ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ

ΜΑΘΗΜΑ : Δομή και Ηλεκτρικές Ιδιότητες των Υλικών

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ – Α.Μ. :

i. Κανέλλα Κωνσταντίνα Λαμπροπούλου - 03117854
ii. Χρήστος Τσούφης - 03117176

ΟΜΑΔΑ : B3

ΤΙΤΛΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ : Μεταβατικά φαινόμενα – Φίλτρα RC, RL, RLC

ΑΘΗΝΑ 2018

<u>ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ</u>

1. <u>Στόχος</u>

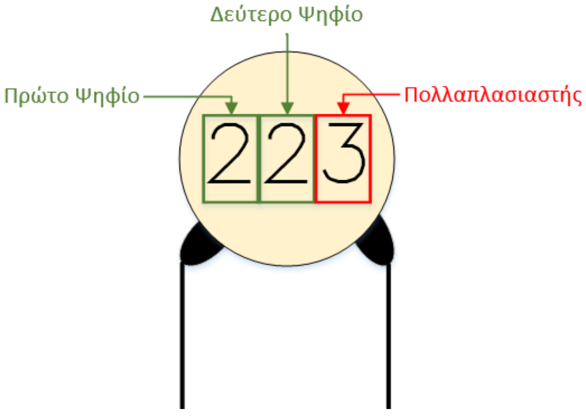
Σκοπός της εργαστηριακής άσκησης είναι η εξοικείωση με τα μεταβατικά φαινόμενα σε απλά κυκλώματα RC, RL, RLC που περιλαμβάνουν τα απλά ηλεκτρικά στοιχεία R (αντίσταση), C (πυκνωτής), L (πηνίο). Σε αυτό αφού γίνεται ανάλυση των άλλων 2 στοιχείων, εξετάζονται τα κυκλώματα καθώς και τα χαρακτηριστικά τους.

2. <u>Πυκνωτής</u>

Πυκνωτής ή στοιχείο χωρητικότητας ονομάζεται ένα σύστημα δύο γειτονικών αγωγών ανάμεσα στους οποίους παρεμβάλλεται μονωτικό υλικό. Βασικό χαρακτηριστικό κάθε πυκνωτή είναι η ιδιότητά του να αποθηκεύει ηλεκτρικό φορτίο το οποίο υπάρχει στις αγώγιμες επιφάνειες, επομένως ηλεκτρική ενέργεια. Όταν ένας πυκνωτής είναι φορτισμένος, οι οπλισμοί του έχουν ηλεκτρικά φορτία κατά μέτρο ίσα και αντίθετα. Χαρακτηριστικό μέγεθος του πυκνωτή αποτελεί η χωρητικότητα του (C [F]). Χωρητικότητα 1 F έχει ο πυκνωτής που όταν φορτιστεί με 1 C ηλεκτρικό φορτίο, έχει τάση στις πλάκες του 1 V. Οι πυκνωτές χωρίζονται σε 2 βασικές κατηγορίες, τους ηλεκτρολυτικούς (polarized) και μη-ηλεκτρολυτικούς.

✓ <u>Μη – Ηλεκτρολυτικοί Πυκνωτές</u>

Οι μη-ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές, ή πυκνωτές κεραμικής πλάκας (ή τύπου «φακής»), μπορούν να τοποθετηθούν σε ένα κύκλωμα εύκολα με οποιαδήποτε φορά. Συνήθως είναι πυκνωτές μικρής χωρητικότητας, η οποία περιγράφεται στο σώμα του πυκνωτή με το σύστημα των 3 ψηφίων. Το πρώτο ψηφίο είναι ο πρώτος σημαντικός αριθμός, το δεύτερο ο δεύτερος και το τρίτο ψηφίο είναι ο πολλαπλασιαστής, δηλαδή η δύναμη του 10.



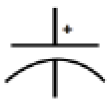
Στο σύστημα αυτό, μονάδα βάσης είναι τα pF, οπότε ο πυκνωτής της εικόνας 1 είναι χωρητικότητας 22 ×103 pF = 22000 pF = 22 nF. Σε μερικούς πυκνωτές αναγράφεται και η ακρίβεια με την προσθήκη λατινικού γράμματος ως εξής:

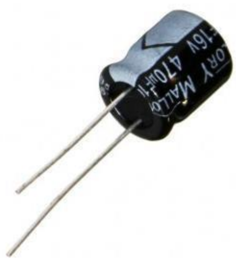
	Letter	B	C	D	F	G	J	K	M	Z
Tolerance	C <10pF ±pF	0.1	0.25	0.5	1	2				
	C >10pF ±%			0.5	1	2	5	10	20	+80-20

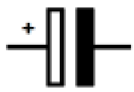
✓ <u>Ηλεκτρολυτικοί Πυκνωτές</u>

Οι ηλεκτρολυτικοί (polarized) πυκνωτές, απαιτούν συγκεκριμένη συνδεσμολογία στο κύκλωμα, γιατί είναι πολωμένοι. Τα άκρα τους είναι σημειωμένα με την ένδειξη '+' και '-', με το '+' να πρέπει να συνδεθεί στο υψηλότερο δυναμικό.

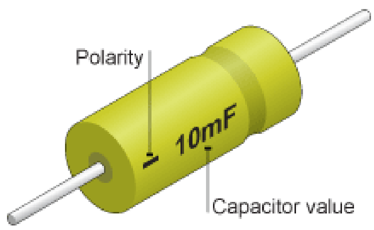
Συνήθως οι ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές έχουν κυλινδρικό σώμα και οι ακροδέκτες βρίσκονται στην ίδια πλευρά, με τον κοντύτερο ακροδέκτη να είναι το '-'. Επιπρόσθετα, μια λωρίδα (συνήθως ασημένια) βρίσκεται στην αρνητική πλευρά, σε περίπτωση που είναι αδύνατο να εντοπιστεί το κοντύτερο άκρο.







Υπάρχουν περιπτώσεις που οι ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές έχουν αντιδιαμετρικά τους ακροδέκτες, οπότε η πολικότητα υποδεικνύεται με την ανάλογη σήμανση.



3. <u>Πηνίο</u>

Το πηνίο ή επαγωγέας ή στοιχείο αυτεπαγωγής είναι από τα κυριότερα ηλεκτρικά στοιχεία των ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Πρόκειται για σύρμα (ιδεατά μηδενικής αντίστασης R) τυλιγμένο σε N σπείρες, επιφάνειας S, με παράλληλα επίπεδα πάνω στον ίδιο άξονα, συνολικού μήκους ℓ. Όταν το πηνίο διαρρέεται από ρεύμα I, δημιουργείται στο εσωτερικό του ομογενές μαγνητικό πεδίο B:

$$B = \mu_0 \mu_r \frac{N}{l} I [T],$$

(μ_0 μαγνητική διαπερατότητα του κενού, μ_r μαγνητική διαπερατότητα υλικού πυρήνα).

Χαρακτηριστικό μέγεθος του πηνίου είναι ο συντελεστής αυτεπαγωγής (L [H]). Αυτεπαγωγή ονομάζεται το φαινόμενο της δημιουργίας ηλεκτρεγερτικής δύναμης εξαιτίας της μεταβολής του ηλεκτρικού ρεύματος και είναι άμεσο επακόλουθο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής και του κανόνα του Lentz.

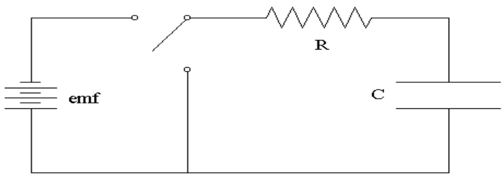
$$V_{ind} = - L \frac{dI}{dt} [V]$$

Ουσιαστικά ο συντελεστής αυτεπαγωγής L, εκφράζει την «αδράνεια» του πηνίου ως προς τις μεταβολές ρεύματος και είναι συνάρτηση των φυσικών χαρακτηριστικών του πηνίου.

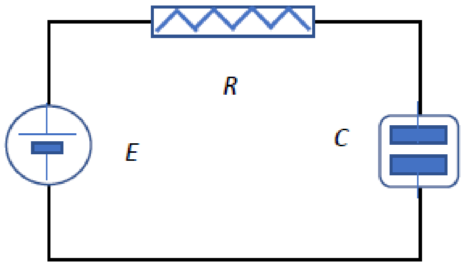
Το πηνίο εξαιτίας της ιδιότητας του να μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε μαγνητική και αντίστροφα, χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές όπως σε ηλεκτροκινητήρες, σε ηλεκτρικές γεννήτριες, σε μετασχηματιστές, σε ρελέ, σε φίλτρα, σε ταλαντωτές κ.α.

4. <u>Κύκλωμα RC</u>

Στο κομμάτι αυτό θα αναλυθεί ένα απλό κύκλωμα με μια αντίσταση και έναν πυκνωτή συνδεδεμένους σε σειρά. Αρχικά θα μελετηθεί η συμπεριφορά του κυκλώματος σε συνεχή τάση (DC Τάση) και εν συνεχεία σε εναλλασσόμενη τάση (AC Τάση). Όπως ειπώθηκε και στην εισαγωγή, οι πυκνωτές είναι στοιχεία που αποθηκεύουν φορτίο, οπότε έχουν ευρεία χρήση στα ηλεκτρικά κυκλώματα και στις εφαρμογές τους.



✓ **Απόκριση σε DC Τάση**



Στο κύκλωμα αυτό υπάρχει μια πηγή συνεχούς τάσης, που είναι η διέγερση του κυκλώματος, εν σειρά με μια αντίσταση *R* και έναν πυκνωτή *C*.

Την χρονική στιγμή t = 0, κλείνει το κύκλωμα με έναν διακόπτη και διαρρέεται από ρεύμα $I(t)$, το οποίο υπολογίζεται με χρήση του $2^{ου}$ Νόμου του Kirchoff, σύμφωνα με τον οποίο σε έναν κλειστό βρόχο, το άθροισμα των πηγών τάσης ισούται με το άθροισμα των πτώσεων τάσης:

$$\sum E = \sum V$$

Το ρεύμα αυτό $I(t)$ είναι η απόκριση του κυκλώματος. Από τον νόμο του Ohm είναι γνωστό ότι η πτώση τάσης στα άκρα της αντίστασης και του πυκνωτή δίνονται από τους τύπους:

$$V_R(t) = RI(t)$$

$$V_C(t) = \frac{1}{C}\int I(t)dt$$

Οπότε η εξίσωση του Kirchhoff γίνεται:

$$E = RI(t) + \frac{1}{C}\int I(t)dt$$

Για να επιλυθεί η εξίσωση, γίνεται παραγώγιση κατά μέλη ως προς τον χρόνο, οπότε η εξίσωση μετασχηματίζεται από ολοκληρωτική σε διαφορική:

$$\frac{dI(t)}{dt} + \frac{1}{RC}I(t) = 0$$

Αυτή η εξίσωση, ονομάζεται εξίσωση κατάστασης του κυκλώματος. Κάθε ηλεκτρικό κύκλωμα έχει την δική του εξίσωση κατάστασης. Η εξίσωση είναι ομογενής και η λύση της είναι :

