

Άσκηση 3

Έλεγχος θερμικών συστημάτων

Σύνταξη - Επιμέλεια:

Ε.ΔΙ.Π Μανόλης Ντουντουνάκης,

Μ.Δ.Ε. Ηλεκτρολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Υποψήφιος Διδάκτορας Πολυτεχνείου Κρήτης

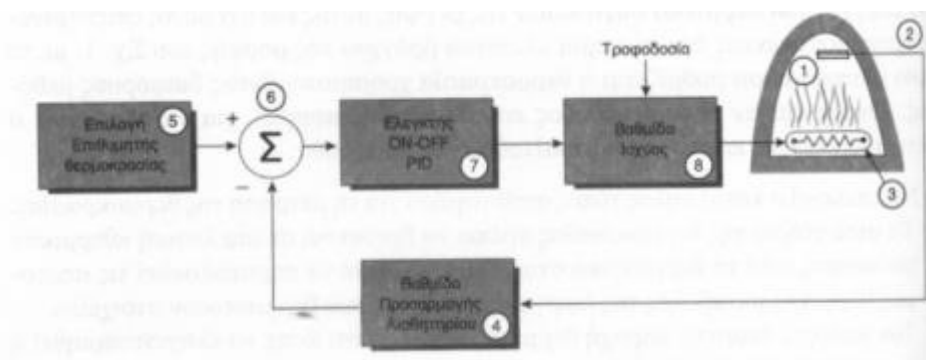
Α. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Στις περισσότερες εφαρμογές, βιομηχανικές (χημική βιομηχανία, κλωστοϋφαντουργία, βιομηχανία τροφίμων και ποτών) και μη, το ζητούμενο είναι η ρύθμιση και γενικότερα ο έλεγχος της θερμοκρασίας. Ενδεικτικά αναφέρουμε τα παρακάτω παραδείγματα :

- Ένας κλίβανος χρειάζεται να διατηρεί σταθερή τη θερμοκρασία του σε μία ορισμένη τιμή.
- Η θερμοκρασία ενός δωματίου να κυμαίνεται μεταξύ 18°C και 23°C.
- Σε ένα φούρνο να υπάρχουν διαφορετικές προεπιλογές θερμοκρασίας για κάθε τύπο ψωμιού.
- Σε μηχανές τήξεως και πήξεως διαφόρων κραμάτων, απαιτείται μεγάλη ακρίβεια στον έλεγχο της θερμοκρασίας (θέρμανση - ψύξη).
- Σε φούρνο κεραμικών να ελέγχεται η άνοδος της θερμοκρασίας του (αναρρίχηση), προκειμένου να αποφεύγεται η καταστροφή του κεραμικού υλικού.

Αν και οι απαιτήσεις κάθε εφαρμογής είναι διαφορετικές, εν τούτοις οι αρχές ελέγχου είναι παρόμοιες.

Ο έλεγχος των θερμικών διεργασιών της μορφής αυτής και όχι μόνο, επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας ένα σύστημα κλειστού βρόγχου της μορφής του σχήματος 1, με το οποίο ελέγχεται και ρυθμίζεται η θερμοκρασία χρησιμοποιώντας διάφορες μεθόδους.



Σχήμα 1

Όποια και αν είναι η μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί, για να επιτευχθεί ο βέλτιστος έλεγχος πρέπει να διασφαλιστούν τα ακόλουθα :

- Να επιλεγεί ο κατάλληλος τύπος αισθητηρίου για τη μέτρηση της θερμοκρασίας.
- Το αισθητήριο θερμοκρασίας πρέπει να βρίσκεται σε μία λογική 'θερμικά' απόσταση, από τα θερμαντικά στοιχεία, έτσι ώστε να παρακολουθεί τις απότομες θερμικές μεταβολές της διεργασίας, και όχι των θερμαντικών στοιχείων.

- Να υπάρχει επαρκής παροχή θερμικής ισχύος, έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί η ευαισθησία του συστήματος στις μεταβολές του φορτίου ή στις εξωτερικές διαταραχές.
- Η μεταφορά θερμότητας από τα θερμαντικά στοιχεία στη διεργασία, πρέπει να πραγματοποιείται όσο το δυνατόν γρηγορότερα και με τις μικρότερες απώλειες.
- Τέλος η επιθυμητή τιμή θερμοκρασίας της διεργασίας, πρέπει να βρίσκεται στο μέσο του εύρους λειτουργίας του ελεγκτή.

Γενικά, ο έλεγχος θερμοκρασίας χρησιμοποιείται για τη διατήρηση μιας καθορισμένης θερμοκρασίας σε μια διεργασία ή για προστασία από συνθήκες υπερβολικής θερμότητας.

B. ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΣΤΗΜΑ

Η συνάρτηση μεταφοράς του θερμικού συστήματος του εργαστηρίου δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$H(s) = K_s \frac{1}{T_1 s + 1} \cdot \frac{1}{T_2 s + 1} = \frac{b_0}{s^2 + a_1 s + a_0} \quad (1)$$

Ισοδύναμα, στο χώρο της κατάστασης το Single Input Single Output σύστημα μας, περιγράφεται από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} \mathbf{0} & \mathbf{1} \\ -a_0 & -a_1 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} \mathbf{0} \\ \mathbf{1} \end{bmatrix} u(t) \quad (2.1)$$

$$y = [b_0 \quad 0]x \quad (2.2)$$

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Γ. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ (0%)

Σημείωση 1. Σε όλες τις μετρήσεις θα καταγράφετε – αποθηκεύσετε, εκτός από το figure, και τα data, σε μορφή txt ή csv ή και δυο, χρησιμοποιώντας, και **από το κεντρικό μενού**, την επιλογή File/Save.

Σημείωση 2. Σε όλες τις μετρήσεις θα καταγράφετε, **το σήμα εισόδου που χρησιμοποιείται**.

