

Ολοκληρωτικός ελεγκτής (I)

Ολοκληρωτική ενέργεια ελέγχου είναι η ενέργεια ενός ελεγκτή του οποίου ο ρυθμός αλλαγής της εξόδου είναι ανάλογος με την απόκλιση.

Κύριος σκοπός του ολοκληρωτικού ελέγχου είναι να μηδενίσει το offset που προκαλεί ο αναλογικός ελεγκτής.

Άλλως ονομάζεται ολοκληρωτικός έλεγχος επενέργειας ή επαναφοράς ή RESET TIME ή INTEGRAL ACTION TIME

$$\frac{dU_R}{dt} = -k_i e$$

$$U_R = -k_i \int e dt$$

Δρ. Γουρμούλης Δημήτριος,
Καθηγητής ΑΕΝ Μακεδονίας

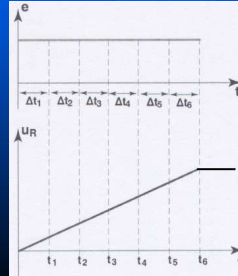
1

Ολοκληρωτικός ελεγκτής (I)

Ο ελεγκτής I αθροίζει το σφάλμα e σε συνάρτηση με το χρόνο. Ένα θεωρήσουμε ένα σταθερό σφάλμα e τότε το σήμα εξόδου U_R του ελεγκτή (αγνοώντας το αρνητικό πρόσημο) είναι:

$$u_R = K_i (e \cdot \Delta t_1 + e \cdot \Delta t_2 + e \cdot \Delta t_3 + e \cdot \Delta t_4 + \dots) = K_i \cdot e \cdot (\Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 + \dots) = K_i \cdot e \cdot \Delta t$$

$$u_R = K_i \cdot e \cdot \Delta t = K_i \cdot e \cdot (t - t_0) = K_i \cdot e \cdot t \text{ (για } t_0 = 0)$$



$$u_R = K_i \cdot e \cdot \Delta t$$

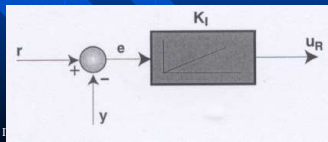
Δρ. Γουρμούλης Δημήτριος,
Καθηγητής ΑΕΝ Μακεδονίας

2

Ολοκληρωτικός ελεγκτής (I)

1. Όσο χρονικό διάστημα υπάρχει το σφάλμα η εξόδος συνεχώς ανεβαίνει.
2. Το σήμα εξόδου διατηρεί την τελευταία τιμή ακόμα και όταν το σήμα εισόδου (σφάλμα) έχει μηδενιστεί.

Σύμβολο ελεγκτή I

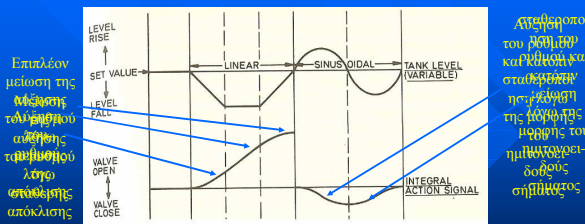


Δρ. Γουρμούλης Δημήτριος,
Καθηγητής ΑΕΝ Μακεδονίας

Ελεγκτής I συνδεσμολογίας

Παράδειγμα με μεταβλητή είσοδο

(Λαμβάνοντας την αρνητική αντίδραση των ελεγκτών)



Επιπλέον μείωση της απόκρισης του συστήματος από την απόκλιση

Αιτιώμενοι του λάθους και ρυθμίζονται και σταθεροποιούνται η στάθμη της πόλης της πόλης του ημιανταρτήρα-δοσής σήματος

Έχει ληφθεί υπόψη και το αρνητικό πρόσημο με αποτέλεσμα όπου είναι θετική η απόκλιση είναι αρνητική η εξόδος και το αντίστροφο.

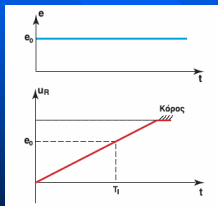
Ωστόσο όμως ο ρυθμός αύξησης της εξόδου εξαρτάται (αυξάνει ή μειώνεται) από τον αν η απόκλιση αυξάνει συνεχώς παραμένει σταθερή ή μειώνεται λαμβάνοντας υπόψη πάντοτε την αρνητική αντίδραση των ελεγκτών.

Δρ. Γουρμούλης Δημήτριος,
Καθηγητής ΑΕΝ Μακεδονίας

Ολοκληρωτικός ελεγκτής (I)

$$u_R = K_i \cdot e \cdot \Delta t \implies K_i = \frac{u_R}{e} \cdot \frac{1}{\Delta t} \text{ όπου } [K_i] = \text{sec}^{-1}$$

Πολλές φορές οι κατασκευαστές αντί του συντελεστή K_i δίνουν το χρόνο ολοκλήρωσης T_I ο οποίος είναι ίσος με την αντίστροφη τιμή του K_i .

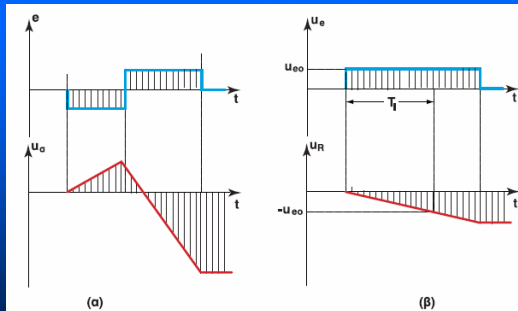


$$T_I = \frac{1}{K_i}$$

Ο χρόνος ολοκλήρωσης T_I είναι πιο εύρηστος διότι καθορίζει την ταχύτητα ανόδου του ρυθμιστικού σήματος.

