

# Desplazamiento de fuentes en circuitos electrónicos

Albrecht Zwick

Fachhochschule Mannheim, Windeckstr. 110, 68163 Mannheim, Alemania

Tfno +49-621-292-6338, Fax +49-621-292-6350, email a.zwick@fh-mannheim.de

## 1. Fundamentos:

En la teoría de circuitos electrónicos hay, además de los cálculos mediante las leyes de Kirchoff, métodos más inteligentes, como por ejemplo el cálculo de fuente equivalente por medio de Thevenin y Norton o el teorema de superposición.

Un modelo añadido representa el desplazamiento de fuentes. En las figuras 1a y 1b está representado el desplazamiento de fuentes de tensión y de corriente.

**Figura 1a:** Entre los puntos A y B se encuentra, antes y después del desplazamiento, la fuente de tensión  $U$ . Igualmente entre A y C. Antes del desplazamiento hay entre los B y C una diferencia de tensión igual a 0. Después del desplazamiento:  $U-U = 0$ , por tanto se mantiene nula.

**Figura 1b:** A través del punto A circula, antes y después del desplazamiento, la corriente  $I$ . De igual manera circula la corriente por B. A través del punto C no circulaba corriente antes del desplazamiento. Después del desplazamiento:  $I-I = 0$ , por lo que se mantiene igual.

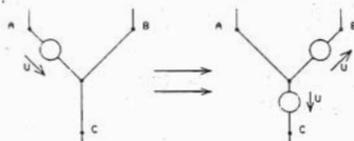


Figura 1a.

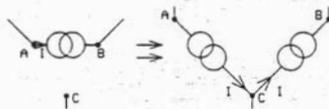


Figura 1b.

**Resultado:** El desplazamiento de estas fuentes no varía la problemática del circuito en lo referente a tensión y corriente. Desde fuera se considera idéntico.

## 2. Método del desplazamiento de fuentes

Conocimientos importantes de la teoría de circuitos electrónicos:

a) Todos los componentes paralelos a una fuente ideal de tensión pueden quedar, para el resto del circuito, fuera de consideración (Figura 2a). En el cálculo de la corriente  $I_b$  no influye la resistencia  $R_a$ .

b) Todos los componentes en serie con una fuente ideal de corriente pueden quedar, para el resto del circuito, fuera de consideración (Figura 2b). En el cálculo de la tensión  $U_b$  no influye la resistencia  $R_a$ .

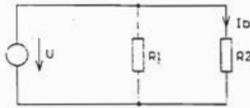


Figura 2a.

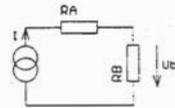


Figura 2b.

c) En un transistor se puede desplazar directamente la fuente de tensión desde el emisor hasta la base, al estar la fuente en el colector en serie con una fuente de corriente se desprecia.

d) En un amplificador operacional se puede por tanto desplazar una fuente de tensión de la entrada positiva a la entrada negativa y a la salida (figura 2d).

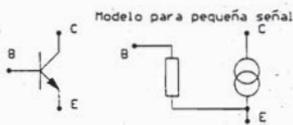


Figura 2c.

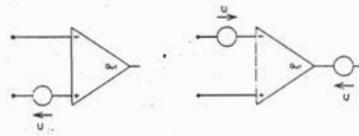


Figura 2d.

Normalmente se puede desplazar una fuente de tensión directamente a la salida en un circuito realimentado (figura 2e). Lo mismo es válido para una fuente de corriente I.

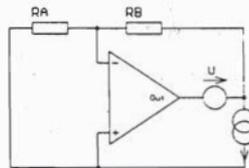


Figura 2e.

**Resultado:** Hay muchos puntos en un circuito electrónico en los cuales la nueva fuente, obtenida por medio de desplazamientos, puede desaparecer. Cuando el desplazamiento de una fuente no es lógico, se puede transformar por medio de Thevenin o Norton en su otra forma y ser desplazada.

