ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

Τμήμα Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης & Παραγωγής
Εργαστήριο Συστημάτων Αυτομάτου Ελέγχου ΙΙ

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ

ΣΑΕ ΙΙ

Υπεύθυνος : Δ. Δημογιαννόπουλος, Αν. Καθηγητής

Βάση των σημειώσεων αυτών (των οποίων η τελευταία, ανανεωμένη, έκδοση παρουσιάζεται εδώ) είναι η μακρά εργασία του Επ. Καθηγητή Γ. Πολίτη, υπεύθυνου του εργαστηρίου επί σειρά ετών στον οποίο εκφράζω τις ευχαριστίες μου για την επιτυχημένη συνεργασία μας τα τελευταία χρόνια. Στις σημειώσεις αυτές είχαν σημαντικότατη συμβολή οι συνεργάτες του εργαστηρίου ΣΑΕ ΙΙ:

Ι. Λιγνός, Ηλεκτρολόγος Μηχανικός
Α. Σαλής, Δρ. Ηλεκτρολόγος Μηχανικός
Φ. Κανέλος, Δρ. Ηλεκτρολόγος Μηχανικός
Σ. Χελά, Διπλ. Μηχανικός Αυτοματισμού
Χ. Τσιρώνης, Δρ. Φυσικός

τους οποίους και ευχαριστώ για την πολύχρονη προσφορά τους.

Δ. Δημογιαννόπουλος

ΑΣΚΗΣΗ 1η

Θέμα: Έλεγχος στροφών κινητήρα –DC με ελεγκτή –P λόγω μεταβολής της επιθυμητής τιμής.

Α) Σκοπός

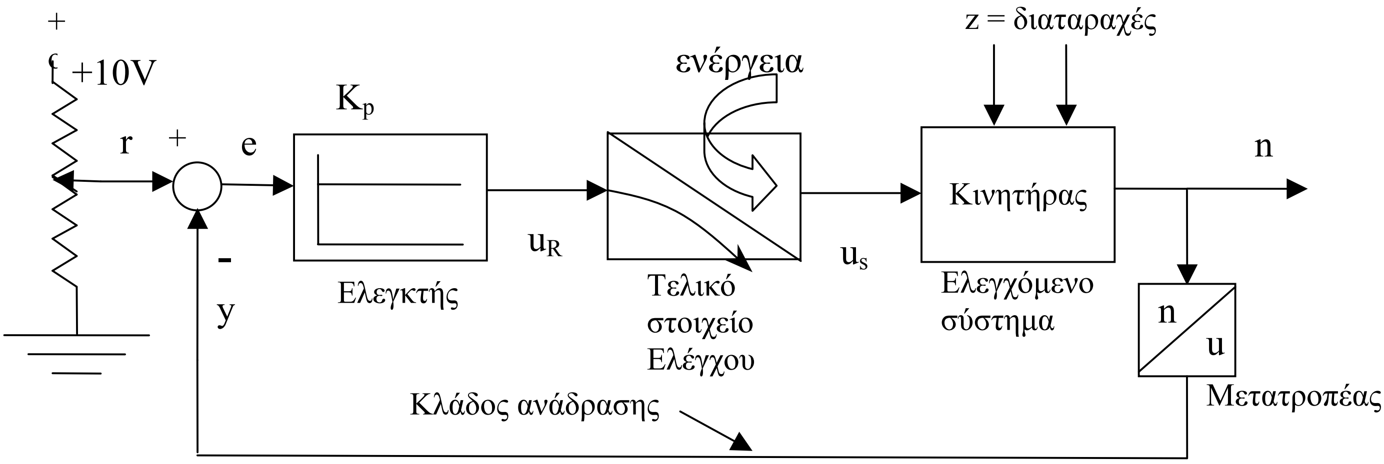
Σκοπός του παρόντος ΣΑΕ είναι :

- Η μελέτη της συμπεριφοράς του ελεγκτή –P
- Ο έλεγχος των στροφών ενός κινητήρα –DC

Συγκεκριμένα στο παρόν ΣΑΕ δεν υπάρχουν διαταραχές (z=0), ενώ η επιθυμητή τιμή μεταβάλλεται βηματικά.

Στις πρακτικές εφαρμογές η επιθυμητή τιμή αλλάζει μέσω ενός προγράμματος. Στο εργαστήριο η μεταβολή της τιμής γίνεται χειροκίνητα.

Παρακάτω φαίνεται το αναλυτικό block-διάγραμμα της άσκησης (σχ.1)



Σχήμα 1 *:* Αναλυτικό block – διάγραμμα του Συστήματος Αυτομάτου Ελέγχου στροφών

Β) Λειτουργία

Με την βοήθεια του ΔΕΤ (όπου r είναι η επιθ. τιμή) ρυθμίζουμε την επιθυμητή τιμή των στροφών (n) του κινητήρα και το σύστημα λειτουργεί στη συνέχεια, ως εξής :

Έστω ότι r = 6V, κατά την έναρξη της λειτουργίας επειδή ο κινητήρας ήταν σε ακινησία n = 0 → y = 0 η διαφορά (σφάλμα) e = r – y = 6V είναι μέγιστη. Το σφάλμα (e) πολλαπλασιάζεται με την ενίσχυση K_P και λαμβάνουμε στην έξοδο το σήμα $u_R = K_p \cdot e$.

Στην συνέχεια το σήμα u_R διεγείρει το ΤΣΕ και ρυθμίζει έτσι την ροή της ενέργειας στον κινητήρα. Ο κινητήρας αρχίζει να περιστρέφεται, όποτε αυξάνεται η ελεγχόμενη μεταβλητή y (= n) και κατά συνέπεια μειώνεται το σφάλμα (e = r – y).

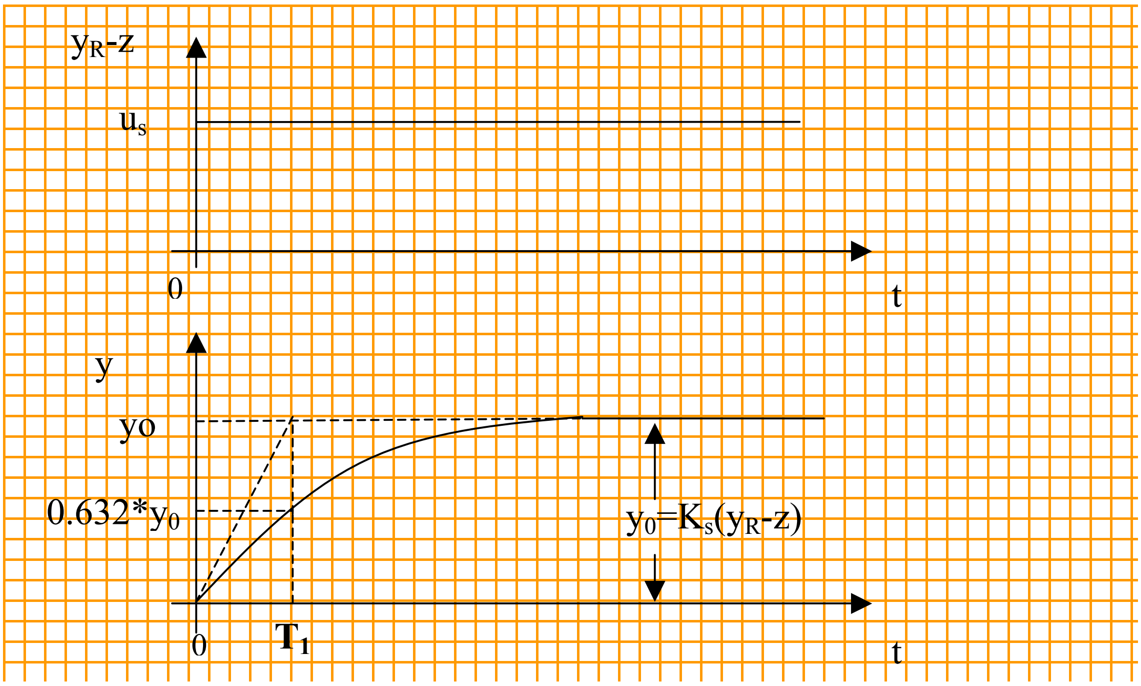
Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται συνεχώς μέχρι το ΣΑΕ να ισορροπήσει. Επειδή ο ελεγκτής –P δεν μπορεί να μηδενίσει το σφάλμα , έπεται ότι οι στροφές του κινητήρα δεν γίνονται ίσες με τις επιθυμητές. Η μείωση του σφάλματος επιτυγχάνεται με αύξηση της ενίσχυσης. Όταν όμως η ενίσχυση φθάσει μία κρίσιμη τιμή $K_{Pκρίσ.}$ τότε το ΣΑΕ πέφτει σε αστάθεια.

Γ) Περιγραφή των βαθμίδων του Σ.Α.Ε. στροφών

i) Το ελεγχόμενο σύστημα.

Το ελεγχόμενο σύστημα (κινητήρας –DC), όπως θα διαπιστώσουμε και εργαστηριακά, είναι ένα απλό πρωτοβάθμιο σύστημα με αναλογική συμπεριφορά συχνά αναφερόμενο και ως βαθμίδα $–PT_1$.

Η βηματική χρονική απόκριση της βαθμίδας $–PT_1$ φαίνεται παρακάτω:



Σχήμα 2 *:* Βηματική χρονική απόκριση του DC – κινητήρα

Ως γνωστόν, η συνάρτηση μεταφοράς του πρωτοβάθμιου συστήματος είναι:

ενίσχυση

$$G_s(s) = \frac{K_s}{1 + T_1 s} \quad \text{όπου} \quad K_S = \frac{y_O}{u_S} \tag{1}$$

σταθερά χρόνου

ενώ η αντίστοιχη διαφορική εξίσωση:

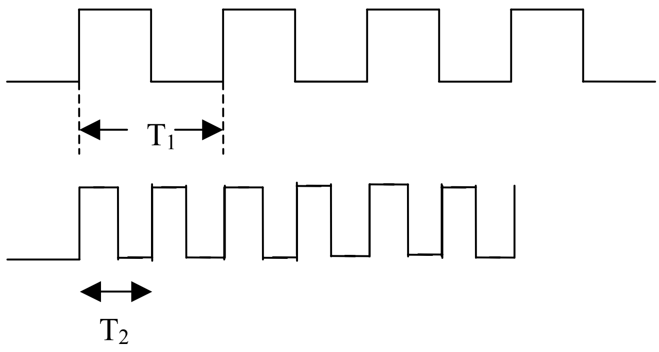
$$u_s = y(t) + T_1 \frac{dy}{dt} \tag{2}$$

Όπου:
K_S = ενίσχυση, συμπεριλαμβανομένης της ενίσχυσης του κινητήρα, του τελικού στοιχείου ελέγχου και του μετατροπέα.
T_1 = μηχανική σταθερά χρόνου, η οποία υπολογίζεται γραφικά.

ii) Μετατροπέας στροφών σε τάση

Ο μετατροπέας είναι ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα, του οποίου το αισθητήριο στηρίζεται στην λειτουργία ενός φώτο-τρανζίστορ.(σχ.3β). Μεταξύ διόδου εκπομπής και βάσης περιστρέφεται ένας δίσκος με διαφανείς και μη διαφανείς τομείς, ο οποίος είναι στερεωμένος στον άξονα του κινητήρα. Κατά την περιστροφή του κινητήρα (κατά συνέπεια και του δίσκου) παράγονται παλμοί στην έξοδο (συλλέκτη) του τρανζίστορ.

Οι παλμοί αυτοί έχουν σταθερό πλάτος (ύψος) και μεταβλητή συχνότητα (f), η οποία αλλάζει ανάλογα με την ταχύτητα των στροφών.



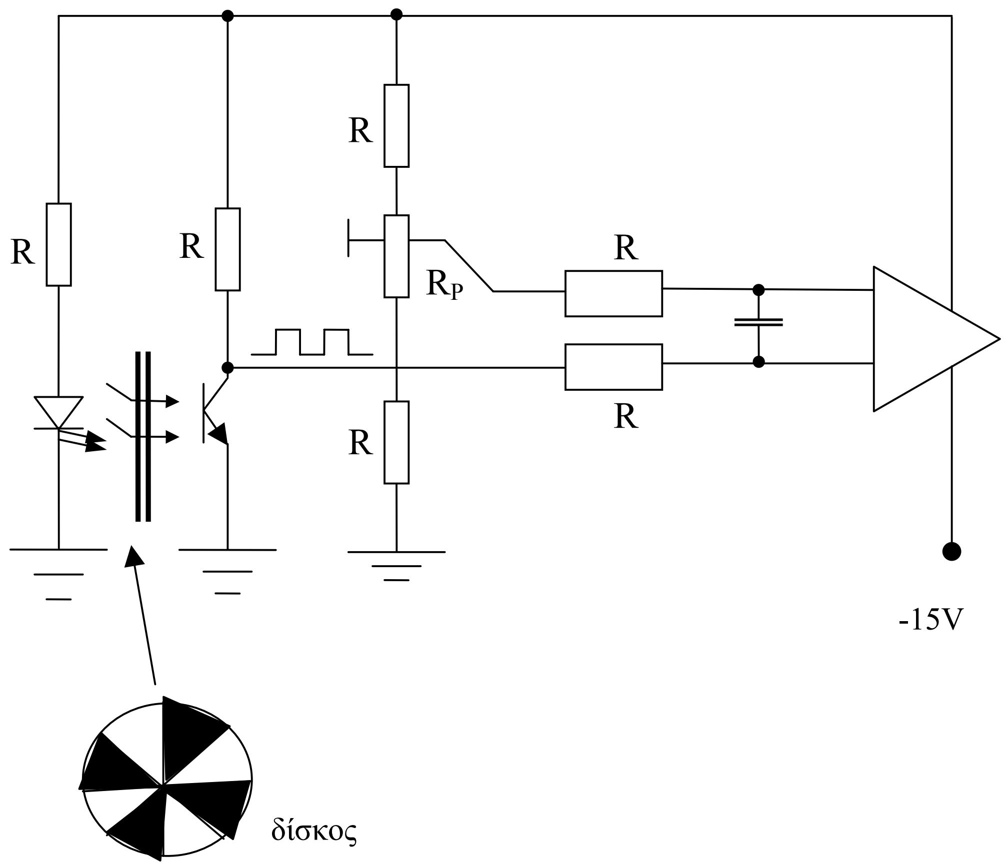
$$T_1 = \frac{1}{f_1} \qquad f_1 = \frac{1}{T_1}$$

$$T_2 = \frac{1}{f_2} \qquad f_2 = \frac{1}{T_2}$$

$$f_2 > f_1$$

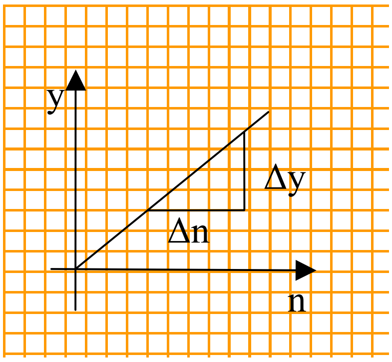
$$n_2 > n_1 \qquad (3)$$

Σχήμα 3α): Μερικές κυματομορφές παλμών



Σχήμα 3β): Τμήμα του κυκλώματος του μετατροπέα

Ο μετατροπέας έχει γραμμική συμπεριφορά (σχ.4)



$$K_M = \frac{\Delta y}{\Delta n} \Rightarrow y = K_M \cdot n \qquad (4)$$

$$G_M(s) = K_M$$

Σχήμα 4: Στατική χαρακτηριστική του μετατροπέα

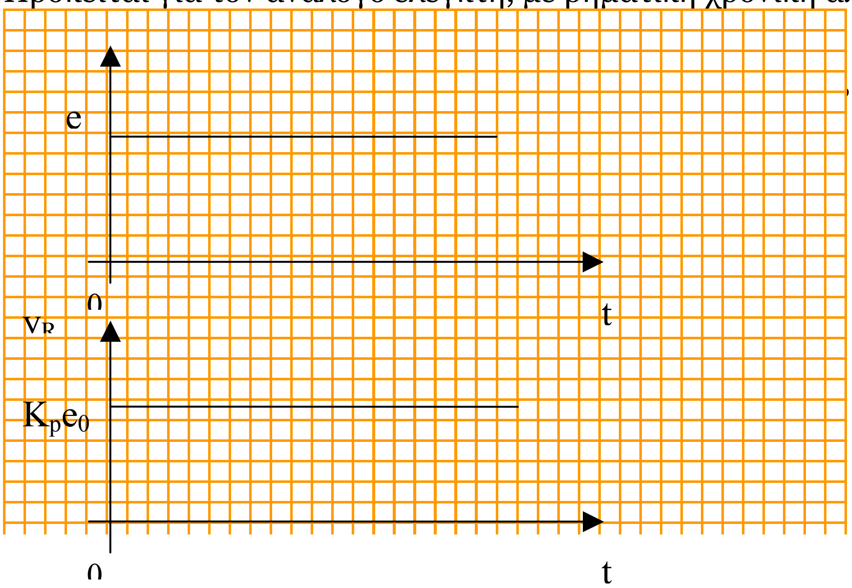
iii) Δότης επιθυμητής τιμής (SET POINT VALUE)

Ο δότης είναι ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα, το οποίο στην απλή του μορφή λειτουργεί όπως ένα γραμμικό ποτενσιόμετρο [στην τεχνολογία του ελέγχου κίνησης, η επιθυμητή τιμή δεν δίνεται βηματικά αλλά υπό την μορφή συνάρτησης ράμπας]. Με τον δοτή ρυθμίζουμε την τιμή της ελεγχόμενης μεταβλητής (στροφές), όταν το σύστημα λειτουργεί αυτόματα (κλειστό σύστημα)

Ο δότης του εργαστηρίου μας δίνει στην έξοδο του τις εξής τυποποιημένες τάσεις : -10 ÷ +10 V και 0V ÷ +10 V.
Εμείς θα χρησιμοποιήσουμε την έξοδο 0V ÷ +10 V.

iv) Ελεγκτής –P (controller –P)

Πρόκειται για τον ανάλογο ελεγκτή, με βηματική χρονική απόκριση:



Η συνάρτηση μεταφοράς του ελεγκτή και η διαφορική του εξίσωση είναι αντίστοιχα:

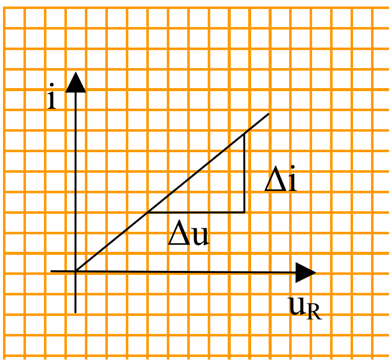
$$G_R(s) = K_p \tag{5}$$

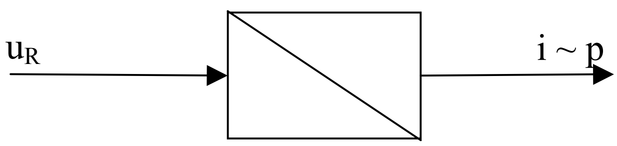
$$y_R = K_p e(t) \tag{6}$$

vi) Τελικό Στοιχείο Ελέγχου (ΤΣΕ) (ενισχυτής)

Το ΤΣΕ της εργαστηριακής άσκησης είναι ένας ενισχυτής ρεύματος. Επειδή το σήμα εξόδου (u_R) του ελεγκτή είναι μικρής ισχύος γι' αυτό χρησιμοποιούμε έναν ενισχυτή οποίος παρέχει την απαραίτητη ισχύ μέσω της αύξησης της έντασης ρεύματος που διαρρέει το τύλιγμα του κινητήρα. Έτσι το ΤΣΕ δέχεται στην είσοδό του το σήμα εξόδου του ελεγκτή και στην έξοδό του μας δίνει τάση της ίδιας τιμής με την είσοδο, αλλά με ενισχυμένο ρεύμα.

Το τελικό στοιχείο ελέγχου έχει επίσης γραμμική συμπεριφορά.



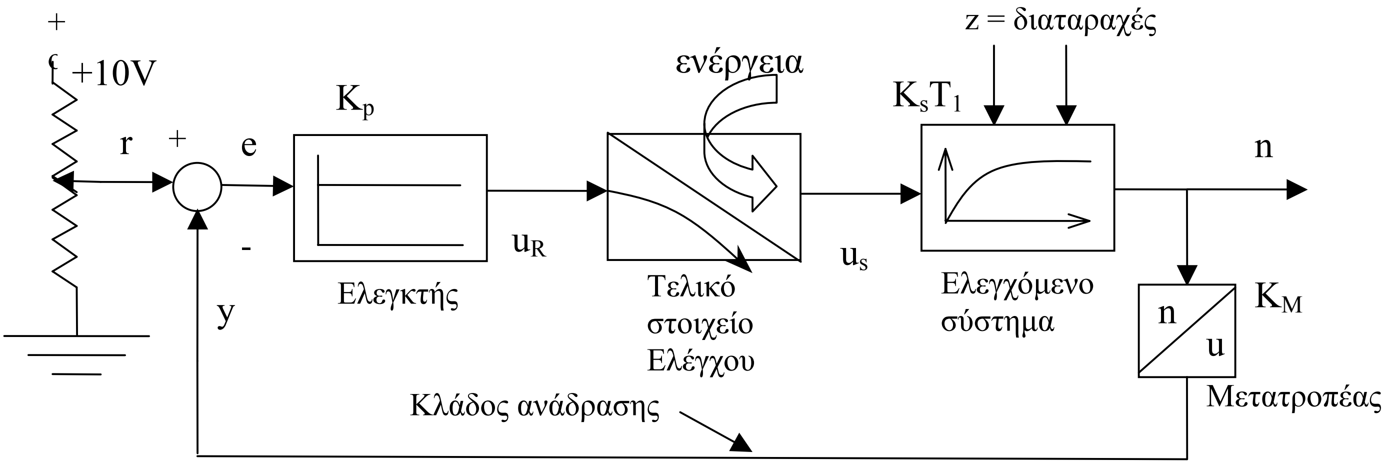


$$K_M = \frac{\Delta i}{\Delta u_R} \qquad i = K_T \cdot u_R \tag{7}$$

Σχήμα 5: Σύμβολο και στατική χαρακτηριστική του Τ.Σ.Ε.

Γ) Μαθηματική περιγραφή του κλειστού ΣΑΕ:

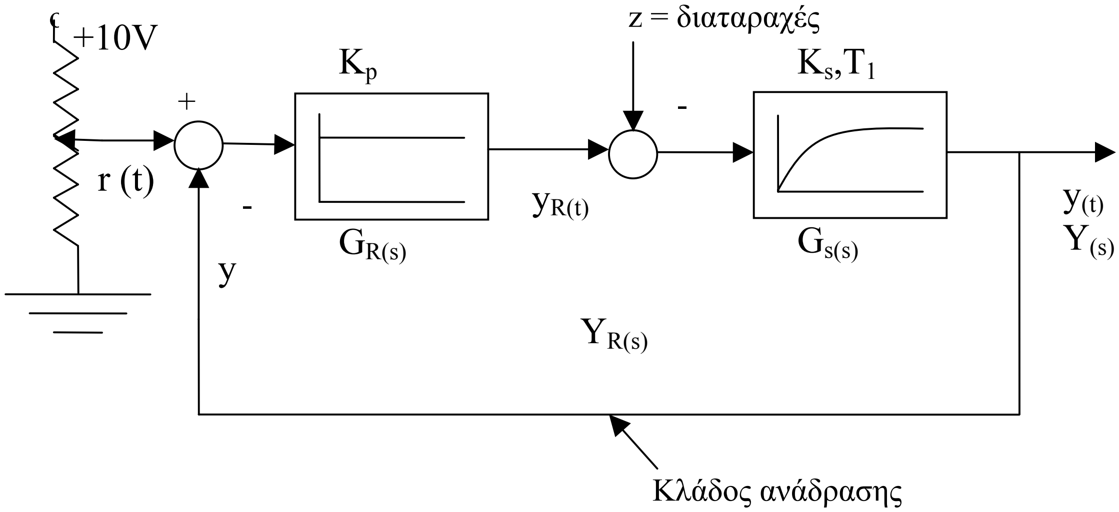
Συνδέοντας τις παραπάνω βαθμίδες κατάλληλα λαμβάνουμε το block-διάγραμμα του κλειστού ΣΑΕ (σχ. 6)



Σχήμα 6 *:* Αναλυτικό block – διάγραμμα του κλειστού Σ.Α.Ε.

Η απλοποίηση του block-διαγράμματος σε ένα κλειστό block-διάγραμμα με δύο βαθμίδες, δηλαδή του ελεγκτή και του ελεγχόμενου συστήματος, προκύπτει από την βηματική χρονική απόκριση του ελεγχόμενου συστήματος. Στην τιμή της ενίσχυσης K_s που υπολογίζουμε γραφικά, συμπεριλαμβάνονται οι ενισχύσεις του ΤΣΕ, του κινητήρα και του μετατροπέα.

Επομένως το απλοποιημένο (μαθηματικό) block – διάγραμμα του κλειστού συστήματος έχει την παρακάτω μορφή :



Σχήμα 7 *:* Μαθηματικό block – διάγραμμα

Από το παραπάνω σχήμα λαμβάνουμε τη συνάρτηση μεταφοράς του κλειστού βρόχου:

$$K_s\{y_{R(t)} - z(t)\} = y(t) + T_1\frac{dy(t)}{dt}$$

$$K_s\{K_p[r(t) - y(t)] - z(t)\} = y(t) + T_1\frac{dy(t)}{dt}$$

$$K_sK_pr - K_sz = (1 + K_sK_p)y(t) + T_1\frac{dy(t)}{dt} \qquad (7)$$

Έλεγχος λόγω αλλαγής της επιθυμητής τιμής (ακολουθιακός έλεγχος): r ≠ 0 και z = 0, οπότε η διαφορική εξίσωση (7) αφού δεν υπάρχουν διαταραχές γίνεται :

$$K_sK_pr(t) = (1 + K_sK_p)y(t) + T_1\frac{dy(t)}{dt}$$

$$\frac{K_sK_p}{1 + K_sK_p}r(t) = y(t) + \frac{T_1}{1 + K_sK_p}\frac{dy(t)}{dt} \qquad (8)$$

Η σχέση (8) με την βοήθεια του μετασχηματισμού Laplace γίνεται

$$\frac{K_sK_p}{1 + K_sK_p}L\{r(t)\} = L\{y(t)\} + \frac{T_1}{1 + K_sK_p}sL\{y(t)\}$$

$$\frac{K_sK_p}{1 + K_sK_p}L\{r(t)\} = L\{y(t)\}(1 + \frac{T_1}{1 + K_sK_p}s)$$

$$G_r(s) = \frac{L\{y(t)\}}{L\{r(t)\}} = \frac{\dfrac{K_sK_p}{1 + K_sK_p}}{1 + \dfrac{T_1}{1 + K_sK_p}s} \qquad (9)$$

όπου :

$$K^* = \frac{K_s K_p}{1 + K_s K_p} \tag{10}$$

ενίσχυση κλειστού συστήματος μικρότερη από την ενίσχυση του ανοικτού βρόχου. Το κλειστό σύστημα έχασε σε ενίσχυση.

Και :

$$T^* = \frac{T_1}{1 + K_s K_p} \tag{11}$$

σταθερά χρόνου του κλειστού συστήματος, η οποία είναι μικρότερη από τη σταθερά χρόνου (T_1) του ανοικτού. Το κλειστό σύστημα κέρδισε σε ταχύτητα.

