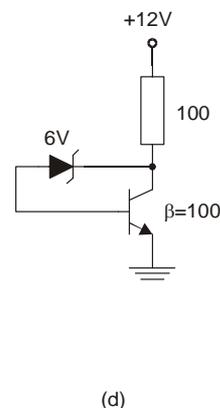
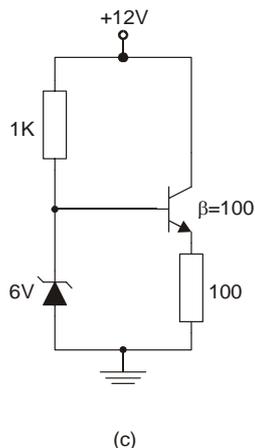
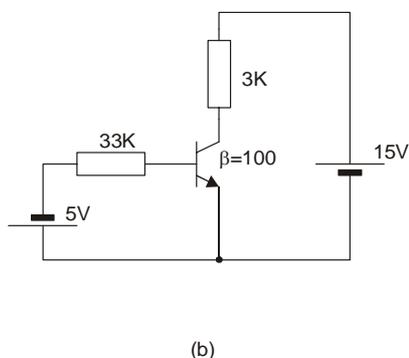
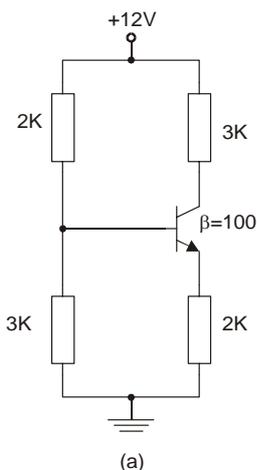


PROBLEMAS DE CIRCUITOS CON TRANSISTORES

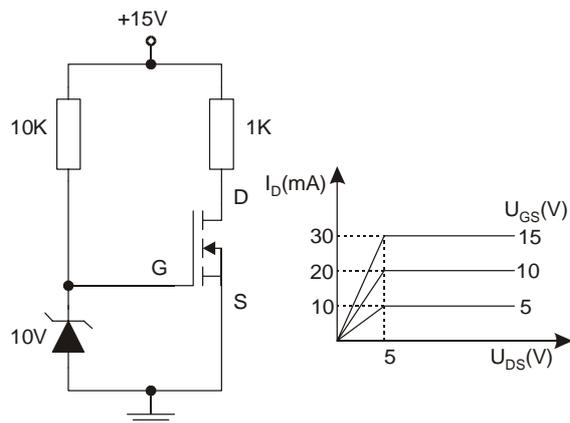
Problema 1:

Determinar los puntos de funcionamiento de los dispositivos semiconductores de los siguientes circuitos:



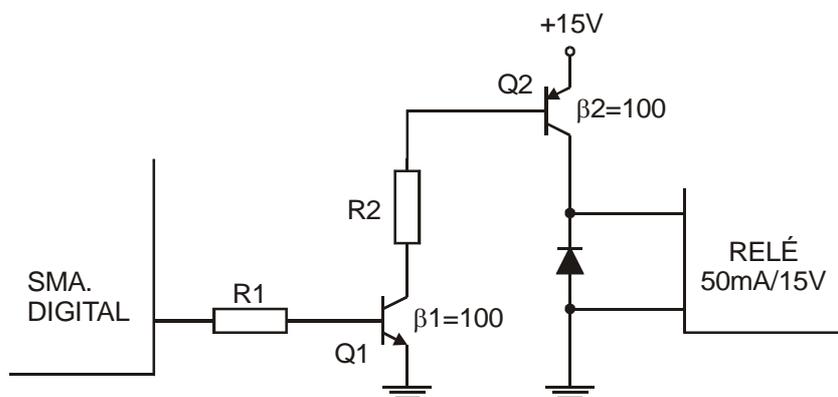
Problema 2:

Determinar el punto de funcionamiento del transistor MOSFET del siguiente circuito:



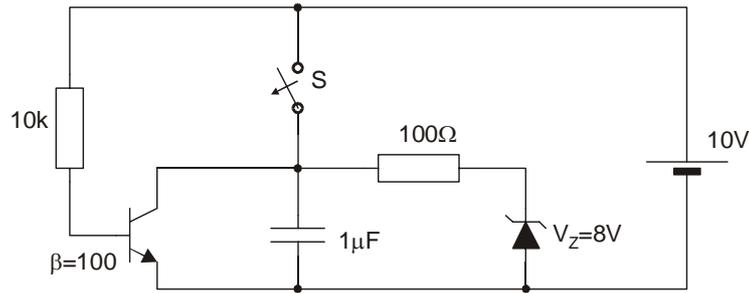
Problema 3:

Se desea utilizar una salida de un sistema digital para gobernar un relé. Se ha dispuesto para ello del circuito de adaptación que se muestra en la figura. Determinar los valores de R_1 y R_2 que aseguran que ambos transistores trabajan siempre en corte o saturación sabiendo que Q_1 y Q_2 presentan una tensión de codo base-emisor de $0,6V$ y que la salida digital puede tomar cualquier tensión entre 0 y $0,4V$ para el "0" lógico y entre $3,8$ y $5V$ para el "1" lógico.



Problema 4:

En el circuito de la figura el interruptor se encuentra inicialmente cerrado. Determinar de forma razonada la evolución de la tensión en el condensador a partir del instante de apertura del interruptor S.



