

Parte I

Analógicos

EXPERIÊNCIA 1

“Resistores e Associação de Resistores”

Objetivos

- Apresentar o código de cores empregado em resistores.
- Identificar resistores.
- Executar medições de resistências.
- Executar medições de resistências equivalentes de associações de resistores.

Resistores

Resistores são bipolos¹ que apresentam uma *resistência* à passagem da corrente.

Note-se: resistor é o componente eletrônico (objeto); *resistência* é a grandeza elétrica apresentada pelo resistor.

Quanto ao processo de fabricação dos resistores, existem os seguintes tipos:

- Carbono aglomerado;
- película de carbono;
- película de filme metálico;

¹*Bipolo*: dispositivo que apresenta dois polos (terminais) acessíveis.

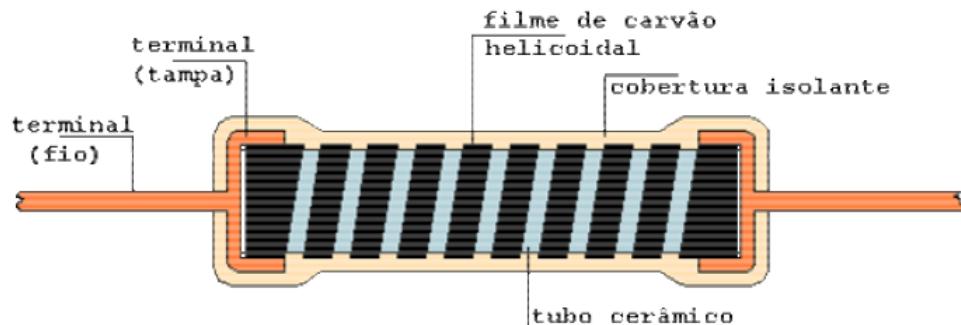


Figura 1: Construção interna do resistor de película de carbono.

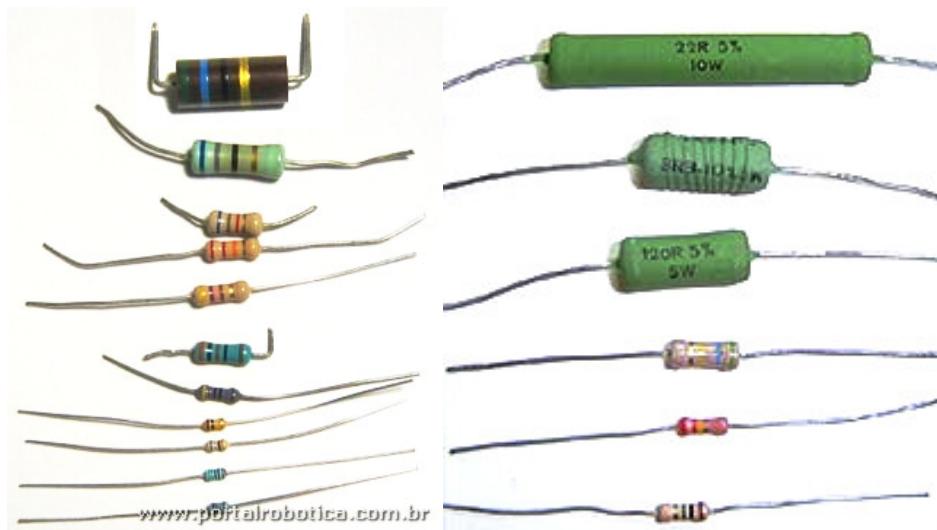


Figura 2: Exemplos de diversos tipos de resistores.

- fio enrolado.

A figura 1 ilustra um exemplo, relativo à construção interna do resistor de película de carbono.

A figura 2 apresenta exemplos de diversos tipos de resistores, onde percebem-se diferentes invólucros e tamanhos. Estas diferenças relacionam-se com a potência máxima que cada um pode dissipar, cujos valores mais comuns são: $\frac{1}{8}$ W, $\frac{1}{4}$ W, $\frac{1}{2}$ W, 1 W, 2 W, 3 W, 5 W, 10 W.

Os **valores nominais** de resistência são identificados pelas cores ou números impressos em seu invólucro. O **real valor** da resistência, entretanto, está contido dentro de uma faixa de **tolerância** e só pode ser determinado por algum processo de medição.

Normalmente, a indicação do valor da resistência e da tolerância é feita por um conjunto de quatro faixas coloridas a partir da faixa mais próxima à extremidade, conforme esquematizado na figura 3.

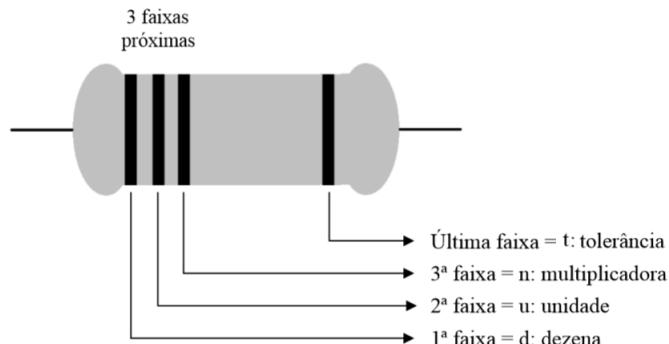


Figura 3: Faixas que identificam o valor nominal e a tolerância da resistência.

Cada cor está associada a um número, conforme apresentado na tabela tabela 1.

Tabela 1: Números associados às cores dos códigos dos resistores.

(a) Cores para identificação do valor nominal.

Cor	Número
Preto (PR)	0
Marrom (MA)	1
Vermelho (VM)	2
Laranja (LA)	3
Amarelo (AM)	4
Verde (VD)	5
Azul (AZ)	6
Violeta (VI)	7
Cinza (CZ)	8
Branco (BR)	9

(b) Cores para identificação da tolerância e multiplicador menor que 1.

Cor	Tol. (%)	Mult.
Ouro (OU)	5	$\times 10^{-1}$
Prata (PT)	10	$\times 10^{-2}$
Sem Cor	20	—

O valor da resistência é determinado da seguinte forma, tomando como base as referências da figura 3:

$$R = d u \times 10^n \pm t \%$$

Exemplos de valor de resistências para código de cores:

$$4700\Omega \text{ ou } 4k7\Omega \pm 10\% \rightarrow \begin{matrix} \text{AM} & - & \text{VI} & - & \text{VM} & - & \text{PT} \\ 4 & & 7 & & \times 10^2 & & \pm 10\% \end{matrix}$$

$$200\Omega \text{ ou } 200\text{R} \pm 5\% \rightarrow \begin{matrix} \text{VM} & - & \text{PR} & - & \text{MA} & - & \text{OU} \\ 2 & & 0 & & \times 10^1 & & \pm 5\% \end{matrix}$$

$$3,3\text{M}\Omega \text{ ou } 3\text{M}3\Omega \pm 20\% \rightarrow \begin{matrix} \text{LA} & - & \text{LA} & - & \text{VD} & - & \text{xxx} \\ 3 & & 3 & & \times 10^5 & & \pm 20\% \end{matrix}$$

Exemplos de códigos de cores para valores de resistências:

$$\begin{matrix} \text{MA} & - & \text{PR} & - & \text{VM} & - & \text{OU} \\ 1 & & 0 & & \times 10^2 & & \pm 5\% \end{matrix} \rightarrow 1\text{k}\Omega \pm 5\%$$

$$\begin{matrix} \text{VM} & - & \text{VI} & - & \text{AM} & - & \text{PT} \\ 2 & & 7 & & \times 10^4 & & \pm 10\% \end{matrix} \rightarrow 270\text{k}\Omega \pm 10\%$$

$$\begin{matrix} \text{LA} & - & \text{LA} & - & \text{PT} & - & \text{OU} \\ 3 & & 3 & & \times 10^{-2} & & \pm 5\% \end{matrix} \rightarrow 0,33\Omega \pm 5\%$$

Há **resistores de precisão**, os quais possuem mais uma faixa de cor para o valor nominal e outras cores passam a ser utilizadas na faixa de tolerância, indicando tolerâncias de 2%, 1%, 0,5%, 0,25%, 0,1% e de 0,05%. A figura 4 apresenta o código de cores completo para este caso e a figura 5 contém exemplos.

Cor	1 ^a faixa	2 ^a faixa	3 ^a faixa	Multiplicador	Tolerância	Coef. de Temperatura
Preto	0	0	0	$\times 10^0$		
Marrom	1	1	1	$\times 10^1$	$\pm 1\% \text{ (F)}$	100 ppm
Vermelho	2	2	2	$\times 10^2$	$\pm 2\% \text{ (G)}$	50 ppm
Laranja	3	3	3	$\times 10^3$		15 ppm
Amarelo	4	4	4	$\times 10^4$		25 ppm
Verde	5	5	5	$\times 10^5$	$\pm 0.5\% \text{ (D)}$	
Azul	6	6	6	$\times 10^6$	$\pm 0.25\% \text{ (C)}$	
Violeta	7	7	7	$\times 10^7$	$\pm 0.1\% \text{ (B)}$	
Cinza	8	8	8	$\times 10^8$	$\pm 0.05\% \text{ (A)}$	
Branco	9	9	9	$\times 10^9$		
Ouro				$\times 0.1$	$\pm 5\% \text{ (J)}$	
Prata				$\times 0.01$	$\pm 10\% \text{ (K)}$	
Sem cor					$\pm 20\% \text{ (M)}$	

Figura 4: Código de cores completo, válidos para resistores de 3, 4, 5 ou 6 faixas de cor. (A letra que aparece entre parêntesis na tolerância refere-se à identificação da tolerância em resistores SMD – ver descrição no texto.)

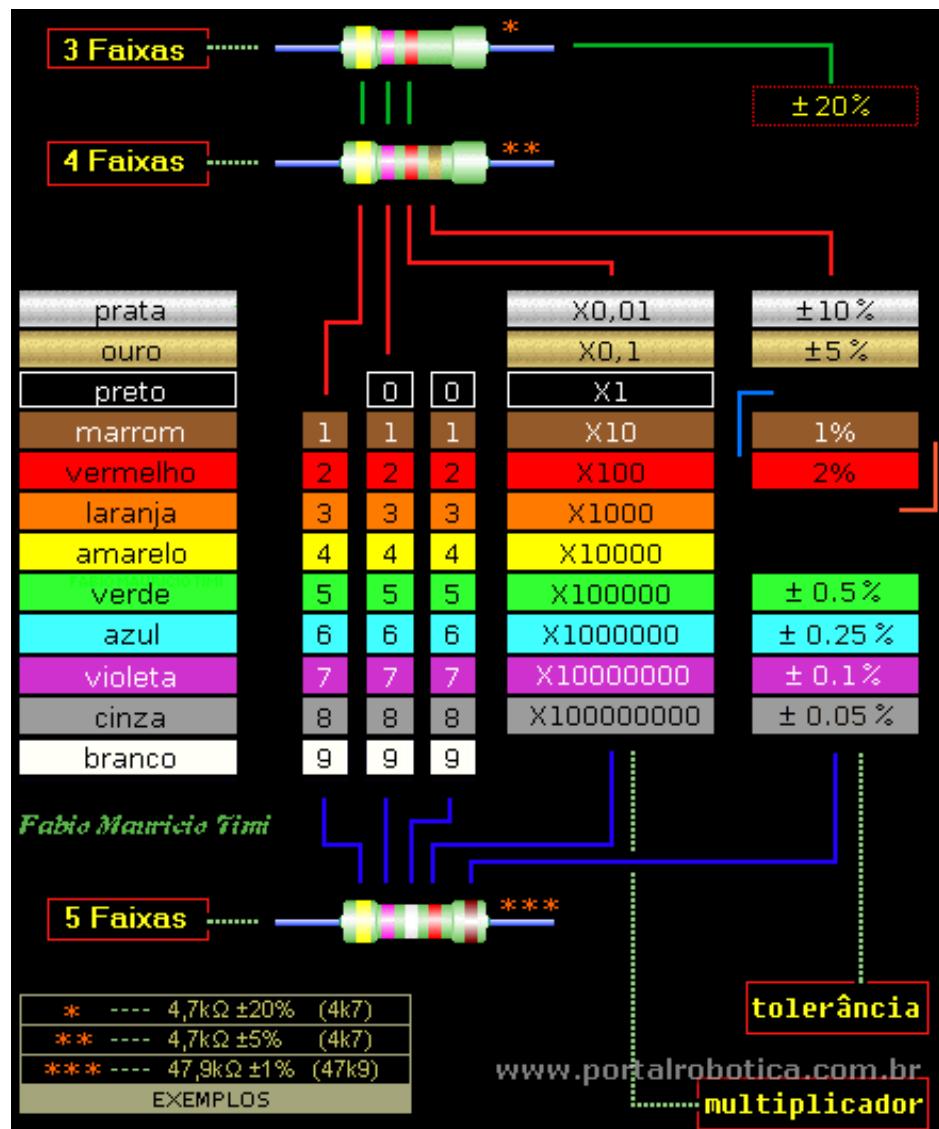


Figura 5: Exemplos de leituras de valores de resistores com 3, 4 e 5 faixas.

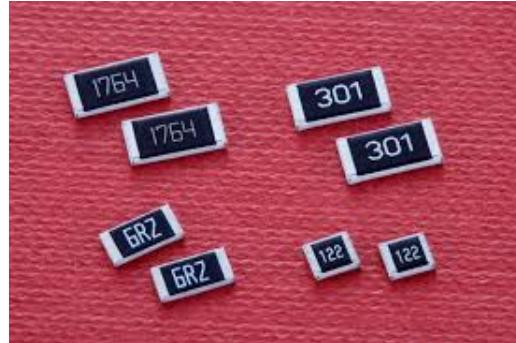
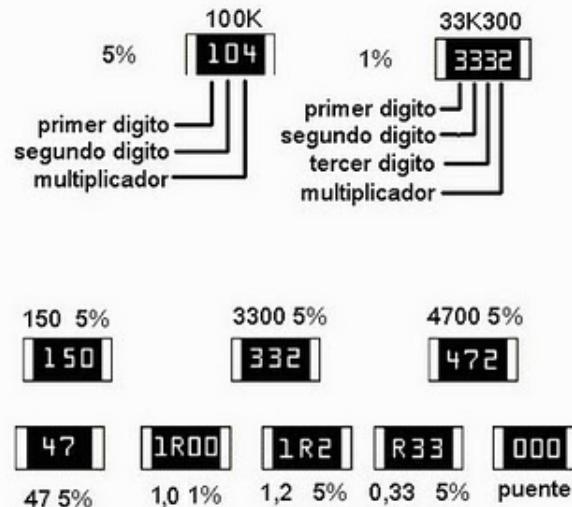


Figura 6: Alguns exemplos de resistores SMD.

Atualmente, é muito comum o uso de **resistores SMD** (*Surface Mounting Device* – Dispositivo de Montagem em Superfície), o qual apresenta inúmeras vantagens sobre os resistores “convencionais” (quais são?). Alguns exemplos e a interpretação de seus valores podem ser vistos nas figuras 6 e 7.

No comércio, não se encontra qualquer valor de resistência. Por exemplo, se for desejado um resistor de $2348\ \Omega$, não será possível comprá-lo. Os fabricantes produzem resistores com valores pré-determinados, conhecidos como **valores comerciais**, os quais são tabulados em séries. Por exemplo, há as séries E com as seguintes definições: E3, E6, E12, E24, E48, E96 e E192. A tabela 2 apresenta a base destas séries. Um valor comercial de resistor pode ser qualquer múltiplo da potência de 10 de uma das bases.

Nota: por praticidade, é conveniente memorizar os códigos de cores da tabela 1 e os resistores comerciais da série E12 da tabela 2.

**Resistores de 3 dígitos**

101	10 e 1 zero = 100 Ω
105	10 e 5 zeros = 1.000.000 Ω
224	22 e 4 zeros = 220.000 Ω
1R0	1 e nenhum zero = 1 Ω
22R	22 e nenhum zero = 22 Ω
R10	0,1 e nenhum zero = 0,1 Ω

Os dois primeiros dígitos representam o valor a ser multiplicado; o último dígito representa o multiplicador.
Para valores abaixo de 100 Ohms, a letra R substitui um dos dígitos significantes e representa o ponto decimal.

Resistores de 4 dígitos

1001	100 e 1 zero = 1000 Ω
22R0	22 e nenhum zero = 22 Ω

Os três primeiros dígitos representam o valor a ser multiplicado; o último dígito é o multiplicador. R é o ponto decimal.

Tolerância

Letra	Tolerância
D	±0,5 %
F	±1,0 %
G	±2,0 %
J	±5,0 %

Figura 7: Interpretação do código dos valores nominais e das tolerâncias de resistores SMD.

E3 TO E192												ACCORDING TO IEC 60063			
E192	E96	E48	E192	E96	E48	E192	E96	E48	E192	E96	E48	E24	E12	E6	E3
100	100	100	178	178	178	316	316	316	562	562	562	10	10	10	10
101			180			320			569			11			
102	102		182	182		324	324		576	576		12	12		
104			184			328			583			13			
105	105	105	187	187	187	332	332	332	590	590	590	15	15	15	
106			189			336			597			16			
107	107		191	191		340	340		604	604		18	18		
109			193			344			612			20			
110	110	110	196	196	196	348	348	348	619	619	619	22	22	22	22
111			198			352			626			24			
113	113		200	200		357	357		634	634		27	27		
114			203			361			642			30			
115	115	115	205	205	205	365	365	365	649	649	649	33	33	33	
117			208			370			657			36			
118	118		210	210		374	374		665	665		39	39		
120			213			379			673			43			
121	121	121	215	215	215	383	383	383	681	681	681	47	47	47	47
123			218			388			690			51			
124	124		221	221		392	392		698	698		56	56		
126			223			397			706			62			
127	127	127	226	226	226	402	402	402	715	715	715	68	68	68	
129			229			407			723			75			
130	130		232	232		412	412		732	732		82	82		
132			234			417			741			91			
133	133	133	237	237	237	422	422	422	750	750	750				
135			240			427			759						
137	137		243	243		432	432		768	768					
138			246			437			777						
140	140	140	249	249	249	442	442	442	787	787	787				
142			252			448			796						
143	143		255	255		453	453		806	806					
145			258			459			816						
147	147	147	261	261	261	464	464	464	825	825	825				
149			264			470			835						
150	150		267	267		475	475		845	845					
152			271			481			856						
154	154	154	274	274	274	487	487	487	866	866	866				
156			277			493			876						
158	158		280	280		499	499		887	887					
160			284			505			898						
162	162	162	287	287	287	511	511	511	909	909	909				
164			291			517			920						
165	165		294	294		523	523		931	931					
167			298			530			942						
169	169	169	301	301	301	536	536	536	953	953	953				
172			305			542			965						
174	174		309	309		549	549		976	976					
176			312			556			988						

Tabela 2: Bases de resistências para as séries E de valores comerciais de resistores. A série E12, em destaque, é a mais comum.

Associação de Resistores

Os resistores podem ser associados, a fim de se obter resistências específicas eventualmente não encontradas comercialmente. Em análises de circuitos, também é muito comum realizar associações.

Associação Série

Na associação série (figura 8), a **resistência equivalente** (R_{eq}) é obtida pela soma das resistências:

$$R_{eq} = R1 + R2 + \dots$$

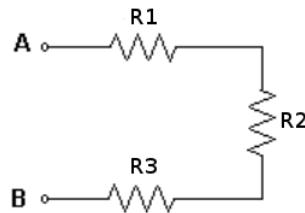


Figura 8: Associação série.

Associação Paralela

Na associação paralela (figura 9), a **resistência equivalente** (R_{eq}) é obtida pelo inverso da soma dos inversos das resistências:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \dots$$

No caso de apenas duas resistências, tem-se simplesmente a divisão do produto pela soma:

$$R_{eq} = \frac{R1 R2}{R1 + R2}$$

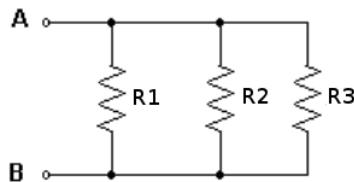


Figura 9: Associação paralela.

Associação Mista

É uma composição da associação série e paralela (figura 10). O cálculo da resistência equivalente é realizado por trechos, onde identifica-se uma destas duas associações.

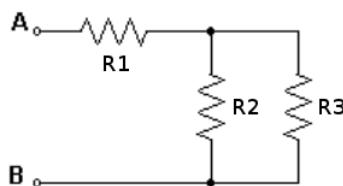


Figura 10: Associação mista.

Parte Experimental

Identificação de Resistores

1. Dentre os resistores fornecidos, escolha 6 peças. Identifique-os por suas respectivas faixas de cores e preencha a tabela 3, na qual:

R_{nom} é o valor da resistência nominal obtida pelo código de cores (leitura das faixas)

R_{med} é o valor da resistência medida com o ohmímetro fornecido.

2. Determine o erro entre o valor nominal e o valor medido, tomando como base o valor nominal. Anote-o na mesma tabela.
3. Confronte os valores medidos com os nominais, considerando suas tolerâncias. Existe algum resistor fora de especificação? Em caso afirmativo, qual? Tem certeza? Teça comentários.

Resistor	Cores lidas				R_{nom} (Ω)	Tol. (%)	R_{med} (Ω)	Erro (%)
	1 ^a faixa	2 ^a faixa	3 ^a faixa	4 ^a faixa				
1								
2								
3								
4								
5								
6								

Tabela 3: Tabela de resultados.

Influência das “Mãos Paralelas” na Medição

- Identifique o resistor de $1M\Omega$.
- Meça seu valor real com o ohmímetro, tomado cuidado para não colocar as mãos em paralelo (como feito no item anterior). Anote o valor medido: _____.
- Agora, meça novamente a resistência, mas propositadamente colocando as mãos em paralelo com o resistor. Anote o valor medido: _____.
- O que se conclui?

Associação de Resistores

Na figura 11, são mostrados três circuitos com associações distintas de resistores. Pede-se:

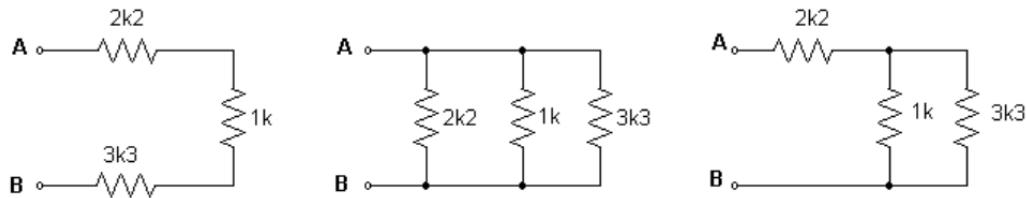


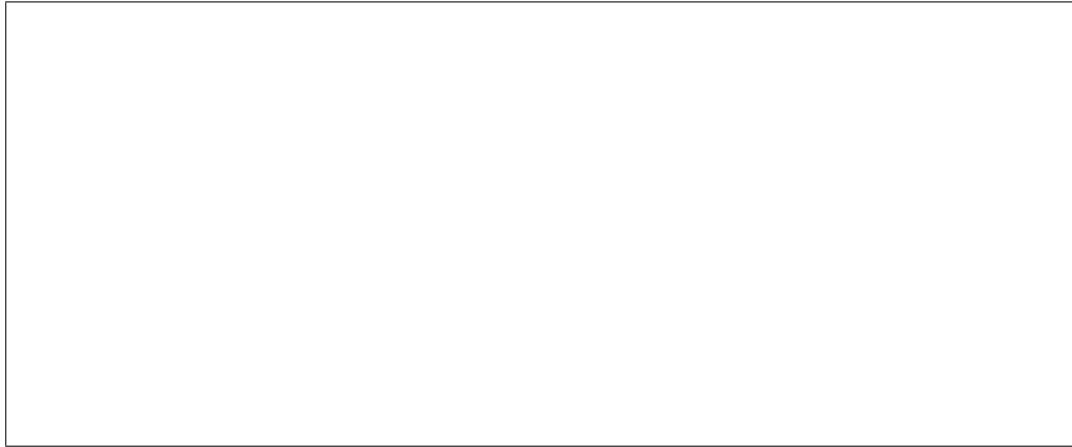
Figura 11: Circuitos com associações distintas de resistores.

- Obtenha, analiticamente, o valor da resistência equivalente entre os pontos A e B ($R_{eq} = R_{AB}$), considerando os valores nominais das resistências.
- Monte o circuito e meça a resistência equivalente (R_{eq}) utilizando o ohmímetro disponibilizado.
- Determine os erros entre os valores calculados e os medidos, utilizando como referencial os valores calculados.
- Preencha a tabela 4 com os resultados obtidos.

Circuito	$R_{eq}(\Omega)$		Erro (%)
	Calculado	Medido	
Série			
Paralelo			
Misto			

Tabela 4: Tabela de resultados.

- Se forem considerados os valores reais das resistências (as medidas com o ohmímetro) para o cálculo analítico, a porcentagem de erro diminui? Comprove, realizando as medidas e os cálculos.



