

Cuadripolos

Teoría de Circuitos III

Oscar Perpiñán Lamigueiro

Diciembre 2018

Introducción

Parámetros de Cuadripolos

Relación entre parámetros

Cuadripolos entre Dipolos Terminales

Asociación de Cuadripolos

Cuadripolo

Cuadripolos

Oscar Perpiñán
Lamigueiro

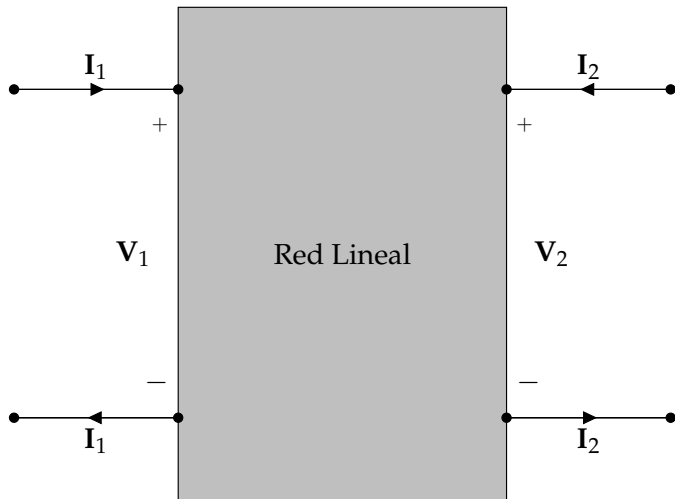
Introducción

Parámetros de
Cuadripolos

Relación entre
parámetros

Cuadripolos entre
Dipolos
Terminales

Asociación de
Cuadripolos



Atención al sentido de las corrientes

- ▶ Un cuadripolo es **recíproco** si, al intercambiar la posición de las excitaciones, la respuesta en el puerto correspondiente no sufre cambios (teorema de reciprocidad).
- ▶ Un cuadripolo lineal (RLC) y **sin fuentes dependientes** es recíproco.
- ▶ Un **cuadripolo recíproco es simétrico** si se puede intercambiar la entrada con la salida (simetría física).

Introducción

Parámetros de Cuadripolos

Relación entre parámetros

Cuadripolos entre Dipolos Terminales

Asociación de Cuadripolos

Introducción

Parámetros de Cuadripolos

- Parámetros de Impedancia

- Parámetros de Admitancia

- Parámetros Híbridos

- Parámetros Híbridos Inversos

- Parámetros de Transmisión

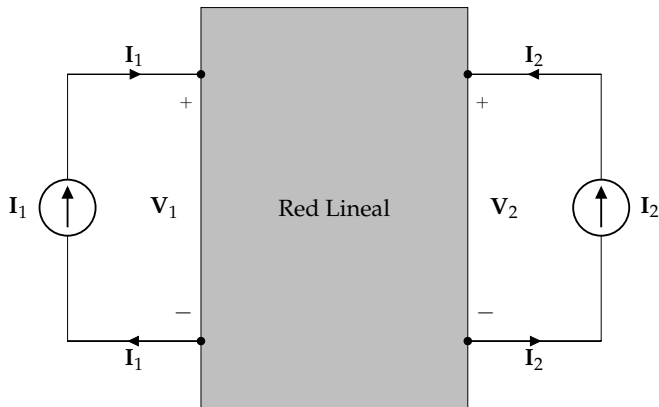
- Parámetros de Transmisión Inversa

Relación entre parámetros

Cuadripolos entre Dipolos Terminales

Asociación de Cuadripolos

Definición



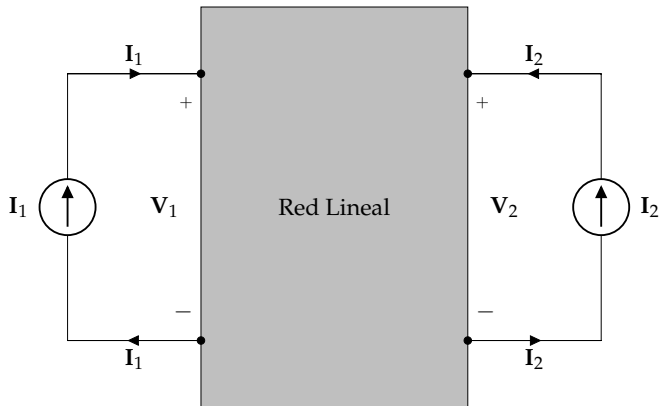
Mediante teorema de superposición:

$$V_1 = z_{11}I_1 + z_{12}I_2$$

$$V_2 = z_{21}I_1 + z_{22}I_2$$

Las variables independientes (*generadores*) son I_1 e I_2 .

Expresión Matricial



$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} \\ z_{21} & z_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

Introducción

Parámetros de Cuadripolos

Parámetros de Impedancia

Parámetros de Admitancia

Parámetros Híbridos

Parámetros Híbridos Inversos

Parámetros de Transmisión

Parámetros de Transmisión Inversa

Relación entre parámetros

Cuadripolos entre Dipolos Terminales

Asociación de Cuadripolos

Circuito Equivalente

Introducción

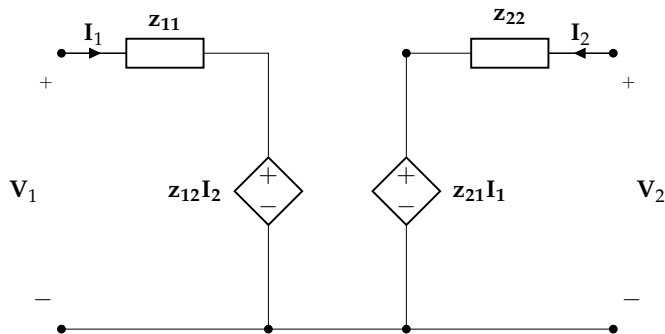
Parámetros de Cuadripolos

- Parámetros de Impedancia
- Parámetros de Admitancia
- Parámetros Híbridos
- Parámetros Híbridos Inversos
- Parámetros de Transmisión
- Parámetros de Transmisión Inversa

Relación entre parámetros

Cuadripolos entre Dipolos Terminales

Asociación de Cuadripolos



$$V_1 = z_{11}I_1 + z_{12}I_2$$

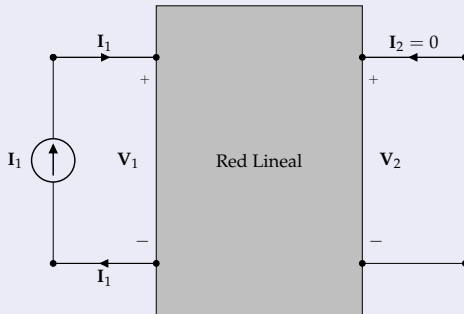
$$V_2 = z_{21}I_1 + z_{22}I_2$$

Cálculo de parámetros

Salida en abierto

$$z_{11} = \left. \frac{V_1}{I_1} \right|_{I_2=0}$$

$$z_{21} = \left. \frac{V_2}{I_1} \right|_{I_2=0}$$



$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} \\ z_{21} & z_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

Introducción

Parámetros de Cuadripolos

Parámetros de Impedancia

Parámetros de Admitancia

Parámetros Híbridos

Parámetros Híbridos Inversos

Parámetros de Transmisión

Parámetros de Transmisión Inversa

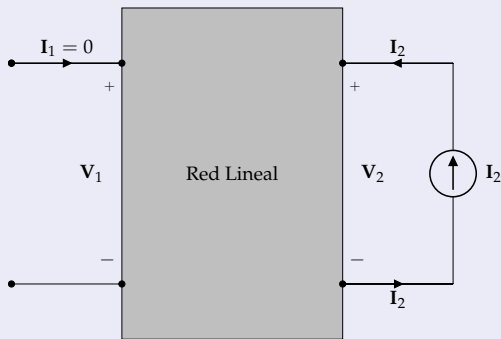
Relación entre parámetros

Cuadripolos entre Dipoles Terminales

Asociación de Cuadripolos

Cálculo de parámetros

Entrada en abierto



$$z_{12} = \left. \frac{V_1}{I_2} \right|_{I_1=0}$$

$$z_{22} = \left. \frac{V_2}{I_2} \right|_{I_1=0}$$

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} \\ z_{21} & z_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

Introducción

Parámetros de Cuadripolos

Parámetros de Impedancia

Parámetros de Admitancia

Parámetros Híbridos

Parámetros Híbridos Inversos

Parámetros de Transmisión

Parámetros de Transmisión Inversa

Relación entre parámetros

Cuadripolos entre Dipolos Terminales

Asociación de Cuadripolos

Reciprocidad

Introducción

Parámetros de Cuadripolos

Parámetros de Impedancia

Parámetros de Admitancia

Parámetros Híbridos

Parámetros Híbridos

Inversos

Parámetros de Transmisión

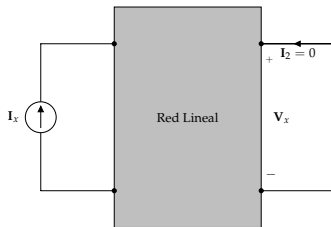
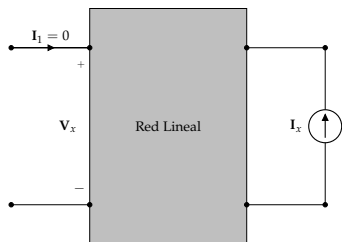
Parámetros de Transmisión
Inversa

Relación entre parámetros

Cuadripolos entre Dipolos Terminales

Asociación de Cuadripolos

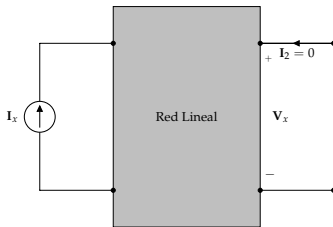
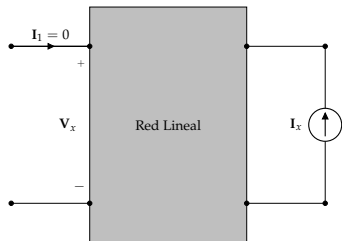
$$\left. V_1 \right|_{\substack{I_1 = 0 \\ I_2 = I_x}} = \left. V_2 \right|_{\substack{I_2 = 0 \\ I_1 = I_x}}$$



Relación entre parámetros

Las impedancias de transferencia son idénticas

$$\left. \begin{array}{l} V_x = z_{11}0 + z_{12}I_x \\ V_x = z_{21}I_x + z_{22}0 \end{array} \right\} \rightarrow \boxed{z_{12} = z_{21}}$$

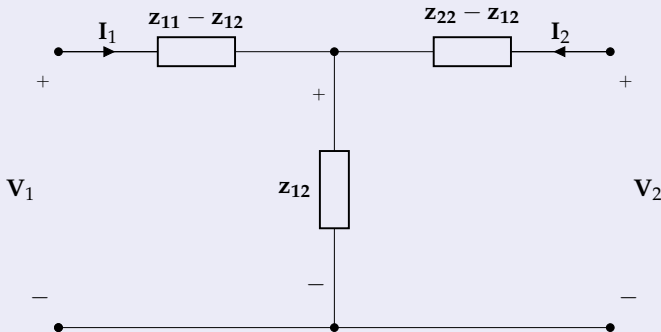


Circuito Equivalente en T

$$\boxed{z_{12} = z_{21}} \rightarrow \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{11} & \color{red}{z_{12}} \\ \color{red}{z_{12}} & z_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

Ejercicio

Demostrar que un cuadripolo recíproco es equivalente al circuito en T de la figura.



Cuadripolo Simétrico

Introducción

Parámetros de Cuadripolos

Parámetros de Impedancia

Parámetros de Admitancia

Parámetros Híbridos

Parámetros Híbridos

Inversos

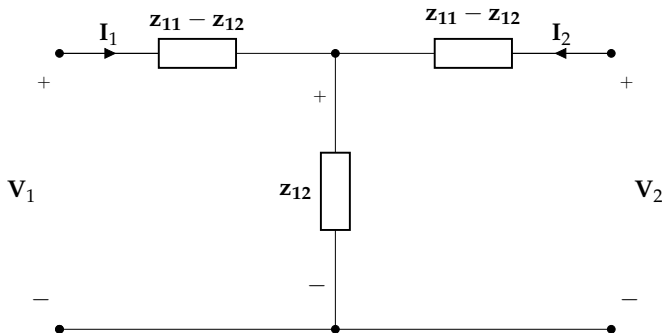
Parámetros de Transmisión

Parámetros de Transmisión
Inversa

Relación entre parámetros

Cuadripolos entre Dipolos Terminales

Asociación de Cuadripolos



$$\boxed{z_{11} = z_{22}} \rightarrow \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} \\ z_{12} & z_{11} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

No siempre hay parámetros Z

¿Cuáles son los parámetros Z ...

