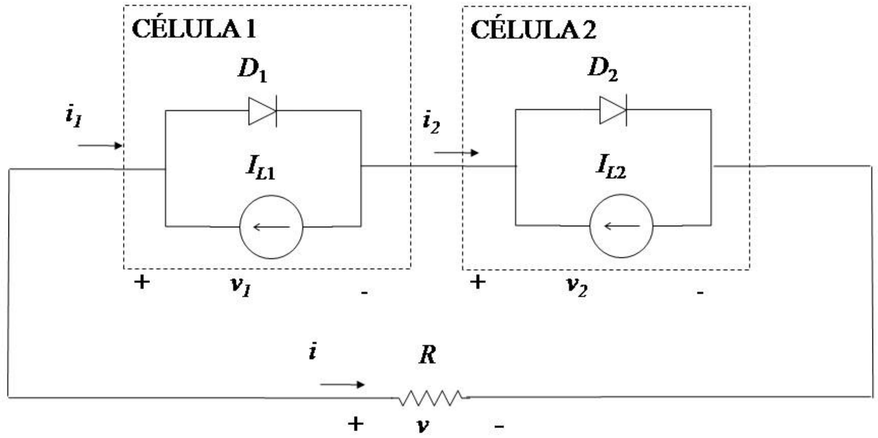
Ejercicio 1. Se conectan dos células solares iguales en serie y alimentan a una resistencia R, siendo el circuito equivalente del conjunto el representado en la Figura 1.

a) Calcule el valor de la corriente i cuando $R = 0$ (corriente de cortocircuito, I_{SC}) y de la tensión v cuando $R \to \infty$ (tensión de circuito abierto, V_{OC}) del generador fotovoltaico formado por las dos células cuando la irradiancia que reciben ambas es $G = 0{,}1$ W/cm^2, justificando el estado en el que se encuentran los diodos en cada caso **(1 p.)**

Accidentalmente se produce un sombreado parcial de la célula 1, de forma que su área iluminada se reduce a la mitad, permaneciendo la otra mitad en oscuridad. La iluminación de la célula 2 no sufre variación, y la irradiancia se mantiene estable en $G = 0{,}1$ W/cm^2.

b) Calcule el nuevo valor de la corriente de cortocircuito del generador ($i = I'_{SC}$ cuando $R = 0$), justificando el estado en el que se encuentran los diodos del circuito equivalente **(1 p.)**

c) Justifique si en estas circunstancias la célula 1 está entregando o disipando potencia, indicando el valor de la misma **(0,5 p.)**



DATOS.

Modelo lineal por tramos de los diodos:
$V_\gamma = 0{,}6$ V, $r_F = 0{,}01\ \Omega$

$A = 220$ cm^2
$S = 0{,}3$ A/W

Figura 1

SOLUCIÓN DEL EJERCICIO 1

a) $I_{L1} = I_{L2} = I_L = S \times G \times A = 6{,}6$ A.

Como $v = v_1 + v_2 = 0 \Rightarrow v_1 = -v_2$, *y al menos una de los diodos está en OFF: no circula corriente por él por lo que, para esa célula, la corriente es la del generador,*$-I_L$. *Como el generador de la otra célula lleva la misma corriente y ambas están en serie, tenemos:*

$$i_1 = i_{D1} - I_L = i_2 = i_{D2} - I_L \Rightarrow i_{D1} = i_{D2} = 0$$

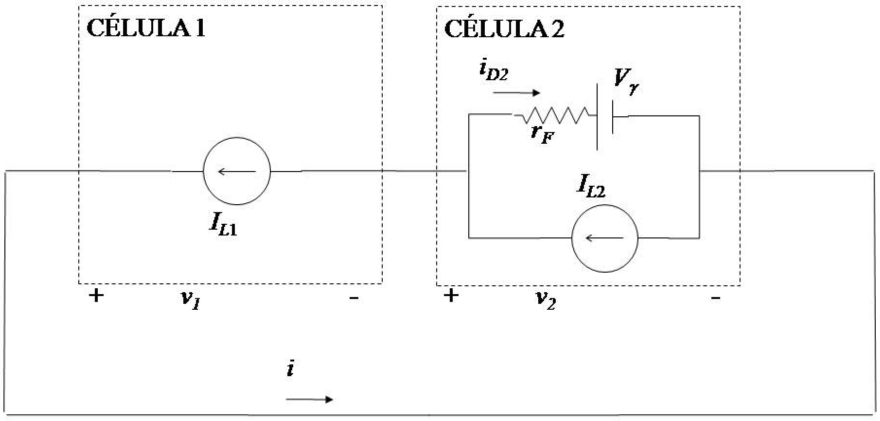
Ambos diodos están en OFF. La corriente pedida es la de las células cambiada de signo:

$$i = I_{SC} = I_L = 6{,}6 \text{ A}$$

En circuito abierto, D1 y D2 están ON, y tenemos $v = v_1 + v_2 = 2(V_\gamma + r_F I_L) = 1{,}332$ V

