

ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ & ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

ΟΡΟΙ ΚΑΙ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΡΤΙΣΗΣ

- **Συνολική διάρκεια προγράμματος: 100 ώρες**
- **Ημερήσια διάρκεια προγράμματος κατάρτισης**
- **Ποσοστό απουσιών ανά καταρτιζόμενο**
- **Ώρα προσέλευσης-αποχώρησης**
- **Ρολόι και υποχρεώσεις**
- **Έξοδα μετακίνησης**
- **Γραμματειακή- Οργανωτική υποστήριξη προγράμματος κατάρτισης**
- **Εκπαιδευτικό Υλικό –Σημειώσεις**
- **Διάλυμα-Παροχές-Εκπαιδευτικός χώρος**

ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ

- *Ο εντοπισμός και η πρόληψη καταστάσεων οι οποίες θα προκαλούσαν δυσάρεστες συνέπειες τόσο στον άνθρωπο όσο και στην ίδια την εγκατάσταση.*
- *Ο σχεδιασμός, η ανάλυση, η διαστασιολόγηση και ο προγραμματισμός των αυτοματοποιημένων συστημάτων.*
- *Η εγκατάσταση, η δοκιμή και η συντήρηση των κυκλωμάτων αυτοματισμού.*
- *Η ανάπτυξη της κριτικής σκέψης.*

ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ 1

Δομή ενός Αυτοματοποιημένου Συστήματος

Περιεχόμενα

Θεματικής Ενότητας 1: Δομή ενός Αυτοματοποιημένου Συστήματος

ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ & ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

Θεματική Ενότητα 1 Δομή ενός Αυτοματοποιημένου Συστήματος

1.1 Ο ρόλος και η δομή ενός Συστήματος Αυτομάτου Ελέγχου

1.2 Παράμετροι κα Αναπαράσταση ενός Συστήματος Αυτομάτου Ελέγχου

1.3 Κατηγορίες και τρόποι Διασύνδεσης των Συστημάτων

1.4 Μεταβλητές Συστημάτων Ελέγχου

1.5 Ελεγκτές και Τεχνικές ελέγχου

ΠΡΟΣΔΟΚΩΜΕΝΑ ΜΑΘΗΣΙΑΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ (επιθυμητές Γνώσεις – Δεξιότητες – Ικανότητες)

- Να κατανοήσουν το ρόλο και τον τρόπο λειτουργίας ενός Συστήματος Αυτομάτου Ελέγχου
- Να μπορούν να σχεδιάζουν μέσω block διαγραμμάτων συστήματα κλειστού και ανοιχτού βρόχου
- Να γνωρίζουν τα επιμέρους τμήματα ενός Συστήματος Ελέγχου και ποιος είναι ο σκοπός ύπαρξης του καθενός
- Ποιοι παράμετροι καθορίζουν την αξιοπιστία ενός ΣΑΕ
- Να γνωρίζουν τους τρόπους διασύνδεσης που υπάρχουν μεταξύ των συστημάτων καθώς και να μπορούν να σχεδιάσουν σύνθετα συστήματα με γνώση της λαμβανόμενης εξόδου κάθε φορά
- Να ξέρουν τι μεταβλητές διαθέτουμε σε ένα Σύστημα Ελέγχου
- Τι είναι το feedback loop και ποια η σημασία του
- Ποιος ο ρόλος του ελεγκτή μέσα σε ένα κύκλωμα ελέγχου – σε ποιο σημείο τοποθετείται
- Να ξέρουν τα είδη των ελεγκτών καθώς και τα πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα που συγκεντρώνουν
- Να γνωρίζουν την αρχή λειτουργίας και τις δυνατότητες χρήσης του αναλογικού, ολοκληρωτικού και διαφορικού ελεγκτή

ΥΠΟΕΝΟΤΗΤΑ 1.1

Ο ρόλος και η δομή ενός Συστήματος Αυτομάτου Ελέγχου

Ορισμός – Τι είναι αυτοματισμός;

Είναι εκείνη η επιστήμη που ασχολείται με τον έλεγχο ενός συγκεκριμένου συστήματος ακολουθώντας μια σειρά από «βήματα» με σκοπό την επιβολή επιθυμητής συμπεριφοράς σε αυτό.

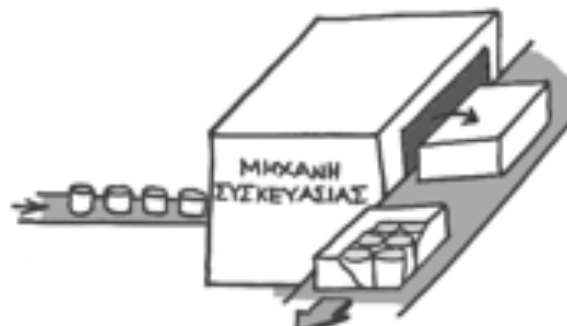
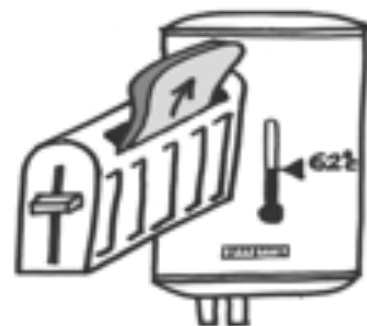
Με τι ασχολείται:

Το αντικείμενο του αυτοματισμού έχει ποικίλες εφαρμογές που τις συναντάμε τόσο στην καθημερινότητα όσο και στη βιομηχανία (εργοστάσια, μονάδες παραγωγής κλπ)

Ο ρόλος του:

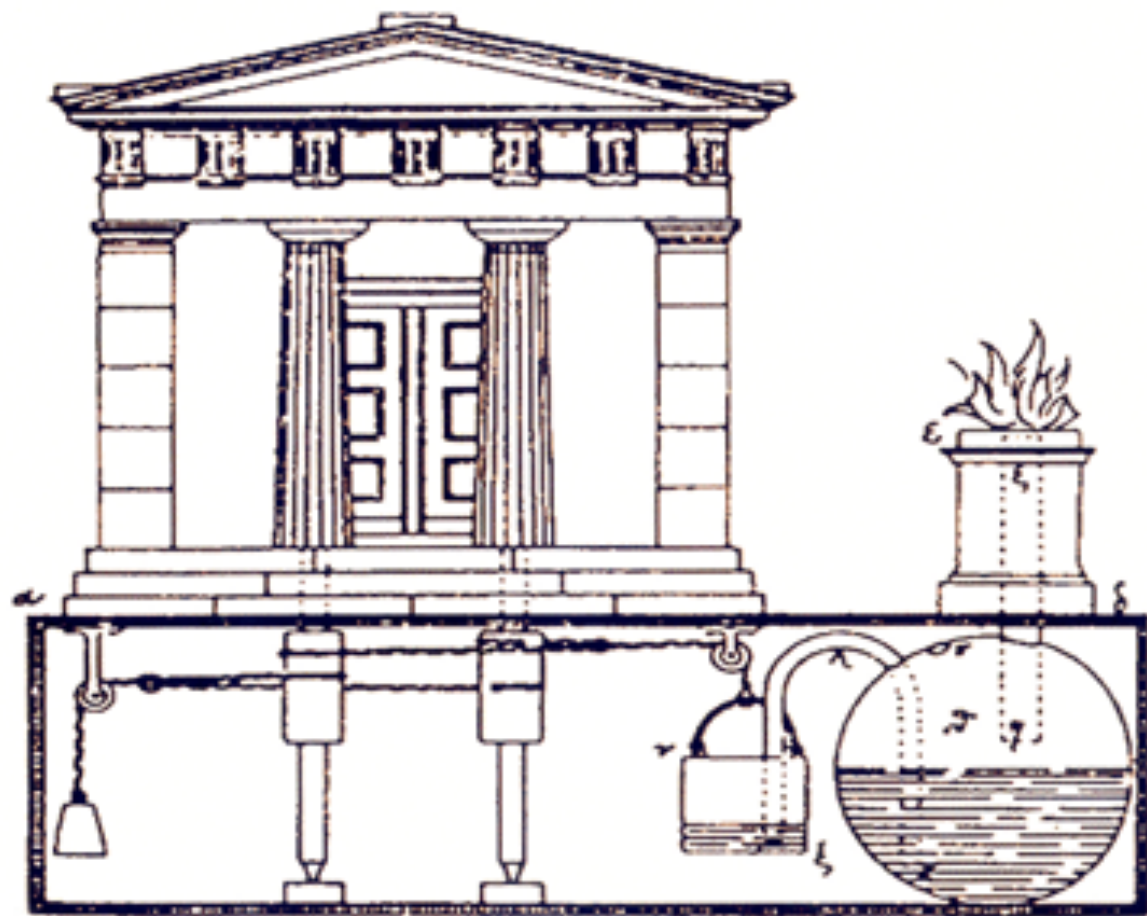
Σκοπός των εφαρμογών του αυτοματισμού είναι να μας διευκολύνουν τη ζωή υλοποιώντας εργασίες πιο γρήγορα, πιο εύκολα και με μικρή ή και καθόλου ανθρώπινη συμμετοχή

- π.χ. 1) Βράσιμο νερού στο βραστήρα με το πάτημα ενός κουμπιού
2) Συναρμολόγηση αυτοκινήτων στο εργοστάσιο
3) Ζέσταμα νερού για μπάνιο με τη βοήθεια του θερμοσίφωνα



Παραδείγματα αυτοματισμών που χρησιμοποιούνταν στην Αρχαία Ελλάδα:

❖ 1^ο Παράδειγμα: **Αυτόματος μηχανισμός για το άνοιγμα θυρών αρχαίου ναού - Ήρωνας**



- Είσοδος συστήματος (ποια είναι η διέγερση για το σύστημα):
Άναμμα φωτιάς στο βωμό
- Σύστημα προς έλεγχο (τι ελέγχω):
Οι πύλες του ναού
- Εξοδος (τι λαμβάνω από το σύστημα):
Το άνοιγμα της πύλης του ναού
- Ρυθμιστές/Ελεγκτές (στοιχεία που ρυθμίζουν τη σωστή λειτουργία του συστήματος):
Δοχεία νερού, τροχαλίες, σχοινιά, ζυγοί, αντίβαρο

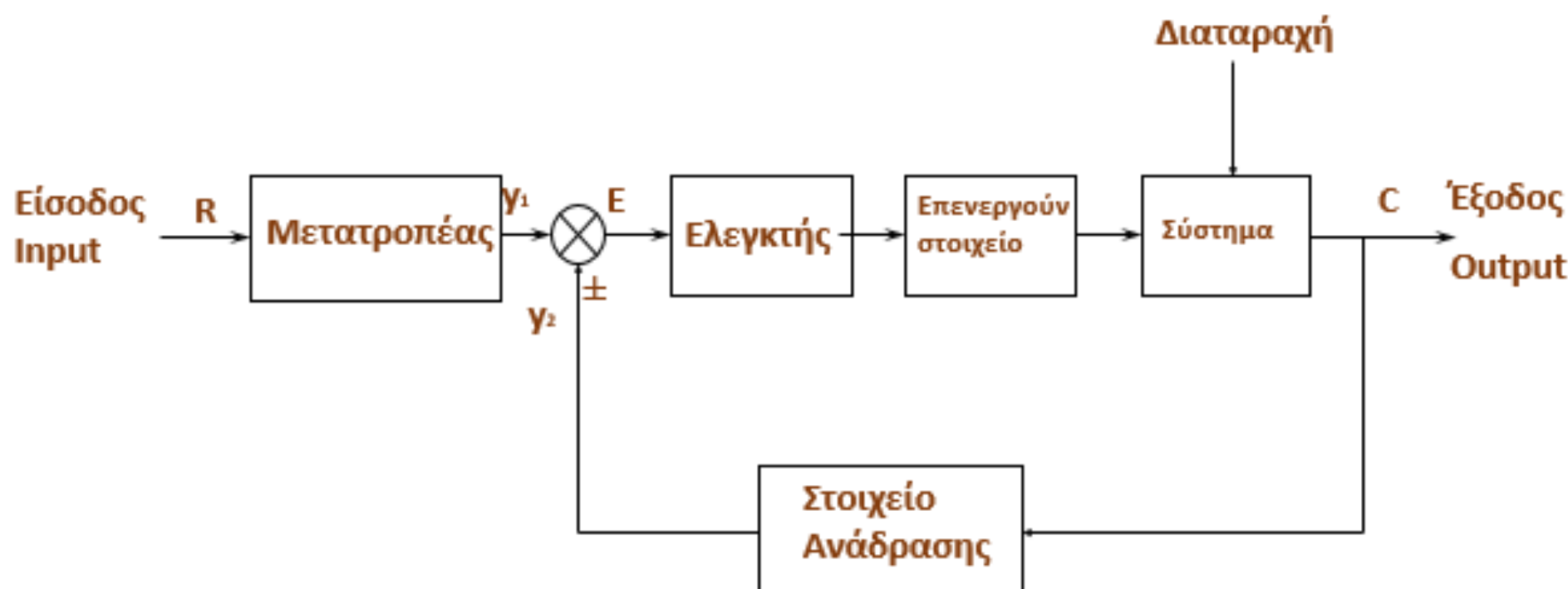
Βασική Δομή Συστήματος Ελέγχου Κλειστού Βρόχου

