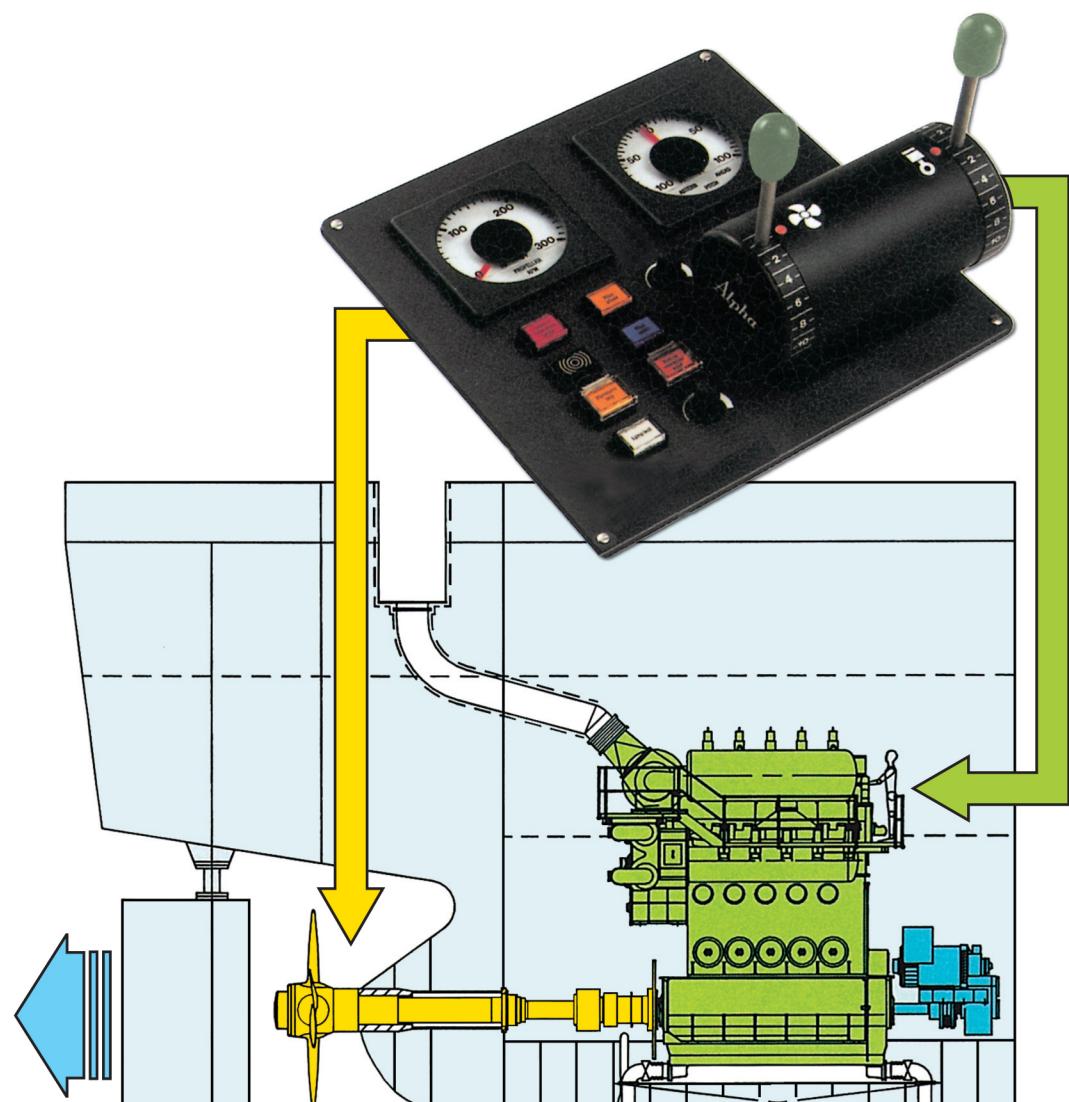




ΧΡΥΣΟΥΝ ΜΕΤΑΛΛΙΟΝ
ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΚΕΙΜΕΝΟ
ΑΚΑΔΗΜΙΩΝ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΝ ΑΥΤΟΜΑΤΟ ΕΛΕΓΧΟ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΙ ΠΛΟΙΩΝ



Ι. Γ. Βλαχογιάννη
Δ. Α. Παπαχρήστου
Γ. Ε. Χαμηλοθώρη

1

Εισαγωγή

1.1 Γενικά.

Τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου διαδραματίζουν ένα συνεχώς αυξανόμενο ρόλο στη σύγχρονη ζωή, από την απλή οικιακή συσκευή μέχρι τα πολύπλοκα συστήματα που εφαρμόζονται στη βιομηχανία ή τη ναυτιλία. Η μελέτη και η ανάλυση των συστημάτων ελέγχου στηρίζεται στις θεωρίες της αναδράσεως και της αναλύσεως των γραμμικών συστημάτων, χρησιμοποιεί δε τις ιδέες της θεωρίας των κυκλωμάτων και των τηλεπικοινωνιών.

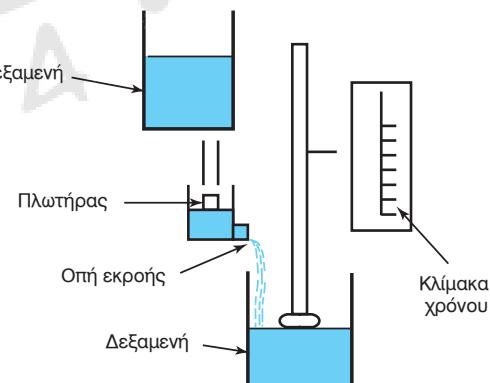
Ο όρος αυτοματισμός περιλαμβάνει κυρίως τις εφαρμογές του αυτομάτου ελέγχου στη βιομηχανία, τη διοίκηση και την παραγωγή και αφορά κατά κύριο λόγο τις μηχανές οι οποίες «αυτοελέγχονται», έχουν δηλαδή την ικανότητα να διορθώνουν αυτόματα τη συμπεριφορά της λειτουργίας τους σύμφωνα με κάποια επιθυμητή εύσοδο (εντολή).

Σήμερα οι ιστορικοί θεωρούν ότι ο αυτοματισμός και τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου αποτελούν το πιο σημαντικό επίτευγμα που πέτυχε ο άνθρωπος κατά την περίοδο μεταβάσεως του από την προβιομηχανική στη βιομηχανική περίοδο (18ος και 19ος αιώνας). Η φραγδαία ανάπτυξη της επιστήμης του αυτοματισμού οφείλεται στην αύξηση της παραγωγικότητας και της αξιοποιείας των παραγωγικών συστημάτων. Συνέπεια αυτής είναι η ριζική τροποποίηση των υγένεων ανθρώπου-μηχανής αλλά και των ανθρώπων μεταξύ τους λόγω της όλο και αυξανόμενης χρήσεως των αυτομάτων συστημάτων σε όλους τους τομείς της ανθρωπινής δραστηριότητας και των αλλαγών που επέφεραν σε δομές, δραστηριότητες και συνήθειες.

1.2 Ιστορική εξέλιξη.

Η χρησιμοποίηση του αυτοματισμού για τον έλεγχο και τη λειτουργία συστημάτων αρχίζει από πολύ παλιά. Η λέξη «αυτόματα» συναντάται για πρώτη

φορά στην Ιλιάδα του Ομήρου στη φανωδία Σ, όπου ο θεός Ήφαιστος κατασκευάζει στο εργαστήριό του, αυτόματους τρίποδες (στήχ. 369-381). Στη μυθολογία απαντάται η έννοια του αυτοματισμού στα μεταλλικά οικυλιά του βασιλιά Αλκίνοου και στον μπρούτζινο γίγαντα Τάλο. Έτσι, στη μυθολογία συναντά καινείς το όνειρο του ανθρώπου να κατασκευάσει αυτόματες μηχανές, οι οποίες θα λειτουργούν χωρίς την επέμβαση του ανθρώπου. Στην ελληνιστική περίοδο ο Αρχιμήδης κατασκευάζει αυτόματες πολεμικές μηχανές για την προστασία των Συρακουσών από την πολιορκία των Ρωμαίων. Ο Κτησίβιος από την Αλεξανδρεία κατασκευάζει μια αυτόματη ανυψωτική μηχανή, που λειτουργεί με πεπιεσμένο αέρα με όποιο την ανύψωση ενός βαρέος μπρούτζινου καθορέftη. Ο ίδιος αργότερα κατασκεύασε το ξακουστό υδραυλικό ρολόι, χρησιμοποιώντας ένα αυτόματο μηχανισμό ρυθμίσεως της στάθμης του νερού (στήχ. 1.2α). Ο Φίλων ο Βυζαντιος κατασκεύασε την αυτόματη λάμπα λαδιού, στην οποία



Στήχ. 1.2α.

