

1.4 Ελεγκτές

1.4.1 Εισαγωγικά

Είναι τα κύρια στοιχεία ελέγχου, τα οποία καθορίζουν τον τρόπο λειτουργίας του συστήματος και συντονίζουν τα διάφορα ενεργειακά συστήματα, ανάλογα με τις τιμές των παραμέτρων ελέγχου, έτσι ώστε να διατηρείται η ελεγχόμενη μεταβλητή στην επιθυμητή τιμή.

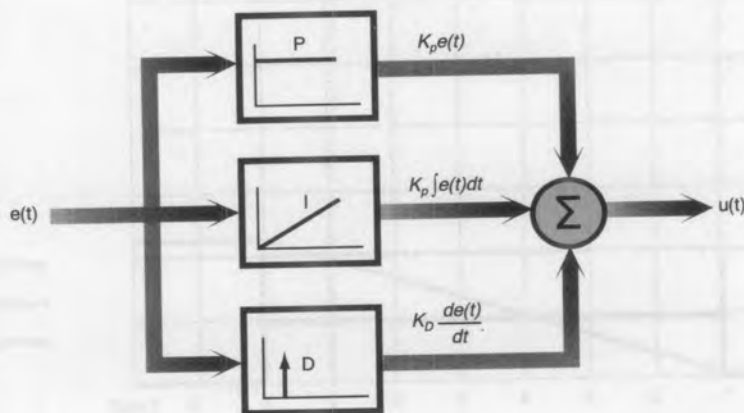
Κάθε ελεγκτής έχει σαν στόχο τη συνεχή ταύτιση της πραγματικής τιμής της εξόδου της διαδικασίας με την επιθυμητή τιμή, ανεξαρτήτως των όποιων διαταραχών προκύψουν κατά τη διαδικασία (έγκαιρος μηδενισμός σφάλματος). Ο στόχος αυτός είναι δύσκολα εφικτός, αλλά με την ανατροφοδότηση της εξόδου της διαδικασίας στην είσοδο του συστήματος τείνει να επιτευχθεί.

Από τους διάφορους ελεγκτές που διαθέτει σήμερα η παραγωγική διαδικασία, θα εξετασθούν στις επόμενες ενότητες μόνο οι **ελεγκτές τριών όρων P.I.D.** (Proportional, Integral, Derivative) και οι συνδυασμοί τους, οι οποίοι είναι από τους πλέον διαδεδομένους τύπους ελεγκτών και αποτελούν το βασικότερο στοιχείο στον **Αυτόματο Έλεγχο**.

Στο ακόλουθο Σχ. 35 φαίνεται ότι η έξοδος $u(t)$ του ελεγκτή σχηματίζεται από το άθροισμα τριών όρων, ενός όρου ανάλογου του σφάλματος **P**, ενός όρου ανάλογου του ολοκληρώματος **I** και ενός όρου ανάλογου της παραγώγου του σφάλματος **D**.

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

Οι λόγοι που οι ελεγκτές αυτοί έχουν καθιερωθεί, είναι ότι δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα με ιδιαίτερη ευκολία στη σχεδίαση, επειδή διαθέτουν μικρό αριθμό παραμέτρων στις οποίες δίνοντας τις κατάλληλες τιμές προκύπτει το βέλτιστο αποτέλεσμα.



Σχήμα 35: Δομικό διάγραμμα PID

Ο αναλογικός όρος **P** βοηθά στη βελτίωση της συμπεριφοράς του συστήματος τόσο στην μεταβατική όσο και στην μόνιμη κατάσταση. Όμως δεν μπορεί να αντεπεξέλθει σε όλους τους τύπους των συστημάτων και των εξωτερικών διαταραχών ικανοποιητικά, γι' αυτό και όπου απαιτείται, συνδυάζεται μαζί με τους υπόλοιπους όρους.

Ο ολοκληρωτικός όρος **I** χρησιμοποιείται σε συστήματα που παρουσιάζουν σφάλμα στην μόνιμη κατάσταση, αφού για όσο χρόνο υπάρχει σφάλμα, η έξοδος του ελεγκτή, λόγω του ολοκληρώματος, αυξάνεται με αποτέλεσμα την εξάλειψη του σφάλματος.

Τέλος ο διαφορικός όρος **D** αυξάνει την ευστάθεια του συστήματος και βελτιώνει τη συμπεριφορά του κατά τη μεταβατική κατάσταση.

Η επιλογή του τύπου του ελεγκτή εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του συστήματος ενώ δεν είναι πάντα απαραίτητη η χρήση και των τριών όρων. Συνήθως χρησιμοποιούνται μορφές ενός ή δύο όρων (P, PI και PD) και μόνο σε εξαιρετικές περιπτώσεις, όπου απαιτείται αυστηρότερος έλεγχος, χρησιμοποιείται η μορφή PID.

1.4.2 Αναλογικός ελεγκτής – P

1.4.2.1 Θεωρητικό Μέρος

Ο Αναλογικός ελεγκτής – P είναι ο ελεγκτής ο οποίος δίνει στην έξοδό του, σήμα ανάλογο του σφάλματος που δέχεται στην είσοδο. Η σχέση που προσδιορίζει την συμπεριφορά του ελεγκτή είναι η εξής:

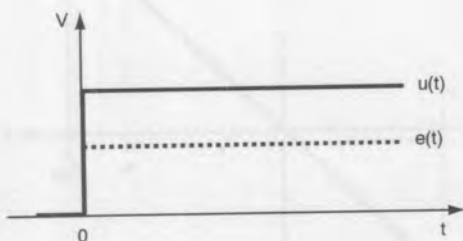
$$u(t) = K_p e(t),$$

όπου K_p είναι η ενίσχυση του ελεγκτή.

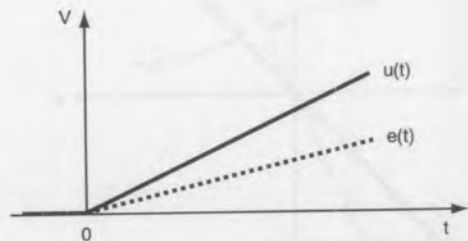
Οι αποκρίσεις, βηματική α. και αναρρίχησης β. του αναλογικού ελεγκτή – P φαίνονται στο Σχ. 36.

Για το γραφικό προσδιορισμό της ενίσχυσης του ελεγκτή, χρησιμοποιούμε την σχέση:

$$K_p = \frac{u(t)}{e(t)}$$



(α)



(β)

Σχήμα 36: Αποκρίσεις, (α) βηματική και (β) αναρρίχησης του ελεγκτή P

Εξετάζοντας τις χαρακτηριστικές του Αναλογικού ελεγκτή – P, για δύο διαφορετικές τιμές της ενίσχυσης K_P Σχ. 37 παρατηρούμε ότι ο ελεγκτής συμπεριφέρεται γραμμικά – αναλογικά μόνο σε μία συγκεκριμένη περιοχή διακύμανσης του σφάλματος. Για μεγαλύτερες ή μικρότερες τιμές του σφάλματος έχουμε κορεσμό, ο οποίος επιβάλλεται από το εύρος των τιμών εισόδου της επόμενης βαθμίδας (οδηγός βαθμίδα).

