



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos - PSI - EPUSP

PSI 3212 - LABORATÓRIO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS

1º Semestre de 2018

EXPERIÊNCIA 6 – LINEARIDADE, SUPERPOSIÇÃO E
CIRCUITOS EQUIVALENTES (Thévenin & Norton)

Bancada	No. USP	Nome	Nota	F	Nota Individual

Data:	Turma:	Professores:
-------	--------	--------------

GUIA DE EXPERIMENTOS / RELATÓRIO

Professores: Marcio Lobo Netto e Roberto Onmori

Edição 2018

Lista de materiais

- Fonte de tensão Agilent/HP E3631A
- Gerador de funções Agilent 33500 B
- Osciloscópio Agilent DSO X 2002A
- Multímetro Tektronix TX3 ou equivalente
- Resistores $R = 100 \Omega$; 470Ω ; $1 \text{ k}\Omega$ (6); $2,2 \text{ k}\Omega$; $10 \text{ k}\Omega$.
- Potenciômetro 220Ω
- Protoboard, fios e cabos

OBJETIVO: verificar experimentalmente a validade dos conceitos de linearidade e superposição em circuitos lineares e equivalência de circuitos.

PREPARAÇÃO – SIMULAÇÃO DO CIRCUITO:

Mostre para o seu professor os resultados de sua simulação feita em casa. Peça um visto no espaço abaixo. Anexe os resultados da simulação no relatório.

Visto do professor:	Comentário:
---------------------	-------------

Parte 1 - Linearidade e Superposição

As teorias de linearidade e superposição já foram vistas sobre um mesmo dispositivo, no caso um resistor, e valem para quaisquer dispositivos lineares (resistores, capacitores ou indutores). Nesta experiência serão verificados os seguintes conceitos quando aplicados a um circuito elétrico:

- Linearidade: numa malha linear (composta por dispositivos lineares) a tensão num ponto qualquer varia linearmente (diretamente proporcional) à variação da excitação produzida por um gerador alimentando o circuito.
- Superposição: a tensão ou a corrente num ponto qualquer desta malha resulta da soma dos efeitos individuais de todos os geradores (superposição) que excitam a malha.

Considere o seguinte circuito, construído com componentes lineares, e excitado por dois geradores de sinais.

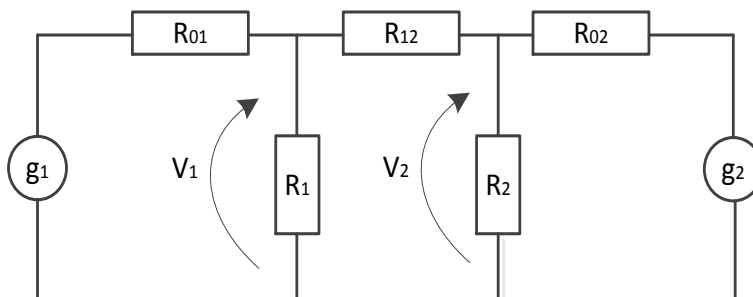


Figura 1.1 – Circuito elétrico para teste da linearidade e superposição

A partir do circuito da figura 1.1, as seguintes relações podem ser escritas:

$$v_1 = f (g_1, g_2) = \mathbf{a} \cdot g_1 + \mathbf{b} \cdot g_2 \quad (1)$$

$$v_2 = h (g_1, g_2) = \mathbf{c} \cdot g_1 + \mathbf{d} \cdot g_2 \quad (2)$$

$$v_{12} = v_1 - v_2 \quad (3)$$

O conceito de linearidade está embutido nas constantes **a**, **b**, **c** e **d** (indicando a proporcionalidade direta entre o sinal de excitação do gerador e seu efeito no ponto considerado); o de superposição está associado à composição da influência dos dois geradores (g_1 e g_2), cujos efeitos se somam (indicando a superposição destes efeitos).

1.1 Demonstração teórica das equações

Demonstrar teoricamente que os valores das 4 constantes são os apresentados nas relações (4) e (5). Para essa finalidade, considere as associações série e paralelo dos resistores da Figura 1, e assumo o valor dos resistores como sendo $R_1 = R_{01} = R_2 = R_{02} = 1 \text{ k}\Omega$; $R_{12} = 0,5 \text{ k}\Omega$ (neste caso use dois resistores de $1 \text{ k}\Omega$ em paralelo). Considere

também que a resistência interna dos geradores é igual a 50Ω . Note, porém, que ela será desconsiderada por estar em série com os resistores de $1 \text{ k}\Omega$.

$$v_1 = (1/3) g_1 + (1/6) g_2 \quad (4)$$

$$v_2 = (1/6) g_1 + (1/3) g_2 \quad (5)$$

1.2 Cálculo teórico dos valores de tensão

Considerando os valores de tensão dos geradores apresentados na Tabela 1.1, calcule e preencha as tensões v_1 , v_2 e v_{12} conforme definição da Figura 1.1.

