

# Ο παλμογράφος και τα μυστικά του

Ο παλμογράφος είναι ένα σημαντικό όργανο - βοήθημα στον τεχνικό. Βασικό πλεονέκτημα είναι το ότι δίνει την εικόνα του σήματος που εξετάζεται, αποκαλύπτοντας έτσι σημεία (όπως αιχμές, θόρυβο κλπ), που άλλα όργανα (πολύμετρο, counter) παραβλέπουν. Σκοπός αυτού του άρθρου δεν είναι η ανάλυση της λειτουργίας του παλμογράφου ή του χειρισμού του (αν και θα αναφερθούμε περιληπτικά στα βασικά χειριστήρια), αλλά οι διαδικασίες που ακολουθούνται για σωστές μετρήσεις.

## Γενικά

Στη normal χρήση, ο παλμογράφος είναι μια συσκευή που αναπαριστά στην οθόνη του μεταβολές της στάθμης (κατακόρυφος άξονας), σε σχέση με το χρόνο (οριζόντιος άξονας), σε ένα ή περισσότερα σήματα εισόδου. Τα βασικά του μέρη είναι: Η οθόνη: Στους κλασικούς εργαστηριακούς παλμογράφους υπάρχει κανονική λυχνία κενού, ενώ στους ψηφιακούς LCD. Κοινό χαρακτηριστικό όλων των οθονών είναι οι υποδιαιρέσεις (divisions ή div) και οι οποίες έχουν σκοπό τη διευκόλυνση του χρήστη στην πραγματοποίηση μετρήσεων. Συνήθως ο κατακόρυφος άξονας έχει 8 div και ο οριζόντιος 10, υπάρχουν όμως και εξαιρέσεις. Οι

δύο κεντρικές γραμμές έχουν επίσης μικρές γραμμάσιες - υποδιαιρέσεις του κάθε div σε 5 τμήματα, για ακόμη μεγαλύτερη ακρίβεια. Ο ενισχυτής σήματος: Στην είσοδο του εφαρμόζεται το εξεταζόμενο σήμα. Ο ενισχυτής διαθέτει ένα χειριστήριο συγκεκριμένων τιμών V/div, με το οποίο ο χρήστης επιλέγει την επιθυμητή ενίσχυση, ώστε το σήμα να έχει ικανοποιητικό εύρος στην οθόνη. Περιέχει, επίσης, ένα χειριστήριο αδιαβάθμητης ρύθμισης της ενίσχυσης και ένα χειριστήριο με το οποίο επιλέγεται η σύζευξη (AC ή DC) του σήματος στον ενισχυτή ή η γείωση (GND) της εισόδου. Επίσης διαθέτει χειριστήριο position Y (Y-POS), με το οποίο ρυθμίζεται κατά τον κα-



Φωτ. 1: Βαθμίδα ενισχυτή με 2 κανάλια. Διακρίνονται τα ρυθμιστικά (Y) Position, οι επιλογείς V/div με ενσωματωμένα τα χειριστήρια αδιαβάθμητης ρύθμισης, οι εισόδου, οι επιλογέας mode λειτουργίας καναλιών κλπ.

τακόρφο άξονα η θέση του ίχνους του συγκεκριμένου ενισχυτή στην οθόνη. Ανάλογα με το "πόσα κανάλια" έχει, ο παλμογράφος διαθέτει και ισάριθμους ενισχυτές. Από κατάλληλα χειριστήρια επιτρέπεται η επιλογή της εμφάνισης (ενεργοποίησης) του κάθε καναλιού ξεχωριστά (CH1, CH2) ή και των δύο (ανεξάρτητα μεταξύ τους) ή ακόμα της εμφάνισης του αθροίσματος (ADD) των δύο καναλιών. Συνήθως στο δεύτερο κανάλι εισόδου υπάρχει πλήκτρο **invert** (INV), με το οποίο επιτυγχάνεται η αναστροφή του αντίστοιχου σήματος, ενώ σε συνδυασμό **ADD** και **INV** τα δύο σήματα αφαιρούνται.

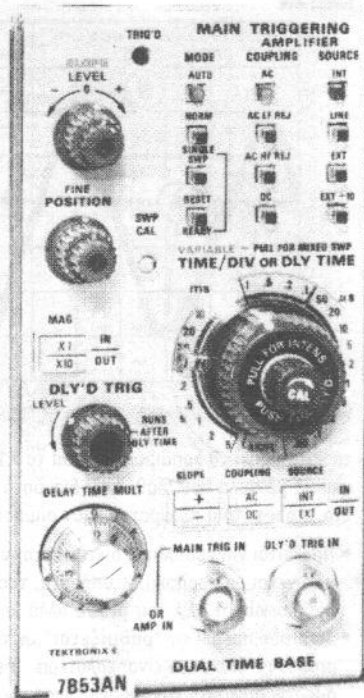
Η βάση χρόνου ή σύστημα σάρωσης: Είναι το σύστημα το οποίο φροντίζει για την οριζόντια μετατόπιση της δέσμης. Διαθέτει ένα χειριστήριο επιλογής της ταχύτητας μετατόπισης, το οποίο είναι βαθμονομημένο σε **χρόνο/div** (nsec/div, usec/div κλπ). Επίσης, διαθέτει χειριστήριο αδιαβάθμητης ρύθμισης της σάρωσης, πλήκτρο μεγέθυνσης (MAG X10 ή X5) και χειριστήριο **position X** (X-POS) για οριζόντια μετακίνηση του ίχνους στην οθόνη. Στην περίπτωση που εμφανίζονται δύο σήματα ταυτόχρονα, από τη λειτουργία σάρωσης, πρέπει να επιλεγεί πώς θα απεικονίζονται τα σήματα. Συγκεκριμένα, σε μια σάρωση μπορεί να επιλεχθεί είτε αρχικά να εμφανίζεται το ένα κανάλι και στην επόμενη σάρωση το άλλο (alternative ή ALT mode), είτε κατά τη διάρκεια της σάρωσης να απεικονίζεται τμηματικά το κάθε κανάλι (CHOP mode). Συνήθως σε αργές σαρώσεις επιλέγετε **CHOP** και σε γρήγορες **ALT**, ενώ πολλά μοντέλα κάνουν την επιλογή αυτόματα.

