

Pauta Tarea No. 4

Sebastián Bas K.

9 de mayo de 2010

Pregunta 1

Para explicar el funcionamiento del circuito se analizará la operación para distintos rangos de V_i . En cada rango se establece un estado de operación para cada transistor.

$$V_i \gg 5[V]$$

$$Q_1: \quad \begin{aligned} V_{BE} &= 0,7 \\ V_{BC} &> 0 \end{aligned}$$

$$Q_2: \quad \begin{aligned} V_{EB} &< 0 \\ V_{CB} &< 0 \end{aligned}$$

Por lo tanto, tenemos que el transistor Q_1 se encuentra en *saturación*, lo que implica que $V_{CE} = 0,2[V]$. Esto deja a ambas junturas polarizadas en directa, con $V_{BC} = 0,5[V]$. El transistor Q_2 se encuentra en *corte* y por lo tanto se asume que no circula corriente por este.

A medida que se baja el voltaje V_i , llega un punto en que V_{BC} deja de estar polarizado en directa, mientras que la juntura V_{BE} permanece polarizada en directa. Esto provoca un cambio hacia el estado *activo* del transistor Q_1 . El transistor Q_2 sigue en *corte* ya que sus condiciones no cambian.

Para calcular el punto exacto de transición se requiere el β del transistor. Sin embargo, un análisis cualitativo también es válido. La siguiente ecuación corresponde al estado de *saturación* de Q_1 .

$$V_i - R_B i_b = 0,5 + 5$$

En zona *activa* tenemos:

$$V_i - R_B i_b = 0,7 + (1 + \beta) i_b R_L$$

En el punto de transición:

$$5,5 = 0,7 + (1 + \beta)i_b R_L$$

$$\frac{4,8}{(1 + \beta)R_L} = i_b$$

Tomando $\beta = 150$ se logra calcular el punto de transición.

$$i_b = 31,788[\mu A]$$

$$V_i = 5,81788[V]$$

Si se sigue bajando el voltaje V_i , la juntura BE dejará de estar polarizada en directa y el transistor Q_1 entrará a la zona de *corte*. Esta transición se da cuando $V_i = 0,7[V]$, considerando nula la corriente i_b .

$$V_i - R_B i_b = 0,7 + (1 + \beta)i_b R_L$$

$$i_b = 0$$

$$V_i = 0,7$$

De esta manera, tenemos un rango para V_i donde ambos transistores están en la zona de *corte*. Ya que la configuración es simétrica, el comportamiento en los rangos negativos es equivalente, intercambiando los roles de Q_1 y Q_2 .

$$V_i > 5,81788 \Rightarrow$$

Q_1 : Saturación

Q_2 : Corte

$$0,7 < V_i < 5,81788 \Rightarrow$$

Q_1 : Activo

Q_2 : Corte

$$-0,7 < V_i < 0,7 \Rightarrow$$

Q_1 : Corte

Q_2 : Corte

$$-5,81788 < V_i < -0,7 \Rightarrow$$

Q_1 : Corte

Q_2 : Activo

$$V_i < -5,81788 \Rightarrow$$

Q_1 : Corte

Q_2 : Saturación

Luego, conociendo las regiones de operación, es directo decir que la potencia disipada en la carga cuando $V_i = 0$ es prácticamente 0, ya que ambos transistores se encuentran en corte y la corriente circulante es despreciable.

Para encontrar la función de transferencia, se requiere relacionar V_0 con V_i , y se obtienen distintas ecuaciones dependiendo del estado de operación. Se trabajará con $V_i > 0$ solamente, ya que el caso negativo es simétrico.

En estado de *saturación* de Q_1 , tenemos:

$$V_i - R_B i_b = 0,5 + 5$$

$$V_i - R_B i_b = 0,7 + V_0$$

$$V_0 = 4,8[V]$$

En estado *activo* de Q_1 , tenemos:

$$V_i - R_B i_b = 0,7 + V_0$$

$$V_0 = (1 + \beta) i_b R_L$$

$$i_b = \frac{V_0}{(1 + \beta) R_L}$$

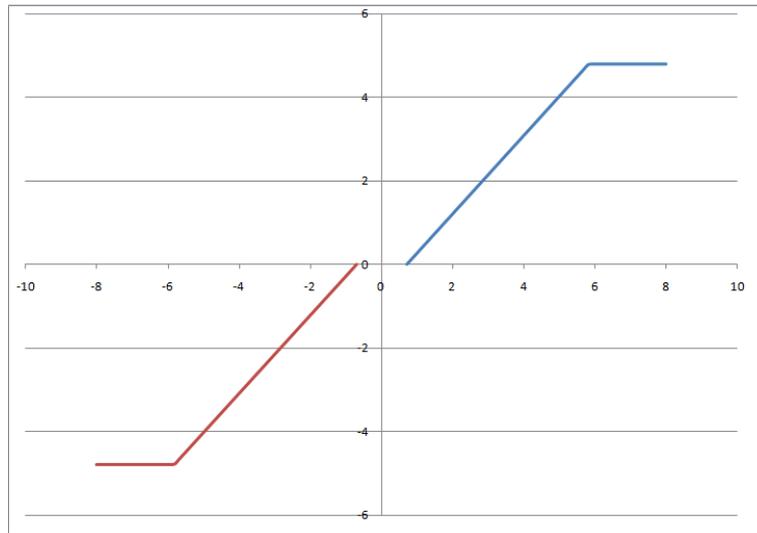
$$V_i = \frac{V_0 R_B}{(1 + \beta) R_L} + 0,7 + V_0$$

