

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο**

### **6. ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΡΥΘΜΙΣΗΣ**

- Τα είδη των διατάξεων αυτοματισμού
- Η συμπεριφορά των συστημάτων αυτοματισμού
- Οι ελεγκτές P, PI, PID
- Η ανταπόκριση των συσκευών που ενεργοποιούν τα σήματα των ελεγκτών

## 6. ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΡΥΘΜΙΣΗΣ

### Στόχοι :

Στο τέλος αυτού του κεφαλαίου οι μαθητές θα πρέπει να γνωρίζουν:

- Τα είδη των αυτοματισμών.
- Τον τρόπο λειτουργίας των συστημάτων αυτοματισμού.
- Τα κύρια μέρη ενός συστήματος αυτοματισμού.
- Τι είναι οι ελεγκτές τύπου P, PI, PID.
- Πως ανταποκρίνονται οι συσκευές ελέγχου ροής στις εντολές που δέχονται από μία συσκευή αυτοματισμού.

### 6-1. Γενικά για τα συστήματα ελέγχου και ρύθμισης

Ο έλεγχος και η ρύθμιση των συνθηκών ενός χώρου ή της λειτουργίας ενός ψυκτικού συγκροτήματος, γίνεται με συστήματα αυτοματισμού.

⇒ Με τον **έλεγχο** διαπιστώνονται οι συνθήκες που επικρατούν σε ένα χώρο, ή η κατάσταση λειτουργίας μίας συσκευής. Ο έλεγχος γίνεται βάσει των πληροφοριών που μεταδίδονται από τους αισθητήρες.

⇒ Με τη **ρύθμιση** προβαίνουμε στις απαραίτητες ενέργειες ώστε τα μετρούμενα μεγέθη να βρίσκονται μέσα σε μία περιοχή προκαθορισμένων επιθυμητών τιμών.

Όσο πιο εξελιγμένο είναι το σύστημα αυτοματισμού, τόσο περισσότερη προσπάθεια χρειάζεται για τον καθορισμό των παραμέτρων της λειτουργίας του, έτσι ώστε να ανταποκρίνεται σωστά στις πληροφορίες που δέχεται.

Στο κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθούμε κυρίως με τα ηλεκτρονικά συστήματα αυτοματισμού. Πολλά από αυτά που αναφέρονται στις πρώτες παραγράφους του κεφαλαίου, έχουν ήδη αναπτυχθεί στην εισαγωγή. Για την πληρότητα όμως του κεφαλαίου, αλλά και για να θυμηθούμε ορισμένες χρήσιμες έννοιες, θα επαναλάβουμε με συντομία, μερικά από τα σημεία τα οποία έχουν ήδη αναφερθεί.

### 6-2. Ο τρόπος λειτουργίας ενός συστήματος αυτοματισμού

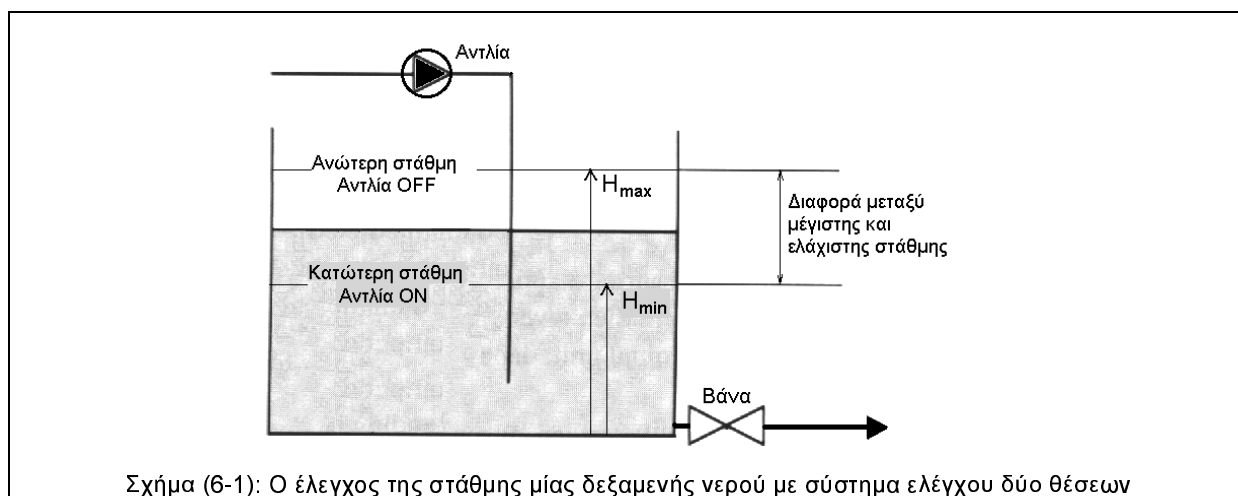
Οι παράμετροι λειτουργίας μιας ψυκτικής ή κλιματιστικής εγκατάστασης, τις οποίες καλείται να ελέγχει το σύστημα αυτοματισμού είναι η θερμοκρασία, η πίεση, η παροχή κάποιου ρευστού (νερό, αέρας, ψυκτικό ρευστό), η υγρασία, κλπ.

Η εντύπωση που υπάρχει σε πολλούς τεχνικούς σχετικά με τον τρόπο λειτουργίας ενός τέτοιου συστήματος είναι κατά πάσα πιθανότητα εσφαλμένη. Π.χ. φαντάζονται ότι ένα σύστημα αυτομάτου ελέγχου της θερμοκρασίας λαμβάνει εντολή από ένα θερμοστάτη που έχει ρυθμιστεί στους  $23^{\circ}\text{C}$  και το σύστημα θα διατηρήσει σταθερή τη θερμοκρασία στους  $23^{\circ}\text{C}$ . Θα ήταν πολύ ωραία αν τα πράγματα λειτουργούσαν κάπως έτσι. Δυστυχώς όμως, μέχρι σήμερα δεν έχει ανακαλυφτεί σύστημα που να λειτουργεί με αυτόν τον τρόπο και αν κάποτε ανακαλυφθεί, θα είναι σίγουρα μία από τις μεγαλύτερες ανακαλύψεις.

Για να γίνει αντιληπτός ο τρόπος λειτουργίας των συστημάτων αυτοματισμού, θα χρησιμοποιήσουμε απλά παραδείγματα. Συγκεκριμένα, θα αναφερθούν στη συνέχεια δύο τυπικές περιπτώσεις συστημάτων αυτοματισμού: το σύστημα ελέγχου δύο θέσεων και το αναλογικό σύστημα.

### (α) Το σύστημα ελέγχου δύο θέσεων

Το σύστημα αυτό είναι γνωστό και με την ονομασία **σύστημα ON-OFF**. Για παράδειγμα, στο σχήμα (6-1), έστω ότι έχουμε ένα κατάλληλο διακόπτη ο οποίος έχει σκοπό να κρατάει τη στάθμη σε μία δεξαμενή, σε ένα ελάχιστο ύψος  $H_0$ .

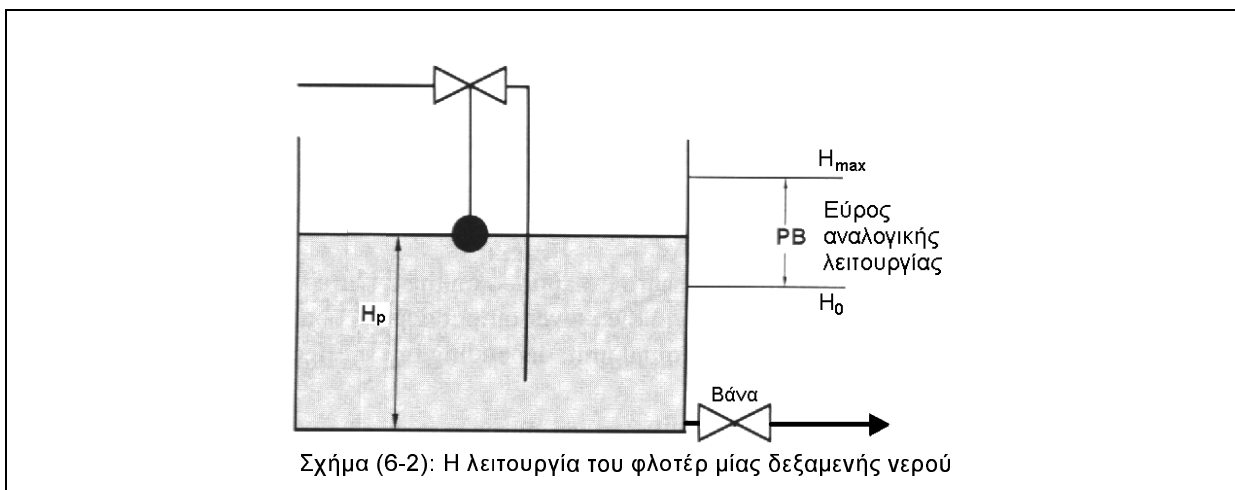


Όταν η στάθμη πέσει στο ύψος  $H_{\min}$  ο διακόπτης δίνει εντολή και τίθεται σε λειτουργία μία αντλία που γεμίζει τη δεξαμενή με νερό. Μόλις το ύψος φθάσει στο  $H_{\max}$  η αντλία διακόπτει τη λειτουργία της και ο κύκλος συνεχίζεται με αυτόν τον τρόπο. Στην περίπτωση αυτή έχουμε μία περιοχή διακύμανσης  $H_{\max} - H_{\min}$ .

Κατά τον παραπάνω τρόπο λειτουργούν όλα τα συστήματα δύο θέσεων. Ένα όργανο ON-OFF, από κατασκευής του έχει μία περιοχή διακύμανσης και η ρύθμιση του μπορεί να είναι στο κατώτερο ή στο ανώτερο σημείο (ανάλογα με τον τύπο και το είδος του οργάνου). Στην περίπτωση της δεξαμενής που αναφέρθηκε παραπάνω, ο στόχος μας είναι να μην έχουμε στάθμη μικρότερη από  $H_0$ . Οπότε η ρύθμιση είναι στο σημείο  $H_0$  και η περιοχή διακύμανσης είναι  $\Delta H = H_{\max} - H_0$ .

### (β) Το σύστημα αναλογικού ελέγχου

Για να έρθουμε σε πρώτη επαφή με τον τρόπο που λειτουργεί ένα σύστημα αναλογικού αυτοματισμού, θα πάρουμε ως παράδειγμα, το φλοτέρ μίας δεξαμενής νερού. Το φλοτέρ είναι ένας από τους πλέον απλούς αναλογικούς αυτοματισμούς που υπάρχουν. Η διάταξη λειτουργίας του φαίνεται στο σχήμα (6-2).



Το φλοτέρ λειτουργεί εντελώς αναλογικά (proportional). Αυτό σημαίνει ότι όταν η στάθμη του νερού πέσει κατά 1 m, η βαλβίδα του φλοτέρ θα ανοίξει π.χ. 10 mm, όταν πέσει 2 m, θα ανοίξει κατά 20 mm ενώ στα 0,5 m θα ανοίξει κατά 5 mm. Δηλαδή η σχέση που συνδέει τη μεταβολή του ανοίγματος της βάνας  $\Delta l$  με τη μεταβολή του ύψους  $\Delta H$  είναι η:

$$\Delta H = K_p \times \Delta l \quad (6-1)$$

Όπου το  $K_p$  είναι ένας σταθερός συντελεστής. Στην προκειμένη περίπτωση όπου για  $\Delta l = 10$  mm το είναι  $\Delta H = 1$  m, προκύπτει  $K_p = 10$  mm/m.

Όταν ο κρουνός εκκένωσης της δεξαμενής είναι κλειστός, η στάθμη του νερού είναι στο ύψος  $H_{\max}$ . Όταν ανοίξουμε τον κρουνό το νερό αρχίζει να εγκαταλείπει τη δεξαμενή και όσο περισσότερο πέφτει η στάθμη του τόσο περισσότερο ανοίγει το φλοτέρ και ρίχνει περισσότερο νερό στη δεξαμενή. Κάποια στιγμή, σε κάποιο ύψος  $H_p$ , θα επέλθει ισορροπία και όση ποσότητα νερού εισέρχεται στη δεξαμενή, τόση θα την εγκαταλείπει. Τότε θα σταθεροποιηθεί η στάθμη του νερού στο ύψος  $H_p$ .

Όταν ανοίξουμε τελείως τη βάνα εξόδου του νερού από τη δεξαμενή, η στάθμη θα πέσει και άλλο, μέχρι που θα φθάσει στο ελάχιστο δυνατό ύψος  $H_0$ . Η διαφορά  $H_{\max} - H_0$  είναι το **εύρος αναλογικής λειτουργίας** και συμβολίζεται ως **PB** (από τα αρχικά του αντίστοιχου Αγγλικού όρου Proportional Band = αναλογικό εύρος).

Η σχέση που μας δίνει το ύψος  $H$  είναι η εξής:

$$H = \Delta H + H_0 \quad (6-2)$$



Συνδυάζοντας της (6-1) με την (6-2) καταλήγουμε στη σχέση:

$$H = K_p \times \Delta l + H_0 \quad (6-3)$$

Κατά τον ίδιο τρόπο συμπεριφέρεται το κάθε σύστημα αυτοματισμού με **αναλογική ρύθμιση**. Ο ελεγκτής που κάνει αναλογική ρύθμιση ονομάζεται ελεγκτής τύπου **"P"**. Οποιαδήποτε παράμετρο και αν ελέγχουμε, είτε αυτή είναι η στάθμη νερού όπως στο σχήμα (6-2), είτε είναι η θερμοκρασία χώρου είτε είναι η πίεση, ακολουθεί τον παραπάνω τρόπο λειτουργίας.

### (γ) Η σύγκριση των δύο συστημάτων

Η διαφορά μεταξύ του συστήματος αναλογικού ελέγχου και του συστήματος επιλογής μεταξύ δύο θέσεων είναι η εξής:

- Στο αναλογικό σύστημα, το ελεγχόμενο μέγεθος **σταθεροποιείται σε κάποια τιμή**, η οποία βρίσκεται μέσα στην περιοχή **αναλογικού ελέγχου**, η οποία συμβολίζεται ως **PB**.
- Στο σύστημα ON-OFF υπάρχουν **συνεχείς διακυμάνσεις** στην τιμή του ελεγχόμενου μεγέθους. Οι διακυμάνσεις αυτές βρίσκονται σε μία **περιοχή διακύμανσης**. Η ρύθμιση του οργάνου ορίζεται από το ένα από τα δύο άκρα της εν λόγω περιοχής.

### (δ) Το πρόβλημα του αναλογικού ελέγχου

Αν και το αναλογικό σύστημα σαφώς υπερτερεί από ένα σύστημα ON-OFF, δεν είναι πάντοτε το πλέον κατάλληλο, επειδή δεν σταθεροποιείται με ακρίβεια στην επιθυμητή τιμή. Αυτό το καταλαβαίνουμε βλέποντας το παράδειγμα του σχήματος (6-2). Αν η επιθυμητή στάθμη είναι  $H_\alpha$ , η οποία έστω ότι βρίσκεται στο μέσον μεταξύ των  $H_0$  και  $H_{\max}$ , τότε το μόνο που θα μπορεί να μας εξασφαλίσει το αναλογικό σύστημα αυτοματισμού είναι ότι η λειτουργία θα σταθεροποιηθεί τελικά κάπου μεταξύ των  $H_0$  και  $H_{\max}$ . Το που ακριβώς θα σταθεροποιηθεί δεν το ξέρουμε και εξαρτάται από το ρυθμό με τον οποίο αδειάζει η δεξαμενή. Όταν αδειάζει γρήγορα, η τιμή του ύψους  $H$  βρίσκεται κοντά στο κάτω όριο  $H_0$ , ενώ όταν αδειάζει αργά βρίσκεται κοντά στο άνω όριο  $H_{\max}$  και μόνο για συγκεκριμένο ρυθμό αδειάσματος της δεξαμενής μπορεί να προκύψει  $H = H_\alpha$ . Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με περισσότερο βελτιωμένα συστήματα αυτοματισμού, στα οποία θα γίνει αναφορά σε επόμενες παραγράφους του παρόντος κεφαλαίου.

## 6-3. Τα είδη των συστημάτων αυτοματισμού

Τα συστήματα αυτοματισμού των κλιματιστικών και των ψυκτικών εγκαταστάσεων, ανάλογα με τον προορισμό τους, διακρίνονται στις δύο μεγάλες κατηγορίες που φαίνονται στον πίνακα (6-1):

- (1) Τα συστήματα **ελέγχου των συνθηκών** των χώρων και τα οποία βρίσκουν εφαρμογή κυρίως στις εγκαταστάσεις κλιματισμού.

- (2) Τα συστήματα **λειτουργίας και προστασίας** εγκαταστάσεων, τα οποία βρίσκουν εφαρμογή κυρίως στις ψυκτικές εγκαταστάσεις.

Η δεύτερη κατηγορία, δηλαδή οι αυτοματισμοί λειτουργίας και προστασίας θα μπορούσαν να χωριστούν και σε τρεις επιμέρους υποκατηγορίες ως εξής:

- Ελέγχου λειτουργίας (μέσω θερμοστατικών βαλβίδων, βανών, ρελέ κλπ.)
- Προστασίας (μέσω πρεσοστατών, ρελέ, κλπ.)
- Εξοικονόμησης ενέργειας μέσω αναστροφέα (inverter) και ηλεκτρονικών διατάξεων.

A/A	Κατηγορία Αυτοματισμού	Παράγοντες που κυρίως ελέγχονται	Εξαρτήματα που κυρίως χρησιμοποιούνται
1	<b>Συνθηκών χώρου</b> Εξασφαλίζουν τις επιθυμητές συνθήκες στον κλιματιζόμενο χώρο	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Θερμοκρασία</li> <li>• Σχετική Υγρασία</li> <li>• Παροχή νωπού αέρα</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Θερμοστάτες</li> <li>• Υγροστάτες</li> <li>• Σερβοκινητήρες</li> <li>• Τάμπερ</li> <li>• Ηλεκτροβάνες</li> <li>• Ειδικές ηλεκτρονικές συσκευές</li> <li>• Ηλεκτρονικοί υπολογιστές</li> </ul>
2	<b>Λειτουργίας και Προστασίας</b> Ελέγχουν τη σωστή λειτουργία του εξοπλισμού Προστατεύουν τις συσκευές από τυχόν καταστροφή ή κακή λειτουργία Εξασφαλίζουν την οικονομική λειτουργία	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Πίεση</li> <li>• Ένταση ηλεκτρικού ρεύματος</li> <li>• Έλλειψη τάσης</li> <li>• Ροή του ρευστού</li> <li>• Έλεγχος στάθμης λαδιού</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Πρεσοστάτες</li> <li>• Θερμοεκτονωτικές βαλβίδες</li> <li>• Ελεγκτές ροής (Flow switch)</li> <li>• Θερμικά προστασίας κινητήρων</li> <li>• Πηνία έλλειψης τάσης</li> <li>• Ρελέ</li> <li>• Συστήματα inverter</li> <li>• Συστήματα PLC</li> </ul>
Πίνακας (6-1): Οι δύο βασικές κατηγορίες συστημάτων αυτοματισμού			

Όμως τα όρια της παραπάνω διάκρισης δεν είναι επακριβώς καθορισμένα. Μπορεί, π.χ. ένας αυτοματισμός να κάνει έλεγχο της λειτουργίας και να εξασφαλίζει συγχρόνως την προστασία των συσκευών. Για τον λόγο αυτό τις τρεις παραπάνω υποκατηγορίες τις ενοποιήσαμε σε μία και μοναδική κατηγορία.

Εκτός από την διάκριση του πίνακα (6-1) τα συστήματα αυτοματισμού μπορούμε να τα διακρίνουμε και κατά άλλους τρόπους. Συνοπτικά, οι δυνατοί τρόποι με τους οποίους μπορούμε να διακρίνουμε τα συστήματα φαίνονται στον πίνακα (6-2).

Βλέποντας τον πίνακα (6-2) καταλαβαίνουμε ότι η ολοκληρωμένη και αναλυτική μελέτη όλων των συστημάτων αυτοματισμού είναι περίπλοκη και θα απαιτείτο τεράστιος χρόνος. Γι' αυτό και η πλήρης ανάπτυξη ξεφεύγει από τους στόχους του βιβλίου. Θα περιορι-

στούμε μόνο στην ανάπτυξη των συστημάτων σύμφωνα με τη σειρά του πίνακα (6-1) και συγκεκριμένα:

- Στο επόμενο κεφάλαιο 7 θα ασχοληθούμε με τα συστήματα που ελέγχουν τις συνθήκες του χώρου στις κλιματιστικές εγκαταστάσεις.
- Στο κεφάλαιο 8 θα ασχοληθούμε με τους αυτοματισμούς λειτουργίας και προστασίας των ψυκτικών συγκροτημάτων.

Στο παρόν κεφάλαιο θα αναφερθούμε στις αρχές λειτουργίας των συστημάτων αυτοματισμού και ιδίως με θα ασχοληθούμε με τα συστήματα **κλειστού βρόχου**. Τα συστήματα κλειστού βρόχου παρουσιάζουν ιδιαίτερο τεχνικό ενδιαφέρον και αποτελούν τη βάση πάνω στην οποία στηρίζεται η λειτουργία των συστημάτων που ελέγχουν τις συνθήκες του χώρου. Η κατανόηση του τρόπου λειτουργίας αυτών των συστημάτων είναι προϋπόθεση για να γίνουν αντιληπτές οι διατάξεις αυτοματισμού που αναπτύσσονται στο επόμενο κεφάλαιο 7.

Το μέσο λειτουργίας, στην ανάπτυξη που θα κάνουμε, θα είναι είτε το ηλεκτρικό ρεύμα είτε το ίδιο το ρευστό που κυκλοφορεί στο δίκτυο. Παράδειγμα που το μέσο λειτουργίας είναι το ίδιο το διερχόμενο ρευστό, αποτελεί η θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα την οποία είδαμε στο κεφάλαιο 5. Οι πνευματικοί και υδραυλικοί αυτοματισμοί χρησιμοποιούνται σχετικά σπάνια στη ψύξη και στον κλιματισμό και όταν χρησιμοποιούνται, πρόκειται κυρίως για απλές διατάξεις. Ως εκ τούτου δεν θα αναφερθούμε καθόλου στα πνευματικά και στα υδραυλικά συστήματα.

A/A	Τρόπος διάκρισης	Κατηγορίες αυτοματισμού
1	Ανάλογα με τον <b>προορισμό</b> τους (αναλυτικά αναπτύσσονται στον πίνακα 6-1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ελέγχου συνθηκών χώρου</li> <li>• Λειτουργίας και προστασίας</li> </ul>
2	Ανάλογα με τον τρόπο που ασκούν τον έλεγχο	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ανοικτού βρόχου</li> <li>• Κλειστού βρόχου</li> </ul>
3	Ανάλογα με το <b>ρευστό</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Αέρα</li> <li>• Νερού</li> <li>• Ψυκτικού ρευστού</li> </ul>
4	Ανάλογα με το <b>μέσο</b> λειτουργίας	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ηλεκτρικοί, ηλεκτρονικοί</li> <li>• Ελεγχόμενοι από ίδιο το ρευστό</li> <li>• Πνευματικοί</li> <li>• Υδραυλικοί</li> <li>• Μικτοί</li> </ul>
Πίνακας (6-2): Διάκριση των συστημάτων αυτοματισμού		

#### 6-4. Τα μέρη από τα οποία αποτελείται ένα σύστημα αυτοματισμού

Στους αυτοματισμούς γενικά μπορούμε να διακρίνουμε τρία βασικά τμήματα: τους **αισθητήρες**, τον **ελεγκτή** και τους **ενεργοποιητές**.

- Οι **αισθητήρες** είναι τα όργανα που μετρούν το υπό έλεγχο μέγεθος (θερμοκρασία, υγρασία, πίεση κλπ.).
- Ο **ελεγκτής** είναι η συσκευή που δέχεται από τους αισθητήρες τα σήματα, σχετικά τα μεγέθη των υπό έλεγχο παραμέτρων και ο οποίος, ύστερα από τη σύγκριση τους με τα επιθυμητά μεγέθη, δίνει την αντίστοιχη εντολή για τη διόρθωση τους.
- Οι **ενεργοποιητές** είναι οι συσκευές που δέχονται τα σήματα από τον ελεγκτή και ενεργοποιούν ανάλογα τη διαδικασία του συστήματος, δηλαδή εκτελούν τις εντολές ελέγχου.

Απλό παράδειγμα συστήματος αισθητήρα-ελεγκτή-ενεργοποιητή είναι οι συνήθεις θερμοστάτες των διαμερισμάτων που διαθέτουν σύστημα αυτονομίας στη θέρμανση. Αυτοί μετρούν τη θερμοκρασία με τον ενσωματωμένο αισθητήρα τους και αν είναι εκτός ορίων δίνουν εντολή σε μία δίοδη βάνα ON-OFF να κλείσει ή να ανοίξει. Στην περίπτωση αυτή ο αισθητήρας και ο ελεγκτής είναι ενσωματωμένα στην ίδια συσκευή (αυτή που ονομάζουμε θερμοστάτη) και ο ενεργοποιητής είναι ο κινητήρας (ή το πηνίο) της δίοδης βάνας ON-OFF.

## 6-5. Τα συστήματα ανοικτού βρόχου

Όπως αναφέραμε και στην εισαγωγή, τα συστήματα **ανοικτού βρόχου** είναι εκείνα στα οποία το σύστημα αυτοματισμού δίνει μία εντολή αφού δεχτεί το κατάλληλο σήμα από τους αισθητήρες αλλά μετά ουδόλως ενδιαφέρεται να παρακολουθεί το αποτέλεσμα της εντολής που έδωσε ή να κάνει κάποια άλλη διορθωτική κίνηση.

Τυπική περίπτωση είναι οι διατάξεις **προστασίας** μηχανημάτων από καταστροφή. Π.χ. οι διατάξεις προστασίας των ηλεκτροκινητήρων, είναι όλες ανοικτού βρόχου. Μόλις το σύστημα ελέγχου διαπιστώσει ότι κάποια παράμετρος από αυτές που ελέγχει δεν τα πηγαίνει καλά, π.χ. έχει πέσει η τάση, έχουμε διακοπή με μία φάση, το απορροφούμενο ρεύμα είναι υψηλό (άρα ο κινητήρας συναντάει μεγάλη αντίσταση), τότε το σύστημα δίνει αυτομάτως την εντολή και διακόπτεται η λειτουργία, για να μην καταστραφεί ο ηλεκτροκινητήρας.