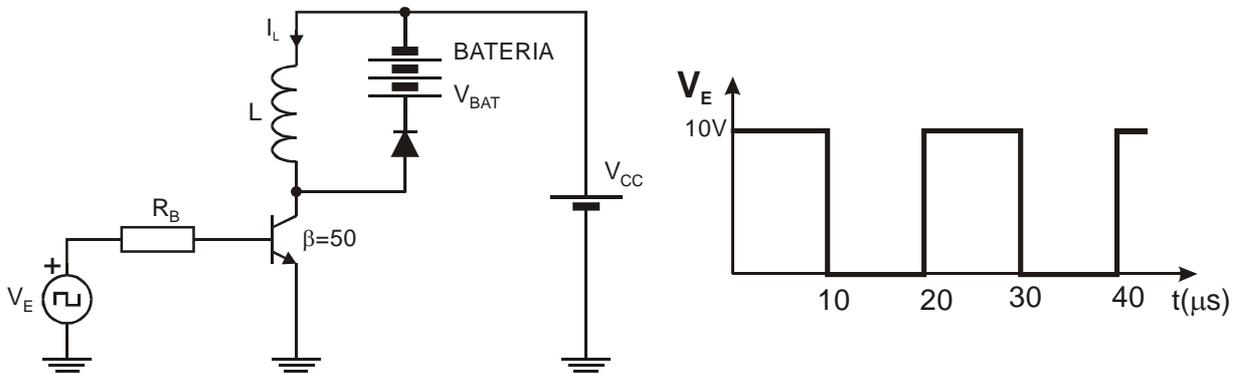
Problema 5:

El circuito de la figura corresponde a un cargador de baterías, se pide:

- Determinar la evolución en el tiempo de la tensión y la corriente por la inductancia.
- Determinar la evolución de la corriente de carga y el valor medio de la misma.
- Calcular R_B de forma que el transistor trabaje en conmutación.

Datos: el transistor trabaja en conmutación, la corriente inicial por la bobina es nula,

$L=100\mu\text{H}$, $V_{CC}=80\text{V}$ y $V_{BAT}=160\text{V}$.

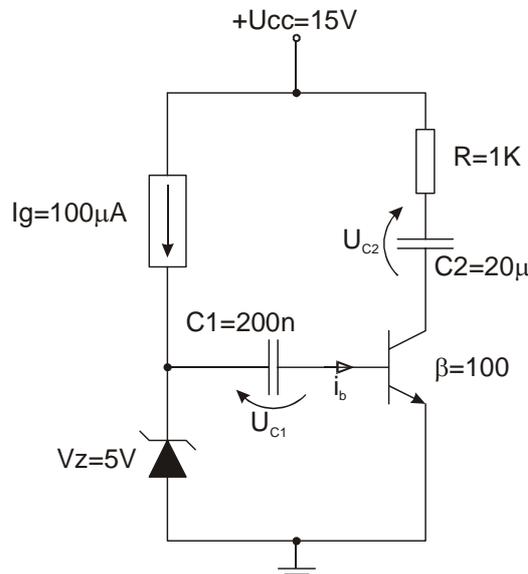


Problema 6:

Para el circuito de la figura determinar:

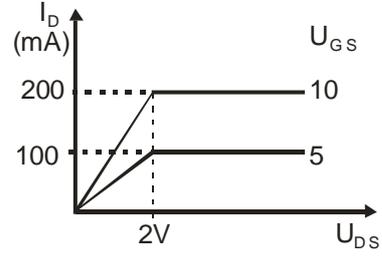
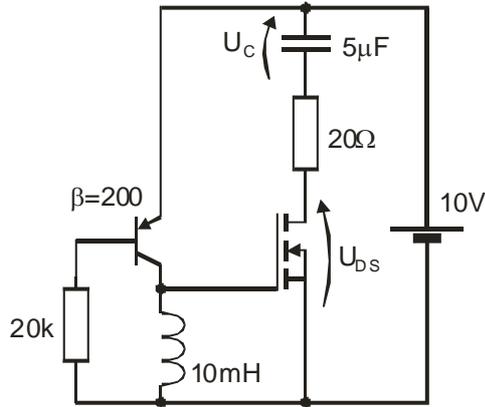
1. Evolución de U_{C1} e i_b .
2. Evolución de U_{C2} y U_{CE} .

Nota: todos los dispositivos son ideales y C_1 y C_2 se encuentran inicialmente descargados.



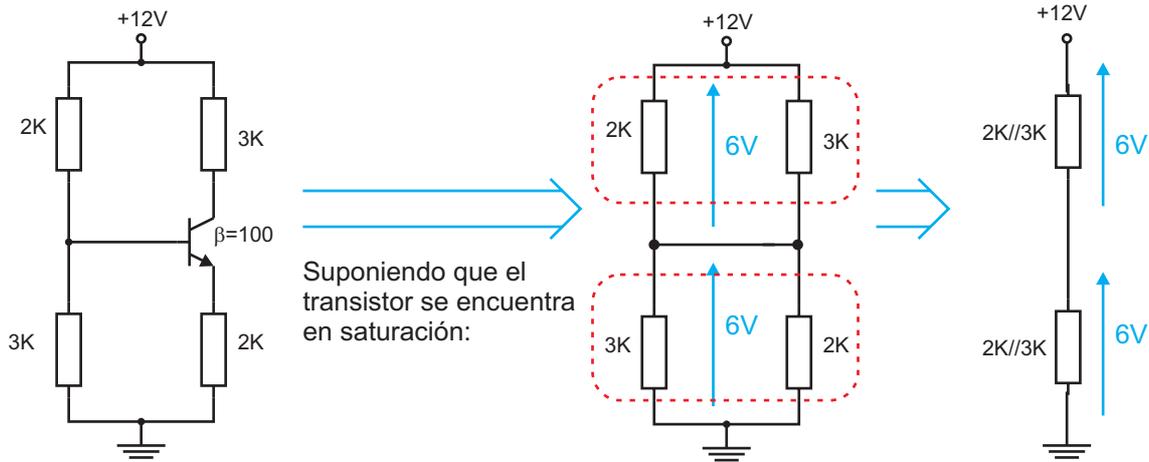
Problema 7:

Para el circuito de la figura y considerando todos los componentes ideales determinar de forma razonada la evolución de la tensión en el condensador U_C y en el MOSFET U_{DS} . La bobina y el condensador se encuentran inicialmente descargados.

