραμματιζόμενου Λογικού Ελεγκτή (Π.Λ.Ε.)¹. Σκοπός της παρούσας, διπλωματικής εργασίας είναι η δημιουργία ενός εκπαιδευτικού συνόλου, το οποίο με πυρήνα τον Π.Λ.Ε. θα εξοικειώνει τους φοιτητές με τη λογική βάση στην οποία εδράζονται αρκετές εφαρμογές παρακολούθησης, χειρισμού και ελέγχου που απαντώνται στη ναυτική μηχανολογία. Ειδοποιός διαφορά της συγκεκριμένης κατασκευής σε σχέση με προηγούμενες διπλωματικές και πτυχιακές εργασίες, αλλά και με εμπορικά διαθέσιμες διατάξεις, αποτελεί η ποικιλότητα και το πλήθος του εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκε, καθώς παραπέμπει σε ναυτικές εγκαταστάσεις μικρής κλίμακος. Προς επαύξηση της διδακτικής αξίας της κατασκευής, έγινε σημαντική προσπάθεια για τη φυσική υλοποίηση του κάθε παραδείγματος, και όχι μέσω προσομοιώσεων λογισμικού, με στόχο όχι μόνο να διευκολύνουν τη σύνδεση των θεωρητικών εννοιών με πρακτικές εφαρμογές, αλλά και να συμβάλλουν στην τεχνική εμπειρία του εκπαιδευόμενου.

1.2. Ιστορική Αναδρομή

Η εκτενής τεχνική και ιστορική ανάλυση όλων των εφαρμογών που καθόρισαν την εξέλιξη της τεχνολογίας των αυτοματισμών θα μπορούσε να αποτελέσει ένα αυτόνομο έργο, εξαιτίας της πολυσχιδούς φύσεως του αντικειμένου. Στα πλαίσια αυτής της

¹ Ο όρος αποτελεί μετάφραση του αγγλικού: «*Programmable Logic Controller (P.L.C./PLC)*»

εργασίας, λοιπόν, περιοριζόμαστε στη νύξη της εξελικτικής πορεία του αυτομάτου ελέγχου, κάνοντας μια ειδικότερη αναφορά στα ιστορικά στοιχεία που αφορούν τον Π.Α.Ε.. Αν και δόθηκε έμφαση στην προσέγγιση του αντικειμένου από ιστορική και όχι από τεχνική σκοπιά, παραπέμπουμε τον αναγνώστη στη θεωρητική ενότητα, πριν την ανάγνωση αυτού του κεφαλαίου, προς διευκόλυνση του.

1.2.1. Συστήματα ελέγχου

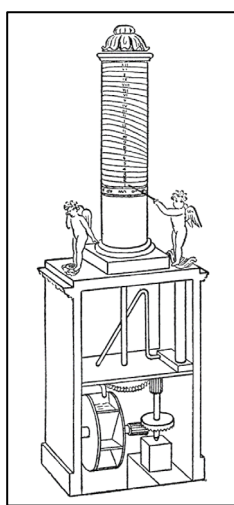
Στην αρχαία ιστορία, διακρίνονται διάφορα παραδείγματα ελέγχου με ανάδραση, η χρήση των οποίων εντοπίζεται έως και το Μεσαίωνα. Ο Κτησίβιος της Αλεξάνδρειας (284-221 π.Χ.) αποτέλεσε έναν από τους πρωτοπόρους στους τομείς των υδραυλικών και πνευματικών συστημάτων. Του αποδίδεται η εφεύρεση της δυναμικής αντλίας, του υδραυλού², διάφορων πολεμικών όπλων και συσκευών μέτρησης χρόνου όπως η κλεψύδρα (ύδραυλις) και το υδραυλικό ρολόι, το οποίο αποτέλεσε την πρώτη καταγεγραμμένη συσκευή με έλεγχο ανάδρασης. Μια ελεύθερη απεικόνιση της μορφής που εκτιμάται πως είχε, μπορούμε να δούμε παρακάτω (Εικόνα 1.2-1).

Ένας εξίσου σημαντικός εφευρέτης της εποχής αυτής ήταν και ο Φίλων ο Βυζάντιος (280-220 π.Χ.), ο οποίος θεωρείται πως υπήρξε μαθητής του Κτησίβιου και διακρίθηκε για τη μελέτη του στους περισσότερους τομείς των εφαρμοσμένων τεχνικών δραστηριοτήτων. Καίριας ιστορικής σημασίας θεωρείται η συγγραφική του δραστηριότητα και ιδίως η δημιουργία μιας πολύτομης, τεχνολογικής εγκυκλοπαίδειας στην οποία θίγονταν ζητήματα όπως οι μέθοδοι αξιοποίησης της μηχανικής για μετακίνηση αντικειμένων, οι δυνατότητες των συμπιεστών ρευστών, η χρήση του ατμού για τη δημιουργία αυτομάτων³, αλλά και μελέτες πάνω σε διάφορα αντικείμενα όπως η κρυπτογραφία, τα λιμενικά έργα και μέθοδοι οχύρωσης. Μια εκ των εφευρέσεων του με έντονα χαρακτηριστικά αυτοματισμού με ανάδραση, είναι ένας μηχανισμός ελέγχου στάθμης, με ευρύ φάσμα εφαρμογών, ο οποίος παραπέμπει σε ένα σύγχρονο ελεγκτή δύο θέσεων.

² Ο υδραυλος θεωρείται το πρώτο ηλεκτροφόρο, πολυφωνικό όργανο και αποτελεί πρόγονο του σύγχρονου αρμονίου.

³ Με τον όρο «αυτόματα» στην αρχαία ιστορία, περιγράφονται μηχανοποιημένα αγάλματα, εργαλεία, παιχνίδια και άλλα αντικείμενα με σχετικά αυτόνομη λειτουργία, που ακολουθούν μια σειρά οδηγιών ή ανταποκρίνονται σε προκαθορισμένες εντολές. Μπορούν να θεωρηθούν συστήματα ανοικτού βρόγχου.

Μια ακόμα σημαντική προσωπικότητα των επιστημών υπήρξε ο Ήρων ο Αλεξανδρεύς (10-75 μ.Χ.), ο οποίος ασχολήθηκε με πλείστα ζητήματα της φυσικής και των μαθηματικών. Οι αυτόματοι μηχανισμοί του είναι αρκετά πιο εξελιγμένοι των προγενέστερων και είχαν ως στόχο τον έλεγχο στάθμης και ροής μέσω της αξιοποίησης των αρχών της ρευστοδυναμικής. Στον Ήωνα αποδίδεται, επίσης, και η κατασκευή της πρώτης ατμομηχανής. Η εκτενής καταγραφή των μελετών του, τον ανήγαγε σε πομπό της τεχνικής και επιστημονικής ιστορίας, ενώ τα καινοτόμα μηχανολογικά χαρακτηριστικά των εφευρέσεων του αποτέλεσαν τη βάση της τεχνολογίας του Μεσαίωνα.



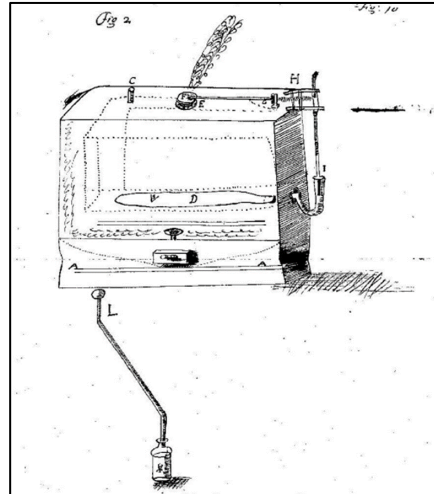
Εικόνα 1.2-1: Σκαρίφημα του υδραυλικού ρολογιού του Κτησίβιου

Πηγή: (Bond, 2015)

Οι μηχανισμοί που παρατηρούνται ως και την περίοδο της Αναγέννησης είναι κυρίως εξελιγμένες μορφές αυτών της αρχαιότητας και ακολουθούν παρόμοιες κατασκευαστικές αρχές. Υδραυλικά ρολόγια και διάφοροι μηχανισμοί με πλωτήρες αποτελούν τα κύρια τεχνολογικά ορόσημα εκείνης της εποχής. Σημαντική πρόοδος στον τομέα των αυτοματισμών καταγράφεται από τη νεότερη ιστορία και ύστερα.

Ο πρώτος καινοτόμος μηχανισμός αυτομάτου ελέγχου που κατασκευάστηκε στη δυτική Ευρώπη, γεννήθηκε από τον Ολλανδό χημικό και μηχανικό Κορνέλιους Ντρέμπελ (*Cornelis Jacobszoon Drebbel*, 1572-1633). Οι μελέτες και οι εφευρέσεις του καλύπτουν διάφορα αντικείμενα μεταξύ των οποίων είναι η οπτική, η χημεία και η τεχνολογία ελέγχου και μετρήσεων. Αν και οι κατασκευές του εμφανίζουν στο σύνολο τους εξαιρετικό τεχνικό ενδιαφέρον—καθώς ανέπτυξε, μεταξύ άλλων, ένα

λειτουργικό σύστημα κλιματισμού και το πρώτο υποβρύχιο—, κορωνίδα της συμβολής του στον τομέα των αυτοματισμών θεωρείται η ανάπτυξη του θερμοστατικού ελεγκτή και η χρήση του σε εκκολαπτήρια και φούρνους.



Εικόνα 1.2-2: Σκαριφηματική αναπαράσταση εκκολαπτηρίου Drebbel με θερμοστατικό έλεγχο

Πηγή: (Franck, 2013)

Αν και στα χρόνια που ακολούθησαν υπήρξαν διάφορες διατάξεις θερμοστατών για έλεγχο με ανάδραση, το άλμα από τους αυτοσχέδιους, εργαστηριακούς μηχανισμούς σε λογικά σχεδιασμένες, χρηστικές συσκευές επετεύχθη από τον Γάλλο φυσικό και μηχανολόγο Ζαν Σιμόν Μπονεμαίν (*Jean Simon Bonnemain*, 1743-1830). Οι εμπορικές εφαρμογές του έργου του εντοπίζονται σε θερμοκοιτίδες και συσκευές μαγειρικής, ενώ φαίνεται πως αποτέλεσε τη βάση για την ανάπτυξη των συστημάτων κεντρικής θέρμανσης.

Μια άλλη συσκευή ελέγχου που επανεμφανίστηκε, παρά τις πλείστες εφαρμογές της στην αρχαιότητα, ήταν και οι πλωτήρες. Η ανάδυση της τεχνολογίας αποδίδεται στη μετάφραση των συγγραμμάτων του Ήρωνα, που βελτίωσε την προσβασιμότητα των δυτικών πολιτισμών σε αυτά, με την πρώτη, σύγχρονη εφαρμογή τους εντοπίζεται περί το 1740 στην Αγγλία ως μέσο διαχείρισης της στάθμης του νερού σε οικιακές δεξαμενές και λέβητες ατμού. Η αρχαιότερη, καταγεγραμμένη εφαρμογή ρυθμιστή με πλωτήρα στην κατασκευή ατμολέβητα έγινε από τον Άγγλο μηχανικό Τζέιμς Μπρίντλεϊ (*James Brindley*, 1716-1772), ο οποίος αποτέλεσε έναν εκ των σημαντικότερων επιστημόνων του αιώνα με τη συμβολή του στην κατασκευή καναλιών, γεφυρών και υδραγωγείων. Η εξάπλωση της χρήσης της ατμομηχανής και

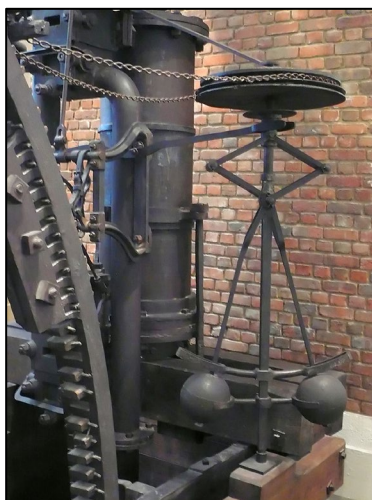
η παγίωση αυτών των ελεγκτών στάθμης στην κατασκευή ατμολεβήτων, οδήγησαν σε περεταίρω άνθιση της τεχνολογίας τους.

Σχεδόν ταυτόχρονα, πρόοδος σημειώθηκε και σε συσκευές ελέγχου πίεσεως, τόσο ως μέσα προστασίας από την υπερβολική αύξηση της πίεσης σε ατμολέβητες, όσο και ως μέσα ελέγχου. Εμπνευστής της ιδέας θεωρείται ο Γάλλος επιστήμονας Ντενί Παπέν (*Denis Papin*, 1647-1713), ο οποίος επινόησε μια βαρυτική βαλβίδα εκτόνωσης για τη ρύθμιση της πίεσης σε σκεύη μαγειρικής. Το 1707 χρησιμοποίησε την ίδια βαλβίδα ως μέσο ασφαλείας σε ατμομηχανή υψηλής πίεσεως και σύντομα αποτελούσε βασικό εξοπλισμό όλων των ατμομηχανών. Άλλες εφαρμογές των ελεγκτών ανάδρασης με τη χρήση της πίεσης, εντοπίζονται σε συστήματα διαχείρισης κλιβάνων σε λέβητες ατμού και ελέγχου παροχής ατμού σε ατμομηχανές.

Συγχρόνως με τα παραπάνω, αναπτύσσεται μια νέα κατηγορία ελεγκτών που αφορά τον έλεγχο ταχύτητας, με την τεχνολογία τους να θεωρείται πως άνθισε μέσα από την επινοητικότητα των Βρετανών τεχνιτών μύλων (*millwrights*) του 18^{ου} αιώνα. Οι ελεγκτές αυτοί βρήκαν εφαρμογή κυρίως σε βιομηχανικές χρήσεις, μα και σε άλλους τομείς που η ταχύτητα αποτελεί βασική παράμετρο της λειτουργίας τους, όπως αποδεικνύεται από το σύστημα αυτόματου συγχρονισμού που επινοήθηκε από τον Γάλλο ωρολογοποιό Αμπραάμ-Λουί Μπρεγκέ (*Abraham-Louis Breguet*, 1747-1823). Ως αφετηρία της βιομηχανικής χρήσης τους, λογίζεται το εφεύρημα του φυγοκεντρικού ρυθμιστή στροφών (*centrifugal speed governor*), των Τζέιμς Βατ (*James Watt*, 1736-1819) και Μάθιου Μπούλτον (*Matthew Boulton*, 1728-1809), η βελτιστοποίηση του οποίου απασχόλησε πολλούς μηχανικούς του 19^{ου} αιώνα (Εικόνα 1.2-3).

Εστιάζοντας στις ναυτικές εφαρμογές της περιόδου, παρατηρούμε πως η σταδιακή αύξηση του μεγέθους των πλοίων και του οπλισμού τους—όσον αφορά την πολεμική ναυτιλία—μα και η εισαγωγή νέων όπλων όπως οι τορπίλες, οδήγησαν στη χρήση του ατμού, πνευματικών και υδραυλικών συστημάτων για το χειρισμό μηχανισμών ελέγχου θέσεως. Οι αυξημένες υδροδυναμικές δυνάμεις, που αναπτύσσονταν πλέον στα πηδάλια, ήταν πρακτικά αδύνατον να αντιμετωπιστούν από τους παραδοσιακούς, γριναζωτούς μηχανισμούς, οπότε δημιουργήθηκε και η ανάγκη για μηχανική υποβοήθηση της πηδαλιουχίας. Έτσι, πέραν των ελεγκτών που χρησιμοποιούνταν

καθολικά από τη βιομηχανία, δημιουργείται από τον Αμερικανό Φρέντερικ Έλσγουορθ Σίκελς (*Frederick Ellsworth Sickels*, 1819-1895) ο πρώτος, ατμοκίνητος κινητήρας για την κίνηση του πηδαλίου. Η βελτίωση της τεχνολογίας, με την αναβάθμιση των κινητήρων αυτών σε συστήματα κλειστού βρόγχου προέκυψε από τον μηχανισμό που σχεδιάστηκε για το πλοίο «*Great Eastern*»⁴ από τον Τζον Μακφάρλαν Γκρέι (*John McFarlane Gray*, 1831-1908), ενώ από τους σύγχρονους μηχανισμούς που δημιουργήθηκαν στη Γαλλία, τους αποδόθηκε η ονομασία «σερβοκινητήρες»⁵.



Εικόνα 1.2-3: Φυγοκεντρικός ρυθμιστής στροφών σε ατμομηχανή των Boulton και Watt

Πηγή: (Junge, 2008)

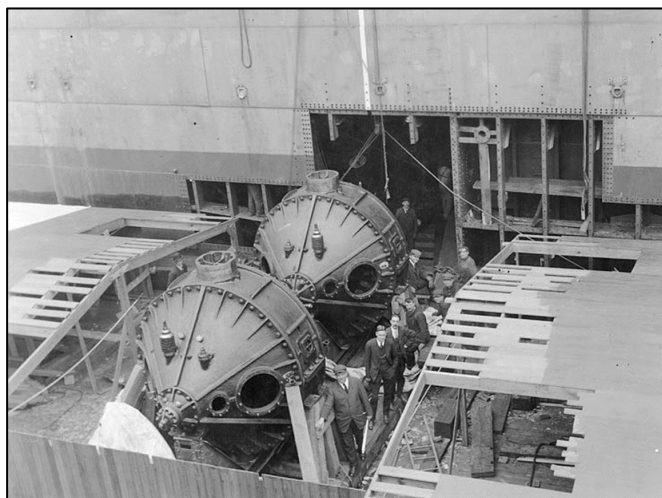
Συνοψίζοντας, διαπιστώνουμε πως οι περισσότερες εφευρέσεις αυτής της περιόδου είχαν ως στόχο τους τον βασικό έλεγχο θερμοκρασίας, πίεσεως, στάθμης και ταχύτητας. Περισσότερες εφαρμογές των συστημάτων ελέγχου έγιναν εμφανείς με την εξέλιξη της τεχνολογίας για τον ηλεκτρισμό και τις χρήσεις του, μέσω του οποίου προέκυψαν και νέα εργαλεία—όπως λ.χ. ο ηλεκτρονόμος—που διέυρυναν την παλέτα των μηχανικών και τους επέτρεψαν να δημιουργήσουν νέα συστήματα αυτομάτου χειρισμού και ελέγχου.

Από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα, παρατηρείται η διάδοση των ελεγκτών ανάδρασης σε ολοένα και πιο σύνθετες εφαρμογές όπως η διαχείριση εξοπλισμού λεβητοστασίου, ο

⁴ Προς υπογράμμιση της σημασίας του μηχανισμού, το ατμόπλοιο «*Great Eastern*» κατασκευάστηκε το 1853 από τον περίφημο Άγγλο μηχανικό Ίσαμπαντ Μπρούνελ (*Isambard Kingdom Brunel*, 1806-1859) και με εκτόπισμα 32.160 τόνων υπήρξε το μεγαλύτερο πλοίο ως το 1901.

⁵ Συγκεκριμένα, η ονομασία τους ως «*servo-moteur*» ή «*moteur asservi*» θεωρείται πως προέκυψε από τον Γάλλο μηχανικό Ζοζέφ Φαρκό (*Jean Joseph Léon Farcot*, 1824-1908).

έλεγχος ηλεκτρικών κινητήρων, σε συστήματα διεύθυνσης πλοίων και αεροσκαφών κ.α.. Παρότι η ποικιλία συσκευών που δημιουργήθηκαν ήταν μεγάλη, παρατηρείται πως οι περισσότερες σχεδιάστηκαν χωρίς σαφή κατανόηση της δυναμικής της ελεγχόμενης διεργασίας και του ελεγκτηρίου εξοπλισμού. Την περίοδο αυτή, λοιπόν, παρατηρείται πως η πλειονότητα των χρήσεων των ελεγκτών είχε ρυθμιστικό χαρακτήρα, με εξαίρεση κάποιες σύνθετες εφαρμογές, όπως τα γυροσκοπικά συστήματα που αναπτύχθηκαν από τον Αμερικανό εφευρέτη Έλμερ Αμπρός Σπέρι (*Elmer Ambrose Sperry Sr.*, 1860-1930). Ενδεικτικά παρατίθεται η παρακάτω φωτογραφία (Εικόνα 1.2-1) που απεικονίζει τη χρήση σταθεροποιητών ως σταθεροποιητή διατοιχισμού (*roll stabilizer*) σε πολεμικό πλοίο.



Εικόνα 1.2-4: Εγκατάσταση γυροσκοπικού σταθεροποιητή Sperry στο πλοίο «USS Henderson»

Πηγή: (US Navy, 1917)

Αν και η περιορισμένη θεωρητική αντίληψη δεν αποτέλεσε άμεσο εμπόδιο στην τεχνολογική εξέλιξη, η εμφάνιση πολυπλοκότερων μηχανισμών, που εδράζονταν σε σύνθετους νόμους ελέγχου, ανέδειξε δύο σημαντικά ζητήματα. Την ανυπαρξία κοινής γλώσσας για την αντιμετώπιση προβλημάτων από την τεχνική κι επιστημονική κοινότητα, και την έλλειψη απλών και εύκολα εφαρμόσιμων μεθόδων σχεδίασης και ανάλυσης συστημάτων αυτομάτου ελέγχου. Μια σαφής ανάλυση των συστημάτων ελέγχου θέσεως δόθηκε από τον Ρώσο-Αμερικανό μηχανικό Νικόλας Μινόρσκι (*Nikolai Fyodorovich Minorsky*, 1885-1970), ο οποίος δημιούργησε ένα νόμο ελέγχου

που γνωρίζουμε σήμερα ως ελεγκτή τριών όρων ή ελεγκτή PID ⁶. Βέβαια, η πρακτική εφαρμογή του έργου του καθυστέρησε, εξαιτίας της έλλειψης κατάλληλων ενισχυτών για τη μετατροπή των σημάτων χαμηλής ισχύος που λαμβάνονταν από το μετρητικό εξοπλισμό, σε επίπεδα ισχύος ικανά να διεγείρουν τους ελεγκτές.

Ένας άλλος τομέας, στον οποίο η ενίσχυση αποτελούσε σημαντικό εμπόδιο, ήταν αυτός της τηλεφωνίας μεγάλων αποστάσεων. Αν και οι βελτιώσεις που εισήχθησαν στην καλωδίωση στις αρχές της δεκαετίας του 1920, αύξησαν την ωφέλιμη απόσταση μετάδοσης, η υπεραστική τηλεφωνία συνέχισε να βασίζεται στη χρήση ενισχυτών. Η τεχνολογία της εποχής αποδείχθηκε προβληματική για την έκταση των εφαρμογών, μιας και η συνεχώς αυξανόμενη κίνηση του δικτύου απαιτούσε αυξημένο εύρος ζώνης (*bandwidth*) οπότε και οδηγούσε σε αυξημένες απώλειες, μα και οι επαναλήπτες που χρησιμοποιούνταν είχαν πεπερασμένο ωφέλιμο πλήθος, καθότι προκαλούσαν θόρυβο στο σήμα. Η λύση στα ζητήματα αυτά δόθηκε από τη συνεργασία του Αμερικανού μηχανικού Χάρολντ Στίβεν Μπλακ (*Harold Stephen Black*, 1898-1983) και του Σουηδού μηχανικού Χάρρυ Νάικιστ (*Harry Nyquist*, 1889-1976), όπου μέσα από τη σύμπραξη τους γεννήθηκε ο ηλεκτρονικός ενισχυτής αρνητικής ανάδρασης.

Συγκεφαλαιώνοντας, παρατηρούμε πως στην προπολεμική περίοδο σημειώνεται σημαντική πρόοδος στην κατανόηση των συστημάτων ελέγχου, μέσω ανεξάρτητων προσπαθειών σε παγκόσμιο επίπεδο. Πέραν της εξέλιξης μηχανικών και ηλεκτρονικών ελεγκτών, των βοηθητικών στοιχείων αυτών, μα και μεθόδων ανάλυσης της συμπεριφοράς μιας εγκατάστασης αυτοματισμού που δημιουργήθηκαν, θεωρείται πως υπήρξαν και οι πρώτες ενέργειες για την τυποποίηση των συστημάτων ελέγχου, μέσω της καθιέρωσης κοινής ορολογίας και μεθόδων σχεδίασης.

Με έναυσμα τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο βλέπουμε να συσπειρώνονται οι αυτόνομες ομάδες, αυτών που εργάζονταν πάνω στα προβλήματα ελέγχου, και οι δράσεις τους επικεντρώνονται σε συγκεκριμένα προβλήματα. Για την επίτευξη μαζικής παραγωγής, που απαιτούσαν οι πολεμικές προσπάθειες, οι μονάδες ελέγχου κατακερματίζονται σε εξαρτήματα που παράγονται από την εκάστοτε, εξειδικευμένη βιομηχανία, ανάγοντας

⁶ Αρκτικόλεξο του αναλογικού, ολοκληρωτικού και διαφορικού ελεγκτή (*Proportional-Integral-Derivative controller*)

το βαθμό συνεργασίας των επιμέρους μονάδων σε κύριο στόχο των κριτηρίων απόδοσης. Τα παραπάνω υπήρξαν καθοριστικά και για τη νοοτροπία σχεδίασης των ελεγκτών, που πλέον απέβλεπε στη βέλτιστη και όχι τη σταθερή λύση, αμφισβητώντας τις έως τότε υποθέσεις γραμμικών συστημάτων με ντετερμινιστική συμπεριφορά.

Η μεταπολεμική περίοδος χαρακτηρίζεται από τη γέννηση και την άνθιση τεχνολογιών που πλέον αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι όχι μόνο των βιομηχανικών, μα και των οικιακών εργασιών. Η εισαγωγή των ψηφιακών συστημάτων έφερε σημαντικές αλλαγές στον αυτόματο έλεγχο, με κυριότερη πως επέτρεπε την αντικατάσταση προσεγγιστικών μεθόδων, από υπολογιστικές τεχνικές. Οι πρώτες εφαρμογές είχαν εποπτικό χαρακτήρα, στις οποίες ο έλεγχος πραγματοποιούνταν από συμβατικούς ηλεκτρικούς, πνευματικούς ή υδραυλικούς ελεγκτές, αλλά παρακολουθούνταν και βελτιστοποιούνταν από υπολογιστή. Περί τα μέσα της δεκαετίας του 1960 δημιουργήθηκαν εξειδικευμένοι υπολογιστές ελέγχου, προσφέροντας άμεσο ψηφιακό και εποπτικό έλεγχο. Ωστόσο, το υψηλό κόστος και η δυσκολία προγραμματισμού, τους έκανε ασύμφορους, οπότε και αντικαταστάθηκαν από μεταγενέστερους, πιο οικονομικούς μικροϋπολογιστές. Η εισαγωγή μικροεπεξεργαστών σε ψηφιακούς ελεγκτές, απέδωσε συμπαγή, εύχρηστα και αξιόπιστα συστήματα, που μέσω της ευελιξίας και της αυξημένης υπολογιστικής τους ικανότητας επέτρεψαν όχι μόνο τη βελτίωση και αναβάθμιση της υπάρχουσας τεχνολογίας, μα και την εξερεύνηση του ψηφιακού, προσαρμοστικού ελέγχου που αναμένεται να γνωρίσει ευρεία χρήση στο άμεσο μέλλον.

1.2.2. Προγραμματιζόμενος λογικός ελεγκτής

Τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου της ψυχροπολεμικής εποχής εδράζονταν στη χρήση ηλεκτρονόμων (*relays*), με τις εγκαταστάσεις τους να έχουν υψηλές απαιτήσεις ηλεκτρολογικών και κτηριακών υποδομών. Η λειτουργία τους ήταν αρκετά προβληματική τόσο σε επίπεδο κατάρτισης της διαδικασίας ελέγχου—μιας και υστερούσαν ευελιξίας και προσαρμοστικότητας—, όσο και σε επίπεδο επισκευής και συντήρησης.



Εικόνα 1.2-5: Εγκατάσταση ελέγχου με ηλεκτρονόμους σε σιδηροδρομική εφαρμογή

Πηγή: (Scroggins, 2013)

Τα κριτήρια για τη σχεδίαση του πρώτου Π.Λ.Ε. προέκυψαν από τις απαιτήσεις που τέθηκαν από την αυτοκινητοβιομηχανία «*General Motors*»⁷ για την κατασκευή ενός ελεγκτή που θα αντικαθιστούσε τις αναξιόπιστες και δαπανηρές διατάξεις ηλεκτρονόμων. Κάποιες από τις ανάγκες που θα έπρεπε να ικανοποιεί η συσκευή ήταν:

- Η συνεργασία με τον υπάρχον, παραγωγικό εξοπλισμό.
- Η ελαχιστοποίηση του χρόνου επισκευής και συντήρησης.
- Να παρέχει δυνατότητες επέκτασης και αναβάθμισης του συστήματος.
- Η δυνατότητα λειτουργίας σε βιομηχανικό περιβάλλον.
- Να μπορεί να προγραμματιστεί με τη «λογική της σκάλας» (*ladder logic*)⁸ ώστε να μην απαιτείται εκτεταμένη εκπαίδευση για τη χρήση της.

Παρότι στη διαδικασία συμμετείχαν αρκετές εταιρείες, η υλοποίηση του ελεγκτή που ικανοποιούσε τις παραπάνω προϋποθέσεις επιτεύχθηκε από την «*Bedford Associates*». Η ομάδα εργασίας που απασχολήθηκε στη σύλληψη και την κατασκευή της συσκευής, δημιούργησε μια θυγατρική επιχείρηση με την ονομασία του έργου, δηλαδή «Αρθρωτός Ψηφιακός Ελεγκτής» (*Modular Digital Controller-MODICON*), από την οποία και δημιουργήθηκε ο «*MODICON 084*», το 1969. Ο «Προγραμματιζόμενος Ελεγκτής» (*Programmable Controller-PC/P.C.*), όπως χαρακτηρίστηκε από τους

⁷ Συγκεκριμένα καταγράφεται πως το 1968, κατά της εργασίες ενός συνεδρίου, ο εκπρόσωπος του τμήματος αυτομάτων κιβωτίων ταχυτήτων «*Hydramatic*» της εταιρείας περιέγραψε τα ζητήματα που προέκυπταν από τη χρήση ηλεκτρονόμων και παρουσίασε τα σχεδιαστικά κριτήρια για έναν «τυπικό ελεγκτή μηχανών» (*standard machine controller*).

⁸ Συμβολική μέθοδος σχεδίασης συστημάτων αυτομάτου ελέγχου.

κατασκευαστές του, ήταν σχεδιασμένος με γνώμονα την αξιοπιστία και την ανθεκτικότητα και αποτελούνταν από τρία, διακριτά στοιχεία: την πλακέτα επεξεργαστή, τη μνήμη και την πλακέτα επίλυσης λογικής (*logic solver board*). Η εμπειρία που αποκτήθηκε από τα πρώτα χρόνια της χρήσης του ελεγκτή, οδήγησε στο επόμενο μοντέλο, «*MODICON 184*», που αποτέλεσε εφαλτήριο για την εμπορική άνθιση της εταιρείας.



Εικόνα 1.2-6: Η μονάδα ελέγχου MODICON 184

Πηγή: (History of the PLC, 2019)

Μια άλλη εταιρεία που συμμετείχε εξ αρχής στην ανάπτυξη των λογικών ελεγκτών ήταν και η «*Allen-Bradley*». Αν και ως επιχείρηση ήταν γνωστή για τον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό και τα συστήματα ελέγχου που κατασκεύαζε, τα πρωτότυπα που κατέθεσε στην ανωτέρω διαδικασία απορρίφθηκαν ως ογκώδη, περίπλοκα και δύσκολα στον προγραμματισμό. Οι απόπειρες της να συμβαδίσει με τις απαιτήσεις των πελατών και τις εμπορικές τάσεις, απέδωσαν καρπούς το 1971 με τον ελεγκτή «*Bulletin 1774*», ο οποίος ονομάστηκε «Προγραμματιζόμενος Λογικός Ελεγκτής» (*Programmable Logic Controller-PLC/P.L.C.*). Ο όρος «*P.L.C.*» παγιώθηκε έναντι του «*P.C.*» και το εκτόπισε από χαρακτηρισμό αυτών των συσκευών στην τεχνική ορολογία, ειδικά όταν το δεύτερο άρχισε να χρησιμοποιείται στο χώρο της πληροφορικής.

Στα χρόνια που ακολούθησαν, οι Π.Λ.Ε σημείωσαν σημαντική πρόοδο που φανερώνεται τόσο από τις αναβαθμίσεις υλικού και λογισμικού, όσο και από τη μεταβολή της νοοτροπίας που προσεγγίζεται η σχεδίαση των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου. Πλέον, η εξέλιξη των λογικών ελεγκτών έχει αποδώσει εργαλεία με

σημαντικά πλεονεκτήματα όπως η επικοινωνία με ποικιλία συστημάτων ελέγχου, η καταγραφή πλήθους παραμέτρων που μπορούν να αξιοποιηθούν για την εξαγωγή στατιστικών στοιχείων και τον προγραμματισμό της παραγωγής, δυνατότητες αυτοδιάγνωσης κ.α..

Αν και από την είσοδο των Π.Λ.Ε. στην αγορά έχει παρεμβληθεί μισός αιώνας, η συνεχής βελτίωση τους δεν έχει επιτρέψει την παρακμή της τεχνολογίας. Παρότι τα τελευταία χρόνια έχουν εμφανιστεί νέες, οικονομικότερες συσκευές ελέγχου, η ανυπέβλητη αξιοπιστία, ο βιομηχανικός χαρακτήρας και η διαχρονική διατήρηση της απλότητας στη χρήση και τον προγραμματισμό των λογικών ελεγκτών, συντηρούν τους προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές σε ηγετική θέση μεταξύ των συστημάτων ελέγχου.

2. Θεωρητική Επισκόπηση

Σκοπός του παρόντος κεφαλαίου είναι να παράσχει μια στοιχειώδη θεωρητική περιγραφή του εξοπλισμού και των εφαρμογών που συναντάμε σε επόμενα κεφάλαια. Ειδικότερα, γίνεται αναφορά στο θεωρητικό υπόβαθρο των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου, των προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών, των ηλεκτρικών μηχανών εναλλασσόμενου ρεύματος και σε άλλα ηλεκτρονικά και ηλεκτρολογικά χρειώδη για την περάτωση αυτής της διπλωματικής εργασίας. Τέλος, πρέπει να σημειωθεί πως η παράθεση του ειδικού επιστημονικού πλαισίου κάθε θέματος (θεωρήματα, μαθηματικές σχέσεις κ.α.) αποφεύγεται εσκεμμένα—και γίνεται εστιασμένη αναφορά όπου κρίνεται αναγκαίο—μιας και δεν επιδιώκεται η εκπαίδευση του αναγνώστη στα θιγόμενα θέματα, αλλά η σκιαγράφηση των βασικών στοιχείων των τόπων που απαντήσαμε κατά τη σύσταση της εργασίας.

2.1. Συστήματα ελέγχου

2.1.1. Γενικά στοιχεία

Ως σύστημα ελέγχου λογίζεται ένα σύνολο ανεξάρτητων στοιχείων που συνεργάζονται προς επιτέλεση μιας εργασίας, η οποία θα έχει ως αποτέλεσμα την προσαρμογή της εξόδου του σε μία προκαθορισμένη τιμή. Ένα σύστημα ελέγχου αποτελείται από το ελεγχόμενο σύστημα και τον ελεγκτή (*controller*), που θα ορίσει τη συμπεριφορά της εξόδου του.

Τα συστήματα ελέγχου διακρίνονται σε ανοικτού (*open loop*) και κλειστού βρόγχου (*closed loop*). Τα συστήματα ανοικτού βρόγχου συγκροτούνται αποκλειστικά με τη χρήση του ελεγκτή και του ελεγχόμενου συστήματος. Επομένως η έξοδος του ελεγκτή είναι ανεξάρτητη από το αποτέλεσμα της στο ελεγχόμενο σύστημα. Επομένως, πρέπει να προκαθορίζεται ελεγχόμενη μεταβλητή που θα οδηγήσει την έξοδο του συστήματος, βάσει του λειτουργικού του στόχου. Κάποια παραδείγματα συστημάτων ελέγχου ανοικτού βρόγχου, μπορούν να θεωρηθούν τα ακόλουθα:

→ Σε ένα σύστημα «αυτόματου» ποτίσματος μπορούμε να επιλέξουμε το χρόνο που θα είναι ανοικτή η ηλεκτροβαλβίδα (*solenoid valve*), όχι όμως πως να υποδείξουμε

στον ελεγκτή την επιτρεπόμενη υγρασία του χώματος και να καθοριστεί από τον ίδιο η ενεργοποίηση του συστήματος.

- Σε ένα συμβατικό, ρεοστατικό διακόπτη που χρησιμοποιείται σε κάποιο φωτιστικό σώμα, μολονότι μπορούμε να ρυθμίσουμε τη διερχόμενη τάση—και κατά συνέπεια τη φωτεινότητα του λαμπτήρα—δεν είναι εφικτή η επιλογή της μέσα από τα επίπεδα φωτεινότητας του χώρου που βρίσκεται.

Το σύστημα κλειστού βρόγχου διαφέρει ως προς το ότι περιέχει, πέραν των στοιχείων των κλειστών συστημάτων, μονάδες που του δίνουν την ικανότητα να μετρήσει την έξοδο του ελεγχόμενου συστήματος και να το συγκρίνει με μια τιμή αναφοράς που ορίζεται από το χρήστη. Η διαδικασία επιστροφής του αποτελέσματος της ελεγκτικής διαδικασίας στην είσοδο του ελεγκτή, ονομάζεται «ανάδραση» ή «ανατροφοδότηση» (*feedback*) και διακρίνει τα συστήματα σε βρόγχων θετικής ανάδρασης (*positive feedback loop*)—που δε συνηθίζεται να χρησιμοποιείται καθώς οδηγεί σε ασταθή κατάσταση το σύστημα—και αρνητικής ανάδρασης (*negative feedback loop*). Οι τιμές αναφοράς και ανάδρασης αθροίζονται σε ένα στοιχείο του συστήματος (*summing point*), απ' το οποίο και προκύπτει το «σφάλμα» (*actuating signal/error signal*) που θα οδηγήσει την ελεγχόμενη μεταβλητή. Υπογραμμίζεται πως το σφάλμα που προκύπτει ως διαφορά της εισόδου με την έξοδο του συστήματος, διαφέρει από το σφάλμα μόνιμης κατάστασης⁹ που είναι χαρακτηριστικό στοιχείο του κάθε συστήματος. Κάποια παραδείγματα συστημάτων ελέγχου κλειστού βρόγχου είναι:

- Η ρύθμιση της επιθυμητής θερμοκρασίας σε ένα θερμαντικό σώμα ή σε ένα κλιματιστικό έχει ως αποτέλεσμα τη διακοπή της λειτουργίας του κυκλοφορητή ή της μονάδας του συμπιεστή—όπως και τη μεταβολή της ταχύτητας του αν χρησιμοποιεί τεχνολογία μετατροπέα (*inverter*)—όταν η σύγκριση της ορισμένης τιμής με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος επιστρέψει αμελητέο σφάλμα.
- Ένα σύστημα αυτόματης πλοήγησης θα συγκρίνει την πορεία που έχει οριστεί με την τρέχουσα, για να επιστρέψει την απόκλιση στον ελεγκτή, που θα μετακινήσει κατάλληλα το πηδάλιο ώσπου να επιτευχθεί μηδενικό σφάλμα μεταξύ των δύο τιμών.

⁹ Ως «σφάλμα μόνιμης κατάστασης» (*steady state error*) ενός συστήματος ελέγχου, χαρακτηρίζεται το σήμα του σφάλματος που παρατηρείται όταν ο χρόνος τείνει στο άπειρο.

Αναλόγως του μέσου παροχής ενέργειας, που αξιοποιείται για την επιτέλεση της ελεγκτικής λειτουργίας τους, τα συστήματα ελέγχου διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- **Ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά συστήματα**

Είναι συστήματα που χρησιμοποιούν ως μέσο ελέγχου ένα ηλεκτρικό σήμα, το οποίο μπορεί να διέλθει από διατάξεις που θα του επιτρέψουν να διεγείρει τον ηλεκτρικό μηχανισμό που θα επηρεάσει το σύστημα. Τα συστήματα αυτά έχουν αρκετά υψηλό βαθμό απόδοσης, χωρίς να απαιτούν σύνθετες μηχανολογικές διατάξεις για τη λειτουργία τους. Αν και αρκετά αξιόπιστες, αυτές οι μονάδες απαιτούν συντήρηση από ειδικά καταρτισμένο προσωπικό και τη χρήση δαπανηρών, πρόσθετων συστημάτων για την αντιστάθμιση της χαμηλής ισχύος εξόδου τους. Εξαιτίας του ότι εγκυμονούν την πιθανότητα εμφάνισης σπινθηρισμών, η εγκατάστασή τους σε επικίνδυνα περιβάλλοντα (όπως κοντά σε εύφλεκτες ουσίες ή χώρους με αναθυμιάσεις) είναι απαγορευτική, εκτός αν χρησιμοποιούνται ειδικά κατασκευασμένες, υψηλότερου κόστους, διατάξεις που προορίζονται γι' αυτό το σκοπό (*explosion proof*).

- **Πνευματικά συστήματα**

Χρησιμοποιούν ως μέσο ελέγχου τον πεπιεσμένο αέρα, που θα περάσει από κατάλληλα δίκτυα και εξοπλισμό ώστε να επιτευχθεί η διαδικασία ελέγχου. Τα πνευματικά συστήματα διακρίνονται για την απλότητα κατασκευής, την εύκολη συντήρηση και την ανθεκτικότητά τους σε μεταβολές του περιβάλλοντος λειτουργίας τους. Βέβαια χρησιμοποιώντας ως μέσο μεταφοράς μιας ελεγκτικής ενέργειας ένα συμπίεστο ρευστό, προκύπτουν καθυστερήσεις στη μεταφορά της κίνησης κι επομένως καταλήγουμε σε έξοδο περιορισμένης ακρίβειας. Αυτές οι δομές ελέγχου δεν έχουν περιορισμούς στο χώρο εγκατάστασης που μπορούν να τοποθετηθούν, μιας και η χρήση τους δεν ελλοχεύει τον κίνδυνο ανάφλεξης.

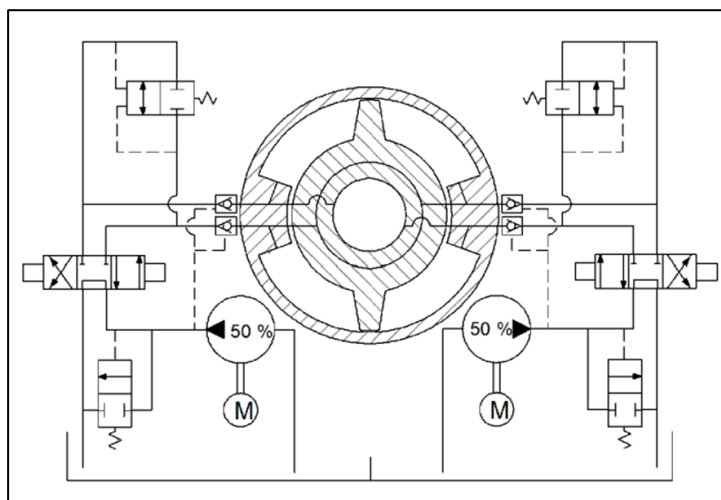
- **Υδραυλικά συστήματα**

Είναι συστήματα εφάμιλλα των πνευματικών, με τη διαφορά πως χρησιμοποιούν κάποιο υγρό για την ενεργοποίηση των ελεγκτικών μηχανισμών. Εφόσον το σύστημα ενταχθεί σωστά στη διαδικασία ελέγχου, τα υδραυλικά συστήματα είναι εξαιρετικά ισχυρά, με υψηλές ταχύτητες λειτουργίας και απόκρισης. Βασικό τους πρόβλημα αποτελεί η μεταβολή του ιξώδους του υγρού που περιέχουν, από αλλαγές στη θερμοκρασία του, με ανάλογα αποτελέσματα στην απόδοση του

συστήματος. Βέβαια το πρόβλημα αυτό σταδιακά αντιμετωπίζεται με τη χρήση συνθετικών ελαίων και γενικότερα βελτιωμένων, υδραυλικών υγρών.

- **Άλλες μορφές συστημάτων**

Υπάρχουν μορφές συστημάτων που συνδυάζουν τα προηγούμενα (ήλεκτρο-υδραυλικά, ήλεκτρο-πνευματικά), είτε με τη συνεργασία τους, είτε με την ανταλλαγή τμημάτων από κάθε είδος, ώστε να επιτευχθεί βελτιωμένος έλεγχος. Ένα παράδειγμα τέτοιων συστημάτων είναι οι σύγχρονοι μηχανισμοί πηδαλιουχίας πλοίων, που χρησιμοποιούν ηλεκτρικά σήματα για την ενεργοποίηση των κινητήρων και των βαλβίδων μέσω των οποίων προσαρμόζεται η λειτουργία του υδραυλικού συστήματος, έτσι ώστε να στρέψει την επιφάνεια του πηδαλιού στην επιθυμητή κατεύθυνση.



Εικόνα 2.1-1: Γραμμική αναπαράσταση ενός ήλεκτρο-υδραυλικού συστήματος πηδαλιού

Πηγή: (DNV GL, 2015)

2.1.2. Μορφές ελέγχου

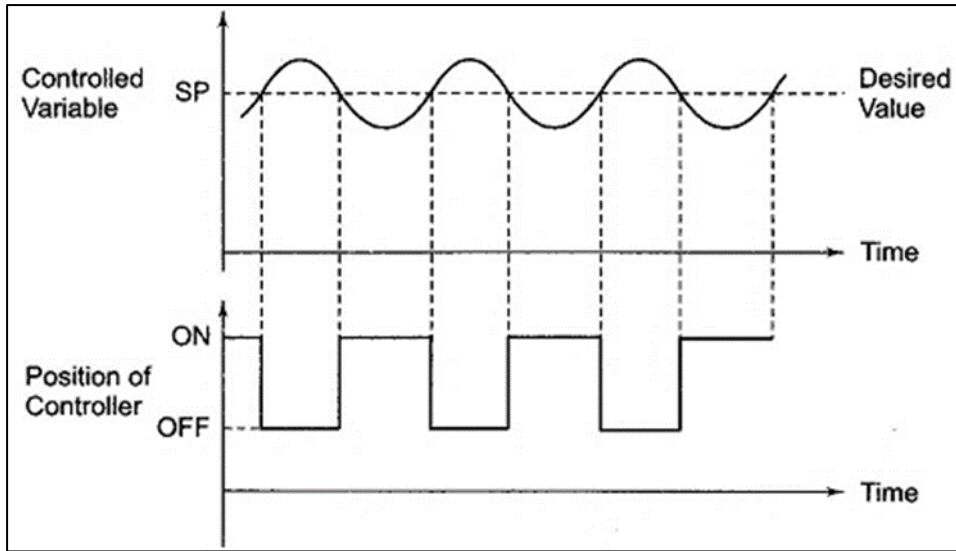
Περεταίρω διάκριση των ελεγκτών μπορεί να επιτευχθεί αναλόγως της συσχέτισης της εξόδου του ελεγκτή, με την πραγματική τιμή του μεγέθους που ελέγχεται. Έτσι, διακρίνουμε τους ελεγκτές σε συνεχείς, και ασυνεχείς. Στους συνεχείς ελεγκτές, υπάγονται όλοι εκείνοι που ανά πάσα χρονική στιγμή υπάρχει συνάφεια της εξόδου του συστήματος με την είσοδο του ελεγκτή. Οι ασυνεχείς ελεγκτές είναι αυτοί που δέχονται το σήμα εξόδου του συστήματος μέσω της ανατροφοδότησης, αλλά η έξοδος τους μπορεί να μεταβεί σε ορισμένα σημεία λειτουργίας, πεπερασμένου πλήθους. Με την παρατήρηση της συμπεριφοράς του ελεγκτή είναι εφικτή περεταίρω

κατηγοριοποίηση, μέσω της οποίας θα εστιάσουμε στις μορφές ελέγχου που χρησιμοποιήσαμε. Στην εργασία αυτή, λοιπόν, μεταχειριστήκαμε τον έλεγχο δύο βημάτων (*two step control*) και τον αναλογικό, ολοκληρωτικό και διαφορικό έλεγχο (*PID control*).

Ο βηματικός έλεγχος περιγράφει το σύστημα που η έξοδος του αποδίδεται ως κάποιος αριθμός σημείων, που αντιστοιχούν σε διαφορετικές τιμές ισχύος. Αν και υστερεί σε ομαλότητα, παράγοντας μη γραμμική έξοδο, βρίσκει εφαρμογή εξαιτίας του χαμηλού κόστους κατασκευής και συντήρησης του. Οι εμπορικά διαθέσιμοι βηματικοί ελεγκτές είναι συνήθως τεσσάρων ή έξι θέσεων και γενικά προτιμώνται σε εφαρμογές που οι ελεγχόμενες μεταβλητές μεταβάλλονται σε αρκετά αργό ρυθμό. Λόγω της σαφήνειας με την οποία διαγράφεται η συμπεριφορά του συστήματος—που διευκολύνει τον εκπαιδευόμενο να αντιληφθεί την αντίδραση του ελεγκτή—επιλέξαμε να εφαρμόσουμε έναν ελεγκτή δύο βημάτων, με και χωρίς υστέρηση.

Η υστέρηση περιγράφει χρονικά την αδράνεια, δηλαδή την καθυστέρηση της απόκρισης, του συστήματος ελέγχου σε μια μεταβολή της ελεγχόμενης μεταβλητής. Τη συναντάμε τόσο ως εγγενές του συστήματος—που προκύπτει από τη συμπεριφορά των επιμέρους στοιχείων του (καθυστέρηση απόκρισης αισθητήρων, μηχανικών ελεγκτών, δικτύων μεταφοράς του σήματος κ.ο.κ.)—όσο και ως επίκτητο χαρακτηριστικό σε βηματικά συστήματα που δε θέλουμε ο έλεγχος να γίνεται «επιθετικά» σε στιγμιαίες μεταβολές.

Με γνώμονα τα παραπάνω, ο όρος «έλεγχος δύο βημάτων» χαρακτηρίζει τον ασυνεχή ελεγκτή, κλειστού βρόγχου, που θα έχει δύο στάθμες εξόδου. Αν και τα σημεία αυτά θα μπορούσαν, θεωρητικά, να βρεθούν σε όλο εύρος της εξόδου, ένας ελεγκτής που δε θα διέκοπτε τη διαδικασία που επηρεάζει την ελεγχόμενη μεταβλητή θα ήταν επί της ουσίας άχρηστος, και δε θα είχε σημασία η ύπαρξη της ανάδρασης, μιας και η λειτουργία του θα ήταν παρόμοια με ένα σύστημα ανοικτού βρόγχου. Επομένως ο έλεγχος δύο βημάτων περιγράφει, ουσιαστικά, έναν ελεγκτή που η έξοδος του θα είναι είτε ενεργοποιημένη, είτε ανενεργή, αναλόγως του σφάλματος, και η τιμή της ελεγχόμενης μεταβλητής θα ταλαντώνεται στο επίπεδο της τιμής αναφοράς.

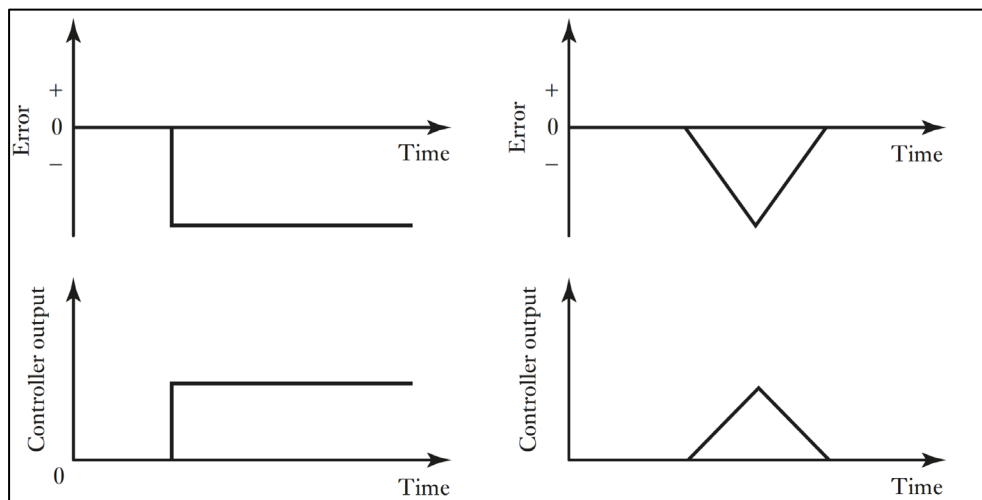


Εικόνα 2.1-2: Απόκριση ελεγκτή δύο βαθμίδων και συμπεριφορά της ελεγχόμενης μεταβλητής
 Πηγή: (Online Electrical and Electronics Study, 2017)

Ο συνεχής έλεγχος χαρακτηρίζεται από τη μορφή της απόκρισης του ελεγκτή, οπότε και ταξινομείται στα ακόλουθα είδη:

- **Αναλογικός έλεγχος (proportional control-P)**

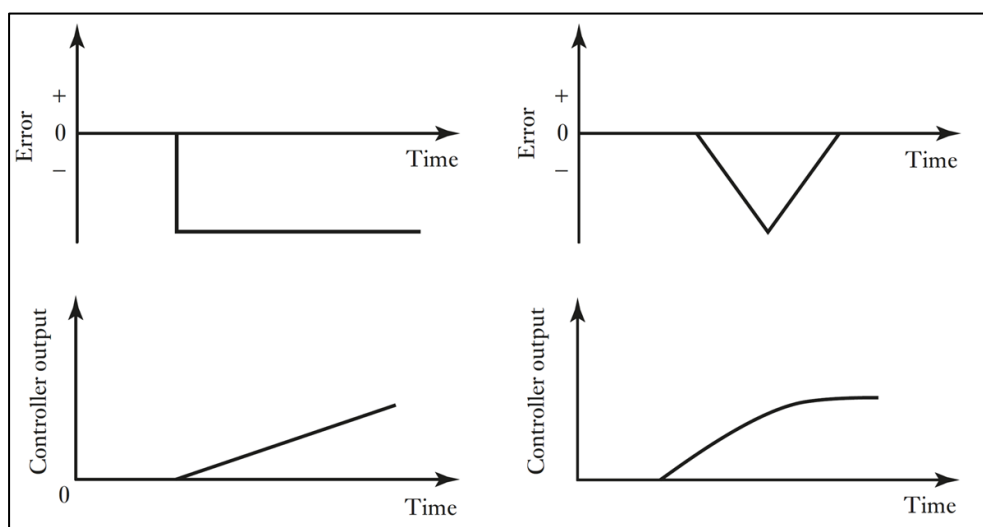
Στον αναλογικό έλεγχο η δράση του ελεγκτή είναι ανάλογη του σφάλματος. Δηλαδή το σήμα της εξόδου του ελεγκτή (σήμα διόρθωσης), αυξάνεται σε μεγάλες τιμές σφάλματος και μειώνεται όταν πλησιάζουμε την τιμή αναφοράς. Καθώς οι τιμές σφάλματος και απόκρισης ελεγκτή συνδέονται γραμμικά, οι διατάξεις αυτές αποκαλούνται και «πολλαπλασιαστές».



Εικόνα 2.1-3: Αναπαράσταση της απόκρισης ενός αναλογικού ελεγκτή σε βηματική και γραμμική μεταβολή
 Πηγή: (Bolton, 2015, p. 516)

- **Ολοκληρωτικός έλεγχος (*integral control-I*)**

Η δράση ενός ολοκληρωτικού ελεγκτή εντοπίζεται στην ολοκλήρωση του σφάλματος, ως προς το χρόνο. Δηλαδή ένα βηματικό ή παλμικό σφάλμα θα έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση γραμμικού σήματος διόρθωσης, ενώ ένα γραμμικό σφάλμα θα οδηγήσει σε παραβολική ή υπερβολική διόρθωση. Δεδομένου ότι η απόδοση του σήματος πραγματοποιείται σύμφωνα με την τιμή και τη συμπεριφορά του σφάλματος στο χρόνο που έχει παρέλθει, μπορούμε να πούμε αφαιρετικά πως η λειτουργία του είναι «αναδρομική».



Εικόνα 2.1-4: Αναπαράσταση της απόκρισης ενός ολοκληρωτικού ελεγκτή σε βηματική και γραμμική μεταβολή

Πηγή: (Bolton, 2015, p. 516)

- **Διαφορικός έλεγχος (*derivative control-D*)**

Ο διαφορικός έλεγχος έχει δράση ανάλογη με το ρυθμό μεταβολής του σφάλματος. Εξαιτίας της δράσης της, μπορούμε να πούμε πως αυτή η μορφή ελέγχου σταθεροποιεί το σύστημα, καθότι παρέχει τη δυνατότητα «πρόγνωσης» μιας ραγδαίας αύξησης της τιμής του σφάλματος, πριν αυτό εμφανιστεί. Συνήθως η δράση του συνδυάζεται με κάποια ή με όλες τις προηγούμενες μορφές ελέγχου.

- **Συνδυασμός των παραπάνω**

Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται ο αναλογικός και ολοκληρωτικός έλεγχος (*PI*), αναλογικός και διαφορικός έλεγχος (*PD*) και ο αναλογικός, ολοκληρωτικός και διαφορικός έλεγχος (*PID*).

Ο ελεγκτής *PID* ή ελεγκτής τριών όρων αποτέλεσε εφαλτήριο για τους βιομηχανικούς αυτοματισμούς, όπως είδαμε και στον κεφάλαιο της ιστορικής αναδρομής, και γνωρίζει εκτεταμένη χρήση ως και τις μέρες μας. Σημαντικό στοιχείο της ελεγκτικής ισχύος του είναι πως παρέχει τη συνδυασμένη δράση όλων των αυτόνομων, συνεχών ελεγκτών, με την απόκριση του να περιγράφεται από την ακόλουθη εξίσωση (Bolton, 2015, p. 516):

$$y(t) = K_P e(t) + K_I \int_0^t e(t) dt + K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (2-a)$$

Όπου:

$y(t)$: η χρονική συνάρτηση της εξόδου του ελεγκτή

$e(t)$: η χρονική συνάρτηση του σήματος που εισέρχεται στον ελεγκτή

K_P : η αναλογική σταθερά

K_I : η ολοκληρωτική σταθερά

K_D : η διαφορική σταθερά

Όπως γνωρίζουμε, η χρήση του *Laplace* μας επιτρέπει τη μετάβαση στο μιγαδικό επίπεδο, ώστε να μετατρέψουμε σύνθετες μαθηματικές πράξεις—όπως διαφόριση και ολοκλήρωση—σε αλγεβρικές. Εάν εφαρμοστεί στην εξίσωση (3-a), οδηγούμαστε στη συνάρτηση μεταφοράς (*transfer function*) που περιγράφει θεωρητικά την απόκριση ενός ελεγκτή *PID*. Σαν συνάρτηση μεταφοράς ενός γραμμικού, χρονικά σταθερού συστήματος ορίζεται ο λόγος των μετασχηματισμών *Laplace* της εξόδου και της εισόδου του συστήματος, θεωρώντας μηδενικές, αρχικές συνθήκες. Σύμφωνα με τα παραπάνω, προκύπτει:

$$G(s) = K_P \left(1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right) \quad (2-b)$$

Όπου:

$G(s)$: η συνάρτηση μεταφοράς του ελεγκτή

$s = \sigma + i\omega$: η μιγαδική συνάρτηση

$T_I = \frac{K_P}{K_I}$: η ολοκληρωτική περίοδος

$T_D = \frac{K_D}{K_P}$: η διαφορική περίοδος

Για να επιστρέψουμε στο πεδίο του χρόνου—που θα αποδώσει στα αποτελέσματα μας φυσική σημασία—κάνουμε χρήση του αντίστροφου μετασχηματισμού *Laplace*.

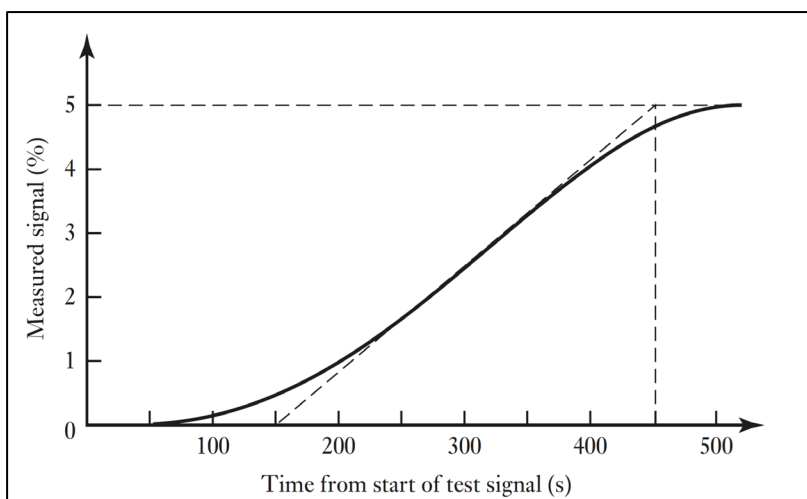
Είναι εμφανές πως η απόκριση ενός ελεγκτή τριών όρων εξαρτάται τόσο από το σήμα εισόδου, άρα την απόκριση του ελεγχόμενου συστήματος, όσο και από τους σταθερούς όρους. Η αλλαγή της τιμής κάποιας σταθεράς ή της περιόδου της, μας επιτρέπει να προσαρμόσουμε τον ελεγκτή στις απαιτήσεις κάθε εφαρμογής. Οι σύγχρονες, συνεχείς ελεγκτικές συσκευές μπορούν να λειτουργήσουν βάσει κάθε μορφής ελέγχου ή συνδυασμού αυτών. Η υλοποίηση τους πραγματοποιείται είτε μέσω εξειδικευμένων, ψηφιακών μονάδων, είτε μέσω συσκευών πολλαπλών καθηκόντων (π.χ. ένας *PLC*) που παρέχουν τέτοιες δυνατότητες.



Εικόνα 2.1-5: Σύγχρονη, αυτόνομη συσκευή συνεχούς ελέγχου

Πηγή: (Honeywell International, n.d.)

Πριν την ένταξη του στη διεργασία ελέγχου, ένας συνεχής ελεγκτής απαιτείται να ρυθμιστεί ώστε να προσαρμοστεί στις απαιτήσεις του συστήματος. Ως ρύθμιση (*tuning*) χαρακτηρίζουμε τη διαδικασία καθορισμού των παραμέτρων του ελεγκτή σε ένα ή περισσότερα βήματα, όπως προ-ρύθμιση (*pre-tuning*) για την επιλογή των αρχικών συντελεστών και ρύθμιση βελτιστοποίησης (*fine-tuning*) για την περαιτέρω εξομάλυνση του διορθωτικού σήματος. Η διαδικασία της ρύθμισης γίνεται με παγιωμένες μεθόδους (λ.χ. *Ziegler-Nichols*, *CCR (Chien, Hrone & Reswick)* κ.λπ.), η εμφάνιση στις οποίες υπερβαίνει το επίπεδο της αναφοράς που πραγματοποιείται.



Εικόνα 2.1-6: Ιδανική απόκριση ελεγκτή PID

Πηγή: (Bolton, 2015, p. 522)

2.2. Προγραμματιζόμενος Λογικός Ελεγκτής

Ο προγραμματιζόμενος λογικός ελεγκτής είναι ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής κατασκευασμένος ειδικά για την εκτέλεση ελεγκτικών λειτουργιών, σε απαιτητικές περιβαλλοντικές συνθήκες, προσανατολισμένος προς τη χρηστική απλότητα και ευελιξία. Η σύλληψη της ιδέας των ελεγκτών αυτών προέκυψε από την αναζήτηση μιας βιώσιμης εναλλακτικής για τα συστήματα με ηλεκτρονόμους, καθώς οποιαδήποτε αλλαγή απαιτούνταν σε μία διεργασία έκανε αναγκαία την παρέμβαση στην καλωδίωση, ενώ σε εκτεταμένες τροποποιήσεις του συστήματος ήταν συμφέρουσα η αντικατάσταση του συνόλου της εγκατάστασης ελέγχου. Τα σχεδιαστικά κριτήρια ενός Π.Λ.Ε. μπορεί να περιλαμβάνουν απαιτήσεις που βρίσκονται εκτός των προδιαγραφών απλούστερων και οικονομικότερων ελεγκτών, όπως πολλαπλές εισόδους και εξόδους (*inputs/outputs-I/O*), ανοχή στον ηλεκτρικό θόρυβο, αντοχή σε μηχανικές καταπονήσεις, λειτουργία σε σχετικά ακάθαρτα περιβάλλοντα και ακραίες θερμοκρασίες.

Παρά τον αρχικό του σκοπό, ο προγραμματιζόμενος λογικός ελεγκτής γνωρίζει συνεχώς βελτιώσεις σε επίπεδο υλικού, μα και λογισμικού και η χρήση του επεκτείνεται σε ολοένα και περισσότερους τομείς. Κάποια χαρακτηριστικά που κάνουν τους Π.Λ.Ε. δημοφιλείς, είναι:

- **Μειωμένο κόστος**

Όπως προαναφέραμε, τα *P.L.C.* δημιουργήθηκαν προς αντικατάσταση των συστημάτων ελέγχου με ηλεκτρονόμους. Αν και η χρήση των ρελέ είναι αναγκαία για τις εφαρμογές ισχύος, η χρήση τους σε λειτουργίες ελέγχου—άρα και σε μεγάλο πλήθος—υπερβαίνει κατά πολύ το κόστος ενός Π.Λ.Ε., οπότε και παραγκωνίστηκαν.

- **Ευελιξία**

Η κατασκευή και τροποποίηση ενός προγράμματος σε είναι ασφαλώς ευκολότερη από την αναδόμηση της καλωδίωσης ενός ηλεκτρικού κυκλώματος. Οι σχέσεις μεταξύ των εισόδων και των εξόδων ενός Π.Λ.Ε. και οι λειτουργίες του, καθορίζονται στον κώδικα και όχι βάσει της συνδεσμολογίας. Οπότε, τροποποιήσεις στο πρόγραμμα και αναβαθμίσεις λογισμικού μπορούν να πραγματοποιούνται άκοπα μέσω σταθερών ή φορητών συστημάτων, επιτόπια ή απομακρυσμένα.

- **Αξιοπιστία**

Πέραν της αξιοπιστίας μιας συσκευής, λειτουργίες όπως η μαζική εγκατάσταση ή επαναφορά ενός προγράμματος ελέγχου σε συσκευές μπορούν να γίνουν χωρίς να υπάρχει κίνδυνος αλλοίωσης των λογικών συνδέσεων. Επίσης περιορίζονται τα ηλεκτρικά σφάλματα μιας και το μεγαλύτερο μέρος της καλωδίωσης αντικαθίσταται από τον προγραμματιστικό έλεγχο.

- **Συνδεσιμότητα**

Ένας προγραμματιζόμενος λογικός ελεγκτής μπορεί να επικοινωνήσει με άλλους ελεγκτές, συσκευές διασύνδεσης, ηλεκτρονικούς υπολογιστές ή και ακόμα με το διαδίκτυο, προκειμένου να προγραμματιστεί αλλά και να επιτελέσει λειτουργίες συλλογής δεδομένων, επίβλεψης διεργασιών, παρακολούθησης της ροής του προγράμματος σε πραγματικό χρόνο κ.α.. Ακόμα, επιτρέπει το χειρισμό απομακρυσμένων συσκευών από ορισμένο χώρο, διευκολύνοντας το χειριστή και μειώνοντας τον απαιτούμενο χρόνο για την εκτέλεση μιας εργασίας.

- **Ανίχνευση βλαβών**

Οι Π.Λ.Ε. έχουν ενδεικτικές λυχνίες όπως και λειτουργίες αυτοδιάγνωσης και καταγραφής τυχόν προβλημάτων. Έτσι, μπορούν να εντοπιστούν ταχύτερα και να αντικατασταθούν ή να επισκευαστούν οι συσκευές που δυσλειτουργούν, μειώνοντας το χρόνο που το σύστημα μένει αδρανές.

- Ταχεία απόκριση

Οι σύγχρονοι ελεγκτές περιέχουν λειτουργίες μετρητών υψηλής ταχύτητας και επεξεργασίας με μειωμένη καθυστέρηση απόκρισης, οπότε επιτρέπουν την επιτάχυνση μιας γραμμής παραγωγής.

Η επιλογή ενός Π.Λ.Ε γίνεται με γνώμονα την εφαρμογή που θα ελέγξει, λαμβάνοντας υπόψιν όχι μόνο τις τρέχουσες απαιτήσεις, μα και μελλοντικές επεκτάσεις που θα γίνουν στον ωφέλιμο χρόνο ζωής της συσκευής. Η χρήση τους κατατάσσεται σε τρεις κύριες ομάδες:

- Αυτόνομη χρήση (*stand-alone*)

Ο ελεγκτής διαχειρίζεται μια εργασία χωρίς να επικοινωνεί με άλλα μέρη του συστήματος ελέγχου. Συνήθως για αυτή την κατηγορία επιλέγονται μικρού μεγέθους Π.Λ.Ε..

- Πολλαπλών εργασιών (*multitask*)

Ο ελεγκτής διαχειρίζεται πλήθος εργασιών οπότε και απαιτεί το κατάλληλο πλήθος υποδοχών, μνήμης και επεξεργαστικής ισχύος. Σε περίπτωση που είναι μέρος ενός μεγαλύτερου συστήματος πρέπει να διαθέτει δικτυακές δυνατότητες.

- Διαχείρισης (*control management*)

Εκτελεί λειτουργίες επιτήρησης και ελέγχου των επιμέρους συστημάτων, επομένως πρέπει να διαθέτει και τα δέοντα τεχνικά χαρακτηριστικά.



Εικόνα 2.2-1: Μορφές προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών

Πηγή: (Allen-Bradley Programmable Controller Products, n.d.)

