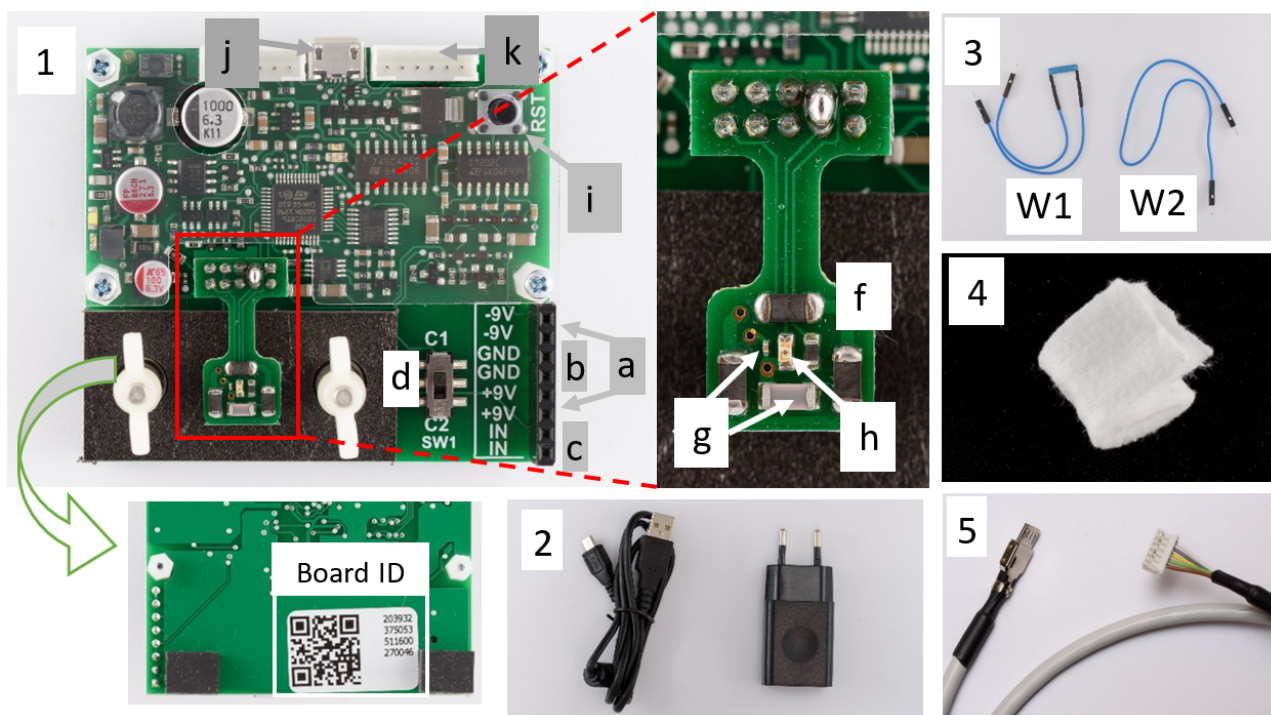


Eksperimentaalvoor - Katsevahendite juhend

Eksperimentaalvoor kestab 5 tundi ja koosneb kahest eraldi eksperimendist, mis mõlemad annavad kuni 10 punkti. Vahendid on osaliselt jagatud mõlema eksperimendi vahel, lugege hoolikalt järgnevaid juhiseid enne töö alustamist.

Vahendite nimekiri:

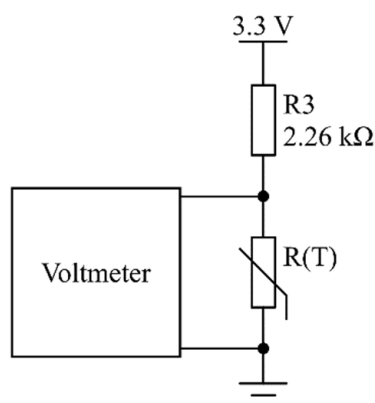
1. Plaat, mis sisaldab:
 - (a) +9 V ja -9 V konstantse pinge allikat (mõlemale on saadaval kaks samaväärset terminali),
 - (b) Kaks samaväärset maandusterminali,
 - (c) Kaks samaväärset kondensaatori terminali,
 - (d) Kondensaatori valimise lüliti (saab valida C1 või C2),
 - (e) Väikse sisendvooluga voltmeeter (plaadi sees),
 - (f) Termostaat koos kütteseadme ja temperatuurianduriga (plaadi sees),
 - (g) Kondensaatorid C1 ja C2,
 - (h) LED, mis on ühendatud konstantse voolu allika ja voltmeetriga,
 - (i) RESET-nupp,
 - (j) USB-toitepesa,
 - (k) 6-PIN andmepesa tahvelarvutiga ühendamiseks.
2. Toiteallikas koos USB micro-B juhtmega.
3. Ühendusjuhtmed - W1 (koos 100 M Ω takistiga R1 juhtme sees) ja W2 (0 Ω).
4. Soojust isoleeriv materjal termostaadi jaoks.
5. Plaadi ja tahvli ühendusjuhe, USB micro-B ots on tahvli jaoks.
6. Puutetundliku ekraaniga tahvel, kus on IPhO 2021 eksperimendi rakendus (kasutusjuhend on allpool).
7. Termomeeter (saadaval katseruumis).



