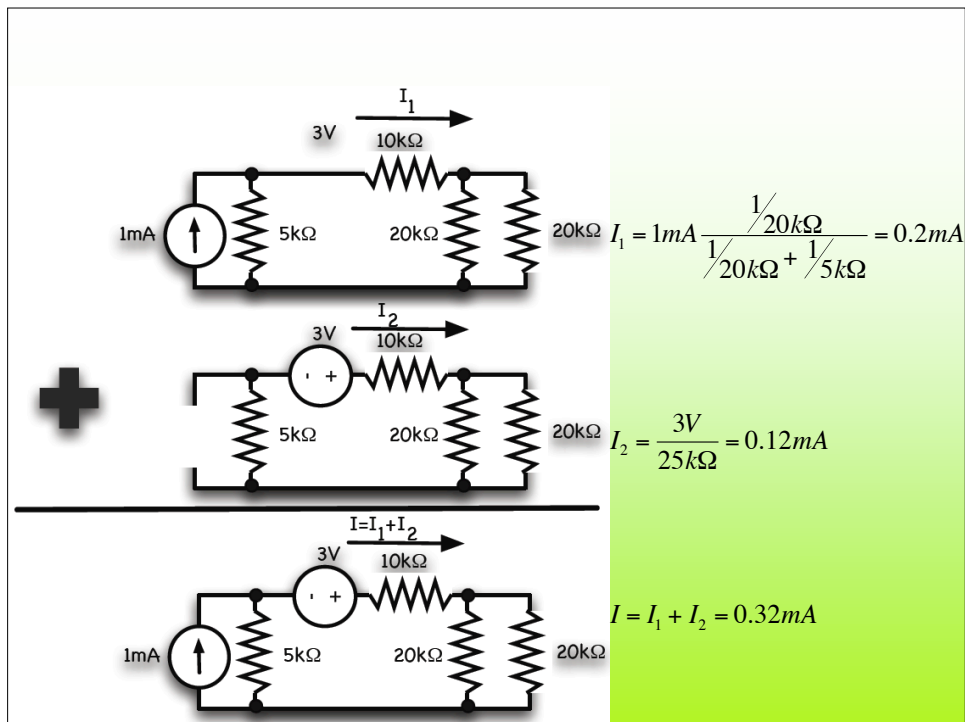
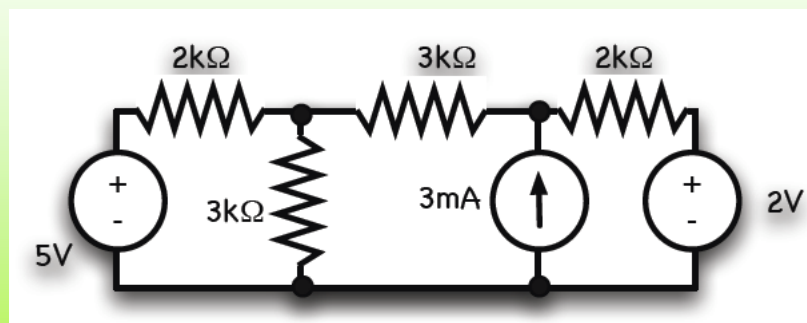
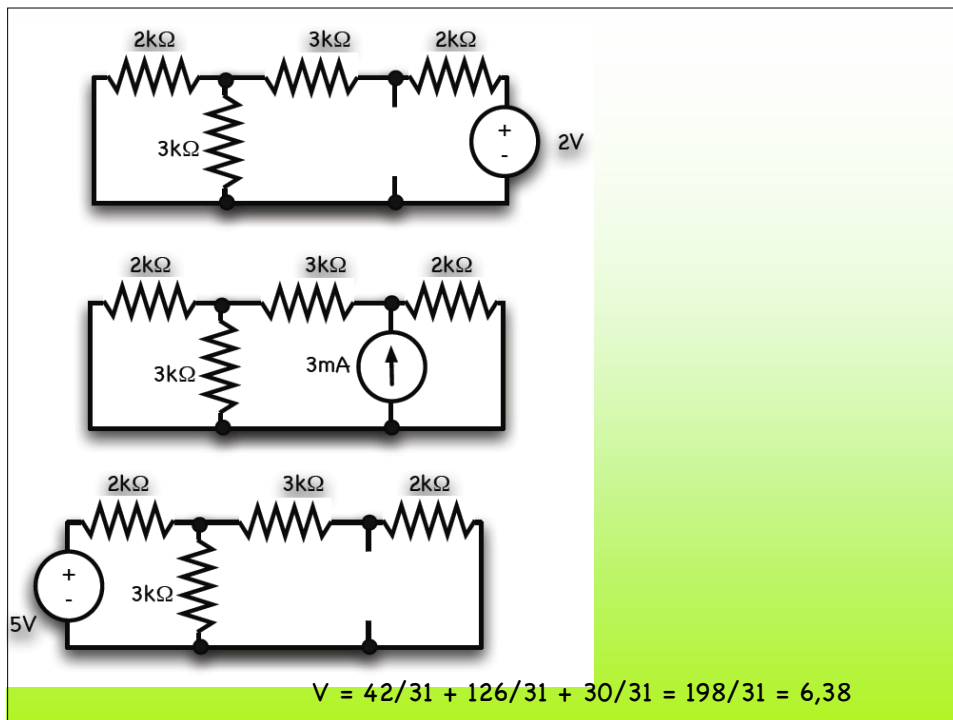




