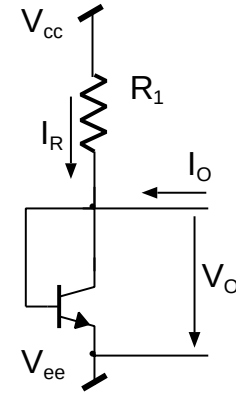


E2.1-Carga bipolar en conexión diodo

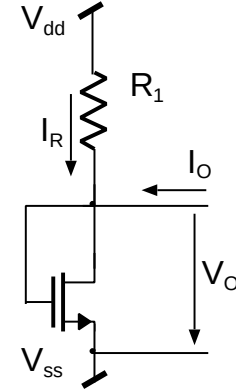
1. Calcular el valor de la resistencia R_1 para que $I_R = 100mA$.
(Datos) Suponer que $I_o \ll I_R$, $V_{cc} - V_{ee} = 5v$, $I_S = 10nA$, $V_{AF} = 80v$, $\beta_F = 50 : 200$
2. Para una señal: $I_o(t) = 1mA \sin(\omega t)$, calcular $V_o(t)$, destacando sus valores mas significativos.

**Solución**

1. La relación existente entre las intensidades es: $I_R + I_o = I_B + I_C$.
Si tenemos en cuenta la hipótesis de $I_o \ll I_R$ y suponemos que el transistor se encuentra en activa ($I_C \gg I_B$), nos queda que: $I_R \simeq I_C$.
La ecuación de Ebers-Moll en activa: $I_C = I_S e^{\frac{V_{BE}}{V_t}}$ nos permite relacionar I_C con $V_{BE} = V_o$, obteniendo:
 $V_o = V_t \ln\left(\frac{I_C}{I_S}\right) = 0,419v$
Como: $V_{cc} - V_{ee} = R_1 I_R + V_o$, obtenemos que $R_1 = \frac{V_{cc} - V_{ee} - V_o}{I_R} = 45,8\Omega$
2. Como la señal $I_o(t)$ no posee media, la resolución estática del apartado anterior es aplicable (se verifica $I_o \ll I_R$), por tanto tenemos que $\overline{V_o} = 0,419v$.
Para resolver comportamiento dinámico del sistema suponemos de aplicación el modelo de pequeña señal:
 $u_o(t) = i_o(t) \left(R_1 || r_o || \frac{1}{g_m} \right)$.
Donde: $r_o = \frac{V_{AF}}{I_C} = \frac{80v}{100mA} = 800\Omega$, $\frac{1}{g_m} = \frac{V_t}{I_C} = \frac{26mV}{100mA} = 260m\Omega$ y $r_\pi = h_{fe} \frac{1}{g_m} = 26\Omega$
Por tanto: $u_o(t) \simeq 0,260 i_o(t) = 0,260mV \sin(\omega t)$
Una vez resuelto el circuito estática y dinaámicamente, aplicamos superposición: $V_o(t) \simeq 0,419 + 0,260mV \sin(\omega t)$

E2.2-Carga nMOS en conexión diodo

1. Calcular el valor R_1 para una $V_o = 2v$.
(Datos) Suponer que $I_o \ll I_R$, $V_{dd} - V_{ss} = 3,3v$, $K = 40\mu A/v^2$, $V_{tho} = 0,7v$, $\lambda = 0,01v^{-1}$, $W/L = 3$. $\gamma = 0,8v^{0,5}$, $\Phi_f = 0,6v$
2. Empleando la R_1 del apartado anterior, calcular la expresión de $V_o(t)$ para el circuito de la cuestión anterior, suponiendo que $I_o(t) = 40\mu + 1\mu \sin(\omega t)$