1^ο χαρακτηριστικό:

Υπαρξη ενός ή περισσότερων σημείων/τμημάτων στο σύστημα μέσω των οποίων να είναι εφικτή η αλλαγή της κατάστασής του με δράση που προέρχεται εξ' ολοκλήρου έξω από αυτό (π.χ. Είσοδος συστήματος)

2^ο χαρακτηριστικό:

Υπαρξη σημείων ή τμημάτων του συστήματος, στα οποία επέρχεται μια προκαθορισμένη μεταβολή της κατάστασης (δηλ. ιδιότητας ή ιδιοτήτων) σαν συνέπεια των δράσεων στα παραπάνω σημεία του 1^{ου} χαρακτηριστικού (π.χ. Έξοδος συστήματος)



Ανάλυση των στοιχείων του συστήματος

Είσοδος (input):

Ονομάζεται η διέγερση που εφαρμόζεται στο σύστημα από εξωτερική πηγή

Μετατροπέας (transducer):

Κατάλληλη μονάδα που μετατρέπει την ενέργεια από μια μορφή σε άλλη (π.χ από μηχανική σε ηλεκτρική)

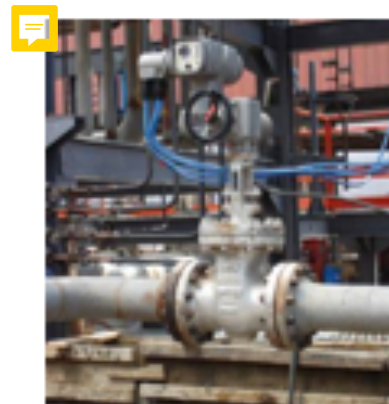
Ελεγκτής (Controller):

Είναι η συσκευή που παράγει κατάλληλη έξοδο με την οποία τροφοδοτείται η διεργασία που ελέγχουμε με σκοπό τον μηδενισμό του σφάλματος και την βελτιστοποίηση της απόκρισης του συστήματος



Επενεργούν Στοιχείο (Actuator):

Είναι εκείνο το στοιχείο του συστήματος που εξαναγκάζει την διεργασία να παράγει έξοδο αποδίδοντας κατάλληλη ενέργεια στο σύστημα



Ανάλυση των στοιχείων του συστήματος

Σύστημα (plant):

- Follow Up:

Ονομάζονται εκείνα τα συστήματα των οποίων η έξοδος μεταβάλλεται σε σχέση με τις μεταβολές του σήματος εισόδου στο σύστημα (π.χ. Σύστημα ελέγχου θερμοκρασίας κλειστού χώρου)

- Regulator:

Έτσι ονομάζονται τα συστήματα των οποίων η έξοδος θα πρέπει υποχρεωτικά να παραμένει σταθερή (αμετάβλητη) ανεξάρτητα από την ύπαρξη μεταβολών στο σήμα εισόδου του συστήματος (π.χ. Σταθεροποιητής τάσης DC)



Διαταραχή (Disturbance):

Ως διαταραχή ονομάζεται κάθε μη επιθυμητό σήμα που δρα παρασιτικά εις βάρος της εξόδου και την επηρεάζει (π.χ. θόρυβος)

Ανάδραση (Feedback):

Ένα σύστημα θα λέμε ότι χρησιμοποιεί ανάδραση όταν ένα μέρος της εξόδου ή ολόκληρη η έξοδος τροφοδοτείται σε κλάδο ανατροφοδότησης και οδηγείται στην είσοδο, όπου συγκρίνεται με το επιθυμητό σήμα της διέγερσης.

Πού χρησιμεύει η ανάδραση;

Βελτιώνει αισθητά την απόδοση του συστήματος τόσο σε θέματα ακρίβειας όσο και σε θέματα ευστάθειας

Επιθυμητή
απόκριση Εξόδου



ΥΠΟΕΝΟΤΗΤΑ 1.2

***Παράμετροι κα Αναπαράσταση ενός
Συστήματος Αυτομάτου Ελέγχου***

Παράμετροι Αξιοπιστίας ενός ΣΑΕ - Ακρίβεια

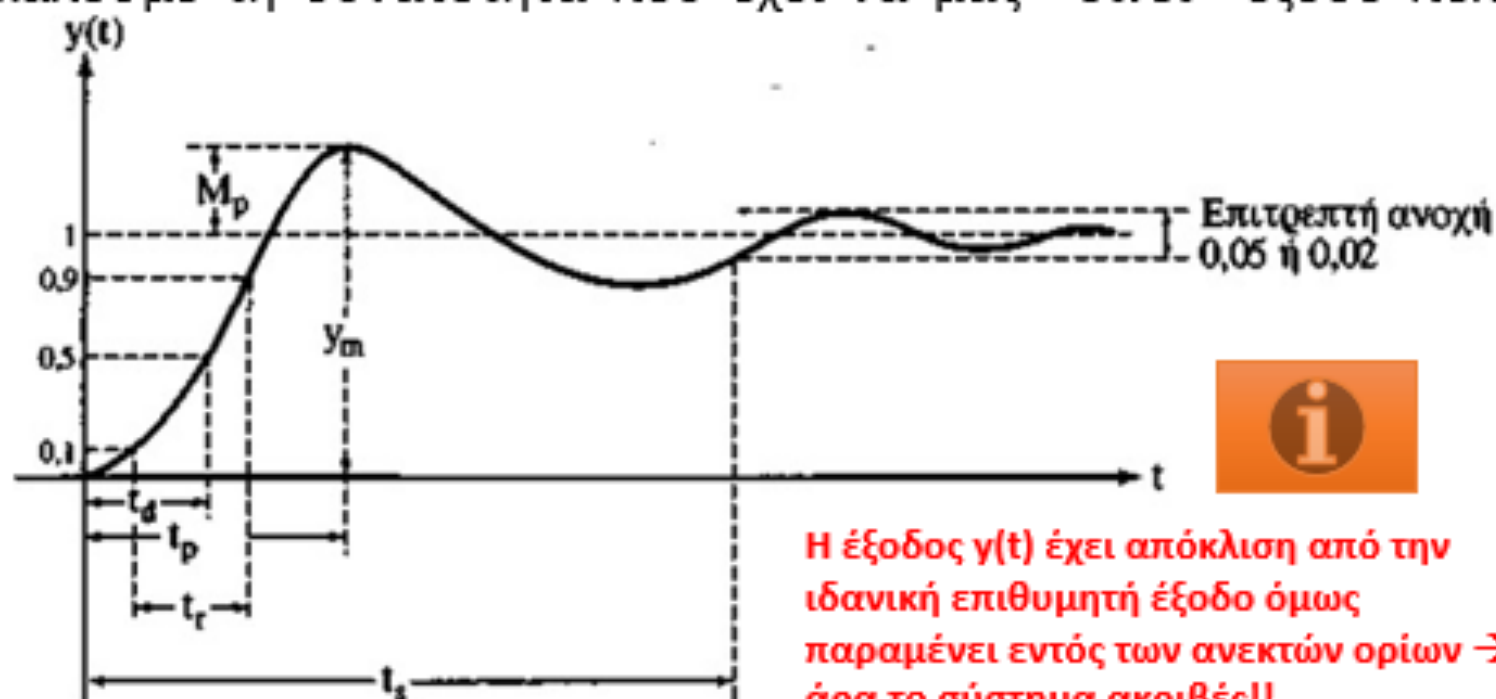


- Ακρίβεια
- Ευαισθησία
- Ευστάθεια
- Ταχύτητα απόκρισης

Ακρίβεια ενός αυτόματου συστήματος καλούμε τη δυνατότητα που έχει να μας «δίνει» έξοδο πολύ κοντά στην επιθυμητή τιμή

ΣΑΕ μεγάλης ακρίβειας είναι το σύστημα που η πραγματική τιμή εξόδου του διαφέρει ελάχιστα με την επιθυμητή τιμή εξόδου

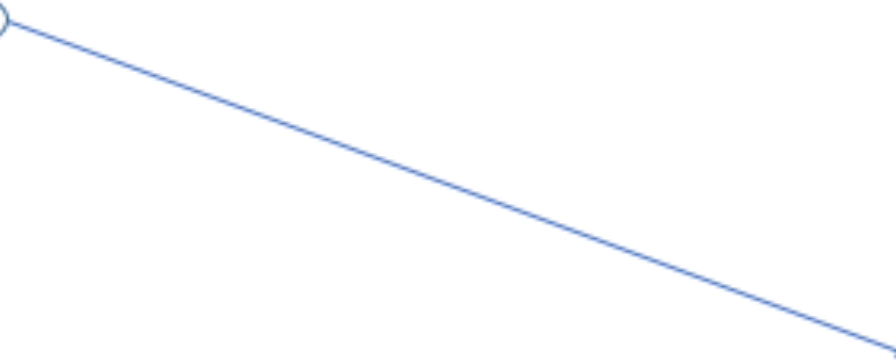
ΣΑΕ μικρής ακρίβειας είναι το σύστημα που η πραγματική τιμή εξόδου διαφέρει αρκετά με την επιθυμητή τιμή εξόδου



Η έξοδος $y(t)$ έχει απόκλιση από την ιδανική επιθυμητή έξοδο όμως παραμένει εντός των ανεκτών ορίων → άρα το σύστημα ακριβές!!

Παράμετροι Αξιοπιστίας ενός ΣΑΕ - Ευαισθησία

➤ Ευαισθησία



Ορισμός:

Με τον όρο ευαισθησία ενός συστήματος αυτόματου ελέγχου καλούμε την ευκολία με την οποία η έξοδος του μπορεί να μεταβάλλεται ανάλογα με τις αλλαγές των παραμέτρων στο εσωτερικό του συστήματος καθώς και τις πιθανές εξωτερικές διαταραχές.

Πιο απλά, θα λέγαμε ότι ευαισθησία ενός ΣΑΕ είναι η ικανότητα που έχει να προσαρμόζεται σε διάφορες μεταβολές που μπορεί να προκύψουν κατά της λειτουργίας του.

