ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΚΕΙΜΕΝΟ
ΑΚΑΔΗΜΙΩΝ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954

ΧΡΥΣΟΥΝ ΜΕΤΑΛΛΙΟΝ
ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

Γρ. Ι. Αντώναρου • Δημ. Ε. Γουργούλη • Αν. Ν. Καραγκούνη
Αθ. Κ. Παπασταμούλη • Δημ. Β. Χριστοδούλου

ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΤΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ Ε. ΓΟΥΡΓΟΥΛΗ
Δρ Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Η/Υ
Διευθυντής ΚΕΣΕΝ Μακεδονίας

ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΥ Ν. ΚΑΡΑΓΚΟΥΝΗ
Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Η/Υ
Επιστ. Συνεργάτης ΚΕΣΕΝ Μηχανικών Ρέντη

ΑΘΑΝΑΣΙΟΥ Κ. ΠΑΠΑΣΤΑΜΟΥΛΗ
Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Η/Υ
Επιστ. Συνεργάτης ΑΕΝ Μακεδονίας/Μηχανικών

ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ Β. ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΥ
Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Η/Υ
Καθηγητής και Βοηθός Διευθυντή ΚΕΣΕΝ Μηχανικών Ρέντη

ΓΡΗΓΟΡΙΟΥ Ι. ΑΝΤΩΝΑΡΟΥ
Δρ Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Η/Υ
Επιστ. Συνεργάτης ΑΕΝ Μακεδονίας/Μηχανικών

ΑΘΗΝΑ
2025

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΣΥΓΓΡΑΦΕΩΝ

Το βιβλίο «Συστήματα Αυτόματου Ελέγχου» εκπονήθηκε με σκοπό να καλύψει το αναλυτικό πρόγραμμα διδασκαλίας των αντίστοιχων μαθημάτων του Ε' και ΣΤ' εξαμήνου της Σχολής Μηχανικών των Ακαδημιών Εμπορικού Ναυτικού. Το κείμενο του βιβλίου συνεγράφη σύμφωνα με τις νέες απαιτήσεις εκπαίδευσης και πιστοποίησης της Διεθνούς Σύμβασης STCW '78 (Manila amendments 2010) και ακολούθησε τα αντίστοιχα γνωστικά αντικείμενα που προτείνονται από το νέο IMO Model Course 7.04 έκδοση 2014.

Το βιβλίο διαιρείται σε δύο μέρη. Το ***πρώτο μέρος*** *του βιβλίου διδάσκεται στο Ε' εξάμηνο σπουδών και καλύπτει τις βασικές γνώσεις που πρέπει να διαθέτει ο μελλοντικός Μηχανικός Ε.Ν. στο απαιτητικό πεδίο των συστημάτων αυτόματου ελέγχου (ΣΑΕ). Το πρώτο μέρος αποτελείται από 11 κεφάλαια. Στο 1ο κεφάλαιο, οι σπουδαστές εισάγονται στη θεωρία του αυτόματου ελέγχου και στις βασικές κατηγορίες ΣΑΕ. Στο 2ο έως και το 6ο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι βασικές κατηγορίες των αισθητήρων (κίνησης, στάθμης, πίεσης, θερμοκρασίας, φωτεινότητας, ροής και ιξώδους) που χρησιμοποιούνται στις εφαρμογές όχι μόνο συστημάτων αυτόματου του πλοίου αλλά και σε καθημερινές εφαρμογές. Στο 7ο κεφάλαιο παρουσιάζονται ειδικά αισθητήρια που χρησιμοποιούνται σε εξειδικευμένες εφαρμογές του πλοίου. Στο 8ο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι βασικές συσκευές απεικόνισης και καταγραφής των δεδομένων. Στο 9ο κεφάλαιο γίνεται περιγραφή της ενίσχυσης σημάτων που παράγονται από αισθητήρες, καθώς και οι διατάξεις (πνευματικές – ηλεκτρονικές) που χρησιμοποιούνται για την ενίσχυσή τους. Στο 10ο κεφάλαιο παρουσιάζεται η βασική θεωρία των ελεγκτών, βασικά εξαρτήματα και συσκευές που λειτουργούν ως ελεγκτές σε ένα ΣΑΕ. Τέλος, στο 11ο κεφάλαιο του πρώτου μέρους παρουσιάζεται η θεωρία του αναλογικού – ολοκληρωτικού και διαφορικού ελέγχου, οι διάφοροι τύποι των αντίστοιχων ελεγκτών (ηλεκτρικοί, ηλεκτρονικοί, υδραυλικοί, πνευματικοί), καθώς και ο τρόπος ρύθμισής τους.*

Το ***δεύτερο μέρος*** *του βιβλίου διδάσκεται στο ΣΤ' εξάμηνο σπουδών και καλύπτει εξειδικευμένες εφαρμογές συστημάτων αυτόματου ελέγχου των πλοίων με μεγαλύτερη έμφαση στα πνευματικά και υδραυλικά συστήματα ελέγχου. Το δεύτερο μέρος αποτελείται από 9 κεφάλαια. Στο 1ο κεφάλαιο περιγράφονται οι βασικές αρχές και διαφορές των πνευματικών και υδραυλικών συστημάτων ελέγχου. Στο 2ο και 3ο κεφάλαιο αναλύεται η δομή ενός πνευματικού συστήματος και τα βασικά εξαρτήματα των πνευματικών συστημάτων ισχύος. Παράλληλα παρουσιάζονται βασικά πνευματικά κυκλώματα και ο τρόπος ελέγχου τους. Στο 4ο και 5ο κεφάλαιο αντίστοιχα περιλαμβάνονται τα βασικά εξαρτήματα των υδραυλικών συστημάτων ισχύος και βασικά κυκλώματα. Στο 6ο κεφάλαιο παρουσιάζεται το σύστημα εκκίνησης και αναστροφής δίχρονης πετρελαιομηχανής με ή χωρίς εκκεντροφόρο (ηλεκτρονικές μηχανές ή με συστήματα κοινού συλλέκτη). Στο 7ο κεφάλαιο παρατίθενται βασικές εφαρμογές υδραυλικών συστημάτων στα πλοία όπως οι ρυθμιστές στροφών, τα συστήματα ελέγχου λίπανσης των ΜΕΚ και ο έλεγχος της έγχυσης του καυσίμου των ηλεκτρονικών ΜΕΚ. Το 8ο κεφάλαιο περιλαμβάνει συστήματα αυτόματου ελέγχου κύριων μηχανημάτων πρόωσης, των ηλεκτρομηχανών και των ατμολεβήτων, ενώ στο 9ο κεφάλαιο παρουσιάζονται συστήματα αυτόματου ελέγχου βοηθητικών μηχανημάτων πλοίων.*

Στο ***πρώτο μέρος*** *του βιβλίου, το 1ο και 7ο κεφάλαιο συνεγράφη από τους κ.κ. Α. Καραγκούνη και Δ. Χριστόδουλου. Το 2ο, 3ο, 4ο, 5ο, 6ο και 8ο κεφάλαιο συνεγράφη από τον κ.κ. Α. Παπασταμούλη. Το 9ο κεφάλαιο συνεγράφη από τον κ. Γ. Αντώναρο. Το 10ο κεφάλαιο συνεγράφη από τους κ.κ. Γ. Αντώναρο, Α. Καραγκούνη και Δ. Χριστόδουλου, ενώ το 11ο κεφάλαιο από τους κ.κ. Δ. Γουργούλη, Α. Καραγκούνη και Δ. Χριστόδουλου.*

Στο ***δεύτερο μέρος*** *του βιβλίου τα πρώτα πέντε κεφάλαια συνεγράφησαν από τον κ. Γ. Αντώναρο, ενώ το 6ο και 7ο κεφάλαιο από τον κ. Δ. Γουργούλη. Το 8ο και 9ο κεφάλαιο συνεγράφη από τους κ.κ. Δ. Γουργούλη, Α. Καραγκούνη, Α. Παπασταμούλη και Δ. Χριστόδουλου.*

Για τη συγγραφή του βιβλίου θα πρέπει να γίνει ιδιαίτερη αναφορά στην συμβολή της MAN (Courtesy of MAN Energy Solutions / Ευγενική προσφορά της MAN Energy Solutions') για τη διάθεση του απαραίτητου υλικού για την παρουσίαση εξειδικευμένων θεμάτων. Ειδικότερα ευχαριστούμε τον Γενικό Διευθυντή της MAN Energy Solutions Hellas Ltd κ. Διονύσιο Χριστοδουλόπουλο αλλά και την Υπεύθυνη της MAN PrimeServ Academy Piraeus κ. Βασιλική Λαγωνίκα οι οποίοι μας παραχώρησαν την σχετικά άδεια.

Ευχαριστούμε την εταιρεία Kongsberg Maritime για τη διάθεση όλων των νέων τύπων προσομοιωτών που έχει αναπτύξει αλλά και για την άδεια που μας δόθηκε να χρησιμοποιήσουμε εικόνες δικτύων από τους τύπους των πλοίων που έχουν ενσωματωθεί στους προσομοιωτές της.

Ευχαριστούμε θερμά τις εταιρείες Wartsila Hellas, Winterthur Gas & Diesel Ltd & Technava Hellas, Robert Bosch, Alfa Laval, Danfoss, Woodward (Mas S.A.), SKF, Berg, Emerson-Fisher, καθώς και τις ελληνικές αντιπροσωπείες για την άμεση ανταπόκριση για αποστολή πληροφοριακού υλικού στην παρουσίαση ειδικών θεμάτων ΣΑΕ πλοίων.

Θερμές ευχαριστίες οφείλουμε στην Επιτροπή Εκδόσεων του Ιδρύματος Ευγενίδου για τη συνεργασία της σε

όλα τα στάδια της συγγραφής του βιβλίου, καθώς και στον ειδικό επιστημονικό σύμβουλο Δρα. Ιωάννη Δάγκινη, Ε.Δι.Π., Τμήμα Ναυτιλίας και Επιχειρηματικών Υπηρεσιών, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, ο οποίος με τις προτάσεις του και τις εύστοχες παρατηρήσεις του συνετέλεσε ώστε το βιβλίο να ανταποκριθεί με το βέλτιστο τρόπο στις απαιτήσεις των μαθημάτων και του προγράμματος σπουδών.

Τέλος, εκφράζουμε τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μας στους συνεργάτες του Τμήματος Εκδόσεων του Ιδρύματος Ευγενίδου για τις προσπάθειες που κατέβαλαν για την άρτια επιμέλεια και παρουσίαση του βιβλίου.

Οι συγγραφείς

Βιογραφικά Συγγραφέων

*Ο **Γρηγόριος Αντώναρος** γεννήθηκε στον Πειραιά το 1967 από ναυτική οικογένεια. Αποφοίτησε το 1990 από το Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ της Πολυτεχνικής Σχολής του Α.Π.Θ. και αναγορεύτηκε διδάκτορας του ίδιου τμήματος το 1998. Έχει εργαστεί σε θέσεις ευθύνης σε εταιρείες τηλεπικοινωνιών και βιομηχανικής παραγωγής ηλεκτρονικών συστημάτων. Από το 2008 εργάζεται στην Π.Κ.Μ. ως Μηχανικός Η/Υ. Έχει διατελέσει επιστημονικός συνεργάτης στην Ακαδημία Εμπορικού Ναυτικού Μακεδονίας για την διδασκαλία γενικών μαθημάτων του ηλεκτρολογικού τομέα της Σχολής Μηχανικών της ΑΕΝ Μακεδονίας, και θα ήθελε να αφιερώσει τον τόμο αυτό στη μνήμη του πατέρα του Ιωάννη Αντώναρου και των άλλων μελών της ναυτικής οικογένειάς του που έφυγαν για το τελευταίο μεγάλο μπάρκο.*

*Ο **Δημήτριος Γουργούλης** γεννήθηκε στη Φλώρινα το 1969, αποφοίτησε από την Πολυτεχνική Σχολή του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών του Α.Π.Θ. το 1993 και απέκτησε Διδακτορικό Δίπλωμα από το ίδιο τμήμα το 1997. Από το 1997 εργάζεται στην Ακαδημία Εμπορικού Ναυτικού Μακεδονίας αρχικά ως εκπαιδευτικός συνεργάτης και από το 2005 ως τακτικός Καθηγητής Γενικών και Τεχνικών Μαθημάτων. Έχει διδάξει όλα τα μαθήματα του ηλεκτρολογικού τομέα της Σχολής Μηχανικών της ΑΕΝ Μακεδονίας και είναι πιστοποιημένος εκπαιδευτής από την Kongsberg Maritimestους προσομοιωτές μηχανοστασίου από το 2002. Είναι Διευθυντής του ΚΕΣΕΝ Μακεδονίας/Μηχανικών και έχει διατελέσει και Διευθυντής της Σχολής Μηχανικών της ΑΕΝ Μακεδονίας.*

*Ο **Αναστάσιος Καραγκούνης** γεννήθηκε στη Σπαρτιά Φθιώτιδας το 1980, αποφοίτησε από την Πολυτεχνική Σχολή του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Α.Π.Θ. το 2002, απέκτησε μεταπτυχιακό τίτλο σπουδών στην «Μικροηλεκτρονική» από το ΕΚΠΑ και το ΕΜΠ το 2004 και μεταπτυχιακό τίτλο σπουδών «Νέες Τεχνολογίες στην Ναυτιλία και Μεταφορές» από το Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής το 2018. Το 2024 πιστοποιήθηκε ως εκπαιδευτής και εκπαιδευτής εκπαιδευτών από την εταιρία Wartsila στον προσομοιωτή μηχανοστασίου πλοίου ERS 5000 TechSim. Από το 2003 εργάζεται ως ελεύθερος επαγγελματίας μελετητής εγκαταστάτης Ηλεκτρολόγος Μηχανικός. Από το 2011 εργάζεται ως ωρομίσθιος καθηγητής στο ΚΕΣΕΝ Μηχανικών Ρέντη διδάσκοντας τα μαθήματα των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων πλοίων, των ηλεκτρονικών ισχύος, της ναυτικής ηλεκτροτεχνίας και των συστημάτων αυτόματου ελέγχου.*

*Ο **Αθανάσιος Παπασταμούλης** γεννήθηκε στην Λαμία το 1968, αποφοίτησε από την Πολυτεχνική Σχολή του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών του Α.Π.Θ. το 1992 και απέκτησε μεταπτυχιακό τίτλο από το ίδιο τμήμα το 2007. Από το 1993 έως το 2011 εργάστηκε ως ελεύθερος επαγγελματίας μελετητής Ηλεκτρολόγος Μηχανικός. Από το 2003 εργάζεται ως επιστημονικός συνεργάτης στην Ακαδημία Εμπορικού Ναυτικού Μακεδονίας για την διδασκαλία γενικών μαθημάτων του ηλεκτρολογικού τομέα της Σχολής Μηχανικών της ΑΕΝ Μακεδονίας, ενώ έχει διδάξει όλα τα μαθήματα του τομέα αυτού. Είναι επίσης ωρομίσθιος καθηγητής στο ΚΕΣΕΝ Μακεδονίας/Μηχανικών από το 2021, διδάσκοντας το μάθημα «Αυτόματος Έλεγχος» . Επίσης, από το 2016 είναι καθηγητής στο Μητροπολιτικό Κολλέγιο στην σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών του University of East London (UEL).*

*Ο **Δημήτριος Χριστοδούλου** γεννήθηκε στο Διάσελλο Τρικάλων το 1962, αποφοίτησε από το Florida Institute of Technology, Melbourne Florida USA του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ το 1986 και απέκτησε μεταπτυχιακό τίτλο από το Drexel University, Philadelphia PA. USA το 1990. Το 2018 απέκτησε Μεταπτυχιακό τίτλο από το Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής στον τομέα Νέες Τεχνολογίες στην Ναυτιλία και Μεταφορές. Από το 1999 εργάζεται στο ΚΕΣΕΝ Ρέντη, αρχικά ως εκπαιδευτής στον προσομοιωτή γεφύρας στην σχολή Πλοιάρχων και από το 2007 ως μόνιμος Καθηγητής – Εκπαιδευτής της σχολής Μηχανικών Ρέντη. Έχει διδάξει όλα τα μαθήματα του ηλεκτρολογικού τομέα του ΚΕΣΕΝ Μηχανικών Ρέντη και είναι πιστοποιημένος εκπαιδευτής από την Kongsberg Maritime στους προσομοιωτές γέφυρας από το 1999 και πιστοποιημένος εκπαιδευτής και εκπαιδευτής εκπαιδευτών από την εταιρεία Wartsila στον προσομοιωτή μηχανοστασίου πλοίου ERS 5000 TechSim. Είναι Υποδιευθυντής του ΚΕΣΕΝ Μηχανικών Ρέντη.*

ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΜΕΡΟΣ Ι

Κεφάλαιο 01: Εισαγωγή 1

Κεφάλαιο 02: Αισθητήρες 7

Κεφάλαιο 03: Αισθητήρια κίνησης 12

Κεφάλαιο 04: Αισθητήρια στάθμης – πίεσης 23

Κεφάλαιο 05: Αισθητήρες θερμοκρασίας - φωτεινότητας 34

Κεφάλαιο 06: Αισθητήρια ροής - ιξώδους 39

Κεφάλαιο 07: Ειδικά αισθητήρια 44

Κεφάλαιο 08: Απεικόνιση και καταγραφή των δεδομένων 65

Κεφάλαιο 09: Ενίσχυση σημάτων και ενισχυτές 70

Κεφάλαιο 10: Χαρακτηριστικά και ανάλυση της χρονικής απόκρισης συστημάτων ελέγχου 78

Κεφάλαιο 11: Κατηγορίες, σχεδιασμός και ρύθμιση ελεγκτών 95

ΜΕΡΟΣ ΙΙ

Κεφάλαιο 01: Ρευστά 141

Κεφάλαιο 02: Αέρια 143

Κεφάλαιο 03: Εξαρτήματα πνευματικών συστημάτων 148

Κεφάλαιο 04: Υδραυλικά συστήματα ισχύος 175

Κεφάλαιο 05: Εξαρτήματα υδραυλικών συστημάτων 178

Κεφάλαιο 06: Εφαρμογές πνευματικών συστημάτων στα πλοία 196

Κεφάλαιο 07: Εφαρμογές υδραυλικών συστημάτων στα πλοία 234

Κεφάλαιο 08: Συστήματα αυτόματου ελέγχου κύριων μηχανημάτων πρόωσης, ηλεκτρομηχανών και ατμολεβήτων 266

Κεφάλαιο 09: Συστήματα αυτόματου ελέγχου βοηθητικών μηχανημάτων 289

Περιεχόμενα

ΜΕΡΟΣ Ι

Κεφάλαιο 01: Εισαγωγή

1.1 Ιστορική εξέλιξη των Συστημάτων Αυτόματου Ελέγχου 1
1.2 Συστήματα ανοιχτού βρόχου 2
1.3 Συστήματα κλειστού βρόχου 4
1.4 Σύγκριση των συστημάτων ανοιχτού και κλειστού βρόχου 6

Κεφάλαιο 02: Αισθητήρες

2.1 Γενικά 7
2.2 Αισθητήρας – Μορφομετατροπέας – Μεταδότης 7
2.3 Βασικές ιδιότητες αισθητήρων 8
2.4 Πρότυπο 4-20 mA 10

Κεφάλαιο 03: Αισθητήρια κίνησης

3.1 Γραμμικοί αισθητήρες θέσης και μετατόπισης 12
3.2 Αισθητήρες γωνιακής μετατόπισης 15
3.3 Αισθητήρες προσέγγισης 18

