ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΓΕΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ
(ΠΡΩΗΝ ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.)

ΜΑΘΗΜΑ: ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ ΙΙ - ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 3: ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕΓΕΘΩΝ Ε.Ρ. - ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΑ ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΑ

ΣΚΟΠΟΣ:

1. Η κατανόηση και οι μετρήσεις διαφόρων χαρακτηριστικών μεγεθών τάσης και χρόνου σε ημιτονοειδώς εναλλασσόμενες κυματομορφές
2. Η κατανόηση και η χρήση των καμπύλων Lissajous
3. Η κατανόηση και χρήση των περιστρεφομένων διανυσμάτων στη μελέτη ηλεκτρικών κυκλωμάτων

ΔΙΔΑΣΚΟΝΤΕΣ: ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΔΟΥΛΓΕΡΗΣ
ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΚΑΡΑΝΙΚΑΣ

ΛΑΡΙΣΑ 2019

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕΓΕΘΩΝ Ε.Ρ. ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

ΜΕΡΟΣ Α: ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΜΕΓΕΘΩΝ Ε.Ρ.

1. Γενικά περί κυματομορφών εναλλασσομένου ρεύματος και των χαρακτηριστικών τους

Στα κυκλώματα DC, τα ηλεκτρικά μεγέθη εξαρτώνται αποκλειστικά από τις ωμικές αντιστάσεις, φυσικά μετά την ολοκλήρωση πιθανών μεταβατικών φαινομένων λόγω παρουσίας πηνίων και πυκνωτών και δεν υπάρχουν χρονικές διαφορές μεταξύ ρεύματος και τάσης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τον χειρισμό των DC ηλεκτρικών ποσοτήτων ως μονόμετρων ποσοτήτων, οπότε για τις σχετικές πράξεις είναι αρκετή η απλή αριθμητική. Σε αντίθεση, στα κυκλώματα AC, ο ρόλος των πηνίων και των πυκνωτών είναι πιο ουσιαστικός καθώς και τα ηλεκτρικά μεγέθη επηρεάζουν και προκαλούν διαφορές φάσης μεταξύ ρευμάτων και τάσεων. Επομένως, ο χειρισμός των ηλεκτρικών μεγεθών σε κυκλώματα AC είναι πιο περίπλοκος και υπάρχουν **τρεις** δυνατότητες για την περιγραφή τους. Η πρώτη είναι η **ημιτονοειδής παράσταση**, η δεύτερη αφορά **περιστρεφόμενα διανύσματα**, ενώ η τρίτη βασίζεται στους **μιγαδικούς αριθμούς**.

Οι βασικές **συνθήκες** που πρέπει να ισχύουν σε ένα **εναλλασσόμενο ρεύμα (ή τάση)** F(t) είναι:

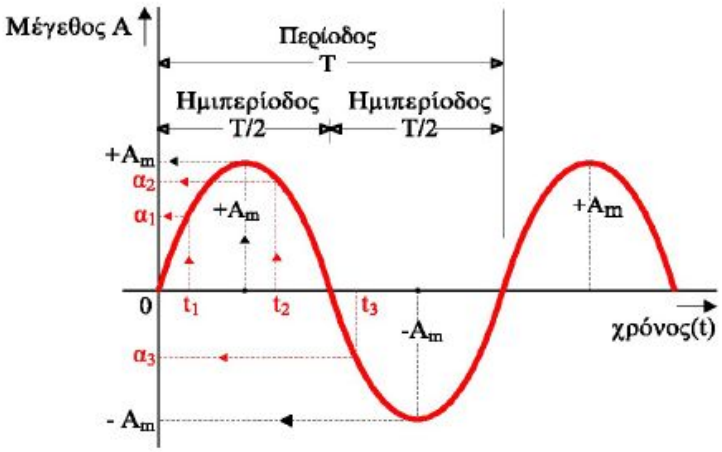
(α) η τιμή του ρεύματος (ή της τάσης) μεταβάλλεται με το χρόνο παίρνοντας θετικές και αρνητικές τιμές,

(β) η εξέλιξη των τιμών είναι περιοδική με περίοδο T και

(γ) το ολοκλήρωμα των βασικών μεγεθών σε χρόνο μιας περιόδου είναι μηδέν : $\int_{t}^{t+T} F(t)dt = 0$.

Ημιτονοειδής παράσταση ενός μεγέθους : $A = A_m ημ(\omega t + \varphi_o)$

Γραφική παράσταση της κυματομορφής ενός Ηλεκτρικού Μεγέθους ονομάζεται η γραφική απεικόνιση του πλάτους (Έντασης) του Ηλεκτρικού Μεγέθους συναρτήσει του χρόνου. Μια γραφική παράσταση θεωρείται ικανοποιητική (επαρκής) εφόσον είναι εμπλουτισμένη με τιμές, ώστε να μπορεί κάποιος να αντλήσει απ' αυτήν πληροφορίες, όχι μόνο για την μορφή της, αλλά και για τις διάφορες τιμές που παίρνει το ηλεκτρικό μέγεθος κατά τη διάρκεια του χρόνου. Το μέγεθος Α που φαίνεται στη γραφική παράσταση του παρακάτω σχήματος 1 και του οποίου οι στιγμιαίες τιμές ακολουθούν μια καμπύλη γραμμή παρόμοια με την καμπύλη μεταβολής του ημίτονου μιας γωνίας, χαρακτηρίζεται ως **εναλλασσόμενο ή ημιτονικό** μέγεθος. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να επισημανθεί εδώ ότι δεν υπάρχει κάποια διαφορά αν για την περιγραφή χρησιμοποιηθεί ημίτονο ή συνημίτονο, καθώς οι δυο συναρτήσεις απλά διαφέρουν κατά μία αρχική φάση π/2.



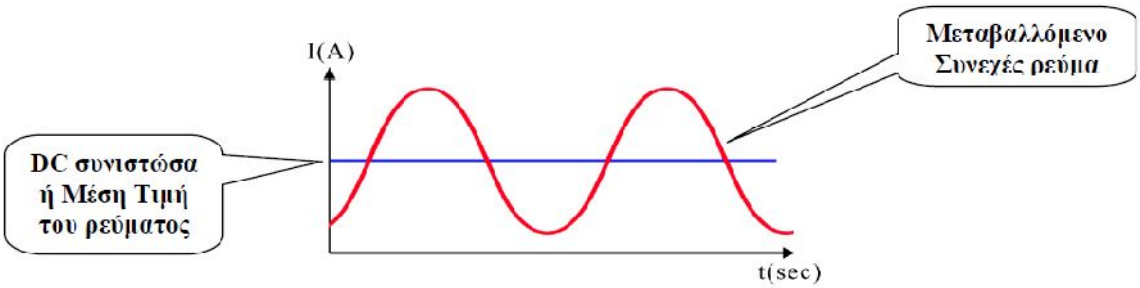
Σχήμα 1 : Γραφική παράσταση ημιτονοειδώς εναλλασσόμενου μεγέθους.

