



Έλεγχος θερμοκρασίας

2.1 Θεωρητικό Μέρος

2.1.1 Εισαγωγή

Στις περισσότερες εφαρμογές, βιομηχανικές και μη, το ζητούμενο είναι η ρύθμιση και γενικότερα ο έλεγχος της θερμοκρασίας. Ενδεικτικά αναφέρουμε τα ακόλουθα 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.

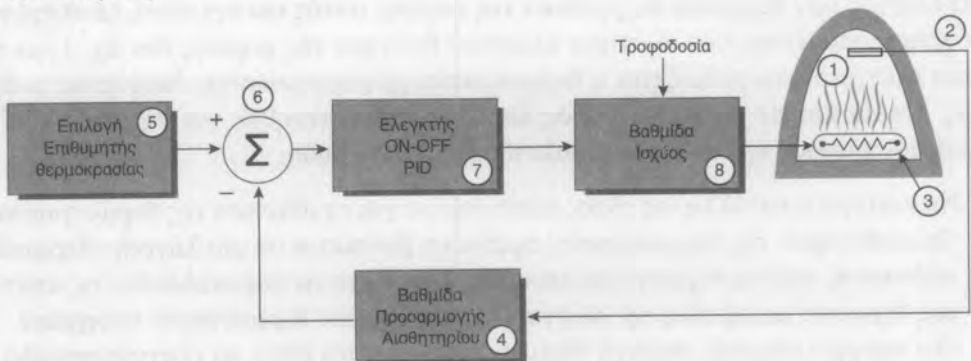
Ο έλεγχος των θερμικών διεργασιών της μορφής αυτής και όχι μόνο, επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας ένα σύστημα κλειστού βρόγχου της μορφής του Σχ. 1, με το οποίο ελέγχεται και ρυθμίζεται η θερμοκρασία χρησιμοποιώντας διάφορους μεθόδους. Όποια και αν είναι η μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί, για να επιτευχθεί ο βέλτιστος έλεγχος πρέπει να διασφαλισθούν τα ακόλουθα:

- ♦ Να επιλεγεί ο κατάλληλος τύπος αισθητηρίου για τη μέτρηση της θερμοκρασίας.
- ♦ Το αισθητήριο της 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 της 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.

Τα στοιχεία από τα οποία αποτελείται ένα κλειστό σύστημα ελέγχου θερμοκρασίας π.χ. ενός φούρνου είναι τα ακόλουθα:

1. Ο **Φούρνος**, του οποίου θέλουμε να ελέγξουμε την θερμοκρασία.
2. Το **Αισθητήριο Θερμοκρασίας**, που μετατρέπει την θερμοκρασία του θαλάμου σε ηλεκτρική τάση.
3. Το **Θερμαντικό Στοιχείο** - αντίσταση, το οποίο πρέπει να είναι σε θέση να αυξάνει την θερμοκρασία του φούρνου σε ικανοποιητικό χρονικό διάστημα.
4. Η βαθμίδα **Προσαρμογής Αισθητηρίου**, η οποία περιλαμβάνει:
 - α. το κύκλωμα **γραμμικοποίησης** του αισθητηρίου, που μετατρέπει τη μη γραμμική συμπεριφορά του, σε γραμμική και
 - β. το κύκλωμα **ενίσχυσης** που διαμορφώνει το σήμα του αισθητηρίου, έτσι ώστε να είναι άμεσα συγκρίσιμο με το σήμα της βαθμίδας επιθυμητής θερμοκρασίας.
5. Η βαθμίδα **Επιλογής Επιθυμητής Θερμοκρασίας**, στην οποία ορίζεται η τιμή της θερμοκρασίας που πρόκειται να λειτουργήσει ο φούρνος.
6. Ο **Συγκριτής**, που συγκρίνει την επιθυμητή με την τρέχουσα θερμοκρασία του φούρνου και δίνει στην έξοδό του το σφάλμα που προκύπτει.
7. Ο **Ελεγκτής** είναι η βαθμίδα στην οποία γίνεται η επιλογή του τρόπου λειτουργίας ON - OFF ή PID και η κατάλληλη διαμόρφωση του σφάλματος ώστε να οδηγήσει την βαθμίδα ισχύος.
8. Η βαθμίδα **Ισχύος** που αναλαμβάνει την τροφοδοσία του θερμαντικού στοιχείου, με το κατάλληλο κάθε φορά ποσό ισχύος, ανάλογα με το σήμα που λαμβάνει από τον ελεγκτή.



Σχήμα 1: Δομικό διάγραμμα κλειστού συστήματος ελέγχου θερμοκρασίας

2.1.2 Αισθητήρια – Μέτρηση θερμοκρασίας

Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας ενός συστήματος απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στην επιλογή του κατάλληλου αισθητηρίου έτσι ώστε να διασφαλίζεται η αξιοπιστία του ελέγχου και η σωστή λειτουργία του συστήματος αυτού.

