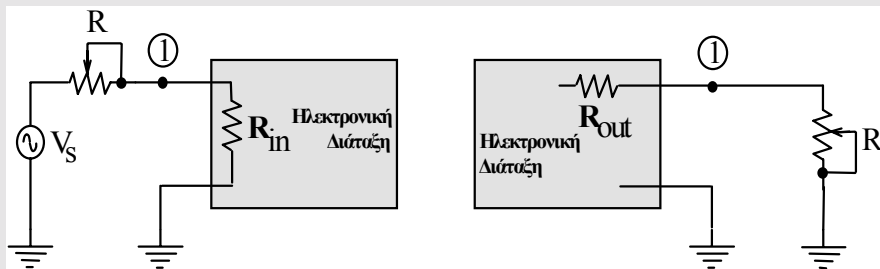


ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ & ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ

Α. Α. Χατζόπουλος

# ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ Ι

## ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2003

# ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ

## 1. Δηλώσεις συμμετοχής

Δηλώσεις για συμμετοχή στο εργαστήριο Ηλεκτρονικής Ι γίνονται μετά από σχετική ανακοίνωση πριν την έναρξη των μαθημάτων. Η εργαστηριακή άσκηση διεξάγεται κατά τη διάρκεια του εξαμήνου σε ομάδες των 30 φοιτητών ανά εβδομάδα σε μέρα και ώρες που ανακοινώνονται.

Οι ασκήσεις που μελετώνται με προσομοίωση με το πρόγραμμα SPICE καθώς και το πρόγραμμα θα δοθούν κατά την διάρκεια της παρουσίας του προγράμματος στις ώρες Ασκήσεων του μαθήματος.

Η παρακολούθηση της εργαστηριακής άσκησης και η παράδοση σχετικής εργασίας στο τέλος του εξαμήνου είναι αναγκαίες προϋποθέσεις για τη συμμετοχή στις εξετάσεις του μαθήματος.

## 2. Υποβολή Εργασίας

Η υποβολή εργασίας με την εργαστηριακή άσκηση και με τις ασκήσεις με προσομοίωση γίνεται στο τέλος του εξαμήνου σε μέρες και ώρες που ανακοινώνονται. Προϋπόθεση για την παράδοση εργασίας είναι η συμμετοχή στην εργαστηριακή άσκηση.

Η εργασία που παραδίδεται περιλαμβάνει εξώφυλλο (όνομα / επώνυμο, ακαδημαϊκό έτος) και τα αποτελέσματα των αναλύσεων σύμφωνα με τις απαιτήσεις της κάθε άσκησης. Για το υπολογιστικό μέρος συνιστάται το ακόλουθο υπόδειγμα:

### Υπόδειγμα αποτελεσμάτων για τις αναλύσεις με τον Υπολογιστή

1. Δίνεται το κύκλωμα της διάταξης με αντιγραφή (copy) από το SPICE ( $\approx 1/3$  σελ. A4). Σε «κείμενο» (text box) στην κάτω αριστερή γωνία αναγράφονται ο Α.Ε.Μ του φοιτητή και το έτος.
2. Περιγράφεται η θεωρητική λειτουργία του κυκλώματος και υπολογίζονται τα θεωρητικώς αναμενόμενα αποτελέσματα.
3. Ακολουθούν τα διαδοχικά αποτελέσματα των προσομοιώσεων (αντιγραφή των διαγραμμάτων κ.λ.π. του SPICE).
4. Ακολουθεί η «επεξεργασία» των αποτελεσμάτων με σύγκριση θεωρητικών τιμών και τιμών από προσομοίωση και εξηγούνται οι διαφορές.

Φοιτητές που επέτυχαν στις εξετάσεις του μαθήματος αλλά η εργασία τους δεν είναι ικανοποιητική καλούνται να την υποβάλλουν εκ νέου εντός τριών ημερών.

**Στη εξεταστέα ύλη του μαθήματος περιλαμβάνεται και η ύλη των ασκήσεων καθώς και η διαδικασία ανάλυσης με το πρόγραμμα SPICE.**

## ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ

Οι **αντιστάτες** (resistors) χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρονικά κυκλώματα για τη ρύθμιση, γενικά, του ρεύματος και κατασκευάζονται από διάφορα υλικά και σε διαφορετικές μορφές ανάλογα με την εφαρμογή. Συνηθέστεροι τύποι αντιστατών είναι οι γνωστοί ωμικοί αντιστάτες άνθρακος (γραφίτη) και σύρματος.

