

Circuitos y Sistemas Digitales

Semiconductores

Clase 5



1. Introducción

El transistor es uno de los componentes más importantes en la electrónica moderna, ya que actúa como amplificador, regulador y, especialmente, como conmutador. En esta clase, nos centraremos en su funcionamiento como dispositivo de conmutación, un rol fundamental en circuitos digitales y sistemas de control. Comprender cómo el transistor puede alternar entre los estados de corte y saturación permitirá sentar las bases para el diseño de circuitos lógicos, interfaces de potencia y aplicaciones en microcontroladores.

En esta sección, exploraremos los principios básicos del transistor como conmutador, analizando las condiciones necesarias para su activación y desactivación, así como las ventajas y limitaciones de su uso en esta configuración. A través de ejemplos prácticos y simulaciones, identificaremos cómo seleccionar el transistor adecuado para diferentes aplicaciones y cómo protegerlo de posibles daños en circuitos reales. Este conocimiento será esencial para avanzar en temas posteriores relacionados con electrónica digital y sistemas embebidos.

Clase 5: Semiconductores.

Resultado o resultados de aprendizaje que será abordado con el contenido de la clase. **(No agregue los criterios)**

Comprender los conceptos fundamentales de los sistemas digitales combinacionales y su operación.

2.4. El transistor.

El transistor es un dispositivo semiconductor fundamental que es ampliamente utilizado en aplicaciones de amplificación, regulación y conmutación. Inventado en 1947 por Bardeen, Brattain y Shockley en los laboratorios Bell, revolucionó la tecnología al reemplazar a las válvulas de vacíos que eran voluminosas, emitían mucho calor y requerían de mucha energía. Con este invento se permitió el desarrollo de circuitos más pequeños, eficientes y confiables.

Existen dos tipos principales de transistores: los transistores bipolares (BJT, Bipolar Junction Transistor) y los transistores de efecto de campo (FET, Field-Effect Transistor), cada uno con sus propias características y aplicaciones. En este curso, nos enfocaremos principalmente en los BJT, aunque muchos de los conceptos pueden extrapolarse a los FET con las debidas consideraciones.

Figura 1

Transistor 2N222.



Nota: Tomado de Isaac et al., 2025.

La Figura 1 muestra el transistor 2N2222, el cual es ampliamente utilizado en circuitos en los cuales actúa como switch electrónico.

[En este sitio puede conocer mas detalles del transistor y en específico del sencillo pero emblemático transistor 2N2222 tanto en su funcionamiento como en sus especificaciones técnicas.](#)

2.4.1. Estructura del transistor

El transistor, en su forma más básica, es un dispositivo semiconductor de tres terminales (emisor, base y colector) fabricado mediante procesos de dopaje y unión de materiales semiconductores. Su estructura interna depende del tipo de transistor, sea BJT o FET. El primero de ellos es uno de los más utilizados en electrónica analógica y digital.

2.4.2. Materiales semiconductores utilizados

Los transistores se fabrican principalmente con silicio (Si) o germanio (Ge), aunque el silicio es el más común debido a su mayor estabilidad térmica y menor costo. El proceso de fabricación implica la introducción controlada de impurezas (dopaje) para crear regiones con exceso de electrones (tipo N) o huecos (tipo P).

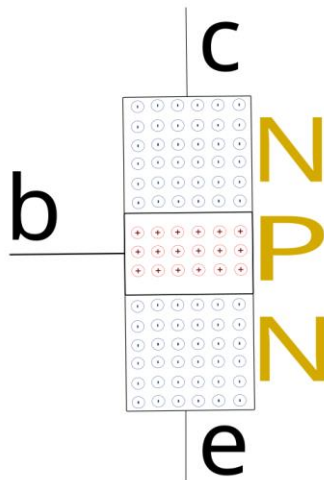
2.4.3. Estructura del transistor bipolar (BJT)

Un BJT está compuesto por tres capas de semiconductoras, formando dos uniones PN en una configuración tipo sánduche con dos capas exteriores tipo N y la interior tipo P o viceversa, de acuerdo a la configuración de estas capas los transistores BJT se denominan NPN (Negativa Positiva Negativa) o PNP (Positiva Negativa Positiva):

2.4.4. Transistor BJT NPN: El transistor NPN tiene dos regiones tipo N (colector y emisor) y una región tipo P (base), tal como se puede apreciar en la Figura 2 en la cual adicionalmente se etiquetan los terminales b (base), c (colector) y e (emisor).