2.2.1. Βασικά λειτουργικά στοιχεία

Αναλόγως του είδους του, ένας προγραμματιζόμενος λογικός ελεγκτής μπορεί να είναι μια ολοκληρωμένη μονάδα ή να αποτελείται από επιμέρους τμήματα. Σε κάθε περίπτωση, η διαδικασία της ενσωμάτωσης μιας μονάδας ελέγχου στην εκτέλεση κάποιων καθηκόντων, περιλαμβάνει την κεντρική μονάδα επεξεργασίας (*central processing unit-CPU*), τα τμήματα εισόδων και εξόδων, το τροφοδοτικό (*power supply unit-PSU*) και κάποιας μορφής προγραμματιστική συσκευή. Η σχεδίαση του λογισμικού και η δομή της συσκευής που επιλέγονται από τον κατασκευαστή, μπορεί να κάνουν τον Π.Λ.Ε. μηχανήμα ανοικτής ή κλειστής αρχιτεκτονικής, σύμφωνα με το αν μπορεί να συνεργαστεί με υλικό (*hardware*) ή λογισμικό (*software*) άλλων, πιστοποιημένων προμηθευτών. Παρότι οι συσκευές ανοικτής αρχιτεκτονικής διευκολύνουν την ενσωμάτωση νέου υλικού σε υπάρχοντα συστήματα και απεξαρτούν τους χρήστες από τη χρήση ενός προμηθευτή εξοπλισμού, οι περισσότερες εμπορικά διαθέσιμες συσκευές ελέγχου είναι κλειστής αρχιτεκτονικής, ώστε να εξασφαλίζεται η απαιτούμενη αξιοπιστία σύμφωνα με τα πρότυπα της εκάστοτε εταιρείας.

Το τροφοδοτικό χρησιμοποιείται—εφόσον απαιτείται από τη συσκευή—για την παροχή κατάλληλης τάσης στον επεξεργαστή και τις πρόσθετες μονάδες ή κάρτες που μπορεί να είναι εγκατεστημένες. Στις περισσότερες εφαρμογές η παρεχόμενη τάση χρησιμοποιείται αποκλειστικά από το σύστημα ελέγχου, χωρίς όμως να είναι απίθανη η τροφοδοσία κάποιας εξωτερικής συσκευής σε εγκαταστάσεις περιορισμένης έκτασης. Μια συνήθης τάση λειτουργίας των Π.Λ.Ε. είναι τα $24V DC$ όμως υπάρχουν και μονάδες διαφορετικών τάσεων, όπως και εναλλασσόμενου ρεύματος.

Η κεντρική μονάδα επεξεργασίας είναι, συνήθως, μοναδική για τον κάθε ελεγκτή και συνδυάζεται με μνήμη που αποθηκεύει το πρόγραμμα, αριθμητικές τιμές και λέξεις, και στοιχεία λειτουργίας όλων των μονάδων. Η δομή της είναι παρόμοια με τον επεξεργαστή οποιουδήποτε ψηφιακού υπολογιστή, με βασική διαφορά πως τα ηλεκτρονικά στοιχεία που την αποτελούν επιλέγονται έτσι ώστε να ικανοποιούν τις προδιαγραφές αξιοπιστίας που ορίζουν τα πρότυπα πιστοποίησης. Για παράδειγμα, θα πρέπει να είναι σε θέση να λειτουργούν σε ένα αρκετά ευρύ θερμοκρασιακό περιβάλλον και η μηχανική στήριξη τους να μην επιτρέπει τη διατάραξη της λειτουργίας τους από συνήθεις κραδασμούς. Αφού ο επεξεργαστής δεχθεί τα σήματα

εισόδου, σε ψηφιακή ή—εφόσον το επιτρέπει η συσκευή ή η πρόσθετη μονάδα—σε αναλογική μορφή, τα επεξεργάζεται σύμφωνα με τις εντολές που έχουν οριστεί στο πρόγραμμα και βάσει των αποτελεσμάτων κρίνει αν θα διεγείρει τις εξόδους. Η εκτέλεση του προγράμματος είναι επαναλαμβανόμενη (κύκλος σάρωσης) με το χρόνο επανάληψης να προκύπτει από την έκταση προγράμματος ή να ορίζεται από τον προγραμματιστή.

Το τμήμα των εισόδων και των εξόδων μπορεί να είναι σταθερό (*fixed*) ή αρθρωτό (*modular*). Οι σταθερές υποδοχές *I/O* απαντώνται κυρίως σε συσκευές μικρού μεγέθους και κόστους, όπου τοποθετούνται μαζί με τον επεξεργαστή και παρέχουν ορισμένο πλήθος ενσωματωμένων συνδέσεων που μπορούν να επεκταθούν με τη χρήση εξειδικευμένων μονάδων επέκτασης. Η αρθρωτή διαμόρφωση παρέχει θύρες στις οποίες μπορούν να εγκατασταθούν μονάδες (κάρτες), που τοποθετούνται σε ειδική βάση στήριξης, ώστε ο ελεγκτής να προσαρμόζεται στις ανάγκες κάθε εφαρμογής. Ανεξαρτήτως της διαμόρφωσης της συσκευής, σκοπός του συστήματος εισόδων και εξόδων είναι η σύνδεση του ελεγκτή με τις διάφορες εξωτερικές συσκευές που θα παράσχουν δεδομένα ή θα λειτουργήσουν σύμφωνα με το πρόγραμμα του.

Ο προγραμματισμός του Π.Λ.Ε. είναι η διαδικασία που δημιουργεί τον κώδικα με τον οποίο ρυθμίζεται ο ελεγκτής και ορίζονται όλα τα στοιχεία που θα καθορίσουν την απόκριση του σε μια είσοδο. Το πρόγραμμα μπορεί να γραφτεί σε διάφορες γλώσσες προγραμματισμού, που ενδέχεται να διαφέρουν ανά κατασκευαστή. Ο ελεγκτής που χρησιμοποιείται στο πρακτικό τμήμα αυτής της εργασίας δέχεται τις ακόλουθες γλώσσες προγραμματισμού:

- **Διάγραμμα «σκάλας» (*ladder diagram-LAD*)**

Ξεκίνησε ως μια έγγραφη μέθοδος για την απεικόνιση του σχεδιασμού και της κατασκευής των διατάξεων ηλεκτρονόμων. Εξελίχθηκε σε γλώσσα προγραμματισμού που αντιπροσωπεύει ένα πρόγραμμα με τη χρήση ενός γραφικού διαγράμματος που παραπέμπει οπτικά σε σκάλα, καθώς διαθέτει δύο κάθετες ράγες και σειρές οριζόντιων βαθμίδων που τοποθετούνται οι λειτουργίες.

- **Διάγραμμα λειτουργικών τμημάτων (*function Block diagram-FBD*)**

Είναι μια γραφική γλώσσα που χρησιμοποιείται στον προγραμματισμό των Π.Λ.Ε. και μπορεί να περιγράψει τη σύνδεση των μεταβλητών εισόδου και εξόδου με τη

χρήση συναρτήσεων που απεικονίζονται με τη μορφή τμημάτων (*blocks*) και των σχετικών γραμμών που ορίζουν τη ροή των δεδομένων μεταξύ τους.

- **Γλώσσα δομημένου ελέγχου (*Structured Control Language-SCL*)**

Είναι μια γλώσσα υψηλού επιπέδου που εδράζεται στην «*Pascal*» και επιτρέπει το δομημένο προγραμματισμό. Επίσης περιέχει τυπικά στοιχεία των Π.Λ.Ε. στη δομή της, όπως προκαθορισμένες είσοδοι και έξοδοι, χρονοδιακόπτες κ.α..

Η μεταφορά του προγράμματος από και προς τη μνήμη του επεξεργαστή, η διόρθωση και ο έλεγχος τους, πραγματοποιούνται με τη χρήση μιας συσκευής προγραμματισμού. Κυριότερη είναι ο τυπικός ηλεκτρονικός υπολογιστής σε συνεργασία με πακέτα λογισμικού που δημιουργούνται από τους κατασκευαστές των Π.Λ.Ε.. Οι φορητές συσκευές (*pocket programmers*) είναι μια άλλη μέθοδος και χρησιμοποιούνται κυρίως για τον επιτόπιο έλεγχο της καλής λειτουργίας του ελεγκτή ή για την απευθείας δημιουργία μικρών προγραμμάτων, όπως και τη διόρθωση τους. Η επικοινωνία μεταξύ των ελεγκτών και των συσκευών προγραμματισμού επιτυγχάνεται μέσω σειριακών, *Ethernet*, ή άλλων θυρών και κατά την διάρκεια εκτέλεσης του προγράμματος του Π.Λ.Ε. δεν είναι αναγκαία.

2.2.2. Είδη μνήμης

Η μνήμη ενός Π.Λ.Ε. καταμερίζεται για την αποθήκευση του προγράμματος, πληροφοριών αλλά και δεδομένων. Το μέρος της μνήμης που μπορεί να ελεγχθεί από το χρήστη, περιλαμβάνει το πρόγραμμα μα και θέσεις που μπορούν να καταληφθούν για την αποθήκευση δεδομένων και να ανασυρθούν ή να τροποποιηθούν μέσω διαδικασιών ανάγνωσης και γραφής. Κάθε στοιχείο της συσκευής και του προγράμματος αποθηκεύεται σε μια θέση μνήμης (*memory location*) και του αποδίδεται μια διεύθυνση. Μέσα στις λειτουργίες αυτοδιάγνωσης των Π.Λ.Ε. περιλαμβάνονται, σχεδόν πάντοτε, διεργασίες ελέγχου της μνήμης που θα εξασφαλίσουν την ορθή λειτουργία της μονάδας και του προγράμματος.

Η μνήμη κάθε ηλεκτρονικής συσκευής διακρίνεται σε αυτή που χάνεται με τη διακοπή της τροφοδοσίας της και σε αυτή που συντηρείται. Στους προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές μπορούμε να διακρίνουμε τις παρακάτω μορφές μνήμης:

- **Μνήμη μόνο για ανάγνωση (*read only memory-ROM*)**
Χρησιμοποιείται για να αποθηκεύει εγγενή προγράμματα και δεδομένου που καθορίζουν τις δυνατότητες της συσκευής και είναι αδύνατο να μεταβληθούν μετά την κατασκευή της μονάδας. Τα δεδομένα της διατηρούνται με διακοπή της τροφοδοσίας.
- **Μνήμη τυχαίας προσπέλασης (*random access memory-RAM*)**
Είναι μνήμη που προορίζεται για αποθήκευση και ανάγνωση πληροφοριών, όπως και προσωρινή αποθήκευση δεδομένων. Το περιεχόμενο της χάνεται με την απώλεια τροφοδοσίας, οπότε και ο εκάστοτε κατασκευαστής παρέχει μεθόδους εφεδρικής τροφοδοσίας της (πυκνωτές, μπαταρίες κ.ο.κ.) ή δίνει τη δυνατότητα εγκατάστασης τους.
- **Απαλείψιμη μνήμη μόνο για ανάγνωση (*erasable read-only memory-EPROM*)**
Είναι μνήμη που επιτρέπει την ανάγνωση των δεδομένων της, αλλά δεν επιτρέπει την εύκολη αλλαγή τους και συνήθως καταλαμβάνεται από εφεδρικά αντίγραφα του προγράμματος του ελεγκτή. Μπορεί να είναι φυσικά απαλείψιμη, ηλεκτρικά απαλείψιμη (*electrically erasable read-only memory-EEPROM*) ή τύπου *flash* για υψηλότερες ταχύτητες μεταφοράς αρχείων.

Αναλόγως της εξοικείωσης του χρήστη με το προγραμματιστικό περιβάλλον, υπάρχει η δυνατότητα χρήσης κάθε τμήματος της προσβάσιμης μνήμης, ώστε να συσταθεί η λειτουργία που επιθυμεί. Σε προγράμματα μεγάλης κλίμακας είναι δυνατόν να υπάρξουν περιορισμοί, καθώς οι εντολές και τα στοιχεία ενδέχεται να υπερβαίνουν το πεπερασμένο πλήθος των παρεχόμενων θέσεων μνήμης, οπότε και θα πρέπει να μεταβούμε σε συσκευή υψηλότερων δυνατοτήτων ή να κατακερματίσουμε τη διαδικασία σε περισσότερους ελεγκτές.

2.2.3. Μονάδες επέκτασης

Όπως προαναφέραμε, ένας Π.Λ.Ε. μπορεί να επεκταθεί με τη χρήση πρόσθετων μονάδων που μπορεί να είναι αυτοτελείς συσκευές, και να προστίθενται σε ένα λειτουργικό σύστημα, ή «κάρτες» επέκτασης και να αποτελούν δομική συνιστώσα του ελεγκτή. Η σύνδεση τους με η μονάδα του επεξεργαστή, ή με την κύρια μονάδα ελέγχου, πραγματοποιείται μέσω ειδικών θυρών που διαφέρουν κατά κατασκευαστή – ίσως και γενιά ελεγκτή—ή πρότυπο στην περίπτωση ενός συστήματος ανοικτής

αρχιτεκτονικής. Η αξιοποίηση των δυνατοτήτων της κάθε μονάδας επέκτασης, είναι ανάλογη με τις επεξεργαστικές δυνατότητες του συστήματος, οπότε και πρέπει να αξιολογείται η χρηστικότητα της κάθε προσθήκης. Κάποιες από τις δημοφιλέστερες μονάδες επέκτασης που διατίθενται στο εμπόριο, είναι:

- **Ψηφιακές εισοδοι και έξοδοι (*discrete I/O*)**

Είναι από τις πιο δημοφιλείς μονάδες και χρησιμοποιείται για την αύξηση του πλήθους των υποδοχών εισόδου και εξόδου δύο καταστάσεων που οδηγούνται από τη μονάδα ελέγχου. Τα σήματα που δέχονται ή εξάγουν μπορεί να διαφέρουν ως προς το είδος και την τιμή της τάσης, οπότε και διατίθενται σε διάφορες παραλλαγές, ενώ η τροφοδοσία του ηλεκτρονικού τμήματος της μονάδας πρέπει να συμφωνεί με αυτή του ελεγκτή. Επίσης διαθέτουν φωτεινές ενδείξεις της κατάστασης λειτουργίας τους, κατάλληλες διατάξεις επεξεργασίας των σημάτων που διαχειρίζονται και είναι σχεδιασμένες ώστε να αποτρέπουν τυχόν ηλεκτρικές δυσλειτουργίες που ενδέχεται να προκύψουν σε συσκευές που συνυπάρχουν διαφορετικές μορφές ηλεκτρικού ρεύματος. Οι λειτουργίες που εκτελούν αυτές οι επεκτάσεις εισόδων συνοψίζονται στην αναγνώριση του σήματος εισόδου και τη συσκευή που το παρήγαγε (βάσει της θύρας που έχει οριστεί για αυτή), όπως και τη μετατροπή και την ασφαλή μετάδοση του σήματος σε μορφή που μπορεί να δεχτεί ο εκάστοτε ελεγκτής. Αντίστοιχα, οι έξοδοι διαθέτουν όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά με τη διαφορά πως με τη λήψη εντολής από τον Π.Λ.Ε. ενεργοποιούν ορισμένη θύρα από την οποία μπορούμε να δεχθούμε την τάση της μονάδας επέκτασης.

- **Αναλογικές εισοδοι και έξοδοι (*analog I/O*)**

Οι αναλογικές θύρες επιτρέπουν στον ελεγκτή την απευθείας σύνδεση σε διεργασίες ελέγχου που δεν είναι δυαδικού χαρακτήρα, έχοντας τη δυνατότητα να διαχειρίζονται ηλεκτρικά μεγέθη που κινούνται εντός των ορίων τάσης ($-10V$ ως $10V$) ή ρεύματος ($0mA-40mA$) που έχουν τεθεί από κοινώς αποδεκτά πρότυπα. Συνήθως οι αναλογικές επεκτάσεις έχουν την ικανότητα να λειτουργούν και με τα δύο μεγέθη, με την εναλλαγή τους να γίνεται είτε μέσω κάποιου φυσικού, επιλογικού διακόπτη, είτε μέσω των ρυθμίσεων συστήματος που πραγματοποιούνται κατά τη διαδικασία του προγραμματισμού. Στην περίπτωση μιας εισόδου η τιμή του μεγέθους που καταγράφεται στην αντίστοιχη θύρα, μετατρέπεται σε ψηφιακή μορφή ώστε να αξιοποιηθεί από τον επεξεργαστή. Η αντίστροφη διαδικασία συμβαίνει για την παραγωγή ενός σήματος εξόδου. Το έργο

της μετατροπής του σήματος αναλαμβάνουν, αναλόγως της θύρας, ένας μετατροπέας αναλογικού σε ψηφιακό σήμα (*analog to digital converter-ADC*) ή ένας μετατροπέας ψηφιακού σε αναλογικό σήμα (*digital to analog converter-DAC*), στους οποίους εδράζεται και η λειτουργία της συσκευής. Σημαντικά χαρακτηριστικά της μονάδας είναι η ανάλυση (*resolution*) ή διακριτική ικανότητα των θυρών, που καθορίζει το ελάχιστο ανιχνεύσιμο μέγεθος που μπορούν να διαχειριστούν, η σύνθετη αντίσταση (*impedance*) και χωρητικότητα (*capacitance*) των εισόδων που θα πρέπει να είναι συμβατές με τις συνδεδεμένες συσκευές, όπως και η ικανότητα απόρριψης κοινού σήματος (*common-mode rejection*) που θα προφυλάξει τα σήματα που εισέρχονται στη μονάδα από τυχόν παρεμβολές που ενδέχεται να επηρεάσουν τις μετρήσεις.

- **Μετρητής υψηλής ταχύτητας (*high-speed counter*)**

Είναι μονάδες που προσφέρουν τη δυνατότητα μέτρησης φυσικών διαδικασιών, σε διακριτή μορφή, που εκτελούνται σε εξαιρετικά σύντομο χρονικό διάστημα και υπερβαίνουν τις δυνατότητες του προγράμματος του Π.Λ.Ε.. Οι συσκευές αυτές λειτουργούν ανεξάρτητα του κύριου επεξεργαστή και η λήψη των μετρήσεων τους δεν κατευθύνεται από το πρόγραμμα ελέγχου.

Πέραν των συσκευών που αναφέραμε υπάρχουν πολλές άλλες, όπως περιστροφικοί διακόπτες για τη φυσική μεταβολή τιμών του προγράμματος, μονάδες που μετρούν και αποθηκεύουν στοιχεία που μεταφέρονται ετεροχρονισμένα στη μονάδα ελέγχου (όπως μία μονάδα *encoder-counter*), και γενικότερα εξαρτήματα επέκτασης που επιτρέπουν την προσαρμογή του Π.Λ.Ε. στις απαιτήσεις κάθε συστήματος. Ορισμένοι ελεγκτές, κυρίως μικρού μεγέθους, πέραν των μόνιμων τμημάτων εισόδων-εξόδων που διαθέτουν, παρέχουν κάποιες επιπρόσθετες λειτουργίες που ενίοτε ενσωματώνονται σε κοινές υποδοχές με τα ψηφιακά σήματα. Για παράδειγμα, ο ελεγκτής που χρησιμοποιούμε (*Siemens S7-1200*) μας δίνει τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε έως και επτά μετρητές υψηλής ταχύτητας μέσω των τυπικών, διακριτών εισόδων, ενώ παρέχει και δύο θύρες αναλογικών εισόδων.

2.2.4. Συσκευές παρέμβασης και παρακολούθησης του ελέγχου

Η μεταβολή των παραμέτρων και η παρακολούθηση κάθε διεργασίας μιας μορφής ελέγχου μπορεί να γίνεται με τη χρήση μηχανικών, ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών μέσων. Παρότι παλαιότερα χρησιμοποιούνταν μηχανικά μέσα που μετέπειτα αντικαταστάθηκαν από πίνακες ελέγχου στους οποίους βρίσκονταν αναλογικά όργανα, ενδεικτικές λυχνίες και φυσικοί διακόπτες. Το κύριο μέσο που χρησιμοποιείται σήμερα είναι η διεπαφή ανθρώπου-μηχανής (*human-machine interface-HMI/H.M.I.*). Μέσω αυτών μπορεί να σχηματιστεί μια διαδραστικότερη αλληλεπίδραση μεταξύ του χρήστη και της διαδικασίας ελέγχου, να παρακολουθείται η εξέλιξη του προγράμματος σε πραγματικό χρόνο και να επισημαίνονται τυχόν σφάλματα του συστήματος.

Αυτές οι μονάδες διασύνδεσης διαθέτουν οθόνη που, αν δεν είναι αφής, συνδυάζεται με φυσικό πληκτρολόγιο. Η οθόνη μπορεί να είναι απλή, φωτιζόμενη μονόχρωμη ή έγχρωμη διάφορων τεχνολογιών (*TFT, LCD, LED*) και αναλύσεων. Μια έγχρωμη οθόνη επιτρέπει την καλύτερη επικοινωνία με το χρήστη, δίνοντας τη δυνατότητα χρήσης χρωματικού κώδικα για τον χαρακτηρισμό των απεικονιζόμενων στοιχείων και βελτιώνοντας τη γενικότερη εικόνα του συστήματος. Αντίστοιχα, μια οθόνη αφής αυξάνει τη λειτουργικότητα της συσκευής, καθώς επιτρέπει την προγραμματιστική «μεγέθυνση» της επιφάνειας της οθόνης, αυξάνοντας τη δυνατότητα αλληλεπίδρασης με το πρόγραμμα και επιτρέποντας την εισαγωγή επεξηγηματικών στοιχείων και άμεσα προσβάσιμων ρυθμίσεων ελέγχου. Πέραν της οθόνης, άλλα κρίσιμα τεχνικά στοιχεία περιλαμβάνουν το μέγεθος της μνήμης, που είναι ανάλογο του μεγέθους του προγράμματος που μπορούν να δεχθούν, ο επεξεργαστής τους, οι δικτυακές ικανότητες τους και η πιστοποίηση ανθεκτικότητας που διαθέτουν (*IPxx¹⁰*), που θα καθορίσει τις απαιτήσεις εγκατάστασης της συσκευής.

Με τη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή και του απαραίτητου λογισμικού, οι συσκευές αυτές μπορούν να προγραμματιστούν μέσα από μια διαδικασία που περιέχει τόσο τον καθορισμό των οπτικών στοιχείων, όσο και των ρυθμίσεων του συστήματος. Ειδικότερα, ο προγραμματισμός ενός *HMI* περιλαμβάνει τη δημιουργία και τη διαμόρφωση διαύλων επικοινωνίας με τον ελεγκτή, τη δημιουργία πινάκων ετικετών

¹⁰ Κωδικός προστασίας εισόδου (*ingress protection-IP code*). Αξιολογεί την αντοχή του περιβλήματος κάθε συσκευής σε σκόνη, νερό και την προσβασιμότητα σε αυτό (*intrusion*).

(tags) με τα κοινά δεδομένα των συσκευών, καθώς και την εισαγωγή και την προσαρμογή των γραφικών στοιχείων. Έτσι, μπορούν να οριστούν δυναμικά ή στατικά γραφικά και πλαίσια κειμένου για τον έλεγχο ή την παρακολούθηση κάποιας παραμέτρου, ενημερωτικά μηνύματα που ειδοποιούν το χειριστή πως μια μεταβλητή βρίσκεται εκτός των προβλεπόμενων ορίων (*alarms*), όπως και λίστες καταγραφής των συμβάντων του συστήματος (*events history*), διευκολύνοντας την αναγνώριση κάποιας βλάβης και επιταχύνοντας την επιδιόρθωση της.

Τα τελευταία χρόνια εισάγονται νέες μέθοδοι που αξιοποιούν τη λογική του «δικτύου των πραγμάτων» (*internet of things*) και τεχνικές τηλεμετρίας ώστε να επιτρέψουν την απομακρυσμένη πρόσβαση στα στοιχεία του ελεγκτή. Το σύνολο των συσκευών που απαρτίζουν ένα τέτοιο δίκτυο, χαρακτηρίζονται ως σύστημα «εποπτικού ελέγχου και απόκτησης στοιχείων» (*supervisory control and data acquisition-SCADA*). Οι συσκευές που μπορούν να συμμετάσχουν σε αυτό δεν περιορίζονται από τον εκάστοτε κατασκευαστή, καθότι η μορφή του είναι σαφέστερα πιο ανοικτή. Έτσι, ηλεκτρονικοί υπολογιστές, φορητές συσκευές και οποιαδήποτε συσκευή μπορεί να απεικονίσει δυναμικές ιστοσελίδες γραφικών, και διαθέτει πρόσβαση στο διαδίκτυο, μπορεί να αντικαταστήσει το *HMI* στις περισσότερες λειτουργίες του. Την επικοινωνία του δικτύου με το υλικό που βρίσκεται εντός της ελεγχόμενης εγκατάστασης διαχειρίζονται εξειδικευμένοι, βιομηχανικοί δρομολογητές (*routers*), οι ελεγκτές ή και οι μονάδες διεπαφής ανθρώπου-μηχανής, που αποκτούν πλέον πιο τοπικό χαρακτήρα.



Εικόνα 2.2-2: Συσκευές παρακολούθησης
 Πηγή: (Schneider Electric Industries SAS, 2016)

2.2.5. Ζητήματα εγκατάστασης και συντήρησης

Για να προστατεύσουμε τον ελεγκτικό εξοπλισμό από δυσλειτουργίες και την ελεγκτική διαδικασία από σφάλματα, κατά τη σχεδίαση και την εγκατάσταση του συστήματος, είναι σημαντικό να εξετάσουμε όλες τις παραμέτρους που ενδέχεται να επιδράσουν αρνητικά σε αυτό.

Παράγοντας εμφάνισης λανθανόντων σημάτων στις θύρες εξόδου και εισόδου ενδέχεται να είναι η παρουσία ρευμάτων διαρροής, που συνηθίζεται να εμφανίζονται σε συστήματα που χρησιμοποιούνται ή υπάρχουν ημιαγωγοί (για παράδειγμα μονάδες επέκτασης που χρησιμοποιούν διακόπτες ημιαγωγών ή συνδεδεμένες συσκευές που η έξοδος τους δίνεται μέσω ηλεκτρονικής διόδου (*diode*) ή τριόδου (*TRIAC*)¹¹). Για την αντιμετώπιση αυτού του φαινομένου, μπορεί να τοποθετηθεί, παράλληλα με το φορτίο, μια «ανακουφιστική» αντίσταση (*bleeder resistor*) που θα απορροφήσει το ρεύμα διαρροής.

Ένα από τα μειονεκτήματα των Π.Λ.Ε. είναι η χαμηλή ανοχή τους στις ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές (*electromagnetic interference-EMI*), που δημιουργούνται συνήθως από επαγωγικά φορτία, και πλήττουν το σύστημα μέσω των φυσικών συνδέσεων ή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η ύπαρξη των παρεμβολών αυτών—που είναι γνωστές και ως «ηλεκτρικός θόρυβος»—ενδέχεται να επηρεάσει προσωρινά το σύστημα με την αλλοίωση του προγράμματος, την παραφθορά των δεδομένων εισόδου, τη διαλείπουσα δυσλειτουργία των ηλεκτρονικών στοιχείων και μονάδων, όπως και να εισάγει το σύστημα σε κατάσταση μειωμένης λειτουργίας. Για την αντιμετώπιση του ηλεκτρικού θορύβου, είναι καίριας σημασίας η ορθή χωροθέτηση αλλά και η προσεκτική ηλεκτρολογική εγκατάσταση του ελεγκτή, χρησιμοποιώντας τις συντομότερες διαδρομές καλωδίωσης, θωρακισμένα καλώδια ή καλώδια οπτικών ινών για τη λήψη σημάτων, προστατεύοντας και διαχωρίζοντας τα καλώδια που διατρέχονται από διαφορετικές τάσεις ή εγκαθιστώντας κατάλληλα φίλτρα καταστολής θορύβου, σε εξοπλισμό που τον δημιουργεί.

¹¹ Τρίοδος εναλλασσόμενου ρεύματος (Triode for Alternating Current-TRIAC). Είναι ένα ηλεκτρονικό εξάρτημα τριών επαφών που άγει αμφίδρομα το ηλεκτρικό ρεύμα, όταν είναι ενεργοποιημένο.

Αν και στους σχεδιαστικούς όρους ενός προγραμματιζόμενου λογικού ελεγκτή περιλαμβάνεται η αυξημένη ηλεκτρική αντοχή, ένας ελεγκτής παραμένει σχετικά ευάλωτος σε ζητήματα που αφορούν τη γείωση και την τροφοδοσία του. Όσον αφορά τη γείωση, πρέπει να είναι ορθά εγκατεστημένη, δηλαδή να τοποθετείται σύμφωνα με τις οδηγίες των κατασκευαστών των κυτίων εξοπλισμού και των συσκευών, και να εμφανίζει χαμηλή τιμή. Οι συνδέσεις συνιστάται να γίνονται αποκλειστικά σε καθαρές, αγωγίμες επιφάνειες (χωρίς οξείδωση, χρώματα και άλλα χαμηλής αγωγιμότητας στοιχεία) με τη χρήση ακροδεκτών βαρέως τύπου, αντίστοιχων καλωδίων και εξαρτημάτων συγκράτησης. Η πιθανή εμφάνιση αυξημένων θερμοκρασιών—που ενδέχεται να προκληθούν από τη διέλευση υψηλών ρευμάτων—σε κολλημένες (*soldered*) συνδέσεις, μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την τήξη του κολλητικού υλικού, δημιουργώντας προβλήματα στη σύνδεση ή και διακοπή της γείωσης.

Η ηλεκτρική εγκατάσταση στην οποία τοποθετείται ένας Π.Λ.Ε., ενδέχεται να έχει ασταθή τάση όπως και ηλεκτρικές παρεμβολές από εξοπλισμό που τροφοδοτείται από κοινό δίκτυο. Προς αντιμετώπιση των διακυμάνσεων τάσης, χρησιμοποιούνται συσκευές σταθεροποίησης (*voltage regulators/voltage controllers*) που θα εξομαλύνουν την τροφοδοσία του συστήματος και θα αποτρέψουν την υπέρβαση του εύρους τάσης που δύναται να λάβει, αποσοβώντας την απενεργοποίηση του για λόγους αυτοπροστασίας. Αντιστοίχως, μετασχηματιστές απομόνωσης (*isolation transformers*), ή η προνόηση για αυτόνομο δίκτυο τροφοδοσίας, θα διορθώσουν τις ηλεκτρικές παρεμβολές.

Για τη διατήρηση της αξιοπιστίας και την πρόληψη βλαβών, απαιτείται κάποια περιοδική συντήρηση του συστήματος ελέγχου. Μια τυπική διαδικασία συντήρησης των συστημάτων Π.Λ.Ε. περιλαμβάνει τον καθαρισμό των φίλτρων εισαγωγής αέρα των ερμαρίων που τοποθετούνται, τον καθαρισμό του εξοπλισμού ώστε να διευκολυνθεί η απαγωγή θερμότητας από το υλικό και η πιθανότητα βραχυκυκλώματος λόγω σκόνης, τον έλεγχο των συνδέσεων κ.α.. Σε ορισμένους ελεγκτές, που διαθέτουν μπαταρία για τη διατήρηση των δεδομένων σε απώλεια τροφοδοσίας, απαιτείται έλεγχος και της εφεδρικής πηγής ενέργειας, ενώ σε κάθε περίπτωση είναι χρήσιμο να διατηρούνται αντίγραφα ασφαλείας του προγράμματος.

2.3. Ηλεκτρικές μηχανές

2.3.1. Γενικά στοιχεία

Ως «ηλεκτρικές μηχανές» περιγράφονται οι συσκευές που μετατρέπουν την ηλεκτρική σε μηχανική ενέργεια ή αντίστροφα, αξιοποιώντας τη δράση των ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων. Τα κύρια στοιχεία που χαρακτηρίζουν τις ηλεκτρικές μηχανές είναι δύο. Το πρώτο έχει να κάνει με το είδος της τάσης και έντασης λειτουργίας τους, οπότε και κατηγοριοποιούνται σε συσκευές συνεχούς ρεύματος (*Direct Current-DC/D.C.*) και εναλλασσόμενου ρεύματος (*Alternating Current-AC/A.C.*) Το δεύτερο αφορά τη ροή ενέργειας και τις κατατάσσει σε κινητήρες (*motors*) και γεννήτριες (*generators*) με αυτές να διακρίνονται σε δυναμό (*dynamo*) αν εξάγουν συνεχές ρεύμα, ή εναλλακτήρες (*alternators*) αν εξάγουν εναλλασσόμενο ρεύμα. Σε μία ηλεκτρική μηχανή μπορούμε να συναντήσουμε τα παρακάτω, χαρακτηριστικά στοιχεία:

- **Ρότορας (*rotor*) ή δρομέας**

Είναι το περιστρεφόμενο τμήμα μιας ηλεκτρικής μηχανής. Σε μηχανές χαμηλής ισχύος το τύλιγμα πεδίου τοποθετείται σε αυτόν, ενώ σε μηχανές μεσαίας και μεγάλης ισχύος εγκαθίσταται, συνήθως, στο στάτη.

- **Στάτης (*stator*)**

Είναι το σταθερό τμήμα μιας ηλεκτρικής μηχανής.

- **Δακτύλιοι ολίσθησης (*slip rings*)**

Είναι μέσο ηλεκτρικής σύνδεσης που αποτελείται από κυλινδρικά, αγωγικά στοιχεία, συνδεδεμένα στο δρομέα και μονωμένα από τον άξονα της μηχανής. Σε συνεργασία με τις ψήκτρες (*brushes*), που άπτονται των δακτυλίων, επιτρέπουν την ανταλλαγή ισχύος με το ρότορα κατά την περιστροφή μιας μηχανής εναλλασσόμενου ρεύματος. Στις μηχανές συνεχούς ρεύματος απαντάται ως «συλλέκτης» (*commutator*) και εξυπηρετεί το σκοπό της περιοδικής αντιστροφής της φοράς του ρεύματος μεταξύ των τυλιγμάτων και του εξωτερικού κυκλώματος, ώστε να επιτευχθεί σταθερή ροπή σε ένα κινητήρα ή να δράσει ως μηχανικός ανορθωτής (*rectifier*) σε μια γεννήτρια.

- **Τύλιγμα πεδίου (*field coil*)**

Τα «τυλίγματα πεδίου», ή «τυλίγματα διέγερσης», χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία μαγνητικής ροής μέσω της τάσης που παραλαμβάνουν από μια πηγή.

- **Σύστημα διέγερσης (*excitation system*)**

Η διέγερση των ηλεκτρικών μηχανών, συνήθως, επιτυγχάνεται με κάποιον από τους εξής τρόπους:

- Ειδικά για της μηχανές εναλλασσόμενου ρεύματος, μπορεί να γίνει χρήση μιας διεγέρτριας γεννήτριας συνεχούς ρεύματος που είτε θα βρίσκεται στον ίδιο κινητήριο άξονα με την κύρια γεννήτρια, είτε θα περιστρέφεται από ξεχωριστή διάταξη. Μια άλλη μέθοδος είναι η μετατροπή του εναλλασσόμενου ρεύματος που παράγεται, σε συνεχές ρεύμα μέσω ηλεκτρονικών διατάξεων.
- Στις μηχανές συνεχούς ρεύματος το τύλιγμα πεδίου και το κύριο τύλιγμα μπορούν να τροφοδοτούνται από κοινού, με τη συνδεσμολογία τους να διαφέρει κατά περίπτωση.
- Με τη χρήση εξωτερικής πηγής διέγερσης που χρησιμοποιείται αυτούσια ή ενισχύεται μέσω διατάξεων ισχύος.

- **Τύλιγμα οπλισμού (*armature coil*)**

Τα «τυλίγματα οπλισμού», ή «κύρια επαγωγικά τυλίγματα», είναι αυτά στα οποία αναπτύσσεται η επαγωγική τάση. Μπορεί να διαφέρουν σε πλήθος και δομή αναλόγως της τάσης υπό την οποία λειτουργεί η εκάστοτε μηχανή, του πλήθους των φάσεων που χρησιμοποιούνται, ειδικών τεχνικών χαρακτηριστικών κ.α..

- **Διάκενο**

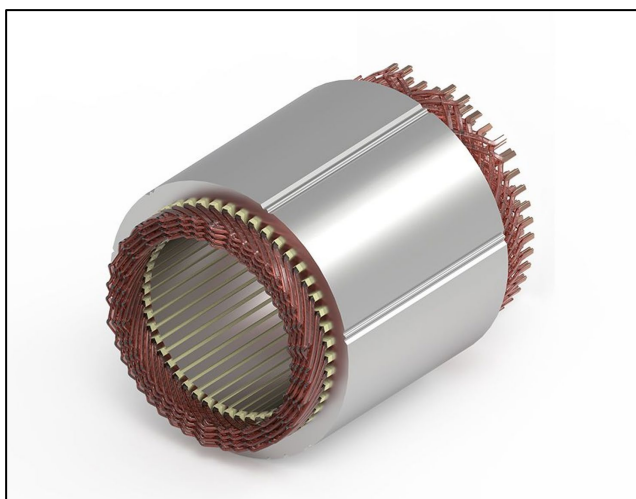
Περιγράφει την απόσταση μεταξύ των τυλιγμάτων του δρομέα και του στάτη. Αν και δεν αποτελεί δομικό στοιχείο—μάλλον περιγράφεται καλύτερα ως αποτέλεσμα της σχεδίασης—διαδραματίζει μείζονα ρόλο στη λειτουργία μιας ηλεκτρικής μηχανής, καθότι πρέπει να συνδυάζει την ελάχιστη μαγνητική αντίσταση, όντας το ελάχιστο δυνατόν, και να παράσχει τις απαραίτητες μηχανικές ανοχές.

Επιπλέον, μια γεννήτρια θα χρειαστεί και κάποια συσκευή που θα της παράσχει την απαιτούμενη μηχανική ενέργεια που θα μετατραπεί σε ηλεκτρική. Το «κινητήριο μέσο» είναι η διάταξη που περιστρέφει μια γεννήτρια. Για το σκοπό αυτό μπορούν να χρησιμοποιηθούν ηλεκτρικοί κινητήρες, μηχανές εσωτερικής και εξωτερικής καύσεως ή οποιοσδήποτε άλλος κινητήρας με περιστροφική έξοδο.



Εικόνα 2.3-1: Δρομέας με περιελίξεις και δακτύλιο ολίσθησης

Πηγή: (Samac S.p.A, n.d.)



Εικόνα 2.3-2: Σύγχρονος στάτης με τυλίγματα τύπου "φουρκέτας" (hairpin)

Πηγή: (Marposs S.p.A., n.d.)

Επί της ουσίας κάθε ηλεκτρικός κινητήρας μπορεί να γίνει γεννήτρια, εφόσον περιστραφεί από διαφορετική συσκευή και τροποποιηθεί κατάλληλα η συνδεσμολογία του. Με γνώμονα αυτό, μια ειδικότερη ταξινόμηση των ηλεκτρικών μηχανών, μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας τα λειτουργικά και δομικά χαρακτηριστικά των κινητήρων. Στην περίπτωση, λοιπόν, των ηλεκτρικών κινητήρων συνεχούς ρεύματος διακρίνουμε τα ακόλουθα είδη:

- **Κινητήρας παράλληλης διέγερσης (shunt motor)**

Είναι αυτό-διεγείρομενοι κινητήρες, στους οποίους τα τυλίγματα διέγερσης και πεδίου είναι συνδεδεμένα παράλληλα, ώστε να δέχονται την ίδια τάση. Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό αυτών των κινητήρων είναι η ικανότητα να διατηρούν

σταθερή ταχύτητα ανεξαρτήτως του φορτίου τους. Αυτή η διαδικασία αυτοελέγχου «πυροδοτείται» με τη στιγμιαία πτώση της ταχύτητας που προκαλεί η προσθήκη φορτίου, οπότε και επηρεάζει την τιμή της αντί-ηλεκτρεγερτικής¹² δύναμης που με τη σειρά της οδηγεί σε αύξηση της έντασης του ρεύματος που καταναλώνεται. Αποτέλεσμα της παραπάνω διαδικασίας θα είναι και η αύξηση της ροπής του κινητήρα, που θα επανέλθει στη στάθμη των στροφών λειτουργίας του. Ασφαλώς η ικανότητα φόρτισης του κινητήρα και του γενικότερου κυκλώματος είναι πεπερασμένη, επομένως η υπέρβαση της ηλεκτρικής αντοχής τους θα οδηγήσει σε ανεπιθύμητα αποτελέσματα.

- **Κινητήρας διέγερσης σε σειρά (*series motor*)**

Είναι αυτό-διεγερόμενοι κινητήρες που το τυλίγμα πεδίου βρίσκεται τοποθετημένο σε σειρά με αυτό του οπλισμού, άρα και διαρρέονται από το ίδιο ρεύμα. Στους κινητήρες αυτούς παρατηρείται πως η περιέλιξη του πεδίου κατασκευάζεται με λιγότερες στροφές, και από αγωγίμο υλικό μεγαλύτερης διατομής, ώστε να μειωθεί η ηλεκτρική του αντίσταση και να διευκολύνει τη ροή ρεύματος στα τυλίγματα οπλισμού. Κύρια διαφορά τους με τους κινητήρες που διαθέτουν παράλληλη διέγερση, αποτελεί η σημαντική πτώση της ταχύτητας που προκύπτει με αύξηση του μηχανικού φορτίου τους.

- **Κινητήρας εξωτερικής διέγερσης (*separately excited motor*)**

Είναι κινητήρες στους οποίους τα τυλίγματα του οπλισμού και του πεδίου λαμβάνουν ενέργεια από διαφορετικές πηγές τροφοδοσίας.

- **Κινητήρας σύνθετης διέγερσης (*compound motor*)**

Στους κινητήρες αυτούς συναντάμε δύο τυλίγματα πεδίου, εκ των οποίων το ένα είναι συνδεδεμένο παράλληλα και το άλλο σε σειρά. Διακρίνονται σε διάφορα είδη, αναλόγως της συνδεσμολογίας των τυλιγμάτων πεδίου, της επίδρασης της σύνθεσης των τυλιγμάτων στη συνολική μαγνητική ροή της διέγερσης κ.α..

- **Κινητήρας μόνιμου μαγνήτη (*permanent magnet motor*)**

Οι κινητήρες μόνιμου μαγνήτη, αντί τυλίγματος πεδίου, διαθέτουν μόνιμους μαγνήτες που είναι τοποθετημένοι περιμετρικά του τυλίγματος οπλισμού του ρότορα. Με αυτή τη μέθοδο επιτυγχάνεται μείωση του μεγέθους και ελάττωση των

¹² Η ηλεκτρεγερτική δύναμη (*electromotive force-EMF*) ορίζεται ως η αυτοδύναμη εμφάνιση ηλεκτρικής δράσης—συνήθως τάσης—σε μία πηγή. Η αντί-ηλεκτρεγερτική δύναμη (*counter/back EMF*) είναι μια αντίθετη τάση, που ουσιαστικά αντιτίθεται στη μεταβολή του ρεύματος από το οποίο δημιουργήθηκε η ηλεκτρεγερτική δύναμη.

απωλειών που οδηγεί σε βελτίωση του βαθμού απόδοσης. Όμως η χρήση ενός στατικού, σε ένταση, μαγνητικού πεδίου έχει ως αρνητικό αποτέλεσμα τη μείωση της αποδιδόμενης μηχανικής ισχύος που μπορούμε να λάβουμε από τον κινητήρα, σε σύγκριση με άλλες μορφές που η διέγερση πεδίου γίνεται συναρτήσει της εφαρμοζόμενης τάσης.

Ομοίως, στους κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος βρίσκουμε τα παρακάτω είδη:

- **Σύγχρονος κινητήρας (*synchronous motor*)**

Είναι ένας κινητήρας που η ταχύτητα περιστροφής του άξονα ταυτίζεται με την ταχύτητα περιστροφής του μαγνητικού πεδίου του στάτη—που είναι ανάλογη της συχνότητας του εναλλασσόμενου ρεύματος που δέχεται—οπότε και έχει σταθερή ταχύτητα. Σε αντίθεση με τους ασύγχρονους κινητήρες, διαθέτουν ρότορα ο οποίος φέρει ειδικό τύλιγμα, που τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα, στο οποίο δημιουργείται μαγνητικό πεδίο σταθερής έντασης. Για να μεταβάλλουμε την ταχύτητα τους, μπορούν να χρησιμοποιηθούν διατάξεις ηλεκτρονικών ισχύος που θα τροποποιήσουν τα χαρακτηριστικά (συχνότητα, τάση) του ρεύματος με το οποίο τροφοδοτείται ο κινητήρας. Η εκκίνηση των επαγωγικών κινητήρων παρουσιάζει δυσκολίες εξαιτίας της περιοδικής ταύτισης των μαγνητικών πεδίων των τυλιγμάτων του ρότορα και του στάτη. Επομένως κρίνεται αναγκαία η χρήση ενός πρόσθετου τυλίγματος απόσβεσης (*dampner winding*)—που θα επιτρέψει τη λειτουργία του κινητήρα ως επαγωγικού, σε χαμηλές ταχύτητες—ή ενός δευτερεύοντος κινητήρα, έτσι ώστε ο σύγχρονος κινητήρας να περιστραφεί έως την ταχύτητα που θα μπορέσει να «κλειδώσει» μαγνητικά με την ταχύτητα περιστροφής του πεδίου του στάτη, που είναι ανάλογη με τη συχνότητα του ηλεκτρικού δικτύου. Οι σύγχρονοι κινητήρες διατίθενται στο εμπόριο ως μονοφασικές ή πολυφασικές συσκευές και προτιμώνται λόγω της απλότητας της κατασκευής τους, της δυνατότητας συντήρησης της ταχύτητας περιστροφής τους και της υψηλής μηχανικής ισχύος που αποδίδουν σε σχετικά χαμηλές στροφές.

- **Κινητήρας επαγωγής (*induction motor*)**

Οι κινητήρες επαγωγής ή «ασύγχρονοι» κινητήρες (*asynchronous motors*) είναι κινητήρες οι οποίοι λειτουργούν με τη δράση του φαινομένου της επαγωγής. Όταν διεγερθεί το τύλιγμα του στάτη, θα σχηματιστεί μαγνητική ροή που τέμνει τα τυλίγματα του δρομέα, με αποτέλεσμα να διαρρέεται από ρεύμα που θα έχει ως συνέπεια τη δημιουργία ενός δεύτερου μαγνητικού πεδίου. Εξαιτίας του ότι το

πεδίο των τυλιγμάτων του ρότορα έπεται αυτού των τυλιγμάτων του στάτη, θα προκύψει ροπή που θα περιστρέψει τον άξονα, λόγω της αλληλεπίδρασης των πεδίων. Οι κινητήρες επαγωγής που είναι εμπορικά διαθέσιμοι είναι είτε μονοφασικοί, είτε πολυφασικοί—συνήθως τριών φάσεων—και έχουν τα ακόλουθα γνωρίσματα:

- Οι μονοφασικοί κινητήρες αδυνατούν να εκκινήσουν αυτόνομα, οπότε και απαιτείται η τμήση του τυλίγματος του στάτη σε δύο μέρη (κύριο και βοηθητικό), όπως και χρήση πρόσθετων εξαρτημάτων που θα δημιουργήσουν διαφορά φάσης μεταξύ των δύο τυλιγμάτων. Έτσι οι κινητήρες αυτοί ταξινομούνται βάσει των διατάξεων εκκίνησης σε διαιρεμένης φάσης (*split phase*), με πυκνωτή εκκίνησης (*capacitor start*) κ.ο.κ..
- Οι τριφασικοί κινητήρες επαγωγής διακρίνονται σε κινητήρες κλωβού (*squirrel cage*) και σε τυλιγμένου δρομέα (*wound rotor*). Στους τριφασικούς κινητήρες κλωβού θα γίνει ειδική αναφορά στο επόμενο κεφάλαιο. Οι κινητήρες τυλιγμένου δρομέα διαθέτουν ρότορα διαμορφωμένο με κεκλιμένες, σφηνοειδείς αυλακώσεις, στις οποίες εγκαθίστανται τα τυλίγματα. Αυτή η μορφή κινητήρα απαιτεί για τη λειτουργία της δακτυλίου ολίσθησης και ψήκτρες, όπως και σύνθετων ρεοστατικών διατάξεων για την εκκίνηση του.

Γενικά, οι επαγωγικοί κινητήρες διαθέτουν πολλά θετικά χαρακτηριστικά και είναι οικονομικές, απλές και αξιόπιστες συσκευές. Εφόσον πληρούν τις απαραίτητες προδιαγραφές, μπορούν να τοποθετηθούν σε αντίξοα περιβάλλοντα και ειδικές εφαρμογές.

Ολοκληρώνοντας, υπάρχουν και άλλοι κινητήρες, ειδικής κατασκευής και χρήσης, τους οποίους αναφέρουμε επιγραμματικά προς πληρότητα της αναφοράς μας:

- **Βηματικός κινητήρας (*stepper motor*)**

Είναι σύγχρονοι κινητήρες που περιστρέφονται κατά συγκεκριμένη γωνία, όταν δέχονται ηλεκτρικό σήμα. Βρίσκουν ευρεία χρήση σε εφαρμογές ακριβείας, όπως οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές και διάφορες αυτοματοποιημένες εργαλειομηχανές.

- **Κινητήρας μαγνητικής αντίστασης (*reluctance motor*)**

Είναι ηλεκτρικός κινητήρας που είναι δομημένος με το ρότορα και το στάτη να φέρουν προεξέχοντες πόλους. Με τη διέγερση τους, οι πόλοι του στάτη θα δημιουργήσουν ηλεκτρομαγνητικό πεδίο που θα αλληλοεπιδράσει με τους πόλους του ρότορα. Ο ρότορας είναι κατασκευασμένος από σιδηρομαγνητικό υλικό, οπότε

όταν του ασκηθούν μαγνητικές δυνάμεις, θα ελκυστεί προς τον πλησιέστερο πόλο του στάτη με τον οποίο μπορεί να πετύχει μαγνητική ισορροπία. Η παραπάνω διαδικασία οδηγεί στην εμφάνιση ροπής με στοιχεία κυμάτωσης (*ripple*), καθώς οι μαγνητικές δυνάμεις μεγιστοποιούνται στη μέγιστη απόσταση μεταξύ των πόλων του στάτη και του ρότορα και ελαχιστοποιούνται όταν ευθυγραμμίζονται. Για τη διατήρηση της περιστροφής μετά την αρχική μετακίνηση του ρότορα, είναι αναγκαίο να προηγείται η περιστροφή του πεδίου ώστε να διατηρείται μια συνέχεια στις ελκτικές δυνάμεις. Υπάρχουν κατασκευαστικές παραλλαγές που μεταβάλλουν τη λειτουργία των κινητήρων αυτών, οπότε έχουμε τους σύγχρονους κινητήρες μαγνητικής αντίστασης (*synchronous reluctance motors*) που λειτουργούν με την παροχή τριφασικού, εναλλασσόμενου ρεύματος, τους κινητήρες μεταβαλλόμενης μαγνητικής αντίστασης (*switched/variable reluctance motors*) που χρησιμοποιούν συνεχές ρεύμα και ηλεκτρονικές διατάξεις ελέγχου κ.α..

- **Κινητήρας συνεχούς ρεύματος χωρίς ψήκτρες (*brushless motor*)**

Χρησιμοποιεί ηλεκτρονικές διατάξεις που προσομοιώνουν το πεδίο ενός κινητήρα μόνιμου μαγνήτη, για να λειτουργήσει χωρίς να απαιτείται διέγερση του πεδίου του ρότορα.

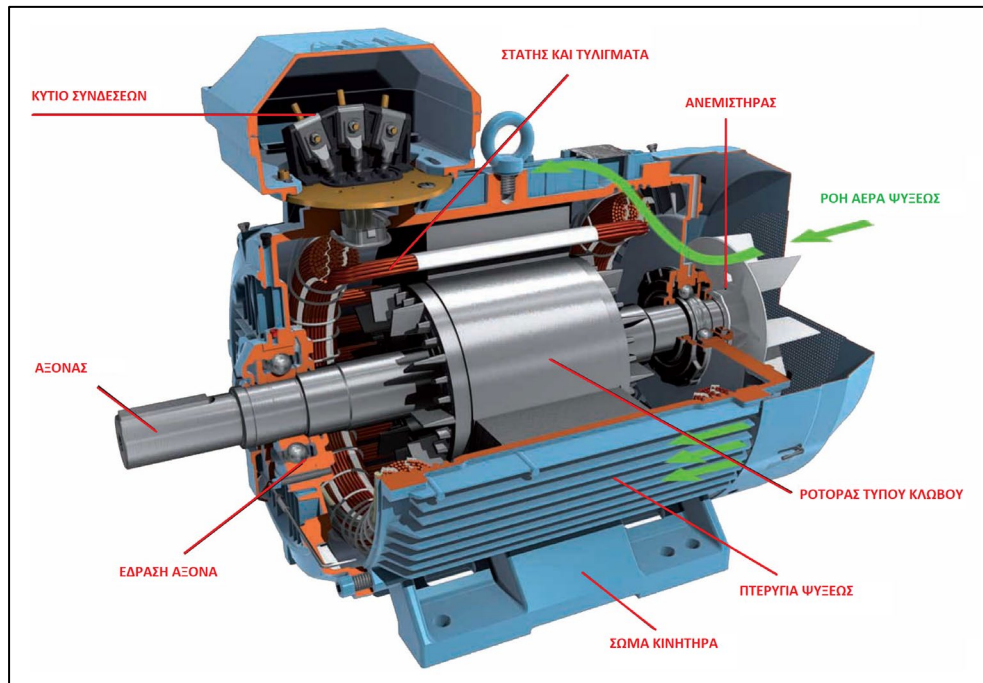
- **Κινητήρας γενικής χρήσης (*universal motor*)**

Είναι κινητήρας που είναι κατασκευασμένος έτσι ώστε να μπορεί να λειτουργήσει τόσο με συνεχές, όσο και με εναλλασσόμενο ρεύμα.

Είναι εμφανές από το πλήθος των χαρακτηριστικών και τεχνικών ιδιαιτεροτήτων των ηλεκτρικών μηχανών, που θίξαμε επιφανειακά, πως η βέλτιστη επιλογή για την εξυπηρέτηση των αναγκών κάθε εφαρμογής μπορεί να αποτελέσει δοκιμασία. Η τεχνολογική πρόοδος που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια στον τομέα των ηλεκτρικών μηχανών—με αφετηρία την εντατικοποίηση των προσπαθειών διάσωσης του περιβάλλοντος και τη σταδιακή, παγκόσμια στροφή στην ηλεκτροκίνηση—αναμένεται πως θα κλιμακωθεί στο άμεσο μέλλον, οπότε και ο σύγχρονος μηχανικός πρέπει να είναι εξοικειωμένος με βασικά στοιχεία τους.

2.3.2. Μηχανές που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάπτυξη της διάταξης

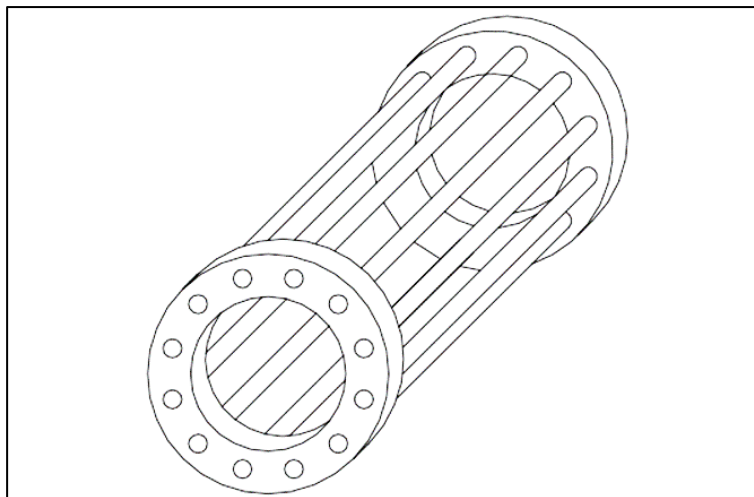
Το κινητήριο μέσο που χειριζόμαστε για την περιστροφή της γεννήτριας είναι ένας επαγωγικός κινητήρας κλωβού, τριών φάσεων.



Εικόνα 2.3-3: Αναγνώριση κατασκευαστικών στοιχείων κινητήρα κλωβού

Πηγή: (TriElectric International FZE, n.d.)

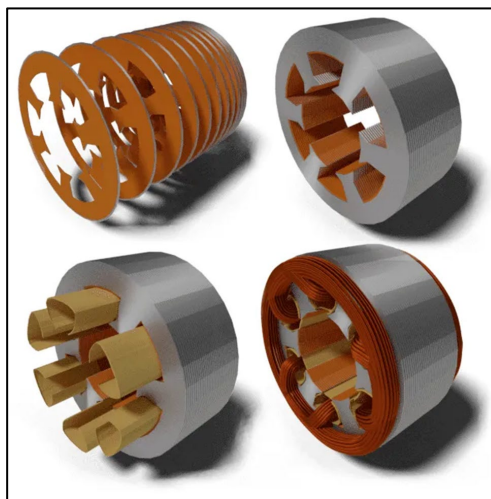
Η ονομασία τους προκύπτει από τη μορφή του ρότορα, που παραπέμπει σε «κλουβί», όντας απαρτιζόμενος από αγώγιμες ράβδους που συγκρατούνται—και βραχυκυκλώνονται—από επιφάνειες στήριξης που βρίσκονται στα άκρα του κλωβού. Υπάρχουν και παραλλαγές του ρότορα, στις οποίες μπορεί να χρησιμοποιείται κλωβός κατασκευασμένος από μη αγώγιμο υλικό στο οποίο εγκαθίστανται ράβδοι χαλκού ή άλλου αγώγιμου υλικού, ο κλωβός να είναι αγώγιμος και να εδράζεται σε επιφάνεια που δημιουργείται από στρώσεις μη αγώγιμου υλικού κ.α.. Σε κάθε περίπτωση, η ιδιαίτερη διαμόρφωση του ρότορα στοχεύει στον περιορισμό της υστέρησης του κινητήρα και της εμφάνισης απωλειών ενέργειας εξαιτίας δινορευμάτων.



Εικόνα 2.3-4: Τυπική διάταξη ρότορα κλωβού

Πηγή: (Keyes, 2007)

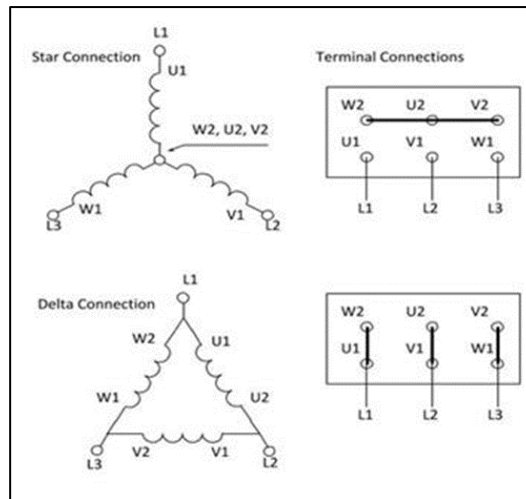
Ο στάτης είναι επίσης κατασκευασμένος από στρώσεις σιδηρούχου υλικού που σχηματίζουν τον πυρήνα, στις ηλεκτρικά μονωμένες οπές του οποίου τοποθετούνται οι περιελίξεις. Καθώς ο κινητήρας είναι τριφασικός, τα τυλίγματα του στάτη είναι τοποθετημένα έτσι ώστε το τύλιγμα κάθε φάσης να απέχει γεωμετρικά εκατόν είκοσι μοίρες από την επόμενη.



Εικόνα 2.3-5: Γραφική αναπαράσταση των σταδίων κατασκευής του στάτη

Πηγή: (Electrical4U, 2019)

Η σύνδεση τους με το ηλεκτρικό δίκτυο, όπως και των περισσότερων πολυφασικών μηχανών, μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με συνδεσμολογία αστέρα (*star/wye connection*), είτε με συνδεσμολογία τριγώνου (*delta connection*).



Εικόνα 2.3-6: Γραμμική αναπαράσταση των συνδεσμολογιών αστέρα και τριγώνου

Πηγή: (ElProCus, 2013)

Διαφορά των δύο μεθόδων είναι πως με τη χρήση αστέρα, περιορίζεται η τάση που καταναλώνεται ανά φάση—ή παράγεται σε μια γεννήτρια—σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση, για τριφασική μηχανή (Παγώνης, 2011):

$$V_{Phase} = \frac{V_{Pole}}{\sqrt{3}} \quad (2-c)$$

Όπου:

V_{Phase} : η φασική τάση

V_{Pole} : η πολική τάση

Μια σημαντική παράμετρος λειτουργίας όλων των κινητήρων επαγωγής είναι η ολίσθηση (*slip*), που περιγράφει την απόκλιση της ταχύτητας με την οποία περιστρέφεται ο άξονας, σε σχέση με τη σύγχρονη ταχύτητα του μαγνητικού πεδίου του που κινεί τη μηχανή, ως ακολούθως (Παγώνης, 2011):

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} = \frac{(120f(P^{-1})) - n}{(120f(P^{-1}))} \quad (2-d)$$

Όπου:

s : η ολίσθηση του κινητήρα (%)

$n = \frac{120f}{P} = 120f(P^{-1})$: η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα (*rpm*)

n_1 : η σύγχρονη ταχύτητα του μαγνητικού πεδίου (*rpm*)

P : το πλήθος των πόλων του κινητήρα

f : η συχνότητα του ρεύματος τροφοδοσίας (Hz)

Η εκκίνηση των κινητήρων κλωβού μπορεί να επιτευχθεί με κάποιον από τους ακόλουθους τρόπους:

- **Εκκίνηση με αντιστάτες (*primary resistors*)**

Η χρήση των αντιστάσεων στο κύκλωμα τροφοδοσίας κάθε φάσης, γίνεται για να μειωθεί η εφαρμοζόμενη τάση στο στάτη, και κατά συνέπεια η τιμή του απορροφώμενου ρεύματος, σε κινητήρες που δεν απαιτείται μεγάλη ροπή εκκίνησης. Οι αντιστάσεις επιλέγονται έτσι ώστε να μπορούν να διαχειριστούν τρία τέταρτα της ονομαστικής τάσης του κινητήρα. Κατά την εκκίνηση του κινητήρα αποδίδεται πλήρης αντίσταση, που σταδιακά μειώνεται όσο ο κινητήρας επιταχύνει. Όταν επιτευχθεί η ονομαστική ταχύτητα, οι αντιστάσεις αποσυνδέονται από το κύκλωμα τροφοδοσίας, και οι φάσεις του στάτη συνδέονται απευθείας με την παροχή του δικτύου.

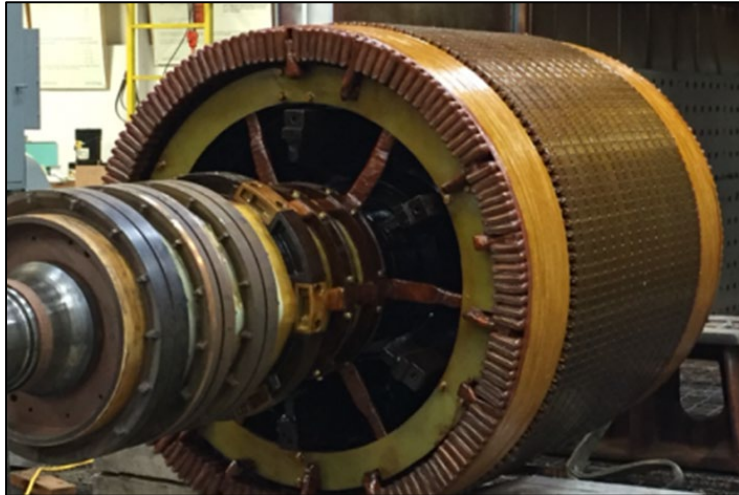
- **Εκκίνηση με αυτό-μετασχηματιστές (*auto-transformers*)**

Οι αυτό-μετασχηματιστές ή «αυτόματοι εκκινητές» είναι διατάξεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κινητήρες επαγωγής που βρίσκονται μόνιμα συνδεδεμένοι σε αστέρα ή τρίγωνο. Η λειτουργία του είναι όμοια με αυτή ενός συμβατικού μετασχηματιστή κατά την εκκίνηση, μειώνοντας το ρεύμα που απορροφάται, ενώ σε ομαλή λειτουργία του κινητήρα γίνεται σύνδεση του κινητήρα απευθείας στην παροχή του δικτύου.

- **Εκκίνηση με μεταγωγή αστέρα/τριγώνου**

Χρησιμοποιείται σε κινητήρες που είναι σχεδιασμένοι για λειτουργία με σύνδεση τριγώνου. Η διαδικασία της εκκίνησης συνιστάται στην έναρξη της λειτουργίας του κινητήρα με σύνδεση αστέρα και τη μεταγωγή σε τρίγωνο όταν πλησιάσει στην ονομαστική ταχύτητα. Η μετάβαση από τη μία συνδεσμολογία στην άλλη μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση κατάλληλων διακοπών, τη χρήση ηλεκτρονόμων μεταγωγής και χρονοδιακοπών, κ.α..

Αντίστοιχα, η γεννήτρια που χρησιμοποιήθηκε στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής είναι σύγχρονη, τριών φάσεων, εκπαιδευτικού τύπου. Αποτελούν τη συνηθέστερη μορφή γεννήτριας εναλλασσόμενου ρεύματος και μπορούν να συνδεθούν στο δίκτυο με τη χρήση συνδεσμολογίας αστέρα ή τριγώνου, μεταξύ άλλων μορφών που χρησιμοποιούνται σε ειδικές περιπτώσεις ηλεκτρικών δικτύων. Η δομή μιας σύγχρονης ηλεκτρικής μηχανής, όπως είδαμε και παραπάνω, χρησιμοποιεί κατάλληλο ρότορα που φέρει περιελίξεις και σύστημα ανταλλαγής ενέργειας (δακτύλιοι).



Εικόνα 2.3-7: Περιελίξεις και δακτύλιοι σε ρότορα τριών φάσεων

Πηγή: (Jay Industrial Repair, n.d.)

Ολοκληρώνοντας, για την ένταξη μιας γεννήτριας σε ένα ενεργό δίκτυο απαιτείται η διαδικασία του παραλληλισμού, που προϋποθέτει τη λειτουργία όλων των ηλεκτροπαραγωγών μονάδων σε κοινή συχνότητα, παραπλήσια τάση και ίδια διαδοχή φάσεων.

2.3.3. Βασικές εξισώσεις εναλλασσόμενου ρεύματος

Μιας και η διαχείριση των ηλεκτρικών μηχανών εναλλασσόμενου ρεύματος αποτέλεσε σημαντικό μέρος τόσο της μελέτης, όσο και του κατασκευαστικού τμήματος της εργασίας, κρίνεται χρήσιμη η παράθεση των βασικών εξισώσεων που μας απασχόλησαν (Παγώνης, 2011b):

- Φαινόμενη τριφασική ισχύς εναλλασσόμενου ρεύματος

$$S_{3Phase} = 3S_{Phase} = \sqrt{3}V_{Pole}I_{Line} \quad (2-e)$$

Όπου:

S_{3Phase} : η φαινόμενη, τριφασική ισχύς (VA)

$V_{Pole} = \frac{V_0}{\sqrt{2}}$: η μέση τετραγωνική (RMS) πολική τάση γραμμής τριών φάσεων (V)

$I_{Line} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}$: η μέση τετραγωνική (RMS) ένταση του ρεύματος γραμμής (A)

V_0, I_0 : Το πραγματικό πλάτος της τάσης και της έντασης μιας πηγής

- **Πραγματική τριφασική ισχύς**

$$P_{3Phase} = 3P_{Phase} = \sqrt{3}V_{Pole}I_{Line}\cos(\varphi) \quad (2-f)$$

Όπου:

P_{3Phase} : η πραγματική, τριφασική ισχύς (W)

φ : η γωνία μετατόπισης φάσης για την εκάστοτε φάση

- **Άεργος τριφασική ισχύς**

$$Q_{3Phase} = 3Q_{Phase} = \sqrt{3}V_{Pole}I_{Line}\sin(\varphi) \quad (2-g)$$

Όπου:

Q_{3Phase} : η άεργος, τριφασική ισχύς (VA Reactive – VAR)

- **Συντελεστής ισχύος**

$$\cos(\varphi) = \frac{P(W)}{S(VAR)} \quad (2-h)$$

Όπου:

$\cos(\varphi)$: ο συντελεστής ισχύος

Ο συντελεστής ισχύος χαρακτηρίζεται βάσει της άεργης ισχύος ως:

- Χωρητικός αν η άεργος ισχύς είναι αρνητική
- Ωμικός αν η άεργος ισχύς είναι μηδενική
- Επαγωγικός αν η άεργος ισχύς είναι θετική

2.4. Αισθητήρες

Οι αισθητήρες αποτελούν το συνδετικό κρίκο μεταξύ ελεγκτή και συστήματος και το θεμέλιο λίθο της διαδικασίας ανατροφοδότησης. Η χρησιμότητα τους εντοπίζεται σε ζητήματα καταγραφής και κατάταξης τιμών, λήψης αποφάσεων, ελέγχου της ροής και της ποιότητας μίας παραγωγική διαδικασία, λειτουργίες διάγνωσης κ.λπ.. Μια διάκριση που υπάρχει (Γαστεράτος et al., 2013), αφορά τις λειτουργίες που επιτελούνται σε μια διάταξη αίσθησης, οπότε και οι συσκευές διαχωρίζονται σε αισθητήρια (*sensors*), που μπορούν να αντιληφθούν μια μορφή ενέργειας, και μετατροπείς (*transducers*) που μετασχηματίζουν την εκάστοτε μορφή, προς

αξιοποίηση της σε κάποια διεργασία. Σύμφωνα με την τεχνική ορολογία και βιβλιογραφία, ως αισθητήρες περιγράφονται οι πάσης φύσεως διατάξεις που μετατρέπουν ενέργεια σε μορφή που μπορεί να αξιοποιηθεί από το εκάστοτε σύστημα, οπότε και θα χρησιμοποιήσουμε αυτή την έννοια.

