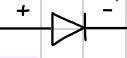


TEMA 5: circuitos

con diodos

INTRODUCCIÓN

El diodo es el dispositivo electrónico más simple, cuyo símbolo es  y permite que la corriente circule en un solo sentido, desde el terminal positivo (anodo) hasta el negativo (cátodo). Además es semiconductor. Hay caída de voltaje entre sus terminales.

Ofrece una baja resistencia ($m\Omega$) en un polo y una alta ($G\Omega$) en el otro. Su función principal es la **rectificación**.

DIODO REAL



Se puede observar que, si la tensión del diodo V_d es positiva, pasa una corriente eléctrica grande incluso para pequeñas diferencias de potencial, esta zona se llama de **polarización directa**. A partir de superar la tensión umbral directa V_r , que suele ser de 0,7 V (diodo de silicio), la corriente fluye fácilmente.

Sin embargo, si se aplica una tensión en sentido inverso a la anterior, la corriente será muy pequeña (corriente de fuga). A esa zona se la llama de **polarización inversa**. Si esa tensión en sentido inverso es muy grande, se entra en la zona de **ruptura inversa**.

Al pasar por esa zona de ruptura la corriente aumenta rápidamente. Hay diodos que se usan para operar solo entre las zonas de polarización; por tanto, el voltaje máximo que pueden soportar es menor que la tensión de ruptura. Otros están diseñados para que se pueda trabajar en la zona de ruptura, son los llamados **diodos Zener** (o de avalancha).

Para analizar el comportamiento de un diodo podemos usar la ecuación de Shockley:

$$I_d = I_s \left(e^{\frac{V_d}{nV_T}} - 1 \right)$$

$I_s \rightarrow$ corriente de saturación inversa (varía con la temperatura)

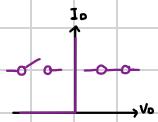
$n \rightarrow$ coeficiente de emisión ($1 \leq n \leq 2$)

$V_T \rightarrow$ tensión térmica, que viene dada por $V_T = \frac{kT}{q}$, donde T es la temperatura de unión (K°), k es la constante de Boltzmann y q es el valor de la carga del electrón.

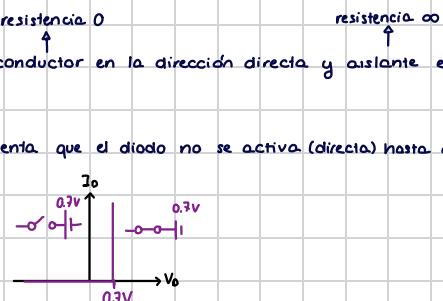
Para señales que causen pequeños cambios del punto de reposo o trabajo, podemos considerar el diodo como una resistencia lineal.

MODELOS DE UN DIODO:

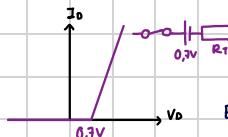
La aproximación más simple de un diodo es el **diodo ideal**, que es conductor en la dirección directa y aislante en la inversa. Funciona como un interruptor que se cierra en directa y se abre en inversa.



Para obtener una mejor aproximación podemos tener en cuenta que el diodo no se activa (directa) hasta que no llega a 0,7 V, así que le colocamos delante una pila de 0,7 V para neutralizar.



Para hacer una tercera (y mejor) aproximación, le añadimos una resistencia interna (así, la tensión aumenta con la corriente).



La tensión total del diodo: $V_d = 0.7 + I_o R_f$ $\rightarrow R_f < 1\Omega$ y se puede ignorar en muchos cálculos.

En la mayoría de problemas planteados, con la **segunda aproximación** nos basta.

TIPOS DE DIODOS

- De silicio: transforma tensión alterna en continua.
- Zener: puede mantener constante su tensión inversa, son parte esencial de los reguladores de tensión.
- LED (Light Emitting Diode): la intensidad de la luz depende de la corriente que circule.
- Fotodiodos: igual que LED pero a la inversa.
- Láser: produce un haz de luz estrecho e intenso.
- Shottky: en aplicaciones de alta frecuencia. Su $V_T \approx 0.2V$.

CIRCUITOS RECTIFICADORES

Los circuitos rectificadores convierten la corriente alterna en corriente continua, y se les conoce por las siglas en inglés AC/DC.

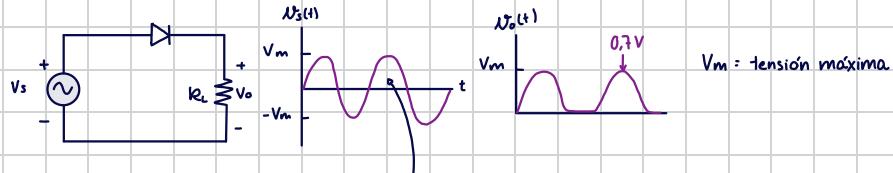
Componentes básicos.



Tipos:

- De media onda.
- De onda completa de transformador.
- De onda completa con puente de diodos.

DE MEDIA ONDA



Claro que la diferencia de potencial es positiva, el diodo conducirá corriente teniendo una caída de aproximadamente 0.7 V.

Claro que es negativa, no dejará pasar corriente, en ese tiempo el diodo soportará esa diferencia de potencial.

En directa $V_s = V_0$ y en inversa V_s la acapara el diodo.

Valor medio de una onda pulsante.

$$V_0(\text{DC}) = \frac{V_m}{\pi}$$

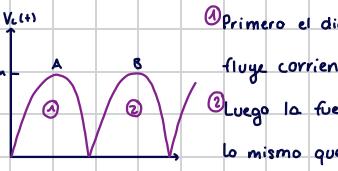
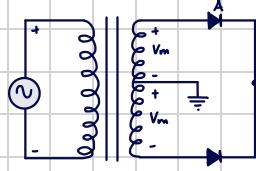
Valor eficaz de una onda pulsante:

$$V_{0(\text{rms})} = \frac{V_m}{2}$$

Recuerda!! los transformadores sirven para modificar el voltaje sin que haya pérdidas de energía.

DE ONDA COMPLETA CON TRANSFORMADOR DE TOMA INTERMEDIA

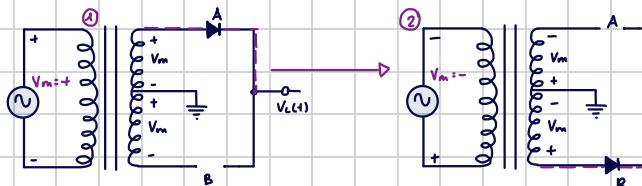
Se construye con dos rectificadores de media onda conectados a fuentes de tensión desfasadas 180° (π).



- ① Primero el diodo A conduce, mostrando el voltaje, como el diodo B está en inversa, no fluye corriente a través de él.
② Luego la fuente cambia de polaridad y lo que conduce es el diodo B, en V_L se percibe lo mismo que cuando conducía A, así que queda registrado el voltaje de manera positiva.

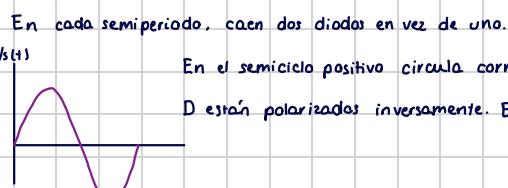
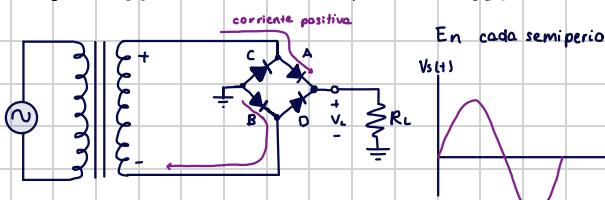
$$\text{Voltaje medio o de continua: } \frac{2V_m}{\pi}$$

$$\text{Frecuencia de salida: } f_{\text{out}} = 2f_{\text{in}}$$



$$V_{\text{ef}} : \frac{V_0}{\sqrt{2}}$$

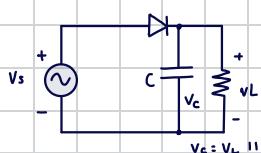
DE ONDA COMPLETA CON PUENTE DE DIODOS



En cada semiperiodo, caen dos diodos en vez de uno.
En el semiciclo positivo circula corriente por A y B, mientras que C y D están polarizados inversamente. En el semiciclo negativo ocurre lo contrario.

FILTRADO DE LA SEÑAL PULSANTE

Se necesita para configurar las anteriores rectificaciones, esto se realiza con un condensador. El condensador permite el paso de bajas frecuencias hacia R e impide el paso de las altas (filtro paso bajo RC, ver práctica 5).



El diodo solo conduce cuando $V_s > V_0$. Mientras que RC (constante de tiempo) sea mucho mayor al periodo T, el condensador permanecerá cargado y la diferencia de potencial en la carga será de V_m .

VOLTAJE DE PICO INVERSO

El voltaje máximo (inverso) que puede alcanzar un diodo antes de llegar a la zona de ruptura.

$$\text{Media onda: } V_{02} = 2 \cdot V_p$$

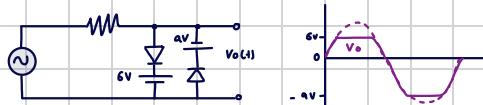
$$\text{Onda completa con toma intermedia: } V_{02} = V_p$$

$$\text{Onda completa con puente de diodos: } V_{02} = V_p$$

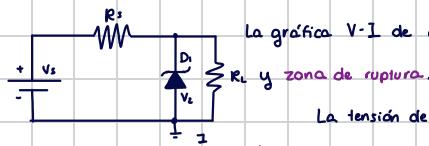
CIRCUITOS RECORTADORES

En los circuitos conformadores de onda, que modifican una forma de onda transformándola en otra.

En este ejemplo, la tensión de entrada se mueve entre los 6V y los -9V, si se sale del rango se recorta a dichos valores.



DIODOS ZENER



La gráfica $V-I$ de estos dispositivos es igual a la de un diodo rectificador, pudiendo funcionar estos diodos en polarización directa, inversa y zona de ruptura.

La tensión de ruptura inversa se llama ahora tensión Zener, V_z . El V_z se mantendrá constante en la zona de ruptura hasta que se supere la intensidad que soporta (I_{zmax}).

