

## Lab02: Πυκνωτές

### Εισαγωγή

Η βασική ιδέα των πυκνωτών είναι η αποθήκευση φορτίου (ή ενέργειας). Η πιο απλή εκδοχή ενός πυκνωτή είναι δύο μεταλλικές πλάκες συνδεδεμένες με το υπόλοιπο κύκλωμα και διαχωρισμένες από κενό χώρο. Οι πραγματικοί πυκνωτές έχουν διαφορετικές φυσικές διατάξεις, αλλά μοιράζονται πολλές από τις ιδιότητες της ιδεατής περίπτωσης: ο πυκνωτής μοιάζει με ανοιχτό κύκλωμα όταν εφαρμόζεται σταθερή τάση και το αποτέλεσμα της εξαναγκασμένης ροής ρεύματος στο κύκλωμα είναι ότι πλεόνασμα ηλεκτρονίων θα συσσωρευτεί σε μία από τις πλάκες και πλεόνασμα οπών στην άλλη. Επειδή τα ηλεκτρόνια και οι οπές δεν μπορούν να βρίσκονται κοντά το ένα στο άλλο, η ποσότητα του φορτίου που μπορεί να συσσωρευτεί εξαρτάται από το μέγεθος των πλακών, δηλαδή την χωρητικότητα, και από την τάση (διαφορά δυναμικού) που εφαρμόζεται στις δύο πλάκες από το κύκλωμα. Εάν το κύκλωμα εφαρμόσει μεγάλη τάση, τα ηλεκτρόνια και οι οπές θα περάσουν το κενό με καταστροφικά αποτελέσματα για τον πυκνωτή (και συχνά για το υπόλοιπο κύκλωμά σας), οπότε οι πυκνωτές έχουν επίσης μέγιστη τιμή τάσης.

Μονάδες: Η χωρητικότητα μετριέται σε Farad, ή μάλλον σε κάποιο μικρό κλάσμα του Farad, όπως  $pF$ ,  $nF$  ή  $\mu F$ , αφού το  $F$  είναι μια πολύ μεγάλη μονάδα. Οι δύο πιο συχνά χρησιμοποιούμενες μονάδες είναι τα  $pF$  και  $\mu F$ . Η σημασία αυτής της επιλογής μονάδων είναι ότι η αντίσταση σε  $\Omega$  επί την χωρητικότητα σε Farad ( $F$ ) είναι ίση με τον χρόνο σε δευτερόλεπτα. Η σημασία αυτής της σχέσης ( $RC = \text{χρόνος}$ ) θα γίνει πιο εμφανής στις ασκήσεις του εργαστηρίου.

Οι πυκνωτές χρησιμοποιούνται συχνά στα ηλεκτρονικά: για να παράγουν την επιθυμητή απόκριση χρόνου ή συχνότητας, για να αποθηκεύουν φορτίο για αυξημένη παροχή ρεύματος ή για να βοηθούν στη διατήρηση σταθερών τάσεων. Σε αυτήν την εργαστηριακή άσκηση, θα εξετάσουμε μερικά από τα πιο κοινά κυκλώματα που μας βοηθούν να πετύχουμε αυτούς τους στόχους.

Μια αναλογία με την φυσική αρχή της χωρητικότητας είναι μια μπανιέρα που γεμίζει με νερό. Όσο μεγαλύτερη είναι η μπανιέρα, τόσο περισσότερο χρόνο χρειάζεται για να γεμίσει και τόσο περισσότερο θα αποθηκεύσει. Η χωρητικότητα είναι ανάλογη με τη διάμετρο της μπανιέρας, η ροή του νερού είναι το ρεύμα και το ύψος του νερού στη μπανιέρα είναι ανάλογο με την τάση στον πυκνωτή. Αν σταματήσουμε να βάζουμε νερό και ανοίξουμε την αποχέτευση, αναμένουμε να χρειαστεί κάποιο χρόνο για να αδειάσει η μπανιέρα, κατά τη διάρκεια του οποίου θα συνεχίσει να παρέχει ροή (ρεύμα). Αυτό περιγράφει τη λειτουργία αποθήκευσης των πυκνωτών. Το μηχανικό αυτό ανάλογο δεν βοηθά στην κατανόηση της συμπεριφοράς των πυκνωτών σε περιπτώσεις μεταβαλλόμενων τάσεων και της εξάρτησης από την συχνότητα μεταβολής του σήματος. Στις περιπτώσεις αυτές ο πυκνωτής εμφανίζει αντίσταση που εξαρτάται από την συχνότητα και είναι ο λόγος για τον οποίο χρησιμοποιούμε συχνά τους πυκνωτές.

