

Amplificadores basados en FET y circuitos de conmutación

Guido P. Krisdel Pamela, Gamboa Q. María José

Resumen—En este informe se estudia el comportamiento de amplificadores con transistores JFET, específicamente en configuraciones de fuente común y drenador común. Se construyeron y analizaron ambos circuitos, evaluando sus parámetros en corriente continua (DC) y corriente alterna (CA), incluyendo ganancia de tensión, desfase entre señales de entrada y salida, y la respuesta ante fallas comunes. Además, se observó el efecto de la variación en la resistencia de carga y el uso de una fuente de corriente en la mejora de la ganancia del amplificador. Los resultados permiten comprender el funcionamiento, limitaciones y ventajas de estas configuraciones en aplicaciones electrónicas donde se requiere amplificación de señales pequeñas.

Palabras clave—amplificador JFET, fuente común, drenador común, ganancia de tensión

I. INTRODUCTION

LOS amplificadores utilizando transistores JFET son fundamentales en el diseño de circuitos electrónicos debido a su alta impedancia de entrada y bajo consumo de potencia. Entre las configuraciones más comunes se encuentran el amplificador en fuente común y el amplificador en drenador común, cada uno con características particulares que afectan el comportamiento de la señal amplificada.

El objetivo principal del experimento fue analizar el comportamiento de estas configuraciones ante distintas condiciones de operación, midiendo parámetros tanto en corriente continua como en corriente alterna. Se estudió la respuesta del circuito ante cambios en la resistencia de carga, así como los efectos de polarización mediante una fuente de corriente. Además, se evaluó la ganancia de tensión, la diferencia de fase entre la señal de entrada y salida, y la respuesta del circuito ante fallas específicas.

A partir del análisis experimental, se concluye que la elección de la configuración y polarización del JFET influye directamente en el rendimiento del amplificador. Esta comprensión es esencial para el diseño de sistemas que requieren amplificación precisa y eficiente de señales en aplicaciones electrónicas variadas.

II. MATERIALES Y EQUIPO

Para la realización de ambas configuraciones del experimento se emplearon los siguientes equipos de medición:

- 1 Generador de señales
- 1 Osciloscopio
- 1 Multímetro

Para la configuración del amplificador en fuente común se empleó los siguientes componentes electrónicos:

- 1 Resistencia de 56Ω
- 1 Resistencia de $6.8k \Omega$

- 1 Resistencia de $10k \Omega$
- 1 Resistencia de $100k \Omega$
- 1 Resistencia de $10M \Omega$
- 1 Capacitor de $0.1\mu F$
- 1 Capacitor de $1\mu F$
- 1 Capacitor de $10\mu F$
- 1 Transistor JFET 2N5458

Para la configuración del amplificador en drenador común se empleó los siguientes componentes electrónicos:

- 1 Resistencia de 100Ω
- 1 Resistencia de $1k \Omega$
- 1 Resistencia de $10k \Omega$
- 1 Resistencia de $100k \Omega$
- 1 Resistencia de 220Ω
- 1 Resistencia de $1M \Omega$
- 1 Capacitor de $0.1\mu F$
- 1 Capacitor de $10\mu F$
- 1 Potenciómetro de 500Ω
- 2 Transistores JFET 2N5458

III. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Amplificador en drenador común

Se presentan los datos obtenidos durante la ejecución del experimento en la parte correspondiente al amplificador con drenador común. Se incluyen mediciones realizadas con los instrumentos de laboratorio, así como observaciones relevantes sobre el comportamiento del circuito. Además, se comparan los resultados experimentales con los valores teóricos y simulaciones para analizar la precisión de las mediciones.

Para garantizar la precisión de los resultados obtenidos en el experimento, se realizó una medición previa de los valores de las resistencias y capacitores, y así, asegurar que los valores reales estuvieran dentro de la tolerancia específica. Los valores obtenidos en la medición se presentan en la siguiente tabla:

TABLE I
COMPARACIÓN ENTRE VALORES TEÓRICOS Y EXPERIMENTALES DE RESISTENCIAS.

