

Αυτόματος Έλεγχος

Μια φθηνή και ανεξάντλητη τεχνολογία με εφαρμογές σε πολλές πλευρές της ανθρώπινης δραστηριότητας.

του Π.Ν.Παρασκευόπουλου

Περίληψη

Ο αυτόματος έλεγχος είναι σήμερα μία από τις σημαντικότερες περιοχές της επιστήμης και της τεχνολογίας και είναι συνυφασμένος με την τεχνολογική πρόοδο και την ανάπτυξη. Οι πρακτικές εφαρμογές του καλύπτουν επιτυχώς σύνθετα και πολύπλοκα συστήματα, γεγονός που ενισχύει το ρόλο του αυτοματισμού σε πολλούς τομείς, όπως είναι οι βιομηχανίες και βιοτεχνίες, η παραγωγή και διανομή ενέργειας, οι τηλεπικοινωνίες, τα επίγεια, θαλάσσια και εναέρια συστήματα μεταφοράς, η γεωργία και κτηνοτροφία, η βιολογία, η υγεία, η καταπολέμηση της μόλυνσης του περιβάλλοντος, η μείωση των εργατικών ατυχημάτων, τα οπλικά συστήματα, τα ρομπότ κ.λ.π. Ο αυτόματος έλεγχος συμβάλλει σημαντικά στην οικονομική ανάπτυξη, στην αύξηση της παραγωγικότητας, στη βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων, στη βελτίωση των διαδικασιών παραγωγής, στην αύξηση της ανταγωνιστικότητας, στη

βελτίωση της ποιότητας ζωής, στην προστασία της φύσης, κ.λ.π.

1. Γενικά περί συστημάτων αυτόματου ελέγχου

Σύστημα αυτομάτου ελέγχου είναι ένα σύστημα, που τα διάφορα μέρη του είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους, έτσι ώστε να συμπεριφέρονται αυτόματα κατά ένα προκαθορισμένο επιθυμητό τρόπο.

Μια προσεκτική εξέταση των διαφόρων μηχανημάτων που κατασκευάζει σήμερα ο άνθρωπος, θα μας πείσει ότι σχεδόν πάντοτε, τα μηχανήματα αυτά λειτουργούν, εν μέρει ή εξολοκλήρου, αυτόματα. Ως παραδείγματα αναφέρουμε το ψυγείο, το θερμοσίφωνο, το πλυντήριο ρούχων, τον υπολογιστή, τον πυρηνικό αντιδραστήρα, το ρομπότ, το διαστημόπλοιο, κ.ά. Οι διάφορες βιομηχανίες λειτουργούν επίσης, εν μέρει ή εξολοκλήρου, αυτόματα, όπως π.χ. οι βιομηχανίες παραγωγής ζάχαρης, λιπάσματος, χάρτου, τοιμέντου, αυτοκινήτων, κ.λ.π. Από τα παραδείγματα αυτά βγαίνει το συμπέρασμα ότι ο αυτοματισμός είναι πολύ διαδεδομένος στον τεχνικό κόσμο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ένας από τους κύριους σκοπούς της σύγχρονης τεχνολογίας είναι η κατά το δυνατόν μείωση της

συμμετοχής του ανθρώπου στη λειτουργία των μηχανημάτων και των εργοστασίων. Η μείωση αυτή έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του κόστους της εργασίας, γεγονός που επιτρέπει σήμερα στον άνθρωπο να κατασκευάζει πολλά έργα και να παράγει πολλά αγαθά. Επί πλέον, ο αυτοματισμός, μειώνοντας τη συμμετοχή του ανθρώπου στη διαδικασία της παραγωγής, έχει περιορίσει τις ώρες εργασίας, αυξάνοντας έτσι, το διαθέσιμο χρόνο για ανάπαυση, διασκέδαση, κ.λ.π.

Ο αυτοματισμός είναι μία πρακτική που δεν συναντάται μόνο στην τεχνολογία αλλά και στην οικονομία, στη διοίκηση, στις ανθρωπιστικές επιστήμες, στη βιολογία, κ.λ.π. Ειδικά δε για τη βιολογία μπορούμε να πούμε ότι, τόσο ο φυτικός όσο και ο ζωικός κόσμος, όχι μόνο κυριαρχούνται από τον αυτοματισμό, αλλά και ότι οφείλουν την ύπαρξή τους σ' αυτόν. Εξετάστε π.χ. τον άνθρωπο. Ο άνθρωπος είναι ένα πολύπλοκο σύστημα, όπου ένας μεγάλος αριθμός διαδικασιών ρυθμίζεται αυτόματα. Π.χ. η πέψια, η δίψα, η πέψη, η διατήρηση της θερμοκρασίας του σώματος, η κυκλοφορία του αίματος, η αναπνοή, η αναπαραγωγή κντάρων, η επούλωση μιάς πληγής, κ.λ.π. Η σύγχρονη επιστήμη των συστημάτων αυ-

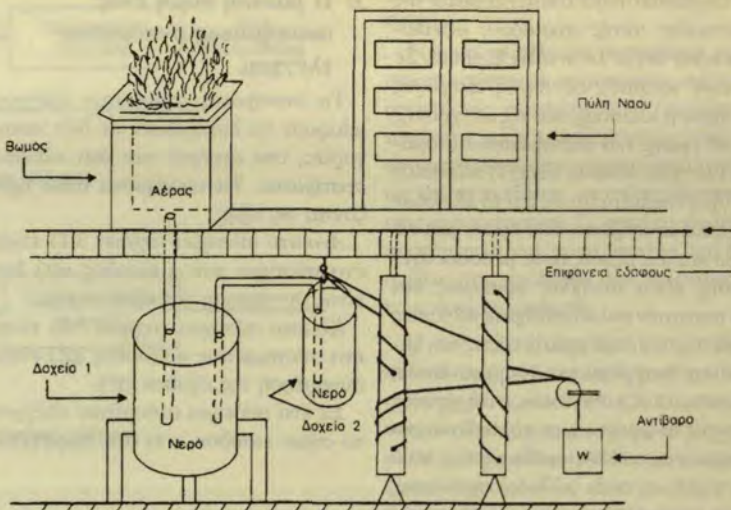
Ο Π.Ν.Παρασκευόπουλος είναι Καθηγητής Αυτομάτου Ελέγχου, στον Τομέα Πληροφορικής, του Τμ. Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, του Ε.Μ.Π.

τομάτου ελέγχου, προσπαθεί, και έχει επιτύχει σε μερικές περιπτώσεις, να αντικαταστήσει μερικούς βιολογικούς μηχανισμούς. Π.χ. έχει επιτύχει να αντικαταστήσει το μέρος ενός κομένου χεριού στο σημείο του καρπού, με ένα τεχνητό χέρι που τα δάκτυλά του μπορούν να κάνουν μερικές απλές κινήσεις αυτόματα, όπως δηλαδή συμβαίνει με το ανθρώπινο χέρι.

2. Σύντομη ιστορική ανασκόπηση των συστημάτων αυτόματου ελέγχου

Ο αυτοματισμός είχε επινοηθεί από την αρχαιότητα. Ένα γνωστό αρχαίο σύστημα αυτόματου ελέγχου είναι ο ρυθμιστής του Ήρωνος του Αλεξάνδρου (σχήμα 2.1). Ο ρυθμιστής αυτός είχε σχεδιασθεί, έτσι ώστε, η πύλη ενός ναού άνοιγε αυτόματα όταν άναβε η φωτιά στο βωμό και έκλεινε όταν έσβυνε η φωτιά. Ο αυτοματισμός αυτός επιτυγχανόταν ως εξής: Η φωτιά ζεσταίνει τον αέρα κάτω από το βωμό, ο δε ζεστός αέρας έσπρωχνε το νερό από το δοχείο 1 στο δοχείο 2. Το δοχείο 1 παρέμενε ακίνητο, ενώ το δοχείο 2 ήταν κρεμασμένο με σχοινιά που ήταν τυλιγμένα κατάλληλα σε ένα μηχανισμό με ένα αντίβαρο W. Όταν το δοχείο 2 ήταν άδειο, ο μηχανισμός αυτός, κάτω από το βάρος του αντίβαρου, κρατούσε τη πύλη κλειστή. Όταν στο δοχείο 2 έμπαινε αρκετό νερό από το δοχείο 1, το δοχείο 2 κατέβαινε προς τα κάτω ενώ το αντίβαρο ανέβαινε προς τα πάνω, με αποτέλεσμα ο μηχανισμός με τα σχοινιά να ανοίγει την πύλη. Όταν έσβυνε η φωτιά, το νερό από το δοχείο 2 επέστρεφε στο δοχείο 1 και το αντίβαρο κατέβαινε προς τα κάτω, ενώ το δοχείο 2 ανέβαινε προς τα πάνω, με αποτέλεσμα να κλείνει η πύλη. Ο ρυθμιστής αυτός χρησιμοποιούνταν, κατά πάσα πιθανότητα, για να εντυπωσιάζει τους πιστούς, δεδομένου ότι το σύστημα αυτοματισμού ήταν κρυμμένο μέσα στο έδαφος.

Μέχρι τα μέσα του 18ου αιώνα, ο αυτοματισμός δεν έχει να επιδείξει αξιόλογα επιτεύγματα. Το έτος 1769, ο James Watt κατασκεύασε τον πρώτο φυγοκεντρικό ρυθμιστή ταχύτητας (σχήμα 2.2) ο οποίος χρησιμοποιήθηκε ευρέως στη βιομηχανία για τον αυτόματο έλεγχο ατμομηχανών. Συγκεκρι-



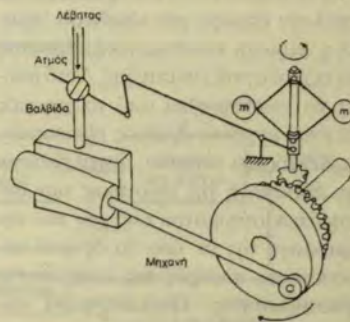
Σχήμα 2.1. Ο ρυθμιστής του Ήρωνος του Αλεξάνδρου.

μένα, ο ρυθμιστής αυτός χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο της ταχύτητας της ατμομηχανής. Ο έλεγχος επιτυγχάνεται ως εξής: Όταν η γωνιακή ταχύτητα της ατμομηχανής αυξάνεται, η φυγοκεντρική δύναμη σπρώχνει τις μάζες m προς τα πάνω, με αποτέλεσμα η βαλβίδα του ατμού να κλείνει. Καθώς η βαλβίδα του ατμού κλείνει, ο ατμός που μπαίνει στη μηχανή από τον λέβητα μειώνεται, με αποτέλεσμα να μειώνεται και η γωνιακή ταχύτητα της ατμομηχανής. Και αντίστροφα, όταν η γωνιακή ταχύτητα της ατμομηχανής μειώνεται, οι μάζες κατεβαίνουν, η βαλβίδα του ατμού ανοίγει, αυξάνει ο ατμός που μπαίνει στη μηχανή, με αποτέλεσμα να αυξηθεί και η γωνιακή ταχύτητα.

Η περίοδος μέχρι το 1868 χαρακτηρίζεται ως μία περίοδος όπου ο αυτοματισμός αναπτύχθηκε αρκετά αλλά από διαίσθηση μόνο, χωρίς δηλαδή μία θεωρητική μαθηματική βάση. Το κενό αυτό συμπλήρωσαν ο Maxwell το 1868 και ο Vyshnegradskii το 1877, οι οποίοι έδωσαν τις πρώτες μαθηματικές βάσεις του αυτοματισμού εφαρμόζοντας τα θεωρητικά (μαθηματικά) τους αποτελέσματα, κυρίως, στον φυγοκεντρικό ρυθμιστή του Watt. Σημαντικά επίσης ήταν και τα αποτελέσματα του Routh το 1877.