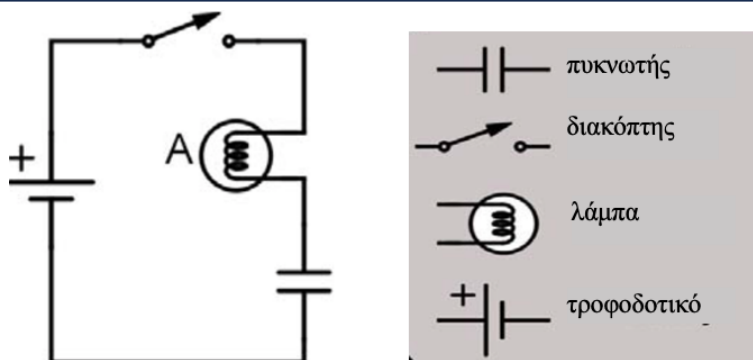
### Δραστηριότητα 1: Απλά κυκλώματα με πυκνωτές

Κατασκευάσετε το κύκλωμα που φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 1. Για το κύκλωμα θα χρειαστεί να χρησιμοποιήσετε τα παρακάτω στοιχεία που φαίνονται στο Σχήμα 1. Θα χρειαστείτε ακόμα ένα πολύμετρο και ένα χρονόμετρο. Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε το χρονόμετρο του κινητού σας.

Το κύκλωμα θα πρέπει να το κατασκευάσετε στην πλακέτα που χρησιμοποιήσατε για να κατασκευάσετε το τροφοδοτικό χαμηλής τάσης στο προηγούμενο εργαστήριο. Θα βρείτε τα συστατικά που χρειάζονται για το κύκλωμα στο κουτί με τα διάφορα στοιχεία.

Για το κύκλωμα αυτό θα χρησιμοποιήσετε τον πυκνωτή των  $15000\mu F$  και τον λαμπτήρα.

**Προσοχή: Εκφόρτιση πυκνωτή:** Πριν ξεκινήσετε οποιοδήποτε δραστηριότητα του σημερινού εργαστηρίου θα πρέπει να είστε σίγουροι ότι οι πυκνωτές δεν έχουν οποιοδήποτε φορτίο. Για να τους εκφορτίσετε, χρησιμοποιήστε μια αντίσταση  $100\Omega$  στα άκρα ενός καλωδίου με κροκοδειλάκια. Ακουμπήστε στους δύο ακροδέκτες του πυκνωτή με τους δύο ακροδέκτες της αντίστασης. Μετά από ένα λεπτό ακουμπήστε με τα κροκοδειλάκια απευθείας τους ακροδέκτες του πυκνωτή ώστε να τον αποφορτίσετε τελείως. **Πάντοτε εκφορτίστε έναν πυκνωτή πριν τον χρησιμοποιήσετε ή αφού τον έχετε χρησιμοποιήσει.**



Σχήμα 1: Κύκλωμα 1.

1. Συνδέστε αρχικά τον διακόπτη δύο θέσεων (ON/OFF) και ελέγξτε τη σωστή χρήση του με την βοήθεια του πολυμέτρου (έλεγχος αγωγιμότητας με τον διακόπτη στην αντίστοιχη θέση. Θα πρέπει με τον διακόπτη στην OFF θέση να μην υπάρχει αγωγιμότητα και με τον διακόπτη στην ON θέση να υπάρχει μηδενική αντίσταση). Θέστε τον διακόπτη στην OFF θέση.
2. Στην πλευρά του κυκλώματος μετά τον διακόπτη συνδέστε τον λαμπτήρα ( $24.6V, 1.2W$ ).
3. Συνδέστε τον πυκνωτή των  $15000\mu F$  αφού πρώτα βεβαιωθείτε ότι δεν έχει οποιοδήποτε φορτίο.

**Προσοχή: Πολικότητα πυκνωτή:** Θα χρησιμοποιήσετε πυκνωτές που είναι ηλεκτρολυτικοί και έχουν καθορισμένη πολικότητα και οι ακροδέκτες τους αντιστοιχούν σε (+) και (-). Προσέξτε ότι το (+) του πυκνωτή θα πρέπει να συνδεθεί σε σημείο του κυκλώματος με υψηλότερο δυναμικό από αυτό που θα συνδεθεί ο αρνητικός (-) του ακροδέκτης. Σε περίπτωση που συνδεθούν ανάποδα ο πυκνωτής θα λειτουργεί απρόβλεπτα και υπάρχει περίπτωση να εκραγεί.