Το σύστημα σκανδαλισμού: Είναι το σύστημα εκείνο το οποίο συγχρονίζει την έναρξη της σάρωσης, έτσι ώστε η απεικόνιση να είναι σταθερή. Το σήμα σκανδαλισμού προέρχεται είτε από κάποιο από τα σήματα εισόδου, είτε από το δίκτυο τροφοδοσίας (50 Hz), είτε από εξωτερική πηγή (EXT). Πολλά μοντέλα διαθέτουν και επιλογή συγχρονισμού σε πεδία (fields TV-F) ή γραμμές (lines TV-L) σήματος video. Στο σύστημα υπάρχει χειριστήριο με το οποίο επιλέγεται η στάθμη και το μέτωπο (ανερχόμενο - κατερχόμενο) σκανδαλισμού. Εκτός όμως από τα παραπάνω συστήματα, που τα συναντά κανείς σε κάθε παλμογράφο, πολλά μοντέλα έχουν και κάποια πρόσθετα, τα οποία διευκολύνουν την παρατήρηση και κατ'έκταση τις μετρήσεις. Ένα από αυτά τα συστήματα είναι και το **Delayed sweep**.

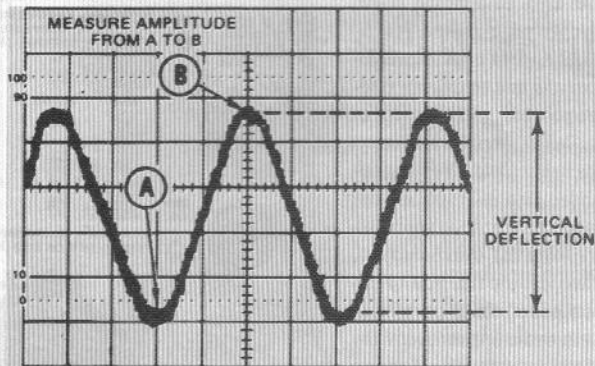
Το **Delayed sweep** είναι ένα σύστημα που επιτρέπει στον χρήστη να επιλέξει ένα τμήμα στην απεικονιζόμενη κυματομορφή (π.χ. το ανερχόμενο μέτωπο ενός παλμού) και να το αναπτύξει με μεγαλύτερη ταχύτητα σάρωσης, έτσι ώστε να έχει καλύτερη λεπτομέρεια. Το όλο σύστημα περιγράφεται στην ενότητα 5.

### Βασικές αρχές μέτρησης

Τα **probes** είναι τα μέσα με τα οποία το σήμα εισάγεται στον παλμογράφο. Υπάρχουν πολλά είδη απλών probes, τα οποία διακρίνονται από τις διαφορές στον λόγο του λαμβανόμενου δείγματος. Έτσι, για σήματα μικρής στάθμης (περίπου μέχρι 20mVpp) προτιμούνται τα **X1** (1:1), για μέχρι περίπου **200 Vpp** καταλληλότερα είναι τα **X10** (1:10), ενώ για ακόμα μεγαλύτερες



Φωτ. 2: Βαθμίδα διπλής βάσης χρόνου. Διακρίνονται ο επιλογέας σάρωσης, ο βερνιέρος ρύθμισης της Β σάρωσης, τα χειριστήρια σκανδαλισμού κλπ.



☛ Τα σωστά σημεία μέτρησης στάθμης σε ένα σήμα με θόρυβο.

τάσεις πρέπει να χρησιμοποιούνται τα **X100** (100:1). Πάντως, υπάρχουν και κάποια μοντέλα που διαθέτουν διακόπτη μεταγωγής **X1 - X10**.

Στα **probes**, τρία πράγματα έχουν σημασία:

- Πρόκειται για ευαίσθητα δικτυώματα, για αυτό και πρέπει ο χειρισμός τους να γίνεται με προσοχή. Χτυπήματα, τσακισμένα καλώδια κλπ, είναι ότι χειρότερο για τη ζωή του **probe** αλλά και για την ακρίβεια των μετρήσεων.
- Το **probe** πρέπει να "**ρυθμίζεται**" σε τακτά χρονικά διαστήματα. Ειδικά τα **probes** με διακόπτη είναι καλύτερα να ελέγχονται μετά την αλλαγή της θέσης του διακόπτη και πριν τη μέτρηση. Η ρύθμιση γίνεται με το **calibrator**, μια γεννήτρια τετραγωνικού σήματος, που έχει κάθε παλμογράφος. Ο χρήστης συνδέει το **probe** στη γεννήτρια και ρυθμίζει ένα συντονιστικό στην κεφαλή του **probe**, ώστε η απεικονιζόμενη κυματομορφή στην οθόνη να μην έχει παραμορφωμένα μέτωπα.

- Να μην ξεχνά ο χρήστης τον λόγο του **probe** σε κάθε μέτρηση. Αν δεν τον "**υπολογίσει**" και κοιτάξει μόνο το χειριστήριο του παλμογράφου, θα κάνει και το ανάλογο (με τον λόγο) λάθος. Οι καλοί παλμογράφοι έχουν σύστημα αναγνώρισης του **probe** και με ενδεικτικό φωτάκι στο χειριστήριο **V/div** δείχνουν πάντα τη σωστή τιμή. Άλλα μοντέλα εμφανίζουν τη σωστή τιμή στην οθόνη (*readout*).

