



Algemene instructies voor de experimentele toets

De experimentele toets duurt 5 uur. De opdrachten in de experimentele toets zijn samen 20 punten waard. Succes van Ad en Enno!

Het begin en het einde van de toets wordt aangegeven door de surveillant. Je mag de enveloppen of documentenmappen met de opgaven niet openen voordat de surveillant het begin van de toets aangeeft. Elk uur worden er mededelingen gedaan over de verstreken tijd, zo ook 15 minuten voor het einde en aan het einde van de toets.

Tijdens de experimentele toets:

- Gebruik alleen de meegeleverde pen. Je mag een potlood gebruiken om je figuren/schema's/grafieken te tekenen, maar trek de contouren van de definitieve versie over met de pen om het beste contrast te garanderen als je werk wordt gescand.
- Er zijn speciale antwoordbladen (aangegeven met A) voor het noteren van je definitieve antwoorden en het tekenen van grafieken: noteer de vereiste metingen in de juiste tabellen en kaders en teken de bijbehorende grafieken, zoals gevraagd in de opgavetekst. De blanco werkbladen (aangegeven met W) zijn bedoeld voor het uitvoeren van berekeningen en/of uitwerkingen. Vermeld de vraagnummers in je oplossingen en gebruik altijd de werkbladen die horen bij het probleem waar je op dat moment aan werkt (controleer het probleemnummer in de kop). Als je iets op een blad hebt geschreven dat je niet beoordeeld wilt hebben, streep het dan door. Gebruik alleen de voorkant van elke pagina en schrijf niets buiten de kantlijn.
- Als je meer lege bladen nodig hebt, kunt je dit aan de surveillant vragen. Schrijf je land- en studentcode (kopiëer die informatie van je werkbladen) evenals het paginanummer in de kop van elk extra blad.
- Wees kort en bondig in je antwoorden. Gebruik waar mogelijk vergelijkingen, logische operatoren en tekeningen om je resultaten te verduidelijken. Vermijd het gebruik van lange zinnen.
- Foutenanalyse is niet vereist tenzij dat expliciet wordt aangegeven. Geef echter antwoorden in het juiste aantal significante cijfers. Verder zal je keuzes moeten maken in het aantal meetpunten en het herhalen van metingen tenzij hier specifieke instructies over gegeven worden.
- Het is vaak mogelijk onderdelen te doen zonder dat je de voorgaande onderdelen opgelost hebt.
- Je wordt opgenomen tijdens de gehele toets. Je mag je werkplek niet verlaten zonder toestemming. Als je naar het toilet moet of andere hulp nodig hebt (bijv. extra bladen, een pen, meer water of snacks), vraag dan de surveillant.

Aan het einde van de experimentele toets:

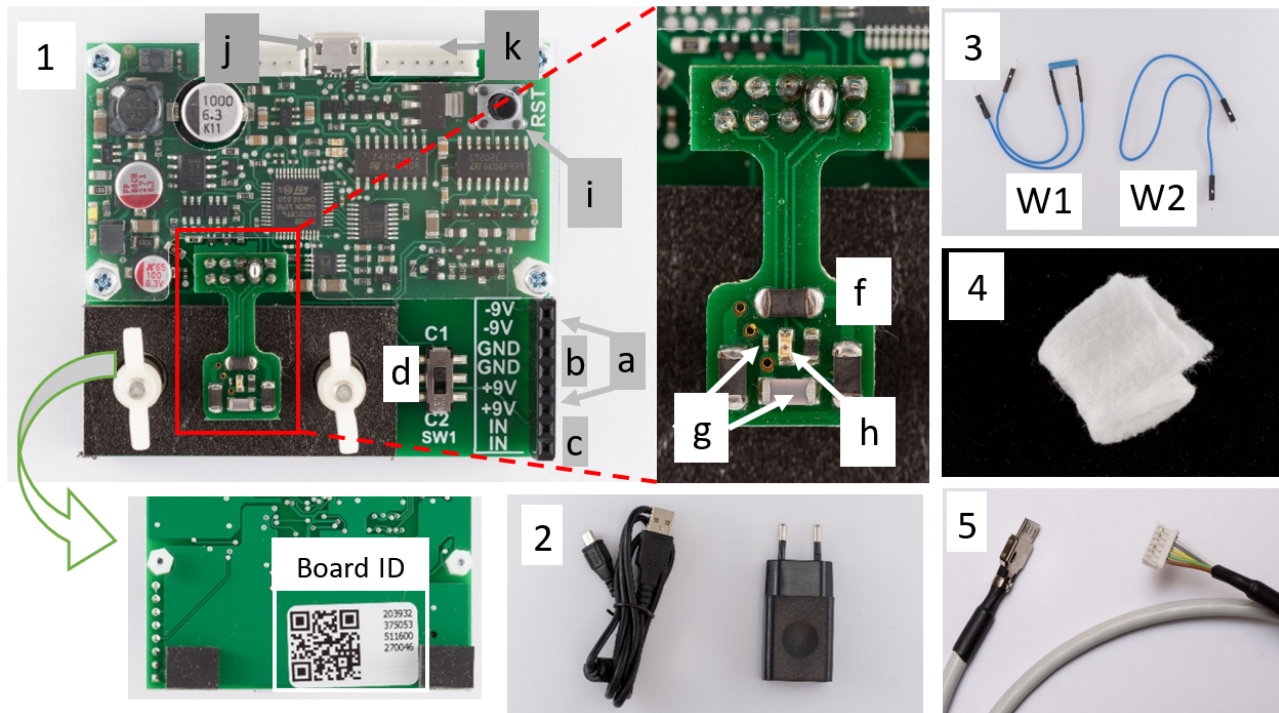
- Aan het einde van de toets stop je direct met schrijven.
- Leg voor elk onderdeel de antwoordbladen in de volgende volgorde: Voorblad (cover sheet C), vragen (questions Q), antwoorden (answer sheets A) en werkbladen (worksheets W). Ook alle lege bladen plaats je onderaan. Alles wordt door de surveillant gescand en geüpload naar de server.
- Stop alle bladen die bij één opgave horen in dezelfde envelop of documentenmap, maar laat de bladen met algemene instructies (G) en vragenbladen (Q) op je tafel liggen buiten de envelop of documentenmap.
- Als je surveillant het toestaat, mag je de toetsruimte verlaten. Je mag niets meenemen uit de toetsruimte.

Experimentele toets - Algemene handleiding

Het experimentele onderzoek duurt 5 uur en bestaat uit 2 afzonderlijke experimenten van elk 10 punten. Apparatuur wordt gedeeltelijk gedeeld tussen twee experimenten, dus lees deze instructies zorgvuldig door voordat je aan het werk gaat.

Lijst met onderdelen

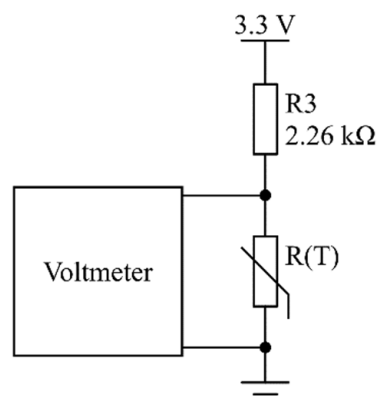
1. • Meet- en onderdelenboard (PCB, Printed Circuit Board) met daarop:
 - (a) +9 V en -9 V constante spanningsbron (twee equivalente klemmen beschikbaar voor elk),
 - (b) Twee gelijkwaardige aardingsklemmen,
 - (c) Twee gelijkwaardige condensatoraansluitingen,
 - (d) Keuzeschakelaar condensator (instelbaar op C1 of C2),
 - (e) Voltmeter met lage ingangsstroom (in het bord),
 - (f) Thermostaat met verwarming en temperatuursensor (in het bord),
 - (g) Condensatoren C1 en C2,
 - (h) LED aangesloten op een constante stroombron en voltmeter,
 - (i) Reset knop,
 - (j) USB-poort,
 - (k) 6-pins datapoort voor aansluiting op de tablet.
2. Voeding voor het board met een USB Micro-B plug.
3. Verbindingsdraden – W1 (met 100 M Ω weerstand R1 inwendig aanwezig) en W2 (0 Ω).
4. Isolatiemateriaal voor de thermostaat.
5. Kabel om board en tablet te verbinden, met een USB Micro-B plug aan de kant van de tablet.
6. Touchscreen tablet met IPhO 2021 Experiments app (app gebruikershandleiding is hieronder).
7. Thermometer (aanwezig in zaal).