4. Ενώ έχετε τον διακόπτη στην OFF θέση συνδέστε το πολύμετρο στην είσοδο του διακόπτη και το (-) του κυκλώματος και ανοίξτε το τροφοδοτικό. Ελέγξτε αρχικά ότι λειτουργεί σωστά και δίνει το επιθυμητό εύρος των τάσεων ( $1.25 \div 18V$ ). Ελέγχοντας με το πολύμετρο, ρυθμίστε την τάση στα  $15V$ .
5. Αποσυνδέστε το πολύμετρο και μετακινήστε τον διακόπτη στην ON θέση κλείνοντας έτσι το κύκλωμα τροφοδοτικό-λαμπτήρας-πυκνωτής. Παρατηρήστε κατά πόσο φωτοβολεί ο λαμπτήρας καθώς και την φωτεινότητα του λαμπτήρα με την πάροδο του χρόνου.
6. Σχεδιάστε ποιοτικά το γράφημα της φωτοβολίας του λαμπτήρα συναρτήσει του χρόνου.
7. Αφότου έχει σβήσει ο λαμπτήρας περιμένετε 1 – 2 λεπτά.
8. Μετακινήστε και πάλι τον διακόπτη στην OFF θέση και κλείστε το τροφοδοτικό.

9. Αφαιρέστε το καλώδιο εισαγωγής του διακόπτη από την (+) έξοδο του τροφοδοτικού και συνδέστε την με το (-) (γείωση) του κυκλώματος.
10. Μετακινήστε τον διακόπτη στην *ON* θέση. Το κύκλωμα τώρα περιέχει μόνο τον λαμπτήρα και τον πυκνωτή. Παρατηρήστε κατά πόσο φωτοβολεί ο λαμπτήρας, καθώς και την μεταβολή στη φωτεινότητά του με την πάροδο του χρόνου.
11. Ήταν φορτισμένος ο πυκνωτής πριν κλείσετε το δεύτερο κύκλωμα; Εξακολουθεί να είναι φορτισμένος ο πυκνωτής μεγάλο διάστημα αφότου έκλεισε το κύκλωμα; Χρησιμοποιήστε διατήρηση του φορτίου και διατήρηση της ενέργειας για να εξηγήσετε τα αποτελέσματά σας.
12. Αφότου σβήσει ο λαμπτήρας θέστε και πάλι τον διακόπτη στην θέση *OFF*. Επανασυνδέστε και πάλι τον διακόπτη με το (+) output του τροφοδοτικού.
13. Σχεδιάστε ποιοτικά το γράφημα της φωτοβολίας του λαμπτήρα συναρτήσει του χρόνου.

### Σταματήστε - σκεφθείτε – επιβεβαιώστε τις ακόλουθες ερωτήσεις :

(α) Με βάση την παρατήρησή σας για τη φωτεινότητα του λαμπτήρα, πώς πιστεύετε ότι ρέει το φορτίο διαμέσως του λαμπτήρα συναρτήσει του χρόνου;

(β) Επιβεβαιώσετε την υπόθεσή σας:

1. Συνδέστε το πολύμετρο σε σειρά με τον λαμπτήρα και τον πυκνωτή. Με τον τρόπο αυτό θα μετρήσετε την ένταση του ρεύματος. Θα πρέπει να ενώσετε το (-) του διακόπτη με το (+) του πολυμέτρου και το (-) του πολυμέτρου με τον ένα ακροδέκτη του λαμπτήρα. Ο δεύτερος ακροδέκτης του λαμπτήρα θα πρέπει να ενωθεί με τον (+) πόλο του πυκνωτή ενώ ο (-) πόλος του πυκνωτή να ενωθεί με το (-) γείωση του κυκλώματος.
2. Τοποθετήστε τα θετικό καλώδιο του πολυμέτρου στην υποδοχή του  $\mu A/mA$  για μέτρηση του ρεύματος και τον διακόπτη του στην κλίμακα των  $mA$ .

(γ) Θεωρώντας τον πυκνωτή ως δύο μεταλλικές πλάκες σε κάποια συγκεκριμένη απόσταση, πώς αλλάζει το φορτίο που συσσωρεύεται στις πλάκες του πυκνωτή καθώς μεταβάλλεται η φωτεινότητα του λαμπτήρα; Μπορείτε να το μετρήσετε αυτό με το πολύμετρο; Χρησιμοποιήστε διατήρηση φορτίου για να εξηγήσετε αυτό που βλέπετε.

1. Συνδέστε το πολύμετρο και καταγράψτε την τάση στα άκρα του λαμπτήρα συναρτήσει του χρόνου.

**Σημείωση:** Θα μπορούσατε να χρησιμοποιήσετε 2 πολύμετρα και να καταγράψετε στο κινητό σας τις ενδείξεις του ενός πολυμέτρου ως αμπερόμετρο (βήμα **β-2**) και του δεύτερου πολυμέτρου ως βολτόμετρο (βήμα **γ-1**).

2. Αφού καταγράψετε στο κινητό σας τις μετρήσεις ρεύματος – τάσης λαμπτήρα συναρτήσει του χρόνου, θέστε τον διακόπτη στην θέση *OFF*. Αποφορτίστε τον πυκνωτή με την βοήθεια ενός καλωδίου. Ελέγξτε ότι η τάση στα πόλους του πυκνωτή είναι μηδέν.