Para hacer los cálculos de un circuito regulador de tensión con diodo Zener como en el de arriba, hay que tener en cuenta que la tensión en la carga es la misma que en el diodo. $V_L = V_z$.

Paso 1: Se calcula la corriente a través de la resistencia R_s .

$$I_{Rs} = \frac{V_s - V_z}{R_s}$$

Paso 2: Se calcula la corriente en R_L .

$$I_{RL} = \frac{V_z}{R_L}$$

Paso 3: Se calcula la corriente a través del diodo.

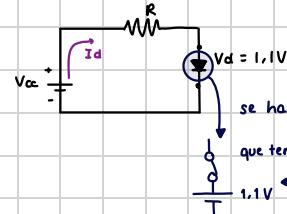
$$I_z = I_{Rs} - I_{RL} \quad (\text{la corriente } R_s \text{ se divide en dos: } I_z \text{ y } I_{RL})$$

PROBLEMAS

1 Usar una resistencia y una batería para polarizar un diodo LED y así modificar su intensidad de luz. Calcular el valor de R en cada caso.

a) Baja iluminación: $V_{cc} = 6V$; $I_d = 10mA$

$$I_d = \frac{V_{cc} - V_d}{R} \quad I_d \cdot R = V_{cc} - V_d \quad 10 \cdot 10^{-3} \cdot R = 6 - 1,1 \quad [R = \frac{4,9}{10 \cdot 10^{-3}} = 490\Omega]$$



b) Media iluminación: $V_{cc} = 6V$; $I_a = 15mA$

$$I_d = \frac{V_{cc} - V_d}{R} \quad I_d \cdot R = V_{cc} - V_d \quad [R = \frac{4,9}{15 \cdot 10^{-3}} = 327\Omega]$$

c) Iluminación baja con fuente diferente

$$\text{Se sustituye en la misma ecuación y queda } [R = \frac{7,9}{10 \cdot 10^{-3}} = 790\Omega]$$

d) Calcular I_d si: $V_{cc} = 6V$; $R = 600\Omega$.

$$I_d = \frac{V_{cc} - V_d}{R} = \frac{4,9}{600} = 8,13mA$$

2. La figura muestra un circuito recortador. Los diodos presentan una tensión de umbral directa de $V_f = 0,63V$. El generador suministra $14V$ (V_o) y una frecuencia $f = 1KHz$. La señal alterna va superpuesta sobre una tensión de offset $V_{off} = 1V$.

Calcular y representar la variación de la tensión de salida con el tiempo en 2 períodos.

La tensión del generador es: $V(t) = 1 + 14 \sin(\omega t)$

Vamos a hacer una tabla de casos para comprender mejor:

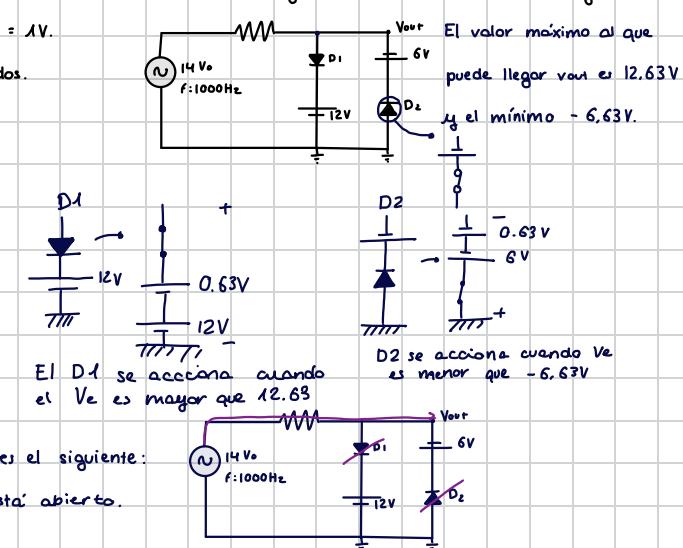
	D1	D2	Condición
Caso 1	off	off	$-6,63V \leq V_o - IR \leq 12,63V$ → no hay que recortar valores
Caso 2	on	off	$V_o - IR > 12,63V$
Caso 3	off	on	$V_o - IR < -6,63V$

No se puede dar el caso de que estén los dos en on.

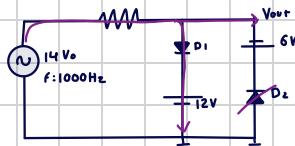
Caso 1: los dos están en off (abiertos), por lo que el recorrido de la corriente es el siguiente:

$$V_{out} = V_o - IR, \text{ la corriente es considerada nula porque el circuito está abierto.}$$

$$V_{out} = 1 + 14 \sin(\omega t)$$



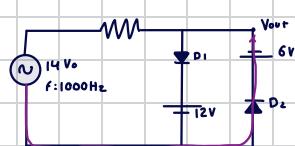
Caso 2:



$$V - IR > 12.63V$$

La tensión de salida será $V_{out} = 12.63V$, no cambiará aunque la tensión de entrada aumente su valor. Lo que sí cambiará es la corriente, que ahora puede circular por la rama de D_1 o por una posible resistencia de carga a la que se conecte.

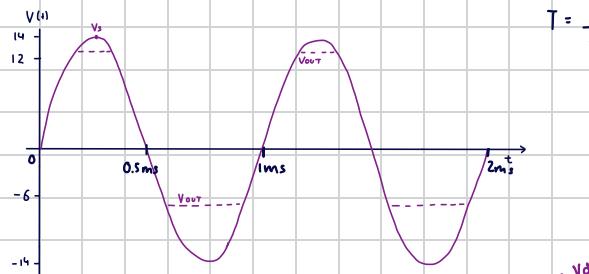
Caso 3:



$$V - IR < -6.63V$$

La tensión de salida será $V_{out} = -6.63V$, no cambiará aunque la tensión de entrada disminuya. Solo cambia la corriente, que ahora circula por D_2 o por una resistencia de carga a la que se conecte.

Grafica:

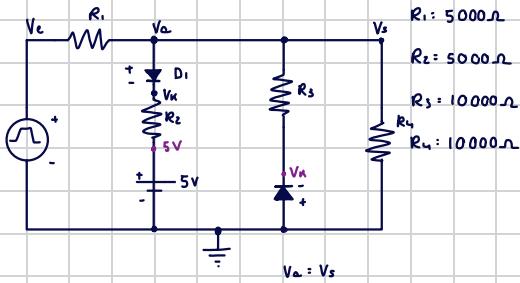


calcularnos el periodo para realizar la gráfica

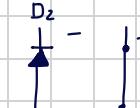
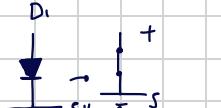
$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{1000} = 0.001 \text{ s}$$

3. La figura muestra un circuito recortador con diodos ideales. La señal de entrada es una onda triangular simétrica de 20Vpp y frecuencia de 10 Hz.

Calcular y representar la variación de la tensión de entrada y salida con el tiempo



	D ₁	D ₂	Condición
Caso 1	off	off	$0 \leq V_a \leq 5$
Caso 2	off	on	$V_a < 0$
Caso 3	on	off	$V_a > 5$

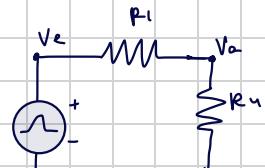


Caso 1: Se deben dar dos condiciones a la vez $0 \leq V_a \leq 5$. Hay que desarrollar un divisor de tensión:

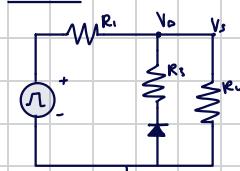
$$V_s = V_e \cdot \frac{R_4}{R_1 + R_4} = \frac{2}{3} V_e, \text{ sabemos que } V_a = V_s, \text{ y los valores entre los que está } V_a.$$

$$V_s \geq 0V \rightarrow \frac{2}{3} V_e \geq 0 \rightarrow V_e \geq 0 \quad V_s \leq 5V \rightarrow \frac{2}{3} V_e \leq 5 \rightarrow V_e \leq \frac{15}{2} = 7.5V$$

Podemos escribirlo como $V_s = \frac{2}{3} V_e$ si $0 \leq V_e \leq 7.5V$

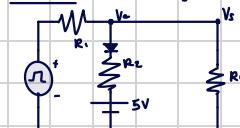


Caso 2: D₁:off, D₂:on

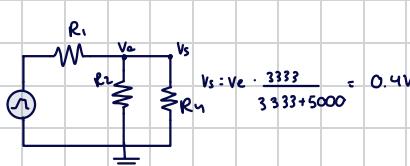


$$V_s = V_e \cdot \frac{R_{req}}{R_2 + R_{req}} = V_e \cdot \frac{5000}{10000} = \frac{1}{2} V_e, \text{ que ocurre cuando } V_a \leq 0$$

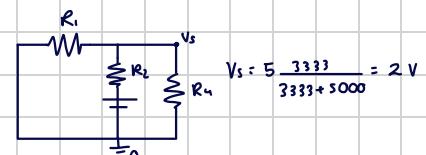
Caso 3: D₁:on, D₂:off



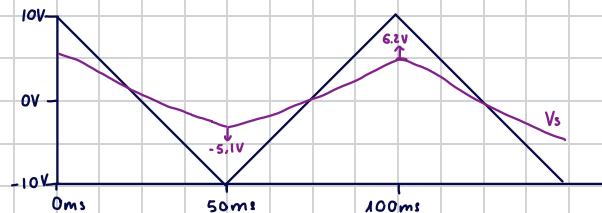
vamos a resolver por superposición



$$V_s = 0.4 V_e + 2 \quad V_a = V_s \geq 5V \text{ cuando } V_e \geq 7.5V$$



$$V_s = 5 \cdot \frac{3333}{3333 + 5000} = 2V$$



Nos dicen que la onda tiene 20 V_{pp} de voltaje. V_{pp}, pp significa

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{10} = 0.1 \text{ s}$$

ca peak-to-peak, por lo que el voltaje máximo y mínimo es la mitad de ese valor.

$$\text{Para } 10V \rightarrow V_s = 0.4 \cdot 10 + 2 = 6$$

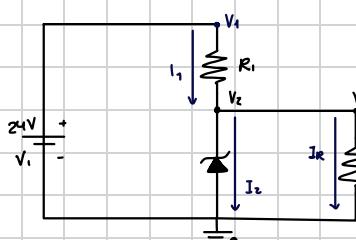
$$\text{Para } -10V \rightarrow \frac{1}{2}(-10) = V_s = -5$$

4. En el circuito de la figura, la I_{max} = 30 mA y V_t = 4,7 V. La R_L debe estar siempre a 4,7 V.

a) Caso 1: Carga variable, alimentación fija. Calcular R_t sabiendo que R_L va desde 0 A hasta un valor máximo por determinar. Calcular también la resistencia de carga mínima.

b) Caso 2: Carga fija, alimentación variable. Considerando el valor de R_t y una carga fija con consumo 22 mA, calcular el rango de la alimentación (V_t) para que la carga esté siempre regulada a 4,7 V.