De temperatuur van de thermostaat wordt gemeten met een NTC (Negatieve Temperatuur Coëfficiënt) weerstand, waarvan de weerstand afhangt van de absolute temperatuur T (in kelvin) als volgt:

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

$B = 3500 \text{ K}$, R_0 – constant, moet worden berekend uit de bekende omgevingstemperatuur voordat de verwarming wordt ingeschakeld. De waarde van deze constante is nodig voor beide experimenten. De temperatuur van de thermostaat kan worden geregeld door de verwarmingsstroom te wijzigen (via de app). Nadat de verwarmingsstroom is gewijzigd, moet worden gewacht totdat het systeem een stabiele temperatuur heeft bereikt. Aan de andere kant wordt aangenomen dat het thermische evenwicht tussen de componenten (condensatoren, NTC en LED) onderling "onmiddellijk" plaatsvindt en dat er geen significante vertraging wordt waargenomen.



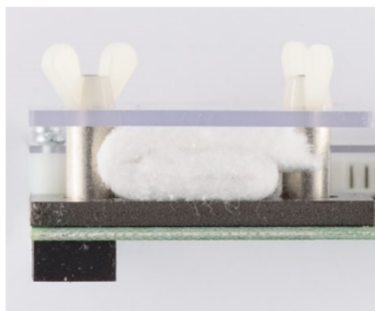
Experiment



G1-3

Dutch (Netherlands)

Om stabielere thermische omstandigheden te garanderen, is een laag isolatiemateriaal over de thermostaat geplaatst en erop gedrukt met een klein plastic plaatje dat met twee schroeven wordt vastgehouden.

**Pas op:**

Voorkom beschadiging van het bord en de sockets erop, zorg ervoor dat je alles correct aansluit zonder al te veel kracht.

Vloeistoffen gaan niet goed samen met elektronica, dus wees voorzichtig bij het hanteren van vloeistoffen (zoals drinkwater) in de buurt van de experimentele opstelling. Spuug er niet per ongeluk op.

IPhO 2021 Experiments app gebruikershandleiding

De IPhO 2021 Experiments-software kan worden gestart vanaf het startscherm van de tablet (of vanuit een app-onderdeel, toegankelijk door het scherm van onder naar boven te vegen) door op het IPhO-pictogram te tikken.



Om waarden gemeten op het bord naar de tablet te krijgen:

1. Voed het bord met een USB-lader;
2. Sluit het bord en de tablet aan met behulp van de connectorkabel (*6-pins aan de bordzijde en Micro-USB aan de tabletzijde*);
3. Bevestig de USB-toegang en reset het bord binnen 10 seconden wanneer de app je hierom vraagt.

Let op: als op een bepaald moment:

- het bord niet meer reageert en geen metingen toont (in ofwel "Check status" of Meet modus),
- verwarming / LED-stroom niet verandert (thermistorspanning verandert niet en LED gloeit niet, zelfs niet bij maximale LED-stroom),

druk dan op de RESET-knop op het bord en voer stap 3 "confirm the USB access..." uit

Als dat niet helpt:

- sluit de app door twee keer op de knop Terug te tikken,
- koppel het bord los,
- open de app opnieuw,
- sluit het bord opnieuw aan en voer de hierboven beschreven stap 3 uit.

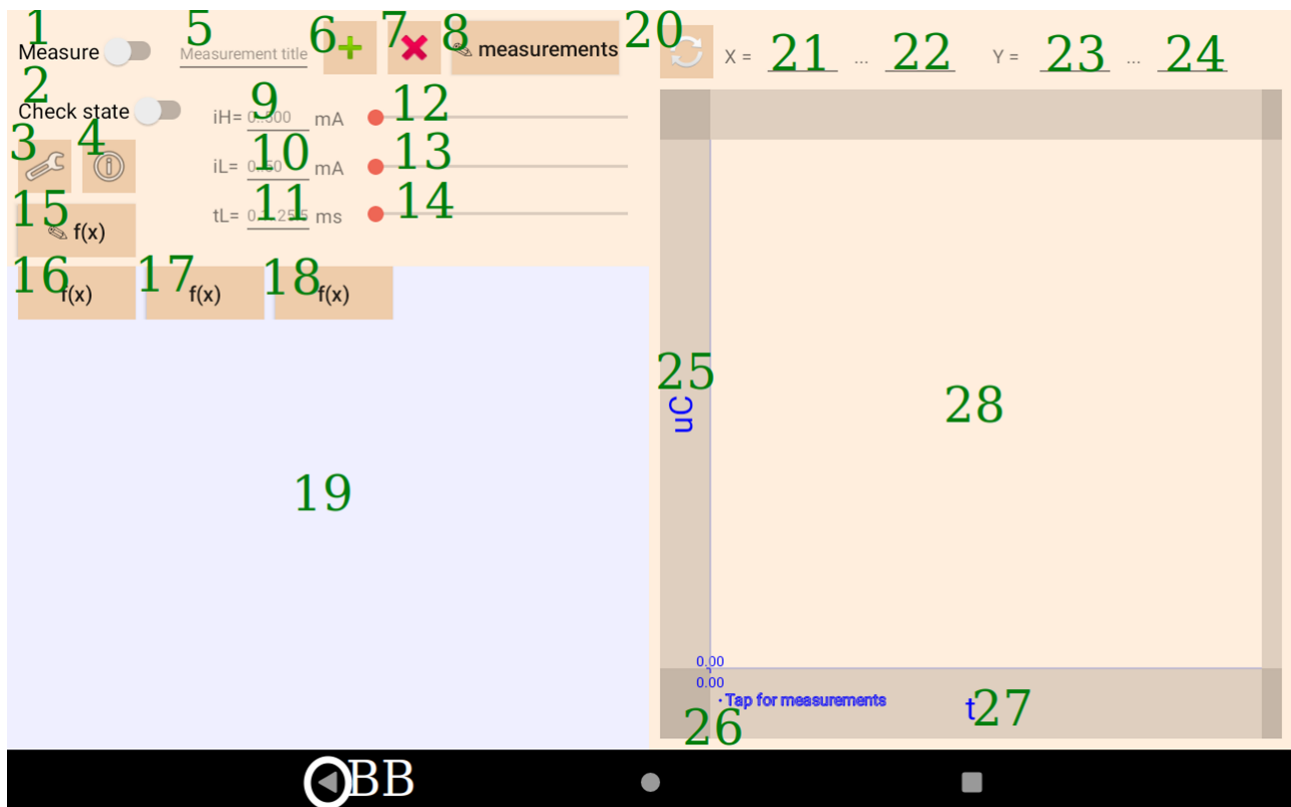
Experiment



G1-5

Dutch (Netherlands)

De bedieningselementen en velden zijn (de nummers worden later als referentie gebruikt):



Het hoofdscherm van de app.

- **1** – Door op deze knop te tikken, wordt een meetsessie gestart. Als u er nogmaals op tikt, stopt het.
- **2** – Wanneer deze knop is geselecteerd, toont het scherm de live waarden van de metingen.
- **3** – Opent instellingen.
- **4** – Geeft een korte samenvatting van de instellingen weer.
- **5** – Meettitel die moet worden opgeslagen of verwijderd.
- **6** – Slaat een nieuw gemeten of geselecteerde meting op onder een nieuwe naam.
- **7** – Verwijdert geselecteerde meting.
- **8** – Selecteert een eerder opgeslagen meting.
- **9, 10, 11** – Tekstvelden om handmatig waarden voor verwarmingsstroom (**9**), LED-stroom (**10**), LED-stroompulsduur (**11**) in te voeren. Lege waarden betekenen 0. **tL** (LED-stroompulsduur) = **0** betekent constante gelijkstroom).
- **12, 13, 14** – Zoekbalken om de corresponderende waarden te wijzigen (LED-stroom verandert exponentieel!).
- **15** – Opent de functie-editor.
- **16, 17, 18** – Selecteert variabelen of functies voor meettabelkolommen.

- **19** – Gebied voor tabel met metingen.
- **20** – Tekent metingen opnieuw in een grafiek.
- **21, 22** – X-as min en max limieten (kan handmatig worden ingevoerd met indrukken van de replot-knop).
- **23, 24** – Y-as min en max limieten.
- **25, 27** – Selecteert de Y- en X-assen van de grafiek.
- **26** – selecteert metingen die in de grafiek moeten worden uitgezet.
- **28** - Grafiek gebied.
- **BB** – De Android OS Terug-knop (tik tweemaal om de app te sluiten).