(δ) Με βάση το τι γνωρίζεται για τη λειτουργία των μπαταριών, πώς αλλάζει η διαφορά δυναμικού στα άκρα του τροφοδοτικού συναρτήσει του χρόνου;

(ε) Ελέγξτε το χρησιμοποιώντας το πολύμετρο:

1. Διατηρώντας το ένα πολύμετρο ως αμπερόμετρο, συνδέστε το δεύτερο πολύμετρο στην (+) είσοδο του διακόπτη και στο (-) (γείωση) του τροφοδοτικού.
2. Καταγράψτε την τάση στα άκρα του τροφοδοτικού συναρτήσει του χρόνου.

**Σημείωση:** Θα μπορούσατε να χρησιμοποιήσετε 2 πολύμετρα και να καταγράψετε στο κινητό σας τις ενδείξεις του ενός πολυμέτρου ως αμπερόμετρο και του δεύτερου πολυμέτρου ως βολτόμετρο.

3. Αφού καταγράψετε στο κινητό σας τις μετρήσεις ρεύματος – τάσης τροφοδοτικού συναρτήσει του χρόνου, θέστε τον διακόπτη στην θέση *OFF*. Αποφορτίστε τον πυκνωτή με την βοήθεια ενός καλωδίου. Ελέγξτε ότι η τάση στα πόλους του πυκνωτή είναι μηδέν.

(στ) Πώς αλλάζει η διαφορά δυναμικού στα άκρα του τροφοδοτικού συναρτήσει του χρόνου;

(ζ) Ελέγξτε το χρησιμοποιώντας το πολύμετρο:

1. Διατηρώντας το ένα πολύμετρο ως αμπερόμετρο, συνδέστε το δεύτερο πολύμετρο στον (+) πόλο του πυκνωτή και στο (-) (πόλο) του πυκνωτή.
2. Καταγράψτε την τάση στα άκρα του πυκνωτή συναρτήσει του χρόνου.

**Σημείωση:** Θα μπορούσατε να χρησιμοποιήσετε 2 πολύμετρα και να καταγράψετε στο κινητό σας τις ενδείξεις του ενός πολυμέτρου ως αμπερόμετρο και του δεύτερου πολυμέτρου ως βολτόμετρο.

3. Αφού καταγράψετε στο κινητό σας τις μετρήσεις ρεύματος – τάσης πυκνωτή συναρτήσει του χρόνου, θέστε τον διακόπτη στην θέση *OFF*. Αποφορτίστε τον πυκνωτή με την βοήθεια ενός καλωδίου. Ελέγξτε ότι η τάση στα πόλους του πυκνωτή είναι μηδέν.

(η) Χρησιμοποιήστε την έννοια της διατήρησης της ενέργειας για να εξηγήσετε τις παρατηρήσεις σας.

## Δραστηριότητα 2: Χωρητικότητα

Χρησιμοποιήστε και πάλι το κύκλωμα το οποίο κατασκευάσατε στην προηγούμενη δραστηριότητα. Χρησιμοποιείτε και πάλι τον πυκνωτή των  $15000\mu F$  και το κύκλωμα που φαίνεται στο Σχήμα 1. Ο διακόπτης  $S_1$  θα πρέπει να είναι στην *OFF* θέση.

Κλείστε τον διακόπτη  $S_1$  και παρατηρήστε την φωτεινότητα του λαμπτήρα. Πόσο χρονικό διάστημα απαιτείται ώστε να σταματήσει να φωτοβολεί ο λαμπτήρας;

### Διερεύνηση

Αναπτύξτε ένα πλάνο μετρήσεων το οποίο θα σας επιτρέψει να προσδιορίσετε τον χρόνο που απαιτείται να σταματήσει να φωτοβολεί ο λαμπτήρας συναρτήσει της χωρητικότητας του πυκνωτή που θα χρησιμοποιήσετε. Θα πρέπει να σχεδιάσετε τις μετρήσεις λαμβάνοντας υπόψιν πόσους διαφορετικούς πυκνωτές θα χρησιμοποιήσετε και πόσες μετρήσεις χρόνου θα πρέπει να πάρετε για κάθε πυκνωτή. Επίσης θα πρέπει να προσδιορίσετε τι σημαίνει «ο λαμπτήρας σταματά να φωτοβολεί» και πώς θα είστε σίγουροι ότι οι πυκνωτές είναι αφόρτιστοι πριν εκτελέσετε κάποια μέτρηση.

