

# Βασικά κυκλώματα

## Μεταβλητές αντιστάσεις



### Ποτενσιόμετρα και τρίμερ

Ποτενσιόμετρα και τρίμερ χρησιμοποιούνται πάντα και χρησιμοποιούνται ακόμα σε μεγάλη κλίμακα στις ηλεκτρονικές συσκευές. Σε νέες εφαρμογές κερδίζουν όμως όλο και περισσότερο έδαφος τα ψηφιακά κυκλώματα (μετατροπέας D/A με NV-RAM αντί του τρίμερ). Αυτό θα συνεχιστεί στο μέλλον με μεγαλύτερη ένταση.

Όπως συμβαίνει με όλα τα στοιχεία, πρέπει κανείς να γνωρίζει όλα τα χαρακτηριστικά δεδομένα και τις ιδιότητες των ποτενσιομέτρων και τρίμερ. Για σημαντικές εφαρμογές, όπως όργανα μετρήσεως, επαγγελματικά στερεοφωνικά συστήματα και ηλεκτρονικά εξαρτήματα αυτοκινήτων, η επιλογή του ποτενσιομέτρου χρειάζεται μεγάλη προσοχή, επειδή οι θλάβες είναι ιδιαίτερες ενοχλητικές και σε ορισμένες περιπτώσεις επικίνδυνες.

Οι ρυθμιστικές αντιστάσεις είναι παράγωγα των διαφόρων σταθερών αντιστάσεων. Η βασική αρχή: Μια κινητή επαφή ολισθαίνει επάνω σε αγώγιμη στρώση και μεταβάλλει κατά συνεχή τρόπο την τιμή της αντίστασης.

### Κατηγορίες

Το ποτενσιόμετρο είναι δομικό στοιχείο με τρεις ακροδέκτες και χρησιμοποιείται σαν ρυθμιζόμενος διαιρέτης τάσης.

Δύο από τους ακροδέκτες συνδέονται με τα άκρα μίας αντίστασης και ο τρίτος με μηχανική

επαφή, η οποία ολισθαίνει πάνω στην αντίσταση.

Στο ποτενσιόμετρο τύπου **τρίμερ** αλλάζει μόνο η τιμή της αντίστασης ή τάσης μεταξύ των ακροδεκτών λόγω της απλής κατασκευής του και κατά προτίμηση με τη βοήθεια κατασκευαστή. Η συχνότητα των μετατοπίσεων του δρομέα είναι σαφώς μικρότερη από ένα ποτενσιόμετρο γενικής χρήσης. Ένα **ποτενσιόμετρο ακριβείας** είναι ειδική κατασκευή με πολύ υψηλές απαιτήσεις όσον αφορά τη γραμμικότητα, συχνότητα και ταχύτητα ρυθμίσεων. Το **περιστροφικό ποτενσιόμετρο** έχει άξονα, η περιστροφή του οποίου μετατοπίζει τον δρομέα. Στο **συρόμενο ποτενσιόμετρο** η επαφή ολισθαίνει ακολουθώντας ευθεία διαδρομή επάνω σε ευθύγραμμο στοιχείο αντίστασης. Το **δίδυμο ποτενσιόμετρο** αποτελείται από δύο ή περισσότερα απλά ποτενσιόμετρα, τα οποία οδηγούνται από κοινό άξονα. Τα **πολλαπλά ποτενσιόμετρα** αποτελούνται από ομάδες δύο ή περισσότερων ποτενσιομέτρων που μπορούν να ενεργοποιούνται ανεξάρτητα το ένα από το άλλο (π.χ. με ομόκεντρους άξονες) και διατίθενται σε κοινή συσκευασία. Η υποδιαίρεση των ποτενσιομέτρων μπορεί να γίνει με βάση το χρησιμοποιούμενο στοιχείο αντίστασης (σύρμα, επίστρωση άνθρακα, Cermet, αγώγιμο πλαστικό) ή με βάση την κατασκευή (κλασικό ποτενσιόμετρο, τρίμερ). Η ποικιλία των ποτενσιομέτρων που κυκλοφορούν στο εμπόριο είναι πολύ μεγάλη λόγω των πολλών δυνατών συνδυασμών.

### Επίστρώσεις

Η αγώγιμη επίστρωση έχει σχήμα κυκλικό ή ευθύγραμμο. Η ρύθμιση γίνεται επομένως με κίνηση του δρομέα σε κυκλική ή ευθύγραμμη τροχιά. Στα τρίμερ με άξονα η περιστροφική κίνηση του άξονα μετατρέπεται σε μετατόπιση του δρομέα επί ευθύγραμμης τροχιάς με τη βοήθεια οδοντωτής ράβδου. Η επαφή του δρομέα είναι από μέταλλο ή άνθρακα και πρέπει, όσον αφορά τις τριβόμενες επιφάνειες, να ταιριάζει με την αγώγιμη επίστρωση.

**Σύρμα:** Η αντίσταση αποτελείται από ένα μονωτικό πυρήνα, στον οποίο τυλίγεται αγώγιμο υλικό. Στην αρχή και το τέλος της περιέλιξης υπάρχουν δακτυλίδια από λεπτή λαμαρίνα για την αποκατάσταση της ηλεκτρικής επαφής της περιέλιξης. Το αγώγιμο υλικό της αντίστασης είναι συνήθως κοσταντάνη ή νικελιοχρώμιο. Μπορούμε όμως να έχουμε περιελίξεις ειδικού τύπου, όπως υλικό σύρματος με ιδιαίτερα μικρό συντελεστή θερμοκρασίας ή ευγενή μέταλλα, ώστε να πετύχουμε την καλύτερη δυνατή ποιότητα επαφής και για λειτουργία υπό δυσμενείς συνθήκες. Εκτός από την κανονική, συνεχή περιέλιξη, χρησιμοποιείται επίσης και η περιέλιξη κατά τομείς. Στην περίπτωση αυτή τυλίγεται στον πυρήνα σύρμα μεταβλητής διατομής κατά μήκος κυκλικών τομών. Αυτή η διαμόρφωση χρησιμοποιείται για την προσέγγιση μη γραμμικής μεταβολής της αντίστασης είτε για την προσαρμογή σε διάφορες εντάσεις ρεύματος. Οι περιελίξεις μονώνονται με επίστρωση οξειδίου, η οποία λείπει μόνο σκατα μήκος της διαδρομής του δρομέα. Οι σπείρες σταθεροποιούνται με τσιμέντο. Η επαφή του δρομέα είναι από άργυρο, χρυσό ή άνθρακα ανάλογα με τις συνθήκες εργασίας και το μέγεθος της αντίστασης. Η συμπίεση περιέλιξη δεν είναι κατάλληλη για εφαρμογές υψηλών συχνοτήτων λόγω των επαγωγικών και χωρητικών χαρακτηριστικών της. Ακόμα και στα 20 kHz η επαγωγική συνιστώσα μπορεί να υπερβεί την ωμική. Η γραμμικότητα που επιτυγχάνεται με αυτόν τον τύπο χωρίς αντισταθμιστικά πρόσθετα είναι πιο ακριβής μεταξύ

όλων των μεταβλητών αντιστάσεων. Λόγω όμως της κίνησης του δρομέα από σπείρα σε σπείρα περιορίζεται η ανάλυση. Κατά τη διάρκεια της μετατόπισης η τάση του δρομέα είναι κλιμακωτή. Τα χαρακτηριστικά του τύπου αυτού είναι μεγάλη ευστάθεια, μικρός συντελεστής θερμοκρασίας (περίπου +/- 50 ppm/K για κατασκευές ακριβείας, -10 έως -80 ppm/K για μικρές τιμές της αντίστασης, +100 έως +200 ppm για μεγάλες αντιστάσεις ισχύος), πολύ καλή γραμμικότητα (χωρίς αντιστάθμιση), υψηλές απώλειες ισχύος (έως 500 W) και μεγάλη τιμή της έντασης του ρεύματος χωρίς διακυμάνσεις. Λόγω τούτου τα ποτενσιόμετρα με σύρμα είναι κατάλληλα για ρεοστάτες.