Een sweep I-V-curve meting instellen

Extra LED-bedieningselementen zijn beschikbaar voor de LAB 2 door op de instellingenknop (**3**) van het hoofdvenster te tikken. **Selecteer in het geopende venster:**

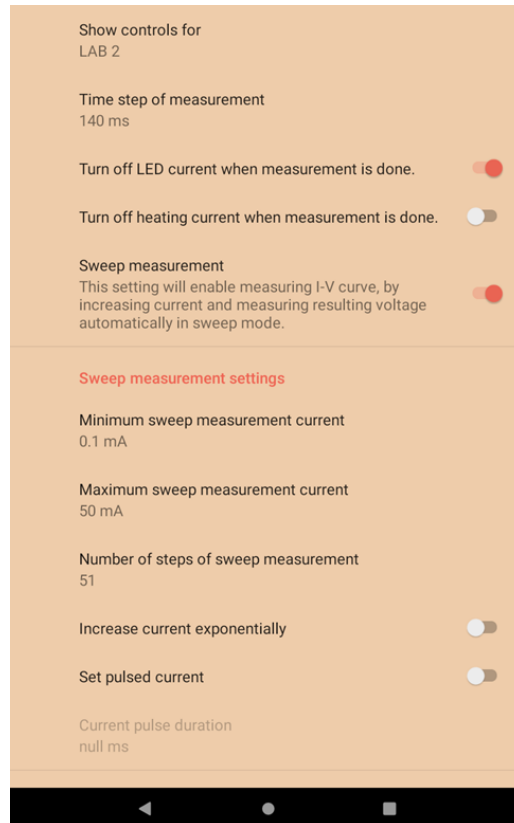
"LAB 2" of "ANY LAB" in het gedeelte "**Show controls for**". activeer de optie "**Sweep measurement**".

Andere instellingen zijn:

- "**Minimum...**" en "**Maximum sweep measurement current**" stellen respectievelijk de startwaarde en de laatste waarde van de LED-stroom in tijdens de sweep-meting.
- "**Number of steps of sweep measurement**" betekent hoeveel meetstappen zullen worden gemaakt.
- kies "**Increase current according to geometric progression**" als u wilt dat de stroom exponentieel toeneemt.
- kies "**Set pulsed current**" en stel "**Current pulse width**" in als u wilt dat elke waarde wordt gemeten met een beperkte tijdspuls van LED-stroom.

*Als het aantal stappen bijvoorbeeld 51 is, is "**Increase current according to geometric progression**" uit, de LED-stroom verandert van respectievelijk 0 mA naar 50 mA, de LED-stroom tijdens de meting zal 0 mA, 1 mA, ... 49 mA en 50 zijn*

Nu kunt u beginnen met het meten van de I-V-curve nadat u bent teruggekeerd naar het hoofdvenster door op de knop "Back" te drukken.



Functies bewerken

Door op de knop (15) van het hoofdvenster tikken, wordt het bewerkingsvenster voor functies geopend. Je kan een functie definiëren die variabelen (en hun afgeleiden) bevat die direct op het bord worden gemeten.

Deze variabelen zijn:

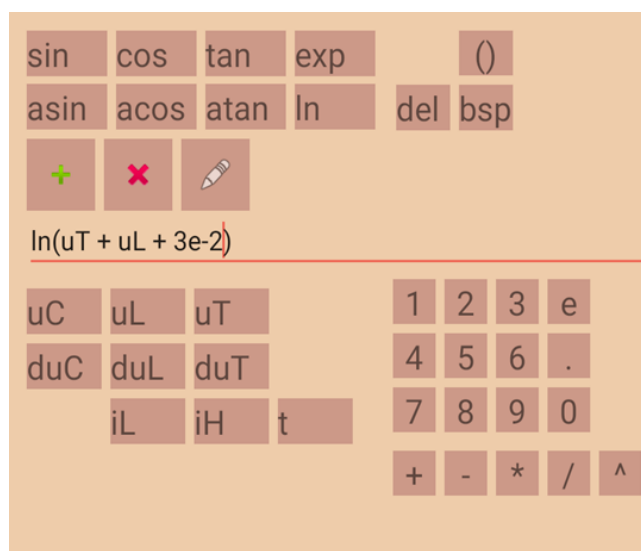
- **spanningen (in V):**
 - **u_C** – bij de geselecteerde condensator (C1 or C2);
 - **u_T** – bij de NTC weerstand;
 - **u_L** – bij de LED;
- hun afgeleides naar de tijd (dy/dt) (in V/s):
 - **du_C**
 - **du_T**
 - **du_L**
- de stroomsterktes (in mA):
 - **i_L** – bij de LED (in mA);
 - **i_H** – heating current (in mA);
- tijd **t** (in s).

Het is mogelijk om een aangepaste functie in te voeren met behulp van deze variabelen en wiskundige functies. Dat kan met behulp van knoppen (zie figuur) of een standaard Android-toetsenbord.

De functie kan opgeslagen worden door op de **groene +** knop te drukken. De opgeslagen functies kunnen later als grafiekassen of als (meet)tabelkolommen worden gebruikt. De potloodknop selecteert bestaande functies. Geselecteerde functies kunnen worden verwijderd door op de **rode x**-knop te drukken.

Zowel decimale notatie (bijvoorbeeld **25.02**) en de wetenschappelijke notatie (bijvoorbeeld **2.502e+1**) worden geaccepteerd.

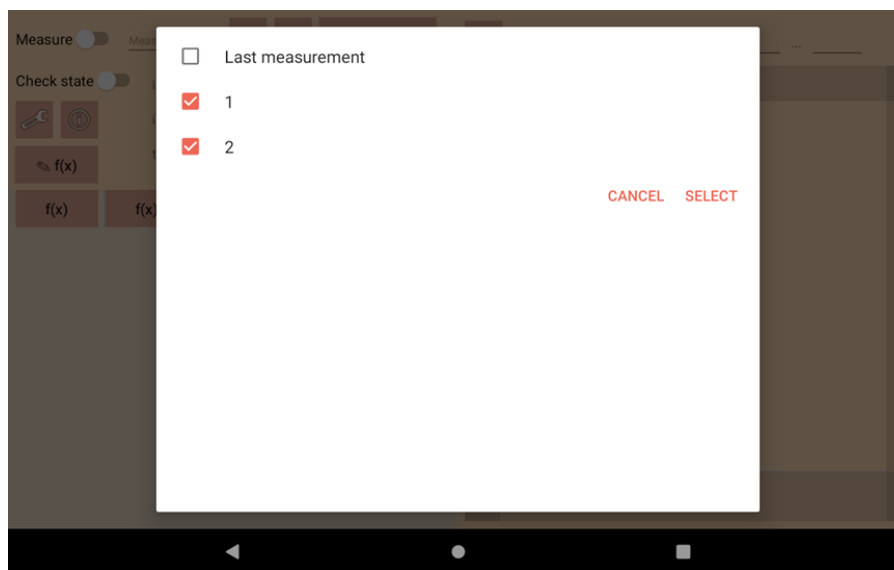
- * is de vermenigvuldigen (multiplication) operator,
- / is delen (devision) operator,
- ^ is macht (power) operator.



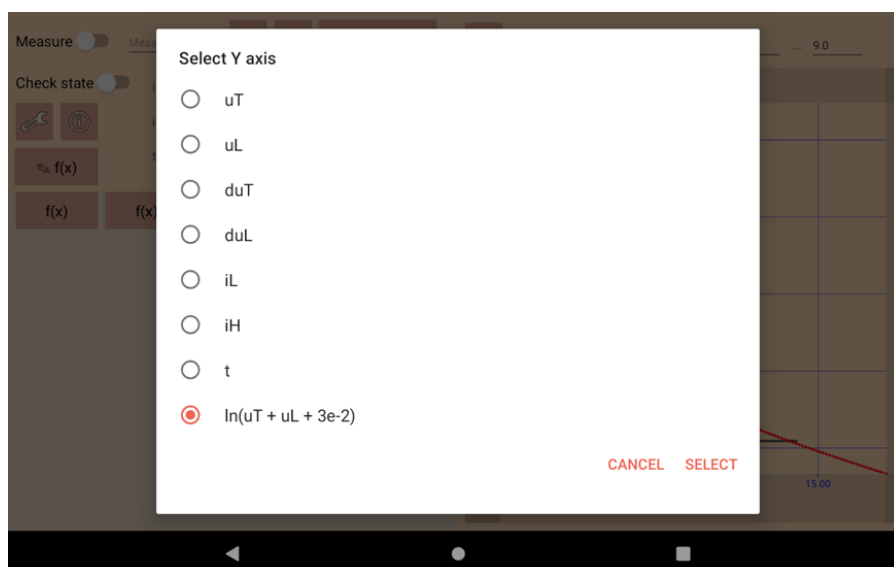


Metingen bekijken

Je kan afgeronde metingen opslaan door een naam in het betreffende veld (5) in het hoofdscherm te typen en vervolgens op de (groene) + knop daarnaast te drukken. De metingen worden dan bewaard en kunnen later op willekeurige assen worden weergegeven. De opgeslagen metingen kunnen grafisch worden weergegeven door op de hoek in de grafiek te tikken (26).