Οι **αντιστάτες άνθρακος** κατασκευάζονται για σχετικά μικρή ισχύ (0.25 W - 3 W) και οι τιμές τους είναι από μερικά δέκατα του Ω μέχρι περίπου 50 MΩ. Οι τιμή αντίστασης αναγράφεται πάνω στο εξάρτημα είτε με αριθμούς είτε με ειδικά χρώματα, όπως περιγράφεται στον κώδικα χρωμάτων του πίνακα 1 και στο παράδειγμα του σχήματος 1. Εμφανίζονται συνήθως 4 έγχρωμες λωρίδες α, β, γ και δ, όπως φαίνεται στο σχήμα 1. Η τιμή της αντίστασης είναι:

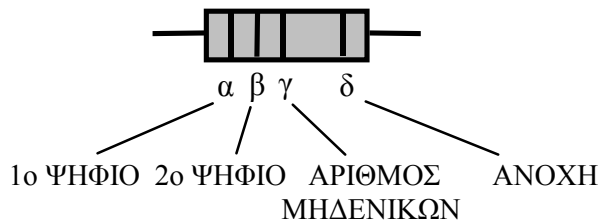
$$R = (10\alpha + \beta) \cdot 10^\gamma \quad (1)$$

ενώ η ανοχή της καθορίζεται από το δ.

### ΠΙΝΑΚΑΣ 1

#### Κώδικας χρωμάτων αντιστάσεων

0	μαύρο
1	καφέ
2	κόκκινο
3	πορτοκαλί
4	κίτρινο
5	πράσινο
6	μπλέ
7	μώβ
8	γκρί
9	άσπρο
±5 % ανοχή	χρυσασφί
±10% ανοχή	ασημί



*Παράδειγμα:*

ΚΙΤΡΙΝΟ   ΜΩΒ   ΚΟΚΚΙΝΟ   ΧΡΥΣΑΦΙ  
 4      7      00      (Ω)      ±5%  
 ( 4.7 kΩ )

Σχήμα 1. Χρωματικός κώδικας αντιστάτη άνθρακος.

Η ακρίβεια της τιμής κάθε αντίστασης κυμαίνεται σε κάποια όρια που καθορίζονται από την ανοχή και αναγράφονται επίσης πάνω στο εξάρτημα είτε με αριθμούς είτε με ειδικά χρώματα. Οι συνήθεις ανοχές είναι ±10%, ±5%, ±2% ή ±1%. Για να γίνει κατανοητή η έννοια της ανοχής αναφέρεται ένα απλό παράδειγμα: αντίσταση 100 Ω με ανοχή ±5% σημαίνει ότι η πραγματική της τιμή μπορεί να είναι από 95 μέχρι 105 Ω. Οι καλύτεροι ποιοτικά αντιστάτες είναι εκείνοι με ανοχή ±1% ή ±0.5%. Στη συνήθη σειρά ωμικών αντιστατών του εμπορίου (E12) με ανοχή ±5% υπάρχουν οι εξής ονομαστικές τιμές αντίστασης: 1.0, 1.2, 1.5, 1.8, 2.2, 2.7, 3.3, 3.9, 4.7, 5.6, 6.8, 8.2 Ω, καθώς και όλες οι πολλαπλάσιες τιμές (π.χ. 33 kΩ, 5.6 kΩ). Στις σειρές αντιστατών με ανοχή ±2% ή ±1% (E24 και E96) διατίθενται και άλλες τιμές, θα πρέπει όμως να σημειωθεί ότι η τιμή της αντίστασης δίνεται με τέσσερις έγχρωμες λωρίδες α, β, γ, δ και υπάρχει επιπλέον λωρίδα ε για την ανοχή. Η τιμή της αντίστασης θα είναι:

$$R = (100\alpha + 10\beta + \gamma) \cdot 10^\delta \quad (2)$$

ενώ η ανοχή της καθορίζεται από το ε. Μπορεί επίσης να υπάρχει και λωρίδα για τον συντελεστή θερμοκρασιακής μεταβολής.