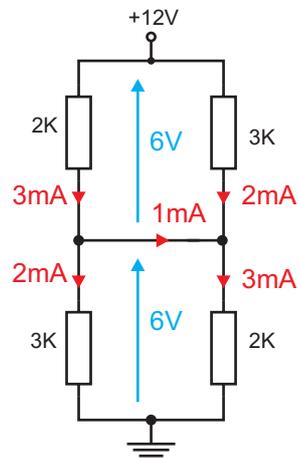


Problema 1

a



El reparto de corrientes por el circuito resulta por tanto::



En resumen:

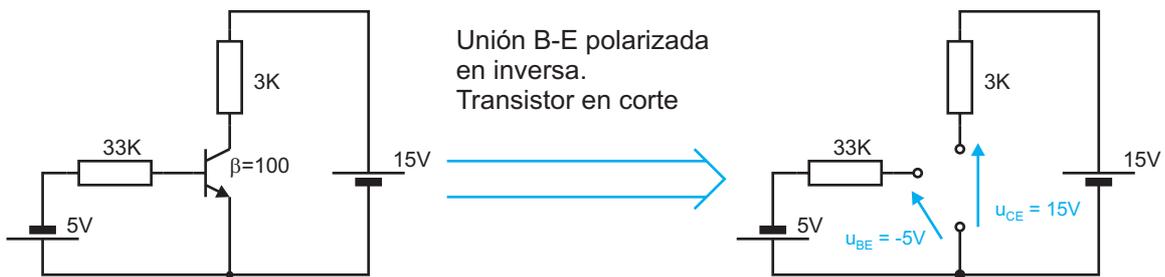
$$i_B = 1\text{mA}$$

$$i_C = 2\text{mA}$$

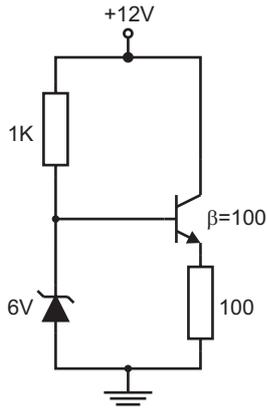
$$i_E = 3\text{mA}$$

Se cumple: $i_C < \beta \cdot i_B$

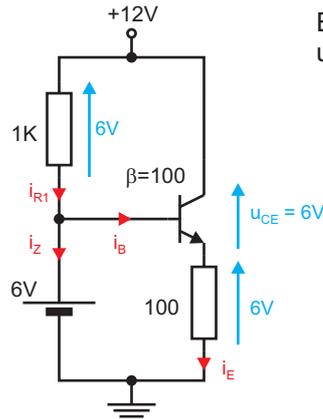
b



C



Suponiendo que el Zener se encuentra en zona Zener:



El transistor tiene tensión $u_{CE} = 6V$, está en zona activa.

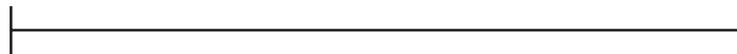
$$i_E = \frac{6}{100} = 60mA$$

$$i_B = \frac{i_E}{\beta + 1} = 594\mu A$$

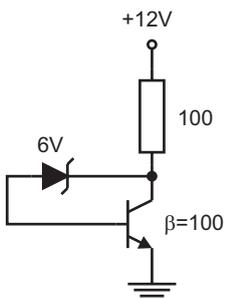
$$i_Z = i_{R1} - i_B = 5,4mA > 0$$

Hipótesis correcta

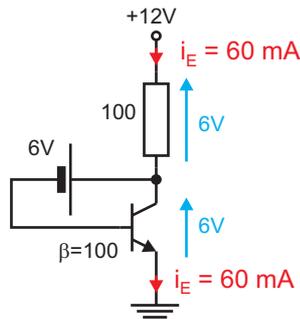
$$i_C = 59,4mA$$



d



Suponiendo que el Zener conduce:



El transistor tiene tensión $u_{CE} = 6V$, está en zona activa.

$$i_B = \frac{i_E}{\beta + 1} = 594\mu A$$

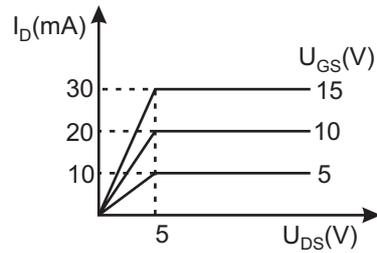
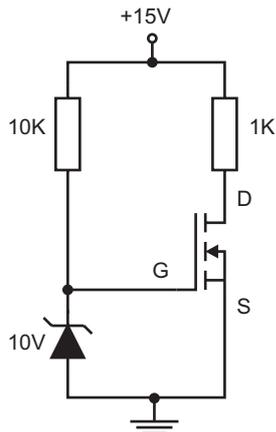
Se tiene entonces:

$$i_B = i_Z = 594\mu A$$

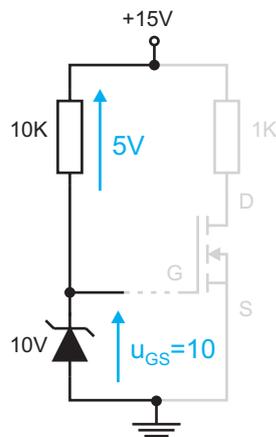
$$i_C = 59,4mA$$

$$i_E = 60mA$$

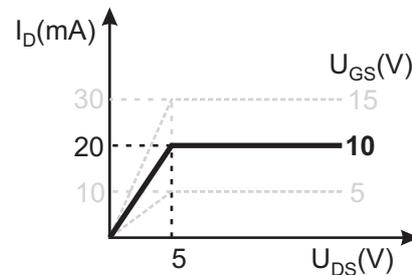
Problema 2



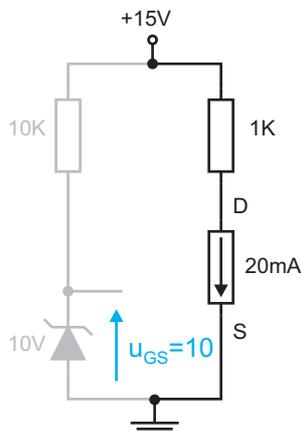
Teniendo en cuenta que la impedancia de entrada del MOSFET es idealmente infinita la corriente i_G es nula y el Zener se encuentra en conducción:



Conociendo la tensión u_{GS} se determina la curva de la característica $u_{DS} - i_D$ del MOSFET sobre la que se encuentra el punto de funcionamiento:



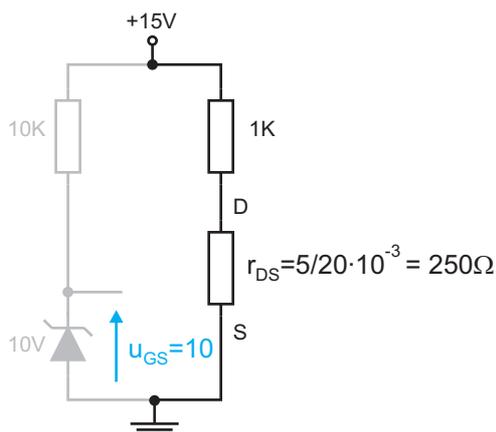
Suponiendo funcionamiento en zona de fuente de corriente se tiene:



$$u_{DS} = 15 - 20 \cdot 10^{-3} \cdot 10^3 = -5 < 5V$$

No trabaja en zona de fuente de corriente.