Ο συντελεστής ρύθμισης R δίνεται από τη σχέση:

$$R = \frac{1}{1 + K_s K_p} \tag{12}$$

Από τη σχέση (9) λαμβάνουμε την ελεγχόμενη μεταβλητή y(t) στη στατική κατάσταση (μόνιμη κατάσταση), για $t \rightarrow \infty$ ή για $s = 0$

$$y(\infty) = \frac{K_s K_p}{1 + K_s K_p} r_o \tag{13}$$

Από την συνάρτηση μεταφοράς $G_r(s)$ του κλειστού συστήματος για $s \rightarrow 0$ ή από τη διαφορική εξίσωση για $t \rightarrow \infty$ (θεώρημα τελικής τιμής) διαπιστώνουμε, ότι η ελεγχόμενη μεταβλητή, δεν γίνεται ποτέ ίση με την επιθυμητή τιμή (r).

Υπάρχει πάντα σφάλμα (e).

$$e = r_o - \frac{K_s K_p}{1+K_s K_p} r_o = \frac{1}{1+K_s K_p} r_o = r_o R \tag{14}$$

Όταν η επιθυμητή τιμή αλλάζει βηματικά

$$r(t) = \begin{cases} r_o \; \gamma\iota\alpha & t \geq 0 \\ 0 \; \gamma\iota\alpha & t < 0 \end{cases}$$

Τότε η κατά Laplace μετασχηματισμένη της ελεγχόμενης μεταβλητής είναι της μορφής :

$$Lf(y(t)) = \frac{\dfrac{K_s K_p}{1+K_s K_p}}{1+\dfrac{T_1}{1+K_s K_p} s} \frac{r_o}{s} \tag{15}$$

Από τον πίνακα του Laplace λαμβάνουμε την ελεγχόμενη μεταβλητή στο πεδίο του χρόνου:

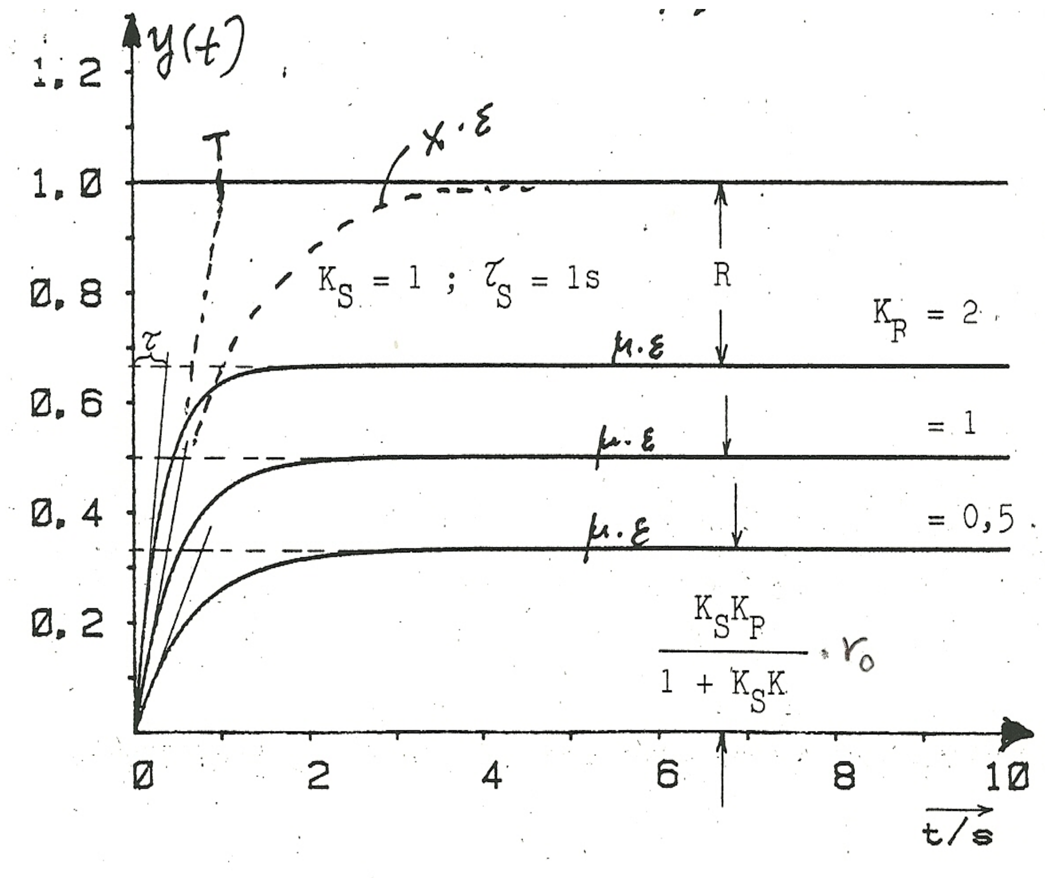
$$y(t) = \frac{K_s \cdot K_p}{1 + K_s \cdot K_p} \cdot r_o \cdot \left(1 - e^{\frac{-\frac{t}{T_1}}{1+K_s K_p}} \right) \tag{16}$$

$$y(t) = K^* \cdot r_o \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T_1^*}} \right) \tag{17}$$

όπου :

$$K^* = \frac{K_s K_p}{1 + K_s K_p}$$ Ενίσχυση κλειστού βρόχου (18)

$$T^* = \frac{T_1}{1 + K_s K_p}$$ Σταθερά χρόνου κλειστού βρόχου (19)



χ.ε : Χωρίς ελεγκτή
μ.ε : Με ελεγκτή

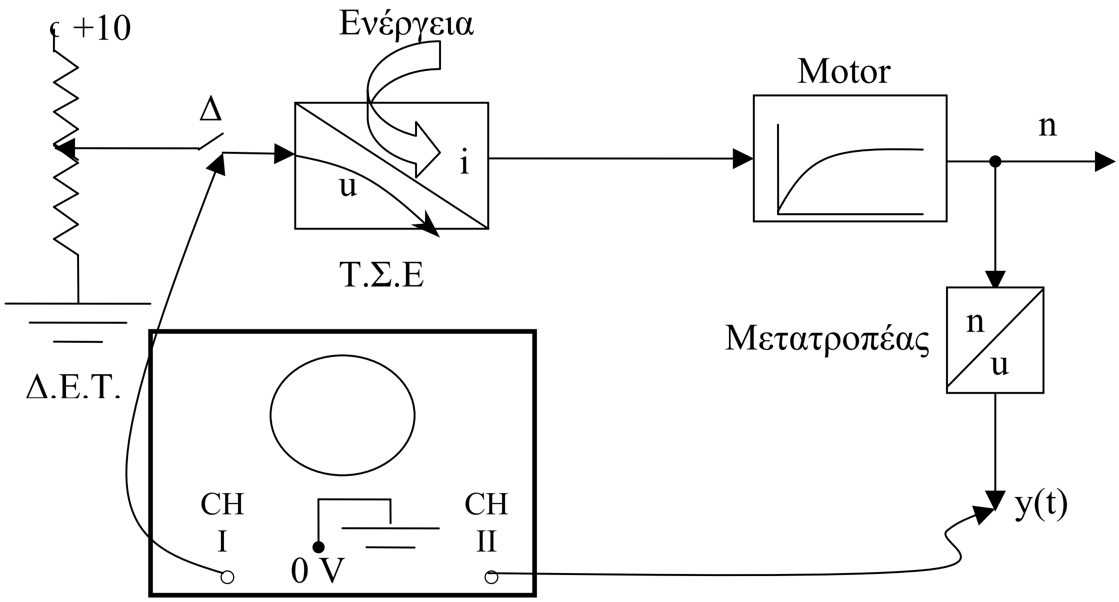
Δ) Εργαστηριακό μέρος:

1) Μελέτη του ανοιχτού συστήματος.

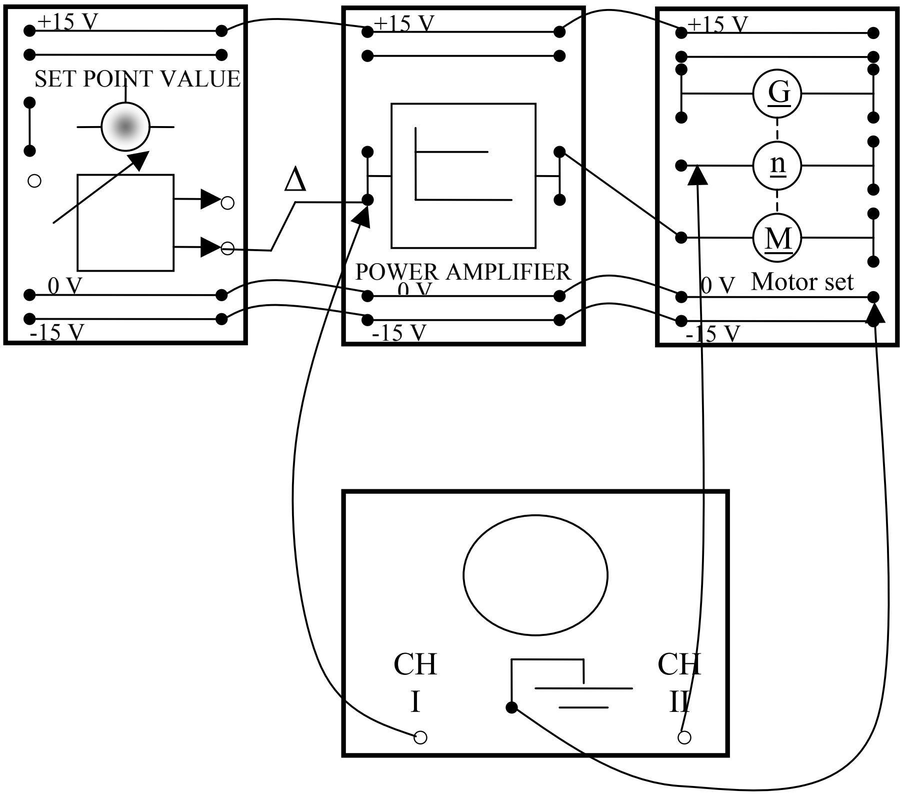
i) Βηματική χρονική απόκριση και υπολογισμός των τεχνικών χαρακτηριστικών του ελεγχόμενου συστήματος.

Συνδέστε το παρακάτω κύκλωμα (βαθμίδες) και ρυθμίστε τις ακόλουθες τιμές:

r_o = 7 V
CHI = 1 V / div
CHII = 1 V / div
Timebase = 0.1 sec/div



Πατήστε το διακόπτη Δ στη θέση ON και στη συνέχεια παγώστε το σήμα r_o και y(t) στον παλμογράφο. Σχεδιάστε σε (μιλιμετρέ, αν είναι δυνατό) χαρτί τη βηματική χρονική απόκριση του κινητήρα. (Προσοχή στην ακριβή αντιγραφή του σήματος εισόδου και εξόδου του κινητήρα).



Υπολογίστε τα τεχνικά χαρακτηριστικά K_s και T_1.

Από την παραπάνω διάταξη παρατηρούμε ότι οι βαθμίδες:

- Τελικό Στοιχείο Ελέγχου
- Ελεγχόμενο Σύστημα (κινητήρας –DC)
- Μετατροπέας στροφών σε τάση

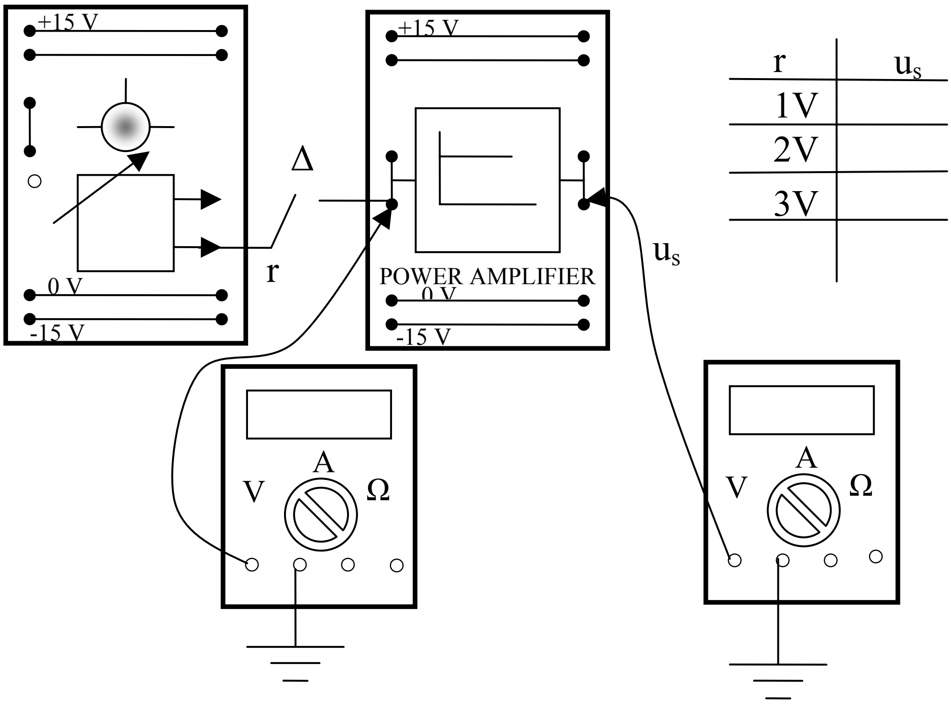
είναι στη σειρά. Επομένως, αν ονομάσουμε K_S την συνολική ενίσχυση που υπολογίζουμε από τη βηματική χρονική απόκριση, καταλαβαίνουμε ότι αυτή αναφέρεται ουσιαστικά και στα τρία αυτά εν σειρά στοιχεία (είναι το γινόμενο των επιμέρους ενισχύσεων) και είναι :

$$K_s = \frac{y_o}{r_o}$$

Έχοντας υπολογίσει την ενίσχυση, γράψτε τη συνολική συνάρτηση μεταφοράς $G_S(s)$ του συστήματος του οποίου κάνατε τη συνδεσμολογία.

ii) Συμπεριφορά του ΤΣΕ.

Συνδεμολογήσατε το παρακάτω κύκλωμα. Διεγείρετε τον ενισχυτή (ΤΣΕ) διαδοχικά με 1 V, 2 V, 3 V κ.λ.π. και μετρήστε αντίστοιχα την τάση εξόδου (u_S) του ενισχυτή.

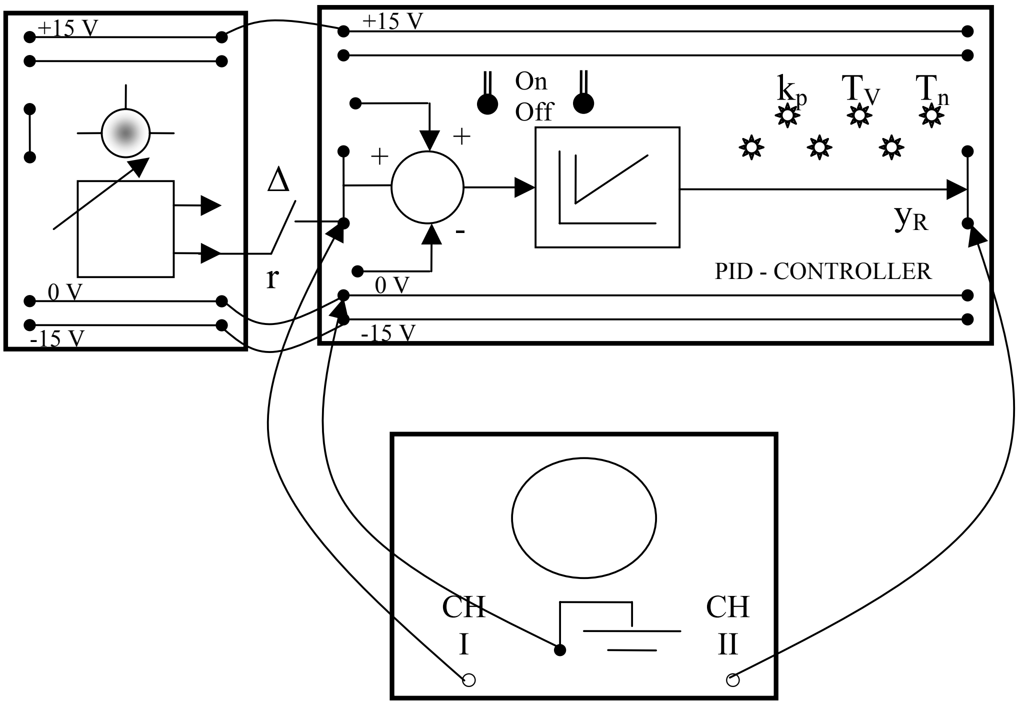


r	u_S
1V	
2V	
3V	

Από τα αποτελέσματα που βρήκατε τι συμπέρασμα βγάζετε;

iii) Συμπεριφορά ελεγκτή –P

α) Συνδεσμολογούμε το παρακάτω κύκλωμα και με σταθερή ενίσχυση K_P = 1, 2, 3 διεγείρουμε τον ελεγκτή με διάφορα σήματα [r(t) = 1 V, 2 V, 3 V].

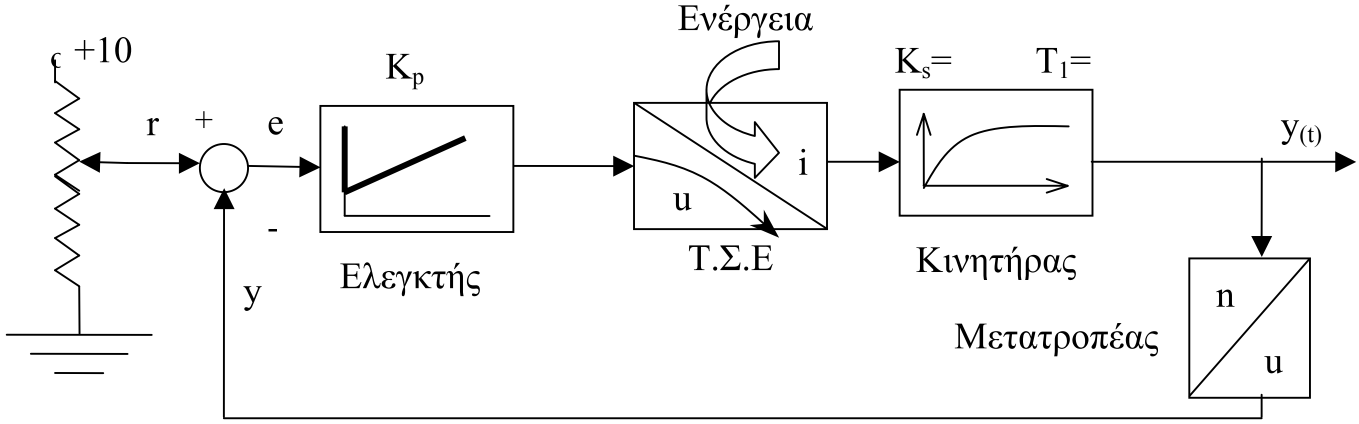


Σχεδιάζουμε τα σήματα εισόδου (r) και εξόδου y_R που λαμβάνουμε στον παλμογράφο σε (μιλιμετρέ, αν είναι δυνατό) χαρτί και συμπληρώνουμε τον παρακάτω πίνακα:

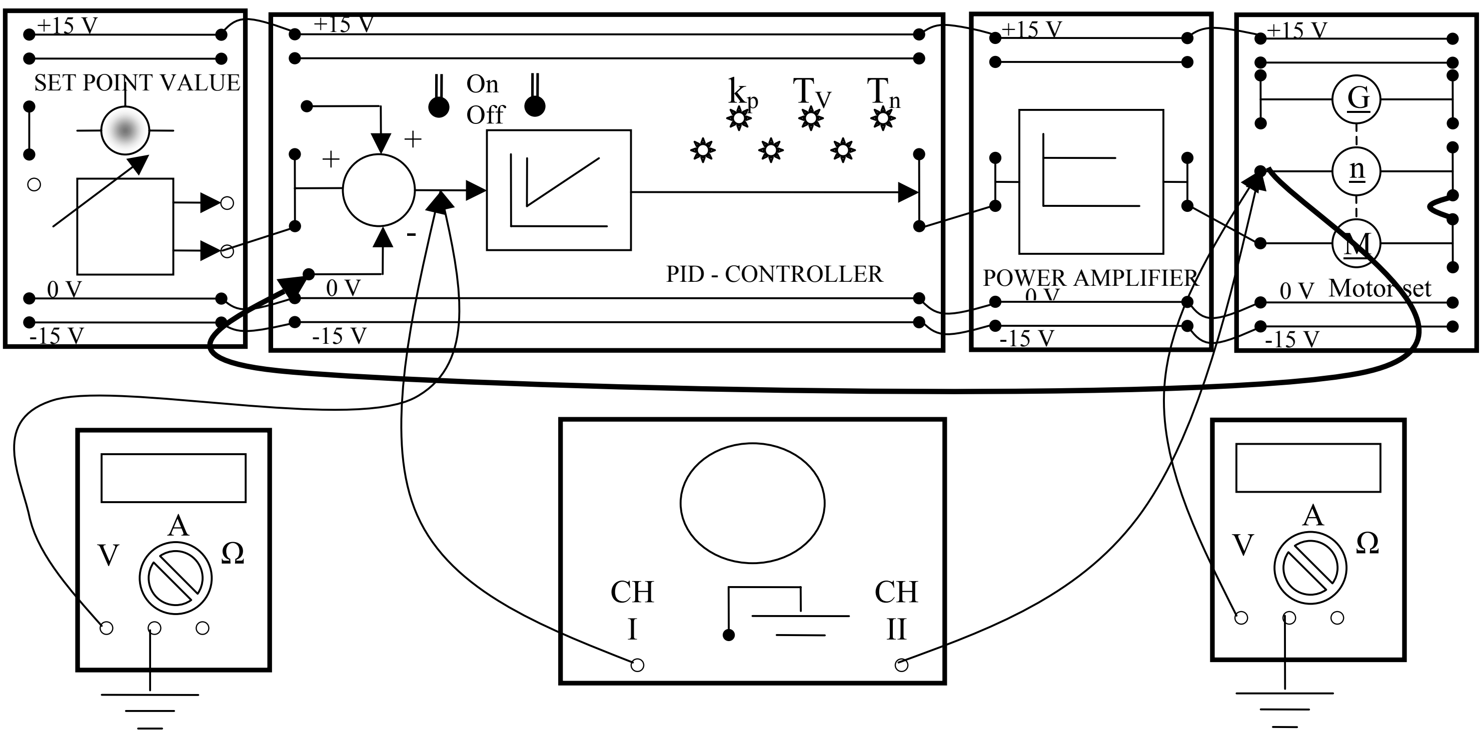
	K_P = 1	**K_P = 2**	**K_P = 3**
R	y_R		
1			
2			
3			

2) Μελέτη κλειστού συστήματος.

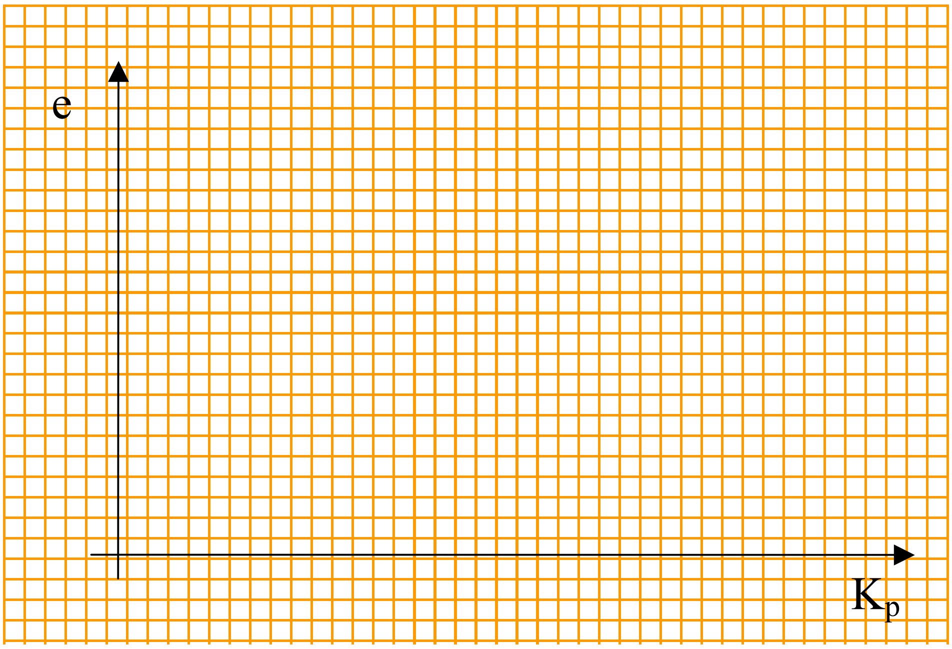
i) Με βάση τις βαθμίδες του ανοιχτού συστήματος – Δότης Επιθ. Τιμής, ελεγκτής, ελεγχόμενο σύστημα (συμπτυγμένο) – σχεδιάστε το κλειστό ΣΑΕ.



Με βάση τη μαθηματική περιγραφή και τις τιμές K_S και T_1 υπολογίστε το σφάλμα (θεωρητικά) και συμπληρώστε τον παρακάτω πίνακα για διάφορες τιμές του K_P. Στη συνέχεια συνδεσμολογήστε το παρακάτω κλειστό Σ.Α.Ε. και με τις ίδιες τιμές του Κρ μετρήστε το σφάλμα e(ε) εργαστηριακά. Σχεδιάστε τις γραφικές παραστάσεις e(ε)=f(Κρ) και e(θ)=f(Κρ) στο ίδιο σύστημα αξόνων και σχολιάστε τη μορφή της.



r = 3 V		
Kρ	e(θ)	e(ε)
1		
2		
3		
4		



ΑΣΚΗΣΗ 2η

Θέμα: Έλεγχος στροφών κινητήρα – DC με ελεγκτή – PI, λόγω διαταραχής.

Α) Σκοπός:

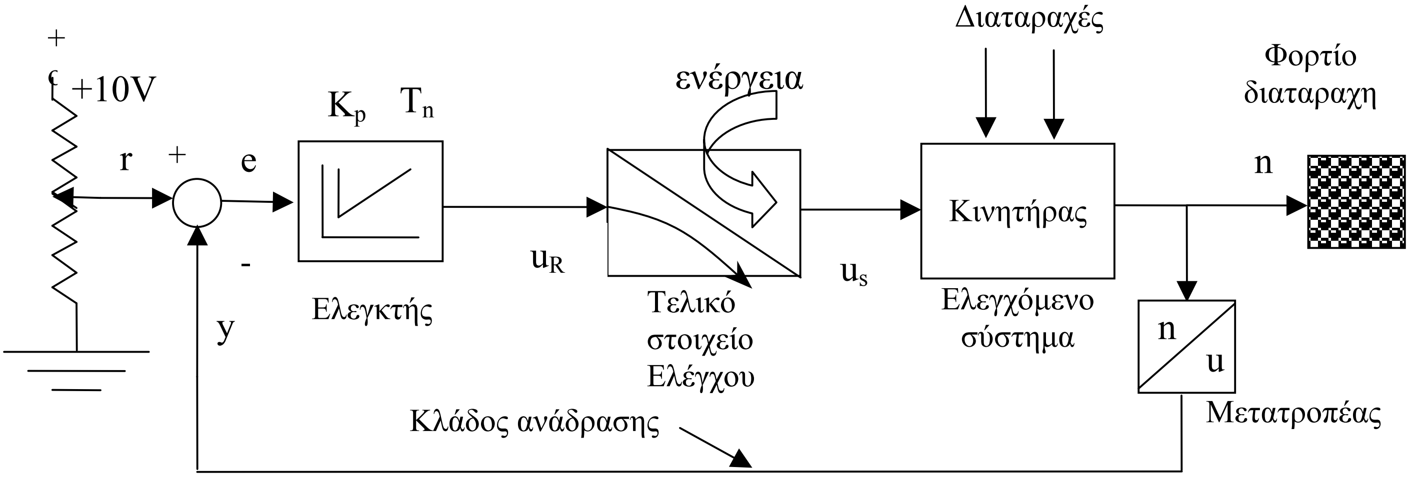
Σκοπός του παρόντος ΣΑΕ είναι:

- Ο έλεγχος των στροφών ενός κινητήρα –DC με έναν ελεγκτή -PI, όταν στον άξονα του κινητήρα είναι συνδεδεμένο ένα μεταβλητό φορτίο (διαταραχή).

