

Πειραματική εξέταση – Οδηγός Εξοπλισμού

Η πειραματική εξέταση διαρκεί 5 ώρες και αποτελείται από δύο διαφορετικά πειράματα, καθένα από τα οποία βαθμολογείται με 10 μονάδες. Μέρος του εξοπλισμού χρησιμοποιείται και στα δύο πειράματα, γι' αυτό διαβάστε τις οδηγίες αυτές προσεκτικά πριν ξεκινήσετε.

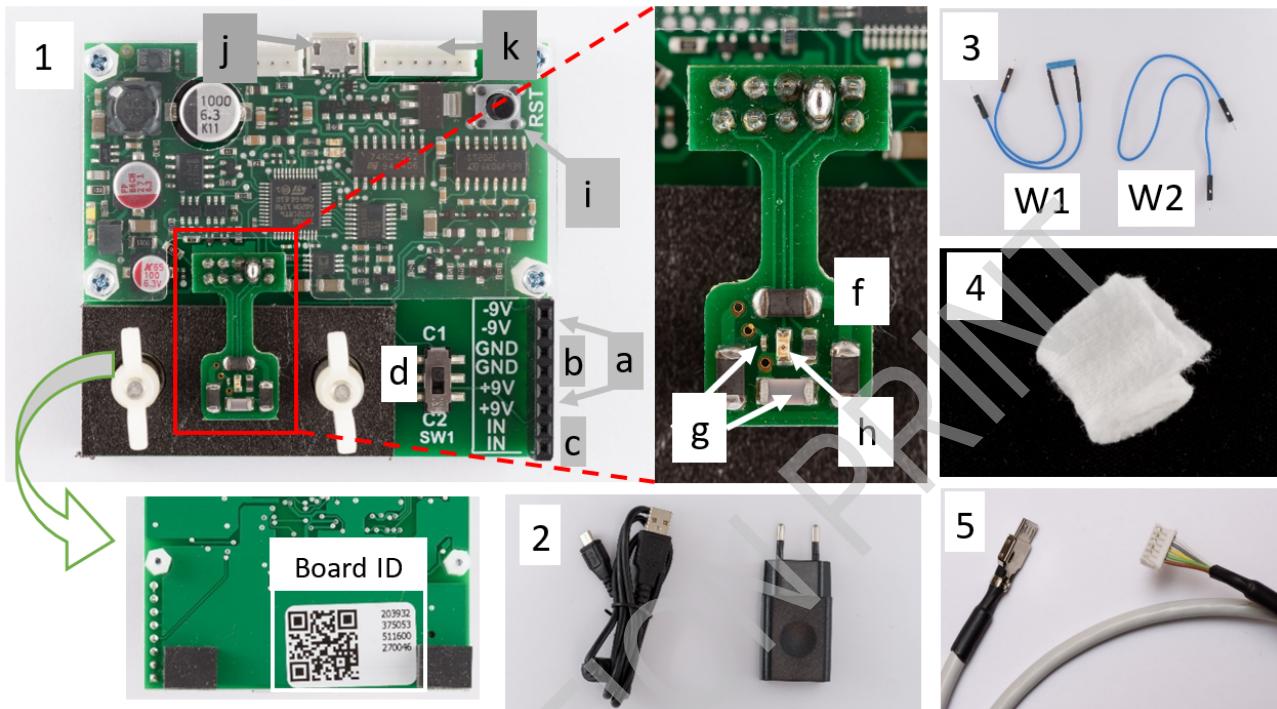
Κατάλογος εξοπλισμού:

1. Πλακέτα πειραματικών μετρήσεων που περιλαμβάνει:
 - (α') (a) Πηγή συνεχούς τάσης +9 V και -9 V (δύο ισοδύναμοι ακροδέκτες διαθέσιμοι για κάθε τιμή τάσης),
 - (β') (b) Δύο ισοδύναμα σημεία γείωσης,
 - (γ') (c) Δύο ισοδύναμοι ακροδέκτες σύνδεσης πυκνωτή,
 - (δ') (d) Διαλογίτης για την επιλογή πυκνωτή (μπορεί να ρυθμιστεί στην θέση C1 ή C2),
 - (ε') (e) Βολτόμετρο με μικρό ρεύμα εισόδου (στην πλακέτα),
 - (ζ') (f) Θερμοστάτης με αισθητήρα θερμότητας και θερμοκρασίας (στην πλακέτα),
 - (η') (g) Πυκνωτές C1 και C2,
 - (η') (h) LED συνδεδεμένη σε πηγή συνεχούς ρεύματος και βολτόμετρο,
 - (θ') (i) Κουμπί επαναφοράς (RESET),
 - (ι') (j) Υποδοχή USB τροφοδοσίας,
 - (ια') (k) Θύρα δεδομένων 6 εισόδων για την σύνδεση του tablet.
2. Καλώδια τροφοδοσίας της πλακέτας με είσοδο τύπου USB Micro-B.
3. Καλώδια σύνδεσης – W1 (με εσωτερική αντίσταση R1 100 MΩ) and W2 (0 Ω).
4. Θερμομονωτικό υλικό για τον θερμοστάτη.
5. Καλώδια σύνδεσης της πλακέτας με το tablet, με βύσμα τύπου USB Micro-B στο άκρο που θα συνδεθεί στο tablet.
6. Tablet με οθόνη αφής όπου εκτελείται η Εφαρμογή IPhO 2021 Experiments (το εγχειρίδιο της Εφαρμογής δίνεται ακολούθως).
7. Θερμόμετρο (διαθέσιμο στην αίθουσα εξέτασης).

Experiment



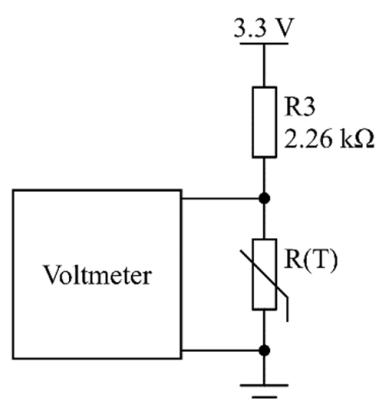
G1-2
Greek (Greece)



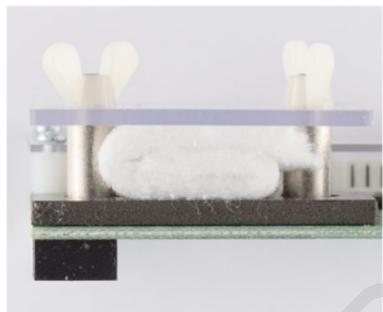
Η θερμοκρασία του θερμοστάτη μετριέται μέσω θερμίστορ NTC (Negative Temperature Coefficient – Αρνητικός Συντελεστής Θερμοκρασίας), του οποίου η αντίσταση μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και συγκεκριμένα εξαρτάται από την απόλυτη θερμοκρασία T (σε Kelvin) ως εξής:

$$R(T) = R_0 e^{B/T}, \quad (1)$$

$B = 3500$ K, η σταθερά R_0 πρέπει να υπολογιστεί με βάση την θερμοκρασία περιβάλλοντος πριν την έναρξη της θέρμανσης. Η τιμή αυτής της σταθεράς χρειάζεται και στα δύο πειράματα. Η θερμοκρασία του θερμοστάτη ελέγχεται από το ρεύμα θέρμανσης μέσω της Εφαρμογής στο tablet). Μετά από κάθε μεταβολή του ρεύματος θέρμανσης απαιτείται αναμονή προκειμένου η θερμοκρασία του συστήματος να σταθεροποιηθεί. Αντιθέτως, η θερμική ισορροπία μεταξύ των τμημάτων του κυκλώματος (πυκνωτές, NTC και LED) θεωρείται ότι ολοκληρώνεται ακαριαία.



Για την εξασφάλιση θερμικής σταθερότητας πάνω στον θερμοστάτη τοποθετείται ένα στρώμα μονωτικού υλικού και στερεώνεται από μια μικρή πλαστική πλακέτα που βιδώνεται στην θέση της με δύο βίδες.



Προσοχή:

Για να αποφύγετε την φθορά στην πλακέτα και στα σημεία σύνδεσής φροντίστε να συνδέετε τα καλώδια χωρίς να ασκείτε υπερβολική δύναμη.

Τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα δεν τα πάνε καλά με τα υγρά, γι' αυτό να είστε προσεκτικοί με το πόσιμο νερό σας ή άλλο υγρό που φέρνετε κοντά στην πειραματική διάταξη. Προσπαθήστε να μην φτύσετε πάνω στην διάταξη κατά λάθος!

