

## Aula 4 - Quadripolos: Determinação dos Parâmetros Híbridos

### Sumário

- Parâmetros H;
- Transformações Y - H e Z - H;
- Interconexão de Quadripolos;
- Análise de circuitos através do Computador.

### Parâmetros Híbridos

Considere um quadripolo descrito pelo seguinte sistema de equações:

$$(H) \begin{cases} V_1 = H_{11} I_1 + H_{12} V_2 \\ I_2 = H_{21} I_1 + H_{22} V_2. \end{cases} \quad (1)$$

Os parâmetros  $H_{11}$ ,  $H_{12}$ ,  $H_{21}$  e  $H_{22}$  (e parâmetros G também) são conhecidos como parâmetros híbridos. Expressam a tensão e a corrente em uma das entradas do circuito em termos da corrente e tensão da outra entrada.

Os parâmetros híbridos são muito usados para analisar circuitos transistorizados. O nome híbrido se deve ao fato de que esses parâmetros não têm todas as mesmas dimensões, como os parâmetros z, que são medidos em ohms.

O modelo deste quadripolo é visto na Fig. 1.

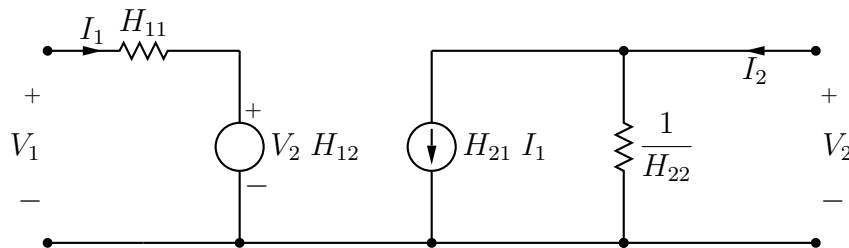


Figura 1: Modelo de quadripolo com parâmetros H.

Os parâmetros H são calculados ou medidos nas seguintes situações de circuito aberto e curto-circuito:

$$\begin{aligned} H_{11} &= \left. \frac{V_1}{I_1} \right|_{V_2=0} \Omega; & H_{21} &= \left. \frac{I_2}{I_1} \right|_{V_2=0}; \\ H_{12} &= \left. \frac{V_1}{V_2} \right|_{I_1=0}; & H_{22} &= \left. \frac{I_2}{V_2} \right|_{I_1=0} S. \end{aligned} \quad (2)$$

### Transformação Z - H

Seja:  $S = Z_{11} Z_{22} - Z_{12} Z_{21}$ , pode-se obter as seguintes equações que relacionam os parâmetros Z e H:

$$\begin{aligned}
H_{11} &= \frac{S}{Z_{22}}; & H_{12} &= \frac{Z_{12}}{Z_{22}}; \\
H_{21} &= \frac{-Z_{21}}{Z_{22}}; & H_{22} &= \frac{1}{Z_{22}}.
\end{aligned}
\tag{3}$$

### Transformação Y - H

Considerando:  $T = Y_{11} Y_{22} - Y_{12} Y_{21}$ , as equações que relacionam os parâmetros Y e H são:

$$\begin{aligned}
H_{11} &= \frac{1}{Y_{11}}; & H_{12} &= \frac{-Y_{12}}{Y_{11}}; \\
H_{21} &= \frac{Y_{21}}{Y_{11}}; & H_{22} &= \frac{T}{Y_{11}}.
\end{aligned}
\tag{4}$$

### Transformação H - Z

Seja:  $U = H_{11} H_{22} - H_{12} H_{21}$ , têm-se as seguintes equações que relacionam os parâmetros H e Z:

$$\begin{aligned}
Z_{11} &= \frac{U}{H_{22}}; & Z_{12} &= \frac{H_{12}}{H_{22}}; \\
Z_{21} &= \frac{-H_{21}}{H_{22}}; & Z_{22} &= \frac{1}{H_{22}}.
\end{aligned}
\tag{5}$$

### Transformação: H - Y

Sendo:  $U = H_{11} H_{22} - H_{12} H_{21}$ , as equações que relacionam os parâmetros H e Y são vistas abaixo:

$$\begin{aligned}
Y_{11} &= \frac{1}{H_{11}}; & Y_{12} &= \frac{-H_{12}}{H_{11}}; \\
Y_{21} &= \frac{H_{21}}{H_{11}}; & Y_{22} &= \frac{U}{H_{11}}.
\end{aligned}
\tag{6}$$

### Interconexão de Quadripolos

De um modo geral, circuitos mais complexos (sistemas) são projetados a partir de circuitos (subsistemas) mais simples, interligados para formar o sistema completo. Visto que muitos desses subsistemas podem ser modelados por quadripolos, a análise de quadripolos interligados de modos diferentes torna-se importante na análise de circuitos.

