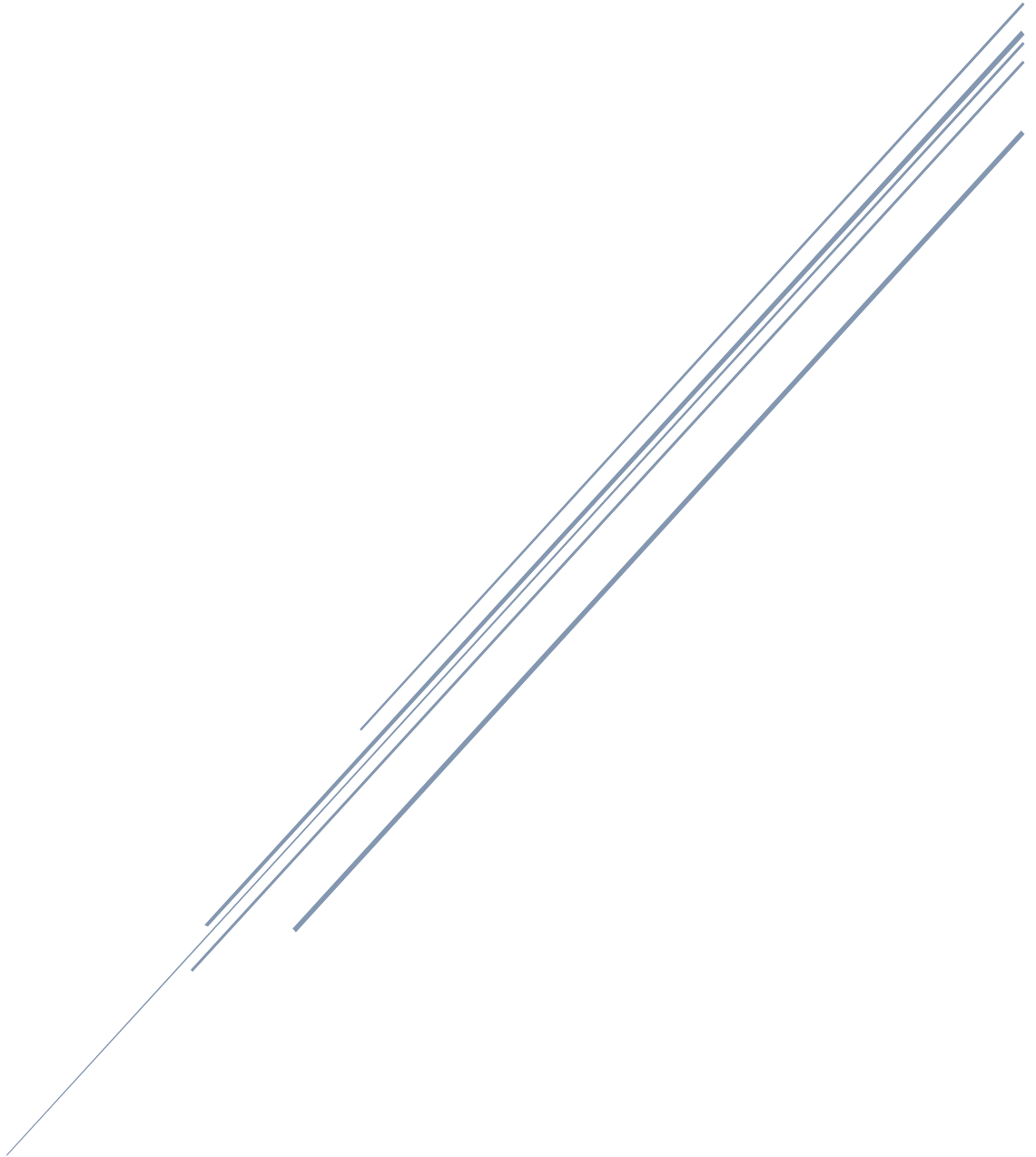


2Η ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ

Γιώργος Κυριακόπουλος – el18153

Γεράσιμος Δεληγιάννης – el18807



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών
Δομή και Ηλεκτρικές Ιδιότητες των Υλικών

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή – Θεωρητικό Μέρος

Μέρος 1ο – Δίοδος:

Η δίοδος είναι το απλούστερο και το πιο θεμελιώδες μη γραμμικό κυκλωματικό στοιχείο. Ουσιαστικά, επιτρέπει στο ηλεκτρικό ρεύμα να περάσει από τη μία κατεύθυνση, αλλά μπλοκάρει την κίνηση από την αντίθετη κατεύθυνση. Μέσα στο τροφοδοτικό υπάρχουν κυκλώματα που επιτρέπουν τη ροή του ρεύματος σε μία μόνο κατεύθυνση. Τα κυκλώματα αυτά ονομάζονται ανορθωτές και η παρουσία των διόδων σε αυτά είναι απαραίτητη.

Αποτελεί τη βάση σχεδόν όλων των κυκλωματικών στοιχείων σε ημιαγωγούς. Ο θετικός ακροδέκτης της διόδου ονομάζεται άνοδος (anode) και ο αρνητικός, κάθοδος (cathode).

Στην ορθή πόλωση, ένα μεγάλο ρεύμα διαρρέει τη δίοδο, ενώ στην ανάστροφη πόλωση, η δίοδος διαρρέεται από ένα πολύ μικρό ρεύμα, το ανάστροφο ρεύμα κόρου, το οποίο σε πολλές εφαρμογές μπορεί να θεωρηθεί αμελητέο. Υπό αυτό το πρίσμα, η δίοδος μπορεί να θεωρηθεί ως μία βαλβίδα ρεύματος μονής ροής.

Όταν η δίοδος είναι ορθά πολωμένη, δεν υπάρχει σημαντικό ρεύμα, μέχρι η τάση της διόδου να γίνει μεγαλύτερη από το φράγμα δυναμικού. Από την άλλη, όταν η δίοδος είναι ανάστροφα πολωμένη, δεν υπάρχει σχεδόν καθόλου ανάστροφο ρεύμα, μέχρι η τάση της διόδου να φτάσει την τάση κατάρρευσης. Τότε δημιουργείται μεγάλη ποσότητα ανάστροφου ρεύματος, καταστρέφοντας τη δίοδο.