Τα πιο συνηθισμένα αισθητήρια μέτρησης θερμοκρασίας είναι:

- ♦ Τα θερμοζεύγη
- ♦ Οι αντιστάσεις ανίχνευσης θερμοκρασίας (RTDs)
- ♦ Τα θερμίστορ, θετικού ή αρνητικού συντελεστή θερμοκρασίας
- ♦ Τα πυρόμετρα
- ♦ Τα διμεταλλικά στοιχεία
- ♦ Τα αισθητήρια διαστολής υγρών ή αερίων
- ♦ Τα ημιαγωγά αισθητήρια θερμοκρασίας κ.α.

Από τα παραπάνω αισθητήρια τα πλέον συνήθη και διαδεδομένα στη βιομηχανία λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τους, είναι τα θερμοζεύγη και οι αντιστάσεις ανίχνευσης θερμοκρασίας (RTDs). Για τα αισθητήρια αυτά στους σύγχρονους ψηφιακούς ελεγκτές θερμοκρασίας υπάρχουν τυποποιημένες υποδοχές.

Στη συνέχεια θα εξετασθεί ο τρόπος μέτρησης της θερμοκρασίας με θερμοζεύγος, αισθητήριο το οποίο θα χρησιμοποιηθεί στις εργαστηριακές ασκήσεις που ακολουθούν.

2.1.2.1 Θερμοζεύγη

Το 1821 ο T.J. Seebeck ανακάλυψε ότι αν θερμανθεί το σημείο επαφής δύο ανόμοιων μεταλλικών αγωγών Σχ. 2, όπως είναι ο σίδηρος και η κωνσταντάνη, τότε στα ελεύθερα άκρα των δύο αγωγών αναπτύσσεται μία ΗΕΔ της τάξης των mV. Παρατηρήθηκε επίσης ότι σε κάθε μεταβολή της θερμοκρασίας επηρεάζεται άμεσα και η τιμή της ΗΕΔ.

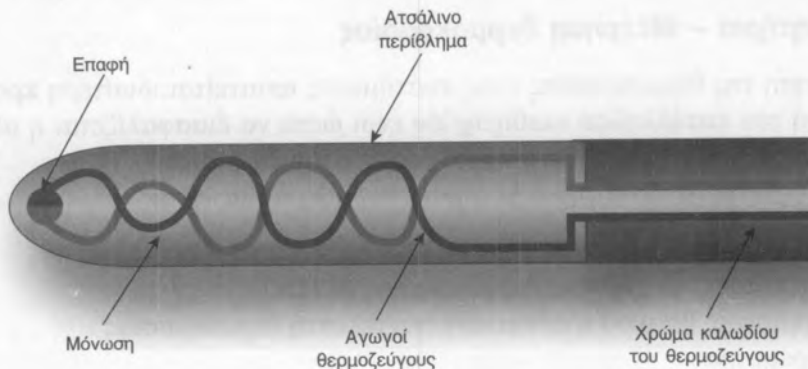
Τα σύγχρονα θερμοζεύγη αποτελούνται από δύο ανόμοιους συνεστραμμένους μεταλλικούς αγωγούς, οι οποίοι στην πλειονότητα τους είναι τοποθετημένοι σε ειδικό προστατευτικό ατσάλινο κέλυφος, όπως φαίνεται στο Σχ. 3.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι συνηθέστεροι τύποι θερμοζευγών με τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους.

Ο τρόπος μέτρησης της θερμοκρασίας με θερμοζεύγος φαίνεται στο Σχ. 4, όπου είναι συνδεδεμένα σε σειρά δύο θερμοζεύγη. Το πρώτο είναι το θερμοζεύγος μέτρησης της ζητούμενης θερμοκρασίας ενώ το δεύτερο είναι το θερμοζεύγος αναφοράς, του οποίου πρέπει να γνωρίζουμε τη θερμοκρασία.



Σχήμα 2: Συμβολισμός θερμοζεύγους



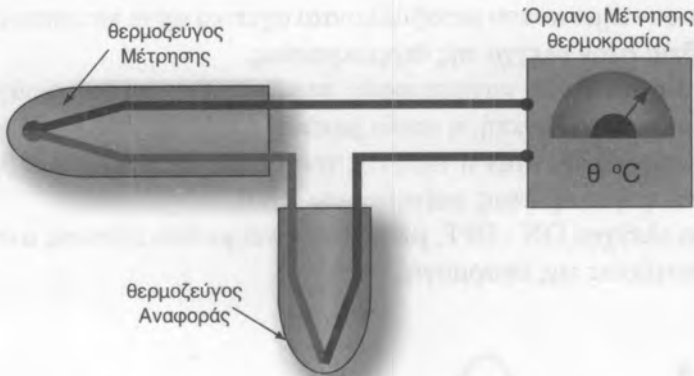
Σχήμα 3: Θερμοζεύγος

Όνομασία	Χαρακτ. Γράμμα	Χρώμα	Περιοχή Λειτουργίας °C	Ακρίβεια
Cu-CuNi	T	Καφέ	-200 – 400	±2°C ή 0.75%
Fe-CuNi	J	Μπλε	0 – 700	±3°C ή 0.75%
Ni Cr-Ni	K	Πράσινο	-200 – 1300	±3°C ή 0.7%
Pt 13 Rh-Pt	R	Άσπρο	0 – 1700	±2°C ή 0.3%
Pt 10 Rh-Pt	S	Άσπρο	0 – 1700	±2°C ή 0.3%
Pt 30 Rh-Pt6Rh	B	Άσπρο	100 – 1800	±2°C ή 0.3%