Je kan de grafiek pannen/zoomen. Als je op de grafiek tikt wordt òf het dichtstbijzijnde punt van de meting òf (als er geen meetpunten in de buurt van het aangetikte punt zijn) het punt zélf gemarkeerd en de coördinaten ervan worden weergegeven.



Je kan de assen kiezen door op het betreffende label te tikken (tapp). Zie de nummers 25 and 27 van het hoofdscherm van de app.



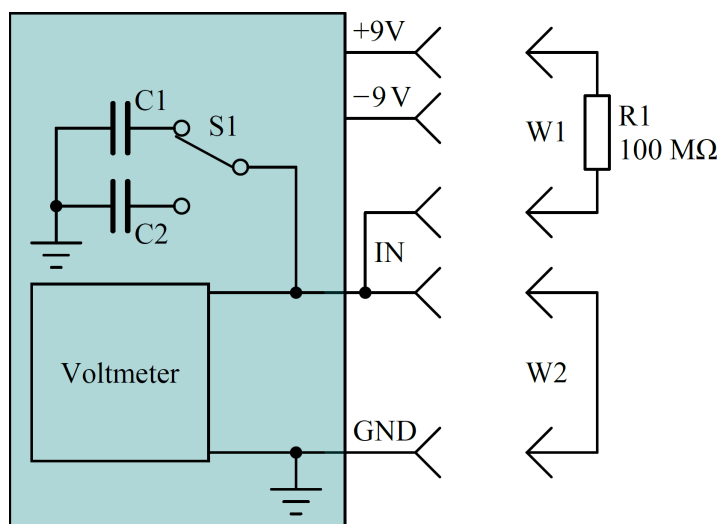
Niet ideale condensatoren (10 punten)

Dit experiment is ontworpen om eigenschappen van condensatoren te onderzoeken.

De capaciteit van een condensator (in dit experiment steeds de zgn. differentiële capaciteit) kan worden gevonden met behulp van de laadgrafiek van de spanning $U(t)$ via de weerstand R_1 . Afhankelijk van het gebruikte circuit is het noodzakelijk om de relatie tussen de laadstroom van de condensator en de spanning $I(U)$ te vinden en deze te gebruiken om de capaciteit te bepalen:

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

Het elektrische circuit dat in dit experiment wordt gebruikt, is te zien in Figuur 1.1. Schakelaar S1 op het bord kan worden gebruikt om te kiezen voor condensatoren C1 of C2. De middelste stand van de schakelaar speelt geen rol en hoeft in dit experiment niet te worden gebruikt.



Figuur 1.1 Het voor dit experiment gebruikte circuit.

Let op: Een van de gebruikte condensatoren bevat een diëlektricum met een diëlektrische permittiviteit die afhangt van de snelheid waarmee de spanning op de condensator verandert. Om deze snelheid zo stabiel mogelijk te houden, moet de condensator bij het meten bij de positieve spanningen worden opgeladen van 9 V tot -9 V, terwijl metingen bij de negatieve spanningen moeten worden gedaan wanneer de condensator wordt opgeladen van -9 V tot 9 V. De gemeten capaciteit kan worden beïnvloed door een vorige toestand van de condensator, dus de condensator moet vóór de meting minstens 10 s op de startspanning worden gehouden.

Onderdeel A. Condensatoren op kamertemperatuur (4.0 punten)

Verricht metingen en maak een grafiek van de capaciteit van de condensatoren C1 en C2 versus de spanning bij kamertemperatuur. Teken alle grafieken samen op dezelfde assen.



A.1 Verricht metingen en maak een grafiek van $C_1(U)$ en $C_2(U)$ in het bereik van -7 V tot 7 V . Geef op het antwoordblad de waarden van C_1 en C_2 bij een spanning van 0 V , 3 V en 6 V . Noteer de formule die je gebruikt om de capaciteit te berekenen vanuit de ruwe metingen. Noteer ook het Board ID en de gemeten kamertemperatuur. 2.3pt

A.2 Bepaal de spanning $U_{\text{max change}}$, waarbij de capaciteit van de condensator de snelste relatieve verandering vertoont ten opzichte van de spanning $\left(\frac{dC(U)}{C(U)dU}\right)$. Noteer op het antwoordblad welke condensator (C_1 of C_2) de snelste verandering vertoont en bij welke spanning deze wordt waargenomen. 0.5pt

A.3 Bepaal de ladingen q_1 en q_2 van de condensatoren C_1 and C_2 bij een spanning van 6 V . 1.2pt

Onderdeel B. Calibratie van de NTC weerstand (1.0 punten)

Meet de spanning van de NTC (Negatieve Temperatuur Coëfficiënt) weerstand bij een bekende kamertemperatuur. (De kamertemperatuur gemeten in de zaal.) De formule (1) voor de weerstand als functie van de temperatuur (en die van het hele circuit) wordt getoond in "Experimentele toets - Algemene handleiding".

B.1 Bepaal de constante R_0 van de NTC weerstand 1.0pt

Onderdeel C. Condensatoren bij verschillende temperaturen (3.0 punten)

C.1 Doe reeksen metingen $C_1(U)$ en $C_2(U)$ van -7 V tot 7 V bij temperaturen van 40°C , 65°C en 85°C en zet deze uit in een grafiek. 1.3pt

C.2 Maak een grafiek van $C_1(T)$ en $C_2(T)$ bij 0 V and 6 V versus temperatuur van kamertemperatuur tot 85°C . 0.5pt

C.3 Geef op het antwoordblad de verhouding $C(85^\circ\text{C})/C(40^\circ\text{C})$ voor beide condensatoren C_1 en C_2 bij 0 V and 6 V . 1.2pt

Onderdeel D. Bronnen van meetfouten (2.0 punten)

De vorige onderdelen van dit experiment werden gedaan vanuit een langduriger oplading. Als we kijken naar kortere oplaadtijden ($0.1 - 10\text{ s}$) kunnen er verschillende foutenbronnen zijn:

1. Lekstroom.

2. Polarisatie-eigenschappen van het diëlektrische medium van de condensator dat kan worden uitgedrukt als de diëlektrische permittiviteit die afhangt van de tijdschaal van het proces.

Let op: Het warmte-isolerend materiaal kan vanwege de luchtvochtigheid vocht opnemen en geleidend worden. Verwijder het warmte-isolerend materiaal dan ook bij de lekstroom metingen.



Bepaal de belangrijkste foutbron voor het meten van C1 en C2.

Aangezien condensatorlekkage en ingangsströmen van de voltmeter afhankelijk zijn van de spanning, schat deze fouten bij een spanning van bijna 9 V.

Geef aan welke hulpmetingen moeten worden uitgevoerd en onder welke omstandigheden om de vraag te beantwoorden.

In je antwoorden op de volgende D.1 en D.2 vragen kun je aangeven onder welke omstandigheden je metingen zijn uitgevoerd, welke waarden je meet en welke conclusies je trekt op basis van je metingen. Voorbeelden zijn in onderstaande tabellen te zien.

Let op: Dit zijn enkel voorbeelden om je metingen schematisch te beschrijven; je moet de relevante voorwaarden van je metingen zelf bepalen.

Voorbeelden van hoe antwoorden op de vragen D.1 en D.2 kunnen worden opgeschreven:

Voorbeeld 1.

Aantonen dat de snelheid van spanningsverandering van C1 aangesloten op het meetcircuit sneller is bij 9 V dan bij 0 V.

Mogelijke S1 posities: C1, C2

Mogelijke IN verbinding: +9V, -9V, GND, Vrij (Free)

Initiële instellingen:

S1 positie	IN verbinding
C1	9V

Proces:

Stap nummer	S1 positie	IN verbinding	Duur (duration), s	Gemeten variabele
1	C1	Vrij		$ duC(t) /dt$
2	C1	GND		
3	C1	Vrij		$ duC(t) /dt$

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



Aantonen dat de snelheid van spanningsverandering van C1 bij 9 V groter is dan de gemiddelde snelheid van spanningsverandering vanaf 0 V gedurende 1000 seconden.

