

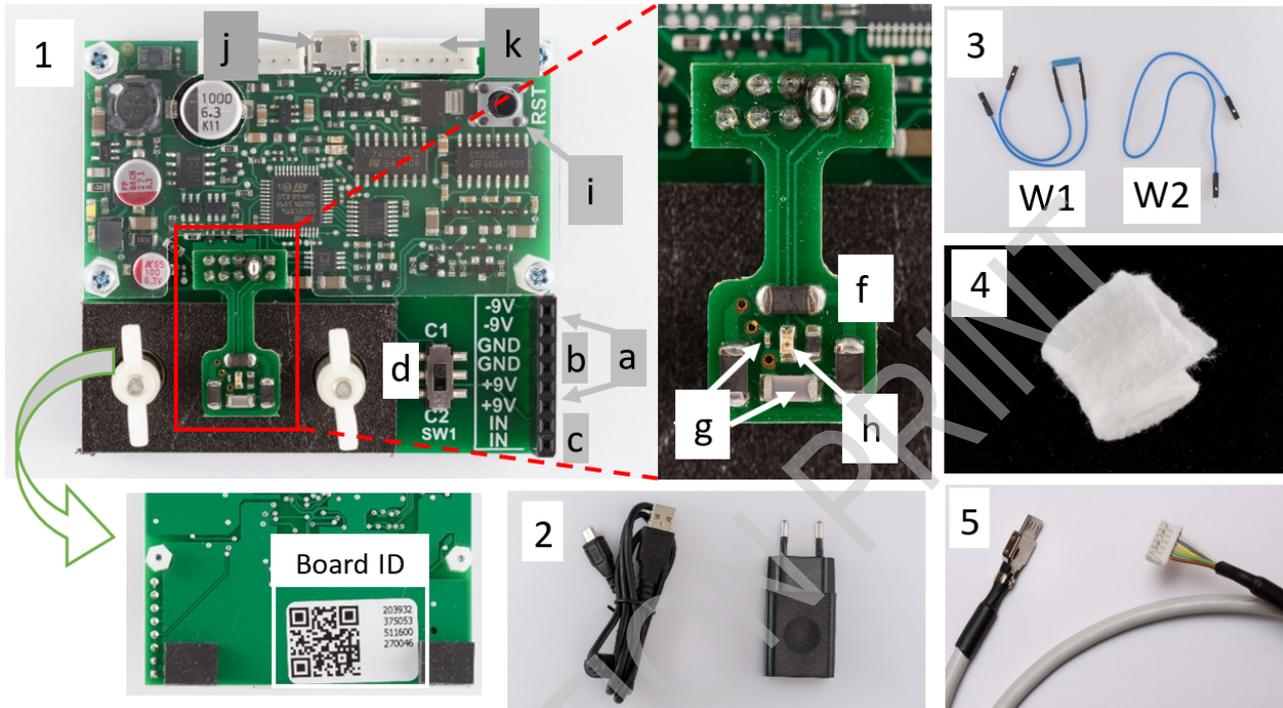


Prova Experimental - Guia Geral

A prova experimental dura 5 horas e consiste em 2 experiências diferentes, cada uma delas valendo 10 pontos. O equipamento é parcialmente partilhado pelas duas experiências, portanto, leia estas instruções cuidadosamente antes de iniciar o seu trabalho.

Lista de equipamento:

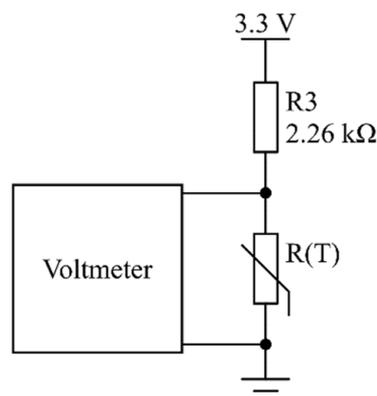
1. Placa de aquisição e de medidas:
 - (a) Fonte de tensão constante de +9 V e -9 V (dois terminais equivalentes disponíveis para cada uma delas),
 - (b) Dois terminais de terra equivalentes,
 - (c) Dois terminais de condensador equivalentes,,
 - (d) Interruptor de seleção de condensador (pode ser regulado para C1 ou para C2),
 - (e) Voltímetro com baixa corrente de entrada (na placa),
 - (f) Termostato com aquecedor e sensor de temperatura (na placa),
 - (g) Condensadores em estudo C1 e C2,
 - (h) LED ligado a uma fonte de corrente constante e a um voltímetro,
 - (i) botão de RESET,
 - (j) Porta de alimentação USB,
 - (k) Porta de dados de 6 PIN para ligação ao tablet.
2. Fonte de alimentação para a placa com um conector USB Micro-B.
3. Fios de ligação - W1 (com uma resistência R1 de 100 M Ω no interior) e W2 (0 Ω).
4. Material de isolamento térmico para o termostato.
5. Cabo de ligação entre a placa e o tablet, com um conector USB Micro-B no lado do tablet.
6. Tablet com ecrã tátil a correr a aplicação IPhO 2021 Experiments (manual do utilizador da aplicação fornecido abaixo).
7. Termómetro (disponível na sala de exames).