Τα κυριότερα είδη των διόδων είναι τα παρακάτω:

- η δίοδος τύπου PN, η οποία είναι η συνηθέστερη και είναι ευρέως διαδεδομένη σε πολλές εφαρμογές, εμφανίζοντας πτώση τάσης στα άκρα της ίση με περίπου 0.5-0.7 V,
- η δίοδος Schottky, η οποία χρησιμοποιείται όταν είναι επιθυμητή χαμηλότερη πτώση τάσης, έως και 0.2 V,
- η δίοδος Zener, η οποία μπορεί να λειτουργεί και στις δύο περιοχές (ορθής και ανάστροφης πόλωσης) με αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται συχνά ως μέσο σταθεροποίησης της τάσης,
- η δίοδος φωτοεκπομπής (LED), η οποία έχει την ιδιότητα να εκπέμπει φως κατά την ορθή πόλωση,
- η φωτοδίοδος, η οποία λειτουργεί με τον αντίστροφο τρόπο από το LED, με αποτέλεσμα να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν ανιχνευτής φωτός.

Μέρος 2ο – Πυκνωτής:

Οι πυκνωτές είναι ηλεκτρικά στοιχεία που αποθηκεύουν ηλεκτρικό φορτίο, με χαρακτηριστικό μέγεθος την χωρητικότητά τους, C . Ένας πυκνωτής αποτελείται από δύο αγώγιμες πλάκες (οπλισμοί), μεταξύ των οποίων υπάρχει κάποιο μονωτικό υλικό (διηλεκτρικό). Η χωρητικότητα ενός πυκνωτή εξαρτάται από το εμβαδόν των οπλισμών του, τη μεταξύ τους απόσταση και το είδος του διηλεκτρικού υλικού που υπάρχει ανάμεσά τους. Η μονάδα μέτρησης της χωρητικότητας είναι το Farad [F]. Χωρητικότητα 1F έχει ο πυκνωτής που όταν φορτιστεί με ηλεκτρικό φορτίο 1C, έχει τάση στις πλάκες του 1V.

Λόγω αυτών των χαρακτηριστικών τους, οι πυκνωτές χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρονικά κυκλώματα ως μικρές αποθήκες ενέργειας, οι οποίες μπορούν για παράδειγμα να εξομαλύνουν πιθανές αυξομειώσεις της τροφοδοσίας.

Οι πυκνωτές χωρίζονται σε 2 βασικές κατηγορίες, τους ηλεκτρολυτικούς (polarized) και τους μη-ηλεκτρολυτικούς (non-polarized).

Αναλυτικότερα, οι μη-ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές μπορούν να τοποθετηθούν σε ένα κύκλωμα εύκολα με οποιαδήποτε φορά. Συνήθως είναι πυκνωτές μικρής χωρητικότητας, η οποία αναγράφεται στο σώμα του πυκνωτή με σύστημα 3 ψηφίων. Το πρώτο ψηφίο είναι ο πρώτος σημαντικός αριθμός, το δεύτερο ο δεύτερος και το τρίτο ψηφίο είναι ο πολλαπλασιαστής, δηλαδή μια δύναμη του 10, με μονάδα βάσης τα pF.

Αντιθέτως, οι ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές απαιτούν συγκεκριμένη συνδεσμολογία στο κύκλωμα, καθώς το θετικό άκρο τους πρέπει να συνδεθεί στο υψηλότερο δυναμικό.

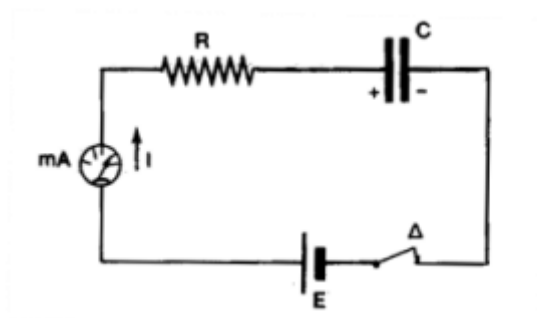
Συνήθως οι ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές έχουν κυλινδρικό σώμα και οι ακροδέκτες βρίσκονται στην ίδια πλευρά, με το μικρότερο σε μήκος άκρο να είναι το '-'. Επιπρόσθετα, μια λωρίδα (συνήθως ασημένια ή μαύρη) βρίσκεται στην αρνητική πλευρά, σε περίπτωση που είναι αδύνατο να εντοπιστεί το κοντύτερο άκρο.

Η τιμή της χωρητικότητας των ηλεκτρολυτικών πυκνωτών συνήθως αναγράφεται στο σώμα τους, συνοδευόμενη από μία τιμή τάσης. Αυτή η τιμή υποδηλώνει τη μέγιστη αντοχή του πυκνωτή ως προς τη διαφορά δυναμικού στα άκρα του.

Τα κυριότερα είδη ηλεκτρολυτικών πυκνωτών είναι οι πυκνωτές αλουμινίου και τανταλίου. Γενικά, οι ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές εμφανίζουν υψηλότερα ποσοστά αστοχίας. Μπορεί να εμφανίσουν διαρροή του διηλεκτρικού τους ή και να μειωθεί η χωρητικότητά τους με την πάροδο του χρόνου. Παρ' όλα αυτά, δεν μπορεί να αποφευχθεί η χρήση τους όταν απαιτούνται μεγάλες τιμές χωρητικότητας.

Μέρος 3ο – Κύκλωμα Rc – Φόρτιση και εκφόρτιση πυκνωτή:

Σημαντικό στοιχείο για τους πυκνωτές αποτελεί η μελέτη του χρόνου που χρειάζεται για την φόρτιση και εκφόρτιση ενός πυκνωτή. Για αυτό χρησιμοποιούμε το κύκλωμα RC, το οποίο είναι η σε σειρά τοποθέτηση μιας αντίστασης και ενός πυκνωτή.



Έστω ότι έχουμε έναν αρχικά αφόρτιστο πυκνωτή, μέχρι τη χρονική στιγμή $t = 0$, οπότε και κλείνουμε το διακόπτη ώστε να αρχίζει να φορτίζεται.

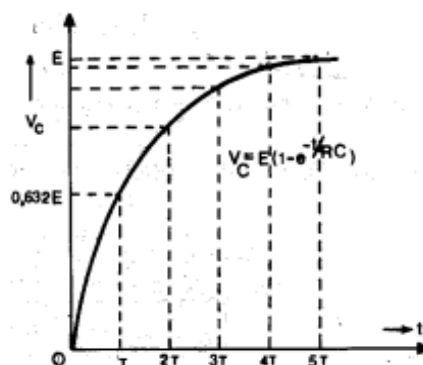
Η τάση στα άκρα του πυκνωτή (V_C) προκύπτει από τη λύση διαφορικής εξίσωσης και είναι ίση με:

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

Ο χρόνος για τον οποίον ο εκθέτης της παραπάνω σχέσης γίνεται -1 λέγεται σταθερά χρόνου του κυκλώματος και είναι ο χρόνος που χρειάζεται, ώστε η τάση του πυκνωτή να φτάσει στο 63.2% της μέγιστης τιμής της. Η σταθερά χρόνου εκφράζει την αδράνεια που παρουσιάζει το κύκλωμα RC κατά τη φόρτιση του πυκνωτή.