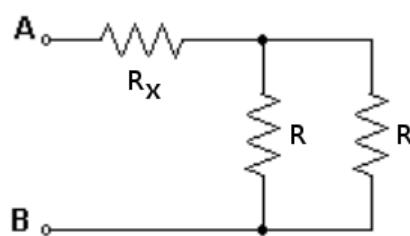
Desafios

Desafio 1: Explicar, fisicamente (com foco na corrente), o que significa R_{eq} ser maior que qualquer resistência utilizada na associação série.

Desafio 2: Explicar, fisicamente (com foco na corrente), o que significa R_{eq} ser menor que qualquer resistência utilizada na associação paralela.

Desafio 3: Fornecer o código de cores para os resistores: $820\Omega \pm 10\%$, $1\Omega \pm 5\%$, $220 \pm 1\%$.

Desafio 4: No seguinte circuito, calcular R_x de forma que $R_{eq} = R$.



Lista de Materiais

- Painel Universal
- Multímetro digital

- 1x (100 Ω , 220 Ω , 390 Ω , 820 Ω , 1 k Ω , 2k2 Ω , 3k3 Ω , 4k7 Ω , 10 k Ω , 15 k Ω , 68 k Ω , 100 k Ω , 1 M Ω)

EXPERIÊNCIA 2

“Multímetros”

Objetivos

- Conhecer os procedimentos para operar adequadamente o multímetro analógico e o digital.
- Estudar a modelagem dos voltímetros e amperímetros.
- Interpretar os conceitos de resistência interna e sensibilidade.

Apresentação

Os instrumentos mais comumente utilizados para medições de resistência, tensão e corrente são os multímetros.

A palavra “multímetro” significa “*multimedidas*”, ou várias medidas – neste sentido, o multímetro agrupa o ohmímetro, o voltímetro e o amperímetro, além de, eventualmente, medidores de outras grandezas (como capacímetro e termômetro).

Existem os multímetros analógicos, cuja construção baseia-se no *galvanômetro de bobina móvel*, e os multímetros digitais, cuja construção baseia-se em sensores e conversores analógicos/digitais (conversores A/D). A figura 1 apresenta um exemplo de cada.

É conveniente salientar que o estudo dos multímetros analógicos ainda se faz importante, mesmo que atualmente os multímetros digitais sejam os mais comuns. De fato, em muitas empresas pode-se encontrar em operação os analógicos; por outro lado, estes permitem, inclusive, a leitura de tensão e corrente sem a necessidade de bateria.



(a) Multímetro analógico.



(b) Multímetro digital.

Figura 1: Exemplos de multímetros.

Certamente, existem diferenças nas características de ambos os multímetros e, em geral, o multímetro digital apresenta diversas vantagens sobre o analógico.

Para bem se conhecer a influência desses instrumentos durante o processo de medição em algum circuito, deve-se estudar seu modelo, conforme exposto na secção §5.

Quanto à operação, certos cuidados são necessários, a fim de que o valor obtido na medição seja correto. Nas seções 3 e 4, tal assunto é abordado.

Procedimentos de Medição

Antes de utilizar o instrumento para realizar medições, é muito importante saber como ele deverá ser conectado ao circuito em análise. Caso contrário, o instrumento ou o circuito poderão ser danificados, ou os valores obtidos poderão não corresponder ao que seria correto.

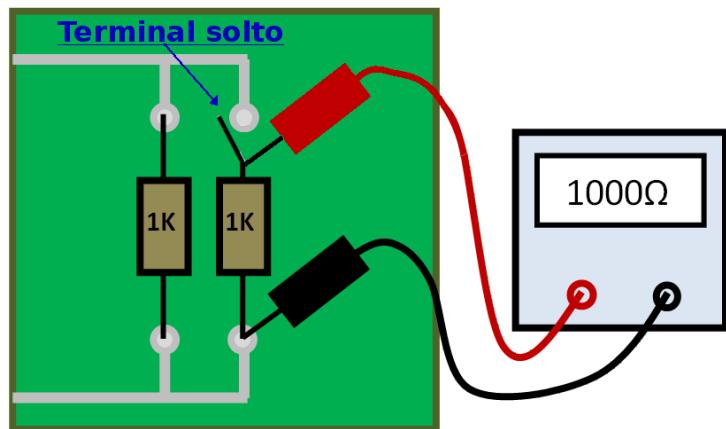


Figura 2: Medição de resistência em placa de circuito impresso.

Medição de Resistência

Os procedimentos para se medir resistência, quando o resistor estiver soldado em uma placa de circuito, seguem:

1. Desligar o circuito.
2. Remover do circuito, ao menos, um terminal do resistor.

Nota: se o circuito em torno do resistor possuir alta impedância, não há necessidade de remover o terminal.

3. Colocar as pontas de prova do ohmímetro em paralelo com os terminais do resistor.

Atenção! Tomar cuidado para não colocar as mãos em paralelo com o resistor.

Atenção! Não medir resistências com o circuito energizado!

A figura 2 ilustra o procedimento.

Medição de Tensão

Os procedimentos para se medir tensão seguem:

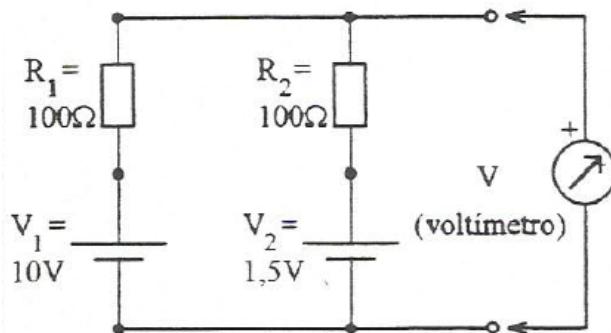


Figura 3: Voltímetro posto em paralelo com dois pontos do circuito para se determinar a tensão entre eles.

1. Identificar os dois pontos (nós) no circuito entre os quais se deseja conhecer a tensão – ou seja, será encontrada a diferença de potencial (d.d.p.) entre estes.
2. Colocar as pontas de prova do voltímetro em **paralelo** com tais pontos.

Atenção! Tensões são medidas em paralelo.

A figura 3 ilustra o procedimento.

Medição de Corrente

Os procedimentos para se medir corrente seguem:

1. Desligar o circuito.
2. Identificar o ramo em qual a corrente será determinada.
3. Abrir “fisicamente” o ramo e colocar as pontas de prova do amperímetro em **série**.
4. Ligar o circuito.

Atenção! Correntes são medidas em série.

A figura 4 ilustra o procedimento.

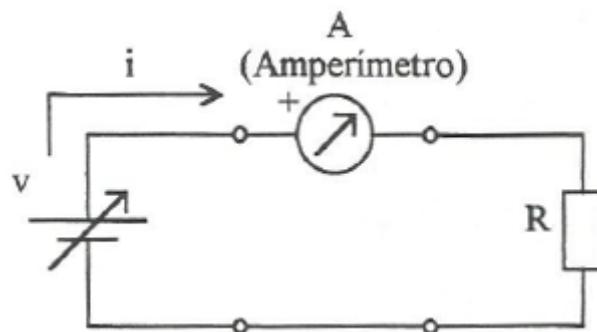


Figura 4: Amperímetro posto em série com o ramo do qual deseja-se medir a corrente.

Operação dos Multímetros

Para realizar as medições com o multímetro analógico ou digital, há algumas considerações gerais idênticas a ambos, apresentadas a seguir:

1. Liga-se a ponta de prova preta no terminal comum (COM) do multímetro.
2. Liga-se a ponta de prova vermelha no correspondente terminal de acordo com a grandeza a ser medida. Este terminal é indicado, normalmente, pelos símbolos das unidades: Ω , V, mA, 10 A.
3. Selecionar o Fundo de Escala adequado.

Atenção! Evitar de ultrapassar o Fundo de Escala selecionado, sob o risco de danificar o instrumento.

Quando não se souber com antecedência a ordem de grandeza a ser medida, deve-se:

- (a) Posicionar o seletor no maior Fundo de Escala.
- (b) Após colocar as pontas de prova no circuito, ler o valor da grandeza.
- (c) Se o valor for menor que o Fundo de Escala imediatamente anterior, então altera-se o seletor para este. O objetivo é melhorar a precisão da medida.

- (d) Repetir os dois itens anteriores enquanto a leitura não ultrapassar o valor do Fundo de Escala imediatamente anterior.

Nota: alguns modelos de multímetro digital possuem ajuste automático de escala.

Multímetro Analógico

Quanto ao uso do multímetro analógico, tem-se algumas especificidades gerais a serem consideradas:

- Para evitar o *erro de paralaxe*, a pessoa que fará a leitura deve posicionar “a visão” de forma a alinhar o ponteiro com o seu reflexo no espelho da escala do instrumento.
- Antes de iniciar qualquer medição, o ponteiro deve estar repousado sobre a marca zero. Caso não esteja, delicadamente, proceder com o ajuste por meio do parafuso frontal.

Medição de Resistência

Somente para o multímetro analógico, antes de realizar a medição de resistência, deve-se fazer o ajuste do zero ohm. Para tanto:

1. Escolher a escala adequada.

Note-se que cada escala possui um fator multiplicador, que multiplicará o valor indicado pelo ponteiro.

2. Curto-circuitar as pontas de prova.
3. Girar o botão de ajuste ($0\ \Omega$ ADJ) até que o ponteiro fique sobre o zero na escala da resistência.
4. Sempre que a escala for alterada, repetir estes passos.

Nota: a diminuição da carga da bateria também poderá provocar alterações do zero ohm; portanto, com certa frequência é conveniente verificar este ajuste.

Medição de Tensão e de Corrente

Para a medição de tensão e de corrente com o multímetro analógico, não há ajustes adicionais necessários, além dos gerais já mencionados.

Salienta-se, contudo, que atenção especial seja dada à polaridade da medida. Caso seja invertida, o ponteiro se defletirá no sentido contrário, podendo danificar o instrumento.

Atenção! Para medir tensões, a ponta vermelha (positiva) deve ficar no ponto de maior potencial.

Atenção! Para medir correntes, a ponta vermelha (positiva) é por onde a corrente deverá entrar.

Multímetro Digital

Para realizar as medições com o multímetro digital, não são necessários os ajustes específicos citados para o analógico, pois o circuito interno já os considera adequadamente.

Todavia, em especial, quando se estiver na escala de resistência, não é custoso e é conveniente verificar a resistência de curto circuito do conjunto “pontas de prova + instrumento”: há de ser um valor igual a zero ou muito próximo a zero ohm; caso contrário, algo está danificado (como o cabo, por exemplo).

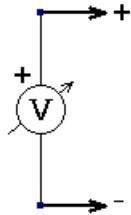
Modelagem

Para as medições de tensão e corrente, é muito importante considerar a influência que o instrumento poderá provocar no circuito em análise.

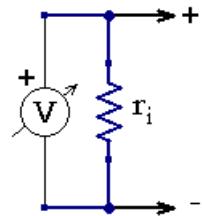
Com efeito, todo instrumento causa uma perturbação no ambiente analisado, pois ele necessita “sentir” a grandeza a medir.

O voltímetro e o amperímetro possuem um circuito interno com considerável complexidade, independentemente de ser analógico ou digital. Mas eles podem ser representados por **modelos**, os quais abstraem toda a complexidade em um circuito mais simples de interpretar.

Nas figuras 5 e 6, tem-se os modelos de um voltímetro e de um amperímetro. Perceba-se a presença da *resistência interna* (r_i) em ambos os modelos.

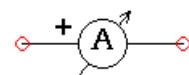


(a) Voltímetro ideal (ou seja, com resistência interna infinita).

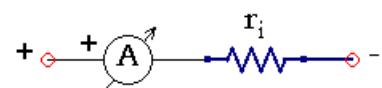


(b) Voltímetro real (ou seja, com resistência interna finita).

Figura 5: Representações do voltímetro.



(a) Amperímetro ideal (ou seja, com resistência interna nula).



(b) Amperímetro real (ou seja, com resistência interna não nula).

Figura 6: Representações do amperímetro.

Voltímetro

No caso do voltímetro, seu modelo consiste de um *voltímetro ideal*, que possui resistência interna tendendo a infinito, em paralelo com uma resistência finita, que é a resistência interna do *voltímetro real*. Portanto, quando for utilizado em alguma medição de tensão, esta resistência ficará em paralelo com o restante do circuito. Para que seja pouco influente, são desejáveis **valores muito altos de resistência interna**.

Amperímetro

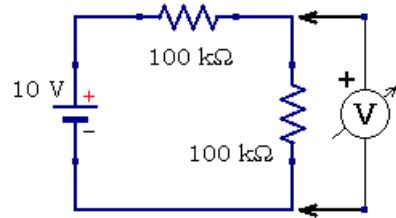
Já no caso do amperímetro, seu modelo consiste de um *amperímetro ideal*, que possui resistência interna nula, em série com uma resistência não nula, que é a resistência interna do *amperímetro real*. Portanto, quando for utilizado em alguma medição de corrente, em um ramo, esta resistência ficará em série com os demais componentes do ramo. Para que seja pouco influente, são desejáveis **valores muito baixos de resistência interna**.

Notas sobre a Resistência Interna

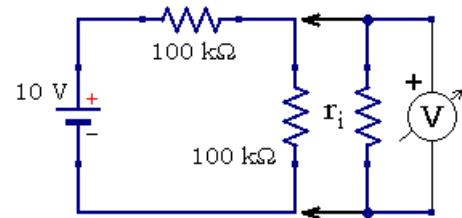
Conhecer a resistência interna dos instrumentos é importante para se saber o quanto ele influenciará nos resultados das medições.

Para melhor compreensão, tome-se como exemplo a figura 7a. O valor esperado da leitura do voltímetro é 5 V. Considerando-se o modelo do voltímetro, tem-se o circuito resultante da figura 7b, em qual r_i está em paralelo com R_2 . Supondo $r_i = 200 \text{ k}\Omega$, a leitura resultante será de 4 V, que é incoerente com o esperado. Entretanto, caso $r_i = 10 \text{ M}\Omega$, a leitura resultante seria de 4,98 V, muito mais próxima do valor esperado.

Analogamente, para o amperímetro, ao analisar o circuito da figura 8a, espera-se obter uma corrente de 0,2 A. Considerando-se o modelo do amperímetro, como mostrado na figura 8b, nota-se que sua resistência interna está em série com a resistência do circuito. Supondo que $r_i = 2 \Omega$, resultará numa corrente de 0,167 A, aquém do esperado. Entretanto, se a resistência interna fosse bem menor, por exemplo, $r_i = 0,2 \Omega$, a corrente resultante, indicada pelo amperímetro, seria de 0,196 A, muito mais próxima do valor esperado.

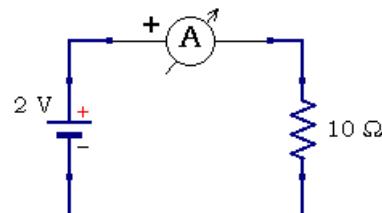


(a) Voltímetro em paralelo para realizar a medição de tensão.

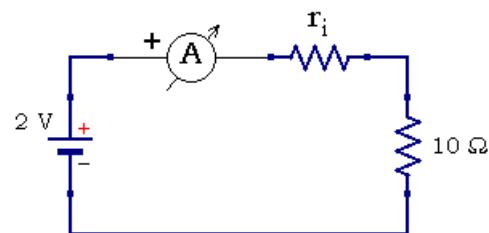


(b) Modelo do voltímetro em paralelo com o circuito em análise.

Figura 7: Exemplo da influência do voltímetro no circuito em análise.



(a) Amperímetro em série para realizar a medição de corrente.



(b) Modelo do amperímetro em série com o ramo em análise do circuito.

Figura 8: Exemplo da influência do amperímetro no circuito em análise.

Notas sobre a Sensibilidade

Os multímetros analógicos, quando em operação como voltímetros, possuem a especificação de *sensibilidade*.

Um voltímetro é tanto **melhor** quanto **menor** for a corrente necessária para defletir o ponteiro de seu galvanômetro até o Fundo de Escala. Desta forma, quanto menor for esta corrente, diz-se que o instrumento é mais sensível.

Tal fato permite, portanto, trabalhar com uma resistência interna de valor elevado e, assim, diminuir a interferência no circuito onde é executada a medida.

A sensibilidade é definida em função da corrente de fundo de escala (I_g), equacionada por:

$$S = \frac{1}{I_g} = \frac{R_v}{V_m} \quad [\Omega/V]$$

em que R_v é a *resistência interna* do multímetro na escala V_m .

Logo, dada a sensibilidade do voltímetro, pode-se determinar o correspondente valor de sua *resistência interna* para uma dada escala de tensão.

Por exemplo, se o multímetro possuir sensibilidade de $20\text{ k}\Omega/\text{V}$ e for escolhido um fundo de escala de 10 V , sua resistência interna será de $200\text{ k}\Omega$. Em outro caso, ao escolher um fundo de escala de $2,5\text{ V}$, sua resistência interna será de $50\text{ k}\Omega$.

Em relação aos multímetros digitais, não há tal conceito de sensibilidade para a determinação da resistência interna. Ao contrário, ela é fixa: por exemplo, considerando-se um determinado instrumento, sua resistência interna é de $10\text{ M}\Omega$ para as medições de tensão CC.

Informações Complementares

Nas subseções a seguir, apresenta-se um breve descrito a respeito dos fundamentos de construção dos multímetros analógico e digital.

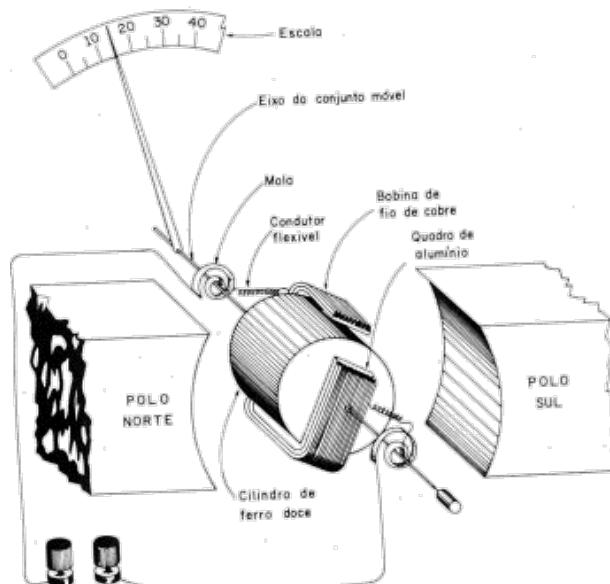


Figura 9: Desenho ilustrativo de um galvanômetro tipo *D'Arsonval*.

Fundamentos do Multímetro Analógico

Como dito, o multímetro analógico possui base em um **galvanômetro de bobina móvel**. Seu princípio de funcionamento consiste na interação entre um campo magnético criado por ímã permanente e um campo magnético criado por uma bobina móvel sujeita a uma corrente I , produzindo um torque motor. Um ponteiro associado à parte móvel do instrumento tem sua deflexão proporcional ao valor médio da corrente I . A figura 9 apresenta um desenho ilustrativo de um galvanômetro do tipo *D'Arsonval*.

Fundamentos do Multímetro Digital

No caso de multímetros digitais, o galvanômetro é substituído por sensores, conformadores e conversor A/D. A figura 10 ilustra o diagrama em blocos de seu circuito interno.

Nota: existem, no mercado, circuitos integrados dedicados que, internamente, possuem conversor A/D, decodificador para display e outras facilidades que permitem a construção de multímetros; o circuito integrado ICL7107 é um bom exemplo (veja seu “datasheet” em http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheets/185/382684_DS.pdf).

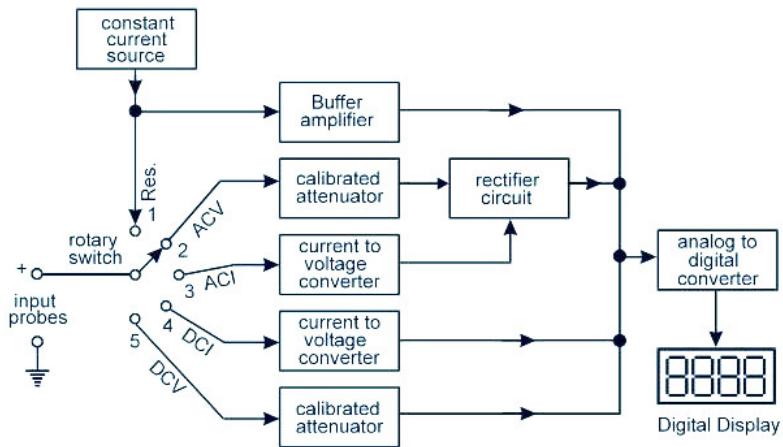


Figura 10: Diagrama em blocos simplificado de um multímetro digital.

Parte Experimental

Atenção! Tomar cuidado para não provocar curto-circuitos durante as medições.

Atenção! O amperímetro possui baixíssima resistência. Portanto, caso seja conectado em paralelo a um ramo, ao invés de em série, poderá ocorrer “curto-circuito pelo amperímetro”.

Uso do Multímetro Analógico

Nesta seção, utilizar somente o multímetro analógico.

1. O que é o *erro de paralaxe*?

2. Antes de se iniciar a medição da resistência, qual ajuste deve ser feito?

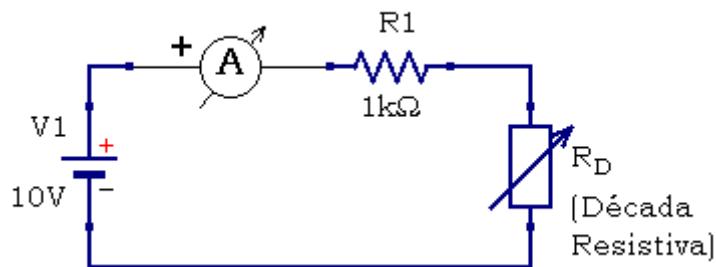
3. Medir a resistência dos resistores apontados e completar a tabela seguinte.

Nota: Obter a maior quantidade possível de Algarismos Significativos (A.S.).

$R_{nominal}$ (Ω)	Tol. (%)	R_{medido} (Ω)	Erro (%)
47			
330			
6k8			
82k			

4. Montar o circuito abaixo.

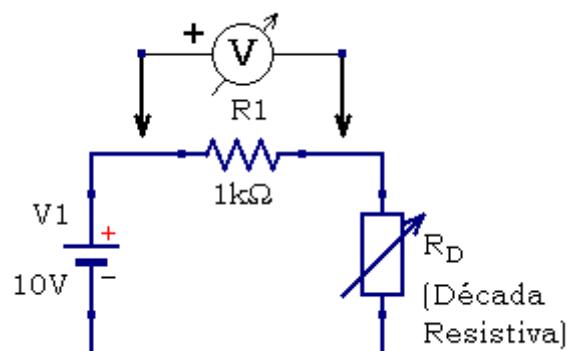
Atenção! A corrente deve entrar pelo positivo (+) do amperímetro!



5. Ajustar a década resistiva para os valores apontados na tabela e completá-la.

R_D (Ω)	$I_{cálculado}$ (mA)	I_{medido} (mA)	Erro (%)
10			
1k			
7k			

6. Com base na última situação da tabela anterior, meça a tensão indicada no circuito abaixo.



$$V_{R_1} = \underline{\hspace{2cm}}$$

Uso do Multímetro Digital

Nesta seção, utilizar somente o multímetro digital.

1. O multímetro digital disponível na bancada possui escala automática?

2. Ele permite ler tensões contínuas e alternadas? Como?

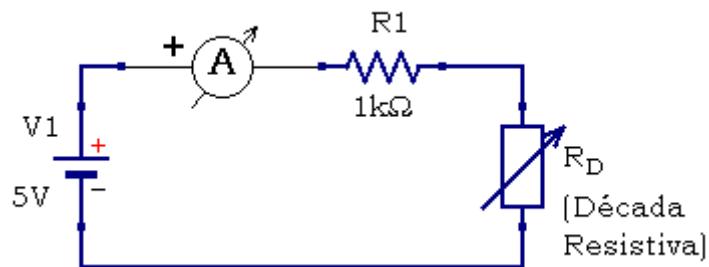
3. Medir a resistência dos resistores apontados e completar a tabela seguinte.

Nota: Obter a maior quantidade possível de Algarismos Significativos (A.S.).

$R_{nominal}$ (Ω)	Tol. (%)	R_{medido} (Ω)	Erro (%)
47			
330			
6k8			
82k			

4. Montar o circuito abaixo.

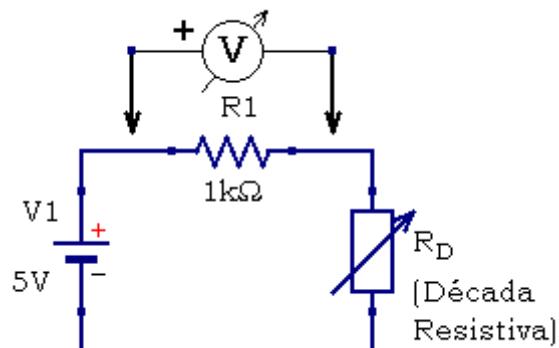
Atenção! A corrente deve entrar pelo positivo (+) do amperímetro!