- Η μελέτη του ελεγκτή –PI.

Β) Λειτουργία:

Παρακάτω φαίνεται το αναλυτικό block-διάγραμμα της άσκησης (Σχ.1)



Σχήμα 1 : Αναλυτικό block – διάγραμμα του Συστήματος Αυτομάτου Ελέγχου στροφών

Το Σ.Α.Ε. στροφών ενός κινητήρα –DC αποτελείται, από :

- Έναν κινητήρα –DC = ελεγχόμενο σύστημα.
- Τον μετατροπέα στροφών σε τάση, του οποίου το βασικό αισθητήριο είναι ένα οπτικό αισθητήριο ανακλώμενης δέσμης.
- Τον δότη επιθυμητής τιμής, ο οποίος μας δίδει δύο τάσεις 0 ÷ +10 V και -10 V ÷ +10 V. Στήν παρούσα άσκηση χρησιμοποιούμε την έξοδο με τάση 0 ÷ +10 V.
- Τον ελεγκτή – PID, οποίος θα χρησιμοποιηθεί σαν ελεγκτής –P κατ' αρχήν και στη συνέχεια σαν ελεγκτής -PI.
- Το τελικό στοιχείο ελέγχου, που στην περίπτωσή μας είναι ένας ενισχυτής, ο οποίος κάνει ενίσχυση της ισχύος του σήματος εισόδου. Το σήμα εισόδου του ενισχυτή (= σήμα εξόδου (y_R) του ελεγκτή) δεν έχει αρκετή ισχύ για να περιστρέψει τον κινητήρα. Ο ενισχυτής λοιπόν δέχεται την τάση (0 έως + 10 V) από τον ελεγκτή και δίνει στην έξοδό του την ίδια τάση με την είσοδο, αλλά με περισσότερο ρεύμα. Με λίγα λόγια παρέχει στον κινητήρα μεγαλύτερη ισχύ (από όση θα είχε στη διάθεσή του μόνο από τον ελεγκτή) για να μπορέσει να περιστραφεί.

Στον άξονα του κινητήρα είναι επίσης συνδεδεμένη μία γεννήτρια η οποία τροφοδοτεί τρεις μικρές λάμπες βολφραμίου. Οι λάμπες αυτές αποτελούν το φορτίο του συστήματος, ή αλλιώς διαταραχή, και μπορούν να συνδεθούν επιλεκτικά με την βοήθεια διακοπτών στη γεννήτρια. Όταν συνδέουμε τις λάμπες (δηλαδή το φορτίο/διαταραχή) μειώνονται οι στροφές και το αντίστροφο.

Ρυθμίζουμε με τον δότη μία επιθυμητή τιμή r = 5 V και κλείνουμε τον διακόπτη (Δ). Επειδή αυτή την χρονική στιγμή ο κινητήρας δεν περιστρέφεται (y = 0) έπεται ότι το σφάλμα e = 5V. Αυτή η τάση πολλαπλασιάζεται με την ενίσχυση $K_P \rightarrow (K_P \cdot e)$ και ταυτόχρονα ολοκληρώνεται ($\int e \cdot dt$). Είναι προφανές ότι το σήμα εξόδου (u_R) του ελεγκτή – PI είναι αρκετά μεγάλο κατά την εκκίνηση. Επομένως και η ισχύς στην έξοδο του ΤΣΕ που τροφοδοτεί είναι μεγάλη με αποτέλεσμα ο κινητήρας να αναπτύσσει γρήγορα ταχύτητα. Η αύξηση των στροφών γίνεται αισθητή από τον μετατροπέα με αποτέλεσμα η ελεγχόμενη μεταβλητή ν' αυξάνει ανάλογα. Έτσι το σφάλμα (e) μειώνεται συνεχώς. Όταν η ελεγχόμενη μεταβλητή y γίνει ίση με την επιθυμητή τιμή (r) το σφάλμα είναι μηδέν (e = r – y = 0) και ο ελεγκτής – PI διατηρεί το σήμα u_R στην έξοδο του στο οποίο ο κινητήρας απέκτησε τις επιθυμητές στροφές.

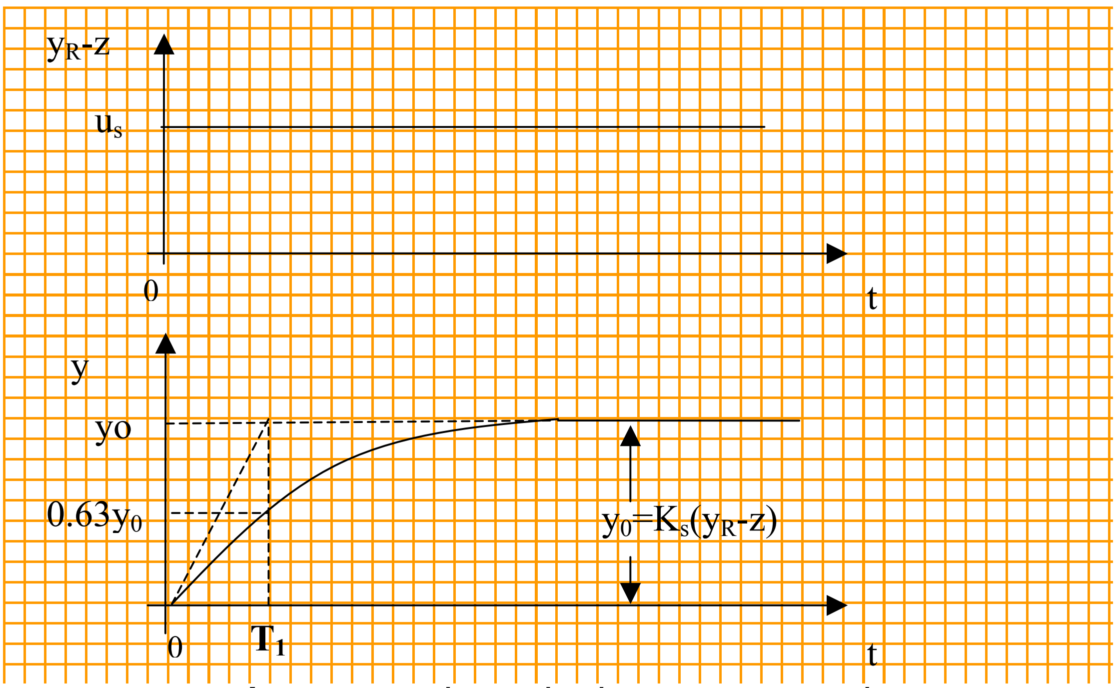
Όταν μεταβάλλεται το φορτίο (π.χ. αύξηση), τότε μειώνεται η ελεγχόμενη μεταβλητή (y) και αυξάνει το σφάλμα ($e = r - y$) οπότε αυξάνει το σήμα εξόδου u_R με αποτέλεσμα την αύξηση της ισχύος του ενισχυτή και των στροφών του κινητήρα. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρι οι στροφές (n) του κινητήρα να γίνουν αντίστοιχα ίσες με την επιθυμητή τιμή. Αν οι στροφές γίνουν μεγαλύτερες της επιθυμητής τιμής ($e = (r - y) < 0$), τότε ο ελεγκτής μειώνει ανάλογα το σήμα εξόδου με αποτέλεσμα την μείωση της ισχύος τροφοδοσίας του κινητήρα και κατά συνέπεια των στροφών.

Γ) Περιγραφή των βαθμίδων

i) Ελεγχόμενο σύστημα

Το ελεγχόμενο σύστημα (κινητήρας –DC), όπως θα διαπιστώσουμε και εργαστηριακά, είναι ένα απλό πρωτοβάθμιο σύστημα με αναλογική συμπεριφορά συχνά αναφερόμενο και ως βαθμίδα –PT_1.

Η βηματική χρονική απόκριση της βαθμίδας φαίνεται παρακάτω:



Σχήμα 2 : Βηματική χρονική απόκριση του DC – κινητήρα

Από τη βηματική χρονική απόκριση υπολογίζουμε τα τεχνικά χαρακτηριστικά του κινητήρα, δηλ. την ενίσχυση K_S και την σταθερά χρόνου T_1. Η ενίσχυση υπολογίζεται από τη σχέση :

$$K_s = \frac{y_o}{u_s}$$

Ενώ η μηχανική σταθερά χρόνου T_1 υπολογίζεται γραφικά από τη βηματική χρονική απόκριση

Συνεπώς η συνάρτηση μεταφοράς είναι :

$$G_s(s) = \frac{K_s}{1 + T_1 s}$$

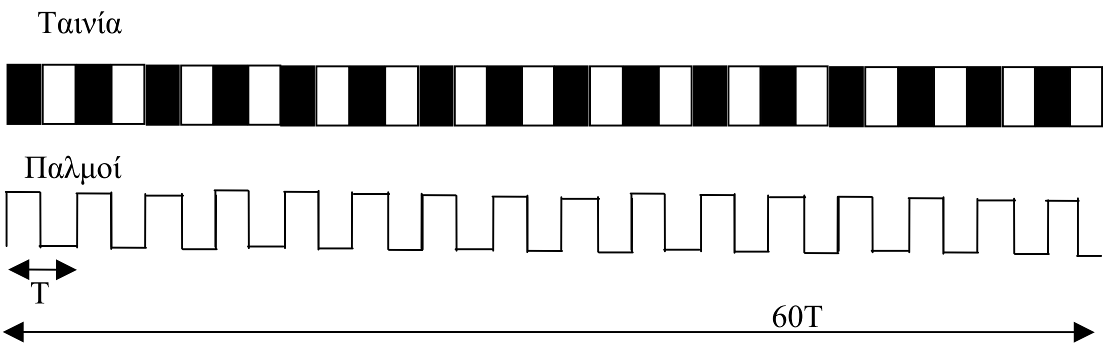
Και η διαφορική εξίσωση :

$$K_s u_s = y(t) + T_1 \frac{dy(t)}{dt}$$

ii) Ο μετατροπέας στροφών σε τάση

Ο μετατροπέας διαθέτει ένα κυλινδρικό δίσκο στην περιφέρεια του οποίου είναι τοποθετημένη μία ταινία διαιρεμένη σε μαύρα και άσπρα διαδοχικά τοποθετημένα τμήματα.

Το αισθητήριο διαθέτει μια δίοδο εκπομπής και ένα φωτοτρανζίστορ. Όταν η εκπεμπόμενη ακτίνα της διόδου εκπομπής συναντά τα μαύρα τμήματα της ταινίας, τότε στην έξοδο του φωτοτρανζίστορ (συλλέκτης) παράγεται ένας παλμός. Αντίθετα όταν οι εκπεμπόμενες ακτίνες συναντούν τα άσπρα γυαλιστερά τμήματα αντανακλώνται και οι ανακλώμενες ακτίνες πέφτουν στην βάση του τρανζίστορ και άγει. Το τρανζίστορ μέσω του εκπομπού γειώνει τον συλλέκτη και μηδενίζεται έτσι ο προηγούμενος παλμός. ;Etsiόσο γρηγορότερα περιστρέφεται ο κινητήρας τόσο στενότεροι γίνονται οι παλμοί. Άρα έχουμε μικρότερη περίοδο Τ και μεγαλύτερη συχνότητα (f). Η ταινία φέρει 60 διαδοχικά εναλλασσόμενα μαύρα και άσπρα τμήματα. (σχ.3)



Σχήμα 3 : Ταινία του κυλίνδρου

Από την παραπάνω σχηματική διάταξη παρατηρούμε, ότι όταν ο κινητήρας εκτελεί μία πλήρη περιστροφή, τότε έχουμε 30 φορές την περίοδο Τα (δήλ. 30Τ). Επομένως οι στροφές (n) του κινητήρα υπολογίζονται ως εξής:

Όταν έχουμε → σε χρόνο 60 T $\xrightarrow{\text{εκτελείται}}$ 1 στροφή

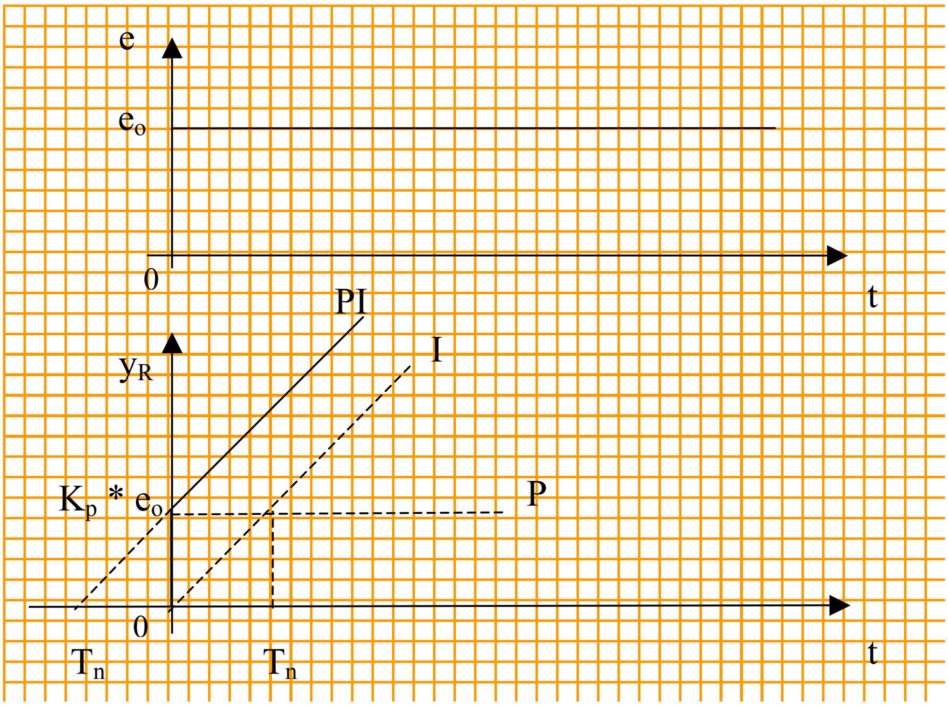
60 sec = 1 min ⟶ x;

x = n = 1 στροφή * 60/(60T) = 1/T στροφές

Επειδή $f = \frac{1}{T}$ = συχνότητα περιστροφής

Έπεται ότι n =f [n] = στροφ/min = min^{-1}

iii) Ελεγκτής – PI.



Σχήμα 4 : Βηματική χρονική απόκριση ενός ελεγκτή – PI

Από τη χρονική απόκριση του ελεγκτή υπολογίζουμε την ενίσχυση του (K_P)

$$K_p = \frac{K_p \cdot e_o}{e_o} = K_p$$

και γραφικά υπολογίζουμε τον χρόνο επαναρύθμισης (T_n), σύμφωνα με το προηγούμενο σχήμα. Ο χρόνος επαναρύθμισης είναι ο χρόνος που χρειάζεται η έξοδος του ελεγκτή – I για να φτάσει στην ίδια τιμή με την έξοδο του ελεγκτή – P

Συνάρτηση μεταφοράς:

$$G_R(s) = K_p + \frac{K_I}{s} = K_p\left(1 + \frac{K_I}{K_p \cdot s}\right) = K_p\left(1 + \frac{1}{T_n \cdot s}\right)$$

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

Διαφορική εξίσωση:

$$y_R = K_p e(t) + K_I \int e(t)dt$$

ή

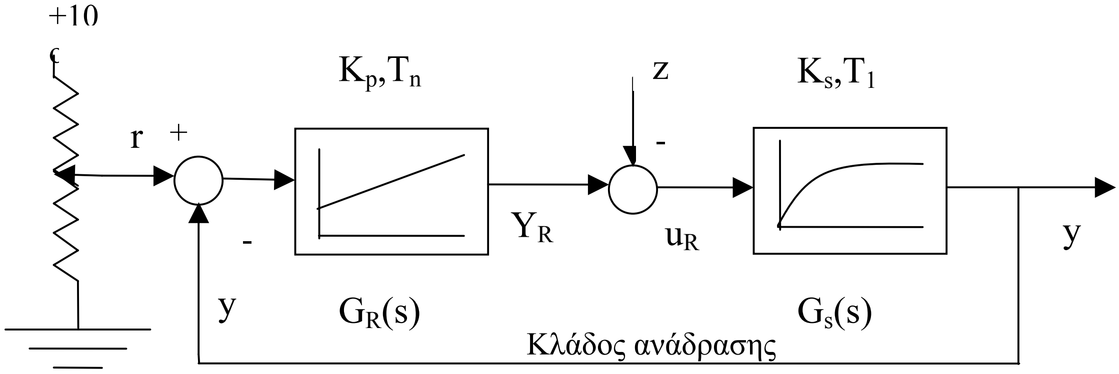
$$y_R = K_p\left[e(t) + \frac{1}{T_n}\int e(t)dt\right]$$

iv) Το τελικό στοιχείο ελέγχου (ενισχυτής)

Ο ενισχυτής ενισχύει το ρεύμα αυξάνοντας έτσι την ισχύ τροφοδοσίας του κινητήρα. Το σήμα εισόδου του ενισχυτή (= σήμα εξόδου (y_R) του ελεγκτή) δεν έχει αρκετή ισχύ για να περιστρέψει τον κινητήρα. Ο ενισχυτής λοιπόν δέχεται την τάση (0 έως + 10 V) από τον ελεγκτή και δίνει στην έξοδό του την ίδια τάση με την είσοδο, αλλά με περισσότερο ρεύμα. Με λίγα λόγια παρέχει στον κινητήρα μεγαλύτερη ισχύ (από όση θα είχε στη διάθεσή του μόνο από τον ελεγκτή) για να μπορέσει να περιστραφεί.

v) Το κλειστό σύστημα αυτομάτου ελέγχου

Το κλειστό σύστημα ελέγχου φαίνεται στο Σχ. 5 παρακάτω:



Σχήμα 5 : Block – διάγραμμα του κλειστού Σ.Α.Ε.(Μαθηματικό Block – διάγραμμα)

Με βάση τη διαφορική εξίσωση του κινητήρα θα έχουμε:

$$K_s\left\{y_R(t)-z(t)\right\}=y(t)+T_1\frac{dy(t)}{dt}$$

$$K_s\left\{K_p(r-y)+\frac{K_p}{T_n}\int(r-y)dt-z(t)\right\}=y(t)+T_1\frac{dy(t)}{dt}$$

Παραγωγίζουμε μια φορά την παραπάνω σχέση και λαμβάνουμε :

$$K_sK_p\frac{dr}{dt}-K_sK_p\frac{dy(t)}{dt}+\frac{K_sK_p}{T_n}r-\frac{K_sK_p}{T_n}y(t)-K_s\frac{dz(t)}{dt}=\frac{dy(t)}{dt}+T_1\frac{d^2y(t)}{dt^2}$$

ή

$$\frac{K_sK_p}{T_1}\frac{dr(t)}{dt}+\frac{K_sK_p}{T_nT_1}r(t)-\frac{K_s}{T_1}\frac{dz(t)}{dt}=\frac{K_sK_p}{T_nT_1}y(t)+\frac{1+K_sK_p}{T_1}\frac{dy(t)}{dt}+\frac{d^2y(t)}{dt^2}$$

Εάν r = 0 και z ≠ 0 τότε :

$$-\frac{K_s}{T_1}\frac{dy(t)}{dt}=\frac{K_sK_p}{T_nT_1}y(t)+\frac{(1+K_sK_p)}{T_1}\frac{dy(t)}{dt}+\frac{d^2y(t)}{dt^2}$$

ή

$$-\frac{T_n}{K_p}\frac{dz(t)}{dt}=y(t)+\frac{T_n(1+K_sK_p)}{K_sK_p}\frac{dy(t)}{dt}+\frac{T_nT_1}{K_sK_p}\frac{d^2y(t)}{dt^2}$$

και

$$G_z(s)=\frac{-\frac{K_s}{T_1}s}{\frac{K_sK_p}{T_nT_1}+\frac{(1+K_sK_p)}{T_1}s+s^2}$$

ή

$$G_z(s) = \frac{-\frac{T_n}{K_p}s}{1 + \frac{T_n(1+K_sK_p)}{K_sK_p}s + \frac{T_nT_1}{K_sK_p}s^2}$$

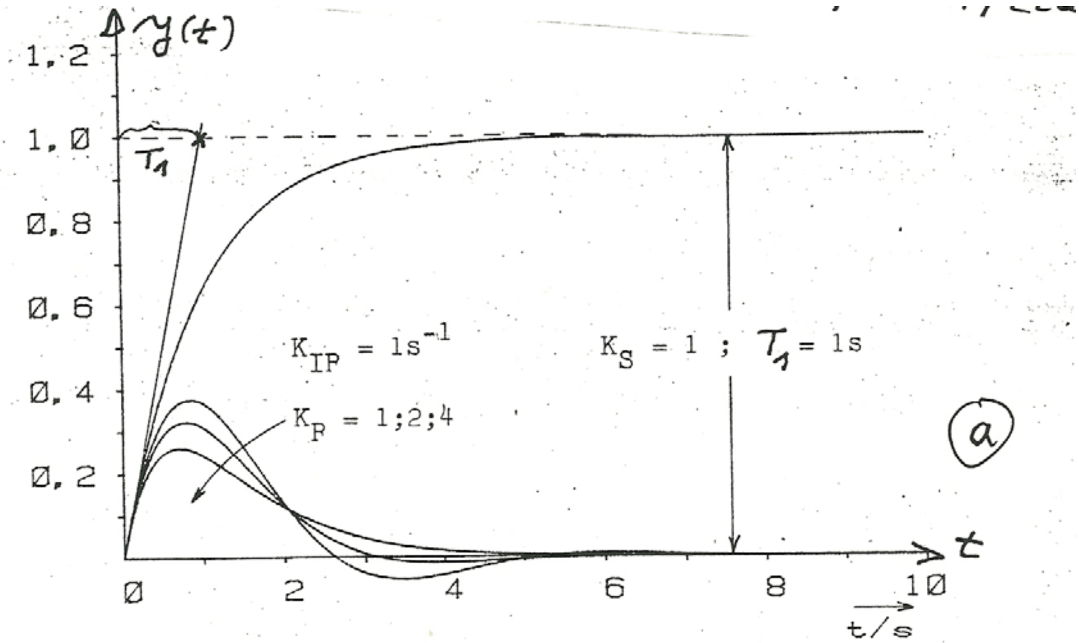
Από τις παραπάνω εκφράσεις των συναρτήσεων μεταφοράς λαμβάνουμε τον συντελεστή απόσβεσης

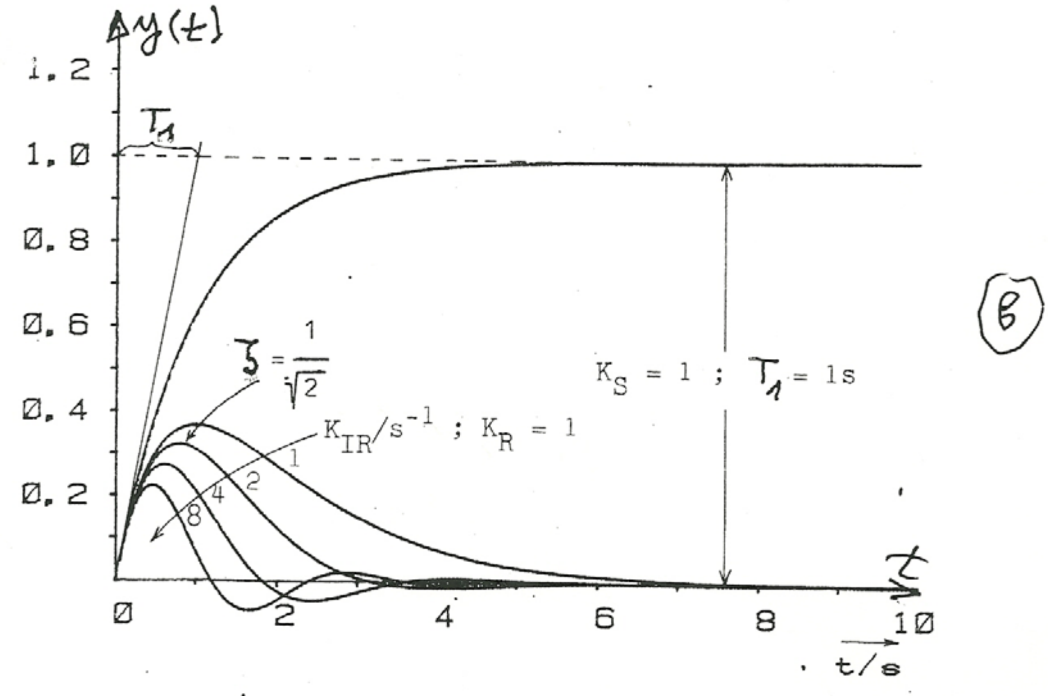
$$\zeta = \frac{(1+K_sK_p)}{2}\sqrt{\frac{T_n}{K_sK_pT_1}} = \frac{1+K_sK_p}{2\sqrt{K_sK_IT_1}}$$

και την ιδιοσυχνότητα ω_0.