Límites de la zona de trabajo: 10% I_{max} - 90% I_{max}



a) La R_L es variable.

$$I_L = I_z + I_R, \text{ sabemos que } I_z \text{ puede variar entre } 10\% I_{max} \text{ y } 90\% I_{max}. \text{ Calculamos:}$$

$$3 \leq I_z \leq 27 \text{ mA}$$

La I_R mínima es 0A. Por tanto en ese caso I_L = 27 (I_z y I_R son variables, y si una disminuye, la otra aumenta). Entonces, cuando I_z sea mínima (3 mA), I_R será 24 mA.

$$V_t - V_z = I_L \cdot R_t \quad 24 - 4,7 = 27 \text{ mA} \cdot R_t \quad \frac{24 - 4,7}{0,027} = 700 \Omega$$

También nos piden la R_L mínima. R_{min}: $\frac{V_L}{I_{max}} = \frac{4,7}{0,027} = 190 \Omega$

b) La V_t es variable, R_t son 700Ω y R_L = $\frac{4,7}{0,027} = 190 \Omega$. ¿Rango de V_t?

$$V_t - V_z = I_L \cdot R_t \longrightarrow V_t - V_z = (I_z + I_L) R_t \longrightarrow V_t = (I_z + I_L) R_t + V_z$$

$$\text{Para } I_z = 27 \text{ mA} \quad V_{tmax} = 4,7 + 700(0,027 + 0,022) = 39 \text{ V} \quad] \text{ mientras que } V_t \text{ tenga estos valores } V_z \text{ permanecerá en}$$

$$\text{Para } I_z = 3 \text{ mA} \quad V_{tmin} = 4,7 + 700(0,003 + 0,022) = 22,2 \text{ V} \quad] 4,7 \text{ V.}$$

Tema 6:

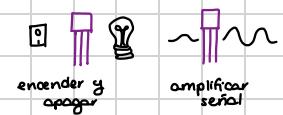
el transistor

Dispositivo básico a partir del cuál se ha desarrollado toda la tecnología electrónica y microelectrónica. Se integra de forma masiva en chips, denominados circuitos integrados (IC). Un microprocesador tipo Intel i7 alberga + de 700 millones

Se han desarrollado dos tecnologías: el Transistor de unión bipolar (BJT) y el transistor de efecto de campo (FET).

compuesto x dos diodos

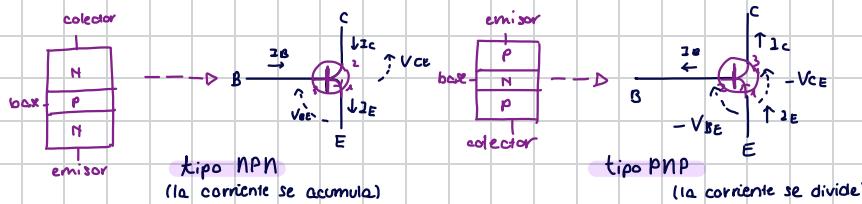
mas simple



La respuesta de un transistor se define a través (como en los diodos), y su modo de funcionamiento se puede describir mediante el símil de un grifo.

TRANSISTOR DE UNIÓN BIPOLAR

Si al diodo semiconductor le añadimos un nuevo terminal construimos el denominado transistor.



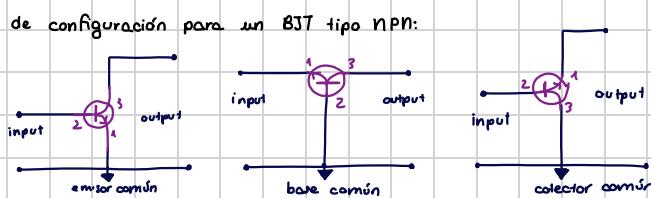
→ predominan los electrones (-)

→ predominan los huecos (+)

Se consigue que una pequeña cantidad de corriente eléctrica que entra o sale por el terminal común (Base) active controlando un circuito de mayor intensidad de corriente, la que circula entre emisor y colector.

Para configurar el trabajo de un BJT debemos asignar a un terminal el circuito de entrada, a otro el de salida y el tercero será el terminal común entre entrada y salida.

Ejemplos de configuración para un BJT tipo NPN:

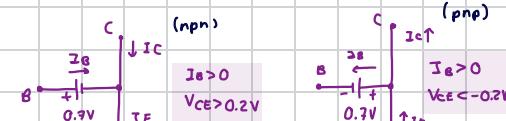


dadas sus características, la más usada es la de Emisor Común

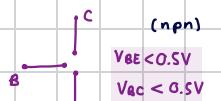
β : ganancia de corriente: $\frac{\text{corr. colector}}{\text{corr. base}}$

Un transistor puede estar en las siguientes zonas de trabajo:

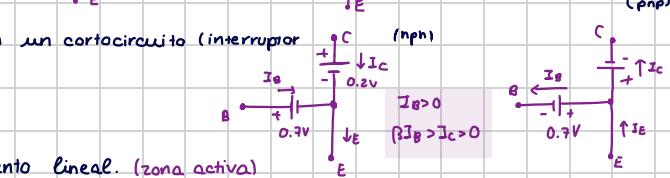
• Zona ACTIVA: Se comporta de forma lineal y podemos analizarlo mediante un modelo lineal a base de resistencias, condensadores, inductancias y generadores. Se cumple que $I_c = \beta I_B$ y $I_E = (\beta + 1) I_B$



• Zona de CORTE: no circula corriente, se comporta como un interruptor abierto.



• Zona de SATURACIÓN: La unión colector-emisor se comporta prácticamente como un cortocircuito (interruptor cerrado) y la corriente a través de su terminal C y E es máxima.



En el caso de aplicaciones como AMPLIFICADOR se necesita un comportamiento lineal. (zona activa)

En el caso de aplicaciones de CONMUTACIÓN, interesa que el transistor pase de la zona de Corte a la Saturación lo más rápido posible.

Para que un transistor realice su misión, es necesario disponer de un generador de tensión continua V_{cc} y ajustar los valores de tensión entre emisor y colector.

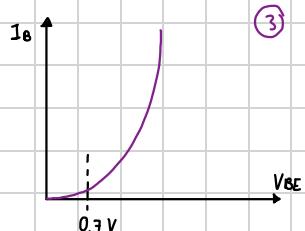
En reposo sin aplicar señales de salida ni entrada, el transistor se debe hacer funcionar, en el punto de polarización: $Q = (V_{ce}, I_c)$

Se consigue mediante resistencias y una fuente continua.

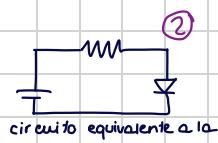
• Análisis: calcular Q.

• Síntesis: calcular resistencias dado Q.

curva de entrada



la curva será la misma que en un diodo



Para sacar la curva analizamos la malla de entrada:

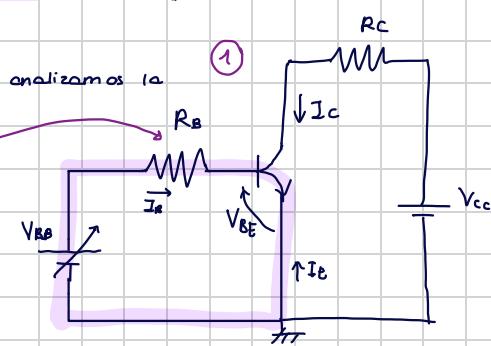
$$V_{BB} - V_{BE} - V_{CE} = 0$$

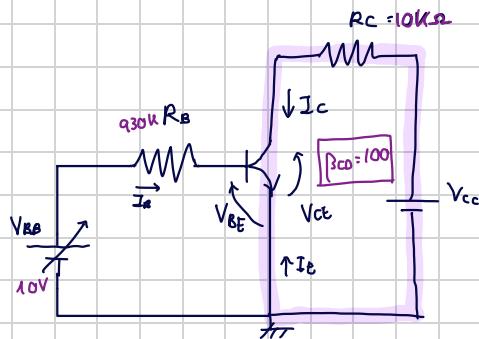
$$V_{BB} = V_{BE} + V_{CE}$$

$$I_B \cdot R_B = V_{BB} - V_{BE}$$

$$I_B = (V_{BB} - V_{BE}) / R_B$$

0.7V!!





Analizamos la malla de salida:

$$V_{CC} - V_{RC} - V_{CE} = 0$$

$$V_{CE} = V_{CC} - V_{RC}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_c \cdot R_C \quad \text{factor de ganancia}$$

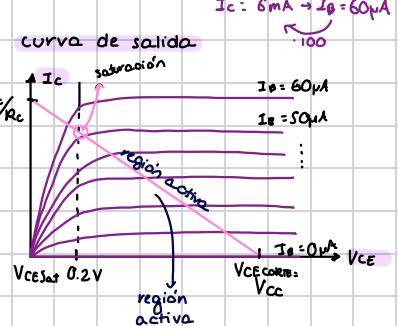
Sabemos que $I_c = \beta \cdot I_B$, el valor de I_c depende de la malla 1, le damos valores.

$$I_B = (10 - 0.7) / (930 \cdot 10^3) = 10\mu A \quad (\text{usando la fórmula de la malla anterior})$$

V_{CC}	I_c	V_{CE}
10V	1mA	0
11V	1mA	1
12V	1mA	2
15V	1mA	5

$$V_{CE} = V_{CC} - I_c \cdot R_C$$

rellenamos esta columna en función a la fórmula



análisis del punto de polarización (Q)

1. Se aplica la 2ºLK como acabamos de hacer a ambas mallas.

2. Se considera como hipótesis que el transistor se encuentra en zona activa, lo que implica poder usar $I_c = \beta \cdot I_B$.