Figura 2

Transistor NPN .

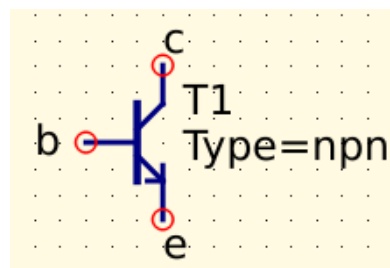


Nota: Elaborado por Escobar C. (2025)

La Figura 3 muestra el esquemático de un transistor tipo NPN donde se puede apreciar que en el emisor se dibuja una flecha que indica el sentido de la corriente, que en este caso sale de la juntura base – emisor hacia el emisor.

Figura 3

Esquemático del transistor NPN.

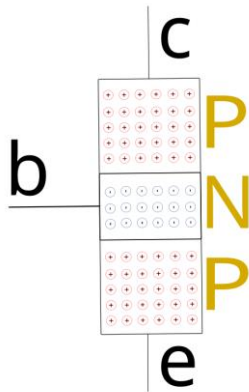


Nota: Elaborado por Escobar C. (2025)

2.4.5. Transistor BJT PNP: El transistor PNP tiene dos regiones tipo P (colector y emisor) y una región tipo N (base), tal como se puede apreciar en la Figura 4. A diferencia del transistor NPN en este transistor la flecha del sentido de la corriente en el emisor apunta hacia la parte interna del transistor, lo que indica que la corriente fluye desde el emisor al colector.

Figura 4

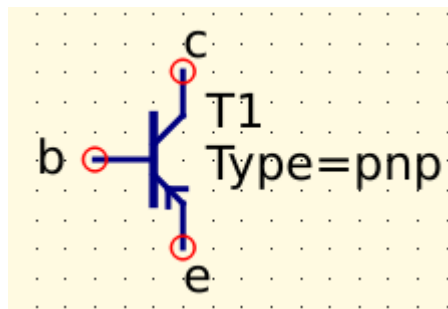
Transistor PNP.



Nota: Elaborado por Escobar C. (2025)

Figura 5

Esquemático del transistor PNP.



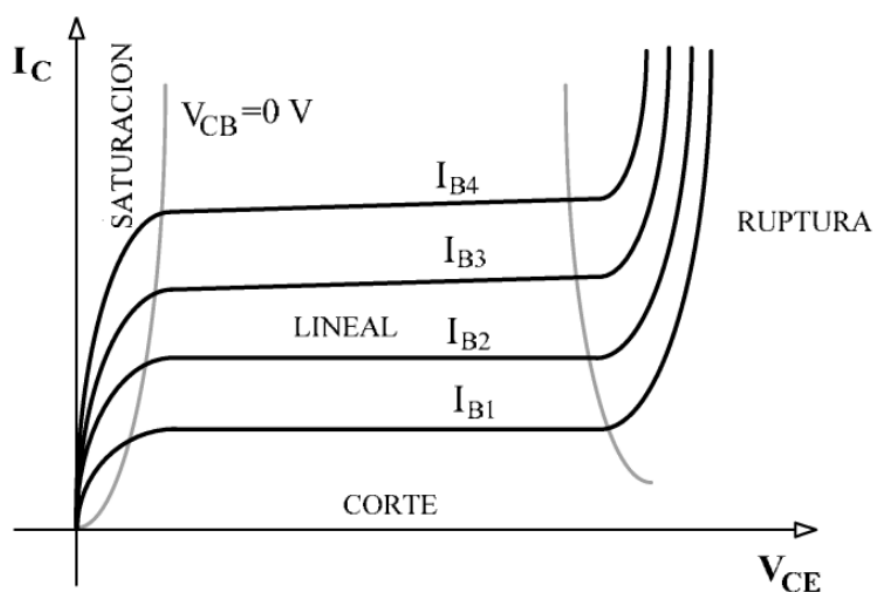
Nota: Elaborado por Escobar C. (2025)