Τα συστήματα αυτόματου ελέγχου αναπτύχθηκαν ραγδαία τα τελευταία εξήντα χρόνια. Σημαντικό σταθμό στην ιστορία των συστημάτων αυτόματου ε-

λέγχου, αποτελεί η δεκαετία του '30 κατά την οποία εμφανίσθηκαν αξιόλογα θεωρητικά και πρακτικά αποτελέσματα, όπως αυτά του Nyquist και του Black. Τα επόμενα έτη, και κυρίως κατά τη διάρκεια του Β' παγκοσμίου πολέμου και μέχρι το έτος 1957 περίπου, σημειώθηκε περαιτέρω αξιόλογη έρευνα που χαρακτηρίζεται σήμερα ως κλασική θεωρία των συστημάτων αυτόματου ελέγχου. Τα σημαντικότερα επιτεύγματα της περιόδου αυτής οφείλονται στον Nichols, στον Bode, στον Wiener και στον Evans. Τα διάφορα επιτεύγματα από το 1957 μέχρι σήμερα έδωσαν μια νέα διάσταση και μια μεγάλη ώθηση στον αυτοματισμό και χαρακτηρίζονται ως σύγχρονη θεωρία των συστημάτων αυτόματου ελέγχου.



Σχήμα 2.2. Ο φυγοκεντρικός ρυθμιστής ταχύτητας του Watt.

Τα σημαντικότερα αποτελέσματα της τελευταίας αυτής περιόδου, οφείλονται κατά κύριο λόγο στον Kalman. Σε γενικές γραμμές, οι κύριες διαφορές μεταξύ της κλασικής και της σύγχρονης προσέγγισης των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου, είναι οι εξής: Ο κλασικός έλεγχος αναφέρεται ως επί το πλείστον σε απλά συστήματα που έχουν μία είσοδο και μία έξοδο, οι δε μέθοδοι σχεδίασης είναι συνήθως γραφικές και δεν απαιτούν πολλά μαθηματικά (όπως είναι π.χ. ο γεωμετρικός τόπος των ριζών, τα διαγράμματα Nyquist, Bode, Nichols, κ.λ.π.). Αντίθετα, ο σύγχρονος έλεγχος αναφέρεται σε πολύπλοκα συστήματα με πολλές εισόδους και πολλές εξόδους, οι δε μέθοδοι σχεδίασης είναι ως επί το πλείστον αναλυτικές, γεγονός που απαιτεί πολλά μαθηματικά (όπως είναι π.χ. ο χώρος κατάστασης, ο βέλτιστος και στοχαστικός έλεγχος, ο προσαρμοστικός έλεγχος, ο ψηφιακός έλεγχος, κ.λ.π.). Από πλευράς εφαρμογών, τόσο οι κλασικές, όσο και οι σύγχρονες μέθοδοι σχεδίασης, συναντώνται σε όλες σχεδόν τις μορφές της σημερινής τεχνολογίας. Είναι προφανές ότι επειδή ο κλασικός έλεγχος, σε σύγκριση με τον σύγχρονο έλεγχο, είναι σχετικά πιο εύκολος, τόσο από θεωρητικής πλευράς όσο και από πλευράς εφαρμογών, ο μηχανικός έλεγχου επιβάλλεται να ακολουθεί, σε γενικές γραμμές, την εξής τακτική: Στις περιπτώσεις που οι απαιτήσεις σχεδίασης δεν είναι μεγάλες, να εφαρμόζει τις κλασικές τεχνικές ελέγχου, ενώ στις περιπτώσεις που οι απαιτήσεις σχεδίασης είναι μεγάλες (όπως π.χ. σε ταχύτητα, σε ακρίβεια, κ.λ.π.), να εφαρμόζει τις σύγχρονες τεχνικές ελέγχου.

Τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου αποτελούν σήμερα μία ιδιαίτερα αξιόλογη περιοχή επιστημονικής έρευνας και τεχνολογικής ανάπτυξης. Αυτό μπορεί να υποστηριχθεί από το γεγονός ότι ένας μεγάλος αριθμός ερευνητών, σε παγκόσμια κλίμακα, ασχολείται με την προαγωγή της επιστήμης των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου και την εφαρμογή της σε όσο το δυνατό περισσότερες πλευρές της ανθρώπινης δραστηριότητας. Παραδείγματα συστημάτων αυτομάτου ελέγχου που αντικατοπτρίζουν τη σύγχρονη εξέλιξη του αυτοματισμού, δίνονται στο εδάφιο 4 του άρθρου αυτού.

3. Η βασική δομή ενός συστήματος αυτόματου ελέγχου

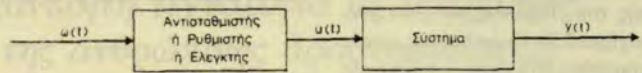
Τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες, στα ανοικτά και στα κλειστά συστήματα. Τα συστήματα αυτά ορίζονται ως εξής:

Ανοικτό σύστημα (σχήμα 3.1) είναι ένα σύστημα που η είσοδος $u(t)$ δεν είναι συνάρτηση της εξόδου $y(t)$.

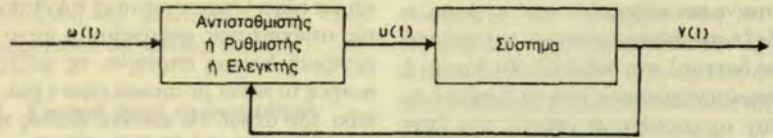
Κλειστό σύστημα (σχήμα 3.2) είναι ένα σύστημα που η είσοδος $u(t)$ είναι συνάρτηση της εξόδου $y(t)$.

Σε ένα σύστημα αυτομάτου ελέγχου το σήμα εισόδου $u(t)$ δεν παράγεται

θερμοκρασία του νερού που περιέχει το θερμοσίφωνα. Η θερμοκρασία του νερού προκαθορίζεται να κυμαίνεται από 65° έως 70° . Το νερό θερμαίνεται από έναν ηλεκτρικό αντιστάτη από τον οποίο διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα. Ως ρυθμιστής, συνήθως χρησιμοποιείται ένας θερμοστάτης που είναι κατασκευασμένος, έτσι ώστε, να ενεργεί ως διακόπτης ως εξής: Όταν η θερμοκρασία του νερού φθάσει τους 70° , ο διακόπτης ανοίγει, οπότε διακόπτεται η τροφοδοσία του ηλεκτρικού ρεύματος στον αντιστάτη. Στη συνέχεια, η θερμοκρασία του νερού αρχίζει να πέφτει και όταν φθάσει τους 65° ο διακόπτης κλείνει, οπότε επανέρχεται η τροφο-



Σχήμα 3.1. Ανοικτό σύστημα



Σχήμα 3.2. Κλειστό σύστημα

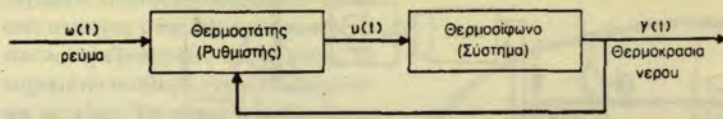
απ' ευθείας από μία γεννήτρια, αλλά είναι η έξοδος ενός πρόσθετου συστήματος που ονομάζουμε *αντισταθμιστή ή ρυθμιστή ή ελεγκτή*. Στα ανοικτά συστήματα (σχήμα 3.1), ο αντισταθμιστής διεγείρεται από μία εξωτερική διεγερση $w(t)$, η οποία μπορεί να είναι το σήμα μιας γεννήτριας. Είναι δε κατασκευασμένος, έτσι ώστε, η έξοδος του $u(t)$ να είναι η κατάλληλη διεγερση του υπό έλεγχο συστήματος που θα προκαλέσει την επιθυμητή έξοδο $y(t)$. Στα κλειστά συστήματα (σχήμα 3.2), ο αντισταθμιστής διεγείρεται και από την έξοδο $y(t)$ του υπό έλεγχο συστήματος, οπότε η $u(t)$ είναι συνάρτηση και της $y(t)$. Η λειτουργία των κλειστών και ανοικτών συστημάτων και ο ρόλος του ρυθμιστή γίνονται πιο σαφείς από τα παρακάτω παραδείγματα.

Ένα εισαγωγικό παράδειγμα κλειστού συστήματος είναι το θερμοσίφωνα. Ως σύστημα εδώ, εννοούμε το θερμοσίφωνα και ως έξοδο ορίζουμε τη

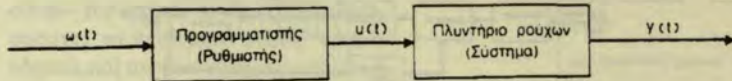
δοσία ηλεκτρικού ρεύματος στον αντιστάτη και έτσι η θερμοκρασία του νερού αρχίζει πάλι να ανεβαίνει. Όταν η θερμοκρασία του νερού φθάσει τους 70° , ο διακόπτης ανοίγει ξανά. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται συνέχεια, με αποτέλεσμα η θερμοκρασία του νερού να διατηρείται μέσα στα επιθυμητά όρια, δηλ. από 65° έως 70° .

Μία προσεκτική εξέταση του παραδείγματος του θερμοσιφώνου, δείχνει ότι ο ρυθμιστής, δηλαδή ο θερμοστάτης, δίνει την κατάλληλη είσοδο $u(t)$ στο θερμοσίφωνα (σχήμα 3.3). Η είσοδος αυτή $u(t)$ επηρεάζεται αποφασιστικά από την έξοδο $y(t)$ του θερμοσιφώνου, δηλαδή τη θερμοκρασία του νερού. Εδώ, επομένως, έχουμε ένα κλασικό παράδειγμα κλειστού συστήματος, όπου η είσοδος $u(t)$ είναι συνάρτηση της εξόδου $y(t)$.

Άλλα παραδείγματα κλειστών συστημάτων είναι το ψυγείο, ο πυρηνικός αντιδραστήρας, ο ρυθμιστής τάσης, ο



Σχήμα 3.3. Το θερμοσίφωνο ως κλειστό σύστημα ελέγχου.



Σχήμα 3.4. Το πλυντήριο ρούχων ως ανοικτό σύστημα ελέγχου.

ρυθμιστής θέσης, ο ρυθμιστής ταχύτητας, το τηλεκατευθυνόμενο αεροσκάφος, κ.λ.π. Όλα αυτά τα κλειστά συστήματα λειτουργούν με τις ίδιες ουσιαστικά αρχές λειτουργίας, όπως εκείνες του θερμοσίφωνου που εκθέσαμε πιο πάνω.

Ένα εισαγωγικό παράδειγμα ανοικτού συστήματος, είναι το πλυντήριο ρούχων (σχήμα 3.4). Εδώ ως ρυθμιστής χρησιμοποιείται ένας «προγραμματιστής» που θέτει το πλυντήριο σε μία σειρά από λειτουργίες, όπως αλλαγή νερού, στίψιμο ρούχων, κ.λ.π. Κατά τη διάρκεια των λειτουργιών αυτών, η έξοδος του συστήματος, δηλαδή το κατά πόσο τα ρούχα πλένονται ικανοποιητικά ή όχι, δεν λαμβάνεται υπόψη. Το πλυντήριο, απλώς εκτελεί μία σειρά από εντολές, που περιέχονται στην $u(t)$ χωρίς να επηρεάζεται από την $y(t)$. Το πλυντήριο επομένως, είναι ένα ανοικτό σύστημα. Αλλά παραδείγματα ανοικτών συστημάτων είναι η ηλεκτρική κουζίνα, το ξυπνητήρι, ο ανελεκυστήρας, το σημερινό σύστημα σηματοδότησης των δρόμων των πόλεών μας, κ.λ.π.