**Επίστρωση άνθρακα:** Πρόκειται για οργανικό σύστημα με θερμική ρητίνη. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα εξασφαλίζεται με προσμίξεις και όπως αιθάλη και γραφίτης. Η υγρασία όμως διαστέλλει τη ρητίνη και οι αγώγιμες προσμίξεις χάνουν τη μεταξύ τους επαφή, οπότε αυξάνει η τιμή της αντίστασης. Αυτό το φαινόμενο είναι όμως αναστρέψιμο για μικρά περιθώρια μεταβολών. Λόγω αυτού του φαινομένου όμως οι επίστρώσεις άνθρακα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κυκλώματα μόνο σαν διαιρέτες τάσης. Στα τρίμερ χρησιμοποιείται μεταλλικός δρομέας για την επαφή. Όταν γίνονται συχνές ρυθμίσεις πιο κατάλληλοι είναι δρομείς άνθρακα, επειδή φθερίεται η μαλακή επίστρωση από την τριβή με το δρομέα. Ο πυρήνας είναι συνήθως από χαρτόνι, για μεγαλύτερες όμως απαιτήσεις χρησιμοποιείται κεραμικό υλικό. Η μέγιστη επιτρεπτή θερμοκρασία είναι 85°C, ο συντελεστής θερμοκρασίας είναι + 1000 ppm στην περίπτωση πυρήνα από χαρτόνι και από +300 έως -600 ppm στην περίπτωση πυρήνα από κεραμικό υλικό.

**Cermet:** Το όνομα αυτό παράγεται από τα αρχικά κεραμικό υλικό και μέταλλο. Η κατασκευή του πραγματοποιείται συμπιέζοντας αγώγιμη πάστα με κύριο συστατικό το ρουθίνιο επάνω σε κεραμικό υλικό και ακολούθως με πυροσυσσώματωση σε θερμοκρασία περίπου 800°C. Από τη διαδικασία αυτή προκύπτει σκληρή και ανθεκτική σε υψηλές



θερμοκρασίες επιστρωσης, με καλή ανάλυση, με συντελεστή θερμοκρασίας μεταξύ 50 και 250 rpm/K και με πολύ καλή συμπεριφορά σε διάβρωση. Τα στοιχεία από Cermet παρουσιάζουν πρακτικά απεριόριστη ανάλυση και καλή ευστάθεια κάτω από διάφορες συνθήκες περιβάλλοντος. Μπορούν να καλύψουν πολύ μεγάλο εύρος τιμών αντίστασης. Οι επιτρεπτές απώλειες ισχύος είναι δεκαπλάσιες από αυτές των μεταβλητών αντιστάσεων με επίστρωση άνθρακα του ίδιου μεγέθους. Δυστυχώς όμως, η τραχεία και σκληρή ωμική επίστρωση φθείρει σύντομα το δρομέα. Λίγες μόνο δαπανηρές κατασκευές μπορούν να φθάσουν τον αριθμό των 25.000 μετατοπίσεων του δρομέα. Από τη γκάμα των μη γραμμικών μεταβλητών αντιστάσεων κυκλοφορούν από την κατηγορία αυτή μόνο θετικές λογαριθμικές. Πρέπει να ψάξετε όμως πολύ για να τις βρείτε. Ο συντελεστής θερμοκρασίας είναι περίπου +/- 1000 rpm. Ως προς την γραμμικότητα και τη διάρκεια ζωής βρίσκονται μεταξύ των ποτενοσιόμετρων με σύρμα και των ποτενοσιόμετρων με αγώγιμο πλαστικό. Χάρη στην εξαιρετική συμπεριφορά τού τύπος αυτός είναι κατάλληλος για εφαρμογές HiFi. Η παραγωγική διαδικασία καθιστά δυνατή την κατασκευή μεγάλης ποικιλίας τύπων και διαμορφώσεων αλλά και λειτουργικών χαρακτηριστικών.

**Αγώγιμο πλαστικό :** Η ηλεκτρική αγωγιμότητα επιτυγχάνεται με ενσωμάτωση πολύ λεπτών σωματιδίων γραφίτη σε βάση ρητίνης φαινόλης ή πολυαμιδίου υψηλής ποιότητας. Η αναλογία των αγώγιμων προσμίξεων καθορίζει την τιμή της επιφανειακής αντίστασης. Αφού προστεθεί το μίγμα ρητίνης-άνθρακα στον πυρήνα με διαδικασία επίχυσης, ψεκασμού ή διεύδυσης κατόπιν εφαρμογής πίεσης, πραγματοποιείται πολυμερισμός (σκληρυνση) του ωμικού στρώματος σε 200°C. Με τον τρόπο αυτό προκύπτει ωμικό στρώμα πάχους 10 - 15 μm. Η τιμή της αντίστασης εξαρτάται από τις γεωμετρικές διαστάσεις και την ειδική αντίσταση της επιφάνειας του ωμικού στρώματος. Οι επαφές είναι από αγώγιμες πλάκες πάστας αργύρου-παλλαδίου. Τα ποτενοσιόμετρα αγώγιμου πλαστικού έχουν πολύ λεία επιφάνεια, πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής και πρακτικά απε-

ριόριστη ανάλυση. Εν άλλο πλεονέκτημα είναι η ομαλή μεταβολή της τάσης κατά τις μετατοπίσεις του δρομέα. Ο πυρήνας του στοιχείου είναι από πλαστικό ή κεραμικό υλικό. Τα ποτενοσιόμετρα από αγώγιμο πλαστικό δεν είναι όμως ανώτερα πό τα ποτενοσιόμετρα Cermet ή σύρματος όσον αφορά την αντοχή στην υγρασία, το συντελεστή θερμοκρασίας, τις επιτρεπτές απώλειες ισχύος και την επιτρεπτή τιμή της έντασης ρεύματος στο δρομέα. Η μεταβολή της αντίστασης συναρτίζει της θερμοκρασίας είναι έντονα μη γραμμική και γιαυτό αντί για θερμοκρασιακό συντελεστή δίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της αντίστασης, π.χ. για ένα 100 K ποτενοσιόμετρο από 8% στους -55°C έως +/- 6% στους 120°C. Χάρη στη διαδικασία κατασκευής είναι δυνατή η παραγωγή ειδικών τύπων (π.χ. ειδικές διαμορφώσεις των επαφών), καθώς και ποτενοσιόμετρων με ξεχωριστά χαρακτηριστικά.

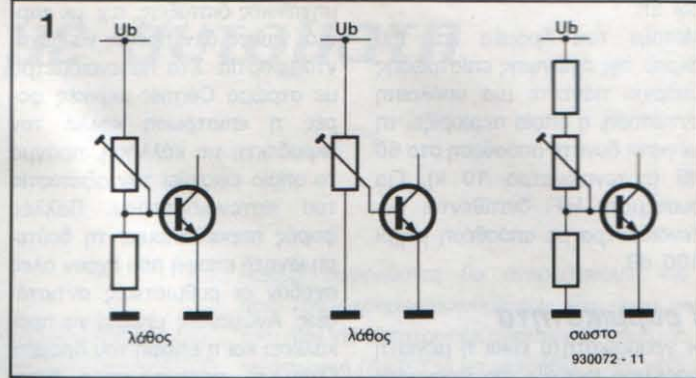
**Άλλοι τύποι :** Σε μια εξέλιξη των συρμάτινων αντιστάσεων ακριβείας η περιέλιξη επικαλύπτεται με στρώση αγώγιμου πλαστικού. Αυτό το στοιχείο αντίστασης συνδυάζει τα πλεονεκτήματα και των δύο τεχνολογιών, δηλαδή το μικρό συντελεστή θερμοκρασίας και την ευστάθεια των συρμάτινων στοιχείων από τη μια πλευρά, τη διάρκεια ζωής και καλή ανάλυση του αγώγιμου πλαστικού από την άλλη πλευρά. Ένας κατασκευαστής προσφέρει αγώγιμη επίστρωση με βάση γραφίτη, η οποία ξεπερνά ορισμένες επιδόσεις του αγώγιμου πλαστικού. Επίσης υπάρχουν ανθεκτικές στην υγρασία επιστρώσεις γραφίτη, επομένως κατάλληλες για τροπικά κλίματα.