Los transistores operan en la zona lineal cuando funcionan como amplificador de señales o en la zona de corte o saturación cuando funcionan como switch electrónico. La Figura 6 muestra las zonas de corte, lineal y de saturación, así como la zona de ruptura o destrucción de un transistor.

Nótese que sin corriente de base I_b o con la corriente de colector I_c igual a cero, el transistor se encuentra en la zona de corte, o funciona como un interruptor abierto entre los terminales del colector y emisor CE, mientras que si se incrementa la corriente de base, se incrementa la corriente de colector y el transistor es llevado a la zona de saturación, donde el voltaje entre colector y emisor es casi cero, por lo que se comporta como un switch cerrado entre los terminales CE.

Figura 6

Zonas de operación de un transistor.



Nota: Recuperado de Ruiz Robredo, 2020.

[En el siguiente documental puede ver la historia del transistor y como se evolucionó desde los tubos de vacío hasta el transistor, elemento indispensable en el momento tecnológico que vivimos. Ponga atención a las empresas que se mencionan en el documental y qué pasó con el equipo investigador y las patentes de este revolucionario invento.](#)

2.4.6. Ecuaciones del transistor

Si aplicamos la primera Ley de Kirchoff al transistor de la Figura 3 y lo tratamos como un nodo, en el que ingresan las corrientes de base y colector y sale la corriente de emisor podemos plantear la primera ecuación del transistor:

Ecuación 1

Ecuación de corrientes de un transistor

$$I_e = I_b + I_c$$

Mientras que la segunda ecuación del transistor se obtiene por la relación de corrientes que existe entre la corriente de base y la corriente del colector, la cual amplifica β (beta) veces las corriente de la base, así:

Ecuación 2

Relación entre la corriente de base y corriente de colector de un transistor

$$I_c = \beta \cdot I_b$$

Para que un transistor opere necesita ser conectado a los voltajes de colector, base y emisor, lo que se conoce como polarización del transistor.

2.4.7. Polarización de un transistor.

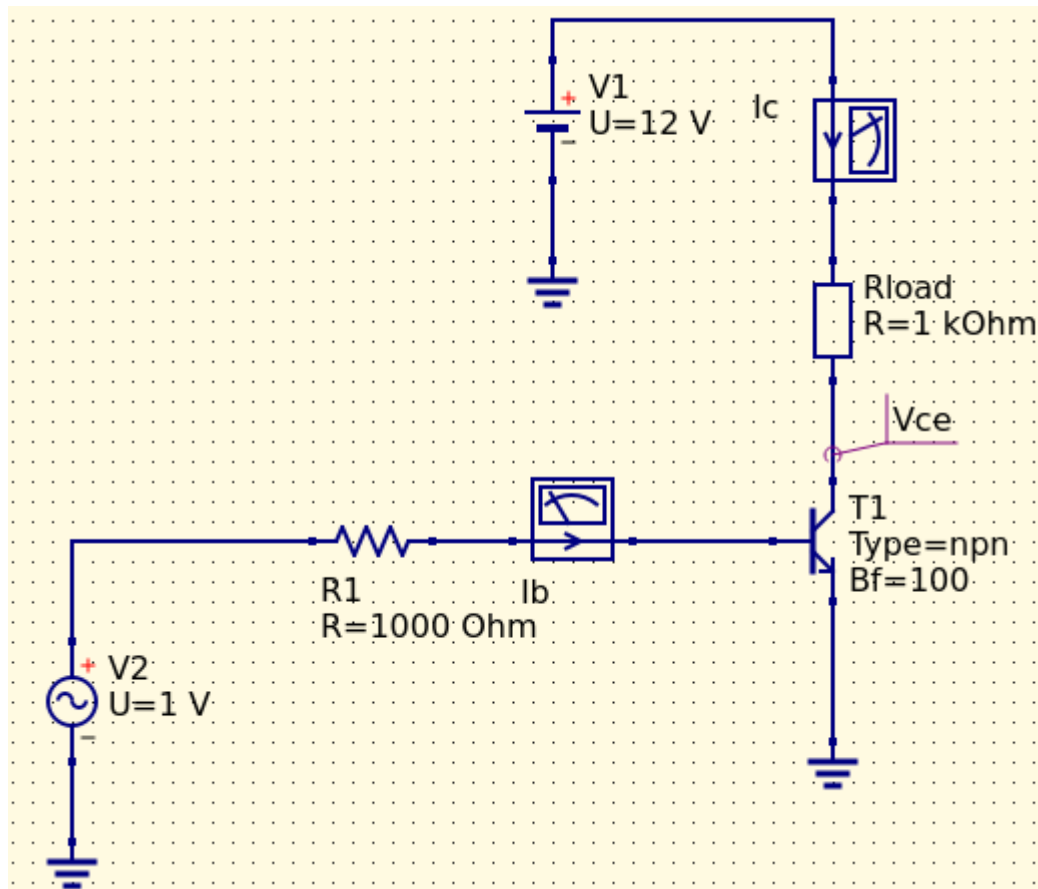
La polarización de un transistor es el proceso de aplicar voltajes y corrientes continuas (DC) a sus terminales para establecer un punto de operación Q estable. Este punto define las condiciones iniciales bajo las cuales el transistor funcionará correctamente, ya sea como amplificador (región activa) o como interruptor (corte/saturación).