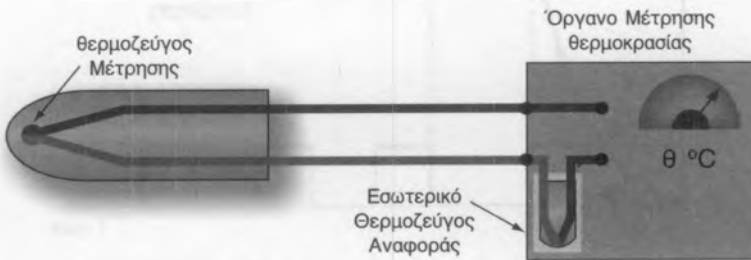
Σημείωση: Το θερμοζεύγος που χρησιμοποιείται στις εργαστηριακές ασκήσεις που ακολουθούν είναι τύπου J.

Ως αποτέλεσμα αυτής της συνδεσμολογίας είναι η ανάπτυξη στα άκρα της διάταξης μίας μικρής DC τάσης, η οποία είναι ανάλογη της διαφοράς της θερμοκρασίας ανάμεσα στο θερμοζεύγος μέτρησης και στο θερμοζεύγος αναφοράς. Αυτή η μικρή τάση στη συνέχεια χρησιμοποιείται από τις συσκευές μέτρησης θερμοκρασίας για περαιτέρω επεξεργασία της πληροφορίας.

Το πρακτικό πρόβλημα που τίθεται σε αυτόν τον τρόπο μέτρησης, είναι η δυσκολία μέτρησης της θερμοκρασίας του θερμοζεύγους αναφοράς. Για το λόγο αυτό, στους σύγχρονους ελεγκτές θερμοκρασίας υπάρχει ενσωματωμένο ένα κύκλωμα που εξομοιώνει την συμπεριφορά διαφόρων θερμοζευγών αναφοράς Σχ. 5, οπότε δεν είναι απαραίτητη η ύπαρξή του στην εξωτερική διάταξη. Ως αποτέλεσμα αυτού είναι να αυξάνεται η αξιοπιστία της μέτρησης και επιπλέον υπάρχει ευελιξία ως προς την επιλογή του θερμοζεύγους.



Σχήμα 4: Μέτρηση θερμοκρασίας με εξωτερικό θερμοζεύγος αναφοράς



Σχήμα 5: Μέτρηση θερμοκρασίας με ενσωματωμένο θερμοζεύγος αναφοράς

2.1.3 Τρόποι Ελέγχου

2.1.3.1 Έλεγχος ON – OFF

Η μέθοδος ελέγχου ON – OFF είναι ο πιο απλός τρόπος ελέγχου της θερμοκρασίας ενός συστήματος. Με αυτή τη μέθοδο για όσο διάστημα η τρέχουσα θερμοκρασία είναι μικρότερη της επιθυμητής, η έξοδος του ελεγκτή είναι ενεργοποιημένη (ON), ενώ όταν η τρέχουσα θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη της επιθυμητής, η έξοδος του ελεγκτή είναι απενεργοποιημένη (OFF), χωρίς να υπάρχει ενδιάμεση κατάσταση.

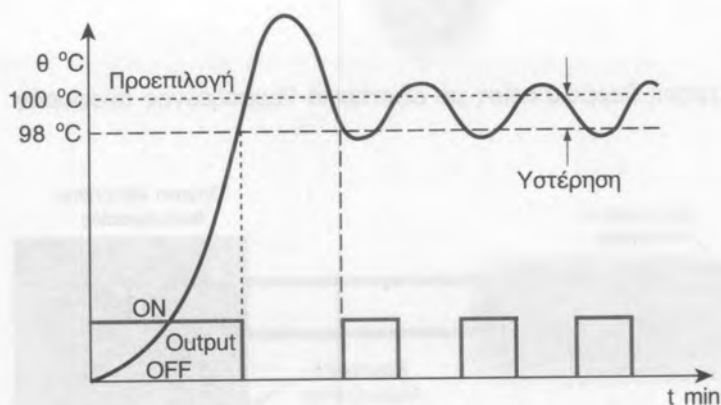
Αυτός ο τρόπος λειτουργίας του ελεγκτή οδηγεί την θερμοκρασία του συστήματος σε μόνιμη ταλάντωση, η οποία οφείλεται στο γεγονός ότι όταν η θερμοκρασία του συστήματος φθάσει στην επιθυμητή τιμή και διακοπεί η λειτουργία του θερμαντικού στοιχείου, η θερμοκρασία του συστήματος λόγω αδράνειας εξακολουθεί να αυξάνεται και αντιστρόφως.

Το πρόβλημα που δημιουργείται είναι ότι οι βαθμίδες ισχύος δεν μπορούν να ανταποκριθούν με ασφάλεια στις απότομες μεταβολές της ταλάντωσης, όταν η ισχύς που διαχειρίζονται είναι πολύ μεγάλη. Ως αποτέλεσμα είναι ο έλεγχος ON – OFF να

χρησιμοποιείται σε συστήματα που μεταβάλλονται σχετικά αργά και όπου δεν απαιτείται υψηλή ακρίβεια στον έλεγχο της θερμοκρασίας.