Σημείωση 3. Όλες οι μετρήσεις γίνονται ως εξής:

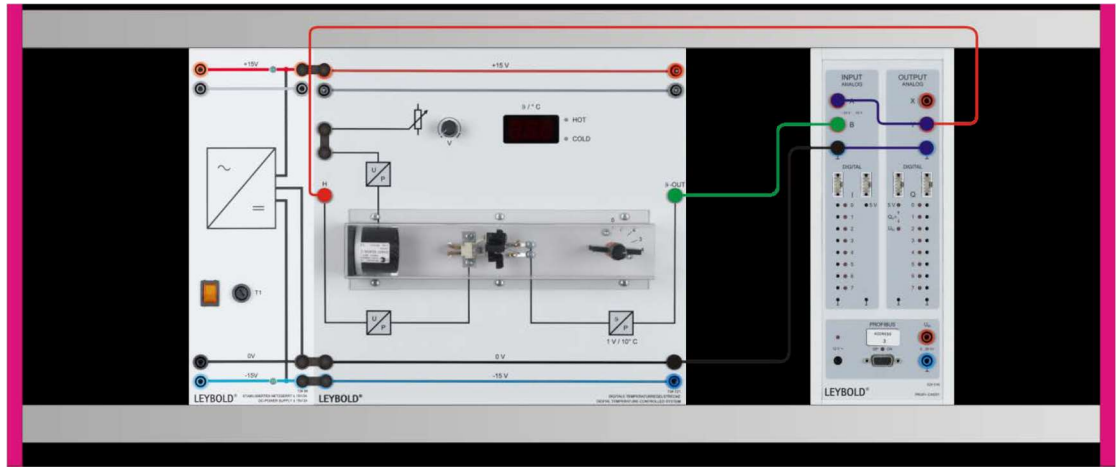
- Τα Volt/div και Time/div ρυθμίζονται αυτόματα από το πρόγραμμα Cassy Lab 2.
- Τα πάνελ συνδέονται μεταξύ τους με συνδέσμους στα +15 Volt, –15 Volt και 0 Volt (όχι στα +5 Volt).

Παρατήρηση. Πριν προχωρήσετε σε κάθε νέα μέτρηση να κρυώνετε πλήρως τον λαμπτήρα του συστήματος έτσι ώστε να αρχικοποιηθεί η θερμοκρασία του για να έχουν όλες οι καμπύλες κοινό αρχικό σημείο. Αυτό επιτυγχάνεται με τα παρακάτω βήματα:

1. Αποσυνδέοντας την είσοδο από το σύστημα,
2. Αυξάνοντας, λίγο, τη ταχύτητα του ανεμιστήρα

Πείραμα 1 – Παράμετροι του θερμικού συστήματος

Να υλοποιήσετε τη συνδεσμολογία του **Διαγράμματος 1, ΑΝΟΙΚΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ – ΧΩΡΙΣ ΑΝΑΔΡΑΣΗ**,



Διάγραμμα 1.1

Να κάνετε τις ακόλουθες ρυθμίσεις :

Στο ελεγχόμενο θερμικό σύστημα:

Πτερύγιο : Στη θέση 4

Ταχύτητα Ανεμιστήρα : Στην ελάχιστη θέση

Μετατροπέας μέτρησης : Διακόπτης στα $1\text{V}/10^\circ\text{C}$

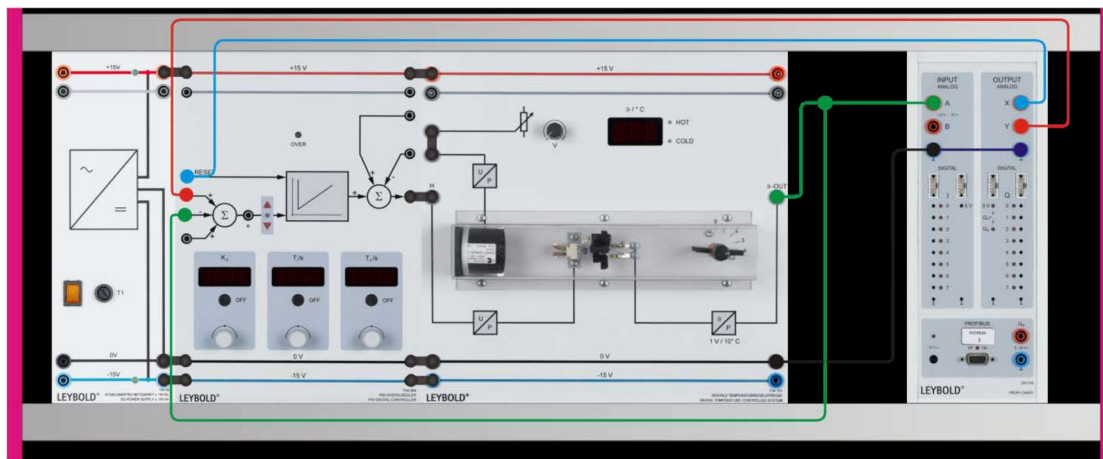
Στα κανάλια του Profi-CASSY:

- **Έξοδος Y** (γεννήτρια κυματομορφών): Στη τάση εισόδου του ενισχυτή ισχύος, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 1.
 - **Κανάλι B** (καταγραφικό): Στην έξοδο Y, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 1.
 - **Κανάλι A** (καταγραφικό): Στην έξοδο του θερμικού συστήματος, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 1.
- «Φορτώστε» το αρχείο [SRTempLaplace.labs](#).
- Ενεργοποιήστε τη διαδικασία μέτρησης πατώντας F9.
 - Διακόψτε τη διαδικασία μέτρησης, μόλις η θερμοκρασία αρχίσει να πέφτει.

Σημείωση. Για το κρύωμα του συστήματος, συμβουλευτείτε τον εργαστηριακό βοηθό.

Πείραμα 2 –Απόκριση με PID ελεγκτή με βάση τη μεθόδου CHR, για 20% overshoot και reference aperiodic

Να υλοποιήσετε τη συνδεσμολογία του Διαγράμματος 2, ΚΛΕΙΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕ ΑΝΑΔΡΑΣΗ.



Διάγραμμα 2

Να κάνετε τις ακόλουθες ρυθμίσεις :

Στο ελεγχόμενο θερμικό σύστημα:

Πτερύγιο : Στη θέση 4

Ταχύτητα Ανεμιστήρα : Στην ελάχιστη θέση

Μετατροπείας μέτρησης : Διακόπτης στα 1V/10°C

Στο Proffi-Cassy:

- **Έξοδος X** (γεννήτρια κυματομορφών): Στην είσοδο RESET του PID ελεγκτή, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 2 (external triggering).
- **Έξοδος Y** (γεννήτρια κυματομορφών): Στη θετική (+) είσοδο του PID ελεγκτή, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 2.
- **Κανάλι A** (καταγραφικό): Στην έξοδο του θερμικού συστήματος , όπως φαίνεται στο διάγραμμα 2.