A temperatura do termostato é medida usando um termistor NTC (Coeficiente de Temperatura Negativo), onde a sua resistência depende da temperatura absoluta T (em Kelvin) da seguinte forma:

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

$B = 3500 \text{ K}$, R_0 – constante, deve ser calculado a partir da temperatura ambiente conhecida antes de ligar o aquecimento. O valor desta constante é necessário para ambas as experiências. A temperatura do termostato pode ser controlada alterando a corrente de aquecimento (na aplicação). Após alterar a corrente de aquecimento, é necessário aguardar que o sistema atinja uma temperatura estável. É assumido que o equilíbrio térmico entre as diferentes componentes (condensadores, NTC e LED) ocorre "instantaneamente", e nenhum atraso significativo é observado.



Para garantir condições térmicas mais estáveis, foi colocada uma camada de material isolante sobre o

Experiment

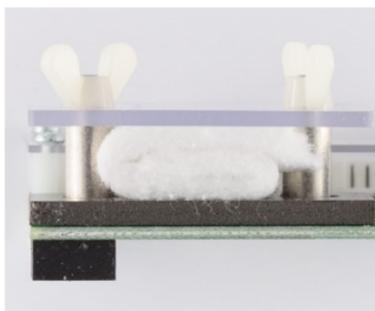


IPhO Lithuania
2021

G1-3

Portugues (Portugal)

termostato, pressionada sobre ele usando uma pequena placa de plástico presa por dois parafusos.

**Cuidado:**

Evite danificar a placa e os contactos, certifique-se de ligar tudo corretamente sem força excessiva. Os líquidos não se misturam bem com a eletrónica, e então tenha todo o cuidado ao manusear líquidos (como água) perto da instalação experimental. Evite molhar a placa.

DELEGATION PRINT



Manual do utilizador da aplicação IPhO 2021 Experiments

O software IPhO 2021 Experiments pode ser iniciado a partir do ecrã tela inicial do tablet (ou da parta da aplicações, acessível deslizando a tela de baixo para cima) tocando no ícone IPhO.



De forma a obter os valores medidos pela placa no tablet:

1. alimentar a placa usando o carregador USB;
2. ligue a placa e o tablet usando o cabo de ligação (*6 pinos no lado da placa e Micro-USB no lado do tablet*);
3. confirme o acesso USB e reinicie a placa em 10 segundos quando a aplicação solicitar que o faça.

Cuidado: se em qualquer momento

- a placa parar de responder e não apresenta nenhuma medição (tanto no "Check state" como no modo de medição),
- a corrente de aquecimento ou do LED não muda (a tensão do termistor não varia e o LED não acende mesmo com a corrente do LED no máximo),