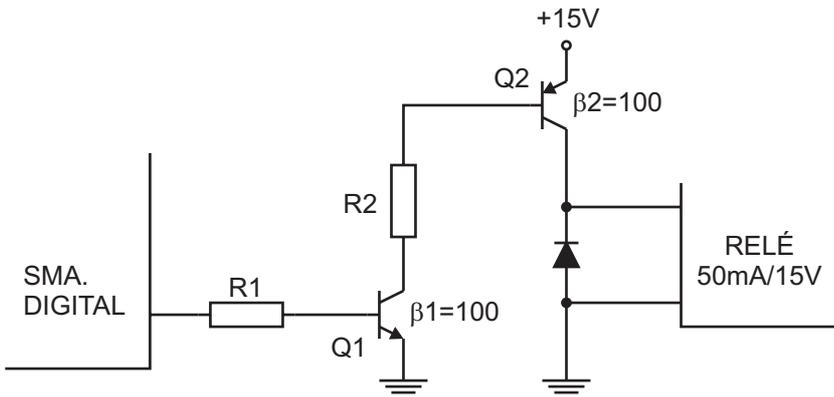
Suponiendo funcionamiento en zona resistiva se tiene:



La tensión u_{DS} se calcula mediante:

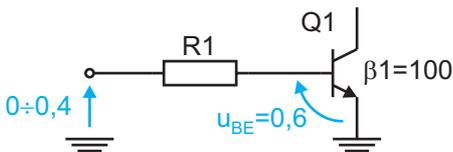
$$u_{DS} = 15 \frac{250}{250 + 1000} = 3 < 5V$$

Problema 3



Con nivel lógico alto ambos transistores deberán de estar en saturación. Con nivel bajo ambos estarán en corte.

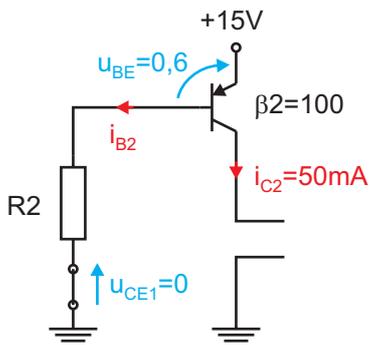
Funcionamiento a nivel bajo:



Observando el transistor Q1 vemos que la tensión de entrada es insuficiente para hacerlo conducir.

Con el transistor Q1 en corte, Q2 no tiene corriente de base por lo que también se encuentra en corte.

Funcionamiento a nivel alto:



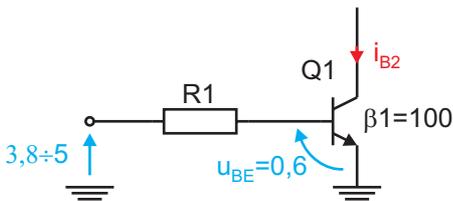
Para que Q2 esté saturado se debe cumplir:

$$i_C < \beta \cdot i_B \qquad i_B = \frac{15 - u_{BE}}{R2}$$

$$R2 < \beta \cdot \frac{15 - u_{BE}}{i_{C2}} = 28,8k$$

Tomamos: **R2 = 27k**

Para conseguir que el transistor Q1 se encuentre también en saturación:



$$i_C < \beta \cdot i_B$$

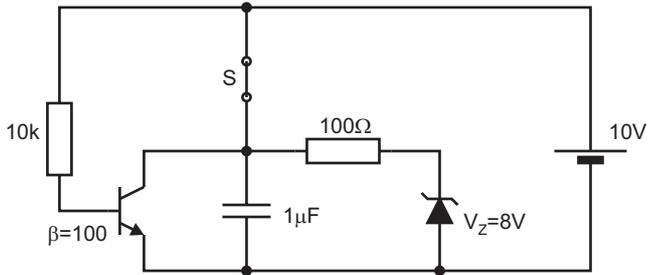
La situación más desfavorable se tiene para la tensión de entrada de 3,8V

$$i_{B2} = \frac{15 - 0,6}{27 \cdot 10^3} = 533 \mu A$$

$$R1 < \beta \cdot \frac{3,8 - 0,6}{i_{B2}} = 600k$$

Tomamos: **R1 = 560k**

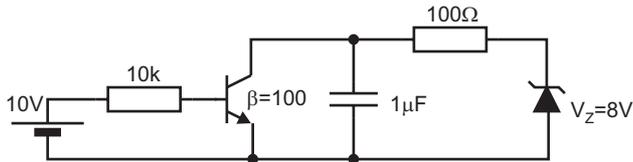
Problema 4



Este circuito corresponde a la situación inicial antes de la apertura de S.

El condensador se encuentra conectado a la fuente de 10V, por lo que ésta es la tensión inicial a considerar.

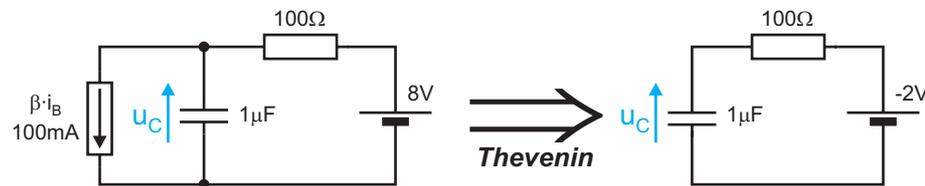
Una vez abierto el interruptor el circuito resultante se puede representar como:



La corriente de base es de $10/10000 = 1\text{mA}$

Siendo la tensión inicial en el condensador superior a los 8V que soporta el Zener éste estará inicialmente en conducción.

