

AMPLIACIONES DIFERENCIALES

RAUL A. FUNES

Prof. Titular de Electrónica General

1. Gráficas de las características de transferencia

Se estudian las características de transferencia y las ganancias de tensión obtenibles de los amplificadores diferenciales realizados con transistores Bipolares y Unipolares (FET's). Considerando las ecuaciones de Ebers y Moll para los transistores bipolares y para los transistores FET una ley de variación cuadrática, se obtienen las ecuaciones que rigen las características de transferencia. Utilizando como transistor bipolar el 2N2222A como FET el 2N3819.

**Para los Transistores
Bipolares**

$$R := 1.0 \cdot 10^3 \text{ Ohm}$$

$$\beta := 250$$

$$V_t := 25.6 \cdot 10^{-3} \text{ V}$$

$$I := 2 \cdot 10^{-3} \text{ A}$$

$$V_o(v_{in}) := \frac{\beta}{\beta + 1} \cdot R \cdot I \cdot \tanh\left(\frac{v_{in}}{2 \cdot V_t}\right)$$

**Para los Transistores
Unipolares**

$$V_p := 1.4 \text{ V}$$

$$I_{ss} := 3.33 \cdot 10^{-3} \text{ A}$$

$$I_s := 2 \cdot 10^{-3} \text{ A}$$

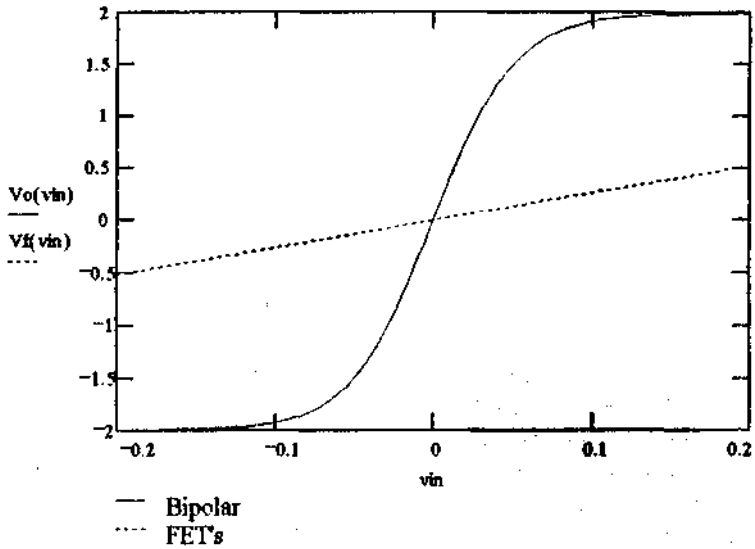
$$V_f(v_{in}) := R \cdot \sqrt{2 \cdot I_{ss}} \cdot \frac{v_{in}}{V_p} \cdot \sqrt{\left(\frac{I_s}{I_{ss}} - \frac{v_{in}^2}{2 \cdot V_p^2}\right)}$$

$$\frac{\beta}{\beta + 1} \cdot R \cdot I = 1.992 \text{ V}$$

<-Máximo de la
característica->

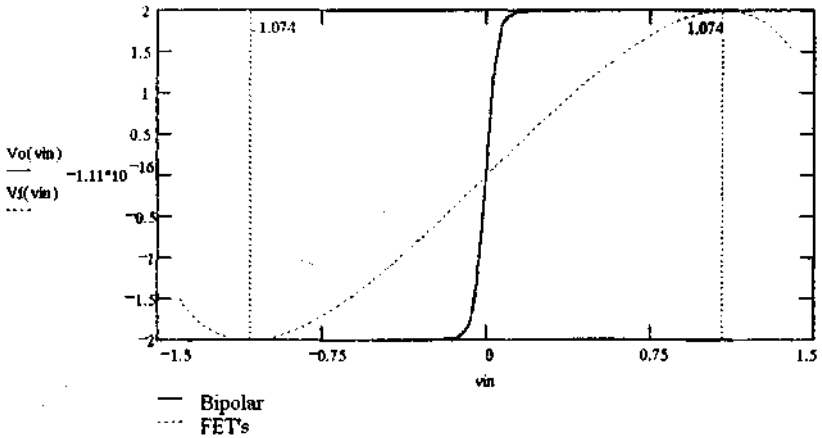
$$V_p \cdot \sqrt{\frac{I_s}{I_{ss}}} = 1.085 \text{ V}$$

Para graficar: $V_{in} := -2 \dots 2$



Graficando en un rango mayor de la señal de entrada:

$V_{in} := -1.4, -1.38.. 1.4$



Aquí es sencillo ver que comprobando las pendientes de ambas curvas, la ganancia provista por el bipolar es mucho mayor que la del FET.