Κεφάλαιο 04: Αισθητήρια στάθμης – πίεσης

4.1 Μέτρηση στάθμης 23
4.2 Μέτρηση πίεσης 30

Κεφάλαιο 05: Αισθητήρες θερμοκρασίας – φωτεινότητας

5.1 Μέτρηση θερμοκρασίας 34
5.2 Μέτρηση φωτεινότητας 37

Κεφάλαιο 06: Αισθητήρια ροής - ιξώδους

6.1 Μέτρηση ροής 39
6.2 Μέτρηση ιξώδους 42

Κεφάλαιο 07: Ειδικά αισθητήρια

7.1 Εισαγωγή 44
7.2 Εφαρμογές οριακών διακοπτών σε γερανούς πλοίων 44
7.3 Στροφόμετρα 45
7.4 Μετρητής κενού σε ψυγεία 46
7.5 Αισθητήρες ανίχνευσης νερού σε λάδι και λαδιού σε νερό 47
7.6 Ανιχνευτής πυκνότητας καπνού - υγρασίας 50
7.6.1 Οι ανιχνευτές πυκνότητας καπνού 50
7.6.2 Ανιχνευτής υγρασίας 51
7.7 Ανιχνευτής νέφους λαδιού σε στροφαλοφόρο 53
7.8 Ανιχνευτής-μετρητής εκρηκτικών αερίων 55
7.9 Ανιχνευτής pH 56
7.10 Αισθητήρας φωτιάς - πυρκαγιάς 58
7.11 Αναλυτής νερού (σαλινόμετρο) 59
7.12 Αναλυτής οξυγόνου 60
7.13 Αναλυτής διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) 61
7.14 Μετρητές ταλάντωσης 62
7.15 Χάρτης εννοιών ειδικών αισθητηρίων 64

Κεφάλαιο 08: Απεικόνιση και καταγραφή των δεδομένων

8.1 Γενικά 65
8.2 Αναλογικοί ενδείκτες 65
8.3 Ψηφιακοί ενδείκτες 66
8.4 Καταγραφή δεδομένων μετρήσεων 67

Κεφάλαιο 09: Ενίσχυση σημάτων και ενισχυτές

9.1 Ενίσχυση ηλεκτρικού σήματος 70
9.2 Τελεστικός ενισχυτής 70
9.2.1 Αναστρέφων ενισχυτής 71
9.2.2 Μη αναστρέφων ενισχυτής 71
9.2.3 Ακολουθητής τάσης 72
9.2.4 Ενισχυτής διαφοράς 72
9.2.5 Ενισχυτής αθροίσματος 73
9.2.6 Ενισχυτής μέσου όρου 73
9.2.7 Ενισχυτής πολλαπλασιασμού 74
9.2.8 Ενισχυτής ολοκλήρωσης και διαφόρισης 76
9.3 Πνευματικοί ενισχυτές 77
9.3.1 Πνευματικός ενισχυτής άθροισης 77
9.3.2 Πνευματικός ενισχυτής διαφοράς 77
9.3.3 Πνευματικός ενισχυτής μέσου όρου 77
9.3.4 Πνευματικός ενισχυτής πολλαπλασιασμού/διαίρεσης 77

Κεφάλαιο 10: Χαρακτηριστικά και ανάλυση της χρονικής απόκρισης συστημάτων ελέγχου

10.1 Χαρακτηριστικά ελεγκτών 78
10.2 Η σημασία του εύρους στραγγαλισμού στην ρύθμιση των ελεγκτών 78
10.3 Χαρακτηριστικά - Παράμετροι χρονικής απόκρισης συστήματος μιας ελεγχόμενης μεταβλητής 79
10.3.1 Διαταραχή 79
10.3.2 Νεκρός χρόνος 80
10.3.3 Σταθερά χρόνου 80
10.3.4 Χρόνος καθυστέρησης 80
10.3.5 Χρόνος ανύψωσης 81
10.3.6 Χρόνος αποκατάστασης 81
10.3.7 Υπερύψωση ή υπερακόντιση 82
10.4 Συνάρτηση μεταφοράς 82
10.5 Ευσταθές – ασταθές σύστημα 82
10.6 Ελεγκτής ON – OFF 82
10.7 Ελεγκτής τριών θέσεων 83
10.8 Ελεγκτής δύο βημάτων 84
10.9 Ελεγκτής αλληλουχίας 84
10.10 Δομικά στοιχεία πνευματικών συστημάτων-ελεγκτών 86
10.10.1 Ελεγκτής πτερυγίου-ακροφυσίου 86
10.10.2 Πνευματικό ρελέ 87
10.10.3 Βαλβίδες ελέγχου ροής 87
10.10.4 Βαλβίδα δυο θέσεων 88
10.10.5 Βαλβίδα εκτροπής 88
10.10.6 Διαφραγματική βαλβίδα 88
10.11 Αναλογικά σήματα ελέγχου ρεύματος 4-20 mA 89
10.12 Ηλεκτροπνευματικός μετατροπέας P/I 90
10.13 Μετατροπέας ρεύματος πίεσης I/P 91
10.14 Ηλεκτροπνευματικός τοποθετητής 91

10.15 Τοποθετητής εξισορρόπησης δύναμης 93
10.16 Χάρτης εννοιών ελεγκτών 93

Κεφάλαιο **11**: Κατηγορίες, σχεδιασμός και ρύθμιση ελεγκτών
11.1 Εισαγωγή 95
11.2 Αναλογικός ελεγκτής 95
11.2.1 Ηλεκτρονικός - Ηλεκτρικός ελεγκτής P 99
11.2.2 Πνευματικός ελεγκτής P 99
11.3 Ολοκληρωτικός ελεγκτής 101
11.4 Ελεγκτής PI παράλληλης και παραγοντικής συνδεσμολογίας 104
11.4.1 Ηλεκτρονικός - Υδραυλικός PI ελεγκτής 108
11.4.2 Πνευματικός PI ελεγκτής 109
11.5 Διαφορικός ελεγκτής 110
11.6 Ελεγκτής PD παράλληλης και παραγοντικής συνδεσμολογίας 112
11.6.1 Ηλεκτρονικός - Υδραυλικός PD ελεγκτής 115
11.6.2 Πνευματικός PD ελεγκτής 115
11.7 Ελεγκτής PID 116
11.7.1 Ηλεκτρονικός – Υδραυλικός PID ελεγκτής 121
11.7.2 Πνευματικός PID ελεγκτής 122
11.7.3 Εφαρμογή πνευματικού PID ελεγκτή στο πλοίο 123
11.8 Εμπειρικός προσδιορισμός επιλογής ελεγκτών σε συστήματα με βάση την χρονική τους απόκριση 127
11.9 Μέθοδοι ρύθμισης ελεγκτών 127
11.9.1 Μέθοδος ρύθμισης Ziegler-Nichols με ταλάντωση (πειραματική μέθοδος) 127
11.9.2 Μέθοδος ρύθμισης Ziegler-Nichols με εφαπτομένη 130
11.9.3 Μέθοδος ρύθμισης Cohen-Coon συνεχούς τροχιάς 133
11.10 Χάρτης εννοιών ελεγκτών 135
Ερωτήσεις/ασκήσεις 136

ΜΕΡΟΣ ΙΙ

Κεφάλαιο **01:** Ρευστά 141

Κεφάλαιο **02:** Αέρια
2.1 Απόλυτη πίεση και θερμοκρασία 143
2.2 Δομή πνευματικού συστήματος 143
2.3 Πρωτεύουσα μονάδα επεξεργασίας συμπιεσμένου αέρα 144
2.4 Δευτερεύουσα μονάδα επεξεργασίας συμπιεσμένου αέρα (FRL) 145
2.5 Επιλογή αεροσυμπιεστή και αεροφυλακίου 146
2.6 Σχηματική αποτύπωση συσκευών κυκλωμάτων 147

Κεφάλαιο **03:** Εξαρτήματα πνευματικών συστημάτων
3.1 Παθητικά εξαρτήματα δικτύου διανομής συμπιεσμένου αέρα 148
3.2 Βαλβίδα εκτόνωσης/ασφαλείας 149
3.3 Ρυθμιστής πίεσης 150
3.4 Πνευματικοί κύλινδροι 150
3.4.1 Προτυποποίηση κυλίνδρων 153
3.4.2 Εξαρτήματα κυλίνδρων 154
3.4.3 Ειδικές κατηγορίες κυλίνδρων 154
3.5 Κατευθυντικές βαλβίδες-προτυποποίηση 155
3.5.1 Ενεργοποίηση βαλβίδας 3/2 με μπουτόν και επιστροφή με ελατήριο 157
3.5.2 Ενεργοποίηση βαλβίδας 3/2 με πηνίο και επιστροφή με ελατήριο 157
3.5.3 Ενεργοποίηση βαλβίδας 4/2 από πιλότο 157

3.5.4 Ανεπίστροφη βαλβίδα ... 158
3.6 Βαλβίδα OR ... 159
3.7 Βαλβίδα AND ... 159
3.8 Στραγγαλιστική βαλβίδα ... 159
3.9 Κυκλώματα υλοποίησης λογικών πράξεων ... 159
3.9.1 Κύκλωμα αντιστροφής σήματος (Λογικό NOT) ... 159
3.9.2 Κύκλωμα υλοποίησης λογικής NAND ... 160
3.9.3 Κύκλωμα υλοποίησης λογικής NOR ... 160
3.9.4 Λειτουργία μνήμης ... 161
3.10 Πνευματικοί χρονιστές ... 161
3.11 Τεχνολογία κενού ... 163
3.12 Κυκλώματα ελέγχου κίνησης κυλίνδρου ... 163
3.12.1 Έλεγχος ταχύτητας κυλίνδρου μονής ενέργειας ... 164
3.12.2 Έλεγχος ταχύτητας κυλίνδρου διπλής ενέργειας ... 164
3.12.3 Κύκλωμα συγκράτησης θέσης ... 165
3.12.4 Χειροκίνητος έλεγχος κίνησης ... 165
3.13 Κυκλώματα ελέγχου κίνησης πολλαπλών κυλίνδρων ... 166
3.13.1 Προτυποποίηση περιγραφής κίνησης εμβόλου ... 166
3.13.2 Δημιουργία σημάτων από τερματικούς διακόπτες ... 167
3.13.3 Κύκλωμα υλοποίησης κύκλου A+/B+/A-/B- ... 167
3.13.4 Μονόπλευρα ενεργοποιούμενοι διακόπτες θέσης ... 168
3.13.5 Κύκλωμα υλοποίησης κύκλου A+/B+/B-/A- ... 169
3.13.6 Κύκλωμα υλοποίησης κύκλου A-/B+/B-/A+ ... 171
3.14 Ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες ... 171
3.15 Νησίδες βαλβίδων ... 174

Κεφάλαιο **04:** Υδραυλικά συστήματα ισχύος

4.1 Βασικές αρχές υδραυλικών συστημάτων ... 175
4.1.1 Πολλαπλασιασμός δύναμης ... 175
4.1.2 Συνέχεια των υγρών ... 176
4.2 Μετατροπή ενέργειας στα υδραυλικά συστήματα ... 177

Κεφάλαιο **05:** Εξαρτήματα υδραυλικών συστημάτων

5.1 Υδραυλικές αντλίες ... 178
5.1.1 Γραναζωτές υδραυλικές αντλίες ... 179
5.1.2 Υδραυλικές αντλίες με πτερύγια ... 179
5.1.3 Εμβολοφόρες αντλίες ακτινικής διάταξης εμβόλων ... 179
5.2 Κατευθυντικές βαλβίδες ... 180
5.2.1 Προτυποποίηση κατευθυντικών βαλβίδων ... 180
5.2.2 Ανεπίστροφη βαλβίδα ... 181
5.2.3 Βαλβίδα μεταφοράς ... 182
5.3 Βαλβίδες ελέγχου πίεσης ... 182
5.3.1 Βαλβίδα εκτόνωσης/ασφαλείας ... 183
5.3.2 Μειωτήρας πίεσης ... 183
5.4 Βαλβίδες ελέγχου ροής ... 184
5.5 Υδραυλικοί κύλινδροι ... 184
5.5.1 Υδραυλικοί κύλινδροι μονού εμβόλου διπλής ενέργειας ... 184
5.5.2 Υδραυλικοί κύλινδροι διπλού εμβόλου διπλής ενέργειας ... 186
5.5.3 Τηλεσκοπικοί κύλινδροι ... 186
5.6 Υδραυλικοί κινητήρες ... 187
5.6.1 Γραναζωτός κινητήρας ... 187

5.6.2 Υδραυλικός κινητήρας με πτερύγια ... 187
5.6.3 Εμβολοφόροι υδραυλικοί κινητήρες ... 188
5.7 Συσσωρευτές ... 188
5.8 Υδραυλικές σερβοβαλβίδες ... 188
5.9 Κεφαλή πολλαπλών οδών ... 189
5.10 Υδραυλικά κυκλώματα ... 190
5.10.1 Κύκλωμα ρύθμισης πίεσης ... 190
5.10.2 Κύκλωμα ελέγχου κατεύθυνσης κίνησης ... 191
5.10.3 Μείωση ταχύτητας ... 191
5.10.4 Αύξηση ταχύτητας ... 193
5.10.5 Κύκλωμα συγκράτησης θέσης κυλίνδρου ... 193
5.10.6 Κύκλωμα συγκράτησης πίεσης ... 194
5.10.7 Κύκλωμα συγχρονισμένης πρόσθιας κίνησης ... 194

Κεφάλαιο **06:** Εφαρμογές πνευματικών συστημάτων στα πλοία
6.1 Εισαγωγή ... 196
6.2 Σύστημα παραγωγής – αποθήκευσης και διανομής πεπιεσμένου αέρα προκίνησης ... 196
6.3 Επίπεδα χειρισμού ΣΕΚ ... 198
6.4 Περιγραφή των υποτμημάτων και λειτουργιών του ΣΕΚ ... 198
6.4.1 Διάταξη ρύθμισης πίεσης αέρα ... 199
6.4.2 Μηχανισμός αλλαγής φοράς περιστροφής της Κ/Μ ... 199
6.4.3 Βαλβίδα προκίνησης κάθε κυλίνδρου (starting air valve) ... 200
6.4.4 Βαλβίδα διανομέα αέρα προκίνησης της Κ/Μ ... 201
6.4.5 Κύρια βαλβίδα αέρα προκίνησης και βαλβίδα αργής περιστροφής της Κ/Μ ... 204
6.4.6 Επιμέρους εξαρτήματα και λειτουργίες ΣΕΚ ... 205
6.4.7 Σύστημα ελέγχου κράτησης της Κ/Μ ... 214
6.4.8 Σύστημα ελέγχου των βαλβίδων εξαγωγής της Κ/Μ ... 214
6.4.9 Σύστημα μεταβλητού χρονισμού έγχυσης καυσίμου ... 214
6.5 Δικλείδες ασφαλείας ... 222
6.5.1 Αδυναμία εκκίνησης Κ/Μ λόγω εμπλοκής του κρίκου ... 222
6.5.2 Αδυναμία εκκίνησης Κ/Μ λόγω μη ορθής θέσης του διανομέα αέρα προκίνησης ... 222
6.5.3 Αδυναμία μετακίνησης του διανομέα αέρα προκίνησης κατά την εντολή κίνησης Εκκίνηση ... 223
6.5.4 Αδυναμία εκκίνησης Κ/Μ σε μηχανές με μη αναστρέφουσα μηχανή και μεταβλητό βήμα έλικας ... 223
6.6 Περιγραφή κινήσεων ... 223
6.6.1 Έλεγχος από απόσταση της Κ/Μ από τον θάλαμο ελέγχου του μηχανοστασίου ... 223
6.6.2 Έλεγχος από απόσταση της Κ/Μ από τη γέφυρα ... 226
6.6.3 Χειροκίνητος έλεγχος Κ/Μ από τα χειριστήρια ελέγχου έκτακτης ανάγκης που βρίσκονται δίπλα από τη Κ/Μ ... 226
6.6.4 Βεβιασμένη αναστροφή της Κ/Μ ... 228
6.7 Πίνακας ελέγχου της Κ/Μ είτε από το θάλαμο ελέγχου του μηχανοστασίου είτε από τη γέφυρα ... 229
6.8 Σύστημα απεικόνισης ελέγχου της Κ/Μ ... 230
6.9 Διαγράμματα κινήσεων ... 232
6.10 Συντήρηση στο ΣΕΚ ... 233
6.10.1 Καθαρισμός συστήματος πεπιεσμένου αέρα ... 233
6.10.2 Συντήρηση πνευματικών εξαρτημάτων συστήματος ελέγχου κινήσεων ... 233
6.11 Βλάβες στο ΣΕΚ ... 233
6.11.1 Αδυναμία αναστροφής της Κ/Μ ανάλογα με την επιθυμητή εντολή κίνησης ... 233
6.11.2 Η Κ/Μ περιστρέφεται πολύ αργά ... 233
6.11.3 Αδυναμία εκκίνησης της Κ/Μ ... 233

Κεφάλαιο **07:** Εφαρμογές υδραυλικών συστημάτων στα πλοία
7.1 Ρυθμιστής στροφών ... 234

7.1.1 Μηχανικοί ρυθμιστές στροφών 234
7.1.2 Μηχανικοί - Υδραυλικοί ρυθμιστές στροφών 234
7.1.3 Ηλεκτροϋδραυλικοί ρυθμιστές στροφών 238
7.1.4 Ψηφιακοί ρυθμιστές στροφών 240
7.2 Συστήματα ελέγχου λίπανσης ΜΕΚ 241
7.3 Ηλεκτρονικές ΜΕΚ 248
7.3.1 Ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου ΜΕΚ 248
7.3.2 Υδραυλική μονάδα παροχής ισχύος 249
7.3.3 Υδραυλική μονάδα κυλίνδρου 253
7.3.4 Σύστημα μέτρησης ταχύτητας, περιστροφής και θέσης στροφαλοφόρου 257
7.4 Ηλεκτρονικές ΜΕΚ κοινού συλλέκτη 259
7.5 Ηλεκτρονικές ΜΕΚ διπλού καυσίμου 261

Κεφάλαιο **08:** Συστήματα αυτόματου ελέγχου κύριων μηχανημάτων πρόωσης, ηλεκτρομηχανών και ατμολεβήτων

8.1 Έλεγχος αεριοστροβίλων 266
8.2 Έλεγχος γεννητριών αξόνων 273
8.2.1 Τρόποι λειτουργίας των γεννητριών αξόνων 274
8.2.2 Μηχανικός και ηλεκτρικός έλεγχος γεννήτριας αξόνων 276
8.3 Έλεγχος καύσης, τροφοδοσίας νερού, καυσίμου, αέρα, οξυγόνου, καυσαερίων, ατμού 277
8.3.1 Έλεγχος καύσης με προγραμματιζόμενο λογικό ελεγκτή PLC 277
8.3.2 Έλεγχος τροφοδοσίας νερού 279
8.3.3 Διαδικασία επιλογής χαμηλής και υψηλής πίεσης ατμού 280
8.3.4 Έλεγχος – διαχείριση σφαλμάτων λειτουργίας λέβητα 281
8.3.5 Χρονικές αποκρίσεις των ελεγκτών καύσης, τροφοδοσίας νερού, καυσίμου, αέρα, οξυγόνου, καυσαερίων και ατμού 282
8.4 Έλεγχος ιξώδους καυσίμου 284

Κεφάλαιο **09:** Συστήματα αυτόματου ελέγχου βοηθητικών μηχανημάτων

9.1 Έλεγχος ψυκτικών εγκαταστάσεων 289
9.1.1 Έλεγχος του συμπιεστή μιας ψυκτικής εγκατάστασης 290
9.1.2 Έλεγχος του συμπυκνωτή μιας ψυκτικής εγκατάστασης 292
9.1.3 Έλεγχος του συλλέκτης υγρού μιας ψυκτικής εγκατάστασης 294
9.1.4 Έλεγχος του εξατμιστή μιας ψυκτικής εγκατάστασης 294
9.1.5 Έλεγχος του σταγονοσυλλέκτη μιας ψυκτικής εγκατάστασης 295
9.1.6 Έλεγχος δικτύου λίπανσης του συμπιεστή μιας ψυκτικής εγκατάστασης 296
9.2 Έλεγχος κραδασμών – ταλαντώσεων ΜΕΚ 297
9.3 Έλεγχος βήματος έλικας 300
9.4 Έλεγχος φυγοκεντρικών διαχωριστών λαδιού – καυσίμου 304
9.4.1 Φυγοκεντρικοί διαχωριστές μαζούτ 304
9.4.2 Φυγοκεντρικοί διαχωριστές πετρελαίου ή λαδιού 311
9.5 Έλεγχος παραγωγής αφαλατωμένου νερού 312
9.6 Έλεγχος διαμοιρασμένου εύρους 316
9.7 Έλεγχος συστήματος ασφαλείας και πυρανίχνευσης πλοίου 317

Ερωτήσεις/ασκήσεις 321
Ευρετήριο όρων 325
Βιβλιογραφία 328
Πηγές 331

01 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ιστορική εξέλιξη των Συστημάτων Αυτόματου Ελέγχου

Τα Συστήματα Αυτόματου Ελέγχου (ΣΑΕ) είναι συστήματα που έχουν σχεδιαστεί για να διαχειρίζονται, να κατευθύνουν ή να ρυθμίζουν τη συμπεριφορά άλλων συσκευών ή συστημάτων, χρησιμοποιώντας μηχανισμούς ανατροφοδότησης. Αυτά τα συστήματα είναι κρίσιμα σε διάφορους τομείς όπως η μηχανική, η βιομηχανία, η ρομποτική και άλλες εφαρμογές της τεχνολογίας.

