

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
EEL7011 – Eletricidade Básica

AULA 04
EQUIVALENTE DE THÉVENIN, NORTON E MEDIDAS DE
RESISTÊNCIA

1 INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Nas aulas anteriores teve-se como objetivo medir a tensão e a corrente elétrica em circuitos alimentados em corrente contínua. Até o momento comprovamos e estamos aplicando a Lei de Ohm e as 1ª e 2ª Leis de Kirchhoff.

Relembrando, a Lei de Ohm relaciona as grandezas tensão, corrente e resistência num elemento do circuito elétrico. Já a 1ª Lei de Kirchhoff denominada de Lei das Correntes ou Lei dos Nós determina que a soma das correntes em determinado nó (ponto de conexão) do circuito é sempre zero. Por sua vez, a 2ª Lei de Kirchhoff ou Lei das Malhas determina que o resultado da soma das tensões numa malha de um circuito deve ser zero.

Nesta aula o objetivo será determinar a resistência elétrica de resistores de filme de carbono através de dois métodos diferentes: usando a ponte de Wheatstone para medir diretamente a resistência e usando um voltímetro e um amperímetro para obter indiretamente a resistência aplicando a Lei de Ohm. Além disso, também será medida a resistência usando o multímetro digital.

Ainda, serão introduzidas noções sobre os equivalentes de Thévenin e Norton.

Em resumo, os principais objetivos desta experiência são:

- Introduzir as noções básicas sobre equivalente de Thévenin e Norton;
- Transmitir ao aluno as noções sobre medidas diretas e indiretas de resistência;
- Dar ao aluno os conhecimentos necessários sobre os métodos Volt-Ampère para medição de resistência.

2 EQUIVALENTES DE THÉVENIN E NORTON

O equivalente de Thévenin é uma ferramenta muito importante para a análise de circuitos elétricos, especialmente quando se deseja saber o comportamento de um circuito sob o ponto de vista de dois terminais quaisquer.

Qualquer combinação de resistências (e/ou impedâncias) e de fontes controladas com dois terminais externos pode ser reduzida a uma única resistência (e/ou impedância) R_{eq} . Assim, para o cálculo de correntes e tensões externas, toda a combinação pode ser substituída por R_{eq} , independentemente do que esteja ligado aos dois terminais.

Logo, poderemos enunciar o teorema de Thévenin: “Qualquer circuito linear, ativo, com terminais de saída A e B pode ser substituído por uma fonte de tensão em série com uma resistência (ou impedância)”.

Assim, para se determinar o equivalente de Thévenin de um circuito “visto” de dois terminais A e B, deve-se:

- Determinar a resistência (ou impedância) equivalente do circuito “vista” dos terminais A e B com todas as fontes independentes zeradas. Quando da presença de fontes dependentes, você aprenderá um método geral na disciplina Circuitos Elétricos I. Assim, as fontes de tensão serão curto-circuitadas e as fontes de corrente serão abertas. Esta resistência (ou impedância) será a Resistência (ou impedância) de Thévenin, R_{th} (Z_{th});
- Determinar a tensão equivalente entre os pontos A e B quando estes se encontram em aberto. Esta tensão será a tensão equivalente de Thévenin, V_{th} .

O equivalente de Norton usa o mesmo princípio, a diferença está no fato de que a fonte equivalente de Norton é uma fonte de corrente e a resistência equivalente de Norton está em paralelo com a fonte de corrente. O princípio dos equivalentes de Thévenin e Norton é mostrado na figura 1.

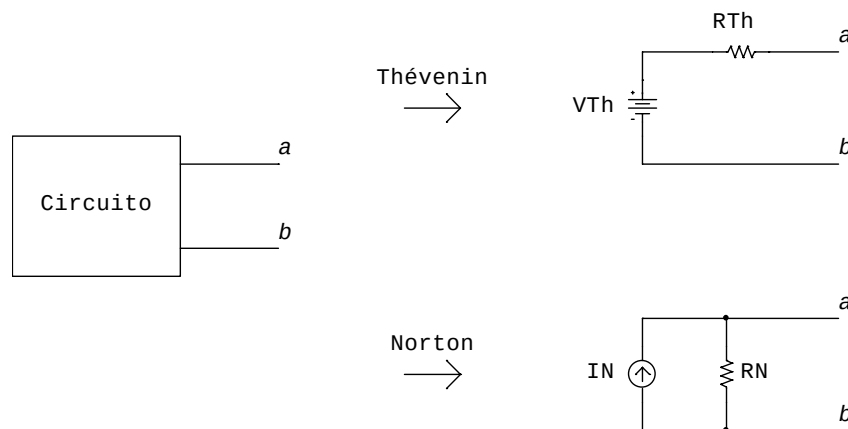


Figura 1 – Figura mostrando o princípio dos equivalentes de Thévenin e Norton.

