

Roteiro-Relatório da Experiência N° 6

“ASSOCIAÇÃO DE QUADRIPOLOS SÉRIE - PARALELO - CASCATA”

1. COMPONENTES DA EQUIPE:

ALUNOS	NOTA
1	
2	
3	
4	Prof.: Celso José Faria de Araújo
5	Data: ___ / ___ / ___ : ___ hs

2. OBJETIVOS:

- 2.1. Verificar as propriedades do quadripolo através de seus parâmetros de impedância, admitância e transmissão.
- 2.2. Encontrar os valores experimentais dos parâmetros citados no item acima de dois quadripolos diferentes.
- 2.3. Associar dois quadripolos em série, paralelo e cascata de modo que o teste de Brune seja satisfeito, e definir o novo parâmetro para o quadripolo associado.
- 2.4. Comparar os resultados teóricos com os experimentais e verificar o erro percentual nos parâmetros de impedância.

3. PARTE TEÓRICA:

Uma rede genérica com dois pares de terminais é chamada quadripolo. Os quadripolos são elementos fundamentais em sistemas eletrônicos, tais como: comunicação; controle automático; transmissão e distribuição ou outros sistemas em que um sinal elétrico, entra nos terminais de entrada; é alterado pela rede e sai pelos terminais de saída. Um quadripolo genérico está representado pela Figura 1

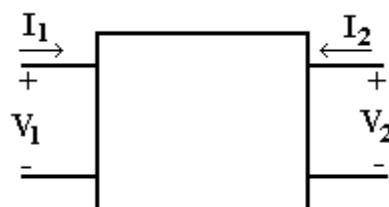


Figura 1 - Quadripolo

Neste tipo de rede elétrica (quadripolo) não devem existir ligações externas com a entrada e a saída, devem ser compostas por elementos lineares e não devem possuir fontes independentes. Logo trata-se de circuitos lineares passivos.

A relação tensão-corrente de cada par de terminais caracteriza o quadripolo. Nessa relação são envolvidos dois parâmetros, pois cada tensão depende de duas variáveis. Assim são necessários quatro parâmetros para representar um quadripolo.

3.1. Parâmetros de Impedância

Considere um quadripolo genérico que tenha características intrínsecas de uma rede linear passiva, conforme mostra a Figura 1:

Considerando a tensão \mathbf{V}_1 e \mathbf{V}_2 como sendo as respostas produzida por duas componentes de corrente, \mathbf{I}_1 e \mathbf{I}_2 . As equações (1) e (2) mostram estas relações:

$$\mathbf{V}_1 = z_{11}\mathbf{I}_1 + z_{12}\mathbf{I}_2 \quad (1)$$

$$\mathbf{V}_2 = z_{21}\mathbf{I}_1 + z_{22}\mathbf{I}_2 \quad (2)$$

ou ainda na forma matricial, como mostra a equação (3).

$$\begin{bmatrix} \mathbf{V}_1 \\ \mathbf{V}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} \\ z_{21} & z_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{I}_1 \\ \mathbf{I}_2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Ao utilizar as equações (1) e (2) é necessário que \mathbf{V}_1 e \mathbf{V}_2 sejam fontes de tensão. Os parâmetros z 's, são obtidos supondo que cada uma das correntes seja, separadamente nula. Dessa forma tem-se:

$$z_{11} = \left. \frac{\mathbf{V}_1}{\mathbf{I}_1} \right|_{\mathbf{I}_2=0} \quad (4)$$

onde z_{11} é a impedância própria de entrada com a saída em aberto (Ω);

$$z_{12} = \left. \frac{\mathbf{V}_1}{\mathbf{I}_2} \right|_{\mathbf{I}_1=0} \quad (5)$$

onde z_{12} é a impedância transferência inversa com a entrada em aberto (Ω);

$$z_{21} = \left. \frac{\mathbf{V}_2}{\mathbf{I}_1} \right|_{\mathbf{I}_2=0} \quad (6)$$

onde z_{21} é a impedância transferência direta com a saída em aberto (Ω);

$$z_{22} = \left. \frac{\mathbf{V}_2}{\mathbf{I}_2} \right|_{\mathbf{I}_1=0} \quad (7)$$

onde z_{22} é a impedância própria de saída com a entrada em aberto (Ω).

Como correntes nulas ocorrem em circuitos abertos, os parâmetros z 's são conhecidos como parâmetros impedância em circuito aberto.

Uma rede é denominada “*Rede Recíproca*” quando as impedâncias z_{12} for igual a z_{21} . E quando a rede contiver somente resistências, indutâncias, capacitâncias e transformadores essa será sempre uma *rede reciproca*. Porém não deve conter fontes dependentes.