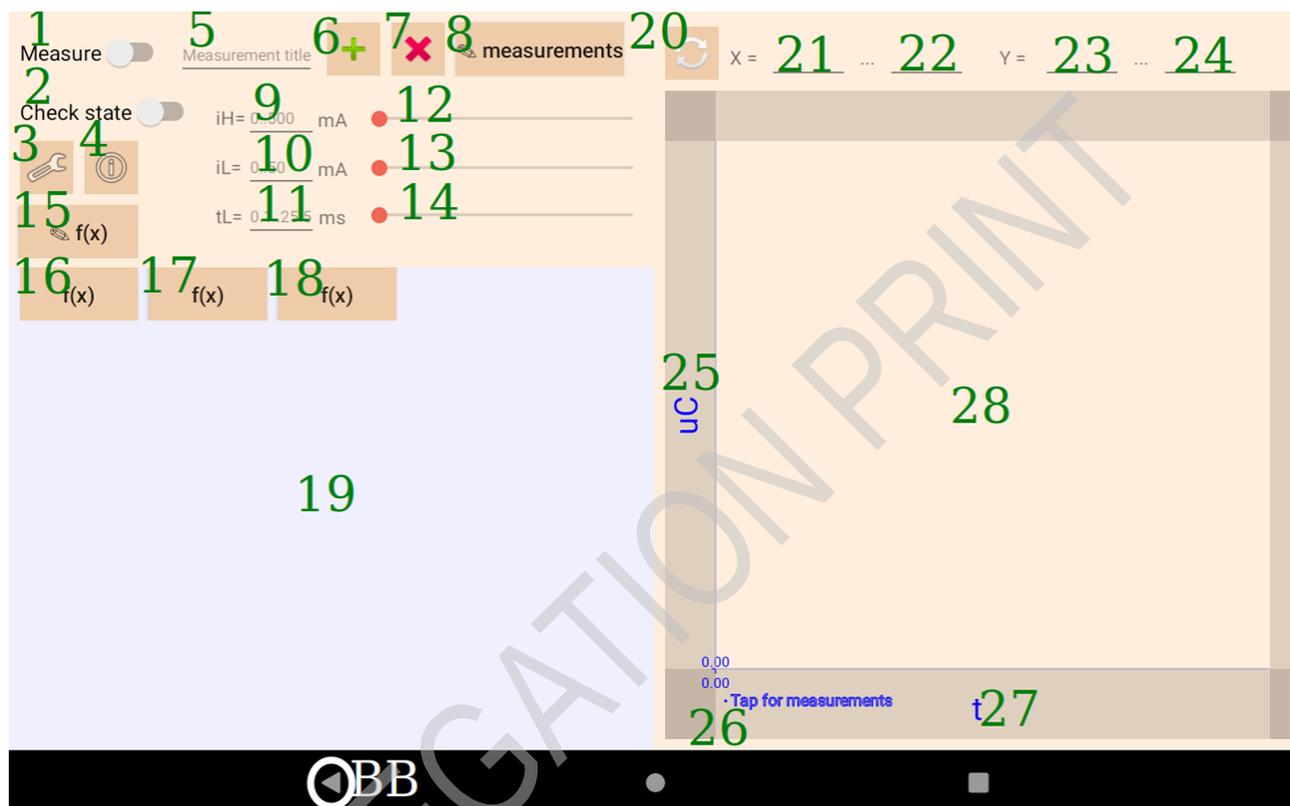
pressione o botão RESET na placa e execute o passo 3 "confirm the USB access...".

Se não ajudar:

- saia da aplicação carregando duas vezes no botão Back,
- desligue a placa,
- abra a aplicação novamente,
- reconecte a placa novamente e execute a etapa 3 descrita acima.



Os diferentes controlos e campos da aplicação são (os números serão usados posteriormente como referência):



A janela principal da aplicação.

- 1 – Tocar neste botão inicia uma sessão de medição. Tocar novamente interrompe a medição.
- 2 – Quando este interruptor é selecionado, o ecrã mostra os valores durante a medição
- 3 – Abre as configurações.
- 4 – Abre um breve resumo das configurações.
- 5 – Título de medição a ser guardado ou apagado.
- 6 – Guarda uma medição acabada de realizar ou selecionada com um novo nome.
- 7 – Apaga a medição selecionada.
- 8 – Seleciona uma medida guardada anteriormente.
- 9, 10, 11 – campos de texto para inserir manualmente os valores de corrente de aquecimento (9), corrente do LED (10), duração do pulso da corrente do LED (11). Valores vazios significam 0. **tL** (duração do pulso de corrente do LED) = 0 significa corrente contínua constante).
- 12, 13, 14 – Barras de busca para alterar os valores correspondentes (*a corrente do LED muda exponencialmente!*).
- 15 – Abre o editor de funções.
- 16, 17, 18 – Seleciona variáveis ou funções para as colunas da tabela de medição.



- **19** – Área da tabela de medidas.
- **20** – Volta a representar as medições no gráfico (*replot*).
- **21, 22** – Limites mínimo e máximo do eixo X (podem ser inseridos manualmente e depois ser usado o botão de *replot*).
- **23, 24** – Limite mínimo e máximo do eixo Y .
- **25, 27** – seleciona os eixos Y e X do gráfico.
- **26** – seleciona as medidas a serem representadas no gráfico.
- **28** – zona do gráfico.
- **BB** – o botão "Back" do sistema operativo Android (toque duas vezes para fechar a aplicação).

Configurando uma medição de varrimento da curva I-V

Controlos adicionais do LED estão disponíveis para a Experiência 2 carregando no botão de configurações (**3**) da janela principal. **Na janela que é aberta, selecione:**

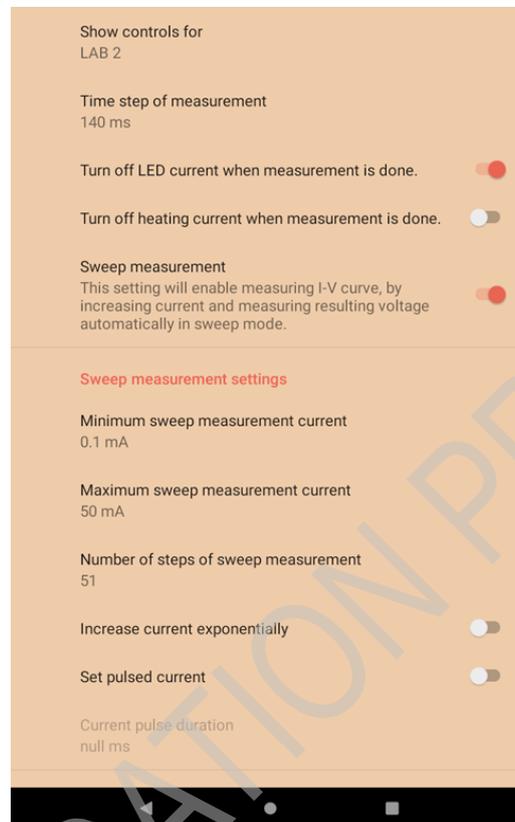
- "LAB 2" (para Experiência 2) ou "ANY LAB" na secção "**Show controls for**".
- ative a opção "**Sweep measurement**".