Για τη μείωση του κινδύνου καταστροφής της βαθμίδας ισχύος εισάγεται μία υστέρηση στη βαθμίδα του ελεγκτή, η οποία μειώνει το ρυθμό των εναλλαγών από τη μία κατάσταση στην άλλη, όταν η τιμή της τρέχουσας θερμοκρασίας βρίσκεται γύρω από την επιθυμητή τιμή, όπως φαίνεται στο Σχ. 6.

Η υλοποίηση του ελέγχου ON - OFF, μπορεί να γίνει με δύο τρόπους ανάλογα με τη φύση και τις απαιτήσεις της εφαρμογής.

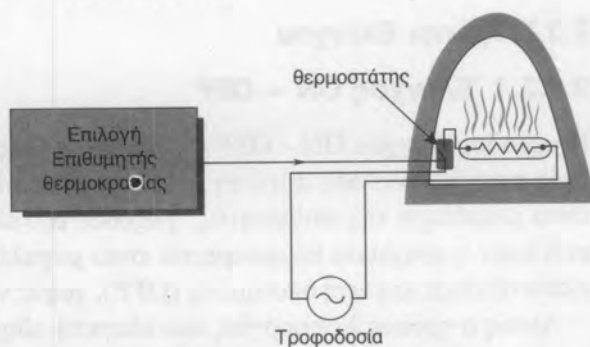


Σχήμα 6: Βηματική απόκριση συστήματος με ελεγκτή ON - OFF

2.1.3.1.1 Διμεταλλικό στοιχείο – Θερμοστάτης

Αυτός ο τρόπος ενδείκνυται για περιπτώσεις που οι απαιτήσεις σε ακρίβεια είναι χαμηλές και το κόστος μικρό. Ο θερμοστάτης λειτουργεί ως ένας διακόπτης που η κατάστασή του, ON ή OFF, ελέγχεται από την θερμοκρασία του χώρου όπου βρίσκεται, σε σχέση δε με τις βαθμίδες του Σχ. 1, εκτελεί τις λειτουργίες και του ελεγκτή και της βαθμίδας ισχύος και του αισθητήριου θερμοκρασίας.

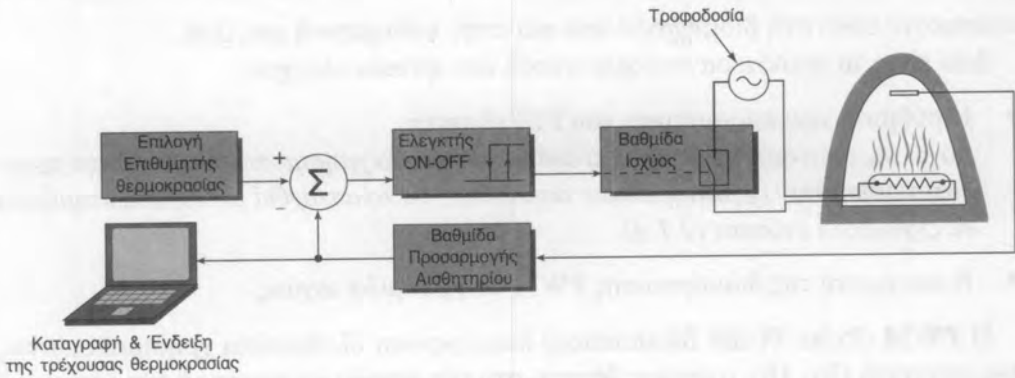
Η συνδεσμολογία του φαίνεται στο Σχ. 7 που ακολουθεί.



Σχήμα 7: Έλεγχος θερμοκρασίας με θερμοστάτη

2.1.3.1.2 Βαθμίδα Schmitt Trigger

Το δομικό διάγραμμα του τρόπου αυτού ελέγχου θερμοκρασίας Σχ. 8, έχει όλα τα



Σχήμα 8: Έλεγχος θερμοκρασίας με ελεγκτή ON - OFF

στοιχεία της γενικής μορφής ενός κλειστού συστήματος ελέγχου Σχ. 1 και χρησιμοποιείται σε συστήματα υψηλότερων απαιτήσεων.

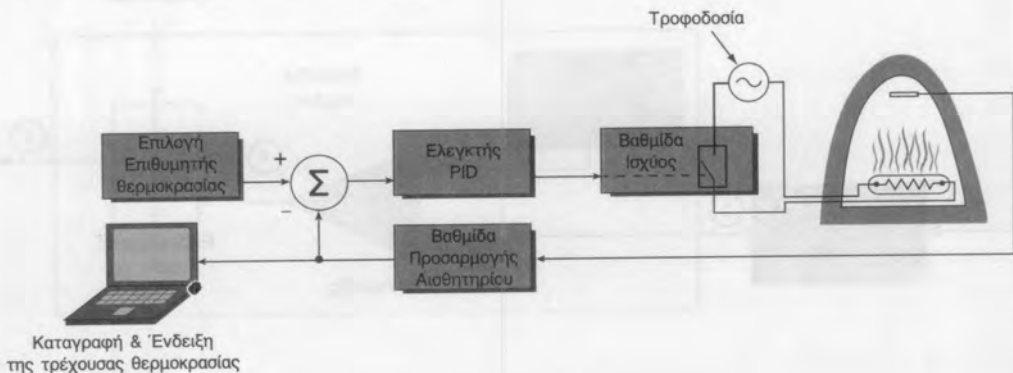
Αναλυτικότερα, στον ελεγκτή ON – OFF υπάρχει μία βαθμίδα Schmitt Trigger η οποία συμπεριφέρεται όπως ο θερμοστάτης, με τη διαφορά ότι υπάρχει δυνατότητα τροποποίησης της περιοχής υστέρησης.