3.2. Parâmetros de Admitância

Considere um quadripolo genérico que tenha características intrínsecas de uma rede linear passiva, conforme mostra a Figura 1:

Considerando a tensão \mathbf{I}_1 e \mathbf{I}_2 como sendo as respostas produzida por duas componentes de tensão, \mathbf{V}_1 e \mathbf{V}_2 . As equações (8) e (9) mostram estas relações:

$$\mathbf{I}_1 = \mathbf{y}_{11}\mathbf{V}_1 + \mathbf{y}_{12}\mathbf{V}_2 \quad (8)$$

$$\mathbf{I}_2 = \mathbf{y}_{21}\mathbf{V}_1 + \mathbf{y}_{22}\mathbf{V}_2 \quad (9)$$

ou ainda na forma matricial, como mostra a equação (10).

$$\begin{bmatrix} \mathbf{I}_1 \\ \mathbf{I}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{y}_{11} & \mathbf{y}_{12} \\ \mathbf{y}_{21} & \mathbf{y}_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{V}_1 \\ \mathbf{V}_2 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Os parâmetros \mathbf{y} 's são conhecidos também como admitâncias de curto-circuito. O termo curto-circuito deriva do fato que estes parâmetros são medidos com uma porta em curto-circuito, logo:

$$\begin{aligned} \mathbf{y}_{11} &= \frac{\mathbf{I}_1}{\mathbf{V}_1} \Big|_{\mathbf{V}_2=0} & \mathbf{y}_{12} &= \frac{\mathbf{I}_1}{\mathbf{V}_2} \Big|_{\mathbf{V}_1=0} \\ \mathbf{y}_{21} &= \frac{\mathbf{I}_2}{\mathbf{V}_1} \Big|_{\mathbf{V}_2=0} & \mathbf{y}_{22} &= \frac{\mathbf{I}_2}{\mathbf{V}_2} \Big|_{\mathbf{V}_1=0} \end{aligned} \quad (11)$$

Caso $\mathbf{y}_{12} = \mathbf{y}_{21}$ o quadripolo é também chamado de *rede reciproca*.

Pode-se transformar os parâmetros de impedância para admitância para quadripolos, através das seguintes relações:

$$\begin{aligned} \mathbf{y}_{11} &= \frac{\mathbf{z}_{22}}{|\mathbf{z}|} & \mathbf{y}_{12} &= \frac{-\mathbf{z}_{12}}{|\mathbf{z}|} \\ \mathbf{y}_{21} &= \frac{-\mathbf{z}_{21}}{|\mathbf{z}|} & \mathbf{y}_{22} &= \frac{\mathbf{z}_{11}}{|\mathbf{z}|} \end{aligned} \quad (12)$$

3.3. Parâmetros de Transmissão

Considere um quadripolo genérico que tenha características intrínsecas de uma rede linear passiva, conforme mostra a Figura 1:

Considerando a tensão \mathbf{V}_1 e a corrente \mathbf{I}_1 com sendo as respostas produzida por duas componentes \mathbf{V}_2 e \mathbf{I}_2 como mostrado nas equação (13) e (14):

$$\mathbf{V}_1 = \mathbf{a}_{11}\mathbf{V}_2 - \mathbf{a}_{12}\mathbf{I}_2 \quad (13)$$

$$\mathbf{I}_2 = \mathbf{a}_{21}\mathbf{V}_2 - \mathbf{a}_{22}\mathbf{I}_2 \quad (14)$$

ou ainda na forma matricial, como mostra a equação (15).

$$\begin{bmatrix} \mathbf{V}_1 \\ \mathbf{I}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{a}_{11} & \mathbf{a}_{12} \\ \mathbf{a}_{21} & \mathbf{a}_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{V}_2 \\ -\mathbf{I}_2 \end{bmatrix} \quad (15)$$

onde:

$$\begin{aligned} \mathbf{a}_{11} &= \frac{\mathbf{z}_{11}}{\mathbf{z}_{21}} = \frac{\mathbf{V}_1}{\mathbf{V}_2} \Big|_{\mathbf{I}_2=0} & \mathbf{a}_{12} &= \frac{|\mathbf{z}|}{\mathbf{z}_{21}} = -\frac{\mathbf{V}_1}{\mathbf{I}_2} \Big|_{\mathbf{V}_2=0} \\ \mathbf{a}_{21} &= \frac{1}{\mathbf{z}_{21}} = \frac{\mathbf{I}_1}{\mathbf{V}_2} \Big|_{\mathbf{I}_2=0} & \mathbf{a}_{22} &= \frac{\mathbf{z}_{22}}{\mathbf{z}_{21}} = -\frac{\mathbf{I}_1}{\mathbf{I}_2} \Big|_{\mathbf{V}_2=0} \end{aligned} \quad (16)$$

Os parâmetros de transmissão \mathbf{a} 's são também conhecidos como parâmetros **ABCD**, onde $\mathbf{A} = \mathbf{a}_{11}$, $\mathbf{B} = \mathbf{a}_{12}$, $\mathbf{C} = \mathbf{a}_{21}$ e $\mathbf{D} = \mathbf{a}_{22}$.