Οι **αντιστάτες σύρματος** κατασκευάζονται για μεγαλύτερες ισχύεις 4 W-1000 W και οι τιμές τους είναι από λίγα Ω μέχρι περίπου 50 kΩ με ανοχές ±5% ή ±10%.

Ο **πυκνωτής** είναι εξάρτημα που αποτελείται από δύο αγωγούς (οπλισμούς) τοποθετημένους σε μικρή απόσταση ο ένας από τον άλλο, μεταξύ των οποίων παρεμβάλλεται αέρας ή άλλο μονωτικό υλικό (διηλεκτρικό).

Η **χωρητικότητα** ενός πυκνωτή δίνεται από τον τύπο:

$$C = Q/V \quad (3)$$

όπου Q είναι το φορτίο του πυκνωτή και V η τάση που εφαρμόζεται στους οπλισμούς του. Η μιγαδική αντίσταση που παρουσιάζει σε ημιτονικό σήμα συχνότητας ω είναι:

$$Z = -j (1/C\omega) \quad (4)$$

Η χωρητικότητα εξαρτάται από: α) το μέγεθος των αγωγών (μεταλλικών επιφανειών), β) την απόσταση μεταξύ τους και γ) το είδος του διηλεκτρικού. Μονάδα μέτρησης της χωρητικότητας είναι το Farad (F). Είναι όμως πολύ μεγάλη και στις εφαρμογές χρησιμοποιούνται τα υποπολλαπλάσια της (mF, μF, nF, pF). Η τιμή της χωρητικότητας αναγράφεται πάνω στο εξάρτημα είτε με αριθμούς (για παράδειγμα, 4n7 που σημαίνει 4.7 nF), είτε με χρώματα, όπως και στους αντιστάτες. Η τιμή με τον χρωματικό κώδικα είναι συνήθως σε pF.

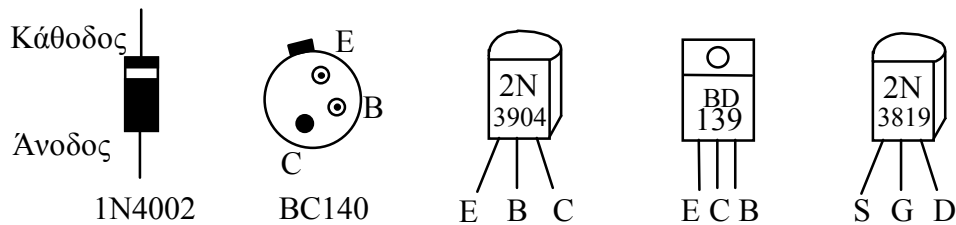
Υπάρχουν πολλά είδη πυκνωτών: χάρτου, κεραμικοί, πολυεστερικοί, ηλεκτρο-λυτικοί, μεταβλητοί κ.α. Τα βασικά χαρακτηριστικά κάθε τύπου είναι η περιοχή χωρητικοτήτων (Capacitance range), η μέγιστη τάση (maximum voltage), η ακρίβεια της τιμής (Accuracy), η σταθερότητα με τη θερμοκρασία (Temperature stability) και η διαρροή (Leakage).

Τα πολλαπλάσια και υποπολλαπλάσια των διαφόρων μονάδων μέτρησης έχουν ιδιαίτερα ονόματα και συμβολισμό που δίνονται στον πίνακα 2.