Η τάση στα άκρα του πυκνωτή για τρεις χρονικές στιγμές, όπως προκύπτει από την παραπάνω εξίσωση είναι η παρακάτω, συνοδευόμενη από την αντίστοιχη γραφική παράσταση:

t	V_C
0	0
$\tau = RC$	0.632 E
∞	E

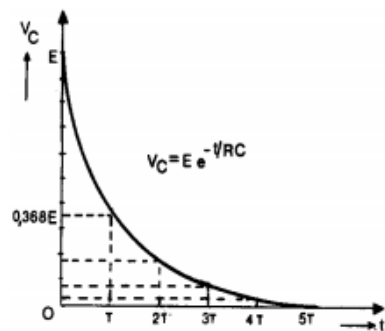


Αντίστοιχα, για την εκφόρτιση του πυκνωτή, θεωρώντας ότι είναι αρχικά φορτισμένος, μέχρι τη χρονική στιγμή $t = 0$, όπου και κλείνουμε το διακόπτη και αρχίζει να εκφορτίζεται, έχουμε την παρακάτω σχέση για την τάση στα άκρα του πυκνωτή (V_C):

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

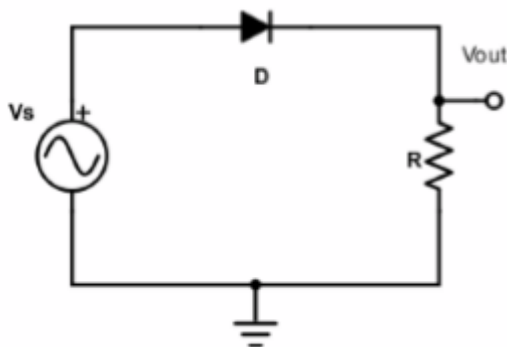
Δίνεται επίσης η τάση στα άκρα του πυκνωτή για τρεις χρονικές στιγμές, καθώς και η αντίστοιχη γραφική παράσταση, όπου σε αντίθεση με τη φόρτιση του πυκνωτή, για τη χρονική στιγμή ίση με τη σταθερά χρόνου του κυκλώματος τ , η τάση στα άκρα του πυκνωτή είναι ίση με το 36.8% της μέγιστης τάσης του πυκνωτή.

t	V_C
0	E
$\tau = RC$	0.368 E
∞	0

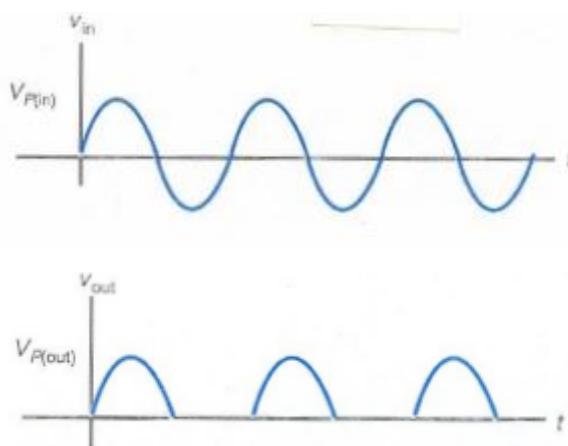


Μέρος 4ο – Ημιανόρθωση – Ανορθωτής πλήρους κύματος – Εξομάλυνση σήματος – Ανιχνευτής κορυφής:

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται το κύκλωμα ενός απλού ημιανορθωτή. Η πηγή δημιουργεί ημιτονοειδή τάση. Η θετική ημιπερίοδος της τάσης της πηγής θα πολώσει ορθά τη δίοδο, οπότε θα εμφανιστεί στα άκρα της αντίστασης φορτίου. Στην αρνητική ημιπερίοδο, η δίοδος είναι αρνητικά πολωμένη, με συνέπεια να λειτουργεί σαν ανοικτός διακόπτης.



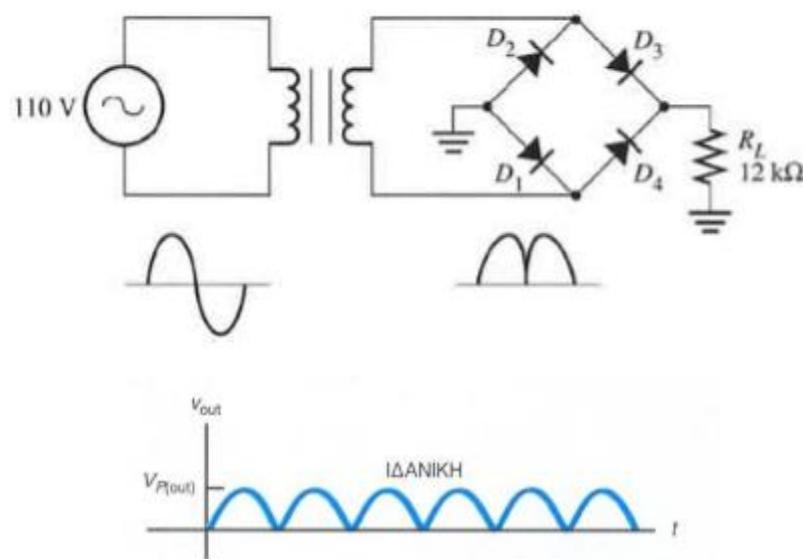
Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η γραφική παράσταση της κυματομορφής της τάσης εισόδου V_{in} καθώς και της τάσης V_{out} ενός ημιανορθωτή. Η κυματομορφή αυτού του είδους ονομάζεται σήμα ημικύματος ή ημικόμα. Η τάση ημικύματος δημιουργεί ρεύμα φορτίου μίας κατεύθυνσης, δηλαδή ρέει προς μία μόνο κατεύθυνση.