Mogelijke S1-posities: C1, C2

Mogelijke IN-aansluiting: +9V, -9V, GND, Free

Initiële instellingen:

S1 positie	IN verbinding
C1	9V

Werkwijze:

Stap nummer	S1 positie	IN verbinding	Duur (duration), s	Gemeten variable
1	C1	Vrij		$ duC(t) /dt$
2	C1	GND		
3	C1	Vrij		uC
4	C1	Vrij	1000	
5	C1	Vrij		uC

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

D.1 Wat is de grootste foutbron voor het meten van $C_1(9\text{ V})$? Noteer de te nemen stappen om dit te bepalen/meten in de tabel. 1.0pt

D.2 Wat is de grootste foutbron voor het meten van $C_2(9\text{ V})$? Noteer de te nemen stappen om dit te bepalen/meten in de tabellen. 1.0pt

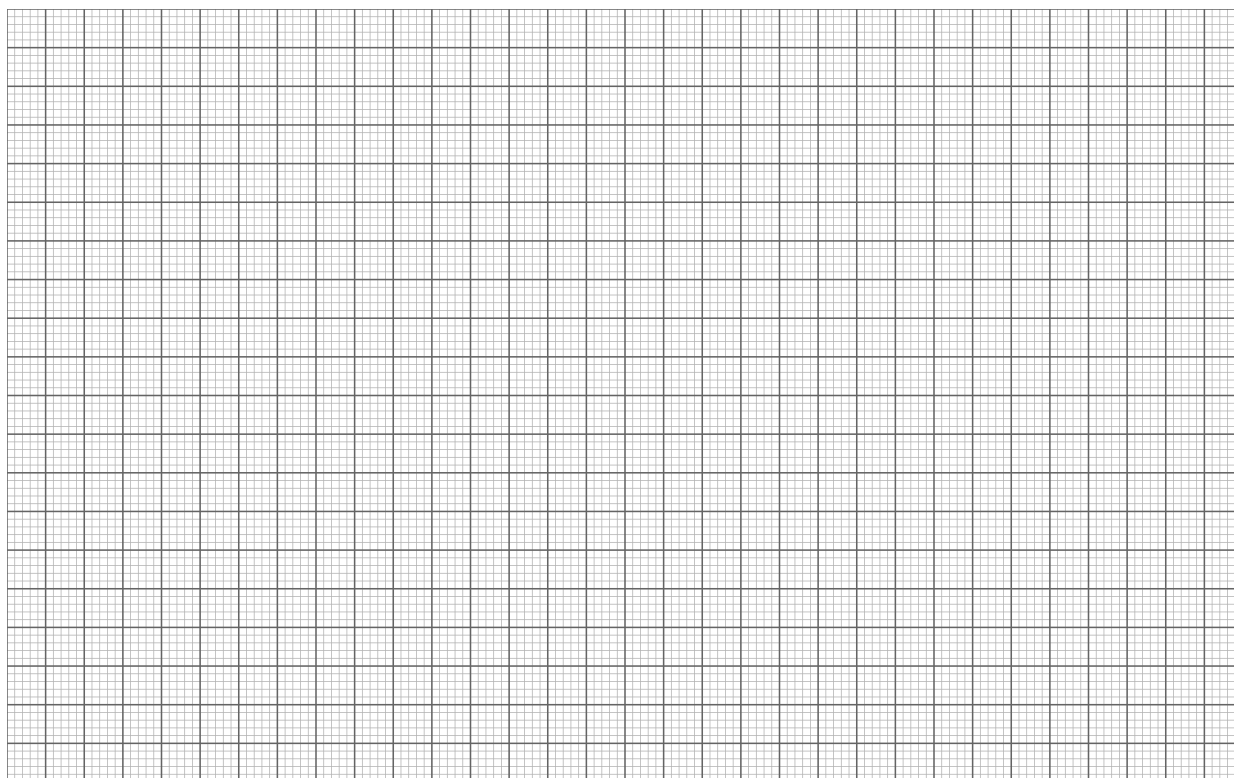


Niet ideale condensatoren (10 punten)

Onderdeel A. Condensatoren bij kamertemperatuur (4.0 punten)

A.1 (2.3 pt)

Maak een grafiek van $C_1(U)$ en $C_2(U)$ op het millimeter papier:



Vul de tabel in met de bijbehorende waarden:

U	C_1	C_2
0V		
3V		
6V		

$C(U) =$

Randcondities van het experiment:

Board ID =

$T_{\text{room}} =$



A.2 (0.5 pt)

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

Geef aan bij welke condensator: ☐ C1 ☐ C2

A.3 (1.2 pt)

$q_1 =$

$q_2 =$

Onderdeel B. Calibratie van de NTC thermistor (1.0 punten)

B.1 (1.0 pt)

Formule:

$R_0 =$

Waarde:

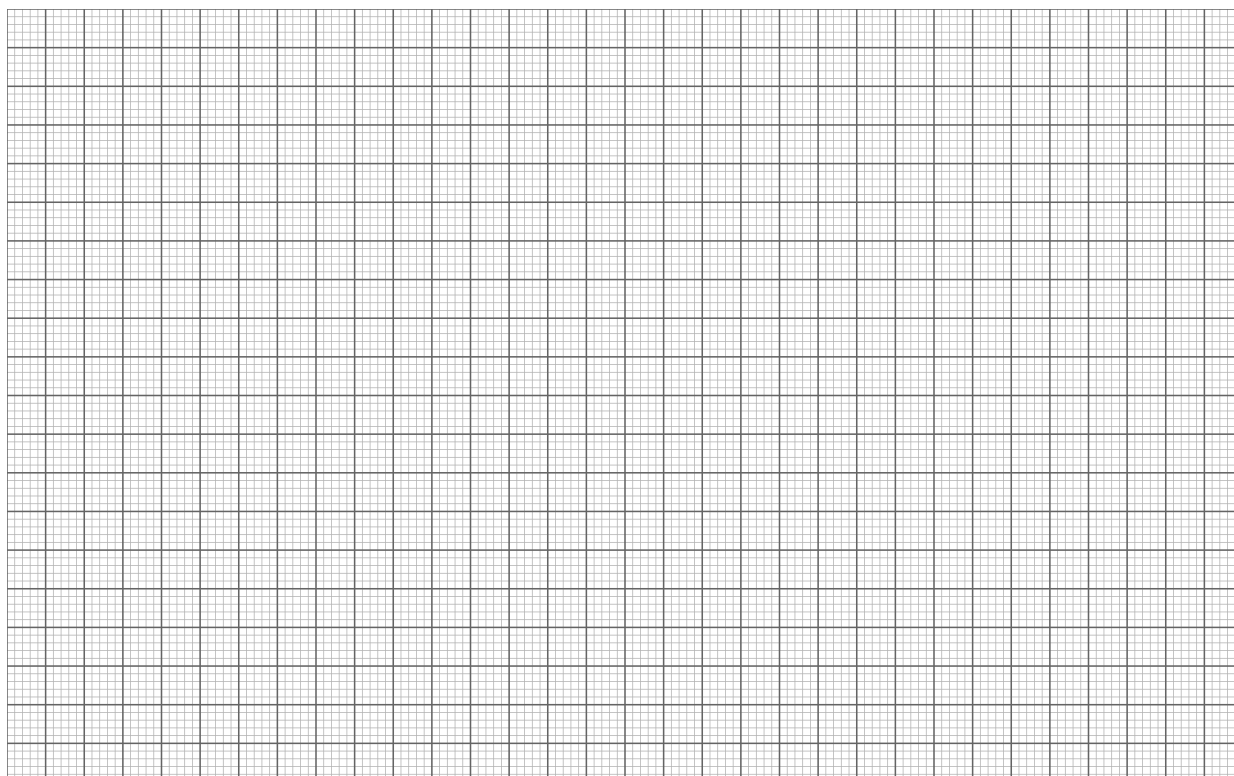
$R_0 =$ Ω



Onderdeel C. Condensatoren bij verschillende temperaturen (3.0 punten)

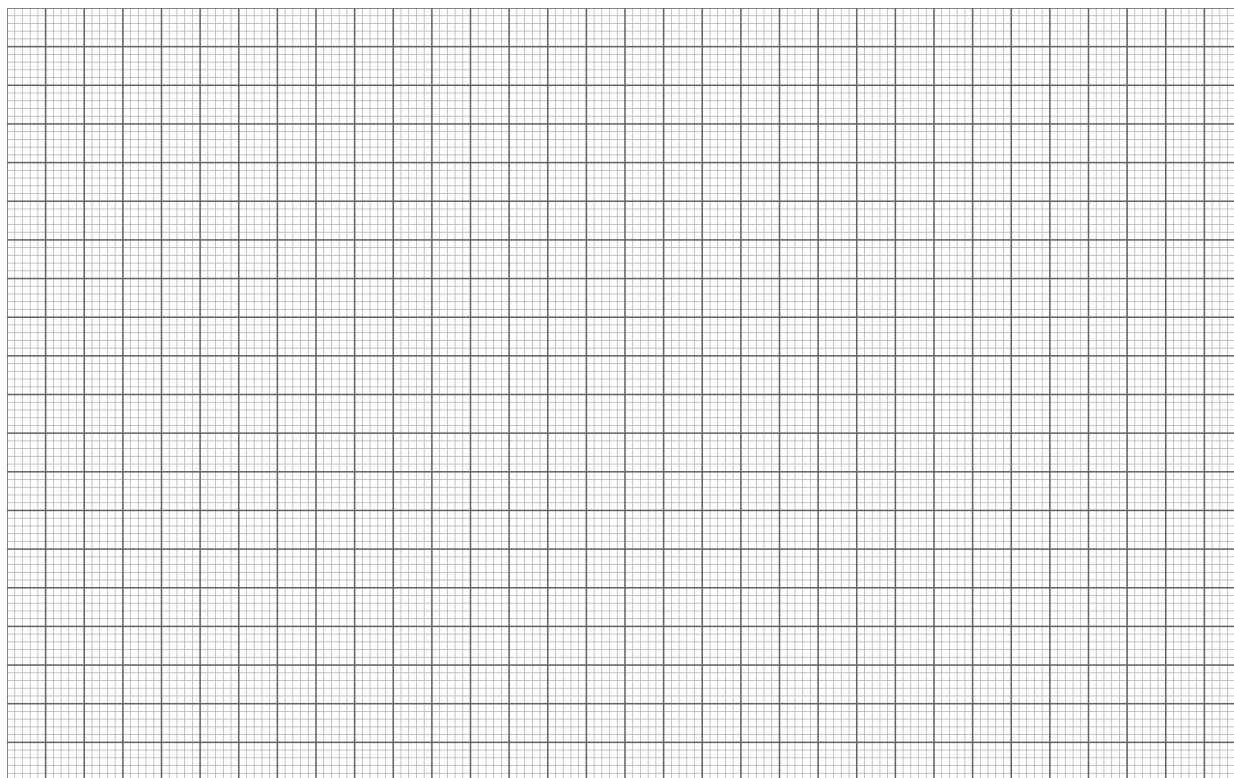
C.1 (1.3 pt)

