

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΑΘΗΝΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Όνομα: Στάθης Κατσίρης  
Α.Μ.: 06825  
Μάθημα: Ενισχυτικές διατάξεις  
Καθηγητής: Γ. Χλούπης  
Ημερομηνία παράδοσης: 9/2/2018

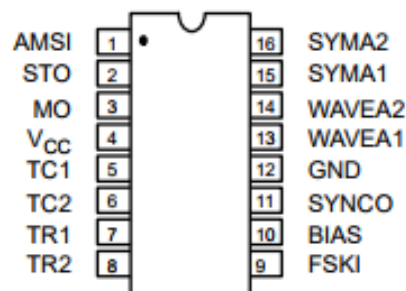
## Τίτλος

Γεννήτρια τετραγωνικού, ημιτονικού και τριγωνικού σήματος.

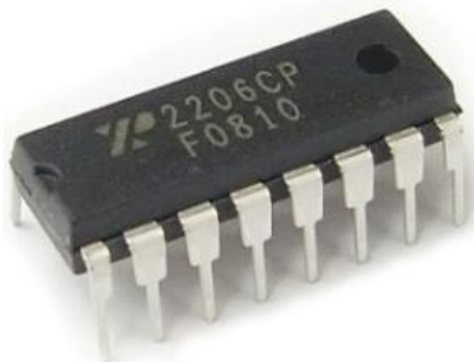
## Εισαγωγή

Το ολοκληρωμένο κύκλωμα (Integrated Circuit – IC) XR2206CP είναι μια γεννήτρια κυματομορφών ικανή να παράγει ημιτονοειδής, τριγωνική και τετραγωνική κυματομορφή. Η συχνότητα αυτών των κυματομορφών μπορεί να μεταβληθεί σε ένα εύρος ίσο με 2000:1. Εκτός όμως από την διαμόρφωση της συχνότητας των κυματομορφών που παράγονται από το XR2206CP μπορεί να μεταβληθεί και το πλάτος αυτών των κυματομορφών με αυτό να κυμαίνεται από κάποια mV έως κάποια V. Το XR2206CP μπορεί να τροφοδοτηθεί είτε με μονή τροφοδοσία τάσης από 10V έως και 26V είτε με συμμετρική τροφοδοσία τάσης από  $\pm 5V$  έως και  $\pm 13V$ . Το XR2206CP χρησιμοποιείται σε διάφορες εφαρμογές όπως σε ενισχυτές ήχου αλλά και σε εφαρμογές στον τομέα των επικοινωνιών και στον τομέα των ψηφιακών συστημάτων. Οι ακροδέκτες του ολοκληρωμένου κυκλώματος XR2206CP φαίνονται στην Εικόνα 1 ενώ το ίδιο το ολοκληρωμένο κύκλωμα φαίνεται στην Εικόνα 2.

XR2206CP



Εικόνα 1: Ακροδέκτες του ολοκληρωμένου κυκλώματος XR2206CP



Εικόνα 2: Ολοκληρωμένο κύκλωμα XR2206CP

## Εργασία

### Εξαρτήματα

Ολοκληρωμένο κύκλωμα: XR2206CP + βάση

Κεραμικοί πυκνωτές: 100nF  
1μF  
47nF  
2,2nF  
100pF

Ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές: 100μF, 16V  
1μF, 63V  
3 × 10μF, 16V

Αντιστάσεις: 10kΩ  
2 × 1kΩ  
5,1kΩ

Ποτενσιόμετρα: γραμμικό ποτενσιόμετρο 10kΩ  
γραμμικό ποτενσιόμετρο 100kΩ  
λογαριθμικό ποτενσιόμετρο 10kΩ

Διακόπτες: διακόπτης ON-OFF τύπου toggle  
περιστρεφόμενος διακόπτης έξι θέσεων

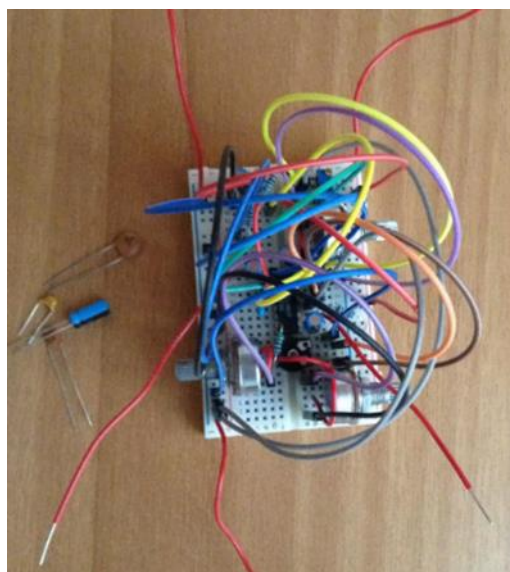
Κλέμμες: κλέμμα πλακέτας 3 ακροδεκτών  
κλέμμα πλακέτας 2 ακροδεκτών

Μεταβλητές αντιστάσεις: τρίμμερ πολύτροφο 20kΩ  
τρίμμερ μονότροφο 500Ω

Πλακέτα: φωτοευαίσθητη πλακέτα μονής όψεως 103mm x 84mm

#### Δοκιμή στο breadboard

Πριν την κατασκευή της πλακέτας τυπωμένου κυκλώματος (Printed Circuit Board – PCB) το κύκλωμα της γεννήτριας κυματομορφών δοκιμάστηκε όπως φαίνεται και από την Εικόνα 3 σε ένα breadboard των 400 οπών.

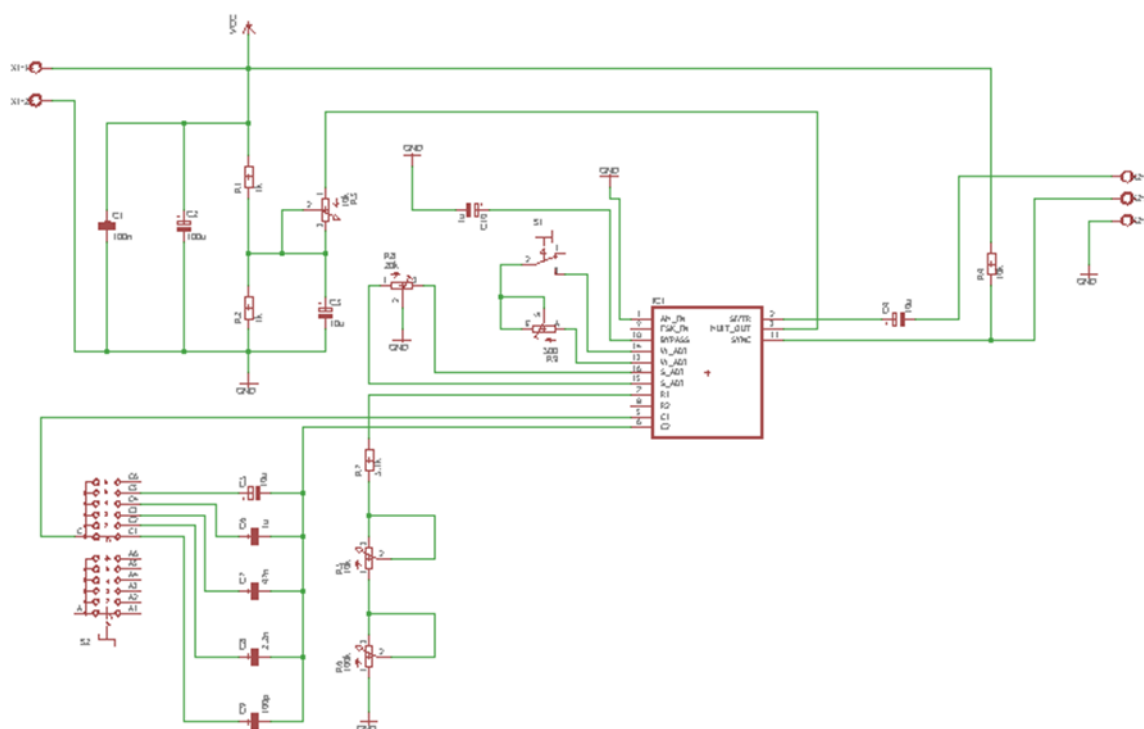


**Εικόνα 3:** Δοκιμή της λειτουργίας του κυκλώματος της γεννήτριας κυματομορφών

## Πλακέτα Τυπωμένου Κυκλώματος

Μόλις διαπιστώθηκε πως το κύκλωμα που υλοποιήθηκε στο breadboard λειτουργεί σωστά το ίδιο κύκλωμα σχεδιάστηκε στο πρόγραμμα Eagle με σκοπό την δημιουργία της “μάσκας” που χρησιμοποιείται στη μέθοδο της φωτολιθογραφίας με βάση την οποία δημιουργήθηκε το PCB της παρούσας εργασίας. Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται για τη μεταφορά του σχεδίου της “μάσκας” πάνω σε ένα υπόστρωμα. Στην προκειμένη περίπτωση το σχέδιο της “μάσκας” πρόκειται για το σχέδιο που δημιουργήθηκε μέσω του προγράμματος Eagle και στο οποίο απεικονίζονται οι συνδέσεις μεταξύ των εξαρτημάτων του κυκλώματος της γεννήτριας κυματομορφών και το υπόστρωμα για το υλικό FR-4 από το οποίο είναι κατασκευασμένο το τελευταίο στρώμα της φωτοευαίσθητης πλακέτας πάνω στην οποία τοποθετήθηκαν τα εξαρτήματα του κυκλώματος της γεννήτριας κυματομορφών. Τα άλλα δυο στρώματα από τα οποία αποτελείται μια φωτοευαίσθητη πλακέτα είναι το φωτοευαίσθητο στρώμα και το στρώμα χαλκού. Η δημιουργία του σχηματικού (schematic) στο πρόγραμμα Eagle ή σε οποιοδήποτε άλλο παρόμοιο πρόγραμμα αν και δεν αποτελεί βασικό στάδιο της δημιουργίας ενός PCB με τη μέθοδο της φωτολιθογραφίας αποτελεί αναγκαίο βήμα για την δημιουργία της πλακέτας (board) και συνεπώς της “μάσκας” που χρησιμοποιείται στην συγκεκριμένη μέθοδο.