Να υπολογίσετε τις παραμέτρους των P, PI, PID ελεγκτή με τη μέθοδο CHR για 20% overshoot και reference aperiodic. (Δίδονται: $K_s=0,75$, $T_g=50$ sec, $T_u=5$ sec). Ρυθμίστε, ανάλογα, τον PID ελεγκτή του εργαστηρίου. Υπολογίστε, τη τάξη του θερμικού συστήματος και τις αντίστοιχες χρονικές σταθερές του.

«Φορτώστε» το αρχείο [PIDTempRef.labs](#).

- Ρυθμίσετε τον ελεγκτή PID, με βάση τις ρυθμίσεις για βέλτιστο P ελεγκτή, με βάση τα παραπάνω.
- Ενεργοποιήστε τη διαδικασία μέτρησης πατώντας F9, και μετρήστε για χρόνο 300 sec
- Επαναλάβετε για το βέλτιστο PI ελεγκτή, με βάση τα παραπάνω.
- Επαναλάβετε για το βέλτιστο PID ελεγκτή, με βάση τα παραπάνω.

Σημείωση. Για το κρύωμα του συστήματος, κάθε φορά, συμβουλευτείτε τον εργαστηριακό βοηθό.

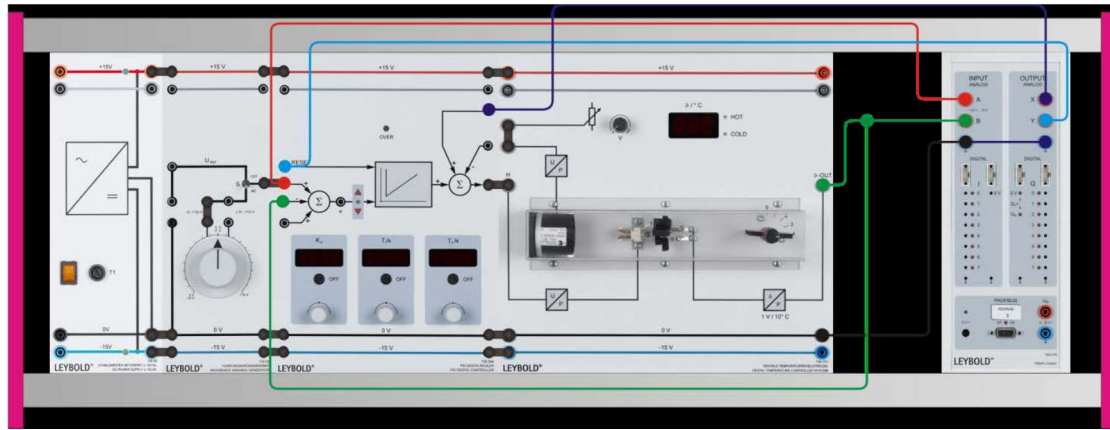
Μέθοδος CHR.

Overshoot	0%			20%		
Ελεγκτής	K	T_i	T_d	K	T_i	T_d
P	$\frac{0.3 T_g}{K T_u}$			$\frac{0.7 T_g}{K T_u}$		
PI	$\frac{0.35 T_g}{K T_u}$	$1.2 T_g$		$\frac{0.6 T_g}{K T_u}$	T_g	
PID	$\frac{0.6 T_g}{K T_u}$	T_g	$0.5 T_u$	$\frac{0.95 T_g}{K T_u}$	$1.4 T_g$	$0.47 T_u$

Πίνακας 1. Παράμετροι ελεγκτή με τη μέθοδο CHR για setpoint response.

Πείραμα 3 –Απόκριση με PID ελεγκτή με βάση τη μεθόδου CHR, για 0% overshoot και disturbance .

Να υλοποιήσετε τη συνδεσμολογία του **Διαγράμματος 3, ΚΛΕΙΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕ ΑΝΑΔΡΑΣΗ.**



Διάγραμμα 3

Να κάνετε τις ακόλουθες ρυθμίσεις :

Στο ελεγχόμενο θερμικό σύστημα:

Πτερύγιο : Στη θέση 4

Ταχύτητα Ανεμιστήρα : Στην ελάχιστη θέση

Μετατροπέας μέτρησης : Διακόπτης στα 1V/10°C

Στο Proffi-Cassy:

- **Έξοδος X** (γεννήτρια κυματομορφών): Disturbance reference variable acting on the actuating variable, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 3
- **Έξοδος Y** (γεννήτρια κυματομορφών): Στη Reset είσοδο του PID ελεγκτή, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 3. (external triggering).

- **Κανάλι A** Measuring of the reference variable, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 3.
- **Κανάλι B** (καταγραφικό): Στην έξοδο του θερμικού συστήματος, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 3.

Θέσετε τη τάση εξόδου του Reference variable generator σε 6Volt,

Ενεργοποιήστε το X

Να υπολογίσετε τις παραμέτρους των **PID ελεγκτή με τη μέθοδο CHR για 0% overshoot και disturbance**. (Δίδονται: $K_s=0,75$, $T_g= 50 \text{ sec}$, $T_u = 5 \text{ sec}$). Ρυθμίστε, ανάλογα, τον PID ελεγκτή του εργαστηρίου.

«Φορτώστε» το αρχείο PIDTempDist.labs.

Ενεργοποιήστε τη διαδικασία μέτρησης πατώντας F9.

Κατά τη διάρκεια της μέτρησης (χρόνος 800 sec), θέσετε τη τάση εξόδου του Reference variable generator σε 6Volt /8 Volt/ 5 Volt, (270 sec έκαστο)

Σημείωση. Για το κρύωμα του συστήματος, συμβουλευτείτε τον εργαστηριακό βοηθό.

Μέθοδος CHR.