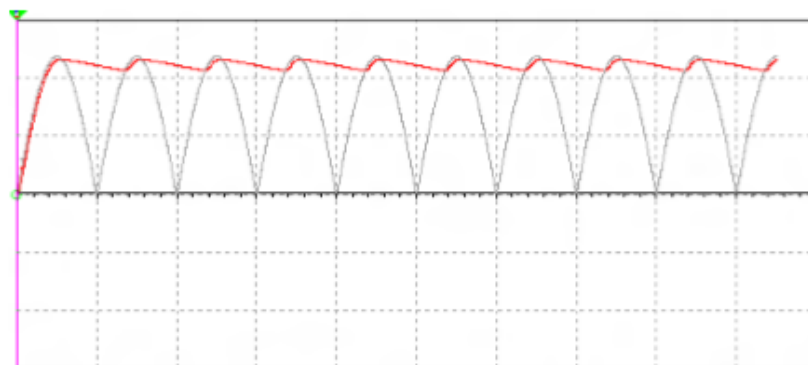
Στη συνέχεια, έχουμε τον ανορθωτή πλήρους κύματος, ο οποίος αντί να αποκόψει το αρνητικό σήμα, το αντιστρέφει ώστε να αξιοποιηθεί κατά τη δημιουργία της συνεχούς τάσης. Αυτό είναι σημαντικό, καθώς σε αντίθετη περίπτωση θα ήταν απαραίτητη η χρήση πυκνωτών πολύ μεγαλύτερης χωρητικότητας για την εξομάλυνση του σήματος, όπως θα αναφερθεί και παρακάτω.

Παρακάτω έχουμε μια γέφυρα ανόρθωσης. Οι δίοδοι D1 και D3 άγουν κατά τη θετική ημιπερίοδο, ενώ οι δίοδοι D2 και D4 άγουν κατά την αρνητική ημιπερίοδο. Αυτό έχει ως συνέπεια το ανορθωμένο, πλέον, ρεύμα να διαρρέει την αντίσταση RL κατά τη διάρκεια και των δύο ημιπεριοδών.

Δηλαδή, η γέφυρα ανόρθωσης λειτουργεί σαν δύο ζεύγη ημιανορθωτών. Κατά τη διάρκεια μίας περιόδου (δηλαδή της θετικής και της αρνητικής ημιπεριόδου), η τάση στα άκρα της αντίστασης έχει την ίδια θετική πολικότητα και το ρεύμα που τη διαρρέει βρίσκεται στην ίδια κατεύθυνση. Με το κύκλωμα αυτό επιτυγχάνεται η δημιουργία σήματος όπως αυτού του επομένου σχήματος.

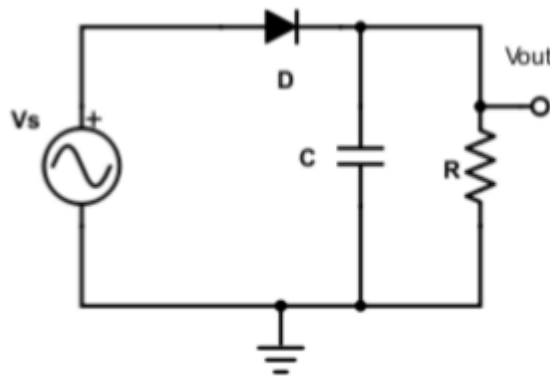


Έχοντας αξιοποιήσει τόσο το σήμα της θετικής, όσο και το σήμα της αρνητικής ημιπεριόδου, απομένει η πλήρης εξομάλυνσή του. Αυτό επιτυγχάνεται με την προσθήκη ενός πυκνωτή, τοποθετημένου παράλληλα με την αντίσταση φορτίου. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται με κόκκινο χρώμα το σήμα που προκύπτει μετά την τοποθέτηση του πυκνωτή. Για καλύτερα αποτελέσματα μπορεί να επιλεγεί πυκνωτής με μεγαλύτερη χωρητικότητα.



Τέλος, έχουμε μία τελευταία χρήση της διόδου και του πυκνωτή που σχετίζεται με την κατασκευή ηλεκτρονικών κυκλωμάτων με σκοπό την ανίχνευση και διατήρηση της μέγιστης τιμής τάσης ενός σήματος. Τα συγκεκριμένα κυκλώματα ονομάζονται ανιχνευτές κορυφής και έχουν συνήθως τη μορφή του παρακάτω σχήματος. Η φορά της διόδου επιτρέπει τη φόρτιση του πυκνωτή και αποτρέπει την εκφόρτισή του. Με αυτόν τον τρόπο ο πυκνωτής θα διατηρεί τη μέγιστη τάση που έχει εισαχθεί στο κύκλωμα (φυσικά, με κατά $\sim 0.5-0.7V$ χαμηλότερη τιμή, λόγω της πτώσης τάσης της διόδου).

Επειδή συνήθως προτιμάται η περιοδική εκφόρτιση του πυκνωτή, ώστε να μπορεί να ανιχνεύσει μία νέα τιμή, τοποθετείται μια αντίσταση παράλληλα στα άκρα του πυκνωτή. Με αυτόν τον τρόπο, ο πυκνωτής εκφορτίζεται σταδιακά, με ρυθμό που ορίζεται βάσει της τιμής της χωρητικότητας και της αντίστασης.



Κεφάλαιο 2: Πειραματικό Μέρος

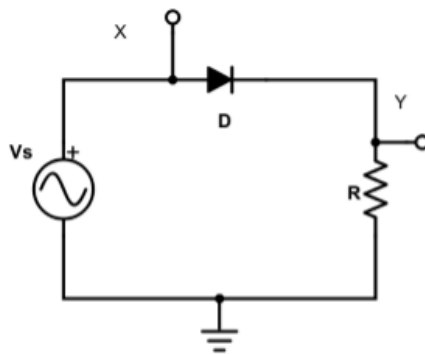
Ερώτημα 1:

Για ορθή πόλωση η πτώση τάσης της διόδου μετρήθηκε ίση με 0,508 V.

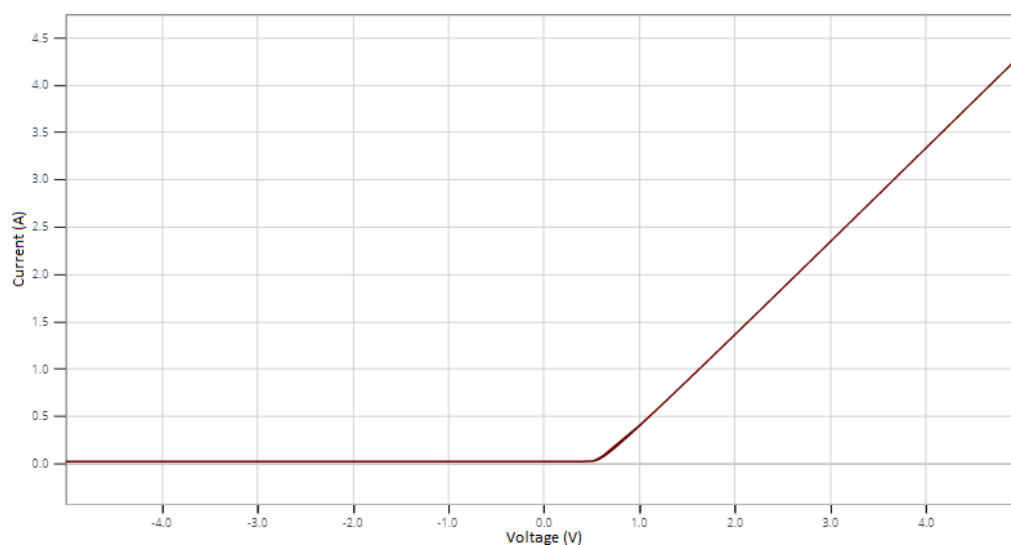
Για ανάστροφη πόλωση το πολύμετρο μας έδωσε ένδειξη OL, δηλαδή Overload.