2.4.7.1. El transistor como conmutador

Para que el transistor funcione como conmutador o switch electrónico debe operar en las zonas de corte y saturación. Para entender mejor la idea veamos la configuración de la Figura 7.

Figura 7

Transistor NPN en configuración corte saturación.

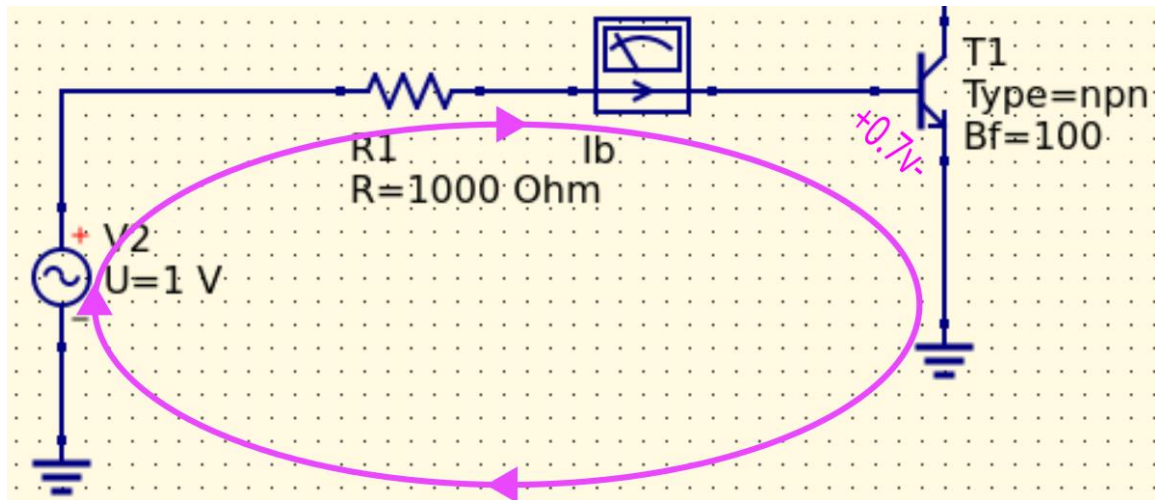


Nota: Elaborado por Escobar C. (2025)

En este circuito el transistor tiene un factor de amplificación β de 100 ($Bf = 100$), lo que quiere decir que la corriente de la base I_b se amplificará 100 veces en la corriente de colector I_c .