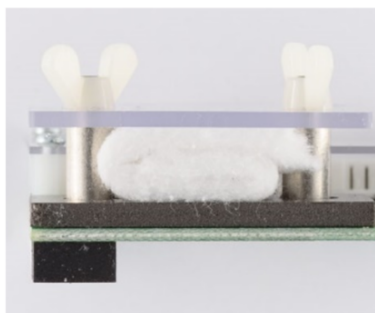
Termostaadi temperatuuri mõõdetakse kasutades NTC (negatiivse temperatuuriteguriga) termistori, selle takistus sõltub absoluutsest temperatuurist T (ühikuga K) järgnevalt:

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

$B = 3500 \text{ K}$, R_0 – konstant, mis tuleb arvutada teadaoleva temperatuuriga keskkonna jaoks enne soojendamise alustamist. Selle konstandi väärtust on vaja mõlema eksperimendi jaoks. Termostaadi temperatuuri saab kontrollida muutes soojendavat voolu (rakenduse kaudu). Pärast voolu mõõtmist on vaja oodata kuni süsteem jõuab stabiilse temperatuurini. Samas, eeldatakse, et soojuslik tasakaal erinevate komponentide (kondensaatorid, NTC ja LED) vahel juhtub "koheselt", arvestatavat viivitust ei toimu.



Stabiilsete soojuslike tingimuste tagamiseks on termostaat kaetud soojust isoleeriva materjaliga, mis on surutud selle vastu kasutades väikest kahe kruviga kinnitatud plastikust plaati.

**Hoiatus:**

Hoiduge plaadi ja pistikupesade kahjustamisest, veenduge, et kinnitate kõik korrektselt ilma üleliigset jõudu kasutamata.

Vedelikud ei sobi hästi elektroonikaga, olge ettevaatlik vedelike kasutamisega (nt joogivee) eksperimentaalvahendite läheduses. Ärge sülitage plaadi peale.

IPhO 2021 eksperimendi rakenduse kasutusjuhend

IPhO 2021 eksperimendi tarkvara saab käivitada tahvli kodulekraanilt (või rakenduste nimekirjast, mille saab avada kodulekraanilt üles tõmmates) vajutades IPhO ikoonil.



Selleks, et plaadi mõõdetud väärtused tahvlisse jõuaksid:

1. ühendage plaadi külge USB laadija;
2. ühendage plaat ja tahvel ühendusjuhtmega (6-klemmine ots plaadi külge ja micro-USB tahvli külge);
3. nõustuge USB ligipääsuga ja lähtestage (*reset*) plaati kümne sekundi jooksul, kui rakendus seda käseb.

Hoiatus: kui mingil hetkel

- plaat ei vasta enam ja mõõtmisi ei näita (kas "*Check state*" või "*Measurement* režiimis),
- soojenemis / LED vool ei muutu (termistori pinge ei muutu ja LED ei helenda isegi maksimaalse LED vooluga),

vajutage **RESET** nuppu plaadi peal ja tehke samm 3 "nõustu USB ligipääsuga...".

Kui sellest pole kasu:

- välju rakendusest vajutades tagasi nuppu kaks korda,
- ühenda plaat lahti,
- ava rakendus uuesti,
- taasühenda plaat uuesti kasutades eelnevalt kirjeldatud sammu 3.