Para ambos diodos $i_{D1} = i_{D2} = I_L > 0$

b) *Ahora,* $I_{L1} = S \times G \times 0{,}5 \times A = 3{,}3$ A, *mientras que* $I_{L2} = S \times G \times A = 6{,}6$ A, *y tenemos D1 OFF y D2 ON*



En cortocircuito, $i = I'_{SC} = I_{L1} = 3{,}3\ \mathrm{A}$

Como $v = v_1 + v_2 = 0 \Rightarrow v_1 = -v_2 = -\left(V_\gamma + r_F\left(I_{L2} - I_{L1}\right)\right) = -0{,}633\ \mathrm{V}$

Se comprueba que $v_1 < V_\gamma$ *y que* $i_{D2} = I_{L2} - I_{L1} > 0$

c) *La célula 1 disipa potencia, pues teniendo en cuenta el criterio de signos está trabajando en el tercer cuadrante (*$i_1 = -I_{L1} = -3{,}3\ \mathrm{A}$, $v_1 = -0{,}633\ \mathrm{V}$*), siendo* $p_1 = i_1 \times v_1 = 2{,}09\ \mathrm{W}$

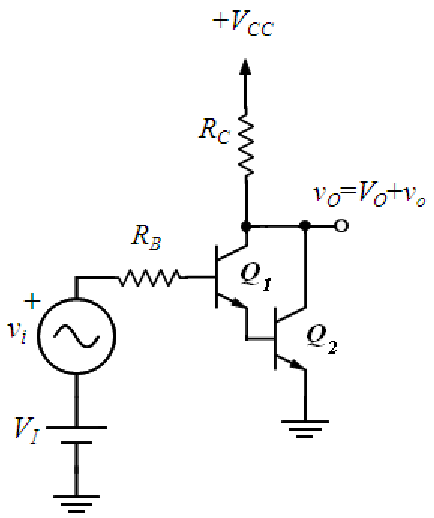
FIN DEL EJERCICIO 1

Ejercicio 2. El circuito de la Figura 2 está formado por dos transistores idénticos, Q_1 y Q_2.

a) Calcule el punto de trabajo de ambos transistores bipolares (es decir, los valores de I_B, I_E, I_C, V_{BE}, V_{CE} para cada uno de ellos) y la componente continua a la salida del circuito. (V_O) **(1,0 p.)**

b) Dibuje el circuito equivalente en pequeña señal para el circuito completo de la Figura 2 y calcule el valor de los parámetros de pequeña señal de ambos transistores. **(0,7 p.)**

c) Calcule la ganancia en tensión para pequeña señal y cuasi-estática (v_o/v_i) del circuito. **(0,8 p.)**



DATOS:
V_{CC} = 12 V; V_I = 1,7 V; R_B = 80 kΩ; R_C = 1 kΩ.

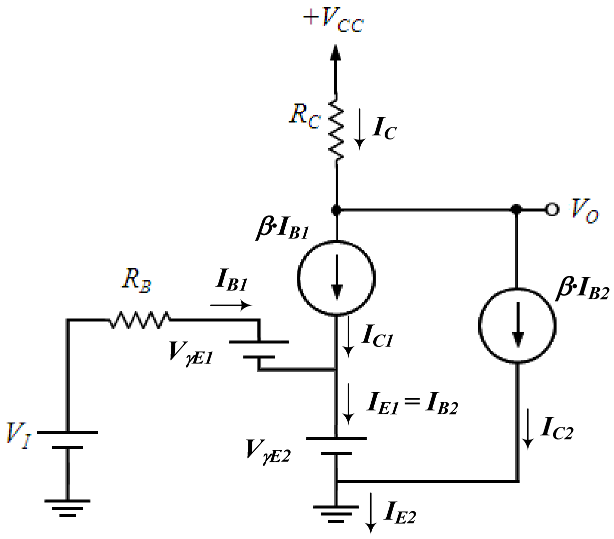
Modelo lineal por tramos para los transistores:
$V_{\gamma E}$ = 0,7 V; V_{CEsat} = 0 V; β = 50; $V_A \to \infty$.