- ▶ de un transformador ideal?
- ▶ de una impedancia serie?

Introducción

Parámetros de Cuadripolos

Parámetros de Impedancia

Parámetros de Admitancia

Parámetros Híbridos

Parámetros Híbridos Inversos

Parámetros de Transmisión

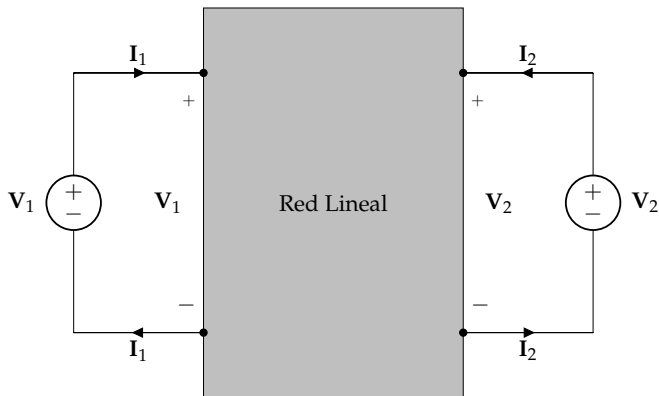
Parámetros de Transmisión Inversa

Relación entre parámetros

Cuadripolos entre Dipolos Terminales

Asociación de Cuadripolos

Definición



Mediante teorema de superposición:

$$I_1 = y_{11}V_1 + y_{12}V_2$$

$$I_2 = y_{21}V_1 + y_{22}V_2$$

Las variables independientes (*generadores*) son V_1 e V_2 .

Expresión Matricial

Introducción

Parámetros de Cuadripolos

Parámetros de Impedancia

Parámetros de Admitancia

Parámetros Híbridos

Parámetros Híbridos Inversos

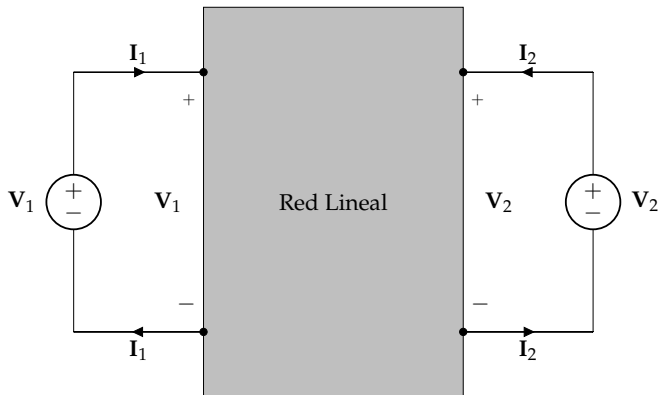
Parámetros de Transmisión

Parámetros de Transmisión Inversa

Relación entre parámetros

Cuadripolos entre Dipoles Terminales

Asociación de Cuadripolos



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

Circuito Equivalente

Introducción

Parámetros de Cuadripolos

Parámetros de Impedancia

Parámetros de Admitancia

Parámetros Híbridos

Parámetros Híbridos

Inversos

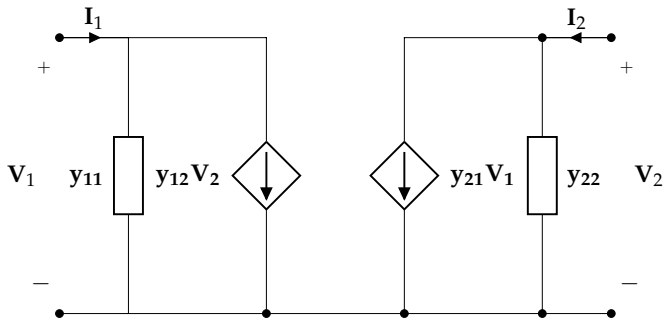
Parámetros de Transmisión

Parámetros de Transmisión
Inversa

Relación entre parámetros

Cuadripolos entre Dipolos Terminales

Asociación de Cuadripolos



$$I_1 = y_{11}V_1 + y_{12}V_2$$

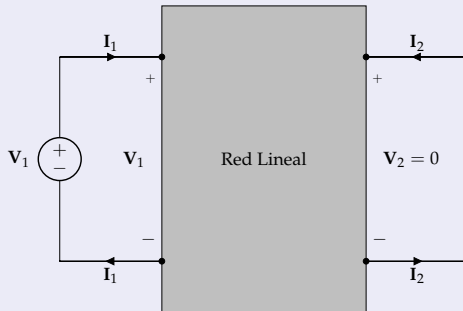
$$I_2 = y_{21}V_1 + y_{22}V_2$$

Cálculo de parámetros

Salida en cortocircuito

$$y_{11} = \frac{I_1}{V_1} \Big|_{V_2=0}$$

$$y_{21} = \frac{I_2}{V_1} \Big|_{V_2=0}$$



$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{21} & y_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix}$$

Introducción

Parámetros de Cuadripolos

Parámetros de Impedancia

Parámetros de Admitancia

Parámetros Híbridos

Parámetros Híbridos Inversos

Parámetros de Transmisión

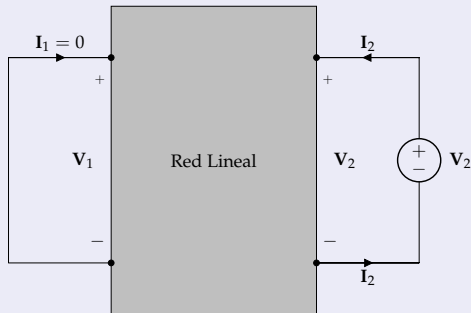
Parámetros de Transmisión Inversa

Relación entre parámetros

Cuadripolos entre Dipolos Terminales

Asociación de Cuadripolos

Entrada en cortocircuito



$$y_{12} = \left. \frac{I_1}{V_2} \right|_{V_1=0}$$

$$y_{22} = \left. \frac{I_2}{V_2} \right|_{V_1=0}$$

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{21} & y_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix}$$

Introducción

Parámetros de Cuadripolos

Parámetros de Impedancia

Parámetros de Admitancia

Parámetros Híbridos

Parámetros Híbridos Inversos

Parámetros de Transmisión

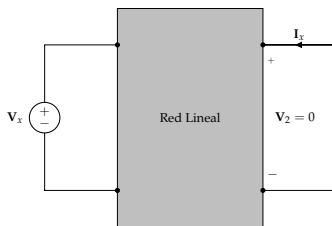
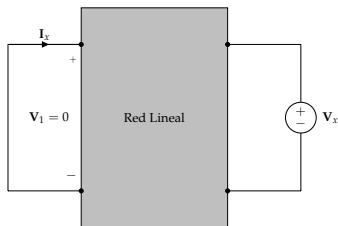
Parámetros de Transmisión Inversa

Relación entre parámetros

Cuadripolos entre Dipolos Terminales

Asociación de Cuadripolos

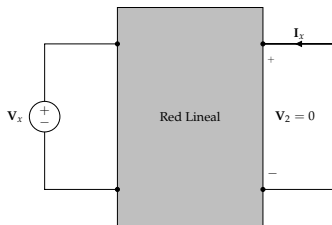
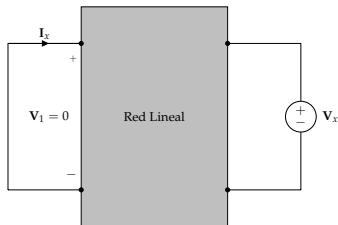
$$I_1 \Big| \begin{matrix} V_1 = 0 \\ V_2 = V_x \end{matrix} = I_2 \Big| \begin{matrix} V_2 = 0 \\ V_1 = V_x \end{matrix}$$



Relación entre parámetros

Las admitancias de transferencia son idénticas

$$\left. \begin{array}{l} I_x = y_{11}0 + y_{12}V_x \\ I_x = y_{21}V_x + y_{22}0 \end{array} \right\} \rightarrow \boxed{y_{12} = y_{21}}$$

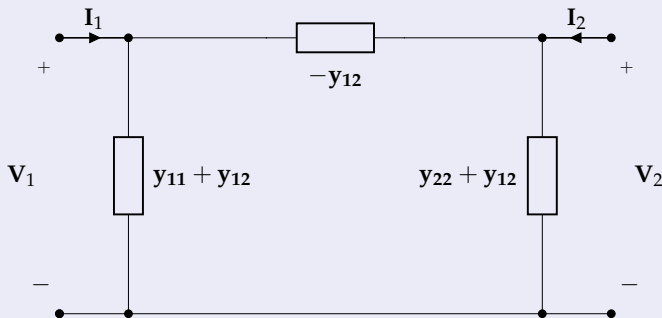


Circuito Equivalente en π

$$\boxed{y_{12} = y_{21}} \rightarrow \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{11} & \mathbf{y_{12}} \\ \mathbf{y_{12}} & y_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix}$$

Ejercicio

Demostrar que un cuadripolo recíproco es equivalente al circuito en π de la figura.



Introducción

Parámetros de Cuadripolos

Parámetros de Impedancia

Parámetros de Admitancia

Parámetros Híbridos

Parámetros Híbridos Inversos

Parámetros de Transmisión

Parámetros de Transmisión Inversa

Relación entre parámetros

Cuadripolos entre Dipolos Terminales

Asociación de Cuadripolos

Cuadripolo Simétrico

Introducción

Parámetros de Cuadripolos

Parámetros de Impedancia

Parámetros de Admitancia

Parámetros Híbridos

Parámetros Híbridos

Inversos

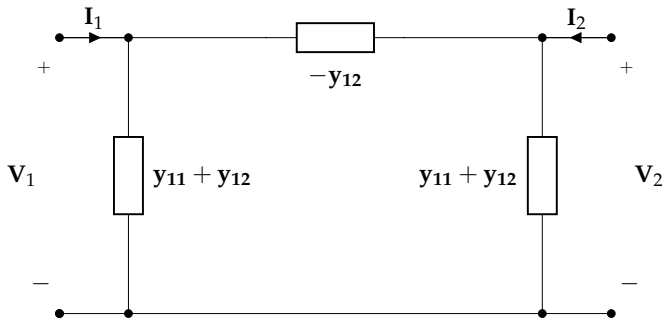
Parámetros de Transmisión

Parámetros de Transmisión
Inversa

Relación entre parámetros

Cuadripolos entre Dipolos Terminales

Asociación de Cuadripolos



$$\boxed{y_{11} = y_{22}} \rightarrow \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{12} & y_{11} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix}$$

No siempre hay parámetros Y

¿Cuáles son los parámetros Y ...

- ▶ de un transformador ideal?
- ▶ de una impedancia paralelo?

Introducción

Parámetros de Cuadripolos

Parámetros de Impedancia

Parámetros de Admitancia

Parámetros Híbridos

Parámetros Híbridos Inversos

Parámetros de Transmisión

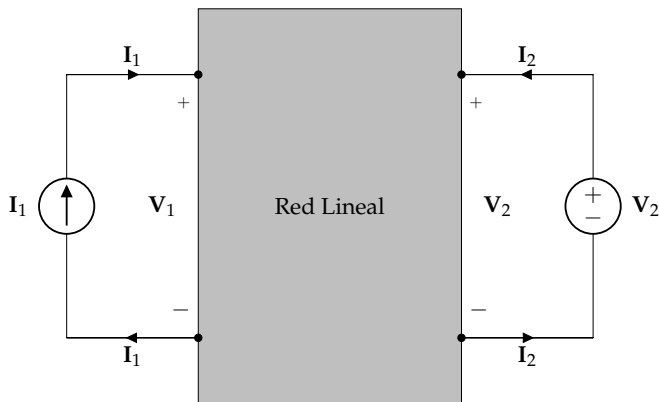
Parámetros de Transmisión Inversa

Relación entre parámetros

Cuadripolos entre Dipolos Terminales

Asociación de Cuadripolos

Definición



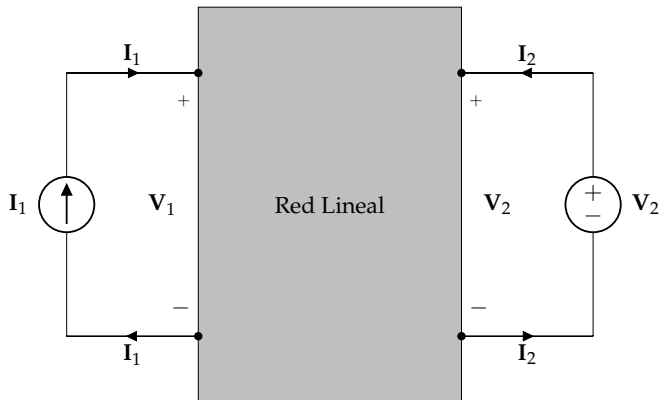
Mediante teorema de superposición:

$$V_1 = h_{11}I_1 + h_{12}V_2$$

$$I_2 = h_{21}I_1 + h_{22}V_2$$

Las variables independientes (*generadores*) son I_1 e V_2 .