Όσο μικρότερος είναι ο χρόνος T_I τόσο γρηγορότερος είναι ο ελεγκτής ή γρηγορότερα φθάνει το σήμα u_R στον κόρο. Ωστόσο όμως η επιλογή κατάλληλου χρόνου είναι σημαντική γιατί πολλές φορές οδηγούμαστε σε

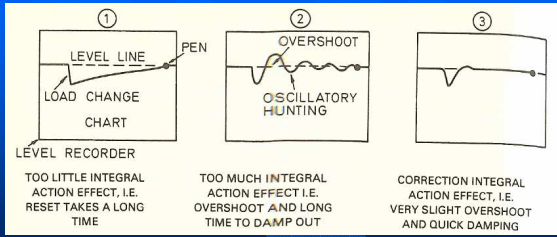
Δρ. Γουρμούλης Δημήτριος,
Καθηγητής ΑΕΝ Μακεδονίας



Δρ. Γουρμούλης Δημήτριος,
Καθηγητής ΑΕΝ Μακεδονίας

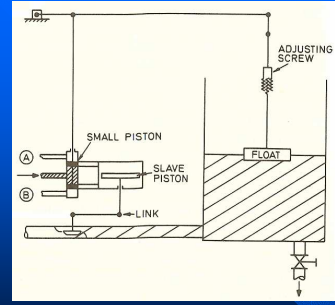
6

Παραδείγματα κατάλληλων ολοκληρωτικού ελέγχου



Δρ. Γουρρούλης Δημήτριος, Καθηγητής ΑΕΝ Μακεδονίας

Ολοκληρωτικός Έλεγχος στάθμης υγρού



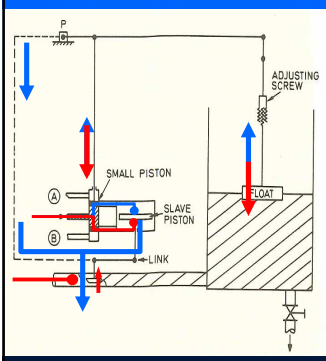
Εάν η στάθμη αυξηθεί το μικρό πιστόνι θα ανέβει προς τα πάνω και υψηλή πίεση ρευστού θα περάσει από την πόρτα Α και θα επιστρέψει από την πόρτα Β. Αυτό θα έχει ως συνέπεια μέσω του slave piston και του link να κλείσει η βαλβίδα εισαγωγής και να μειωθεί η ροή. Η κίνηση αυτή θα συνεχιστεί έως ότου συνεχίσει να υπάρχει η απόκλιση. **Ο ρυθμός μετατόπισης της βαλβίδας εισαγωγής εξαρτάται από το άνοιγμα της πόρτας Α ή της πόρτας Β και ο οποίος είναι ανάλογος με την απόκλιση.** Η μόνη χρονική στιγμή κατά την οποία η βαλβίδα δεν μετακινείται είναι στην επιθυμητή τιμή και στην οποία το offset είναι 8

$$\frac{dU_R}{dt} = -k_i e$$

$$U_R = -k_i \int e dt$$

Δρ. Γουρρούλης Δημήτριος, Καθηγητής ΑΕΝ Μακεδονίας

Αναλογικός - Ολοκληρωτικός Έλεγχος στάθμης υγρού



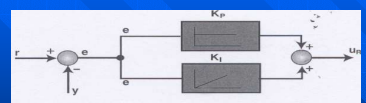
Ο αναλογικός έλεγχος πραγματοποιείται μέσω του διακεκομμένου συνδέσμου, ο οποίος λειτουργεί σα μοχλοβραχίονας. Η ευαισθησία του αναλογικού ελεγκτή καθορίζεται, από το σημείο στο οποίο θα τοποθετηθεί το σημείο ισορροπίας Ρ και το οποίο καθορίζει το λόγο του μοχλοβραχίονα.
Αν η στάθμη αυξηθεί, ο διακεκομμένος σύνδεσμος θα κατέβει προς τα κάτω και κατά συνέπεια θα κλείσει απότομα η βαλβίδα εισαγωγής. Το αντικείμενο που επιπλέει θα κατέβει απότομα προς τα κάτω αλλά δεν θα επανέλθει στην αρχική του θέση. Τότε επεμβαίνει ο ολοκληρωτικός ελεγκτής για να μηδενίσει το offset.

Δρ. Γουρρούλης Δημήτριος, Καθηγητής ΑΕΝ Μακεδονίας

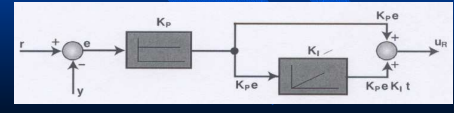
Αναλογικός - Ολοκληρωτικός ελεγκτής (P - I)

Ο ελεγκτής P μειονεκτεί διότι δεν μπορεί να μηδενίσει το σφάλμα. Αυτό το μειονέκτημα το εξουδετερώνει ο ελεγκτής I.
Ο ελεγκτής I είναι αργός. Το μειονέκτημα αυτό το εξουδετερώνει ο ελεγκτής P.

Υπάρχουν δύο ειδών συνδυασμοί

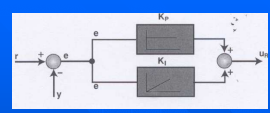


Ο ελεγκτής (P-I) παράλληλης συνδεσμολογίας



Ο ελεγκτής (P-I) σειράς συνδεσμολογίας

Ελεγκτής P - I παράλληλης συνδεσμολογίας



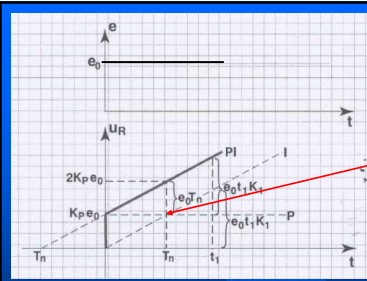
$$u_R = K_p \cdot e + K_i \cdot e \cdot \Delta t$$

Ο λόγος K_p / K_i έχει μονάδες χρόνου (επειδή $T_i = 1 / K_i$) και συμβολίζεται με το γράμμα T_n
Ο χρόνος T_n ονομάζεται χρόνος επαναρύθμισης.

$$T_n = \frac{K_p}{K_i}$$

$$u_R = K_p \cdot e \left(1 + \frac{\Delta t}{T_n} \right)$$

Δρ. Γουρρούλης Δημήτριος, Καθηγητής ΑΕΝ Μακεδονίας



Ελεγκτής P - I παράλληλης συνδεσμολογίας

Ο χρόνος T_n επαναρύθμισης είναι ο χρόνος που χρειάζεται η έξοδος του ελεγκτή I για να φτάσει στην ίδια τιμή του ελεγκτή P.
Όσο μικρότερος είναι ο χρόνος T_n τόσο γρηγορότερος είναι ο ελεγκτής