Ερωτήματα 2-5:

Δημιουργούμε ημιτονοειδές σήμα συχνότητας $f = 50 \text{ Hz}$ και τάσης από κορυφή σε κορυφή $V_{pp} = 5 \text{ V}$ και συνθέτουμε το παρακάτω κύκλωμα με μια δίοδο και μία αντίσταση $R = 1 \text{ k}\Omega$.

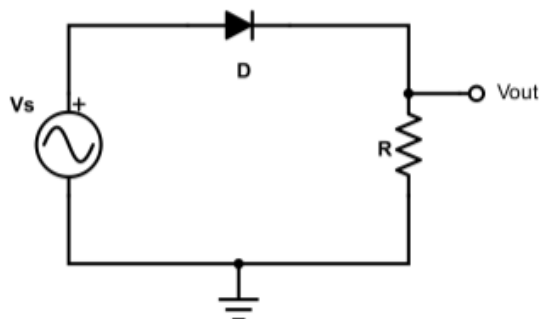


Μόλις η τάση του ρεύματος (V) περάσει μία τιμή στην περίοδο 0.5-0.7 V τότε η δίοδος αρχίζει να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα και έτσι διαμορφώνεται η χαρακτηριστική I-V γραφική παράσταση του κυκλώματος αυτού που φαίνεται παρακάτω:



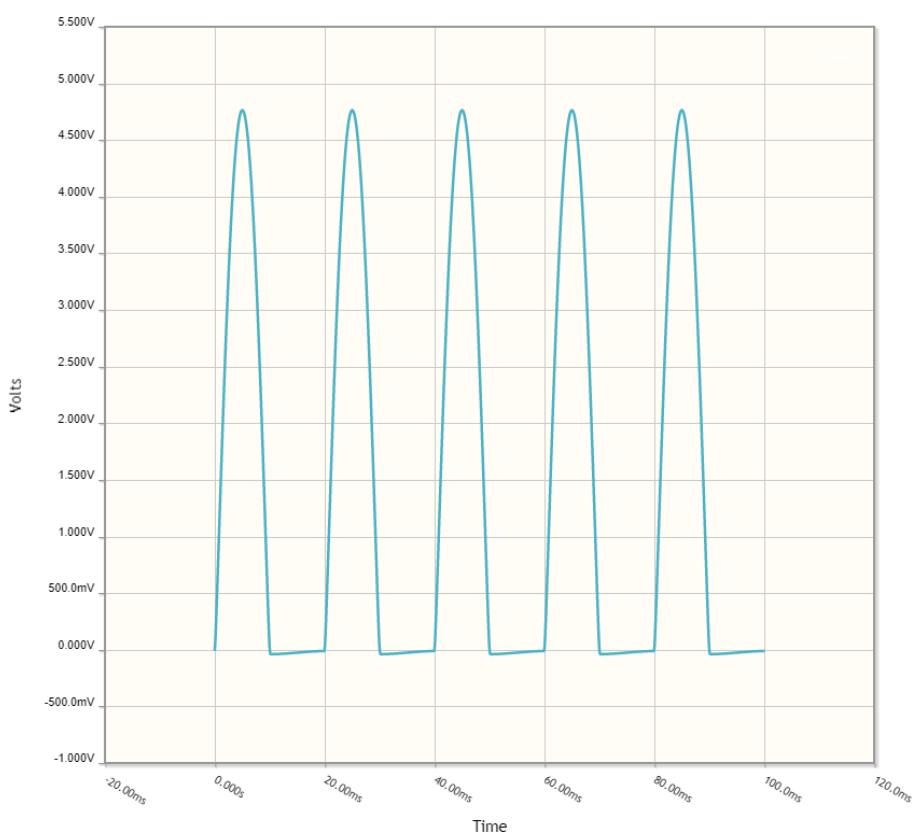
Ερωτήματα 6-9:

Στη συνέχεια διατηρώντας το ίδιο ημιτονοειδές σήμα συνθέτουμε το παρακάτω κύκλωμα με την ίδια δίοδο και μία αντίσταση $R = 10\text{ M}\Omega$:



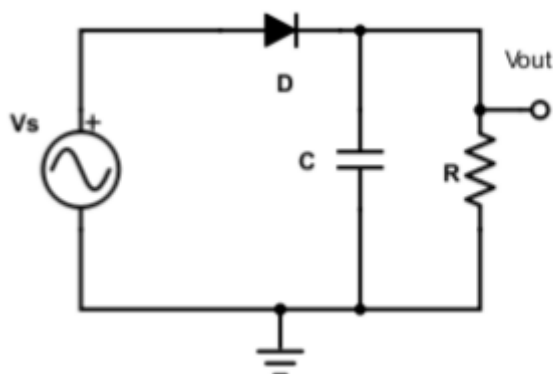
Στην παρακάτω γραφική παράσταση V-T του παραπάνω κυκλώματος παρατηρούμε πως, αφού έχουμε πηγή τάσης με ημιτονοειδές σήμα, η δίοδος D δεν άγει το ρεύμα καθ' όλη τη διάρκεια μίας περιόδου αλλά μόνο όταν η τάση της πηγής περνάει μία συγκεκριμένη τιμή από την οποία και μετά η δίοδος άγει το ηλεκτρικό ρεύμα. Έτσι διαμορφώνεται η παρακάτω ημιτονοειδής γραφική παράσταση της V_{out} .

Το πλάτος της τιμή της τάσης είναι μικρότερο των 5 V , στην περίοδο των $4.7\text{--}4.8\text{ V}$, κάτι το οποίο οφείλεται βεβαίως στην πτώση τάσης της διόδου.

