

Τετράπολα - Κυκλώματα Διαφόρισης

Κλάιντι Τσάμη

Περίληψη:

Η εργαστηριακή άσκηση αυτή αποτελεί μια σημαντική διαδικασία που ενισχύει την κατανόηση των βασικών αρχών δύο ουσιαστικών θεωρημάτων: των τετραπόλων και των κυκλωμάτων διαφόρισης. Μέσω της πρακτικής εφαρμογής της θεωρίας σε πειραματικό πλαίσιο, χρησιμοποιώντας συγκεκριμένα δεδομένα που αντλήθηκαν από τη δική μας έρευνα, προωθούμε την κατανόηση των αρχών πίσω από αυτά τα δύο θεμελιώδη θεωρήματα. Η επιτυχημένη ολοκλήρωση αυτής της άσκησης ενδυναμώνει τις γνώσεις μας και μας παρασύρει σε ένα επίπεδο εξειδίκευσης, εφοδιάζοντάς μας με τα απαραίτητα εφόδια για αντιμετώπιση προχωρημένων ζητημάτων που αφορούν αυτούς τους σημαντικούς τομείς της ηλεκτρολογίας.

Εισαγωγή:

Η εργαστηριακή άσκηση αυτή πραγματοποιήθηκε με κύριο σκοπό την εμβάθυνση σε δύο κρίσιμους τομείς, διαμορφώνοντας μια σφαιρική κατανόηση στον κόσμο των τετραπόλων και των κυκλωμάτων διαφόρισης. Μέσα από τη διαίρεση της εργαστηριακής άσκησης σε δύο σημαντικά μέρη, επιδιώξαμε να ανακαλύψουμε τα μυστικά που κρύβονται πίσω από τις θεωρητικές αρχές αυτών των συστημάτων. Από τη μελέτη των παραμέτρων A, B, C και D στο πλαίσιο της θεωρίας των τετραπόλων, μέχρι την εξέταση των κυκλωμάτων διαφόρισης μέσω ενός κυκλώματος RC και την παρακολούθηση των κυματομορφών με τη χρήση παλμογράφου, η εργαστηριακή άσκηση αναδεικνύει τη συνολική προσέγγιση που ακολουθήθηκε για την κατανόηση των φαινομένων. Η εισαγωγή σε αυτή την εργασία επιχειρεί να δημιουργήσει μια πρόσκληση για τον αναγνώστη να εξερευνήσει μαζί μας τα βάθη αυτών των σημαντικών επιστημονικών πεδίων.

Θεωρία:

Για την μαθηματική μελέτη της εργαστηριακής άσκησης αυτής χρειάζονται κάποιες βασικές θεωρίες και εξισώσεις η οποίες αναγράφονται και αριθμούνται παρακάτω.

Καταρχάς, εάν σε ένα κύκλωμα έχουμε συνδέσει πολλές αντιστάσεις σε σειρά, το ρεύμα που διαπερνά κάθε αντίσταση είναι το ίδιο, αυτό διότι το ρεύμα έχει μόνο μία διαδρομή. Η συνολική αντίσταση στο κύκλωμα αυτό θα είναι το άθροισμα των αντιστάσεων. Για παράδειγμα, εάν στο κύκλωμα συνδέονται σε σειρά n αντιστάσεις, τότε η συνολική αντίσταση θα ισούται με:

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad (1)$$

Από την άλλη εάν οι n αντιστάσεις συνδέονται παράλληλα τότε για την συνολική αντίσταση θα ισχύει ότι:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (1.1)$$

Νόμος του Ohm:

Σύμφωνα με τον νόμο του Ohm η τάση στα άκρα ενός κυκλώματος ισούται με το γινόμενο της τιμής της αντίστασης επί την τιμή του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα.

Δηλαδή: $V = I \cdot R$ (2)

Επιπλέον, επειδή πρόκειται να συγκριθούν πειραματικές τιμές με θεωρητικές (ονομαστικές), απαιτείται η χρήση μιας σχέσης για την απόκλιση των τιμών αυτών. Αυτή η σχέση δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\% \text{ απόκλιση} = \frac{\text{ονομ. τιμή} - \text{πειρ. τιμή}}{\text{ονομ. τιμή}} \quad (3)$$

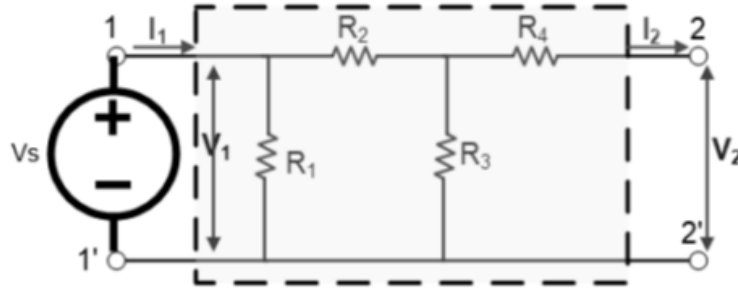
ΤΕΤΡΑΠΟΛΑ

Πειραματική διαδικασία:

Τα βασικά ηλεκτρονικά εξαρτήματα που θα χρειαστούν για την υλοποίηση της εργαστηριακής ασκήσεως είναι τα παρακάτω:

- Πηγή τάσης
- Πλακέτα διασύνδεσης (breadboard)
- Πολύμετρο
- Αντιστάτες (2 x 1 kΩ, 3.3 kΩ , 1.5 kΩ)
- Και διάφορα καλώδια για την διασύνδεση των εξαρτημάτων αυτών

- 1) Στο πρώτο μέρος της εργαστηριακής άσκησης αυτής θα επιχειρήσουμε να βρούμε τα A,C,B και D σύμφωνα με την θεωρία των τετράπολων στο παρακάτω κύκλωμα (Εικόνα 3).



Εικόνα 3

Καταρχάς κατασκευάζουμε το κύκλωμα της εικόνας 3 για την οποία ισχύει: $V_s = 10\text{ V}$ από την πηγή τάσης, $R_1 = 3.3\text{ k}\Omega$, $R_2 = 1\text{ k}\Omega$, $R_3 = 1.5\text{ k}\Omega$ και $R_4 = 1\text{ k}\Omega$. Πριν συνδεσουμε της αντίστασης και την πηγή στο breadboard πάμε και ωμομετρούμε μία μία της αντιστάσεις για να δούμε της αποκλίσεις των πειραματικών τιμών από της θεωρητικές που ειπωθήκαν παραπάνω. Αν το κάνουμε αυτό οι τιμές που μας έδειξε το πολύμετρο ως ομόμετρο είναι οι έξεις:

$$R_{1,\pi} = 3.27\text{ k}\Omega, R_{2,\pi} = 0.99\text{ k}\Omega, R_{3,\pi} = 1.52\text{ k}\Omega \text{ και } R_{4,\pi} = 0.99\text{ k}\Omega.$$

Σύμφωνα με την εξίσωση (3) για της αποκλίσεις των τιμών αυτών από της θεωρητικές θα ισχύει ότι:

$$\% \text{απόκλιση}(R_{1,\pi}) = \frac{3.3 - 3.27}{3.3} \cdot 100 = \frac{0.03}{3.3} \cdot 100 = 9.09 \cdot 10^{-3} \cdot 100 = \mathbf{0.909\%}$$

$$\% \text{απόκλιση}(R_{2,\pi}) = \frac{1 - 0.99}{1} \cdot 100 = \frac{0.01}{1} \cdot 100 = 1 = \mathbf{1\%}$$

$$\% \text{απόκλιση}(R_{3,\pi}) = \frac{1.5 - 1.52}{1.5} \cdot 100 = \frac{-0.02}{1.5} \cdot 100 = -0.0133 \cdot 100 = \mathbf{-1.33\%}$$

$$\% \text{απόκλιση}(R_{4,\pi}) = \frac{1 - 0.99}{1} \cdot 100 = \frac{0.01}{1} \cdot 100 = 1 = \mathbf{1\%}$$

Παρατηρούμε ότι οι αποκλίσεις βρίσκονται κοντά στο 1 % οπότε μπορούμε να θεωρήσουμε ότι είναι πολύ κοντά στις ονομαστικές τιμές.