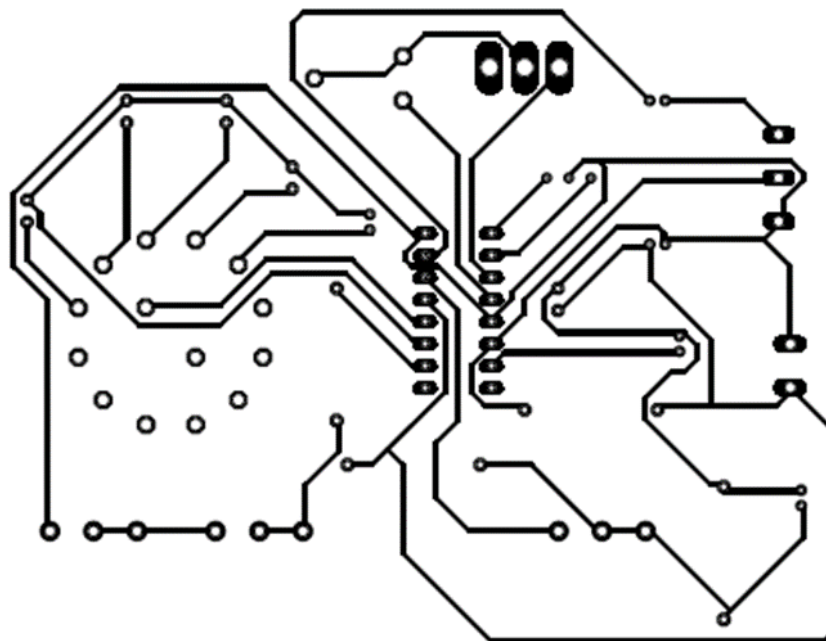
Έτσι αφού υλοποιήθηκε στο πρόγραμμα Eagle το σχηματικό (schematic) του κυκλώματος της γεννήτριας κυματομορφών που φαίνεται στην Εικόνα 4



**Εικόνα 4:** Σχηματικό του κυκλώματος της γεννήτριας κυματομορφών

στην συνέχεια μέσω του ίδιου προγράμματος δημιουργήθηκε η πλακέτα (board) που αντιστοιχεί σε αυτό. Μόλις δημιουργήθηκε και η πλακέτα απενεργοποιήθηκαν από το πρόγραμμα Eagle όλα τα περιττά επίπεδα (layers) αφήνοντας μόνο το επίπεδο Top και το επίπεδο Pads καθώς στην προκειμένη περίπτωση μόνο αυτά θα πρέπει να είναι ορατά για την δημιουργία της “μάσκας”. Η δημιουργία της “μάσκας” από την άλλη απαιτεί αρκετή προσοχή καθώς η ποιότητά της καθορίζει σε μεγάλο βαθμό και την ποιότητα του PCB. Για την δημιουργία της “μάσκας” το σχέδιο της πλακέτας εκτυπώθηκε σε ένα φύλλο διαφάνειας με τέτοιον τρόπο ώστε όταν η “μάσκα”

τοποθετηθεί πάνω από την φωτοευαίσθητη πλακέτα τα σημεία της τελευταίας στα οποία θέλουμε να υπάρχει χαλκός να καλύπτονται από σημεία της “μάσκας” που να μην επιτρέπουν την αντίδραση του φωτοευαίσθητου στρώματος με την υπεριώδη ακτινοβολία και τα σημεία στα οποία δεν θέλουμε να υπάρχει χαλκός να εκτίθενται ελεύθερα σε αυτήν. Στην περίπτωση της γεννήτριας κυματομορφών που υλοποιήθηκε στην παρούσα εργασία το σχέδιο της πλακέτας που εκτυπώθηκε και χρησιμοποιήθηκε ως “μάσκα” φαίνεται στην Εικόνα 5.



**Εικόνα 5:** “Μάσκα” του κυκλώματος της γεννήτριας κυματομορφών

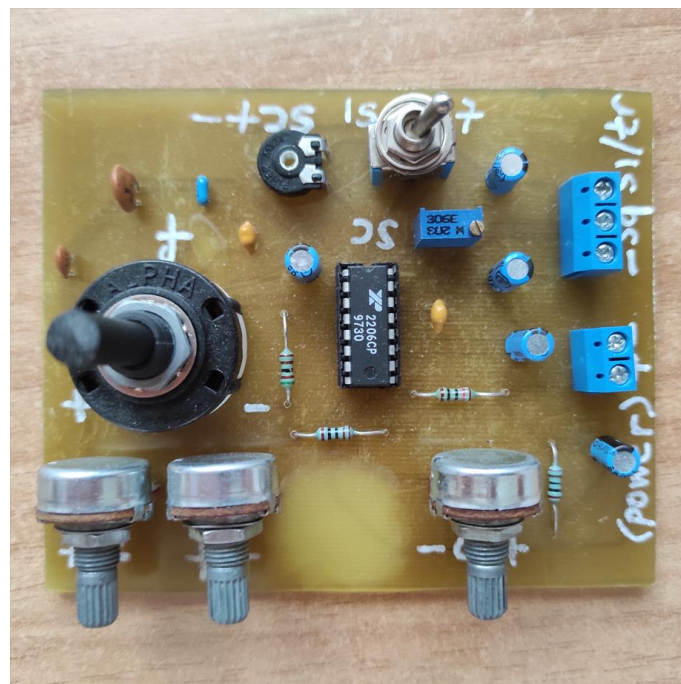
Μετά από την δημιουργία της “μάσκας” το αυτοκόλλητο της φωτοευαίσθητης πλακέτας αφαιρέθηκε και η “μάσκα” τοποθετήθηκε κατευθείαν πάνω σε αυτήν. Στην συνέχεια η φωτοευαίσθητη πλακέτα μαζί με την “μάσκα” τοποθετήθηκαν μέσα σε έναν θάλαμο υπεριώδους έκθεσης προκειμένου η φωτοευαίσθητη πλακέτα να εκτεθεί για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα σε υπεριώδη ακτινοβολία. Στην συνέχεια η φωτοευαίσθητη πλακέτα τοποθετήθηκε μέσα σε ένα δοχείο και καλύφθηκε με ένα διάλυμα καυστικής σόδας ( $\text{NaOH}$ ). Μετά από επαναλαμβανόμενες κινήσεις του δοχείου προς τα δεξιά και στην συνέχεια προς τα αριστερά προκειμένου η διαδικασία της εμφάνισης του σχεδίου πάνω στην φωτοευαίσθητη πλακέτα να ολοκληρωθεί πιο γρήγορα η τελευταία ξεπλύθηκε με απιονισμένο νερό. Μετά από το στάδιο της εμφάνισης ακολούθησε το στάδιο της αποχάλκωσης δηλαδή το στάδιο της αφαίρεσης του στρώματος χαλκού από τα σημεία της επιφάνειας της φωτοευαίσθητης πλακέτας που εκτέθηκαν προηγουμένως στην υπεριώδη ακτινοβολία. Έτσι η φωτοευαίσθητη πλακέτα τοποθετήθηκε μέσα σε ένα δοχείο και καλύφθηκε με ένα διάλυμα τριχλωριούχου σιδήρου ( $\text{FeCl}_3$ ). Αφού εκτελέστηκε η ίδια διαδικασία που εκτελέστηκε για πιο γρήγορα αποτελέσματα και στο στάδιο της εμφάνισης η φωτοευαίσθητη πλακέτα ξεπλύθηκε με απιονισμένο νερό. Χρησιμοποιώντας ένα ηλεκτρικό περιστροφικό πολυεργαλείο δημιουργήθηκαν στην συνέχεια οι οπές της φωτοευαίσθητης πλακέτας που προορίζονται για τα εξαρτήματα Through-Hole όπως είναι τα εξαρτήματα της γεννήτριας κυματομορφών που υλοποιήθηκε στην παρούσα εργασία. Ένα επιπλέον στάδιο της δημιουργίας μιας πλακέτας τυπωμένου κυκλώματος με τη μέθοδο της φωτολιθογραφίας είναι η επικασιτίρωση της φωτοευαίσθητης πλακέτας. Έτσι μόλις δημιουργηθούν οι οπές που ορίζονται από τα

Pads των εξαρτημάτων η φωτοευαίσθητη πλακέτα αλείφεται με πάστα που περιέχει 97% κασσίτερο και 3% χαλκό και η πλακέτα στην συνέχεια θερμαίνεται με πιστόλι θερμού αέρα και καθορίζεται με απιονισμένο νερό. Στην προκειμένη περίπτωση το στάδιο αυτό παραλείφθηκε και έτσι η φωτοευαίσθητη πλακέτα καθαρίστηκε με ακετόνη και τα εξαρτήματα της γεννήτριας κυματομορφών τοποθετήθηκαν πάνω σε αυτήν. Για την τοποθέτηση των εξαρτημάτων πάνω στην φωτοευαίσθητη πλακέτα χρησιμοποιήθηκε καλά και κολλητήρι.

Προφανώς μετά από την ολοκλήρωση του κάθε σταδίου από αυτά που αναφέρθηκαν παραπάνω πραγματοποιήθηκε ο έλεγχος τόσο του σχεδίου της “μάσκας” όσο και του σχεδίου της φωτοευαίσθητης πλακέτας μετά από την διαδικασία της εμφάνισης και της αποχάλκωσης για τυχόν ασυνέχειες ή κενά εντός των γραμμών (traces) του. Για την αποφυγή των παραπάνω προβλημάτων δημιουργούνται συνήθως πολλά αντίγραφα της “μάσκας” και το κάθε ένα από αυτά τοποθετείται πάνω στο άλλο και όλα μαζί πάνω στην φωτοευαίσθητη πλακέτα ενώ κάθε φορά που η πλακέτα τοποθετείται μέσα σε κάποιο χημικό διάλυμα πραγματοποιείται ένας τακτικός έλεγχος της κατάστασης της φωτοευαίσθητης πλακέτας χωρίς αυτή να παραμένει μέσα σε αυτό για περισσότερο χρόνο από ότι χρειάζεται.