Figura 8

Segunda Ley de Kirchoff LVK en el lazo cerrado de la Base.



Nota: Elaborado por Escobar C. (2025)

En la Figura 8 podemos ver el lazo cerrado de suma de voltajes de la segunda ley de kirchoff con el cual podemos calcular la corriente de base I_b , que es la que circula por la resistencia R_1 . En este caso podemos apreciar que el voltaje de la fuente V_2 es igual a la suma del voltaje del diodo de la juntura base-emisor de $0.7v$ mas el voltaje de la resistencia R_1 , es decir:

$$V_2 = V_{be} + V_{R1}$$

En este caso el valor desconocido es el voltaje V_{R1} , ya que el voltaje de la fuente varía de $-1v$ a $+1v$ y el voltaje de juntura be es de $0.7v$. Para analizar el efecto de la corriente de base que puede llevar a las zonas de corte (circuito abierto entre C y E) y saturación (voltaje cercano a cero entre CE) aprovecharemos el crecimiento del voltaje de la fuente desde cero a $+1v$ y veremos en que momento le lleva a saturación.:

$$V_{R1} = V_2 - V_{be}$$

$$V_{R1} = V_2 - 0.7V$$

Aplicando la Ley de Ohm, podemos encontrar la corriente I_b :

$$I_b = \frac{V_{R1}}{R_1} = \frac{(V_2 - 0.7)}{R_1}$$

2.4.7.1.1. Zona de corte:

Si el voltaje de la fuente es cero, entonces al no haber un elemento activo que entregue energía al lazo cerrado de la base, entonces la corriente de la base es cero, lo mismo que la corriente de co-

lector, por tanto el voltaje de la resistencia de carga R_{load} es cero y el voltaje entre el colector y el emisor es el voltaje de la fuente y el transistor se comporta como un switch abierto.

2.4.7.1.2. Zona de saturación

Si el voltaje de la fuente de la base empieza a incrementarse, una vez que supere los 0.7v del voltaje de juntura V_{be} , la corriente de la base empieza a incrementarse mientras que la corriente del colector será 100 veces esa corriente de la base, con lo que el voltaje de la resistencia de carga también se incrementa y se puede calcular aplicando la Ley de ohm.

$$V_{Rload} = I_c * R_{load}$$

Cuando el voltaje de la fuente de base V_2 alcance 0.75, podemos calcular los valores de I_b , I_c y V_{rload} :

$$I_b = \frac{(V_2 - 0.7)}{R_1}$$

$$I_b = \frac{(0.75v - 0.7v)}{(1K\Omega)}$$

$$I_b = 0.05 \text{ mA}$$

$$I_c = \beta \cdot I_b$$

$$I_c = 100 * 0.05mA$$

$$I_c = 5 \text{ mA}$$

$$V_{Rload} = I_c * R_{load}$$

$$V_{Rload} = 5mA * 1K\Omega$$

$$V_{rload} = 5v$$

Tabla 1

Tabla de corriente de base, colector y voltaje de resistencia de carga.

V2 [V]	Ib [mA]	Ic [mA]	Vrload [12]
0	0	0	0
0.5	0	0	0
0.7	0	0	0
0.75	0.05	5	5v
0.8	0.1	10	10
0.82	0.12	12	12
> 0.82	> 0.12	12	12

Nota: Elaborado por Escobar C. (2025)