Expresión Matricial



$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_1 \\ V_2 \end{bmatrix}$$

Introducción

Parámetros de Cuadripolos

Parámetros de Impedancia

Parámetros de Admitancia

Parámetros Híbridos

Parámetros Híbridos

Inversos

Parámetros de Transmisión

Parámetros de Transmisión
Inversa

Relación entre parámetros

Cuadripolos entre Dipolos Terminales

Asociación de Cuadripolos

Circuito Equivalente

Introducción

Parámetros de Cuadripolos

Parámetros de Impedancia

Parámetros de Admitancia

Parámetros Híbridos

Parámetros Híbridos

Inversos

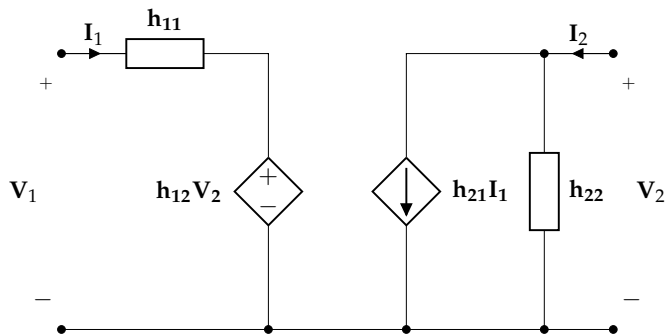
Parámetros de Transmisión

Parámetros de Transmisión
Inversa

Relación entre parámetros

Cuadripolos entre Dipoles Terminales

Asociación de Cuadripolos



$$V_1 = h_{11}I_1 + h_{12}V_2$$

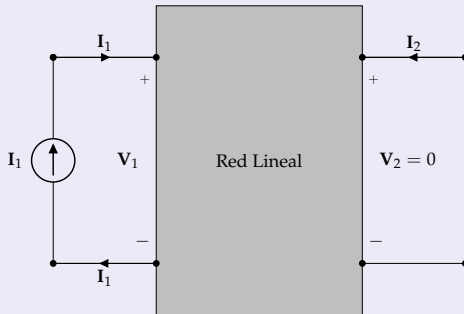
$$I_2 = h_{21}I_1 + h_{22}V_2$$

Cálculo de parámetros

Salida en cortocircuito

$$h_{11} = \left. \frac{V_1}{I_1} \right|_{V_2=0}$$

$$h_{21} = \left. \frac{I_2}{I_1} \right|_{V_2=0}$$



$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_1 \\ V_2 \end{bmatrix}$$

Introducción

Parámetros de Cuadripolos

Parámetros de Impedancia

Parámetros de Admitancia

Parámetros Híbridos

Parámetros Híbridos

Inversos

Parámetros de Transmisión

Parámetros de Transmisión

Inversa

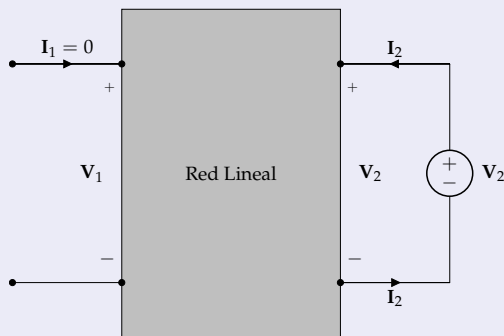
Relación entre parámetros

Cuadripolos entre Dipoles Terminales

Asociación de Cuadripolos

Cálculo de parámetros

Entrada en abierto



$$h_{12} = \left. \frac{V_1}{V_2} \right|_{I_1=0}$$

$$h_{22} = \left. \frac{I_2}{V_2} \right|_{I_1=0}$$

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_1 \\ V_2 \end{bmatrix}$$

Introducción

Parámetros de Cuadripolos

Parámetros de Impedancia

Parámetros de Admitancia

Parámetros Híbridos

Parámetros Híbridos

Inversos

Parámetros de Transmisión

Parámetros de Transmisión
Inversa

Relación entre parámetros

Cuadripolos entre Dipoles Terminales

Asociación de Cuadripolos

Introducción

Parámetros de Cuadripolos

Parámetros de Impedancia

Parámetros de Admitancia

Parámetros Híbridos

Parámetros Híbridos Inversos

Parámetros de Transmisión

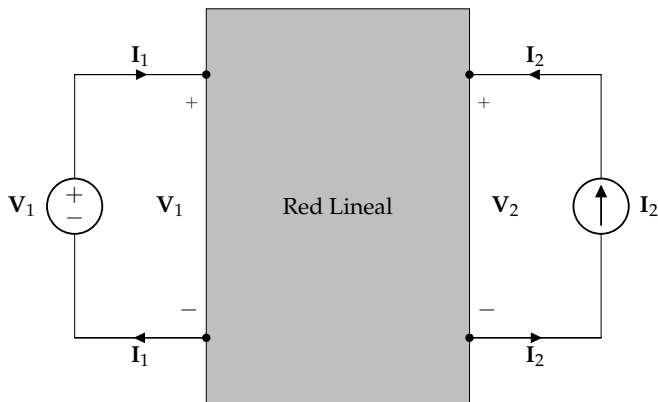
Parámetros de Transmisión Inversa

Relación entre parámetros

Cuadripolos entre Dipolos Terminales

Asociación de Cuadripolos

Definición

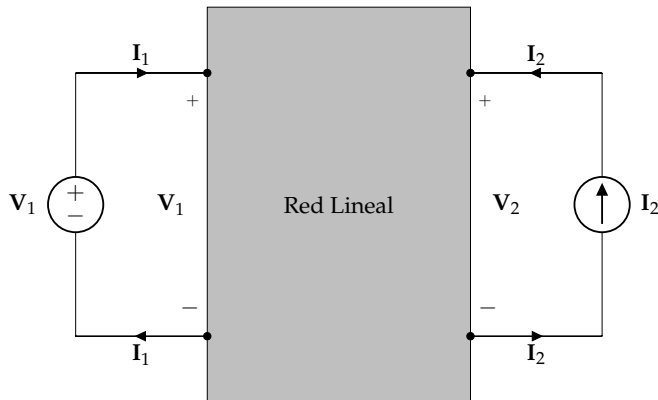


Mediante teorema de superposición:

$$\begin{aligned} I_1 &= g_{11}V_1 + g_{12}I_2 \\ V_2 &= g_{21}V_1 + g_{22}I_2 \end{aligned}$$

Las variables independientes (*generadores*) son V_1 e I_2 .

Expresión Matricial



$$\begin{bmatrix} I_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

Introducción

Parámetros de Cuadripolos

Parámetros de Impedancia

Parámetros de Admitancia

Parámetros Híbridos

Parámetros Híbridos Inversos

Parámetros de Transmisión

Parámetros de Transmisión Inversa

Relación entre parámetros

Cuadripolos entre Dipolos Terminales

Asociación de Cuadripolos

Circuito Equivalente

Introducción

Parámetros de Cuadripolos

Parámetros de Impedancia

Parámetros de Admitancia

Parámetros Híbridos

Parámetros Híbridos Inversos

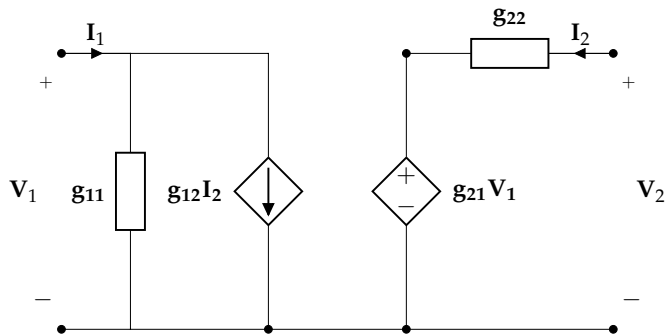
Parámetros de Transmisión

Parámetros de Transmisión Inversa

Relación entre parámetros

Cuadripolos entre Dipoles Terminales

Asociación de Cuadripolos

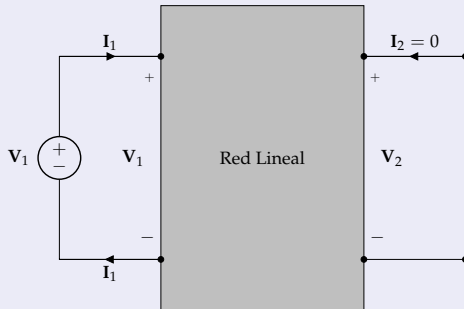


$$I_1 = g_{11}V_1 + g_{12}I_2$$
$$V_2 = g_{21}V_1 + g_{22}I_2$$

Salida en abierto

$$g_{11} = \left. \frac{I_1}{V_1} \right|_{I_2=0}$$

$$g_{21} = \left. \frac{V_2}{V_1} \right|_{I_2=0}$$



$$\begin{bmatrix} I_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

Introducción

Parámetros de Cuadripolos

Parámetros de Impedancia

Parámetros de Admitancia

Parámetros Híbridos

Parámetros Híbridos
Inversos

Parámetros de Transmisión

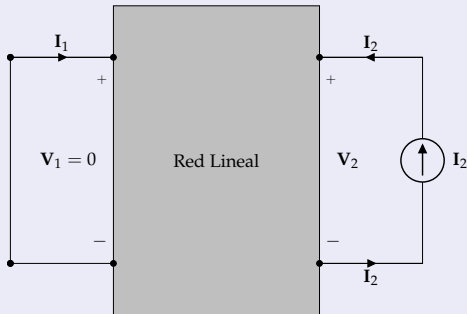
Parámetros de Transmisión
Inversa

Relación entre parámetros

Cuadripolos entre Dipolos Terminales

Asociación de Cuadripolos

Entrada en cortocircuito



$$g_{12} = \left. \frac{I_1}{I_2} \right|_{V_1=0}$$

$$g_{22} = \left. \frac{V_2}{I_2} \right|_{V_1=0}$$

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

Introducción

Parámetros de Cuadripolos

Parámetros de Impedancia

Parámetros de Admitancia

Parámetros Híbridos

Parámetros Híbridos Inversos

Parámetros de Transmisión

Parámetros de Transmisión Inversa

Relación entre parámetros

Cuadripolos entre Dipolos Terminales

Asociación de Cuadripolos

Introducción

Parámetros de Cuadripolos

Parámetros de Impedancia

Parámetros de Admitancia

Parámetros Híbridos

Parámetros Híbridos Inversos

Parámetros de Transmisión

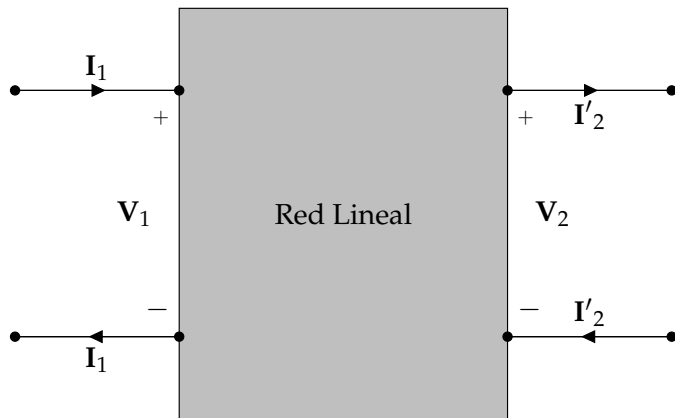
Parámetros de Transmisión Inversa

Relación entre parámetros

Cuadripolos entre Dipolos Terminales

Asociación de Cuadripolos

Definición



$$\begin{aligned} V_1 &= \mathbf{A}V_2 + \mathbf{B}I'_2 \\ I_1 &= \mathbf{C}V_2 + \mathbf{D}I'_2 \end{aligned}$$

Atención al sentido de la corriente I'_2 . ($I'_2 = -I_2$).