Overshoot	0%			20%		
Ελεγκτής	K	T _i	T _d	K	T _i	T _d
P	$\frac{0.3}{K} \frac{T_g}{T_u}$			$\frac{0.7}{K} \frac{T_g}{T_u}$		
PI	$\frac{0.6}{K} \frac{T_g}{T_u}$	4T _g		$\frac{0.6}{K} \frac{T_g}{T_u}$	2.3 T _g	
PID	$\frac{0.95}{K} \frac{T_g}{T_u}$	2.4 T _g	0.42 T _u	$\frac{1.2}{K} \frac{T_g}{T_u}$	2.0 T _g	0.42 T _u

Πίνακας 2. Παράμετροι ελεγκτή με τη μέθοδο CHR για load disturbance response

Δ. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ (70%)

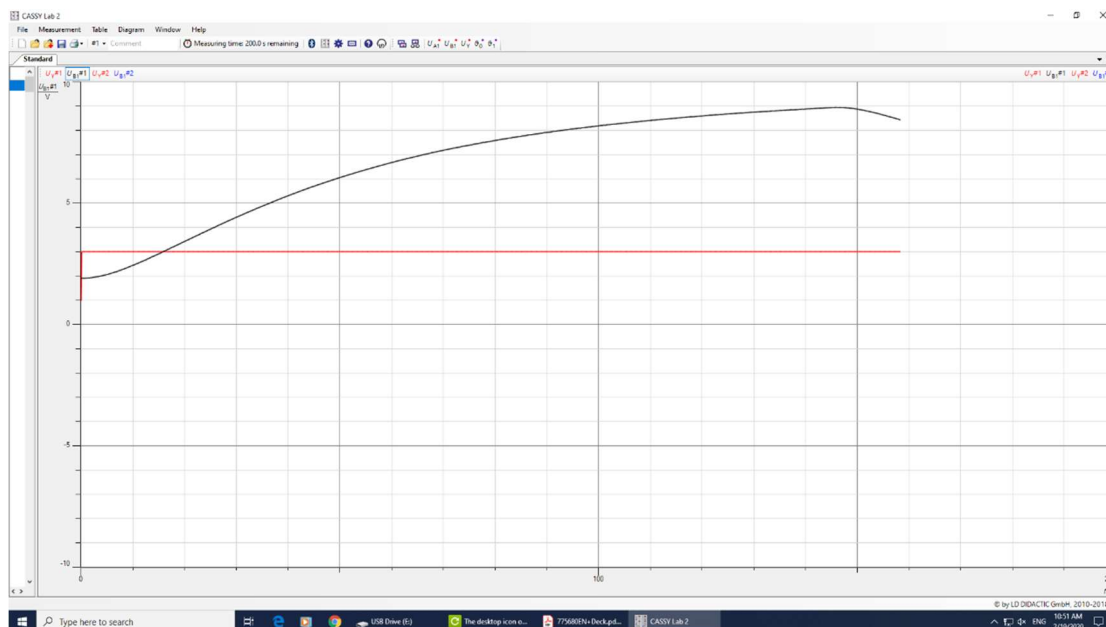
(με χρήση λογισμικού τύπου Matlab, χωρίς τη χρήση μαθηματικών)

(Όλες οι ερωτήσεις είναι ισοδύναμες)

Δίνονται: Η συνάρτηση μεταφοράς του θερμικού συστήματος του εργαστηρίου δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$H(s) = K_s \frac{1}{T_1 s + 1} \cdot \frac{1}{T_2 s + 1} = \frac{b_0}{s^2 + a_1 s + a_0} \quad (1)$$

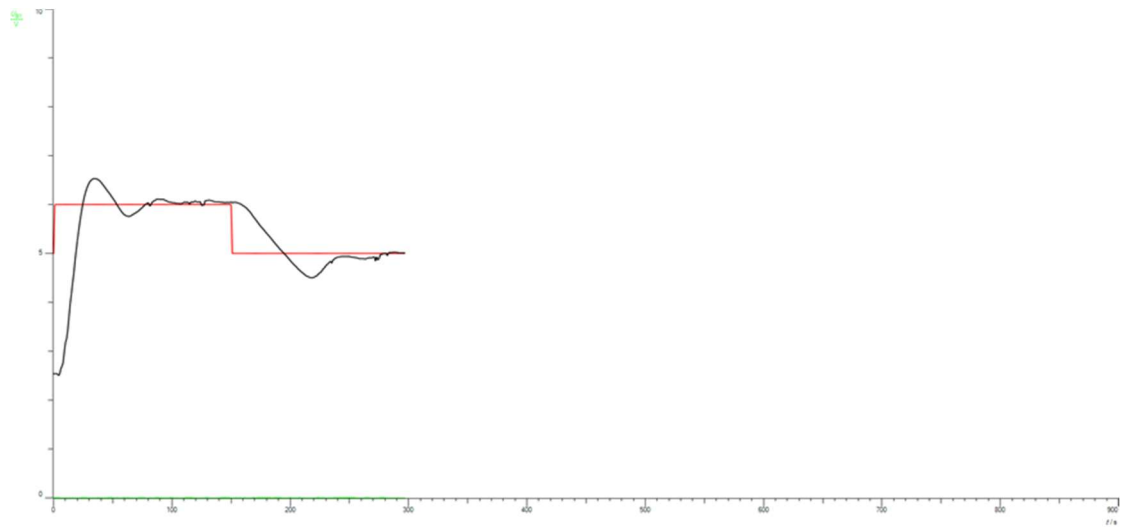
1. Στο πείραμα 1, πήραμε την παρακάτω βηματική απόκρισή του ανοιχτού συστήματος, χωρίς δράση ελεγκτή, όπως φαίνεται στο Σχήμα.



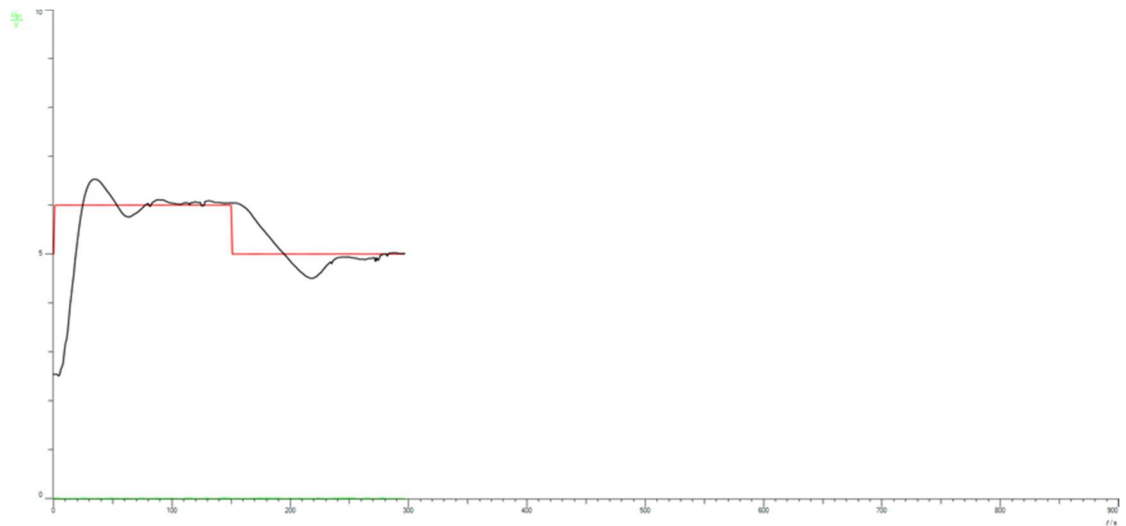
Από την απόκριση υπολογίζονται: $K_s=0,75$, $T_g=50$ sec, $T_u=5$ sec. Να υπολογίσετε τη συνάρτηση μεταφοράς του θερμικού συστήματος. Να υπολογίσετε τη βηματική απόκριση του συστήματος, χρησιμοποιώντας το ίδιο σήμα εισόδου και το ίδιο παράθυρο παρατήρησης.