3.4. Associação de Quadripolos

Os quadripolos são muitas vezes associados, para formar um quadripolo mais complexo. A representação matricial apresenta nesses casos uma grande vantagem, pois os parâmetros do quadripolo complexo é calculado facilmente manipulando-se as matrizes dos quadripolos iniciais.

Ainda, o procedimento inverso propicia a vantagem de que um quadripolo complexo seja decomposto em uma associação de quadripolos mais simples, cujos parâmetros são facilmente calculados.

As associações básicas dos quadripolos são: associação em *série*, *paralelo* e *cascata*.

3.4.1. Associação Série

Uma associação série de dois quadripolo \mathbf{N}' e \mathbf{N}'' resulta em um outro quadripolo \mathbf{N} como mostrado na Figura 2.

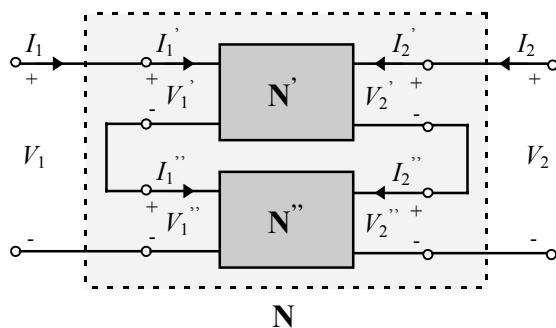


Figura 2 - Associação Série

Considere \mathbf{N} descrito pelos parâmetros \mathbf{z} , \mathbf{N}' descrito pelos parâmetros \mathbf{z}' , \mathbf{N}'' descrito pelo parâmetro \mathbf{z}'' . Antes da associação ser feita, a relação de \mathbf{V} 's e \mathbf{I} 's para \mathbf{N}' e \mathbf{N}'' , eram, respectivamente:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{V}'_1 \\ \mathbf{V}'_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z'_{11} & z'_{12} \\ z'_{21} & z'_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{I}'_1 \\ \mathbf{I}'_2 \end{bmatrix} \quad \dots \quad \begin{bmatrix} \mathbf{V}''_1 \\ \mathbf{V}''_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z''_{11} & z''_{12} \\ z''_{21} & z''_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{I}''_1 \\ \mathbf{I}''_2 \end{bmatrix} \quad (17)$$

Depois da associação tomar efeito, tem-se

$$\begin{bmatrix} \mathbf{V}_1 \\ \mathbf{V}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{V}'_1 \\ \mathbf{V}'_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{V}''_1 \\ \mathbf{V}''_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{V}'_1 + \mathbf{V}''_1 \\ \mathbf{V}'_2 + \mathbf{V}''_2 \end{bmatrix} \quad (18)$$

Evidentemente, se

$$\begin{bmatrix} \mathbf{I}'_1 \\ \mathbf{I}'_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{I}''_1 \\ \mathbf{I}''_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{I}_1 \\ \mathbf{I}_2 \end{bmatrix} \quad (19)$$

então para cada porta a corrente que está entrando é a mesma que está saindo, e a associação não altera as condições existentes para os dois quadripolos que foram associados. Neste caso tem-se:

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} \\ z_{21} & z_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} \\
 \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} &= \left\{ \begin{bmatrix} z'^{11} & z'^{12} \\ z'^{21} & z'^{22} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} z''^{11} & z''^{12} \\ z''^{21} & z''^{22} \end{bmatrix} \right\} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} \\
 \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} z'^{11} + z''^{11} & z'^{12} + z''^{12} \\ z'^{21} + z''^{21} & z'^{22} + z''^{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}
 \end{aligned} \quad (20)$$

Generalizando, se $\mathbf{I}'_k = \mathbf{I}''_k$ ($k = 1, 2$), logo

$$[z] = [z'] + [z''] \quad (21)$$

Um teste para verificar se a equação $\mathbf{I}'_1 = \mathbf{I}''_1$ é válida, pode ser feito procedendo como está mostrado na Figura 3(a). Este teste é denominado de **TESTE DE BRUNE** devido seu inventor. Desde que o circuito está aberto em ab , logo $\mathbf{I}'_1 = \mathbf{I}''_1$ (pela LCK a corrente que entra em \mathbf{N}' é igual a corrente que deixa \mathbf{N}'). Se $V_{ab} = 0$ a conexão de a para b não causará nenhuma mudança no circuito; portanto $\mathbf{I}'_1 = \mathbf{I}''_1$ se manterá válida mesmo depois da conexão. Se um teste similar é satisfeito pelo lado da entrada como mostrado na Figura 3(b) (ou seja, $V_{cd} = 0$), então $\mathbf{I}'_2 = \mathbf{I}''_2$. Logo por superposição, se ambos os testes são satisfeitos, então a equação (19) é válida.