Expresión Matricial

Introducción

Parámetros de Cuadripolos

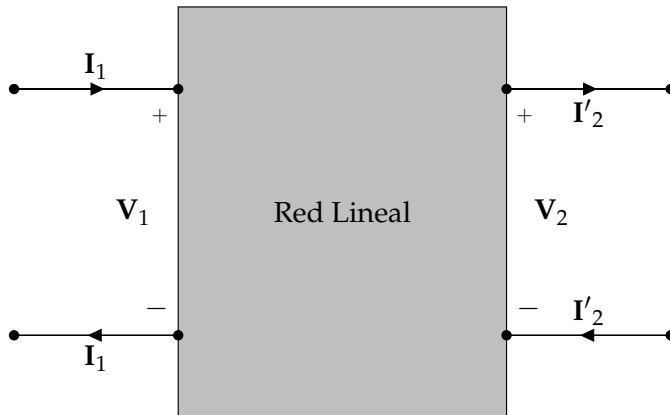
Parámetros de Impedancia
Parámetros de Admitancia
Parámetros Híbridos
Parámetros Híbridos Inversos

Parámetros de Transmisión
Parámetros de Transmisión Inversa

Relación entre parámetros

Cuadripolos entre Dipolos Terminales

Asociación de Cuadripolos



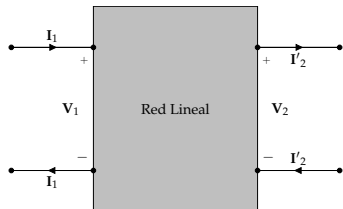
$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_2 \\ I'_2 \end{bmatrix}$$

Cálculo de parámetros

Se debe medir el inverso de cada parámetro, dado que la magnitud a medir y la excitación pertenecen al mismo puerto.

$$\frac{1}{A} = \left. \frac{V_2}{V_1} \right|_{I_2=0} \quad \frac{1}{B} = \left. \frac{I'_2}{V_1} \right|_{V_2=0}$$

$$\frac{1}{C} = \left. \frac{V_2}{I_1} \right|_{I_2=0} \quad \frac{1}{D} = \left. \frac{I'_2}{I_1} \right|_{V_2=0}$$



$$\begin{aligned} V_1 &= AV_2 + BI'_2 \\ I_1 &= CV_2 + DI'_2 \end{aligned}$$

Introducción

Parámetros de Cuadripolos

Parámetros de Impedancia

Parámetros de Admitancia

Parámetros Híbridos

Parámetros Híbridos Inversos

Parámetros de Transmisión

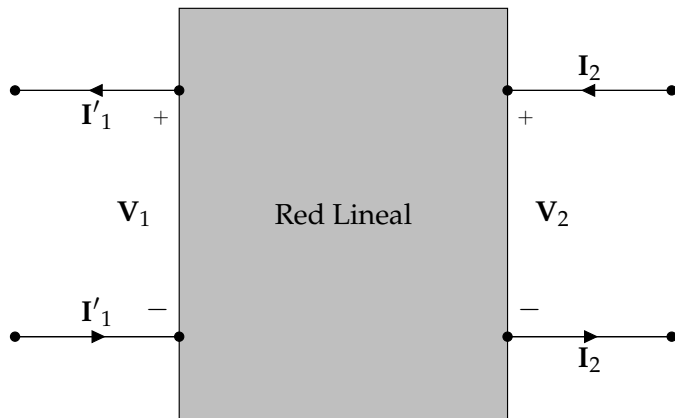
Parámetros de Transmisión Inversa

Relación entre parámetros

Cuadripolos entre Dipolos Terminales

Asociación de Cuadripolos

Definición



$$\begin{aligned} V_2 &= aV_1 + bI'_1 \\ I_2 &= cV_1 + dI'_1 \end{aligned}$$

Atención al sentido de la corriente I'_1 ($I'_1 = -I_1$).

Expresión Matricial

Introducción

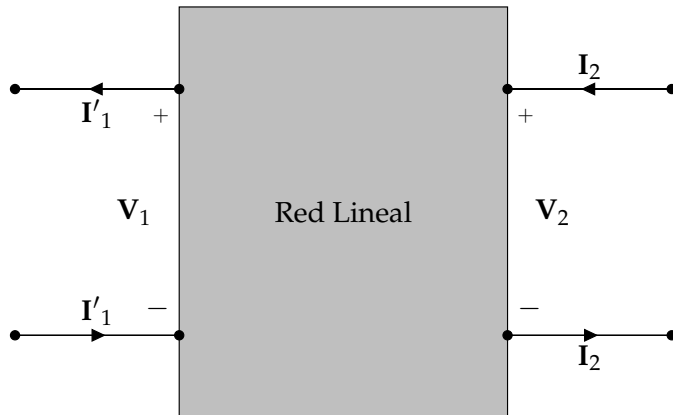
Parámetros de Cuadripolos

- Parámetros de Impedancia
- Parámetros de Admitancia
- Parámetros Híbridos
- Parámetros Híbridos Inversos
- Parámetros de Transmisión
- Parámetros de Transmisión Inversa

Relación entre parámetros

Cuadripolos entre Dipolos Terminales

Asociación de Cuadripolos



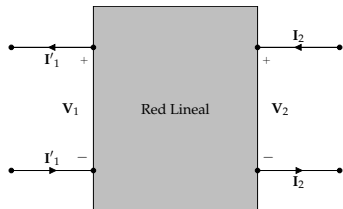
$$\begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{a} & \mathbf{b} \\ \mathbf{c} & \mathbf{d} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_1 \\ I'_1 \end{bmatrix}$$

Cálculo de parámetros

Se debe medir el inverso de cada parámetro, dado que la magnitud a medir y la excitación pertenecen al mismo puerto.

$$\frac{1}{a} = \left. \frac{V_1}{V_2} \right|_{I_1=0} \quad \frac{1}{b} = \left. \frac{I'_1}{V_2} \right|_{V_1=0}$$

$$\frac{1}{c} = \left. \frac{V_1}{I_2} \right|_{I_1=0} \quad \frac{1}{d} = \left. \frac{I'_1}{I_2} \right|_{V_1=0}$$



$$\begin{aligned} V_2 &= aV_1 + bI'_1 \\ I_2 &= cV_1 + dI'_1 \end{aligned}$$

Introducción

Parámetros de Cuadripolos

Relación entre parámetros

Cuadripolos entre Dipolos Terminales

Asociación de Cuadripolos

Impedancia y Admitancia

Cuadripolos

Oscar Perpiñán
Lamigueiro

Introducción

Parámetros de
Cuadripolos

Relación entre
parámetros

Cuadripolos entre
Dipolos
Terminales

Asociación de
Cuadripolos

$$\left. \begin{aligned} \begin{bmatrix} \mathbf{V}_1 \\ \mathbf{V}_2 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \mathbf{z}_{11} & \mathbf{z}_{12} \\ \mathbf{z}_{21} & \mathbf{z}_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{I}_1 \\ \mathbf{I}_2 \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} \mathbf{I}_1 \\ \mathbf{I}_2 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \mathbf{y}_{11} & \mathbf{y}_{12} \\ \mathbf{y}_{21} & \mathbf{y}_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{V}_1 \\ \mathbf{V}_2 \end{bmatrix} \end{aligned} \right\} \rightarrow \boxed{[\mathbf{Z}] = [\mathbf{Y}]^{-1}}$$

$$\left. \begin{aligned} \begin{bmatrix} \mathbf{V}_1 \\ \mathbf{I}_2 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \mathbf{h}_{11} & \mathbf{h}_{12} \\ \mathbf{h}_{21} & \mathbf{h}_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{I}_1 \\ \mathbf{V}_2 \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} \mathbf{I}_1 \\ \mathbf{V}_2 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \mathbf{g}_{11} & \mathbf{g}_{12} \\ \mathbf{g}_{21} & \mathbf{g}_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{V}_1 \\ \mathbf{I}_2 \end{bmatrix} \end{aligned} \right\} \rightarrow \boxed{[\mathbf{H}] = [\mathbf{G}]^{-1}}$$

$$\left. \begin{aligned} \begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_2 \\ I'_2 \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_1 \\ I'_1 \end{bmatrix} \end{aligned} \right\} \rightarrow \boxed{[T] \neq [t]^{-1}}$$

$$\boxed{\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & -b \\ -c & d \end{bmatrix}^{-1}}$$

	z		y		h		g		T		t	
z	z ₁₁	z ₁₂	$\frac{y_{22}}{\Delta_y}$	$-\frac{y_{12}}{\Delta_y}$	$\frac{\Delta_h}{h_{22}}$	$\frac{h_{12}}{h_{22}}$	$\frac{1}{g_{11}}$	$-\frac{g_{12}}{g_{11}}$	$\frac{A}{C}$	$\frac{\Delta_T}{C}$	$\frac{d}{c}$	$\frac{1}{c}$
	z ₂₁	z ₂₂	$-\frac{y_{21}}{\Delta_y}$	$\frac{y_{11}}{\Delta_y}$	$-\frac{h_{21}}{h_{22}}$	$\frac{1}{h_{22}}$	$\frac{g_{21}}{g_{11}}$	$\frac{\Delta_g}{g_{11}}$	$\frac{1}{C}$	$\frac{D}{C}$	$\frac{\Delta_t}{c}$	$\frac{a}{c}$
y	$\frac{z_{22}}{\Delta_z}$	$-\frac{z_{12}}{\Delta_z}$	y ₁₁	y ₁₂	$\frac{1}{h_{11}}$	$-\frac{h_{12}}{h_{11}}$	$\frac{\Delta_g}{g_{22}}$	$\frac{g_{12}}{g_{22}}$	$\frac{D}{B}$	$-\frac{\Delta_T}{B}$	$\frac{a}{b}$	$-\frac{1}{b}$
	$-\frac{z_{21}}{\Delta_z}$	$\frac{z_{11}}{\Delta_z}$	y ₂₁	y ₂₂	$\frac{h_{21}}{h_{11}}$	$\frac{\Delta_h}{h_{11}}$	$-\frac{g_{21}}{g_{22}}$	$\frac{1}{g_{22}}$	$-\frac{1}{B}$	$\frac{A}{B}$	$-\frac{\Delta_t}{b}$	$\frac{d}{b}$
h	$\frac{\Delta_z}{z_{22}}$	$\frac{z_{12}}{z_{22}}$	$\frac{1}{y_{11}}$	$-\frac{y_{12}}{y_{11}}$	h ₁₁	h ₁₂	$\frac{g_{22}}{\Delta_g}$	$-\frac{g_{12}}{\Delta_g}$	$\frac{B}{D}$	$\frac{\Delta_T}{D}$	$\frac{b}{a}$	$\frac{1}{a}$
	$-\frac{z_{21}}{z_{22}}$	$\frac{1}{z_{22}}$	$\frac{y_{21}}{y_{11}}$	$\frac{\Delta_y}{y_{11}}$	h ₂₁	h ₂₂	$-\frac{g_{21}}{\Delta_g}$	$\frac{g_{11}}{\Delta_g}$	$-\frac{1}{D}$	$\frac{C}{D}$	$\frac{\Delta_t}{a}$	$\frac{c}{a}$
g	$\frac{1}{z_{11}}$	$-\frac{z_{12}}{z_{11}}$	$\frac{\Delta_y}{y_{12}}$	$\frac{y_{12}}{y_{22}}$	$\frac{h_{22}}{\Delta_h}$	$-\frac{h_{12}}{\Delta_h}$	g ₁₁	g ₁₂	$\frac{C}{A}$	$-\frac{\Delta_T}{A}$	$\frac{c}{d}$	$-\frac{1}{d}$
	$\frac{z_{21}}{z_{11}}$	$\frac{\Delta_z}{z_{11}}$	$-\frac{y_{21}}{y_{22}}$	$\frac{1}{y_{22}}$	$-\frac{h_{21}}{\Delta_h}$	$\frac{h_{11}}{\Delta_h}$	g ₂₁	g ₂₂	$\frac{1}{A}$	$\frac{B}{A}$	$\frac{\Delta_t}{d}$	$-\frac{b}{d}$
T	$\frac{z_{11}}{z_{21}}$	$\frac{\Delta_z}{z_{21}}$	$-\frac{y_{22}}{y_{21}}$	$-\frac{1}{y_{21}}$	$-\frac{\Delta_h}{h_{21}}$	$-\frac{h_{11}}{h_{21}}$	$\frac{1}{g_{21}}$	$\frac{g_{22}}{g_{21}}$	A	B	$\frac{d}{\Delta_t}$	$\frac{b}{\Delta_t}$
	$\frac{1}{z_{21}}$	$\frac{z_{22}}{z_{21}}$	$-\frac{\Delta_y}{y_{21}}$	$-\frac{y_{11}}{y_{21}}$	$-\frac{h_{22}}{h_{21}}$	$-\frac{1}{h_{21}}$	$\frac{g_{11}}{g_{21}}$	$\frac{\Delta_g}{g_{21}}$	C	D	$\frac{c}{\Delta_t}$	$\frac{a}{\Delta_t}$
t	$\frac{z_{22}}{z_{12}}$	$\frac{\Delta_z}{z_{12}}$	$-\frac{y_{11}}{y_{12}}$	$-\frac{1}{y_{12}}$	$\frac{1}{h_{12}}$	$\frac{h_{11}}{h_{12}}$	$-\frac{\Delta_g}{g_{12}}$	$-\frac{g_{22}}{g_{12}}$	$\frac{D}{\Delta_T}$	$\frac{B}{\Delta_T}$	a	b
	$\frac{1}{z_{12}}$	$\frac{z_{11}}{z_{12}}$	$-\frac{\Delta_y}{y_{12}}$	$-\frac{y_{22}}{y_{12}}$	$\frac{h_{22}}{h_{12}}$	$\frac{\Delta_h}{h_{12}}$	$-\frac{g_{11}}{g_{12}}$	$-\frac{1}{g_{12}}$	$\frac{C}{\Delta_T}$	$\frac{A}{\Delta_T}$	c	d