Maak een grafiek van $C_1(U)$ en $C_2(U)$ op het millimeter papier:



**C.2** (0.5 pt)

Maak een grafiek van $C_1(T)$ en $C_2(T)$ op het millimeter papier:

**C.3** (1.2 pt)

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

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

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

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

**Onderdeel D. Bronnen van meetfouten (2.0 punten)****D.1** (1.0 pt)

Mogelijke S1 posities: C1, C2

Mogelijke IN verbinding: +9V, -9V, GND, Vrij

Initiële instellingen:

S1 positie	IN verbinding

Proces:

Stap nummer	S1 positie	IN verbinding	Duur (duration), s	Gemeten variabele

Controle:

Geef aan wat de grootste oorzaak van meetfouten is:

☐ Lekstroom☐ Polarisationseigenschappen van het dielektrische medium van de condensator

**D.2** (1.0 pt)

Mogelijke S1 posities: C1, C2

Mogelijke IN verbinding: +9V, -9V, GND, Vrij

Initiële instellingen:

S1 positie	IN verbinding

Proces:

Stap nummer	S1 positie	IN verbinding	Duur (duration), s	Gemeten variabele

Controle:

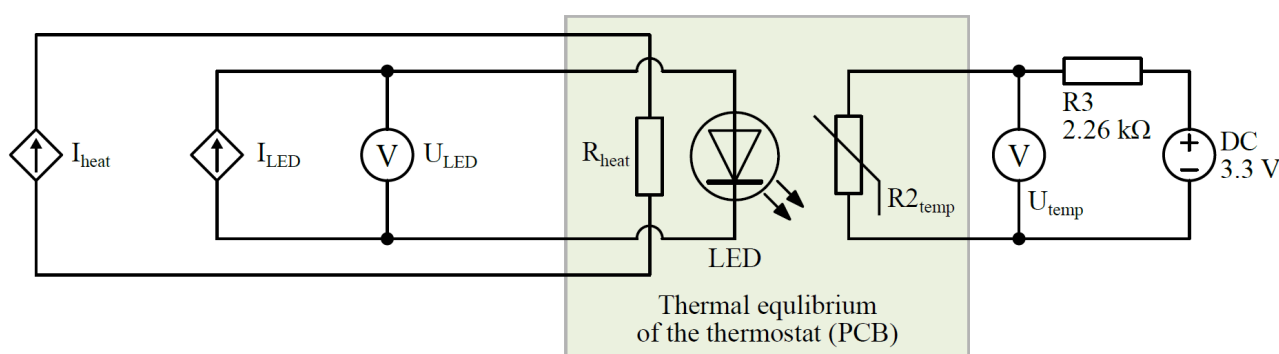
Geef aan wat de grootste oorzaak van meetfouten is:

☐ Lekstroom☐ Polarisationseigenschappen van het diëlektrische medium van de condensator



Light Emitting Diodes (LEDs) (10 punten)

Met dit experiment kun je de elektrische en thermische eigenschappen van LED's onderzoeken. Voor de temperatuur metingen van de PCB dien je gebruik te maken van de coëfficiënten die je in Experiment-1 onderdeel B.1 hebt gevonden. De elektrische schakeling die we in dit experiment gebruiken wordt in Figuur 2.1 getoond. Kijk voor de handleiding van de apparatuur in de omschrijving bij experiment 1.



Figuur 2.1. Experimentele opzet van het onderzoek naar de LED eigenschappen.

De LED wordt aangestuurd met een constante stroombron (continu of gepulsd) en de spanning wordt met een hoge impedantie-voltmeter gemeten. De onderdelen voor het verwarmen en meten van de temperatuur zijn dezelfde als in experiment 1. Thermisch evenwicht bestaat tussen alle componenten op de printplaat (PCB, Printed Circuit Board)

LED's worden veelal aangestuurd door een constante stroombron. Dit in tegenstelling tot gewone lampen die met een constante spanning worden aangestuurd. De te meten spanning over de LED hangt af van de grootte van de stroomsterkte en van de temperatuur van de LED. De wiskundige uitdrukking van volt-ampère-karakteristieken is ingewikkeld en hangt af van fysieke en technologische parameters, die meestal niet bekend zijn. Daarom zal in dit experiment de tweedimensionale afhankelijkheid van de spanning versus de LED-stroom en de temperatuur van de LED-chip T_j moeten worden onderzocht:

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

De thermische weerstand tussen de LED-halfgeleiderchip en de printplaat (PCB) als functie van het elektrisch vermogen P wordt als volgt berekend bij verschillende waarden van de stroom (I_{LED}):

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

LET OP: De LED kan worden aangedreven met continue stroom of met korte stroompulsen.

In het laatste geval wordt aangenomen dat de duur van de puls kort genoeg is om te voorkomen dat de LED zichzelf opwarmt (bijvoorbeeld pulsduur van 1 ms met metingen die tenminste 100 ms uit elkaar liggen), en om ervan uit te gaan dat $T_j = T_{PCB}$ bij een dergelijke aansturing.

Tijdens aandrijving met continue stroom geldt $T_j > T_{PCB}$ en kan de thermische weerstand $\frac{\Delta T}{P}$ worden berekend.

Onderdeel A. Volt-ampere karakteristieken bij verschillende temperaturen (5.0 punten)

De fysieke mechanismen van de verwarming in zowel experiment 1 als 2 zijn hetzelfde. Daarom kan je

het resultaat dat je eerder in Experiment 1 hebt verkregen, gebruiken om de spanning over de NTC te relateren aan de temperatuur ervan. Als alternatief kan je deze expliciete benaderende relatie gebruiken:

$$T(U) = \frac{3500}{9.9 - \ln(\frac{1}{U} - 0.3)},$$

waarbij T de temperatuur van de NTC is, uitgedrukt in kelvin, en U de spanning over de NTC is, uitgedrukt in volt.

Meet de stroom versus spanning van de LED bij temperaturen variërend van kamertemperatuur tot 80 °C in gepulseerde modus en zet deze uit in een grafiek.

A.1 Meet $I_{\text{LED_pulsed}}(U_{\text{LED_pulsed}}, T)$ lopend van 3 mA tot 50 mA bij kamertemperatuur en bij 40, 60 en 80 °C. Maak de bijbehorende grafieken. Teken alle grafieken in hetzelfde diagram. 2.5pt

A.2 Vul in de tabel op het antwoordblad waarden in van $U_{\text{LED_pulsed}}$ bij pulsgedreven stroomsterktes $I_{\text{LED_pulsed}}$ van 3, 10, 20 en 40 mA bij kamertemperatuur en bij 40, 60 en 80 °C. 1.0pt

A.3 Maak met de belangrijkste punten van $U_{\text{LED_pulsed}}(I_{\text{LED_pulsed}}, T)$ (die in vraag A2 staan) een grafiek en bepaal (benader grafisch) de lineaire afhankelijkheid van de spanning op de temperatuurcoëfficiënt $(\Delta U(I)/\Delta T)$ bij 3, 10, 20 en 40 mA. 1.5pt

Onderdeel B. Bepalen van de volt-ampère karakteristieken van de LED bij een continue stroomsterkte (3.5 punten)