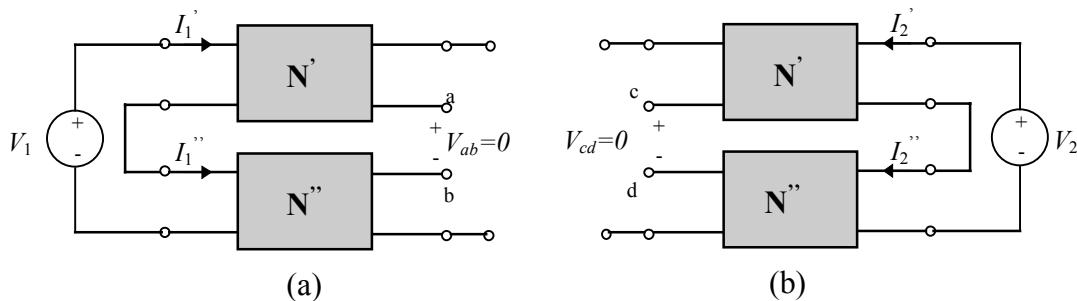


Figura 3 - Teste de Brune para (a) $\mathbf{I}'_1 = \mathbf{I}''_1$ e (b) $\mathbf{I}'_2 = \mathbf{I}''_2$

3.4.2. Associação Paralela

Uma associação paralela de dois quadripolo \mathbf{N}' e \mathbf{N}'' resulta em um outro quadripolo \mathbf{N} como mostrado na Figura 4.

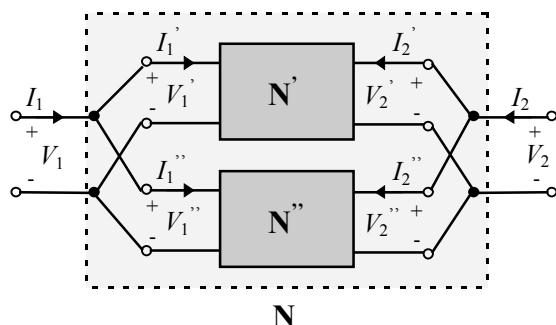


Figura 4 - Associação Paralela

Considere \mathbf{N} descrito pelos parâmetros y , \mathbf{N}' descrito pelos parâmetros y' , \mathbf{N}'' descrito pelo parâmetro y'' . Antes da associação ser feita, a relação de \mathbf{I}' s e \mathbf{V}' s para \mathbf{N}' e \mathbf{N}'' , eram, respectivamente:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{I}'_1 \\ \mathbf{I}'_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{y}'_{11} & \mathbf{y}'_{12} \\ \mathbf{y}'_{21} & \mathbf{y}'_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{V}'_1 \\ \mathbf{V}'_2 \end{bmatrix} \quad \therefore \quad \begin{bmatrix} \mathbf{I}''_1 \\ \mathbf{I}''_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{y}''_{11} & \mathbf{y}''_{12} \\ \mathbf{y}''_{21} & \mathbf{y}''_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{V}''_1 \\ \mathbf{V}''_2 \end{bmatrix} \quad (22)$$

Novamente, se as correntes que entram são iguais as correntes que estão saindo, então a associação não causa distúrbios nas condições existentes. Em outras palavras, a associação não dá origem a formação de laços de corrente.

Para demonstrar o **TESTE DE BRUNE** para associação em paralelo considere a rede da Figura 5.(a). Para $V_{ab} = 0$, a e b pode ser colocado em curto circuito e a rede pode ser redesenhada como mostrado na Figura 5.(b).

$$\mathbf{I}'_1 = \mathbf{I}''_{10} \quad \therefore \quad \mathbf{I}''_1 = \mathbf{I}''_{10} \quad (23)$$

Desde que, pela LCK, a corrente entrando em \mathbf{N}' deve ser igual a corrente deixando \mathbf{N}'' .

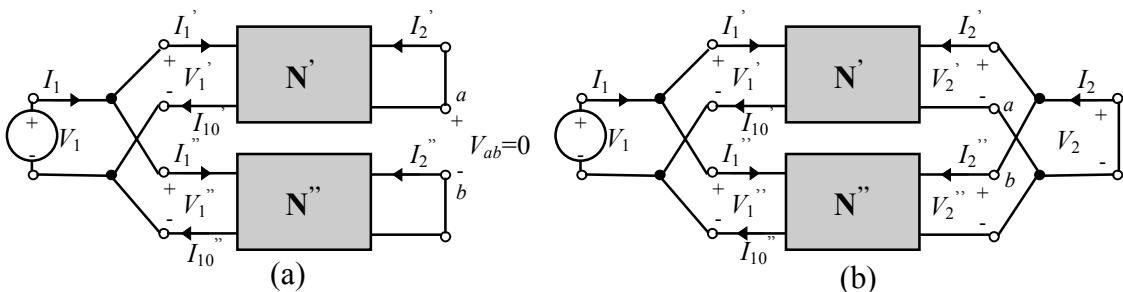


Figura 5 - Teste de Brune na saída da associação paralela. (a) Teste de Brune
(b) Rede equivalente a (a).