## Τυποποίηση (Σειρές E)

Η διεθνής τυποποίηση έχει προχωρήσει και στις ρυθμιστικές αντιστάσεις και έχει σκοπό τον περιορισμό όλων των δυνατών μεγεθών σε συγκεκριμένες τιμές. Εκτός από τη σειρά E3 (1, 2,2 4,7) κυκλοφορούν αντιστάσεις σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά των σειρών 1, 2,5 , 5 ή 1, 2, 5.

## Λειτουργικά όρια

Όταν μια αντίσταση διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, παράγεται θερμότητα στην ωμική επίστρωση, η οποία αυξάνει τη θερμοκρασία του αγώγιμου υλικού της



Σχήμα 1. Κατά τη σύνδεση των ποτενοσιόμετρων και των τρίμερ πρέπει να φροντίζουμε ώστε σε καμία περίπτωση να μη γίνεται πολύ μεγάλη η ένταση του ρεύματος στο δρομέα.

αντίστασης. Εν γένει, επιτρέπονται μικρές μόνο απώλειες ισχύος στις μεταβλητές αντιστάσεις, αφού η ωμική επίστρωση είναι απ' ευθείας εκτεθειμένη στο περιβάλλον και επομένως ιδιαίτερα ευάλωτη σε οξειδωτικές επιδράσεις. Πρέπει να τηρούνται πάντοτε τα όρια για την ένταση του ρεύματος στην επαφή. Για το λόγο αυτό τα τρίμερ πρέπει πάντοτε να έχουν προετασία υπερφόρτισης (σχήμα 1). Εξαιρέση στον κανόνα αυτό αποτελούν οι συρμάτινες αντιστάσεις, οι οποίες υπάρχουν σε μεγέθη έως 500 W και η επαφή τους μπορεί να εκτεθεί σε υψηλά φορτία.

## Θερμοκρασιακές μεταβολές

Είναι κοινό χαρακτηριστικό όλων των αντιστάσεων ότι η τιμή τους μεταβάλλεται συναρτίζει της θερμοκρασίας. Ο συντελεστής θερμοκρασίας είναι η σχετική μεταβολή της αντίστασης ανά βαθμό Κελσίου.

Ευρώπη	Ιαπωνία	Τύπος καμπύλης	DIN 41 450
A	B	γραμμική	1
B	D(A,K)	λογαριθμική	4
C	RD(E,C)	αντιλογαριθμική	5
F	M,N	αντισταθμιστική (μόνο για δίδυμα ποτενοσιόμετρα), γραμμική με διαβάθμιση	11
H		λογαριθμική με διαβάθμιση	41

Δεν ενδιαφέρει ο συντελεστής θερμοκρασίας, όταν τα ποτενοσιόμετρα χρησιμοποιούνται σαν διαιρέτες τάσεις χωρίς να διαρρέονται από ισχυρά ρεύματα, αφού δεν επηρεάζεται ο λόγος της διαίρεσης. Ομως, όταν το ποτενοσιόμετρο χρησιμοποιείται σαν ρυθμιστική αντίσταση, ο συντελεστής θερμοκρασίας πρέπει οπωσδήποτε να λαμβάνεται υπ' όψη. Από την άποψη αυτή προτιμούνται συρμάτινες αντιστάσεις και

στοιχεία Cermet.

## Χαρακτηριστικά

Η τιμή της αντίστασης, οι ανοχές και η καμπύλη μεταβολής της αντίστασης δίνονται κατά κανόνα με περιγραφικό τρόπο. Είναι ενδεχόμενο η καμπύλη να δίνεται με σύμβολα. Στα μικρά τρίμερ χρησιμοποιείται σε ορισμένες περιπτώσεις χρωματικός κώδικας με γραμμές ή στιγμές.

## Καμπύλη

Η χαρακτηριστική καμπύλη της αντίστασης είναι η μεταβολή του λόγου διαίρεσης τάσης ή της εκάστοτε ισχύουσας τιμής για την αντίσταση ανάλογα με τη θέση της επαφής. Το σχήμα 2a δείχνει τις πιο συνηθισμένες μορφές χαρακτηριστικών : Γραμμική (A), λογαριθμική (B) και αντιλογαριθμική ή εκθετική (C). Οι διάφοροι τύποι καμπύλων τυποποιούνται κατά DIN, οι πιο συνηθείς χαρακτηρισμοί είναι :

Στο σχήμα 6 φαίνονται συγκεντρωμένες οι χαρακτηριστικές καμπύλες A έως H. Η λογαριθμική χαρακτηριστική που χρησιμοποιείται συνήθως σε συστήματα HiFi ονομάζεται κατά DIN "ανυψωμένη λογαριθμική" και χαράσσεται με λογαριθμική κλίμακα στον άξονα Y, όπως φαίνεται στο σχήμα 2b. Πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψη ότι υπάρχει μια νεκρή διαδρομή κατά την κίνηση των συνήθων επαφών (βλ. σχήμα 2d



και 2f). Μεταξύ του δρομέα και του άκρου της αγώγιμης επίστρωσης υπάρχει πάντοτε μια υπόλοιπη αντίσταση, η οποία περιορίζει τη μέγιστη δυνατή απόσβεση στα 60 dB (ποτενσιόμετρο 10 κ). Για συστήματα HiFi διατίθενται ποτενσιόμετρα με απόσβεση μέχρι 100 dB.

### Γραμμικότητα

Η γραμμικότητα είναι η μέγιστη απόκλιση μεταξύ της πραγματικής και της θεωρητικής τιμής. Για τις μη γραμμικές χαρακτηριστικές ένας καλύτερος περιγραφικός όρος είναι η ακρίβεια της προσαρμογής στην θεωρητική καμπύλη.

### Θορύβος

Ο θόρυβος των ποτενσιομέτρων με αγώγιμη επίστρωση έχει την ίδια τάξη μεγέθους όπως και στις συνθιόμενες ωμικές αντιστάσεις σταθερής τιμής. Η κίνηση του δρομέα αποτελεί ακόμα μια πηγή θορύβου. Ο τελευταίος ονομάζεται περιστροφικός ή δυναμικός θόρυβος. Το σχήμα 3 δείχνει τη μέθοδο μέτρησης κατά DIN. Για το χαρακτηρισμό του μεγέθους του θορύβου αυτού δίνεται η ισοδύναμη αντίσταση ή ποσοστιαία τιμή.