$$I_o(t) = ke^{-\frac{1}{RC}t}$$

Ο συντελεστής k συσχετίζεται με τις αρχικές συνθήκες της διαφορικής εξίσωσης και πρέπει να προσδιορισθεί από αυτές. Η αρχική συνθήκη στο κύκλωμα είναι η τάση στα άκρα του πυκνωτή πριν το κλείσιμο του διακόπτη, το οποίο ήταν $V_C(0^-)$=$V_C(0^+)$ για την αρνητική και θετική πλάκα αντίστοιχα. Την χρονική στιγμή t = 0, το ρεύμα ισούται με:

$$I(t) = I_o(0) = ke^{\frac{1}{RC}0} = k = \frac{E - V_c(0_-)}{R}$$

Έτσι, το ρεύμα $I(t)$ δίνεται από τον τύπο:

$$I(t) = \frac{E - V_c(0)}{R}e^{-\frac{1}{RC}t}$$

Αν $V_c(0)$=0, τότε

$$I(t) = \frac{E}{R}e^{-\frac{1}{RC}t}$$

Η δε πτώση τάσης στα άκρα της αντίστασης:

$$V_R(t) = Ee^{-\frac{1}{RC}t}$$

Ενώ του πυκνωτή, δίνεται από τον τύπο:

$$V_C(t) = E - V_R(t) = E(1 - e^{-\frac{1}{RC}t})$$

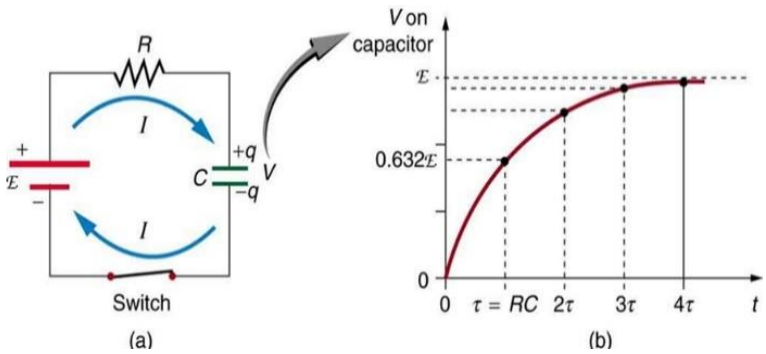
✓ **Φόρτιση πυκνωτή**

- Μόλις κλείσει το κύκλωμα, ο πυκνωτής αρχίζει να φορτίζεται μέχρι το μέγιστο φορτίο του: Q = Cε.
- Καθώς φορτίζονται οι οπλισμοί, αυξάνεται η διαφορά δυναμικού στα άκρα του πυκνωτή.
- Τη στιγμή που κλείνει ο διακόπτης, το φορτίο του πυκνωτή είναι μηδέν.
- Το φορτίο του πυκνωτή μεταβάλλεται με τον χρόνο:
  $q(t) = CE(1 - \exp[-t/(RC)]) = Q(1 - \exp[-t/(RC)])$.
- Μόλις ο πυκνωτής αποκτήσει το μέγιστο φορτίο του, το ρεύμα στο κύκλωμα γίνεται ίσο με μηδέν.
  Η χρονική μεταβολή του ρεύματος είναι: $I(t) = (E/R)*\exp[(-1/RC)*t]$.
- Μόλις ο πυκνωτής φορτιστεί πλήρως, το ρεύμα στο κύκλωμα γίνεται ίσο με μηδέν. Η σταθερά χρόνου τ = RC είναι το χρονικό διάστημα που χρειάζεται το φορτίο για να φτάσει από το μηδέν στο 63.2% της μέγιστης τιμής του.

Η τάση στα άκρα του πυκνωτή για 3 χρονικές στιγμές από την εξίσωση Vc είναι:

t	V_c
0	0
τ	0.632 E
∞	E

Και προκύπτει η αντίστοιχη γραφική παράσταση:



Η συνεχής τάση (διέγερση) δεν μειώνεται συναρτήσει του χρόνου, οπότε

$$V_R(t) + V_C(t) = E = σταθερό$$

Το ρεύμα $I(t)$, που είναι η απόκριση του κυκλώματος τείνει στο 0. Αυτό το ρεύμα θεωρητικά, δεν μηδενίζεται ποτέ. Κατά συνέπεια ούτε η τάση $V_R(t)$ μηδενίζεται ποτέ, όπως επίσης ποτέ δεν γίνεται το $V_C(t)$=E. Αυτό ισχύει θεωρητικά. Πρακτικά, πειραματικά, η τάση αυτή μετριέται και απεικονίζεται στον ανθρώπινο νου και στα ηλεκτρικά-ηλεκτρονικά όργανα αναπαράστασης της πραγματικότητας, με μια δοσμένη ακρίβεια η οποία δεν είναι άπειρη αλλά πεπερασμένη. Αν η ακρίβεια ανάγνωσης του οργάνου (ηλεκτρικό ή ηλεκτρονικό), που επιτηρεί την λειτουργία του κυκλώματος του σχήματος, είναι δV, τότε για τιμή μεγαλύτερη της ακρίβειας, το όργανο μέτρησης θα έχει ένδειξη $n\delta V$, όπου n ακέραιος φυσικός αριθμός. Για τιμή μικρότερη της δV, το όργανο μέτρησης θα έχει ένδειξη ίση με το μηδέν. Έτσι, δεδομένου ότι το πείραμα παρακολουθείται από το ηλεκτρικό ή ηλεκτρονικό όργανο μέτρησης, το ρεύμα $I(t)$ και η τάση $V_R(t)$ θα μηδενισθούν για $V_R(t)$<δV. Ο χρόνος που θα γίνει αυτός ο μηδενισμός τάσης, t_c, μπορεί να βρεθεί από την παρακάτω ανισότητα:

$$V_R(t_c) < \delta V => Ve^{-\frac{1}{RC}t_c} < \delta V => t_c > \left(\ln\left(\frac{V}{\delta V}\right)\right)RC$$

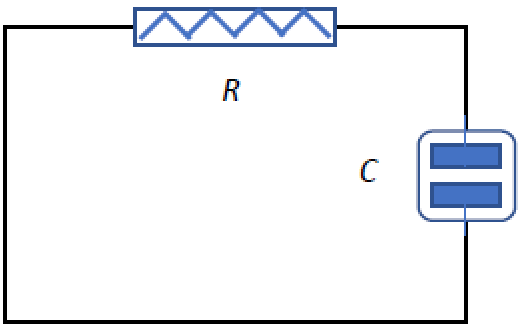
Έτσι, για έναν Μηχανικό, που επιτηρεί πειραματικά τα γεγονότα, ο χρόνος μηδενισμού του ρεύματος $I(t)$ και της τάσης $V_R(t)$ καθώς επίσης και η επίτευξη $V_C(t)$=V, δεν είναι άπειρος αλλά είναι μεγαλύτερος και ίσος από $(\ln(V/\delta V))RC$, όπου V η τάση τροφοδοσίας και δV η ευαισθησία του ηλεκτρικού ή ηλεκτρονικού οργάνου μέτρησης.

✓ Εκφόρτιση Πυκνωτή

Έστω ότι το προηγούμενο κύκλωμα βρίσκεται σε συνθήκες ισορροπίας, με τον πυκνωτή να έχει φορτιστεί πλήρως. Αν αφαιρεθεί η πηγή, την χρονική στιγμή t=0, τότε, όπως δείχνει το αμπερόμετρο, το κύκλωμα διαρρέεται από ρεύμα που σημαίνει ότι ο πυκνωτής αρχίζει να εκφορτίζεται. Η φορά του ρεύματος είναι αντίθετη εκείνης που έδειχνε το αμπερόμετρο κατά τη φόρτιση. Η ένταση του ρεύματος συνεχώς μικραίνει και τελικά γίνεται μηδέν. Αν τότε μετρηθεί η τάση στα άκρα του πυκνωτή, είναι μηδέν, γεγονός που φανερώνει ότι ο πυκνωτής εκφορτίστηκε. Η ενέργεια που αρχικά είχε αποταμιευτεί στον πυκνωτή σε μορφή ενέργειας ηλεκτρικού πεδίου μετατρέπεται εξ ολοκλήρου σε θερμότητα πάνω στην αντίσταση R. O δεύτερος κανόνας του Kirchoff για το παραπάνω κύκλωμα οδηγεί σε διαφορική εξίσωση η λύση της οποίας δίνει το φορτίο Q του πυκνωτή κάθε χρονική στιγμή t είναι: Q = Qo*exp(- t/RC) όπου Qo το φορτίο τη χρονική στιγμή t = 0. Επειδή ισχύει Qo = C *E και Q = C *Vc η η τάση Vc στους οπλισμούς του πυκνωτή θα είναι:

Vc = E *exp(- t/RC) τελευταία σχέση φαίνεται ότι η τάση στον πυκνωτή μειώνεται εκθετικά με το χρόνο ενώ η ένταση I του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα δίδεται από τη σχέση I(t)=dq/dt=-(Q/RC)*(exp[-(t/RC)]).

Όπως μπορεί να παρατηρήσει κανείς, η σταθερά χρόνου τ = RC εμφανίζεται και στις εξισώσεις που εκφράζουν την εκφόρτιση του πυκνωτή. Αν στην εξίσωση της Vc θέσει κανείς t= τ = RC προκύπτει ότι Vc = E/e = 0,368E δηλαδή η σταθερά χρόνου εκφράζει το χρόνο που απαιτείται για να ελαττωθεί η τάση του πυκνωτή και να γίνει ίση με το 36,8% της αρχικής τάσης E.



Η διέγερση είναι E=0 (πηγή) και $V_C(0)$=−E (μέγεθος τάσης πυκνωτή), και η απόκριση είναι:

$$I(t) = \frac{E - V_C(0)}{R} = \frac{-E}{R} e^{-\frac{1}{RC}t}$$

Τότε η πτώση τάσης στα άκρα της αντίστασης R, θα είναι:

$$V_R(t) = -E e^{-\frac{1}{RC}t}$$

Και η πτώση τάσης στα άκρα του πυκνωτή:

$$V_C(t) = E e^{-\frac{1}{RC}t}$$

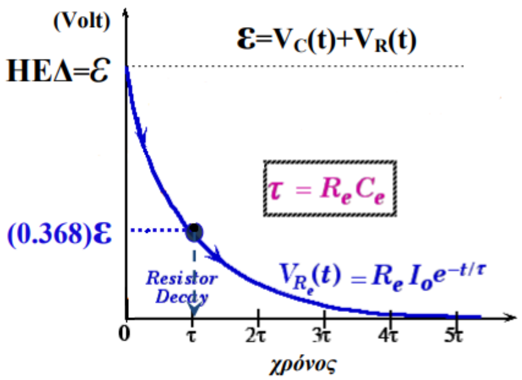
Ισχύει και πάλι ότι

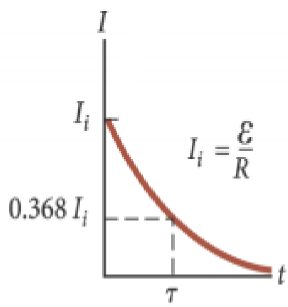
$$V_R(t) + V_C(t) = E = 0 = σταθερό$$

Οπότε για 3 χρονικές στιγμές, η τάση στα άκρα του πυκνωτή έχει τις τιμές:

t	V_c
0	E
τ	0.368 E
∞	0

Και προκύπτει η αντίστοιχη γραφική παράσταση:

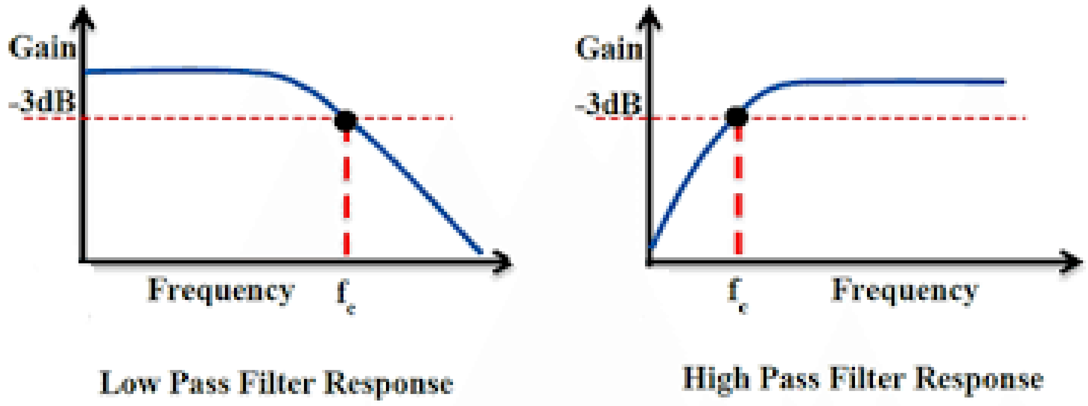




Σε αντίθεση με την φόρτιση του πυκνωτή, για την χρονική στιγμή ίση με την σταθερά χρόνου του κυκλώματος τ, η τάση στα άκρα του πυκνωτή είναι στο 36,8% της μέγιστης τάσης του πυκνωτή.

✓ Απόκριση σε AC Τάση

Τα RC κυκλώματα επιτρέπουν να περάσει το σήμα σε κάποιες συχνότητες, ενώ σε άλλες το κόβουν. Για αυτό για την απόκριση τους ως προς τη συχνότητα καλούνται φίλτρα. Σε αυτό το εργαστήριο εξετάσαμε τα βαθυπερατά (low pass filter) σχήμα 1 και τα υψιπερατά (high pass filter) φίλτρα σχήμα 2. Το βαθυπερατό φίλτρο αφήνει το σήμα να περάσει στις χαμηλές συχνότητες και κόβει τις υψηλές. Αντίστοιχα το υψιπερατό φίλτρο αφήνει το σήμα να περάσει τις υψηλές συχνότητες και κόβει στις χαμηλές. Δυο γραφικές παραστάσεις για το πως συμπεριφέρονται τα φίλτρα.

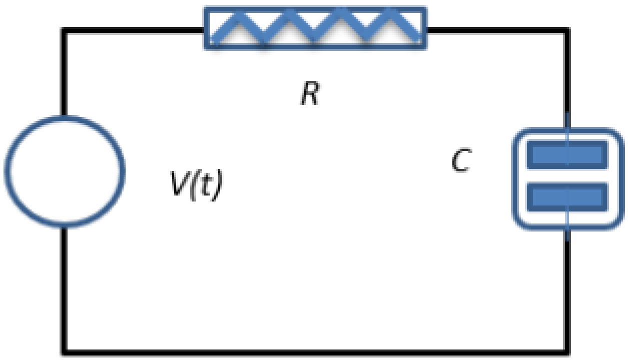


Στα κυκλώματα RC όταν αυξάνεται η συχνότητα, η χωρική αντίσταση Xc μειώνεται, επειδή είναι αντίστροφη ανάλογη της συχνότητας. Xc = [1 / (2πfC)]. Όταν αυξάνεται η χωρική αντίσταση αυξάνεται η συνολική αντίσταση του κυκλώματος RC και αφού η τάση είναι σταθερή, μικρότερη αντίσταση σημαίνει μεγαλύτερο ρεύμα κλάδου σειράς. Μεγαλύτερο ρεύμα σημαίνει μεγαλύτερη τάση στα άκρα της αντίστασης (αφού η τιμή της μένει σταθερή) και μικρότερη τάση στα άκρα του πυκνωτή (αφού η χωρική αντίσταση μικραίνει με την αύξηση της συχνότητας) ώστε η συνολική τάση να είναι σταθερή και ίση με της πηγής.

Αν το φίλτρο είναι βαθυπερατό, καθώς αυξάνεται η συχνότητα τότε θα υπάρξει μείωση του πλάτους εξόδου (επειδή η έξοδος είναι στα άκρα του πυκνωτή). Το σήμα κόβεται στις υψηλές συχνότητες και περνάνε ο χαμηλές.

Αν το φίλτρο είναι υψιπερατό, καθώς αυξάνεται η συχνότητα, θα αυξάνεται και το πλάτους εξόδου (η έξοδος είναι στα άκρα της αντίστασης). Έτσι το σήμα περνάει στις υψηλές συχνότητες και κόβεται στις χαμηλές.

Το κύκλωμα του σχήματος αποτελείται από μια πηγή εναλλασσόμενης τάσης $V(t)$=$V_o sin(\omega t)$, εν σειρά με μια αντίσταση R και έναν πυκνωτή C.



Η συσχέτιση της πτώσης τάσης στα άκρα της αντίστασης και του πυκνωτή, για απόκριση $I(t)$ είναι:

$$V_R(t) = RI(t)$$
$$V_C(t) = \frac{1}{C}\int I(t)dt$$

Οπότε με εφαρμογή του νόμου του Kirchhoff, προκύπτει η εξίσωση:

$$V(t) = RI(t) + \frac{1}{C}\int I(t)dt$$

Η επίλυση αυτής της εξίσωσης επιτυγχάνεται με την διαφόριση του δεξιού και του αριστερού μέλους της ως προς τον χρόνο. Αν προσπαθήσει κανείς να λύσει με $V(t)$=$V_o sin(\omega t)$, τότε η μερική λύση αυτής της νέας διαφορικής εξίσωσης δεν θα είναι πια μηδέν και το ολοκλήρωμα που δίνει αυτή τη μερική λύση θα είναι γινόμενο ημιτονοειδούς συνάρτησης με εκθετικό, που σημαίνει σχετικά δύσκολη επίλυση. Για τον λόγο αυτό, γίνεται χρήση του μαθηματικού μετασχηματισμού:

$$V_o e^{i\omega t} = V_o(cos\omega t + isin\omega t) = V_o cos\omega t + iV_o sin\omega t$$

Για να λυθεί αυτή η εξίσωση, πρέπει να γίνει παραγώγιση του δεξιού και του αριστερού μέλος ως προς τον χρόνο:

$$\frac{dI(t)}{dt} + \frac{1}{RC}I(t) = V_o i\omega e^{i\omega t}$$

(Ισχύει ότι $\int e^{\alpha t}\, dt = \frac{e^{\alpha t}}{\alpha t}$ και $\frac{d(e^{\alpha t})}{dt} = \alpha e^{\alpha t}$)

Η λύση αυτής της διαφορικής δίνεται από τον τύπο:

$$I(t) = I_o(t) + I_\mu(t) = ke^{-\frac{1}{RC}t} + e^{-\frac{1}{RC}t}\int e^{\frac{1}{RC}t}V_o i\omega e^{i\omega t}dt = ke^{-\frac{1}{RC}t} + e^{-\frac{1}{RC}t}V_o i\omega \int e^{(\frac{1}{RC}+i\omega)t}$$

$$= ke^{-\frac{1}{RC}t} + e^{-\frac{1}{RC}t}V_o i\omega \frac{e^{(\frac{1}{RC}+i\omega)t}}{\frac{1}{RC}+i\omega} = ke^{-\frac{1}{RC}t} + e^{-\frac{1}{RC}t}e^{\frac{1}{RC}t}V_o \frac{e^{i\omega t}}{\frac{\frac{1}{RC}+i\omega}{i\omega}} = ke^{-\frac{1}{RC}t} + \frac{V_o e^{i\omega t}}{R - i\frac{1}{\omega C}}$$

Όπου $I_o(t)$ η λύση της ομογενούς και $I_\mu(t)$, η λύση της μερικής.

Οπότε, ο υπολογισμός του ολοκληρώματος με την χρήση του εκθετικού ολοκληρώματος με την χρήση εκθετικού στην διέγερση. Για $t \gg RC$, το ke^(((−1/(RC))*t) τείνει στο μηδέν και το $I(t)$ γίνεται:

$$I(t) = \frac{V_o e^{i\omega t}}{R - i\frac{1}{\omega C}} = \frac{V(t)}{R + Z_C}$$

Δηλαδή στην μόνιμη ημιτονοειδή κατάσταση ο νόμος του Ohm συνεχίζει και ισχύει, δίνοντας μια τιμή αντίστασης στον πυκνωτή, ο οποίος πλέον δεν λειτουργεί σαν διακόπτης. Η αντίσταση αυτή δεν έχει πραγματική τιμή αλλά φανταστική (με αρνητική τιμή) και ονομάζεται εμπέδηση. Η φυσική έννοια της φανταστικής αντίστασης είναι η ικανότητά της να αποθηκεύει ενέργεια αντί να την καταναλώνει.

Η συνολική αντίσταση του κυκλώματος πλέον είναι ίση με:

$$Z = R + i(-\frac{1}{\omega C})$$

Το σήμα εξόδου V_{out} λαμβάνεται από τους ακροδέκτες του πυκνωτή. Η τάση εισόδου στο σύστημα V_{in} δίνεται από την γεννήτρια.

Η ενεργός τιμή που θα διαρρεύσει το κύκλωμα ισούται με:

$$I_{\varepsilon\nu} = \frac{V_{in}}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{C\omega}\right)^2}}$$

Οπότε η διαφορά δυναμικού στα άκρα του πυκνωτή, που είναι και το σήμα εξόδου V_{out},

$$V_{out} = I_{\varepsilon\nu} X_c = V_{in} \frac{\frac{1}{C\omega}}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{C\omega}\right)^2}}$$

Επομένως, προκύπτει ο λόγος εξόδου ως προς την είσοδο και είναι ίσος με:

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{\frac{1}{C\omega}}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{C\omega}\right)^2}}$$

Οπότε η τιμή του λόγου και κατ' επέκταση η συμπεριφορά του κυκλώματος εξαρτάται από την συχνότητα.

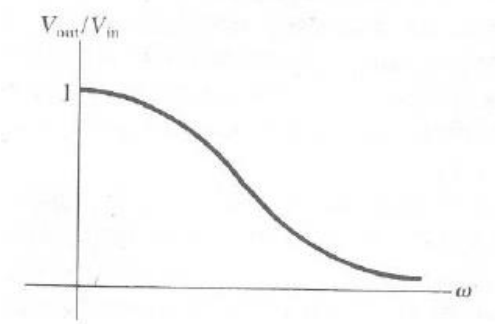
Επομένως:

Όταν $\omega \to 0$, τότε ο λόγος $V_{out} / V_{in} \to 1$

Ενώ για $\omega \to \infty$, ο λόγος γίνεται $V_{out} / V_{in} \to 0$

Το παραπάνω φίλτρο συνεπώς επιτρέπει την διέλευση σήματος χαμηλών συχνοτήτων, ενώ εμποδίζει τα σήματα υψηλών συχνοτήτων. Η συνδεσμολογία αυτή ονομάζεται γι' αυτόν τον λόγο και **βαθυπερατό φίλτρο** ή **φίλτρο διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων.**

Αν **αλλάξουν θέσεις** τα ηλεκτρικά στοιχεία, στο νέο κύκλωμα θα προηγείται ο πυκνωτής της αντίστασης και το σήμα εξόδου θα λαμβάνεται από τους ακροδέκτες της αντίστασης.