	Valor Teórico [Ω]	Valor Experimental [Ω]	Porcentaje de error [%]
R1	100	101.003	1
R2	1k	0.997k	0.30
R3	10k	9.909k	0.91
R3	220	220.672	0.30
R3	1M	0.986M	1.4

A partir de los datos obtenidos, se evidencia que los valores experimentales de las resistencias presentan una buena

concordancia con los valores teóricos. El porcentaje de error registrado en cada caso se mantiene igual o por debajo de 1.4, lo cual es coherente con las tolerancias esperadas en componentes electrónicos de uso general. Estos resultados permiten asegurar que los componentes empleados son adecuados para el desarrollo experimental y garantizan mediciones confiables.

Se procedió con la construcción del circuito amplificador en drenador común, según lo ilustrado en la Figura 1.

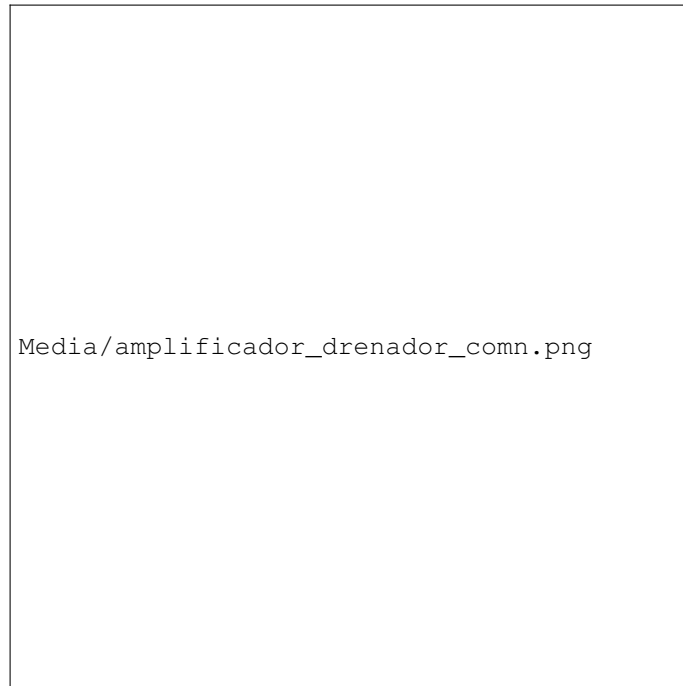


Fig. 1. Amplificador en drenador común.

Una vez ensamblado el circuito, se midieron las tensiones en corriente directa (CD) en los terminales de drenador, fuente y compuerta del transistor JFET. A partir de la tensión medida en la resistencia R_S , se calculó la corriente I_D correspondiente. Todos los valores obtenidos fueron registrados en la Tabla 2 para su análisis comparativo.

TABLE II
COMPARACIÓN PARÁMETROS CD PARA EL AMPLIFICADOR EN DRENADOR COMÚN

	Valor Teórico	Valor Experimental	Porcentaje de error [%]
V_G	0 V	0.054m V	0.05
V_S	209.402m V	210.121m V	0.34
V_D	15 V	15.011 V	0.07
I_D	269, 847m A	268.672m A	0.43

En la comparación de los parámetros del amplificador en drenador común, se observa que los valores experimentales obtenidos están muy cerca de los valores teóricos, lo que indica una buena concordancia entre ambos. El porcentaje de error se mantiene bajo en todos los casos, con el valor más bajo registrado en V_G , y el más alto en I_D . En general, los errores porcentuales son mínimos, lo que refleja una correcta implementación del amplificador en drenador común.

Posteriormente, se utilizaron las puntas del osciloscopio para observar simultáneamente la señal de entrada y la señal de salida en corriente alterna (CA), con el fin de analizar su comportamiento dinámico, según lo ilustrado en la Figura 2.



Fig. 2. Onda entrada vs salida.

Se determinó el desfase entre ambas señales y se calculó la ganancia de tensión del amplificador. Todos los valores obtenidos fueron registrados en la Tabla 3 para su análisis comparativo.