Εγχειρίδιο χρήσης της εφαρμογής IPhO 2021 Experiments

Μπορείτε να ενεργοποιήσετε την Εφαρμογή IPhO 2021 Experiments από την αρχική οθόνη του tablet (ή από τον κατάλογο Εφαρμογών που εμφανίζεται σαρώνοντας την οθόνη από κάτω προς τα πάνω αγγίζοντας το σχετικό εικονίδιο.



Για να πάρετε στο tablet μετρήσεις από την πλακέτα:

1. Θέστε την πλακέτα σε κατάσταση λειτουργίας χρησιμοποιώντας τον φορτιστή USB,
2. Συνδέστε την πλακέτα στο tablet χρησιμοποιώντας το καλώδιο σύνδεσης (το βύσμα 6 ακροδεκτών θα συνδεθεί στην πλακέτα και το βύσμα Micro-USB στο tablet),
3. Επιβεβαιώστε την πρόσβαση USB και πατήστε το κουμπί reset στην πλακέτα σε 10 s όταν δείτε το σχετικό μήνυμα στην Εφαρμογή.

Προσοχή: Αν κάποια στιγμή

- η πλακέτα σταματήσει να αποκρίνεται και να στέλνει μετρήσεις (είτε βρίσκεται στην κατάσταση "Check state" ή στην κατάσταση λήψης μετρήσεων),
- το ρεύμα θέρμανσης / LED δεν μεταβάλλεται (η τάση του θερμίστορ δεν αλλάζει και το LED δεν εκπέμπει φως ακόμη και στο μέγιστο του ρεύματος τροφοδοσίας του),

Πατήστε το κουμπί RESET στην πλακέτα και επιστρέψτε στο βήμα 3 "Επιβεβαιώστε την σύνδεση USB ...".

Αν αυτό δεν λειτουργήσει:

- βγείτε από την εφαρμογή αγγίζοντας το κουμπί Back δύο φορές,
- αποσυνδέστε την πλακέτα,
- εκκινήστε ξανά την Εφαρμογή,
- ξανασυνδέστε την πλακέτα και συνεχίστε από το προαναφερθέν βήμα 3.

Experiment



G1-5
Greek (Greece)

Τα διαθέσιμα χειριστήρια και πεδία εμφανίζονται στην επόμενη η εικόνα (οι αριθμοί αναφοράς θα χρησιμοποιηθούν στην συνέχεια):



Το κύριο παράθυρο της εφαρμογής.

- 1 – Αγγίζοντας διαδοχικά αυτό το χειριστήριο ξεκινάτε και διακόπτετε την διαδικασία μέτρησης.
- 2 – Αυτό το χειριστήριο χρησιμοποιείται για γρήγορο έλεγχο των μετρούμενων τιμών.
- 3 – Ανοίγει τις Ρυθμίσεις.
- 4 – Εμφανίζει σύνοψη των ρυθμίσεων.
- 5 – Ονομασία μέτρησης που μπορεί να αποθηκευτεί ή να διαγραφεί.
- 6 – Αποθηκεύει μια νέα ή την επιλεγμένη μέτρηση υπό άλλη ονομασία.
- 7 – Διαγράφει την επιλεγμένη μέτρηση.
- 8 – Επιλέγει μια αποθηκευμένη μέτρηση.
- 9, 10, 11 – Πεδία κειμένου για την χειροκίνητη εισαγωγή τιμών ρεύματος θέρμανσης (9), ρεύματος LED (10), χρονικής διάρκειας παλμών ρεύματος LED (11). Τα κενά πεδία αντιστοιχούν σε μηδενική τιμή. Η τιμή tL (χρονική διάρκεια παλμών ρεύματος LED) = 0 αντιστοιχεί σε σταθερό συνεχές ρεύμα τροφοδοσίας)
- 12, 13, 14 – Συρόμενες μπάρες για την τροποποίηση των αντίστοιχων τιμών (το ρεύμα του LED μεταβάλλεται εκθετικά!).
- 15 – Ενεργοποιεί τον συντάκτη συναρτήσεων.

Experiment



G1-6
Greek (Greece)

- **16, 17, 18** – Σας επιτρέπει να επιλέξετε μεταβλητές ή συναρτήσεις για τις στήλες του πίνακα μετρήσεων.
- **19** – Περιοχή εμφάνισης πίνακα μετρήσεων.
- **20** – Χειροκίνητη επανασχεδίαση μετρήσεων σε γραφική παράσταση.
- **21, 22** – Ελάχιστο και μέγιστο όριο X άξονα (μετά την χειροκίνητη εισαγωγή, πατήστε το κουμπί 20).
- **23, 24** – Ελάχιστο και μέγιστο όριο Y άξονα.
- **25, 27** – Σας επιτρέπει να επιλέξετε τα μεγέθη που θα απεικονιστούν στους άξονες Y και X της γραφικής παράστασης.
- **26** – Σας επιτρέπει να επιλέξετε τις μετρήσεις που θα σχεδιαστούν στην γραφική παράσταση.
- **28** – Περιοχή σχεδίασης γραφικής παράστασης.
- **BB** – Κουμπί Back (αγγίζετε δύο φορές για να τερματίσετε την Εφαρμογή).

Πώς να ενεργοποιήσετε την ρύθμιση "Μέτρηση καμπύλης I-V με σάρωση"

Θα βρείτε πρόσθετα χειριστήρια LED διαθέσιμα για το δεύτερο πείραμα (LAB 2) αγγίζοντας το κουμπί Ρυθμίσεων (3) στο κύριο παράθυρο. **Στο παράθυρο που εμφανίζεται επιλέξτε:**

- "LAB 2" ή "ANY LAB" στην περιοχή **"Show controls for"**.
- ενεργοποιήστε την επιλογή **"Sweep measurement"**.

Άλλες διαθέσιμες ρυθμίσεις:

- **"Minimum..."** και **"Maximum sweep measurement current"** καθορίζουν αντίστοιχα την αρχική και την τελική τιμή του ρεύματος LED των μετρήσεων σάρωσης.
- **"Number of steps of sweep measurement"** αντιστοιχεί στο πλήθος των ενδιάμεσων μετρήσεων (βήματα) που θα πραγματοποιηθούν.
- επιλέξτε **"Increase current according to geometric progression"** αν επιθυμείτε την εκθετική μεταβολή του ρεύματος.
- Στο πεδίο **"Set pulsed current"** επιλέξτε **"Current pulse width"** αν επιθυμείτε κάθε μέτρηση να πραγματοποιείται με παλμό ρεύματος LED περιορισμένη χρονικής διάρκειας.

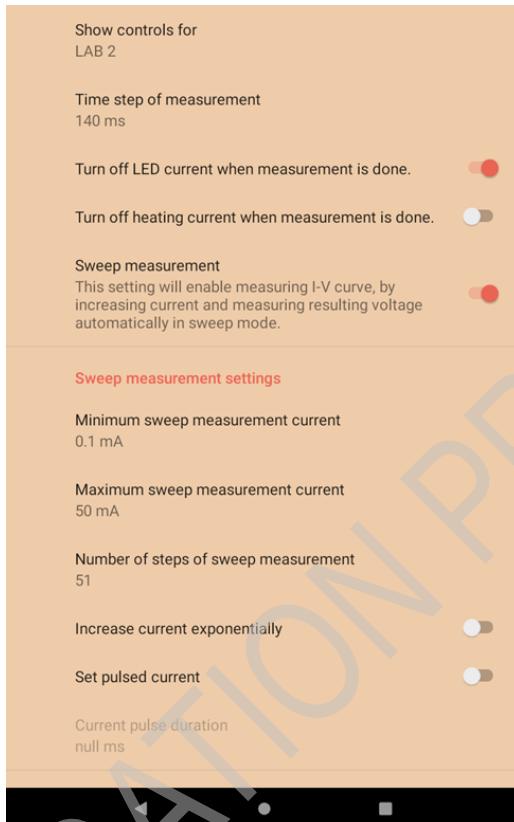
Π.χ., Αν το πλήθος των βημάτων είναι 51, η ρύθμιση **"Increase current according to geometric progression"** είναι ανενεργή και οι ακραίες τιμές ρεύματος LED είναι 0 mA και 50 mA, τότε το ρεύμα LED κατά την διάρκεια των μετρήσεων θα παίρνει τις τιμές 0 mA, 1 mA, ... 49 mA και 50 mA.

Μπορείτε πλέον να ξεκινήσετε τις μετρήσεις I-V, επιστρέφοντας στο κύριο παράθυρο μέσω του κουμπιού Back.

Experiment



G1-7
Greek (Greece)



Συντάκτης συναρτήσεων

Αγγίζοντας το κουμπί (15) του κύριου παραθύρου ανοίγει το παράθυρο επεξεργασίας συναρτήσεων.