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K_sK_p}{T_1T_n}} = \sqrt{\frac{K_sK_I}{T_1}}$$

Η ιδιοσυχνότητα ω_n εξαρτάται μόνο από το συντελεστή ολοκλήρωσης (K_I) του ελεγκτή, ενώ ο συντελεστής απόσβεσης (ζ) εξαρτάται και από τις δύο παραμέτρους του ελεγκτή – Kp, Ki, Tn. (παράμετροι Ks και T_1 - σταθερές). Η ρύθμιση του ελεγκτή γίνεται με αύξηση του K_I, έτσι ώστε να έχουμε μεγάλη ιδιοσυχνότητα ω_n, δηλ. μια γρήγορα μειούμενη ταλάντωση. Επειδή με την αύξηση του K_I μειώθηκε ο συντελεστής απόσβεσης (ζ) με συνέπεια να έχουμε μεγάλη υπερύψωση της ελεγχόμενης μεταβλητής γι' αυτό αυξάνουμε σιγά-σιγά την ενίσχυση K_P του ελεγκτή μέχρι την τιμή ($\zeta=1/\sqrt{2}$). Παρακάτω φαίνονται οι κυματομορφές της y(t) οι οποίες προκύπτουν από τη συνάρτηση μεταφοράς $G_z(s)$:





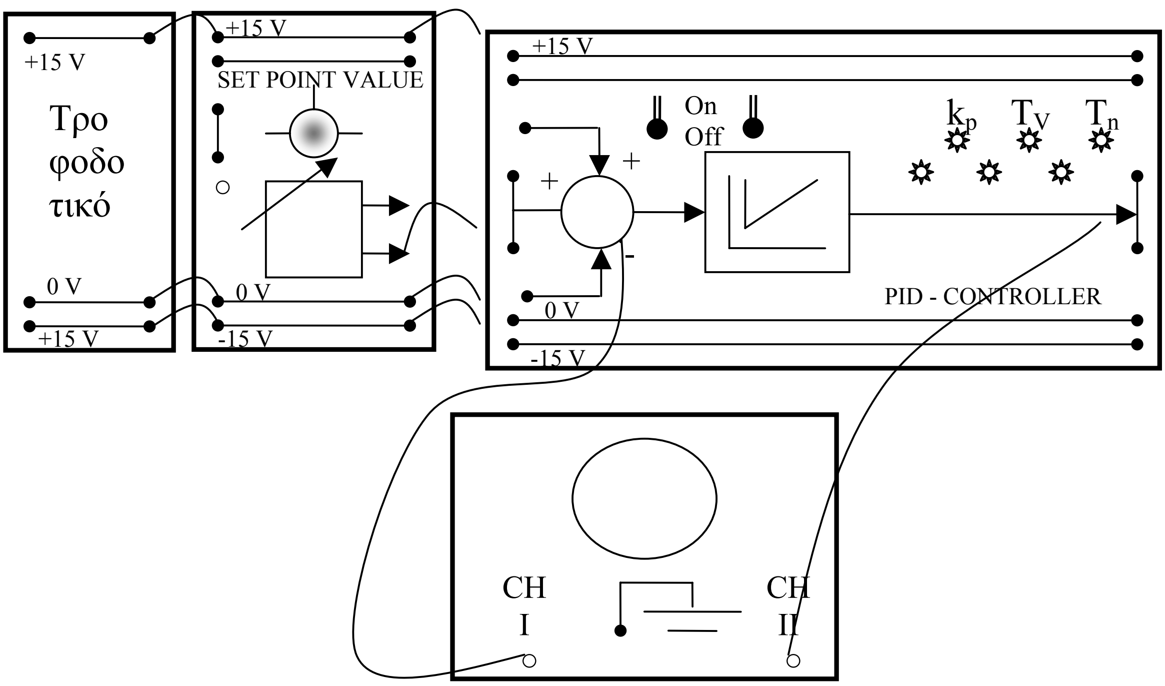
Χρονικές αποκρίσεις y(t) για σταθερό r=0 και z≠0 με α) μεταβαλλόμενο Kp αλλά σταθερό K_I & β) μεταβαλλόμενο K_I αλλά σταθερό Kp.

Δ) Εργαστηριακό μέρος

1) Μελέτη ανοικτού συστήματος

i) Βηματική χρονική απόκριση ελεγκτή – PI

Για να μελετήσουμε τη συμπεριφορά του ελεγκτή – PI διεγείρουμε τον ελεγκτή με ένα βηματικό σήμα σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα.



Και σχεδιάζουμε σε μιλιμετρέ (αν είναι δυνατό) χαρτί τις χρονικές αποκρίσεις για :

α)

r = 0.5 V	Παλμογράφος:	Dual
K_P = 1	CH – I = 0.2 V/DIV	STORE
T_n = 0.3 sec	CH – II = 0.5 V/DIV	0.2 sec/DIV

β)

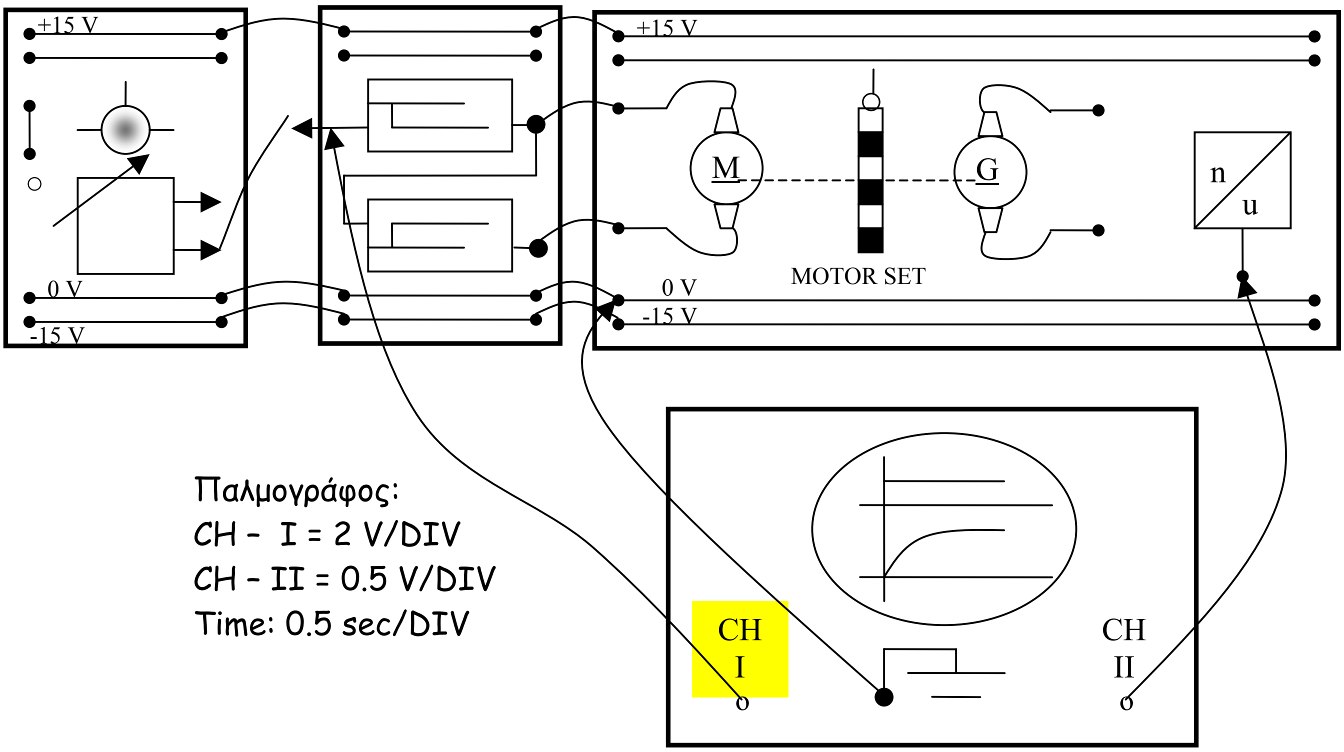
r = 0.5 V	Παλμογράφος:	Dual
K_P = 2	CH – I = 0.2 V/DIV	STORE
T_n = 0.3 sec	CH – II = 0.5 V/DIV	0.2 sec/DIV

ΠΡΟΣΟΧΗ: Οι παραπάνω ρυθμίσεις είναι ενδεικτικές! Αντί των παραπάνω τιμών μπορείτε να χρησιμοποιήσετε όποιες τιμές σας επιτρέπουν καλύτερη παρατήρηση της συμπεριφοράς του ελεγκτή.

ii) Μελέτη της συμπεριφοράς του ελεγχόμενου συστήματος (κινητήρας – DC)

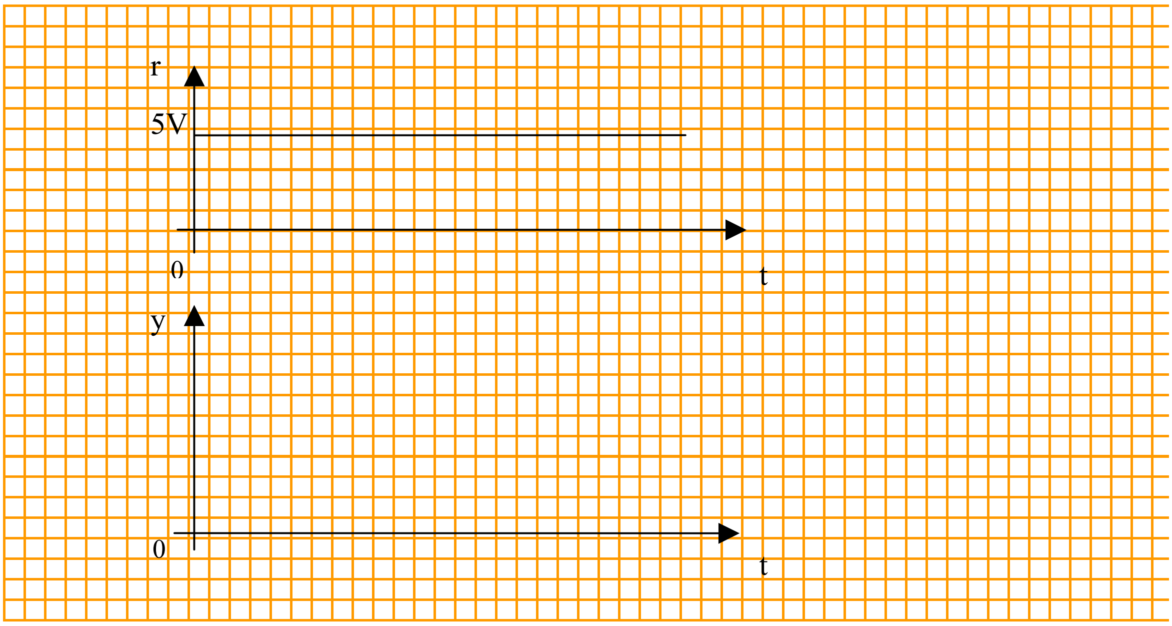
Βηματική χρονική απόκριση του κινητήρα – DC

Επειδή το βηματικό σήμα (τάση r) του δότη είναι μικρής ισχύος και δεν μπορεί να περιστρέψει τον κινητήρα, γι' αυτό συνδέουμε στη σειρά τον ενισχυτή (power amplifier), (τελικό στοιχείο ελέγχου) σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα.



<u>ΠΡΟΣΟΧΗ</u>: <u>Οι παραπάνω ρυθμίσεις είναι ενδεικτικές! Αντί των παραπάνω τιμών μπορείτε να χρησιμοποιήσετε όποιες τιμές σας επιτρέπουν καλύτερη παρατήρηση της συμπεριφοράς του κινητήρα.</u>

Σχεδιάζουμε σε μιλιμετρέ χαρτί τη χρονική απόκριση.



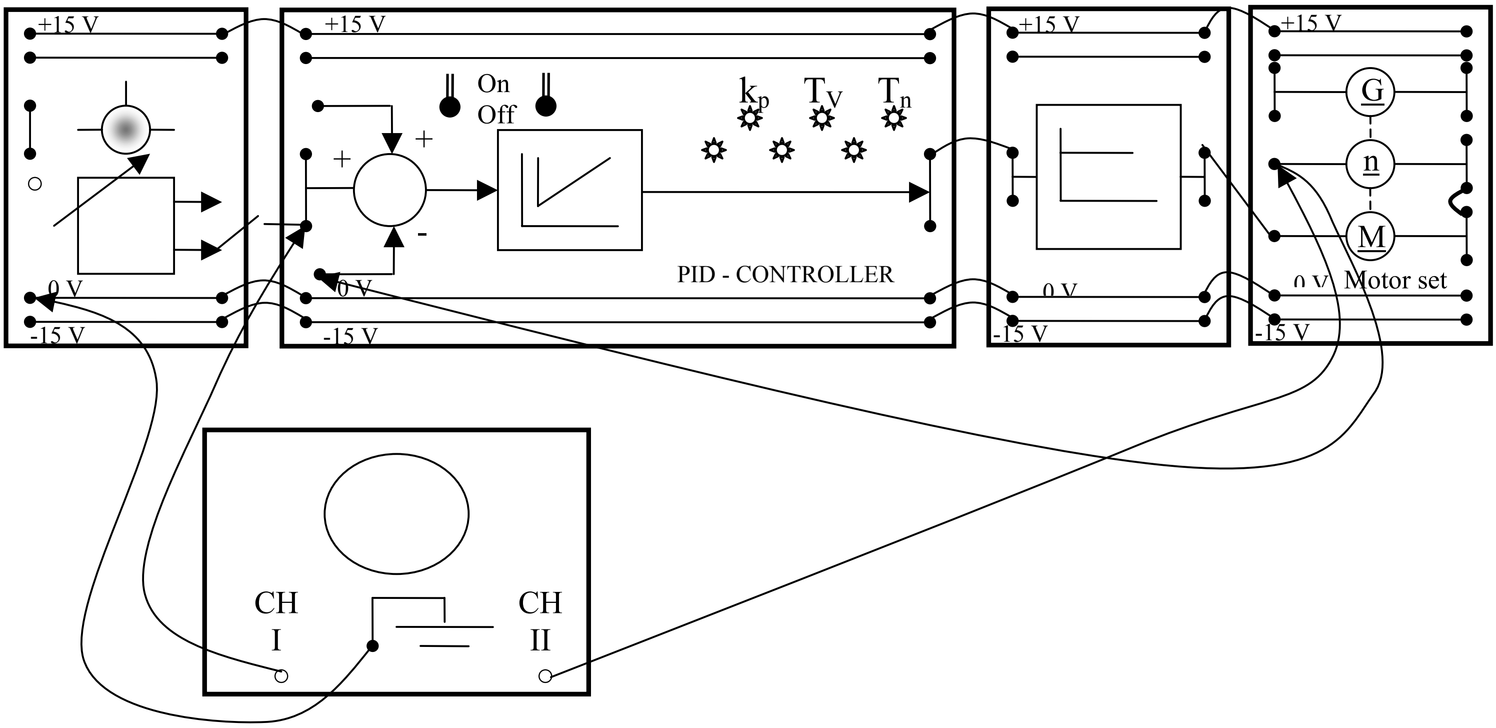
- Από τη παραπάνω χρονική απόκριση υπολογίστε την ενίσχυση $K_s = K_T K_K K_M$ και τη σταθερά χρόνου T_1. και τελικά την συνάρτηση μεταφοράς $G_S(s)$.

Όπου :

K_T = Ενίσχυση τελικού στοιχείου ελέγχου
K_K = Ενίσχυση κινητήρα –DC
K_M = Ενίσχυση μετατροπέα
Και T_1 η σταθερά χρόνου.

iii) Πειραματική αξιολόγηση συμπεριφοράς κλειστού βρόχου

4.3.1) Συνδεσμολογήσατε το κλειστό ΣΑΕ



και ρυθμίστε

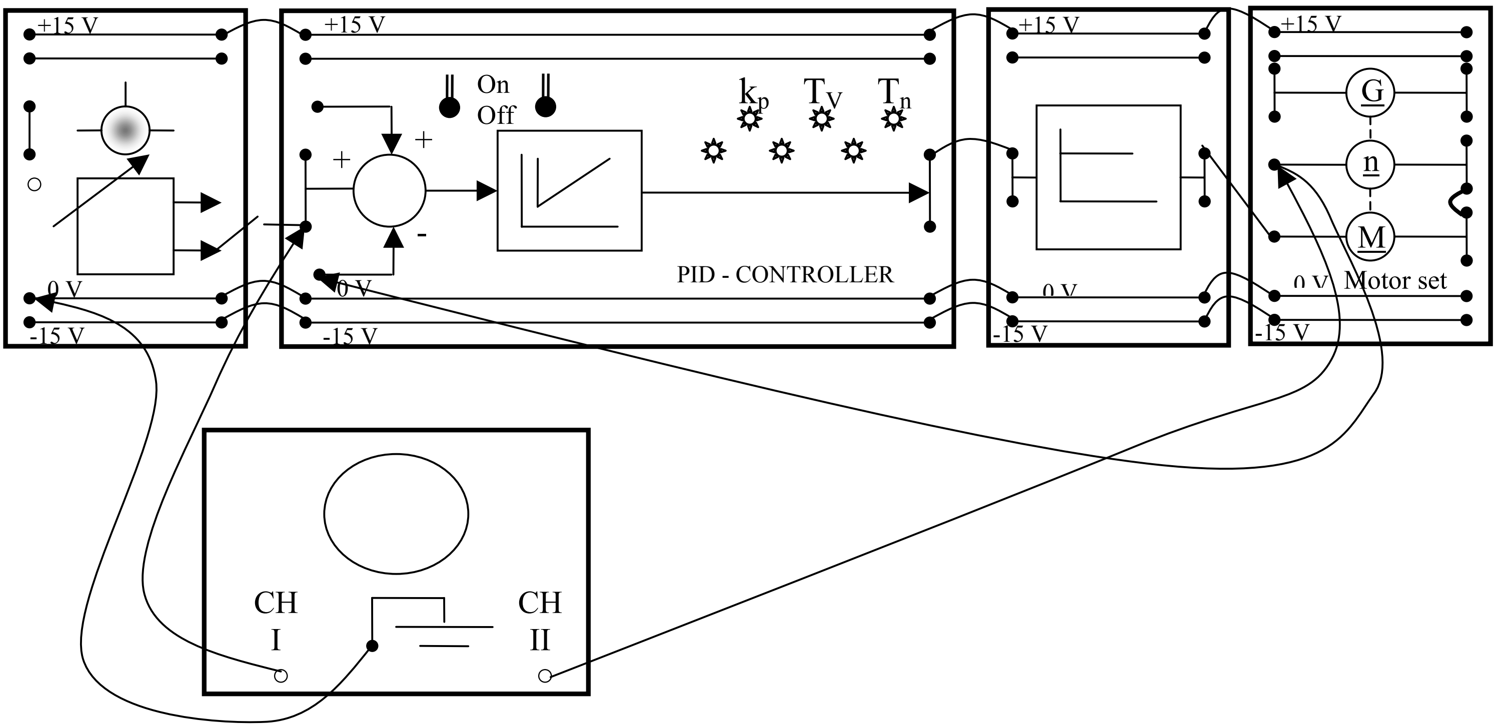
- Το ελεγχόμενο σύστημα (κινητήρα) με r=5V και χωρίς διαταραχή.

- Τον ελεγκτή ως απλό ανάλογο–P με K_p=5 ή με όποια άλλη τιμή επιθυμείτε (=αυτή που θα σας επιτρέψει άνετη παρατήρηση του πειράματος).

- Στη συνέχεια ξεκινήσατε τη λειτουργία του κλειστού συστήματος χωρίς διαταραχή. <u>Όταν ο κινητήρας έχει φτάσει στις μόνιμες στροφές του</u>, ενεργοποιήσατε τη διαταραχή από 3 λάμπες.

Σχεδιάστε σε μιλιμετρέ χαρτί τις κυματομορφές του σήματος εξόδου και σχολιάστε τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη χρήση ελεγκτή -P.

4.3.2) Κατόπιν συνδεσμολογήσατε το κλειστό ΣΑΕ



και ρυθμίστε

- Το ελεγχόμενο σύστημα (κινητήρα) με r=5V και χωρίς διαταραχή.

- Τον ελεγκτή ως –PI με K_p όπως στην περίπτωση του απλού ελεγκτή –P προηγούμενα (K_p=5 ή όποια τιμή χρησιμοποιήσατε), και T_n με όποια τιμή επιθυμείτε (=αυτή που θα σας επιτρέψει άνετη παρατήρηση του πειράματος).

- Στη συνέχεια ξεκινήσατε τη λειτουργία του κλειστού συστήματος χωρίς διαταραχή. Όταν ο κινητήρας έχει φτάσει στις μόνιμες στροφές του, ενεργοποιήσατε τη διαταραχή από 3 λάμπες.

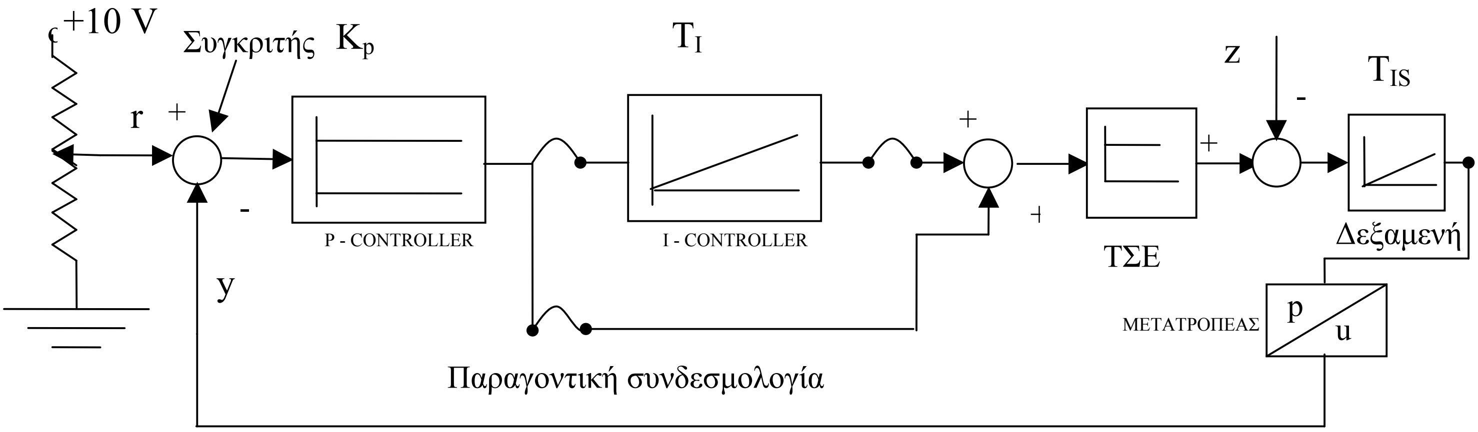
Σχεδιάστε σε μιλιμετρέ χαρτί τις κυματομορφές του σήματος εξόδου και σχολιάστε τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη χρήση ελεγκτή –PI. Συγκρίνατε τα αποτελέσματα με τα αντίστοιχα που επιτύχατε με χρήση ελεγκτή –P.

ΑΣΚΗΣΗ 3η

Θέμα: Έλεγχος στάθμης υγρού σε δεξαμενή

Α) Σκοπός

Το παρόν σύστημα προς έλεγχο είναι μια δεξαμενή με υγρό που διοχετεύεται σε αυτή με σχετική αντλία (βλ. Σχ. 1). Έχοντας ως ελεγχόμενη μεταβλητή τη στάθμη του υγρού στη δεξαμενή, σκοπός του παρόντος ΣΑΕ είναι να την διατηρεί σταθερή και όσο το δυνατό ανεξάρτητη από τις διαταραχές. Αυτό πρέπει να επιτευχθεί με την κατάλληλη επιλογή ελεγκτή και την στοχευμένη ρύθμισή του.



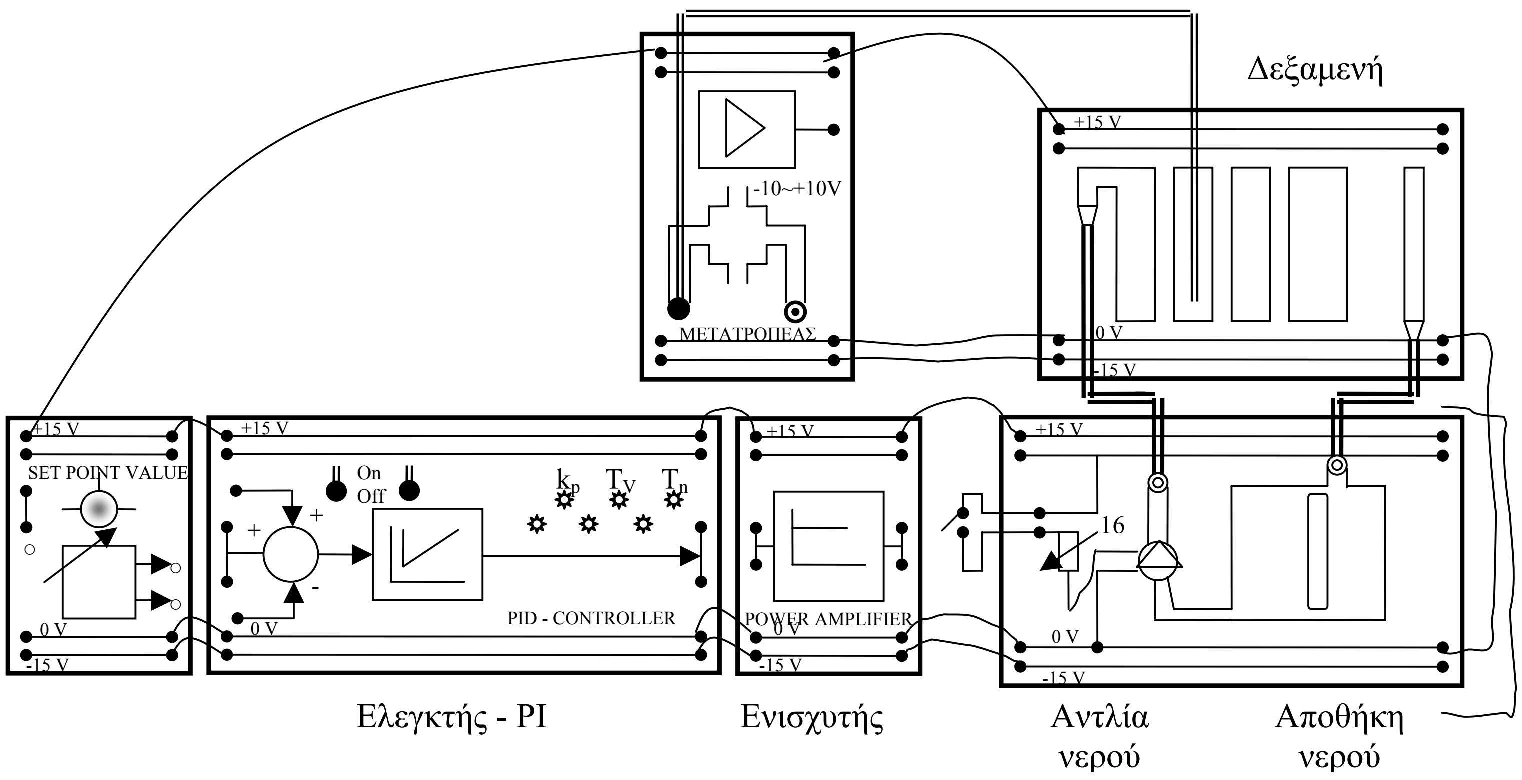
Σχήμα 1 : Αναλυτικό block – διάγραμμα του Συστήματος Αυτομάτου Ελέγχου στάθμης υγρού

Β) Λειτουργία

Στο αναλυτικό μπλοκ διάγραμμα της εφαρμογής (Σχ. 1) διακρίνονται:

- Ο δότης επιθυμητής τιμής
- Ο συγκριτής
- Ο ελεγκτής
- Το τελικό στοιχείο ελέγχου που περιλαμβάνει και μια αντλία
- η δεξαμενή με δυνατότητα τεχνητής διαρροής
- Ο μετατροπέας στάθμης σε ηλεκτρικό σήμα

Ο δότης επιθυμητής τιμής επιτρέπει τον καθορισμό της επιθυμητής παροχής άρα και στάθμης νερού. Ο ελεγκτής αποφασίζει για το ρυθμό πλήρωσης της δεξαμενής και παρέχει αυτή την απόφαση στο τελικό στοιχείο ελέγχου. Το τελευταίο μετατρέπει σε πράξη την εντολή του ελεγκτή παρέχοντας την απαιτούμενη ενέργεια στην αντλία. Αυτή γεμίζει τη δεξαμενή, το επίπεδο στάθμης της οποίας μετατρέπεται μέσω κατάλληλης διάταξης σε ηλεκτρική τάση. Η τελευταία ανατροφοδοτείται στο συγκριτή ώστε να σχηματιστεί το σήμα του σφάλματος e=r-y, ο μηδενισμός του οποίου είναι και το αντικείμενο ελέγχου του παρόντος ΣΑΕ.