Outras configurações são:

- "**Minimum...**" e "**Maximum sweep measurement current**" são respetivamente os valores mínimo e máximo da corrente do LED para uma medida de varrimento da corrente.
- "**Number of steps of sweep measurement**" identifica o número de medições realizadas no varrimento.
- escolha "**Increase current according to geometric progression**" se pretender que a corrente aumente exponencialmente desde o valor mínimo até ao valor máximo.
- escolha "**Set pulsed current**" e escolha "**Current pulse width**" se pretender que cada valor seja medido usando pulsos de corrente limitados no tempo.

Por exemplo, se o número de medições for 51, e "**Increase current according to geometric progression**" está desligado, a corrente do LED muda de 0 mA até 50 mA, e a corrente do LED durante a medição será 0 mA, 1 mA, ... 49 mA e 50 mA.

Agora pode começar a medir a curva I-V após voltar à janela principal pressionando o botão Back.



Funções de edição

Tocar no botão (15) da janela principal abre a janela de edição de funções.

As funções criadas podem aceitar algumas das variáveis (e as suas derivadas) medidas diretamente na placa.

Eles são:

- **diferenças de potencial (em V):**
 - **u_C** - no condensador selecionado (C1 ou C2);
 - **u_T** - no termistor;
 - **u_L** - no LED;
- as suas derivadas em relação ao tempo (dy/dt) (em V/s):
 - **du_C**
 - **du_T**
 - **du_L**
- as correntes (em mA):
 - **i_L** - no LED (mA);
 - **i_H** - corrente de aquecimento (em mA);
- tempo **t** (em s).

Experiment



IPhO Lithuania
2021

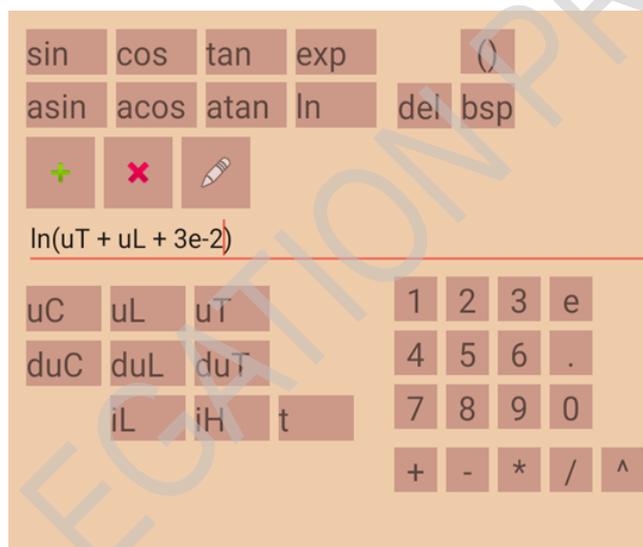
G1-8

Portugues (Portugal)

É possível inserir uma função personalizada usando essas variáveis e funções matemáticas (usando botões auxiliares ou um teclado Android padrão) à sua escolha e guardá-la pressionando depois um botão **verde +**. As funções guardadas podem ser usadas como eixos do gráfico ou como colunas da tabela de medição. O botão de lápis seleciona as funções existentes. As funções selecionadas podem ser apagadas pressionando o botão **x vermelho**.

Tanto o formato decimal normal (por exemplo, **25.02**) quanto o formato científico (por exemplo, **2.502e+1**) são aceitáveis para números.