Δρ. Γουρρούλης Δημήτριος, Καθηγητής ΑΕΝ Μακεδονίας

Ελεγκτής P – I παραγοντικής συνδεσμολογίας

Επειδή ο χρόνος επανάρθρωσης $T_n = K_p / K_i$ εξαρτάται από την ενίσχυση K_p με τον παραγοντικό ελεγκτή προσπαθούμε να κάνουμε τον T_n ανεξάρτητο του K_p .

$$u_R = K_p \cdot e + K_p \cdot K_i \cdot e \cdot t = K_p \cdot e + K_p \cdot \frac{1}{T_i} \cdot e \cdot t$$

$$K_i = 1 / T_i$$

$$u_R = K_p \cdot e \left(1 + \frac{1}{T_i} \cdot t \right) = K_p \cdot e \left(1 + \frac{1}{T_n} \cdot t \right)$$

Δρ. Γεωργιάδης Δημήτριος, Καθηγητής ΑΕΝ Μακεδονίας

Στη συνδεσμολογία αυτή, η οποία χρησιμοποιείται στις πρακτικές εφαρμογές ισχύει $T_n = T_i$

Ελεγκτής P – I παράλληλης συνδεσμολογίας

Η εξίσωση είναι: $u_R = K_p \cdot e + K_i \cdot e \cdot \Delta t$

Εάν $K_p = 2$, $K_i = 0.5 \text{ sec}^{-1}$ και $e = 1 \text{ V}$ τότε:

t	$K_p \cdot e$	$K_i \cdot e \cdot t$	u_R	t	$K_p \cdot e$	$K_i \cdot e \cdot t$	u_R
0	2	0	2	9	2	4.5	6.5
1	2	0.5	2.5	10	2	5	7
2	2	1	3	11	2	5.5	7.5
3	2	1.5	3.5	12	2	6	8
4	2	2	4	13	2	6.5	8.5
5	2	2.5	4.5	14	2	7	9
6	2	3	5	15	2	7.5	9.5
7	2	3.5	5.5	16	2	8	10
8	2	4	6				κόρος

Δρ. Γεωργιάδης Δημήτριος, Καθηγητής ΑΕΝ Μακεδονίας

Ελεγκτής P – I παράλληλης συνδεσμολογίας

Παράδειγμα με μεταβλητή είσοδο (αγνοώντας την αρνητική αντίδραση των ελεγκτών)

Δρ. Γεωργιάδης Δημήτριος, Καθηγητής ΑΕΝ Μακεδονίας

Ελεγκτής P – I παράλληλης συνδεσμολογίας

Παράδειγμα με μεταβλητή είσοδο (αγνοώντας την αρνητική αντίδραση των ελεγκτών)

Ο ελεγκτής είναι γρήγορος στα σημεία t_0, t_1, t_2, t_3, t_4 λόγω της P ενέργειας. Όταν το σφάλμα μηδενίζεται ($t_1 \div t_2, t_4 \div t_5$) ο ελεγκτής διατηρεί την τελευταία τιμή του (ενέργεια I).

Όταν το σφάλμα είναι αρνητικό τότε ο ελεγκτής μειώνεται και μπορεί να πάρει ακόμα και αρνητικές τιμές ($> t_3$).

Δρ. Γεωργιάδης Δημήτριος, Καθηγητής ΑΕΝ Μακεδονίας

Πνευματικός αναλογικός – ολοκληρωτικός ελεγκτής

$P_{out} = 1.0-0.2 \text{ bar}$, $P_{in} = 1.4 \text{ bar}$

$\Theta = P_{μετρ.} - P_{επιθ.}$

Σε κατάσταση ισορροπίας $\Sigma M = 0$

$$F_1 \cdot L_1 + F_2 \cdot L_2 = F_3 \cdot L_1 + F_4 \cdot L_2 \Rightarrow F_3 - F_4 = (F_1 \cdot F_2) \cdot L_1 / L_2$$

Επειδή $F = P \cdot A$ και το A είναι ίδιο τότε $P_3 - P_4 = (P_1 - P_2) \cdot L_1 / L_2$

Επειδή $P_3 = P_{out}$ και $P_4 = P_3 / (1 + RCs) = P_{out} / (1 + RCs)$

Όπου R είναι η ρυθμιζόμενη αντίσταση ροής, C η χωρητικότητα της φουσφάνας και ο λόγος L_1 / L_2 δηλώνει την ύπαρξη ολοκληρωτικής ενέργειας

Δρ. Γεωργιάδης Δημήτριος, Καθηγητής ΑΕΝ Μακεδονίας

Πνευματικός αναλογικός – ολοκληρωτικός ελεγκτής

$P_{out} = 1.0-0.2 \text{ bar}$, $P_{in} = 1.4 \text{ bar}$

$\Theta = P_{μετρ.} - P_{επιθ.}$

$$u_R = K_p \cdot e \left(1 + \frac{\Delta t}{T_i} \right) = \frac{100}{\% \cdot s} e \left(1 + \frac{\Delta t}{T_i} \right)$$

$P_{out} - P_{out} / (1 + RCs) = (P_{μετρ.} - P_{επιθ.}) \cdot L_1 / L_2 \Rightarrow P_{out} \cdot (1 - 1 / (1 + RCs)) = (P_{μετρ.} - P_{επιθ.}) \cdot L_1 / L_2$

$$\Rightarrow P_{out} \cdot (RCs / (1 + RCs)) = e \cdot L_1 / L_2 \Rightarrow P_{out} = e \cdot L_1 / L_2 \cdot (1 + 1 / RCs)$$

Εάν $L_1 / L_2 = K_p$ και $1 / RC = 1 / T_i$ τότε η παραπάνω σχέση γίνεται

$$P_{out} = e \cdot (K_p + K_p / T_i \cdot s)$$

Δρ. Γεωργιάδης Δημήτριος, Καθηγητής ΑΕΝ Μακεδονίας

Πνευματικός αναλογικός ελεγκτής - προβλήματα

$P_{out} = 1.0-0.2 \text{ bar}$ $P_{in} = 1.4 \text{ bar}$
 Ρετροδότηση
 $\Theta = P_{μετρ.} - P_{επιθ.}$
 Ρεπιθμητή

Το περύνιο κλείνει το ακροφύσιο ($P_{μετρ.} > P_{επιθ.}$), η πίεση εξόδου αυξάνει αλλά παράλληλα αυξάνει και η δύναμη F_2 με αποτέλεσμα να κινεί το μοχλοβραχίονα κατά την αντίθετη κατεύθυνση με αποτέλεσμα η πίεση εξόδου αμέσως να μειώνεται.

Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα εξαιτίας της αρνητικής ανάδρασης να απαιτούνται πολύ μεγαλύτερες αλλαγές στην έξοδο για την επίτευξη της επιθυμητής τιμής. Οι ασυμμετρίες εμφανίζονται κατά το αναλογικό κέρδος.

19
Δρ. Γουρμούλης Δημήτριος, Καθηγητής ΑΕΝ Μακεδονίας

Πνευματικός αναλογικός - ολοκληρωτικός ελεγκτής - λύση του προβλήματος

$P_{out} = 1.0-0.2 \text{ bar}$ $P_{in} = 1.4 \text{ bar}$
 Ρετροδότηση
 $\Theta = P_{μετρ.} - P_{επιθ.}$

$$u_i = K_p \cdot \theta \left(1 + \frac{\Delta t}{T_i} \right) = \frac{100}{X_p \%} \theta \left(1 + \frac{\Delta t}{T_i} \right)$$
 Ρεπιθμητή

Η ολοκληρωτική δράση του ελεγκτή βοηθάει στην αργή ακύρωση της μείωσης της ευαισθησίας που προκαλεί η αρνητική ανάδραση του αναλογικού ελεγκτή.

Το περύνιο κλείνει το ακροφύσιο ($P_{μετρ.} > P_{επιθ.}$), η πίεση εξόδου αυξάνει αλλά παράλληλα αυξάνει και η δύναμη F_2 η οποία όμως αντισταθμίζεται από την αυξημένη με μια μικρή καθυστέρηση δύναμη F_1 με αποτέλεσμα να κινεί το μοχλοβραχίονα κατά την αντίθετη κατεύθυνση με μικρότερο ρυθμό από ότι στον αναλογικό ελεγκτή.

20
Δρ. Γουρμούλης Δημήτριος, Καθηγητής ΑΕΝ Μακεδονίας

Αλλαγές στην μορφή εξόδου από αύξηση του K_p και K_i

	Χρόνος απόδοσης	Υπερψύφωση	Χρόνος ολοκλήρωσης	Στιγμαία απόκλιση
$K_p \uparrow$	Μείωση	Αύξηση	Μικρή αλλαγή	Μείωση
$K_i \uparrow$	Μείωση	Αύξηση	Αύξηση	Ελαχιστοποίηση ²¹

21
Δρ. Γουρμούλης Δημήτριος, Καθηγητής ΑΕΝ Μακεδονίας

Αστάθεια στην έξοδο και ταλάντωση από κακή επιλογή K_i

22
Δρ. Γουρμούλης Δημήτριος, Καθηγητής ΑΕΝ Μακεδονίας

Διαφορικός ελεγκτής (D)

Ολοκληρωτική ενέργεια ελέγχου είναι η ενέργεια ενός ελεγκτή του οποίου ο ρυθμός αλλαγής της εξόδου είναι ανάλογος με την απόκλιση.

Διαφορική ενέργεια ελέγχου είναι η ενέργεια ενός ελεγκτή του οποίου το σήμα εξόδου είναι ανάλογο με το ρυθμό αλλαγής της απόκλισης.

$$\frac{dU_R}{dt} = -k_i e$$

$$U_R = -k_i \int e dt$$

$$U_R = -k_d \frac{de}{dt}$$

Όπου $K_D = T_D$ συντελεστής διαφορικής

Σύμβολο ελεγκτή D

23
Δρ. Γουρμούλης Δημήτριος, Καθηγητής ΑΕΝ Μακεδονίας

Διαφορικός ελεγκτής (D)

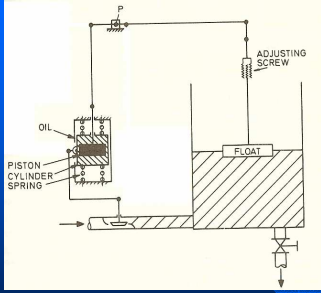
Εάν διεγείρουμε τον ελεγκτή D με ένα βηματικό σήμα τότε:

Εάν το σήμα εισόδου του ελεγκτή D είναι σταθερό τότε η έξοδος είναι μηδέν.

Ο ελεγκτής D χρησιμοποιείται μόνο όταν η ελεγχόμενη μεταβλητή εμφανίζει απότομες αλλαγές. Δεν χρησιμοποιείται ποτέ μόνος αλλά σε συνδυασμό πάντοτε με τον ελεγκτή P.

24
Δρ. Γουρμούλης Δημήτριος, Καθηγητής ΑΕΝ Μακεδονίας

Διαφορικός Έλεγχος στάθμης υγρού



Εάν η στάθμη αυξηθεί με ένα συγκεκριμένο ρυθμό το πιστόνι θα μετακινηθεί προς τα κάτω με μια συγκεκριμένη ταχύτητα ($u = dx/dt$). Ανάλογη αυτής της ταχύτητας είναι η προς τα κάτω δύναμη που εφαρμόζεται στον κύλινδρο και η οποία ενεργεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε να κλείσει τη βαλβίδα. Η κίνηση αυτή του κυλίνδρου αποθηκεύεται στο ελατήριο, καθώς αυτό συμπιέζεται. Όταν το αντικείμενο που επιπλέει (float) σταματήσει να αλλάζει θέση, η δύναμη πάνω στον κύλινδρο παύει να υπάρχει και το ελατήριο επιστρέφει τον κύλινδρο στην αρχική του θέση.

$$U_R = -k_d \frac{de}{dt}$$

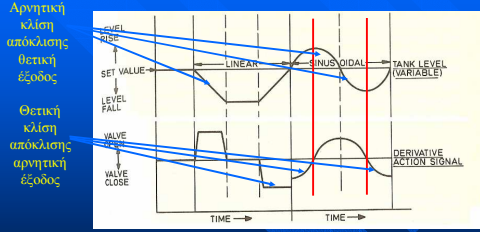
Δρ. Γουρμούλης Δημήτριος, Καθηγητής ΑΕΝ Μακεδονίας