Έπειτα πάμε και συνδέουμε πάνω στο breadboard της αντιστάσεις και την πηγή τάσης όπως χαρακτηριστικά φαίνεται στην εικόνα 3. Πειραματικά για να καταλήξουμε στον υπολογισμό των παραμέτρων A,B,C και D θα πρέπει να κάνουμε της εξής μετρήσεις:

Καταρχάς με ανοιχτούς τους ακροδέκτες 2 και 2' θα μετρήσουμε της τάσεις V_{1a} και V_2 και το ρεύμα I_{1a} . Αυτό θα το πετύχουμε αν με ανοιχτούς τους ακροδέκτες 2 και 2' πάμε και συνδεσουμε το πολύμετρο ως βολτόμετρο στα άκρα 1 και 1' και στα άκρα 2 και 2', ενώ για την τιμή του ρεύματος πάμε και συνδέουμε σε σειρά το πολύμετρο ως αμπερόμετρο στο άκρο 1 και στον κόμβο που ενώνει της αντίσταση R_1 και R_2 με το άκρο 1. Η τιμές που εμφάνισε το πολύμετρο στην διαδικασία αυτήν ήταν:

$$V_{1a,\pi} = \mathbf{10.1\text{ V}}$$

$$V_{2,\pi} = \mathbf{6.1\text{ V}}$$

$$I_{1\alpha,\pi} = 6.99 \text{ mA}$$

Έπειτα με βραχυκυκλωμένους τους ακροδέκτες 2 και 2' και πάμε και μετράμε την τάση $V_{1\beta}$ και τα ρεύματα $I_2, I_{1\beta}$. Το $V_{1\beta}$ αντιστοιχεί στην τάση στα άκρα 1 και 1' αλλά με βραχυκυκλωμένα τα 2 και 2', το I_2 στο ρεύμα που διαρρέει τα 2 και 2' ενώ το $I_{1\beta}$ το ρεύμα που διαρρέει το άκρο 1 και τον κόμβο που ενώνει της αντίσταση R_1 και R_2 με το άκρο 1 με βραχυκυκλωμένα τα 2 και 2' όμως αυτήν την φορά. Η διαδικασία του πολύμετρου είναι όμοια και απλή. Για την τάση $V_{1\beta}$ παμε με το πολυμετρο και μετραμε την τάση στα ακρα 1 και 1', για το $I_{1\beta}$ παμε και συνδεουμε σε σειρα το πολυμετρο ως αμπερομετρο όπως και πριν και τέλος για το I_2 παμε απλα και συνδεουμε το αμπερομετρο σε σειρα στα ακρα 2 και 2'. Με την εκτελεση της παραπάνω διαδικασια το πολυμετρο εδειξε της εξης τιμές:

$$V_{1\beta,\pi} = 9.9 \text{ V}$$

$$I_{2,\pi} = 3.78 \text{ V}$$

$$I_{1\beta,\pi} = 9.27 \text{ mA}$$

Για της τιμές των παραμέτρων A,B,C και D θα ισχύει σύμφωνα με την θεωρία ότι:

$$A_\pi = \frac{V_{1\alpha}}{V_2} = \frac{10.1}{6.1} = 1.656 \Rightarrow A_\pi = 1.656$$

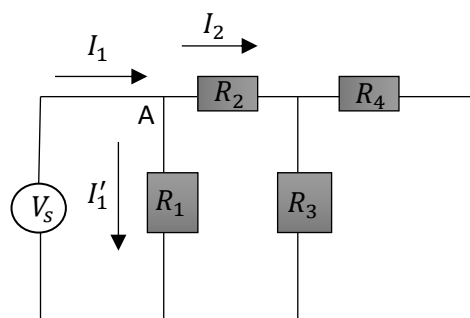
$$C_\pi = \frac{I_{1\alpha}}{V_2} = \frac{6.99}{6.1} = 1.1459 \Rightarrow C_\pi = 1.1459$$

$$B_\pi = \frac{V_{1\beta}}{I_2} = \frac{9.9}{3.78} = 2.619 \Rightarrow B_\pi = 2.619$$

$$D_\pi = \frac{I_{1\beta}}{I_2} = \frac{9.27}{3.78} = 2.4524 \Rightarrow D_\pi = 2.4524$$

Για να υπολογίσουμε θεωρητικά αυτές της τιμές θα πρέπει να ενεργήσουμε ως εξής:

Καταρχάς οι ακροδέκτες 2 και 2' είναι ανοιχτοί οπότε έχουμε το παρακάτω κύκλωμα (Σχήμα 1)



Σχήμα 1

Εφόσον οι ακροδέκτες 2 και 2' είναι ανοιχτοί στην αντίσταση R_4 δεν θα διαπερνάει κάποιο ρεύμα, άρα για να υπολογίσουμε το I_1 αρχικά θα πρέπει να βρούμε το $R_{o\lambda}$, για το οποίο θα ισχύει το εξής:

$$\frac{1}{R_{o\lambda}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_{2,3}}$$

Εφόσον οι αντιστάσεις R_2 και R_3 είναι συνδεδεμένες σε σειρά θα ισχύει ότι σύμφωνα με την εξίσωση (1):

$$R_{2,3} = R_2 + R_3 = 1 + 1.5 = 2.5 \Rightarrow R_{3,2} = 2.5 \text{ k}\Omega$$

Οπότε:

$$R_{o\lambda} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_{2,3}}} = \frac{R_1 \cdot R_{2,3}}{R_1 + R_{2,3}} = \frac{3.3 \cdot 2.5}{3.3 + 2.5} = \frac{8.25}{5.8} = 1.423$$

Τελικά σύμφωνα με τον νόμο του Ohm εξίσωση (2) και θεωρώντας γνωστό το $V_{1\alpha}$ αφού το $V_{1\alpha,\theta} = V_s = 10V$:

$$I_{1\alpha} = V_{1\alpha}/R_{o\lambda} = 10/1.423 = 7.027 \text{ mA} \Rightarrow I_{1\alpha,\theta} = 7.027 \text{ mA}$$

Για να υπολογίσουμε την τάση V_2 θα πρέπει πρώτα να βρούμε το ρεύμα I_2 , καταρχάς στον κόμβο A σύμφωνα με τον πρώτο νόμο του Kirchhoff θα ισχύει ότι:

$$I_{1\alpha} = I'_{1\alpha} + I_2 \quad (4)$$

$$\text{Επειδή όμως ισχύει ότι : } V_{R1} = V_{R2,3} = I'_{1\alpha} \cdot R_1 = I_2 \cdot (R_2 + R_3) \Rightarrow I'_{1\alpha} \cdot 3.3 = I_2 \cdot 2.5$$

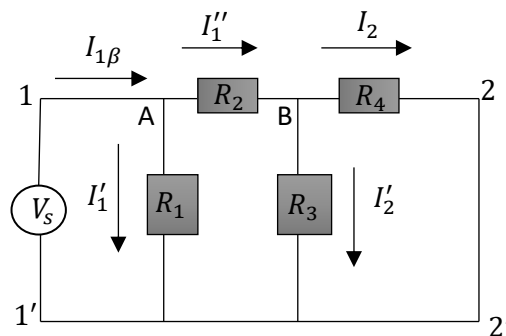
$$\Rightarrow \frac{I'_{1\alpha}}{I_2} = \frac{2.5}{3.3} = 0.758 \Rightarrow I'_{1\alpha} = 0.758 \cdot I_2$$

$$\text{Άρα (4)} \Rightarrow I_{1\alpha} = 1.758 \cdot I_2 \Rightarrow I_2 = \frac{7.027}{1.758} = 3.997 \text{ mA} \Rightarrow I_2 = 3.997 \text{ mA}$$

Και τελικά σύμφωνα με τον νόμο του Ohm θα ισχύει ότι:

$$V_2 = I_2 \cdot R_3 = 3.997 \cdot 1.5 = 5.9955 = 5.9955 \text{ V} \Rightarrow V_{2,\theta} = 5.9955 \text{ V}$$

Εάν βραχυκυκλώσουμε τώρα τους ακροδέκτες 2 και 2' θα ισχύουν τα εξής (Σχήμα 2):



Σχήμα 2

Καταρχάς το $V_{1\beta}$ όπως και προηγούμενος θα ισούται με το V_s και θα είναι ίσο με 10 V: $V_{1\beta,\theta} = 10 \text{ V}$

Ενώ το $I_{1\beta}$ θα βρεθεί μέσω του $R_{o\lambda}$ το οποίο σε αυτήν την περίπτωση θα ισούται με :

$$\frac{1}{R_{o\lambda}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_{2,3} + R_4}$$

Το $R_{1,2}$ υπολογιστηκε παραπάνω και είναι ίσο με 0.77 kΩ ενώ με τον ίδιο τρόπο θα υπολογιστεί και το $R_{3,4}$ αφού η αντιστάσεις είναι παράλληλα συνδεδεμένες:

$$R_3 = \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4} = \frac{1.5 \cdot 1}{1.5 + 1} = \frac{1.5}{2.5} = 0.6 \Rightarrow R_{3,4} = 0.6$$