Η ιστορία των ΣΑΕ είναι μακρά και συνδέεται με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και των επιστημών σε διάφορους πολιτισμούς και εποχές. Από τους πρώιμους μηχανισμούς της αρχαιότητας μέχρι τα σύγχρονα συστήματα υψηλής τεχνολογίας, τα συστήματα ελέγχου έχουν διαδραματίσει κρίσιμο ρόλο στην ανθρώπινη πρόοδο.

Ο μηχανισμός των Αντικυθήρων (150-100 π.Χ.) (σχ. 1.1), γνωστός επίσης ως ο υπολογιστής ή αστρολάβος των Αντικυθήρων, είναι ένα αρχαίο εύρημα που λειτουργούσε ως αναλογικός, μηχανικός υπολογιστής και όργανο αστρονομικών παρατηρήσεων, παρουσιάζοντας ομοιότητες με περίπλοκους ωρολογιακούς μηχανισμούς. Ο μηχανισμός αυτός είναι το παλαιότερο γνωστό μηχάνημα με γρανάζια και διαθέτει εξαιρετικά περίπλοκη πλανητική λειτουργία. Είναι φτιαγμένος από μπρούντζο και ήταν τοποθετημένος σε ξύλινο πλαίσιο. Αποτελούσε έναν αναλογικό αλλά και ψηφιακό υπολογιστή, σχεδιασμένο για να υπολογίζει και να απεικονίζει τις κινήσεις των ουράνιων σωμάτων, τις εκλείψεις του ήλιου και της σελήνης, καθώς και τις φάσεις της σελήνης. Επιπλέον, προσδιόριζε τις ημερομηνίες διεξαγωγής των αρχαίων αγώνων στην Ελλάδα, π.χ. των Ολυμπιακών, Πύθιων, Ίσθμιων και των Νέμεων.

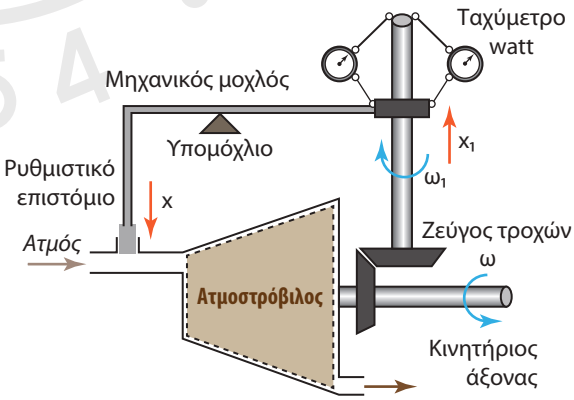
Στην αρχαία Αίγυπτο, υδραυλικοί μηχανισμοί χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο της στάθμης του νερού στον Νείλο, ενώ στο Μεσαίωνα, ο Άραβας μηχανικός Αλ-Τζαζαρί (12ος αι. μ.Χ.) ανέπτυξε σύνθετους υδραυλικούς μηχανισμούς, με χρονόμετρα και μηχανικά ρολόγια. Την περίοδο της Αναγέννηση, ο Leonardo da Vinci σχεδίασε διάφορους αυτόματους μηχανισμούς και ρολόγια, επηρεάζοντας τη μελλοντική ανάπτυξη των συστημάτων ελέγχου. Κατά τη διάρκεια της βιομηχανικής επανάστασης ο James Watt (18ος αι. μ.Χ.) ανέπτυξε τον φυγοκεντρικό ρυθμιστή για τη ρύθμιση της ταχύτητας των ατμομηχανών, μια από τις πρώτες μορφές αρνητικής ανάδρασης (σχ. 1.2).

Στις αρχές του 20ού αι., η ανάγκη για ακριβή και αξιόπιστα συστήματα ελέγχου έγινε πιο έντονη με την ανάπτυξη των αυτοκινήτων, των αεροσκαφών και των τηλεπικοινωνιών. Η ανάπτυξη της θεωρίας των συστημάτων ελέγχου βασίστηκε στις εργασίες των James Clerk Maxwell[1], Edward Routh[2] και Alexander Lyapunov[3] για την ανάλυση της σταθερότητας.

Η ανάπτυξη των πυραύλων και των συστημάτων καθοδήγησης κατά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο οδήγησε στην εντατική έρευνα και εξέλιξη των ΣΑΕ. Οι Norbert Wiener[4] και άλλοι ερευνητές έθεσαν τις βάσεις για τη σύγχρονη θεωρία του ελέγχου και την κυβερνητι-



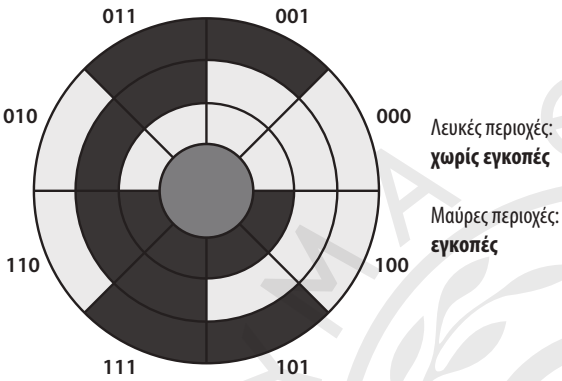
Σχ. 1.1
Αναπαράσταση του μηχανισμού των Αντικυθήρων



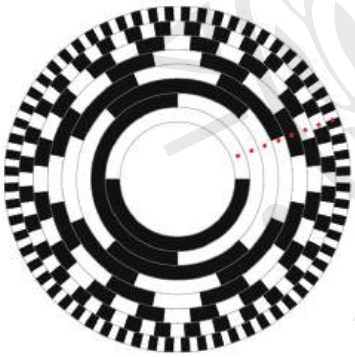
Σχ. 1.2
Ρυθμιστής στροφών Watt

1. James Clerk Maxwell, Μαθηματικός και Φυσικός από τη Σκωτία (1831-1879)
2. Edward Routh, Μαθηματικός από την Αγγλία (1831-1907)
3. Alexander Lyapunov, Μαθηματικός από τη Ρωσία (1857-1918)
4. Norbert Wiener, Μαθηματικός-Φιλόσοφος-Επιστήμονας Η/Υ από τις ΗΠΑ (1894-1964)

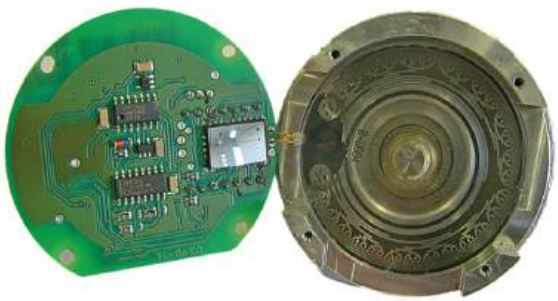
Τομέας	LED 1	LED 2	LED 3	Γωνία
0	0	0	0	0°– 45°
1	0	0	1	45°– 90°
2	0	1	1	90°– 135°
3	0	1	0	135°– 180°
4	1	1	0	180°– 225°
5	1	1	1	225°– 270°
6	1	0	1	270°– 315°
7	1	0	0	315°– 360°



Σχ. 3.12
Απόλυτος οπτικός κωδικοποιητής



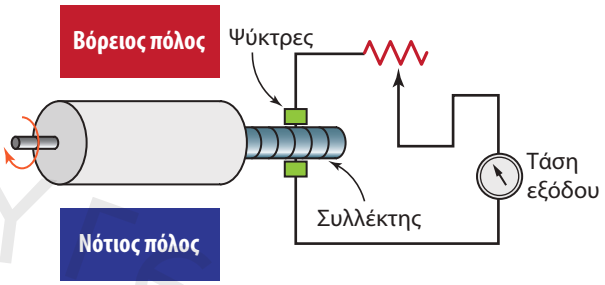
Σχ. 3.13
Απόλυτος οπτικός κωδικοποιητής 8 ψηφίων



Σχ. 3.14
Απόλυτος οπτικός κωδικοποιητής 11 ψηφίων με το ηλεκτρονικό του κύκλωμα

όπου: $\mathbf{V_{out}}$ η τάση εξόδου της γεννήτριας σε V, **K** σταθερά η οποία εξαρτάται από κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της ταχογεννήτριας σε V·s/rad και **ω** η ταχύτητα περιστροφής σε rad/s.

Ο μεγαλύτερος αριθμός ταχογεννητριών που χρησιμοποιούνται σήμερα αφορούν ταχογεννήτριες συνεχούς ρεύματος, μόνιμου μαγνήτη, με ψήκτρες (σχ. 3.15).

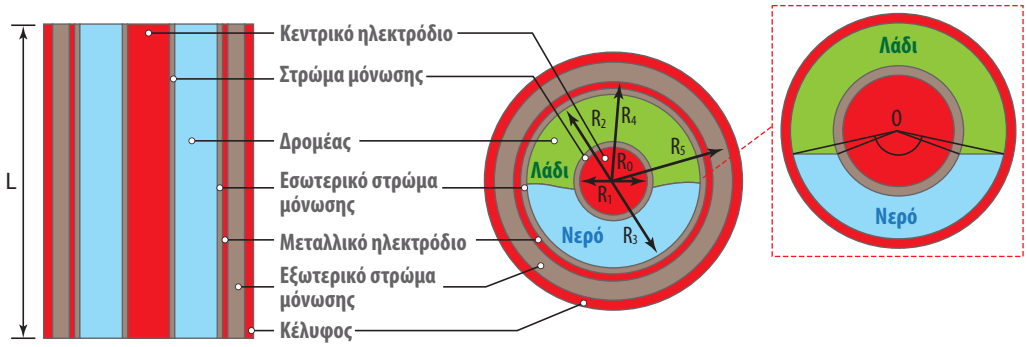


Σχ. 3.15
Ταχογεννήτρια συνεχούς ρεύματος

Στις ταχογεννήτριες συνεχούς ρεύματος το τύλιγμα οπλισμού βρίσκεται στον ρότορα και περιστρέφεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο του στάτη. Ο συλλέκτης, με την βοήθεια των ψηκτρών, μετατρέπει την εναλλασσόμενη τάση που παράγεται στα τυλίγματα οπλισμού της ταχογεννήτριας σε συνεχή τάση, η οποία είναι ανάλογη της ταχύτητας περιστροφής. Κατάλληλο κύκλωμα στην έξοδο της ταχογεννήτριας μετατρέπει την τάση σε ένδειξη ταχύτητας.

Ένα μεγάλο ***πλεονέκτημα*** των ταχογεννητριών συνεχούς ρεύματος είναι ότι όταν αντιστρέφεται η φορά περιστροφής αντιστρέφεται και η πολικότητα της τάσης εξόδου τους. Με τον τρόπο αυτό μπορούν να αναγνωρίσουν όχι μόνο την ταχύτητα περιστροφής, αλλά και την φορά. Ένα δεύτερο πλεονέκτημά τους είναι η γραμμική σχέση που υπάρχει ανάμεσα στην ταχύτητα εισόδου στην ταχογεννήτρια και στην τάση εξόδου. Το ***μειονέκτημά*** τους είναι η παρουσία συλλέκτη και ψηκτρών, που έρχονται σε επαφή μεταξύ τους και λόγω τριβής προκαλείται φθορά. Έτσι θα πρέπει να γίνεται τακτικός έλεγχος της κατάστασης του συλλέκτη και των ψηκτρών και της μεταξύ τους επαφής, με αντικατάσταση των ψηκτρών όταν κρίνεται απαραίτητο, προκειμένου να διατηρείται η αντίσταση επαφής σε χαμηλές τιμές.

Το παραπάνω μειονέκτημα των ταχογεννητριών συνεχούς ρεύματος δεν υπάρχει στις ***ταχογεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος*** (AC). Σε αυτές το τύλιγμα οπλισμού βρίσκεται στον στάτη, ενώ ο ρότορας έχει την ευθύνη δημιουργίας του μαγνητικού πεδίου είτε με μόνιμους μαγνήτες είτε με ηλεκτρομαγνήτες. Ανάλογα με την ταχύτητα περιστροφής του ρότορα επάγεται μία εναλλασσόμενη τάση στο τύλιγμα οπλισμού,



R_0 είναι η ακτίνα του κεντρικού ηλεκτροδίου
R_1 η ακτίνα του μονωτικού στρώματος
R_2 η ακτίνα του δρομέα ροής
R_3 η ακτίνα του εσωτερικού μονωτικού στρώματος
R_4 η ακτίνα του μεταλλικού ηλεκτροδίου
R_5 η ακτίνα του εξωτερικού μονωτικού στρώματος

Σχ. 7.5
Δομή ηλεκτρικού αισθητήρα ανίχνευσης νερού σε λάδι με διαφορετική αγωγιμότητα

δ) ***Ηλεκτρονική διάταξη μέτρησης***: Συνδέεται με τα ηλεκτρόδια και παράγει ένα εναλλασσόμενο ρεύμα ή τάση. Μετρά την αγωγιμότητα ή τη διηλεκτρική σταθερά μεταξύ των ηλεκτροδίων, που εξαρτάται από τις ιδιότητες του υλικού μέσα στη ράβδο.

2) Οι ***χημικοί αισθητήρες ανίχνευσης νερού***. Οι αισθητήρες αυτοί είναι διατάξεις που βασίζονται στη μεταβολή συγκεκριμένων φυσικοχημικών παραμέτρων, όπως η οξύτητα, η διαλυτότητα του νερού στο λάδι ή η χημική αντίδραση μεταξύ ενός ευαίσθητου υλικού και του νερού. Αποτελούνται από:

α) Ένα ενεργό χημικό στοιχείο που περιέχει ένα υλικό ευαίσθητο στο νερό (άλατα λιθίου ή πολυμερή). Το υλικό αυτό αντιδρά με το νερό που βρίσκεται στο λάδι, παράγοντας ένα μετρήσιμο σήμα.

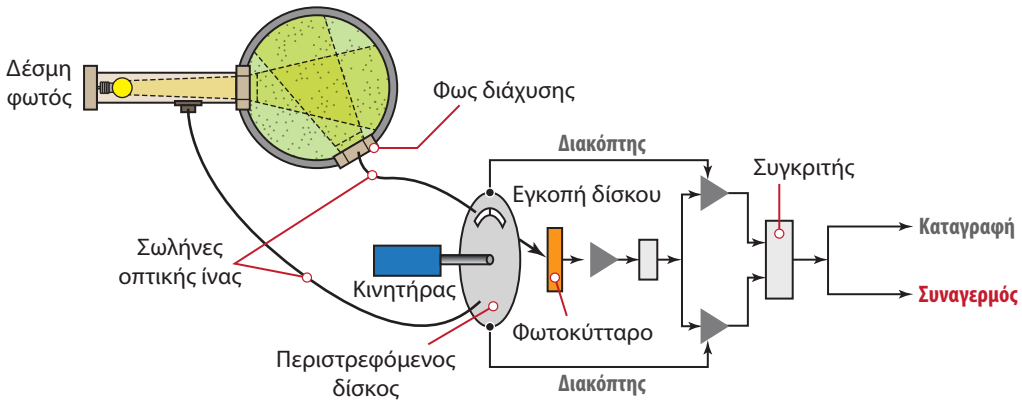
β) Ένα μέσο ανίχνευσης που μπορεί να είναι ένα φυσικό φίλτρο ή πορώδες υλικό που επιτρέπει στο λάδι να περάσει, συγκρατώντας μόρια νερού για χημική ανάλυση.

γ) Ένα ηλεκτροχημικό σύστημα που περιλαμβάνει ηλεκτρόδια που ανιχνεύουν αλλαγές στη χημική σύνθεση του υλικού μετά την αντίδραση με το νερό. Αυτό συνδέεται με ηλεκτρονική διάταξη για την καταγραφή και επεξεργασία του σήματος.

δ) Μία ηλεκτρονική μονάδα που μετατρέπει τα χημικά δεδομένα σε ηλεκτρικό σήμα και συλλέγει και επεξεργάζεται τις μετρήσεις, τις οποίες παρουσιάζει σε μια οθόνη ή αποστέλλει σε συστήματα ελέγχου.

Όταν το λάδι με ίχνη νερού περνά μέσα από τον αισθητήρα, τα μόρια του νερού έρχονται σε επαφή με το ενεργό χημικό στοιχείο. Το στοιχείο υφίσταται χημική αντίδραση, όπως απορρόφηση, οξείδωση ή μεταβολή της διαλυτότητας. Η χημική αντίδραση προκαλεί αλλαγή στην αγωγιμότητα, στο pH ή χρωματική αλλαγή. Αυτές οι αλλαγές ανιχνεύονται και μετατρέπονται σε ηλεκτρικό σήμα. Το ηλεκτρικό σήμα αναλύεται για να προσδιοριστεί η συγκέντρωση του νερού στο λάδι. Τα δεδομένα μπορούν να εμφανίζονται σε πραγματικό χρόνο ή να αποθηκεύονται για περαιτέρω ανάλυση. Αν το ποσοστό νερού υπερβεί συγκεκριμένα όρια, ενεργοποιείται συναγερμός ή αποστέλλεται ειδοποίηση στο σύστημα ελέγχου.