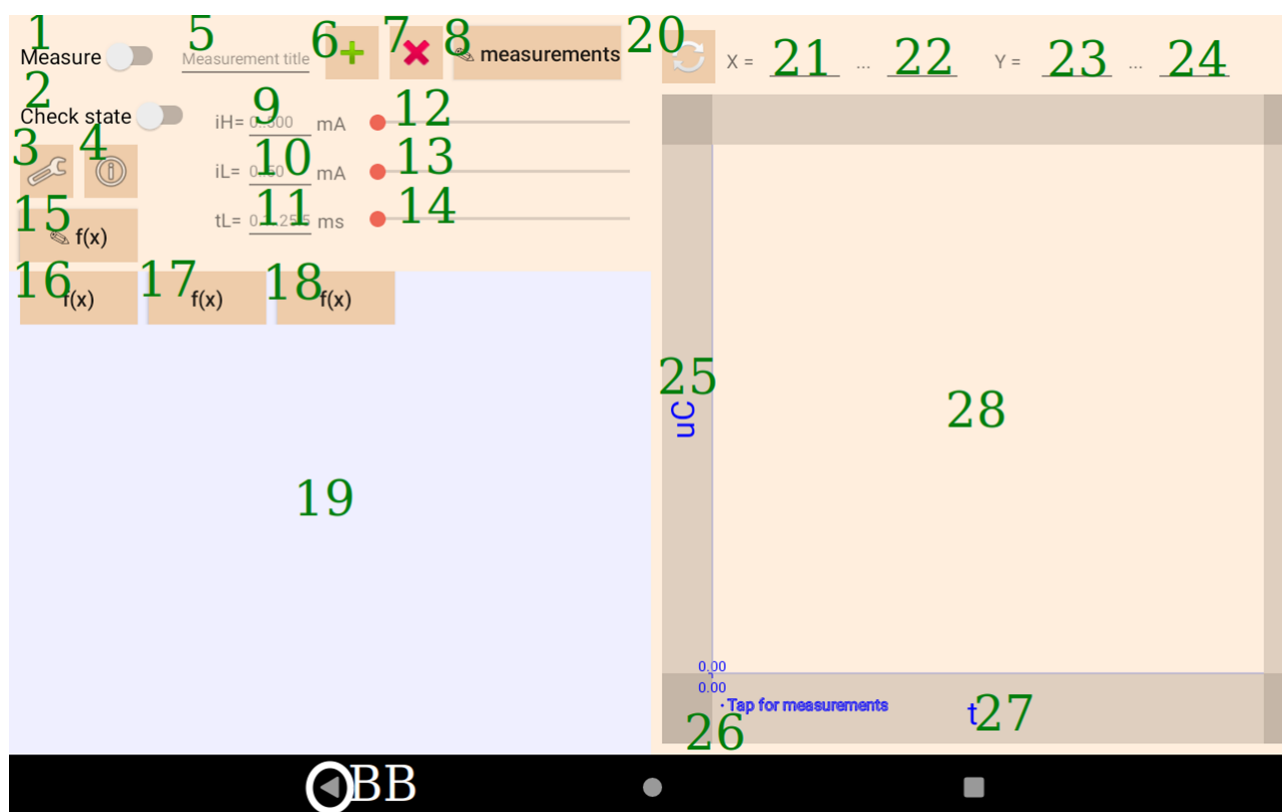
Experiment



G1-5

Estonian (Estonia)

Nupud ja lahtrid (numbreid kasutatakse hiljem viitamiseks):



Rakenduse põhiaken.

- 1 – Selle lüliti vajutamine käivitab mõõtmisessiooni. Selle uuesti vajutamine peatab selle.
- 2 – Kui see lüliti on valitud, kuvatakse ekraanil mõõtmiste väärtuseid reaalsajas.
- 3 – Avab seaded.
- 4 – Avab seadete lühikokkuvõtte.
- 5 – Mõõtmise pealkiri.
- 6 – Salvestab äsja mõõdetud või valitud mõõtmise uue nime all.
- 7 – Kustutab valitud mõõtmise.
- 8 – Valib eelnevalt salvestatud mõõtmise.
- 9, 10, 11 – Tekstiväljad soojendamisvoolu (9), LED-i voolu (10) ja LED-i voolu impulsi pikkuse (11) väärtuste käsitsi sisestamiseks. Tühjad väärtused tähendavad 0. t_L (LED voolu impulsi pikkus) = 0 tähendab konstantset alalisvoolu.
- 12, 13, 14 – Slaidrid vastavate väärtuste muutmiseks (LED vool muutub eksponentsiaalselt!).
- 15 – Avab funktsioonide redaktori.
- 16, 17, 18 – Valib muutujad või funktsioonid mõõtmiste tabeli veergude jaoks.
- 19 - Mõõtmiste tabeli ala.

- **20** – Mõõtmiste käsitsi taasjoonestamine graafikule.
- **21, 22** – X telje miinimum- ja maksimumpiirkond (saab sisestada käsitsi ja vajutada taasjoonestamise nuppu).
- **23, 24** – Y telje miinimum- ja maksimumpiirkond.
- **25, 27** – Valib Y ja X teljed jooniselt.
- **26** – Valib mõõtmised, mida graafikul joonistada
- **28** – Joonise ala.
- **BB** – Androidi süsteemi tagasi nupp (vajuta kaks korda rakenduse sulgemiseks).

I-V kõvera mõõtmise seadistamine

LAB 2 jaoks on saadaval täiendavad LED seaded, kui vajutada põhiakna seadete nuppu (3). **Avanevas aknas valige:**

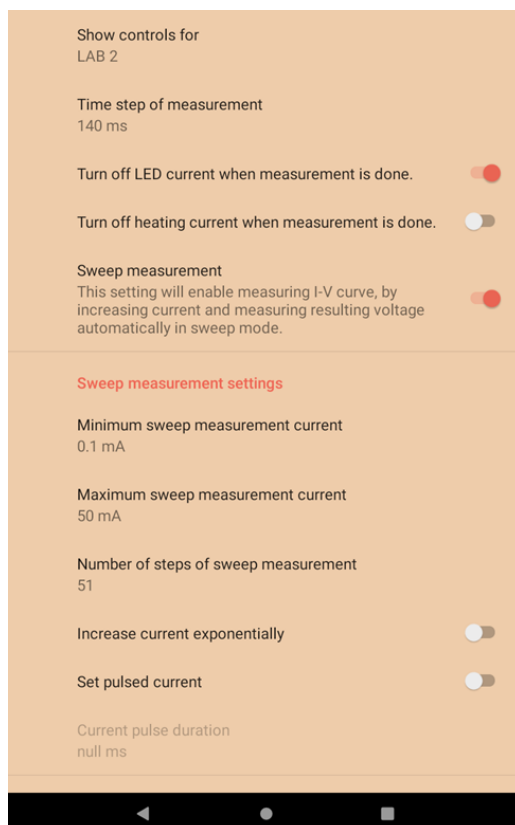
- "LAB 2" või "ANY LAB" osas "**Show controls for**".
- aktiveerige valik "**Sweep measurement**".