Τα συστήματα προστασίας δεν είναι τα μοναδικά συστήματα ανοικτού βρόχου. Μερικά ακόμη παραδείγματα ανοικτών συστημάτων είναι τα εξής:

- Ένα σύστημα κλιματισμού που λειτουργεί ορισμένες μόνο ώρες την ημέρα, μέσω χρονοδιακόπτη. Μπορεί π.χ. σε ένα συγκρότημα γραφείων να γίνεται ρύθμιση έτσι ώστε να λειτουργεί το σύστημα κλιματισμού κατά το διάστημα από 07.00 μέχρι 16.00. Στις 07.00 το πρωί δίνεται μία εντολή εκκίνησης, χωρίς το σύστημα που τη δίνει να ενδιαφέρεται για τίποτε άλλο και στις 17.00 τη διακόπτει.
- Σε μία αντλία θερμότητας, αν ο εξωτερικός θερμοστάτης ανιχνευθεί ότι θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι κάτω των

4°C, αρχίζει να δίνει εντολές αποπαγοποίησης του εξωτερικού στοιχείου (αντιστροφή της λειτουργίας), κατά τακτά προκαθορισμένα διαστήματα, που το καθένα είναι συγκεκριμένης χρονικής διάρκειας. Το σύστημα αυτό δεν ενδιαφέρεται να πληροφορηθεί τα αποτελέσματα της εντολής που έδωσε, ούτε να κάνει κάποια διόρθωση.

Τα συστήματα ανοικτού βρόχου είναι απλά ως προς τη σύλληψη τους και γι' αυτό είναι εύκολο να γίνει κατανοητή η αρχή λειτουργίας τους. Δεν υπάρχει τίποτε περισσότερο να αναφέρουμε γι' αυτά στον παρόν κεφάλαιο, αλλά η ευκολία τους σταματάει σ' αυτό το σημείο. Τα συστήματα αυτά, συνδυαζόμενα μεταξύ τους μπορεί να δημιουργήσουν περίπλοκες διατάξεις αυτοματισμού. Γι' αυτό η μελέτη των σχεδίων αυτοματισμού που στηρίζονται σε συστήματα ελέγχου ανοικτού βρόχου μπορεί να είναι πολύ πιο περίπλοκη και πολύ πιο δύσκολη στην κατανόηση της από ότι είναι στα συστήματα κλειστού βρόχου. Χρησιμοποιούνται πολύ στην προστασία και στον έλεγχο της λειτουργίας των ψυκτικών συγκροτημάτων. Οι διατάξεις αυτές συχνά χρειάζονται προσπάθεια για να γίνουν κατανοητές και θα αναπτυχθούν στο κεφάλαιο 8.

#### **6-6. Τα συστήματα κλειστού βρόχου**

Στα συστήματα **κλειστού βρόχου**, ο ελεγκτής αφού δώσει στον ενεργοποιητή μία εντολή ρύθμισης, παίρνει μετά το αποτέλεσμα της ρύθμισης, το συγκρίνει με την επιθυμητή τιμή και δίνει νέα εντολή στον ενεργοποιητή. Τυπικές περιπτώσεις είναι το σύστημα θερμοστάτη-δίοδης βάννας ενός διαμερίσματος που αναφέρθηκε στην παράγραφο (6-4) και ο έλεγχος της στάθμης νερού σε μία δεξαμενή που αναφέρθηκε στην παράγραφο (6-2).

Ο αρχές λειτουργίας αυτών των συστημάτων είναι κάπως περίπλοκες και θα απαιτηθεί μία κάποια προσπάθεια για την κατανόηση τους. Η δυσκολία αυτή όμως αντισταθμίζεται από το γεγονός ότι, από τη στιγμή που θα γίνουν αντιληπτές οι αρχές λειτουργίας τους, η μελέτη και η κατανόηση του σχεδιασμού των συστημάτων αυτοματισμού που βασίζονται σε συστήματα κλειστού βρόχου, θα είναι πλέον σχετικά απλή, όπως θα δούμε και στο κεφάλαιο 7. Δηλαδή συμβαίνει ακριβώς το αντίθετο από ότι ισχύει στα ανοικτά συστήματα.

Στη συνέχεια του παρόντος κεφαλαίου θα ασχοληθούμε αποκλειστικά με τις αρχές λειτουργίας των συστημάτων κλειστού βρόχου τα οποία βρίσκουν εφαρμογή κυρίως στις εγκαταστάσεις κλιματισμού και λιγότερο στις εγκαταστάσεις ψύξης.

#### **6-7. Ο τρόπος ελέγχου και ρύθμισης με ηλεκτρονικές διατάξεις στα συστήματα κλειστού βρόχου**

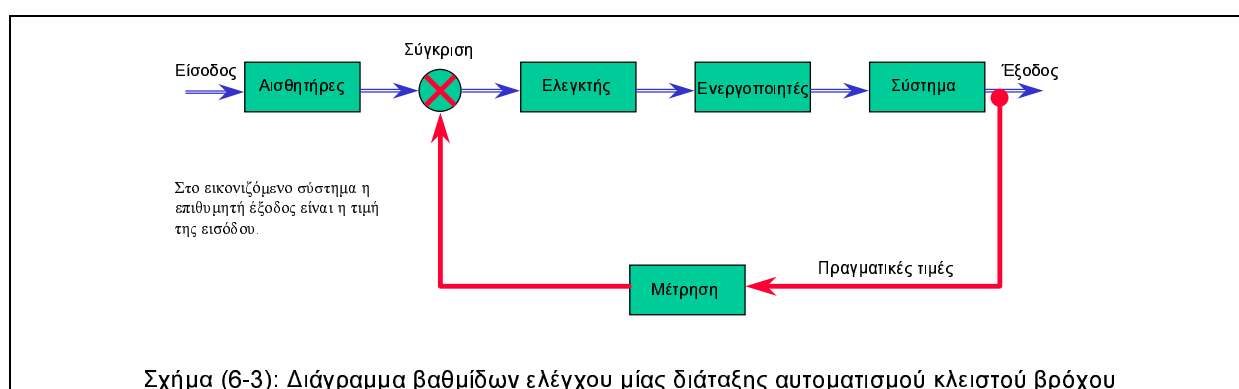
Ο ελεγκτής, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, είναι μια απαραίτητη μονάδα στα συστήματα αυτομάτου ελέγχου.

Στα συστήματα **κλειστού βρόχου**, τα οποία κυρίως μας ενδιαφέρουν ο ελεγκτής ρυθμίζει το προς μέτρηση μέγεθος, έτσι ώστε να

κυμαίνεται μέσα στα επιθυμητά όρια που έχουν ορισθεί για την καλή ψύξη, ή την απαιτούμενη θερμοκρασία ή υγρασία κλπ. Είναι συνήθως ένα ηλεκτρονικό σύστημα το οποίο εκτελεί τα εξής:

- Δέχεται το ηλεκτρικό σήμα, προερχόμενο από το θερμοστάτη, ή τον πρεσσοστάτη ή τον υγροστάτη κ.λπ. Το ηλεκτρικό αυτό σήμα προέρχεται από την μετατροπή του μετρούμενου μεγέθους στον αισθητήρα, σε ηλεκτρική τάση ανάλογου μεγέθους.
- Το παραπάνω ηλεκτρικό σήμα συγκρίνεται με ένα άλλο σήμα, προερχόμενο από μία άλλη συσκευή με την οποία ρυθμίζουμε την επιθυμητή στάθμη του μεγέθους.
- Το αποτέλεσμα από τη σύγκριση των δύο σημάτων, το διορθώνει, το ενισχύει, το επεξεργάζεται για να ελέγξει αν είναι συμβατό με τις προδιαγραφές του ενεργοποιητή και κατόπιν το μεταβιβάζει στον ενεργοποιητή για να ανοίξει ή να κλείσει μια βαλβίδα ή ένα τάμπερ, ώστε να ρυθμιστεί κατάλληλα η έξοδος (θερμοκρασία, πίεση, υγρασία, κλπ.).

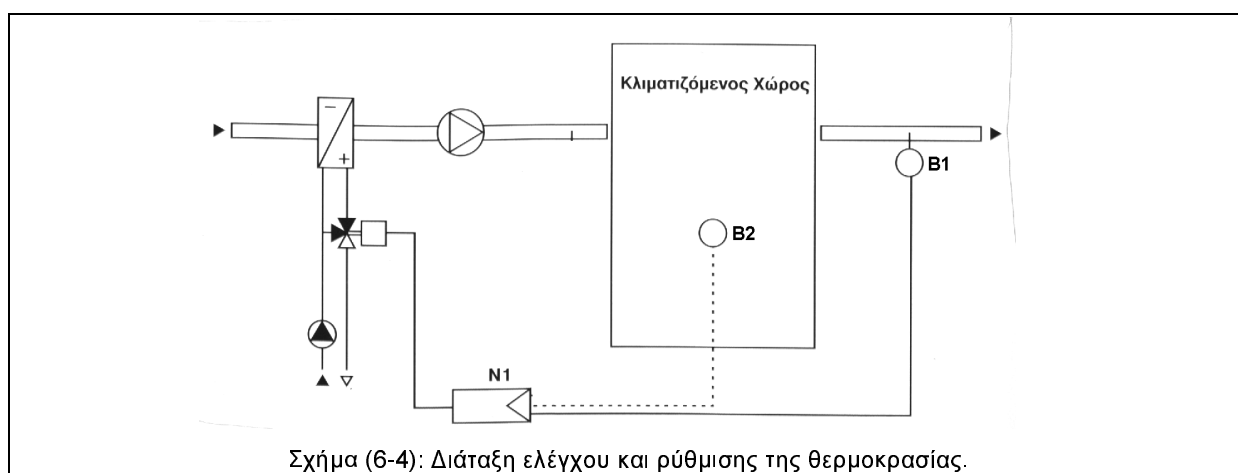
Στο σχήμα (6-3) φαίνεται ένα κλειστό σύστημα ελέγχου ψυκτικής μονάδας με τις επιμέρους μονάδες του και τις ρυθμιζόμενες μεταβλητές θερμοκρασίας, πίεσης και υγρασίας.



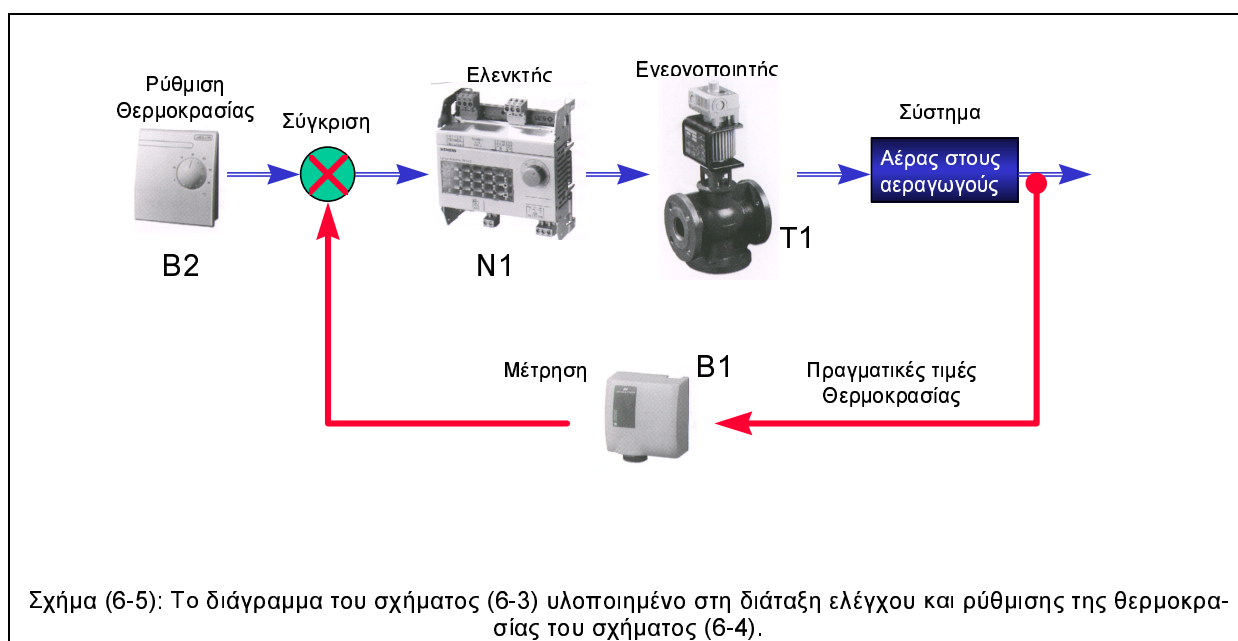
Κατά συνέπεια, ο **ελεγκτής**, που φαίνεται στο σχήμα (6-3) αποτελείται από τρία κύρια τμήματα :

- Τμήμα σημάτων εισόδου ( input interface)
- Τμήμα Επεξεργασίας
- Τμήμα σημάτων εξόδου (output interface)

Με τον όρο **ενεργοποιητής** θα εννοούμε το εξάρτημα που δέχεται το σήμα εξόδου του ελεγκτή, π.χ. μπορεί να είναι ένας σερβοκινητήρας που να κινεί μία τρίοδη βάνα.



Προφανώς το σχήμα (6-3) είναι κάπως δύσκολο να γίνει άμεσα κατανοητό. Γι' αυτό θα το προσεγγίσουμε με ένα απλό παράδειγμα. Στο σχήμα (6-4) βλέπουμε μία διάταξη που ελέγχει τη θερμοκρασία σε ένα κλιματιζόμενο χώρο. Με το αισθητήριο B2 που είναι μέσα στο χώρο, ρυθμίζουμε την επιθυμητή θερμοκρασία του χώρου. Το αισθητήριο B1 μετράει τη θερμοκρασία του απαγόμενου αέρα από το χώρο, που είναι συγχρόνως και η πραγματική θερμοκρασία του χώρου. Τα δύο αυτά σήματα, προερχόμενα από τα B1 και B2 καταλήγουν στον ελεγκτή. Εκεί συγκρίνονται και δίνεται εντολή στον ενεργοποιητή T1, που είναι ένας σερβοκινητήρας, ο οποίος με τη σειρά του κινεί μία τρίοδη βάννα. Η τρίοδη βάννα ρυθμίζει την παροχή του νερού που εισέρχεται στο στοιχείο εναλλαγής θερμότητας και η αλλαγή της παροχής του νερού μέσα από το στοιχείο, αλλάζει τη θερμοκρασία του ρεύματος του αέρα. Μετά από λίγο θα αλλάξει και η θερμοκρασία στο σημείο B1. Έχοντας τη νέα μέτρηση από το σημείο B1, ο ελεγκτής N1 θα δώσει νέα εντολή στον ενεργοποιητή T1 και θα συνεχιστεί αυτή η διαδικασία μέχρι να επιτευχθεί η επιθυμητή θερμοκρασία, όπως αυτή έχει οριστεί από το θερμοστάτη B2.



Η πρακτική απεικόνιση των λειτουργιών της παραπάνω διάταξης, σε μορφή ανάλογη με αυτή του σχήματος (6-3) φαίνεται στο σχήμα (6-5). Στη θέση των ορθογωνίων πλαισίων του σχήματος (6-3), τα οποία που συμβολίζουν τα στοιχεία του συστήματος, έχουν τοποθετηθεί εικόνες των αντίστοιχων πραγματικών μηχανισμών. Έτσι το γενικό αλλά πολύ βασικό σχήμα (6-3) αρχίζει να χάνει τον κάπως απροσδιόριστο χαρακτήρα του και να γίνεται κατανοητό. Το σχήμα (6-3) αντιπροσωπεύει τη γενικότερη διάταξη ενός συστήματος αυτοματισμού κλειστού βρόχου την οποία θα πρέπει να κατανοήσετε πολύ καλά. Η διάταξη αυτή είναι η ίδια, είτε πρόκειται για ηλεκτρικό ή ηλεκτρονικό σύστημα είτε πρόκειται για πνευματικό ή υδραυλικό.

Στη συνέχεια θα αναφερθούμε αναλυτικά και με παραδείγματα τόσο στους ελεγκτές όσο και στους ενεργοποιητές. Κυρίως θα αναπτύξουμε τον τρόπο της λειτουργικής συμπεριφοράς τους, πως δηλαδή αντιλαμβάνονται οι ελεγκτές τα ερεθίσματα, πως αντιδρούν οι ενεργοποιητές και τα προβλήματα που παρουσιάζονται.

#### **6-8. Διάκριση των συστημάτων κλειστού βρόχου ανάλογα με τον τρόπο που επενεργούν**

Τα συστήματα αυτοματισμού κλειστού βρόχου διακρίνονται στις εξής κύριες κατηγορίες:

- (1) **Δύο θέσεων** (ON-OFF).
- (2) **Πλωτού ελέγχου** (floating action), που θα μπορούσε να θεωρηθεί και ως μία βελτίωση του συστήματος δύο θέσεων.
- (3) **Διαμορφωτικού ελέγχου** (modulating control), που διακρίνεται σε τρεις επί μέρους κατηγορίες:
  - **Αναλογικού** ελέγχου που συμβολίζεται ως **P**. Στην περίπτωση αυτή ανήκει το παράδειγμα της παραγράφου (6-2) με το φλοτέρ που ρυθμίζει τη στάθμη της δεξαμενής.
  - **Αναλογικού και ολοκληρωτικού ελέγχου**, που συμβολίζεται ως **PI**. Με το σύστημα αυτό επιτυγχάνεται καλύτερη προσέγγιση της επιθυμητή τιμής της ελεγχόμενης μεταβλητής, από ότι στο σύστημα P.
  - **Αναλογικού, ολοκληρωτικού και διαφορικού** ελέγχου που συμβολίζεται ως **PID**. Με αυτό το σύστημα προσεγγίζεται η επιθυμητή τιμή της ελεγχόμενης μεταβλητής όταν αυτή παρουσιάζει γρήγορες διακυμάνσεις.
- (4) **Λογικού ελέγχου** (fuzzy logic), με τον οποίο γίνεται μία προσέγγιση στον τρόπο που σκέπτεται το ανθρώπινο μυαλό.

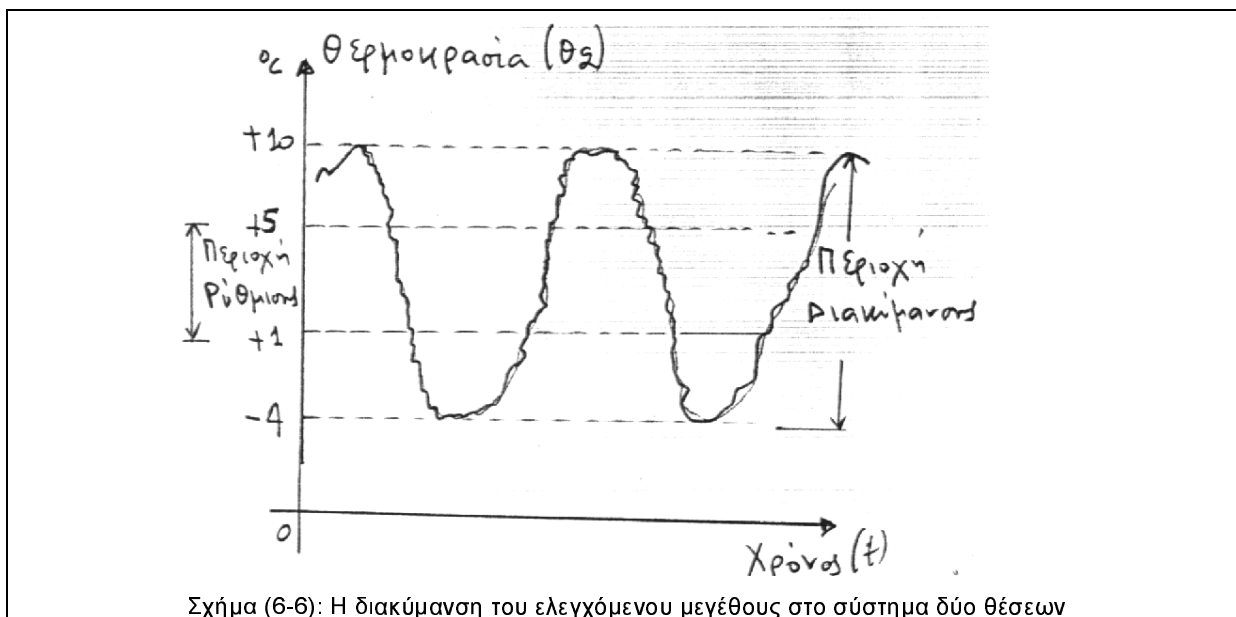
#### **6-9. Αυτοματισμοί επιλογής μεταξύ δύο θέσεων (ON-OFF)**

Τυπική περίπτωση αυτοματισμών επιλογής μεταξύ δύο θέσεων, είναι οι οικιακοί θερμοστάτες, στα συστήματα θέρμανσης με αυτονομία, όπου δίνεται η εντολή να **ανοίξει** ή να **κλείσει** μία δίοδη



βάνα. Ο τρόπος διακύμανσης του ελεγχόμενου μεγέθους στα συστήματα αυτοματισμού δύο θέσεων φαίνεται στο σχήμα (6-6).

Με αυτό το σύστημα γίνεται π.χ. ο έλεγχος μίας ηλεκτροβάννας που ρυθμίζει τη ροή του ζεστού νερού που θερμαίνει ένα χώρο. Αν το σύστημα αυτοματισμού διαπιστώσει ότι η θερμοκρασία στο χώρο είναι υψηλή, τότε δίνει εντολή στη βάννα ON-OFF να κλείσει. Μετά από λίγη ώρα, αν ο αυτοματισμός αντιληφθεί ότι η θερμοκρασία έχει πέσει χαμηλά δίνει εντολή στη βάννα να ανοίξει.



Όπως βλέπουμε στο σχήμα (6-6), το σύστημα αυτοματισμού παρουσιάζει τη **διακύμανση ρύθμισης** του οργάνου (ή διαφορικό ρύθμισης), η οποία, αν π.χ. πρόκειται για θερμοστάτη, αυτή είναι η διαφορά μεταξύ των θέσεων ON και OFF (διαφορά μεταξύ των δύο "κλικ"). Αλλά κατά τη λειτουργία, η θερμοκρασία του χώρου, λόγω του φαινομένου της υστέρησης, παρουσιάζει τη **διακύμανση λειτουργίας** (ή διαφορικό λειτουργίας).

Για να γίνουν αντιληπτά τα αίτια που δημιουργούν τη διαφορά μεταξύ της διακύμανσης ρύθμισης και της διακύμανσης λειτουργίας ας δούμε, ως παράδειγμα, την απλή περίπτωση ενός θερμοστάτη διαμερίσματος που θερμαίνεται με απλά θερμαντικά σώματα.

**ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ:** Έστω ότι ο θερμοστάτης ενός διαμερίσματος είναι κατασκευασμένος έτσι ώστε η διαφορική του ρύθμιση να είναι  $2^{\circ}\text{C}$ . Τοποθετούμε το θερμοστάτη στους  $21^{\circ}\text{C}$ . Λογικά περιμένουμε η θερμοκρασία του δωματίου να κυμαίνεται από  $21^{\circ}\text{C}$  μέχρι  $21+2=23^{\circ}\text{C}$ . Παρατηρούμε όμως ότι η πραγματική διακύμανση της θερμοκρασίας του διαμερίσματος κυμαίνεται από  $20,5$  μέχρι  $23,5^{\circ}\text{C}$  (οι αριθμοί είναι ενδεικτικοί). Δηλαδή το σύστημα παρουσιάζει μεγαλύτερη διακύμανση που είναι  $3^{\circ}\text{C}$  αντί για  $2^{\circ}\text{C}$ . Δημιουργείται ως εκ τούτου το εύλογο ερώτημα: γιατί να παρουσιάζεται διακύμανση **λειτουργίας**  $3^{\circ}\text{C}$ , τη στιγμή που η διακύμανση **ρύθμισης** είναι μόνο  $2^{\circ}\text{C}$ ;

**ΑΠΑΝΤΗΣΗ:** Όταν η θερμοκρασία του χώρου φθάσει στους  $23^{\circ}\text{C}$ , ο θερμοστάτης δίνει εντολή διακοπής της θέρμανσης. Όμως τα θερμαντικά σώματα περιέχουν ήδη καυτό νερό και εξακολουθούν να ανεβάζουν τη θερμοκρασία του χώρου μέχρι που να παγώσουν. Έτσι καταφέρνουν να την ανεβάσουν στους  $23,5^{\circ}\text{C}$ . Αντίστοιχα, όταν η θερμοκρασία πέσει στους  $21^{\circ}\text{C}$ , μέχρι να φθάσει το καυτό νερό από το λέβητα και να γεμίσουν εκ νέου τα θερμαντικά σώματα, η θερμοκρασία του χώρου θα εξακολουθήσει να πέφτει και θα κατέβει στους  $20,5^{\circ}\text{C}$  αντί για τους  $21^{\circ}\text{C}$  που είναι η ρύθμιση του θερμοστάτη.

## 6-10. Αυτοματισμοί πλωτού ελέγχου (floating action)

Αυτοί οι αυτοματισμοί συναντιούνται και με την ονομασία **αυτοματισμοί προοδευτικής λειτουργίας**. Μοιάζουν πολύ με τους προηγούμενους με τη μόνη διαφορά ότι ο ελεγκτής ανταποκρίνεται ταχύτερα ενώ ο ενεργοποιητής κινείται πολύ αργά. Στους ηλεκτρικούς αυτοματισμούς η πολύ αργή κίνηση να επιτυγχάνεται με την αποστολή ηλεκτρικών παλμών στον ενεργοποιητή, κατά ορισμένα χρονικά διαστήματα. Ο κάθε παλμός αντιστοιχεί σε μία πολύ μικρή διαδρομή του ενεργοποιητή. Αν ο ενεργοποιητής είναι και αυτός γρήγορος, τότε το σύστημα ουσιαστικά εκφυλίζεται σε σύστημα ON-OFF.

Όταν δοθεί η εντολή σε μία βάννα να κλείσει, το κλείσιμο γίνεται με έναν πολύ αργό ρυθμό. Εν τω μεταξύ ο ελεγκτής, με τις πληροφορίες που δέχεται από το περιβάλλον, μπορεί σε κάποιο σημείο να διακόψει την προοδευτική κίνηση του ενεργοποιητή ή ακόμη και να αντιστρέψει τη φορά κίνησης. Το χαρακτηριστικό των ενεργοποιητών που χρησιμοποιούνται στα συστήματα πλωτού ελέγχου, είναι ότι μπορούν να σταματήσουν ή να αντιστρέψουν τη λειτουργία τους σε οποιοδήποτε σημείο της διαδρομής τους. Για να γίνει αντιληπτή η λειτουργία καθώς και η διαφορά που υπάρχει από ένα σύστημα ON-OFF παραθέτουμε το παρακάτω παράδειγμα.

**ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ:** Έστω ότι η επιθυμητή μέση θερμοκρασία ενός χώρου είναι  $22^{\circ}\text{C}$  και ο θερμοστάτης έχει έξοδο προοδευτικής λειτουργίας. Η βάννα που ανοιγοκλείνει την παροχή του νερού είναι επίσης εφοδιασμένη με ένα κινητήρα προοδευτικής λειτουργίας. Μόλις ο θερμοστάτης αισθανθεί ότι η θερμοκρασία έχει πέσει στους  $21^{\circ}\text{C}$ , τότε δίνει εντολή και αρχίζει, σε πολύ αργό ρυθμό η ηλεκτροβάννα να ανοίγει. Μετά από 15 λεπτά έστω ότι η θερμοκρασία του χώρου έφθασε στους  $22^{\circ}\text{C}$  και ο κινητήρας της βάννας είναι στο 70% της διαδρομής του. Τότε ο θερμοστάτης διακόπτει την κίνηση του κινητήρα. Η θερμοκρασία όμως θα συνεχίσει να ανεβαίνει επειδή το 70% που άνοιξε η βάννα, μέχρι που να αισθανθεί ο θερμοστάτης τους  $22^{\circ}\text{C}$ , ήταν σχετικά πολύ. Αν η θερμοκρασία φθάσει τους  $23^{\circ}\text{C}$  ο θερμοστάτης θα δώσει εντολή να αρχίσει η βάννα να κλείνει, δηλαδή να κινείται προς την αντίθετη κατεύθυνση και να μειώνει το άνοιγμα της βάννας. Μόλις η θερμοκρασία πέσει στους  $22^{\circ}\text{C}$ , τότε έστω ότι ο κινητήρας είναι στο 20% της διαδρομής του, που είναι σχετικά λίγο για να διατηρηθεί η θερμοκρασία στους  $22^{\circ}\text{C}$  και η θερμοκρασία θα εξακολουθήσει να πέφτει μέχρι τους  $21^{\circ}\text{C}$ . Τότε θα δοθεί εντολή για

την εκ νέου αντιστροφή της λειτουργίας κ.ο.κ. Το αποτέλεσμα θα είναι η διακύμανση της θερμοκρασίας να είναι μέσα στην περιοχή 21-23°C (ή ενδεχομένως να αποκλίνει ελάχιστα από αυτήν).

Από το παραπάνω παράδειγμα γίνεται αντιληπτό ότι όταν ο θερμοστάτης πλησιάζει στο σημείο ελέγχου, συμφέρει, αν είναι δυνατόν, να γίνεται πιο αργά η κίνηση του κινητήρα προοδευτικής λειτουργίας. Έτσι, μέχρι που θα αισθανθεί ο θερμοστάτης ότι η θερμοκρασία του χώρου βρίσκεται στο σημείο ελέγχου, το άνοιγμα της βάνας να μην έχει προλάβει εν τω μεταξύ να γίνει πολύ μεγάλο ή πολύ μικρό.

Για τον παραπάνω λόγο, στα συστήματα αυτοματισμού πλωτού ελέγχου, ενδέχεται να μην έχουμε μόνο μία ταχύτητα κίνησης του ενεργοποιητή. Τότε λέμε ότι έχουμε την **αυξανόμενη προοδευτική λειτουργία** (incremental floating action), με την οποία επιτυγχάνεται η βέλτιστη δυνατή προσέγγιση του σημείου ελέγχου. Σε ένα ηλεκτρικό σύστημα ο μηχανισμός με τον οποίο οι αυτοματισμοί αυτοί μπορούν να μειώνουν την ταχύτητα, όσο η τιμή της μεταβλητής πλησιάζει το σημείο ελέγχου, είναι με τη μείωση της χρονικής διάρκειας των παλμών που αποστέλλονται στον ενεργοποιητή. Η μειωμένη διάρκεια του κάθε ηλεκτρικού παλμού, θα προκαλέσει μικρότερης διάρκειας κίνηση του ενεργοποιητή σε κάθε παλμό, δηλαδή την πιο αργή κίνηση.

## 6-11. Αυτοματισμοί διαμορφωτικού ελέγχου (modulating control)<sup>1</sup>

Οι αυτοματισμοί αυτοί είναι οι κυριότεροι από όλους και στο υπόλοιπο τμήμα του κεφαλαίου θα ασχοληθούμε σχεδόν αποκλειστικά με αυτούς. Επενεργούν δίνοντας μία έξοδο, συνήθως 2...10 V ή 0...10 V, το μέγεθος της οποίας εξαρτάται από τη διαφορά μεταξύ:

- Της μέτρησης της υπό έλεγχο παραμέτρου.
- Της ρύθμισης που έχει γίνει για το επιθυμητό μέγεθος της εν λόγω παραμέτρου.

Ανάλογα με το μέγεθος του εν λόγω σήματος, ο ενεργοποιητής λαμβάνει την ανάλογη θέση.

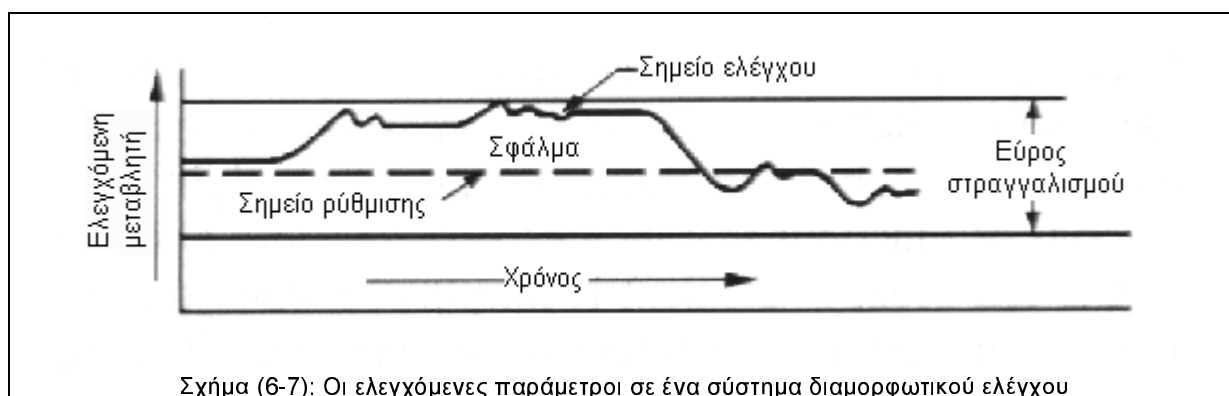
Για να λειτουργήσουν σωστά οι **ελεγκτές διαμορφωτικού ελέγχου**<sup>2</sup> θα πρέπει να τους γίνουν ορισμένες ρυθμίσεις, οι οποίες προσδιορίζονται μετά από δοκιμές.

Οι αυτοματισμοί **διαμορφωτικού ελέγχου**, είναι ότι καλύτερο μπορεί να προσφέρει σήμερα η τεχνολογία των αυτοματισμών. Γίνεται με ηλεκτρονικές συσκευές σύγχρονης τεχνολογίας. Το μειονέκτημα τους βρίσκεται στη μεγαλύτερη προσπάθεια που χρειάζεται

<sup>1</sup> Ο όρος modulating action έχει αποδοθεί στην Ελληνική με διάφορα ονόματα. Εδώ προτιμήθηκε να γίνει η κατά λέξη μετάφραση του αντίστοιχου Αγγλικού όρου (modulate = διαμορφώνω). Θα τον συναντήσετε και με τον όρο αναλογικός έλεγχος, πράγμα που δεν είναι απόλυτα σωστό όπως θα δούμε παρακάτω, επειδή ο αναλογικός έλεγχος αποτελεί μία από τις κατηγορίες αυτού του ελέγχου.

<sup>2</sup> Τις συσκευές διαμορφωτικού ελέγχου πολλοί τις συγχύζουν με τις συσκευές PLC που χρησιμοποιούνται κυρίως στους ηλεκτρικούς πίνακες αυτοματισμού. Στην πραγματικότητα όμως δεν έχουν καμία απολύτως σχέση με τα PLC.

για τον προγραμματισμό τους και στο ότι οι ρυθμίσεις τους μπορεί να ποικίλουν ανάλογα με τις εποχές ή και με τις καιρικές συνθήκες.



Οι αυτοματισμοί αυτοί έχουν τέσσερα χαρακτηριστικά μεγέθη, τα οποία φαίνονται στο σχήμα (6-7) :

- (1) Το **σημείο ρύθμισης** (set point): Είναι η επιθυμητή τιμή της μεταβλητής που ελέγχεται.
- (2) Το **σημείο ελέγχου** (control point): Είναι η πραγματική τιμή της μεταβλητής που ελέγχεται.
- (3) Το **σφάλμα** (offset ή signal error): Το σημείο **ρύθμισης** της μεταβλητής που ελέγχεται, πάντα θα έχει μία απόκλιση από το σημείο **ελέγχου**. Αυτή η απόκλιση ονομάζεται **σφάλμα** και το σύστημα προσπαθεί συνεχώς να το διορθώσει.
- (4) Το **εύρος στραγγαλισμού** (throttling range): Είναι η περιοχή μέσα στην οποία μπορεί να βρίσκεται η τιμή της μεταβλητής, όπως βλέπουμε και στο σχήμα (6-7). Το εύρος όμως στραγγαλισμού έχει μεγαλύτερη σημασία από τον παραπάνω απλό ορισμό και συγκεκριμένα ισχύουν ακόμη τα εξής:
  - Αν ο ενεργοποιητής βρίσκεται στη μία από τις δύο ακραίες θέσεις του και παρουσιαστεί μεταβολή της τιμής της ελεγχόμενης μεταβλητής που να είναι **ίση το εύρος στραγγαλισμού**, τότε ο ενεργοποιητής θα μετακινηθεί απ' ευθείας στην άλλη ακραία θέση του.
  - Κάθε άλλη μεταβολή στην τιμή της ελεγχόμενης μεταβλητής, που είναι μικρότερη από το εύρος στραγγαλισμού θα έχει ως αποτέλεσμα να μετακινηθεί ο ενεργοποιητής σε μία ενδιάμεση θέση, αντίστοιχη με το σήμα που δέχεται.
  - Ο καθορισμός ενός πολύ μικρού εύρους στραγγαλισμού, με στόχο τον περιορισμό της τιμής μέσα σε μία πιο μικρή περιοχή, θα έχει ενδεχομένως ως σαν αποτέλεσμα τη συνεχή μετακίνηση του ενεργοποιητή από τη μία ακραία θέση στην άλλη. Κατά τον τρόπο αυτό όμως, το σύστημα εκφυλίζεται σε ένα απλό σύστημα ON-OFF.

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ:** Η έννοια του **εύρους στραγγαλισμού** φαίνεται να μοιάζει πολύ με την έννοια της **περιοχής διακύμανσης** της μεταβλητής κατά τον τρόπο που αυτή ορίζεται σε ένα σύστημα ON-OFF ή προοδευτικής λειτουργίας. Όμως εδώ πρόκειται για κάτι το τελείως διαφορετικό. Συγκεκριμένα, στη διαμορφωτική ρύθμιση, το να βρεθεί η μεταβλητή στα όρια του εύρους στραγγαλισμού, είναι μία ακραία κατάσταση, η οποία, όταν η λειτουργία έχει σταθεροποιηθεί, ελάχιστες πιθανότητες έχει πλέον για να συμβεί (θα συμβεί μόνο αν λάβει χώρα κάποια πολύ απότομη μεταβολή στην ελεγχόμενη μεταβλητή). Έτσι, σε ένα σωστά διαμορφωτικό σύστημα, το **σφάλμα** είναι μικρό και η μεταβλητή θα βρίσκεται πολύ κοντά στο σημείο ελέγχου. Αντίθετα, στο σύστημα δύο θέσεων, όπως βλέπουμε και στο σχήμα (6-5), η μεταβλητή μεταπηδάει συνεχώς από την μία ακραία τιμή της στην άλλη.

## 6-12. Τα είδη των ελεγκτών διαμορφωτικού ελέγχου

Οι ελεγκτές **διαμορφωτικού ελέγχου** είναι διαφόρων τύπων και υπάρχουν με διάφορα ονόματα και χαρακτηρισμούς. Σχεδόν κατά κανόνα, στις εγκαταστάσεις κλιματισμού, πρόκειται για ηλεκτρονικές διατάξεις. Κατά συνέπεια και η ελεγχόμενη μεταβλητή, είναι μία τάση στην οποία έχει μετατραπεί το ελεγχόμενο μέγεθος. Π.χ. ένας θερμοστάτης που ελέγχει τη θερμοκρασία, την μετατρέπει σε τάση και την στέλνει σ' αυτή τη μορφή στον ελεγκτή. Οι τάσεις που χρησιμοποιούνται στον διαμορφωτικό έλεγχο συνήθως είναι στην περιοχή 2-10 V ή 0-10 V. Βασικά κατατάσσονται σε τρεις **τυπικές** κατηγορίες:

### (1) Τύπος P, ή αναλογικής λειτουργίας

Επενεργεί κατά τον τρόπο που αναφέρθηκε στο παράδειγμα του φλοτέρ της παραγράφου (6-2β). Δηλαδή ισχύει η σχέση (6-3), η οποία υπενθυμίζουμε ότι έχει η εξής:

$$H = K_p \times \Delta l + H_0 \quad (6-3)$$

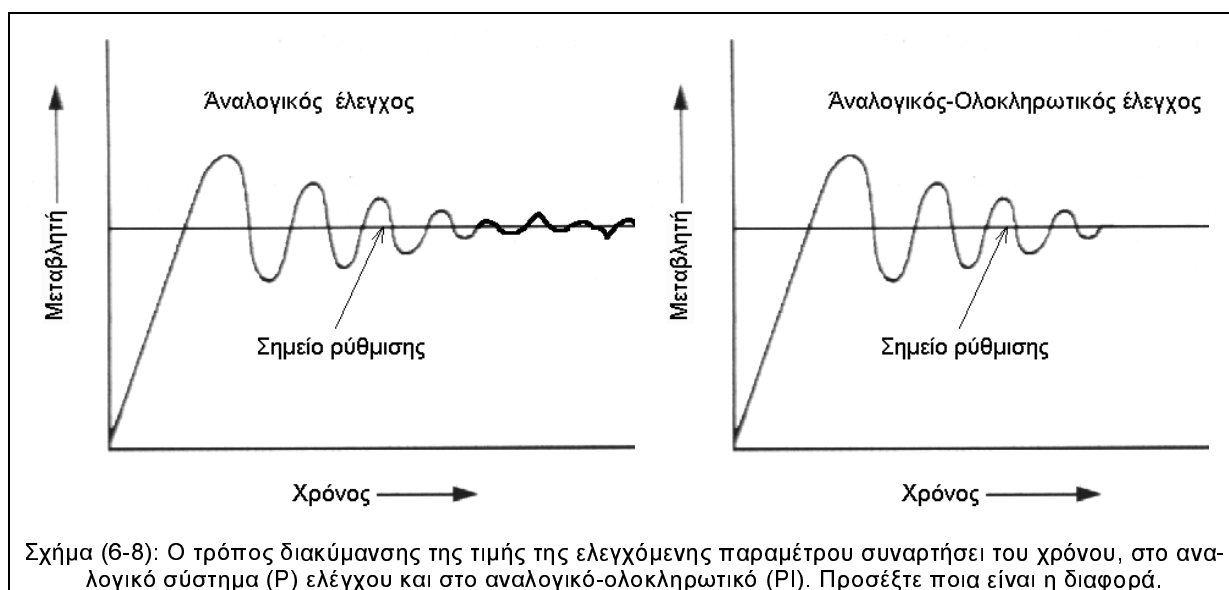
Ας γενικεύσουμε την παραπάνω σχέση για να μην περιοριστούμε μόνο στο παράδειγμα του φλοτέρ της δεξαμενής. Προς τούτο, το σφάλμα, όπως αυτό φαίνεται στο σχήμα (6-7) ας το συμβολίσουμε με το **e** (από το error) και τη μεταβλητή με το **V** (από το variable = μεταβλητή). Οπότε η (6-3) λαμβάνει τη γενικότερη μορφή:

$$V_p = K_p e + V_0 \quad (6-4)$$

Η περιοχή μέσα στην οποία μπορεί να βρεθεί η τιμή της  $V_p$  είναι το **αναλογικό εύρος** και συμβολίζεται ως **PB** (**P**roportional **B**and), όπως ακριβώς συμβαίνει και με το φλοτέρ στην παράγραφο (6-2β). Η αλλαγή του  $K_p$  έχει ως συνέπεια και την αλλαγή του PB. Δηλαδή, στην αναλογική ρύθμιση, **το εύρος στραγγαλισμού ταυτίζεται με την περιοχή PB**.

Ο συντελεστής  $K_p$  ονομάζεται **αναλογικό κέρδος** (proportional gain) και είναι **αντιστρόφως** ανάλογος του **εύρους στραγγαλισμού**,

δηλαδή του **αναλογικού εύρους PB**. Δηλαδή μία μεγάλη τιμή του  $K_p$  που σημαίνει ταχεία ανταπόκριση του συστήματος, συνεπάγεται μικρό εύρος στραγγαλισμού που σημαίνει ότι υπάρχει κίνδυνος ο ενεργοποιητής να μετακινείται από την μία ακραία θέση στην άλλη, ακόμη και σε μικρές διακυμάνσεις της ελεγχόμενης μεταβλητής, σαν να ήταν σύστημα ON-OFF. Αντίθετα το μικρό  $K_p$  συνεπάγεται βραδεία αντίδραση αλλά και μεγάλο εύρος στραγγαλισμού, που σημαίνει ότι το σύστημα θα μπορεί λειτουργεί με μεγαλύτερες διακυμάνσεις της ελεγχόμενης μεταβλητής. Ως εκ τούτου, υπάρχει πάντα μία μέση λύση που αντιπροσωπεύει το βέλτιστο συνδυασμό για να λειτουργήσει σωστά το σύστημα. Αν τέτοια λύση δεν μπορεί να υπάρξει τότε καταφεύγουμε στο σύστημα PI ή, σε ακόμη πιο δύσκολη περίπτωση στο σύστημα PID τα οποία θα αναπτύξουμε παρακάτω.



Ένα βασικό που θα πρέπει να γνωρίζουμε είναι ότι σε κάθε τιμή του  $K_p$  αντιστοιχεί μία και μόνο μία τιμή του PB και αντιστρόφως. Για να λειτουργήσει σωστά ο ελεγκτής θα πρέπει να υπολογιστεί η παράμετρος PB. Η κατάλληλη τιμή του PB βρίσκεται πειραματικά, με δοκιμές, όπως θα αναφέρουμε αργότερα. Η κάθε εγκατάσταση έχει τις δικές της παραμέτρους λειτουργίας. Το PB που τελικά θα εκτιμηθεί ότι είναι η βέλτιστη τιμή, εισάγεται, ως ρύθμιση, στον ελεγκτή.

Σε μία σωστά ρυθμισμένη συσκευή, μία ενδεικτική διακύμανση της ελεγχόμενης παραμέτρου φαίνεται στο σχήμα (6-8). Στο ξεκίνημα της λειτουργίας, έστω ότι έχουμε μία χαμηλή τιμή της ελεγχόμενης παραμέτρου, που μετά από κάποιο χρονικό διάστημα και αφού ταλαντωθεί αρκετές φορές γύρω από το σημείο ελέγχου, καταλήγει κοντά στην επιθυμητή τιμή, δηλαδή στο να ταυτιστεί σχεδόν με το σημείο ελέγχου. Στο αναλογικό σύστημα ή σύστημα P είναι σχεδόν αδύνατο να επιτευχθεί η πλήρης ταύτιση και αν τυχόν επιτευχθεί είναι κάτι το τυχαίο. Όταν χρειάζεται καλύτερη ρύθμιση, χρησιμοποιούμε το αναλογικό-ολοκληρωτικό σύστημα ή σύστημα PI. Η διαφορά τους φαίνεται στο σχήμα (6-8).

Κάθε απροσδόκητη αλλαγή στην ελεγχόμενη τιμή, θα προκαλέσει επίσης στην αρχή μία ταλάντωση μέχρι που θα ισορροπήσει πάλι, κοντά στο σημείο ελέγχου, μέσα στην περιοχή PB. Ο τρόπος αυτός δεν είναι ο μοναδικός για την προσέγγιση του σημείου ελέγχου, όπως θα δούμε στη συνέχεια.

## (2) Τύπος PI ή αναλογικής και ολοκληρωτικής λειτουργίας

Σε αρκετές περιπτώσεις η αναλογική ρύθμιση δεν επαρκεί για να γίνεται η σωστή ρύθμιση και η επιδιωκόμενη βέλτιστη τιμή του  $K_p$  δεν μπορεί να εντοπιστεί. Σ' αυτή την περίπτωση γίνεται επιπλέον και η λεγόμενη **ολοκληρωτική ρύθμιση**. Δεν θα αναφερθούμε στην πλήρη περιγραφή της, η οποία απαιτεί περίπλοκη μαθηματική ανάπτυξη. Θα αναφέρουμε μόνο ότι γίνεται μία επιπλέον διόρθωση ίση με  $V_i$ , η οποία ονομάζεται ολοκληρωτική διόρθωση. Ο υπολογισμός της  $V_i$  γίνεται βάσει ενός μαθηματικού τύπου<sup>3</sup>. Οπότε η διόρθωση βρίσκεται από τη σχέση:

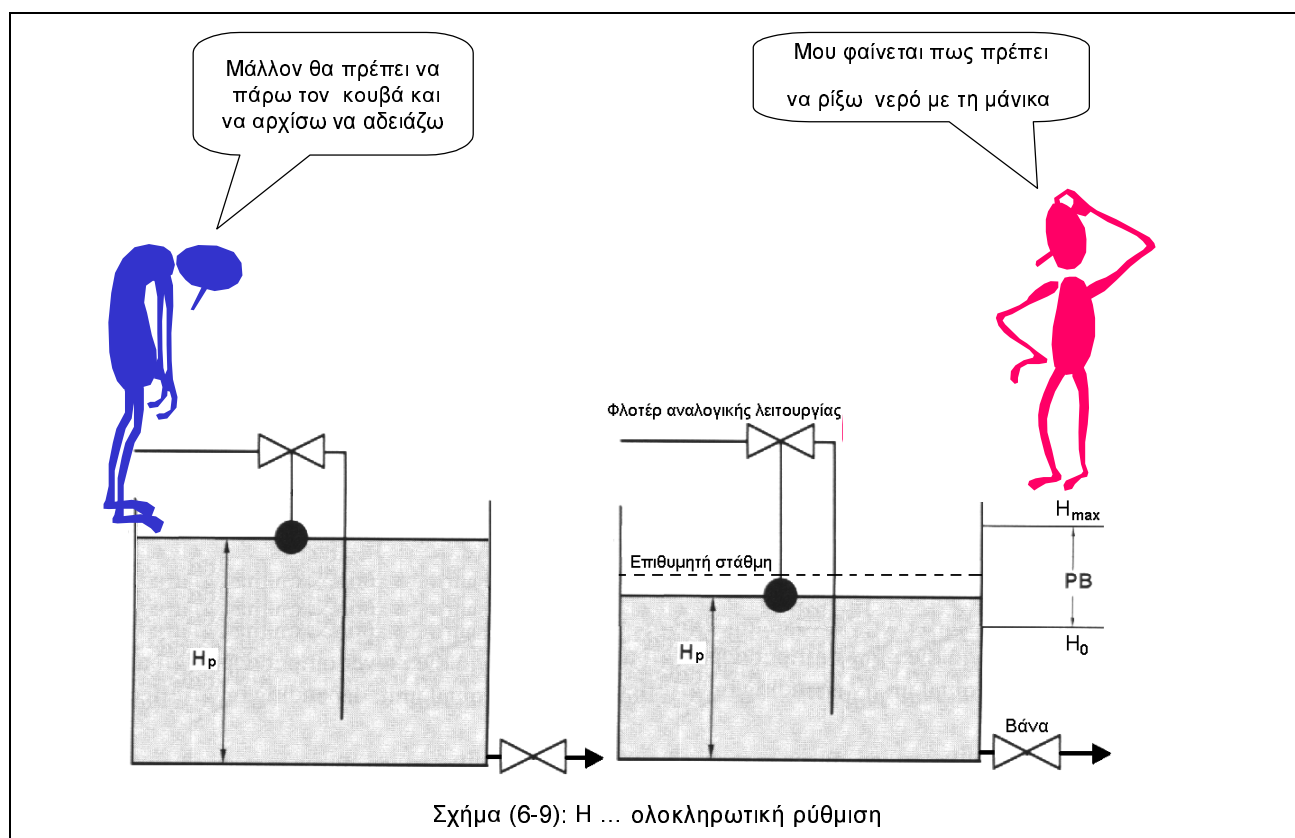
$$V = V_p + V_i \quad (6-5)$$

όπου  $V_p$  είναι τιμή που προκύπτει από την αναλογική ρύθμιση η οποία αναφέρεται στη σχέση (6-4).

Για να αντιληφθούμε τι ακριβώς, στην πράξη σημαίνουν τα παραπάνω, ας θυμηθούμε το παράδειγμα της παραγράφου (6-2), δηλαδή τον έλεγχο της στάθμης με το φλοτέρ της δεξαμενής. Αυτό το βλέπουμε πάλι στο σχήμα (6-8). Όπως είδαμε στην παράγραφο (6-2), το μόνο που μπορούμε να εξασφαλίσουμε σε έναν αναλογικό έλεγχο είναι ότι η ελεγχόμενη παράμετρος (στάθμη νερού) θα είναι μέσα στην περιοχή PB. Η **μεταβλητή V** της σχέσης (6-5), στην προκειμένη περίπτωση, είναι **το ύψος H** του νερού στη δεξαμενή.

---

<sup>3</sup> Η μαθηματική διατύπωση της διόρθωσης  $V_i$  είναι  $V_i = K_i \int e dt$ . Ο συντελεστής  $K_i$  ονομάζεται **κέρδος ολοκλήρωσης** και όπως συμβαίνει και με τον συντελεστή  $K_p$  είναι αντιστρόφως ανάλογος του εύρους στραγγαλισμού.



Έστω ότι για τη συγκεκριμένη εφαρμογή, έχει πολύ μεγάλη σημασία το ύψος  $H$  να είναι ακριβώς στο μέσον των  $H_0$  και  $H_{\max}$ . Ας συμβολίσουμε το επιθυμητό ύψος με το  $H_\alpha$ . Τότε επειδή θέλουμε οπωσδήποτε να είναι  $H = H_\alpha$ , ο αναλογικός έλεγχος προφανώς δεν μας καλύπτει. Όταν η στάθμη υπερβεί την τιμή του  $H_\alpha$ , τότε χρειαζόμαστε μία συμπληρωματική απομάκρυνση νερού. Ένας απλός τρόπος για να το επιτύχουμε είναι να χρησιμοποιήσουμε τον τελειότερο σύστημα αυτοματισμού που υπάρχει στη φύση: το ανθρώπινο μυαλό! Τη διάταξη αυτή τη βλέπουμε στο σχήμα (6-9). Η μέθοδος αυτή με την οποία συμπληρώνουμε ή αφαιρούμε μία ποσότητα στην ελεγχόμενη μεταβλητή, χρησιμοποιώντας ένα δεύτερο, ξεχωριστό σύστημα ονομάζεται **ολοκληρωτική ρύθμιση**.