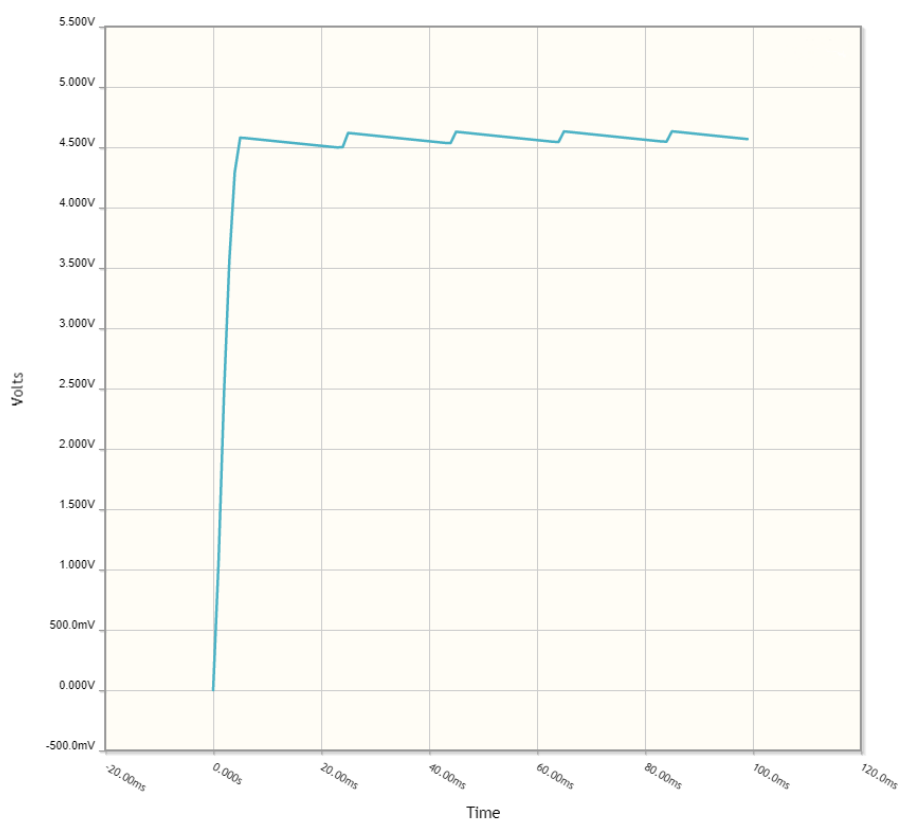


Ερωτήματα 10-11:

Συνθέτουμε τώρα το παρακάτω κύκλωμα χρησιμοποιώντας έναν πυκνωτή χωρητικότητας $C = 100 \text{ nF}$ σε παράλληλη σύνδεση με την αντίσταση R .

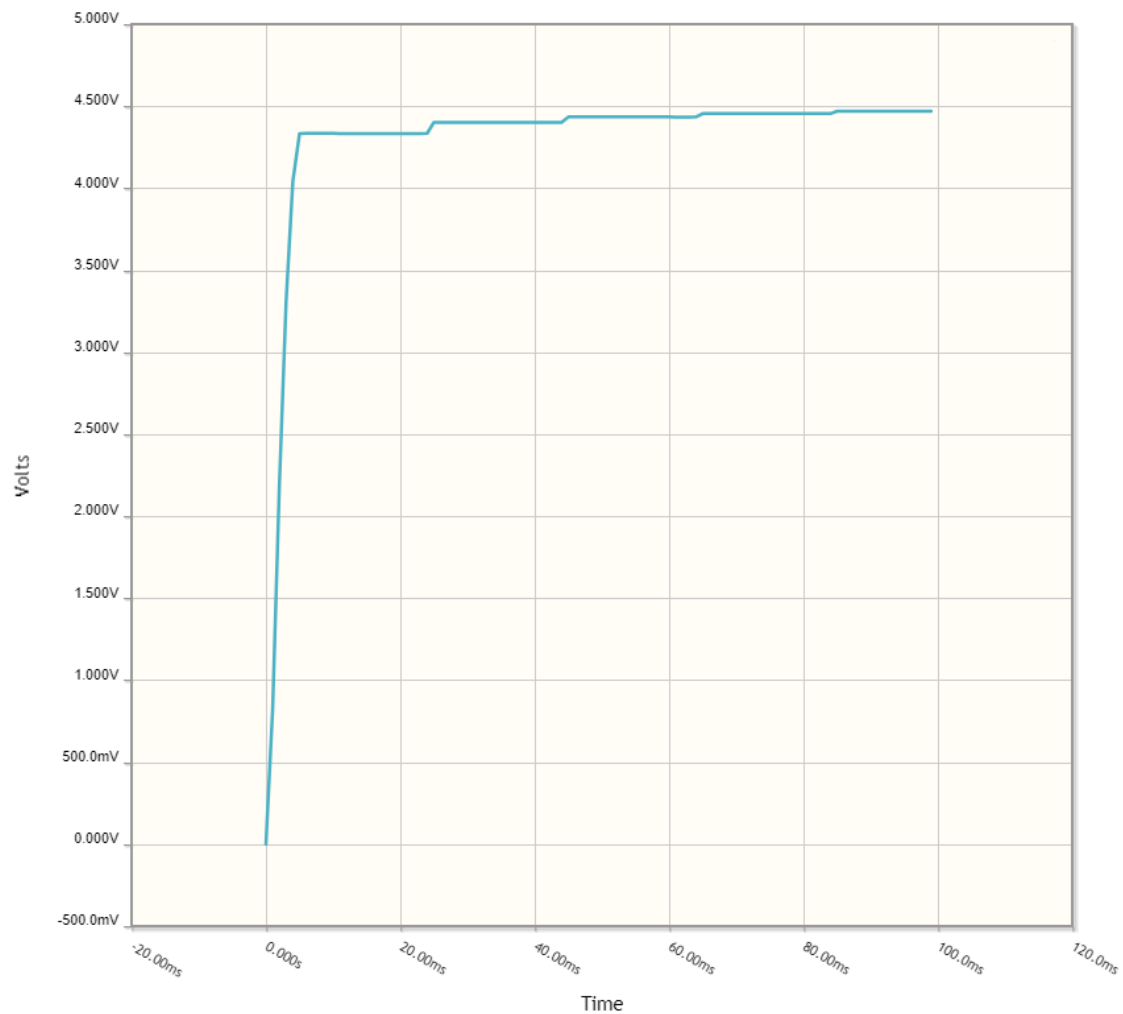


Το παραπάνω κύκλωμα ουσιαστικά είναι ένας ανιχνευτής κορυφής που, όπως γνωρίζουμε, ανιχνεύει και διατηρεί τη μέγιστη τιμή τάσης του σήματος πηγής. Συγκεκριμένα, η φορά της διόδου επιτρέπει στον πυκνωτή να φορτιστεί και αποτρέπει την εκφόρτιση του, με αποτέλεσμα να διατηρείται στα άκρα του, άρα και στην ένδειξη V_{out} , η μέγιστη τάση του σήματος πηγής, μειωμένη φυσικά λόγω της πτώσης τάσης της διόδου. Η παράλληλη σύνδεση της αντίστασης εξυπηρετεί την περιοδική εκφόρτιση του πυκνωτή, ώστε αυτός να βρίσκεται σε θέση να ανιχνεύει μία νέα μέγιστη τιμή περιοδικά.



