

Lab06: Εναλλασσόμενη (AC) Τάση – Συχνότητες - και η χρήση του παλμογράφου

Στοιχεία που θα χρησιμοποιηθούν:

Στο σημερινό εργαστήριο θα χρησιμοποιηθούν 1 παλμογράφος και 2 γεννήτριες σήματος διαφορετικής μορφής (τριγωνικό, τετραγωνικό κλπ) και συχνότητας.

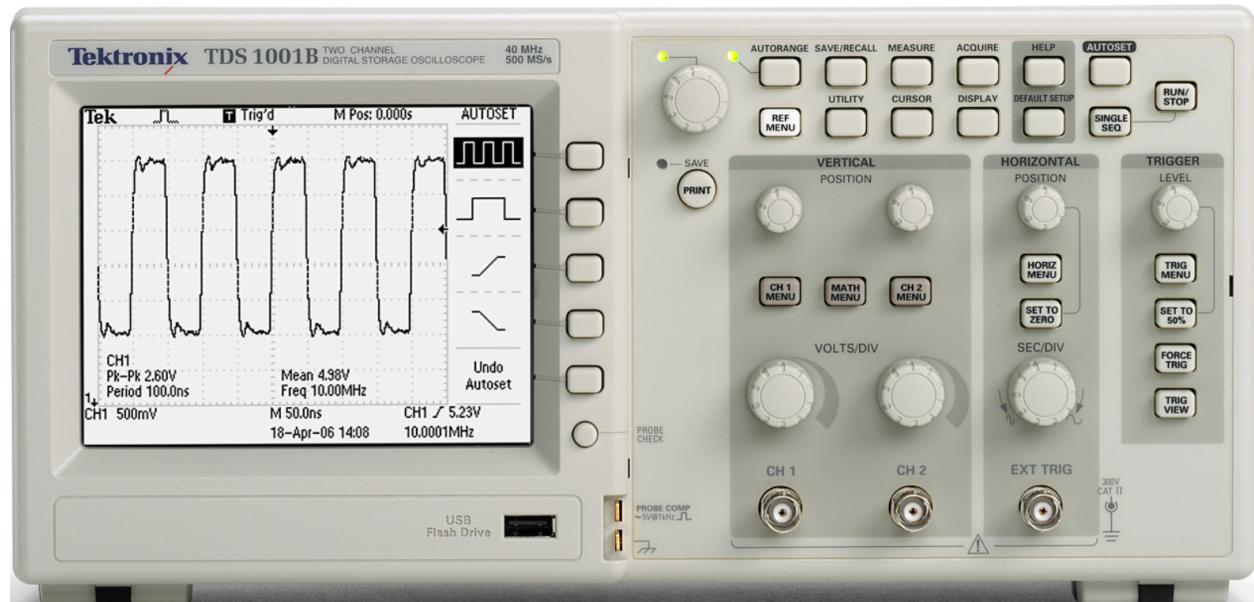
Δραστηριότητα 1 – Περιήγηση των λειτουργιών του παλμογράφου

Στην δραστηριότητα αυτή, θα εξοικειωθείτε με τη χρήση του παλμογράφου. Οι παλμογράφοι που θα χρησιμοποιήσετε είναι τύπου Tektronix σειρά TDS 1001B (ή 1002B) και οι γεννήτριες σημάτων είναι τύπου Instek GFG-8216A.

Πιέστε τον διακόπτη «ON/OFF» που βρίσκεται στο πάνω μέρος του παλμογράφου από την πλευρά της οθόνης για να ενεργοποιήσετε τον παλμογράφο. Περιμένετε μερικά δευτερόλεπτα ώστε να περάσει από τον κύκλο ρυθμίσεών του και να εμφανιστεί στην οθόνη ότι όλα τα εσωτερικά tests έχουν ολοκληρωθεί.

Βασικές Λειτουργίες και ρυθμίσεις του παλμογράφου

Στα επόμενα θα περιηγηθούμε σε κάποιες από τις λειτουργίες και ρυθμίσεις του παλμογράφου.



Σχήμα 6.1: Ο παλμογράφος TEK-TDS 1001B

Αρχικά πιέστε το κουμπί με την ένδειξη «Default setup» οπότε ο παλμογράφος χρησιμοποιεί τις εργοστασιακές ρυθμίσεις. Συγκεκριμένα, τοποθετήστε το καλώδιο του παλμογράφου στην υποδοχή με την ένδειξη CH1. Το καλώδιο ονομάζεται «Probe» και έχει δύο ακροδέκτες. Ο ένας έχει ένα «κροκοδειλάκι» ακροδέκτη που συνδέεται **πάντοτε** στο GRND του κυκλώματος, ενώ ο δεύτερος ακροδέκτης συνδέεται στο σημείο του κυκλώματος που θα θέλατε να μετρήσετε κάποιο

σήμα. Παρατηρήστε ότι στον ακροδέκτη αυτό υπάρχει ένας διακόπτης με την ένδειξη «X1» ή «X10» για την ενίσχυση ή όχι του σήματος κατά ένα παράγοντα 10.

Συνδέστε το «κροκοδειλάκι» στο GRND του παλμογράφου (κάτω δεξί μέρος της οθόνης) και τον κύριο ακροδέκτη στη θέση “probe” του παλμογράφου (ακριβώς πάνω από το GRND). Ο παλμογράφος δίνει ένα τετραγωνικό σήμα για βαθμονόμηση του probe καλωδίου.

Βρείτε το κουμπί με την ένδειξη «Autoset» και πιέστε το. Αυτή η λειτουργία επιτρέπει την παρουσίαση μιας σταθερής κυματομορφής στην οθόνη του παλμογράφου. Ρυθμίζει αυτόματα την κατακόρυφη κλίμακα, την οριζόντια κλίμακα και τις ρυθμίσεις του «Trigger» που είναι ο μηχανισμός για την ανίχνευση του σήματος που εισάγεται στον παλμογράφο. Με το «Autoset» ρυθμίζονται ακόμα αυτόματα μια σειρά μετρήσεων που εμφανίζονται στο δεξί μέρος της οθόνης του παλμογράφου ανάλογα με τον τύπο του σήματος.

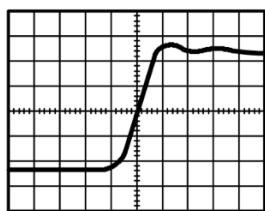
Αν το σήμα που εμφανίζεται στην οθόνη δεν είναι τετραγωνικό και παρουσιάζονται παραμορφώσεις θα πρέπει να ρυθμιστεί μια βίδα που υπάρχει πάνω στο probe του ακροδέκτη έως ότου το σήμα δεν εμφανίζει παραμορφώσεις.

Περιστρέφοντας τον κυκλικό διακόπτη «Vertical Position» μπορείτε να μετακινήσετε την κυματομορφή προς τα πάνω ή προς τα κάτω και να την ευθυγραμμίσετε με τον x-άξονα.

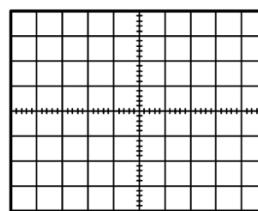
Ανάλογα μπορείτε να χρησιμοποιήσετε τον διακόπτη «Horizontal Position» για να μετακινήσετε το χρονικό διάστημα στο οποίο βλέπετε την κυματομορφή.

Triggering:

Προσδιορίστε την περιοχή με την ένδειξη «Trigger». Η λειτουργία αυτή προσδιορίζει πότε ο παλμογράφος αρχίζει να συλλέγει δεδομένα και εμφανίζει μια κυματομορφή του σήματος. Η θέση του trigger δηλώνει ένα κατώφλι τάσης το οποίο θα πρέπει να ξεπεράσει το σήμα για να ανιχνευτεί ή να ξεχωρίσει από άλλες κυματομορφές που προέρχονται πιθανών από ηλεκτρονικό θόρυβο ή παρεμβολές. Όταν το trigger έχει ρυθμιστεί κατάλληλα τότε ο παλμογράφος εμφανίζει μια σταθερή κυματομορφή. Ρυθμίζοντας το κουμπί “Trigger” δεξιά ή αριστερά μπορεί να επιτευχθεί η σωστή συλλογή της κυματομορφής του σήματος εισόδου. Ο παλμογράφος κρατά μια σειρά μετρήσεων πριν την ικανοποίηση του trigger και αυτές μετά το trigger για την εμφάνιση του σήματος. Από την στιγμή που ικανοποιηθεί η συνθήκη, ο παλμογράφος «κλειδώνει» στην κυματομορφή που ανίχνευσε και την επαναλαμβάνει. Αν το trigger δεν ικανοποιηθεί, τότε στην διάρκεια της ανανέωσης εμφάνισης των δεδομένων που σύλλεξε, το σήμα φαίνεται να μετακινείται και να «τρέχει» στην οθόνη.