3. Se resuelve el sistema, las 3 incógnitas son I_B , I_c y V_{CE}

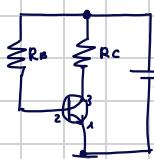
4. Se comprueba que realmente esté en zona activa:

- $I_c \leq 0$, zona de corte, por tanto $V_{CE} = V_{CC}$.

- Si $V_{CE} \leq 0.2$ estará en zona de saturación, los valores para Q no son válidos y debemos recalcular en la malla del colector. Ahora la $V_{CE} = V_{CESAT}$, que es un dato del transistor empleado y debemos volver a calcular la I_{CSAT} .

- En otro caso, zona activa, valores de Q correctos.

Circuito polarizador de base



ec. malla base:

$$V_{CC} - V_{RB} - V_{BE} = 0 \rightarrow V_{CC} = I_B \cdot R_B + V_{BE}$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$$

ec. malla colector:

$$V_{CC} - V_{RC} - V_{CE} = 0 \rightarrow V_{CC} = I_c R_C + V_{CE}$$

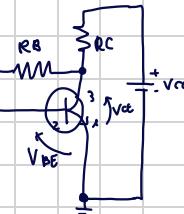
Asumimos que está en zona activa ($I_c = \beta I_B$), $V_{CE} = V_{CC} - I_c R_C$,

si está en corte $V_{CE \text{corte}} = V_{CC}$, y si está en saturación:

$$I_{CSAT} = \frac{V_{CC} - V_{CESAT}}{R_C}$$

Circuito polarizador de colector

(suponemos que $I_c \approx I_E$)



malla base: $V_{CE} = I_B R_B + V_{BE}$

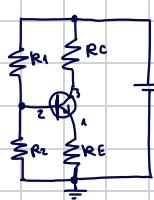
malla colector: $V_{CC} = I_c R_C + V_{CE}$

se obtiene

$$I_c = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{\frac{R_B}{\beta} + R_C}$$

si conseguimos que $R_C \gg R_B$ dependrá de β .

Circuito polarizador de emisor



recorremos al equivalente Thévenin



$$V_{TH} = V_{CC} \frac{R_E}{R_1 + R_E}$$

$$R_{TH} = \frac{R_1 \cdot R_E}{R_1 + R_E}$$

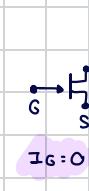
malla base: $V_{TH} = I_B \cdot R_{TH} + V_{BE} + I_E R_E$

malla colector: $V_{CC} = I_c \cdot R_C + V_{CE} + I_E R_E$

si suponemos $I_c \approx I_E$ es fácil calcular Q

potencia disipada por un BJT: $P = I_B \cdot V_{BE} + I_c \cdot V_{CE}$ el fabricante de cada dispositivo especifica la P_{max} .

TRANSISTOR UNIPOLAR (FET)



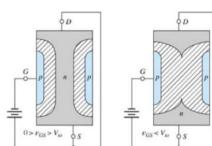
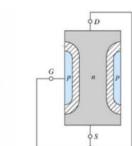
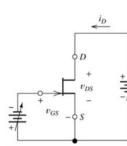
Son los que componen los microchips

Se componen de un substrato semiconductor tipo N o P. Tiene 3 terminales:

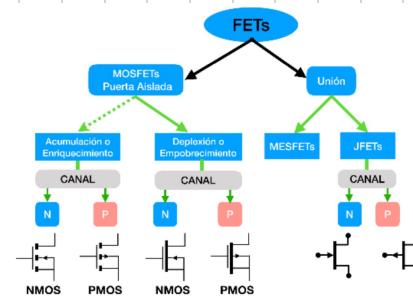
Drenador (Drain), Puerta (Gate) y Surtidor o fuente (Source).

El terminal de puerta realiza el control del flujo de corriente entre D y S. La principal diferencia es que ahora este control se realiza mediante el campo eléctrico generado por la tensión aplicada a Gate. La corriente a través de la puerta es despreciable.

Jfet's
(de unión)



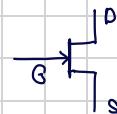
Clasificación de FETs



tensiones y estructura física

las tres zonas de trabajo:

- Corte
- Región Óhmica
- Región de Saturación o Activa.



CONCEPTOS CLAVE:

La corriente del drenador (I_D) está controlada por

la tensión entre la fuente y la puerta, V_{GS} y puede ser tanto positiva como negativa.

Existe una tensión de V_{GS} que hace que la corriente del drenador sea nula y el transistor esté en la zona de corte.

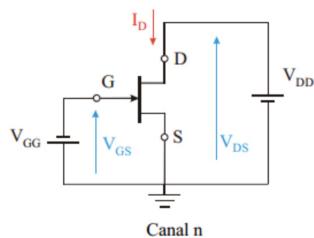
Existe un valor de corriente de drenador I_{DSs} (corriente de saturación) que se obtiene cuando $V_{GS}=0$.

Curva de entrada: $I_D = f(V_{GS})$

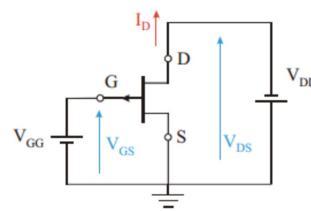
Curva de salida: $I_D = f(V_{GS}, V_{DS})$ parámetro.

Tensión de contracción V_p es el valor de V_{GS} , cuando I_D pasa de la zona óhmica a la saturación, cuando $V_{GS}=0$.

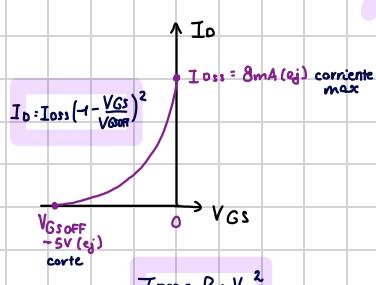
Siempre se cumple que $V_{DS} = V_{GS} + V_{DG}$



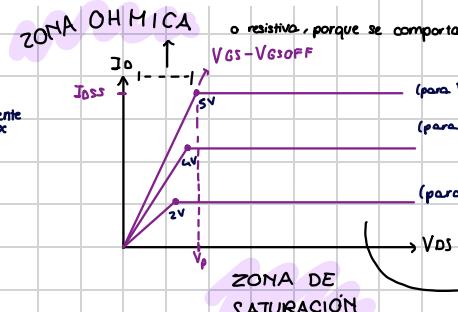
Canal n
 V_{DS} positiva
 V_{GS} negativa → cuanto + negativa, - corriente
 I_D positiva (entrante)



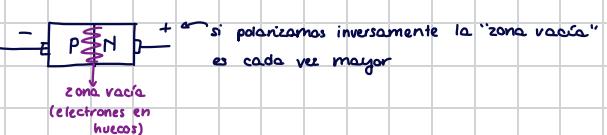
Canal p
 V_{DS} negativa
 V_{GS} positiva
 I_D negativa (saliente)



$$I_{DSs} = \beta \cdot V_p^2$$



Recordemos que en una unión P-N (diodo) había que superar cierto voltaje (normalmente 0.7V) para que condujese



En la figura del se puede ver como la "zona vacía" va aumentando hasta que deja de permitir el paso de corriente.

$$V_{GS} - V_{GSOFF} = 5V - 0V = 5V$$

$$R_{DS} = \frac{5V}{8 \cdot 10^{-3}} = 625\Omega \quad (V_{GS} = 0V)$$

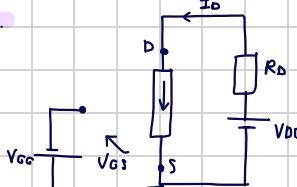
$$R_{DS} = \frac{2V}{ID} \quad (V_{GS} = -3V)$$

(con la fórmula de antes)

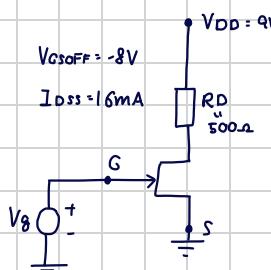
con esto conseguimos que el transistor se comporte

como una resistencia que es controlada por la tensión.

intensidad.



EJEMPLO CON NÚMEROS



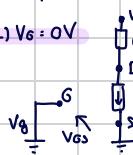
Cálculo I_D y V_{DS} para:

a) $V_g = 0V$

suponemos que funciona como fuente de intensidad:

b) $V_g = -3V$

c) $V_g = -8V$



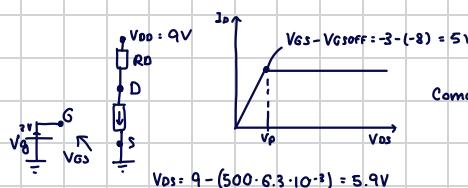
$$V_{DS} = 9 - I_D \cdot R_D = 9 - (6.3 \cdot 10^{-3} \cdot 500) = 1V$$

como $V_{DS} < 8V$ sabemos que realmente está trabajando en zona ohmica, no en saturación.

b) $V_g = -3V$

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GSOFF}}\right)^2 = 16 \cdot 10^{-3} \left(1 - \frac{-3}{-8}\right)^2 = 6.3 \text{ mA}$$

valvernos a suponer que es fuente



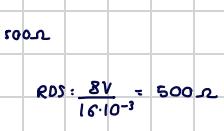
Como $5.9V > V_p$ si se comporta como fuente

$$V_{DS} = 5.9V$$

$$I_D = 6.3 \text{ mA}$$

$$I_{DS} = \frac{9V}{500 + 500} = 9 \text{ mA}$$

$$V_{DS} = I_D \cdot R_{DS} = 4.5V$$



c) $V_g = -8V$

el transistor está al corte: $I_D = 0V$, $V_{DS} = 9V$

Mosfet

Con una alta impedancia en la puerta. Se construyen en dos formatos: acumulación y deplección. Canal N: NMOS, Canal P: PMOS.

La estructura de un MOSFET consta de un nuevo terminal denominado sustrato (B), aunque habitualmente se conecta junto con la fuente.