Από τη μελέτη της καμπύλης αυτής παρατηρούμε ότι η τιμή του εναλλασσόμενου μεγέθους αυξάνεται από το μηδέν σε μια μέγιστη τιμή **+A_m**, η οποία ονομάζεται και **πλάτος** (για την τάση V_{max} ή V_{peak}), και μετά ελαττώνεται μέχρι μηδενισμού. Στη συνέχεια, η τιμή του εναλλασσόμενου μεγέθους αυξάνεται πάλι αλλά με αντίθετη φορά τώρα μέχρι να λάβει μια αντίθετη ίση μέγιστη τιμή με το +A_m, την -A_m, και ελαττώνεται ξανά μέχρι να μηδενιστεί για να συνεχίσει της μεταβολές του από την αρχή. Η διαφορά του εναλλασσόμενου μεγέθους μεταξύ δυο διαδοχικών κορυφών λέγεται τιμή **από κορυφής σε κορυφή** (peak to peak).

Ο τρόπος αυτός των όμοιων εναλλαγών ή κύκλων επαναλαμβάνεται σε ίσα χρονικά διαστήματα. Ο σταθερός χρόνος μέσα στον οποίο το εναλλασσόμενο μέγεθος συμπληρώνει μια πλήρη εναλλαγή ή κύκλο ονομάζεται **περίοδος T**. Οι τιμές του εναλλασσόμενου μεγέθους προς την μία κατεύθυνση θεωρούνται **θετικές** ενώ προς την αντίθετη κατεύθυνση **αρνητικές**.

Σε διαφορετικές χρονικές στιγμές π.χ **t_1**, **t_2**, **t_3** παρατηρούμε πως οι τιμές του εναλλασσόμενου μεγέθους είναι διαφορετικές μεταξύ τους **α_1**, **α_2**, **α_3** αντίστοιχα. Η καθεμιά από τις τιμές αυτές αποκαλείται **στιγμιαία** και υπολογίζεται από τη θεμελιώδη εξίσωση των εναλλασσόμενων μεγεθών: **$\alpha = A_m$ημφ,** όπου: **A_m** = η μέγιστη τιμή του εναλλασσόμενου μεγέθους που λαμβάνεται, όταν **ημωt = 1** και **φ** = η γωνία φάσης του εναλλασσόμενου μεγέθους, η οποία αυξάνεται συνεχώς με τον χρόνο και δίνεται από τη σχέση: **φ = ωt**.
Ο σταθερός ρυθμός μεταβολής της φάσης ανά δευτερόλεπτο ονομάζεται **κυκλική συχνότητα ω** του εναλλασσομένου μεγέθους και είναι: **ω=2.π.f** (rad/sec). Το εναλλασσόμενο μέγεθος διατηρεί τη μια από τις δύο κατευθύνσεις του στον μισό χρόνο της περιόδου, δηλαδή στο χρόνο μιας **ημιπεριόδου** (**T/2**), ενώ στην αμέσως επόμενη **ημιπερίοδο** (**T/2**) το μέγεθος έχει την αντίθετη φορά. Ο σταθερός αριθμός των πλήρων εναλλαγών σε ένα δευτερόλεπτο ονομάζεται **συχνότητα (f)** του εναλλασσόμενου μεγέθους. Η συχνότητα ενός εναλλασσόμενου μεγέθους και η περίοδος αυτού είναι μεγέθη αντίστροφα μεταξύ τους και συνδέονται με τη σχέση: **f=(1/T)**. Επομένως **ω=2.π.f =(2.π)/T** (rad/sec).

Αν η κυματομορφή δεν πληροί έστω και μια από τις συνθήκες που ισχύουν σε ένα εναλλασσόμενο μέγεθος τότε ονομάζεται **μεταβαλλόμενη** (Σχήμα 2).



Σχήμα 2 : Γραφική παράσταση μεταβαλλόμενου συνεχούς ρεύματος.

2. Μετρήσεις μεγεθών τάσης σε κυματομορφές εναλλασσομένου ρεύματος

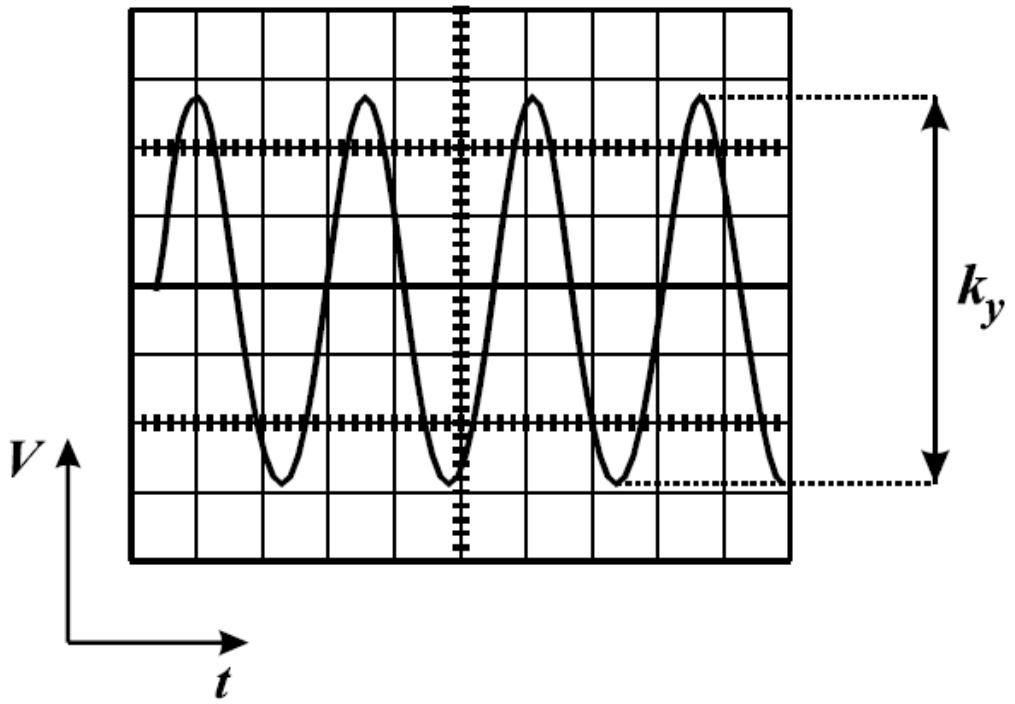
Μεγέθη τάσης που μπορούμε να μετρήσουμε σε μια κυματομορφή εναλλασσομένου ρεύματος είναι:

- Στιγμιαίες τιμές της τάσης u_{t1} , u_{t2} (σε Volts), για χρόνους από την αρχή της περιόδου.
- Τιμή κορυφής της τάσης $V_{peak}=V_0=V_p$ (σε Volts), για τη θετική / αρνητική ημιπερίοδο.
- Τιμή από κορυφής σε κορυφή της τάσης $V_{peak\ to\ peak}=V_{p\text{-}p}$ (σε Volts), μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών.
- Υπολογισμός του λόγου $\frac{V_{p-p}}{V_p} = ?$. Η θεωρητική τιμή του λόγου αυτού είναι 2.

Μέθοδος μέτρησης μεγεθών τάσης εναλλασσόμενης κυματομορφής

Βάζουμε τον επιλογέα εισόδου DC-GND-AC στη θέση AC. Εφαρμόζουμε την προς μέτρηση τάση στην είσοδο ενός καναλιού και με συνδυασμό των επιλογέων VOLT/DIV, TIME/DIV και TIRG. MODE (αν δεν σταθεροποιείται η κυματομορφή), προσπαθούμε να δούμε την κυματομορφή μας σταματημένη (να μην κυλάει δεξιά-αριστερά) με ικανό πλάτος και τουλάχιστον μια περίοδο (Σχήμα 3). Κατόπιν πολλαπλασιάζοντας τις μετρήσεις μας σε κουτάκια και υποδιαιρέσεις τους στον κατακόρυφο άξονα επί την αντίστοιχη ένδειξη του επιλογέα VOLT/DIV έχουμε την τιμή της προς μέτρηση τάσης. Αλλάζοντας την κατακόρυφη ενίσχυση VOLTS/DIV, το κατακόρυφο ίχνος της κυματομορφής μεταβάλλεται, αλλά το μετρούμενο πλάτος με βάση την σχέση υπολογισμού δεν αλλάζει. Συνεπώς, για την ελαχιστοποίηση του σφάλματος ανάγνωσης κατά την μέτρηση του πλάτους, συμφέρει να επιλέγετε την μεγαλύτερη δυνατή τιμή κατακόρυφης ενίσχυσης που να επιτρέπει την παρατήρηση του σήματος.

$$\mathbf{V_{p\text{-}p} = k_y \times [\text{ένδειξη του επιλογέα VOLTS/DIV}]} \text{ (Volts)}$$



Σχήμα 3 : Μέτρηση τάσης. Το k_y είναι το κατακόρυφο ίχνος της κυματομορφής.

3. Μετρήσεις μεγεθών χρόνου σε κυματομορφές εναλλασσομένου ρεύματος

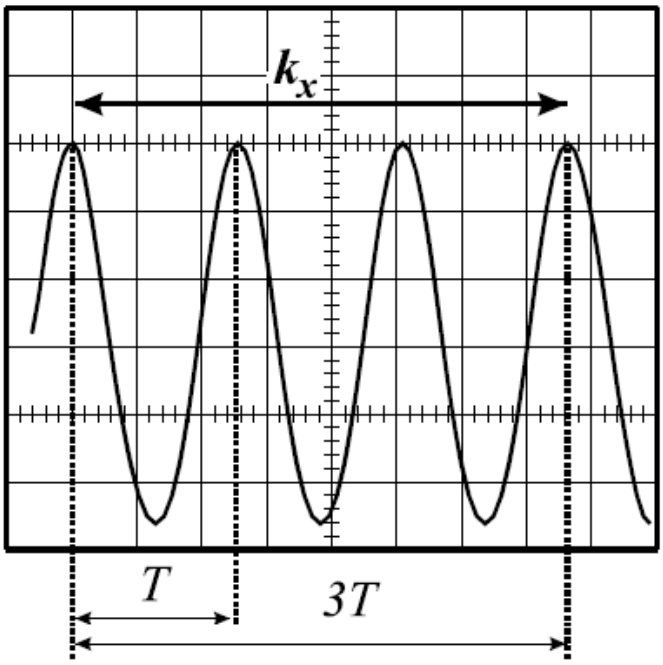
Μεγέθη χρόνου που μπορούμε να μετρήσουμε σε μια κυματομορφή εναλλασσομένου ρεύματος είναι:

- Περίοδος της κυματομορφής T (σε sec).
- Συχνότητα της κυματομορφής (υπολογισμός): $f=1/T$ (σε Hz).
- Κυκλική συχνότητα της κυματομορφής (υπολογισμός): $\omega=2\pi f = (2\pi)/T$(σε rad/sec).
- Λόγος συχνοτήτων δύο κυματομορφών (καμπύλες Lissajous)

Μέθοδος μέτρησης μεγεθών χρόνου εναλλασσόμενης κυματομορφής

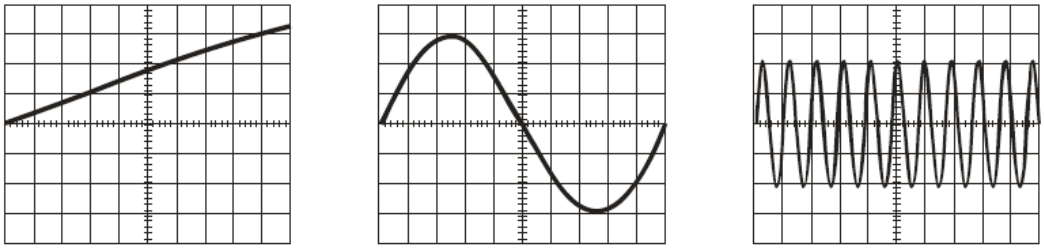
Γνωρίζοντας τη βάση χρόνου μπορούμε να μετρήσουμε οποιοδήποτε χρονικό διάστημα, όπως π.χ. την περίοδο ενός ημιτονικού σήματος, μετρώντας την οριζόντια απόσταση k_x ανάμεσα σε δύο διαδοχικές θέσεις της κηλίδας που βρίσκονται στην ίδια φάση (Σχήμα 4). Την απόσταση k_x την μετράμε με ένα δεκαδικό ψηφίο, το οποίο εκτιμάμε με τη βοήθεια των υποδιαιρέσεων των τετραγωνιδίων. Αν η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών ενός ημιτονικού σήματος κατά τον οριζόντιο άξονα είναι k_x και η βάση χρόνου είναι TIME/DIV, τότε προφανώς η περίοδος θα δίνεται από την έκφραση:

$T = k_x$ x [ένδειξη του επιλογέα TIME/DIV] (sec)



Σχήμα 4 : Μέτρηση περιόδου. Το k_x είναι το μήκος για 3T.

Αλλάζοντας την βάση χρόνου στον παλμογράφο (Σχήμα 5), το σήμα εισόδου δεν αλλάζει, συνεπώς η μετρούμενη περίοδος και συχνότητα παραμένουν αμετάβλητες. Στην πράξη, όσο αυξάνεται το πλήθος των περιόδων, τόσο οι κορυφές των ημιτόνων γίνονται πιο οξείες και η εκτίμηση της θέσης των κορυφών στους βαθμολογημένους άξονες γίνεται ευκολότερη, ενώ το πιθανό σφάλμα ανάγνωσης μειώνεται. Για το λόγο αυτό **συμφέρει η μέτρηση της συχνότητας να γίνεται από πολλές περιόδους** και όχι μόνο από μία ή δύο.



(α) $T_x < T_y$ **(β) $T_x = T_y$** **(γ) $T_x > T_y$**

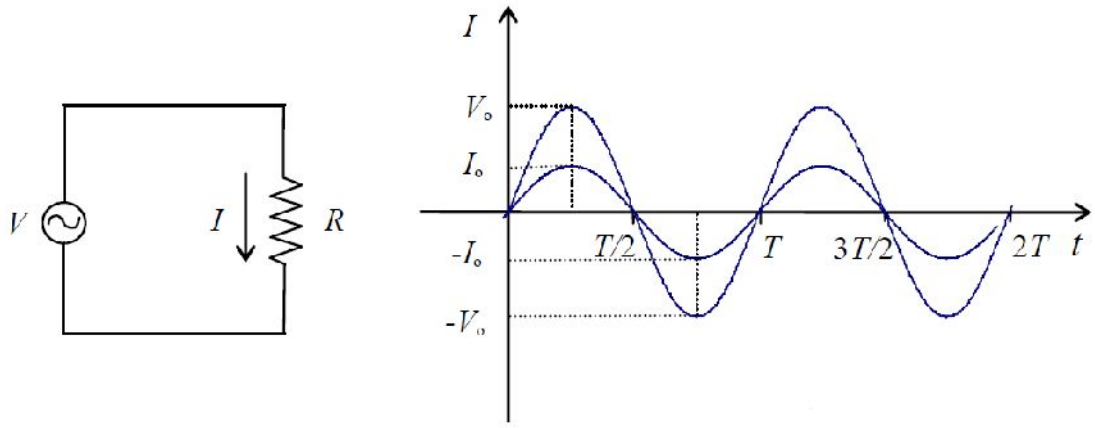
Σχήμα 5 : Επίδραση της βάσης χρόνου στην απεικόνιση του ίδιου ημιτονικού σήματος.

4. Άλλες μετρήσεις σε κυματομορφές εναλλασσομένου ρεύματος

Μέτρηση ρευμάτων

Με τον παλμογράφο μπορούμε να μετρήσουμε **ρεύματα** μόνον **έμμεσα**, δηλαδή μετράμε όπως προαναφέραμε πριν την πτώση τάσης στα άκρα μιας γνωστής αντίστασης, που είναι γραμμικό εξάρτημα και με τον νόμο του Ohm στη συνέχεια υπολογίζουμε το ρεύμα (σχήμα 6) με τον παρακάτω τύπο:

$$I = \frac{V}{R} \Rightarrow I = \frac{V_{\circ R}}{R}\,\eta\mu\omega t \Rightarrow I = I_{\circ}\,\eta\mu\omega t$$

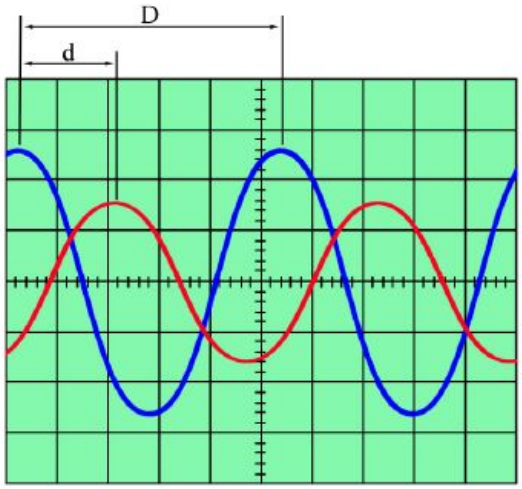


Σχήμα 6 : Κυματομορφή ρεύματος, που είναι ταυτόσημη με την κυματομορφή της τάσης.

Μέτρηση διαφοράς φάσης μεταξύ δύο ημιτονικών κυματομορφών

Με τον παλμογράφο μπορούμε να μετρήσουμε τη **διαφορά φάσης φ°** ,δηλαδή τη χρονική καθυστέρηση της μιας ως προς την άλλη, μεταξύ δύο ημιτονικών σημάτων, που έχουν την ίδια συχνότητα. Παρατηρούμε ταυτόχρονα τις δύο κυματομορφές στην οθόνη του παλμογράφου, τη μία στο CH I και την άλλη στο CH II σε λειτουργία διπλής δέσμης (DUAL), αφού τις τοποθετήσουμε στο κέντρο της οθόνης του παλμογράφου. Στη συνέχεια υπολογίζουμε τη διαφορά φάσης των δύο κυματομορφών (σχήμα 7) με τον παρακάτω τύπο:

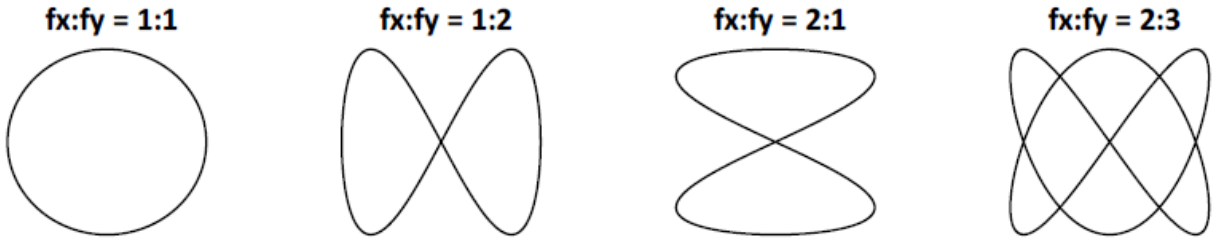
$$\varphi^{\circ} = \frac{\mathbf{d}}{\mathbf{D}} \cdot 360$$



Σχήμα 7 : Μέτρηση της διαφοράς φάσης μεταξύ δύο ημιτονικών κυματομορφών

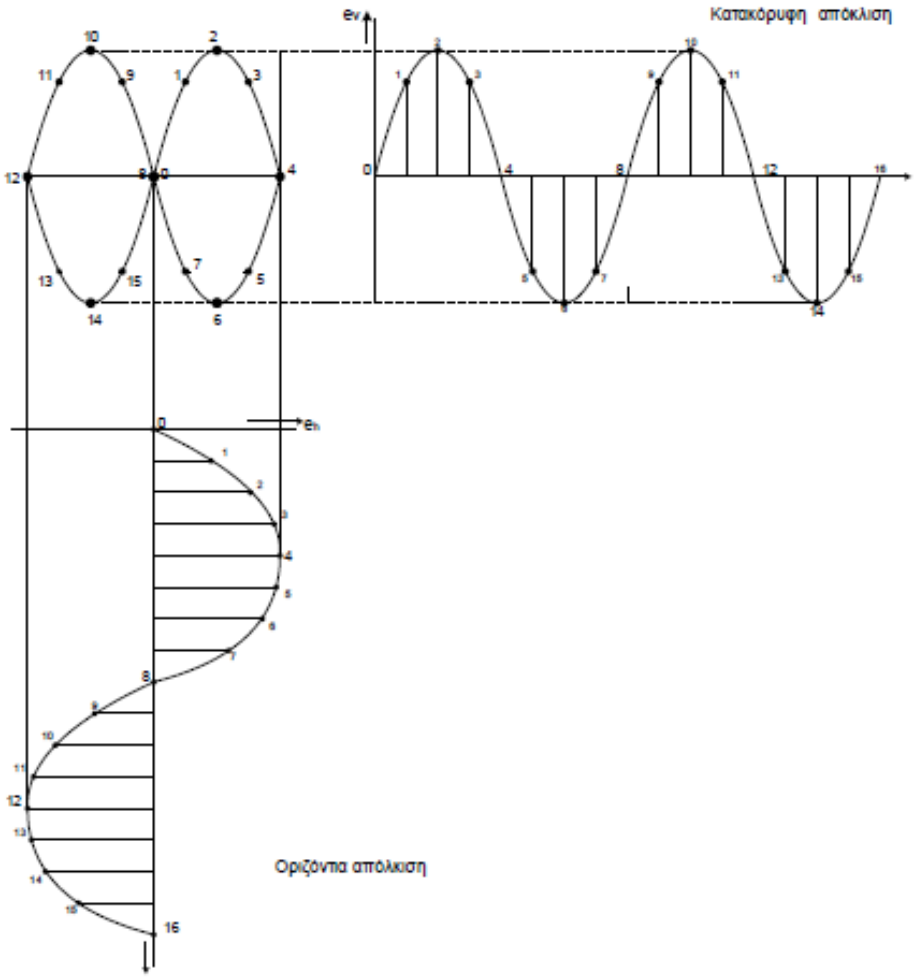
5. Καμπύλες Lissajous

Η σύνθεση δύο καθέτων αρμονικών ταλαντώσεων $X=X_o$ημ($\omega_x t$) και $Y=Y_o$ημ($\omega_y t+\varphi$) με ίδια ή διαφορετική συχνότητα δίνει στην οθόνη του παλμογράφου μια πολύπλοκη καμπύλη, η οποία είναι κλειστή μόνον όταν ο λόγος των δύο συχνοτήτων *fx* και *fy* είναι ρητός αριθμός, όπως φαίνεται στο σχήμα 8. Οι καμπύλες αυτές ονομάζονται καμπύλες Lissajous.



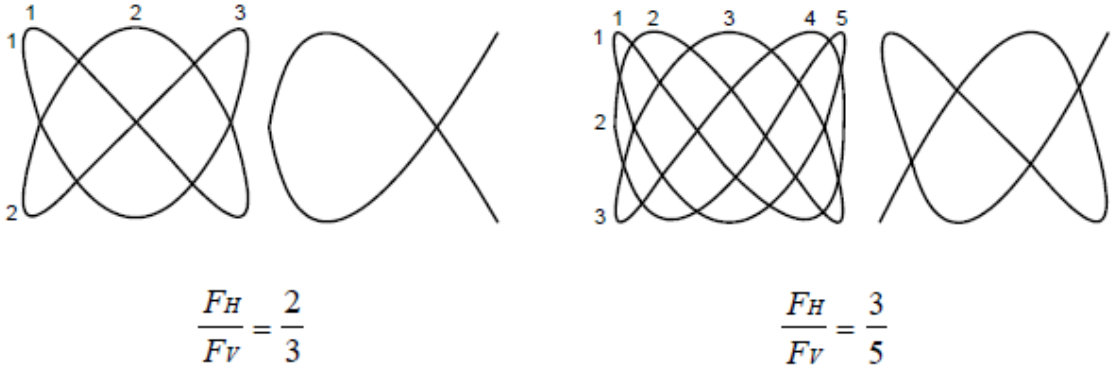
Σχήμα 8 : Καμπύλες Lissajous για διάφορους λόγους συχνοτήτων *fx / fy*.

Ο τρόπος σύνθεσης των καμπύλων Lissajous φαίνεται αναλυτικά στο σχήμα 9.



Σχήμα 9 : Τρόπος σύνθεσης καμπύλων Lissajous για 16 σημεία των κυματομορφών.