3) Οι ***οπτικοί αισθητήρες ανίχνευσης λαδιού*** ανιχνεύουν το φως που σκεδάζεται από σωματίδια λαδιού που διασκορπίζονται στο δείγμα νερού της μηχανής (σχ. 7.6) ή από ένα ισχυρό φως που λάμπει απ' ευθείας μέσα από έναν θάλαμο δειγμάτων και ένα φωτοκύτ-



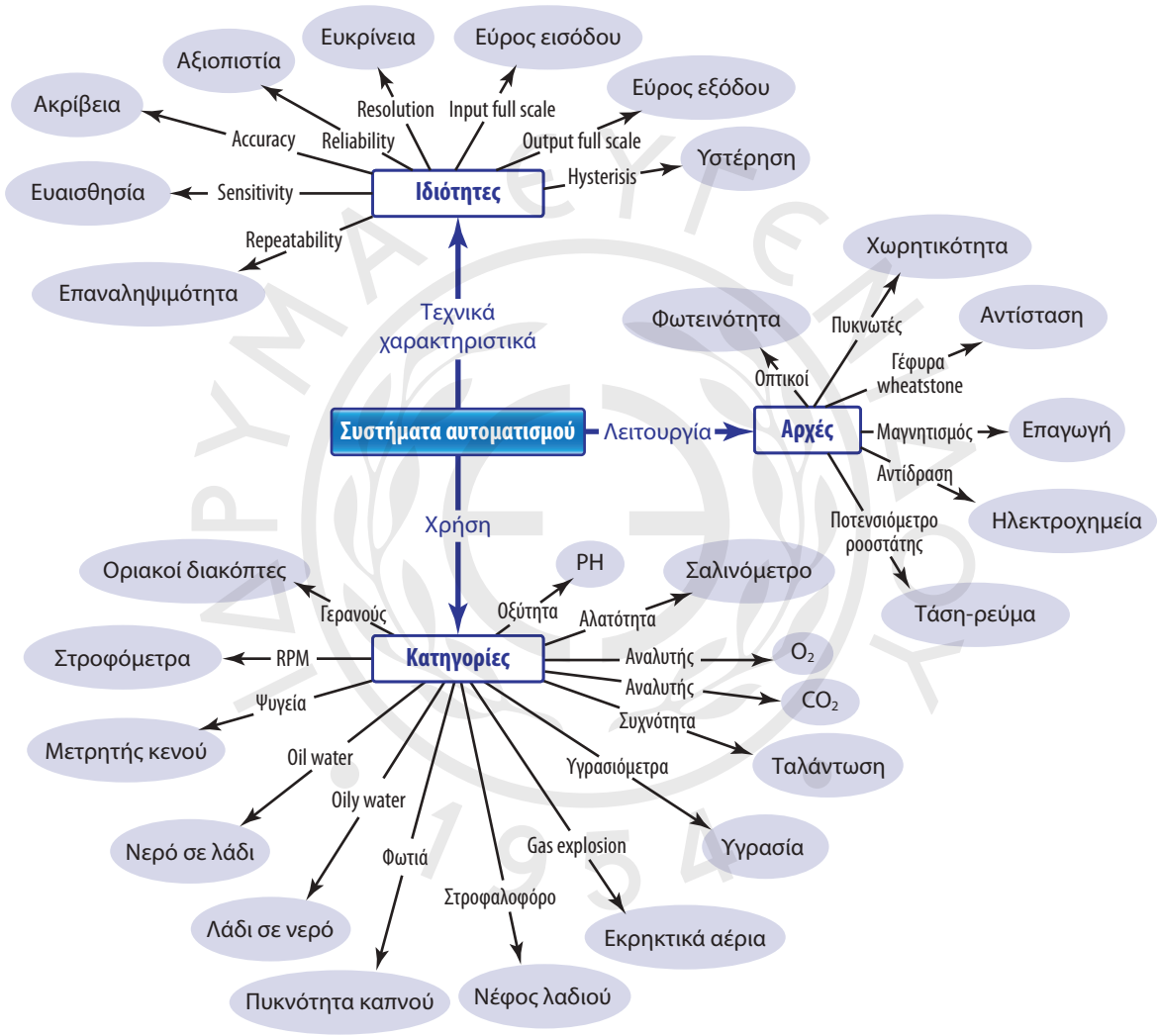
Σχ. 7.6
Αισθητήρας ανίχνευσης λαδιού σε νερό βασισμένο σε σκέδαση φωτός

μορφώσεων, διασφαλίζοντας την ομαλή και αξιόπιστη λειτουργία των μηχανημάτων.

2) ***Παρακολούθηση κατάστασης μηχανημάτων***: Εφαρμόζονται για την παρακολούθηση της καλής κατάστασης και της απόδοσης μηχανημάτων και περιστρεφόμενων συστημάτων, όπως κινητήρες, τουρμπίνες, έλικες, αντλίες και βοηθητικός εξοπλισμός. Βοηθούν στον εντοπισμό ανισορροπίας, κακής ευθυγράμμισης, ελαττωματικών ρουλεμάν, φθοράς και άλλων ανωμαλιών που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε αστοχία του εξοπλισμού ή μειωμένη απόδοση.

7.15 Χάρτης εννοιών ειδικών αισθητηρίων

Στο σχήμα 7.23 απεικονίζεται χάρτης εννοιών ειδικών αισθητηρίων που χρησιμοποιούνται στα συστήματα αυτομάτου ελέγχου.



Σχ. 7.23
Χάρτης εννοιών ειδικών αισθητηρίων

9.2.7 Ενισχυτής πολλαπλασιασμού

Ο ενισχυτής πολλαπλασιασμού είναι ένα κύκλωμα με δυο εισόδους και μια έξοδο. Έξοδος του κυκλώματος είναι το γινόμενο των δύο εισόδων του.

$$V_O = K \cdot V_1 \cdot V_2 \tag{9.11}$$

όπου: **K** είναι μια σταθερά με μονάδα μέτρησης Volt^{-1}.

Με βάση την ιδιότητα των λογαρίθμων:

$$log(a) + log(b) = log(a \cdot b) \tag{9.12}$$

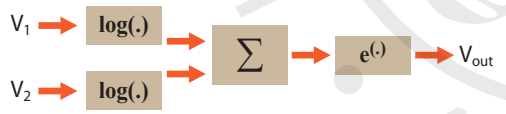
μπορεί να υπολογιστεί το γινόμενο δύο σημάτων ακολουθώντας τα εξής βήματα:

1) Υπολογισμός των λογαρίθμων τους.
2) Άθροιση των λογαρίθμων των σημάτων.
3) Υπολογισμός του εκθετικού του αθροίσματος.

Διαγραμματικά, η διαδικασία παρουσιάζεται στο σχήμα 9.8. Οι τάσεις εισόδου V_1 και V_2 τροφοδοτούνται στις μονάδες υπολογισμού του λογαρίθμου σήματος. Ακολούθως οι έξοδοι των μονάδων υπολογισμού λογαρίθμου αθροίζονται. Τέλος εκτελείται η πράξη του υπολογισμού του εκθετικού του αθροίσματος που υπολογίστηκε στο προηγούμενο βήμα.

Από μαθητικής άποψης η προσέγγιση αυτή λειτουργεί εφόσον οι είσοδοι είναι θετικές, καθώς ο λογάριθμος αρνητικού αριθμού δεν υπάρχει. Για τον λόγο αυτό ο ενισχυτής αυτός αναφέρεται και ως πολλαπλασιαστής πρώτου τεταρτημόριου.

Η κυκλωματική υλοποίηση του διαγράμματος του παραπάνω σχήματος είναι αυτή του σχήματος 9.9. Στα κόκκινα πλαίσια βρίσκονται τα υποκυκλώματα που υλοποιούν τη λογαρίθμηση των δυο εισόδων V_1 και V_2. Στο πράσινο πλαίσιο βρίσκεται ένας ενισχυτής άθροισης με κέρδος 1. Τέλος, η βαθμίδα στο μπλε πλαίσιο υλοποιεί τον υπολογισμό του εκθετικού του αθροίσματος.



Σχ. 9.8
Διαδικασία υπολογισμού γινομένου

Για την ανάλυση του κυκλώματος θεωρείται για απλότητα ότι όλες οι αντιστάσεις έχουν την ίδια τιμή.

Η σχέση μεταξύ ρεύματος και τάσης μεταξύ ανόδου – καθόδου μιας διόδου δίνεται από τη σχέση:

$$I = I_S(e^{\frac{v}{V_T}} - 1) \tag{9.13}$$

όπου: $\mathbf{I_S}$ είναι το ρεύμα που διαρρέει τη δίοδο όταν αυτή είναι ανάστροφα πολωμένη (χαρακτηριστικό της διόδου), **v** είναι η τάση μεταξύ ανόδου και καθόδου και $\mathbf{V_T}$ είναι η θερμική τάση (χαρακτηριστικό της διόδου).

Όπως έχει ήδη εξηγηθεί οι ακροδέκτες (+) και (–) του τελεστικού βρίσκονται στο ίδιο δυναμικό. Επομένως, το δυναμικό στους κόμβους 1 και 2 (στα κόκκινα πλαίσια) του σχήματος 9.9 είναι ίσο με 0 λόγω της φαινόμενης γης. Επιπλέον το ρεύμα εισόδου στον τελεστικό ενισχυτή είναι 0. Επομένως το ρεύμα που διαρρέει την αντίσταση R και τη δίοδο είναι το ίδιο. Ισχύει δηλαδή:

$$\frac{V_1}{R} = I_S\left(e^{\frac{-v_{l1}}{V_T}} - 1\right) \Rightarrow \frac{V_1}{R} + I_S = I_S e^{\frac{-v_{l1}}{V_T}} \Rightarrow \frac{V_1}{I_S R} + 1 =$$

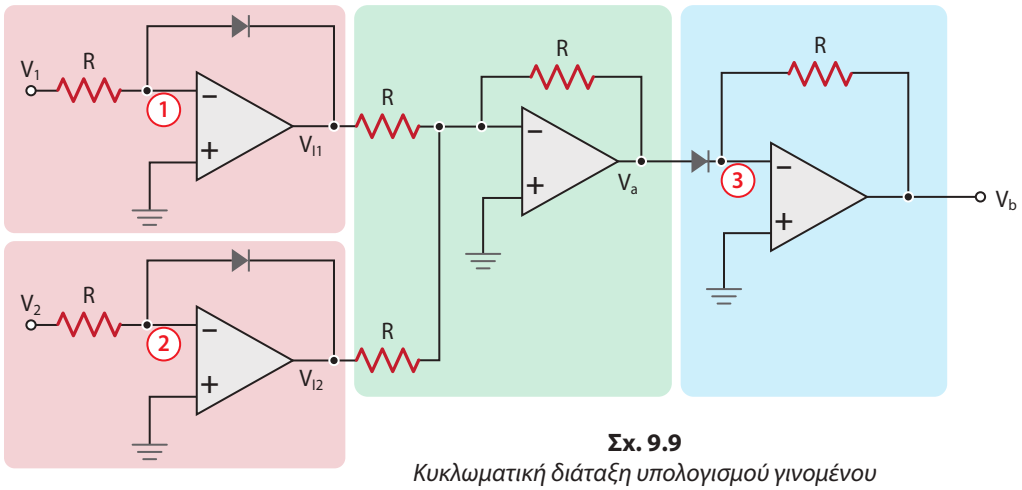
$$= e^{\frac{-v_{l1}}{V_T}} \Rightarrow \ln\left(\frac{V_1}{I_S R} + 1\right) = \frac{-v_{l1}}{V_T} \Rightarrow v_{l1} =$$

$$= -V_T \ln\left(\frac{V_1}{I_S R} + 1\right) \tag{9.14}$$

Με παρόμοιο τρόπο προκύπτει ότι:

$$v_{l2} = -V_T \ln\left(\frac{V_2}{I_S R} + 1\right) \tag{9.15}$$

Επομένως η έξοδος V_a του αθροιστή (πράσινο πλαίσιο), δεδομένου ότι οι αντιστάσεις είναι ίσες, είναι:



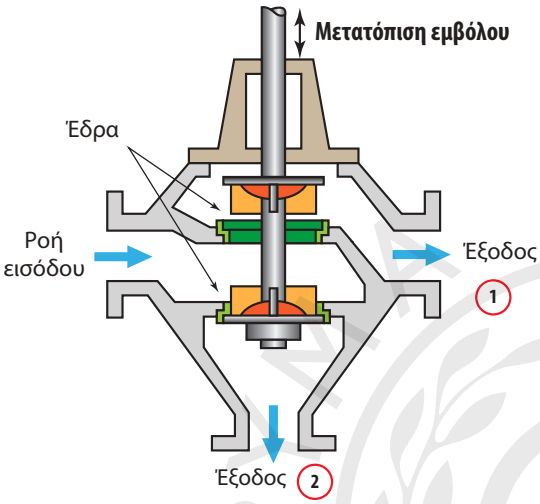
Σχ. 9.9
Κυκλωματική διάταξη υπολογισμού γινομένου

στους επιλογές για εφαρμογές ρευστών που περιέχουν στερεά ψήγματα, αλλά παρουσιάζουν υψηλό κόστος συντήρησης.

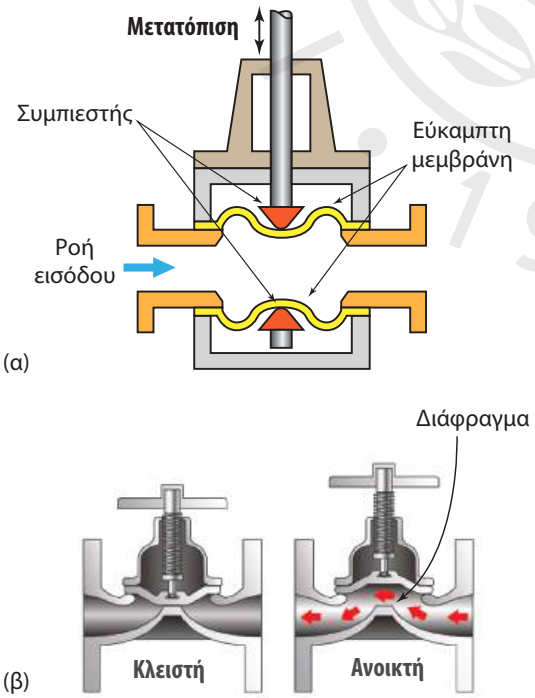
10.11 Αναλογικά σήματα ελέγχου ρεύματος 4-20 mA

Ως αναλογικό ηλεκτρικό σήμα ορίζεται ένα ρεύμα ή τάση **ανάλογο** μιας μετρούμενης φυσικής ποσότητας (π.χ. θερμοκρασία, πίεση, ροή κ.λπ.).

Η πιο διαδεδομένη μορφή μετάδοσης σήματος στα μοντέρνα συστήματα μετρήσεων που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο διεργασιών είναι το 4-20 mA πρωτόκολλο. Τυπικά ένα ρεύμα 4 mA αναπαριστά το 0 % της κλίμακας μέτρησης, ενώ ένα ρεύμα 20 mA αναπαριστά το 100 % της κλίμακας μέτρησης. Οι ενδιάμεσες τιμές στην τιμή του ρεύματος αντιστοιχούν σε ένα ποσοστό μεταξύ 0 % και 100 %. Στον πίνακα 10.1 παρουσιάζονται οι τιμές των ρευμάτων και τα αντίστοιχα ποσοστά για αυξήσεις 25 % στην κλίμακα από 0 % έως 100 %.



Σχ. 10.23
Τομή βαλβίδας εκτροπής



Σχ. 10.24
Διαφραγματική βαλβίδα

Πίνακας 10.1

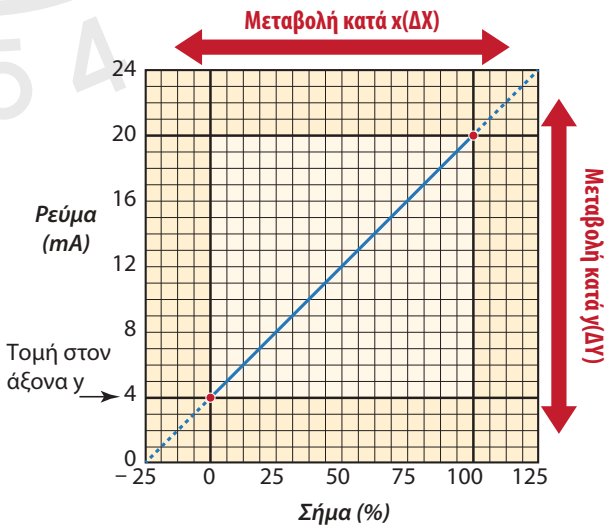
Τιμή ρεύματος	Ποσοστό κλίμακας
4 mA	0 %
8 mA	25 %
12 mA	50 %
16 mA	75 %
20 mA	100 %

Η γραφική παράσταση των δεδομένων αυτών απεικονίζεται στο σχήμα 10.25.

Ο υπολογισμός της εξίσωσης της ευθείας που αντιστοιχεί στην παραπάνω γραφική παράσταση γίνεται ως εξής:

Υπολογίζεται η κλίση της ευθείας λ.

$$\lambda = \frac{\Delta Y}{\Delta X} = \frac{20-4}{100-0} = \frac{16}{100}$$



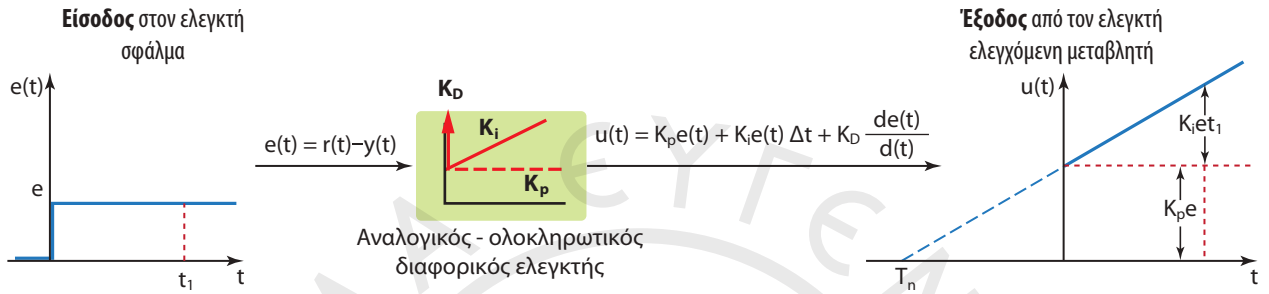
Σχ. 10.25
Γραφική παράσταση ρεύματος προς ποσοστό σήματος

$$u(t) = K_p\, e(t) + K_P \cdot K_i \cdot e(t)\,\Delta t + + K_P\, K_D \cdot \frac{de(t)}{dt} \qquad (11.37)$$

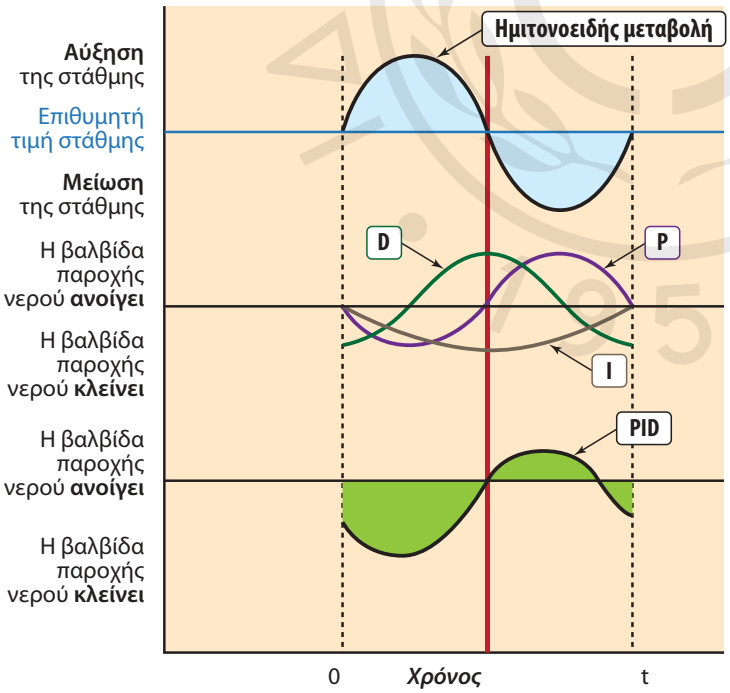
Από τους δύο τύπους ελεγκτών PID, όπως και στην περίπτωση των ελεγκτών PI και PD αυτός που χρησιμοποείται από τους κατασκευαστές ελεγκτών είναι ο ελεγκτής PID παραγοντικής συνδεσμολογίας. Η βηματική απόκριση του ελεγκτή PID δίνεται στο σχήμα 11.37 συναρτήσει της χρονικής διέγερσης του σφάλματος στην είσοδο του e(t).

Στο σχήμα 11.38 απεικονίζεται η χρονική απόκριση του PID ελεγκτή με ημιτονοειδή είσοδο και την αντίστοιχη έξοδο, καθώς και οι αντίστοιχες έξοδοι του P, I και D ελεγκτή για σύστημα ελέγχου στάθμης.

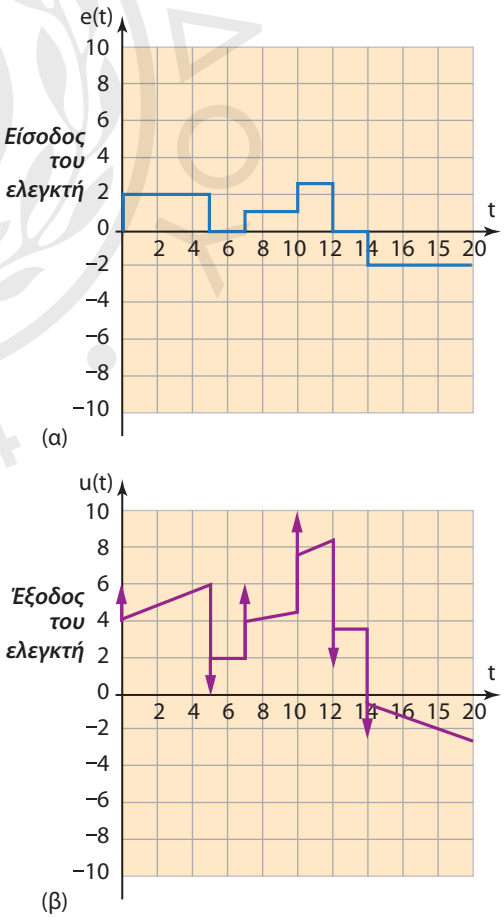
Στο παράδειγμα του σχήματος 11.39 δίνεται η βη-



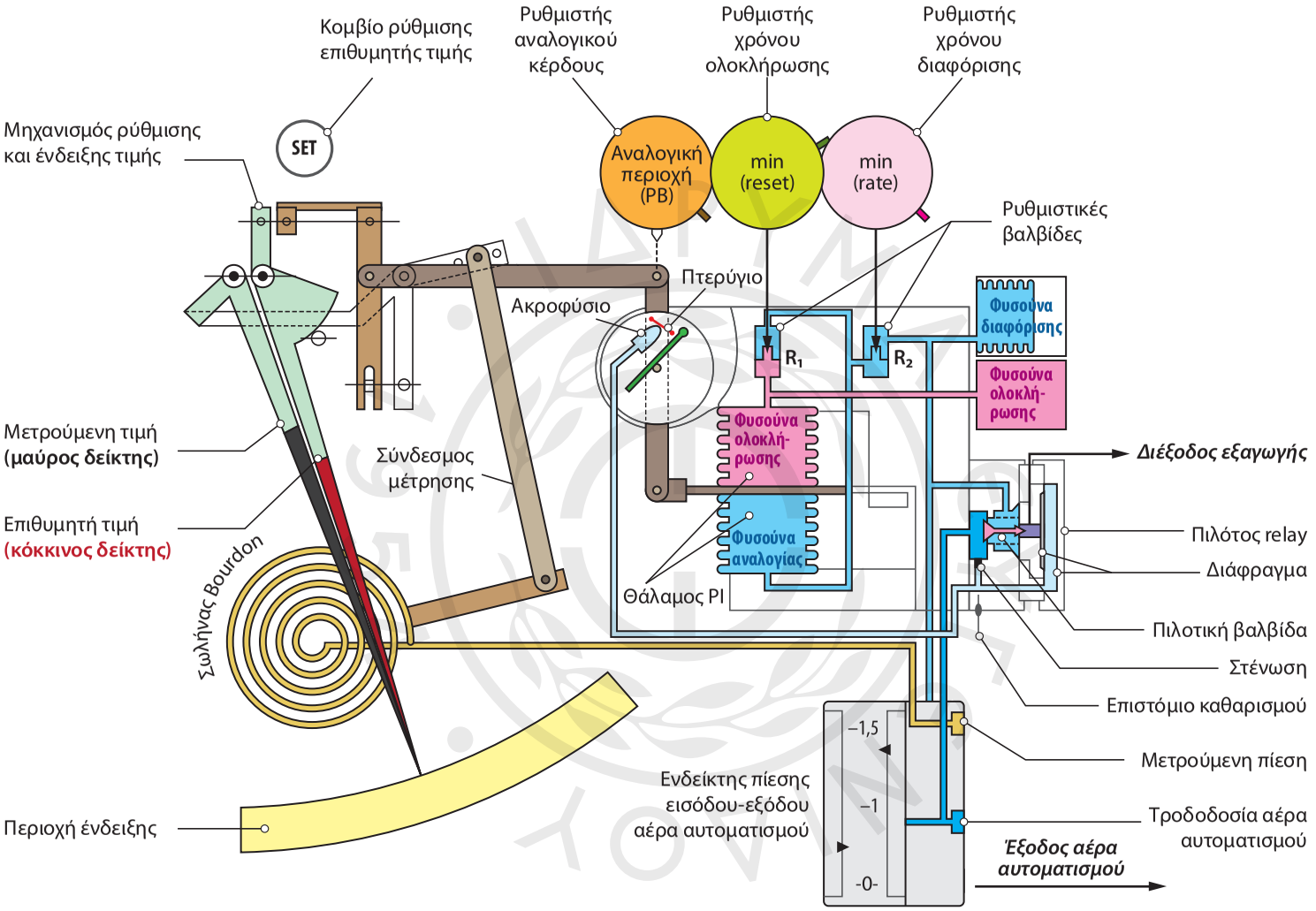
Σχ. 11.37
Βηματική απόκριση ελεγκτή PID



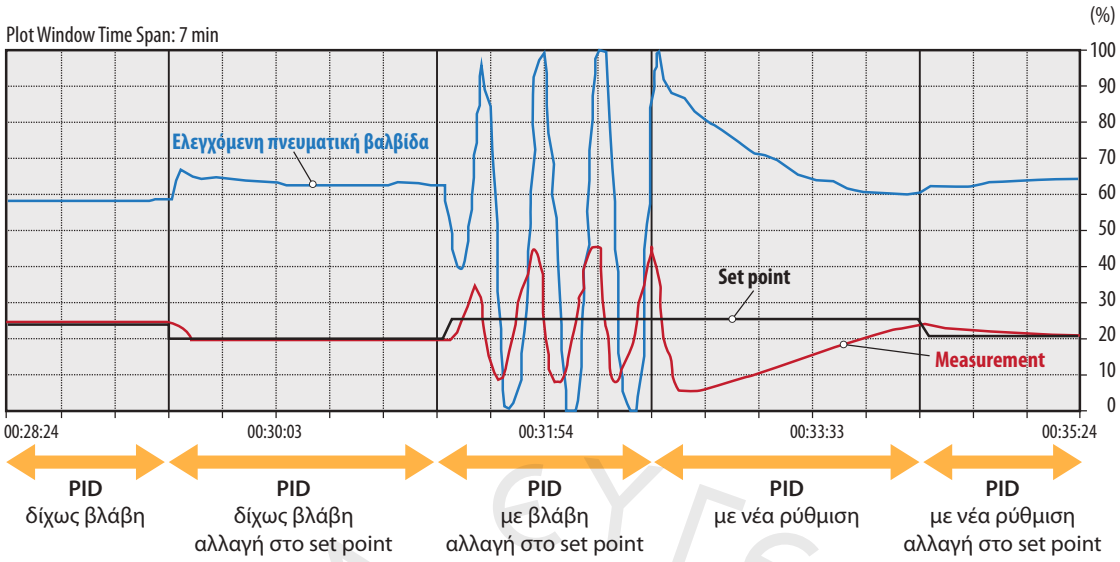
Σχ. 11.38
Χρονική απόκριση PID Ελεγκτή



Σχ. 11.39
Βηματική απόκριση PID ελεγκτή με $K_p = 2$ και $K_I = 0,2$

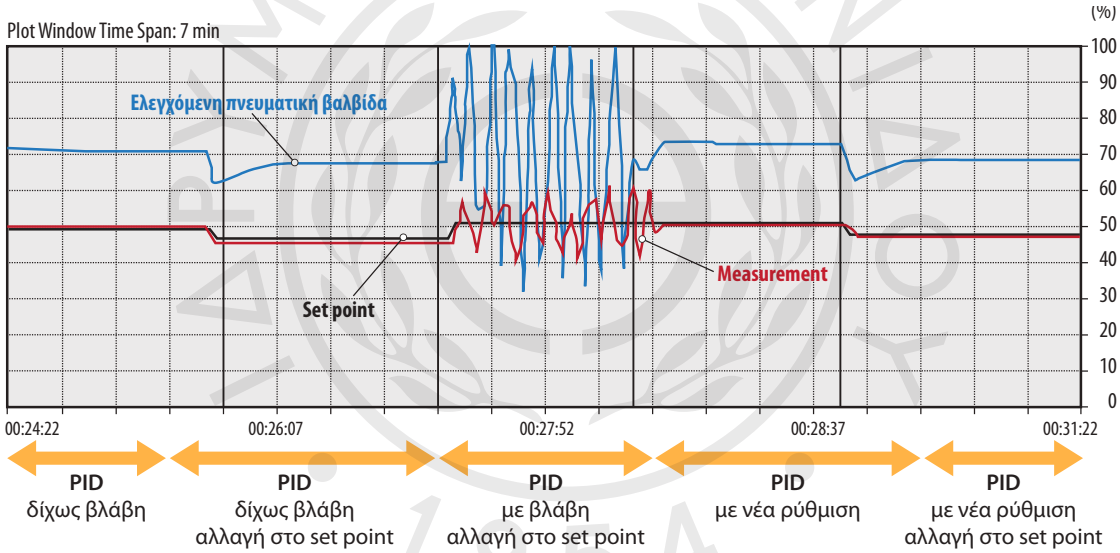


Σχ. 11.46
Δομή πνευματικού PID ελεγκτή



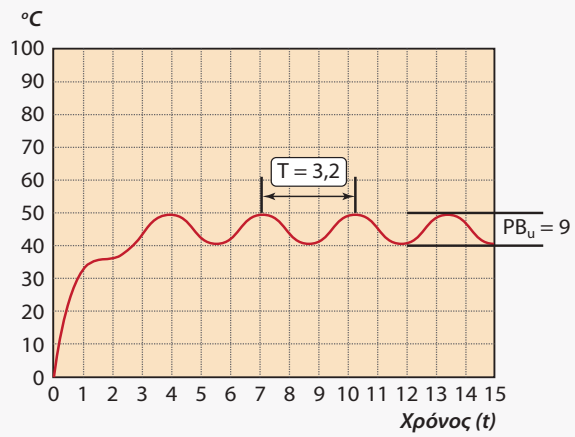
Σχ. 11.51

Ρύθμιση ιξώδες του καυσίμου της Κ/Μ με PID ελεγκτή



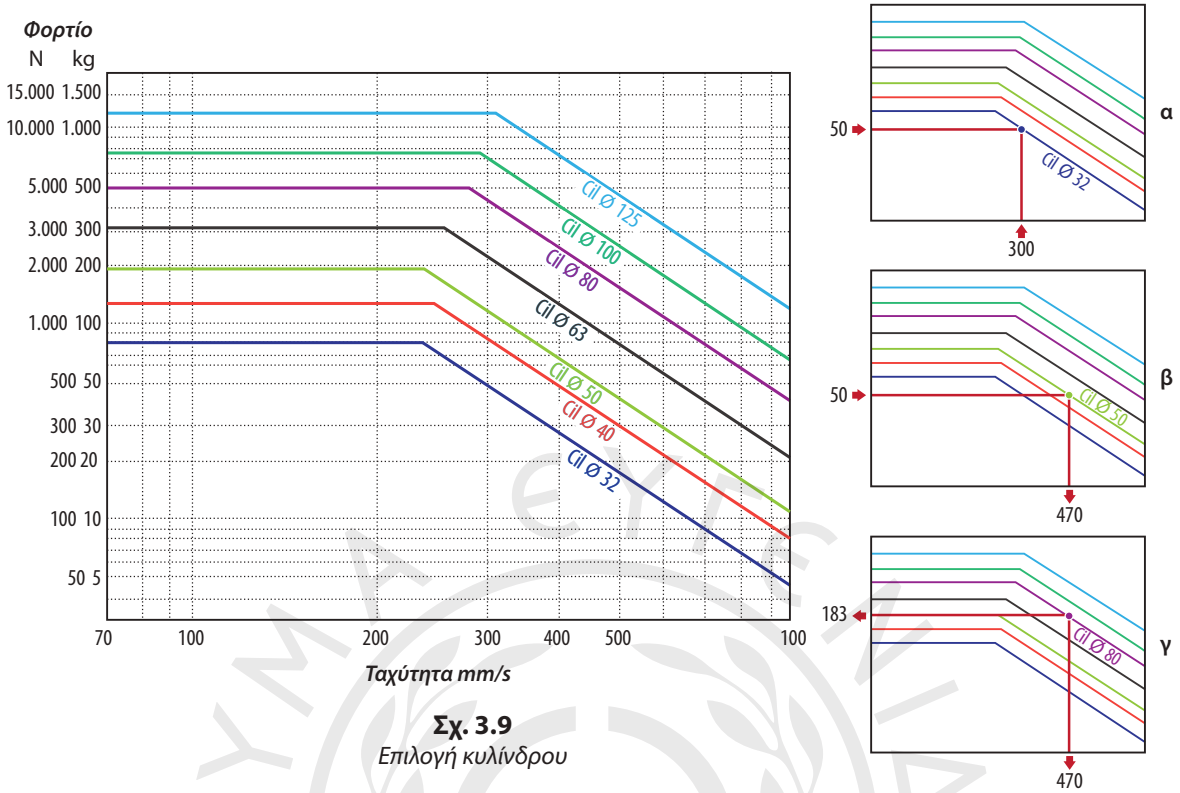
Σχ. 11.52

Ρύθμιση θερμοκρασίας εισαγωγής γλυκού νερού ψύξης υψηλής θερμοκρασίας της Κ/Μ με PID ελεγκτή



Σχ. 11.53

Παράδειγμα ρύθμισης παραμέτρων PID ελεγκτή ελέγχου θερμοκρασίας της Κ/Μ με την μέθοδο ρύθμισης Ziegler-Nichols με ταλάντωση



Σχ. 3.9
Επιλογή κυλίνδρου

το σημείο του κατακόρυφου άξονα που αντιστοιχεί στο σημείο 50 kg χαράσσεται ευθεία παράλληλη στον οριζόντιο άξονα. Το σημείο τομής των δύο ευθειών βρίσκεται επάνω στην καμπύλη που αντιστοιχεί σε διάμετρο D = 32 mm.

β) Από το σημείο του κατακόρυφου άξονα που αντιστοιχεί σε φορτίο 50 kg χαράσσεται ευθεία παράλληλη στον οριζόντιο άξονα και βρίσκεται το σημείο τομής της με την καμπύλη που αντιστοιχεί στη διάμετρο D = 50 mm. Από το σημείο αυτό χαράσσεται ευθεία παράλληλη με τον κατακόρυφο άξονα και βρίσκεται το σημείο τομής της με τον οριζόντιο άξονα. Το σημείο αυτό αντιστοιχεί σε μέγιστη ταχύτητα 470 mm/s.

γ) Από το σημείο που αντιστοιχεί σε ταχύτητα 470 mm/s του οριζόντιου άξονα χαράσσεται ευθεία παράλληλη στον κατακόρυφο άξονα. Βρίσκεται το σημείο τομής της με την καμπύλη που αντιστοιχεί σε διάμετρο D = 80 mm. Από το σημείο αυτό χαράσσεται ευθεία παράλληλη στον οριζόντιο άξονα και βρίσκεται το σημείο τομής της με τον κατακόρυφο άξονα. Το σημείο αυτό αντιστοιχεί στο μέγιστο φορτίο 183 kg.

3.4.2 Εξαρτήματα κυλίνδρων

Καθώς το έμβολο κινείται με υψηλές ταχύτητες, η απότομη αυτή κίνησή του ενδέχεται να προκαλέσει κρούσεις κατά την άφιξή του στα δύο άκρα της διαδρομής. Οι κρούσεις αυτές μπορεί να οδηγήσουν σε φθορές του κυλίνδρου ή/και να προκαλέσουν δονήσεις στο σύστημα. Για την αποφυγή αυτών των φαινομένων χρησιμοποιούνται αποσβεστήρες που αποσκοπούν στην ομαλή επιβράδυνση του εμβόλου.

Σε πολλές εφαρμογές είναι απαραίτητο να δίνεται ανάδραση της θέσης του εμβόλου του κυλίνδρου. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνται αισθητήρες θέσης. Στην πιο απλή μορφή τους είναι απλοί αισθητήρες μαγνητικής προσέγγισης. Μετρούν το μαγνητικό πεδίο ενός μαγνήτη, ο οποίος είναι ενσωματωμένος στον κύλινδρο και κινείται με το έμβολο. Μπορεί περισσότεροι αισθητήρες του ενός να τοποθετηθούν στον ίδιο κύλινδρο. Το σήμα που επιστρέφουν είναι συνήθως της μορφής ON-OFF. Αν δηλαδή, λόγου χάρη, η κεφαλή του εμβόλου περνά από τη θέση που είναι τοποθετημένος ο αισθητήρας δίνει σήμα ON, ενώ σε αντίθετη περίπτωση OFF. Ο συνδυασμός περισσότερων του ενός αισθητήρα και η ανίχνευση της διαδοχής ενεργοποίησής τους δίνει πληροφορίες για την κατεύθυνση κίνησης του εμβόλου.