Ένα πολύ σημαντικό σημείο σε μια μέτρηση, είναι να γνωρίζεις κανείς από πού θα ξεκινήσει και μέχρι πού θα μετρήσει. Σε ένα καθαρό σήμα τα πράγματα είναι απλά, μπερδεύονται όμως πολύ όταν το σήμα έχει σημαντικό ποσοστό θορύβου. Πάρτε για παράδειγμα το ίχνος της κυματομορφής του **Σχήματος 1**. Είναι φανερό ότι ο θόρυβος καλύπτει περισσότερο από **0.2 div** που σημαίνει ότι π.χ. με **5V/div** μπορούμε να έχουμε λάθος **1V!** Η σωστή μέτρηση (στάθμης) γίνεται **από το κάτω** σημείο του χαμηλότερου τμήματος της κυματομορφής μέχρι το κάτω σημείο του υψηλότερου τμήματος (που θέλουμε να μετρήσουμε) ή από το επάνω σημείο του χαμηλότερου τμήματος μέχρι το επάνω σημείο του υψηλότερου. Το ίδιο ισχύει και για τις μετρήσεις στον **άξονα X**, δηλαδή αν η αρχή της μέτρησης γίνει από την αριστερή πλευρά του ίχνους τότε θα μετρήσουμε μέχρι την αριστερή πλευρά του ίχνους (στο σημείο που μας ενδιαφέρει) ή, αν αρχίσουμε από δεξιά, θα τερματίσουμε δεξιά.

Για να αντιστοιχεί η τιμή της κλίμακας με την πραγματικότητα, θα πρέπει το αντίστοιχο χειριστήριο αδιαβάθμητης ρύθμισης (**V/div** για στάθμη ή **time/div** για χρόνο) να είναι σε θέση **CAL** ή **LOCK**.

Σχεδόν πάντα χρησιμοποιούμε σύζευξη **DC**. Στην περίπτωση αυτή, πρώτα επιλέγουμε **GND** και με το **position** φέρνουμε το ίχνος στη μεσαία οριζόντια γραμμή (για διπολικά σήματα) ή επάνω (για αρνητικά) ή κάτω (για θετικά) και μετά γυρνάμε σε **DC**. Σύζευξη **AC** θα χρησιμοποιήσουμε μόνο αν το σήμα είναι **DC +AC** με την **DC** συνιστώσα πολύ μεγάλη σε σχέση με την **AC** (π.χ. 20 mV ripple σε 5 VDC). Στην **AC** σύζευξη, πάντως, χρειάζεται προσοχή, γιατί κάθε παλμογράφος έχει κάποιο όριο (10 - 20 Hz), κάτω από το οποίο το σήμα

υφίσταται σημαντική εξασθένηση.

Ας δούμε τώρα τις μετρήσεις που μπορούμε να έχουμε με έναν αναλογικό παλμογράφο.

### Μετρήσεις στάθμης.

#### Μέτρηση ACV peak

Μετράμε την κατακόρυφη απόκλιση του ίχνους από την κεντρική γραμμή και πολλαπλασιάζουμε με την κλίμακα **V/div**. Για παράδειγμα, έστω ότι σε θέση **5V/div** το σήμα φτάνει μέχρι **3.6 div** πάνω από τη μεσαία γραμμή. Άρα το **Vp** θα είναι: **Vp=3.6div x 5V/div = 18V**.

#### Μέτρηση ACV pp

Ίδιες ρυθμίσεις με την προηγούμενη περίπτωση, μετράμε όμως όλο το πλάτος της απόκλισης. Στο **σχήμα 1** απεικονίζεται μια τυπική μέτρηση **ACV pp**.

#### Μέτρηση DCV

Μετράμε, όπως και στην περίπτωση **ACVp**, την απόκλιση από τη γείωση (**GND**) μέχρι την επιθυμητή στάθμη και πολλαπλασιάζουμε με την κλίμακα.

#### Σύγκριση στάθμης

Για μετρήσεις στάθμης ίδιων σημάτων με μεγαλύτερη ακρίβεια χρησιμοποιούμε τη μέθοδο της σύγκρισης, σε σχέση με ένα σήμα αναφοράς.

Έστω ότι το σήμα αναφοράς είναι **30V**. Επιλέγουμε **5V/div** και με το χειριστήριο αδιαβάθητης ρύθμισης **V/div** ρυθμίζουμε το πλάτος αυτού του σήματος σε ακριβή αριθμό **div**, έστω **4**. Υπολογίζουμε ένα συντελεστή μετατροπής **M= 30V / (4div x 5V/div)= 30/20=1.5**.

Συνδέουμε τώρα στην ίδια είσοδο το άγνωστο σήμα και με το χειριστήριο **V/div** το κάνουμε να έχει ένα ικανοποιητικό πλάτος π.χ. **5.6 div** σε κλίμακα **1V/div** (δεν πειράζουμε το χειριστήριο αδιαβάθητης ρύθμισης). Η κλίμακα **1V/div** είναι στην ουσία διαφοροποιημένη κατά τον **συντελεστή M**, δηλαδή

είναι **K=1.5 x 1V/div = 1.5V/div**.

Πολλαπλασιάζουμε τώρα τη μέτρηση - απόκλιση με τη διαφοροποιημένη τιμή και έχουμε **Vx= 5.6div x 1.5V/div = 8.4V**.

