

Respuesta en frecuencia de un amplificador BJT

Juan P. Elizondo Espinoza, *Estudiante, TEC* y Matías A. Camacho Abarca, *Estudiante, TEC*.

Resumen—Este experimento pretendió analizar el comportamiento de dos topologías ya conocidas en amplificadores de señales; pero esta vez haciendo uso de transistores de efecto de campo (JFETs). Para llevarlo a cabo, se contruyeron tres circuitos diferentes, el primero con una topología de fuente común, el segundo con una topología de drenador común y el tercero presenta una modificación que consiste en agregar una fuente de corriente. Logrando así, analizar el comportamiento de las señales en CD y CA para cada uno de los circuitos. Este experimento pretendió analizar el comportamiento de dos topologías ya conocidas en amplificadores de señales; pero esta vez haciendo uso de transistores de efecto de campo (JFETs). Para llevarlo a cabo, se contruyeron tres circuitos diferentes, el primero con una topología de fuente común, el segundo con una topología de drenador común y el tercero presenta una modificación que consiste en agregar una fuente de corriente. Logrando así, analizar el comportamiento de las señales en CD y CA para cada uno de los circuitos.

Palabras clave—JFETs, polarización, ganancia, tensión, corriente.

I. INTRODUCCIÓN

EL transistor de efecto de campo, también conocido como JFET, trabaja con una unión PN polarizada de manera inversa (con tensiones negativas). Cuando se le aplica un voltaje V_{DD} , se genera una tensión entre el drenaje y la fuente, lo cual induce corriente desde el drenaje hasta la fuente. La forma en la que se controla la cantidad corriente I_D en el transistor, consiste en variar la resistencia del transistor al variar el ancho del canal, el cual se modifica debido a la región de empobrecimiento a lo largo de la unión PN; dicha región de empobrecimiento, aparece al polarizar en inversa las uniones compuerta y fuente (V_{GS}) [1]. Cabe aclarar, que en un JFET la corriente de drenaje I_D va disminuyendo conforme la tensión V_{GS} se hace cada vez más negativa, pues con esto se ensancha la región de empobrecimiento, hasta que se llega a la tensión de corte en donde el canal se cierra por completo. Con este tipo de transistores, también se pueden construir amplificadores con topologías fuente común y drenador común, bajo una idea muy similar a como se trabaja con transistores MOSFET y BJT. Esto es lo que se pretendió aplicar en el laboratorio; para el caso de los amplificadores de fuente común, la señal de entrada se aplica en la compuerta y la salida es tomada directamente desde el drenador del transistor; en el caso de la topología drenador común, lo que

cambia es que ahora la salida será tomada desde la fuente del transistor [1].

EL transistor de efecto de campo, también conocido como JFET, trabaja con una unión PN polarizada de manera inversa (con tensiones negativas). Cuando se le aplica un voltaje V_{DD} , se genera una tensión entre el drenaje y la fuente, lo cual induce corriente desde el drenaje hasta la fuente. La forma en la que se controla la cantidad corriente I_D en el transistor, consiste en variar la resistencia del transistor al variar el ancho del canal, el cual se modifica debido a la región de empobrecimiento a lo largo de la unión PN; dicha región de empobrecimiento, aparece al polarizar en inversa las uniones compuerta y fuente (V_{GS}) [1].

Cabe aclarar, que en un JFET la corriente de drenaje I_D va disminuyendo conforme la tensión V_{GS} se hace cada vez más negativa, pues con esto se ensancha la región de empobrecimiento, hasta que se llega a la tensión de corte en donde el canal se cierra por completo.

Con este tipo de transistores, también se pueden construir amplificadores con topologías fuente común y drenador común, bajo una idea muy similar a como se trabaja con transistores MOSFET y BJT. Esto es lo que se pretendió aplicar en el laboratorio; para el caso de los amplificadores de fuente común, la señal de entrada se aplica en la compuerta y la salida es tomada directamente desde el drenador del transistor; en el caso de la topología drenador común, lo que cambia es que ahora la salida será tomada desde la fuente del transistor [1].

II. CIRCUITOS DE MEDICIONES

Se presenta a continuación los circuitos contruidos para la elaboración de este laboratorio. Se montaron 2 circuitos de tal manera que el circuito 1 sirvió para estudiar la respuesta en bajas frecuencias y el circuito 2 para estudiar la respuesta en altas frecuencias. Los transistores utilizados fueron BJTs 2N3904. Se midieron los parámetros de polarización en corriente directa y parámetros en corriente alterna.

II-A. Circuitos de Medición

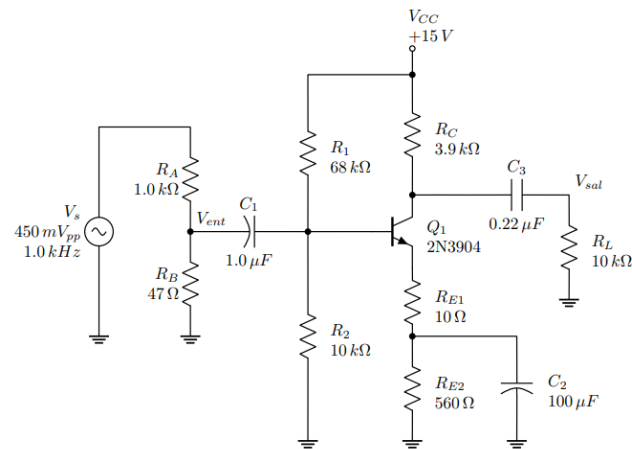


Fig II.1: Circuito 1

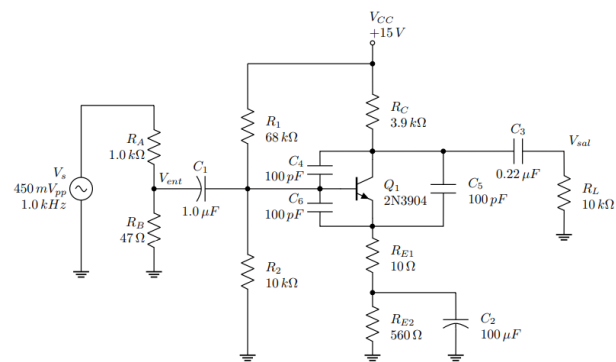


Fig II.2: Circuito 2

II-B. Resultados

Tabla II.1: Valores de resistencias utilizadas en los circuitos 1 y 2

| Componente | Valor requerido | Valor medido |
|--------------|-----------------|--------------|
| R_A (kΩ) | 1 | 1,000 58 |
| R_B (Ω) | 47 | 49,907 6 |
| R_C (kΩ) | 3,9 | 3,855 47 |
| R_1 (kΩ) | 68 | 67,771 6 |
| R_2 (kΩ) | 10 | 9,925 77 |
| R_L (kΩ) | 10 | 9,937 73 |
| R_{E1} (Ω) | 10 | 10,0248 |
| R_{E2} (Ω) | 560 | 555,329 |

Tabla II.2: Valores de capacitores utilizados en el circuito 1

| Componente | Valor requerido (μF) | Valor medido (μF) |
|------------|----------------------|-------------------|
| C_1 | 1 | 1,038 3 |
| C_2 | 100 | 94 |
| C_3 | 0,22 | 0,258 6 |

Tabla II.3: Valores de capacitores utilizados en el circuito 2

| Componente | Valor requerido | Valor medido |
|------------|-----------------|--------------|
| C_1 (μF) | 1 | 1,038 3 |
| C_2 (μF) | 100 | 94 |
| C_3 (μF) | 0,22 | 0,258 6 |
| C_4 (p) | 100 | 98,3 |
| C_5 (p) | 100 | 104,5 |
| C_6 (p) | 100 | 90,3 |

Para realizar el cálculo de las frecuencias críticas de corte inferior del circuito 1, se procedió a aislar los capacitores de los efectos de los otros capacitores. Por ejemplo, se colocó un capacitor de 1000 μF en paralelo de C_2 y otro sobre C_3 ; esto causó que la respuesta en frecuencia de estos capacitores tenga muy poco efecto sobre la salida del amplificador. La señal de salida en banda media se ajustó a alrededor de 10 kHz y se ajustó la señal para ser observada hasta una caída en la ganancia de 3 dB. La frecuencia a la que se dio esa reducción representó la frecuencia crítica inferior debido al capacitor C_1 . El mismo procedimiento se realizó para C_2 y C_3 .

Tabla II.4: Frecuencias críticas de corte inferior, circuito 1

| Capacitor | Valor requerido (Hz) | Valor medido (Hz) |
|-----------|----------------------|-------------------|
| C_1 | 51,303 8 | 54,118 |
| C_2 | 69,812 4 | 68,942 |
| C_3 | 52,045 4 | 45,983 |
| General | 173,161 6 | 125,83 |

También se calculó el valor de la frecuencia crítica inferior de C_2 si el valor de C_2 fuera modificado a aproximadamente 35,5 μF para conseguir una frecuencia de corte general de 300 Hz.

Tabla II.5: Frecuencias críticas de corte inferior de C_2 , bsucando que la frecuencia crítica general inferior sea de 300 Hz

| Valor calculado de C_2 | Valor teórico (Hz) | Valor medido (Hz) |
|--------------------------|--------------------|-------------------|
| C_2 | 196,650 8 | 209,899 |

Es importante que debido al bajo valor de V_{ent} , se estimó este como 10 mV para ambos circuitos.

Tabla II.6: Mediciones del circuito 1

| Parámetro | Valor teórico | Valor medido |
|--------------|---------------|--------------|
| V_B (V) | 1,77 | 1,816 82 |
| V_E (V) | 1,09 | 1,157 29 |
| V_C (V) | 7,59 | 7,164 76 |
| V_{CE} (V) | 6,50 | 6,007 47 |
| I_E (mA) | 1,92 | 2,047 |
| $ A_v $ | 109,443 | 115,5 |
| V_{sal} | 1,057 | 1,155 |

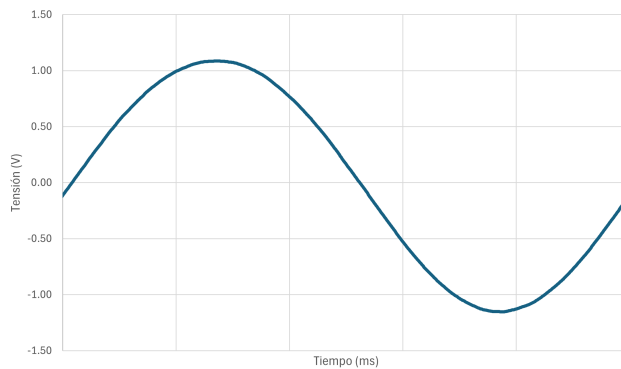
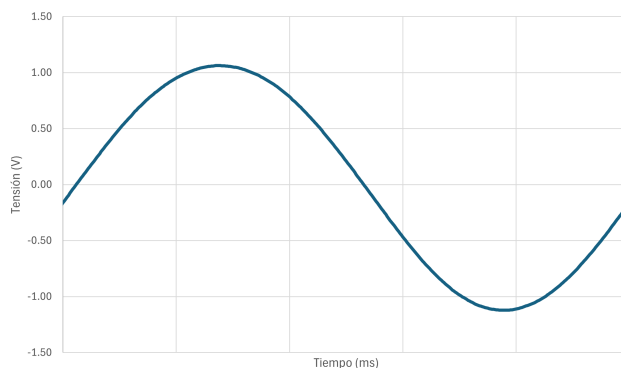
Fig II.3: V_{sal} obtenido experimentalmente en el circuito 1 durante un periodo

Tabla II.7: Mediciones del circuito 2

| Parámetro | Valor teórico | Valor medido |
|--------------|---------------|--------------|
| V_B (V) | 1,811 16 | 1,806 24 |
| V_E (V) | 1,129 35 | 1,156 78 |
| V_C (V) | 7,322 96 | 7,392 27 |
| V_{CE} (V) | 6,193 61 | 6,235 49 |
| I_E (mA) | 1,981 31 | 2,046 |
| $ A_v $ | 111,5449 | 113,5 |
| V_{sal} | 1,175 07 | 1,135 |

Fig II.4: V_{sal} obtenido experimentalmente en el circuito 2 durante un periodo

Para el cálculo de la frecuencia crítica superior general, se modificó la frecuencia de la fuente hasta observar una caída de 3 dB.