Άρα:

$$\frac{1}{R_{o\lambda}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_{2,3} + R_4} = \frac{1}{3.3} + \frac{1}{0.6 + 1} = \frac{1}{3.3} + \frac{1}{1.6} \Rightarrow R_{o\lambda} = \frac{3.3 \cdot 1.6}{3.3 + 1.6} = \frac{5.28}{4.9} = 1.078 \text{ k}\Omega$$

$$\Rightarrow R_{o\lambda} = 1.078 \text{ k}\Omega$$

Και από τον νόμο του Ohm:

$$I_{1\beta} = V_{1\beta}/R_{o\lambda} = 10/1.078 = 9.27 \text{ mA} \Rightarrow I_{1\beta,\theta} = \mathbf{9.27 \text{ mA}}$$

Τέλος για να υπολογίσουμε το ρεύμα $I_{2,\theta}$ ενεργούμε ως εξής:

Καταρχάς υπολογίζουμε το ρεύμα I'_1 όπως προηγουμένως, στον κόμβο Α ισχύει ότι $I_{1,\beta} = I'_1 + I''_1$

Όμως για της τάσης V_1 και V_2 θα ισχύει ότι:

$$V_1 = V_2 \Rightarrow I'_1 \cdot R_1 = I''_1 \cdot (R_2 + R_{3,4}) \Rightarrow I'_1 \cdot 3.3 = I''_1 \cdot 1.6 \Rightarrow I'_1 = \mathbf{0.485 \cdot I''_1}$$

Οπότε επειδή:

$$I_{1,\beta} = I'_1 + I''_1 = 0.485 \cdot I''_1 + I''_1 = 1.485 \cdot I''_1 \Rightarrow I''_1 = I_{1,\beta}/1.485 = 9.27/1.485 = 6.24 \text{ mA}$$

$$\Rightarrow I''_1 = 6.24 \text{ mA}$$

Άμα ακολουθήσουμε την ίδια ακριβώς διαδικασία για να βρούμε το I_2 θα ισχύει το εξής:

Στον κόμβο Β ισχύει ότι: $I''_1 = I_2 + I'_2$

Όμως για της τάσης V_3 και V_4 θα ισχύει ότι:

$$V_3 = V_4 \Rightarrow I'_2 \cdot R_3 = I_2 \cdot R_4 \Rightarrow I'_2 \cdot 1.5 = I_2 \cdot 1 \Rightarrow I'_2 = 0.66 \cdot I_2$$

Οπότε επειδή:

$$I''_1 = I_2 + I'_2 = 0.66 \cdot I_2 + I_2 = 1.66 \cdot I_2 \Rightarrow I_2 = I''_1/1.66 = 6.24/1.66 = 3.75 \text{ mA}$$

$$\Rightarrow I_{2,\theta} = \mathbf{3.75 \text{ mA}}$$

Και τελικά για της θεωρητικές τιμές των παραμέτρων Α,Β,Γ και Δ θα ισχύει σύμφωνα με την θεωρία ότι:

$$A_\theta = \frac{V_{1\alpha}}{V_2} = \frac{10}{5.9955} = 1.67 \Rightarrow \mathbf{A_\theta = 1.67}$$

$$C_\theta = \frac{I_{1\alpha}}{V_2} = \frac{7.027}{5.9955} = 1.172 \Rightarrow \mathbf{C_\theta = 1.172}$$

$$B_\theta = \frac{V_{1\beta}}{I_2} = \frac{10}{3.75} = 2.67 \Rightarrow \mathbf{B_\theta = 2.67}$$

$$D_\theta = \frac{I_{1\beta}}{I_2} = \frac{9.27}{3.75} = 2.472 \Rightarrow \mathbf{D_\theta = 2.472}$$

Τέλος μπορούμε να υπολογίσουμε και της αποκλίσεις τον παραπάνω τιμών από της πειραματικές τιμές που βρέθηκαν αρχικά. Συγκεκριμένα θα ισχύει ότι:

$$\% \text{ απόκλιση}(V_{1\alpha}) = \frac{10 - 10.1}{10} \cdot 100 = -\frac{0.01}{10} \cdot 100 = 0.001 \cdot 100 = \mathbf{0.1 \%}$$

$$\% \text{ απόκλιση}(I_{1\alpha}) = \frac{7.027 - 6.99}{7.027} \cdot 100 = +\frac{0.037}{7.027} \cdot 100 = 0.00526 \cdot 100 = \mathbf{0.526 \%}$$

$$\% \text{ απόκλιση}(V_2) = \frac{6.25 - 6.1}{6.25} \cdot 100 = \frac{0.15}{6.25} \cdot 100 = 0.024 \cdot 100 = \mathbf{2.4 \%}$$

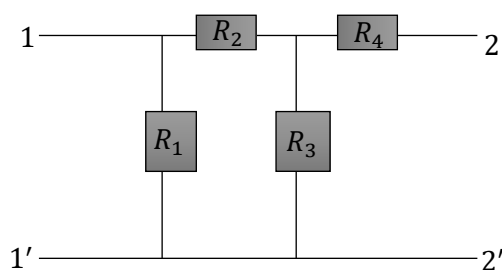
$$\% \text{απόκλιση}(V_{1\beta}) = \frac{10 - 9.9}{10} \cdot 100 = \frac{0.1}{10} \cdot 100 = 1 = \mathbf{1 \%}$$

$$\% \text{απόκλιση}(I_{1\beta}) = \frac{9.27 - 9.27}{9.27} \cdot 100 = \frac{0}{9.27} \cdot 100 = 0 = \mathbf{0 \%}$$

$$\% \text{απόκλιση}(I_2) = \frac{3.75 - 3.78}{3.75} \cdot 100 = \frac{-0.3}{3.75} \cdot 100 = -0.08 \cdot 100 = \mathbf{-8 \%}$$

Παρατηρούμε ότι τα ποσοστά των αποκλίσεων είναι σχετικά μικρά και με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να επαληθεύσουμε σε κάποιον βαθμό της πειραματικές τιμές που μετρήθηκαν.

2) Στο δεύτερο μέρος της εργαστηριακής άσκησης θα επιχειρήσουμε να υπολογίσουμε τις παραμέτρους A,B,C και D μέσω της μεθόδου ωμικών αντιστάσεων στο ίδιο κύκλωμα (Εικόνα 3). Με την μόνη διαφορά πως στο κύκλωμα του δεύτερου μέρους θα αφαιρέσουμε την πηγή τάσης (Σχήμα 3).



Σχήμα 3

Για να υπολογίσουμε τις παραμέτρους θα χρειαστούμε τα εξής μεγέθη: $z_{1\alpha}$, $z_{1\beta}$, $z_{2\alpha}$ και $z_{2\alpha}$.

Όπου $z_{1\alpha}$ η συνολική αντίσταση του κυκλώματος που μετράμε στα άκρα 1 και 1' με ανοιχτούς τους ακροδέκτες 2 και 2'.

Για να μετρήσουμε πειραματικά το μέγεθος αυτό απλά πάμε και ωμομετρούμε τα άκρα 1 και 1' με το πολύμετρο έχοντας φυσικά ανοιχτούς τους ακροδέκτες 2 και 2'. Με την διαδικασία αυτή το πολύμετρο μας εμφάνισε την εξής τιμή: $z_{1\alpha,\pi} = \mathbf{1.42 \, k\Omega}$

Για να υπολογίσουμε την τιμή αυτή θεωρητικά ενεργούμε ως εξής:

Καταρχάς η αντιστάσεις R_2 και R_3 είναι συνδεδεμένοι σε σειρά οπότε:

$$R_{23} = R_2 + R_3 = 1 + 1.5 = 2.5 \, k\Omega \Rightarrow \mathbf{R_{23} = 2.5 \, k\Omega}$$

Επειδή η αντίσταση R_4 δεν διαρρέεται από ρεύμα και η R_1 είναι συνδεδεμένη παράλληλα με την R_{23} θα ισχυρι ότι:

$$z_{1a,\theta} = \frac{R_1 \cdot R_{2,3}}{R_1 + R_{2,3}} = \frac{3.3 \cdot 2.5}{3.3 + 2.5} = \frac{8.25}{5.8} = 1.42 \, k\Omega \Rightarrow \mathbf{z_{1a,\theta} = 1.42 \, k\Omega}$$

Η $z_{1\beta}$ είναι η συνολική αντίσταση του κυκλώματος που μετράμε στα άκρα 1 και 1' με βραχυκυκλωμένου τους ακροδέκτες 2 και 2'.