Tabela 1.1 – Valores Teóricos

g_1 DC (mV)	g_2 DC (mV)	v_1 DC (mV)	v_2 DC (mV)	v_{12} DC (mV)
300	0			
0	300			
300	300			
600	0			
0	600			
600	600			
600	- 600			
g_1 DC (mV)	g_2 (1 kHz) AC (mV _p)	v_1 DC (mV) / AC(mV _p)	v_2 DC (mV) / AC(mV _p)	v_{12} DC (mV) / AC(mV _p)
300	0			
0	300			
300	300			
600	0			
0	600			
600	600			

Apresente seus cálculos:

1.3 Medidas experimentais dos valores de tensão

DC DC: Alimentar inicialmente o circuito da figura 1.1 com uma fonte DC (g_1) e um gerador de sinais (g_2) de acordo com os valores da Tabela 1.2.

Obs: - g_1 : fonte DC Agilent/HP E3631A – sinal DC

- g_2 : gerador de sinais Agilent 33500B - sinal DC produzido pelo offset. Colocar no modo High Z (que corresponde à carga do circuito montado!)
- v_{12} : deve ser obtido experimentalmente pela operação subtração do osciloscópio (Math)

DC AC: Usar o gerador de sinais g_2 para produzir sinais senoidais de 1 kHz, mantendo g_1 no modo VDC, ajustando os valores conforme a tabela 1.2.

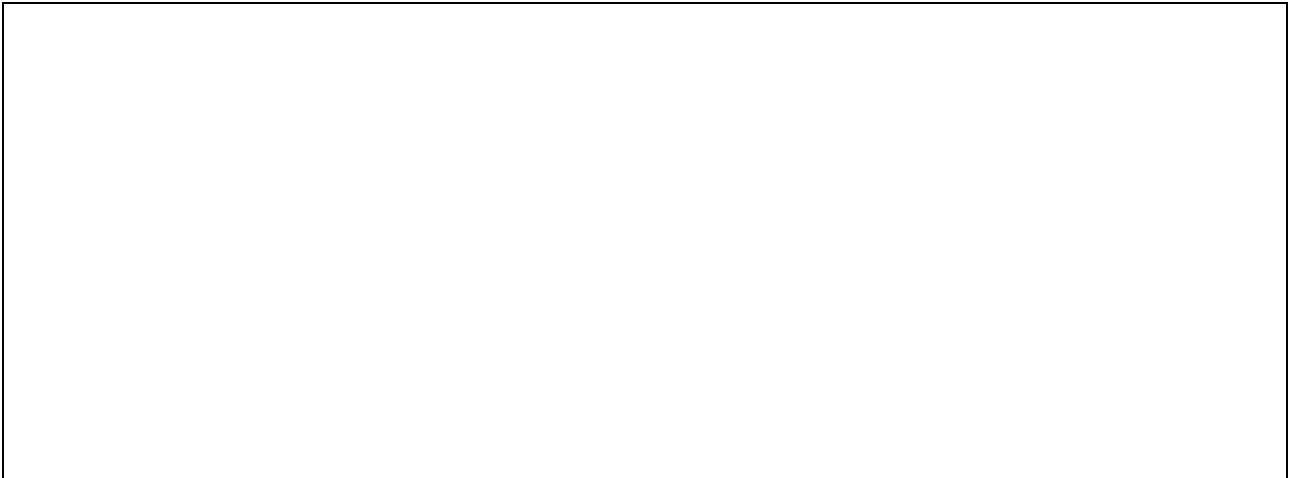
Verifique se os valores medidos confirmam as expectativas teóricas para as constantes **a, b, c, d.**

Tabela 1.2 – valores experimentais:

g_1 DC (mV)	g_2 DC (mV)	v_1 DC (mV)	v_2 DC (mV)	v_{12} DC (mV)
300	0			
0	300			
300	300			
600	0			
0	600			
600	600			
600	- 600			
g_1 DC (mV)	g_2 (1 kHz) AC (mV _p)	v_1 DC (mV) / AC (mV _p)	v_2 DC (mV) / AC (mV _p)	v_{12} DC (mV) / AC (mV _p)
300	0			
0	300			
300	300			
600	0			
0	600			
600	600			

Análise objetiva dos resultados: verifique se os valores experimentais são condizentes, comparando-os com os valores teóricos.