Ejemplo: Calcula la tensión en la fuente de corriente





Resolución asistida por ordenador

Programa SPICE (estándar de simulación)

- La primera línea es el título
- El asterisco indica comentario
- El orden de las instrucciones es irrelevante
- No se distinguen mayúsculas y minúsculas
- Espacios, comas y tabulaciones son equivalentes

Distintas plataformas:

Windows: PSPICE, Mac OS X: MacSpice, Unix: HSPICE

Componentes SPICE

COMPONENTE	TEXTO
Fuente tensión	V<nombre> N ₊ N ₋ <DC Val>
Fuente corriente	I<nombre> N ₊ N ₋ <DC Val>
Resistencias	R<nombre> Nodo1 Nodo2 <valor>
Condensadores	C<nombre> Nodo1 Nodo2 <valor>
Bobinas	L<nombre> Nodo1 Nodo2 <valor>

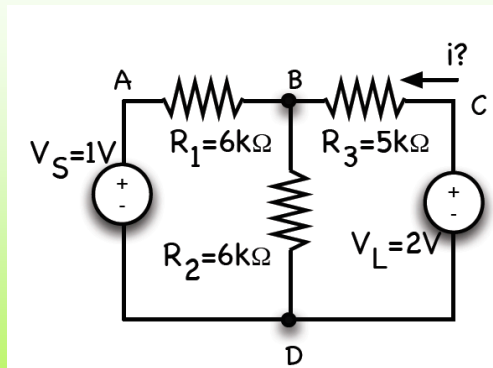
Tipos de análisis

ANÁLISIS	TEXTO
Punto de operación	.OP
Variación de valores en corriente continua	.DC
Variación de valores en corriente alterna	.AC
Análisis transitorio	.TRAN
Elección de gráfica de salida	.PLOT

Ejemplo de aplicación

EJEMPLO

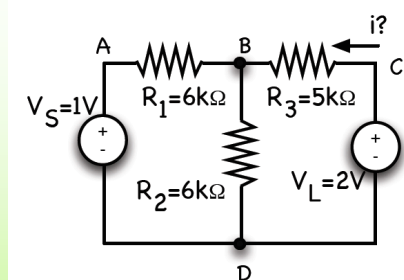
```
VS A 0 DC 1
VL C 0 DC 2
R1 A B 6K
R2 B 0 6K
R3 C B 5K
.OP
.END
```



Calcular el valor de 'i'

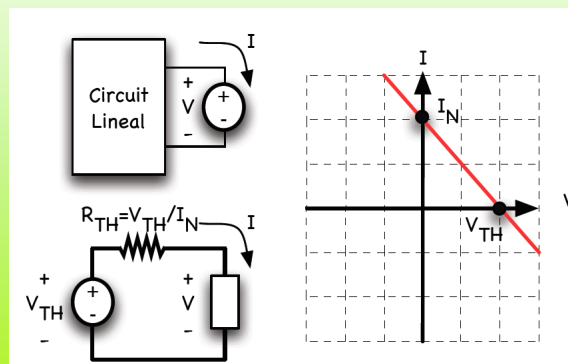
Fichero de salida

```
Title: EJEMPLO
Date: Mon Dec 4 18:17:15 2006
Plotname: Operating Point
Flags: real
No. Variables: 5
No. Points: 1
Command: version 3f5 v2.9
Variables:
    0      a      voltage
    1      c      voltage
    2      b      voltage
    3      vl#branch  current
    4      vs#branch  current
Values:
0      1.000000000000000e+00
1      2.000000000000000e+00
2      1.062500000000000e+00
3      -1.875000000000000e-04
4      1.041666666666667e-05
```