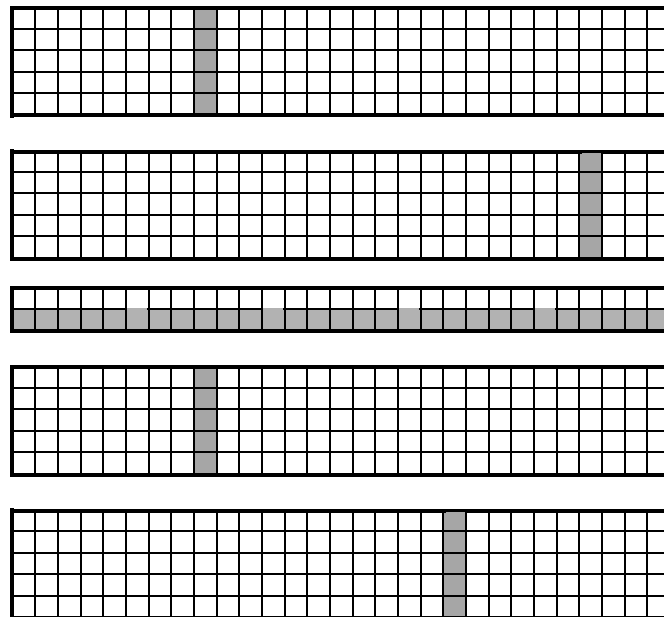
Στις εργαστηριακές ασκήσεις θα χρησιμοποιηθούν διάφορα ημιαγωγικά εξαρτήματα. Στο σχήμα 2 δίνονται οι ακροδέκτες ορισμένων από αυτά. Στο σχήμα 3 δίνεται η σχηματική παράσταση ενός board συνδέσεων (mini-board ή raster) που θα χρησιμοποιηθεί. Στο σχήμα εμφανίζεται σκιασμένη η μία οριζόντια ομάδα θέσεων, που είναι ηλεκτρικά συνδεδεμένες μεταξύ τους, καθώς και 4 (τυχαίες) κάθετες ομάδες (πέντε) θέσεων. Οι οριζόντιες ομάδες χρησιμοποιούνται συνήθως για τις τάσεις τροφοδοσίας και τη γείωση.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2**

<b>ΟΝΟΜΑ</b>	<b>ΣΥΜΒΟΛΟ</b>	<b>ΔΥΝΑΜΗ ΤΟΥ 10</b>
Tera	T	10 <sup>12</sup>
Giga	G	10 <sup>9</sup>
Mega	M	10 <sup>6</sup>
Kilo	K	10 <sup>3</sup>
Hecto	h	10 <sup>2</sup>
Deca	da	10 <sup>1</sup>
Deci	d	10 <sup>-1</sup>
Centi	c	10 <sup>-2</sup>
Milli	m	10 <sup>-3</sup>
Micro	μ (ή u)	10 <sup>-6</sup>
Nano	n	10 <sup>-9</sup>
Pico	p	10 <sup>-12</sup>
Femto	f	10 <sup>-15</sup>
Atto	a	10 <sup>-18</sup>



Σχήμα 2. Ακροδέκτες εξαρτημάτων.



Σχήμα 3. Σχηματική παράσταση ενός board συνδέσεων (raster).

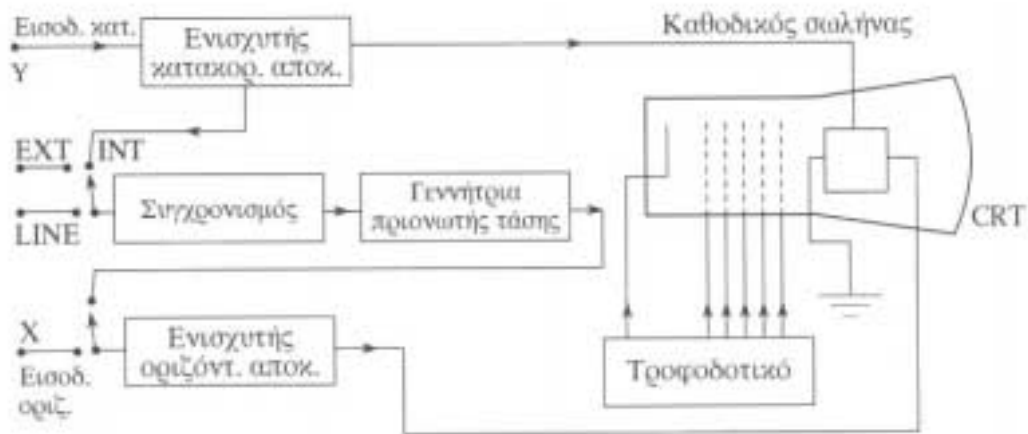
## ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕ ΠΑΛΜΟΓΡΑΦΟ

Ο *παλμογράφος* είναι το πιο σημαντικό όργανο οπτικού ελέγχου και μετρήσεων σε πάρα πολλούς τομείς, κυρίως όμως στα ηλεκτρονικά. Μας δείχνει την οπτική παράσταση ενός ηλεκτρονικού σήματος που εφαρμόζεται στην είσοδό του, ως προς ένα σήμα ή ως προς το χρόνο.