Η βαθμίδα ισχύος αποτελείται από ένα ρελέ ή ένα θυρίστορ το οποίο τροφοδοτεί με ισχύ το θερμαντικό στοιχείο και ελέγχεται από τη βαθμίδα Schmitt Trigger.

Τέλος, η μέτρηση της θερμοκρασίας πραγματοποιείται με ένα αισθητήριο κατάλληλο για την εκάστοτε εφαρμογή. Όπως είναι προφανές σε αυτή την περίπτωση δεν εμπλέκεται η μέτρηση της θερμοκρασίας με τον έλεγχό της, φαινόμενο που παρατηρείται στον έλεγχο θερμοκρασίας με θερμοστάτη.

2.1.3.2 Έλεγχος με ελεγκτή PID

Για αποτελεσματικό και ακριβή έλεγχο της θερμοκρασίας χρησιμοποιείται ο έλεγχος με PID ελεγκτή. Η χρήση του τρόπου αυτού συναντάται σήμερα σε αρκετές



Σχήμα 9: Έλεγχος θερμοκρασίας με ελεγκτή PID

εφαρμογές τόσο στη βιομηχανία όσο και στην καθημερινή μας ζωή.

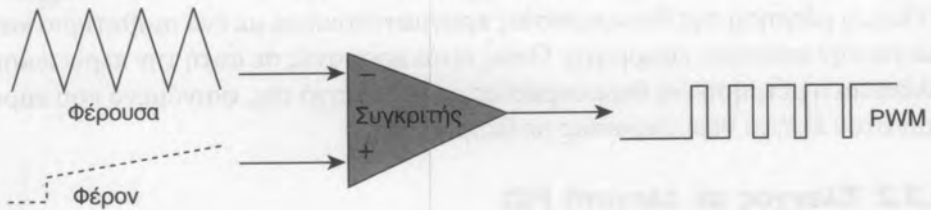
Δύο είναι τα κυριότερα στοιχεία αυτού του τρόπου ελέγχου:

- Η ρύθμιση των παραμέτρων του PID ελεγκτή.
Λόγω της σπουδαιότητάς της και δεδομένου ότι θα χρησιμοποιηθεί κατά την πραγματοποίηση των εργαστηριακών ασκήσεων, θα αναπτυχθεί με κάθε λεπτομέρεια σε ξεχωριστή ενότητα (2.1.4).
- Η εφαρμογή της διαμόρφωσης PWM στη βαθμίδα ισχύος.

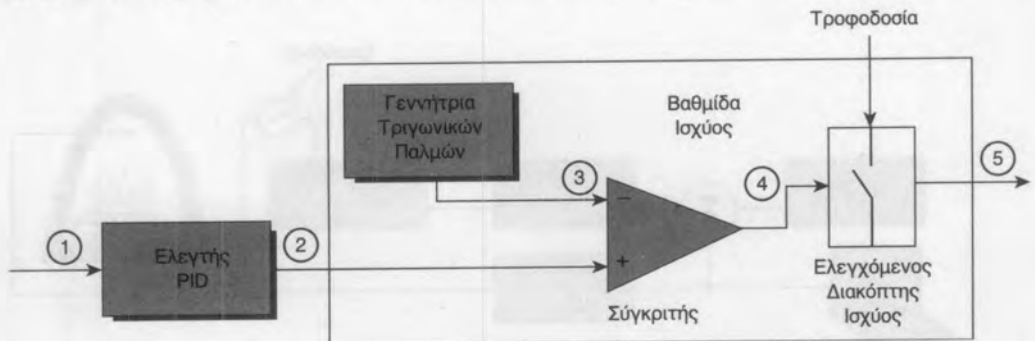
Η PWM (Pulse Width Modulation) διαμόρφωση υλοποιείται χρησιμοποιώντας ένα συγκριτή (Σχ. 10), ο οποίος δέχεται στη μία είσοδο ως αναφορά ένα τριγωνικό παλμό υψηλότερης συχνότητας από αυτό της δεύτερης εισόδου και στην άλλη είσοδο το σήμα εξόδου του PID ελεγκτή. Το σήμα που παίρνουμε στην έξοδο του συγκριτή είναι τετραγωνικοί παλμοί, των οποίων η διάρκεια εξαρτάται από το πλάτος της εξόδου του PID ελεγκτή.

Στο Σχ. 11 φαίνονται τα στοιχεία από τα οποία αποτελείται η βαθμίδα ισχύος καθώς και η σύνδεσή τους στην περίπτωση της PWM διαμόρφωσης.