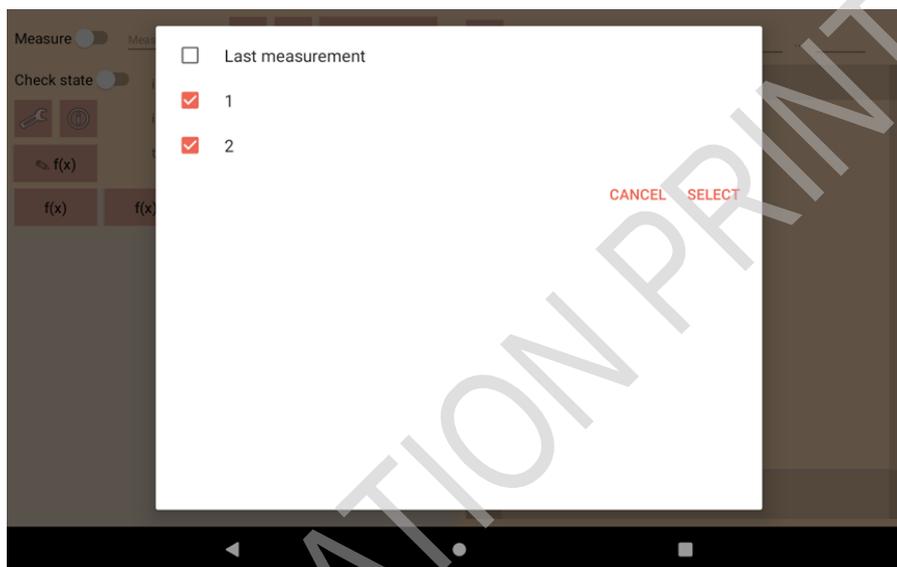
- * é o operador multiplicação,
- / é o operador divisão,
- ^ é o operador potência.



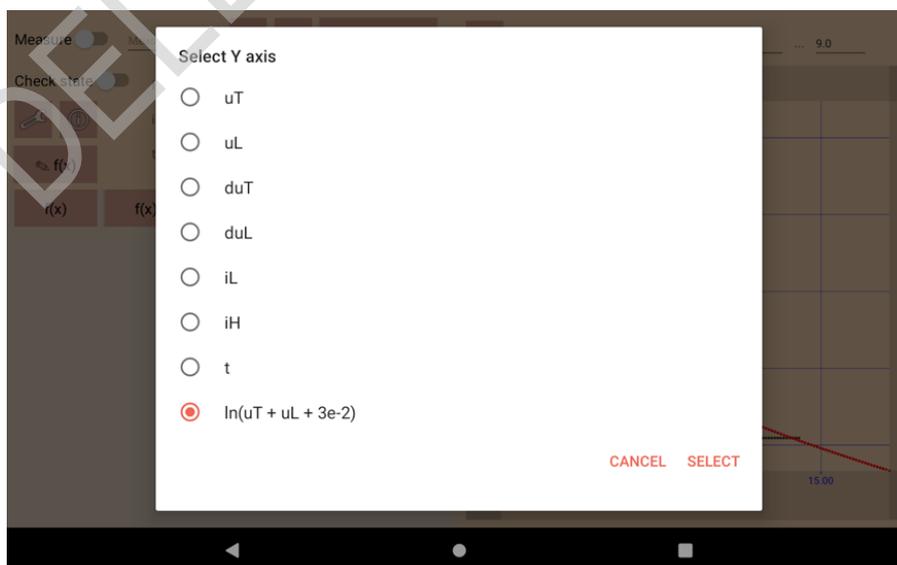


Visualização das medições

Uma medição concluída pode ser guardada inserindo seu nome no campo (5) na janela principal e pressionando um botão **verde + (6)** próximo. Os dados em bruto da medição e são guardados, os quais podem ser mostrados em quaisquer outros eixos posteriormente. As medições guardadas podem ser mostradas no gráfico tocando na área próxima ao canto do gráfico (26).



Pode mover ou aplicar zoom no gráfico e, se tocar no ponto exato, seja o ponto mais próximo da medição (se não houver pontos de medição próximos ao tocado) ou o próprio ponto, este será marcado e suas coordenadas indicadas.



O eixo pode ser escolhido tocando nos nomes existentes dos eixos (zonas do gráfico 25 e 27).



Condensadores não ideais (10 pontos)

Esta experiência foi desenhada para investigar as propriedades de dois condensadores.

A capacidade do condensador (neste texto sempre no sentido de capacidade diferencial) pode ser determinada observando a diferença de potencial $U(t)$ em função do tempo na situação de carga do condensador através de uma resistência R_1 . Dependendo do circuito, é necessário encontrar a relação entre a corrente de carga do condensador e a diferença de potencial tensão $I(U)$ e depois usá-la para determinar a capacidade:

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

O circuito elétrico implementado nesta experiência é mostrado na Fig. 1.1. O interruptor S1 na placa pode ser usado para alternar entre os condensadores C1 e C2. A posição intermédia do interruptor não desempenha nenhum papel nesta experiência e não deve ser usada.