Ο λόγος τάσης εξόδου ως προς την είσοδο, σε αυτή την συνδεσμολογία είναι:

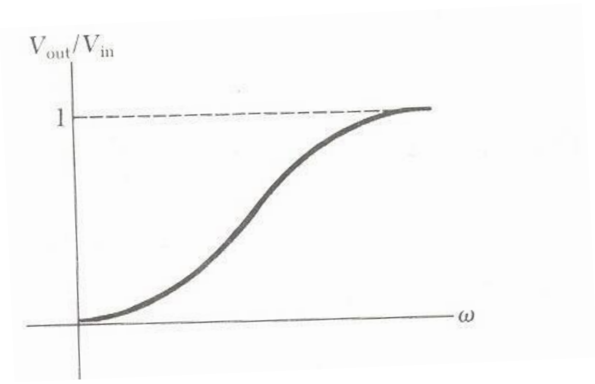
$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{C\omega}\right)^2}}$$

Σε αυτή την περίπτωση:

Όταν $\omega \to 0$, τότε ο λόγος $V_{out} / V_{in} \to 0$

Ενώ για $\omega \to \infty$, ο λόγος γίνεται $V_{out} / V_{in} \to 1$

Στην περίπτωση αυτή το κύκλωμα επιτρέπει την διέλευση υψηλών συχνοτήτων και αποτρέπει την διέλευση των χαμηλών συχνοτήτων. Με αυτή την συνδεσμολογία έχουμε ένα **υψιπερατό φίλτρο** ή **φίλτρο διέλευσης υψηλών συχνοτήτων.**

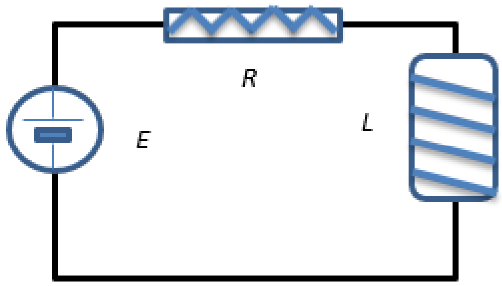


5. <u>Κύκλωμα RL</u>

Σε αυτή την ενότητα θα εξεταστεί η συμπεριφορά ενός κυκλώματος που περιέχει μια αντίσταση και ένα πηνίο συνδεδεμένα σε σειρά, τόσο για DC τάση, όσο και για AC.

✓ <u>Απόκριση σε DC Τάση</u>

Έστω την χρονική στιγμή t=0, ο διακόπτης S κλείνει και το κύκλωμα διαρρέεται από ρεύμα I_0:



Το ρεύμα αυτό $I(t)$ είναι η απόκριση του κυκλώματος. Από τον νόμο του Ohm, είναι γνωστό ότι η πτώση τάσης στα άκρα της αντίστασης και του πηνίου δίνονται από τους τύπους:

$$V_R(t) = RI(t)$$

$$V_L(t) = L\frac{I(t)}{dt}$$

Κατά συνέπεια η εξίσωση του Kirchhoff γίνεται:

$$V = RI(t) + L\frac{I(t)}{dt}$$

ή

$$\frac{dI(t)}{dt} + \frac{R}{L}I(t) = \frac{V}{L} = F$$

Από τις διαφορικές εξισώσεις βλέπουμε ότι η εν λόγω διαφορική εξίσωση είναι μη ομογενής γραμμική διαφορική εξίσωση Α τάξης, η δε λύση της δίνεται από τον τύπο:

$$I(t) = I_o(t) + I_\mu(t)$$

Όπου $I_o(t)$ η λύση της ομογενούς:

$$I_o(t) = ke^{-\frac{R}{L}t}$$

και $I_\mu(t)$, η λύση της μερικής που με βάση τον γενικό της τύπο δίνει:

$$I_\mu(t) = \frac{I_o(t)}{k}\int\frac{I_o^*(t)}{k}Fdt = \frac{I_o(t)}{k}\int\frac{I_o^*(t)}{k}\frac{V}{L}dt = e^{-\frac{R}{L}t}\int e^{\frac{R}{L}t}\frac{V}{L}dt = e^{-\frac{R}{L}t}\frac{V}{L}\frac{e^{\frac{R}{L}t}}{\frac{R}{L}} = \frac{V}{R}$$

Στην περίπτωση αυτή, η μερική λύση είναι $I_\mu(t) = V/R$ και ο συντελεστής k συσχετίζεται με τις αρχικές συνθήκες της διαφορικής εξίσωσης και πρέπει να προσδιορισθεί από αυτές. Η μοναδική αρχική συνθήκη στο κύκλωμα του Σχήματος μπορεί να είναι το ενγενές ρεύμα στο πηνίο την χρονική στιγμή 0. Έτσι, αν το ρεύμα αυτό πριν το κλείσιμο του διακόπτη είναι $I_L(0^-)$, όπου $I_L(0^-) = I_L(0^+)$, τότε το ρεύμα την χρονική στιγμή 0 είναι:

$$I(0) = ke^{-\frac{R}{L}0} + \frac{V}{R} = k + \frac{V}{R}$$

Αν $I(0) = 0$, τότε $k = -V/R$, και το ρεύμα $I(t)$ δίνεται από τον τύπο:

$$I(t) = \frac{V}{R}(1 - e^{-\frac{R}{L}t})$$

Τότε η πτώση τάσης στα άκρα της αντίστασης R δίνεται από τον τύπο:

$$V_R(t) = V(1 - e^{-\frac{R}{L}t})$$

Και η πτώση τάσης στα άκρα του πηνίου δίνεται από τον τύπο:

$$V_L(t) = V - V_R(t) = Ve^{-\frac{R}{L}t}$$

Και πάλι πρέπει:

$$V_R(t) + V_L(t) = V = σταθερό$$

Αντικαθιστώντας όπου $V = E$, την τιμή της πηγής τάσης, προκύπτει για την ένταση του κυκλώματος:

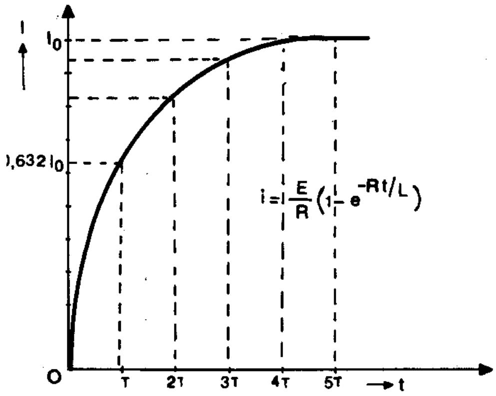
$$I = \frac{E}{R}\left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right)$$

Η χρονική στιγμή όπου ο εκθέτης του e γίνεται -1 αντιστοιχεί στην τιμή $\tau = L/R$, ονομάζεται σταθερά χρόνου του κυκλώματος και εκφράζει την αδράνεια του κυκλώματος στην αποκατάσταση του ρεύματος.

Οπότε αντίστοιχα οι χαρακτηριστικές τιμές της έντασης, θα είναι:

t	I
0	0
τ	0.682 I_0
∞	$\frac{E}{R} = I_0$

Και η γραφική απεικόνιση της εξίσωσης:



Αν τώρα το κύκλωμα είναι σε συνθήκη ισορροπίας, δηλαδή $I = I_0$ και ανοίξει ο διακόπτης S, προκύπτει :

$$L\frac{\Delta I}{\Delta t} + IR = 0$$

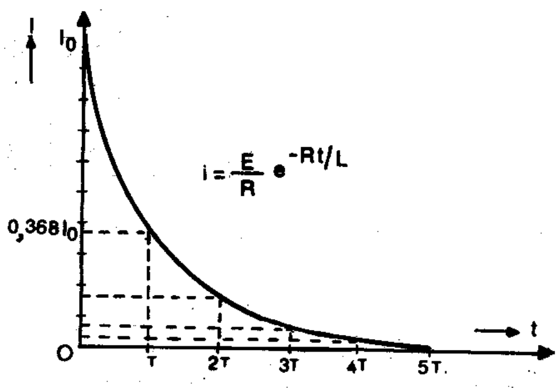
Όπου η λύση της διαφορικής δίνει:

$$I = \frac{E}{R}e^{-\frac{R}{L}t}$$

Και με τα αντίστοιχα σημεία οι τιμές της έντασης είναι:

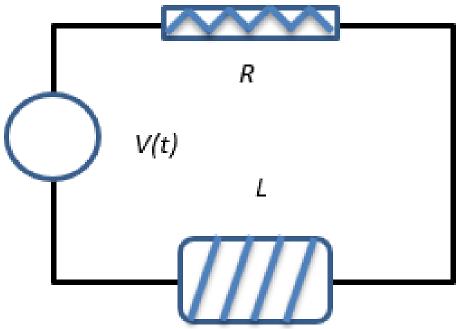
t	I
0	$\frac{E}{R} = I_0$
τ	$0.368\ I_0$
∞	0

Και η γραφική απεικόνιση της εξίσωσης:



✓ Απόκριση σε AC Τάση

Το κύκλωμα RL μπορεί να λειτουργήσει σαν υψιπερατό φίλτρο (διέλευση σημάτων υψηλών συχνοτήτων). Δεδομένου του παρακάτω κυκλώματος :



Από τα προηγούμενα, είναι γνωστό ότι η πτώση τάσης στα άκρα της αντίστασης και του πηνίου δίνονται από τους τύπους:

$$V_R(t) = RI(t)$$
$$V_L(t) = L\frac{dI(t)}{dt}$$

Κατά συνέπεια η εξίσωση του Kirchhoff γίνεται:

$$V(t) = RI(t) + L\frac{dI(t)}{dt}$$

Όπως και πριν, κάνοντας χρήση του μαθηματικού μετασχηματισμού:

$$V_o e^{i\omega t} = V_o(cos\omega t + isin\omega t) = V_o cos\omega t + iV_o sin\omega t$$

Έτσι, θεωρώντας ότι η διέγερση του κυκλώματος είναι:

$$V(t) = V_o e^{i\omega t}$$

η εξίσωση κατάστασης μετασχηματίζεται στην:

$$V(t) = V_o e^{i\omega t} = RI(t) + L\frac{dI(t)}{dt}$$

Το ρεύμα $I(t)$ θα είναι η λύση της γραμμικής μη ομογενούς διαφορικής εξίσωσης:

$$\frac{dI(t)}{dt}+\frac{R}{L}I(t)=\frac{V_o}{L}e^{i\omega t}$$

Η λύση αυτής της διαφορικής δίνεται από τον τύπο:

$$I(t)=I_o(t)+I_\mu(t)=ke^{-\frac{R}{L}t}+e^{-\frac{R}{L}t}\int e^{\frac{R}{L}t}\frac{V_o}{L}e^{i\omega t}dt=ke^{-\frac{R}{L}t}+e^{-\frac{R}{L}t}\frac{V_o}{L}\int e^{(\frac{R}{L}+i\omega)t}\,dt=ke^{-\frac{R}{L}t}+e^{-\frac{R}{L}t}\frac{V_o}{L}\frac{e^{(\frac{R}{L}+i\omega)t}}{\frac{R}{L}+i\omega}$$
$$=ke^{-\frac{R}{L}t}+\frac{V_o e^{i\omega t}}{R+i\omega L}$$