2. Gráfica de las ampliaciones

De las fórmulas de las características de transferencia se puede deducir cual es la amplificación máxima, para V_{in} tendiendo a cero:

$$A := \frac{\beta}{\beta + 1} \cdot R \cdot I \cdot \frac{1}{2 \cdot V_t} \qquad A_d := \frac{R \cdot \sqrt{2 \cdot I_{ss}}}{V_p} \cdot \left(\frac{I_s}{I_{ss}} - \frac{0}{2 \cdot V_p^2} \right)$$

$$A=38.907 \quad \leftarrow \text{Amplificación Máxima} \rightarrow \quad A_d=2.607$$

Pero formalmente derivando con respecto a V_{in} las funciones que expresan el andar de la tensión de salida, se obtienen las expresiones de las ampliaciones, o sea:

Para los transistores bipolares

$$A(v_{in}) := \frac{\beta}{\beta + 1} \cdot R \cdot I \cdot \frac{1}{V_t} \cdot \frac{1}{1 + \cosh\left(\frac{v_{in}}{V_t}\right)}$$

Para los transistores unipolares

$$A_d(v_{in}) := R \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{I_{ss}}{V_p} \cdot \frac{\frac{I_s}{I_{ss}} - 2 \cdot v_{in}^2}{\sqrt{\left(\frac{I_s}{I_{ss}} - v_{in}^2\right)}}$$

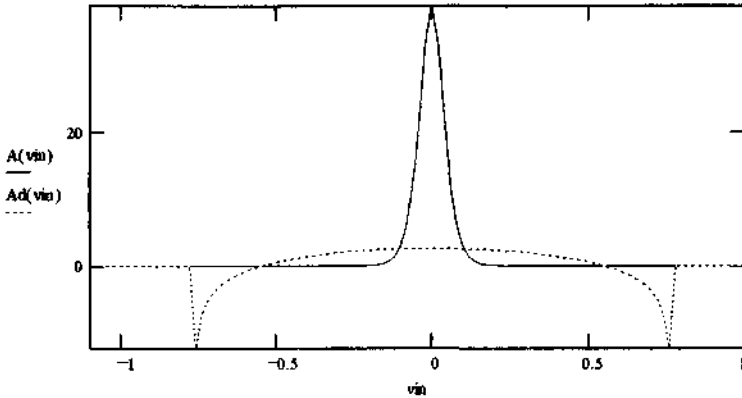
$$2 \cdot \frac{\beta}{\beta + 1} \cdot \frac{R \cdot I}{V_t} = 38.907 \quad \leftarrow \text{Amplificación Máxima} \rightarrow \quad \frac{R \cdot \sqrt{2 \cdot \sqrt{I_{ss}}}}{V_p} \cdot \sqrt{I_s} = 2.607$$

O sea que las ganancias para bipolares y unipolares son respectivamente:

ampliación máxima con bipolares: 38.676

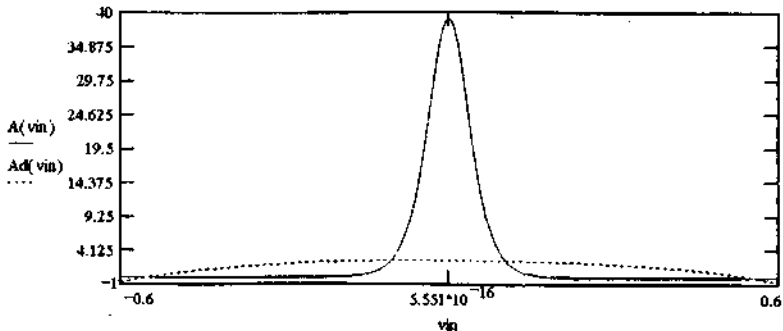
ampliación máxima con unipolares: 2.633

De manera que, en este caso, se puede calcular que la ganancia con bipolares es 14.689 veces mayor que con unipolares



Las partes negativas de la Ad que se ven en la figura anterior son solamente una gráfica matemática que no se corresponden con la realidad, por lo tanto se debe tener en cuenta solamente la parte positiva de la misma, de manera que reduciendo el rango de variación de entrada tendremos:

Vin:=-0.6,-0.595.. 0.6



Donde se destaca que la característica del transistor bipolar produce una ampliación máxima mucho mayor que la provista por el FET.