### Κατασκευή

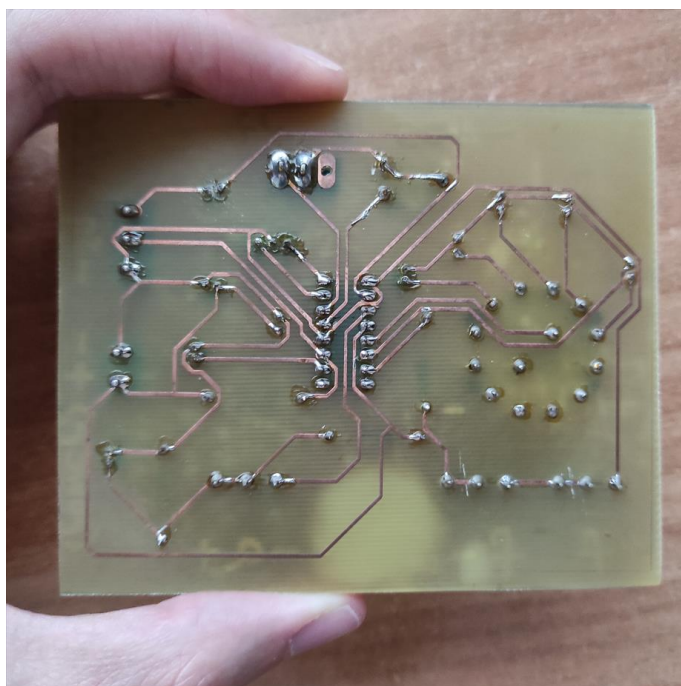
Η πάνω όψη της πλακέτας τυπωμένου κυκλώματος που υλοποιήθηκε στην παρούσα εργασία φαίνεται στην Εικόνα 6



**Εικόνα 6:** Πάνω όψη της πλακέτας τυπωμένου κυκλώματος

ενώ η κάτω όψη αυτής φαίνεται στην Εικόνα 7.





**Εικόνα 7:** Κάτω όψη της πλακέτας τυπωμένου κυκλώματος

### Λειτουργία

Όπως φαίνεται και από τις παραπάνω Εικόνες η γεννήτρια κυματομορφών που υλοποιήθηκε στην παρούσα εργασία αποτελείται από αρκετά εξαρτήματα. Με τα δυο ποτενσιόμετρα που βρίσκονται αριστερά (τα ποτενσιόμετρα με την σήμανση f) καθώς και με τον περιστροφικό διακόπτη ελέγχεται η συχνότητα του σήματος είτε αυτό αντιστοιχεί σε ημιτονοειδής, είτε σε τριγωνική είτε σε τετραγωνική κυματομορφή ενώ με το ποτενσιόμετρο που βρίσκεται δεξιά (το ποτενσιόμετρο με την σήμανση a) ελέγχεται το πλάτος του σήματος που αντιστοιχεί είτε σε ημιτονοειδής είτε σε τριγωνική κυματομορφή.

Σχετικά με τις άλλες δυο μεταβλητές αντιστάσεις δηλαδή με το τρίμμερ των 500Ω και με το τρίμμερ των 20kΩ αυτά χρησιμοποιούνται για την βελτίωση της μορφής του σήματος που αντιστοιχεί σε ημιτονοειδή και σε τριγωνική κυματομορφή αντίστοιχα.

Για την αξιοποίηση του σήματος που αντιστοιχεί είτε σε ημιτονοειδής είτε σε τριγωνική κυματομορφή χρησιμοποιείται ο ακροδέκτης της κλέμματος τριών ακροδεκτών με την σήμανση si/tr και ο ακροδέκτης της κλέμματος τριών ακροδεκτών με την σήμανση -. Αντίθετα για την αξιοποίηση του σήματος που αντιστοιχεί σε τετραγωνική κυματομορφή χρησιμοποιείται ο ακροδέκτης της κλέμματος τριών ακροδεκτών με την σήμανση sq και ο ακροδέκτης της κλέμματος τριών ακροδεκτών με την σήμανση -.

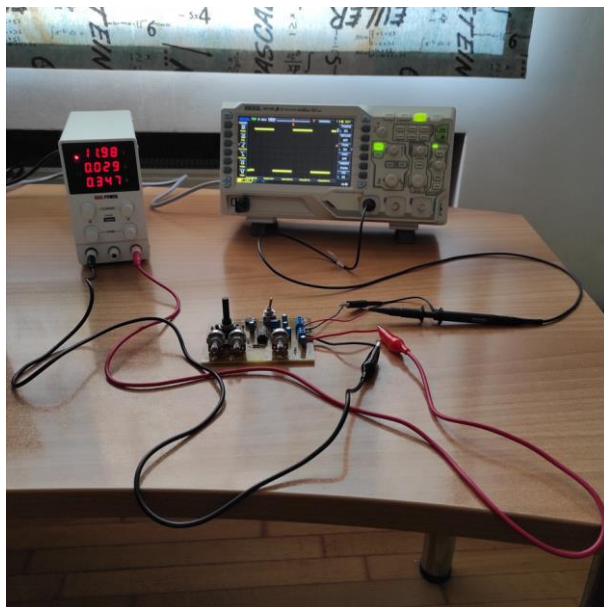
Για την εναλλαγή από ημιτονικό σε τριγωνικό σήμα και το αντίστροφο χρησιμοποιείται ο διακόπτης ON-OFF καθώς όπως αναφέρθηκε προηγουμένως το σήμα που αντιστοιχεί σε ημιτονοειδής κυματομορφή μοιράζεται τους ίδιους ακροδέκτες της κλέμματος τριών ακροδεκτών με το σήμα που αντιστοιχεί σε τριγωνική κυματομορφή. Έτσι όταν ο διακόπτης ON-OFF βρίσκεται στην δεξιά θέση το σήμα που εμφανίζεται στους ακροδέκτες si/tr και - της κλέμματος τριών ακροδεκτών αντιστοιχεί σε τριγωνική κυματομορφή ενώ όταν ο ίδιος διακόπτης βρίσκεται στην αριστερή θέση το σήμα που εμφανίζεται στους ίδιους ακροδέκτες της κλέμματος τριών ακροδεκτών αντιστοιχεί σε ημιτονοειδής κυματομορφή.

## Μετρήσεις

Οι παρακάτω Εικόνες απεικονίζουν τα τρία σήματα που παράγονται από την γεννήτρια κυματομορφών όταν αυτή τροφοδοτείται με συνεχή τάση των 12V.

### 1) Τετραγωνικό σήμα

Για τη μέτρηση των χαρακτηριστικών του τετραγωνικού σήματος που παράγεται από την γεννήτρια κυματομορφών χρησιμοποιήθηκε ένας παλμογράφος και ένα τροφοδοτικό πάγκου και τα όργανα αυτά συνδέθηκαν με την γεννήτρια κυματομορφών όπως φαίνεται στην Εικόνα 8.



**Εικόνα 8:** Απεικόνιση του τετραγωνικού σήματος

Όταν ο περιστροφικός διακόπτης βρίσκεται στην δεύτερη θέση με την θέση τέρμα δεξιά (η θέση με την σήμανση -) να είναι η πρώτη θέση και με την θέση τέρμα αριστερά (η θέση με την σήμανση +) η έκτη θέση του διακόπτη η συχνότητα του τετραγωνικού σήματος ρυθμίζεται μέσω του ποτενσιόμετρου 1 (το ποτενσιόμετρο τέρμα αριστερά) και του ποτενσιόμετρου 2 (το μεσαίο ποτενσιόμετρο). Στην περίπτωση αυτή η συχνότητα του τετραγωνικού σήματος μπορεί να ρυθμιστεί από τα 933mHz μέχρι τα 19,2Hz. Το τετραγωνικό σήμα συχνότητας 933mHz και το τετραγωνικό σήμα συχνότητας 19,2Hz φαίνονται στις Εικόνες 9 και 10 αντίστοιχα. Για την παραγωγή του τετραγωνικού σήματος που φαίνεται στην Εικόνα 9 το ποτενσιόμετρο 1 καθώς και το ποτενσιόμετρο 2 τοποθετούνται στην μια από τις δυο ακραίες τους θέσεις (θέση τέρμα δεξιά) ενώ για την παραγωγή του τετραγωνικού σήματος που φαίνεται στην Εικόνα 10 το ποτενσιόμετρο 1 αλλά και το ποτενσιόμετρο 2 τοποθετούνται στην άλλη ακραία τους θέση (θέση τέρμα αριστερά).



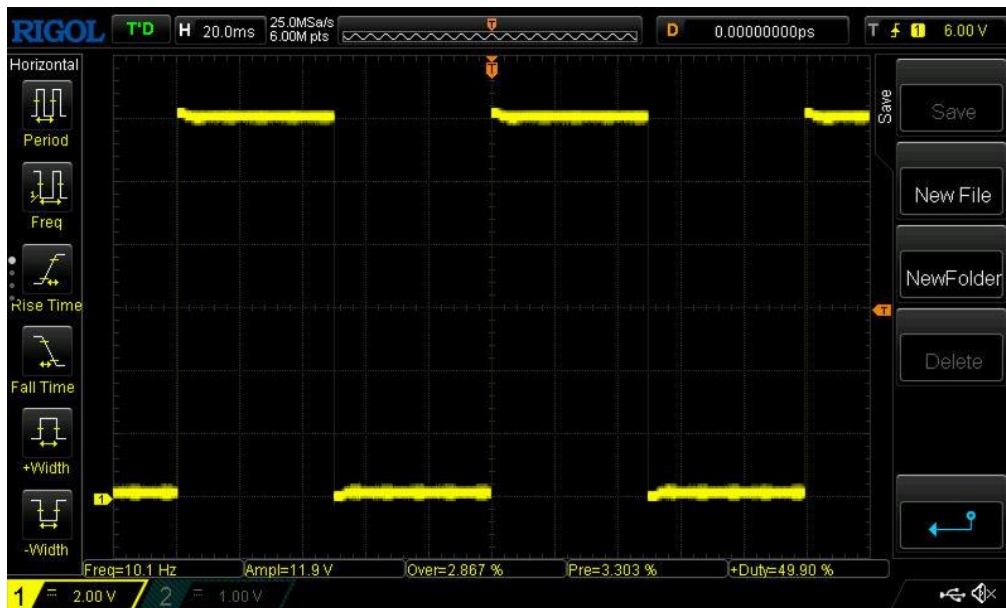


**Εικόνα 9:** Τετραγωνικό σήμα συχνότητας 933mHz



**Εικόνα 10:** Τετραγωνικό σήμα συχνότητας 19,2Hz

Όταν ο περιστροφικός διακόπτης βρίσκεται στην τρίτη θέση η συχνότητα του τετραγωνικού σήματος μπορεί να ρυθμιστεί από τα 10,1Hz μέχρι τα 200Hz. Για την ρύθμιση της συχνότητας του τετραγωνικού σήματος χρησιμοποιούνται όπως και στην προηγούμενη περίπτωση το ποτενσιόμετρο 1 και το ποτενσιόμετρο 2. Έτσι τοποθετώντας κάθε ένα από αυτά τα ποτενσιόμετρα στην θέση τέρμα δεξιά η συχνότητα του τετραγωνικού σήματος ρυθμίζεται στα 10,1Hz (Εικόνα 11) ενώ τοποθετώντας κάθε ένα από τα ποτενσιόμετρα 1 και 2 στην θέση τέρμα αριστερά η συχνότητα του τετραγωνικού σήματος ρυθμίζεται στα 200Hz (Εικόνα 12).



