

Informe de laboratorio - TP 2 BJT y FET

Medición y cálculo de preamplificador de cápsula
condenser



Circuitos Electrónicos I, Ingeniería de Sonido, UNTREF

Profesor: David Chaikh

Ayudante: Juan Guido Cotella

Estudiantes: Lautaro Filgueira
Jonathan Freidkes
Tomás laquinta

30 Junio 2016 - Caseros, Buenos Aires, Argentina.

Introducción y objetivos

El presente trabajo tiene como objetivo el análisis de un circuito preamplificador de cápsula de micrófono de condensador, alimentando la misma a través de la tensión *phantom* de 48 V de corriente continua, generalmente dada por consolas de mezcla o fuentes específicas para esa aplicación. Se analiza el comportamiento del circuito multi-etapa, las tensiones asociadas a cada punto y la ganancia de tensión propia del sistema completo.

Teoría relacionada y aplicada al TP

Transistor

El transistor, o BJT (*Bipolar Junction Transistor*) es componente electrónico formado por la yuxtaposición de tres materiales semiconductores *tipo P* o *tipo N* en orden N-P-N o P-N-P. Este tipo de materiales son de valencia 4 (indica la cantidad de electrones libres en la órbita de conducción del átomo) que se combinan con uno de valencia 3 (por ejemplo Indio) en el caso de materiales P y con valencia 5 (por ejemplo fósforo) para materiales N. En esta contaminación de materiales se forman uniones covalentes y queda un hueco libre por átomo en el caso de materiales P y un electrón libre en el caso de materiales N, formando un ion + y un ion - respectivamente.

Al efectivizar la unión de materiales, se puede establecer una diferencia de potencial en la juntura P-N y se observa circulación de electrones que generan corrientes I_D (de portadores mayoritarios) e I_A (de portadores minoritarios). En el caso del transistor PNP se debe imponer una V_{EB} entre el material P^{++} y el N^- y una V_{BC} entre N^- y P, lo que genera I_E (emisor), I_B (base) e I_C (colector) y se llega a la polarización del semiconductor.

JFET

El JFET (*Junction Field Effect Transistor*) es una variación de transistor bipolar, que funciona por efectos sobre el campo eléctrico. Se logra mediante la irrupción de un material N con material P, o viceversa según se denomina *canal N* o *canal P*. Es de fabricación más sencilla, tamaño reducido y muy bajo ruido respecto del BJT. Se logra tener una tensión V_{GS} que controla la circulación de corriente desde el Drain hasta el Source.

Diodo Zener

El diodo de juntura es un semiconductor formado por la simple yuxtaposición de un material tipo P y un material tipo N. Esto genera que se logre circulación de corriente en condición normal únicamente en un sentido, desde el ánodo (material P) hacia el cátodo (material N). En el sentido inverso de circulación, se especifica una tensión de ruptura a partir de la cual la circulación de corriente crece en forma exponencial muy rápidamente y se puede llegar a la destrucción del componente. El diodo zener se diferencia por presentar tensiones de ruptura mucho menores que los diodos de juntura, y se utiliza en polarización inversa. Al estar formado por material más contaminado, con poco aumento de la zona de carga espacial, se llega rápidamente al valor de campo eléctrico necesario para el equilibrio. Así es como a través de la circulación de la corriente especificada en las hojas de datos como I_T (*test*), el diodo zener impone una tensión determinada de acuerdo a sus propiedades intrínsecas y se utiliza como fuente de alimentación continua y constante.

Punto de polarización

Se define como punto de polarización a los valores V_{BEQ} e I_{CQ} para BJT y V_{DSQ} e I_{DQ} para JFET, que determinan la referencia de funcionamiento del transistor en el desarrollo de corriente alterna. A partir del valor de tensión descrito se desarrollará la señal de salida en excursión positiva y negativa respecto de ese nuevo centro. Hay varias topologías circuitales de polarización, principalmente conocidas I_{CQ} o I_{DQ} *constante* e I_{BQ} *constante*. Es importante destacar que a pesar de las diferencias en el semiconductor, los circuitos pueden ser reemplazados alternadamente por un BJT o JFET, obteniendo resultados similares.