$$V_i = 0,7 + 1,0662 V_0$$

En estado de *corte* de Q_1 , tenemos:

$$V_0 = 0[V]$$

Mediante las relaciones calculadas y extrapolando para $V_i < 0$, se logra dibujar la función de transferencia. La siguiente figura corresponde a la función de transferencia del circuito.



Pregunta 2

Para encontrar el punto de operación es necesario calcular la recta de carga, es decir, la curva que define los puntos sobre los cuales nuestro circuito está capacitado para operar. Esta recta corresponde a la ecuación siguiente, la cual relaciona V_{DS} con i_D .

$$0 = -10 + i_D R_D + V_{DS} + i_D R_S - 10$$

El punto de transición a la zona de triodo está definido por $V_{DS} = V_{GS} - V_t$; y el punto de transición a la zona de corte está dado por $V_{DS}(i_D = 0)$, es decir, $V_{DS} = 20[V]$ de la ecuación anterior. Con estos puntos se calcula el punto de operación Q .

$$V_{DS} = \frac{20 + V_{GS} - V_t}{2}$$

El punto de operación se encuentra claramente en saturación debido a la manera en que está definido. En esta zona, la corriente i_D es modelada por la siguiente ecuación.

$$i_D = K_n (V_{GS} - V_t)^2$$

De la ecuación para el punto de operación se desprende:

$$V_{GS} - V_t = 2V_{DS} - 20$$

Y así, juntando estas dos últimas expresiones se obtiene una relación entre V_{DS} e i_D correspondiente a la zona de operación del NMOS.

$$i_D = K_n(2V_{DS} - 20)^2$$

Mediante esta última ecuación y la recta de carga, es posible calcular los parámetros y fijar el diseño.

$$20 = V_{DS} + (R_D + R_S)K_n(4V_{DS}^2 - 80V_{DS} + 400)$$

$$(R_D + R_S)K_n = K$$

$$4KV_{DS}^2 - (80K - 1)V_{DS} + (400K - 20) = 0$$

En esta situación es posible fijar un valor razonable para K_n y resolver la ecuación cuadrática para V_{DS} . Luego, teniendo V_{DS} y aplicando las condiciones del problema se calculan todos los parámetros del diseño.

La otra posibilidad es obtener una ecuación que nos permita fijar R_1 para calcular i_D y V_{DS} . Esta ecuación se obtiene de la siguiente manera.

$$0 = -10 + 0,1i_D R_1 + V_{GS} + i_D R_S - 10$$

Del punto de operación se obtiene V_{GS} :

$$V_{GS} = 2V_{DS} - 18$$

$$0 = -10 + 0,1i_D R_1 + 2V_{DS} - 18 + i_D R_S - 10$$

De la recta de carga:

$$V_{DS} = 20 - i_D(R_D + R_S)$$

$$0 = -10 + 0,1i_D R_1 + 40 - 2i_D(R_D + R_S) - 18 + i_D R_S - 10$$

$$0 = i_D(0,1R_1 - 2R_D - R_S) + 2$$

$$i_D = \frac{2}{2R_D + R_S - 0,1R_1}$$

$$i_D = \frac{2}{8500 - 0,1R_1}$$

Esta última ecuación resulta muy fácil de utilizar, y por lo tanto se decide fijar R_1 tal que la corriente i_D sea positiva y de magnitud razonable. Además, se debe verificar también que el valor de V_{DS} resulte positivo y que V_{GS} sea mayor que V_t para asegurar que estamos operando en la zona de saturación.

$$R_1 = 75[k\Omega]$$

Por lo tanto:

$$i_D = \frac{2}{8500 - 7500} = 2[mA]$$

$$V_{DS} = 20 - 4500i_D = 11[V]$$

$$V_{GS} = 2V_{DS} - 18 = 4[V]$$

$$K_n = \frac{i_D}{(2V_{DS} - 20)^2} = 500[\frac{\mu A}{V^2}]$$

$$R_2 = \frac{20 - 0,1i_DR_1}{0,1i_D} = 25[k\Omega]$$

Todos los parámetros del circuito quedan determinados. Las magnitudes y signos corresponden a una posibilidad real de diseño y verifican la operación correcta en zona de saturación.