Από τις τιμές $T_g=50$ sec, $T_u=5$ sec, υπολογίζονται οι χρονικές σταθερές $T_1=10$ sec, $T_2=40$ sec, του δευτεροβάθμιου θερμικού συστήματος. Να υπολογίσετε τη συνάρτηση μεταφοράς του θερμικού συστήματος. Να υπολογίσετε τη βηματική απόκριση του συστήματος, χρησιμοποιώντας το ίδιο σήμα εισόδου και το ίδιο παράθυρο παρατήρησης.

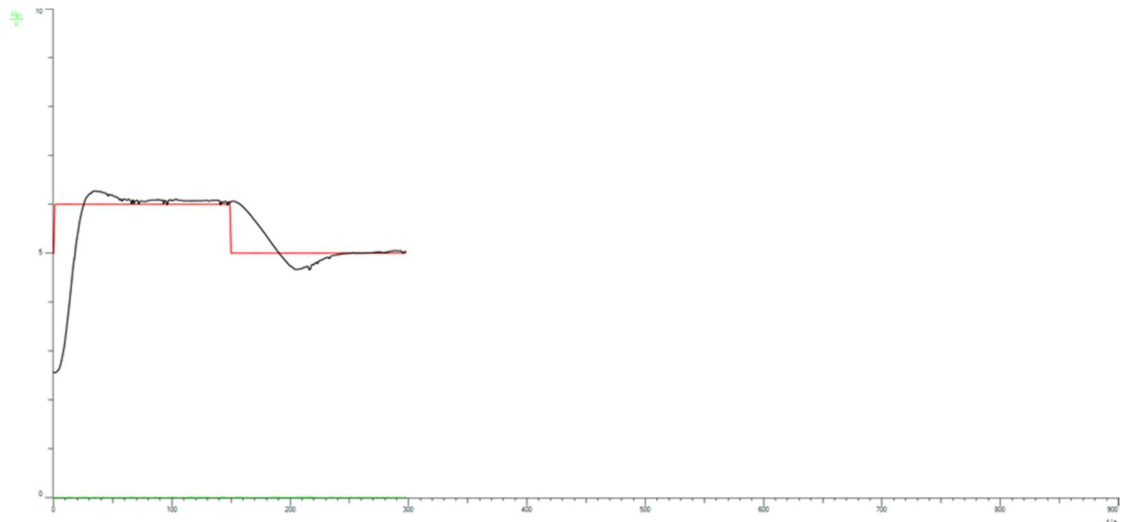
2. Στο πείραμα 2 υλοποιήσαμε P με CHR για 20% overshoot και reference aperiodic control και πήραμε την παρακάτω μέτρηση:



- Στο πείραμα 2 υλοποιήσαμε PI με CHR για 20% overshoot και reference aperiodic control και πήραμε την παρακάτω μέτρηση:

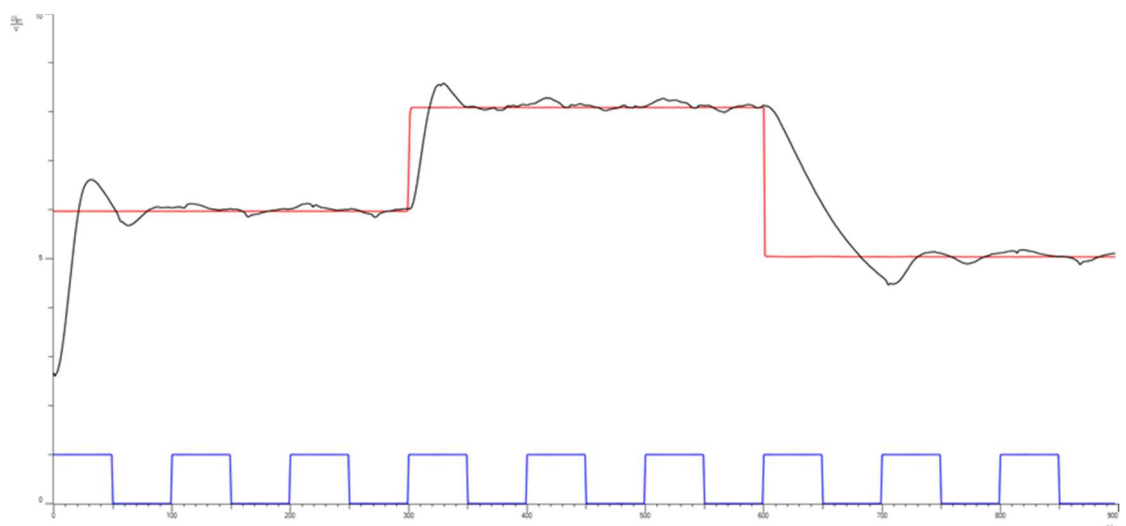


- Στο πείραμα 2 υλοποιήσαμε PID με CHR για 20% overshoot και reference aperiodic control και πήραμε



Χρησιμοποιώντας τα δυο (2) αποτελέσματα για τη συνάρτηση μεταφοράς του $\Delta 1$, με χρήση λογισμικού, τύπου Matlab, να επαναλάβετε το πείραμα 2, χρησιμοποιώντας το ίδιο σήμα εισόδου και το ίδιο παράθυρο παρατήρησης. Να υπολογίσετε στην εξομοίωση, το δείκτη απόδοσης του αθροίσματος των τετράγωνων των σφαλμάτων (ISE), και ένα από τους τρεις παρακάτω δείκτες απόδοσης (IAE, ITAE, ITSE).