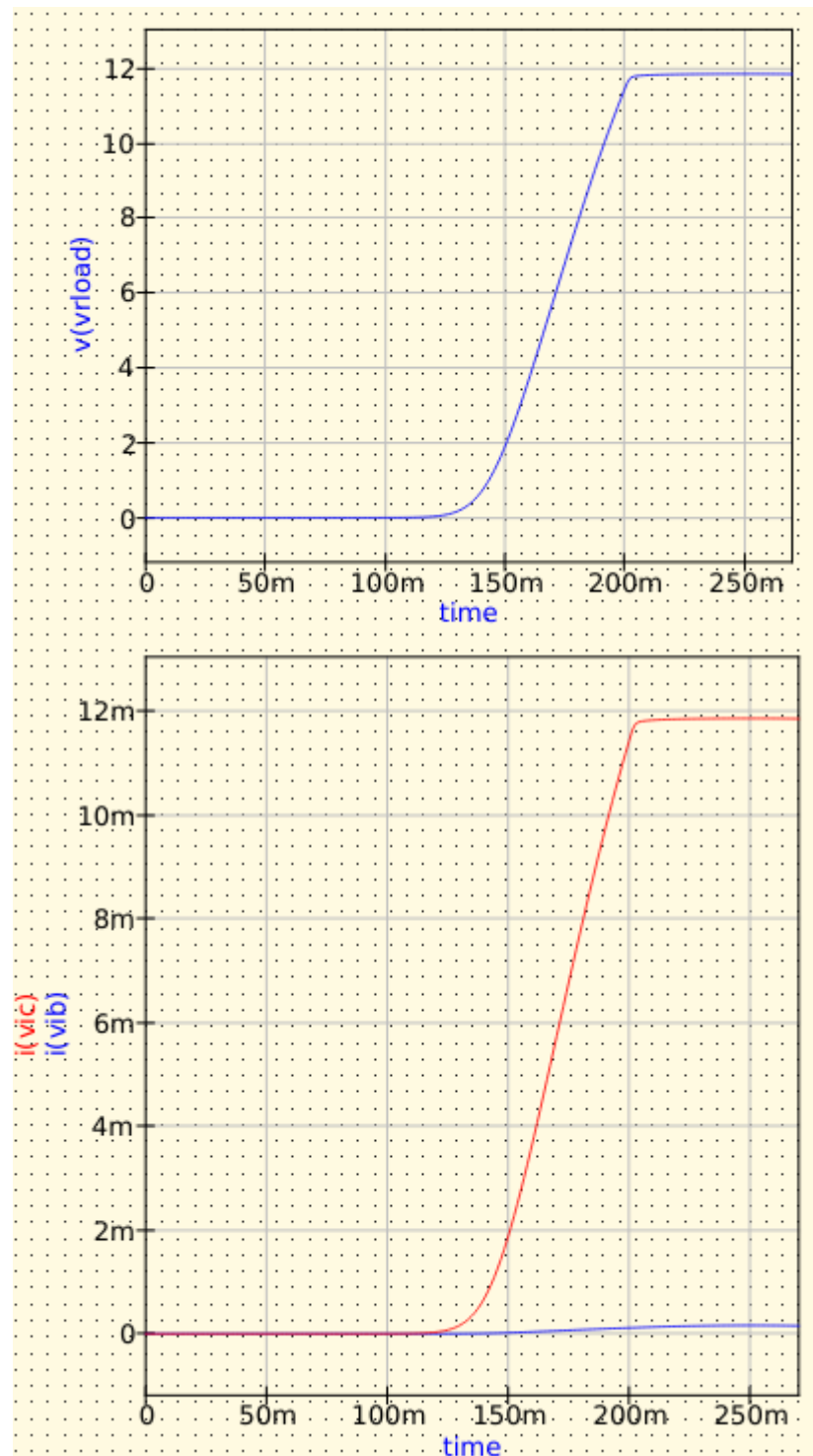
Al analizar la tabla vemos que el voltaje de la resistencia de carga se incrementa drásticamente con pequeños saltos de 0.05v en la fuente de la base, pero el voltaje de la resistencia de carga no puede superar los 12 voltios de la fuente que le alimenta, así cuando la corriente de colector alcance 12 mA el voltaje teórico de la resistencia de carga sería 12 voltios y por mas que se incrementa la corriente de base, el voltaje de la resistencia de carga no se incrementará mas, y a partir de ese momento decimos que el transistor entro en la zona de saturación.

En la práctica entre el colector y el emisor en la zona de saturación existe una caída de voltaje cercana a los 0.2 voltios, por lo que el voltaje en la resistencia de carga será de 11.8 voltios, voltaje muy cercano al de la fuente, por lo que se asume como un switch cerrado.