Οι συναρτήσεις που δημιουργείτε μπορούν να χρησιμοποιούν τα φυσικά μεγέθη (και τις παραγώγους τους) που μετρούνται από την πλακέτα.

Οι αντίστοιχες μεταβλητές είναι:

- **τάσεις (σε V):**
 - **uC** – του επιλεγμένου πυκνωτή (C1 ή C2),
 - **uT** – του θερμίστορ,
 - **uL** – του LED,
- οι χρονικές τους παραγωγοι (dy/dt) (σε V/s):
 - **duC**
 - **duT**
 - **duL**
- τα ρεύματα (σε mA):
 - **iL** – της LED (σε mA),
 - **iH** – ρεύμα θέρμανσης (σε mA),
- χρόνος **t** (σε s).

Experiment

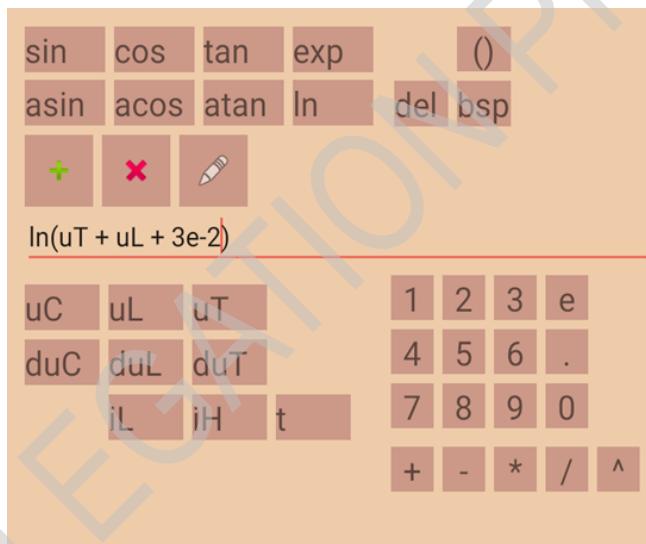


G1-8
Greek (Greece)

Μπορείτε να εισαγάγετε τον τύπο μιας δικής σας συνάρτησης χρησιμοποιώντας τις μεταβλητές αυτές σε συνδυασμό με συνήθεις μαθηματικές συναρτήσεις (χρησιμοποιώντας τα πλήκτρα βοήθειας ή ένα τυπικό πληκτρολόγιο Android) και να τον αποθηκεύσετε πατώντας το **πράσινο +**. Οι αποθηκευμένες συναρτήσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την σχεδίαση γραφικών παραστάσεων ή την εμφάνιση τιμών σε πίνακες μετρήσεων. Το κουμπί με την όψη μολυβιού σας επιτρέπει να επιλέξετε από τις διαθέσιμες συναρτήσεις. Μπορείτε να διαγράψετε τις επιλογές σας πατώντας το **κόκκινο x**.

Για τους αριθμούς επιτρέπεται τόσο ο συνήθης συμβολισμός με δεκαδικά (π.χ. **25.02**) και ο επιστημονικός συμβολισμός (π.χ. **2.502e+1**).

- * τελεστής πολλαπλασιασμού,
- / τελεστής διαιρεσης,
- ^ τελεστής ύψωσης σε δύναμη.



Experiment

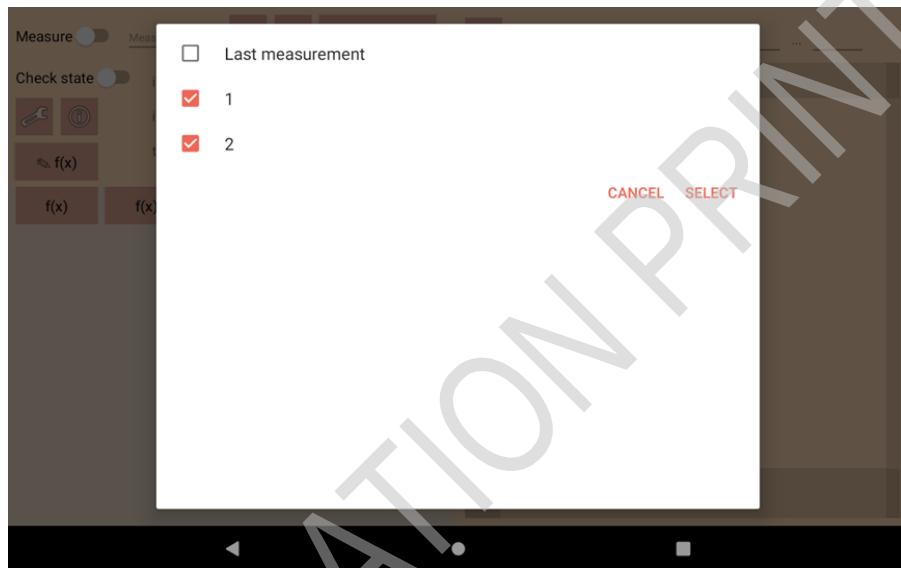


G1-9
Greek (Greece)

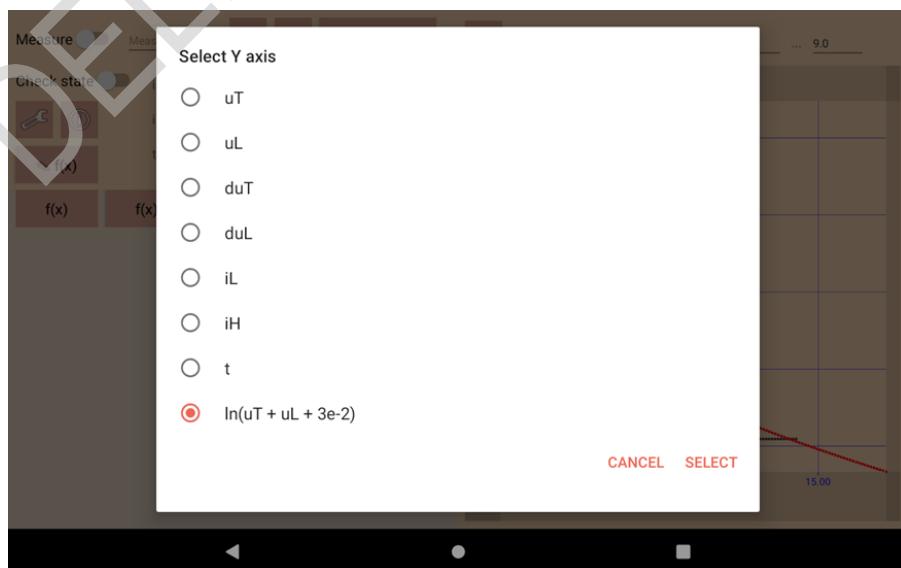
Επισκόπηση των μετρήσεων

Μια ολοκληρωμένη μέτρηση αποθηκεύεται εισάγοντας ένα όνομα στο πεδίο (5) του κύριου παραθύρου και πατώντας το **πράσινο +** (6). Μετά την αποθήκευσή τους, οι πρωτογενείς μετρήσεις μπορούν να απεικονιστούν σε άξονα γραφικής παράστασης.

Η επιλογή γίνεται αγγίζοντας στην κάτω αριστερή γωνία (26) της περιοχής σχεδίασης.



Μπορείτε να εμφανίσετε διαφορετικές περιοχές του γραφήματος (pan), ή να αυξομειώσετε το συντελεστή μεγέθυνσή του (zoom). Αν αγγίξετε το γράφημα θα επιλεγεί η εγγύτερη μέτρηση και θα εμφανιστούν οι αντίστοιχες συντεταγμένες.



Η επιλογή των αξόνων πραγματοποιείται αγγίζοντας τις ετικέτες τους (περιοχές 25 και 27).

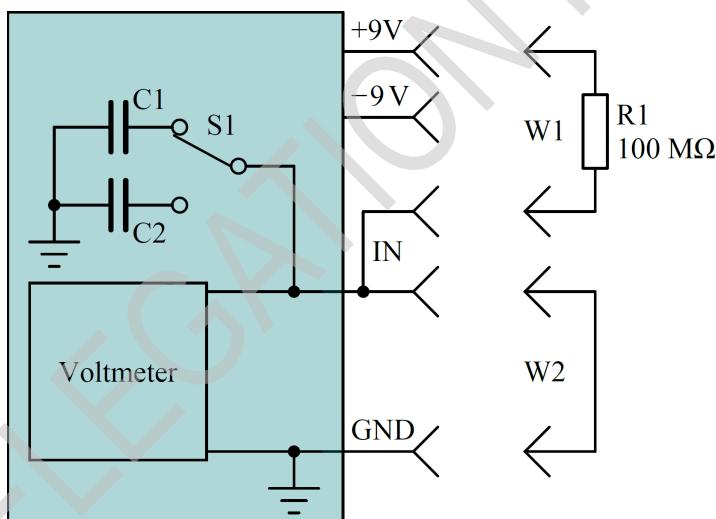
Μη ιδανικοί (πραγματικοί) πυκνωτές (10 μονάδες)

Το πείραμα αυτό σχεδιάστηκε για την διερεύνηση των ιδιοτήτων των πυκνωτών.