Σημειώνεται ότι σε περιπτώσεις όπου το σύστημα δεν είναι εξολοκλήρου αυτόματο, ο άνθρωπος είναι ο ρυθμιστής ή μέρος του ρυθμιστή, όπως π.χ. στην οδήγηση, στο περπάτημα, στο μαγείρεμα, κ.λ.π. Στην οδήγηση, το αυτοκίνητο είναι το σύστημα και η έξοδος του συστήματος είναι η τροχιά ή η ταχύτητα του αυτοκινήτου. Ο οδηγός παρακολουθεί τη συμπεριφορά του αυτοκινήτου και ανάλογα ρυθμίζει τη διέγερση του συστήματος, π.χ. πατάει το

γκάζι ή στρίβει το τιμόνι. Η οδήγηση, δηλαδή, έχει τη δομή ενός κλειστού συστήματος, όπου ο οδηγός είναι ο ρυθμιστής. Κάτι ανάλογο συμβαίνει και όταν περπατάμε. Όταν μαγειρεύουμε, παρακολουθούμε το φαγητό και ανάλογα ρυθμίζουμε την ένταση της φωτιάς. Ο μάγειρας, στην προκειμένη περίπτωση, είναι ο ρυθμιστής του κλειστού συστήματος.

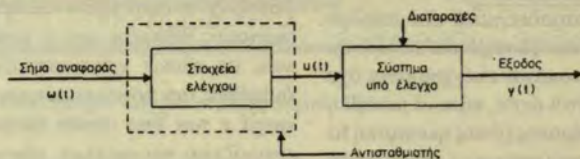
Από τα παραπάνω παραδείγματα είναι φανερό ότι τα κλειστά συστήματα διαφέρουν ουσιαστικά στην αρχή λειτουργίας τους από τα ανοικτά συστήματα. Η διαφορά αυτή οφείλεται στην τροφοδοσία πληροφοριών από την έξοδο στην είσοδο του συστήματος. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται ανατροφοδότηση ή ανασύζευξη και διαδρα-

ματίζει βασικότατο ρόλο στον αυτοματισμό.

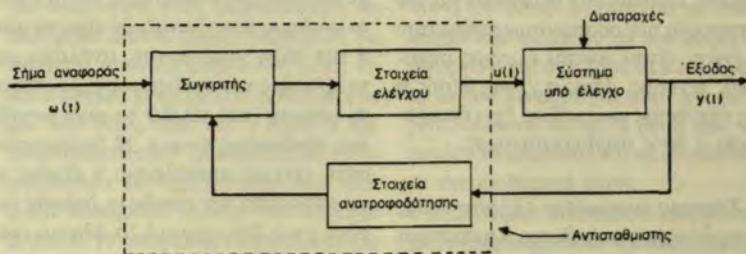
Γενικά, τα κλειστά συστήματα χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου οι απαιτήσεις αυτοματισμού (ακρίβεια, ταχύτητα, κ.λ.π.) είναι μεγάλες, ενώ τα ανοικτά συστήματα χρησιμοποιούνται, ως επί το πλείστον, σε απλές περιπτώσεις αυτοματισμού. Γι' αυτό τα κλειστά συστήματα είναι, κατά κανόνα, πιο δύσκολα στη σχεδίαση και κατασκευή τους από τα ανοικτά.

Η πολυπλοκότητα των αντισταθμιστών ανοικτών ή κλειστών συστημάτων αυξάνει με τις απαιτήσεις του αυτοματισμού. Έτσι έχουμε απλούς αντισταθμιστές, όπως ο θερμοστάτης και ο προγραμματιστής, αλλά έχουμε και συνθετότερους αντισταθμιστές, όπως ένας υπολογιστής, που ελέγχει ένα αεροπλάνο ή ένα συγκρότημα υπολογιστών που ελέγχει από απόσταση ένα διαστημόπλοιο. Επίσης, ανάλογα με τη φύση του αυτοματισμού, ένας αντισταθμιστής μπορεί να είναι ηλεκτρονικός, ηλεκτρολογικός, μηχανολογικός, πεπιεσμένος αέρα, υδραυλικός, κ.λ.π. ή συνδυασμός δύο ή περισσότερων από αυτούς.

Κλείνοντας το παρόν εδάφιο, θα δώσουμε μια πρακτικότερη αλλά και πληρέστερη σχηματική παράσταση των ανοικτών και κλειστών συστημάτων. Στην πράξη, τα μεν ανοικτά συστήματα έχουν τη δομή του σχήματος 3.5, τα δε κλειστά συστήματα έχουν τη δομή του σχήματος 3.6. Με τον όρο διαταραχές

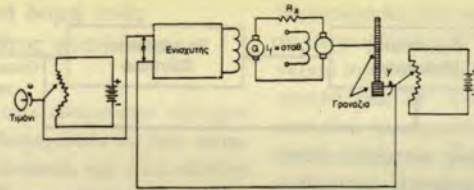


Σχήμα 3.5. Σχηματικό διάγραμμα ανοικτού συστήματος.

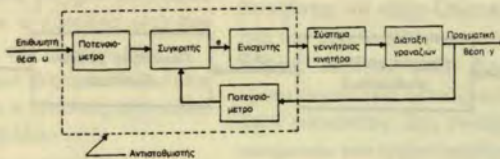


Σχήμα 3.6. Σχηματικό διάγραμμα κλειστού συστήματος.

αναφερόμαστε στις εκάστοτε μεταβολές του περιβάλλοντος ή του υπό έλεγχο συστήματος ή άλλες αιτίες, που έχουν ως αποτέλεσμα η έξοδος του συστήματος να αποκλίνει από την επιθυμητή συμπεριφορά. Έτσι, είναι φανερό ότι όταν η έξοδος ενός ανοικτού συστήματος αποκλίνει από την επιθυμητή της μορφή (εξ αιτίας των διαταραχών ή άλλων αιτιών), το σύστημα δεν κάνει τίποτα για να την επαναφέρει στην επιθυμητή της μορφή. Αντίθετα, στο κλειστό σύστημα, όταν η έξοδος του αποκλίνει από την επιθυμητή της μορφή (εξ αιτίας των διαταραχών ή άλλων αιτιών) τότε, *χάρη στην ανατροφοδότηση*, το σύστημα και συγκεκριμένα ο αντισταθμιστής, ενεργεί έτσι ώστε, η έξοδος του να επανέλθει στην επιθυμητή της μορφή.



(α) Εποπτική εικόνα του συστήματος ελέγχου θέσης.



(β) Σχηματικό διάγραμμα του συστήματος ελέγχου θέσης.

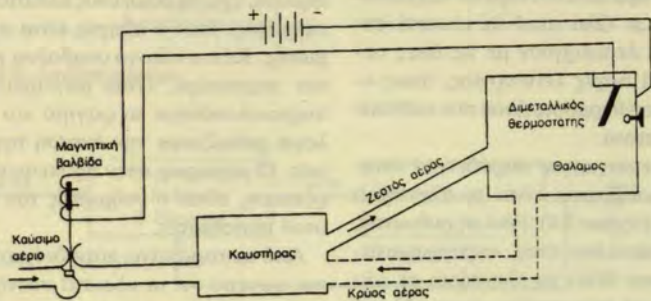
Σχήμα 4.1. Σύστημα ελέγχου θέσης ή σερβομηχανισμού θέσης.

4. Παραδείγματα συστημάτων αυτόματου ελέγχου

Εδώ θα περιγράψουμε μερικά παραδείγματα ανοικτών και κλειστών συστημάτων αυτόματου ελέγχου, προκειμένου να δώσουμε μία εικόνα της ευρείας χρησιμοποίησης του αυτοματισμού στην τεχνολογία σήμερα. Επιπλέον, με μερικά από τα παραδείγματα αυτά, θα έχουμε την ευκαιρία να δείξουμε ότι οι αρχές του αυτοματισμού μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατανόηση και επίλυση προβλημάτων σε άλλα πεδία της επιστήμης, όπως είναι η οικονομία, η πολιτική, η κοινωνιολογία, η ιατρική και άλλα.

Από τα παραδείγματα που ακολουθούν θα γίνει φανερό ότι πολλά συστήματα αυτόματου ελέγχου είναι σχεδιασμένα, έτσι ώστε, κάποια μεταβλητή του συστήματος (όπως ηλεκτρική τάση, θέση ή ταχύτητα μιας μάζας, στάθμη ή ροή ενός υγρού, θερμοκρασία ενός θαλάμου, κ.λ.π.), να ελέγχεται αυτόματα. Σημειώνεται ότι ειδικά για την κατηγορία των συστημάτων αυτόματου ελέγχου, όπου γίνεται έλεγχος μηχανικής κίνησης, όπως π.χ. της θέσης ή της ταχύτητας μιας μάζας, έχει επικρατήσει ο όρος *σερβομηχανισμός*.

1. Σύστημα αυτόματου ελέγχου θέσης ή σερβομηχανισμός θέσης. Το σύστημα αυτό (σχήμα 4.1) είναι σχεδιασμένο, έτσι ώστε, η γωνιακή θέση y του μικρού γραναζιού, που είναι και η έξοδος του



Σχήμα 4.2. Σύστημα ελέγχου θερμοκρασίας θαλάμου.

συστήματος, να είναι ίση με την εκάστοτε γωνιακή θέση ω του τιμονιού, που είναι και η διέγερση του συστήματος. Αυτό επιτυγχάνεται ως εξής: Οι γωνιακές θέσεις ω και y , μετατρέπονται σε τάσεις χρησιμοποιώντας τις διατάξεις των ποτενσιόμετρων. Η διαφορά e των δυο αυτών τάσεων, που ονομάζεται και *σφάλμα*, οδηγείται σε ενισχυτή, η έξοδος του οποίου διεγείρει το σύστημα γεννήτριας-κινητήρα με αποτέλεσμα ο κινητήρας να στρέψει το σύστημα των γραναζιών προς τη μία ή την άλλη κατεύθυνση, ανάλογα με το πρόσημο του σφάλματος e , με στόχο τη μείωση (και τελικά το μηδενισμό) του σφάλματος $e = \omega - y$. Η διαδικασία αυτή έχει ως αποτέλεσμα η έξοδος y να ακολουθεί την είσοδο ω , δηλαδή να είναι $y = \omega$. Στο σχήμα 4.1b, δίνεται ένα σχηματικό διάγραμμα του συστήματος, όπου φαίνεται ο ρόλος της ανατροφοδότησης και του αντισταθμιστή.

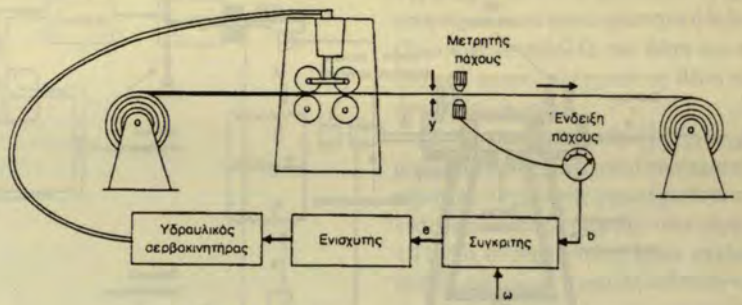
2. Σύστημα αυτόματου ελέγχου θερμοκρασίας θαλάμου. Το σύστημα αυτό (σχήμα 4.2) είναι σχεδιασμένο, έτσι ώστε, η θερμοκρασία y του θαλάμου, που είναι και η έξοδος του συστήματος, να παραμένει σταθερή. Αυτό επιτυγχάνεται ως εξής: Η θερμοκρασία y του θαλάμου παρακολουθείται από το διμεταλλικό θερμοστάτη, που είναι ρυθμισμένος, έτσι ώστε, όταν η θερμοκρασία y είναι μεγαλύτερη της επιθυμητής, το κύκλωμα της μαγνητικής βαλβίδας απενεργοποιείται, η βαλβίδα κλείνει και σταματά η τροφοδοσία του αερίου καυσίμου στον καυστήρα. Αντίθετα, όταν η θερμοκρασία y είναι μικρότερη της επιθυμητής, το κύκλωμα της μαγνητικής βαλβίδας ενεργοποιείται, η βαλβίδα ανοίγει και επανέρχεται η τροφοδοσία του αερίου καυσίμου στον καυστήρα.