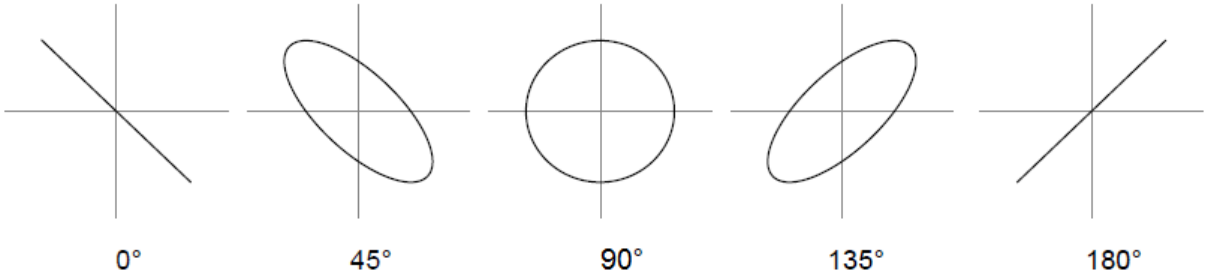
Για το **περιγεγραμμένο ορθογώνιο** στην καμπύλη Lissajous ισχύει, ότι **ο λόγος των συχνοτήτων ισούται με το πηλίκο του αριθμού των σημείων της καμπύλης που εφάπτονται στις πλευρές του ορθογωνίου**. Με τις καμπύλες Lissajous, που διαφοροποιούνται ανάλογα και με τη διαφορά φάσης, βρίσκουμε το λόγο των συχνοτήτων $fx / fy = f_H / f_V$ δύο κυματομορφών (σχήμα 10), , καθώς και τις αρμονικές μιας δεδομένης θεμελιώδους συχνότητας.



$$\frac{F_H}{F_V} = \frac{2}{3} \qquad \frac{F_H}{F_V} = \frac{3}{5}$$

Σχήμα 10 : Εύρεση του λόγου συχνοτήτων δύο κυματομορφών από τις καμπύλες Lissajous που διαφοροποιούνται ανάλογα και με τη διαφορά φάσης.

Στην περίπτωση κατά την οποία οι δύο συχνότητες είναι **ίσες** τότε ως καμπύλες Lissajous προκύπτουν: **ευθεία γραμμή**, **έλλειψη** ή **κύκλος**, αναλόγως της διαφοράς φάσης φ^o, (σχήμα 11).

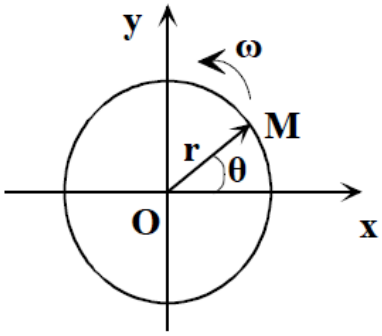


Σχήμα 11 : Εύρεση διαφοράς δύο κυματομορφών από τις καμπύλες Lissajous.

6. Περιστρεφόμενα διανύσματα

Παράσταση με περιστρεφόμενα διανύσματα ενός μεγέθους : $A= A_o ημ(ωt+φ_o)$

Ένας ευκολότερος τρόπος να διαχειριστούμε εναλλασσόμενα μεγέθη είναι τα περιστρεφόμενα διανύσματα. Έστω οριζόντιο σύστημα αξόνων και ένα διάνυσμα ΟΜ με μήκος r το οποίο περιστρέφεται αριστερόστροφα με γωνιακή ταχύτητα ω (Σχήμα 12). Σε κάποια χρονική στιγμή t, το διάνυσμα σχηματίζει γωνία θ με τον άξονα x. Τότε, οι x, y προβολές του διανύσματος θα δίνονται από τις σχέσεις: x=r.συνθ και y=r.ημθ.