Μηχανισμός που ελέγχει τη στάθμη του νερού σε δεξαμενή με χρήση πλωτήρα που κατασκεύασε ο Κτησίβιος. Η στάθερή στάθμη εξασφάλιζε σταθερή εκροή νερού, οπότε στη δεύτερη δεξαμενή ανυψωνόταν σταθερά το νερό. Ο δείκτης μετρούσε το χρόνο με σχετική ακρίβεια.

Η σχετική ευστάθεια, που στο επίπεδο του χρόνου μπορεί να καθορισθεί βάζοντας δόρια στην υπερύψωση, στους χρόνους ανυψώσεως και αποκαταστάσεως κ.ά., στο επίπεδο s μπορεί να καθορισθεί ορίζοντας μια **συγκεκριμένη περιοχή** σχετικής ευστάθειας μέσα στο αρνητικό ημιεπίπεδο του s (σχ. 2.5δ).

2.5.4 Κριτήριο Nyquist.

Το κριτήριο ευστάθειας Nyquist βασίζεται στη συνάρτηση μεταφοράς ανοικτού βρόχου, για ένα ειδικό κλειστό δρόμο που ονομάζεται **δρόμος Nyquist** στο πεδίο της μιγαδικής συχνότητας s (δεξιό ημιεπίπεδο). Δίνει μάλιστα πληροφορίες για την ευστάθεια (απόλυτη και σχετική) των συστημάτων κλειστού βρόχου. Ο δρόμος Nyquist (σχ. 2.5ε) διανύεται δεξιόστροφα, και περιλαμβάνει ολόκληρο τον άξονα $j\omega$ από $-\infty$ έως $+\infty$ και μια ημικυκλική διαδρομή με άπειρη ακτίνα στο δεξί μιγαδικό ημιεπίπεδο.

α) Κριτήριο Nyquist για απόλυτη ευστάθεια.

Ισχύει:

$$Z = N + P$$

όπου:

Π ο αριθμός πόλων της $G(s)H(s)$ στο δεξιό μιγαδικό ημιεπίπεδο s .

Ν ο αριθμός περικυκλώσεων του σημείου $(-1,0)$ δεξιόστροφα από την $G(j\omega)H(j\omega)$.

Ζ οι ρίζες της χαρακτηριστικής εξισώσεως $1+G(s)H(s)=0$ στο δεξί μιγαδικό ημιεπίπεδο s .

Έτσι, για να είναι ένα ευσταθές σύστημα κλειστού βρόχου πρέπει να ισχύει:

$$N = -P \text{ όπου } Z = 0$$

και το περίγραμμα $G(j\omega)H(j\omega)$ περικυκλώνει το σημείο $(-1,0)$, με φορά αριστερόστροφη. Το σημείο $-1+j0=(-1,0)$ ονομάζεται **κρίσιμο σημείο**.

β) Κριτήριο Nyquist για σχετική ευστάθεια.

Με βάση αυτό το κριτήριο, μπορούμε να ορίσουμε με ακρίβεια συγκεκριμένα τη σχετική ευστάθεια ενός κλειστού συστήματος (σχ. 2.5στ).

Σχετικά ευσταθές είναι ένα σύστημα κλειστού βρόχου με:

$$G(j\omega) = M(\omega)e^{j\phi(\omega)} = x + jy \quad (2.87)$$

Όταν:

$$\text{Για } M(\omega_0) = 1 \\ \text{είναι } |\Phi(\omega_0)| < 180^\circ$$

2.5.5 Μεταβατική συμπεριφορά.

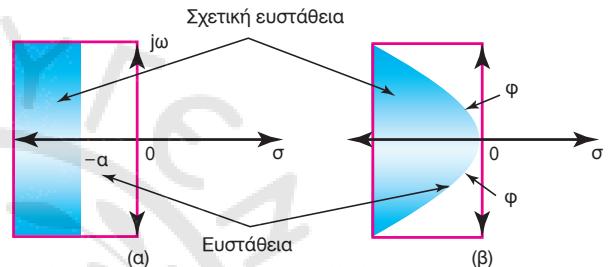
Τα συστήματα με σταθερή ή περιοδική είσοδο

οδηγούνται μετά από μια μεταβατική φάση σε μια μόνιμη κατάσταση.

Μεταβατική απόκριση (transient response) ονομάζομε εκείνο το τμήμα της χρονικής αποκρίσεως ενός συστήματος που τείνει στο μηδέν, όταν ο χρόνος τείνει στο άπειρο, δηλαδή στην αρχική φάση.

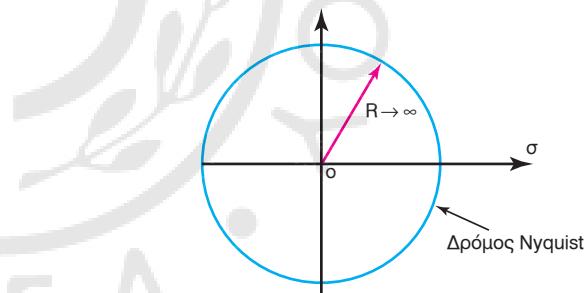
Μόνιμη απόκριση (steady state response) είναι εκείνο το τμήμα της χρονικής αποκρίσεως που δεν τείνει στο μηδέν, όταν ο χρόνος τείνει στο άπειρο, δηλαδή παραμένει ως απόκριση της μόνιμης καταστάσεως του συστήματος.

Έτσι η **ολική χρονική απόκριση** ενός γραμμικού

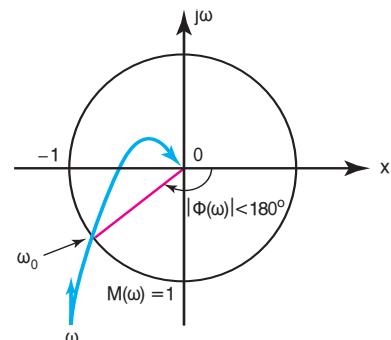


Σχ. 2.5δ.

a) Σχετική ευστάθεια με πόλους p (για $\operatorname{Re}(p) < -a$). b) Σχετική ευστάθεια με πόλους $p = \sigma + j\omega$ (για $\sigma/\omega = \varepsilon\varphi\varphi$).



Σχ. 2.5ε.
Δρόμος Nyquist.



Σχ. 2.5στ.

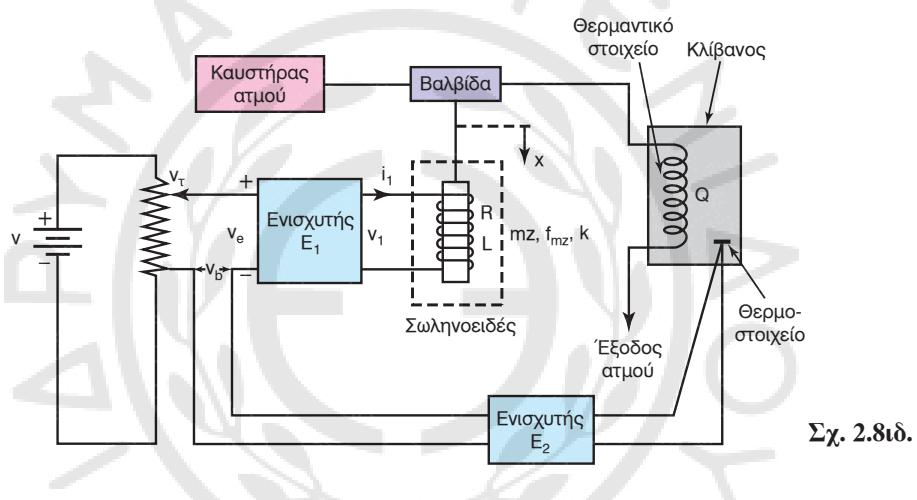
Σχετική ευστάθεια με κριτήριο Nyquist.

οπότε απευθείας δρόμος $G_1G_2G_3$ και κλάδοι αναδράσεως ($\frac{1}{G_1} + 1$)

$$G(s) = \frac{Y(s)}{\Omega(s)} = \frac{G_1G_2G_3}{1 + G_1G_2G_3(\frac{1}{G_1} + 1)} = \frac{G_1G_2G_3}{1 + G_2G_3 + G_1G_2G_3}$$

15. Δίνεται ένα σύστημα ελέγχου θερμοκρασίας, όπως φαίνεται στο υγήμα 2.8ιδ. Κάθε μεταβολή της θερμοκρασίας έχει ως αποτέλεσμα μεταβολή της τάσεως στα άκρα του θερμοστοιχείου, η οποία ενισχυόμενη από τον ενισχυτή κέρδους E_2 οδηγείται στην εύσοδο του διαφορικού ενισχυτή κέρδους E_1 . Με μείωση της τάσεως στα άκρα του θερμοστοιχείου προκαλείται αύξηση του θερμοστοιχείου i_1 , το οποίο επάγει μία δύναμη μετακινήσεως της μάζας mz , ώστε να ανοίξει περισσότερο η βαλβίδα ελέγχου παροχής του καυσίμου με συνέπεια την αύξηση της θερμοκρασίας του κλιβάνου στο επιθυμητό επίπεδο. Να βρεθούν:

- α) Το μοντέλο του συστήματος.
- β) Το δομικό διάγραμμα και το διάγραμμα ροής σημάτων και
- γ) η συνάρτηση μεταφοράς.