1. Suponiendo que el transistor está en saturación: $I_R \simeq I_d = \frac{1}{2} K \frac{W}{L} (V_o - V_{th})^2 = 101,4\mu A$. Por otra parte, como $V_{dd} - V_{ss} = R_1 I_R + V_o$, de donde: $R_1 = \frac{3,3-2}{101,4\mu} = 12,8K\Omega$
Podemos comprobar facilmente que la hipótesis de saturación se verifica al ser $V_{gs} > V_{th}$ y $V_{ds} > V_{gs} - V_{th}$.
2. Para la resolución estática del circuito no es válida la hipótesis del apartado anterior: $I_o \ll I_R$, sino que debe de plantearse:
 $I_d = I_R + I_o = \frac{1}{2} K \frac{W}{L} (V_o - V_{th})^2$
 $V_{dd} - V_{ss} = R_1 I_R + V_o$
Resolviendo llegamos a: $I_R = 89\mu A$ y $V_o = 2,16v$.
Para la resolución dinámica, planteamos el modelo de pequeña señal y tenemos que: $u_o(t) = i_o(t)(R_1 || r_o || \frac{1}{g_m})$,
donde: $r_o = \frac{1}{\lambda I_d} = 775K\Omega$ y $g_m = \sqrt{2 K \frac{W}{L} I_d} = 176\mu A/V$. Sustituyendo $u_o(t) \simeq 3,93K\Omega i_o(t) = 3,93mV \sin(\omega t)$.
Aplicando superposición: $V_o(t) \simeq 2,16v + 3,93mV \sin(\omega t)$.

E2.3

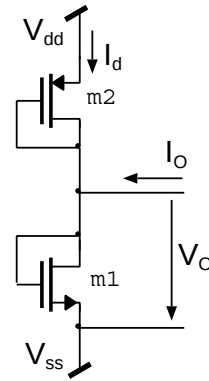
1. Calcular el valor de la tensión V_o suponiendo que ambos transistores tienen la misma relación de aspecto (W/L).

(Datos) Suponer que $I_o \ll I_d$

$$V_{dd} - V_{ss} = 3,3v, \lambda = 0,01v^{-1} \gamma = 0,8v^{0,5}, \Phi_f = 0,6v$$

	nMOS	pMOS	unid.
K_N	40μ	20μ	A/v^2
V_{tho}	0,7	-0,7	v

2. Dibujar el modelo de pequeña señal y calcular sus parámetros
3. Considerar que los transistores tienen distintas geometrías y calcular su valor para que: $V_o = \frac{1}{2} (V_{dd} - V_{ss})$

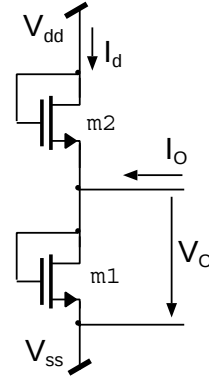
**E2.4**

1. Calcular el valor de la tensión V_o suponiendo que ambos transistores tienen la misma relación de aspecto (W/L).

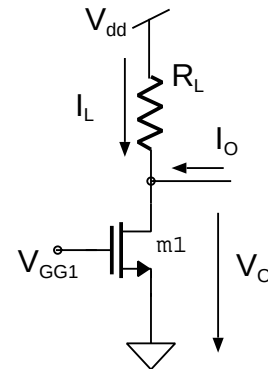
(Datos) Suponer que $I_o \ll I_d$ e ignorar el efecto sustrato.

$$V_{dd} - V_{ss} = 3,3v, K = 40\mu A/v^2, V_{tho} = 0,7v, \lambda = 0,01v^{-1} \gamma = 0,8v^{0,5}, \Phi_f = 0,6v$$

2. Considerando el efecto sustrato, calcular el valor de la relación de aspecto de ambos transistores para que $V_o = \frac{1}{2} (V_{dd} - V_{ss})$
3. Dibujar el modelo de pequeña señal y calcular sus parámetros