«Triggered» Κυματομορφή



«Untriggered» Κυματομορφές»

Σχήμα 6.2: Κυματομορφές που εμφανίζονται στην οθόνη του παλμογράφου όταν έχει επιτευχθεί σωστή συλλογή σήματος "Triggered" και "Untriggered".

Μετακινήστε το κουμπί του «Trigger Level» και παρατηρήστε ότι καθώς το κατώφλι γίνεται ιδιαίτερα αρνητικό, ο παλμογράφος χάνει την ικανότητά του να εμφανίζει σταθερό σήμα και εμφανίζεται κάτι όπως η παρακάτω εικόνα.

Όταν πατήσετε το κουμπί “RUN/STOP” ή “Single SEQ” για να συλλεχθεί κάποιο σήμα, ο παλμογράφος εκτελεί τα ακόλουθα βήματα:

(α) Συλλέγει αρκετά δεδομένα και γεμίζει το τμήμα της κυματομορφής στα αριστερά του σημείου “Trigger”. Αυτό ονομάζεται pre-triggering”.

(β) Συνεχίζει να συλλέγει δεδομένα καθώς αναμένει την ικανοποίηση της συνθήκης του trigger.

(γ) Ανιχνεύει τη συνθήκη του trigger.

(δ) Συνεχίζει να συλλέγει δεδομένα έως ότου η κυματομορφή συμπληρωθεί.

(ε) Εμφανίζει την κυματομορφή που έχει συλλέξει.

Στην περιοχή των λειτουργιών του “**TRIGGER**” υπάρχει το κουμπί με την ένδειξη «**TRIG MENU**». Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε την επιλογή “**TRIGGER SOURCE**” για να προσδιορίσετε τι σήμα θα χρησιμοποιήσει ο παλμογράφος για να κάνει trigger. Η πηγή μπορεί να είναι οποιαδήποτε σήμα είναι συνδεδεμένο σε ένα κανάλι του παλμογράφου, ή στο κανάλι με την ένδειξη «**EXT TRIG**” ή ακόμα με την εναλλασσόμενη τάση λειτουργίας (αυτό χρησιμοποιείται κυρίως με τις περιπτώσεις trigger με την συμπεριφορά της αρχής ή του τέλους της κυματομορφής ενός σήματος).

Types: Ο παλμογράφος προσφέρει τριών ειδών τρόπους triggering, *Edge*, *Video*, και *Pulse Width*.

Modes: Μπορείτε να επιλέξετε από το κουμπί αυτό, τον τρόπο με τον οποίο ο παλμογράφος συλλέξει γεγονότα όταν δεν ανιχνεύει την συνθήκη του trigger. Υπάρχουν δύο επιλογές: *Auto* και *Normal*.

Coupling: Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε την επιλογή αυτή για να προσδιορίσετε ποιο τμήμα του σήματος θα περάσει το κύκλωμα του trigger. Αυτό μπορεί να σας βοηθήσει να πάρετε μια σταθερή κυματομορφή στην οθόνη του παλμογράφου.

Για να χρησιμοποιήσετε το Trigger Coupling, πατήστε το “**Trig menu**” και επιλέξτε είτε ως τύπο *Edge* ή *Pulse* trigger και κατόπιν επιλέξτε το είδος του *Coupling*.

Για να ελέγξετε τη συνθήκη του trigger πατήστε στο κουμπί “**Trig view**”.

Slope and Level

Οι λειτουργίες Slope and Level βοηθούν να προσδιοριστεί το trigger. Η επιλογή Slope (διαθέσιμη μόνο για τύπο *Edge*) προσδιορίζει αν ο παλμογράφος βρίσκει τη συνθήκη του trigger στο τμήμα της κυματομορφής του σήματος που ανέρχεται (*rising edge*) ή κατέρχεται (*falling edge*). Ο διακόπτης «**Trigger Level**» που ακριβώς στα άκρα του σήματος υπάρχει το σημείο ικανοποίησης του trigger, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 6.3: Ρύθμιση του trigger με βάση την αναμενόμενη μορφή του σήματος που θα συλλεχθεί.

Ρύθμιση της κλίμακας και θέσης των κυματομορφών

Μπορείτε να αλλάξετε την μορφή της κυματομορφής του σήματος που εμφανίζεται στην οθόνη του παλμογράφου ρυθμίζοντας την κλίμακα του και την θέση του. Όταν αλλάζει η κλίμακα, το μέγεθος της κυματομορφής που εμφανίζεται είτε αυξάνει είτε ελαττώνεται ανάλογα με την ρύθμιση. Όταν αλλάζει η θέση, τότε η κυματομορφή μετατοπίζεται είτε δεξιά είτε αριστερά είτε πάνω ή κάτω.

Ο δείκτης αναφοράς που εμφανίζεται στα αριστερά της οθόνης του παλμογράφου προσδιορίζει από ποιο κανάλι εισόδου (CH1 ή CH2) προέρχεται η κυματομορφή που εμφανίζεται στην οθόνη. Θα μπορούσαν να εμφανίζονται δύο κυματομορφές από σήματα που συνδέονται με τα δύο κανάλια εισόδου του παλμογράφου. Ο δείκτης αναφοράς αναφέρεται στο ground level του σήματος.

Κατακόρυφη κλίμακα και θέση

Μπορείτε να αλλάξετε την VERTICAL POSITION της κυματοσυνάρτησης μετατοπίζοντάς την στην οθόνη πάνω ή κάτω. Αν θέλετε να συγκρίνετε κυματοσυναρτήσεις θα μπορούσατε να τις ευθυγραμμίσετε είτε την μία κυματομορφή στο πάνω μέρος της οθόνης και την άλλη στο κάτω μέρος της οθόνης ή να τις φέρετε σε αλληλοεπικάλυψη για απευθείας σύγκριση.

Μπορείτε να αλλάξετε την κατακόρυφη κλίμακα μιας κυματομορφής σήματος. Η κυματομορφή είτε θα μεγαλώσει ή θα μικρύνει ως προς το ground level της. Η κατακόρυφη κλίμακα ρυθμίζει την κλίμακα του πλάτους της κυματομορφής και μονάδες Volts/div. Περιστρέφοντας τον διακόπτη Volts/div αλλάζουμε την κλίμακα σε πολλαπλάσια ή υποπολλαπλάσια του Volt για κάθε μεγάλη υποδιαίρεση του πλέγματος της οθόνης. Υπάρχουν 8 κατακόρυφες υποδιαιρέσεις.

Οριζόντια κλίμακα και θέση

Μπορείτε να αλλάξετε την HORIZONTAL POSITION της κυματοσυνάρτησης ώστε να την μελετήσετε είτε πριν είτε μετά το trigger ή τμήμα και των δύο. Όταν αλλάζετε την οριζόντια θέση της κυματοσυνάρτησης αυτό που αλλάζει στην πραγματικότητα είναι ο χρόνος μεταξύ του trigger και του κέντρου της οθόνης (και αυτό μοιάζει να μετατοπίζει την κυματομορφή είτε δεξιά είτε αριστερά).