3. Σύστημα αυτόματου ελέγχου πάχους λαμαρίνας. Το σύστημα αυτό

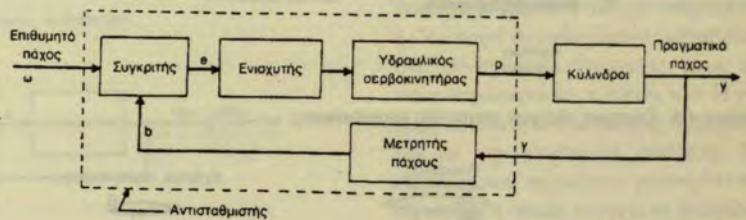
(σχήμα 4.3) είναι σχεδιασμένο, έτσι ώστε, το πάχος y της λαμαρίνας, που είναι και η έξοδος του συστήματος, να παραμένει σταθερό. Αυτό επιτυγχάνεται ως εξής: Το πάχος p που ασκούν οι κύλινδροι πάνω στη λαμαρίνα. Η πίεση αυτή ελέγχεται από την ένδειξη b του οργάνου που μετρά το πάχος y της λαμαρίνας. Έτσι, όταν το σφάλμα $e = \omega - b \neq 0$, όπου το σήμα ω αντιπροσωπεύει το επιθυμητό πάχος, τότε ο υδραυλικός σερβοκινητήρας αυξάνει ή μειώνει την πίεση στους κυλίνδρους, με αποτέλεσμα το πάχος y να μικραίνει ή να μεγαλώνει, αντίστοιχα. Η διαδικασία αυτή έχει ως αποτέλεσμα το πάχος y της λαμαρίνας να διατηρείται σταθερό και ίσο προς το επιθυμητό πάχος ω . Στο σχήμα 4.2b, δίδεται το σχηματικό διάγραμμα του κλειστού συστήματος.

4. Σύστημα αυτομάτου ελέγχου στάθμης υγρού. Το σύστημα αυτό (σχήμα 4.4) χρησιμοποιείται σε χημικές και άλλες βιομηχανίες και είναι σχεδιασμένο, έτσι ώστε, το ύψος y της επιφάνειας του υγρού να παραμένει σταθερό. Αυτό επιτυγχάνεται ως εξής: Ο φελός που επιπλέει στην επιφάνεια του υγρού είναι συνδεδεμένος με την οριζόντια επιφάνεια του μοχλού, έτσι ώστε, καθώς το ύψος y μεγαλώνει ή μικραίνει, αντίστοιχα μικραίνει ή μεγαλώνει η απόσταση d μεταξύ του ακροφυσίου και της κάθετης επιφάνειας του μοχλού. Όταν η απόσταση d μικραίνει ή μεγαλώνει, αντίστοιχα μεγαλώνει ή μικραίνει η πίεση του πεπιεσμένου αέρα στην επιφάνεια A της βαλβίδας, με αποτέλεσμα να μικραίνει ή να μεγαλώνει η απόσταση r του πιστονιού της βαλβίδας από τη βάση του δοχείου. Το σύστημα του πεπιεσμένου αέρα μπορεί να θεωρηθεί ως ένα σύστημα με είσοδο το d και έξοδο την πίεση του πεπιεσμένου αέρα στην επιφάνεια A της βαλβίδας. Το σύστημα αυτό είναι ένας ενισχυτής πεπιεσμένου αέρα, διότι ενώ οι μεταβολές στο d δεν απαιτούν μεγάλες πιέσεις, αντίθετα οι αντίστοιχες πιέσεις στην επιφάνεια A είναι πολύ μεγάλες. Επειδή, τέλος, μείωση ή αύξηση της απόστασης r αντιστοιχεί σε μείωση ή αύξηση του ύψους y , η στάθμη του υγρού θα παραμένει σταθερή.

5. Σύστημα αυτομάτου ελέγχου θέσης πτερυγίων αεροσκάφους. Το σύστημα

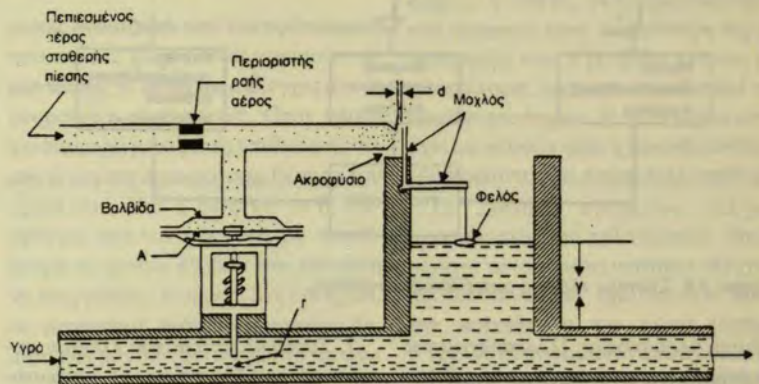


(a) Εποπτική εικόνα του συστήματος παραγωγής λαμαρίνας.



(b) Σχηματικό διάγραμμα του συστήματος παραγωγής λαμαρίνας.

Σχήμα 4.3. Σύστημα ελέγχου πάχους λαμαρίνας.

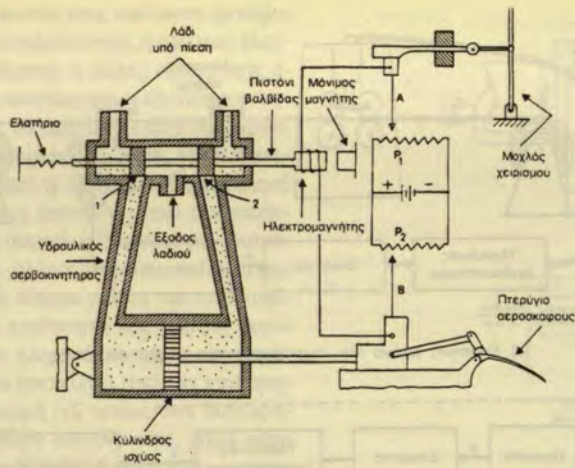


Σχήμα 4.4. Σύστημα ελέγχου στάθμης υγρού.

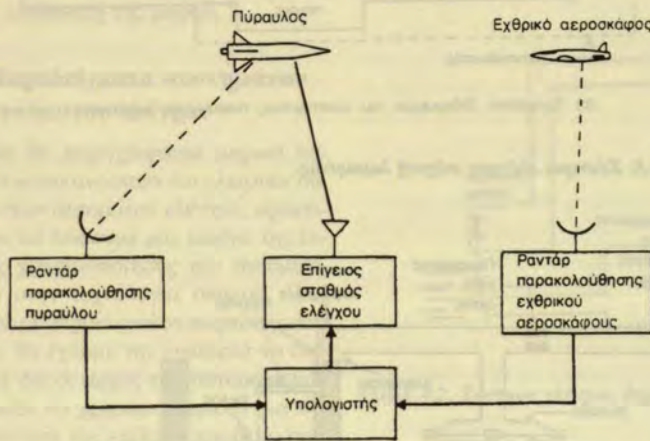
αυτό (σχήμα 4.5) είναι ένα ανοικτό σύστημα αυτομάτου ελέγχου και είναι σχεδιασμένο, έτσι ώστε, η θέση (κλίση) των πτερυγίων ενός αεροσκάφους να ελέγχεται από το μοχλό χειρισμού. Το σύστημα αυτό λειτουργεί ως εξής: Όταν ο μοχλός χειρισμού τοποθετηθεί σε μία νέα θέση, τότε και η θέση A του ποτενοσιόμετρου P_1 μεταβάλλεται, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί μία διαφορά δυναμικού μεταξύ των σημείων A και B . Η τάση αυτή ενεργοποιεί τον ηλεκτρομαγνήτη, με αποτέλεσμα το πιστόνι της βαλβίδας του υδραυλικού σερβοκινητήρα να μετατοπισθεί. Η με-

τατόπιση της βαλβίδας θα επιτρέψει στο λάδι υπό πίεση, να μπει μέσα στον κύλινδρο ισχύος και να σπρώξει το πιστόνι του δεξιά ή αριστερά με αποτέλεσμα και τα πτερύγια του αεροσκάφους να κινηθούν προς τα κάτω ή προς τα πάνω. Το σύστημα αυτό μπορεί να γίνει κλειστό, αρκεί η θέση των πτερυγίων να μετράται και να συγκρίνεται με την επιθυμητή θέση.

6. Σύστημα αυτομάτου ελέγχου κατεύθυνσης πυραύλου. Το σύστημα αυτό (σχήμα 4.6) κατευθύνει την τροχιά ενός πυραύλου, έτσι ώστε, να συγκρουσθεί και με σκοπό να καταρρίψει ε-



Σχήμα 4.5. Σύστημα ελέγχου πτερυγίου αεροσκάφους.



Σχήμα 4.6. Σύστημα ελέγχου κατεύθυνσης πυραύλου.

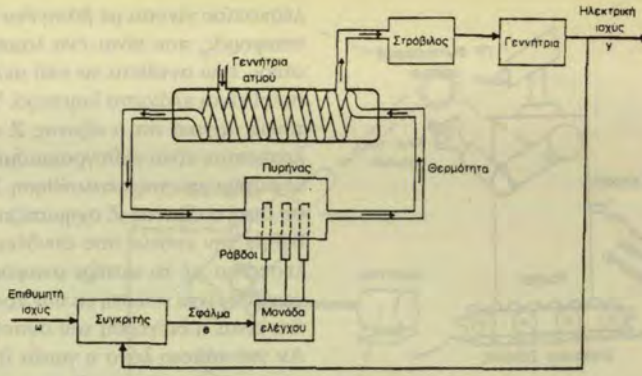
χθρικό αεροσκάφος. Η λειτουργία του συστήματος αυτού έχει ως εξής: Τόσο ο κατευθυνόμενος πύραυλος, όσο και ο στόχος του, δηλαδή το εχθρικό αεροσκάφος, παρακολουθούνται από ένα σύστημα ραντάρ. Οι πληροφορίες από τα ραντάρ τροφοδοτούνται στον υπολογιστή που προσδιορίζει μία πιθανή τροχιά του εχθρικού αεροσκάφους. Η τροχιά αυτή μπορεί να αλλάξει προσαρμοζόμενη στα εκάστοτε νέα δεδομένα της πορείας του αεροσκάφους. Ο υπολογιστής διαρκώς συγκρίνει τις τροχιές του πυραύλου και του αεροσκάφους και ανάλογα διορθώνει την πορεία του πυραύλου, έτσι ώστε, να συγκρουσθεί με το αεροσκάφος. Η διόρθωση της πορείας του πυραύλου γίνεται από απόσταση με ραδιοκύματα από έναν επίγειο σταθμό ελέγχου.