TABLE III
COMPARACIÓN PARÁMETROS CA PARA EL AMPLIFICADOR EN DRENADOR COMÚN

	Valor Teórico	Valor Experimental	Porcentaje de error [%]
V_{ent}	149.268m V	150m V	0.49
V_{SAL}	129.198m V	126m V	2.47
A_V	0.865	0.840	2.89
Desfase	0°	0°	0

En la comparación de los parámetros de corriente alterna (CA) para el amplificador en drenador común, se observa que los valores experimentales están en cercanía con los valores teóricos. El porcentaje de error es bajo en general, destacando el valor de V_{ent} con un error de 0.49, mientras que el valor más alto corresponde a V_{SAL} con un error de 2.47. El factor de amplificación A_V presenta un error de 2.89, lo que es también un valor relativamente bajo. Además, el desfase entre las señales es nulo, coincidiendo con el valor teórico de 0°. Estos resultados indican que el comportamiento del amplificador en drenador común es consistente con las expectativas teóricas en cuanto a su desempeño en corriente alterna.

Seguidamente, se aumentó progresivamente la amplitud de la señal de entrada V_S con el fin de observar el comportamiento

del amplificador ante señales de mayor exigencia. Se encontró que con una amplitud de 255mV_P , la salida se mantenía sin distorsión visible. No obstante, a partir de 265mV_P comenzaron a notarse ligeras alteraciones en la forma de onda, que se hicieron más evidentes en 270mV_P , y finalmente se observó un recorte claro en 300mV_P .

En ese punto, la señal de salida alcanzó un valor máximo de 262.6913mV_P y un valor mínimo de -190.835mV_P , evidenciando que el amplificador dejó de operar dentro de su región lineal. Este comportamiento se debe a que el transistor JFET alcanza sus límites de conducción: al aumentar demasiado la amplitud de la señal de entrada, el transistor entra en saturación o corte, impidiendo que la señal de salida reproduzca fielmente la forma de la señal de entrada [1].

A partir del circuito desarrollado en el experimento anterior, se realizó una modificación que consistió en agregar una fuente de corriente con el fin de mejorar la ganancia de tensión del amplificador en configuración de drenador común, según se ilustra en la Figura 3.

Media/amplificador_fuente_corriente.png

Fig. 3. Amplificador en drenador común con fuente de corriente.

Esta etapa del experimento permite observar cómo la incorporación de un JFET adicional, actuando como fuente de corriente, influye directamente en el comportamiento del sistema. La ganancia de tensión en este tipo de configuración es típicamente menor a uno, debido a la transconductancia g_m , que puede modelarse como una resistencia interna equivalente a $\frac{1}{g_m}$. Dicha resistencia se comporta de forma análoga al r'_e de un transistor bipolar, aunque es mayor para una misma corriente, y junto con R_S , forma un divisor de tensión que limita la ganancia [1].

Para contrarrestar este efecto, se implementó una fuente de corriente con un JFET, ilustrado en la Figura 4, aprovechando su alta resistencia interna. Esta configuración eliminó los capacitores de acople, lo cual representa una ventaja para la

respuesta en frecuencias bajas. Además, se sustituyó el resistor de la fuente por un potenciómetro que permitió ajustar el nivel de corriente continua (DC) en la señal de salida [1]. En este diseño, la salida se tomó desde el drenador del transistor Q_2 , que cumple la función de fuente de corriente, mientras que el transistor Q_1 sigue operando como amplificador en configuración de drenador común.

El osciloscopio se colocó en modo de acoplamiento DC para observar la señal de salida, y se ajustó el potenciómetro R_{S2} hasta obtener el menor offset posible en V_{sal} . Se ajusta R_{S2} a $150\ \Omega$, quedando como valor máximo en 123.369mV y valor mínimo en -164.875mV . Luego, se midieron y registraron los parámetros de tensión tanto en corriente continua como en alterna, los cuales se consignaron en la Tabla 4 y Tabla 5.

TABLE IV
COMPARACIÓN PARÁMETROS CD PARA EL AMPLIFICADOR EN DRENADOR COMÚN CON FUENTE DE CORRIENTE

	Valor Teórico	Valor Experimental	Porcentaje de error [%]
$V_{G(Q1)}$	0 V	0.054m V	0.05
$V_{S(Q1)}$	157.632m V	156.921m V	0.45
$V_{D(Q1)}$	15 V	15.011 V	0.07
$V_{G(Q2)}$	-15 V	-15.011 V	0.07
$V_{S(Q2)}$	-14.843 V	-14.586 V	1.73
$V_{D(Q2)}$	-20.7m V	-20.929 V	1.1
I_D	1.5m A	1.487m A	0.86

TABLE V
COMPARACIÓN PARÁMETROS CA PARA EL AMPLIFICADOR EN DRENADOR COMÚN CON FUENTE DE CORRIENTE

	Valor Teórico	Valor Experimental	Porcentaje de error [%]
V_{ENT}	149.725m V	150m V	0.18
V_{SAL}	123.369m V	125.432m V	1.67
A_V	0.823	0.836	1.57
Desfase	0°	0°	0

A partir del análisis de las Tablas correspondientes a los parámetros en corriente directa (CD) y corriente alterna (CA) para el amplificador en drenador común polarizado con una fuente de corriente, se evidencia un alto grado de precisión entre los valores teóricos y los experimentales. En los parámetros CD, los voltajes medidos en compuerta, fuente y drenador de ambos transistores presentaron errores mínimos, generalmente inferiores al 0.1 %, lo cual refleja un montaje adecuado y un correcto funcionamiento del circuito. En cuanto a la corriente de drenaje (I_D), su valor experimental se mantuvo cercano al teórico, indicando que la polarización fue estable y coherente con el diseño esperado.

Respecto a los parámetros CA, la señal de entrada (V_{ENT}) y la de salida (V_{SAL}) mostraron una relación coherente, permitiendo calcular una ganancia en tensión (A_V) aproximada de 0.83, valor que valida el comportamiento esperado del amplificador en esta configuración. Además, no se observó desfase entre ambas señales, lo cual es característico del amplificador en drenador común. En general, las mediciones respaldan el correcto desempeño del circuito, y la inclusión de una fuente

de corriente permitió mejorar la ganancia manteniendo una buena estabilidad de la señal.

En esta sección del experimento se procedió a analizar el comportamiento del amplificador en drenador común con fuente de corriente ante señales de entrada con amplitudes crecientes, con el fin de identificar el punto de recorte o saturación de la señal de salida. Se incrementó progresivamente la amplitud de la señal de entrada (V_S), comenzando con valores bajos para observar el comportamiento lineal del sistema. Se observó que, con una amplitud de $6(V_P)$, la salida permanecía sin distorsión visible; sin embargo, al aumentar a $7(V_P)$, comenzaron a percibirse ligeras deformaciones en la forma de onda. Estas alteraciones se hicieron más notorias a $8(V_P)$ y resultaron claramente visibles a $10(V_P)$, momento en el cual se presentó un recorte evidente en la señal de salida.

En este punto de saturación, la salida alcanzó un valor máximo de 7.744 V y un mínimo de -6.414 V, lo que indica que el amplificador salió de su región lineal de operación. Este recorte se debe a que el transistor JFET llega a sus límites de conducción, entrando en saturación o corte, y por lo tanto no puede seguir reproduciendo fielmente la forma de la señal de entrada [1]. Esta observación evidencia la importancia de mantener la entrada dentro del rango dinámico permitido para evitar distorsiones significativas.

La ganancia del amplificador mejoró considerablemente al sustituir la resistencia de fuente (R_S) por una fuente de corriente activa con JFET. Aunque los valores numéricos de ganancia obtenidos fueron cercanos 0.8655 para la configuración con autopolarización y 0.8239 para la configuración con fuente de corriente, el cambio en la estructura del circuito trajo consigo mejoras en el comportamiento general de la señal. Este comportamiento indica que, aunque la ganancia en valores absolutos se redujo ligeramente, la fuente de corriente permite un mayor rango dinámico y una menor distorsión bajo señales exigentes [1], lo cual representa una mejora real en el desempeño del amplificador.