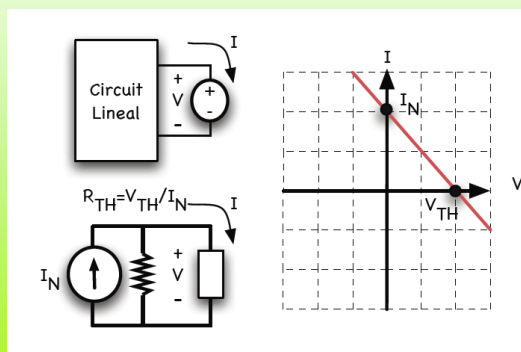
Teorema de Thévenin

“Elegidos cualesquiera dos nodos de un circuito resistivo, éste se puede modelar mediante una fuente de tensión en serie con una resistencia”
 V_{TH} es la tensión medida cuando $I=0$

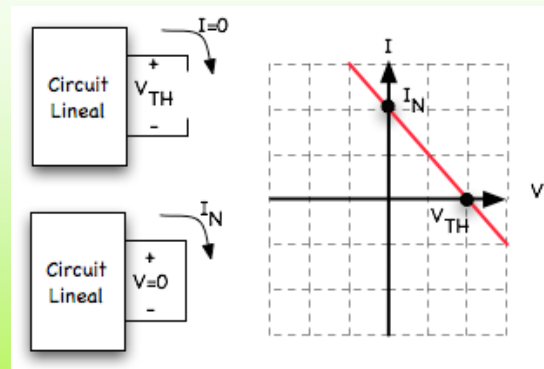


Teorema de Norton

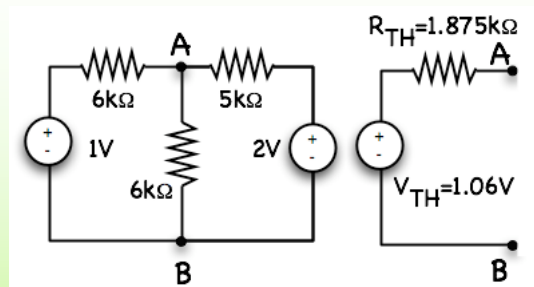
“Elegidos cualesquiera dos nodos de un circuito resistivo, éste se puede modelar mediante una fuente de corriente en paralelo con una resistencia”
 I_N es la corriente medida cuando cortocircuitamos los nodos de interés (tensión aplicada $V=0$)



Estimación de I_N y V_{TH}



Teorema de Thévenin



Cálculo de I_N y V_{TH}

$$V_{TH} = 1V \frac{6k\Omega \parallel 5k\Omega}{6k\Omega + 6k\Omega \parallel 5k\Omega} + 2V \frac{3k\Omega}{3k\Omega + 5k\Omega} = 1.06V$$

$$I_N = \frac{1V}{6k\Omega} + \frac{2V}{5k\Omega} = 0.566mA$$

$$R_{TH} = V_{TH} / I_N$$

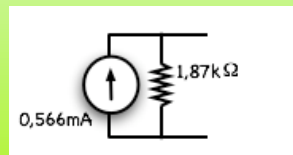
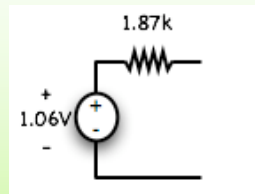
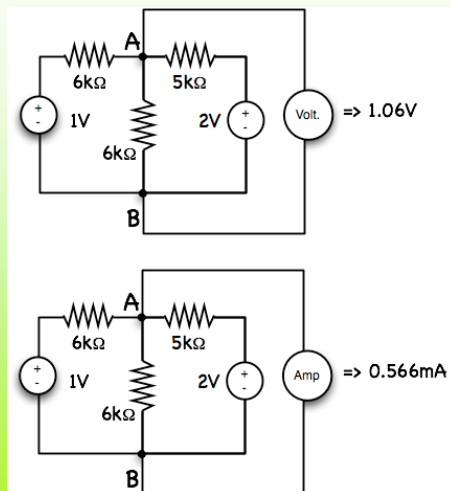
Teorema de Thévenin

