**Απλοί ελεγκτές**

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει σκοπός του ελεγκτή είναι να οδηγήσει το προς έλεγχο σύστημα σε μια επιθυμητή συμπεριφορά. O ελεγκτής μπορεί να είναι είτε ένας άνθρωπος, οπότε έχουμε *χειροκίνητο σύστημα ελέγχου (manual control system)*, είτε ένα κύκλωμα, Η/Υ, πνευματική διάταξη, κ.λ.π., οπότε έχουμε ένα *αυτόματο σύστημα ελέγχου (automatic control system)*.

Θυμίζουμε ότι ένα απλοποιημένο αυτόματο σύστημα ελέγχου έχει την μορφή του σχήματος . Στο α) φαίνεται ένα σύστημα *κλειστού βρόχου* και στο β) ένα σύστημα *ανοικτού βρόχου*.

Όπου G(s) είναι η συνάρτηση μεταφοράς του συστήματος που πρόκειται να ελεγχθεί και F(s) η συνάρτηση μεταφοράς του ελεγκτή.

G(s)

F(s)

είσοδος

έξοδος

Σ

+

-

σφάλμα

R

Y

E

(a)

F(s)

G(s)

έξοδος

είσοδος

R

Y

(b)

**Σχήμα** Διαγράμματα βαθμίδων συστημάτων κλειστού (α) και

ανοικτού βρόχου (β)

Αν Η(s) η συνάρτηση μεταφοράς του συστήματος που προκύπτει, τότε για το σύστημα ανοικτού βρόγχου (σχήμα β), έχουμε

Η(s) = G(s) \* F(s)

Ενώ για το σύστημα κλειστού βρόγχου (σχήμα α) αν R η είσοδος και Υ η έξοδος, θα έχουμε

Υ(s) = G(s)F(s)E(s)⇒

⇒Y(s) = G(s)F(s){R(s)-Y(s)} ⇒

⇒Y(s) + Y(s)G(s)F(s) = G(s)F(s)R(s) ⇒

⇒Y(s){1 + G(s)F(s)} = G(s)F(s)R(s) ⇒

⇒



βλέπουμε δηλαδή ότι ο ελεγκτής τροποποιεί την συνάρτηση μεταφοράς του συστήματος.

Αποδεικνύεται ότι τυχόν μεταβολή των παραμέτρων του συστήματος που πρόκειται να ελεγχθεί γίνεται λιγότερο αισθητή στην έξοδο ενός κλειστού συστήματος παρά στην έξοδο ενός ανοικτού.

Επίσης αλλαγή των παραμέτρων των συσκευών στον κλάδο ανατροφοδότησης επηρεάζει σημαντικά την έξοδο του συστήματος και για τον λόγο αυτό ο κλάδος αυτός είναι όσο το δυνατόν απλούστερος. Τέλος η συμπεριφορά του κλειστού συστήματος είναι λιγότερο ευαίσθητη στους θορύβους από το αντίστοιχο ανοικτό σύστημα.

Στην πράξη συνήθως χρησιμοποιούνται οι ελεγκτές που έχουν αναλογική δράση, αυτοί που έχουν αναλογική και ολοκληρωτική δράση, αυτοί που έχουν αναλογική και διαφορική δράση και τέλος αυτοί που έχουν αναλογική και ολοκληρωτική και διαφορική δράση.

Ο ελεγκτής με ***αναλογική δράση*** (Ρ ελεγκτής) στην πραγματικότητα είναι ένας ενισχυτής. Στην περίπτωση αυτή η συνάρτηση μεταφοράς F(s) είναι απλά μια σταθερά και ο ελεγκτής έχει περιορισμένες δυνατότητες για την βελτίωση του συστήματος. Καθώς αυξάνεται ο βαθμός της ενίσχυσης το σφάλμα στην μόνιμη κατάσταση θα μικραίνει, αλλά ταυτόχρονα το σύστημα τείνει να γίνει ασταθές

Ο ελεγκτής με ***αναλογική και ολοκληρωτική*** δράση (ΡΙ ελεγκτής) έχει σκοπό να βελτιώσει την υπερακόντιση και την σχετική ευστάθεια. Η ολοκληρωτική δράση του ελεγκτή συνεχίζεται έως ότου το σφάλμα που εισάγει η αναλογική δράση γίνει μηδέν. Η συνάρτηση μεταφοράς του επηρεάζει την συνάρτηση μεταφοράς βρόχου κυρίως στις χαμηλές συχνότητες.

