



Pontificia Universidad Católica de Chile
Escuela de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Eléctrica
IEE2482 Laboratorio de Electrónica

Preinforme N° 1

Medición de Datos de Operación del Transistor NPN 2N222 y OP-Amp LM741

Grupo:
Integrantes:

Profesor: Ricardo Tepper
Fecha:

Introducción.

En esta experiencia se realizará mediciones experimentales para tratar de obtener los parámetros de dos componentes electrónicos, el transistor 2N2222A y el amplificador operacional LM741, ambos componentes utilizados ampliamente en dispositivos electrónicos. Luego, las mediciones tomadas experimentalmente serán contrastadas con las entregadas por las hojas de datos suministradas por los fabricantes, de forma de verificar que los procedimientos hayan sido correctos, así como también de comprobar la variabilidad existente entre los datos experimentales y los nominales.

Se incluirán además unas breves reseñas sobre los antecedentes teóricos de los componentes.

Transistor 2N2222A

Objetivo:

Observar el comportamiento transiente y de régimen de transistores, y el comportamiento DC en las regiones activa y de saturación. Aprender a obtener la ganancia DC del transistor.

Antecedentes:

Un Bipolar Junction Transistor (BJT) es un dispositivo de tres terminales. Los terminales del dispositivo se llaman Colector, Base y Emisor. Cada terminal conecta a cada región semiconductor del BJT. Las tres regiones pueden ser una tipo n emisor, tipo p base y una tipo n colector, en cuyo caso es un transistor NPN. Un transistor PNP tiene una base n como un sándwich entre el emisor tipo p y un colector tipo p.

Los diagramas de circuitos para los transistores NPN y PNP se muestran en la figura 1. La flecha en el emisor muestra la dirección normal de corriente en el emisor.

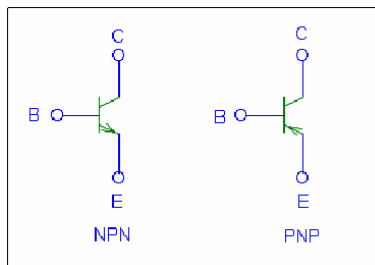


Figura 1: Transistores NPN y PNP

Los BJTs tienen 3 posibles modos de operación: corte, activo y saturación.

Las uniones entre base-emisor (EBJ) y colector-base (CBJ) determinan el modo de operación. La siguiente tabla indica el comportamiento de EBJ y CBJ para cada modo de operación.

MODE	EBJ	CBJ	NOTES
Cutoff	Reverse-biased	Reverse-biased	$I_C = 0, I_E = 0$
Active	Forward-biased	Reverse-biased	$I_C = \beta I_B, I_C = \alpha I_E$
Saturation	Forward-biased	Forward-biased	$V_{CEsat} \approx 0.2V$

Modo Corte:

No circula corriente significativa en ninguna parte del transistor.

Modo Activo:

El comportamiento se resume en la figura 2. El voltaje Base Emisor V_{BE} es alrededor de 0.7 V.

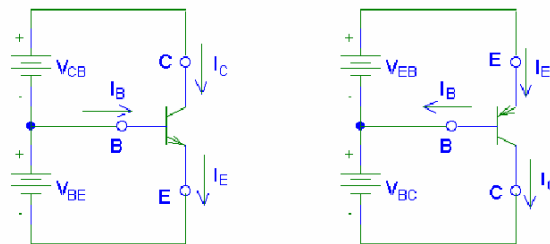


Figura 2: Modo activo de transistores NPN y PNP.

La corriente en el colector y en la base está dada por:

$$I_C = \beta_{DC} I_B$$

En los transistores 2n2222a los valores de Beta se ubican entre 100 y 145 a una corriente de colector de 1mA.

Por lo tanto, para obtener en la práctica Beta se debe lograr una cierta corriente en el colector para luego hacer el cuociente con la corriente en la base.

Modo Saturación:

El voltaje $V_{CB} \sim -0.5V$ y $V_{BE} \sim 0.7V$, por lo que entonces $V_{CE} = 0.2V$.

Si se analiza en la figura 3 el comportamiento de las corrientes y voltajes en el emisor, se observa que el voltaje V_2 en saturación es similar a prácticamente al voltaje V_{CE} .