7. Σύστημα αυτομάτου ελέγχου πυρηνικού αντιδραστήρα. Ο αυτοματισμός ενός αντιδραστήρα, αποσκοπεί στη διατήρηση της ισχύος εξόδου του σε προκαθορισμένα όρια. Αυτό επιτυγχάνεται ως εξής (σχήμα 4.7): Η πυρηνική αντίδραση ελευθερώνει ενέργεια υπό μορφή θερμότητας. Η ενέργεια αυτή χρησιμοποιείται για την παραγωγή ατμού. Ο ατμός θέτει σε περιστροφική κίνηση ένα στρόβιλο και ο στρόβιλος μία γεννήτρια, η οποία παράγει την ηλεκτρική ισχύ. Η είσοδος ω είναι ένα σήμα αναφοράς που "αντιπροσωπεύει" την επιθυμητή έξοδο. Τα δύο σήματα ω και γ συγκρίνονται και η διαφορά τους $e = \omega - \gamma$, τροφοδοτείται στη μονάδα ελέγχου. Η μονάδα αυτή αποτελείται από ειδικές ράβδους, που όταν πλησιάζουν το πυρηνικό καύσιμο η ι-

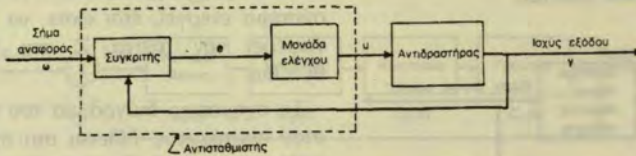
σχύς εξόδου γ μεγαλώνει και όταν απομακρύνονται από το πυρηνικό καύσιμο η ισχύς εξόδου γ μικραίνει. Έτσι, όταν $\gamma > \omega$, οπότε το σφάλμα e είναι αρνητικό, η μονάδα ελέγχου απομακρύνει τις ράβδους από το πυρηνικό καύσιμο με αποτέλεσμα η ισχύς εξόδου γ να μικραίνει. Όταν $\gamma < \omega$, οπότε το σφάλμα e είναι θετικό, η μονάδα ελέγχου πλησιάζει τις ράβδους στο πυρηνικό καύσιμο με αποτέλεσμα η ισχύς εξόδου γ να αυξάνει. Με αυτόν τον τρόπο, η έξοδος γ διατηρείται ίση με την είσοδο ω .

8. Σύστημα αυτομάτου ελέγχου ατμοστροβιλογεννήτριας. Η ατμοστροβιλογεννήτρια, λειτουργεί ως εξής (σχήμα 4.8) : Ο ατμός που παράγεται από το λέβηθα βάζει σε περιστροφική κίνηση τον άξονα του στρόβιλου. Ο άξονας του στρόβιλου είναι ουσιαστικά και ο ρότορας της γεννήτριας. Καθώς ο άξονας του στρόβιλου στρέφεται, η γεννήτρια παράγει ηλεκτρικό ρεύμα. Η ατμοστροβιλογεννήτρια είναι ένα σύστημα με πολλές εισόδους (νερό, υγρό καύσιμο και αέρας) και μία έξοδο (ηλεκτρική ισχύς). Η ηλεκτρική ισχύς εξόδου ελέγχεται αυτόματα ως εξής: Η ισχύς εξόδου μαζί με ενδιάμεσες μεταβλητές ή καταστάσεις του συστήματος, όπως το οξυγόνο, η θερμοκρασία και η πίεση, ανατροφοδοτούνται στον υπολογιστή. Ο υπολογιστής ρυθμίζει αυτόματα την ποσότητα του νερού, του υγρού καυσίμου και του αέρα που μπαίνουν στο λέβηθα και τη γωνιακή ταχύτητα του στρόβιλου, ανάλογα με τις επιθυμητές και πραγματικές (μετρούμενες) τιμές της θερμοκρασίας, πίεσης, οξυγόνου και ηλεκτρικής ισχύος, έτσι ώστε, η τιμή της ηλεκτρικής ισχύος να είναι η επιθυμητή.

9. Ελεγχος ρομπότ. Εδώ θα εξετάσουμε ένα σύστημα που μπορεί να ελέγχει αυτόματα τις κινήσεις ενός ρομπότ από απόσταση (σχήμα 4.9). Όπως φαίνεται στο σχήμα 4.9a, ο άνθρωπος στον επίγειο σταθμό, μπορεί και παρακολουθεί το ρομπότ που βρίσκεται στη Σελήνη από την οθόνη μιας συσκευής τηλεόρασης. Έστω ότι η έξοδος του συστήματος είναι η θέση του χεριού του ρομπότ και η είσοδος είναι η θέση του μοχλού που κρατά στο χέρι του ο άνθρωπος. Τότε, ανατροφοδοτώντας την έξοδο (θέση χεριού ρομπότ) στην είσοδο, ο άνθρωπος κάνει



(α) Επιστημική εικόνα πυρηνικού αντιδραστήρα.



(β) Σχηματικό διάγραμμα του συστήματος του πυρηνικού αντιδραστήρα.

Σχήμα 4.7. Σύστημα ελέγχου πυρηνικού αντιδραστήρα.

τη σύγκριση κοιτάζοντας τη θέση του χειριού του ρομπότ στην οθόνη και ανάλογα κινεί το μοχλό ελέγχου. Στο σχήμα 4.9b, δίδεται μία σχηματική άποψη του συστήματος του σχήματος 4.9a. Στην προκειμένη περίπτωση, ο άνθρωπος είναι μέρος του ρυθμιστή.

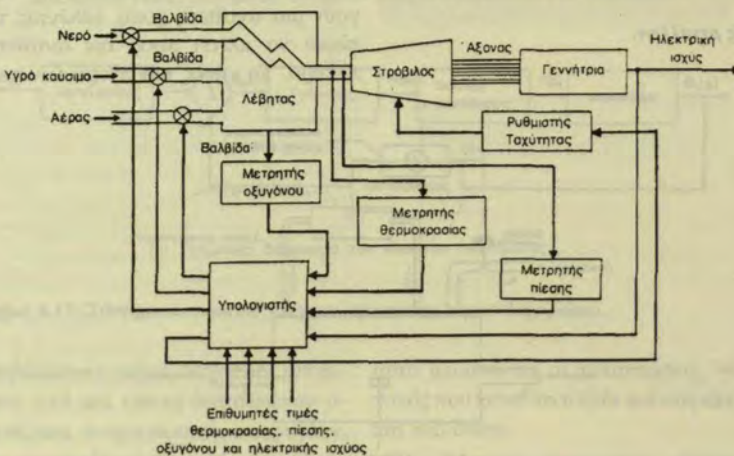
10. Αριθμητικός έλεγχος. Ο αυτόματος έλεγχος μηχανών κοπής μετάλλων, γίνεται πολλές φορές από ένα υπολογιστή, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.10. Συγκεκριμένα, η κίνηση του εργαλείου

κοπής ρυθμίζεται από ένα πρόγραμμα, που πολλές φορές είναι γραμμένο σε μία ταινία, γι' αυτό και ο έλεγχος αυτός ονομάζεται αριθμητικός. Όταν υπάρχει διαφορά μεταξύ της επιθυμητής θέσης ω και της πραγματικής θέσης γ του εργαλείου, τότε η διαφορά αυτή ενισχύεται από τον ενισχυτή, με αποτέλεσμα το ρεύμα εξόδου του ενισχυτή να ενεργοποιεί το πηνίο. Στη συνέχεια, το μαγνητικό πεδίο του πηνίου δημιουργεί μία δύναμη πάνω στο πιστόνι

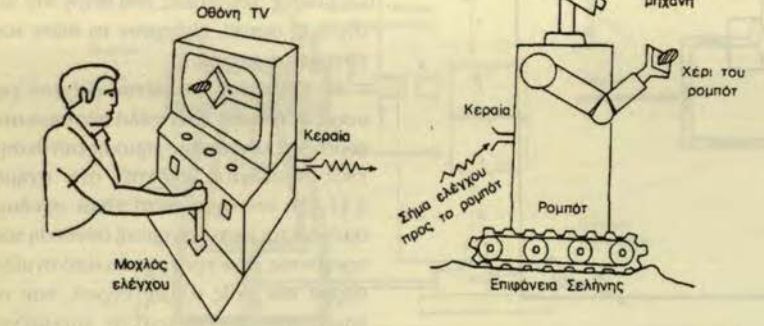
της βαλβίδας του υδραυλικού σερβοκινητήρα και το κινεί αριστερά ή δεξιά. Οι μικρές μεταβολές στη θέση του πιστονιού αυτού, ελέγχουν τη θέση του εργαλείου κοπής.

11. Σύστημα αυτομάτου ελέγχου χημικής σύνθεσης. Ένα απλό σύστημα αυτομάτου ελέγχου της χημικής σύνθεσης ενός προϊόντος, δίδεται στο σχήμα 4.11. Το σύστημα αυτό είναι σχεδιασμένο, έτσι ώστε, η χημική σύνθεση του προϊόντος, που προέρχεται από τη μίξη νερού και ενός άλλου υγρού, που ονομάζουμε προσθετικό, να παραμένει η ίδια παρά τις ενδεχόμενες μεταβολές στις συνθήκες λειτουργείας, όπως είναι η θερμοκρασία, η πίεση, κ.ά. Η χημική σύνθεση του μίγματος, συγκρίνεται με την επιθυμητή σύνθεση. Το σφάλμα που προκύπτει μετατρέπεται σε πίεση, η οποία ελέγχει τη βαλβίδα. Αν η περιεκτικότητα του μίγματος είναι μικρότερη της επιθυμητής, τότε η βαλβίδα ανοίγει, με αποτέλεσμα, περισσότερο προσθετικό να μπαίνει στο δοχείο. Αντίθετα, αν η περιεκτικότητα του μίγματος είναι μεγαλύτερη της επιθυμητής, τότε η βαλβίδα κλείνει, με αποτέλεσμα, λιγότερο προσθετικό να μπαίνει στο δοχείο. Η διαδικασία αυτή έχει ως αποτέλεσμα, η χημική σύνθεση του προϊόντος να παραμένει σταθερή.

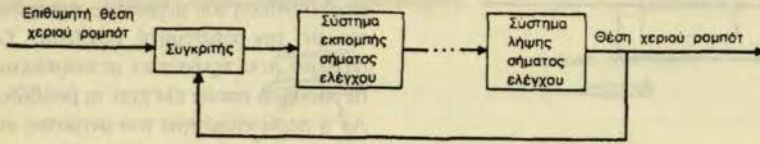
12. Σύστημα αυτομάτου ελέγχου προσανατολισμού τηλεσκοπίου. Θεωρήσατε το αυτόματο σύστημα ελέγχου προσανατολισμού τηλεσκοπίου προς την κατεύθυνση του ήλιου (σχήμα 4.12). Το σύστημα αυτό αποτελείται από ένα τηλεσκόπιο, δύο αισθητήρια κύτταρα φωτός, έναν ενισχυτή, έναν κινητήρα και γρανάζια. Τα δύο αισθητήρια κύτταρα φωτός είναι τοποθετημένα πάνω στο τηλεσκόπιο, έτσι ώστε, αν το τηλεσκόπιο δεν είναι ευθυγραμμισμένο με τον ήλιο, το ένα κύτταρο να δέχεται περισσότερο φως από το άλλο. Τα δύο κύτταρα συμπεριφέρονται σαν πηγές ρεύματος και είναι συνδεδεμένα με αντίθετη πολικότητα, έτσι ώστε, αν το ένα από τα δύο δέχεται περισσότερο φως, να παράγεται ένα ρεύμα I που να ισούται με τη διαφορά των δύο ρευμάτων των κυττάρων. Το ρεύμα I οδηγείται σ' έναν ενισχυτή. Η έξοδος του ενισχυτή διεγείρει τον κινητήρα, ο οποίος στη συνέχεια στρέφει τα γρανάζια, έτσι ώστε, το τηλεσκόπιο



Σχήμα 4.8. Σύστημα ελέγχου ατμοστροβιλογεννήτριας.