V_t = 0,025 V

Figura 2

SOLUCIÓN DEL EJERCICIO 2

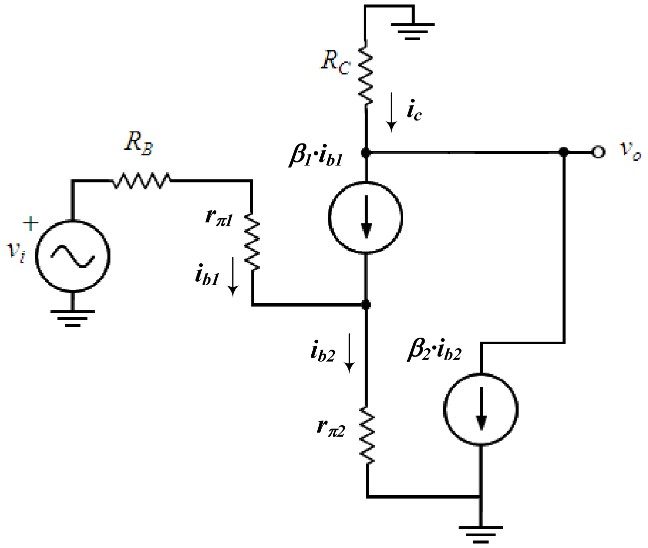
a) Hipótesis: Q1 y Q2 en ACTIVA DIRECTA.



$$-V_I + I_{B1}R_B + V_{\gamma E} + V_{\gamma E} = 0$$
$$I_{B1} = 3{,}75\ \mu\text{A} > 0$$
$$I_{C1} = \beta I_{B1} = 187{,}5\ \mu\text{A}$$
$$I_{E1} = I_{B1} + I_{C1} = 191{,}25\ \mu\text{A}$$

$$I_{B2} = I_{E1} = 191{,}25\ \mu\text{A}$$
$$I_{C2} = \beta I_{B2} = 9{,}562\ \text{mA}$$
$$I_{E2} = I_{B2} + I_{C2} = 9{,}753\ \text{mA}$$
$$I_C = I_{C1} + I_{C2} = 9{,}749\ \text{mA}$$
$$V_{CE2} = V_O = V_{CC} - I_C R_C = 2{,}25\ \text{V} > V_{CE,SAT}$$
$$V_{CE1} = V_{CE2} - V_{\gamma E} = 1{,}55\ \text{V} > V_{CE,SAT}$$
$$V_{BE1} = V_{BE2} = V_{\gamma E}$$

Luego la hipótesis es correcta.



b)

$$\frac{1}{r_o} = \left.\frac{\partial i_C}{\partial v_{CE}}\right|_Q \approx \frac{I_C}{V_A}\,;\; \frac{1}{r_\pi} = \left.\frac{\partial i_B}{\partial v_{BE}}\right|_Q = \frac{I_B}{V_t}$$

$$r_{\pi 1} = \frac{V_t}{I_{B1}} = 6{,}66\ \mathrm{k\Omega}\,;\; r_{\pi 2} = \frac{V_t}{I_{B2}} = 130\ \mathrm{k\Omega}$$

$$r_{o1} \to \infty;\, r_{o2} \to \infty$$

$$\beta_1 = \beta_2 = \beta$$

c)

$$\left.\begin{array}{l} i_c = \beta \cdot i_{b1} + \beta \cdot i_{b2} \\ i_{b2} = (\beta + 1) i_{b1} \end{array}\right\} \Rightarrow i_c = (\beta + 2)\beta i_{b1}$$

$$v_o = -i_c R_C = -(\beta + 2)\beta R_C i_{b1}$$

$$v_i = i_{b1}(R_B + r_{\pi 1}) + i_{b2} r_{\pi 2} = (R_B + r_{\pi 1} + (\beta + 1) r_{\pi 2}) i_{b1}$$

$$\frac{v_o}{v_i} = -\frac{(\beta + 2)\beta R_C}{R_B + r_{\pi 1} + (\beta + 1) r_{\pi 2}} = -28$$