3. Representación gráfica de los valores experimentales de laboratorio

Los valores experimentales de laboratorio son almacenados en diferentes archivos que contienen los datos de la variable independiente (V_{in}), como así también los resultados de los circuitos, bipolar y unipolar.

$V_{in} := \text{READPRN}(\text{in})$ Datos de la señal de entrada

$V_b := \text{READPRN}(\text{bipolar})$ Datos de la señal de salida bipolar

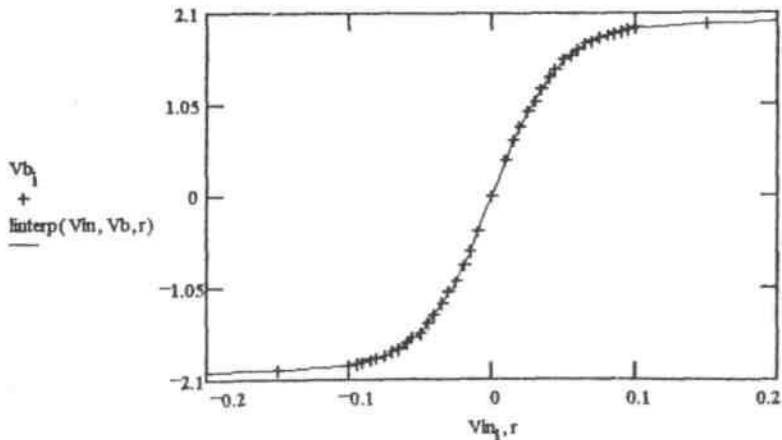
$V_u := \text{READPRN}(\text{unipolar})$ Datos de la señal de salida unipolar

$N := 43$ Cantidad de datos

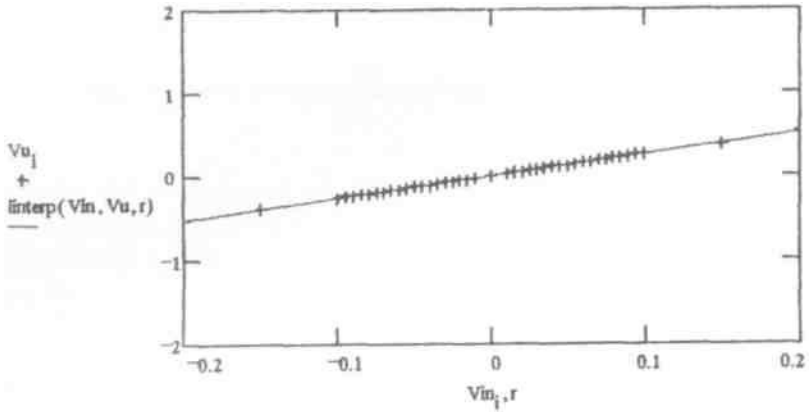
$j := 0..(N - 1)$ $d_i := \text{lspline}(V_{in}, V_b)$

3.1. Características de Transferencia con Transistor Bipolar

$r := -.2, -.195.. 0.2$ \Leftarrow Rango de graficación



3.2. Característica de Transferencia con Transistor Unipolar



3.3. Amplificación con Transistores Bipolares

Vina:=READPRN(AMPLIF) Datos de la señal de entrada bipolar

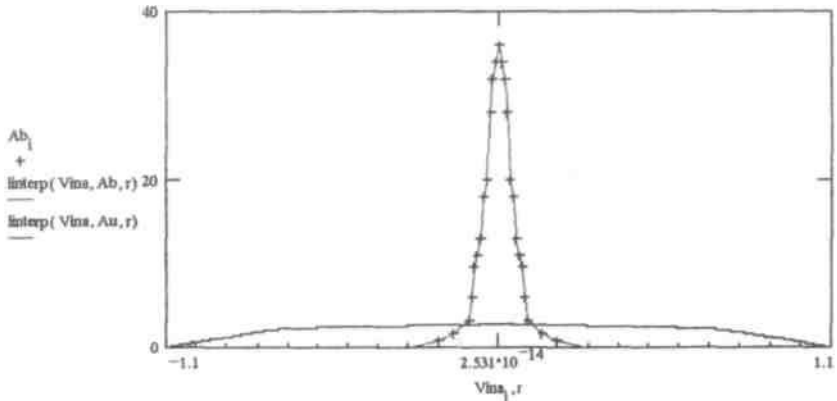
Ab:=READPRN(AMPBIP) Datos de la señal de salida bipolar