Για παράδειγμα αν η τάση εισόδου της επόμενης βαθμίδας κυμαίνεται στα $\pm 5V$, η έξοδος του ελεγκτή δεν μπορεί για οποιαδήποτε τιμή του σφάλματος, να ξεπεράσει αυτά τα όρια. Είναι αυτονόητο ότι περιορισμοί υπάρχουν και στην είσοδο του ελεγκτή.

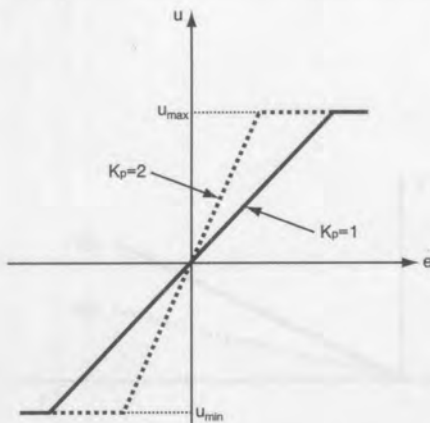
Επίσης παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται η ενίσχυση K_P , τόσο η αναλογική περιοχή μικραίνει, με αποτέλεσμα ο ελεγκτής να δουλεύει στον κόρο για μικρότερες, σε απόλυτη τιμή, τιμές του σφάλματος.

Με τον όρο **αναλογική περιοχή X_P** , εννοούμε το εύρος μέσα στο οποίο μπορεί να μεταβληθεί το σφάλμα χωρίς η έξοδος του ελεγκτή να βρεθεί στον κόρο. Επειδή η αναλογική περιοχή X_P και πιο συγκεκριμένα η αναλογική περιοχή επί τοις εκατό $X_P\%$, χρησιμοποιείται πολύ συχνά από τους κατασκευαστές ελεγκτών ως εναλλακτικός συντελεστής της ενίσχυσης K_P . Εξάγεται στη συνέχεια η σχέση ανάμεσα στις δύο αυτές παραμέτρους.

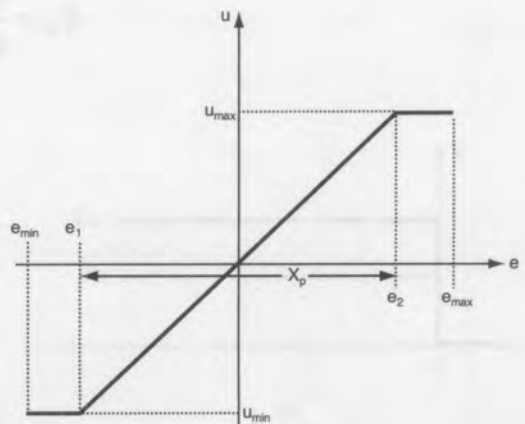
Παρατηρώντας το Σχ. 38 προκύπτουν οι ακόλουθες σχέσεις:

$$\left\{ \begin{array}{l} X_P = e_2 - e_1 \\ K_P = \frac{u_{\max} - u_{\min}}{e_2 - e_1} \end{array} \right\} \Rightarrow K_P = \frac{u_{\max} - u_{\min}}{X_P} \Rightarrow$$

$$X_P = \frac{u_{\max} - u_{\min}}{K_P} \tag{1}$$



Σχήμα 37: Χαρακτηριστική αναλογικού ελεγκτή



Σχήμα 38: Αναλογική περιοχή ελεγκτή P

$$X_P \% = \frac{X_P}{e_{\max} - e_{\min}} 100\% \quad (2)$$

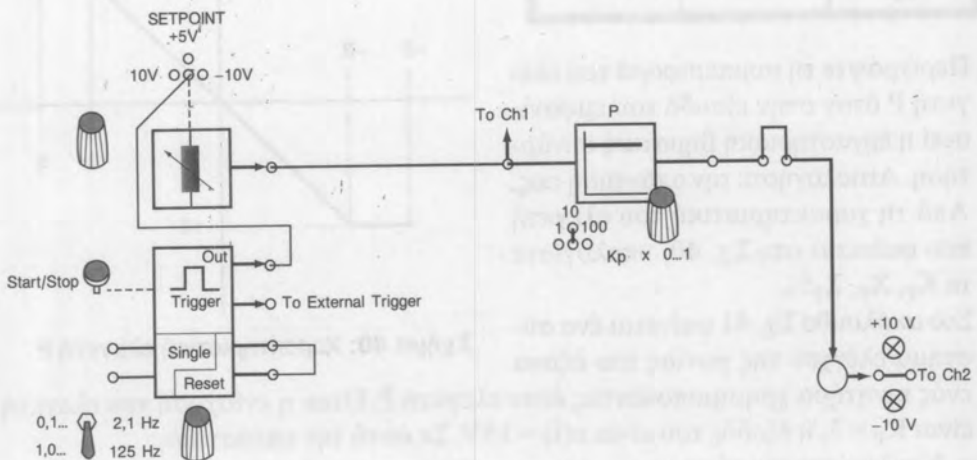
$$X_P \% = \frac{1}{K_P} \frac{u_{\max} - u_{\min}}{e_{\max} - e_{\min}} 100\% \quad (3)$$

Η σχέση (1) που προέκυψε μας δίνει την αναλογική περιοχή του ελεγκτή συναρτήσει του εύρους μεταβολής της εξόδου και της ενίσχυσης, ενώ οι σχέσεις (2) και (3) μας δίνουν την αναλογική περιοχή επί τοις εκατό συναρτήσει της αναλογικής περιοχής και της ενίσχυσης αντίστοιχα.

1.4.2.2 Πειραματικό Μέρος

1.4.2.2.1 Συνδεσμολογία και ρυθμίσεις του ελεγκτή – P σε βηματική απόκριση

1. Συνδεσμολογήστε την μονάδα παραγωγής επιθυμητού σήματος –setpoint.
2. Συνδεσμολογήστε τον ελεγκτή P και συνδέστε την έξοδο της μονάδας setpoint στην είσοδό του όπως φαίνεται στο σχήμα Σχ. 39.
3. Συνδέστε στην είσοδο και στην έξοδο του ελεγκτή P τα αντίστοιχα κανάλια του παλμογράφου Ch1 και Ch2.
4. Ρυθμίστε τις παραμέτρους του συστήματος, για κάθε μέτρηση, σύμφωνα με τον ακόλουθο πίνακα.

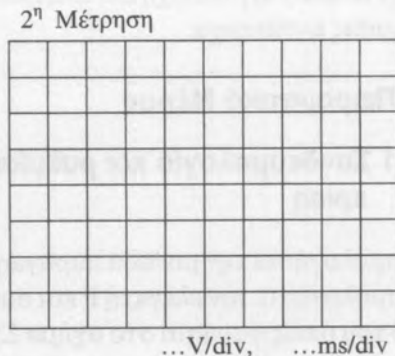
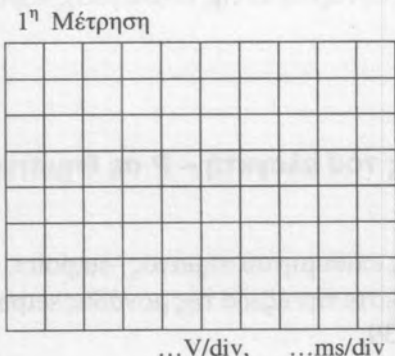


Σχήμα 39: Συνδεσμολογία ελεγκτή P

Μέτρηση	1 ^η	2 ^η
Περίοδος Παλμού Εισόδου	10 ms	10 ms
Πλάτος Παλμού Εισόδου	1 V	1 V
Παράμετρος K_p	2	4

1.4.2.2.2 Εργασία

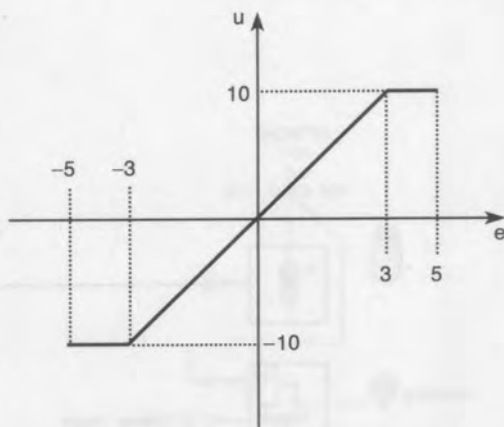
1. Σχεδιάστε τις καμπύλες των μετρήσεων στο αντίστοιχο πλαίσιο



2. Από τις καμπύλες που σχεδιάσατε υπολογίστε τις πειραματικές τιμές της παραμέτρου K_p και καταχωρήστε αυτές στον παρακάτω πίνακα.

	Βηματική Απόκριση	
Μέτρηση	1 ^η	2 ^η
K_p		

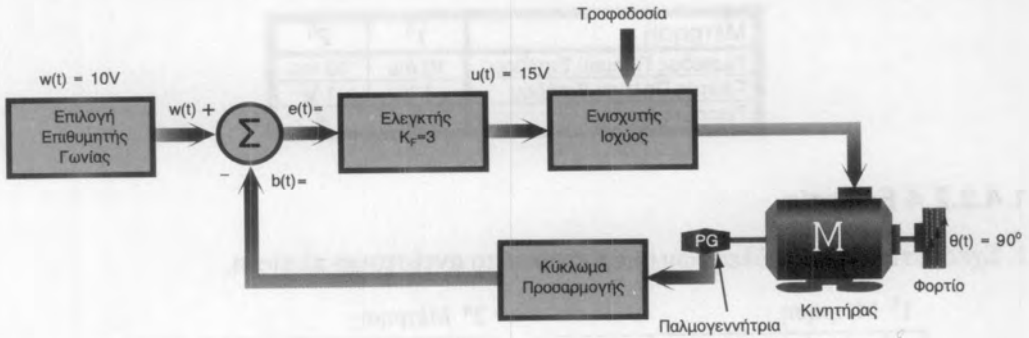
- Περιγράψτε τη συμπεριφορά του ελεγκτή P όταν στην είσοδό του εμφανιστεί η εργαστηριακή βηματική συνάρτηση. Αιτιολογήστε την απάντησή σας.
- Από τη χαρακτηριστική του ελεγκτή που φαίνεται στο Σχ. 40, υπολογίστε τα K_p , X_p , $X_p\%$.
- Στο ακόλουθο Σχ. 41 φαίνεται ένα σύστημα ελέγχου της γωνίας του άξονα ενός κινητήρα χρησιμοποιώντας έναν ελεγκτή P . Όταν η ενίσχυση του ελεγκτή P είναι $K_p = 3$, η έξοδός του είναι $u(t) = 15V$. Σε αυτή την κατάσταση:



Σχήμα 40: Χαρακτηριστική ελεγκτή P

α. Υπολογίστε την τάση του σφάλματος $e(t)$ στην είσοδο του ελεγκτή.

β. Αν η τάση της επιθυμητή τιμής $w(t)$ είναι 10V, υπολογίστε την τάση ανασύζευξης $b(t)$ που προκύπτει από το σύστημα μέτρησης της θέσης.

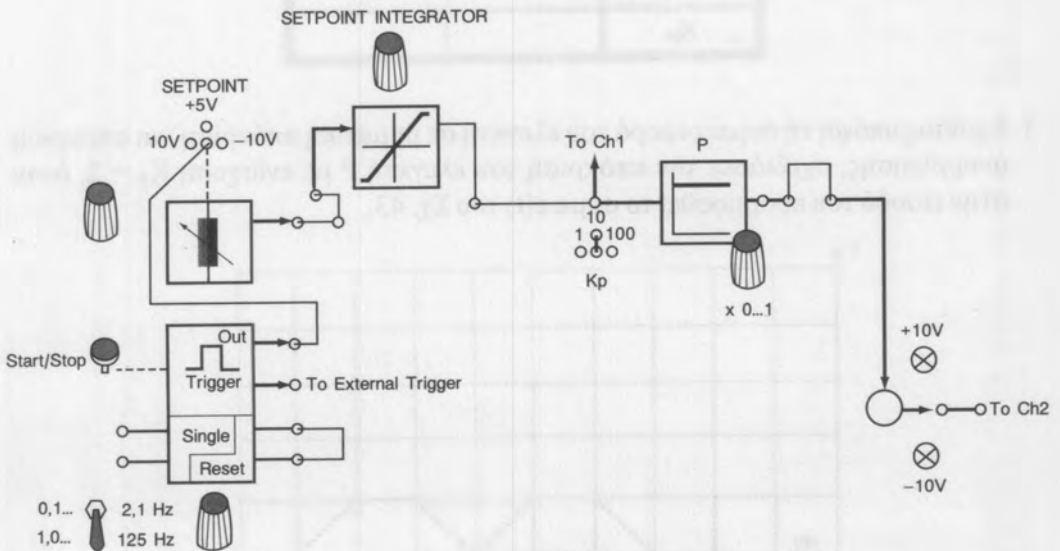


Σχήμα 41: Σύστημα ελέγχου με ελεγκτή P

γ. Υπολογίστε την επιθυμητή γωνία.

1.4.2.2.3 Συνδεσμολογία και ρυθμίσεις του ελεγκτή – P σε απόκριση αναρρίχησης

1. Επαναλάβετε την προηγούμενη συνδεσμολογία και προσθέστε τον ολοκληρωτή του επιθυμητού σήματος (setpoint integrator) όπως φαίνεται στο Σχ. 42.
2. Ρυθμίστε το ποτενσιόμετρο του ολοκληρωτή επιθυμητού σήματος στη 2^η ένδειξη έτσι ώστε η μέγιστη τιμή της αναρρίχησης να μην υπερβαίνει το 1 Volt.
3. Ρυθμίστε τις παραμέτρους του συστήματος, για κάθε μέτρηση, σύμφωνα με τον ακόλουθο πίνακα.

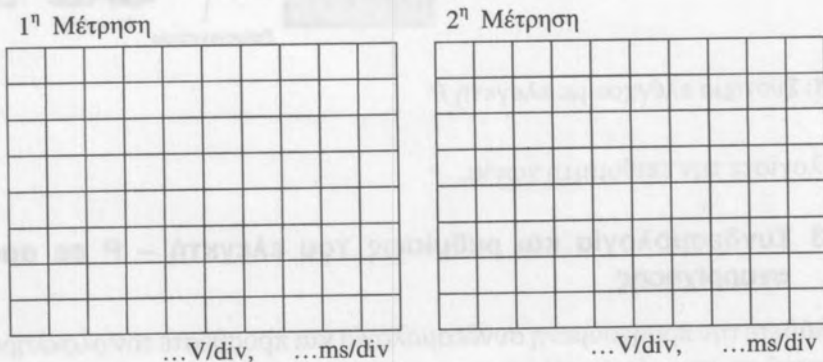


Σχήμα 42: Συνδεσμολογία ελεγκτή P

Μέτρηση	1 ^η	2 ^η
Περίοδος Παλμού Εισόδου	10 ms	10 ms
Πλάτος Παλμού Εισόδου	1 V	1 V
Παράμετρος K_p	2	4

1.4.2.2.4 Εργασία

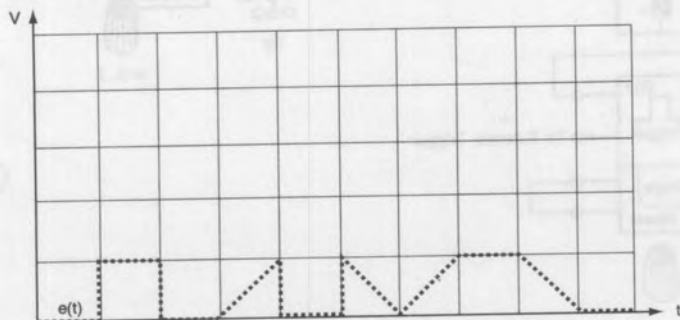
1. Σχεδιάστε τις καμπύλες των μετρήσεων στο αντίστοιχο πλαίσιο.



2. Από τις καμπύλες που σχεδιάσατε υπολογίστε τις πειραματικές τιμές της παραμέτρου K_p και καταχωρήστε αυτές στον παρακάτω πίνακα.

	Απόκριση Αναρρίχησης	
Μέτρηση	1 ^η	2 ^η
K_p		

3. Έχοντας υπόψη τη συμπεριφορά του ελεγκτή σε βηματική απόκριση και απόκριση αναρρίχησης, σχεδιάστε την απόκριση του ελεγκτή P με ενίσχυση $K_p = 2$, όταν τον εισοδό του εφαρμοσθεί το σήμα $e(t)$ του Σχ. 43.



Σχήμα 43: Σήμα εισόδου του ελεγκτή P

1.4.3 Ολοκληρωτικός ελεγκτής – I

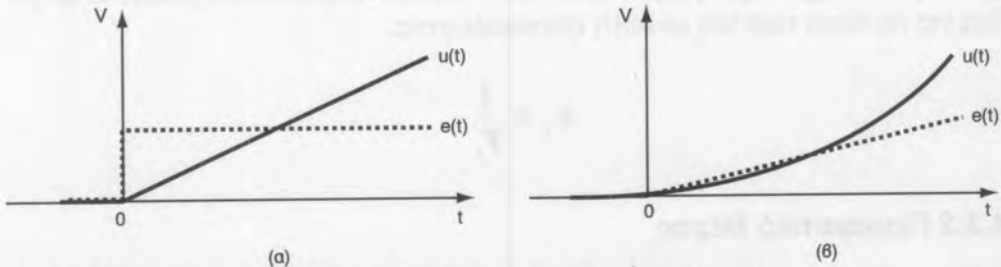
1.4.3.1 Θεωρητικό Μέρος

Ο Ολοκληρωτικός ελεγκτής – I δίνει στην έξοδο του σήμα ανάλογο του ολοκληρώματος του σφάλματος συναρτήσει του χρόνου. Η σχέση που προσδιορίζει τη συμπεριφορά του ελεγκτή είναι:

$$u(t) = K_I \int e(t) dt,$$

όπου K_I (s^{-1}) είναι ο συντελεστής ολοκλήρωσης.

Η βηματική απόκριση α . και η απόκριση αναρρίχησης β . του Ολοκληρωτικού ελεγκτή – I φαίνονται στο Σχ. 44.



Σχήμα 44: Αποκρίσεις, (α) βηματική και (β) αναρρίχησης ελεγκτή I

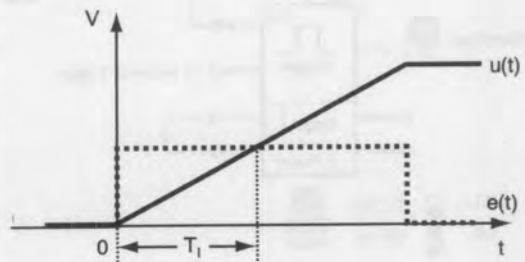
Για να γίνει κατανοητή η συμπεριφορά του ολοκληρωτικού ελεγκτή – I, χρησιμοποιείται ως σήμα εισόδου ένας παλμός και η απόκρισή του φαίνεται στο Σχ. 45. Από την καμπύλη απόκρισης του ελεγκτή – I παρατηρείται ότι:

- α. Για όσο χρονικό διάστημα υπάρχει σφάλμα στην είσοδο του ελεγκτή η έξοδος του αυξάνεται.
- β. Όταν το σφάλμα μηδενιστεί η έξοδος του ελεγκτή – I δεν μηδενίζεται αλλά διατηρεί στην έξοδο την τελευταία τιμή που είχε φθάσει.

Αυτές οι ιδιότητές του τον κάνουν χρήσιμο σε συστήματα που παρουσιάζουν σφάλμα μόνιμης κατάστασης, αφού για όσο χρόνο υπάρχει σφάλμα, η έξοδος του ελεγκτή αυξάνεται με αποτέλεσμα την εξάλειψή του.

Για το γραφικό προσδιορισμό της *παραμέτρου* K_I (συντελεστής ολοκλήρωσης) από τη βηματική απόκριση του ελεγκτή, υπάρχουν δύο τρόποι υπολογισμού.

1. Για να υπολογίσουμε άμεσα το συντελεστής ολοκλήρωσης K_I , πρέπει



Σχήμα 45: Απόκριση του ελεγκτή I

αρχικά να υπολογίσουμε το ρυθμό μεταβολής της εξόδου του ελεγκτή (την κλίση – εφαπτομένη) και έπειτα να διαιρέσουμε το ρυθμό μεταβολής της εξόδου με την είσοδο - σφάλμα.

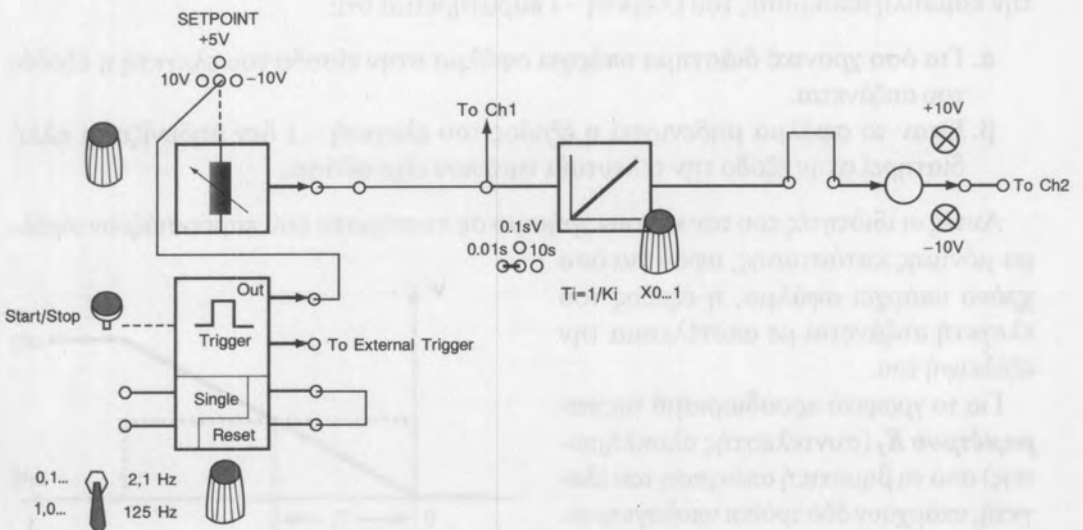
$$K_I = \frac{d(u(t))}{e(t)}$$

2. Χρησιμοποιώντας τη δεύτερη μέθοδο, αρκεί να βρεθεί το σημείο τομής της εισόδου με την έξοδο με την προϋπόθεση ότι έχουν σχεδιαστεί στην ίδια κλίμακα. Από το σημείο αυτό σχεδιάζεται μία κατακόρυφη ευθεία και σημειώνεται το σημείο τομής με τον άξονα του χρόνου. Ο χρόνος από την αρχή μέχρι το σημείο τομής ονομάζεται **χρόνος ολοκλήρωσης T_I** (Σχ. 42) και προσδιορίζει το χρόνο που χρειάζεται η έξοδος για να πάρει τιμή ίση με αυτή του σφάλματος.

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

1.4.3.2 Πειραματικό Μέρος

1.4.3.2.1 Συνδεσμολογία και ρυθμίσεις του ελεγκτή – I σε βηματική απόκριση



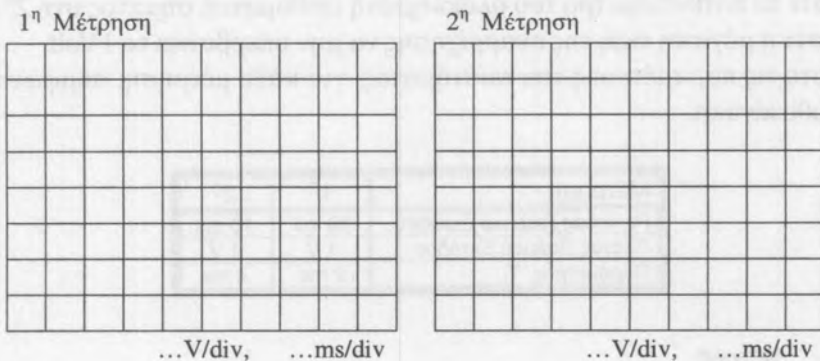
Σχήμα 46: Συνδεσμολογία ελεγκτή I

1. Συνδεσμολογήστε την μονάδα παραγωγής επιθυμητού σήματος – setpoint.
2. Συνδεσμολογήστε τον ελεγκτή I και συνδέστε την έξοδο της μονάδας setpoint στην είσοδό του όπως φαίνεται στο σχήμα Σχ. 46.
3. Συνδέστε στην είσοδο και στην έξοδο του ελεγκτή I τα αντίστοιχα κανάλια του παλμογράφου Ch1 και Ch2.
4. Ρυθμίστε τις παραμέτρους του συστήματος, για κάθε μέτρηση, σύμφωνα με τον ακόλουθο πίνακα.

Μέτρηση	1 ^η	2 ^η
Περίοδος Παλμού Εισόδου	10 ms	10 ms
Πλάτος Παλμού Εισόδου	1 V	1 V
Παράμετρος T_1	2 ms	4 ms

1.4.3.2.2 Εργασία

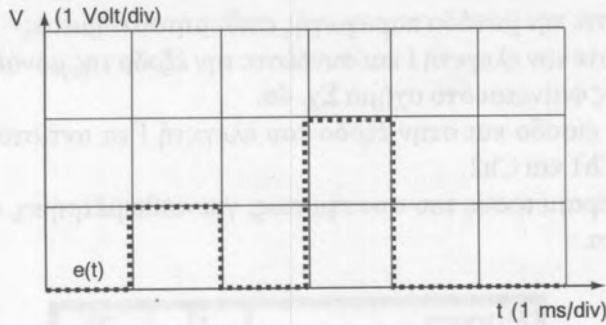
1. Σχεδιάστε τις καμπύλες των μετρήσεων στο αντίστοιχο πλαίσιο.



2. Από τις καμπύλες που σχεδιάσατε υπολογίστε τις πειραματικές τιμές των παραμέτρων K_I και T_I και καταχωρήστε αυτές στον παρακάτω πίνακα.

Μέτρηση	Βηματική Απόκριση	
	1 ^η	2 ^η
K_I		
T_I		

3. Με ποιο τρόπο αντιδρά ο ελεγκτής – I όταν στην είσοδό του εμφανιστεί η εργαστηριακή βηματική συνάρτηση. Αιτιολογήστε την απάντησή σας.
4. Το σήμα $e(t)$ του Σχ. 47 εφαρμόζεται ως είσοδος σε ένα ελεγκτή – I με συντελεστή ολοκλήρωσης $K_I = 0.5 \text{ ms}^{-1}$. Υπολογίστε αναλυτικά και σχεδιάστε την απόκριση – έξοδο του ελεγκτή.

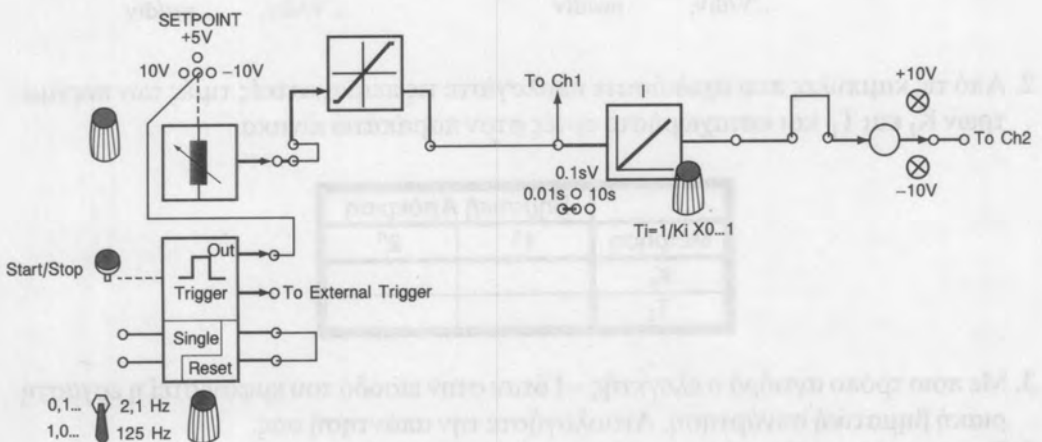


Σχήμα 47: Σήμα εισόδου ελεγκτή I

1.4.3.2.3 Συνδεσμολογία και ρυθμίσεις του ελεγκτή – I σε απόκριση αναρρίχησης

1. Επαναλάβετε την προηγούμενη συνδεσμολογία και προσθέστε τον ολοκληρωτή του επιθυμητού σήματος όπως φαίνεται στο Σχ. 48.
2. Ρυθμίστε το ποτενσιόμετρο του ολοκληρωτή επιθυμητού σήματος στη 2^η ένδειξη έτσι ώστε η μέγιστη τιμή της αναρρίχησης να μην υπερβαίνει το 1 Volt.
3. Ρυθμίστε τις παραμέτρους του συστήματος, για κάθε μέτρηση, σύμφωνα με τον ακόλουθο πίνακα.

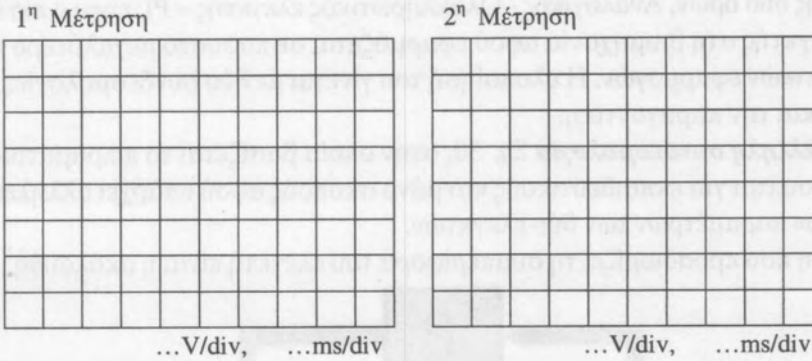
Μέτρηση	1 ^η	2 ^η
Περίοδος Παλμού Εισόδου	10 ms	10 ms
Πλάτος Παλμού Εισόδου	1 V	1 V
Παράμετρος T_I	2 ms	4 ms



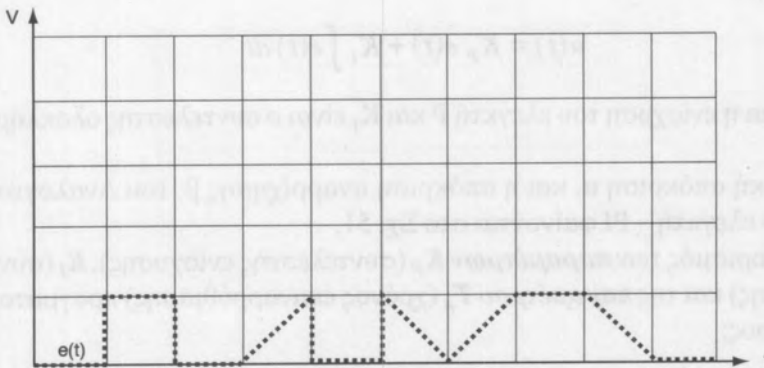
Σχήμα 48: Συνδεσμολογία ελεγκτή I

1.4.3.2.4 Εργασία

1. Σχεδιάστε τις καμπύλες των μετρήσεων στο αντίστοιχο πλαίσιο.



2. Παρατηρώντας τις καμπύλες που σχεδιάσατε, αιτιολογήστε το αποτέλεσμα της απόκρισης αναρρίχησης του ελεγκτή - I.
3. Έχοντας υπόψη τη συμπεριφορά του ελεγκτή σε βηματική απόκριση και απόκριση αναρρίχησης, σχεδιάστε την απόκριση του ελεγκτή I με αυθαίρετο συντελεστή ολοκλήρωσης, όταν στην είσοδό του εφαρμοσθεί το ακόλουθο σήμα $e(t)$ (Σχ. 49).



Σχήμα 49: Σήμα εισόδου ελεγκτή I



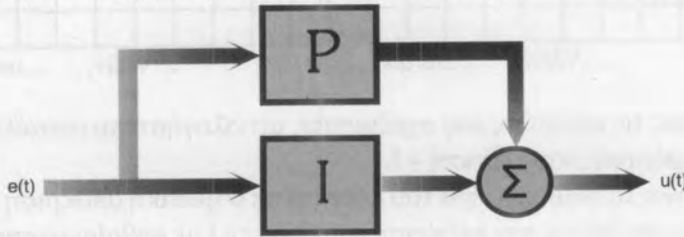
1.4.4 Αναλογικός - Ολοκληρωτικός ελεγκτής – PI

1.4.4.1 Θεωρητικό Μέρος

Ο ελεγκτής δύο όρων, Αναλογικός - Ολοκληρωτικός ελεγκτής – PI, είναι ο πιο διαδεδομένος ελεγκτής στη βιομηχανία αφού εφαρμόζεται σε ποσοστό μεγαλύτερο του 80% των πρακτικών εφαρμογών. Η υλοποίησή του γίνεται με δύο συνδεσμολογίες, την παράλληλη και την παραγοντική.

Η **παράλληλη συνδεσμολογία** Σχ. 50, στην οποία βασίζεται το πειραματικό μέρος, χρησιμοποιείται για εκπαιδευτικούς και μόνο σκοπούς αφού υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ των παραμέτρων των δύο ελεγκτών.

Η σχέση που προσδιορίζει τη συμπεριφορά του ελεγκτή είναι η ακόλουθη:



Σχήμα 50: Παράλληλη συνδεσμολογία ελεγκτή PI

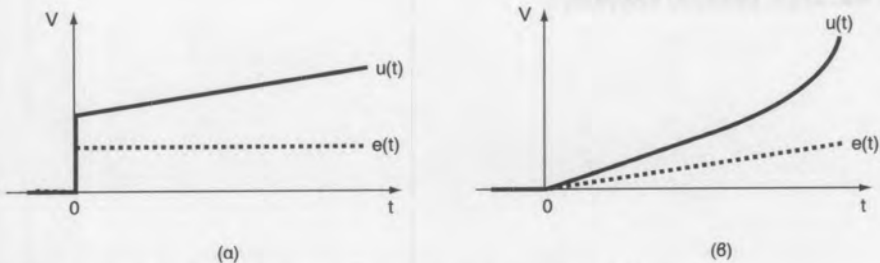
$$u(t) = K_P e(t) + K_I \int e(t) dt \quad (1)$$

όπου K_P είναι η ενίσχυση του ελεγκτή P και K_I είναι ο συντελεστής ολοκλήρωσης του ελεγκτή I.

Η βηματική απόκριση α. και η απόκριση αναρρίχησης β. του Αναλογικού - Ολοκληρωτικού ελεγκτή – PI φαίνονται στο Σχ. 51.

Ο προσδιορισμός των **παραμέτρων** K_P (συντελεστής ενίσχυσης), K_I (συντελεστής ολοκλήρωσης) και της **παραμέτρου** T_n (χρόνος επαναρρύθμισης) πραγματοποιείται με δύο τρόπους:

1. Για τους συντελεστές K_P και K_I μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι τρόποι υπολογι-



Σχήμα 51: Αποκρίσεις, (α) βηματική και (β) αναρρίχησης ελεγκτή PI

σμού που αναφέρθηκαν στα θεωρητικά τμήματα του κάθε ελεγκτή ξεχωριστά. Η σχέση που προσδιορίζει την παράμετρο T_n είναι $T_n = \frac{K_p}{K_I}$, έχει μονάδες χρόνου και ονομάζεται **χρόνος επαναρρύθμισης** του ελεγκτή PI. Ο χρόνος αυτός πρακτικά ισούται με το χρόνο που χρειάζεται ο ελεγκτής I για να δώσει έξοδο ίση με την έξοδο του ελεγκτή P Σχ. 52β.

2. Όταν δεν είναι διαθέσιμη η έξοδος του κάθε ελεγκτή ξεχωριστά, είναι δυνατόν χρησιμοποιώντας την βηματική απόκριση του ελεγκτή Σχ. 52α, να προεκταθεί το αναρριχητικό ευθύγραμμο τμήμα προς την αρνητική πλευρά του χρόνου, οπότε από το σημείο τομής με τον άξονα του χρόνου μέχρι την αρχή των αξόνων προκύπτει ο χρόνος επαναρρύθμισης του ελεγκτή PI. Επομένως μπορούν να υπολογισθούν ο συντελεστής K_p και η παράμετρος T_n και στη συνέχεια από την παραπάνω σχέση να προκύψει ο συντελεστής K_I .

Μία εναλλακτική μορφή της σχέσης (1) που χρησιμοποιείται στην πράξη είναι η σχέση (2), στην οποία υπάρχει η παράμετρος T_n αντί για το συντελεστή ολοκλήρωσης K_I .

$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_n} \int e(t) dt \right) \quad (2)$$

Όπως είναι προφανές, ο χρόνος επαναρρύθμισης T_n εξαρτάται από το συντελεστή ενίσχυσης K_p και αυτό είναι το πρακτικό μειονέκτημα αυτής της συνδεσμολογίας.

Στις πρακτικές εφαρμογές χρησιμοποιείται η **παραγοντική συνδεσμολογία** Σχ. 53, στην οποία δεν υπάρχει εξάρτηση της μίας παραμέτρου από την άλλη.

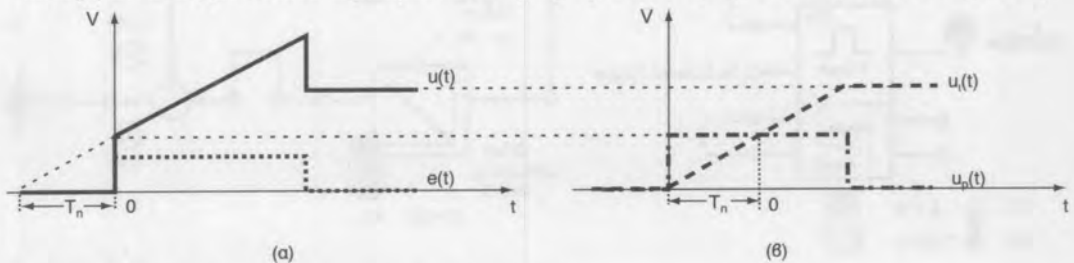
Η σχέση που προσδιορίζει τη συμπεριφορά του ελεγκτή είναι η ακόλουθη:

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

$$u(t) = K_p \left(e(t) + K_I \int e(t) dt \right) \Rightarrow$$

$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_n} \int e(t) dt \right) \Rightarrow u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_n} \int e(t) dt \right)$$

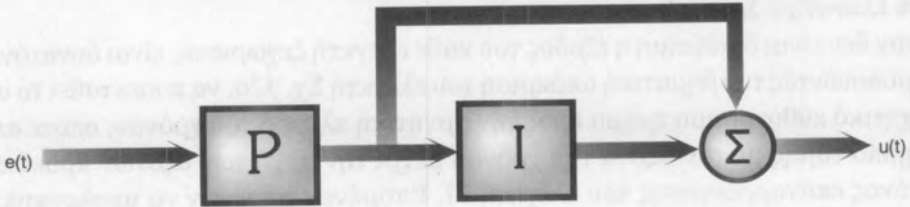
όπως φαίνεται, μετά από τις παραπάνω πράξεις, σε αυτή τη συνδεσμολογία ο χρόνος



Σχήμα 526: Υπολογισμός της παραμέτρου T_n

επαναρρύθμισης T_n είναι ίσος με το χρόνο ολοκλήρωσης T_I και ανεξάρτητος από το συντελεστή ενίσχυσης K_P .

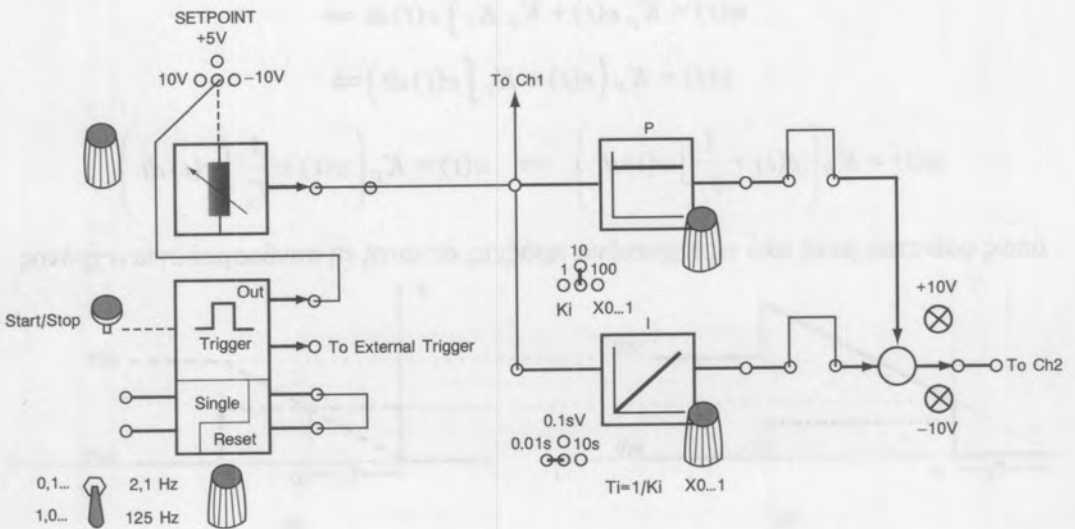
1.4.4.2 Πειραματικό Μέρος



Σχήμα 53: Παραγοντική σύνδεσμολογία ελεγκτή PI

1.4.4.2.1 Συνδεσμολογία και ρυθμίσεις του ελεγκτή – PI σε βηματική απόκριση

1. Συνδεσμολογήστε την μονάδα παραγωγής επιθυμητού σήματος – setpoint.
2. Συνδεσμολογήστε τον ελεγκτή PI και συνδέστε την έξοδο της μονάδας setpoint στην είσοδό του όπως φαίνεται στο σχήμα Σχ. 54.
3. Συνδέστε στην είσοδο και στην έξοδο του ελεγκτή PI τα αντίστοιχα κανάλια του παλμογράφου Ch1 και Ch2.
4. Ρυθμίστε τις παραμέτρους του συστήματος, για κάθε μέτρηση, σύμφωνα με τον ακόλουθο πίνακα.



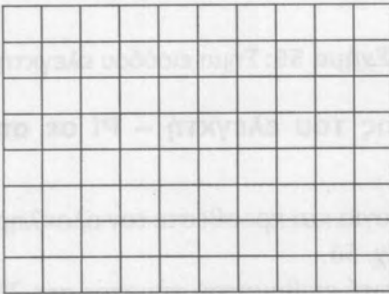
Σχήμα 54: Συνδεσμολογία ελεγκτή PI

Μέτρηση	1 ^η	2 ^η	3 ^η
Περίοδος Παλμού Εισόδου	10 ms	10 ms	10 ms
Πλάτος Παλμού Εισόδου	1 V	1 V	1 V
Παράμετρος K_p	2	4	4
Παράμετρος T_i	2 ms	2 ms	4 ms

1.4.4.2 Εργασία

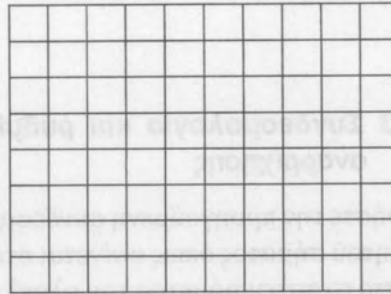
1. Σχεδιάστε τις καμπύλες των μετρήσεων στο αντίστοιχο πλαίσιο.

1^η Μέτρηση



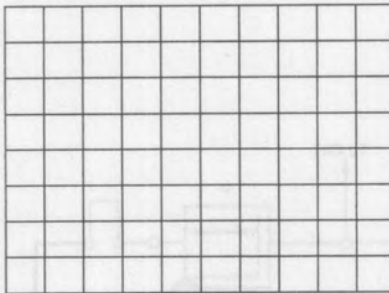
... V/div, ... ms/div

2^η Μέτρηση



... V/div, ... ms/div

3^η Μέτρηση

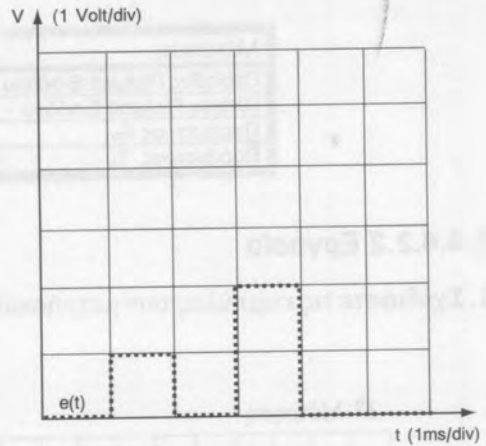


... V/div, ... ms/div

2. Από τις καμπύλες που σχεδιάσατε υπολογίστε τις πειραματικές τιμές των παραμέτρων K_p , K_I και T_n και καταχωρήστε αυτές στον παρακάτω πίνακα.

Μέτρηση	Βηματική Απόκριση		
	1 ^η	2 ^η	3 ^η
K_p			
K_I			
T_n			

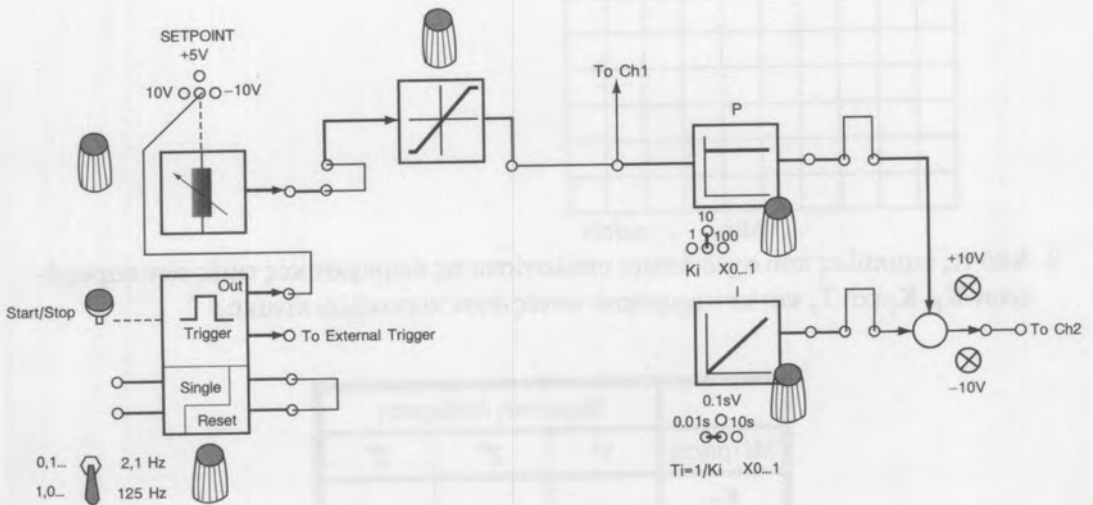
3. Περιγράψτε τη μεταβολή της εξόδου ενός ελεγκτή PI όταν στην είσοδό του εφαρμοσθεί η εργαστηριακή βηματική συνάρτηση και συγκεκριμένα κατά την εμφάνιση του παλμού, τη διάρκειά του και κατά το μηδενισμό του.
4. Δίνεται το ακόλουθο σήμα $e(t)$ (Σχ. 55) ως είσοδος σε ένα ελεγκτή - PI με ενίσχυση $K_p = 2$ και συντελεστή ολοκλήρωσης $K_I = 0.5 \text{ ms}^{-1}$. Υπολογίστε αναλυτικά και σχεδιάστε την απόκριση - έξοδο του ελεγκτή.



Σχήμα 55: Σήμα εισόδου ελεγκτή PI

1.4.4.2.3 Συνδεσμολογία και ρυθμίσεις του ελεγκτή - PI σε απόκριση αναρρίχησης

1. Διατηρήστε την προηγούμενη συνδεσμολογία και προσθέστε τον ολοκληρωτή του επιθυμητού σήματος όπως φαίνεται στο Σχ. 56.
2. Ρυθμίστε το ποτενσιόμετρο του ολοκληρωτή επιθυμητού σήματος στη 2^η ένδειξη έτσι ώστε η μέγιστη τιμή της αναρρίχησης να μην υπερβαίνει το 1 Volt.



Σχήμα 56: Σύνδεσμολογία ελεγκτή PI

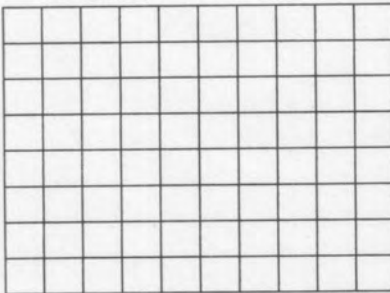
3. Ρυθμίστε τις παραμέτρους του συστήματος, για κάθε μέτρηση, σύμφωνα με τον ακόλουθο πίνακα.

Μέτρηση	1 ^η	2 ^η	3 ^η
Περίοδος Παλμού Εισόδου	10 ms	10 ms	10 ms
Πλάτος Παλμού Εισόδου	1 V	1 V	1 V
Παράμετρος K_p	2	4	4
Παράμετρος T_i	2 ms	2 ms	4 ms

1.4.4.2 Εργασία

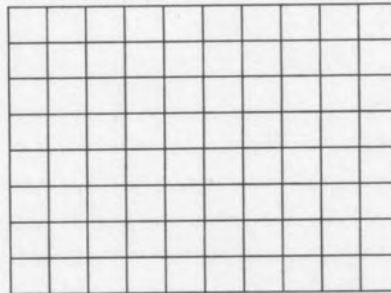
1. Σχεδιάστε τις καμπύλες των μετρήσεων στο αντίστοιχο πλαίσιο.

1^η Μέτρηση



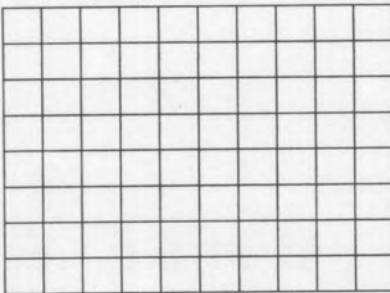
... V/div, ... ms/div

2^η Μέτρηση



... V/div, ... ms/div

3^η Μέτρηση



... V/div, ... ms/div

2. Έχοντας υπόψη τη συμπεριφορά του ελεγκτή σε βηματική απόκριση και απόκριση αναρρίχησης, σχεδιάστε την απόκριση του ελεγκτή PI με ενίσχυση $K_p = 2$ και αυθαίρετο συντελεστή ολοκλήρωσης, όταν στην είσοδό του εφαρμοσθεί το σήμα $e(t)$ (Σχ. 57).