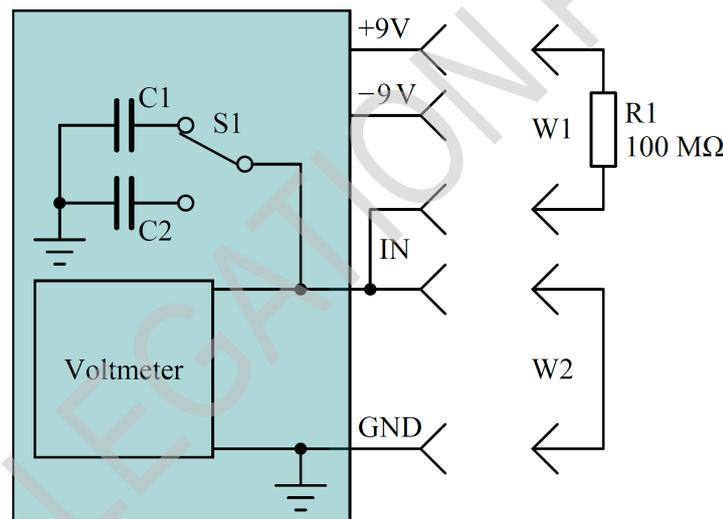


Figura 1.1. Circuito elétrico da experiência.

Atenção: um dos condensadores contém um dielétrico com permitividade dielétrica que depende da taxa de alteração da diferença de potencial nos terminais do condensador. Para manter esta taxa o mais estável possível, ao medir nas tensões positivas, o condensador deve ser carregado de 9 V a -9 V, enquanto as medições nas tensões negativas devem ser feitas quando o condensador é carregado de -9 V a 9 V. A capacidade medida pode ser influenciada pelo estado anterior do condensador, portanto, o condensador deve ser mantido na tensão inicial durante pelo menos 10 s antes da medição.

Parte A. Condensadores à temperatura ambiente (4,0 pontos)

Meça e represente graficamente a capacidade dos condensadores C1 e C2 em função da tensão à temperatura ambiente (desenhe todos os gráficos juntos, com os mesmos eixos).



A.1 Meça e represente graficamente $C_1(U)$ e $C_2(U)$ no intervalo de -7 V a 7 V. Na folha de resposta escreva os valores de C_1 e C_2 a 0 V, 3 V, e 6 V. Indique a fórmula usada para obter a capacidade a partir das suas medidas. Escreva também o Número (ID) da placa e a temperatura ambiente. 2.3pt

A.2 Determine a diferença de potencial $U_{\text{max change}}$, para qual a capacidade do condensador tem a variação relativa mais rápida com a diferença de potencial $\left(\frac{dC(U)}{C(U)dU}\right)$. Na folha de resposta escreva qual o condensador (C1 ou C2) que exibe a mudança mais rápida e a tensão à qual ela é observada. 0.5pt

A.3 Quais são as cargas q_1 e q_2 dos condensadores C1 e C2 a 6 V? 1.2pt

Parte B. Calibrar o termistor NTC (1,0 ponto)

Meça a diferença de potencial do termistor NTC (NTC = Negative Temperature Coefficient) à temperatura ambiente conhecida (a partir do termómetro da sala de exame). A fórmula (1) que indica a variação da resistência com a temperatura e o seu circuito está no Guia Geral da Experiência G1.

B.1 Calcule a constante R_0 do termistor NTC. 1.0pt

Parte C. Condensadores a diferentes temperaturas (3,0 pontos)

C.1 Meça e represente graficamente $C_1(U)$ e $C_2(U)$ no intervalo de -7 V a 7 V às temperaturas de 40 °C, 65 °C e 85 °C. 1.3pt

C.2 Represente graficamente $C_1(T)$ e $C_2(T)$ a 0 V e a 6 V em função da temperatura, desde a temperatura ambiente até 85 °C. 0.5pt

C.3 Na folha de respostas escreva a razão $C(85^\circ\text{C})/C(40^\circ\text{C})$ para ambos os condensadores C1 e C2 a 0 V e a 6 V. 1.2pt

Parte D. Fontes de erros de medição (2,0 pontos)

As tarefas anteriores desta experiência foram realizadas nas condições de uma carga inicial longa. Quando se tem em conta tempos de recarga mais curtos (0.1 - 10 s) podem existir múltiplas fontes de erros:

1. Correntes de fuga.
2. Propriedades de polarização da meio dielétrico do condensador cuja permitividade dielétrica que depende da escala temporal do processo de carga e descarga.

Cuidado: o material de isolamento térmico pode absorver a humidade do ar e tornar-se condutor. Remova-o ao fazer as medidas de corrente de fuga.

Determine a principal fonte de erro ao medir C1 e C2, uma vez que a fuga de corrente do condensador e as correntes de entrada no voltímetro dependem da tensão, estime esses erros a uma tensão pró-



xima de 9 V. Decida quais as medidas auxiliares necessárias e em que condições devem ser realizadas para responder a estas questões. Nas suas respostas às seguintes questões D.1 e D.2, pode indicar as condições e sequência em que foram realizadas as suas medidas, que quantidades foram e quais as conclusões que tira com base nas suas medidas, conforme exemplificado nas tabelas abaixo.