La Figura 9 muestra en su parte inferior como la corriente de colector I_c se va incrementando a medida que se incrementa la corriente de base I_b en un factor por 100, pero que no supera los 12 mA ya que el transistor alcanza la saturación justo por debajo de esta asíntota, de manera complementaria en la parte superior del gráfico se puede apreciar como el voltaje de la carga se va incrementando hasta alcanzar un voltaje muy cercano al de la fuente.

Figura 9

Relación entre las corriente de base y colector que llevan a la saturación de un transistor y voltaje en la resistencia de carga.



Nota: Elaborado por Escobar C. (2025)

Observe que la corriente de la base es muy baja, por lo que este tipo de circuito puede ser usado para recibir señales de puertos de equipos que pueden generar señales de control pero que no manejan corriente como para encender o manejar dispositivos a través de ese puerto como el puerto USB de una computadora o puertos seriales o paralelos de dispositivos programables como microcontroladores o microcomputadores o dispositivos de computación de borde. Para esos casos el transistor como switch electrónico es muy útil ya que la corriente necesaria para manejar el dispositivo lo provee la fuente externa, V2 en el caso de nuestro circuito de estudio de la Figura 7.

Una desventaja que puede presentar la configuración mostrada en la Figura 7 es que el circuito de control no está aislado electrónicamente de la carga en la que se está aplicando lo cual puede introducir ruido, interferencia o mal funcionamiento del equipo de control, o en caso de daño del transistor que funciona como switch electrónico el voltaje de la fuente externa podría dañar el puerto o incluso el mismo equipo de control.

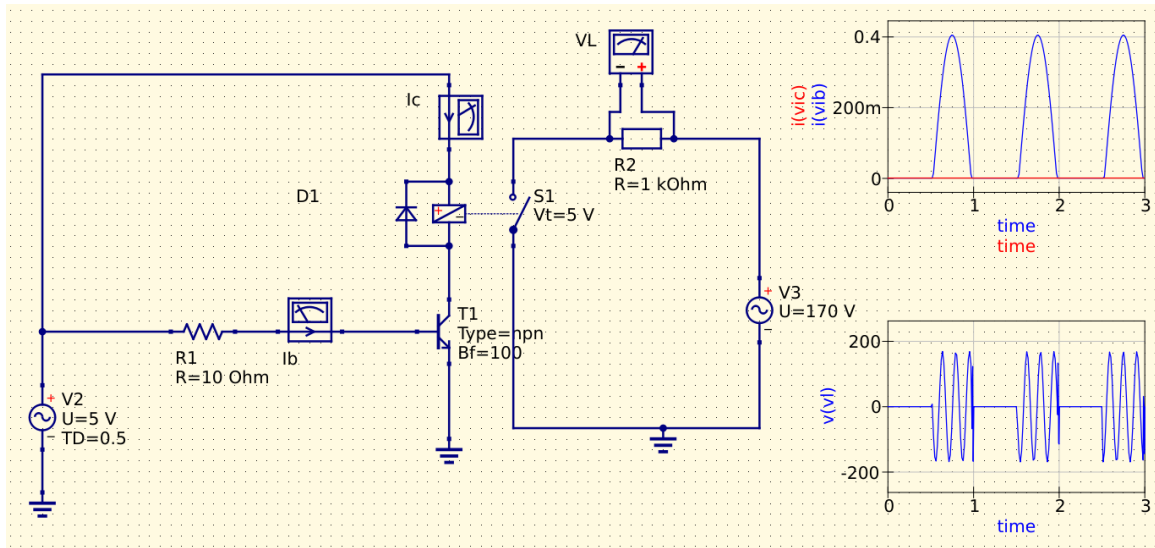
2.4.7.2. El transistor como conmutador aislado electrónicamente.