- Metodología experimental de extracción del equivalente Thévenin:
 - Elijo los dos nodos de interés en donde quiero obtener mi equivalente Thévenin
 - Mido con un Voltímetro la tensión entre esos dos puntos (V_{TH})
 - Conecto un Amperímetro entre los dos puntos, la corriente medida es I_N
 - Aplico la fórmula $R_{TH}=V_{TH}/I_N$

Mediciones experimentales

- Amperímetro: Mide corrientes eléctricas, su resistencia interna es casi nula
- Voltímetro: Mide diferencias de tensión, su resistencia interna es muy grande ($R \approx \infty$)

Medición experimental



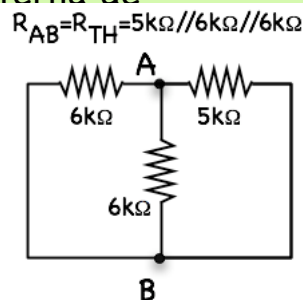
Estimación de R_{TH}

Estimación de R_{TH} :

Método 1: $R_{TH} = V_{TH} / I_N$

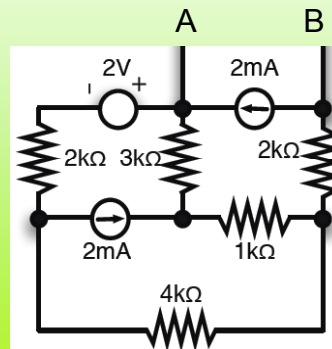
Método 2: Cálculo de R del circuito cuando se anulan las fuentes independientes

Método 3: Pongo una fuente externa de tensión (o de corriente) V_p (o corriente resultante I_p (o lo que sea) entonces $R_{TH} = V_p / I_p$



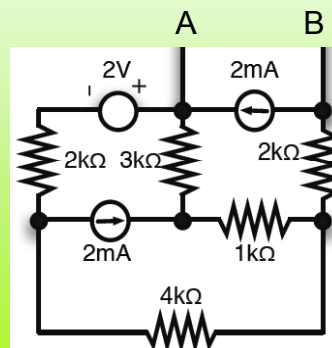
Uso de SPICE

- Ejemplo: Calcular el equivalente Thevenin entre A y B



Uso SPICE

```
*CIRCUIT (Calculo Vth) v(i2)=7.6V
R1 C F 2K
R2 D 0 1K
R3 D A 3K
R4 B 0 2K
R5 C 0 4K
I1 C D 2M
V1 A F 2
I2 B A 2M
.OP
.END
```