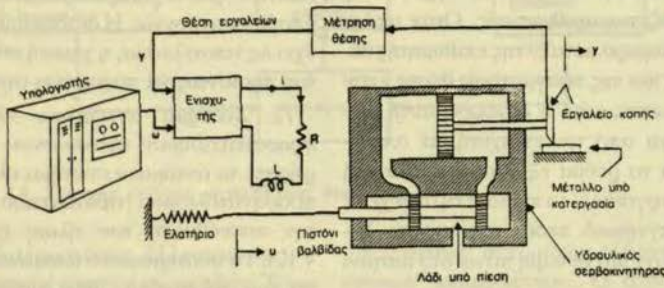


(a) Εποπτική εικόνα ελέγχου ρομπότ από απόσταση.



(b) Σχηματικό διάγραμμα του συστήματος ελέγχου ρομπότ από απόσταση.

Σχήμα 4.9. Σύστημα ελέγχου ρομπότ από απόσταση.



Σχήμα 4.10. Αριθμητικός έλεγχος μηχανής κοπής μετάλλων.

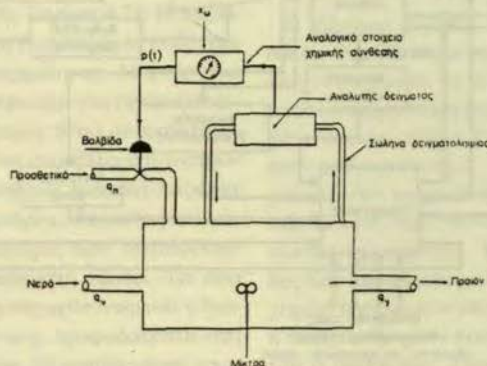
να ευθυγραμμίζεται με τις ακτίνες του ήλιου.

13. Σύστημα αυτομάτου ελέγχου προσανατολισμού δορυφόρου. Μία απλοποιημένη μορφή ενός συστήματος αυτομάτου ελέγχου προσανατολισμού ενός δορυφόρου, δίδεται στο σχήμα 4.13a. Το σύστημα αυτό είναι σχεδιασμένο, έτσι ώστε, το τηλεσκόπιο του δορυφόρου να είναι ευθυγραμμισμένο με κάποιο αστέρι, παρά τις διάφορες διαταραχές, όπως π.χ. σύγκρουση με μετεωρίτες, ηλιακή πίεση, δυνάμεις βαρύτητας, κ.ά. Το σύστημα λειτουργεί ως εξής: Ο προσανατολισμός του τη-

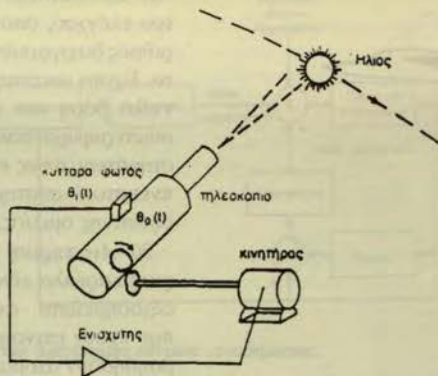
λεσκοπίου γίνεται με βάση ένα αστέρι αναφοράς, που είναι ένα λαμπρό αστέρι, ενώ αντίθετα το υπό μελέτη αστέρι είναι ελάχιστα λαμπρό. Υποθέτουμε αρχικά ότι ο άξονας Z του τηλεσκοπίου είναι ευθυγραμμισμένος με το αστέρι υπό παρακολούθηση. Στη θέση αυτή ο άξονας Z σχηματίζει γωνία θ με την ευθεία που συνδέει το τηλεσκόπιο με το αστέρι αναφοράς. Η γωνία θ είναι γνωστή εκ των προτέρων και είναι η διέγερση του συστήματος. Αν για κάποιο λόγο η γωνία θ, που σχηματίζει ο άξονας Z του τηλεσκοπίου με το αστέρι υπό παρακολούθηση είναι διάφορη της θ₀, τότε το κλειστό σύστημα ενεργεί, έτσι ώστε, να επαναφέρει τον άξονα Z στη θέση θ₀.

Το σχηματικό διάγραμμα του κλειστού συστήματος, δίδεται στο σχήμα 4.13b, όπου η βαθμίδα "διάταξη αερώθησης" είναι μία διάταξη, που διεγείρεται από την έξοδο του ρυθμιστή και που προκαλεί ροπές δυνάμεων περί τον άξονα X. Οι δυνάμεις αυτές είναι εκείνες που τελικά θα προκαλέσουν την διόρθωση στη γωνία θ.

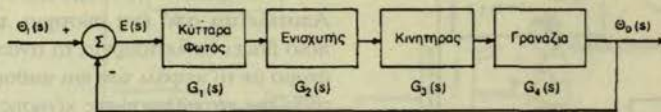
14. Σύστημα αυτομάτου ελέγχου απόσβεσης ταλαντώσεων σε πλοία. Το παράδειγμα αυτό, αναφέρεται στον τρόπο απόσβεσης ταλαντώσεων σε πλοία, που συμβαίνει να παρουσιάζονται όταν πνέουν ισχυροί άνεμοι ή επικρατεί τρικυμία. Έστω ότι, το πλοίο παρουσιάζει κλίση θ, όπως στο σχήμα 4.14a. Τότε, για την επαναφορά στην θέση ηρεμίας, πολλά πλοία χρησιμοποιούν πτερύγια, τα οποία δημιουργούν μια αντίθετη ροπή, ωθώντας το πλοίο να κλίνει προς την αντίθετη πλευρά. Το μήκος των πτερυγίων που



Σχήμα 4.11. Εποπτική εικόνα συστήματος αυτομάτου ελέγχου χημικής σύνθεσης.

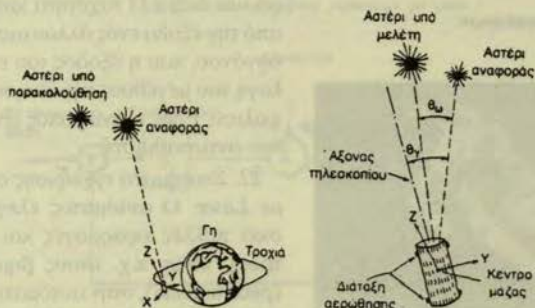


(a) Εποπτική εικόνα συστήματος ελέγχου προσανατολισμού τηλεσκοπίου

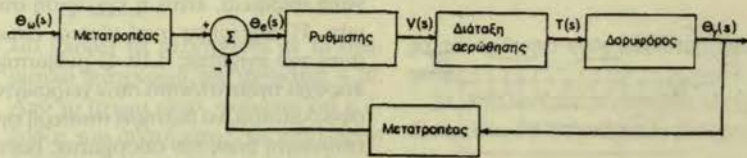


(b) Σχηματικό διάγραμμα του συστήματος

Σχήμα 4.12. Σύστημα ελέγχου προσανατολισμού τηλεσκοπίου.



(a) Εποπτική εικόνα συστήματος αυτόματου ελέγχου προσανατολισμού δορυφόρου.



(b) Σχηματικό διάγραμμα του κλειστού συστήματος.

Σχήμα 4.13. Σύστημα αυτόματου ελέγχου προσανατολισμού δορυφόρου.

προβάλλονται μέσα στο νερό, ρυθμίζεται από μια ειδική διάταξη που ονομάζεται ενεργοποιητής πτερυγών. Την γωνία κλίσης θ μετράμε με ειδικό αισθητήριο όργανο που χαρακτηρίζεται από την σταθερά F_{θ} . Με τον τρόπο

αυτό μειώνονται οι ταλαντώσεις, γεγονός που κάνει το ταξίδι πιο ασφαλές και πιο άνετο.

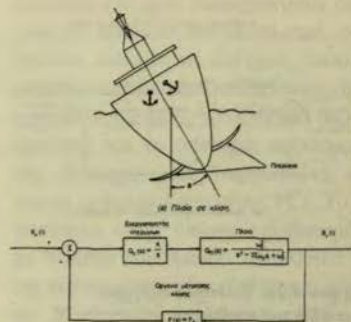
15. Σύστημα αυτόματου ελέγχου πλοήγησης υπερηχητικού αεροπλάνου. Το παράδειγμα αυτό αναφέρεται

σ' ένα αυτόματο σύστημα πλοήγησης υπερηχητικών αεροπλάνων (σχήμα 4.15a), το οποίο επικουρεί στην αεροδυναμική ευστάθεια των αεροπλάνων, κάνοντας την πτήση πιο σταθερή και πιο άνετη. Μια απλοποιημένη περιγραφή του συστήματος, δίδεται στο σχήμα 4.15b. Το αεροσκάφος προσεγγίζεται με ένα σύστημα δεύτερης τάξης, όπου K είναι μια παράμετρος που μεταβάλλεται με τις συνθήκες πτήσης (π.χ γρήγορη προσεγείωση ή απογείωση, σταθερή πτήση, κ.λ.π.). Κατάλληλη επιλογή της παραμέτρου K , διατηρεί την πορεία του αεροσκάφους ασφαλή και ομαλή.

16. Διαστημικό όχημα. Οι πλέον προηγμένες τεχνικές αυτόματου ελέγχου, βρίσκουν εφαρμογή στη διαστημική τεχνολογία. Μια τέτοια εφαρμογή είναι σε διαστημικά οχήματα, όπως αυτό του σχήματος 4.16.

17. Σύστημα ελέγχου κίνησης αστροναύτη στο διάστημα. Μία άλλη πολύ ενδιαφέρουσα εφαρμογή σύγχρονων τεχνικών αυτόματου ελέγχου, είναι στο σύστημα ελέγχου κίνησης αστροναύτη στο διάστημα (σχήμα 4.17).

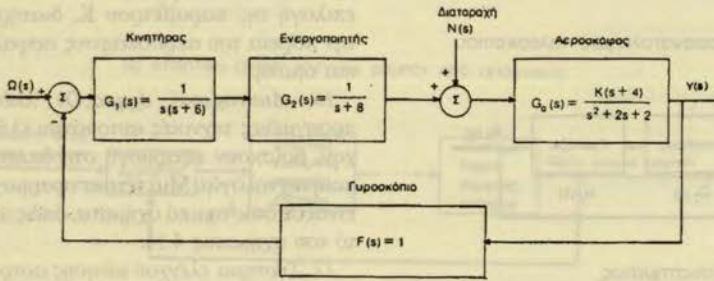
18. Οικονομικά συστήματα. Οι έννοιες των κλειστών συστημάτων αυτόματου ελέγχου, βρίσκουν εφαρμογή και στα οικονομικά συστήματα. Στο σχήμα 4.18., δίδεται μία σχηματική περιγραφή του εθνικού εισοδήματος υπό μορφή κλειστού συστήματος. Το σχήμα αυτό βοηθά τον οικονομολόγο στην κατανόηση των διαφόρων παραγόντων που υπεισέρχονται στο κλειστό σύστημα. Ο ρόλος της κυβέρνησης, των επιχειρήσεων και του καταναλωτή, μετα-



Σχήμα 4.14. Πλοίο σε κλίση θ και το αντίστοιχο απλοποιημένο διάγραμμα βαθμίδων.

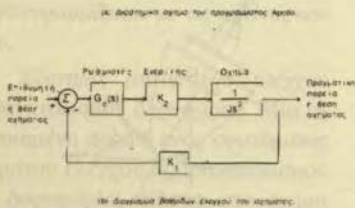
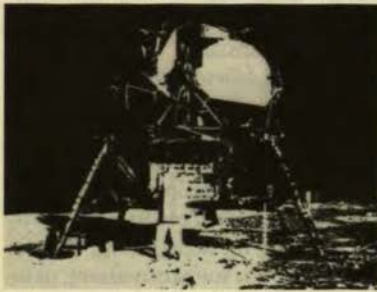


(α) Υπερηχητικό αεροπλάνο.