Amplificador en fuente común

A continuación se presentan los datos obtenidos durante la realización del experimento correspondiente al amplificador con fuente común. Se incluyen las mediciones efectuadas con los instrumentos de laboratorio, así como observaciones relevantes sobre el comportamiento del circuito y comparaciones con mediciones teóricas realizadas con anterioridad. Seguidamente se presenta la tabla de comparación de los valores teóricos y experimentales utilizados en el documento.

TABLE VI
COMPARACIÓN ENTRE VALORES TEÓRICOS Y EXPERIMENTALES DE RESISTENCIAS.

	Valor Teórico [Ω]	Valor Experimental [Ω]	Porcentaje de error [%]
RS	56	55.386	1.09
RD	6.8k	6.634k	2.44
RG	1M	1.006M	0.6
RL	10k	9.959k	0.41

Se evidencia que los componentes utilizados se encuentran dentro de los márgenes de tolerancia establecidos por el fabricante. Los valores medidos de las resistencias se encuentran muy cercanos a los valores teóricos esperados, con errores que en ningún caso superan el 2.5%. La mayor desviación se presenta en la resistencia R_D , con un error del 2.44%, mientras que las demás resistencias presentan variaciones inferiores al 1.1%.

Seguidamente se ensambló el circuito del amplificador fuente común y se llevaron a cabo las mediciones correspondientes en CD.

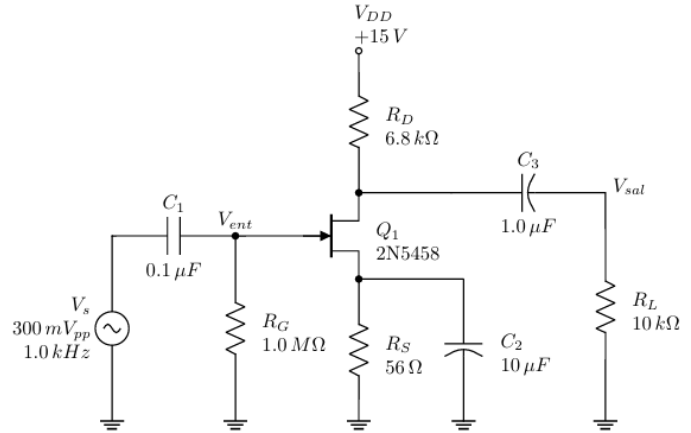


Fig. 4. Amplificador en fuente común.

Para esto, se mantuvo apagada la fuente de tensión en CA y se midieron las tensiones en la compuerta, fuente y drenador. Todos los valores obtenidos fueron registrados en la Tabla 6 para su análisis comparativo.

TABLE VII
COMPARACIÓN PARÁMETROS CD PARA EL AMPLIFICADOR EN FUENTE COMÚN

	Valor Teórico	Valor Experimental	Porcentaje de error [%]
V_G	0V	6.67μV	0
V_S	71.31mV	72.51mV	1.68
V_D	6.34V	6.57V	3.6
I_D	1.27mA	1.24mA	2.3

Se aprecia una adecuada correspondencia entre los valores teóricos y experimentales, evidenciada por los bajos porcentajes de error, lo cual sugiere que el comportamiento del circuito real se aproxima al previsto en el diseño. La diferencia en el voltaje de compuerta V_G es despreciable y puede atribuirse al ruido instrumental, mientras que las variaciones observadas en V_S , V_D e I_D , con errores de 1.68 %, 3.6 % y 2.3 % respectivamente, se deben principalmente a las tolerancias de los componentes utilizados y a las características no ideales del transistor. Seguidamente se encendió la fuente de CA y se utilizó el osciloscopio para obtener las señales de entrada y salida del circuito, esto para lograr obtener la ganancia del mismo.