**Εικόνα 11:** Τετραγωνικό σήμα συχνότητας 10,1Hz



**Εικόνα 12:** Τετραγωνικό σήμα συχνότητας 200Hz

Όταν ο περιστροφικός διακόπτης βρίσκεται στην τέταρτη θέση η συχνότητα του τετραγωνικού σήματος μπορεί να ρυθμιστεί από τα 225Hz μέχρι τα 4,47kHz. Για την ρύθμιση της συχνότητας του τετραγωνικού σήματος χρησιμοποιούνται όπως και στις προηγούμενες δυο περιπτώσεις το ποτενσιόμετρο 1 και το ποτενσιόμετρο 2. Έτσι τοποθετώντας κάθε ένα από αυτά τα ποτενσιόμετρα στην θέση τέρμα δεξιά η συχνότητα του τετραγωνικού σήματος ρυθμίζεται στα 225Hz (Εικόνα 13) ενώ τοποθετώντας κάθε ένα από τα ποτενσιόμετρα 1 και 2 στην θέση τέρμα αριστερά η συχνότητα του τετραγωνικού σήματος ρυθμίζεται στα 4,47kHz (Εικόνα 14).



**Εικόνα 13:** Τετραγωνικό σήμα συχνότητας 225Hz

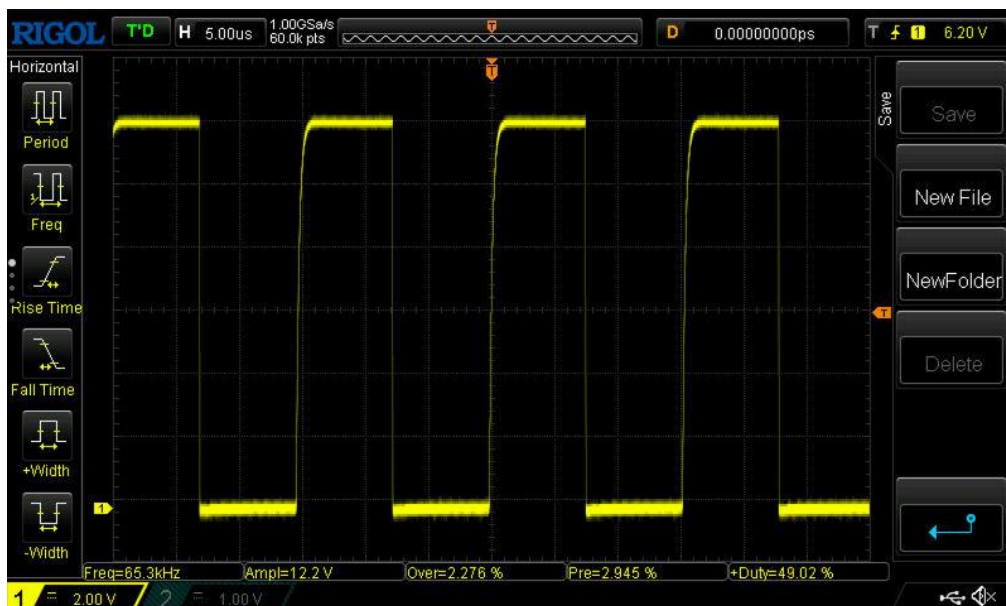


**Εικόνα 14:** Τετραγωνικό σήμα συχνότητας 4,47kHz

Όταν ο περιστροφικός διακόπτης βρίσκεται στην πέμπτη θέση η συχνότητα του τετραγωνικού σήματος μπορεί να ρυθμιστεί από τα 3,37kHz μέχρι τα 65,3kHz. Για την ρύθμιση της συχνότητας του τετραγωνικού σήματος χρησιμοποιούνται όπως και στις προηγούμενες τρεις περιπτώσεις το ποτενσιόμετρο 1 και το ποτενσιόμετρο 2. Έτσι τοποθετώντας κάθε ένα από αυτά τα ποτενσιόμετρα στην θέση τέρμα δεξιά η συχνότητα του τετραγωνικού σήματος ρυθμίζεται στα 3,37kHz (Εικόνα 15) ενώ τοποθετώντας κάθε ένα από τα ποτενσιόμετρα 1 και 2 στην θέση τέρμα αριστερά η συχνότητα του τετραγωνικού σήματος ρυθμίζεται στα 65,3kHz (Εικόνα 16).



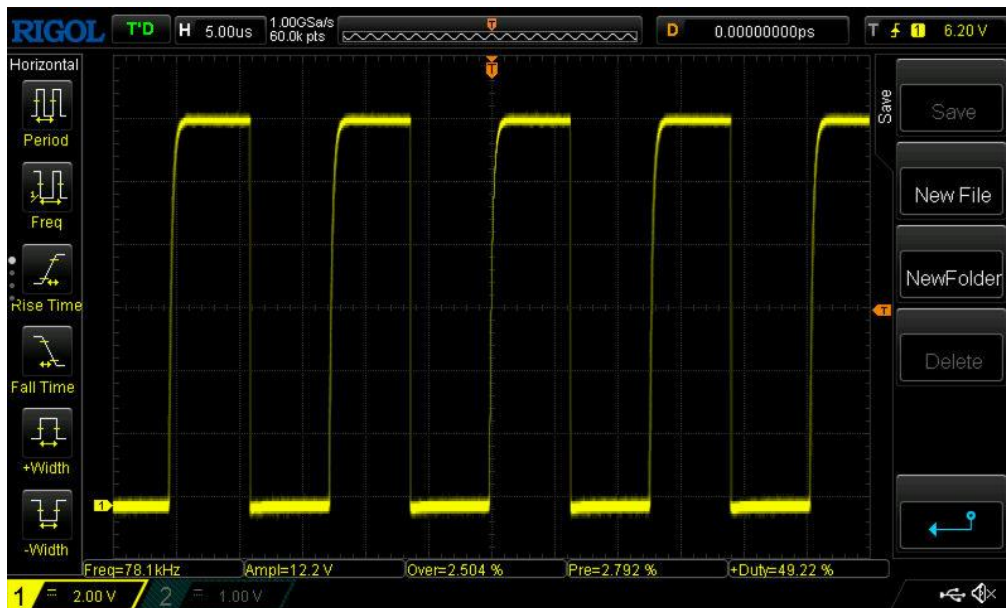
**Εικόνα 15:** Τετραγωνικό σήμα συχνότητας 3,37kHz



**Εικόνα 16:** Παραμορφωμένο τετραγωνικό σήμα συχνότητας 65,3kHz

Τέλος όταν ο περιστροφικός διακόπτης βρίσκεται στην έκτη θέση η συχνότητα του τετραγωνικού σήματος μπορεί να ρυθμιστεί από τα 78,1kHz μέχρι τα 1,19MHz. Για την ρύθμιση της συχνότητας του τετραγωνικού σήματος χρησιμοποιούνται όπως και στις προηγούμενες τέσσερις περιπτώσεις το ποτενσιόμετρο 1 και το ποτενσιόμετρο 2. Έτσι τοποθετώντας κάθε ένα από αυτά τα ποτενσιόμετρα στην θέση τέρμα δεξιά η συχνότητα του τετραγωνικού σήματος ρυθμίζεται στα 78,1kHz (Εικόνα 17) ενώ τοποθετώντας κάθε ένα από τα ποτενσιόμετρα 1 και 2 στην θέση τέρμα αριστερά η συχνότητα του τετραγωνικού σήματος ρυθμίζεται στα 1,19MHz (Εικόνα 18).





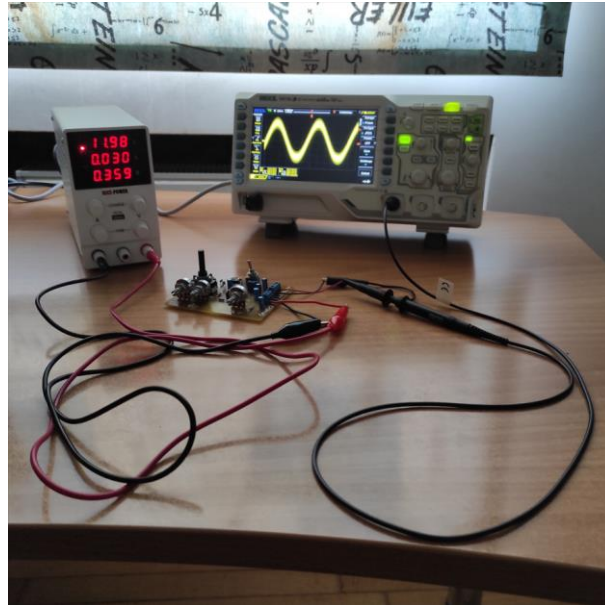
**Εικόνα 17:** Παραμορφωμένο τετραγωνικό σήμα συχνότητας 78,1kHz



**Εικόνα 18:** Αρκετά παραμορφωμένο τετραγωνικό σήμα συχνότητας 1,19MHz

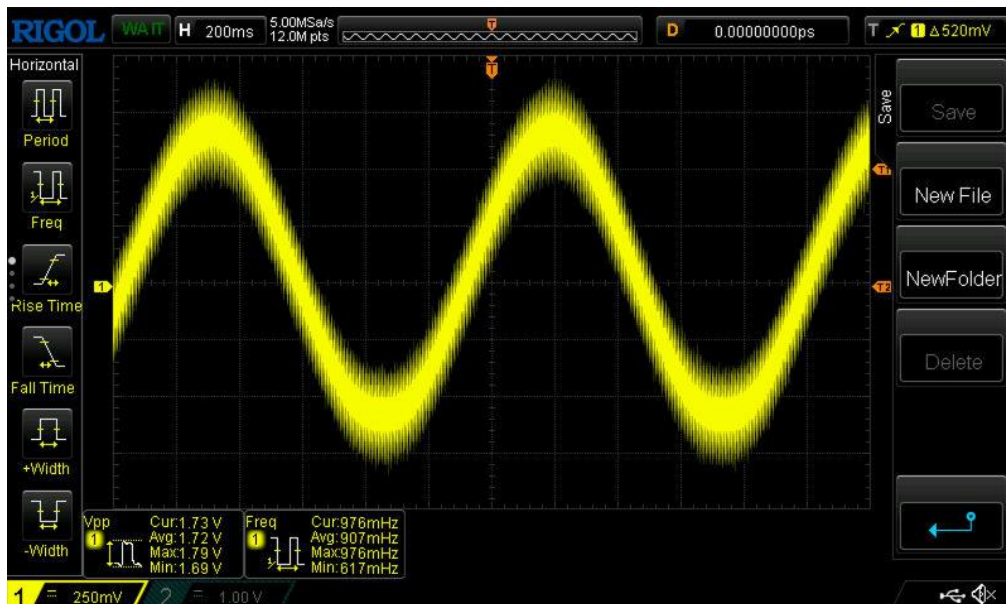
## 2) Ημιτονικό σήμα

Για τη μέτρηση των χαρακτηριστικών του ημιτονικού σήματος που παράγεται από την γεννήτρια κυματομορφών χρησιμοποιήθηκε όπως και στην περίπτωση του τετραγωνικού σήματος ένας παλμογράφος και ένα τροφοδοτικό πάγκου και τα όργανα αυτά συνδέθηκαν με την γεννήτρια κυματομορφών όπως φαίνεται στην Εικόνα 19.