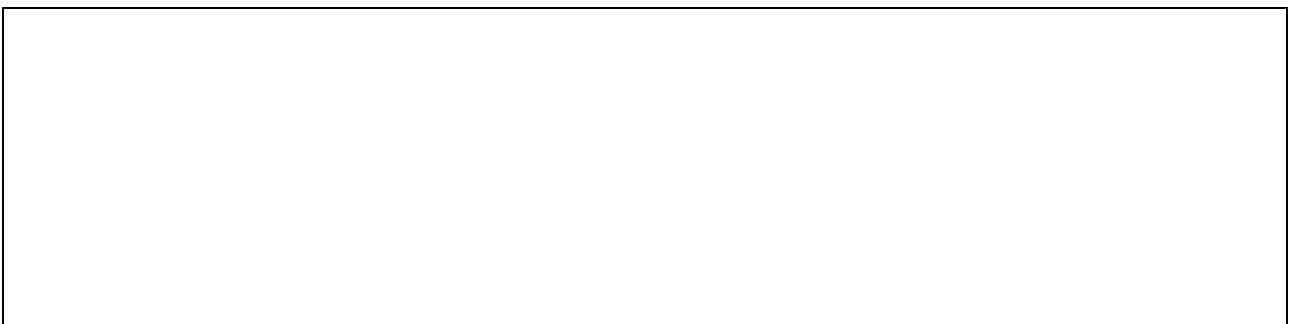
A partir destes dados o que se pode concluir quanto à superposição do circuito (o efeito de um e outro gerador se superpõe num ponto qualquer do circuito, quando ambos estão ligados?)



1.4 Observação experimental da superposição de dois sinais AC

a. Nesse item é necessário produzir dois sinais senoidais de $1 V_p$ e frequência 1 kHz. O gerador g_1 pode ser o **Agilent/HP 33120A** ou o gerador do osciloscópio DSOX 2002A “**wave gen**”. Verifique a disponibilidade desses instrumentos em sua bancada. Qualquer dúvida peça ajuda! Embora os dois geradores não estejam sincronizados (não há garantia de que as duas frequências sejam exatamente iguais e nem de que estejam em fase) é possível observar os dois sinais na tela do osciloscópio. Use a função “MATH” para somar as duas senoides. Observe as três ondas na tela do osciloscópio por um período (ex. um minuto) e responda:

a. Mantendo os dois geradores com a mesma frequência (1 kHz), o que acontece com a amplitude da onda resultante da função MATH ao longo do tempo?



b. Mudando a frequência de g_2 para 1,0001 kHz e depois para 1,1 kHz, mantendo a frequência do outro gerador g_1 em 1 kHz, comente o que foi observado com a amplitude da onda resultante.



Parte 2. Circuitos Equivalentes (Thévenin e Norton)

2.1 Fontes

Nesta parte da experiência vamos verificar que um circuito, visto pelos terminais de uma carga (ou bipolo), pode ser substituído por um gerador de tensão equivalente de Thévenin ou por um gerador de corrente equivalente de Norton.

Monte o circuito da Figura 2.1 com o resistor R_1 de $10\text{ k}\Omega$ e o potenciômetro R_2 de $220\ \Omega$. Use uma fonte de tensão constante de 10 V para alimentar o circuito, e varie o potenciômetro de 0 a $220\ \Omega$. Meça a tensão (V) sobre o potenciômetro com o osciloscópio e a corrente (I) com o amperímetro portátil. Complete a Tabela 2.1 e faça o Gráfico 2.1.

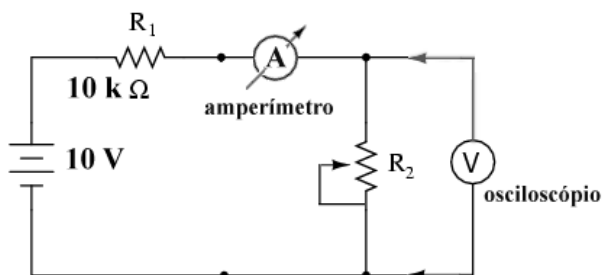


Figura 2.1 – Circuito para montar e estudar o equivalente Thévenin e Norton

Tabela 2.1 - Valores medidos de corrente e tensão no circuito da Figura 2.1.