B.1 Meet de $I_{\text{LED_continuous}}(U_{\text{LED_continuous}})$ afhankelijkheid en zet deze in een grafiek in het bereik van 3 mA tot 50 mA met de verwarming uitgeschakeld en met constante en continue stroom. Noteer op het antwoordblad ook de waarden van $U_{\text{LED_continuous}}$, temperatuur T_{PCB} van de thermostaat (PCB), en het verschil $\Delta U = U_{\text{LED_pulsed}} - U_{\text{LED_continuous}}$ bij 3, 10, 20 en 40 mA. 1.5pt

B.2 De weerstand van de LED is niet constant, deze hangt af van de stroomsterkte. Daarvoor wordt de term Dynamische Weerstand gebruikt. Deze wordt uitgedrukt als $\frac{dU}{dI}$. Schat met behulp van grafiek (B.1) de inverse (reciproke) van de dynamische LED-weerstand $\frac{dI}{dU}$ (want $\frac{dI}{dU} = \frac{1}{(\frac{dU}{dI})}$). Schrijf op het antwoordblad de waarden van $\frac{dI}{dU}$ bij 3, 10, 20 en 40 mA. Teken de raaklijnen $\frac{dI}{dU}$ op deze punten in de grafiek. 0.5pt

- B.3** Bereken het verschil $\Delta T(P)$ tussen de temperatuur van continu werkende halfgeleiderchip (T_j) en temperatuur van de PCB (T_{PCB}) als functie van elektrisch vermogen (bij 3, 10, 20 en 40 mA) en zet dit uit in een grafiek. Bepaal (benader grafisch) de lineaire thermische weerstand van de LED $\frac{\Delta T}{P}$, en noteer deze op het antwoordblad. 1.5pt
- Opmerking:* Neem aan dat alle elektrische energie die door de LED wordt opgenomen, wordt omgezet in warmte en dat de energie die als licht wordt uitgezonden, kan worden verwaarloosd.

Onderdeel C. Berekening van het verloop van de LED-stroom als gevolg van de temperatuur (1.5 punten)

In de inleiding werd vermeld dat LED's doorgaans worden aangedreven door een constante stroom, en niet door een constante spanning. Stel dat de LED wordt aangestuurd met een nominale stroom van 20 mA en met een constante spanningswaarde die u hebt gemeten voor 20 mA stroom in onderdeel B.1.

- C.1** Maak met behulp van de in sectie B berekende LED-karakteristieken een schatting van de werkelijke stroom die door de LED stroomt, als de spanning constant wordt gehouden (spanning gemeten in B.1, $U(20\text{mA})$), maar de PCB-temperatuur op 0 °C en 40 °C ligt. 1.5pt

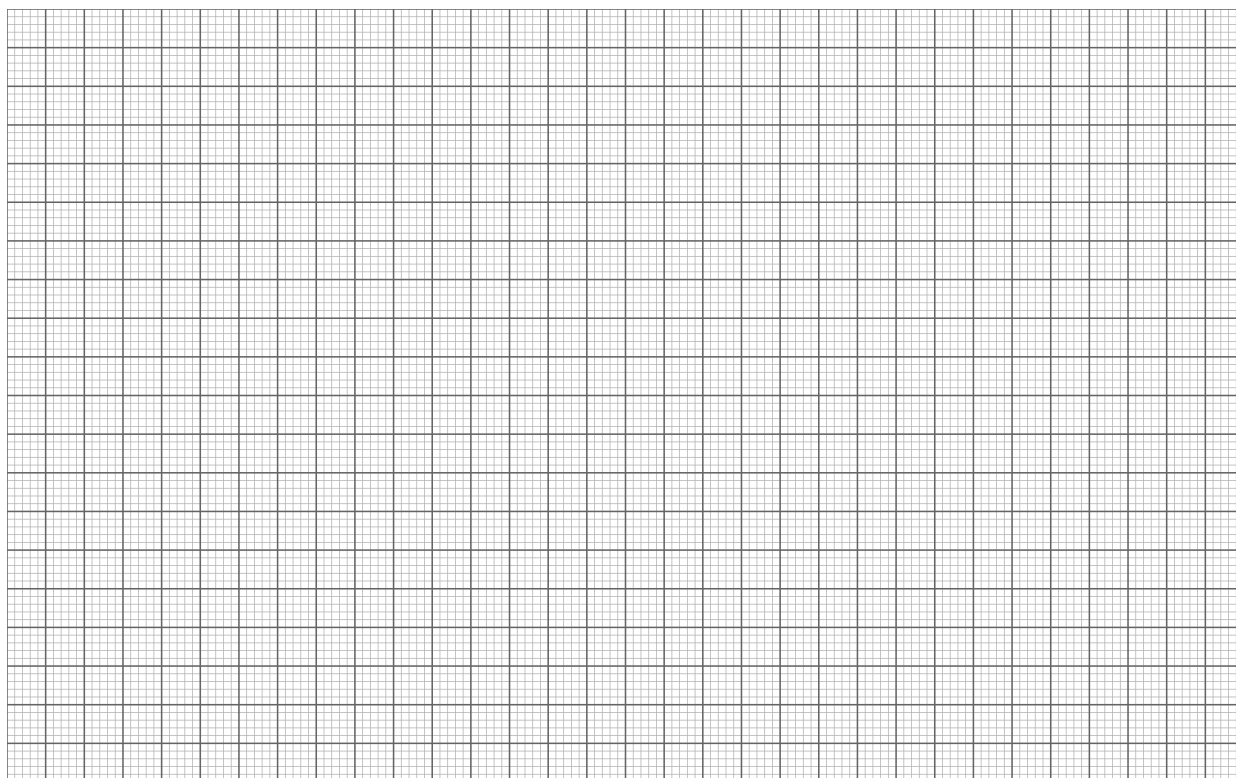


Light Emitting Diodes (LEDs) (10 punten)

Onderdeel A. Volt-ampere karakteristieken bij verschillende temperaturen (5.0 punten)

A.1 (2.5 pt)

Maak grafieken van $I_{\text{LED,pulsed}}(U_{\text{LED,pulsed}}, T)$ bij kamertemperatuur en bij 40, 60 en 80 °C (puls mode) op het millimeter papier:



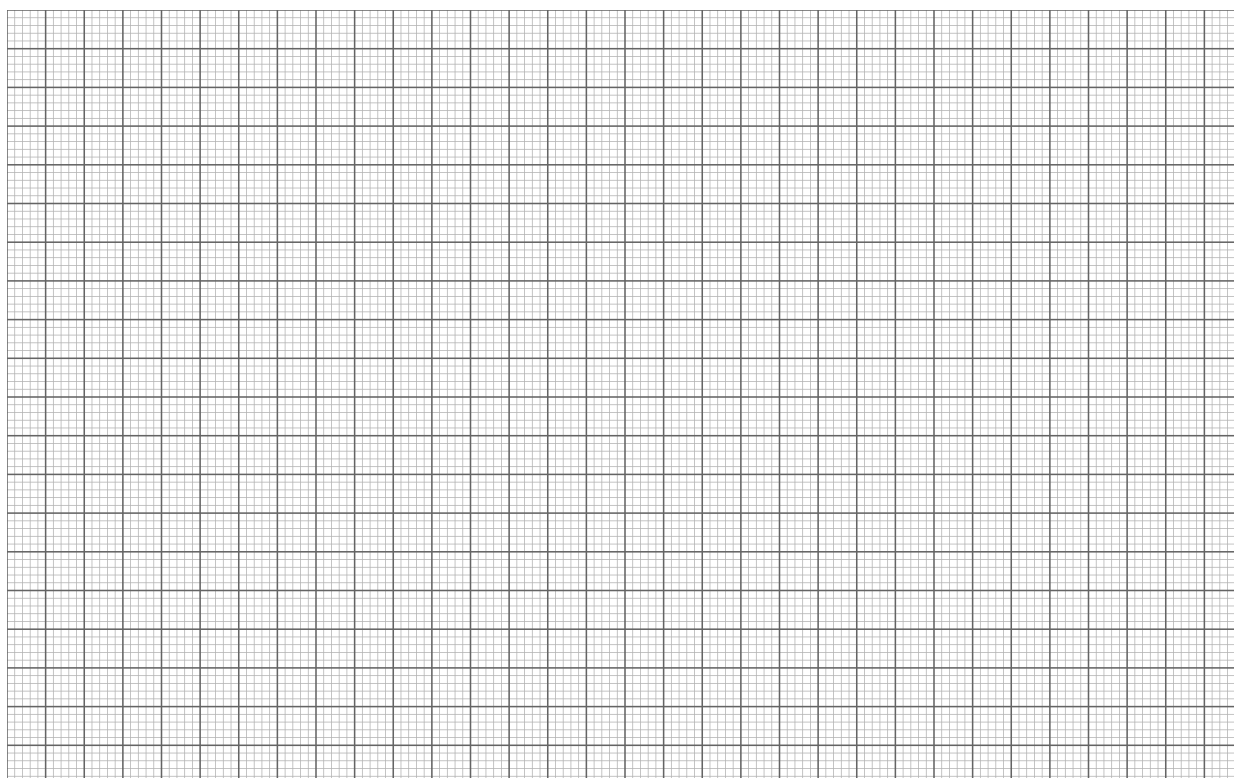
A.2 (1.0 pt)