5. Ajustar a década resistiva para os valores apontados na tabela e completá-la.

R_D (Ω)	$I_{cálculado}$ (mA)	I_{medido} (mA)	Erro (%)
10			
1k			
7k			

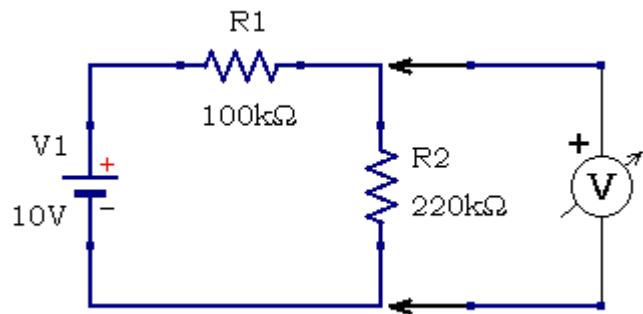
6. Com base na última situação da tabela anterior, meça a tensão indicada no circuito abaixo.



$$V_{R_1} = \underline{\hspace{2cm}}$$

Influências dos Multímetros nas Medição

1. Montar o circuito abaixo.



2. Anotar a tensão sobre R_2 (V_{R_2}), preenchendo a tabela.

	Teórico	Mult. Analógico	Mult. Digital
V_{R_2} (V)			

3. Qual a resistência interna dos multímetros, na escala selecionada?

	Mult. Analógico	Mult. Digital
r_i (Ω)		

4. O que se percebe nos resultados das medições? Por quê?

Interpretações Complementares

1. O que acontecerá se as polaridades dos multímetros analógico e digital forem invertidas?

2. Comparando-se ambos os multímetros, qual fornece leitura de resistência mais precisa? Com quantos A.S.?

3. Nas medições de tensão e corrente, foi possível obter boa precisão nas leituras? Com quantos A.S.? Como procederam-se os ajustes das escalas para tal?



List a de Materiais

- Fonte CC de 0 a 30V
- Plaqueta de montagem “Universal”
- Multímetro analógico
- Multímetro digital
- Caixa de resistências (década resistiva)
- Cabos banana-banana
- Resistores de 1/8W: 1x (47Ω , 330Ω , $1\text{k}\Omega$, $6k8\Omega$, $82\text{k}\Omega$, $10\text{k}\Omega$, $100\text{k}\Omega$, $220\text{k}\Omega$)

EXPERIÊNCIA 3

Medidas Elétricas e Resistência Variável

Objetivos

- Efetuar medidas de tensão e corrente, verificando as respectivas polaridades.
- Conhecer um resistor variável e utilizá-lo para a verificação experimental da *Primeira Lei de Ohm*.

Medidas Elétricas

Medições de resistência, por meio de ohmímetro, já foram tratadas em outro experimento – “Resistores”.

Para realizar medições de tensão e corrente, deve-se observar os seguintes detalhes:

Medição de Tensão: utiliza-se o voltímetro, conectando as *pontas de prova* do instrumento em **paralelo** com os pontos onde deseja-se saber a tensão.

Medição de Corrente: utiliza-se o amperímetro, conectando as *pontas de prova* do instrumento em **série** com o ramo onde deseja-se saber a corrente.

Em especial, para a **medição de corrente**, salienta-se que deve-se **abrir** o circuito original para ser possível conectar o amperímetro em série.

Ainda, chama-se a atenção para:

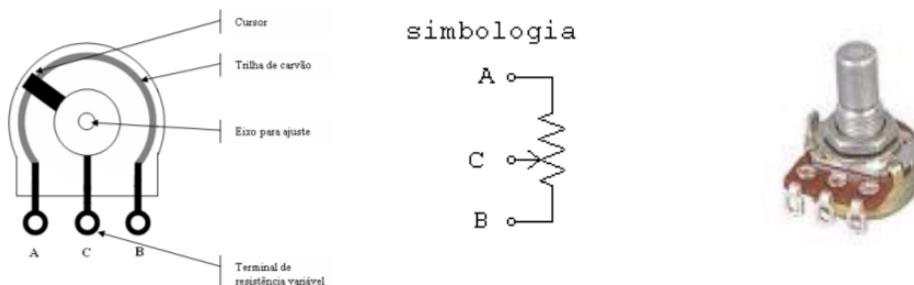


Figura 1: Potenciômetro angular: desenho interno, símbolo, componente.

“Na Engenharia, a adequada escolha das referências é muito importante.

As medições só fazem sentido quando estão de acordo com as referências.”

Por isso, é necessário observar onde conectar os polos positivos e negativos da ponta de prova dos instrumentos.

Resistência Variável – Potenciômetro

Há diversos dispositivos que apresentam resistência variável com base em algum evento físico.

O potenciômetro trata-se de um resistor variável. Utiliza como elemento resistivo uma trilha de filme de carvão sobre uma placa isolante, com dois terminais nos extremos desta trilha, e um cursor deslizante, que é o terceiro terminal e responsável pela variação da resistência em função de seu posicionamento¹. Este cursor pode ser angular ou linear. Na figura 1, apresenta-se um potenciômetro angular. Na figura 2, são apresentados vários tipos de potenciômetros e *trimpots*².

Parte Experimental

Este experimento visa treinar a prática de medições de tensão e corrente e mostrar a importância da análise dos sentidos das tensões e correntes em

¹O evento físico aqui é o movimento mecânico exercido sobre o cursor.

²Potenciômetros de montagem sobre placa, sem haste, normalmente utilizados para ajustes de pontos de trabalho (*set point*), mas sem acesso ao usuário final.



Figura 2: Vários tipos de potenciômetros e *trimpots*.

um circuito de corrente contínua.

Medições de corrente

1. Considere o circuito da figura 3.

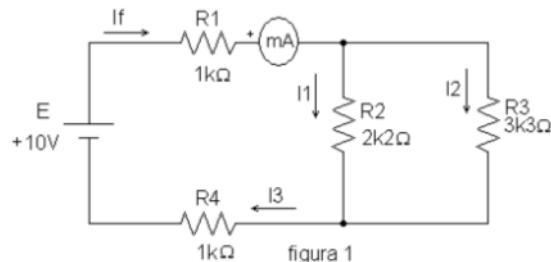


Figura 3: Circuito para medições de corrente e tensão.

2. Inicialmente, ajuste a fonte de tensão E para 10 V. Para esta etapa, ela deverá estar desconectada de qualquer circuito.

3. Com a fonte de tensão E DESLIGADA, monte o circuito mostrado no esquema elétrico da figura 3.
4. Chame o professor para certificar que o miliamperímetro está devidamente conectado no circuito (ponta de prova VERMELHA → ENTRADA; ponta de prova PRETA → SAÍDA), de modo a obter o valor positivo da corrente.
5. Concluídos os itens anteriores, ligue a fonte de tensão E e meça, com o **multímetro analógico**, o valor da corrente I_f (corrente total do circuito ou corrente gerada pela fonte). O resultado deve ser apresentado com 3 algarismos significativos e a devida unidade de corrente elétrica.

$$I_f = \underline{\hspace{2cm}}$$

6. A seguir desligue a fonte de tensão e repita os procedimentos anteriores para medir as correntes I_1 , I_2 e I_3 .

$$I_1 = \underline{\hspace{2cm}} \quad I_2 = \underline{\hspace{2cm}} \quad I_3 = \underline{\hspace{2cm}}$$

7. Faça as seguintes verificações de consistência, provando a igualdade:

$$(a) \ I_f = I_1 + I_2 \rightarrow \underline{\hspace{2cm}}$$

$$(b) \ I_f = I_3 \rightarrow \underline{\hspace{2cm}}$$

8. Teça comentários a respeito dos resultados obtidos. O que ocorreria caso as polaridades utilizadas para as medições das correntes estivessem invertidas?

Medições de Tensão

- Mantenha o circuito da figura 3 e meça as tensões V_f (tensão da fonte), V_{R1} (tensão sobre o resistor R_1), V_{R2} , V_{R3} e V_{R4} com o voltímetro devidamente polarizado, de modo que os resultados sejam positivos. Apresente os resultados:

$$V_f = \underline{\hspace{2cm}} \quad V_{R1} = \underline{\hspace{2cm}} \quad V_{R2} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$V_{R3} = \underline{\hspace{2cm}} \quad V_{R4} = \underline{\hspace{2cm}}$$

- Faça as verificações, provando as igualdades:

$$(a) \quad V_f = V_{R1} + V_{R2} + V_{R4} \rightarrow \underline{\hspace{2cm}}$$

$$(b) \quad V_{R2} = V_{R3} \rightarrow \underline{\hspace{2cm}}$$

- Teça comentários a respeito dos resultados obtidos. O que ocorreria caso as polaridades utilizadas para as medições das tensões estivessem invertidas?

Verificação Experimental da Primeira Lei de Ohm

- Monte o circuito mostrado no esquema elétrico da figura 4, no qual R é um potenciômetro de $4k7\Omega$ (resistência máxima do potenciômetro).
- Com R (potenciômetro) desconectado do circuito, ajuste seu valor inicialmente para entorno de 500Ω ($R_{desejado}$). Anote o valor ajustado ($R_{utilizado}$). Conecte o potenciômetro ao circuito e meça a corrente (I_{medido}) e a tensão (V_{medido}), anotando os valores na tabela que segue.

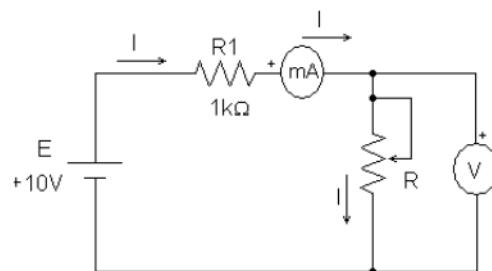


Figura 4: Circuito para estudo do potenciômetro e comprovação da *1^a Lei de Ohm*.

3. Repita o item anterior para os demais valores de R apresentados na tabela, preenchendo-a.

$R_{desejado}$ (Ω)	$R_{utilizado}$ (Ω)	V_{medido} (V)	I_{medido} (A)	$R_{calculado}$ (Ω)	Erro (%)
500					
1000					
1500					
2000					
3000					
4000					

4. Faça comentários a respeito do **erro observado** e da **variação da tensão e corrente** no potenciômetro, conforme a variação de sua resistência.

Listo de Materiais

- Fonte CC de 0 a 30V
- Multímetro digital
- Multímetro analógico
- Caixa de resistências (década resistiva)
- Resistores de $\frac{1}{4}$ W: 3x ($100\ \Omega$, $330\ \Omega$, $1k0\ \Omega$, $2k2\ \Omega$, $3k3\ \Omega$, $6k8\ \Omega$, $10\ k\Omega$)
- Potenciômetro: 1x $4k7\ \Omega$
- Plaqueta de montagem “Universal”
- Cabos banana-banana

EXPERIÊNCIA 4

Lei de Ohm

“Bipolos Lineares e Não Lineares”

Objetivos

- Familiarização prática com a *Lei de Ohm*.
- Levantamento de curvas características de bipolos lineares e não lineares.

Introdução Teórica

Lei de Ohm

Ao se aplicar uma diferença de potencial V a um condutor de eletricidade, como por exemplo um fio metálico, surge uma corrente elétrica neste condutor. A corrente produzida por esta diferença de potencial depende de propriedades físicas e da geometria do condutor, que podem ser modeladas por uma resistência à passagem desta corrente elétrica.

A resistência elétrica é definida pela expressão:

$$R = \frac{V}{I} \quad (1)$$

cujas unidades são:

- de V : *volt* (V)
- de I : *ampère* (A)

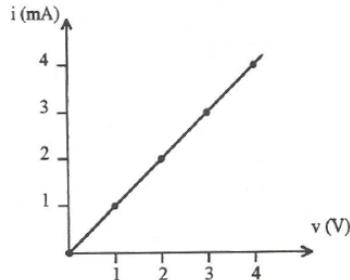


Figura 1: Curva característica de um dispositivo tipo resistor (de $1\text{ k}\Omega$), mostrando a relação linear entre i e v . Note-se que, na faixa analisada, a potência máxima dissipada é de 16 mW , muito menor que 125 mW (supondo resistor de $1/8\text{ W}$) e, portanto, o resistor permaneceu “frio”, evitando a alteração do valor de sua resistência.

- de R : *ohm* (Ω).

A unidade de resistência elétrica, o *ohm* (Ω) foi atribuída em homenagem a *George Simon Ohm* (1787—1854), por seu magnífico trabalho “*The Galvanic Chain, Mathematically Treated*” publicado em 1827, envolvendo a *Lei de Ohm*.

Embora a equação (1) seja de vasta aplicação, ela expressa uma **relação linear** entre a corrente elétrica e a tensão aplicada, como ilustrado na curva característica da figura 1.

Infelizmente, os fenômenos físicos são não lineares em quase sua totalidade. Portanto, ao se aumentar a tensão aplicada no condutor, nota-se um aquecimento deste (*Efeito Joule*), o que acarreta o aumento da resistência elétrica (no caso de metais) e, por fim, tem-se o efeito de uma relação não linear entre i e v , conforme pode ser observado na curva da figura 2.

Quando existe uma relação não linear entre i e v , a solução de um circuito elétrico pode se tornar muito complicada. O que fazer quando se está diante de um problema desta natureza?

A abordagem a ser tomada para resolver este problema é a de se adotar um **MODELO LINEAR** para um **fenômeno não linear**. É claro que se comete um erro quando se adota um modelo, mas se este erro for pequeno, ou até mesmo desprezível para a faixa de tensões e correntes envolvidas,

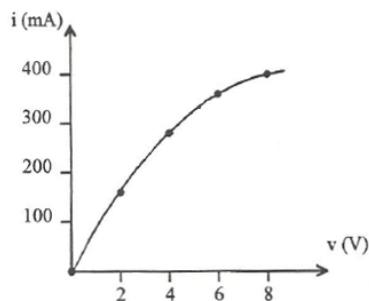


Figura 2: Curva característica de uma lâmpada incandescente, mostrando a relação não linear entre i e v . Note-se que a potência dissipada pelo filamento da lâmpada é suficiente para alterar a sua própria resistência.

os resultados previstos pelos cálculos teóricos produzem resultados práticos satisfatórios.

Resumindo, a Lei de Ohm expressa uma relação linear, ideal, entre i e v para um determinado bipolo, sendo esta relação uma idealização, um modelo para uma relação mais complexa. Esta relação é válida para uma determinada faixa de valores de tensão, de corrente e, consequentemente, de potência dissipada pelo dispositivo.

Bipolo Linear e Bipolo Não Linear

Todo dispositivo que possui dois terminais de acesso, aos quais pode-se aplicar uma determinada tensão, dando origem a uma corrente elétrica, denomina-se **bipolo**.

Um bipolo cuja relação entre i e v pode ser linear para a faixa de operação especificada, é denominado de **bipolo ôhmico** ou **bipolo linear**. Pode-se citar, como exemplo de bipolo ôhmico, um resistor de baixa potência, operando em condições de pouco aquecimento (como o do exemplo na figura 1).

Um bipolo cuja relação entre i e v é não linear para a faixa de operação especificada, recebe a denominação de **bipolo não ôhmico** ou **bipolo não linear**. Pode-se citar como exemplo de bipolo não ôhmico uma lâmpada incandescente (como a do exemplo na figura 2), ou mesmo uma junção semicondutora (como a de um diodo ou transistor).

Parte Experimental

Bipolo Linear e Lei de Ohm

1. Montar o circuito ilustrado na figura 3.

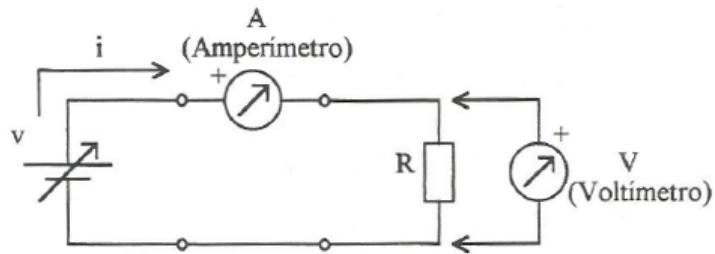


Figura 3: Montagem para avaliar-se a Lei de Ohm.

2. Observar que as escalas dos multímetros devem ser ajustadas de modo a suportar as tensões e correntes máximas do experimento.
3. Preencher a tabela abaixo, variando-se o valor da tensão da fonte de alimentação.

v (V)	i (mA)			
	$R = 470 \Omega$	$R = 1 \text{ k}\Omega$	$R = 2\text{k}2 \Omega$	$R = 3\text{k}9 \Omega$
0				
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				

Bipolo Não Linear

1. Montar o circuito ilustrado na figura 4, o qual envolve uma lâmpada incandescente de baixa potência.

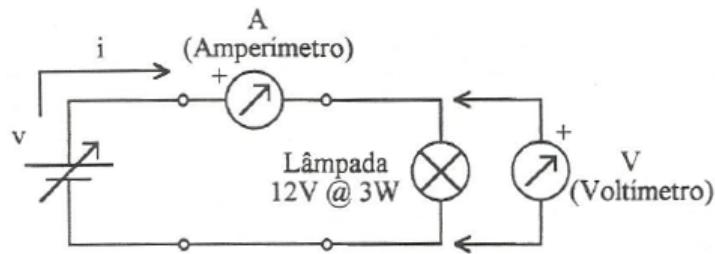


Figura 4: Montagem para avaliar-se a não linearidade de um bipolo não ôhmico.

2. Preencher a tabela abaixo.

v (V)	0	1	2	3	4	5	6
i (mA)							

v (V)	7	8	9	10	11	12
i (mA)						

Curvas Características

1. Numa planilha eletrônica, traçar as curvas $i \times v$ para os 4 resistores ensaiados. Colocar todas as curvas num mesmo gráfico.
2. Para as curvas acima, realizar a regressão linear, ou seja, inserir uma linha de tendência. Também exiba as correspondentes equações.
3. Na planilha eletrônica, traçar, em outro gráfico, a curva $i \times v$ para a lâmpada ensaiada.

Conclusões

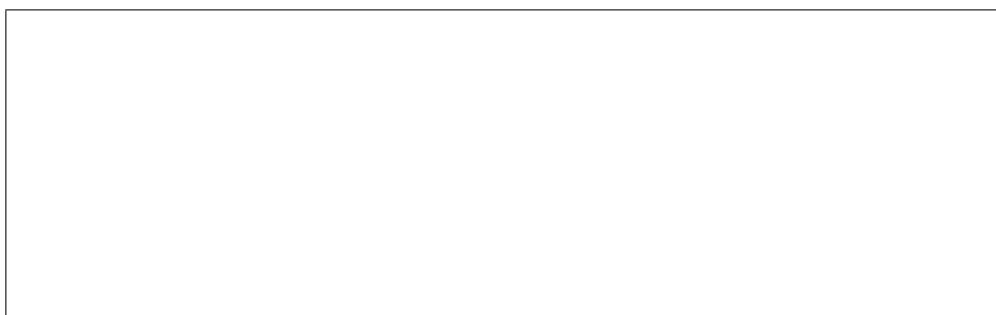
1. Analisar os 4 gráficos relativos aos resistores. O que se pode concluir em relação à inclinação das curvas?



2. Destes 4 gráficos, o que representa o coeficiente angular das linhas de tendências?



3. A partir das equações das linhas de tendência, calcule o valor das resistências.



4. Para o gráfico relativo à lâmpada, o que justifica sua não linearidade? O que se pode dizer a respeito da resistência em cada ponto da curva?



Listas de Materiais

- Fonte CC de 0 a 30V
- Plaqueta de montagem “Universal”
- 2 multímetros digitais
- Lâmpada 12 V/3 W
- Resistores de 1/4W: 1x (470 Ω , 1 k Ω , 2k2 Ω , 3k9 Ω)
- Cabos banana-banana

EXPERIÊNCIA 5

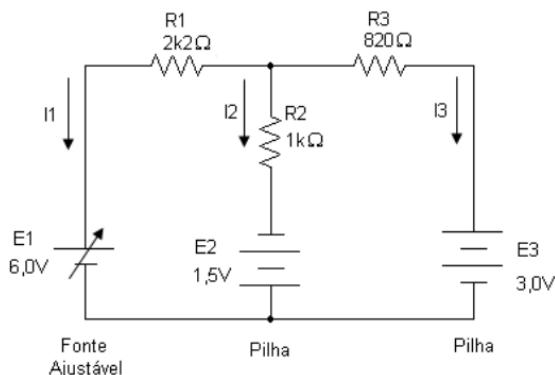
Leis de Kirchhoff

Objetivo

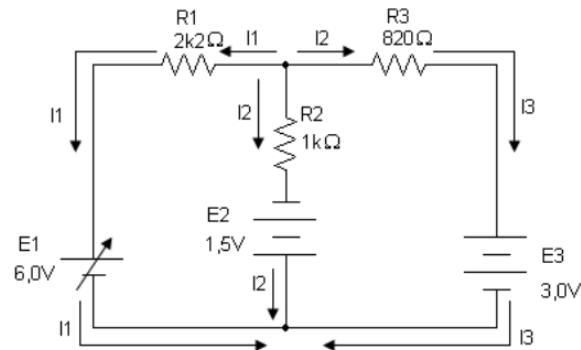
- Verificar experimentalmente as duas leis de Kirchhoff.

Lei dos Nós

1. Monte o circuito esquematizado abaixo. Para E1, utilize a fonte ajustável da bancada. As fontes E2 e E3 devem ser “construídas” associando-se pilhas de 1,5V (inicialmente desconectadas dos suportes).



2. Com as fontes ligadas, meça todas as correntes nos ramos, considerando os respectivos sinais (atente-se às polarizações dos instrumentos) e comprove a *Primeira Lei de Kirchhoff*: “a soma algébrica das correntes em um nó é zero”.



$$I_1 = \underline{\hspace{2cm}} \quad I_2 = \underline{\hspace{2cm}} \quad I_3 = \underline{\hspace{2cm}}$$

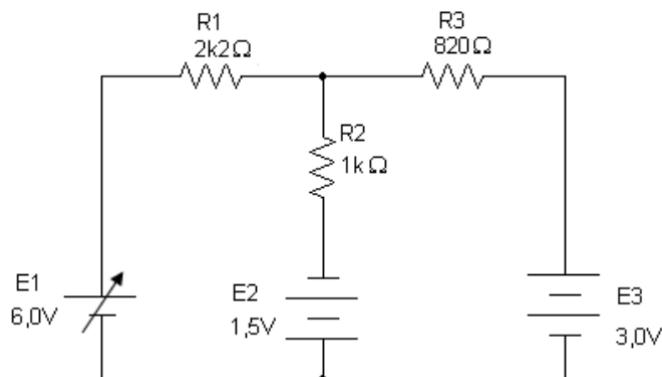
$$I_1 + I_2 + I_3 = \underline{\hspace{2cm}}$$

Observação: considere os sinais das correntes obtidas.

Comentários:

Lei das Malhas

1. Ainda se referindo ao circuito anterior, note que este possui 3 malhas:
 (1) interna do lado esquerdo ($R_1 \rightarrow E_1 \rightarrow E_2 \rightarrow R_2$);
 (2) interna do lado direito ($R_2 \rightarrow E_2 \rightarrow E_3 \rightarrow R_3$);
 (3) externa ($R_1 \rightarrow E_1 \rightarrow E_3 \rightarrow R_3$).
2. A cada uma das malhas, meça todas as tensões e comprove a *Segunda Lei de Kirchhoff*: “a soma algébrica das tensões em uma malha é zero”. Lembre-se que devem ser considerados os respectivos sinais das tensões.



Malha (1): $V_{R1} = \underline{\hspace{2cm}}$ $V_{E1} = \underline{\hspace{2cm}}$

$V_E = \underline{\hspace{2cm}}$ $V_{R2} = \underline{\hspace{2cm}}$

Verificação da *Segunda Lei de Kirchhoff*:

Malha (2): $V_{R2} = \underline{\hspace{2cm}}$ $V_{E2} = \underline{\hspace{2cm}}$

$V_{E3} = \underline{\hspace{2cm}}$ $V_{R3} = \underline{\hspace{2cm}}$

Verificação da *Segunda Lei de Kirchhoff*:

Comentários:

List a de Materiais

- Fonte CC de 0 a 30V
- Multímetro digital
- Multímetro analógico
- 3x pilhas grandes (tipo D) de 1,5 V
- Suporte para as pilhas
- Plaqueta de montagem “Universal”
- Cabos banana-banana
- Resistores de $\frac{1}{4}$ W: 1x (820Ω , $1k\Omega$, $2k2\Omega$)

EXPERIÊNCIA 6

Ponte de Wheatstone

Objetivos

- Familiarização experimental com a Ponte de Wheatston.
- Utilização desta ponte para determinação da resistência de resistores.