**E2.5-Carga nMOS en fuente de corriente**

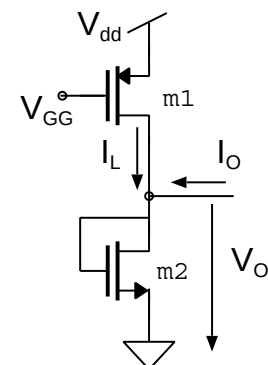
1. Para el circuito de la figura, calcular V_o .
(Datos) Suponer que $I_o \ll I_d$, $V_{dd} = 3,3v$, $R_L = 20K\Omega$, $V_{GG1} = 1v$, $K = 40\mu A/v^2$, $V_{tho} = 0,7v$, $\lambda = 0,01v^{-1}$, $\gamma = 0,8v^{0,5}$, $\Phi_f = 0,6v$, $I_L = 100\mu A$
2. Dimensionar la geometría del transistor (W y L).
3. Empleando los datos del apartado 1 pero con $I_o = 200\mu A$, calcular W/L . Comprobar que se encuentra en saturación.
4. Empleando los datos del apartado 1 calcular el rango de valores de V_{GG1} para mantener el transistor en saturación.
5. Dibujar el modelo de pequeña señal y calcular sus parámetros
6. Calcular la tensión $V_o(t)$ si $I_o(t) = 200\mu + 1\mu \sin(\omega t)$

**E2.6**

1. Para el circuito de la figura, calcular V_o suponiendo que $W_1/L_1 = W_2/L_2$.
(Datos) Suponer que $I_o \ll I_d$, $V_{dd} = 3,3v$, $V_{GG} = 1,5v$, $\gamma = 0,8v^{0,5}$, $\Phi_f = 0,6v$

	nMOS	pMOS	unid.
K_N	40μ	20μ	A/v^2
V_{tho}	0,7	-0,7	v
λ	0,01	0,01	v^{-1}

2. Dimensionar la geometría de los transistores (W_1/L_1 y W_2/L_2) para que $V_o = \frac{1}{2} V_{dd}$.
3. Dibujar el modelo de pequeña señal y calcular sus parámetros

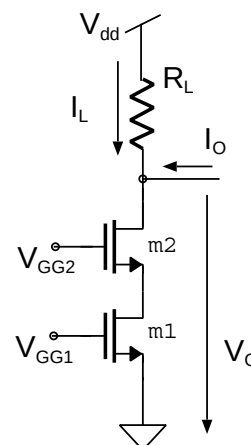


E2.7-Carga nMOS en fuente de corriente cascode

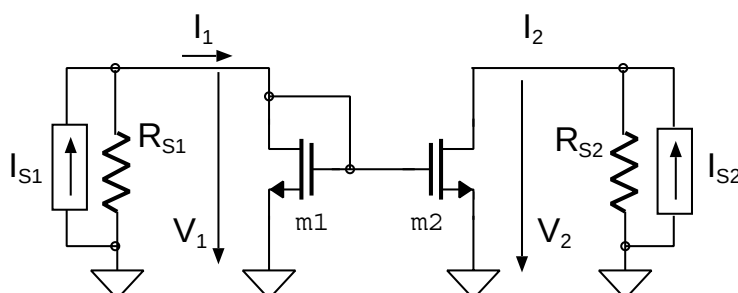
1. Para el circuito de la figura, calcular V_o suponiendo que $W_1/L_1 = W_2/L_2$.
(Datos) Suponer que $I_o \ll I_d$, $V_{dd} = 3,3v$, $\gamma = 0,8v^{0,5}$, $\Phi_f = 0,6v$,
 $I_L = 100\mu A$, $R_L = 20K\Omega$

	nMOS	pMOS	unid.
K_N	40μ	20μ	A/v^2
V_{tho}	0,7	-0,7	v
λ	0,01	0,01	v^{-1}

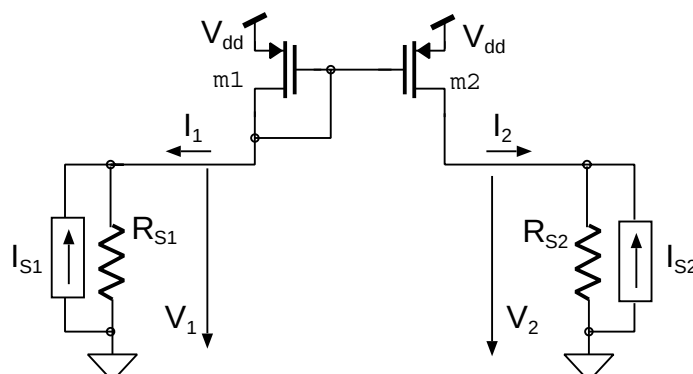
2. Despreciando el efecto sustrato, calcular W_1/L_1 , W_2/L_2 , V_{GG1} y V_{GG2} .
 Debe de garantizarse que los transistores están en saturación
3. Determinar la influencia del efecto sustrato en el dimensionamiento realizado anteriormente.
4. Dibujar el modelo de pequeña señal y calcular sus parámetros