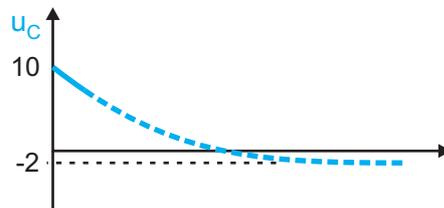
Por otra parte, al ser la tensión colector-emisor mayor que cero, el transistor se encuentra inicialmente en zona activa, por lo que el circuito equivalente inicial visto por el condensador es:



Con este circuito equivalente la evolución de la tensión en el condensador se obtiene mediante la expresión:

$$u_c(t) = u_c(t \rightarrow \infty) + [u_c(t=0) - u_c(t \rightarrow \infty)] \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$u_c(t) = -2 + 12 \cdot e^{-\frac{t}{100 \cdot 10^{-6}}}$$

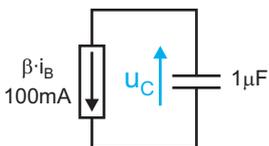


Para que este circuito equivalente sea válido es necesario que se cumplan las siguientes condiciones:

- La tensión colector-emisor debe ser mayor que cero para que el transistor se mantenga en zona activa.
 - Debe circular corriente inversa por el Zener. Para que esto se cumpla la tensión u_c debe ser mayor de 8V.
- Obviamente, es esta segunda condición la que se dejará de cumplir en primer lugar:

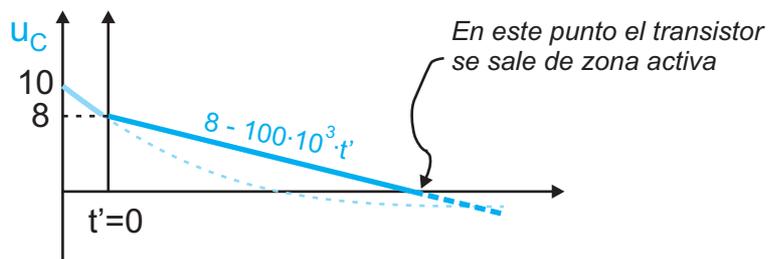
$$t_a = -100 \cdot 10^{-6} \cdot \ln \frac{10}{12} = 18,2\mu\text{s}$$

Para $t > 18,2\mu\text{s}$ el Zener deja de conducir y el circuito equivalente de descarga del condensador pasa a ser:



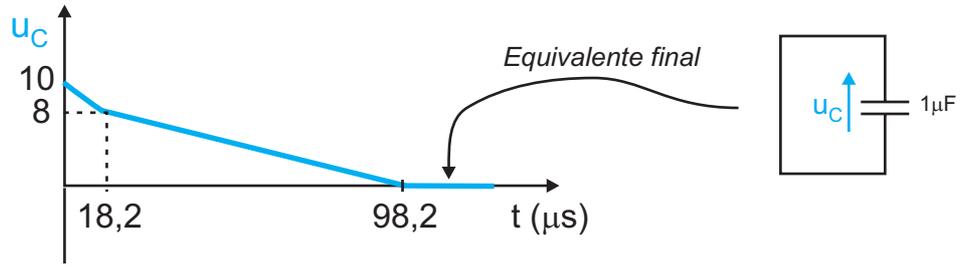
Tomando $t' = t - 18,2\mu\text{s}$ se tiene:

$$u_c(t') = u_c(t'=0) + \frac{1}{C} \int_0^{t'} i_C \cdot dt = 8 - 100 \cdot 10^3 \cdot t'$$

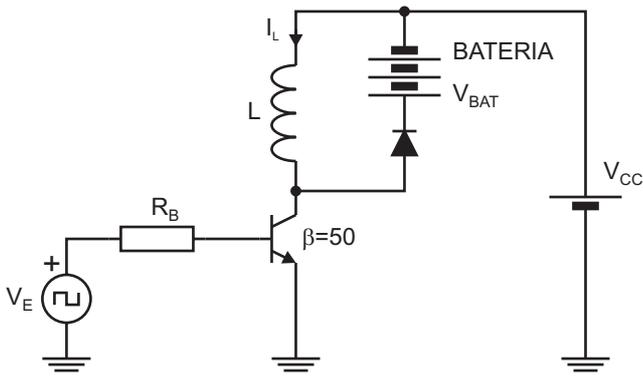


Cuando la tensión en el condensador se anula, el transistor sale de zona activa y entra en zona de saturación. El tiempo que tarda se calcula:

$$t'_b = \frac{8}{100 \cdot 10^3} = 80 \mu\text{s}$$



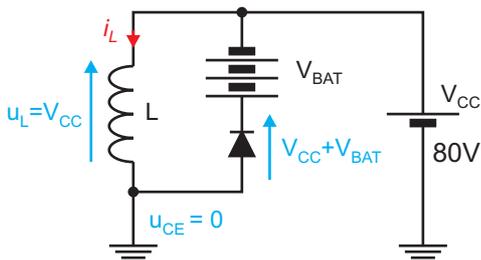
Problema 5



El transistor va a trabajar en conmutación, es decir alternando entre corte y saturación.

La tensión V_E toma dos valores: 0 y 10V. Durante los intervalos en que V_E es de 0V el transistor permanecerá en corte. Cuando V_E sea de 10V el valor de R_B deberá ser tal que asegure el funcionamiento en saturación.

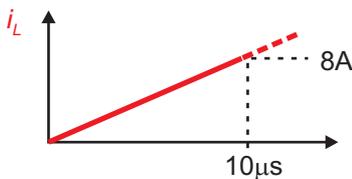
Durante los 10 primeros microsegundos V_E es de 10V, por lo que el transistor estará saturado:



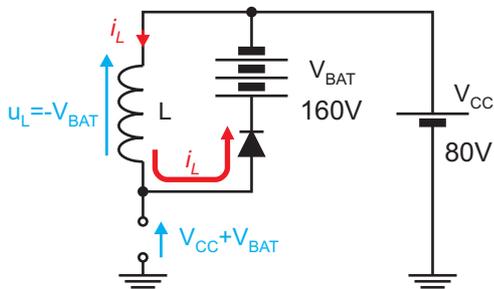
La carga de la bobina se produce a tensión fija:

$$V_{CC} = L \frac{di_L(t)}{dt} \quad i_L(t) = i_L(t=0) + \underbrace{\frac{1}{L} \int_0^t V_{CC} \cdot dt}_0 = 800 \cdot 10^3 \cdot t$$

Representando gráficamente esta evolución:



Pasados $10\mu s$ la corriente de base desaparece y el transistor pasa a zona de corte, por lo que el circuito equivalente se convierte en:

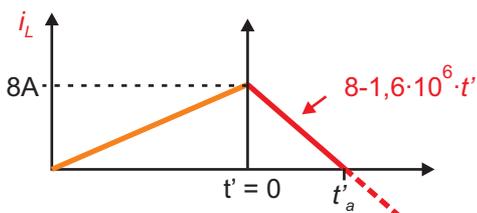


En el instante en que se produce el corte del transistor la corriente por la bobina es de 8A. Esta corriente no puede interrumpirse de forma brusca, por lo que hace entrar al diodo en conducción.