Au:=READPRN(AMPUNIP) Datos de la señal de salida bipolar

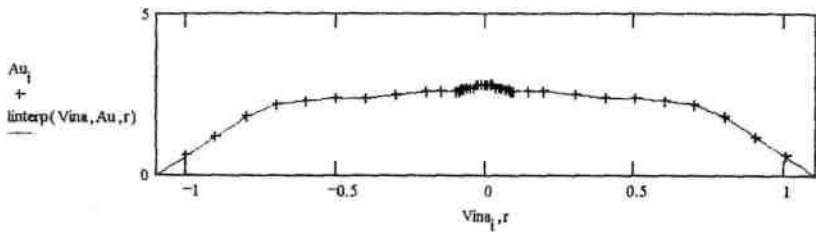
N:=43 Cantidad de datos

i:=0..(N-1)

r:=-1.1 , -1.095.. 1.1 Rango de graficación



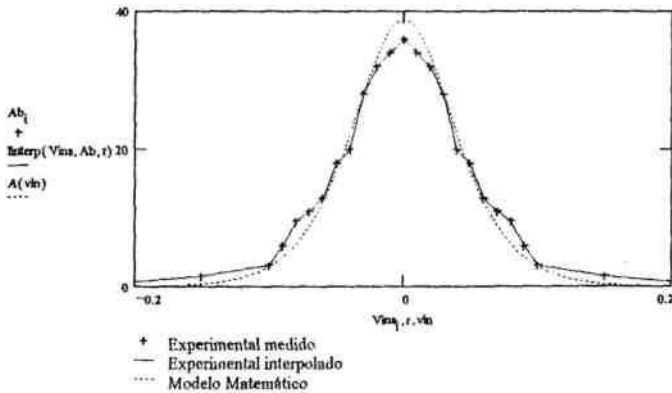
3.4. Amplificación con Transistores Unipolares



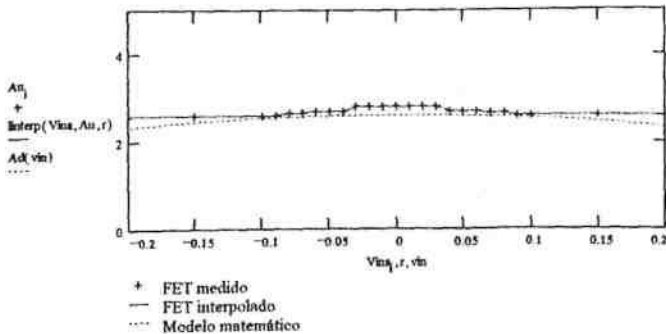
3.5. Comparación gráfica de los resultados experimentales con los módulos matemáticos

Disminuyendo el rango de variación en la gráfica podremos apreciar como los modelos se ajustan en gran medida a la realidad.