Introdução Teórica

A Ponte de Wheatstone consiste em um arranjo de resistores, fonte de alimentação e detector (o qual pode ser um voltímetro ou um amperímetro), conforme ilustrado pela figura 1.

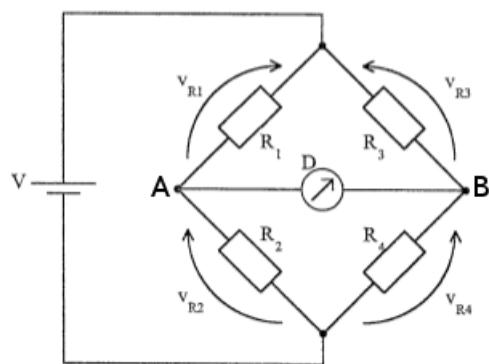


Figura 1: Ponte de Wheatston

Para que a ponte esteja em equilíbrio, a tensão entre os terminais A e B deve ser nula, implicando em:

$$V_{R1} = V_{R3} \quad (1)$$

e

$$V_{R2} = V_{R4} \quad (2)$$

Aplicando-se o conceito de divisor de tensões para determinar, por exemplo, V_{R2} e V_{R4} , tem-se:

$$V_{R2} = V \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (3)$$

$$V_{R4} = V \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4} \quad (4)$$

No equilíbrio, igualando-se (3) com (4):

$$V \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = V \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4} \quad (5)$$

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \quad (6)$$

$$R_2 R_3 + R_2 R_4 = R_4 R_1 + R_4 R_2 \quad (7)$$

e, finalmente:

$$R_2 R_3 = R_1 R_4 \quad (8)$$

Ou seja, no equilíbrio, os produtos em cruz dos valores dos resistores devem ser iguais.

Uma das aplicações da Ponte de Wheatstone é para medir-se o valor desconhecido de um resistor, a partir dos valores dos outros três resistores da ponte. A figura 2 ilustra um circuito para tal objetivo. Neste, deve-se variar o valor de R_p até que a ponte seja equilibrada e, assim, o valor de R_x poderá ser determinado por:

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R_p$$

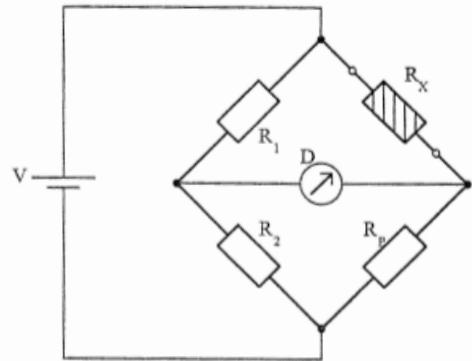
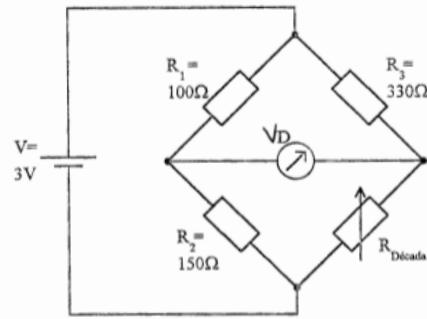


Figura 2: Ponte de Wheatstone utilizada para medir-se um resistor.

É óbvio que se desejar uma medida precisa de R_p , deve-se ter R_1 e R_2 também com valores precisos e um potenciômetro R_p com uma escala precisamente relacionada com a resistência apresentada.

Parte experimental

1. Montar o circuito a seguir:



2. Ajustar a década resistiva de modo a obter-se a tensão V_D a mínima possível.

Por medida de segurança, ajustar a escala do voltmetro V_D em um valor elevado (10V por exemplo) para evitar danos ao instrumento. A seguir, quando a tensão for se tornando menor devido à tentativa de equilibrar-se a ponte, mudar a escala para valores menores, de modo a aumentar a sensibilidade e obter-se um valor de V_D o mais próximo possível de zero.

3. Anotar o valor experimental de $R_{Década}$ e compará-lo com o valor calculado.

$R_{Década}$ (Ω)	
Calculado	Experimental

4. Medir a tensão sobre todos os resistores, no equilíbrio da ponte. O que se percebe quanto à relação entre as tensões? Por que esta relação ocorre?

R (Ω)	V_R (V)
100	
150	
330	
$R_{Década}$	

--

5. Retirar, agora, R_3 e substituir por resistores de “valores desconhecidos”, isto é, valores reais desconhecidos (os valores nominais podem ser determinados pelo código de cores dos resistores). Utilizar 5 valores diferentes, um de cada vez, e preencher a tabela seguinte.

Notas:

Tomar o cuidado de medir os valores de R_1 e de R_2 com um multímetro digital para utilizá-los na equação 2.

As medições em R_x devem ser realizadas, de preferência, com um ohmímetro digital; desta forma, a comparação com valores obtidos para R_x através da ponte resultará em menor erro.

R_x (nominal) (Ω)	R_x (medido) (Ω)	$R_{década}$ (Ω)	R_x (calculado) (Ω)	Erro (%)

Listagem de Materiais

- Fonte CC de 0 a 30V
- Multímetro digital
- Caixa de resistências (década resistiva)
- Plaqueta de montagem “Universal”
- Cabos banana-banana
- Resistores de 1/4 W: 1x ($100\ \Omega$, $120\ \Omega$, $150\ \Omega$, $220\ \Omega$, $330\ \Omega$, $390\ \Omega$, $470\ \Omega$, $560\ \Omega$)

EXPERIÊNCIA 7

Geradores Elétricos e Máxima Transferência de Potência

Objetivos

- Determinação da Curva Característica de um Gerador Elétrico.
- Determinação das Condições para Máxima Transferência de Potência.

Introdução Teórica

Geradores Elétricos

Geradores Elétricos são equipamentos ou dispositivos cuja função é a de produzir uma diferença potencial, ou tensão, entre seus terminais, obtida por meio da conversão de uma forma de energia (química, mecânica, térmica ou luminosa, por exemplo) em energia elétrica.

As pilhas e baterias são exemplos de dispositivos que convertem energia química em elétrica. Esta categoria de geradores remontam a invenção da Pilha Eletroquímica por Alessandro Volta apresentada em 1800. Na figura 1, há algumas ilustrações de pilhas e baterias.

Como exemplo de equipamentos que convertem energia mecânica em energia elétrica, há os dínamos e os alternadores. Estes geradores são empregados em usinas hidroelétricas, sendo também empregados nos automóveis (antigamente, os dínamos; atualmente, os alternadores) para promover a energia elétrica necessária para alimentar os equipamentos deste. A figura 2 apresenta uma ilustração de um dínamo.

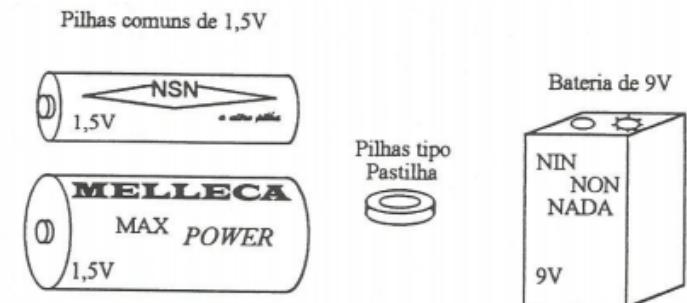


Figura 1: Pilhas e Baterias

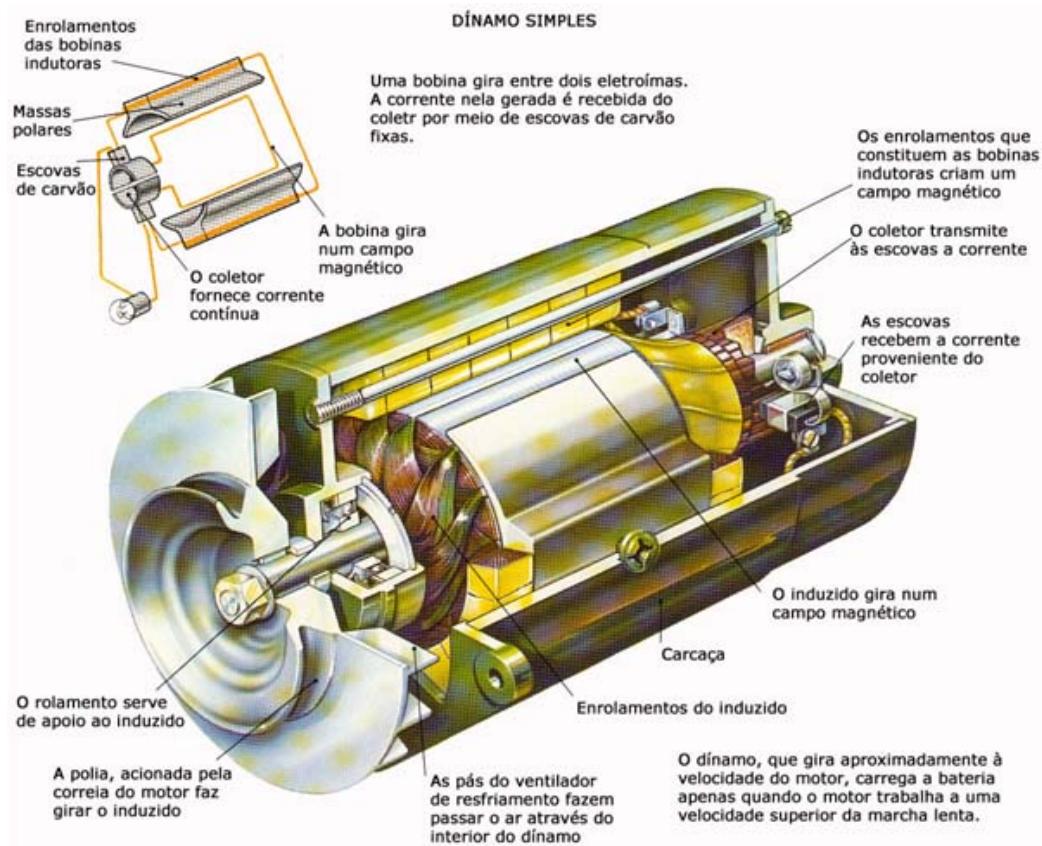


Figura 2: Gerador Eletromecânico.

Um termopar consiste em um par de metais diferentes, unidos em seus extremos, conforme a figura 3. Ao se aplicar temperaturas diferentes às suas junções, estabelece-se uma diferença de potencial, como se vê na mesma

figura. Este efeito é denominado *Efeito Seebeck* e trata-se de um exemplo de conversão de energia térmica em energia elétrica. Tal efeito é amplamente empregado na medição de temperatura.

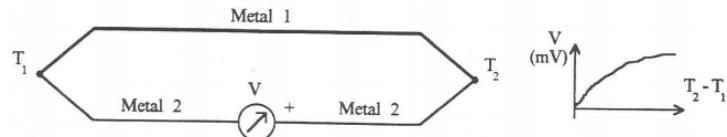


Figura 3: Termopar.

Como último exemplo de gerador elétrico, mencionam-se as células solares baseadas em materiais semicondutores, as quais convertem energia luminosa em energia elétrica. Essa técnica é muito empregada em satélites, estações espaciais, telefones na beira de estradas e calculadoras de bolso, entre diversas outras aplicações. Como cada célula é capaz de somente produzir uma tensão pequena e suprir baixas correntes, muitas destas são dispostas em associações série e paralela.

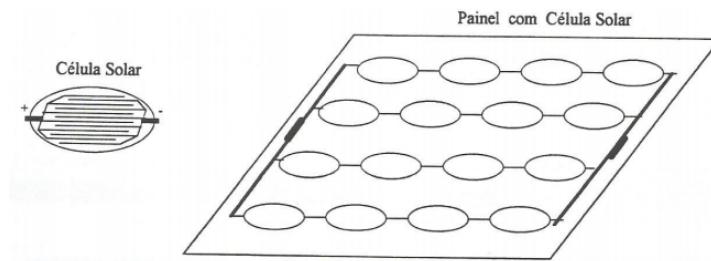


Figura 4: Célula Solar e Painel Solar

E a fonte de Alimentação de Bancada? Esta também pode ser considerada como gerador elétrico, porém necessita de outro “gerador”, que é a rede elétrica e possui características de estabilidade para a tensão de saída muito superiores aos geradores mencionados. A Fonte de Bancada é construída com circuitos eletrônicos, que possibilitam esta estabilidade.

Curva v x i de Geradores Elétricos

Um gerador elétrico em geral possui uma curva $v \times i$ como a ilustrada na fig. 5. Esta curva pode ser obtida por um ensaio de carga, onde aplica-se

na saída deste gerador um resistor variável ou uma carga elétrica variável, mede-se v com um voltímetro e i com um amperímetro, traçando-se então a curva em questão.

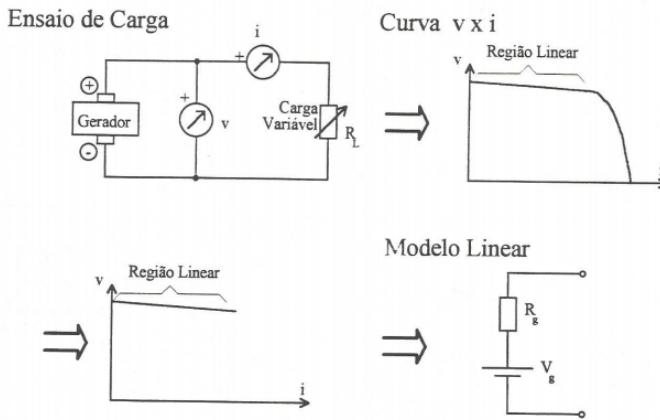


Figura 5: Ensaio de Carga, Curva $v \times i$ de um Gerador e Modelo Linear

É óbvio que esta relação não é linear, porém, pode-se adotar um modelo linear para a região assim designada na fig. 5, resultando no modelo ilustrado ao lado da curva $v \times i$ desta mesma figura. Este modelo consiste em um gerador ideal V_g em série com um resistor R_g , e é frequentemente modelado pela seguinte equação:

$$v = V_g - R_g \cdot i \quad (1)$$

Para o caso de uma fonte de bancada, a tensão de saída varia pouco com a corrente de saída, resultando em uma curva $v \times i$ ilustrada na fig. 6. Este caso de “gerador” é o que mais se aproxima de Gerador Ideal.

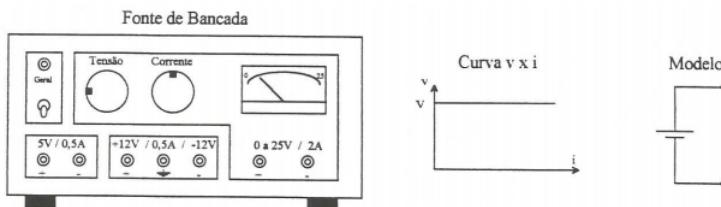


Figura 6: Curva $v \times i$ de um Gerador Ideal e Modelo

Máxima Transferência de Potência

Ao se conectar um gerador qualquer (uma bateria por exemplo) a uma carga resistiva pergunta-se: qual o valor desta carga de modo que a potência transferida para esta seja a máxima? Esta situação está ilustrada na fig. 7.

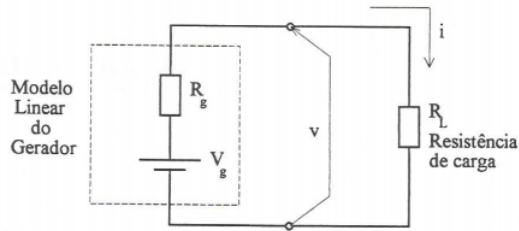


Figura 7: Máxima Transferência de Potência

O valor da potência dissipada pela carga é:

$$P_{RL} = R_L \cdot i^2 = R_L \cdot \left(\frac{V_g}{R_g + R_L} \right)^2 \quad (2)$$

O valor máximo para P_{RL} é determinado por:

$$\max P_{RL} \Rightarrow \frac{\partial P_{RL}}{\partial R_L} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial P_{RL}}{\partial R_L} = \frac{V_g^2}{(R_g + R_L)^2} + R_L V_g^2 \frac{(-2)}{(R_g + R_L)^3} = 0$$

$$R_g + R_L - 2R_L = 0$$

$$R_L \mid_{P_{RL\max}} = R_g \quad (4)$$

Uma outra maneira de obter-se este resultado, consiste em equacionar-se P_{RL} em função das potências geradas por V_g e dissipada por R_g :

$$P_{RL} = P_{Vg} - P_{Rg} = V_g \cdot i - R_g \cdot i^2 \quad (5)$$

Esta equação é uma parábola como ilustrado na fig. 8. Nesta figura, nota-se que a potência útil, P_{RL} , é zero para a corrente $i = 0$ e $i = I_{CC}$, onde

I_{CC} é a corrente de curto circuito, ou seja $R_L = 0\Omega$! **Convém observar que esta condição nem sempre é saudável de se implementar na prática, pois pode causar um TERRÍVEL ACIDENTE!!**

O máximo de P_{RL} em função de i é:

$$\max P_{RL} \Rightarrow \frac{\partial P_{RL}}{\partial R_L} = 0 \Rightarrow V_g - 2 \cdot R \cdot i = 0$$

$$i \mid_{P_{RLmax}} = \frac{V_g}{2 \cdot R_g} \quad (6)$$

Como $v = V_g - R_g \cdot i = \frac{V_g}{2}$ e $R_L = \frac{v}{i}$ obtém-se:

$$R_L \mid_{P_{RLmax}} = \frac{v}{i \mid_{P_{RLmax}}} = \frac{\frac{V_g}{2}}{\frac{V_g}{2 \cdot R_g}} = R_g$$

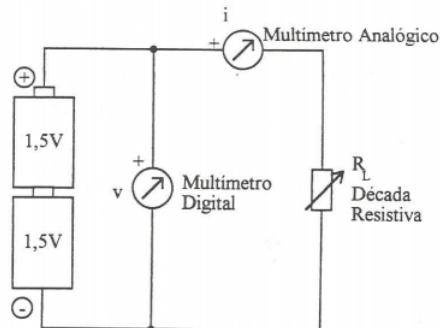
$$R_L \mid_{P_{RLmax}} = R_g \quad (7)$$

Que é a mesma expressão obtida anteriormente Eq.(2.3)

Parte Experimental

Curva Característica de Um Gerador Tipo Pilha Elétrica (Eletroquímica)

1. Implementar a seguinte montagem:



2. Colocar inicialmente a Década Resistiva em $1\text{k}\Omega$.

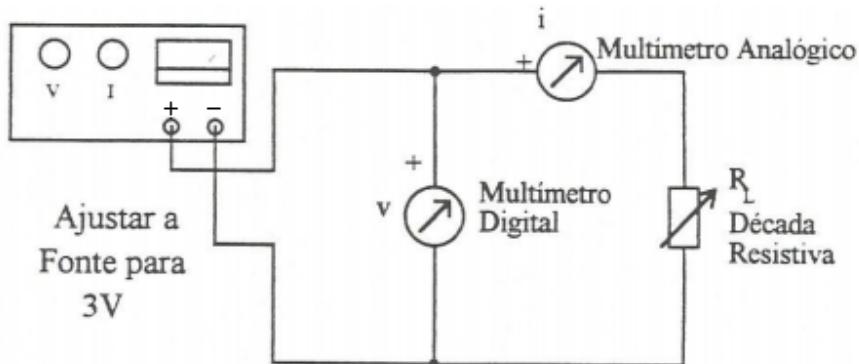
3. Preencher a tabela a seguir, variando-se a Década convenientemente.
4. Em uma planilha eletrônica, traçar o gráfico $v \times i$.

i (mA)	v (V)
0	
20	
40	
60	
80	
100	
120	
140	
160	
180	
200	
220	
240	

5. No gráfico, realizar a regressão linear (ou seja, traçar a linha de tendência linear).
6. Determinar a resistência interna da pilha por meio da equação obtida.
7. Escrever a equação característica da fonte de bancada

Curva Característica da Fonte de Bancada

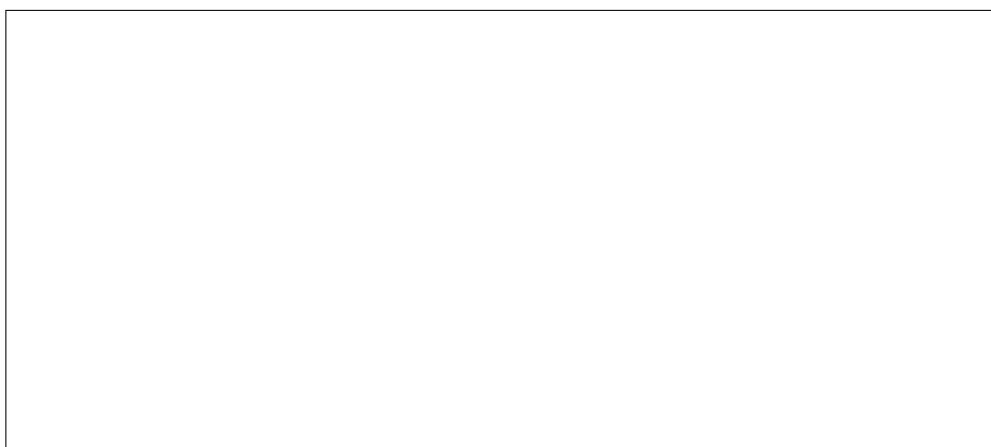
1. Repetir o mesmo experimento para a Fonte da Bancada, conforme circuito abaixo.



2. Preencher a tabela:

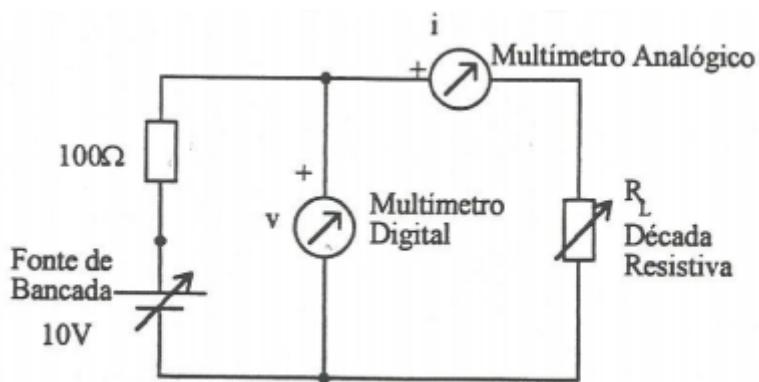
i (mA)	v (V)
0	
50	
100	
150	
200	
250	

3. Colocar os pontos obtidos no mesmo gráfico do tópico **3.1**.
4. Por meio do gráfico, estimar a resistência interna da Fonte de Bancada.
5. Escrever a equação característica da Fonte de Bancada.
6. Qual gerador se aproxima mais do gerador ideal: a Pilha ou a Fonte de Bancada? Por quê?



Máxima Transferência de Potência

1. Simular um gerador com a montagem ilustrada abaixo.



2. Preencher, então, a seguinte tabela:

R_L (Ω)	v (V)	i (mA)	P_{RL} (mW)
0			
20			
40			
60			
80			
100			
200			
400			
600			
800			
1000			

3. Traçar dois gráficos, um para $P_{RL} \times R_L$ e outro para $P_{RL} \times i$.

4. Determinar os valores a seguir para P_{RL} máximo:

	Teórico	Pelos Gráficos
$P_{RLmáx}$ (mW)		
$R_L _{P_{RLmáx}}$ (Ω)		
$I_{R_L} _{P_{RLmáx}}$ (mA)		

Listar de Materiais

- Fonte CC de 0 a 30V
- Década Resistiva
- Multímetro digital
- Multímetro analógico
- 2x pilhas grandes (tipo D) de 1,5 V
- Suporte para as pilhas
- Plaqueta de montagem “*Universal*”
- Cabos banana-banana
- **Resistor de 2W: 1x (100Ω)**

EXPERIÊNCIA 8

Teorema da Superposição e Teoremas de Thévenin e de Norton

Objetivos

- Familiarização prática com o Teorema da Superposição e os Teoremas de Thévenin e de Norton

Introdução Teórica

Teorema da Superposição

Este teorema, que em alguns textos é referenciado como Princípio da Superposição, pode ser enunciado como segue:

“Um Circuito Linear contendo várias fontes independentes, de tensão e/ou de corrente, pode ter suas tensões nodais e correntes de ramos, que são as respostas, determinadas pela **superposição das respostas para cada fonte agindo separadamente, sendo as demais fontes desativadas**”.

Entende-se por **fontes desativadas** como sendo:

- **Curto Circuito para Fontes de Tensão Independentes ($V = 0V$)**
- **Círculo Aberto para Fontes de Corrente Independentes ($I = 0A$)**

Lembrar que as Fontes Dependentes são devem ser desativadas!

Como exemplo, aplica-se este teorema ao circuito da fig. 1, onde deseja-se determinar a tensão V_x .