Uso SPICE

*CIRCUIT (Calculo In) $i(vx)=1.72mA$

R1 C F 2K

R2 D 0 1K

R3 D A 3K

R4 B 0 2K

R5 C 0 4K

I1 C D 2M

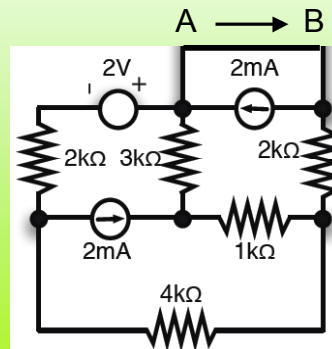
V1 A F 2

I2 B A 2M

VX A B 0

.OP

.END

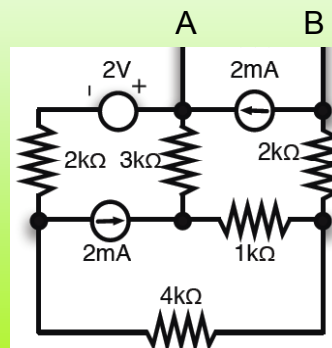


Equivalente Thevénin

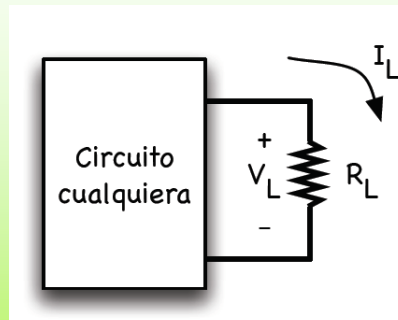
$$I_N = 1.72mA$$

$$V_{TH} = 7.6V$$

$$R = V_{TH} / I_N = 4.4K\Omega$$

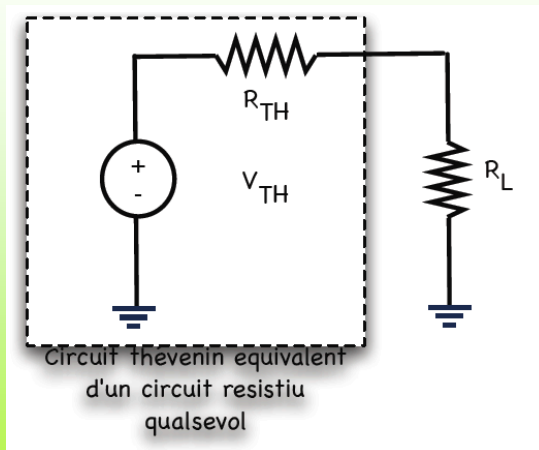


Teorema de máxima transferencia de carga



$$P_L = V_L \times I_L \text{ Máxima si } R_L = R_{TH}$$

Demostración del teorema de máxima transferencia de carga



$$P = IV = \frac{V_{TH}}{R_{TH} + R_L} V_{TH} \frac{R_L}{R_L + R_{TH}} = \frac{V_{TH}^2 R_L}{(R_L + R_{TH})^2}$$

Demostración del teorema de máxima transferencia de carga

$$P = \frac{V_{TH}^2 R_L}{(R_L + R_{TH})^2} \quad P \text{ máximo si } \frac{dP}{dR_{TH}} = 0 \text{ y } \frac{d^2P}{dR_{TH}^2} < 0$$

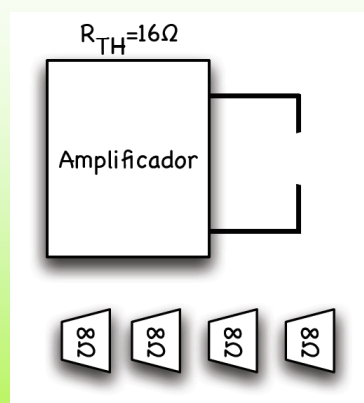
$$\frac{dP}{dR_L} = \frac{V_{TH}^2 (R_L + R_{TH})^2 - 2V_{TH}^2 R_L (R_L + R_{TH})}{(R_L + R_{TH})^4} = 0$$

$$V_{TH}^2 (R_L + R_{TH})^2 = 2V_{TH}^2 R_L (R_L + R_{TH})$$

$$(R_L + R_{TH}) = 2R_L$$

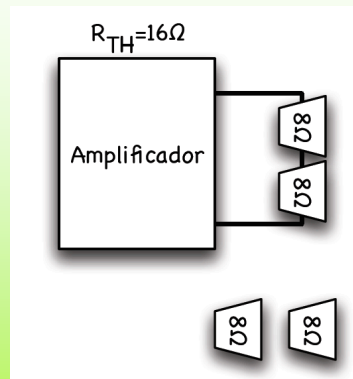
$$R_L = R_{TH}$$

Ejemplo de aplicación



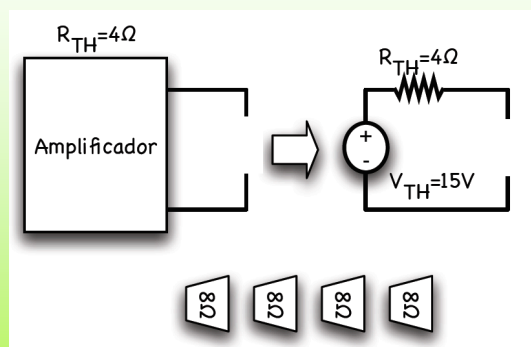
Conectar los altavoces para obtener la máxima transferencia de potencia del amplificador

Ejemplo de aplicación



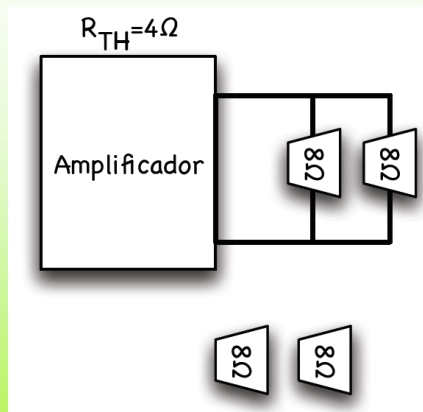
Solución: Conexión en paralelo de los altavoces

Problema



Conectar los altavoces para obtener la máxima transferencia de potencia del amplificador

Ejemplo aplicación



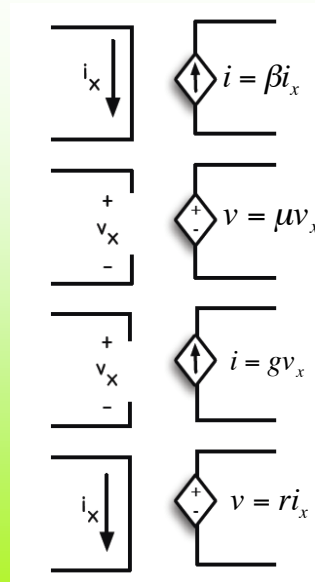
Solución: Conexión en paralelo de los altavoces

Tipos de fuentes a utilizar

	FUENTE DE CORRIENTE	FUENTE DE TENSIÓN
INDEPENDIENTE		
DEPENDIENTE		

Fuentes independientes

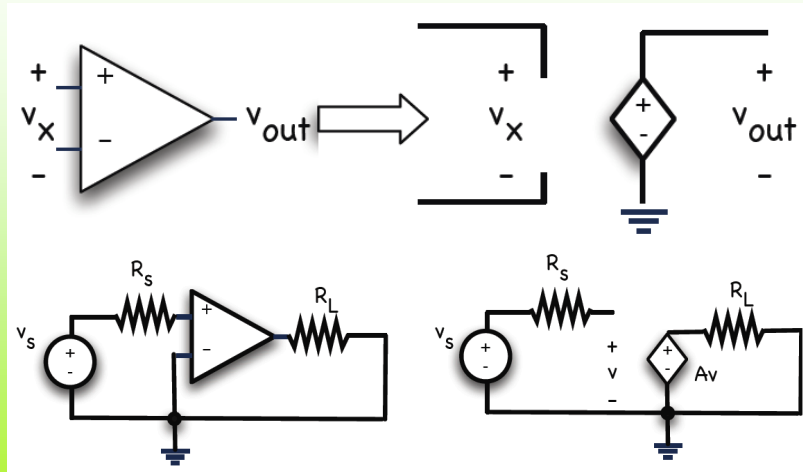
Sirven para emular circuitos complejos: Operacionales, transistores, diodos, ...



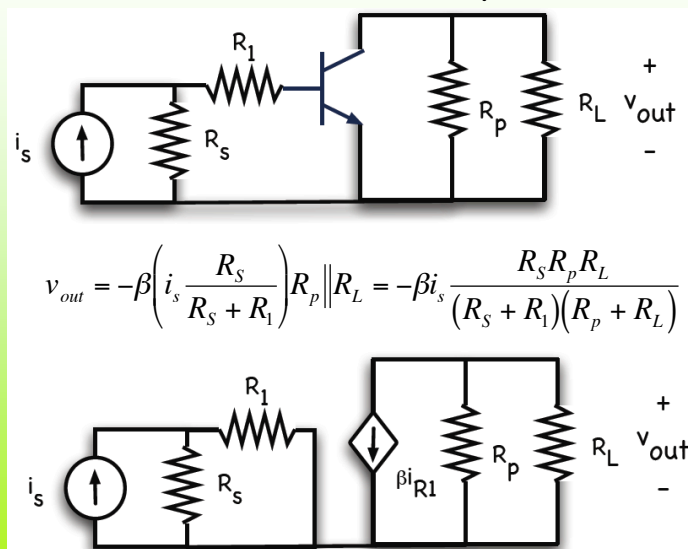
Fuentes dependientes

- Aplicaré las mismas reglas de resolución de circuitos teniendo en cuenta:
 - Al aplicar superposición o al calcular resistencias thevenin NO LAS PUEDO ANULAR
 - Sirven para modelar componentes complejos en determinados regímenes de operación (operacionales, diodos, transistores...)