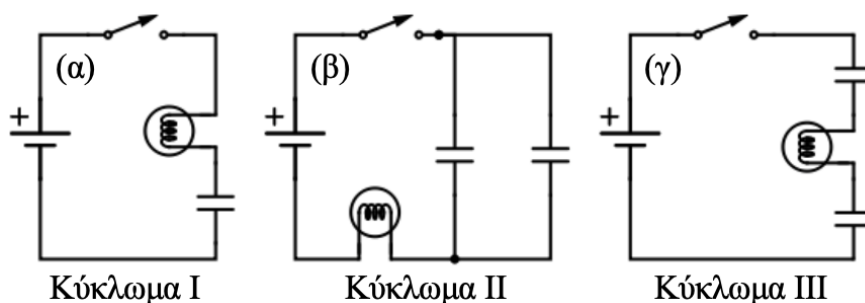
Ακολουθήστε το πλάνο των μετρήσεών σας. Μην παραλείψετε να καταγράψετε την εκτιμώμενη αβεβαιότητα για κάθε μέτρηση που κάνετε.

Κάντε το γράφημα του χρόνου που απαιτείται ώστε να σταματήσει να φωτοβολεί ο λαμπτήρας συναρτήσει της χωρητικότητας των πυκνωτών που χρησιμοποιήσατε.

Με βάση τις μετρήσεις σας, την διατήρηση της ενέργειας και φορτίου, και το μοντέλο ενός πυκνωτή ως μια διάταξη αποτελούμενη από δύο παράλληλες πλάκες σε μικρή απόσταση, εξηγήστε πώς η χωρητικότητα επηρεάζει τον χρόνο που απαιτείται ώστε ο λαμπτήρας να σταματήσει να φωτοβολεί.

### Δραστηριότητα 3: Κυκλώματα με δύο πυκνωτές

Κατασκευάστε τα κυκλώματα που φαίνονται στο Σχήμα 2.



Σχήμα 2: Κυκλώματα με 1 και 2 πυκνωτές

1. Σχεδιάστε κάθε διάταξη των πυκνωτών, του λαμπτήρα και του τροφοδοτικού χαμηλής τάσης. Σε κάθε γράφημα καταγράψτε την τιμή της χωρητικότητας του κάθε πυκνωτή που χρησιμοποιείτε. Καταγράψτε ακόμα τη διαφορά τάσης στα άκρα κάθε στοιχείου του κυκλώματος καθώς και το φορτίο που είναι αποθηκευμένο στους οπλισμούς του κάθε πυκνωτή.
2. Αποφασίστε στις αρχές της φυσικής που θα χρησιμοποιήσετε. Για ένα κύκλωμα εν γένει, η αρχή διατήρησης του φορτίου είναι ιδιαίτερα χρήσιμη, όπως επίσης και η διατήρηση της ενέργειας. Ποια η σχέση μεταξύ της ολικής ενέργειας που αποθηκεύεται σε κάθε κύκλωμα και της ενέργειας που αποθηκεύεται σε κάθε πυκνωτή αυτού του κυκλώματος;
3. Για κάθε πυκνωτή, προσδιορίστε μια σχέση που συσχετίζει την ενέργεια, το φορτίο που συσσωρεύεται στις πλάκες κάθε πυκνωτή και τη χωρητικότητά του.
4. Για κάθε πυκνωτή, γράψτε μια σχέση που συνδέει το φορτίο στις πλάκες του, τη διαφορά δυναμικού στα άκρα του και τη χωρητικότητά του.
5. Όταν το ρεύμα σταματήσει να ρέει μέσα στο κύκλωμα, οι δύο πυκνωτές στο κύκλωμα II του Σχήματος 2 έχουν το ίδιο φορτίο; Τι συμβαίνει στο κύκλωμα III; Τη χρονική στιγμή που το ρεύμα σταματά ποια η διαφορά δυναμικού στα άκρα του λαμπτήρα σε κάθε περίπτωση κυκλώματος; Τη χρονική αυτή στιγμή ποια η σχέση μεταξύ της διαφοράς δυναμικού στα άκρα του τροφοδοτικού και αυτής στα άκρα κάθε πυκνωτή;
6. Το μέγεθος ενδιαφέροντος είναι η ενέργεια που αποθηκεύεται στους πυκνωτές σε κάθε κύκλωμα. Για να προσδιορίσετε σε ποιο κύκλωμα αποθηκεύεται περισσότερη ενέργεια στους πυκνωτές θα πρέπει να υπολογίσετε την ενέργεια συναρτήσει μεγεθών που μπορείτε να

μετρήσετε εύκολα, όπως για παράδειγμα η διαφορά τάσης στα άκρα του τροφοδοτικού και χωρητικότητα του κάθε πυκνωτή.