25

Ελεγκτής D συνδεσμολογίας

Παράδειγμα με μεταβλητή είσοδο

(Λαμβάνοντας την αρνητική αντίδραση των ελεγκτών)



Αρνητική κλίση αποκλισης θετική έξοδος
Θετική κλίση αποκλισης αρνητική έξοδος

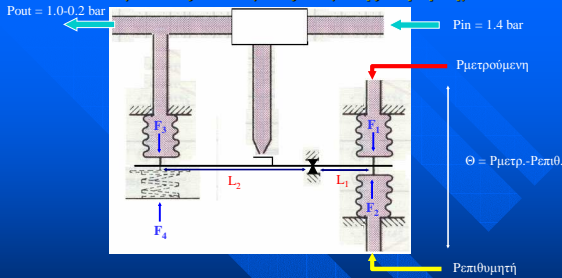
Έχει ληφθεί υπόψη και το αρνητικό πρόσημο της κλίσης του σήματος με αποτέλεσμα όπου είναι θετική η κλίση της αποκλισης να είναι αρνητική η έξοδος και το αντίστροφο. Όπου η αποκλιση είναι σταθερή η έξοδος είναι μηδενική.

Λαμβάνουμε υπόψη πάντοτε και την αμετάβλητη προηγούμενη τιμή και το ρυθμό

Δρ. Γουρμούλης Δημήτριος, Καθηγητής ΑΕΝ Μακεδονίας

26

Πνευματικός αναλογικός ελεγκτής - προβλήματα



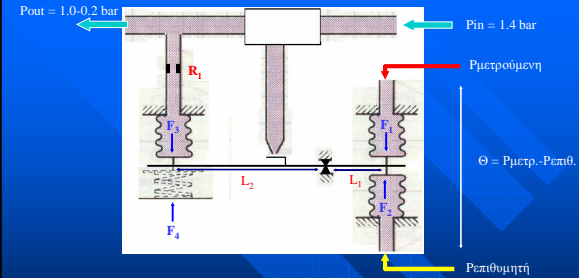
Το περύνιο κλείνει το ακροφύσιο (Ρμετρ > Ρεπιθ), η πίεση εξόδου αυξάνει αλλά παράλληλα αυξάνει και η δύναμη F_2 με αποτέλεσμα να κινεί το μοχλοβραχίονα κατά την αντίθετη κατεύθυνση με αποτέλεσμα η πίεση εξόδου άμεσα να μειώνεται.

Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα εξαιτίας της αρνητικής ανάδρασης να απαιτούνται πολύ μεγαλύτερες αλλαγές στην έξοδο για την επίτευξη της επιθυμητής τιμής. Οι αυξομειώσεις εκπαιδευμένοι από το αναλογικό κέρδος

Δρ. Γουρμούλης Δημήτριος, Καθηγητής ΑΕΝ Μακεδονίας

27

Πνευματικός αναλογικός - διαφορικός ελεγκτής

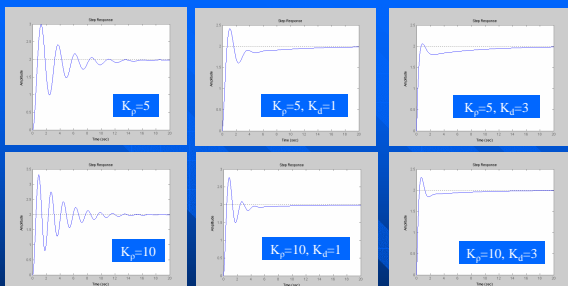


Το περύνιο κλείνει το ακροφύσιο (Ρμετρ > Ρεπιθ), η πίεση εξόδου αυξάνει αλλά παράλληλα αυξάνει αλλά με μικρότερο ρυθμό και η δύναμη F_2 με αποτέλεσμα να κινεί το μοχλοβραχίονα κατά την αντίθετη κατεύθυνση με αργότερο ρυθμό με αποτέλεσμα η πίεση εξόδου να μειώνεται με αργότερο ρυθμό.

Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα εξαιτίας της περιορισμένης αρνητικής ανάδρασης (με τη βοήθεια της στένωσης R1) να απαιτούνται πολύ μικρότερες αλλαγές στην έξοδο για την επίτευξη της επιθυμητής τιμής.

Δρ. Γουρμούλης Δημήτριος, Καθηγητής ΑΕΝ Μακεδονίας

Αλλαγές στην μορφή εξόδου από αύξηση του K_p και K_d



	Χρόνος απόδοσης	Υπερύψωση	Χρόνος ολοκλήρωσης	Στιγμαία αποκλιση
$K_p \uparrow$	Μείωση	Αύξηση	Μικρή αλλαγή	Μείωση
$K_d \uparrow$	Μικρή αλλαγή	Μείωση	Μείωση	Μικρή αλλαγή

Δρ. Γουρμούλης Δημήτριος, Καθηγητής ΑΕΝ Μακεδονίας

28

Αναλογικός - Ολοκληρωτικός - Διαφορικός ελεγκτής (P - I - D)

P-I-D ενέργεια ελέγχου είναι η ενέργεια ενός ελεγκτή του οποίου το σήμα εξόδου αλλάζει κατά ένα ποσό που είναι ανάλογο με την απόκλιση (P), το χρόνο ύπαρξης αυτής (I) και τις αλλαγές ταχύτητας της υπό ελεγχω μεταβλητής (D).

Το βασικό πλεονέκτημα του διαφορικού ελέγχου είναι ότι μπορεί να γνωρίζει εκ των προτέρων την τιμή της απόκλισης που θα παρουσιαστεί το επόμενο λεπτό όπως ο χειριστής ενός αντιαεροπορικού.

PID ελεγκτής

Είναι γρήγορος (P)

Κάνει ακριβή ρύθμιση, μηδενίζει σφάλμα (I)

Αντιδρά στις απότομες μεταβολές της ελεγχόμενης μεταβλητής (D).

Ο ελεγκτής είναι κατάλληλος για εγκαταστάσεις όπου έχουμε πολύ μεγάλο μήκος σωληνώσεων, η χωρητικότητα της υπό ελεγχω μεταβλητή είναι πολύ μεγάλη και όπου είναι αναγκαίο να ακολουθούνται οι γρήγορες κινήσεις του ενδείκτη.