FIN DEL EJERCICIO 2

Ejercicio 3. Para el circuito de la Figura 3 se pide:

a) Calcular el rango de valores de V_{DD} para que el estado del transistor FET sea *corte*. **(0,5 p.)**
b) Calcular V_S suponiendo que el FET está en *saturación* y V_{DD}=5V. **(0,5 p.)**
c) Calcular el valor máximo de R_D para que el FET esté en *saturación* cuando V_{DD}=5V. **(0,5 p.)**
d) Suponiendo ahora que $R_D = R_S = 0{,}5\ \text{k}\Omega$ y V_{DD}=5V, ¿cuál es el valor de I_D? **(1 p.)**

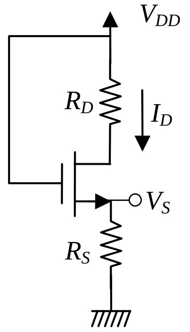


Figura 3

DATOS:

$R_S = 0{,}5\ \text{k}\Omega$.

Para el FET :
$V_T = 1$ V, $\kappa = 1$ mA/V^2, $V_A \to \infty$

SOLUCIÓN DEL EJERCICIO 3

a) *Si el FET está en corte,* $V_{GS} < V_T$ *e* $I_D = 0$, *y por tanto la caída de tensión en la resistencia es* $V_S = 0$. *De ahí* $V_{DD} = V_{GS}$, *y por tanto,* $V_{GS} = V_{DD} < V_T = 1$V.

b) *Si el FET está en saturación,* $V_{GS} > V_T$; $V_{DS} > V_{DSsat} = V_{GS} - V_T$; $I_D = \kappa\,(V_{GS} - V_T)^2$

Del circuito se tiene $V_{GS} = V_{DD} - I_D R_S = V_{DD} - \kappa R_S (V_{GS} - V_T)^2$, *de donde se puede despejar* V_{GS}, *resultando* $V_{GS} = \pm 3$ V. *De las dos soluciones se toma la que cumple* $V_{GS} > V_T$, *es decir,* $V_{GS} = 3$V.

Por lo tanto, $V_S = V_{DD} - V_{GS} = 2$ V.

c) *Para que el FET esté en saturación se debe cumplir que* $V_{DS} > V_{DSsat} = V_{GS} - V_T$. *Si está en saturación y* $V_{DD} = 5$ V *se cumplen los resultados de la pregunta anterior, en particular* $V_{GS} = 3$ V, *de donde se obtiene* $I_D = \kappa\,(V_{GS} - V_T)^2 = 4$ mA. *Entonces* $V_{DD} - V_S - I_D R_D > V_{GS} - V_T = 2$ V.

Por lo tanto $V_{DD} - V_{GS} + V_T - V_S > I_D R_D \Rightarrow R_D < 0{,}25\ \text{k}\Omega$

d) *Si* $R_D = R_S > 0{,}25\ \text{k}\Omega$, *el FET tiene que estar en la región gradual, por lo que* $I_D = \kappa\,(2(V_{GS} - V_T) - V_{DS})\,V_{DS}$. *Además se deduce del circuito que* $V_{GS} = V_{DD} - I_D R_S$ *y* $V_{DS} = V_{DD} - I_D(R_D + R_S) = V_{DD} - 2I_D R_S$. *Con estas 3 ecuaciones se obtiene:*

$$I_D = \kappa\,(2(V_{DD} - I_D R_S - V_T) - V_{DD} + 2I_D R_S)\,(V_{DD} - 2I_D R_S)$$

Es decir, $I_D = \kappa\,(V_{DD} - 2V_T)\,(V_{DD} - 2I_D R_S)$, *que es una ecuación lineal en* I_D, *de donde se calcula* $I_D = 15/4$ mA.

FIN DEL EJERCICIO 3

Ejercicio 4. Un diodo en dinámica se puede modelar como un diodo *D* en cuasi-estática en paralelo con un condensador *C*, que en primera aproximación se puede considerar de valor constante. Ese modelo es el que se ha empleado en el circuito de conmutación de la Figura 4.1, en el que, cuando se aplica en t=0 un escalón de tensión como el de la Figura 4.2, la corriente i_O cambia con el tiempo según lo indicado en la Figura 4.3. Calcule:

a) La corriente $I_{O1} = i_O(t < 0)$ y la tensión V_{AB} para $t < 0$ **(0,5 p.)**
b) La corriente $I_{O2} = i_O(t = 0^+)$ **(0,5 p.)**
c) El tiempo t_S durante el cual el diodo permanece polarizado en ON **(1,5 p.)**

DATOS: $C = 3$ nF. Aproximación lineal por tramos para el diodo con $V_\gamma = 0{,}7$ V; $r_f = 10\ \Omega$; $R = 1$ kΩ; V_{CC}=10 V.