Por comodidad cambiamos la base de tiempos a: $t' = t - 10\mu s$

$$-V_{BAT} = L \frac{di_L(t')}{dt'} \Rightarrow i_L(t') = i_L(t'=0) + \frac{1}{L} \int_0^{t'} -V_{BAT} \cdot dt' = 8 - 1,6 \cdot 10^6 \cdot t'$$

Representando la evolución de i_L obtenida hasta el momento:



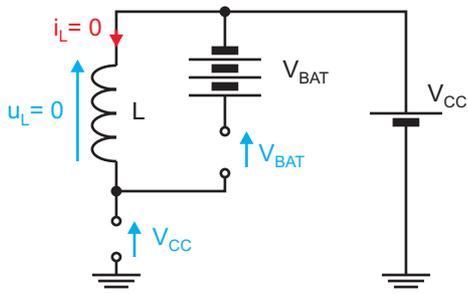
Durante esta fase, la corriente de la bobina también circula a través del diodo, por lo que no puede hacerse negativa.

El circuito equivalente cambiará cuando la corriente se anule (o bien cuando $t' = 10\mu s$ y comience un nuevo periodo de V_E).

El tiempo que tarda en anularse la corriente es:

$$t'_a = \frac{8}{1,6 \cdot 10^6} = 5\mu s$$

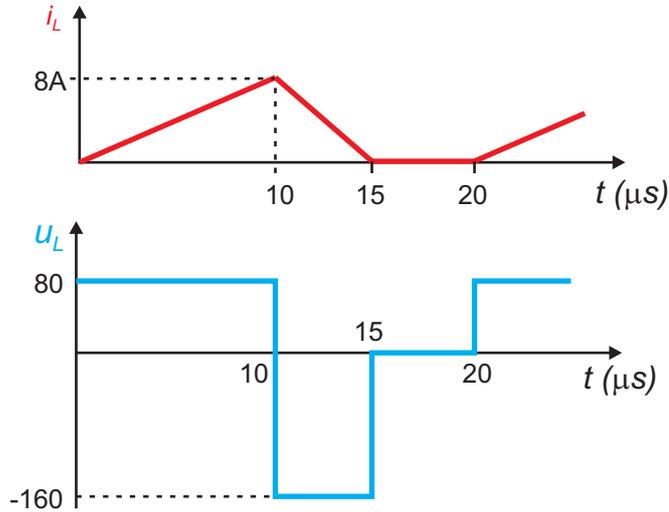
Por lo que al pasar $5\mu s$ el circuito equivalente pasa a ser:



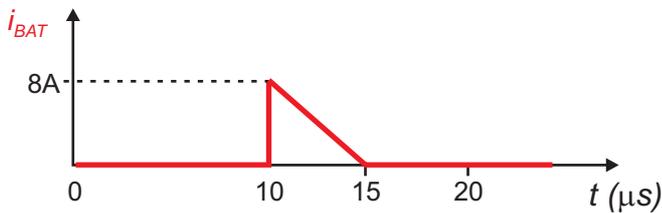
Una vez anulada la corriente por la bobina, la tensión u_L también se hace cero.

$$u_L = L \frac{di_L}{dt} = 0$$

La evolución en el tiempo de la corriente y la tensión por la bobina son por tanto:



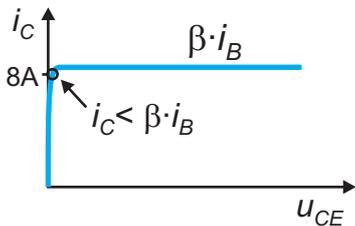
La corriente por la batería es la misma que atraviesa el diodo:



El valor medio de esta señal se calcula:

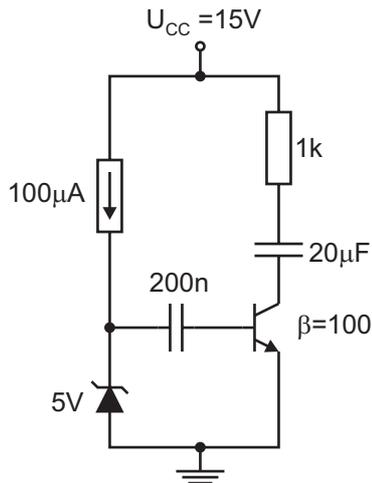
$$\overline{i_{BAT}} = \frac{1}{T} \int_0^T i_{BAT}(t) \cdot dt = \frac{1}{20 \cdot 10^{-6}} \cdot \frac{5 \cdot 10^{-6} \cdot 8}{2} = 1A$$

El cálculo de la resistencia de base necesaria para que el transistor trabaje en conmutación se hace sabiendo que la corriente máxima de colector es de 8A.



$$i_B = \frac{V_E}{R_B} \Rightarrow R_B < \frac{V_E \cdot \beta}{i_C} = \frac{10 \cdot 50}{8} = 62,5\Omega$$

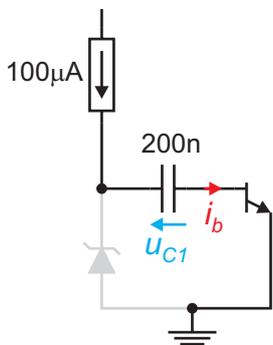
Problema 6



Entre base y emisor el transistor se comporta como un diodo con $u_{BE} = 0$.

Por otra parte, al estar el condensador de 200n inicialmente descargado el Zener no conduce para $t = 0$.