Παράμετροι Αξιοπιστίας ενός ΣΑΕ - Ευστάθεια



Ορισμός:

Ένα σύστημα καλείται **ευσταθές** όταν η έξοδος ακολουθεί την είσοδο όσο πιο πιστά γίνεται ή αλλιώς όταν για «φραγμένη» είσοδο λαμβάνω «φραγμένη» έξοδο

Μαθηματικός Ορισμός:

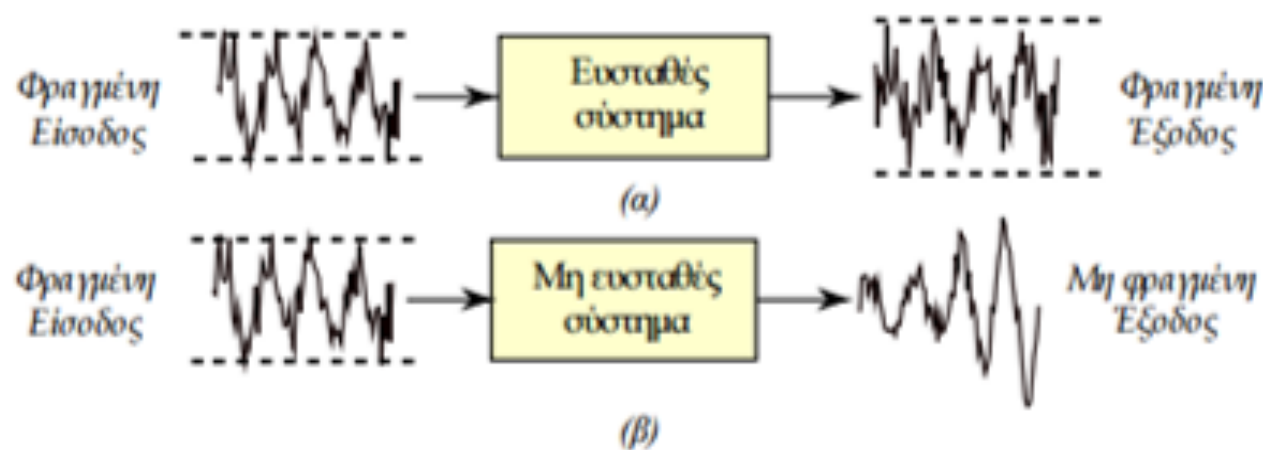
Ένα σύστημα λέγεται ευσταθές αν για κάθε θετικό αριθμό α , με $\alpha < \infty$ (πεπερασμένο) για τον οποίο ισχύει:

$$|x(t)| \leq \alpha$$

υπάρχει θετικός αριθμός $\beta < \infty$ (εξίσου πεπερασμένος) για τον οποίο ισχύει:

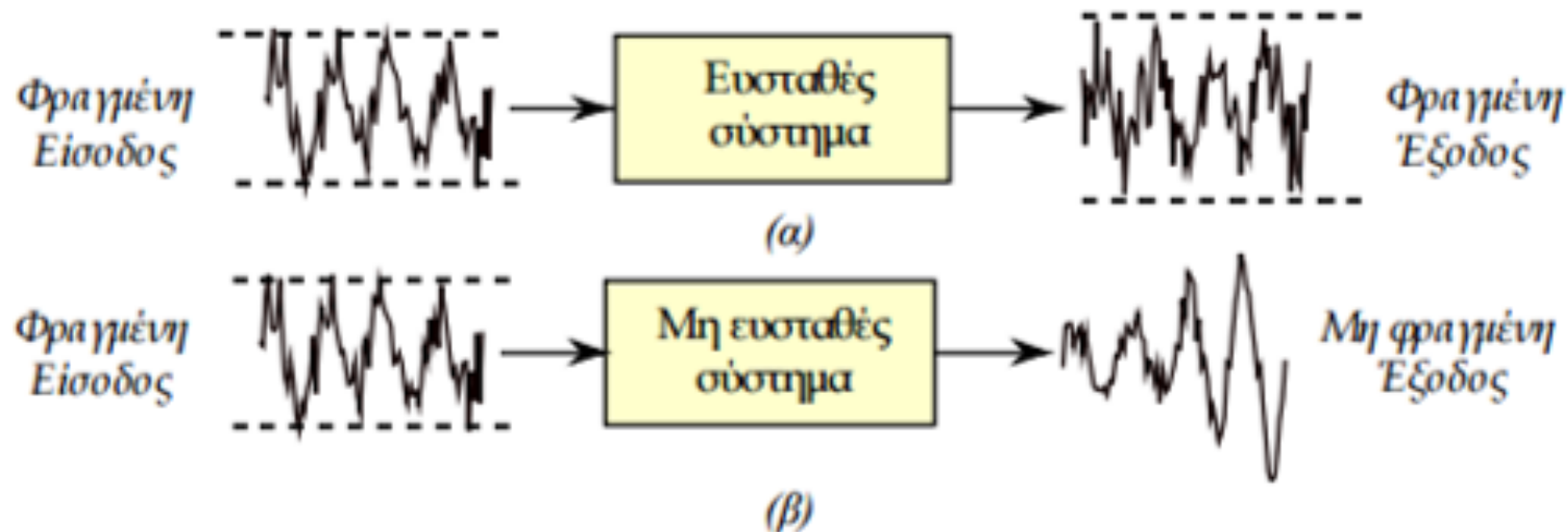
$$|y(t)| \leq \beta$$

Είναι ίσως το σημαντικότερο ζητούμενο ενός ΣΑΕ για να είναι αξιόπιστο



Σχήμα 2.8 (α) Σύστημα ευσταθές και (β) σύστημα μη ευσταθές, η έξοδος τείνει στο άπειρο.

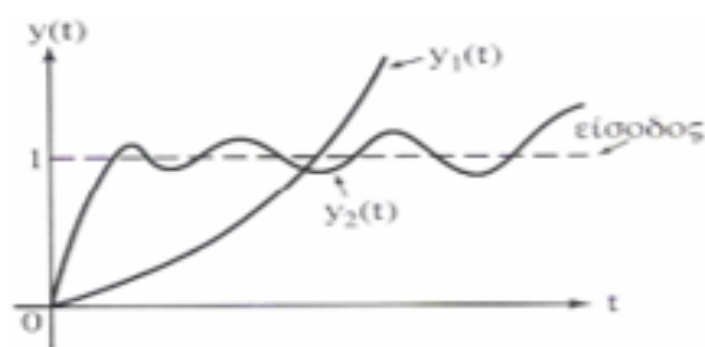
Παράμετροι Αξιοπιστίας ενός ΣΑΕ - Ευστάθεια



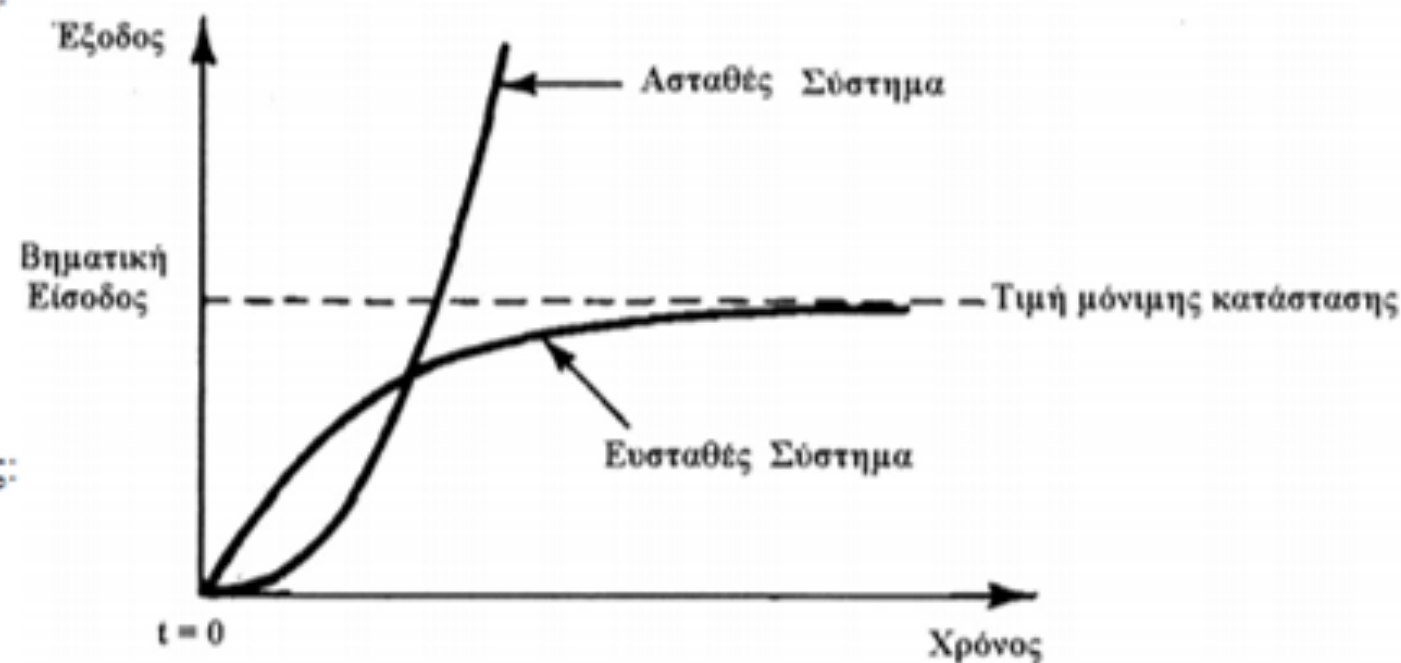
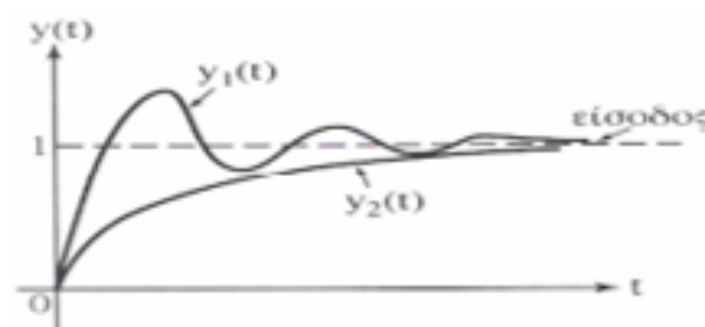
Σχήμα 2.8 (α) Σύστημα ευσταθές και (β) σύστημα μη ευσταθές, η έξοδος τείνει στο άπειρο.

Χαρακτηριστικές Καμπύλες Απόκρισης Συστήματος

Η απόκριση ενός ασταθούς συστήματος είναι της μορφής:



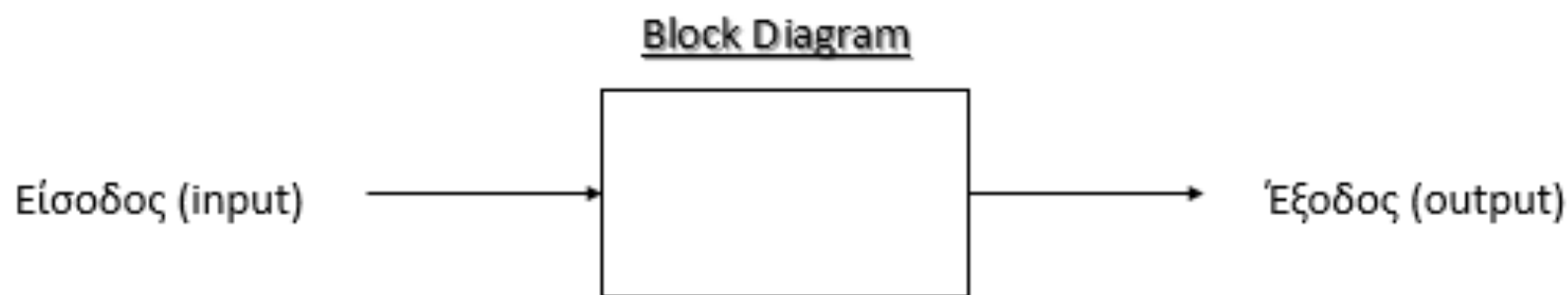
Η απόκριση ενός ευσταθούς συστήματος είναι της μορφής:



Π.χ. Σύστημα ελέγχου ενός κινητήρα
Φαντάζεστε τι θα γινόταν εάν αυτό δεν ήταν ευσταθές;
(καταστροφή κινητήρα, παύση παραγωγικής διαδικασίας
(ή μέρος αυτής), κίνδυνος ατυχήματος κ.α)

Αναπαράσταση Συστήματος Αυτόματου Ελέγχου

Τα δομικά διαγράμματα ή **block diagrams** είναι ο απλούστερος τρόπος σχεδιασμού τέτοιων συστημάτων.



Πλεονεκτήματα :

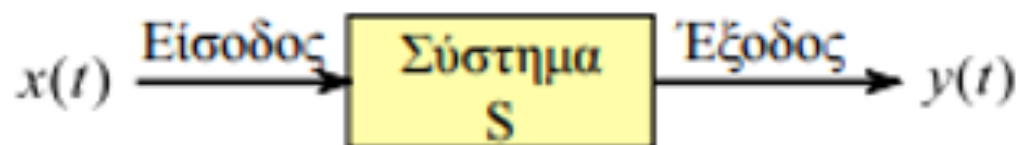
- ✓ Εύκολος και γρήγορος τρόπος αναπαράστασης
- ✓ Απλή γεωμετρία του σχήματος (ορθογώνιο)
- ✓ Δεν μας ενδιαφέρει η εσωτερική συνδεσμολογία και οργάνωση του αυτοματισμού γιατί το σύστημα παρουσιάζεται ως «black box»
- ✓ Εύκολη κατανόηση των δεδομένων του προβλήματος και των αλληλεπιδράσεων που έχει το σύστημα με το περιβάλλον του

Μειονεκτήματα:

- Μας παρέχει μακροσκοπική αντίληψη της κατάστασης (δεν μπορούμε να ξέρουμε τι συμβαίνει εντός του συστήματος)

Πώς σχεδιάζουμε ένα Σύστημα;

Ένα ΣΑΕ απεικονίζεται στη γενική του μορφή όπως διακρίνεται παρακάτω:



Τι κρατάμε...

1. Τα συστήματα συνήθως συμβολίζονται με «**S**» από την αγγλική λέξη System
2. Με **x(t)** συμβολίζουμε το **σήμα εισόδου** ή **είσοδο**, η οποία ονομάζεται και **διέγερση** του συστήματος (τι μπαίνει στο σύστημα)
3. Με **y(t)** συμβολίζουμε το **σήμα εξόδου** ή **έξοδο**, η οποία ονομάζεται και **απόκριση** του συστήματος (τι παίρνω από το σύστημα)

ΥΠΟΕΝΟΤΗΤΑ 1.3

Κατηγορίες και τρόποι Διασύνδεσης των Συστημάτων

Είδη Συστημάτων Ελέγχου

➤ Ανάλογα με το αν χρησιμοποιείται ανάδραση ή όχι

- i) Ανοιχτού βρόχου
- ii) Κλειστού βρόχου

➤ Ανάλογα με το είδος των σημάτων που εισάγουν στα συστήματα

- i) Αναλογικά συστήματα
- ii) Ψηφιακά συστήματα
- iii) Υβριδικά συστήματα

➤ Ανάλογα με τον τύπο των εξαρτημάτων

- i) Γραμμικά (γραμμική συμπεριφορά των στοιχείων του συστήματος)
- ii) Μη γραμμικά

➤ Ανάλογα με το αν διαθέτουν μνήμη ή όχι

- i) Συστήματα απλά (χωρίς μνήμη)
- ii) Συστήματα με μνήμη
- iii) Έξυπνα συστήματα

➤ Ανάλογα με τη φύση του μέσου ελέγχου (το μέσο που μεταφέρουν το σήμα)

- i) Ηλεκτρικά/Ηλεκτρονικά συστήματα
- ii) Πνευματικά συστήματα
- iii) Υδραυλικά συστήματα
- iv) Ηλεκτροϋδραυλικά συστήματα
- v) Ηλεκτροπνευματικά συστήματα

Είδη Συστημάτων Ελέγχου

Πόσα είδη συστημάτων εισόδου-εξόδου υπάρχουν;

Απάντηση: 4

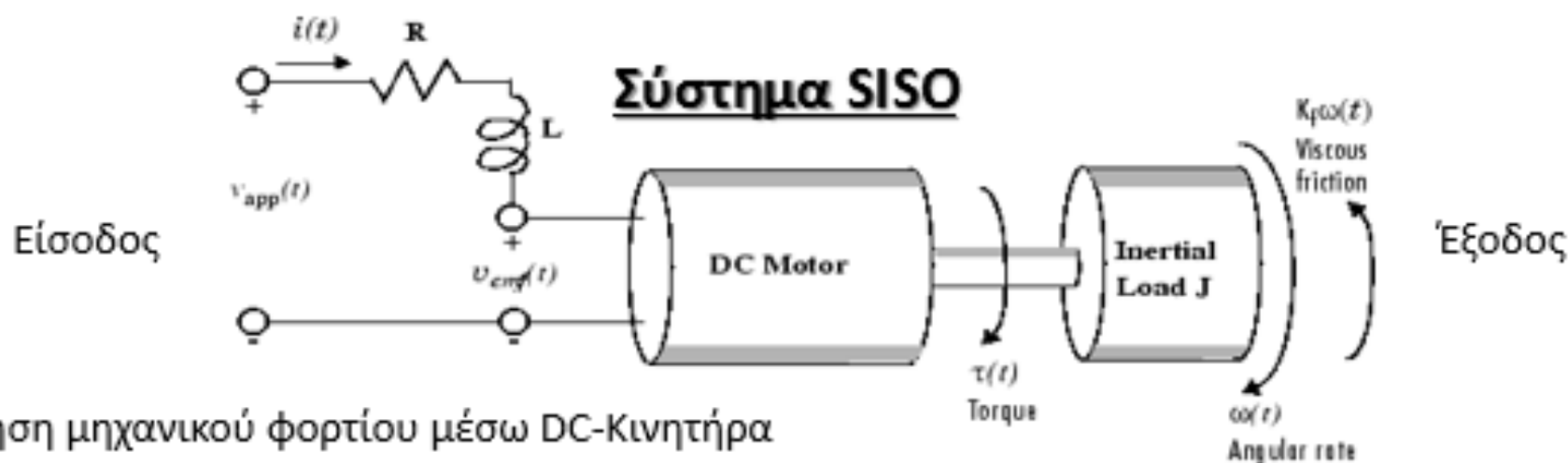
Τα συστήματα ανάλογα με το πλήθος των εισόδων-εξόδων που διαθέτουν χωρίζονται σε 4 μεγάλες κατηγορίες:

1^η κατηγορία: Συστήματα μιας εισόδου, μιας εξόδου (Single-Input, Single-Output/SISO)

2^η κατηγορία: Συστήματα μιας εισόδου, πολλών εξόδων (Single-Input, Multi-Output/SIMO)

3^η κατηγορία: Συστήματα πολλών εισόδων, μιας εξόδου (Multi-Input, Single-Output/MISO)

4^η κατηγορία: Συστήματα πολλών εισόδων, πολλών εξόδων (Multi-Input, Multi-Output/ MIMO)



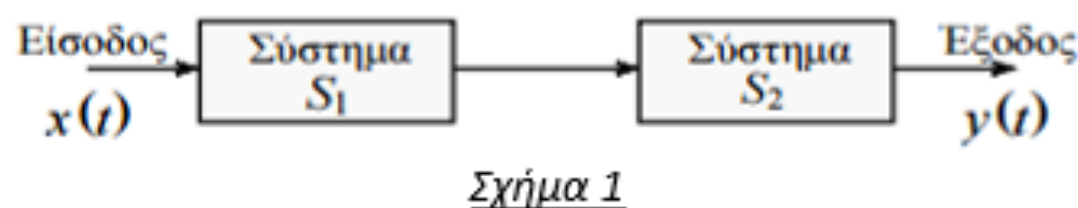
Παράδειγμα: Οδήγηση μηχανικού φορτίου μέσω DC-Κινητήρα

Συνδεσμολογία μεταξύ των Συστημάτων

Οι βασικές συνδέσεις μεταξύ συστημάτων είναι:

Σε σειρά

Η σχηματική αναπαράσταση δυο συστημάτων S_1, S_2 που είναι συνδεδεμένα σε σειρά διακρίνεται στο Σχήμα 1 που ακολουθεί:



$$Y_{S1}(t) = X_{S2}(t)$$

Τι κρατάμε:

Όταν δυο συστήματα βρίσκονται συνδεδεμένα σε σειρά και το S_1 προηγείται του S_2 , τότε η έξοδος του 1^{ου} συστήματος (S_1) αποτελεί την είσοδο του 2^{ου} (S_2)

Παράλληλα

Η σχηματική αναπαράσταση δυο συστημάτων S_1, S_2 που είναι συνδεδεμένα παράλληλα διακρίνεται στο Σχήμα 2 που ακολουθεί:

Τι κρατάμε:

Όταν δυο συστήματα S_1, S_2 βρίσκονται συνδεδεμένα παράλληλα, τότε αυτά έχουν την ίδια είσοδο ($x(t)$) στο παράδειγμά μας και η τελική έξοδος του ολικού συστήματος παράγεται από την άθροιση των επιμέρους εξόδων των S_1, S_2 .



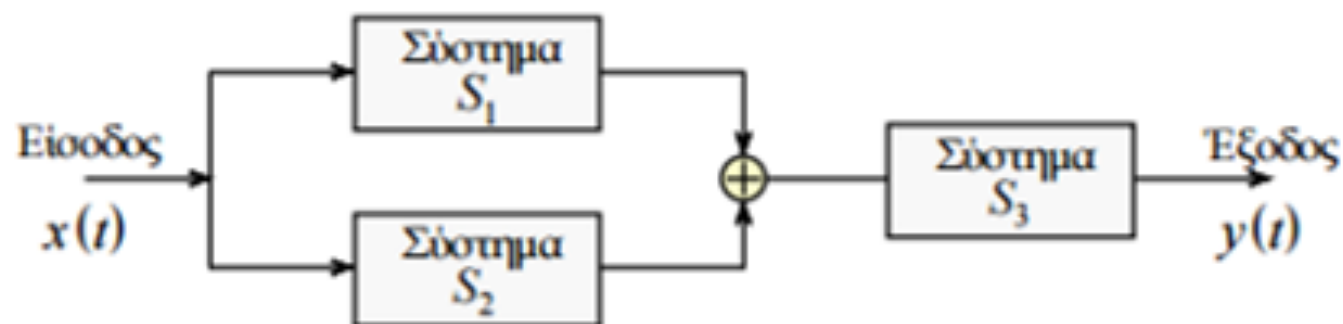
$$Y(t) = Y_{S1}(t) + Y_{S2}(t)$$

Τα συστήματα δρουν παράλληλα και δεν εξαρτάται το ένα από το άλλο. Οι επιμέρους έξοδοι αθροίζονται μέσω κοινού αθροιστή και παράγεται η τελική έξοδος του συστήματος.