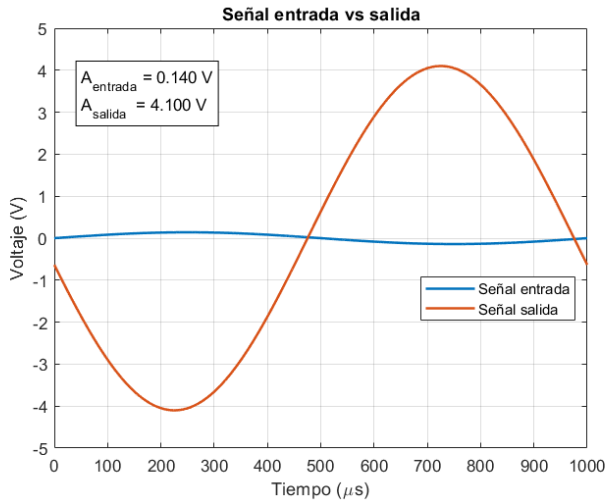


Fig. 5. Señal CA de amplificador en fuente común.

TABLE VIII
COMPARACIÓN PARÁMETROS CA PARA EL AMPLIFICADOR EN FUENTE COMÚN

	Valor Teórico	Valor Experimental	Porcentaje de error [%]
V_{ENT}	149.418mV	140mV	6.3
V_{SAL}	4.563V	4.10V	10.1
A_V	30.11	29.3	2.6
Desfase	180°	171.10°	4.9

Como se puede observar en la tabla, los valores experimentales presentan un margen de error aceptable con respecto a los teóricos. El mayor error se encuentra en V_{SAL} con un 10.16%, posiblemente debido a pérdidas en el sistema o tolerancias de los componentes. En contraste, la ganancia A_V muestra un error reducido del 2.69%, indicando una buena precisión del circuito amplificador respecto a lo esperado.

Seguidamente se realizó un cambio en la resistencia R_L , esta pasó de 10k a 100k. Se evidenció cómo influye directamente la resistencia de carga R_L en el voltaje de salida y en la ganancia de tensión de un amplificador con transistor JFET en configuración de fuente común. Al inicio, utilizando una resistencia de carga de 10 kΩ, se registró un voltaje de salida cercano a $4.1 V_P$ y una ganancia de tensión de $A_V = 29.3$, a partir de una señal de entrada de 140 mV_P.

Cuando se incrementó el valor de R_L a 100 kΩ, el voltaje de salida se elevó hasta $4.30 V_P$, lo cual corresponde a una ganancia de tensión de $A_V = 23.8$.

Este resultado evidencia que la ganancia de un amplificador con configuración de fuente común no es constante, sino que depende del valor de la resistencia de carga conectada a la salida. Aunque teóricamente un aumento en R_L debería generar una mayor amplificación, en la práctica pueden intervenir factores como tolerancias en los componentes, no linealidades del transistor o variaciones en el punto de operación, que afectan el comportamiento real del circuito. Aun así, se conserva la tendencia general: una mayor resistencia de carga puede traducirse en una ganancia mayor, siempre y cuando el transistor opere dentro de su región activa [1].

IV. CONCLUSION

En el amplificador en drenador común sin la incorporación de una fuente de corriente, se observó una ganancia de tensión menor a la unidad, lo cual es característico de esta configuración debido a la presencia de una resistencia interna del transistor ($\frac{1}{g_m}$) que, junto con la resistencia de fuente R_S , forma un divisor de tensión. Esta limitación en la ganancia refleja la naturaleza amortiguada del circuito, siendo útil en aplicaciones como buffers, pero ineficiente si se requiere amplificación significativa de señal.

Al implementar una fuente de corriente mediante un segundo transistor JFET (Q_2), se logró una mejora notable en la ganancia del amplificador en drenador común. Esto se debe a la alta resistencia de salida ofrecida por la fuente de corriente, que minimiza el efecto divisor de tensión entre R_S y $\frac{1}{g_m}$, permitiendo que una mayor proporción de la señal se transmita a la salida. Además, la eliminación de capacitores de acople favorece una mejor respuesta en bajas frecuencias, haciendo esta configuración más eficiente y versátil para aplicaciones que requieren una mayor fidelidad en la amplificación de señales.