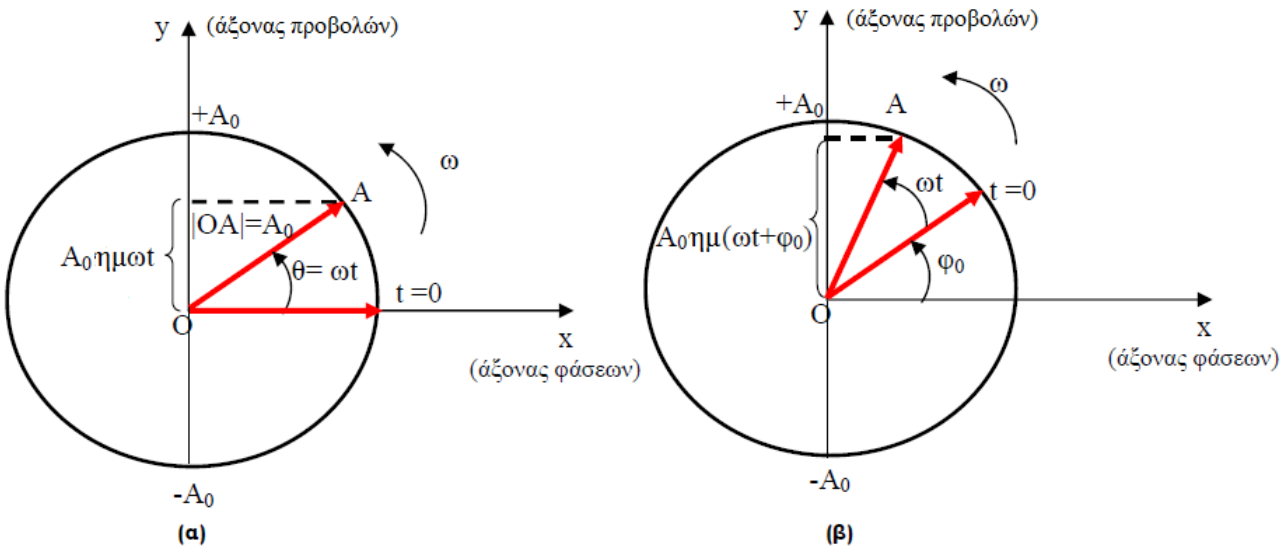


Σχήμα 12: Περιστρεφόμενο διάνυσμα

Αν κατά τη χρονική στιγμή t=0 το διάνυσμα ξεκίνησε από τον άξονα x, τότε για κάθε χρονική στιγμή t, η γωνία θ θα δίνεται από την σχέση θ=ωt. Άρα, οι προβολές του διανύσματος θα είναι: x=r.συνωt και y=r.ημωt. Αντίστοιχα, αν κατά την χρονική στιγμή t=0 το διάνυσμα σχημάτιζε γωνία φ_o με τον άξονα x, τότε θα ισχύει: x=r.συν(ωt+φ_o) και y=r.ημ(ωt+φ_o). Βλέπουμε δηλαδή, ότι οι προβολές ενός διανύσματος που περιστρέφεται με γωνιακή ταχύτητα ω σε ορθογώνιο σύστημα συντεταγμένων είναι ημιτονοειδείς συναρτήσεις και μοιάζουν με τις συναρτήσεις που περιγράφουν εναλλασσόμενα ηλεκτρικά μεγέθη. Με βάση αυτή την παρατήρηση, **μπορούμε να περιγράψουμε το εναλλασσόμενο ρεύμα με περιστρεφόμενα διανύσματα**. Μάλιστα, δεν είναι απαραίτητο να παρουσιάζεται όλη η χρονική εξέλιξη των μεγεθών καθώς, αν όλα τα μεγέθη περιστρέφονται με την ίδια γωνιακή ταχύτητα, σε κάθε χρονική στιγμή t, θα έχουν μεταξύ τους την **ίδια διαφορά φάσης** με αυτή του είχαν κατά την χρονική στιγμή t=0.

Η αντιστοιχία των στοιχείων ενός αρμονικά μεταβαλλόμενου μεγέθους και του στρεφόμενου διανύσματος συνοψίζεται στον παρακάτω πίνακα, ενώ στο σχήμα 13 φαίνεται ένα παράδειγμα διανυσματικής παράστασης ενός αρμονικά μεταβαλλόμενου μεγέθους: (α) χωρίς αρχική φάση (β) με αρχική φάση.

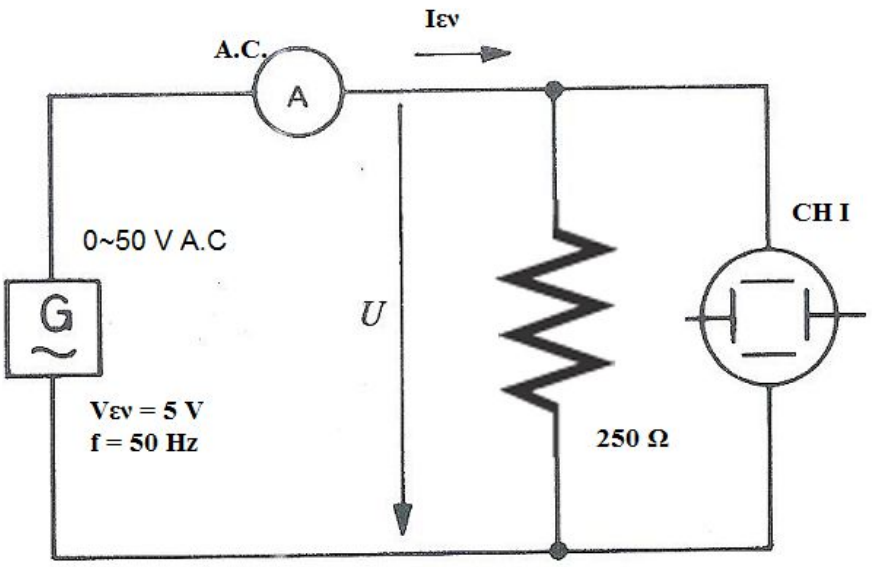
Αρμονικά μεταβαλλόμενο μέγεθος $A= A_o$ημ(ωt)	**Στρεφόμενο διάνυσμα ΟΑ**
Πλάτος A_o	Μέτρο διανύσματος r = |ΟΑ|
Φάση θ=ωt	Γωνία θ με τον άξονα φάσεων Ox
Στιγμιαία τιμή A_oημ(ωt)	Προβολή στον άξονα προβολών Oy



Σχήμα 13 : Διανυσματική παράσταση αρμονικά μεταβαλλόμενου μεγέθους (α) χωρίς αρχική φάση (β) με αρχική φάση.

ΜΕΡΟΣ Β: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ 3

1. Σχηματίστε τη συνδεσμολογία του παρακάτω σχήματος στην πλακέτα του Εργαστηρίου. Ως τροφοδοτικό εναλλασσόμενης τάσης G θα χρησιμοποιηθεί **αυτομετασχηματιστής** 0~50 V/50 Hz A.C. που βρίσκεται ενσωματωμένος στον πάγκο του Εργαστηρίου. Η αρχική ρύθμιση του αυτομετασχηματιστή πρέπει να είναι 0 Volts (ο στρόφαλος ρύθμισης της τάσης θα είναι στραμμένος τέρμα αριστερά), ενώ η συχνότητά του δεν ρυθμίζεται και παραμένει μόνιμα στα 50 Hz. Η αντίσταση 250 Ω θα προέρχεται από κιβώτιο αντιστάσεων με κατάλληλες συνδέσεις. Συνδέστε το αμπερόμετρο A.C. και το CH I του παλμογράφου σύμφωνα με το σχήμα.
2. Ρυθμίστε τον αυτομετασχηματιστή στα 5 V/ 50 Hz. Η τάση των 5 V θα ελέγχεται από ψηφιακό βολτόμετρο εναλλασσομένου ρεύματος, που θα συνδεθεί μόνιμα στα άκρα του αυτομετασχηματιστή.