Ένα χαρακτηριστικό της ολοκληρωτικής ρύθμισης είναι ότι η ποσότητα που προσθέτουμε ή που αφαιρούμε στην ελεγχόμενη μεταβλητή δεν είναι σταθερή, **αλλά όσο πλησιάζουμε στο σημείο ρύθμισης, τόσο η ποσότητα αυτή μειώνεται**, προκειμένου να επιτύχουμε με μεγαλύτερη ακρίβεια την επιθυμητή τιμή. Για να το καταλάβουμε καλύτερα, στο παράδειγμα του σχήματος (6-9), όπου συμπληρώνουμε τη στάθμη νερού με τη μάνικα, στην αρχή η παροχή νερού θα είναι μεγάλη για να συμπληρώσουμε το νερό της δεξαμενής γρήγορα. Όσο όμως πλησιάζουμε την επιθυμητή στάθμη, τόσο θα πρέπει να μειώνουμε την παροχή, ώστε σιγά-σιγά και χωρίς αναταράξεις στην επιφάνεια του νερού να επιτύχουμε επακριβώς το επιθυμητό ύψος της στάθμης.





Βάσει των παραπάνω μπορούμε να δώσουμε τον εξής ορισμό για τον ολοκληρωτικό έλεγχο:

**Ορισμός:**

Ολοκληρωτικός έλεγχος είναι ο έλεγχος κατά τον οποίο ο ελεγκτής διορθώνει, με ένα επιπλέον σήμα, την ελεγχόμενη μεταβλητή με σκοπό να τη φέρει πιο κοντά στο σημείο ρύθμισης.

Όπως αναπτύξαμε προηγουμένως, το  $V_i$  θα πρέπει να μειώνεται όσο πλησιάζουμε στο σημείο ελέγχου και να αυξάνεται όσο απομακρυνόμαστε. Για να πραγματοποιηθεί αυτό, θα πρέπει κατά ορισμένα χρονικά διαστήματα που το καθένα τους έστω ότι είναι  $T_i$ , να γίνεται διόρθωση της τιμής του  $V_i$ . Για να λειτουργήσει δηλαδή σωστά ο ελεγκτής θα πρέπει, εκτός από την κατάλληλη τιμή που θα πρέπει να έχει το αναλογικό εύρος PB **να προσδιοριστεί και ο κατάλληλος χρόνος  $T_i$** . Τα PB και  $T_i$  στη συνέχεια εισάγονται, ως ρυθμίσεις, στη συσκευή ελέγχου.

**Βασικό χαρακτηριστικό του ολοκληρωτικού ελέγχου:**

Το διορθωτικό σήμα του ελεγκτή είναι τόσο ισχυρότερο όσο μεγαλύτερη είναι η απόκλιση της μεταβλητής από το σημείο ελέγχου.

**(3) Τύπος PID ή αναλογικής, ολοκληρωτικής και διαφορικής λειτουργίας**

Σε ορισμένες περιπτώσεις, όταν γίνεται πολύ γρήγορα η αλλαγή της τιμής της ελεγχόμενης μεταβλητής, δεν επαρκεί ούτε η ολοκληρωτική ρύθμιση και γίνεται μία ακόμη διόρθωση, που ονομάζεται **διαφορική ρύθμιση**. Στη διαφορική ρύθμιση μας ενδιαφέρει ο ρυθμός με τον οποίο γίνεται η μεταβολή της υπό εξέταση παραμέτρου, αν δηλαδή μεταβάλλεται πολύ γρήγορα ή πολύ αργά. Αν ο ρυθμός μεταβολής είναι μικρός, τότε το σύστημα αναλογικής-ολοκληρωτικής ρύθμισης κάνει πολύ καλά τη ρύθμιση από μόνο του. Όταν όμως έχουμε μεγάλες και απότομες μεταβολές, τότε χρειάζεται μία ακόμη ενίσχυση για να μπορέσει να ανταπεξέλθει. Η ενίσχυση αυτή γίνεται μέσω της διαδικασίας του **διαφορικού ελέγχου**.

Στην πράξη, καλείται το σύστημα διαφορικού ελέγχου να αποφασίσει κατά πόσο χρειάζεται να γίνεται και αυτή η επιπλέον ρύθμιση, καθώς και πόσο θα πρέπει να είναι το μέγεθος της. Αυτό πραγματοποιείται μετρώντας τη διαφορά  $\Delta e$  που παρουσιάζεται μεταξύ δύο διαδοχικών σφαλμάτων. Η μέτρηση γίνεται κατά τακτά χρονικά διαστήματα η διάρκεια εκάστου των οποίων είναι  $T_d$ . Συνήθως το  $T_d$  είναι αρκετά μικρότερης χρονικής διάρκειας από το  $T_i$ . Βάσει της διαφοράς σφάλματος  $\Delta e$  που παρουσιάζεται μέσα σε ένα πολύ μικρό χρονικό διάστημα  $T_d$ , υπολογίζεται η επιπλέον διόρθωση  $V_d$  επί της τιμής του  $V$ . Ο υπολογισμός γίνεται μέσω ενός μαθηματικού τύπου, διαφορετικού από αυτόν που χρησιμοποιεί-

ται για τον υπολογισμό της διόρθωσης κατά την ολοκληρωτική ρύθμιση<sup>4</sup>.

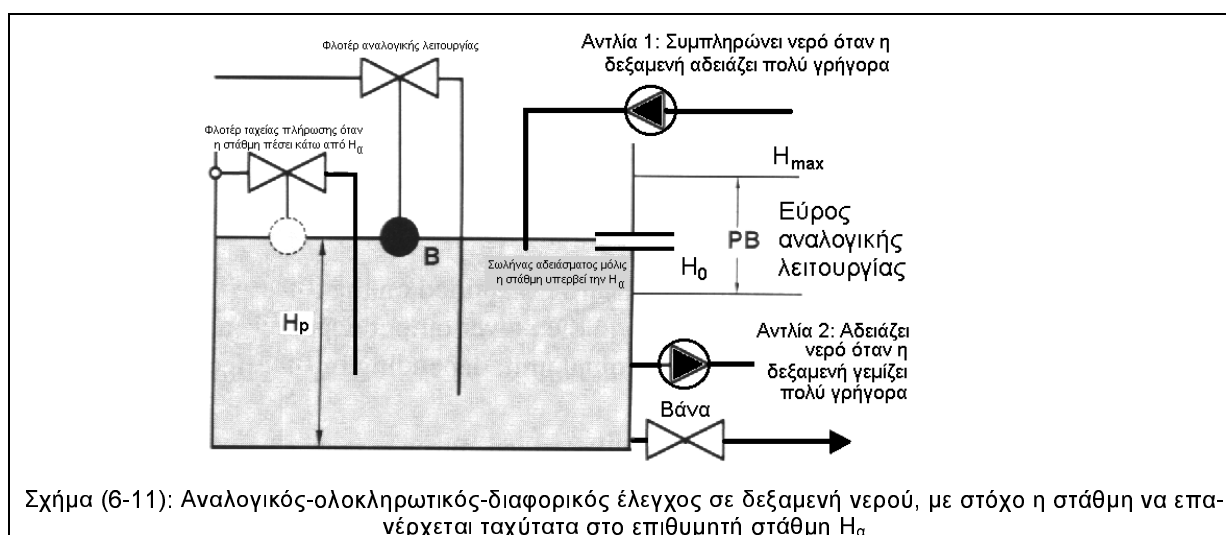
Η σχέση που δίνει τη διόρθωση στην αναλογική-ολοκληρωτική-διαφορική ρύθμιση, είναι η εξής:

$$V = V_p + V_i + V_d \quad (6-6)$$

όπου  $V_p$  είναι η αναλογική διόρθωση και αναφέρεται στη σχέση (6-4) ενώ  $V_i$  είναι η ολοκληρωτική διόρθωση.

Η επεξήγηση του διαφορικού ελέγχου δεν μπορεί να γίνει με τον απλό τρόπο που έγινε επεξήγηση του ολοκληρωτικού ελέγχου, αλλά και πάλι μπορούμε, χρησιμοποιώντας το παράδειγμα με τη δεξαμενή νερού, να φανταστούμε περί τίνος περίπου πρόκειται.

Έστω ότι στο σχήμα (6-11) η ποσότητα νερού που απομακρύνεται δεν είναι σταθερή αλλά ότι συχνά παρουσιάζει πολύ μεγάλες και απότομες διακυμάνσεις. Το μέγεθος της δεξαμενής έστω ότι είναι σχετικά μικρό, οπότε αλλάζει ταχύτητα η στάθμη της, καθώς λαμβάνουν χώρα αυτές οι διακυμάνσεις. Τότε το σύστημα αναλογικού και ολοκληρωτικού ελέγχου, κατά τη διάρκεια των απότομων διακυμάνσεων, δεν επαρκεί από μόνο του για να διατηρήσει σταθερή τη στάθμη του νερού και χρειάζεται κάποια πρόσθετη παροχή νερού για να γεμίζει ή να αδειάζει γρήγορα η δεξαμενή, κατά τις φάσεις των απότομων μεταβολών της στάθμης. Προφανώς, για να γίνει αυτό, χρειάζονται δύο ισχυρές αντλίες, μεταβλητής παροχής, όπως φαίνονται στο σχήμα (6-11).



Όσο πιο απότομα αδειάζει η δεξαμενή, τόσο μεγαλύτερη θα πρέπει να είναι η παροχή που θα δίνει η αντλία 1 (η 2 θα είναι σταματημένη). Αντίστοιχα, όσο πιο γρήγορα γεμίζει, τόσο μεγαλύτερη θα πρέπει να είναι η παροχή της αντλίας 2 (η 1 θα είναι σταματημένη). Το σύστημα που ελέγχει τη λειτουργία των αντλιών

<sup>4</sup> Η μαθηματική διατύπωση είναι  $\Delta V_p = K_d \frac{de}{dt}$ . Ο συντελεστής  $K_d$  ονομάζεται **κέρδος παραγώγου** και όπως οι συντελεστές  $K_p$  και  $K_i$  είναι αντιστρόφως ανάλογος του εύρους στραγγαλισμού

αντιλαμβάνεται τι θα πρέπει να κάνει μετρώντας το σφάλμα της στάθμης  $e$  (απόκλιση από την επιθυμητή τιμή) ανά ίσα πολύ μικρά χρονικά διαστήματα  $T_d$  (ή  $dT$ ). Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά  $\Delta e$  (ή  $de$ ) μεταξύ δύο διαδοχικών σφαλμάτων της στάθμης της δεξαμενής, τόσο αυξάνεται η παροχή της αντλίας που λειτουργεί. Η αντλία κάνει τότε την λεγόμενη **διαφορική ρύθμιση**.

Το αποτέλεσμα είναι, η διαφορική αυτή ρύθμιση με τη συνεργασία του συστήματος αναλογικής ρύθμισης και του συστήματος ολοκληρωτικής ρύθμισης να επαναφέρουν ταχύτατα τη στάθμη του νερού στο ύψος  $H_a$ , μετά από κάθε ισχυρή διατάραξη της στάθμης του. Σε ασθενείς διαταράξεις, η διαφορική ρύθμιση δεν χρειάζεται να λειτουργήσει, καθ' όσον η αναλογική και η ολοκληρωτική ρύθμιση αρκούν από μόνες τους για να επανέλθει γρήγορα η στάθμη στην επιθυμητή τιμή της.

Βάσει των παραπάνω και γενικεύοντας για όλα τα συστήματα, μπορούμε να δώσουμε τον ορισμό του διαφορικού ελέγχου:

#### **Ορισμός:**

Διαφορικός έλεγχος είναι ο έλεγχος κατά τον οποίο, ο ελεγκτής παρακολουθεί το ρυθμό με τον οποίο μεταβάλλεται η ελεγχόμενη μεταβλητή και προσπαθεί, μέσω του κατάλληλου σήματος, να εξισορροπήσει τις ταχείες διακυμάνσεις στην τιμή της.

Επίσης θα πρέπει να έχουμε υπ' όψη μας τον τρόπο που λειτουργεί ο διαφορικός έλεγχος:

#### **Βασικό χαρακτηριστικό του διαφορικού ελέγχου:**

Όσο επιταχύνεται ο ρυθμός με τον οποίο η ελεγχόμενη μεταβλητή αποκλίνει από το σημείο ελέγχου, τόσο ισχυρότερο είναι το διορθωτικό σήμα του ελεγκτή.

Για να λειτουργήσει σωστά ο ελεγκτής που εκτελεί αναλογική, ολοκληρωτική και διαφορική λειτουργία, **θα πρέπει να καθοριστούν εκτός από τις παραμέτρους  $PB$ ,  $T_i$  και ο χρόνος  $T_d$** . Τα  $PB$ ,  $T_i$  και  $T_d$  στη συνέχεια εισάγονται στη συσκευή.

### **6-13. Ανακεφαλαίωση των παραμέτρων που θα πρέπει να ρυθμίζονται σε ένα σύστημα διαμορφωτικού ελέγχου**

Ολοκληρώνοντας, οι τρεις τυπικοί ελεγκτές και οι ρυθμίσεις που πρέπει να τους γίνουν συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα:

A/A	Τύπος Ηλεκτρονικού Ελεγκτή	Παράμετροι που πρέπει να καθοριστούν
1	P	PB
2	PI	PB, $T_i$
3	PID	PB, $T_i$ , $T_d$
Πίνακας (6-3): Οι τυπικοί ελεγκτές και οι ρυθμίσεις τους		

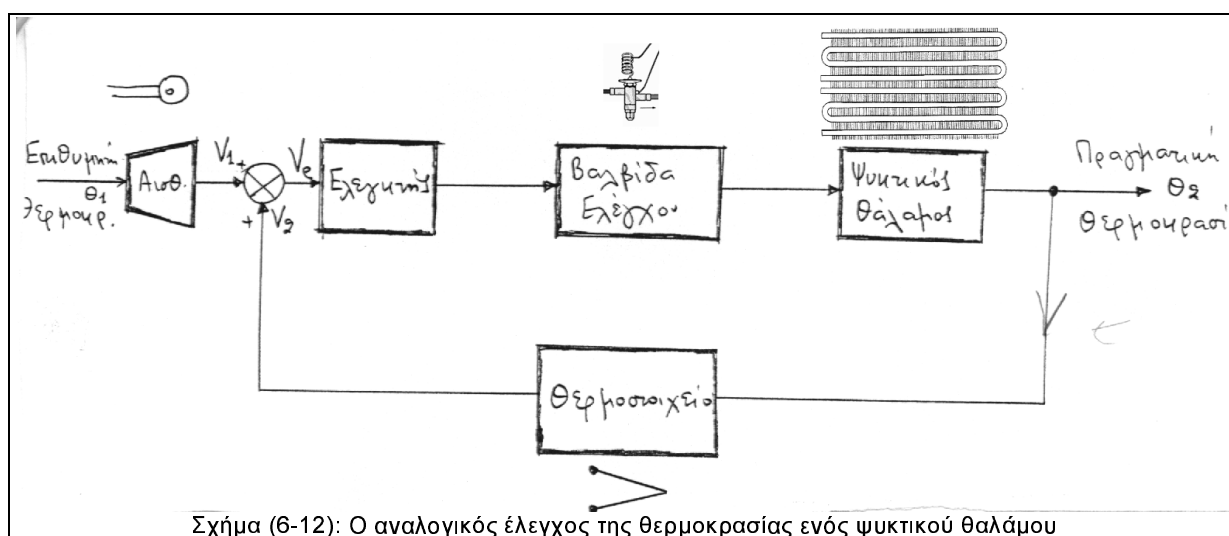
Όσον αφορά τον τρόπο που καθορίζονται οι παράμετροι που θα πρέπει να εισαχθούν, ως ρυθμίσεις του ελεγκτού, θα αναφερθούμε αργότερα, στο παρόν κεφάλαιο.

#### 6-14. Παράδειγμα ελέγχου της θερμοκρασίας με αναλογική ρύθμιση

Έστω ότι η επιθυμητή θερμοκρασία του θαλάμου συντήρησης των τροφίμων, για να μην αλλοιωθούν τα τρόφιμα είναι  $t_1$  (π.χ.  $4^\circ\text{C}$ ). Η θερμοκρασία  $t_1$ , μετατρέπεται με τον κατάλληλο αισθητήρα θερμοκρασίας σε ηλεκτρική τάση  $U_1$ . Το κύκλωμα ψύξης δίνει στην έξοδο του μια θερμοκρασία  $t_2$  μεγαλύτερη ή μικρότερη από την επιθυμητή.

Τότε για να ελέγξουμε και ρυθμίσουμε το κύκλωμα θερμοκρασίας θα πρέπει να μετρήσουμε με ένα αισθητήριο θερμοκρασίας (π.χ. με ένα θερμοστοιχείο) την θερμοκρασία  $t_2$ , την οποία ο αισθητήρας θα την μετατρέψει σε ηλεκτρική τάση  $U_2$ . Οι δύο αυτές τάσεις συγκρίνονται μεταξύ τους και λαμβάνεται η διαφορά τους, που καλείται σφάλμα τάσης,  $U_e = U_1 - U_2$ .

Το σφάλμα τάσης  $U_e$  είναι η είσοδος του ελεγκτή ο οποίος ανοίγει ή κλείνει μία θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα με αποτέλεσμα να διαβιβάζεται στον εξατμιστή (εναλλάκτη θερμότητας) περισσότερο ή λιγότερο ψυκτικό υγρό. Έτσι ρυθμίζεται η θερμοκρασία του θαλάμου και μετά από λίγο χρονικό διάστημα η πραγματική θερμοκρασία εξόδου  $t_1$  εξισώνεται με την επιθυμητή θερμοκρασία δηλαδή  $t_2 = t_1$ . Στο σχήμα (6-12) φαίνεται το λειτουργικό διάγραμμα του κυκλώματος ελέγχου της θερμοκρασίας.



## 6-15. Ευσταθές και ασταθές σύστημα

Σε ένα πραγματικό σύστημα η έξοδος του, που αποτελεί την πραγματική τιμή της ελεγχόμενης μεταβλητής (θερμοκρασία, πίεση, υγρασία) κυμαίνεται σε ορισμένα όρια και προσεγγίζει την επιθυμητή τιμή με ελάχιστο σφάλμα. Τότε λέμε ότι το σύστημα είναι **ευσταθές**. Για παράδειγμα σε έναν ψυκτικό θάλαμο, ο οποίος είναι εξοπλισμένος με ένα καλά ρυθμισμένο κύκλωμα ελέγχου της θερμοκρασίας, αναλογικού ελέγχου (τύπος P), έστω ότι πρέπει να δίνει έξοδο  $t_2 = 4^\circ\text{C} + e$ , όπου το  $e$  είναι το σφάλμα θερμοκρασίας. Ας δεχτούμε ότι η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή του  $e$  είναι η  $e_{\max} = \pm 10\%$  επί της θερμοκρασίας  $t_1$ . Τότε έχουμε:

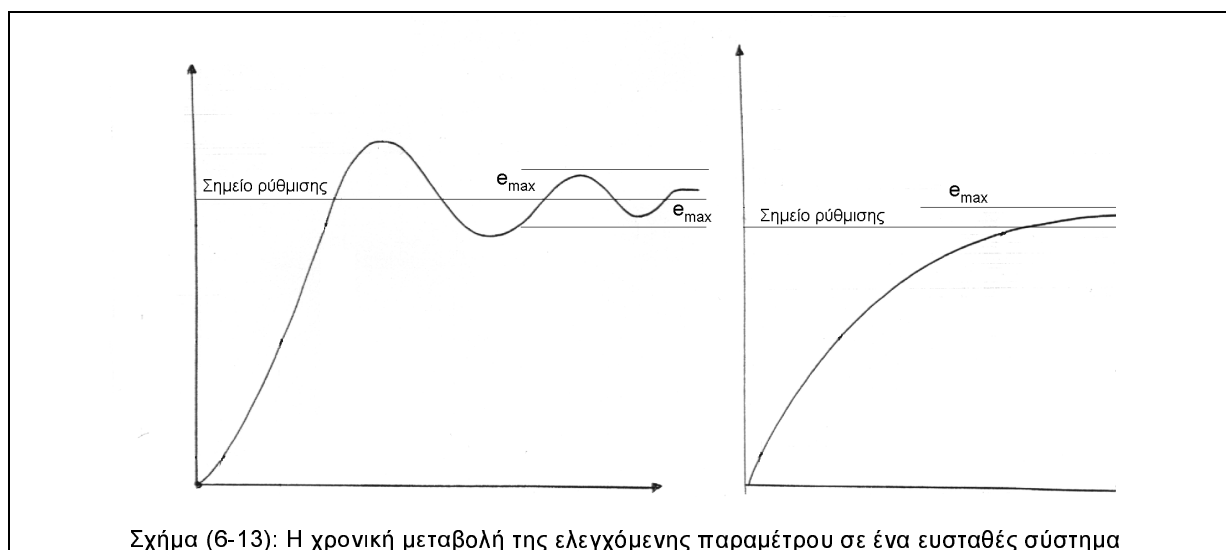
$$e_{\max} = 0,4^\circ\text{C} \text{ και } t_2 = 4 \pm 0,4^\circ\text{C} = 3,6^\circ\text{C} - 4,4^\circ\text{C}$$

Και το εύρος της διακύμανσης  $PB = 4,4 - 3,6 = 0,8^\circ\text{C}$

Αν το σύστημα δεν είναι σε θέση να διατηρήσει την τιμή μέσα στα προβλεπόμενα όρια, τότε ονομάζεται **ασταθές**. Στο ασταθές σύστημα η τιμή του σφάλματος μπορεί να βρεθεί πολύ εύκολα εκτός του εύρους στραγγαλισμού και να δούμε τον ενεργοποιητή εκτελεί συνεχώς διαδρομές από τη μία ακραία θέση στην άλλη.

Ασταθή μπορούν να αποδειχτούν, μεταξύ των άλλων και τα συστήματα που λειτουργούν στα ακραία όρια της περιοχής που ρυθμίζουν. Π.χ. μία βάννα μπορεί να λειτουργεί χωρίς προβλήματα όταν η θέση της κυμαίνεται μεταξύ του 25% και του 75% της πλήρους διαδρομής της. Αν η βάννα που θα τοποθετηθεί είναι λίγο μεγαλύτερη από αυτήν που κανονικά απαιτείται και αναγκάζεται να λειτουργεί στο 5-20% της διαδρομής της, τότε το σύστημα έχει περισσότερες πιθανότητες να αποδειχθεί ασταθές.

Η προσέγγιση της τελικής τιμής, σε ένα ευσταθές σύστημα, μπορεί να γίνεται με δύο τρόπους όπως φαίνεται στο σχήμα (6-13). Ο ένας τρόπος, του σχήματος (6-13<sup>A</sup>) είναι να αυξάνεται η ελεγχόμενη παράμετρος γρήγορα και να δημιουργούνται ταλαντώσεις οι οποίες σταδιακά αποσβένονται. Τελικά η ελεγχόμενη παράμετρος θα καταλήξει στην τιμή  $t_1$  και θα αντιδρά στις μικροαλλαγές φορτίου παραμένοντας κυμαινόμενη μέσα **στα όρια του σφάλματος  $e_{\max}$  γύρω από την επιθυμητή τιμή  $t_1$**  οπότε το σύστημα χαρακτηρίζεται ως ευσταθές. Αν όμως το σφάλμα ξεφύγει από τον έλεγχο και οι διακυμάνσεις είναι εκτός της αποδεκτής περιοχής του σφάλματος  $e_{\max}$ , τότε λέμε ότι το σύστημα είναι ασταθές.



Σχήμα (6-13): Η χρονική μεταβολή της ελεγχόμενης παραμέτρου σε ένα ευσταθές σύστημα

Συνήθως, στα συστήματα που λειτουργούν όπως στο σχήμα (6-13<sup>A</sup>), απαιτείται έλεγχος PID, ή στην καλύτερη περίπτωση PI. Ο ελεγκτής P μπορεί, πολύ εύκολα, να αποδειχτεί ανεπαρκής και το σύστημα να γίνει ασταθές. Όταν οι διακυμάνσεις είναι πολύ απότομες, υπάρχει πιθανότητα ακόμη και ο ελεγκτής PID να αποδειχτεί ανεπαρκής. Η ευσιτάθεια όμως ή η αστάθεια ενός συστήματος έχει σχέση και με τη σωστή ρύθμιση του ελεγκτή. Όταν ένα σύστημα αποδεικνύεται ασταθές, μπορεί να μη φταίει το γεγονός ότι ο ελεγκτής είναι PI και όχι PID αλλά ότι αυτός δεν έχει ρυθμιστεί σωστά.

Στην δεύτερη περίπτωση σχήματος (6-13<sup>B</sup>) η ελεγχόμενη παράμετρος αυξάνεται αργά αλλά σταθερά και το αποτέλεσμα είναι να προσεγγίζει ασυμπτωτικά την επιθυμητή τιμή χωρίς όμως να μπορεί να γίνεται μεγαλύτερη της ( $t_2 < t_1$ ). Μετά από κάποιο σχετικά μεγάλο χρονικό διάστημα, στο σύστημα αυτό, αν έχουμε έλεγχο PI, πρακτικά θα ισχύει  $t_1 \approx t_2$ . Σε ένα σύστημα P, η τυχόν διαφορά μεταξύ των  $t_1$  και  $t_2$  δεν θα μπορεί να υπερβαίνει τη μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή του σφάλματος  $e_{max}$ . Στο σύστημα αυτό, επειδή αντιδρά πολύ αργά, ο ελεγκτής μπορεί άνετα να παρακολουθήσει τις αλλαγές της ελεγχόμενης παραμέτρου. Ως εκ τούτου πολύ δύσκολα θα μπορούσε ένα τέτοιο σύστημα να αποδειχτεί ασταθές.

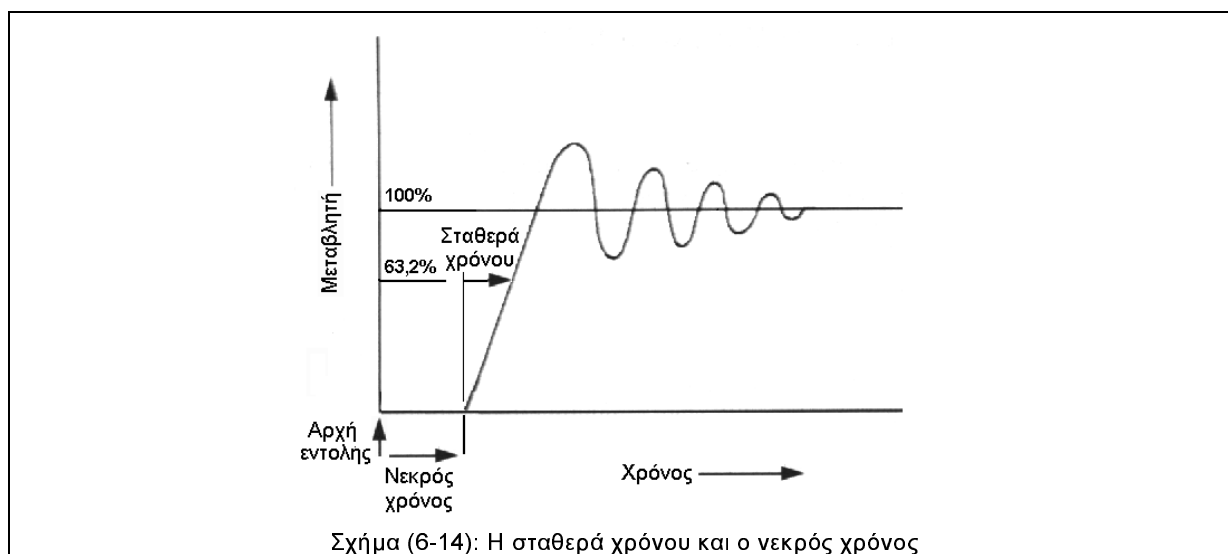
## 6-16. Οι παράμετροι χρόνου συναρτήσει της ελεγχόμενης μεταβλητής

Στην περίπτωση μεταβολών του τύπου P, PI, PID ορίζονται διάφοροι παράμετροι πάνω στην καμπύλη μεταβολής της ελεγχόμενης μεταβλητής. Αυτές είναι οι εξής:

- **Σταθερά χρόνου:** Είναι ο χρόνος που χρειάζεται για να φθάσει η ελεγχόμενη μεταβλητή στο 63,2% της τελικής τιμής της. Η σταθερά αυτή μας δείχνει πόσο γρήγορα μπορεί να μεταβάλλεται η ελεγχόμενη μεταβλητή συναρτήσει του χρόνου. Σε άλλες περιπτώσεις μπορεί να έχει πολύ χαμηλές τιμές και σε άλλες πολύ υψηλές. Υψηλές τιμές σημαίνουν ταχύτερη αλλαγή στην ελεγχόμενη παράμετρο και χαμηλές τιμές υπονοούν

ένα αργοκίνητο σύστημα, στο οποίο η τελική τιμή χρειάζεται πολύ χρόνο για να επιτευχθεί. Στα συστήματα κλιματισμού, που αντιδρούν αργά, που είναι και τα περισσότερα, οι ελεγκτές τύπου P συνήθως είναι υπεραρκετοί για το σωστό έλεγχο.