Transferencia

Se define como transferencia la relación entre la salida y entrada de un sistema, en este caso, lo que sucede entre la señal de salida del circuito y la entrada del mismo, dada por el generador de ondas. Se analiza así las modificaciones que imprime el circuito en cuestión a las señales que se procesan.

Excursión de salida

Se define como excursión de salida, los límites que impone el circuito para que la señal a la salida se desarrolle en condiciones óptimas de funcionamiento, fuera de la región de saturación o corte, es decir que sea solamente amplificada por el circuito del semiconductor. En la configuración circuital utilizada (I_{CQ} o I_{DQ} *constante*, también denominada *Emisor común* o *Drain común* respectivamente) el límite superior de la excursión de salida está determinado por el valor de la fuente de alimentación, V_{CC} y el límite inferior, por la caída de tensión V_{RE} .

THD

El THD (*Total Harmonic Distortion*) es un valor indicativo de la distorsión armónica introducida por el sistema, generalmente como componentes armónicas que se agregan a la frecuencia fundamental. A menor valor de THD, el sistema reproduce con mayor fidelidad la señal presente a la entrada, en su salida, con lo cual tener un incremento del mismo influye en la manipulación de la señal procesada por el circuito. En el caso analizado con una señal simple de una única componente armónica senoidal es simple analizar la distorsión del sistema, ya que a través de una visualización de la transformada de Fourier a la salida se observan los parciales introducidos por el circuito.

Instrumentos y materiales utilizados

Generador de señales

El mismo consiste en un dispositivo analógico que se utiliza para proveer la entrada al circuito, la señal utilizada consistió en un tono puro de 1 KHz, cuya amplitud varía en función del experimento utilizado.

Osciloscopio

El osciloscopio que se utiliza consiste en un instrumento digital que contiene dos entradas, las cuales fueron alimentadas con puntas de osciloscopio en la posición 1x. La función del osciloscopio consiste en utilizar ambas entradas, una para monitorear la entrada al sistema a analizar y otra para monitorear la salida. El monitoreo de la entrada es fundamental para verificar que la misma es estable y no presenta ruido, lo cual modificaría la salida mostrando efectos que no son necesariamente parte del sistema. El análisis de la salida permite ver los efectos del sistema, pudiendo analizar en tiempo real variaciones de amplitud, presencia de ruido y distorsión de la señal.

A su vez el osciloscopio tiene la función FFT (*Fourier Fast Transform, Transformada Rápida de Fourier*), la cual permite hacer un análisis en tiempo real del espectro en frecuencias de la señal a la cual se le aplica la función. El análisis en el dominio de la frecuencia permite analizar el agregado de contenido armónico en la señal producido por el sistema, dicho fenómeno se explica posteriormente.

Multímetro

Instrumental que permite medir varios parámetros, en este caso se utiliza para medir tensión, corriente y resistencia. El multímetro tiene cuatro entradas: una común (referencia), una para medir tensión y resistencia y dos que permiten medir corriente

con distintos valores de la misma, debido al bajo nivel de corrientes analizado se utilizó la entrada cuya amplitud máxima es 200 mA.

El multímetro permite medir tanto tensiones y corrientes alternas como continuas, en este caso se utilizó solamente para medir tensiones y corrientes continuas, en particular para verificar que los puntos de polarización sean los correctos, lo que es un indicador de que el circuito se encuentra bien o mal armado.

Fuente de alimentación

Fuente de tensión que permite definir la diferencia de potencial con la cual se alimenta el circuito. La utilizada tiene dos niveles de precisión lo cual es fundamental para poder seleccionar la tensión correcta y descartar errores producidas por la misma, es importante verificar con el multímetro que la fuente funciona correctamente, ya que como todo instrumental de ensayo puede presentar fallas, otra cuestión importante es que al ser un instrumento pensado para experimentación contiene mecanismos de seguridad que protegen tanto a la fuente como al usuario.