**Espejo de Corriente (Current Mirror)****E2.8-Espejo de corriente nMOS**

1. Determinar y simplificar las ecuaciones DC que relacionan a: I_{s1} , I_{s2} , V_1 y V_2
2. Determinar y simplificar el modelo AC del circuito

**E2.9-Espejo de corriente pMOS**

1. Determinar y simplificar las ecuaciones DC que relacionan a: I_{s1} , I_{s2} , V_1 y V_2
2. Determinar y simplificar el modelo AC del circuito



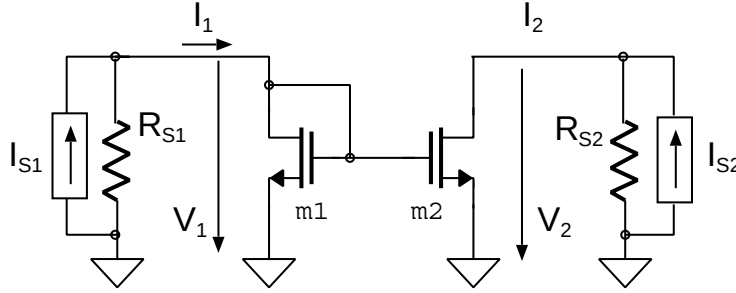
bFE2.10-Espejo de corriente nMOS

1. Para el circuito de la figura, calcular $I_1(t)$ y $V_1(t)$ suponiendo que:

$$I_{S1}(t) = 30\mu + 3\mu \sin(\omega t), R_{S1} = \infty, I_{S2}(t) = 110\mu$$

(Datos) $V_{dd} = 3,3v$, $W_1/L_1 = 2$, $W_2/L_2 = 6$, $K = 40\mu A/v^2$, $V_{tho} = 0,7v$, $\lambda = 0,01v^{-1}$, $\gamma = 0,8v^{0,5}$, $\Phi_f = 0,6v$

2. Calcular $I_2(t)$
3. Calcular R_{S2} para garantizar la saturación de ambos transistores
4. Tomando un valor adecuado de R_{S2} , computar $V_2(t)$



Solución

1. Si analizamos el circuito estático tenemos que: $I_{D1} = 30\mu$ y por tanto $V_1 = V_{GS1} = 1,566v$.

Para obtener $u_1(t)$ simplificamos el circuito de pequeña señal y obtenemos: $\frac{u_1(t)}{i_1(t)} \simeq 1/g_{m1} = 14k\Omega$. Como disponemos de $i_1(t) = i_{S1}(t)$ llegamos a: $u_1(t) = 43mV \sin(\omega t)$. Y por tanto:

$$\begin{aligned} I_1(t) &= 30\mu + 3\mu \sin(\omega t) \\ V_1(t) &= 1,566 + 43mV \sin(\omega t) \simeq 1,566 \end{aligned}$$

2. Aplicando las ecuaciones estática a los transistores m1/m2 (que forman un **Espejo de Corriente**) que tienen $V_{GS1} = V_{GS2}$ tenemos que:

$$I_2 = I_1 \frac{W_2/L_2}{W_1/L_1} = 90\mu A$$

Del análisis del circuito de pequeña señal obtenemos que:

$$i_2(t) = g_{m2} u_{\pi 1} \frac{r_{o2}}{r_{o2} + R_{S2}} \simeq g_{m2} \frac{1}{g_{m1}} i_1(t) = \frac{W_2/L_2}{W_1/L_1} i_1(t) = 9\mu \sin(\omega t)$$