3.4.3 Ειδικές κατηγορίες κυλίνδρων

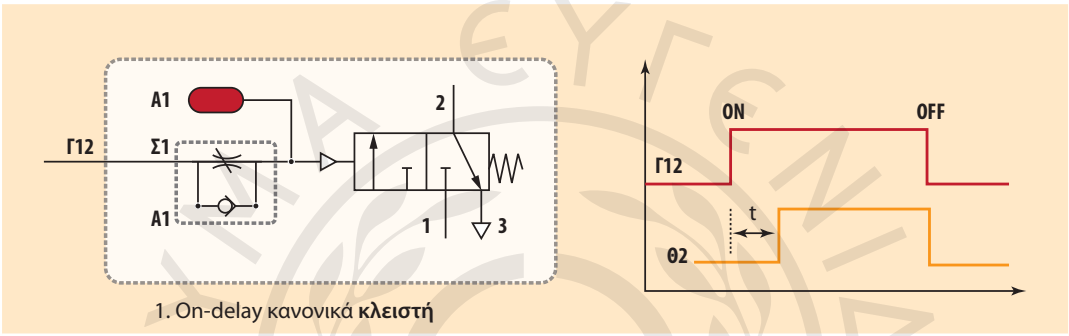
1) Διαδοχικοί κύλινδροι (tandem cylinders)

Η πίεση που αναπτύσσει ένας κύλινδρος εξαρτάται από τον όγκο του κυλίνδρου και το εμβαδόν του εμβόλου. Αν πρέπει να αναπτυχθεί μεγάλη πίεση, αλλά δεν

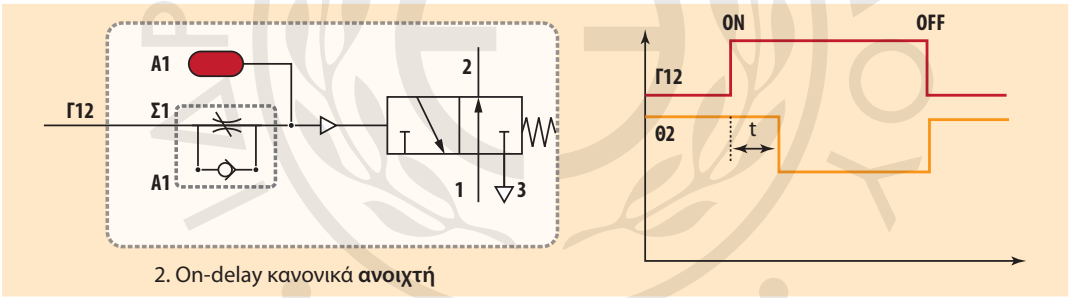
ενεργοποιούμενης 3/2 βαλβίδας, ενός αεροφυλακίου, μιας στραγγαλιστικής βαλβίδας και μιας ανεπίστροφης βαλβίδας. Η χρονοκαθυστέρηση ρυθμίζεται ελέγχοντας τη ροή προς ή από το αεροφυλάκιο χρησιμοποιώντας τη στραγγαλιστική βαλβίδα. Η ρύθμιση της στραγγαλιστικής βαλβίδας επιτρέπει τη ρύθμιση της χρονοκαθυστέρησης μεταξύ μιας ελάχιστης και μιας μέγιστης τιμής. Συνήθως το εύρος ρύθμισης είναι της τάξης των 5–30 s. Η χρονοκαθυστέρηση μπορεί να αυξηθεί περαιτέρω χρησιμοποιώντας επιπλέον αεροφυλάκιο. Οι πνευματικοί χρονιστές ρυθμίζονται για την καθυστέρηση ενεργοποίησης on-delay ή off-delay. Στην πρώτη περίπτωση η 3/2 βαλβίδα ενεργοποιείται σε χρόνο t μετά την εμφάνιση του πιλοτικού σήματος, ενώ στη δεύτερη περίπτωση σε χρόνο t μετά την απενεργοποίηση του πιλοτικού σήματος. Στον πίνακα 3.3 παρουσιάζονται οι δυνατές χρονοκαθυστερήσεις που μπορούν να εφαρμοστούν.

Στις περιπτώσεις 1 και 2 υλοποιείται λειτουργία on-delay για κανονικά κλειστή και κανονικά ανοιχτή 3/2 βαλβίδα αντίστοιχα. Το πνευματικό πιλοτικό σήμα στη γραμμή Γ12 δεν μπορεί να περάσει από την αντεπί-

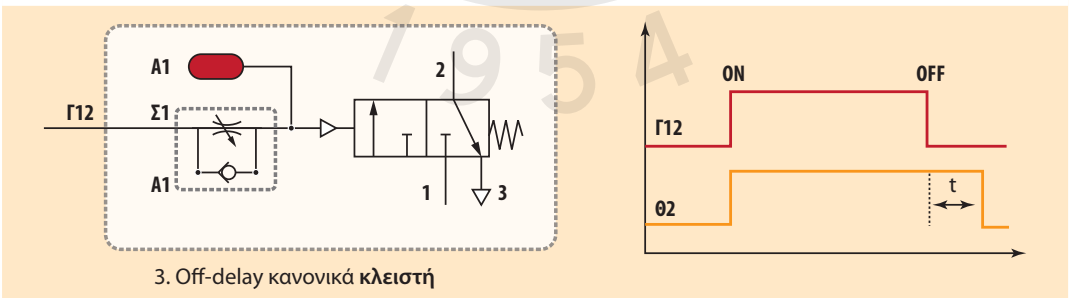
Πίνακας 3.3



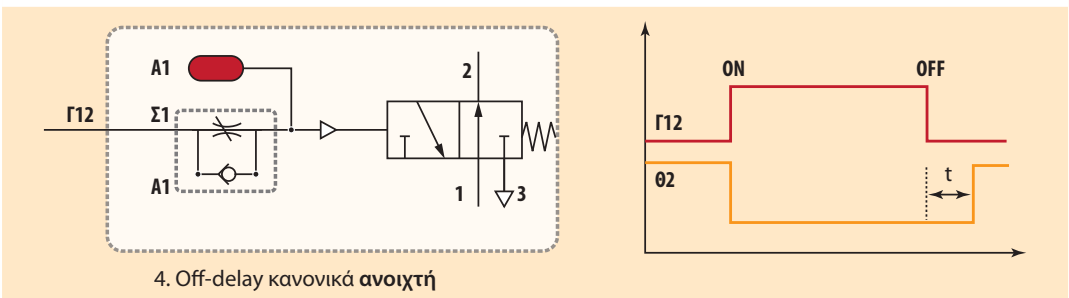
1. On-delay κανονικά **κλειστή**



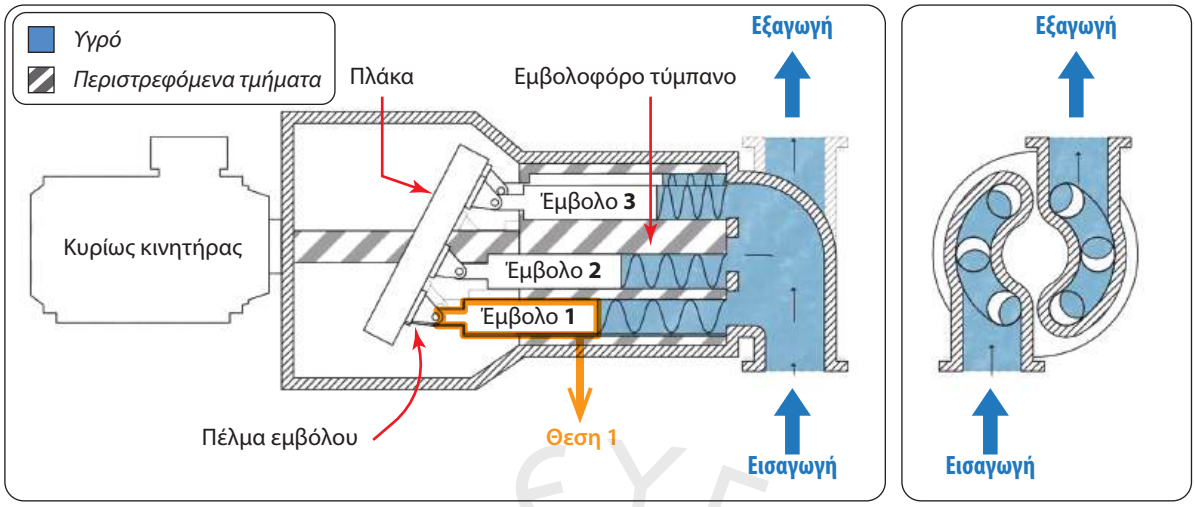
2. On-delay κανονικά **ανοιχτή**



3. Off-delay κανονικά **κλειστή**

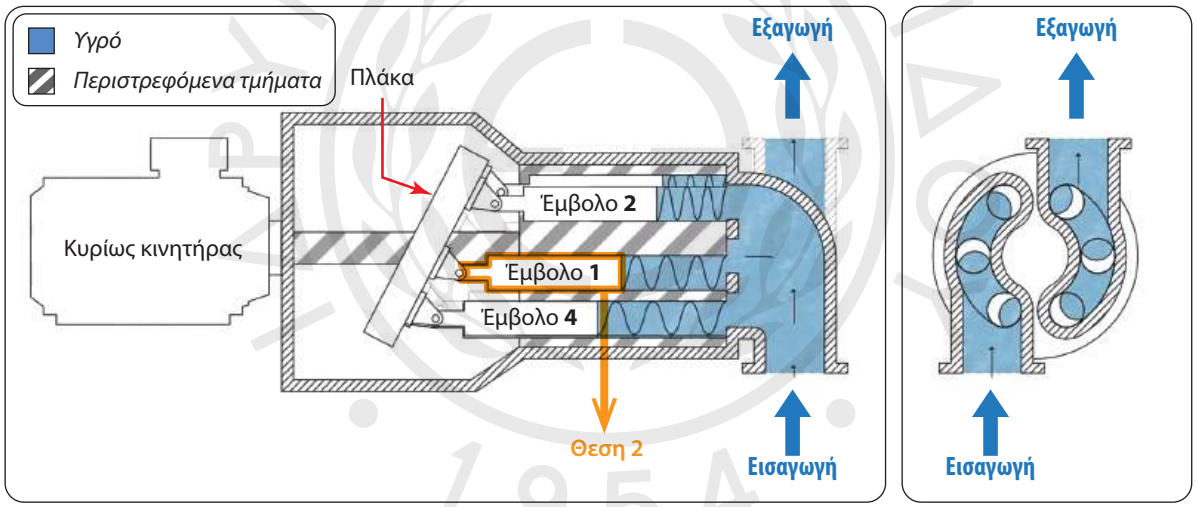


4. Off-delay κανονικά **ανοιχτή**



Μπροστινή όψη *Πλάγια όψη*

Σχ. 5.3
Εμβολοφόρος αντλία
αρχή λειτουργίας-στιγμιότυπο 1



Μπροστινή όψη *Πλάγια όψη*

Σχ. 5.4
Εμβολοφόρος αντλία
αρχή λειτουργίας-στιγμιότυπο 2

Στο σχήμα 5.5 δίνονται τα σύμβολα που χρησιμοποιούνται για να σημειώσουν την ύπαρξη υδραυλικής αντλίας στα σχηματικά διαγράμματα ελέγχου.

5.2 Κατευθυντικές βαλβίδες

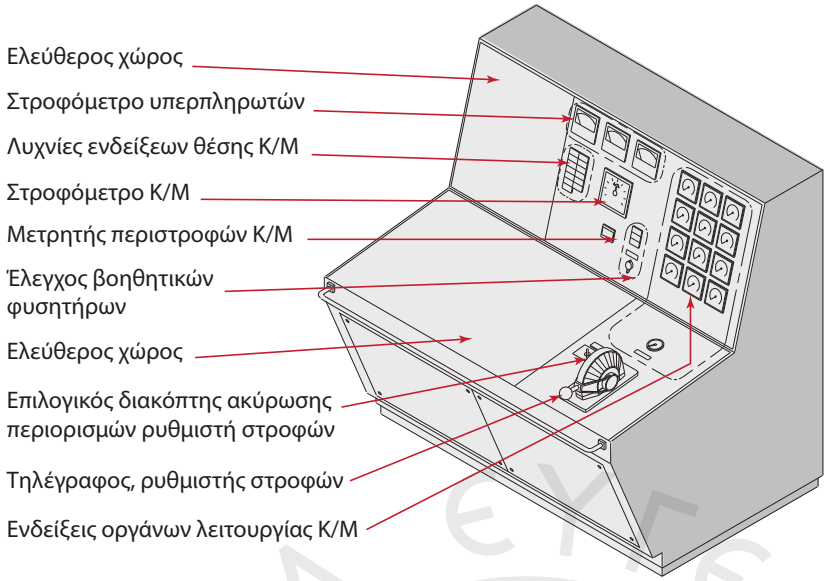
Αφού παραχθεί η υδραυλική ισχύς θα πρέπει να διανεμηθεί στα κατάλληλα σημεία και ενεργοποιητές. Οι συσκευές-κλειδιά των συστημάτων διανομής της υδραυλικής ισχύος είναι οι κατευθυντικές βαλβίδες. Χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της κατεύθυνσης ροής του υπό πίεση υγρού.

5.2.1 Προτυποποίηση κατευθυντικών βαλβίδων

Στα σχηματικά διαγράμματα ελέγχου χρησιμοποιούνται τα παρακάτω σύμβολα για να σημειωθεί η διασύνδεση μιας βαλβίδας με τις διάφορες γραμμές του δικτύου.

Γραμμή εργασίας: A, B, C
Τροφοδοσία υγρού (λαδιού) υπό πίεση: P
Κατάθλιψη: R, S, T
Υδραυλικός πιλότος *ή* ***γραμμή ελέγχου***: X, Y, Z

Το σχηματικό τους διάγραμμα αποτελείται από διαδοχικά τετράγωνα. Το κάθε τετράγωνο αντιστοι-



Σχ. 6.4
Πίνακας ελέγχου ΣΕΚ

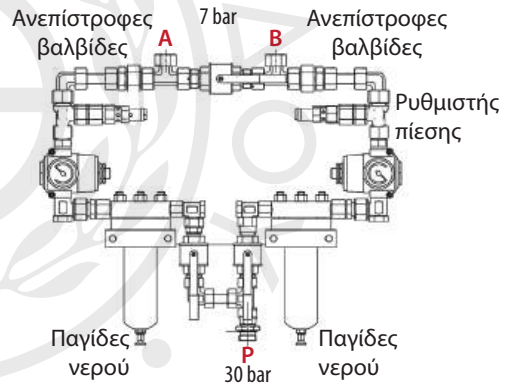
6.4.1 Διάταξη ρύθμισης πίεσης αέρα

Στο σχήμα 6.5 απεικονίζεται η διάταξη μείωσης πίεσης του πεπιεσμένου αέρα από τα 30 bar στα 7 bar για την τροφοδοσία ελέγχου αέρα προκίνησης της Κ/Μ (εισαγωγή αέρα στο σημείο Β του σχήματος 6.2), ελέγχου των ελατηρίων των βαλβίδων εξαγωγής της Κ/Μ (εισαγωγή αέρα στο σημείο Β του σχήματος 6.2), καθώς και του συστήματος ασφαλείας τροφοδοσίας αέρα της Κ/Μ (εισαγωγή αέρα στο σημείο C του σχήματος 6.2). Η διάταξη αποτελείται από δύο επιμέρους συστήματα, που το ένα είναι εφεδρικό του άλλου. Απαρτίζεται από ρυθμιστές πίεσης, ανεπίστροφες βαλβίδες, παγίδες νερού, μανόμετρα, αυτόματες και χειροκίνητες βαλβίδες ελέγχου διεύθυνσης του αέρα. Η διάταξη μείωσης πίεσης αέρα υπάρχει σε όλους τους τύπους των μηχανών.

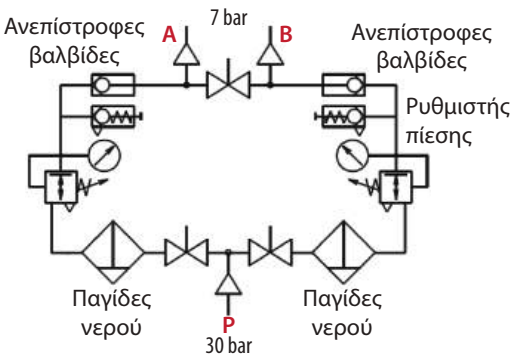
6.4.2 Μηχανισμός αλλαγής φοράς περιστροφής της Κ/Μ

Για την αλλαγή φοράς περιστροφής της Κ/Μ σε αναστρέφουσες μηχανές με σταθερό ή μεταβλητό βήμα έλικας είναι απαραίτητο να μεταβληθεί ο χρονισμός των βαλβίδων κάθε κυλίνδρου και του συστήματος έγχυσης καυσίμου της Κ/Μ από τις αντλίες υψηλής πίεσης. Με την αλλαγή φορά περιστροφής, μεταβάλλεται ο σχετικός χρονισμός μεταξύ των κινήσεων της βαλβίδας και της έγχυσης του καυσίμου, επειδή αλλάζει η σειρά με την οποία ενεργοποιούνται οι κύλινδροι της Κ/Μ και κάθε φοράς το ΣΕΚ τροφοδοτεί και διαφορετική βαλβίδα εκκίνησης κυλίνδρου.

Για τον λόγο αυτό απαιτούνται διαφορετικά έκκεντρα στον εκκεντροφόρο άξονα της Κ/Μ, ένα για την εντολή κίνησης ***Πρόσω***, ***Ahead*** και ένα για την εντολή

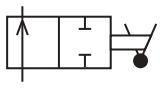


(α)

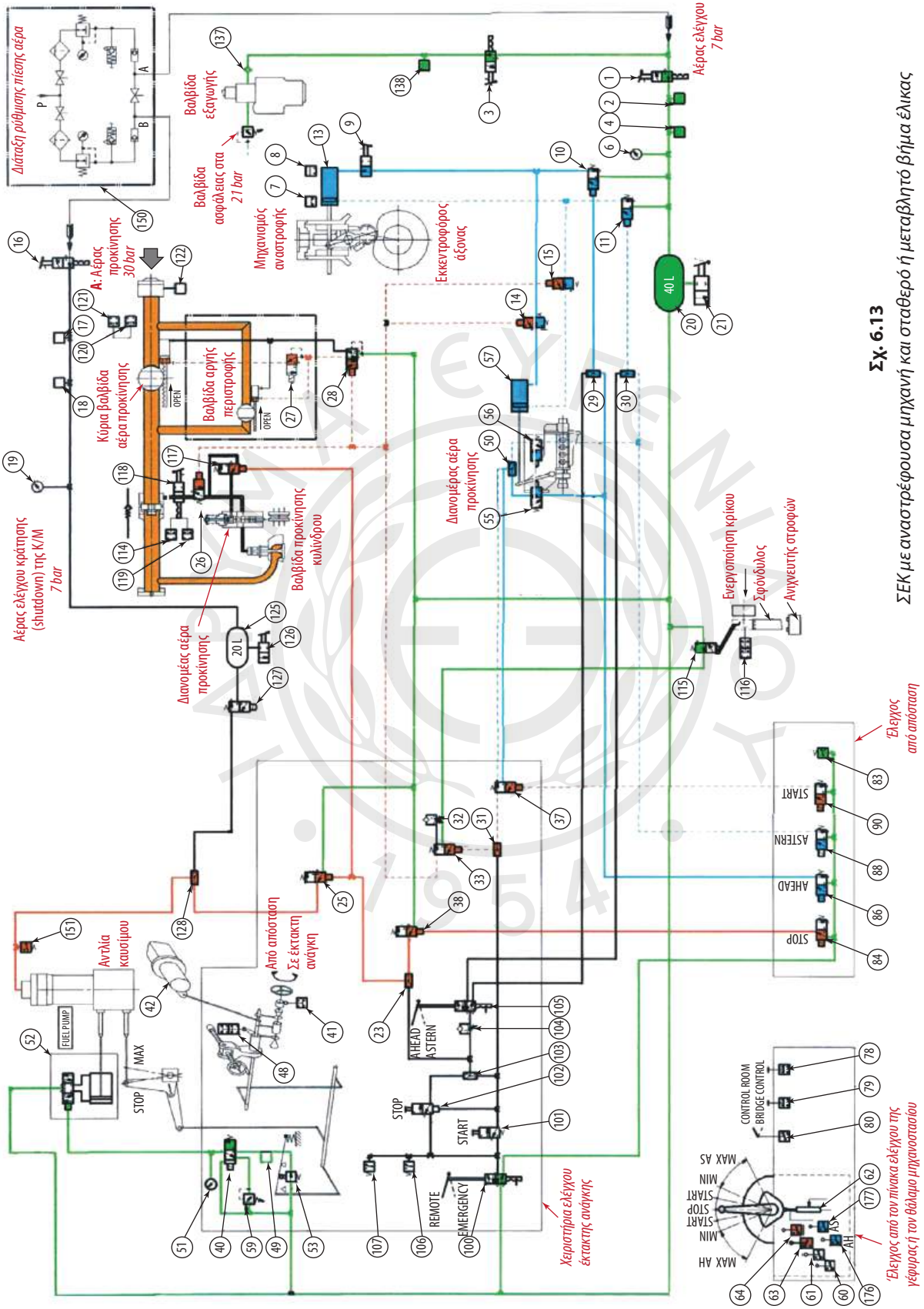


(β)