Υπάρχουν παλμογράφοι "μονής" και "διπλής" δέσμης. Οι μονής δέσμης απεικονίζουν στην οθόνη μία μόνο κυματομορφή ενώ οι διπλής δέσμης απεικονίζουν στην οθόνη συγχρόνως δύο διαφορετικές κυματομορφές. Υπάρχουν επίσης ψηφιακοί, που λειτουργούν με δειγματοληψία και διαθέτουν μνήμη για την καταχώρηση των κυματομορφών. Λειτουργούν με δύο, τρία ή και τέσσερα κανάλια εισόδου.

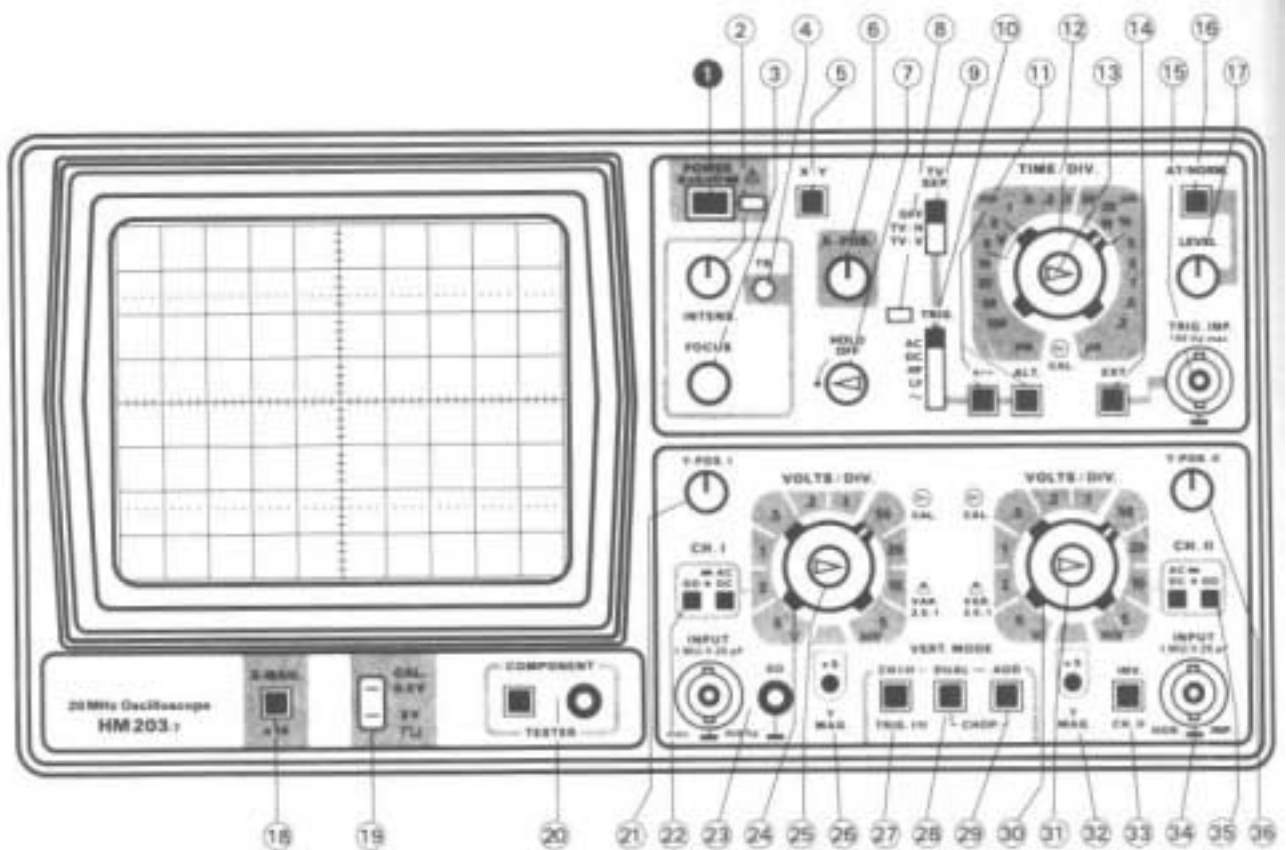
Ενας κοινός παλμογράφος αποτελείται από πέντε βασικά μέρη (σχήμα 4):