Nótese que a pesar de desconocer el valor de R_{S2} hemos llegado a un resultado al haber supuesto $r_{o2} \gg R_{S2}$. El resultado final es:

$$I_2(t) = 90\mu + 9\mu \sin(\omega t)$$

3. Del análisis estático del apartado anterior se tiene la intensidad de R_{S2} : $I_{R_{S2}} = 20\mu A$, por lo que aplicando la condición de saturación a m2:

$$\begin{aligned} V_{DS2} = V_2 = R_{S2} I_{R_{S2}} = 20\mu A R_{S2} &> V_{GS2} - V_{th2} = 0,866v \\ R_{S2} &> 43,3k\Omega \end{aligned}$$

4. Suponemos $R_{S2} = 50k\Omega$ y obtenemos que $V_2 = 20\mu A R_{S2} = 1v$.

En pequeña señal tenemos que la resistencia R_{S2} está recorrida por $i_2(t)$, por lo que $u_2(t) = -R_{S2} i_2(t)$.

El resultado final es:

$$V_2(t) = 1 - 0,45 \sin(\omega t)$$

E2.11-Fuente de corriente pMOS

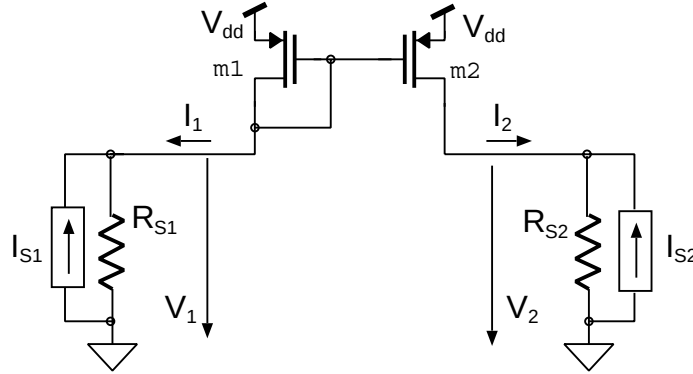
1. Para el circuito de la figura, calcular $I_1(t)$ y $V_1(t)$ suponiendo que:

$$I_{S1}(t) = -20\mu, R_{S1} = \infty$$

$$I_{S2}(t) = -40\mu + 2\mu \sin(\omega t)$$

(Datos) $V_{dd} = 3,3v$, $W_1/L_1 = 2$, $W_2/L_2 = 6$ $K = 20\mu A/v^2$, $V_{tho} = -0,7v$, $\lambda = 0,01v^{-1}$ $\gamma = 0,8v^{0,5}$, $\Phi_f = 0,6v$

2. Calcular $I_2(t)$
3. Calcular R_{S2} para garantizar la saturación de ambos transistores.
4. Tomando un valor adecuado de R_{S2} , computar $V_2(t)$

**E2.12-Fuente de corriente cascode nMOS**

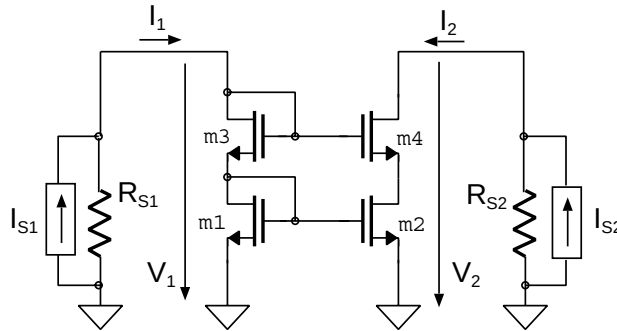
1. Para el circuito de la figura, calcular $I_1(t)$ y $V_1(t)$ suponiendo que:

$$I_{S1}(t) = 10\mu + 2\mu \sin(\omega t), R_{S1} = \infty$$

$$I_{S2}(t) = 70\mu$$

(Datos) $V_{dd} = 3,3v$, $W_1/L_1 = W_3/L_3 = 1$, $W_2/L_2 = W_4/L_4 = 2$ $K = 40\mu A/v^2$, $V_{tho} = 0,7v$, $\lambda = 0,01v^{-1}$ $\gamma = 0v^{0,5}$, $\Phi_f = 0,6v$