Tabla II.8: Frecuencias crítica superior general, circuito 2

| Frecuencia | Valor requerido (kHz) | Valor medido (kHz) |
|------------|-----------------------|--------------------|
| f_{cu} | 166,331 | 165,80 |

II-C. Análisis de Resultados

Con la intención de lograr los mejores resultados posibles, se trató de ajustar los valores reales de los componentes a utilizar, de forma que coincidieran lo más cerca con los valores teóricos necesarios, aunque siempre existen ciertas discrepancias.

Para el primer circuito, se observan ciertas diferencias algo significativas entre los valores recolectados, con respecto a lo esperado teóricamente; esto en cuanto a parámetros de polarización. Si se observan las señales de entrada y salida en este primer circuito, se puede notar una leve diferencia en la señal de salida respecto a lo esperado (es menor al valor teórico); además, en el semiciclo negativo existe un recorte en la onda, que provoca una alteración en la ganancia durante ese tiempo, esto se intentó solucionar durante la práctica de laboratorio; no obstante, se debía de bajar considerablemente la señal de entrada.

Para el caso de la topología de drenador común, la amplitud de la señal de salida es de un valor muy cercano al teórico, su fase es correcta y en este caso, no presenta recortes extraños que alteren la ganancia. Por último, el tercer circuito (modificado con una fuente de corriente), es el que presenta menos margen de error en cuanto a la diferencia entre valores experimentales y valores teóricos. La señal de salida es prácticamente igual a la esperada, incluso en este caso, presenta un desfase de cero grados tal cual debe ser.

III. CONCLUSIONES

Fue posible obtener los valores teóricos de polarización en CD y los parámetros en CA para la topología de fuente común con JFETs, comprobando así que la señal de salida en esta topología, presenta un desfase cercano a los 180° con respecto a la señal de entrada, igual a como ocurre con otros transistores.

Al igual que con la topología de drenador común, con fuente común se expusieron los parámetros de polarización en CD y el análisis de los valores para las señales de CA. En esta configuración, no existe desfase significativo entre las señales de entrada y salida, según se esperaba. Fue posible obtener los valores teóricos de polarización en CD y los parámetros en CA para la topología de fuente común con JFETs,

comprobando así que la señal de salida en esta topología, presenta un desfase cercano a los 180° con respecto a la señal de entrada, igual a como ocurre con otros transistores.

Al igual que con la topología de drenador común, con fuente común se expusieron los parámetros de polarización en CD y el análisis de los valores para las señales de CA. En esta configuración, no existe desfase significativo entre las señales de entrada y salida, según se esperaba.

APÉNDICE A

Matías A. Camacho Abarca Estudiante del Instituto Tecnológico de Costa Rica en la carrera de ingeniería en electrónica desde 2023. Beneficiario de beca de excelencia académica por el Instituto Tecnológico de Costa Rica desde 2023. Como estudiante, sus intereses incluyen investigación y desarrollo. Correo electrónico: jeacamacho@estudiantec.cr

Juan P. Elizondo Espinoza Oriundo de Pérez Zeledón. Realizó sus estudios de secundaria en el SNCCCR, sede UNA Región Brunca, y actualmente cursa la carrera de Ingeniería Electrónica en el Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC).

Anteriormente, fue estudiante de la Universidad de Costa Rica (UCR) durante el año 2022 y participó en programas de estudio en matemática en la Universidad Nacional (UNA) durante los años 2020 y 2021.

Cuenta con preparación y/o experiencia en áreas como:

- Arquitectura básica de redes, certificado por CISCO CCNA V7 (ITN), (2021).
- Principios de ciberseguridad, certificado por CISCO Systems, (2022).
- Programa de tutorías estudiantiles, Tecnológico de Costa Rica, (2024).

Correo: juelizondo@estudiantec.cr

REFERENCIAS

- [1] Thomas L. Floyd, *Dispositivos Electrónicos*, 8ª edición, Pearson, 2008.