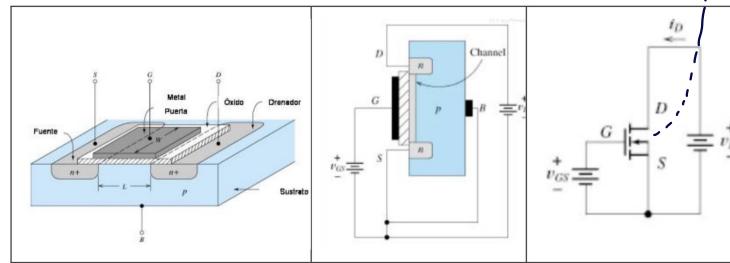
NMOS de acumulación:

La corriente del drenador, I_D , está controlada por la tensión aplicada en G.

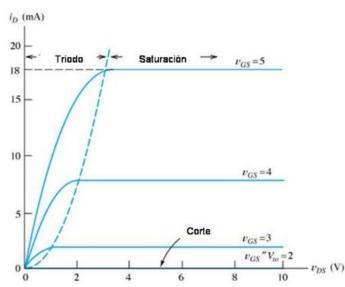
En la zona de saturación la corriente se modela con la siguiente expresión:

$$I_D = \frac{k}{2} (V_{GS} - V_t)^2$$

Donde V_t es la tensión



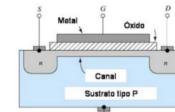
V_{DS} de corte que hace $I_D = 0$ (similar a V_0 del JFET) y k es una constante del dispositivo.



NMOS de deplección:

Las curvas características son casi idénticas a los JFET's.

La diferencia principal es que puede funcionar con valores positivos de V_{GS} , en el JFET no se puede.



AMPLIFICACIÓN DE SEÑALES

Las señales tienen forma de onda y las representamos con expresiones de tipo $x(t)$

Un amplificador es un dispositivo capaz de incrementar la potencia de una señal de entrada.



k es el factor de amplificación o ganancia

Se realizan amplificadores capaces de multiplicar el nivel de un parámetro de una señal para obtener otra con mayor nivel. Como los parámetros básicos de una señal son su tensión y su corriente, existen las siguientes 4 posibilidades:

- Amplificador de tensión: $V_o(t) = g_v \cdot V_i(t)$
- Amplificador de corriente: $I_o(t) = g_i \cdot I_i(t)$
- Amplificador de transconductancia: $I_o(t) = g_m V_i(t)$
- Amplificador de transresistencia: $V_o(t) = g_r I_i(t)$

definiciones de ganancia:

$$g = \frac{P_o}{P_i}, \text{ para expresar en decibelios: } G = 10 \log(g)$$

también se puede expresar en términos de tensión y corriente

$$P_i = k |V_i|^2 \quad P_o = k |V_o|^2 \quad G = 20 \cdot \log \left(\frac{|V_o|}{|V_i|} \right)$$

La ganancia, tal como se muestra, es una constante, pero, si la frecuencia de la señal de entrada cambia, la ganancia cambia también. La representación de $G(f)$ es lo que conocemos como respuesta a frecuencia de un amplificador.

Ganancia de tensión:

$$P_i = \frac{1}{2} \cdot \frac{V_i^2}{R} \quad P_o = \frac{1}{2} \cdot \frac{V_o^2}{R}$$

$$g_v = \frac{V_o}{V_i} = \sqrt{\frac{P_o}{P_i}} = \sqrt{g}$$

Ganancia de corriente:

$$P_i = \frac{1}{2} \cdot I_i^2 \cdot R \quad P_o = \frac{1}{2} \cdot I_o^2 \cdot R$$

$$g_i = \frac{I_o}{I_i} = \sqrt{g}$$

Si viene definida por la corriente

$$G_{dB} = 10 \log(g) = 10 \log\left(\frac{P_o}{P_i}\right) = 20 \log\left|\frac{V_o}{V_i}\right| = 20 \log\left|\frac{I_o}{I_i}\right|$$

En un amplificador la ganancia será siempre positiva, sin embargo, si fuese negativa, nos encontrarnos ante un atenuador.

si viene definida por el voltaje

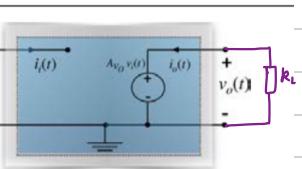
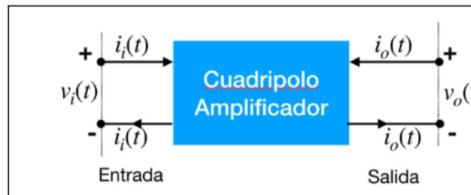
Se pueden unir varios amplificadores en cadena para crear una amplificación + grande.



$$\text{la } g_T = g_1 \cdot g_2 \cdot \dots \cdot g_n, \text{ en decibelios seria } G_T = G_1 + G_2 + \dots + G_n$$

modelo de un amplificador ideal de tensión

La impedancia de entrada es ∞ y la de salida es nula, por tanto, la corriente de entrada es nula y la V_o no depende del circuito al que se encuentre conectado.

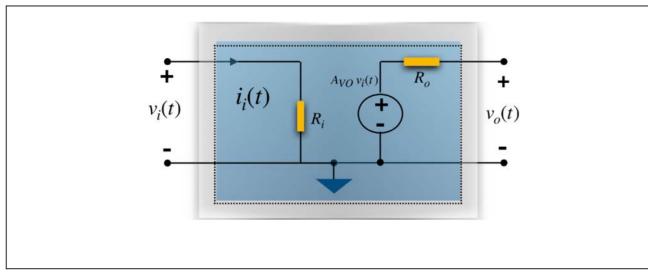


$$V_o(t) = A_{vo} \cdot V_i(t)$$

ganancia en lazo abierto: aquella que se obtiene cuando la salida se deja en circuito abierto.

Como no consume potencia de entrada, la ganancia de tensión de un amplificador ideal es $g_v = \frac{V_o(t)}{V_i(t)} = \frac{A_{vo} \cdot V_i(t)}{V_i(t)} = A_{vo}$

modelo de un amplificador real de tensión:



Impedancia de entrada: R_i

Ahora el amplificador sí que consume corriente de entrada.

Impedancia de salida: R_o

conexión:

$$V_o(t) = A_{vo} \cdot V_i(t) \frac{R_L}{R_L + R_o}$$

La tensión de entrada depende de la tensión del generador y su resistencia interna.

$$V_i(t) = V_g \frac{R_i}{R_i + R_g}$$

R_i será muy grande y R_o muy pequeña.

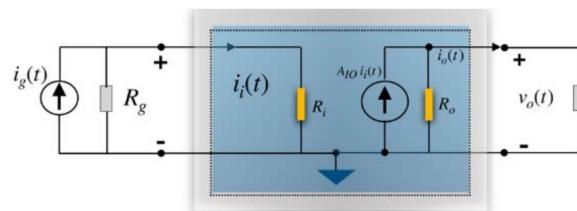
La ganancia real será la siguiente:

$$g_v = \frac{V_o(t)}{V_g(t)} = \frac{R_L}{R_i + R_g} A_{vo} \frac{R_o}{R_o + R_L}$$

siendo A_{vo} la ganancia en circuito abierto

modelo de amplificador real de corriente:

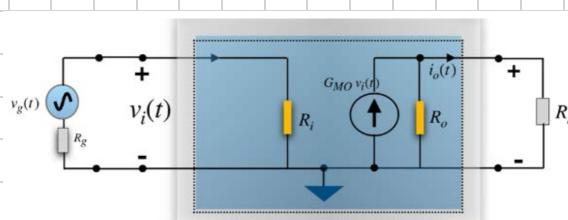
Si está formado por generadores de corriente:



$$I_o(t) = A_{io} I_i(t) \frac{R_o}{R_o + R_L}$$

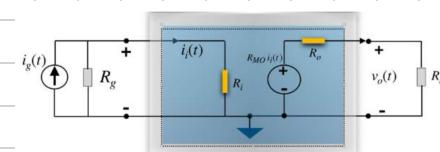
$$g_i = \frac{I_o(t)}{I_g(t)} = \frac{R_o}{R_g + R_i} \cdot A_{io} \cdot \frac{R_o}{R_o + R_L}$$

modelo de amplificador de transconductancia:



$$g_m = \frac{i_o(t)}{v_i(t)} = G_m \frac{R_o}{R_o + R_L}$$

modelo de un amplificador de transresistencia:



$$g_m = \frac{V_o(t)}{I_i(t)} = R_m \frac{R_L}{R_L + R_o}$$

donde R_m es la

ganancia con la salida en circuito abierto, esto es, $R_L \rightarrow \infty$

MODELO LINEAL DEL TRANSISTOR

Para simular el comportamiento de un transistor se utilizan modelos lineales, para señales pequeñas y modelos no lineales, para señales más grandes. De esta forma, denominamos al transistor cuadripolo, del que conocemos unas parámetros que determinan su comportamiento.

Cuadripolo descrito por parámetros híbridos:

Estos parámetros se relacionan con la tensión de entrada y corriente de salida así:

$$\begin{aligned} v_1 &= h_{11} i_1 + h_{12} v_2 \\ i_2 &= h_{21} i_1 + h_{22} v_2 \end{aligned}$$

h_{11} : Impedancia de entrada cuando la salida se encuentra en cortocircuito.

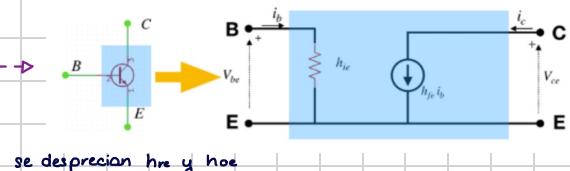
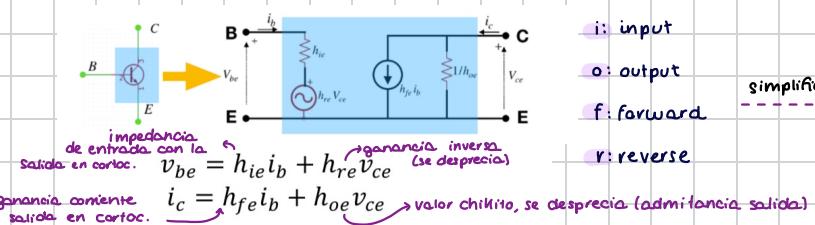
h_{22} : Admitancia de salida cuando la entrada está en cortocircuito.

h_{21} : Transferencia directa (forward) de corriente de entrada a salida, siendo la ganancia de corriente cuando la salida esté en cortocircuito.

h_{12} : Transferencia inversa (reverse) siendo la ganancia inversa de tensión cuando la entrada se encuentra en circuito abierto.