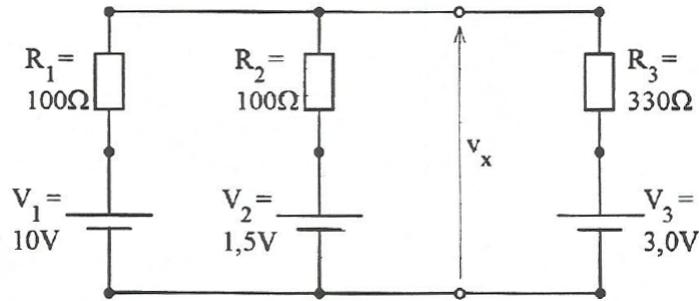


Figura 1: Aplicação do Teorema da Superposição

Como este circuito apresenta 3 fontes independentes, inicia-se a análise ativando-se a fonte V_1 e desativando-se as fontes V_2 e V_3 , como ilustrado na fig. 2.

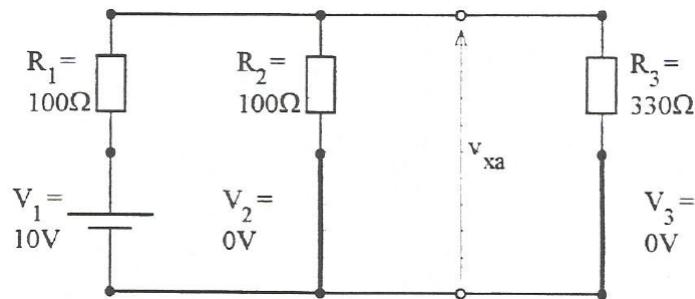


Figura 2: V_1 ativada, V_2 e V_3 desativadas.

Determina-se V_{xa} (fazer os cálculos):

$$V_{xa} = \underline{\hspace{2cm}}$$

Agora, determina-se V_x para o caso de V_2 ativada, V_1 e V_3 desativadas:

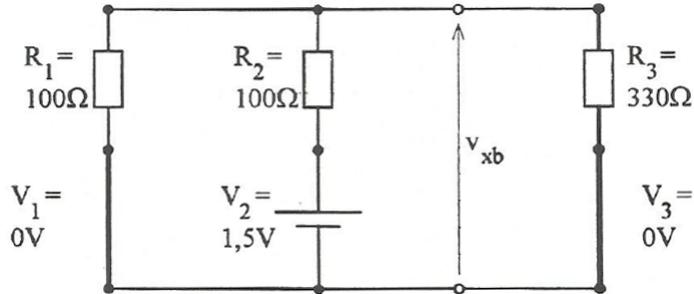


Figura 3: V_2 ativada, V_1 e V_3 desativadas.

$$V_{xb} = \underline{\hspace{2cm}}$$

Finalmente, determina-se V_x para o caso de V_3 ativada, V_1 e V_2 desativadas:

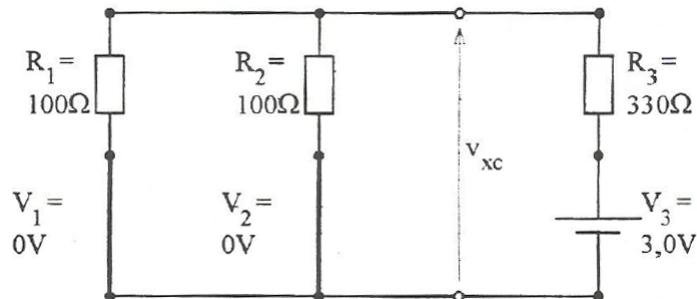


Figura 4: V_3 ativada, V_1 e V_2 desativadas.

$$V_{xc} = \underline{\hspace{2cm}}$$

A tensão V_x é então determinada pela soma das respostas obtidas, pois o circuito é linear: $V_x = V_{xa} + V_{xb} + V_{xc} = \underline{\hspace{2cm}} =$

Teorema de Thévenin

O Teorema de Thévenin pode ser enunciado como a seguir:

“Dado um **Círcuito Linear qualquer**, este pode ser separado em dois subcircuitos A e B conectados por fios de resistência desprezível. Define-se V_{oc} como sendo a tensão de circuito aberto que aparece nos terminais de A quando B for desconectado e, portanto, corrente nenhuma passar de A para B. Então, todas as tensões e correntes de B ficam inalteradas se o

círcuito A for substituído por uma **frente de tensão independente** $V_{th} = V_{oc}$ em série com um resistor R_{th} que é determinado como sendo a resistência “vista” a partir dos terminais de A com todas as fontes independentes deste subcircuito desativadas.”

A fig. 5 ilustra um circuito igual ao da fig. 1 como exemplo de aplicação deste teorema. Nesta mesma figura, estão ilustradas a separação deste circuito nos dois subcircuitos A e B.

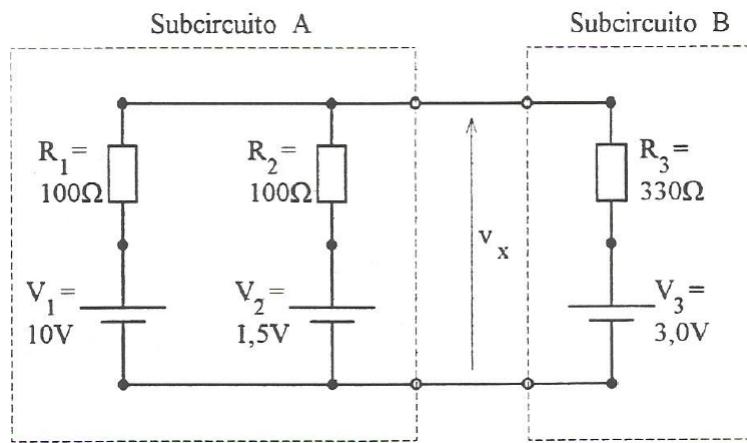
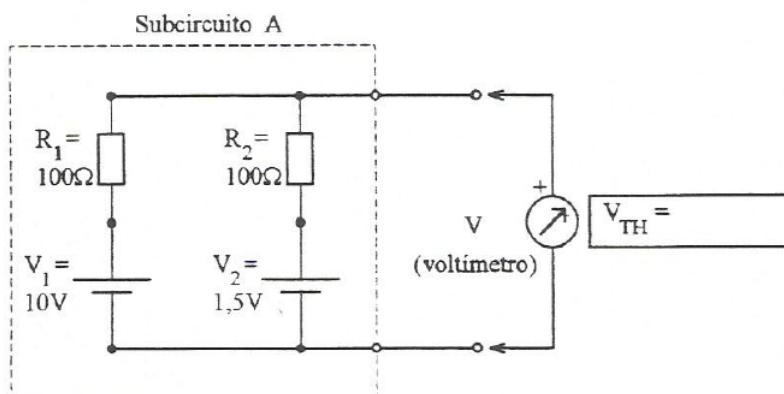


Figura 5: Aplicação do Teorema de Thévenin.

O subcircuito A é então reduzido à tensão V_{th} em série com R_{th} . V_{th} é determinado como sendo a tensão apresentada pelos terminais de A em aberto, e R_{th} é calculado como sendo a resistência apresentada pelos terminais de A com todas as fontes independentes inativas. Então, o subcircuito A pode ser substituído como ilustrado na fig. 6.



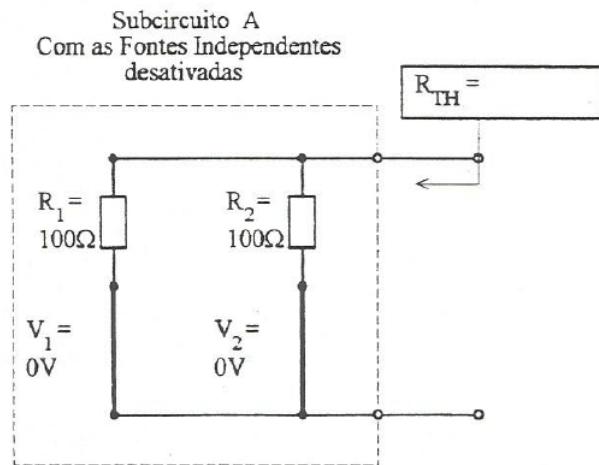
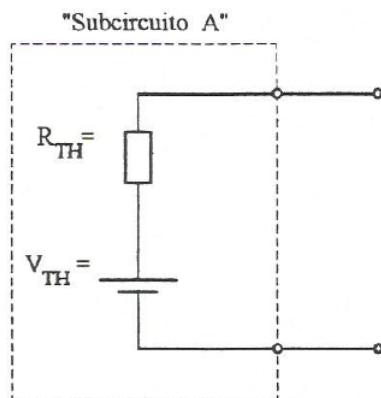
1. Determinação de V_{th} 2. Determinação de R_{th} 

Figura 6: Aplicação do teorema de Thévenin. Determinar V_{th} e R_{th} como exercício.

3. Circuito Equivalente de Thévenin para o Subcircuito A

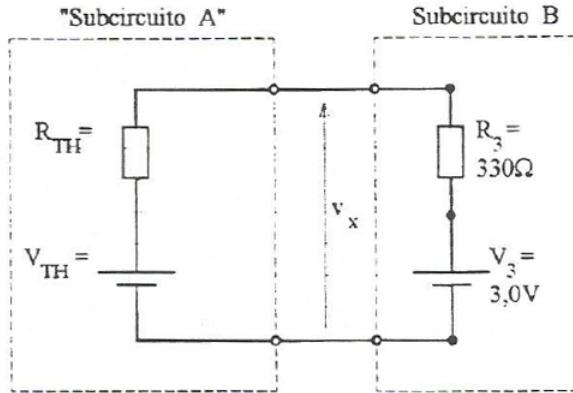


Figura 7: Aplicação do Teorema de Thévenin (continuação).

4. Determinação de V_x utilizando o Equivalente de Thévenin para o Subcírculo A

A tensão V_x nos terminais de A resulta então (Notar que deve ser o mesmo valor de V_x obtido para o Teorema da Superposição!)

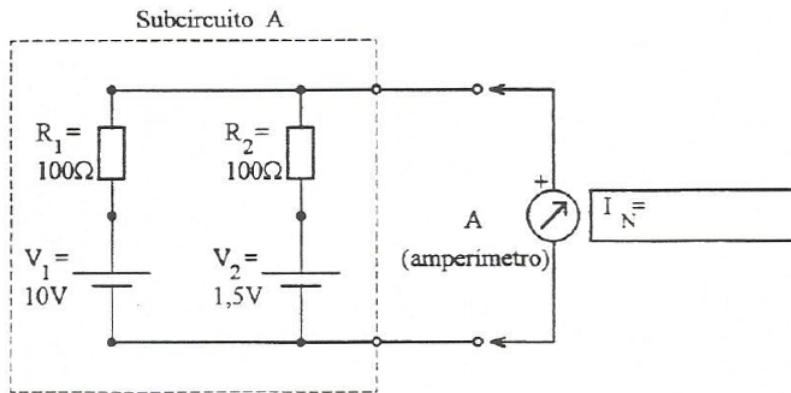
$$V_x = \underline{\hspace{2cm}}$$

Teorema de Norton

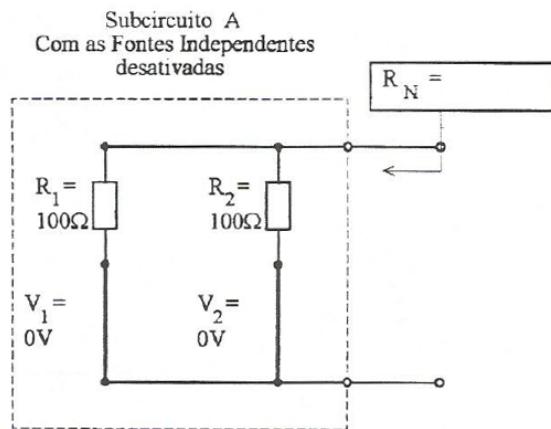
O teorema de Norton pode ser enunciado como a seguir:

“Dado um **Círcuito Linear qualquer**, este pode ser separado em dois subcircuitos A e B conectados por fios de resistência desprezível. Definindo-se i_{sc} **como sendo a corrente de curto circuito** que aparece nos terminais de A quando B for substituída por um curto circuito de modo que nenhuma tensão seja fornecida por A. Então, todas as tensões e correntes de B ficam inalteradas se o circuito A for substituído por uma **fonte de corrente independente $I_n = i_{sc}$ em paralelo com um resistor R_n** que é determinado como sendo a resistência “vista” a partir dos terminais de A com todas as fontes independentes deste subcírculo **desativadas**.”

Notar que R_n é determinado da mesma maneira que R_{th} , resultando que $R_n = R_{th}$. Como exemplo de aplicação, recorre-se à fig. 5, determinando-se I_n como ilustrado na fig. 8.



1. Determinação de I_n



2. Determinação de R_n

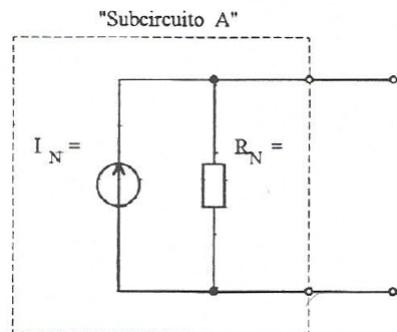


Figura 8: Aplicação do Teorema de Norton. Determinar I_n e R_n como exercício.

3. Circuito Equivalente de Norton para o Subcircuito A

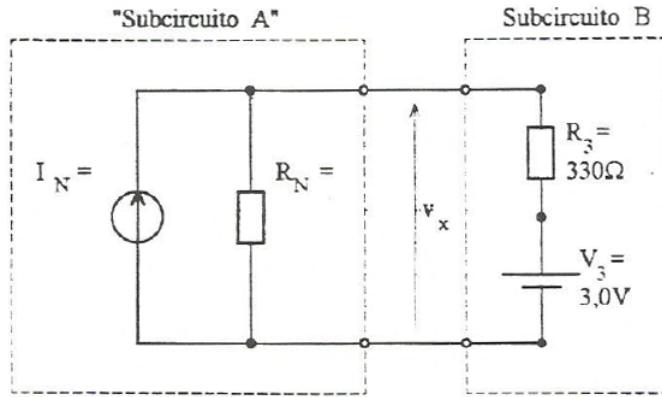


Figura 9: Aplicação do Teorema de Norton (continuação).

4. Determinação de V_x utilizando o Equivalente de Thévenin para o Subcircuito A

A partir da fig. 9, determina-se V_x (mais uma vez, deve ser igual a V_x do exemplo para o teorema da superposição e para o teorema de Thévenin!)

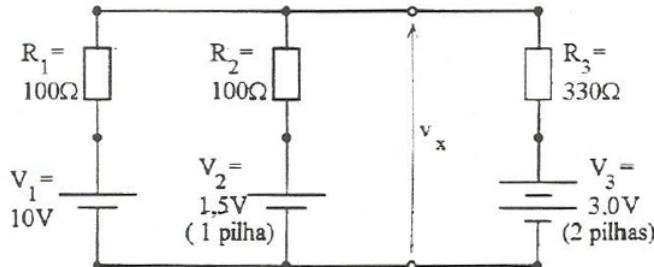
$$V_x = \underline{\hspace{2cm}}$$

Parte Experimental

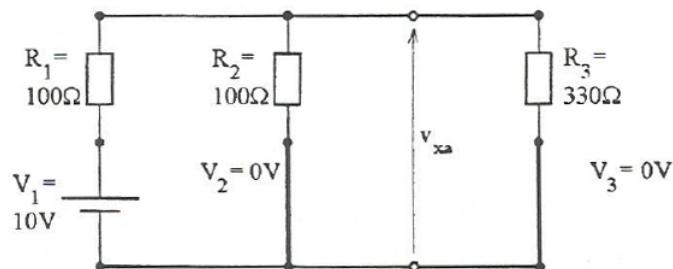
Teorema da Superposição

Montar os circuitos abaixo, semelhantes ao analisado na introdução teórica. Medir V_x , V_{xa} , V_{xb} e V_{xc} para os 4 circuitos indicados, e verificar o Teorema da Superposição.

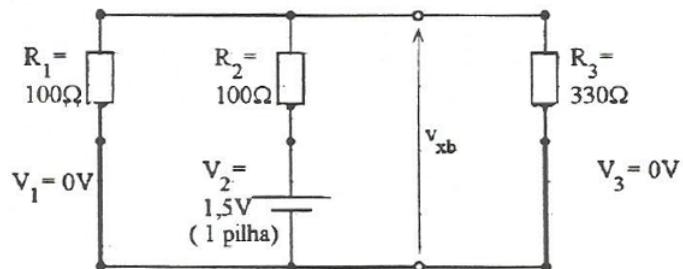
1. Determinação de V_x : $V_x = \underline{\hspace{2cm}}$



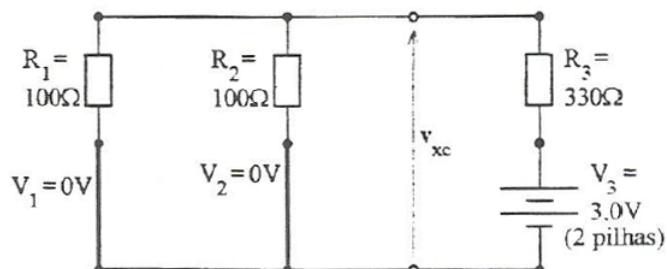
2. Determinação de V_{xa} : $V_{xa} = \underline{\hspace{2cm}}$



3. Determinação de V_{xb} : $V_{xb} = \underline{\hspace{2cm}}$



4. Determinação de V_{xc} : $V_{xc} = \underline{\hspace{2cm}}$



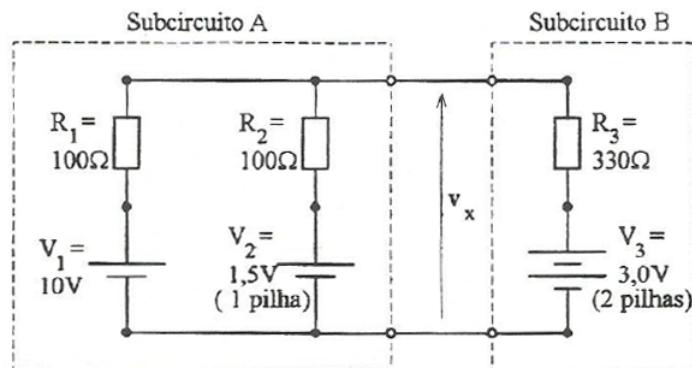
5. Comparaçāo: $V_{xa} + V_{xb} + V_{xc} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$

Observaçāo: os valores devem ser bem próximos; diferenças maiores que 0,2 V indicam um provável erro experimental ou de interpretação.

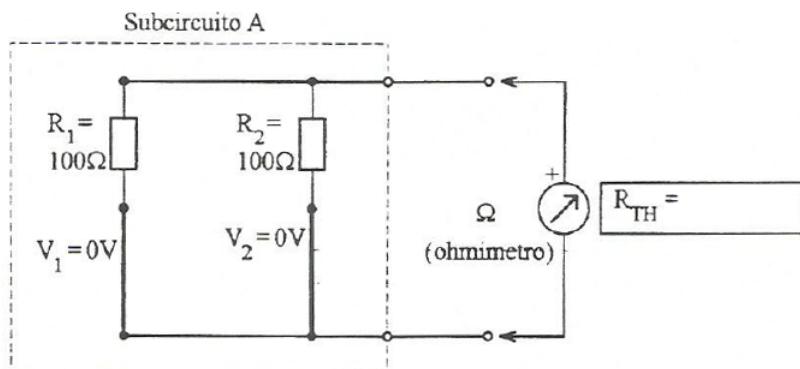
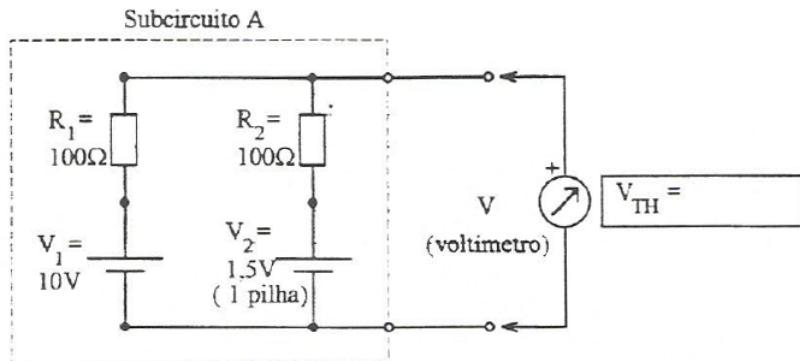
Teorema de Thévenin

1. O circuito abaixo é o mesmo que o do tópico anterior.

Anotar o valor de V_x : $V_x = \underline{\hspace{2cm}}$.



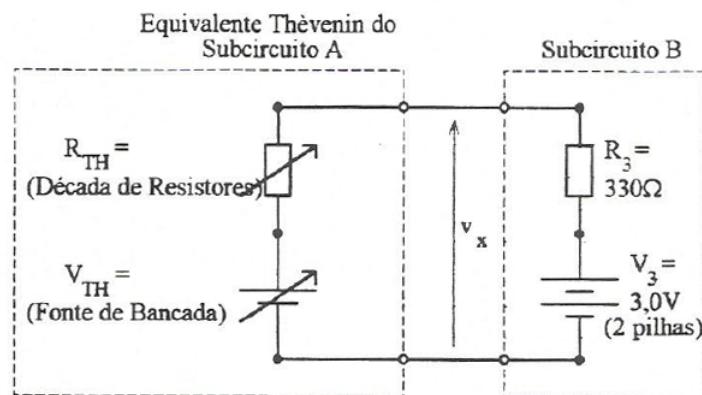
2. Determinar V_{th} e R_{th} segundo os circuitos seguintes.



3. Considerando o circuito do item 1, **substituir o Subcircuito A** pela fonte de bancada ajustada em V_{th} volts em série com a Década de Resistores ajustada em R_{th} ohms. Em seguida, medir o valor de V_x e compará-lo com o do circuito original.

$$V_x = \underline{\hspace{2cm}}$$

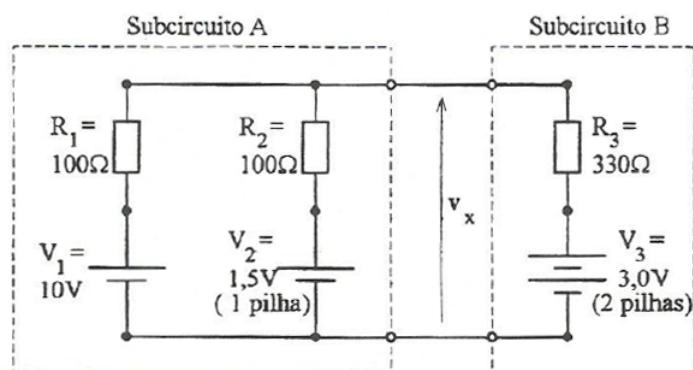
Observação: os valores devem ser bem próximos; diferenças maiores que 0,2 V indicam um provável erro experimental ou de interpretação.



Teorema de Norton

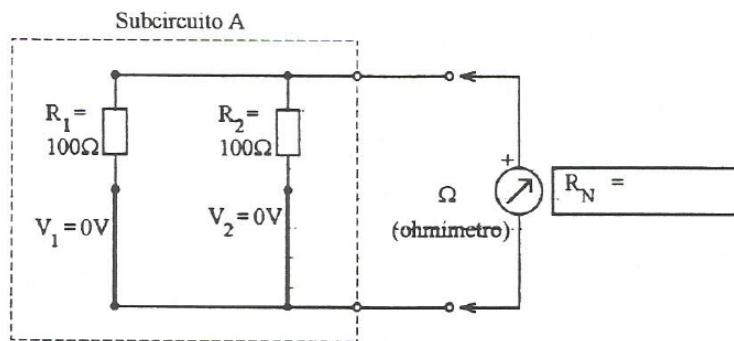
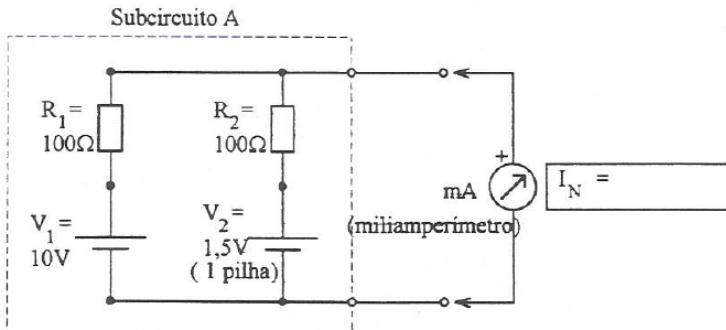
1. O circuito abaixo é o mesmo que o do tópico anterior.

Anotar o valor de V_x : $V_x = \underline{\hspace{2cm}}$



2. Determinar I_N e R_N segundo os circuitos abaixo.

Lembre-se: $R_N = R_{TH}$



3. Considerando o circuito do item 1, **substituir o Subcírculo A** pela Fonte de Bancada em série com um miliampereímetro e estes dois elementos em paralelo com a Década de Resistores ajustada em R_N ohms, segundo o circuito abaixo.