Σχήμα 2 *:* Διατάξεις (συσκευές) από τις οποίες αποτελείται το σύστημα αυτομάτου ελέγχου στάθμης υγρού

Γ) Περιγραφή βαθμίδων

Στο σχήμα 2 φαίνονται σχηματικά οι διατάξεις (συσκευές) από τις οποίες αποτελείται το σύστημα αυτομάτου ελέγχου στάθμης υγρού. Δηλαδή, τη δεξαμενή (ελεγχόμενο σύστημα), το μετατροπέα ύψους (πίεσης) σε τάση, τον δοτή επιθυμητής τιμής, τον ελεγκτή -PI (ή και –P ανάλογα με τη συνδεσμολογία), τον ενισχυτή και την αντλία (Τ.Σ.Ε.) και τέλος την αποθήκη του νερού.

i) Ελεγχόμενο Σύστημα (Ε.Σ.)

Το Ε.Σ. αποτελείται από μια δεξαμενή σχήματος ορθογωνίου παραλληλογράμμου. Για τη δημιουργία τεχνητών διαταραχών υπάρχει μια οπή στο κάτω δεξιό μέρος της δεξαμενής και με την βοήθεια του διαφράγματος ρυθμίζουμε την ποσότητα της διαρροής από την δεξαμενή υγρού (ρ_z). Το υγρό που διαρρέει επιστρέφει σε μια δεξαμενή αποθήκευσης υγρού με την βοήθεια ενός εύκαμπτου πλαστικού διαφανούς σωλήνα.

Εντός της δεξαμενής (Ε.Σ.) είναι στερεωμένος επίσης ένας κοίλος εύκαμπτος σωλήνας (μετρητικός σωλήνας) ανοικτός και από τα δύο άκρα. Το επάνω άκρο του σωλήνα είναι συνδεδεμένο με έναν εύκαμπτο διαφανή σωλήνα, ο οποίος καταλήγει στην είσοδο του μετατροπέα πίεσης σε τάση.

Διαφορική εξίσωση και συνάρτηση μεταφοράς της δεξαμενής (Ε.Σ.)

Στο χρονικό διάστημα dt η μεταβολή του όγκου (dV) του νερού μέσα στη δεξαμενή ισούται :

$$dV=A*dh=(Q_{εισ} - Q_{εξ})*dt$$

όπου
A= εμβαδόν δεξαμενής
h= ύψος δεξαμενής
$Q_{εισ}$= παροχή υγρού – εισερχόμενη ποσότητα
$Q_{εξ}$= ποσότητα εξερχόμενου υγρού στη μονάδα του χρόνου
ΔQ= $Q_{εισ}$ - $Q_{εξ}$

Η σχέση γίνεται :

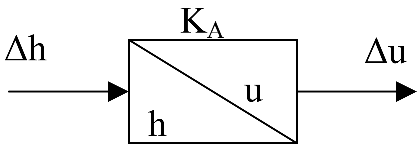
$$dh = \frac{1}{A}(Q_{εισ} - Q_{εξ})\bullet dt$$

$$h = \frac{1}{A}\int (Q_{εισ} - Q_{εξ})\bullet dt$$

$$h = \frac{1}{A}\int \Delta Q \bullet dt$$

ii) Ο μετατροπέας (Transmitter)

Σκοπός του μετατροπέα είναι η μετατροπή της πίεσης του νερού του Ε.Σ. σε τυποποιημένο ηλεκτρικό σήμα (εδώ τάση 0÷+10V). Καθώς το υγρό ανέρχεται μέσα στη δεξαμενή εισέρχεται ταυτόχρονα και μέσα στο μετρητικό σωλήνα. Το ανερχόμενο υγρό στο μετρητικό σωλήνα πιέζει τον αέρα εντός αυτού και η πίεση μεταφέρεται στο αισθητήριο πίεσης του μετατροπέα. Το αισθητήριο πίεσης είναι ένα ολοκληρωμένο από αντιστάσεις εφελκυσμού σαν βασικό στοιχείο και βαθμίδα ενίσχυσης. Ο μετατροπέας δίνει στην έξοδό του ανάλογα με το ύψος υγρού στην δεξαμενή (Ε.Σ.) τάσεις από 0 V έως 10 V.



$$K_A = \frac{\Delta u}{\Delta h}$$

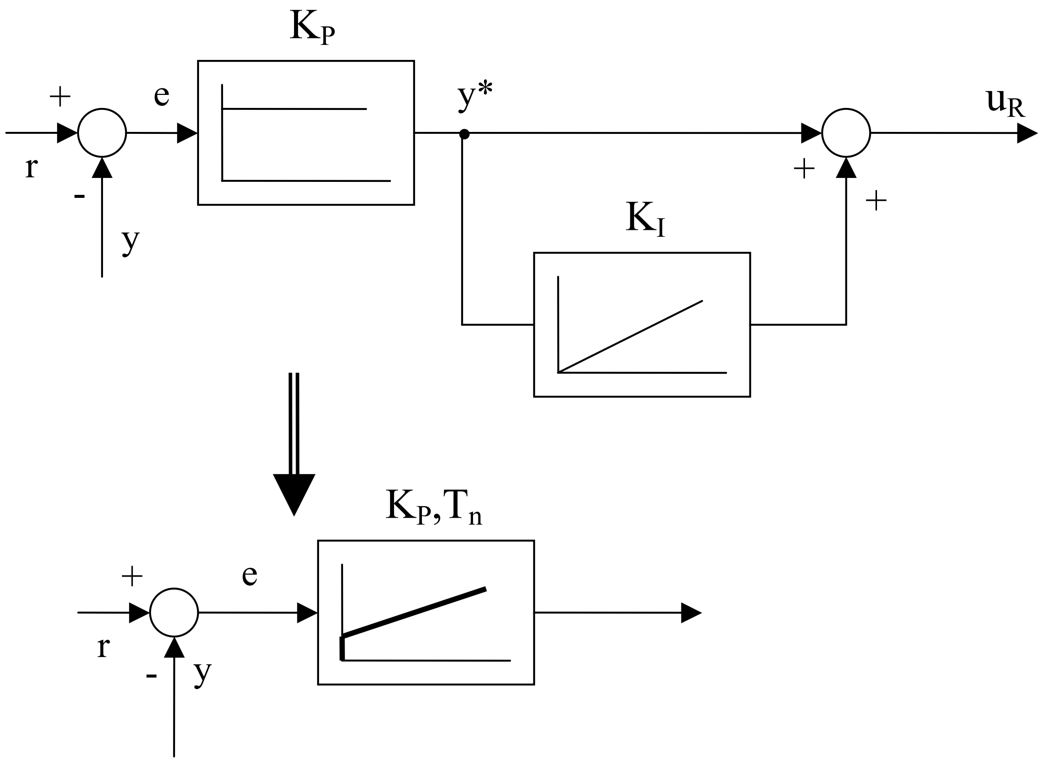
Σχήμα 3 : Σύμβολο μετατροπέα

iii) Ο δότης επιθυμητής τιμής (Δ.Ε.Τ.)

Η βαθμίδα του δότη μας παρέχει σήμα αντίστοιχο με το σήμα του μετατροπέα. Με το Δ.Ε.Τ. ρυθμίζουμε την τιμή της ελεγχόμενης μεταβλητής, όταν το σύστημα είναι κλειστό ή διεγείρουμε την είσοδο μιας βαθμίδας για την μελέτη της χρονικής συμπεριφοράς της (ανοικτό σύστημα).

iv) Ο Ελεγκτής

Σαν ελεγκτής στην παρούσα άσκηση χρησιμοποιείται ένας –PI ελεγκτής, αποτελούμενος από ξεχωριστές βαθμίδες –P και –I. Έτσι ο ελεγκτής μπορεί να συνδεθεί σε παραγοντική μορφή. Προφανώς μπορούμε να συνδέσουμε μόνο τη βαθμίδα –P αν ε[πιθυμούμε τον έλεγχο του κυκλώματός μας μόνο με ανάλογο ελεγκτή.

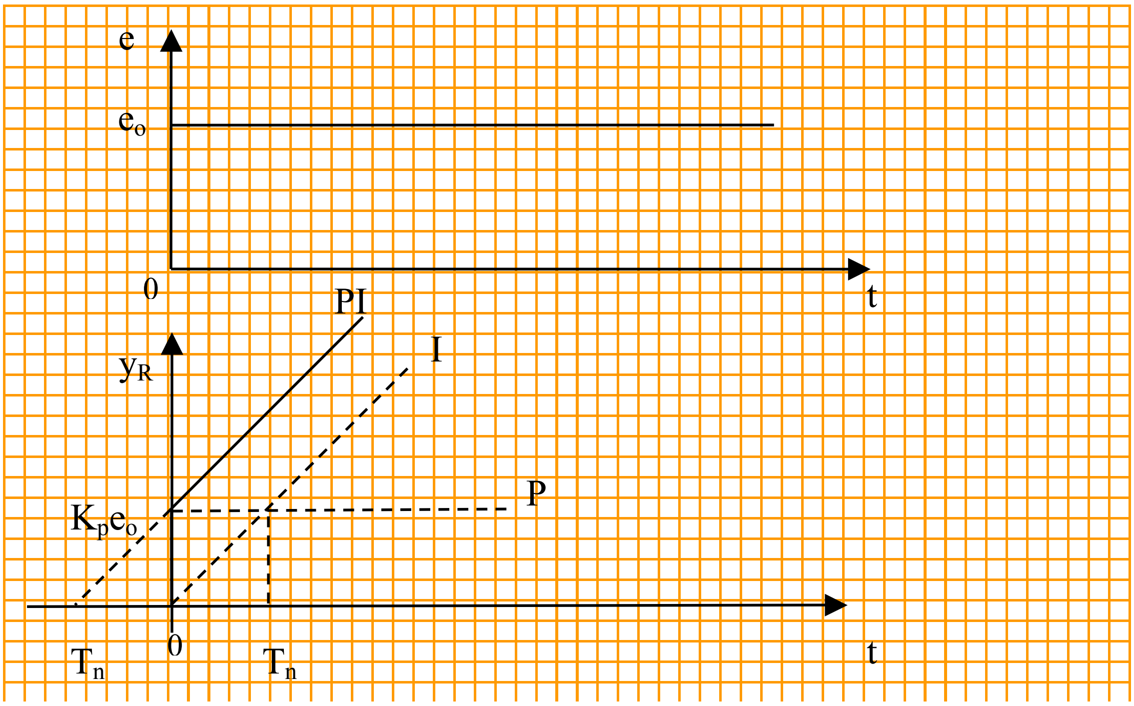


<u>Συνάρτηση μεταφοράς ελεγκτή</u>

$$G_R(s) = K_p\left(1 + \frac{1}{T_n \cdot s}\right) = K_p\left(1 + \frac{1}{T_i \cdot s}\right)$$

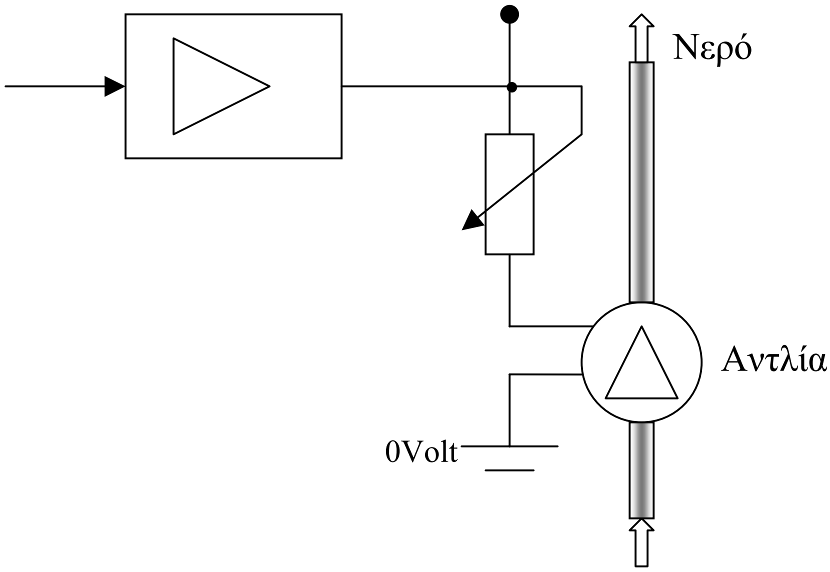
$$T_n = T_i$$

Βηματική χρονική απόκριση

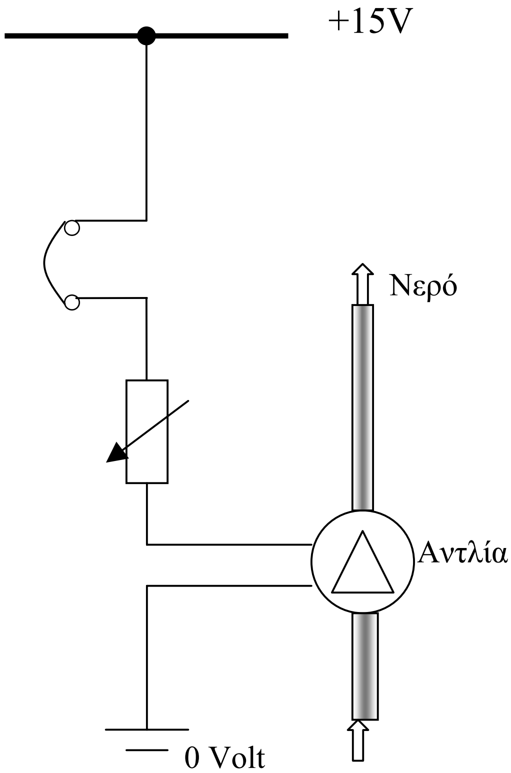


v) Το τελικό στοιχείο ελέγχου (ΤΣΕ)

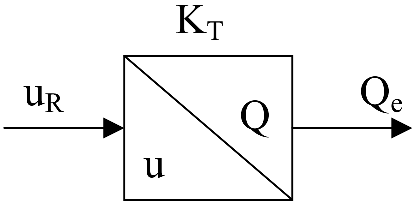
Το τελικό στοιχείο ελέγχου στην άσκηση αυτή αποτελείται από έναν ενισχυτή και την αντλία. Ο ενισχυτής είναι ένας ενισχυτής ρεύματος τάξης ΑΒ. Επειδή το σήμα εξόδου του ελεγκτή είναι χαμηλής ισχύος (0÷10V και 0÷15mA), ενώ η αντλία για να λειτουργήσει απαιτεί 10 V και 500 mA ρεύμα, για το'υτο παρεμβάλουμε τον ενισχυτή για να ενισχύσει το ρεύμα. Η διάταξη λοιπόν έχει ως εξής:



Με το ποτενσιόμετρο μπορούμε να ρυθμίσουμε την ισχύ της αντλίας. Όπως φαίνεται και από το παρακάτω σχήμα η αντλία μπορεί να τροφοδοτηθεί και κατ' ευθείαν από το τροφοδοτικό χωρίς την παρεμβολή του ενισχυτή.



Το σύμβολο του τελικού στοιχείου ελέγχου ανάλογα με τη λειτουργία του είναι ένα ορθογώνιο με διαγώνιο και φαίνεται παρακάτω :



$$Q_{εισ} = K_T \cdot u_R$$

$$K_A = \frac{\Delta Q_e}{\Delta u_R}$$

$u_R = Σήμα \;\; εισόδου \;\; (από \;\; ελεγκτή \;\; ή \;\; από \;\; δότης\,[r])$

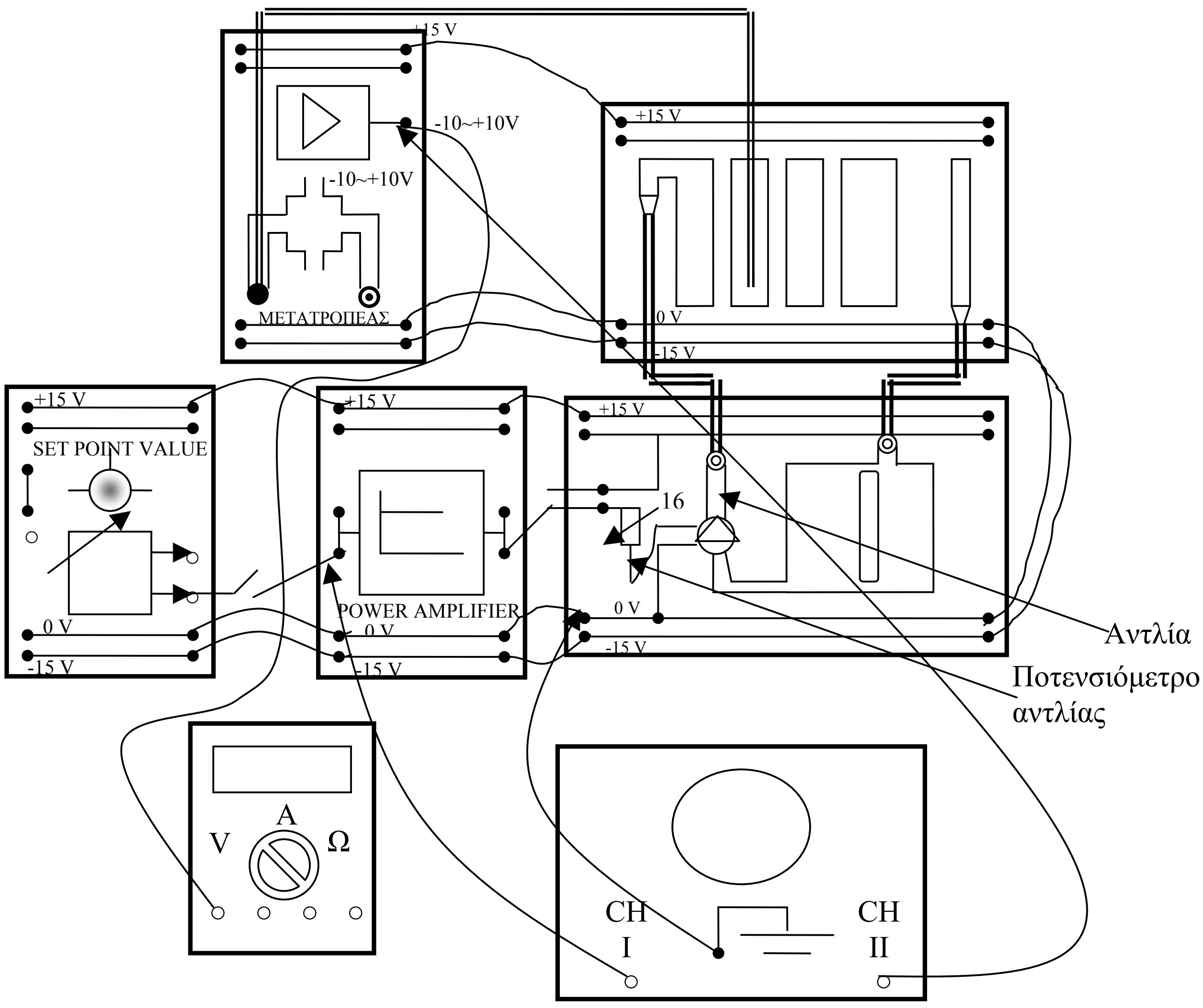
$Q_e = \text{Η} \;\; παροχή \;\; της \;\; αντλίας \left[\frac{m^3}{h}, \frac{lt}{\sec}\right]$

Δ) Εργαστηριακό μέρος

1) Μελέτη ανοικτού συστήματος

i) Βηματική χρονική απόκριση του ελεγχόμενου συστήματος (δεξαμενή)

Συνδέουμε τις παρακάτω βαθμίδες και με την βοήθεια του παλμογράφου λαμβάνουμε την βηματική διέγερση (δότης) (CHI) και την ελεγχόμενη μεταβλητή (y) (ύψος στάθμης δεξαμενής)

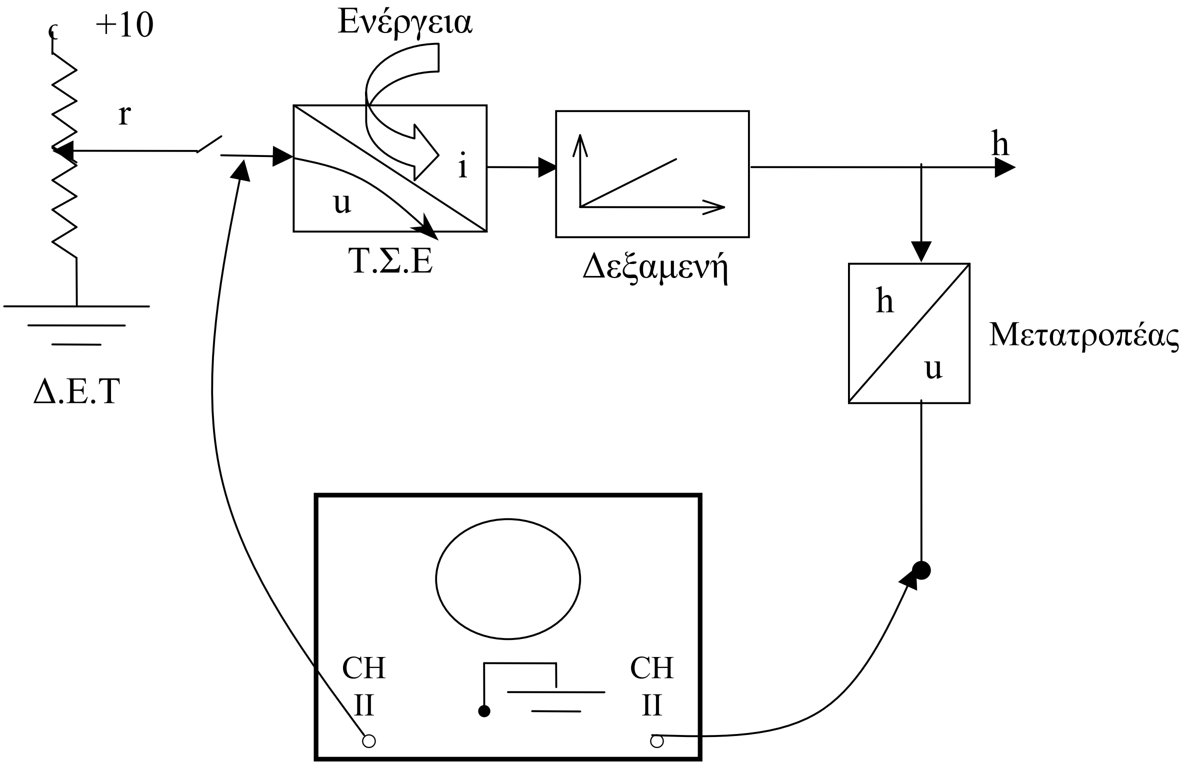


Σχήμα 1 : Διάταξη βαθμίδων για την λήψη της βηματικής χρονικής απόκρισης της δεξαμενής.

Ενδεικτικές ρυθμίσεις :

r = 5V
CH I = 2V / DIV
CH II = 1V / DIV
T = 10 ms / DIV
Διάφραγμα : κλειστό

ΠΡΟΣΟΧΗ: Οι παραπάνω ρυθμίσεις είναι ενδεικτικές! Αντί των παραπάνω τιμών μπορείτε να χρησιμοποιήσετε όποιες τιμές σας επιτρέπουν καλύτερη παρατήρηση της συμπεριφοράς του συστήματος.



Σχήμα 2 : Block - διάγραμμα βαθμίδων για την λήψη της βηματικής χρονικής απόκρισης της δεξαμενής.

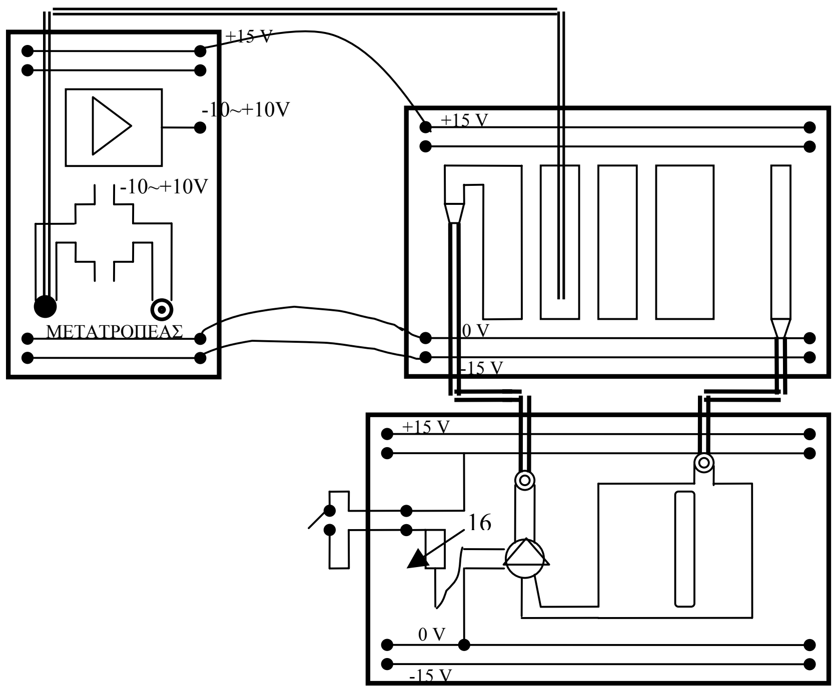
Σχεδιάζουμε την βηματική χρονική απόκριση σε μιλιμετρέ χαρτί και στην συνέχεια υπολογίζουμε τον συντελεστή ολοκλήρωσης K_{IS}. Ο συντελεστής ολοκλήρωσης υπολογίζεται από την διαφορική εξίσωση της δεξαμενής.

$$y \hat{=} h - K_{IS} \cdot \int e dt \Rightarrow \frac{dh}{dt} \cdot K_{IS} \cdot e \Rightarrow \frac{\Delta h}{\Delta t} \approx K_{IS} \cdot e$$

$$K_{IS} = \frac{\Delta h}{\Delta t} \cdot \frac{1}{e}$$

ii) Μελέτη χαρακτηριστικών του μετατροπέα

Ο μετατροπέας μετατρέπει τις μεταβολές του ύψους (h) σε τυποποιημένο σήμα (0 ÷ +10V), με την παρακάτω διάταξη :



Σχήμα 4 : Διάταξη βαθμίδων για την λήψη της στατικής χαρακτηριστικής

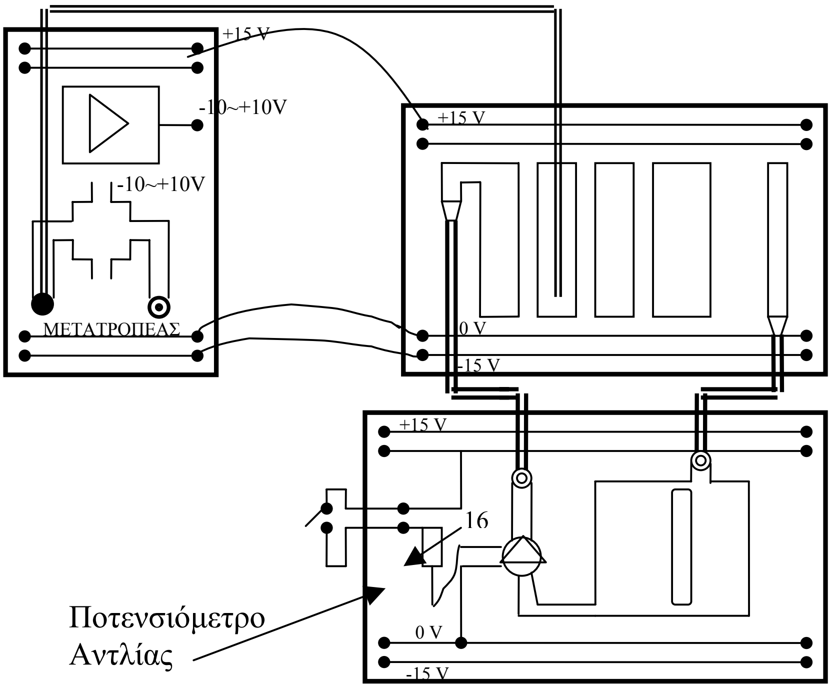
Η στατική χαρακτηριστική του μετατροπέα μας δίνει το σήμα εξόδου (y) του μετατροπέα συναρτήσει του ύψους συνεπώς θέτουμε την αντλία σε λειτουργία (δίνουμε σήμα ελέγχου από τον δότη στον ενισχυτή και αυτός με την σειρά του τροφοδοτεί με ενισχυμένο ρεύμα την αντλία). Και καθώς ανεβαίνει το υγρό στη δεξαμενή (ΕΣ) καταγράφουμε το ύψος (h) και τις αντίστοιχες τιμές τάσης (y) στην έξοδο του μετατροπέα. Και συμπληρώνουμε τον παρακάτω πίνακα.

h/cm	y/V
2	
4	
6	
8	

Στη συνέχεια σχεδιάζουμε σε μιλιμετρέ χαρτί τη στατική χαρακτηριστική και υπολογίζουμε γραφικά την ενίσχυση του (k_m).

iv) Στατική χαρακτηριστική του τελικού Στοιχείου Ελέγχου.