Muud seaded on järgmised:

- "**Minimum...**" ja "**Maximum sweep measurement current**" määravad vastavalt LED voolu mõõtmise alg- ja lõppväärtused
- "**Number of steps of sweep measurement**" tähendab, kui palju mõõtmisammusid tehakse.
- vali "**Increase current according to geometric progression**", kui soovid, et voolu suurendataks eksponentsiaalselt.
- vali "**Set pulsed current**" ja määra "**Current pulse width**" kui tahad, et iga LED voolu väärtust mõõdetakse piiratud ajalise pikkuste vooluimpulssidega.

Näiteks kui sammude arv on 51, "**Increase current according to geometric progression**" on välja lülitatud, LED vool muutub alates 0 mA kuni 50 mA, siis LED vool mõõtmiste jooksul on 0 mA, 1 mA, ... 49 mA ja 50 mA.

Nüüd saate alustada I-V kõvera mõõtmist pärast põhiaknasse tagasipöördumist, vajutades tagasi nuppu.



Funktsioonide muutmine

Vajutades põhiakna nuppu (15) avaneb funktsioonide muutmise aken.

Loodud funktsioonides saab kasutada muutujaid (ja nende tuletisi), mida mõõdetakse otse tahvlil.

Need on järgmised:

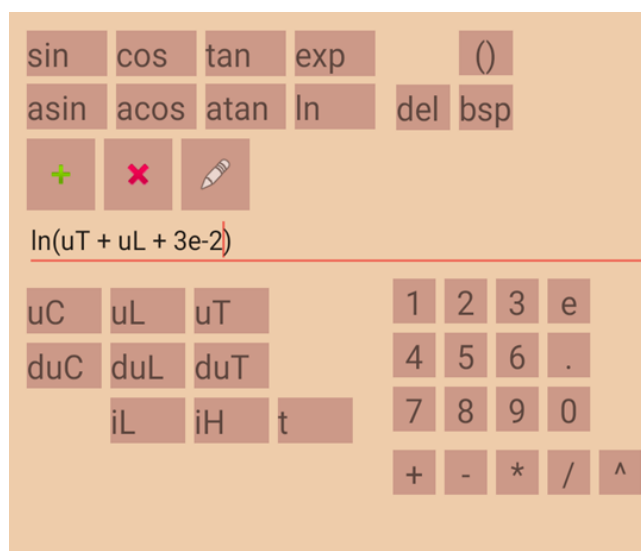
- **pinged (ühikuga V):**
 - u_C – valitud kondensaatoril (C1 või C2);
 - u_T – termistoril;
 - u_L – LEDil;
- nende tuletised aja suhtes (dy/dt) (ühikuga V/s):
 - du_C
 - du_T
 - du_L
- voolud (ühikuga mA):
 - i_L – LEDil;
 - i_H – soojendusvool;
- aeg t (ühikuga s).



Nende muutujate ja matemaatiliste funktsioonide abil on võimalik sisestada enda valitud kohandatud funktsioon (kasutades abinuppe või tavalist Androidi klaviatuuri) ja salvestada see pärast **roheline +** nupu vajutamisega. Salvestatud funktsioone saab kasutada graafiku telgedena või mõõtmiste tabeli veergudeks. Pliiatsi nupuga valitakse olemasolevad funktsioonid. Valitud funktsioone saab kustutada vajutades **punast x**-nuppu.

Nii kümnendmurrud (nt **25.02**) kui ka teaduslik vorming (nt **2.502e+1**) sobivad.

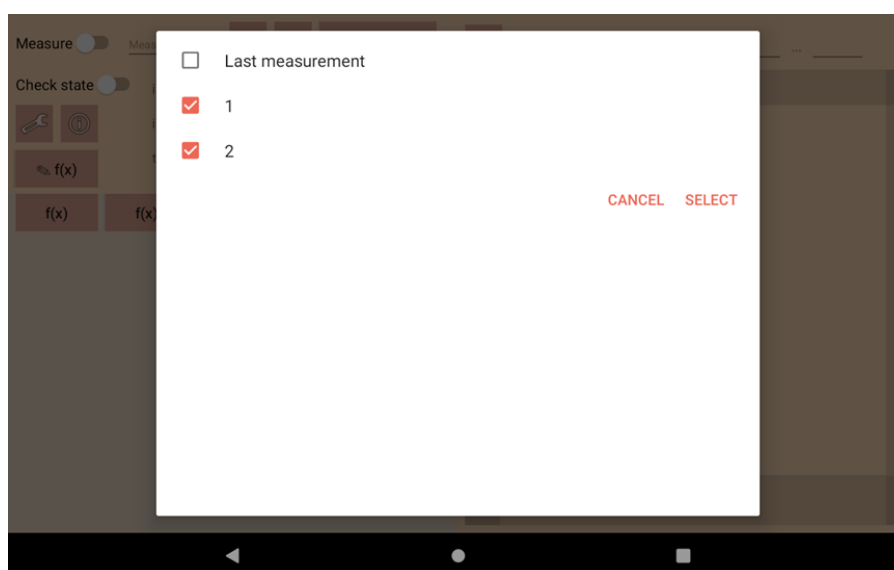
- * on korrutamise operaator,
- / on jagamise operaator,
- ^ on astendamise operaator.