### Διάρκεια ζωής

Η διάρκεια ζωής μετράται σύμφωνα με τους κανονισμούς DIN 41 450. Για ταχύτητες 10 έως 15 διπλών διαδρομών ανά λεπτό του δρομέα πρέπει να έχουμε αντοχή 100 φορές στα τρίμερ, και 10000 φορές στα άλλα ποτενσιόμετρα. Κυκλοφορούν διάφορες κατασκευές ανάλογα με τη συχνότητα ρύθμισης κατά τη λειτουργία. Το κόστος αγοράς εξαρτάται άμεσα από τη μηχανική αντοχή. Οι πιο συνθιόμενες αστοχίες είναι να παίζει ο άξονας ή να σηκώνεται ο δρομέας και να χάνεται η επαφή. Πιο ενοχλητικό είναι να μην κάνει επαφή το άκρο του στοιχείου. Όταν συμβαίνει αυτό και το ποτενσιόμετρο χρησιμοποιείται για την ρύθμισή της έντασης του ήχου, το τελευταίο δουλεύει συνέχεια στο "φούλ". Η αντιμετώπιση αυτής της κατάστασης γίνεται με αντίσταση ισχύος, η οποία αλλάζει τη χαρακτηριστική καμπύλη, αλλά προσφέρει κάποια απόσβεση σε περίπτωση θλάθης. Η αρχή και το τέλος στερεώνονται συνήθως με

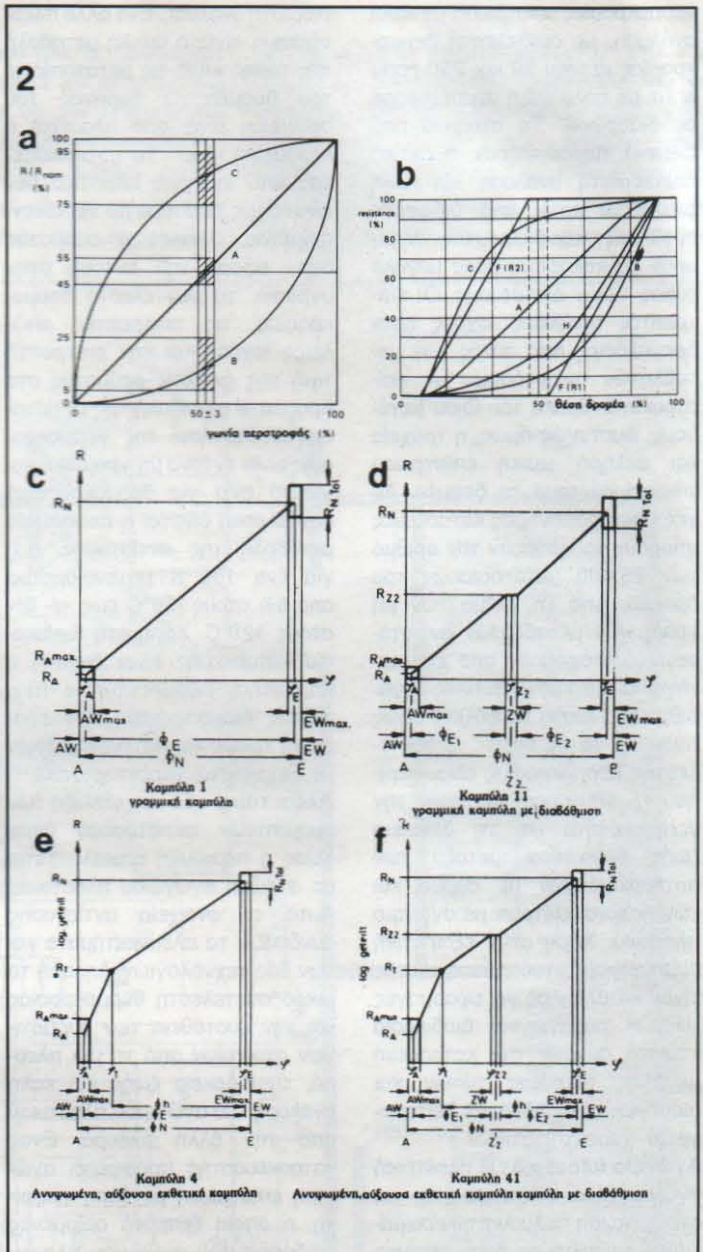
μηχανικές διατάξεις, π.χ. με καρφιά, γιατί δεν πρέπει να δέχονται φορτία. Στα ποτενσιόμετρα με στρώμα Cermet μερικές φορές η επίστρωση κολλά τον ακροδέκτη με κόλληση, πράγμα το οποίο ενισχύει την αξιοπιστία του ποτενσιομέτρου. Πολλές φορές παραβλέπουμε τη δεύτερη κινητή επαφή που έχουν όλες σχεδόν οι ρυθμιστικές αντιστάσεις. Ανωμαλίες μπορεί να προκαλέσει και η επαφή του δρομέα. Όταν το ποτενσιόμετρο "γρατζουνάει", η μόνη αξιόπιστη λύση είναι η αντικατάσταση. Μια λύση ανάγκης είναι να ψεκάσουμε στο εσωτερικό της θήκης με υγρό καθαρισμού επαφών. Η θεραπεία αυτή κρατάει όμως από λίγες ώρες έως μερικές μέρες. Σε πολλές συσκευές (π.χ. ράδια αυτοκινήτων) ο επιβάτης στηρίζει συχνά το βραχίονα και το ανώτερο τμήμα του σώματος στον άξονα ου ποτενσιόμετρου. Σ' αυτή τη στάση εξασκεί δυνάμεις, τις οποίες πρέπει να λάβουμε σοβαρά υπ' όψη. Για την παραλαβή των δυνάμεων αυτών τοποθετούνται συχνά χαλύβδινα κολλάρια στην τοίγκινη θήκη. Ακόμα και οι μουσικοί βάζουν όλη τους τη δύναμη όταν στρέφουν το μηχανισμό μέχρι το τέρμα σαν να θέλουν να προχωρήσουν ακόμα πάρα πέρα. Σε τέτοιες περιπτώσεις δεν πρέπει να γίνεται οικονομία αλλά να χρησιμοποιούνται κατασκευές καλής ποιότητας και μόνο.

### Γωνία στροφής

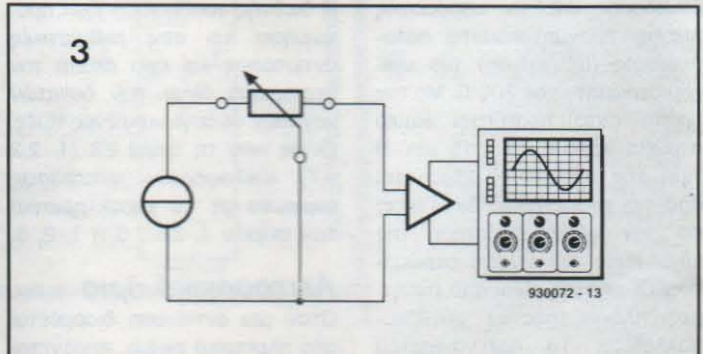
Η μηχανική γωνία στροφής είναι συνήθως 270°. Η ηλεκτρική γωνία στροφής είναι μικρότερη, μεταξύ 230° και 245° ανάλογα με την κατασκευή. Ποτενσιόμετρα με αγώγιμο πλαστικό έχουν συνήθως γωνίες στροφής μεγαλύτερες από 300°. Υπάρχουν επίσης "ατέρμονες" παραλλαγές, όπου δεν υπάρχει περιορισμός στη γωνία στροφής. Πολύστροφα τρίμερ και πολλαπλά τρίμερ έχουν μεγαλύτερες γωνίες στροφής, που φθάνουν έως τις 25 πλήρεις περιστροφές (μόνο 10 πλήρεις περιστροφές αντιστοιχούν σε 360°).

### Τρίμερ

Η ρύθμιση στα τρίμερ γίνεται σπάνια. Σημαντικό ρόλο παίζουν εδώ οι ιδιότητες των σταθερών αντιστάσεων, όπως ευστάθεια, γήρανση, συντελεστής θερμο-



Σχήμα 2. Οι διάφορες χαρακτηριστικές καμπύλες αντίστασης είναι τυποποιημένες κατά DIN. Στο σχήμα 2a φαίνονται οι τρεις πιο συνθιόμενες καμπύλες : γραμμική (A), λογαριθμική (B) και ανυπολογιστική ή εκθετική (C). Στο σχήμα 2b εναλλαλαμβάνονται οι καμπύλες A,B,C μαζί με άλλες δύο καμπύλες : Λογαριθμική με διαβάθμιση (H) και ανυπολογιστική (F, μόνο σε δίδημα ποτενσιόμετρα). Στα διαγράμματα κατά DIN δίνονται οι γραμμικές καμπύλες με ή χωρίς διαβάθμιση (σχήμα 2d, 2c αντίστοιχα) και η λογαριθμική χαρακτηριστική καμπύλη (ονομασία κατά DIN : "αυσοφωμένη εκθετική" καμπύλη) με ή χωρίς διαβάθμιση (σχήμα 2f, 2e αντίστοιχα).



