

Proyecto: Trémolo

Análisis y Diseño de Circuitos Eléctricos

Integrantes:	Melissa Alé Martínez Gonzalo Claro Morales Felipe Valenzuela Reyes
Profesor:	Santiago Bradford V.
Auxiliar de Laboratorio:	Danilo Sánchez C.
Ayudantes:	Bryan Bizarro A. Gabriel Maldonado A. Luis Carvajal C.

Fecha de entrega: 30 de Junio de 2019
Santiago, Chile

Índice de Contenidos

1. Introducción	1
2. Marco Teórico	2
2.1. Aspectos Generales	2
2.2. Circuito: Trémolo Musical	3
2.3. Implementación del Trémolo: Teórico	7
3. Simulaciones del Diseño	9
4. Análisis del Diseño	10
5. Implementación del Trémolo: Experimental	11
6. Resultados	12
7. Análisis de Resultados	14
8. Conclusiones	15
Referencias	16

Índice de Figuras

1. Circuito de Trémolo: adaptación del modelo Electronic Australia Tremolo[3].	2
2. Bloque 1 de circuito EA Tremolo [3].	4
3. Bloque 2 de circuito EA Tremolo, correspondiente al bloque de modulación de audio [3].	5
4. Circuito de Trémolo a implementar.	7
5. Variación de la amplitud del voltaje de salida de la fotorresistencia cuando el led está encendido (en verde) y apagado (en azul).	9
6. Circuito de Trémolo a implementar.	11
7. Circuito de Trémolo implementado	11
8. Repetición corta producida con una señal cuadrada de frecuencia 8 [Hz]	12
9. Aplicación de una señal cuadrada de frecuencia 2 [Hz].	12
10. Variación suave de amplitud producida al aplicar una señal sinusoidal de frecuencia de 2 [Hz].	13
11. Aplicación de una señal sinusoidal de frecuencia 10 [Hz].	13

1. Introducción

La presente actividad de trabajo realizada para el laboratorio del curso “Análisis y Diseño de Circuitos Eléctricos” tiene como principal objetivo la presentación del proyecto “Trémolo” que, a grandes rasgos, corresponde a la implementación de un efecto musical que describe la variación periódica de la intensidad de un sonido, mientras la frecuencia de este se mantiene constante.

Con el propósito de lograr el principal objetivo planteado, es decir, la implementación del efecto musical “Trémolo”, se pretende reunir la información necesaria sobre su configuración y funcionamiento para, posteriormente, realizar las correspondientes simulaciones en el software LTSpice, y de esta forma lograr aplicar el trémolo sobre una señal de guitarra o bajo eléctrico, teniendo en consideración que el efecto debe tener una adaptación tanto en la impedancia de entrada como en la de salida.

Con respecto al Trémolo en sí mismo, este efecto musical cumple un rol fundamental y es de uso recurrente en la creación de composiciones musicales que involucren el uso de guitarras o bajos eléctricos. Si bien, en el marco de la música, el Trémolo es considerado un efecto simple, su implementación en este ámbito se remonta al año 1942 [1] donde por primera vez se utilizó la variación de amplitud (volumen) para generar un efecto acústico que mantuviera la frecuencia (altura) constante. Desde entonces, el trémolo ha evolucionado desde un dispositivo a base de líquido electrolítico que permitía cortar señales acústicas rítmicamente, hasta su modo de implementación actual a través de un pedal de modulación [2].

La importancia de la realización de este proyecto radica en la aplicación de los conocimientos adquiridos durante el desarrollo de este curso, con el fin de implementar un dispositivo de gran importancia y uso en el marco de la industria musical lo que, junto con lo anterior, permite desarrollar habilidades relacionadas a la resolución de problemáticas reales y aplicables a artefactos eléctricos de uso común.

2. Marco Teórico

2.1. Aspectos Generales

El tremólo corresponde a un efecto musical que permite obtener una variación cíclica de la amplitud de una señal acústica, lo que se manifiesta en una constante variación rítmica del volumen de la misma.

En el ámbito de la industrial musical, el efecto asociado al Trémolo se implementa a través de un pedal modulador, cuyo modelo más común corresponde al “Electronic Australia Tremolo”. Un rediseño de este tipo de pedal se muestra en el circuito de la Figura 1. donde se presenta un trémolo basado, a grandes rasgos, en un oscilador de baja frecuencia de doble amplificación. Así, de forma general, el circuito a implementar consta de un acomple de dos etapas: Un oscilador de baja frecuencia y un bloque de modulación de audio.