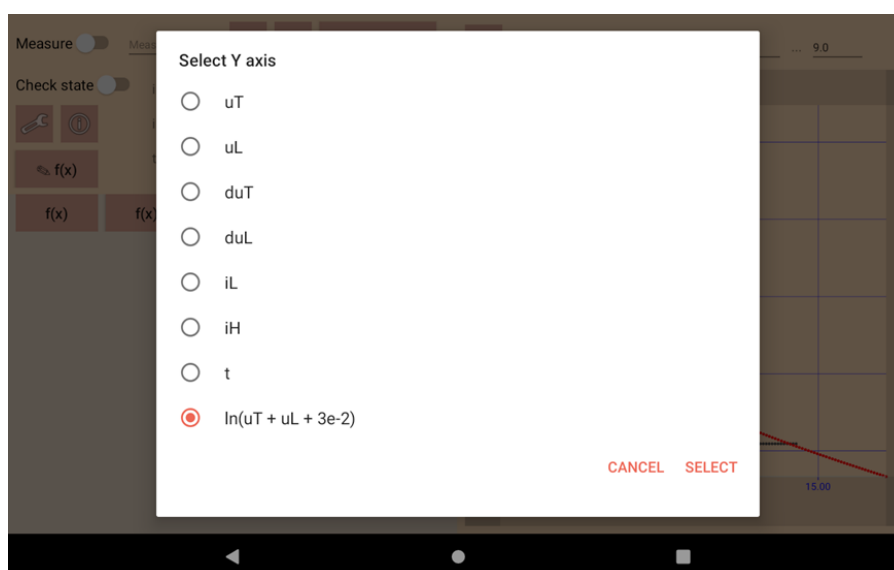


Mõõtmiste vaatamine

Valmis mõõtmisi saab salvestada sisestades nime põhiakna väljale (5) ja vajutades selle lähedal asuvat **rohelist +** nuppu (6). Töötlemata mõõtmisandmed salvestatakse, mida saab hiljem kuvada mis tahes telgedel. Salvestatud mõõtmistulemusi saab graafikul kuvada vajutades selle nurgas olevat nuppu (26)



Saate graafikut liigutada/suurendada. Vajutades graafikule märgitakse ära vajutuskohale lähim punkt ning näidatakse selle koordinaate.



Telgi saab valida vajutades olemasolevatele telgede siltidele (graafiku alad 25 ja 27).



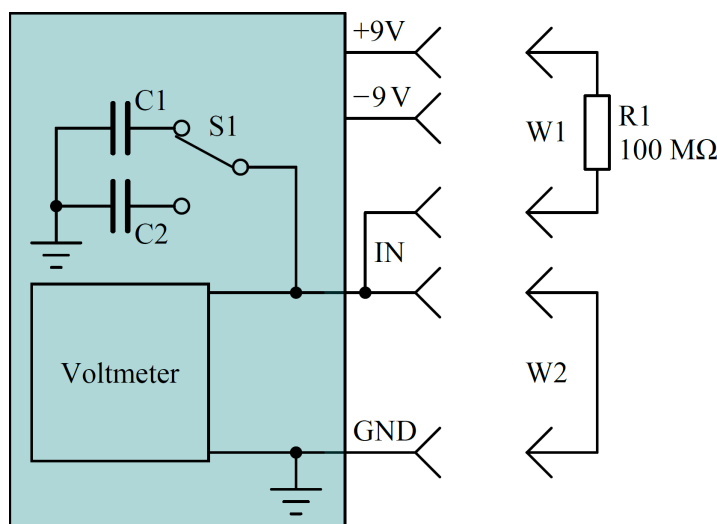
Mitteideaalsed kondensaatorid (10 punkti)

See eksperiment on kavandatud kondensaatorite omaduste uurimiseks.

Kondensaatori mahtuvust (siin ülesandes mõtleme selle all alati diferentsiaalset mahtuvust) saab leida, kui laadida kondensaatorit läbi takisti R_1 ja vaadelda pinge $U(t)$ graafikut. Sõltuvalt elektriahelast on tarvis leida seos kondensaatori laadimisvoolu ja pinge vahel $I(U)$ ja selle põhjal määrata takistus:

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

Selle ülesande eksperimenti jaoks kavandatud elektriskeem on näidatud Joonisel 1.1. Lüliti S1 abil saab skeemi ühendada kondensaatorit C1 või C2. Lüliti keskmine asend ei ole selles eksperimentis oluline ja seda asendit ei tohiks üldse kasutada.



Joonis 1.1. Eksperimenti elektriskeem.