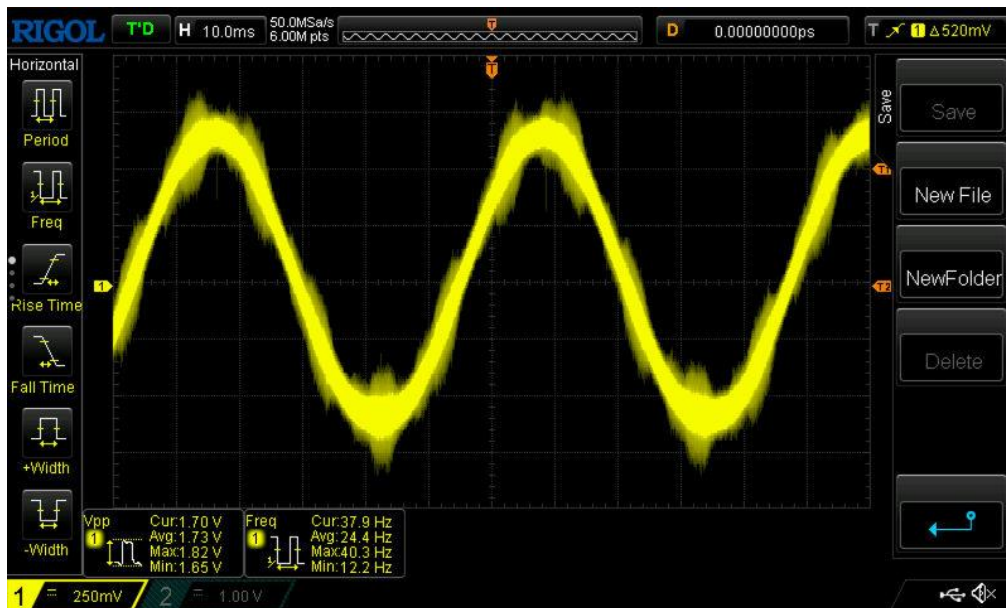
**Εικόνα 19:** Απεικόνιση του ημιτονικού σήματος

Όταν ο περιστροφικός διακόπτης βρίσκεται στην δεύτερη θέση η συχνότητα του ημιτονικού σήματος ρυθμίζεται όπως και στην περίπτωση του τετραγωνικού σήματος μέσω του ποτενσιομέτρου 1 και του ποτενσιομέτρου 2. Στην περίπτωση αυτή η συχνότητα του ημιτονικού σήματος μπορεί να ρυθμιστεί από τα 907mHz μέχρι τα 24,4Hz. Το ημιτονικό σήμα συχνότητας 907mHz και το ημιτονικό σήμα συχνότητας 24,4Hz φαίνονται στις Εικόνες 20 και 21 αντίστοιχα. Για την παραγωγή του ημιτονικού σήματος που φαίνεται σε κάθε μια από αυτές τις Εικόνες το ποτενσιόμετρο 1 και το ποτενσιόμετρο 2 τοποθετούνται με την ίδια λογική που τοποθετούνται και στην περίπτωση του τετραγωνικού σήματος.



**Εικόνα 20:** Ημιτονικό σήμα συχνότητας 907mHz





**Εικόνα 21:** Ημιτονικό σήμα συχνότητας 24,4Hz

Όταν ο περιστροφικός διακόπτης βρίσκεται στην τρίτη θέση η συχνότητα του ημιτονικού σήματος ρυθμίζεται όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις μέσω του ποτενσιομέτρου 1 και του ποτενσιομέτρου 2. Στην περίπτωση αυτή η συχνότητα του ημιτονικού σήματος μπορεί να ρυθμιστεί από τα 13,3Hz μέχρι τα 259Hz. Το ημιτονικό σήμα συχνότητας 13,3Hz και το ημιτονικό σήμα συχνότητας 259Hz φαίνονται στις Εικόνες 22 και 23 αντίστοιχα. Για την παραγωγή του ημιτονικού σήματος που φαίνεται σε κάθε μια από αυτές τις Εικόνες το ποτενσιόμετρο 1 και το ποτενσιόμετρο 2 τοποθετούνται με την ίδια λογική που τοποθετούνται και στις προηγούμενες περιπτώσεις.



**Εικόνα 22:** Ημιτονικό σήμα συχνότητας 13,3Hz

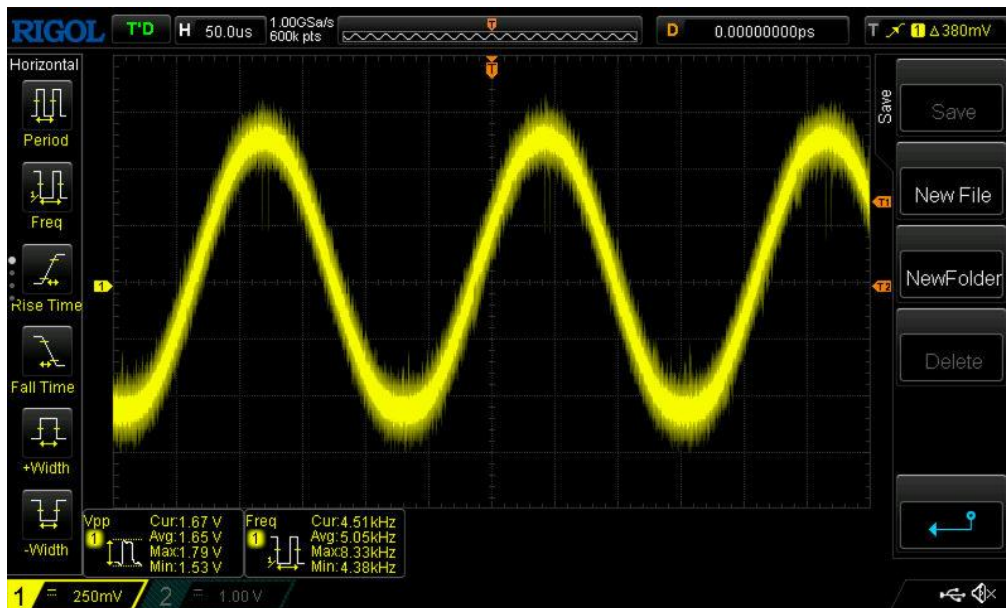


**Εικόνα 23:** Ημιτονικό σήμα συχνότητας 259Hz

Όταν ο περιστροφικός διακόπτης βρίσκεται στην τέταρτη θέση η συχνότητα του ημιτονικού σήματος ρυθμίζεται όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις μέσω του ποτενσιομέτρου 1 και του ποτενσιομέτρου 2. Στην περίπτωση αυτή η συχνότητα του ημιτονικού σήματος μπορεί να ρυθμιστεί από τα 288Hz μέχρι τα 5,05kHz. Το ημιτονικό σήμα συχνότητας 288Hz και το ημιτονικό σήμα συχνότητας 5,05kHz φαίνονται στις Εικόνες 24 και 25 αντίστοιχα. Για την παραγωγή του ημιτονικού σήματος που φαίνεται σε κάθε μια από αυτές τις Εικόνες το ποτενσιόμετρο 1 και το ποτενσιόμετρο 2 τοποθετούνται με την ίδια λογική που τοποθετούνται και στις προηγούμενες περιπτώσεις.

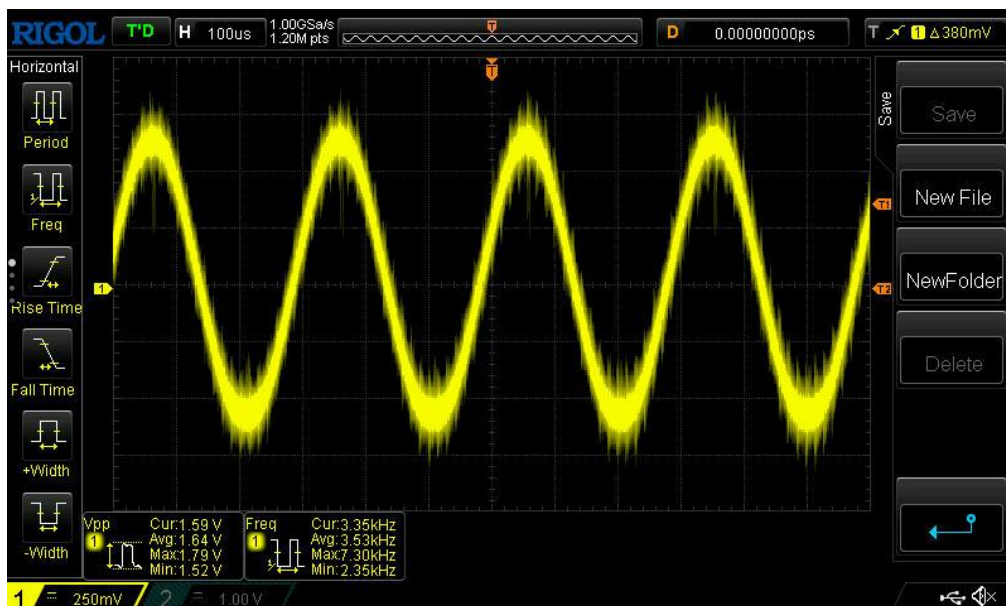


**Εικόνα 24:** Ημιτονικό σήμα συχνότητας 288Hz



**Εικόνα 25:** Ημιτονικό σήμα συχνότητας 5,05kHz

Όταν ο περιστροφικός διακόπτης βρίσκεται στην πέμπτη θέση η συχνότητα του ημιτονικού σήματος ρυθμίζεται όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις μέσω του ποτενσιομέτρου 1 και του ποτενσιομέτρου 2. Στην περίπτωση αυτή η συχνότητα του ημιτονικού σήματος μπορεί να ρυθμιστεί από τα 3,53kHz μέχρι τα 65,5kHz. Το ημιτονικό σήμα συχνότητας 3,53kHz και το ημιτονικό σήμα συχνότητας 65,5kHz φαίνονται στις Εικόνες 26 και 27 αντίστοιχα. Για την παραγωγή του ημιτονικού σήματος που φαίνεται σε κάθε μια από αυτές τις Εικόνες το ποτενσιόμετρο 1 και το ποτενσιόμετρο 2 τοποθετούνται με την ίδια λογική που τοποθετούνται και στις προηγούμενες περιπτώσεις.