Η στατική χαρακτηριστική μας δίνει την σχέση μεταξύ του σήματος εισόδου (ισχύς αντλίας) και του σήματος εξόδου (παροχή αντλίας). Για τον υπολογισμό της παροχής της αντλίας συνδέστε το παρακάτω κύκλωμα:



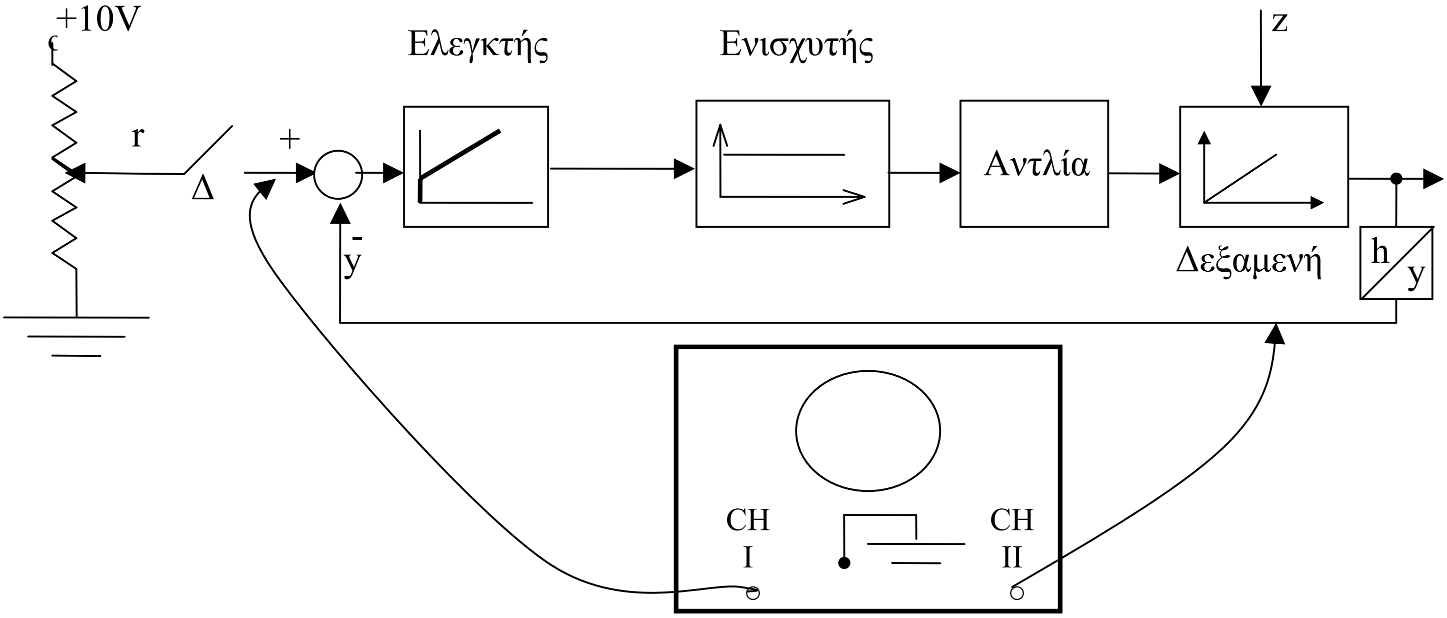
Ρυθμίστε το ποτενσιόμετρο ρύθμισης της ισχύος της αντλίας στις θέσεις 8 και 9 διαδοχικά και κλείστε τον διακόπτη (Δ). Μετράμε τον χρόνο με το ρολόι μας. Από τη στιγμή που κλείνουμε τον διακόπτη μέχρι να φθάσει το υγρό της δεξαμενής στα 8 cm, οπότε έχουμε όγκο περίπου 0.6 litr.

Θέσεις Ποτενσιομέτρου Αντλίας

Θέση ποτενσιομέτρου Ισχύος (x_p)	8	9
1η μέτρηση $\frac{t_1}{sec}$ 2η μέτρηση $\frac{t_2}{sec}$		
Συνολικός Χρόνος μέση τιμή $\overline{t_{ολ}} = \frac{t_1 + t_2}{2}$		
παροχή x_a		

2) Μελέτη του κλειστού συστήματος

Υλοποιήσατε τη συνδεσμολογία του παρακάτω κλειστού ΣΑΕ στάθμης.



Αρχικά επιλέξατε ελεγκτή –P μόνο. Ρυθμίστε το δότη επιθυμητής τιμής έτσι ώστε r = 3.5V. Επιλέξτε μια επιθυμητή τιμή για το $\mathbf{K_P}$ (π.χ. $\mathbf{K_P}$=7) και κλείστε το διακόπτη (Δ). Όταν το σύστημα είναι σε ισορροπία ανυψώστε το διάφραγμα (S) κατά 1-2mm* περίπου Πάρτε με τη βοήθεια του παλμογράφου την απόκριση του ύψους y(t) και σχεδιάστε σε μιλιμετρέ χαρτί την μεταβολή του ύψους του υγρού λόγω της διαταραχής.

Κατόπιν επιλέξατε ελεγκτή –PI. Ρυθμίστε το δότη επιθυμητής τιμής έτσι ώστε r = 3.5V. Επιλέξτε την ίδια με πριν τιμή για το $\mathbf{K_P}$, καθώς και μια επιθυμητή τιμή για το $\mathbf{K_I}$, έστω $\mathbf{K_I}$=5. Όταν το σύστημα είναι σε ισορροπία ανυψώστε το διάφραγμα (S) κατά 1-2mm* περίπου Πάρτε με τη βοήθεια του παλμογράφου την απόκριση του ύψους y(t) και σχεδιάστε σε μιλιμετρέ χαρτί την μεταβολή του ύψους του υγρού λόγω της διαταραχής.

Σχολιάστε τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τα παραπάνω.

*ΠΡΟΣΟΧΗ: Όχι μεγάλο άνοιγμα του διαφράγματος, γιατί τότε η δεξαμενή αποκτά και όρο καθυστέρησης.

ΑΣΚΗΣΗ 4η

Θέμα: Έλεγχος θερμοκρασίας χώρου με ελεγκτή δύο θέσεων.

Α) Σκοπός

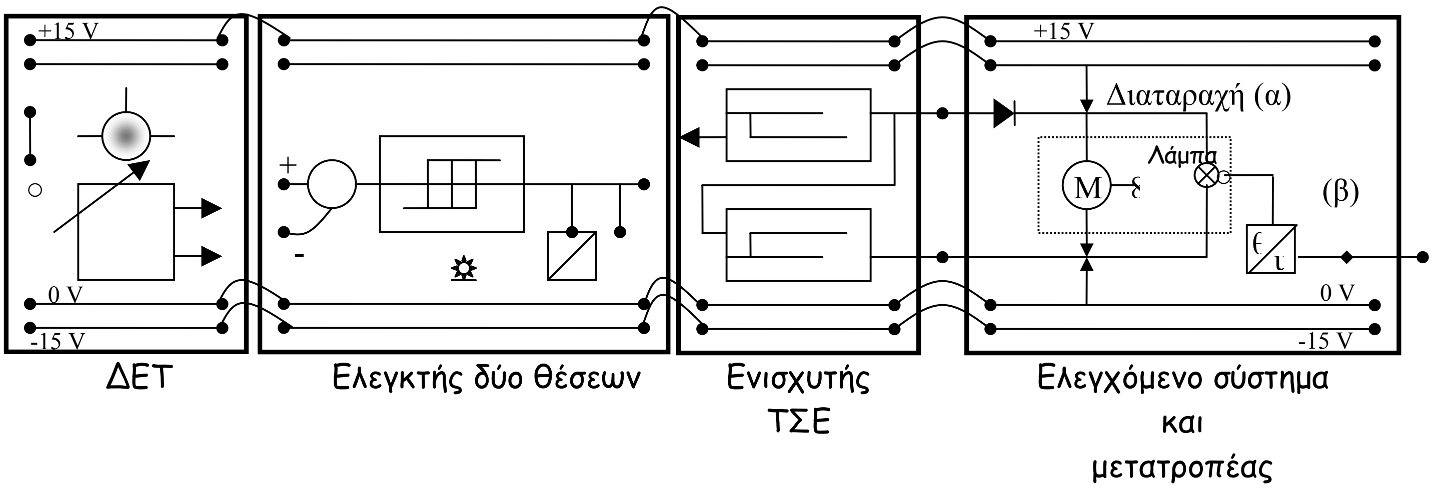
Το παρόν σύστημα προς έλεγχο είναι ένας κλειστός χώρος ο οποίος εμφανίζει απώλειες τόσο λόγω ανοιγμάτων προς στο περιβάλλον όσο και από κυκλοφορία φρέσκου αέρα στο εσωτερικό του. Έχοντας ως ελεγχόμενη μεταβλητή τη θερμοκρασία του χώρου, σκοπός του παρόντος ΣΑΕ είναι να την διατηρεί σταθερή ανάμεσα σε δύο τιμές (ένα κάτω και ένα άνω όριο). Αυτό πρέπει να επιτευχθεί με την κατάλληλη ρύθμιση ελεγκτή δύο θέσεων.

Β) Λειτουργία

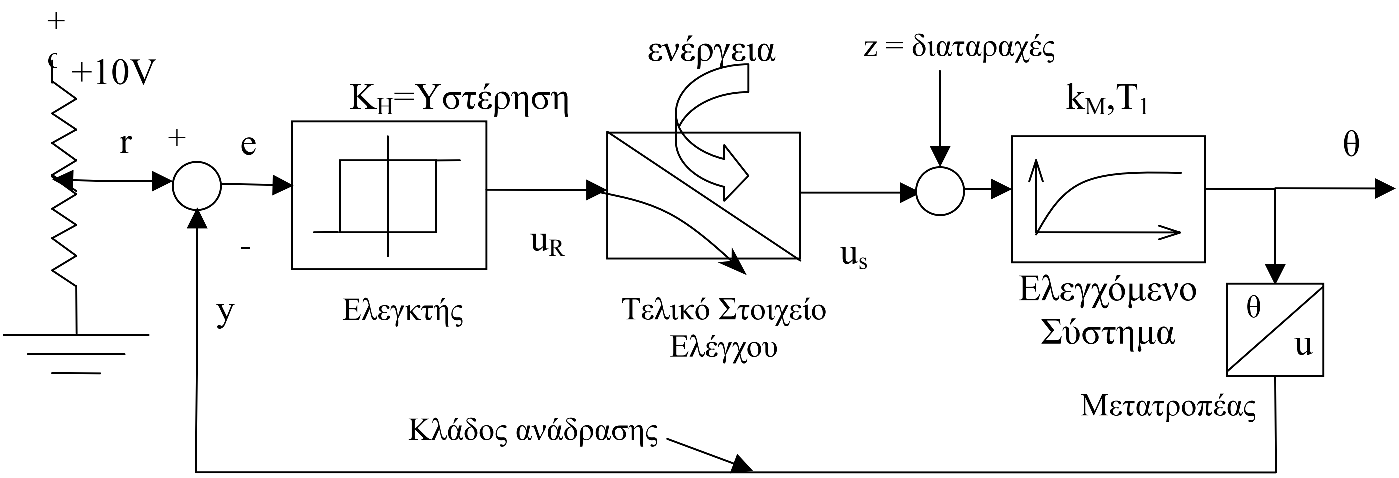
Η εφαρμογή ελέγχου θερμοκρασίας αποτελείται από:

- Το δότη επιθυμητής τιμής,
- τον ελεγκτή δύο θέσεων,
- το τελικό στοιχείο ελέγχου (ενισχυτής),
- το ελεγχόμενο σύστημα (θερμαινόμενος χώρος)
- τη λάμπα θέρμανσης του χώρου και
- το μετατροπέα θερμοκρασίας σε τάση. (Σχ.1).

Το δομικό διάγραμμα της διεργασίας φαίνεται στο Σχ. 2 παρακάτω.



Σχήμα 1 : Σύστημα Αυτομάτου Ελέγχου θερμοκρασίας



Σχήμα 2 *:* Αναλυτικό block – διάγραμμα του Συστήματος Αυτομάτου Ελέγχου θερμοκρασίας

Η επιθυμητή θερμοκρασία ορίζεται ως ηλεκτρική τάση μέσω του δότη επιθυμητής τιμής. Ανάλογα με τη διαφορά μεταξύ επιθυμητής και πραγματικής θερμοκρασίας (δηλαδή το σφάλμα e=r-y), ο ελεγκτής αποφασίζει να δώσει εντολή για θέρμανση του χώρου ή όχι. Η εντολή υλοποιείται μέσω του τελικού στοιχείου ελέγχου που είναι ένας ενισχυτής. Το ρεύμα αυτού διοχετεύεται σε μια μικρή λάμπα, η οποία βρίσκεται στο εσωτερικό του χώρου, και η οποία τον θερμαίνει. Κοντά στη λάμπα βρίσκεται και το αισθητήριο (τύπου si KTY10) της θερμοκρασίας. Ο θερμαινόμενος χώρος (ΕΣ) είναι εφοδιασμένος με δύο διαταραχές (*α*) και (*β*). Με την βοήθεια ενός μικρού ανεμιστήρα, ο οποίος είναι τοποθετημένος στη μία άκρη του θερμαινόμενου χώρου και ενός χειροκίνητου περιστρεφόμενου παραθύρου μπορούμε να επηρεάζουμε την ταχύτητα μεταβολών της θερμοκρασίας του χώρου, εξομοιώνοντας έτσι διάφορους τύπους απωλειών. Το αισθητήριο της θερμοκρασίας είναι μία αντίσταση, της οποίας η τιμή μεταβάλλεται (αυξάνει) γραμμικά με τη θερμοκρασία. Επειδή η τάση στα άκρα του αισθητηρίου είναι πολύ μικρή ενισχύεται και βγαίνει στην έξοδο του μετατροπέα σε τιμές μεταξύ 0 και 10 V, ανατροφοδοτούμενη στην αναστρέφουσα είσοδο του συγκριτή.

Γ) Περιγραφή βαθμίδων

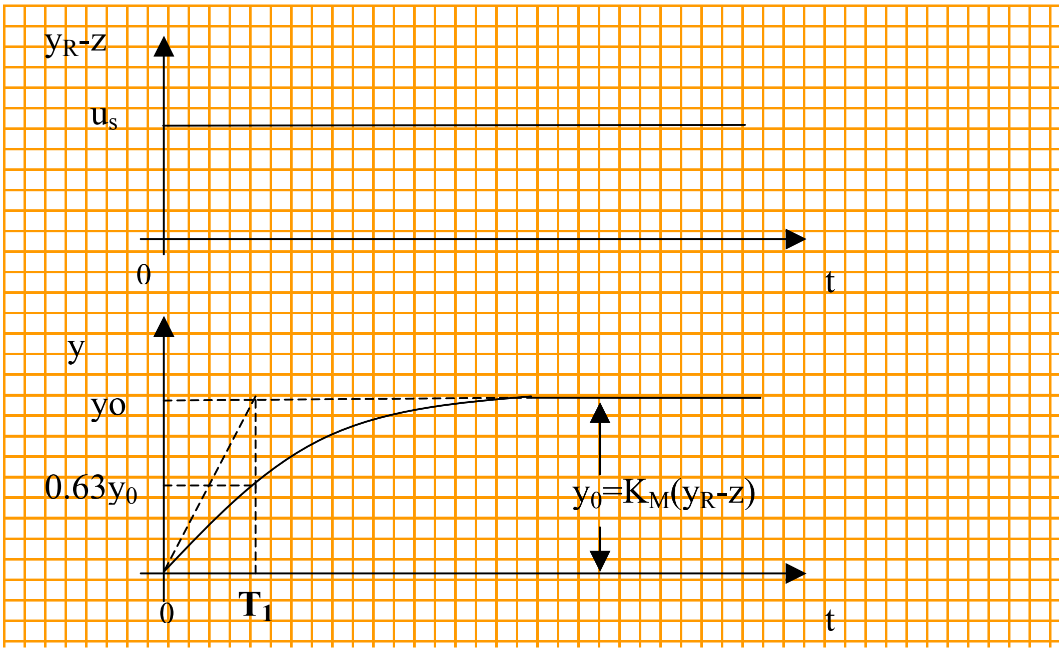
Στο Σχ. 2 φαίνονται σχηματικά οι διατάξεις (συσκευές) από τις οποίες αποτελείται το σύστημα αυτομάτου ελέγχου θερμοκρασίας χώρου. Τα κύρια στοιχεία του είναι ο δότης επιθυμητής τιμής, το ελεγχόμενο σύστημα, ο ελεγκτής, το τελικό στοιχείο ελέγχου και το αισθητήριο/μετατροπέας της θερμοκρασίας σε τάση.

i) Ο δότης επιθυμητής τιμής (Δ.Ε.Τ.)

Η βαθμίδα του δότη μας παρέχει σήμα αντίστοιχο με το σήμα του μετατροπέα, άρα ηλεκτρική τάση. Με το Δ.Ε.Τ. ρυθμίζουμε την τιμή της ελεγχόμενης μεταβλητής, όταν το σύστημα είναι κλειστό ή διεγείρουμε την είσοδο μιας βαθμίδας για την μελέτη της χρονικής συμπεριφοράς της (ανοικτό σύστημα).

ii) Ελεγχόμενο σύστημα

Το ελεγχόμενο σύστημα είναι ο θερμαινόμενος χώρος που υλοποιείται ως ο πλαστικός θάλαμος του Σχ. 1 και περιλαμβάνει τη λάμπα, το παράθυρο προς το περιβάλλον και τον ανεμιστήρα παροχής αέρα. Η άνοδος της θερμοκρασίας κατά τη θέρμανσή του αναπαριστάται ως ένα σύστημα αναλογικό με καθυστέρηση, 1ης τάξης (βλ. Σχ. 3): Στην αρχή της διαδικασίας θέρμανσης, η θερμοκρασία ανεβαίνει γρήγορα, ενώ στη συνέχεια ο ρυθμός ανόδου μειώνεται. Κάποια στιγμή η θερμότητα που παρέχεται αντισταθμίζεται από τις απώλειες και η θερμοκρασία παραμένει σταθερή.



Σχήμα 3

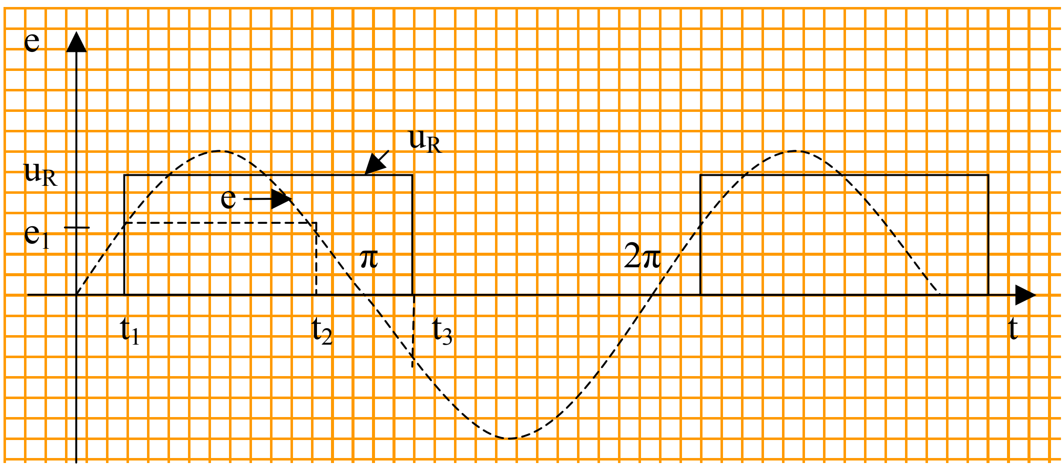
iii) Ο ελεγκτής

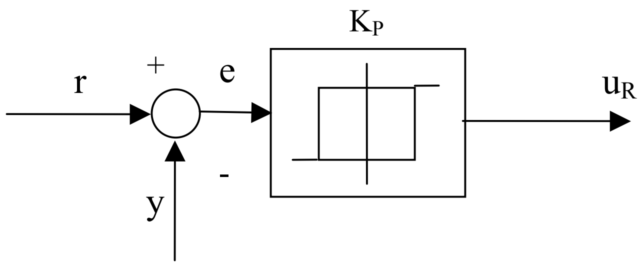
Ο ελεγκτής της άσκησης είναι ένας ελεγκτής δύο θέσεων (ή διακοπτικός ελεγκτής). Βασικό χαρακτηριστικό αυτού του ελεγκτή είναι η υστέρηση (Hysteresis). Ο ελεγκτής (ΕΔΘ) δεν κάνει ακριβή έλεγχο της ελεγχόμενης μεταβλητής, αλλά επιτήρηση δύο θέσεων (δύο ορίων). Τα όρια αυτά είναι πάνω και κάτω από την επιθυμητή τιμή και μεταβάλλονται με το ποτενσιόμετρο της υστέρησης.(H = +/- 2.5 V).

Η έξοδος (u_R) του ελεγκτή λαμβάνει μόνο δύο τιμές:

0 V = OFF και *10 V = ON.*

Όταν ο ελεγκτής διεγερθεί μ’ ένα ημιτονοειδές σήμα, τότε η έξοδος του είναι ένα παλμικό σήμα πλάτους 10 V. (Σχ. 4). Από το σχήμα αυτό διαπιστώνουμε ότι την χρονική στιγμή t_1 το σήμα εισόδου έχει την τιμή e_1 και η έξοδος u_R αλλάζει κατάσταση από 0 V γίνεται 10 V. Την ίδια τιμή έχει το σήμα εισόδου τη χρονική στιγμή t_2 παρόλα αυτά το σήμα εξόδου (u_R) δεν αλλάζει κατάσταση. Μόλις την χρονική στιγμή t_3 όπου το σήμα εισόδου έχει γίνει αρνητικό το σήμα εξόδου αλλάζει κατάσταση από 10 V και γίνεται 0 V. Την ιδιότητα αυτή του ελεγκτή ονομάζουμε υστέρηση.