$$\Delta_z = z_{11}z_{22} - z_{12}z_{21},$$

$$\Delta_y = y_{11}y_{22} - y_{12}y_{21},$$

$$\Delta_h = h_{11}h_{22} - h_{12}h_{21},$$

$$\Delta_g = g_{11}g_{22} - g_{12}g_{21},$$

$$\Delta_T = AD - BC$$

$$\Delta_t = ad - bc$$

A partir de las relaciones ya obtenidas para impedancia y admitancia, utilizando la tabla anterior obtenemos la relación para parámetros híbridos y de transmisión:

$$\left. \begin{array}{l} \mathbf{z}_{12} = \mathbf{z}_{21} \\ \mathbf{y}_{12} = \mathbf{y}_{21} \end{array} \right\} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \mathbf{h}_{12} = -\mathbf{h}_{21} \\ \mathbf{g}_{12} = -\mathbf{g}_{21} \\ \mathbf{AD} - \mathbf{BC} = 1 \\ \mathbf{ad} - \mathbf{bc} = 1 \end{array} \right.$$

A partir de las relaciones ya obtenidas para impedancia y admitancia, utilizando la tabla anterior obtenemos la relación para parámetros híbridos y de transmisión:

$$\left. \begin{array}{l} \mathbf{z}_{11} = \mathbf{z}_{22} \\ \mathbf{y}_{11} = \mathbf{y}_{22} \end{array} \right\} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \mathbf{h}_{11} \cdot \mathbf{h}_{22} - \mathbf{h}_{12}^2 = 1 \\ \mathbf{g}_{11} \cdot \mathbf{g}_{22} - \mathbf{g}_{12}^2 = 1 \\ \mathbf{A} = \mathbf{D} \\ \mathbf{a} = \mathbf{d} \end{array} \right.$$

Además:

$$\boxed{[\mathbf{T}] = [\mathbf{t}]}$$

Introducción

Parámetros de Cuadripolos

Relación entre parámetros

Cuadripolos entre Dipolos Terminales

Asociación de Cuadripolos

Introducción

Parámetros de Cuadripolos

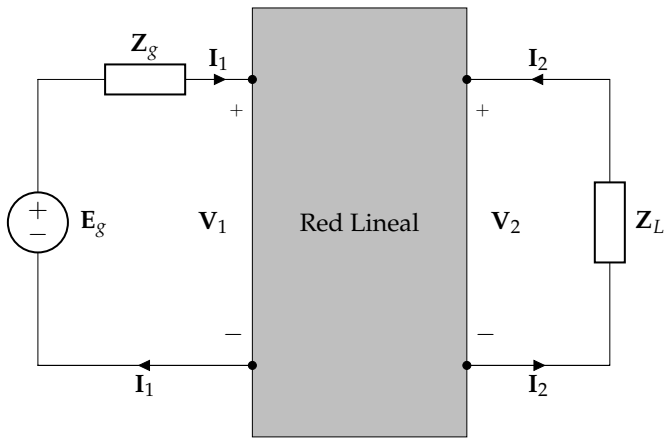
Relación entre parámetros

Cuadripolos entre Dipolos Terminales

Situación General

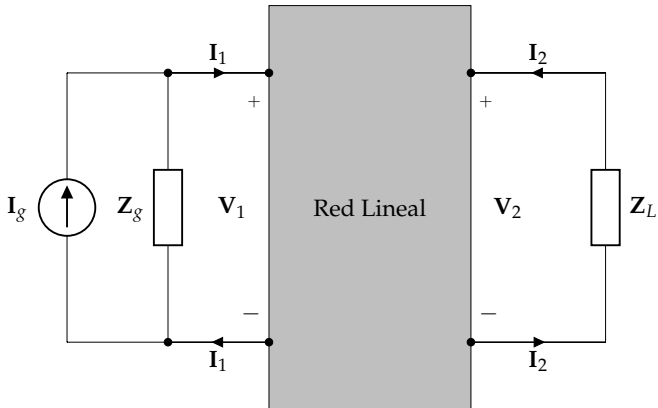
Parámetros Imagen

Asociación de Cuadripolos



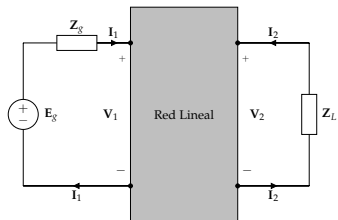
$$V_1 = E_g - Z_g \cdot I_1$$

$$V_2 = -Z_L \cdot I_2$$



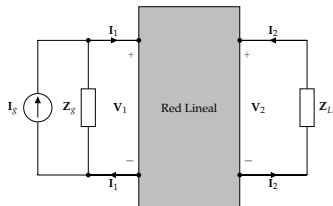
$$V_1 = (I_g - I_1) \cdot Z_g$$

$$V_2 = -Z_L \cdot I_2$$



► Ganancia de Tensión

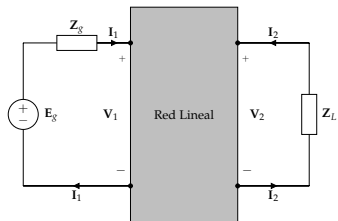
$$A_V = \frac{V_2}{E_g}$$



► Ganancia de Corriente

$$A_I = \frac{I_2}{I_g}$$

Impedancia

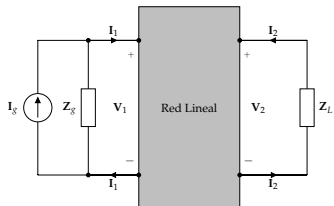


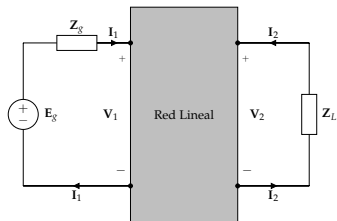
► Impedancia de Entrada

$$Z_i = \frac{V_1}{I_1}$$

► Impedancia de Salida

$$Z_o = \left. \frac{V_2}{I_2} \right|_{E_g=0}$$



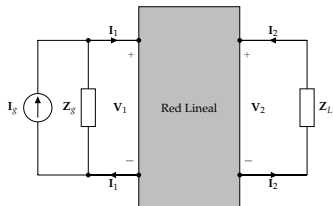


► Transadmitancia directa

$$Y_f = \frac{I_2}{E_g}$$

► Transimpedancia directa

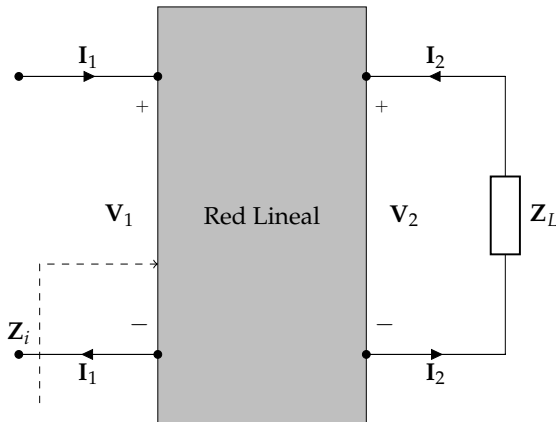
$$Z_f = \frac{V_2}{I_g}$$



Ejercicio de Cálculo (1)

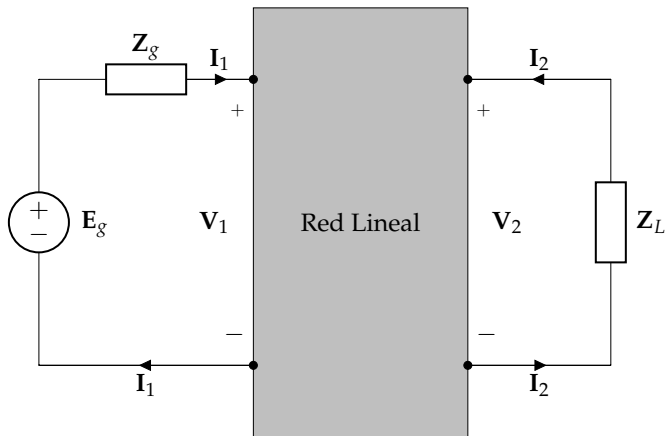
Demuestra que la impedancia de entrada del circuito a la derecha de la fuente real expresada con parámetros de transmisión es:

$$Z_i = \frac{AZ_L + B}{CZ_L + D}$$



Ejercicio de Cálculo (2)

¿Qué impedancia de carga Z_L hay que conectar a la salida del cuadripolo para obtener la máxima transferencia de potencia?



Introducción

Parámetros de Cuadripolos

Relación entre parámetros

Cuadripolos entre Dipolos Terminales

Situación General

Parámetros Imagen

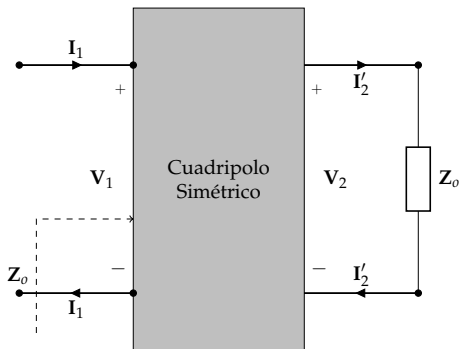
Asociación de Cuadripolos

Impedancia Característica

Para un cuadripolo **recíproco** y **simétrico** se definen los parámetros imagen:

- **Impedancia característica**, Z_0 : impedancia que, conectada en una puerta, hace que desde la otra puerta se vea la misma impedancia.

$$Z_0 = \frac{U_1}{I_1}$$



$$Z_0 = \frac{AZ_0 + B}{CZ_0 + D}$$

$$A = D \rightarrow Z_0 = \pm \sqrt{\frac{B}{C}}$$

Introducción

Parámetros de
CuadripolosRelación entre
parámetrosCuadripolos entre
Dipolos
TerminalesSituación General
Parámetros ImagenAsociación de
Cuadripolos

Atención

La ecuación proporciona dos soluciones, una de las cuáles implicará una impedancia no viable (*resistencia negativa*).