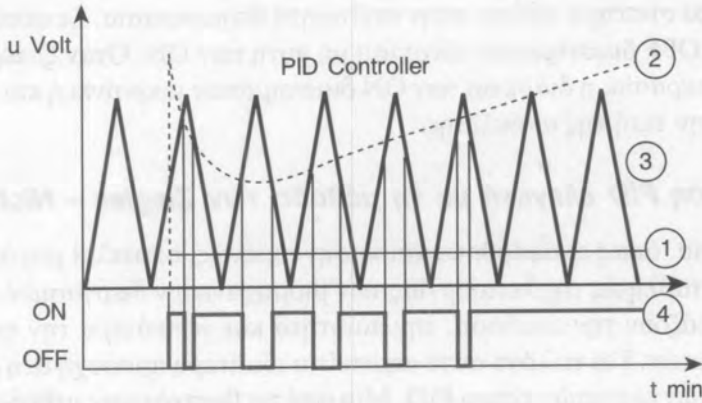
Στη διάταξη αυτή η είσοδος του PID ελεγκτή δέχεται το σφάλμα (1) μεταξύ τρέ-



Σχήμα 10: Αρχή λειτουργίας του διαμορφωτή PWM



Σχήμα 11: Διάγραμμα λειτουργίας βαθμίδας ισχύος



Σχήμα 12: Σήματα στη βαθμίδα ισχύος σε βηματική απόκριση

χουσας και επιθυμητής θερμοκρασίας. Τα σήματα εξόδου του ελεγκτή PID (2) και της γεννήτριας τριγωνικών παλμών (3) συγκρίνονται και το αποτέλεσμα τους αποτελεί το διαμορφωμένο κατά PWM σήμα (4), το οποίο ελέγχει το διακόπτη ισχύος π.χ. θυρίστορ ή solid state relay, που τελικά παρέχει την απαιτούμενη ισχύ στα θερμαντικά στοιχεία (5) του συστήματος.

Σε κάθε στοιχείο του Σχ. 11, η μορφή των σημάτων σε βηματική απόκριση παρουσιάζεται στο Σχ. 12.

Το αποτέλεσμα που τελικά επιτυγχάνεται, είναι ο έλεγχος της λειτουργίας του διακόπτη ισχύος να γίνεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να μεταφερθεί το αναλογικό σήμα του ελεγκτή μέσα από την δυαδική κατάσταση ON – OFF.

Όπως φαίνεται στο Σχ. 13, κατά την άνοδο της θερμοκρασίας, όταν η απόκλιση από την επιθυμητή θερμοκρασία είναι μεγάλη, η διάρκεια των OFF διαστημάτων είναι από μηδενική έως μικρή, ενώ καθώς η απόκλιση μικραίνει η διάρκεια μεγαλώ-



Σχήμα 13: Βηματική απόκριση συστήματος με ελεγκτή PID

νει έως ότου το σύστημα φθάσει στην επιθυμητή θερμοκρασία. Σε αυτό το σημείο η διάρκεια των OFF διαστημάτων είναι ίση με αυτή των ON. Όταν ξεπεραστεί η επιθυμητή θερμοκρασία, η διάρκεια των ON διαστημάτων μικραίνει ή και μηδενίζεται, ανάλογα με την τιμή της απόκλισης.

2.1.4 Ρύθμιση PID ελεγκτή με τη μέθοδο των Ziegler – Nichols

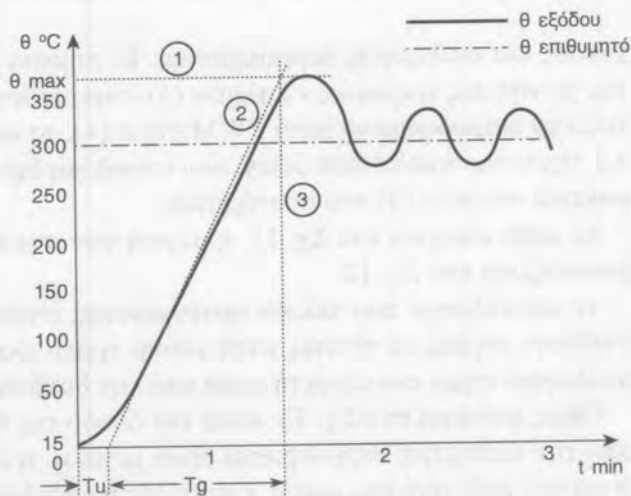
Η θερμοκρασία, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, αποτελεί μία από τις σημαντικότερες μεταβλητές της λειτουργίας των βιομηχανικών διεργασιών, καθώς οι τιμές της επηρεάζουν την απόδοση, την ποιότητα και γενικότερα την ασφάλεια των διεργασιών αυτών. Για το λόγο αυτό απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στη ρύθμιση των παραμέτρων των ελεγκτών τύπου PID. Μία από τις βασικότερες μεθόδους ρύθμισης των παραμέτρων είναι η μέθοδος των Ziegler – Nichols.

Η μέθοδος αυτή, στηρίζεται στην προσέγγιση του πραγματικού συστήματος με κάποιο μοντέλο και είναι ευνόητο ότι όσο πιο σύνθετο είναι το προσεγγιστικό μοντέλο μίας διεργασίας, τόσο πιο σύνθετος θα είναι και ο ελεγκτής.