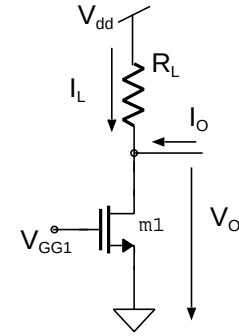
2. Calcular $I_2(t)$
3. Calcular R_{S2} para garantizar la saturación de todos los transistores.
4. Tomando un valor adecuado de R_{S2} , computar $V_2(t)$



E2.13 Para el circuito de la figura

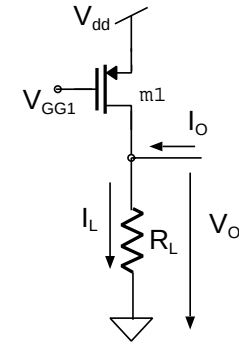
1. Suponiendo $I_o \ll I_d$, calcular V_{GG1} para que $I_L = 200\mu A$
2. Determinar el valor de R_L para que el transistor esté en saturación, calculando el valor de $V_o(t)$
3. Dibujar el modelo de pequeña señal del circuito
4. Calcular la resistencia de pequeña señal ($u_o(t)/i_o(t)$), estimando el valor de la misma

(Datos) Suponer que $V_{dd} = 5v$, $\gamma = 0,8v^{0,5}$, $\Phi_f = 0,6v$, $K = 50\mu A/v^2$, $\lambda = 0,02v^{-1}$, $V_{tho} = 0,7v$

**E2.14** Para el circuito de la figura

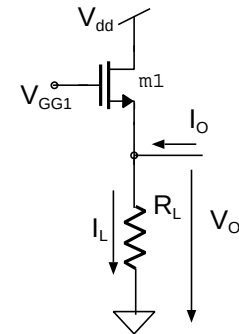
1. Suponiendo $I_o = 50\mu A$, calcular V_{GG1} para que $I_L = 250\mu A$
2. Calcular W/L
3. Determinar el rango de valores de R_L para que el transistor esté en saturación
4. Dibujar el modelo de pequeña señal del circuito
5. Calcular la resistencia de pequeña señal ($u_o(t)/i_o(t)$), estimando el valor de la misma

(Datos) Suponer que $V_{dd} = 5v$, $\gamma = 0,8v^{0,5}$, $\Phi_f = 0,6v$, $K = 20\mu A/v^2$, $\lambda = 0,02v^{-1}$, $V_{tho} = -0,7v$

**E2.15** Para el circuito de la figura

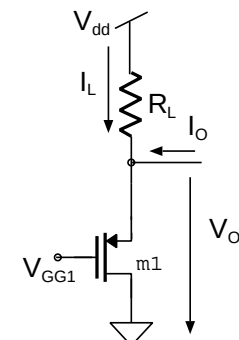
1. Suponiendo $I_o = 100\mu A$, calcular W/L para que $I_d = 100\mu A$
2. Calcular V_{GG} para que el transistor esté en saturación
3. Calcular V_o
4. Determinar el rango de valores de R_L para que el transistor esté en saturación
5. Dibujar el modelo de pequeña señal del circuito
6. Calcular la resistencia de pequeña señal ($u_o(t)/i_o(t)$), estimando el valor de la misma

(Datos) Suponer que $V_{dd} = 5v$, $\gamma = 0,8v^{0,5}$, $\Phi_f = 0,6v$, $K = 40\mu A/v^2$, $\lambda = 0,01v^{-1}$, $V_{tho} = 0,7v$

**E2.16** Para el circuito de la figura

1. Suponiendo $I_o = 150\mu A$, calcular W/L para que $I_d = 200\mu A$
2. Calcular V_{GG} para que el transistor esté en saturación
3. Determinar el rango de valores de R_L para que el transistor esté en saturación
4. Dibujar el modelo de pequeña señal del circuito
5. Calcular la resistencia de pequeña señal ($u_o(t)/i_o(t)$), estimando el valor de la misma