Η επιλογή ενός αισθητήρα είναι πολυπαραγοντικό πρόβλημα που μπορούμε να καταστήσουμε στις παρακάτω συνιστώσες:

- Καθοριστικοί παράγοντες για την επιλογή ενός αισθητήρα είναι το κόστος και η μορφή ενέργειας που «αισθάνεται». Το κόστος είναι άμεσα εξαρτώμενο από την καινοτομία της χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας και τα ιδιαίτερα τεχνικά και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά.
- Το περιβάλλον που εγκαθίσταται μια οποιοδήποτε συσκευή, αποτελεί κρίσιμο στοιχείο για τον καθορισμό των κατασκευαστικών απαιτήσεων του. Άρα ο αισθητήρας πρέπει να είναι συμβατός με τις αναμενόμενες θερμοκρασίες του χώρου που θα βρίσκεται το σύστημα, όπως και να διαθέτει ενισχυμένη κατασκευή αν πρόκειται να αντιμετωπίσει υγρασία, σκόνη, λιπαντικά, μηχανικές καταπονήσεις κ.ο.κ..
- Κατασκευαστικές ικανότητες, όπως η ακρίβεια και η ευαισθησία, επηρεάζουν την εκλογή ενός αισθητήρα, ιδίως αν η εφαρμογή που θα τοποθετηθεί απαιτεί συσκευές υψηλών προδιαγραφών. Η διαδικασία βελτίωσης τέτοιων χαρακτηριστικών απόδοσης, διαδραματίζει σημαντικό ρόλο και στο κόστος ενός αισθητήρα.

Παρότι υπάρχουν αισθητήριοι μηχανισμοί για συστήματα ελέγχου που χρησιμοποιούν διαφορετικές μορφές ενέργειας—όπως, για παράδειγμα, θα μπορούσε να θεωρηθεί ένας μηχανικός θερμοστάτης—στις βιομηχανικές εφαρμογές συνήθως συναντάμε ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές διατάξεις. Ο σχεδιασμός ενός συστήματος, περιλαμβάνει και τον πλήρη καθορισμό των απαιτήσεων των αισθητήρων που θα συμμετάσχουν σε αυτό. Πέραν του οικονομικού κόστους, των ηλεκτρικών, μηχανικών και χωροταξικών προδιαγραφών, σημαντικά κριτήρια για να διαλέξουμε έναν αισθητήρα είναι και τα μεγέθη που περιγράφουν την απόδοση του, στην οποία συντελούν και οι αναπόφευκτες κατασκευαστικές ατέλειες. Ορισμένοι παράγοντες αξιολόγησης της απόδοσης είναι:

- **Εύρος (*range*)**

Είναι μέγεθος που συνδέεται με το φάσμα των τιμών που δύνανται να καταγραφούν από έναν αισθητήρα. Προφανώς, η απόπειρα λήψης μετρήσεων σε

μεγέθη που κινούνται εκτός του εύρους του αισθητήρα, θα έχει ως αποτέλεσμα την απρόβλεπτη συμπεριφορά ή την καταστροφή του.

- **Μη γραμμικότητα (*nonlinearity*)**

Περιγράφει την απόκλιση του σήματος που λαμβάνεται από τον αισθητήρα, σε σχέση με το φαινόμενο που μετράται. Αποδίδεται οπτικά με την εκτροπή του σήματος από τη αναμενόμενη, γραμμική μορφή του, με τις αντίστοιχες επιπτώσεις στο σήμα εξόδου του.

- **Επαναληψιμότητα (*repeatability*)**

Περιγράφει την ικανότητα λήψης μετρήσεων με την ίδια τιμή, αν ο αισθητήρας τοποθετηθεί στο ίδιο περιβάλλον, σε διαφορετικές χρονικές περιόδους. Δηλαδή είναι μέτρο της αξιοπιστίας των μετρήσεων. Να σημειωθεί πως είναι ανεξάρτητο μέγεθος από την ακρίβεια του αισθητήρα, καθώς αυτό το μέγεθος αναπαριστά την ομοιότητα κι όχι την ουσία του αποτελέσματος.

- **Θόρυβος (*noise*)**

Είναι η παρεμβολή ξένων σημάτων σε αυτό της εξόδου του αισθητήρα, που οδηγούν σε τυχαίες παραλλαγές των μετρήσεων. Ο θόρυβος επηρεάζει τα περισσότερα ηλεκτρονικά συστήματα, όπως είδαμε και στην περίπτωση των Π.Λ.Ε..

- **Ολίσθηση (*drift*)**

Αφορά τη μετατόπιση του σήματος εξόδου που συμβαίνει σε μια χρονική περίοδο και μπορεί να επηρεάσει τις μετρούμενες τιμές. Μπορεί να προκληθεί λόγω δονήσεων, μόλυνσης του χώρου που είναι τοποθετημένος ο αισθητήρας από ξένα στοιχεία που παρακωλύουν τη λειτουργία του, αλλά και να αποτελεί εγγενές χαρακτηριστικό που διορθώνεται με τη γήρανση των εξαρτημάτων του.

- **Ακρίβεια (*accuracy*)**

Είναι μέτρο της ικανότητας του αισθητήρα να παρακολουθήσει το μέγεθος για το οποίο κατασκευάστηκε. Συνήθως, η βελτίωση της ακρίβειας ενός αισθητήρα απαιτεί τη χρήση σύνθετων και εξελιγμένων τεχνολογιών, όπως και προηγμένες κατασκευαστικές μεθόδους, οπότε και είναι άμεσα συνυφασμένη με το κόστος του.

- **Διευαισθησία (*cross sensitivity*)**

Ως διευαισθησία περιγράφεται η απόκριση του αισθητήρα στην επέμβαση εξωτερικών παραγόντων ή διαφορετικών στοιχείων, από αυτό για το οποίο έχει κατασκευαστεί.

- **Ευκρίνεια (*resolution*)**

Έχει να κάνει με την ικανότητα του αισθητήρα να εντοπίσει μικρές μεταβολές του παρακολουθούμενου μεγέθους. Βέβαια, η τελική ευκρίνεια της μέτρησης θα καθοριστεί από τις διεργασίες μετατροπής και διαχείρισης (όπως για παράδειγμα η μετατροπή από αναλογική σε ψηφιακή μορφή), που θα μεσολαβήσουν μέχρι την τελική απόδοση του σήματος.

Είναι εμφανές πως το πλήθος των αισθητήρων είναι εξαιρετικά μεγάλο, κι αυτό προκύπτει εξαιτίας της ετερογένειας των μεγεθών που απαιτείται να αξιολογηθούν στις διάφορες εφαρμογές. Τα αισθητήρια συνηθίζεται να χρησιμοποιούνται σε συνεργασία με άλλο, βοηθητικό εξοπλισμό, όπως μετατροπείς σήματος, ενισχυτές, κ.ο.κ.. Μια ειδική μορφή οργάνων, που αποκαλούνται «ευφυή αισθητήρια» (*intelligent sensors*) συμπράττουν με μικροελεγκτές ώστε να παράσχουν αυξημένες δυνατότητες αξιολόγησης του σήματος και διαχείρισης δεδομένων, εν μέρει αυτόματης προσαρμογής στο παρακολουθούμενο φαινόμενο, επικοινωνίας με απομακρυσμένες συσκευές κ.α.. Εστιάζοντας στους αισθητήρες που χρησιμοποιήσαμε, διακρίνονται οι ακόλουθοι:

- **Μετατροπέας πίεσης σε τάση (*pressure to voltage transducer*)**

Στην κατηγορία των αισθητήρων πίεσης υπάγονται αρκετά είδη (πιεζοηλεκτρικοί, αφής κ.α.) μέσω των οποίων παρέχεται η δυνατότητα μέτρησης της πίεσης ενός συστήματος με διάφορα σημεία αναφοράς, όπως ως διαφορά της ανώτερης με την κατώτερη τιμή, ως απόλυτο μέγεθος σε σχέση με το κενό και ως προς την τρέχουσα βαρομετρική πίεση του μέρους που γίνεται η μέτρηση. Ο αισθητήρας που χρησιμοποιήσαμε είναι διαφραγματικής μορφής (*diaphragm pressure sensor*) και διαθέτει ένα διάφραγμα για την τοποθέτηση επιμηκυνσιόμετρων (*extensometers*) που θα μεταβάλλουν την αντίσταση τους σε ενδεχόμενη παραμόρφωση. Συχνά οι διατάξεις αυτές περιέχουν τέσσερα επιμηκυνσιόμετρα, ώστε να σχηματίσουν μια γέφυρα Ουϊτστοουν (*Wheatstone*) μέσω της οποίας μεταφράζεται η παραμόρφωση σε μετρήσιμο, ηλεκτρικό σήμα.



Εικόνα 2.4-1: Διαφορετικές μορφές μετατροπέων πίεσης

Πηγή: (Honeywell International Inc, n.d.)

- Αισθητήρας εγγύτητας (*proximity sensor*)

Ένας απλός και οικονομικός αισθητήρας εγγύτητας λειτουργεί βάσει του φαινομένου του Χολ (*Hall effect*). Αποτελείται από ένα μαγνητισμένο στοιχείο, τον πυρήνα και ρευματοφόρο πηνίο τυλιγμένο γύρω από αυτόν. Σε περίπτωση που μεταβληθεί η αυτεπαγωγή του πηνίου—δηλαδή παρεμβληθεί κάποιο σιδηρομαγνητικό υλικό—θα δημιουργηθεί διαφορά δυναμικού στην έξοδο του αισθητήρα. Η συνηθέστερη χρήση τους είναι στον εντοπισμό κάποιου μαγνητικού αντικειμένου που πλησιάζει την επιφάνεια αντίληψης, απ' όπου αποκτούν και την ονομασία τους. Ονομάζονται και αισθητήρες επαγωγής (*inductive sensors*). Υπάρχουν και άλλες μορφές αισθητήρων εγγύτητας, με διαφορετικά χαρακτηριστικά, που αξιοποιούν διαφορετικά φαινόμενα. Ένα παράδειγμα τέτοιας διάταξης είναι ο αισθητήρας δινορευμάτων (*eddy current sensor*) που έχει την ικανότητα μέτρησης της απόστασης μεταξύ του αισθητήρα και κάποιου «στόχου» (λ.χ. ενός μεταλλικού βραχίονα).



Εικόνα 2.4-2: Διαφορετικές μορφές επαγωγικών αισθητήρων

Πηγή: (IFM electronic gmbh, n.d.)

- Αισθητήρας μονοξειδίου (CO sensor)

Όπως με τους προηγούμενους και σε αυτή την κατηγορία διακρίνονται διάφοροι τύποι αισθητήρων (ηλεκτροχημικός, οπτικός κ.α.). Ο αισθητήρας που χρησιμοποιήσαμε διακρίνεται ως επιλογή χαμηλού κόστους με μεγάλη διάρκεια ζωής. Η δράση του αισθητήρα εντοπίζεται στη σύγκριση της αντίστασης αναφοράς—που είναι ορισμένη ως προς τον καθαρό αέρα—με την τιμή της αντίστασης που μεταβάλλεται αναλόγως της τρέχουσας συγκέντρωσης αερίου, λόγω τοπικής αύξησης της θερμοκρασίας που προκύπτει εξαιτίας κατάλληλης, χημικής αντίδρασης. Εξαιτίας των ενσωματωμένων ηλεκτρονικών στοιχείων που διαθέτει, είναι εφικτή η εξαγωγή τόσο ψηφιακού, όσο και αναλογικού σήματος υπό τη μορφή τάσης.



Εικόνα 2.4-3: Αισθητήρες αερίων μικρού μεγέθους

Πηγή: (MGK SENSOR, n.d.)

2.5. Ηλεκτρονόμοι

Ως ηλεκτρονόμος, ρελέ (*relay*) ή ρωστήρας χαρακτηρίζεται μια διάταξη, στοιχείο ή εξάρτημα που διακόπτει ή αποκαθιστά τη συνέχεια ενός ηλεκτρικού κυκλώματος χωρίς να απαιτεί την ανθρώπινη επέμβαση. Όπως και στο συμβατικό διακοπτικό υλικό, η μεταβολή της ηλεκτρικής συνέχειας γίνεται με τη βοήθεια επαφών που μπορούν να μετακινηθούν με τη χρήση ηλεκτροκινητήρα, πνευματικής ή υδραυλικής πίεσης, ως αποτέλεσμα θερμικής παραμόρφωσης, όπως και ως αποτέλεσμα της δράσης ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων.

Ο ηλεκτρομαγνητικός είναι η συνηθέστερη μορφή ηλεκτρονόμου και μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένας διακόπτης που ενεργοποιείται μέσω του μαγνητικού πεδίου που δημιουργείται από ηλεκτρικό ρεύμα. Η τυπική δομή ενός βασικού, ηλεκτρομαγνητικού ηλεκτρονόμου περιέχει ένα πηνίο κατασκευασμένο από χάλκινο, μονωμένο αγωγό που τοποθετείται στον πυρήνα. Μεταξύ των άκρων του πυρήνα υπάρχει ένα έλασμα μαλακού σιδήρου, ο οπλισμός, το οποίο μπορεί να κινείται ελεύθερα, επανερχόμενο κάθε φορά στη θέση του με τη βοήθεια ενός ελατηρίου. Στην άκρη του οπλισμού στηρίζονται με μη αγώγιμο υλικό οι επαφές. Όταν διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα από το πηνίο του ηλεκτρονόμου, σχηματίζεται μαγνητικό πεδίο που μαγνητίζει τον πυρήνα. Ο πυρήνας έλκει τον οπλισμό που κλείνει το κύκλωμα, συνδέοντας τις κινητές επαφές με τις ακίνητες. Η παραπάνω κατάσταση διατηρείται για όλη τη χρονική περίοδο που ο πυρήνας είναι μαγνητισμένος. Μόλις σταματήσει η ροή ρεύματος, ο πυρήνας απομαγνητίζεται και ο οπλισμός επαναφέρεται στην αρχική του θέση.

Τα μέρη ενός ηλεκτρονόμου εξυπηρετούν ορισμένο σκοπό, οπότε και πρέπει να είναι κατασκευασμένα από υλικά ικανά να ανταπεξέλθουν στα λειτουργικά του καθήκοντα. Ο πυρήνας και ο οπλισμός δημιουργούνται από υλικά με χαμηλή παραμένουσα μαγνήτιση (*remanence*), ώστε να αποφευχθεί το ενδεχόμενο ακούσιας διέγερσης. Διακριτικό στοιχείο των υλικών, αποτελεί η μαγνητική διαπερατότητα τους. Οι επαφές συνήθως τοποθετούνται σε ελάσματα χαλκού ή μπρούτζου που δρουν και ως ελατήρια επαναφοράς. Κατασκευάζονται από υλικά τα οποία είναι αγωγίμα και έχουν και σχετική αντοχή στην οξειδωση, ώστε να αποτραπεί η δυσλειτουργία τους λόγω κακής επαφής. Κάποια από αυτά τα υλικά είναι:

- **Λευκόχρυσος (Pt)**
Είναι ανοξειδωτο υλικό, με υψηλή αγωγιμότητα και αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες. Έχει υψηλό κόστος και χρησιμοποιείται σε ηλεκτρονόμους που εγκαθίστανται σε ειδικές εφαρμογές, χαμηλών απαιτήσεων ισχύος.
- **Άργυρος (Ag)**
Είναι το ευρύτερα χρησιμοποιούμενο μέταλλο εξαιτίας της χαμηλής τιμής του. Βασικά μειονεκτήματα του είναι η εμφάνιση επιφανειακής οξείδωσης και η μεταφορά υλικού μεταξύ των επιφανειών των επαφών.
- **Κράμα παλλαδίου-άργυρου (Pd-Ag)**
Εμφανίζει μηδαμινή οξείδωση και χρησιμοποιείται σε εφαρμογές χαμηλής ισχύος.
- **Βολφράμιο (W)**
Απαντάται συνήθως σε εφαρμογές υψηλών απαιτήσεων ισχύος.
- **Χρυσός (Au)**
Εμφανίζει τα ίδια χαρακτηριστικά με τον λευκόχρυσο.
- **Κράμα αργύρου-οξειδίου καδμίου (Ag-CdO)**
Χρησιμοποιείται σε εγκαταστάσεις υψηλών απαιτήσεων και χαρακτηρίζεται για την υψηλή ηλεκτρική, μηχανική και διαβρωτική του αντοχή.

Τα πηνία των ηλεκτρονόμων διακρίνονται σε ενεργά και άεργα. Τα ενεργά τυλίγματα είναι εκείνα που δημιουργούν το μαγνητικό πεδίο και επομένως ασκούν μαγνητική έλξη στον οπλισμό του ηλεκτρονόμου όταν περάσει ρεύμα από αυτά. Για την έλξη του ηλεκτρονόμου έχει σημασία ο αριθμός των στροφών του τυλίγματος του πηνίου και το μέγεθος του ρεύματος που θα περάσει από αυτά. Έτσι, η ελκτική ικανότητα του ηλεκτρονόμου εκφράζεται σε αμπεροστροφές (*ampere turns*) που είναι μέγεθος της μαγνητεγερτικής δύναμης και είναι ανάλογες της μαγνητικής αντίστασης του κυκλώματος.

Τα άεργα τυλίγματα ενός ηλεκτρονόμου είναι αυτά τα οποία δε δημιουργούν μαγνητικό πεδίο όταν διαρρέονται από ρεύμα και επομένως συμπεριφέρονται σαν κοινές, ωμικές αντιστάσεις. Δημιουργούνται από σύρμα τυλιγμένο με τέτοιο τρόπο ώστε σε κάθε σημείο του πηνίου να υπάρχουν δύο αγωγοί που διαρρέονται από αντίθετα ρεύματα, οπότε και τα μαγνητικά τους πεδία αλληλοαναιρούνται. Η περιέλιξη των τυλιγμάτων αυτών ονομάζεται δίμιτη (*bifilar folding*).

Στα πηνία των ηλεκτρονόμων η ένταση του ρεύματος διακρίνεται σε τρεις κατηγορίες, αναλόγως της τιμής που θα λάβει συναρτήσει του φορτίου. Για την ανάπτυξη ισχυρού μαγνητικού πεδίου—που θα υπερβεί τις δυνάμεις του ελατηρίου, την τριβή και την αντίσταση του διάκενου μεταξύ του οπλισμού και του πυρήνα—ώστε να μετακινηθούν οι κινητές επαφές, το ρεύμα λαμβάνει τη μέγιστη τιμή του και χαρακτηρίζεται ως «ρεύμα έλξεως». Όταν ο ηλεκτρονόμος ενεργοποιηθεί, δρουν μόνο οι δυνάμεις επαναφοράς του ελατηρίου και των ελασμάτων, οπότε και η ένταση είναι στη χαμηλότερη, λειτουργική τιμή της, γνωστή και ως «ρεύμα συγκρατήσεως». Εάν το ρεύμα ελαττωθεί κάτω από το όριο που απαιτείται για να παραμείνει ο ηλεκτρονόμος «οπλισμένος», τότε αυτός αποδιεγείρεται και επανέρχεται στην αρχική του θέση. Η παραπάνω τιμή χαρακτηρίζεται και ως «ρεύμα πτώσεως». Τα προηγούμενα μεγέθη, όπως και οι χρόνοι για τη διέλευση μεταξύ των καταστάσεων, είναι κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του ηλεκτρονόμου και καθορίζουν την ενσωμάτωσή τους στο εκάστοτε σύστημα.

Παρότι οι ηλεκτρονόμοι αντικαταστάθηκαν ως κύριο μέσο ελέγχου από τους Π.Λ.Ε., εξακολουθούν να αποτελούν θεμελιώδες στοιχείο των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων, ως μέσο γεφύρωσης των ψηφιακών ηλεκτρονικών με εξοπλισμό βαρέως τύπου, ως μέσο περιορισμένου ελέγχου, ως εξειδικευμένος εξοπλισμός προστασίας κ.α.. Είναι εμφανές, λοιπόν, πως οι διαφορετικές απαιτήσεις και λειτουργικές ιδιαιτερότητες κάθε εφαρμογής, οδήγησαν στη δημιουργία πλήθους ηλεκτρονόμων—με διάφορες τεχνικές ονομασίες που συνήθως συγχέονται, όπως με τον όρο «ρελέ» μπορούν να περιγραφούν ένας επαφάς (*contactor*) και ένας ηλεκτρονόμος στερεάς κατάστασης (*solid-state relay*)—ορισμένους από τους οποίους περιγράφουμε παρακάτω:

- **Πολωμένος ηλεκτρονόμος (*polarized relay*)**

Οι πολωμένοι ηλεκτρονόμοι είναι ευαίσθητες συσκευές με πυρήνα παραμένοντος μαγνητισμού και χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο κυκλωμάτων χαμηλού ρεύματος. Δεν έχουν ελατήριο επαναφοράς και μεταβαίνουν μεταξύ των θέσεων με αναστροφή της τάσης τροφοδοσίας.

- **Εμπλεκόμενος ηλεκτρονόμος (*latching relay*)**

Είναι ηλεκτρονόμοι δύο θέσεων, ειδικής κατασκευής, που μπορούν να διατηρήσουν τη θέση τους χωρίς να απαιτείται η τροφοδοσία του πηνίου διέγερσης. Μπορούν να κατασκευαστούν είτε ως μηχανισμοί δύο αντιτιθέμενων πηνίων με μηχανική αυτοσυγκράτηση, είτε χρησιμοποιώντας κάποιο μόνιμο

μαγνήτη ή πυρήνα παραμένουτος μαγνητισμού για την διατήρηση τους στην εκάστοτε θέση.

- **Σωληνωτός ηλεκτρονόμος (*reed relay*)**

Στους ηλεκτρονόμους αυτούς ο πυρήνας αντικαθίσταται από επαφές που βρίσκονται αεροστεγώς κλεισμένες εντός γυάλινου σωλήνα με αδρανές αέριο. Όταν διεγερθεί το πηνίο, οι επαφές μαγνητίζονται ετεροπολικά, έλκονται και βραχυκυκλώνουν. Υπάρχουν παραλλαγές που αντί πηνίου χρησιμοποιείται μηχανικά περιστρεφόμενος μαγνήτης, οπότε και το βραχυκύκλωμα σχηματίζεται περιοδικά.

- **Πολυτασικός ηλεκτρονόμος (*multi-voltage relay*)**

Είναι ηλεκτρονόμοι που κατασκευάζονται έτσι ώστε να λειτουργούν σε ευρύ φάσμα τάσεων, συχνότητας και είδους ρεύματος (εναλλασσόμενο ή συνεχές). Είναι εξαιρετικά χρήσιμοι σε εγκαταστάσεις που δεν διατίθεται σταθερή παροχή ρεύματος.

- **Σωληνοειδής ηλεκτρονόμος (*solenoid relay*)**

Είναι συσκευές που μετακινούν τον οπλισμό τους, κατά τη διέγερση του πηνίου. Βρίσκουν χρήση σε περιπτώσεις που απαιτείται κάποια φυσική, μηχανική επέμβαση σε κάποιο σύστημα, όπως λ.χ. στα αναλογικά κουδούνια ή σε εφαρμογές απομακρυσμένου ελέγχου.

- **Θερμικός ηλεκτρονόμος (*thermal relay*)**

Είναι, κυρίως, προστατευτικά στοιχεία που συνήθως χρησιμοποιούνται μαζί με κάποια διακοπτική διάταξη. Αποτελούνται από διμεταλλικά ελάσματα στα οποία τοποθετούνται οι επαφές και φέρουν κάποιο θερμαντικό πηνίο (*heating coil*). Εξαιτίας του διαφορετικού υλικού, που συνεπάγεται και διαφορετικό συντελεστή διαστολής, η θέρμανση του διμεταλλικού ελάσματος θα προκαλέσει την κάμψη του και θα κλείσει ή θα ανοίξει τις επαφές. Όντας συσκευές που έχουν από κατασκευής τους ορισμένη χρονική καθυστέρησης, δεν προορίζονται για να ανταποκριθούν σε στιγμιαίες ή περιοδικές τιμές υπερέντασης ή υπερφόρτωσης του επιτηρούμενου φορτίου.

- **Ηλεκτρονόμος στερεάς κατάστασης (*solid-state relay*)**

Είναι ένας ηλεκτρονικός ηλεκτρονόμος που λειτουργεί παρόμοια με τους ηλεκτρομηχανικούς, χωρίς όμως να διαθέτει κινούμενα μέρη. Χρησιμοποιεί κάποια μεταγωγική συσκευή στερεάς κατάστασης (όπως λ.χ. κάποιο *TRIAC*) και

με την ενεργοποίησή του, μέσω ηλεκτρικού σήματος, ενεργοποιεί το ελεγχόμενο φορτίο.

- **Επαφέας (*contactor*)**

Είναι μια μεταγωγική συσκευή που ποικίλλει σε μορφές και ηλεκτρικές ικανότητες, και διαφέρει από τους ηλεκτρονόμους γενικής χρήσεως ως προς το ότι είναι κατασκευασμένος για την απευθείας τοποθέτησή του σε υψηλά ηλεκτρικά φορτία, χωρίς να απαιτεί πρόσθετο διακοπτικό υλικό.

Πέραν από τους απλούς ηλεκτρονόμους μεταγωγής, στο εμπόριο διατίθενται και άλλες μορφές τους—ορισμένοι με χαρακτηριστικά ελέγχου οπότε και κατατάσσονται στα υλικά αυτοματισμού—που προορίζονται για ειδικές εφαρμογές. Κάποιοι από αυτούς είναι:

- **Βοηθητικό ρελέ (*auxiliary relay*)**

Βρίσκει χρήση στην ενίσχυση και την αύξηση του πλήθους των κύριων επαφών ενός απλού ηλεκτρονόμου.

- **Ρελέ καθυστέρησης (*time delay relay*)**

Δημιουργεί χρονική καθυστέρηση χωρίς να δίνεται η δυνατότητα ακριβούς ρύθμισης. Τέτοιοι μπορεί να είναι οι χρονικοί μηχανισμοί των θερμικών διακοπών αστέρα-τριγώνου ή οι παλαιού τύπου, υδραργυρικοί διακόπτες κλιμακωτού.

- **Χρονικό ρελέ (*time relay/timer*)**

Είναι συσκευή με κλίμακα ρύθμισης χρόνου και ακρίβεια επανάληψης. Παλαιότερα λειτουργούσαν με ωρολογιακούς μηχανισμούς, που έχουν αντικατασταθεί πλέον από ηλεκτρονικές διατάξεις. Η διάκριση μεταξύ των ηλεκτρονόμων καθυστέρησης και τους χρονικούς δεν είναι αυστηρή.

- **Ρελέ επιτήρησης τάσης (*voltage monitoring relay*)**

Παρέχει ένα σήμα όταν η επιτηρούμενη τάση κινηθεί εκτός των ορίων που έχουν τεθεί από το χρήστη. Συνήθως ο σύγχρονος επιτηρητής τάσης διαθέτει και λειτουργίες επιτήρησης της συμμετρίας και της διαδοχής των φάσεων, που αναφέρουμε ξεχωριστά μιας και ξεκίνησαν ως αυτόνομες συσκευές.

- **Ρελέ επιτήρησης της συμμετρίας φάσεων (*phase asymmetry relay*)**

Χρησιμοποιείται, ως επί το πλείστον, για την προστασία των κινητήρων από την ανομοιόμορφη τροφοδοσία ή τη διακοπή μιας φάσης, συγκρίνοντας τη τιμή κάθε μιας εξ αυτών με το ορισμένο, ποσοστιαίο σφάλμα.

- **Ρελέ διαδοχής φάσης (*phase sequence relay*)**
Εξασφαλίζουν τη σταθερή φορά περιστροφής των ηλεκτρικών κινητήρων, ασχέτως της συνδεσμολογίας με τις φάσεις του δικτύου.
- **Ρελέ επιτήρησης σφάλματος προς την γη (*earth fault relay*)**
Απαντάται συνήθως σε εγκαταστάσεις υψηλής αντίστασης γείωσης και εντοπίζει το σφάλμα μεταξύ ενός ρευματοφόρου αγωγού και αυτής. Εφόσον η τιμή του σφάλματος είναι εκτός των επιλεγμένων ορίων, παράγεται κάποιο ηλεκτρικό σήμα που θα κατευθυνθεί σε κάποια μονάδα σήμανσης ή θα ελέγξει κάποιον αυτόματο διακόπτη για τη διακοπή της παροχής.
- **Ρελέ προστασίας από διαρροή (*earth leakage circuit breakers*)**
Είναι συσκευές που εντοπίζουν την επιστροφή ρεύματος από τη γείωση της εγκατάστασης και συνήθως συνδυάζονται με αυτόματους διακόπτες ισχύος ώστε να μπορούν να διακόψουν την παροχή σε περίπτωση βραχυκυκλώματος. Προστατεύουν από ενδεχόμενη πυρκαγιά που μπορεί να προκαλέσουν τα ρεύματα διαρροής, αποτρέπουν τη σπατάλη ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ όσοι έχουν χαμηλό όριο επέμβασης αποτρέπουν και την ηλεκτροπληξία.
- **Ρελέ κατεύθυνσης ισχύος (*directional power relay*)**
Χρησιμοποιούνται για να αποτρέψουν την αντίστροφη ροή ηλεκτρικής ενέργειας σε εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούνται παραπάνω από μία πηγές (λ.χ. σε ηλεκτρικές εγκαταστάσεις πλοίων ή σε οικιακές εγκαταστάσεις με γεννήτρια ανάγκης).
- **Ρελέ διακοπτόμενης λειτουργίας (*flasher relays*)**
Χρησιμοποιούνται για την έξοδο περιοδικού σήματος, ορισμένης διάρκειας. Βρίσκουν χρήση για τον έλεγχο οπτικού και ηχητικού υλικού σήμανσης.
- **Ρελέ επιτήρησης στάθμης υγρών (*liquid level monitoring relays*)**
Χρησιμοποιούνται για την επιτήρηση της στάθμης υγρών, σε περιστάσεις που οι απλοί διακόπτες πλωτήρα αδυνατούν να λειτουργήσουν (όπως περιβάλλοντα υπερβολικής πίεσης και θερμοκρασίας, περιορισμένου χώρου κ.λπ.), και διαφέρουν για αγώγιμα και μη αγώγιμα υγρά. Σταδιακά αντικαθίστανται από ηλεκτρονικές μορφές επιτηρητών.

Όπως και όλες οι συσκευές, οι ηλεκτρονόμοι είναι πιθανό να αστοχήσουν. Κατά τη λειτουργία τους, η άμεση καταστροφή τους μπορεί να επέλθει από υπερβολικό ρεύμα,

μηχανική καταπόνηση, υπερβολική θέρμανση—στην περίπτωση των θερμικών ηλεκτρονόμων—και γενικότερα ακραίες συνθήκες λειτουργίας. Ένας άλλος παράγοντας ενδέχεται να είναι η αυξημένη ένταση του ρεύματος που να διαχειρίζεται ένας ηλεκτρονόμος, που ενίοτε έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ηλεκτρικού τόξου στις επαφές, φθείροντας την επιφάνεια τους ή, σε ακραίες περιπτώσεις, συγκολλώντας τις. Μακροπρόθεσμα, η κόπωση και άλλα μηχανικά, ηλεκτρικά και φυσικά συνακόλουθα της γήρανσης του εξοπλισμού, ή ενδεχόμενες κατασκευαστικές ατέλειες που επιδεινώθηκαν σε βάθος χρόνου, κάνουν αναπόφευκτη την ανάγκη αντικατάστασής τους. Όταν ο ηλεκτρονόμος είναι δομημένος με διαφορετικά τμήματα επαφών και ελέγχου, το προβληματικό μέρος μπορεί να αντικατασταθεί, ειδικά αν απαιτείται η απόρριψη ολόκληρης της συσκευής.



Εικόνα 2.5-1: Διαφορετικά είδη ηλεκτρονόμων

Πηγή: (Envirementalb, 2020)

3. Πορεία Έργου

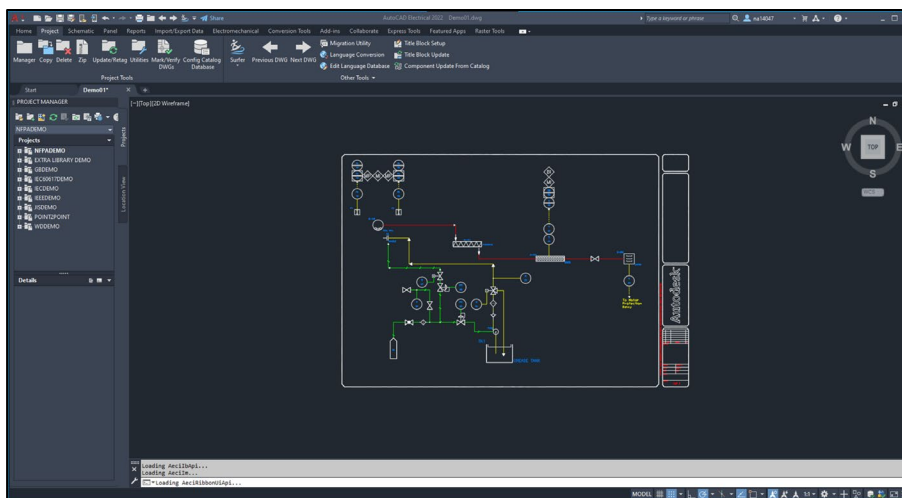
Κατά τη μελέτης οποιασδήποτε κατασκευής, συχνά υπάρχουν συγκεκριμένες απαιτήσεις και περιορισμοί που μπορεί να αφορούν χωροταξικά, κατασκευαστικά και οικονομικά εμπόδια, απαιτήσεις απόδοσης και αισθητικής, χαρακτηριστικά λειτουργικότητας κ.α.. Σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι η περιγραφή της παραπάνω διαδικασίας, όπως και όλων των νοητών και φυσικών βημάτων που ακολουθήσαμε για την πραγμάτωση των στόχων αυτής της εργασίας.

3.1. Λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε

Για την περάτωση των όσων απαιτήθηκαν κατά την προετοιμασία της κατασκευής και την υλοποίηση της διάταξης, κάναμε χρήση του παρακάτω λογισμικού:

- **Autodesk AutoCAD**

Το «AutoCAD» είναι λογισμικό σχεδίασης με τη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή (*computer-aided design-CAD*) που αναπτύχθηκε από την εταιρεία «Autodesk». Εισήχθη το 1982 με καινοτόμο χαρακτηριστικό τη δυνατότητα να λειτουργήσει χωρίς να απαιτεί την ύπαρξη κάποιου κεντρικού, υπολογιστικού συστήματος (*mainframe*). Παρέχει πληθώρα λειτουργιών δισδιάστατης και τρισδιάστατης σχεδίασης, ενώ αποτελεί τη βάση για πλήθος αυτόνομων προγραμμάτων, με πρόσθετα χαρακτηριστικά, που εξυπηρετούν τις ειδικές ανάγκες κάθε εφαρμογής («AutoCAD Architecture», «AutoCAD Mechanical» κ.α.).



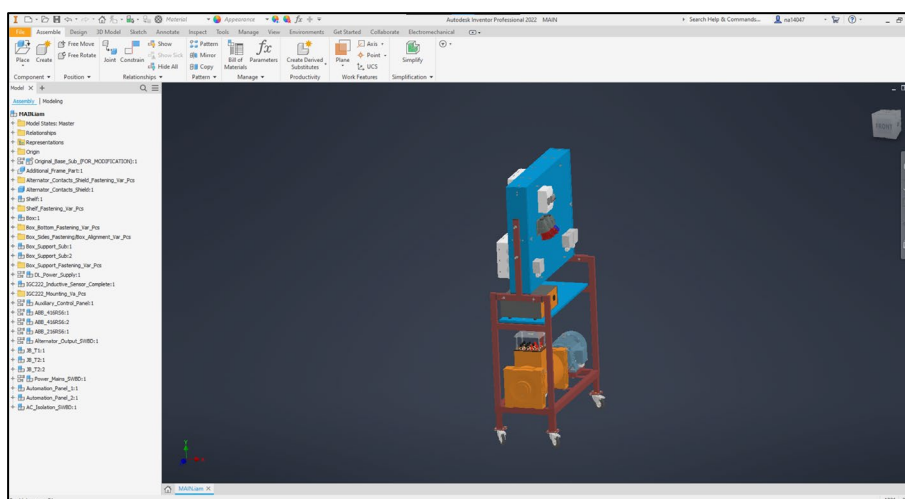
Εικόνα 3.1-1: Το περιβάλλον του "AutoCAD Electrical"

Αρχειοκό υλικό

Στις σύγχρονες εκδόσεις του διατίθεται επίσης ως εφαρμογή για φορητές συσκευές, αλλά και ως διαδικτυακή πλατφόρμα με την επωνυμία «*AutoCAD 360*». Το χρησιμοποιήσαμε ως «*AutoCAD Electrical*» για τη δημιουργία των γραμμικών, ηλεκτρολογικών σχεδίων της διάταξης που κατασκευάσαμε.

- *Autodesk Inventor*

Το «*Inventor*» είναι λογισμικό σχεδίασης με χαρακτηριστικά υποβοηθούμενης μηχανικής ανάλυσης (*computer-aided engineering-CAE*) και κατασκευής (*computer-aided manufacturing-CAM*), που αναπτύχθηκε από την εταιρεία «*Autodesk*» με σκοπό τη δημιουργία ψηφιακών πρωτοτύπων, μηχανολογικών συνόλων. Σημαντικά στοιχεία του είναι πως επιτρέπει τη συνύπαρξη τρισδιάστατων και δισδιάστατων στοιχείων σε κοινό περιβάλλον, ενώ διαθέτει ενσωματωμένες λειτουργίες παραμετρικής σχεδίασης, κινηματικής προσομοίωσης, δυναμικής ανάλυσης και πλήθος άλλων δυνατοτήτων που επιτρέπουν στο χρήστη την αξιολόγηση του υπό σχεδίαση προϊόντος. Ακόμα, επιτρέπει την πλήρη τεχνική τεκμηρίωση του σχεδιαζόμενου εξαρτήματος ή μηχανολογικού συνόλου, καθώς διευκολύνει την παραγωγή γραμμικών σχεδίων και οπτικών πολυμέσων. Είναι το βασικό πρόγραμμα που χρησιμοποιήσαμε για τη χωροταξική αξιολόγηση, τη σχεδίαση των στοιχείων που κατασκευάστηκαν ή μεταποιήθηκαν, τη μηχανική ανάλυση και τη γενικότερη μελέτη και απεικόνιση των φυσικών τμημάτων της μονάδας.

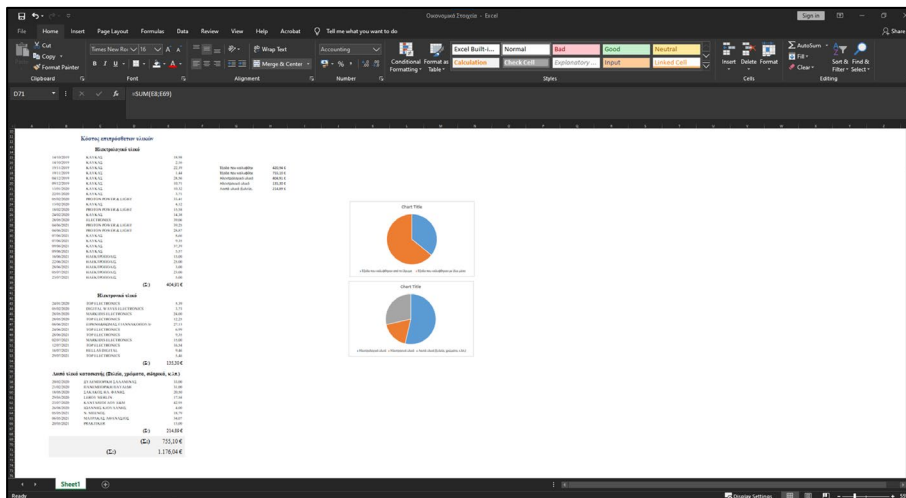


Εικόνα 3.1-2: Το περιβάλλον του "Autodesk Inventor"

Αρχεακό υλικό

- **Microsoft Excel**

Το «*Excel*» είναι λογισμικό επεξεργασίας υπολογιστικών φύλων που αναπτύχθηκε από την εταιρεία «*Microsoft*» και είναι συμβατό με πλήθος λειτουργικών συστημάτων. Διαθέτει βασικές υπολογιστικές δυνατότητες, που απαντώνται σε όλα τα παρόμοια λογισμικά, καθώς και πλήθος πρόσθετων χαρακτηριστικών (γραφική απεικόνιση δεδομένων, προπαρασκευασμένες μαθηματικές συναρτήσεις, ανάλυση και διαχείριση δεδομένων κ.α.) που το ανάγουν σε χρήσιμο εργαλείο για την ικανοποίηση των αναγκών διαφορετικών αντικειμένων. Ακόμα, παρέχει τη δυνατότητα παραμετροποίησης και προσθήκης λειτουργιών από το χρήστη, μέσω της παροχής μιας γλώσσας προγραμματισμού μακροεντολών που ονομάζεται «*Visual Basic for Applications*». Η χρήση του σε αυτή την εργασία εντοπίζεται στη δημιουργία καταλόγων εξοπλισμού, στην οργάνωση των οικονομικών στοιχείων, την ταξινόμηση και τη γραφική απεικόνιση μετρήσεων, καθώς και στη δημιουργία γραφικού υλικού σήμανσης.



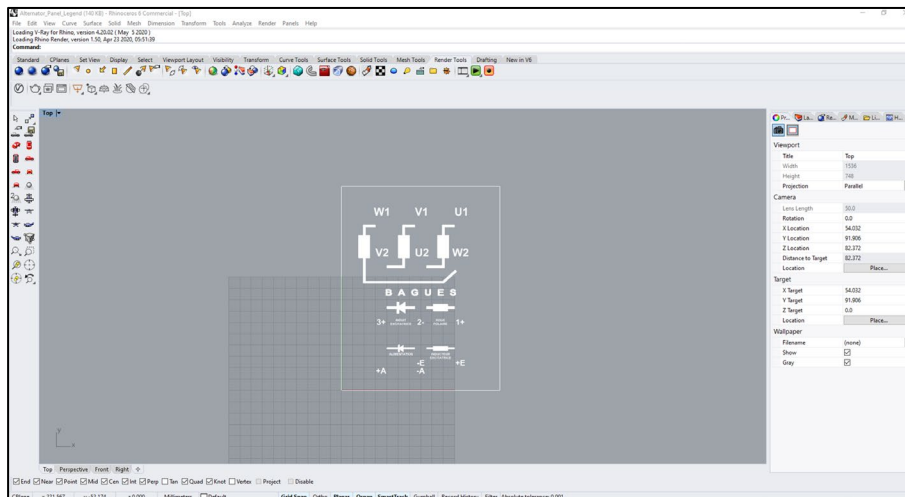
Εικόνα 3.1-3: Το περιβάλλον του "Microsoft Excel"

Αρχεακό υλικό

- **Rhinoceros 3D**

Το «*Rhinoceros*» είναι λογισμικό τρισδιάστατης σχεδίασης που αναπτύχθηκε από την εταιρεία «*Robert McNeel & Associates*». Βασίζεται στο μαθηματικό μοντέλο *NURBS* (*non-rational uniform basic splines*), το οποίο επικεντρώνεται—σε αντίθεση με εφαρμογές που χρησιμοποιούν πολυγωνικό πλέγμα—στη μαθηματικά ακριβή αναπαράσταση των καμπύλων και των επιφανειών ενός μοντέλου και διευκολύνει αρκετά την εργασία με σύνθετη γεωμετρία. Μέσω του προγράμματος

αυτού μπορέσαμε να βελτιώσουμε ή τη διορθώσουμε τρισδιάστατα μοντέλα εξοπλισμού που πήραμε από τις κατασκευάστριες εταιρείες ή τρίτους σχεδιαστές και τα προσαρμόσαμε στις σχεδιαστικές μας ανάγκες.

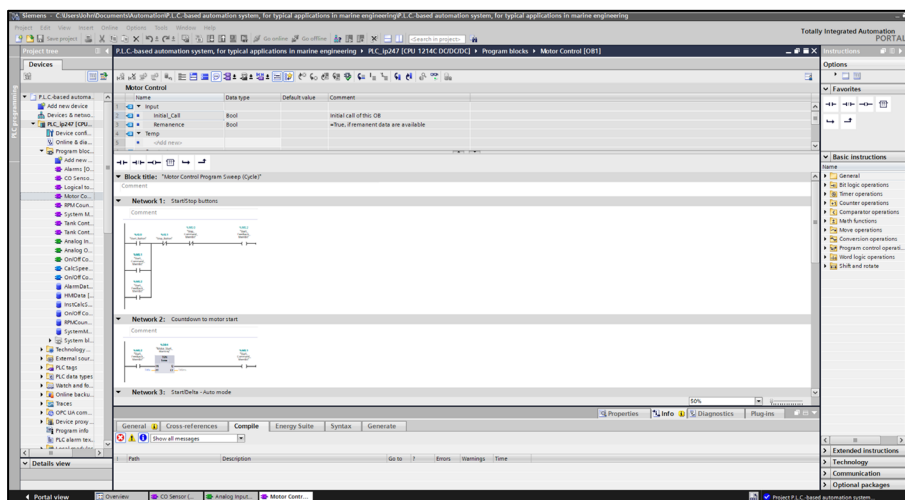


Εικόνα 3.1-4: Το περιβάλλον του "Rhinoceros 3D"

Αρχαιακό υλικό

- *Totally Integrated Automation (TIA) Portal*

Το λογισμικό «*Totally Integrated Automation*» ή «*SIMATIC-Step 7*», είναι ένα πρόγραμμα που αναπτύχθηκε από την εταιρεία «*Siemens*» και αποτελεί το μέσο προγραμματισμού του ελεγκτή και της οθόνης διεπαφής ανθρώπου-μηχανής που χρησιμοποιήσαμε.



Εικόνα 3.1-5: Το περιβάλλον του "TIA Portal"

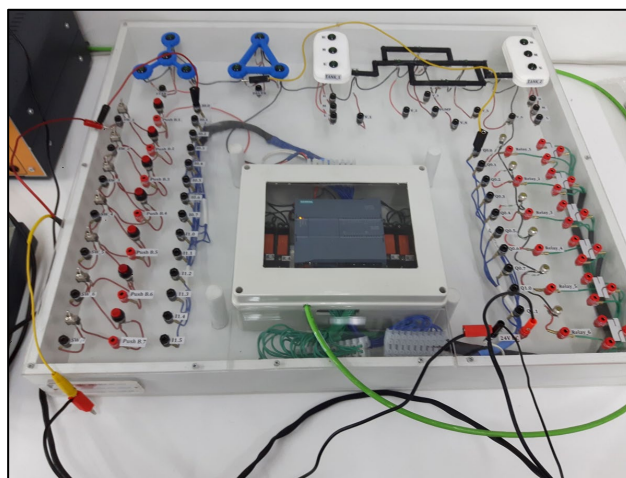
Αρχαιακό υλικό

Πέραν της παραμετροποίησης των συμβατών συσκευών, διαθέτει ικανότητες παρακολούθησης της εργασίας που επιτελείται και επέμβασης στο εκτελούμενο πρόγραμμα. Οι προγραμματιστικές δυνατότητες που παρέχει, ενδέχεται να διαφέρουν ανά έκδοση του προγράμματος και μοντέλου του ελεγκτή.

3.2. Προπαρασκευαστική διαδικασία

3.2.1. Ορισμός γενικού πλαισίου και οργάνωση κατασκευής

Τις τελευταίες δεκαετίες οι προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές βρίσκουν ολοένα και αυξανόμενη χρήση στη ναυτιλία, με τις εφαρμογές τους να ποικίλουν και να γίνονται συνεχώς πολυπλοκότερες. Για παράδειγμα, το έκδηλο ενδιαφέρον των διάφορων μερών της ευρύτερης ναυτιλιακής κοινότητας (ασφαλιστικές εταιρείες, νηογνώμονες κ.ο.κ.) για τη συλλογή και τη διαχείριση μεγάλου πλήθους δεδομένων (*big data*), οδήγησε στη χρήση ελεγκτών με αυξημένες δικτυακές δυνατότητες και λειτουργίες, όπως και εξειδικευμένου, παρελκόμενου εξοπλισμού. Είναι λοιπόν εμφανές πως η κατοχή, έστω και στοιχειωδών γνώσεων, πάνω στην τεχνολογία των Π.Λ.Ε. είναι σημαντικό προσόν για οποιοδήποτε μηχανικό ξεκινά την επαγγελματική του σταδιοδρομία. Σε αυτό το πλαίσιο, το τμήμα «Ναυπηγών Μηχανικών» του «Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, υπό την αιγίδα του οποίου πραγματοποιήθηκε η παρούσα εργασία, είχε ήδη επενδύσει στην ανάπτυξη μονάδων εκπαίδευσης για την εκμάθηση της βασικής χρήσης των προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών, στους σπουδαστές/-τριες του.



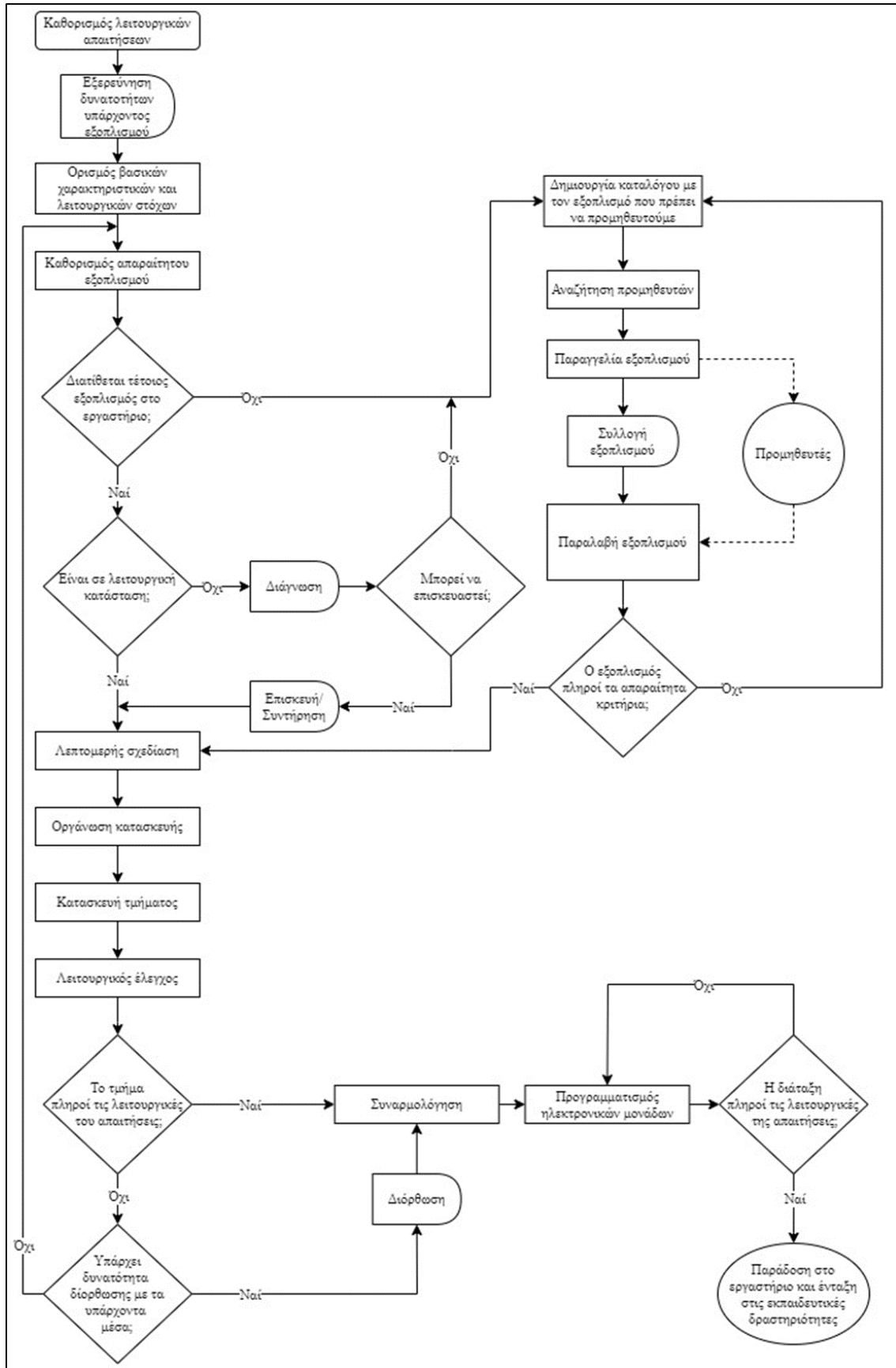
Εικόνα 3.2-1: Υπάρχουσα εκπαιδευτική μονάδα Π.Λ.Ε.

Αρχειακό υλικό

Ως απόρροια των παραπάνω, είναι εμφανές πως μια νέα προσθήκη στον εργαστηριακό εξοπλισμό της σχολής δε θα μπορούσε να επικαλύπτει το υπάρχον υλικό, αλλά θα έπρεπε να γεφυρώσει το εκπαιδευτικό χάσμα μεταξύ των βασικών γνώσεων και των σύνθετων, βιομηχανικών πρακτικών. Έτσι, η ανάπτυξη του συστήματος μας εδράστηκε στους παρακάτω πυλώνες:

- Θα είχε ως βάση του έναν προγραμματιζόμενο λογικό ελεγκτή ή κάποιον μικροϋπολογιστή που θα ήταν διαμορφωμένος έτσι ώστε να συμπεριφέρεται ως Π.Λ.Ε. (λ.χ. ένας υπολογιστής «*Arduino*» μετασκευασμένος για βιομηχανική χρήση, όπως αυτοί που παρέχονται από την εταιρεία «*Industrial Shields*»).
- Θα έπρεπε να αναδεικνύει πιο σύνθετες πτυχές της λειτουργίας των προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών, που θα μπορούσαν εύκολα να συνδεθούν με τη θεωρία των εφαρμογών που απαντώνται στη ναυτική μηχανολογία.
- Θα παρείχε τη δυνατότητα επέκτασης, για μελλοντικές προσθήκες φυσικών ή ψηφιακών λειτουργιών.
- Ο εξοπλισμός θα ήταν εύκολα προσβάσιμος για τη διευκόλυνση της επισκευής και της συντήρησης του.
- Θα έκανε χρήση, κατά το δυνατόν, του υπάρχοντος λειτουργικού ή παροπλισμένου εξοπλισμού, προς μείωση του κόστους και του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της.
- Θα εξυπηρετούσε πολλαπλούς λειτουργικούς σκοπούς, ώστε να μεγιστοποιηθεί ο ωφέλιμος χρόνος ζωής της και το πλήθος των σπουδαστών που θα έρθουν—έστω και έμμεσα—σε επαφή με την τεχνολογία των Π.Λ.Ε..
- Θα διέθετε εφεδρικά μέσα χειρισμού, για τον έλεγχο των βασικών λειτουργιών της, ώστε να μην παρεμποδιστεί η εκπαιδευτική διαδικασία από κάποια βλάβη της ελεγκτικής μονάδας ή του παρελκόμενου εξοπλισμού της.
- Θα είχε περιορισμένο χωροταξικό αποτύπωμα και θα μπορούσε να μετακινηθεί εκτός του κύριου χώρου του εργαστηρίου, όταν δε θα χρησιμοποιούταν.

Σύμφωνα με το περίγραμμα που ορίζεται παραπάνω, καταμερίσαμε τη διαδικασία σύστασης της μονάδας στις διαδικασίες που διαφαίνονται στο ακόλουθο διάγραμμα:



Εικόνα 3.2-2: Οργάνωση της διαδικασίας σύστασης της διάταξης

Αρχειακό υλικό

3.2.2. Διερεύνηση πιθανών εφαρμογών και καθορισμός στόχων

Ως αφετηρία για το σαφή ορισμό των βασικών λειτουργικών χαρακτηριστικών της κατασκευής, τέθηκε ο εντοπισμός και η επιφανειακή αξιολόγηση του διαθέσιμου εξοπλισμού, που η λειτουργία του θα μπορούσε να αυτοματοποιηθεί ή να αποτελέσει πηγή δεδομένων για τη διαχείριση τους μέσω του ελεγκτή. Με τον τρόπο αυτό θα μπορούσαμε να θέσουμε ρεαλιστικούς, τεχνικούς στόχους και να αξιολογήσουμε αν ικανοποιούνται κάποια από τα κριτήρια του προηγούμενου κεφαλαίου. Έτσι, περιορίσαμε το πλήθος του εξοπλισμού και των διατάξεων, που θα μπορούσαμε να εντάξουμε στο παρόν έργο, στα ακόλουθα:

- Εκπαιδευτική διάταξη μηχανής εσωτερικής καύσεως



Εικόνα 3.2-3: Γενική άποψη της διάταξης
Αρχειακό υλικό

Το μηχανολογικό τμήμα του συστήματος αποτελείται από έναν κινητήρα «IVECO N45 MST», ηλεκτρομαγνητική πέδη δινορευμάτων «DYNomite #400» και το σύστημα παροχής καυσίμου. Όσον αφορά το ηλεκτρονικό τμήμα της μονάδας, διαθέτει πλήθος αισθητήριων διατάξεων για την παρακολούθηση των λειτουργικών παραμέτρων, σύστημα ελέγχου θέσης του κανόνα καυσίμου, όπως και εξωτερικές διατάξεις για την καταγραφή των παραγόμενων δεδομένων και την επικοινωνία με μονάδες ελέγχου. Ακόμα, στο χώρο του κινητήρα βρίσκεται εγκατεστημένη από τον κατασκευαστή μια μονάδα επιτήρησης και προστασίας του κινητήρα.



Εικόνα 3.2-4: Εργοστασιακή μονάδα επιτήρησης κινητήρα
Αρχαιακό υλικό

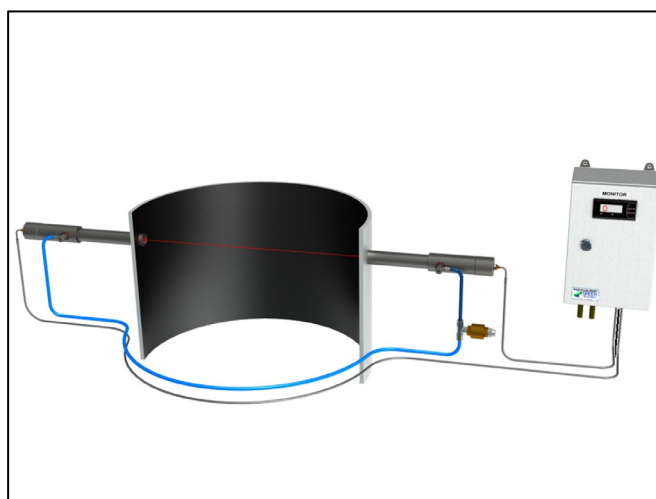
Καθότι η διάταξη είναι πλήρως λειτουργική και σημαντικό μέρος των εργαστηριακών μαθημάτων, η όποια παρέμβαση στο σύστημα της θα έπρεπε να γίνει με εξαιρετική προσοχή ενώ συνάμα θα έπρεπε να προσδίδει κάποια νέα ελεγκτική λειτουργία. Έτσι διακρίνουμε τις ακόλουθες δυνατότητες επέμβασης στη μονάδα:

- Με τη χρήση κατάλληλων ηλεκτρονόμενων θα μπορούσε να ελεγχθεί η διαδικασία εκκίνησης και τερματισμού λειτουργίας του κινητήρα.
- Με τη χρήση βηματικών, ηλεκτρικών κινητήρων θα μπορούσε να βελτιωθεί το σύστημα ελέγχου του κανόνα καυσίμου και να εξομαλυνθεί η ελεγκτική δράση του.
- Η πρόσφατη εγκατάσταση ενός αισθητήρα ταχύτητας υψηλής ανάλυσης, επιτρέπει τη χρήση του ελεγκτή ως μονάδα μέτρησης υψηλής ταχύτητας (*high speed counter*).
- Οι εγκατεστημένοι αισθητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πηγές δεδομένων, για την αξιοποίηση τους από τον ελεγκτή.

Μετά από προσεκτική αξιολόγηση των παραπάνω προτάσεων και των τρόπων με τους οποίους θα μπορούσαν να εφαρμοστούν, αποφασίσαμε πως παρά το θετικό πρόσημο των επεμβάσεων, το ρίσκο του να προκαλέσουμε κάποια βλάβη στον εξοπλισμό υπερέβαινε τα οφέλη, οπότε και εγκαταλείψαμε την ιδέα.

- **Σύστημα αξιολόγησης της θολερότητας των καυσαερίων**

Η συγκεκριμένη μονάδα μπορεί να υπαχθεί στην κατηγορία των μετατροπέων (*transducers*) που είδαμε στο αντίστοιχο κεφάλαιο της θεωρίας. Δηλαδή, μπορούμε να χαρακτηρίσουμε, αφαιρετικά, το σύνολο του εξοπλισμού που συντελεί τη διάταξη ως ένα σύνθετο αισθητήρα, που η δράση του εντοπίζεται στην αξιολόγηση του ποσοστού του φωτός που διέρχεται μέσα από κάποιο θολερό αέριο. Στη μονάδα που διαθέτει το εργαστήριο (*Green Instruments G1000*), για τον παραπάνω σκοπό αξιοποιούνται οπτικά μέσα, μονάδες εξόδου και εισόδου οπτικών δεσμών, οπτικές ίνες για τη μεταφορά των οπτικών σημάτων και παρελκόμενος, βοηθητικός εξοπλισμός για την παρακολούθηση της κατάστασης του επιτηρούμενου μέσου, τη διευκόλυνση της εγκατάστασης εξωτερικού υλικού οπτικών ή ηχητικών συναγερμών κ.α..



Εικόνα 3.2-5: Φωτορεαλιστική απεικόνιση του συστήματος *Green Instruments G1000*

Πηγή: (Green Instruments, 2015)

Τα ηλεκτρονικά στοιχεία της μονάδας εγκιβωτίζονται σε ειδικό κυτίο, μιας και προορίζεται για ναυτικές εφαρμογές, από το οποίο μπορούμε να παραλάβουμε το σήμα της διεργασίας αίσθησης, υπό τη μορφή τάσης ή ως ένταση ρεύματος, καθώς και να χρησιμοποιήσουμε τους διαθέσιμους, ενσωματωμένους ηλεκτρονόμους για τον εντοπισμό παραβίασης των προκαθορισμένων ορίων από τη μετρούμενη μεταβλητή. Είναι εμφανές πως τα παραπάνω στοιχεία εξόδου είναι ιδανικά για την ενσωμάτωσή τους στις διεργασίες επιτήρησης του Π.Λ.Ε..



Εικόνα 3.2-6: Το κιβώτιο ηλεκτρονικών της μονάδας
Αρχειακό υλικό

Μολονότι η διάταξη δεν ήταν δεσμευμένη σε κάποια εφαρμογή, υπήρξαν τεχνικοί παράγοντες που έδρασαν αρνητικά στην ενσωμάτωση της μονάδας στον εξοπλισμό που χρησιμοποιήθηκε:

- Η εγκατάσταση των οπτικών κεφαλών απαιτεί αρκετά ακριβή ευθυγράμμιση.
- Οι φακοί που χρησιμοποιούνται στις οπτικές κεφαλές πρέπει να είναι συμβατοί με την απόσταση που πρόκειται να μετρηθεί, δηλαδή με τη διάμετρο του αγωγού καυσαερίων.
- Η λειτουργία της διάταξης, απαιτεί την τροφοδοσία των οπτικών κεφαλών με αέρα υπό πίεση, ώστε να περιοριστεί η επικάθιση αιθάλης (*soot*) στους φακούς της.
- Η χρήση οπτικών ινών απαιτεί προσεκτικούς χειρισμούς τόσο κατά την εγκατάσταση, όσο και κατά τη λειτουργία της διάταξης, ώστε να αποφευχθεί η θραύση τους.

Όπως είναι ορατό από τη φωτογραφία που ακολουθεί (Εικόνα 3.2-7), η ευθυγράμμιση των υπαρχόντων υποδοχών, για την εγκατάσταση των οπτικών κεφαλών δεν ήταν ιδανική. Επομένως τυχόν δυσλειτουργίες εξαιτίας αυτής, θα απαιτούσαν τη μεταλλουργική παρέμβαση στο σύστημα καυσαερίων της μηχανής.



*Εικόνα 3.2-7: Παρεμβύσματα (φλάντζες) εγκατάστασης των οπτικών κεφαλών στον αγωγό καυσαερίων
Αρχειακό υλικό*

Έπειτα, για να διαπιστώσουμε την ορθή λειτουργία του συστήματος, τοποθετήσαμε τον εξοπλισμό σε μια επίπεδη επιφάνεια—βάσει της γενικής χωροταξίας του συστήματος που προβλέπεται από τον κατασκευαστή—για τη διενέργεια πειραματικών μετρήσεων.



*Εικόνα 3.2-8: Διαδικασία πειραματικής αξιολόγησης της λειτουργίας του συστήματος
Αρχειακό υλικό*

Μέσα από αυτή τη διαδικασία διαπιστώθηκε πως η συμπεριφορά της μονάδας ανταποκρινόταν στα προβλεπόμενα χαρακτηριστικά, μόνο όταν οι οπτικές

κεφαλές τοποθετούνταν σε σχετικά μεγάλη απόσταση (ίση ή μεγαλύτερη του 1,5m). Βάσει των όσων διαπιστώθηκαν από την πειραματική αξιολόγηση, των όσων αναγράφονται στο εγχειρίδιο της διάταξης και την επικοινωνία μας με την κατασκευάστρια εταιρεία, καταλήξαμε στο συμπέρασμα πως οι φακοί που είχαν επιλεγεί κατά την προμήθεια του εξοπλισμού δεν ήταν συμβατοί με τη χρήση για την οποία προορίζονταν.



*Εικόνα 3.2-9: Οπτική κεφαλή και φακός
Αρχεϊκό υλικό*

Με γνώμονα τις πιθανές δυσκολίες εγκατάστασης, το κόστος διόρθωσης του εξοπλισμού και τις συνθήκες ασφαλείας που θα έπρεπε να ικανοποιούνται για την εγκατάσταση γραμμών πνευματικής πίεσης, αποφασίσαμε να μη χρησιμοποιήσουμε την παρούσα διάταξη.

- **Διάταξη ηλεκτρικού κινητήρα και γεννήτριας**

Η διάταξη αυτή υπήρχε παροπλισμένη στο χώρο του εργαστηρίου «Ηλεκτρικών Ισχύος» του τμήματος «Ηλεκτρονικών Μηχανικών Τ.Ε.» (πρώην Τ.Ε.Ι. Αθήνας) και αποτελούταν από έναν τριφασικό, επαγωγικό κινητήρα κλωβού και μία τριφασική, σύγχρονη γεννήτρια. Το μηχανολογικό σύνολο είναι εγκατεστημένο σε μεταλλική βάση που διαθέτει τροχούς για τη μετακίνηση της. Μέσω μιας επιφανειακής εκτίμησης της κατάστασης της, οδηγηθήκαμε στο συμπέρασμα πως μπορεί να χρησιμοποιηθεί, εφόσον γίνει κάποια βασική συντήρηση του εξοπλισμού και αναβάθμιση του για να ταυτιστεί με τις σύγχρονες προδιαγραφές ασφαλείας και τον ποιοτικό πήχη που θέσαμε για την κατασκευή της μονάδας μας.

Οι ενέργειες ελέγχου, συντήρησης και αναβάθμισης αναλύονται σε επόμενο κεφάλαιο.



Εικόνα 3.2-10: Γενική άποψη της διάταξης ηλεκτρικού κινητήρα-γεννήτριας κατά την περίοδο δοκιμών
Αρχειακό υλικό

- **Τροφοδοτικό συνεχούς ρεύματος για τη διέγερση της γεννήτριας**

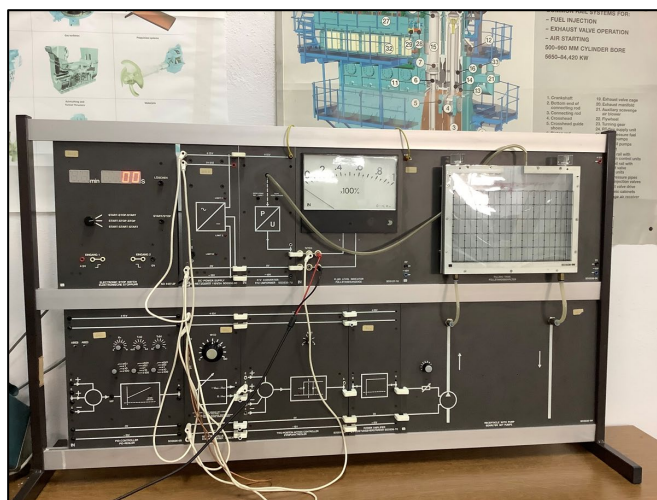
Το τροφοδοτικό «De Lorenzo DL 30195» μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διέγερση της γεννήτριας, με την έξοδο του να υπερβαίνει τα $80V DC$, που καλύπτει πλήρως τις απαιτήσεις ισχύος. Αποτελεί τμήμα ενός εκπαιδευτικού συνόλου της ίδιας κατασκευάστριας εταιρείας και χρησιμοποιείται στις τρέχουσες εργαστηριακές ασκήσεις που αφορούν τις ηλεκτρικές μηχανές, ως ρεοστάτης εκκίνησης για τριφασικό, σύγχρονο κινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος, μα και για την παροχή διέγερσης στη διάταξη παραλληλισμού με το κεντρικό δίκτυο.



Εικόνα 3.2-11: Το τροφοδοτικό "De Lorenzo-DL30195"
Αρχειακό υλικό

- **Εκπαιδευτική διάταξη ελέγχου στάθμης**

Το σύστημα «Lucas-Nülle SO-3536» αυτό διαδραματίζει ενεργό ρόλο στον τρέχον εκπαιδευτικό προγραμματισμό, για την επεξήγηση των κλειστών συστημάτων ελέγχου μέσα από τον αυτόματο έλεγχο της στάθμης πλήρωσης μιας δεξαμενής. Αποτελείται από αυτοτελείς μονάδες που συνδέονται μεταξύ του με τη χρήση καλωδίων που φέρουν ακροδέκτες τύπου «μπανάνας». Αν και διαθέτει στοιχεία για την εφαρμογή ασυνεχών και συνεχών συστημάτων ελέγχου, το τμήμα συνεχούς ελέγχου δυσλειτούργησε, οπότε και δε χρησιμοποιούταν. Επομένως, σκεφτήκαμε πως θα είναι χρήσιμη η αναπαραγωγή του συνόλου των ελεγκτικών λειτουργιών της διάταξης, στη μονάδα του Π.Λ.Ε., ως μέσο επίδειξης των σύνθετων ελεγκτικών δυνατοτήτων του, ιδίως αφού δε θα απαιτούσε τη μόνιμη τροποποίηση της.



Εικόνα 3.2-12: Γενική άποψη της διάταξης της δεξαμενής
Αρχειακό υλικό

- **Ελεγκτής**

Όπως προαναφέρθηκε, στο εργαστήριο υπήρχαν διαθέσιμες μονάδες εκμάθησης της λειτουργίας των Π.Λ.Ε. που χρησιμοποιούσαν ως πυρήνα τους τον ελεγκτή «S7-1200 1214C DC/DC/DC» ή «6ES7214-1AG40-0XB0», της εταιρείας «Siemens», που διαθέτει τα ακόλουθα, κύρια χαρακτηριστικά:

- Τάση τροφοδοσίας 20,4-28,8V DC, με ονομαστική τιμή τα 24V DC.
- Μέγιστη απορροφώμενη ένταση ρεύματος 1,5A.
- 14 πύλες ψηφιακής εισόδου, εκ των οποίων μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι 6 για εισόδους υψηλής συχνότητας (έως 100kHz).
- 10 πύλες ψηφιακής εξόδου, εκ των οποίων μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι 4 για εξόδους υψηλής συχνότητας (έως 100kHz).

- 2 πύλες αναλογικής εισόδου.
- Επικοινωνία με τη χρήση των περισσότερων πρωτοκόλλων *Ethernet* που απαντώνται σε βιομηχανικά δίκτυα (*TCP/IP*, *MODBUS*, *UDP* κ.ο.κ.).
- Δυνατότητα προγραμματισμού με τις γλώσσες *LAD* (*ladder*), *FBD* (*function block diagram*) και *SCL* (*structured control language*).
- Μνήμη εργασίας (πτητική μνήμη) *100kB*.
- Μνήμη αποθήκευσης (μη πτητική μνήμη) *4MB*.

Η επισκόπηση των τεχνικών δυνατοτήτων του, μας οδήγησε στη διαπίστωση πως ο συγκεκριμένος ελεγκτής είναι σε θέση να εκτελέσει πλήθος λειτουργιών, διαβαθμισμένης πολυπλοκότητας, οπότε και καταλήξαμε στην επιλογή του ως μέσο ελέγχου της υπό ανάπτυξη μονάδας.



Εικόνα 3.2-13: Ο ελεγκτής που χρησιμοποιήσαμε, ως μέρος μονάδας εκμάθησης
Αρχειακό υλικό

- Πρόσθετη μονάδα αναλογικής εξόδου

Στο θεωρητικό τμήμα της εργασίας έγινε μια αναφορά στις δυνατότητες επέκτασης των προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών, με τη χρήση ειδικών μονάδων. Βασικό μειονέκτημα του ελεγκτή που χρησιμοποιήσαμε, υπήρξε η έλλειψη μιας πύλης αναλογικής εξόδου που θα μπορούσαμε να αξιοποιήσουμε για την παραγωγή γραμμικού σήματος ελέγχου (λ.χ. για το χειρισμό μιας διάταξης ελέγχου θέσης). Το ζήτημα αυτό είναι εύκολο να διευθετηθεί με τη χρήση μιας μονάδας επέκτασης, που υπήρχε στον παρελκόμενο εξοπλισμό του ελεγκτή, την «*SB 1232 AQ*» ή «*6ES7232-4HA30-0XB0*». Η μονάδα αυτή ενσωματώνεται στο κύριο τμήμα

του ελεγκτή και παρέχει τη δυνατότητα εξόδου σήματος τάσης $\pm 10V$ με ανάλυση 12 bit, ή έντασης 0-20mA με ανάλυση 11 bit.

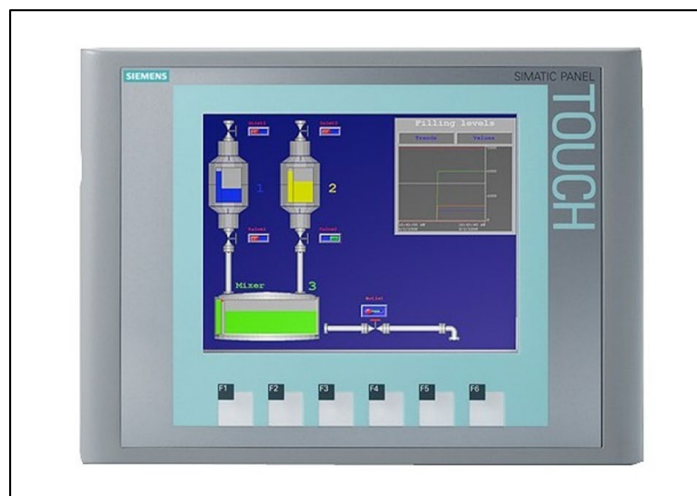


Εικόνα 3.2-14: Η μονάδα επέκτασης, αναλογικής εξόδου

Πηγή: (Siemens, n.d.)

- **Συσκευή διεπαφής μηχανής/χρήστη**

Η συσκευή «KTP600 Basic Color PN» ή «6AV6647-0AD11-3AX0» είναι μια μονάδα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επιτήρηση και την παρέμβαση στην ελεγκτική διαδικασία. Διαθέτει μια έγχρωμη οθόνη τεχνολογίας TFT, διαγώνιου έξι ιντσών, και μπορεί να συνδεθεί με τον Π.Λ.Ε. μέσω *Ethernet* και τυπικών, βιομηχανικών πρωτοκόλλων επικοινωνίας. Οι απαιτήσεις τροφοδοσίας της είναι παρόμοιες με αυτές του ελεγκτή, οπότε και μπορεί να γίνει με τη χρήση κοινής συσκευής τροφοδοσίας.



Εικόνα 3.2-15: Η συσκευή διεπαφής μηχανής/χρήστη

Πηγή: (DIELLE SRL Industrial Automation, n.d.)

- Αισθητήρας εγγύτητας

Ο αισθητήρας «IGC222» της εταιρείας «ifm», χρησιμοποιούταν στο πλαίσιο των εκπαιδευτικών ασκήσεων που γίνονταν στις εκπαιδευτικές μονάδες των Π.Λ.Ε., αντί διακόπτη, για την προσομοίωση μιας διαδικασίας μέτρησης στροφών. Εξαιτίας της γενικά γρήγορης αντίδρασης του και της αυξημένης απόστασης μέτρησης του, αναγνωρίσαμε πως μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στη νέα διάταξη για να συμμετάσχει ως πηγή δεδομένων για τον ελεγκτή.



Εικόνα 3.2-16: Ο επαγωγικός αισθητήρας IGC222

Πηγή: (ifm, n.d.)

Σύμφωνα με τα όσα προαναφέρθηκαν στο παρόν κεφάλαιο για το διαθέσιμο εξοπλισμό, καταλήξαμε στους ακόλουθους λειτουργικούς στόχους:

- Χρήση της διάταξης κινητήρα-γεννήτριας για την πρακτική εφαρμογή της διαδικασίας εκκίνησης αστέρα/τριγώνου στον κινητήρα, με τη χρήση του Π.Λ.Ε.. Το σύστημα θα πρέπει να διαθέτει εφεδρικό σύστημα εκκίνησης, ώστε πιθανή βλάβη του ελεγκτή να μην επηρεάσει τη λειτουργία της γεννήτριας που συζευγνύεται με τον κινητήρα.
- Δημιουργία συστήματος επιτήρησης και χειρισμού της γεννήτριας για τη χρήση της σε πειραματικές ασκήσεις ηλεκτρικών μηχανών.
- Εγκατάσταση του επαγωγικού αισθητήρα στον άξονα που συνδέει τον κινητήρα και τη γεννήτρια, για τη χρήση του σε εφαρμογή μέτρησης υψηλής ταχύτητας (*high speed counter*) μέσω του Π.Λ.Ε.. Αν και επί της ουσίας η αξιολόγηση της ταχύτητας του κινητήρα δεν έχει ιδιαίτερη επιστημονική σημασία—καθώς, όπως είδαμε στη σχετική θεωρία, ένας κινητήρας επαγωγής έχει ως εγγενές

χαρακτηριστικό του την αυτοσυντήρηση της ταχύτητας του—η διαδικασία μέτρησης παρουσιάζει εξαιρετικό ενδιαφέρον.

- Σύσταση προγράμματος στον Π.Λ.Ε. για την αντιγραφή των ελεγκτικών δυνατοτήτων της διάταξης της δεξαμενής. Για τη φυσική εφαρμογή αυτής της λειτουργίας, απαιτείται η εγκατάσταση της μονάδας επέκτασης «SB 1232 AQ» στον Π.Λ.Ε., καθώς και η σύνθεση ενός συστήματος για την ηλεκτρική επικοινωνία των δύο διατάξεων.
- Χρήση ενός πρόσθετου αισθητηρίου για την επίδειξη της λειτουργίας των αναλογικών συναγερμών του Π.Λ.Ε. και της μεταφοράς τους σε φυσικό εξοπλισμό. Εξαιτίας της μηχανής εσωτερικής καύσης που στεγάζεται στο εργαστήριο, θεωρήσαμε πως μια πρακτικά χρήσιμη προσθήκη θα ήταν ένας αισθητήρας μονοξειδίου.
- Χρήση της μονάδας διεπαφής μηχανής/χρήστη ως κέντρο ελέγχου των λειτουργιών του Π.Λ.Ε. και εγκατάσταση εφεδρικού, φυσικού εξοπλισμού για το χειρισμό των κύριων μεταβλητών του προγράμματος που θα αφορούσαν τη λειτουργία του κινητήρα.

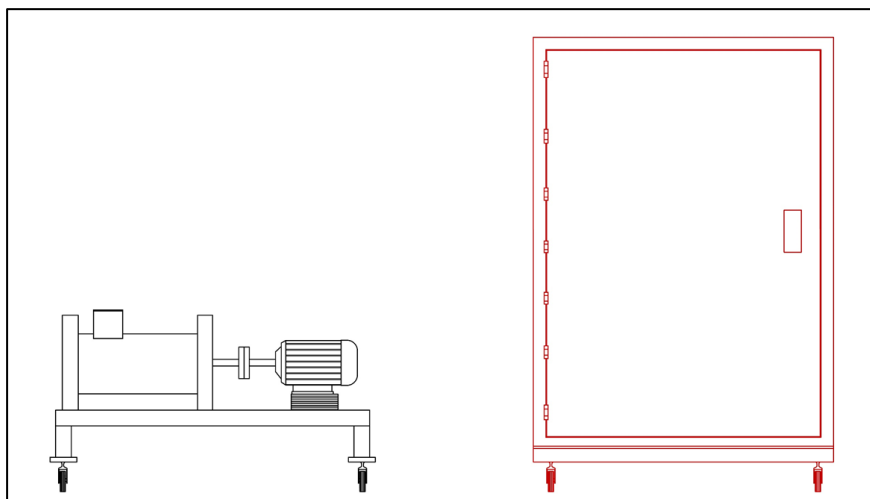
3.2.3. Καθορισμός γενικών χωροταξικών προδιαγραφών

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το υπό ανάπτυξη σύστημα θα έπρεπε να διαθέτει περιορισμένο χωροταξικό αποτύπωμα και να μπορεί να μετακινηθεί, ώστε να είναι εφικτή η αποθήκευση του εκτός του κύριου χώρου του εργαστηρίου, σε περιόδους μακράς αδράνειας. Η διάταξη κινητήρα-γεννήτριας βρισκόταν ήδη τοποθετημένη σε μεταλλική βάση με τροχούς, οπότε και αναγνωρίσαμε τη δυνατότητα επέκτασης της υπάρχουσας δομής στήριξης για την εξυπηρέτηση των αναγκών του νέου συστήματος. Βέβαια, το πλήθος του εξοπλισμού που θα απαιτούνταν να χρησιμοποιηθεί δεν είχε καθοριστεί επαρκώς, οπότε και δεν ήταν εφικτή η ακριβής εκτίμηση των αναγκών μας σε χώρο. Μέσα από τη διερεύνηση πλήθους εναλλακτικών λύσεων, καταλήξαμε στις ακόλουθες, πιθανές διατάξεις:

- Διαμοιρασμός του συστήματος σε δύο αυτοτελείς μονάδες

Η μέθοδος αυτή συνιστάται από δύο τμήματα. Το πρώτο αποτελεί το κέντρο των πάσης φύσεως λειτουργιών που θα αναπτύσσαμε και το δεύτερο είναι η διάταξη κινητήρα-γεννήτριας. Η δόμηση του νέου τμήματος μπορεί να γίνει με τη χρήση ενός μεταλλικού κιβωτίου εξοπλισμού βιομηχανικής χρήσης—προς εξασφάλιση της

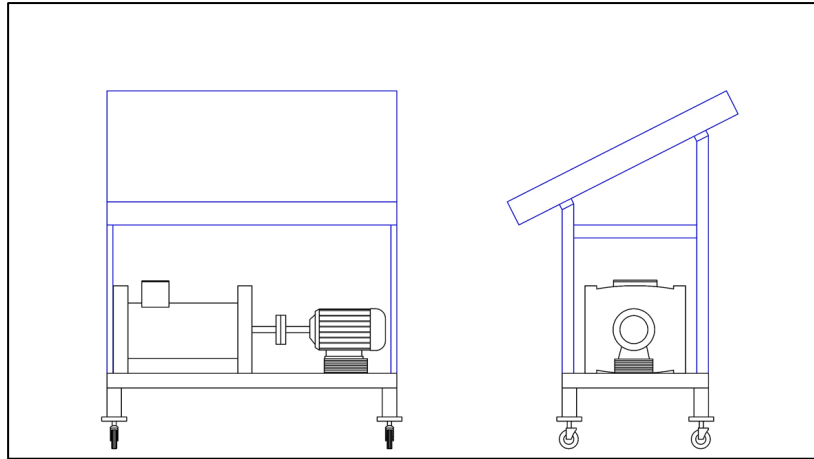
μηχανικής αντοχής—στο οποίο θα τοποθετηθούν τροχοί, ώστε να μπορεί να μετακινηθεί. Οι ηλεκτρικές συνδέσεις μεταξύ των δύο μονάδων, μπορούν να γίνουν με τη χρήση ρευματοδοτικού και ρευματοληπτικού υλικού, βαρείας χρήσεως.



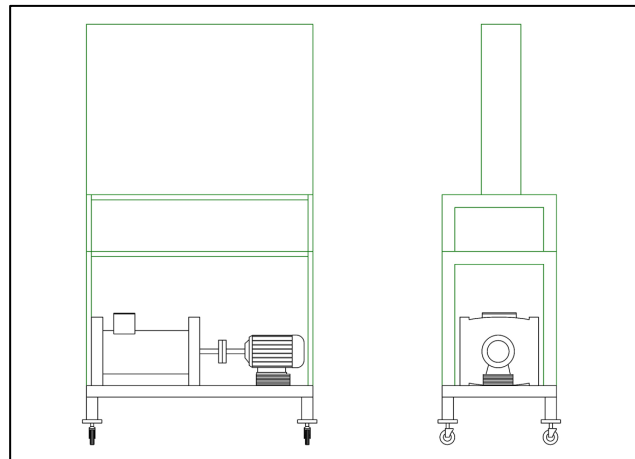
Εικόνα 3.2-17: Σκαριφηματική αναπαράσταση της οργάνωσης σε δύο αυτοτελείς μονάδες
Αρχειακό υλικό

- Οργάνωση υπό τη μορφή πίνακα ελέγχου

Αυτή η μέθοδος περιλαμβάνει την κατασκευή ενός πρόσθετου τμήματος για την επέκταση της βάσης, στο οποίο θα εδραστεί το τμήμα της διάταξης που φιλοξενεί τον ηλεκτρολογικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό, όπως και την καλωδίωση. Η ηλεκτρική σύνδεση της υπάρχουσας διάταξης με το πρόσθετο τμήμα μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση μόνιμων μέσων, που δρομολογούνται κατάλληλα στο εξωτερικό μέρος της. Η τοποθέτηση του τμήματος που θα προστεθεί, μπορεί να γίνει υπό κλίση ή κάθετα ως προς την αρχική βάση, όπως υποδεικνύεται στις παρακάτω εικόνες:



Εικόνα 3.2-18: Σκαριφηματική αναπαράσταση της οργάνωσης με τη μορφή κεκλιμένου πίνακα ελέγχου
Αρχειακό υλικό



Εικόνα 3.2-19: Σκαριφηματική αναπαράσταση της οργάνωσης με τη μορφή κάθετου πίνακα ελέγχου
Αρχειακό υλικό

Η οργάνωση του συστήματος με τη μορφή δύο αυτόνομων μονάδων, θεωρήθηκε αρχικά ιδανική εξαιτίας των δυνατοτήτων διευθέτησης των καλωδίων και των εξαρτημάτων που παρέχουν τα κιβώτια ηλεκτρολογικού εξοπλισμού. Συνάμα, η διαμέριση της συντιθέμενης διάταξης θα επέτρεπε την ευκολότερη μετακίνηση της— με την κατανομή του συνολικού της βάρους σε δύο μονάδες—την εξοικονόμηση χώρου, με την παροχή της δυνατότητας να χρησιμοποιηθεί μόνο ο απαραίτητος εξοπλισμός, όπως και θα διευκόλυνε τις εργασίες καλωδίωσης που αφορούν το κομμάτι της ηλεκτρικής προστασίας (γείωση των εκτεθειμένων, αγωγίμων μερών). Βέβαια, μέσω μιας πιο πρακτικής επισκόπησης της διαδικασίας κατασκευής, προέκυψαν παράγοντες που μας απέτρεψαν από το να ακολουθήσουμε αυτή τη

μέθοδο, όπως το αρκετά υψηλό κόστος προμήθειας του κιβωτίου και η απαίτηση ειδικών εργαλείων για την κατεργασία μετάλλου.

Όσον αφορά την οργάνωση με τη μορφή πίνακα ελέγχου, η επιλογή της διευθέτησης με την κεκλιμένη τοποθέτηση του φέροντος τμήματος του εξοπλισμού και της καλωδίωσης κρίθηκε ανεπαρκής, μιας και θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί μόνο η μία πλευρά του. Ως εκ τούτου, θα προέκυπταν δυσκολίες τόσο στην αρχική χωροταξική τακτοποίηση, όσο και σε όποια μελλοντική επέκταση αποφασιζόταν. Επομένως, καταλήξαμε στην επιλογή να δομήσουμε το σύστημα μας συγκροτώντας το τμήμα ελέγχου με τη λογική του κάθετου πίνακα, και την έδραση του με την επέκταση της υπάρχουσας βάσης. Έτσι, όχι μόνο μπορούν να αξιοποιηθούν και οι δύο πλευρές του πρόσθετου τμήματος για την εγκατάσταση ηλεκτρολογικού υλικού, αλλά παρέχεται και η δυνατότητα τοποθέτησης μιας βοηθητικής επιφάνειας για τη φιλοξενία μη ενσωματωμένου εξοπλισμού, με τις απαιτήσεις χώρου να αυξάνονται μόνο καθ' ύψος της διάταξης.

3.2.4. Επιλογή νέου εξοπλισμού

Η διαδικασία επιλογής νέου εξοπλισμού αφορά τις ενέργειες που έγιναν για την εκλογή και την προμήθεια του πάσης φύσεως υλικού που χρησιμοποιήσαμε για την πραγμάτωση των στόχων αυτής της εργασίας. Οι συνθήκες που σχημάτισαν τη νοοτροπία υπό την οποία κινηθήκαμε, επιτρέπουν το διαχωρισμό των όσων εφοδιαστήκαμε σε δύο, κύριες κατηγορίες, με την πρώτη να αφορά τον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό που κρίθηκε απαραίτητος για τη σύσταση των διάφορων τμημάτων, πριν την έναρξη των εργασιών κατασκευής, και τη δεύτερη τα στοιχεία που προμηθευτήκαμε σε επόμενα στάδια εργασίας. Η τελευταία περιλαμβάνει το υλικό που χρησιμοποιήθηκε για τη ανέγερση των επιμέρους, δομικών τμημάτων (ξύλεια, μέταλλα, χρώματα, σιδηρικά κ.ο.κ.), μα και τα στοιχεία εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκαν προς αντικατάσταση των ασύμβατων μερών—δηλαδή που κρίθηκαν ελαττωματικά, χαμηλής ποιότητας ή περιορισμένων δυνατοτήτων—για την ενίσχυση των χαρακτηριστικών ασφαλείας της διάταξης, την ενίσχυση και την αύξηση του πλήθους λειτουργιών του συστήματος κ.α.. Ενδεικτικά παρατίθενται κάποια από τα κυριότερα στοιχεία ηλεκτρολογικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού που χρησιμοποιήσαμε:

- Ηλεκτρονόμος *Schneider TeSys D - LC1D09BL*



Εικόνα 3.2-20: Ο ηλεκτρονόμος LC1D09BL

Πηγή: (ΚΑΥΚΑΣ, n.d.-a)

Είναι επαφάς (*contactor*) που χρησιμοποιούμε για την εκκίνηση του κινητήρα μέσω του προγραμματιζόμενου λογικού ελεγκτή. Το πηνίο του ενεργοποιείται με την παροχή τάσης $24V DC$, μπορεί να διαχειριστεί φορτία έως και $9A (AC-3, 400V)$, διαθέτει τρεις κύριες επαφές και δύο βοηθητικές, μία που παραμένει ανοικτή όσο ο ηλεκτρονόμος είναι αδρανής (*normally open-NO*) και μία που παραμένει κλειστή (*normally closed-NC*). Συνολικά χρησιμοποιήσαμε τρεις τέτοιους ηλεκτρονόμους, έναν για την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος στον κινητήρα και δύο για τη σύνδεση των τυλιγμάτων του σε αστέρα ή τρίγωνο.

- Ηλεκτρονόμος *Schneider TeSys K - LC1K0910P5*

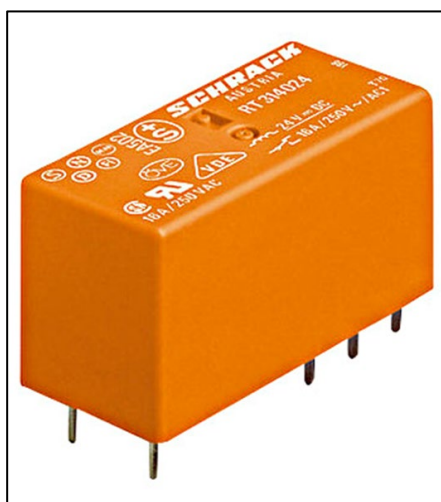


Εικόνα 3.2-21: Ο ηλεκτρονόμος LC1K0910P5

Πηγή: (ΚΑΥΚΑΣ, n.d.-b)

Είναι επαφές που χρησιμοποιούμε, σε συνεργασία με επιλογικό διακόπτη, για να καθορίσουμε με ποιο τρόπο θα χειριστούμε τον κινητήρα, δηλαδή αν θα συνδέσουμε τα άκρα των τυλιγμάτων του στο διακόπτη αστέρα/τριγώνου, ή στη συστοιχία των ρελέ που χειριζόμαστε μέσω του Π.Λ.Ε.. Το πηνίο του συγκεκριμένου ηλεκτρονόμου ενεργοποιείται με την παροχή τάσης $230V AC$ από το δίκτυο, μπορεί να διαχειριστεί φορτία έως και $4kW (AC-3, 400V)$, διαθέτει τρεις κύριες επαφές και μία βοηθητική επαφή που είναι συνήθως ανοικτή (*normally open-NO*) στην οποία εγκαταστήσαμε ενδεικτική λυχνία, για την εποπτεία της λειτουργίας του. Συνολικά χρησιμοποιήσαμε δύο τέτοιες συσκευές, μία για κάθε μορφή ελέγχου εκκίνησης του κινητήρα.

- **Ηλεκτρονόμος Schrack RT114024**



Εικόνα 3.2-22: Ο ηλεκτρονόμος Schrack RT114024

Πηγή: (Schrack, n.d.)

Είναι ρελέ τυπωμένου κυκλώματος (*printed circuit board*), που χρησιμοποιήσαμε σε συνεργασία με τις κατάλληλες βάσεις και ειδικό κουμπί εκτάκτου ανάγκης για τη σύσταση της διάταξης διακοπής της παροχής εναλλασσόμενου ρεύματος στο σύστημα μας. Η ενεργοποίηση του γίνεται με την παροχή τάσης $24V DC$ και τα ονομαστικά στοιχεία λειτουργίας των επαφών του είναι $12A$ στα $250V AC$. Να σημειωθεί πως στο συγκεκριμένο τύπο ηλεκτρονόμου οι επαφές είναι μονίμως κλειστές και με την ενεργοποίηση του μεταβαίνουν μεταξύ ορισμένων θέσεων. Συνολικά χρησιμοποιήσαμε τέσσερα τέτοια ρελέ, ένα για κάθε φάση του δικτύου κι ένα που διαχειρίζεται την τάση ενεργοποίησης που θα δεχθούν τα υπόλοιπα.

Όταν τα ρελέ διακοπής είναι ανενεργά, το ηλεκτρικό ρεύμα κινείται ελεύθερα προς τα υπόλοιπα στοιχεία του συστήματος, ενώ όταν ενεργοποιούνται το ρεύμα ανακατευθύνεται σε ενδεικτικές λυχνίες για την παροχή οπτικής ένδειξης που θα υποδεικνύει πως η παροχή έχει διακοπεί.

- **Τροφοδοτικό *Mean Well EDR-150-24***



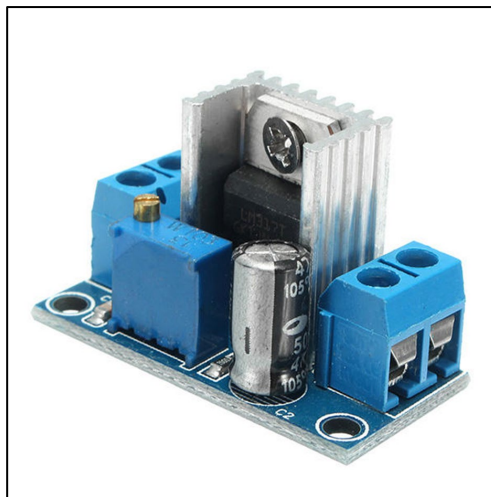
Εικόνα 3.2-23: Το τροφοδοτικό *Mean Well EDR-150-24*

Πηγή: (Mean Well, n.d.)

Είναι τροφοδοτικό που χρησιμοποιεί ρυθμιστές μεταγωγής (*switched-mode power supply*) για τη μετατροπή της τάσης που εξάγει στην επιθυμητή μορφή και τιμή. Τροφοδοτείται με εναλλασσόμενο ρεύμα σε τάση $90V AC$ έως $264V AC$, με την έξοδο του να αγγίζει τα $150W$ στα $24V DC$. Χρησιμοποιήσαμε μία τέτοια μονάδα για την τροφοδοσία του Π.Λ.Ε., της οθόνης διεπαφής μηχανής/χρήστη και γενικότερα όλα τα φορτία συνεχούς ρεύματος—πέραν, ασφαλώς, της διέγερσης της γεννήτριας—της διάταξης μας. Για τις εγκατεστημένες συσκευές που είχαν διαφορετικές απαιτήσεις τάσης τροφοδοσίας, χρησιμοποιήθηκαν μετατροπείς υποβάθμισης που εξετάζονται παρακάτω.

- **Υποβαθμιστής τάσης *LM317***

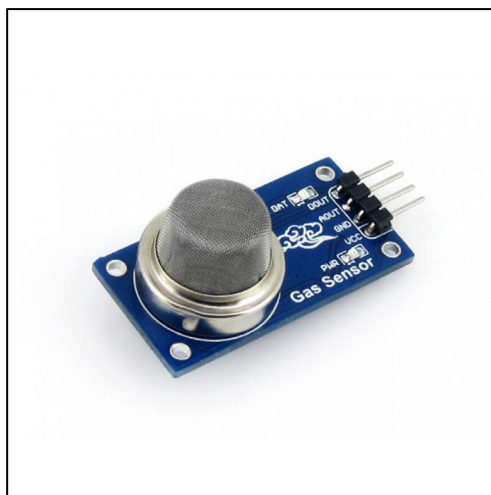
Είναι συσκευή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τον περιορισμό του ρεύματος (*buck converter*) και την υποβάθμιση (*step-down*) της τάσης. Μπορεί να μετατρέψει την τάση $4,2-40V DC$, που δέχεται στην είσοδο του, σε τάση $1,2-37V DC$ για την τροφοδοσία κάποιου φορτίου, έως $1,5A$. Χρησιμοποιήσαμε δύο τέτοιους μετατροπείς, για την παροχή ενέργειας σε συσκευές που απαιτούσαν $9V DC$ και $5V DC$ για τη λειτουργία τους.



Εικόνα 3.2-24: Ο υποβαθμιστής τάσης LM317

Πηγή: (Top Electronics, n.d.-b)

- Αισθητήρας μονοξειδίου



Εικόνα 3.2-25: Ο αισθητήρας μονοξειδίου MQ-7

Πηγή: (Waveshare, n.d.)

Ο αισθητήρας μονοξειδίου «MQ-7» της εταιρείας «Waveshare» λειτουργεί με εφάμιλλα των ηλεκτροχημικών αισθητήρων που περιγράφονται στο θεωρητικό σκέλος της εργασίας. Χρησιμοποιεί για την τροφοδοσία του τάση 2,5-5V DC και μπορεί να εξάγει σήμα τόσο σε αναλογική, όσο και σε ψηφιακή μορφή. Η ικανότητα ανίχνευσης του κινείται στο εύρος 20-2000ppm και εγκαταστάθηκε για την παροχή ενός συμπληρωματικού σήματος που μπορούμε να καταγράψουμε και να διαχειριστούμε μέσα από τον Π.Λ.Ε. και τις δυνατότητες ανάγνωσης αναλογικών σημάτων που διαθέτει.

- **Ελεγκτής ηλεκτρικού κινητήρα συνεχούς ρεύματος**



Εικόνα 3.2-26: Ο ελεγκτής ηλεκτρικού κινητήρα συνεχούς ρεύματος HS2077

Πηγή: (Top Electronics, n.d.-a)

Ο ελεγκτής «HS2077» της εταιρείας «Haitronic», είναι συσκευή που χρησιμοποιεί την τεχνολογία διαμόρφωσης εύρους παλμών (*pulse width modulation-PWM*) για τη μεταβολή της εξόδου της και μπορεί να διαχειριστεί φορτία τάσεως 6-90V DC και ισχύος 0,01-1000W. Στην παρούσα εργασία η χρήση του έγινε για τον έλεγχο της ταχύτητας της αντλίας—μεταβάλλοντας την τάση τροφοδοσίας της—στη διάταξη της δεξαμενής, μέσω του Π.Λ.Ε., με την αφαίρεση του ποτενσιόμετρου που φαίνεται στην παραπάνω φωτογραφία (Εικόνα 3.2-26) και την αντικατάστασή του από την αναλογική έξοδο του ελεγκτή.

- **Άλλα στοιχεία**

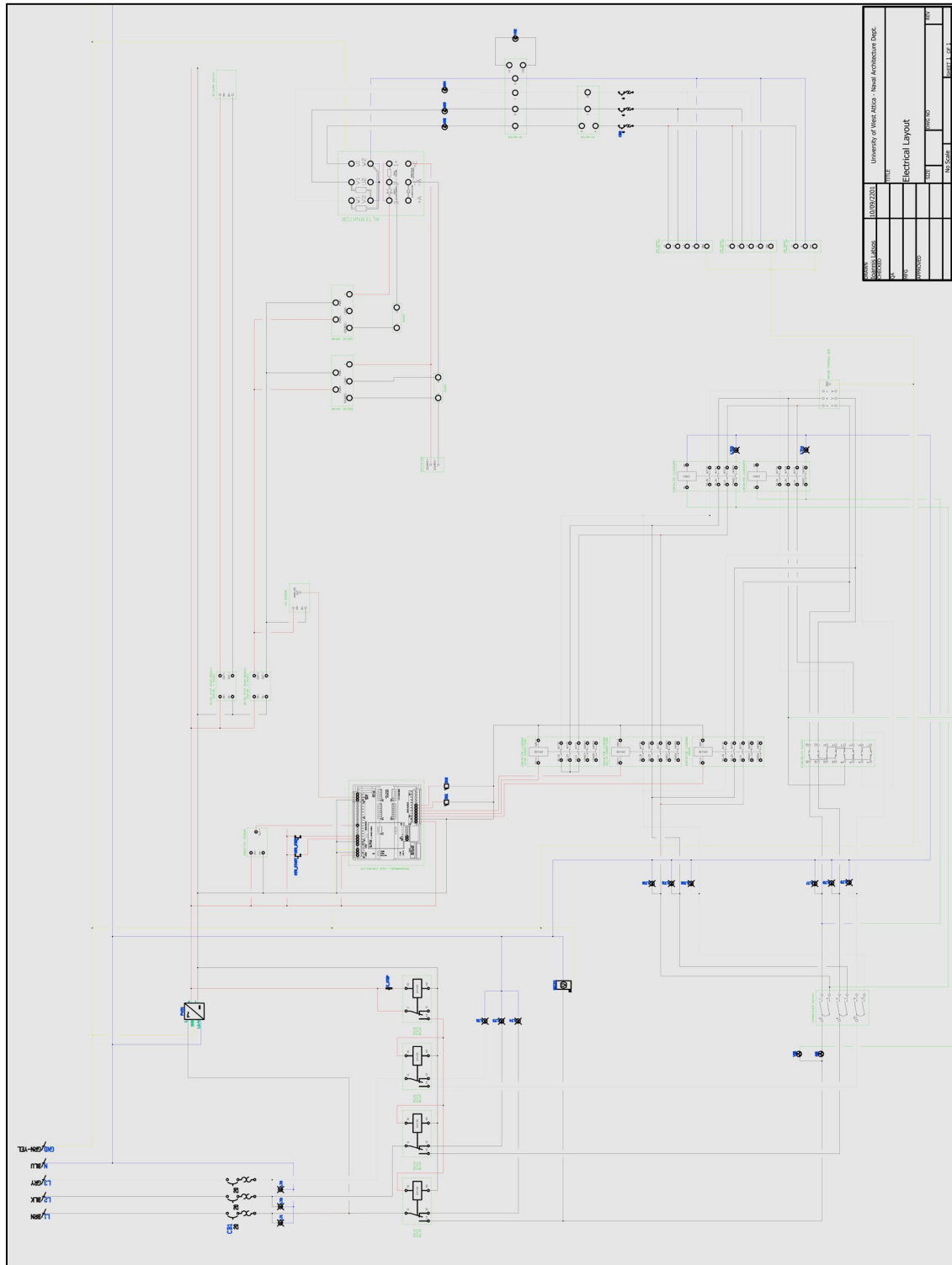
Πέραν του εξοπλισμού στον οποίο αναφερθήκαμε, έγινε χρήση πλήθους υλικού το οποίο δε διαθέτει ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που απαιτούν ειδική αναφορά. Κάποια από αυτά είναι:

- Αυτόματες ασφάλειες, που χρησιμοποιήθηκαν για την προστασία από υπερένταση τόσο στο κύριο κύκλωμα τροφοδοσίας της διάταξης, όσο και στο κύκλωμα εξόδου της γεννήτριας.
- Αναλογικά και ψηφιακά μετρητικά όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για τη μέτρηση στοιχείων λειτουργίας του κινητήρα και της γεννήτριας.
- Διακοπτικό υλικό μεταγωγής, που χρησιμοποιήθηκε τόσο για τον καθορισμό των στοιχείων που θα ελέγξουν τον ηλεκτρικό κινητήρα, όσο και για την πηγή

- (φασική ή πολική μέτρηση για κάθε φάση) μέτρησης του αναλογικού βολτόμετρου στην έξοδο της γεννήτριας.
- Λυχνίες διαφόρων ειδών, για την παροχή οπτικών ενδείξεων λειτουργίας των επιμέρους συστημάτων.
 - Γενικό διακοπτικό υλικό, βιομηχανικού χαρακτήρα.
 - Καλώδια και παρελκόμενα στοιχεία (μπόρνες, ακροδέκτες κ.λπ.)

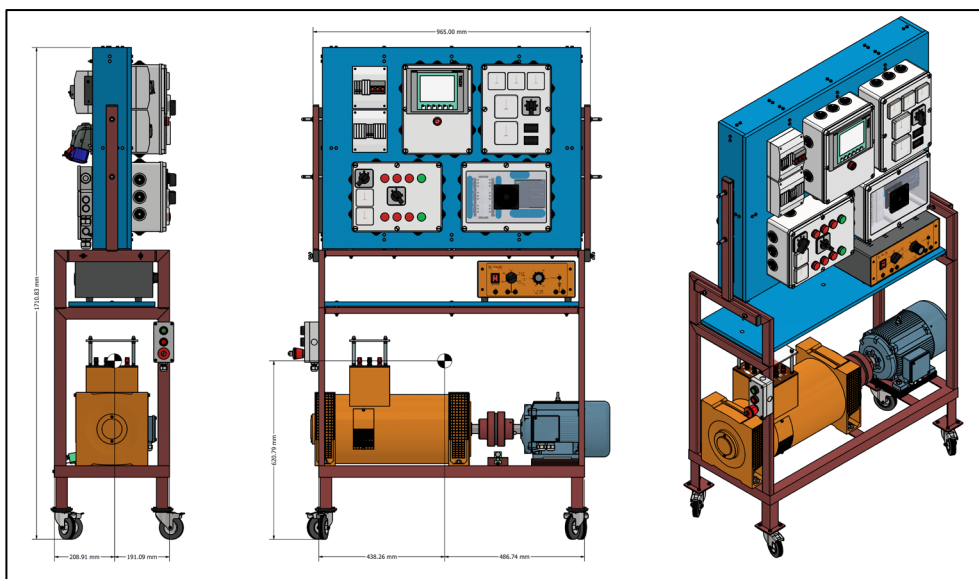
Η επιλογή του νέου εξοπλισμού, αλλά και η γενικότερη οργάνωση και υλοποίηση του συστήματος, πραγματοποιήθηκε έχοντας υπόψιν την παροχή ανοχών που θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν σε μελλοντικές εφαρμογές που θα αναπτύσσονταν με βάση το υπό σύσταση σύστημα. Για παράδειγμα, το ηλεκτρολογικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε για τις ηλεκτρικές συνδέσεις (καλώδια, ακροχιτώνια κ.ο.κ.), διαστασιολογήθηκε για τον εξοπλισμό που θα χρησιμοποιούσαμε και εν συνεχεία επιλέξαμε την αμέσως επόμενη, εμπορικά διαθέσιμη κατηγορία υλικού, εξασφαλίζοντας την ασφάλεια, τη μακροζωία και την επεκτασιμότητα της διάταξης. Βέβαια, οι διάφοροι οικονομικοί και χωρικοί περιορισμοί έδρασαν αρνητικά στη δόμηση του συνόλου κατά τρόπο τέτοιο που να εξασφαλίζεται η πλήρης αξιοποίηση του εκτιμώμενου φάσματος των εφαρμογών του, που όμως καλύφθηκαν σε ένα ικανοποιητικό ποσοστό, υποστηρίζοντας τη χρηστική του αξία.

Με το πέρας της παραπάνω διαδικασίας, προχωρήσαμε στην αναλυτική σχεδίαση της διάταξης, μέσω της οποίας διερευνήθηκαν οι μέθοδοι συναρμογής των δομικών στοιχείων, οι ειδικές χωροταξικές απαιτήσεις του εξοπλισμού, καθώς και ζητήματα μηχανικής αντοχής και ευστάθειας της μονάδας. Ακόμα, αναπτύχθηκε το ηλεκτρολογικό σχέδιο που αφορά τη σύσταση των επιμέρους ηλεκτρικών δικτύων, όπως και τη σύνδεση του εξοπλισμού σε αυτά. Έτσι, δημιουργήθηκε το πλαίσιο τεχνικής τεκμηρίωσης της πορείας υλοποίησης της διάταξης, που αποτέλεσε αρωγό στην περάτωση του κατασκευαστικού τμήματος των εργασιών μέσω των οποίων συστάθηκε το εν λόγω σύστημα.



Εικόνα 3.2-27: Σχέδιο γενικής ηλεκτρολογικής διάταξης

Αρχειακό υλικό



Εικόνα 3.2-28: Ενδεικτικό σχέδιο γενικής διάταξης της κατασκευής
Αρχειακό υλικό

3.3. Υλοποίηση του φυσικού μέρους

3.3.1. Συντήρηση του υπάρχοντος εξοπλισμού

Όπως περιεγράφηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, μεταξύ των απαιτήσεων που αποτέλεσαν τη βάση της εργασίας μας, ήταν η χρήση υπάρχοντος, λειτουργικού υλικού, μα και η επαναξιοποίηση εξοπλισμού που βρισκόταν σε αχρηστία. Με γνώμονα αυτό, σημαντικό χρονικό τμήμα της κατασκευαστικής διαδικασίας αφιερώθηκε στη διερεύνηση των προβλημάτων, την προληπτική συντήρηση και την επισκευή τυχόν βλαβών που θα επηρέαζαν τη λειτουργία του διαθέσιμου εξοπλισμού που αποφασίσαμε να χρησιμοποιήσουμε. Παρά το ερασιτεχνικό τεχνικό πρόσημο της κατασκευής, η διάθεση μας να διατηρήσουμε αυξημένο ποιοτικό επίπεδο υπαγόρευσε τη συμβουλή του εγχειριδίου κάθε διάταξης, και τη συμμόρφωση με τις οδηγίες του σε όποια επέμβαση έγινε. Σε περίπτωση που δεν ήταν διαθέσιμη η τεχνική βιβλιογραφία—και η επικοινωνία με την κατασκευάστρια εταιρεία δεν ήταν καρποφόρα—χρησιμοποιήσαμε βραδέως κλιμακούμενες, πειραματικές μεθόδους για τη διαλεύκανση των λειτουργικών κωλυμάτων και την επιδιόρθωση κάθε επιμέρους μονάδας. Οι εκτενέστερες εργασίες επισκευής και συντήρησης εντοπίζονται στις ακόλουθες περιπτώσεις εξοπλισμού:

- **Ηλεκτρικός κινητήρας επαγωγής**

Ο ηλεκτρικός κινητήρας είναι μέρος του παροπλισμένου, εκπαιδευτικού συνόλου που περιγράψαμε παραπάνω (Εικόνα 3.2-10). Τα αναγνωριστικά στοιχεία που φέρει, υποδεικνύουν πως κατασκευάστηκε από την εταιρεία «Τεχνικά Σ. Μαλκότσης», σε σχεδίαση της εταιρείας «Siemens». Παρατηρώντας το σειριακό αριθμό του κινητήρα, μπορούμε να εικάσουμε πως κατασκευάστηκε περί το 1974.



*Εικόνα 3.3-1: Επιγραφή στοιχείων του κινητήρα
Αρχειακό υλικό*

Καθώς το σύνολο των επιχειρήσεων του κατασκευαστή του κινητήρα, Σωκράτη Μαλκότση, έπαυσε να λειτουργεί στα τέλη του 20^{ου} αιώνα, και η σχεδιάστρια εταιρεία δε διαθέτει—σε ψηφιακή μορφή τουλάχιστον—αρχειακό, τεχνικό υλικό για εξοπλισμό τέτοιας παλαιότητας, η εύρεση κάποιου εγχειριδίου συντηρήσεως ή λειτουργίας ήταν ανέφικτη. Μάλιστα, η μόνη αναφορά που εντοπίσαμε για τη συνεργασία των δύο μερών, εντοπίστηκε σε βιβλίο που αναφέρεται στην ιστορία της αυτοκίνησης στη χώρα μας (Ρούπα & Χεκίμογλου, 2009, pp. 418–419), ενώ την εταιρεία του κ. Μαλκότση θυμίζουν λειτουργικά παραδείγματα των κατασκευών του (κυρίως μηχανές εσωτερικής καύσης) και το εγκαταλειμμένο μηχανουργείο στην περιοχή του Πειραιά (Εικόνα 3.3-2). Είναι, λοιπόν, εμφανές πως οι όποιες εργασίες ελέγχου και συντήρησης έγιναν στον κινητήρα, βασίστηκαν στην τεχνική μας εμπειρία και στο θεωρητικό πλαίσιο των ηλεκτρικών μηχανών.



Εικόνα 3.3-2: Ο χώρος που στέγαζε το μηχανουργείο της εταιρείας "Τεχνικά Σ. Μαλκότσης"

Πηγή: (Google, 2014)

Μέσω ενός οπτικού ελέγχου διαπιστώσαμε πως ο κινητήρας δεν έφερε εμφανή σημάδια μηχανικής φθοράς, πέραν της αλλοίωσης του χρώματος του, και πως μπορούσε να περιστραφεί ελεύθερα, χωρίς να παράγονται ήχοι τριβής μεταξύ μετάλλων. Επομένως, θεωρήσαμε πως οι όποιες διατάξεις εδράσεως χρησιμοποιούνται είναι σε σχετικά καλή κατάσταση.

Καθώς ο συγκεκριμένος κινητήρας είναι επαγωγής, το πλήθος των ηλεκτρολογικών ελέγχων που μπορούν να πραγματοποιηθούν είναι περιορισμένο, μιας και οι σύνθετες ηλεκτρικές συνδέσεις αντικαθίστανται από την αξιοποίηση ηλεκτρομαγνητικών φαινομένων. Κατά συνέπεια, ο μόνος τρόπος να αξιολογήσουμε την ηλεκτρολογική ακεραιότητα του κινητήρα, ήταν μέσω της μέτρησης της ωμικής αντίστασης κάθε ενός εκ των τριών τυλιγμάτων. Η διαδικασία αυτή απέδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα, με τις αντιστάσεις να κυμαίνονται σε παραπλήσιες τιμές, φανερώνοντας την καλή λειτουργική κατάσταση του κινητήρα και την ομοιόμορφη φθορά του υλικού των τυλιγμάτων. Οι μετρήσεις που λάβαμε στο κάθε τύλιγμα του κινητήρα, με τη σειρά που εντοπίζονται στο κυτίο συνδέσεων, φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Κινητήρας	
Τύλιγμα	Αντίσταση (Ω)
3 (Z)	8,6
1 (X)	8,7
2 (Y)	8,6

Πίνακας 3-1: Μετρήσεις αντίστασης των τυλιγμάτων του κινητήρα

Η υπάρχουσα ηλεκτρική σύνδεση τροφοδοσίας, αποτελούταν από καλώδιο τεσσάρων πυρήνων, διατομής περίπου $2,5\text{mm}^2$, που έφερε ακροδέκτες τύπου «μπανάνα», όπως είναι ευκρινές σε παρακάτω εικόνα (Εικόνα 3.3-6). Το καλώδιο είχε σημάδια κόπωσης και συγκρατούνταν στο κυτίο συνδέσεων του κινητήρα με αυτοσχέδιες μεθόδους, παρότι υπήρχαν οι υποδοχές για την εγκατάσταση ειδικών μέσων. Ο κινητήρας λειτουργούσε μονίμως σε συνδεσμολογία αστέρα, όπως είναι ορατό και στην παρακάτω εικόνα.



*Εικόνα 3.3-3: Αρχική κατάσταση καλωδίωσης κινητήρα
Αρχειακό υλικό*

Η παραπάνω διερευνητική πορεία, μας οδήγησε στον περιορισμό των εργασιών αποκατάστασης του κινητήρα στον καθαρισμό των ηλεκτρικών επαφών με τη χρήση ειδικού χημικού προϊόντος, στον καθαρισμό των στοιχείων ψύξεως (ανεμιστήρας, αυλακώσεις) για τη βελτίωση της απαγωγής θερμότητας που εμποδιζόταν λόγω της συσσωρευμένης σκόνης, όπως και την τοποθέτηση στυπιοθλιπτών για τη συγκράτηση των καλωδίων (Εικόνα 3.3-4, Εικόνα 3.3-5).

Τέλος, με τη χρήση καινούργιου καλωδίου—παρόμοιων προδιαγραφών με αυτό που αντικαταστάθηκε—και ενός τριφασικού βιομηχανικού ρευματολήπτη των 16A, πραγματοποιήσαμε συνδεσμολογία τριγώνου στο κυτίο συνδέσεων του κινητήρα, ώστε να μπορούμε να δοκιμάσουμε τη συνολική λειτουργία της ηλεκτροπαραγωγού διάταξης.



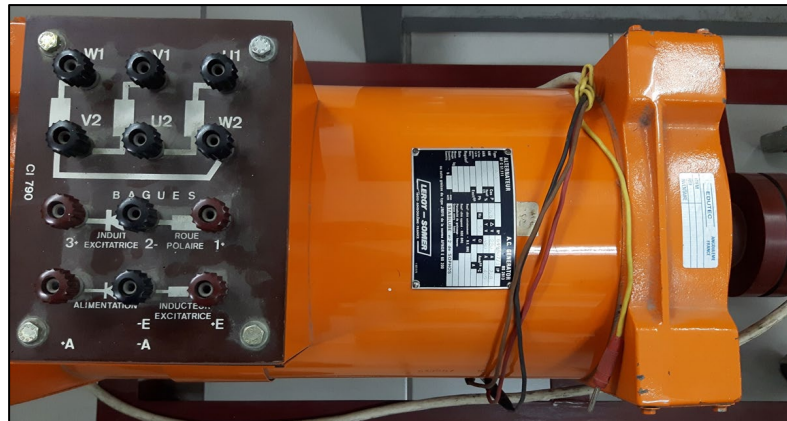
Εικόνα 3.3-4: Τοποθέτηση στυπιοθλιπτών στο κντίο συνδέσεων του κινητήρα
Αρχειακό υλικό



Εικόνα 3.3-5: Καθαρισμός του κινητήρα
Αρχειακό υλικό

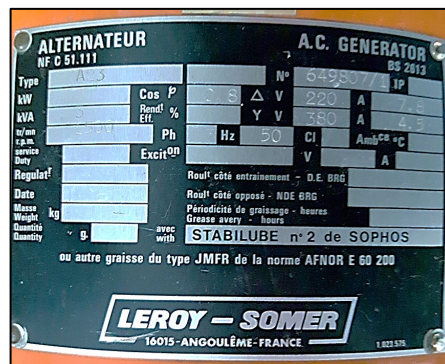
- Σύγχρονη ηλεκτρική γεννήτρια

Η γεννήτρια ανήκει στο ίδιο εκπαιδευτικό σύνολο με τον κινητήρα και η κατάσταση της ήταν εφάμιλλη αυτού. Ο αρχικός έλεγχος δε φανέρωσε μηχανικά προβλήματα, πέραν ενός συριγμού κατά την κίνηση της γεννήτριας, ασχέτως της φοράς που περιστρεφόταν.



Εικόνα 3.3-6: Γενική άποψη της γεννήτριας κατά την έναρξη των εργασιών
Αρχειακό υλικό

Από τα αναγραφόμενα στοιχεία (Εικόνα 3.3-7), διαπιστώσαμε πως η γεννήτρια είχε κατασκευαστεί από την Γαλλική εταιρεία «Leroy-Somer», χωρίς να μπορούμε να προσδιορίσουμε την ηλικία της. Εκτίμηση μας ήταν πως η χρονολογία κατασκευής θα ήταν παραπλήσια αυτής του κινητήρα, δηλαδή μέσα στη δεκαετία 1970-1980.



Εικόνα 3.3-7: Επιγραφή στοιχείων του κατασκευαστή της γεννήτριας
Αρχειακό υλικό

Όπως και στην περίπτωση του κινητήρα, η γεννήτρια δε συνοδεύεται από τεχνική βιβλιογραφία και η εύρεση κάποιου εγχειριδίου συντήρησης ή λειτουργίας, σε ηλεκτρονική μορφή, δεν ήταν δυνατή για τον ακριβή τύπο ηλεκτρικής μηχανής. Καθώς η κατασκευή και συνδεσμολογία της γεννήτριας είναι πολύπλοκη από αυτή του κινητήρα, πριν προχωρήσουμε σε πειραματικές μεθόδους διερεύνησης της λειτουργίας της και στη χρήση τυπικών μεθόδων συντήρησης, κρίναμε χρήσιμο το να εξαντλήσουμε τις πιθανότητες ανεύρεσης τεχνικής βιβλιογραφίας.

Η κατασκευάστρια εταιρεία ανήκει πλέον στον Ιαπωνικό όμιλο «Nidec», που διαθέτει παράρτημα και στη χώρα μας, οπότε και οι προσπάθειες μας στράφηκαν στη γραπτή και τηλεφωνική επικοινωνία τόσο με την έδρα της εταιρείας στο εξωτερικό, όσο και με τον εγχώριο αντιπρόσωπο, όμως εξαιτίας της παλαιότητας της συσκευής—όπως ενημερωθήκαμε—δεν ήταν εφικτός ο εντοπισμός οποιουδήποτε αρχείου.

Ένα ακόμα στοιχείο που μπορούσαμε να ακολουθήσουμε προς αναζήτηση, έστω και των βασικών, βημάτων για τη λειτουργία της γεννήτριας ήταν η επιγραφή της εταιρείας «EDUTEC», με έδρα τη Γαλλία, που εμπορευόταν τέτοιες εκπαιδευτικές διατάξεις.



Εικόνα 3.3-8: Επιγραφή της εμπορευόμενης εταιρείας της γεννήτριας
Αρχειακό υλικό

Μέσα από την έρευνα μας, διαπιστώσαμε πως η επιχείρηση αυτή έπαψε να υπάρχει (Εικόνα 3.3-9), ενώ οι εν ενεργεία θυγατρικές της στην Ευρώπη και την Αμερική, έχουν μετατοπίσει το ενδιαφέρον τους σε δραστηριότητες που δεν άπτονται της σύστασης και εμπορίας εκπαιδευτικών διατάξεων.

Ως ύστατη προσπάθεια, έγινε απόπειρα εύρεσης προσωπικού του ιδρύματος που να είχε χρησιμοποιήσει τη διάταξη, χωρίς όμως να έχουμε αποτέλεσμα. Έτσι, αποφασίσαμε να προχωρήσουμε στη συντήρηση και τη διερεύνηση της λειτουργίας με όσα στοιχεία μπορούσαμε να εκμαιεύσουμε από ένα γενικό εγχειρίδιο για τις γεννήτριες της «Leroy-Somer» εκείνης της χρονικής περιόδου (Leroy-Somer, 1976), τις μηχανολογικές και ηλεκτρολογικές μας γνώσεις, όπως και μια επίπονη, και εξαιρετικά χρονοβόρα, πειραματική διαδικασία που περιγράφεται παρακάτω.

EDUTECH	
Company Number	302666946
Status	Cessée
Incorporation Date	1 January 1975 (almost 47 years ago)
Dissolution Date	29 December 1997
Company Type	Groupement d'intérêt économique (GIE)
Jurisdiction	France
Registered Address	BOULEVARD MARCELLIN LEROY ANGOULEME 16000 CHARENTE FRANCE
Number Of Employees	0

Εικόνα 3.3-9: Κατάσταση της Γαλλικής εταιρείας "EDUTECH"

Πηγή: (OpenCorporates, 2020)

Ο άξονας της γεννήτριας στηρίζεται σε ένα έδρανο ολίσθησης κι ένα έδρανο κύλισης, στα δύο άκρα του κυρίου σώματος της ηλεκτρικής μηχανής. Για το έδρανο ολίσθησης, εκτός του οπτικού και ακουστικού ελέγχου—που πραγματοποιήσαμε όταν ξεκίνησε η ασχολία μας με την επαναφορά της γεννήτριας σε λειτουργική κατάσταση—δεν υπήρχε η δυνατότητα πιο ενδελεχούς ελέγχου, λόγω αδυναμίας προσέγγισης σε αυτό χωρίς την αποσυναρμολόγηση της μηχανής. Από κατασκευής της, η γεννήτρια διαθέτει κάλυμμα που συγκρατείται με κοχλίες για την παροχή πρόσβασης στο έδρανο κύλισης, οπότε και μπορέσαμε να έχουμε μια καλύτερη εικόνα για την κατάσταση του. Έτσι, προβήκαμε στην απομάκρυνση των ιχνών του παλαιού λιπαντικού μέσου (γράσου), με τη χρήση ειδικού καθαριστικού προϊόντος, και τον εκτενή έλεγχο της κατάστασης του. Καθότι δεν εντοπίστηκαν ίχνη σημαντικής μηχανικής φθοράς και με γνώμονα πως η εκπαιδευτική χρήση της γεννήτριας—που συνεπάγεται περιορισμένες ώρες ετήσιας λειτουργίας—δεν θα μπορούσε να έχει οδηγήσει στη συμπλήρωση του ωφέλιμου χρόνου ζωής του εδράνου, εφόσον ακολουθούνταν το πρόγραμμα λίπανσης του κατασκευαστή, προχωρήσαμε στην εφαρμογή γράσου και τη συναρμολόγηση του καλύμματος. Για τη λίπανση του εδράνου χρησιμοποιήθηκε το προϊόν «SKF LGHP 2», που προορίζεται για εφαρμογές από -40°C έως $+150^{\circ}\text{C}$ και, σύμφωνα με τον κατασκευαστή, διαθέτει ικανοποιητικές ιδιότητες λίπανσης και προστασίας.



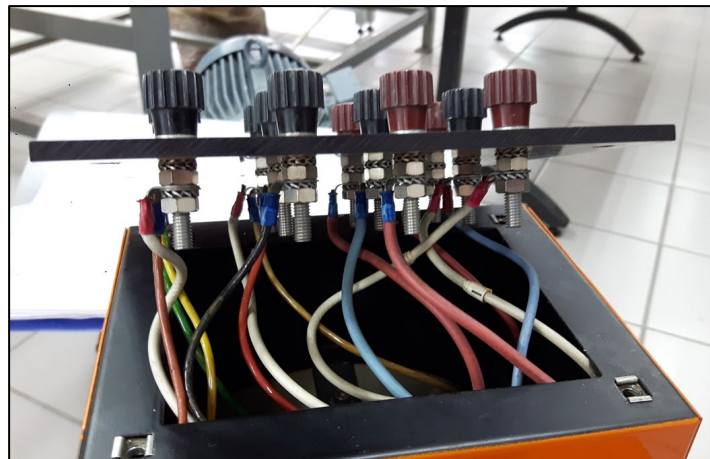
Εικόνα 3.3-10: Επιθεώρηση, καθαρισμός και λίπανση του εδράνου κύλισης (ρουλεμάν) της γεννήτριας Αρχαιακό υλικό

Εν συνεχεία, ασχοληθήκαμε με τον έλεγχο και τον καθαρισμό των ηλεκτρικών τμημάτων που άπτονται του ρότορα της συσκευής. Οι εργασίες μας περιλάμβαναν τον καθαρισμό των δακτυλίων ολίσθησης, με τη χρήση σμυριδόχαρτου, την επιθεώρηση των ψηκτρών και τον γενικότερο καθαρισμό των ηλεκτρικών συνδέσεων με τη χρήση κατάλληλου χημικού προϊόντος. Από αυτή τη διαδικασία καταφέραμε να εντοπίσουμε την πηγή προέλευσης του συριγμού, στον οποίο αναφερθήκαμε παραπάνω, στις ψήκτρες του δεύτερου τυλίγματος. Αν και η παραγωγή ήχων τριβής κατά την κίνηση οποιουδήποτε εξαρτήματος είναι ένδειξη φθοράς, εξαιτίας του ότι το πάχος του υλικού που παραμένει στις ψήκτρες είναι επαρκές, θεωρούμε πως πριν τον παροπλισμό της διάταξης είχαν εκτελεστεί εργασίες αντικατάστασης τους, με αποτέλεσμα οι επιφάνειά τους να μην εφαρμόζει ιδανικά με την επιφάνεια του αντίστοιχου δακτυλίου. Έτσι, κρίναμε πως το πρόβλημα θα υποχωρούσε με τη λειτουργία της διάταξης, όπως και πράγματι συνέβη μετά από κάποιες ώρες λειτουργίας.



*Εικόνα 3.3-11: Επιθεώρηση και καθαρισμός των δακτυλίων ολίσθησης και των ψηκτρών
Αρχαιακό υλικό*

Για την περάτωση των εργασιών συντήρησης της γεννήτριας, συνεχίσαμε στο κυτίο συνδέσεων της, όπου πραγματοποιήθηκε καθαρισμός κι έλεγχος, με αντίστοιχες μεθόδους που εφαρμόστηκαν και στα προηγούμενα σημεία.



*Εικόνα 3.3-12: Επιθεώρηση της καλωδίωσης στο κυτίο συνδέσεων της γεννήτριας
Αρχαιακό υλικό*

Στο στάδιο αυτό, προς έκπληξη μας, διαπιστώσαμε πως οι ηλεκτρικές συνδέσεις δε συμφωνούσαν με τις αντίστοιχες θέσεις που αναγράφονταν στην επιφάνεια που φιλοξενεί τις υποδοχές συνδέσεως (μπόρνες). Απόρροια αυτού του ευρήματος

ήταν η έναρξη της διαδικασίας των πειραματικών δοκιμών, με μόνα βοηθήματα το εγχειρίδιο του συγγενούς εξοπλισμού και όργανα ηλεκτρικών μετρήσεων.



*Εικόνα 3.3-13: Στιγμιότυπο της περιόδου δοκιμών της διάταξης κινητήρα-γεννήτριας
Αρχειακό υλικό*

Κατά την περίοδο των δοκιμών, εντοπίστηκε η προέλευση κάθε επαφής του κυτίου συνδέσεων και ελέγχθηκε η λειτουργία των επιμέρους στοιχείων της διάταξης (λ.χ. δίοδοι για την αποτροπή ανάστροφης σύνδεσης της εξωτερικής πηγής διέγερσης, στοιχεία μετατροπής της τάσης κ.ο.κ.). Όταν καταλήξαμε στη συνδεσμολογία που θεωρήσαμε σωστή, με τη χρήση εξωτερικών τροφοδοτικών συνεχούς ρεύματος, αρχίσαμε τη σταδιακή εφαρμογή ρεύματος διέγερσης, με τα αποτελέσματα κάθε ρύθμισης να αποτιμώνται και να καταγράφονται. Για προφανείς λόγους, σε περίπτωση που υπήρχε οποιαδήποτε αβεβαιότητα ή αμφισβητούνταν η προσωπική μας ασφάλεια ή η ακεραιότητα της γεννήτριας, η πειραματική διαδικασία διακοπτόταν και αξιολογούνταν εκ βάθρων το πλαίσιο όλων των αποφάσεων και ενεργειών μας. Αποτέλεσμα της διαδικασίας αυτής ήταν η επιτυχής επαναφορά της γεννήτριας στην αρχική της κατάσταση και η ορθή της λειτουργία, όπως αποδείχθηκε από την ανάπτυξη της μέγιστης, ονομαστικής τάσης της (Εικόνα 3.3-14).



Εικόνα 3.3-14: Εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για τη διέγερση της γεννήτριας κατά την περίοδο δοκιμών Αρχειακό υλικό

Ολοκληρώνοντας τις εργασίες μας στο συγκεκριμένο εξοπλισμό, όπως και στην περίπτωση του κινητήρα, μετρήσαμε τις αντιστάσεις των τυλιγμάτων για την αξιολόγηση της φθοράς τους, με τις τιμές που καταγράφηκαν να μην υποδεικνύουν σημαντική καταπόνηση.

Γεννήτρια	
Τύλιγμα	Αντίσταση (Ω)
1 (U)	3,2
2 (V)	3,1
3 (W)	3,2

Πίνακας 3-2: Μετρήσεις αντίστασης των τυλιγμάτων της γεννήτριας

Με το πέρας των ενεργειών αποκατάστασης, χρησιμοποιώντας ένα ψηφιακό θερμόμετρο υπερύθρων κι ένα ψηφιακό οπτικό ταχύμετρο, λειτουργήσαμε τη διάταξη με σκοπό την αξιολόγηση της συμπεριφοράς της σε μακρόχρονες περιόδους εργασίας και τον εντοπισμό τυχόν μηχανικών σφαλμάτων που δεν έγιναν ορατά σε προηγούμενα βήματα της διαδικασίας συντήρησης. Αν και τα όργανα που αξιοποιήσαμε στη διαδικασία λήψης τιμών—δηλαδή οικονομικές συσκευές, εξ αποστάσεως μέτρησης—δεν ενδείκνυνται για ακριβείς μετρήσεις, μπορέσαμε να αποκτήσουμε μια εικόνα για τη συμπεριφορά του συνόλου, που αποδείχθηκε εξαιρετικά σημαντική για την επικύρωση των αποτελεσμάτων των εργασιών που πραγματοποιήθηκαν σε αυτή την ενότητα.

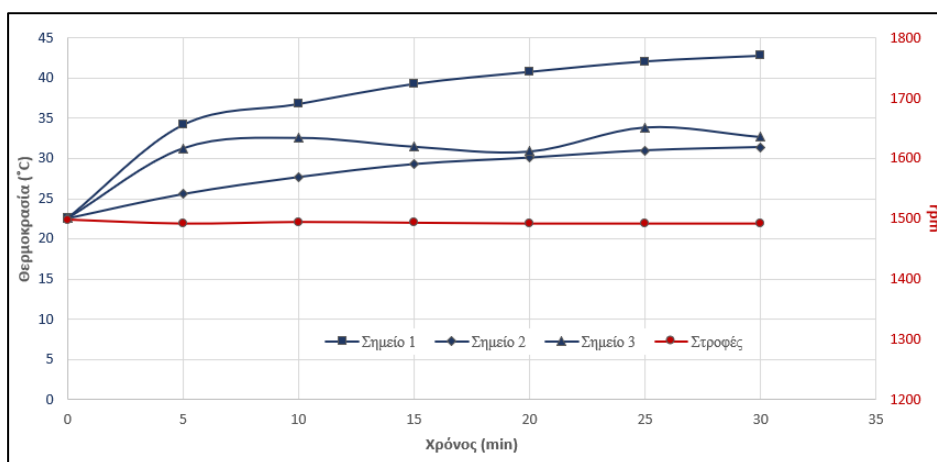
Χρόνος	Σημείο			Στροφές
	1	2	3	
min	°C			rpm
0	22,6	22,6	22,6	1498
5	34,2	25,6	31,3	1493
10	36,8	27,7	32,6	1495
15	39,3	29,3	31,5	1494
20	40,8	30,1	30,9	1493
25	42,1	31	33,9	1493
30	42,8	31,4	32,7	1493

* **Σημείο 1:** Πτερωτή κινητήρα
Σημείο 2: Αριστερό έδρανο γεννήτριας
Σημείο 3: Δακτύλιοι ολίσθησης γεννήτριας

* Οι μετρήσεις λήφθηκαν σε τάση λειτουργίας της γεννήτριας 380V AC, χωρίς φορτίο

* Η θερμοκρασία περιβάλλοντος κατά την έναρξη της καταγραφής των μετρήσεων είναι 23,1 °C

Πίνακας 3-3: Μετρήσεις θερμοκρασίας και ταχύτητας του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους



Εικόνα 3.3-15: Διαγραμματική απεικόνιση των μετρήσεων θερμοκρασίας και ταχύτητας του H/Z

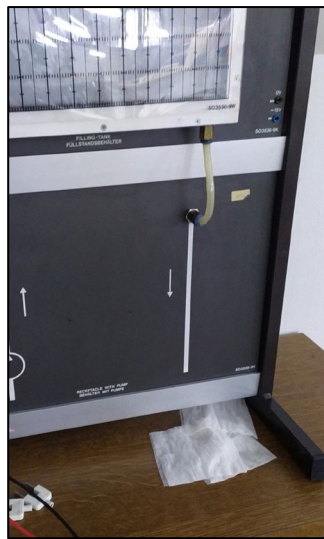
Αρχειακό υλικό

Τα παρατιθέμενα στοιχεία (Πίνακας 3-1, Εικόνα 3.3-15) παρουσιάζουν την εύρυθμη λειτουργία της διάταξης, με την ταχύτητα του κινητήρα να διατηρείται σταθερή και τις θερμοκρασίες που καταγράφηκαν να είναι ομαλά μεταβαλλόμενες στο χρόνο, χωρίς να υποδεικνύει εστίες έντονης μηχανικής ή ηλεκτρικής καταπόνησης. Ένα ζήτημα που παρατηρείται είναι πως η θερμοκρασία στην εκάστοτε θέση μέτρησης, φαίνεται να είναι αυξανόμενη για όλη τη διάρκεια λειτουργίας του συνόλου. Όπως μας έδειξαν επόμενες, μακρύτερης χρονικής περιόδου χρήσεις του συστήματος, η παρατήρηση αυτή δεν ανταποκρίνεται στην

πραγματική συμπεριφορά της διάταξης, με τη λειτουργική θερμοκρασία της να κυμαίνεται μεταξύ 43°C και 50°C —αναλόγως των περιβαλλοντικών συνθηκών— ακόμα και όταν η γεννήτρια τροφοδοτεί αρκετά απαιτητικά, σε ηλεκτρική ενέργεια, φορτία.

- Διάταξη δεξαμενής

Σε αντίθεση με τον προηγούμενο εξοπλισμό, η διάταξη αυτή χρησιμοποιείται τακτικά, μιας και αποτελεί βασικό μέρος της διδασκαλίας του εργαστηρίου του μαθήματος «Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου», οπότε και γνωρίζαμε πως λειτουργούσε ομαλά. Οι γνωστές δυσλειτουργίες του συνόλου αφορούσαν τα ηλεκτρονικά στοιχεία του συστήματος συνεχούς ελέγχου, που όμως δεν αποτελούσαν εμπόδιο στη χρήση του, μιας και ο έλεγχος της δεξαμενής θα γινόταν από τον Π.Α.Ε.. Βέβαια, η διετής περίοδος αδράνειας που προέκυψε εξαιτίας της πανδημίας, εμφάνισε υποβόσκοντα προβλήματα που ήταν αναπόφευκτο να εμφανιστούν εξαιτίας της ηλικίας της μονάδας (ως χώρα κατασκευής αναφέρεται η Δυτική Γερμανία, άρα η πλέον αισιόδοξη χρονολόγηση είναι τα τριάντα έτη).