Λύση:

α) Το μοντέλο (εξισώσεις λειτουργίας) του συστήματος στο επίπεδο t και αντίστοιχα στο επίπεδο s (ευθύς μετασχηματισμός Laplace) είναι:

Διαφορική εξίσωση μοντέλου	Ευθύς μετασχηματισμός Laplace
$v_e(t) = v_r(t) - v_b(t)$	$V_e(s) = V_r(s) - V_b(s)$
$v_1(t) = E_1 v_e(t)$	$V_I(s) = E_1 V_e(s)$
$v_1(t) = R i_1(t) + L \frac{di_1(t)}{dt}$	$V_I(s) = (R + L s) I_I(s)$
$f_s(t) = K_s i_1(t)$	$F_s(t) = K_s I_I(s)$
$f_s(t) = MZ \frac{d^2x(t)}{dt^2} + f_{mz} \frac{dx(t)}{dt} + kx(t)$	$F_s(s) = (MZs^2 + f_{mz}s + k) X(s)$
$q(t) = k_1 x(t)$	$Q(s) = K_1 X(s)$
$\theta(t) = k_2 q(t)$	$\Theta(s) = K_2 Q(s)$
$v_b(t) = E_2 v_\theta(t)$	$V_b(s) = E_2 V_\theta(s)$
$v_\theta(t) = k_\theta \theta(t)$	$V_\theta(s) = K_\theta \Theta(s)$

ται σε θέση υψηλής πιέσεως. Η κίνηση του εμβόλου ανοίγει ή κλείνει τη βαλβίδα, ανάλογα με το σύστημα ελέγχου. Η σχέση που συνδέει τη μετατόπιση του εμβόλου με την πίεση που εφαρμόζεται στην είσοδο του συστήματος είναι:

$$\Delta x = \frac{A}{K} \Delta p \quad (3.21)$$

όπου:

Δx η μετατόπιση εμβόλου (m),
 Δp η εφαρμοζόμενη πίεση (Pa) και
 A το εμβαδόν διαφράγματος (m^2).

Τέλος υπάρχουν και πνευματικοί επενεργητές αντίστροφης φράξης (reverse actuators).

3.5 Μηχανικά εξαρτήματα.

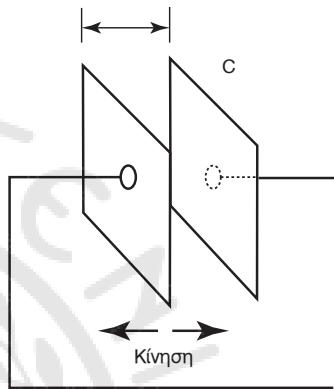
3.5.1 Μορφομετατροπέας μετατοπίσεως.

Ο πιο απλός μορφομετατροπέας μετατοπίσεως είναι το **ποτενσιόμετρο**. Η μετατόπιση του δοριμέα του ποτενσιόμετρου, ρυθμίζει την αντίσταση εξόδου και επομένως την τάση εξόδου. Έτσι μετατρέπει την ευθύγραμμη ή περιστροφική κίνηση σε ηλεκτρικό σήμα τάσεως. Άλλοι τύποι μορφομετατροπών μετατοπίσεως είναι διατάξεις μεταβαλλόμενης ηλεκτρικής χωρητικότητας ή μεταβαλλόμενης αυτεπαγωγής. Στην πρώτη περίπτωση, εφαρμόζεται η αρχή ότι η χωρητικότητα μιας διατάξεως είναι αντιστρόφως ανάλογη προς την απόσταση μεταξύ των δύο επιφανειών του πυκνωτή και ανάλογη προς την ενεργό επιφάνειά τους (σχ. 3.5α). Κατ' αυτόν τον τρόπο με μια μετατόπιση της μιας επιφάνειας, οι δύο επιφάνειες του πυκνωτή πλησιάζουν και η ηλεκτρική χωρητικότητα, αυξάνεται και αντίστροφα. Στη δεύτερη περίπτωση ο σιδηροπορήνας, ο οποίος είναι μαγνητικά διαπερατός μετακινούμενος μέσα στο πηνίο, μεταβάλλει την αυτεπαγωγή του πηνίου, μετατρέποντας την ευθύγραμμη ή περιστροφική κίνηση σε ηλεκτρικό σήμα (σχ. 3.5β).

3.5.2 Μετρητής τάσεως.

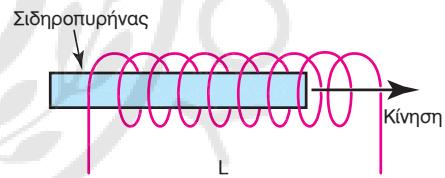
Ο **μετρητής τάσεως** ή **καταπονήσεως** (strain gage) είναι το σημαντικότερο εξάρτημα στα μηχανικά εξαρτήματα. Εφαρμόζεται στη μετρητή μηχανικών τάσεων, πιέσεων, επιταχύνσεων, ροών και άλλων φυσικών ποσοτήτων. Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στην ύπαρξη μηχανικής τάσεως, που μεταβάλλει την ηλεκτρική αντίσταση του μετρητή ο οποίος εί-

ναι κατασκευασμένος από λεπτό μεταλλικό σύρμα ή από λεπτό στρώμα ημιαγώγιμου υλικού. Ο μετρητής αποτελείται από μια σχάρα με λεπτό σύρμα, η οποία είναι κολλημένη με ειδική κόλλα πάνω σε ένα ψιλό χαρτί (σχ. 3.5γ). Το πίσω μέρος του μετρητή είναι κολλώδες, ώστε να μπορεί να προσκολλάται στην επιφάνεια του μετάλλου, του οποίου η τάση πρόκειται να μετρηθεί. Όταν ένα ψιλό σύρμα εφελκύεται λόγω μηχανικής τάσεως, αφ' ενός επιμηκύνεται και αφ' ετέρου η διατομή του συστέλλεται. Επειδή η με-



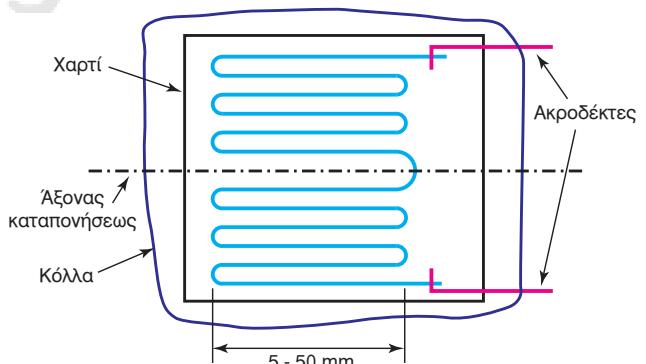
Σχ. 3.5α.

Μορφομετατροπέας μετατοπίσεως μεταβαλλόμενης χωρητικότητας.



Σχ. 3.5β.

Μορφομετατροπέας μετατοπίσεως με μεταβαλλόμενη αυτεπαγωγή.



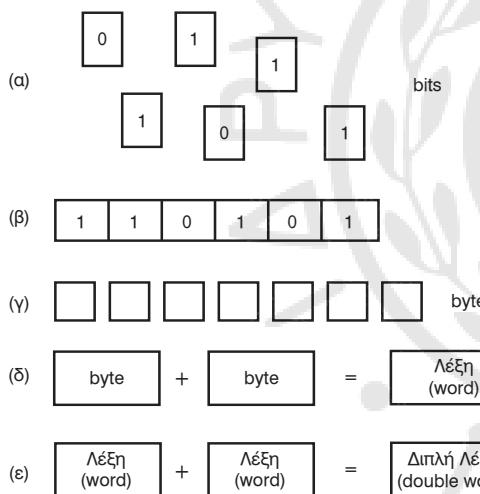
Σχ. 3.5γ.

Εφαρμογή μετρητή τάσεως για τη μέτρηση της καταπονήσεως ενός μετάλλου.

Κάθε βασικό στοιχείο μνήμης αποθηκεύει δύο καταστάσεις 0 ή 1. Αυτή είναι η μικρότερη δυνατή χωρητικότητα μνήμης και ονομάζεται **δυαδικό ψηφίο** ή **bit** (binary digit). Η μνήμη του ΠΛΕ αποτελείται από εκατομμύρια Bit που ταξινομούνται διαδοχικά, όπως δείχνει το σχήμα 7.4γ(β).