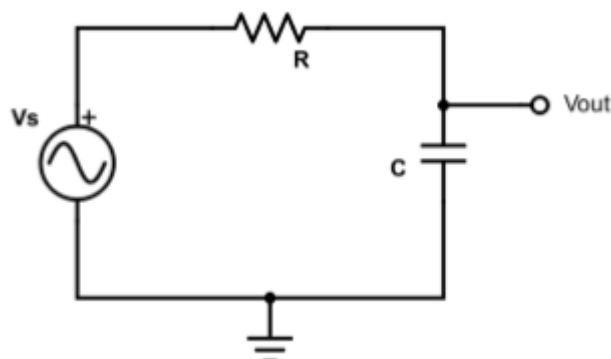
Ερωτήματα 12-13:

Αντικαθιστούμε τώρα τον προηγούμενο πυκνωτή με ένα νέο πυκνωτή μεγαλύτερης χωρητικότητας, συγκεκριμένα 22 μF . Για αυτό το λόγο, παρατηρούμε καλύτερη εξομάλυνση του σήματος, καθώς η μεγαλύτερη χωρητικότητα τους επιτρέπει να διατηρούν ακόμα πιο ομαλή την τάση στα άκρα τους, μέσω της φόρτισης και εκφόρτισής τους.



Ερωτήματα 14-18:

Συνθέτουμε τώρα το παρακάτω κύκλωμα χρησιμοποιώντας τον πυκνωτή χωρητικότητας 100 nF και μία αντίσταση $R = 100 \Omega$.

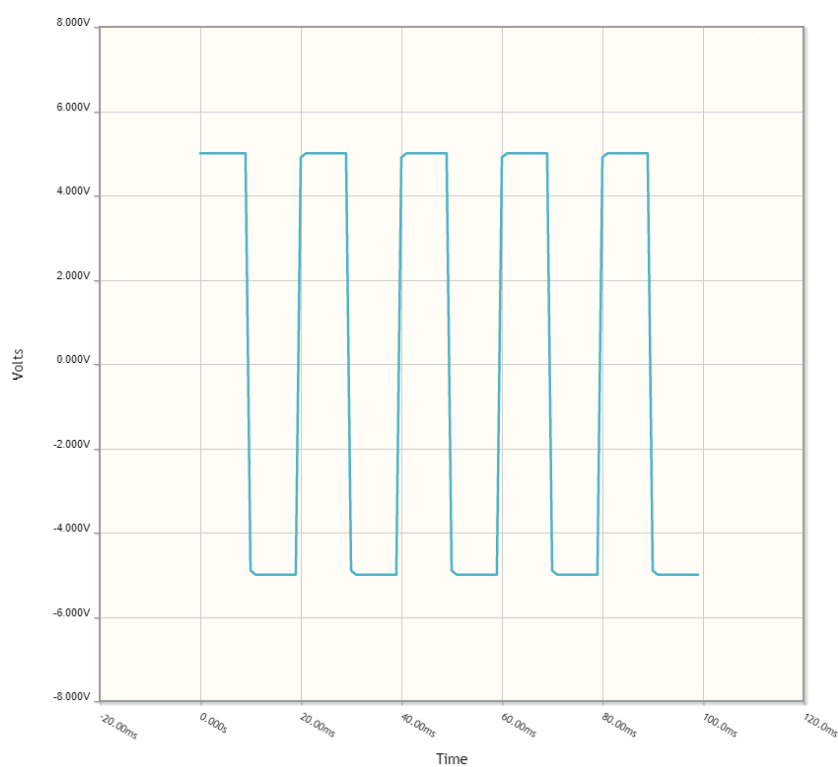


Υπολογίζουμε, στη συνέχεια την σταθερά χρόνου και την συχνότητα διέγερσης ως εξής:

$$\tau = R \cdot C = 100\Omega \cdot 100\text{nF} = 10^2\Omega \cdot 10^2 \cdot 10^{-9}\text{F} = 10^{-5}\text{sec}, \text{ διότι } F = \frac{\text{sec}}{\Omega},$$

$$\text{άρα } \Omega \cdot F = \text{sec και } f = \frac{1}{5\tau} = \frac{1}{5 \cdot 10^{-5}} = \frac{10^5}{5} = 20\text{ KHz}.$$

Με τετραγωνικό σήμα διέγερσης, τάση $V_{pp} = 5\text{ V}$ και συχνότητα f έχουμε την παρακάτω γραφική παράσταση, όπου είναι εμφανές ότι, όταν η πηγή δίνει τάση, ο πυκνωτής φορτίζεται σχεδόν άμεσα μέχρι τη θετική μέγιστη τάση (5 V), ενώ όταν δεν δίνει, εκφορτίζεται σχεδόν άμεσα έως την αρνητική μέγιστη τάση (-5 V).