Nota: estes são apenas exemplos de como descrever esquematicamente as suas medidas; na realidade precisa determinar por si próprio quais as condições relevantes das medidas a realizar.

Exemplos de como as respostas às perguntas D.1 e D.2 devem ser escritas:

Exemplo 1.

Demonstrando que a taxa de variação da tensão em C1 ligado ao circuito de medição é mais rápida a 9 V do que a 0 V.

Possíveis posições S1: C1, C2

Possível ligações IN: + 9V, -9V, GND, Livre

Configurações iniciais:

Posição S1	Ligação IN
C1	9V

Processo:

Número do passo	Posição S1	Ligação IN	Duration, s	Variável medida
1	C1	Livre		$ duC(t) /dt$
2	C1	GND		
3	C1	Livre		$ duC(t) /dt$

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

**Exemplo 2.**

Demonstrando que a taxa de variação da tensão de C1 a 9 V é superior à a taxa de variação da tensão média iniciando a 0 V durante 1000 segundos.

Possíveis posições S1: C1, C2

Possível ligações IN: + 9V, -9V, GND, Livre

Configurações iniciais:

Posição S1	Ligação IN
C1	9V

Processo:

Número do passo	Posição S1	Ligação IN	Duração, s	Variável medida
1	C1	Livre		$ duC(t) /dt$
2	C1	GND		
3	C1	Livre		uC
4	C1	Livre	1000	
5	C1	Livre		uC

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

D.1 Qual é a principal fonte de erro na medida de $C_1(9\text{ V})$? Descreva como fez as medições nas tabelas. 1.0pt

D.2 Qual é a principal fonte de erro na medida de $C_2(9\text{ V})$? Descreva como fez as medições nas tabelas. 1.0pt



Díodos Emissores de Luz (LEDs) (10 pontos)

Nesta experiência irá investigar as propriedades térmicas e elétricas dos LEDs. Para as medidas de temperatura no PCB deve usar os coeficientes obtidos na Experiência 1, secção B.1. O circuito elétrico usado nesta experiência está representado na Fig. 2.1. Pode ver a descrição do equipamento na documentação da pergunta experimental 1.

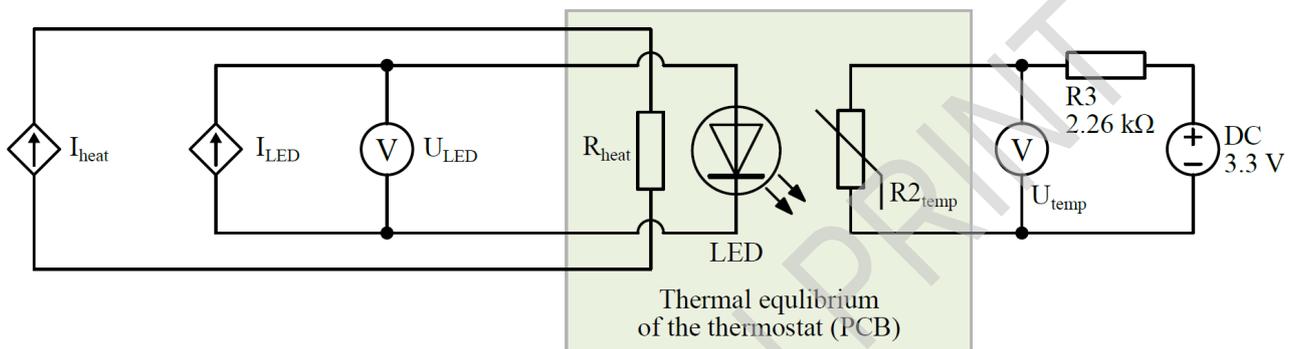


Figura 2.1: Montagem experimental da experiência. O LED é alimentado por uma corrente constante (em modo contínuo ou em modo pulsado) e a diferença de potencial no LED na direção direta é medida por um voltímetro de alta impedância. O aquecimento do circuito e as medições de temperatura são realizadas como na Experiência . O equilíbrio térmico é mantido entre todas as componentes da placa de circuito impresso (PCB).

Os LEDs são tipicamente alimentados a corrente constante em contraste com as lâmpadas incandescentes, que são alimentadas a uma diferença de potencial constante. A diferença de potencial medida no LED depende da corrente de entrada e da temperatura da placa semicondutora. A expressão matemática da curva característica I-V para um LED é complicada e depende de parâmetros físicos que não são normalmente conhecidos. Nesta experiência será então investigada a dependência da diferença de potencial U_{LED} na corrente que passa pelo LED, I_{LED} , e na temperatura T_j da junção semicondutora dentro do LED.