Μπορείτε να αλλάξετε την οριζόντια κλίμακα της κυματομορφής η οποία αντιστοιχεί σε sec/div. Αν περιστρέψετε τον διακόπτη αριστερά ή δεξιά μπορείτε να αλλάξετε την οριζόντια κλίμακα του χρόνου σε πολλαπλάσια ή υποπολλαπλάσια του sec ανά μεγάλη υποδιαίρεση του πλέγματος της οθόνης. Υπάρχουν 10 οριζόντιες υποδιαιρέσεις. Αν η ρύθμιση είναι για 1s/div σημαίνει ότι το εύρος του σήματος το οποίο εμφανίζεται στην οθόνη θα είναι 10 sec.

Για σήματα διαφορετικών συχνοτήτων, η οριζόντια κλίμακα θα πρέπει να ρυθμίζεται κατάλληλα ώστε οι υποδιαιρέσεις να αντιστοιχούν στην περίοδο του σήματος που ελέγχεται με τον παλμογράφο.

Λήψη μετρήσεων

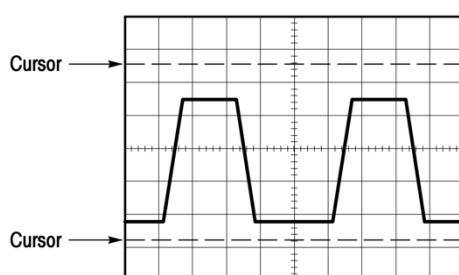
Ο παλμογράφος εμφανίζει γραφήματα τάσης (κατακόρυφος άξονας) ως προς τον χρόνο (οριζόντιος άξονας) και βοηθά στον προσδιορισμό χαρακτηριστικών της κυματομορφής του σήματος.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι με τους οποίους μπορείτε να πάρετε μετρήσεις. Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε το πλέγμα της οθόνης, τους δείκτες των σημάτων ή να πάρετε αυτόματη μέτρηση.

Χρήση του Πλέγματος της Οθόνης

Η μέθοδος αυτή βοηθά στην γρήγορη εκτίμηση των χαρακτηριστικών του σήματος. Για παράδειγμα μπορείτε να δείτε το πλάτος της κυματοσυνάρτησης του σήματος και να προσδιορίσετε ότι είναι, για παράδειγμα, λίγο περισσότερο από 100mV. Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε τις μικρότερες πλεγματικές υποδιαιρέσεις και να προσδιορίσετε με μεγαλύτερη ακρίβεια το πλάτος.

Έστω ότι εμφανίζεται η κυματομορφή του Σχήματος 6.4. Αν έχατε μετρήσει 5 υποδιαιρέσεις μεταξύ του μέγιστου και ελάχιστου της κυματοσυνάρτησης και η κατακόρυφη κλίμακα που χρησιμοποιούσατε ήταν 100mV/div., τότε το πλάτος του σήματος θα είναι: 5div. X 100mV/div=500mV.



Σχήμα 6.4: Παράδειγμα κυματομορφής σήματος.

Με χρήση των Cursors

Η μέθοδος αυτή σας επιτρέπει να πάρετε μετρήσεις μετατοπίζοντας τους cursors που εμφανίζονται ανά ζεύγη και να αναγνώσετε την αριθμητική τιμή τους από τις αριθμητικές ενδείξεις της οθόνης. Υπάρχουν δύο είδη cursors: Χρόνου και Τάσης.

Όταν χρησιμοποιείτε cursors θα πρέπει να έχετε επιλέξει στο Source, να εμφανίζεται στην οθόνη η κυματοσυνάρτηση που θέλετε να μετρήσετε.

Για να χρησιμοποιήσετε την μέθοδο με Cursors, πιέστε το κουμπί Cursors.

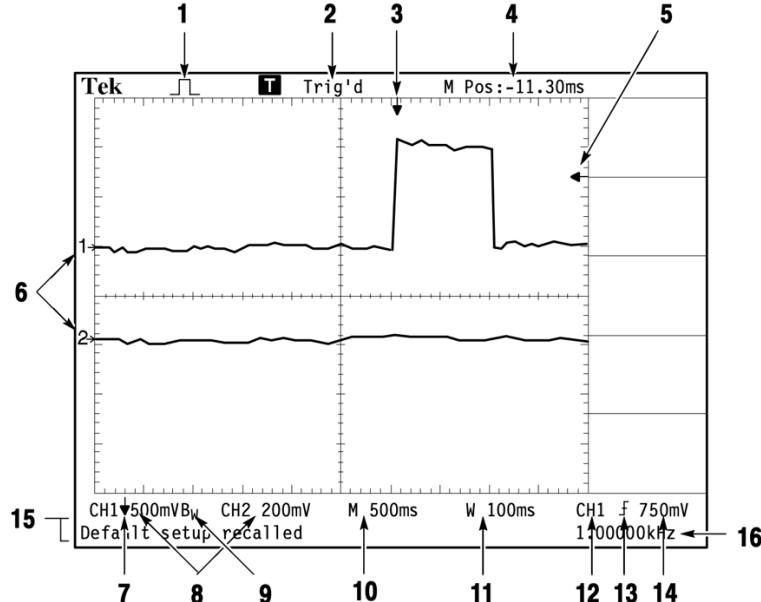
Voltage Cursors εμφανίζονται στην οθόνη ως οριζόντιες γραμμές και μπορείτε να μετρήσετε τις κατακόρυφες παραμέτρους. **Time Cursors** εμφανίζονται στην οθόνη ως κατακόρυφες γραμμές και μπορείτε να μετρήσετε τις οριζόντιες παραμέτρους.

Με χρήση της επιλογής Autorange

Το «MEASURE» menu μπορεί να πάρει μέχρι 5 αυτόματες μετρήσεις. Όταν λαμβάνετε αυτόματες ρυθμίσεις, ο παλμογράφος κάνει όλους τους υπολογισμούς για σας και είναι οι περισσότερο ακριβείς μετρήσεις.

Η οθόνη του παλμογράφου

Το Σχήμα 6.5 δείχνει την οθόνη του παλμογράφου με διάφορα στοιχεία τα οποία εμφανίζονται κατά την μέτρηση τα οποία εξηγούνται με βάση τα νούμερα του Σχήματος.



Σχήμα 6.5: Πληροφορίες που εμφανίζονται στην οθόνη του παλμογράφου.

Οι διάφορες επιλογές που εμφανίζονται στο Σχήμα 6.5 αναφέρονται στα ακόλουθα:

1. Η εικόνα δηλώνει τον τρόπο συλλογής:

Sample mode

Peak detect mode

Average mode

2. Κατάσταση του trigger:

Armed: Ο παλμογράφος συλλέγει γεγονότα πριν την συνθήκη του trigger.

Ready: Όλα τα γεγονότα πριν το trigger έχουν συλλεχθεί και είναι έτοιμος για συλλογή δεδομένων.

Trig'd: Ο παλμογράφος έχει κάνει trigger και συλλέγει τα δεδομένα μετά το trigger.

Stop: Ο παλμογράφος έχει σταματήσει να συλλέγει δεδομένα.

Acq. Completed: Ο παλμογράφος έχει ολοκληρώσει συλλογή γεγονότων σε Single Sequence mode.

Auto: Ο παλμογράφος είναι σε κατάσταση αυτόματης συλλογής δεδομένων και συλλέγει δεδομένα απονεία triggers

Scan: Ο παλμογράφος συλλέγει και εμφανίζει δεδομένα που συλλέγει σε κατάσταση σάρωσης.

3. Ο δείκτης αναφοράς της οριζόντιας θέσης του trigger. Ρυθμίζοντας τον διακόπτη της Horizontal position μπορεί να αλλάξει η θέση του δείκτη.