Σχμα 3. Ο θόρυβος του ποτενσιομέτρου μετράται κατά DIN 44220 με την εικονιζόμενη διάταξη, στην οποία συνδέεται πηγή ρεύματος σταθερής έντασης με τον ένα ακροδέκτη και το δρομέα.



κρασίας, ασφάλεια έναντι μη ηθελημένης μεταβολής. Κατά κανόνα τα τρίμερ διατίθενται μόνο με γραμμική χαρακτηριστική καμπύλη μεταβολής της αντίστασης. Ορισμένοι κατασκευαστές παράγουν ειδικούς τύπους κατόπιν παραγγελίας. Τα τρίμερ στερεώνονται στην πλακέτα με κόλληση των ακροδεκτών. Η πιο απλή κατασκευή περιλαμβάνει ένα κομμάτι χαρτόνι, στο οποίο στερεώνεται το στοιχείο αντίστασης με επίστρωση γραφίτη και τα άλλα επίπεδα τμήματα. Η εκτεθειμένη αντίσταση και ο δρομέας λερώνονται γρήγορα με αποτέλεσμα η ηλεκτρική επαφή να χάνεται εύκολα και το τρίμερ να παρουσιάζει ευαισθησία σε κραδασμούς. Καλύτερες είναι οι κλειστές κατασκευές (σχήμα 4). Τα τρίμερ με επίστρωση Cermet είναι πιο σταθερά από μηχανικής άποψης χάρη στον κεραμικό φορέα. Τα περιθώρια καταπόνησης είναι μεγαλύτερα σε σχέση με τρίμερ που φέρουν επίστρωση γραφίτη. Τα τρίμερ τοποθετούνται όρθια ή οριζόντια. Όταν προσαρμόζονται στην πλακέτα πρέπει να προσέχουμε, ώστε ο άξονας να είναι προσιτός. Τα όρθια τρίμερ καταλαμβάνουν μικρότερο μέρος της επιφάνειας της πλακέτας, η ρύθμισή τους όμως γίνεται μόνο από τα πλάγια. Σε ορισμένες κατασκευές είναι δυνατή η εισαγωγή ξεχωριστού άξονα στο τρίμερ και έτσι η ρύθμιση γίνεται με άνεση έξω από την πλακέτα. Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε τρίμερ στη θέση ενός συνηθισμένου ποτενσιόμετρου μόνο όταν ο κατασκευαστής μπορεί να εγγυηθεί την καλή λειτουργία για κάποιο χρονικό διάστημα. Αλλιώς, εάν διαλέξετε την φθηνή λύση, γρήγορα θα το μετανιώσετε. Τα πολλαπλά τρίμερ μας δίνουν τη δυνατότητα πολύ λεπτότερης ρύθμισης. Στα γνωστά τρίμερ με άξονα ο δρομέας σύρεται μέσω της περιστροφής του άξονα επάνω σε γραμμική αντίσταση. Ένας άλλος τύπος διαθέτει κυκλική αντίσταση και γρανάτζια, τα οποία ρυθμίζονται από το επάνω μέρος (σχήμα 5). Η αγώγιμη επίστρωση είναι από Cermet. Σε περιπτώσεις που θέλετε να έχετε μικρό συντελεστή θερμοκρασίας (+ 50 ppm) και περιοχή λειτουργίας από -55 έως +150°C, υπάρχουν επίσης αντιστάσεις. Τρίμερ με συρμάτινες αντιστάσεις για μεγάλη κατανά-

λωση ισχύος είναι σπάνια σήμερα. Τα συναντούμε σε συσκευές με λυχνίες για τη μείωση του θορύβου, καθώς και στη βαθμίδα

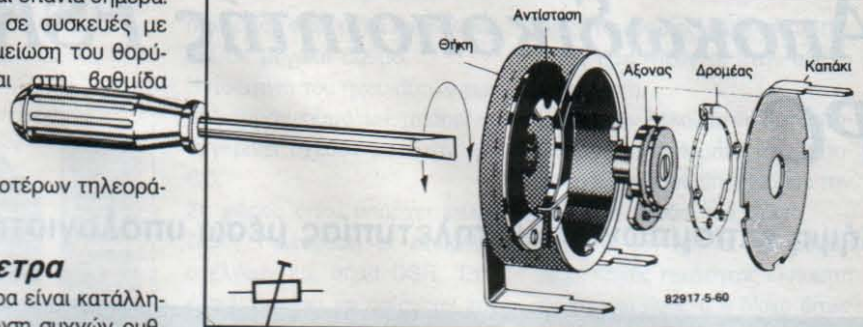
σύγκλισης παλαιότερων τηλεοράσεων.

### Ποτενσιόμετρα

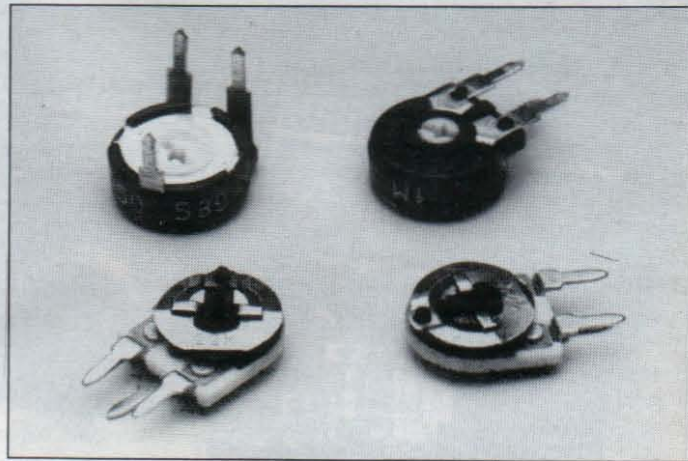
Τα ποτενσιόμετρα είναι κατάλληλα στην περίπτωση συχνών ρυθμίσεων. Στα ράφια των καταστημάτων μπορείτε να βρείτε μεγάλη ποικιλία τυποποιημένων κατασκευών, οι οποίες αποτελούν μέρος μόνο των τύπων που θα μπορούσαν να κατασκευαστούν. Ορισμένοι κατασκευαστές προσφέρουν συναρμολογούμενα ποτενσιόμετρα που διαμορφώνονται ανάλογα με τις επιθυμίες του πελάτη. Σ' αυτά συνδυάζονται ελεύθερα τα διάφορα τμήματα της κατασκευής, όπως είναι οι επιστρώσεις, η θήκη, οι άτρακτοι, οι διακόπτες, οι δρομείς, οι μηχανισμοί επαφής και οι άξονες και έτσι μειώνεται το κόστος κατασκευής ακόμα και των πιο περίπλοκων ποτενσιόμετρων που χρησιμοποιούνται σε ράδια αυτοκινήτων. Οι άξονες είναι συνήθως από μέταλλο ή πλαστικό με διάμετρο 4 ή 6 mm. Πολλαπλά ποτενσιόμετρα έχουν κατά κανόνα άξονες διαμέτρου 6,35 mm. Οι πλαστικοί άξονες είναι μονωτικά σώματα (κατάλληλοι για ποτενσιόμετρα των ντίμερ), όμως τα έδρανά τους δεν έχουν τη σταθερότητα των εδράνων των μεταλλικών αξόνων.

Προκειμένου να μοντάρεται με ευκολία το κουμπί οι άξονες έχουν στο άκρο τους φλάντζα ή αυλάκια, στην περίπτωση αυτή όμως δεν μπορούμε να ακινητοποιήσουμε το ποτενσιόμετρο σε μια ορισμένη γωνία. Πολλές φορές τα ποτενσιόμετρα ενσωματώνονται στην πλακέτα, όπως συμβαίνει στα ντίμερ των λαμπτήρων ή σε άλλες μικροσυσκευές. Το ίδιο γίνεται και στις μήνες καναλιών των τηλεοράσεων, όπου επάνω σε μια βάση τοποθετούνται πολλά περιστροφικά ποτενσιόμετρα.

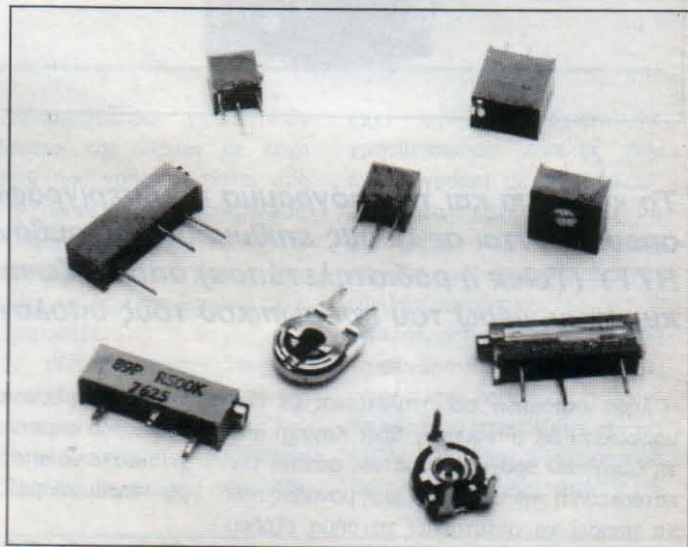
Τα ποτενσιόμετρα στερεώνονται συνήθως με περικόχλιο που βιδώνει στο σπειρώμα της θήκης. Οι διαστάσεις έχουν την ακόλουθη τυποποίηση κατά DIN 41 450



Σχήμα 4α. Δομή ενός τρίμερ κλειστού τύπου



Σχήμα 4b Τρίμερ ανοικτού και κλειστού τύπου



Σχήμα 5. Τα τρίμερ με επίστρωση Cermet είναι συνήθως πολύστροφα ποτενσιόμετρα, αλλά υπάρχουν και τύποι κλειστών ή ανοικτών τρίμερ που η ρύθμισή τους γίνεται από επάνω.

Διάμετρος άξονα	4	5	6	8
Σπειρώμα	M7 v0,75	M8 v0,75	M10 v0,75	M12 v0,75
Διάμετρος φλάντζας	11	12	14	16
Διάμετρος περικοχλίου	10	11	14	16
Πάχος περικοχλίου	2	2	2,5	2,5
Διάκος	7,2 v10,3	8,2 v11,5	10,3 v15,5	12,5 19

Συνεχίζεται



# Μεταβλητές αντιστάσεις

## Ποτενσιόμετρα και τρίμερ

### Συνέχεια από το τεύχος 6/93

Όταν το ποτενσιόμετρο τοποθετείται πάνω στην πλακέτα, μειώνεται στο μισό η μέγιστη επιτρεπτή ισχύς του. Το περίβλημα των ποτενσιομέτρων κατασκευάζεται, συνήθως, από χυτό ψευδάργυρο, ενώ το καπάκι είναι από λευκο-

σίδηρο ή σκληρό πλαστικό (Duroplast). Το υπόστρωμα, πάνω στο οποίο επικάθεται η αντίσταση, αποτελείται από σκληρό χαρτί, πλαστικό ή κεραμικό. Τα ποτενσιόμετρα έχουν συνήθως γραμμική ή λογαριθμική χαρακτηριστική. Υπάρχουν ποτενσιόμετρα για ειδικές εφαρμογές, που η χαρακτηριστική τους διαφέρει από τις συνηθισμένες. Αυτά κατασκευάζονται κατά παραγγελία, για μεγάλες εταιρίες. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα ημιγραμμικά ποτενσιόμετρα, που τοποθετούνται στα ρυθμιστικά συμμετρίας του ήχου (Balance) και τα ποτενσιόμετρα με χαρακτηριστική μορφής S. Τα τελευταία τοποθετού-

νται πχ. σε ισοσταθμιστές, γιατί έχουν καλύτερη συμπεριφορά από τα γραμμικά. Η αντίσταση κατασκευάζεται από άνθρακα, Cermet, αγώγιμο πλαστικό και από σύρμα. Τα ποτενσιόμετρα άνθρακα υπάρχουν σε πολλές ποιότητες. Ξεκινούν από τα φτηνά ποτενσιόμετρα για κυκλώματα χωρίς μεγάλες απαιτήσεις και καταλήγουν στα ποιοτικά ποτενσιόμετρα, που κοστίζουν χιλιάδες δραχμές. Οι περισσότερες βλάβες οφείλονται στο μηχανικό μέρος του ποτενσιομέτρου, παρά στην ίδια την αντίσταση. Το μηχανικό μέρος των ποτενσιομέτρων με επίστρωση Cermet, είναι βελτιωμένο, σε σχέση με τα

ποτενσιόμετρα άνθρακα. Η καμπύλη απόκρισης αυτών των ποτενσιομέτρων είναι γραμμική. Τα ποτενσιόμετρα με αγώγιμο πλαστικό χρησιμοποιούνται στις επαγγελματικές εφαρμογές, σαν αισθητήρια θέσης και γωνίας περιστροφής. Η τιμή τους είναι πολύ υψηλή. Όταν διαδοθούν περισσότερο τα μηχανικά απλούστερα, ποτενσιόμετρα για ηχητικά συστήματα, η τιμή τους προβλέπεται να μειωθεί. Μια ειδική κατηγορία ποτενσιομέτρων είναι **τα πολύτροφα ποτενσιόμετρα ακριβείας** (σχήμα 6c). Τα ποτενσιόμετρα αυτά δε διαθέτουν κάποιο μηχανικό μειωτήρα στρόφων. Η μεγάλη ακρίβεια πετυχαί-

βεται αυξάνοντας το μήκος της αντίστασης. Αυτό γίνεται, δίνοντας στο υπόστρωμα της αντίστασης σπειροειδή μορφή. Υπάρχουν ποτενοιοόμετρα τριών, πέντε και δέκα στρωφών. Η γραμμικότητά τους είναι τόσο μεγάλη, ώστε η τιμή τους μπορεί να διαβαστεί από μηχανικό σύστημα ένδειξης, που στερεώνεται στον άξονα του δρομέα. Η υψηλή τους ακρίβεια τα κάνει κατάλληλα για εφαρμογές, όπου πρέπει να καλυφθεί μία ευρεία περιοχή τιμών, χωρίς να αλλάξουμε κλίμακα (πχ. σε κυκλώματα συντονισμού δεκτών, για τη ρύθμιση της τάσης εξόδου στα τροφοδοτικά, κλπ). Σ' αυτές τις περιπτώσεις, μπορούμε να παραλείψουμε το ακρι-

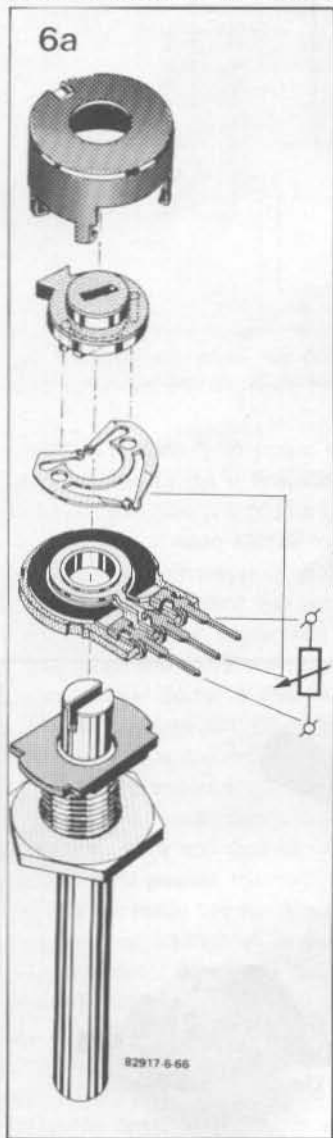
βό μηχανικό σύστημα ένδειξης. Ένα ακόμα ειδικό ποτενοιοόμετρο φαίνεται στο σχήμα 7. Πρόκειται για έναν **εξασθενητή** τύπου T. Εσωτερικά αποτελείται από τρία ποτενοιοόμετρα. Οι χαρακτηριστικές καμπύλες των τριών αντιστάσεων ακολουθούν ορισμένους κανόνες. Το πλεονέκτημα του εξασθενητή τύπου T είναι, ότι η αντίσταση εισόδου και εξόδου παραμένει σταθερή. Αυτά τα ποτενοιοόμετρα δεν δημιουργούν πρόβλημα προσαρμογής στα κυκλώματα υψηλών συχνοτήτων. Χρησιμοποιούνται σε κυκλώματα ενισχυτών για κεραιες και καλώδια. Οι **συρόμενες μεταβλητές** αντιστάσεις επιτρέπουν την ανάγνωση (εκτίμηση) του ρυθμισμένου μεγέθους από μεγάλη από-

σταση (οφθαλμοφανές παράδειγμα οι ισοσταθμιστές). Τα συρόμενα ποτενοιοόμετρα έχουν το μειονέκτημα ότι δεν ρυθμίζονται με ακρίβεια. Το ανθρώπινο χέρι εκτελεί με μεγαλύτερη ακρίβεια περιστροφικές κινήσεις, παρά γραμμικές. Γιαυτό το λόγο, πχ. στους επαγγελματικούς μίκτες, υπάρχει χώρος για να ακουμπά ο βραχίονας του χειριστή. Τα συρόμενα ποτενοιοόμετρα καταλαμβάνουν μεγαλύτερο χώρο στην πλακέτα και χρειάζονται περισσότερη μηχανική προεργασία για να τοποθετηθούν. Τα συρόμενα ποτενοιοόμετρα χρησιμοποιούνται σε εξειδικευμένες εφαρμογές και γιαυτό, δεν υπάρχουν σε μεγάλη ποικιλία στην αγορά. Τα συνηθέ-

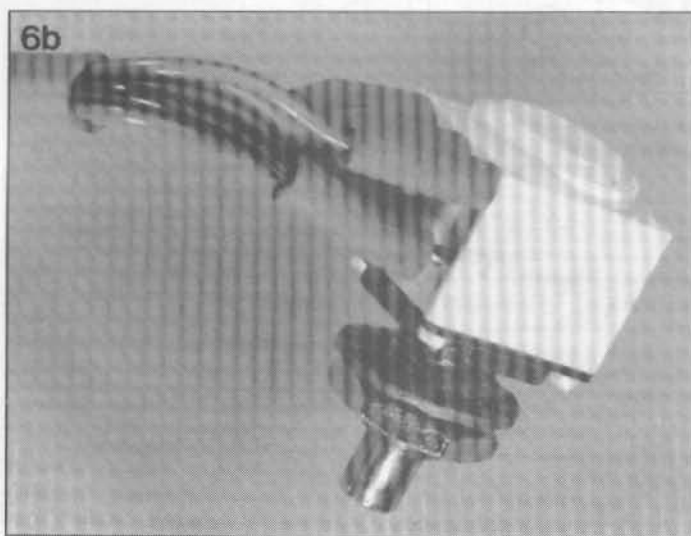
στερο υλικό κατασκευής της αντίστασης είναι ο άνθρακας. Στο εμπόριο υπάρχουν μερικοί τύποι ποτενοιομέτρων με επίστρωση Cermet και αντοχή σε συνεχή ισχύ απωλειών 3,5 W. Αυτά τοποθετούνται, συνήθως, στα ραδιόφωνα αυτοκινήτων. Στα επαγγελματικά ηχητικά συστήματα χρησιμοποιούνται συρόμενα ποτενοιοόμετρα με αντίσταση από αγωγίμο πλαστικό. Τα μηχανικά τμήματα, αυτών των ποτενοιομέτρων, είναι υψηλής ποιότητας (σχήμα 8).

### Ποτενοιοόμετρα σύρματος.

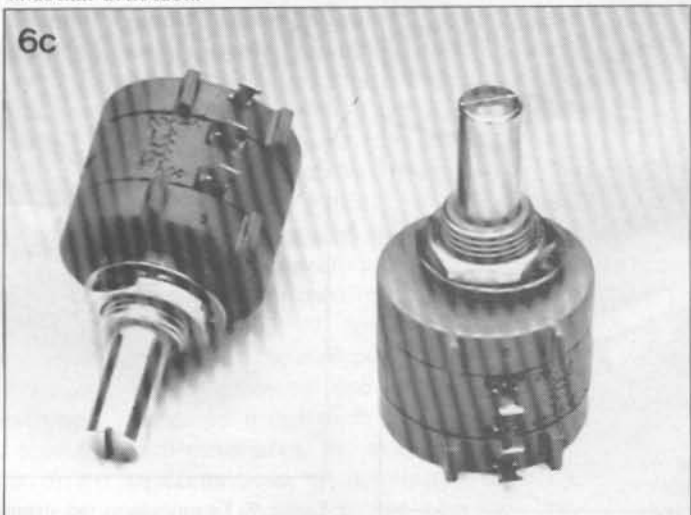
Τα ποτενοιοόμετρα σύρματος (ισχύος) αποτελούνται από ένα σύρμα αντίστασης, τυλιγμένο γύρω από ένα μονωμένο κύλινδρο ή δακτυλίδι. Ο δρομέας μετακινείται κατά μήκος του σύρματος με τη βοήθεια ενός συρόμενου φορέα ή ενός κοχλία (σχήμα 9). Η διάρκεια ζωής της αντίστασης εξαρτάται, συν τοις άλλοις, από την πίεση που εφαρμόζεται από τον δρομέα. Στις αντιστάσεις που ρυθμίζονται συχνά, η επαφή του



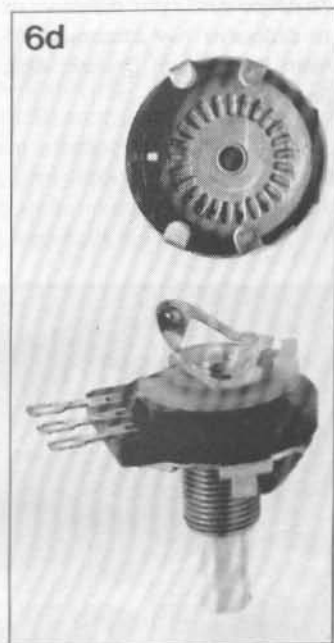
Σχήμα 6a. Η κατασκευαστική δομή ενός συνηθισμένου ποτενοιομέτρου άνθρακα.



Σχήμα 6b. Όπου υπάρχουν μεγάλες απαιτήσεις (πχ. σε ηχητικές εφαρμογές), χρησιμοποιούνται κλειστού τύπου ποτενοιοόμετρα με πλαστική αντίσταση.



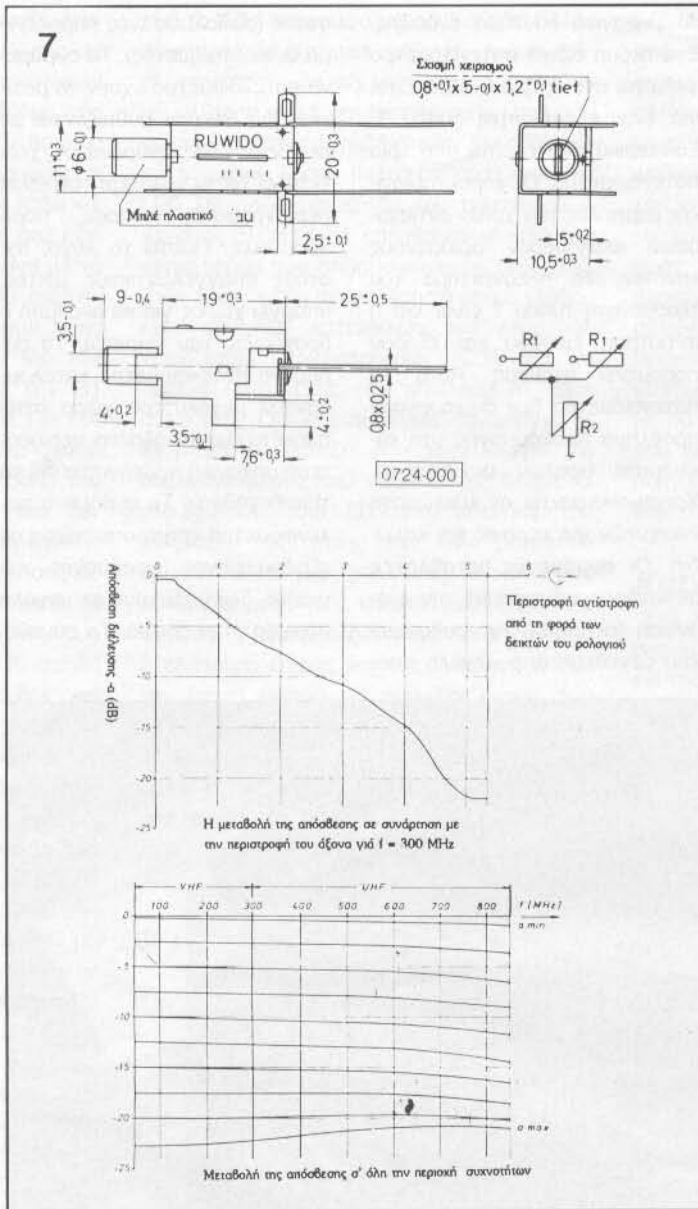
Σχήμα 6c. Στα πολυστροφά ποτενοιοόμετρα, η μορφή της αντίστασης Cermet είναι σπειροειδής.



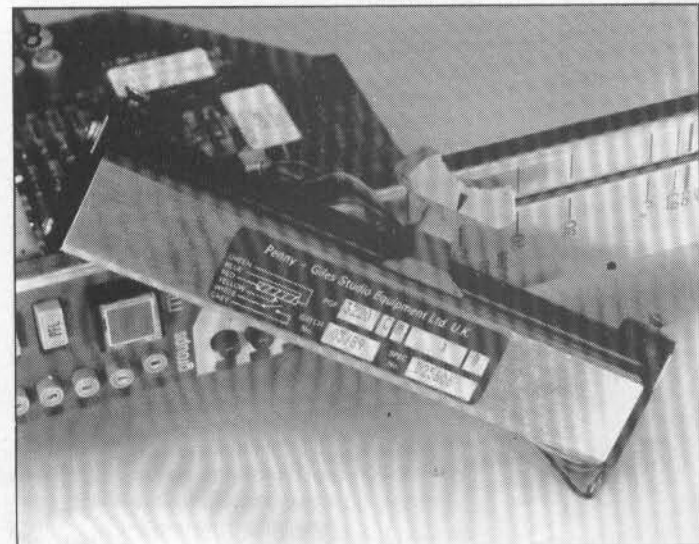
Σχήμα 6d. Για τη ρύθμιση της έντασης του ήχου χρησιμοποιούνται, συνήθως, ποτενοιοόμετρα που περιστρέφονται κλινακωτά. Στο κάτω καπάκι του ποτενοιομέτρου υπάρχουν μικρές προεξοχές, ενώ στο άξονα του δρομέα θρίσκεται ένα έλασμα με μία μικρή σφαίρα.

δρομέα κατασκευάζεται από άνθρακα και χαλκό. Ο δρομέας πιέζει ελαφρά το σύρμα της αντίστασης. Αν δεν θέλουμε να αλλάξει εύκολα θέση ο δρομέας, μπορούμε να αυξήσουμε την πίεση (ή να προμηθευτούμε το κατάλληλο ποτενοσίμετρο). Στα περιστροφικά ποτενοσίμετρα, το ρεύμα καταλήγει στο δρομέα μέσω ενός σπειροειδούς ελατηρίου. Στα συρόμενα ποτενοσίμετρα, ο δρομέας ολισθαίνει πάνω σε μία αγωγίμη επιφάνεια. Τα ποτενοσίμετρα σύρματος παρουσιάζουν μεγάλη αυτεπαγωγή και χωρητικότητα. Αυτό τα κάνει ακατάλληλα για κυκλώματα υψηλών συχνοτήτων. Ήδη, από τους 20 KHz, παρουσιάζουν μεγαλύτερη επαγωγική αντίσταση από πραγματική. Το μέγιστο φορτίο που μπορούν να αντέξουν είναι 500 W. Το φορτίο υπολογίζεται, συνήθως, για θερμοκρασία περιβάλλοντος 40°C. Αν η εξωτερική θερμοκρασία είναι υψηλότερη, πρέπει να μειωθεί το φορτίο της αντίστασης. Ανάλογα με τον τύπο σαν μέγιστη θερμοκρασία θεωρούνται οι 325°C.

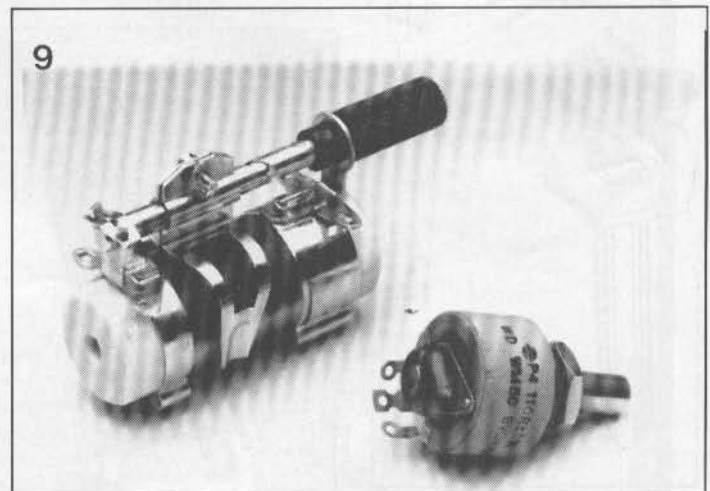
Το άρθρο αυτό έγινε συμφωνα με τα δεδομένα των εταιρειών Vitrohm, Roederstein, Draloric, Alps, Bourns, Ruf.



Σχήμα 7. Οι εξασθενητές τύπου T (7a), με αντιστάσεις Cermet, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μεγάλη περιοχὴ συχνοτήτων (7b).



Σχήμα 8. Συρόμενο ποτενοσίμετρο γιὰ επαγγελματικές συσκευές ήχου. Χρησιμοποιείται συνήθως στους μίκτες.



Σχήμα 9. Τα ποτενοσίμετρα σύρματος αντέχουν σε μεγάλη ισχύ και έχουν καλή γραμμικότητα. Χρησιμοποιώντας σύρμα ειδικής κατασκευής, κατασκευάζονται ποτενοσίμετρα με μικρό θερμοκρασιακό συντελεστή.