Hoiatus: üks kondensaatoritest sisaldab dielektrilist ainet, mille dielektriline läbitavus sõltub kondensaatori pinge muutumise kiirusest. Et hoida seda muutumise kiirust võimalikult stabiilsena juhul, kui teete mõõtmisi positiivsete pingetega, tuleks kondensaatorit laadida pingelt 9 V alla -9 V poole; kui teete mõõtmisi negatiivsete pingetega, tuleks kondensaatorit laadida pingelt -9 V üles 9 V poole. Mõõdetavat mahtuvuse väärtust võib mõjutada kondensaatori eelnev olek, seepärast tuleks kondensaatorit hoida algpinge peal vähemalt 10 s enne mõõtmisega alustamist.

Osa A. Kondensaatorid toatemperatuuril (4,0 punkti)

Mõõtke ja kandke graafikule kondensaatorite C1 and C2 mahtuvuste sõltuvused pingest toatemperatuuril (joonistage graafikud ühele ja samale teljestikule).

- | | | |
|------------|---|-------|
| A.1 | Mõõtke ja kandke graafikule $C_1(U)$ ja $C_2(U)$ vahemikus -7 V kuni 7 V. Kirjutage vastuste lehele C_1 ja C_2 väärtused pingete 0 V, 3 V ja 6 V korral. Kirjutage välja valem, mida kasutate, et mõõdetud andmetest mahtuvus välja arvutada. Samuti pange kirja oma trükkplaadi ID-number ja toatemperatuur. | 2.3pt |
|------------|---|-------|



- A.2** Leidke pinge $U_{\max \text{ change}}$, mille juures on kondensaatori mahtuvuse suhteline muutuse kiirus pinge muutusega $\left(\frac{dC(U)}{C(U)dU}\right)$ kõige suurem. Kirjutage vastuste lehele, kummal kondensaatoril (C1 või C2) ja millise pinge korral on see suhtelise muutumise kiirus kõige suurem. 0.5pt

- A.3** Kui suured laengud q_1 ja q_2 on kondensaatoritel C1 ja C2 pinge 6 V juures? 1.2pt

Osa B. NTC-termistori kalibreerimine (1,0 punkti)

Mõõtke NTC (*Negative Temperature Coefficient*) termistori pinge tuntud toatemperatuuri korral (termomeeter on ruumis). Osas "Eksperimentaalvoor - Katsevahendite juhend G1" on toodud vajalik elektriskeem ja termistori takistuse ja temperatuuri seos valemis (1).

- B.1** Leidke NTC-termistori konstant R_0 . 1.0pt

Osa C. Kondensaatorid erinevatel temperatuuridel (3,0 punkti)

- C.1** Mõõtke ja kandke graafikule $C_1(U)$ ja $C_2(U)$ vahemikus -7 V kuni 7 V temperatuuride 40°C , 65°C ja 85°C korral. 1.3pt

- C.2** Kandke graafikule $C_1(T)$ ja $C_2(T)$ pingetel 0 V ja 6 V sõltuvana temperatuurist alatest toatemperatuurist kuni temperatuurini 85°C . 0.5pt

- C.3** Kirjutage vastuste lehele suhe $C(85^\circ\text{C})/C(40^\circ\text{C})$ mõlema kondensaatori C1 ja C2 jaoks pingetel 0 V ja 6 V. 1.2pt

Osa D. Mõõtevigade allikad (2,0 punkti)

Eelnevates alapunktides oli algne laeng kondensaatoril kaua aega. Lühemate laadimisaegade (0,1 - 10 s) korral eksisteerib mitu võimalikku veaallikat:

1. Lekkevool.

2. Kondensaatori sees oleva dielektrilise aine polarisatsiooniomadused, mida saab väljendada protsessi ajaskaalast sõltuva dielektrilise läbitavusega.

Ettevaatust: soojusisolatsioonimaterjal võib imada õhuniiskust ja muutuda juhtivaks. Eemaldage see lekkevoolu mõõtmiste tegemisel.

Määrake kindlaks C1 ja C2 mõõtmise peamine veaallikas. Kuna kondensaatori lekkevool ja voltmeetri sisendvoolud sõltuvad pingest, hinnake mõõtevigu 9 V lähedase pinge korral. Otsustage, milliseid lisamõõtmisi ja millistel tingimustel tuleks teha, et nendele küsimustele vastata. Oma vastustes järgnevatel küsimustele D.1 ja D.2 kirjeldage, millistes tingimustes te mõõtmisi teostate, milliseid suurusi mõõdate ja milliseid järeldusi te oma mõõtmiste põhjal teete, analoogselt nagu on näidatud alljärgnevatel tabelites.

Märkus: need on vaid näited, kuidas oma mõõtmisi skemaatiliselt kirjeldada; te peate ise välja mõtlema, milliseid mõõtmisi teil teha vaja on.

Näited küsimustele D.1 ja D.2 vastuste kirjutamise kohta:

**Näide 1.**

Näitame, et C1 pinge muutumise kiirus on suurem 9 V juures kui 0 V juures.