1. Τον καθοδικό σωλήνα
2. Το σύστημα κατακόρυφης απόκλισης (σάρωσης)
3. Το σύστημα οριζόντιας απόκλισης (σάρωσης)
4. Τη γεννήτρια πριονωτής τάσης και το συγχρονισμό
5. Το τροφοδοτικό



Σχήμα 4

Στο σχήμα 5 φαίνεται ένας παλμογράφος διπλής δέσμης. Οι χρήσεις των σημαντικότερων επιλογών και εισόδων δίνονται στη συνέχεια.



Σχήμα 5

Ρύθμιση INTENSITY (2): Ρυθμίζουμε την φωτεινότητα της δέσμης

Ρύθμιση FOCUS (3): Μετά το ρύθμιση της φωτεινότητας, ρυθμίζουμε την εστίαση (FOCUS) μέχρι η απεικόνιση να είναι η δυνατόν καθαρότερη.

Επιλογέας VOLT/DIV (24, 30): Είναι ένας βηματικός εξασθενητής ο οποίος επιλέγει τον κάθετο συντελεστή απόκλισης. Ρυθμίστε τον έτσι ώστε να παρακολουθείται εύκολα στην οθόνη όλη η κυματομορφή. Για εξασθένηση της κυματομορφής 1/10 χρησιμοποιείστε το PROBE στην

θέση 10:1.

Επιλογέας TIME/DIV (12): Ο χρόνος σάρωσης έχει 18 βήματα από 0.2 msec/DIV μέχρι 100 msec/DIV.

X-Y: Στη θέση αυτή ο παλμογράφος χρησιμοποιείται σε λειτουργία X-Y. Η είσοδος X είναι το κανάλι 1 (οριζόντιο) και η είσοδος Y είναι το κανάλι 2 (κάθετο) με κλίμακα απόκλισης από το λιγότερο ένα μιλιβόλτ μέχρι 5 V/DIV σε περιορισμένη συχνότητα των 500 KHZ.

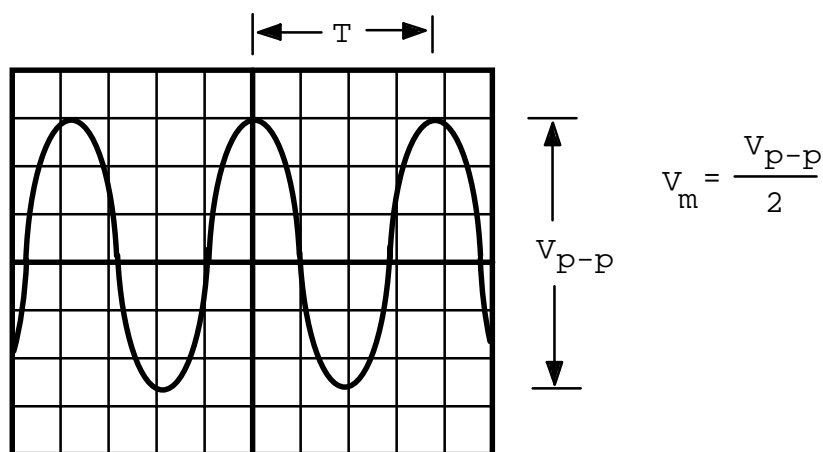
Ελεγχος POSITION (6): Χρησιμοποιείτε για την μετακίνηση (δεξιά ή αριστερά) της κυματομορφής κατά μήκος του οριζόντιου άξονα. Η μετακίνηση αυτή δεν επηρεάζει τις ρυθμίσεις χρόνου του παλμογράφου.