Σχ. 6.5
Υποσύστημα ρύθμισης της πίεσης από τα 30 bar στα 7 bar

Αρίθμηση	Περιγραφή	Σύμβολο
41	Δίνει εντολή στο ΣΕΚ όταν γίνεται εναλλαγή του μηχανισμού ελέγχου του συστήματος από απόσταση	Διακόπτης θέσης με μια ανοιχτή και μια κλειστή επαφή 
78	Ο διακόπτης ενεργοποιείται όταν ενεργοποιείται η βαλβίδα αργής περιστροφής της Κ/Μ (28) κατά τη διάρκεια ελέγχου της Κ/Μ από τον πίνακα ελέγχου της γέφυρας ή του θαλάμου ελέγχου του μηχανοστασίου	
79	Ο διακόπτης ακυρώνει τους περιορισμούς του ρυθμιστή στροφών κατά τη διάρκεια ελέγχου της Κ/Μ από τον πίνακα ελέγχου της γέφυρας ή του θαλάμου ελέγχου του μηχανοστασίου	
114	Δίνει σήμα στην αντίστοιχη λυχνία ένδειξης στο ΣΕΚ όταν η βαλβίδα κράτησης (118) βρίσκεται σε θέση ***Συντήρηση*** (service)	
119	Δίνει σήμα στον πίνακα ελέγχου της γέφυρας ότι ο διανομέας αέρας προκίνησης δεν λειτουργεί	
120	Δίνει σήμα λειτουργίας ή εμπλοκής στις λυχνίες του ΣΕΚ	
121	Δίνει σήμα στις λυχνίες του ΣΕΚ ή στον τηλέγραφο –σύστημα επικοινωνίας του πλοίου– ότι η κύρια βαλβίδα προκίνησης αέρα έχει μπλοκαριστεί	
48	Επαναφέρει τη λειτουργία κράτησης (Shutdown) της Κ/Μ (σε επίπεδο ασφαλείας) όταν ο μοχλός ρύθμισης σε κατάσταση επείγουσας κατάστασης ή ελέγχου έκτακτης ανάγκης βρίσκεται στη θέση ***Κράτει***	Διακόπτης θέσης με δύο ανοιχτές και δύο κλειστές επαφές 
116	Δίνει σήμα στην αντίστοιχη λυχνία ένδειξης στη γέφυρα όταν ο κρίκος είναι ενεργοποιημένος	
7, 8	Ενεργοποιείται όταν ο πνευματικός κύλινδρος διπλής ενέργειας αναστροφής (13) στις αντλίες καυσίμου έχει μετακινηθεί στη θέση εντολής ***Πρόσω***. Δείχνει τη θέση του εκκεντροφόρου	Μαγνητικός διακόπτης θέσης 
9	Για τη χειροκίνητη διακοπή του αέρα ελέγχου προς τον πνευματικό κύλινδρο διπλής ενέργειας αναστροφής (13) στις αντλίες καυσίμου	2/2 πνευματική βαλβίδα, ενεργοποίηση χειροκίνητα και επαναφορά στη *νεκρή* θέση 
21	Για την εξυδάτωση του ΣΕΚ της Κ/Μ	

(συνεχίζεται)



Σχ. 6.13

ΣΕΚ με αναστρέφουσα μηχανή και σταθερό ή μεταβλητό βήμα έλικας

12) ***Ενδεικτικά καταστάσεων βλαβών της Κ/Μ*** (ME Status Failure). Αυτά μας επιτρέπουν να γνωρίζουμε εάν υπάρχει βλάβη στην Κ/Μ και σε τι επίπεδο κατάστασης βρίσκεται η λειτουργία της (Κράτηση-Shutdown, Επιβράδυνση-Slowdown, Αποτυχία εκκίνησης-Fail).

Στα πλοία με ηλεκτρονικές μηχανές χρησιμοποιούνται σύγχρονα δίκτυα αυτοματισμού, τα οποία εφαρμόζουν τεχνικές κατανεμημένων συστημάτων ελέγχου μέσω δικτύου υπολογιστών, που είναι τοποθετημένοι σε διάφορα σημεία του πλοίου, όπως στο μηχανοστάσιο, στο δωμάτιο ελέγχου του μηχανοστασίου και στη γέφυρα. Είναι πλέον εφικτή η πλήρης γραφικοποιήση και αναπαράσταση λειτουργίας όλων των επιμέρους τμημάτων του ΣΔΕ. Το γραφικό περιβάλλον των συστημάτων χρησιμοποιεί λειτουργικά σχεδιασμένα γραφικά για την λειτουργία, παρακολούθηση, βελτιστοποίηση και καταγραφή όλων των διασυνδεδεμένων συστημάτων αυτοματισμού[1].

Στο σχήμα 6.26 απεικονίζεται το γραφικό περιβάλλον που έχει στη διάθεσή του ο χρήστης για το ΣΕΚ μιας ηλεκτρονικής μηχανής. Ο χρήστης έχει ανά πάσα στιγμή τη δυνατότητα να γνωρίζει τις λειτουργίες του ΣΕΚ, ποια μέρη του συστήματος βρίσκονται σε συντήρηση ή είναι σε κατάσταση ετοιμότητας, ποιες βλάβες έχουν εμφανιστεί και ποια συστήματα εκκρεμούν για την ορθή λειτουργία της μηχανής. Κάθε νέος ή μη αποδεχόμενος συναγερμός παρουσιάζεται και ταυτόχρονα υπάρχει και ηχητική προειδοποίηση. Όταν μια ανωμαλία ή ένας συναγερμός εμφανιστεί, με το πάτημα ενός πλήκτρου εμφανίζεται το παράθυρο του συγκεκριμένου γεγονότος. Στο κείμενο κοινοποίησης των συναγερμών-συμβάντων αναφέρονται όλες οι σχετικές προς αυτό πληροφορίες για τον εύκολο και γρήγορο εντοπισμό της εγκατάστασης που τελεί υπό συναγερμό.

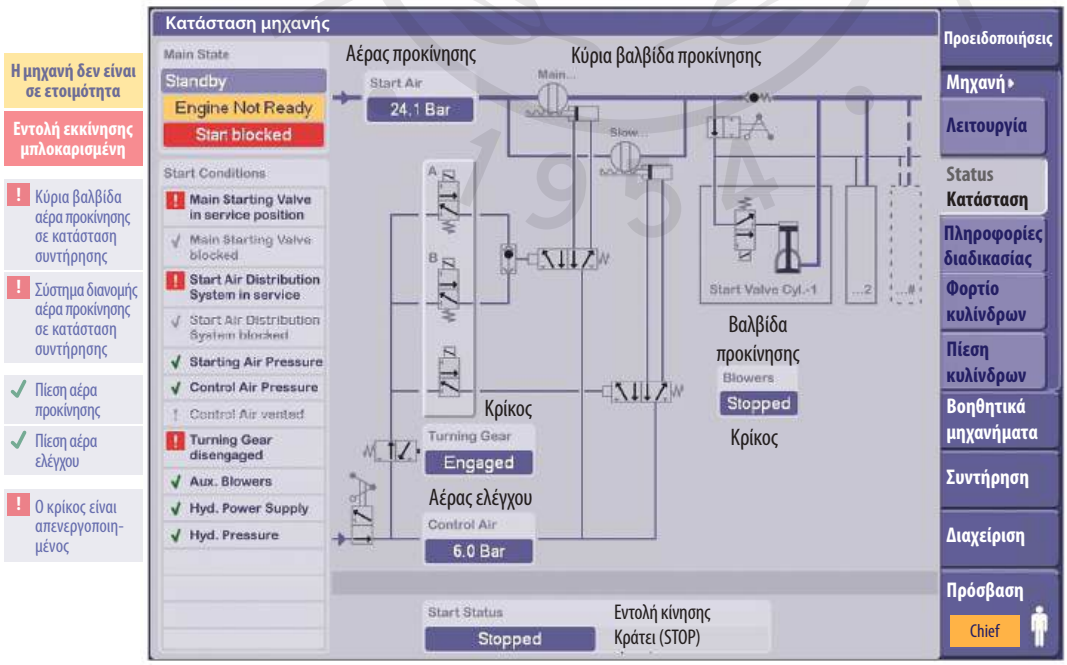
Ο χρήστης μπορεί να αναγνωρίσει ή/και να επαναφέρει τους συναγερμούς, ανάλογα με τα δικαιώματά του. Αφού καταγραφεί ένας συναγερμός, πρώτα γίνεται η διαδικασία γνωστοποίησης του συναγερμού για να σταματήσει και η ηχητική προειδοποίηση, και στη συνέχεια ξεκινά η διαδικασία της επιδιόρθωσης.

6.8 Σύστημα απεικόνισης ελέγχου της Κ/Μ

Το σύστημα απεικόνισης ελέγχου της Κ/Μ (σχ. 6.27) αποτελείται από πίνακες ενδείξεων – πληροφοριών, οι οποίοι απεικονίζουν:

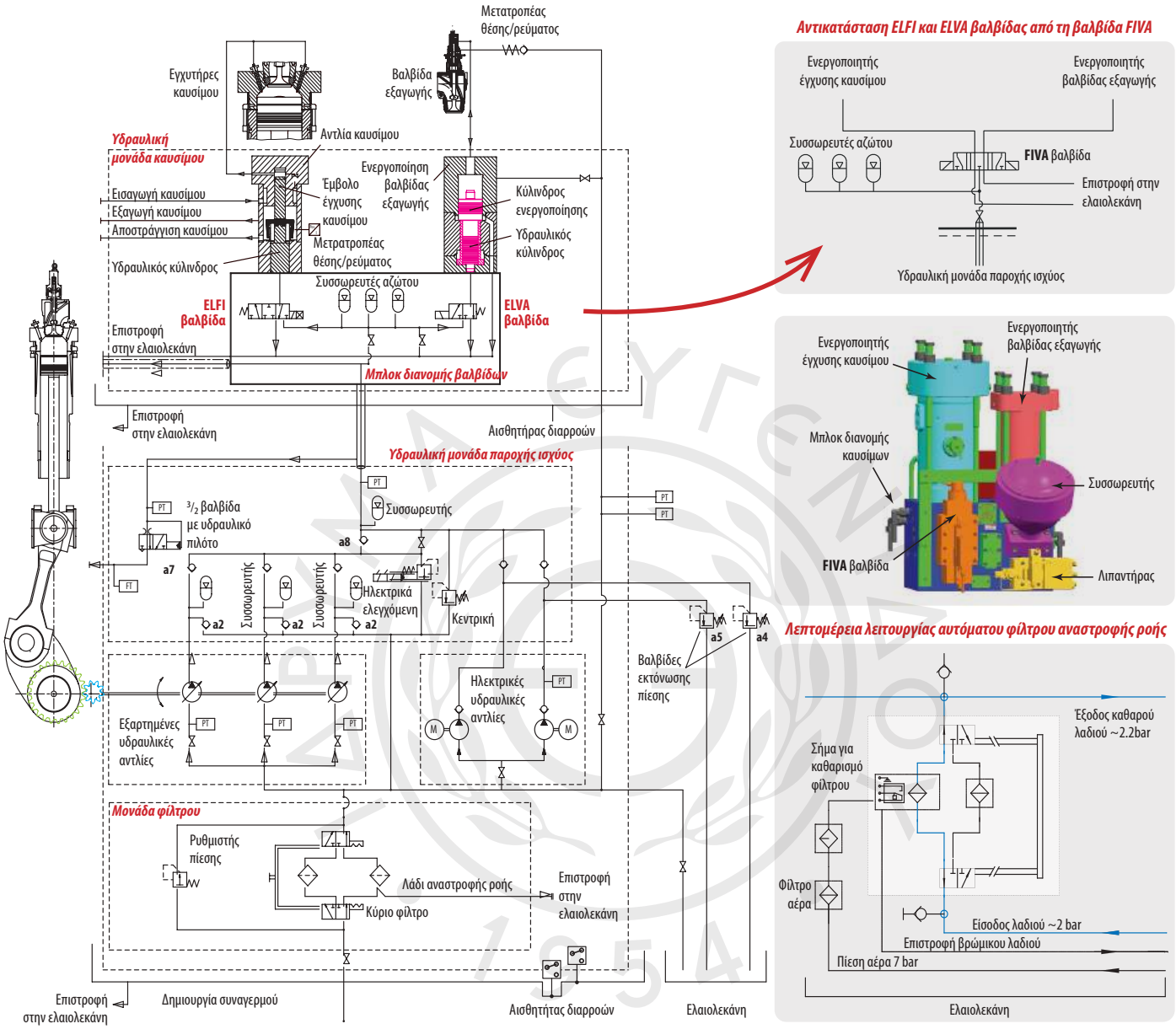
1) Το πού βρίσκεται η θέση εντολών λειτουργίας της Κ/Μ [στη γέφυρα (Bridge) ή στον θάλαμο ελέγχου του μηχανοστασίου (ECR)].

Εάν έχει δοθεί η εντολή κίνησης ***Πρόσω*** ή ***Ανάποδα*** στον τηλέγραφο της Κ/Μ, σε ποια θέση αντίστοιχα βρίσκεται ο εκκεντροφόρος άξονας της Κ/Μ (Ahead Cam Pos, Astern Cam Pos), εάν έχει δοθεί εντολή ***Κράτει*** και έχουν ενεργοποιηθεί οι βαλβίδες αποκοπής ή βελονοειδείς (Puncture valves) των αντλιών καυσίμου, εάν είναι ενεργοποιημένος ο κρίκος της Κ/Μ, καθώς και την κατάσταση περιστροφής της έλικας (Ahead rotation, Astern



Σχ. 6.26
Πίνακας ΣΕΚ ηλεκτρονικής Κ/Μ

1. Τα δίκτυα αυτοματισμού πλοίων ήδη έχουν παρουσιαστεί στο Κεφάλαιο 5 του βιβλίου *Ψηφιακά Συστήματα Δίκτυα Υπολογιστών*, εκδ. Ιδρύματος Ευγενίδου, 2018.

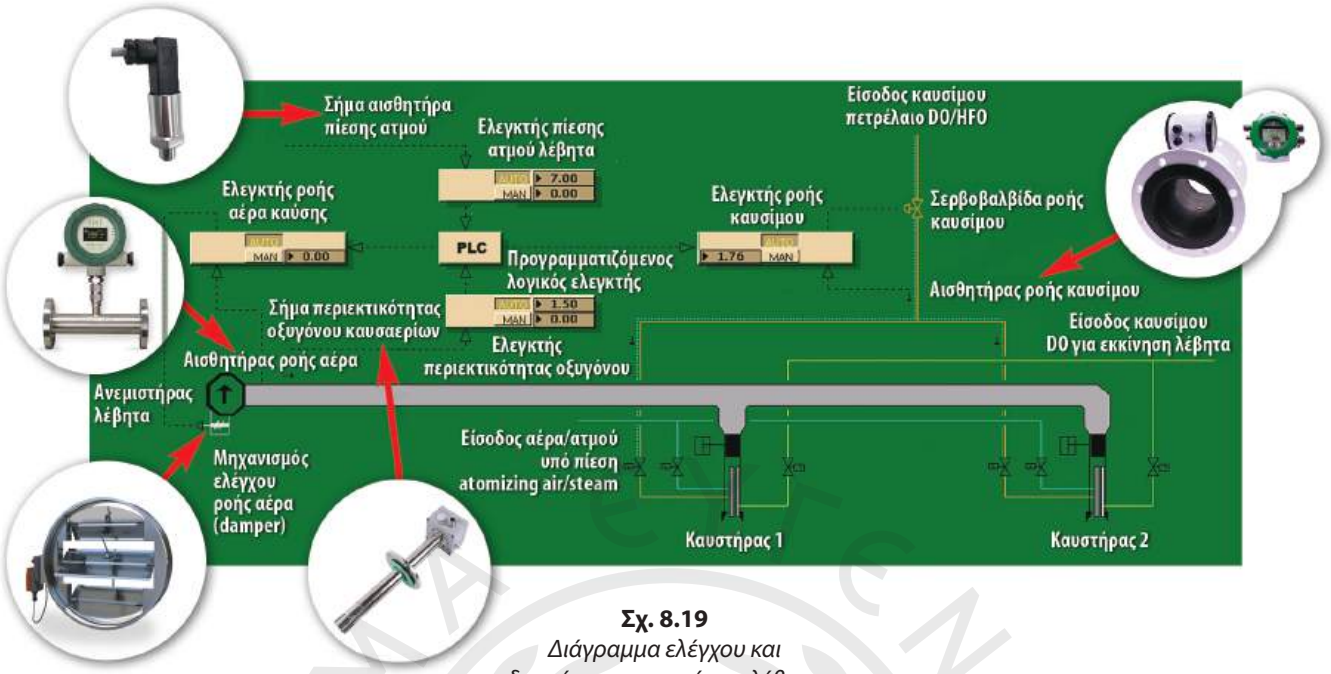


Σχ. 7.14

(α) Υδραυλική μονάδα παροχής ισχύος,
(β) υδραυλική μονάδα κυλίνδρου ηλεκτρονικής ΜΕΚ,
(γ) λεπτομέρεια λειτουργίας αυτόματου φίλτρου ανάστροφης ροής

αυξήσουν την πίεση σε επίπεδα της τάξης των 300 bar ανάλογα με το φορτίο της ΜΕΚ. Η πίεση των 300 bar είναι απαραίτητη για την ενεργοποίηση των αντλιών καυσίμου για την έγχυση του καυσίμου, των επενεργητών για το άνοιγμα της βαλβίδας εξαγωγής, καθώς και για τη λίπανση των κυλίνδρων.

Η εξαρτημένη υδραυλική αντλία διαθέτει μια ηλεκτρονικά ελεγχόμενη αναλογική υδραυλική βαλβίδα 4/3 (κωδικοποίηση a1, σχ. 7.15), η οποία ελέγχει την ποσότητα του λαδιού που μπορεί να αναρροφήσει και να καταθλίψει η αντλία αλλάζοντας τη γωνία της στεφάνης. Ένας μετατροπέας θέσης – ρεύματος (S/U) προσαρμοσμένος στην υδραυλική αντλία, δίνει τις κατάλληλες πληροφορίες για τη γωνία της στεφάνης της υδραυλικής αντλίας στο ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου της ΜΕΚ, με σκοπό να υπάρχει η πληροφορία της



Σχ. 8.19
Διάγραμμα ελέγχου και διαχείρισης καυστήρων λέβητα

περιεκτικότητα οξυγόνου στα καυσαέρια (σχ. 8.19) και με βάση την επιθυμητή τιμή περιεκτικότητας διαμορφώνει το σήμα ελέγχου που στέλνει σε μια αναλογική είσοδο του προγραμματιζόμενου λογικού ελεγκτή. Ο ελεγκτής ροής αέρα καύσης (βλ. § 6.1 Α΄ μέρους), λαμβάνοντας υπόψη το σήμα από μια αναλογική έξοδο του προγραμματιζόμενου λογικού ελεγκτή και την ένδειξη ενός αισθητήρα μέτρησης αέρα που βρίσκεται μετά τον ανεμιστήρα (σχ. 8.19), ελέγχει τον μηχανισμό ροής αέρα καύσης αεροθυρίδα (damper) (σχ. 8.19), ρυθμίζοντάς έτσι την ροή του αέρα στους καυστήρες. Αντίστοιχα ο ελεγκτής ροής καυσίμου, λαμβάνοντας υπόψη το σήμα από μια αναλογική έξοδο του προγραμματιζόμενου λογικού ελεγκτή και την ένδειξη ενός αισθητήρα μέτρησης ροής καυσίμου (σχ. 8.19, βλ. § 6.1 Α΄ μέρους), που βρίσκεται πριν την εισαγωγή του καυσίμου στους καυστήρες, ελέγχει το ποσοστό ανοίγματος της σερβοβαλβίδας καθορίζοντας έτσι την ροή του καυσίμου στους καυστήρες.