4. Το κέντρο της οθόνης όπου ο χρόνος που αντιστοιχεί στο trigger είναι μηδέν
5. Ο δείκτης δείχνει Edge ή Pulse εύρος του επιπέδου του trigger.
6. Οι δείκτες στην οθόνη που δείχνουν το GRND επίπεδο αναφοράς της εμφανιζόμενης κυματομορφής.
7. Ένας δείκτης με τη μορφή βέλους δείχνει ότι η κυματομορφή είναι αναστραμμένη.
8. Η κατακόρυφη κλίμακα
9. Ένδειξη Bw δείχνει ότι το σήμα είναι περιορισμένο ως προς το bandwidth.
10. Ένδειξη της κλίμακας χρόνου.
11. Το χρονικό διάστημα του σήματος που εμφανίζεται
12. Η πηγή του trigger
13. Η επιλογή του trigger που χρησιμοποιείται
 - ↗ - Edge trigger for the rising edge.
 - ↖ - Edge trigger for the falling edge.
 - ⤵ - Video trigger for line sync.
 - ⤶ - Video trigger for field sync.
 - ⤷ - Pulse Width trigger, positive polarity.
 - ⤸ - Pulse Width trigger, negative polarity.
14. Το επίπεδο των άκρων του trigger
15. Διάφορα μηνύματα βοήθειας
16. Η συχνότητα του trigger

Δραστηριότητα 2 – Μέτρηση Σήματος

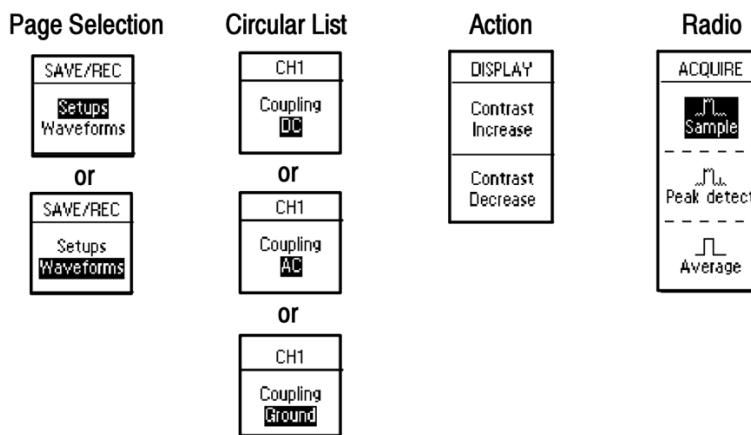
Στην δραστηριότητα αυτή θα χρησιμοποιήσετε την γεννήτρια συχνοτήτων. Θα συνδέσετε την έξοδο της γεννήτριας συχνοτήτων που φαίνεται στο Σχήμα 6.6.



Σχήμα 6.6: Γεννήτρια συχνοτήτων

Θυμηθείτε ότι ο κάθετος συντελεστής κλίμακας (αριθμός Volt/div.) ελέγχεται από τους δύο διακόπτες με την ένδειξη Volt/div. Υπάρχουν δύο είσοδοι σε αυτόν τον παλμογράφο, ώστε να μπορούν να προβληθούν ταυτόχρονα δύο τάσεις, αλλά προς το παρόν θα χρησιμοποιήσουμε μόνο μία είσοδο, το CH 1.

Βρείτε τον διακόπτη με την ένδειξη CH1 menu κοντά στον διακόπτη Volt/div. και πιέστε τον. Στο δεξί μέρος της οθόνης εμφανίζεται το menu. Χρησιμοποιώντας τα διακόπτες που βρίσκονται δεξιά και δίπλα στην οθόνη και αντιστοιχούν στις επιλογές του menu μπορείτε να επιλέξετε κατάλληλα χαρακτηριστικά. Προσέξτε ότι σε αρκετές περιπτώσεις η πρώτη επιλογή μπορεί να αντιστοιχεί σε υπό-menu αυτού που έχετε επιλέξει. Στην προκειμένη περίπτωση, αν πιέσετε τον υψηλότερο διακόπτη μπορείτε να δείτε διάφορες επιλογές σχετικά με το κατακόρυφο Coupling του σήματος του καναλιού όπως στην 2^η στήλη του Σχήματος 6.7.



Σχήμα 6.7: Εμφάνιση των διαφόρων menu και επιλογών ανά περίπτωση.

Χρησιμοποιήστε την επιλογή “**Coupling GROUND**”. Αυτή η επιλογή γειώνει την είσοδο στον παλμογράφο και η κάθετη κλίμακα είναι στα μηδέν Volt. Τώρα χρησιμοποιήστε τον διακόπτη της κατακόρυφης θέσης για να μετακινήσετε τη γραμμή στο κέντρο της οθόνης. Μόλις η γραμμή κεντραριστεί, χρησιμοποιήστε και πάλι το menu του CH1 και χρησιμοποιήστε την επιλογή «**Coupling AC**» (οι τάσεις DC θα εξαλειφθούν στην είσοδο του παλμογράφου).

Χρησιμοποιήστε την «**Output 50Ω**» της γεννήτριας συχνοτήτων και ένα «**BNC**» σε «**BNC**» καλώδιο για να συνδέσετε την γεννήτρια με τον παλμογράφο. Επιλέξτε ως σήμα εισόδου ένα τριγωνικό κύμα με συχνότητα περίπου 1 kHz.

Εφόσον χρησιμοποιούμε σήμα συχνότητας στην περιοχή των 1 kHz, η τυπική περίοδος θα είναι στην περιοχή των ms. Ρυθμίστε τον διακόπτη χρόνου στο 1 ms/div.

Ρυθμίστε τον διακόπτη Volt/div στα 2 Volt/div.

Ρυθμίστε το πλάτος της γεννήτριας σημάτων χρησιμοποιώντας τον διακόπτη επιπέδου εξόδου, ώστε να έχετε ένα κύμα +/- 6 Volts (12 Volts κορυφή-προς-κορυφή). Βεβαιωθείτε ότι ο διακόπτης DC offset στην γεννήτρια έχει το άσπρο σημάδι προς τα πάνω, δηλαδή μηδέν Volt DC offset. Θα πρέπει να βλέπετε ένα τριγωνικό κύμα που έχει θετικό μέγιστο τρεις διαχωριστικές γραμμές πάνω από τη μεσαία γραμμή της οθόνης και αρνητικό ελάχιστο τρεις διαχωριστικές γραμμές κάτω από αυτήν.

Θα μπορούσατε τις ρυθμίσεις να τις κάνετε αυτόματα πατώντας τον διακόπτη «**Autorange**». Με την επιλογή αυτή όταν αλλάζει το πλάτος του σήματος ή η συχνότητά του αυτόματα αλλάζουν και οι κλίμακες στον κατακόρυφο και οριζόντιο άξονα.

Η σάρωση (δηλαδή η κίνηση της κουκίδας στην οθόνη) "πυροδοτείται" όταν η τάση διασχίζει το όριο που ορίζεται με τον διακόπτη LEVEL. Το σημείο στο οποίο γίνεται αυτή η διασταύρωση είναι η "αρχή" του γραφήματος. Το όριο ελέγχεται με τον μικρό διακόπτη με την ένδειξη LEVEL.

Χρησιμοποιήστε τον διακόπτη οριζόντιας θέσης για να μετακινήσετε όλη τη γραμμή προς τα δεξιά, ώστε να δείτε την αρχή. Εξερευνήστε τι συμβαίνει όταν περιστρέφετε τον διακόπτη level. Σημειώστε ότι μπορείτε να αλλάξετε τη θέση της αρχής του γραφήματος.

Τώρα κοιτάξτε το κουμπί ή διακόπτη δίπλα στον διακόπτη level με την ένδειξη slope. Αυτός ελέγχει την πολικότητα της τάσης για την οποία πραγματοποιείται η εκκίνηση. Υπάρχει δυνατότητα θετικής και αρνητικής εκκίνησης. Εξερευνήστε τι συμβαίνει όταν χρησιμοποιείτε τις δύο επιλογές. Ισως χρειαστεί να ρυθμίσετε το LEVEL για να έχετε σταθερή εκκίνηση μετά από αυτό.