Os quadripolos podem ser interligados de cinco formas distintas:

1. em cascata;
2. em série;
3. em paralelo;
4. em série-paralelo;
5. em paralelo-série.

Analisar-se-á somente as ligações em cascata, série e paralelo, obtendo os parâmetros globais nas ligações em série e paralelo. É possível calcular esses parâmetros quando algumas condições impostas quanto aos tipos de ligações entre os quadripolos são satisfeitas. Em particular, os parâmetros Z são usados para analisar a ligação em série e os parâmetros Y a ligação em paralelo.

## Conexão Série

A forma padrão de interligar quadripolos em série é vista na Fig. 2.

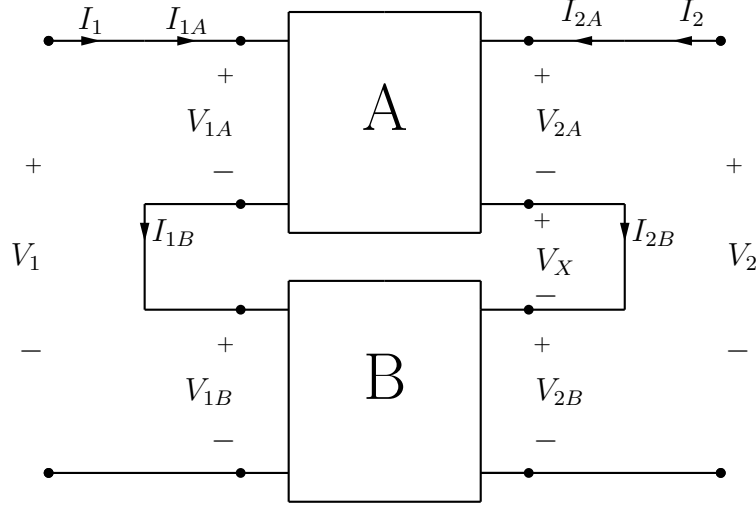


Figura 2: Conexão série.

Com o auxílio da Fig. 2, observa-se que:

$$\begin{aligned} V_1 &= V_{1A} + V_{1B}; \\ V_2 &= V_{2A} + V_{2B}. \end{aligned} \quad (7)$$

Impondo as seguintes restrições:

$$\begin{aligned} I_1 &= I_{1A} = I_{1B}; \\ I_2 &= I_{2A}; \\ I_{2B} &= V_X = 0. \end{aligned} \quad (8)$$

Obtêm-se, considerando os parâmetros Z dos quadripolos A e B, os parâmetros Z globais:

$$\begin{aligned} Z_{11} &= Z_{11A} + Z_{11B}; \\ Z_{12} &= Z_{12A} + Z_{12B}; \\ Z_{21} &= Z_{21A} + Z_{21B}; \\ Z_{22} &= Z_{22A} + Z_{22B}. \end{aligned} \quad (9)$$

Ou, resumidamente:

$$Z = Z_A + Z_B. \quad (10)$$

## Conexão Paralela

O modo padrão de interligar quadripolos em paralelo é visto na Fig. 3.

Observando a Fig. 3, nota-se que:

$$\begin{aligned} I_1 &= I_{1A} + I_{1B}; \\ I_2 &= I_{2A} + I_{2B}. \end{aligned} \quad (11)$$

Impondo as seguintes condições:

$$\begin{aligned} V_1 &= V_{1A} = -V_{1B}; \\ V_{2A} &= V_{2B} = 0; \\ V_X &= 0. \end{aligned} \quad (12)$$

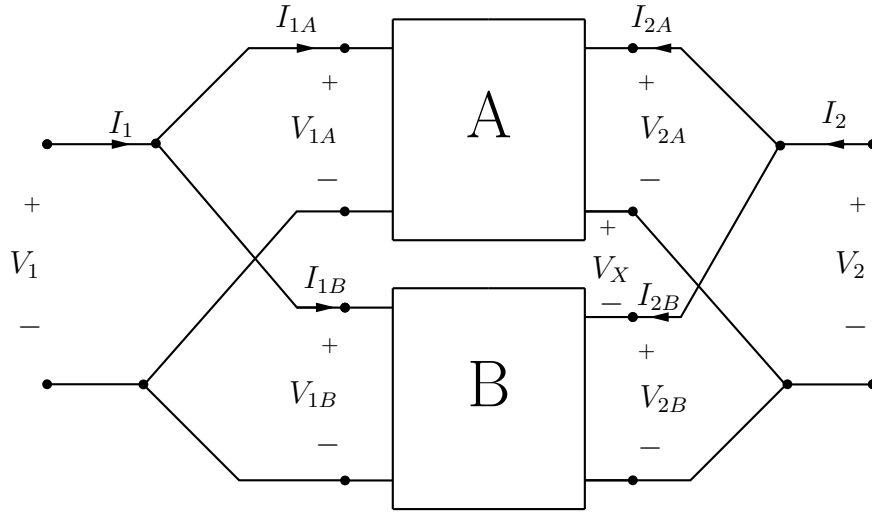


Figura 3: Conexão paralela.

Pode-se obter, considerando os parâmetros  $Y$  dos quadripolos A e B, os parâmetros  $Y$  globais:

$$\begin{aligned} Y_{11} &= Y_{11A} + Y_{11B}; \\ Y_{12} &= Y_{12A} + Y_{12B}; \\ Y_{21} &= Y_{21A} + Y_{21B}; \\ Y_{22} &= Y_{22A} + Y_{22B}. \end{aligned} \quad (13)$$

Ou, resumidamente:

$$Y = Y_A + Y_B. \quad (14)$$

### Conexão em Cascata

A conexão em cascata, vista na Fig. 4, ocorre com frequência na síntese de sistemas mais complexos.

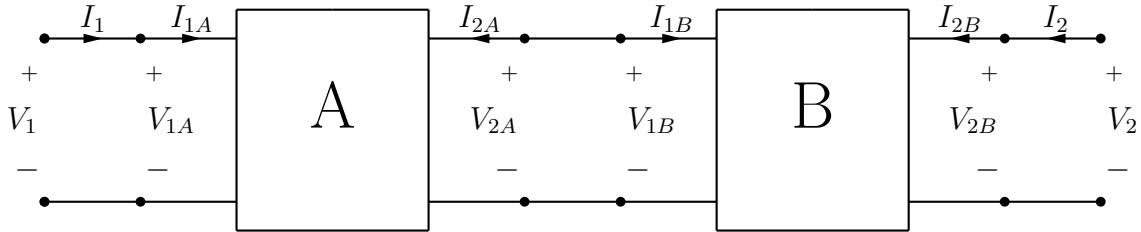


Figura 4: Conexão em cascata.

Diferente do que acontece no caso dos outros quatro tipos de ligações básicas, não há restrições quanto ao uso dos parâmetros dos quadripolos para calcular os parâmetros do circuito global constituído de quadripolos ligados em cascata. Os parâmetros  $A$  são os mais apropriados para analisar a ligação em cascata. De um modo geral, multiplicam-se os parâmetros de ambos os quadripolos.

### Análise de Circuitos Através do Computador

É prática rotineira utilizar ferramentas computacionais para analisar e projetar circuitos elétricos. Então, é útil e necessário saber usar estas ferramentas de modo correto e eficiente.

Contudo, as ferramentas computacionais podem ser muito úteis quando o problema já está definido, mas não substituem o entendimento dos fundamentos teóricos necessários para formular o problema.

Ao longo das aulas de laboratório, será usado dois tipos de programas para analisar-se os circuitos por meio do computador: Matlab (através de rotinas) e MicroCap (por meio de diagramas).

A maioria dos programas de simulação de circuitos elétricos, como o MicroCap por exemplo, são baseados em um pacote de análise de circuitos conhecido como *SPICE*. O termo *SPICE* é um acrônimo para *Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis*, um programa originalmente desenvolvido nos anos 70 na Universidade de Berkeley, California.

A Fig. 5 é um diagrama de blocos que resume as principais características de um programa de simulação baseado no SPICE. As entradas são o diagrama de circuitos e o tipo de análise a ser realizada.

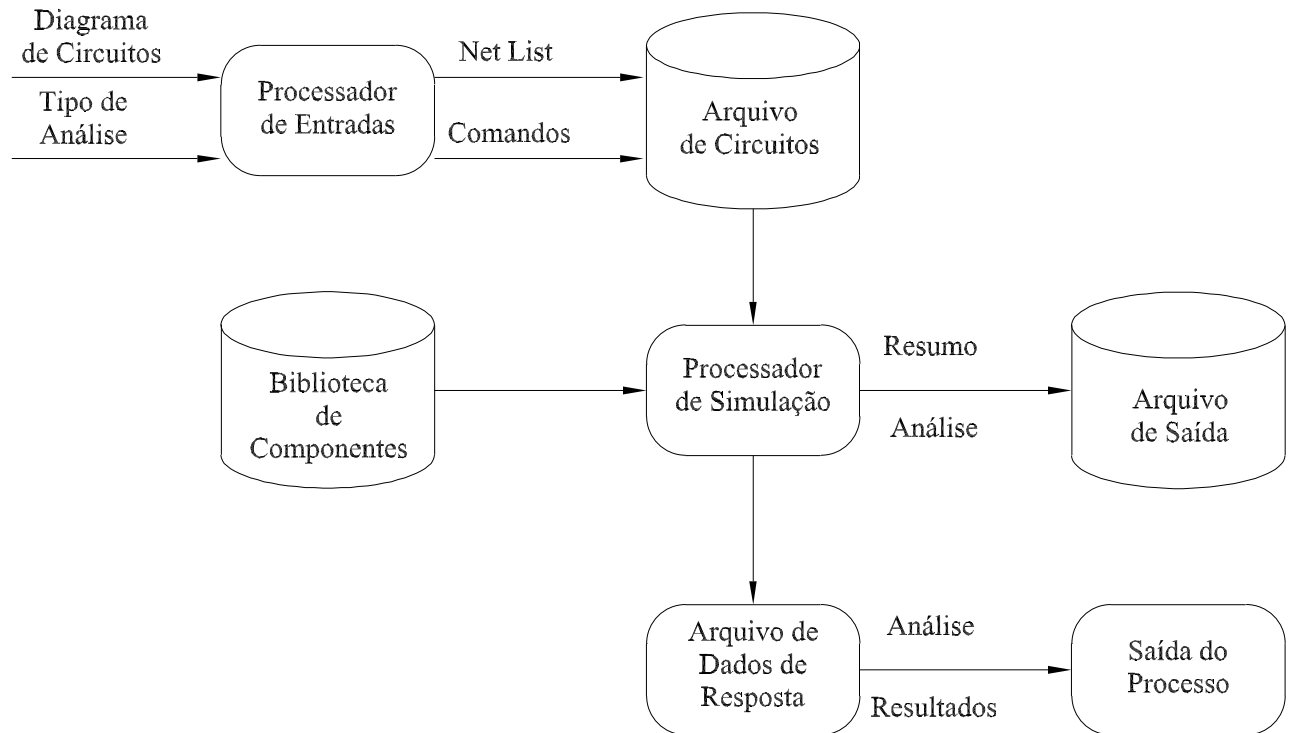


Figura 5: Diagrama de fluxo dos programas de simulação de circuitos.

Nos programas de simulação atuais, o diagrama de circuitos é desenhado no próprio monitor, usando um editor gráfico para tal. Quando o circuito está completo, o processador de entradas dispara um processo conhecido como *Schematic Capture* que documenta o circuito, gerando um arquivo conhecido como *Net List*. Para iniciar a simulação do circuito, o processador de entradas envia a Netlist e os comandos repassados para o arquivo de circuitos. O processador de simulação usa os arquivos do circuito junto com dados vindos da biblioteca de componentes para formular um conjunto de equações que descrevem o circuito. O processador de simulação então resolve as equações, escreve um resumo da análise DC para um arquivo de saída padrão do SPICE, e escreve também os resultados para o Arquivo de Dados de Resposta onde pode-se então realizar uma análise dos resultados.