Συνδεσμολογία μεταξύ των Συστημάτων

□ Μικτή Σύνθεση

Η σχηματική αναπαράσταση δυο συστημάτων S_1 , S_2 που είναι συνδεδεμένα παράλληλα διακρίνεται στο Σχήμα 3 που ακολουθεί:



Σχήμα 3

Τι κρατάμε: Όταν έχουμε μεικτή σύνδεση συστημάτων π.χ. των S_1 , S_2 , S_3 τότε πρέπει να έχουμε τουλάχιστον μια παράλληλη σύνδεση συστημάτων και τουλάχιστον μια σειριακή. Η έξοδος της παράλληλης σύνδεσης των S_1 , S_2 παράγεται με την άθροιση των επιμέρους εξόδων $Y_{S1}(t)$ και $Y_{S2}(t)$, ενώ ταυτόχρονα η $Y(t)$ που προέκυψε οδηγείται στο σύστημα S_3 αποτελώντας την είσοδό του. Η τελική έξοδος της διάταξης θα είναι:

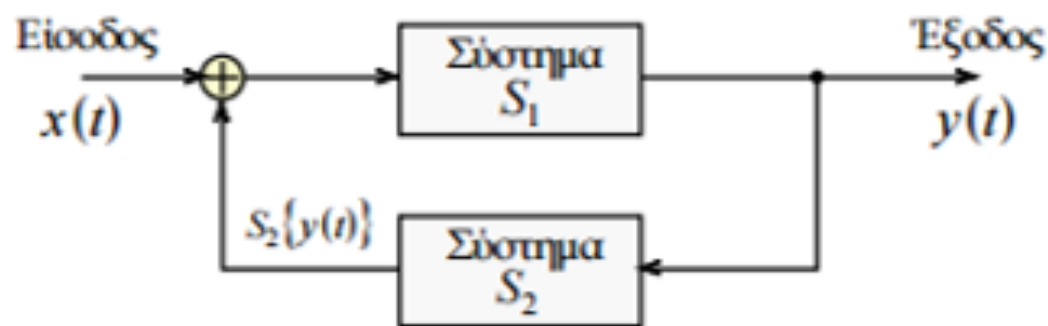
$$Y(t) \text{ (της συνολικής διάταξης)} = T_3[Y_{S1}(t)+Y_{S2}(t)] ,$$

όπου T_3 : η συνάρτηση μεταφοράς του S_3

Συνδεσμολογία μεταξύ των Συστημάτων

□ Σύνδεση με ανατροφοδότηση (feedback)

Η σχηματική αναπαράσταση δυο συστημάτων S_1 , S_2 που είναι συνδεδεμένα παράλληλα διακρίνεται στο Σχήμα 4 που ακολουθεί:



Σχήμα 4

Τι κρατάμε: Όταν έχουμε σύνδεση με ανατροφοδότηση των συστημάτων S_1 , S_2 τότε το σύστημα S_1 έχει ως είσοδο την είσοδο $x(t)$ και η έξοδος που βγάζει (έστω $Y_{S1}(t)$) ανατροφοδοτεί το σύστημα S_2 το οποίο μέσω του ελεγκτή που διαθέτει συγκρίνει το σήμα που έλαβε από το S_1 με το επιθυμητό σήμα εισόδου $x(t)$ (ιδανικό σήμα). Το αποτέλεσμα της σύγκρισης το χρησιμοποιεί για να οδηγήσει και πάλι την είσοδο του S_1 και να επαναληφθεί η ίδια διαδικασία μέχρι να λάβουμε έξοδο $y(t)$ που να βρίσκεται μέσα στα όρια των προδιαγραφών που έχουμε θέσει στο σύστημα.

Παράδειγμα επεξήγησης της λειτουργίας του κλάδου *Feedback*

Ο πιλότος του αεροσκάφους θέτει τη διαδρομή Αθήνα-Παρίσι στον αυτοματο πιλότο, η οποία λαμβάνεται ως είσοδος $x(t)$ στο σύστημα μας. Αυτή θεωρείται η επιθυμητή πορεία του αεροσκάφους. Το σύστημα παρακολουθεί τη θέση του αεροπλάνου και συγκρίνει τις τιμές που λαμβάνει (μέσω του βρόχου ανατροφοδότησης) με την επιθυμητή τροχιά $x(t)$. Αν για οποιονδήποτε λόγο (κακές καιρικές συνθήκες, εξωτερικές διαταραχές κ.α) παρεκκλίνει απ'την πορεία του, τότε το σύστημα προβαίνει στις κατάλληλες ρυθμίσεις ώστε η θέση του αεροσκάφους να διορθωθεί και να ακολουθήσει την προδιαγεγραμμένη πορεία (η οποία είναι η έξοδος $y(t)$ στο σύστημα ανατροφοδότησης που παρουσιάσαμε προηγουμένως).

Προσοχή: Η $x(t)$ είναι η ιδανική - επιθυμητή πορεία που θέλω να έχω, ενώ η $y(t)$ είναι η πορεία που ακολουθεί το αεροπλάνο μετά τις ρυθμιστικές ενέργειες του συστήματος. Φυσικά η $y(t)$ δεν είναι ίδια με την $x(t)$ αλλά την προσεγγίζει, ανάλογα με τα όρια σφάλματος που έχουμε εμείς ορίσει.



Αυτοματισμοί Ανοικτού και Κλειστού Βρόχου (Κυκλώματος)

Ανοικτού Βρόχου (Open Loop Systems)

Ορισμός: Αυτοματισμός ανοιχτού βρόχου ή αλλιώς ανοιχτού κυκλώματος ονομάζεται το αυτόματο σύστημα του οποίου η είσοδος ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ συνάρτηση της εξόδου του. Με άλλα λόγια δηλαδή, για να χαρακτηρίσουμε έτσι ένα σύστημα θα πρέπει η είσοδός του να μην εξαρτάται από την έξοδο με καμία δυνατή σχέση (καμία επικοινωνία μεταξύ εισόδου-εξόδου).

Σημείωση: Από τον ορισμό που δώσαμε γίνεται κατανοητό πως τα συστήματα αυτά δεν μπορούν να διορθώσουν αυτόματα το σήμα εισόδου επιτυγχάνοντας έτσι βελτιωμένη απόκριση στην έξοδό τους.

Πλεονεκτήματα:

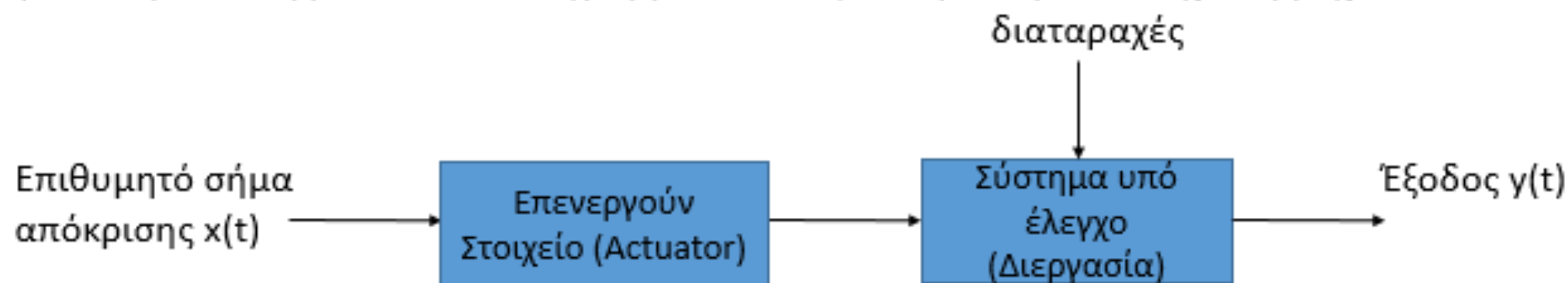
- ✓ Απλούστερη κατασκευή
- ✓ Μειωμένη πολυπλοκότητα
- ✓ Μικρότερο κόστος
- ✓ Δεν αντιμετωπίζουν προβλήματα ευστάθειας

Μειονεκτήματα:

- ❖ Αδυναμία διόρθωσης πιθανών λαθών που μπορεί να προκύψουν σε μια διαδικασία
- ❖ Περιορίζονται οι εφαρμογές στις οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν

Συστήματα Ανοικτού Βρόχου

Σχηματική αναπαράσταση μέσω block διαγραμμάτων ενός αυτοματισμού ανοικτού βρόχου:



Το Επενεργούν Στοιχείο είναι η συσκευή που αποδίδει την απαιτούμενη ενέργεια (π.χ. κινητική) στο σύστημα που βρίσκεται υπό έλεγχο. Πρακτικά, είναι η συσκευή που αναγκάζει την διεργασία να εξασφαλίσει την έξοδο ο,τι κι αν γίνει.

Π.χ. Κινητήρας

Ερώτηση: Πώς όμως θα ελέγχω την ακρίβεια στα συστήματα ανοικτού βρόχου;

Απάντηση: Σε τέτοια συστήματα η ακρίβεια εξαρτάται από τη γνώση που έχει ο σχεδιαστής σχετικά με την απόκριση (έξοδος) του συστήματος για δεδομένη είσοδο. Γνωρίζουμε συνεπώς εκ των προτέρων τη συμπεριφορά της διεργασίας και εισάγουμε το επιθυμητό σήμα εισόδου!

Συστήματα Κλειστού Βρόχου



Κλειστού Βρόχου (Closed Loop Systems) – Σύμφωνα με DIN 19226

Ορισμός: είναι συστήματα που εκτελούν μία διεργασία όπου μία μεταβλητή - η ελεγχόμενη μεταβλητή παρακολουθείται συνεχώς - συγκρίνεται με μία άλλη μεταβλητή (μεταβλητή αναφοράς) και επηρεάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να εξισωθεί μαζί της. Η ακολουθία αυτών των πράξεων γίνεται μέσω ενός κλειστού βρόχου όπου η ελεγχόμενη μεταβλητή επηρεάζει συνεχώς τον εαυτό της.

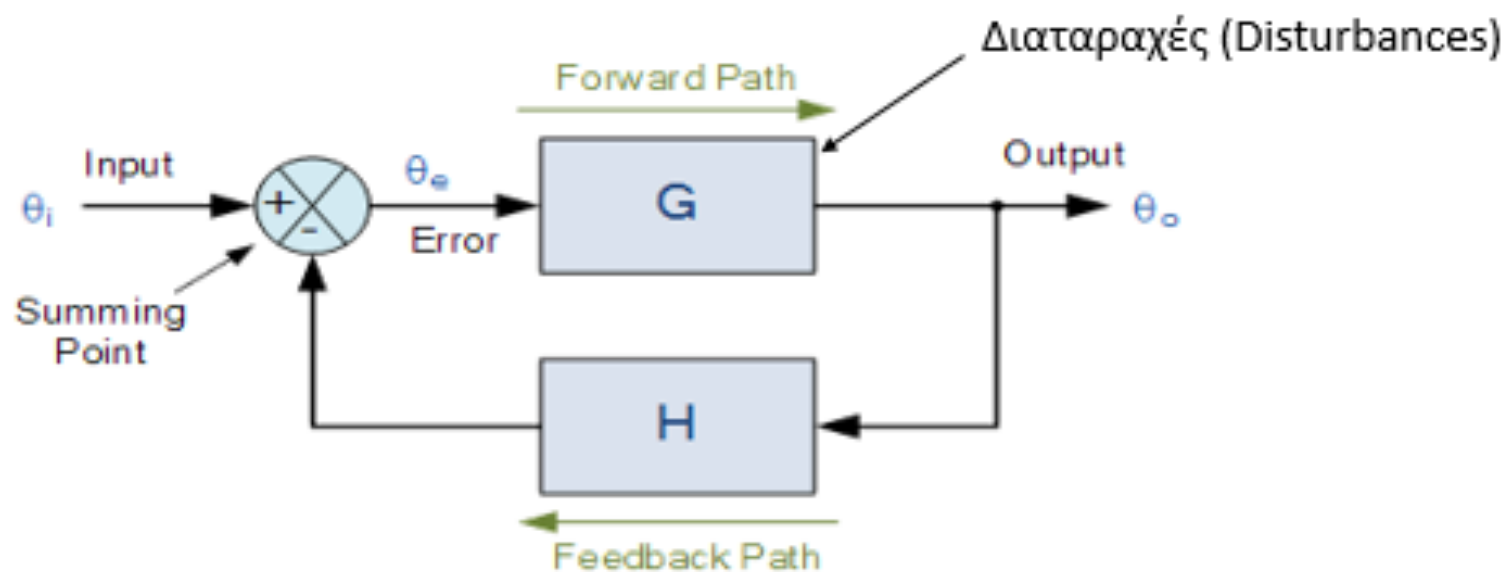
Σημείωση: Ο όρος «κλειστός βρόχος» αναφέρεται αποκλειστικά και μόνο στο βρόχο που δημιουργείται απ'τη διαδρομή της ανάδρασης.