*Εικόνα 3.3-16: Γενική άποψη της προβληματικής περιοχής στη διάταξη της δεξαμενής
Αρχαιακό υλικό*

Από την πρώτη μας επαφή με τη διάταξη, για την αξιολόγηση της απόκρισης του ελεγκτή, έγιναν εμφανή δύο μείζονα ζητήματα στη λειτουργία της. Αρχικά παρατηρήθηκε σημαντική διαρροή νερού από την περιοχή της δεξαμενής (Εικόνα 3.3-16), δημιουργώντας τον κίνδυνο πρόκλησης κάποιου βραχυκυκλώματος στον παρελκόμενο, ηλεκτρονικό εξοπλισμό που μοιράζεται κοινή επιφάνεια

τοποθέτησης με το σύστημα, ενώ η σταδιακή μείωση της στάθμης του κύριου δοχείου τροφοδοσίας (Εικόνα 3.3-19)—που ενδεχομένως να έφτανε σε επικίνδυνα χαμηλά επίπεδα, αν δεν παρακολουθούταν τακτικά—αύξανε τόσο το φορτίο της αντλίας, όσο και τον κίνδυνο ξηράς λειτουργίας της. Η περιοχή του προβλήματος εντοπίστηκε στο σύστημα απορροής της δεξαμενής, όπως φαίνεται στην ακόλουθη φωτογραφία, με την εστία της να εντοπίζεται στο σωλήνα και στο εξάρτημα συγκράτησης του, στο κάτω μέρος του δοχείου.



Εικόνα 3.3-17: Εντοπισμός του στοιχείου πρόκλησης του υδραυλικού κωλύματος
Αρχαιακό υλικό

Προς επιδιόρθωση της βλάβης, τα εξαρτήματα συγκράτησης στα άκρα του σωλήνα αφαιρέθηκαν και καθαρίστηκαν με τη χρήση μιας συρμάτινης βούρτσας και ήπιου διαλύματος οξέος—προκειμένου να περιοριστεί η φθορά της επιφάνειάς τους, μιας και το κύριο σώμα τους φαίνεται να είναι κατασκευασμένο από ορείχαλκο—όπως και η καταστροφή των πλαστικών τμημάτων τους. Με την αφαίρεση των αλάτων που ήταν συσσωρευμένα στην επιφάνειά τους, όπως και του υλικού που είχε χρησιμοποιηθεί αρχικά για τη στεγάνωσή τους, εφαρμόσαμε εκ νέου υλικό στεγανοποίησης στο σπείρωμα τους (*PTFE*) και τα εγκαταστήσαμε στις προηγούμενες θέσεις τους. Ο σωλήνας που συνέδεε τα δύο σημεία αντικαταστάθηκε από εύκαμπτο σωλήνα (*PVC*) εξωτερικής διαμέτρου 8mm , βαρέως τύπου—καθότι προορίζεται για χρήση σε δίκτυα καυσίμου, διαθέτοντας αυξημένο πάχος τοιχωμάτων—ώστε να εξασφαλιστεί η μακροβιότητα της επισκευής.



*Εικόνα 3.3-18: Η προβληματική περιοχή μετά τις διορθωτικές ενέργειες
Αρχειακό υλικό*

Το δεύτερο ζήτημα που χρειάστηκε να αντιμετωπίσουμε αφορούσε τη δυσκολία της αντλίας να εκκινήσει, ακόμα και μετά από μικρές περιόδους αδρανείας της, απαιτώντας να φτάσουμε στο 80% της ονομαστικής τάσης τροφοδοσίας της για να περιστραφεί. Αν και για τους βηματικούς ελεγκτές που χρησιμοποιούνταν στη διάταξη το πρόβλημα αυτό ήταν ελάχιστον, ο συνεχής έλεγχος που θέλαμε να εφαρμόσουμε απαιτούσε να είναι διαθέσιμο το πλήρες εύρος των ταχυτήτων λειτουργίας της αντλίας. Εκτίμηση μας ήταν πως το κώλυμα προέκυπτε εξαιτίας της συγκέντρωσης αλάτων στη διάταξη, έπειτα από μόλυνση του συστήματος από την πλήρωση του δοχείου αποθήκευσης της με μη απιονισμένο νερό, που ενδέχεται να είχε γίνει στο παρελθόν.



*Εικόνα 3.3-19: Το δοχείο αποθήκευσης του υγρού της δεξαμενής και η αντλία
Αρχειακό υλικό*

Έτσι, προχωρήσαμε στην αφαλάτωση της διάταξης χρησιμοποιώντας διάλυμα κιτρικού οξέος, που σχηματίστηκε έχοντας με γνώμονα τον όγκο που μπορούσε να περιέχει ασφαλώς το δοχείο αποθήκευσης (Εικόνα 3.3-19). Καθώς στοχεύαμε σε ήπιας μορφής επέμβαση, η κατά βάρος περιεκτικότητα του διαλύματος υπολογίστηκε ως ακολούθως:

$$\begin{aligned} \% \frac{W}{W} &= \frac{W_{C_6H_8O_7}}{W_{\text{Διαλύματος}}} 100\% = \frac{W_{C_6H_8O_7}}{W_{C_6H_8O_7} + W_{H_2O}} 100\% = \\ &= \frac{W_{C_6H_8O_7}}{W_{C_6H_8O_7} + (\rho_{H_2O} * V_{H_2O})} 100\% \end{aligned} \quad (3-a)$$

Όπου:

$w_{C_6H_8O_7}$: το βάρος του κιτρικού οξέος (g)

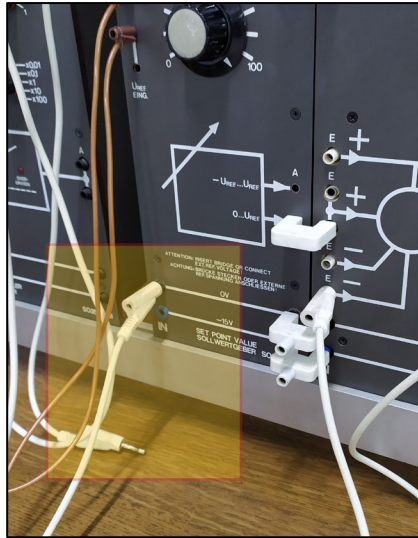
w_{H_2O} : το βάρος του νερού (g)

ρ_{H_2O} : η πυκνότητα του γλυκού, καθαρού νερού (kg/L)

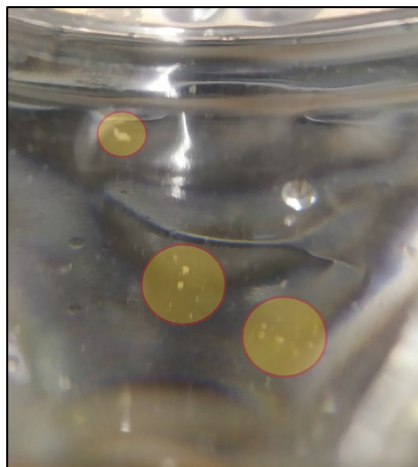
V_{H_2O} : ο όγκος του γλυκού, καθαρού νερού (L)

Σύμφωνα με την παραπάνω σχέση, θεωρώντας ως όγκο του νερού τη διπλάσια χωρητικότητα της πειραματικής δεξαμενής (που είναι και η ποσότητα που προσθέσαμε στο δοχείο αποθήκευσης, δηλαδή 2 λίτρα), λαμβάνοντας την πυκνότητα του νερού 1kg/L και στοχεύοντας σε περιεκτικότητα 2%, καταλήξαμε στην προσθήκη περίπου 40 γραμμαρίων κιτρικού οξέος. Ακόμα, για την εκτέλεση της διαδικασίας αφαλάτωσης απαιτήθηκε η τροποποίηση της συνδεσμολογίας της διάταξης έτσι ώστε να ακυρωθεί η ανάδραση και να επιτραπεί η συνεχόμενη λειτουργία της αντλίας (Εικόνα 3.3-20).

Ο καθαρισμός του συστήματος επιτεύχθηκε σε τρία στάδια, με τα δύο πρώτα να διαρκούν για τουλάχιστον μισή ώρα έκαστο κατά την οποία το προαναφερθέν διάλυμα κυκλοφορούσε στο δίκτυο της δεξαμενής, ενώ στο τελευταίο πραγματοποιήθηκε η απόπλυση του οξειδωτικού διαλύματος. Τέλος, επαναφέραμε τη συνδεσμολογία στην πρότερη της κατάσταση, πληρώσαμε τη δεξαμενή αποθήκευσης με απιονισμένο νερό και δοκιμάσαμε το σύστημα που φάνηκε να λειτουργεί απρόσκοπτα.



Εικόνα 3.3-20: Τροποποίηση της συνδεσμολογίας για την αφαλάτωση του συστήματος
Αρχαιακό υλικό



Εικόνα 3.3-21: Ενδεικτική απεικόνιση των αλάτων που αφαιρέθηκαν από το σύστημα
Αρχαιακό υλικό

3.3.2. Σύσταση της διάταξης

Η ενότητα αυτή αφορά την περιγραφή της δημιουργίας του συστήματος, μέσω της κατεργασίας, της διαμόρφωσης και της συναρμολόγησης των επιμέρους υλικών στοιχείων σε ένα ενιαίο σύνολο. Η οργάνωση των εργασιών πραγματοποιήθηκε βάσει της χρονικής σειράς με την οποία οι πρώτες ύλες και ο εξοπλισμός έγιναν διαθέσιμα, ώστε να περιοριστούν οι καθυστερήσεις στην ολοκλήρωση της κατασκευής. Μιας και η εκτεταμένη αναφορά στο πρακτικό τμήμα της διαδικασίας σύστασης της μονάδας θεωρείται ελάσσονος σημασίας στη γενικότερη τεχνική προσφορά αυτής της εργασίας,

περιγράφουμε κατά το δυνατόν συμπυκνμένα τα στάδια της, με ειδικότερη ανάλυση να γίνεται σε επόμενο κεφάλαιο, στα σημεία που θεωρούμε τα πλέον διδακτικά.

Η κατασκευαστική πορεία ξεκίνησε με τη προετοιμασία των εμπρόσθιων επιφανειών των κυτίων εξοπλισμού, ώστε να καταστεί εφικτή η εγκατάσταση των στοιχείων που θα τοποθετούνταν σε αυτές. Αν και δοκιμάστηκαν διαφορετικές μέθοδοι κατεργασίας του πλαστικού (όπως λ.χ. η θερμική), καταλήξαμε στη χρήση συμβατικών, χειροκίνητων και ηλεκτρικών εργαλείων (δίσκοι κοπής, τρυπάνια, κυλινδρικής μορφής σφυριδόχαρτο για χρήση σε ειδικό προσάρτημα κ.α.) για τη διαμόρφωση των επιφανειών. Η επιλογή αυτή πραγματοποιήθηκε μέσα από μια διαδικασία πειραματισμού με τη χρήση δοκιμίων από υλικό παρόμοιο με αυτό των κυτίων εξοπλισμού, από την οποία παρατηρήθηκε πως προέκυπταν τα βέλτιστα αποτελέσματα όσον αφορά τόσο την ποιότητα της επιφάνειας μετά την κατεργασία, όσο και την ακρίβεια με την οποία μπορούσαμε να προσεγγίσουμε τις απαιτούμενες διαστάσεις.



*Εικόνα 3.3-22: Παράδειγμα διαμόρφωσης κυτίου εξοπλισμού
Αρχαιακό υλικό*

Στη συνέχεια, εγκαταστήσαμε τον επιμέρους εξοπλισμό που απαιτούσε να φέρει κάθε κυτίο στην επιφάνεια του, βάσει του χωροταξικού σχεδιασμού που προηγήθηκε. Ακόμα, ελέγξαμε την ορθή συμπεριφορά κινούμενων μερών που μπορεί να διέθετε το κάθε στοιχείο, μιας και ενδέχεται να επηρεάζονταν από τις μηχανικές συνθήκες εγκατάστασης του υλικού (όπως, για παράδειγμα, τη ροπή σύσφιξης των κοχλιών συγκράτησης). Στο στάδιο αυτό, πέραν του ελέγχου της συναρμογής, μας δόθηκε η ευκαιρία να επανεξετάσουμε και να αξιολογήσουμε τόσο την εργονομία της

οργάνωσης του εξοπλισμού, όσο και την ηλεκτρολογική χωροταξία που θα θέλαμε να επιτευχθεί—δηλαδή διαχωρισμός υλικού που τροφοδοτείται, ή διαχειρίζεται, ασθενή ή ισχυρά ρεύματα, απομάκρυνση των συσκευών του συνεχούς από αυτές του εναλλασσόμενου ρεύματος κ.ο.κ.—προς ενίσχυση της ηλεκτρικής ασφάλειας της διάταξης και τον περιορισμό ανεπιθύμητων παρενεργειών (λ.χ. ηλεκτρικός θόρυβος) κατά τη λειτουργία ευαίσθητων, ηλεκτρονικών συσκευών.



*Εικόνα 3.3-23: Παράδειγμα κτιίου εξοπλισμού με εγκατεστημένα τα επιμέρους στοιχεία
Αρχεϊακό υλικό*

Έπειτα, με τη χρήση κατάλληλων ηλεκτρικών αγωγών, πραγματοποιήσαμε τις επιμέρους ηλεκτρικές συνδέσεις μεταξύ γειτνιαζόντων μονάδων που φιλοξενούνταν στο εκάστοτε κτιίο εξοπλισμού. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν κατά κύριο λόγο δύσκαμπτα, μονοπολικά καλώδια—που η διατομή τους δεν απαρτίζεται από πολλαπλούς κλώνους χαλκού, αλλά από ένα συμπαγές, αγωγίμο σώμα—εκτός απ' όπου αυτό κρίθηκε ανέφικτο ή περιττό (συσκευές με κατασκευαστική καλωδίωση μικρής διατομής, μονάδες περιορισμένων ηλεκτρικών απαιτήσεων, σημαντική δυσκολία στη διέλευση και την οργάνωση δύσκαμπτων καλωδίων κ.ο.κ.). Πέραν των παραπάνω, η επιλογή της μορφής των καλωδίων προέκυψε με γνώμονα τον περιορισμό των χωρικών απαιτήσεων της καλωδίωσης, παράγοντας που βελτιώνεται από τα δύσκαμπτα καλώδια, μιας και καταλαμβάνουν όγκο που μπορεί να προκαθοριστεί καθώς δε μεταβάλλεται σημαντικά κατά τη μετακίνηση του φορέα τους (σε αντίθεση με τα εύκαμπτα καλώδια που μπορεί να πάρουν σχήμα τέτοιο που να οδηγήσει σε πρόσθετες απαιτήσεις χώρου από τις προβλεπόμενες). Τέλος, τα άκρα των καλωδίων

τερματίστηκαν με τη χρήση ειδικών ακροδεκτών—συμβατών με τις υποδοχές κάθε μονάδας—ενώ για τη γεφύρωση των πρόσθιων τμημάτων με το σταθερό μέρος κάθε κυτίου, χρησιμοποιήθηκαν μονωμένοι ηλεκτρικοί σύνδεσμοι (κλέμες) και εύκαμπτα καλώδια κατάλληλης διατομής για κάθε λειτουργία.



*Εικόνα 3.3-24: Ενδεικτική απεικόνιση της καλωδίωσης των σταθερών συσκευών σε κντίο εξοπλισμού
Αρχειακό υλικό*

Η παραπάνω διαδικασία επαναλήφθηκε σε κάθε περίπτωση κντίου εξοπλισμού ή ηλεκτρικού πίνακα μπορούσε να εφαρμοστεί, οδηγώντας στο σχηματισμό πλήθους γεωμετρικά ολοκληρωμένων συνόλων που μπορούσαν να τοποθετηθούν στην κύρια επιφάνεια.



*Εικόνα 3.3-25: Συγκεντρωτική απεικόνιση των ολοκληρωμένων κντίων εξοπλισμού
Αρχειακό υλικό*

Ύστερα προχωρήσαμε στην προμήθεια και την προετοιμασία των ξύλινων τμημάτων που θα συνιστούσαν το κύριο σώμα της πρόσθετης διάταξης (κυτίο καλωδίωσης). Οι επιφάνειες εξομαλύνθηκαν με τη χρήση σμυριδόχαρτου και στη συνέχεια εφαρμόστηκε ειδικό υπόστρωμα (αστάρι «*Vitex Velatura*»), σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή, ώστε να επιτευχθούν καλύτερα αποτελέσματα κατά τη διαδικασία βαφής τους. Η τελική βαφή των ξύλινων επιφανειών έγινε με τη χρήση μπλε χρώματος πολλαπλών («*TetraLux*» *RAL 5015*) σε πολλαπλές στρώσεις για την ομοιόμορφη κάλυψη και την επαρκή προστασία των επιφανειών.



Εικόνα 3.3-26: Ενδεικτική απεικόνιση της προετοιμασίας δομικών στοιχείων του κυτίου καλωδίωσης
Αρχαιακό υλικό

Εν συνεχεία, προχωρήσαμε στη συναρμολόγηση του κυτίου καλωδίωσης, χρησιμοποιώντας ανοξείδωτους κοχλίες, περικόχλια, και παρελκόμενα στοιχεία σύνδεσης. Για τον περιορισμό της μετακίνησης των τμημάτων και την εξασφάλιση της αξιόπιστης σύνδεσης τους, παρά την επήρεια των περιβαλλοντικών μεταβολών στη μηχανική συμπεριφορά των ξύλων, ως γενική ροπή σύσφιξης επιλέχθηκαν τα $14Nm$. Στο σημείο αυτό πρέπει να διευκρινιστεί πως η ροπή σύσφιξης που επιλέξαμε υπερβαίνει ελαφρώς τη μέγιστη, ενδεδειγμένη τιμή ροπής για τους κοχλίες που χρησιμοποιήσαμε, όμως το μηχανικό αποτέλεσμα της απόκλισης, παραλαμβάνεται—και εν μέρει ακυρώνεται—από τις παραμορφώσεις που είχαν προκληθεί στις ξύλινες επιφάνειες, οπότε θεωρούμε μηδαμινή την υπέρβαση της αξονικής καταπόνησης στα στοιχεία συγκράτησης.



Εικόνα 3.3-27: Στιγμιότυπο της διαδικασίας κατασκευής του κτιρίου καλωδίωσης
Αρχειακό υλικό

Το επόμενο πεδίο που εστιάσαμε, αφορούσε την κατασκευή του πρόσθετου, μεταλλικού τμήματος της βάσης στο οποίο θα εδραζόταν το κτιίο καλωδίωσης όπως και η βοηθητική επιφάνεια. Για το σκοπό αυτό, επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε κοιλοδοκούς, ορθογωνικής διατομής, που υπήρχαν διαθέσιμες μετά τη χρήση τους σε οικοδομικές εργασίες. Όπως είναι προφανές, η κατάσταση τους δεν επέτρεπε την απευθείας χρήση τους στην εφαρμογή για την οποία τις προορίζαμε, καθώς είχαν στην επιφάνεια τους υπολείμματα των δομικών υλικών. Έτσι—αφού ελέγξαμε πως το πάχος του υλικού δεν εμφάνιζε σημαντική απόκλιση από την ονομαστική του τιμή, που θα επηρέαζε την αντοχή τους—καθαρίσαμε τις δοκούς από τα ξένα στοιχεία, απομακρύναμε την επιφανειακή οξείδωση, με τη χρήση μεταλλικής βούρτσας, και εφαρμόσαμε ειδικό χημικό προϊόν (*WD-40*) για την προστασία τους, μέχρι να κατεργαστούν (Εικόνα 3.3-28).

Έπειτα, οι μεταλλικές δοκοί κόπηκαν στις απαιτούμενες διαστάσεις, με τη γεωμετρία των άκρων τους να καθορίζεται από τη σχεδιαστική διαδικασία που προαναφέρθηκε. Τα επιμέρους στοιχεία συγκεντρώθηκαν (Εικόνα 3.3-29) και η επιφάνεια τους καθαρίστηκε από τυχόν ξένα στοιχεία, μα και από το χημικό μέσο που χρησιμοποιήθηκε για την προστασία τους από οξείδωση, ώστε να περιορίσουμε την πιθανότητα εμφάνισης τυχόν προβλημάτων στη διαδικασία της συγκόλλησής τους.



Εικόνα 3.3-28: Στάδια καθαρισμού και προστασίας των μεταλλικών δοκών
Αρχειακό υλικό



Εικόνα 3.3-29: Συγκεντρωτική απεικόνιση των μεταλλικών στοιχείων του πρόσθετου τμήματος της βάσης
Αρχειακό υλικό

Ύστερα, προχωρήσαμε στη συγκόλληση των μεταλλικών δοκών στο κύριο σώμα της βάσης της διάταξης κινητήρα-γεννήτριας—αφού τα σημεία επαφής του πρόσθετου τμήματος με την υπάρχουσα βάση απαλλάχθηκαν από ακαθαρσίες και χρώμα που θα περιόριζε την αγωγιμότητα των μετάλλων, άρα και την ποιότητα της κόλλησης—με τη χρήση της μεθόδου τόξου προστατευμένου μετάλλου (*shielded metal arc welding-SMAW/S.M.A.W.*) και ηλεκτροδίου κατάλληλης διατομής, για την επίτευξη του απαιτούμενου πάχους κόλλησης. Μετά την παραπάνω διαδικασία, και με την πάροδο

επαρκούς χρόνου για την ψύξη των στοιχείων, οι κολλήσεις καθαρίστηκαν και εξομαλύνθηκαν με τη χρήση γωνιακού τροχού λείανσης, αποδίδοντας το βέλτιστο δυνατό αποτέλεσμα όσον αφορά την ομαλότητα και τη γεωμετρική συνοχή του κατασκευάσματος.



Εικόνα 3.3-30: Στιγμιότυπο της διαδικασίας συγκόλλησης του τμήματος που προστέθηκε στη βάση
Αρχειακό υλικό

Με την έναρξη των εργασιών βαφής, για να επιτευχθεί η μεγιστοποιηθεί πρόσφυση του χρώματος, ειδικά στο «γυμνό» μέταλλο, εκτραχύνουμε τις επιφάνειες που προορίζονταν για βαφή με τη χρήση σμυριδόχαρτου, ενώ πριν να ξεκινήσουμε το χρωματισμό καθαρίσαμε επιμελώς κάθε τμήμα ώστε να απαλλαγεί από υπολείμματα ακαθαρσιών που θα επηρέαζαν το τελικό αποτέλεσμα (ανωμαλίες στην επιφάνεια, «ξεφλούδισμα» χρώματος κ.α.). Αν και καταβλήθηκαν σημαντικές προσπάθειες για την εύρεση εμπορικά διαθέσιμης μπογιάς που θα ταυτίζεται με την υπάρχουσα απόχρωση δεν ήταν εφικτός ο εντοπισμός κάποιου άμεσα διαθέσιμου προϊόντος, οπότε και εφαρμόσαμε παραπλήσιο χρώμα (*Vivlock No. 16*) πάντα σύμφωνα με τις οδηγίες που παρέχει ο κατασκευαστής (Εικόνα 3.3-31).

Συνεχίζοντας, προχωρήσαμε στη διάνοιξη των απαραίτητων οπών, από τις οποίες θα διέρχονταν οι κοχλίες συγκράτησης κάθε δομικού στοιχείου της διάταξης, με την ακριβή τοποθεσία τους να προκύπτει ως συνάρτηση των προκαθορισμένων—βάσει

σχεδίων—διαστάσεων και των γεωμετρικών ιδιοτήτων κάθε μέρους. Ολοκληρώνοντας τη διαμόρφωση των μεταλλικών τμημάτων, μπορέσαμε να προχωρήσουμε στην τοποθέτηση των ξύλινων επιφανειών, ξεκινώντας με την εγκατάσταση της βοηθητικής επιφάνειας, χρησιμοποιώντας κοχλίες ειδικών εφαρμογών (καρόβιδες) και τα απαιτούμενα, παρελκόμενα στοιχεία (Εικόνα 3.3-32).



Εικόνα 3.3-31: Βαφή των μεταλλικών επιφανειών
Αρχεϊακό υλικό



Εικόνα 3.3-32: Εγκατάσταση της βοηθητικής επιφάνειας
Αρχεϊακό υλικό

Χρησιμοποιώντας εφάμιλλα μέσα συγκράτησης, τοποθετήσαμε το κύριο σώμα του κυτίου καλωδίωσης και τα πλευρικά, μεταλλικά τμήματα που έχουν ως στόχο τους να ενισχύσουν τη στήριξη και να βελτιώσουν την αντοχή του—ειδικά του κάτω μέρους και των συνδετικών στοιχείων του—σε εξωτερικές δυνάμεις και στρεπτικές καταπονήσεις. Με αντίστοιχες μεθόδους, τοποθετήθηκαν οι επιμέρους ηλεκτρικοί πίνακες και τα κυτία εξοπλισμού στην πρόσθια επιφάνεια του (Εικόνα 3.3-34).



Εικόνα 3.3-33: Τοποθέτηση κυτίου καλωδίωσης και ενισχυτικών στοιχείων
Αρχειακό υλικό



Εικόνα 3.3-34: Τοποθέτηση ηλεκτρικών πινάκων και κυτίων εξοπλισμού
Αρχειακό υλικό

Για την εξασφάλιση της ηλεκτρικής προστασίας τόσο των εκπαιδευόμενων, όσο και όποιων επέμβουν τεχνικά στην μονάδα, φροντίσαμε να γειώσουμε κάθε μεταλλικό στοιχείο που θα μπορούσε να έρθει σε επαφή με ηλεκτροφόρο αγωγό, χρησιμοποιώντας δύσκαμπτο καλώδιο με μόνωση κατάλληλου χρωματισμού. Σε ειδικές περιπτώσεις που η γείωση δεν ήταν εφικτό να πραγματοποιηθεί, καλύψαμε—κατά το δυνατόν—τα εκτεθειμένα στοιχεία με πλαστική, εύκαμπτη σωλήνα ώστε να περιορίσουμε την πιθανότητα επαφής τους με δυνητικά επικίνδυνα σώματα.



Εικόνα 3.3-35: Γείωση των εκτεθειμένων μεταλλικών στοιχείων στο κούτιο καλωδίωσης

Αρχαιακό υλικό

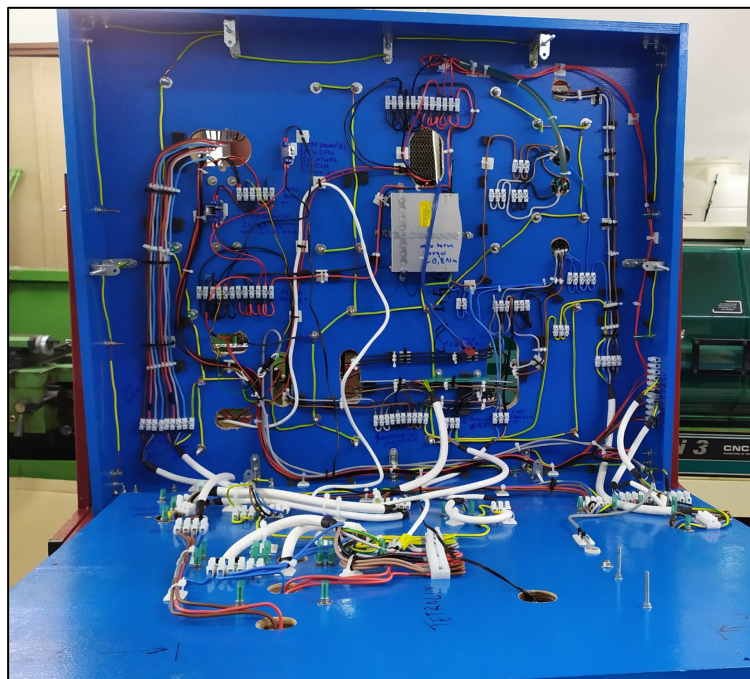
Στη συνέχεια, προχωρήσαμε στη δοκιμαστική τοποθέτηση των επιμέρους στοιχείων εξοπλισμού, ώστε να διαπιστωθεί η ύπαρξη επαρκών ανοχών για την ομαλή εγκατάσταση και λειτουργία τους, καθώς και να διευκολυνθεί η σύσταση της καλωδίωσης τους. Ακόμα, στο σημείο αυτό έγιναν εμφανείς οι όποιες ελλείψεις (σε υλικό στήριξης, οπές διέλευσης καλωδίων ανεπαρκούς μεγέθους κ.α.), οπότε και διορθώθηκαν πριν εγκατασταθεί μόνιμα ο εξοπλισμός.

Με το πέρας της παραπάνω διαδικασίας, μπορέσαμε να ξεκινήσουμε την καλωδίωση κάθε μονάδας μέσω προσεκτικών ενεργειών εγκατάστασης των αγωγών και ελέγχου των συνδέσεων, που βοήθησαν στην αποφυγή ηλεκτρολογικών σφαλμάτων η επίλυση των οποίων θα ήταν εξαιρετικά επίπονη και χρονοβόρα δεδομένου του μεγέθους του συστήματος και της έκτασης των λειτουργιών. Όπως και στην περίπτωση των κούτιων εξοπλισμού προτιμήσαμε τη χρήση μονόκλωνων, δύσκαμπτων καλωδίων, διατηρώντας τη φιλοσοφία ορθού τερματισμού και στήριξης τους. Εύκαμπτα καλώδια χρησιμοποιήθηκαν στις ειδικές περιπτώσεις που προαναφέραμε, με κύριο κριτήριο της

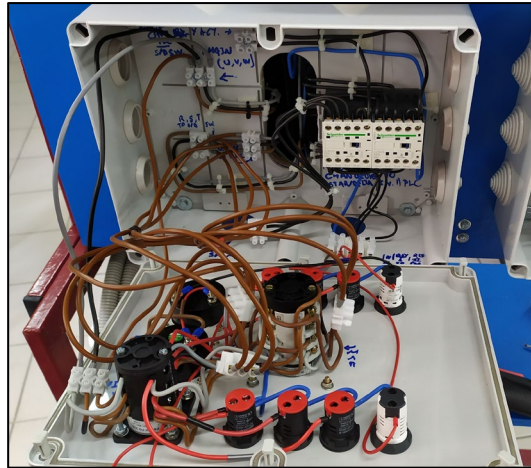
χρήσης τους τη διέλευση από περιοχές που σημειώνονταν σημαντικές γεωμετρικές μεταβολές.



*Εικόνα 3.3-36: Τοποθέτηση ηλεκτρολογικού και ηλεκτρονικού υλικού
Αρχειακό υλικό*



*Εικόνα 3.3-37: Άποψη του κτιίου καλωδίωσης μετά την ολοκλήρωση των ηλεκτρικών συνδέσεων
Αρχειακό υλικό*



*Εικόνα 3.3-38: Ενδεικτική απεικόνιση της ολοκληρωμένης καλωδίωσης σε κούτιο εξοπλισμού
Αρχεϊακό υλικό*

Με την περάτωση των συνδέσεων στο τμήμα διαχείρισης και ελέγχου, προχωρήσαμε στην εγκατάσταση και την καλωδίωση των εξωτερικών στοιχείων, διατηρώντας τη νοοτροπία που εφαρμόσαμε και στα προηγούμενα τμήματα, ώστε να ολοκληρώσουμε τη φυσική κατασκευή της μονάδας.



*Εικόνα 3.3-39: Άποψη της ολοκληρωμένης μονάδας
Αρχεϊακό υλικό*

Τέλος, για την παράδοση ενός πλήρως λειτουργικού και εύχρηστου εκπαιδευτικού συνόλου, δημιουργήσαμε κατάλληλα μέσα για τη σύνδεση ηλεκτρικών φορτίων με τους βιομηχανικούς ρευματοδότες (CEE) που τροφοδοτούνται από τη γεννήτρια (Εικόνα 3.3-40, Εικόνα 3.3-41), ενώ συναρμολογήσαμε και μια μονάδα (Εικόνα 3.3-42) που ευνοεί τη χρηστικότητα του ελεγκτή (Εικόνα 3.2-26) της αντλίας της διάταξης της δεξαμενής σε πειραματικές διαδικασίες. Παρά τον προφανή σκοπό των μέσων σύνδεσης στη γεννήτρια, πρέπει να διευκρινιστεί πως ο λειτουργικός στόχος της παρέμβασης μας στον ελεγκτή της αντλίας έγινε κυρίως για την προστασία των χρηστών του από την έκθεση σε ηλεκτρικούς ή θερμικούς κινδύνους (εξαιτίας του ότι αναπτύσσεται σημαντική θερμοκρασία στους απαγωγείς θερμότητας που διαθέτει), μα και για να διευκολυνθεί και να επιταχυνθεί η σύνδεση του με τον ελεγκτή και τις ελεγχόμενες μονάδες.



Εικόνα 3.3-40: Μονοφασικός, βιομηχανικός ρευματολήπτης που καταλήγει σε ρευματοδότη τύπου "F" (schuko)
Αρχειακό υλικό



Εικόνα 3.3-41: Βιομηχανικός, τριφασικός ρευματολήπτης που καταλήγει σε μπόρνες
Αρχειακό υλικό



Εικόνα 3.3-42: Η τελική μορφή της μονάδας του ελεγκτή της αντλίας (driver)

Αρχειακό υλικό

Μολονότι ειδικές συνθήκες και τεχνικά προβλήματα, που περιγράφονται σε επόμενο κεφάλαιο, μας οδήγησαν στο να αποκλίνουμε από την προγραμματισμένη οργάνωση σε διάφορα σημεία της διαδικασίας κατασκευής, το αποτέλεσμα της κατασκευαστικής διαδικασίας δοκιμάστηκε εκτενώς και αποδίδει ικανοποιητικά, αποτελώντας μια σημαντική προσθήκη στον εξοπλισμό του εργαστηρίου, παρά τις όποιες ατέλειες ακολουθούν το ερασιτεχνικό πρόσημο που διαθέτει η κατασκευή.

3.4. Προγραμματισμός των ηλεκτρονικών μονάδων

Ίσως το πιο σύνθετο πρόβλημα στη συγγραφή μιας τεχνικά προσανατολισμένης εργασίας είναι η περιγραφή μιας εφαρμογής, κατά τρόπο τέτοιο που να γίνεται κατανοητή από τον αναγνώστη, με την αποδόμηση της στα πρωτόλεια μέσα που τη συντελούν και την αναδόμηση της μέσα από μια διαδικασία σαφούς επεξήγησης του λειτουργικού υποβάθρου κάθε στοιχείου της. Σε αυτή την ενότητα, λοιπόν, προσπαθούμε να καταγράψουμε με σχετική πληρότητα, τη διαδικασία παραμετροποίησης και προγραμματισμού των μονάδων που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση των διεργασιών αυτομάτου ελέγχου που εμφανίζονται στο υπό ανάπτυξη σύστημα. Ακόμα, περιγράφονται η λειτουργία και ο σκοπός τόσο των ενοτήτων, όσο και των κυριότερων δομικών στοιχείων των προγραμμάτων που συντάχθηκαν, δημιουργώντας ένα περίγραμμα της γενικότερης ροής εργασιών που εκτελούνται.

3.4.1. Σύντομη περιγραφή της δομής προγραμματισμού

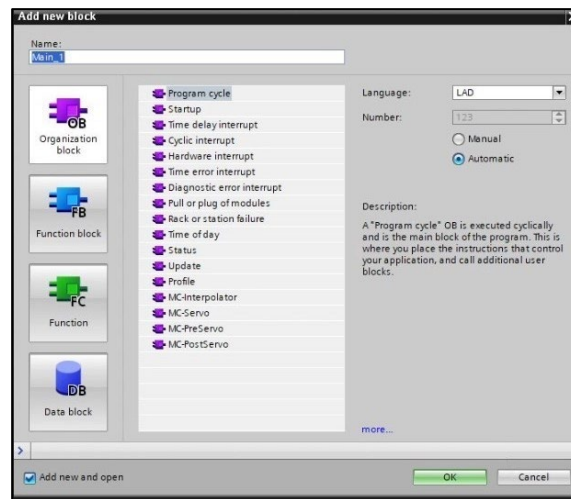
Προς διευκόλυνση του αναγνώστη στο να κατανοήσει τη διαδικασία με την οποία οργανώθηκε και συντάχθηκε το πρόγραμμα για την επιτέλεση της εκάστοτε διεργασίας, κρίνεται χρήσιμη μια σύντομη αναφορά στη δομή του λογισμικού. Όπως προαναφέραμε, ο ελεγκτής που χρησιμοποιούμε μπορεί να διαχειριστεί προγράμματα που έχουν γραφεί στις γλώσσες *LAD*, *FBD* και *SCL*, με την τελευταία να είναι η μοναδική στην οποία η σύνταξη γίνεται με τη χρήση κώδικα και όχι μέσω γραφικά αναπαριστάμενων οδηγιών. Παρά τη γλώσσα που θα επιλεγεί, η οργάνωση του έργου γίνεται σε δομοστοιχεία οργάνωσης (*organization block-OB*), συναρτήσεις (*functions*), δομοστοιχεία συναρτήσεων (*function block-FB*) και δομοστοιχεία δεδομένων (*data block-DB*).

Τα δομοστοιχεία οργάνωσης αποτελούν το συνδετικό κρίκο μεταξύ του χρήστη και του λειτουργικού συστήματος της μονάδας ελέγχου, καθώς περιέχουν το πρόγραμμα για την εκτέλεση μιας εργασίας. Η σύνταξη ενός προγράμματος συνήθως επιτυγχάνεται με τη χρήση των ενσωματωμένων εντολών (*instructions*), με την εισαγωγή συναρτήσεων ή μέσω κώδικα, και εκκινείται με πλήθος διαφορετικών τρόπων που καθορίζονται κατά τη δημιουργία των στοιχείων (Εικόνα 3.4-1), όπως βάσει της ιεραρχίας του συνολικού προγράμματος, με περιοδική επανάληψη, σε συγκεκριμένη ώρα της ημέρας, κατά την εκκίνηση του ελεγκτή κ.ο.κ..

Τα δομοστοιχεία συναρτήσεων και οι συναρτήσεις είναι προγραμματιστικά αντικείμενα που είναι κατασκευασμένα για να μπορούν να κληθούν με αρκετά μεγάλη ευελιξία και συνήθως προτιμώνται για την απλούστευση του προγραμματισμού επαναλαμβανόμενων διεργασιών. Θεμελιώδης διαφορά των δύο μορφών είναι πως οι συναρτήσεις δε διαθέτουν μνήμη, σε αντίθεση με τα δομοστοιχεία συναρτήσεων στα οποία αποθηκεύονται οι παράμετροι εισόδου, εξόδου και εισόδου-εξόδου (*in-out parameters*).

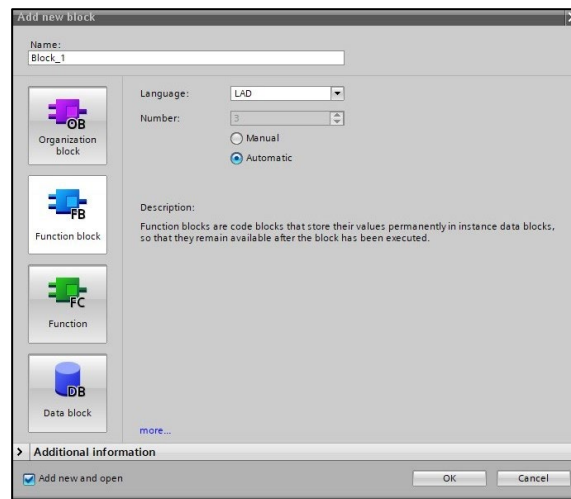
Τα δομοστοιχεία δεδομένων βρίσκουν χρήση στην αποθήκευση των τιμών του προγράμματος και στα οποία έχουν πρόσβαση όλες οι προηγούμενες μορφές αντικειμένων προγραμματισμού. Η διαδικασία δημιουργίας τους είναι αντίστοιχη αυτής των δομοστοιχείων συναρτήσεων. Διακρίνονται σε «καθολικά» (*global*) που

ορίζονται απευθείας από το χρήστη, και «περιπτώσιακά» (*instance*) που προκύπτουν ως απόρροια της εκτέλεσης κάποιας συνάρτησης. Η διαδικασία δημιουργίας των δομοστοιχείων αυτών πραγματοποιείται παρομοίως με τα προηγούμενα, μέσω του σχετικού παραθύρου στο λογισμικό προγραμματισμού (Εικόνα 3.4-2).



Εικόνα 3.4-1: Δημιουργία δομοστοιχείων οργάνωσης

Αρχειακό υλικό

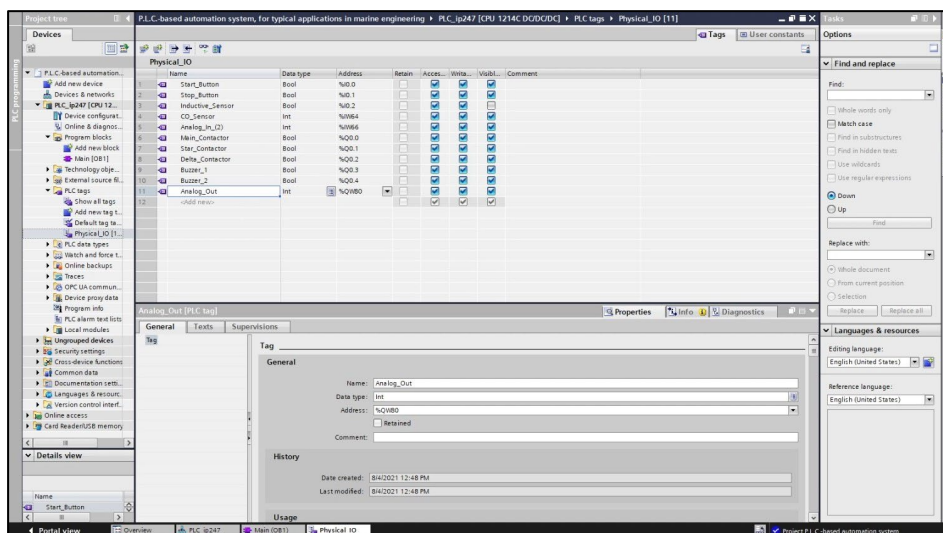


Εικόνα 3.4-2: Δημιουργία αντικειμένου συνάρτησης

Αρχειακό υλικό

Κλείνοντας την αναφορά μας, είναι σημαντικό να αναφερθεί πως η οργάνωση των πάσης φύσεως δεδομένων στο πρόγραμμα του ελεγκτή γίνεται με τη χρήση ετικετών που χαρακτηρίζονται από την ονομασία τους και από διεύθυνση που τους αποδίδεται είτε εγγενώς στο σύστημα, είτε από το χρήστη. Η τιμή που περιέχει η κάθε ετικέτα

καθορίζει τον απαιτούμενο τύπο δεδομένων που θα επιλεγεί—δηλαδή πως θα περιέχει δυαδική τιμή (*Bool*), ακέραιο αριθμό (*Integer-Int*), πραγματικό αριθμό (*Real*), κάποια λέξη (*Word*) κ.λπ.—και θα αποτελέσει χαρακτηριστικό της παρουσίας της στο πρόγραμμα.



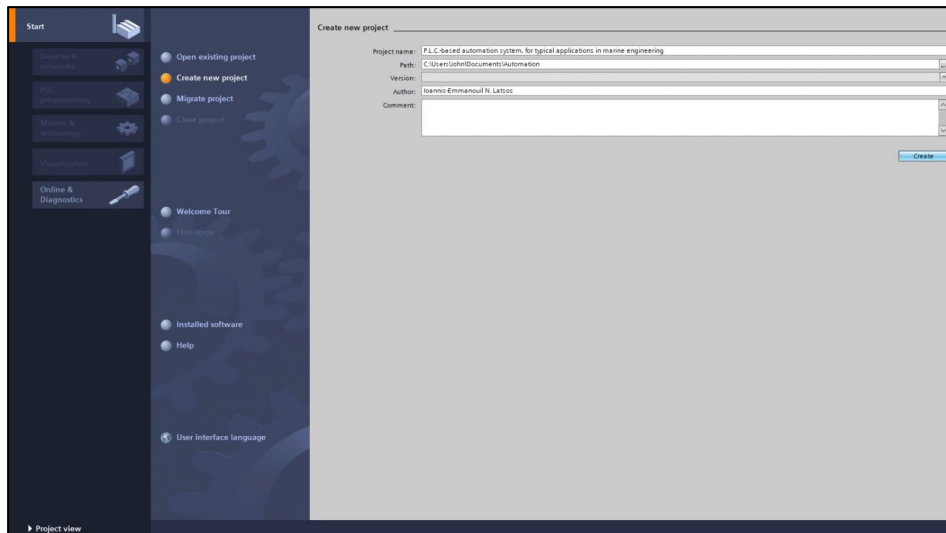
Εικόνα 3.4-3: Ενδεικτική απεικόνιση λίστας ετικετών του συστήματος

Αρχεακό υλικό

3.4.2. Παραμετροποίηση του ελεγκτή

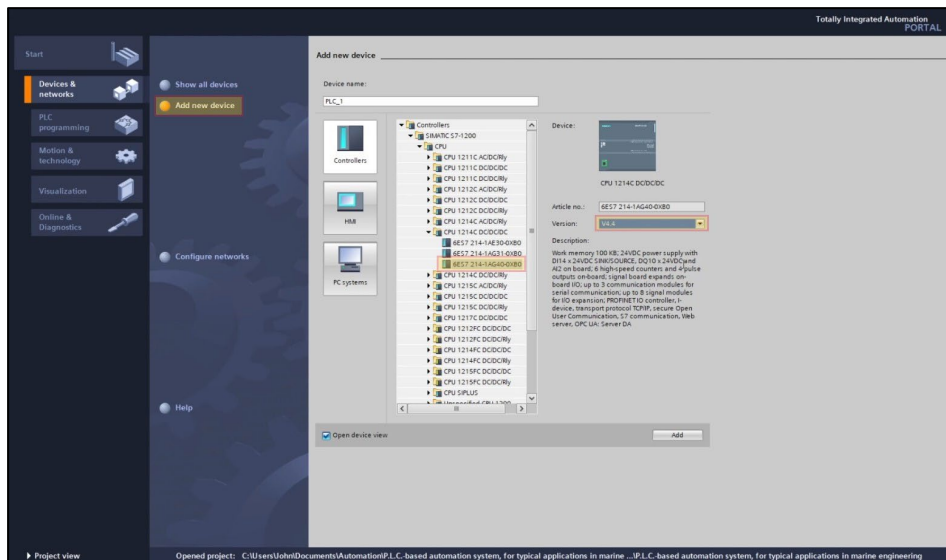
Η διαδικασία του προγραμματισμού έχει ως αφετηρία της τη δημιουργία ενός νέου έργου (*project*) στο λογισμικό «*TIA Portal*», με το χρήστη να πρέπει να δηλώσει το όνομα του αρχείου και τη διεύθυνση στην οποία θα αποθηκευτεί στον προσωπικό ηλεκτρονικό υπολογιστή που συντάσσεται το πρόγραμμα. Επίσης δίνεται η δυνατότητα παράθεσης πρόσθετων πληροφοριών που αφορούν τα στοιχεία του προγραμματιστή, όπως και γενικά σχόλια σχετικά με το πρόγραμμα (Εικόνα 3.4-4).

Στη συνέχεια, ορίζεται η κύρια ελεγκτική μονάδα που χρησιμοποιείται—βάσει του εμπορικού κωδικού προϊόντος—όπως και η έκδοση του υλικολογισμικού (*firmware*) που διαθέτει, ώστε να «καθοδηγήσουμε» το πρόγραμμα αναφορικά με τα χαρακτηριστικά και τις δυνατότητες του ελεγκτή που πρόκειται να παραμετροποιηθεί (Εικόνα 3.4-5). Σε αυτή την οθόνη μας δίνεται επίσης η ευκαιρία να ονοματίσουμε τη συσκευή που θα προστεθεί, έχοντας τη δυνατότητα να μεταβάλλουμε την επιλογή μας σε επόμενο στάδιο.



Εικόνα 3.4-4: Οθόνη σύστασης νέου προγράμματος στο λογισμικό "TIA Portal"

Αρχειακό υλικό

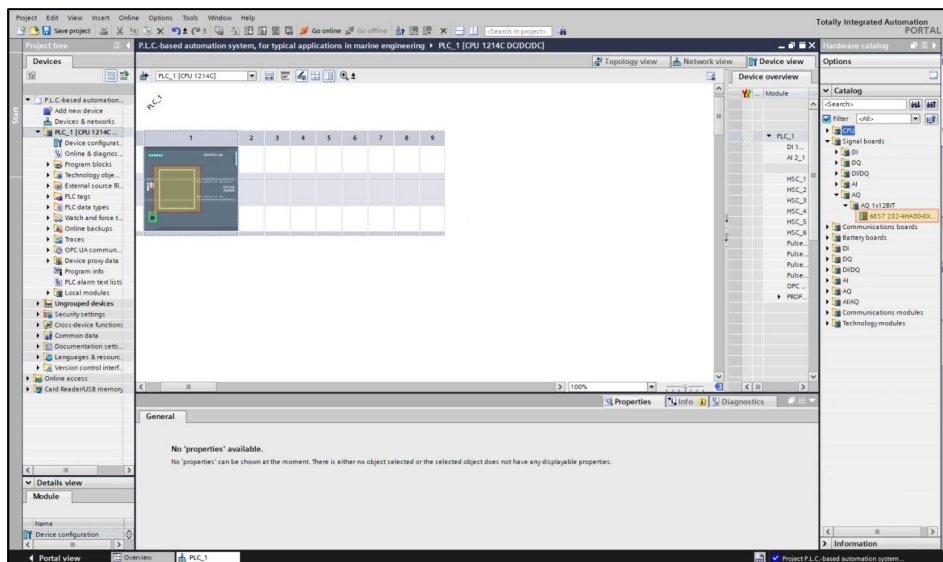


Εικόνα 3.4-5: Αρχική οθόνη προσθήκης νέας συσκευής

Αρχειακό υλικό

Με το πέρας αυτών των βημάτων, το πρόγραμμα διαθέτει πλέον τα απαραίτητα στοιχεία για τη σύσταση ενός νέου έργου, οπότε και οδηγούμαστε στην κύρια διεπαφή που χρησιμοποιείται από το λογισμικό (*project view*) για οποιαδήποτε ενέργεια αφορά τις μεταβλητές, ψηφιακές ιδιότητες και το πρόγραμμα των μονάδων που περιέχει. Από το στάδιο αυτό και ύστερα, ο χρήστης διαθέτει την πλήρη ελευθερία να κινηθεί όπως κρίνει σκόπιμο για την οργάνωση του έργου του, έχοντας πρόσβαση σε όλο το εύρος των δυνατοτήτων του προγράμματος (όπως προσθήκη επιπλέον συσκευών, σύσταση νέου προγράμματος ή ανάγνωση υπάρχοντος από τις μονάδες που διαθέτει κ.ο.κ.). Στο

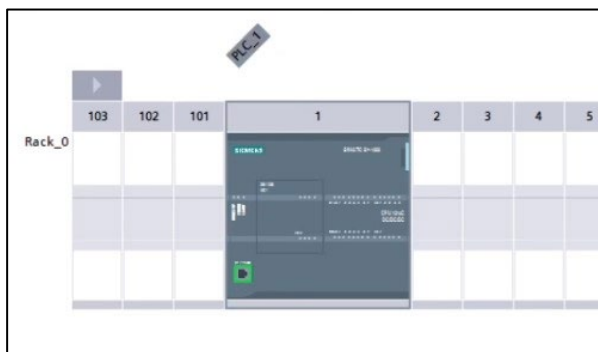
σημείο αυτό, λοιπόν, μπορούμε να προσθέσουμε τη μονάδα επέκτασης αναλογικής εξόδου που χρησιμοποιούμε, επιλέγοντας την αντίστοιχη θύρα στη γραφική απεικόνιση του ελεγκτή και στη συνέχεια τη διαθέσιμη μονάδα—χρησιμοποιώντας πάντοτε το εμπορικό αναγνωριστικό της—από τον κατάλογο υλικών επεκτάσεων.



Εικόνα 3.4-6: Διαδικασία προσθήκης μονάδων επέκτασης στο λογισμικό προγραμματισμού

Αρχειακό υλικό

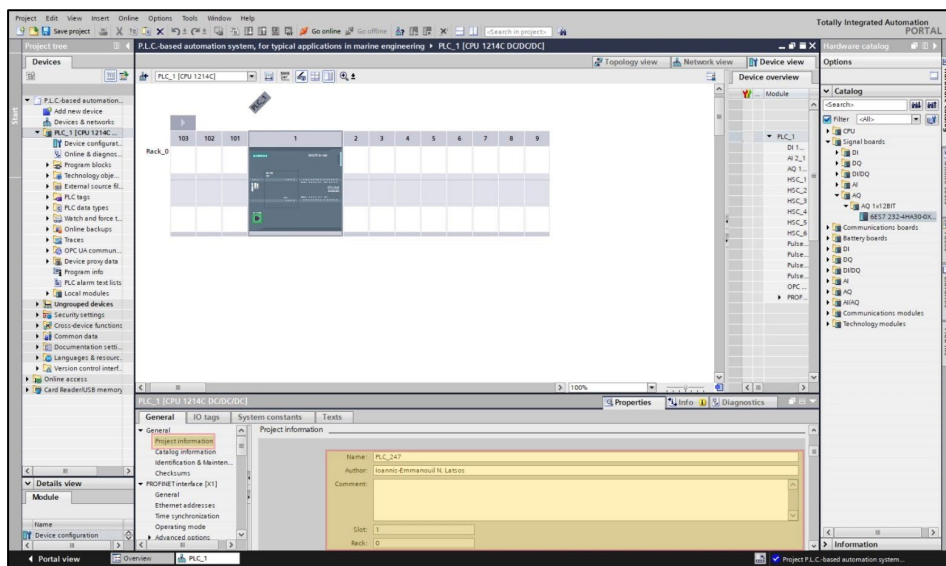
Όπως αναφέραμε και παραπάνω, με αυτή τη διαδικασία το πρόγραμμα θα μας επιτρέψει να χρησιμοποιήσουμε το υλικό που προστέθηκε, κάνοντας διαθέσιμη τη διεύθυνση μνήμης που αφορά την τιμή της συγκεκριμένης μονάδας εξόδου, για χρήση της στο πρόγραμμα. Η επιτυχής ολοκλήρωση της διαδικασίας αναπαρίσταται γραφικά, με τη μονάδα να εμφανίζεται πλέον ως μέρος του σώματος του ελεγκτή.



Εικόνα 3.4-7: Γραφική απεικόνιση της επιτυχούς προσθήκης της μονάδας επέκτασης

Αρχειακό υλικό

Έπειτα, πηγαίνοντας στον κατάλληλο κατάλογο επιλογών (*project information*), μπορούμε να προχωρήσουμε στη διόρθωση ή τη συμπλήρωση στοιχείων που αφορούν το πρόγραμμα ως προς τον ελεγκτή, όπως είναι η θέση του σε κάποιο ερμάριο ηλεκτρολογικού εξοπλισμού—που περιγράφεται ως συνάρτηση ραφιού (*rack*) και υποδοχής (*slot*) που βρίσκεται φυσικά ο ελεγκτής—το όνομα της μονάδας κ.α.. Μιας και η διάταξη μπορεί να βρίσκεται στο δίκτυο συγχρόνως με άλλους ελεγκτές, αξιοποιήσαμε αυτό το βήμα για να ονοματίσουμε τη συσκευή βάσει των τελευταίων ψηφίων της διεύθυνσης διαδικτυακού πρωτοκόλλου (*internet protocol address-IP/I.P.*) που της αποδώσαμε, δηλαδή «*PLC_ip247*».

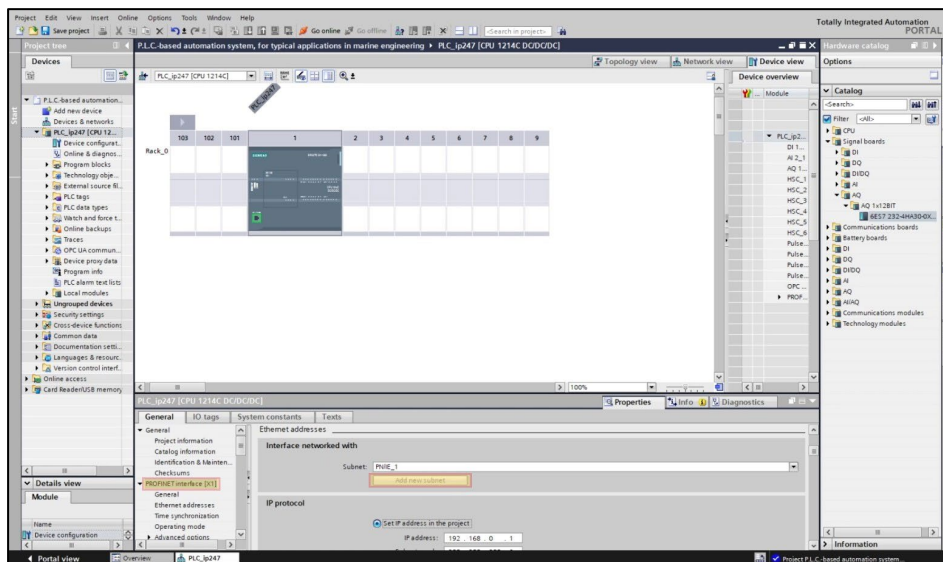


Εικόνα 3.4-8: Παραμετροποίηση των πληροφοριών της συσκευής

Αρχαιακό υλικό

Προχωρώντας στη ρύθμιση της συσκευής μας, χρησιμοποιούμε τον κατάλογο ρυθμίσεων επικοινωνίας για να δημιουργήσουμε ένα νέο υπό-δίκτυο (*subnet*) στο οποίο θα καταχωρήσουμε τις συσκευές που θέλουμε να «συνυπάρξουν» σε κοινό χώρο επικοινωνίας. Κριτήριο αυτής της διαδικασίας οργάνωσης είναι οι δυνατότητες δικτύωσης που παρέχονται από την εκάστοτε συσκευή, μέσω των εγκατεστημένων μονάδων επικοινωνίας και των αντίστοιχων θυρών, οπότε και στην περίπτωση μας χρησιμοποιείται πρωτόκολλο διεπαφής «*Industrial Ethernet*» (*IE*) που εδράζεται στο βιομηχανικό πρότυπο «*Process Field Net*» (*PROFINET/PN*). Βέβαια, είναι άξιο αναφοράς πως παρότι οι συσκευές που αφορούν τις διεργασίες αυτομάτου ελέγχου είναι κατασκευασμένες για να λειτουργούν βάσει βιομηχανικών προδιαγραφών

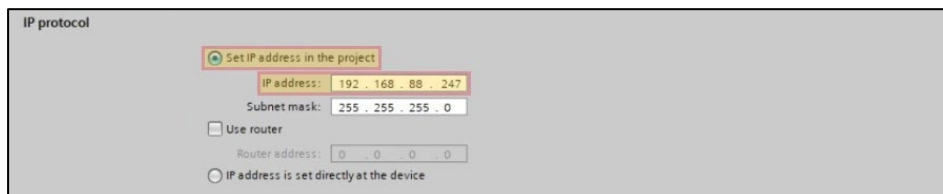
επικοινωνίας, δεν υποστηρίζονται πλήρως τα σχετικά πρωτόκολλα από το σύνολο του δικτυακού εξοπλισμού που χρησιμοποιήσαμε, καθώς το κόστος σύστασης ενός τέτοιου συνόλου—δηλαδή διαμεταγωγέας (*network switch*) και καλώδια δικτύου—υπερέβαινε κατά πολύ τη χρηστικότητα που θα είχε στην εφαρμογή μας.



Εικόνα 3.4-9: Δημιουργία υπό-δικτύου στο προγραμματιστικό περιβάλλον

Αρχαιακό υλικό

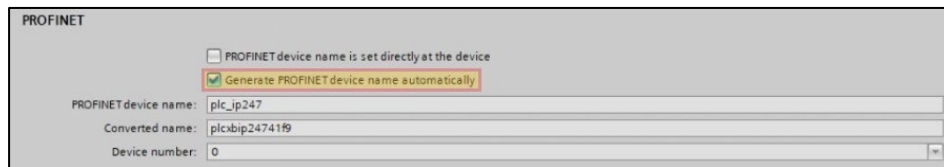
Από τον ίδιο, κύριο κατάλογο επιλογών μπορούμε να ορίσουμε και διάφορες δικτυακές ιδιότητες που θέλουμε να ισχύσουν για την επικοινωνία του προγραμματιζόμενου λογικού ελεγκτή με άλλες συσκευές, όπως η διεύθυνση *IP*, η «μάσκα» υπό-δικτύου (*subnet mask*), και η διεύθυνση του δρομολογητή δικτύου (*router*), εφόσον χρησιμοποιείται. Σε περίπτωση που η μονάδα είναι ήδη παραμετροποιημένη για τη λειτουργία της σε ένα δίκτυο και δεν απαιτείται εκ νέου η ρύθμιση της, μπορούμε να επιλέξουμε τη λήψη των δεδομένων που βρίσκονται αποθηκευμένα στη συσκευή και αφορούν τη δικτυακή παρουσία της.



Εικόνα 3.4-10: Ρυθμίσεις διευθύνσεων δικτυακού πρωτοκόλλου (IP)

Αρχαιακό υλικό

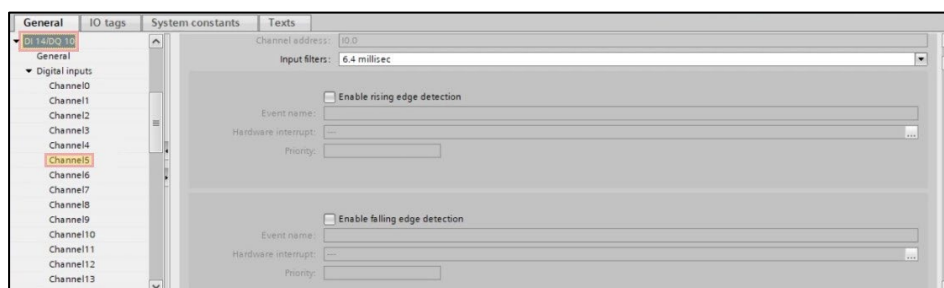
Αντίστοιχες επιλογές παρέχονται και για τα αναγνωριστικά χαρακτηριστικά του ελεγκτή βάσει των προδιαγραφών του *PROFINET*, που έχουν να κάνουν με το όνομα της συσκευής σε αυτό και με τον αριθμό που λαμβάνει η συσκευή στο δίκτυο.



Εικόνα 3.4-11: Ρυθμίσεις *PROFINET*

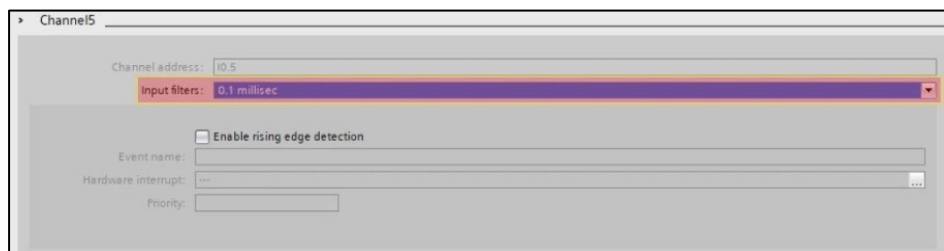
Αρχειακό υλικό

Έπειτα, προχωρήσαμε στην τροποποίηση της κατώτερης τιμής της περιόδου σήματος που μπορεί να ανιχνευθεί, για τη θύρα που έχουμε τοποθετήσει τον επαγωγικό αισθητήρα για τη μέτρηση ταχύτητας. Πραγματοποιώντας αυτή τη ρύθμιση, θα επιτραπεί η μέγιστη δειγματοληψία, πάντα βέβαια στα λειτουργικά πλαίσια του αισθητήρα. Η πρόσβαση σε αυτή την παράμετρο μπορεί να γίνει από τον κατάλογο επιλογών των ψηφιακών εισόδων (*digital inputs*), την επιλογή της θύρας ή καναλιού (*channel*) που μας ενδιαφέρει και την αλλαγή της τιμής του φίλτρου εισόδου της.



Εικόνα 3.4-12: Λίστα ρυθμίσεων των φυσικών θυρών του ελεγκτή

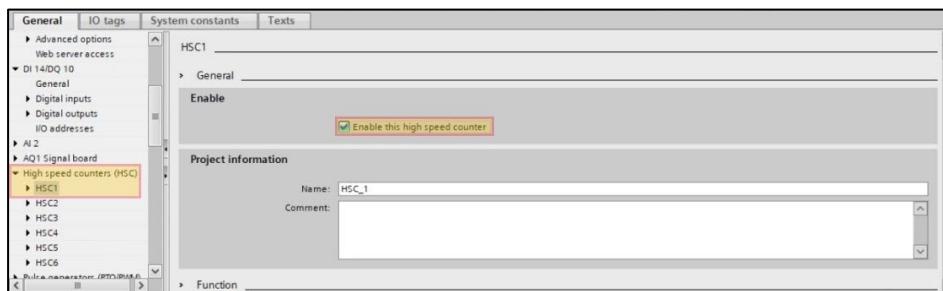
Αρχειακό υλικό



Εικόνα 3.4-13: Μεταβολή του φίλτρου εισόδου για την πύλη του επαγωγικού αισθητήρα

Αρχειακό υλικό

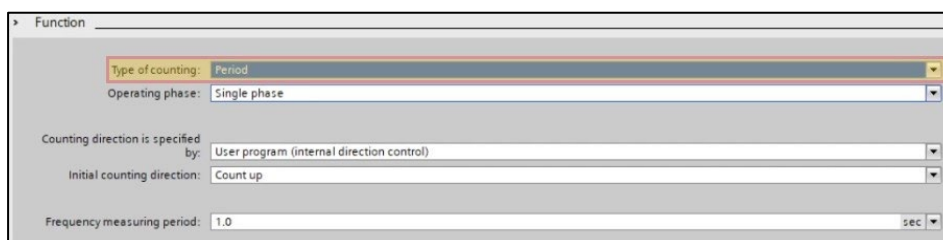
Ολοκληρώνοντας τα βασικά βήματα για την προετοιμασία της μονάδας ελέγχου, ώστε να εξυπηρετήσει τις απαιτήσεις του προγράμματος μας, διαμορφώνουμε το μετρητή υψηλής ταχύτητας που θα χρησιμοποιηθεί, πηγαίνοντας στην κατάλληλη λίστα επιλογών (*high speed counters-HSC*). Αν και μπορούμε να ενεργοποιήσουμε έως έξι μετρητές υψηλής ταχύτητας, για την εφαρμογή μας απαιτείται μονάχα ένας, οπότε και επιλέγουμε τον πρώτο εκ των διαθέσιμων (*HSC1*).



Εικόνα 3.4-14: Ενεργοποίηση μετρητή υψηλής ταχύτητας

Αρχειακό υλικό

Συνεχίζοντας, μπορούμε να επιλέξουμε τη λειτουργία του μετρητή μέσα από τον κατάλογο ρυθμίσεων του, διαλέγοντας τον τύπο της μέτρησης (απλή μέτρηση, μέτρηση συχνότητας, περίοδου ή ελέγχου κινήσεως), τις φάσεις μετρήσεως, τη φορά που θα ερμηνευθεί ως θετική και αν θα καθοριστεί από τον αισθητήρα ή το πρόγραμμα κ.α.. Μιας και το πρόγραμμα που εκτελείται για τον υπολογισμό των περιστροφών του κινητήρα εδράζεται στους παλμούς που καταγράφονται σε ορισμένο χρονικό πλαίσιο, επιλέγουμε τη μέτρηση υπό τη μορφή περιόδου (*period*). Οι υπόλοιπες ρυθμίσεις διατηρούνται στα προεπιλεγμένα στοιχεία τους, καθώς ικανοποιούν τις απαιτήσεις λειτουργίας του αισθητηρίου και του προγράμματος.



Εικόνα 3.4-15: Ρύθμιση της λειτουργίας του μετρητή υψηλής ταχύτητας

Αρχειακό υλικό

Η περάτωση της διαδικασίας παραμετροποίησης του ελεγκτή ολοκληρώνεται με την εισαγωγή της φυσικής πύλης που επιθυμούμε να χρησιμοποιήσουμε ως πηγή εισόδου δεδομένων. Ο επαγωγικός αισθητήρας τοποθετήθηκε στην πέμπτη πύλη υψηλής συχνότητας του ελεγκτή (I0.5), οπότε και εισάγουμε τη διεύθυνση της στο αντίστοιχο πεδίο (*clock generator input*).



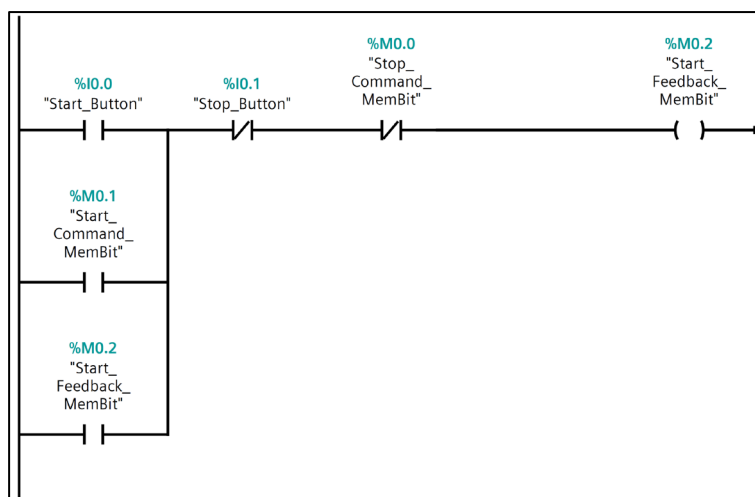
Εικόνα 3.4-16: Επιλογή της πύλης εισόδου που θα χρησιμοποιηθεί από τον ελεγκτή υψηλής ταχύτητας

Αρχειακό υλικό

3.4.3. Εκκίνηση του κινητήρα

Σε αυτή την εφαρμογή πραγματοποιούνται οι απαιτούμενες ενέργειες για τον έλεγχο των μεταγωγών που χρησιμοποιούνται για την εκκίνηση και τον τερματισμό της λειτουργίας του κινητήρα επαγωγής, όπως και τη μεταβολή της συνδεσμολογίας του από αστέρα σε τρίγωνο και αντίστροφα. Η σύσταση του προγράμματος πραγματοποιήθηκε σε πέντε δίκτυα (*networks*)—που απλουστευτικά μπορούμε να τα θεωρήσουμε ενότητες του δομοστοιχείου οργάνωσης—κάθε ένα εκ των οποίων επιτελεί διαφορετική λειτουργία.

