



PSI 3212 - LABORATÓRIO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS

1º Semestre de 2017

**EXPERIÊNCIA 7 – LINEARIDADE, SUPERPOSIÇÃO E
CIRCUITOS EQUIVALENTES (Thevenin & Norton)**

GUIA DE EXPERIMENTOS / RELATÓRIO

Professores: Marcio Lobo Netto e Roberto Onmori

No USP	NOME	Nota	Bancada

Data:	Turmas:	Profs:
--------------	----------------	---------------

PREPARAÇÃO (Simulação dos circuitos)

Visto do professor:	Observação
----------------------------	-------------------

Anexar a simulação no relatório

Lista de materiais

- Fonte de tensão Agilent/HP E3631A
- Gerador de funções Agilent 33120 A
- Gerador de funções Agilent 33500 B
- Osciloscópio Agilent DSO X 2002A
- Multímetro Tektronix TX3
- 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.

Parte 1 - Linearidade e Superposição

A teoria 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.

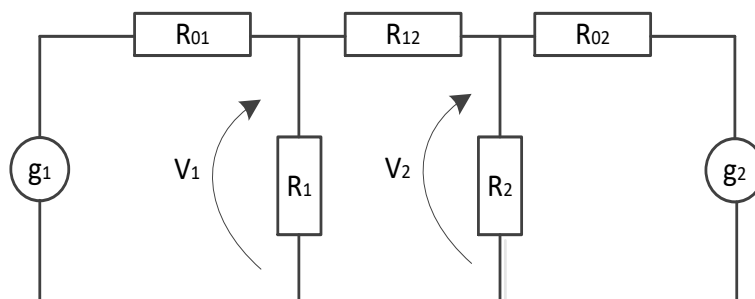


Figura 1.1 – Circuito elétrico para teste da linearidade e superposição

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

$$v_1 = f(g_1, g_2) = a.g_1 + b.g_2 \quad (1)$$

$$v_2 = h(g_1, g_2) = c.g_1 + d.g_2 \quad (2)$$

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

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 que os valores das 4 constantes é o apresentado nas relações (4) e (5). Para essa finalidade considere as associações série e paralelo dos resistores para cada caso e assumir o valor dos resistores sendo $R_1 = R_{01} = R_2 = R_{02} = 1 \text{ k}\Omega$; $R_{12} = 0,5 \text{ k}\Omega$ (dois resistores de $1 \text{ k}\Omega$ em paralelo). Considere a resistência interna dos geradores de 50Ω , mas, será desconsiderada neste caso 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 Calculo teórico dos valores de tensão

Considerando os valores de tensão dos geradores apresentados nas tabelas 1.1 (dois sinais DC) e 1.2 (um sinal DC e um AC) (vide relatório), calcule as tensões v_1 , v_2 e v_{12} (conforme definição da figura 1.1)

Tabela 1.1 – Teste da linearidade e superposição (a: DC DC / b: DC AC)
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 (mVp)	v_1 DC (mV) / AC(mVp)	v_2 DC (mV) / AC(mVp)	v_{12} DC (mV) / AC(mVp)
300	0			
0	300			
300	300			
600	0			
0	600			
600	600			

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 1.1 do relatório.

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 a carga do circuito montado!)
- v_{12} deve ser obtido 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 do relatório.

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

**Tabela 1.2 – Teste da linearidade e superposição (a: DC DC / b: DC AC)
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 (mVp)	v_1 DC (mV) / AC(mVp)	v_2 DC (mV) / AC(mVp)	v_{12} DC (mV) / AC(mVp)
300	0			
0	300			
300	300			
600	0			
0	600			
600	600			

Análise objetiva dos resultados - Analise, comparando os valores teóricos com os dados obtidos nas medidas experimentais, se os valores são condizentes.

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 Desafio 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 Agilent/HP 33120A ou o gerador do osciloscópio DSOX 2002A “wave gen”. Verifique a disponibilidade desses instrumentos. 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 sinais estabilizados na tela do osciloscópio (acerte o *trigger*). Mas em função da pequena discrepância entre ambos, o que se observa são sinais que vão variando lentamente no tempo, aumentando (quando os sinais dos dois geradores estão em fase) e diminuindo (quando estão em fases opostas). Comente se isso corresponde ao que foi observado.

a. Mantendo os dois geradores com a mesma frequência (1 kHz), o que foi observado se as frequências forem exatamente iguais e com pequenas discrepâncias. O que se pode concluir a partir disso?

b. Mude a frequência de g_2 para 1,0001 kHz e depois para 1,1 kHz, mantendo a frequência do outro em 1 kHz. Comente o que foi observado.

Parte 2. Circuitos Equivalentes (Thévenin e Norton)

2.1 Fontes

Montar o circuito da figura 2.1 com o resistor R_1 de $10\text{ k}\Omega$ e o potenciômetro R_2 de $220\ \Omega$. Variar o potenciômetro de 0 a $220\ \Omega$, complete a tabela 2.1 e faça o gráfico 2.1.