Για να την μετρήσουμε πειραματικά απλά βραχυκυκλώνουμε τους ακροδέκτες 2 και 2' και ωμομετρούμε με το πολύμετρο τα άκρα 1 και 1'. Με την διαδικασία αυτή το πολύμετρο μας εμφάνισε την εξής τιμή:

$$\mathbf{z_{1\beta,\pi} = 1.07 \, k\Omega}$$

Για να υπολογίσουμε την τιμή αυτή θεωρητικά ενεργούμε ως εξής:

$$\frac{1}{z_{1\beta,\theta}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_{2,3} + R_4}$$

Το $R_{1,2}$ υπολογιστηκε παραπάνω και είναι ίσο με $0.77 \text{ k}\Omega$ ενώ με τον ίδιο τρόπο θα υπολογιστεί και το $R_{3,4}$ αφού η αντιστάσεις είναι παράλληλα συνδεδεμένες:

$$R_3 = \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4} = \frac{1.5 \cdot 1}{1.5 + 1} = \frac{1.5}{2.5} = 0.6 \Rightarrow R_{3,4} = 0.6$$

Άρα:

$$\frac{1}{z_{1\beta,\theta}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_{2,3} + R_4} = \frac{1}{3.3} + \frac{1}{0.6 + 1} = \frac{1}{3.3} + \frac{1}{1.6} \Rightarrow z_{1\beta,\theta} = \frac{3.3 \cdot 1.6}{3.3 + 1.6} = \frac{5.28}{4.9} = 1.078 \text{ k}\Omega$$

$$\Rightarrow z_{1\beta,\theta} = \mathbf{1.078 \text{ k}\Omega}$$

Η $z_{2\alpha}$ είναι η συνολική αντίσταση του κυκλώματος που μετράμε στα άκρα 2 και 2' με ανοιχτούς τους ακροδέκτες 1 και 1'.

Για να μετρήσουμε πειραματικά το μέγεθος αυτό απλά πάμε και ωμομετρούμε τα άκρα 2 και 2' με το πολύμετρο έχοντας φυσικά ανοιχτούς τους ακροδέκτες 1 και 1'. Με την διαδικασία αυτή το πολύμετρο μας εμφάνισε την εξής τιμή: $z_{2\alpha,\pi} = \mathbf{2.1 \text{ k}\Omega}$.

Για να υπολογίσουμε την τιμή αυτή θεωρητικά ενεργούμε ως εξής:

Επειδή η αντιστάσεις R_1 και R_2 είναι σε σειρά : $R_{1,2} = R_1 + R_2 = 4.3$

Όμως η $R_{1,2}$ με την R_3 είναι παράλληλα συνδεδεμένες:

$$R_{123} = \frac{R_{1,2} \cdot R_3}{R_{1,2} + R_3} = \frac{4.3 \cdot 1.5}{4.3 + 1.5} = \frac{6.45}{5.8} = 1.112$$

Ενώ τελικά η R_{123} θα είναι σε σειρά με την R_4 οπότε για το $z_{2\alpha}$ θα ισχύει ότι:

$$z_{2\alpha,\theta} = 1.112 + 1 = 2.112 \Rightarrow z_{2\alpha,\theta} = \mathbf{2.112}$$

Τέλος η $z_{2\beta}$ είναι η συνολική αντίσταση του κυκλώματος που μετράμε στα άκρα 1 και 1' με βραχυκυκλωμένους τους ακροδέκτες 2 και 2'.

Για να την μετρήσουμε πειραματικά απλά βραχυκυκλώνουμε τους ακροδέκτες 2 και 2' και ωμομετρούμε με το πολύμετρο τα άκρα 1 και 1'. Με την διαδικασία αυτή το πολύμετρο μας εμφάνισε την εξής τιμή:

$$z_{2\beta,\pi} = \mathbf{1.59 \text{ k}\Omega}$$

Για να υπολογίσουμε την τιμή αυτή θεωρητικά ενεργούμε ως εξής:

$R_{4,3} = 0.6 \text{ k}\Omega$ και $R_{2,1} = 0.767 \text{ k}\Omega$ και για το $z_{2\beta}$ θα ισχύει ότι:

$$z_{2\beta} = 0.6 + 0.767 = 1.367 \text{ k}\Omega \Rightarrow z_{2\beta,\theta} = \mathbf{1.367 \text{ k}\Omega}$$

Για της αποκλίσεις τον παραπάνω τιμών θα ισχύει ότι:

$$\% \text{απόκλιση}(z_{1\alpha}) = \frac{1.42 - 1.42}{1.42} \cdot 1 = \frac{0}{1.42} \cdot 100 = 0 = \mathbf{0 \%}$$

$$\% \text{απόκλιση}(z_{1\beta}) = \frac{1.078 - 1.07}{1.078} \cdot 100 = \frac{0.008}{1.078} \cdot 100 = 0.00742 \cdot 100 = \mathbf{0.742 \%}$$

$$\% \text{απόκλιση}(z_{2\alpha}) = \frac{2.112 - 2.1}{2.112} \cdot 100 = \frac{0.012}{2.112} \cdot 100 = 0.00568 \cdot 100 = \mathbf{0.568 \%}$$

$$\% \text{απόκλιση}(z_{2\beta}) = \frac{1.367 - 1.59}{1.367} \cdot 100 = \frac{-0.223}{1.367} \cdot 100 = 0.16 \cdot 100 = \mathbf{16 \%}$$

Ενώ για να υπολογιστούν οι πειραματικές τιμές των παραμέτρων A,B,C και D θα χρησιμοποιήσουμε τους παρακάτω τύπος σύμφωνα με την θεωρία:

$$A_{\pi} = \sqrt{\frac{z_{1\alpha}}{z_{2\alpha} - z_{2\beta}}} = \sqrt{\frac{1.42}{2.1 - 1.59}} = \sqrt{\frac{1.42}{0.51}} = \sqrt{2.7843} = 1.67 \Rightarrow \mathbf{A_{\pi} = 1.67}$$

$$B_{\pi} = z_{2\beta} \cdot \sqrt{\frac{z_{1\alpha}}{z_{2\alpha} - z_{2\beta}}} = 1.59 \cdot \sqrt{\frac{1.42}{2.1 - 1.59}} = 1.59 \cdot \sqrt{\frac{1.42}{0.51}} = 1.59 \cdot \sqrt{2.7843} =$$

$$= 1.59 \cdot 1.67 \Rightarrow \mathbf{B_{\pi} = 2.65}$$

$$C_{\pi} = \frac{1}{\sqrt{z_{1\alpha}(z_{2\alpha} - z_{2\beta})}} = \frac{1}{\sqrt{1.42(2.1 - 1.59)}} = \frac{1}{\sqrt{1.42(0.51)}} = \frac{1}{\sqrt{0.7242}} = \frac{1}{0.851}$$

$$= 1.175 \Rightarrow \mathbf{C_{\pi} = 1.175}$$

$$D_{\pi} = \frac{z_{2\alpha}}{\sqrt{z_{1\alpha}(z_{2\alpha} - z_{2\beta})}} = \frac{2.1}{\sqrt{1.42(2.1 - 1.59)}} = \frac{2.1}{0.851} = 2.468 \Rightarrow \mathbf{D_{\pi} = 2.468}$$

Τελικά για τις παραμέτρους που υπολογίστηκαν προκύπτει ο παρακάτω πίνακας (Πίνακας 1). Παρατηρούμε στον πίνακα αυτόν ότι η θεωρητικές τιμές των παραμέτρων είναι πιο κοντά στις πειραματικές τιμές του 1^{ου} μέρους, αυτό μπορεί να δικαιολογηθεί κάπως λόγω του σφάλματος $z_{2\beta}$ στο δεύτερο μέρος, το οποίο σφάλμα επηρέασε της τιμές των παραμέτρων.

Μέγεθος	Πειραματική τιμή από μέρος 1 ^ο	Πειραματική τιμή από μέρος 2 ^ο	Θεωρητική τιμή (από μέρος 1 ^ο)
A	1.656	1.67	1.67
B	1.1459	2.65	1.172
C	2.619	1.175	2.67
D	2.4524	2.468	1.944

Πίνακας 1

Συμπερασματικά για το πειραματικό μέρος των τετραπόλων της εργασίας μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η θεωρητικές τιμές των παραμέτρων υπολογίστηκαν με μεγαλύτερη ακρίβεια στο πρώτο μέρος, δηλαδή όταν η πηγή τάσης ήταν συνδεδεμένη στο κύκλωμα, παρ'όλα αυτά αυτό μπορεί και να ευθύνεται λόγω της σχετικά μεγάλης αποκλίσεις της τιμής $z_{2\beta}$ στο δεύτερο μέρος το οποίο μπορεί να προέκυψε είτε από την θεωρητική τιμή της είτε από την πειραματική. Σε γενικές γραμμές όμως η τιμές είναι κοντά η μια στην άλλη και οι αποκλίσεις δεν είναι τεράστιες.