7. Με βάση τα προηγούμενα βήματα μπορείτε να βρείτε την ολική ενέργεια που αποθηκεύεται στους πυκνωτές σε κάθε κύκλωμα συναρτήσει της διαφοράς δυναμικού στα άκρα του τροφοδοτικού και της χωρητικότητας του κάθε πυκνωτή. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματά σας μπορείτε να βρείτε σε ποια διάταξη αντιστοιχεί η μεγαλύτερη ενέργεια. Μπορείτε να ελέγξετε τα αποτελέσματά σας για την περίπτωση που οι πυκνωτές έχουν την ίδια χωρητικότητα. Το αποτέλεσμα αυτό έχει νόημα;
8. Τι υποθέσεις θα πρέπει να κάνετε ώστε να συσχετίσετε την ολική ενέργεια που αποθηκεύεται στους πυκνωτές για κάθε διάταξη με τον χρόνο που ο λαμπτήρας συνεχίζει να φωτοβολεί όταν κλείσει ο διακόπτης για κάθε διάταξη κυκλώματος.

Τα παραπάνω συνοψίζονται στα ακόλουθα:

Επομένως ποιο μέγεθος θέλετε να συγκρίνεται για τις τρεις διατάξεις κυκλωμάτων; Χρησιμοποιήστε φυσική για να αποφασίσετε πως θα συγκριθούν για τις διάφορες περιπτώσεις. Ποιο μέγεθος θα μετρήσετε απευθείας; Περιγράψτε ποιοτικά πως συνδέεται με το μέγεθος που σας ενδιαφέρει να προσδιορίσετε.

### Διερεύνηση:

Κλείστε τον διακόπτη στο *Κύκλωμα I* του Σχήματος 2 και παρατηρήστε την φωτεινότητα του λαμπτήρα συναρτήσει του χρόνου. Το κύκλωμα αυτό μπορεί να αποτελέσει το κύκλωμα αναφοράς. Πόσος χρόνος απαιτείται ώστε ο λαμπτήρας να σταματήσει να φωτοβολεί;

Κατασκευάστε το *Κύκλωμα II* του Σχήματος 2 χρησιμοποιώντας τον πυκνωτή από το *Κύκλωμα I* καθώς και έναν δεύτερο πυκνωτή διαφορετικής χωρητικότητας. **Μην κλείσετε ακόμα το κύκλωμα.** Πιστεύετε ότι ο λαμπτήρας θα φωτοβολήσει όταν κλείσει ο διακόπτης του κυκλώματος; Καταγράψτε το επιχείρημά σας στο τετράδιο των μετρήσεων. **Κλείστε τώρα τον διακόπτη.** Καταγράψτε τις παρατηρήσεις σας και εξηγήστε αυτό που συνέβη με βάση την αρχή διατήρησης του φορτίου και την έννοια της διαφοράς δυναμικού. Έχει σημασία η σειρά με την οποία συνδέσατε τους πυκνωτές και τον λαμπτήρα; Δοκιμάστε να συνδέσετε τον πρώτο πυκνωτή και μετά τον δεύτερο και τέλος τον λαμπτήρα. Δοκιμάστε να εναλλάξετε τους δύο πυκνωτές.

Όταν η φωτεινότητα του λαμπτήρα δεν μεταβάλλεται, πώς συνδέονται μεταξύ τους οι διαφορές δυναμικού στα άκρα των διαφόρων στοιχείων του κυκλώματος; Ελέγξετε το χρησιμοποιώντας το πολύμετρο με την ρύθμιση για μέτρηση τάσης. Χρησιμοποιήστε διατήρηση ενέργειας για να εξηγήσετε τις παρατηρήσεις σας.

Κατασκευάστε το *Κύκλωμα III* του Σχήματος 2, χρησιμοποιώντας τους δύο πυκνωτές του *Κυκλώματος II*. **Μην κλείσετε ακόμα το κύκλωμα.** Πιστεύετε ότι ο λαμπτήρας θα φωτοβολήσει όταν κλείσει ο διακόπτης του κυκλώματος; Καταγράψτε το επιχείρημά σας στο τετράδιο των μετρήσεων. **Κλείστε τώρα τον διακόπτη.** Καταγράψτε τις παρατηρήσεις σας και εξηγήστε αυτό που συνέβη με βάση την αρχή διατήρησης του φορτίου και την έννοια της διαφοράς δυναμικού. Χρησιμοποιήστε το πολύμετρο με την ρύθμιση για μέτρηση τάσης για να ελέγξετε τη σχέση μεταξύ της διαφοράς δυναμικού μεταξύ των διαφόρων στοιχείων του κυκλώματος. Εξηγήστε τις παρατηρήσεις σας.

Αναπτύξτε ένα σχέδιο για να μετρήσετε το χρόνο που απαιτείται ώστε ο λαμπτήρας στα *Κυκλώματα I, II* και *III* να σταματήσει να φωτοβολεί, σε περίπτωση που φωτοβολεί.

Χρησιμοποιήστε το πλάνο σας για να καταγράψετε τους χρόνους που απαιτούνται ώστε ο λαμπτήρας στις 3 περιπτώσεις κυκλωμάτων να σταματήσει να φωτοβολεί. Σε περίπτωση που ο λαμπτήρας δεν φωτοβολεί θεωρήστε ότι έχετε 0 secs. Ποιες είναι οι αβεβαιότητες στις μετρήσεις αυτές;

Ταξινομήστε τους χρόνους που χρειάστηκαν για να σταματήσει ο λαμπτήρας να φωτοβολεί σε κάθε περίπτωση. Αρχικά φωτοβολεί ο λαμπτήρας σε όλες τις περιπτώσεις; Σταματά να φωτοβολεί ο λαμπτήρας σε όλες τις περιπτώσεις;

Πως συγκρίνεται η αρχική σας εκτίμηση για τον χρόνο φωτοβολής των λαμπτήρων με τις παρατηρήσεις σας; Χρησιμοποιήστε διατήρηση φορτίου και ενέργειας και την έννοια της διαφοράς δυναμικού για να εξηγήσετε τα αποτελέσματά σας.

Συγκρίνετε τα επιχειρήματά σας στο στάδιο της διερεύνησης για να προβλέψετε για το αν οι λαμπτήρες θα φωτοβολήσουν σε κάθε διαφορετικό κύκλωμα με την κατανόηση που έχετε μετά την πραγματοποίηση των μετρήσεών σας. Αν η αιτιολόγησή σας έχει αλλάξει, εξηγήστε γιατί έχει αλλάξει.

#### Δραστηριότητα 4: Χρονομεταβαλλόμενα κυκλώματα

1. Κατασκευάστε το κύκλωμα του Σχήματος 2. Θα χρησιμοποιήσετε τον πυκνωτή των  $15000\mu F$  και την αντίσταση  $390\Omega$ . Συνδέστε το πολύμετρο παράλληλα με τον πυκνωτή. Ρυθμίστε το τροφοδοτικό ώστε η τάση εξόδου να είναι 15.0V.
2. Ξεκινήστε αρχικά χωρίς να εφαρμόζεται κάποια τάση στα άκρα του πυκνωτή. Αν το βολτόμετρο έχει μη μηδενική ένδειξη τότε χρησιμοποιείτε ένα από τα καλώδια με τα κροκοδειλάκια για να αποφορτίσετε τον πυκνωτή.
3. Ετοιμάστε το χρονόμετρό σας (το κινητό). Θα μετρήσετε το χρόνο που απαιτείται ώστε η τάση στα άκρα του πυκνωτή να αυξηθεί από 0V σε 10V.
4. Κλείστε τον διακόπτη και ξεκινήστε το χρονόμετρό σας. Όταν το πολύμετρο δείχνει 10V, σταματήστε το χρονόμετρο και καταγράψτε τον χρόνο φόρτισης,  $t_{\phi}$ , σε ένα πίνακα. Μην ανοίξετε τον διακόπτη ακόμα αλλά αφήστε τον πυκνωτή να συνεχίζει να φορτίζει ώστε να φθάσει στη μέγιστη τάση, περίπου 15.0V.
5. Για να φορτίσετε τον πυκνωτή πιο γρήγορα μπορείτε να συνδέσετε μια αντίσταση  $100\Omega$  παράλληλα με την αντίσταση των  $390\Omega$ .
6. Ετοιμάστε και πάλι το χρονόμετρο. Αυτή τη φορά θα μετρήσετε τον χρόνο που απαιτείται για να χάσει ο πυκνωτής 10V από τη μέγιστη τάση στα άκρα του. Δηλαδή αν η μέγιστη τάση στα άκρα του πυκνωτή είναι 15.0V, η τελική τιμή της τάσης θα είναι 5.0V.
7. Ανοίξτε τον διακόπτη  $S_1$ . Τοποθετήστε τον καλώδιο εισόδου του διακόπτη στο (-) γείωση του κυκλώματος του τροφοδοτικού. Κλείστε τον διακόπτη και αρχίστε το χρονόμετρό σας. Την στιγμή που η τάση στα άκρα του πυκνωτή έχει μεταβληθεί κατά 10V από την αρχική της τιμή σταματήστε το χρονόμετρο και καταγράψτε τον χρόνο εκφόρτισης,  $t_{εκφ}$ .
8. Επαναλάβετε την διαδικασία φόρτισης και εκφόρτισης **τουλάχιστον** 3 φορές και βρείτε τη μέση τιμή των αποτελεσμάτων.
9. Επαναλάβετε τη διαδικασία και πάλι 3 φορές. Ωστόσο τώρα θα πρέπει να πάρετε μετρήσεις της διαφοράς τάσης  $V_{max}(t \rightarrow \infty) - V(t)$  ως προς τον χρόνο  $t$  ανά 4s έως ότου το σύστημα

σταθεροποιηθεί. Κάντε το γράφημα  $V_{t \rightarrow \infty} - V(t)$  ως προς τον χρόνο  $t$  σε ημιλογαριθμικό χαρτί. Προσδιορίστε γραφικά την κλίση.