Pela Figura 5.(b), $V_2 = \mathbf{V}''_2 = \mathbf{V}_2''$; portanto

$$\mathbf{y}_{11} = \frac{\mathbf{I}_1}{\mathbf{V}_1} \Big|_{\mathbf{V}_2=0} = \frac{\mathbf{I}'_1 + \mathbf{I}''_1}{\mathbf{V}_1} \Big|_{\mathbf{V}_2=0} = \frac{\mathbf{I}'_1}{\mathbf{V}'_1} \Big|_{\mathbf{V}'_2=0} + \frac{\mathbf{I}''_1}{\mathbf{V}''_1} \Big|_{\mathbf{V}''_2=0} = \mathbf{y}'_{11} + \mathbf{y}''_{11} \quad (24)$$

e

$$\mathbf{y}_{21} = \frac{\mathbf{I}_2}{\mathbf{V}_1} \Big|_{\mathbf{V}_2=0} = \frac{\mathbf{I}'_2 + \mathbf{I}''_2}{\mathbf{V}_1} \Big|_{\mathbf{V}_2=0} = \frac{\mathbf{I}'_2}{\mathbf{V}'_1} \Big|_{\mathbf{V}'_2=0} + \frac{\mathbf{I}''_2}{\mathbf{V}''_1} \Big|_{\mathbf{V}''_2=0} = \mathbf{y}'_{21} + \mathbf{y}''_{21} \quad (25)$$

Com referência a Figura 6, se $V_{cd} = 0$, o teste de Brune é satisfeito pelo lado da entrada, e

$$\begin{aligned} \mathbf{y}_{22} &= \mathbf{y}'_{22} + \mathbf{y}''_{22} \\ \mathbf{y}_{12} &= \mathbf{y}'_{12} + \mathbf{y}''_{12} \end{aligned} \quad (26)$$

Se o teste de Brune é satisfeito de ambos os lados ($V_{ab} = V_{cd} = 0$) então

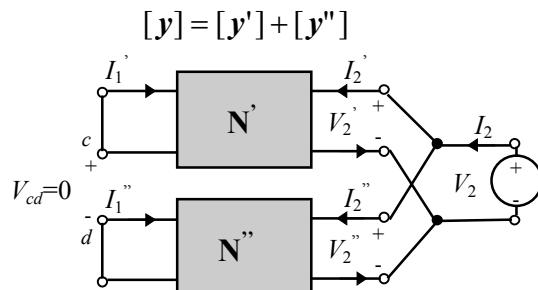


Figura 6 - Teste de Brune para o lado da entrada na associação paralelo.

3.4.3. Associação em Cascata

A associação em cascata de dois quadripolos N' e N'' está mostrado na Figura 7. Usando os parâmetros de transmissão a' para N' , a'' para N'' e a para N , obtém-se:

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V'_1 \\ I'_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a'_{11} & a'_{12} \\ a'_{21} & a'_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V'_2 \\ -I'_2 \end{bmatrix} \quad (27)$$

e

$$\begin{bmatrix} V'_2 \\ -I'_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V''_1 \\ I''_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a''_{11} & a''_{12} \\ a''_{21} & a''_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V''_2 \\ -I''_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a''_{11} & a''_{12} \\ a''_{21} & a''_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_2 \\ -I_2 \end{bmatrix} \quad (28)$$

logo

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_2 \\ -I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a'_{11} & a'_{12} \\ a'_{21} & a'_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a''_{11} & a''_{12} \\ a''_{21} & a''_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_2 \\ -I_2 \end{bmatrix} \quad (29)$$

através da qual, torna-se evidente que:

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a'_{11} & a'_{12} \\ a'_{21} & a'_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a''_{11} & a''_{12} \\ a''_{21} & a''_{22} \end{bmatrix} \quad \therefore \quad [a] = [a'] \cdot [a''] \quad (30)$$

Portanto, para associação de quadripolos em cascata, os parâmetros de transmissão do quadripolo resultante é igual a multiplicação dos parâmetros de transmissão dos quadripolos isolados. Note que, para este caso, não é necessário que seja satisfeito o teste de Brune.

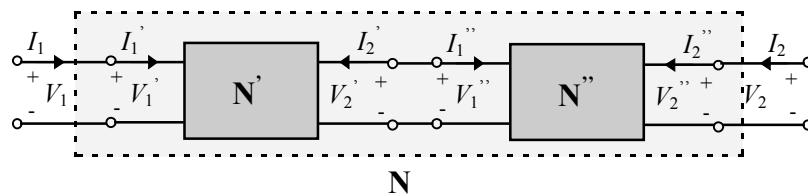


Figura 7 - Associação em Cascata

4. MATERIAL UTILIZADO

- 4.1. Fonte de tensão variável (DC Power Supply).
- 4.2. Resistores: 4,7K Ω , 5,6K Ω , 6,8K Ω , 1,5K Ω , 3,9K Ω , 2,7K Ω
- 4.3. Multímetro

5. PRÉ-RELATÓRIO

- 5.1. Ler o item 6 (Parte Experimental) e resolver teoricamente os circuitos propostos com os valores nominais para os resistores preenchendo as Tabelas nas linhas que se referem aos valores calculados .