Protoboard

La misma consiste en una base sobre la cual se arma el circuito a ser analizado, está separada en tres partes, dos de las cuales son columnas dobles destinadas a la alimentación, las mismas se encuentran señaladas con signos positivos y negativos y los colores rojo y azul respectivamente. La tercera sección consiste en dos subsecciones separadas, las cuales contienen filas con la misma diferencia de potencial, pero cada fila está aislada una de la otra. Cada una de las mismas contiene 5 casilleros en los cuales se colocan los terminales de los componentes, los casilleros tienen un sistema de sujeción que evita que los componentes se muevan.

En este caso la protoboard fue utilizada de manera tal que en la columna negativa se colocó la masa y en el positivo la alimentación. Los componentes fueron colocados de acuerdo a los circuitos analizados, teniendo en cuenta una correcta disposición que evite la interconexión de los terminales sobresalientes y a su vez facilite la medición en los puntos que se consideraron pertinentes.

Cápsula condenser

Se utiliza una cápsula de captación R104 tipo condensador de un micrófono Shure SM 81. El principio de funcionamiento de esta cápsula se basa en un capacitor polarizado a través de la tensión phantom de 48 V de corriente continua donde un extremo del mismo se desplaza en forma análoga a las variaciones de presión atmosférica de la onda sonora y genera una variación en la capacidad de la cápsula, que se transduce a su salida como una tensión alterna análoga a la onda acústica inicialmente incidente.

Componentes

Transistores

- 2N3904: Transistor BJT de tipo NPN que se caracteriza por su fabricación especializada para señales bajas.
- 2SK121: Transistor JFET de canal N, fabricado para amplificación de señales con bajo ruido.

Diodo Zener

Se utilizó un diodo zener de la línea 1N4742A con valor V_Z de 12 V que determina la alimentación V_{CC} del circuito.

Resistencias

Los diversos valores de resistores que se utilizan corresponden a las resistencias de carbón, las cuales se caracterizan por un código de colores de cuatro bandas, siendo las tres primeras el valor de la resistencia y la cuarta la tolerancia. Los valores de tolerancia utilizados fueron al 5 % que refleja la dispersión del valor real de la resistencia, respecto al valor ideal, debido al proceso de fabricación y material que está compuesta. Por otro lado, las resistencias se supeditan a otro parámetro, el cual es la potencia máxima disipada, en este caso se utilizaron resistencias $\frac{1}{2}$ Watt.

Capacitores

Los capacitores que se utilizan son en su mayoría electrolíticos de aluminio correspondientes a distintos valores de capacidad y tensiones de al menos 16 V, debido a las características del circuito. Es importante destacar que los capacitores electrolíticos se caracterizan por sus grandes capacidades respecto a sus dimensiones y a la vez de ser polarizados, es decir que se debe prestar especial atención a la hora de la colocación, ya que un error en este aspecto implica, en general, la rotura del mismo o una falla en el funcionamiento del circuito. En los capacitores electrolíticos el ánodo está constituido de aluminio el cual se enrolla alrededor de un dieléctrico, que consiste en una capa de óxido logrado por un proceso de anodización. El cátodo consiste en otro material que recubre la capa de óxido.

También se utilizan capacitores cerámicos, de valores bajos de capacidad y alta tensión no polarizados.

Transformador de tensión

El transformador de tensión es un elemento electromagnético que a partir de la generación de un campo magnético por inducción a través de la circulación de corriente

alterna en un bobinado primario genera una tensión alterna proporcional a la cantidad de vueltas en el bobinado secundario. Estos bobinados se montan sobre un núcleo de hierro que ayuda a direccionar el campo magnético presentado. A pesar de que en la consideración ideal, la potencia en el bobinado primario sea igual a la del secundario, se verifica empíricamente que esto no sucede y se dan pérdidas de potencia en el alambre de cobre para el bobinado, en el núcleo y por corrientes parásitas, y además se presenta una curva de histéresis que indica el punto de saturación del transformador.