### 3. Aplicaciones:

El método de desplazamiento de fuentes está recomendado para muchos problemas de circuitos electrónicos analógicos, especialmente para el cálculo de circuitos de bajo ruido, dado que entonces cada componente está representado por una o dos fuentes equivalentes que describen el ruido de éste. Entonces se puede, en un circuito con muchas fuentes, el cual será calculado fácilmente con ayuda de este método, trasladar todas por medio de desplazamientos a la salida, donde, en cuadrado, siempre pueden ser sumadas (suma de potencias).

#### 3.1 Cálculo del ruido de un circuito electrónico amplificador inversor

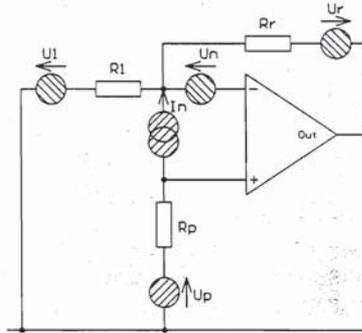


Fig. 3.1.1 Ruido de un circuito amplificador con AO

Todas las fuentes deben ser desplazadas a la salida con su mismo efecto o influencia.

a) con la ayuda de la superposición observamos a continuación solamente la fuente  $U_1$

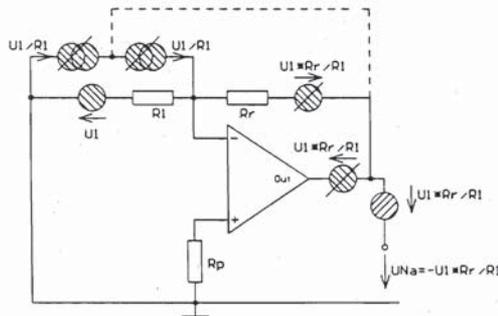


Figura 3.1.2 Desplazamiento de fuentes en un AO

Primero transformamos la fuente de tensión  $U_1$  en dos fuentes de corriente  $U_1/R_1$ . El punto de unión de estas fuentes se conecta ahora con la salida quedando una de ellas paralela a la salida, por lo tanto no tiene efecto y será despreciada.

La otra fuente de corriente es transformada con  $R_r$  nuevamente en una fuente de tensión ( $U_1 * R_r / R_1$ ). Ahora desplazamos esta fuente hacia la salida. Una fuente de tensión en serie a la salida de un AO no tiene efecto y por lo tanto queda también anulada.

Suponiendo que solamente la fuente de tensión ( $U_1 * R_r / R_1$ ) surte efecto tenemos en la salida la siguiente tensión:  $U_{Na} = - U_1 * R_r / R_1$

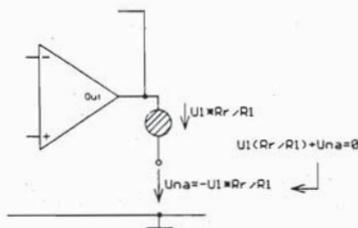


Figura 3.1.3 Cálculo de fuentes en un AO

b)  $U_N$  y  $U_p$  se encuentran en serie y pueden ser unidas. Esta nueva fuente es desplazada al nudo superior quedando así junto a  $U_1$  y  $U_r$  con la misma polaridad. El cálculo, a continuación, se realiza como para  $U_1$  y  $U_r$ .

$$U_{Na}^2 = (U_N^2 + U_p^2) \left(-1 - \frac{R_r}{R_1}\right)^2 = (U_N^2 + U_p^2) \left(1 + \frac{R_r}{R_1}\right)^2$$

c)  $I_N$  se transforma en dos fuentes de corriente en serie y su nudo común es conectado a 0. La fuente de corriente de arriba es transformada con  $R_1$  en una fuente de tensión junto a  $U_1$ . La de abajo es transformada con  $R_p$  en una fuente de tensión junto a  $U_p$ . Con la polaridad correcta se suman. entonces. ambas fuentes a la salida del AO. Ya que son fuentes idénticas, sumamos primero directamente, y después hacemos el cuadrado.

$$U_{Na}^2 = I_N^2 \left[ R_1 \left(-\frac{R_r}{R_1}\right) + R_p \left(-1 - \frac{R_r}{R_1}\right) \right]^2$$

$$U_{Na}^2 = I_N^2 \left[ R_r + R_p \left(1 + \frac{R_r}{R_1}\right) \right]^2$$

**Resultado final:**

$$U_{Na}^2 = (U_r^2 + U_1^2) \left(\frac{R_r}{R_1}\right)^2 + (U_N^2 + U_p^2) \left(1 + \frac{R_r}{R_1}\right)^2 + I_N^2 \left[ R_r + R_p \left(1 + \frac{R_r}{R_1}\right) \right]^2$$

### 3.2 Cálculo del ruido de una fuente de corriente

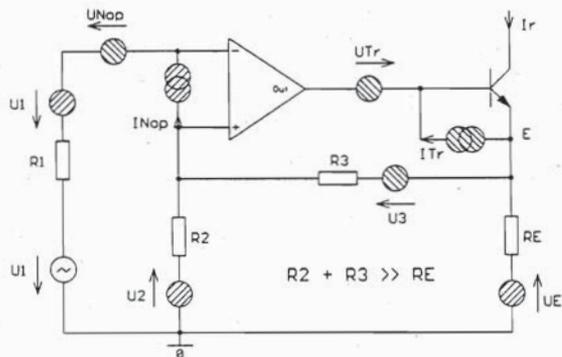


Figura 3.2.1. Fuente de corriente controlada por tensión, ruido.

Tomando en cuenta solamente la fuente de tensión  $U_E$  se tiene junto al punto E (ver Fig. 3.2.1) una caída de tensión de 0 voltios. El AO regula ese punto a 0 voltios. Ya que todas las otras fuentes, según el teorema de superposición no serán tomadas en consideración. La corriente de ruido  $I_R$  del circuito total viene dada ahora por:

$$I_R = \frac{U_E}{R_E}$$

Para calcular la corriente de ruido total se desplazan todas las fuentes de ruido (con su efecto o influencia) al punto  $U_E$ . La tensión de ruido  $U_{Tr}$  es compensada y por lo tanto se puede despreciar. La corriente de ruido  $I_{Tr}$  es reemplazada por dos fuentes de corriente de ruido en serie cuyo punto común es entonces conectado a 0. La fuente de ruido de corriente de la derecha, es paralela a la salida del AO y por lo tanto es despreciada. La fuente de la izquierda se calcula, junto a la fuente  $U_E$ , transformada con  $R_E$  en una fuente de tensión. (Fig. 3.2.2)

$$I_R = \frac{I_{Tr} R_E}{R_E} = I_{Tr}$$

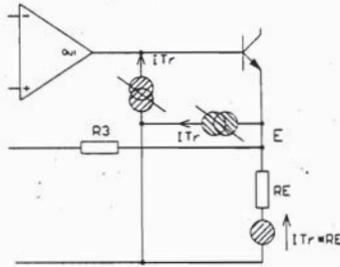


Fig. 3.2.2 Cálculo de la corriente de ruido  $I_{Tr}$ .

La fuente de ruido  $U_3$  es desplazada a través del nudo E y se sitúa tanto junto a  $U_E$  así como también junto a  $U_{Tr}$  la cual es, también, despreciada.

$$I_R = \frac{U_3}{R_E}$$

La fuente  $U_2$  se transforma en una fuente de corriente de ruido  $U_2/R_2$ . Ahora se reemplaza esa fuente de corriente por dos fuentes de corriente iguales y en serie, cuya unión común es conectada con el punto E. (Fig. 3.2.3)