Η χωρητικότητα ενός πυκνωτή μπορεί να υπολογιστεί από τη γραφική παράσταση τάσης - χρόνου $U(t)$ δια μέσου της αντίστασης R_1 . (Για τη συγκεκριμένη πειραματική δραστηριότητα με τον όρο χωρητικότητα θα εννοούμε τη διαφορική χωρητικότητα η οποία μπορεί να μεταβάλλεται με την τάση ή να είναι σταθερή). Αναλόγως το κύκλωμα, μπορεί να είναι αναγκαίο να εξαχθεί η σχέση της έντασης του ρεύματος φόρτισης του πυκνωτή με την τάση $I(U)$ και να χρησιμοποιηθεί προκειμένου να προσδιοριστεί η χωρητικότητα:

$$C(U) = \frac{dq}{dU} = \frac{Idt}{dU} = \frac{I(U)}{dU/dt}. \quad (1)$$

Το ηλεκτρικό κύκλωμα που θα χρησιμοποιηθεί σε αυτήν τη δραστηριότητα φαίνεται στην Εικ. 1.1. Ο Διακόπτης $S1$ στην πλακέτα μπορεί να βρίσκεται στη θέση $C1$ ή $C2$ για να συμπεριλαμβάνεται στο κύκλωμα ο αντίστοιχος πυκνωτής. Σε αυτό το πείραμα ο διακόπτης δεν πρέπει να τοποθετηθεί στην μεσαία θέση.



Εικόνα 1.1 Το ηλεκτρικό κύκλωμα του πειράματος.

Προσοχή! Ο ένας πυκνωτής της διάταξης περιέχει διηλεκτρικό του οποίου η διηλεκτρική σταθερά μεταβάλλεται ανάλογα με τον ρυθμό μεταβολής της τάσης του πυκνωτή. Για να διατηρηθεί όσο το δυνατό πιο σταθερός ο ρυθμός αυτός, η μέτρηση της χωρητικότητας για θετικές τάσεις θα πρέπει να πραγματοποιείται καθώς ο πυκνωτής φορτίζεται από τα 9 V στα -9 V ενώ αντίστοιχα για αρνητικές τάσεις από τα -9 V στα 9 V. Η μέτρηση της χωρητικότητα μπορεί να επηρεαστεί από την προηγούμενη κατάσταση του πυκνωτή για αυτό θα πρέπει ο πυκνωτής να διατηρείται στην αρχική τιμή της τάσης για τουλάχιστον δέκα δευτερόλεπτα πριν την έναρξη των μετρήσεων.

Πυκνωτές σε θερμοκρασία δωματίου.(4.0 μονάδες)

Να μετρήσετε τη χωρητικότητα των πυκνωτών $C1$ και $C2$ και να σχεδιάσετε την γραφική παράσταση της χωρητικότητας του καθενός συναρτήσει της τάσης σε θερμοκρασία δωματίου. (Οι γραφικές παραστάσεις να σχεδιαστούν σε κοινό σύστημα αξόνων.)

- A.1** Να μετρήσετε την χωρητικότητα των πυκνωτών $C_1(U)$ και $C_2(U)$ και να χαράξετε τη γραφική παράσταση της χωρητικότητας του καθενός συναρτήσει της τάσης για τιμές από -7 V μέχρι 7 V. Στο Φύλλο Απαντήσεων να καταγράψετε τις τιμές των χωρητικοτήτων C_1 και C_2 για τιμές της τάσης 0 V, 3 V, και 6 V. Να γράψετε τη σχέση που χρησιμοποιήσατε για τον υπολογισμό της χωρητικότητας από τις πρωταρχικές μετρήσεις, τον κωδικό της πλακέτας (Board ID) καθώς και την θερμοκρασία δωματίου. 2.3pt
- A.2** Να προσδιορίσετε την τάση $U_{\max \text{ change}}$, στην οποία η χωρητικότητα του πυκνωτή εμφανίζει την ταχύτερη σχετική μεταβολή συναρτήσει της τάσης ($\frac{dC(U)}{C(U)dU}$). Στο Φύλλο Απαντήσεων να επιλέξετε τον πυκνωτή (C1 ή C2) που εμφανίζει την ταχύτερη σχετική μεταβολή χωρητικότητας συναρτήσει της τάσης, καθώς και την τιμή της τάσης στην οποία συμβαίνει αυτό. 0.5pt
- A.3** Να υπολογίσετε με κατάλληλο τρόπο τις τιμές των φορτίων q_1 και q_2 των πυκνωτών C1 και C2 αντίστοιχα για την τιμή της τάσης των 6 V. 1.2pt

Μέρος Β. Βαθμονόμηση Θερμικής αντίστασης (NTC) αρνητικού συντελεστή θερμοκρασίας. (1.0 μονάδα)

Να μετρήσετε την τάση της θερμικής αντίστασης θερμίστορ NTC (αρνητικού συντελεστή θερμοκρασίας) σε δεδομένη θερμοκρασία δωματίου (από την ένδειξη του θερμομέτρου στον χώρο εξέτασης). Η σχέση (1) μεταξύ της αντίστασης του θερμίστορ και της θερμοκρασίας καθώς και το κύκλωμα δίνονται στον "Οδηγό Εξοπλισμού G1".

- B.1** Να υπολογίσετε την σταθερά R_0 του θερμικού αντιστάτη θερμίστορ NTC. 1.0pt

Μέρος Γ. Πυκνωτές σε διάφορες θερμοκρασίες. (3.0 μονάδες).

- C.1** Να μετρήσετε τις χωρητικότητες των πυκνωτών $C_1(U)$ και $C_2(U)$ και να σχεδιάσετε τις αντίστοιχες γραφικές παραστάσεις συναρτήσει της τάσης για τιμές από -7 V μέχρι 7 V., σε τιμές θερμοκρασίας 40 °C, 65 °C και 85 °C. 1.3pt
- C.2** Να σχεδιάσετε τις γραφικές παραστάσεις των χωρητικοτήτων $C_1(T)$ και $C_2(T)$ συναρτήσει της θερμοκρασίας για θερμοκρασίες από θερμοκρασία δωματίου μέχρι 85 °C. και για τις τιμές τάσης 0 V και 6 V. 0.5pt
- C.3** Να καταγράψετε στο Φύλλο Απαντήσεων τον λόγο $C(85^{\circ}\text{C})/C(40^{\circ}\text{C})$ για τους δύο πυκνωτές C1 και C2 και για τάσεις 0 V και 6 V. 1.2pt

Μέρος Δ. Εντοπισμός πηγών σφαλμάτων (2.0 μονάδες).

Στα προηγούμενα ερωτήματα θεωρήσαμε ότι τα πειράματα έγιναν σε συνθήκες επαρκούς χρονικής διάρκειας φόρτισης, ώστε οι πυκνωτές να φορτιστούν πλήρως. Αν η επαναφόρτιση του πυκνωτή διαρκέσει λιγότερο (0.1 -10 s) υπεισέρχονται πολλαπλές πηγές σφαλμάτων όπως:

Experiment



Q1-3

Greek (Greece)

1) Τα ρεύματα διαρροής

2) Οι ιδιότητες πόλωσης του διηλεκτρικού στο εσωτερικό του πυκνωτή που μπορούν να εκφραστούν μέσω της διηλεκτρικής σταθεράς, η οποία εξαρτάται από την χρονική κλίμακα της πειραματικής διαδικασίας.

Προσοχή: Το θερμομονωτικό υλικό μπορεί να απορροφήσει υγρασία από τον αέρα και να γίνει αγώγιμο. Για το λόγο αυτό να το αφαιρέσετε όταν θα πραγματοποίησετε μετρήσεις για τα ρεύματα διαρροής.

Να προσδιορίσετε τις κύριες πηγές σφάλματος κατά την μέτρηση των χωρητικοτήτων C1 και C2. Καθώς, τόσο η ένταση του ρεύματος διαρροής όσο και η ένταση του ρεύματος που διαρρέει το βολτόμετρο εξαρτώνται από την τάση, να εκτιμήσετε αυτά τα σφάλματα για τάση περίπου 9 V, ώστε να προσδιορίσετε ποια είναι η πιο σημαντική πηγή σφάλματος για κάθε έναν από τους δύο πυκνωτές.