Κυκλώματα Διαφόρισης

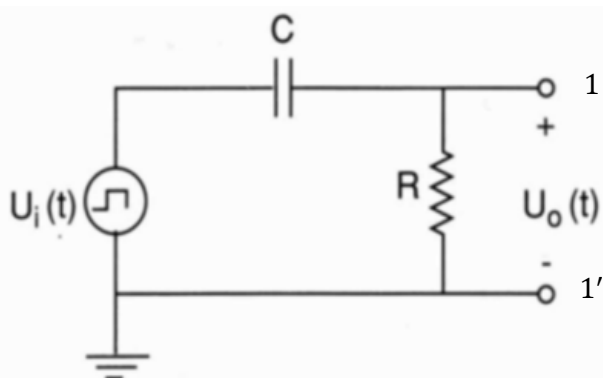
Πειραματική διαδικασία:

Τα βασικά ηλεκτρονικά εξαρτήματα που θα χρειαστούν για την υλοποίηση του μέρους των κυκλωμάτων διαφόρισης της εργαστηριακής ασκήσεως είναι τα παρακάτω:

- Πηγή εναλλασσόμενης τάσης
- Παλμογράφος
- Κιβώτιο αντιστάσεων
- Κιβώτιο πυκνωτών
- Και διάφορα καλώδια για την διασύνδεση των εξαρτημάτων αυτών

Στο μέρος αυτό της εργαστηριακής άσκησης θα επιχειρήσουμε να μελετήσουμε το φαινόμενο διαφόρισης στο παρακάτω κύκλωμα (Εικόνα 4). Για να το κάνουμε αυτό θα πρέπει πρώτα να το κατασκευάσουμε, συγκεκριμένα θα πρέπει να ακολουθήσουμε την εξής διαδικασία:

Καταρχάς συνδέουμε την γείωση της πηγής με την γείωση του κιβωτίου αντιστάσεων ενώ το άλλο άκρο της πηγής πάει στο ένα άκρο του κιβωτίου πυκνωτών, ενώ η γείωση του κιβωτίου πυκνωτών θα συνδεθεί με το ελεύθερο άκρο του κιβωτίου των αντιστάσεων. Στον παλμογράφο θα χρησιμοποιήσουμε και τα 2 channel, συγκεκριμένα το channel 1 θα πρέπει να συνδεθεί παράλληλα με την πηγή εναλλασσόμενης τάσης ενώ το channel 2 στα άκρα 1 και 1'. Τέλος τροφοδοτούμε το κύκλωμα μέσω της πηγής με τετραγωνικούς παλμούς συχνότητας 200Hz και τάση $4V_{pp}$.



Εικόνα 4

Γενικά το κύκλωμα της εικόνας είναι ένα κύκλωμα RC, δηλαδή ένα κύκλωμα το οποίο περιέχει μόνο πηγές τάσης, πυκνωτές και αντιστάσεις. Με την τροφοδότησή του κυκλώματος με τετραγωνικούς παλμούς ανάλογα της τιμές που έχουμε δώσει στο κιβώτιο αντιστάσεων και στο κιβώτιο πυκνωτών θα δούμε και διαφορετικό αποτέλεσμα της τάσης V_{out} στα άκρα 1 και 1'. Συγκεκριμένα σύμφωνα με την θεωρία ο ρυθμός φόρτισης και εκφόρτωσης ενός πυκνωτή εξαρτάται από την σταθερά χρόνου $\tau = R \cdot C$, δηλαδή ανάλογα με το τι τιμές που θα δώσουμε στα κιβώτια επηρεάζουμε και τον χρόνο τον οποίον χρειάζεται ο πυκνωτής να φορτώσει και να εκφορτωθεί, γιαυτό και στην τάση V_{out} θα παρατηρήσουμε διαφορετικές κυματομορφές. Επίσης η σταθερά χρόνου τ εξαρτάτε πέρα από το R και το C και με την ημιπερίοδο του παλμού της πηγής, με απλή λογική εύκολα διαπιστώνει κανείς πως υπάρχουν 3 περιπτώσεις για την σχέση

της ημιπεριόδου και της σταθεράς του χρόνου εάν θέλουμε να καλύψουμε γενικά ένα μεγάλο εύρος περιπτώσεων:

- $\frac{T}{2} \ll \tau = R \cdot C$
- $\frac{T}{2} = R \cdot C$
- $\frac{T}{2} \gg R \cdot C$

Εφόσον η περίοδος θα είναι συγκεκριμένη από την πηγή για να εξετάσουμε της 3 περιπτώσεις αυτές θα χρειαστεί απλά να δίνουμε τέτοιες τιμές στα κιβώτια ώστε να πετυχαίνουμε κάθε φορά την σχέση που θέλουμε να έχουν το τ με την ημιπερίοδο. Ξεκινώντας από την τιμή της συχνότητας $f = 200 \text{ Hz}$, θα εξετάσουμε της 3 αυτές περιπτώσεις και για άλλες 2 τιμές συχνότητας.

➤ $f = 200 \text{ Hz}$:

Καταρχάς εφόσον γνωρίζουμε την συχνότητα $f = 200 \text{ Hz}$, μπορούμε εύκολα να βρούμε την περίοδο T του τετραγωνικού παλμού. Συγκεκριμένα θα ισχύει:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{200} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ s} = 5 \text{ ms} \Rightarrow T = 5 \text{ ms}$$

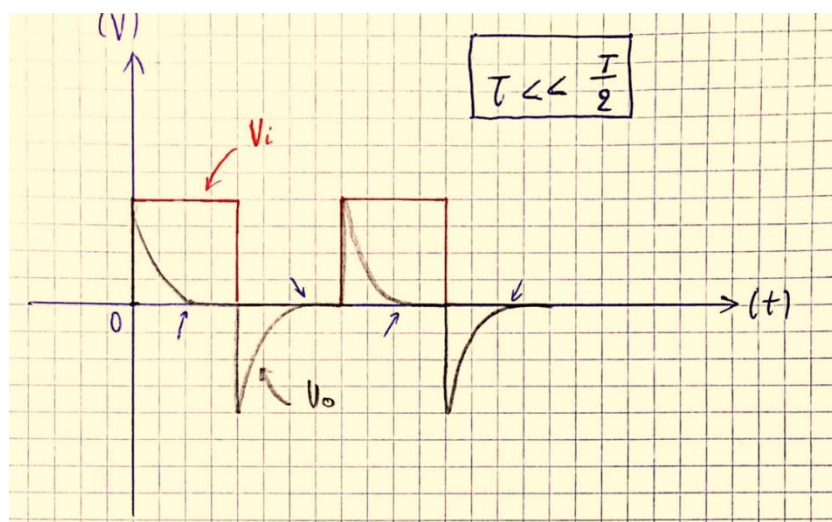
Άρα η ημιπερίοδος θα ισούται με:

$$\frac{T}{2} = \frac{5}{2} = 2.5 \text{ ms} \Rightarrow \frac{T}{2} = 2.5 \text{ ms}$$

Στην πρώτη περίπτωση θέλουμε το $\tau \ll \frac{T}{2} = 2.5 \text{ ms} = 2.5 \cdot 10^{-3} \text{ s}$, αυτό μπορούμε να το πέτυχουμε αν βάλουμε στο κιβώτιο αντιστάσεων τιμή $R = 5 \Omega$ και στο κιβώτιο πυκνωτών τιμή $C = 10 \mu\text{F} = 10^{-5} \text{ F} \Rightarrow C = 10^{-5} \text{ F}$. Σε αυτήν την περίπτωση για το τ θα ισχύει ότι:

$$\tau = C \cdot R = 10^{-5} \cdot 5 = 5 \cdot 10^{-5} \text{ s}, \text{ που όντως ισχύει ότι } \tau \ll T/2$$

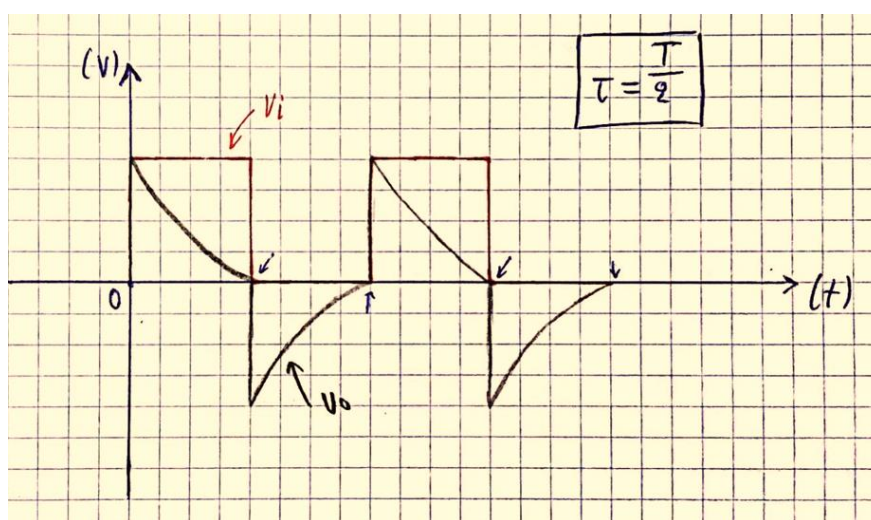
Σε αυτήν την περίπτωση, ο πυκνωτής φορτίζεται και εκφορτίζεται πλήρως σε χρόνο μικρότερο από την περίοδο του παλμού, αυτό που θα πρέπει να παρατηρήσουμε στην τάση εξόδου είναι η τάση να είναι μέγιστη όταν ο πυκνωτής έχει φορτίσει πλήρως και να αρχίζει να πέφτει προς το 0 καθώς ο πυκνωτής εκφορτίζεται. Συγκεκριμένα οι κυματομορφές των τάσεων εισόδου και εξόδου που εμφάνισε ο παλμογράφος μοιάζουν κάπως έτσι (Εικόνα 5):