Δρ. Γουρμούλης Δημήτριος, Καθηγητής ΑΕΝ Μακεδονίας

30

P-I-D ελεγκτής

Υπάρχουν δύο ειδών συνδυασμοί:

Ελεγκτής P-I-D
παράλληλης
συνδεσμολογίας

Ελεγκτής P-I-D
παρονομοτικής
συνδεσμολογίας

31

P-I-D ελεγκτής παράλληλης συνδεσμολογίας

$$u_R = K_P \cdot \Delta e + K_I \cdot \Delta e \cdot \Delta t + K_D \cdot \frac{\Delta e}{\Delta t}$$

$$u_R = K_P \cdot e_0 \left(1 + \frac{K_I}{K_P} \cdot t + \frac{K_D}{K_P} \cdot \frac{1}{t} \right)$$

όπου $\frac{1}{T_n} = \frac{K_I}{K_P}$, $T_n = \frac{K_P}{K_I}$ και $T_v = \frac{K_D}{K_P}$

$$u_R = K_P \cdot e_0 \left(1 + \frac{t}{T_n} + \frac{T_v}{t} \right)$$

Δρ. Γουργούλης Δημήτριος,
Καθηγητής ΑΕΝ Μακεδονίας

32

P-I-D ελεγκτής παράλληλης συνδεσμολογίας

Σύμβολο ελεγκτή P-I-D

X_p = ενίσχυση
 K_i = συντελεστής ολοκλήρωσης
 K_d = χρόνος διαφύρασης
 X_n = αναλογική περιοχή
 T_n = χρόνος επαναρρύθμισης
 T_v = χρόνος προπαρείας

Δρ. Γουργούλης Δημήτριος,
Καθηγητής ΑΕΝ Μακεδονίας

33

Ελεγκτής PID συνδεσμολογίας

Παράδειγμα με μεταβλητή είσοδο

Δρ. Γουργούλης Δημήτριος,
Καθηγητής ΑΕΝ Μακεδονίας

34

Ελεγκτής PID συνδεσμολογίας

Ημιτονοειδές σήμα εισόδου

T_n (1s σε $0,3s$), σ ↓ (≈ 0), h ↑, $T_v \approx 1s$
 $T_n = 0,3s$, $\sigma \approx$, h ↓, T_v ↓ (1s σε 0,5s)

Δρ. Γουργούλης Δημήτριος,
Καθηγητής ΑΕΝ Μακεδονίας

35

PITCH CONTROLLER

T_n (1s σε $0,3s$), σ ↓ (≈ 0), h ↑, $T_v \approx 1s$
 $T_n = 0,3s$, $\sigma \approx$, h ↓, T_v ↓ (1s σε 0,5s)

Χρόνος ανόδου $\rightarrow T_n$
Υπερψωση $\rightarrow h$
Χρόνος ολοκλήρωσης $\rightarrow T_v$
Στιγμαία απόκλιση $\rightarrow \sigma$

Δρ. Γουργούλης Δημήτριος,
Καθηγητής ΑΕΝ Μακεδονίας

36

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΛΕΓΚΤΩΝ

	Χρόνος ανόδου	Υπερύψωση	Χρόνος ολοκλήρωσης	Στηγμιαία απόκλιση
Kp	Μείωση	Αύξηση	Μικρή αλλαγή	Μείωση
Ki	Μείωση	Αύξηση	Αύξηση	Ελαστικοποίηση
Kd	Μικρή αλλαγή	Μείωση	Μείωση	Μικρή αλλαγή

Ο αναλογικός έλεγχος χρησιμοποιείται για να ελαγιστοποιήσουμε τον χρόνο ανόδου

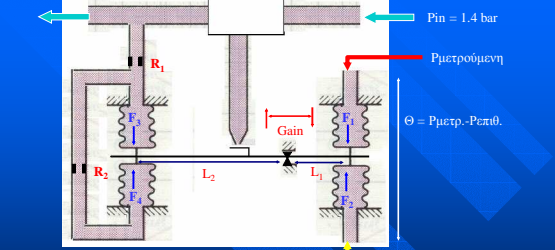
Ο διαφορικός έλεγχος χρησιμοποιείται για να ελαγιστοποιήσουμε την υπερύψωση

Ο ολοκληρωτικός έλεγχος χρησιμοποιείται για να ελαγιστοποιήσουμε τη στιγμήα απόκλιση

Δρ. Γουρμούλης Δημήτριος,
Καθηγητής ΑΕΝ Μακεδονίας

37

Πνευματικός αναλογικός – ολοκληρωτικός – διαφορικός ελεγκτής



Σε κατάσταση ισορροπίας ΣΜ=0

$$F_1 \cdot L_1 + F_4 \cdot L_2 = F_2 \cdot L_1 + F_3 \cdot L_2 \Rightarrow F_3 - F_4 = (F_1 - F_2) \cdot L_1 / L_2$$

Επειδή $F = P \cdot A$ και το A είναι ίδιο τότε $P_3 - P_4 = (P_1 - P_2) \cdot L_1 / L_2$

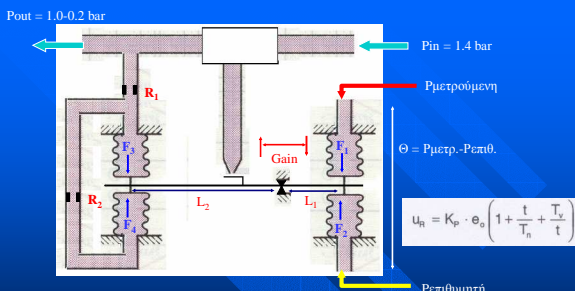
$$\text{Επειδή } P_3 = P_{out} / (1 + R_1 Cs) \text{ και } P_4 = P_2 / (1 + R_2 Cs) \Rightarrow P_4 = P_{out} / ((1 + R_1 Cs) \cdot (1 + R_2 Cs))$$

Όπου R_1 και R_2 είναι οι ρυθμιζόμενες αντιστάσεις ροής και C η χωρητικότητα των φουσόνων τότε

Δρ. Γουρμούλης Δημήτριος,
Καθηγητής ΑΕΝ Μακεδονίας

38

Πνευματικός αναλογικός – ολοκληρωτικός – διαφορικός ελεγκτής



$$U_h = K_p \cdot \theta_0 \left(1 + \frac{t}{T_n} + \frac{T_d}{t} \right)$$

$$[P_{out} / (1 + R_1 Cs)] - [P_{out} / ((1 + R_1 Cs) \cdot (1 + R_2 Cs))] = (P_{μτρ.} - P_{επιθ.}) \cdot L_1 / L_2 \Rightarrow$$

$$P_{out} \cdot [1 / (1 + R_1 Cs) - 1 / ((1 + R_1 Cs) \cdot (1 + R_2 Cs))] = e \cdot L_1 / L_2 \Rightarrow$$

$$P_{out} = e \cdot L_1 / L_2 \cdot [(1 + R_1 / R_2) + R_1 Cs + 1 / R_2 Cs]$$

ο λόγος $1/R_2 Cs = 1/T_s$ δηλώνει την ύπαρξη ολοκληρώματος και το γινόμενο

$R_1 Cs = T_d$ δηλώνει την ύπαρξη διαφορικού ή αμείωτου

Δρ. Γουρμούλης Δημήτριος,
Καθηγητής ΑΕΝ Μακεδονίας

39

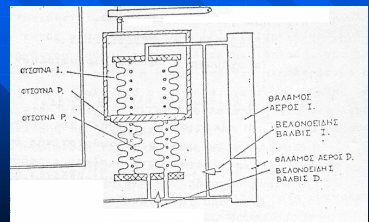
Πνευματικός αναλογικός – ολοκληρωτικός – διαφορικός ελεγκτής NAKAKITA

Στον ελεγκτή NAKAKITA καθορίζουμε αρχικά τη λειτουργία αν θα είναι απευθείας ή αντιστρόφου δράσεως

Το αναλογικό εύρος κυμαίνεται από 10% - 250% και πρακτικά καθορίζεται το λόγο L_1/L_2 .

Ο χρόνος RESET ο οποίος κυμαίνεται από 10 sec έως 20 min εκφράζει το άνοιγμα της βελονοειδούς βαλβίδας η οποία καθορίζει το χρόνο τον οποίο χρειάζεται για να γεμίσει η Φουσόνα και ο θάλαμος αέρος ολοκλήρωσης.

Ο χρόνος διαφορικής ο οποίος κυμαίνεται από 5 sec έως 10 min εκφράζει το άνοιγμα της βελονοειδούς βαλβίδας η οποία καθορίζει το χρόνο τον οποίο χρειάζεται για να γεμίσει η Φουσόνα και ο θάλαμος αέρος διαφορικής.

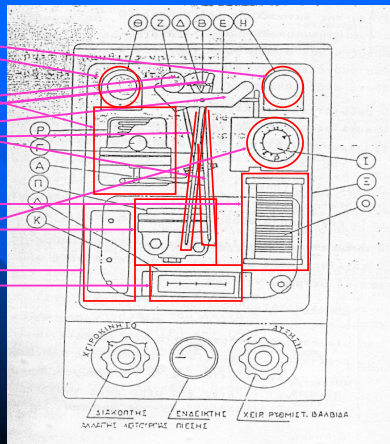


Δρ. Γουρμούλης Δημήτριος,
Καθηγητής ΑΕΝ Μακεδονίας

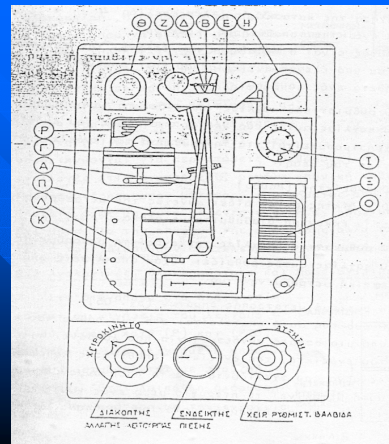
40

Βαλβίδα ρύθμισης χρόνου άμεσης δράσεως η οποία ρυθμίζεται και παραμένει στην θέση της. Ο θάλαμος αέρος ολοκλήρωσης και ρυθμίζει παραγωγή αποκλίσεως και Βαλβίδα Διάρκειας δράσεως η οποία ρυθμίζεται περί την αναλογική και εκδοτική τιμή.

ΠΡΟΣΩΠΗ ΕΛΕΓΚΤΗ NAKAKITA



Ελεγκτής NAKAKITA



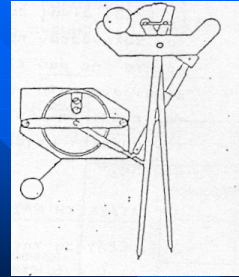
Περιγραφή εξαρτημάτων

- A. Ο ενδείκτης τοποθέτησης που δείχνει την επιθυμητή τιμή και τοποθετείται με τη βοήθεια κομβίου.
- B. Ο ρυθμιστικός κοχλίας του ενδείκτη τοποθέτησης.
- Γ. Ο ενδείκτης μετρούμενης τιμής.
- Δ. Ο ρυθμιστικός κοχλίας του ενδείκτη μετρούμενης τιμής. Ο κοχλίας αυτός ρυθμίζει τυχόν αποκλίσεις από την πραγματική μετρούμενη τιμή.
- E. Η συσκευή μετατροπής σημάτων είτε θερμοκρασίας είτε πίεσως.
- Z. Κομβίο αλλαγής θέσης της επιθυμητής τιμής (SET).
- H. Βαλβίδα ρύθμισης χρόνου επαναφοράς ή ολοκλήρωσης.
- Θ. Παραγωγίσιμη βαλβίδα ρύθμισης.
- I. Κομβίο επιλογής αναλογικού εύρους
- K. Βαθμονομημένη πλάκα. Διαβαθμίσεις για πίεση, θερμοκρασία, στήλη ύδατος
- Λ. Διπλό ενδείκτης πίεσης εισαγωγής και εξαγωγής
- M. Προφύσιο και πτερύγιο
- Ξ, Ο Φυσούρες ολοκλήρωσης και παραγωγίσιμης
- Π. Βαλβίδα οδήγής
- P. Ο θάλαμος PI