Θα πρέπει εσείς να αποφασίσετε ποιες επιπρόσθετες μετρήσεις και υπό ποιες συνθήκες πρέπει να ληφθούν για να προσδιοριστεί η κύρια πηγή σφάλματος για κάθε περίπτωση. Στις απαντήσεις σας στις ερωτήσεις Δ.1 και Δ.2, προτείνεται να περιγράψετε τις συνθήκες των μετρήσεών σας, τις φυσικές ποσότητες που μετρήσατε και τα συμπεράσματα στα οποία καταλήξατε, με βάση τις μετρήσεις, όπως φαίνεται στους ακόλουθους πίνακες.

Σημείωση: Τα ακόλουθα είναι απλώς οπτικά παραδείγματα για το τρόπο που θα παραθέσετε τις απαντήσεις σας και όχι πιθανές απαντήσεις. Θα πρέπει μόνοι σας να καθορίσετε τις σχετικές συνθήκες των μετρήσεών σας.

Παραδείγματα για τον τρόπο με τον οποίο πρέπει να παραθέσετε τις απαντήσεις σας στις ερωτήσεις Δ.1 και Δ.2

Παράδειγμα 1.

Δείχνεται ότι ο ρυθμός μεταβολής της τάσης του πυκνωτή C1 όταν είναι ενωμένος με το κύκλωμα μέτρησης είναι μεγαλύτερος στα 9 V σε σχέση με τα 0 V.

Πιθανές θέσεις του διακόπτη S1: C1, C2

Πιθανές συνδέσεις εισόδου (IN): +9V, -9V, GND (γείωση), χωρίς σύνδεση

Αρχικές ρυθμίσεις:

| Θέση διακόπτη S1 | Σύνδεση εισόδου (IN) |
|------------------|----------------------|
| C1 | 9V |

Διαδικασία:

| Αριθμός Βήματος | Θέση διακόπτη S1 | Σύνδεση εισόδου (IN) | Διάρκεια, s | Μεταβλητή που μετρήθηκε |
|-----------------|------------------|----------------------|-------------|-------------------------|
| 1 | C1 | Free | | $ duC(t) /dt$ |
| 2 | C1 | GND (γείωση) | | |
| 3 | C1 | χωρίς σύνδεση | | $ duC(t) /dt$ |

Επαλήθευση: $|duC(t)|/dt|_1 > |duC(t)|/dt|_3$

Experiment



Q1-4

Greek (Greece)

Παράδειγμα 2.

Δείχνεται ότι ο ρυθμός μεταβολής της τάσης του πυκνωτή C_1 στα 9 V είναι μεγαλύτερος από το μέσο ρυθμό μεταβολής της τάσης ξεκινώντας από τα 0 V για περισσότερο από 1000 s.

Πιθανές θέσεις του διακόπτη S_1 : C1, C2

Πιθανές συνδέσεις εισόδου (IN): +9V, -9V, GND (γείωση), χωρίς σύνδεση

Αρχικές ρυθμίσεις:

| Θέση διακόπτη S_1 | Σύνδεση εισόδου (IN) |
|---------------------|----------------------|
| C1 | 9V |

Διαδικασία:

| Αριθμός Βήματος | Θέση διακόπτη S_1 | Σύνδεση εισόδου (IN) | Διάρκεια, s | Μεταβλητή που μετρήθηκε |
|-----------------|---------------------|----------------------|-------------|-------------------------|
| 1 | C1 | Χωρίς σύνδεση | | $ duC(t) /dt$ |
| 2 | C1 | GND (γείωση) | | |
| 3 | C1 | Χωρίς σύνδεση | | uC |
| 4 | C1 | Χωρίς σύνδεση | 1000 | |
| 5 | C1 | Χωρίς σύνδεση | | uC |

Επαλήθευση: $|duC(t)|/dt|_1 > (uC|_3 - uC|_5)/1000$

- D.1** Ποια είναι η κύρια πηγή σφάλματος στη μέτρηση της χωρητικότητας του πυκνωτή C_1 (9 V);
Στον πίνακα να καταγράψετε τα βήματα που ακολουθήσατε κατά την λήψη των μετρήσεων. 1.0pt

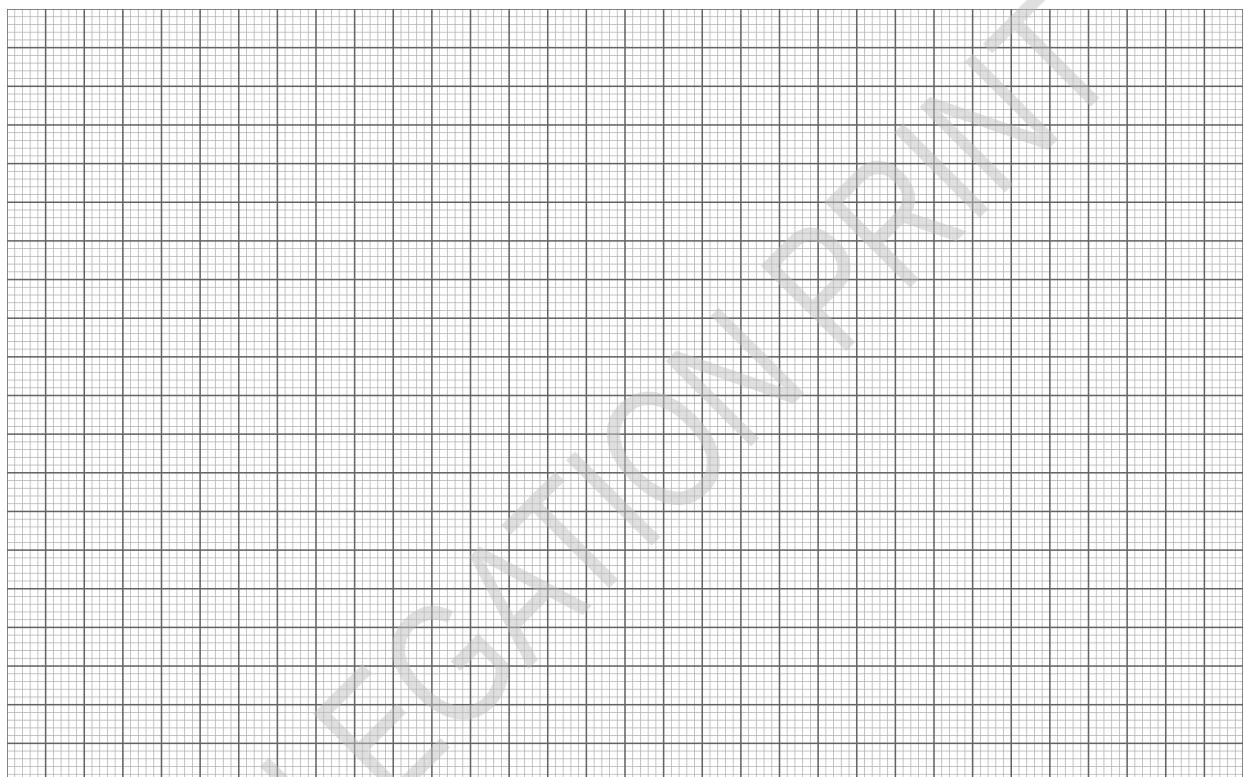
- D.2** Ποια είναι η κύρια πηγή σφάλματος στη μέτρηση της χωρητικότητας του πυκνωτή C_2 (9 V);
Στον πίνακα να καταγράψετε τα βήματα που ακολουθήσατε κατά την λήψη των μετρήσεων. 1.0pt

Μη ιδανικοί πυκνωτές (10 μονάδες)

Μέρος Α. Πυκνωτές σε θερμοκρασία δωματίου (4.0 μονάδες)

A.1 (2.3 pt)

Σχεδιάστε την γραφική παράσταση των $C_1(U)$ και $C_2(U)$ στο μιλιμετρέ χαρτί:



Συμπληρώστε τον πίνακα με τις αντίστοιχες τιμές:

| U | C_1 | C_2 |
|-----|-------|-------|
| 0V | | |
| 3V | | |
| 6V | | |

$C(U) =$

Πειραματικές συνθήκες:

Κωδικός πλακέτας (Board ID)=

$T_{room} =$

Experiment



A1-2
Greek (Greece)

A.2 (0.5 pt)

$$U_{\text{max change}} =$$

Για τον πυκνωτή (επιλέξτε): C1 C2

A.3 (1.2 pt)

$$q_1 =$$

$$q_2 =$$

Μέρος Β. Βαθμονόμηση του Θερμίστορ NTC (1.0 μονάδα)