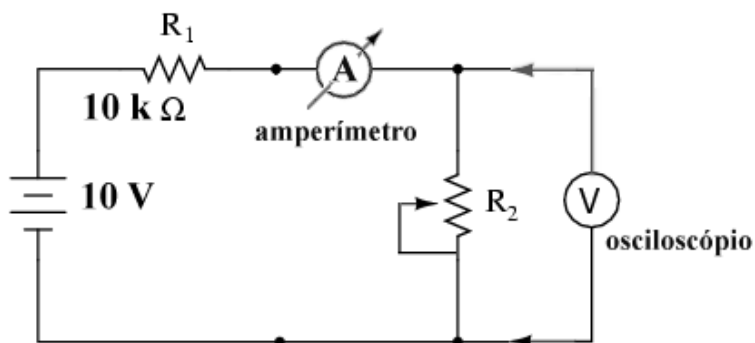


Figura 2.1 – Circuito para montar e estudar o equivalente Thévenin e Norton

A partir do gráfico 2.1, desenhar o circuito equivalente Thévenin e Norton.

Montar o circuito da figura 2.1 com o resistor R_1 de $10\text{ k}\Omega$ e o potenciômetro R_2 de $220\ \Omega$ e complete a tabela 2.1 e faça o gráfico 2.1.

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

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

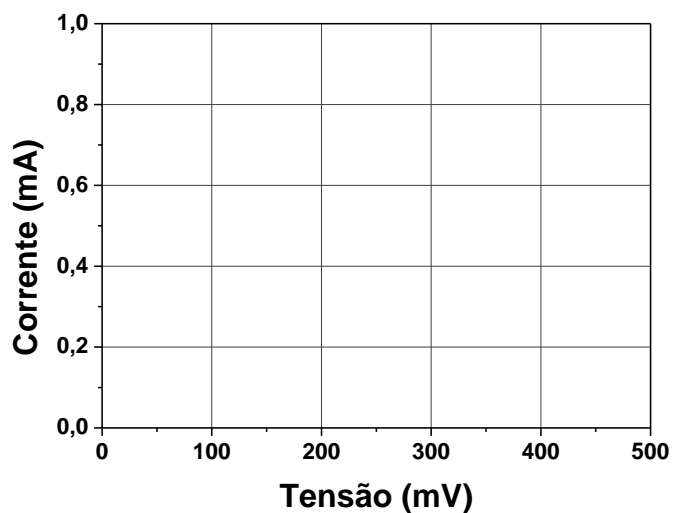


Gráfico 2.1 - Gráfico obtido a partir dos dados da tabela 2.1

A partir do gráfico 2.1, desenhar o circuito equivalente Thévenin e Norton.

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 100Ω .

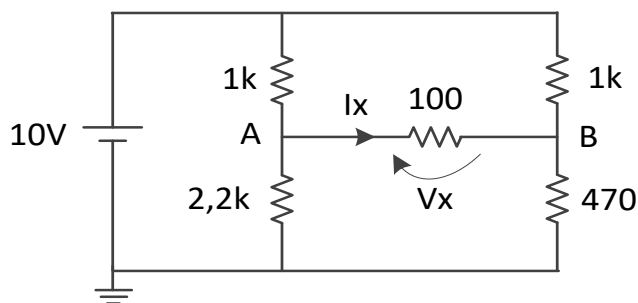


Figura 2.2 – Circuito em ponte.

Você já deve ter percebido 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.

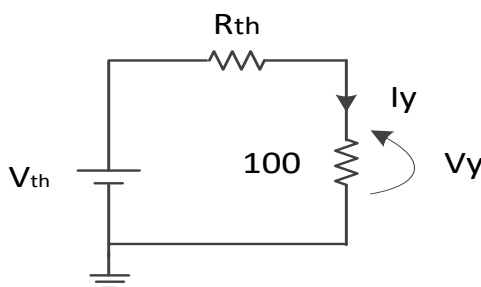


Figura 2.3 – Circuito equivalente de Thevenin.

Procedimento experimental:

- 1) Monte o circuito da Figura 2.2. Meça e anote os valores de V_x e I_x .
- 2) Monte o circuito da Figura 2.2 sem o resistor de 100Ω . Meça a tensão entre os pontos A e B. Essa será a tensão de Thévenin (V_{th}).
- 3) Retire a fonte DC (10V) do circuito e 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}).
- 4) Monte o circuito da Figura 2.3 com os valores obtidos no item 3. Meça e anote os valores de V_y e I_y .
- 5) Compare os valores obtidos no item 1 (V_x e I_x) com os resultados do item 4 (V_y e I_y). Analise e comente a consistência dos resultados.
- 6) Obtenha analiticamente os valores de V_x e I_x . Compare com os resultados experimentais.

Montar o circuito da figura 2.2 e completar a tabela 2.2. Faça o mesmo para a figura 2.3.

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

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

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?

Compare ainda os valores de V_x , I_x , V_y e I_y medidos e calculados. Com isso discuta se os valores medidos foram próximos das expectativas teóricas.