6. PARTE EXPERIMENTAL:

6.1. Parâmetros dos Quadripolo.

- 6.1.1. Monte o quadripolo N' como mostrado na Figura 8 com os resistores da Tabela 1.

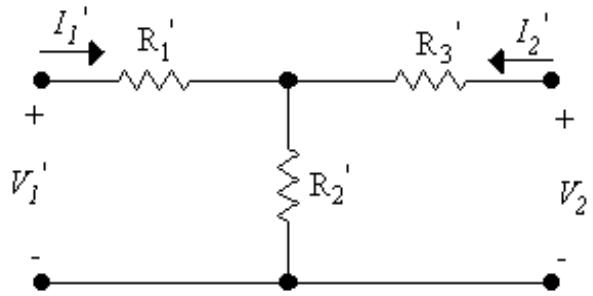


Figura 8 – Quadripolo N'.

R ₁ '	R ₂ '	R ₃ '
4,7K Ω	5,6K Ω	6,8K Ω

Tabela 1. Valores dos Resistores para o Quadripolo N'.

- 6.1.2. Meça as tensões e correntes segundo o requerido pela Tabela 2.

V ₁ ' (V)	I ₁ ' (A)	V ₂ ' (V)	I ₂ ' (A)
5			0 (aberto)
5		0 (curto)	
	0 (aberto)	5	
0 (curto)		5	

Tabela 2

- 6.1.3. Calcule os parâmetros Z', Y' e T' com os valores anotados na Tabela 2 (exp.) e também teoricamente utilizando técnicas de análise de circuitos (teo.). Anote os valores nas matrizes Z', Y' e T'.

TEÓRICO	EXPERIMENTAL
$Z' = \begin{bmatrix} z_{11}' = \underline{\hspace{2cm}} & z_{12}' = \underline{\hspace{2cm}} \\ z_{21}' = \underline{\hspace{2cm}} & z_{22}' = \underline{\hspace{2cm}} \end{bmatrix}$	$Z' = \begin{bmatrix} z_{11}' = \underline{\hspace{2cm}} & z_{12}' = \underline{\hspace{2cm}} \\ z_{21}' = \underline{\hspace{2cm}} & z_{22}' = \underline{\hspace{2cm}} \end{bmatrix}$

TEÓRICO	EXPERIMENTAL
$Y' = \begin{bmatrix} y_{11}' = \underline{\hspace{2cm}} & y_{12}' = \underline{\hspace{2cm}} \\ y_{21}' = \underline{\hspace{2cm}} & y_{22}' = \underline{\hspace{2cm}} \end{bmatrix}$	$Y' = \begin{bmatrix} y_{11}' = \underline{\hspace{2cm}} & y_{12}' = \underline{\hspace{2cm}} \\ y_{21}' = \underline{\hspace{2cm}} & y_{22}' = \underline{\hspace{2cm}} \end{bmatrix}$

TEÓRICO	EXPERIMENTAL
$T' = \begin{bmatrix} a_{11}' = \underline{\hspace{2cm}} & a_{12}' = \underline{\hspace{2cm}} \\ a_{21}' = \underline{\hspace{2cm}} & a_{22}' = \underline{\hspace{2cm}} \end{bmatrix}$	$T' = \begin{bmatrix} a_{11}' = \underline{\hspace{2cm}} & a_{12}' = \underline{\hspace{2cm}} \\ a_{21}' = \underline{\hspace{2cm}} & a_{22}' = \underline{\hspace{2cm}} \end{bmatrix}$

6.1.4. Monte o quadripolo N" como mostrado na Figura 9 com os resistores da Tabela 3.

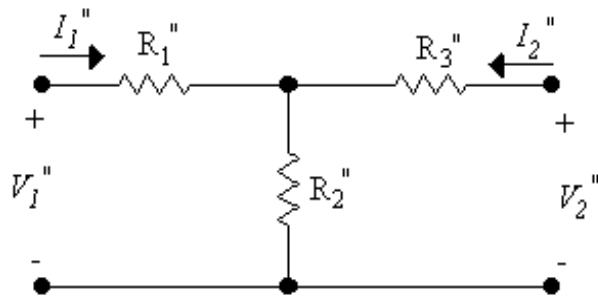


Figura 9 – Quadripolo N".

R₁"	R₂"	R₃"
1,5K Ω	3,9K Ω	2,7K Ω

Tabela 3. Valores dos Resistores para o Quadripolo N".

6.1.5. Meça as tensões e correntes segundo o requerido pela Tabela 4.

V₁" (V)	I₁" (A)	V₂" (V)	I₂" (A)
5			0 (aberto)
5		0 (curto)	
	0 (aberto)	5	
0 (curto)		5	

Tabela 4

6.1.6. Calcule os parâmetros Z", Y" e T" com os valores anotados na Tabela 4 (exp.) e também teoricamente utilizando técnicas de análise de circuitos (teo.). Anote os valores nas matrizes Z", Y" e T".