B.1 (1.0 pt)

Αλγεβρική σχέση:

$$R_0 =$$

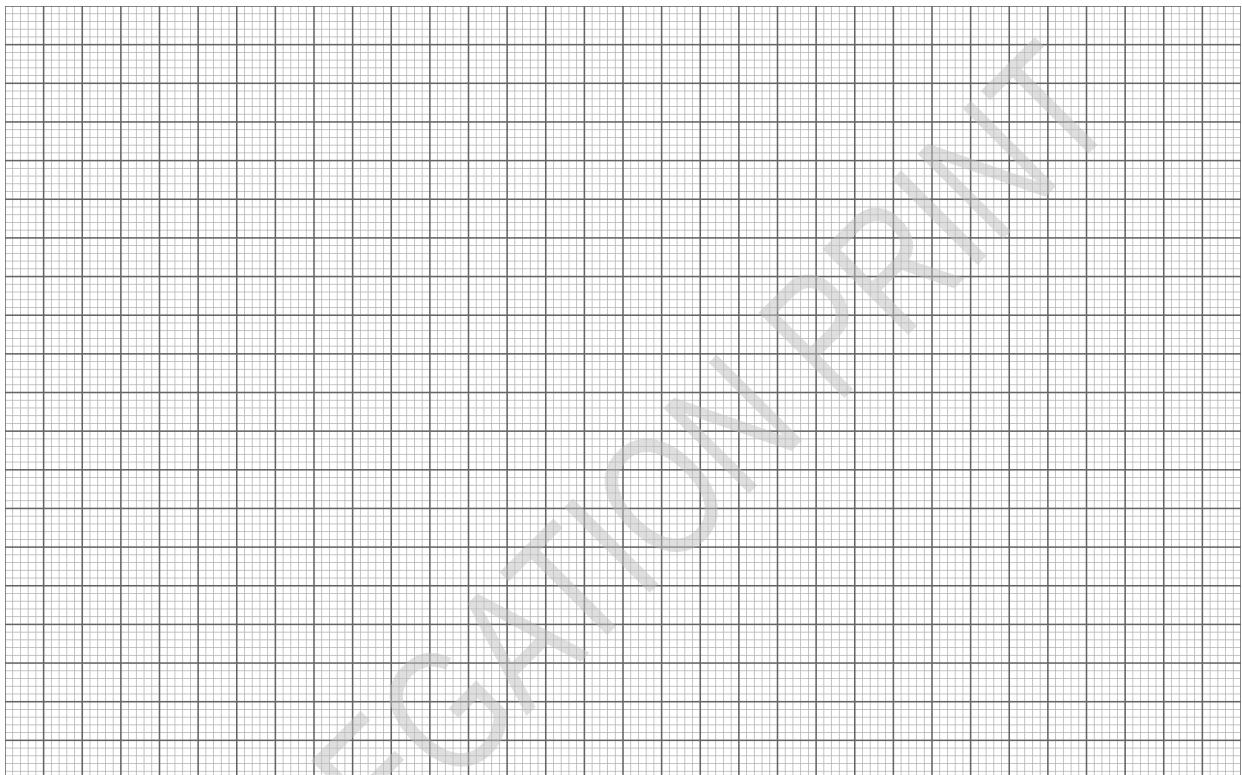
Τιμή:

$$R_0 = \Omega$$

Μέρος C. Πυκνωτές σε διάφορες θερμοκρασίες (3.0 μονάδες)

C.1 (1.3 pt)

Σχεδιάστε τις γραφικές παραστάσεις των $C_1(U)$ και $C_2(U)$ σε μιλιμετρέ χαρτί:



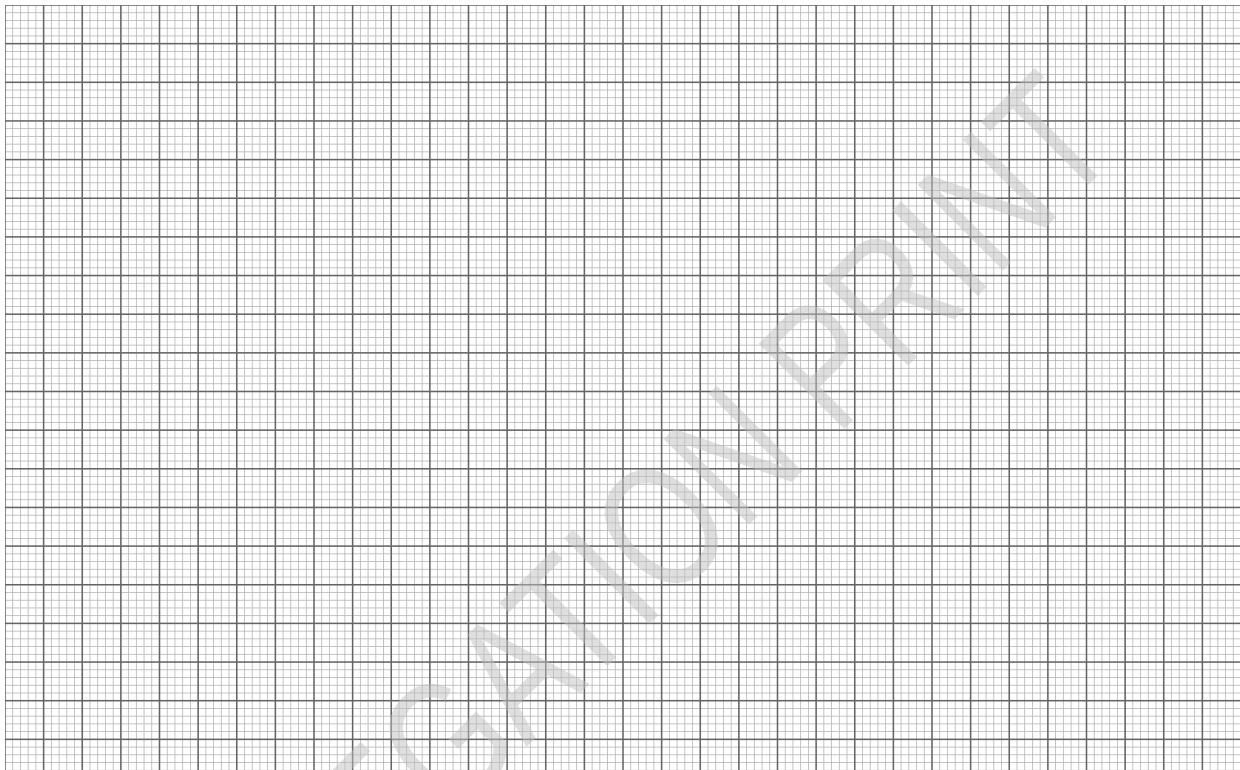
Experiment



A1-4
Greek (Greece)

C.2 (0.5 pt)

Σχεδιάστε τις γραφικές παραστάσεις των $C_1(T)$ και $C_2(T)$ σε μιλιμετρέ χαρτί:



C.3 (1.2 pt)

$$C_1(85^\circ\text{C})/C_1(40^\circ\text{C})|_{0\text{ V}} =$$

$$C_1(85^\circ\text{C})/C_1(40^\circ\text{C})|_{6\text{ V}} =$$

$$C_2(85^\circ\text{C})/C_2(40^\circ\text{C})|_{0\text{ V}} =$$

$$C_2(85^\circ\text{C})/C_2(40^\circ\text{C})|_{6\text{ V}} =$$

Μέρος D. Πηγές πειραματικών σφαλμάτων (2.0 μονάδες)

D.1 (1.0 pt)

Πιθανές θέσεις διακόπτη S1: C1, C2

Πιθανές συνδέσεις IN: +9V, -9V, GND, χωρίς σύνδεση

Αρχικές ρυθμίσεις:

| | |
|---------|--------------------|
| Θέση S1 | Σύνδεση Εισόδου IN |
| | |

Διαδικασία:

| Αριθμός βήματος | Θέση S1 | Σύνδεση Εισόδου IN | Διάρκεια, s | Μετρούμενη μεταβλητή |
|-----------------|---------|--------------------|-------------|----------------------|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

Επαλήθευση:

Βασικές αιτίες σφαλμάτων (σημειώστε):

- Ρεύμα διαρροής
- Ιδιότητες του διηλεκτρικού μέσου στο εσωτερικό του πυκνωτή

Experiment



A1-6
Greek (Greece)

D.2 (1.0 pt)