10. Κατά την διάρκεια της εκφόρτισης θα πρέπει να καταγράψετε μετρήσεις της τάσης  $V(t)$  συναρτήσει του χρόνου ανά 4s. Κάντε το γράφημα  $V(t)$  ως προς τον χρόνο  $t$  σε ημιλογαριθμικό χαρτί και προσδιορίστε γραφικά την λύση.

**Σημείωση:** Μπορείτε να βιντεοσκοπήσετε τον χρονόμετρο και τις ενδείξεις του πολύμετρου για τις μετρήσεις σας του χρόνου-τάσης φόρτισης και εκφόρτισης.

11. Αντικαταστήστε τον πυκνωτή των  $15000\mu F$  με ένα πυκνωτή  $10000\mu F$  και κρατήστε την ίδια αντίσταση των  $390\Omega$ . Επαναλάβετε την διαδικασία μέτρησης και καταγραφής των χρόνων φόρτισης και εκφόρτισης του πυκνωτή εκτελώντας τουλάχιστον 3 φορές την διαδικασία.

**Σημείωση:** Μπορείτε να βιντεοσκοπήσετε τον χρονόμετρο και τις ενδείξεις του πολύμετρου για τις μετρήσεις σας του χρόνου-τάσης φόρτισης και εκφόρτισης.

12. Αντικαταστήστε τώρα την αντίσταση των  $390\Omega$  με μια αντίσταση  $1k\Omega$  και κρατήστε τον ίδιο πυκνωτή των  $10000\mu F$ . Επαναλάβετε την διαδικασία όπως πριν.

13. Αντικαταστήστε τον πυκνωτή των  $10000\mu F$  με τον πυκνωτή των  $15000\mu F$  και επαναλάβετε την ίδια διαδικασία με τα τελευταία 3 βήματα.

14. Ποιο νομίζετε είναι το αποτέλεσμα στον χρόνο φόρτισης και εκφόρτισης αν η χωρητικότητα τριπλασιαστεί;

15. Ποιο το αποτέλεσμα στον χρόνο φόρτισης και εκφόρτισης αν η αντίσταση 10πλασιαστεί;

16. Πως νομίζεται ότι η χαρακτηριστική χρονική σταθερά του κυκλώματος  $RC$  εξαρτάται από τον χωρητικότητα και αντίσταση;

17. Χρησιμοποιώντας και πάλι την αντίσταση των  $1k\Omega$ . Αυτή τη φορά συνδέστε τον πυκνωτή των  $15000\mu F$  σε σειρά με τον πυκνωτή των  $10000\mu F$ . Βεβαιωθείτε ότι οι πυκνωτές είναι αφόρτιστοι πριν τους συνδέσετε σε σειρά. Καταγράψτε και πάλι το χρόνο φόρτισης και εκφόρτισης του συστήματος των πυκνωτών.

18. Μελετώντας τα αποτελέσματα χρόνου που πήρατε για το σύστημα των δύο πυκνωτών, ποια είναι η ισοδύναμη χωρητικότητα των δύο πυκνωτών σε σειρά. ΠΡΟΣΟΧΗ μη χρησιμοποιήσετε την θεωρητική σχέση που δίνει την ισοδύναμη χωρητικότητα δύο πυκνωτών σε σειρά αλλά αυτό που υπολογίζετε από τις μετρήσεις σας.

19. Η ισοδύναμη χωρητικότητα είναι μικρότερη της μεγαλύτερης χωρητικότητας και είναι μεγαλύτερη της μικρότερης χωρητικότητας.

20. Συνδέστε τώρα τους δύο πυκνωτές παράλληλα μεταξύ τους. Επαναλάβετε την διαδικασία μέτρησης του χρόνου φόρτισης και εκφόρτισης του συστήματος.

21. Από τα αποτελέσματά σας, ποια είναι η ισοδύναμη χωρητικότητα για το σύστημα των δύο πυκνωτών σε παράλληλη συνδεσμολογία. Χρησιμοποιήστε μόνο τα πειραματικά δεδομένα και μη χρησιμοποιήσετε τις θεωρητικές σχέσεις. Η ισοδύναμη χωρητικότητα είναι μικρότερη της μεγαλύτερης χωρητικότητας και είναι μεγαλύτερη της μικρότερης χωρητικότητας ή ισχύει κάτι διαφορετικό;

Μην ξεχάσετε τις δύο πηγές στατιστικού και συστηματικού σφάλματος. Μην ξεχάσετε να καταγράψετε την ακρίβεια των στοιχείων του κυκλώματος (πυκνωτή, αντίσταση).