Existen dos configuraciones en las cuales se puede aislar electrónicamente la señal de control con el circuito del dispositivo que se quiere controlar, la primera a través de relés mientras que la segunda a través de optoacopladores, en el primer caso, la señal de control se aplica con un transistor que controla un relé y el circuito de fuerza se aplica a través de una fuente externa por medio del relé.

El relé o relevador es un dispositivo electromecánico que funciona con un electroimán que mueve un switch mecánico cuando la bobina del electroimán es energizada.

Figura 10

Un transistor como switch electrónico manejando un relé.



Nota: Elaborado por Escobar C. (2025)

La Figura 10 muestra un circuito en el cual se ha reemplazado la resistencia de carga por un relé. Observe que en paralelo con el relé se ha conectado un diodo polarizado inversamente que cumple la función crítica de proteger los componentes electrónicos (como transistores o circuitos de control) de los picos de voltaje inverso generados por la bobina del relé al desactivarse, esto por que la bobina tiene la capacidad de almacenar momentáneamente energía y por tanto una vez que la fuente deje de enviar corriente, de no existir este diodo de protección la energía almacenada se descargaría por el transistor y a través de este podría llegar al puerto de control que este entregando la señal de control causando daños en estos elementos.

A la derecha del relé se puede observar el switch mecánico que es activado por el relé y que forma parte de un circuito que está aislado del circuito de control de la izquierda. Para esta simulación se ha seleccionado una fuente de 170 V pico y una carga de 1000 Ohms que simula un circuito de fuerza que de no tener un aislamiento electrónico con el circuito de control lo pondría en riesgo. Nótese que el voltaje en los hogares de 120 VAC y 60 Hz, corresponde al voltaje RMS (Root Mean Square) que es la media de la raíz cuadrada del voltaje pico, por lo que para conocer el voltaje pico de esta señal se debe multiplicar por la raíz de 2, lo que nos da un voltaje pico cercano a 170 Vp, razón por la cual la simulación considera este voltaje.

En el extremo derecho de la imagen se puede apreciar como la resistencia de carga del circuito de fuerza solo recibe el voltaje VL de la fuente cuando el relé se enciende y cierra el switch mecánico S1, lo que permite el paso del voltaje de la fuente V3 a la carga R2 en un circuito eléctricamente independiente del circuito de la izquierda, lo que previene daños en el circuito de control. Un circuito de control se refiere a cualquier tipo de sistema o componente en el cual se utiliza un dispositivo de control (como un transistor como conmutador) para alterar el estado de otro siste-



ma (a través de un relé por ejemplo). Un circuito de fuerza, por otro lado, es un circuito que simplemente proporciona una fuente de energía al otro circuito.

Cuando hablamos de usar un transistor como conmutador y un relé, estamos considerando cómo estos dispositivos pueden ser utilizados en circuitos de control y de fuerza de manera complementaria, tal como se muestra en la Figura 10 .

Círculo de control: Este tipo de circuito utilizaría el transistor con el relé como un "conmutador" para encender o apagar otros dispositivos electrónicos. Por ejemplo, podría tener un botón que conecta o desconecta una fuente de energía a través del transistor o del relé cuando se presiona.

Círculo de fuerza: Este tipo de circuito proporcionaría la potencia necesaria para los componentes que están siendo controlados. En este caso, el transistor con el relé actúa como un "switch" para permitir la circulación del flujo eléctrico desde la fuente hasta el dispositivo que está siendo controlado.

Referencias citadas en la Clase 5.

Isaac, P. E., Arboledas, J., García, J., & De Frutos, T. (2025). Hardware Libre. Hardware Libre. <https://www.hwlibre.com/>

Ruiz Robredo, G. A. (2020). Electrónica básica para ingenieros. Editorial de la Universidad de Cantabria.

Definición de los términos citados en la Clase 5.

Transistor: es un dispositivo semiconductor de tres terminales (emisor, base y colector) fabricado mediante procesos de dopaje y unión de materiales semiconductores.

El transistor como switch electrónico: Para que el transistor funcione como conmutador o switch electrónico debe operar en las zonas de corte (switch abierto) y saturación (switch cerrado).



La excelencia no se improvisa

síguenos