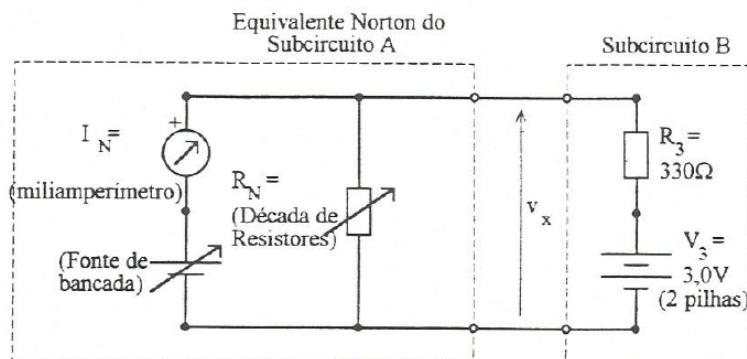


Figura 10: Aplicação do Teorema de Norton.

4. Em seguida, ajustar a Fonte de Tensão de modo a medir-se uma corrente igual a I_N no miliamperímetro.

Perceba-se que a fonte de tensão em série com o miliamperímetro emula uma Fonte Independente de Corrente.

5. Medir o valor de V_x , comparando-o com o valor medido anteriormente.

$$V_x = \underline{\hspace{2cm}}$$

Observação: os valores devem ser bem próximos; diferenças maiores que 0,2 V indicam um provável erro experimental ou de interpretação.

6. Tecer, no espaço a seguir, comentários pertinentes a esta experiência, como diferenças entre os resultados calculados e os medidos experimentalmente.

List de Materiais

- Fonte CC de 0 a 30V
- Multímetro digital
- Multímetro analógico
- Década de Resistores
- 3x pilhas grandes (tipo D) de 1,5 V
- Suporte para as pilhas
- Plaqueta de montagem “Universal”
- Cabos banana-banana
- Resistores de $\frac{1}{4}W$: 1x ($330\ \Omega$)
- **Resistores de 2 W: 2x ($100\ \Omega$)**

EXPERIÊNCIA 9

Circuitos RC e Osciloscópio

Objetivos

- Fixar os conceitos sobre o comportamento de circuitos RC em circuitos de corrente contínua.
- Treinar a utilização do osciloscópio para realizar medições de formas de onda.
- Reconhecer a possibilidade de ocorrência de curto pelo “negativo” dos canais.

Círculo a Analisar

O circuito que será analisado é o RC série, como mostrado na figura 1

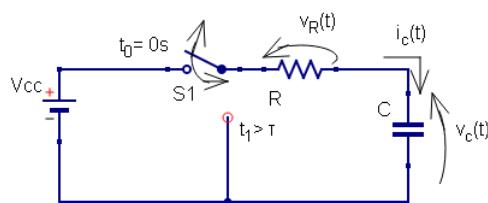


Figura 1: Circuito RC série.

As Equações (1) e (2) regem a carga do capacitor e as (3) e (4), a descarga.

Carga:

$$v_c(t) = V_{cc} \cdot (1 - e^{-t/RC}) \quad (1)$$

$$i_c(t) = I_0 \cdot e^{-t/RC} \quad (2)$$

Descarga:

$$v_c(t) = V_{cc} \cdot e^{-t/RC} \quad (3)$$

$$i_c(t) = -I_0 \cdot e^{-t/RC} \quad (4)$$

Sendo

$$RC = \tau [s]$$

$$I_o = \frac{V_{cc}}{R} [A]$$

Observação: Foi considerado capacitor inicialmente descarregado em t_0 e depois completamente carregado em t_1 .

A tensão no resistor é

$$v_R(t) = V_{cc} - v_c(t)$$

E, portanto, na carga e descarga têm-se as equações (5) e (6) respectivamente.

Carga:

$$v_R(t) = V_{cc} \cdot e^{-t/RC} \quad (5)$$

Descarga:

$$v_R(t) = -V_{cc} \cdot e^{-t/RC} \quad (6)$$

As formas de onda para carga e descarga no capacitor, sincronizadas no tempo, estão grafadas na figura 2.

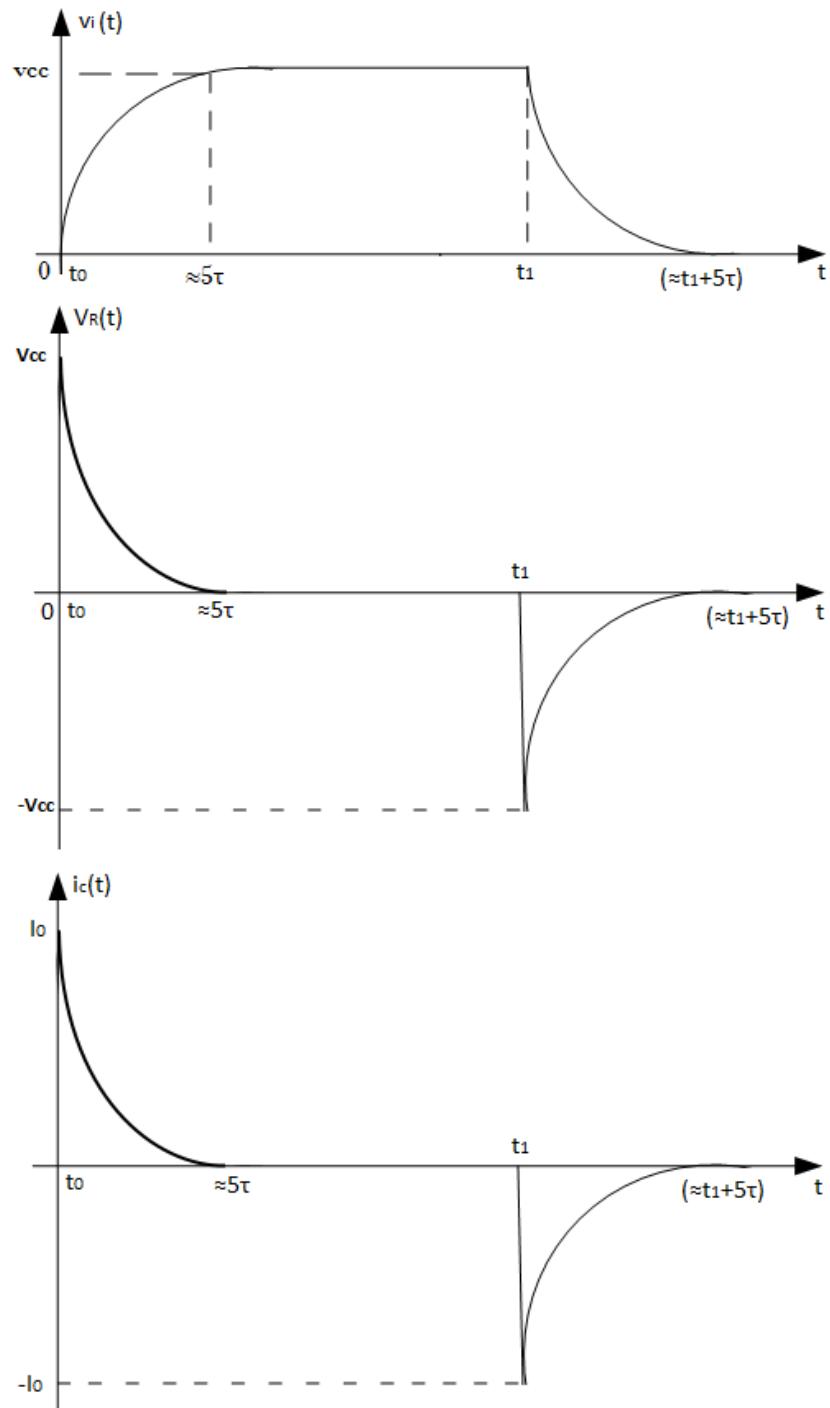
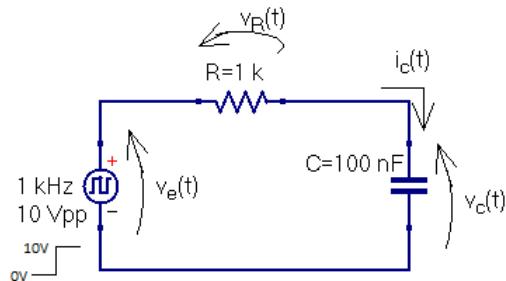


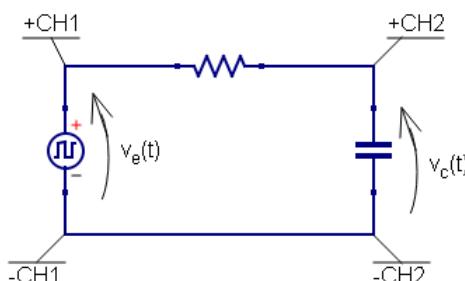
Figura 2: Formas de onda para carga e descarga do capacitor.

Parte Experimental

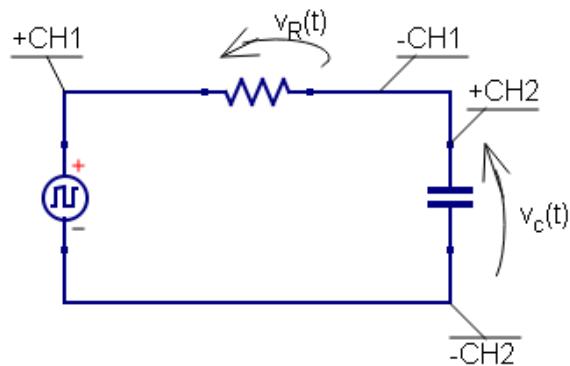
1. Montar o circuito abaixo:



2. Certificar-se que o gerador de onda quadrada fornece tensão mínima de 0V e máxima de 10V (com auxílio do osciloscópio).
3. Observar, simultaneamente, $v_e(t) \times t$ e $v_c(t) \times t$. Para tanto, conectar as pontas de prova do osciloscópio como apresentado a seguir:



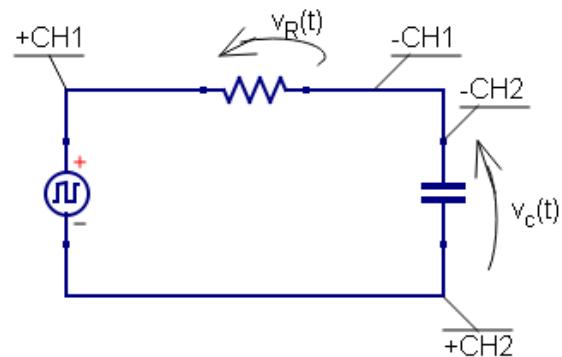
4. Considerando os eixos na página 9-7, anotar 2 períodos das formas de onda observadas, salientando as “cotas notáveis” (conforme apresentado na secção §2).
5. Observar, simultaneamente, $v_R(t) \times t$ e $v_c(t) \times t$. Para tanto, conectar as pontas de prova do osciloscópio como apresentado a seguir:



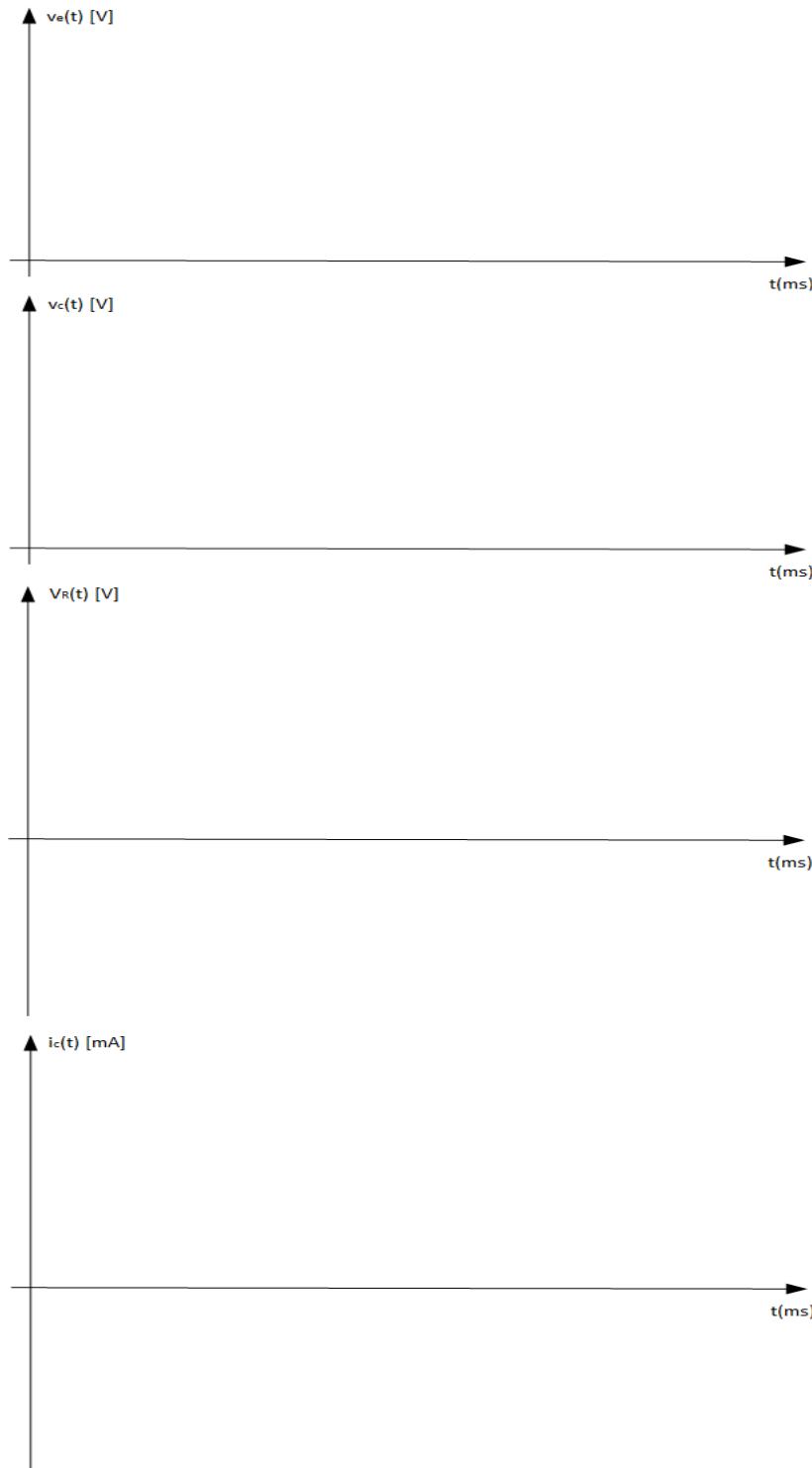
6. Descrever o que foi observado e explicar o porquê.

7. Com o intuito de realizar o item 5, conectar as pontas de prova conforme indicado abaixo e acionar a função de inverter o CH2, para a forma de onda não aparecer invertida.

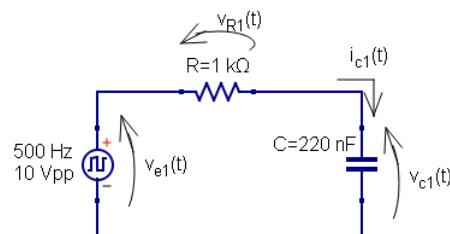
Nota: Se o gerador de funções possuir o pino terra, poderá haver resultado incoerente. (Por quê?)



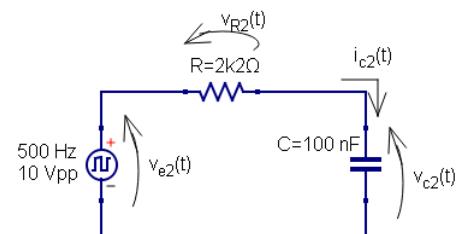
8. Completar os gráficos abaixo.



9. Montar os circuitos abaixo e preencher os gráficos na página 9-9, superpondo os resultados dos circuitos.



Círculo 1



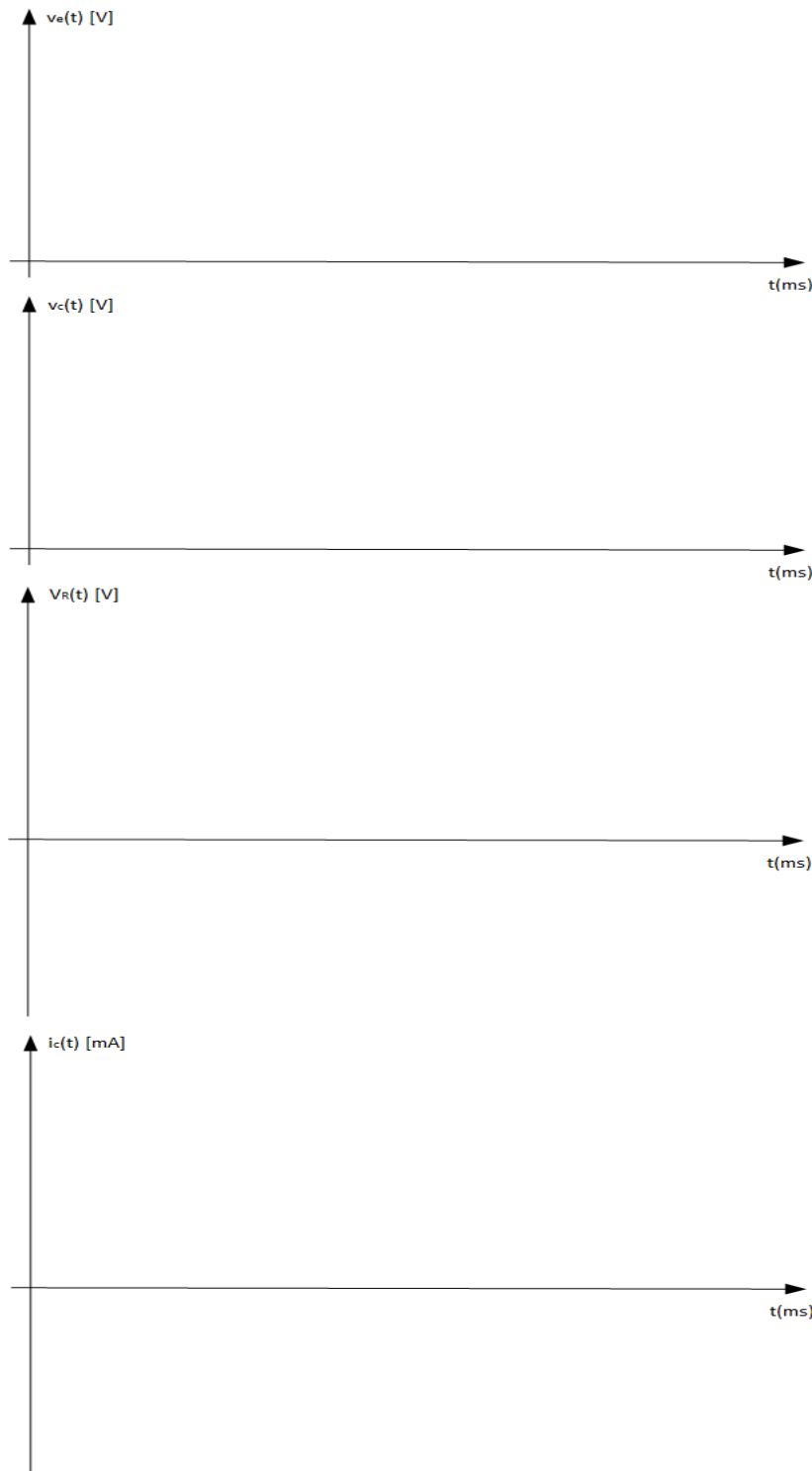
Círculo 2

10. Se as formas de onda $v_{c1}(t)$ e $v_{c2}(t)$ são iguais, onde reside a diferença entre os circuitos?

11. Desafio: Como observar $v_R(t) \times t$ conectando as pontas de prova da mesma forma à indicada no item 3?

Lista de Materiais

- Plaqueta de montagem “Universal”
- Osciloscópio
- Gerador de funções
- Multímetro digital



- Resistores de $\frac{1}{4}W$: 1x ($1\text{k}\Omega$; $2\text{k}\Omega$)
- Capacitores: 1x ($100\text{nF}/50\text{V}$; $220\text{nF}/50\text{V}$)
- 3x cabos BNC-jacaré
- Cabos banana-banana pequenos

EXPERIÊNCIA 10

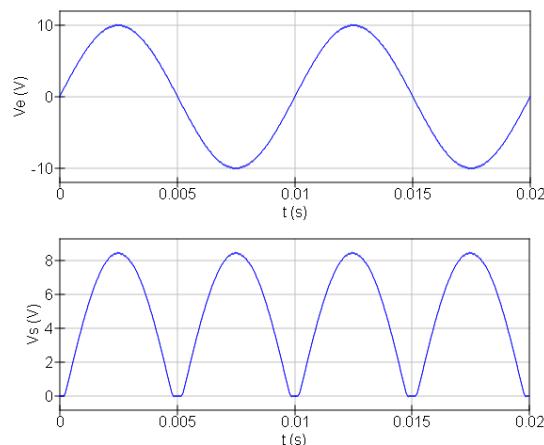
Circuitos Retificadores e Grampeadores e
Osciloscópio**Objetivo**

- Principalmente, treinar o uso do osciloscópio.
- Instigar a curiosidade por conhecer novos circuitos e a interpretação de seu funcionamento.

Círcuito 1:

Poderá existir um circuito tal que, uma vez alimentado por uma onda senoidal, “rebata” a parte negativa da senoide para a parte positiva?

Efeito:



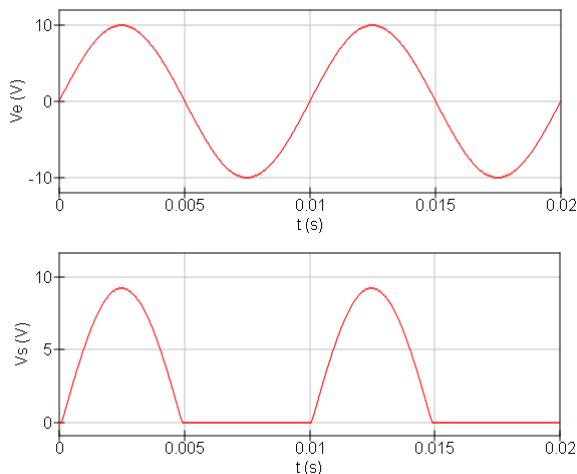
Resposta:

Sim, existe. Um dos circuitos é o “Retificador em Ponte”.

Círculo 2:

Existe algum circuito que, se alimentado por uma onda senoidal, elimine sua parte negativa?

Efeito:



Resposta:

Sim, existe. É o “Retificador de Meia Onda”.

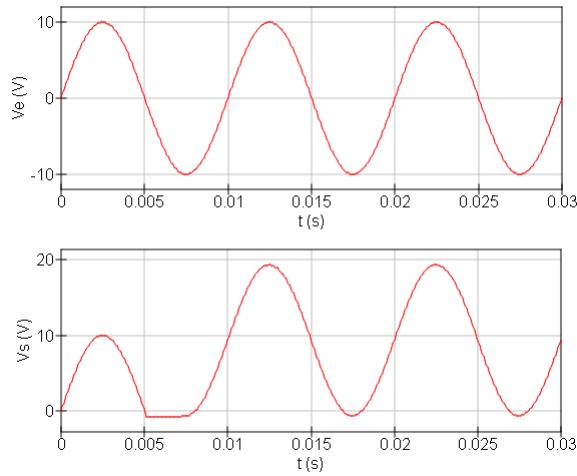
Círculo 3:

É possível construir um circuito que, uma vez alimentado por uma onda senoidal, qualquer que seja sua amplitude, desloque-a para “cima” de forma que toda a senoide permaneça na parte positiva?

Efeito:

$$v_e(t) = A \sin(\omega t)$$

$$v_s(t) = A \sin(\omega t) + A = A[1 + \sin(\omega t)]$$



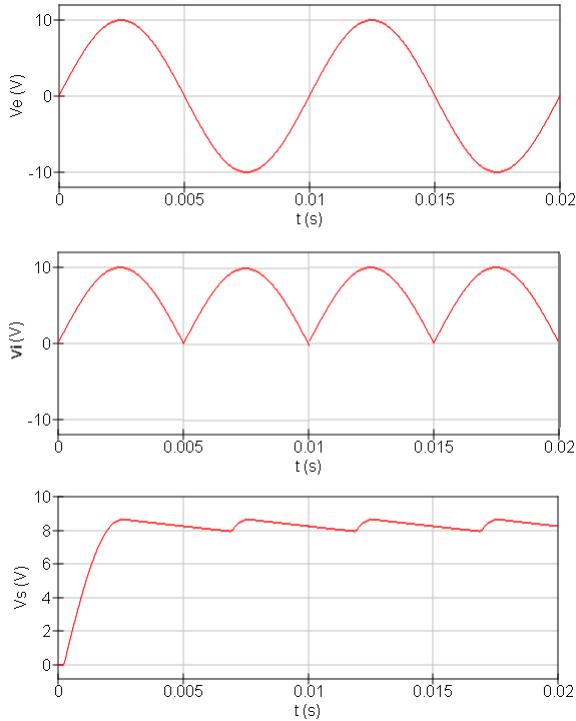
Resposta:

Sim é possível. Tal circuito é o “Grampeador de Tensão” (na figura, também estão representados os transitórios iniciais antes de se atingir o regime de operação).