Οκτώ στοιχεία μνήμης ενός bit αποτελούν μια μνήμη χωρητικότητας ενός byte [σχ. 7.4γ(γ)]. Το Byte έχει επικρατήσει ως η συνηθέστερη μονάδα μετρήσεως της χωρητικότητας της μνήμης ενός ΠΛΕ. Συνήθως η χωρητικότητα της μνήμης εκφράζεται σε χιλιάδες byte που συμβολίζονται ως Kbyte (kilobyte). Μεγαλύτερες χωρητικότητες εκφράζονται σε εκατομμύρια byte, που συμβολίζονται ως M-byte (megabyte). Η χωρητικότητα της μνήμης ενός ΠΛΕ μπορεί να επεκτείνεται με κατάλληλες κάρτες σε χωρητικότητες μεγέθους MByte.

Τα byte της μνήμης του ΠΛΕ ταξινομούνται διαδοχικά. Καθένα χαρακτηρίζεται από τη διεύθυνση του, δηλαδή από έναν αριθμό, που δηλώνει τη θέση του στη διαδοχή των byte. Η διεύθυνση (address)



$\Sigma\chi$. 7.4 γ .

Μονάδες χωρητικότας μνήμης: bit, byte, word.

επιτρέπει να εντοπίζουμε μεταξύ όλων των byte της μνήμης εκείνο το συγκεκριμένο byte που μας ενδιαφέρει. Ο πίνακας 7.4.1 δείχνει αυτόν τον τρόπο αριθμοδοτήσεως των bytes της μνήμης ενός ΠΙΑΕ συνολικής ονομαστικής χωρητικότητας 64 KByte.

Ένα byte αποθηκεύει όλους τους συνδυασμούς των καταστάσεων των διαφορετικών bit που περιέχει. Επειδή κάθε bit αποθηκεύει 2 καταστάσεις και κάθε byte περιέχει 8 bit, ο αριθμός των συνδυασμών είναι 2^8 , δηλαδή 256 διαφορετικές καταστάσεις.

Η χωρητικότητα ενός byte χρησιμοποιείται για να αποθηκεύσει ακέραιους αριθμούς από το 0 έως το 255 εκφρασμένους στο δυαδικό σύστημα αριθμήσεως. Το παράδειγμα του πίνακα 7.4.2 δείχνει την αποθήκευση του δεκαδικού αριθμού 103 (δυαδικός αριθμός 01100111) σε ένα byte.

Επίσης, ένα byte χρησιμοποιείται, για να αποθηκεύεται διψήφιους ακέραιους αριθμούς από το 0 έως το 99 εκφρασμένους σε σύστημα BCD (Binary Coded Decimal). Στο σύστημα BCD κάθε ψηφίο του δε-

PINAKAΣ 7.4.1.

Οργάνωση της μνήμης του ΠΑΕ.

Διεύθυνση μνήμης	Περιεχόμενα byte
00000	0010 1010
00001	0001 0010
00002	1110 1001
...	...
...	...
65533	0001 0010
65534	1011 0010
65535	0011 0101

— 1 —

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.4.2.

Αποστηματική οντότητας αριθμών σε ενα byte.								
0	1	1	0	0	1	1	1	bit του byte
7	6	5	4	3	2	1	0	Εκθέτης του 2
128	64	32	16	8	4	2	1	Πολλαπλασιαστής
0	64	32	0	0	4	2	1	Μέλη του αθροίσματος

βλεψη ενός χειριστή, ο οποίος τοποθετεί τα υλικά προς συγκόλληση πάνω στη βάση της πρέσας. Ελέγχει την ενεργοποίηση του υδραυλικού κυλίνδρου και του θερμαντικού στοιχείου και, αφού ολοκληρώθει η συγκόλληση, απομακρύνει τα συγκολλημένα υλικά.

8.3.2 Στόχος του συστήματος αυτοματισμού.

Ο στόχος του συστήματος αυτοματισμού είναι η συγκεκριμένη συμπεριφορά, την οποία το σύστημα αυτοματισμού πρέπει να εξασφαλίζει. Ο στόχος συνδέεται στενά με την περιγραφή της διατάξεως ή εφαρμογής, επειδή έτσι αποκτά νόημα μόνο για τις συγκεκριμένες συνθήκες και προδιαγραφές του περιβάλλοντος του συστήματος αυτοματισμού. Εξάλλου, ακόμη και ένας στόχος που είναι επιθυμητός σε διαφορετικές εφαρμογές, μπορεί για κάποιες να είναι ανέφικτος ή αντιοικονομικός.

Στην περίπτωση του παραδείγματος της πρέσας συγκόλλησεως ο στόχος του συστήματος αυτοματισμού είναι πολλαπλός:

α) Το σύστημα αυτοματισμού πρέπει να συμπλέξει τα δύο υλικά για αρκετό χρονικό διάστημα έτσι ώστε οι επιφάνειες που θα συγκολληθούν να διατηρούνται σε επαφή. Οι δοκιμές συγκόλλησεως έδειξαν ότι το διάστημα αυτό δεν χρειάζεται να ξεπερνά τα 20 δευτερόλεπτα. Παρατεταμένη συμπίεση μπορεί να προξενήσει μόνιμη παραμόρφωση στα υλικά.

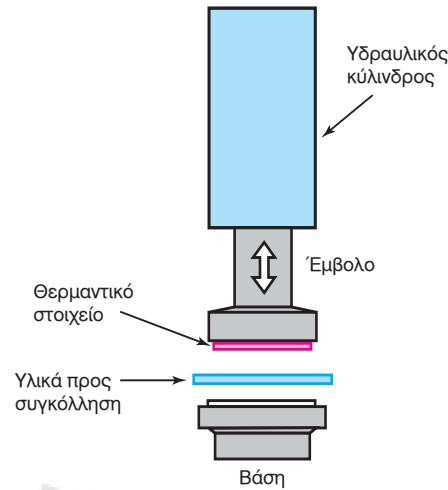
β) Ο αυτοματισμός πρέπει να διατηρεί τη θερμοκρασία της ενώσεως κάτω από τους 70°C . Υψηλότερες θερμοκρασίες αλλοιώνουν το πλαστικό υλικό και η αντοχή του συγκολλημένου υλικού μειώνεται.

γ) Ο αυτοματισμός πρέπει να εξασφαλίζει ότι ο χειριστής της πρέσας, αφού τροφοδοτήσει την πρέσα με υλικά, έχει απομακρύνει τα χέρια του από το σημείο της συγκόλλησεως. Κατά την κάθοδό του, το έμβολο κινείται πολύ γρήγορα και με μεγάλη δύναμη και αποτελεί κίνδυνο για το χειριστή.

Όπως παρουσιάζει το σχήμα 8.3β, οι επιμέρους στόχοι αφορούν σε στοιχεία στην περιοχή της συγκόλλησεως, διότι εκεί επιτελείται και η βασική λειτουργία της πρέσας.

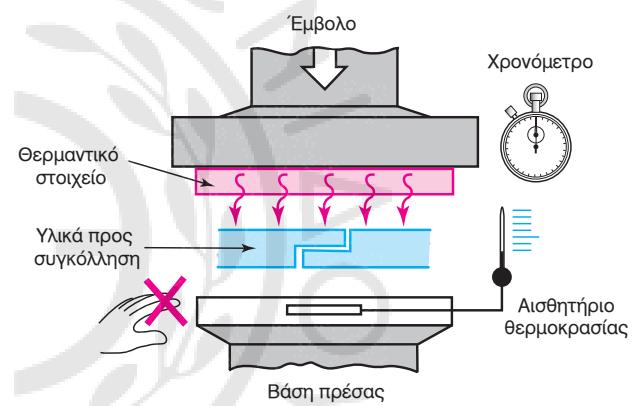
8.4 Περιγραφή σημάτων και συνδέσεων.

Η επιτυχημένη λύση αυτοματισμού με ΠΛΕ αξιοποιεί την υπολογιστική δύναμη και ευελιξία του ΠΛΕ, τον οποίο μπορούμε να προγραμματίσουμε, ώστε να επιτυγχάνει κατάλληλη επεξεργασία των πληροφοριών. Η μορφή αυτής της επεξεργασίας εξαρτάται από τις διαθέσιμες πληροφορίες. Άρα, η ανάπτυξη της λύσεως αυτοματισμού με ΠΛΕ προϋ-



Σχ. 8.3α.

Πρέσα (θερμής) συγκόλλησεως με ταυτόχρονη θέρμανση.



Σχ. 8.3β.

Η διαδικασία της θερμής συγκόλλησεως.

ποθέτει ότι καταρχήν γνωρίζομε ποιες είναι οι διαθέσιμες πληροφορίες και ποιο είναι το περιεχόμενό τους.

Ειδικότερα, η επεξεργασία της λύσεως αυτοματισμού στηρίζεται σε προηγούμενη αναγνώριση και καταγραφή:

- Των παραμέτρων, που το σύστημα αυτοματισμού δέχεται από το περιβάλλον και ονομάζονται **σήματα εισόδου** ή **μεταβλητές εισόδου** ή **απλά είσοδοι** και
- των παραμέτρων, που το σύστημα αυτοματισμού μπορεί να επηρεάζει και ονομάζονται **σήματα εξόδου** ή **μεταβλητές εξόδου** ή **απλά έξοδοι**.

8.4.1 Είσοδοι.

Κάθε σήμα εισόδου παράγεται από αντίστοιχο αισθητήριο ή διάταξη εισόδου. Η πιο σημαντική πληροφορία με ένα σήμα εισόδου είναι η

ρούσα ενότητα παρουσιάζει την υδραυλική-πνευματική διάταξη ελέγχου, που χρησιμοποιείται για αυτή τη συνεχή ρύθμιση των στροφών των ΜΕΚ και άλλων μηχανών.

9.3.1 Το πρόβλημα του ελέγχου.

Η ταχύτητα περιστροφής (στροφές ανά λεπτό) αποτελεί την κυριότερη παράμετρο λειτουργίας ενός θερμικού κινητήρα είτε πρόκειται για την κύρια μηχανή του πλοίου είτε για μηχανή, που κινεί βιοηθητικά συστήματα (π.χ. ηλεκτροπαραγωγή). Η διατήρηση σταθερών στροφών συνδέεται με βασικές απαιτήσεις ασφάλειας και αποτελεσματικότητας, όπως:

- Την ομαλή κίνηση του πλοίου, στην περίπτωση της κύρια μηχανής. Η ταχύτητα του πλοίου πρέπει να διατηρείται σταθερή παρά τις τυχόν διαταραχές της αντιστάσεως από τον άνεμο ή τον κυματισμό.
- Τη σταθερότητα της συχνότητας στο ηλεκτρικό δίκτυο, στην περίπτωση συγχρόνων ηλεκτροπαραγωγών. Η συχνότητα πρέπει να παραμένει στην ονομαστική τιμή, ανεξάρτητα από τις μεταβολές του φορτίου.

Σε όλες τις περιπτώσεις, η ρύθμιση των στροφών επιτυγχάνεται με την αλλαγή της ισχύος που παρέχεται στο θερμικό κινητήρα:

- Στις μηχανές ευωτερικής καύσεως (ΜΕΚ), στους αεριοστροβίλους (turbines) και στους αεριοπαραγωγούς (gaz generators), η ισχύς προσαρμόζεται αλλάζοντας την παροχή του καυσίμου, π.χ. μεταβάλλοντας τον εμβολισμό των αντλιών Bosch.
- Στους ατμοστροβίλους (και παλαιότερα τις ατμομηχανές), η ισχύς προσαρμόζεται μεταβάλλοντας την παρεχόμενη ποσότητα ατμού.

Έτσι, οι μεταβλητές του συστήματος ελέγχου στροφών είναι κοινές και παρουσιάζονται στον πίνακα του σχήματος 9.3α. Κάθε παράμετρος χαρακτηρίζεται ως έξοδος (ΕΞ) του συστήματος ή είσοδος (ΕΙΣ) του συστήματος ανοικτού βρόχου, δηλαδή του κινητήρα.

9.3.2 Ο φυγοκεντρικός ρυθμιστής στροφών.

Ο ρυθμιστής ταχύτητας που κατασκεύασε ο James Watt το 1788 είναι η πρώτη αποτελεσματική διάταξη ελέγχου των ατμομηχανών και, συνάμα, ο πρόγονος του σύγχρονου αυτοματισμού (σχ. 9.3β).

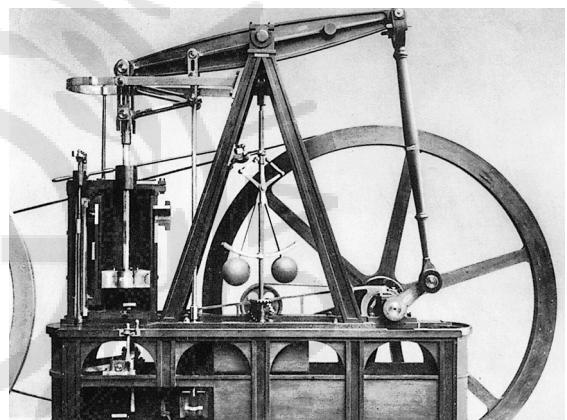
Το σχήμα 9.3γ παρουσιάζει την αρχή λειτουργίας του φυγοκεντρικού ρυθμιστή. Ο κινητήριος άξο-

νας της μηχανής περιστρέφει δύο ράβδους που φέρουν αντίβαρα. Η περιστροφή του άξονα αναπτύσσει «φυγόκεντρη» δύναμη, η οποία απομακρύνει τα αντίβαρα. Μέσω αρθρωτών συνδέσμων, η κίνηση των αντιβάρων μεταφέρεται στη βαλβίδα τροφοδοσίας της ατμομηχανής. Εάν η ταχύτητα είναι χαμηλή, τα αντίβαρα κινούνται προς τον άξονα και η θέση της βαλβίδας αλλάζει αυξάνοντας την παρε-

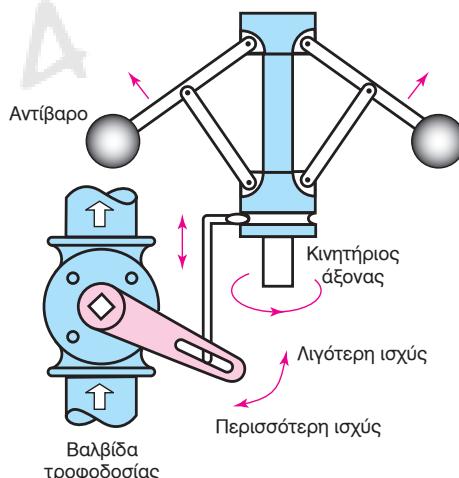
Παράμετρος	Χαρακτηρισμός
Ταχύτητα κινητήρα	Μετρούμενη μεταβλητή (ΕΞ)
Ροπή φορτίου	Διαταραχή (ΕΙΣ)
Παροχή ισχύος	Ελεγχόμενη μεταβλητή (ΕΙΣ)

Σχ. 9.3α.

Πίνακας μεταβλητών του συστήματος και χαρακτηρισμός τους.



Σχ. 9.3β.
Ατμομηχανή εφοδιασμένη με ρυθμιστή ταχύτητας.



Σχ. 9.3γ.

Αρχή λειτουργίας του φυγοκεντρικού ρυθμιστή στροφών (ρυθμιστής του Watt).

γωγή θερμότητας από τα σημεία έντονης θερμικής καταπονήσεως, όπως οι βαλβίδες ή οι θυρίδες εξαγωγής, τα οποία σύντομα καταρρέουν (καύγονται). Σε κάθε περίπτωση, και τα δύο παραπάνω φαινόμενα οδηγούν τον κινητήρα σε μη κανονικές συνθήκες λειτουργίας με χαμηλή ενεργειακή απόδοση και ατελή καύση, που παράγει ρύπους.

Ανάλογα, αν και λιγότερο έντονα, φαινόμενα συμβαίνουν και στη περίπτωση που η θερμοκρασία του λαδιού είναι χαμηλή. Το «ψυχρό» λάδι έχει αυξημένο ιξώδες, κάτι που δεν συμφωνεί με την προδιαγραφή σχεδιασμού των εδράσεων του κινητήρα. Επομένως, οι τριβές καταναλώνουν υπέροχερα μεγάλο ποσού της παρεχόμενης στον κινητήρα ισχύος, με αποτέλεσμα ο κινητήρας να λειτουργεί με μικρή απόδοση μηχανικής ισχύος και ατελή καύση που επιβαρύνει το περιβάλλον.

Επομένως, η διατήρηση της θερμοκρασίας λαδιού του κινητήρα συμβάλλει:

- Στον περιορισμό των απαιτήσεων έκτακτης συντηρήσεως του κινητήρα που επιδρά άμεσα στην αντίστοιχη εξοικονόμηση δαπανών συντηρήσεως και έμμεσα στη διασφάλιση της απρόσκοπτης λειτουργίας του πλοίου.
- Στην αποδοτική εκμετάλλευση του κινητήρα, που έχει επίπτωση όχι μόνο στο χαμηλότερο κόστος καυσίμου αλλά και στον περιορισμό της περιβαλλοντικής επιβαρύνσεως από τις εκπομπές καυσαερίων, τις διαρροές λιπαντικού κλπ.
- Στην ασφαλή λειτουργία και τη διάρκεια ζωής της μηχανής.

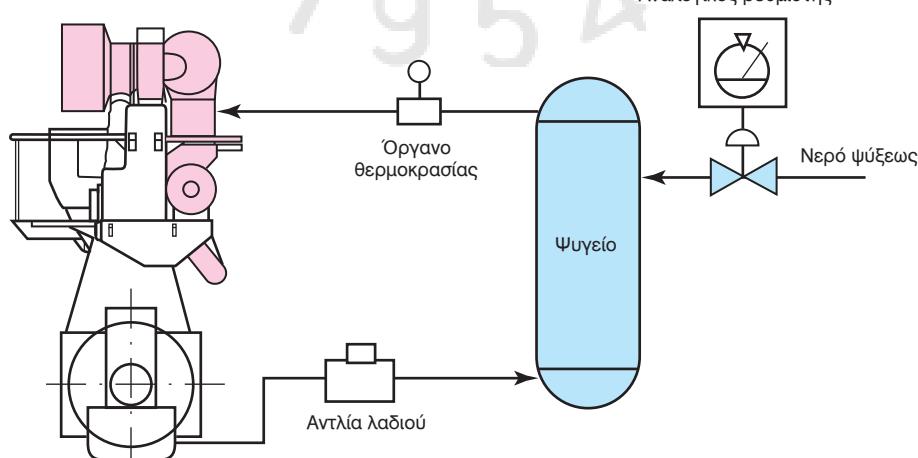
Το λάδι ψύχεται σε εναλλάκτη (ψυγείο), όπου

μεταφέρει τη θερμότητά του στο νερό ψύξεως. Στόχος του συστήματος ελέγχου είναι να ρυθμίζει τη ροή του νερού στο ψυγείο και να διατηρεί τη θερμοκρασία του λαδιού σταθερή παρά τις αλλαγές στις σημειώσεις και το φορτίο του κινητήρα.

9.4.2 Ο ηλεκτρονικός ρυθμιστής θερμοκρασίας.

Το σχήμα 9.4α παρουσιάζει τα κύρια στοιχεία του συστήματος ελέγχου της θερμοκρασίας του λαδιού του κινητήρα. Το σύστημα περιλαμβάνει:

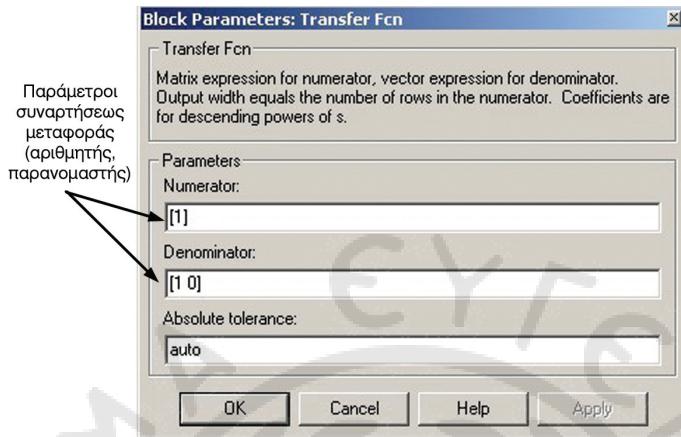
- **Αισθητήριο της θερμοκρασίας του λαδιού** (Temperature Transmitter, TT). Πρόκειται για αναλογικό στοιχείο ηλεκτρικής τάσεως αέρα που συνδέεται στη γραμμή προσαγωγής του λαδιού στη μηχανή.
- **Ηλεκτρονικό αναλογικό ρυθμιστή**. Ο ρυθμιστής φέρει όργανο με διπλή ένδειξη: τη μετρούμενη και την επιθυμητή θερμοκρασία του λαδιού. Ο χειριστής καταχωρεί τη θερμοκρασία αναφοράς τοποθετώντας το δείκτη της επιθυμητής θερμοκρασίας στην αντίστοιχη θέση.
- **Ενισχυτής θερμοκρασίας**. Μέρος του ρυθμιστή ο ενισχυτής θερμοκρασίας μετατρέπει τη χαμηλής ισχύος σήμα του ρυθμιστή σε συνεχές θερμοκρασία σταθερής τιμής, ανάλογης με το επίπεδο του σήματος.
- **Ηλεκτρικά ελεγχόμενη βαλβίδα ρυθμίσεως της παροχής του νερού ψύξεως**. Μέσω ενός σωληνοειδούς πηνίου, η βαλβίδα μετατρέπει τη ηλεκτρική θερμοκρασία σε μετακίνηση της θέσεως ενός διαφράγματος, που στραγγαλίζει ή απελευθερώνει τη ροή του νερού, το οποίο προσάγει η αντίλια νερού ψύξεως.



Σχ. 9.4α.

Ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου της θερμοκρασίας του λαδιού του κινητήρα.

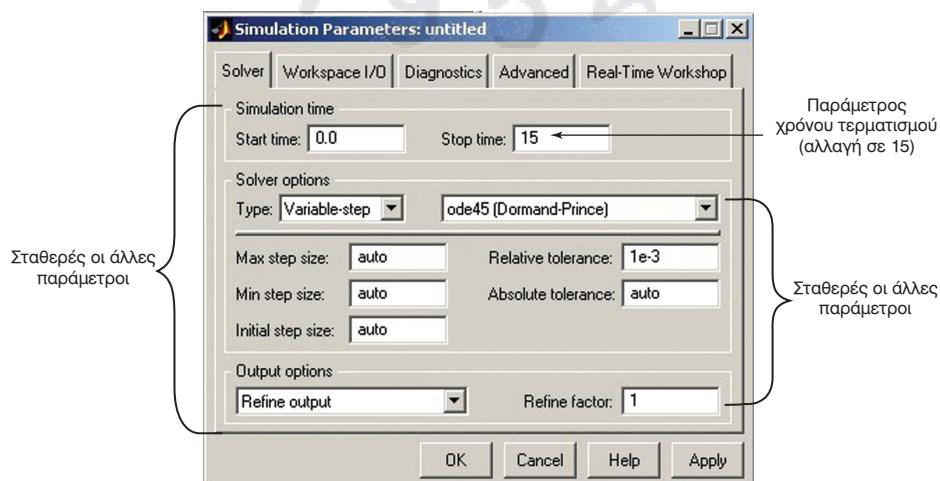
Στην επόμενη φάση του παραδείγματός μας, θα πρέπει να παραμετροποιήθουν τα μαθηματικά μοντέλα που αποτελούν το σύστημά μας. Για να εισάγουμε αυτά τα στοιχεία, κάνομε διπλό κλικ στο εικονίδιο TransferFcn, ανοίγει το παράθυρο ιδιοτήτων της TransferFcn (Block Parameters:transfer Fcn), και στις παραμέτρους Numerator (αριθμητής) και Denominator (παρονομαστής) εισάγουμε τη συνάρτηση μεταφοράς $G_c(s)$, όπως την εισάγουμε και στο περιβάλλον MATLAB, και επιλέγουμε OK (σχ. 10.5δ). Με τον ίδιο τρόπο εισάγουμε τη συνάρτηση μεταφοράς $G_p(s)$ στο εικονίδιο TransferFcn1.



Σχ. 10.5δ.

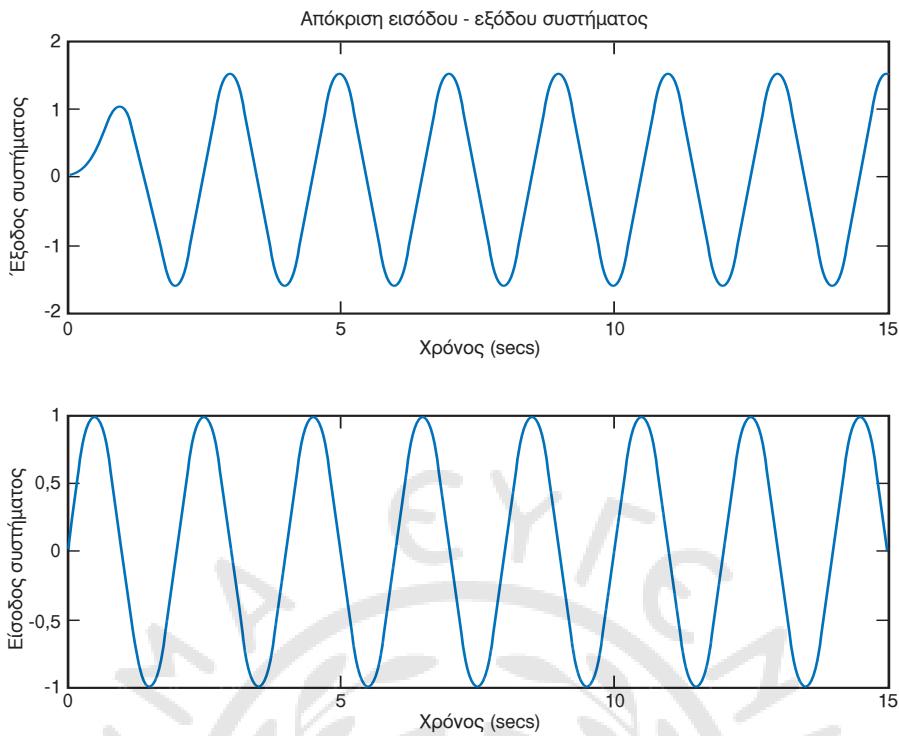
Εισαγωγή παραμέτρων συναρτήσεως μεταφοράς TransferFcn στο SIMULINK.