Σχήμα 4 *:* Ο ελεγκτής δυο θέσεων (ΕΔΘ) και η έξοδος $\mathbf{u_R}$

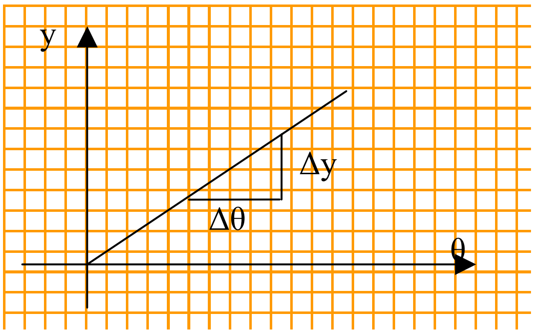
Όταν η ελεγχόμενη μεταβλητή (θερμοκρασία = y(t)) είναι μικρότερη από την επιθυμητή (r) τότε η έξοδος του ελεγκτή είναι 10 V. Επειδή η έξοδος του ελεγκτή έχει τη μέγιστη τιμή (u_{Rmax} = 10V) οδηγεί τον ενισχυτή επίσης στο μέγιστο της απόδοσής του, οπότε η θερμοκρασία του χώρου αρχίζει να ανεβαίνει. Μόλις η θερμοκρασία ξεπεράσει την επιθυμητή ($y > r$) τότε ο ελεγκτής αλλάζει κατάσταση και η έξοδός του μηδενίζεται. Τις τιμές της θερμοκρασίας στις οποίες ο ελεγκτής αλλάζει κατάσταση ρυθμίζουμε με την υστέρηση (H).

iv) Το τελικό στοιχείο ελέγχου (ΤΣΕ)

Το τελικό στοιχείο ελέγχου στην άσκηση αυτή αποτελείται από έναν ενισχυτή ρεύματος τάξης. Επειδή το σήμα εξόδου του ελεγκτή είναι χαμηλής ισχύος (0÷10V και 0÷15mA), χρειαζόμαστε ενίσχυσή του για την τροφοδοσία της λάμπας θέρμανσης.

v) Ο μετατροπέας

Το αισθητήριο της θερμοκρασίας είναι μία αντίσταση, της οποίας η τιμή μεταβάλλεται (αυξάνει) γραμμικά με τη θερμοκρασία. Επειδή η τάση στα άκρα του αισθητηρίου είναι πολύ μικρή ενισχύεται και βγαίνει στην έξοδο του μετατροπέα σε τιμές μεταξύ 0 και 10 VH στατική χαρακτηριστική του μετατροπέα είναι μια ευθεία (γραμμική) η οποία περιγράφεται από την εξίσωση :

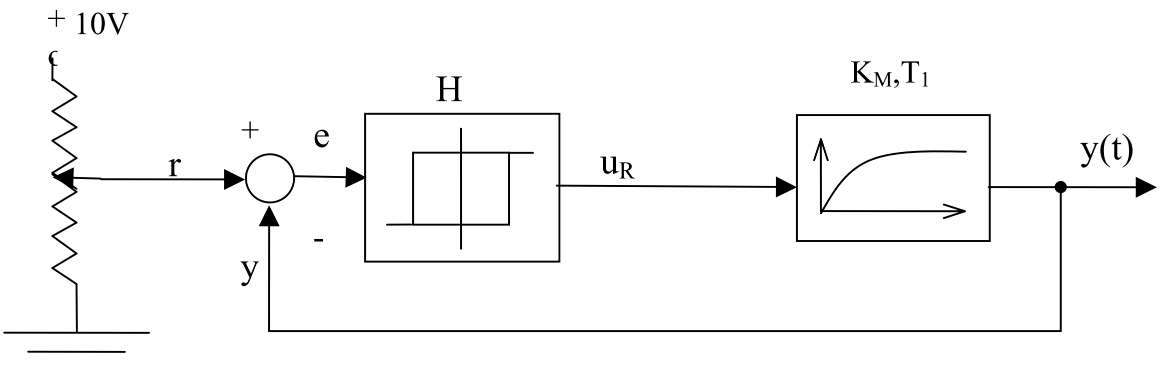


$$y = K_M \theta$$

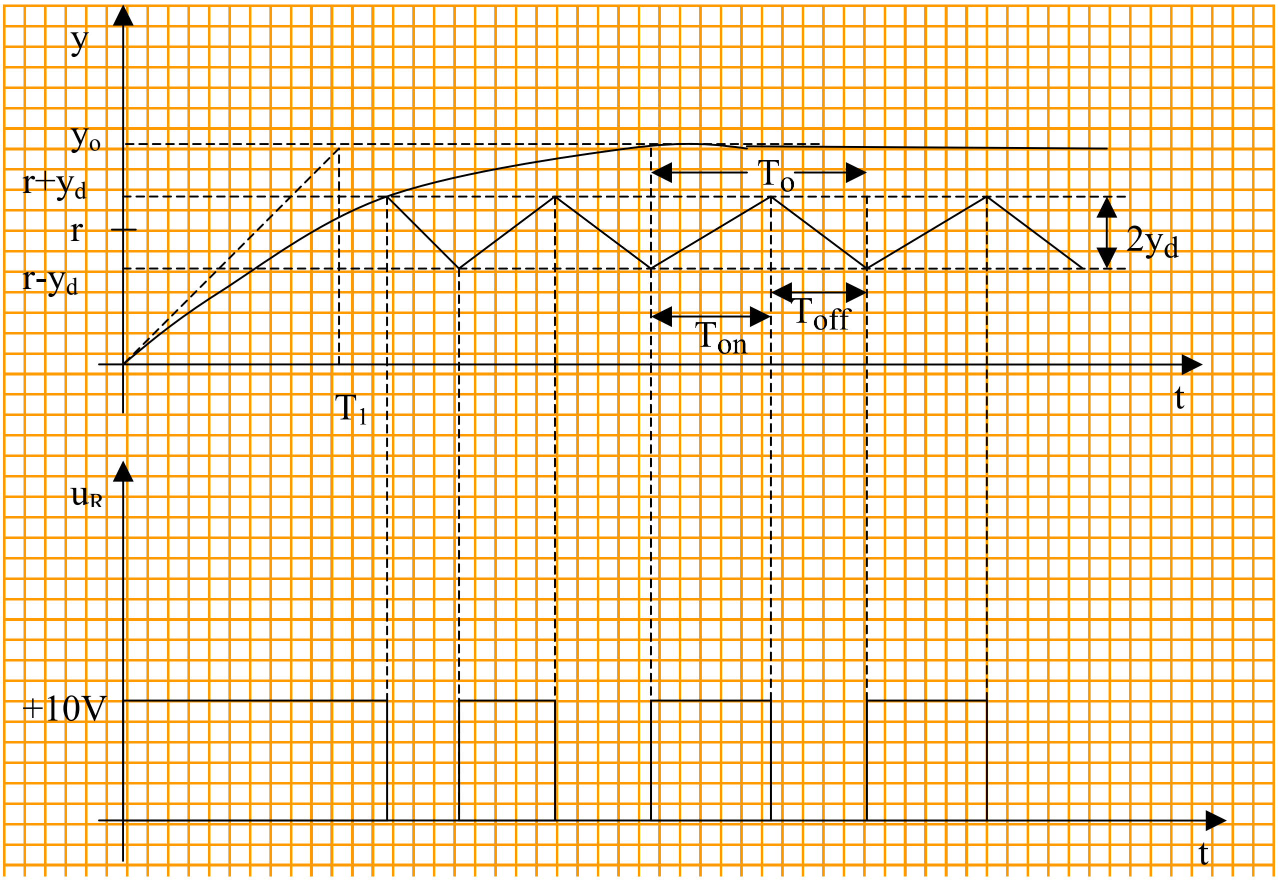
$$K_M = \frac{\Delta y}{\Delta \theta}$$

vi) Μαθηματική ανάλυση του κλειστού ΣΑΕ

Τ μπλοκ διάγραμμα του κλειστού ΣΑΕ φαίνεται στο Σχ. 5. Οι τιμές της θερμοκρασίας σε σχέση με την τροφοδοσία της θερμαντικής πηγής από τον ελεγκτή φαίνεται στο Σχ. 6.



Σχήμα 5 *:* Απλοποιημένο Block – διάγραμμα του ΣΑΕ



Σχήμα 6

Μέγιστη τιμή της ελεγχόμενης μεταβλητής :

$$y_{\max} = r_0 + y_d$$

Ελάχιστη τιμή :

$$y_{\min} = r - y_d$$

Υπολογισμός των χρόνων t_{ON} t_{OFF} και T_O :

$$2y_d = \left(y_0 - r + y_d\right)\left(1 - e^{-\frac{t_{ON}}{T}}\right)$$

$$e^{-\frac{t_{ON}}{T}} = 1 - \frac{2y_d}{y_0 - r + y_d} = \frac{y_0 - r - y_d}{y_0 - r + y_d}$$

$$t_{ON} = T\ln\frac{y_0 - r + y_d}{y_0 - r - y_d}$$

$$r - y_d = (r + y_d)e^{-\frac{t_{OFF}}{T}}$$

$$e^{\frac{t_{OFF}}{T}} = \frac{(r + y_d)}{r - y_d}$$

$$t_{OFF} = T\ln\frac{r + y_d}{r - y_d}$$

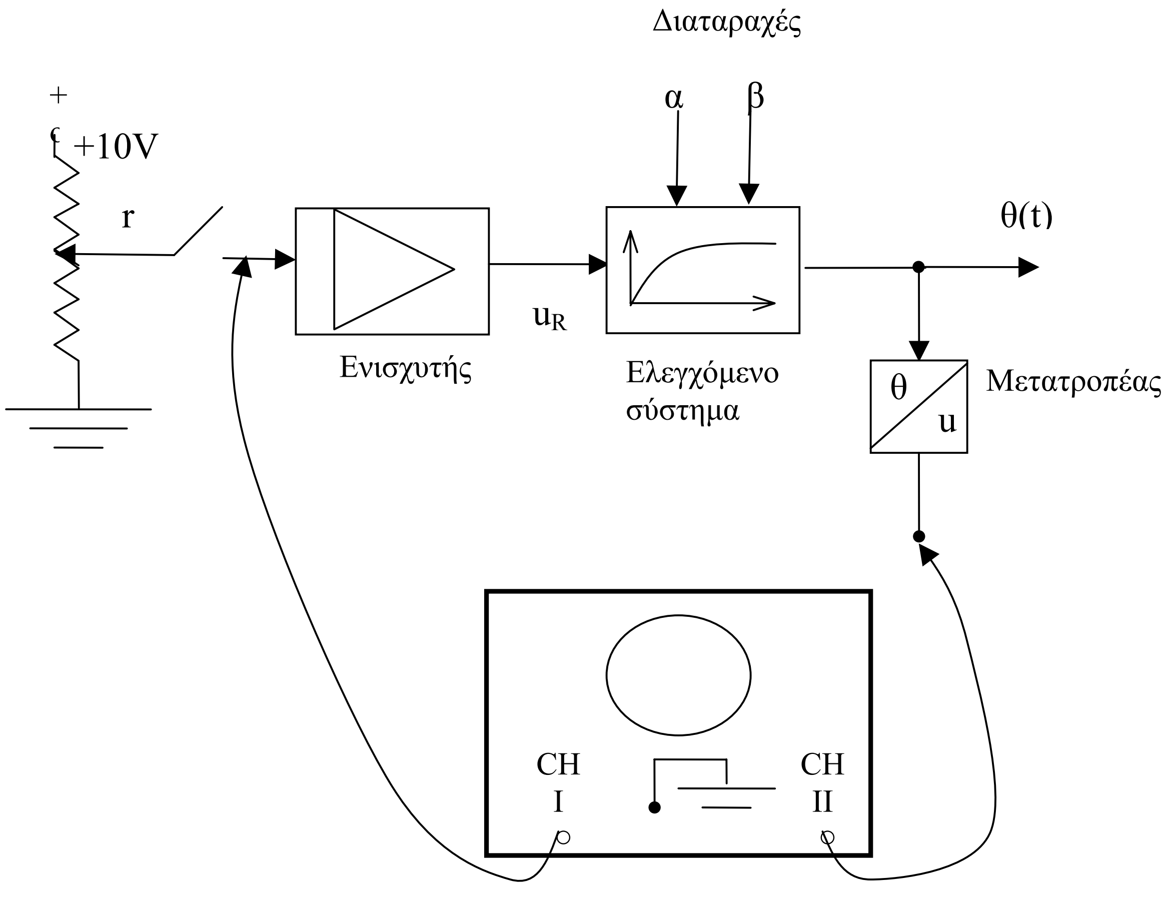
$$T_0 = T\left[\ln\frac{y_0 - r + y_d}{y_0 - r - y_d} + \ln\frac{r + y_d}{r - y_d}\right]$$

Δ) Εργαστηριακό μέρος

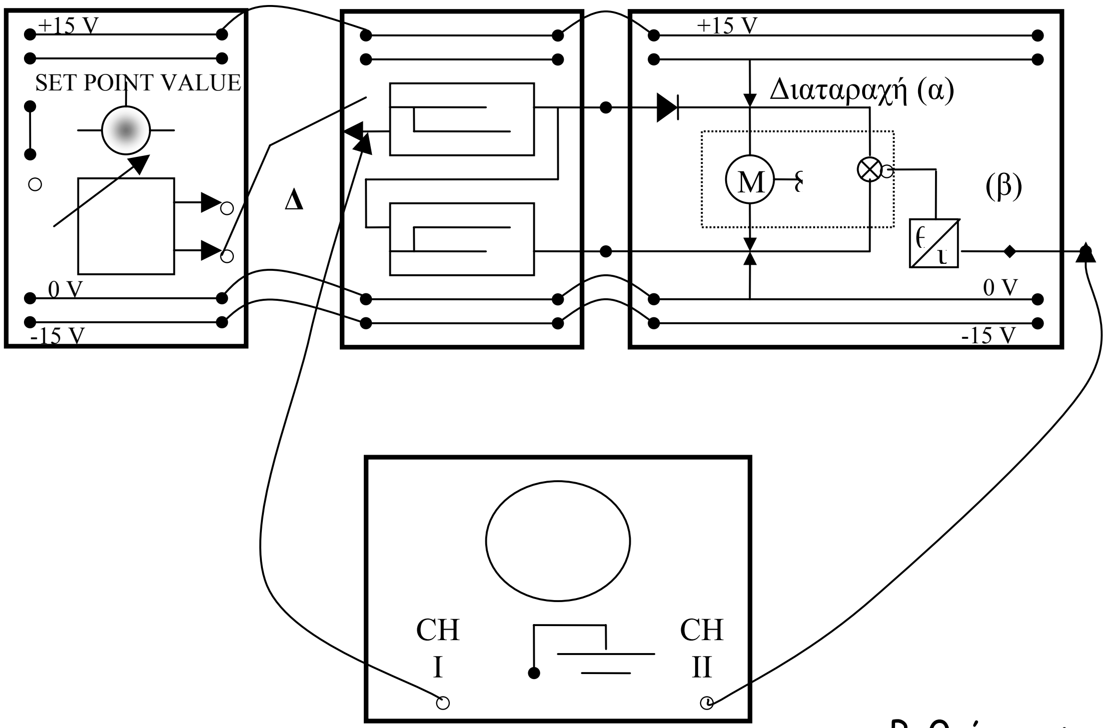
1) Μελέτη ανοικτού συστήματος

i) Βηματική χρονική απόκριση του ελεγχόμενου συστήματος (θερμαινόμενος χώρος)

Για να λάβουμε τη βηματική χρονική απόκριση του ΕΣ διεγείρουμε, με τη βοήθεια του δότη, την είσοδο του ενισχυτή με ένα βηματικό σήμα και συνδέουμε τον παλμογράφο στην είσοδο του ΕΣ. (σχ. 7)



Σχήμα 7



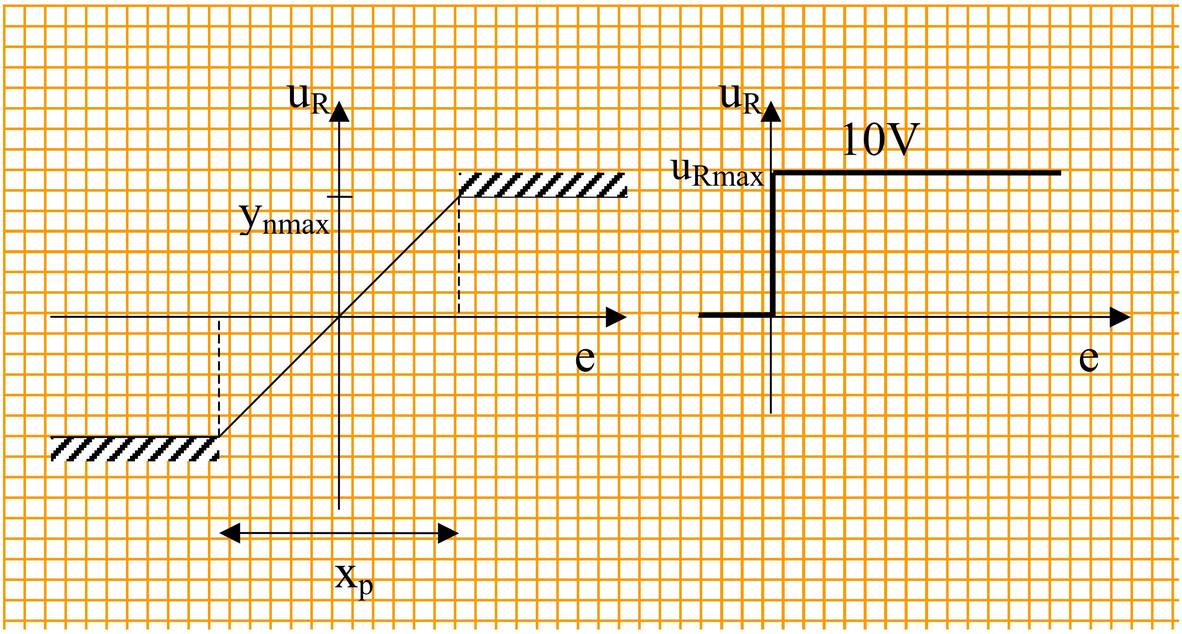
Ρυθμίσεις :
r = 4 V
$z_1 \rightarrow$ (α) = 1, (β) = 1
$z_2 \rightarrow$ (α) = 1, (β) = 2

Σχεδιάστε σε μιλιμετρέ χαρτί το σήμα εισόδου και το σήμα εξόδου (μεταβολή της θερμοκρασίας = ελεγχόμενη μεταβλητή) για δύο διαφορετικές διαταραχές Z_1 και Z_2 και υπολογίστε γραφικά τα τεχνικά χαρακτηριστικά του ΕΣ (K_s, T_1).

ii) Πειραματική εξακρίβωση της συμπεριφοράς του ελεγκτή δύο θέσεων.

Σε αντίθεση με τις άλλες βαθμίδες του ΣΑΕ, ο ΕΔΘ διεγείρεται με ένα ημιτονοειδές σήμα και η έξοδος του μπορεί να λάβει μόνο δύο οριακές τιμές $u_R = 0$ και $u_R = u_{Rmax} = 10$ V.

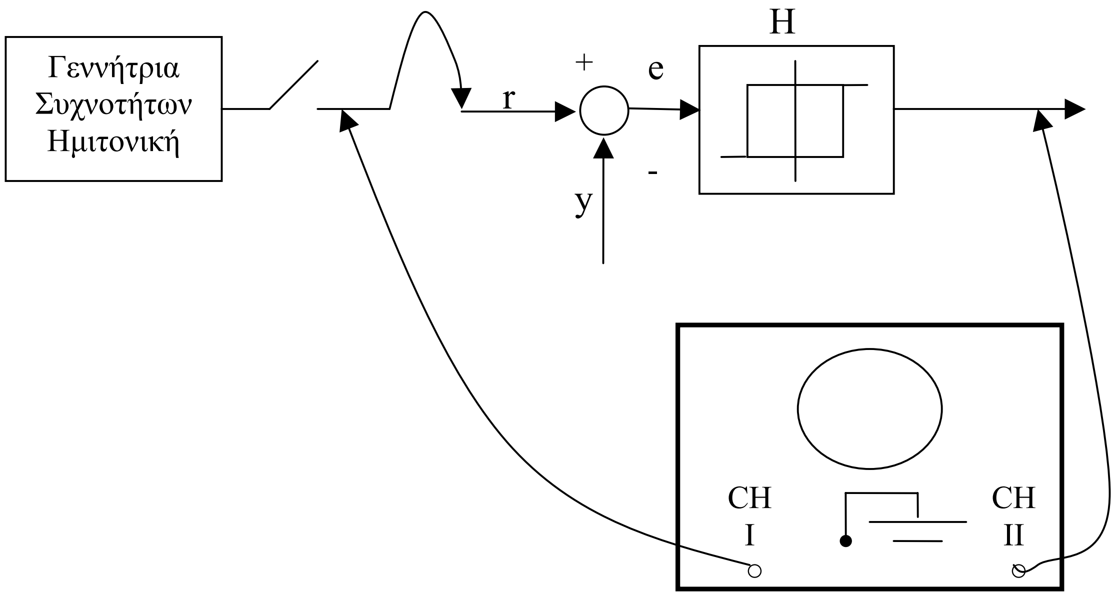
Παρακάτω φαίνονται δύο στατικές χαρακτηριστικές του ελεγκτή –P και του ελεγκτή δύο θέσεων (σχ. 8).



Σχήμα 8 : α) Στατική χαρακτηριστική ελεγκτή – P και β) στατική χαρακτηριστική ΕΔΘ

Από τις παραπάνω χαρακτηριστικές διαπιστώνουμε ότι όταν αυξάνουμε σιγά-σιγά το σήμα εισόδου του ελεγκτή –P, τότε το σήμα εξόδου μεταβάλλεται επίσης και μάλιστα γραμμικά εντός των ορίων, της αναλογικής περιοχής (x_P). Αντίθετα, όταν μεταβάλλουμε το σήμα εισόδου του ελεγκτή ΔΘ, τότε το σήμα εξόδου (u_R) γίνεται μέγιστο $u_R = u_{Rmax} = 10$ V.

Είναι λοιπόν αναγκαίο να διεγείρουμε τον ΕΔΘ μ' ένα ημιτονοειδές σήμα, σαρώνοντας όλο το φάσμα των τιμών από *-10V* έως *+10V*, για να δούμε τις αντίστοιχες μεταβολές του σήματος εξόδου. Για το σκοπό αυτό συνδεσμολογούμε το παρακάτω κύκλωμα. (σχ. 9)

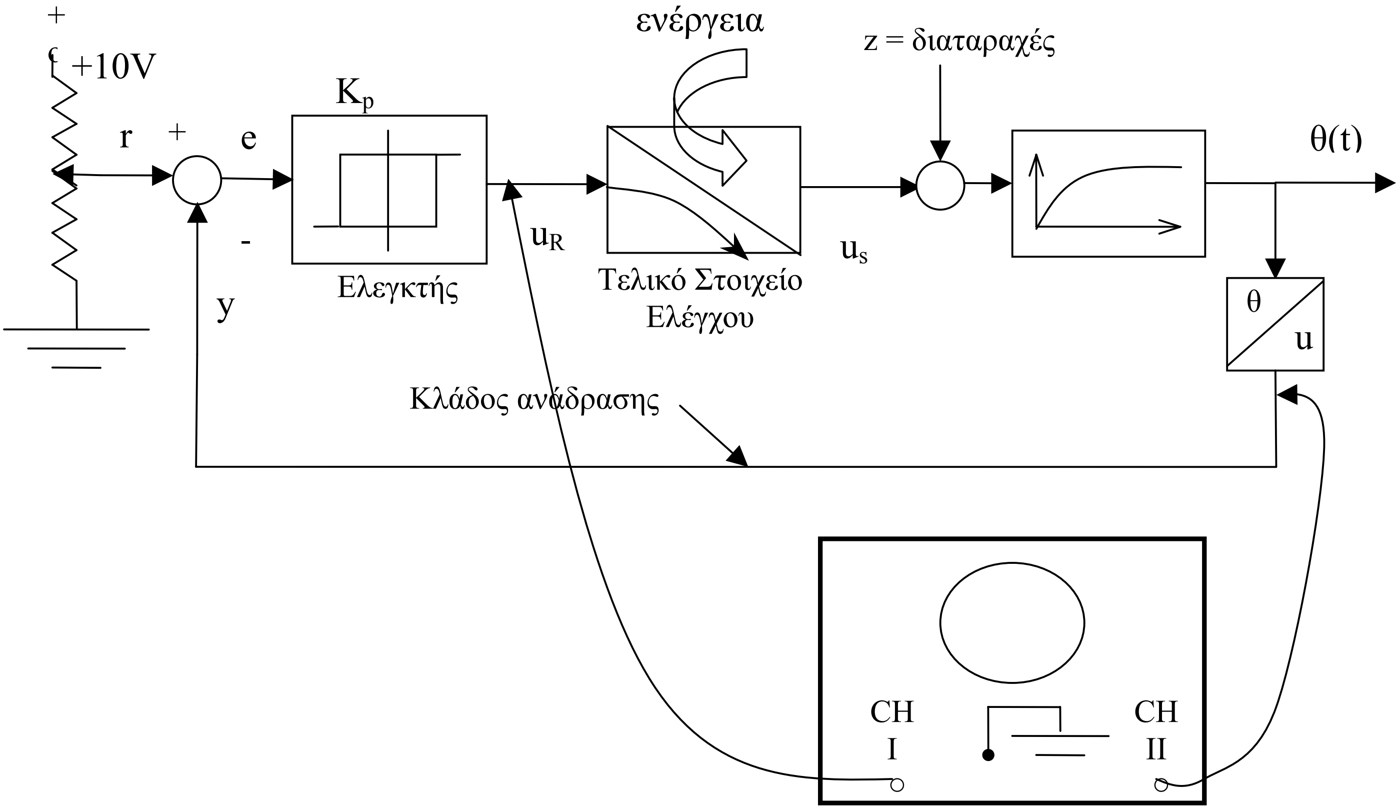


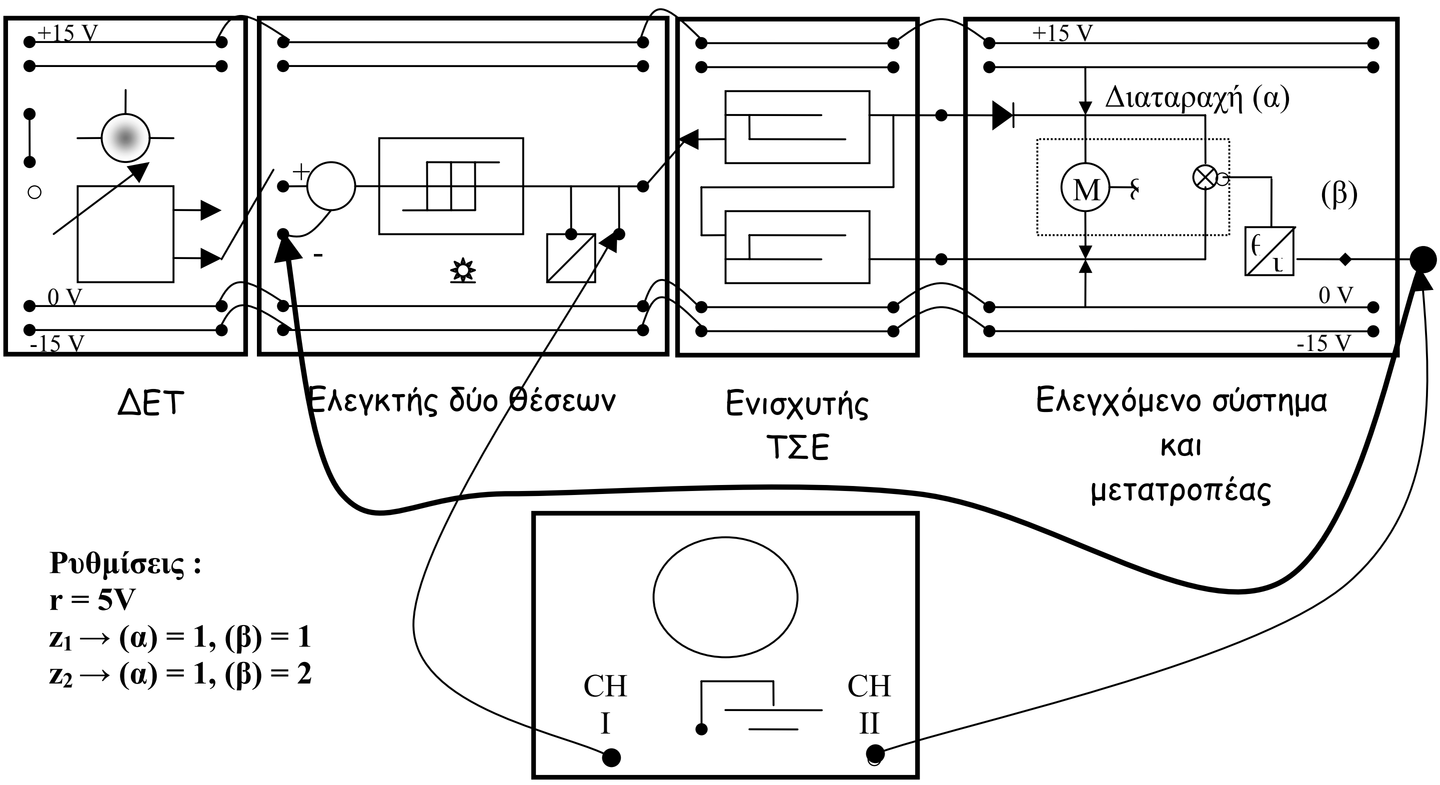
Σχήμα 9 *:* Κύκλωμα μελέτης της συμπεριφοράς του ΕΔΘ

Αφού κάνετε τη συνδεσμολογία του κυκλώματος σχεδιάστε σε μιλιμετρέ χαρτί και στο ίδιο ορθογώνιο σύστημα συντεταγμένων το σήμα εισόδου και εξόδου (CH I, CH II) για δύο τιμές της υστέρησης (Η =1 και 2). Να σχολιάσετε τις κυματομορφές.

2) Μελέτη του κλειστού συστήματος

Συνδεσμολογούμε το παρακάτω κύκλωμα :





Ρυθμίσεις :
r = 5V
$z_1 \rightarrow$ (α) = 1, (β) = 1
$z_2 \rightarrow$ (α) = 1, (β) = 2

Με τη βοήθεια του παλμογράφου να σχεδιάσετε την κυματομορφή της ελεγχόμενης μεταβλητής (y) και την έξοδο (y_R) του ελεγκτή για δύο διαφορετικές τιμές υστέρησης. (H = 0.5 – 1.5)

Μετρείστε τους χρόνους t_{ON}, t_{OFF} και T_o καθώς επίσης τα πλάτη y_d και $2y_d$.