Círcuito 4

Dada uma onda pulsante, é possível transformá-la numa “menos pulsante”, tendendo a contínua?

Efeito:

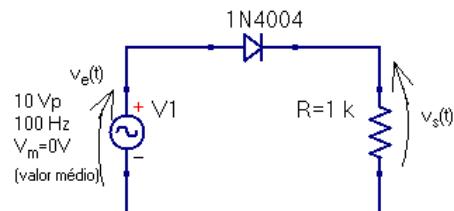


Resposta:

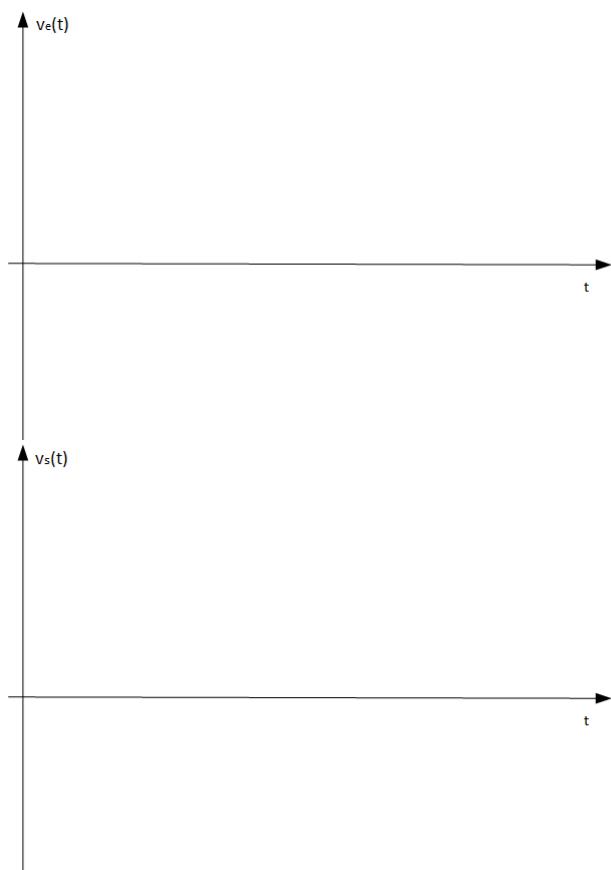
Sim, é possível. Um dos circuitos é o “Retificador em Ponte com Filtro”.

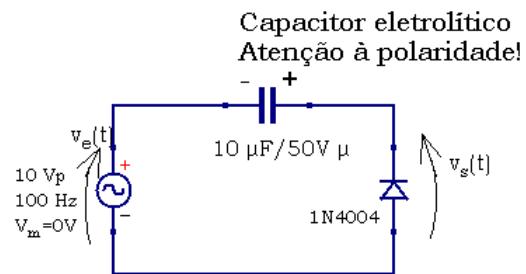
Parte Experimental

1. Montar os circuitos apresentados a seguir.
2. Observar, no osciloscópio, simultaneamente, $v_e(t) \times t$ e $v_s(t) \times t$, sempre que possível.
3. Traçar as formas de onda observadas, anotando as cotas de amplitude e de tempo nos “cruzamentos em zero”.
4. Lembrete: cuidado com o acoplamento AC/DC do osciloscópio, a fim de observar adequadamente os efeitos.
5. Dar o nome de cada circuito, associando-o com os descritivos apresentados na parte introdutória.

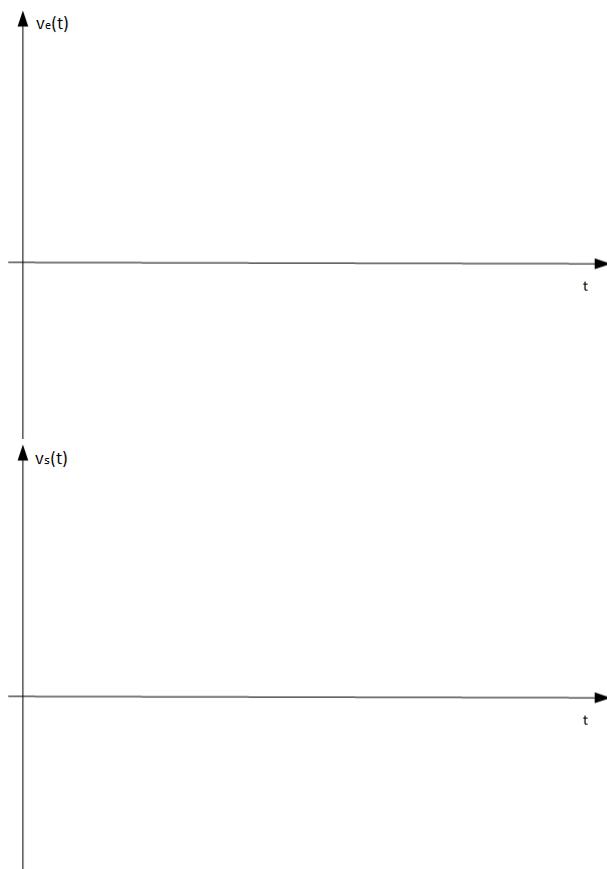
Circuito A:

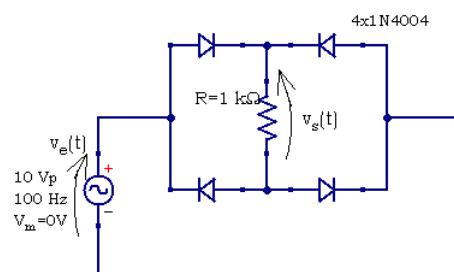
Nome: _____



Círculo B:

Nome: _____

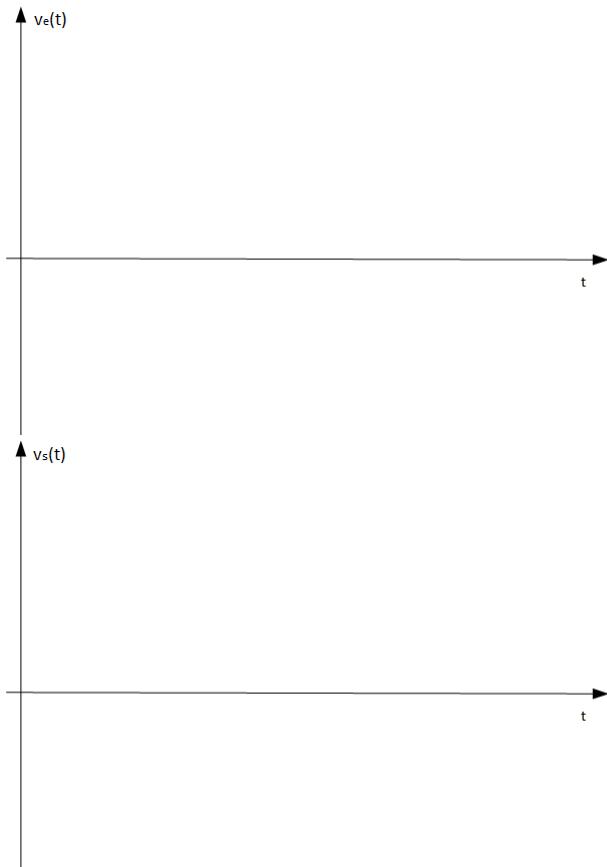


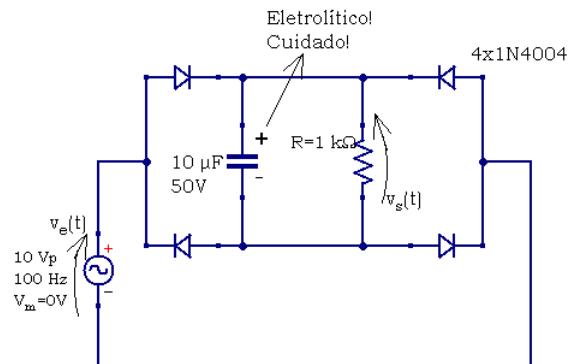
Circuito C:

Nome: _____

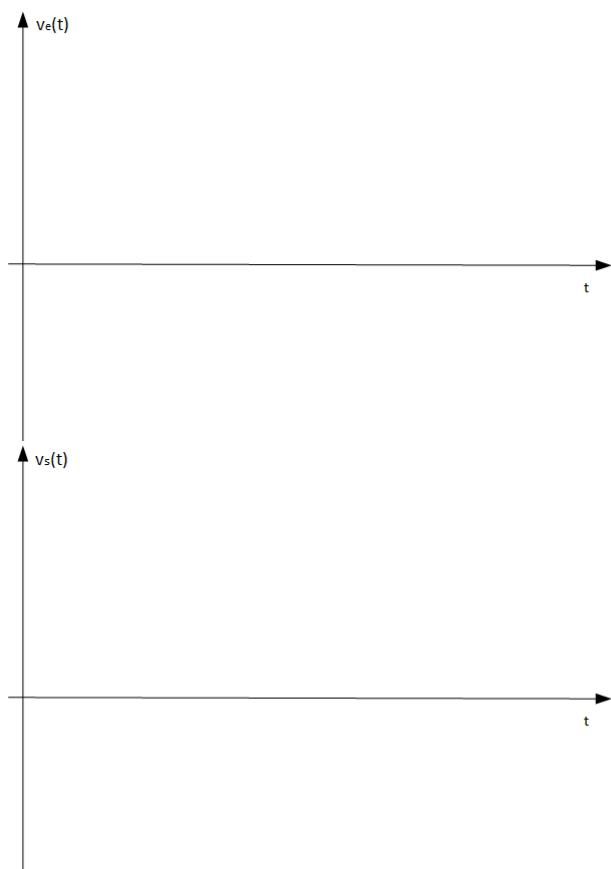
Notas:

- Aproveitar semelhança do desenho com a geometria da placa para facilitar a montagem.
- Cuidado para não provocar curto por meio do negativo dos canais do osciloscópio.



Circuito D:

Nome: _____



Desafio:

Nos circuitos C e D, qual pode ser uma solução na tentativa de se observar $v_e(t) \times t$ e $v_s(t) \times t$ simultaneamente na tela do osciloscópio?

Lista de Materiais

- Plaqueta de montagem “Universal”
- Osciloscópio
- Gerador de funções
- Multímetro digital
- 2x cabos BNC-jacaré
- 1x cabo BNC-banana
- Cabos banana-banana pequenos
- Resistores de 1/4W: 1x ($1\text{ k}\Omega$)
- Capacitores: 1x ($10\text{ }\mu\text{F}/50\text{ V}$)
- Diodos: 4x 1N4004

PROJETO SEMESTRAL

“Tema Livre”

Objetivo

Implementar um circuito analógico ou digital, previamente pesquisado ou desenvolvido pelo aluno.

Prazos para Entrega

O projeto deverá ser apresentado na própria aula de laboratório, conforme as datas a seguir:

<i>Descrição</i>	<i>Datas</i>	
	<i>Diurno</i>	<i>Noturno</i>
<i>Apresentação do esquema elétrico para aprovação</i>	<i>09.09.2019</i>	<i>11.09.2019</i>
<i>Reapresentação do esquema elétrico para aprovação</i>	<i>16.09.2019</i>	<i>18.09.2019</i>
<i>Apresentação Antecipada</i>	<i>04.11.2019</i>	<i>06.11.2019</i>
<i>Apresentação Final</i>	<i>11.11.2019</i>	<i>13.11.2019</i>
<i>Repescagem</i>	<i>02.12.2019</i>	<i>04.12.2019</i>

Não serão aceitos projetos entregues fora do prazo.

A pontuação será atribuída apenas aos presentes na data de entrega.¹

¹*Salvos os casos para os quais se apresentar justificativa plausível, eventualmente acompanhada de atestado.*

Orientações

Gerais

- O projeto é em grupo: obrigatoriamente, o mesmo grupo das aulas de laboratório.
- Todo o material deverá ser adquirido pelo grupo, com exceção da fonte de alimentação.
- Pode-se utilizar a fonte de alimentação do próprio laboratório.
- No esquema elétrico, ***indicar o número da pinagem*** de cada terminal relacionado aos componentes utilizados.
- A montagem do circuito se dará em ***placa padrão***, também conhecida como ***placa universal***. A critério da equipe, a montagem também poderá ser feita em ***placa de circuito impresso***, ficando por conta da própria equipe todas as ferramentas e procedimentos associados – **não será disponibilizada** qualquer ferramenta ou máquina para tal por parte do ***Almoxarifado da Engenharia Elétrica***.
- Os componentes deverão ser soldados na placa. ***Antes de soldá-los, fazer um estudo para encontrar uma boa disposição.*** Para os CIs, é obrigatório o uso de soquete.
- Lembrar das recomendações a respeito de como obter um bom ponto de solda e de como bem utilizar o ferro de solda.
- Realizar a interconexão entre os terminais dos componentes por meio de “***trilha de solda***” (se possível e para pequenas distâncias), ou por meio de “***fios finos***”, por baixo da placa, com apenas as pontas desencapadas, ou por meio de “***fios finos***”, por cima da placa, numa configuração conhecida como ***jumpers***. Há fios conhecidos como ***fios de “wire-up”*** que apresentam vantagens em relação aos convencionais.
- Incluir, no circuito, dois bornes para cabos banana-banana, a fim de conectar a tensão de alimentação.

- No horário de funcionamento do *Almoxarifado da Engenharia Elétrica*, poderá ser emprestado o material necessário para solda, assim como disponibilizada uma sala para o trabalho.
- Se houver interesse, no *Moodle*, poderá ser aberto um fórum para discussões a respeito deste projeto, envolvendo, por exemplo, dicas e sugestões para sua confecção, a serem postadas pelos próprios alunos, além dos professores. Em caso de interesse, o representante de classe deverá realizar a requisição ao professor responsável pela disciplina, via mensagem no *Moodle*.

Específicas

- *O tema do projeto é livre.*
- O grupo deverá pesquisar um projeto já existente ou desenvolver um projeto personalizado, com escolha a seu critério.
- O esquema elétrico deverá ser apresentado até a data de “*Apresentação do esquema elétrico*”, apontada em *Prazos para Entrega*. Nesta data, o professor fará uma análise prévia para verificar se o projeto não é simples demais ou complexo demais. Caso assim o considere, uma nova proposta deverá ser apresentada até a data de “*Reapresentação do esquema elétrico*”, apontada na mesma seção citada. O cumprimento destas datas fará parte da avaliação, conforme registrado no item *2* de *Critérios de Avaliação*.
- O projeto implementado deverá ser apresentado na data de “*Apresentação final*”, apontada em *Prazos para Entrega*.

Importante! Na apresentação, o projeto deverá ser acompanhado pelo esquema elétrico com pinagem.

- **Atenção!** O esquema elétrico deverá seguir o **padrão de desenho** conforme o esquema elétrico fornecido para o projeto “Dado Digital”. Poderá ser elaborado à mão ou em CAD.

Critérios de Avaliação

Os critérios de avaliação do projeto consistem dos seguintes itens:

1. Funcionamento: **5 pontos** (50%)
2. Observação dos tópicos das orientações: **3 pontos** (30%), sendo
 - (a) Cumprimento dos prazos de entrega: **1,0 ponto** (10%)
 - (b) Esquema elétrico com pinagens, no padrão recomendado: **1,5 ponto** (15%)
 - (c) Demais itens: **0,5 ponto** (5%)
3. Qualidade das soldas: **1,0 ponto** (10%)
4. Aspecto final: **1,0 ponto** (10%)

Se o projeto for para a repescagem, será considerado um máximo de 80% da pontuação obtida para a nota do projeto.

Parte II

Analógicos – Experimentos Extras

EXPERIÊNCIA EXTRA 1

“Galvanômetro”

Objetivo

Estudo de voltímetro e amperímetro CC usando galvanômetro de bobina móvel.

Galvanômetro de Bobina Móvel

Seu princípio de funcionamento consiste na interação entre um campo magnético criado por imã permanente e um campo magnético criado por uma bobina móvel sujeita a uma corrente I , produzindo um torque motor. Um ponteiro associado à parte móvel do instrumento tem sua deflexão proporcional ao valor médio da corrente I .

O galvanômetro é, por si só, um miliampérmetro ou microampérmetro, possuindo polaridade em função do sentido da corrente na sua bobina. A figura 1 apresenta um desenho ilustrativo de um galvanômetro do tipo *D'Arsonval*.

Voltímetro

É um galvanômetro de bobina móvel com uma resistência multiplicadora R_m para limitar a corrente na bobina. A finalidade é a de medir tensões entre dois pontos de um circuito qualquer.

A figura 2 apresenta o **modelo elétrico** de um galvanômetro, juntamente com a resistência multiplicadora para a construção do voltímetro.

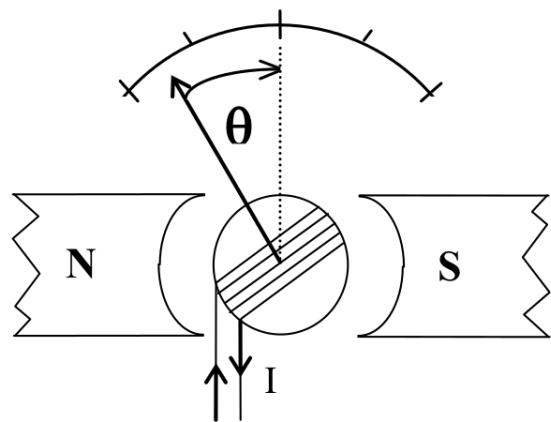


Figura 1: Desenho ilustrativo de um galvanômetro tipo *D'Arsonval*.

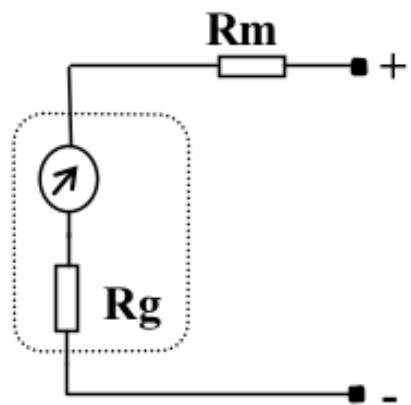


Figura 2: Circuito para projeto de um voltímetro a partir de um galvanômetro. Note-se o **modelo elétrico** do galvanômetro (destacado pelo retângulo pontinhado) seguido da resistência multiplicadora R_m .

Sendo I_g a corrente de *Fim De Escala* (FDE) do galvanômetro e V_m o valor da tensão de fundo de escala que se deseja medir, o valor de R_m é dado por:

$$R_m = \frac{V_m}{I_g} - R_g$$

em que R_g é a resistência interna¹ do galvanômetro.

Sensibilidade

Um voltímetro é tanto **melhor** quanto **menor** for a corrente necessária para defletir o ponteiro do galvanômetro. Tal fato permite, portanto, trabalhar com uma resistência R_m de valor elevado e, assim, diminuir a interferência no circuito onde é executada a medida.

A sensibilidade é definida em função da corrente de fundo de escala I_g , equacionada por:

$$S = \frac{1}{I_g} = \frac{R_v}{V_m} \quad [\Omega/V]$$

em que:

$$R_v = R_m + R_g$$

sendo:

$$R_g \ll R_m$$

R_v é a *resistência interna* do multímetro na escala V_m .

Logo, dada a sensibilidade do voltímetro, pode-se determinar o valor da resistência R_m necessário para uma dada escala. Ou, por outro lado, dada a sensibilidade do voltímetro, pode-se determinar sua *resistência interna* e, assim, prever o quanto ele influenciará no circuito a ser medido.

¹A *resistência interna* deve-se à resistência apresentada pelo fio da bobina do galvanômetro.

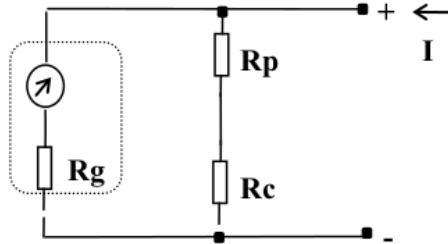


Figura 3: Circuito para projeto de um amperímetro a partir de um galvanômetro. Note-se o **modelo elétrico** do galvanômetro em paralelo com a resistência “*shunt*” associada à resistência de contato.

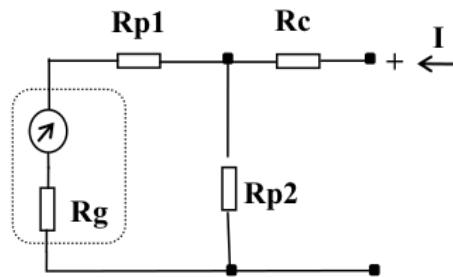


Figura 4: Circuito para projeto de um amperímetro utilizando-se o “*shunt de Ayrton*”.

Amperímetro

A corrente do galvanômetro deve ser “*desviada*” pela resistência R_P , denominada de resistência “*shunt*” ou resistência paralela, conforme ilustrado pela figura 3.

A mudança de escala é feita comutando-se o valor de R_P através de uma chave. Na medida de correntes altas, esta comutação cria problemas, pois R_P passa a ser compatível com a resistência de contato da chave R_C , a qual varia com o tempo de vida do aparelho e é difícil de controlar.

Para eliminar o efeito de R_P , utiliza-se um *shunt* especial denominado “*shunt de Ayrton*”, conforme ilustrado pela figura 4.

Os valores de R_{P1} e R_{P2} podem ser facilmente determinados especificando-se a corrente de fim de escala a ser medida e a resistência equivalente do amperímetro. Como parâmetro adicional, necessita-se da corrente de fundo

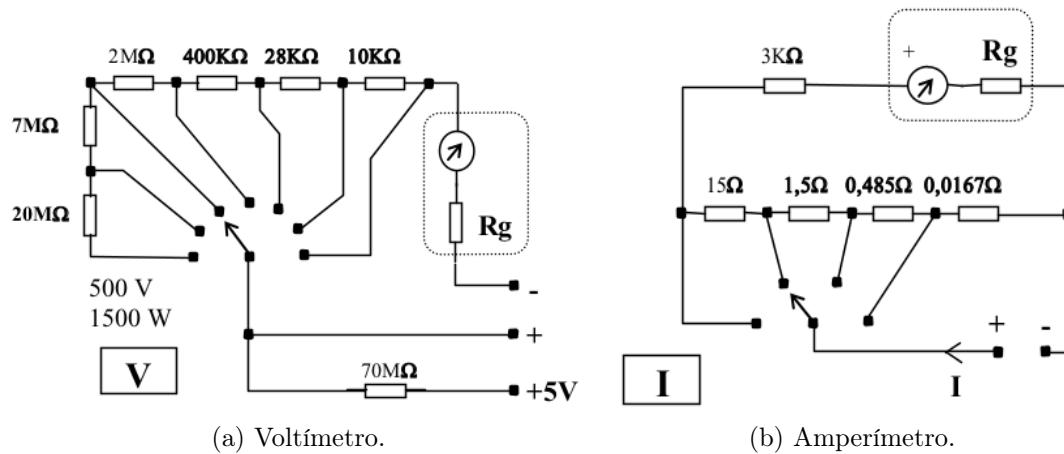


Figura 5: Esquema elétrico de instrumentos de várias escalas.

de escala do galvanômetro utilizado.

Instrumentos com Várias Escalas

A obtenção de várias escalas, ou seja, vários fundos de escala, é obtido por meio de um seletor, conforme ilustrado na figura 5.

Os instrumentos mais comumente utilizados para medições de tensão, corrente e resistência são os multímetros, os quais, naturalmente, possuem várias escalas.

A figura 6 apresenta um exemplo de multímetro analógico, cuja construção é baseada em galvanômetro de bobina móvel.

No caso de multímetros digitais, o galvanômetro é substituído por um filtro passa baixas associado a um conversor A/D (conversor Analógico/Digital). Existem, no mercado, circuitos integrados dedicados que, internamente, possuem conversor A/D, decodificador para *display* e outras facilidades que permitem a construção de multímetros. A figura 7 apresenta um exemplo de multímetro digital.

Note-se ainda que a operação de multímetros analógicos requer certos cuidados que, muitas vezes, não são explícitos em um multímetro digital



Figura 6: Exemplo de multímetro analógico.



Figura 7: Exemplo de multímetro digital.

(pois o circuito interno já os trata adequadamente). Uma referência para orientação em como operar multímetros analógicos pode ser obtida em:

<http://www.eletronicadigital.com/site/instrumentos-medicao/6-multimetro-analogico.html>

Parte Experimental

Levantamento das Características do Galvanômetro

Medida da Corrente de Fim de Escala do Galvanômetro

- Monte o circuito da figura 8, adotando $R_s = 4k7\Omega$.