Circuito equivalente A.O. (válido para señales débiles v_x)

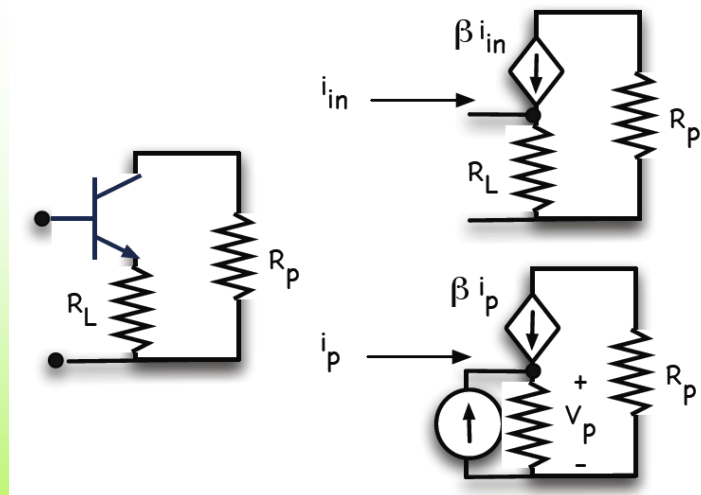


Modelo de bipolar



Cálculo de resistencias Thévenin

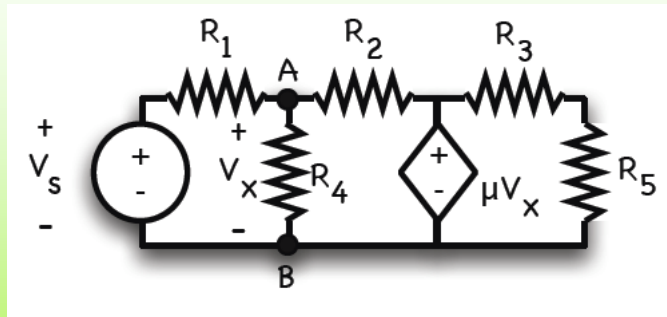
- Ponemos fuente de tensión (ó de corriente) de prueba a la entrada del circuito
- Anulamos las fuentes de tensión y corriente INDEPENDIENTES
- Calculamos $R_{TH}=V_p/I_p$