Los fabricantes de transistores ofrecen estos datos.

Circuito equivalente con parámetros híbridos:

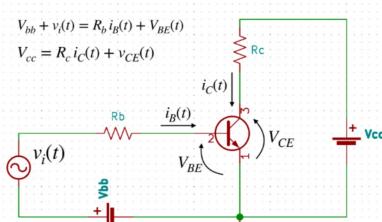
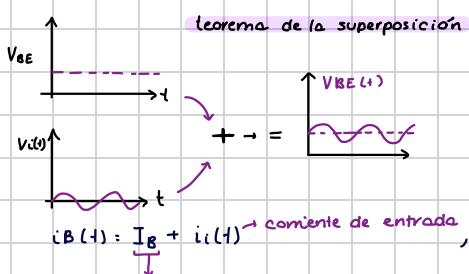


configuración en emisor común de un transistor BJT.

Funcionamiento del amplificador con transistor:

Si el transistor es de tipo BJT debemos polarizarlo en zona ACTIVA y si es un FET, en SATURACIÓN.

Se debe añadir la tensión de entrada a la corriente continua de polarización o tensión.



$i_B(t) = I_B + i_i(t)$ → corriente de entrada, lo mismo ocurre con el colector $i_C(t) = I_C + i_c(t)$

¿Cómo se realiza la amplificación?

Sabemos que se cumple que $I_C = \beta I_B$ en un transistor BJT trabajando en zona activa. Esto significa que se amplifica la corriente base si $\beta \geq 1$. Pero también queremos amplificar la corriente variable de entrada.

Una batería externa aporta la energía para que se pueda realizar el proceso. Esta energía se suministra en forma de tensión y corriente continua. (en cierto modo se produce una conversión de DC al AC).

Cada transistor necesitará un circuito de polarización para llevarlo a su zona activa, $Q(V_{CE}, I_C)$ en el caso de un BJT.

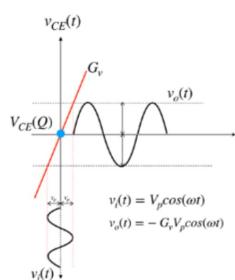
Vamos a definir las siguientes potencias:

- P_{DC} : potencia media entregada por la fuente de alimentación para mantener el transistor en Q .
- p_i : potencia de la señal de entrada.
- p_o : potencia media de la señal de salida (señal deseada).

Rendimiento:

$$\eta = \frac{p_o}{p_i + P_{DC}}$$

, en el caso de una pequeña señal $\eta = \frac{p_o}{P_{DC}}$ este factor no cobra mucha importancia en los amplificadores de baja potencia.



Proceso de amplificación

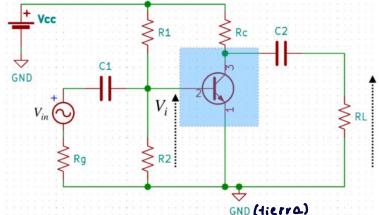
en un BJT

Análisis de un amplificador de tensión con transistor BJT:

Lo primero que se debe hacer es determinar el punto de trabajo Q. Ahora se deben calcular los valores de los parámetros del modelo equivalente en pequeña señal del transistor:

- Sustituir fuentes de tensión continua por cortocircuitos.
- Sustituir fuentes de corriente continua por circuitos abiertos.
- Sustituir los condensadores por cortocircuitos.

Luego analizaremos este circuito equivalente para determinar los parámetros del Amplificador.



circuito completo ↗

Los parámetros que vamos a calcular son.

Ganancia de tensión

$$g_v = \frac{V_o}{V_{in}}, \text{ llamamos } R_A \text{ al paralelo de } R_B \text{ y } h_{ie} \text{ y } V_i \text{ a la tensión en la base del transistor: } i_B = \frac{V_i}{h_{ie}}$$

en el circuito de salida denominamos R_D al paralelo de R_C y R_L .

$$V_o = -h_{fe} I_B \cdot R_D = h_{fe} \cdot \frac{V_i \cdot R_C R_L}{h_{ie} (R_C + R_L)}$$

$$V_i = V_{in} \cdot \frac{R_A}{R_A + R_g}$$

$$g_v = -\frac{h_{fe} \cdot R_A}{h_{ie} (R_A + R_g)} \cdot \frac{R_C \cdot R_L}{R_C + R_L}$$

Indicación de fase: indica que está desfasado 180°

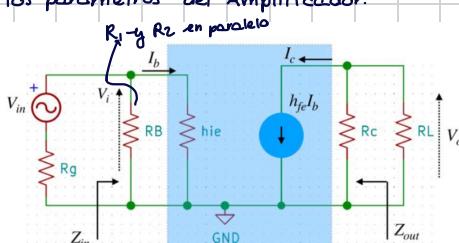
Se sustituye el generador real de la entrada (V_{in} y R_g) por un generador ideal de tensión V . R_L se sustituye por un cortocircuito.

$$Z_{in} = \frac{V}{I} = \frac{R_A \cdot h_{ie}}{R_A + h_{ie}}$$

Impedancia de salida:

R_L se sustituye por un V y la entrada se cortocircuitó:

$$Z_{out} = \frac{V}{I} = R_C$$



circuito equivalente ↗

CIRCUITOS DE CONMUTACIÓN CON TRANSISTORES

Son aquellos circuitos en los que el paso de corte a saturación es instantáneo, es decir, el transistor no permanece en zona activa.

BJT EN CONMUTACIÓN

BJT en corte = interruptor abierto BJT en saturación = interruptor cerrado, frecuencia max de trabajo: tiempo en pasar de uno a otro

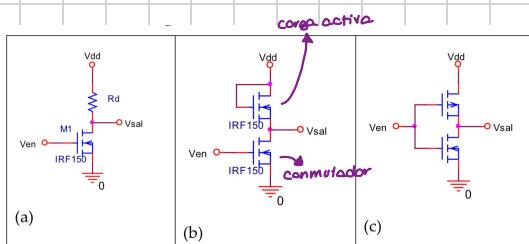
Al igual que los BJT, los FET pueden trabajar en conmutación, pero estos pasan de la zona corte a la zona óhmica.

MOSFET EN CONMUTACIÓN

a) Si $V_{in} < V_t$ (tensión corte), M1 estará en corte y

$V_{sal} = V_{dd}$. Si $V_{in} > V_t$ estará en zona óhmica y V_{sal} será próximo a 0.

b) Funciona igual pero + fácil de integrar



c) CMOS. Cuando uno conduce el otro está en corte y viceversa. Es de bajo consumo.

ELECTRÓNICA DIGITAL

Se basa en transmitir y recibir información por medio de señales eléctricas que representan dos estados binarios. (HIGH / LOW Voltage)

Dos grandes tecnologías: TTL (con transistores BJT en conmutación) y CMOS (con MOSFETs en conmutación).

Con circuitos de diodos y transistores se construyen las puertas lógicas.

CIRCUITO INVERSOR



Inversor TTL:

Se fabrica con transistores BJT. Según la configuración de la etapa de salida se definen tres tipos:

Totem-Pole, Open Collector, Tri State.

Fun fact: C es de Complementary)

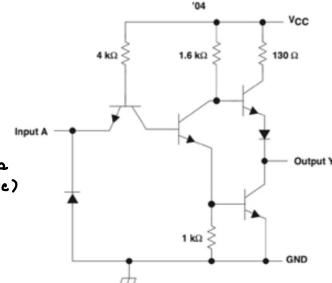
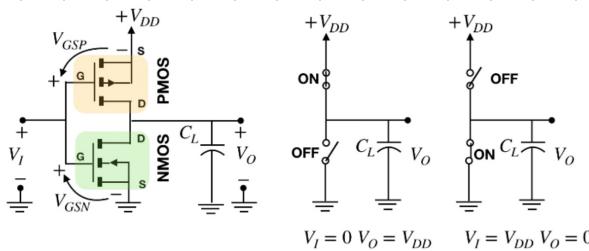
Inversor CMOS:

Formado por un transistor NMOS y uno PMOS.

Cuando la entrada V_I se encuentra a nivel

abajo, el NMOS está al corte y PMOS en conducción. La salida estará a nivel alto con valor V_{DD} .

Cuando V_I está a nivel alto para lo contrario, y la salida = 0.



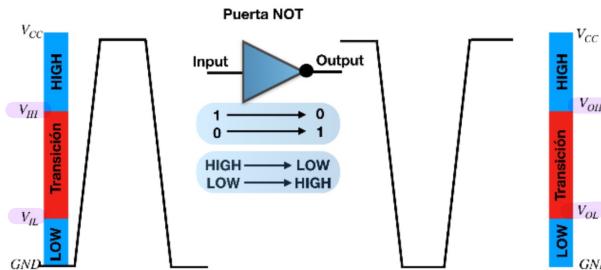
(con salida Totem-Pole)

Sin embargo, hay un instante en el que ambas transistores conducen, lo que implica un ligero consumo transitorio de potencia. Este consumo es directamente proporcional a la frecuencia de commutación.

Valores lógicos: márgenes de ruido:

En electrónica digital distinguimos dos valores binarios, 0 (o False o LOW) y 1 (o True o HIGH).

Habitualmente, llamamos V_{CC} a la tensión de alimentación en tecnología TTL y V_{DD} en el caso de empleo de CMOS.



→ La entrada representa un bit '1' y la salida un bit '0'. Para su correcto funcionamiento, un circuito lógico debe generar una tensión situada en algún punto dentro del margen correcto.

V_{IH} : max de entrada para LOW V_{OL} : max de salida para LOW

V_{IL} : min de entrada para HIGH V_{OH} : min de salida para HIGH

Existe una tensión umbral, V_t que nos indica el nivel en que se produce la transición.

Parámetros de la tecnología TTL

V_{CC} : oscila entre 4.75V y 5.25V

V_{IH} : 2V V_{IL} : 0.8V

Parámetros de la tecnología CMOS

V_{DD} : depende de la subfamilia (5V, 3.3V, ...)