3 PONTE DE WHEATSTONE

O método da ponte de Wheatstone, estudado por Wheatstone no século XIX é um dos métodos mais empregados para a medição de resistências na faixa de $1\ \Omega$ a $1\ M\Omega$. De maneira simplificada, o princípio de funcionamento da Ponte de Wheatstone é descrito a seguir, com auxílio do circuito da figura 2.

A resistência a ser medida (R_x) é colocada num circuito em “ponte”, com um galvanômetro (microamperímetro) entre os pontos A e B. Os resistores R_p , R_1 e R_2 são resistores que podem ter o valor de suas resistências ajustados.

O princípio de medição consiste em se ajustar o valor de R_p para que os pontos A e B fiquem no mesmo potencial, ou seja, tensão V_{AB} nula. Isso fará com que não circule corrente pelo galvanômetro (corrente $i_g = 0$).

Como a corrente i_g é nula e $V_A = V_B$, tem-se :

$$\begin{cases} R_1 \cdot i_1 = R_2 \cdot i_2 \\ R_p \cdot i_1 = R_x \cdot i_2 \end{cases}$$

Logo, o resistor a determinar R_x poderá ser encontrado:

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

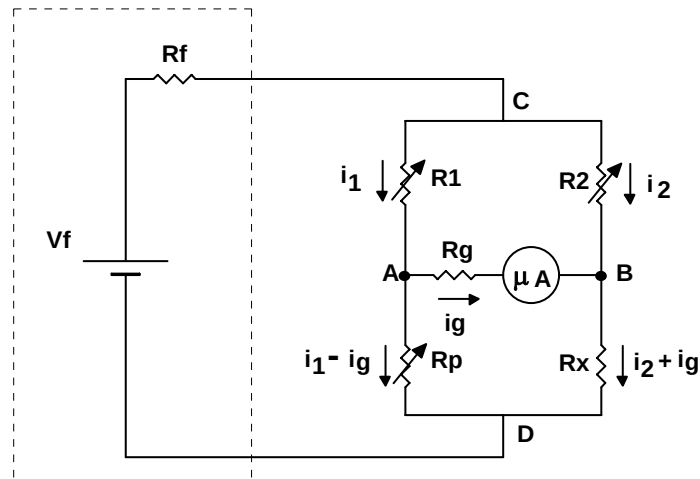


Figura 2 - Circuito equivalente simplificado da ponte de Wheatstone.

Na prática, a ponte de Wheatstone apresenta alguns detalhes construtivos:

- a. Os resistores R_1 e R_2 são formados por um único resistor, com uma derivação central, como mostra a figura 3. Assim, a soma das resistências de R_1 e R_2 é constante, o que se muda é a relação entre elas.

$$R_1 + R_2 = cte \quad q = \frac{R_1}{R_2} = \text{variável}$$

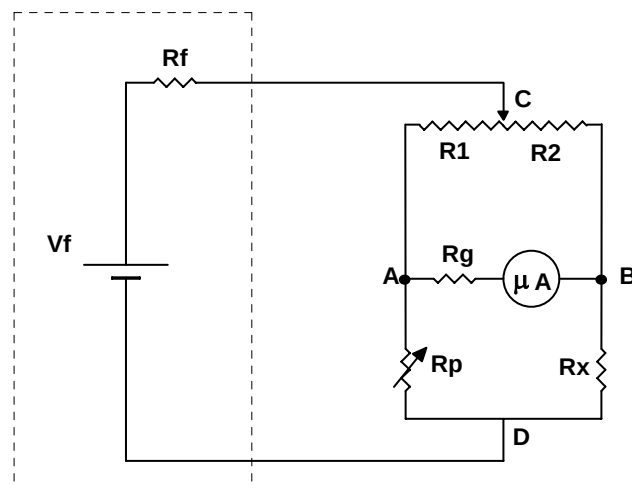


Figura 3 - Circuito da ponte de Wheatstone com a derivação central de R_1 e R_2 .