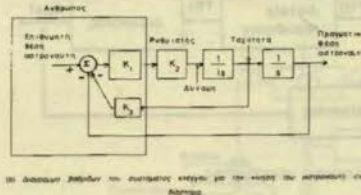
(β) Απλοποιημένο διάγραμμα βαθμιδών.

Σχήμα 4.15. Αυτόματο σύστημα πλοήγησης υπερηχητικών αεροπλάνων.



Σχήμα 4.16. Σύστημα ελέγχου διαστημικού οχήματος

βάλλεται ανάλογα με τον τρόπο διακυβέρνησης της χώρας (π.χ. καπιταλισμός, σοσιαλισμός, κ.λ.π.).



Σχήμα 4.17. Σύστημα κίνησης αστροναύτη στο διάστημα.

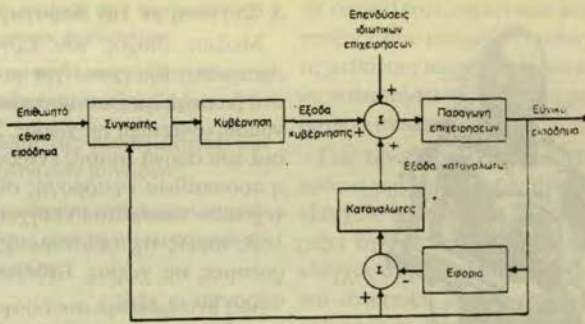
19. Βιολογικά συστήματα. Όπως ήδη τονίσαμε στην εισαγωγή του άρθρου, οι διάφοροι βιολογικοί οργανισμοί εί-

να πολυσύνθετα συστήματα αυτομάτου ελέγχου, όπου ένας τεράστιος αριθμός διεργασιών ρυθμίζεται αυτόματα. Έχουν αναπτυχθεί μαθηματικά μοντέλα βάση των οποίων μελετάμε τη συμπεριφορά πολλών βιολογικών συστημάτων, όπως είναι το μάτι, το αναπνευστικό σύστημα, το σύστημα ανθρώπινης ομιλίας, κ.λ.π.

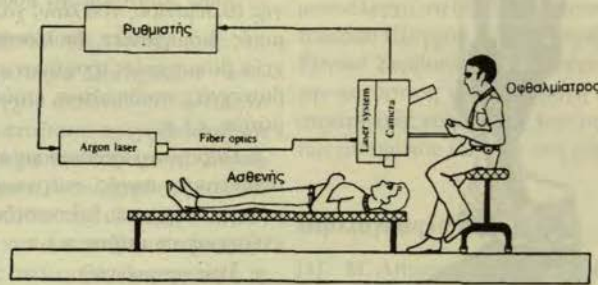
20. Αναπηρική καρέκλα. Η αναπηρική καρέκλα είναι ένα από τα πολλά αξιοσημείωτα αυτόματα συστήματα που έχουν επινοηθεί, προκειμένου να βοηθήσουν άτομα με ειδικές ανάγκες. Η αυτόματη αναπηρική καρέκλα είναι σχεδιασμένη ειδικά για άτομα που είναι ανάπηρα από το λαιμό και κάτω. Αποτελείται από ένα σύστημα, το οποίο βάζει σε λειτουργία το ανάπηρο άτομο με το κεφάλι του και καθορίζει τόσο την κατεύθυνση της κίνησης όσο και την ταχύτητα της καρέκλας. Η κατεύθυνση καθορίζεται από ένα αισθητήριο όργανο που είναι τοποθετημένο σε διαστήματα 90° έτσι ώστε, το άτομο να μπορεί να διαλέγει μία από τις τέσσερις κινήσεις: μπρος, πίσω, αριστερά και δεξιά. Η ταχύτητα καθορίζεται από την έξοδο ενός άλλου αισθητηρίου οργάνου, που η έξοδος του είναι ανάλογη του μεγέθους της κίνησης του κεφαλιού. Εδώ, ο άνθρωπος είναι μέρος του αντισταθμιστή.

21. Συστήματα εγχείρισης οφθαλμών με Laser. Ο αυτόματος έλεγχος, βρίσκει πολλές εφαρμογές και στην ιατρική, όπως π.χ. στους βηματοδότες (pace makers), στην αυτόματη ρύθμιση ινσουλίνης, σε εγχειρίσεις που απαιτείται μεγάλη ακρίβεια κ.λ.π. Ένα ενδιαφέρον παράδειγμα που απαιτεί μεγάλη ακρίβεια, είναι η εγχείριση στο μάτι. Η εγχείριση αυτή γίνεται όπως αυτή του σχήματος 4.19. Ο ρυθμιστής παρέχει τη δυνατότητα στον χειρουργό οφθαλμίατρο, να διατηρεί σταθερή την επιθυμητή θέση του συστήματος laser, παρά τις παρεμβολές διαταραχών (π.χ. μικρές κινήσεις του ασθενούς).

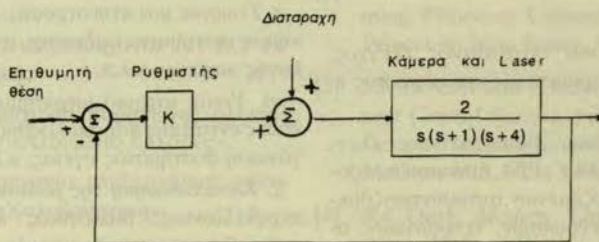
22. Διδασκαλία. Η διαδικασία της (σωστής) διδασκαλίας, έχει τη δομή ενός κλειστού συστήματος. Πράγματι, αν θεωρήσουμε ως σύστημα τους διδασκόμενους, ως είσοδο την ύλη που παρουσιάζει ο διδάσκων και ως έξοδο το βαθμό κατανόησης της ύλης από τους διδασκόμενους, τότε η διδασκα-



Σχήμα 4.18. Σχηματικό διάγραμμα εθνικού εισοδήματος.



(α) Σύστημα χειρουργικής οφθαλμών με Laser



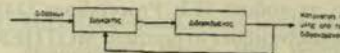
(β) Διάγραμμα βαθμίδων του συστήματος ελέγχου χειρουργικής οφθαλμών με Laser

Σχήμα 4.19. Σύστημα χειρουργικής οφθαλμών με Laser.

λία μπορεί να περιγραφεί με το σχηματικό διάγραμμα του σχήματος 4.20. Από το σχήμα αυτό, φαίνεται ότι η έξοδος του συστήματος, το κατά πόσο δηλαδή οι διδασκόμενοι κατανόησαν την ύλη, ανατροφοδοτείται στην είσοδο του συστήματος, δηλαδή στον διδάσκοντα. Στη συνέχεια ο διδάσκων αποφασίζει πώς θα συνεχίσει τη διδασκαλία και συγκεκριμένα προχωρεί σε επόμενη ύλη, αν οι διδασκόμενοι την κατάλαβαν, ή επαναλαμβάνει την ύλη, σε περίπτωση που δεν την κατάλαβαν. Επομένως, η διδασκαλία γίνεται, ή τουλάχιστον θα πρέπει να γίνεται, κα-

τά το πρότυπο ενός κλειστού συστήματος.

23. Μελλοντικά συστήματα ελέγχου. Εκτιμάται ότι ο αυτόματος έλεγχος θα



Σχήμα 4.20. Σχηματικό διάγραμμα διδασκαλίας.

αναπτυχθεί ραγδαία τα επόμενα χρόνια. Νέα επιτεύγματα, νέες τεχνικές ελέγχου, νέες εφαρμογές θα εμφανίζονται κάθε χρόνο και περισσότερες. Ίσως δε, να μην είμαστε και τόσο πολύ μακριά από την εμφάνιση ρομπότ, σαν αυτά που βλέπουμε τα τελευταία χρόνια σε κινηματογραφικές ταινίες (σχήμα 4.21).

5. Δραστηρότητες εργαστηρίου συστημάτων αυτόματου ελέγχου στο τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του ΕΜΠ

Ο αυτόματος έλεγχος διδασκείται σε πέντε τμήματα του ΕΜΠ:

- Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών (10 προπτυχιακά και 4 μεταπτυχιακά μαθήματα).
- Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών (2 προπτυχιακά μαθήματα).
- Τμήμα Χημικών Μηχανικών (3 προπτυχιακά μαθήματα).
- Τμήμα Ναυπηγών Μηχανικών (2 προπτυχιακά μαθήματα).
- Τμήμα Μεταλλειολόγων Μηχανικών (1 προπτυχιακό μάθημα).

Στο τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, έχει συγκροτηθεί Εργαστήριο Συστημάτων Αυτόματου Ελέγχου. Είναι εξοπλισμένο με PCs, με Laser Printers, με πειραματικό σύστημα ελέγχου θέσης και ταχύτητας σερβοκινητήρα DC, με πειραματικό σύστημα ελέγχου θερμοκρασίας και με ένα σύστημα προσομοίωσης ελέγχου βιομηχανικών διεργασιών. Με αυτό τον εξοπλισμό, εκτελούνται πειράματα ελέγχου, τόσο σε συστήματα πραγματικού χρόνου (όπως ο σερβοκινητήρας, το σύστημα θερμοκρασίας και το σύστημα προσομοίωσης βιομηχανικών διεργασιών), όσο και με προσομοίωση στους PCs. Το εργαστήριο είναι επίσης εφοδιασμένο, με πακέτα λογισμικού κατάλληλα για σχεδίαση συστημάτων ελέγχου (όπως το Mathematica, Matlab, CIS και ACS), καθώς και με λογισμικά πακέτα CAD (όπως το Autocad κ.λπ.).

Το Εργαστήριο Συστημάτων Αυτόματου Ελέγχου έχει ένα σημαντικό επιστημονικό προσωπικό που απαρτίζε-

ται από νέους επιστήμονες (12 υποψήφιοι διδάκτορες και πολλούς τελειόφοιτους που εκπονούν τη διπλωματική τους εργασία). Οι δραστηριότητες του εργαστηρίου μπορούν να ομαδοποιηθούν σε τρεις βασικούς άξονες:

1. Εκπαιδευτικές δραστηριότητες Προπτυχιακά μαθήματα:

1. Εισαγωγή στον Αυτόματο Έλεγχο, 6^ο εξάμηνο.
2. Έλεγχος Συστημάτων με Υπολογιστές, 8^ο εξάμηνο.
3. Εργαστήριο Συστημάτων Αυτόματου Ελέγχου, 8^ο εξάμηνο.
4. Βέλτιστος και Στοχαστικός Έλεγχος, 9^ο εξάμηνο.
5. Αναγνώριση Συστημάτων και Προσαρμοστικός Έλεγχος, 9^ο εξάμηνο.

Μεταπτυχιακά μαθήματα:

1. Προχωρημένα Θέματα Θεωρίας Συστημάτων και Αυτόματου Ελέγχου.
2. Προχωρημένος Έλεγχος Γραμμικών και μη Γραμμικών Συστημάτων.

Διπλωματικές Εργασίες και Διδακτορικές Διατριβές:

Οι διπλωματικές εργασίες και οι διδακτορικές διατριβές αποτελούν τον πυρήνα των ερευνητικών και αναπτυξιακών δραστηριοτήτων του Εργαστηρίου. Μέχρι τώρα έχουν εκπονηθεί 33 διπλωματικές εργασίες και τρεις διδακτορικές διατριβές.