Όπου $Io(t)$ η λύση της ομογενούς και $I\mu\ (t)$, η λύση της μερικής. Για $t\gg L/R$, το ke^$(((-1/(RC))*t)$ τείνει στο μηδέν και το $I(t)$ αποκτά την τιμή της μερικής λύσης:

$$I(t)=\frac{V_o e^{i\omega t}}{R+i\omega L}=\frac{V(t)}{R+Z_L}$$

Το σήμα εξόδου λαμβάνεται στους ακροδέκτες του πηνίου, οπότε αντίστοιχα με το κύκλωμα RC, η ενεργός τιμή του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα θα είναι:

$$\mathrm{I}_{\varepsilon\nu}=\frac{V_{in}}{\sqrt{R^2+(L\omega)^2}}$$

Με δεδομένο ότι η σύνθετη αντίσταση του πηνίου είναι $XL=\omega L$, οπότε και το σήμα στην έξοδο θα είναι:

$$V_{out}=I_{\varepsilon\nu}X_L=V_{in}\frac{L\omega}{\sqrt{R^2+(L\omega)^2}}$$

Επομένως ο λόγος της τάσης εξόδου προς την τάση εισόδου θα είναι:

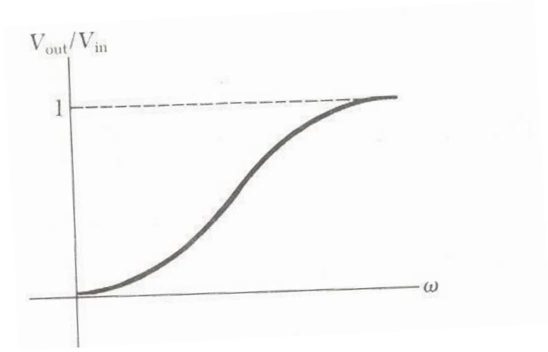
$$\frac{V_{out}}{V_{in}}=\frac{L\omega}{\sqrt{R^2+(L\omega)^2}}$$

Με αποτέλεσμα:

Όταν $\omega\to 0$, τότε ο λόγος $V_{out}/V_{in}\to 0$

Ενώ για $\omega\to\infty$, ο λόγος γίνεται $V_{out}/V_{in}\to 1$

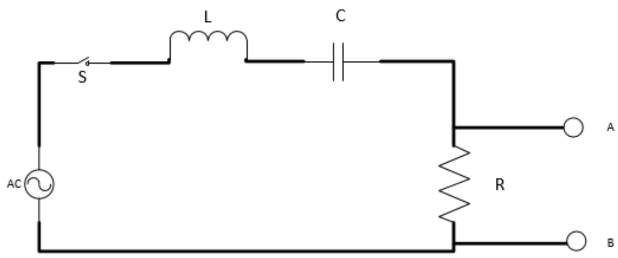
Από το λόγο αυτό προκύπτει ότι η συνδεσμολογία αυτή λειτουργεί ως υψιπερατό φίλτρο.



6. <u>Κύκλωμα RLC</u>

Σε οποιοδήποτε RLC κύκλωμα μπορεί να παρατηρηθεί το φαινόμενο του συντονισμού. Τα κύκλωμα του συντονισμού αποτελείται από ένα πηνίο και ένα πυκνωτή μαζί με μια πηγή τάση ή ρεύματος. Η σύνθετη αντίστασή είναι z=R+j(ωL-1/ωC). Συντονισμός υπάρχει στη συχνότητα που (ωL-1/ωC)=0 δηλ. ω=sqrt(1/LC). Σε εκείνο το σημείο η σύνθετη αντίσταση είναι ωμική και το μέτρο της είναι το ελάχιστο αφού έχει μηδενιστεί το φανταστικό μέρος της. Επομένως κατά το συντονισμό υπάρχει μέγιστη τάση σε κάθε ένα από τα στοιχεία. Αν η γείωση είναι στον πυκνωτή εκεί θα τοποθετηθεί και ο παλμογράφος για να ληφθούν σωστά αποτελέσματα. Στο σημείο του συντονισμού η τάση μπορεί να είναι ακόμα μεγαλύτερη και από την τάση της πηγής αφού το ίδιο θα συμβαίνει και στο πηνίο αλλά με αντίθετη φορά οπότε θα εξουδετερώνονται.

Στην συνδεσμολογία εν σειρά ενός πηνίου, ενός πυκνωτή και μιας αντίστασης, με πλέον δυο στοιχεία αποθήκευσης ενέργειας.



Η σύνθετη αντίσταση του κυκλώματος ισούται με:

$$Z_{in}(\omega) = R + X_C + X_L = R + i\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)$$

Είναι εύκολα αντιληπτό ότι η σύνθετη συνάρτηση του κυκλώματος είναι συνάρτηση της συχνότητας, δηλαδή $\omega = 2\pi f$, όπου f η συχνότητα διέγερσης. Το δε μέτρο της σύνθετης αντίστασης, όπως και όλων των μιγαδικών αριθμών είναι η ρίζα του αθροίσματος του τετραγώνου του πραγματικού και του φανταστικού μέρους:

$$|Z_{in}(\omega)| = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

Η συχνότητα για την οποία το φανταστικό μέρος μηδενίζεται και η σύνθετη αντίσταση $Z_{in}(\omega)$ είναι πραγματικός αριθμός, δηλαδή το μέτρο της σύνθετης αντίστασης είναι ελάχιστο και ίσο με την τιμή της αντίστασης R:

$$\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0 \Leftrightarrow \omega = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Η συχνότητα ω_0 λέγεται συχνότητα συντονισμού.

Για συχνότητες χαμηλότερες της συχνότητας συντονισμού, ισχύει:

$$\omega L < \frac{1}{\omega C}$$

Οπότε, υπερισχύει η χωρητική αντίσταση X_C , ενώ αντίθετα για συχνότητες υψηλότερες της συχνότητας συντονισμού, υπερισχύει η επαγωγική αντίσταση X_L:

$$\omega L > \frac{1}{\omega C}$$

Το ρεύμα I που διαρρέει το κύκλωμα, είναι επίσης συνάρτηση της συχνότητας και ίσο με:

$$I(\omega) = \frac{V_s(\omega)}{Z_{in}(\omega)}$$

Κατά τον συντονισμό το ρεύμα I μεγιστοποιείται, καθότι η Z_{in} ελαχιστοποιείται, δηλαδή:

$$I(\omega_0) = I_0 = \frac{V_s}{R}$$

Ο λόγος του ρεύματος $I(\omega)$ ως προς το ρεύμα I_0 δίνεται από την ακόλουθη σχέση :

$$\frac{I(\omega)}{I_0} = \frac{R}{Z_{in}(\omega)} = \frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{X_0}{R}\right)^2+\left(\frac{\omega}{\omega_0}-\frac{\omega_0}{\omega}\right)^2}},$$

$$X_0 = \omega L = -\frac{1}{\omega C}$$

Ένα σημαντικό μέγεθος των κυκλωμάτων συντονισμού, είναι ο συντελεστής ποιότητας Q_0, ο οποίος δίνεται από την σχέση:

$$Q_0 = \frac{X_0}{R} = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{\omega_0 RC},$$

Επίσης οι τιμές $\omega 1$ και $\omega 2$ για τις οποίες ισχύει $I/\ I_0 = \sqrt{2}\ /2 = 0{,}707$, δίνονται από την σχέση:

$$\omega_1 = -\frac{R}{2L} + \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 + \frac{1}{LC}} = \omega_0\left(\sqrt{1+\frac{1}{4Q_0^2}} - \frac{1}{2Q_0}\right)$$

$$\omega_2 = \frac{R}{2L} + \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 + \frac{1}{LC}} = \omega_0\left(\sqrt{1+\frac{1}{4Q_0^2}} + \frac{1}{2Q_0}\right)$$

Η δε διαφορά φάσης $\beta = \omega_1 - \omega_2$, ονομάζεται **εύρος συντονισμού** (bandwidth):

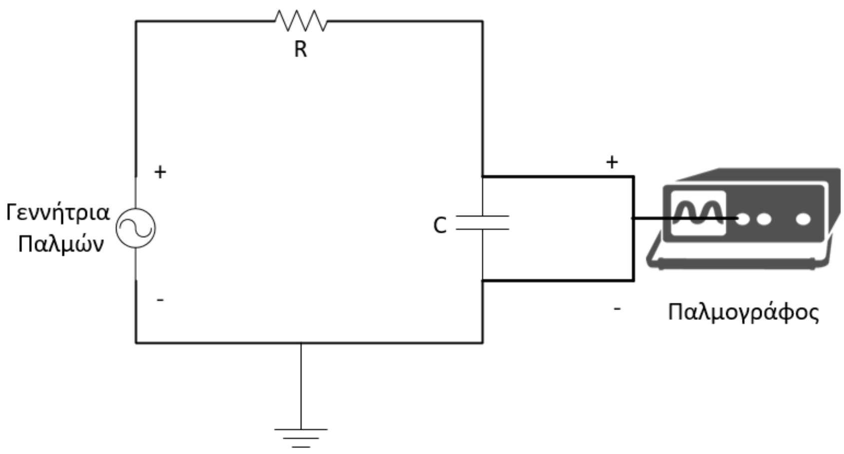
$$\beta = \omega_2 - \omega_1 = \frac{R}{L} = \frac{\omega_0}{Q_0}$$

Ο συντελεστής ποιότητας Q_0 είναι αντιστρόφως ανάλογος ως προς το εύρος συντονισμού, επομένως όσο μεγαλύτερος είναι, τόσο μικρότερο εύρος συντονισμού επικρατεί.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1. Κύκλωμα RC

Το κύκλωμα περιλαμβάνει 1 αντίσταση R = 100 Ω και 1 πυκνωτή C = 22 nF, συνδεδεμένα σε σειρά. Το κύκλωμα συνδέεται με την γεννήτρια παλμών και τα άκρα του πυκνωτή με τον παλμογράφο.



Η γεννήτρια ρυθμίζεται σε λειτουργία ημιτονοειδούς σήματος, με πλάτος V_{pp} = $5V$.