Εικόνα 5

Στην δεύτερη περίπτωση θέλουμε το $\tau = \frac{T}{2} = 2.5 \text{ ms} = 2.5 \cdot 10^{-3} \text{ s}$, αυτό μπορούμε να το πέτυχουμε αν βάλουμε στο κιβώτιο αντιστάσεων τιμή $R = 2500 \Omega$ και στο κιβώτιο πυκνωτών τιμή $C = 1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F} \Rightarrow C = 10^{-6} \text{ F}$. Σε αυτήν την περίπτωση για το τ θα ισχύει ότι:
 $\tau = C \cdot R = 10^{-6} \cdot 2500 = 2.5 \cdot 10^{-3}$, που όντως ισχύει ότι $\tau = T/2$

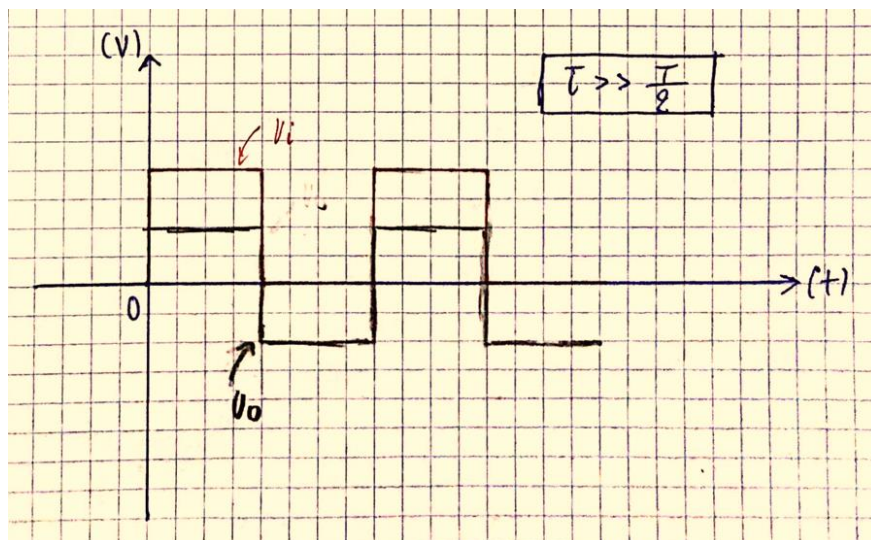
Σε αυτήν την περίπτωση ο πυκνωτής ολοκληρώνει την πλήρης φόρτιση και εκφόρτωση στη διάρκεια κάθε παλμού. Δηλαδή αυτό που θα πρέπει να παρατήσουμε στην κυματομορφή της τάσης εξόδου είναι από την μέγιστη τιμή να μειώνεται προς το μηδέν και να μηδενίζει περίπου ακριβώς όταν και η τάση της εισόδου γίνει μηδέν. Συγκεκριμένα οι κυματομορφές των τάσεων εισόδου και εξόδου που εμφάνισε ο παλμογράφος μοιάζουν κάπως έτσι (Εικόνα 6):



Εικόνα 6

Στην τελευταία περίπτωση θέλουμε το $\tau \gg \frac{T}{2} = 2.5 \text{ ms} = 2.5 \cdot 10^{-3} \text{ s}$, αυτό μπορούμε να το πέτυχουμε αν βάλουμε στο κιβώτιο αντιστάσεων τιμή $R = 100 \text{ k}\Omega$ και στο κιβώτιο πυκνωτών τιμή $C = 10 \mu\text{F} = 10^{-5} \text{ F} \Rightarrow C = 10^{-5} \text{ F}$. Σε αυτήν την περίπτωση για το τ θα ισχύει ότι:
 $\tau = C \cdot R = 10^{-5} \cdot 10^5 = 1$, που όντως ισχύει ότι $\tau \gg T/2$

Σε αυτήν την περίπτωση ο πυκνωτής δεν προλαβαίνει καν να φορτίσει και να εκφορτιστεί επαρκώς στην διάρκεια μιας περιόδου. Αυτό που θα παρατηρήσουμε στην κυματομορφές είναι η τάση εξόδου να έχει την ίδια κυματομορφή με την τάση εισόδου και αυτό συμβαίνει πρακτικά γιατί το τ είναι πολύ μεγαλύτερο του $T/2$ και ο πυκνωτής δεν προλαβαίνει καθόλου να φορτίσει και να εκφορτώσει και απλά η τάση εισόδου περνάει αναλλοίωτη. Συγκεκριμένα οι κυματομορφές των τάσεων εισόδου και εξόδου που εμφάνισε ο παλμογράφος μοιάζουν κάπως έτσι (Εικόνα 7):



Εικόνα 7

➤ **$f = 1040 \text{ Hz}$:**

Για την περίοδο T θα ισχύει:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{1040} = 0.96 \cdot 10^{-3} \text{ s} = 9.6 \cdot 10^{-4} \Rightarrow T = 9.6 \cdot 10^{-4} \text{ s}$$

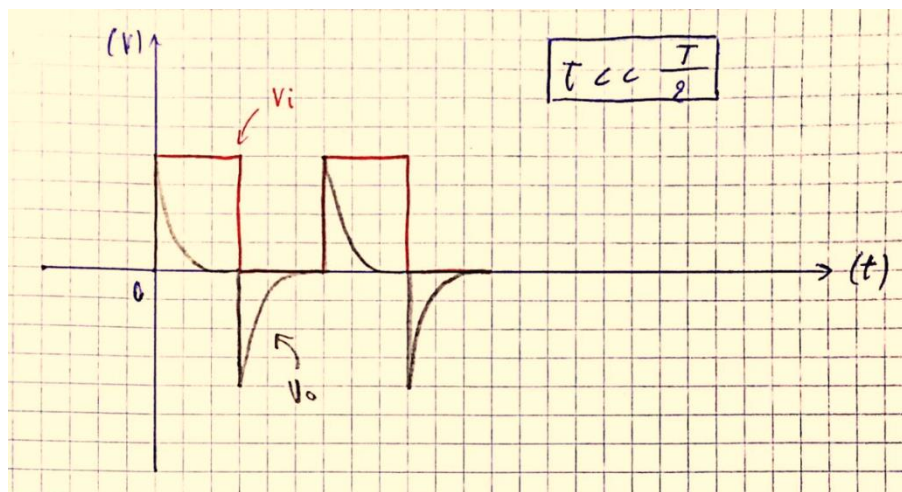
Άρα η ημιπερίοδος θα ισούται με:

$$\frac{T}{2} = \frac{9.6 \cdot 10^{-4}}{2} = 4.8 \cdot 10^{-4} \text{ s} \Rightarrow \frac{T}{2} = 4.8 \cdot 10^{-4} \text{ s}$$

Στην πρώτη περίπτωση θέλουμε το $\tau \ll \frac{T}{2} = 4.8 \cdot 10^{-4} \text{ s}$, αυτό μπορούμε να το πέτυχουμε αν βάλουμε στο κιβώτιο αντιστάσεων τιμή $R = 5 \Omega$ και στο κιβώτιο πυκνωτών τιμή $C = 1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F} \Rightarrow C = 10^{-5} \text{ F}$. Σε αυτήν την περίπτωση για το τ θα ισχύει ότι:

$$\tau = C \cdot R = 10^{-6} \cdot 5 = 5 \cdot 10^{-6}, \text{ που όντως ισχύει ότι } \tau \ll T/2$$

Σε αυτήν την περίπτωση όπως ειπώθηκε και παραπάνω ο πυκνωτής φορτίζεται και εκφορτίζεται πλήρως σε χρόνο μικρότερο από την περίοδο του παλμού, θα πρέπει δηλαδή να παρατηρήσουμε το ίδιο πράγμα με την μονή διαφορά πως η περίοδος του παλμού θα είναι μικρότερη. Συγκεκριμένα οι κυματομορφές των τάσεων εισόδου και εξόδου που εμφάνισε ο παλμογράφος μοιάζουν κάπως έτσι (Εικόνα 8):