Πιθανές θέσεις του S1: C1, C2

Πιθανή σύνδεση IN: +9V, -9V, GND, χωρίς σύνδεση

Αρχικές ρυθμίσεις:

| Θέση S1 | Σύνδεση Εισόδου IN |
|---------|--------------------|
| | |

Διαδικασία:

| Αριθμός βήματος | Θέση S1 | Σύνδεση Εισόδου IN | Διάρκεια, s | Μετρούμενη μεταβλητή |
|-----------------|---------|--------------------|-------------|----------------------|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

Επαλήθευση:

Βασικές αιτίες σφαλμάτων (σημειώστε):

- Ρεύμα διαρροής
- Ιδιότητες του διηλεκτρικού μέσου στο εσωτερικό του πυκνωτή

Non-ideal capacitors (10 points)

Capacitance measurement method:

First, measure the highest voltage the capacitor can reach by connecting it to the voltage source via jumper wire W2. Before each measurement, connect capacitor to starting voltage source with jumper wire W2 and to a final voltage source (U_f) with jumper wire W1 via the resistor R1. Capacitor C2 should be prepared that way for at least 10 s, while C1 measurement can be started immediately by disconnecting jumper wire W2 from the starting voltage source. To determine a precise value of the final voltage U_f , it should be measured after capacitor has been connected to final source via R1 for a long time (at least 3 minutes). Then, the capacitance can be calculated from:

$$C(U) = \frac{U_f - U(t)}{R1} / \frac{dU}{dt}$$

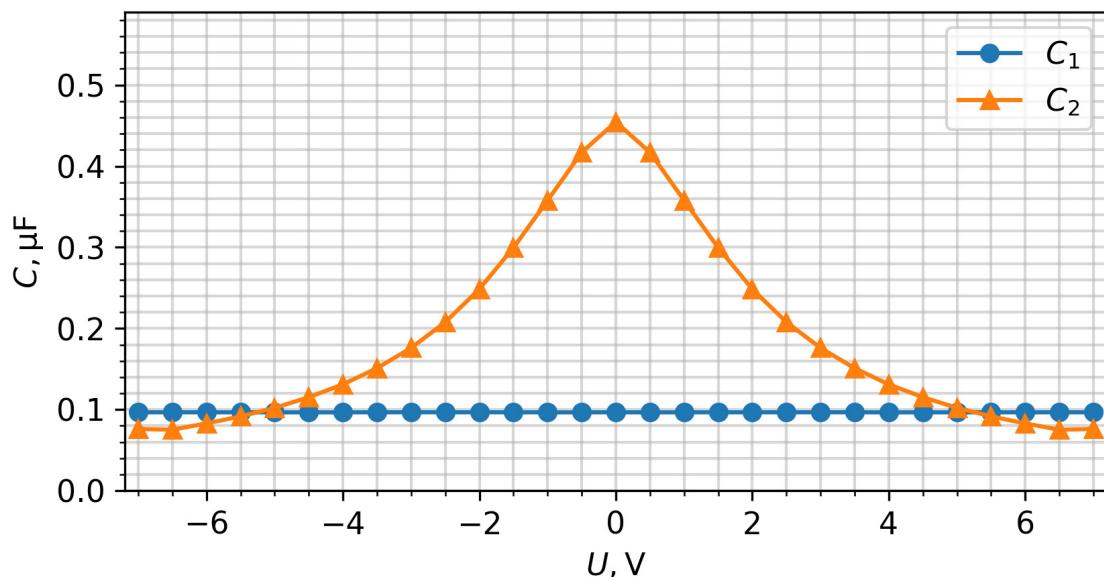
When measuring C2, to ensure minimal change in charging current, capacitance should only be calculated in conditions where U_f and $U(t)$ have different polarities. This way, capacitance dependence on voltage should be symmetrical around 0 V.

Part A: Capacitors at room temperature (4 points)

A.1 (2.3 pt)

Graph $C_1(U)$ should be constant, $C_2(U)$ must be highest at 0 V.

Example results measured at room temperature of 29 °C.



**IPhO**Lithuania
2021

Experimental Question 1 – Solution

S1-2

ENGLISH

| | C_1 | C_2 |
|-----|---------------------|---------------------|
| 0 V | 0.100 μF | 0.473 μF |
| 3 V | 0.100 μF | 0.183 μF |
| 6 V | 0.100 μF | 0.086 μF |

$$C(U) = \frac{U_f - U(t)}{R1} / \frac{dU}{dt}.$$

A.2 (0.5 pt)

 $U_{\text{max change}} = 4.5 \text{ V}$ at capacitor C2

A.3 (1.2 pt)

It's important to calculate $\int_{0V}^{6V} C(U)dU$, not just attempt to multiply $C(6 \text{ V}) \cdot 6 \text{ V}$

$$q_1 = 0.60 \mu\text{C}; \quad q_2 = 1.3 \mu\text{C}$$

Part B: Calibrating NCT thermistor (1 point)

B.1 (1.0 pt)

$$R_0 = \frac{U_{T0} R_3}{U - U_{T0}} e^{-B/T},$$

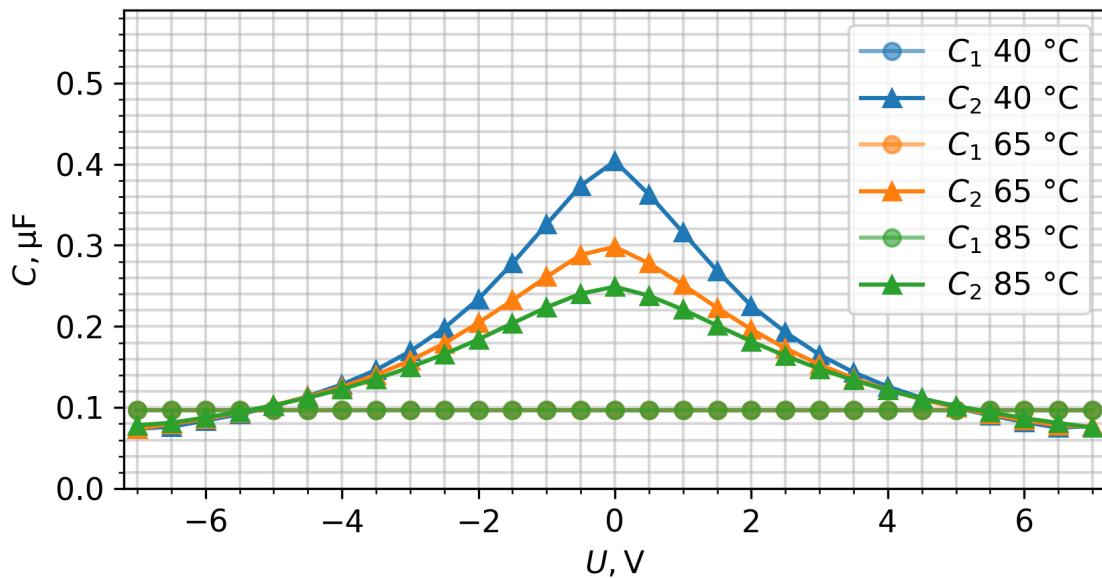
where $U = 3.3 \text{ V}$, $U_{T0} = uT$ at room temperature, T – room temperature in kelvins

$$R_0 = 0.0341 \Omega.$$

Part C: Capacitors at different temperatures (3 points)

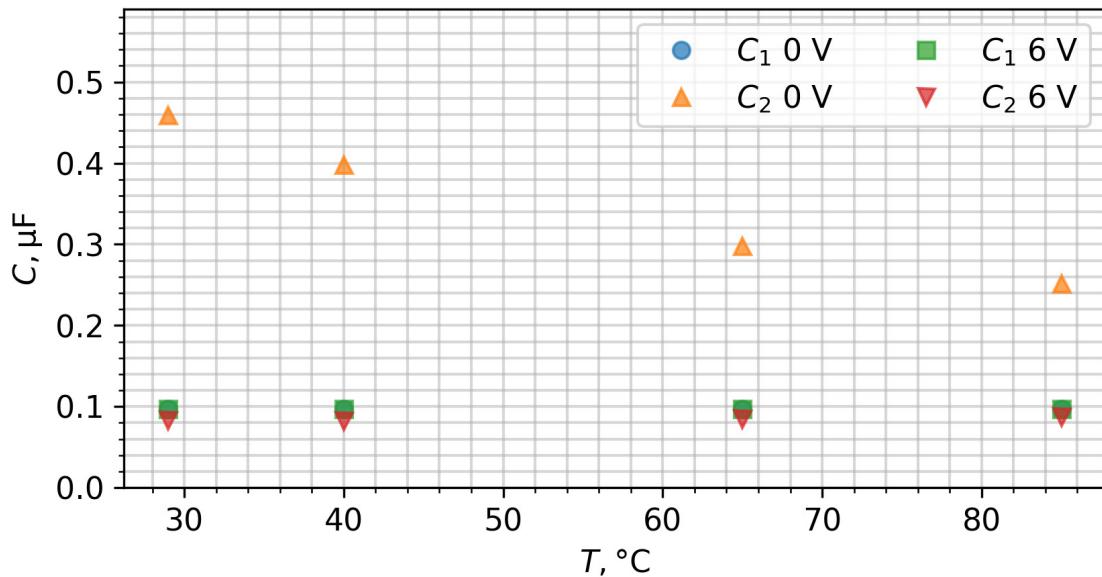
C.1 (1.3 pt)