- **Καθορισμός της σταθεράς απόκρισης του πυκνωτή**

Υπολογισμός της σταθεράς απόκρισης του κυκλώματος $\tau = RC$, ρυθμίζοντας την γεννήτρια στην θέση **τετραγωνικών παλμών**. Περιγραφή των κυματομορφών των ακόλουθων συχνοτήτων:

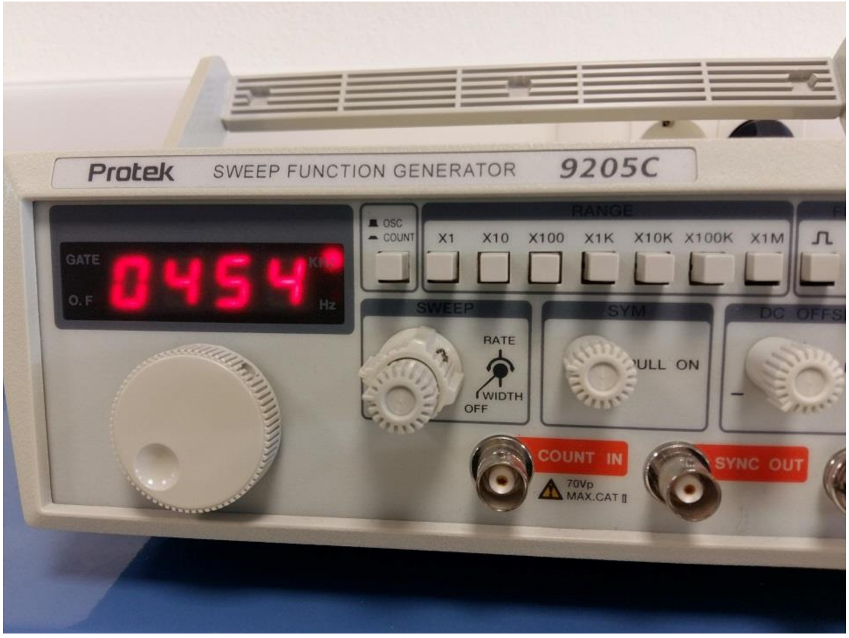
$\tau = R*C = 100*22*10^{-9} = 22*10^{-7}$ sec

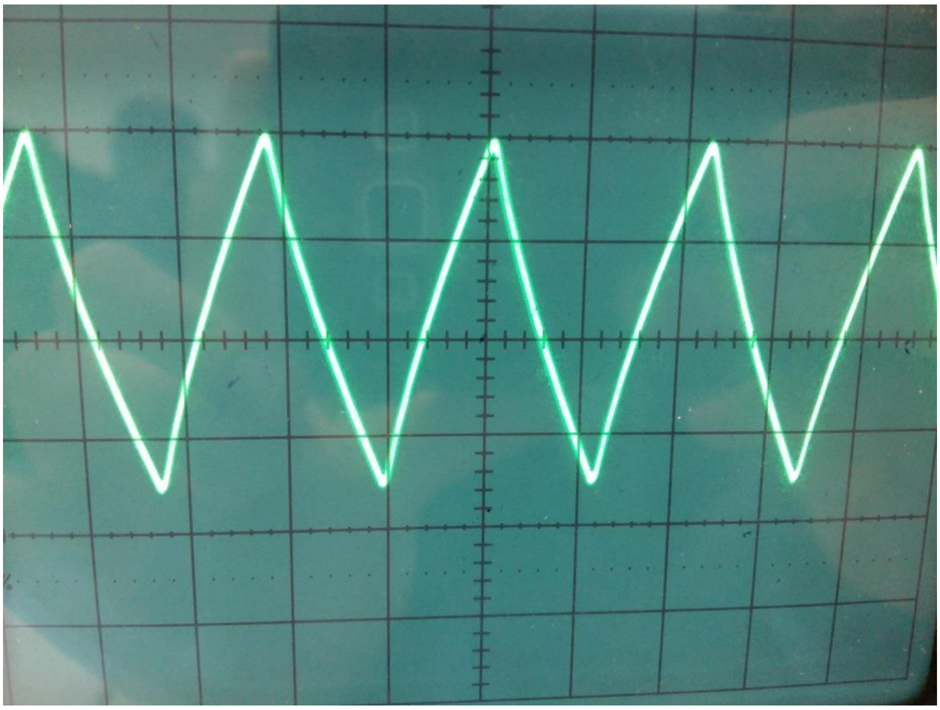
Οι ζητούμενες συχνότητες που προκύπτουν είναι οι:

F (KHz)	**F(KHz)**
1/τ	454.5
1/2τ	227.2
1/20τ	22.7
1/200τ	2.27

Με την ρύθμιση των τετραγωνικών παλμών στις αντίστοιχες συχνότητες, προέκυψαν οι ακόλουθες κυματομορφές :

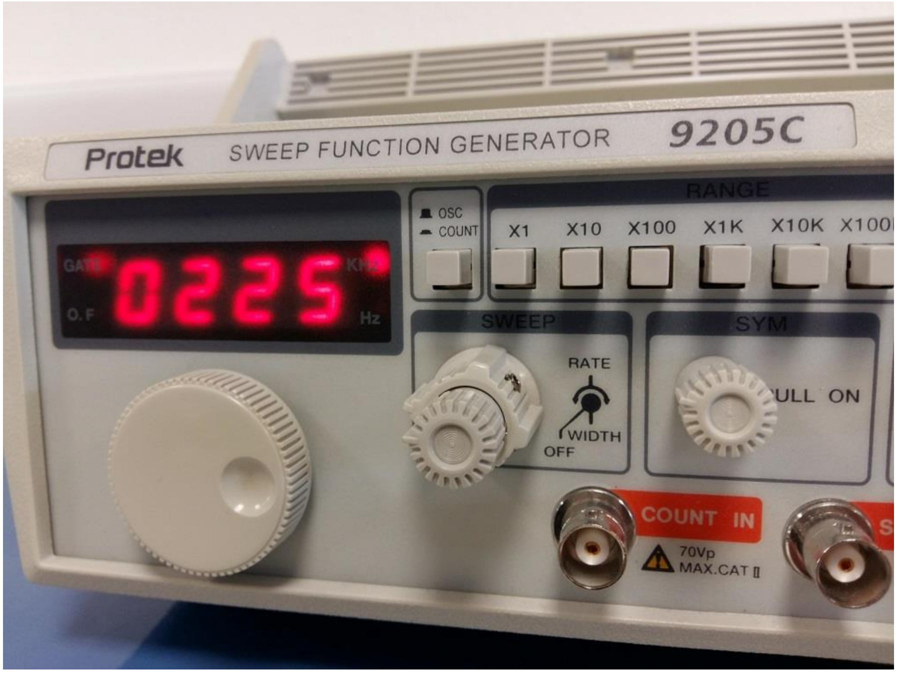
Συχνότητα 454.5 KHz

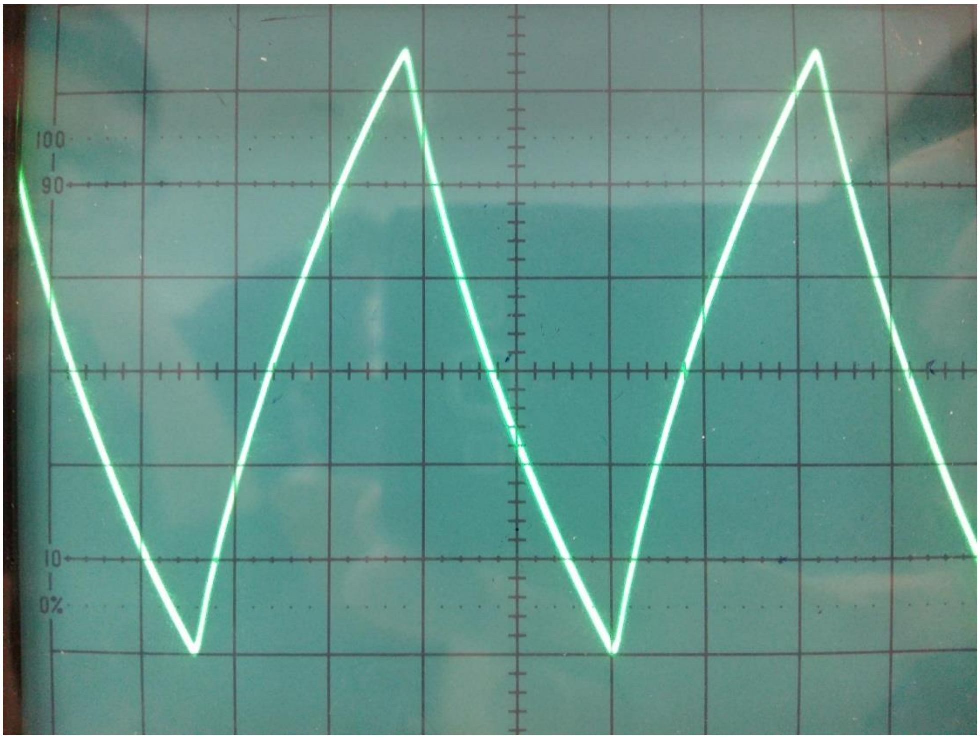




Σε αυτήν την κυματομορφή παρατηρούμε ότι ενώ εισάγουμε στο κύκλωμα τετραγωνικό παλμό, η έξοδος στα άκρα του πυκνωτή μας δίνει τριγωνικό παλμό. Η εξήγηση αυτού του φαινομένου έγκειται στο γεγονός ότι ο πυκνωτής δεν προλαβαίνει να φορτιστεί και εκφορτιστεί σε αυτή την συχνότητα.