**Εικόνα 26:** Ημιτονικό σήμα συχνότητας 3,53kHz



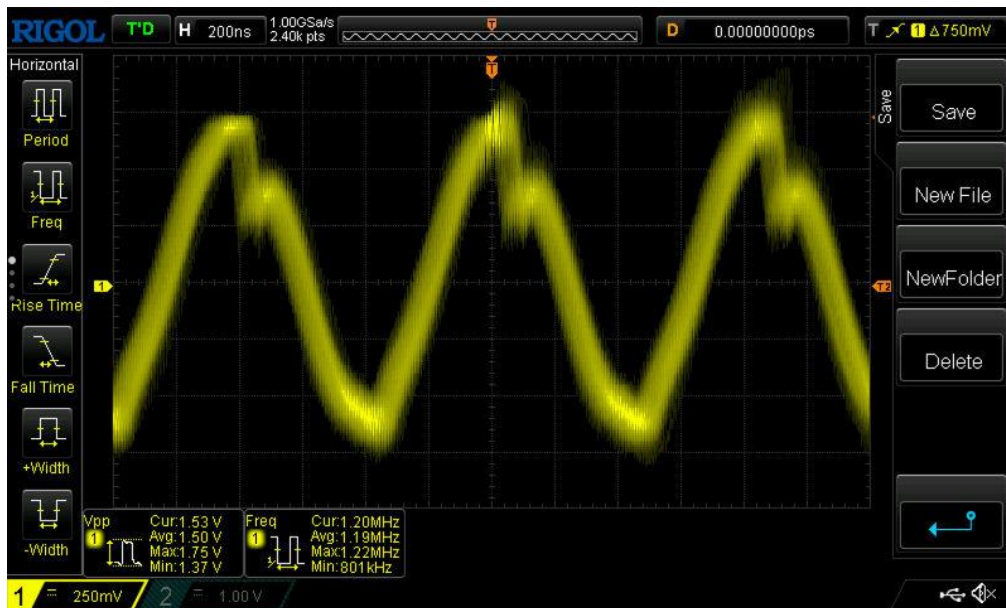


**Εικόνα 27:** Παραμορφωμένο ημιτονικό σήμα συχνότητας 65,5kHz

Τέλος όταν ο περιστροφικός διακόπτης βρίσκεται στην έκτη θέση η συχνότητα του ημιτονικού σήματος ρυθμίζεται όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις μέσω του ποτενσιομέτρου 1 και του ποτενσιομέτρου 2. Στην περίπτωση αυτή η συχνότητα του ημιτονικού σήματος μπορεί να ρυθμιστεί από τα 78,4kHz μέχρι τα 1,19MHz. Το ημιτονικό σήμα συχνότητας 78,4kHz και το ημιτονικό σήμα συχνότητας 1,19MHz φαίνονται στις Εικόνες 28 και 29 αντίστοιχα. Για την παραγωγή του ημιτονικού σήματος που φαίνεται σε κάθε μια από αυτές τις Εικόνες το ποτενσιόμετρο 1 και το ποτενσιόμετρο 2 τοποθετούνται με την ίδια λογική που τοποθετούνται και στις προηγούμενες περιπτώσεις.



**Εικόνα 28:** Παραμορφωμένο ημιτονικό σήμα συχνότητας 78,4kHz

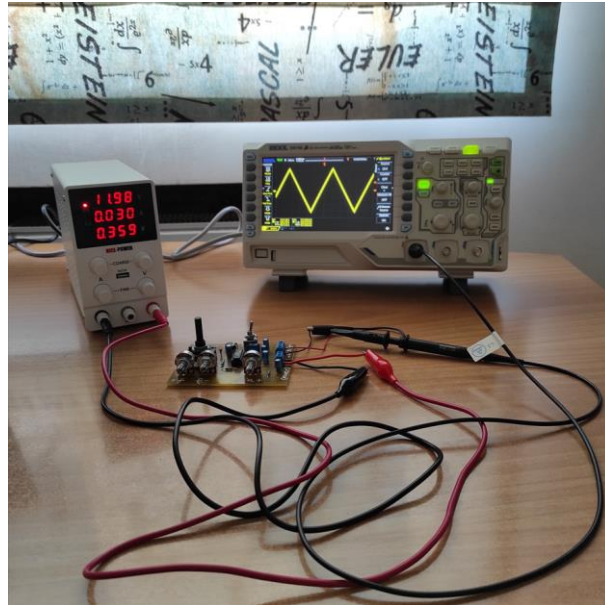


**Εικόνα 29:** Παραμορφωμένο ημιτονικό σήμα συχνότητας 1,19MHz

Για την παραγωγή όλων των παραπάνω σημάτων (τα σήματα που αντιστοιχούν σε ημιτονοειδή κυματομορφή) εκτός από τον περιστροφικό διακόπτη και τα δυο ποτενσιόμετρα (τα ποτενσιόμετρα 1 και 2) χρησιμοποιήθηκε επίσης το ποτενσιόμετρο 3 (το ποτενσιόμετρο τέρμα δεξιά), τα δυο τρίμμερ και ο διακόπτης ON-OFF. Αναλυτικά το ποτενσιόμετρο 3 τοποθετήθηκε στην θέση τέρμα δεξιά έτσι ώστε το ημιτονικό σήμα που φαίνεται σε κάθε μια από τις παραπάνω Εικόνες να έχει το μέγιστο πλάτος ενώ τα δυο τρίμμερ τοποθετήθηκαν στις κατάλληλες θέσεις προκειμένου το σήμα που απεικονίζεται σε κάθε μια από αυτές να μοιάζει όσο το δυνατόν περισσότερο με ένα ημιτονικό σήμα. Ο διακόπτης ON-OFF από την άλλη τοποθετήθηκε στην αριστερή θέση. Τοποθετώντας το ποτενσιόμετρο 3 στην άλλη ακραία του θέση δηλαδή στην θέση τέρμα αριστερά το πλάτος του ημιτονικού σήματος ανεξαρτήτως της συχνότητάς του παίρνει την μικρότερη τιμή του. Σε αυτήν την περίπτωση το πλάτος του ημιτονικού σήματος που παράγεται από την γεννήτρια κυματομορφών είναι της τάξης των mV.

### 3) Τριγωνικό σήμα

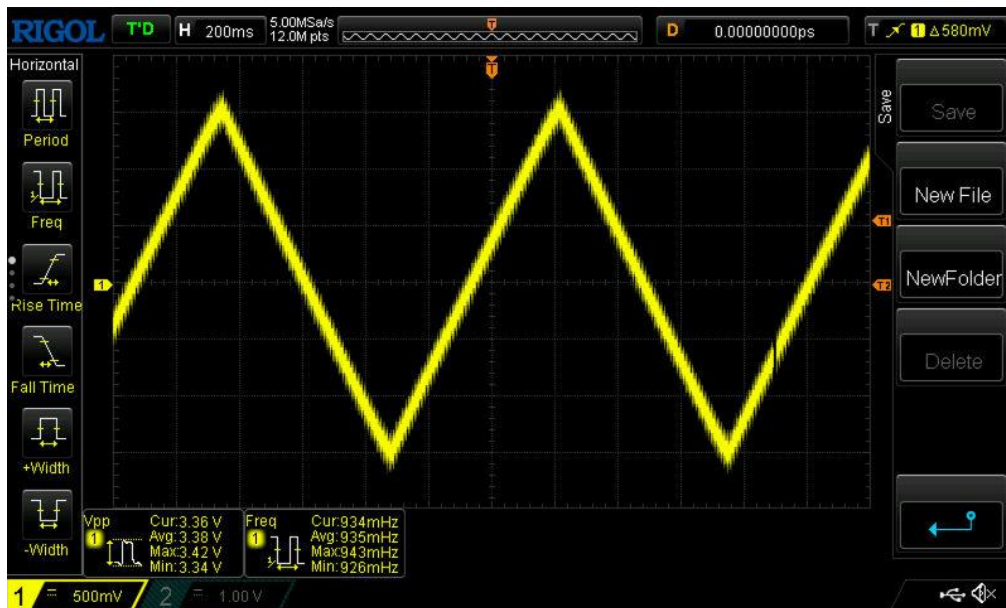
Για τη μέτρηση των χαρακτηριστικών του τριγωνικού σήματος που παράγεται από την γεννήτρια κυματομορφών χρησιμοποιήθηκε όπως και στην περίπτωση του τετραγωνικού αλλά και στην περίπτωση του ημιτονικού σήματος ένας παλμογράφος και ένα τροφοδοτικό πάγκου. Για τη μέτρηση των χαρακτηριστικών του τριγωνικού σήματος τα παραπάνω όργανα συνδέθηκαν στην γεννήτρια κυματομορφών με τον ίδιο ακριβώς τρόπο με τον οποίο συνδέθηκαν και στην περίπτωση του ημιτονικού σήματος. Η συνδεσμολογία που υλοποιήθηκε φαίνεται στην Εικόνα 30.