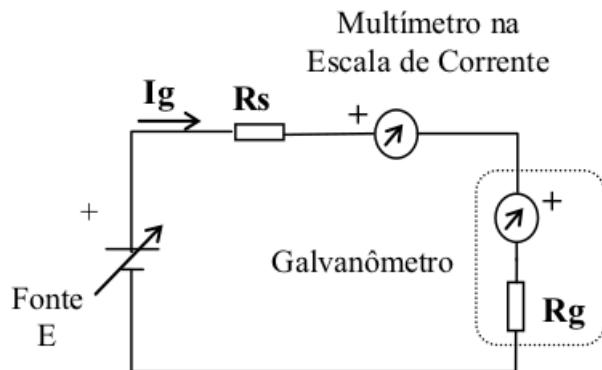


Figura 8: Circuito para determinação da *corrente de fundo de escala*.

- Ajuste a fonte de tensão para $0 V$.
- Aumente, gradativamente, a tensão da fonte até obter a deflexão de fim de escala no galvanômetro.
- Neste ponto, anote a tensão (E) e a corrente ($I_g = I_{g(máx)}$), a qual é a *corrente de fim de escala*.

$$E = \underline{\hspace{2cm}} \quad I_{g(máx)} = \underline{\hspace{2cm}}$$

Medida da Resistência Interna do Galvanômetro

- Mantendo o circuito e os valores de E e R_s determinados no tópico anterior, acrescente uma resistência R_p em paralelo com o galvanômetro, de acordo com a figura 9.

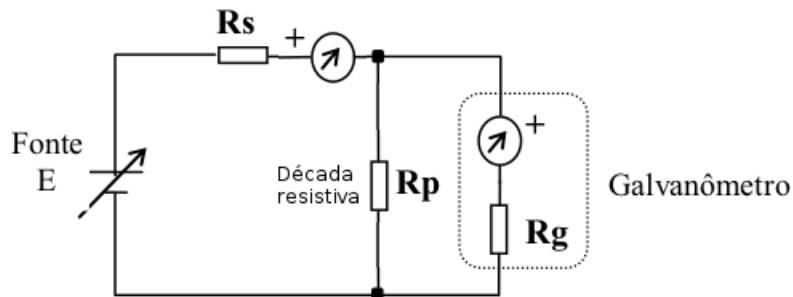


Figura 9: Circuito para determinação da *resistência interna* do galvanômetro. Note-se o uso da **década resistiva**.

- Notar que, **sem R_p** , a deflexão no galvanômetro corresponde à corrente

$$I_g = \frac{E}{R_g + R_s}$$

e, admitindo que $R_g \ll R_s$, pode-se dizer:

$$I_g = \frac{E}{R_s}$$

- Ao aumentar R_p** , a corrente no galvanômetro diminuirá. Assim, ajuste R_p até que a indicação no galvanômetro seja a **metade** da anterior. Nesta situação, como a corrente é a metade da corrente de fundo de escala, pode-se afirmar² que

$$R_p = R_g$$

²Por quê?

desde que $R_g \ll R_s$.

4. Anote o valor de R_p .

$$R_p = R_g = \underline{\hspace{2cm}}$$

2.3. Obtido o valor de R_g , verifique se vale a hipótese de que $R_g \ll R_s$, mostrando os cálculos abaixo. Para tanto, basta verificar se $\frac{R_s}{R_g} \gg 1$.

Construção de um Miliampímetro

1. Construa um miliampímetro com fundo de escala de 100 mA. Para isso, use o circuito da figura 10 com *Shunt de Ayrton*, calculando-se R_1 e R_2 . A resistência equivalente do miliampímetro será $(R_1 + R_g) \parallel R_2$. Adote para ela o valor de 100 Ω .

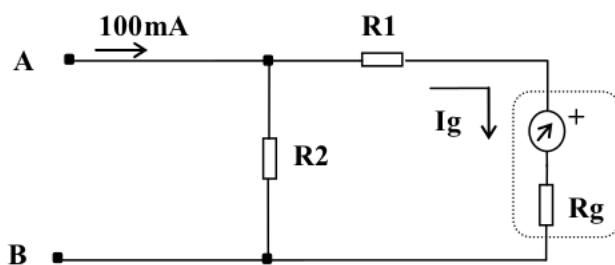


Figura 10: Circuito proposto para o miliampímetro.

2. Monte o circuito anterior.
3. Acople-o a uma fonte por meio de uma resistência R_f (sugestão: $R_f = 100\Omega$), de forma a obterem-se correntes de 0 a 100 mA, seguindo o ilustrado na figura 11 (note-se a presença do multímetro comercial na escala de corrente).

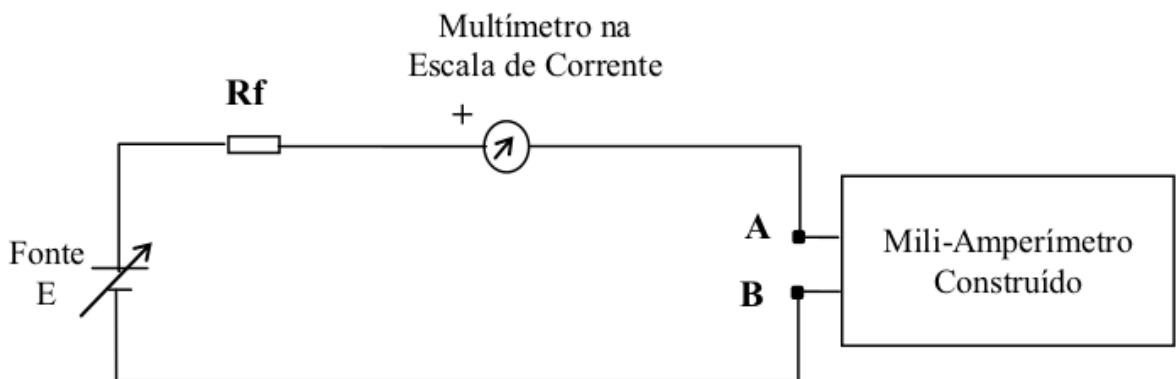


Figura 11: Montagem para aferição do miliamperímetro construído.

4. Adotando-se o multímetro comercial na escala de corrente como referência, calibre o miliamperímetro, variando E de forma a obter correntes de 20 mA em 20 mA, e preencha a tabela abaixo.

$I_{multímetro\ comercial}$ (mA)	$I_{miliamperímetro\ construído}$ (mA)	Desvio (%)

Construção de um Voltímetro

1. Construa um voltímetro para 20V, corrente contínua, utilizando o galvanômetro fornecido. Considere o circuito da figura 12 como referência.

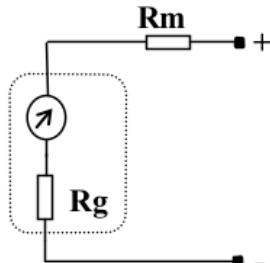


Figura 12: Circuito para construção de um voltímetro.

2. Calcule o resistor série R_m .

$$R_m = \underline{\hspace{2cm}}$$

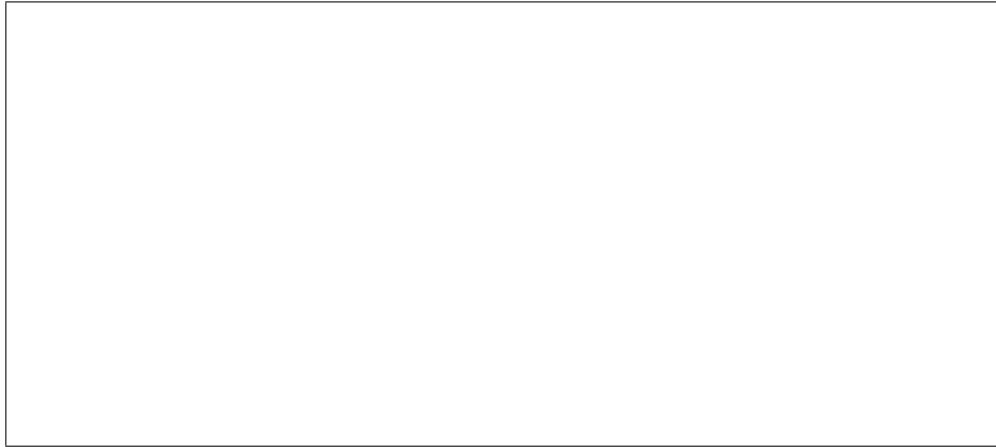
3. Faça a aferição da escala comparando as indicações do galvanômetro com as de um multímetro comercial, utilizado como padrão. Para tanto, escolha 5 pontos de aferição entre 0 e 20 V e preencha a tabela seguinte.

$V_{multímetro\ comercial}$ (V)	$I_{galvanômetro}$ (mA)	$V_{voltímetro\ construído}$	Desvio (%)

4. Lembrando-se que uma característica importante do voltímetro é sua sensibilidade, definida em Ω/V , calcule a sensibilidade S do voltímetro construído, pela equação seguinte, e faça os comentários pertinentes:

$$S = \frac{R_v}{V_{FDE}}$$

em que V_{FDE} é a tensão de fim de escala.



Desafios

1. Especificar as características de um galvanômetro ($I_{g(máx)}$ e R_g) de tal forma que a resistência interna (R_v) de um voltímetro seja de $250\text{ k}\Omega$ na escala de 10 V. Explicitar também o valor da sensibilidade (S).
2. O galvanômetro especificado no item anterior poderá ser utilizado como amperímetro com qual fundo de escala, se nenhuma resistência *shunt* for acrescentada?

Lista de Materiais

- Fonte CC de 0 a 30V
- Multímetro digital
- Caixa de resistências (década resistiva)
- Resistores de 2W: 2x 100Ω
- Resistores de $1/4\text{W}$: 1x (150Ω , 330Ω , 680Ω , 820Ω , $1k8\Omega$, $3k9\Omega$, $4k7\Omega$, $5k6\Omega$, $6k8\Omega$, $10k\Omega$)
- Galvanômetro de bobina móvel, com FDE de 1mA
- Plaqueta de montagem “Universal”
- Cabos banana-banana

EXPERIÊNCIA EXTRA 2

Instrumentos para Laboratório de Eletrônica

Objetivos.

Verificar experimentalmente a utilização e funcionamento dos seguintes dispositivos:

- osciloscópio para medida de tensão e tempo de sinais periódicos;
- gerador de funções senoidais, triangulares e quadradas;

Parte Experimental I - Estudo dos Instrumentos**Osciloscópio**

1. Utilizaremos nesta experiência o osciloscópio para efetuar medidas de tensão e período de sinais provenientes do gerador de funções. Para isso, ligue o instrumento e juntamente com o professor verifique os itens relacionados abaixo e anote suas características:

- Possui 2 canais de entrada de sinal: () 1 e 2 () A e B
- Seletor da escala de tensão: mínimo = _____ máximo = _____ (coloque as unidades)
- Seletor da escala de tempos: mínimo = _____ máximo = _____ (coloque as unidades)
- Entrada de Calibração: tensão = _____ período = _____ (coloque as unidades)

2. A primeira leitura que iremos executar será a da Entrada de Calibração. Escolha um dos canais de leitura e encoste o positivo da ponta de prova no ponto de calibração. Ajuste as escalas de tensão e tempo para obter o melhor sinal (de modo que ocupe o máximo da tela nas duas dimensões). A seguir, copie o gráfico obtido no quadro abaixo, anote as medidas dos dois eixos e obtenha os resultados.

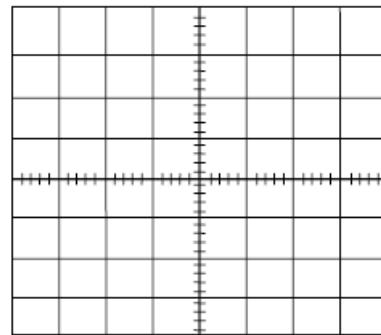


Figura 1: Imagem osciloscópio

Escala de tensão (pp): _____ []

Escala de tempo: _____ []

Divisões vertical: _____

Divisões horizontal: _____

Resultados:

Valor da tensão (pp): _____ []

Período: _____ []

Frequência: _____ []

Observação: a notação pp indica valor de pico-a-pico, ou seja, a amplitude total da forma de onda, do menor ponto negativo ao maior ponto positivo.

Gerador de Funções

Este instrumento fornece, dentre outras, as funções básicas: senoidal, triangular e quadrada. Verifique juntamente com o professor as principais características do instrumento: terminal de saída da função, seleção do tipo de função, amplitude e frequência (ou período).

Medidas Básicas com o Osciloscópio

1. Escolha um canal de entrada do osciloscópio (1 ou 2) e conecte na saída do gerador de funções. Atenção: devem ser respeitadas as polaridades (+ e -).

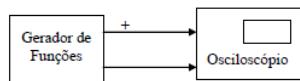


Figura 2: Gerador de função com osciloscópio

2. Faça os ajustes especificados abaixo no gerador de funções e execute as respectivas medidas com o osciloscópio. Os resultados devem ser expressos de forma semelhante ao item 1.2, ou seja, contendo esboço da forma de onda, escalas utilizadas, valores das divisões, valor pico-a-pico das tensões, período e frequência.

$$\text{Senoidal} \begin{cases} 2V_{pp} \times 100Hz \\ 5V_{pp} \times 1200Hz \end{cases}$$

$$\text{Triangular} \begin{cases} 0,5V_{pp} \times 1kHz \\ 10V_{pp} \times 10kHz \\ 1,5V_{pp} \times 200Hz \end{cases}$$

$$\text{Quadrada} \begin{cases} 5V_{pp} \times 1Hz \\ 12V_{pp} \times 800Hz \end{cases}$$

Listas de Materiais

- Multímetro Digital
- Protoboard
- Osciloscópio duplo canal com dois cabos
- Fonte CC de 0 a 30V
- Fonte fixa 12V Cabos Banana-Banana
- Gerador de sinais
- CI LM339
- Potenciômetro de $4k7\Omega$
- Resistor de $1k\Omega$
- 2x Resistores de $1k5\Omega$
- Resistor de $2k2\Omega$
- Resistor de $4k7\Omega$
- Alicate de Bico
- Alicate de Corte Fios para proto-board

EXPERIÊNCIA EXTRA 3

Osciloscópio: Medidas de Amplitude e Defasagem

Evidentemente que este sofisticado instrumento, não foi feito apenas com o objetivo de se visualizar as formas de onda em um circuito, ele tem o objetivo de nos oferecer medidas com relevante precisão, daquilo que se está observando. Mas para que isso seja possível, o usuário deverá estar bastante ciente das condições de ajuste em que o aparelho se encontra naquele instante. Ou seja qualquer desatenção ou má operação pode induzir o usuário a graves erros, contrariando até as leis da física.

Portanto, toda vez que ligamos o instrumento, é instrumento, é imperioso que verifiquemos todos os controles do osciloscópio e o coloquemos em condições mínimas de operação. Ou seja, verificar posicionamento do ponto ou traço e ajustá-lo na tela, verificar controles como o de Expansão se está fechado, aplicarmos a onda quadrada e referência e checarmos se confere a amplitude a frequência.

Medida de Sinal DC

Estando tudo OK inicialmente, verificaremos que ao aplicarmos um sinal DC, o ponto outro traço se deslocará na vertical, parando em outra posição. Para efetuarmos a leitura, basta contarmos de quantas divisões foi o deslocamento e multiplicarmos pelo valor Volts/Div do seletor de ganho vertical.

$$\text{Ou seja: } \frac{\text{Volts}}{\text{Div}} \cdot \text{Div} = \text{Volts}$$

Medida de Sinal Alternado

Para sabermos os valores de pico ou pico a pico de um sinal periódico, basta contar o número de divisões e também multiplicar pelo valor do seletor de ganho vertical.

Utilizando a chave AC/DC aqui, podemos também medir o valor da componente DC se ela existir.

Para medirmos o período do sinal, basta ajustarmos a varredura horizontal de tal forma que possamos identificar o período do sinal, e então contarmos quantas divisões ocupa o mesmo e multiplicarmos pelo valor apontado no seletor de varredura. Ou seja: $\frac{\text{Tempo}}{\text{Div}} \cdot \text{Div} = \text{Tempo}$

Para medirmos a frequência, basta aplicarmos: $f = \frac{1}{T}$

Medida de Corrente

A impiediênciade entrada de um osciloscópio, deve ser bastante alta, o que impede que o mesmo seja ligado em serie nos circuitos sob análise. Para contornar tal fato, o que se faz quando necessário é uma medida indireta, através da queda de tensão em um resistor.

Medidas de Defasagem

Pode ser feita através de medida direta, quando se tem um osciloscópio duplo traço, ou através das figuras de Lissajous, como veremos mais adiante. No caso de osciloscópio duplo traço, medirmos diretamente a defasagem em tempo entre eles, e através de elementar regra de três calcular a defasagem em graus.

Período T _____ 360°

Defas. t _____ x

Figuras de Lissajous

O método das figuras de Lissajous, é muito útil quando se deseja verificar e medir a defasagem entre dois sinais, além de permitir estabelecer relação

entre frequências de dois sinais.

A composição gráfica de dois movimentos oscilatórios, um na horizontal e outro na vertical, resulta na Figura de Lissajous, como podemos ver a seguir:

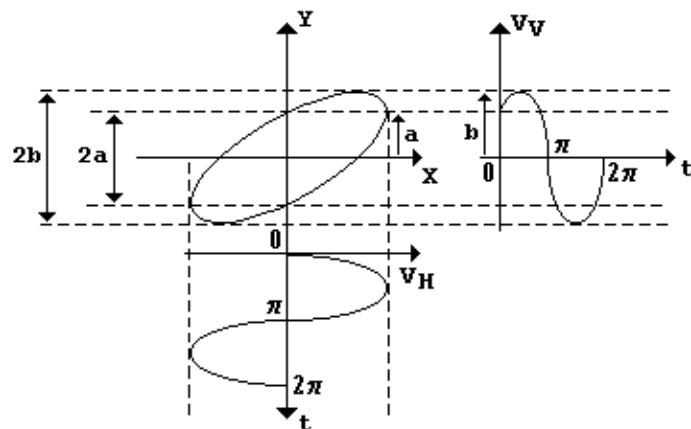


Figura 1

Dessa figura podemos observar a relação entre as frequências dos dois sinais, contando o numero de vezes que a figura toca numa linha imaginaria que tangencia toda a figura.

Ou seja: 4 vezes na vertical e duas vezes na horizontal.

Como: $\frac{Fv}{Fh} = \frac{Nv}{Nh}$ temos que: $\frac{Fv}{Fh} = \frac{2}{4}$ ou $Fh = 2Fv$

Onde:

Fv = freq. na entrada vertical

Fh = freq. na entrada horizontal

Nh = num. de tangencias na horizontal

Nv = num. de tangencia na vertical

Como podemos concluir, podemos medir frequências desconhecidas se aplicarmos esta numa entrada com outra de valor conhecido na outra entrada.

Para dois sinais de mesma frequência, podemos medir a defasagem entre eles também utilizando o método de Lissajous, como vemos:

Vamos supor dois sinais senoidais de mesma frequência, porem defasados e aplicados na entrada vertical Vv e na Horizontal Vh .

$$Vh = Vm \cdot \sin(\omega t)$$

$$Vv = Vm \cdot \sin(\omega t + \Delta\phi)$$

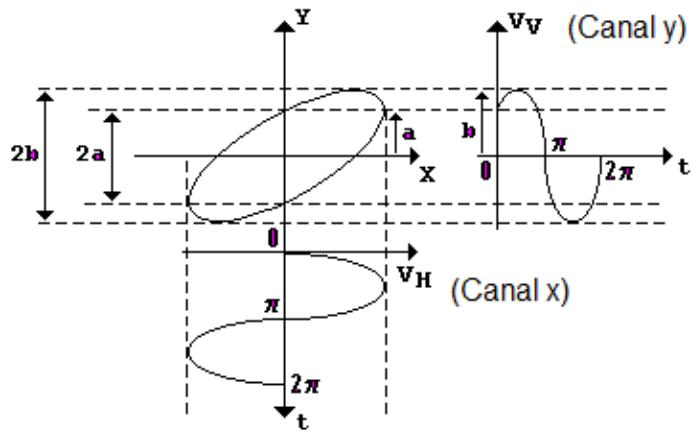


Figura 2

Observando a figura temos:

$$Vv = Vm \cdot \sin(wt + \Delta\phi)$$

Onde $Vvm = b$ e para $t = 0$ $Vv = a$

Portanto: $a = b \sin(w \cdot 0 + \Delta\phi)$ ou $a = b \sin(\Delta\phi)$

Portanto: $\Delta\phi = \arcsin(\frac{a}{b})$

Para facilitar: $\Delta\phi = \arcsin(\frac{2a}{2b})$ ou $\Delta = \arcsin(\frac{a}{b})$

Parte Prática

1. Medida de frequência e fase por Lissajous

- (a) Conecte na entrada vertical do osciloscópio, o gerador de funções ajustado para saída senoidal com amplitude máxima, e conecte na entrada horizontal o secundário do traçado, conforme ilustração; e feche a varredura.

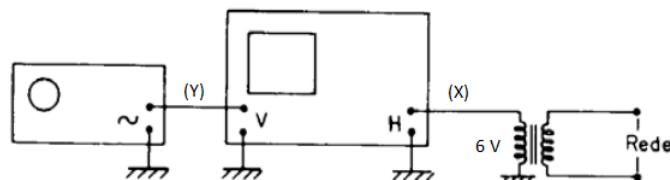


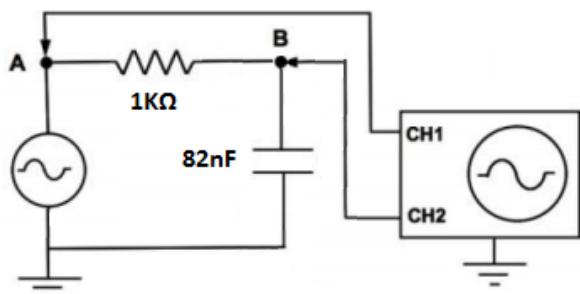
Figura 3

Variando a frequência do gerador conforme a tabela, anote a fig. de Lissajous e determine a relação de frequências.

Fh (Hz)	Fv (Hz)	figura	Nh	Nv	Nh/Nv
60	15				
60	20				
60	24				
60	30				
60	40				
60	60				
60	90				
60	120				
60	150				
60	180				
60	240				

Tabela 1

2. Monte o circuito abaixo:



Nota:

$$f_c = 1941 \text{ Hz}$$

$$\text{Para } f = 2 \text{ kHz,} \\ \Delta\theta = -45,9^\circ$$

Figura 4

(a) Desenhe as formas de onda e encontre a defasagem entre os sinais.

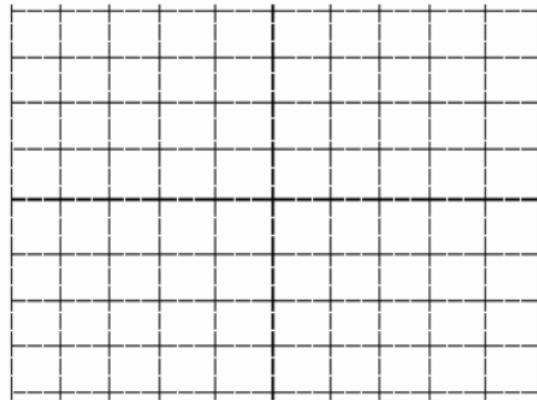


Figura 5

$$BT = \underline{\hspace{2cm}} \quad ND = \underline{\hspace{2cm}} \quad T = \underline{\hspace{2cm}} \quad \Delta T = \underline{\hspace{2cm}}$$
$$\theta = \underline{\hspace{2cm}}$$

- (b) Feche a varredura (posição X-Y) e desenhe a figura de Lissajous e através desta encontre a defasagem entre os sinais.

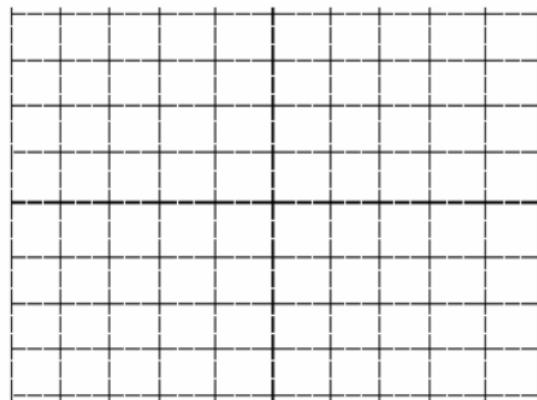


Figura 6

$$2a = \underline{\hspace{2cm}} \quad 2b = \underline{\hspace{2cm}} \quad \theta = \underline{\hspace{2cm}}$$

List a de Materiais

- Fonte CC de 0 a 30V
- Plaqueta de montagem “Universal”

- Osciloscópio
- Gerador de funções
- Multímetro
- Cabos banana-banana
- Trafo 110/6V (caixa)
- Resistores de 1/4W: 1x ($1\text{k}\Omega$)
- Capacitores: 1x (82 nF)
- Cabos para osciloscópio