3.5.1. Para transistores bipolares

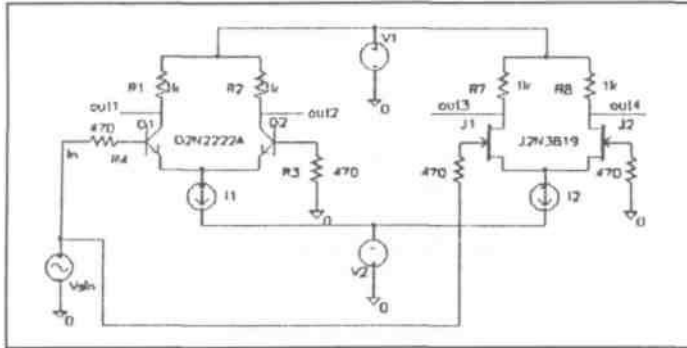


3.5.2. Para transistores FET

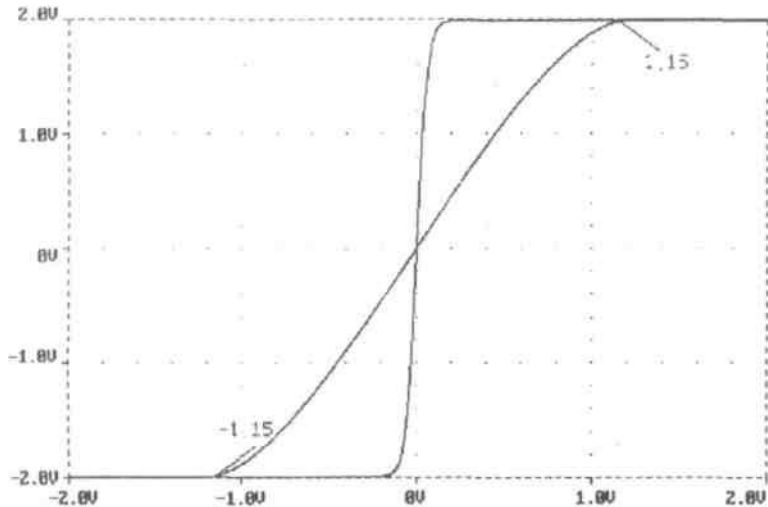


4. Simulación con computadora

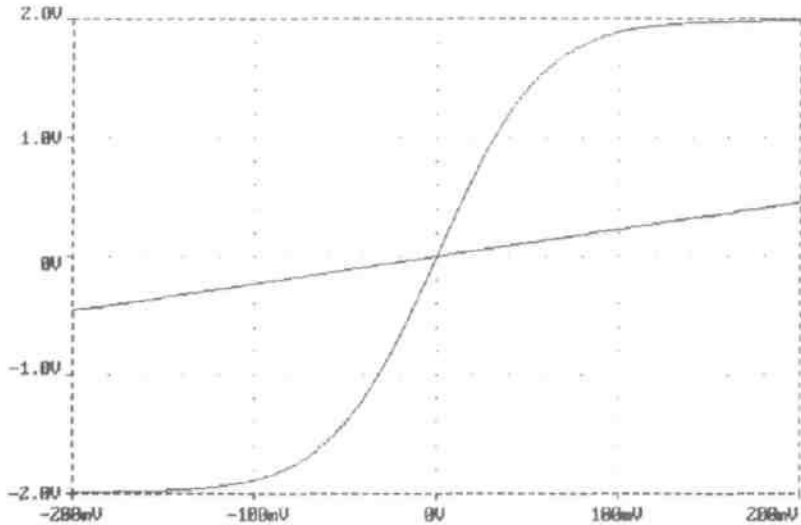
Se utilizará un software Desktop EDA, en particular el Pspice versión 5.3, para simular el funcionamiento de los circuitos, con transistores bipolares y unipolares. Los circuitos a ser simulados se representan en la siguiente figura:



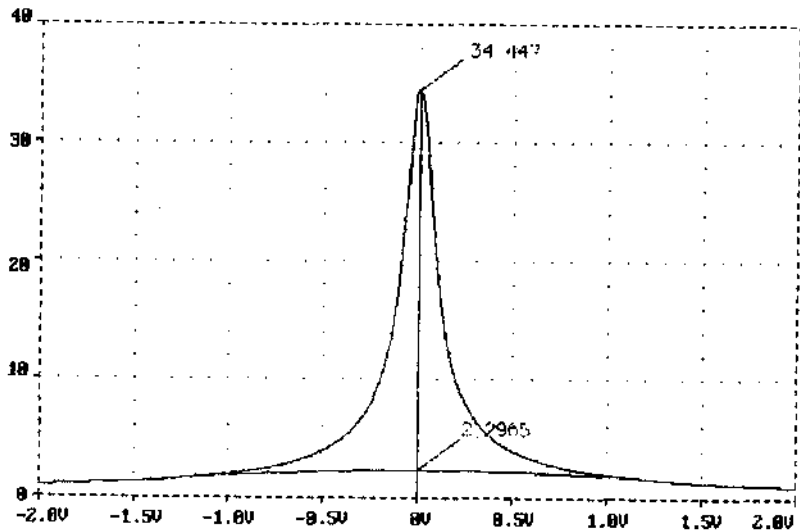
4.1. La característica de transferencia extendida se puede ver en la siguiente figura:



Se puede apreciar que los máximos y mínimos son similares a los ya calculados y medidos. La característica en un menor rango de la entrada se puede ver en la figura siguiente:



4.2. Finalmente las curvas de amplificación son las siguientes:



Donde se pueden observar valores similares a los ya calculados y medidos.

5. Referencias bibliográficas

The Art of Electronics - Horowitz-Hill 1990 - Cambridge University Press.

Electrónica Integrada - Millman y Halkias - 7^o edición, 1986 - Hispano Europea S.A.

Circuitos Electrónicos - Schilling, Belove – 2^o edición, 1985 - Marcombo, Boixareu Editores.