TEÓRICO	EXPERIMENTAL
$Z" = \begin{bmatrix} z_{11}'' = \underline{\hspace{2cm}} & z_{12}'' = \underline{\hspace{2cm}} \\ z_{21}'' = \underline{\hspace{2cm}} & z_{22}'' = \underline{\hspace{2cm}} \end{bmatrix}$	$Z" = \begin{bmatrix} z_{11}'' = \underline{\hspace{2cm}} & z_{12}'' = \underline{\hspace{2cm}} \\ z_{21}'' = \underline{\hspace{2cm}} & z_{22}'' = \underline{\hspace{2cm}} \end{bmatrix}$

TEÓRICO	EXPERIMENTAL
$Y'' = \begin{bmatrix} y_{11}'' = \underline{\hspace{2cm}} & y_{12}'' = \underline{\hspace{2cm}} \\ y_{21}'' = \underline{\hspace{2cm}} & y_{22}'' = \underline{\hspace{2cm}} \end{bmatrix}$	$Y'' = \begin{bmatrix} y_{11}'' = \underline{\hspace{2cm}} & y_{12}'' = \underline{\hspace{2cm}} \\ y_{21}'' = \underline{\hspace{2cm}} & y_{22}'' = \underline{\hspace{2cm}} \end{bmatrix}$

TEÓRICO	EXPERIMENTAL
$T'' = \begin{bmatrix} a_{11}'' = \underline{\hspace{2cm}} & a_{12}'' = \underline{\hspace{2cm}} \\ a_{21}'' = \underline{\hspace{2cm}} & a_{22}'' = \underline{\hspace{2cm}} \end{bmatrix}$	$T'' = \begin{bmatrix} a_{11}'' = \underline{\hspace{2cm}} & a_{12}'' = \underline{\hspace{2cm}} \\ a_{21}'' = \underline{\hspace{2cm}} & a_{22}'' = \underline{\hspace{2cm}} \end{bmatrix}$

6.2. Associação Série

6.2.1. Associe em série os quadripolos **N'** e **N''** de modo a satisfazer o **Teste de Brune** (Conhecendo a topologia do circuito dos quadripolos facilmente nota-se que a associação série como esta mostrado na Figura 10, satisfaz o **Teste de Brune**)

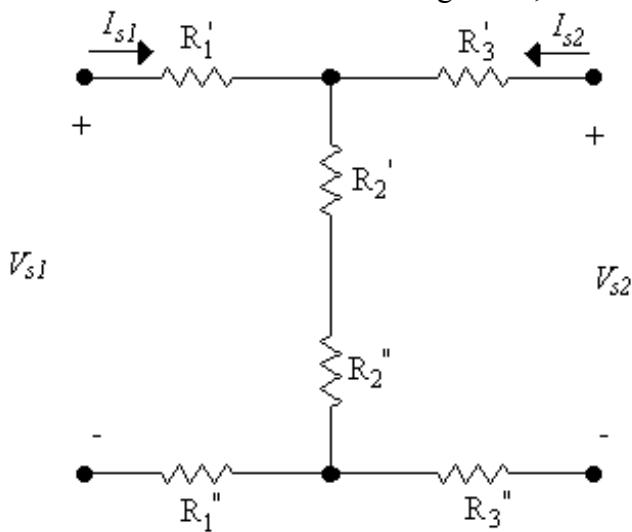


Figura 10 – Associação Série

6.2.2. Meça as tensões e correntes segundo o requerido pela Tabela 5.

V_{s1} (V)	I_{s1} (A)	V_{s2} (V)	I_{s2} (A)
5			0 (aberto)
	0 (aberto)	5	

Tabela 5

6.2.3. Calcule os parâmetros **Z_s** com os valores anotados na Tabela 5 (exp.) e também teoricamente utilizando ($Z_s = Z' + Z''$) das matrizes teóricas (teo.). Anote os valores da Matriz **Z_s**.

TEÓRICO	EXPERIMENTAL
$Z_s = \begin{bmatrix} z_{s11} = \underline{\hspace{2cm}} & z_{s12} = \underline{\hspace{2cm}} \\ z_{s21}'' = \underline{\hspace{2cm}} & z_{s22} = \underline{\hspace{2cm}} \end{bmatrix}$	$Z_s = \begin{bmatrix} z_{s11} = \underline{\hspace{2cm}} & z_{s12} = \underline{\hspace{2cm}} \\ z_{s21}'' = \underline{\hspace{2cm}} & z_{s22} = \underline{\hspace{2cm}} \end{bmatrix}$

6.3. Associação Paralela

6.3.1. Associe em paralelo os quadripolos \mathbf{N}' e \mathbf{N}'' de modo a satisfazer o **Teste de Brune** (Conhecendo a topologia do circuito dos quadripolos facilmente nota-se que a associação paralela como esta mostrado na Figura 11, satisfaz o **Teste de Brune**)

