

# Introducción a los Dispositivos Electrónicos [TB064]

## 1 Diodos

Caída de tensión en el diodo

$$V_D = V_A - V_K \quad (1)$$

Corriente en el diodo de juntura

$$I_D = I_S \cdot \left[ \exp \left( \frac{V_D}{nV_{th}} \right) - 1 \right] \quad (2)$$

Tensión térmica

$$V_{th} = \frac{kT}{q} \quad (3)$$

Regla de los 60mV

$$I_D \times 10 = V_D + 60mV \quad (4)$$

### 1.1 Modelo de pequeña señal diodo

Caída de tensión en el diodo

$$v_D(t) = V_D + v_d(t) \quad (5)$$

Validez del MPS

$$v_D < 10mV$$

Corriente en el diodo

$$i_D(t) = I_D + i_d(t) = I_D + \frac{I_D + I_S}{nV_{th}} \cdot v_d(t) \quad (6)$$

Conductancia

$$g_D = \left. \frac{\partial i_D}{\partial v_D} \right|_Q = \frac{I_D + I_S}{nV_{th}} = \frac{1}{r_D} \quad (7)$$

Capacidad total del diodo

$$C_D = C_d + C_j \quad (8)$$

Capacidad de difusión

$$C_d = \frac{\tau_T \cdot I_D}{nV_{th}} \quad (9)$$

Capacidad de juntura

$$C_j = \frac{C_{j0}}{\sqrt{1 - \frac{V_D}{\phi_B}}} \quad (10)$$

## 2 Transistor Bipolar de Juntura TBJ

Punto de polarización

$$Q = (I_C; V_{CE}) \quad (11)$$

Corriente de base NPN (con efecto early)

$$I_B = \frac{I_S}{\beta} \cdot \exp \left( \frac{V_{BE}}{nV_{th}} \right) \cdot \left( 1 + \frac{V_{CE}}{V_A} \right) \quad (12)$$

Corriente de colector NPN (con efecto early)

$$I_C = \beta I_B \cdot \left( 1 + \frac{V_{CE}}{V_A} \right) \quad (13)$$

Condiciones de polarización TBJ NPN

$$MAD : \begin{cases} V_{BE} = 0,7V \\ V_{CE} > V_{CE(SAT)} = 0,2V \\ V_{BE} - V_{CE} - V_{BC} = 0 \end{cases} \quad (14)$$

Condiciones de polarización TBJ PNP

$$MAD : \begin{cases} V_{BE} = -0,7V \\ V_{CE} < V_{CE(SAT)} = -0,2V \\ V_{BE} + V_{CE} + V_{BC} = 0 \end{cases} \quad (15)$$

### 2.1 Modelo de pequeña señal TBJ

Validez del MPS

$$v_{be} \leq 10mV \quad (16)$$

Transconductancia de salida

$$g_m = \left. \frac{\partial i_C}{\partial v_{BE}} \right|_Q = \frac{I_{CQ}}{V_{th}} \quad (17)$$

Conductancia de salida

$$g_o = \left. \frac{\partial i_C}{\partial v_{CE}} \right|_Q = \frac{I_{CQ}}{V_A} \quad (18)$$

Conductancia de entrada

$$g_\pi = \left. \frac{\partial i_B}{\partial v_{BE}} \right|_Q = \frac{g_m}{\beta} \quad (19)$$

Conductancia de retroalimentación

$$g_\mu = \left. \frac{\partial i_B}{\partial v_{CE}} \right|_Q \simeq 0 \quad (20)$$

### 3 MOSFET

Relación entre tensiones

$$V_{DS(SAT)} = V_{GS} - V_T \quad (21)$$

Condiciones de polarización NMOS

$$Saturation \begin{cases} V_{GS} > V_T \\ V_{DS} > V_{DS(SAT)} \\ I_D = \frac{1}{2} k'_n \frac{W}{L} [V_{DS(SAT)}]^2 \end{cases}$$

Condiciones de polarización PMOS

$$Saturation \begin{cases} V_{GS} < V_T \\ V_{DS} < V_{DS(SAT)} \\ I_D = -\frac{1}{2} k'_p \frac{W}{L} [V_{DS(SAT)}]^2 \end{cases}$$

Efecto de modulación del largo del canal

$$I_D \cdot (1 + \lambda V_{DS}) \quad (22)$$

Relación tensión de early y EMLC

$$\lambda = \frac{1}{V_A} \quad (23)$$

Back-Gate NMOS

$$V_T = V_{T0} + \gamma \left[ \sqrt{(-2\phi_p - V_{BS})} - \sqrt{(-2\phi_p)} \right] \quad (24)$$

Back-Gate PMOS

$$V_T = V_{T0} - \gamma \left[ \sqrt{2\phi_n - V_{BS}} - \sqrt{2\phi_n} \right] \quad (25)$$

#### 3.1 Modelo de pequeña señal MOSFET

Validez del MPS

$$v_{gs} \leq 0,2 \cdot (V_{GS} - V_T) \quad (26)$$

Transconductancia de salida

$$g_m = \left. \frac{\partial i_D}{\partial v_{GS}} \right|_Q = 2k(V_{GS} - V_T) \quad (27)$$

Conductancia de salida

$$g_o = \left. \frac{\partial i_D}{\partial v_{DS}} \right|_Q = \lambda \cdot I_{DQ} \quad (28)$$

### 4 Amplificadores

#### 4.1 Parámetros característicos

Parámetros del amplificador sin fuente de señal ni carga.

Ganancia de tensión sin carga

- Se aplica fuente de prueba a la entrada y se saca la carga.

$$A_{vo} = \left. \frac{v_{out}}{v_{in}} \right|_{i_{out}=0} < 0 \quad (29)$$

Resistencia de entrada

- Se aplica fuente de prueba a la entrada y se saca la carga.

$$R_{in} = \left. \frac{v_{in}}{i_{in}} \right|_{i_{out}=0} \quad (30)$$

Resistencia de entrada

- Se reemplaza la carga por una fuente de prueba a la salida y el generador controlado no se enciende.

$$R_{out} = \left. \frac{v_{out}}{i_{out}} \right|_{v_{in}=0} \quad (31)$$

#### 4.2 Parámetros en funcionamiento

Parámetros del amplificador con carga y fuente de señal.

Ganancia de tensión en funcionamiento

- Se tiene en cuenta la fuente de señal con su resistencia interna y la carga.

$$A_{vs} = \left. \frac{v_{out}}{v_{sig}} \right|_{i_{out} \neq 0} \quad (32)$$

Ganancia en tensión con carga

- Es la ganancia de tensión con carga a la salida.

$$|A_v| = \left| \frac{v_{out}}{v_{in}} \right| > 1 \quad (33)$$

#### 4.3 Distorsiones para transistor TBJ

Si se cumplen las siguientes condiciones el amplificador no distorsiona:

Distorsión por alinealidad

$$v_{be} \leq 10mV \quad (34)$$

Distorsión por saturación

$$v_{ce} < (V_{CEQ} - V_{CE(SAT)}) \quad (35)$$

Distorsión por corte

$$v_{ce} < (V_{CC} - V_{CEQ}) \quad (36)$$

#### 4.4 Distorsiones para transistor MOSFET

Si se cumplen las siguientes condiciones el amplificador no distorsiona:

Distorsión por alinealidad

$$v_{gs} \leq 0,2 \cdot (V_{GS} - V_T) \quad (37)$$

Distorsión por corte

$$v_{out} < I_{DQ} \cdot R_D \quad (38)$$

Distorsión por triodo

$$v_{out} < V_{DS(sAT)} = V_{GS} - V_T \quad (39)$$