	Corrente I (A)	Tensão V (V)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

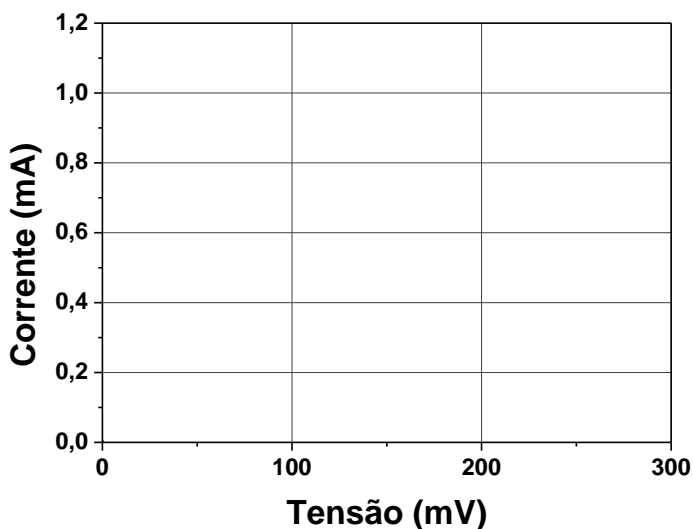


Gráfico 2.1 - Gráfico obtido a partir dos dados da Tabela 2.1

Fazendo a regressão linear $I(V) = a.V + b$ (onde $a = -1/R_{th}$, $b = I_0$ e $V_{th} = -I_0/a$) a partir do gráfico 2.1, desenhar os circuitos equivalentes Thévenin e Norton com seus respectivos valores de tensão, corrente e resistência.

2.2 Circuito em ponte

O circuito mostrado na Figura 2.2 é conhecido como “circuito em ponte”. Observe que não é simples calcular os valores de tensão e corrente (V_x e I_x) sobre o resistor de $100\ \Omega$.

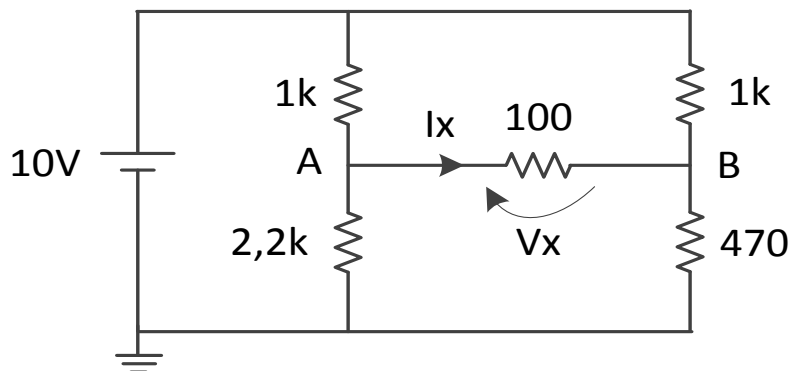


Figura 2.2 – Circuito em ponte (unidade dos resistores em ohms).

Você verificará que esse problema pode ser resolvido de uma forma elegante utilizando o teorema de Thévenin. O circuito da Figura 2.2 pode ser transformado em um circuito equivalente conforme mostrado na Figura 2.3.

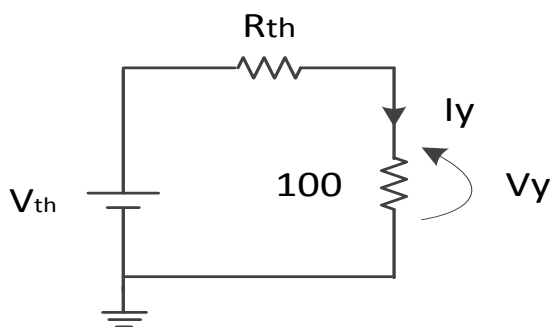


Figura 2.3 – Circuito equivalente de Thévenin.

Procedimento experimental:

- 1) Monte o circuito da Figura 2.2. Meça e anote os valores de V_x e I_x . Anote esses valores na Tabela 2.2.
- 2) No circuito, retire o resistor de $100\ \Omega$. Meça a tensão entre os pontos A e B. Essa será a tensão de Thévenin (V_{th}). Anote esse valor na Tabela 2.2.
- 3) Retire a fonte DC ($10\ V$) do circuito e a substitua por um curto-circuito. Meça com o Ohmímetro a resistência entre os pontos A e B. Essa será a resistência equivalente de Thévenin (R_{th}). Anote esse valor na Tabela 2.2.
- 4) Monte o circuito da Figura 2.3 com os valores obtidos no item 2 e 3. Meça e anote os valores de V_y e I_y . Anote esses valores na Tabela 2.2.

5) Obtenha analiticamente os valores de V_x e I_x ; V_{th} e I_{th} ; V_y e I_y e preencha a Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Medida das tensões e corrente do circuito em ponte e seu equivalente Thévenin.

	Valor calculado	Valor medido
V_x		
I_x		
V_y		
I_y		
V_{th}		
R_{th}		

6) Analise a consistência dos resultados, comparando os valores obtidos (V_x e I_x) com (V_y e I_y), tanto os calculados como os medidos. Com isso qual a sua conclusão quanto à equivalência destes circuitos?

7) Os valores medidos foram próximos das expectativas teóricas? Identifique e explique as principais fontes de erros entre os valores medidos e calculados.