**Εικόνα 30:** Απεικόνιση του τριγωνικού σήματος

Η μέτρηση της διακύμανσης και της συχνότητας που πραγματοποιήθηκε για το ημιτονικό σήμα που φαίνεται σε κάθε μια από τις παραπάνω Εικόνες πραγματοποιήθηκε και για το τριγωνικό σήμα που παράγεται από την γεννήτρια κυματομορφών της παρούσας εργασίας. Για την διεξαγωγή αυτών των μετρήσεων τα τρία ποτενσιόμετρα και ο περιστροφικός διακόπτης τοποθετήθηκαν στις ίδιες θέσεις που τοποθετήθηκαν και στην περίπτωση του ημιτονικού σήματος ενώ όσον αφορά τα δυο τρίμμερ αυτά τοποθετήθηκαν σε νέες θέσεις προκειμένου το σήμα πλέον να μοιάζει όσο το δυνατόν περισσότερο με ένα τριγωνικό και όχι με ένα ημιτονικό σήμα. Στο στάδιο της επανατοποθέτησης των δυο τρίμμερ δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στο τρίμμερ των  $20\text{k}\Omega$  καθώς η μορφή του τριγωνικού σήματος επηρεάζεται περισσότερο από αυτό και όχι από το τρίμμερ των  $500\Omega$  όπως γίνεται στην περίπτωση του ημιτονικού σήματος. Σχετικά με τον διακόπτη ON-OFF αυτός τοποθετήθηκε στην δεξιά θέση. Με βάση τα παραπάνω και έχοντας τοποθετήσει τον περιστροφικό διακόπτη στην δεύτερη θέση η συχνότητα του τριγωνικού σήματος μπορεί μέσω του ποτενσιομέτρου 1 και του ποτενσιομέτρου 2 να ρυθμιστεί από τα  $935\text{mHz}$  μέχρι τα  $19,2\text{Hz}$ . Το τριγωνικό σήμα συχνότητας  $935\text{mHz}$  και το τριγωνικό σήμα συχνότητας  $19,2\text{Hz}$  φαίνονται στις Εικόνες 31 και 32 αντίστοιχα. Για την παραγωγή του τριγωνικού σήματος που φαίνεται σε κάθε μια από αυτές τις Εικόνες το ποτενσιόμετρο 1 και το ποτενσιόμετρο 2 τοποθετήθηκαν με την ίδια λογική που τοποθετήθηκαν και στις προηγούμενες περιπτώσεις.



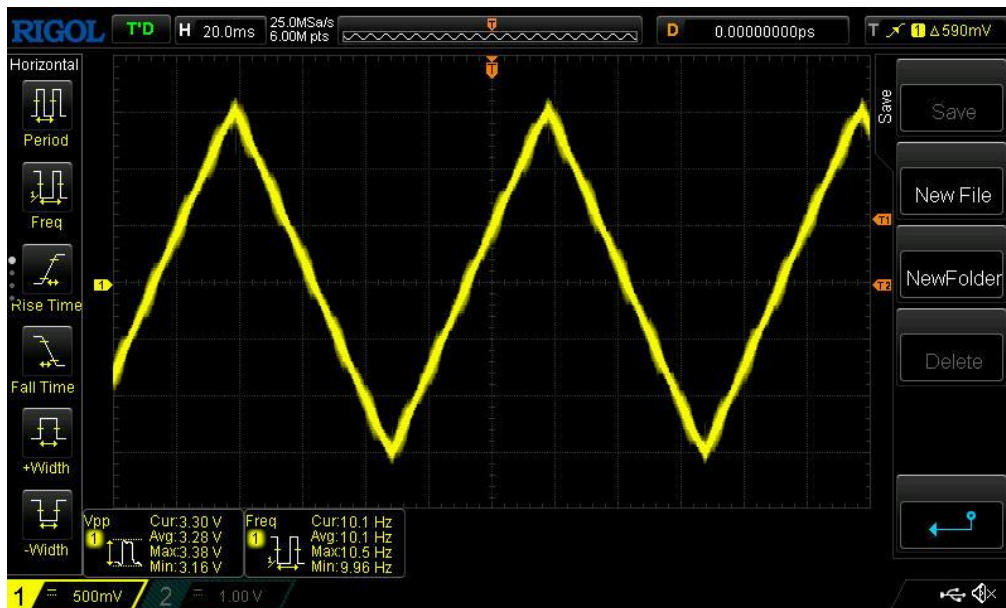


**Εικόνα 31:** Τριγωνικό σήμα συχνότητας 935mHz



**Εικόνα 32:** Τριγωνικό σήμα συχνότητας 19,2Hz

Όταν ο περιστροφικός διακόπτης βρίσκεται στην τρίτη θέση η συχνότητα του τριγωνικού σήματος ρυθμίζεται όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις μέσω του ποτενσιομέτρου 1 και του ποτενσιομέτρου 2. Στην περίπτωση αυτή η συχνότητα του τριγωνικού σήματος μπορεί να ρυθμιστεί από τα 10,1Hz μέχρι τα 201Hz. Το τριγωνικό σήμα συχνότητας 10,1Hz και το τριγωνικό σήμα συχνότητας 201Hz φαίνονται στις Εικόνες 33 και 34 αντίστοιχα. Για την παραγωγή του τριγωνικού σήματος που φαίνεται σε κάθε μια από αυτές τις Εικόνες το ποτενσιόμετρο 1 και το ποτενσιόμετρο 2 τοποθετούνται με την ίδια λογική που τοποθετούνται και στις προηγούμενες περιπτώσεις.

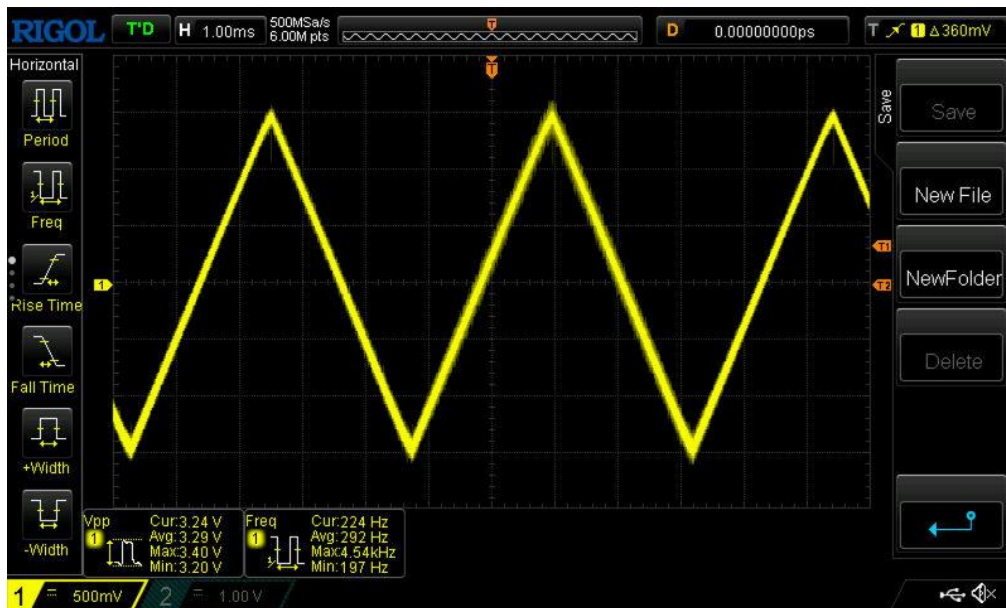


**Εικόνα 33:** Τριγωνικό σήμα συχνότητας 10,1Hz



**Εικόνα 34:** Τριγωνικό σήμα συχνότητας 201Hz

Όταν ο περιστροφικός διακόπτης βρίσκεται στην τέταρτη θέση η συχνότητα του τριγωνικού σήματος ρυθμίζεται όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις μέσω του ποτενσιομέτρου 1 και του ποτενσιομέτρου 2. Στην περίπτωση αυτή η συχνότητα του τριγωνικού σήματος μπορεί να ρυθμιστεί από τα 292Hz μέχρι τα 4,45kHz. Το τριγωνικό σήμα συχνότητας 292Hz και το τριγωνικό σήμα συχνότητας 4,45kHz φαίνονται στις Εικόνες 35 και 36 αντίστοιχα. Για την παραγωγή του τριγωνικού σήματος που φαίνεται σε κάθε μια από αυτές τις Εικόνες το ποτενσιόμετρο 1 και το ποτενσιόμετρο 2 τοποθετούνται με την ίδια λογική που τοποθετούνται και στις προηγούμενες περιπτώσεις.



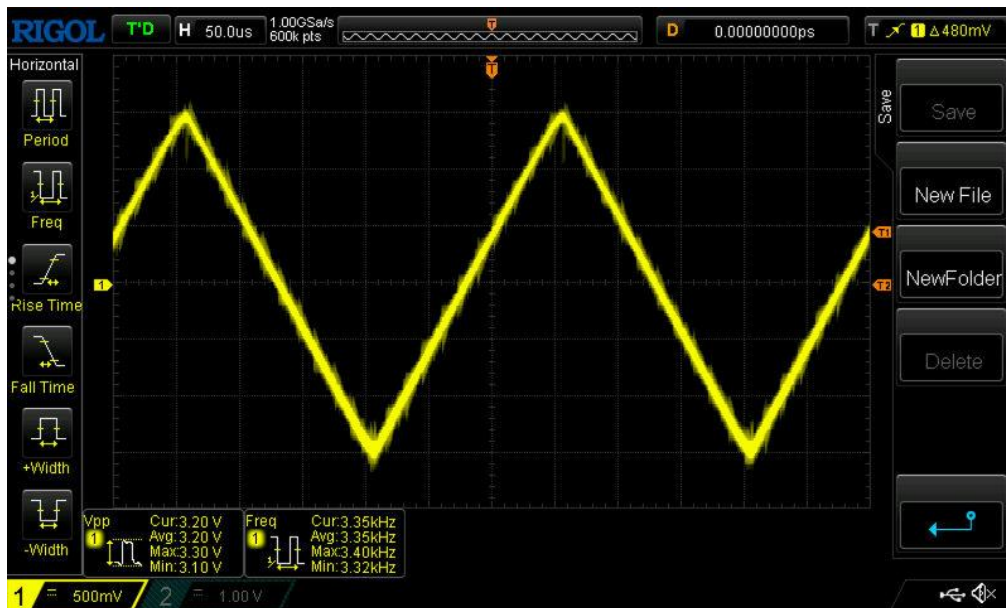
**Εικόνα 35:** Τριγωνικό σήμα συχνότητας 292Hz