De esto se desprende que:

$$I_{Csat} \approx \frac{(V_{CC} - 0.2)}{R_C}$$

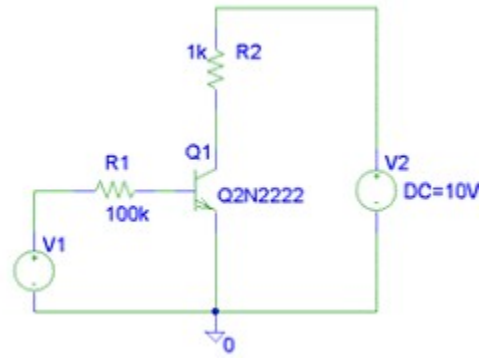


Figura 3

Para forzar a un transistor a estar en saturación, se debe utilizar una corriente de base mínima:

$$I_{Bmin} = I_{Csat} / \beta$$

MEDICIÓN DE PARÁMETROS DEL TRANSISTOR 2N2222A

Las ecuaciones que rigen al transistor son:

1. $I_e = I_c + I_b$

Y si está en modo activo además se cumple que:

2. $I_c = I_s * e^{V_{be} / V_t}$

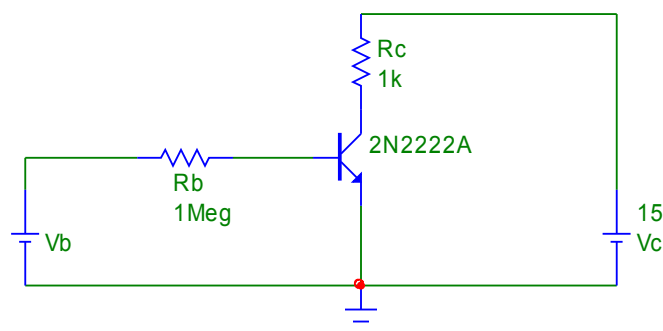
3. $I_c = \beta * I_b$

4. $I_c = \alpha * I_e$

5. $\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$

1. DC Current Gain

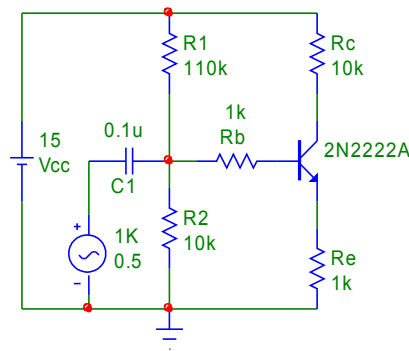
Para determinar este parámetro armaremos el siguiente circuito:



Primero mediremos los voltajes en la resistencia R_c y R_b para tres V_b distintos (6,4 y 2 que nos permiten mantener el transistor en zona activa). Esto lo haremos conectando la tierra del osciloscopio a la tierra del circuito más cercana al transistor evitando así distorsiones. De esta manera obtendremos las corrientes de colector y base para determinar β a partir de la ecuación 3.

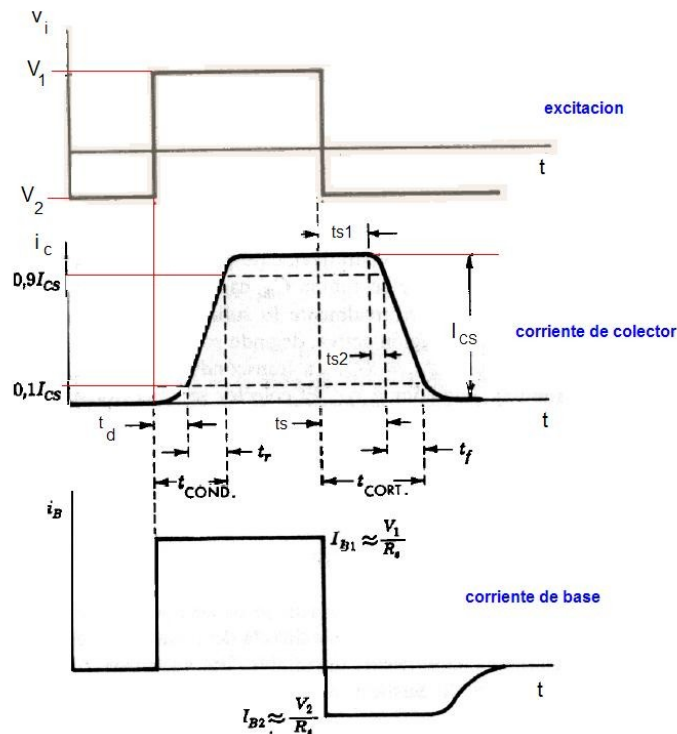
2. Small-Signal Current Gain

Para determinar este parámetro armaremos el siguiente circuito:



Primero mediremos los voltajes en la resistencia R_c y R_b . Así obtendremos las corrientes I_b e I_c . Estos voltajes los mediremos con el osciloscopio bloqueando la continua. Una vez obtenidos estos datos usando la ecuación 3 obtendremos β .