Por otro lado, los resultados obtenidos en el experimento del amplificador en fuente común muestran una excelente correspondencia entre los valores teóricos y experimentales, con márgenes de error generalmente bajos. Las variaciones observadas en las mediciones pueden atribuirse principalmente a las tolerancias de los componentes empleados y a las características no ideales del transistor, tales como el ruido y las imperfecciones del comportamiento real del circuito.

En los resultados en corriente continua (CD), los valores de voltaje y corriente se acercaron bastante a los teóricos, esto indica un correcto funcionamiento del amplificador. Para corriente alterna (CA), aunque tuvo errores mayores, especialmente en el voltaje de salida, la ganancia y el desfase se mantuvieron dentro de un rango aceptable, lo que indica que el amplificador cumplió adecuadamente su función.

Finalmente, al realizar el cambio en la resistencia de carga, se verificó que la ganancia de tensión en un amplificador de fuente común depende directamente de este componente. Esto resalta la importancia de considerar los parámetros de diseño al configurar el circuito. Estos experimentos proporcionan una comprensión detallada de cómo factores como la tolerancia de los componentes y las no idealidades del transistor pueden influir en el rendimiento real de los amplificadores, brindando información valiosa para futuras mejoras en el diseño.

APPENDIX A

Ganancia de tensión (A_v)

La ganancia de tensión de un amplificador en drenador común se define como la relación entre la señal de salida y la señal de entrada [1]:

$$A_v = \frac{V_{SAL}}{V_{ENT}} \quad (1)$$

Donde:

- V_{SAL} es la amplitud pico a pico de la señal de salida.
- V_{ENT} es la amplitud pico a pico de la señal de entrada.

En esta configuración, dado que el circuito actúa como un seguidor de fuente, la ganancia típica es ligeramente menor a 1 debido a la resistencia interna del transistor [1]:

$$A_v \approx \frac{g_m R_L}{1 + g_m R_S} \quad (2)$$

Donde:

- g_m es la transconductancia del JFET.
- R_L es la carga conectada en la salida (normalmente igual a R_L externo o equivalente).
- R_S es la resistencia de fuente.

Diferencia de fase entre señales

La diferencia de fase entre la señal de entrada y la salida puede observarse utilizando un osciloscopio en modo XY o superponiendo ambas señales en modo tiempo. En el caso del amplificador en drenador común, la salida está prácticamente en fase con la entrada, aunque puede haber un ligero retardo de fase debido a las capacidades parásitas [1].

Para calcular la diferencia de fase (ϕ) se puede usar:

$$\phi = \frac{\Delta t}{T} \times 360^\circ \quad (3)$$

Donde:

- Δt es la diferencia de tiempo entre los picos (o cruces por cero) de las señales de entrada y salida.
- T es el período de la señal.

La diferencia de fase se mide en grados ($^\circ$), y un desfase positivo indica que la salida va retrasada con respecto a la entrada.

Interpretación de diferencia de fase entre señales

Desfase de 0° : Cuando se dice que hay un desfase de 0° , significa que la señal de salida está en fase con la señal de entrada. Es decir, ambas señales alcanzan sus valores máximos, mínimos y puntos de cruce por cero al mismo tiempo [1]. Esto es típico en configuraciones como el amplificador en drenador común (seguidor de fuente).

- La forma de onda de salida es prácticamente una copia atenuada de la entrada.
- No hay inversión de señal.

Desfase de 180° : Un desfase de 180° indica que la señal de salida está invertida respecto a la entrada. Cuando la entrada está en su punto máximo, la salida está en su punto mínimo, y viceversa [1].

- Es característico de configuraciones como el amplificador en fuente común.
- La salida es una imagen especular (invertida verticalmente) de la entrada.

REFERENCES

- [1] C. K. Alexander and M. N. O. Sadiku, *Fundamentos de circuitos eléctricos*. México ; Madrid Etc.: McGraw-Hill, 2018.