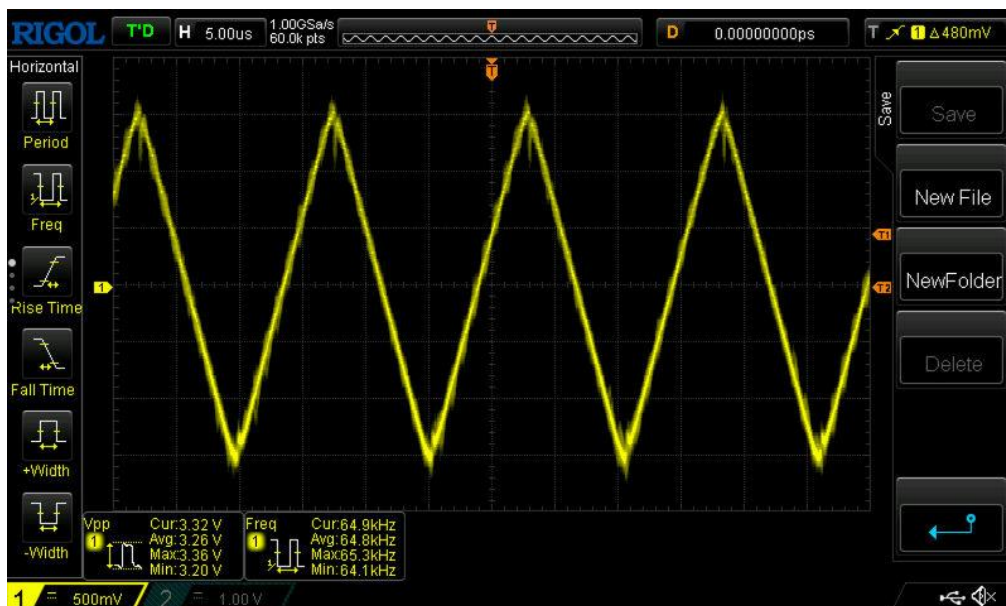
**Εικόνα 36:** Τριγωνικό σήμα συχνότητας 4,45kHz

Όταν ο περιστροφικός διακόπτης βρίσκεται στην πέμπτη θέση η συχνότητα του τριγωνικού σήματος ρυθμίζεται όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις μέσω του ποτενσιομέτρου 1 και του ποτενσιομέτρου 2. Στην περίπτωση αυτή η συχνότητα του τριγωνικού σήματος μπορεί να ρυθμιστεί από τα 3,35kHz μέχρι τα 64,8kHz. Το τριγωνικό σήμα συχνότητας 3,35kHz και το τριγωνικό σήμα συχνότητας 64,8kHz φαίνονται στις Εικόνες 37 και 38 αντίστοιχα. Για την παραγωγή του τριγωνικού σήματος που φαίνεται σε κάθε μια από αυτές τις Εικόνες το ποτενσιόμετρο 1 και το ποτενσιόμετρο 2 τοποθετούνται με την ίδια λογική που τοποθετούνται και στις προηγούμενες περιπτώσεις.



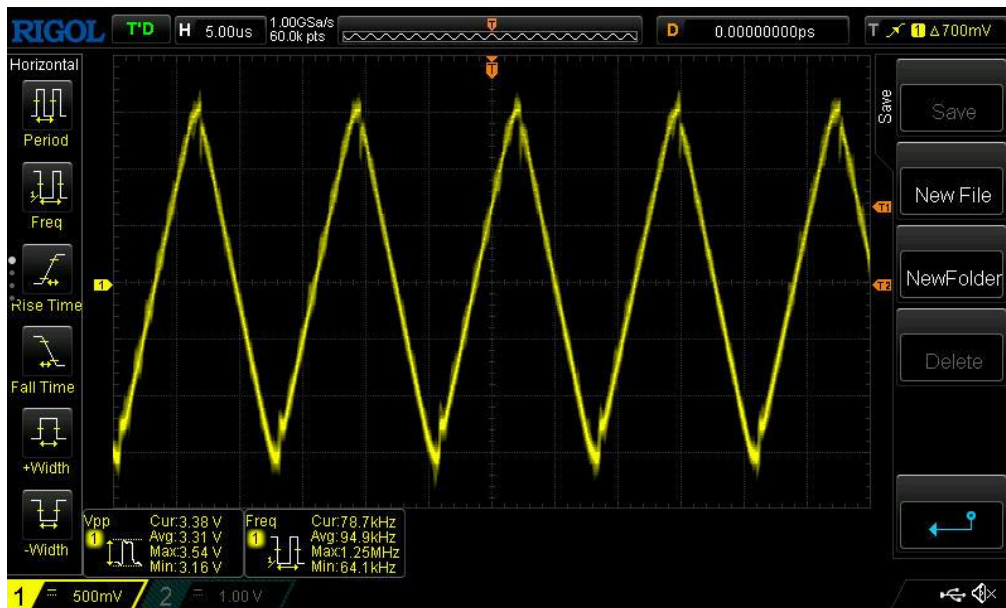


**Εικόνα 37:** Τριγωνικό σήμα συχνότητας 3,35kHz



**Εικόνα 38:** Παραμορφωμένο τριγωνικό σήμα συχνότητας 64,8kHz

Τέλος όταν ο περιστροφικός διακόπτης βρίσκεται στην έκτη θέση η συχνότητα του τριγωνικού σήματος ρυθμίζεται όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις μέσω του ποτενσιομέτρου 1 και του ποτενσιομέτρου 2. Στην περίπτωση αυτή η συχνότητα του τριγωνικού σήματος μπορεί να ρυθμιστεί από τα 94,9kHz μέχρι τα 1,19MHz. Το τριγωνικό σήμα συχνότητας 94,9kHz και το τριγωνικό σήμα συχνότητας 1,19MHz φαίνονται στις Εικόνες 39 και 40 αντίστοιχα. Για την παραγωγή του τριγωνικού σήματος που φαίνεται σε κάθε μια από αυτές τις Εικόνες το ποτενσιόμετρο 1 και το ποτενσιόμετρο 2 τοποθετούνται με την ίδια λογική που τοποθετούνται και στις προηγούμενες περιπτώσεις.



**Εικόνα 39:** Παραμορφωμένο τριγωνικό σήμα συχνότητας 94,9kHz



**Εικόνα 40:** Παραμορφωμένο τριγωνικό σήμα συχνότητας 1,19MHz

Όπως και στην περίπτωση του ημιτονικού σήματος έτσι και στην περίπτωση του τριγωνικού σήματος όταν το ποτενσιόμετρο 3 τοποθετηθεί στην θέση τέρμα αριστερά το πλάτος του σήματος παίρνει την μικρότερη τιμή του και αυτή η τιμή όπως και στην περίπτωση του ημιτονικού σήματος είναι της τάξης των mV.

### Παρατηρήσεις

**α)** Από τις συνολικά έξι θέσεις του περιστροφικού διακόπτη μόνο οι τελευταίες πέντε χρησιμοποιούνται για την ρύθμιση της συχνότητας του κάθε σήματος που παράγεται από την γεννήτρια κυματομορφών της παρούσας εργασίας.

**β)** Το τετραγωνικό σήμα εναλλάσσεται μεταξύ της στάθμης των 0V και της στάθμης των 12V που αποτελεί και την τάση τροφοδοσίας της γεννήτριας κυματομορφών και το πλάτος του σήματος αυτού δεν μπορεί να μεταβληθεί μέσω του ποτενσιομέτρου 3

όπως γίνεται με το πλάτος του ημιτονικού και του τριγωνικού σήματος. Επίσης η τιμή του Duty Cycle του τετραγωνικού σήματος είναι πάντα 50%. Έτσι ανεξαρτήτως της συχνότητας του τετραγωνικού σήματος και θεωρώντας πως η τάση τροφοδοσίας της γεννήτριας κυματομορφών είναι ίση με 12V η διακύμανση και το Duty Cycle του τετραγωνικού σήματος είναι σταθερά και ίσα με 12V και 50% αντίστοιχα.

**γ)** Το πλάτος και συνεπώς η διακύμανση του ημιτονικού σήματος ρυθμίζεται μέσω του ποτενσιομέτρου 3. Μέσω αυτού του ποτενσιομέτρου η διακύμανση του ημιτονικού σήματος μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή μεταξύ της μικρότερης τιμής που είναι κάποια mV και της μέγιστης τιμής που είναι τα 1,7V.

**δ)** Όπως και στην περίπτωση του ημιτονικού σήματος έτσι και στην περίπτωση του τριγωνικού σήματος το πλάτος και συνεπώς η διακύμανσή του ρυθμίζεται μέσω του ποτενσιομέτρου 3. Μέσω αυτού του ποτενσιομέτρου η διακύμανση του τριγωνικού σήματος μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή μεταξύ της μικρότερης τιμής που είναι κάποια mV και της μέγιστης τιμής που είναι τα 3V.

**ε)** Η συχνότητα του κάθε σήματος που παράγεται από την γεννήτρια κυματομορφών ανεξαρτήτως από το αν αυτό το σήμα αντιστοιχεί σε τετραγωνική, σε ημιτονοειδής ή σε τριγωνική κυματομορφή κυμαίνεται από το 1Hz μέχρι το 1MHz.

**ζ)** Παρόλο του μεγάλου εύρους της συχνότητας του κάθε σήματος που παράγεται από την γεννήτρια κυματομορφών της παρούσας εργασίας υπάρχουν συχνότητες εντός αυτού που δεν μπορούν να επιλεγθούν για κανένα από αυτά τα σήματα. Για κάθε ένα από τα τρία σήματα οι συχνότητες αυτές χωρίζονται σε δυο περιοχές συχνοτήτων οι οποίες και διαμορφώνονται ως εξής:

- τετραγωνικό σήμα: από τα 200Hz μέχρι τα 225Hz και από τα 65,3kHz μέχρι τα 78,1kHz
- ημιτονικό σήμα: από τα 259Hz μέχρι τα 288Hz και από τα 65,5kHz μέχρι τα 78,4kHz
- τριγωνικό σήμα: από τα 201Hz μέχρι τα 292Hz και από τα 64,8kHz μέχρι τα 94,9kHz

**η)** Εκτός από τις απροσπέλαστες συχνότητες (οι συχνότητες που αναφέρθηκαν στο ε) υπάρχουν και συχνότητες στις οποίες το κάθε σήμα ανεξαρτήτως το είδος του εμφανίζεται παραμορφωμένο με αποτέλεσμα το μεγάλο εύρος συχνοτήτων που αναφέρθηκε στο δ να περιορίζεται για κάθε ένα από τα τρία σήματα σε ένα μικρότερο εύρος. Πιο συγκεκριμένα η γεννήτρια κυματομορφών λειτουργεί καλύτερα στις μεσαίες συχνότητες καθώς σε αυτές τις συχνότητες και τα τρία σήματα που παράγονται από αυτήν δεν είναι παραμορφωμένα.