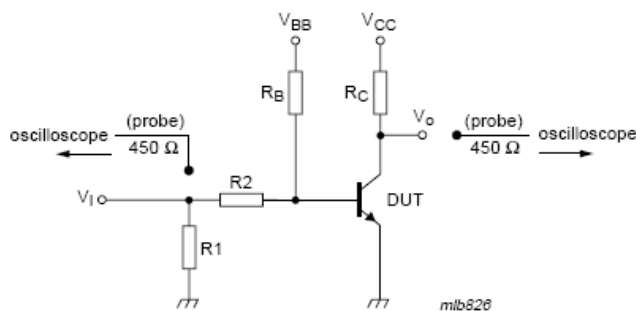
3. Switching Characteristics



Los tiempos de conmutación que intentaremos medir son los mostrados en la figura anterior y definidos de manera formal a continuación:

Parametro	Descripción
t_d	Tiempo trascurrido desde el $90\%I_B$ hasta que reacciona al $10\%I_C$. Es lo que tarda en cargarse la base para hacer reaccionar la corriente de colector. (delay time)
t_r	Tiempo de subida desde $10\%I_C$ hasta el $90\%I_C$. (rise time)
t_{on}	Tiempo de encendido del transistor, es la suma de t_r más t_d .
t_s	Tiempo que le lleva llegar al $90\%I_C$ comenzando desde la caída al $90\%I_B$. Es el tiempo que tarda en vaciarse las cargas almacenadas en la base. (storage time)
t_f	Tiempo de bajada desde el $90\%I_C$ hasta el $10\%I_C$. (fall time)
t_{off}	Tiempo de apagado del transistor, es la suma de t_s más t_f

Dijimos intentaremos medir debido a las limitaciones de los instrumentos disponibles en el laboratorio pues con tiempos de órdenes de nanosegundos nos encontramos muy cerca de las limitaciones del generador de funciones que tiene un rise time de ≤ 100 ns para la onda cuadrada y de las limitaciones del osciloscopio de 60 Mhz. De todas maneras el circuito que usaremos para intentar medir los parámetros será el siguiente:



$V_i = 9.5$ V; $T = 500$ μ s; $t_p = 10$ μ s; $t_r = t_f \leq 3$ ns.

$R_1 = 68$ Ω ; $R_2 = 325$ Ω ; $R_B = 325$ Ω ; $R_C = 160$ Ω .

$V_{BB} = -3.5$ V; $V_{CC} = 29.5$ V.

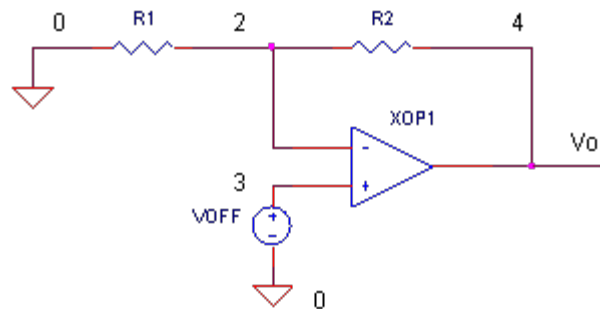
Oscilloscope: input impedance $Z_i = 50$ Ω .

Medición de parámetros LM741

El integrado LM741 es un amplificador operacional de uso genérico. A pesar de que en algunos aspectos no puede ser muy atractivo (p.ej. es ruidoso en comparación con otros operacionales similares), es muy utilizado en las experiencias diseñadas para aprender o investigar características de los op-amp.

1. Input offset voltage

Debido a desbalances internos en la construcción del op-amp, existe un voltaje de error introducido a su salida, el cual se puede modelar como un operacional ideal, con una fuente de voltaje en serie con una de las entradas. El valor de esta fuente en serie (V_{off} en el diagrama) es lo que se denomina *input offset voltage*. La relevancia de este voltaje es que crece junto a la ganancia, lo que para algunas aplicaciones puede ser inaceptable. Notar que el error varía con la temperatura.