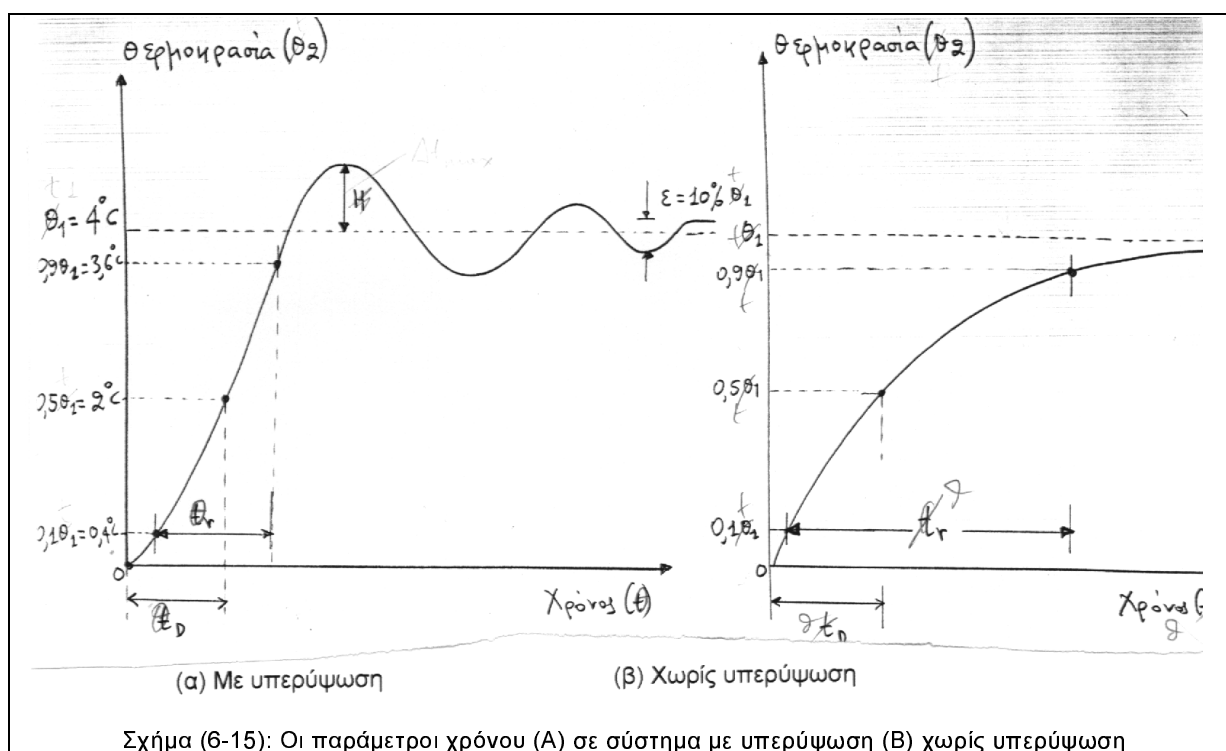
- **Νεκρός χρόνος:** Είναι ο χρόνος ο οποίος μεσολαβεί από τη στιγμή που ο ελεγκτής δίνει την εντολή, μέχρι τη στιγμή που τα αποτελέσματα θα αρχίσουν να γίνονται αντιληπτά. Περνάει δηλαδή ένα χρονικό διάστημα, που μπορεί να είναι από αμελητέο, μέχρι πολύ μεγάλο, κατά το οποίο δεν συμβαίνει απολύτως καμία μεταβολή στην ελεγχόμενη παράμετρο.



Ακόμη, αν ορίσουμε ως  $V_1$  το σημείο ελέγχου και ως  $V$  μία τυχαία τιμή στην καμπύλη μεταβολής μεταβλητής συναρτήσει του χρόνου, τότε, όπως βλέπουμε και στο σχήμα (6-15) μπορούν να οριστούν και οι εξής παράμετροι πάνω στην καμπύλη της  $V$  συναρτήσει του χρόνου:

- **Χρόνος καθυστέρησης** (Delay time),  $T_D$  είναι ο χρόνος που χρειάζεται για να φθάσει η  $V$  το 50% της  $V_1$  δηλαδή  $V = V_1 / 2$ .
- **Χρόνος ανύψωσης** (Rise time),  $T_R$  είναι ο χρόνος που απαιτείται για να φθάσει η  $V$  το 90% της  $V_1$ , όχι όμως από την αρχή του χρόνου αλλά από την χρονική στιγμή που  $V = 0,1 \times V_1$ .
- **Υπερύψωση** (overshoot),  $V_H$  και είναι η διαφορά από το σημείο ελέγχου, όταν η μεταβλητή παίρνει την μέγιστη τιμή της δηλαδή  $V_H = V_{\max} - V_1$ .





Έχει αποδειχθεί ότι η ρύθμιση και ο έλεγχος ενός συστήματος εξαρτάται από τον λόγο  $T_R/T_D$ . Όσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος αυτός, τόσο γίνεται καλύτερος και ευκολότερος ο έλεγχος. Αντίθετα, όταν ο λόγος είναι πολύ μικρός (π.χ. 5) τότε ο έλεγχος είναι δύσκολος και απαιτεί συστήματα PI ή PID ή άλλα ακόμη πιο περίπλοκα συστήματα αντιστάθμισης.

Για την ρύθμιση συστημάτων με ελεγκτές των πιο πάνω τύπων και με βάση την χρονική απόκριση της εξόδου του συστήματος έχουμε τον εξής χρήσιμο και πρακτικό κανόνα:

- Αν ο λόγος  $T_R/T_D$  είναι πολύ μεγάλος (π.χ. 50) τότε οι ελεγκτές P, συνήθως είναι επαρκείς.
- Αν ο λόγος  $T_R/T_D$  έχει μικρές τιμές αλλά  $T_R/T_D > 7,4$  τότε ενδείκνυται να χρησιμοποιήσουμε ελεγκτές PI.
- Αν ο λόγος  $T_R/T_D < 7,4$  τότε ενδείκνυνται οι ελεγκτές PID.
- Αν ο λόγος  $T_R/T_D < 3,3$  τότε ενδέχεται ακόμη οι ελεγκτές PID να αποδειχτούν ανεπαρκείς και να απαιτούνται ειδικές πλέον διατάξεις αντιστάθμισης.

## 6-17. Οι μηχανισμοί που κινούνται από τους ενεργοποιητές

Ο αυτοματισμός των διατάξεων κλιματισμού και ψύξης, μοναδικό σκοπό έχει εντοπίζει το βέλτιστο τρόπο με τον οποίο θα γίνεται η ρύθμιση των χαρακτηριστικών της ροής κάποιου ρευστού (παροχή, θερμοκρασία κλπ.). Όλα στον κλιματισμό και στην ψύξη εξαρτιούνται από τη ροή κάποιου ρευστού, που μπορεί να είναι ο αέρας, το νερό, ο ατμός ή κάποιο είδος ψυκτικού ρευστού.

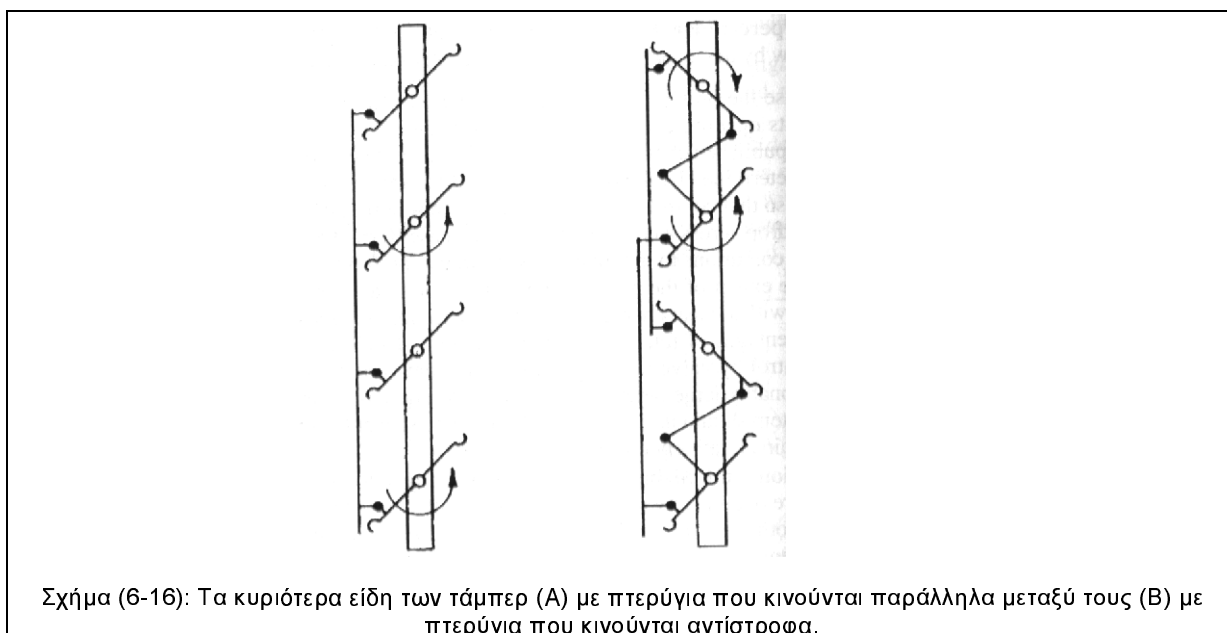
Οι ενεργοποιητές που υπάρχουν στα δίκτυα κινούν κάποιες διατάξεις οι οποίες ρυθμίζουν τη ροή. Αυτές βασικά είναι οι εξής δύο:

- Τα τάμπερ, για τη ρύθμιση της ροής του αέρα
- Οι βάνες, για τη ρύθμιση της ροής των υγρών

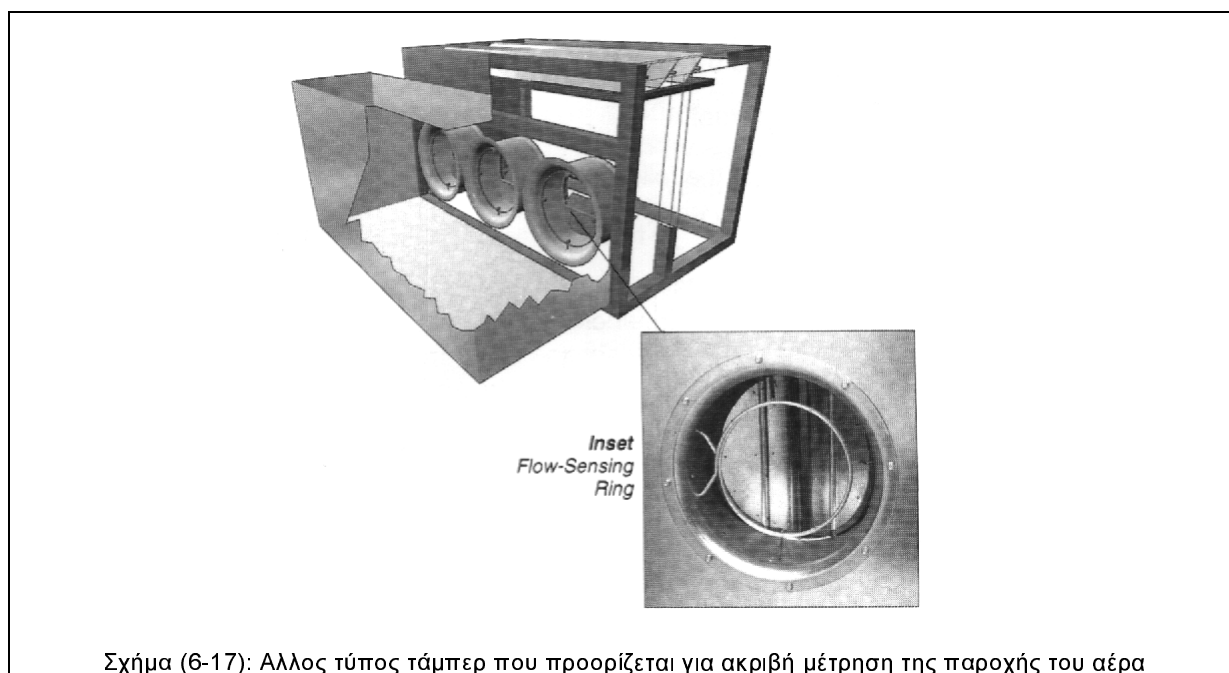
#### 6-18. Τα είδη των τάμπερ

Η εργαζόμενη μάζα, τόσο στην ψύξη όσο και στον κλιματισμό, είναι ο αέρας. Είτε πρόκειται για κλιματισμό κτιρίου, είτε για βιομηχανικό κλιματισμό, είτε για ψυκτικό θάλαμο, η μάζα που τελικά θα κάνει τη δουλειά είναι ο αέρας. Ο αέρας κινείται είτε με τη φυσική κυκλοφορία είτε με τη βεβιασμένη που είναι και η πλέον συνήθης περίπτωση. Η ροή του αέρα, στη βεβιασμένη κυκλοφορία ρυθμίζεται μέσω των διαφόρων ειδών τάμπερ που υπάρχουν στο εμπόριο. Τα τάμπερ κατατάσσονται στις εξής δύο βασικές κατηγορίες:

- Με πτερύγια που κινούνται παράλληλα, τα οποία φαίνονται στο σχήμα (6-16<sup>A</sup>).
- Με πτερύγια που κινούνται αντίστροφα όπως φαίνεται στο σχήμα (6-16<sup>B</sup>).



Εκτός από τους παραπάνω δύο τύπους, υπάρχουν και άλλων ειδών τάμπερ που χρησιμοποιούνται σε άλλες περιπτώσεις, όπως τα τάμπερ του σχήματος (6-17), τα οποία μετρούν με αρκετά καλή ακρίβεια την παροχή του αέρα.



Σχήμα (6-17): Άλλος τύπος τάμπερ που προορίζεται για ακριβή μέτρηση της παροχής του αέρα

## 6-19. Τα είδη των βάνων

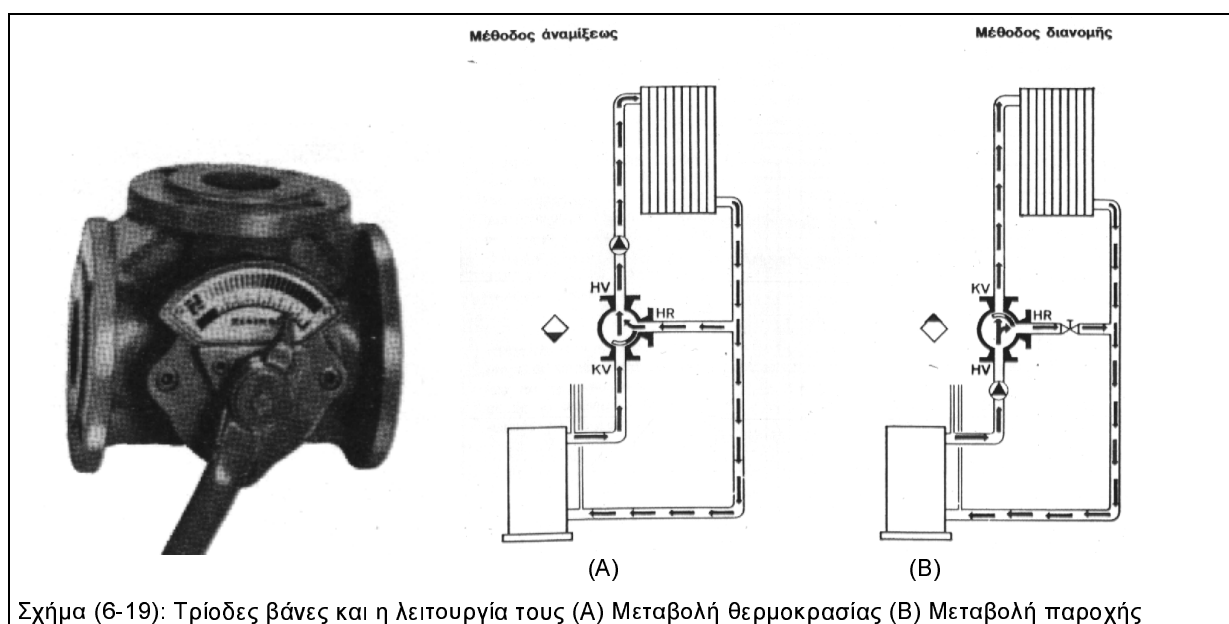
Οι βάνες ρυθμίζουν τη ροή του ρευστού, το οποίο, σε τελευταία ανάλυση, σκοπό έχει να μεταφέρει τη θέρμανση ή την ψύξη στον αέρα. Δεν θα πρέπει ποτέ να δημιουργηθεί η εντύπωση ότι αυτό το ρευστό είναι η εργαζόμενη μάζα, απλά είναι το ενδιαμέσο στάδιο στην παραγωγή της ψύξης ή της θέρμανσης.



Σχήμα (6-18): Δίοδος βάνα

Οι βάνες που χρησιμοποιούνται είναι κυρίως τριών ειδών:

- (α) Οι δίοδες, που φαίνονται στο σχήμα (6-18). Αυτές ρυθμίζουν τη ποσότητα της ροής του ρευστού, μεταβάλλοντας την αντίσταση που παρουσιάζουν. Η θερμοεκτονωτική βαλβίδα και οι ηλεκτροβάνες των ψυκτικών κυκλωμάτων είναι μηχανισμοί που κινούν τις ενσωματωμένες σ' αυτούς δίοδες βάνες.

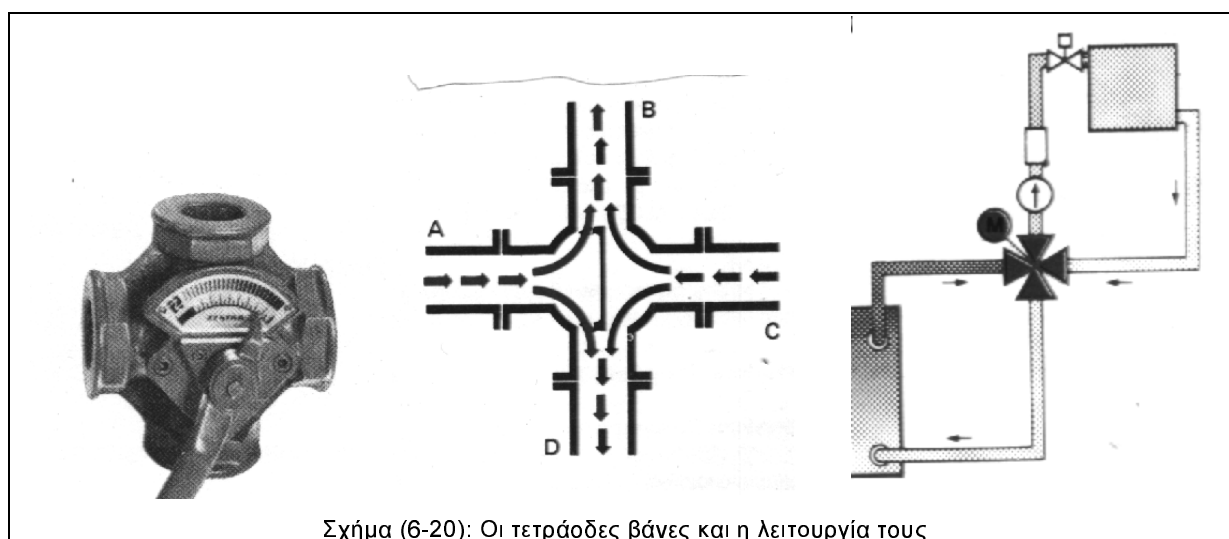


Σχήμα (6-19): Τρίοδες βάνες και η λειτουργία τους (Α) Μεταβολή θερμοκρασίας (Β) Μεταβολή παροχής

(β) Οι τρίοδες βάνες, σχήμα (6-19), οι οποίες μπορεί να ενεργούν κατά δύο τρόπους:

- Χωρίς δεν μεταβάλλουν ουσιαδώς την ποσότητα την ροής, αλλά ρυθμίζοντας τη θερμοκρασία του ρευστού, όπως στο σχήμα (6-19<sup>A</sup>) με ανάμιξη του ρεύματος προσαγωγής με το ρεύμα της επιστροφής.
- Μεταβάλλοντας την παροχή νερού, όπως φαίνεται στο σχήμα (6-19<sup>B</sup>), κάτι μπορεί εξ' ίσου καλά να επιτυγχάνεται και με τη δίοδη βάνα

Το πρόβλημα των τριόδων βανών είναι ότι όταν χρησιμοποιούνται σε σύστημα το οποίο έχει ανεξάρτητες αντλίες σε κάθε κλάδο (χωρίς δηλαδή να υπάρχει μία κεντρική αντλία), υπάρχει κίνδυνος αντιστροφής της ροής στη σωλήνα επιστροφής.



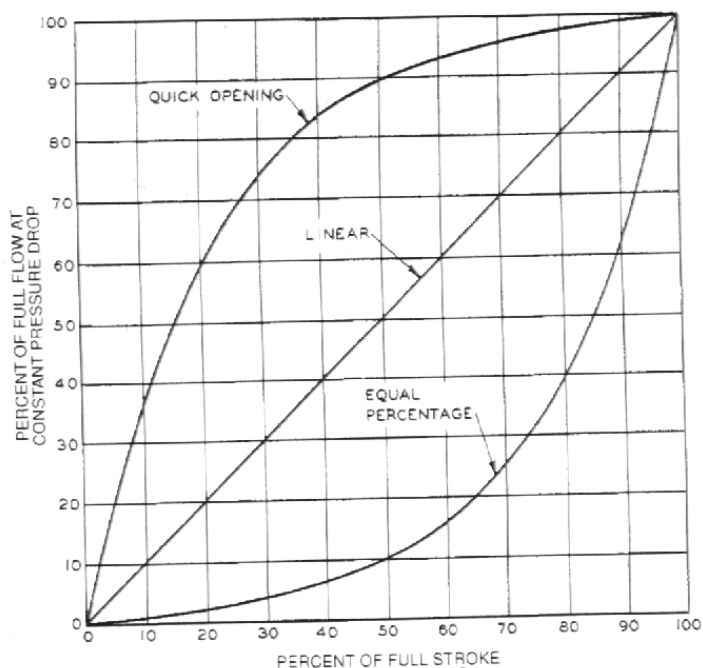
Σχήμα (6-20): Οι τετράοδες βάνες και η λειτουργία τους

(γ) Οι τετράοδες βάνες, που φαίνονται στο σχήμα (6-20), λειτουργούν μόνο με τον πρώτο τρόπο που λειτουργούν οι τρίοδες βάνες, δηλαδή ρυθμίζουν τη θερμοκρασία του ρευστού, χωρίς να μεταβάλλουν σημαντικά την παροχή του. Πλεονεκτούν έναντι των τριόδων στο ότι δεν υπάρχει κίνδυνος αντίθετης ροής στον κλάδο επιστροφής στον ψύκτη νερού, όταν ο κάθε κλάδος έχει τη δική του αντλία. Επίσης, ακόμη και όταν υπάρχει κεντρική αντλία πλεονεκτούν των τριόδων βανών επειδή δεν υπάρχει τρόπος να επηρεάσει το ένα κύκλωμα το άλλο. Τα πλεονεκτήματα αυτά δεν είναι πάντοτε σημαντικά για τη σωστή λειτουργία μίας εγκατάστασης, οπότε οι τετράοδες βάνες χρησιμοποιούνται πολύ λιγότερο από τις τρίοδες.

## 6-20. Η λειτουργική συμπεριφορά των βανών και των τάμπερ

Μέχρι τώρα έχει αναπτυχθεί η συμπεριφορά των ελεγκτών και είναι φανεροί οι λόγοι για τους οποίους είναι αναγκαίο αυτοί να χρειάζονται ρυθμίζονται σωστά για να αποδώσουν. Η ανάγκη όμως ρύθμισης δεν περιορίζεται μόνο στους ελεγκτές. Υπάρχει μία ακόμη εξ ίσου σημαντική παράμετρος που είναι ο τρόπος που επηρεάζουν τη ροή οι βάνες και τα τάμπερ. Συγκεκριμένα, αυτοί οι μηχανισμοί κινούνται από τους ενεργοποιητές, οι οποίοι με τη σειρά τους κινούνται βάσει των εντολών που δέχονται από τους ελεγκτές, αλλά ο τρόπος που μεταβάλλεται η ροή δεν είναι ανάλογος της κίνησης που εκτελούν.

Οι βάνες και τα τάμπερ, όπως βλέπουμε στο σχήμα (6-21) λειτουργούν βάσει μίας καμπύλης, που στον οριζόντιο άξονα είναι η μετακίνηση τους (% του ολικού ανοίγματος) και στον άλλο η μεταβολή της παροχής (% επί της τελικής παροχής) και η οποία ονομάζεται **χαρακτηριστική λειτουργίας**. Βασικά οι βάνες και τα τάμπερ ανήκουν σε μία από αυτές τις τρεις τυπικές χαρακτηριστικές καμπύλες που φαίνονται στο σχήμα (6-21). Όταν π.χ. δούμε το τεχνικό φυλλάδιο μίας βάνας που προορίζεται για κάποιο σύστημα αυτοματισμού, είναι σίγουρο ότι ή θα μας προσδιορίζει σε ποία τυπική περίπτωση καμπύλης ανήκει, ή ότι θα μας δίνει το διάγραμμα με τις χαρακτηριστικές της καμπύλες. Οι τρεις τυπικές περιπτώσεις του σχήματος (6-21) είναι οι εξής:



Σχήμα (6-21): Οι βασικές μορφές των χαρακτηριστικών καμπυλών των βανών και των τάμπερ.