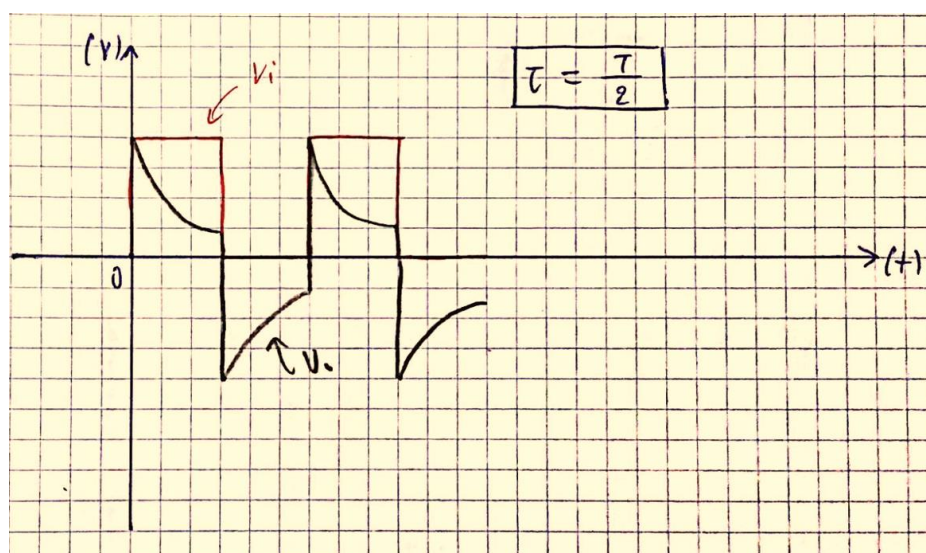


Εικόνα 8

Στην δεύτερη περίπτωση θέλουμε το $\tau = \frac{T}{2} = 4.8 \cdot 10^{-4} \text{ s}$, αυτό μπορούμε να το πέτυχουμε αν βάλουμε στο κιβώτιο αντιστάσεων τιμή $R = 480 \, \Omega$ και στο κιβώτιο πυκνωτών τιμή $C = 1 \, \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F} \Rightarrow C = 10^{-6} \text{ F}$. Σε αυτήν την περίπτωση για το τ θα ισχύει ότι:

$$\tau = C \cdot R = 10^{-6} \cdot 480 = 4.8 \cdot 10^{-4}, \text{ που όντως ισχύει ότι } \tau = T/2$$

Όπως ειπώθηκε και παραπάνω ο πυκνωτής ολοκληρώνει την πλήρης φόρτιση και εκφόρτωση στη διάρκεια κάθε παλμού θα πρέπει δηλαδή να παρατηρήσουμε το ίδιο πράγμα με την μόνη διαφορά πως η περίοδος του παλμού θα είναι μικρότερη. Συγκεκριμένα οι κυματομορφές των τάσεων εισόδου και εξόδου που εμφάνισε ο παλμογράφος μοιάζουν κάπως έτσι (Εικόνα 9):

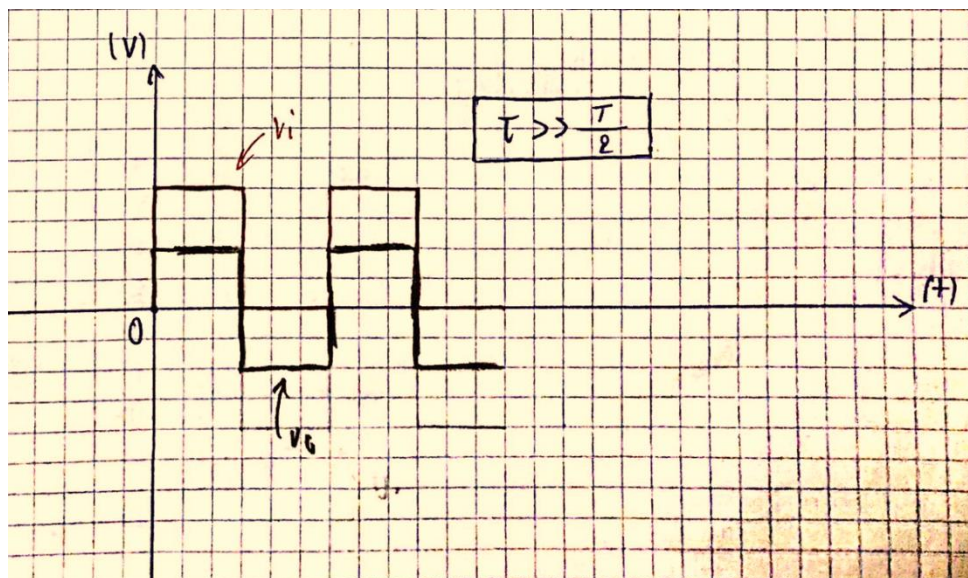


Εικόνα 9

Στην τελευταία περίπτωση θέλουμε το $\tau \gg \frac{T}{2} = 4.8 \cdot 10^{-4} \text{ s}$, αυτό μπορούμε να το πέτυχουμε αν βάλουμε στο κιβώτιο αντιστάσεων τιμή $R = 100 \, \text{k}\Omega$ και στο κιβώτιο πυκνωτών τιμή $C = 10 \, \mu\text{F} = 10^{-5} \text{ F} \Rightarrow C = 10^{-5} \text{ F}$. Σε αυτήν την περίπτωση για το τ θα ισχύει ότι:

$$\tau = C \cdot R = 10^{-5} \cdot 10^5 = 1, \text{ που όντως ισχύει ότι } \tau \gg T/2$$

Όπως ειπώθηκε και παραπάνω ο πυκνωτής δεν προλαβαίνει καν να φορτίσει και να εκφορτιστεί επαρκώς στην διάρκεια μιας περιόδου. Αυτό που θα παρατηρήσουμε στην κυματομορφές είναι η τάση εξόδου να έχει την ίδια κυματομορφή με την τάση εισόδου. Συγκεκριμένα οι κυματομορφές των τάσεων εισόδου και εξόδου που εμφάνισε ο παλμογράφος μοιάζουν κάπως έτσι (Εικόνα 10):



Εικόνα 10

➤ **$f = 10^4 \text{ Hz}$:**

Για την περίοδο T θα ισχύει:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{10^4} = 10^{-4} \text{ s} = 10^{-4} \Rightarrow T = 10^{-4} \text{ s}$$

Άρα η ημιπερίοδος θα ισούται με:

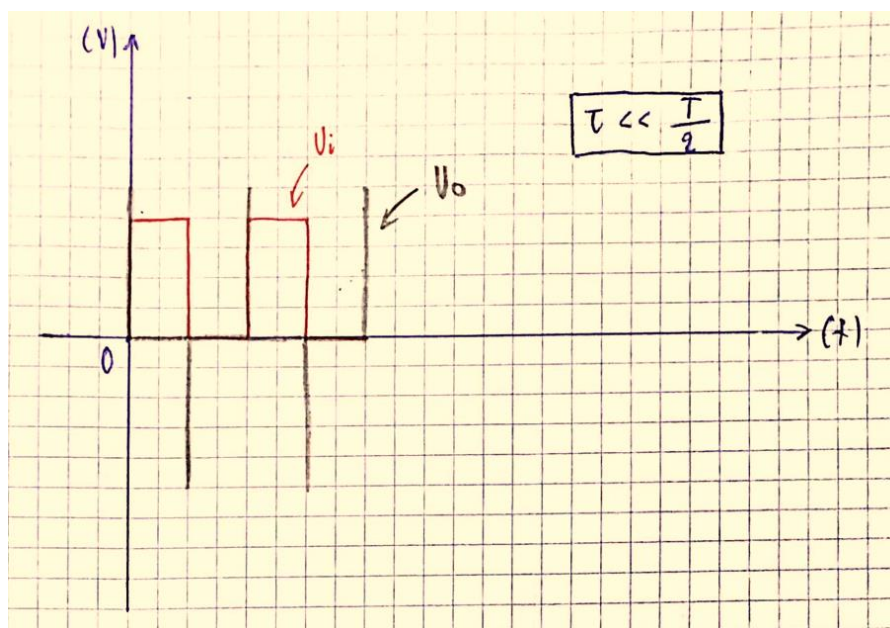
$$\frac{T}{2} = \frac{10^{-4}}{2} = 0.5 \cdot 10^{-4} \text{ s} \Rightarrow \frac{T}{2} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ s}$$

Στην πρώτη περίπτωση θέλουμε το $\tau \ll \frac{T}{2} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ s}$, αυτό μπορούμε να το πέτυχουμε αν βάλουμε στο κιβώτιο αντιστάσεων τιμή **$R = 5 \Omega$** και στο κιβώτιο πυκνωτών τιμή **$C = 1 \text{ nF} = 10^{-9} \text{ F} \Rightarrow C = 10^{-9} \text{ F}$** .