Σχολιάστε τις κυματομορφές για κάθε μία περίπτωση μεμονωμένα και συγκριτικά με τις δύο πρώτες.

ΑΣΚΗΣΗ 5η

Θέμα: Έλεγχος συστήματος ανώτερης τάξης με ελεγκτή -PI και χρήση κριτηρίων ευστάθειας

Α) Σκοπός

Η εφαρμογή αποτελείται από δύο αναλογικές βαθμίδες με καθυστέρηση πρώτης τάξης (δύο πρωτοβάθμια συστήματα) σε σειρά, και εξομοιώνει τη λειτουργία αρκετών τεχνικών διεργασιών (π.χ. ελέγχου κίνησης). Σκοπός του συστήματος ελέγχου είναι η εφαρμογή των κριτηρίων ευστάθειας για την επίτευξη συγκεκριμένης συμπεριφοράς (με ή χωρίς υπερύψωση) της ελεγχόμενης μεταβλητής του συστήματος.

Β) Λειτουργία

Η διεργασία αποτελείται από:

- το δότη επιθυμητής τιμής, που διοχετεύει το σήμα εξόδου του σε συγκριτή
- τον ελεγκτή -PI,
- το ελεγχόμενο σύστημα (δευτεροβάθμιο με πραγματικούς πόλους)

Εφόσον πρόκειται για εφαρμογή εξομοίωσης χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις ισχύος, δεν υπάρχει τελικό στοιχείο ελέγχου. Για τον ίδιο λόγο δεν υπάρχει μετατροπέας της ελεγχόμενης μεταβλητής σε ηλεκτρική τάση, αφού όλα τα μεγέθη της εφαρμογής εκφράζονται ήδη σε V.

Η λειτουργία της διεργασίας είναι απλή και τυπική ενός συστήματος κλειστού βρόχου: Μέσω του δότη επιθυμητής τιμής ρυθμίζεται η τιμή που θα πρέπει να επιτύχει η ελεγχόμενη μεταβλητή (η έξοδος του δευτεροβάθμιου συστήματος που αναφέρθηκε παραπάνω). Στο συγκριτή σχηματίζεται η διαφορά μεταξύ επιθυμητής τιμής εξόδου του συστήματος υπό έλεγχο και της πραγματικής τιμής απόκρισης κάθε χρονική στιγμή, ή αλλιώς σφάλμα. Η κατάλληλη ρύθμιση (μέσω κριτηρίων ευστάθειας) του ελεγκτή –PI εξασφαλίζει ότι, χρησιμοποιώντας την τιμή του σφάλματος, εκδίδεται η σωστή εντολή εισόδου στο (δευτεροβάθμιο) σύστημα για την επίτευξη της επιλεγμένης συμπεριφοράς της εξόδου του συστήματος.

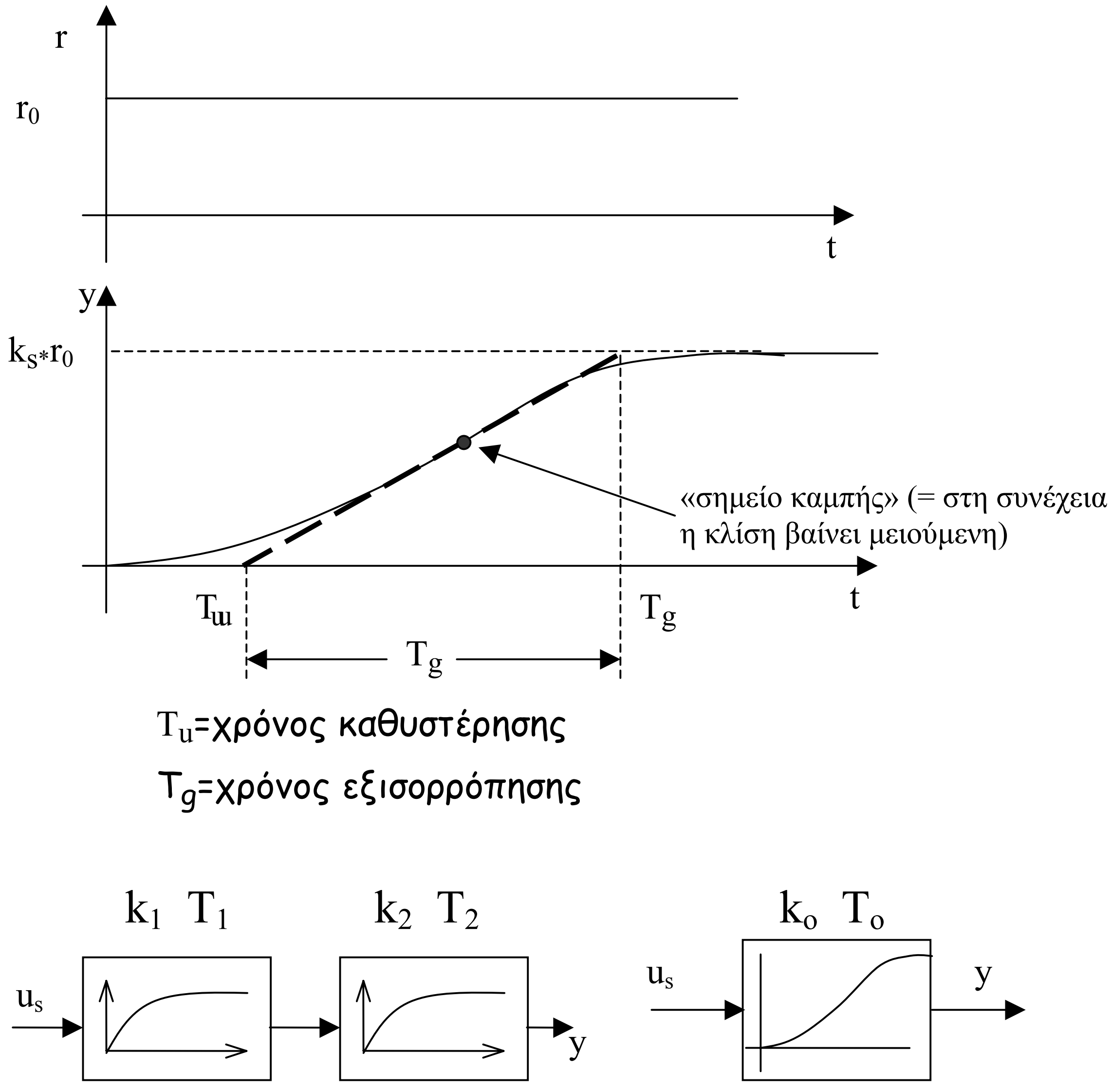
Γ) Περιγραφή βαθμίδων

i) Ο δότης επιθυμητής τιμής (Δ.Ε.Τ.)

Η βαθμίδα του δότη μας παρέχει σήμα ηλεκτρικής τάσης. Με το Δ.Ε.Τ. ρυθμίζουμε την τιμή της ελεγχόμενης μεταβλητής, όταν το σύστημα είναι κλειστό ή διεγείρουμε την είσοδο μιας βαθμίδας για την μελέτη της χρονικής συμπεριφοράς της (ανοικτό σύστημα).

ii) Ελεγχόμενο σύστημα

Το ελεγχόμενο σύστημα αποτελείται από δύο βαθμίδες -PT_1 (δύο πρωτοβάθμια συστήματα) το οποίο όταν διεγερθεί με ένα βηματικό σήμα αποκρίνεται ως εξής (Σχ. 1):



Σχήμα 1 : Βηματική χρονική δευτεροβάθμιου συστήματος με πραγματικούς πόλους

Η συνάρτηση μεταφοράς του θα είναι λοιπόν:

$$G_s(s) = \frac{k_1}{1+T_1 s} \cdot \frac{k_2}{1+T_2 s}$$

$$G_s(s) = \frac{k_o}{(1+T_1 s)(1+T_2 s)}$$

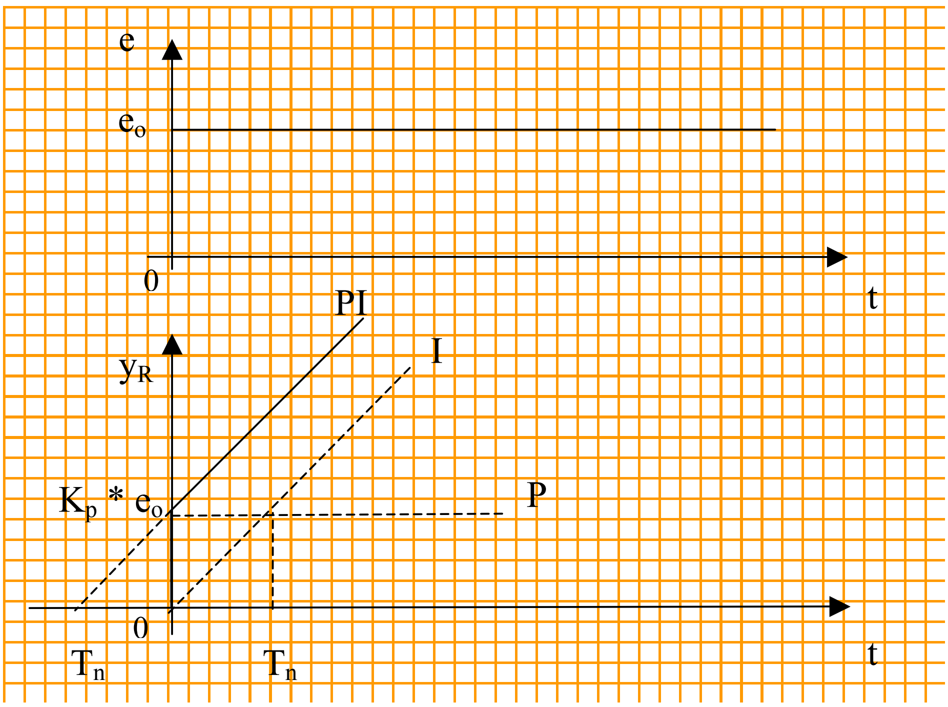
Έτσι $k_0=k_1*k_2$. Εάν οι χρόνοι T_1 και T_2 είναι διαφορετικοί και $T_1 < T_2$, τότε μπορούμε να γράψουμε

$T_1=T_u$ και $T_1 = T_g$

Και να εξομοιώσουμε έτσι τις δύο βαθμίδες με μία βαθμίδα – PT_1 με νεκρό χρόνο της οποίας η συνάρτηση μεταφοράς είναι:

$$G_s(s) = \frac{k_s}{1+T_1 s} \cdot e^{-sT_d}$$

iii) Ελεγκτής – PI.



Σχήμα 2 : Βηματική χρονική απόκριση ενός ελεγκτή – PI

Από τη χρονική απόκριση του ελεγκτή (βλ. Σχ. 2) υπολογίζουμε την ενίσχυση του K_P.

$$K_p = \frac{K_p \cdot e_o}{e_o} = K_p$$

και γραφικά υπολογίζουμε τον χρόνο επαναρύθμισης (T_n), σύμφωνα με το προηγούμενο σχήμα. Ο χρόνος επαναρύθμισης είναι ο χρόνος που χρειάζεται η έξοδος του ελεγκτή – I για να φτάσει στην ίδια τιμή με την έξοδο του ελεγκτή – P.

Συνάρτηση μεταφοράς:

$$G_R(s) = K_p + \frac{K_I}{s} = K_p\left(1 + \frac{K_I}{K_p \cdot s}\right) = K_p\left(1 + \frac{1}{T_n \cdot s}\right)$$

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

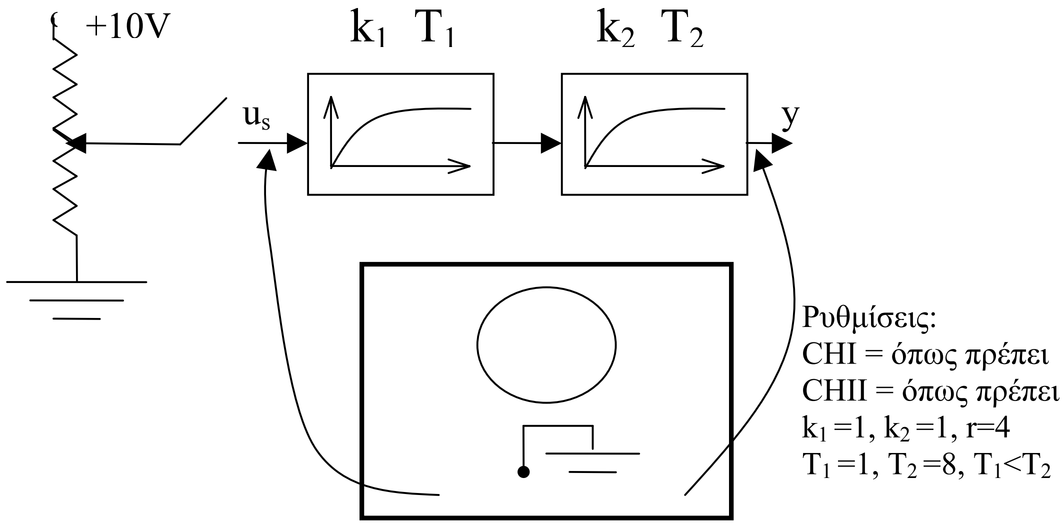
Διαφορική εξίσωση:

$$y_R = K_p e(t) + K_I \int e(t)dt = K_p\left[e(t) + \frac{1}{T_n}\int e(t)dt\right]$$

Δ) ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ ΜΕΡΟΣ

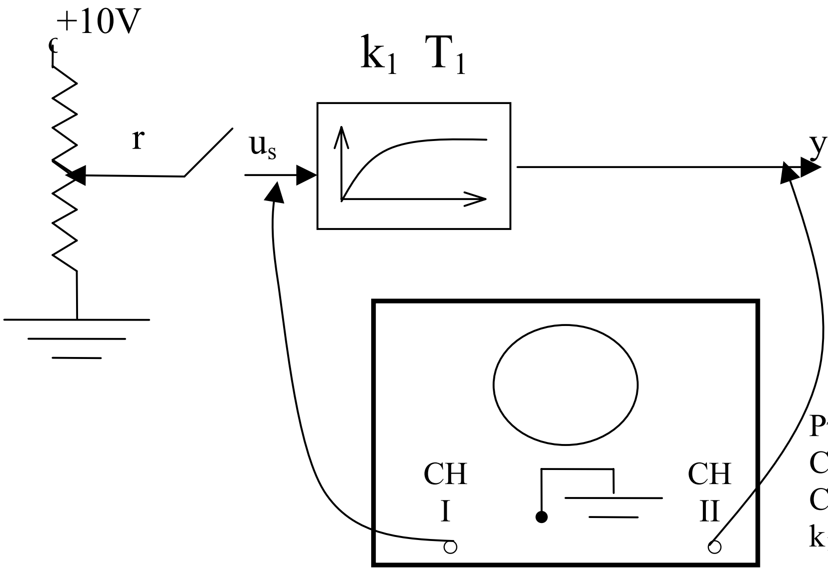
1) Μελέτη ανοικτού κυκλώματος

i) Συνδέουμε το παρακάτω κύκλωμα για να λάβουμε τη βηματική χρονική απόκριση του δευτεροβάθμιου συστήματος

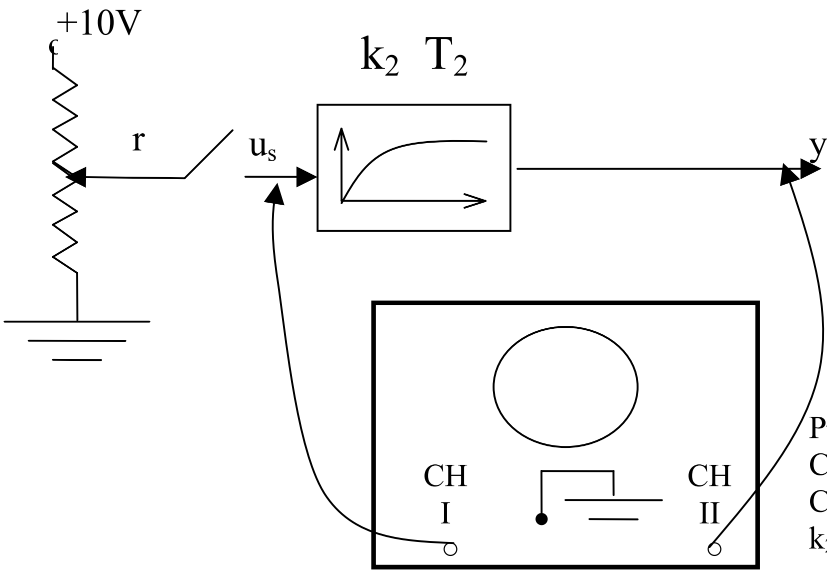


Σχεδιάζουμε σε μιλιμετρέ (αν είναι δυνατό) χαρτί την βηματική χρονική απόκριση y(t). Από την χρονική απόκριση υπολογίζουμε την ενίσχυση k_o και τους χρόνους T_u και T_g με το γραφικό τρόπο που φαίνεται στην παράγραφο Γ.1.ii παραπάνω. Αν η άσκηση έχει εκτελεστεί σωστά θα πρέπει να ισχύει προσεγγιστικά $T_u = T_1$ και $T_g = T_2$.

ii) Πραγματοποιούμε τις παρακάτω δύο συνδεσμολογίες

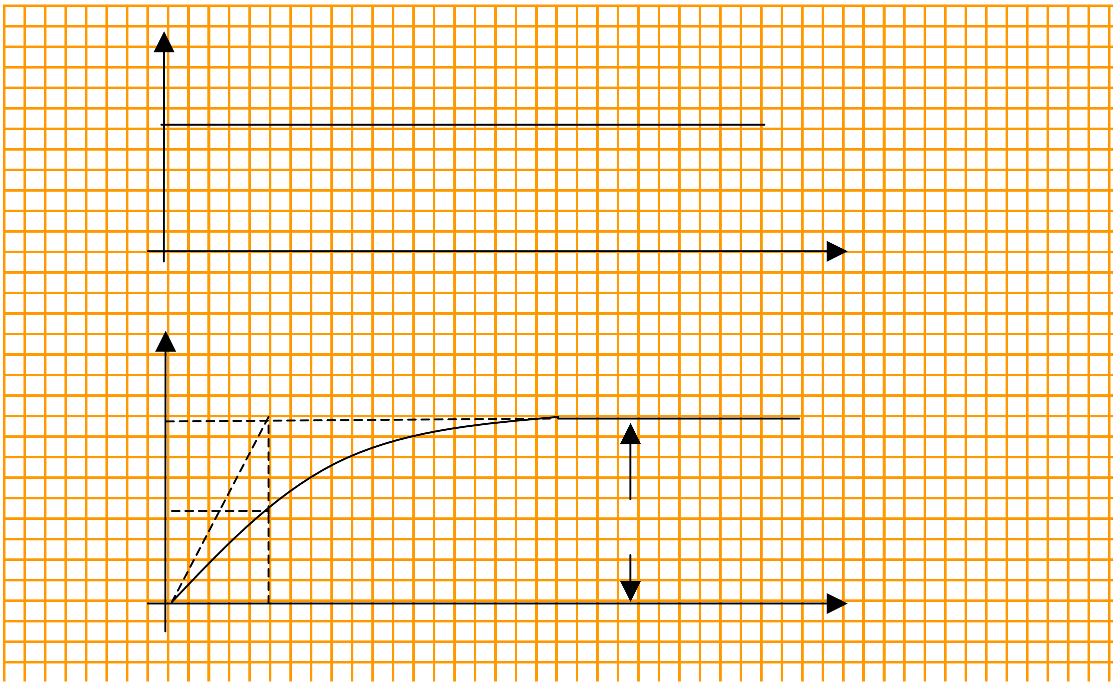


Ρυθμίσεις:
CHI = όπως πρέπει
CHII = όπως πρέπει
$k_1 = 1$, r=4, $T_1 = 1$



Ρυθμίσεις:
CHI = όπως πρέπει
CHII = όπως πρέπει
$k_2 = 1$, r=4, $T_2 = 8$

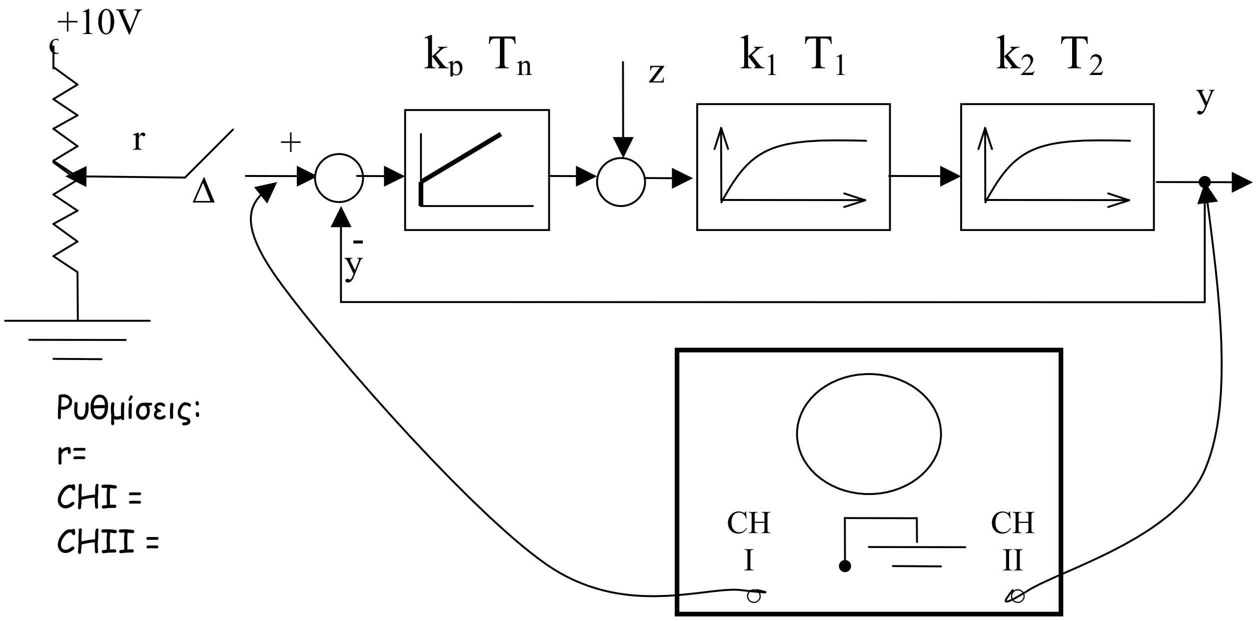
Σχεδιάζουμε σε μιλιμετρέ χαρτί την βηματική χρονική απόκριση y(t) σε κάθε περίπτωση. Κατόπιν, χρησιμοποιώντας τις γνώσεις μας από τα συστήματα πρώτης τάξεως υπολογίζουμε από τις γραφικές παραστάσεις τις τιμές T_1, T_2 και k_1, k_2. Ενδεικτικά, έστω ότι θεωρούμε την απόκριση της πρώτης βαθμίδας. Ξέρουμε ότι για τη βηματική χρονική απόκριση του πρωτοβάθμιου αυτού συστήματος είναι:



Άρα μετρώντας τις τιμές y_o και u_s (=r) υπολογίζουμε εύκολα τα k_1 και T_1. Η ίδια πορεία ακολουθείται για τον υπολογισμό των k_2 και T_2 από την αντίστοιχη χρονική απόκριση. Οι τιμές θα πρέπει να επιβεβαιώνουν (προσεγγιστικά!) τις ρυθμίσεις k_1, T_1 και k_2, T_2 που χρησιμοποιήσατε κατά την πραγματοποίηση της βηματικής απόκρισης κάθε βαθμίδας.

2) Μελέτη κλειστού κυκλώματος

Έχοντας υπολογίζει T_u (=T_1) και T_g (=T_2) από τη μελέτη του ανοικτού κυκλώματος συνδεσμολογούμε το παρακάτω κύκλωμα:

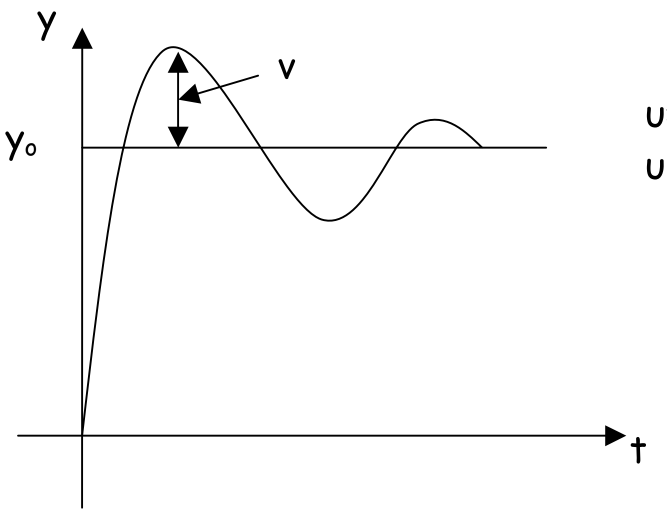


Χρησιμοποιώντας το κριτήριο ρύθμισης κατά Chien, Hrones και Reswick, ρυθμίζουμε τον ελεγκτή στις τιμές που φαίνονται κυκλωμένες στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας CHR:

Ελεγκτής		Μη περιοδική Διαταραχή	Μη περιοδική Ακολουθία	20% υπερύψωση της y(t) Διαταραχή	20% υπερύψωση της y(t) Ακολουθία
P	k_p	$0{,}3\frac{T_g}{T_u k_o}$	$0{,}3\frac{T_g}{T_u k_o}$	$0{,}7\frac{T_g}{T_u k_o}$	$0{,}7\frac{T_g}{T_u k_o}$
PI	k_p	$0{,}6\frac{T_g}{T_u k_o}$	$0{,}35\frac{T_g}{T_u k_o}$	$0{,}7\frac{T_g}{T_u k_o}$	$0{,}7\frac{T_g}{T_u k_o}$
	T_n	$4T_u$	$1.2T_g$	$2.3T_u$	T_g
PID	k_p	$0{,}95\frac{T_g}{T_u k_o}$	$0{,}6\frac{T_g}{T_u k_o}$	$1{,}2\frac{T_g}{T_u k_o}$	$0{,}95\frac{T_g}{T_u k_o}$
	T_n	$2.4T_u$	T_g	$2T_u$	$1.35T_g$
	T_u	$0.42T_u$	$0.5T_u$	$0.42T_u$	$0.47T_u$

Για κάθε ρύθμιση κλείνουμε τον διακόπτη Δ και σχεδιάζουμε σε μιλιμετρέ χαρτί την χρονική απόκριση y(t). Υπολογίζουμε την υπερύψωση σε σχέση με την επιθυμητή τιμή επί τοις εκατό, και ελέγχουμε αν λάβαμε απόκριση σύμφωνα με όσα υποστηρίζονται στον παραπάνω πίνακα. Συγκρίνουμε τα αποτελέσματα των δύο ρυθμίσεων και σχολιάζουμε.



υ= υπερύψωση

$υ\% = (v/y_o)*100\%$