Vul de tabel in met de overeenkomende waarden van $U_{\text{LED,pulsed}}(I_{\text{LED,pulsed}}, T)$:

	"kamer" ____ °C	40 °C	60 °C	80 °C
3 mA				
10 mA				
20 mA				
40 mA				

**A.3** (1.5 pt)

Maak een grafiek van de belangrijke punten van $U_{\text{LED,pulsed}}(I_{\text{LED,pulsed}}, T)$ (A.2) op het millimeter papier. Gebruik een lineaire grafische benadering om $\frac{\Delta U(I)}{\Delta T}$ te bepalen:



Lineaire grafische benadering:

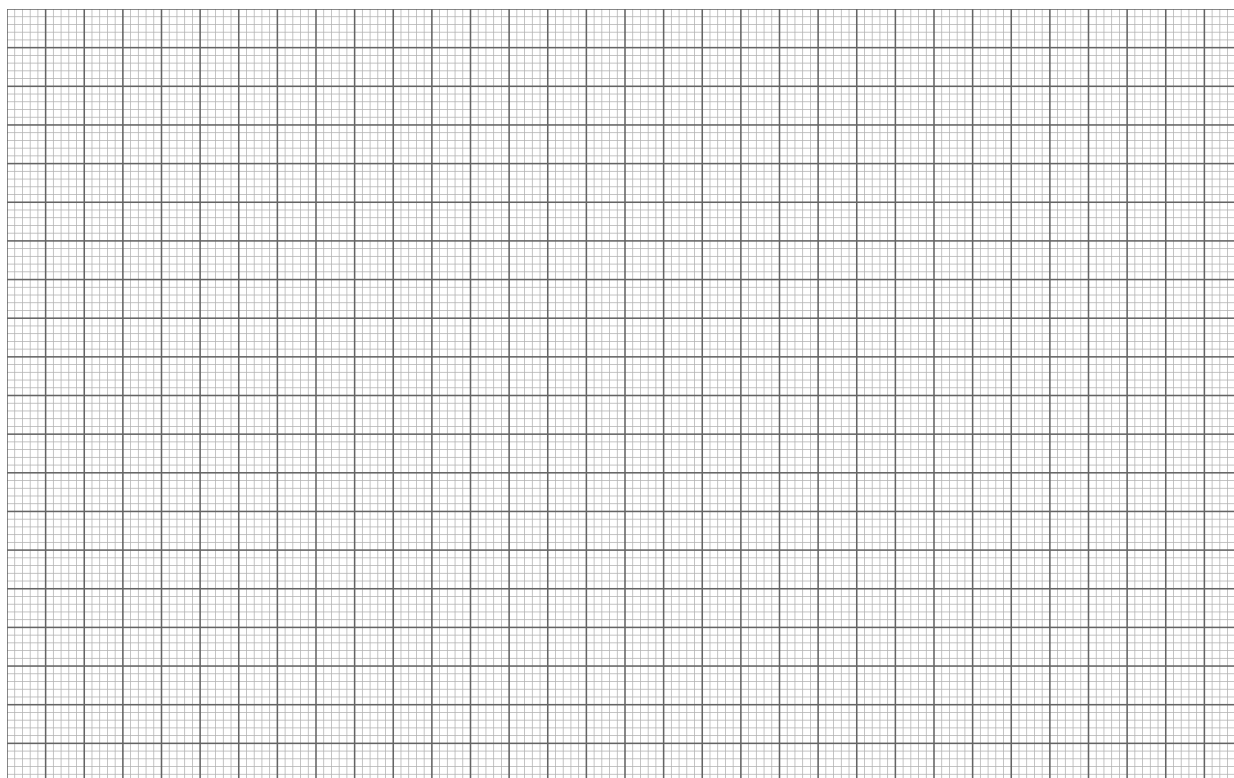
I_{LED}	3 mA	10 mA	20 mA	40 mA
$\frac{\Delta U(I)}{\Delta T}$				



Onderdeel B. Bepalen van de volt-ampère karakteristieken van de LED bij een continue stroomsterkte (3.5 punten)

B.1 (1.5 pt)

Zet de afhankelijkheid $I_{\text{LED_continuous}}(U_{\text{LED_continuous}})$ bij kamertemperatuur en met de continue constante stroom uit in een grafiek:



Vul de tabel met de overeenkomende waarden:

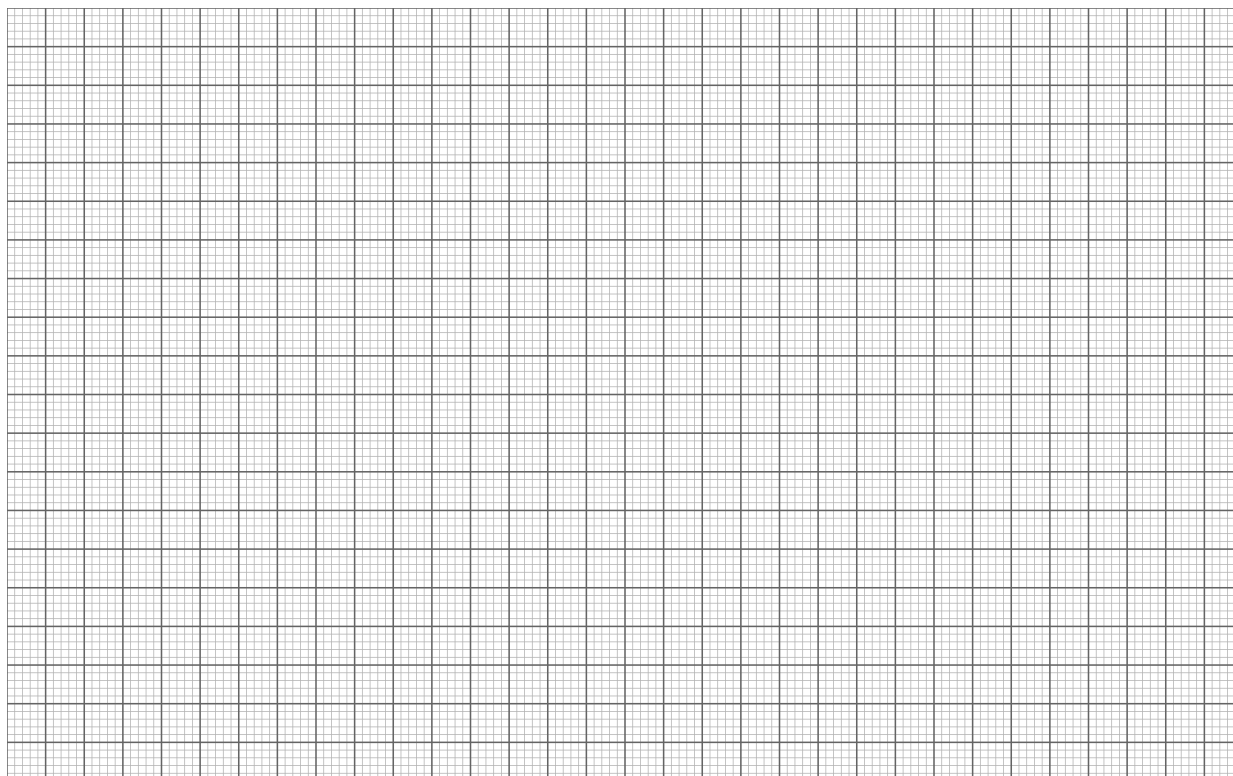
I_{LED}	3 mA	10 mA	20 mA	40 mA
U_{LED}				
ΔU				
T_{J}				
T_{PCB}				

**B.2** (0.5 pt)

I_{LED}	3 mA	10 mA	20 mA	40 mA
$\frac{dI}{dU}$				

B.3 (1.5 pt)

Maak een grafiek van $\Delta T(P)$ op het millimeter papier:



Vul de tabel met de overeenkomende waarden:

I_{LED}	3 mA	10 mA	20 mA	40 mA
ΔT				

Lineaire thermische weerstand van de LED $\frac{\Delta T}{P}$:



Onderdeel C. Berekening van het verloop van de LED-stroom als gevolg van de temperatuur (1.5 punten)

C.1 (1.5 pt)

$$I_{\text{LED}}(U_{20 \text{ mA}}, 0 \text{ }^{\circ}\text{C}) =$$

$$I_{\text{LED}}(U_{20 \text{ mA}}, 40 \text{ }^{\circ}\text{C}) =$$