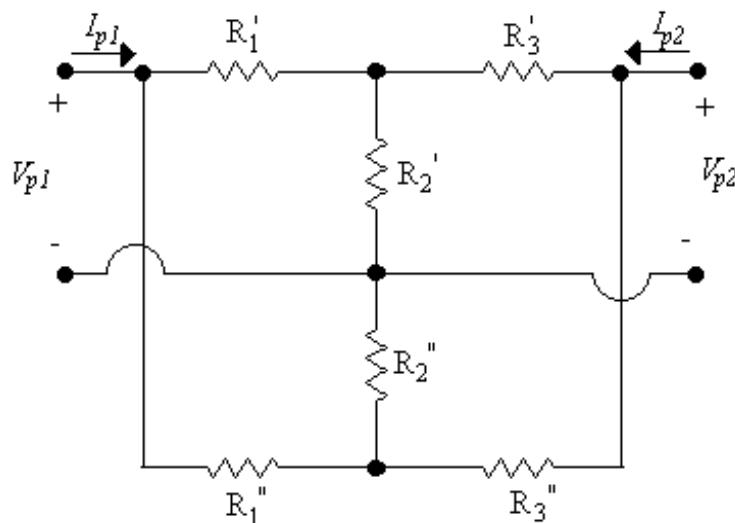


Figura 11 – Associação Paralela

6.3.2. Meça as tensões e correntes segundo o requerido pela Tabela 6.

V_{p1} (V)	I_{p1} (A)	V_{p2} (V)	I_{p2} (A)
5		0 (curto)	
0 (curto)		5	

Tabela 6

6.3.3. Calcule os parâmetros \mathbf{Y}_p com os valores anotados na Tabela 6 (exp.) e também teoricamente utilizando ($\mathbf{Y}_p = \mathbf{Y}' + \mathbf{Y}''$) das matrizes teóricas (teo.). Anote os valores da Matriz \mathbf{Y}_p .

TEÓRICO	EXPERIMENTAL
$\mathbf{Y}_p = \begin{bmatrix} y_{p11} = \underline{\hspace{2cm}} & y_{p12} = \underline{\hspace{2cm}} \\ y_{p21} = \underline{\hspace{2cm}} & y_{p22} = \underline{\hspace{2cm}} \end{bmatrix}$	$\mathbf{Y}_p = \begin{bmatrix} y_{p11} = \underline{\hspace{2cm}} & y_{p12} = \underline{\hspace{2cm}} \\ y_{p21} = \underline{\hspace{2cm}} & y_{p22} = \underline{\hspace{2cm}} \end{bmatrix}$

6.4. Associação Cascata

6.4.1. Associe em cascata os quadripolos N' e N'' do modo mostrado na Figura 12

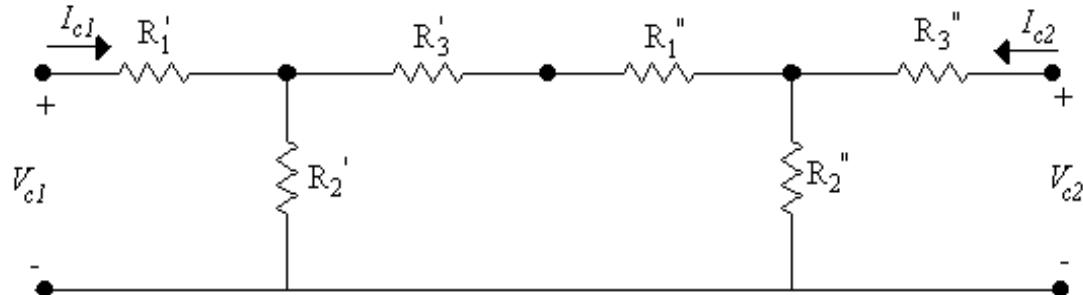


Figura 12 – Associação Cascata

6.4.2. Meça as tensões e correntes segundo o requerido pela Tabela 7.

V_{p1} (V)	I_{p1} (A)	V_{p2} (V)	I_{p2} (A)
5		0 (curto)	
5			0 (aberto)

Tabela 7

6.4.3. Calcule os parâmetros T_c com os valores anotados na Tabela 7 (exp.) e também teoricamente utilizando ($T_c = T' \cdot T''$) das matrizes teóricas (teo.). Anote os valores da Matriz T_c .

TEÓRICO	EXPERIMENTAL
$T_c = \begin{vmatrix} a_{c11} = \underline{\hspace{2cm}} & a_{c12} = \underline{\hspace{2cm}} \\ a_{c21} = \underline{\hspace{2cm}} & a_{c22} = \underline{\hspace{2cm}} \end{vmatrix}$	$T_c = \begin{vmatrix} a_{c11} = \underline{\hspace{2cm}} & a_{c12} = \underline{\hspace{2cm}} \\ a_{c21} = \underline{\hspace{2cm}} & a_{c22} = \underline{\hspace{2cm}} \end{vmatrix}$

7. QUESTIONÁRIO

7.1. O experimento se mostrou válido? Explique por que?

7.2. Comente os resultados, erros encontrados e possíveis fontes de erros.