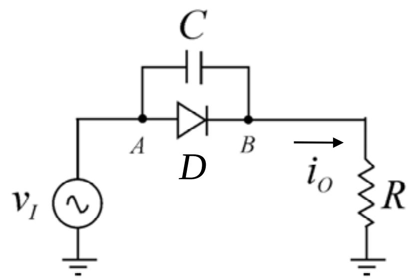


Figura 4.1

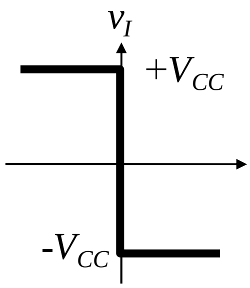


Figura 4.2

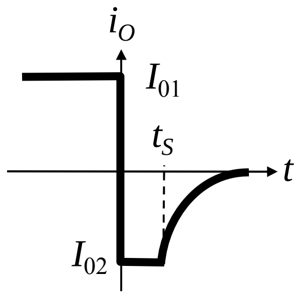


Figura 4.3

SOLUCIÓN DEL EJERCICIO 4

a) El circuito está en estado estacionario con el diodo en ON:

$$\left.\begin{array}{l} V_{CC} = I_{O1}R + V_{AB} \\ V_{AB} = V_\gamma + I_{O1}r_f \end{array}\right\} \Rightarrow I_{O1} = \frac{V_{CC} - V_\gamma}{R + r_f} = 9{,}2\ \text{mA}; V_{AB} = 0{,}79\ \text{V}$$

cumpliéndose $V_{AB} = V_D > V_\gamma$

b) Al conmutar, en el condensador la corriente puede variar bruscamente, no así la tensión. Justo después de la conmutación:

$$v_I\left(0^+\right) = -V_{CC} = i_O\left(0^+\right)R + v_{AB}\left(0^+\right)$$

Donde $v_{AB}(0^+) = v_{AB}(0^-) = 0{,}79$ V. *Por tanto:*

$$I_{O2} = i_O\left(0^+\right) = \frac{-V_{CC} - v_{AB}\left(0^+\right)}{R} = -10{,}79\ \text{mA}$$

c) Durante el intervalo $0 < t \le t_S$ *el diodo sigue en directa con* $v_{AB} > V_\gamma$. *La corriente con sentido inverso descarga el condensador C desde* 0,79 a 0,7 V, *momento en que el diodo cambia a OFF. Las ecuaciones son:*

$$\left.\begin{aligned} -V_{CC} &= i_O(t)R + v_{AB}(t) \\ i_O(t) &= \frac{v_{AB}(t)-V_\gamma}{r_f} + C\frac{\mathrm{d}v_{AB}(t)}{\mathrm{d}t} \end{aligned}\right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{-V_{CC}+V_\gamma \dfrac{R}{r_f}}{1+\dfrac{R}{r_f}} = v_{AB}(t) + C\frac{Rr_f}{R+r_f}\frac{\mathrm{d}v_{AB}(t)}{\mathrm{d}t} \equiv V_I = v_{AB}(t) + \tau\frac{\mathrm{d}v_{AB}(t)}{\mathrm{d}t}$$

Donde V_I = 0,594 V; τ = 29,7 ns.

La ecuación diferencial en v_{AB}*, junto con la condición de contorno* $v_{AB}(0)$ = 0,79 V*, permite determinar la evolución temporal de la tensión:*

$$v_{AB}(t) = V_I + (v_{AB}(0) - V_I)e^{-t/\tau}$$

En $t = t_S$*,* $v_D = v_{AB} = V_\gamma$*, el diodo sale de ON y las ecuaciones dejan de ser válidas:*

$$V_\gamma = v_{AB}(t_S) = V_I + (v_{AB}(0) - V_I)e^{-t_S/\tau}$$

$$t_S = \tau \ln\left(\frac{v_{AB}(0)-V_I}{V_\gamma - V_I}\right) = 18{,}3\ \text{ns}$$

FIN DEL EJERCICIO 4