Αρχικά, πρέπει να μετρηθεί πειραματικά η βηματική απόκριση του συστήματος – φούρνου χρησιμοποιώντας την μέθοδο ελέγχου ON - OFF. Από τα πειραματικά αποτελέσματα των μετρήσεων σχεδιάζεται η απόκριση του συστήματος Σχ. 14 και από αυτό το διάγραμμα εξάγονται οι σταθερές του μοντέλου που εκφράζουν τη συμπεριφορά του συστήματος, δηλαδή ο χρόνος *υστέρησης* T_u και ο χρόνος *εξισορρόπησης* T_g .

Για τον υπολογισμό των σταθερών T_u , T_g απαιτείται η χάραξη τριών (3) ευθειών επάνω στο διάγραμμα ως ακολούθως:

1. Μία ευθεία παράλληλη στον άξονα του χρόνου, τέτοια ώστε να διέρχεται από τη μέγιστη τιμή της εξόδου του συστήματος.
2. Μία ευθεία εφαπτόμενη στο σημείο καμπής της γραφικής παράστασης. Πρακτικά προσπαθούμε η ευθεία να συμπίπτει με το ευθύγραμμο τμήμα της καμπύλης που περιέχει το σημείο καμπής.
3. Μία ευθεία κάθετη στον άξονα του χρόνου η οποία θα διέρχεται από το σημείο τομής των δύο προηγούμενων ευθειών.



Σχήμα 14: Υπολογισμός των παραμέτρων T_u και T_g

Σύμφωνα με τα παραπάνω ο χρόνος υστέρησης T_u ορίζεται από την αρχή των αξόνων μέχρι το σημείο τομής της ευθείας (2) με τον άξονα του χρόνου και ο χρόνος εξισορρόπησης T_g ορίζεται από το προηγούμενο σημείο τομής, μέχρι το σημείο τομής της ευθείας (3) με τον άξονα του χρόνου.

Ως άξονας του χρόνου ορίζεται πάντα ο άξονας που διέρχεται από την αρχική θερμοκρασία του συστήματος.

Μετά την προσέγγιση του συστήματος πραγματοποιούνται οι υπολογισμοί για την εύρεση των παραμέτρων του ελεγκτή ανάλογα με τη δομή του, όπως φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα.

Δομή του Ελεγκτή	Ρυθμίσεις	Παρατηρήσεις
P	$X_P = \theta_{\max} \cdot \frac{T_u}{T_g} (^{\circ}C)$	θ_{\max} : Μέγιστη Θερμοκρασία
PI	$X_P = 1.2 \cdot \theta_{\max} \cdot \frac{T_u}{T_g} (^{\circ}C)$ $T_n = 3.3 \cdot T_u$ (sec)	T_u : Χρόνος Υστέρησης T_g : Χρόνος Εξισορρόπησης
PD	$X_P = 0.83 \cdot \theta_{\max} \cdot \frac{T_u}{T_g} (^{\circ}C)$ $T_v = 0.25 \cdot T_u$ (sec)	X_p : Αναλογική Περιοχή
PID	$X_P = 0.83 \cdot \theta_{\max} \cdot \frac{T_u}{T_g} (^{\circ}C)$ $T_n = 2 \cdot T_u$ (sec) $T_v = 0.4 \cdot T_u$ (sec)	T_n : Συντελεστής πράξης Ολοκλήρωσης T_v : Συντελεστής πράξης Διαφόρισης

Επισημαίνεται ότι πριν την τοποθέτηση των παραμέτρων στους ελεγκτές P, I, D, πρέπει να μετατρέψουμε την αναλογική περιοχή X_p , του ελεγκτή P, σε % της πλήρους κλίμακας που μπορεί να ρυθμιστεί από τον ελεγκτή. Οπότε η τελική τιμή $X_p\%$ είναι η ακόλουθη:

$$X_p \% = \frac{X_p \cdot 100\%}{\theta_{\text{controlled max}}}$$

και όπου $\theta_{\text{controlled max}}$ είναι η μέγιστη θερμοκρασία που μπορεί ο ελεγκτής να ρυθμίσει.

Εάν το τελικό αποτέλεσμα δεν είναι το επιθυμητό, αυτό μπορεί να οφείλεται είτε σε σφάλματα κατά την εύρεση των παραμέτρων είτε στο ότι ο λόγος των T_u και T_g (βλέπε τον ακόλουθο πίνακα) δείχνει ότι δεν υπάρχει καλή προσέγγιση του πραγματικού συστήματος.