2. Ερευνητικές και αναπτυξιακές δραστηριότητες

Οι ερευνητικές και αναπτυξιακές δραστηριότητες του Εργαστηρίου, καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα του αυτομάτου ελέγχου, με κύριους άξονες τις ακόλουθες περιοχές:

1. Θεωρία και ιδιότητες πολυμεταβλητών συστημάτων : χώρος κατάστασης, ευστάθεια, ελέγχιμο, παρατηρήσιμο, αντιστρέψιμο, κ.λ.π.
2. Αναγνώριση συστημάτων: off line και on line παραμετρική αναγνώριση, εκτίμηση του διανύσματος κατάστασης (φίλτρα Kalman, παρατηρητές κατάστασης, κ.λ.π.).
3. Προηγμένες τεχνικές σχεδίασης πολυμεταβλητών συστημάτων αυτομάτου ελέγχου: ψηφιακός έλεγχος, αλγεβρικός έλεγχος, βελτι-



Σχήμα 4.21. Ρομπότ της κινηματογραφικής ταινίας Star War.

στος και στοχαστικός έλεγχος, προσαρμοστικός και εύρωστος έλεγχος.

4. Σχεδίαση βιομηχανικών ελεγκτών: PLC, PID, δυναμικών, προσαρμοζόμενων, αυτοσυντονιζόμενων, εύρωστων, νευρωνικών, ασαφών, ευφυών κ.λ.π.
5. Αυτοματοποίηση παραγωγής: CIM, CNC, CAD, CAM, real-time program ming, SCADA, ποιοτικός έλεγχος, διάγνωση και πρόγνωση βλαβών, κ.λ.π.

Απο τις ερευνητικές δραστηριότητες του εργαστηρίου έχουν προκύψει πολλές σημαντικές προτότυπες εργασίες που έχουν δημοσιευθεί σε επιστημονικά περιοδικά και έχουν ανακοινωθεί σε επιστημονικά συνέδρια. Για μία πρόσφατη εργασία που δημοσιεύθηκε στο περιοδικό IEE Proceedings [14], μας απενεμήθει το βραβείο MOTHER PREMIUM. Η διάκριση αυτή δίδεται σε μία από τις τέσσερες καλύτερες δημοσιεύσεις της χρονιάς στο περιοδικό Proceedings IEE «in recognition of excellence within the scope of the Computing and Control Division».

3. Σύνδεση με την παραγωγή

Μείζων στόχος του Εργαστηρίου Αυτόματου Ελέγχου είναι να συμβάλει στη βιομηχανική και γενικότερη οικονομική ανάπτυξη της χώρας. Στα πλαίσια του άξονα αυτού, εντάσσεται και η προσπάθεια εφαρμογής σύγχρονων τεχνικών αυτομάτου ελέγχου σε πολλούς τομείς της οικονομικής δραστηριότητας της χώρας. Ενδεικτικά αναφέρονται οι εξής :

α. Βιομηχανία και βιοτεχνία: βιομηχανίες χάρτου, τοιμέντου, ζάχαρης, λιπασμάτων, κ.λ.π., κλωστοϋφαντουργικές βιομηχανίες, βιομηχανίες παραγωγής αλουμινίου, νικελίου, χάλυβα, χημικές βιομηχανίες, διυλιστήρια, ορυχεία, βιομηχανίες τροφίμων και ποτών, βιοτεχνίες υποδημάτων, ετοιμών ενδυμάτων, κ.λ.π.

β. Παραγωγή και διανομή ενέργειας: συμβατικές πηγές ενέργειας, ήπιες μορφές ενέργειας, βελτιστη διαχείριση ενέργειας σε κτίρια, κ.λ.π.

γ. Τηλεπικοινωνίες

δ. Συστήματα μεταφοράς : αυτοκίνητα, τρέινα, πλοία, ελικόπτερα, αεροπλάνα, κ.λ.π.

ε. Γεωργία και κτηνοτροφία: θερμοκήπια, συστήματα άρδευσης, περιουλολής καρπών, κ.λ.π.

στ. Υγεία: ιατρικά μηχανήματα, μονάδες εντατικής παρακολούθησης, οργάνωση συστήματος υγείας, κ.λ.π.

ζ. Καταπολέμηση της μόλυνσης του περιβάλλοντος: βιολογικός καθαρισμός, έλεγχος ατμοσφαιρικών ρύπων, προστασία της φύσης, κ.λ.π.

η. Βιοτεχνολογία

θ. Μείωση εργατικών ατυχημάτων

ι. Ρομποτική, CIM, CAD, CAM, κ.λ.π.

Ο αυτόματος έλεγχος μπορεί να διαδραματίσει βασικό ρόλο στην ανάπτυξη πολλών δραστηριοτήτων στη χώρα μας. Ειδικά δε για τη βιομηχανική και οικονομική ανάπτυξη, ο αυτόματος έλεγχος μπορεί να συμβάλει σημαντικά στους πιο κάτω στόχους:

1. Αύξηση της παραγωγικότητας.
2. Βελτίωση της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων.
3. Βελτίωση των διαδικασιών παραγωγής.
4. Μείωση του κόστους λειτουργείας των εγκαταστάσεων και συ-

νεπώς, μείωση της τιμής των παραγόμενων προϊόντων.

5. Αύξηση της ανταγωνιστικότητας των παραγόμενων προϊόντων.
6. Βελτίωση της βιοσημότητας των βιομηχανικών μονάδων.
7. Εξοικονόμηση πολύτιμου συναλλάγματος από τη μη εισαγωγή τεχνολογίας.
8. Μεταφορά και προσαρμογή υψηλής τεχνολογίας σε παραδοσιακούς κλάδους της βιομηχανίας μας.
9. Βελτίωση της ποιότητας ζωής.
10. Προστασία της φύσης.

Στο εργαστήριο Συστημάτων Αυτομάτου Ελέγχου εκπονούνται *ερευνητικά και αναπτυξιακά προγράμματα*, σε συνεργασία με την παραγωγή. Συγκεκριμένα, έχουν ολοκληρωθεί ή βρίσκονται στο στάδιο της ολοκλήρωσης, ερευνητικά και αναπτυξιακά προγράμματα με τις ακόλουθες βιομηχανίες, όπου εφαρμόστηκαν σύγχρονες τεχνικές ελέγχου για τον εκσυγχρονισμό διεργασιών και διαδικασιών παραγωγής:

1. Τοιμεντοβιομηχανία Α.Γ.Ε.Τ Ηρακλής.
2. Βιομηχανία παραγωγής αλουμινίου «Αλουμίνιο Ελλάδος».
3. Βιομηχανία επεξεργασίας χάλυβα «Χάλυβουργική».
4. Βιομηχανία ηλεκτρολογικού εξοπλισμού «SIEMENS».

6. Συμπεράσματα - προοπτικές - προτάσεις

Ο αυτόματος έλεγχος είναι σήμερα μία από τις τεχνολογίες αιχμής με μεγάλες δυνατότητες περαιτέρω ανάπτυξης, τόσο από θεωρητικής πλευράς όσο και από πλευράς εφαρμογών. Ειδικά δε με τη χρήση των ηλεκτρονικών υπολογιστών, ο αυτόματος έλεγχος κατακτά συνεχώς νέους ορίζοντες και ανοίγει νέες προοπτικές.

Είναι φανερό ότι ο αυτόματος έλεγχος μπορεί να προσφέρει πολλά στη χώρα μας. Μπορεί και πρέπει να αποτελέσει μοχλό ανάπτυξης σε πολλούς τομείς. Ειδικά δε για το βιομηχανικό και βιοτεχνικό τομέα, μπορεί

να αποτελέσει σημαντικό μοχλό ανάπτυξης αφού μπορεί να εκσυγχρονήσει τις μεθόδους παραγωγής και επομένως να καταστήσει τα προϊόντα μας περισσότερο ανταγωνιστικά.

Για την αποτελεσματικότερη αξιοποίηση της τεχνολογίας του αυτομάτου ελέγχου, θα πρέπει η πολιτεία να στηρίξει την αναβάθμιση του αυτομάτου ελέγχου στην εκπαίδευση, στην έρευνα και ανάπτυξη, στην εφαρμογή σε τομείς της παραγωγής, στην υγεία, στην καταπολέμηση της μόλυνσης του περιβάλλοντος, κ.λ.π. Να χρηματοδοτήσει την έρευνα και ανάπτυξη στον αυτόματο έλεγχο, να ιδρύσει Ινστιτούτα Αυτομάτου Ελέγχου, και να συγχροτήσει Εθνικό Συμβούλιο που θα έχει στόχο την κατάρτιση και εφαρμογή εθνικής στρατηγικής ανάπτυξης των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου στη χώρα μας.

Βιβλιογραφία

- [1] M. Athans and P.B. Falb, *Optimal Control*, McGraw-Hill, New York, 1976.
- [2] R. Bellman, *Dynamic Programming*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1957.
- [3] J.J. D'Azzo and C.H. Houpis, *Linear Control Systems Analysis and Design, Conventional and Modern*, McGraw-Hill, New York, 1975.
- [4] R.C. Dorf, *Modern Control Systems*, Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, 1980.
- [5] B.C. Kuo, *Automatic Control Systems*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1975 (Third Edition).
- [6] O. Mayr, *The Origins of Feedback Control*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1970.
- [7] K. Ogata, *Modern Control Engineering*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1970.
- [8] H.H. Rosenbrock, *Stata Space and Multivariable Theory*, John Wiley, New York, 1970.
- [9] A.D. Sage and C.C. White, *Optimum Systems Control*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1977 (Second Edition).

- [10] R.E. Kalman, «A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems» *Transactions Asme (Journal of Basic Engineering)*, Vol 82D, pp. 35-45, 1960.
- [11] R.E. Kalman and R.S. Bucy, «New Results in Linear Filtering and Prediction Theory» *Transactions Asme (Journal of Basic Engineering)* Vol 83D, pp. 95-108, 1961.
- [12] P.N. Paraskevopoulos, «Exact Transfer - Function Design Using Output Feedback», *Proceedings IEE*, Vol 123, pp. 831-834, 1976.
- [13] P.N. Paraskevopoulos, «A General Solution to the Output Feedback Eigen value Assignment Problem», *International Journal of Control*, Vol. 24, pp. 509-528, 1976.
- [14] P.N. Paraskevopoulos and F.N. Koumboulis, «A Unifying Approach to Observers for Regular and Singular Systems», *IEE Proceedings*, Part D, Control Theory and Application, vol. 138, pp. 547-560, 1991.
- [15] Π.Ν. Παρασκευόπουλου, *Εισαγωγή στον Αυτόματο Έλεγχο*, Αθήνα, 1991.
- [16] Π.Ν. Παρασκευόπουλου, *Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου, Ανάλυση Σ.Α.Ε.* Τόμος Α, Αθήνα, 1986.
- [17] Π.Ν. Παρασκευόπουλου, *Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου, Σχεδίαση Σ.Α.Ε.* Τόμος Β, Αθήνα, 1986.
- [18] Π.Ν. Παρασκευόπουλου, *Έλεγχος Συστημάτων με Υπολογιστές*, Αθήνα, 1991.
- [19] Π.Ν. Παρασκευόπουλου, *Βέλτιστος και Στοχαστικός Έλεγχος*, Αθήνα, 1989.
- [20] Π.Ν. Παρασκευόπουλου, *Αναγνώριση Συστημάτων και Προσαρμοστικός Έλεγχος*, Αθήνα, 1991.
- [21] Π.Ν. Paraskevopoulos, *Digital Control Systems*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey (υπό ολοκλήρωση).
- [22] P.N. Paraskevopoulos, *Introduction to Automatic Control Systems* (υπό προετοιμασία).