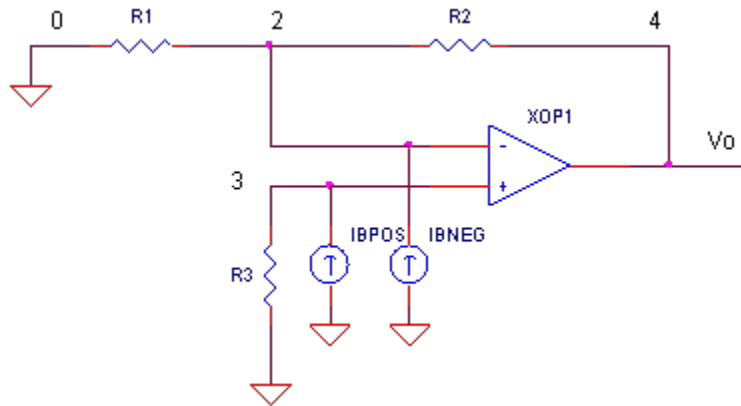


Para medir el voltaje en cuestión:

1. Se elige $R_2=10k\Omega$ y $R_1=100\Omega$ (R_1 se elige pequeño para despreciar los efectos de corriente de polarización) y $V_{off}=0V$.
2. Se mide V_o utilizando el voltímetro, con una punta en la salida del operacional y la otra en el punto a tierra más cercano a la salida.
3. V_{off} se obtiene mediante el cálculo del divisor de voltaje formado por R_2 y R_1 ($V_{off}=V_o \cdot R_1 / (R_1 + R_2)$).

2. Input bias current e Input offset current

Los transistores de entrada del operacional requieren de pequeñas corrientes para ser polarizados y así poder funcionar correctamente. El problema es que esta corriente es transformada a voltaje por las resistencias de entrada, superponiéndose así a la señal de entrada, lo cual puede ser indeseable en algunas aplicaciones. Estas corrientes se denominan *input bias current* y son modeladas como fuentes de corriente en paralelo a las entradas. Estas corrientes no son exactamente iguales, y la diferencia $I_{bpos}-I_{bneg}$ se denomina *Input offset current*. Notar que estas corrientes son dependientes de la temperatura.



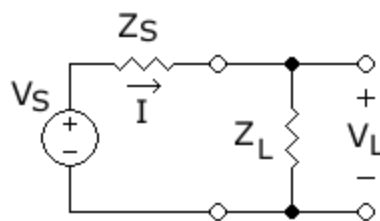
Para medir las corrientes en cuestión:

1. Se eligen $R1=R3=100k\Omega$ y $R2=1M\Omega$. I_{bpos} e I_{bneg} son circuitos abiertos (pues es lo que queremos medir). Debido a que $R2 \gg R1$, se puede asumir que la corriente a través de $R2$ es despreciable.
2. Con esto $I_{bneg}=V2/R1$, $I_{bpos}=V3/R3$. Los voltajes $V2$ y $V3$ se miden con un multímetro, tomando la precaución de hacer la medición directamente en los bornes de las resistencias.

En general, se puede llevar a valores despreciables estas corrientes eligiendo $R3=R1||R2$.

3. Resistencia de salida

La salida en DC del operacional puede modelarse como una fuente de voltaje en serie Z_s con una resistencia. El valor de esta resistencia se denomina *resistencia de salida*.

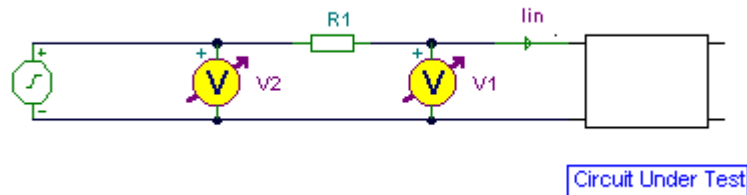


Para medir este parámetro:

1. Utilizando el operacional en configuración de seguidor de voltaje con una entrada de V_{in} , se mide su salida en circuito abierto (V_{oc}) y a través de una resistencia Z_L (V_L).
2. Utilizando los valores de Z_L y V_L , se calcula la corriente de carga I_L . Con esta corriente es posible calcular Z_s utilizando $Z_s = (V_s - V_L)/I_L$.
3. Repetir para varios valores de V_{in} , y obtener el valor de Z_s mediante un método adecuado (promedio, regresión lineal, etc).