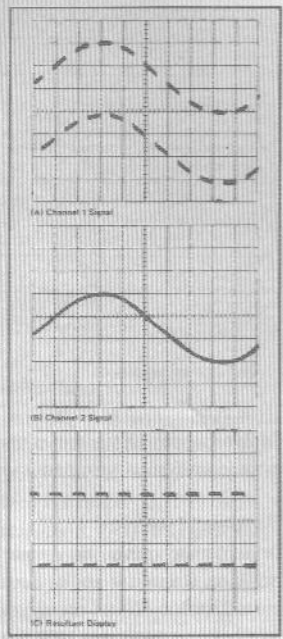
Η μέθοδος αυτή προτιμάται κύρια σε επαναλαμβανόμενες μετρήσεις ως προς την αυτή στάθμη αναφοράς π.χ. σε γραμμές παραγωγής - ελέγχου, και ειδικότερα όπου η στάθμη του σήματος είναι τέτοια που οι κλίμακες του παλμογράφου δεν επιτρέπουν μεγάλη ακρίβεια. Στο παράδειγμά μας, τα **8.4 V** σε άμεση μέτρηση, απεικονίζονται σε **4.2 div** στην κλίμακα **2V/div**. Η προηγούμενη κλίμακα **1V/div** δίνει απόκλιση **8.4 div**, δηλαδή μη απεικόνισιμη. Με τη μέθοδο που περιγράψαμε, ουσιαστικά αλλοιώνουμε τις κλίμακες **x1.5**, έτσι ώστε έμμεσα να δημιουργήσουμε κλίμακα **1.5V/div** και να έχουμε 50% μεγαλύτερη ακρίβεια.

#### Μέτρηση AC+DC

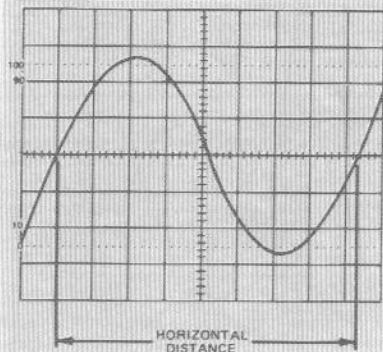
Πρακτικά, η μέτρηση ανάγεται σε δύο διαφορετικές μετρήσεις, μία για το **AC** (συνήθως με **AC σύζευξη**) και μία για το **DC**.

#### Common mode rejection

Ας δούμε το **Σχήμα 2**. Στο επάνω μέρος είναι η απεικόνιση στην οθόνη του παλμογράφου ενός τετραγωνικού σήματος, το οποίο επηρεάζεται από μία **AC**



➊ Η διαδικασία καθαρισμού του σήματος από επηρεασμό 50Hz.



⊕ Μέτρηση περιόδου.

συνιστώσα. Ένας πρόχειρος υπολογισμός της συχνότητας επηρεασμού (όπως θα δούμε παρακάτω) δίνει **50 Hz**. Για να “καθαρίσουμε” το σήμα και να κάνουμε τις μετρήσεις, παίρνουμε ένα σήμα **50 Hz** οποιασδήποτε τάσης (π.χ. από μετασχηματιστή) και το εισάγουμε στο **κανάλι 2**. Ρυθμίζουμε το πλάτος του με τα αντίστοιχα χειριστήρια, ώστε να είναι ίσο με το πλάτος του σήματος επηρεασμού (Σχήμα 2 μέση). Στη συνέχεια πατάμε το **Invert** και το **ADD**.

Τα δύο σήματα αφαιρούμενα μεταξύ τους δίνουν ως αποτέλεσμα το καθαρό τετραγωνικό σήμα, στο οποίο μπορούμε να κάνουμε οποιαδήποτε μέτρηση.

### Μετρήσεις χρόνου

Οι μετρήσεις χρόνου σε γενικές γραμμές δεν διαφέρουν από τις μετρήσεις στάθμης. Ο χρήστης και σε αυτή τη περίπτωση μετρά τα **div** (στον άξονα X) και πολλαπλασιάζει με την κλίμακα της σάρωσης. Τονίζεται ότι σε όλες τις περιπτώσεις μετράμε στο 50% του πλάτους του σήματος, γι αυτό και το σήμα προτιμάμε να το έχουμε συμμετρικό ως προς τη μεσαία οριζόντια γραμμή. Τα πράγματα διαφοροποιούνται λίγο στον τρόπο μέτρησης των **div**, όταν ο παλμογράφος διαθέτει διπλή βάση χρόνου, κάτι το οποίο θα περιγράψουμε ξεχωριστά.

### Μέτρηση περιόδου

Προσπαθούμε να έχουμε το σήμα συμμετρικά ως προς την μεσαία γραμμή (α-

πό πλευράς στάθμης) και επιλέγουμε κλίμακα σάρωσης ώστε να απεικονίζονται οι κατά το δυνατόν λιγότερες περίοδοι (για να έχουμε καλύτερη ευκρίνεια). Στο Σχήμα 3 έχουμε μια τέτοια απεικόνιση ημιτονικού σήματος, έστω με κλίμακα **1μs/div**. Η περίοδος του είναι **T=8.35div x 1μs/div=8.35μsec**.

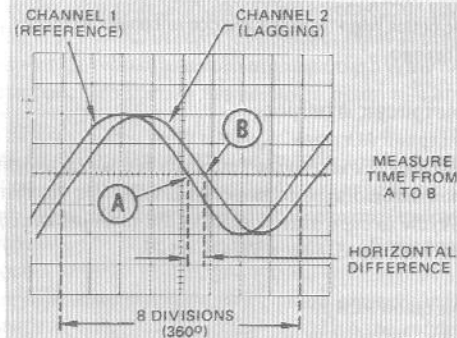
### Μέτρηση συχνότητας

Για να μετρήσουμε τη συχνότητα, μετράμε την περίοδο και αντιστρέφουμε το αποτέλεσμα. Για το προηγούμενο παράδειγμα λοιπόν έχουμε:

$$f=1/T=1/8.35\mu\text{sec} = 0.1197\text{MHz}=119.7 \text{ kHz.}$$

### Διαφορά φάσης

Έστω ότι έχουμε δύο σήματα, τα **A** και **B**, και θέλουμε να μετρήσουμε πόση διαφορά φάσης έχει το **B** σε σχέση με το **A**. Συνδέουμε το **A** στο **κανάλι 1**, το **B** στο **κανάλι 2**, χρησιμοποιώντας **probes** με τα ίδια χαρακτηριστικά, επιλέγουμε ακανθαλισμό στο **κανάλι 1** και με τα χειριστήρια **Y position** και αδιαβάθμητης ρύθμισης **V/div** φέρνουμε τα δύο σήματα συμμετρικά ως προς τη μεσαία οριζόντια γραμμή και με το ίδιο πλάτος. Επιλέγουμε σάρωση, ώστε να έχουμε περίπου μία περίοδο στην οθόνη και με το **X position** φέρνουμε το ίχνος του **A** στην τομή της μεσαίας οριζόντιας και της πρώτης κάθετης γραμ-



⊕ Μέτρηση διαφοράς φάσης.

μψ. Ρυθμίζουμε το αδιαβάθμητο ρυθμιστικό **time/div** ώστε η περίοδος να εκτείνεται σε **8** ακριβώς **div** ( $8div=360$  μοίρες,  $1div=45$  μοίρες). Το **σχήμα 4** δείχνει μια τέτοια απεικόνιση και η διαφορά φάσης είναι  $\Delta\Phi=(\Delta div \times 45)$  μοίρες  $=0.6 \times 45$  μοίρες  $=27$  μοίρες.

Αν θέλουμε μεγαλύτερη ακρίβεια, μπορούμε μετά από όλες τις ρυθμίσεις να επιλέξουμε μεγέθυνση του **X** άξονα με το αντίστοιχο πλήκτρο **MAG**. Αν λοιπόν ο παλμογράφος έχει **MAG 10X**, τότε στην προκύπτουσα απεικόνιση η απόσταση μεταξύ των ιχνών θα έχει δεκαπλασιαστεί και κάθε **div** θα αντιστοιχεί σε **4.5** μοίρες. Έτσι, έστω ότι μετράμε **6.1div**, οπότε:

$\Delta\Phi=(\Delta\Phi \times 4.5)$  μοίρες  $=6.1 \times 4.5=27.45$  μοίρες. (Για να κάνουμε μεγέθυνση **X10** θα πρέπει στην αρχική απεικόνιση το  $\Delta div$  να είναι μικρότερο από  $1 div$ , γιατί αλλιώς το ένα ίχνος θα είναι εκτός οθόνης).

#### Χρονική διαφορά

Έστω ότι έχουμε δύο σήματα τα οποία σχετίζονται (δηλαδή το ένα είναι παράγωγο του άλλου) και θέλουμε τη χρονική διαφορά (καθυστερήση) του δεύτερου σήματος σε σχέση με το πρώτο. Συνδέουμε το σήμα αναφοράς στο **κανάλι 1**, το παράγωγο σήμα στο **κανάλι 2**, επιλέγουμε σκανδαλισμό στο **κανάλι 1**, ρυθμίζουμε τα **Y position** ώστε τα σήματα να είναι συμμετρικά ως προς τη μεσαία οριζόντια γραμμή και επιλέγουμε σάρωση που να δείχνει τα μέτωπα **A** και **B** (**Σχήμα 5**) όσο γίνεται πιο απομακρυσμένα μεταξύ τους, έστω **2μs/div**. Η καθυστέρηση **A-B** είναι  $\Delta t=4.6div \times 2\mu s/div=9.2\mu sec$ .

#### Χρονικό εύρος παλμού

Αν θέλουμε να μετρήσουμε το εύρος του παλμού του **σχήματος 5**, θα μετρήσουμε τα **div** από το **B** στο **C**. Είναι λοιπόν  $PW=1.2div \times 2\mu s/div=2.4\mu sec$ .

#### Σύγκριση χρόνων

Είναι μια μέθοδος παρόμοια με τη σύγκριση στάθμης. Έτσι λοιπόν, έστω ότι έχουμε ένα σήμα αναφοράς με περίοδο **2.19msec** και με κλίμακα σάρωσης

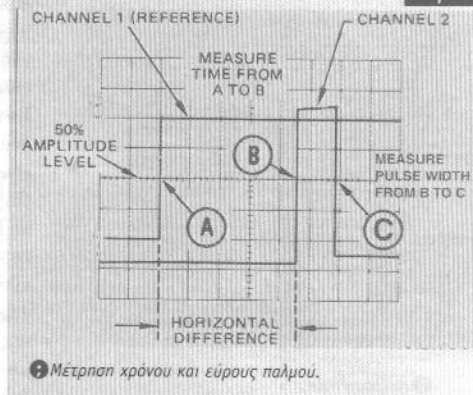
**0.2ms/div**. Ρυθμίζουμε με το χειριστήριο αδιαβάθμητης ρύθμισης **time/div**, ώστε η μία περίοδος να απεικονίζεται σε **8** ακριβώς **div**. Υπολογίζουμε τον συντελεστή μετατροπής  $M=2.19ms/(8div \times 0.2ms/div)=1.37$ .

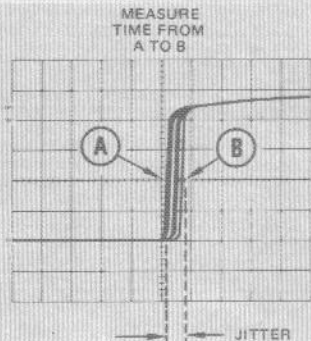
Στο άγνωστο σήμα που συνδέουμε, χωρίς να πειράξου-

με το χειριστήριο αδιαβάθμητης ρύθμισης **time/div**, επιλέγουμε την κατάλληλη σάρωση (έστω **50μs/div**) και μετράμε την περίοδο (έστω **7.2div**). Η κλίμακα των **50 μs/div** έχει τώρα μετατραπεί σε  $K=50 \mu s/div \times 1.37=68.5\mu s/div$  και το άγνωστο σήμα έχει περίοδο  $T=7.2div \times 68.5\mu s/div=493.2\mu sec$ . Η συχνότητά του είναι  $f=1/T=1/493.2\mu s=0.0020275MHz=2027.5 Hz$

#### Pulse Jitter

Jitter ονομάζουμε τη μικρή οριζόντια μετατόπιση (παίξιμο, τρέμουλο) του απεικονιζόμενου σήματος, κάτι που απεικονίζεται στο **σχήμα 6** και η μέτρηση αφορά το πόσα **div** καταλαμβάνει η μετατόπιση. Έτσι, αν στο **Σχήμα 6** η απόσταση **A - B** είναι **0.6div** και η σάρωση **100ns/div** τότε έχουμε  $J=0.6div \times 100ns/div=60 nsec$ . Επειδή οι χρόνοι **Jitter** είναι γενικά πολύ μικροί (άρρα και οι αντίστοιχες αποκλίσεις **div**) μπορούμε να έχουμε μεγαλύτερη ακρίβεια π.χ. χρησιμοποιώντας το **MAG**.





➊ Μέτρηση jitter.

1738-34

### Rise Time

Η μέτρηση του χρόνου ανόδου ή καθόδου ενός παλμού χρειάζεται μεγάλη προσοχή, γιατί υπεισέρχονται πολλοί παράγοντες που μπορούν να την επηρεάσουν. Ας δούμε όμως πρώτα τη διαδικασία μέτρησης.

Επιλέγουμε την πιο γρήγορη σάρωση, η οποία μας επιτρέπει να βλέπουμε όλο το μέτωπο του παλμού. Με τα χειριστήρια **Y Pos**, **V/div** και α-

διαβάθμιστο **V/div**, φέρνουμε την κυματομορφή να εκτείνεται σε πλάτος ακριβώς **5div** συμμετρικά γύρω από τη μεσαία οριζόντια γραμμή. Ειδικά για το σκοπό αυτό, ο κατασκευαστής του παλμογράφου έχει προβλέψει και έχει δύο διακεκομμένες γραμμές σημειωμένες με 0% και 100%. Επίσης, η πρώτη γραμμή πάνω από τη 0% είναι η 10% και η τελευταία πριν το 100% είναι η 90%. Μερικά μοντέλα έχουν αυτή τη διαγράμμιση 0-100% στα **6 div**. Γενικά πάντως αν η διαγράμμιση είναι εμφανής ακολουθήστε την, αν όχι ρυθμίστε στα **5 div** συμμετρικά. Στη συνέχεια με το **X Pos** φέρνει το μέτωπο περίπου συμμετρικά στη μεσαία κάθετη γραμμή. Η μέτρηση γίνεται από το σημείο που το ίχνος τέμνει τη γραμμή 10% μέχρι το σημείο που τέμνει το 90%.

Ένα τυπικό παράδειγμα δίνεται στο **σχήμα 7**. Έστω ότι η απεικόνιση επιτυγχάνεται με σάρωση **50ns/div**. Η μέτρηση δίνει **4.9div**, οπότε έχουμε **RT=4.9div x 50ns/div=245 nsec**.

Στον χρόνο ανόδου (ή καθόδου) που υπολογίσαμε παραπάνω δεν υπάρχει με-

γάλο ποσοστό σφάλματος (πέρα από το σφάλμα μέτρησης των *div*). Στην περίπτωση όμως που η σάρωση ήταν **5ns/div (αντί 50)**, το αποτέλεσμα θα ήταν **24.5nsec**, πλην όμως δεν θα ήταν σωστό. Αυτό, γιατί η κλίση του μετώπου όπως απεικονίζεται, επηρεάζεται από την ταχύτητα του ενισχυτή και την ταχύτητα

του probe. Στα **245nsec** ο επηρεασμός είναι ασήμαντος, ενώ στα **24.5** υπολογισμός. Αυτό λοιπόν που υπολογίσαμε είναι αποτέλεσμα της σχέσης:  $RT^2 = RT_s^2 + RT_p^2 + RT_o^2$ , όπου **RT** η τιμή που υπολογίσαμε, **RT<sub>s</sub>** ο πραγματικός χρόνος ανόδου, **RT<sub>p</sub>** ο χρόνος ανόδου του **probe** και **RT<sub>o</sub>** ο χρόνος ανόδου του παλμογράφου. Για να μην μπορούμε σε περισσότερες αναλύσεις θα αναφέρουμε απλά ότι σε ένα παλμογράφο το γινόμενο **bandwidth x rise time** κάνει **350** (π.χ. σε ένα **100 MHz** έχουμε **RT<sub>o</sub>=3.5 nsec**). Αν το **RT<sub>p</sub>** είναι επίσης **3.5 nsec** τότε έχουμε:

$$RT_s^2 = RT^2 - (RT_p^2 + RT_o^2)$$

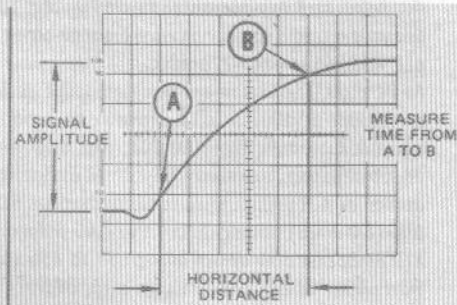
$$RT_s^2 = 24.5^2 - (3.5^2 + 3.5^2)$$

$$RT_s^2 = 24.5^2 - (12.25 + 12.25)$$

$$RT_s^2 = 600.25 - 24.5$$

$$RT_s = 23.994nsec$$

Το σφάλμα δηλαδή ήταν **0.5nsec** περίπου ή 2%.



➋ Μέτρηση χρόνου ανύψωσης.

## Duty cycle

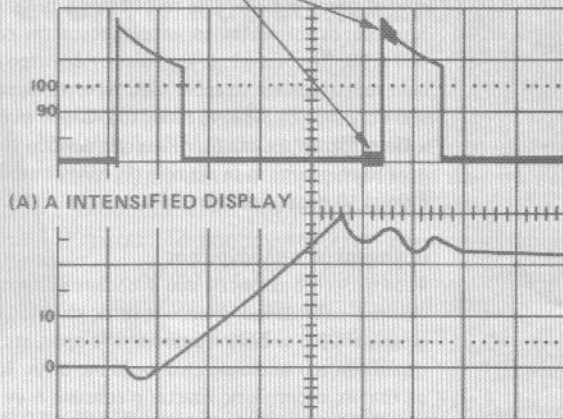
Ο παλμογράφος ρυθμίζεται για απεικόνιση μίας περιόδου και με το χειριστήριο αδιαβάθητης ρύθμισης **time/div** εκτείνουμε την περίοδο σε **10div** (όλη την οθόνη). Μετράμε τα **div** που καταλαμβάνει το θετικό μέρος του παλμού και πολλαπλασιάζουμε **x10**.

## Ακριβείς μετρήσεις χρόνου

Σε όλες τις μετρήσεις χρόνου που αναπτύξαμε παραπάνω, τελικά είχαμε δύο παράγοντες, ο ένας ήταν η κλίμακα της σάρωσης και ο άλλος η μέτρηση των **div**. Η ακρίβεια που μπορούμε να έχουμε σε μια τέτοια μέτρηση είναι **0.1div** (εφόσον έχουμε στη μεσαία γραμμή βαθμονόμηση κατά  $0.2div$ ). Πολλές φορές όμως σε μετρήσεις **jitter**, **rise time** αλλά και περιόδου ή διαφοράς χρόνου σε γρήγορα σήματα είναι απαραίτητη μεγαλύτερη ακρίβεια. Παρατηρήστε ότι το σφάλμα του **rise time** ( $0.5nsec$ ) είναι ακριβώς το **0.1div** (δεχτήκαμε τη σάρωση στα  $5ns/div$ ). Για να υπάρχει λοιπόν μεγαλύτερη ακρίβεια, πολλοί παλμογράφοι είναι εφοδιασμένοι με διπλή βάση χρόνου. Η διαδικασία λοιπόν μέτρησης της διαφοράς χρόνου ανάμεσα σε δύο σημεία (εκεί ανάγονται όλες οι μετρήσεις) μπορεί να γίνει ως εξής:

Κατ' αρχήν απεικονίζουμε την κυματομορφή με τη γρηγορότερη σάρωση, ώστε να έχουμε την περιοχή που μας ενδιαφέρει στην οθόνη. Στη συνέχεια πατάμε το πλήκτρο **A intens** και επιλέγουμε τη **B** σάρωση, αρκετά πιο γρήγορη. (Η **B** σάρωση συνήθως επιλέγεται τραβώντας το **Time/div** προς τα έξω και περιστρέφοντας το δεξιά). Ένα τυπικό δείγμα του τι θα απεικονίζεται είναι το **σχήμα 8A**, στο οποίο παρατηρήστε την εντονότερα φωτισμένη περιοχή. Αυτή η περιοχή μπορεί να κινηθεί αριστερά - δεξιά με ένα βερνιέρο και να μικρύνει - μεγαλώσει με γρηγορότερη - αργότερη (αντίστοιχα) σάρωση **B**. Με το βερνιέρο μπορούμε να φέρουμε την έντονη περιοχή στο σημείο που μας ενδιαφέρει και να πατήσουμε το πλήκτρο απεικόνισης **B**. Στην οθόνη θα εμφανιστεί η περιοχή που επιλέξαμε, μεγεθυμένη τόσο, ώστε να καταλαμβάνει μια πλήρη οθόνη, όπως στο **σχήμα 8B**. Όσο γρηγορότερη είναι η **B** σάρωση

## INTENSIFIED ZONE TO BE MAGNIFIED



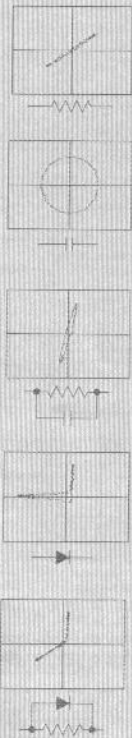
(B) B DELAYED DISPLAY

Μέτρηση με εκμετάλλευση της **B** σάρωσης.

ρωση τόσο μεγαλύτερη ευκρίνεια θα έχουμε, με ανάλογη όμως μείωση της καλυπτόμενης περιοχής.

Από το σημείο αυτό μπορούμε να προχωρήσουμε με δύο τρόπους. Ο πρώτος είναι ο κλασικός, δηλαδή να μετρήσουμε τα **div**. Λόγω της μεγέθυνσης η μέτρησή μας θα έχει μεγαλύτερη ακρίβεια. Ο δεύτερος είναι να χρησιμοποιήσουμε το βερνιέρο με τον εξής τρόπο.





Απεικονίσεις component tester σε λειτουργία X-Y.

Εστώ ότι θέλουμε να μετρήσουμε το εύρος ενός παλμού. Περιστρέφουμε πολύ αργά το βερνιέρο, έτσι ώστε το μέτωπο να συμπίσει με τη μεσαία κάθετη γραμμή. Ρυθμίζουμε το πλάτος και τη θέση του παλμού, ώστε το σήμα να είναι συμμετρικό στη μεσαία οριζόντια γραμμή (50% του πλάτους). Σαναρυθμίζουμε τον βερνιέρο, αν χρειάζεται, και καταγράφουμε την ένδειξή του, έστω **6.38**. Περιστρέφουμε και πάλι τον βερνιέρο ώστε στη μεσαία κάθετη γραμμή να έρθει τώρα το κατερχόμενο μέτωπο, έστω στην ένδειξη **8.54**. Το εύρος του παλμού είναι  $(8.54 - 6.38) \times \text{Time/div}$ . Σημειώστε ότι η διαφορά των δύο ενδείξεων δίνει στην πραγματικότητα τη μέτρηση div αλλά με ακρίβεια **0.01div**, δηλαδή 10 φορές καλύτερη απ' ό,τι με το ...μάτι.

### Ο ψηφιακός παλμογράφος

Φυσικά όλες τις μετρήσεις που μπορούμε να κάνουμε με ένα αναλογικό παλμογράφο, μπορούμε να τις κάνουμε και με ένα ψηφιακό (αλίμονο αν δεν μπορούσαμε). Τα πράγματα μάλιστα στην περίπτωση του ψηφιακού είναι πολύ πιο απλά. Τόσο απλά που σε κάποιες περιπτώσεις χάνεται η εμπειρία ή αν θέλετε η μαστοριά. Δύο είναι τα βασικά στοιχεία που διευκολύνουν τις μετρήσεις με ένα ψηφιακό παλμογράφο, οι δείκτες και οι αυτόματες μετρήσεις.

Οι δείκτες ή **cursors** είναι κινητά σημεία ή γραμμές, με τα οποία ο χρήστης μπορεί να "σημαδέψει" σημεία στην κυματομορφή. Συνήθως χρησιμοποιούνται σε ζευγάρια (αρχή - τέλος). Έτσι, με τον ένα δείκτη στο ανερχόμενο μέτωπο ενός παλμού και με τον άλλο στο κατερχόμενο, το σύστημα εμφανίζει σε κάποιο σημείο της οθόνης το εύρος του παλμού και αυτό είναι όλο. Θέλετε χρόνο ανύψωσης; Τοποθετήστε τον ένα δείκτη στο 10% και τον άλλο στο 90% και έχετε τη μέτρηση από το σύστημα.

Οι αυτόματες μετρήσεις είναι κάτι που κυριολεκτικά ισοπεδώνουν. Ο χρήστης απλά επιλέγει το ποιες αυτόματες μετρήσεις επιθυμεί (από μια λίστα) και φροντίζει μόνο για τη σύνδεση του σήματος. Πατάει το **Auto set** και ο παλμογράφος ρυθμίζεται μόνος του για μια τυπική απεικόνιση **2 - 3** περιόδων και αμέσως εμφανίζει τις μετρήσεις που επιλέχτηκαν. Στη λίστα των αυτόματων μετρήσεων, ανάλογα βέβαια και με το μοντέλο, υπάρχουν **ACVp, ACVpp, DCV, AC+DC, RT, Δt, Rt, Duty cycle** και πολλά ακόμα.

### Η λειτουργία X-Y

Είναι μία λειτουργία που δεν την υποστηρίζουν όλοι οι παλμογράφοι και το περίεργο είναι ότι την υποστηρίζουν τα οικονομικά σχετικά μοντέλα. Στη λειτουργία αυτή το σύστημα σάρωσης απενεργοποιείται και οι δύο άξονες της οθόνης ανατίθενται στα κανάλια **1 (X)** και **2 (Y)**. Σήμερα η λειτουργία χρησιμοποιείται κύρια σε απεικονίσεις **V - I** από συσκευές **component testing** και πολλά μοντέλα παλμογράφων έχουν ενσωματωμένες τέτοιες συσκευές.

Η αρχή λειτουργίας του **component testing** είναι απλή. Χρησιμοποιούμε μία γεννήτρια εναλλασσόμενης τάσης, με την οποία οδηγούμε κατευθείαν τον άξονα **Y (τάση)**. Ταυτόχρονα με την τάση αυτή τροφοδοτούμε το υπό εξέταση εξάρτημα και στο κύκλωμα παρεμβάλλουμε μία αντίσταση με την οποία "**ανιχνεύουμε**" το ρεύμα του κυκλώματος. Η τάση που αναπτύσσεται στα άκρα της αντίστασης οδηγεί τον άξονα **X**. (Η σύνδεση **X - Y** μπορεί να είναι και αντίθετη, απλά η απεικόνιση θα είναι στραμμένη κατά **90 μοίρες**). Με τον τρόπο αυτό παίρνουμε τις χαρακτηριστικές των εξαρτημάτων, όπως αυτές του **σχήματος 9** και μπορούμε να εκτιμήσουμε τη σωστή ή όχι συμπεριφορά τους. **12**