El equivalente de carga inicial del condensador C1 corresponde por tanto al siguiente circuito:

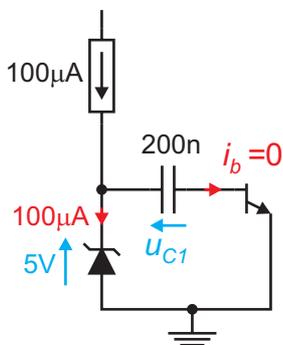


La evolución de la tensión u_{C1} en este circuito viene determinada por la expresión.

$$u_{C1}(t) = u_{C1}(0) + \frac{1}{C1} \int_0^t i_b \cdot dt = 500 \cdot t$$

Cuando la tensión en el condensador alcanza 5V entra a conducir el Zener. Esto ocurre en el instante: $t_a = 10\text{ms}$.

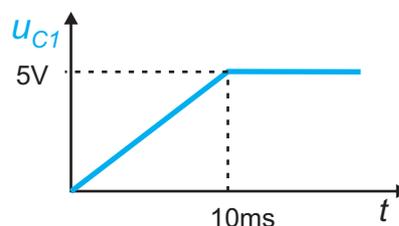
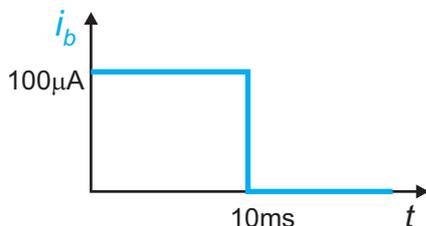
Para $t > 10\text{ms}$ el circuito equivalente visto por C1 pasa a ser:



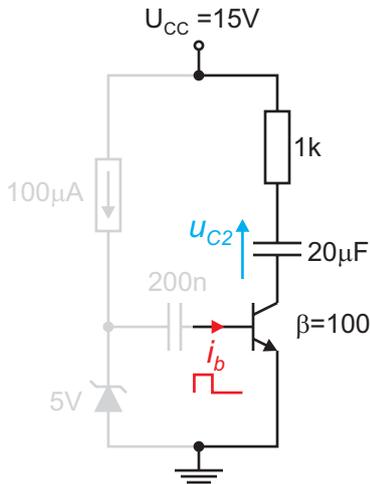
Al entrar el Zener en conducción la tensión u_{C1} queda fijada en 5V por lo que la corriente i_b se anula:

$$i_b = C1 \cdot \frac{du_{C1}}{dt} = 0$$

La evolución de la corriente de base i_b y de la tensión u_{C1} corresponden a:



Una vez conocida la forma de onda de la corriente de base se puede determinar la evolución de la tensión del condensador C2.



En el instante inicial la corriente de base es de $100\mu\text{A}$. El transistor puede por tanto encontrarse en saturación o en zona activa.

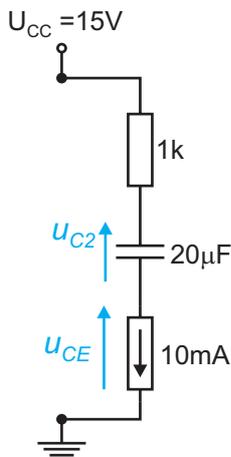
Suponiendo que se encuentra inicialmente en zona activa:

$$i_c = \beta \cdot i_b = 10 \text{ mA} \Rightarrow u_{CE} = 15 - 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-3} - u_{C2}$$

$$\Rightarrow u_{CE}(t=0) = 15 - 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 5 > 0$$

Hipótesis correcta.

El circuito equivalente inicial de carga del condensador C2 resulta por tanto:



La evolución de la tensión u_{C2} para este circuito se calcula mediante la siguiente expresión:

$$u_C(t) = u_C(t=0) + \frac{1}{C2} \int_0^t i_C \cdot dt = 500 \cdot t$$

La tensión colector - emisor en el transistor se puede determinar a partir de la expresión anterior:

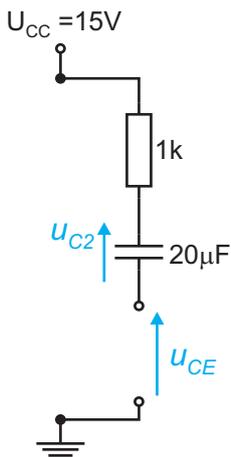
$$u_{CE}(t) = 15 - 10 - u_C(t) = 5 - 500 \cdot t$$

Este circuito equivalente dejará de ser válido si el transistor alcanza la zona de saturación o si la corriente de base cambia. Verificamos cuál de estos dos cambios sucede primero.

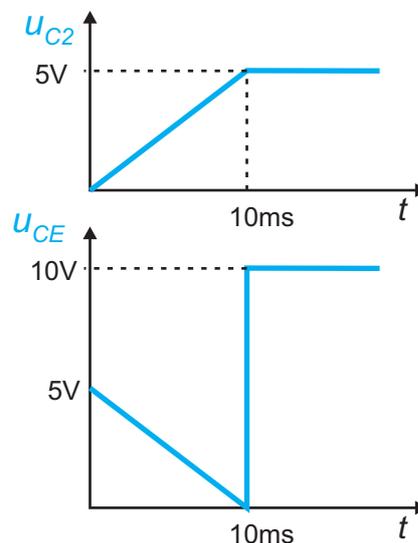
El tiempo que tardaría el transistor en alcanzar la zona de saturación se calcula mediante:

$$0 = 5 - 500 \cdot t_a \Rightarrow t_a = 10 \text{ ms}$$

Que coincide exactamente con el tiempo en el que la corriente de base se anula, por lo que ambos cambios se producen de forma simultánea y el equivalente para $t > 10 \text{ ms}$ resulta:

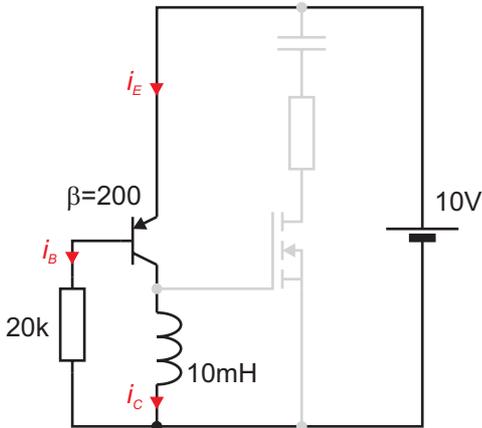


Cuando la corriente de base se interrumpe el transistor entra en corte y el condensador C2 deja de cargarse..