V_{IH} : su valor es de 3.5V si V_{DD} =5V

V_{IL} : su valor es de 1.5V si V_{DD} =5V

El ruido consiste en variaciones no deseadas de la tensión de una señal lógica. Si los niveles de tensión HIGH/LOW se encuentran muy próximos sería relativamente fácil que por el ruido se cambie de estado por ERROR o que se quede en la transición.

$$NM_H = V_{OH} - V_{IH}$$

margen de ruido para el '1' lógico

$$NM_L = V_{IL} - V_{OL}$$

margen de ruido para el '0' lógico

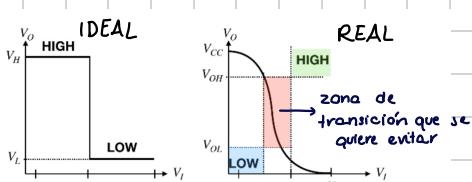
Cuanto mayor sean los márgenes, el circuito será menos sensible a perturbaciones.

FAN OUT:

Es el máximo número de puertas que podemos excitar sin salirnos de los márgenes indicados por el fabricante.

$V_{OH} > V_{Omin}$ $V_{OL} < V_{Omax}$

Para el caso en el que en el FAN OUT sea diferente a nivel bajo y a nivel alto escogeremos el más bajo.



$$\text{FANOUT: } \frac{I_{Omax}}{I_{Omin}} \left\{ \begin{array}{l} \text{corrientes mínimas} \\ \text{corrientes máximas} \end{array} \right\}$$

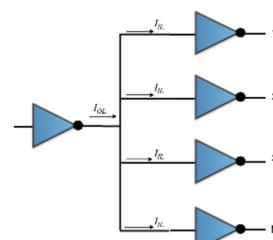
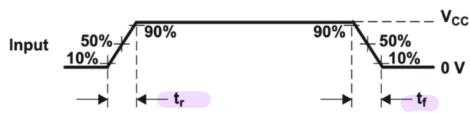


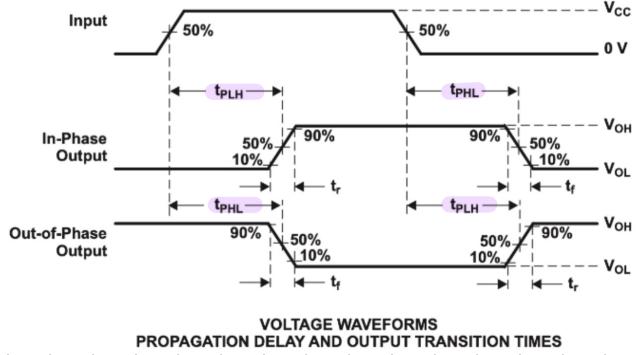
Figura 6.48. Característica de Transferencia estática IDEAL y REAL en una puerta inversora.



Esta es la forma de onda real de un pulso (HIGH), con forma trapezoidal, indicando que existe un retraso. (si fuera ideal sería \square)

Para medir dicho retraso:

- Tiempo de subida, t_r : tiempo en pasar del 10% al 90%.
- Tiempo de bajada, t_f : tiempo en pasar del 90% al 10%.



Producto Potencia x Retardo de propagación:

Se busca reducir el consumo de energía pero aumentar la velocidad de commutación, pero ambos requisitos son contrapuestos. Para conseguir una solución óptima se usa la constante "potencia x retardo"; que idealmente debería ser lo más próximo a 0 posible.

La potencia disipada será: $P_d = V_{cc} \cdot I_{cc}$, siendo $I_{cc} = \frac{I_{ccu} + I_{ccb}}{2}$

La potencia disipada se suele medir en miliWatos (mW) y el retraso en nanosegundos (ns). El producto será entonces expresado en picojulios (pj).

EXTRA: (nomenclatura de circuitos lógicos digitales)

Los chips se denominan mediante un código: DD54YYYYXX - DD74YYYYXX

- DD: prefijo identificativo del fabricante.
- 54/74: rango de temperatura : 54 (de -55°C hasta 125°C) y 74 (de -40°C hasta 85°C).
- YYY: indicativo de la familia lógica. DM74ACT00: puerta NAND de National, gran consumo, tecnología ACT.
- XXX: función lógica que realiza.

PROBLEMAS DE BJT's

Problema 6.1

En el circuito con transistor BJT de la figura 6.53, el transistor Q1 y el circuito presentan los siguientes parámetros: $\beta = 175$, $R_B = 1,8\text{k}\Omega$, $V_{CC} = 9\text{V}$, $V_{BE} = 0,63\text{V}$.

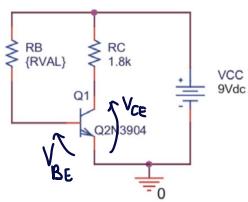


Figura 6.53. BJT con polarización de base

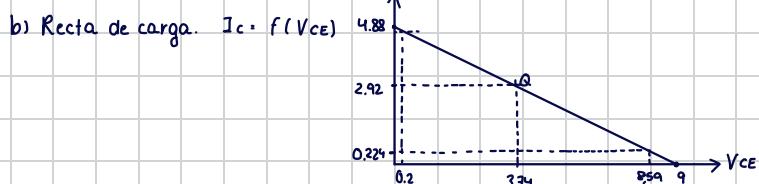
Se pretende analizar su funcionamiento cuando la resistencia de base adopte los siguientes tres posibles valores: $R_{B1} = 6,5\text{M}\Omega$, $R_{B2} = 500\text{k}\Omega$ y $R_{B3} = 100\text{k}\Omega$. DETERMINAR

$$\text{Caso 1 : } V_{CE} = 9 - I_C \cdot R_C = 9 - (224 \cdot 10^{-6} \cdot 1.8 \cdot 10^3) = 8.59\text{V} \text{ (activa, cerca del corte) } Q(8.59\text{V}, 224\mu\text{A})$$

$$\text{Caso 2: } V_{CE} = 9 - I_C \cdot R_C = 3.74\text{V} \text{ (activa) } Q(3.74\text{V}, 2.92\text{mA})$$

Caso 3: $V_{CE} = -17.37\text{V}$ (saturación, valores no válidos, hay que recalcular)

$$\text{La } V_{CESAT} = 0.2\text{V} \rightarrow 0.2 = 9 - I_C \cdot 1.8 \cdot 10^3 \quad I_C \cdot 1.8 \cdot 10^3 = 8.8 \quad I_C = 4.8\text{ mA}$$



Problema 6.2

En el circuito con transistor BJT que se muestra en la figura 6.55, el transistor Q1 y el resto de componentes del circuito presentan los siguientes parámetros: $\beta = 175$, $V_{CC} = 9\text{V}$, $V_{BE} = 0,6\text{V}$ y $V_{CESAT} = 0,2\text{V}$.

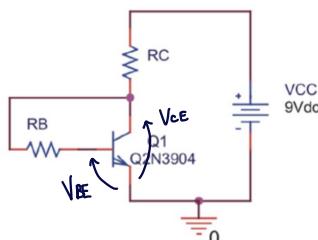


Figura 6.55. BJT con polarización de colector

a) El punto Q del transistor para cada R_B .

b) Representar la recta de carga y situar el punto Q para cada valor de R_B .

c) Indicar en cada caso si el transistor se encuentra en zona ACTIVA, CORTE o SATURACIÓN

a)

$$\text{malla base: } V_{CC} - I_B \cdot R_B - V_{BE} = 0$$

$$V_{CC} = I_B \cdot R_B + V_{BE}$$

$$9 = I_B \cdot R_B + 0,63$$

$$R_B = \frac{9 - 0,63}{I_B}$$

$$\text{malla colector:}$$

$$V_{CC} - I_C \cdot R_C - V_{CE} = 0$$

$$V_{CC} = I_C \cdot R_C + V_{CE}$$

$$9 = I_C \cdot R_C + V_{CE}$$

Asumimos que está en zona

activa siempre, por lo que

$$I_C = \beta \cdot I_B$$

$$I_{C1} = 175 \cdot I_{B1} = 224\mu\text{A}$$

$$I_{C2} = 175 \cdot I_{B2} = 2,922\text{mA}$$

$$I_{C3} = 175 \cdot I_{B3} = 14,65\text{mA}$$

6,5MΩ	1.28 μA (I_{B1})
500kΩ	16.7 μA (I_{B2})
100kΩ	83,7 μA (I_{B3})

a) Determine el valor de R_B y R_C para conseguir que el transistor trabaje en el punto de polarización Q ($V_{CE} = 5\text{V}$, $I_C = 2\text{mA}$).

malla base:

$$(I_C = \beta \cdot I_B)$$

$$V_{CC} = I_C \cdot R_C + I_B \cdot R_B + V_{BE}$$

malla colector (se asume $I_C \approx I_E = (I_C + I_B)$):

$$V_{CC} = I_C \cdot R_C + V_{CE} \quad R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_C} = 2000\Omega$$

$$\frac{V_{CC} - I_C \cdot R_C - V_{BE}}{I_B} = R_B = 385\text{k}\Omega$$

b) recta de carga estática

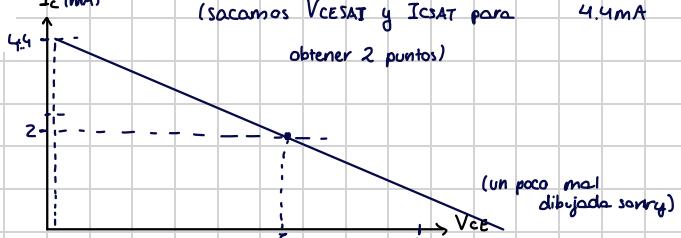
$$V_{CESAT} = 0.2\text{V}$$

(sacamos V_{CESAT} y I_{CSAT} para obtener 2 puntos)

$$\frac{V_{CC} - V_{CESAT}}{R_C} = I_{CSAT}$$

$$I_{CSAT} = 0.044\text{A}$$

$$4.4\text{mA}$$



(un poco mal dibujada sorry)

Problema 6.3

En el circuito con transistor BJT de la figura 6.57, el transistor y el resto de elementos del circuito presentan estos valores:

$$\beta = 175, V_{BE} = 0.63, V_{CC} = 12V, R_2 = 10k\Omega, R_C = 3k\Omega$$

Además, haremos la suposición de que la corriente de colector es aproximadamente igual a la corriente de emisor.