Graphs $C_1(U, T)$ should always stay constant, $C_2(U)$ must be highest at 0 V



C.2 (0.5 pt)

Graph $C_1(T)$ should always stay constant





IPhO

Lithuania
2021

Experimental Question 1 – Solution

S1-4
ENGLISH

C.3 (1.2 pt)

$$C_1(85^\circ\text{C})/C_1(40^\circ\text{C})|_{0\text{V}} = 1.00$$

$$C_1(85^\circ\text{C})/C_1(40^\circ\text{C})|_{6\text{V}} = 1.00$$

$$C_2(85^\circ\text{C})/C_2(40^\circ\text{C})|_{0\text{V}} = 0.63$$

$$C_2(85^\circ\text{C})/C_2(40^\circ\text{C})|_{6\text{V}} = 1.06$$

Part D: Sources of measurement errors (2 points)

D.1 (1.0 pt)

Initial settings:

| S1 position | IN connection |
|-------------|---------------|
| C1 | -9V or GND |

Process:

| Step number | S1 position | IN connection | Duration, s | Measured variable |
|-------------|-------------|---------------|--|-------------------|
| 1 | C1 | +9V | 0.2 s (any short time is good) | |
| 2 | C1 | Free | | $ duC(t) /dt$ |
| 3 | C1 | +9V | 5 s (has to be much longer than first) | |
| 4 | C1 | Free | | $ duC(t) /dt$ |
| | | | | |
| | | | | |

Verification: $|duC(t)|/dt|_2 = |duC(t)|/dt|_4$

Main source of error: 1 (Leakage current.)

D.2 (1.0 pt)

Initial settings:

| | |
|-------------|---------------|
| S1 position | IN connection |
| C2 | -9V or GND |

Process:

| Step number | S1 position | IN connection | Duration, s | Measured variable |
|-------------|-------------|---------------|--|---------------------------------|
| 1 | C2 | +9V | 0.2 s (any short time is good) | |
| 2 | C2 | Free | | $ \mathrm{d}uC(t) /\mathrm{d}t$ |
| 3 | C2 | +9V | 5 s (has to be much longer than first) | |
| 4 | C2 | Free | | $ \mathrm{d}uC(t) /\mathrm{d}t$ |
| | | | | |

Verification: $|\mathrm{d}uC(t)|/\mathrm{d}t|_2 \gg |\mathrm{d}uC(t)|/\mathrm{d}t|_4$

Alternatively,

$$\frac{|\mathrm{d}uC(t)|/\mathrm{d}t|_2}{|\mathrm{d}uC(t)|/\mathrm{d}t|_4} > 2.$$

Main source of error: 2 (Polarization properties of the capacitor's dielectric media)



IPhO

Lithuania
2021

Experimental Question 1 – Marking Scheme

M1-1

ENGLISH

Non-ideal capacitors

Depending on how far participant's measurements are from the correct ones, an extra multiplier η is applied to reduce the points for the task.

For each task (for example, A1, A2, B1, ...) the final score has to be rounded up to a single decimal digit.

Part A: Capacitors at room temperature (4 points)

| | | |
|-----------------|---|--------|
| A.1 (2.3 pt) | Graphs are plotted with correct axes, units and reasonable ranges (data fills most of the graph) | 0.1 pt |
| | Graph $C_1(U)$ 0.3 points only if it is from -7 V to 7 V and its magnitude changes no more than 0.5% 0.1 points if its magnitude changes more than 0.5% or is plotted within a more limited range (f.e. 0 V to 7 V) | 0.3 pt |
| | Graph $C_2(U)$. 0.5 points only if it is from -7 V to 7 V and its highest at 0 V . 0.2 points if it is from -7 V to 7 V , but its highest not at 0 V or if it increases with magnitude of voltage 0 points if it's only shown between 0 V and $\pm 7 \text{ V}$ | 0.5 pt |
| | Correct C_1 value (error under 10%) These points are void if $C_1(U)$ magnitude changes more than 0.5% $\eta = 0.3$, if error within 10–15% | 0.2 pt |
| | Correct C_2 values (error under 20%) $\eta = 0.7$, if error within 20–30% $\eta = 0.5$, if error within 30–40% $\eta = 0.2$, if error within 40–50% | 1.0 pt |
| | Correct $C(U)$ formula | 0.2 pt |

| | | |
|-----------------|---|--------|
| A.2 (0.5 pt) | Correct voltage (within 10%) and capacitor $\eta = 0.7$, if error within 10–15% $\eta = 0.5$, if error within 15–20% $\eta = 0.2$, if error within 20–25% | 0.5 pt |
|-----------------|---|--------|

| | | |
|-----------------|---|--------|
| A.3 (1.2 pt) | Correct q_1 value (within 0.5% from $C_1 \cdot 6 \text{ V}$) | 0.2 pt |
| | Correct q_2 value (within 10%) $\eta = 0.7$, if error within 10–15% $\eta = 0.5$, if error within 15–20% $\eta = 0.2$, if error within 20–25% | 1.0 pt |

**IPhO**Lithuania
2021**Experimental Question 1 – Marking Scheme****M1-3****ENGLISH****Part B: Calibrating NCT thermistor (1 point)**

| | | |
|-----------------|--|--------|
| B.1 (1.0 pt) | Correct R_0 formula | 0.7 pt |
| | Correct R_0 value (within 10%) $\eta = 0.7$, if error within 10–15% $\eta = 0.4$, if error within 15–25% | 0.3 pt |

Part C: Capacitors at different temperatures (3 points)

| | | |
|-----------------|---|--------|
| C.1 (1.3 pt) | Graphs are plotted with correct axes, units and reasonable ranges (data fills most of the graph) | 0.1 pt |
| | Graphs $C_1(U)$ at different temperatures. To get these points C_1 must not depend on voltage or temperature at all | 0.3 pt |
| | Graphs $C_2(U)$ at different temperatures. 0.3 pt given per temperature if $C_2(U)$ is highest at 0 V and its capacitance doesn't increase with the magnitude of voltage | 0.9 pt |

| | | |
|-----------------|---|--------|
| C.2 (0.5 pt) | Graphs are plotted with correct axes, units and reasonable ranges (data fills most of the graph) | 0.1 pt |
| | Graphs $C_1(T)$ and $C_2(T)$ at 0 V and 6 V versus the temperature. -0.2 pt penalty if C_1 clearly depends on voltage or temperature -0.2 pt penalty if no points at room temperature | 0.4 pt |

| | | |
|-----------------|--|--------|
| C.3 (1.2 pt) | Correct $C_1(85^\circ\text{C})/C_1(40^\circ\text{C})$ ratio values (within 0.5%) 0.2 pt for correct values at 0 V and 0.2 pt for correct values at 6 V | 0.4 pt |
| | Correct $C_2(85^\circ\text{C})/C_2(40^\circ\text{C})$ ratio values (within 10%) 0.4 pt for correct values at 0 V and 0.4 pt for correct values at 6 V $\eta = 0.7$, if error within 10–15% $\eta = 0.5$, if error within 15–20% $\eta = 0.2$, if error within 20–25% | 0.8 pt |

**IPhO**Lithuania
2021

Experimental Question 1 – Marking Scheme

M1-4

ENGLISH

Part D: Sources of measurement errors (2 points)

| | | |
|-----------------|---|--------|
| D.1 (1.0 pt) | Correct answer for main source of error for $C_1(9 V)$ measurement. | 0.2 pt |
| | Given reasoning for the answer | 0.5 pt |
| | The answer table has been filled correctly | 0.3 pt |

| | | |
|-----------------|--|--------|
| D.2 (1.0 pt) | Correctly determined main source of error for $C_2(9 V)$ measurement. | 0.2 pt |
| | Given reasoning for the answer: wrote $ d\mu C(t) /dt _2 \gg d\mu C(t) /dt _4$ or $ d\mu C(t) /dt _2 > K \cdot d\mu C(t) /dt _4$, where $K \geq 2$ is any multiplier 0.3 pt, if just inequality $ d\mu C(t) /dt _2 > d\mu C(t) /dt _4$ is given | 0.5 pt |
| | The answer table has been filled correctly | 0.3 pt |