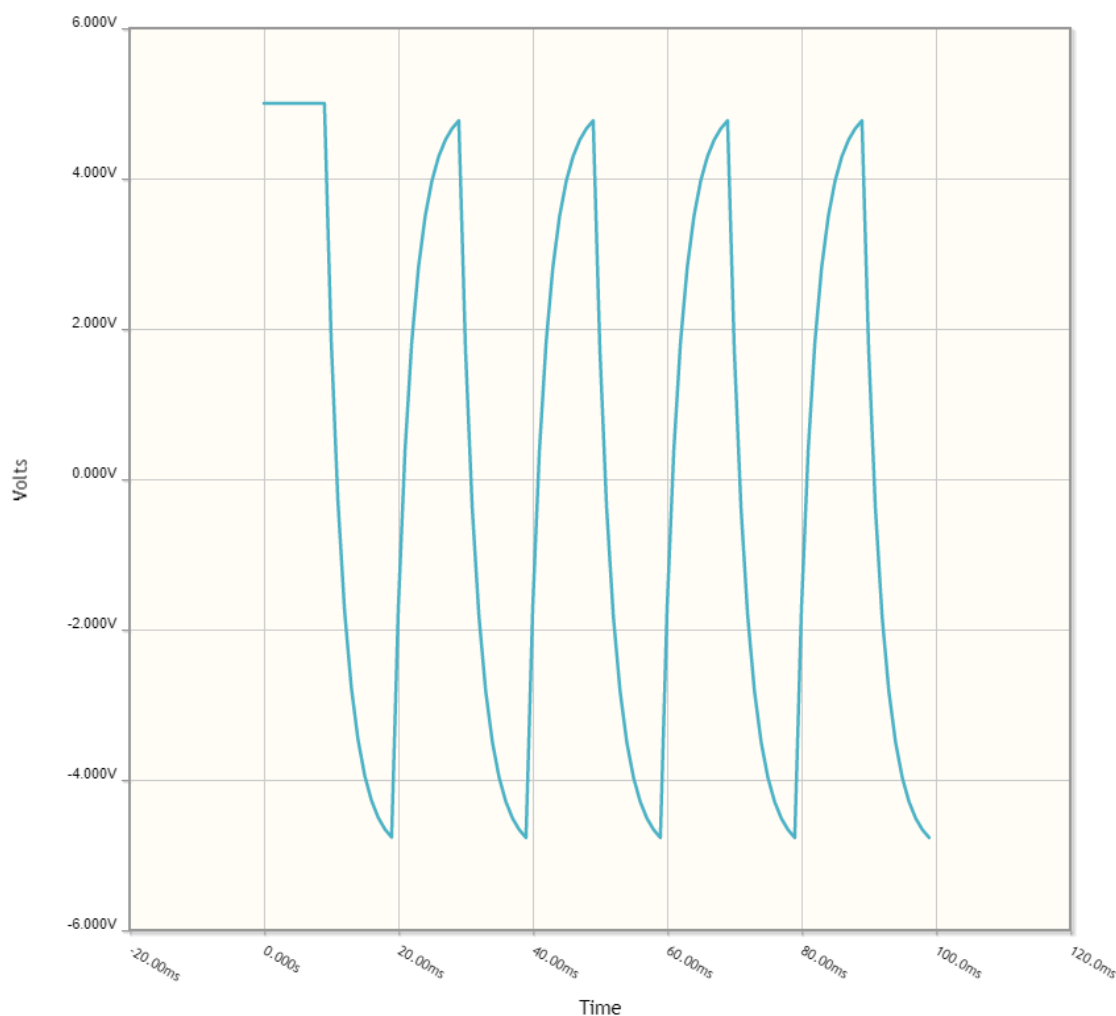
Ερώτημα 19:

Αντικαθιστούμε τώρα τον προηγούμενο πυκνωτή με τον πυκνωτή χωρητικότητας 22 μF και υπολογίζουμε πάλι την σταθερά χρόνου και τη συχνότητα διέγερσης:

$$\tau = R \cdot C = 100\Omega \cdot 22\mu F = 10^2\Omega \cdot 22 \cdot 10^{-6}F = 22 \cdot 10^{-4} \text{ sec}, \text{ διότι } F = \frac{\text{sec}}{\Omega},$$

$$\text{άρα } \Omega \cdot F = \text{sec και } f = \frac{1}{5\tau} = \frac{1}{5 \cdot 22 \cdot 10^{-4}} = \frac{10^4}{110} = 90,909090 \dots \text{ Hz.}$$

Λαμβάνουμε τώρα την παρακάτω γραφική παράσταση όπου παρατηρούμε πως ο πυκνωτής, όταν η πηγή δίνει τάση, ο πυκνωτής δεν προλαβαίνει να φορτιστεί μέχρι τη μέγιστη θετική τάση (5 V), ενώ όταν δεν δίνει, δεν προλαβαίνει να εκφορτιστεί μέχρι τη μέγιστη αρνητική τάση (-5 V), αλλά πλησιάζει στις δύο αυτές τιμές χωρίς να τις φτάσει, καθώς τον προλαβαίνει η εναλλαγή στο τετραγωνικό σήμα της πηγής τάσης.



Κεφάλαιο 3: Συμπεράσματα

Μέσα από αυτήν την εργαστηριακή άσκηση είδαμε πως λειτουργούν η δίοδος και ο πυκνωτής και πως μπορούν να επηρεάσουν ένα κύκλωμα.

Αρχικά, μετρήσαμε την πτώση τάσης μίας διόδου τόσο για ορθή όσο και για ανάστροφη πόλωση, ενώ στη συνέχεια τη χρησιμοποιήσαμε για να δούμε πως αυτή άγει το ηλεκτρικό ρεύμα, μόνο εφόσον η τιμή της τάσης στα άκρα της είναι μεγαλύτερη από μία συγκεκριμένη τιμή, η οποία εξαρτάται από τον τύπο της διόδου.

Στη συνέχεια, έχοντας συνθέσει ένα κύκλωμα με ημιτονοειδή πηγή τάσης είδαμε την παραπάνω ιδιότητα της διόδου στην πράξη, λαμβάνοντας τη γραφική παράσταση της τάσης σε ένα σημείο μετά τη δίοδο, όπου στη θετική ημιπερίοδο του σήματος υπήρχε τάση, ενώ στην αρνητική όχι.

Με τη χρήση ενός κυκλώματος εξομάλυνσης με πυκνωτή, καταλάβαμε πως ο συνδυασμός ενός πυκνωτής σε παράλληλη σύνδεση με μια αντίσταση και η χρήση μιας διόδου βοηθάει ώστε ο πυκνωτής μέσω της φόρτισης και εκφόρτισής του να διατηρεί σταθερή την τάση στα άκρα του. Επίσης, παρατηρήσαμε ότι μεγαλύτερη χωρητικότητα πυκνωτή σημαίνει καλύτερη και πιο αποτελεσματική εξομάλυνση σήματος.

Στο τέλος, με δύο διαφορετικούς πυκνωτές, παρατηρήσαμε πως ανάλογα με τη χωρητικότητα, άρα και τη σταθερά χρόνου και τη συχνότητα διέγερσης, ένας πυκνωτής σε ένα κύκλωμα με τετραγωνικό σήμα πηγής τάσης, μπορεί να προλαβαίνει να φορτίζεται και να εκφορτίζεται πλήρως ή μπορεί να φτάνει μόνο μέχρι μια τιμή πριν το προλάβει η εναλλαγή του τετραγωνικού σήματος.