Τώρα κάντε μια ακριβή μέτρηση της συχνότητας του τριγωνικού κύματος. Θα μετρήσετε την περίοδο, T, τον χρόνο μεταξύ δύο επαναλαμβανόμενων σημείων στο κύμα. Για παράδειγμα, μετρήστε με ακρίβεια τις διαιρέσεις μεταξύ των δύο μέγιστων και έπειτα χρησιμοποιήστε την πληροφορία σχετικά με sec/div από τη ρύθμιση του διακόπτη βάσης χρόνου για να βρείτε την περίοδο T. Η συχνότητα δίνεται από:

$$f = \frac{1}{T}$$

Για να μετρήσετε με ακρίβεια κάποιο χρονικό διάστημα μπορείτε να χρησιμοποιήσετε την λειτουργία «**CURSOR**» που βρίσκεται στο δεύτερη σειρά των διακοπτών ρυθμίσεων του παλμογράφου. Στο menu που εμφανίζεται στο δεξί μέρος της οθόνης πατήστε στην πρώτη επιλογή που αναφέρεται «**TYPE OFF**» και θα εμφανιστεί «**TYPE AMPLITUDE**» που σας επιτρέπει να

ρυθμίσετε με μεγαλύτερη ακρίβεια τις θέσεις μετρήσεων στην κατακόρυφη κλίμακα. Στην οθόνη εμφανίζονται 2 οριζόντιες γραμμές, «Cursor 1» και «Cursor 2» στο menu. Μπορείτε να μετακινήσετε τις γραμμές αυτές πατώντας στο «Cursor 1» ή στο «Cursor 2» και περιστρέφονται τον διακόπτη που βρίσκεται αριστερά του «Autorange» στη θέση που θέλετε να τοποθετήσετε κάποια από τις οριζόντιες γραμμές. Μπορείτε να διαβάσετε την τιμή στην οποία βρίσκεται ο «Cursor 1» στην οθόνη και αντίστοιχα για τον «Cursor 2». Η διαφορά τους θα δώσει την διαφορά δυναμικού μεταξύ των σημείων.

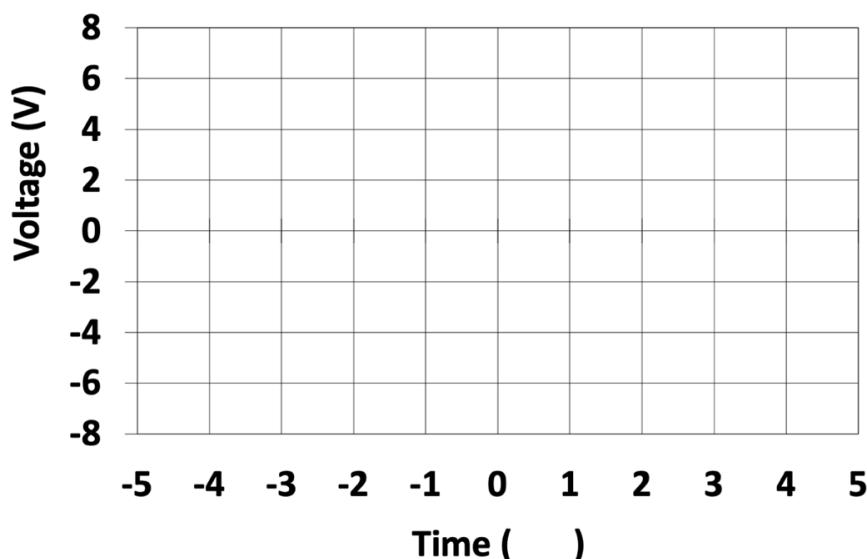
Πατώντας και πάλι πάνω στο «**Type Amplitude**» διακόπτη εμφανίζεται το «**Type Time**». Στην περίπτωση αυτή εμφανίζονται δύο κατακόρυφες γραμμές «Cursor 1» και «Cursor 2». Μπορείτε να ρυθμίσετε τις θέσεις των γραμμών στις που επιθυμείτε να μετρήσετε το χρονικό διάστημα, όπως και στην προηγούμενη περίπτωση της μέτρησης της διαφοράς δυναμικού.

Ερώτηση 2: Είναι ο διακόπτης συχνότητας της γεννήτριας σημάτων ακριβής; Σχεδιάστε το τριγωνικό κύμα στο τετράδιό σας. Συγκρίνετε την μετρούμενη τιμή σας με τις ρυθμίσεις της γεννήτριας σημάτων.

Ο παλμογράφος είναι ικανός να προβάλλει δύο κύματα ταυτόχρονα. Βρείτε τον διακόπτη με την ένδειξη CH1 - both -CH2. Πατήστε αυτόν τον διακόπτη στο «**BOTH**». Όταν το κάνετε αυτό, θα ενεργοποιήσετε τη δυνατότητα προβολής και των δύο εισόδων. Αφήνοντας το τριγωνικό κύμα συνδεδεμένο στο CH 1, συνδέστε τον παλμό TTL στο CH 2 από την δεύτερη πληγή συχνοτήτων που σας έχει δοθεί. Βεβαιωθείτε ότι ρυθμίζετε τον διακόπτη sec/div στην ίδια τιμή που χρησιμοποιείτε στο CH 1. Χρησιμοποιήστε τους δύο διακόπτες κάθετης θέσης για να ρυθμίσετε τις δύο κυματομορφές για μια βολική προβολή. Σχεδιάστε τις στο τετράδιό σας. Σημειώστε ότι το πλάτος του κύματος TTL δεν είναι ρυθμιζόμενο στη γεννήτρια σημάτων. Μετρήστε το πλάτος του σε Volt και σημειώστε την αντίστοιχη ένδειξη στο σχεδιάγραμμά σας.

Δοκιμάστε τις άλλες κυματομορφές της γεννήτριας συχνοτήτων και καταγράψτε τιμές συχνοτήτων που μετράτε με τον παλμογράφο και αυτών που θέτετε με την γεννήτρια συχνοτήτων.

Oscilloscope Screen



Δραστηριότητα 3 – Δημιουργία γραφημάτων Lissajous

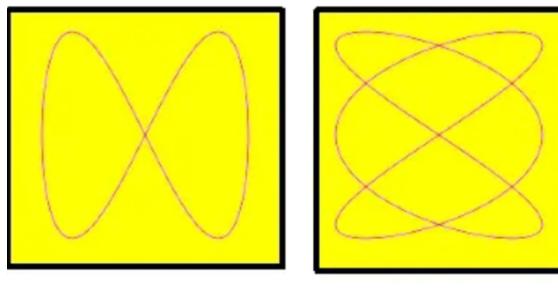
Μια καμπύλη Lissajous, είναι ένα γράφημα που λαμβάνεται από τις ακόλουθες δύο παραμετρικές εξισώσεις:

$$x = A \sin(at + \varphi)$$

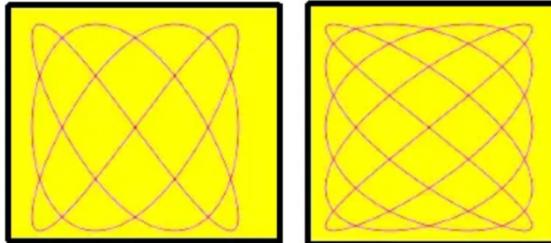
$$y = B \sin(bt)$$

Τα A και B αποτελούν πλάτη σήματος, τα a και b είναι σταθερές ενώ φ αποτελεί κάποια φασική γωνία.

Για να μπορέσουμε να δημιουργήσουμε την καμπύλη Lissajous στον παλμογράφο θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε δύο ημιτονοειδή σήματα και στα δύο κανάλια του παλμογράφου CH1 και CH2 και την λειτουργία XY του παλμογράφου. Το ένα κανάλι χρησιμοποιείται ως ο x -άξονας ενώ το δεύτερο κανάλι παρόλο που αντιστοιχεί και πάλι σε τάση, χρησιμοποιείται στον y -άξονα. Έτσι μπορούμε να έχουμε την συσχέτιση μεταξύ των δύο σημάτων. Τα απλούστερα Lissajous σήματα που μπορούμε να έχουμε φαίνονται στο Σχήμα 6.7.



$a = 1, b = 2 (1:2)$ $a = 3, b = 2 (3:2)$



$a = 3, b = 4 (3:4)$ $a = 5, b = 4 (5:4)$

Σχήμα 6.7: Παραδείγματα καμπυλών Lissajous για συγκεκριμένες αναλογίες συχνοτήτων δύο σημάτων

Αφού επιλέξουμε το «**Display**» από την οριζόντια σειρά των διακοπών στο πάνω μέρος του παλμογράφου, επιλέγουμε το **Format XY mode** λειτουργίας.