S1 võimalikud asendid: C1, C2

IN ühenduse võimalikud variandid: +9V, -9V, GND (maandus), Free (lahti ühendatud)

Algasendid:

S1 asend	IN ühendus
C1	9V

Protsess:

Mõõtmise etapp	S1 asend	IN ühendus	Kestus, s	Mõõdetud suurus
1	C1	Free		$ duC(t) /dt$
2	C1	GND		
3	C1	Free		$ duC(t) /dt$

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

Näide 2.

Näitame, et C1 pinge muutumise kiirus 9 V juures on suurem kui keskmine pinge muutumise kiirus 1000 sekundi jooksul, alustades 0 V juurest.

S1 võimalikud asendid: C1, C2

IN ühenduse võimalikud variandid: +9V, -9V, GND (maandus), Free (lahti ühendatud)

Algasendid:

S1 asend	IN ühendus
C1	9V

Protsess:

Mõõtmise etapp	S1 asend	IN ühendus	Kestus, s	Mõõdetud suurus
1	C1	Free		$ duC(t) /dt$
2	C1	GND		
3	C1	Free		uC
4	C1	Free	1000	
5	C1	Free		uC

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



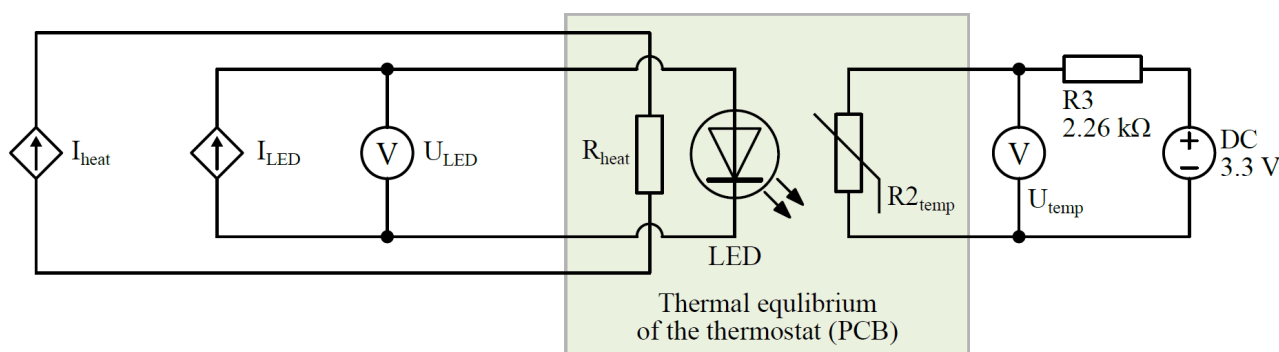
D.1	Mis on $C_1(9V)$ mõõtmise peamine veaallikas? Kirjutage mõõtmiste sammud tabelitesse.	1.0pt
------------	---	-------

D.2	Mis on $C_2(9V)$ mõõtmise peamine veaallikas? Kirjutage mõõtmiste sammud tabelitesse.	1.0pt
------------	---	-------



Valgusdiodid (LED-id) (10 punkti)

Selle eksperimendi eesmärk on uurida valgusdiodide elektrilisi ja soojuslikke omadusi. Trükkplaadi (inglise keeles *printed circuit board*, lühend PCB) temperatuuride mõõtmiste jaoks võite kasutada eksperimendis 1 osas B.1 leitud koefitsientide väärtuseid. Katse elektriskeem on kujutatud joonisel 2.1, katsevahendite juhendi leiate 1. ülesande kirjeldusest.



Joonis 2.1. LED katse ülesehitus. LED-i toidetakse konstantse vooluallikaga (pideva voolu või vooluimpulsside režiimis) ning pinget mõõdetakse kõrge sisetakistusega voltmeetriga. Kuumuti ning temperatuurisensorid on samad nagu 1. eksperimendis. Võite eeldada, et trükkplaadi (PCB) komponendid on eksperimendi vältel soojuslikus tasakaalus.

Erinevalt konstantse pingega toidetavatest hõõglampidest, toidetakse LED-e tüüpiliselt konstantsete vooluallikatega. LED-i pinge sõltub toitevoolust ning LED-i enda temperatuurist. Volt-Amper karakteristiku täpne matemaatiline valem on keeruline ning sõltub seadme füüsilistest ja tehnilistest omadustest, mis pole ilmselgelt teada. Sellest tulenevalt on eksperimendi eesmärk määrata LED-i pinge sõltuvus LED-i voolust ja LED-i temperatuurist T_j :

$$U_{LED} = \text{funktsioon}(I_{LED}, T_j).$$

LED-i ja trükkplaadi (PCB) vaheline soojustakistus (erinevate LED voolude (I_{LED}) väärtuste juures) on seotud elektrilise võimsusega P järgnevalt:

$$\frac{\Delta T}{P} = \frac{(T_j - T_{PCB})}{P}.$$

Ettevaatust: LED-i võib toita pideva vooluga või lühikeste vooluimpulssidega. Vooluimpulsside puhul eeldatakse, et impulsside pikkus on piisavalt väike selleks, et LED ei hakka iseeneslikult märkimisväärselt üles soojenema (näiteks piisab 1ms vooluimpulsist iga 100ms mõõtmiste tagant). Teisisõnu kehtib selles režiimis $T_j = T_{PCB}$. Pideva voolu režiimis kehtib $T_j > T_{PCB}$ ning seega on soojustakistuse $\frac{\Delta T}{P}$ arvutamine võimalik.