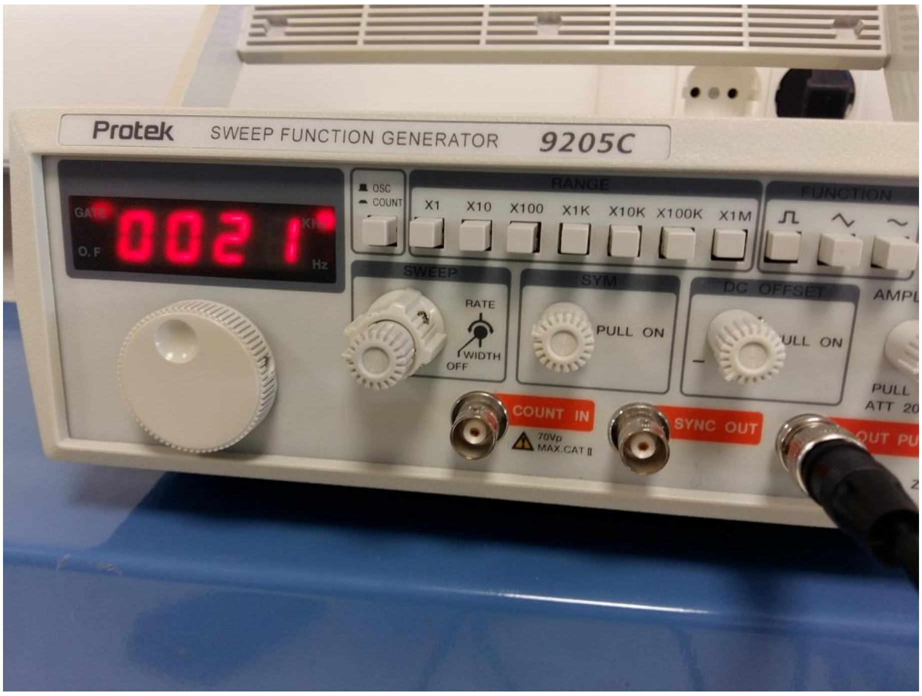
Συχνότητα 227.2 KHz

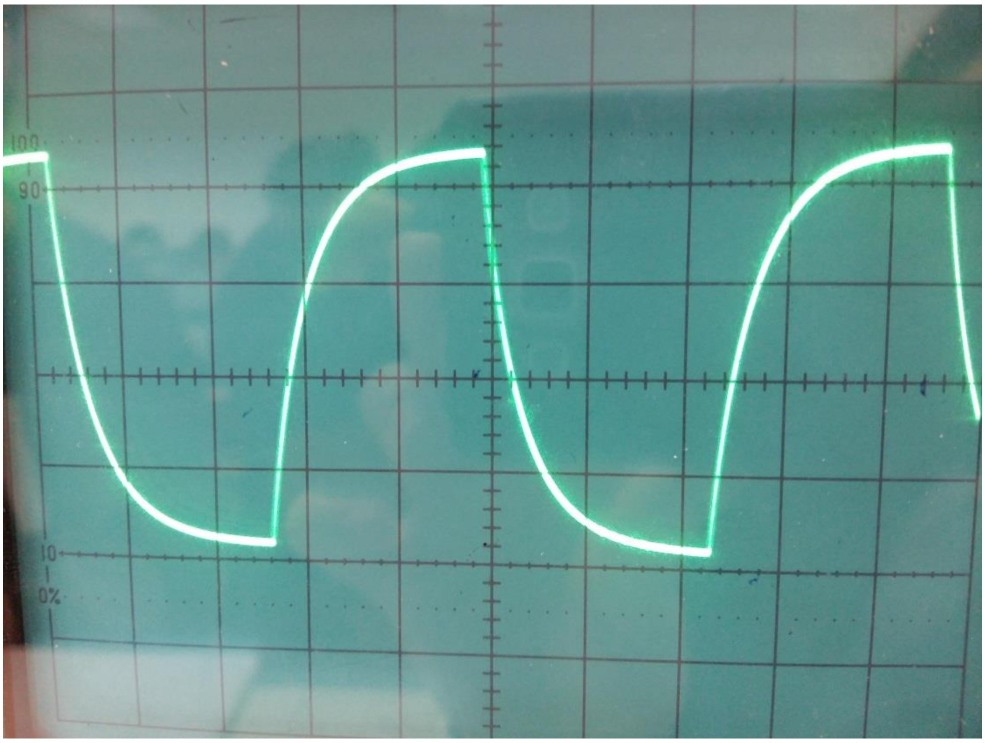




Η κυματομορφή μοιάζει με την προηγούμενη με την διαφορά ότι οι κορυφές της κυματομορφής αντιστοιχούν σε μεγαλύτερη τιμή τάσης. Πάλι όμως ο πυκνωτής δεν φορτίζεται/εκφορτίζεται πλήρως.

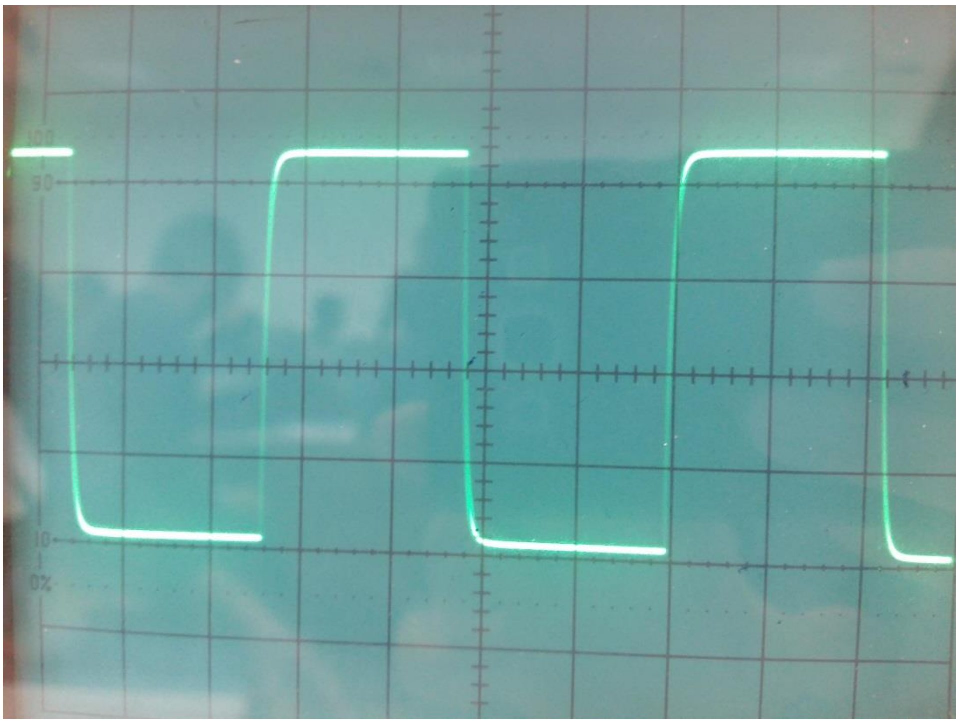
Συχνότητα 22.7 KHz





Σε αυτή τη συχνότητα παρατηρούμε αλλαγή στο σχήμα της κυματομορφής εξόδου και ότι τείνει να σταθεροποιηθεί σε μια ανώτατη τιμή τάσης V_{out}, η οποία σημαίνει ότι σε αυτή την περίπτωση δεν έχουμε πλήρη φόρτιση/ εκφόρτιση.

Συχνότητα 2.7 KHz

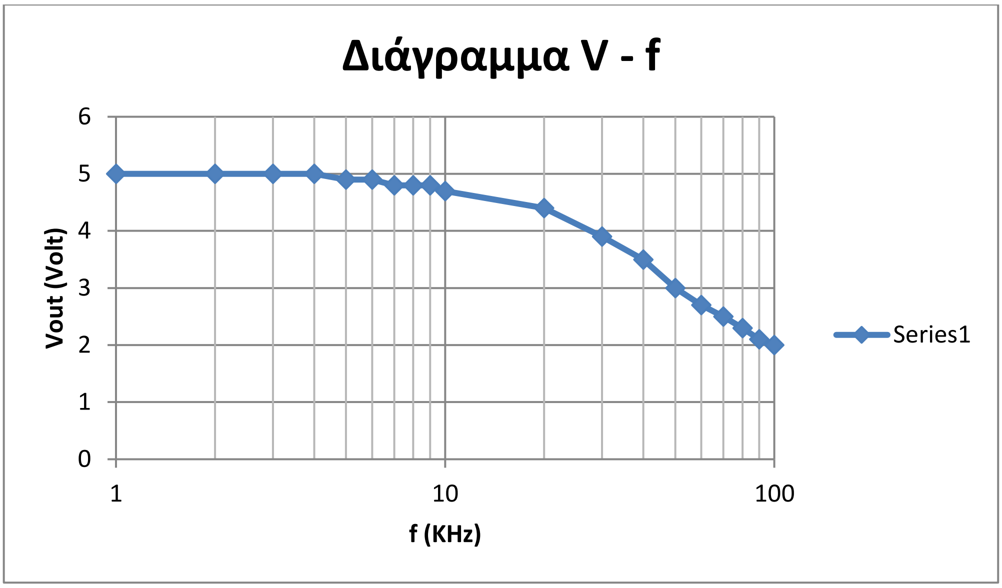


Σε αυτή την συχνότητα έχουμε πλήρη φόρτιση/εκφόρτιση του πυκνωτή και επίσης το σήμα εξόδου τείνει να γίνει ξανά τετραγωνικό. Η εξήγηση έγκειται στο γεγονός ότι το φίλτρο RC είναι βαθυπερατό. <u>Παρατήρηση</u> : Ξεκινάει από τρίγωνο γιατί είναι μικρό το τα και δεν προλαβαίνουν να φορτιστούν οι οπλισμοί ενώ τη συνέχεια το τα αυξάνεται οπότε παίρνει τελικά τετραγωνική μορφή.

- **Μετρήσεις στα άκρα του πυκνωτή**

Τίθεται η γεννήτρια σε ημιτονοειδές σήμα με αρχική συχνότητα στα 1KHz. Για κάθε τιμή του πίνακα καταγράφεται η αντίστοιχη τάση.

F(KHz)	V_{out}(V) {V_{pp}}
1	5
2	5
3	5
4	5
5	4,9
6	4,9
7	4,8
8	4,8
9	4,8
10	4,7
20	4,4
30	3,9
40	3,5
50	3
60	2,7
70	2,5
80	2,3
90	2,1
100	2

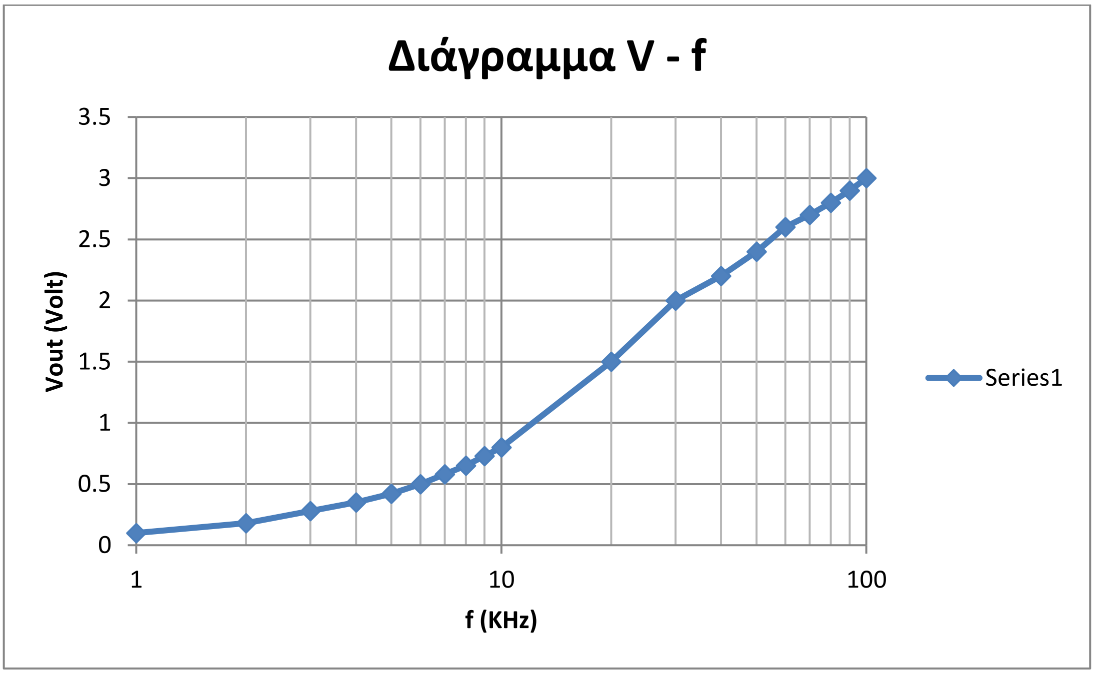


➢ **Μετρήσεις στα άκρα της αντίστασης**

Με τον ίδιο τρόπο συμπληρώνονται οι παρακάτω πίνακες, αλλάζοντας θέση αντίσταση με πυκνωτή και συνδέοντας την γεννήτρια με τα άκρα της αντίστασης (υψιπερατό φίλτρο).