Δρ. Γουργούλης Δημήτριος,
Καθηγητής ΑΕΝ Μακεδονίας

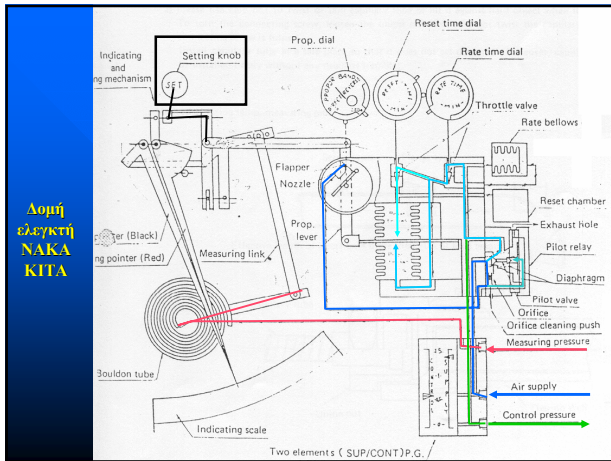
43

Στοιχείο μέτρησης θερμοκρασίας ή πίεσης



Δρ. Γουργούλης Δημήτριος,
Καθηγητής ΑΕΝ Μακεδονίας

44



Δομή
ελεγκτή
ΝΑΚΑ
ΚΙΤΑ

Two elements (SUP/CONT) P.G.

Ρύθμιση ελεγκτή

Αρχικά λειτουργούμε το σύστημα χειροκίνητα. Αφαιρούμε την ολοκληρωτική (I θέτοντας στα 0 sec) και τη διαφορική ενέργεια (D θέτοντας στα 0.05 min) και τοποθετούμε το %P.B. (Ξεκινώντας από τη μεγαλύτερη προς τη μικρότερη τιμή) σε μια κατάλληλη και ασφαλή τιμή που εξαρτάται από τη σταθερότητα του συστήματος προσέχοντας να επιτύχουμε σήμα εξόδου 0.6 bar (δηλαδή οι δύο ενδείκτες να συμπίπτουν ο ένας πάνω στον άλλο.

Σταθερό σύστημα 100%. Ασταθές σύστημα 200-300%.

Μεταφέρουμε το σύστημα στο AUTO και παρατηρούμε αν ελεγκτής είναι τοποθετημένος στη σωστή θέση (direct or reverse action). Κάνουμε μια αλλαγή στο σύστημα με μεταβολή φορτίου ή με μεταβολή της επιθυμητής τιμής και παρατηρούμε την αντίδραση του συστήματος.

Εάν η αντίδραση είναι σταθερή (δηλαδή οι δύο ενδείκτες συμπίπτουν ο ένας πάνω στον άλλο χωρίς ταλάντωση) τότε τοποθετούμε στο μισό ακριβώς το %P.B. Αυτό συνεχίζεται μέχρι να βρούμε που αρχίζει το σύστημα να ταλαντώνεται (hunting). Στο σημείο αυτό σημειώνουμε το %P.B. (B)

Εάν μόνο $P = \%P.B. = 2B$

Δρ. Γουργούλης Δημήτριος,
Καθηγητής ΑΕΝ Μακεδονίας

46

Ρύθμιση ελεγκτή

Στη συνέχεια αφού ορίσουμε το %P.B. = 2B αρχίζουμε να μεταβάλλουμε το χρόνο ολοκλήρωσης ή Reset time αφού κάνουμε μια αλλαγή στο σύστημα με μεταβολή φορτίου ή με μεταβολή της επιθυμητής τιμής και παρατηρούμε την αντίδραση του συστήματος. Αυτό συνεχίζεται μέχρι να βρούμε που αρχίζει το σύστημα να ταλαντώνεται (hunting). Στο σημείο αυτό σημειώνουμε το χρόνο (I)

Τότε

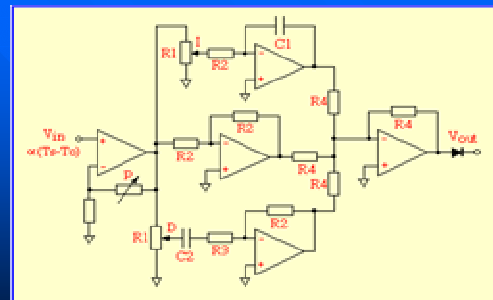
Εάν $P + I$ τότε $\%P.B. = 2.2B$ και $I.A.T. = T/1.2$

Εάν $P + I + D$ τότε $\%P.B. = 1.67B$, $I.A.T. = T/2$ και $D.A.T. = T/8$

Δρ. Γουργούλης Δημήτριος,
Καθηγητής ΑΕΝ Μακεδονίας

47

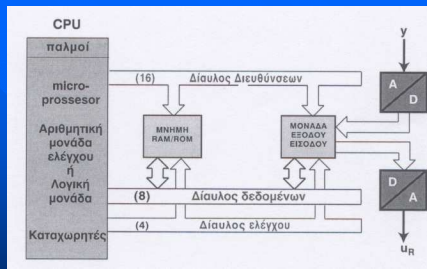
Ηλεκτρονικός PID ελεγκτής



Δρ. Γουργούλης Δημήτριος,
Καθηγητής ΑΕΝ Μακεδονίας

48

Ψηφιακός ελεγκτής



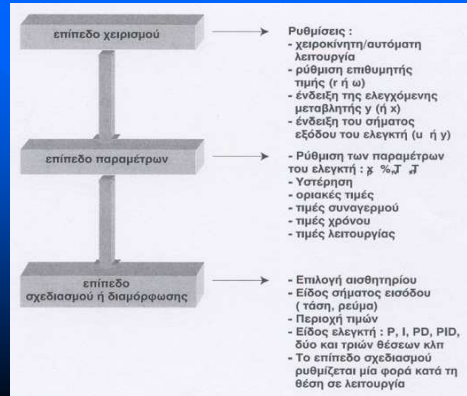
Λειτουργίες ελεγκτή

Δειγματοληψία, Αποθήκευση, Γραμμικοποίηση του αισθητηρίου, Σύγκριση, Υπολογισμοί, Δημιουργία σήματος εξόδου, D/A, A/D, Διευθυνολογία σημάτων

Δρ. Γ. Ουφρύουλης - Αμύντιος
Καθηγητής ΑΕΝ Μακεδονίας

49

Επίπεδα λειτουργίας ψηφιακού ελεγκτή



50