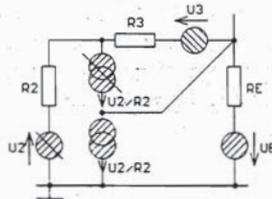


Fig. 3.2.3 Cálculo de la fuente de ruido  $U_2$

Después se transforman de nuevo esas dos fuentes de corriente de ruido con  $R_3$  y  $R_E$  respectivamente en dos fuentes de tensión de ruido. De aquí resulta:

$$I_R = \frac{U_2}{R_2} (R_3 + R_E) \frac{1}{R_E}$$

Las fuentes de tensión de ruido  $U_{OP}$  y  $U_1$  se comportan de la misma forma. Estas son desplazadas a través del Operacional y quedan nuevamente junto a  $U_2$  y  $U_3$  con la misma polaridad y pueden ser sumadas (Fig. 3.2.4).

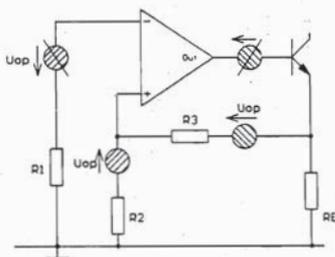


Figura 3.2.4. Cálculo de la fuente de ruido  $U_{OP}$

Utilizando el resultado anterior se obtiene:

$$I_R = \frac{1}{R_E} [U_{OP} + U_{OP} \frac{R_3 + R_E}{R_2}]$$

así como

$$I_R = \frac{1}{R_E} [U_1 + U_1 \frac{R_3 + R_E}{R_2}]$$

La fuente de corriente de ruido  $I_{OP}$  es reemplazada por dos fuentes de corriente iguales cuyo punto común es conectado a 0. Por medio de una transformación se obtienen dos fuentes de tensión de ruido junto a  $U_1$  y  $U_2$  respectivamente y con la polaridad anterior, de tal forma que, utilizando los resultados anteriores para  $U_1$  y  $U_2$  obtenemos para  $I_r$  (ver fig. 3.2.5) :

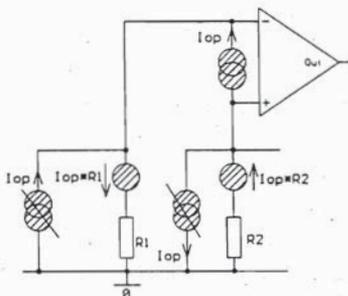


Fig. 3.2.5 Cálculo de la corriente de ruido  $I_{OP}$

$$I_R = \frac{1}{R_E} [I_{OP} R I (1 + \frac{R_3 + R_E}{R_2}) + I_{OP} R_2 \frac{1}{R_2} (R_3 + R_E)]$$

$$I_R = \frac{1}{R_E} I_{OP} [R I + (R_3 + R_E) (1 + \frac{R_1}{R_2})]$$

Para el cálculo de la corriente de ruido total se deben sumar todas las componentes al cuadrado (suma de potencias).

$$I_R^2 = (\frac{U_E}{R_E})^2 + I_{Tr}^2 + (\frac{U_3}{R_E})^2 + (\frac{U_2}{R_E})^2 (\frac{R_3 + R_E}{R_2})^2 + (U_{OP}^2 + U_1^2) (\frac{1}{R_E})^2 (1 + \frac{R_3 + R_E}{R_2})^2 + I_{OP}^2 (\frac{1}{R_E})^2 [R_1 + (R_3 + R_E) (1 + \frac{R_1}{R_2})]^2$$

#### **4. Programa de demostración interactivo**

Para ilustración de lo expuesto sobre desplazamiento de fuentes en un circuito electrónico se ha desarrollado un programa interactivo para Windows NT/Windows 95. El programa consta de las siguientes propiedades y funciones:

- Editor para generación de un circuito electrónico mediante empleo de una lista (biblioteca) de componentes.
- Cálculo semi-automático de un circuito modificado mediante desplazamiento de fuentes.
- Cálculo esquemático de transformación de fuentes.