Επιλέξτε δύο ημιτονοειδή σήματα σε κάθε μία γεννήτρια συχνοτήτων, με αρχικά την ίδια συχνότητα. Ρυθμίστε την τάση των δύο σημάτων να είναι ίδια. Αρχικά επιτρέψτε την εμφάνιση και των δύο σημάτων (CH1 και CH2).

Παρατηρήστε τα σήματα στον παλμογράφο και δείτε πως αλλάζει η μορφή αλλάζοντας τον λόγο των συχνοτήτων των σημάτων. Δοκιμάστε αρχικά πολύ χαμηλή συχνότητα (1 και 2 Hz). Τα δύο σήματα θα πρέπει να έχουν μηδενική διαφορά φάσης.

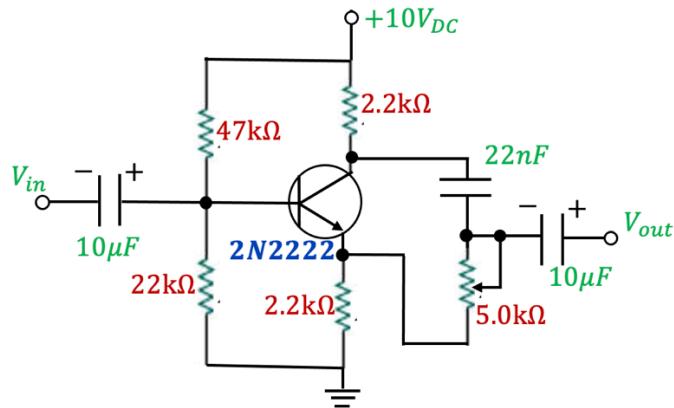
Αλλάξτε την διαφορά φάσης και παρατηρήστε τις αλλαγές στο σήμα. Δοκιμάστε συχνότητα 1kHz για το ένα σήμα και για το δεύτερο σήμα ακέραια πολλαπλάσια του 1kHz. Παρατηρήστε τα σχήματα που εμφανίζονται στην οθόνη.

Αν τα σχήματα είναι κεντραρισμένα ως προς τον x -άξονα τότε μπορείτε να βρείτε τον λόγο των συχνοτήτων από το σχήμα θεωρώντας είτε μια οριζόντια γραμμή που τέμνει το γράφημα Lissajous ή μια κατακόρυφη γραμμή. Ο λόγος του αριθμού των σημείων που η κατακόρυφη γραμμή τέμνει το γράφημα προς τον αριθμό των σημείων τομής της οριζόντιας γραμμής με το γράφημα είναι ίσο με τον λόγο της συχνότητας του σήματος στην y -διεύθυνση προς τη συχνότητα του σήματος στον x -άξονα κάτι που μπορείτε να διαπιστώσετε από τις συχνότητες που θέσατε στις γεννήτριες συχνοτήτων:

$$\frac{N_y}{N_x} = \frac{f_y}{f_x}$$

Δοκιμάστε να θέσετε την συχνότητα του 2^{ου} σήματος 1,001Hz και παρατηρήστε την μορφή της κυματομορφής. Αυτό που θα πρέπει να παρατηρήσετε είναι ότι το σχήμα περιστρέφεται.

Για να δημιουργήσετε διαφορά φάσης μεταξύ των δύο σημάτων μπορείτε να περάσετε το ένα από τα σήματα από το κύκλωμα ταλαντωτή που φαίνεται στο Σχήμα 6.7. Το κύκλωμα μετατοπίζει το σήμα εξόδου κατά μία γωνία φάσης μεταξύ 0° και 180° ρυθμίζοντας την αντίσταση του ποτενσιομέτρου. Για να χρησιμοποιήσετε το κύκλωμα θα πρέπει να χρησιμοποιήσετε το κύκλωμα χαμηλής τάσης θέτοντας την τάση εξόδου σε +10V. Θα πρέπει να προσθέσετε και τον πυκνωτή των 1 μF που πρέπει να υπάρχει στην έξοδο του κυκλώματος χαμηλής τάσης. Το κύκλωμα του Σχήματος 6.7 επιτρέπει τη διέλευση σημάτων μεταξύ 1000 και 5000Hz όπως μπορείτε να διαπιστώσετε χρησιμοποιώντας το σήμα εισόδου στο CH1 του παλμογράφου και το σήμα εξόδου στο CH2 και τα φέρετε σε αλληλεπικάλυψη.



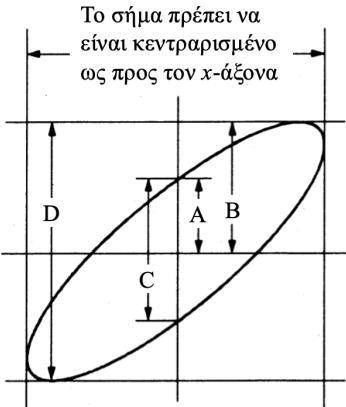
Σχήμα 6.7: Κύκλωμα μετατόπισης φάσης σήματος. Θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί με το κύκλωμα χαμηλής τάσης.

Θέστε τον Display σε Format XY και κεντράρετε ως προς τον x -άξονα, το σχήμα Lissajous που εμφανίζεται. Από την στιγμή που υπάρχει διαφορά φάσης, το σχήμα θα πρέπει να είναι έλλειψη. Αν τα δύο σήματα έχουν το ίδιο πλάτος τότε αν η διαφορά φάσης είναι 90° το σχήμα είναι κύκλος. Για διαφορά φάσης 0° ή 180° μεταξύ των δύο σημάτων το σχήμα θα είναι ευθεία με κλίση ±1 (45°), αντίστοιχα.

Μπορούμε να προσδιορίσουμε τη διαφορά φάσης μεταξύ των δύο σημάτων από το Lissajous γράφημα. Όπως φαίνεται από το Σχήμα 6.8, η διαφορά φάσης προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$\sin \varphi = \frac{C}{D}$$

όπου D είναι απόσταση των σημείων με την μέγιστη απομάκρυνση και C η απόσταση των σημείων για μηδενική οριζόντια απόκλιση ($x = 0$).

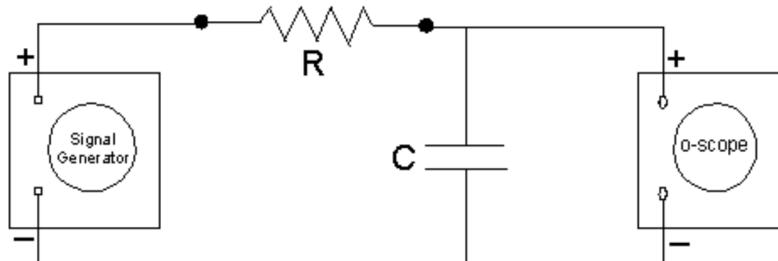


Σχήμα 6.8: Προσδιορισμός της διαφοράς φάσης δύο σημάτων ίδιων συχνοτήτων από το Lissajous γράφημά τους.

Δοκιμάστε να αλλάξετε το ένα σήμα από ημιτονοειδές σε τετραγωνικό και παρατηρήστε το σχήμα που θα πάρετε.

Δραστηριότητα 4 – Φόρτιση - εκφόρτιση πυκνωτή με παλμογράφο

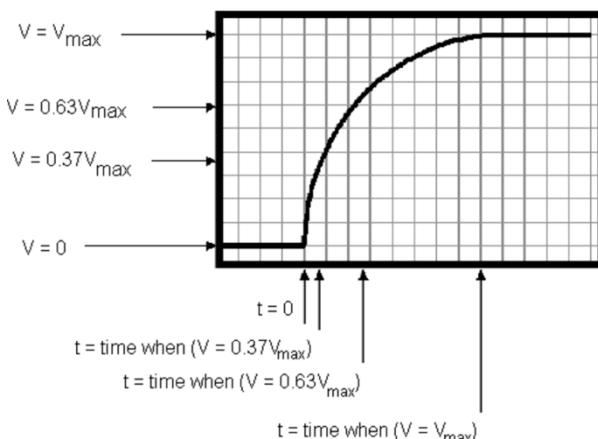
Στο πείραμα αυτό, μία γεννήτρια συχνοτήτων όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.9. Η γεννήτρια συχνοτήτων έχει το αποτέλεσμα του "ανοίγματος και κλεισμάτος του διακόπτη" πολλές φορές κάθε δευτερόλεπτο με τακτικό και επαναλαμβανόμενο τρόπο. Αυτό μας επιτρέπει να χρησιμοποιήσουμε έναν παλμογράφο για να μετρήσουμε την εξάρτηση του χρόνου της τάσης.



