

## Característica exponencial de un transistor bipolar

Si la tensión base-emisor de un transistor bipolar es la suma de una componente  $DC$  más una componente  $AC$ ,  $v_{BE} = V_{dc} + V_1 \cos \omega t$ , y el valor medio de la corriente de colector es  $I_C$ , la corriente de colector del transistor,  $i_C = I_S \exp(v_{BE}/V_T)$ , se puede escribir como

$$i_C = I_S e^{V_{dc}/V_T} e^{x \cos \omega t} = I_C e^{x \cos \omega t}, \quad (1)$$

donde  $x = V_1/V_T$  y  $V_T = kT/q$  ( $\approx 25$  mV a temperatura ambiente). Si  $x \rightarrow 0$ ,

$$i_C = I_C (1 + x \cos \omega t) = I_C + g_m V_1 \cos \omega t,$$

donde  $g_m = I_C/V_T$  es la transconductancia de pequeña señal del BJT.

La ecuación (1) es periódica con período  $T = \omega/2\pi$  y, para valores arbitrarios de  $x$ , se puede expresar por su desarrollo en serie de Fourier<sup>1</sup>

$$i_C = I_C \left[ 1 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n(x) \cos n\omega t, \right] \quad (2)$$

$$= I_C + G_m(x) V_1 \cos \omega t + \text{armónicos} \quad (3)$$

donde  $G_m(x)$  es la transconductancia de gran señal. Si  $x \rightarrow 0$ ,  $G_m(x) \rightarrow g_m$ .

La tabla siguiente muestra los primeros coeficientes de la serie de Fourier (2) y el cociente  $G_m(x)/g_m$ , donde

$$G_m(x) = g_m \frac{a_1(x)}{x}.$$

$x$	$a_1(x)$	$a_2(x)/a_1(x)$	$a_3(x)/a_1(x)$	$G_m(x)/g_m$
0	0.000	0.000	0.000	1.0
0.1	0.099	0.024	—	0.999
0.5	0.485	0.124	0.010	0.970
1	0.893	0.240	0.039	0.893
2	1.396	0.433	0.134	0.698
5	1.787	0.719	0.425	0.357
10	1.897	0.854	0.658	0.190

Del análisis de esta tabla obtenemos las conclusiones siguientes:

1. Si  $x < 0.1$ , la distorsión es despreciable y la corriente de colector se puede expresar como

$$i_C \approx I_C + g_m V_1 \cos \omega t$$

2. Si  $x < 1$  el primer armónico en la corriente de colector es proporcional a la señal de entrada pues

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

---

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

<sup>1</sup>Este análisis se ha sacado de las páginas 104-109 del libro de **K. K. Clarke, D. T. Hess**. *Communication Circuits: Analysis and Design*. Addison-Wesley Reading, Mass., 1971.

### Característica diferencial

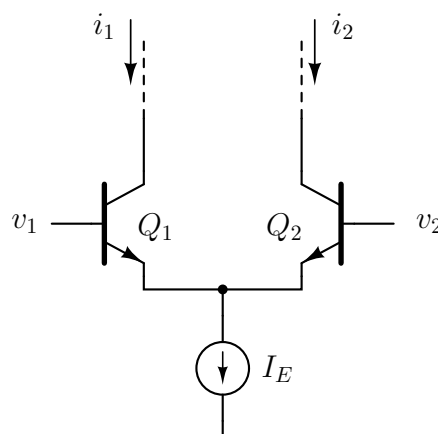
Si la tensión aplicada entre las bases de los transistores del par diferencial de la figura es  $v_d = v_1 - v_2 = V_1 \cos \omega t$ , la corriente de colector de los transistores se puede escribir como  $i_1 = I_E/2 + \Delta i$ , e  $i_2 = I_E/2 - \Delta i$ , donde<sup>2</sup>

$$\Delta i = I_E \sum_{k, \text{impar}}^{\infty} a_k(x) \cos k\omega t, = G_m(x) V_1 \cos \omega t + \text{armónicos impares}, \quad (4)$$

$x = V_1/V_T$ ,  $V_T = kT/q$  ( $= 25 \text{ mV}$  a temperatura ambiente), y

$$G_m(x) = \frac{4a_1(x)}{x} g_m.$$

La transconductancia de pequeña señal del diferencial (no confundir con la transconductancia del transistor) es  $g_m = I_E/4V_T$ . Para valores de  $x \leq 1$ , o  $V_1 \leq 25 \text{ mV}$ ,  $G_m \approx g_m$ .



La tabla siguiente muestra los coeficientes más importantes de la serie de Fourier de la corriente  $\Delta i$ .

$x$	$a_1(x)$	$a_3(x)$	$a_5(x)$
0	0.0000	0.0000	0.0000
0.5	0.1231	—	—
1	0.2356	-0.0046	—
1.5	0.3305	-0.0136	—
2	0.4058	-0.0271	—
2.5	0.4631	-0.0435	0.0023
3	0.5054	-0.0611	0.0097
4	0.5586	—	—

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

---

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

<sup>2</sup>Este análisis se ha sacado de las páginas 114-119 del libro de **K. K. Clarke, D. T. Hess**. *Communication Circuits: Analysis and Design*. Addison-Wesley, Reading, Mass., 1971.

2. Si  $x < 0.5$ , la distorsión es despreciable y el cambio en la corriente de colector se puede expresar como

$$\Delta i \approx g_m V_1 \cos \omega t$$

donde  $g_m$  es la transconductancia del par diferencial, que es la mitad que la de cada uno de sus transistores.

3. Si  $x < 1$ , el primer armónico en la corriente de colector es proporcional a la señal de entrada pues  $G_m(x) \approx g_m$  y, por tanto,

$$\Delta i \approx g_m V_1 \cos \omega t + \text{armónicos}$$

### Circuito resonante paralelo RLC

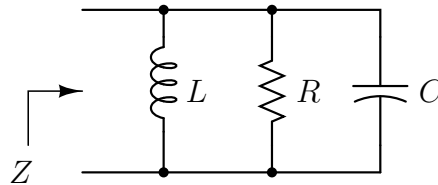
La figura muestra un circuito resonante RLC paralelo. Su impedancia  $Z(s)$  viene dada por

$$Z = \frac{(1/C) s}{s^2 + s/RC + 1/LC}$$

Si el factor de calidad del circuito RLC paralelo es muy grande,  $Q \gg 1$ , la magnitud de la impedancia del circuito a la frecuencia resonante  $\omega_0$ ,  $|Z(j\omega_0)|$ , es, en general, mayor que la magnitud de la impedancia a múltiplos de  $\omega_0$ ,  $|Z(jn\omega_0)|$ , donde  $n = 2, 3, \dots$ . En este caso,

$$\frac{|Z(jn\omega_0)|}{|Z(j\omega_0)|} \approx \frac{n}{(n^2 - 1)Q}$$

Recuerde que el  $Q$  del circuito resonante es el cociente entre la frecuencia central y su ancho de banda.



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99