- **Ταχείας αποκατάστασης της ροής:** Όπως βλέπουμε στο σχήμα (6-21), με το που θα έχει φθάσει η διαδρομή στο 50%, η παροχή θα έχει φθάσει στο 90% της τελικής τιμής της. Οι βάνες αυτές είναι ιδανικές για τα συστήματα ON-OFF.
- **Αναλογικές:** Σ' αυτές ένα άνοιγμα 30%, μεταβάλλει 30% την παροχή, ένα άνοιγμα 60%, μεταβάλλει 60% την παροχή κ.ο.κ.
- **Ίσων ποσοστών:** Οι βάνες αυτές είναι οι **πλέον χρήσιμες** στα συστήματα αυτοματισμού. Βάνες ίσων ποσοστών ονομάζονται οι βάνες στις οποίες για κάθε ίσο ποσοστό ανοίγματος της βάνας, προκαλεί αύξηση της παροχής, επίσης κατά ίσο ποσοστό επί της προηγούμενης τιμής της. Η χαρακτηριστική καμπύλη λαμβάνει τη μορφή της καμπύλης (3) του σχήματος (6-21). Προσέξτε όμως ότι η καμπύλη που φαίνεται στο σχήμα (6-21), είναι η ιδανική μορφή μίας χαρακτηριστικής καμπύλης λειτουργίας. Η καμπύλη αυτή **δεν** είναι ακριβώς η ίδια σε όλους τους κατασκευαστές βανών.

Επειδή ο παραπάνω ορισμός της καμπύλης των ίσων ποσοστών είναι δύσκολος και δεν υπάρχει τρόπος για να δοθεί απλούστερα, θα εξηγήσουμε τη λειτουργία αυτή με το παρακάτω παράδειγμα.

**ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ:** Η βάνα ίσων ποσοστών, της οποίας τη χαρακτηριστική λειτουργία τη βλέπουμε στο σχήμα (6-21), όταν είναι ανοικτή κατά 50% διαρρέεται από το 10% της παροχής της και όταν είναι ανοικτή κατά 65% διαρρέεται από το 20% της παροχής της. Όταν ανοίξει κατά το 80%, να επαληθευτεί ότι το ποσοστό της παροχής που θα τη διαρρέει θα είναι 40% και όταν ανοίξει 95% θα είναι 80% όπως προκύπτει από το σχήμα.

Επίσης όταν κλείσει από το 50% στο 35% να επαληθευτεί ότι η παροχή που θα την διαρρέει θα είναι το 5%.

**ΑΠΑΝΤΗΣΗ:** Κάθε αύξηση του ανοίγματος της βάνας κατά 15% (δηλαδή 65%-50%), προκαλεί αύξηση 100% επί της προηγούμενης τιμής της παροχής, δηλαδή διπλασιάζει την προηγούμενη παροχή ( $20\%/10\%=2$ ). Οπότε όταν το άνοιγμα της βάνας αυξηθεί από το 65% στο 80%, η παροχή της θα πρέπει να αυξηθεί κατά 100% επί της προηγούμενης τιμής που είχε (εκ νέου διπλασιασμός της παροχής). Οπότε έχουμε  $20\% \times 2 = 40\%$ , όπως ακριβώς φαίνεται και στο σχήμα (6-21). Όταν στη συνέχεια αυξηθεί το άνοιγμα κατά επιπλέον 15% και από 80% φθάσει στο 95%, τότε η παροχή θα διπλασιαστεί πάλι και από 40% θα γίνει 80%. Όταν η βάνα είναι στη θέση 50% και την κλείσουμε κατά 15%, δηλαδή περιορίσουμε το άνοιγμα στο  $50-15=35\%$ , τότε η παροχή θα πρέπει να περιοριστεί στο μισό, δηλαδή να γίνει  $10\%/2=5\%$ .

**ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ:** Αν αποπειραθείτε να κάνετε τον ίδιο υπολογισμό χρησιμοποιώντας τις καμπύλες κάποιου κατασκευαστή, θα βρείτε κάποιες αποκλίσεις (δεν θα ισχύουν τα παραπάνω με την ίδια μαθηματική ακρίβεια). Ο λόγος είναι ότι πολύ δύσκολα, μία πραγματική βάνα μπορεί να ακολουθήσει επακριβώς την ιδανική μορφή της χαρακτηριστικής καμπύλης των ίσων ποσοστών που δίνεται στο σχήμα (6-21).

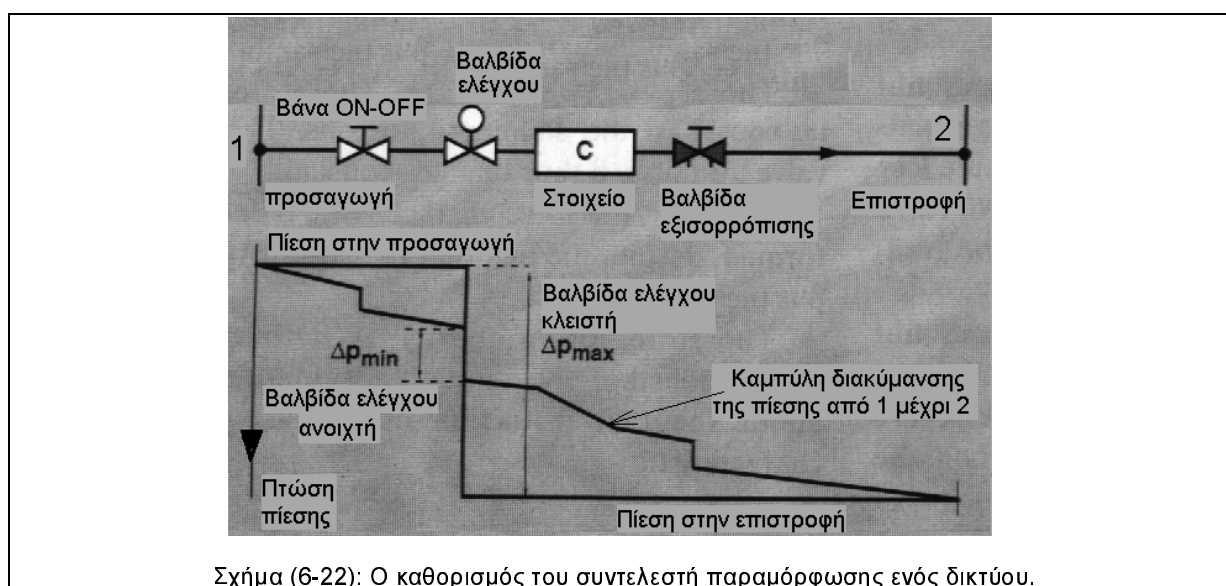
Οι καμπύλες του σχήματος (6-21), ισχύουν όταν δεν υπάρχει άλλη αντίσταση στο δίκτυο εκτός από την αντίσταση των βανών ή των τάμπερ. Στην πράξη αυτό δεν συμβαίνει και έχει ως αποτέλεσμα την παραμόρφωση των καμπυλών. Η παραμόρφωση εξαρτάται από το ποσοστό που αντιπροσωπεύει η πτώση πίεσης μέσα στη βάνα, **όταν αυτή είναι τελείως ανοιχτή**, σε σχέση με την πτώση πίεσης όταν αυτή είναι **τελείως κλειστή**. Στο σχήμα (6-22), βλέπουμε παραστατικά τη μεταβολή αυτή και τις αντίστοιχες πτώσεις πίεσης. Ο συντελεστής **παραμόρφωσης**  $\beta$  δίνεται από τη σχέση:

$$\beta = \Delta p_{\min} / \Delta p_{\max} \quad (6-9)$$

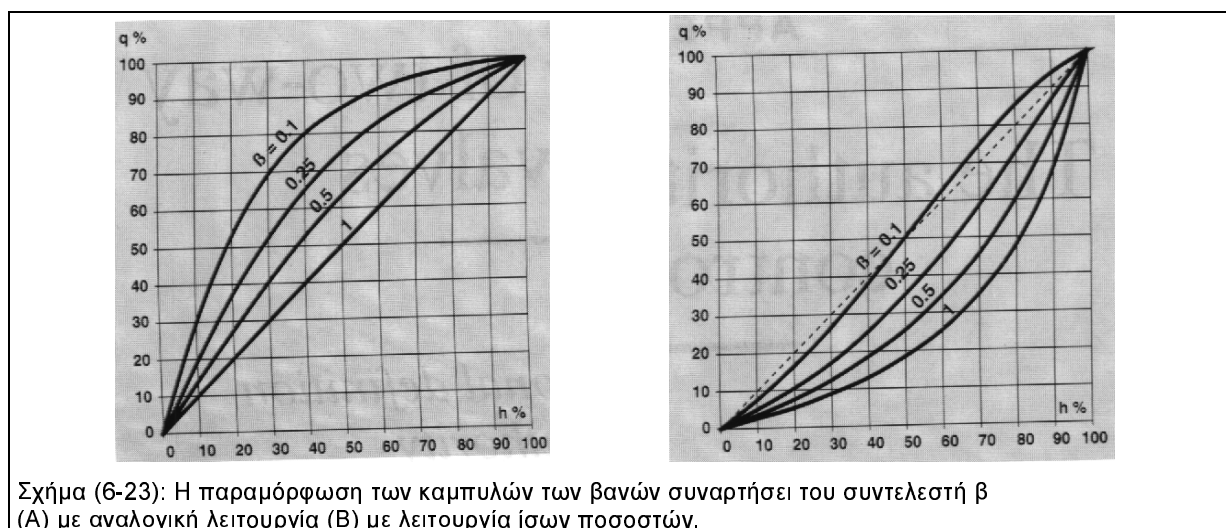
Όπου:

$\Delta p_{\min}$  = Η πτώση πίεσης του ρευστού μέσα στην τελείως ανοικτή βάνα

$\Delta p_{\max}$  = Η πτώση πίεσης στα άκρα της βάνας όταν αυτή είναι τελείως κλειστή. Σε ένα δίκτυο με αρκετές βάνες (που είναι η συνήθης περίπτωση), η  $\Delta p_{\max}$  είναι σχεδόν ίση με την  $\Delta p_{AB}$  που παρουσιάζεται μεταξύ των τμημάτων Α και Β.



Η τιμή του συντελεστή  $\beta$  είναι αυτή που μας προσδιορίζει τη τελική μορφή που θα έχουν οι καμπύλες των βανών. Η μορφή των καμπυλών για τις αναλογικές βάνες και τις βάνες ίσων ποσοστών δίνεται στο σχήμα (6-23)<sup>5</sup>. Αξίζει να προσέξουμε ότι για  $\beta \approx 0,1$  (κάτι που είναι εφικτό και σύνηθες στην πράξη), μία βάννα ίσων ποσοστών **αποκτά σχεδόν αναλογική λειτουργία**. Επίσης από την τιμή  $\beta = 0,25$  έχει αρχίσει να προσεγγίζει ικανοποιητικά την αναλογική λειτουργία. Για τον λόγο αυτό η βάννα ίσων ποσοστών έχει πολύ μεγάλη σημασία στα συστήματα αυτοματισμού, όπου το ζητούμενο είναι η κατά το δυνατόν αναλογική λειτουργία της βάννας.



Ανάλογες καμπύλες ισχύουν και για τα τάμπερ. Η συμπεριφορά των τάμπερ με παράλληλα πτερύγια μοιάζει πολύ με τη συμπεριφορά της αναλογικής βάννας και των τάμπερ με πτερύγια που κινούνται

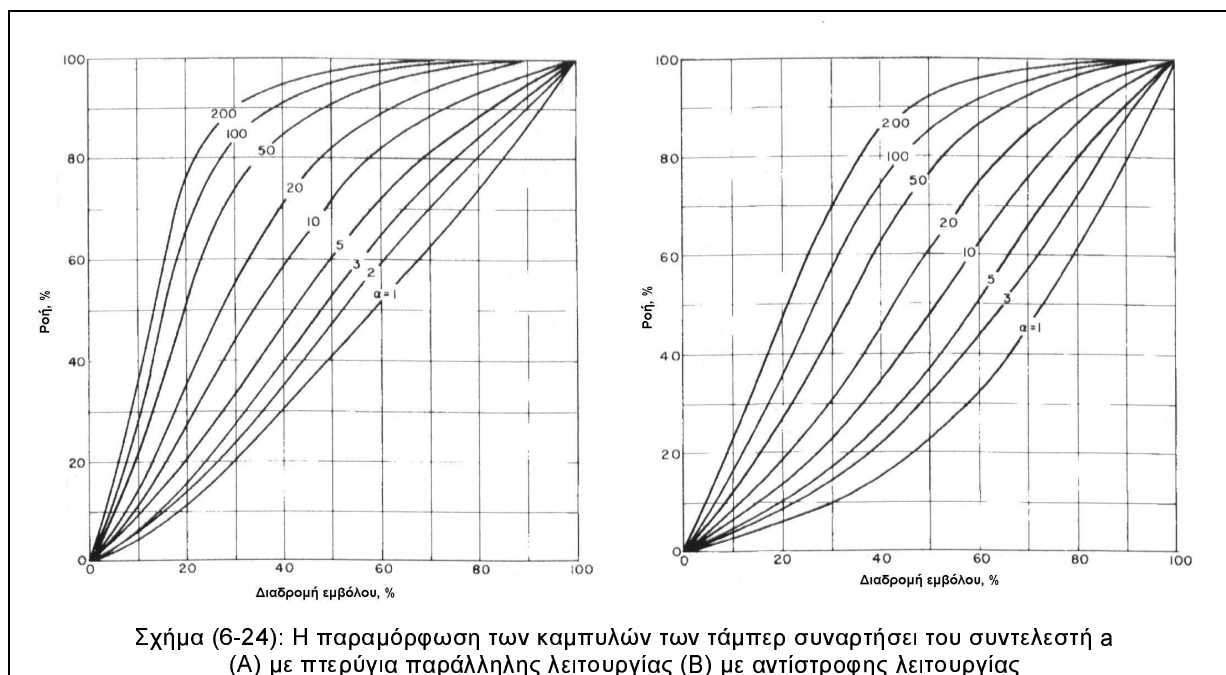
<sup>5</sup> Το σχήμα (6-20) προέρχεται από κατασκευαστή βανών και αφορά συγκεκριμένους, πραγματικούς τύπους καμπυλών που αφορούν συγκεκριμένες βάνες του εμπορίου. Μπορείτε να συγκρίνετε την καμπύλη ίσων ποσοστών όταν  $\beta=1$  με την καμπύλη ίσων ποσοστών του σχήματος (6-21) για να διαπιστώσετε τις διαφορές που μπορεί να υπάρχουν μεταξύ της θεωρίας και της πράξης. Θα πρέπει πάντως να σημειωθεί ότι στη συγκεκριμένη περίπτωση, η προσέγγιση στην ιδανική χαρακτηριστική καμπύλη ίσων ποσοστών είναι πάρα πολύ καλή.



αντίστροφα, μοιάζει με της βάνας των ίσων ποσοστών. Η διαφορά είναι ότι στις καμπύλες των τάμπερ, χρησιμοποιείται ένας άλλος συντελεστής, που είναι ο αντίστροφος του  $\beta$  και συμβολίζεται ως  $\alpha$ . Δηλαδή ισχύει:

$$\alpha = \Delta p_{\max} / \Delta p_{\min} \quad (6-10)$$

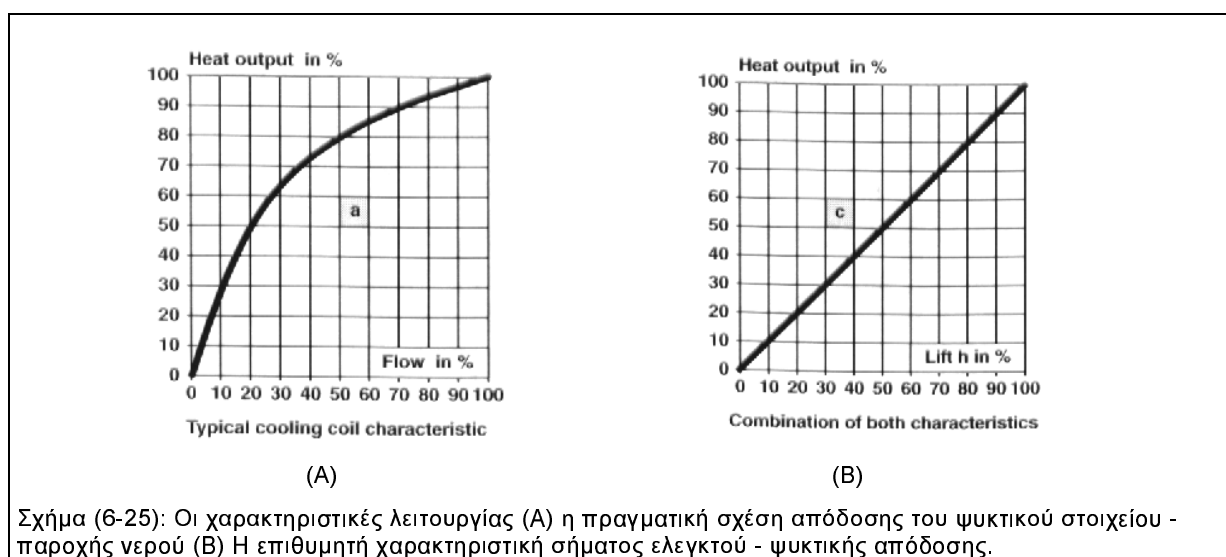
Αντίστοιχα με το ότι ισχύει για τις βάνες, ένα τάμπερ με αντίστροφη κίνηση των πτερυγίων, με συντελεστή  $\alpha \approx 10$  αποκτά σχεδόν αναλογική λειτουργία, όπως βλέπουμε στο σχήμα (6-24).



## 6-21. Η επιλογή της κατάλληλης βάνας ή τάμπερ

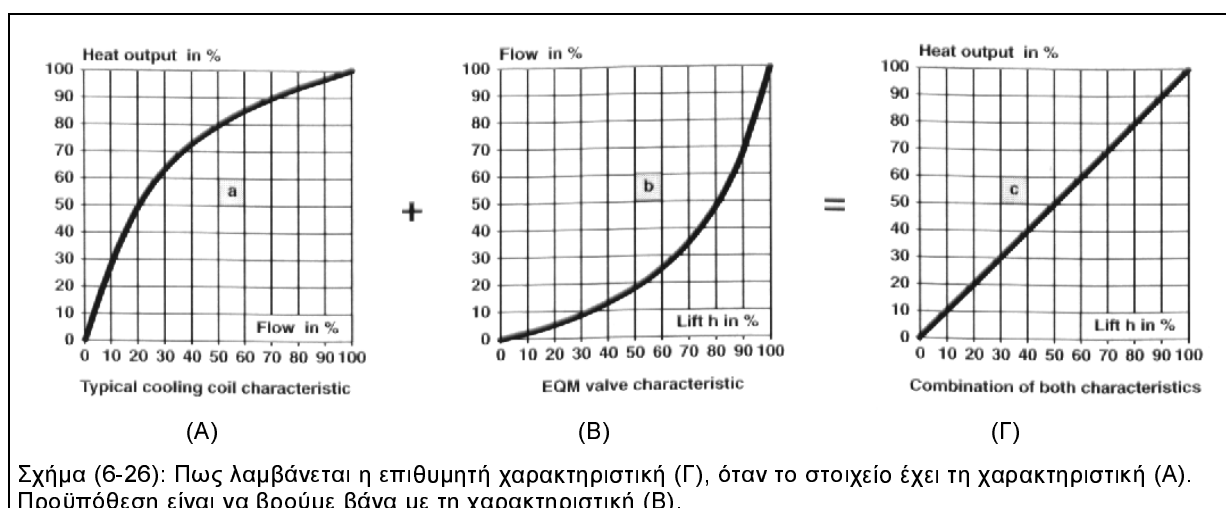
Για να ολοκληρωθεί η εικόνα των συστημάτων αυτοματισμού, θα πρέπει να αναπτύξουμε τη συμπεριφορά των βανών και των τάμπερ καθώς και τον τρόπο με τον οποίο συνεργάζονται με τους ενεργοποιητές και τους ελεγκτές.

Για να γίνει περισσότερη κατανοητή η ανάπτυξη που θα κάνουμε στη συνέχεια, ας δεχτούμε ότι έχουμε μία βάνα που ρυθμίζει την παροχή του νερού σε ένα ψυκτικό στοιχείο (τα ίδια φυσικά θα ισχύουν και σε κάθε άλλη περίπτωση). Το ψυκτικό στοιχείο του παραδείγματος έστω ότι έχει τη χαρακτηριστική καμπύλη του σχήματος (6-25<sup>A</sup>), δηλαδή με το 100% της παροχής έχει το 100% της ψυκτικής απόδοσης του, με το 50% της παροχής νερού έχει το 80% της ψυκτικής απόδοσης του κλπ.



Αυτό όμως που μας ενδιαφέρει, προφανώς δεν είναι η ποσοστιαία αύξηση ή μείωση της παροχής νερού μέσω της βάνας, αλλά η απόδοση του συστήματος σε ψύξη. Οι ενεργοποιητές, δέχονται ένα σήμα από τους ελεγκτές, συνήθως 0-10 V ή 2-10 V και βάσει αυτού, κινούν τη βάνα. Και για να έχουμε ικανοποιητικό έλεγχο με έναν αναλογικό ελεγκτή, θα πρέπει η απόδοση του στοιχείου να είναι ανάλογη με το σήμα του ελεγκτή, δηλαδή να είναι κατά το δυνατόν γραμμική, όπως φαίνεται στο σχήμα (6-25<sup>B</sup>). Ας δούμε πως μπορεί αυτό να πραγματοποιηθεί.

Έστω ότι ο ελεγκτής στέλνει ένα σήμα ότι η απόδοση του στοιχείου θα πρέπει να είναι στο 50% της μέγιστης απόδοσης. Το σήμα αυτό είναι φυσικά είναι σε Volt. Ο ενεργοποιητής, βάσει αυτού του σήματος παίρνει θέση στο 50% της διαδρομής του και ανοίγει τη βάνα κατά 50%. Από το σχήμα (6-25<sup>A</sup>) βλέπουμε ότι η απόδοση του στοιχείου, για να είναι στο 50%, θα πρέπει να διαρρέεται το στοιχείο από το 20% της παροχής νερού. Δηλαδή θα πρέπει όταν η βάνα ανοίξει κατά 50%, να αφήσει να διέλθει μέσω αυτής μόνο το 20% (περίπου) της ονομαστικής παροχής της. Κατά τον τρόπο αυτό και βρίσκοντας μερικά σημεία, έστω ότι χαράξαμε την κατάλληλη χαρακτηριστική καμπύλη που θα πρέπει να έχει η βάνα μας. Η καμπύλη αυτή φαίνεται στο σχήμα (6-26<sup>B</sup>).



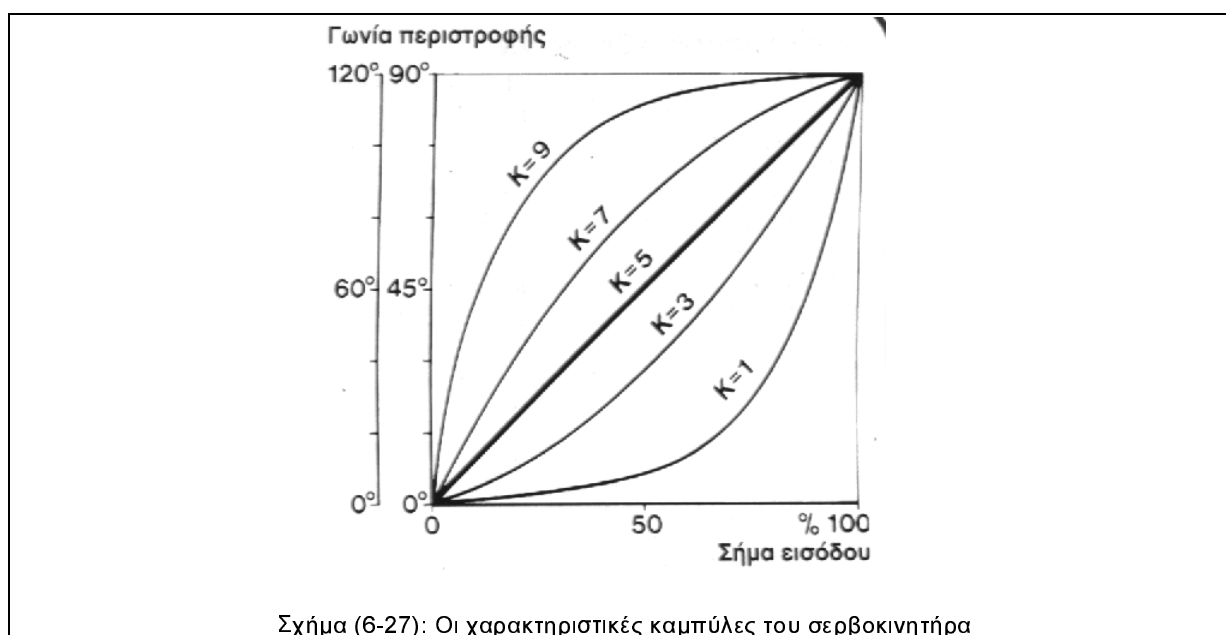
Το ψυκτικό στοιχείο της κλιματιστικής μονάδας λειτουργεί βάσει της χαρακτηριστικής καμπύλης του σχήματος (6-25<sup>A</sup>), που τη βλέπουμε να επαναλαμβάνεται και στο σχήμα (6-26<sup>A</sup>). Έστω ότι καταφέραμε και βρήκαμε μία βάνα με την επιθυμητή χαρακτηριστική καμπύλη που φαίνεται στο σχήμα (6-26<sup>B</sup>). Το αποτέλεσμα είναι, προσθέτοντας τις δύο καμπύλες, να έχουμε τη καμπύλη (6-26<sup>Γ</sup>), που είναι μία ευθεία, όπως ακριβώς τη θέλαμε να την έχουμε στο σχήμα (6-25<sup>B</sup>).

Κατά ανάλογο τρόπο επιλέγεται και ένα τάμπερ που θα συνεργαστεί με το σύστημα αυτοματισμού. Δηλαδή θα πρέπει ο συνδυασμός των χαρακτηριστικών καμπυλών του σερβοκινητήρα και του τάμπερ να μας δίνουν μία ευθεία. Στην πράξη τα πράγματα συνήθως δεν είναι τόσο ιδανικά και αντί για ευθεία, είμαστε απόλυτα ικανοποιημένοι αν επιλέγοντας κάποια βάνα ή κάποιο τάμπερ, το αποτέλεσμα είναι μία καμπύλη που να μην αποκλίνει πολύ από την ευθεία.