Ο ελεγκτής με ***αναλογική και διαφορική*** δράση (PD ελεγκτής) στόχο έχει να μειώσει τον χρόνο ανύψωσης και την υπερακόντιση (στο πεδίο του χρόνου). Η διαφορική δράση του ελεγκτή αυξάνει την ταχύτητα του συστήματος. Πάντως σε περιπτώσεις όπου υπάρχει θόρυβος, η διαφορική δράση καλό είναι να αποφεύγεται. Η συνάρτηση μεταφοράς του ελεγκτή αυτού επηρεάζει την συνάρτηση μεταφοράς βρόχου κυρίως στις υψηλές συχνότητες.

Τέλος ο ελεγκτής με ***αναλογική, ολοκληρωτική και διαφορική δράση*** (PID ελεγκτής) βελτιώνει τον χρόνο ανόδου και την υπερακόντιση, χωρίς να οδηγήσει το σύστημα σε αστάθεια, δρά δε σε όλο το εύρος των συχνοτήτων. Η καλή λειτουργία του ελεγκτή αυτού (όπως και κάθε ελεγκτή) βασίζεται στην σωστή ρύθμισή του. Όταν αναφερόμαστε σε ρύθμιση του PID ελεγκτή, εννοούμε τον καθορισμό των συντελεστών της κάθε δράσης. Ετσι π.χ. σε περίπτωση όπου στο σύστημα υπάρχει θόρυβος, ο παράγων D πρέπει να είναι εξασθενημένος, ενώ αν υπάρχει μεγάλη χρονική καθυστέρηση (μεγάλος χρόνος ανόδου), ο παράγοντας αυτός θα πρέπει να είναι ενισχυμένος.

* 1. **Σύγχρονες μορφές αυτομάτου ελέγχου**

Είδαμε στα προηγούμενα τις βασικές έννοιες της κλασικής ανάλυσης και σχεδίασης των Συστημάτων Αυτομάτου Ελέγχου. Οι μέθοδοι αυτοί (Bode, Nyquist) δίνουν σύντομες και πρακτικές λύσεις, παρουσιάζουν όμως το μειονέκτημα, ότι είναι γραφικές μέθοδοι, άρα η επιτυχία τους εξαρτάται κατά πολύ από την ικανότητα του σχεδιαστή. Επίσης δεν μπορούν να εφαρμοστούν εύκολα σε χρονικά μεταβαλλόμενα συστήματα ή σε συστήματα πολλών εισόδων – πολλών εξόδων.

Για τους λόγους αυτούς έχουν αναπτυχθεί νέες μέθοδοι σχεδίασης που βασίζονται σε σύνθετες μαθηματικές αναλύσεις που με την γενικευμένη χρήση των Ηλεκτρονικών Υπολογιστών υλοποιούνται αρκετά εύκολα.

* + 1. **Αριστος έλεγχος (optimal control)**

Πρόκειται για μια αναλυτική μέθοδο επίλυσης προβλημάτων ελέγχου, που βασίζεται στον προσδιορισμό ενός νόμου ελέγχου που ελαχιστοποιεί κάποιον δείκτη κόστους ή δείκτη απόδοσης και έτσι η λειτουργία του συστήματος γίνεται άριστη (για ορισμένα σήματα).

Η θεωρία του άριστου ελέγχου βασίζεται στον προσδιορισμό ενός μαθηματικού κριτηρίου, που θα περιέχει τα φυσικά μεγέθη του ελεγκτή που παίζουν τον σπουδαιότερο ρόλο και που θα αποτελεί τον *δείκτη απόδοσης του συστήματος.* Απαραίτητη προϋπόθεση για να είναι το σύστημα άριστο, θα πρέπει η συνάρτηση αυτή να συγκλίνει και για κάποιες τιμές των παραμέτρων του συστήματος να ελαχιστοποιείται. Με βάσει τις συνθήκες αυτές προσδιορίζουμε τις παραμέτρους του ελεγκτή, που καθιστά την λειτουργία του κλειστού συστήματος άριστη (δηλαδή ελαχιστοποιούν τον σχετικό δείκτη) για ορισμένα σήματα εισόδου.

Σαν δείκτης απόδοσης μπορούν να ληφθούν

* Η χρονική διάρκεια που απαιτείται για να πετύχει η έξοδος μια δεδομένη τιμή
* Η ελαχιστοποίηση του εμβαδού μεταξύ του άξονα των χρόνων και της καμπύλης μιας συνάρτησης του σφάλματος

Να τονίσουμε ότι ο βέλτιστος έλεγχος δεν εξασφαλίζει πάντα την ευστάθεια του συστήματος κλειστού βρόχου.

* + 1. **Προσαρμοστικός έλεγχος (adaptive control)**

Υπάρχουν συστήματα που για ίδιες διεγέρσεις δίνουν διαφορετικές αποκρίσεις, που εξαρτώνται από τον χρόνο ή το περιβάλλον στο οποίο λειτουργούν (π.χ. αεροπλάνο που πετά σε διαφορετικά ύψη). Στις περιπτώσεις αυτές ένας κλασικός ελεγκτής αδυνατεί να εξασφαλίσει ικανοποιητική συμπεριφορά για ολόκληρο το εύρος των μεταβολών. Ο ελεγκτής πρέπει να αναγνωρίζει το σύστημα και να ρυθμίζει τις παραμέτρους του ώστε να εξασφαλίζει βέλτιστη συμπεριφορά ως προς κάποιο κριτήριο.

Δύο είναι οι κυριότερες τεχνικές προσαρμοστικού ελέγχου που έχουν προταθεί

* Προσαρμοστικός έλεγχος αναφοράς σε πρότυπο
* Αυτορυθμιζόμενος προσαρμοστικός έλεγχος

Σύμφωνα με τον προσαρμοστικό έλεγχο αναφοράς καθορίζεται το πρότυπο αναφοράς σαν εκείνο το σύστημα, που έχει την επιθυμητή συμπεριφορά και διεγείρεται με το ίδιο σήμα εισόδου με το κλειστό σύστημα. Ο στόχος του προσαρμοστικού ελέγχου είναι η ρύθμιση των παραμέτρων του ελεγκτή ώστε η τελική έξοδος του συστήματος να ακολουθεί την έξοδο του προτύπου όσο γίνεται πιο πιστά (να ελαχιστοποιείται η απόκλιση των τιμών των δύο εξόδων).

Σύμφωνα με τον αυτορυθμιζόμενο προσαρμοστικό έλεγχο, ο ελεγκτής προσδιορίζεται με βάση τις εκτιμώμενες τιμές των παραμέτρων του συστήματος που πρόκειται να ελεγχθεί, μέσα από μια διαδικασία αναγνώρισης. Ετσι έχουμε δύο στάδια : το στάδιο αναγνώρισης και το στάδιο σχεδίασης του ελεγκτή. Τελικά οι παράμετροι του ελεγκτή μεταβάλλονται από σήματα οδήγησης του μηχανισμού του ελεγκτή. Ο μηχανισμός αυτός παίρνει σαν δεδομένα τις εκτιμούμενες τιμές των παραμέτρων του συστήματος που θα ελεγχθεί.

* + 1. **Λογικός έλεγχος (on - off control)**

Σε έναν αυτοματισμό τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα αισθητήρια είναι οι διακόπτες. Τα "αισθητήρια" αυτά όπως και οι κάθε είδους ανιχνευτές (detectors), δίνουν στην έξοδό τους (με κατάλληλη συνδεσμολογία) μόνο δύο καταστάσεις π.χ. 1 και 0. Όπου το 1 αντιστοιχεί ότι το αισθητήριο διεγείρεται ενώ το 0 ότι παραμένει αδρανές.

Στην περίπτωση αυτή η διαδικασία ελέγχου βασίζεται στην οικοδόμηση μιας σειράς λογικών καταστάσεων. Π.χ. *"αν συμβαίνει το γεγονός Α και το γεγονός Β, τότε έχουμε Γ"*. Tέτοιοι ελέγχοι αρχικά υλοποιόταν από τους κλασικούς αυτοματισμούς (αυτοματισμοί με ρελέ) και στην συνέχεια με ψηφιακά κυκλώματα (πύλες, flip-flops) ή με προγραμματιζόμενους αυτοματισμούς. Οι Προγραμματιζόμενοι Λογικοί Ελεγκτές (PLC) που θα δούμε σε επόμενο κεφάλαιο, ανήκει στην τελευταία κατηγορία.

* + 1. **Εύρωστος έλεγχος (Robust control)**

Ενα φυσικό σύστημα για να μελετηθεί αναπαρίσταται από ένα μαθηματικό μοντέλο. Tο μοντέλο αυτό όμως απέχει του πραγματικού. Οταν λοιπόν σχεδιάζουμε έναν ελεγκτή με βάση το μαθηματικό μοντέλο και τον εφαρμόζουμε στο φυσικό σύστημα, βλέπουμε ότι η έξοδος δεν είναι η αναμενόμενη. Δημιουργείται επομένως μια αβεβαιότητα (uncertainty) στο σύστημα που δεν μπορεί να περιγραφεί με μια συνάρτηση και που είναι δυνατόν (παρά την παρουσία του ελεγκτή) να το οδηγήσει σε αστάθεια.

Το πρόβλημα στον εύρωστο έλεγχο είναι να σχεδιάσουμε έναν ελεγκτή που να εξασφαλίζει ευστάθεια στο σύστημα ακόμη και σε μη ιδανικές συνθήκες.

Στόχος μας όταν σχεδιάζουμε ένα ελεγκτή είναι να μας δίνει το ζητούμενο αποτέλεσμα (έξοδο), όταν εφαρμόζεται σε ένα πραγματικό σύστημα. Για να επιτευχθεί όμως αυτό θα πρέπει ο ελεγκτής να εγγυάται την ευστάθεια κλειστού βρόχου, όχι μόνο στην περίπτωση ιδανικού συστήματος, αλλά σε μια οικογένεια συστημάτων, που περιλαμβάνει το πραγματικό σύστημα. Μας ενδιαφέρει λοιπόν να σχεδιάσουμε έναν ελεγκτή που να εξασφαλίζει ευστάθεια για όλη την οικογένεια των συστημάτων που είναι δυνατόν να αντιστοιχούν στο πραγματικό σύστημα, καθώς οι παράμετροί του αλλάζουν μέσα σε μια περιοχή.



(β)



(γ)

Σχήμα 6.4.1 Χρονική απόκριση συστήματος. Στο (α) φαίνεται η είσοδος που εφαρμόζεται και στα (β) και (γ) η έξοδος

Στο σχήμα αυτό βλέπουμε την μέγιστη υπερύψωση, τον χρόνο υστέρησης Td, τον χρόνο ανύψωσης Τr και τον χρόνο αποκατάστασης Τs. Ας δούμε τι είναι ο κάθε ένας από τους παράγοντες αυτούς.

*Υπερακόντιση ή μέγιστη υπερύψωση (overshoot)* είναι η διαφορά της μέγιστης από την τελική τιμή της εξόδου. Συνήθως ενδιαφερόμαστε για την επί τοις εκατό υπερύψωση

%=(ymax-yτελ)/yτελ

*Χρόνος υστέρησης (delay time ) Td*  είναι ο χρόνος που απαιτείται για να φτάσει η έξοδος στο μισό της τελικής τιμής της.

*Χρόνος ανύψωσης (rise time ) Tr*  είναι ο χρόνος που απαιτείται για να φτάσει η έξοδος από το 10% στο 90% της τελικής τιμής της.

*Χρόνος αποκατάστασης (settling time ) Ts* είναι ο χρόνος που απαιτείται, ώστε η έξοδος να φτάσει και να παραμείνει σε μια δεδομένη περιοχή της τελικής τιμής. Η περιοχή αυτή συνήθως λαμβάνεται ώστε να εξασφαλίζει έξοδο με ±5% απόκλιση από την τελική τιμή

Οι παράγοντες αυτοί δεν είναι ανεξάρτητοι μεταξύ τους. Ετσι μπορούμε να μειώσουμε τον χρόνο υστέρησης, αλλά τότε θα αυξηθεί η υπερακόντιση. Αν πάλι θέλουμε να εξαλείψουμε την υπερακόντιση, τότε θα πρέπει να αυξηθεί ο χρόνος αποκατάστασης.