Σχήμα 6.9: Κύκλωμα RC με πηγή συχνοτήτων και χρήση παλμογράφου

1. Μετρήστε και καταγράψτε την αντίσταση ($R = 5600\Omega$) του αντιστάτη με το πολύμετρο και την χωρητικότητα ($C = 18 \text{ nF}$) του πυκνωτή.
2. Συνδέστε τη γεννήτρια συχνοτήτων, τον πυκνωτή, τον αντιστάτη και τον παλμογράφο όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.9. Συνδέστε τα καλώδια από τον παλμογράφο έτσι ώστε να μετρούν τη διαφορά δυναμικού στα άκρα του πυκνωτή. Σημειώστε τις συνδέσεις για τα θετικά και αρνητικά καλώδια.

- Pυθμίστε όλα τους διακόπτες του παλμογράφου. Ρυθμίστε τον διακόπτη Οριζόντιας θέσης σε 50 μs/div. Ρυθμίστε τη συχνότητα στη γεννήτρια συχνοτήτων σε περίπου 800Hz και βεβαιωθείτε ότι είναι ρυθμισμένη να παράγει τετραγωνικά κύματα.
- Ενεργοποιήστε τον παλμογράφο και τη γεννήτρια συχνοτήτων. Αυξήστε το πλάτος στη γεννήτρια συχνοτήτων σε περίπου το μισό του μέγιστου. Προσαρμόστε τα κουμπιά (volt/div) και (time/div) στον παλμογράφο μέχρι να δείτε ένα ίχνος που μοιάζει κάπως με το Σχήμα 6.10. Ίσως χρειαστεί να ρυθμίσετε λεπτομερώς την ρύθμιση "LEVEL" για να αποκτήσετε μια καθαρή εικόνα. Βεβαιωθείτε ότι μπορείτε να δείτε το σημείο που αντιστοιχεί στο $t = 0$. Ρυθμίστε το κουμπί κατακόρυφης μετατόπισης στον παλμογράφο και το κουμπί πλάτους στη γεννήτρια συχνοτήτων μέχρι τα μέγιστα και ελάχιστα επίπεδα τάσης του ίχνους να ευθυγραμμιστούν με τις ανώτερες και κατώτερες οριζόντιες γραμμές πλέγματος (γραμματοσειρές) στην οθόνη. Μετατοπίστε την οριζόντια θέση του ίχνους μέχρι η αρχή της καμπύλης φόρτισης ή αποφόρτισης να ευθυγραμμιστεί με μια κάθετη γραμμή πλέγματος. Αυτή η ευθυγράμμιση με τις γραμμές πλέγματος καθιστά πολύ πιο εύκολη την ανάγνωση των μετρήσεων από τον παλμογράφο.



Σχήμα 6.10: Η κυματομορφή της τάσης στα άκρα ενός πυκνωτή που φορτίζεται.

- Χρησιμοποιώντας την αρχή της φθίνουσας καμπύλης ως το σημείο $t = 0$, μετρήστε τον χρόνο που χρειάζεται η τάση του πυκνωτή να φθάσει στο 37% (e^{-1}) της μέγιστης τιμής της την χρονική στιγμή $t = 0$. Εναλλακτικά, μπορείτε να μετρήσετε τον χρόνο που χρειάζεται ο πυκνωτής να φορτιστεί στο 63% της μέγιστης τιμής του. Κάθε μέτρηση δίνει τη σταθερά χρόνου RC για το κύκλωμα.
- Απενεργοποιήστε προσωρινά τη γεννήτρια συχνοτήτων και αφαιρέστε τον αντιστάτη των 5600Ω από το κύκλωμά σας. Προσθέστε επιπλέον αντιστάσεις κάνοντας την αντίσταση του κυκλώματος πολύ μεγαλύτερη ή πολύ μικρότερη από τις 5600Ω. Ενεργοποιήστε ξανά τη γεννήτρια λειτουργιών και παρατηρήστε ξανά το ίχνος στον παλμογράφο. Τώρα αλλάξτε την τιμή της αντίστασης και παρατηρήστε πώς αλλάζει η καμπύλη φόρτισης/εκφόρτισης. Καταγράψτε ποιοτικά τι συμβαίνει όταν κάνετε την R πολύ μεγαλύτερη ή μικρότερη από την αρχική τιμή των 5600Ω.

Ανάλυση

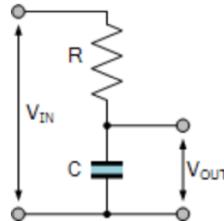
- Κάντε ένα διάγραμμα του $\ln(V_C/V_0)$ ως προς t από τα δεδομένα που πήρατε. Εισάγετε τα δεδομένα χρόνου σε μονάδες δευτερολέπτων.

2. Η εξίσωση για την τάση του πυκνωτή ως συνάρτηση του χρόνου είναι $V_c = V_0 e^{-t/RC}$. Κάντε γραμμική προσαρμογή ελάχιστων τετραγώνων του διαγράμματος σας του $\ln(V_c/V_0)$ ως προς t . Προσδιορίστε τις παραμέτρους που χρησιμοποιήθηκαν στην προσαρμογή με την εξίσωση για τη φθίνουσα εκθετική τάση του πυκνωτή.

RC ως φίλτρο χαμηλών συχνοτήτων και κύκλωμα ολοκλήρωσης

Προσέξτε ότι το κύκλωμα RC του Σχήματος 6.10 που χρησιμοποιούμε, λειτουργεί ουσιαστικά ως διαιρέτης τάσης, εφόσον $V_{out} = V_c = \frac{Z_C}{Z_C + R} V_{in}$ όπου Z_C η αντίσταση που παρουσιάζει ο πυκνωτής στις αλλαγές της τάσης στα άκρα του και επομένως εξαρτάται από τη συχνότητα της πηγής της τάσης. Όταν η συχνότητα της τάσης είναι μηδέν (συνεχές ρεύμα) τότε ο πυκνωτής λειτουργεί σαν διακόπτης και επομένως η αντίστασή του θα πρέπει να είναι άπειρη, Σε αντίθεση σε μεγάλες συχνότητες υπάρχουν συνεχώς αλλαγές στην τάση και επομένως φορτίο είτε εισέρχεται ή εξέρχεται από τον πυκνωτή και επομένως η αντίστασή του είναι μηδενική.

Από την σχέση του διαιρέτη τάσης βλέπουμε ότι ο πυκνωτής για μεγάλες συχνότητες σημάτων $Z_C = 0$ και επομένως η τάση που θα πάρουμε στην έξοδο θα είναι $V_{out} = 0.0V$. ενώ για χαμηλές συχνότητες $Z_C \rightarrow \infty$ και επομένως $V_{out} = V_{in}$. Δηλαδή ο πυκνωτής «κόβει» σήματα μεγάλης συχνότητας και επιτρέπει σήματα χαμηλών συχνοτήτων. Λειτουργεί ως φίλτρο επιλογών χαμηλών συχνοτήτων.



Σχήμα 6. 10: RC κύκλωμα ενός ολοκληρωτή σήματος.