Se utiliza el transformador *Neutrik NTM1*, específico de audio, de relación 1:1 para el desacoplamiento eléctrico de la salida del preamplificador a la ficha XLR.

Consola de mezcla

Para la provisión de la tensión de alimentación del circuito y de polarización de cápsula, junto con la posibilidad de probar el audio saliente del circuito se utiliza una consola *Mackie VLZ 1204* que tiene 4 canales de entrada de micrófono con conector XLR y 4 canales Stereo con conectores TRS. Presenta un interruptor de encendido de la tensión *phantom* para los 4 canales de micrófono en simultáneo. A la salida master de la consola se conecta a través de un cable TS el monitor de estudio *KRK Rokit 8* para el monitoreo auditivo de la señal preamplificada.

Procedimientos

Dado el circuito de la Figura 1 se procede a calcular las resistencias y capacitores que permitan su correcto funcionamiento.

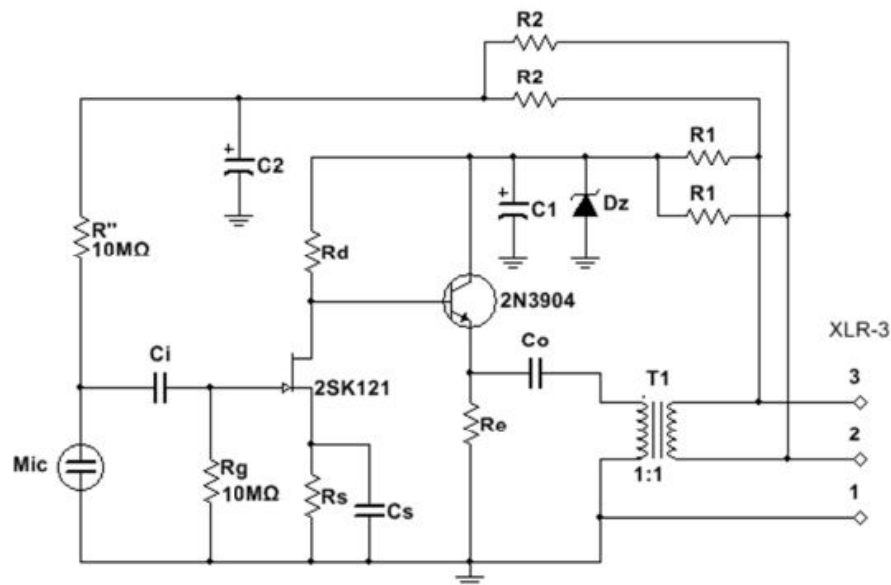


Figura 1: Circuito en esquemático

Se establece en este caso una tensión de alimentación del circuito V_{CC} de 12 V al elegir un diodo zener de este valor, 1N4742A y, adicionalmente, se mide la tensión de phantom que nos entrega la consola, obteniendo $V_{PH} = 45,22$ V en el conector XLR como V_{12} y V_{13} . Se reemplazan todas las resistencias del circuito de 50 M Ω por 10 M Ω por faltante en los componentes de la facultad del valor. Se nota que $V_{C1} = V_{CC} = 12$ V.

Se procede a continuación a determinar las resistencias comenzando por R_S dado que esta determina directamente el valor de la corriente a través del JFET ya que el mismo está en configuración autopolarizado. Se busca aquí una corriente I_{DQ} de 1 mA por lo que se elige $R_S = 560$ Ω con lo que se obtiene finalmente $I_{DQ} = 0,98$ mA y $V_{RS} = -V_{GS} = 0,55$ V.

Con este valor se termina de obtener el punto Q del JFET determinando R_D , en este caso, dado que esta resistencia determina tanto el punto Q del JFET como la ganancia del mismo y también la polarización del BJT. Se elige $R_D = 6,8$ K Ω lo que establece $V_{RD} = 6,66$ V y por tanto se procede a calcular V_{DSQ} .

$$V_{DSQ} = V_{DD} - V_{RD} - V_{RS} \quad (1)$$

Se obtiene un valor $V_{DSQ} = 4,79$ V.

Como V_D polariza al BJT al imponerle una tensión en su base, se puede obtener el valor V_{RE} teniendo en cuenta la caída de tensión V_{BE} , aproximada. En este caso se obtiene una $V_{RE} = 6$ V con una $V_{BE} = 0,66$ V aproximadamente.

Se procede a determinar el valor de R_E , dado que el BJT ya está polarizado y se calcula en base al valor de la corriente buscada en el BJT. Se decide $I_C = 2$ mA, entonces conociendo V_{RE} se obtiene $R_E = 3,3$ K Ω modificando $I_C = 1,82$ mA.

Se establece también I_{TEST} que es la que circulará por el Zener, que se define de 2 mA para no cargar demasiada corriente sobre el cable XLR ni exigir demasiado la fuente phantom de la consola utilizada. Como la condición I_{TEST} según el datasheet de 1N4742A indica 21 mA para que imponga 12 V, es esperable que con 2 mA, V_Z sea menor a 12 V.

Se calculan luego las resistencias R_1 que deben ser simétricas para no cargar el transformador distinto en ambos extremos mediante la siguiente fórmula:

$$(R_{ph} + R1) || (R_{ph} + R1) = \frac{V_{cc} - V_Z}{I_{test} + I_C + I_D} \quad (2)$$

Donde R_{PH} es la resistencia de la consola para el phantom (normalizada en 6,8 K Ω).

Suponiendo V_Z ideal de 12 V, se obtiene $R_1 = 6644 \Omega$ que se ajusta a vaor comercial 6,8 K Ω . Así, la tensión en la cápsula debería ser 34 V, suficientemente mayor a la mínima necesaria de 24 V, que es el mismo valor $V_{C2} = 34$ V.

Se calcula luego R_2 que debe ser mucho mayor a la impedancia de entrada del preamplificador de la consola, que se asume en 2 K Ω en paralelo a R_{PH} , por lo tanto se elije $R_2 = 12$ K Ω .

Finalmente se calculan los capacitores del circuito obteniendo los valores de la tabla 1.

Tabla 1: Valores de capacitores calculados para el circuito.

Capacitor	R_C	Frecuencia de corte	Valor comercial
C_i	R_g	10 Hz	10 nF
C_O	$(R_{in\ consola} + R_E) [(h_{ie} + R_D) / (1 + h_{fe})]$	10 Hz	470 μ F
C_S	$R_S (1/g_m)$	10 Hz	470 μ F
C_1	$R_D [h_{ie} + R_E(1 + h_{fe})] (R_1/2)$	0,5 Hz	220 μ F
C_2	$(R_1/2 + R_{PH}/2) R''$	0,5 Hz	33 μ F

Con estos valores se procede a obtener los puntos Q de ambos semiconductores, al tener las caídas de tensión en todas las resistencias y las corrientes de polarización. Se muestra toda la información en la tabla 2.

Tabla 2: Puntos Q de los semiconductores.

Semiconductor	V_Q	I_Q
JFET	4,79 V	0,98 mA
BJT	6 V	1,82 mA

Finalmente se calcula la ganancia de tensión del circuito, G_V , asumiendo el BJT en configuración *colector común* con ganancia unitaria (0 dB), por lo que la $G_{V_{TOTAL}}$ está determinada por la G_V de la etapa JFET que se calcula como:

$$G_V = -g_m (R_D || [h_{ie} + (R_E || Z_{TRANSFORMADOR})(1 + h_{fe})]) \quad (3)$$

Se estima el valor de $g_m = 12$ m Ω

Así, se obtiene $G_V = 78,37$ veces (37,88 dB).

Dados estos valores se monta el circuito en el protoboard como se ve en la figura 2.

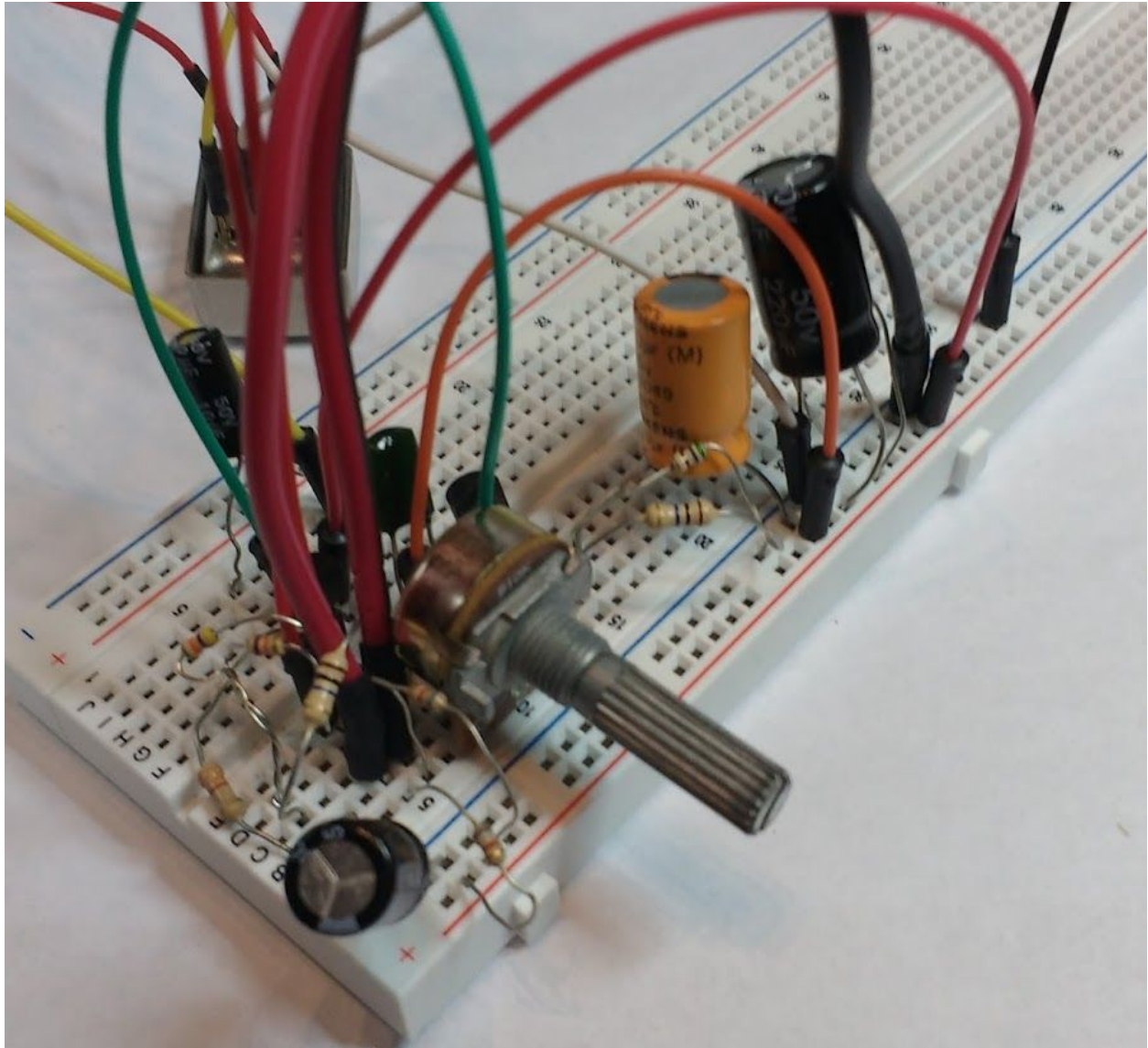


Figura 2: Circuito montado en protoboard.

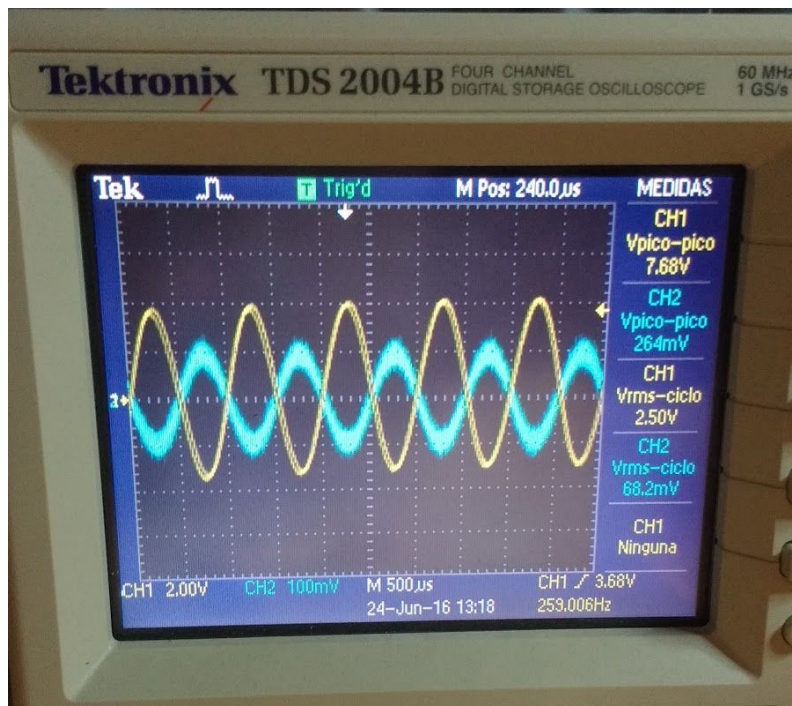
Se intenta medir la tensión continua que llega a la cápsula, obteniendo en el multímetro 13,87 V. Es fundamental en este punto considerar la resistencia interna que presenta el multímetro utilizado, el *UNI-T UT803*, para el cual el fabricante indica una resistencia para esta medición del orden de los 10 M Ω , la cual se asemeja en gran manera a la impedancia que presenta la cápsula por lo que se produce una caída de tensión más que considerable en el multímetro. Con esta consideración se determina en este punto que se está polarizando a la cápsula satisfactoriamente dado que recibe una tensión que supera los 24 V.

Se miden luego los puntos calculados y se expresan en la tabla 3

Tabla 3: Valores medidos.

Punto de medición	Valor
V_{PH}	45,22 V
V_{C1}	11,6 V
V_{C2}	28,78 V
V_D	6,73 V
V_S	0,4 V
V_E	6,07 V

Se conecta un generador de señales en lugar de la cápsula de modo de obtener una medida de la ganancia de tensión total del circuito estableciendo en la entrada una señal senoidal de 1KHz. Se observa el resultado de esto en la figura 3, en la cual observamos la ganancia de tensión medida $G_V = -28,79$ veces = 29,2 dB.

Figura 3: G_V medida con osciloscopio.

Conclusiones

Se logró exitosamente la medición de los puntos de polarización del circuito, dando resultados razonables y a pesar de revisar múltiples veces todos los cálculos y de utilizar la jaula de Faraday para el testeo de señal de audio, no se logró un buen funcionamiento de la cápsula y su preamplificación sin ruido, desconociendo el por qué del mismo ya que también se rearmó múltiples veces el circuito en la protoboard por parte de cada estudiante del equipo.