Στο πρώτο δίκτυο (Εικόνα 3.4-17) εντοπίζουμε τους φυσικούς διακόπτες και τις θέσεις μνήμης δυαδικών ετικετών, μέσω των οποίων δίνονται οι εντολές εκκίνησης και τερματισμού. Τα προγραμματιστικά στοιχεία ή οδηγίες που χρησιμοποιούνται στο δίκτυο αυτό είναι κανονικά ανοικτές επαφές (*normally open contacts: ---| |---*) που η ενεργοποίησή τους εξαρτάται από την κατάσταση του σήματος της σχετικής ετικέτας, κανονικά κλειστές επαφές (*normally closed contacts: ---| / |---*) που η ενεργοποίησή τους είναι αντίστροφη της τιμής του σήματος της συσχετιζόμενης ετικέτας και από οδηγίες ανάθεσης (*assignment: ---()---*) που θα αλλάξουν την κατάσταση του σήματος της σχετικής ετικέτας όταν ενεργοποιηθούν (δηλαδή η κατάσταση της προγραμματιστικής οντότητας αλλάζει από «0» σε «1»).



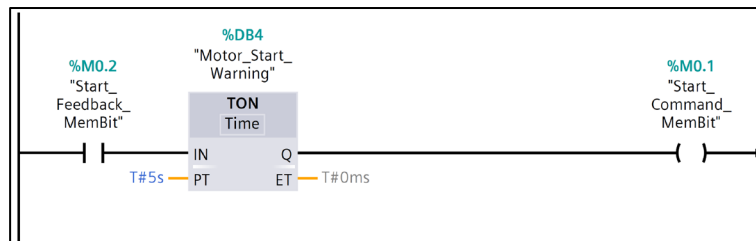
Εικόνα 3.4-17: Εντολές εκκίνησης και τερματισμού του κινητήρα

Αρχιαιακό υλικό

Με γνώμονα πως κινούμαστε με τη συνήθη φορά γραφής (από αριστερά προς τα δεξιά και από πάνω προς τα κάτω), η ροή του δικτύου αυτού γίνεται στα ακόλουθα βήματα:

1. Ο εντοπισμός σήματος στην πρώτη πύλη εισόδου του ελεγκτή, που θα προκύψει εφόσον πιάσουμε το σχετικό διακόπτη εκκίνησης του δευτερεύοντος πίνακα ελέγχου, θα μεταβάλλει την κατάσταση σήματος της σχετικής ετικέτας (%I0.0) σε ενεργή. Αντίστοιχο αποτέλεσμα θα έχει και η προγραμματιστική ενεργοποίηση του ψηφιακού «διακόπτη» εκκίνησης (%M0.1), που είναι ουσιαστικά ένα στοιχείο μνήμης.
2. Εφόσον δε λαμβάνεται σήμα από το φυσικό διακόπτη διακοπής της λειτουργίας του κινητήρα (%I0.1), ή το αντίστοιχο προγραμματιστικό στοιχείο (%M0.1), θα επιτραπεί στο πρόγραμμα να κινηθεί προς τα δεξιά, ενεργοποιώντας την οδηγία ανάθεσης και αλλάζοντας την κατάσταση της ετικέτας της (%M0.2) σε ενεργή.
3. Όταν η τιμή της ετικέτας «M0.2» αποκτήσει την ενεργή τιμή της, θα έχει ως αποτέλεσμα την ενεργοποίηση της κανονικά ανοικτής επαφής που διαθέτει την ίδια διεύθυνση. Σκοπός της ενέργειας αυτής είναι η διατήρηση της ροής του προγράμματος—σε περίπτωση που τα στοιχεία του πρώτου βήματος έχουν στιγμιαία συμπεριφορά (*momentary switches*)—με την ανατροφοδότηση του σήματος ενεργοποίησης.
4. Η ενεργοποίηση των κανονικά κλειστών επαφών (%I0.1, %M0.1), ασχέτως της διάρκειας που θα ισχύσει, θα έχει ως αποτέλεσμα τη διακοπή της ροής του προγράμματος και την επαναφορά της ετικέτας «M0.2» στην ανενεργή κατάσταση της.

Το επόμενο δίκτυο (Εικόνα 3.4-18) αφορά την εισαγωγή μιας χρονικής καθυστέρησης στην εντολή εκκίνησης του κινητήρα, με το χρόνο που παρεμβάλλεται να αξιοποιείται για την οπτική και ηχητική ενημέρωση του χρήστη πως πρόκειται να τεθεί σε λειτουργία περιστροφικός εξοπλισμός. Το νέο αντικείμενο που παρατηρούμε να χρησιμοποιείται είναι ένα στοιχείο που εισάγει χρονική καθυστέρηση στη διέλευση σήματος (*generate on-delay: TON*) από το σημείο εισόδου (*IN*) στο σημείο εξόδου του (*Q*), για προκαθορισμένο χρονικό διάστημα (*preset time-PT*).



Εικόνα 3.4-18: Χρονική καθυστέρηση της εντολής εκκίνησης του κινητήρα

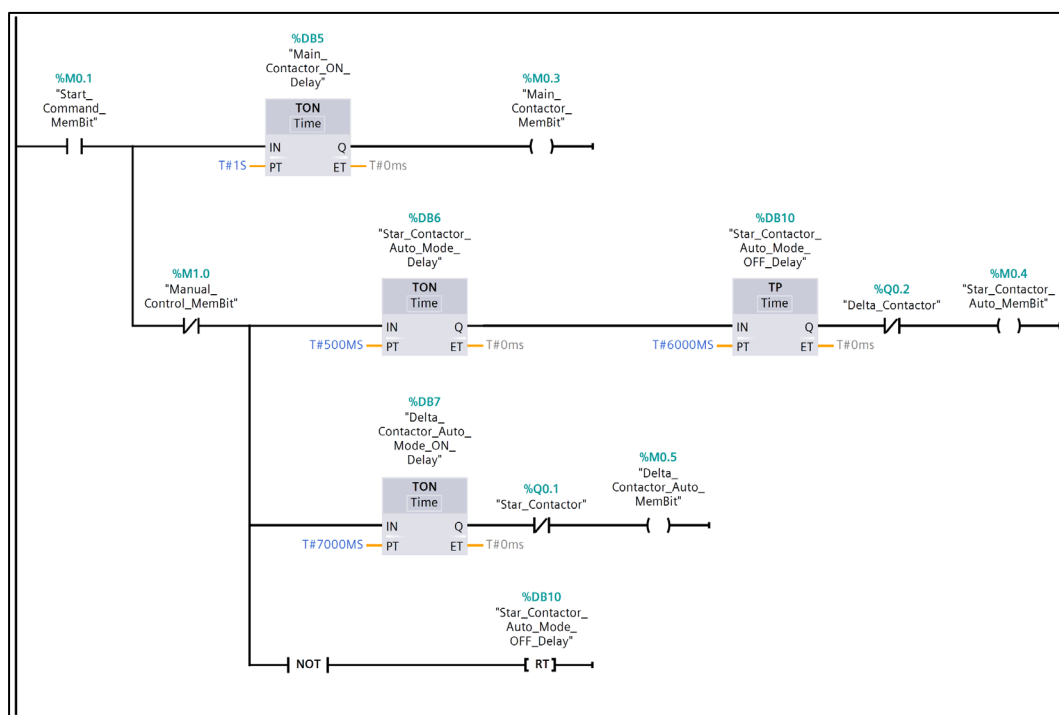
Αρχιαικό υλικό

Η λειτουργία του δικτύου περιγράφεται ως ακολούθως:

1. Όταν το στοιχείο με ετικέτα «DB4» ενεργοποιηθεί (άρα η κατάσταση της ετικέτας «M0.2» είναι ενεργή) και η τιμή του χρόνου που έχει παρέλθει (*elapsed time-ET*) εξισωθεί με την τιμή του χρόνου που έχει οριστεί (*PT*), θα επιτραπεί η διέλευση σήματος προς την εντολή ενεργοποίησης της ετικέτας «M0.1».
2. Με τη διακοπή του σήματος ενεργοποίησης το δίκτυο μεταβαίνει στην ανενεργή κατάσταση (δηλαδή όλες οι εξοδοι απενεργοποιούνται) και η τιμή του παρερχόμενου χρόνου μηδενίζεται.

Στη συνέχεια ασχολούμαστε με τη διαχείριση των μεταγωγών ελέγχου του κινητήρα, για την εκκίνηση του χωρίς να απαιτείται η επέμβαση του χρήστη για τη μετάβαση από συνδεσμολογία αστέρα σε συνδεσμολογία τριγώνου. Το πρόγραμμα μέσω του οποίου υλοποιήθηκε η παραπάνω διεργασία (Εικόνα 3.4-19), παρατηρούμε πως συντάχθηκε χρησιμοποιώντας κυρίως τις προγραμματιστικές οδηγίες που αναφέραμε στις προηγούμενες περιπτώσεις, με εξαίρεση τρία άγνωστα αντικείμενα. Το πρώτο είναι ένα χρονικό στοιχείο—ίσως θα μπορούσε να χαρακτηριστεί καλύτερα ως χρονοδιακόπτης απενεργοποίησης (*generate pulse: TP*)—που η λειτουργία του

εντοπίζεται στη διέλευση σήματος για την περίοδο που προηγείται έως ότου να συμπληρωθεί ο χρόνος που έχει οριστεί από τον χρήστη (*PT*). Σημαντική ιδιότητα αυτού του αντικειμένου είναι πως εφόσον εντοπιστεί σήμα στην είσοδο του, η λειτουργία του θα διατηρηθεί για το χρονικό διάστημα που απαιτείται μέχρι ο παρερχόμενος (*ET*) να αποκτήσει ίδια τιμή με το χρόνο που έχουμε προκαθορίσει. Το επόμενο στοιχείο χρησιμοποιείται για την αντιστροφή της κατάστασης του σήματος του αποτελέσματος της λογικής λειτουργίας (*invert RLO: --[NOT|--*) που ακολουθεί της εξόδου του σε σχέση με την είσοδο του, δηλαδή αν στην είσοδο του αντικειμένου η κατάσταση είναι «1» (ενεργή), στην έξοδο του η κατάσταση θα είναι «0» και αντίστροφα. Τέλος, χρησιμοποιούμε μια εντολή επαναφοράς χρονικού στοιχείου (*reset timer: ---(RT)---*), που η λειτουργία της εντοπίζεται στο μηδενισμό της τιμής του παρερχόμενου χρόνου για το χρονικό στοιχείο που θα ελέγξει.



Εικόνα 3.4-19: Ενεργοποίηση του κύριου ηλεκτρονόμου και αυτόματη μεταγωγή αστέρα/τρίγωνου

Αρχειακό υλικό

Έχοντας περιγράψει, πλέον, τη δράση όλων των στοιχείων που μπορούμε να εντοπίσουμε στο δίκτυο, είμαστε σε θέση να εντοπίσουμε τα εξής βήματα στη λειτουργία του:

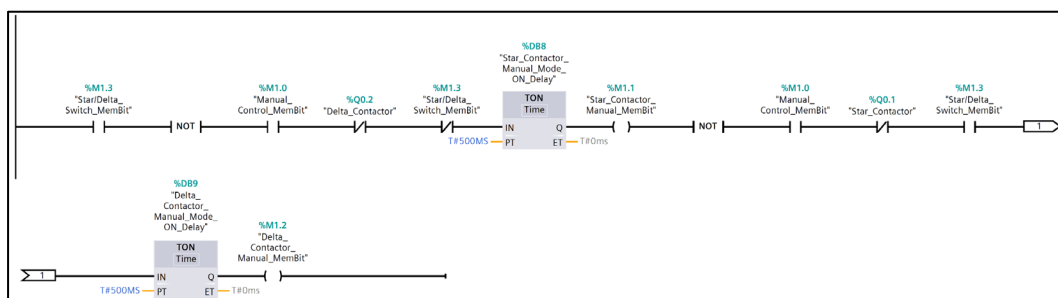
1. Όταν το στοιχείο με ετικέτα «*M0.1*» μεταβεί στην ενεργή κατάσταση του, θα ενεργοποιήσει το χρονικό στοιχείο που χρησιμοποιείται για την καθυστέρηση της

μεταγωγής του κύριου ηλεκτρονόμου του κινητήρα (%DB5). Σκοπός αυτού του αντικειμένου είναι η εξασφάλιση της ενεργοποίησης του ηλεκτρονόμου αστέρα ή τριγώνου, πριν επιτραπεί η διέλευση ρεύματος απευθείας από το δίκτυο στον κινητήρα, ως απόπειρα ελάττωσης της ηλεκτρικής καταπόνησης τους. Συγχρόνως το σήμα ενεργοποίησης κινείται προς την κανονικά κλειστή επαφή που βρίσκεται σε κατώτερο κλάδο (%MI.0).

2. Εφόσον το στοιχείο ενεργοποίησης της χειροκίνητης λειτουργίας με ετικέτα «MI.0» είναι ανενεργό (δηλαδή, ως κανονικά κλειστή επαφή, κάνει εφικτή τη διέλευση σήματος), θα επιτραπεί η λειτουργία του δικτύου που ακολουθεί και αφορά την αυτόματη λειτουργία του κινητήρα.
3. Ο κλάδος που αρχίζει με το στοιχείο χρονικής καθυστέρησης «DB6», χρησιμοποιείται για τη διαχείριση του ηλεκτρονόμου αστέρα. Με την εμφάνιση σήματος, θα ενεργοποιηθεί το στοιχείο καθυστέρησης που θα επιτρέψει τη διέλευση σήματος μετά από μισό δευτερόλεπτο. Στη συνέχεια θα ενεργοποιηθεί το στοιχείο «DB10» που θα επιτρέψει τη διέλευση σήματος για χρόνο έξι δευτερολέπτων κατά τα οποία, αν δεν υπάρχει ενεργή έξοδος στον ηλεκτρονόμο τριγώνου (%Q0.2), θα ενεργοποιηθεί η έξοδος στον ηλεκτρονόμο της συνδεσμολογίας αστέρα (%Q0.1).
4. Ταυτόχρονα με τον προηγούμενο, ενεργοποιείται ο κλάδος που ξεκινάει με το στοιχείο «DB7» και με παρόμοια δράση διαχειρίζεται την παροχή σήματος για τη μανδάλωση του ηλεκτρονόμου της συνδεσμολογίας τριγώνου (%Q0.2).
5. Ο τελευταίος κλάδος αφορά την επαναφορά του χρονικού «DB10» εφόσον διακοπεί το σήμα ενεργοποίησης στην είσοδο του πριν παρέλθει ο χρόνος που έχει οριστεί πως θα παραμείνει ενεργό.
6. Με το άνοιγμα της επαφής «M0.1» το γενικότερο δίκτυο μεταβαίνει στην ανενεργή κατάσταση του, οπότε τα χρονικά που χρησιμοποιούνται για το χρονισμό των ηλεκτρονόμων επανέρχονται σε κατάσταση αδράνειας και η έξοδοι προς τους ηλεκτρονόμους απενεργοποιούνται.

Το επόμενο δίκτυο (Εικόνα 3.4-20) επιτρέπει στο χρήστη την επιλογή της συνδεσμολογίας που θα εφαρμοστεί στον κινητήρα. Όπως και στο προηγούμενο δίκτυο, εφαρμόζουμε χρονικούς περιορισμούς στην ενεργοποίηση των ηλεκτρονόμων—ώστε να εξασφαλιστεί επαρκές διάστημα για την απομανδάλωση

τους—και κανονικά κλειστές επαφές, με στόχο την αποτροπή βραχυκυκλώματος εξαιτίας ταυτόχρονης σύνδεσης των άκρων του κινητήρα σε αστέρα και τρίγωνο.



Εικόνα 3.4-20: Χειροκίνητη μεταγωγή αστέρα/τριγώνου μέσω του Π.Λ.Ε.

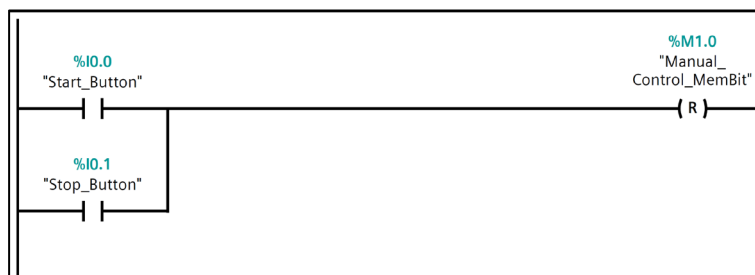
Αρχαιακό υλικό

Η λειτουργία του δικτύου συνοψίζεται στα παρακάτω βήματα:

1. Η επιλογή της χειροκίνητης μετάβασης θα κάνει ενεργή την ετικέτα «M1.0», επιτρέποντας τη ροή του σήματος προς την εκάστοτε εντολή ανάθεσης (%M1.1, %M1.2).
2. Η ετικέτα «M1.3» και τα στοιχεία αντιστροφής καθορίζουν τον ηλεκτρονόμο που θα ενεργοποιηθεί. Σε περίπτωση που η επαφή του επιλογέα είναι ανοικτή, το σήμα διέρχεται στο τμήμα που παρεμβάλλεται των ετικετών «M1.0» και «M1.1», ενεργοποιώντας τον ηλεκτρονόμο της συνδεσμολογίας αστέρα.
3. Το κλείσιμο της επαφής του επιλογέα (%M1.3) θα αντιστρέψει την κατάσταση του δικτύου ενεργοποιώντας το τμήμα που καταλήγει στον ηλεκτρονόμο της συνδεσμολογίας τριγώνου.

Το δίκτυο που ολοκληρώνει το πρόγραμμα διαχείρισης του κινητήρα (Εικόνα 3.4-21), αφορά την επιβολή της αυτόματης διαχείρισης της μεταγωγής αστέρα τριγώνου, στην περίπτωση που χρησιμοποιηθούν τα φυσικά πλήκτρα εκκίνησης του κινητήρα. Σκοπός του δικτύου αυτού είναι να δράσει ως ασφαλιστική δικλείδα σε περίπτωση αστοχίας της οθόνης διεπαφής μηχανής/χρήστη, επιτρέποντας την ορθή εκκίνηση του κινητήρα σε περίπτωση περιορισμένου ελέγχου. Στο πλαίσιο αυτό, και με τη βοήθεια της εικόνας που ακολουθεί, μπορούμε να διακρίνουμε πως η απενεργοποίηση της χειροκίνητης λειτουργίας επιτυγχάνεται με τη χρήση της εντολής επαναφοράς της εξόδου (*reset output*: ---(R)---) η οποία θα επαναφέρει την ετικέτα «M1.0» στην τιμή που έχει κατά

την εκκίνηση του προγράμματος (δηλαδή σε ανενεργή κατάσταση), εφόσον υπάρξει σήμα ενεργοποίησης στις εισόδους «I0.0» ή «I0.1».



Εικόνα 3.4-21: Επιβολή αυτόματης μεταγωγής αστέρα/τριγώνου με χρήση της φυσικής διεπαφής

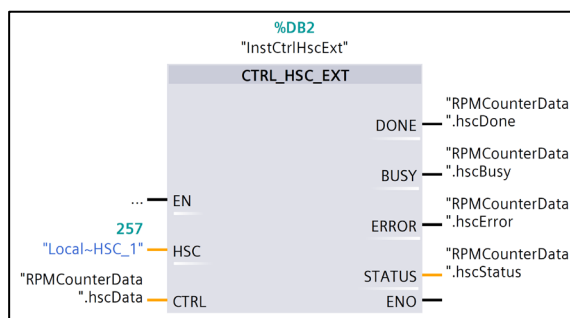
Αρχιαικό υλικό

3.4.4. Μέτρηση της ταχύτητας του κινητήρα

Το πρόγραμμα αυτό αποτελείται από τις ενέργειες που κάνουν εφικτή την ανάγνωση του επαγωγικού αισθητήρα και την ερμηνεία του σήματος του σε μετρήσιμο μέγεθος. Ο υπολογισμός των στροφών του κινητήρα επιλέξαμε να γίνει με τη χρήση πρακτικών που ακολουθούνται σε μετρήσεις υψηλής ταχύτητας, στις οποίες η συχνότητα δειγματοληψίας κάποιου αισθητήρα υπερβαίνει τον τυπικό χρόνο που απαιτείται για την ολοκλήρωση ενός κύκλου προγράμματος στον Π.Λ.Ε.. Όπως και στα προηγούμενα αντικείμενα που θίξαμε, επιδίωξη μας είναι η εναρμόνιση της εκπαιδευτικής με τη λειτουργική αξία για την ολοκλήρωση κάθε στόχου που θέσαμε. Έτσι, προτιμήσαμε να προσαρμόσουμε στην εφαρμογή μας ένα υπάρχον παράδειγμα της τεχνολογίας (Siemens, 2016d), προς διασφάλιση της επαρκούς τεχνικής τεκμηρίωσης που θα βοηθήσει στην κατανόηση της λειτουργίας ενός τέτοιου μετρητή.

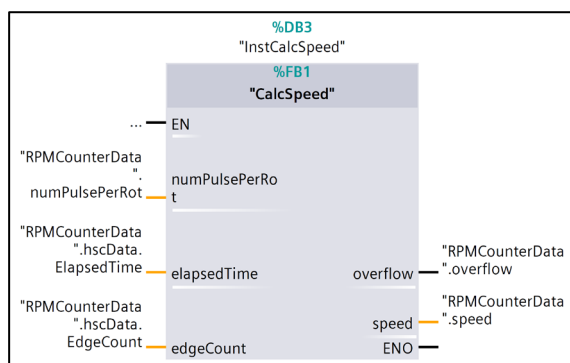
Η λειτουργία του προγράμματος μέτρησης των περιστροφών του κινητήρα, προϋποθέτει την ύπαρξη ενός δομοστοιχείου οργάνωσης, ενός συνάρτησης κι ενός δεδομένων. Το δομοστοιχείο οργάνωσης, περιέχει το κύριο πρόγραμμα της εφαρμογής και συντελείται από τρεις λειτουργίες που κατανέμονται σε τρία δίκτυα που είναι συνεχώς ενεργά, δηλαδή δεν απαιτούν τη μεταβολή του σήματος κάποιας επαφής ή ετικέτας για την εκκίνηση της λειτουργίας τους. Το πρώτο δίκτυο (Εικόνα 3.4-22) αποτελείται από την οδηγία εκτεταμένου ελέγχου του μετρητή υψηλής ταχύτητας (*control high-speed counter extended*: CTRL_HSC_EXT) μέσω της οποίας καλούμε το μετρητή, που διαμορφώσαμε σε προηγούμενη ενότητα. Η οδηγία κλήσης απαιτεί το αναγνωριστικό υλικού του μετρητή (*hardware identifier*), που στην περίπτωση μας

είναι «257», και ετικέτες του δομοστοιχείου δεδομένων που αφορούν τις ενδείξεις κατάστασης και λειτουργίας του.



Εικόνα 3.4-22: Κλήση του μετρητή υψηλής ταχύτητας
 Αρχειακό υλικό

Το επόμενο δίκτυο (Εικόνα 3.4-23) περιέχει την οδηγία κλήσης της συνάρτησης υπολογισμού της ταχύτητας, με τις τιμές της να περιέχονται στο ίδιο δομοστοιχείο δεδομένων με αυτές της προηγούμενης περίπτωσης. Η συνάρτηση που καλείται βρίσκεται στο σχετικό δομοστοιχείο, που είναι συντεταγμένο σε γλώσσα *SCL*, με τη χρήση της να εντοπίζεται στον υπολογισμό των περιστροφών ανά λεπτό ως συνάρτηση των παλμών και του χρόνου που θα καταγραφούν.



Εικόνα 3.4-23: Κλήση της συνάρτησης υπολογισμού της ταχύτητας
 Αρχειακό υλικό

Χρησιμοποιώντας τις γραμμές του παρακάτω κώδικα (Εικόνα 3.4-24) ως μέσο προσανατολισμού μας, μπορούμε να εμβαθύνουμε στη λειτουργία της συνάρτησης υπολογισμού της ταχύτητας ως ακολούθως:

- **Γραμμές 0001→0019**

Αυτό το τμήμα περιέχει γενικές πληροφορίες της έκδοσης του και του εξοπλισμού στον οποίο έχει δοκιμαστεί η λειτουργία του. Μείζονος σημασίας είναι οι πληροφορίες που παρατίθενται στις τελευταίες γραμμές του (0017, 0018) και αφορούν το μέγεθος της τιμής του χρόνου για το οποίο θα επιτραπεί ο υπολογισμός της ταχύτητας. Συγκεκριμένα—με γνώμονα πως η τιμή του χρόνου εντάσσεται στο πρόγραμμα ως «ανυπόγραφος διπλός ακέραιος» (*unsigned double integer-UDInt*)¹³—βλέπουμε πως στο μήκος της μνήμης που περιέχει την τιμή του παρερχόμενου χρόνου επιτρέπεται να έχει μέγεθος έως 28 *bit* (4294967280₁₀), με τη μέγιστη τιμή του (*overflow value*) να είναι το πλήρες μέγεθος της μνήμης, δηλαδή 32 *bit* (4294967295₁₀).

- **Γραμμές 0020→0030**

Το κομμάτι αυτό αρχίζει με τη συνθήκη εκκίνησης του προγράμματος που ορίζεται ως αποτέλεσμα του μη μηδενικού πλήθους μετρήσεων (γραμμή 0021), της μη μηδενικής τιμής του παρερχόμενου χρόνου (γραμμή 0022) και της μη υπέρβασης του εύρους που αναφέραμε παραπάνω (γραμμή 0023). Εφόσον ισχύουν και οι τρεις αυτές προϋποθέσεις, υπολογίζεται η στατιστική περίοδος (σε *ns*) ως συνάρτηση του χρόνου και του πλήθους των σημάτων που έχει δεχθεί ο μετρητής (γραμμή 0026). Τέλος, υπολογίζεται η στατιστική περίοδος σε δευτερόλεπτα, ενώ παρατηρούμε πως προστίθεται και η σταθερά που αφορά τον αριθμό των αναμενόμενων παλμών ανά περιστροφή, που αποτελεί χαρακτηριστικό της εκάστοτε περίπτωσης στην οποία εφαρμόζεται ο κώδικας (γραμμή 0028).

- **Γραμμές 0031→0044, Γραμμές 0053→0055**

Η λειτουργία του πρώτου τμήματος (γραμμές 0031→0038) εντοπίζεται στον έλεγχο της χρονικής «υπερχείλισης» (*overflow*), δηλαδή στο εάν η τιμή του παρερχόμενου χρόνου είναι ίση με αυτή που έχει οριστεί ως η μέγιστη. Αναλόγως του αποτελέσματος του ελέγχου της εξίσωσης θα αποδοθεί στη δυαδική μεταβλητή «*statOverflow*» η κατάσταση ψευδής (*false*) ή αληθής (*true*), με την ισχύ της τελευταίας να μηδενίζει την τιμή της στατιστικής περιόδου (γραμμές 0039→0044). Αντιστοίχως μεταβάλλεται και η ετικέτα «*overflow*» που οδηγείται από την προαναφερθείσα μεταβλητή και χρησιμοποιείται ως ενδεικτικό στοιχείο της κατάστασης της ροής του κώδικα (γραμμές 0053→0055).

¹³ Ο διπλός ακέραιος είναι αριθμός που καταλαμβάνει 32 *bit* σε αντίθεση με τον απλό ακέραιο που καταλαμβάνει 16 *bit* για την καταχώρηση του σε μια θέση μνήμης. Ο όρος «ανυπόγραφος» (*unsigned*) προκύπτει από την έλλειψη πρόσημου για την αναπαράσταση του αριθμού αυτού στο πρόγραμμα.

- Γραμμές 0045→0052

Σε αυτό το μέρος πραγματοποιείται ο υπολογισμός της ταχύτητας, με την προϋπόθεση πως η τιμή της στατιστικής περιόδου δεν είναι μηδενική (γραμμή 0046). Ο υπολογισμός γίνεται με τη μετατροπή της στατιστικής περιόδου σε συχνότητα και εν συνεχεία σε περιστροφές ανά λεπτό (γραμμή 0048). Εφόσον ο έλεγχος που πραγματοποιείται για την τιμή της στατιστικής περιόδου είναι αρνητικός, η ετικέτα «speed» αποκτά μηδενική τιμή (γραμμή 0050).

```

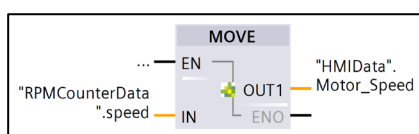
0001 //=====
0002 //SIEMENS AG
0003 //(c)Copyright 2016 All Rights Reserved
0004 //-----
0005 //Library: -
0006 //Tested with: S7-1200 V4.2
0007 //Engineering: TIA Portal V14
0008 //Restrictions: -
0009 //Requirements: S7-1200
0010 //Functionality: Basic axis functions, as power, reset, home and jog
0011 //-----
0012 //Change log table:
0013 //Version Date Expert in charge Changes applied
0014 //01.00.00 09.11.2016 Online Support First released version
0015 //=====
0016
0017 // #elapsedTime (range): 0 to 4.294.967.280
0018 // #elapsedTime (overflow): 4.294.967.295 (0xFFFF FFFF)
0019
0020 // If EdgeCount and ElapsedTime is valid, calculate the period
0021 IF (#edgeCount > 0)
0022     AND (#elapsedTime > 0)
0023     AND (#elapsedTime <= 4294967280)
0024 THEN
0025     // Calculate the period in nanoseconds
0026     #statPeriod := #elapsedTime / #edgeCount;
0027     // Calculate the period in seconds
0028     #statPeriod := #numPulsePerRot * #statPeriod / #BILLION;
0029 END_IF;
0030
0031 // Check overflow
0032 IF (#elapsedTime = #OVERFLOW_VALUE)
0033 THEN
0034     #statOverflow := TRUE;
0035 ELSE
0036     #statOverflow := FALSE;
0037 END_IF;
0038
0039 // Set period to zero, if overflow
0040 IF(#statOverflow = TRUE)
0041 THEN
0042     #statPeriod := 0;
0043 END_IF;
0044
0045 // Calculate speed in rpm
0046 IF (#statPeriod > 0)
0047 THEN
0048     #speed := 1 / #statPeriod * 60.0;
0049 ELSE
0050     #speed := 0;
0051 END_IF;
0052
0053 // Set output overflow
0054 #overflow := #statOverflow;
0055

```

Εικόνα 3.4-24: Κώδικας υπολογισμού της ταχύτητας

Αρχειακό υλικό

Στο τελευταίο δίκτυο του προγράμματος (Εικόνα 3.4-25), χρησιμοποιείται η οδηγία μετακίνησης (MOVE) για τη μεταφορά της τιμής ταχύτητας που καταγράφεται στο δομοστοιχείο δεδομένων που συλλέγονται οι τιμές που αφορούν τις εφαρμογές μας. Όπως αναφέραμε και παραπάνω, εξαιτίας της ροής που διατηρείται κατά την εκτέλεση ενός προγράμματος από τον επεξεργαστή του ελεγκτή, η οδηγία αυτή θα εκτελεστεί μετά την ολοκλήρωση των ενεργειών που αφορούν τα παραπάνω δίκτυα και πριν την ολοκλήρωση του κύκλου του προγράμματος, παρότι παραμένει συνεχώς ενεργή στο δίκτυο που βρίσκεται τοποθετημένη.



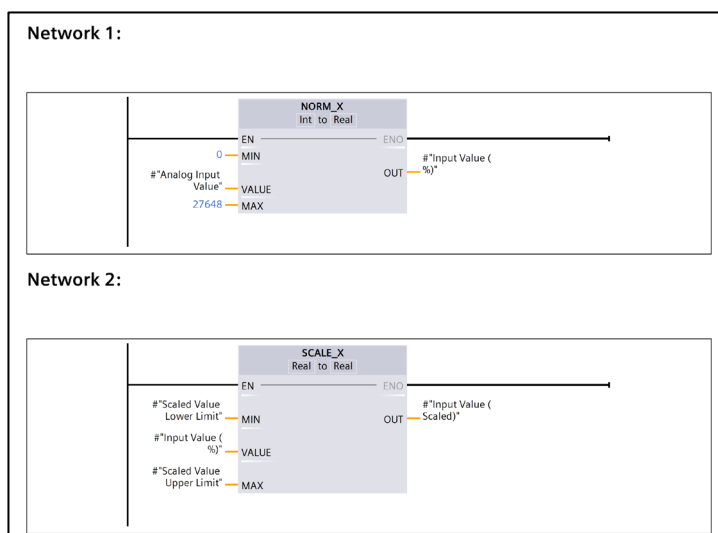
Εικόνα 3.4-25: Μεταφορά της τιμής της ταχύτητας
Αρχειακό υλικό

3.4.5. Στοιχεία διαχείρισης αναλογικών σημάτων

Η λειτουργία των προγραμμάτων που περιγράφονται στις επόμενες ενότητες της εργασίας απαιτεί την ανάγνωση ή την έξοδο αναλογικών σημάτων από τη μονάδα του ελεγκτή. Όπως αναφέραμε και παραπάνω, τα αναλογικά σήματα ελέγχου που απαντώνται σε βιομηχανικές εφαρμογές συνήθως κινούνται σε εύρος τάσης (0-10V DC) ή έντασης (0-20mA) ρεύματος, με την ακρίβεια και τα όρια τους να αποτελεί χαρακτηριστικό του φυσικού υλικού που χρησιμοποιείται. Για να καταστεί εφικτή η αξιοποίηση τέτοιου είδους σημάτων στο πρόγραμμα—και κατ’ αντιστοιχία ο έλεγχος αναλογικού εξοπλισμού μέσω του Π.Λ.Ε.—είναι απαραίτητη η μετατροπή τους σε μορφή τέτοια που να επιτρέπει τη συμφωνία τους με τη μορφή και τα επίπεδα λειτουργίας που βρίσκουμε στα συνήθη, προγραμματιστικά στοιχεία.

Στο παραπάνω πλαίσιο συντάχθηκαν δύο συναρτήσεις η χρησιμότητα των οποίων εντοπίζεται στην ερμηνεία των αναλογικών σημάτων εισόδου και εξόδου, υπό τη νοοτροπία του βιομηχανικού αυτοματισμού όπου συνήθως το πλήθος των σημάτων υπαγορεύει την τυποποίηση των επαναλαμβανόμενων εργασιών. Η οργάνωση και η λειτουργία των δύο συναρτήσεων είναι παρόμοια, μιας και οι οδηγίες που χρησιμοποιούνται είναι κοινές, εξυπηρετώντας διαφορετικό σκοπό. Έτσι, η κάθε

συνάρτηση απαρτίζεται από μια οδηγία εξομάλυνσης (*normalize: NORM_X*) και μια οδηγία κλιμάκωσης (*scale: SCALE_X*) που κατανέμονται σε δύο αυτοτελή δίκτυα και παραμένουν συνεχόμενα ενεργές. Η δράση της οδηγίας εξομάλυνσης εντοπίζεται στην αντιστοίχιση της εισόδου της (*VALUE*) σε μια γραμμική κλίμακα που τα άκρα της ορίζονται από τα πλαίσια ανώτερης (*MAX*) και κατώτερης τιμής (*MIN*). Το αποτέλεσμα της διαδικασίας θα εμφανιστεί στο πλαίσιο εξόδου της οδηγίας (*OUT*) ως ποσοστό της τιμής που αποδίδεται από εύρος που έχει οριστεί. Η οδηγία κλιμάκωσης βρίσκει χρήση στην αντιστοίχιση της τιμής που δέχεται—σε μορφή αριθμού κινητής υποδιαστολής (*floating-point value*)—σε ορισμένο εύρος τιμών, με το αποτέλεσμα της να είναι ένας ακέραιος που εμφανίζεται στην έξοδο της.



Εικόνα 3.4-26: Συνάρτηση ανάγνωσης αναλογικής εισόδου
 Αρχειακό υλικό

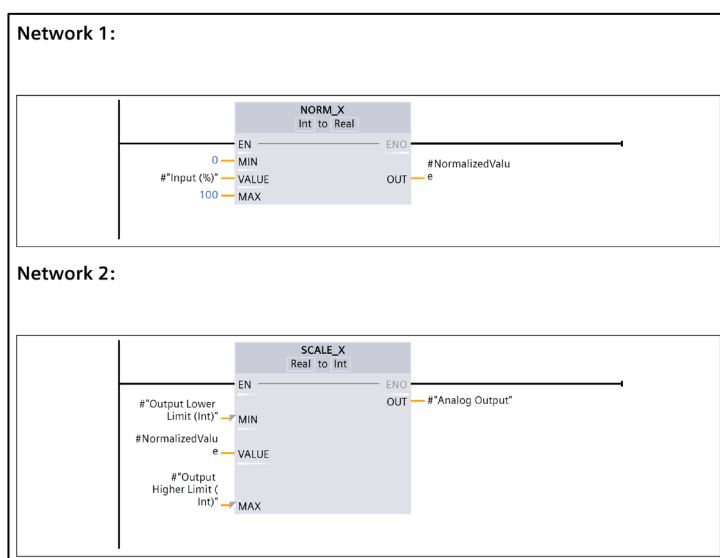
Βάσει της περιγραφής που προηγήθηκε, μπορούμε να σκιαγραφήσουμε τη λειτουργία των συναρτήσεων χρησιμοποιώντας τις ενέργειες που οδηγούν στην ανάγνωση μιας αναλογικής εισόδου (Εικόνα 3.4-26) στις ακόλουθες:

1. Η διαχείριση της τιμής εισόδου αρχίζει με τη εξομάλυνση της στο εύρος 0-27648 που είναι το εύρος ανάγνωσης των αναλογικών εισόδων του ελεγκτή που επιλέχθηκε από την κατασκευάστρια εταιρεία για τη μετατροπή του αναλογικού σήματος σε ακέραιο αριθμό των 16-bit ή απλούστερα σε «λέξη δεδομένων» (*word data*). Το αποτέλεσμα αυτής της μεταφοράς θα αποδοθεί ως πραγματικός αριθμός που θα εκφράζει τη θέση της αναγνωσμένης τιμής στο παραπάνω εύρος. Δηλαδή η μεταβλητή εξόδου θα κινηθεί ως δεκαδικός αριθμός που εκφράζει το ποσοστό του

εύρους όταν βρίσκεται μέσα σε αυτό (λ.χ. στο μέσο του εύρους η έξοδος θα είναι 0.5), θα πάρει τιμή 1.0 αν η είσοδος είναι ίση με το άνω άκρο του και 0.0 αν είναι ίση με το κάτω άκρο του.

2. Η διαχείριση της αναλογικής εισόδου ολοκληρώνεται με τη μεταφορά της τιμής της στο εύρος ανάγνωσης του αισθητήρα, μέσω της οδηγίας κλιμάκωσης. Για να περιγράψουμε καλύτερα τη λειτουργία της οδηγίας αυτής μπορούμε να πούμε πως δέχεται μια τιμή και τη μεταφέρει στη μορφή του μεγέθους που επιτηρείται από τον αισθητήρα χρησιμοποιώντας την ικανότητα αίσθησης του (που εισάγεται στις θέσεις *MIN*, *MAX*), δηλαδή η τιμή 0.5 από την οδηγία εξομάλυνσης θα μπορούσε να εκφράζει *5bar* για ένα αισθητήρα που μπορεί να «αντιληφθεί» πίεση 0-10*bar*.
3. Μετά τη διαμόρφωση της, η τιμή εισόδου είναι πλέον ανάλογη του μεγέθους που εκπροσωπεί στο πρόγραμμα και μπορεί να εξαχθεί σε αυτό περιγράφοντας τη φυσική τιμή που επιτηρείται (*#Input Value (Scaled)*).

Η συνάρτηση που αφορά τη διαμόρφωση μιας ετικέτας έτσι ώστε να είναι ικανή να «οδηγήσει» την αναλογική έξοδο του ελεγκτή (Εικόνα 3.4-27), χρησιμοποιεί τις ίδιες οδηγίες που ακολουθούν την ίδια ιεραρχία στο πρόγραμμα. Ειδοποιός διαφορά των δύο περιπτώσεων είναι το εύρος που ορίζεται στην οδηγία εξομάλυνσης και την οδηγία κλιμάκωσης, που χρησιμοποιούνται αντίστροφα αυτών που εντοπίζουμε στη συνάρτηση αναλογικής εισόδου, με την εξομάλυνση να πραγματοποιείται στο 0-100% και την κλιμάκωση στο 0-27648.



Εικόνα 3.4-27: Συνάρτηση διαμόρφωσης αναλογικής εξόδου

Αρχειακό υλικό

3.4.6. Έλεγχος στάθμης

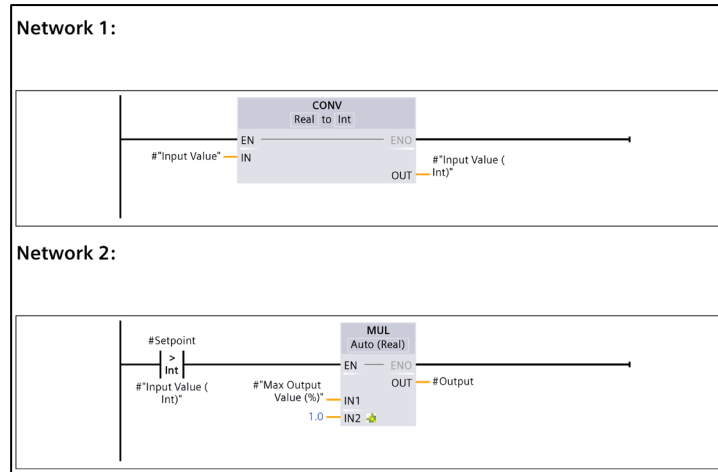
Το ζήτημα ελέγχου της στάθμης παρουσιάζει τη διαφορά πως, σε αντίθεση με τις προηγούμενες περιπτώσεις εφαρμογών, οι ενέργειες που περιλαμβάνει απαιτούν διαφορετικά προγράμματα, που ενίοτε περιέχονται σε διαφορετικά δομοστοιχεία. Η ιδιαιτερότητα αυτή είναι αποτέλεσμα τόσο της προσέγγισης που ακολουθήσαμε—δηλαδή την προσομοίωση της δράσης διαφορετικών ελεγκτών προς διαχείριση μιας φυσικής εξόδου—όσο και της ανάγκης εξυπηρέτησης των προγραμματιστικών αναγκών κάθε μορφής ελέγχου. Οι λειτουργίες ελέγχου στάθμης που παρέχονται, προκύπτουν ως αποτέλεσμα της δράσης των ακόλουθων προγραμματιστικών οντοτήτων:

- **Συνάρτηση ελεγκτή δύο θέσεων**

Η συνάρτηση που δημιουργήθηκε για την ένταξη του ελεγκτή δύο θέσεων στην υπό ανάπτυξη μονάδα, συντελείται από τις οδηγίες που φαίνονται στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 3.4-28). Το στοιχείο μετατροπής (*convert value: CONVERT*) χρησιμοποιείται για την αλλαγή της μορφής του στοιχείου που εισάγεται στην κατάλληλη θέση εισόδου του, από πραγματικό (*real*) σε ακέραιο αριθμό (*integer/Int*).

Το επόμενο στοιχείο που παρατηρούμε πως ακολουθεί στη ροή της συνάρτησης, είναι μια κανονικά ανοικτή επαφή σύγκρισης (*greater than: CMP>*). Σκοπός της είναι η σύγκριση δύο τιμών με τη σχέση μεταξύ τους να ορίζεται από τη μορφή της οδηγίας (ανισότητα, ισότητα κ.ο.κ.), που εάν κι εφόσον ισχύσει θα επιστρέψει αληθές αποτέλεσμα και θα επιτρέψει την ενεργοποίηση του κλάδου που ακολουθεί αυτής.

Τέλος, η οδηγία πολλαπλασιασμού (*multiply: MUL*) βρίσκει χρήση στο να αποδώσει το γινόμενο των στοιχείων που δέχεται στις θέσεις εισόδου της. Το αποτέλεσμα που θα δώσει στην έξοδο της δεν απαιτεί την χρήση εισόδων σε κοινή μορφή, οπότε και μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως οδηγία μετατροπής για αριθμητικές τιμές που αφορούν φυσικά μεγέθη (που δε συνηθίζεται να αναπαρίστανται σε διαφορετική μορφή από τη δεκαδική).



Εικόνα 3.4-28: Συνάρτηση ελεγκτή δύο θέσεων
Αρχειακό υλικό

Συνδέοντας την περιγραφή που προηγήθηκε με τις ετικέτες που χρησιμοποιούνται και τη λειτουργία κάθε στοιχείου, μπορούμε να ακολουθήσουμε τη λειτουργία της συνάρτησης στα επόμενα βήματα:

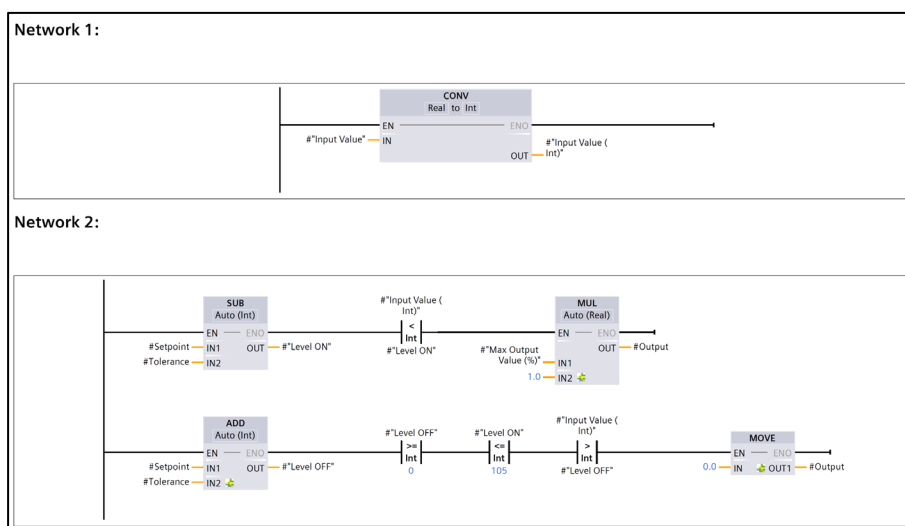
1. Η τιμή της στάθμης που δέχεται η συνάρτηση ως μεταβλητή εισόδου (*#Input Value*) μετατρέπεται σε ακέραιο αριθμό ώστε να επιτραπεί η σύγκριση της με τη στάθμη αναφοράς (*#Setpoint*) που έχει ήδη οριστεί ως ακέραιος.
2. Εφόσον το επίπεδο αναφοράς έχει μεγαλύτερη τιμή από τη στάθμη, η κανονικά ανοικτή επαφή ενεργοποιείται και επιτρέπεται η λειτουργία της οδηγίας πολλαπλασιασμού.
3. Η οδηγία πολλαπλασιασμού λειτουργεί ως διακόπτης, η έξοδος του οποίου (*#Output*) καθορίζεται από την τιμή που καθορίζει το μέγιστο επίπεδο που θέλουμε να λειτουργήσει η αντλία (*#Max Output Value*). Η ετικέτα αυτή απαντάται και σε επόμενες εφαρμογές των οποίων η έξοδος τους συνηθίζεται να είναι σταθερή, με σκοπό να αποτραπεί η αυξημένη καταπόνηση της αντλίας και επιτρέποντας συνάμα την παρατήρηση της απόκρισης του ελεγχόμενου συστήματος για διαφορετικά επίπεδα παροχής υγρού στη δεξαμενή.

- **Δομοστοιχείο συνάρτησης ελεγκτή δύο θέσεων με υστέρηση**

Ο ελεγκτής δύο θέσεων με υστέρηση χρησιμοποιεί τη βάση που ορίστηκε στην παραπάνω συνάρτηση για να λειτουργήσει, διαθέτοντας κάποιες πρόσθετες οδηγίες που στοχεύουν στην προσομοίωση της καθυστέρησης στην απόκριση. Ο λόγος που η σύνταξη της εφαρμογής αυτής πραγματοποιήθηκε σε δομοστοιχείο

συνάρτησης είναι πως απαιτείται μνήμη για τη συγκράτηση τιμών ώστε να λειτουργήσει ομαλά, που εξ' ορισμού ένα απλό στοιχείο συνάρτησης δε διαθέτει.

Η πρώτη από τις νέες οδηγίες που παρατηρούμε πως χρησιμοποιούνται είναι η αριθμητική αφαίρεση (*subtract*: SUB), μέσω της οποίας υπολογίζεται η διαφορά των αριθμών που βρίσκονται στις θέσεις εισόδου της και εμφανίζεται στην έξοδο της. Αντίστοιχα λειτουργεί και η οδηγία αριθμητικής πρόσθεσης (ADD), με τη διαφορά πως αποτέλεσμα της είναι το άθροισμα των στοιχείων εισόδου της. Η οδηγία που είναι εξαιρετικά χρήσιμη σε διάφορες εφαρμογές, είναι η οδηγία μεταφοράς (*move value*: MOVE) που χρησιμοποιείται για τη μετακίνηση των στοιχείων που βρίσκονται στην είσοδο της, στη θέση που υποδεικνύεται από τις εξόδους της.



Εικόνα 3.4-29: Δομοστοιχείο συνάρτησης ελεγκτή δύο θέσεων με ανάδραση
 Αρχειακό υλικό

Οι λειτουργίες που εκτελούνται μέσω του παραπάνω συνόλου είναι οι εξής:

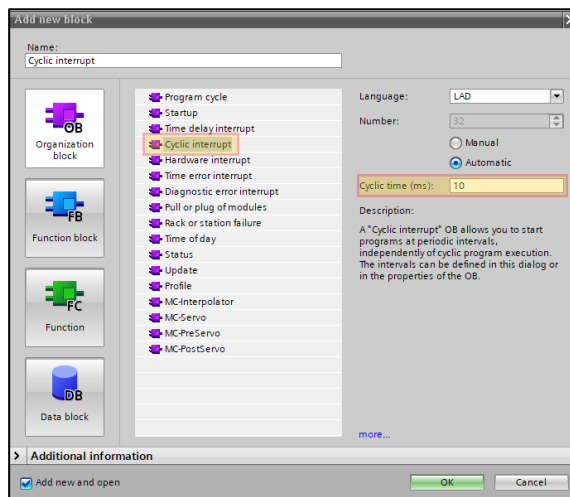
1. Η τιμή της στάθμης της δεξαμενής μετατρέπεται σε ακέραιο αριθμό από την οδηγία μετατροπής.
2. Στον άνω κλάδο του δικτύου ελέγχου, βρίσκεται η διαφορά που προκύπτει αν αφαιρεθεί η τιμή της υστέρησης (*#Tolerance*) από την τιμή της στάθμης, μιας και οι δύο αποδίδονται σε ποσοστιαία μορφή. Το αποτέλεσμα της διαφοράς (*#Level ON*) θα ενεργοποιήσει την έξοδο του ελεγκτή μέσα από την οδηγία πολλαπλασιασμού που είδαμε παραπάνω.

3. Ο κάτω κλάδος του δικτύου αφορά τη στάθμη που θα απενεργοποιηθεί η έξοδος του ελεγκτή. Για το σκοπό αυτό, υπολογίζεται η στάθμη απενεργοποίησης (*#Level OFF*), που προκύπτει ως το άθροισμα της στάθμης με την υστέρηση. Αν η τιμή της στάθμης απενεργοποίησης γίνει μεγαλύτερη της στάθμης αναφοράς, θα ενεργοποιήσει την οδηγία μετακίνησης που θα αποδώσει μηδενική τιμή στην ετικέτα ελέγχου της εξόδου του ελεγκτή. Αντίστοιχο αποτέλεσμα θα έχουμε αν υπερβαθούν τα όρια λειτουργίας που έχουμε ορίσει (0-105%).

- **Δομοστοιχείο ελεγκτή τριών σημείων**

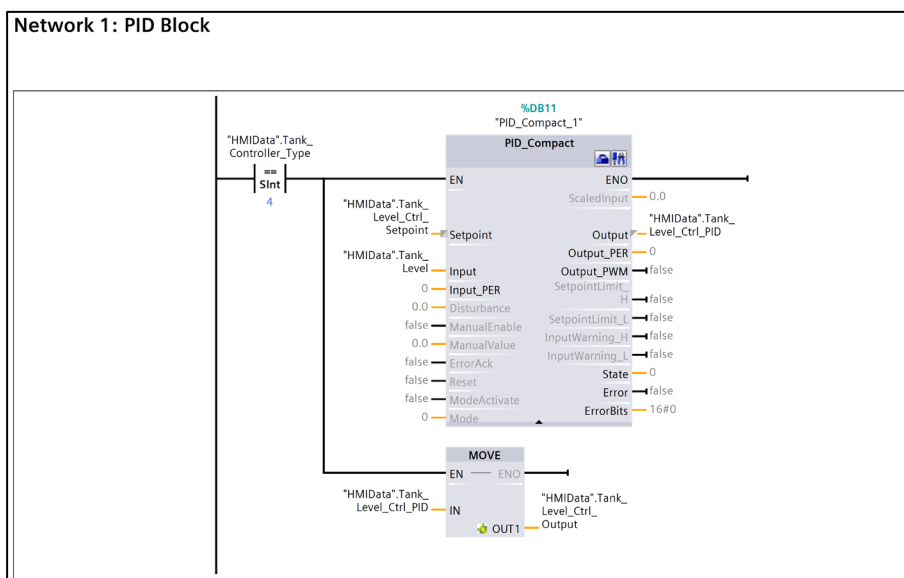
Ο ελεγκτής τριών όρων ή ελεγκτής *PID* που χρησιμοποιήσαμε για την εφαρμογή μας, αποτελεί μια αρκετά ιδιαίτερη περίπτωση στοιχείου στον προγραμματισμό της μονάδας ελέγχου, εξαιτίας της πολυπλοκότητας που τον διακρίνει. Μιας και η σύσταση του στοιχείου ελέγχου δεν πραγματοποιήθηκε εκ του μηδενός όπως οι προηγούμενες—αλλά αποτελεί προ-εγκατεστημένο στοιχείο του λογισμικού προγραμματισμού του ελεγκτή—η πληροφόρηση του αναγνώστη κρίνεται άσκοπη, ενδεχομένως και ζημιογόνος, για την ορθή κατανόηση της λειτουργίας του. Αντ' αυτού η αναφορά που ακολουθεί περιορίζεται στη διαδικασία ενσωμάτωσης και προσαρμογής του στις ενέργειες που τον αφορούν, ενώ προτείνεται η ανάγνωση του εγχειριδίου της κατασκευάστριας εταιρείας για περαιτέρω πληροφόρηση πάνω στις ικανότητες και τη δράση του (Siemens, 2019a).

Όπως προαναφέρθηκε η υλοποίηση αυτής της μορφής ελέγχου γίνεται μέσω ενός τεχνολογικά εξελιγμένου στοιχείου, οπότε και η τοποθέτηση του στο γενικότερο πρόγραμμα του ελεγκτή εμφανίζει ιδιαιτερότητες. Στο θεωρητικό υπόβαθρο της εργασίας οι μορφές ελέγχου διακρίθηκαν σε συνεχείς και ασυνεχείς, με τον ελεγκτή τριών όρων να υπάγεται στην πρώτη κατηγορία. Επομένως είναι κατανοητό πως η επιτήρηση και η διόρθωση της ελεγχόμενης διεργασίας θα πρέπει να θεωρούνται συνεχείς ως προς τη μεταβολή της στο χρόνο. Για το σκοπό αυτό ο ελεγκτής *PID* χρειάζεται να «φιλοξενηθεί» σε δομοστοιχείο οργάνωσης που θα κινείται αυτόνομα—δηλαδή δε θα ακολουθεί την τυπική επανάληψη που γίνεται σε κάθε κύκλο του συνολικού προγράμματος—με συχνότητα επανάληψης τα 10ms.



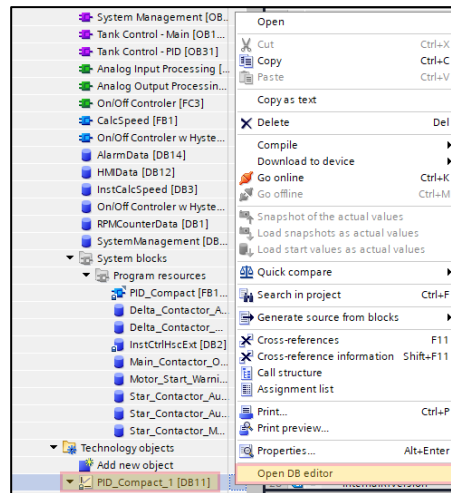
Εικόνα 3.4-30: Εισαγωγή δομοστοιχείου οργάνωσης με κυκλική διακοπή
Αρχειακό υλικό

Στο δομοστοιχείο οργάνωσης (Εικόνα 3.4-31) βρίσκονται πέραν του στοιχείου ελέγχου, μια επαφή σύγκρισης που θα ενεργοποιήσει τον ελεγκτή όταν η μεταβλητή επιλογής τύπου ελεγκτή (*Tank_Controller_Type*) λάβει τιμή ίση με «4», όπως και μια οδηγία μετακίνησης για τη μεταφορά της εξόδου του ελεγκτή (*Tank_Level_Ctrl_PID*) στην ετικέτα που θα καθορίσει την τιμή της αναλογικής εξόδου του Π.Λ.Ε. (*Tank_Level_Ctrl_Output*).



Εικόνα 3.4-31: Δομοστοιχείο προγράμματος ελεγκτή PID
Αρχειακό υλικό

Άλλα στοιχεία του συγκεκριμένου ελεγκτή στα οποία δίνεται η δυνατότητα επέμβασης αφορούν τη μεταβολή των παραμέτρων του και την ενεργοποίηση μεθόδων ρύθμισης, τα οποία δεν απαιτήσαν κάποια άμεση τροποποίηση της οργάνωσης του, πέραν της ανάσυρσης των σχετικών ετικετών.



Εικόνα 3.4-32: Εύρεση των ετικετών που χρησιμοποιούνται από τον ελεγκτή PID

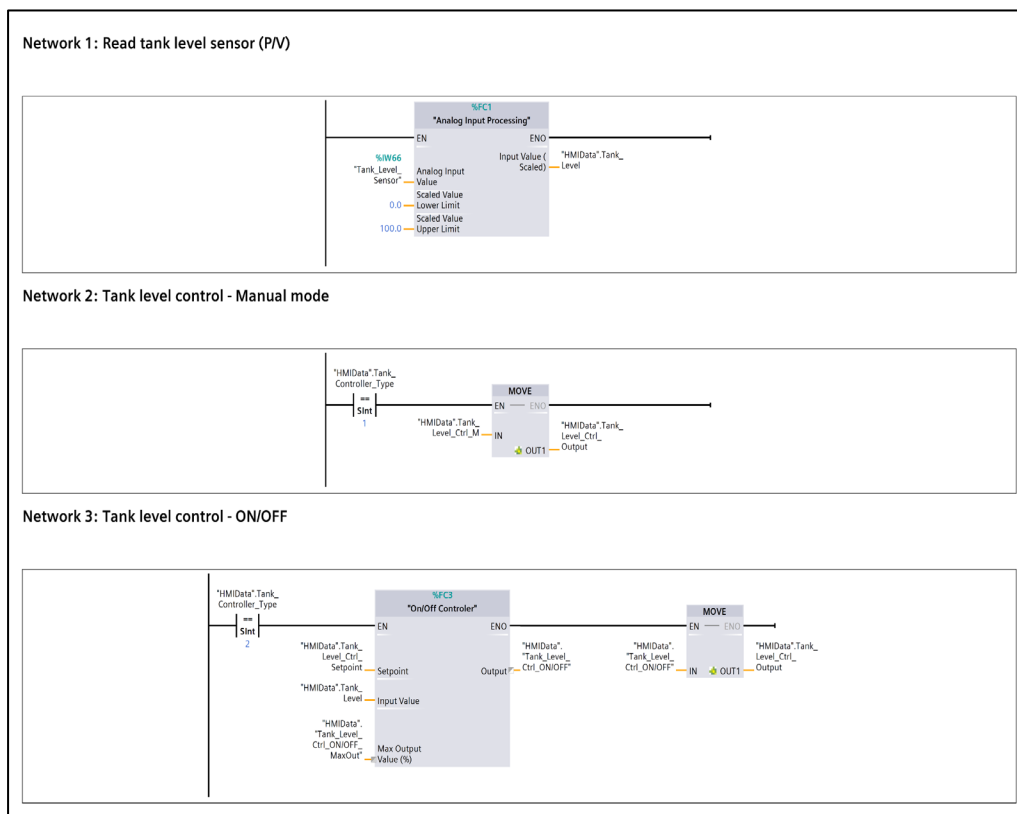
Αρχαιακό υλικό

Πέραν του ελεγκτή τριών σημείων, που τοποθετείται ως αυτόνομη οντότητα, οι προηγούμενες μέθοδοι ελέγχου καλούνται σε ένα κύριο δομοστοιχείο οργάνωσης που αφορά το γενικότερο έλεγχο στάθμης και απαρτίζεται από έξι δίκτυα (Εικόνα 3.4-33, Εικόνα 3.4-34). Στο πρώτο δίκτυο καλείται η συνάρτηση διαμόρφωσης του αναλογικού σήματος, που είδαμε παραπάνω (Εικόνα 3.4-26), στην είσοδο της οποίας τοποθετείται η διεύθυνση της θύρας αναλογικής εισόδου στην οποία δεχόμαστε το σήμα του μετατροπέα πίεσης (%IW66), ενώ ορίζονται η μέγιστη και ελάχιστη τιμή του εύρους κλιμάκωσης (0,100) ώστε να συμφωνεί με τη φυσική στάθμη της πειραματικής δεξαμενής.

Το δεύτερο δίκτυο περιέχει μια κανονικά ανοικτή επαφή σύγκρισης και μια οδηγία μετακίνησης. Η επαφή λειτουργεί ταυτόσημα με το αντίστοιχο στοιχείο που περιέχεται στο δομοστοιχείο οργάνωσης του ελεγκτή τριών όρων και στοχεύει στην ενεργοποίηση της οδηγίας μετακίνησης εφόσον η σύγκριση είναι αληθής. Η οδηγία μετακίνησης χρησιμοποιείται για τη μεταφορά της ετικέτας που αφορά το χειρισμό της αναλογικής εξόδου (*Tank_Level_Ctrl_M*), στη σχετική ετικέτα που οδηγεί τη φυσική θύρα (*Tank_Level_Ctrl_Output*). Το δίκτυο αυτό επιτρέπει την ενεργοποίηση της

αντλίας σε διαφορετικά επίπεδα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βαθμονόμηση του μετατροπέα πίεσης, όπως και για το γενικότερο χειρισμό της αντλίας δίχως να επεμβαίνει κάποιος εκ των ελεγκτών που αναφέραμε.

Στο τρίτο δίκτυο παρατηρούμε πως καλείται η συνάρτηση του ελεγκτή δύο θέσεων, τοποθετώντας τις ετικέτες που έχουμε επιλέξει για την αποθήκευση των δεδομένων εισόδου και εξόδου στις κατάλληλες θέσεις του στοιχείου κλήσης. Η ενεργοποίηση της πραγματοποιείται επίσης από μια επαφή σύγκρισης, μέσω της οποίας θα ενεργοποιηθεί και η οδηγία μετακίνησης του αποτελέσματος του ελεγκτή στη θύρα εξόδου.

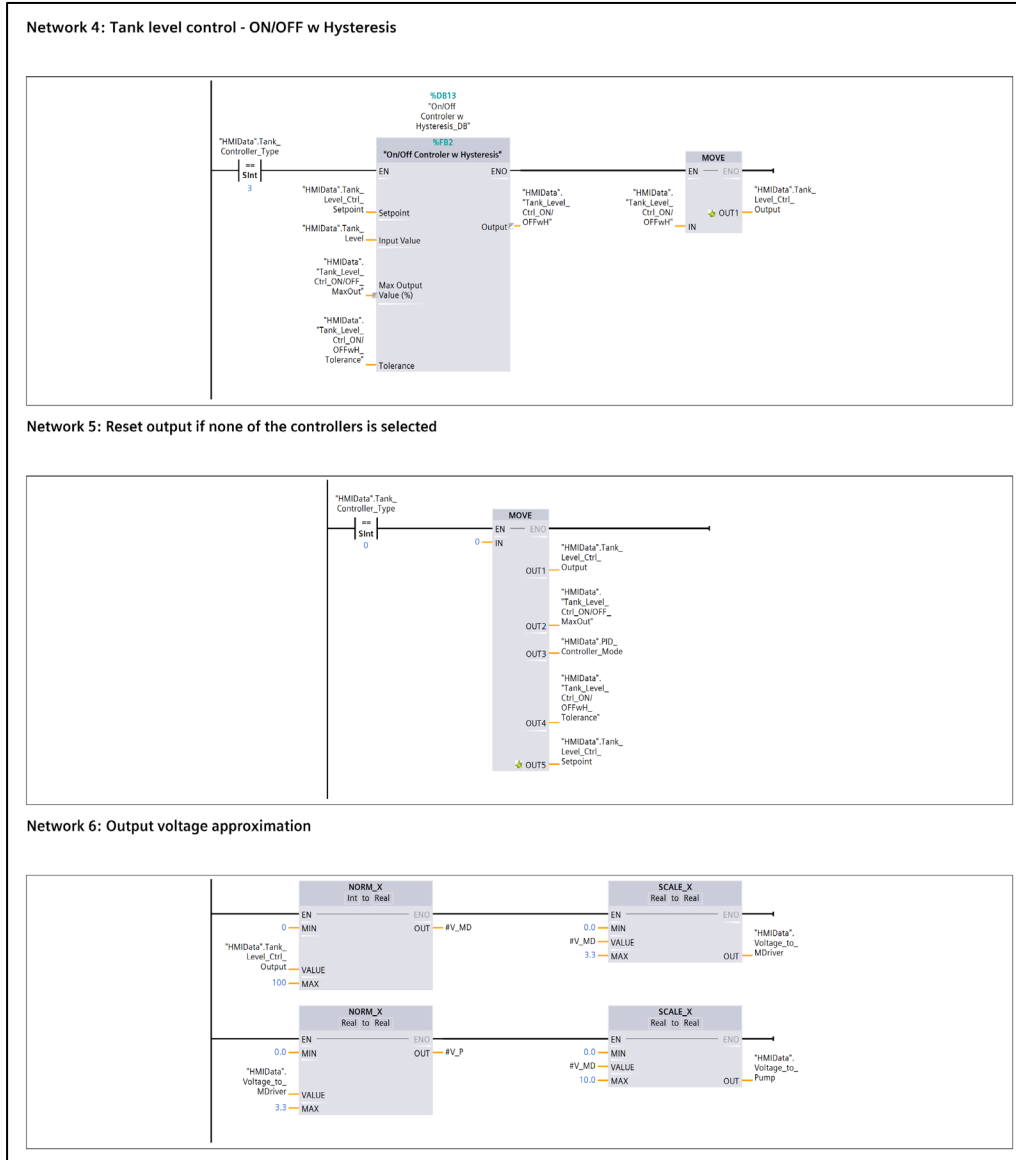


Εικόνα 3.4-33: Δίκτυα προγράμματος ελέγχου στάθμης (1/2)

Αρχαιακό υλικό

Στα υπόλοιπα δίκτυα του δομοστοιχείου εντοπίζονται επίσης γνωστά στοιχεία, στα οποία ακολουθείται η ίδια δομή οργάνωσης με την παρουσία τους στο πρόγραμμα να υποστηρίζεται από στοιχεία σύγκρισης και μετακίνησης ετικετών. Προς πληρότητα της αναφοράς μας οφείλουμε να αναφέρουμε πως στο τέταρτο δίκτυο καλείται το δομοστοιχείο συνάρτησης ελεγκτή δύο θέσεων με ανάδραση, ενώ το πέμπτο δίκτυο

μηδενίζει το μεγαλύτερο μέρος των μεταβλητών που συμμετέχουν στον έλεγχο στάθμης—πέραν των συντελεστών που χρησιμοποιούνται από τον ελεγκτή *PID*—για την επαναφορά του προγράμματος ελέγχου στην αρχική του κατάσταση.