Έπειτα, αλλάζουμε την πράξη του αθροιστή, για να μη δημιουργηθεί θετική ανατροφοδότηση. Κάνομε διπλό κλικ στο εικονίδιό του, και στο πεδίο List of Signs, από $|++$, γράφουμε $|+-$ και επιλέγουμε OK. Στη συνέχεια, κάνομε διπλό κλικ στο εικονίδιο της βηματικής εισόδου Step και εκεί αν επιθυμούμε, αλλάζουμε τα χαρακτηριστικά της βηματικής εισόδου: χρόνος της αλλαγής (Step time), αρχική τιμή (Initial value) και τελική τιμή (Final Value). Για απλοποίηση, στο παράδειγμά μας, αφήνουμε τις προεπιλεγμένες τιμές (default values) και επιλέγουμε OK. Πριν εκτελέσουμε το παράδειγμα, πρέπει επίσης να καθορίσουμε τις τιμές που θα έχουν οι διάφορες παράμετροι της εξομοιώσεως. Έτοι από το μενού του παραθύρου **untitled** επιλέγουμε Simulation => Simulation Parameters μπορούμε να αλλάξουμε διάφορες παραμέτρους: το χρόνο ενάρξεως (Start time) και τερματισμού (Stop time) της εξομοιώσεως, τον αλγόριθμο αριθμητικής ολοκληρώσεως (Solver Options), καθώς και να κάνουμε και άλλες πιο προχωρημένες αλλαγές σε άλλες παράμετρους. Στο παράδειγμά μας αλλάζουμε το χρόνο τερματισμού στα 15. Η τελική εικόνα του παραδείγματός μας είναι η εξής (σχ. 10.5ε):



Σχ. 10.5ε.

Επιλογή παραμέτρων εξομοιώσεως στο SIMULINK.

**Σχ. 10.5ζ.**

Απόκριση γραμμικού συστήματος σε ημιτονοτειδή είσοδο.

10.6 Ερωτήσεις.

1. Σχεδιάστε τη γραφική απεικόνιση των συναρτήσεων:

- $y(t) = e^{-2t} \cos(2\pi t)$, για $0 \leq t \leq 2$
- $Z = f(x,y) = (x^4 - 8x^2 + 15) - (y^3 - y^2 - 1)$, για $-4 \leq x \leq 4, -4 \leq y \leq 4$.

2. Να βρεθεί η ολική συνάρτηση μεταφοράς του σχήματος 10.6.

Όπου:

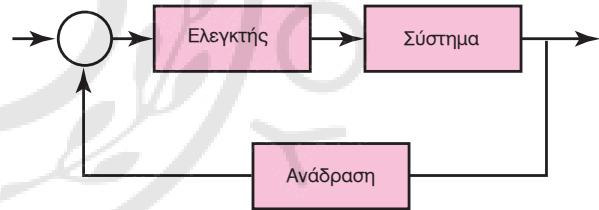
Συνάρτηση μεταφοράς συστήματος:

$$G(s) = \frac{1}{s^2 + 5}$$

Συνάρτηση μεταφοράς ελεγκτή: $G_C(s) = K_C$.

Συνάρτηση μεταφοράς αναδράσεως: $G_F(s) = s + 2$.

3. Θεωρήστε το ακόλουθο σύστημα:

**Σχ. 10.6.**

$$G(s) = \frac{1}{[(5s+1)(2s+1)(10s+1)]}$$

Να γίνουν οι βαθμονομήσεις ενός PID ελεγκτή με τη μέθοδο Zeigler-Nichols και να εξομοιώσετε το σύστημα στο παραθυρικό περιβάλλον simulink για μοναδιαία βηματική μεταβολή του σημείου αναφοράς: $K_u = 12.6$, $P_u = 15.1$.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1	Γενικά	1
1.2	Ιστορική εξέλιξη	1
1.3	Γενική περιγραφή συστημάτων αυτομάτου ελέγχου	3
1.3.1	Συστήματα ανοικτού βρόχου (open loop)	3
1.3.2	Συστήματα κλειστού βρόχου (closed loop)	3
1.4	Σύγκριση συστημάτων ανοικτού και κλειστού βρόχου	4
1.5	Παραδείγματα	5
1.6	Ερωτήσεις	6

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ ΑΝΑΛΥΣΗ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

2.1	Μετασχηματισμοί Laplace	7
2.1.1	Εισαγωγή	7
2.1.2	Ιδιότητες μετασχηματισμού Laplace	7
2.1.3	Αντίστροφος μετασχηματισμός Laplace	9
2.2	Συνάρτηση μεταφοράς	9
2.3	Χρονική απόκριση	11
2.3.1	Γενικά	11
2.3.2	Χρονικές συναρτήσεις εισόδου	12
2.3.3	Μορφές χρονικής αποκρίσεως	13
2.4	Χαρακτηριστικά και επιδόσεις συστημάτων ελέγχου	15
2.4.1	Εισαγωγή	15
2.4.2	Πλεονεκτήματα χρήσεως της αναδράσεως στα συστήματα αυτομάτου ελέγχου	15
2.4.3	Μειονεκτήματα της αναδράσεως στα συστήματα αυτομάτου ελέγχου	16
2.4.4	Ευαισθησία συστημάτων σε μεταβολές παραμέτρων	17
2.4.5	Σφάλματα στη μόνιμη κατάσταση	17
2.5	Ευστάθεια και μεταβατική συμπεριφορά	18
2.5.1	Ευστάθεια (stability)	18
2.5.2	Κριτήριο Routh	20
2.5.3	Σχετική ευστάθεια	20
2.5.4	Κριτήριο Nyquist	21
2.5.5	Μεταβατική συμπεριφορά	21
2.6	Αρμονική απόκριση	22
2.6.1	Γενικά	22
2.6.2	Διαγράμματα μετρου - φάσεως	22
2.7	Άλγεβρα βαθμίδων και διαγραμμάτων ροής σημάτων	22
2.7.1	Άλγεβρα βαθμίδων	22
2.7.2	Άλγεβρα διαγραμμάτων ροής σημάτων	24
2.8	Παραδείγματα	25
2.9	Ερωτήσεις	36

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΟΡΓΑΝΩΝ**

3.1	Εισαγωγή	39
3.2	Ηλεκτρικά και ηλεκτρομηχανολογικά εξαρτήματα	39
3.2.1	Ποτενσιόμετρο για τη μέτρηση της τάσεως	39
3.2.2	Ποτενσιόμετρο για μέτρηση σφάλματος (συγκριτής)	39
3.2.3	Μορφομετατροπέις	40
3.2.4	Συγχρονοσυστήματα	41
3.2.5	Σερβοκινητήρες	42
3.2.6	Ταχύμετρο	44
3.3	Ηλεκτρονικά εξαρτήματα	44
3.3.1	Τελεστικός ενισχυτής	44
3.3.2	Μη αναστροφικός ενισχυτής	46
3.3.3	Διαφορικός ενισχυτής	46
3.3.4	Ολοκληρωτής	47
3.3.5	Διαφοριστής	47
3.3.6	Ειδικά κυκλώματα	47
3.4	Πνευματικά εξαρτήματα	47
3.4.1	Μετατροπέας ρεύματος σε πίεση	47
3.4.2	Πνευματικός επενεργητής	48
3.5	Μηχανικά εξαρτήματα	49
3.5.1	Μορφομετατροπέας μετατοπίσεως	49
3.5.2	Μετρητής τάσεως	49
3.5.3	Επιταχυνσιόμετρο	50
3.5.4	Μορφομετατροπέας πίεσεως	50
3.5.5	Μορφομετατροπέας ροής	51
3.5.6	Οδοντωτοί τροχοί	51
3.5.7	Υδραυλικός σερβοκινητήρας	52
3.6	Μετρητές θερμοκρασίας	52
3.7	Ερωτήσεις	54

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ
ΕΛΕΓΚΤΕΣ**

4.1	Εισαγωγή	55
4.2	Τύποι ελέγχου	55
4.2.1	Έλεγχος μοναδικού βρόχου	55
4.2.2	Έλεγχος λόγου	56
4.2.3	Διαδοχικός έλεγχος	56
4.2.4	Έλεγχος προσμείξεως	56
4.3	Συντονισμός ελεγκτών	56
4.4	Έλεγχος τριών όρων	57
4.5	Τεχνολογία ελεγκτών	59
4.5.1	Πνευματικά και υδραυλικά συστήματα (ελεγκτές)	59
4.5.2	Ηλεκτρικοί ελεγκτές	62
4.5.3	Ηλεκτρονικοί ελεγκτές	62
4.5.4	Ψηφιακοί ελεγκτές	65
4.6	Ερωτήσεις	67

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ
ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΘΕΩΡΙΑ**

5.1	Εισαγωγή	69
-----	----------------	----

5.2	Μεταβλητές καταστάσεως	69
5.3	Μετασχηματισμός Z	70
5.4	Ψηφιακά συστήματα ελέγχου	71
5.5	Ηλεκτρονικά κυκλώματα προσαρμογής (interface)	72
5.6	Μη γραμμικά συστήματα ελέγχου	74
5.7	Ευφυής έλεγχος	75
5.8	Τεχνητά νευρωνικά δίκτυα	77
5.9	Ερωτήσεις	78

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΛΟΓΙΚΟΥ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

6.1	Γενικά	79
6.2	Η διαδικασία υχεδιάσεως	79
6.3	Λογικός αυτοματισμός και συνδυαστικός αυτοματισμός	79
6.3.1	Διατύπωση πίνακα αληθείας	80
6.3.2	Οι λογικές πράξεις και οι λογικές πύλες	82
6.3.3	Η λογική παράσταση	83
6.4	Ακολουθιακός αυτοματισμός	84
6.4.1	Μέθοδος προδιαγραφής GRAFCET	84
6.4.2	Κανόνες της GRAFCET	85
6.5	Ερωτήσεις	86

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΙ ΛΟΓΙΚΟΙ ΕΛΕΓΚΤΕΣ

7.1	Εισαγωγή	87
7.2	Κύρια μέρη του ΠΛΕ	87
7.2.1	Επεξεργαστής	88
7.3	Λειτουργία και χαρακτηριστικά του ΠΛΕ	88
7.4	Διαχείριση δεδομένων	89
7.4.1	Η μεταφορά των δεδομένων στον ΠΛΕ	91
7.4.2	Η χρήση της μεταφοράς δεδομένων στον προγραμματισμό	93
7.5	Οργάνωση προγράμματος	94
7.5.1	Εντολές κλήσεως υποπρογράμματος	96
7.5.2	Το υποπρόγραμμα λειτουργιών (function)	96
7.6	Απαριθμητές – Συγκριτές	98
7.6.1	Δομή της λέξεως του απαριθμητή	98
7.6.2	Λειτουργίες των απαριθμητών	98
7.6.3	Είδη και λειτουργία των συγκριτών	102
7.7	Αναλογικές είσοδοι	103
7.7.1	Αναλογο-ψηφιακή μετατροπή	104
7.7.2	Η εφαρμογή αναλογικών εισόδων στους ΠΛΕ	106
7.8	Αναλογικές έξοδοι	107
7.8.1	Ο τελευτικός ενισχυτής ως βαθμίδα εξόδου	107
7.8.2	Μετατροπή με αθροιστή	108
7.8.3	Η εφαρμογή αναλογικών εξόδων στους ΠΛΕ	109
7.9	Διόρθωση και ανίχνευση βλαβών	110
7.10	Ερωτήσεις	110

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΟΟ ΕΠΙΛΥΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΩΝ ΛΟΓΙΚΩΝ ΕΛΕΓΚΤΩΝ

8.1	Γενικά	111
-----	--------------	-----

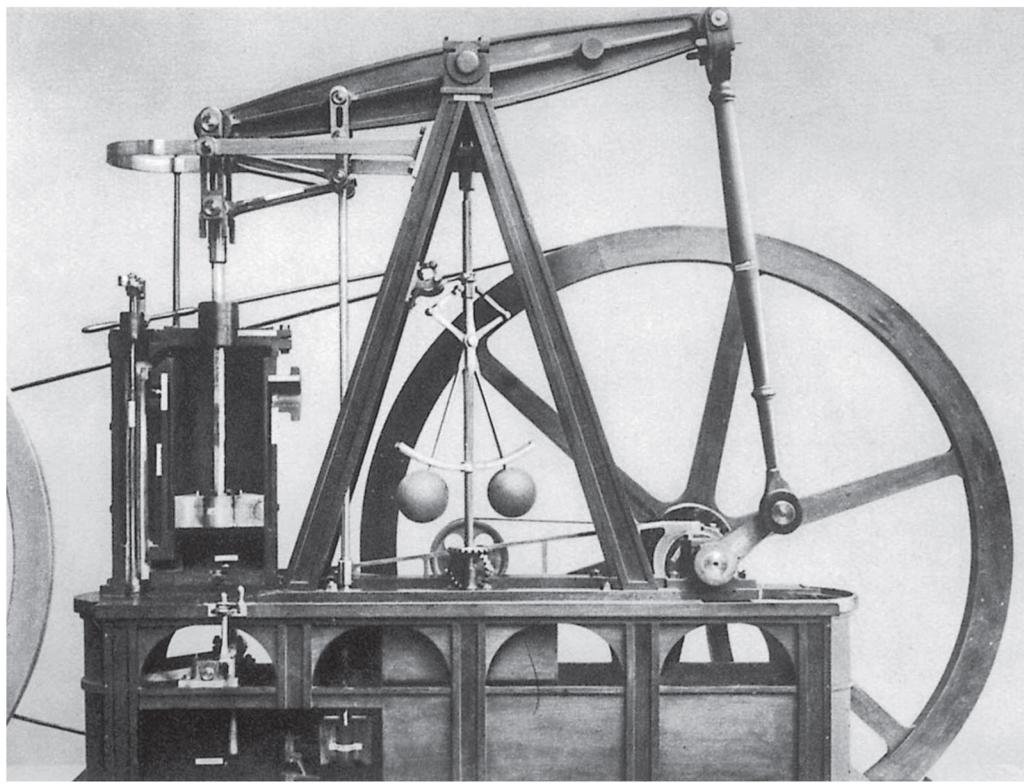
8.2	Διαδικασία επιλύσεως και τεκμηριώσεως	111
8.3	Περιγραφή του προβλήματος	111
8.3.1	Περιβάλλον του συστήματος αυτοματισμού	111
8.3.2	Στόχος του συστήματος αυτοματισμού	112
8.4	Περιγραφή σημάτων και συνδέσεων	112
8.4.1	Είσοδοι	112
8.4.2	Έξοδοι	114
8.5	Περιγραφή της λύσεως αυτοματισμού	115
8.6	Συνδεσμολογία και προγραμματισμός του ΠΛΕ	116
8.7	Παράδειγμα: έλεγχος θέσεως	117
8.7.1	Περιβάλλον και στόχος του συστήματος αυτοματισμού	117
8.7.2	Περιγραφή εισόδων	118
8.7.3	Περιγραφή εξόδων	119
8.7.4	Περιγραφή της λύσεως αυτοματισμού	120
8.7.5	Συνδεσμολογία και προγραμματισμός του ΠΛΕ	120
8.8	Παράδειγμα: έλεγχος στάθμης	121
8.8.1	Περιβάλλον και στόχος του συστήματος αυτοματισμού	121
8.8.2	Περιγραφή εισόδων και εξόδων	122
8.8.3	Περιγραφή της λύσεως αυτοματισμού	123
8.8.4	Συνδεσμολογία και προγραμματισμός του ΠΛΕ	124
8.9	Ερωτήσεις	124

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΑΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ ΠΛΟΙΩΝ

9.1	Γενικά	125
9.2	Πνευματικός έλεγχος στάθμης ατμοϋδροθαλάμου λέβητα	125
9.2.1	Το πρόβλημα του ελέγχου	125
9.2.2	Το σύστημα ελέγχου της στάθμης	126
9.2.3	Σύνοψη	128
9.3	Υδραυλικός ρυθμιστής στροφών κινητήρα (Woodward Governor)	128
9.3.1	Το πρόβλημα του ελέγχου	129
9.3.2	Ο φυγοκεντρικός ρυθμιστής στροφών	129
9.3.3	Σύνοψη	131
9.4	Ηλεκτρονικός έλεγχος θερμοκρασίας λιπαντικού κύριας μηχανής	131
9.4.1	Το πρόβλημα του ελέγχου	131
9.4.2	Ο ηλεκτρονικός ρυθμιστής θερμοκρασίας	132
9.4.3	Σύνοψη	133
9.5	Αυτόματη ρύθμιση στροφών έλικας πλοίου	133
9.5.1	Το πρόβλημα του ελέγχου	133
9.5.2	Ο ηλεκτρονικός έλεγχος στροφών ηλεκτροκινητήρα	134
9.5.3	Σύνοψη	134
9.6	Έλεγχος της πορείας του πλοίου	134
9.6.1	Το πρόβλημα του ελέγχου πορείας	134
9.6.2	Το σύστημα ελέγχου πορείας	135
9.6.3	Σύνοψη	135
9.7	Ερωτήσεις	136

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΕ MATLAB

10.1	Γενικά	137
10.2	Εισαγωγή στο MATLAB	137
10.2.1	Είσοδος – έξοδος από το MATLAB	137
10.2.2	Χειρισμός διανυσμάτων	137



Ατμομηχανή (τέλη του 18ου αι.), εφοδιασμένη με ρυθμιστή του Watt για την αυτόματη διατήρηση σταθερής ταχύτητας περιστροφής.