Osa A. Volt-Amper karakteristikud erinevatel temperatuuridel (5,0 punkti)

Eksperimentides 1 ja 2 on soojenemine füüsikaliselt samasugune. Seega saate kasutada eksperimendis 1 leitud seost termistori pinge ja temperatuuri vahel. Alternatiivselt võite kasutada järgnevat ligikaudset seost

$$T(U) = \frac{3500}{9,9 - \ln(\frac{1}{U} - 0,3)},$$

kus T on termistori temperatuur Kelvinites ja U on termistori pinged voltides.

Mõõtke ning kandke graafikule LED-i pinged vs vool erinevatel temperatuuridel toatemperatuurist kuni 80 °C vooluimpulsside režiimis.

A.1 Mõõtke ning kandke graafikule impulssrežiimi voolu $I_{\text{LED_impulss}}(U_{\text{LED_impulss}}, T)$ sõltuvus pingest ja temperatuurist voolude vahemikus 3 mA kuni 50 mA ning temperatuuridel toatemperatuur, 40, 60 ja 80 °C. Joonistage igale temperatuurile vastavad temperatuurikõverad samale graafikule. 2.5pt

A.2 Täidke vastustelehel tabel $U_{\text{LED_impulss}}$ impulssvoolude $I_{\text{LED_impulss}}$ väärtuste 3, 10, 20 ja 40 mA juures ning temperatuuridel toatemperatuur, 40, 60 ja 80 °C juures. 1.0pt

A.3 Kandke osas A.2 loetletud pingete $U_{\text{LED_impulss}}(I_{\text{LED_impulss}}, T)$ väärtused graafikule ning arvutage (ligikaudu graafiliselt) pinged tõus $(\Delta U(I)/\Delta T)$ voolude 3, 10, 20 ja 40 mA juures. 1.5pt

Osa B. LED-i Volt-Amper karakteristiku mõõtmine pideva voolu režiimis (3,5 punkti)

B.1 Mõõtke ning kandke graafikule pideva voolu režiimi voolu $I_{\text{LED_pidev}}(U_{\text{LED_pidev}})$ sõltuvus pingest vahemikus 3 mA kuni 50 mA siis, kui kuumuti on välja lülitatud. Pange vastustelehel kirja ka $U_{\text{LED_pidev}}$, trükkplaadi (PCB) temperatuuri T_{PCB} ning pingete vahe $\Delta U = U_{\text{LED_impulss}} - U_{\text{LED_pidev}}$ väärtused voolude väärtuste 3, 10, 20 ja 40 mA juures. 1.5pt

B.2 Kuna LED-i takistus ei ole konstantne (sõltub voolust), kasutatakse takistuse asemel dünaamilist takistust, mis on defineeritud kui $\frac{dU}{dI}$. Kasutades B.1 graafikut, hinnake mis on LED-i dünaamilise takistuse pöördväärtus $1/(\frac{dU}{dI}) = \frac{dI}{dU}$. Kandke vastustelehele $\frac{dI}{dU}$ väärtused voolude 3, 10, 20 ja 40 mA juures. Joonistage graafikule vastavate punktide puutujad $\frac{dI}{dU}$. 0.5pt

B.3 Arvutage ja kandke graafikule pideva voolu režiimis oleva LED-i temperatuuri (T_j) ja trükkplaadi temperatuuride (T_{PCB}) vahe $\Delta T(P)$ funktsioonina LED-i võimsusest P (voolude 3, 10, 20 ja 40 mA juures). Arvutage (ligikaudu graafiliselt) LED-i soojustakistus $\frac{\Delta T}{P}$ ning kandke see vastustelehele.
Märkus: Eeldage, et kogu LED-i poolt tarbitav elektrienergia muundub soojuseks, s.t. valguskiirguse kujul eralduvat energiat võib ignoreerida. 1.5pt

Osa C. LED-i voolu muutuse arvutamine temperatuuri tõttu (1,5 punkti)

Sissejuhatuses mainiti, et LED-e toidetakse harilikult konstantse vooluga, mitte konstantse pingega. Oleme, et keegi üritab LED-i toita konstantse pingega allikaga nominaalvoolu 20 mA juures. Selle jaoks kasutab ta pinget väärtust mis vastab osas B.1 leitud pingele voolu 20 mA juures.



- | | | |
|------------|--|-------|
| C.1 | Kasutades osas B leitud väärtusi LED-i kohta, hinnake, mis on tegelik LED-i läbiv vool juhul kui LED-il rakendatav pinge on konstantne (pinge, mis mõõdeti punktis B.1, $U(20\text{mA})$). Leidke vastavad voolud trükkplaadi temperatuuride väärtuste 0 ja 40 °C juures. | 1.5pt |
|------------|--|-------|