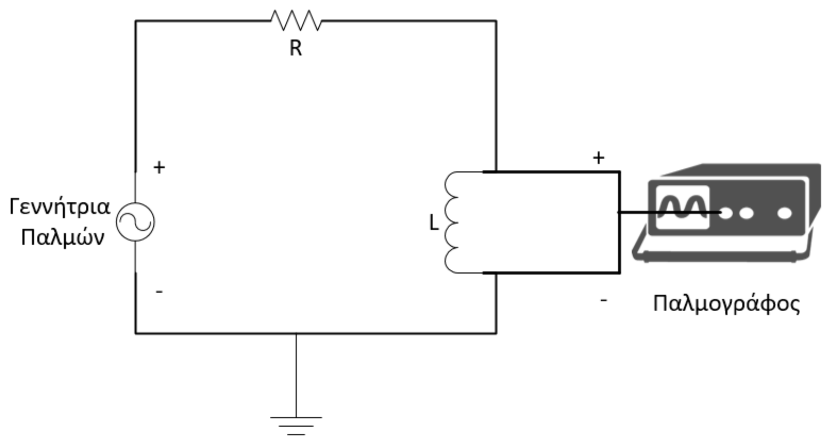
F (KHz)	V_{out} (V) {Vpp}
1	0,1
2	0,18
3	0,28
4	0,35
5	0,42
6	0,5
7	0,58
8	0,65
9	0,73
10	0,8

20	1,5
30	2
40	2,2
50	2,4
60	2,6
70	2,7
80	2,8
90	2,9
100	3



2. <u>Κύκλωμα RC</u>

Πραγματοποιήθηκε το κύκλωμα του σχήματος. Το κύκλωμα περιλαμβάνει 1 αντίσταση R = 100 Ω και 1 πηνίο L= 1mH, συνδεδεμένα σε σειρά. Το κύκλωμα συνδέεται με την γεννήτρια και τα άκρα του πηνίου με τον παλμογράφο.

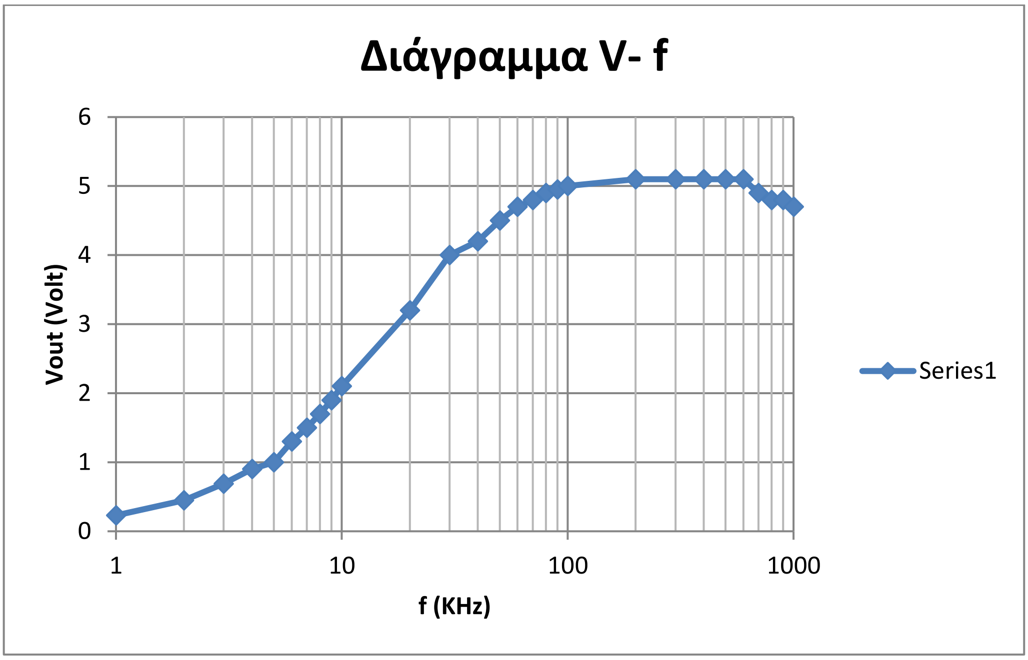


- **Μετρήσεις στα άκρα του πυκνωτή**

Ρύθμιση της γεννήτριας ώστε να αποδίδει ημιτονοειδές σήμα πλάτους Vpp=5 V. Εν συνεχεία καταγράφονται οι τιμές στο κάτωθι πίνακα.

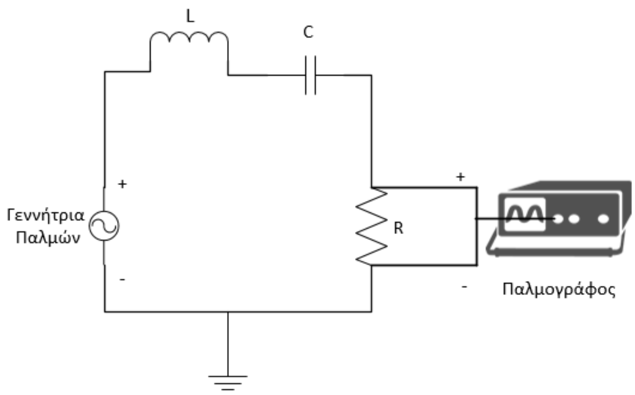
F (KHz)	V_{out} (V) {Vpp}
1	0,23
2	0,45
3	0,69
4	0,9
5	1
6	1,3
7	1,5
8	1,7
9	1,9
10	2,1

20	3,2
30	4
40	4,2
50	4,5
60	4,7
70	4,8
80	4,9
90	4,95
100	5
200	5,1
300	5,1
400	5,1
500	5,1
600	5,1
700	4,9
800	4,8
900	4,8
1000	4,7



3. Κύκλωμα RLC

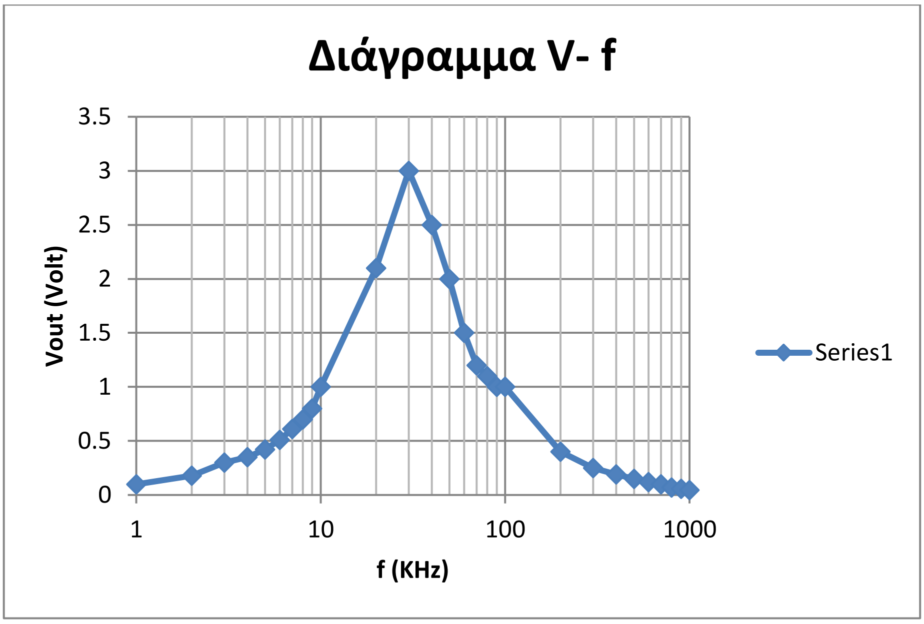
Πραγματοποιήθηκε το κύκλωμα του σχήματος. Το κύκλωμα περιλαμβάνει 1 πηνίο L= 1mH, 1 πυκνωτή C = 22 nF και 1 αντίσταση R = 100 Ω, συνδεδεμένα σε σειρά. Το κύκλωμα συνδέεται με την γεννήτρια και τα άκρα της αντίστασης με τον παλμογράφο.



Ρύθμιση της γεννήτριας σε ημιτονοειδές σήμα πλάτους Vpp=5 V. Καταγραφή των τιμών στον παρακάτω πίνακα:

F (KHz)	V_{out} (V) {Vpp}
1	0,1
2	0,18
3	0,3
4	0,35
5	0,42
6	0,51
7	0,61
8	0,7
9	0,8
10	1
20	2,1
30	3
40	2,5
50	2
60	1,5
70	1,2
80	1,1
90	1
100	1
200	0,4
300	0,25

400	0,19
500	0,15
600	0,12
700	0,1
800	0,07
900	0,056
1000	0,045



ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

I. Για καθορισμό της σταθεράς απόκρισης του πυκνωτή (RC) : Τα αντίστοιχα πορίσματα έχουν αναγραφεί παραπάνω (κάτω από τις εικόνες)

II. Για μετρήσεις στα άκρα του πυκνωτή (RC) : Το σήμα εξόδου V_{out} λαμβάνεται από τους ακροδέκτες του πυκνωτή και η τάση εισόδου στο σύστημα V_{in} δίνεται από την γεννήτρια. Όπως φαίνεται από τη θεωρία ο λόγος εξόδου ως προς την είσοδο εξαρτάται μόνο από τη συχνότητα. Επομένως όσο αυξάνεται η συχνότητα, το V_{out} μειώνεται.

Παρατηρήθηκε κατά τις συνεχείς αυξήσεις μια ελάχιστη σταδιακή μείωση στη τιμή της τάσης με τελική τιμή το 2 V. Το κύκλωμα αυτό επιτρέπει τη διέλευση συχνοτήτων χαμηλών τιμών. Γι’ αυτό και όσο η τιμή της συχνότητας αυξάνεται, η τιμή της τάσης εξόδου παρουσιάζει συνεχή μείωση.

III. Για μετρήσεις στα άκρα της αντίστασης (RC) : Παρουσιάζεται μια συνεχής αύξηση της τιμής της τάσης εξόδου καθώς η τιμή της συχνότητας αυξάνεται. Αυτό έγκειται στο γεγονός ότι εδώ υπάρχει ένα υψιπερατό φίλτρο που επιτρέπει τη διέλευση υψηλών τιμών συχνοτήτων.

IV. Για μετρήσεις στα άκρα του πυκνωτή (RL) : Στις πολύ υψηλές συχνότητες παρατηρήθηκε μια ελάχιστη μείωση. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην αυτεπαγωγή του πηνίου. Η μείωση αυτή έφτασε σε μέγιστο τα 0,4 V.

V. Για μετρήσεις (RLC) : Εδώ, στο κύκλωμα RLC, παρατηρεί κανείς αρχικά πως όσο αυξάνεται η συχνότητα αυξάνεται και η τιμή τάσης εξόδου. Αυτή, μεγιστοποιείται για μια τιμή συχνότητας και στη συνεχεία, όσο η συχνότητα συνεχίζει να αυξάνεται, η τιμή της τάσης εξόδου μειώνεται συνεχώς. Κάτι τέτοιο οφείλεται στο γεγονός ότι εδώ έχει συμπεριληφθεί στο κύκλωμα τόσο ο πυκνωτής όσο και το πηνίο. Όσο η τιμή συχνότητας βρίσκεται μέσα στο εύρος συντονισμού (bandwidth) παρατηρείται αύξηση της V_{out} ενώ σε ακόμα μεγαλύτερες συχνότητες η τιμή της μειώνεται.