- b. O resistor ajustável R_p é constituído de várias décadas de resistores, como mostra a figura 4. A figura 4 mostra quatro décadas de resistores, cujo incremento de resistência é de 1Ω , 10Ω , 100Ω e 1000Ω por posição, respectivamente.

Assim, a faixa de valores de resistência que a ponte de Wheatstone pode medir irá depender da relação entre R_1 e R_2 e da década resistiva R_p . Assim, a faixa de medição da ponte será:

$$q_{\min} \cdot R_{p\min} \leq R_x \leq q_{\max} \cdot R_{p\max}$$

O galvanômetro é provido dos sinais + e -, como mostra a figura 5. O que deve ser feito para equilibrar a ponte é fazer o ajuste da resistência R_p de modo que o galvanômetro fique equilibrado no zero.

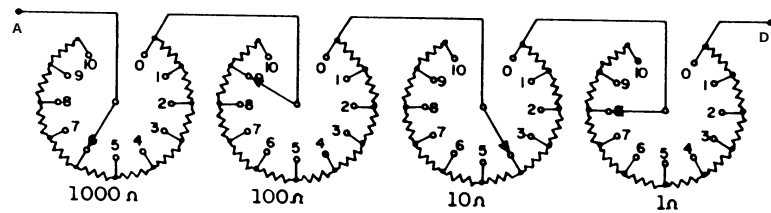


Figura 4 - Década de resistores para a resistência R_p .

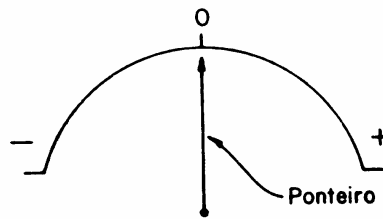


Figura 5 - Mostrador do galvanômetro.

4 MEDIDA DE RESISTÊNCIA ELÉTRICA – MÉTODO DIRETO (PONTE DE WHEATSTONE)

O método da ponte de Wheatstone para medir resistência elétrica é um método direto, pois se obtém o valor sem necessidade de determinar outras grandezas.

Nesta etapa será medida a resistência de alguns resistores usando a ponte de Wheatstone.

A experimentação consiste em:

- a. Escolher um conjunto de dois (2) resistores, cada um dentro de uma das seguintes faixas de valores:
 - 100 Ω a 12 k Ω ;
 - 56 k Ω a 82 k Ω .
- b. Medir estes resistores com a ponte de Wheatstone e considerar os resultados como valores padrão.

5 MEDIDA DE RESISTÊNCIA ELÉTRICA – MÉTODO INDIRETO (VOLT-AMPÈRE A JUSANTE)

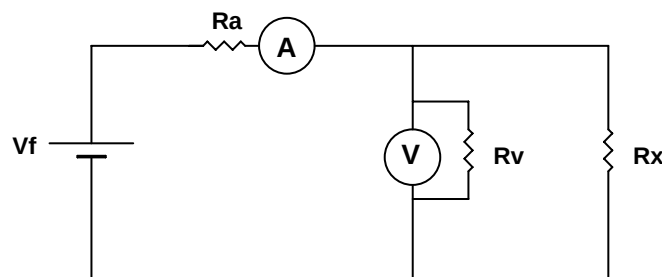


Figura 6 - Método volt-ampère a jusante.

O método volt-ampère a jusante é um dos métodos indiretos para a medição de uma resistência. Utilizamos para isso, um amperímetro e um voltímetro. Com a leitura desses dois instrumentos, podemos determinar a resistência desconhecida R_x :

$$R_{x_J} = \frac{V}{I}$$

Onde:

- R_{xJ} = Valor calculado da resistência R_x através da leitura do voltímetro e do amperímetro para o método V-A a jusante;
- V = Valor da tensão lido com o voltímetro;
- I = Valor da corrente lido com o amperímetro.

No entanto, existirá uma diferença entre o valor medido pelo método (R_{xJ}) e o valor verdadeiro da resistência (R_{xV}), devido aos instrumentos apresentarem resistências internas associadas e também devido aos erros de medida.

Realizar a montagem do circuito da figura 6 e usando o multímetro analógico ENGRO 484 e o multímetro digital DAWER DM2020 determinar:

- Realizar a medição de dois (2) resistores, já escolhidos no item “a” do capítulo 4, pelo método V-A a jusante e que estejam dentro das seguintes faixas:
 - 100 Ω a 12 k Ω ;
 - 56 k Ω a 82 k Ω .

Usar a fonte de 5 V para realizar as medidas com os resistores. Sugere-se usar o multímetro digital para medir tensão e o analógico para medir corrente.

- Determinar o valor da resistência aplicando a Lei de Ohm.

6 MEDIDA DE RESISTÊNCIA ELÉTRICA – MÉTODO INDIRETO (VOLT-AMPÈRE A MONTANTE)

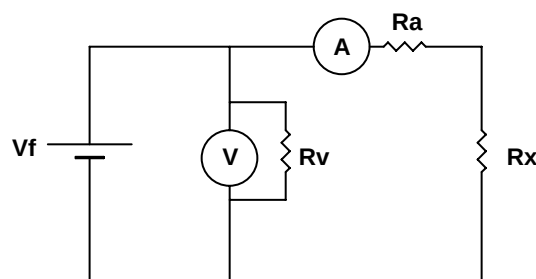


Figura 7 - Método volt-ampère a montante.

O método volt-ampère a montante é outro método indireto para a medição de uma resistência. Utiliza-se também um amperímetro e um voltímetro. Com a leitura desses dois instrumentos, podemos determinar a resistência desconhecida R_x :

$$R_{x_M} = \frac{V}{I}$$

Onde:

- R_{xM} = Valor calculado da resistência R_x através da leitura do voltímetro e do amperímetro para o método V-A a montante;
- V = Valor da tensão lido com o voltímetro;
- I = Valor da corrente lido com o amperímetro.

No entanto, existirá uma diferença entre o valor medido pelo método (R_{xM}) e o valor verdadeiro da resistência (R_{xv}), devido aos instrumentos apresentarem resistências internas associadas e também devido aos erros de medida.

Realizar a montagem do circuito da figura 7 e usando o multímetro analógico ENGRO 484 e o multímetro digital DAWER DM2020 determinar:

- Realizar a medição de dois (2) resistores, já escolhidos no item “a” do capítulo 4, pelo método V-A a montante e que estejam dentro das seguintes faixas:
 - 100 Ω a 12 k Ω ;
 - 56 k Ω a 82 k Ω .

Usar a fonte de 5 V para realizar as medidas com os resistores. Sugere-se usar o multímetro digital para medir tensão e o analógico para medir corrente.

- Determinar o valor da resistência aplicando a Lei de Ohm.

7 MEDIDA DE RESISTÊNCIA ELÉTRICA – MÉTODO DIRETO (MULTÍMETRO DIGITAL)

Os multímetros analógicos e digitais também permitem medir resistência, de forma rápida, mas não tão precisa como o método da ponte de Wheatstone.

Determinar:

- Para os resistores usados nos experimentos anteriores, meça a resistência dos mesmos usando o multímetro digital DAWER DM2020 na escala adequada (anote o erro associado);
- Compare os resultados obtidos entre todos os métodos usados até o momento.

8 RESUMO DOS RESULTADOS OBTIDOS

Tabela 1 – Resistências obtidas.

Resistor	Valor comercial	Valor medido Multímetro digital	Valor medido Ponte de Wheatstone	Valor determinado método V-A a jusante	Valor determinado método V-A a montante
R_{x1}	Valor			-	-
	Escala				
R_{x2}	Valor				
	Escala				

É importante sempre anotar a escala usada para realizar cada medida.

Tabela 2 – Métodos indiretos.

Resistor	Valor comercial	Valor determinado pelo método V-A a jusante		Valor determinado pelo método V-A a montante	
		Tensão	Corrente	Tensão	Corrente
R_{x1}	Valor				
	Escala				
R_{x2}	Valor				
	Escala				

É importante sempre anotar a escala usada para realizar cada medida.