Αν ισχύει το πρώτο, μπορεί να επαναληφθεί η διαδικασία χρησιμοποιώντας πλέον σαν αρχική απόκριση του συστήματος, αυτή που προέκυψε από τη χρήση του PID

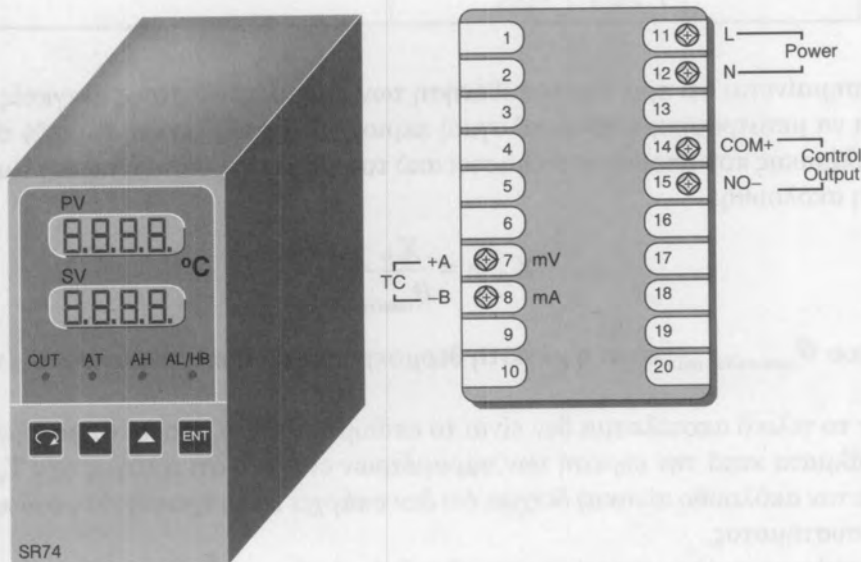
ελεγκτή. Ενώ στη δεύτερη περίπτωση πρέπει είτε να αλλαχθεί η μέθοδος προσέγγισης είτε να τροποποιηθεί το ίδιο το σύστημα.

Δυνατότητα Ελέγχου	Λόγος T_u / T_g
Πολύ καλή	$\frac{T_u}{T_g} \leq 0.1$
Καλή	$0.1 < \frac{T_u}{T_g} < 0.2$
Μέτρια	$0.2 < \frac{T_u}{T_g} < 0.3\bar{3}$
Δύσκολη	$0.3\bar{3} \leq \frac{T_u}{T_g}$

2.1.5 Ψηφιακός ελεγκτής θερμοκρασίας

Στο παρακάτω Σχ. 15, παρουσιάζεται ένας ψηφιακός ελεγκτής που λόγω του μικρού μεγέθους του και των τεχνικών χαρακτηριστικών του καθίσταται ιδανικός για τον έλεγχο της θερμοκρασίας σε αρκετές εφαρμογές. Ο ελεγκτής αυτός διαθέτει:

1. Διπλή ένδειξη, με τέσσερα ψηφία η κάθε μία, για την ταυτόχρονη προβολή της τρέχουσας PV (Process Value) και της επιθυμητής τιμής SV (Set Value) της θερ-



Σχήμα 15: Ψηφιακός ελεγκτής θερμοκρασίας

μοκρασίας του συστήματος.

2. Ενδεικτικά leds που λειτουργούν όταν:

- ◆ Ενεργοποιείται η έξοδος του ελεγκτή (**Out**),
- ◆ Ενεργοποιείται η αυτόματη ρύθμιση (**AT**),
- ◆ Η θερμοκρασία υπερβεί το ανώτατο όριο Alarm High (**AH**),
- ◆ Η θερμοκρασία υπερβεί το κατώτατο όριο Alarm Low ή όταν καταστραφεί το θερμαντικό στοιχείο, Heater Break (**AL/HB**).

3. Πληκτρολόγιο μεμβράνης τεσσάρων πλήκτρων για την εισαγωγή των εντολών, προκειμένου να ρυθμιστούν τόσο ο τρόπος λειτουργίας του ελεγκτή, όσο και οι παράμετροι αυτού.

Πίνακας περιγραφής των επαφών του ψηφιακού ελεγκτή	
Επαφές	Περιγραφή
Τροφοδοσία 100-240V AC ± 10% 50/60Hz	
11	Φάση L
12	Ουδέτερος N
13	Γείωση PE
Αισθητήριο μέτρησης θερμοκρασίας	
7	[+] ακροδέκτης θερμοζεύγους
8	[-] ακροδέκτης θερμοζεύγους
10	χρησιμοποιείται για αισθητήρια 3 αγωγών
Έξοδος ελεγκτή	
14	[+] Κοινή επαφή, επαφή εξόδου τάσης, ρεύματος
15	[-] Επαφή NO, επαφή εξόδου τάσης, ρεύματος
16	Επαφή NC
Συναγερμός ορίων	
18	Κοινή επαφή συναγερμού, θερμή επαφή 240V AC / 1,5A
19	Συναγερμός ανώτατου ορίου
20	Συναγερμός κατώτατου ορίου
Συναγερμός καταστροφής θερμαντικού στοιχείου	
5-6	Είσοδος εξωτερικού συναγερμού

Επισημαίνεται ότι: Κάθε φορά που τροφοδοτείται ο ελεγκτής εμφανίζονται στην οθόνη του οι ακόλουθες ενδείξεις, οι οποίες παραμένουν για χρονικό διάστημα 1.5 sec η κάθε μία:

- ◆ Το μοντέλο του ελεγκτή, **Sr 74** και ο τύπος του αισθητηρίου εισόδου **tc** (θερμοζεύγος),
- ◆ Ο τύπος της εξόδου που χρησιμοποιείται **out y** (ρελέ) και