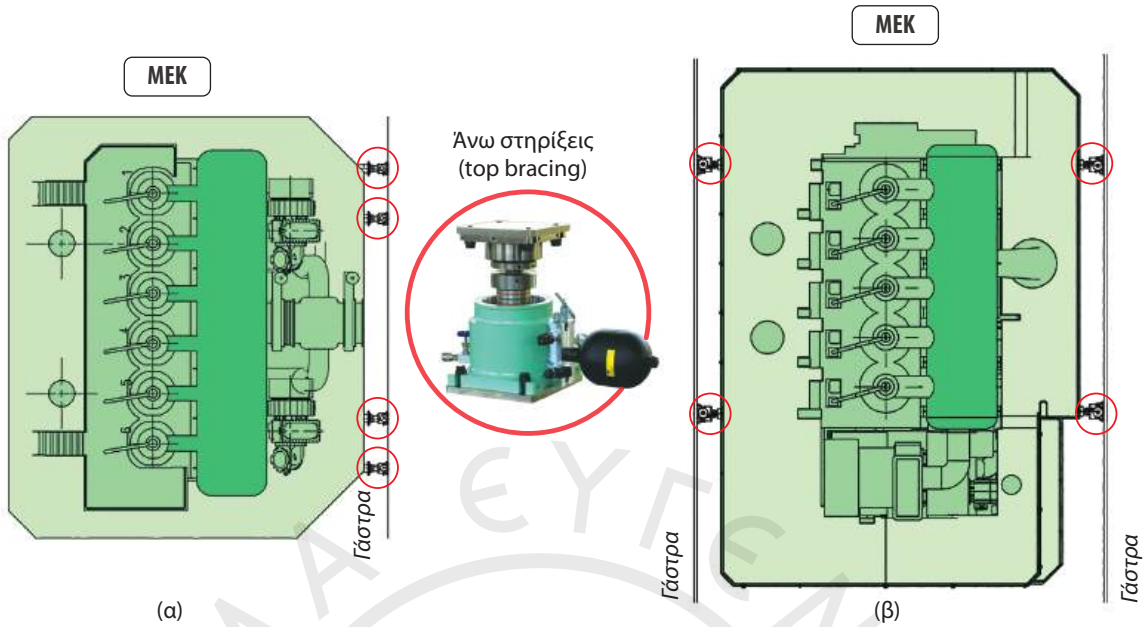
Συμπληρώνοντας την λειτουργία των καυστήρων στο σχήμα 8.19, απεικονίζονται δύο επιπλέον δίκτυα, το *δίκτυο αέρα/ατμού υπό πίεση* (atomizing air/steam) και το *δίκτυο καυσίμου diesel oil*, που χρησιμοποιείται μόνο για την εκκίνηση του λέβητα, διότι το diesel oil έχει χαμηλό σημείο ανάφλεξης. Το δίκτυο του αέρα χρησιμοποιείται για την διαδικασία καθαρισμού του θαλάμου καύσης από τυχόν υπολείμματα καυσίμου ή εύφλεκτα αέρια, πριν την έναρξη της καύσης (purge, atomizing air), ενώ το δίκτυο του ατμού χρησιμοποιείται για να διασπάσει το καύσιμο σε μικροσκοπικά σταγονίδια, δηλαδή να το μετατρέψει σε νέφος, ώστε να έχουμε ομοιόμορφη και *αποδοτική καύση* (atomizing steam).

8.3.2 Έλεγχος τροφοδοσίας νερού

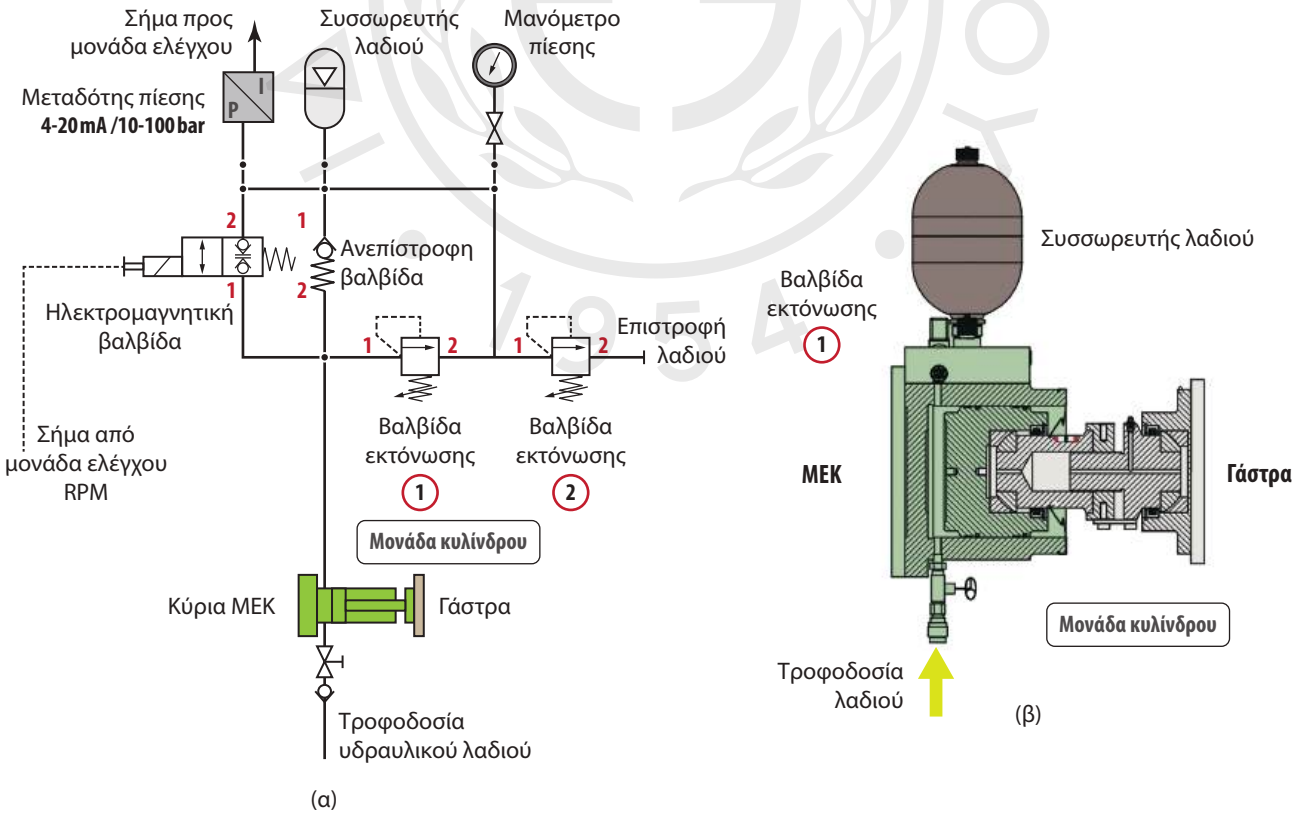
Ο ελεγκτής στάθμης νερού όπως φαίνεται στο σχήμα 8.20, δέχεται ένα σήμα από τον αισθητήρα μέτρησης διαφοράς πίεσης, εξαιτίας του ύψους στάθμης νερού στον λέβητα. Ρυθμίζοντας το επιθυμητό ύψος στάθμης και λαμβάνοντας υπόψη το σήμα του αισθητήρα που απεικονίζεται στο σχήμα 8.21, ο ελεγκτής διαμορφώνει κατάλληλο σήμα εξόδου, που ρυθμίζει το ποσοστό ανοίγματος της σερβοβαλβίδας πλήρωσης νερού. Με αυτόν τον τρόπο διατηρείται η στάθμη του νερού στον λέβητα σε συγκεκριμένες τιμές, συμπληρώνοντας εάν χρειαστεί μέσω της αντλίας νερού την αντίστοιχη ποσότητα νερού από την δεξαμενή τροφοδότησης.

Στο σχήμα 8.21 το ηλεκτρικό σήμα του αισθητήρα μετάδοσης που στέλνεται στον ελεγκτή στάθμης νερού δίνεται από την μαθηματική σχέση: ΔP = h (3) – [h (1) + + h(2)], όπου: **h (1)** είναι το ύψος του ατμού στον λέβητα, **h (2)** είναι το ύψος του νερού στον λέβητα και **h (3)** η απόσταση μεταξύ του άνω και κάτω σημείου σύνδεσης των επιστομίων (H, L). Το ηλεκτρικό σήμα του αισθητήρα μετάδοσης αυξάνεται καθώς η διαφορική πίεση μειώνεται.

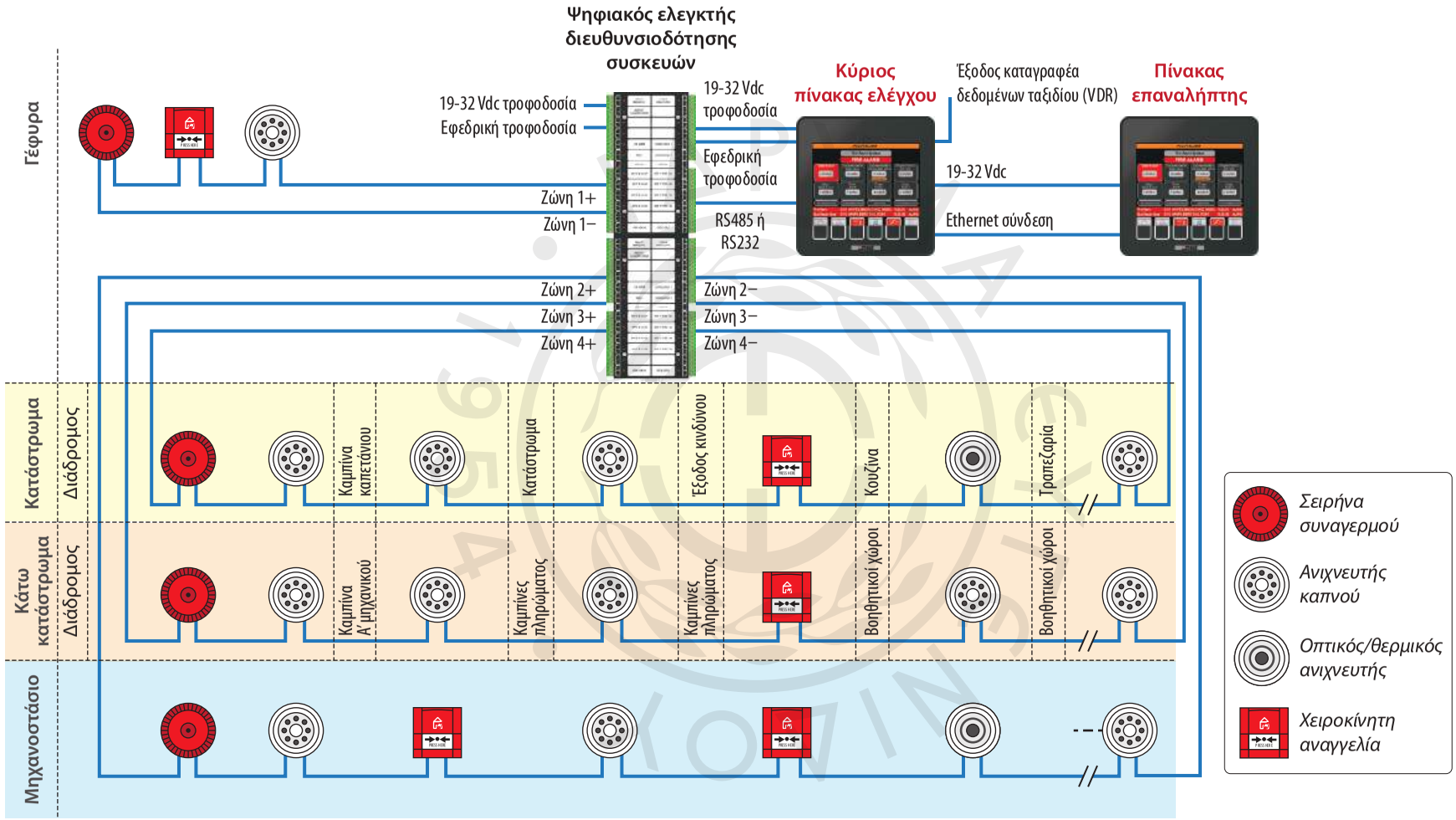
Στην γραμμή της υψηλής πίεσης του οργάνου μέτρησης, η πραγματική πίεση ισούται με την πίεση του τυμπάνου του λέβητα συν το βάρος μίας στήλης νερού σε θερμοκρασία περιβάλλοντος με μήκος ίσο με την



Σχ. 9.9
Τοποθέτηση άνω στηρίξεων (top bracings)
(α) στη μία πλευρά της ΜΕΚ (β) στις δύο πλευρές της ΜΕΚ



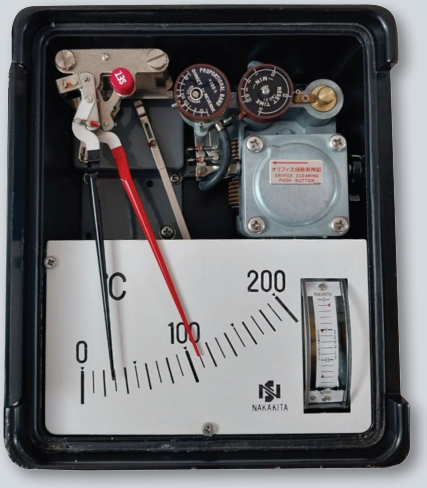
Σχ. 9.10
Διάγραμμα λειτουργίας υδραυλικής άνω στήριξης με αντίστοιχη τομή

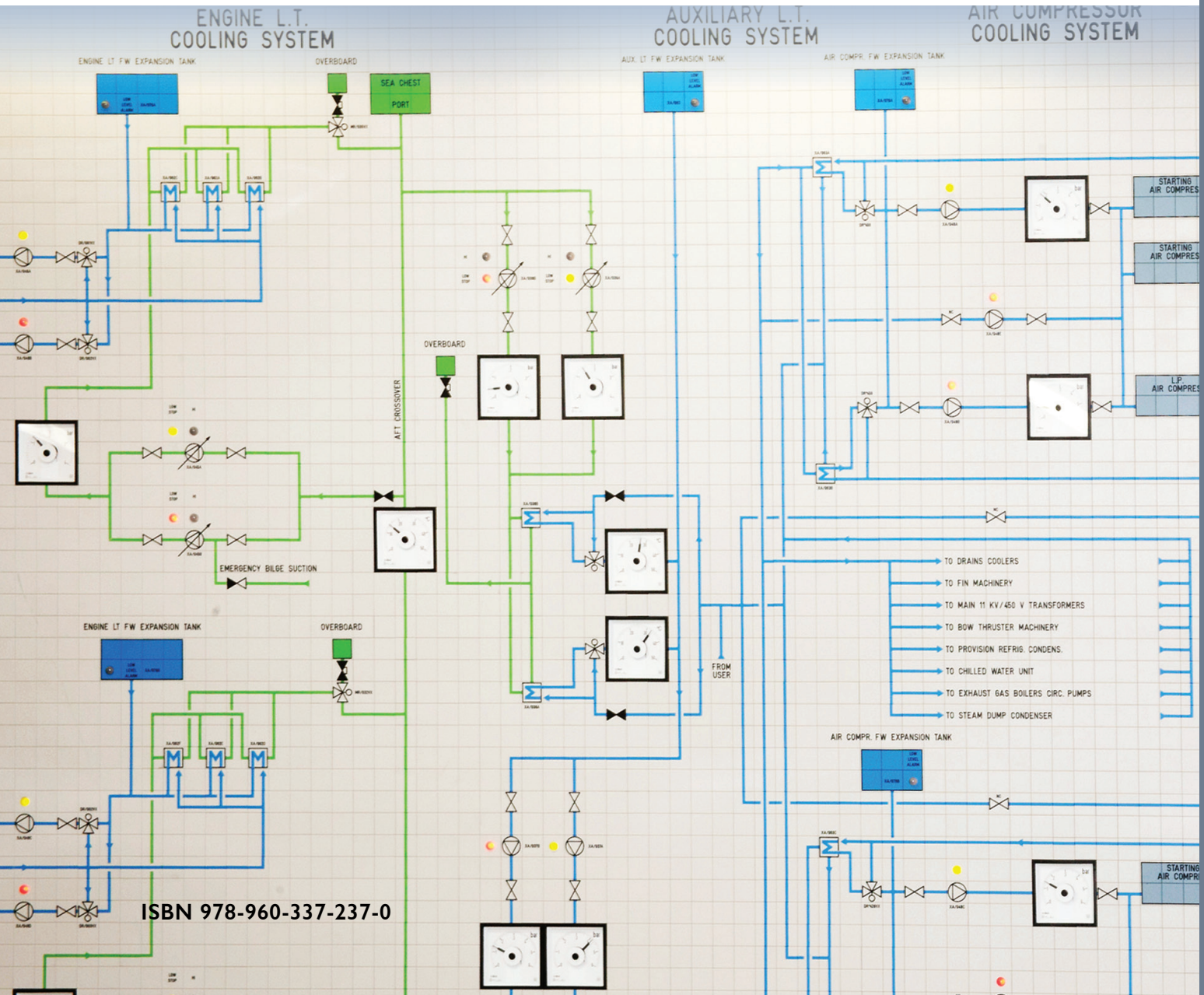


Σχ. 9.26

Διευθυνσιοδοτούμενο σύστημα πυρανίχνευσης και αναγγελίας πυρκαγιάς σε πλοίο

Στο πλαίσιο των αυξανόμενων τεχνολογικών απαιτήσεων και της ανάγκης για αποδοτική και περιβαλλοντικά υπεύθυνη λειτουργία, τα εξειδικευμένα Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου (ΣΑΕ) έχουν καταστεί αναπόσπαστο μέρος της ναυτικής βιομηχανίας. Η ανάπτυξη και εφαρμογή τους αντιπροσωπεύει μια καινοτόμο προσέγγιση στη ναυτική μηχανολογία, προσφέροντας λύσεις που μειώνουν το κόστος, αυξάνουν την αποδοτικότητα και ενισχύουν την περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Το παρόν βιβλίο έχει σκοπό να παρουσιάσει στους σπουδαστές τις βασικές γνώσεις που απαιτούνται για τη μελέτη, κατασκευή, ρύθμιση και λειτουργία των ΣΑΕ των πλοίων, και να αναδείξει τον καθοριστικό ρόλο τους, καθώς καλύπτουν κρίσιμες λειτουργίες που εξασφαλίζουν την ασφάλεια, τη βέλτιστη απόδοση και τη συμμόρφωση με κανονισμούς, επεκτείνοντας τις δυνατότητες των πλοίων.





ISBN 978-960-337-237-0