Problema 7

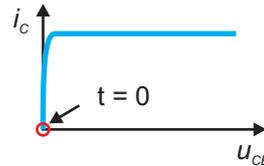
Por la puerta del transistor MOSFET no circula corriente, por lo que el funcionamiento del transistor bipolar se puede analizar de forma independiente del resto del circuito.



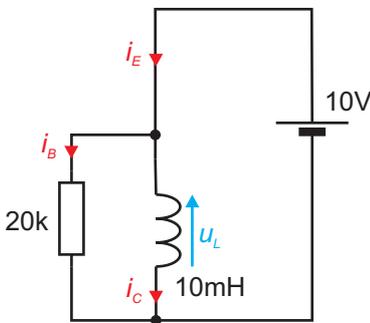
De este modo, la corriente de base resulta:

$$i_B = \frac{10}{20000} = 500 \mu A$$

La corriente inicial por la bobina es nula, por lo que el estado inicial del transistor bipolar es saturación.



El circuito equivalente que determina la evolución de la corriente por la bobina en los primeros instantes es por tanto:



Este equivalente da lugar a una evolución lineal de la corriente por la bobina:

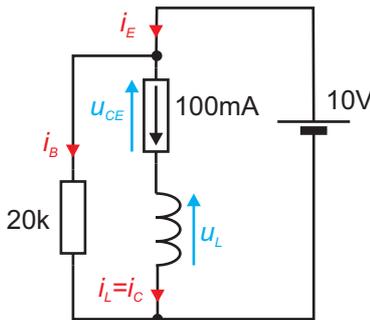
$$u_L = L \frac{di_L}{dt} \Rightarrow i_L(t) = i_L(0) + \frac{1}{L} \int_0^t u_L \cdot dt = 1000 \cdot t$$

Durante el intervalo en que es válido este circuito equivalente, la tensión U_{GS} del MOSFET es: $U_{GS} = U_L = 10V$

Este circuito equivalente deja de ser válido cuando el transistor sale de saturación:

$$i_C < \beta \cdot i_B \Rightarrow 1000 \cdot t < 200 \cdot 500 \cdot 10^{-6} \Rightarrow t < 100 \mu s$$

Para $t > 100 \mu s$, el transistor bipolar entra en zona activa y el equivalente visto por la bobina pasa a ser:

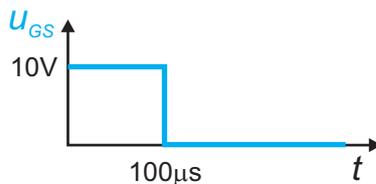


Al quedar fijada la corriente por la bobina la tensión U_L se anula:

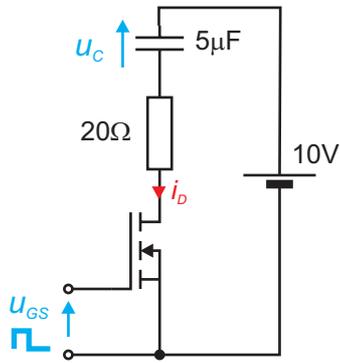
$$u_L = L \frac{di_L}{dt} \Rightarrow u_L = 0$$

Para este equivalente la tensión U_{CE} queda fijada en 10V, por lo que el transistor permanece en zona activa de forma indefinida.

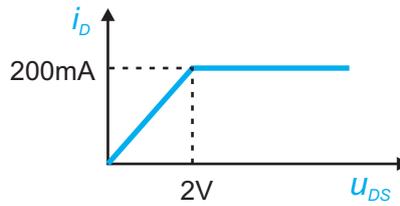
La forma de onda de la tensión de puerta del MOSFET resulta por tanto:



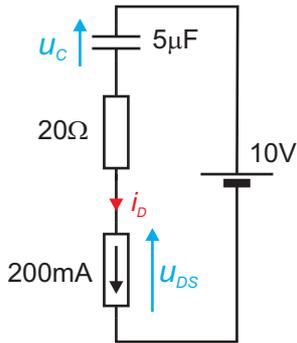
Partiendo de este dato se determina la evolución del estado del transistor MOSFET. El circuito equivalente visto por el condensador es el siguiente:



Para $t < 100\mu\text{s}$ la tensión U_{GS} es de 10V. Durante este intervalo, la relación entre i_D y U_{DS} está marcada por la curva siguiente:



Suponiendo, por ejemplo, que el MOSFET se encuentra inicialmente en zona de fuente de corriente se tiene:



$$U_{DS} = 10 - U_C - 20 \cdot i_D$$

$$U_{DS}(t=0) = 10 - 20 \cdot 200 \cdot 10^{-3} = 4V$$

Inicialmente la tensión U_{DS} es mayor que 2 por lo que la suposición de funcionamiento como fuente de corriente para $t=0$ es válida.:

Para este circuito equivalente la tensión en el condensador y en el MOSFET se calculan:

$$i_D = C \frac{du_C}{dt} \Rightarrow u_C(t) = u_C(t=0) + \frac{1}{C} \int_0^t i_D \cdot dt = 40000 \cdot t$$

$$u_{DS}(t) = 6 - 40000 \cdot t$$

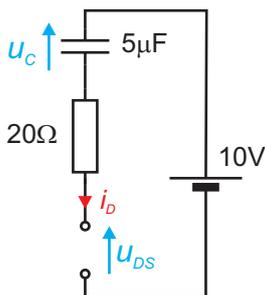
Hay dos motivos que pueden hacer que el circuito equivalente de carga del condensador cambie:

- 1.- El MOSFET entra en zona resistiva
- 2.- Pasan 100 μs y la tensión u_{GS} deja de ser 10V

Es necesario verificar cuál de los cambios se produce primero.

$$2 = 6 - 40000 \cdot t_a \Rightarrow t_a = 100\mu\text{s}$$

Ambos cambios se producen simultáneamente. El circuito equivalente final es por tanto:



Al tomar u_{GS} el valor 0 la corriente de carga del condensador se anula y éste mantiene su tensión.

Las evoluciones de u_{DS} y u_C desde el instante $t = 0$ son por tanto:

