

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – UFSC
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA

Teorema de Thévenin e Norton

GUSTAVO SIMAS DA SILVA
HENRIQUE PICKLER DA SILVA

OUTUBRO, 2017

“Um covarde é uma pessoa que o instinto
de conservação ainda funciona com
normalidade”.

Ambrose Bierce

ÍNDICE DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E UNIDADES

i	-	Corrente elétrica
P	-	Potência elétrica ativa
A	-	ampère (intensidade de corrente elétrica)
V	-	volt (diferença de potencial elétrico)
W	-	Watt (potência elétrica ativa)
CC, DC	-	corrente contínua
AC, CA	-	corrente alternada
Ω	-	ohm (resistência elétrica)
Hz	-	hertz (frequência)
n	-	nano (10^{-9})
μ	-	micro (10^{-6})
m	-	mili (10^{-3})
k	-	quilo (10^3)
M	-	mega (10^6)

ÍNDICE DE FIGURAS, TABELAS E EQUAÇÕES

Figura 1 - Circuito reduzido de Thevenin	9
Figura 2 - Circuito Equivalente de Norton	10
Figura 3 - Circuito CC analisado	11
Figura 4 - Circuito Equivalente CC.....	12
Figura 5 - Circuito Equivalente Norton CC	12
Figura 6 - Circuito CA analisado	14
Tabela 1 - Valores Circuito CC.....	13
Tabela 2 - Valores CC com alteração de Resistência	13

Sumário

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS	8
2. BASE TEÓRICA	9
2.1 Teorema de Thevenin	9
2.2 Teorema de Norton	10
2.3 Corrente alternada (CA)	10
3. RESULTADOS DE LABORATÓRIO	11
3.1 Materiais e Métodos	11
3.2 Circuito em corrente contínua (CC)	11
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	15

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Este relatório visa demonstrar os conceitos vistos na Aula 8 de laboratório da disciplina EEL7045 - Circuitos Elétricos A dos cursos de Engenharia Elétrica e Eletrônica da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). O foco desta aula foi teorema de Thevenin e teorema de Norton, tão como análise teórica, demonstração e comprovação destes por meio de montagem de circuito em matriz de contatos.

O trabalho contempla estes assuntos e evidencia as demonstrações feitas em aula, apresenta a base teórica e os dados coletados pelas medições realizadas, com conclusões acerca dos resultados e discussão sobre possíveis aprimoramentos na realização das atividades mencionadas.

2. BASE TEÓRICA

Os teoremas de circuitos nos ajudam a simplificar um circuito de maneira a nos dar ferramentas que possam analisar circuitos de uma maneira geral, ou a reduzir um circuito complicado em um circuito simples e mais fácil de se trabalhar.

2.1 Teorema de Thevenin

O teorema de Thévenin diz, de acordo com Sadiku[1]:

“O teorema de Thevenin afirma que um circuito linear de dois terminais pode ser substituído por um circuito equivalente formado por uma fonte de tensão V_{Th} em série com um resistor R_{Th} , onde V_{Th} é a tensão de circuito aberto nos terminais e R_{Th} , a resistência de entrada ou equivalente nos terminais quando as fontes independentes forem desativadas.”

Ou seja, um circuito complicado pode ser modelado da seguinte maneira, pela Figura 1:

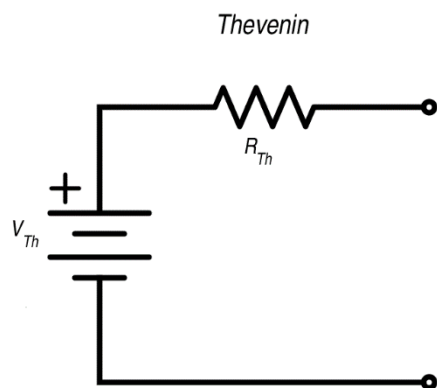


Figura 1 - Circuito reduzido de Thevenin

E, através disso, podemos calcular os valores da tensão, corrente e potência para qualquer carga que seja colocada nos terminais facilmente. Isto nos ajuda também a aplicar o teorema da máxima transferência de

potência, pois sabemos que a máxima transferência de potência irá ocorrer quando $R_{th} = R_L$.

2.2 Teorema de Norton

O teorema de Norton é similar ao teorema de Thevenin, porém em vez de utilizarmos uma fonte de tensão e uma resistência em série, utilizamos uma fonte de corrente e uma resistência em paralelo. De fato, podemos transformar o circuito equivalente de Thévenin no circuito de Norton aplicando uma simples transformação de fonte. Isso é demonstrado na Figura 2 abaixo

Dessa maneira, fica claro também que $R_{No} = R_{TH}$.

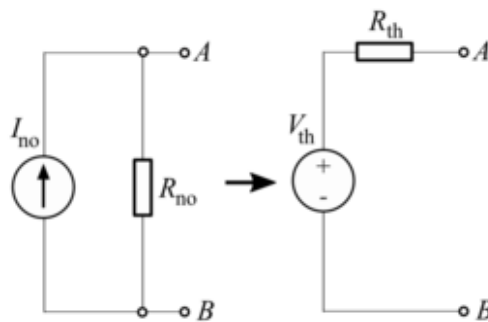


Figura 2 - Circuito Equivalente de Norton

2.3 Corrente alternada (CA)

Os dois teoremas se generalizam para o caso de um circuito de corrente alternada com impedâncias resistivas e reativas. Assim, o teorema se aplica da mesma maneira, porém as resistências são generalizadas para impedâncias.

3. RESULTADOS DE LABORATÓRIO

3.1 Materiais e Métodos

Para obter os resultados de laboratório, foram utilizados os seguintes instrumentos de medição: Multímetro Digital (marca Minipa, modelo ET-2082C), além de demais materiais auxiliares como matriz de contato, jumpers (conectores), resistores de valores comerciais e precisão 5%, capacitor de eletrolítico de 2,2 μ F, indutor de 100mH, gerador de sinais e osciloscópio.

Avaliou-se o estado de conservação dos instrumentos e nenhum deles apresentou dano aparente ou qualquer falha mecânica/eletrônica de modo que comprometesse significativamente os procedimentos de laboratório.

Para comprovar os teoremas, foram utilizados dois circuitos, um em corrente contínua e outro em corrente alternada. Assim, foram feitos os cálculos teóricos e medições necessárias de cada circuito.

3.2 Circuito em corrente contínua (CC)

O seguinte circuito foi utilizado para os cálculos e medições:

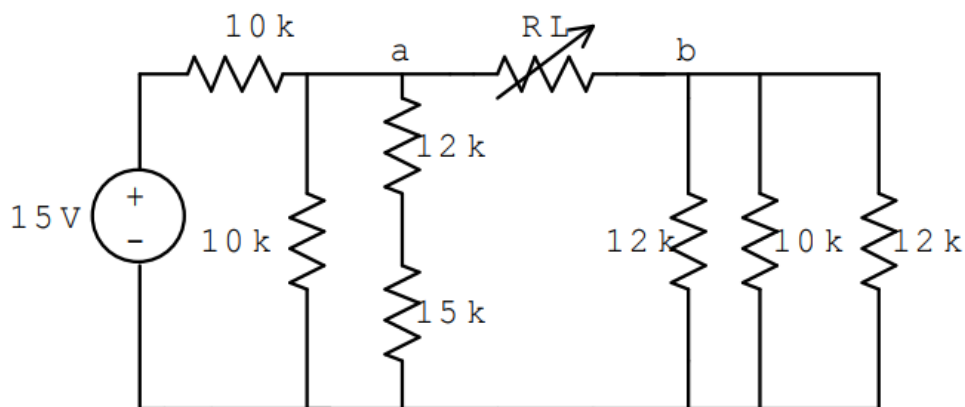


Figura 3 - Circuito CC analisado

Vamos fazer os cálculos e após isso iremos comparar com as medições feitas. Curto-circuitando a fonte e calculando a resistência entre os terminais a e b:

$$Req = (10k \parallel 10k \parallel (12k + 15k)) + (12k \parallel 10k \parallel 12k) = 7,97k\Omega$$

Agora calculando a tensão aplicada nos terminais a e b

$$Rab = 0$$

$$V_{TH} = \frac{15 * (10k \parallel (12k + 15k))}{10k + (10k \parallel (12k + 15k))} = 6,33k$$

Assim temos o circuito equivalente de Thévenin pela Figura 4:

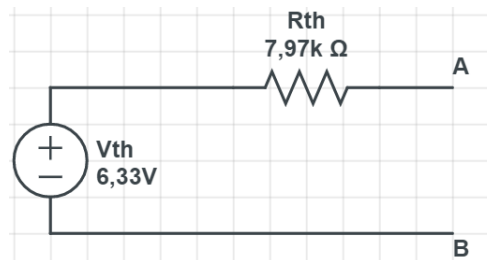


Figura 4 - Circuito Equivalente CC

Aplicando uma transformação de fonte, obtemos a corrente de Norton:

$$I_N = \frac{6,33}{7,97} = 794\mu A$$

E assim temos o circuito equivalente de Norton pela Figura 5:

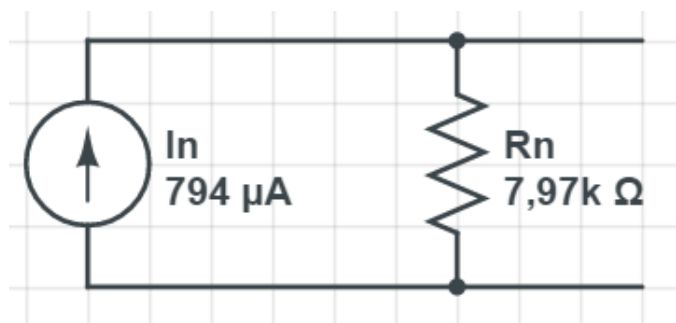


Figura 5 - Circuito Equivalente Norton CC

Utilizando a fonte de bancada com 15V e montando o circuito foram obtidos as seguintes medições:

Tabela 1 - Valores Circuito CC

Grandeza	Teórico	Escala	Valor medido
Tensão de Thevenin	6,33V	20V	6,15 ± 0,03 V
Corrente de Norton	794μA	2mA	756 ± 3 μA
Resistência de Thevenin	7,97kΩ	20kΩ	10,58 ± 0,03kΩ

Existem diferenças nos valores teóricos e medidos, isso se deve aos erros de medições que o multímetro apresenta, e também a incerteza associada aos valores de cada componente. Porém usando os valores da tensão e corrente medidos e calculando a resistência pela lei de Ohm, obtemos um valor mais razoável:

$$R_{th} = \frac{6,15}{756 * 10^{-6}} = 8,135k\Omega$$

Então, foram feitas medições para diferentes tipos de cargas entre os terminais A e B do circuito. As cargas eram 0Ω, 4,7kΩ, 8,2kΩ, 10kΩ. E obtemos a seguinte tabela com os valores teóricos e medidos da tensão e corrente:

Tabela 2 - Valores CC com alteração de Resistência

RL [Ω]	VRL Calculado	VRL Medido	IRL Calculada	IRL Medida
0	0V	0,00 ± 0,03 V	713μA	756 ± 3 μA
4,7k	2,21V	2,24 ± 0,03 V	420μA	476 ± 3 μA
8,2k	3,0V	2,80 ± 0,03 V	366μA	340 ± 3 μA
10k	3,29V	3,11 ± 0,03 V	329μA	308 ± 3 μA

A diferença entre os valores calculados e medidos são pequenas, fica visível que a simplificação do circuito equivalente de Thévenin funciona e dá diminui muito o trabalho para calcular a tensão e corrente na carga.

3.3. Circuito em corrente alternada

A seguir foi montado o seguinte circuito:

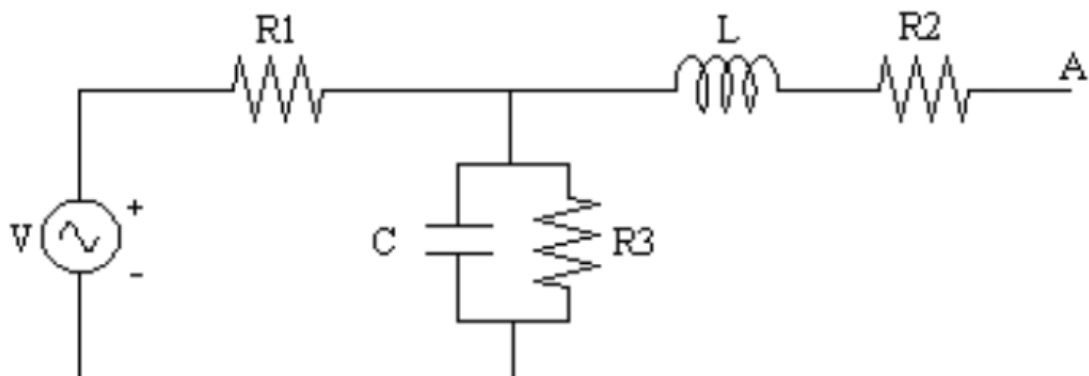


Figura 6 - Circuito CA analisado

Com $R1 = 390$, $R2 = 1k\Omega$, $R3 = 820\Omega$, $L = 100mH$, $C = 2,2\mu F$. Ao fazer as medições necessárias chegamos aos seguintes valores:

Tensão de Thévenin	$840 \pm 3 \text{ mV}$	-70
Corrente de Norton	$639 \pm 3\mu A$	-100°
Tensão da Fonte	$5,04 \pm 0,03 \text{ V}$	0°

Após, calculamos a impedância de Thévenin:

$$Z_{th} = \frac{V_{th}}{I_n} = \frac{840mV(-70^\circ)}{639\mu A(-100^\circ)} = 1,314k\Omega(30^\circ)$$

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O equivalente de Thévenin e de Norton nos permite aplicar o mesmo circuito em várias cargas diferentes, nos dando possibilidade de determinar facilmente a tensão, corrente e potência nessa carga sem ser necessário analisar novamente todo o circuito. Isso foi demonstrado ao fazermos os cálculos do circuito CC ao testá-lo com várias cargas diferentes.

Assim, embora certas distinções entre valores teóricos e práticos observados, devidos às variáveis estocásticas e mediadoras na medição dos dados, os objetivos do Laboratório, em verificar os Teoremas de Thevenin e Norton, foram alcançados.

REFERÊNCIAS

[1] ALEXANDER, Charles K.; SADIKU, Matthew N. O. **Fundamentos de Circuitos Elétricos**. McGraw Hill. 2016.