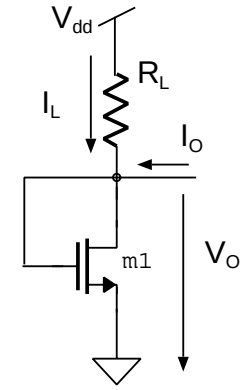
(Datos) Suponer que $V_{dd} = 5v$, $\gamma = 0,8v^{0,5}$, $\Phi_f = 0,6v$, $K = 25\mu A/v^2$, $\lambda = 0,01v^{-1}$, $V_{tho} = -0,7v$



E2.17 Para el circuito de la figura

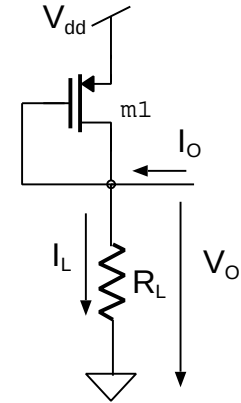
1. Suponiendo $I_o \ll I_d$, calcular W/L para que $I_L = 200\mu A$
2. Determinar el valor de R_L para que el transistor esté en saturación, calculando el valor de $\overline{V_o(t)}$
3. Dibujar el modelo de pequeña señal del circuito
4. Calcular la resistencia de pequeña señal ($u_o(t)/i_o(t)$), estimando el valor de la misma

(Datos) Suponer que $V_{dd} = 5v$, $\gamma = 0,8v^{0,5}$, $\Phi_f = 0,6v$, $K = 50\mu A/v^2$, $\lambda = 0,02v^{-1}$, $V_{tho} = 0,7v$

**E2.18** Para el circuito de la figura

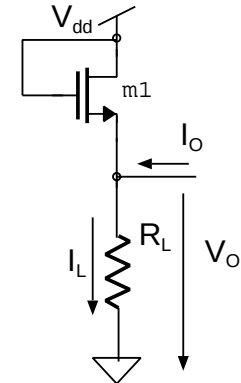
1. Suponiendo $I_o = 50\mu A$, calcular W/L para que $I_L = 250\mu A$
2. Determinar el rango de valores de R_L para que el transistor esté en saturación
3. Dibujar el modelo de pequeña señal del circuito
4. Calcular la resistencia de pequeña señal ($u_o(t)/i_o(t)$), estimando el valor de la misma

(Datos) Suponer que $V_{dd} = 5v$, $\gamma = 0,8v^{0,5}$, $\Phi_f = 0,6v$, $K = 20\mu A/v^2$, $\lambda = 0,02v^{-1}$, $V_{tho} = -0,7v$

**E2.19** Para el circuito de la figura

1. Suponiendo $I_o = 100\mu A$, calcular W/L para que $I_d = 100\mu A$
2. Calcular V_o
3. Determinar el rango de valores de R_L para que el transistor esté en saturación
4. Dibujar el modelo de pequeña señal del circuito
5. Calcular la resistencia de pequeña señal ($u_o(t)/i_o(t)$), estimando el valor de la misma

(Datos) Suponer que $V_{dd} = 5v$, $\gamma = 0,8v^{0,5}$, $\Phi_f = 0,6v$, $K = 40\mu A/v^2$, $\lambda = 0,01v^{-1}$, $V_{tho} = 0,7v$

**E2.20** Para el circuito de la figura

1. Suponiendo $I_o = 150\mu A$, calcular W/L para que $I_d = 200\mu A$
2. Determinar el rango de valores de R_L para que el transistor esté en saturación
3. Dibujar el modelo de pequeña señal del circuito
4. Calcular la resistencia de pequeña señal ($u_o(t)/i_o(t)$), estimando el valor de la misma

(Datos) Suponer que $V_{dd} = 5v$, $\gamma = 0,8v^{0,5}$, $\Phi_f = 0,6v$, $K = 25\mu A/v^2$, $\lambda = 0,01v^{-1}$, $V_{tho} = -0,7v$