Σε αυτήν την περίπτωση για το τ θα ισχύει ότι:

$$\tau = C \cdot R = 10^{-9} \cdot 5 = 5 \cdot 10^{-9}, \text{ που όντως ισχύει ότι } \tau \ll T/2$$

Σε αυτήν την περίπτωση όπως ειπώθηκε και παραπάνω ο πυκνωτής φορτίζεται και εκφορτίζεται πλήρως σε χρόνο μικρότερο από την περίοδο του παλμού, επειδή όμως η περίοδος ήδη έχει μικρύνει αρκετά αυτό που θα παρατηρήσουμε στην τάση εξόδου είναι απλά κατακόρυφες γραμμές καθώς η εκφορτώσει συμβαίνει σχεδόν ακαριαία. Συγκεκριμένα οι κυματομορφές των τάσεων εισόδου και εξόδου που εμφάνισε ο παλμογράφος μοιάζουν κάπως έτσι (Εικόνα 11):

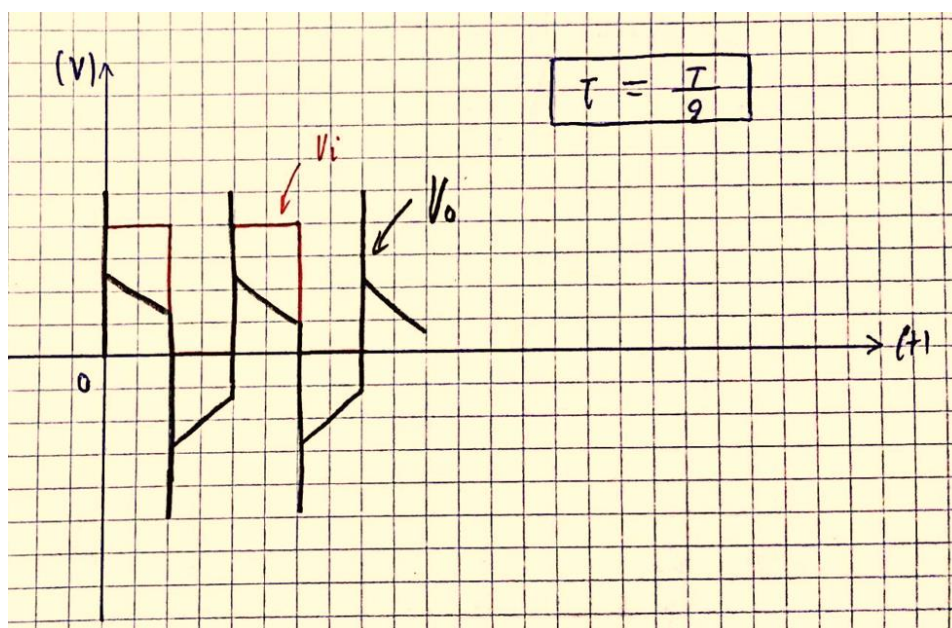


Εικόνα 11

Στην δεύτερη περίπτωση θέλουμε το $\tau = \frac{T}{2} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ s}$, αυτό μπορούμε να το πέτυχουμε αν βάλουμε στο κιβώτιο αντιστάσεων τιμή $R = 5 \Omega$ και στο κιβώτιο πυκνωτών τιμή $C = 10 \mu\text{F} = 10^{-5} \text{ F} \Rightarrow C = 10^{-5} \text{ F}$. Σε αυτήν την περίπτωση για το τ θα ισχύει ότι:

$$\tau = C \cdot R = 10^{-5} \cdot 5 = 5 \cdot 10^{-5}, \text{ που όντως ισχύει ότι } \tau = T/2$$

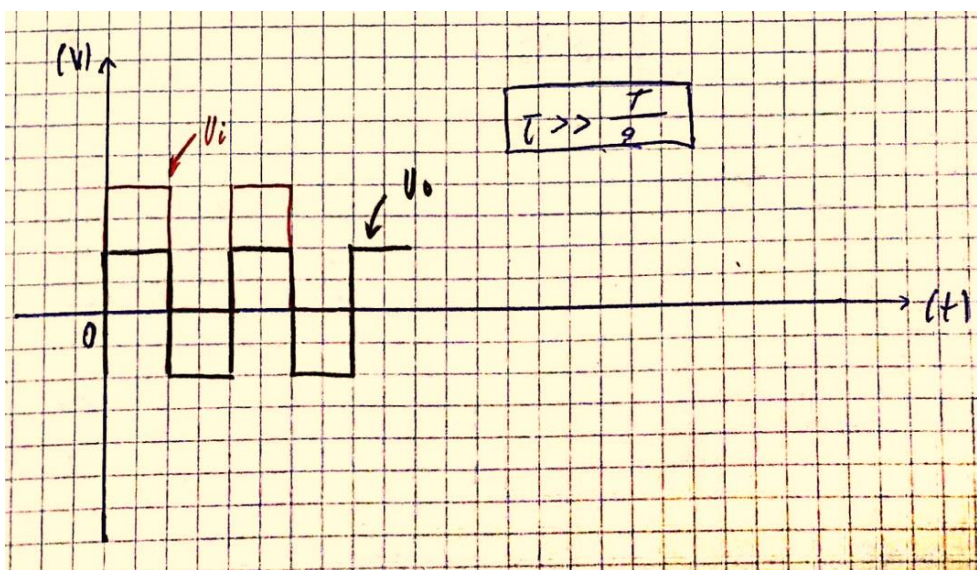
Όπως ειπώθηκε και παραπάνω ο πυκνωτής ολοκληρώνει την πλήρης φόρτιση και εκφόρτωση στη διάρκεια κάθε παλμού θα πρέπει δηλαδή να παρατηρήσουμε το ίδιο πράγμα με την μόνη διαφορά πως η περίοδος του παλμού θα είναι πολύ μικρότερη. Συγκεκριμένα οι κυματομορφές των τάσεων εισόδου και εξόδου που εμφάνισε ο παλμογράφος μοιάζουν κάπως έτσι (Εικόνα 12):



Εικόνα 12

Στην τελευταία περίπτωση θέλουμε το $\tau \gg \frac{T}{2} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ s}$, αυτό μπορούμε να το πέτυχουμε αν βάλουμε στο κιβώτιο αντιστάσεων τιμή $R = 100 \text{ k}\Omega$ και στο κιβώτιο πυκνωτών τιμή $C = 10 \text{ }\mu\text{F} = 10^{-5} \text{ F} \Rightarrow C = 10^{-5} \text{ F}$. Σε αυτήν την περίπτωση για το τ θα ισχύει ότι:
 $\tau = C \cdot R = 10^{-5} \cdot 10^5 = 1$, που όντως ισχύει ότι $\tau \gg T/2$

Όπως ειπώθηκε και παραπάνω ο πυκνωτής δεν προλαβαίνει καν να φορτίσει και να εκφορτιστεί επαρκώς στην διάρκεια μιας περιόδου. Ομοίως αυτό που θα παρατηρήσουμε στις κυματομορφές είναι η τάση εξόδου να έχει την ίδια κυματομορφή με την τάση εισόδου. Συγκεκριμένα οι κυματομορφές των τάσεων εισόδου και εξόδου που εμφάνισε ο παλμογράφος μοιάζουν κάπως έτσι (Εικόνα 13):



Εικόνα 13

Συμπεράσματα:

Κατά τη διάρκεια της παρούσας εργασίας, η οποία διαιρέθηκε σε δύο βασικά μέρη, με κύριο στόχο την εξερεύνηση και την κατανόηση δύο σημαντικών τομέων. Στο πρώτο μέρος, επικεντρωθήκαμε στη μελέτη της θεωρίας των τετραπόλων, αναζητώντας τις τιμές των παραμέτρων A, B, C και D του συστήματος. Με τη χρήση και πειραματικών και θεωρητικών προσεγγίσεων, καταλήξαμε σε αποτελέσματα που παρουσίαζαν μικρές αποκλίσεις, προσφέροντας κατανόηση των τιμών των παραμέτρων με ικανοποιητικό βαθμό ακρίβειας. Στο δεύτερο μέρος, επικεντρωθήκαμε στη θεωρία κυκλωμάτων διαφόρισης, εξετάζοντας ένα κύκλωμα RC. Με τη χρήση ενός παλμογράφου, παρατηρήσαμε τις κυματομορφές, προσδοκώντας να επιβεβαιώσουμε τις θεωρητικές προβλέψεις. Η παρακολούθηση αυτή παρείχε σημαντικά δεδομένα για τη σύγκριση των παρατηρήσεων με τη θεωρία, επιβεβαιώνοντας τη συνοχή των παρατηρήσεων με τα θεωρητικά μοντέλα. Με αυτήν την ολοκληρωμένη προσέγγιση, η έρευνα παρείχε εμβρυακή κατανόηση των δύο σημαντικών τομέων, συμβάλλοντας στην επιστημονική μας κατανόηση των συστημάτων τετραπόλων και των κυκλωμάτων διαφόρισης.