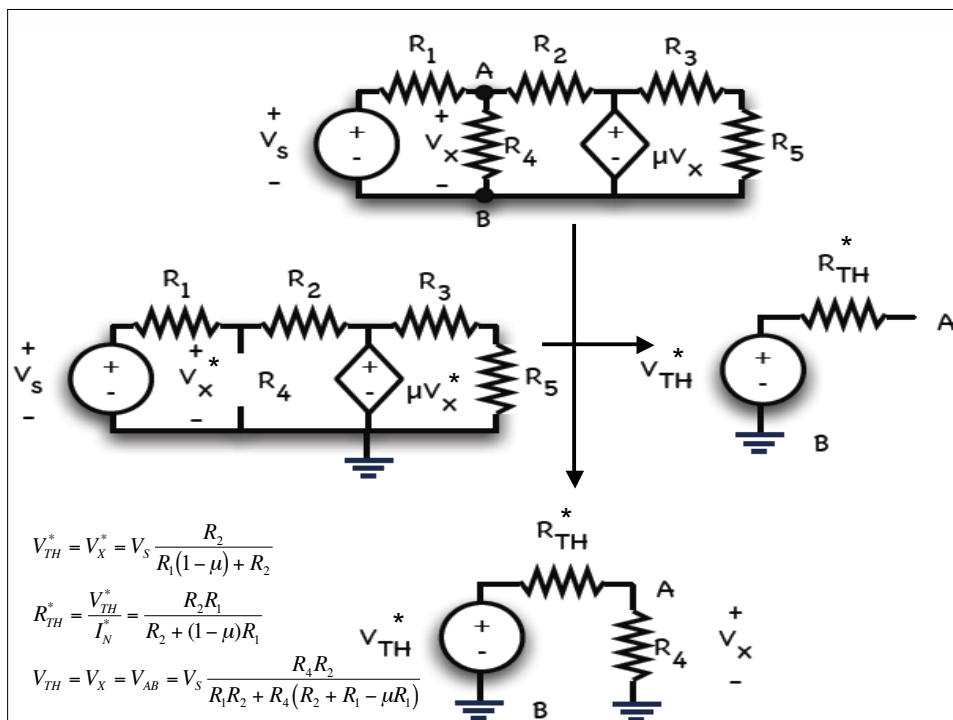
$$v_p = (\beta + 1)R_L i_p$$

$$R_{TH} = \frac{v_p}{i_p} = (\beta + 1)R_L$$

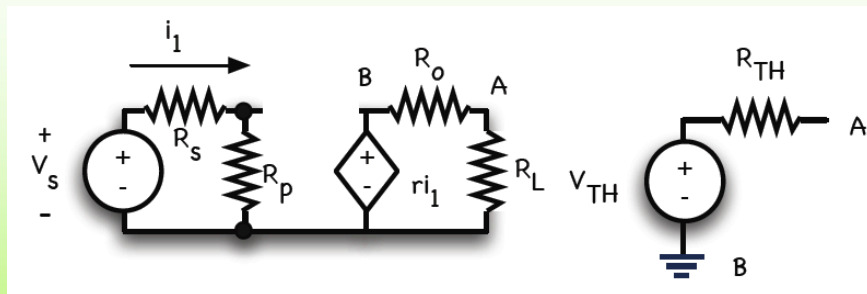
Cálculo de tensión V_{AB}



- Equivalente Thévenin entre A y B
- V_{AB} como divisor de tensión



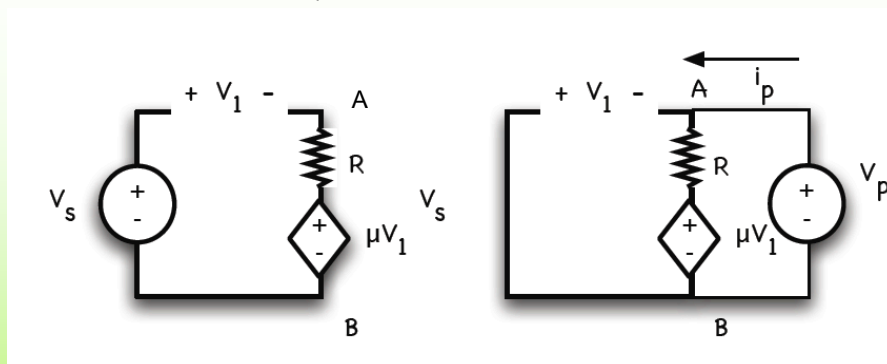
Cálculo equivalente Thévenin



$$V_{TH} = -\frac{r i_1}{R_0 + R_L} R_0 = -\frac{r V_s}{R_s + R_p} \left(\frac{R_0}{R_0 + R_L} \right)$$

$$R_{TH} = R_0 \parallel R_L = \frac{R_0 R_L}{R_0 + R_L}$$

Buscar equivalente Thévenin

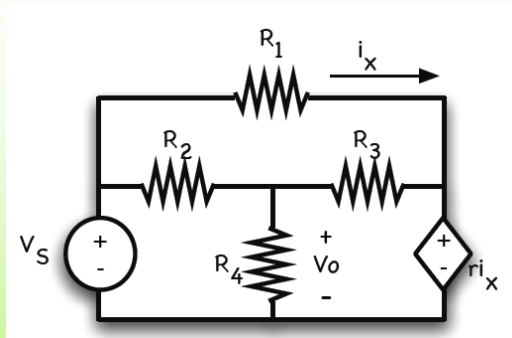


$$V_1 = V_s - \mu V_1$$

$$V_{TH} = \mu V_1 = \frac{\mu V_s}{1 + \mu}$$

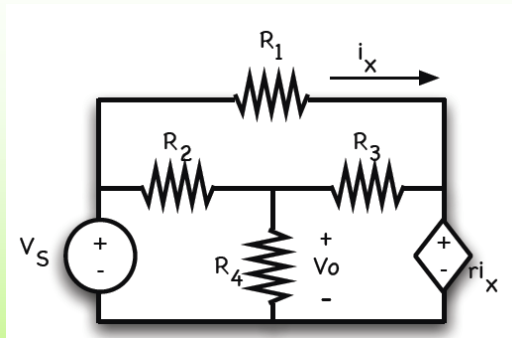
$$R_{TH} = \frac{V_p}{I_p} = \frac{R}{1 + \mu}$$

Calcular Vo



- Calcular i_x aplicando ley de Ohm
- Calcular V_o aplicando nodos en V_o

Calcular Vo



$$i_x = \frac{V_s}{r + R_1}$$

$$\frac{V_s - V_o}{R_2} + \frac{ri_x - V_o}{R_3} = \frac{V_o}{R_4}$$

$$V_o = V_s \frac{R_4(R_3r + R_1R_3 + rR_2)}{(r + R_1)(R_3R_2 + R_2R_4 + R_3R_4)}$$