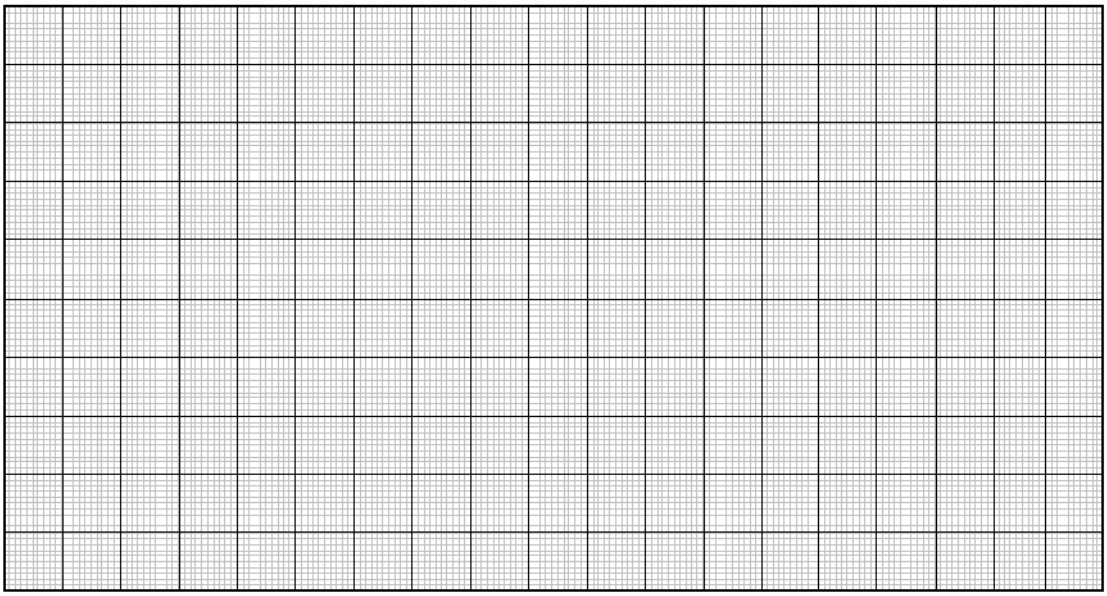
3. Εμφανίστε το σήμα στο CH I και παρατηρήστε το και στους 6 συνδυασμούς ευαισθησιών (E_V,E_T) που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. Γράψτε στον πίνακα για τον κάθε συνδυασμό πόσες περιόδους του σήματος παρατηρείτε και επιλέξτε τον συνδυασμό ευαισθησιών στον οποίο θα κάνετε τελικά τις μετρήσεις σας. Αναφέρετε τα κριτήρια της επιλογής σας.

Ευαισθησίες	**E_T= 2ms/DIV**	**E_T= 5ms/DIV**	**E_T= 10ms/DIV**
E_V= 2V/DIV			
E_V= 5V/DIV			
Κριτήρια επιλογής συνδυασμού ευαισθησιών:			

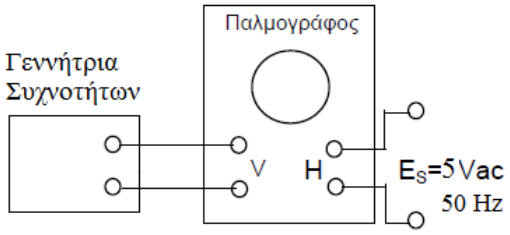
Σκοπός μας είναι να διατυπώσουμε την άποψή μας για το είδος της κυματομορφής που βλέπουμε στην οθόνη του παλμογράφου, να μετρήσουμε μεγέθη τάσης και χρόνου, να μετρήσουμε το ρεύμα, που διαρρέει την αντίσταση, να παραστήσουμε την τάση και το ρεύμα με τη μέθοδο των περιστρεφομένων διανυσμάτων και στη συνέχεια να παρατηρήσουμε στην οθόνη του παλμογράφου καμπύλες Lissajous.

4. Διατυπώστε την άποψή σας για το είδος της κυματομορφής που βλέπετε στην οθόνη του παλμογράφου. Είναι εναλλασσόμενη κυματομορφή ναι ή όχι και γιατί;

5. Μετρήστε τα εξής **μεγέθη τάσης και χρόνου**:
   - **Στιγμιαίες τιμές** της τάσης v_{t1} *στα 2ms* , v_{t2} *στα 12ms* (σε Volts), από την αρχή της περιόδου.
   - **Τιμή κορυφής** της τάσης $V_{peak}=V_0=V_p$ (σε Volts), για τη θετική και αρνητική ημιπερίοδο.
   - **Τιμή από κορυφής σε κορυφή** της τάσης $V_{peak\ to\ peak}=V_{p\text{-}p}$ (σε Volts), μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών.
   - Υπολογίστε το **λόγο** $\frac{V_{p-p}}{V_p}=?$.
   - **Περίοδος** της κυματομορφής T (σε sec).
   - **Συχνότητα** της κυματομορφής (υπολογισμός): $f=1/T$ (σε Hz).
   - **Κυκλική συχνότητα** της κυματομορφής (υπολογισμός): $\omega=2\pi f$ = (2π)/T(σε rad/sec).
6. Υπολογίστε την **τιμή του ρεύματος** $I_{εν}=I_o/1{,}41$, όπου Io=Vo/R που διαρρέει την αντίσταση R=250 Ω και συγκρίνετέ την με την ένδειξη του συνδεδεμένου αμπερομέτρου.
7. Σχεδιάστε τις **γραφικές παραστάσεις** $v=V_o$ημωt και $i=I_o$ημωt για χρόνο μιας περιόδου στους ίδιους άξονες και τα **περιστρεφόμενα διανύσματά τους**, αφού ορίσετε κατάλληλες δικές σας **κλίμακες**. Τα περιστρεφόμενα διανύσματα να σχεδιαστούν για στιγμιαίες τιμές της τάσης v_{t1} *στα 2ms* , v_{t2} *στα 12ms* και οι τιμές τους να συγκριθούν με τις μετρήσεις που κάνατε στο βήμα 6.



8. Σχηματίστε την παρακάτω συνδεσμολογία για την παρατήρηση των **καμπύλων Lissajous**. Συνδέστε στο CH I το τροφοδοτικό 5V/50 Hz του αυτομετασχηματιστή και στο CH II τη γεννήτρια συχνοτήτων στο μέγιστο πλάτος που φαίνεται στην οθόνη του παλμογράφου. Ενεργοποιείστε τη λειτουργία: DISPLAY-FORMAT(F3)-**XY** για να εμφανιστούν οι καμπύλες Lissajous. Δώστε στη γεννήτρια συχνοτήτων διαδοχικά τις τιμές: f_x=50,100,150,200 Hz (ακέραια πολλαπλάσια της συχνότητας f_y του αυτομετασχηματιστή) με μικρορυθμίσεις μέχρι να σταθεροποιηθούν οι καμπύλες και παρατηρήστε τα σχήματα των **καμπύλων Lissajous** που εμφανίζονται στην οθόνη του παλμογράφου. Σχολιάστε τα σχήματα.



9. Απενεργοποιείστε τη γεννήτρια συχνοτήτων, τον αυτομετασχηματιστή και τον παλμογράφο.