## 6-22. Η συνδυασμένη λειτουργία ελεγκτή+ενεργοποιητή+βάνα ή τάμπερ

Το πρόβλημα στην ανάπτυξη που έγινε στην προηγούμενη παράγραφο είναι που θα μπορούσαμε να βρούμε τη βάνα ή το τάμπερ που να έχει την επιθυμητή καμπύλη λειτουργίας. Στο σημείο αυτό μπορεί να βοηθήσουν και οι ενεργοποιητές, καθ' όσον, συνήθως, διαθέτουν και αυτοί χαρακτηριστικές καμπύλες.

Οι ενεργοποιητές μπορούν να ρυθμιστούν έτσι ώστε η μετακίνηση που θα προκαλούν να ακολουθεί μία μη γραμμική καμπύλη. Δηλαδή, στο παράδειγμα της προηγούμενης παραγράφου, υποθέσαμε ότι ένα σήμα που θα έδινε εντολή για τη ρύθμιση του φορτίου στο 50%, θα προκαλούσε αναλογική μετακίνηση του ενεργοποιητή και θα τον έκανε να ανοίξει τη βάνα κατά 50%. Είναι όμως δυνατόν να κάνουμε την κατάλληλη ρύθμιση στον ενεργοποιητή, έτσι ώστε, όταν πάρει την εντολή «φορτίο στο 50%» να ανοίξει τη βάνα κατά άλλο ποσοστό, π.χ. κατά 30% ή κατά 70%, ανάλογα με το τι επιδιώκουμε να επιτύχουμε.



**ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ:** Δίδεται ότι η βάννα που θα συνεργαστεί με το στοιχείο το οποίο έχει τη συμπεριφορά που φαίνεται στο σχήμα (6-27<sup>A</sup>) έχει χαρακτηριστική καμπύλη ίσων ποσοστών και ο συντελεστής παραμόρφωσης είναι  $\beta = 0,1$ . Επίσης έστω ότι θα χρησιμοποιήσουμε το σερβοκινητήρα με τις χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας που φαίνονται σχήματος (6-27)<sup>6</sup>. Με ένα ρυθμιστή (ποτενσιόμετρο), που βρίσκεται εσωτερικά του σερβοκινητήρα και ο οποίος είναι διαβαθμισμένος με αριθμούς από το 1 μέχρι το 9, διαλέγουμε την κατάλληλη καμπύλη. Να βρεθεί η θέση που θα βάλουμε το ποτενσιόμετρο του σερβοκινητήρα.

**ΑΠΑΝΤΗΣΗ:** Η καμπύλη του σερβοκινητήρα, προστιθέμενη στην καμπύλη της βάννας, μας δίνει την τελική καμπύλη του συστήματος [ενεργοποιητής]+[βάννα]. Από το σχήμα (6-23<sup>B</sup>), διαπιστώνουμε ότι η καμπύλη ίσων ποσοστών με  $\beta=0,1$  έχει σχεδόν αναλογική συμπεριφορά. Εμείς χρειαζόμαστε να έχουμε καμπύλη όπως στο σχήμα (6-26<sup>B</sup>), οπότε θα πρέπει την αναλογική αυτή συμπεριφορά της βάννας να την παραμορφώσουμε. Συγκρίνοντας τα σχήματα (6-26<sup>B</sup>) και (6-27) διαπιστώνουμε ότι η πλησιέστερη θέση στην επιθυμητή καμπύλη βρίσκεται κάπου μεταξύ των  $K=1$  και  $K=3$ . Άρα θα πρέπει να θέσουμε το ποτενσιόμετρο στη θέση 2.

### 6-23. Το σύστημα αυτοματισμού και η εξισορρόπηση του δικτύου

Στις σοβαρές περιπτώσεις αυτοματισμού προδιαγράφεται το σύστημα σε επίπεδο μελέτης, αλλά μόνο σε ότι αφορά τις γενικές αρχές λειτουργίας του και το τι περίπου θα περιλαμβάνει. Ενδεχομένως, αν η εταιρεία που θα προμηθεύσει τους αυτοματισμούς έχει γνωστοποιηθεί στο μελετητή (πράγμα που συνήθως δεν συμβαίνει), μπορούν να γίνουν από τον μελετητή και κάποιες αρχικές επιλογές για τις θέσεις που θα ρυθμιστούν οι ενεργοποιητές του συστήματος.

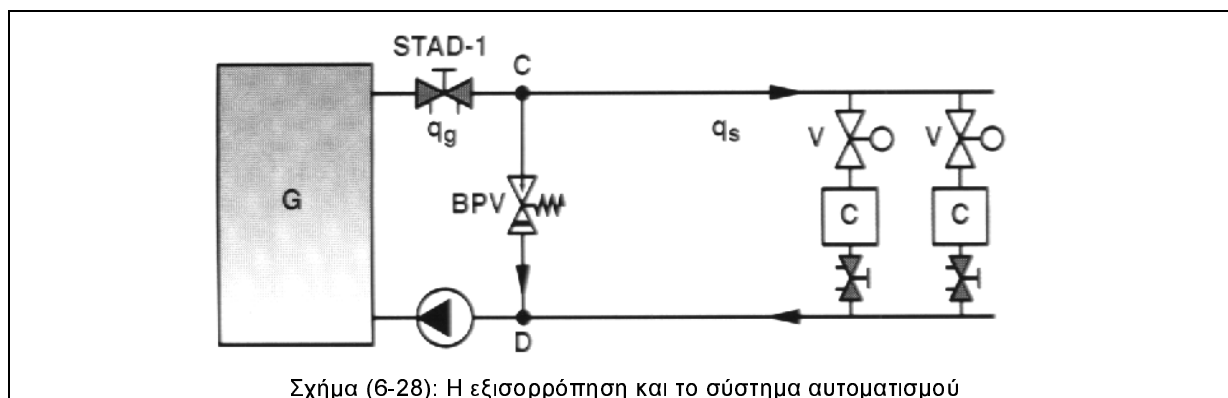
<sup>6</sup> Πρόκειται για χαρακτηριστικές καμπύλες πραγματικού κινητήρα του εμπορίου

Όμως στα συστήματα ελέγχου ενός δικτύου, εκτός από τον **αυτοματισμό** έχουμε και μία ακόμη παράμετρο που ονομάζεται **εξισορρόπηση**. Συνοπτικά αναφέρουμε ότι η εξισορρόπηση είναι **μία σταθερή ρύθμιση** κάποιων ειδικών βανών ή τάμπερ, που γίνεται μόνο μία φορά, κατά τη φάση της κατασκευής του δικτύου<sup>7</sup>. Η εξισορρόπηση σκοπό έχει, ο κάθε κλάδος του δικτύου, να διαρρέεται από μία συγκεκριμένη παροχή, όση είναι και η μέγιστη παροχή που επιτρέπεται να έχει, βάσει της μελέτης. Η εξισορρόπηση αποτελεί μία σταθερή κατάσταση που δεν επιδέχεται καμία αλλαγή της θέσης των ρυθμιστικών βανών ή των τάμπερ που χρησιμοποιούνται σ' αυτή την εργασία. Αντίθετα ο αυτοματισμός είναι μία δυναμική κατάσταση που συνεχώς μεταβάλλει τις θέσεις των βανών που ελέγχει.

Η τεχνική της εξισορρόπηση δεν αποτελεί αντικείμενο του παρόντος μαθήματος (μας αρκεί να ξέρουμε τι είναι). Συνήθως, άλλες είναι οι βάνες (ή τα τάμπερ) που προορίζονται για την εξισορρόπηση και άλλες που προορίζονται για να συνεργαστούν με το σύστημα αυτοματισμού<sup>8</sup>. Στο σχήμα (6-28), βλέπουμε τις βάνες ελέγχου και τις βάνες εξισορρόπησης. Επίσης βλέπουμε και μία βάνα ασφαλείας η οποία ανοίγει όταν συμβεί να κλείσουν όλες οι βάνες ελέγχου (για να μην αναπτύσσονται μεγάλες πιέσεις). Η βάνα ασφαλείας είναι ρυθμισμένη να ανοίγει σε μία συγκεκριμένη πίεση. Αυτό που θα πρέπει να γνωρίζουμε είναι ότι:

Ένα σύστημα αυτοματισμού μπορεί να μη λειτουργεί σωστά, αν δεν έχει προηγηθεί η εξισορρόπηση του δικτύου.

Το πως θα γίνει η εξισορρόπηση δεν είναι εργασία του τεχνίτη ψυκτικού (η υλοποίηση μίας μελέτης εξισορρόπησης, περισσότερο έχει σχέση με τους υδραυλικούς). Αν όμως ο αυτοματισμός του δικτύου δεν λειτουργεί σωστά, αυτό που θα πρέπει να γνωρίζει ο ψυκτικός είναι να ρωτήσει αν στο δίκτυο έχει γίνει εξισορρόπηση. Και αυτό ισχύει, είτε πρόκειται για δίκτυο σωληνώσεων είτε για δίκτυο αεραγωγών. Μία πλήρης μελέτη θα πρέπει να καθορίζει τόσο τα βήματα της **εξισορρόπησης** όσο και του ελέγχου και της ρύθμισης του συστήματος **αυτοματισμού** του δικτύου, επειδή **το ένα επηρεάζει το άλλο**.



<sup>7</sup> Η εξισορρόπηση είναι δυνατή και με άλλη τεχνική, η ανάπτυξη της οποίας δεν έχει νόημα για το σκοπό του παρόντος βιβλίου.

<sup>8</sup> Οι βάνες και τα τάμπερ ελέγχου, κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις, με την κατάλληλη επιλογή τους, μπορούν να συμμετέχουν στη σωστή εξισορρόπηση του δικτύου.

Σύστημα με μόνη την εξισορρόπηση, χωρίς ηλεκτρονικό σύστημα αυτοματισμού μπορεί να υπάρχει και να λειτουργεί θαυμάσια. Το αντίθετο όμως δύσκολα μπορεί να συμβαίνει. Όπου εφαρμόζεται σύστημα αυτοματισμού, αυτό είναι επιπλέον της εξισορρόπησης και σκοπό έχει τη περαιτέρω μείωση της παροχής του ρευστού που προέκυψε μετά την εξισορρόπηση (η παροχή του ρευστού μετά την εξισορρόπηση είναι και η μέγιστη δυνατή τιμή της παροχής).

Η ρύθμιση του συστήματος αυτοματισμού και ελέγχου της εγκατάστασης εκτελείται μετά την εξισορρόπηση του δικτύου. Κατά τη φάση της ρύθμισης των βανών που χρησιμοποιούνται για την εξισορρόπηση, οι βάνες ελέγχου του σχήματος (6-28) θα πρέπει να είναι τελείως **ανοιχτές** και η βαλβίδα ασφαλείας τελείως **κλειστή**.

## 6-24. Η ρύθμιση των ελεγκτών

Από όσα αναπτύχθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους γίνεται αντιληπτό ότι η λειτουργία ενός ηλεκτρονικού συστήματος αυτοματισμού, κλειστού βρόχου, δεν είναι κάτι το πολύ απλό, όπως ίσως να υπήρχε η εντύπωση ότι είναι. Μόνο στα πολύ απλά συστήματα, όπως είναι οι θερμοστάτες των διαμερισμάτων και κάποιοι άλλοι αυτοματισμοί χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις, μπορούν να λειτουργήσουν αξιόπιστα, χωρίς να τους γίνει καμία ρύθμιση. Όταν όμως έχουμε να κάνουμε με μία σοβαρή εγκατάσταση κεντρικού κλιματισμού ή με μία μεγάλη ψυκτική εγκατάσταση, τα πράγματα κάθε άλλο παρά απλά είναι.

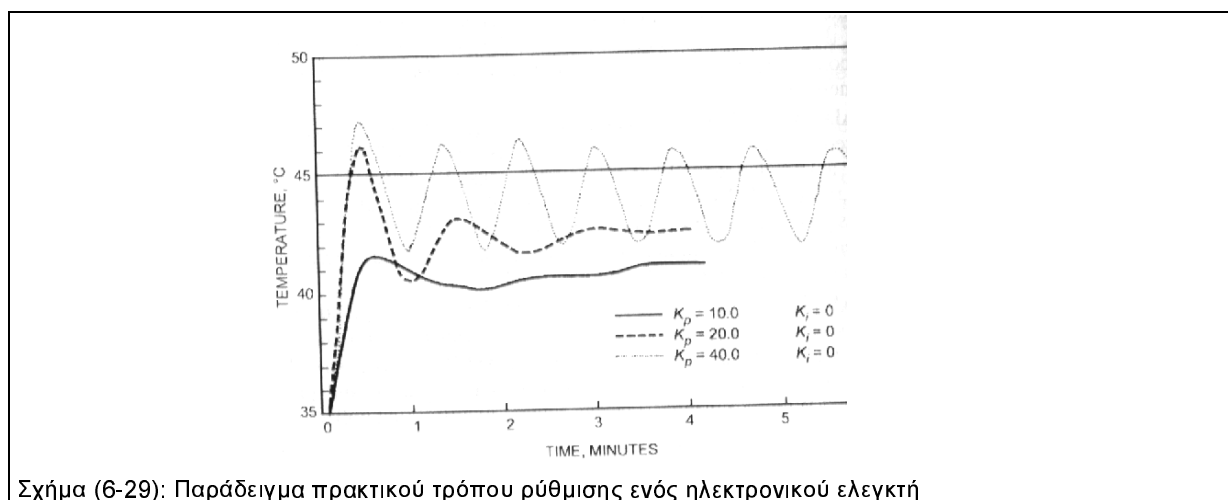
Στην πράξη, αφού γίνουν οι ρυθμίσεις των ενεργοποιητών, που βασίζονται σε θεωρητικούς κυρίως υπολογισμούς (κατά τον τρόπο που αναπτύξαμε), θα πρέπει να γίνει και η ρύθμιση του ελεγκτή. Αυτή η ρύθμιση βασικά περιλαμβάνει τον καθορισμό των παραμέτρων  $PB$ ,  $T_i$  και  $T_d$  τους οποίους αναφέραμε στην παράγραφο (6-8). Για τον καθορισμό αυτών των παραμέτρων ακολουθούμε διάφορες διαδικασίες, οι οποίες είναι πειραματικές και εκτελούνται επί τόπου, είτε βάσει των οδηγιών του κατασκευαστή, είτε βάσει τυποποιημένων μεθόδων που αναφέρονται στη σχετική βιβλιογραφία των αυτοματισμών.

Ένα από τα κριτήρια για να καταλάβουμε αν έγινε η σωστή ρύθμιση του ελεγκτή είναι οι ενεργοποιητές **να μην μεταβαίνουν από τη μία ακραία θέση στην άλλη**, σε κάθε αλλαγή της εντολής. Αν συμβεί αυτό, λειτουργούν πλέον σαν να ήταν βαλβίδες ON-OFF. Θα πρέπει προφανώς, σε ένα σωστά ρυθμισμένο σύστημα, οι ενεργοποιητές να παίρνουν την κατάλληλη ενδιάμεση θέση. Φυσικά αυτό δεν είναι και το μοναδικό κριτήριο για να βγάλουμε το συμπέρασμα ότι ο αυτοματισμός είναι εντάξει. Θα πρέπει να δούμε και το δίκτυο σε λειτουργία.

Η περαιτέρω ανάπτυξη των μεθόδων προγραμματισμού των ελεγκτών, ξεφεύγει από τους στόχους μας και είναι εργασία τεχνικού εξειδικευμένου στους αυτοματισμούς.

## 6-25. Παράδειγμα ρύθμισης ενός ελεγκτή<sup>9</sup>

Η ρύθμιση των ελεγκτών, όπως είπαμε, δεν αποτελεί αντικείμενο ενός ψυκτικού, αλλά η όλη ανάπτυξη που έγινε μέχρι τώρα, είναι πιθανόν να δημιουργήσει κάποιο προβληματισμό στους μαθητές και ίσως και την εντύπωση ότι η σωστή ρύθμιση είναι κάτι το ακατόρθωτο. Τα πράγματα όμως δεν είναι έτσι και η ρύθμιση, αν και θέλει κάποια προσπάθεια, είναι μία σχετικά εύκολη διαδικασία. Για να γίνει αυτό αντιληπτό, παραθέτουμε μία από τις πλέον γνωστές μεθόδους ρύθμισης την μέθοδο Ziegler-Nichols. Ο στόχος μας δεν είναι να μάθουν οι μαθητές να εργάζονται με αυτή τη μέθοδο (όπως είπαμε είναι δουλειά ενός τεχνικού που έχει εξειδικευτεί στους αυτοματισμούς), αλλά να αντιληφθούν ότι τελικά, στην πράξη, η σωστή ρύθμιση ενός ελεγκτή δεν είναι τόσο δύσκολη όπως εκ πρώτης όψεως φαίνεται.



Σχήμα (6-29): Παράδειγμα πρακτικού τρόπου ρύθμισης ενός ηλεκτρονικού ελεγκτή

Έστω ότι θέλουμε να ελέγξουμε μία παράμετρο (π.χ. τη θερμοκρασία του νερού που εισέρχεται στο στοιχείο μίας κλιματιστικής μονάδας). Τότε θα ακολουθήσουμε τα εξής βήματα:

- Μηδενίζουμε όλες τις ρυθμίσεις του ελεγκτή και θέτουμε με τον ελεγκτή στη manual λειτουργία.
- Ρυθμίζουμε την έξοδο του ελεγκτή στο μέσον περίπου της περιοχής που μπορεί να ελέγχει, που έστω ότι είναι η ευθεία των 45°C του σχήματος (6-29).
- Γυρίζουμε το σύστημα στην αυτόματη λειτουργία.
- Αυξάνουμε σταδιακά μόνο τον συντελεστή αναλογικού κέρδους, δηλαδή τον  $K_p$  (ο οποίος είναι αντιστρόφως ανάλογος του  $PB$ ). Στην αρχή θα έχουμε μία μορφή συμπεριφοράς όπως η καμπύλη (1) του σχήματος (6-29). Όσο αυξάνουμε το συντελεστή  $K_p$ , η καμπύλη θα πάρει σταδιακά τη μορφή της (2) και κάποια στιγμή θα καταλήξει σε μία μορφή όπως η (3), δηλαδή θα έχουμε μία συνεχή ταλάντωση.
- Υπολογίζουμε την τιμή της  $PB_u$  και της  $T_u$ , όπως φαίνεται στο σχήμα (6-29).
- Ορίζουμε τους συντελεστές ρύθμισης βάσει των εξής τύπων:

⇒ Για ελεγκτή τύπου P:

$$PB = 1,8 \times PB_u$$

<sup>9</sup> Το κεφάλαιο αυτό, αν και συμπεριλαμβάνεται στο αναλυτικό πρόγραμμα της διδακτέας ύλης, προτείνεται να παραληφθεί. Αν τελικά αναπτυχθεί στους μαθητές (κατά την κρίση του διδάσκοντος), προτείνεται να γίνει υπό μορφή διάλεξης, απλά και μόνο για να έχουν οι μαθητές μία γενική γνώση σχετικά τις μεθόδους οι οποίες χρησιμοποιούνται για να γίνονται οι ρυθμίσεις των ελεγκτών.

⇒ Για ελεγκτή τύπου PI:

$$PB = 2,22 \times Pb_u, T_i = 0,83 \times T_u$$

⇒ Για ελεγκτή τύπου PID:

$$PB = 1,67 \times Pb_u, T_i = 0,50 \times T_u, T_d = 0,125 \times T_u$$

Όπως διαπιστώνετε η ρύθμιση του ελεγκτή δεν ήταν ιδιαίτερα δύσκολη υπόθεση βάσει της παραπάνω εμπειρικής μεθόδου. Παρόμοιες μέθοδοι υπάρχουν και άλλες. Αν τυχόν συμβεί μετά την παραπάνω διαδικασία ο ενεργοποιητής να μεταβαίνει από τη μία ακραία θέση στην άλλη (χωρίς να λαμβάνει ενδιάμεσες θέσεις), τότε αρχίζουμε από την αρχή, τοποθετώντας όμως την έξοδο του ελεγκτή σε άλλη θέση (αντί για τους 45°C).

## 6-26. Οι λογικοί ελεγκτές (fuzzy logic controllers)

Στις προηγούμενες παραγράφους, αναπτύχθηκαν οι κλασικές μέθοδοι ελέγχου και ρύθμισης. Εναλλακτική λύση είναι τα συστήματα που βασίζονται σε μία σειρά ενεργειών, που είναι ανάλογες με τον τρόπο που σκέπτεται το ανθρώπινο μυαλό. Το σύστημα αυτό ελέγχου μπορεί, κατά κάποιο τρόπο, να ονομαστεί **λογικός έλεγχος** (ο αγγλικός όρος είναι fuzzy logic). Αντίστοιχα, οι ελεγκτές ονομάζονται **λογικοί ελεγκτές** (fuzzy logic controllers).

Για να καταλάβουμε πως περίπου ενεργεί ο λογικός έλεγχος, ας σκεφτούμε μία βρύση που τη θέλουμε να τρέχει με χλιαρό νερό. Τότε, δοκιμάζουμε το νερό με τα χέρια μας και το φέρνουμε στις συνθήκες που το θέλουμε, ανοιγοκλείνοντας πότε τη μία βάννα και πότε την άλλη. Η σειρά των σκέψεων μας είναι περίπου ως εξής:

- Ανοίγουμε το κρύο και το ζεστό νερό μαζί και κάνουμε μία ΑΡΧΙΚΗ ανάμειξη.
- Το ελέγχουμε και ΑΝ είναι κρύο ΤΟΤΕ το ζεστό νερό το ΑΥΞΑΝΟΥΜΕ περισσότερο.
- ΑΝ μετά προκύψει νερό πιο ζεστό από αυτό που θεωρούμε ότι ΕΧΕΙ ΚΑΛΩΣ, ΤΟΤΕ κλείνουμε ΛΙΓΟ το ζεστό.

Με την παραπάνω σειρά των πράξεων μας, καθορίσαμε ένα σύστημα ελέγχου κλειστού βρόχου. Το ίδιο κάνει και ο λογικός ελεγκτής, προσπαθεί δηλαδή να μιμηθεί τον τρόπο που σκέφτεται το ανθρώπινο μυαλό, χρησιμοποιώντας συνδυασμούς του τύπου ΑΝ ...ΤΟΤΕ, δηλαδή την κλασική εντολή προγραμματισμού IF...THEN.

Υπάρχουν όμως πολλά πράγματα ακόμη να καθοριστούν, όπως το τι σημαίνει ΑΥΞΑΝΩ, ΜΕΙΩΝΩ, ΑΥΞΑΝΩ ΛΙΓΟ, ΜΕΙΩΝΩ ΛΙΓΟ, ΥΨΗΛΑ, ΧΑΜΗΛΑ, ΕΧΕΙ ΚΑΛΩΣ κλπ. Αυτές οι εντολές, που εισάγονται με προγραμματισμό στον ελεγκτή θα πρέπει να αντιστοιχούν σε κινήσεις που θα γίνονται σε κάποιες βάνες ή σε κάποια τάμπερ. Το μέγεθος του πολύ ή του λίγου καθώς και των άλλων εννοιών είναι στοιχεία που θα απασχολούν τους κατασκευαστές τέτοιων συστημάτων ελέγχου.



## 6-27. Ο ρόλος του τεχνίτη ψυκτικού στους αυτοματισμούς

Από τη παραπάνω ανάπτυξη που έγινε, είναι φανερό **ότι ο σοβαρός αυτοματισμός είναι κάτι το σύνθετο και όχι κάτι το απλό**. Πολλοί ψυκτικοί, που μεταξύ αυτών μπορεί να συγκαταλέγονται ακόμη και έμπειροι επαγγελματίες, φαντάζονται τον αυτοματισμό ως κάτι το "αυτόματο" ακόμη και σε επίπεδο ρύθμισης, ότι δηλαδή το τοποθετούμε και μετά δουλεύει σωστά από μόνο του, χωρίς καμία άλλη δική μας προσπάθεια.

Όμως όπως είδαμε, τα πράγματα δεν είναι τόσο απλά. Οι ψυκτικοί οφείλουν να γνωρίζουν καλά τη φιλοσοφία και τον τρόπο λειτουργίας για να ξέρουν που φθάνουν τα όρια τους πάνω σε τέτοια συστήματα, τι θα πρέπει να προσέχουν, που μπορούν να επεμβαίνουν κλπ. Επιπλέον αυτών, η γνώση αυτή επί των αυτοματισμών είναι προϋπόθεση για να είναι σε θέση να συνεργαστούν σωστά με τον τεχνικό που θα κάνει τη ρύθμιση του αυτοματισμού της εγκατάστασής τους.

Ένα βασικό σημείο, βάσει όσων αναπτύχθηκαν, το οποίο θα πρέπει να μένει στη μνήμη των μαθητών, είναι ότι ποτέ δεν θα πρέπει να αντικαθίσταται ένα χαλασμένο εξάρτημα ενός συστήματος αυτοματισμού με ένα άλλο, αν δεν είναι **απόλυτα βέβαιο** ότι το καινούριο εξάρτημα θα κάνει την ίδια ακριβώς εργασία. Το καλύτερο είναι να χρησιμοποιείται εξάρτημα του ιδίου τύπου και να ρυθμιστεί με τις **ίδιες ακριβώς ρυθμίσεις** που ήταν και το προηγούμενο. Μόνο αν αυτό το εξάρτημα δεν υπάρχει πλέον στην αγορά (αν έχει καταργηθεί), θα πρέπει να αναζητηθεί το αντίστοιχο του. Σε μία τέτοια περίπτωση θα πρέπει ο υπεύθυνος της εγκατάστασης να συμβουλευτεί και κάποιον ειδικό στους αυτοματισμούς ή την εταιρεία που προμήθευσε το όλο σύστημα.

Γενικότερα, με τους αυτοματισμούς δεν παίζουμε, δεν επεμβαίνουμε χωρίς λόγο και δεν παίρνουμε ριψοκίνδυνες πρωτοβουλίες. Αν κάνουμε κάποια επέμβαση, θα πρέπει να είμαστε απόλυτα σίγουροι γι' αυτό που θα κάνουμε. Η απορύθμιση ενός συστήματος είναι πολύ εύκολη, αλλά η εκ νέου ρύθμιση του μπορεί να είναι δύσκολη, δαπανηρή και ενδεχομένως και να απαιτεί τον κατάλληλο τεχνικό αυτοματισμών που να γνωρίζει καλά το συγκεκριμένο σύστημα. Ο κανόνας είναι:

Σε ένα σύστημα αυτοματισμού που λειτουργεί **σωστά, ουδέποτε** επεμβαίνουμε στις ρυθμίσεις των **ελεγκτών** και των **ενεργοποιητών** και **δεν** πειραματιζόμαστε με αυτά τα εξαρτήματα.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ - ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

- Τα συστήματα αυτοματισμού, ανάλογα με τον **προορισμό** τους διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: (α) σε αυτά που ελέγχουν και διορθώνουν τις συνθήκες ενός χώρου και (β) σε αυτά που ελέγχουν τη λειτουργία του εξοπλισμού και προστατεύουν τις συσκευές από βλάβες.
- Εκτός από την παραπάνω διάκριση μπορούμε να τα διακρίνουμε ανάλογα με το **ρευστό** με το οποίο λειτουργούν (αέρας, νερό, ψυκτικό ρευστό) ή ανάλογα με το **μέσο** που χρησιμοποιούν (ηλεκτρικοί, ελεγχόμενοι από το κυκλοφορούν ρευστό, πνευματικοί, υδραυλικοί, μικτοί).
- Τα συστήματα αυτοματισμού ανοικτού βρόχου είναι αυτά που παίρνουν συνεχώς πληροφορίες για την κατάσταση επικρατεί και βάσει αυτών δίνουν εντολές, με στόχο να επιτύχουν το επιθυμητό αποτέλεσμα.
- Τα συστήματα κλειστού βρόχου δίνουν εντολές αλλά δεν δέχονται πίσω πληροφορίες για τα αποτελέσματα των εντολών τους.
- Τα μέρη ενός συστήματος αυτοματισμού είναι οι αισθητήρες, ο ελεγκτής και οι ενεργοποιητές.
- Η γενική διάταξη λειτουργίας ενός συστήματος αυτοματισμού, φαίνεται στο σχήμα (6-3).
- Οι αυτοματισμοί κλειστού βρόχου, ανάλογα με τον τρόπο που επενεργούν, μπορεί να είναι (α) Επιλογής δύο θέσεων (ON-OFF) (β) Προοδευτικής λειτουργίας (γ) Διαμορφωτικού ελέγχου.
- Κατά την προοδευτική λειτουργία ο ελεγκτής είναι πολύ γρήγορος αλλά ο ενεργοποιητής πολύ αργός και μπορεί να σταματήσει σε οποιοδήποτε σημείο της διαδρομής του επιτευχθούν οι επιθυμητές συνθήκες.
- Ο διαμορφωτικός έλεγχος διακρίνεται σε αναλογικό (τύπος P), αναλογικό-ολοκληρωτικό (PI) και αναλογικό-ολοκληρωτικό-διαφορικό (PID). Αυτοί έχουν αντίστοιχα μία παράμετρο ρύθμισης (την PB), ή δύο (PB,  $T_i$ ) ή τρεις (PB,  $T_i$ ,  $T_b$ ).
- Στη ρύθμιση των συστημάτων διαμορφωτικού ελέγχου διακρίνουμε το σημείο ελέγχου, το σφάλμα και το εύρος στραγγαλισμού. Στον αναλογικό έλεγχο (P) το εύρος στραγγαλισμού ταυτίζεται με το εύρος αναλογικής ρύθμισης PB.
- **Σταθερά χρόνου** ονομάζεται ο χρόνος που χρειάζεται να φθάσει η μεταβλητή στο 63,2% της τελικής τιμής της. **Νεκρός χρόνος** ονομάζεται το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί από τη στιγμή που ο ελεγκτής θα δώσει την εντολή μέχρι τη στιγμή που θα αρχίσει να γίνεται αισθητή η αλλαγή της μεταβλητής.
- **Χρόνος καθυστέρησης  $T_b$**  ονομάζεται ο χρόνος που χρειάζεται για να φθάσει η μεταβλητή στο 50% της τελικής τιμής της **και χρόνος ανύψωσης  $T_R$**  ο χρόνος που απαιτείται για να φθάσει η μεταβλητή από το 10% στο 90% της τελικής τιμής. Όσο μεγαλύτερος

είναι ο λόγος  $T_R/T_D$ , τόσο πιο εύκολος είναι ο έλεγχος. Στις πολύ μεγάλες τιμές αρκούν ελεγκτές τύπου P, στις μικρές αλλά πάνω από 7,4 αρκούν οι PI ενώ στις ακόμη μικρότερες χρειάζονται οι PID. Σε τιμές μικρότερες του 3,3 πιθανόν ακόμη και οι PID να είναι ανεπαρκείς και να απαιτούνται ειδικές διατάξεις.

- Οι εντολές από τους ελεγκτές καταλήγουν στους ενεργοποιητές. Αυτοί με τη σειρά τους κινούν τάμπερ ή βάνες.
- Τα τάμπερ είναι κυρίως δύο ειδών: (α) με πτερύγια που κινούνται παράλληλα και (β) με αντιστρόφως κινούμενα πτερύγια.
- Οι βάνες διακρίνονται σε δύοδες, τρίοδες και τετράοδες. Περισσότερο χρησιμοποιούνται οι δύοδες, μετά οι τρίοδες, ενώ η χρήση των τετράοδων, παρά τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν είναι σχετικά σπάνια.
- Τόσο οι βάνες, όσο και τα τάμπερ, ανάλογα με τον τρόπο που μεταβάλλουν την παροχή συναρτίζεται της ποσοστιαίας κίνησης τους, διακρίνονται κυρίως σε τρεις τυπικές κατηγορίες: (α) ταχείας αποκατάστασης της ροής (β) αναλογικής λειτουργίας (γ) ίσων ποσοστών.
- Η συμπεριφορά των βανών και των τάμπερ μεταβάλλεται ανάλογα με τον συντελεστή  $\beta = \Delta p_{\min}/\Delta p_{\max}$  (για τις βάνες) και τον  $\alpha = \Delta p_{\max}/\Delta p_{\min}$  (για τα τάμπερ). Το αποτέλεσμα είναι να παραμορφώνεται η χαρακτηριστική τους καμπύλη. Οι βάνες ίσων ποσοστών, όταν το  $\beta \approx 0,1$  έχουν σχεδόν αναλογική συμπεριφορά. Επίσης σχεδόν αναλογική συμπεριφορά έχουν και τα τάμπερ με αντίστροφα κινούμενα πτερύγια όταν  $\alpha \approx 10$ .
- Η χαρακτηριστική καμπύλη των ενεργοποιητών μεταβάλλεται, ανάλογα με τον τρόπο που αυτοί θα ρυθμιστούν. Επιλέγοντας την κατάλληλη ρύθμιση στον ενεργοποιητή, μπορούμε να επιτύχουμε την επιθυμητή συμπεριφορά του συστήματος ενεργοποιητής-βάννα.
- Για να λειτουργήσει σωστά ένα σύστημα αυτομάτου ελέγχου και ρύθμισης ενός δικτύου, θα πρέπει το δίκτυο να είναι εξισορροπημένο, δηλαδή ο κάθε κλάδος να διαρρέεται από συγκεκριμένη μέγιστη παροχή. Η εξισορρόπηση συνήθως επιτυγχάνεται μέσω ειδικών βανών και όχι μέσω των βανών στις οποίες συνδέονται οι ενεργοποιητές.
- Η ρύθμιση των ελεγκτών, γίνεται συνήθως επί τόπου, στην πραγματική εγκατάσταση. Εκ πρώτης όψews, εξ' αιτίας της περίπλοκης λειτουργίας των συστημάτων αυτοματισμού, δημιουργείται η εντύπωση ότι ο προγραμματισμός τους θα πρέπει να είναι πολύ δύσκολος. Στην πραγματικότητα όμως, ο προγραμματισμός αυτός, όταν ακολουθούνται απλοποιημένες εμπειρικές μέθοδοι, δεν παρουσιάζει ιδιαίτερες δυσκολίες.

## ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Σας αναθέτουν να αποφασίσετε το κατάλληλο σύστημα αυτοματισμού διαμερισμάτων με αυτονομία θέρμανσης μίας πολυκατοικίας πολυτελούς κατασκευής. Ο κατασκευαστής, θέλοντας να βάλει κάτι καλύτερο, σκέφτεται να εγκαταστήσει ένα κάπως σύνθετο σύστημα αυτοματισμού. Θα συμφωνούσατε μαζί του; Αιτιολογήστε την απάντησή σας.
2. Σε ένα διαμέρισμα με αναλογισμό σύστημα ελέγχου της θερμοκρασίας οι ένοικοι διαπίστωσαν ότι στο σύνηθες κρύο, π.χ. εξωτερικό περιβάλλον  $10^{\circ}\text{C}$ , είναι πολύ ικανοποιημένοι αν ο εσωτερικός θερμοστάτης είναι στους  $20^{\circ}\text{C}$ . Όταν όμως η θερμοκρασία του περιβάλλοντος πέσει πιο πολύ, π.χ. στους  $5^{\circ}\text{C}$  (οπότε αυξάνεται η ροή θερμότητας από το διαμέρισμα προς το εξωτερικό περιβάλλον), τότε για να είναι το ίδιο ευχαριστημένοι βλέπουν ότι θα πρέπει να ρυθμίσουν το θερμοστάτη στους  $21^{\circ}\text{C}$  και όταν το περιβάλλον πέφτει στους  $0^{\circ}\text{C}$ , χρειάζεται να τον ρυθμίσουν στους  $22^{\circ}\text{C}$ . Μπορείτε, με απλά λόγια, να εξηγήσετε γιατί τους συμβαίνει αυτό;
3. Αναφέρετε από 5 τουλάχιστον εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται στους αυτοματισμούς (α) που εξασφαλίζουν τις συνθήκες του χώρου (β) που ελέγχουν τη λειτουργία και προστατεύουν τις συσκευές.
4. Επιλέξτε τη σωστή απάντηση:
  - (α) Οι αυτοματισμοί ελέγχου των συνθηκών χώρου χρειάζονται κυρίως στον κλιματισμό και αυτοματισμοί λειτουργίας-προστασίας κυρίως στην ψύξη.
  - (β) Οι αυτοματισμοί ελέγχου των συνθηκών χώρου χρειάζονται κυρίως στην ψύξη και οι λειτουργίας-προστασίας στον κλιματισμό.
  - (γ) Οι αυτοματισμοί ελέγχου των συνθηκών χώρου και οι αυτοματισμοί λειτουργίας-προστασίας χρειάζονται εξ' ίσου, τόσο στον κλιματισμό όσο και στην ψύξη.
5. Δώστε παραδείγματα αυτοματισμών με ελεγχόμενο μέσο τον αέρα, το νερό και το ψυκτικό ρευστό.
6. Τι είναι ο αυτοματισμός **κλειστού** βρόχου και τι ο **ανοικτού** βρόχου; Σε ποιές περιπτώσεις εφαρμόζονται; Δώστε παραδείγματα.
7. Φτιάξτε ένα διάγραμμα που να δείχνει την λειτουργία ενός συστήματος αυτοματισμού κλειστού βρόχου.
8. Από ποία μέρη αποτελείται ένα σύστημα αυτοματισμού; Μπορεί ένα σύστημα να αποτελείται από μόνο δύο συσκευές, ή να είναι όλα ενσωματωμένα σε μία και μοναδική συσκευή; Αν ναι, δώστε από ένα παράδειγμα.
9. Ποία είναι η σχέση μεταξύ των όρων **ενεργοποιητής** και **σερβοκινητήρας**;

10. Ποίες είναι οι κατηγορίες στις οποίες διακρίνονται οι αυτοματισμοί, ανάλογα με τον τρόπο που επενεργούν;
11. Ποίες είναι οι κατηγορίες των αυτοματισμών διαμορφωμένης λειτουργίας;
12. Ποία είναι τα χαρακτηριστικά μεγέθη ενός συστήματος αυτοματισμού διαμορφωτικού ελέγχου;
13. Τι σχέση έχει το εύρος στραγγαλισμού με τον συντελεστή PB;
14. Σε ποία περιοχή τιμών μπορεί να βρίσκεται το σφάλμα σε ένα διαμορφωτικό αυτοματισμό;
15. Τι σχέση έχει το εύρος στραγγαλισμού με την περιοχή διακύμανσης της τιμής της μεταβλητής σε ένα σύστημα ON-OFF; Είναι σχεδόν το ίδιο πράγμα ή υπάρχει μία βασική διαφορά;
16. Πόσες παραμέτρους θα πρέπει να εκτιμήσουμε για να εισάγουμε σε μία συσκευή αυτοματισμού (α) τύπου P (β) τύπου PI (γ) τύπου PID. Ποίες είναι αυτές;
17. Συχνά οι αυτοματισμοί που σ' αυτό το βιβλίο αποδίδονται με τον όρο **διαμορφωμένης λειτουργίας** (κατά λέξη μετάφραση του αγγλικού όρου *modulating action*), συναντώνται και με τον όρο αυτοματισμοί **αναλογικής λειτουργίας**. Είναι σωστή κατά τη γνώμη σας αυτή η απόδοση του όρου;
18. Τι σημαίνουν οι όροι: αναλογική ρύθμιση, ολοκληρωτική ρύθμιση και διαφορική ρύθμιση;
19. Ποία είναι η σχέση μεταξύ του PB και του συντελεστή αναλογικού κέρδους;
20. Πότε ένα σύστημα λέγεται **ευσταθές** και πότε **ασταθές**;
21. Πότε ένα σύστημα έχει περισσότερες πιθανότητες να αποδειχτεί ασταθές;
22. Μπορεί στο ευσταθές σύστημα να έχουμε συνεχώς μετακίνηση των ενεργοποιητών από τη μία ακραία θέση στην άλλη;
23. Σας παραδίδουν ένα σύστημα στο οποίο αναλαμβάνετε συντηρητής. Διαπιστώνετε ότι οι ενεργοποιητές μετακινούνται από τη μία θέση στην άλλη, χωρίς να παίρνουν ποτέ κάποια ενδιάμεση θέση. Τι θα πρέπει να υποθέσετε; Σε ποίες ενέργειες θα πείτε στον εργοδότη σας ότι θα πρέπει να προβεί;
24. Τι ονομάζουμε σταθερά χρόνου και τι νεκρό χρόνο;
25. Πως θα αντιληφθείτε αν το σύστημα μπορεί να εξυπηρετηθεί με ένα ελεγκτή τύπου P ή PI ή PID; Υπάρχει περίπτωση να μην είναι ούτε ο ελεγκτής PID κατάλληλος;
26. Τι ονομάζουμε υπερύψωση; Παρουσιάζουν όλα τα συστήματα αυτοματισμού υπερύψωση;
27. Ποία είναι τα είδη των τάμπερ και ποία των βαλβίδων (ή των βανών);
28. Ποία είναι η διαφορά και ποία η ομοιότητα στη λειτουργία μεταξύ τρίοδης και τετράοδης βάνας; Που πλεονεκτεί η τετράοδη βάνα; Ποία χρησιμοποιείται περισσότερο και γιατί;

29. Τι πλεονέκτημα βλέπετε να υπάρχει αν χρησιμοποιήσετε τρίοδη βάννα για τη μεταβολή της παροχής αντί για τη δίοδη;
30. Ποια είναι τα τρία τυπικά είδη χαρακτηριστικών λειτουργίας των βανών και των τάμπερ;
31. Οι χαρακτηριστικές καμπύλες των βανών και των τάμπερ μεταβάλλονται ή είναι σταθερές; Πότε και με ποίο τρόπο γίνεται αυτή η μεταβολή;
32. Ποιό από τα τρία τυπικά είδη χαρακτηριστικών καμπυλών είναι κατά τη γνώμη σας το πιο χρήσιμο;
33. Αν θέλετε μία βάννα με μία συγκεκριμένη χαρακτηριστική και διαπιστώνετε ότι αυτή δεν υπάρχει στο εμπόριο, τι μπορείτε να κάνετε;
34. Η χαρακτηριστική λειτουργίας ενός ενεργοποιητή μπορεί να είναι μία συγκεκριμένη και σταθερή καμπύλη; Τι πρόβλημα μπορεί ενδεχομένως να υπάρξει;
35. Τι είναι η εξισορρόπηση και πως πραγματοποιείται;
36. Γιατί κατά τη γνώμη σας είναι προϋπόθεση το δίκτυο να είναι σωστά εξισορροπημένο για να λειτουργήσει σωστά και το σύστημα αυτοματισμού;
37. Αν το σύστημα αυτοματισμού δεν μπορεί να ρυθμιστεί σωστά, τι θα πρέπει να σκεφτείτε ότι είναι πιθανόν να μην έχει γίνει στην εγκατάσταση, ή τουλάχιστον να μην έχει γίνει σωστά;
38. Με ποιό τρόπο γίνεται η ρύθμιση των ελεγκτών; Είναι ιδιαίτερα δύσκολη ως διαδικασία; Τι είναι αυτό που την έχει απλοποιήσει;
39. Φτιάξτε έναν πίνακα με όλες τις δυνατές κατατάξεις των συστημάτων αυτοματισμού. Μην περιοριστείτε μόνο σε όσα αναφέρονται στο κεφάλαιο (6-4).
40. Σας χάλασε ένα εξάρτημα του δικτύου αυτοματισμού της εγκατάστασης για την οποία είσαστε υπεύθυνος. Δεν το βρίσκετε στο εμπόριο και σας λένε από την αντιπροσωπία ότι έχει καταργηθεί εδώ και πέντε έτη. Τι θα πρέπει κατά τη γνώμη σας να κάνετε;
41. Έστω ότι είσαστε ο υπεύθυνος συντηρητής σε μία κεντρική εγκατάσταση κλιματισμού ενός πολύ μεγάλου κτιρίου, με περίπλοκα συστήματα αυτοματισμού. Σας φέρνουν ένα καινούριο βοηθό, ο οποίος για να μάθει πως λειτουργούν τα συστήματα αυτοματισμού, σας ζητάει να τον αφήσετε να πειραματιστεί μαζί τους. Θα του το επιτρέψετε; Αν ναι, θα τον αφήσετε να κάνει ότι θέλει ή θα του βάλετε περιορισμούς και στην περίπτωση αυτή σε ποία σημεία θα τον αφήνατε να επέμβει; Τι θα του συνιστούσατε να προσέξει για να μάθει καλύτερα πως αντιδρούν οι αυτοματισμοί;

## ΑΣΚΗΣΕΙΣ

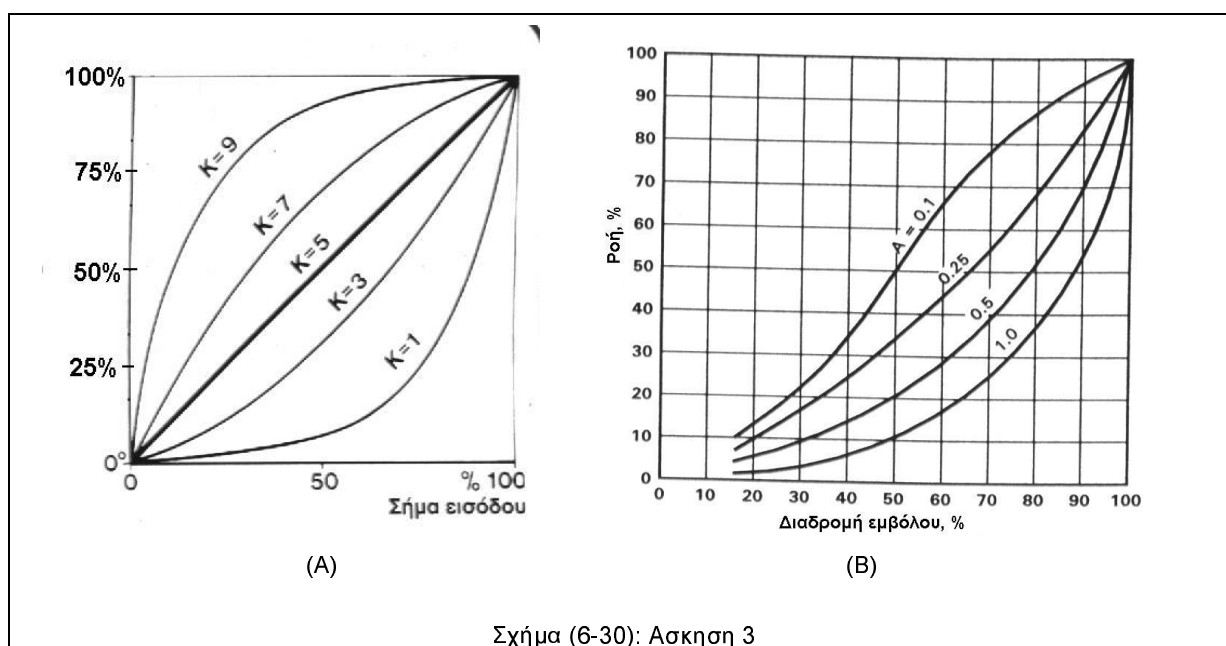
1. Σε ένα σύστημα, ο πρεσοστάτης έχει ρυθμιστεί σε πίεση 420 kPa. Ξεκινάμε το σύστημα και βρίσκουμε, με ένα μανόμετρο Bourdon, ότι συναρτήσει του χρόνου η πίεση αυξάνεται σύμφωνα με το παρακάτω πίνακα:

Χρόνος, s	5	10	12	20	30	40	50	60	65	70	80	90
Πίεση, kPa	0	5	45	105	175	280	400	455	475	440	400	435

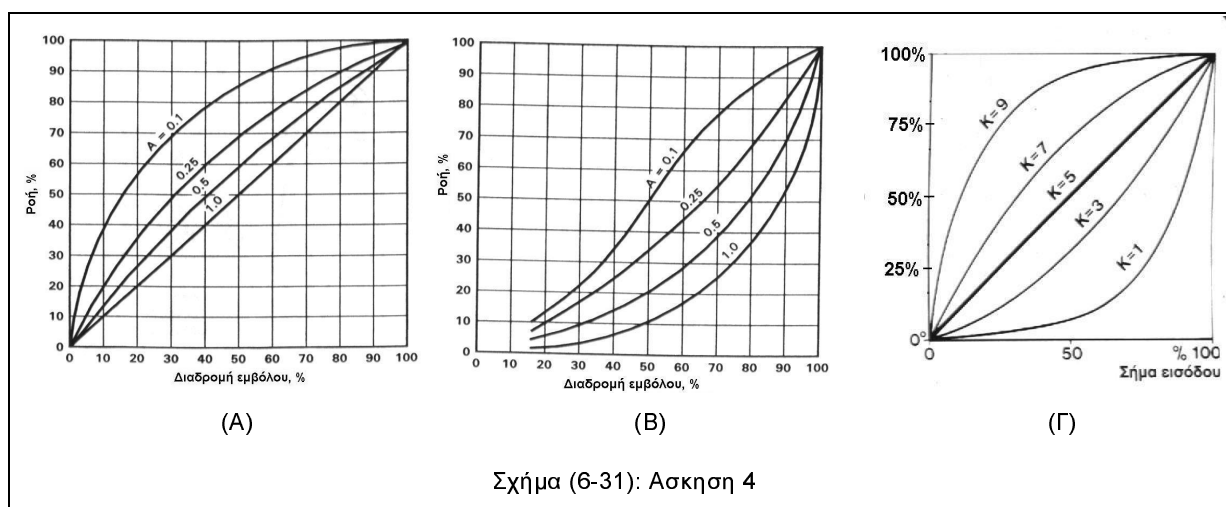
- Να σχεδιαστεί η μεταβολή της πίεσης συναρτήσει του χρόνου
  - Να βρεθούν ο νεκρός χρόνος, η σταθερά χρόνου, ο χρόνος καθυστέρησης  $T_D$  και ο χρόνος ανύψωσης  $T_R$ .
  - Παρουσιάζει το σύστημα υπερύψωση και αν ναι, πόση είναι αυτή;
  - Αν υποτεθεί ότι το είδος της λειτουργίας είναι τέτοιο ώστε να χρειάζεται αυτοματισμός ελέγχου και ρύθμισης, μπορεί να εφαρμοστεί σ' αυτό το σύστημα διάταξη αυτοματισμού διαμορφωμένης λειτουργίας (P, PI, ή PID);
2. Σε ένα σύστημα κλιματισμού με έλεγχο της εξερχόμενης θερμοκρασίας νερού από το στοιχείο, διαπιστώνεται ότι κατά την εκκίνηση, η θερμοκρασία εξόδου του νερού από το στοιχείο, κατά τα 15 πρώτα λεπτά λειτουργίας, ακολουθεί τη μεταβολή του παρακάτω πίνακα. Μετά από 60 λεπτά λειτουργίας, η θερμοκρασία εξόδου σταθεροποιείται στους 45°C.

Χρόνος, min	0	0,2	0,3	0,5	1	2	4	6	9	12	15
Θερμοκρασία	20	20,1	27,5	34,5	36,5	38	40	41	41,5	42	42,5

- Να σχεδιαστεί η μεταβολή της θερμοκρασίας συναρτήσει του χρόνου
- Να βρεθούν ο νεκρός χρόνος, η σταθερά χρόνου, ο χρόνος καθυστέρησης  $T_D$  και ο χρόνος ανύψωσης  $T_R$ .
- Αν εφαρμόσετε σύστημα ελέγχου διαμορφωμένης λειτουργίας, τότε ποιό θα επιλέγατε, το P, το PI ή το PID;

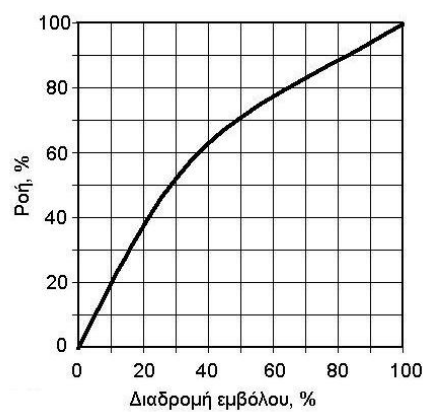


3. Το διάγραμμα των καμπυλών του σερβοκινητήρα είναι όπως στο σχήμα (6-30<sup>A</sup>) οι καμπύλες της βάνας όπως του σχήματος (6-30<sup>B</sup>) και η επιθυμητή χαρακτηριστική λειτουργίας είναι η απόλυτα αναλογική. Η βάνα παρουσιάζει  $\beta = 0,5$ . Σε ποία θέση θα ρυθμίσετε το ποτενσιόμετρο του σερβοκινητήρα;

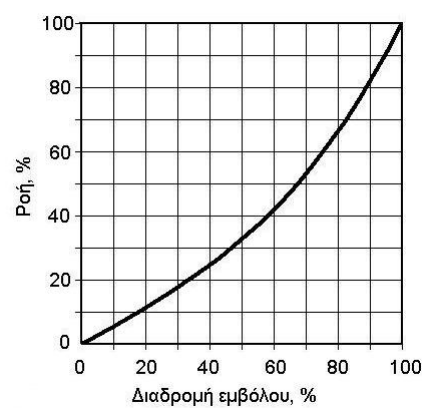


4. Σας δίνονται δύο βάνες, με τις καμπύλες αντίστοιχα των σχημάτων (6-31<sup>A</sup>) και (6-31<sup>B</sup>). Ο σερβοκινητήρας έχει τις καμπύλες του σχήματος (6-30<sup>A</sup>). Το  $\beta$  είναι 0,25. Ζητάτε το σύστημα σερβοκινητήρα-βάνας να έχει καθαρά αναλογική συμπεριφορά. Με ποίους δυνατούς συνδυασμούς θα μπορούσατε να δουλέψετε;





(A)



(B)

Σχήμα (6-32): Άσκηση 5

5. Ομοίως με το προηγούμενο παράδειγμα, αν:

- το  $\beta = 0,5$  και ζητάτε το σύστημα σερβοκινητήρα-βάννας να έχει τη συμπεριφορά του σχήματος (6-32<sup>A</sup>)
- το  $\beta = 0,1$  και ζητάτε τη συμπεριφορά του σχήματος (6-32<sup>B</sup>).