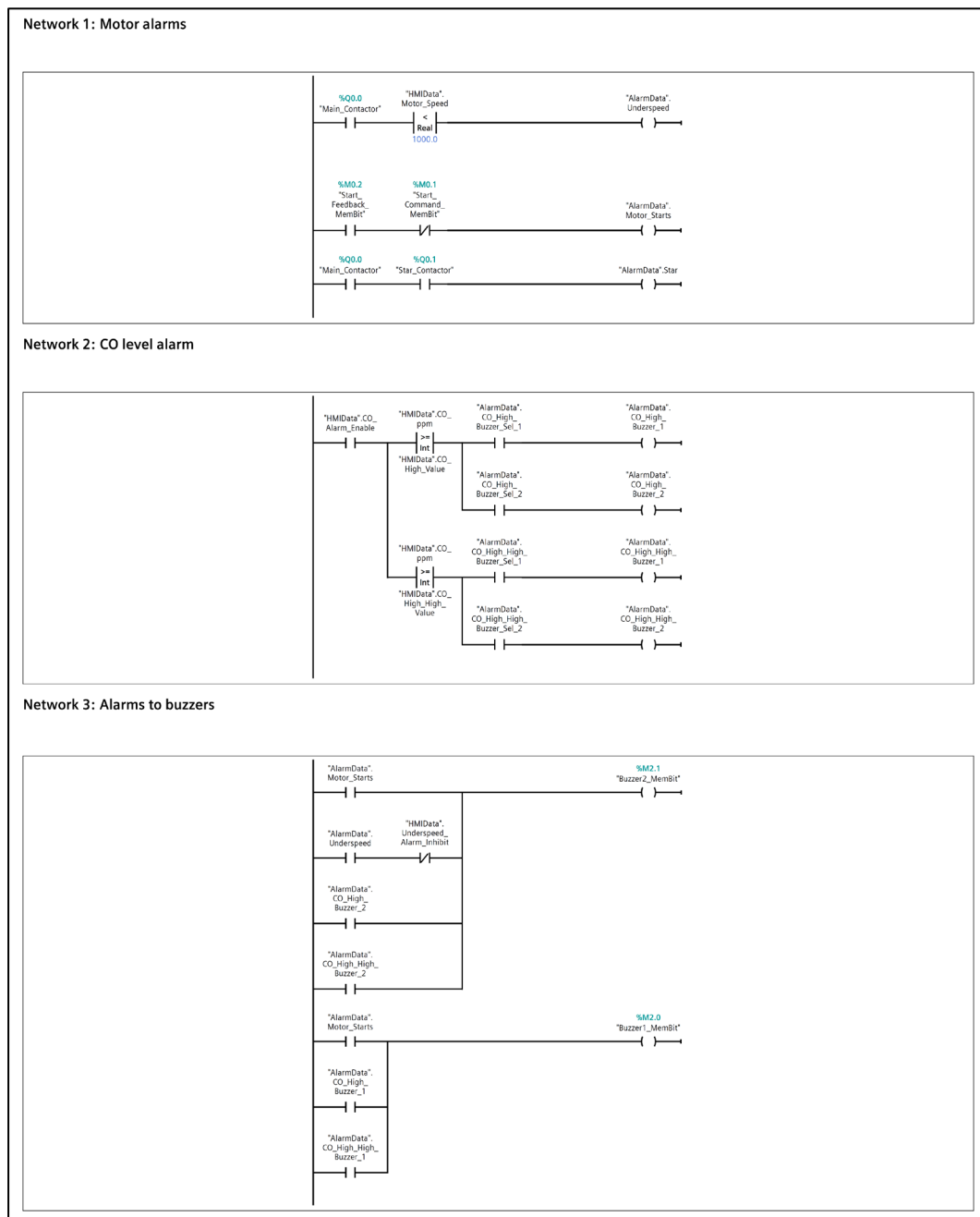
Εικόνα 3.4-34: Δίκτυα προγράμματος ελέγχου στάθμης (2/2)

Αρχειακό υλικό

Ολοκληρώνοντας, το έκτο δίκτυο περιέχει τις οδηγίες εξομάλυνσης και κλιμάκωσης, που συναντήσαμε και σε προηγούμενες περιπτώσεις, με τη χρήση τους να αφορά την εκτίμηση των τιμών τάσης που δέχονται η συσκευή «οδήγησης» (*driver*) και η αντλία, σε σχέση με την έξοδο του προγράμματος ελέγχου.

3.4.7. Συμπληρωματικά στοιχεία

Το πρόγραμμα του ελεγκτή που περιεγράφηκε στις προηγούμενες ενότητες, χρησιμοποιεί κάποια πρόσθετα στοιχεία που συμπληρώνουν τις δραστηριότητες του. Το πρώτο από αυτά είναι το δομοστοιχείο μέσω του οποίου δημιουργούνται συναγερμοί που αφορούν τη λειτουργία του κινητήρα και τον αισθητήρα μονοξειδίου.



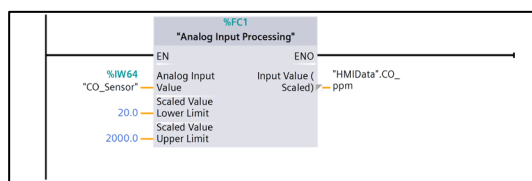
Εικόνα 3.4-35: Δομοστοιχείο οργάνωσης συναγερμών

Αρχειακό υλικό

Στο παραπάνω δομοστοιχείο χρησιμοποιούνται γνωστές οδηγίες για τη μεταβολή της εκάστοτε ετικέτας συναγερμού, ενώ κάθε δίκτυο αφορά την εξυπηρέτηση συγκεκριμένου σκοπού. Το πρώτο δίκτυο περιέχει στοιχεία που δρουν ως εξής:

1. Ο πρώτος κλάδος αφορά την ενεργοποίηση του συναγερμού χαμηλής ταχύτητας του κινητήρα. Η σχετική ετικέτα ενεργοποιείται εφόσον η επαφή που αφορά τον κύριο ηλεκτρονόμο του είναι κλειστή και η ταχύτητα που καταγράφεται είναι χαμηλότερη των $1000rpm$.
2. Στο δεύτερο κλάδο εντοπίζονται τα στοιχεία που παράγουν το συναγερμό εκκίνησης του κινητήρα. Η ετικέτα αυτή θα γίνει αληθής εφόσον έχει δοθεί η εντολή εκκίνησης, όμως δεν είναι αληθής η εντολή ενεργοποίησης της ετικέτας που ελέγχεται από το δίκτυο χρονικής καθυστέρησης της (Εικόνα 3.4-18).
3. Ο τρίτος κλάδος χρησιμοποιεί τις επαφές του κύριου ηλεκτρονόμου και του ηλεκτρονόμου της συνδεσμολογίας αστέρα για την παραγωγή συναγερμού που θα υποδεικνύει πως ο κινητήρας λειτουργεί σε αστέρα, οπότε και σε χαμηλότερη ισχύ.

Το δεύτερο δίκτυο λειτουργεί βάσει της εισόδου που δέχεται από τον αισθητήρα μονοξειδίου. Η ανάγνωση του αισθητήρα πραγματοποιείται σε αυτόνομο δομοστοιχείο, μέσω της συνάρτησης διαχείρισης αναλογικής εισόδου που έχει διαμορφωθεί κατάλληλα για να δέχεται την είσοδο της από την ετικέτα της θύρας που βρίσκεται εγκατεστημένος ο αισθητήρας ($\%IW64$) και να πραγματοποιεί την κλιμάκωση στο εύρος λειτουργίας του ($20-2000ppm$).



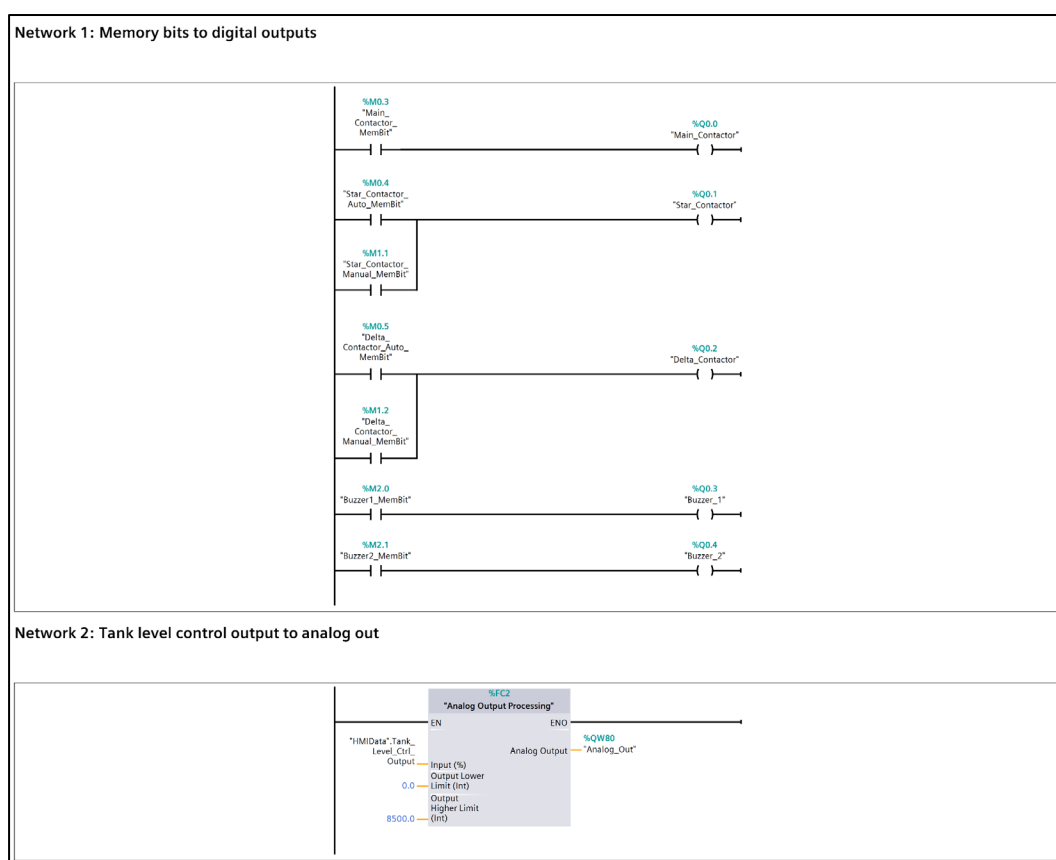
Εικόνα 3.4-36: Ανάγνωση αισθητήρα μονοξειδίου

Αρχαιακό υλικό

Έτσι, μέσω των συγκρίσεων και των επαφών που βρίσκονται στο δίκτυο, ο χρήστης έχει την ικανότητα να ορίσει τα επίπεδα που θα ενεργοποιηθούν οι συναγερμοί υψηλής (CO_High_Value) και πολύ υψηλής ($CO_High_High_Value$) στάθμης μονοξειδίου, όπως και αν η υπέρβαση τους θα δημιουργήσει ηχητική ειδοποίηση μέσω των εγκατεστημένων βομβητών (*buzzer*).

Στο τελευταίο δίκτυο οι συναγερμοί συγκεντρώνονται και τοποθετούνται σε δύο κύριους κλάδους που αφορούν την ενεργοποίηση της ετικέτας του κάθε βομβητή, εφόσον ισχύσει κάποιος εξ αυτών.

Αντίστοιχη του τελευταίου δικτύου είναι και η λειτουργία του δομοστοιχείου οργάνωσης που περιέχει τους κλάδους μέσω των οποίων μεταφέρονται οι ετικέτες των οποίων η υπόσταση περιορίζεται στη μεταφορά μεταβλητών εντός του προγράμματος, στις σχετικές ετικέτες που ελέγχουν τις φυσικές εξόδους του ελεγκτή.



Εικόνα 3.4-37: Μεταφορά ετικετών μνήμης στις ετικέτες των φυσικών εξόδων

Αρχαιακό υλικό

Όπως είναι εμφανές, η λειτουργία του πρώτου δικτύου αυτού του δομοστοιχείου δεν εμφανίζει κάποια προγραμματιστική ιδιαιτερότητα που να είναι άξια αναφοράς. Στο δεύτερο δίκτυο βρίσκεται τοποθετημένη η συνάρτηση που αφορά την οδήγηση της θύρας αναλογικής εξόδου (%QW80), βάσει της τιμής που θα δεχθεί από την έξοδο των δομοστοιχείων ελέγχου στάθμης. Μια σημαντική παρατήρηση που μπορεί να γίνει για αυτό το στοιχείο, είναι πάνω στις τιμές που γίνεται η κλιμάκωση του επιπέδου τάσης

που θα εξαχθεί, που στη συγκεκριμένη περίπτωση καθορίζεται από το εύρος της τάσης που κινείται η έξοδος του ελεγκτή, το εύρος της τάσης που μπορεί να δεχθεί ο οδηγός της αντλίας, την τάση που χρησιμοποιείται στη διάταξη της δεξαμενής και το εύρος της τάσης που μπορεί να λειτουργήσει η αντλία.

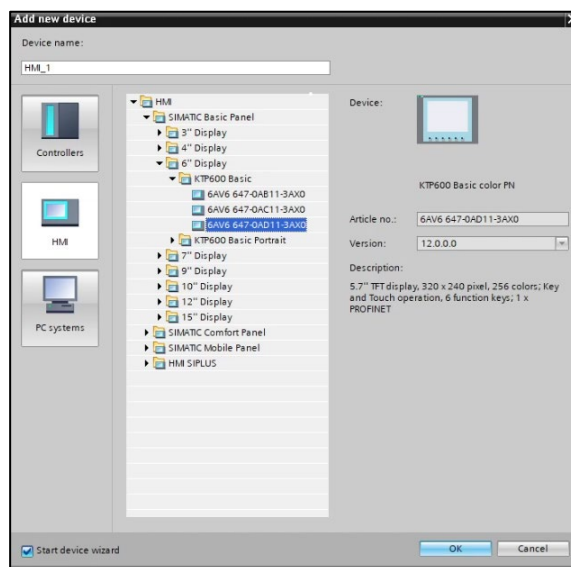
Παραπάνω έγινε αναφορά στην αναπαράσταση της τάσης των αναλογικών θυρών στο πρόγραμμα του ελεγκτή και στην απόδοση τους ως «λέξεις δεδομένων». Με γνώμονα πως η μονάδα οδήγησης της αντλίας δέχεται τάση ελέγχου $0-5V DC$, εμφανίζεται η ανάγκη τροποποίησης της μέγιστης τιμής που θα λάβει η αναλογική έξοδος, στο μισό της αρχικής ($27648 \rightarrow 13824$). Έπειτα, με τον εγγενή εξοπλισμό της πειραματικής διάταξης της δεξαμενής, η μέγιστη τάση που δέχεται η αντλία είναι $10V DC$ που προέκυψε ως προϊόν υποβάθμισης της κύριας τάσης που βρίσκεται στα $15V DC$. Επομένως απαιτείται περαιτέρω τροποποίηση της τάσης που εξάγεται από τον ελεγκτή για τον περιορισμό της τάσης εξόδου του οδηγού στα $10V DC$ ($13824 \rightarrow 9216$). Βέβαια, αποδείχθηκε πειραματικά πως η απόκριση του οδηγού δεν κινείται γραμμικά σε σχέση με την είσοδο του, οπότε καταλήξαμε στην απόδοση της μέγιστης τιμής «8500» στη σχετική ετικέτα του ελεγκτή, που το αποτέλεσμα της παρουσιάζει ικανοποιητική εγγύτητα στην επιθυμητή τιμή της εξόδου.

3.4.8. Συσκευή διεπαφής ανθρώπου-μηχανής

Η συσκευή διεπαφής ανθρώπου-μηχανής (*HMI*) είναι συμπληρωματικός εξοπλισμός της μονάδας του ελεγκτή, που οι δυνατότητες του σκιαγραφήθηκαν στο σχετικό κεφάλαιο της θεωρητικής αναφοράς. Στη διάταξη που αναπτύσσουμε, η λειτουργία της μονάδας αυτής βρίσκει χρήση κυρίως στην παροχή ενός ενσωματωμένου μέσου παρακολούθησης των εργασιών που εκτελούνται και ελέγχου των μεταβλητών του προγράμματος που ορίζονται από το χρήστη. Επίσης προστέθηκαν κάποιες λειτουργίες δευτερεύουσας πρακτικής σημασίας, που παρουσιάζουν ιδιαίτερο τεχνικό ενδιαφέρον και μπορούν να αποτελέσουν τη βάση για την εισαγωγή των εκπαιδευόμενων σε εφαρμογές αυξημένων προγραμματιστικών απαιτήσεων.

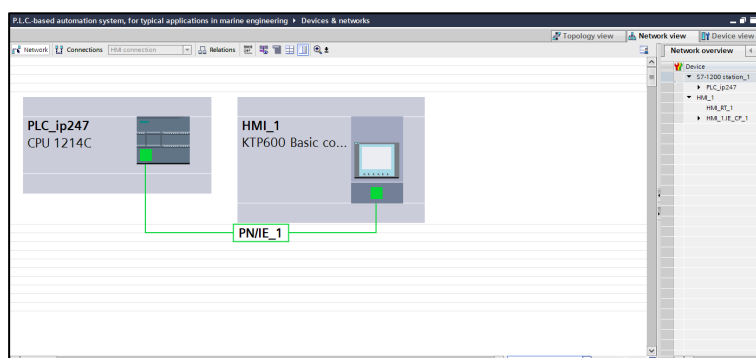
Την αφετηρία της διαμόρφωσης της μονάδας διεπαφής αποτελεί η εισαγωγή της στο τρέχον έργο του λογισμικού προγραμματισμού των ψηφιακών μονάδων. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω της ίδιας διαδικασίας που εισήγαμε τον προγραμματιζόμενο

λογικό ελεγκτή, εντοπίζοντας τη συσκευή βάσει του εμπορικού κωδικού της και την έκδοση του υλικολογισμικού που διαθέτει.



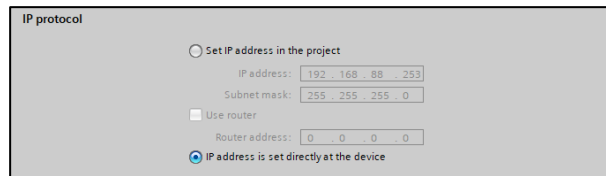
Εικόνα 3.4-38: Προσθήκη του HMI στο τρέχον έργο
Αρχειακό υλικό

Ύστερα, μπορούν να ρυθμιστούν οι δικτυακές παράμετροι υπό τις οποίες θα λειτουργήσει η οθόνη διεπαφής και θα αλληλοεπιδράσει με τη μονάδα ελέγχου. Οι δύο συσκευές πρέπει να τοποθετηθούν σε κοινό δίκτυο στο οποίο θα ορίζεται και ο διάυλος επικοινωνίας του. Μιας και κατά την εισαγωγή της μονάδας ελέγχου είχαμε ήδη δημιουργήσει το υπό-δίκτυο «PN/IE_1», απλά ορίσαμε πως η επικοινωνία της μονάδας διεπαφής θα πραγματοποιηθεί μέσω αυτού.



Εικόνα 3.4-39: Ανανεωμένη μορφή του δικτύου PROFINET
Αρχειακό υλικό

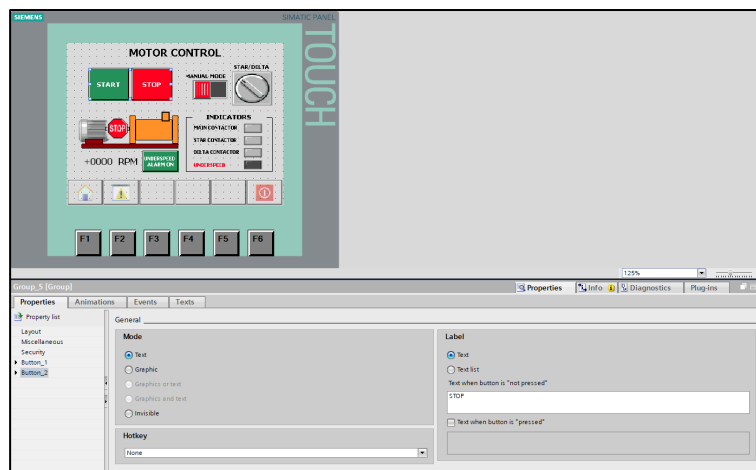
Ολοκληρώνοντας την προετοιμασία της συσκευής, ορίζουμε μέσω του κατάλληλου καταλόγου επιλογών πως η διεύθυνση IP με την οποία θα επικοινωνήσει τόσο με το λογισμικό προγραμματισμού, όσο και με τη μονάδα του ελεγκτή, θα αντληθεί από τη συσκευή και δε θα οριστεί ως παράμετρος του έργου.



Εικόνα 3.4-40: Ρύθμιση της διεύθυνσης διαδικτυακού πρωτοκόλλου

Αρχειακό υλικό

Ο προγραμματισμός της οθόνης διεπαφής είναι εξαιρετικά απλός για το μεγαλύτερο μέρος των λειτουργιών που μπορεί να υποστηρίξει η συγκεκριμένη συσκευή, με την εισαγωγή στοιχείων εισόδου, εξόδου και εισόδου/εξόδου (που λειτουργούν αμφίδρομα τόσο για τον έλεγχο όσο και για την εποπτεία μιας μεταβλητής) να πραγματοποιείται σε γραφικό περιβάλλον. Ακόμα, το λογισμικό προγραμματισμού διαθέτει και ενσωματωμένες βιβλιοθήκες στοιχείων μέσω των οποίων μπορεί να επιλεγεί κάποιο ήδη γραφικά διαμορφωμένο στοιχείο, χωρίς να απαιτείται ο ορισμός της απεικόνισης του σε κάθε κατάσταση από τον προγραμματιστή.



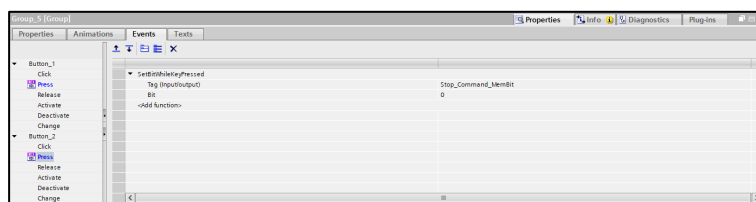
Εικόνα 3.4-41: Ενδεικτική απεικόνιση των παραμέτρων ενός ψηφιακού πλήκτρου

Αρχειακό υλικό

Όπως στα περισσότερα προγραμματιστικά περιβάλλοντα αυτής της φύσεως, κάθε στοιχείο που εισάγεται είναι σε υψηλό βαθμό παραμετροποιήσιμο, οπότε και μπορούν

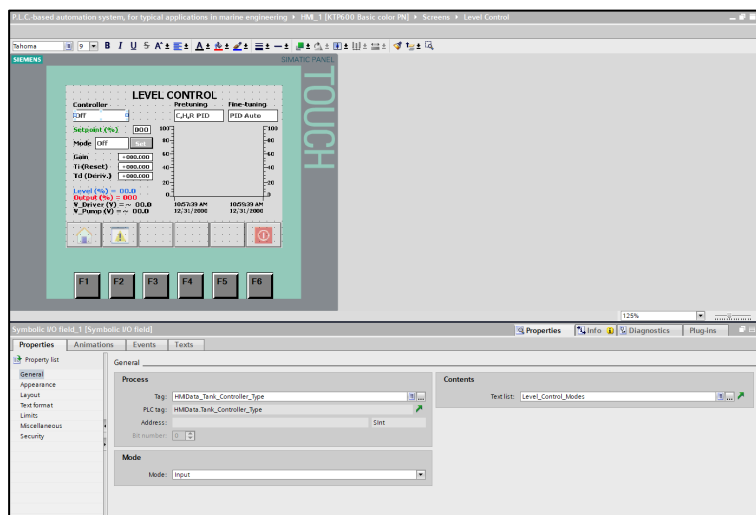
να αλλάξουν το χρώμα του, το κείμενο που φέρει και άλλα χαρακτηριστικά της οπτικής παρουσίας του.

Μετά την τοποθέτηση ενός «συστατικού» του προγράμματος στην εκάστοτε οθόνη της συσκευής διεπαφής, ορίζεται η ετικέτα που θα συνδεθεί με αυτό όπως και οι συνθήκες υπό τις οποίες θα παραγάγει σήμα εξόδου. Τέτοιες συνθήκες μπορεί να είναι κατά την όποια μεταβολή του, όταν επιλέγεται, όταν πάψει να είναι επιλεγμένο κ.ο.κ..



Εικόνα 3.4-42: Ορισμός ενέργειας για αλληλεπίδραση με τα στοιχεία της οθόνης διεπαφής
Αρχειακό υλικό

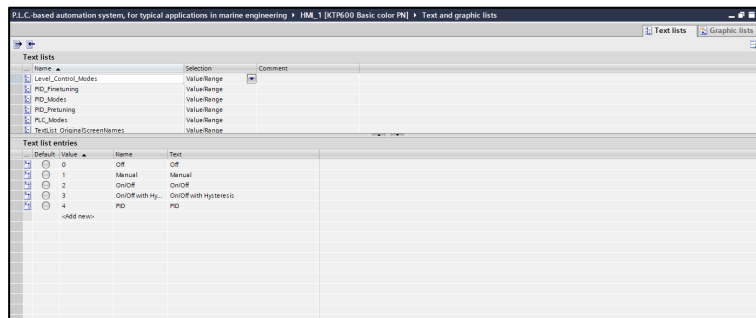
Εφάμιλλη λειτουργία με τα συμβατικά στοιχεία, παρουσιάζουν και οι λίστες γραφικών ή κειμένου, μέσω των οποίων η επιλογή του χρήστη μεταφράζεται σε τιμή που τοποθετείται στην ελεγχόμενη ετικέτα του ελεγκτή.



Εικόνα 3.4-43: Εισαγωγή στοιχείου εισόδου που εδράζεται σε λίστα κειμένου
Αρχειακό υλικό

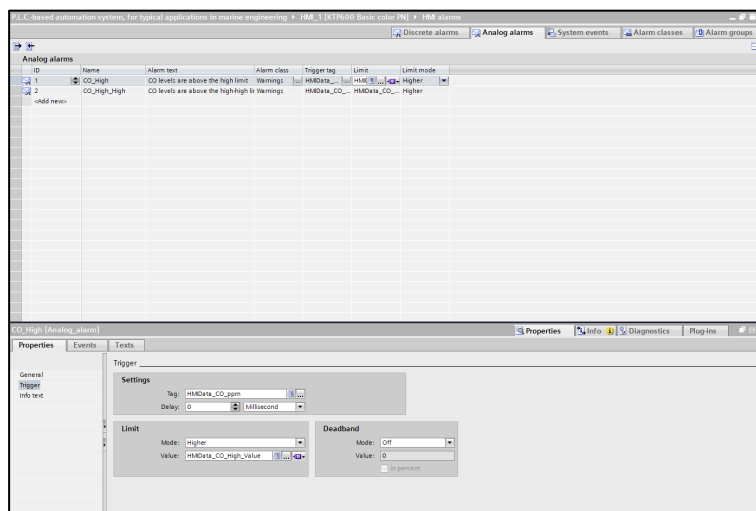
Για τη δράση τους, οι λίστες ορίζονται στη σχετική θέση του λογισμικού προγραμματισμού και τα πεδία τους αντιστοιχίζονται σε μία τιμή—που μπορεί να

αφορά αριθμό, κείμενο κ.α.—και αποτελεί την κύρια μεταβλητή τους, οπότε και μπορούμε να θεωρήσουμε τις λίστες οδηγούμενες από τα δεδομένα αυτά.



Εικόνα 3.4-44: Δημιουργία λίστας κειμένου
Αρχειακό υλικό

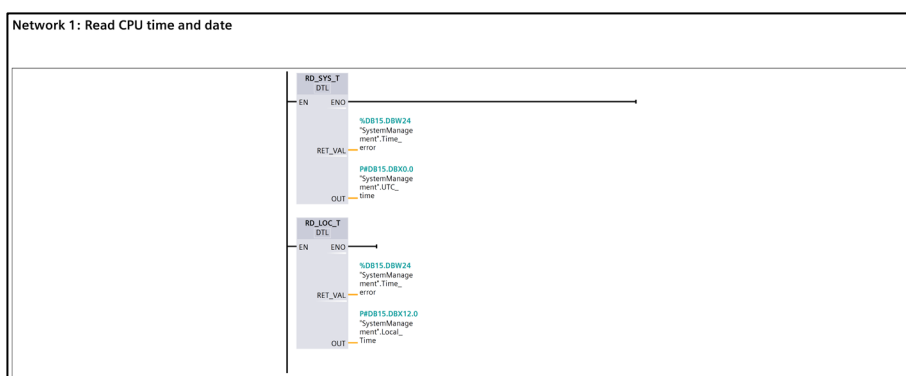
Μια άλλη λειτουργία που διατίθεται στην οθόνη διεπαφής είναι η δημιουργία συναγερμών για ετικέτες που αφορούν δυαδικές μεταβλητές, κίνηση μιας τιμής που αφορά αναλογικό εξοπλισμό εκτός των προβλεπόμενων ορίων, συμβάντα συστήματος κ.α.. Βέβαια, οι συναγερμοί που ορίζονται στη συσκευή δεν επιτρέπουν την ενεργοποίηση κάποιου φυσικού συναγερμού (δηλαδή οπτικής ή ηχητικής σήμανσης), αλλά ειδοποιούν το χρήστη μέσω της οθόνης συναγερμών—που υπάρχει στο πρόγραμμα τους—με την αναπαραγωγή κειμένου που έχει προκαθοριστεί κατά τη διαμόρφωση τους.



Εικόνα 3.4-45: Δημιουργία αναλογικού συναγερμού
Αρχειακό υλικό

Βάσει της παραπάνω αναφοράς—και έχοντας εξοικειωθεί με τον προγραμματισμό του ελεγκτή—η σύσταση του προγράμματος που θα δεχθεί η οθόνη διεπαφής δεν παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, καθώς η τοποθέτηση των περισσότερων στοιχείων έγινε μέσα από τη διαδικασία που περιεγράφηκε. Εξαιρέση στη θέση αυτή αποτελούν οι λειτουργίες που αφορούν τη διαχείριση του ελεγκτή, μέσω της οθόνης διεπαφής.

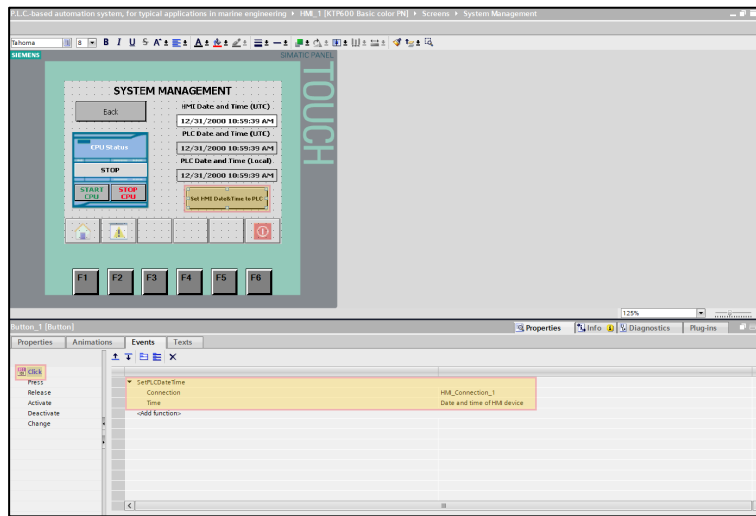
Η πρώτη εφαρμογή αφορά την ανάγνωση της ώρας και της ημερομηνίας που βρίσκονται στον ελεγκτή και την αντικατάστασή τους από τα στοιχεία που βρίσκονται στην οθόνη διεπαφής. Αν και ελάχιστος σημασίας στις εφαρμογές που αναπτύξαμε, τα στοιχεία αυτά είναι εξαιρετικά χρήσιμα σε λειτουργίες που αφορούν την καταγραφή δεδομένων, όπου απαιτείται η χρονική τοποθέτηση των τιμών της επιτηρούμενης διεργασίας. Οι προγραμματιστικές οντότητες που αφορούν αυτή τη λειτουργία εντοπίζονται τόσο στον ελεγκτή όσο και στην οθόνη διεπαφής. Το δομοστοιχείο οργάνωσης στη μονάδα ελέγχου που έχει ως στόχο του την «άντληση» των τιμών αυτών, συντελείται από δύο οδηγίες ανάγνωσης, για ώρα του συστήματος (*read time-of-day*: RD_SYS_T) και την τοπική ώρα (*read local time*: RD_LOC_T). Με την ενεργοποίησή τους, αυτά τα στοιχεία μεταφέρουν τα δεδομένα τους στις σχετικές ετικέτες του δομοστοιχείου δεδομένων (Εικόνα 3.4-50) που αφορά τη διαχείριση του συστήματος, σε μορφή «DTL» (*extended date-time/date-time long*).



Εικόνα 3.4-46: Στοιχεία ανάγνωσης ημερομηνίας και ώρας από τον ελεγκτή
 Αρχειακό υλικό

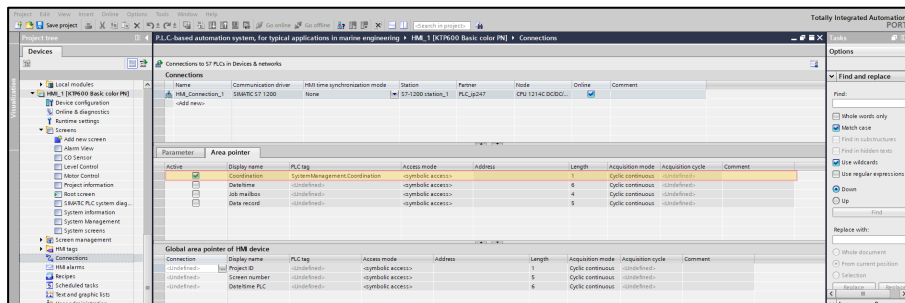
Το τμήμα της λειτουργίας που αφορά την αλλαγή της ώρας της μονάδας διεπαφής, βρίσκεται στη σχετική οθόνη και δημιουργείται ως απλό στοιχείο εισόδου/εξόδου για τιμές. Η μεταφορά των δεδομένων στον ελεγκτή γίνεται με τη χρήση του σχετικού πλήκτρου, που ενεργοποιεί την οδηγία μεταβολής της τιμής του χρόνου του

συστήματος του ελεγκτή, αντλώντας την τιμή της ώρας που έχει οριστεί στη συσκευή διεπαφής.



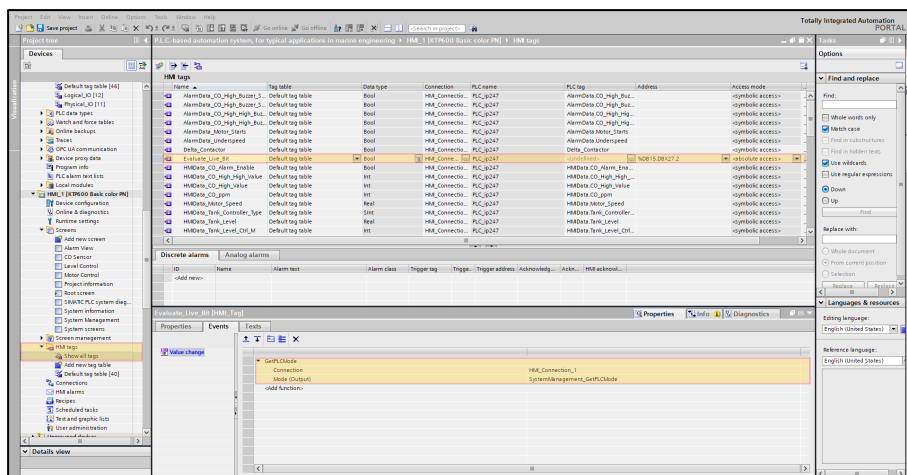
Εικόνα 3.4-47: Εντολή λήψης ημερομηνίας και ώρας από τη μονάδα διεπαφής
Αρχαιακό υλικό

Μια πιο σύνθετη διεργασία είναι αυτή που έχει να κάνει με την αξιολόγηση της τρέχουσας κατάστασης του επεξεργαστή του ελεγκτή, και την απόδοση της ως κείμενο. Ο σκοπός αυτής της λειτουργίας είναι να ενημερώσει το χρήστη για τη λειτουργία του ελεγκτή, ιδίως όταν είναι τοποθετημένος κάπου όπου οι φωτεινές ενδείξεις που φέρει δεν είναι ορατές. Ως αφετηρία της σύστασης αυτής της διαδικασίας μπορεί να θεωρηθεί ο ορισμός μιας διεύθυνσης «συντονισμού» (*coordination area pointer*), για τον οποίο δημιουργείται μια ειδική ετικέτα στο σχετικό δομοστοιχείο δεδομένων.



Εικόνα 3.4-48: Ενεργοποίηση διεύθυνσης συντονισμού
Αρχαιακό υλικό

Στόχοι της διεύθυνσης συντονισμού είναι η ανίχνευση της εκκίνησης της οθόνης διεπαφής στο πρόγραμμα ελέγχου, αξιολόγηση της λειτουργίας της και της κατάστασης επικοινωνίας της με τον ελεγκτή. Η διεύθυνση αυτή έχει μήκος λέξης (16-bit), που το δεύτερο ψηφίο της αλλάζει κάθε δευτερόλεπτο και αφορά τον εντοπισμό ενεργούς σύνδεσης με τον ελεγκτή. Επομένως, μπορούμε να αξιολογήσουμε τη λειτουργία του Π.Λ.Ε., οδηγώντας την ενσωματωμένη εντολή λήψης της κατάστασης του (*GetPLCMode*) μέσω του *bit* που λειτουργεί ως ένδειξη επικοινωνίας. Οπότε δημιουργούμε μια ετικέτα δυαδικού χαρακτήρα (*Evaluate_Life_Bit*) που αφορά τη λήψη του δεύτερου στοιχείου της ετικέτας προσανατολισμού (%DB15.DBX27.2¹⁴) μέσω του οποίου θα ανανεώνεται σε κάθε δευτερόλεπτο επικοινωνίας μεταξύ των δύο συσκευών, και θα οδηγεί την προαναφερθείσα εντολή. Η παραπάνω διαδικασία έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση μιας τιμής στην ετικέτα «*GetPLCMode*», η οποία αλλάζει για κάθε κατάσταση λειτουργίας του ελεγκτή (Εικόνα 3.4-50).



Εικόνα 3.4-49: Εντολή αξιολόγησης της κατάστασης του επεξεργαστή της ελεγκτικής μονάδας

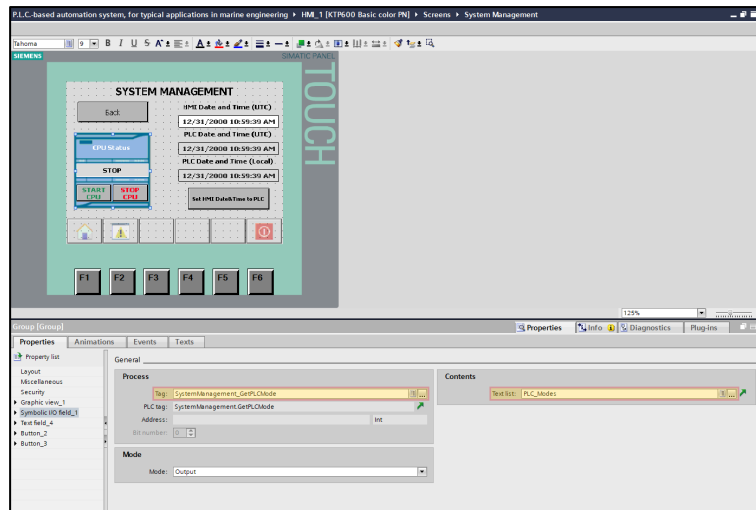
Αρχαικό υλικό

Name	Data type	Offset	Start value	Retain	Accessible f.	Write	Visible in	Setpoint	Comment
Static									
UTC_time	DTL	0.0	DTL# 1970-01-01+		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Local_Time	DTL	12.0	DTL# 1970-01-01+		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Time_error	Word	24.0	16#0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Coordination	Word	26.0	16#0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
GetPLCMode	Int	28.0	0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Εικόνα 3.4-50: Δομοστοιχείο δεδομένων των λειτουργιών διαχείρισης του συστήματος

Αρχαικό υλικό

¹⁴ Δηλαδή θα χρησιμοποιήσει την τιμή που αποθηκεύεται στην 27^η θέση του δομοστοιχείου δεδομένων «DB15», και θα αναγνώσει το 3^ο στοιχείο του, ή αλλιώς το δεύτερο *bit*.



Εικόνα 3.4-51: Ερμηνεία της κατάστασης του επεξεργαστή ως κείμενο

Αρχαιακό υλικό

Τέλος, η τιμή της ετικέτας μεταφέρεται στην οθόνη διαχείρισης του συστήματος, όπου και χρησιμοποιείται για την απεικόνιση της κατάστασης του ελεγκτή μέσα από την ερμηνεία της από τη σχετική λίστα κειμένου που σχηματίστηκε. Εκτεταμένη αναφορά στη διαδικασία σχηματισμού αυτής τη λειτουργία μπορεί να αναζητηθεί στο εγχειρίδιο της κατασκευάστριας εταιρείας των ηλεκτρονικών μονάδων (Siemens, 2019b).

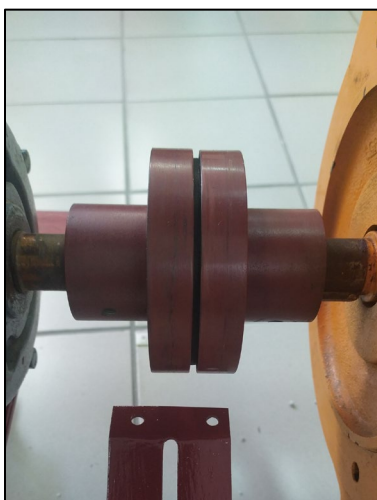
3.5. Τεχνικές σημειώσεις και κατασκευαστικές παρατηρήσεις

Μέσω αυτής της ενότητας ολοκληρώνεται η περιγραφή των ενεργειών μέσω των οποίων πήρε μορφή το πρακτικό τμήμα της παρούσας εργασίας. Στόχος της είναι η επιγραμματική αναφορά κάποιων εκ των σημείων που απαίτησαν ιδιαίτερη προσοχή κατά την υλοποίηση τους ή οδήγησαν στο να αποκλίνουμε από την αρχική οργάνωση του έργου, χωρίς να ακολουθούμε κάποια συγκεκριμένη μέθοδο ταξινόμησης των τόπων που αναφέρονται:

- Για τον υπολογισμό της ταχύτητας του κινητήρα χρησιμοποιείται ως πηγή δεδομένων ένας επαγωγικός αισθητήρας της εταιρείας «ifm», που όταν εγκαταστάθηκε στη διάταξη παρουσίασε δυσλειτουργία. Προς αντικατάσταση του χρειάστηκε να προχωρήσουμε στην αγορά δύο στοιχείων εφάμιλλων δυνατοτήτων, εξαιτίας ενός σφάλματος στην επιλογή τους, που έχει ιδιαίτερη τεχνική σημασία. Οι αισθητήρες που η δομή τους εδράζεται σε τριόδους, διακρίνονται βάσει της λειτουργίας τους σε συσκευές «βύθισης» (*sinking*) ή αρνητικής μεταγωγής

(*switched negative/NPN*), και «προμήθειας» (*sourcing*) ή θετικής μεταγωγής (*switched positive/PNP*), αναλόγως του κυκλώματος που διαθέτουν. Η πρακτική διαφορά τους εντοπίζεται στο ότι με την ενεργοποίησή τους, η πρώτη περίπτωση θα οδηγήσει σε μεγαλύτερη ροή ρεύματος μεταξύ των αρνητικά φορτισμένων στοιχείων τους (πομπός, συλλέκτης) όταν η βάση τους δεχθεί θετικό φορτίο, ενώ στη δεύτερη περίπτωση η λειτουργία είναι αντίστροφη. Το ζήτημα, λοιπόν, που αντιμετωπίσαμε ήταν πως ο πρώτος αισθητήρας που προμηθευτήκαμε ήταν της μορφής *NPN*, άρα παρότι εντοπιζόταν τάση στα άκρα αίσθησης του, το ρεύμα που διερχόταν από αυτόν δεν επέτρεπε την ενεργοποίηση της πύλης του Π.Λ.Ε. που ήταν τοποθετημένος. Έτσι—για να αποφύγουμε εκτεταμένες αλλαγές στη συνδεσμολογία της διάταξης που ενδεχομένως να δημιουργούσαν προβλήματα στη λειτουργία του υπόλοιπου εξοπλισμού—προχωρήσαμε στην αγορά ενός αισθητήρα *PNP*, που η συνδεσμολογία του είναι παρόμοια ενός κοινού διακόπτη, και λειτούργησε ως αναμενόταν.

- Το συγκρότημα του συνδέσμου που ενώνει τον άξονα του κινητήρα με αυτόν της γεννήτριας (*coupler*) αποτελείται από τρία κύρια τμήματα, δύο μεταλλικά μέρη που εφαρμόζουν σε κάθε άξονα και ένα ελαστικό, οδοντωτό στοιχείο που αφορά τη σύνδεση τους. Η συγκράτηση του συνδέσμου σε κάθε άξονα γίνεται μέσω σφηνών, για τη μεταφορά ροπής και την ταυτόχρονη περιστροφή τους, και ειδικών κοχλιών που περιορίζουν την αξονική μετατόπιση του στοιχείου. Κατά την περίοδο δοκιμών της διάταξης εμφανίστηκε το ζήτημα της αποσύσφιξης των κοχλιών συγκράτησης, με αποτέλεσμα ο σύνδεσμος να «ανοίξει» (αποσυναρμολογηθεί).



Εικόνα 3.5-1: Ο σύνδεσμος κινητήρα-γεννήτριας
Αρχεϊακό υλικό

Μολονότι το συμβάν αυτό ήταν εύκολο να διορθωθεί, και ελάχιστος μηχανολογικής σημασίας, η υποτάχυνση—ή η διακοπή της περιστροφής—της γεννήτριας όταν βρίσκεται σε διεγερμένη κατάσταση, θα προκαλέσει σημαντική αύξηση της ηλεκτρεγερτικής δύναμης που της ασκείται με δυνητικά αρνητικά αποτελέσματα στην ηλεκτρική ακεραιότητα της. Μιας και οι ενέργειες που μπορούσαμε να ακολουθήσουμε για την αποτροπή του φαινομένου περιορίζονταν στην εφαρμογή ήπιας μορφής «ασφαλιστικού» σπειρωμάτων (*LOCTITE 242*) και τη σύσφιξη των κοχλιών σε ελαφρώς αυξημένη ροπή για τη διάμετρο τους (περίπου $4Nm$), θεωρήσαμε χρήσιμη την παροχή ενός μέσου ενημέρωσης του χρήστη για πιθανή επανάληψη αυτής της δυσλειτουργίας. Έτσι, ο επαγωγικός αισθητήρας που προαναφέραμε τοποθετήθηκε σε αυξημένη απόσταση από την ενδεδειγμένη και για τον εντοπισμό της περιστροφής του άξονα χρησιμοποιήθηκε ισχυρός μαγνήτης νεοδυμίου που τοποθετήθηκε στο μέρος του συνδέσμου που βρίσκεται στον άξονα της γεννήτριας. Επομένως, η μετακίνηση του συνδέσμου θα οδηγήσει τον αισθητήρα στο να «χάσει» την είσοδο του και θα ενεργοποιηθεί ο σχετικός συναγερμός χαμηλής ταχύτητας (Εικόνα 3.4-35, πρώτο δίκτυο) με την ταυτόχρονη παραγωγή ηχητικής και οπτικής σήμανσης.

- Αντίστοιχο ζήτημα με αυτό του συνδέσμου κινητήρα-γεννήτριας, προέκυψε με τους κοχλίες συγκράτησης των ηλεκτρικών μηχανών στη βάση του συστήματος, με τις διορθωτικές ενέργειες να κινούνται στο ίδιο πλαίσιο (τοποθέτηση ασφαλιστικού σπειρωμάτων και αυξημένη σύσφιξη).

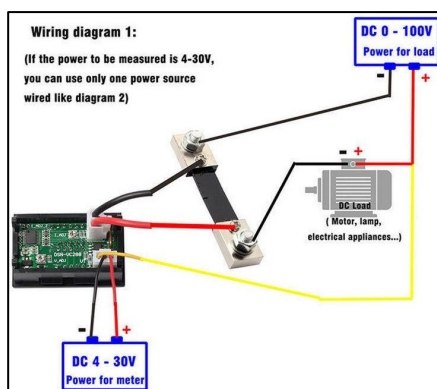


Εικόνα 3.5-2: Στιγμιότυπο της διαδικασίας σύσφιξης των κοχλιών συγκράτησης της γεννήτριας

Αρχειακό υλικό

Βέβαια, καμία εκ των δύο περιπτώσεων δεν είναι απίθανο να επαναληφθεί, οπότε και προτείνεται ο τακτικός έλεγχος των κοχλιών σε εξαμηνιαία βάση, για τη διασφάλιση της απρόσκοπτης λειτουργίας του συνόλου.

- Από την αρχική, δοκιμαστική περίοδο παρατηρήθηκε αύξηση των στροφών του κινητήρα σε σχέση με την ονομαστική τιμή που αναγράφεται από τον κατασκευαστή (Εικόνα 3.3-1), σε ποσοστό περίπου 6%. Η υπερτάχυνση πιστεύουμε πως αποδίδεται στην τροφοδοσία του κινητήρα με ηλεκτρικό ρεύμα υψηλότερης τάσης, εξαιτίας της αλλαγής των προδιαγραφών του δικτύου της χώρας μας, με τη φασική τάση να αυξάνεται στα $230V AC$ και την πολική—άρα την τάση κάθε τυλίγματος σε συνδεσμολογία τριγώνου—στα $400V AC$.
- Τα αναλογικά όργανα που χρησιμοποιούνται για την καταγραφή της έντασης κάθε φάσης εξόδου της γεννήτριας χρησιμοποιούν κλίμακα 0-20A. Μιας και η ονομαστική ισχύς της γεννήτριας είναι $3kVA$, το εύρος καταγραφής των οργάνων υπερβαίνει σε σημαντικό βαθμό τις απαιτήσεις των φορτίων που υπάρχει η δυνατότητα να τροφοδοτηθούν, καθώς δεν εντοπίστηκε εμπορικά διαθέσιμος εξοπλισμός με την ικανότητα να απεικονίσει τις χαμηλές τιμές έντασης που σημειώνονται. Με γνώμονα τα παραπάνω, προτείνεται η χρήση εξωτερικού εξοπλισμού για τη λήψη μετρήσεων σε ασκήσεις που η φόρτιση κάθε φάσης είναι χαμηλότερη των $300W$.
- Για την καταγραφή των στοιχείων του ηλεκτρικού ρεύματος που χρησιμοποιείται για τη διέγερση της γεννήτριας—ως εξωτερική διέγερση και αυτοδιέγερση—χρησιμοποιήθηκαν ψηφιακά όργανα πίνακα, των οποίων η συνδεσμολογία δεν επιτρέπει την καταγραφή της έντασης του ρεύματος αυτοδιέγερσης μιας και μέρος των επαφών βρίσκεται εσωτερικά της γεννήτριας.

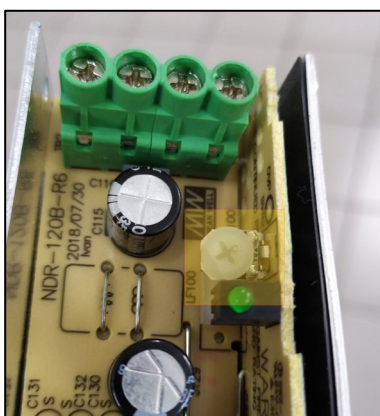


Εικόνα 3.5-3: Συνδεσμολογία ψηφιακών οργάνων

Πηγή: (SIA Joom, 2021)

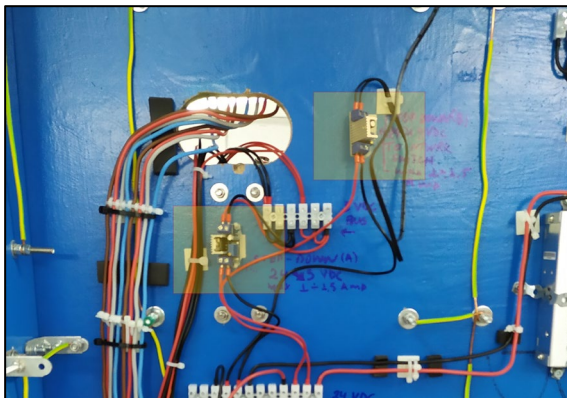
Επομένως, αν χρειαστεί η μέτρηση αυτού του μεγέθους, η συνδεσμολογία πρέπει να τροποποιηθεί έτσι ώστε η αυτοδιέγερση να διέρχεται μέσω οργάνου που τα άκρα του θα βρίσκονται στις επαφές «3+» και «1+» του πίνακα συνδέσεων της γεννήτριας.

- Για την τροφοδοσία του δικτύου $24V DC$ της διάταξης, χρησιμοποιήθηκε το τροφοδοτικό ράγας «Honeywell EDR-150», που τροποποιήθηκε κατάλληλα για να εγκατασταθεί στη μονάδα. Κατά την προετοιμασία του, το ποτενσιόμετρο που αφορά τη ρύθμιση της τάσης εξόδου του υποχώρησε λόγω έλλειψης επαρκούς μηχανικής στήριξης, με αποτέλεσμα να απαιτηθεί η επισκευή του.



Εικόνα 3.5-4: Το ποτενσιόμετρο ρύθμισης τάσης της μονάδας τροφοδοσίας
Αρχειακό υλικό

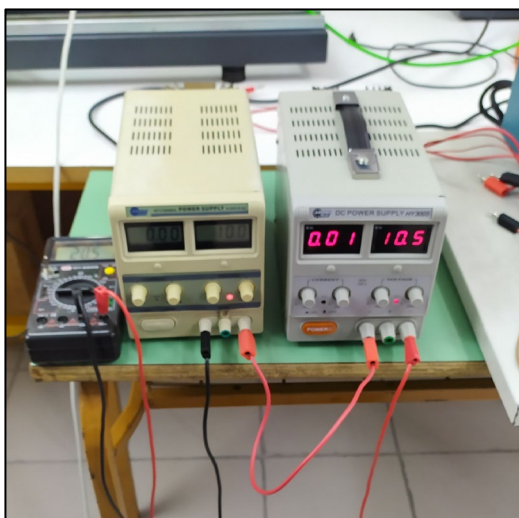
- Για την τροφοδοσία των χαμηλότερης τάσης κυκλωμάτων χρησιμοποιήθηκαν δύο οικονομικοί υποβαθμιστές τάσης, ώστε να παράσχουν ενέργεια στις συσκευές των $5V DC$ και $9V DC$.



Εικόνα 3.5-5: Υποβαθμιστές τάσης
Αρχειακό υλικό

Κατά τις δοκιμές της διάταξης, διαπιστώθηκε πως το κύκλωμα των $5VDC$ έπαυε να τροφοδοτείται μετά από σχετικά περιορισμένο διάστημα λειτουργίας του. Μέσα από έρευνα, διαπιστώθηκε πως η συγκεκριμένη τιμή τάσης εξόδου ήταν οριακή για τη λειτουργία του μετασχηματιστή, οπότε και μετέβαινε σε κατάσταση αδράνειας λόγω θερμικής υπερφόρτωσης. Προς διόρθωση αυτού του ζητήματος, αυξήσαμε την τάση εξόδου του τόσο έως να σταθεροποιηθεί η λειτουργία του, με την ελάχιστη δυνατή υπέρβαση του ορίου τροφοδοσίας των συσκευών του συγγενούς κυκλώματος.

- Μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής της διάταξης, εμφανίστηκε σημαντική ηλεκτρική δυσλειτουργία στο τροφοδοτικό εξωτερικής διέγερσης της γεννήτριας, καθιστώντας τη χρήση του αδύνατη. Για την εξασφάλιση επαρκούς τάσης διέγερσης χρησιμοποιήθηκαν δύο τροφοδοτικά συνεχούς ρεύματος, χαμηλότερης ισχύος, που συνδέθηκαν σε σειρά με σκοπό να αντικαταστήσουν τον προβληματικό εξοπλισμό μέχρι να επιδιορθωθεί.

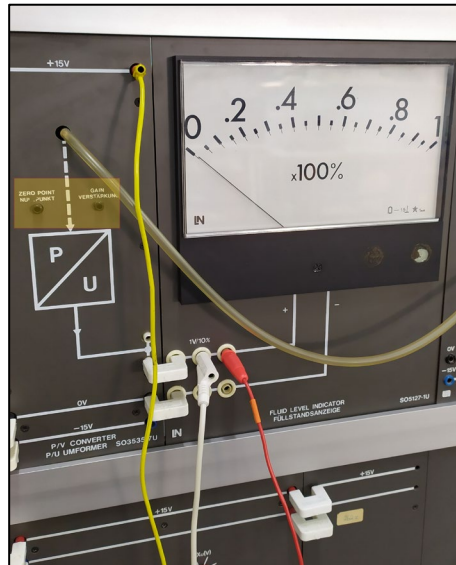


Εικόνα 3.5-6: Σύνδεση εξωτερικών συσκευών τροφοδοσίας σε σειρά

Αρχειακό υλικό

- Η διαδικασία ελέγχου στάθμης, επηρεάζεται άμεσα από τη ρύθμιση του μετατροπέα πίεσης που διαθέτει η διάταξη της δεξαμενής. Καθώς ο μετατροπέας είναι εξαιρετικά ευαίσθητος στη μεταβολή των συνθηκών που επικρατούν στο περιβάλλον του, προτείνεται η προσεκτική βαθμονόμηση του πριν την έναρξη οποιασδήποτε πειραματικής άσκησης, για την ταύτιση του επιπέδου της δεξαμενής και της τάσης εξόδου του αισθητήρα, σε τουλάχιστον τρεις θέσεις στάθμης

(προτείνονται 0%, 50%, 100%). Η ρύθμιση μπορεί να γίνει από τα χειριστήρια που βρίσκονται στη διάταξη.



*Εικόνα 3.5-7: Ρύθμιση μετατροπέα πίεσης
Αρχειακό υλικό*

Από την αρχική σύλληψη της ιδέας και την κατάρτιση των σχεδίων, στην υλοποίηση της μονάδας σημειώθηκαν αποκλίσεις που αφορούν κυρίως κατασκευαστικές παρυφές του έργου. Σε αυτό το ζήτημα συνετέλεσαν διάφοροι παράγοντες, όπως η συμπεριφορά των υλικών (π.χ. η παραμόρφωση που εμφάνισαν οι ξύλινες επιφάνειες και τα μεταλλικά στοιχεία κατά την κόλληση τους), η χαμηλή ποιότητα που οδήγησε στην αντικατάστασή τους (όπως στην περίπτωση των κυτρίων εξοπλισμού) και ασφαλώς το ερασιτεχνικό τεχνικό πλαίσιο που σχηματίστηκε η διάταξη.

4. Αποτελέσματα

4.1. Παρουσίαση του συστήματος

Παρά τις όποιες ζητήματα εμφανίστηκαν στη γενικότερη πορεία ανάπτυξης της διάταξης, το τελικό αποτέλεσμα είναι εντός του τεχνικού και λειτουργικού πλαισίου που θέσαμε, ενώ εναρμονίζεται με τους όποιους στόχους θέσαμε κατά τη σύλληψη της ιδέας για τη δημιουργία της, όπως αποδεικνύεται και μέσω μιας οπτικής σύγκρισης της θεωρητικής μορφής της με το τελικό αποτέλεσμα.



*Εικόνα 4.1-1: Φωτορεαλιστική άποψη της διάταξης
Αρχειακό υλικό*



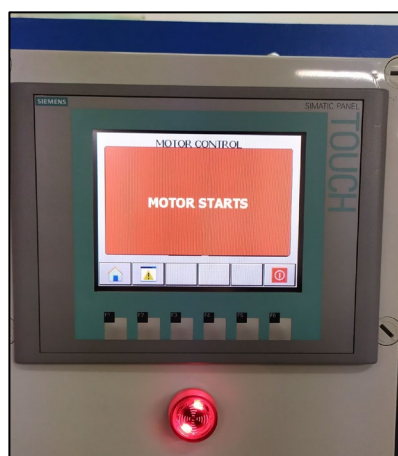
*Εικόνα 4.1-2: Άποψη της ολοκληρωμένης κατασκευής
Αρχειακό υλικό*

Όπως αναφέραμε και σε προηγούμενο σημείο της εργασίας, η ασφάλεια των χρηστών ήταν ζήτημα καίριας σημασίας σε κάθε απόφαση ή ενέργεια που καθόρισε τη μορφή της μονάδας, οπότε και διαθέτει όσα μέσα προστασίας κρίναμε χρήσιμα—και ήταν εφικτό—να εγκατασταθούν. Συνάμα, δόθηκε έμφαση και στην «οχύρωση» των ηλεκτροφόρων στοιχείων, και των γειτνιαζόντων εξαρτημάτων, με την τοποθέτηση επιπλέον προστατευτικών και μονωτικών υλικών, που περιορίζουν σημαντικά την πιθανότητα εμφάνισης κάποιου δυνητικά επικίνδυνου κωλύματος.



Εικόνα 4.1-3: Κατασκευαστική λεπτομέρεια στην καλωδίωση της γεννήτριας
Αρχαιακό υλικό

Συμπληρώνοντας το φυσικό υλικό, μέσω των ηλεκτρονικών και ηλεκτρικών μονάδων κατέστη εφικτή η προσθήκη πλήθους ειδοποιήσεων για τη λειτουργία της διάταξης, που υποστηρίζουν και συμπληρώνουν το πλαίσιο ασφάλειας της κατασκευής.



Εικόνα 4.1-4: Παράδειγμα εφαρμοσμένης οπτικής και ηχητικής σήμανσης
Αρχαιακό υλικό

Με γνώμονα τα παραπάνω, η διάταξη που συστάθηκε επιτρέπει την εκτέλεση πλήθους εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων στις οποίες οι εκπαιδευόμενοι θα έχουν τη δυνατότητα να εφαρμόσουν θεωρητικές γνώσεις για τη διαχείριση συστημάτων που έχουν άμεση σύνδεση με εφαρμογές που απαντώνται σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις και αφορούν τόσο τη διαχείριση ηλεκτρικών μηχανών, όσο και μεθόδων ελέγχου διεργασιών. Συγκεκριμένα, η διάταξη διαθέτει έναν τριφασικό κινητήρα επαγωγής, ο οποίος μπορεί να ελεγχθεί μέσω ενός συμβατικού διακόπτη μεταγωγής αστέρα-τριγώνου, αλλά και από τη μονάδα του προγραμματιζόμενου λογικού ελεγκτή και του απαιτούμενου εξοπλισμού, με κάθε λειτουργία να είναι ανεξάρτητη.



Εικόνα 4.1-5: Χειρισμός του κινητήρα με το διακόπτη μεταγωγής αστέρα-τριγώνου

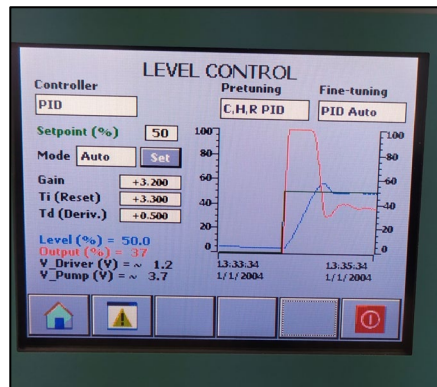
Αρχειακό υλικό



Εικόνα 4.1-6: Χειρισμός του κινητήρα μέσω του Π.Λ.Ε.

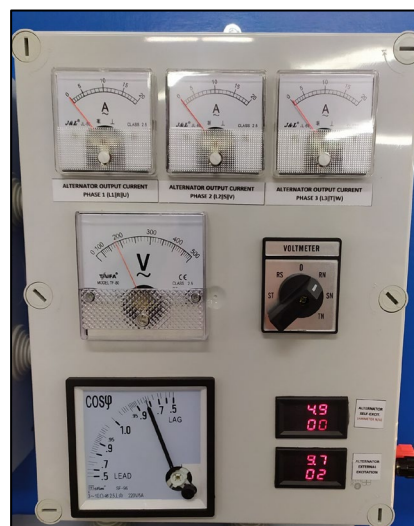
Αρχειακό υλικό

Επίσης, μέσω της αξιοποίησης των δυνατοτήτων του Π.Λ.Ε. προσομοιώνεται η δράση των συνηθέστερων μορφών ελεγκτών που απαντώνται σε διεργασίες μεγάλης κλίμακας, με το χρήστη να μπορεί να μεταβάλλει τους συντελεστές λειτουργίας τους, με σκοπό την παρατήρηση των αλλαγών στην απόκριση τους και στην επίδραση που αυτή θα έχει στο ελεγχόμενο σύστημα.

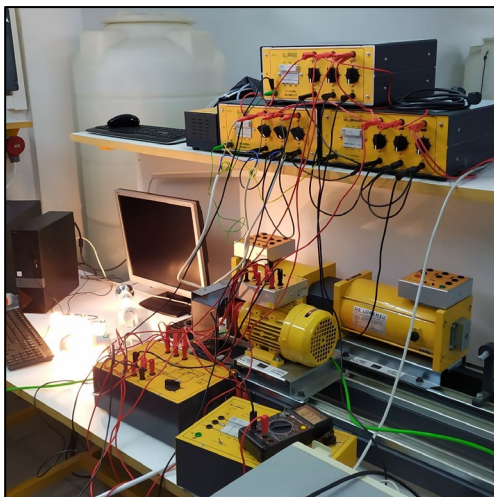


Εικόνα 4.1-7: Παράδειγμα διεργασίας ελέγχου με ελεγκτή τριών σημείων
Αρχειακό υλικό

Πέραν των παραπάνω, το σύστημα διαθέτει ένα πλήρες σύνολο για τον έλεγχο και την παρακολούθηση της λειτουργίας σύγχρονης, τριφασικής γεννήτριας εναλλασσόμενου ρεύματος, καθώς και της ασφαλούς μεταφοράς των εξόδων της σε ρευματοδότες βαρέως τύπου, ώστε να συνδεθεί με εξωτερικά φορτία.



Εικόνα 4.1-8: Λειτουργία της γεννήτριας σε επαγωγική φόρτιση
Αρχειακό υλικό



Εικόνα 4.1-9: Τροφοδοσία φορτίων από τη γεννήτρια
Αρχεϊακό υλικό

Τέλος, οι δυνατότητες της μονάδας συμπληρώθηκαν από ένα αισθητήρα μονοξειδίου και του κατάλληλου προγράμματος για τη χρήση του στην παραγωγή ηχητικών συναγερμών, που μπορεί να αποτελέσει βάση για την εισαγωγή των σπουδαστών στη μέθοδο σύστασης εφαρμογών επιτήρησης.

4.2. Ενδεικτικές ασκήσεις

Σε αυτή την ενότητα αφορά την παροχή μιας βασικής σειράς ασκήσεων που μπορούν να πραγματοποιηθούν με σκοπό την ενσωμάτωση της διάταξης στην εκπαιδευτική διαδικασία. Μιας και στόχος μας είναι να παράσχουμε μια ολοκληρωμένη πρόταση στο ακαδημαϊκό προσωπικό του εργαστηρίου, ορισμένα εκ των στοιχείων που περιλαμβάνονται στις ασκήσεις έχουν αναφερθεί σε προηγούμενα κεφάλαια, όμως επαναλαμβάνονται—ενίοτε σε απλουστευμένη μορφή—για την εξασφάλιση της ομαλής ροής και περιγραφής των απαιτήσεων κάθε άσκησης.

4.2.1. Έλεγχος στάθμης

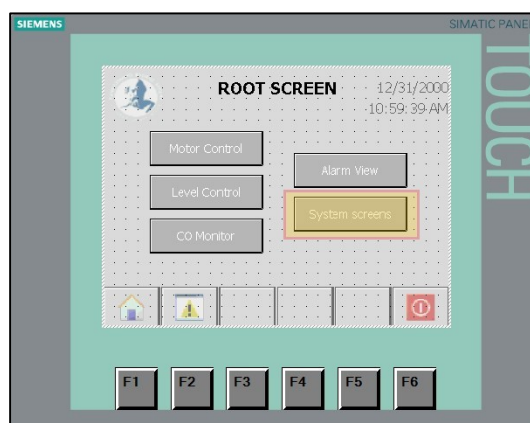
Μέσω αυτής της άσκησης πραγματοποιείται η επίδειξη της λειτουργίας διαφορετικών μορφών ελέγχου, μέσω της διαχείρισης της στάθμης της πειραματικής δεξαμενής. Ο εξοπλισμός που απαιτείται για την εκπλήρωση των στόχων αυτής της άσκησης, είναι:

- Μονάδα πειραματικής δεξαμενής.
- Μονάδα ελέγχου.

- Οδηγός κινητήρα συνεχούς ρεύματος (*driver*)
- Καλώδια τύπου «μπανάνα»
- Παλμογράφος δύο εισόδων (καναλιών)

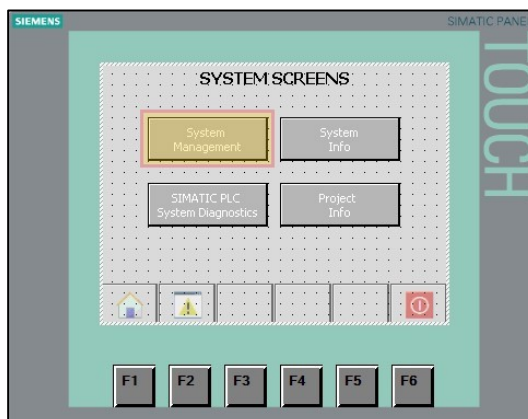
Η προετοιμασία που απαιτείται για την εκπόνηση της άσκησης, εντοπίζεται στα εξής βήματα:

1. Ενεργοποιήστε τη μονάδα της πειραματικής δεξαμενής.
2. Χρησιμοποιώντας τα μέσα που διαθέτει εγγενώς η διάταξη της δεξαμενής, ρυθμίστε το μετατροπέα πίεσης/τάσης (*P/V*) ώστε να συμφωνεί με το επίπεδο του υγρού που περιέχεται στη δεξαμενή πλήρωσης.
3. Υλοποιήστε τη συνδεσμολογία του παρακάτω σχήματος (Εικόνα 4.2-11), με τη χρήση των κατάλληλων ηλεκτρικών συνδέσμων.
4. Βεβαιωθείτε πως ο διακόπτης εκτάκτου ανάγκης της μονάδας ελέγχου είναι ενεργοποιημένος.
5. Ενεργοποιήστε τη μονάδα ελέγχου και περιμένετε έως ότου ολοκληρωθεί η εκκίνηση όλων των ηλεκτρονικών μονάδων.
6. Σε περίπτωση που ο επεξεργαστής του Π.Λ.Ε. βρίσκεται σε ανενεργή κατάσταση (υποδεικνύεται από φωτεινή ένδειξη στον ελεγκτή), χρησιμοποιήστε την οθόνη διαπαφής για την ενεργοποίηση του ως ακολούθως:
 - a. Από την αρχική οθόνη επιλέξτε την εμφάνιση των οθονών που αφορούν τα στοιχεία του συστήματος.