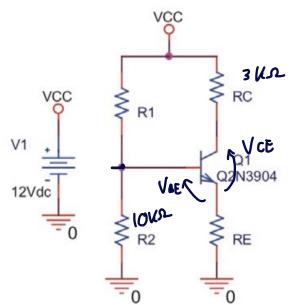
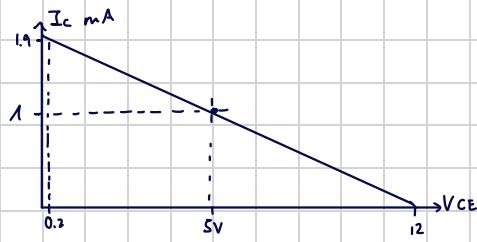


Figura 6.57. BJT. Polarización de emisor

$$b) V_{CESAT} = 0.2V$$

$$I_{CSAT} = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C + R_E} = \frac{12 - 0.2}{6 \cdot 10^3} = 1.96 \text{ mA}$$



Problema 6.4

En el circuito con transistor BJT de la figura 6.59, el transistor y el resto de elementos del circuito presentan estos valores:

$$\beta = 175, V_{BE} = 0.63, V_{CC} = 9V, R_B = 120k\Omega, R_C = 4.7k\Omega$$

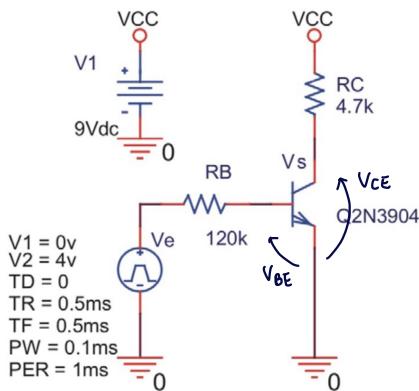


Figura 6.59. Problema 6.4

Se aplica a la entrada una señal con una forma de onda triangular de $4V_{pp}$ y frecuencia $f = 1\text{KHz}$ superpuesta a una señal continua de offset, $V_{offset} = 2V$.

- Calcular la expresión de la señal de salida, $V_s = f(V_e)$
- Representar las señales de entrada y salida en función del tiempo, $V_s(t)$ y $V_e(t)$ así como la curva de transferencia estática, $V_s = f(V_e)$

Ahora calculamos para SATURACIÓN:

$$V_{CESAT} = 0.2 \quad V_{CE} = V_s \quad 0.2 = 13.318 - 6.85V_e \quad V_e \geq 1.91 \text{ V}$$

Ahora para CORTE:

$$V_s = V_{CC} = 9V$$

$$9 = 13.318 - 6.85V_e \quad V_e \leq 0.63V$$

a) Valor de R_1 y R_E para polarizar el transistor en Q ($6V, 1mA$)

$$\frac{V_{CE}}{R_E} = I_C$$

b) Representa la recta de carga estática que pasa por Q .

$$\rightarrow I_C = I_E$$

$$a) \text{circuitob colector: } V_{CC} = I_C \cdot R_C + V_{CE} + R_E \cdot I_E$$

$$12 = (1 \cdot 10^{-3} \cdot 3000) + 6 + R_E \cdot (1 \cdot 10^{-3})$$

$$\frac{3}{1 \cdot 10^{-3}} = R_E = 3000 \Omega$$

circuito base (vamos a aplicar Thevenin)

$$R_{TH} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{1 \cdot 10000}{10000 + 1000} \quad V_{TH} = V_{CC} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

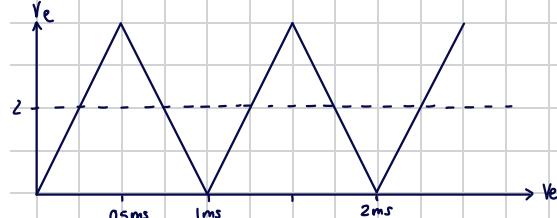
$$V_{TH} = I_B \cdot R_{TH} + V_{BE} + I_E \cdot R_E$$

sustituyendo valores (hasta en el libro les daba pereza hacerlo) se llega a que:

$$R_1 = \frac{V_{CC} \cdot R_2 - R_E (V_{BE} + I_C R_E)}{\frac{I_C \cdot R_E}{\beta} + V_{BE} + I_C R_E} = 22.7 \text{ k}\Omega$$

a) Señal de salida $V_s = f(V_e)$

$$f = 1\text{ KHz} \quad T = \frac{1}{1000} = 0.001 \text{ s}$$



$V_e - V_{BE} - I_B \cdot R_B = 0$ aplicamos 2º Ley de Kirchhoff

$$V_e = V_{BE} + I_B \cdot R_B \quad \text{despejamos } V_e$$

$$V_{CC} = R_C \cdot I_C + V_{CE} \quad \boxed{I_C = \beta I_B} \rightarrow \text{zona activa}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C \cdot \beta I_B \Leftrightarrow [V_{CE} = V_s] \rightarrow 2^\circ \text{ Ley Kirchhoff}$$

$$V_s = V_{CC} - R_C \cdot \beta \cdot I_B \quad \text{despejamos } V_s$$

$$I_B = \frac{V_e - V_{BE}}{R_B} \quad V_s = \frac{V_{CC} - R_C \cdot \beta \cdot V_e - V_{BE}}{R_B} \quad \text{combinamos las expresiones}$$

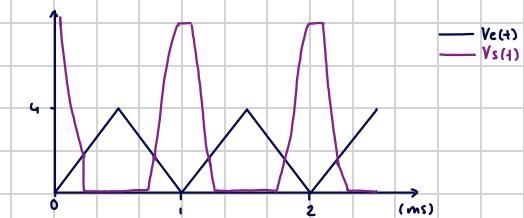
$$V_s = 9 - 4700 \cdot 175 \left(\frac{V_e - 0.63}{120000} \right) \quad \text{sustituimos con valores}$$

$$V_s = 9 - 822500 \left(\frac{V_e}{120000} - \frac{0.63}{120000} \right) \quad V_s = 9 - 6.85V_e + 4.31825$$

$$V_s = 13.318 - 6.85V_e$$

PARA ZONA ACTIVA

señal entrada y salida



b) Curva transferencia

V_s corte

zona activa

saturación

0.2

0.91

1.91

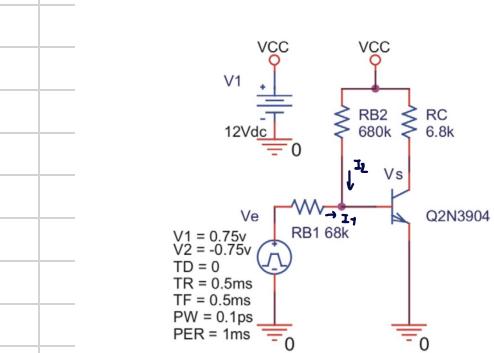
2

(ms)

Problema 6.5

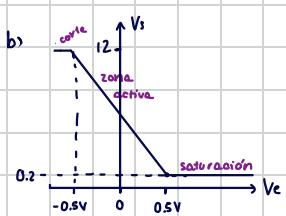
En el circuito con transistor BJT de la figura 6.63, el transistor y el resto de elementos del circuito presentan estos valores:

$$\beta = 120, V_{BE} = 0.63, V_{CC} = 12V, R_{B1} = 68k\Omega, R_{B2} = 680k\Omega, R_C = 6.8k\Omega$$



Se aplica a la entrada una señal con una forma de onda triangular de $1.5V_{pp}$ y frecuencia $f = 1KHz$

- a) Calcular la expresión de la señal de salida, $V_s = f(V_e)$
 b) Representar las señales de entrada y salida en función del tiempo, $V_s(t) = f(V_e)$ así como la curva de transferencia estática, $V_s = f(V_e)$



Problema 6.6
 (canal N tensión de puerta-fuente Negativa)

Un transistor JFET 2N4393 presenta los siguientes datos: $V_P = 1.5V$ e $I_{DSS} = 20mA$

- a) Calcula el valor de su resistencia Óhmica.
 b) ¿Cuál es la tensión de corte V_{GSoff} ?
 c) Indicar el valor de I_D para el punto $V_{GSoff}/2$ de la característica de transferencia. Dibujar un croquis de dicha curva de transferencia.

a) resistencia Óhmica.

$$T_{DS} = \frac{V_p}{I_{DSS}} = \frac{1.5}{20 \cdot 10^{-3}} = 75 \Omega$$

b) V_{GSoff} (hace que $I_D = 0$)

$$V_{GSoff} = V_p \downarrow \\ V_p - V_{GSoff} = 0$$

c) $I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GSoff}}\right)^2$

$$I_D = 20 \cdot 10^{-3} \left(1 - \frac{-0.75}{-1.5}\right)^2 = 5 mA$$

$$a) I_B = I_1 + I_2$$

$$[V_s = V_{CE}]$$

$$V_{ce} = I_1 \cdot R_{B1} + V_{BE} \quad I_2 = \frac{V_{cc} - V_{BE}}{R_{B2}} = \frac{12 - 0.63}{680000} = 16.72 \mu A$$

$$V_{cc} = I_2 \cdot R_{B2} + V_{BE}$$

$$[I_c = \beta I_B]$$

$$I_c = \frac{V_e - V_{BE}}{R_{B1}} = \frac{V_e - 0.63}{68000}$$

I_B se divide en dos

$$V_{cc} = I_c \cdot R_C + V_{CE}$$

$$V_{cc} = \beta \cdot (16.72 \cdot 10^{-6} + \frac{V_e - 0.63}{68000}) \cdot R_C + V_s \quad \text{sustituimos por los valores}$$

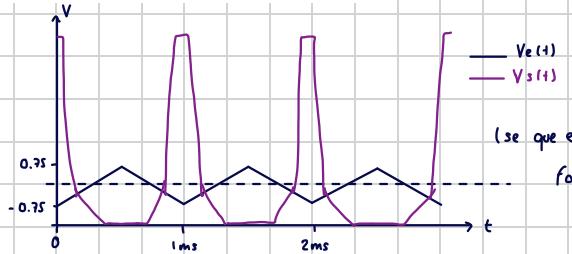
$$V_s = 6.08 - 11.97 V_e \quad \text{ZONA ACTIVA}$$

Para SATURACIÓN:

$$V_{cesat} = V_{sat} = 0.2V \quad 0.2 = 6.08 - 11.97 V_e \quad V_e \geq 0.49 V$$

Para CORTE:

$$V_s = V_{cc} = 12 = 6.08 - 11.97 V_e \quad V_e \leq -0.5V$$



(se que está hecho
fatal perdón)



(problema de JFET)