3. Στο πείραμα 3 υλοποιήσαμε PID με CHR για 0% overshoot και disturbance και πήραμε την παρακάτω μέτρηση:



Χρησιμοποιώντας τα δυο (2) αποτελέσματα για τη συνάρτηση μεταφοράς του $\Delta 1$, με χρήση λογισμικού, τύπου Matlab, να επαναλάβετε το πείραμα 3, χρησιμοποιώντας το ίδιο σήμα εισόδου και το ίδιο παράθυρο παρατήρησης. Να υπολογίσετε στην εξομοίωση, το δείκτη απόδοσης του αθροίσματος των

τετράγωνων των σφαλμάτων (ISE), και ένα από τους τρεις παρακάτω δείκτες απόδοσης (IAE, ITAE, ITSE).

Σύσταση1: Για ορισμούς δείτε τη σελίδα 299, του βιβλίου, Richard C. Dorf, Robert H. Bishop.

Σύσταση2: Χρησιμοποιείτε κατάλληλα, τη συνάρτηση norm του Matlab.

4. Χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα του Δ.1, συνάρτηση μεταφοράς και εξισώσεις κατάστασης, με χρήση λογισμικού, τύπου Matlab, να επαναλάβετε το πείραμα 2, χρησιμοποιώντας, ελεγκτές ρυθμισμένους με την εμπειρική μέθοδο T_{sum} . χρησιμοποιώντας το ίδιο σήμα εισόδου και το ίδιο παράθυρο παρατήρησης. Να υπολογίσετε στην εξομοίωση, δυο δείκτες απόδοσης του συνολικού λάθους (τους ίδιους που χρησιμοποιήσατε στο βήμα 2).

Ε. Επεξεργασία των μετρήσεων –
Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων (15%).

(Όλες οι ερωτήσεις είναι ισοδύναμες)

1. Από τη πρώτη μέτρηση τι συμπεράσματα βγάξετε;
2. Σχολιάσετε τη μη καταλληλότητα ZN μεθόδου, στο πρόβλημα μας.
3. Σχολιάστε τη καταλληλότητα της μεθόδου CHR, στο πρόβλημα μας, για 20% overshoot και reference aperiodic.
4. Σχολιάστε τη καταλληλότητα της μεθόδου CHR, στο πρόβλημα μας, για 0% overshoot και disturbance, με παρουσία διαταραχών.
5. Σχολιάστε- αιτιολογήστε τη καταλληλότητα – αποτελεσματικότητα του PID ελεγκτή στο πρόβλημα μας.
6. Σχολιάστε σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις το τρόπο σύγκλισης.

ΣΤ. Επεξεργασία του υπολογιστικού μέρους–
Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων (15%).

(Όλες οι ερωτήσεις είναι ισοδύναμες)

1. Να αξιολογήσετε - ταξινομήσετε - συγκρίνετε τα αποτελέσματα των Γ πείραμα 2 & Γ πείραμα 3.
2. Να συγκρίνετε - αιτιολογήσετε τα αποτελέσματα του Γ πείραμα 4 σε σχέση με τα αποτελέσματα των Γ πείραμα 2 & Γ πείραμα 3.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. & 5.7, 7.6, Σύγχρονα συστήματα αυτόματου ελέγχου / Richard C. Dorf, Robert H. Bishop; επιμέλεια μετάφρασης Γεώργιος Α. Ροβιθάκης; μετάφραση Κωφίδης Νικόλαος. Δημοσίευση Θεσσαλονίκη : Τζιόλα, c2017.
2. & 4.3.5. Συστήματα αυτόματου ελέγχου / Benjamin C. Kuo, Farid Golnaraghi ; μετάφραση Μηνάς Σπυριδωνάκος ; επιμέλεια Σπύρος Α. Πακτίτης. Δημοσίευση Αθήνα : Ίων, c2011: &4.3.5
3. & 3.13.5. Συστήματα αυτομάτου ελέγχου :θεωρία και εφαρμογές / Π. Ν. Παρασκευόπουλου. Τόμος Α, . Σ.Α.Ε. συνεχούς χρόνου. Δημοσίευση Αθήνα : Σ. Αθανασόπουλος - Ε. Παπαδάμη, 2007

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

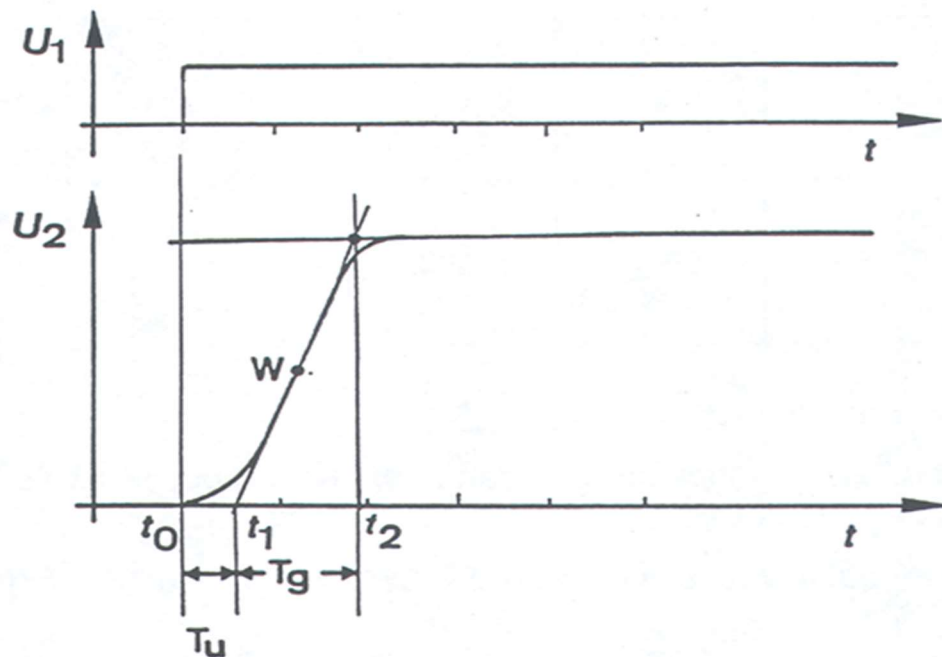
Η συνάρτηση μεταφοράς, ενός δευτεροβάθμιου συστήματος ή ισοδύναμα ενός απλοποιημένου δευτεροβάθμιου συστήματος, δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$H(s) = K_s \frac{1}{T_1 s + 1} \cdot \frac{1}{T_2 s + 1} \quad (1)$$

- controlled system time constants T_1 and T_2
- controlled system gain K_s

Παρατηρώντας στο παλμογράφο τη βηματική απόκριση ενός συστήματος έχουμε, για μη πρωτοβάθμια συστήματα, τις παραμέτρους:

- dead time $t_u = T_e$ (equivalent dead time), και
- balancing time $t_g = T_b$ (balancing time)



Δίνεται:

$$T_1 = \frac{T_b}{e} \approx 0.37T_b$$

$$T_2 = \frac{T_e}{3 - e} \approx 3.33T_e$$

$$T_\Sigma = T_1 + T_2$$

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΧΡΟΝΟΥ

CHR

(Δείτε την & 7.6 στο Richard C. Dorf, Robert H. Bishop.)

Μέθοδος CHR

1. Καταγράφουμε τη βηματική απόκριση του ανοικτού συστήματος χωρίς δράση ελεγκτή και υπολογίζουμε τις παραμέτρους K , T_u , T_g .
2. Καταγράφουμε τη βηματική απόκριση του κλειστού συστήματος με μοναδιαία ανάδραση χωρίς δράση ελεγκτή ($K_p=1$, I off, D off)
3. Επιλέγουμε το είδος του κατάλληλου ελεγκτή με βάση τις προδιαγραφές (P, PI, PD, PID).
4. Επιλέγουμε, με βάση τις προδιαγραφές, το επιθυμητό ποσοστό υπερύψωσης (0%, 20%) και το στόχο του ελέγχου (set point response, disturbance).
5. Από πίνακες υπολογίζουμε τις ρυθμίσεις του κατάλληλου ελεγκτή.
6. Καταγράφουμε τη βηματική απόκριση του κλειστού συστήματος με τον κατάλληλο ελεγκτή ρυθμισμένο. Συγκρίνουμε με 1,2,4,5.
7. Fine-tuning.

Μέθοδος CHR για setpoint response.

Overshoot	0%			20%		
Ελεγκτής	K	T_i	T_d	K	T_i	T_d
P	$\frac{0.3}{K} \frac{T_g}{T_u}$			$\frac{0.7}{K} \frac{T_g}{T_u}$		
PI	$\frac{0.35}{K} \frac{T_g}{T_u}$	$1.2 T_g$		$\frac{0.6}{K} \frac{T_g}{T_u}$	T_g	
PID	$\frac{0.6}{K} \frac{T_g}{T_u}$	T_g	$0.5 T_u$	$\frac{0.95}{K} \frac{T_g}{T_u}$	$1.4 T_g$	$0.47 T_u$

Πίνακας 1. Παράμετροι ελεγκτή με τη μέθοδο CHR για setpoint response.

Μέθοδος CHR για load disturbance response.

Overshoot	0%			20%		
Ελεγκτής	K	T_i	T_d	K	T_i	T_d
P	$\frac{0.3}{K} \frac{T_g}{T_u}$			$\frac{0.7}{K} \frac{T_g}{T_u}$		
PI	$\frac{0.6}{K} \frac{T_g}{T_u}$	4T _g		$\frac{0.6}{K} \frac{T_g}{T_u}$	2.3 T _g	
PID	$\frac{0.95}{K} \frac{T_g}{T_u}$	2.4 T _g	0.42 T _u	$\frac{1.2}{K} \frac{T_g}{T_u}$	2.0 T _g	0.42 T _u

Πίνακας 2. Παράμετροι ελεγκτή με τη μέθοδο CHR για load disturbance response

Controller parameters by the T sum method

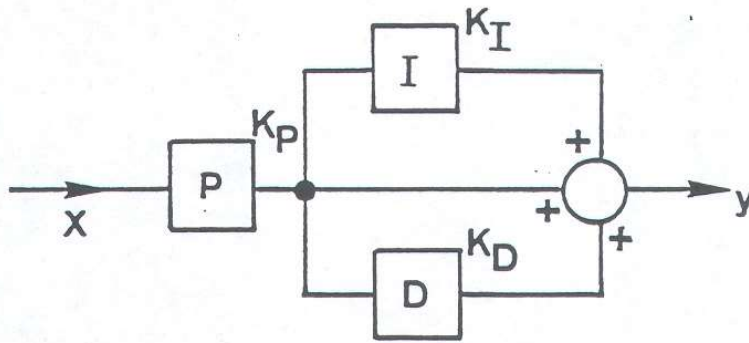
This rules works for controlled systems with low-pass characteristics that exhibit an S-shaped step response. In a simplified form (without dead time and for n = 2), K_s and T are determined from the step response's results:

Ελεγκτής	K	T_i	T_d
P	$\frac{1}{K_s}$		
PI	$\frac{0.5}{K_s}$	$0.5 \cdot T_\Sigma$	
PID	$\frac{1}{K_s}$	$0.66 \cdot T_\Sigma$	$0.17 \cdot T_\Sigma$

Μέθοδος 1. T sum

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3

PID Ελεγκτής του εργαστηρίου



$$F_R = \frac{K_p}{s} \left[s + \frac{1}{T_i} + T_d \cdot s^2 \right]$$

Υλοποιείται στο Control Toolbox του Matlab με τη συνάρτηση `pidstd(Kp,Ti,Td)`.

Εναλλακτικά υλοποιείται με το apps PID Tuner, Form Standard.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4

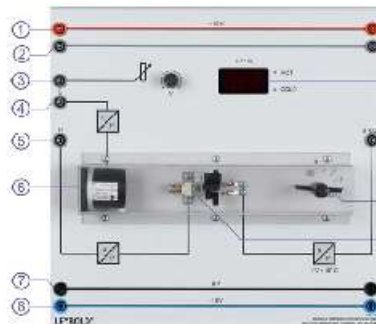
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΟΡΓΑΝΩΝ



01/16-W13-Bb

Instruction Sheet 734 121

Digital Temperature Controlled System



- 1 Power supply +15 V
- 2 Bus line without internal connection
- 3 Speed setter for fan
- 4 Input C, control of the fan
- 5 Input H, control of the halogen lamp
- 6 Fan
- 7 Ground
- 8 Power supply -15 V
- 9 Halogen lamp with cooling element, bimetal switch and temperature sensor
- 10 Throttle valve
- 11 Temperature sensor output
- 12 Three-digit seven-segment display for temperature and LED for HOT and COLD trend indicator

1 Description

The temperature controlled system contains two thermal energy accumulators and therefore exhibits a PT2 behavior. A halogen lamp with cooling element functions as a quick oven (9). This unit forms the first thermal accumulator. A temperature sensor, also mounted on the heat sink, forms the PT2 system's second accumulator with its mass. The temperature control system additionally contains a fan motor (6), whose power is set by the speed setter (3) and an adjustable diaphragm (11). The system fits in a transparent duct. Two integrated power amplifiers supply the power for the heater and the fan. A re-connecting bimetal ($\theta = 100^\circ$) prevents critical excess temperatures and duly shuts off the halogen lamp. A PTC sensor measures the lamp's temperature, and a converter converts it into $1\text{ V}/10^\circ\text{C}$. The adjuster (3) sets the fan speed. Link it to input C (4) through a bridging plug. Alternately, the fan can also have an external control through the plug (4). The diaphragm (11) has marks for the defined setting at the end of the system.

Recommended settings:

- Motor: Position 1, bridging plug at socket (4)
- Diaphragm: Position 4, open

2 Safety Note

- The device's design lends itself to connecting to a direct voltage of $\pm 15\text{ V DC}$. Ideally use 726 86 Stabilized power supply $\pm 15\text{ V} / 3\text{ A}$. Operation with other power supply units is also possible.
- a-OUT (11) and the plug by the fan's setter (3) are outputs. Do not connect any signal or voltage sources here.
- Protect your eyes when the halogen lamp shines brightly.
- The device complies with the safety regulations in effect and bears the CE mark. Proper usage ensures the safety of those carrying out the experiments and of the connected devices.
- To prevent operating errors, please read this Instruction Sheet carefully.

3 Startup

Also required:

- 1 power supply 726 86
- 1 reference variable generator 734 02

In preparation, connect the digital temperature control system to the DC power supply: $\pm 15\text{ V}$ and ground to bus lines (1), (7) and (8).

4 Technical Data

Supply voltage:	± 15 V DC
Input voltage (H, C):	0...+10 V DC
Current consumption:	+1.5 A max./-0.1 A
Safety regulations:	VDE 0411
Displays:	7 segments, 3 digits
Temperature:	approx. 100 °C max.
Delay time T_d :	5 s (median)
Compensation time T_s :	50 s (median)
Dimensions:	297 x 300 x 140 mm
Approx. weight:	1.5 kg
Sockets:	SIBUS, 4 mm

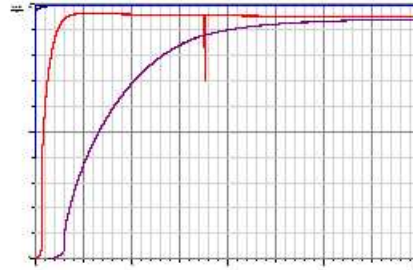
5 Operation

After turning on the power supply, the seven-segment display shows the current room temperature. The *HOT* and *COLD* LED's indicate fluctuations in the temperature.

Notes:

- The temperature distribution in the transparent heat and ventilation duct is not homogenous and additionally depends on the throttle valve's position and the fan's speed.
- The temperature shown on the display refers to the location of the PTC sensor on the star-shaped heat sink. The temperature on the bimetal switch deviates more or less from it based on the operating mode.
- Depending on the fan's speed and the throttle valve's position, the halogen lamp can therefore also shut off at temperatures deviating from 100 °C (85 °C - 110 °C).
- Halogen lamp and fan are deactivated for negative input voltages (sockets H and C).

Profi-CASSY and CASSY Lab 2 can record the step response of the digital temperature controlled system.

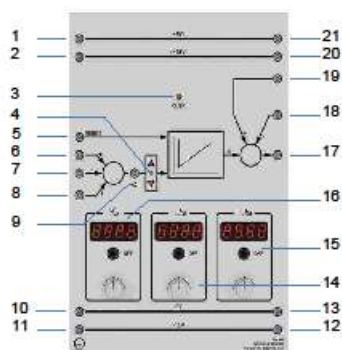




02/14-W10-Bb

Instruction Sheet 734 064

PID-Digital Controller (734 064)



1/21	Supply voltage +15 V
2/20	Bus line (+5 V), no internal connection
3	Overload control
4	Control deviation indicator
5	RESET-input
6/8	Non-inverting input
7	Inverting input
9	Output for the difference signal (error, e)
10/13	Ground
11/12	Supply voltage -15 V
14	Operation- and display panel for integral element
15	Operation- and display panel for differential element
16	Operation- and display panel for proportional element
17	Output of the PID-controller
18	Inverting input of the output summing point
19	Non-inverting input of the output summing point

1 Description

The PID-Digital Controller consists of:

- P-controller, I-element and D-element
- Inverting input (7) and two non-inverting inputs (6) and (8), leading to the difference amplifier at the input of the controller. The control deviation e can be measured at (9).
- Control deviation indicator in front of the controller block (4)
- Output summing point with non-inverting input (19) and inverting input (18).

The P-controller is operated from panel (16). With the push-button the p-component can be activated / deactivated. The gain K_p of the controller is set with an incremental rotary encoder and is shown on a 7-segment display. The I-element is operated from panel (14). With the push-button the I-component can be activated / deactivated. The correction time T_i [s] of the controller is set with a rotary encoder and is shown on a 7-segment display. The D-element is operated from panel (15). With the push-button the D-component can be activated / deactivated. The rate time T_d [s] of the controller is set with a rotary encoder and is shown on a 7-segment display. The reference value or variable is fed into the non-inverting inputs (6) or (8), the actual value is fed into the inverting Input (7). The control deviation indicator (4) is activated, if the actual value exceeds or falls below the reference value. The inverting input (18) and the non-inverting input (19) of the summing point at the output of the controller allow basic loads to be fed in.

In this case the controller must only compensate for the manipulated signal of any deviation from this basic load. A voltage of +10 V at the input (5) *RESET* brings the integrator to zero and gives repeatable start conditions. The red LED *OVER* indicates saturation inside the controller.

2 Safety Instructions

The device corresponds to the safety stipulations for devices of electrical measurement, control and for general laboratory equipment according to DIN EN 61010 part 1. It is exclusively dedicated for use in a dry environment which is suitable for the operation of electrical instrumentation. When the device is operated properly, both the safety of the operator as well as the working-life of the device are guaranteed. However safety cannot be guaranteed if the device is operated in an uneducated manner or careless. In case of any suspicious reaction of the device or with visible damage the device must be deactivated immediately.

Intended Operation

- Operate the device with the intended power supplies, e.g. 726 86 Stabilized Power Supply $\pm 15 \text{ V} / 3 \text{ A}$.
- Operate the device in experiment set-ups as shown in this instruction sheet or in experiments as described in the manuals.