Για να μετρηθεί DC τάση τοποθετούμε τον διακόπτη εισόδου στη θέση GND και ρυθμίζουμε με το position τη γραμμή που εμφανίζεται στην οθόνη να είναι ακριβώς στη μέση της οθόνης. Τοποθετούμε το διακόπτη στη θέση DC και βάζουμε στην είσοδο του καναλιού τάση DC. Η ευθεία γραμμή μετακινείται προς τα επάνω (για θετική τάση) ή προς τα κάτω (για αρνητική τάση). Εστω ότι η ευθεία στην οθόνη ανέβηκε 3 τετράγωνα και ο διακόπτης Volts/Div είναι στη θέση 2. Τότε  $V_{DC} = 3 \times 2 = 6 \text{ V}$

Για να μετρηθεί ένα σήμα AC με τον παλμογράφο εισάγεται (συνδέεται) σε μια από τις δύο εισόδους του (σε ένα κανάλι εισόδου). Τοποθετείται ο διακόπτης (AC-DC-GND) εισόδου στη θέση AC. Το εσωτερικό ποτενσιόμετρο του διακόπτη (επιλογέα) Volts/Div θα πρέπει να είναι στη θέση cal (calibrated). Ρυθμίζονται οι διακόπτες - επιλογείς Time/Div και Volts/Div έτσι, ώστε να φαίνεται στην οθόνη σταθερή κυματομορφή και να εμφανίζονται στην οθόνη δύο ή τρεις πλήρεις περίοδοι του σήματος. Με τα ρυθμιστικά Position τοποθετείται η κυματομορφή έτσι, ώστε οι πάνω (ή οι κάτω) κορυφές της να εφάπτονται σε μία οριζόντια γραμμή της οθόνης και μία πάνω (ή κάτω) κορυφή να είναι ακριβώς στον κάθετο κεντρικό άξονα της οθόνης που έχει και τις υποδιαίρεσεις (σχήμα 6).

Για τη μέτρηση του πλάτους  $V_m$  ή του πλάτους από-κορυφή-σε-κορυφή ( $V_{p-p}$ ) σημειώνονται τα τετράγωνα της οθόνης που καταλαμβάνει η κυματομορφή κατακόρυφα. Ο αριθμός αυτός πολλαπλασιάζεται επί την τιμή που δείχνει ο διακόπτης Volts/Div.

Για τη μέτρηση της περιόδου T του σήματος σημειώνονται τα τετράγωνα της οθόνης μεταξύ δύο σημείων της ίδιας φάσης (για παράδειγμα, μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών). Ο αριθμός αυτός πολλαπλασιάζεται επί τον χρόνο που δείχνει ο διακόπτης Time/Div και βρίσκεται η περίοδος. Η συχνότητα f του σήματος είναι το αντίστροφο της περιόδου:  $f = 1 / T$ .



Σχήμα 6. Κυματομορφή στην οθόνη παλμογράφου.

Για τη απεικόνιση χαρακτηριστικών I-V χρησιμοποιείται η λειτουργία X-Y. Με την ενεργοποίηση του αντίστοιχου διακόπτη, ο οριζόντιος άξονας της οθόνης αντιστοιχεί στην X είσοδο του παλμογράφου, ενώ ο κατακόρυφος στην Y είσοδο. Η βαθμολόγηση των αξόνων γίνεται με βάση τις θέσεις των αντιστοίχων επιλογέων Volts/Div.

### ***Εργαστηριακή εφαρμογή***

1. Να συνδεθεί το κανάλι 1 του παλμογράφου με την έξοδο της γεννήτριας. Για ένα τυχόν ημιτονικό σήμα χαμηλής συχνότητας (π.χ. 10 V, 100 Hz) να σχεδιαστεί σε χαρτί μιλλιμετρέ η εικόνα του παλμογράφου (σε βαθμολογημένους άξονες).

2. Να μετρηθούν το πλάτος του  $V_m$  και το πλάτος  $V_{p-p}$ . Να γράψετε βήμα προς βήμα τις μετρήσεις σας.

3. Να μετρηθεί το ίδιο σήμα με ένα πολύμετρο και να συγκριθεί η ένδειξη του πολυμέτρου με εκείνη του παλμογράφου. Εξηγήστε τις πιθανές διαφορές. Υπενθυμίζεται ότι το πολύμετρο δείχνει την **ενεργό τιμή** (rms) του σήματος και η ένδειξη είναι σωστή μόνο για **χαμηλές συχνότητες** (για παράδειγμα, μέχρι 200 Hz).

4. Να μετρηθεί η περίοδος του σήματος και να βρεθεί η συχνότητά του.