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

A resistência térmica entre o material semicondutor que constitui o LED e o PCB está relacionada com a potência elétrica do seguinte modo (para vários valores da corrente (I_{LED})):

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

Atenção: O LED pode ser alimentado com corrente contínua ou com pulsos curtos de corrente. Neste último caso é considerado que a duração dos pulsos é suficientemente curta para evitar o aquecimento do LED (por exemplo, no caso de pulsos com a duração de 1 ms com medições separadas de pelo menos 100 ms), podendo-se assim assumir que $T_j = T_{PCB}$. Durante o modo de operação contínuo $T_j > T_{PCB}$ e a resistência térmica $\frac{\Delta T}{P}$ pode ser calculada.

Parte A. Características I-V a diferentes temperaturas (5.0 pontos)

Os mecanismos físicos de aquecimento em ambas as Experiências (1 e 2) são os mesmos. Portanto, pode usar o resultado obtido anteriormente na Experiência 1 para relacionar a tensão do termístor com a sua temperatura. Como alternativa, pode usar esta relação aproximada explícita:



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

onde T é a temperatura do termistor, expressa em kelvins, e U é a tensão no termistor, expressa em volts.

Meça e represente graficamente a corrente em função da tensão no LED a temperaturas que variam entre a temperatura ambiente e 80 °C, em modo pulsado.

A.1	Meça e represente graficamente a dependência $I_{\text{LED_pulsed}}(U_{\text{LED_pulsed}}, T)$ no intervalo de correntes de 3 mA até 50 mA à temperatura ambiente, e a 40, 60 e 80 °C. Represente as quatro curvas no mesmo gráfico.	2.5pt
A.2	Na folha de respostas preencha na tabela os valores de $U_{\text{LED_pulsed}}$ que mediu para as correntes $I_{\text{LED_pulsed}}$ 3, 10, 20, e 40 mA à temperatura ambiente, e a 40, 60 e 80 °C.	1.0pt
A.3	Represente graficamente os pontos $U_{\text{LED_pulsed}}(I_{\text{LED_pulsed}}, T)$ (dados na pergunta A.2). Obtenha (aproxime graficamente) o declive $\Delta U(I)/\Delta T$ a 3, 10, 20, and 40 mA.	1.5pt

Parte B. Medida das curvas características I-V do LED para alimentação contínua de corrente (3,5 pontos)

B.1	Meça e represente graficamente a dependência $I_{\text{LED_continuous}}(U_{\text{LED_continuous}})$ para correntes no intervalo de 3 mA a 50 mA na situação em que o aquecedor está desligado e no modo de alimentação contínuo. Na folha de respostas escreva também os valores de $U_{\text{LED_continuous}}$, da temperatura da placa T_{PCB} e da diferença $\Delta U = U_{\text{LED_pulsed}} - U_{\text{LED_continuous}}$ para 3, 10, 20, e 40 mA.	1.5pt
B.2	Como a resistência dos LEDs não é constante (depende da corrente), o termo Resistência Dinâmica é usado e expresso como $\frac{dU}{dI}$. Usando este gráfico (B.1), estime o inverso da resistência dinâmica $1/\left(\frac{dU}{dI}\right) = \frac{dI}{dU}$. Na folha de respostas escreva os valores de $\frac{dI}{dU}$ para as correntes 3, 10, 20, and 40 mA. Represente no gráfico as tangentes do declive $\frac{dI}{dU}$ nestes pontos.	0.5pt
B.3	Calcule e represente graficamente a diferença $\Delta T(P)$ entre a temperatura da junção semicondutora do LED quando este está a trabalhar em modo contínuo, T_j , e a temperatura da placa, T_{PCB} , em função da potência elétrica (a 3, 10, 20, and 40 mA). Calcule (através de uma aproximação gráfica) a resistência térmica linear do LED $\frac{\Delta T}{P}$, escrevendo o seu valor na folha de respostas. <i>Nota:</i> Assuma que toda a energia consumida pelo LED é convertida em calor e que a energia emitida como luz pode ser ignorada.	1.5pt

Parte C. Cálculo da deriva da corrente no LED devida à temperatura (1,5 pontos)

Na Introdução foi referido que os LEDs funcionam tipicamente no regime de corrente constante, mas não



de diferença de potencial constante. Assuma que o LED é alimentado com uma diferença de potencial de valor igual à que mediu na tarefa B.1 quando a corrente aplicada era 20 mA.

- | | | |
|------------|---|-------|
| C.1 | Usando as curvas características do LED que calculou na secção B, estime a corrente que realmente atravessa o LED, se se mantiver a diferença de potencial constante (voltagem medida em B.1, $U(20\text{mA})$), mas se a temperatura do PCB for 0 °C e 40 °C. | 1.5pt |
|------------|---|-------|

DELEGATION PRINT