Μεθοδολογία σκέψης για συστήματα κλειστού βρόχου:

- Εισάγουμε το επιθυμητό σήμα στην είσοδο του συστήματος (σήμα αναφοράς)
- Λαμβάνουμε μια έξοδο (πραγματική τιμή) η οποία έχει απόκλιση από την επιθυμητή που εισάγαμε
- Οδηγούμε το σήμα που παρουσιάζει απόκλιση στο βρόχο ανάδρασης (ή ανατροφοδότησης)
- Ο βρόχος ανάδρασης μεταφέρει το σήμα στην είσοδο του συστήματος όπου γίνεται σύγκριση με το σήμα αναφοράς
- Η διαφορά που προκύπτει μεταξύ σήματος αναφοράς-πραγματικής τιμής σήματος εξόδου χρησιμοποιείται ως είσοδος στο σύστημα με σκοπό να βελτιώσει το σήμα εξόδου ώστε να πλησιάζει προς το επιθυμητό αποτέλεσμα (σήμα αναφοράς)

Συστήματα Κλειστού Βρόχου

Γραφική αναπαράσταση ενός αυτοματισμού κλειστού βρόχου:



Σήμα Αναφοράς θ_i (Input): Το επιθυμητό σήμα εξόδου (ιδανικό) που μπαίνει αρχικά σαν είσοδος

Σφάλμα θ_e (Error): Η διαφορά μεταξύ επιθυμητού σήματος θ_i - πραγματικής τιμής σήματος εξόδου θ_o

Έξοδος θ_o (Output): Το σήμα εξόδου που λαμβάνουμε από την έξοδο του συστήματος **G**

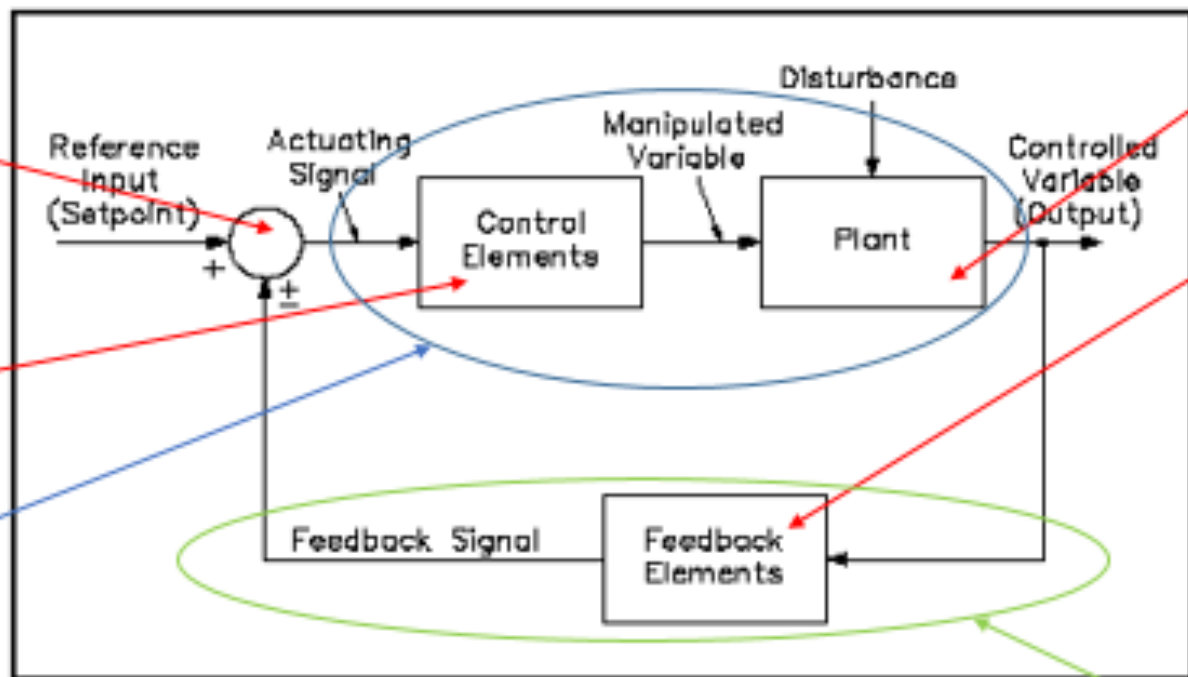
Συγκριτής (Summing Point): Η διάταξη στην οποία το σήμα από το βρόχο ανάδρασης (feedback loop) συγκρίνεται με το σήμα αναφοράς θ_i . Συνήθως η διαδικασία της σύγκρισης γίνεται με την πράξη της αφαίρεσης των δυο σημάτων ωστόσο αξίζει να αναφέρουμε ότι ο συγκριτής μπορεί να πραγματοποιεί και πρόσθεση αυτών

Συστήματα Κλειστού Βρόχου

Συγκριτής
(Εκτελεί +/-)

Στοιχεία Ελέγχου

(Διαπιστώνουν το πόσο διαφέρει το σήμα αναφοράς απ' το πραγματικό σήμα που λαμβάνω στην έξοδο)



Σύστημα υπό Έλεγχο

Στοιχεία ανάδρασης

(Αποτελούν το σύστημα που μεταφέρει το σήμα εξόδου στο συγκριτή για εντοπισμό της απόκλισης μεταξύ σήματος αναφοράς και μετρούμενου – πραγματικού – σήματος)

Ευθύς κλάδος - (Forward Path)

Ευθύς κλάδος ονομάζεται εκείνο το «μονοπάτι» του συνολικού συστήματος από το οποίο λαμβάνω την τελική έξοδο. Στον κλάδο αυτό ανήκει και το σύστημα G το οποίο είναι υπεύθυνο να λαμβάνει ως είσοδο τη διαφορά σήματος αναφοράς-πραγματικής τιμής εξόδου (της προηγούμενης επανάληψης του loop) και να εξάγει τη βελτιωμένη έξοδο

Κλάδος/βρόχος ανάδρασης/ανατροφοδότησης - (Feedback Path)

Καλείται εκείνο το τμήμα του ολικού συστήματος το οποίο είναι υπεύθυνο να οδηγήσει το σήμα εξόδου στο συγκριτή (αρχή της διάταξης) για να εντοπιστεί το σφάλμα μεταξύ επιθυμητής και πραγματικής τιμής του σήματος. Στο «μονοπάτι» αυτό ανήκει το σύστημα H που είναι υπεύθυνο για τη σωστή εκτέλεση της παραπάνω διαδικασίας

ΥΠΟΕΝΟΤΗΤΑ 1.4

Μεταβλητές Συστημάτων Ελέγχου

Μεταβλητές Συστήματος Ελέγχου

Μεταβλητή Ελέγχου (Controlled Variable):

Αναφερόμαστε σε εκείνη τη μεταβλητή που πρόκειται να ελεγχθεί στην έξοδο του συστήματος και η τιμή της θα πρέπει να είναι κοντά στην επιθυμητή τιμή του σήματος που εισάγαμε στην αρχή.

Συμβολισμός: C

Συνήθως ως μεταβλητές ελέγχου λογίζονται οι:

1. Θέση
2. Θερμοκρασία
3. Πίεση
4. Ροή
5. Στάθμη υγρών

Αναφορά (Setpoint):

Είναι η επιθυμητή τιμή της μεταβλητής ελέγχου που θέλω να έχω και εισάγεται με το σήμα αναφοράς στην αρχή του συστήματος.

Συμβολισμός: SP

Μεταβλητές Συστήματος Ελέγχου

Μετρούμενη μεταβλητή (Measured Variable):

Είναι η τιμή της μεταβλητής που μετράμε αμέσως μετά την έξοδο του συστήματος ανάδρασης (feedback elements) και διαφέρει ελάχιστα από την τιμή της μεταβλητής ελέγχου λόγω της ύπαρξης των στοιχείων στο feedback path που εισάγουν απώλειες/θόρυβο κ.α.

Συμβολισμός: C_m

Σφάλμα (Error):

Είναι η διαφορά μεταξύ της τιμής της μεταβλητής αναφοράς SP (επιθυμητή) και της τιμής της μετρούμενης μεταβλητής C_m . $Error = SP - C_m$

Συμβολισμός: E

Έξοδος του Ελεγκτή:

Είναι η τιμή της μεταβλητής που οδηγείται ως είσοδος στο σύστημα υπό έλεγχο για να μας δώσει στην έξοδο βελτιωμένο σήμα που θα προσεγγίζει το σήμα αναφοράς. Η τιμή αυτή εξαρτάται από 2 παράγοντες:

- Την τιμή της μεταβλητής $Error$ (Σφάλμα)
- Τη μορφή ελέγχου που χρησιμοποιεί ο ελεγκτής (P, I, D)

Συμβολισμός: V

Μεταβλητές Συστήματος Ελέγχου

Ελεγχόμενη Μεταβλητή (Manipulated Variable):

Αποτελεί τη μεταβλητή η οποία ρυθμίζεται από το τελικό στοιχείο ελέγχου του ελεγκτή ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή τιμή της μεταβλητής ελέγχου που λάβαμε από το feedback.

Συμβολισμός: M

Μεταβλητές Διαταραχής (Disturbance Variables):

Είναι όλες εκείνες οι μεταβλητές οι οποίες λειτουργούν ως επιπρόσθετες εισοδοι στο υπό έλεγχο σύστημα χωρίς να προέρχονται από αυτό και επηρεάζουν την τιμή της μεταβλητής ελέγχου που προκύπτει στην έξοδο. Λόγω αυτών, τα συστήματα κλειστού βρόχου έγιναν τόσο δημοφιλή διότι μπορούν να μειώσουν ή και να εξαλείψουν την επίδρασή τους.

Συμβολισμός: D

Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα συστημάτων κλειστού βρόχου

Πλεονεκτήματα:

- ✓ Έχουν μεγάλη ακρίβεια
- ✓ Χρησιμοποιούνται σε μεγάλη γκάμα εφαρμογών
- ✓ Διαθέτουν μεγάλη αξιοπιστία
- ✓ Παρουσιάζουν επιθυμητή λειτουργία σε αυξημένο εύρος συχνοτήτων
- ✓ Μικρότερη ευαισθησία σε διαταραχές που μπορεί να προκαλέσουν αλλοίωση του αποτελέσματος (έξοδος)

Μειονεκτήματα:

- ❖ Μεγάλη πολυπλοκότητα
- ❖ Αυξημένο κόστος κατασκευής
- ❖ Παρουσιάζουν προβλήματα ευστάθειας (ασταθής)
- ❖ Σύνθετη κατασκευή