4. Resistencia de entrada

El cálculo de de la resistencia de entrada se realiza tomando mediciones de los pares voltaje-corriente de entrada. Debido a que la resistencia de entrada es en general alta (del orden de los megaohms), se utiliza un método indirecto para medir la corriente.



Para medir este parámetro:

1. Se arma el circuito de la figura, reemplazando el tetrapolo del diagrama con el operacional, utilizando las entradas inversora y no inversoras como entradas.
2. Se elige un valor de voltaje DC y R1 tal que se obtenga una corriente medible (10V y 5kΩ es una buena aproximación inicial).
3. Se miden los voltajes en bornes de la resistencia R1 con respecto a tierra de forma de obtener I_{in} utilizando $I_{in} = (V2 - V1) / R1$.
4. La resistencia de entrada es $R_{in} = V1 / I_{in}$.

5. Corriente de alimentación (Supply current o quiescent current)

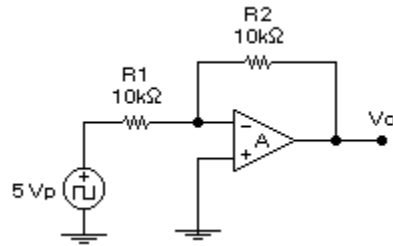
Es aquella corriente que el operacional demanda de la alimentación frente a carga nula ($Z_I = \infty$ y $V_o = 0$).

Para medir este parámetro:

1. Conectar el operacional a la fuente de alimentación sin carga.
2. Conectar los extremos de un potenciómetro de 10kΩ a los pines de *offset null* del 741, y el pin central al terminal negativo de la alimentación.
3. Ajustar el potenciómetro de forma de obtener 0V a la salida el op-amp.
4. Medir la corriente que entrega la fuente, la que corresponde a la corriente de alimentación.

6. Rapidez de cambio (Slew rate)

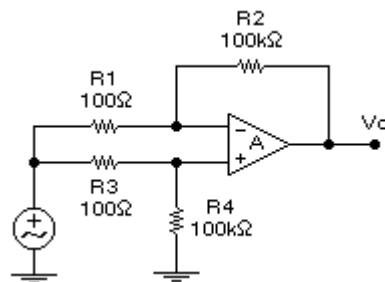
La rapidez de cambio corresponde a la pendiente con la que el amplificador operacional sigue al voltaje de entrada. Para medir este parámetro configuramos el operacional como un amplificador inversor, y sometemos la entrada a una onda cuadrada como se puede ver en la siguiente figura.



De este modo, durante los cambios de estado de la señal de entrada, se podrá apreciar la variación de voltaje con respecto al tiempo, cociente que corresponde a la SR. Para Medir este parámetro, ajustaremos la frecuencia de la señal de entrada así como el osciloscopio, para poder ver en este último una señal triangular a la salida del Opamp, cuya pendiente corresponde al parámetro en cuestión.

7. Relación de rechazo de modo común (*common mode reject ratio*, CMRR)

Al configurar un Opamp de modo inversor y someter ambas entradas a la misma señal, teóricamente la salida de este debería ser cero, lo que en la práctica no es así. El medir esta diferencia en la salida es importante al momento de utilizar el Opamp como un amplificador instrumental, pues nos indica las características del operacional para eliminar el ruido. Configuramos el circuito como se ve a continuación.



Este circuito permite medir experimentalmente la ganancia del voltaje $A_C = V_o / V_i$ y la ganancia diferencial A_D dada por R_2 / R_1 . Luego se tiene la relación de rechazo de modo común esta dada por $CMRR = 20 \log (A_D / A_C)$. Para la medición de los parámetros se debe aplicar a la entrada una señal de baja frecuencia, inferior a 8 Hz, y de una amplitud de al menos 4 Vrms. Con la ayuda de un multímetro digital se deben medir los voltajes de entrada y de salida, para obtener así la ganancia del voltaje en modo común A_C .

Bibliografía

- Juan José Padilla Ybarra, "Caracterización del amplificador operacional", apuntes de "Laboratorio de Instrumentación electrónica I" (www.itson.mx/die/jjpadilla/instru/PRAC4.doc)
- eCircuitCenter "Op Amp Input Offset Voltage" (http://www.ecircuitcenter.com/Circuits/op_voff/op_voff.htm)
- eCircuitCenter "Op Amp Bias Currents" (http://www.ecircuitcenter.com/Circuits/op_ibias/op_ibias.htm)
- Wikipedia "Internal resistance" (http://en.wikipedia.org/wiki/Internal_resistance)