Εφόσον ο πυκνωτής λειτουργεί ως στοιχείο εξαρτώμενο από την συχνότητα του σήματος, η ποσότητα του φορτίου στους οπλισμούς του είναι ίσο με το ολοκλήρωμα του ρεύματος ως προς τον χρόνο:

$$Q(t) = \int I(t) dt$$

Αλλά το ρεύμα του πυκνωτή είναι:

$$I(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = C \frac{dV_C(t)}{dt}$$

Ο ρυθμός με τον οποίο ο πυκνωτής φορτίζει ή εκφορτίζεται εξαρτάται από την αντίσταση R του κυκλώματος και την χωρητικότητά του, C . Η σταθερά του κυκλώματος είναι $\tau = RC$ και αντιστοιχεί σε χρόνο εφόσον:

$$RC = \frac{RQ}{V} = R \frac{I \times T}{I \times R} = T$$

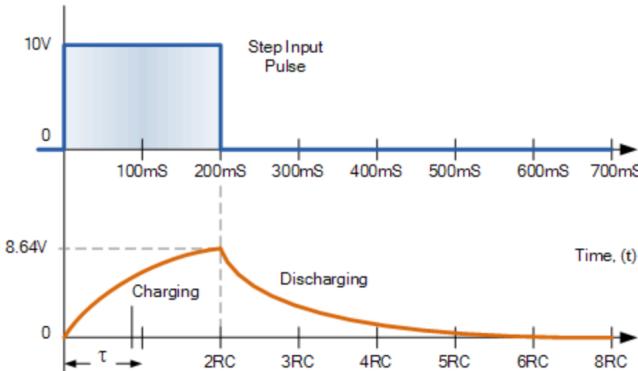
Από την στιγμή που ο πυκνωτής διαρρέεται από το ίδιο ρεύμα που διαρρέει την αντίσταση R ,

$$I(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = C \frac{dV_C(t)}{dt} = \frac{V_R}{R} = \frac{V_{in} - V_C(t)}{R} \Rightarrow \frac{dV_{out}(t)}{V_{in} - V_{out}(t)} = \frac{1}{RC} dt$$

Ολοκλήρωση της τελευταίας θα δώσει:

$$V_{out}(t) = V_{in}(1 - e^{-t/RC})$$

Αν εφαρμόσουμε έναν παλμό πλάτους 10V στην είσοδο με εύρος ίσο $2RC$ τότε η τάση στον πυκνωτή θα μοιάζει όπως στο παρακάτω Σχήμα 6.11

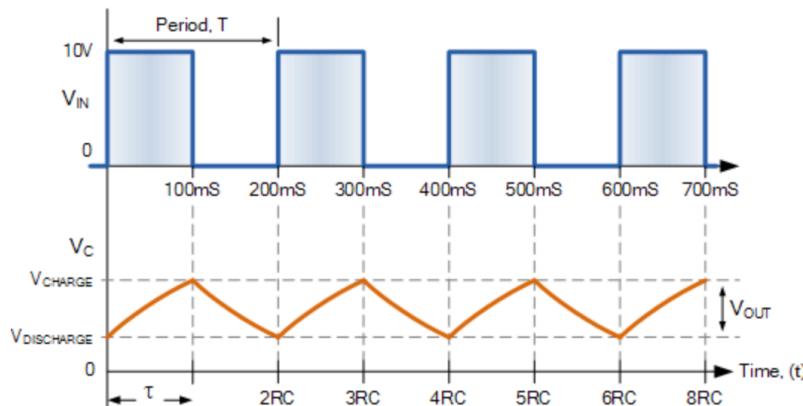


Σχήμα 6.11: Φόρτιση και εκφόρτιση πυκνωτή με σήμα εισόδου τον παλμό που φαίνεται.

Από τη στιγμή που RC είναι σταθερά, οποιαδήποτε διακύμανση του εύρους του παλμού εισόδου θα επηρεάσει την τάση εξόδου. Για παράδειγμα αν το εύρος του παλμού γίνει μεγαλύτερο από $5RC$, τότε η μορφή του σήματος εξόδου θα είναι παρόμοια με αυτή της τάσης εισόδου από τη στιγμή που το σήμα εξόδου αποκτά πλάτος όσο και αυτό της τάσης ανόδου.

Ωστόσο αν το εύρος του παλμού εισόδου ελαττωθεί κάτω από $5RC$, ο πυκνωτής φορτίζεται μόνο μερικώς και δεν θα φθάσει ποτέ στην μέγιστη τιμή της τάσης εισόδου και η τάση εισόδου θα είναι απλά ανάλογη του ολοκληρώματος της τάσης εισόδου.

Αν θεωρήσουμε ένα παλμό με εύρος $1RC$, ο πυκνωτής θα φορτίσει και θα εκφορτιστεί όχι μεταξύ 0 και 10 Volts αλλά μεταξύ 63.2% και 38.7% της τάσης στα άκρα του πυκνωτή τη στιγμή της αλλαγής.



Σχήμα 6.11: Τάση εξόδου στα άκρα του πυκνωτή όταν το εύρος του παλμού είναι 1 RC

Άρα για συνεχή σήμα εισόδου με μορφή παλμών, η έξοδος του κυκλώματος θα περιέχει μια σύντομη αύξηση ακολουθούμενη από ελάττωση της τάσης όπως στο Σχήμα 6.11.

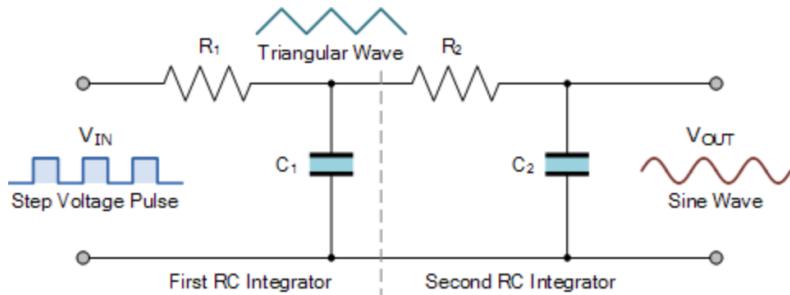
Για να δουλέψει το κύκλωμα σωστά, θα πρέπει η χρονική σταθερά να είναι αρκετά μεγαλύτερη του εύρους του σήματος (συνήθως 10 φορές).

Αυτό σημαίνει ότι το μέγεθος του σήματος εξόδου, που είναι ανάλογο του $1/RC$, θα ελαττωθεί πάρα πολύ. Αυτό είναι λογικό εφόσον ο πυκνωτής έχει πολύ λιγότερο χρόνο για να φορτιστεί και να εκφορτιστεί μεταξύ παλμών αλλά η μέση τιμή της DC τάσης θα αυξηθεί προς το μισό της τάσης εισόδου και για το συγκεκριμένο παράδειγμα αυτό είναι $5V$.

Επομένως περιμένουμε ότι ένα RC κύκλωμα, εξαιτίας των χαρακτηριστικών του πυκνωτή μπορεί να ολοκληρώσει το σήμα εισόδου και να πάρουμε τριγωνικό σήμα από τετραγωνικό παλμό.

Ωστόσο αν εισάγουμε τριγωνικό σήμα τότε το σήμα εξόδου γίνεται ημιτονοειδές εξαιτίας της ολοκλήρωσης του τριγωνικού σήματος κατά τις γραμμικές αυξήσεις και ελαττώσεις. Αυτό μπορούμε να το εξακριβώσουμε εύκολα εισάγοντας έναν τριγωνικό παλμό από την γεννήτρια συχνοτήτων.

Με βάση τα προηγούμενα, ο πιο εύκολος τρόπος παραγωγής ενός καθαρού ημιτονοειδούς σήματος είναι να χρησιμοποιήσουμε δύο διαδοχικά διατάξεις αντίστασης – πυκνωτή ώστε το πρώτο κύκλωμα να μετατρέπει τον τετραγωνικό παλμό σε τριγωνικό και τον τριγωνικό σε ημιτονοειδή σήμα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.12.



Σχήμα 9.12: Παραγωγή ημιτονοειδούς σήματος με τη χρήση 2 RC κυκλωμάτων

Το σήμα εξόδου έχει την ίδια συχνότητα με αυτή του σήματος εισόδου. Να σημειωθεί ότι αν το σήμα εισόδου είναι ημιτονοειδές τότε το κύκλωμα δεν ολοκληρώνει και δεν μετατρέπει το ημιτονοειδές σήμα ωστόσο το κύκλωμα στην περίπτωση αυτή ενεργεί ως φίλτρο χαμηλών συχνοτήτων και αυτό επηρεάζει το πλάτος του ημιτονοειδούς σήματος το οποίο μπορεί να ελαττωθεί αρκετά.