ΥΠΟΕΝΟΤΗΤΑ 1.5

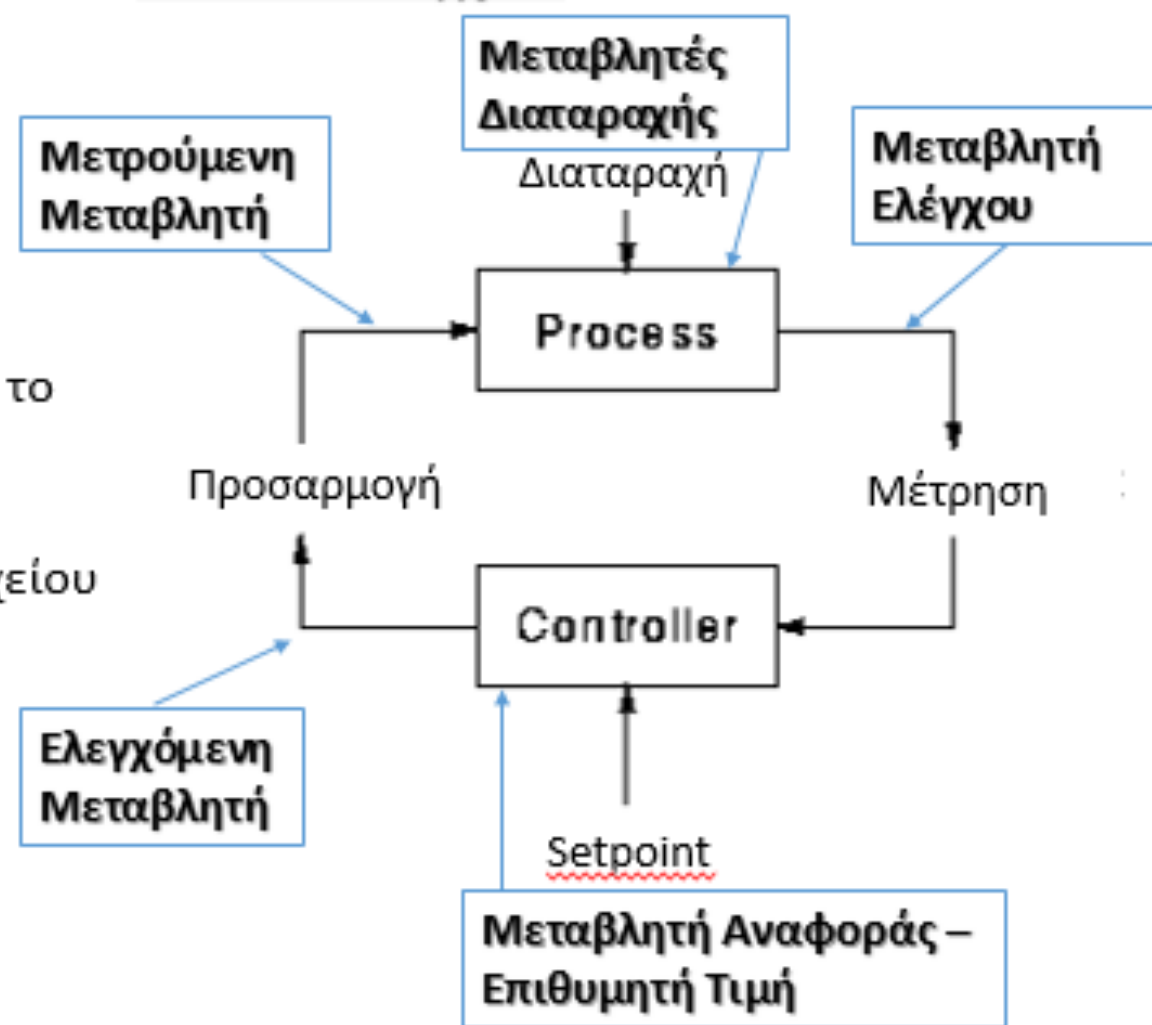
Ελεγκτές και Τεχνικές Ελέγχου

Ελεγκτές και Τεχνικές Ελέγχου

Οι ελεγκτές είναι βασικό και αναπόσπαστο κομμάτι του κύκλου Ελέγχου (Control Loop) που περιγράφεται από το ακόλουθο διάγραμμα:

Τα βήματα της διαδικασίας ελέγχου είναι τα εξής:

- ✓ Μέτρηση της μεταβλητής ελέγχου (στην έξοδο του συστήματος)
- ✓ Διαδικασία ελέγχου της τιμής και εύρεση απόκλισης από το setpoint (ιδανική τιμή που θέλω)
- ✓ Μέτρηση του σφάλματος (error) – διαφορά setpoint - μετρούμενη μεταβλητή – και μεταβολή του τελικού στοιχείου ελέγχου με σκοπό την αλλαγή της ροής ενέργειας στη διεργασία ώστε να επιτευχθεί βελτιωμένο σήμα εξόδου στο σύστημα

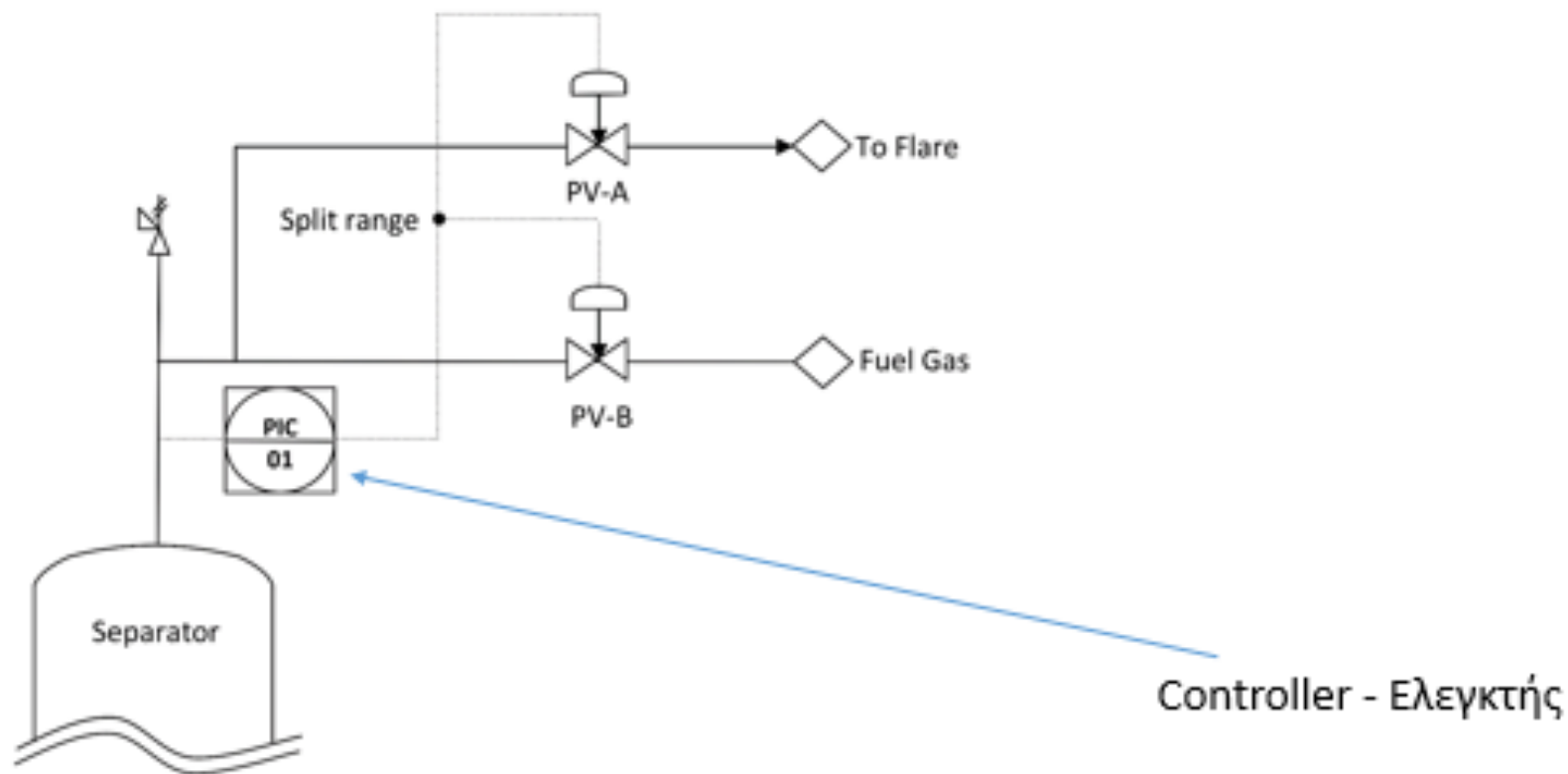


Ελεγκτές και Τεχνικές Ελέγχου

Σκοπός

Στόχος των ελεγκτών είναι να περιορίζουν την οποιαδήποτε μεταβολή των επιμέρους διεργασιών μιας παραγωγικής διαδικασίας με σκοπό τον έλεγχο της ποιότητας και της ποσότητας του παραγόμενου προϊόντος.

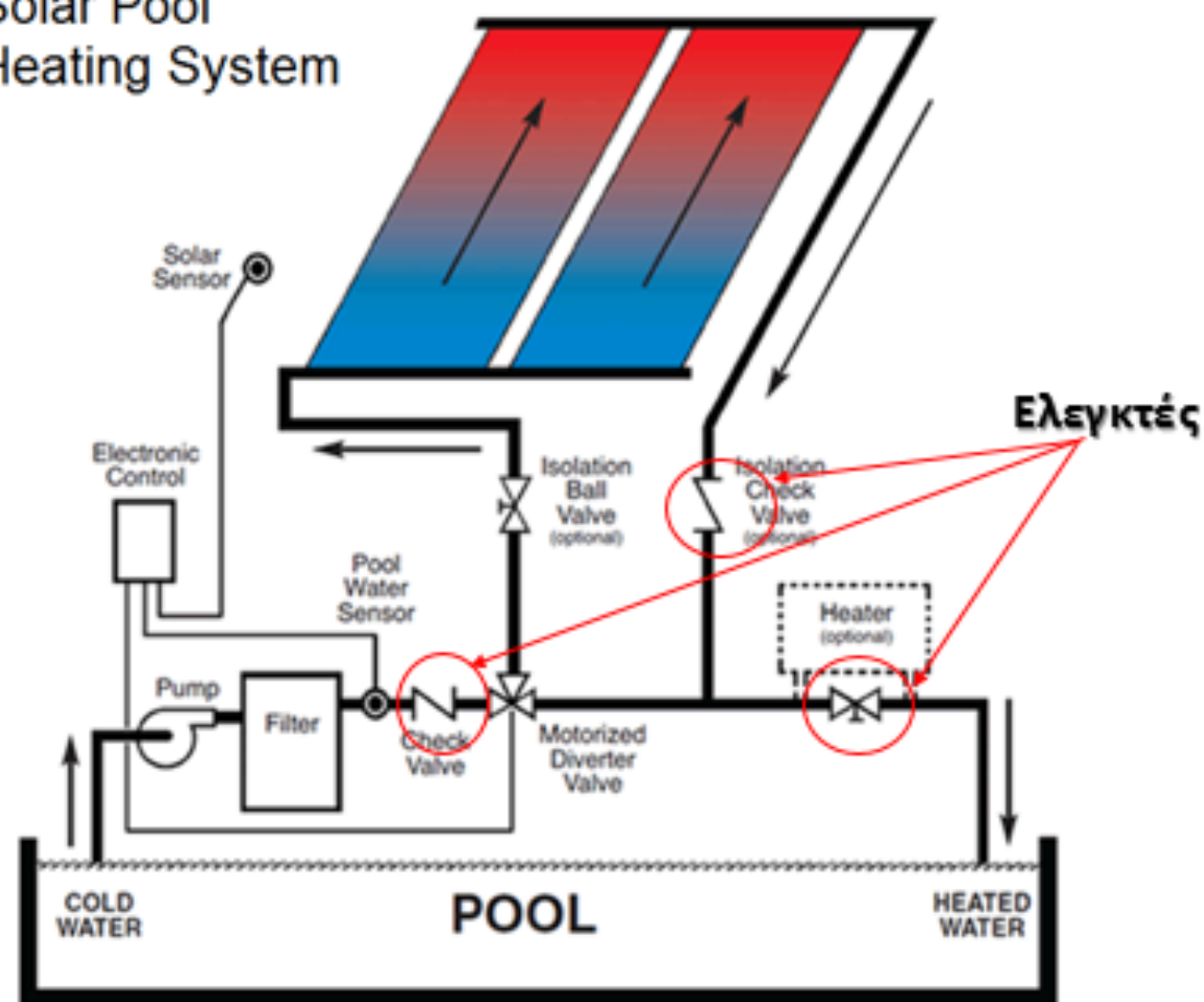
Εάν μπορούμε να «προβλέψουμε» από πριν την τιμή της μεταβλητής ελέγχου, τότε ουσιαστικά είναι σαν να γνωρίζουμε και το τι θα παράξουμε. Φυσικά η τιμή αυτή δεν θα γίνει ποτέ ίδια με το setpoint, ωστόσο όσο πιο «κοντά» βρίσκονται τόσο πιο ακριβείς θα αποδειχθούν οι προβλέψεις για την ποιότητα και ποσότητα του τελικού προϊόντος.