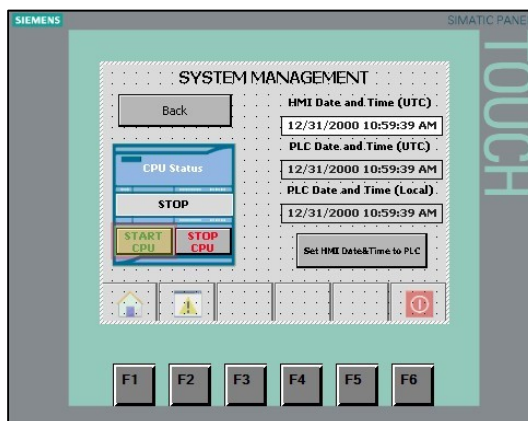
Εικόνα 4.2-1: Πλήκτρο μετάβασης στις οθόνες του συστήματος
Αρχειακό υλικό

- b. Επιλέξτε την εμφάνιση της οθόνης διαχείρισης του συστήματος.



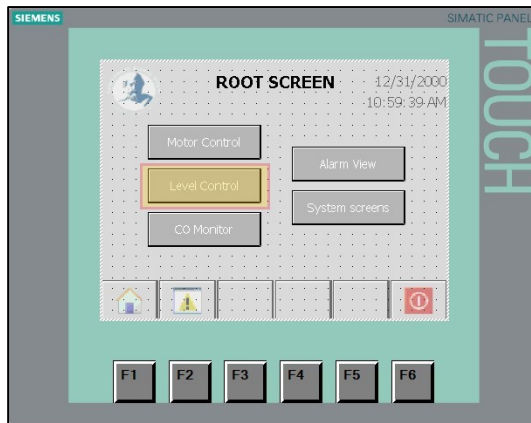
Εικόνα 4.2-2: Κατάλογος οθονών συστήματος
Αρχειακό υλικό

- c. Επιλέξτε το πλήκτρο εκκίνησης του επεξεργαστή και βεβαιωθείτε πως ο ελεγκτής ενεργοποιήθηκε (η φωτεινή λυχνία του έχει πλέον πράσινο χρώμα και το κείμενο στην οθόνη διαχείρισης έχει μεταβληθεί σε «START»). Με το πέρας της διαδικασίας, επιστρέψτε στην αρχική οθόνη του συστήματος.



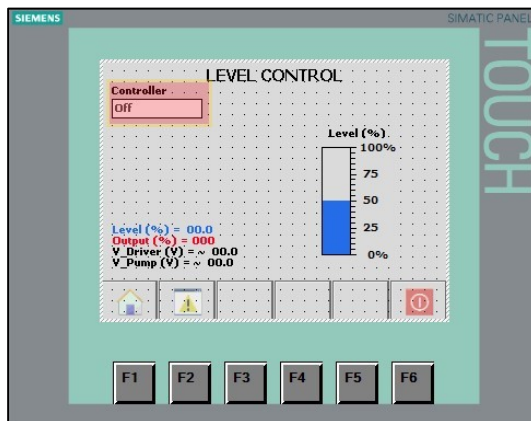
Εικόνα 4.2-3: Οθόνη διαχείρισης συστήματος
Αρχειακό υλικό

7. Τοποθετήστε στη μέγιστη τιμή το ποτενσιόμετρο που αφορά την τάση που δέχεται η αντλία της διάταξης της δεξαμενής.
8. Επιλέξτε το πλήκτρο μετάβασης στην οθόνη διαχείρισης του προγράμματος ελέγχου στάθμης που εκτελείται από τον ελεγκτή.



Εικόνα 4.2-4: Πλήκτρο μετάβασης στην οθόνη του διαχειρίσιμου προγράμματος ελέγχου στάθμης
Αρχειακό υλικό

9. Στην οθόνη που άνοιξε μπορείτε να παρατηρήσετε πως αναπαρίσταται γραφικά το επίπεδο πλήρωσης της δεξαμενής, ενώ στο κάτω αριστερό μέρος της οθόνης αναγράφονται η αριθμητική τιμή της στάθμης του υγρού, η έξοδος του ελεγκτή, όπως και οι εκτιμώμενες τάσεις που δέχονται ο οδηγός του κινητήρα και η αντλία. Στο άνω αριστερά μέρος της οθόνης βρίσκεται το πεδίο επιλογής της μορφής ελέγχου που θα χρησιμοποιηθεί.



Εικόνα 4.2-5: Επιλογή τύπου ελεγκτή
Αρχειακό υλικό

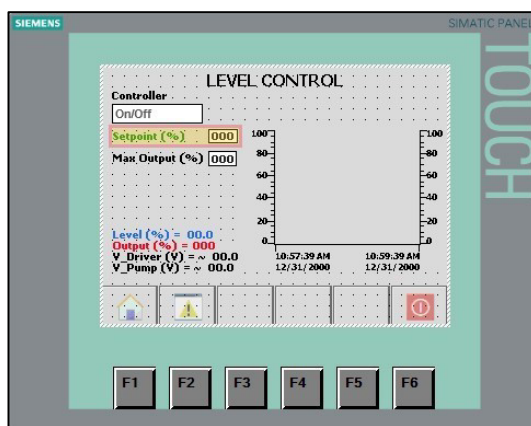
10. Η επιλογή του επιθυμητής μορφής ελέγχου, θα έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση των απαραίτητων πλαισίων εισόδου για την παραμετροποίηση του εκάστοτε ελεγκτή από το χρήστη.
11. Μολονότι διατίθενται μόνιμα μέσα, για την ενίσχυση της δυνατότητας παρακολούθησης της δράσης του ελεγκτή ως προς το ελεγχόμενο σύστημα,

μπορείτε να τοποθετήσετε τον παλμογράφο στις κατάλληλες θύρες (με το ένα κανάλι να αφορά την έξοδο του ελεγκτή και το δεύτερο την έξοδο του μετατροπέα πίεσης).

Η πειραματική πορεία μπορεί να διαμεριστεί βάσει της μορφής ελέγχου που εφαρμόζεται στις ακόλουθες, νοητές ενότητες:

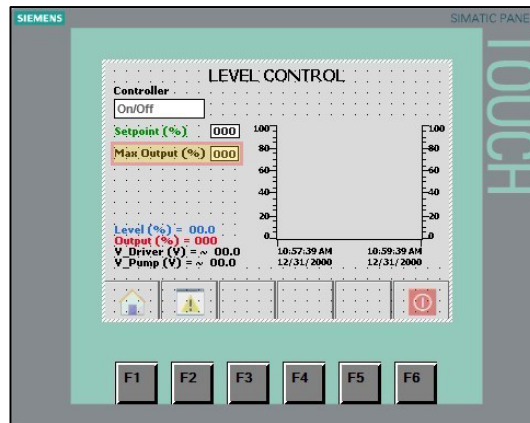
- **Ελεγκτής ενέργειας δύο θέσεων:**

1. Από την κύρια οθόνη του προγράμματος ελέγχου (Εικόνα 4.2-5), επιλέξτε τον ελεγκτή δύο θέσεων (*On/Off*).
2. Ρυθμίστε τη στρόφιγγα εισροής της δεξαμενής για τροφοδοσία από την κάτω οπή και τη στρόφιγγα εκροής στην ελάχιστη θέση της.
3. Ορίστε το επίπεδο πλήρωσης της δεξαμενής.



Εικόνα 4.2-6: Ορισμός επιθυμητής στάθμης
Αρχειακό υλικό

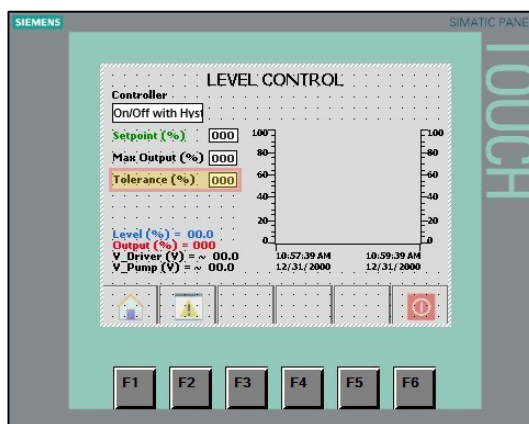
4. Ρυθμίστε τη μέγιστη τιμή που θα επιτραπεί να λάβει το σήμα ελέγχου (%) του οδηγού της αντλίας στο 70%. Η ενέργεια αυτή θα επηρεάσει ανάλογα την τάση τροφοδοσίας της αντλίας.



Εικόνα 4.2-7: Ορισμός μέγιστης τάσης εξόδου
Αρχαιακό υλικό

5. Χρησιμοποιώντας τον παλμογράφο σημειώστε τις τιμές στάθμης της δεξαμενής με συχνότητα καταγραφής 5s. Για το σκοπό αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθούν και τα μόνιμα μέσα παρακολούθησης της διεργασίας (οθόνη διεπαφής μηχανής/χρήστη).
 6. Αφού ρυθμίσετε τη στρόφιγγα εκροής σε θέση μεγαλύτερης ροής, επαναλάβετε το προηγούμενο βήμα.
 7. Σχηματίστε τα διαγράμματα στάθμης-χρόνου για τις τιμές που λάβατε μέσα από τα βήματα 5, 6. Βάσει των διαγραμμάτων και των παρατηρήσεων σας περιγράψτε την πρακτική σημασία των ακόλουθων όρων:
 - Ελεγκτής ενέργειας δύο θέσεων
 - Υστέρηση
 - Καθορισμένη τιμή
 - Πραγματική τιμή
 - Συχνότητα του ελεγκτή
 - Ποιότητα ελέγχου
 8. Καταχωρήστε τα συμπεράσματά σας στην τεχνική έκθεση.
- **Ελεγκτής ενέργειας δύο θέσεων με υστέρηση:**
1. Από την κύρια οθόνη του προγράμματος ελέγχου, επιλέξτε τον ελεγκτή δύο θέσεων με υστέρηση (*On/Off with Hysteresis*).
 2. Ρυθμίστε τη στρόφιγγα εισροής για τροφοδοσία από την κάτω οπή και τη στρόφιγγα εκροής στην θέση ελάχιστης ροής.

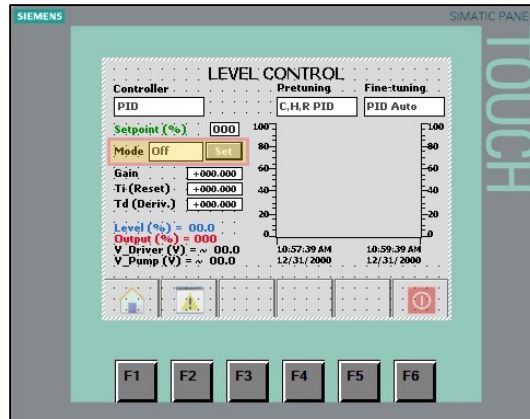
3. Μηδενίστε την τιμή της υστέρησης από το κατάλληλο πεδίο της οθόνης ελέγχου.



Εικόνα 4.2-8: Ορισμός της τιμής της υστέρησης
Αρχιαικό υλικό

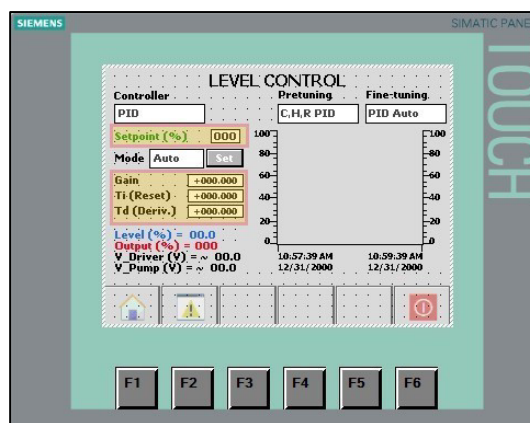
4. Ρυθμίστε το επίπεδο αναφοράς στο 50% και τη μέγιστη επιτρεπόμενη τάση τροφοδοσίας της αντλίας στην ίδια τιμή με αυτή που χρησιμοποιήθηκε για την πειραματική διαδικασία του απλού ελεγκτή δύο θέσεων.
 5. Καταγράψτε τη μεταβολή της στάθμης με συχνότητα δειγματοληψίας 5s.
 6. Χρησιμοποιήστε κάποιο από τα πεδία που επηρεάζουν την έξοδο του συστήματος ελέγχου (τιμή αναφοράς, μέγιστη τάση εξόδου) για να απενεργοποιήσετε την αντλία. Περιμένετε έως ότου αδειάσει η πειραματική δεξαμενή και σταθεροποιηθεί η έξοδος του μετατροπέα πίεσης.
 7. Τοποθετήστε τη στρόφιγγα εκροής στη μεσαία θέση ροής.
 8. Επαναλάβετε τα βήματα 4→6.
 9. Τοποθετήστε τη στρόφιγγα εκροής στην προηγούμενη θέση της.
 10. Εισάγετε υστέρηση 5% και επαναλάβετε τα βήματα 4→8.
 11. Αυξήστε την τιμή της υστέρησης στο 10% και επαναλάβετε τη διαδικασία λήψης τιμών (βήματα 4→8).
 12. Χρησιμοποιήστε τα στοιχεία που καταγράψατε για την εξαγωγή συμπερασμάτων για τη συμβολή της υστέρησης στο σύστημα ελέγχου.
 13. Συμπληρώστε την τεχνική έκθεση.
- **Ελεγκτής τριών όρων (PID):**

1. Από την κύρια οθόνη του προγράμματος ελέγχου, επιλέξτε τον ελεγκτή τριών όρων (*PID*). Ο ελεγκτής που εφαρμόζεται, απαιτεί τον ορισμό της κατάστασης που θα λειτουργήσει, του κέρδους (*Gain*), της ολοκληρωτικής χρονικής σταθεράς (*T_i*) και της διαφορικής χρονικής σταθεράς (*T_d*).



Εικόνα 4.2-9: Ενεργοποίηση του ελεγκτή τριών όρων
Αρχειακό υλικό

- Για την ενεργοποίηση του ελεγκτή, επιλέξτε την αυτόματη λειτουργία (*Auto*) από το σχετικό κατάλογο επιλογών και το πλήκτρο επιβεβαίωσης της ενέργειας (*Set*).
2. Για την εκκίνηση της διεργασίας ελέγχου, ορίστε το επιθυμητό επίπεδο πλήρωσης της δεξαμενής και τους συντελεστές του ελεγκτή τριών όρων. Κατά την έναρξη του πειράματος μηδενίστε τους συντελεστές.
(Σημείωση: Ο ολοκληρωτικός και διαφορικός συντελεστής εισάγονται με τη μορφή περιόδου, οπότε και είναι αντιστρόφως ανάλογοι της τυπικής μορφής τους. Έτσι, για να θεωρηθούν μηδενικοί πρέπει να αυξηθούν σημαντικά)



Εικόνα 4.2-10: Παράμετροι του συστήματος ελέγχου
 Αρχειακό υλικό

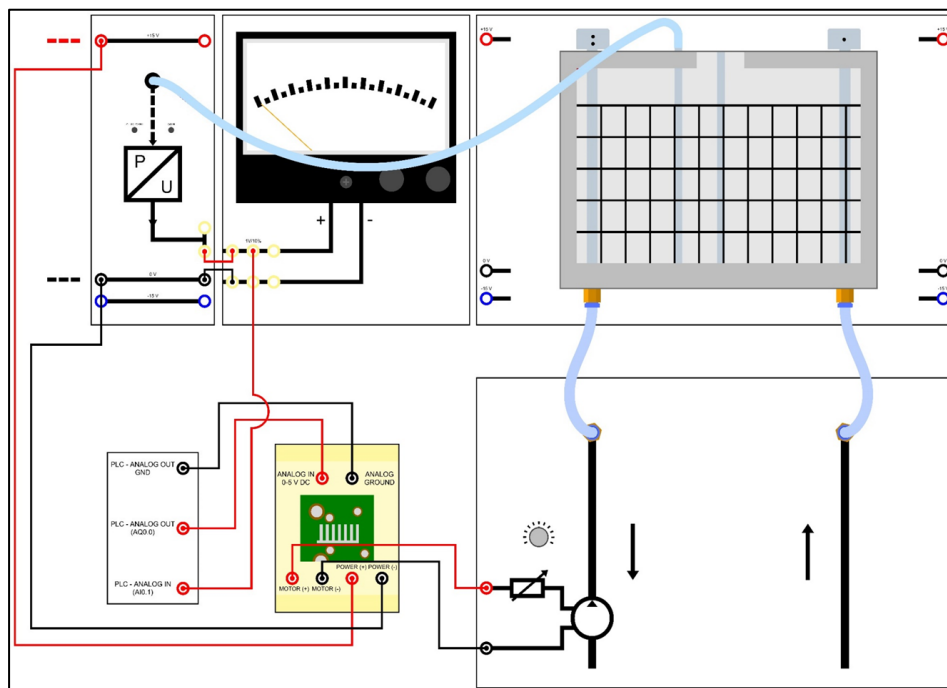
3. Ρυθμίστε τη στρόφιγγα εισροής για τροφοδοσία από την κάτω οπή και τη στρόφιγγα εκροής στην θέση μέσης ροής.
4. Από τις ομάδες τιμών που δίνονται στον παρακάτω πίνακα, εισάγετε τα δεδομένα που αφορούν την πρώτη περίπτωση ελέγχου.

AA	Gain	T _i	T _d
1	+3	+200	+200
2	+3	+3	+200
3	+3	+200	+3
4	+3.2	+3.3	+0.5

Πίνακας 4: Ενδεικτικοί συντελεστές ελεγκτή τριών όρων
 Αρχειακό υλικό

5. Μέσω της οθόνης διαχείρισης του συστήματος ρυθμίστε το επίπεδο αναφοράς στο 30% και επιτρέψτε στο σύστημα να σταθεροποιηθεί.
6. Εισάγετε τους συντελεστές του ελεγκτή που αφορούν τη δεύτερη περίπτωση ελέγχου.
7. Ρυθμίστε τη στάθμη αναφοράς στο 60% και επιτρέψτε στο σύστημα να σταθεροποιηθεί. Καταγράψτε τις παρατηρήσεις σας.
8. Εισάγετε τους συντελεστές του ελεγκτή που αφορούν την τρίτη περίπτωση ελέγχου.
9. Ρυθμίστε τη στάθμη αναφοράς στο 30% και επιτρέψτε στο σύστημα να σταθεροποιηθεί. Καταγράψτε τις παρατηρήσεις σας.

10. Εισάγετε τους συντελεστές του ελεγκτή που αφορούν την τελευταία περίπτωση ελέγχου.
11. Ρυθμίστε τη στάθμη αναφοράς στο 60% και επιτρέψτε στο σύστημα να σταθεροποιηθεί. Καταγράψτε τις παρατηρήσεις σας.
12. Καταχωρήστε τα συμπεράσματά σας στην τεχνική έκθεση.



Εικόνα 4.2-11: Σκαριφηματική απόδοση της συνδεσμολογίας των ασκήσεων ελέγχου στάθμης
Αρχειακό υλικό

4.2.2. Ηλεκτρικές μηχανές

Η άσκηση αυτή στοχεύει στην κατανόηση της λειτουργίας των ηλεκτρικών μηχανών που αποτελούν μέρος της εκπαιδευτικής μονάδας. Για την εκτέλεση της άσκησης απαιτείται η χρήση του παρακάτω εξοπλισμού:

- Διάταξη τριφασικού επαγωγικού κινητήρα και σύγχρονης τριφασικής γεννήτριας με ενσωματωμένα μέσα ελέγχου.
- Μονάδες ωμικής, επαγωγικής και χωρητικής φόρτισης (DL30040R, DL30040L, DL30040C).
- Καλώδια τύπου «μπανάνα».
- Φορητά όργανα μέτρησης ηλεκτρικών μεγεθών.

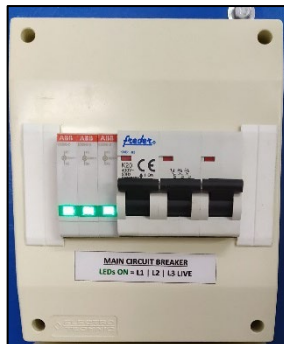
Η προετοιμασία για την εκτέλεση της άσκησης, απαιτεί τα παρακάτω βήματα:

1. Υλοποιήστε τη συνδεσμολογία του παρακάτω σχήματος (Εικόνα 4.2-22) με τη χρήση κατάλληλων ηλεκτρικών συνδέσμων.
2. Βεβαιωθείτε πως ο διακόπτης εκτάκτου ανάγκης είναι ενεργοποιημένος.



Εικόνα 4.2-12: Ο διακόπτης εκτάκτου ανάγκης
Αρχειακό υλικό

3. Συνδέστε τη διάταξη στην ηλεκτρική παροχή του εργαστηρίου και ενεργοποιήστε τον κύριο διακόπτη τροφοδοσίας.



Εικόνα 4.2-13: Κύριος διακόπτης τροφοδοσίας
Αρχειακό υλικό

4. Ελέγξτε πως ο διακόπτης εκτάκτου ανάγκης λειτουργεί ορθά, μέσω της οπτικής ένδειξης λειτουργίας του κυκλώματος διακοπής.



Εικόνα 4.2-14: Οπτική σήμανση λειτουργίας του κυκλώματος διακοπής
Αρχειακό υλικό

5. Περιμένετε έως ότου οι μονάδες ελέγχου τεθούν σε κατάσταση λειτουργικής ετοιμότητας.
6. Βεβαιωθείτε πως ο διακόπτης της εξόδου της γεννήτριας είναι απενεργοποιημένος.



Εικόνα 4.2-15: Διακόπτης ενεργοποίησης της εξόδου της γεννήτριας
Αρχειακό υλικό

7. Προετοιμάστε το κύκλωμα διέγερσης της γεννήτριας, συνδέοντας κατάλληλη πηγή τροφοδοσίας (τουλάχιστον 60V DC) στις αντίστοιχες υποδοχές της διάταξης. Μην ενεργοποιήσετε την εξωτερική πηγή διέγερσης.



Εικόνα 4.2-16: Υποδοχές εξωτερικής πηγής διέγερσης
Αρχειακό υλικό

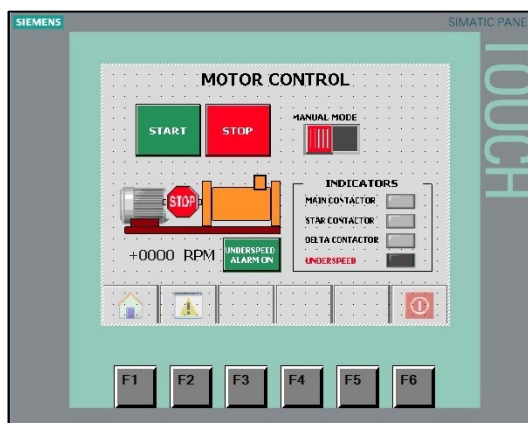
Η πειραματική πορεία αφορά τη λειτουργία δύο μονάδων, που είναι μηχανικά εξαρτημένες. Επομένως η άσκηση που περιγράφεται ως δύο μέρη μπορεί να εκτελεστεί μέσω κοινής διαδικασίας:

- **Αξιολόγηση της λειτουργίας κινητήρα κλωβού:**

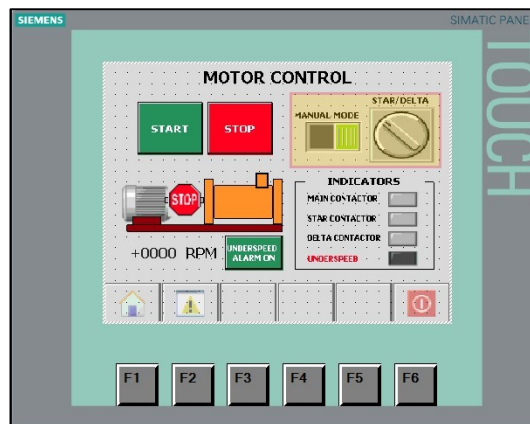
1. Ελέγξτε πως στο περιβάλλοντα χώρο του κινητήρα δεν υπάρχουν ζητήματα που διακυβεύουν την ασφάλεια των χρηστών.
2. Ελέγξτε το χώρο του κινητήρα και του άξονα για ξένα αντικείμενα που θα εμποδίσουν την ορθή λειτουργία του.
3. Απενεργοποιήστε το διακόπτη εκτάκτου ανάγκης.
4. Εκκινήστε τον κινητήρα χρησιμοποιώντας τα συμβατικά μέσα ελέγχου (διακόπτης) ή το σύστημα του προγραμματιζόμενου λογικού ελεγκτή σε αυτόματη ή χειροκίνητη λειτουργία.



Εικόνα 4.2-17: Πίνακας ελέγχου του κινητήρα
Αρχειακό υλικό



Εικόνα 4.2-18: Οθόνη ελέγχου του κινητήρα σε αυτόματη λειτουργία
Αρχειακό υλικό



Εικόνα 4.2-19: Οθόνη ελέγχου του κινητήρα σε χειροκίνητη λειτουργία
Αρχαιακό υλικό

5. Χρησιμοποιώντας τα όργανα που βρίσκονται τοποθετημένα στον πίνακα ελέγχου του κινητήρα, καταγράψτε τις παρατηρήσεις σας για την τιμή του ρεύματος που απορροφάται από τον κινητήρα, συναρτήσει της τάσης τροφοδοσίας, όταν λειτουργεί σε συνδεσμολογία αστέρα και όταν μεταβεί σε συνδεσμολογία τριγώνου.
6. Καταγράψτε την ταχύτητα του κινητήρα όταν ολοκληρωθεί η εκκίνηση του.
7. Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται τα ονομαστικά στοιχεία λειτουργίας του κινητήρα, όπως αποδίδονται από τον κατασκευαστή:



Εικόνα 4.2-20: Επιγραφή στοιχείων του κινητήρα
Αρχαιακό υλικό

Χρησιμοποιώντας την οθόνη ελέγχου του κινητήρα (στο ψηφιακό σύστημα ελέγχου), καταγράψτε τις διαφορές που παρατηρείτε στη λειτουργία του και εκτιμήστε την αιτία πρόκλησης τους.

- **Φόρτιση σύγχρονης γεννήτριας τριών φάσεων:**

1. Βεβαιωθείτε πως οι συσκευές φόρτισης έχουν συνδεθεί ορθά (σε συνδεσμολογία τριγώνου και στην αντίστοιχη φάση) και πως η φόρτιση είναι ισοζυγισμένη (το φορτίο κάθε φάσης της γεννήτριας δεν εμφανίζει απόκλιση άνω του 1% από τις υπόλοιπες).
2. Για την παρακολούθηση των τιμών λειτουργίας χρησιμοποιήστε τον πίνακα επιτήρησης της γεννήτριας σε συνεργασία με εξωτερικό όργανο καταγραφής της έντασης του ρεύματος, που θα συνδέσετε σε σειρά με μία φάση.



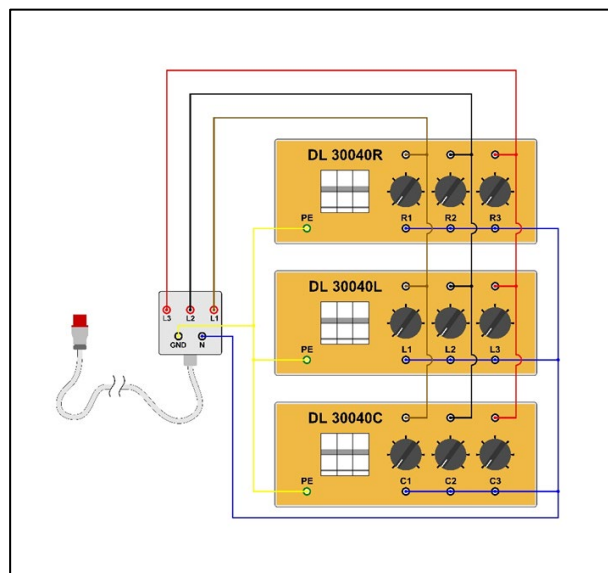
*Εικόνα 4.2-21: Πίνακας επιτήρησης της γεννήτριας
Αρχειακό υλικό*

3. Αυξήστε την τάση εξόδου της εξωτερικής πηγής διέγερσης μέχρι η πολική τάση μεταξύ δύο φάσεων να αποκτήσει τιμή περίπου $200V AC$.
4. Ενεργοποιήστε την έξοδο της γεννήτριας.
5. Ακολουθήστε τη φόρτιση που περιγράφεται στον ακόλουθο πίνακα για να συμπληρώσετε τα κενά κελιά του. Κάθε μεταβολή στη φόρτιση αφορά και τις τρεις φάσεις της γεννήτριας.

Θέση διακόπτη			S (VA)	Q (VA _r)	P(W)	P.F. (cos φ)
R	L	C				
0	0	0				
2	0	0				
4	0	0				
6	0	0				
6	2	0				
6	4	0				
6	6	0				
6	6	2				
6	6	4				
6	6	6				

Πίνακας 5: Ενδεικτική μορφή πίνακα καταγραφής μετρήσεων

6. Όταν έχετε ολοκληρώσει τη διαδικασία φόρτισης, καταγράψτε την ταχύτητα του κινητήρα.
7. Καταγράψτε τις παρατηρήσεις σας για τα ακόλουθα μεγέθη:
 - Το συντελεστή ισχύος ($P.F.$) για κάθε μεταβολή στη φόρτιση της γεννήτριας.
 - Της άεργου ισχύος (Q) για κάθε μεταβολή στη φόρτιση της γεννήτριας.
 - Τη σχέση μεταξύ της φαινόμενης (S) και της ενεργούς ισχύος (P).
 - Την ταχύτητα του κινητήρα κατά τη λειτουργία του με φορτίο και εν κενώ.
8. Συμπληρώστε την τεχνική έκθεση τεκμηριώνοντας επαρκώς τις απαντήσεις σας.



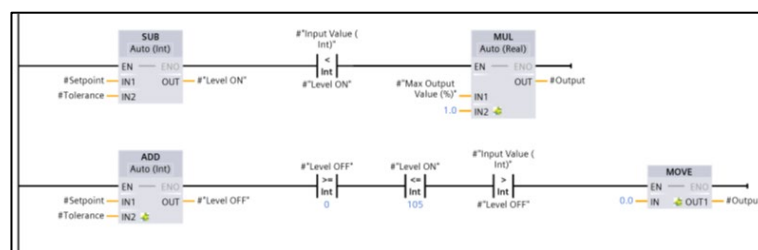
Εικόνα 4.2-22: Σκαριφηματική απόδοση της συνδεσμολογίας των ηλεκτροτεχνικών ασκήσεων

Αρχειακό υλικό

4.2.3. Κατανόηση της δομής προγραμματισμού ενός Π.Λ.Ε.

Η άσκηση αυτή δεν απαιτεί τη χρήση φυσικού εξοπλισμού, αλλά χρησιμοποιεί στοιχεία του προγράμματος του ελεγκτή για να εδραστούν τα ερωτήματα που τίθενται. Στόχος της είναι η αξιολόγηση του επιπέδου στο οποίο έχει κατανοηθεί η μέθοδος που διαμορφώνονται οι λειτουργίες ενός προγραμματιζόμενου λογικού ελεγκτή, καθώς και η λειτουργία κάθε στοιχείου προγραμματισμού, μέσω της τροποποίησης λειτουργικών προγραμμάτων.

- Ερώτημα 1:



Εικόνα 4.2-23: Δομοστοιχείο συνάρτησης ελέγχου δύο βημάτων με υστέρηση

Αρχειακό υλικό

Το τμήμα του προγράμματος (*function block*) του ελεγκτή που αφορά την υλοποίηση του ελεγκτή δύο θέσεων με υστέρηση, αποτυπώνεται στην παραπάνω εικόνα. Στην πρώτη γραμμή βρίσκονται τα στοιχεία που αφορούν την ενεργοποίηση της εξόδου του ελεγκτή. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιώντας την οδηγία της αριθμητικής πράξης της αφαίρεσης (*subtraction*: SUB) υπολογίζουμε την κατώτατη τιμή της στάθμης για την οποία η έξοδος του ελεγκτή θα είναι απενεργοποιημένη (*Level ON*), ως τη διαφορά της στάθμης αναφοράς (*Setpoint*) και της υστέρησης (*Tolerance*). Το επόμενο στοιχείο λειτουργεί ως κανονικά ανοικτή επαφή που οδηγείται από το αποτέλεσμα της σύγκρισης δύο τιμών, δηλαδή θα ενεργοποιηθεί (η τιμή του θα γίνει «True» ή «1») όταν το σήμα της στάθμης (*Input Value*) αποκτήσει μικρότερη τιμή αυτού που υπολογίσαμε παραπάνω. Τέλος, εφόσον ισχύσουν οι προαναφερθέντες έλεγχοι, θα ενεργοποιηθεί η οδηγία της αριθμητικής πράξης του πολλαπλασιασμού (*multiplication*: MUL) που θα εξάγει επιτρέψει την εξαγωγή σήματος ανάλογου της τιμής που ορίζεται ως μέγιστη (*Max Output Value*) και την ταυτόχρονη μετατροπή του σε πραγματικό αριθμό, όπως απαιτείται για τη συνεργασία του με άλλα δομικά στοιχεία του προγράμματος.

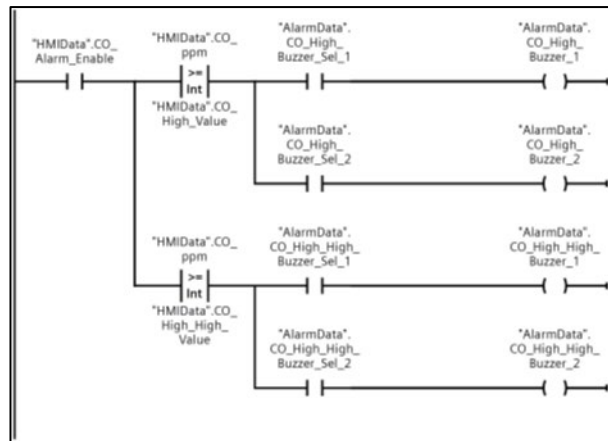
Η δράση των στοιχείων που περιλαμβάνονται στη δεύτερη γραμμή του τμήματος του προγράμματος είναι εφάμιλλη των προηγούμενων, με θεμελιώδη διαφορά πως η δράση της εντοπίζεται στον ορισμό του επιπέδου απενεργοποίησης του σήματος εξόδου του ελεγκτή. Για το σκοπό αυτό επιστρατεύεται η οδηγία της μαθηματικής πρόσθεσης (*addition: ADD*), που υπολογίζει το άθροισμα της στάθμης αναφοράς με την υστέρηση, όπως και αριθμός στοιχείων συγκρίσεως. Τέλος, ενεργοποιείται η οδηγία μετακίνησης της μηδενικής τιμής στην ετικέτα εξόδου του ελεγκτή.

Με γνώμονα την παραπάνω περιγραφή, προτείνετε τρόπους με του οποίους μπορούμε:

- Να μεταβάλλουμε τα όρια ασφαλείας του ελεγκτή για τον περιορισμό της λειτουργίας του στο εύρος 0-70% του επιπέδου του επιτηρούμενου σήματος.
- Να εισάγουμε μια νέα μεταβλητή που θα μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα με την ενεργοποίηση της εξόδου του ελεγκτή, με σκοπό να αξιοποιηθεί για την ενημέρωση του χρήστη πως ο ελεγκτής είναι ανενεργός.
- Να δημιουργήσουμε ένα μόνιμο, αρνητικό σφάλμα 4% στο σήμα που εισέρχεται από το μετατροπέα πίεσης της δεξαμενής.

- Ερώτημα 2:

Η διάταξη ελέγχου διαθέτει, μεταξύ των λειτουργιών της, έναν αισθητήρα μονοξειδίου (CO) που η ευαισθησία του επιτρέπει και τον εντοπισμό των μεταβολών στα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα (CO_2). Η λειτουργία του προγράμματος στο οποίο συμμετέχει, συνοψίζεται στη σύγκριση της τρέχουσας τιμής των επιπέδων μονοξειδίου (CO_{ppm}), με τις τιμές που ορίζονται από το χρήστη ως υψηλό (CO_{High_Value}) και μέγιστο ($CO_{High_High_Value}$) επίπεδο, ενεργοποιώντας το ηχητικό σήμα που έχει επιλεγεί, μέσω της ενεργοποίησης της κατάλληλης επαφής.

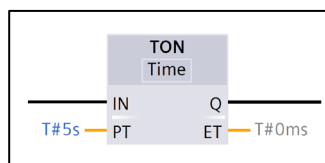


Εικόνα 4.2-24: Πρόγραμμα αισθητήρα μονοξειδίου

Αρχειακό υλικό

Έστω πως ο αισθητήρας αποτελεί μέρος ενός δικτύου πυρανίχνευσης, στο οποίο η απαιτούμενη πίεση του πυροσβεστικού μέσου επιτυγχάνεται με τη χρήση μιας αντλίας. Προτείνετε τρόπους με τους οποίους μπορούν να επιτευχθούν τα ακόλουθα:

- Να προστεθούν νέες εξόδους στο σύστημα ελέγχου που θα αφορούν την ενημέρωση κάποιου απομακρυσμένου κέντρου ελέγχου για την υπέρβαση των ορίων του αερίου στο χώρο που παρακολουθείται από τον αισθητήρα.
- Το παρακάτω προγραμματιστικό αντικείμενο είναι στοιχείο που εισάγει χρονική καθυστέρηση στη διέλευση σήματος (*generate on-delay*: TON) από το σημείο εισόδου (*IN*) στο σημείο εξόδου του (*Q*), για προκαθορισμένο χρονικό διάστημα (*preset time-PT*).



Εικόνα 4.2-25: Στοιχείο χρονικής καθυστέρησης

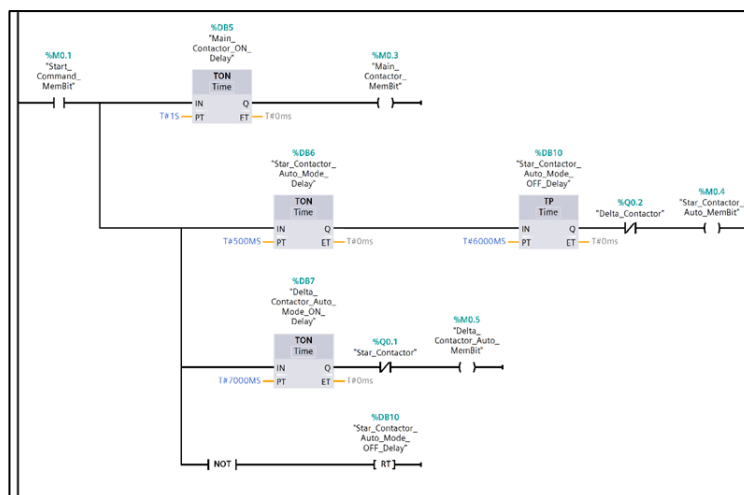
Αρχειακό υλικό

Με ποιόν τρόπο μπορεί να προγραμματιστεί η εκκίνηση της αντλίας αν το σήμα που λαμβάνεται από τον αισθητήρα έχει υπερβεί το ανώτατο όριο για χρόνο τουλάχιστον 10s.

→ Αν ο επιτηρούμενος χώρος διέθετε και δεύτερο αισθητήρα, πως θα μπορούσε να τοποθετηθεί μια έξοδος με σκοπό την ενημέρωση του χρήστη για σφάλμα στο σύστημα των αισθητήρων, εφόσον η απόκλιση του σήματος τους υπερέβαινε τα 50ppm.

- Ερώτημα 3:

Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται το πρόγραμμα εκκίνησης του κινητήρα, με αυτόματη μετάβαση από συνδεσμολογία αστέρα σε συνδεσμολογία τριγώνου. Η εντολή εκκίνησης δίνεται από τη μεταβλητή «*Start_Command_MemBit*», που μέσα από τη δράση των οδηγιών ελέγχου του προγράμματος θα ελέγξει κατάλληλα τις εξόδους του κύριου ηλεκτρονόμου (*Main_Contactor_MemBit*), του ηλεκτρονόμου συνδεσμολογίας αστέρα (*Star_Contactor_MemBit*) και του ηλεκτρονόμου συνδεσμολογίας τριγώνου (*Delta_Contactor_MemBit*).



Εικόνα 4.2-26: Πρόγραμμα εκκίνησης με αυτόματη μετάβαση αστέρα-τριγώνου

Αρχαιακό υλικό

Μπορείτε να παρατηρήσετε πως το πρόγραμμα περιέχει τρία νέα στοιχεία. Το πρώτο είναι ένα χρονικό στοιχείο (*generate pulse: TP*)—ίσως θα μπορούσε να χαρακτηριστεί καλύτερα ως χρονοδιακόπτης απενεργοποίησης—που η λειτουργία του εντοπίζεται στη διέλευση σήματος για την περίοδο που προηγείται έως ότου να συμπληρωθεί ο χρόνος που έχει οριστεί από τον χρήστη (*PT*). Σημαντική ιδιότητα αυτού του αντικειμένου είναι πως εφόσον εντοπιστεί σήμα στην είσοδο του, η λειτουργία του θα διατηρηθεί για το χρονικό διάστημα που απαιτείται μέχρι ο παρερχόμενος (*ET*) να αποκτήσει ίδια τιμή με το χρόνο που έχουμε προκαθορίσει.

Το επόμενο στοιχείο χρησιμοποιείται για την αντιστροφή της κατάστασης του σήματος του αποτελέσματος της λογικής λειτουργίας (*invert RLO*: --|NOT|--) που ακολουθεί της εξόδου του σε σχέση με την είσοδο του, δηλαδή αν στην είσοδο του αντικειμένου η κατάσταση είναι «1» (ενεργή), στην έξοδο του η κατάσταση θα είναι «0» και αντίστροφα. Τέλος, χρησιμοποιούμε μια εντολή επαναφοράς χρονικού στοιχείου (*reset timer*: ---(RT)---), που η λειτουργία της εντοπίζεται στο μηδενισμό της τιμής του παρερχόμενου χρόνου για το χρονικό στοιχείο που θα ελέγξει εφόσον ενεργοποιηθεί.

Περιγράψτε τις τροποποιήσεις που πρέπει να γίνουν στο πρόγραμμα έτσι ώστε:

- Ο χρόνος που παρεμβάλλεται μεταξύ της απενεργοποίησης του ηλεκτρονόμου αστέρα και της ενεργοποίησης του ηλεκτρονόμου τριγώνου να περιοριστεί σε *200ms*.
- Η ταυτόχρονη ενεργοποίηση των ηλεκτρονόμων αστέρα και τριγώνου να απενεργοποιεί τον κύριο ηλεκτρονόμο του κινητήρα.
- Η ενεργοποίηση κάθε ηλεκτρονόμου να επιτυγχάνεται χειροκίνητα, μέσω κατάλληλων επαφών που θα ελέγχονται από το χρήστη.

5. Συμπεράσματα και προτάσεις

5.1. Συμπεράσματα

Η διαδικασία δημιουργίας ενός ολοκληρωμένου προϊόντος εκ του μηδενός, λειτουργεί ως εφαλτήριο για τη διερεύνηση των τόπων που άπτονται του εκάστοτε αντικειμένου, οδηγεί στην αναζήτηση μεθόδων βελτίωσης του και αποτελεί έναυσμα για την εξοικείωση με τις τεχνικές τάσεις και τους τρόπους οργάνωσης παραγωγής. Ιδίως στην περίπτωση αυτής της εργασίας—που σημαντικό μέρος του εξοπλισμού απαίτησε ιδιαίτερη προσοχή στην προσέγγιση και την ενσωμάτωση του σε ένα λειτουργικό σύνολο—το όφελος που αποκομίσαμε από την ασχολία μας με τέτοια, πολυσχιδή ζητήματα υπερέβη τις όποιες δυσκολίες προέκυψαν κατά την εκτέλεση της. Συνάμα, κάθε σημείο που απαίτησε το λειτουργικό συγχρονισμό υλικού διαφορετικής ηλικίας, υπήρξε πηγή για ενδελεχή έρευνα και επινόηση λύσεων που οδήγησαν σε τεχνική εμπειρία. Βέβαια, πέραν του προσωπικού κέρδους, κορωνίδα του εγχειρήματος υπήρξε η παραγωγή μιας μονάδας πολλαπλών σκοπών και αυξημένων δυνατοτήτων, που προστέθηκε αβίαστα στις εκπαιδευτικές δραστηριότητες.

5.2. Προτάσεις

Οι προτάσεις που μπορούν να γίνουν αφορούν κυρίως τη βελτίωση και τη μελλοντική ανάπτυξη της διάταξης, μέσω της προσθήκης εξοπλισμού ή της σύστασης εφαρμογών, και εντοπίζονται στα ακόλουθα σημεία:

- Μολονότι η ορθή λειτουργία του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους εξετάστηκε ενδελεχώς, είναι βέβαιο πως η αυξημένη ηλικία του εγκυμονεί ζητήματα που δεν έγιναν εμφανή. Οπότε θα ήταν χρήσιμη η ανακατασκευή του κινητήρα και της γεννήτριας, ώστε να εξασφαλιστεί η απρόσκοπτη λειτουργία της μονάδας.
- Η διέγερση της γεννήτριας πραγματοποιείται με τη χρήση εξωτερικής μονάδας τροφοδοσίας συνεχούς ρεύματος, με το χρήστη να ελέγχει την τάση σε συνάρτηση με το φορτίο. Προς απλούστευση του χειρισμού της διάταξης θα ήταν ωφέλιμη η εγκατάσταση μονάδας αυτόματης διαχείρισης της τάσης (*automatic voltage regulator-AVR*).
- Ο ελεγκτής διαθέτει πλήθος δυνατοτήτων που δε χρησιμοποιήσαμε στα δρώμενα αυτής της εργασίας. Κάποιοι από τους τομείς του βρίσκουν άμεση χρήση στο

σύστημα αφορούν διαδικασίες καταγραφής και διαχείρισης δεδομένων, όπως και την ενσωμάτωση σύγχρονων, δικτυακών εναλλακτικών της συσκευής διεπαφής ανθρώπου-μηχανής.

6. Βιβλιογραφία

- Adkins, B., & Harley, R. G. (1979). *The general theory of alternating current machines : Application to practical problems*. Chapman And Hall.
- Bennett, S. (1986). *A history of control engineering, 1800-1930*. Peregrinus On Behalf Of The Institution Of Electrical Engineers.
- Bennett, S. (1993). *A History of Control Engineering 1930-1955*. Institution Of Electrical Engineers.
- Bennett, S. (1996). History of Automatic Control to 1960: An Overview. *IFAC Proceedings Volumes*, 29(1), 3008–3013. [https://doi.org/10.1016/s1474-6670\(17\)58135-5](https://doi.org/10.1016/s1474-6670(17)58135-5)
- Bhatia, A. (n.d.). *AC Generators and Motors*. [Www.cedengineering.com](http://www.cedengineering.com); CED Engineering. Retrieved August 10, 2021, from <https://www.cedengineering.com/userfiles/AC%20Generators%20and%20Motors%20R1.pdf>
- Boldea, I. (2017). Electric generators and motors: An overview. *CES Transactions on Electrical Machines and Systems*, 1(1), 3–14. <https://doi.org/10.23919/tems.2017.7911104>
- Bolton, W. (2006). *Programmable Logic Controllers* (4th ed.). Elsevier.
- Bolton, W. (2015). *Mechatronics: Electronic control systems in mechanical and electrical engineering* (6th ed.). Pearson Education Limited.
- Borden, T. R., & Cox, R. A. (2013). *Technician's Guide to Programmable Controllers* (6th ed.). Delmar, Cengage Learning.
- Brusso, B. C. (2018). 50 Years of Industrial Automation [History]. *IEEE Industry Applications Magazine*, 24(4), 8–11. <https://doi.org/10.1109/mias.2018.2820440>
- Bryan, L. A., & Bryan, E. A. (1997). *Programmable controllers : theory and implementation*. Industrial Text Co.
- Channabasavaraj Raravi. (2018, May 28). *Industrial Automation: The History of Manufacturing Application, Current Status & Future Outlook*. Sasken. <https://blog.sasken.com/industrial-automation-the-history-of-manufacturing-application-current-status-future-outlook>
- Chapman, S. J. (2012). *Electric machinery fundamentals : 5th Re-issue*. McGraw Hill Higher Education. (Original work published 1984)
- d'Udekem-Gevers, M. (n.d.). *Telling the long and beautiful (hi)story of automation!* University of Namur, Faculté d'informatique. Retrieved August 19, 2021, from <http://www.crid.be/pdf/public/7411.pdf>
- Gallo, E. (2006). Jean Simon Bonnemain (1743-1830) and the origins of hot water central heating. *Proceedings of the Second International Congress on Construction History*, 1043–1060. <http://www.emmanuellegallo.net/pdf/1043-1060.pdf>
- Gerovitch, S. (2003). Automation. In *Encyclopedia of Computer Science* (pp. 122–126). John Wiley and Sons Ltd.

- Globerman, S. (Ed.). (2019). *Technology, Automation and Employment: Will this Time be Different?* Fraser Institute. <https://www.fraserinstitute.org/sites/default/files/technology-automation-and-employment.pdf>
- Guru, B. S., & Hiziroglu, H. R. (2001). *Electric Machinery and Transformers* (3rd ed.). Oxford University Press. (Original work published 1988)
- Hall, D. T. (2014). *Practical Marine Electrical Knowledge* (3rd ed.). Witherby Seamanship International. (Original work published 1984)
- Hayden, E., Assante, M., & Conway, T. (2014). *An abbreviated history of automation & industrial controls systems and cybersecurity*. SANS Institute. <http://large.stanford.edu/courses/2016/ph240/parthasarathy2/docs/sans-aug14.pdf>
- Hughes, A. (2006). *Electric Motors and Drives: Fundamentals, Types, and Applications* (3rd ed.). Elsevier/Newnes.
- Janssen, C. P., Donker, S. F., Brumby, D. P., & Kun, A. L. (2019). History and future of human-automation interaction. *International Journal of Human-Computer Studies*, 131, 99–107. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2019.05.006>
- Keljik, J. (2013). *Electricity: AC/DC Motors, Controls, and Maintenance* (10th ed.). Delmar, Cengage Learning.
- László Keviczky, Bars, R., Jenő Hetthéssy, & Csilla Bányász. (2019). *Control Engineering*. Singapore Springer Singapore.
- Lavers, C. R., Kraal, E. G. R., & Buyers, S. (2020). *Basic electrotechnology for marine engineers* (5th ed.). Reeds.
- Mayr, O. (1970). *The origins of feedback control*. M.I.T. Press, Cop.
- Nof, S. Y. (2009). *Springer Handbook of Automation*. Berlin, Heidelberg Springer Berlin Heidelberg.
- Offiong, E. A. (1992). *Marine automation and impact on shipboard machinery*. World Maritime University. https://commons.wmu.se/cgi/viewcontent.cgi?article=2029&context=all_dissertations
- Petruzella, F. D. (2011). *Programmable Logic Controllers* (4th ed.). McGraw-Hill.
- Qi, F., Scharfenstein, D., Weiss, C., Müller, C., & Schwarzer, U. (2019). *Motor Handbook*. https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-motorcontrol_handbook-AdditionalTechnicalInformation-v01_00-EN.pdf?fileId=5546d4626bb628d7016be6a9aa637e69
- Rizk, F. A. M., & Trinh, G. N. (2014). *High voltage engineering*. CRC Press.
- Romero, V., & Theorin, A. (2012). *History of Control History of PLC and DCS*. http://archive.control.lth.se/media/Education/DoctorateProgram/2012/HistoryOfControl/Vanessa_Alfred_report.pdf
- Scherer, T., & Cohen, J. (2011). The Evolution of Machinery Control Systems Support at the Naval Ship Systems Engineering Station. *Naval Engineers Journal*, 123(2), 85–109. <https://doi.org/10.1111/j.1559-3584.2011.00321.x>
- Walker, M., Bissell, C., & Monk, J. (2010). The PLC: a logical development. *Measurement and Control*, 43(9), 280–284. <https://doi.org/10.1177/002029401004300904>

- Warne, D. F. (2000). *Newnes electrical engineer's handbook*. Newnes.
- Watanabe, N. (2018). *2018 21st International Conference on Electrical Machines and Systems : 7-10 October 2018, Jeju, South Korea* (I. Hirotsuka, H. Sugimoto, & M. Nakamura, Eds.). Institute Of Electrical And Electronics Engineers. (Original work published 2021)
- Wikipedia Contributors. (2019a, February 10). *Microsoft Excel*. Wikipedia; Wikimedia Foundation. https://en.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Excel
- Wikipedia Contributors. (2019b, March 27). *Autodesk Inventor*. Wikipedia; Wikimedia Foundation. https://en.wikipedia.org/wiki/Autodesk_Inventor
- Wikipedia Contributors. (2019c, April 1). *AutoCAD*. Wikipedia; Wikimedia Foundation. <https://en.wikipedia.org/wiki/AutoCAD>
- Wikipedia Contributors. (2021, March 11). *Rhinoceros 3D*. Wikipedia; Wikimedia Foundation. https://en.wikipedia.org/wiki/Rhinoceros_3D
- Γαστεράτος, Α., Μουρούτσος, Σ. Γ., & Ανδρεάδης, Ι. (2013). *Τεχνολογία Μετρήσεων - Αισθητήρια*. Εκδόσεις Τσιότρας.
- Καλλιγερόπουλος, Δ., & Βασιλειάδου, Σ. (2005). *Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου Ι. Σύγχρονη Εκδοτική*.
- Κολλιόπουλος, Ν. (2010). *Βασική Ηλεκτρολογία*. Εκδόσεις Ίων.
- Παγώνης, Δ. Ν. (2011a). “*Αυτοματισμοί Πλοίου*”, σημειώσεις μαθήματος. Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Αθήνας.
- Παγώνης, Δ. Ν. (2011b). “*Ηλεκτροτεχνία-Ηλ. Μηχανές και Εγκαταστάσεις Πλοίου*”, σημειώσεις μαθήματος. Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Αθήνας.
- Πανταζής, Ν. Α. (1997). *PLC Προγραμματιζόμενοι Λογικοί Ελεγκτές* (2nd ed.). Εκδόσεις Ίων.
- Παπαγιάννης, Ε., & Παπαποστόλου, Σ. (2011). “*Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου*”, σημειώσεις εργαστηρίου. Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Αθήνας.
- Προυσαλίδης, Ι. (2012). *Ηλεκτροτεχνικές Εφαρμογές σε Πλοία και Πλωτές Κατασκευές*. Εκδόσεις Συμμετρία.
- Ρήγας, Δ. (1999). *Τεχνολογία Ηλεκτρονικών Εξαρτημάτων*. Εκδόσεις Α. Τζιόλα Ε.
- Ρούπα, Ε. Χ., & Χεκίμογλου, Ε. Α. (2009). *Η ιστορία του αυτοκινήτου στην Ελλάδα: Εμπόριο και παραγωγή στη μέγγενη του κράτους 1894-1986* (pp. 418–419). Κέρκυρα.

7. Τεχνική Βιβλιογραφία

Προς διευκόλυνση των διαδικασιών συντήρησης και επισκευής, όπως και μελλοντικών διπλωματικών εργασιών που θα εδραστούν σε αυτή τη διάταξη, παρατίθεται η τεχνική βιβλιογραφία—που καταφέραμε να εντοπίσουμε σε ηλεκτρονική μορφή—του εξοπλισμού και των εφαρμογών που μας απασχόλησαν:

Breter Industrial Controls. (2003). *Cam Switches "R" Series (from 16A to 315A)*. Breter s.r.l. http://www.kwongshun.com/spec/Serie_R_e.pdf

EMAS. (n.d.). *20A Changeover 3 Poles (1-0-2) 60° 48*48 Cam Switch*. EMAS AS. Retrieved September 13, 2021, from <https://www.emaselectric.com/products/g--rotary-cam-switches/psa--series/psa020kd334s--20a-changeover-3-poles-1-0-2-60-48-48-cam-switch>

Green Instruments. (2015). *G1000 Smoke Density Monitor Manual*. Green Instruments A/S.

HANWEI ELECTRONICS CO., LTD. (n.d.). *TECHNICAL DATA MQ-7 GAS SENSOR*. <https://www.waveshare.com/w/upload/2/2c/MQ-7.pdf>

ifm. (n.d.). *IGC222 - Inductive sensor*. Ifm Electronic GmbH. Retrieved September 13, 2021, from <https://www.ifm.com/us/en/product/IGC222>

Leroy Somer. (1976). *Alternateur Arok*. Leroy Somer. https://www.leroy-somer.com/documentation_pdf/notices_pdf/B3_73_fr.pdf

Mean Well. (2021). *EDR-150-24 Industrial DIN rail power supply*. Eight Lakes Group. <https://www.meanwell.com/Upload/PDF/EDR-150/EDR-150-SPEC.PDF>

Sendari, S., Hadi, M. S., Rahmawati, Y., Hadi, N. C., Wibowo, F. S., Wibowo, D. A., Agustin, W., Kumalasari, I., Rachman, I., & Matsumoto, T. (2019, November 11). Design and analysis of safety hazardous gas instruments for laboratory experiments. *Advances in Electrical and Electronic Engineering: From Theory to Applications (Series 2)*. International Conference of Electrical and Electronic Engineering (ICon3E 2019). <https://doi.org/10.1063/1.5133921>

Siemens. (n.d.-a). *SB 1232 Analog Output Module*. Siemens AG. Retrieved September 13, 2021, from <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6ES7232-4HA30-0XB0>

Siemens. (n.d.-b). *SIMATIC HMI KTP600 Basic Color PN*. Siemens AG. Retrieved September 13, 2021, from <https://support.industry.siemens.com/cs/pd/297145?ptdi=pi&dl=en&lc=en-WW>

Siemens. (n.d.-c). *SIMATIC S7-1200, CPU 1214C*. Siemens AG. Retrieved September 13, 2021, from <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6ES7214-1AG40-0XB0>

Siemens. (2012). *SIMATIC HMI - HMI devices Basic Panels - Operating Instructions*. In *support.industry.siemens.com*. Siemens AG. <https://support.industry.siemens.com/cs/document/31032678/simatic-hmi-hmi-devices-basic-panels?dti=0&lc=en-AE>

- Siemens. (2014). Programming Guideline for S7-1200/1500. In *support.industry.siemens.com*. Siemens AG.
<https://support.industry.siemens.com/cs/document/81318674/programming-guidelines-and-programming-styleguide-for-simatic-s7-1200-and-s7-1500?dti=0&lc=en-WW>
- Siemens. (2015). SIMATIC S7-1200 Easy Book. In *support.industry.siemens.com*. Siemens AG. <https://support.industry.siemens.com/cs/document/39710145/simatic-s7-1200-easy-book?dti=0&lc=en-WW>
- Siemens. (2016a). *Time Synchronization with an HMI Operator Panel and a SIMATIC PLC WinCC V13 SP1, Comfort Panels, S7-1200/S7-1500 and S7-300/S7-400*. Siemens AG.
https://cache.industry.siemens.com/dl/files/408/69864408/att_969200/v1/69864408_WinCC_TimeSyn_DOC_v40_en.pdf
- Siemens. (2016b). SIMATIC S7 S7-1200 Functional Safety Manual. In *Siemens AG*.
<https://support.industry.siemens.com/cs/document/104547552/simatic-s7-s7-1200-functional-safety-manual?dti=0&lc=en-US>
- Siemens. (2016c). STEP 7 Basic V14.0 - System Manual. In *Siemens AG*.
<https://support.industry.siemens.com/cs/document/109742266/step-7-basic-v14-0?dti=0&lc=en-US>
- Siemens. (2016d). *Application examples for High-Speed Counters (HSC)*. Siemens AG.
https://cache.industry.siemens.com/dl/files/346/109742346/att_906681/v1/109742346_HSC_S7_1200_DOKU_V10_en.pdf
- Siemens. (2018a). Examples for the SIMATIC S7-1200 / S7-1500 Web Server. In *industry.siemens.com*. Siemens AG.
https://cache.industry.siemens.com/dl/files/496/68011496/att_959527/v2/68011496_Examples_for_S7WebServer_DOC_v21_en.pdf
- Siemens. (2018b). *Remote Access to WinCC Runtime Advanced Sm@rtServer, SIMATIC WinCC Runtime Advanced*. Siemens AG.
https://cache.industry.siemens.com/dl/files/153/109476153/att_959406/v1/109476153_Remote_Panels_RTAdv_DOC_en.pdf
- Siemens. (2019a). *PID control with PID_Compact*. Siemens AG.
https://cache.industry.siemens.com/dl/files/401/100746401/att_984768/v1/100746401_S71x00_PidCompact_DOC_V2.0_en.pdf
- Siemens. (2019b). *Evaluation of the PLC Status "RUN/STOP" with a SIMATIC S7-1200 or S7-1500 Controller. WinCC (TIA Portal) / Basic and Comfort Panels*. Siemens AG.
https://cache.industry.siemens.com/dl/files/628/109481628/att_963562/v2/109481628_PLC_Status_WinCC_TIA_DOC_en.pdf
- Siemens. (2020). Creating and using user-defined web pages on S7-1200 / S7-1500. In *support.industry.siemens.com*. Siemens AG.
<https://support.industry.siemens.com/cs/document/68011496/creating-and-using-user-defined-web-pages-on-s7-1200-s7-1500?dti=0&lc=en-WW>

8. Πηγές Εικόνων

Κεφάλαιο 1

- Bond, A. R. (2015). *Mechanics: The Science of Machinery* (p. 61).
<https://www.gutenberg.org/files/49445/49445-h/49445-h.htm>
- Franck, F. (2013). Drebber's Athanor and furnaces. In *Cornelis Drebbel* (p. 4).
<https://drebbel.net/2013%20Drebbels%20Athanor.pdf>
- History of the PLC*. (2019, August 7). Automation Direct.
<https://library.automationdirect.com/history-of-the-plc/>
- Junge, M. (2008). Watt-type centrifugal governor (1788) on a Boulton and Watt steam engine at the Science Museum, London. In *Wikipedia*.
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Boulton_and_Watt_centrifugal_governor-MJ.jpg
- Scroggins, D. (2013). Hullavington relay room. In *Swindon Panel Preservation Photo Gallery*. <https://photos.swindonpanel.org.uk/picture.php?/235>
- US Navy. (1917). Sperry's stabilizing gyroscope installed in the USS Henderson. In *Wikipedia*.
https://en.wikipedia.org/wiki/Elmer_Ambrose_Sperry#/media/File:Ship_stabilizing_gyroscopes_USS_Henderson_1917.jpg

Κεφάλαιο 2

- Bolton, W. (2015). *Mechatronics: Electronic control systems in mechanical and electrical engineering* (6th ed., p. 516). Pearson Education Limited.
- Bolton, W. (2015). *Mechatronics: Electronic control systems in mechanical and electrical engineering* (6th ed., p. 522). Pearson Education Limited.
- DNV GL. (2015). *Schematic principles for steering gear hydraulics* (p. 13).
<https://rules.dnv.com/docs/pdf/DNV/cg/2015-12/dnvgl-cg-0040.pdf>
- Electrical4U. (2019, February 17). *Squirrel Cage Induction Motor: Working Principle & Applications*. Electrical4U. <https://www.electrical4u.com/squirrel-cage-induction-motor/>
- ElProCus. (2013, September 23). *3-Phase Induction Motor*. ElProCus - Electronic Projects for Engineering Students. <https://www.elprocus.com/industrial-star-delta-starter-3-phase-induction-motor/>
- Envirementalb. (2020, March 7). *Different types of relays and their working*. Envirementalb.com. <https://envirementalb.com/relay/>
- Honeywell International. (n.d.). *UDC2800 DIN Controller*. Honeywell. Retrieved September 6, 2021, from <https://www.honeywellprocess.com/en-US/explore/products/instrumentation/panel-mounted-controllers-and-programmers/1-4th-din-controllers/Pages/udc2800.aspx>

- Honeywell International Inc. (n.d.). *Pressure Sensors*. Sps.honeywell.com. Retrieved September 6, 2021, from <https://sps.honeywell.com/us/en/products/sensing-and-iot/sensors/pressure-sensors>
- IFM electronic gmbh. (n.d.). *Inductive sensors*. IFM. Retrieved September 6, 2021, from https://www.ifm.com/de/en/category/010/010_010
- Jay Industrial Repair. (n.d.). *Wound Rotor Motors*. Jay Industrial Repair. Retrieved September 8, 2021, from <https://jayindustrial.com/electric-motor-repair/wound-rotor-motors/>
- Keys, C. (2007). *Electric Motors: Energy Efficiency Reference Guide* (p. 22). CEA Technologies Inc.
<https://app.sist.org.cn/label/Upload/ProductFile/09350da174b846b29336ae692e689a29.pdf>
- Marposs S.p.A. (n.d.). *Stator*. Marposs. Retrieved September 7, 2021, from <https://www.marposs.com/eng/application/stator>
- MGK SENSOR. (n.d.). *Electrochemical gas sensors*. MGK SENSOR Co., Ltd. Retrieved October 6, 2021, from <http://mgk-sensor.co.jp/en/>
- Online Electrical and Electronics Study. (2017, September 20). *On Off Controller or Two Position Controller*. EEGGUIDE.COM. <https://www.eeeguide.com/on-off-controller/>
- Rockwell Automation, Inc. (n.d.). *Allen-Bradley Programmable Controller Products*. Rockwell Automation. Retrieved September 6, 2021, from <https://www.rockwellautomation.com/en-us/products/hardware/allen-bradley/programmable-controllers/all-products.html#micro-control-systems>
- Samac S.p.A. (n.d.). *Rotors: production of electric motors*. SMT Special Machine Tool Brescia Srl. Retrieved September 7, 2021, from <https://www.specialmachinetool.it/en/smt-experience/processed-parts/rotors/>
- Schneider Electric Industries SAS. (2016). *Human/Machine Interface Magelis Panels and Industrial PCs guide*. <https://www.tecnical.cat/PDF/SCHNEIDER/HMI/schneider-hmi-magelis-panels-industrial-psc-selection-guide.pdf>
- TriElectric International FZE. (n.d.). *Spare Parts for Motors*. TriElectric International FZE. Retrieved September 7, 2021, from http://www.trielectricinternational.com/Home/Spare_Parts_for_Motors

Κεφάλαιο 3

- DIELLE SRL Industrial Automation. (n.d.). *6AV6647-0AD11-3AX0 - Siemens SIMATIC HMI Basic Panel*. PLC City. Retrieved September 13, 2021, from <https://www.plc-city.com/shop/en/siemens-simatic-hmi-basic-panels-1st-generation/6av6647-0ad11-3ax0.html>
- Google. (2014). Ο χώρος του μηχανουργείου της εταιρείας “Τεχνικά Σ. Μαλκότσης.” In *Google Maps*.
<https://www.google.gr/maps/@37.9522075,23.6376653,3a,75y,278.72h,98.37t/data=!3m6!1e1!3m4!1sLqTowo13dYvYMHrVZUqzfQ!2e0!7i13312!8i6656?hl=el>
- Green Instruments. (2015). *G1000 Smoke Density Monitor Manual*. Green Instruments A/S.

ifm. (n.d.). *IGC222 - Inductive sensor*. Ifm Electronic GmbH. Retrieved September 13, 2021, from <https://www.ifm.com/us/en/product/IGC222>

KAYKAS. (n.d.-a). *Πελέ ισχύος 3P 9A 4kW 24V DC INO INC LC1D09BL*. KAYKAS. Retrieved September 20, 2021, from https://www.kafkas.gr/viomichaniko-yliko/yliko-aftomatismou/trofodotika/trofodotika-exodou-12vdc/schneider-electric-2-rele-ischyos-3p-9a-4kw-24v-dc-1no-1nc_160278/

KAYKAS. (n.d.-b). *Πελέ ισχύος 3P 9A 4kW 230V AC INO LC1K0910P5*. KAYKAS. Retrieved September 20, 2021, from https://www.kafkas.gr/viomichaniko-yliko/yliko-aftomatismou/trofodotika/trofodotika-exodou-24vdc/schneider-electric-2-rele-ischyos-3p-9a-4kw-230v-ac-1no_160111/

Mean Well. (n.d.). *EDR-150-24 Industrial DIN rail power supply*. Eight Lakes Group. Retrieved September 13, 2021, from <https://www.meanwell-web.com/en-gb/ac-dc-industrial-din-rail-power-supply-output-24v-edr--150--24>

OpenCorporates. (2020, March 26). *EDUTECH France*. Opencorporates.com. <https://opencorporates.com/companies/fr/302666946>

Schrack. (n.d.). *PCB Relay 1 C/O 24VDC 12A pinning 3.5*. Schrack Technik International. Retrieved September 20, 2021, from <https://www.schrack.com/shop/pcb-relay-1-c-o-24vdc-12a-pinning-3-5-rt114024.html>

SIA Joom. (2021). *DC 0-100V 10A 50A 100A Digital Voltmeter Ammeter Dual LED Amp Volt Meter/Shunt*. Joom. <https://www.joom.com/en/products/5d5646d88b2c3701010276ab>

Siemens. (n.d.). *SB 1232 Analog Output Module*. Siemens AG. Retrieved September 13, 2021, from <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6ES7232-4HA30-0XB0>

Top Electronics. (n.d.-a). *CCMHCHN DC Motor Controller pwm Governor PLC 6V12V36V60V90V15A*. Top Electronics. Retrieved September 20, 2021, from <https://topelectronics.gr/electronics/dc-motors/drivers/ccmhcn-dc-motor-controller-pwm-governor-plc-6v12v36v60v90v15a/>

Top Electronics. (n.d.-b). *LM317 DC-DC 4.2-40V To 1.2-37V Step Down Buck Converter Board Module*. Top Electronics. Retrieved September 20, 2021, from <https://topelectronics.gr/electronics/buck-and-boost-converters/step-down-dc-dc/lm317-dc-dc-4.2-40v-to-1.2-37v-step-down-buck-converter-board-module/>

Waveshare. (n.d.). *MQ-7 Gas Sensor*. Waveshare Electronics. Retrieved September 20, 2021, from <https://www.waveshare.com/mq-7-gas-sensor.htm>