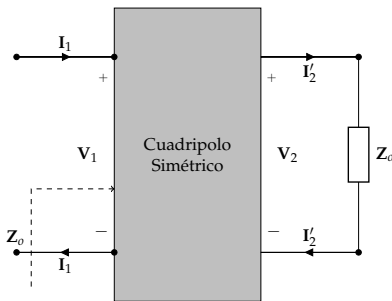
$$Z_o = \pm \sqrt{\frac{B}{C}}$$

Función de Propagación

Para un cuadripolo **recíproco** y **simétrico** se definen los parámetros imagen:

- **Función de propagación**, γ : relacionada con el cociente de potencias en las puertas del cuadripolo cuando una de ellas está cargada con Z_0

$$\exp(2\gamma) = \frac{U_1 I_1}{U_2 I_2'}$$



$$U_1 = I_1 Z_0$$

$$U_2 = I_2' Z_0$$

$$\exp(\gamma) = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_1}{I_2'}$$

Introducción

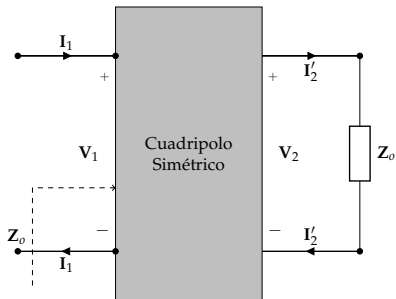
Parámetros de
CuadripolosRelación entre
parámetrosCuadripolos entre
Dipolos
Terminales

Situación General

Parámetros Imagen

Asociación de
Cuadripolos

Relación entre Z_o y γ



$$\begin{aligned}\exp(\gamma) &= \frac{U_1}{U_2} = \\ &= \frac{AU_2 + BI'_2}{U_2} = \\ &= A + B \frac{I'_2}{U_2}\end{aligned}$$

$$\exp(\gamma) = A + \frac{B}{Z_o}$$

Relación entre Z_o y γ

Teniendo en cuenta la expresión de Z_o :

$$\left. \begin{array}{l} Z_o = \pm \sqrt{\frac{B}{C}} \\ \exp(\gamma) = A + \frac{B}{Z_o} \end{array} \right\} \rightarrow \boxed{\exp(\gamma) = A \pm \sqrt{BC}}$$

Además, teniendo en cuenta la relación de un cuadripolo recíproco y simétrico:

$$A^2 - BC = 1 \rightarrow \boxed{\exp(\gamma) = A \pm \sqrt{A^2 - 1}}$$

Atención al signo que acompaña a las raíces cuadradas. Se debe elegir de forma que la parte real de γ sea acorde al cuadripolo.

Transmisión a partir de Imagen

$$\mathbf{A}^2 - \mathbf{BC} = 1$$

$$e^{\gamma} = \mathbf{A} + \sqrt{\mathbf{A}^2 - 1}$$

$$\cosh(\gamma) = \frac{e^{\gamma} + e^{-\gamma}}{2}$$

$$\mathbf{Z}_o = \sqrt{\frac{\mathbf{B}}{\mathbf{C}}}$$

$$\sinh(\gamma) = \frac{e^{\gamma} - e^{-\gamma}}{2}$$

$$\cosh^2(\gamma) - \sinh^2(\gamma) = 1$$

$\mathbf{A} = \cosh(\gamma)$	$\mathbf{B} = \mathbf{Z}_o \sinh(\gamma)$
$\mathbf{C} = \sinh(\gamma) / \mathbf{Z}_o$	$\mathbf{D} = \cosh(\gamma)$

Régimen Permanente Sinusoidal

Cuadripolos

Oscar Perpiñán
Lamigueiro

Introducción

Parámetros de
Cuadripolos

Relación entre
parámetros

Cuadripolos entre
Dipolos
Terminales

Situación General
Parámetros Imagen

Asociación de
Cuadripolos

Cuando el circuito funciona en régimen permanente sinusoidal:

- ▶ La función de propagación es un número complejo denominado constante de propagación.

$$\bar{\gamma} = \alpha + j\beta$$

- ▶ Las tensiones y corrientes son fasores

$$\exp(\bar{\gamma}) = \exp(\alpha) \cdot \exp(j\beta) = \frac{\bar{U}_1}{\bar{U}_2} = \frac{\bar{I}_1}{\bar{I}_2}$$

- **Constante de Atenuación** (cuando $\alpha > 1$ el cuadripolo atenúa la salida respecto de la entrada)

$$\exp(\alpha) = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_1}{I_2}$$

- **Constante de Fase** (desfase entre puertos)

$$\beta = \theta_{\overline{U}_1} - \theta_{\overline{U}_2} = \theta_{\overline{I}_1} - \theta_{\overline{I}_2}$$

Atenuación de Potencia

Cuando está conectada la impedancia característica, las potencias activas en los puertos se expresan:

$$P_1 = U_1 I_1 \cos(\theta_o)$$

$$P_2 = U_2 I_2 \cos(\theta_o)$$

donde θ_o es el ángulo de la impedancia \bar{Z}_o .

Por tanto, la relación de potencias activas es:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{U_1 I_1}{U_2 I_2}$$

Teniendo en cuenta la expresión de la constante de atenuación, esta relación es:

$$\exp(\alpha) = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_1}{I_2} \rightarrow \boxed{\exp(2\alpha) = \frac{U_1 I_1}{U_2 I_2} = \frac{P_1}{P_2}}$$

Introducción

Parámetros de Cuadripolos

Relación entre parámetros

Cuadripolos entre Dipolos Terminales

Asociación de Cuadripolos

Definición

- ▶ **Serie:** misma corriente, suma de tensiones
- ▶ **Paralelo:** misma tensión, suma de corrientes

Catálogo

- ▶ Serie-Serie: **parámetros impedancia**
- ▶ Paralelo-Paralelo: **parámetros admitancia**
- ▶ Serie-Paralelo: **parámetros híbridos**
- ▶ Paralelo-Serie: **parámetros híbridos inversos**
- ▶ Cascada: **parámetros transmisión/imagen**

Introducción

Parámetros de
Cuadripolos

Relación entre
parámetros

Cuadripolos entre
Dipolos
Terminales

Asociación de
Cuadripolos

Asociación Serie-Serie

Asociación

Paralelo-Paralelo

Asociación Serie-Paralelo

Asociación Paralelo-Serie

Asociación Cascada

Introducción

Parámetros de Cuadripolos

Relación entre parámetros

Cuadripolos entre Dipolos Terminales

Asociación de Cuadripolos

- Asociación Serie-Serie

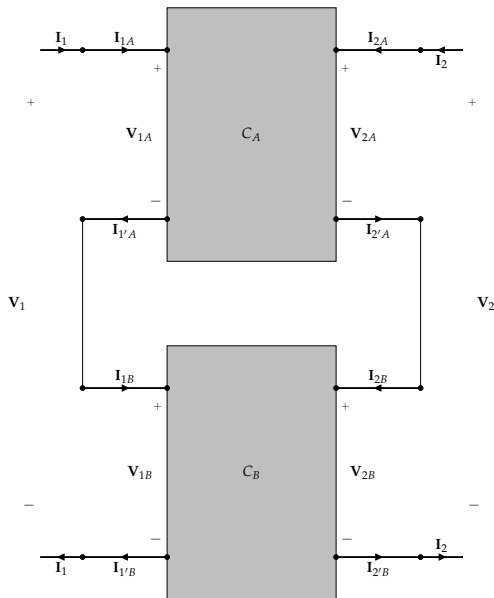
- Asociación Paralelo-Paralelo

- Asociación Serie-Paralelo

- Asociación Paralelo-Serie

- Asociación Cascada

Conexión



Tensiones

$$V_1 = V_{1A} + V_{1B}$$

$$V_2 = V_{2A} + V_{2B}$$

Condición de Puerto

$$I_{1A} = I_{1'A}$$

$$I_{1B} = I_{1'B}$$

$$I_{2A} = I_{2'A}$$

$$I_{2B} = I_{2'B}$$

Cuadripolos

Oscar Perpiñán
Lamigueiro

Introducción

Parámetros de
Cuadripolos

Relación entre
parámetros

Cuadripolos entre
Dipolos
Terminales

Asociación de
Cuadripolos

Asociación Serie-Serie

Asociación

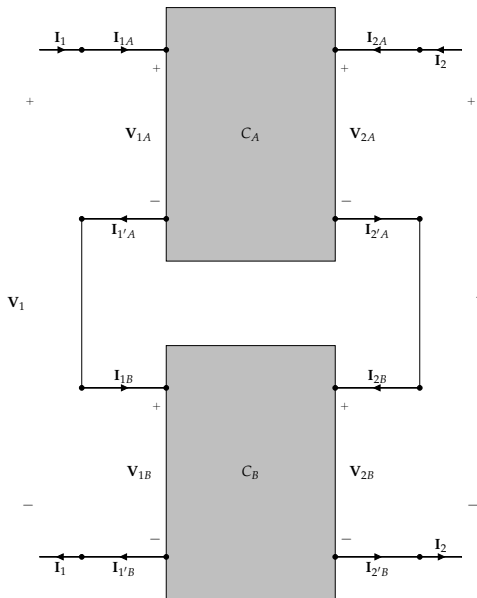
Paralelo-Paralelo

Asociación Serie-Paralelo

Asociación Paralelo-Serie

Asociación Cascada

Cuadripolo Equivalente



Parámetros Impedancia

$$[\mathbf{V}_A] = [\mathbf{Z}_A] \cdot [\mathbf{I}_A]$$

$$[\mathbf{V}_B] = [\mathbf{Z}_B] \cdot [\mathbf{I}_B]$$

Cuadripolo Equivalente

$$[\mathbf{Z}] = [\mathbf{Z}_A] + [\mathbf{Z}_B]$$

Introducción

Parámetros de Cuadripolos

Relación entre parámetros

Cuadripolos entre Dipolos Terminales

Asociación de Cuadripolos

Asociación Serie-Serie

Asociación

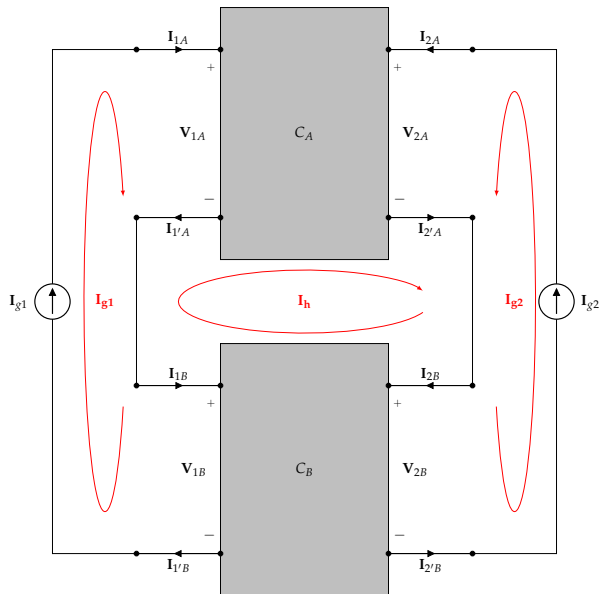
Paralelo-Paralelo

Asociación Serie-Paralelo

Asociación Paralelo-Serie

Asociación Cascada

Interacción



► Entrada

$$I_{1A} = I_{g1}$$

$$I_{1'A} = I_{g1} - I_h$$

► Salida

$$I_{2A} = I_{g2}$$

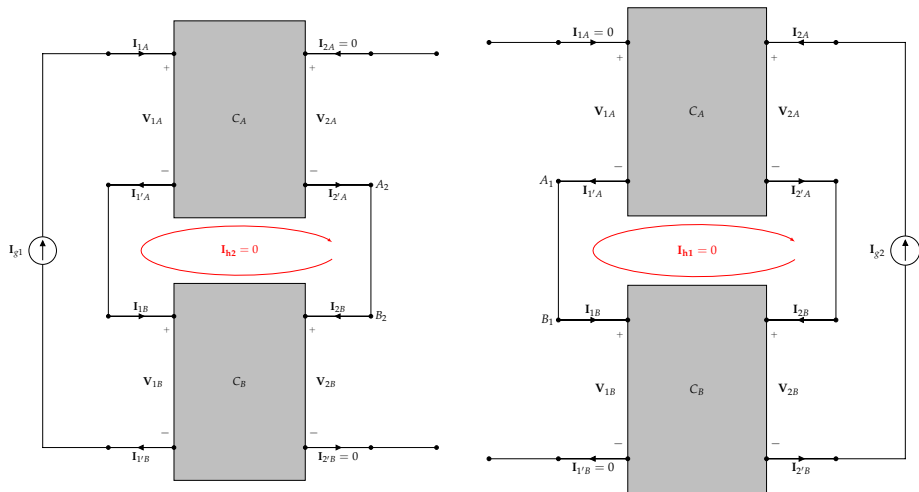
$$I_{2'A} = I_{g2} + I_h$$

► Condición de Puerto

$$I_h = 0$$

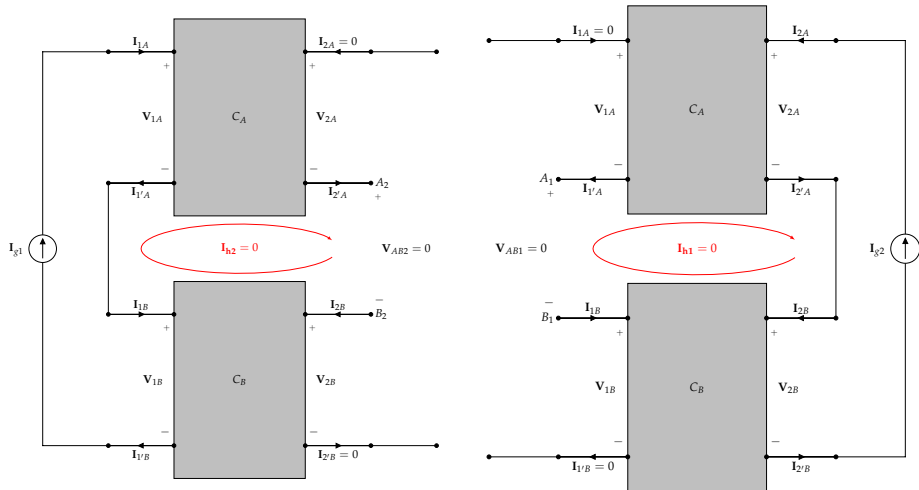
Interacción

Si no hay interacción, al aplicar superposición la corriente de circulación debe ser nula **en ambos casos**.

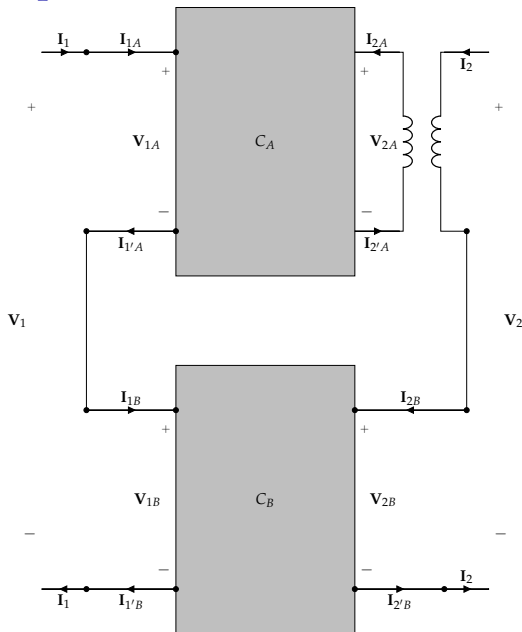


Test de Brune

Aplicando superposición desconectamos los cuadripolos:
si no hay interacción, no habrá cambio de tensión.



Métodos para evitar interacción



Métodos para evitar interacción

Cuadripolos

Oscar Perpiñán
Lamigueiro

Introducción

Parámetros de Cuadripolos

Relación entre parámetros

Cuadripolos entre Dipolos Terminales

Asociación de Cuadripolos

Asociación Serie-Serie

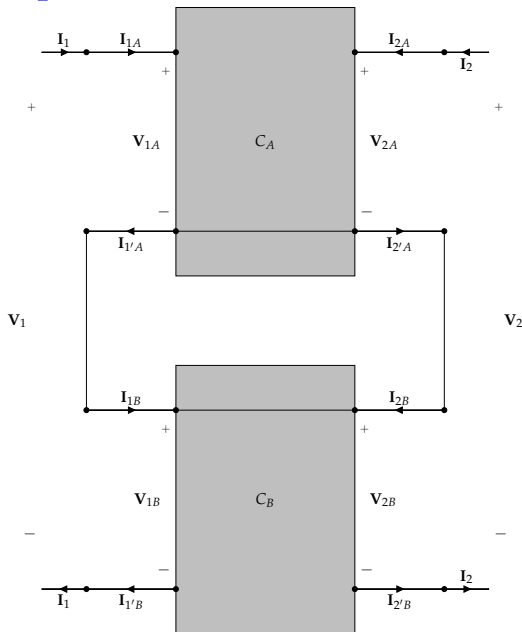
Asociación

Paralelo-Paralelo

Asociación Serie-Paralelo

Asociación Paralelo-Serie

Asociación Cascada



Introducción

Parámetros de Cuadripolos

Relación entre parámetros

Cuadripolos entre Dipolos Terminales

Asociación de Cuadripolos

Asociación Serie-Serie

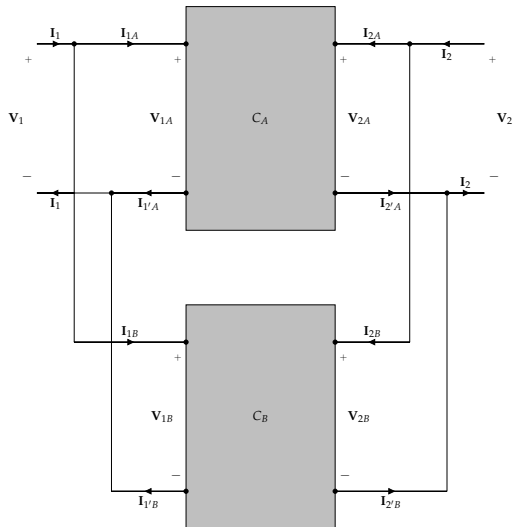
Asociación Paralelo-Paralelo

Asociación Serie-Paralelo

Asociación Paralelo-Serie

Asociación Cascada

Conexión



Corrientes

$$I_1 = I_{1A} + I_{1B}$$

$$I_2 = I_{2A} + I_{2B}$$

Condición de Puerto

$$I_{1A} = I_{1'A}$$

$$I_{1B} = I_{1'B}$$

$$I_{2A} = I_{2'A}$$

$$I_{2B} = I_{2'B}$$

Cuadripolos

Oscar Perpiñán
Lamigueiro

Introducción

Parámetros de Cuadripolos

Relación entre parámetros

Cuadripolos entre Dipolos Terminales

Asociación de Cuadripolos

Asociación Serie-Serie

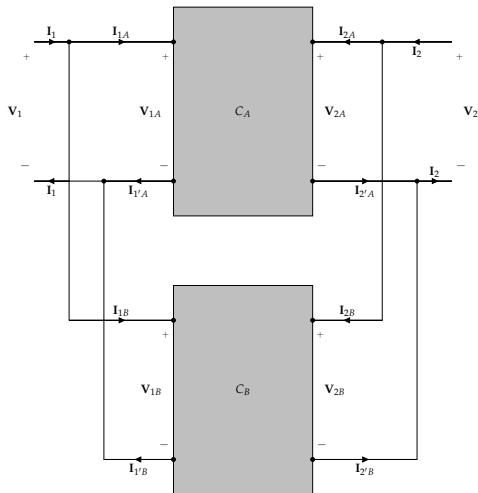
Asociación Paralelo-Paralelo

Asociación Serie-Paralelo

Asociación Paralelo-Serie

Asociación Cascada

Cuadripolo Equivalente



Parámetros Admitancia

$$[\mathbf{I}_A] = [\mathbf{Y}_A] \cdot [\mathbf{V}_A]$$

$$[\mathbf{I}_B] = [\mathbf{Y}_B] \cdot [\mathbf{V}_B]$$

Cuadripolo Equivalente

$$[\mathbf{Y}] = [\mathbf{Y}_A] + [\mathbf{Y}_B]$$

Cuadripolos

Oscar Perpiñán
Lamigueiro

Introducción

Parámetros de
Cuadripolos

Relación entre
parámetros

Cuadripolos entre
Dipolos
Terminales

Asociación de
Cuadripolos

Asociación Serie-Serie

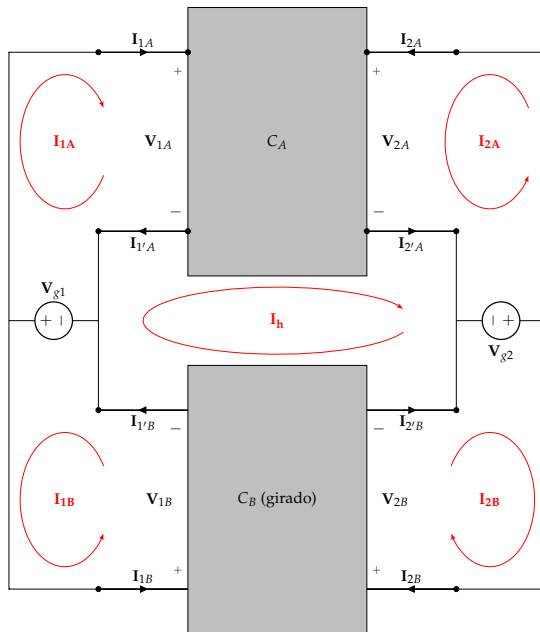
Asociación
Paralelo-Paralelo

Asociación Serie-Paralelo

Asociación Paralelo-Serie

Asociación Cascada

Interacción



Cuadripolos

Oscar Perpiñán
Lamigueiro

Introducción

Parámetros de Cuadripolos

Relación entre parámetros

Cuadripolos entre Dipolos Terminales

Asociación de Cuadripolos

Asociación Serie-Serie

Asociación Paralelo-Paralelo

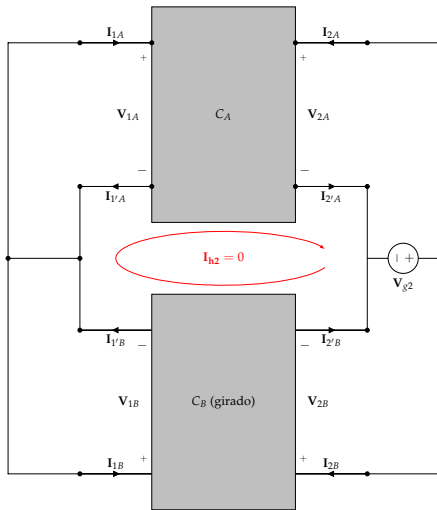
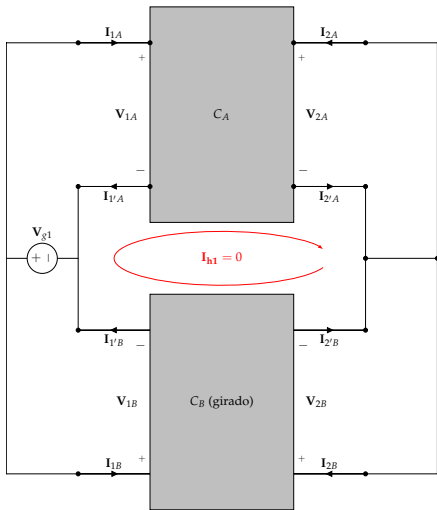
Asociación Serie-Paralelo

Asociación Paralelo-Serie

Asociación Cascada

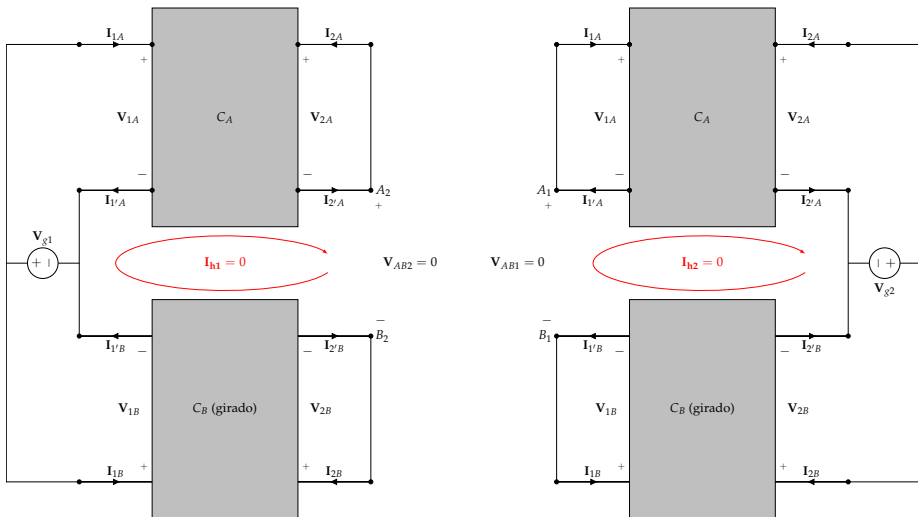
Interacción

Si no hay interacción, al aplicar superposición la corriente de circulación debe ser nula **en ambos casos**.



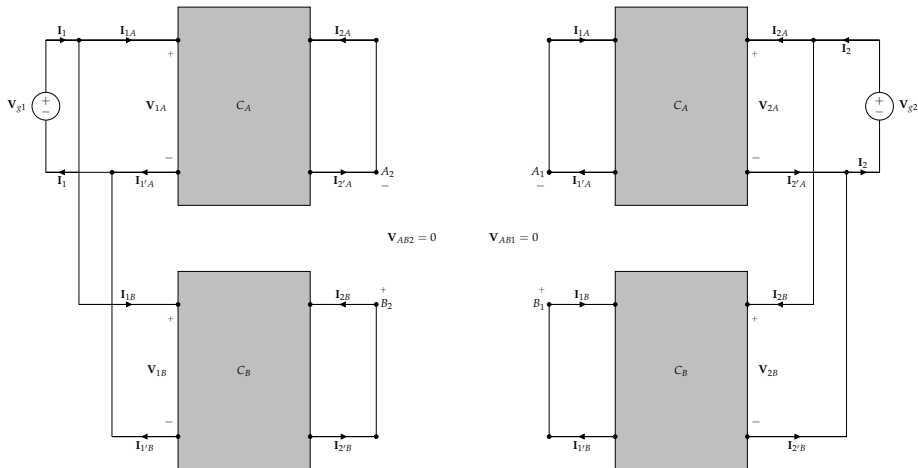
Test de Brune

Aplicando superposición desconectamos los cuadripolos:
si no hay interacción, no habrá cambio de tensión.

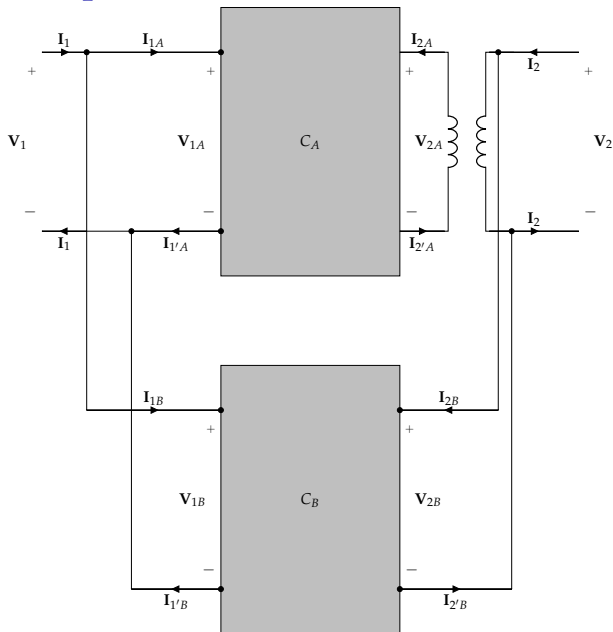


Test de Brune

Aplicando superposición desconectamos los cuadripolos:
si no hay interacción, no habrá cambio de tensión.



Métodos para evitar interacción



Cuadripolos

Oscar Perpiñán
Lamigueiro

Introducción

Parámetros de
Cuadripolos

Relación entre
parámetros

Cuadripolos entre
Dipolos
Terminales

Asociación de
Cuadripolos

Asociación Serie-Serie

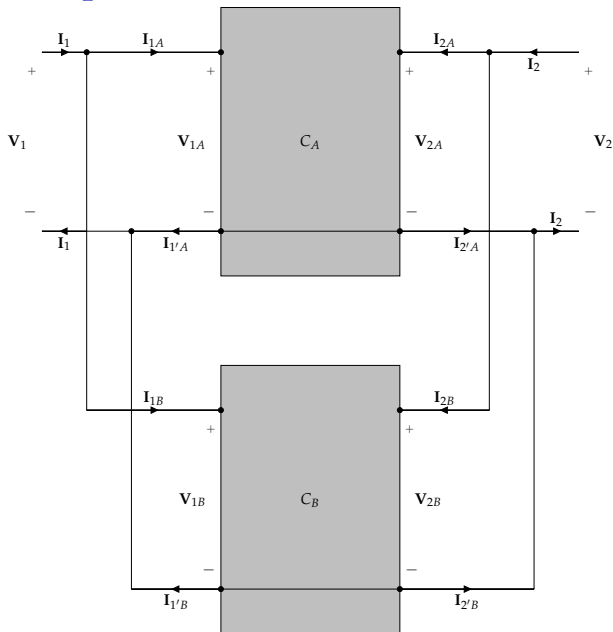
Asociación
Paralelo-Paralelo

Asociación Serie-Paralelo

Asociación Paralelo-Serie

Asociación Cascada

Métodos para evitar interacción



Cuadripolos

Oscar Perpiñán
Lamigueiro

Introducción

Parámetros de
Cuadripolos

Relación entre
parámetros

Cuadripolos entre
Dipolos
Terminales

Asociación de
Cuadripolos

Asociación Serie-Serie

Asociación
Paralelo-Paralelo

Asociación Serie-Paralelo

Asociación Paralelo-Serie

Asociación Cascada

Introducción

Parámetros de Cuadripolos

Relación entre parámetros

Cuadripolos entre Dipolos Terminales

Asociación de Cuadripolos

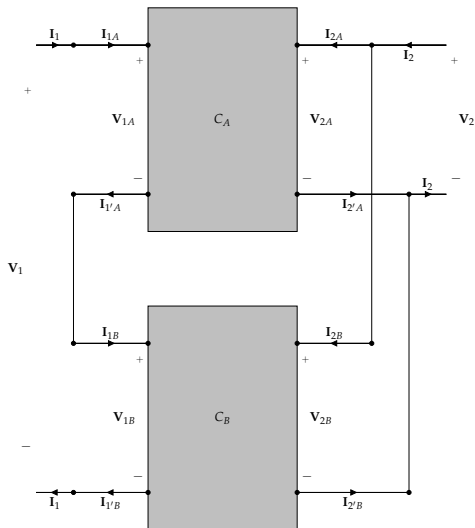
Asociación Serie-Serie

Asociación Paralelo-Paralelo

Asociación Serie-Paralelo

Asociación Paralelo-Serie

Asociación Cascada



Relaciones

$$V_1 = V_{1A} + V_{1B}$$

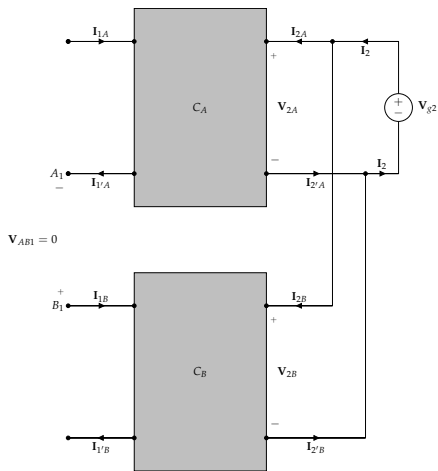
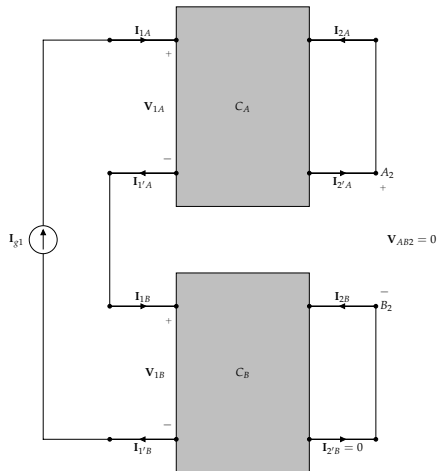
$$I_2 = I_{2A} + I_{2B}$$

Cuadripolo Equivalente

$$[\mathbf{H}] = [\mathbf{H}_A] + [\mathbf{H}_B]$$

Test de Brune

Aplicando superposición desconectamos los cuadripolos:
si no hay interacción, no habrá cambio de tensión.



Introducción

Parámetros de Cuadripolos

Relación entre parámetros

Cuadripolos entre Dipolos Terminales

Asociación de Cuadripolos

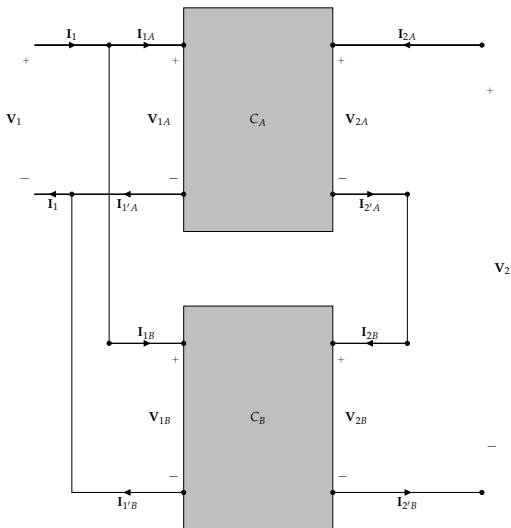
Asociación Serie-Serie

Asociación Paralelo-Paralelo

Asociación Serie-Paralelo

Asociación Paralelo-Serie

Asociación Cascada



Relaciones

$$I_1 = I_{1A} + I_{1B}$$
$$V_2 = V_{2A} + V_{2B}$$

Cuadripolo Equivalente

$$[G] = [G_A] + [G_B]$$

Introducción

Parámetros de Cuadripolos

Relación entre parámetros

Cuadripolos entre Dipolos Terminales

Asociación de Cuadripolos

Asociación Serie-Serie

Asociación

Paralelo-Paralelo

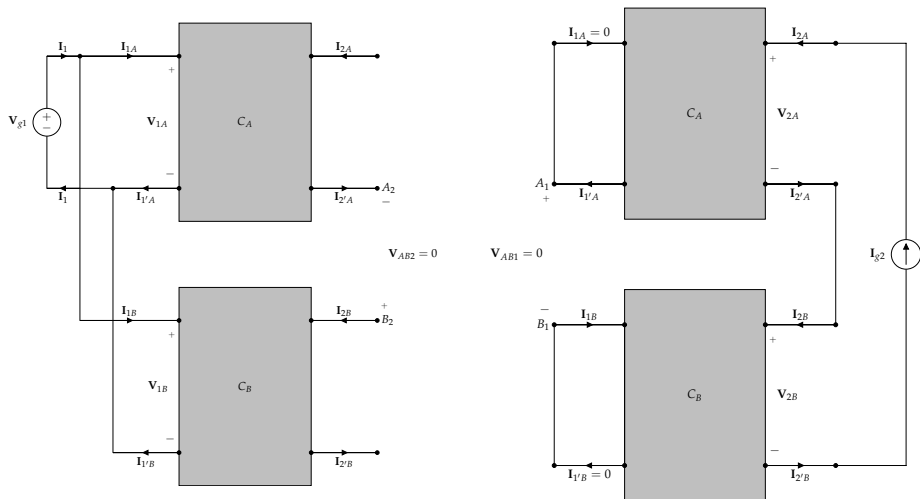
Asociación Serie-Paralelo

Asociación Paralelo-Serie

Asociación Cascada

Test de Brune

Aplicando superposición desconectamos los cuadripolos:
si no hay interacción, no habrá cambio de tensión.



Introducción

Parámetros de Cuadripolos

Relación entre parámetros

Cuadripolos entre Dipolos Terminales

Asociación de Cuadripolos

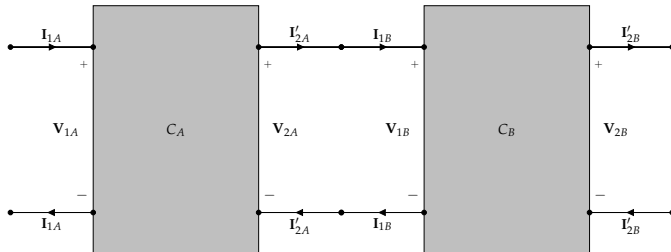
- Asociación Serie-Serie

- Asociación Paralelo-Paralelo

- Asociación Serie-Paralelo

- Asociación Paralelo-Serie

- Asociación Cascada



$$V_{2A} = V_{1B}$$

$$I'_{2A} = I_{1B}$$

$$[\mathbf{T}] = [\mathbf{T}_A] \cdot [\mathbf{T}_B]$$

Introducción

Parámetros de
Cuadripolos

Relación entre
parámetros

Cuadripolos entre
Dipolos
Terminales

Asociación de
Cuadripolos

Asociación Serie-Serie

Asociación

Paralelo-Paralelo

Asociación Serie-Paralelo

Asociación Paralelo-Serie

Asociación Cascada