Παράδειγμα: Θέρμανση πισίνας με χρήση ελεγκτή

- **Μεταβλητή Ελέγχου (C):**
Θερμοκρασία νερού
- **Αναφορά (Επιθυμητή τιμή) – Setpoint (SP):**
Επιθυμητή τιμή της θερμοκρασίας (π.χ 25°C)
- **Μετρούμενη Μεταβλητή (PV ή C_m):**
Θερμοκρασία πισίνας
- **Error (e):**
Η διαφορά μεταξύ SP – PV χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της εξόδου του ελεγκτή
- **Ελεγχόμενη Μεταβλητή ή Βοηθητική (MV):**
Είναι εκείνη η μεταβλητή (ρυθμός παροχής ζεστού νερού) που για την εκάστοτε μεταβολή της εξόδου του ελεγκτή προκαλεί αντίστοιχη αλλαγή στα στοιχεία ελέγχου (π.χ.δικλίδα ροής καυσίμου) με σκοπό η τιμή της μεταβλητής ελέγχου να προσεγγίζει ολοένα και περισσότερο το setpoint
- **Μεταβλητές Διαταραχής (DV):**
Οποιαδήποτε ενέργεια εισέρχεται στο σύστημα και μου επηρεάζει τη μεταβλητή ελέγχου (κρύος αέρας, χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος κλπ)

Solar Pool Heating System



Ελεγκτές και Τεχνικές Ελέγχου – Είδη Ελεγκτών

Είδη Ελεγκτών

Συνεχείς	Ασυνεχείς
P (Αναλογικός - Proportional controller)	2 θέσεων
I (Ολοκληρωτικός - Integral controller)	3 θέσεων
D (Διαφορικός - Derivative controller)	πολλαπλών θέσεων
PI	
PD	
PID	

- ✓ Ακριβής διαδικασία ελέγχου
- ✓ Τοποθέτηση αναλογικού τελικού στοιχείου
- ✓ Δεν επιτρέπει την απόκλιση (**offset**) από το setpoint

- ✓ Απλούστερης κατασκευής από τους PID ελεγκτές και λειτουργίας

❖ Δυσκολότερη ρύθμιση καθώς πρέπει να σταθμίσουμε και τις 3 παραμέτρους (P,I,D) που αλληλεπιδρούν

Αναλογικοί Ελεγκτές (P-Controllers)

Συνάρτηση Εξόδου:

$$u_p(t) = u_{bias} + K_p \cdot e(t)$$

Σφάλμα μεταξύ SP - PV

Αναλογικό Κέρδος ελεγκτή

Τιμή εξόδου του ελεγκτή όταν είναι γυρισμένο σε manual mode (PV = SP)

Σήμα εξόδου ελεγκτή

Ο P-Controller έχει το βασικό πλεονέκτημα ότι η σωστή λειτουργία του προϋποθέτει τη ρύθμιση μόνο του αναλογικού κέρδους K_p

- ✓ Όταν κρίνουμε πως η απόκρισή του είναι αργή στην εξουδετέρωση των διαταραχών τότε $\uparrow K_p$
- ✓ Όταν η απόκριση του ελεγκτή είναι γρήγορη τότε $\downarrow K_p$ για να αποφύγουμε πρόκληση αστάθειας στο σύστημα

Τι κρατάμε...:

- Η έξοδος ενός αναλογικού ελεγκτή είναι ανάλογη του σφάλματος που εντοπίζεται (error), δηλ. $U(t) \sim e = SP - PV$
- Οι αναλογικοί ελεγκτές δίνουν έξοδο μόνο όταν εντοπίσουν σήμα σφάλματος, άρα μόνο όταν υπάρχει απόκλιση της PV από το SP
- Όταν εντοπιστεί το σφάλμα οι P-Controllers έχουν άμεση ταχύτητα αντίδρασης και δεν εμφανίζουν καθυστερήσεις στην απόκριση
- Όσο μεγαλύτερο το αναλογικό κέρδος τόσο περισσότερο θα αλλάζει η εξοδος του ελεγκτή για δεδομένο error

Μειονέκτημα P-Controller :

- 1) Εμφάνιση offset, 2) Μεγάλη αύξηση του K_p (επιθετική ρύθμιση) δύναται να προκαλέσει ταλάντωση ή αστάθεια

Ολοκληρωτικοί Ελεγκτές (I-Controllers)

Συνάρτηση Εξόδου:

$$u_I(t) = \frac{K_c}{\tau_I} \int e(t) dt$$

Κέρδος ελεγκτή
 K_i : Ολοκληρωτικό Κέρδος Ελεγκτή
Σφάλμα μεταξύ SP - PV
Χρονική Σταθερά Ολοκλήρωσης (Reset Time)
Σήμα εξόδου ελεγκτή

Σε έναν I-Controller δεν έχει νόημα η ρύθμιση του σημείου λειτουργίας αφού η αρχή λειτουργίας του συγκεκριμένου ελεγκτή προδιαγράφει τη συνεχή μείωση των αποκλίσεων από το setpoint

❑ Σημαντική μείωση της σταθεράς τ_I (με σκοπό τη βελτίωση του χρόνου αντίδρασης του ελεγκτή) προκαλεί επιθετική ρύθμιση και ενέχει κίνδυνο οδήγησης του συστήματος σε αστάθεια

Τι κρατάμε....:

- Η ολοκληρωτική δράση του ελεγκτή χρησιμοποιείται για να την πλήρη διόρθωση των αποκλίσεων του συστήματος
- Όσο $e = SP - PV \neq 0$ τότε ο ελεγκτής μεταβάλλει τη βοηθητική μεταβλητή (MV) του συστήματος
- Η ολοκληρωτική δράση είναι πολύ αποτελεσματική στον έλεγχο διεργασιών
- Είναι πολύ συχνή η χρήση της ολοκληρωτικής δράσης με την αναλογική, σχηματίζοντας τον PI ελεγκτή
- Όσο \downarrow το Reset Time (τ_I) τόσο \uparrow η ολοκληρωτική δράση του ελεγκτή (ουσιαστικά μειώνεται ο χρόνος αντίδρασης του I-Controller)

Διαρκής προσπάθεια μείωσης της διαφοράς SP-PV

Αντικρουόμενοι Ρόλοι των Ελεγκτών P,I

Ολοκληρωτικός Ελεγκτής (I)	Αναλογικός Ελεγκτής (P)
Προσπάθεια ώστε $PV \rightarrow SP$	Γρήγορη ταχύτητα αντίδρασης σε μεταβολές
Αδιαφορία ελεγκτή για το αν θα παραμείνει σταθερή η PV	Προσπάθεια σταθεροποίησης της ελεγχόμενης μεταβλητής PV
Η ταχύτητα μεταβολής της ολοκληρωτικής δράσης είναι ανάλογη του σφάλματος e	Αδιαφορία ελεγκτή για το πόσο ακριβής θα είναι η τιμή της PV

Τρόπος Λειτουργίας των PI-Controllers:

Στους PI-controllers η ολοκληρωτική δράση αντιλαμβάνεται το σφάλμα που έχει προκύψει μετά τη δράση του αναλογικού ελεγκτή και συνεχίζει να μεταβάλλει διαρκώς τη θέση του τελικού στοιχείου ελέγχου για να εξουδετερώσει το σφάλμα αυτό. Η εισαγωγή του σφάλματος σε κάθε νέα προσπάθεια εξάλειψης της απόκλισης που παρατηρείται – κατά την ολοκληρωτική δράση – είναι εμφανής και από τη σχέση που μας δίνει το σήμα εξόδου του I-Controller.

Πλεονεκτήματα PI-Controllers:

- ✓ Εξάλειψη του offset
- ✓ Ταχύτητα απόκρισης

Μειονεκτήματα PI-Controllers:

- ✓ Δυσκολία εξεύρεσης της χρυσής τομής μεταξύ των δύο παραμέτρων ρύθμισης που επιδρούν στη διαδικασία ελέγχου
- ✓ Αύξηση πιθανότητας ταλάντωσης λόγω αναλογικής δράσης

Διαφορικοί Ελεγκτές (D-Controllers)

Συνάρτηση Εξόδου:

$$u_D(t) = K_p \cdot \tau_d \frac{de(t)}{dt}$$

K_d : Διαφορικό Κέρδος Ελεγκτή

Ρυθμός Μεταβολής Σφάλματος e

Χρονική Σταθερά του Διαφορικού Ελεγκτή

Κέρδος ελεγκτή

Σήμα εξόδου ελεγκτή

Ένας D-Controller αντιλαμβάνεται μόνο το ρυθμό μεταβολής του σφάλματος κι όχι αυτό καθ'αυτό το σφάλμα. Έτσι ακόμα και μεγάλη τιμή να έχει το error δεν πρόκειται να το εξαλείψει αν αυτό παραμένει σταθερό ($\frac{de(t)}{dt} = 0$)

❖ Δεν συνιστάται η χρήση του D-Controller σε γρήγορες διεργασίες που η μεταβολή του σφάλματος είναι ταχύτατη

Τι κρατάμε...:

- Η διαφορική δράση του ελεγκτή ενεργεί μόνο όταν αντιλαμβάνεται μεταβολή του σφάλματος e
- Οι D-Controllers δεν μηδενίζουν το παραγόμενο σφάλμα αλλά προσπαθούν να εξαλείψουν τη μεταβολή του σφάλματος
- Η χρήση D-Controller μεμονωμένα δεν είναι συνηθισμένη. Συνήθως γίνεται χρήση μαζί με άλλα είδη ελεγκτών όπως ο αναλογικός ή ο ολοκληρωτικός (PD, PID)
- Σημαντικά ταχύτερος χρόνος αντίδρασης από τους P-Controllers
- Χρησιμοποιείται σε εφαρμογές που η ολοκληρωτική εξάλειψη του offset δεν είναι ζωτικής σημασίας

Μειονέκτημα D-Controller :

- 1) Σημαντική ενίσχυση των θορυβικών σημάτων → οδηγούν σε ταλάντωση του συστήματος

Η δράση του PID-Controller

Η δράση ενός τέτοιου σύνθετου ελεγκτή περιλαμβάνει τις δράσεις και των 3 ελεγκτών, δηλαδή:

- Η αναλογική δράση υπολογίζει πόσο πρέπει να συμμετέχει ο P-Controller με βάση την τρέχουσα τιμή του error και συνεισφέρει ανάλογα με τη διαφορά (SP-PV) που διαβάζει
- Η ολοκληρωτική δράση περιλαμβάνει τη συνεχή μεταβολή της βοηθητικής μεταβλητής MV με βάση την τιμή του σφάλματος που μετριέται
- Η διαφορική δράση λαμβάνει υπόψιν της το ρυθμό μεταβολής του σφάλματος και επεμβαίνει μόνο όταν αυτή υφίσταται



Ελεγκτές και Τεχνικές Ελέγχου - Παραμετροποίηση

Γιατί είναι απαραίτητη η παραμετροποίηση (ρύθμιση) των ελεγκτών;

Η ρύθμιση των ελεγκτών είναι καθοριστική για την προσαρμογή τους στην εκάστοτε διεργασία και την εναρμόνισή τους με τα υπόλοιπα στοιχεία του βρόχου ελέγχου. Με βάση αυτή επιτυγχάνονται δύο βασικοί στόχοι:

1. **Σταθερότητα** συστήματος (δεν έχουμε αυξομείωση της διαφοράς της μετρούμενης μεταβλητής από το setpoint, αφού η διαφορά αυτή συνεχώς μειώνεται) – Περιορισμός ταλαντώσεων της PV
2. **Άμεση απόκριση** και αυξημένη **ταχύτητα αντίδρασης**

Εκπαιδευτική Δραστηριότητα Δ1: «Ερωτήσεων/απαντήσεων» ή «Συζήτησης»

Τίτλος: Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου

Σύνοψη Θεματικής Ενότητας



Ερωτήσεις αυτοαξιολόγησης