tremolo circuit

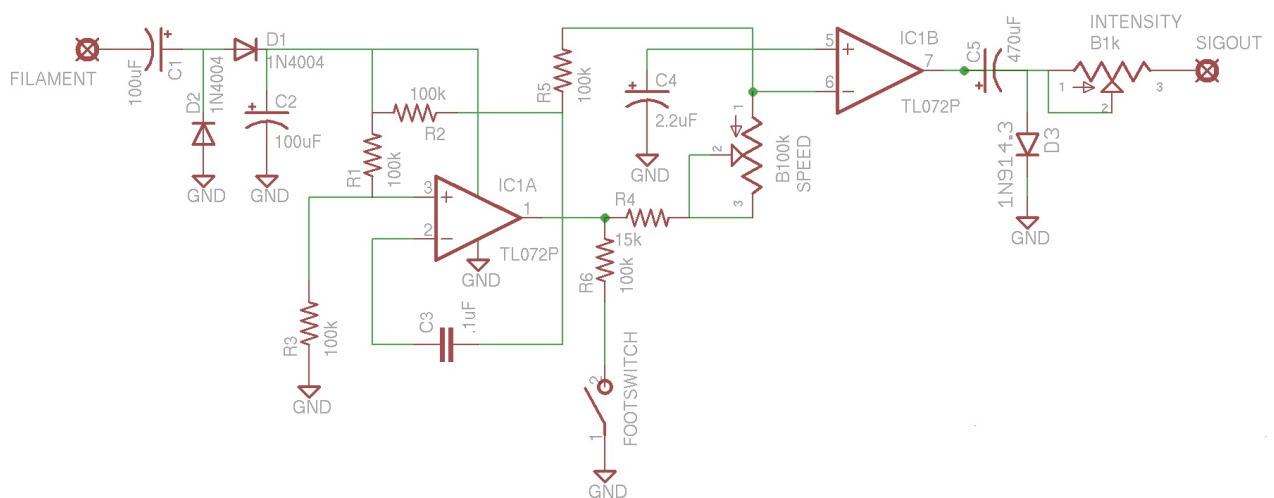


Figura 1: Circuito de Trémolo: adaptación del modelo Electronic Australia Tremolo[3].

2.2. Circuito: Trémolo Musical

La implementación de un trémolo, con el fin principal de modificar volúmenes, convella aplicar modulación de amplitud (AM) a la señal de entrada obtenida de una guitarra o bajo eléctrico. Esta modulación, en un circuito eléctrico, se realiza mediante un bloque de amplificación - utilizando un OPAMP - controlado por una fuente de tensión, es decir, el objetivo es modificar el voltaje de alimentación del OPAMP para alterar la ganancia de este y así obtener un voltaje de salida modificado con respecto a la tensión de entrada[4]. Idealmente, se busca que la ganancia del amplificador sea unitaria ya que de esta forma se minimiza la distorsión del mismo - entendiéndose distorsión como la alteración de manera desigual de los distintos parámetros relacionados a una señal, como la fase o la frecuencia - pero, debido a la complejo que resulta implementar una ganancia unitaria dada la inherente variación de algunos de los parámetros ya mencionados, en la práctica se busca una ganancia mayor a 1 y esto se consigue aumentando las redes RC en el circuito, lo que permite disminuir la atenuación total de este, es decir, disminuye la pérdida de potencia inherentes a la transmisión de una señal[5].

La particularidad de la tensión que alimenta el OPAMP radica en que corresponde a una señal de voltaje de un oscilador de baja frecuencia, conocido como LFO dadas sus siglas en inglés (Low Frequency Oscillation) [4]. Estos, tal como su nombre lo implica, operan a frecuencias que rodean los 20 [Hz], que corresponde a la mínima frecuencia audible por el ser humano, dato no relevante ya que en general un LFO tiene como objetivo modificar la forma de la onda de entrada, dando como resultanto una señal cuya forma puede corresponde a una onda sinusoidal, cuadrada o triangular.

Analizando con más detalle la aplicación de un LFO en la construcción de un trémolo, en el circuito mismo un oscilador se implementa a través de un amplificador - OPAMP - con retroalimentación en su entrada no inversora. De esta forma, tanto la señal de entrada como la de salida se encuentran en fase y así el amplificador oscila con una frecuencia determinada por las resistencias y capacitores dispuestos en el loop de la retroalimentación. Luego, la señal de salida del LFO es subsónica y su valor se encuentra dentro del rango de 3[Hz] a 10 [Hz][6]. Es importante destacar que el LFO no oscila a menos que tenga una señal que amplificar, puesto que, en el caso de que el amplificador funcionara como un switch de encendido/apagado, este necesitaría un método de arranque rápido que iniciara la oscilación una vez que se elimina la desviación de la señal. Lo anterior permite deducir que mientras mayor sea la señal de entrada, más rápido comienza la oscilación y así mismo el aumento hasta su valor nominal de operación[5].

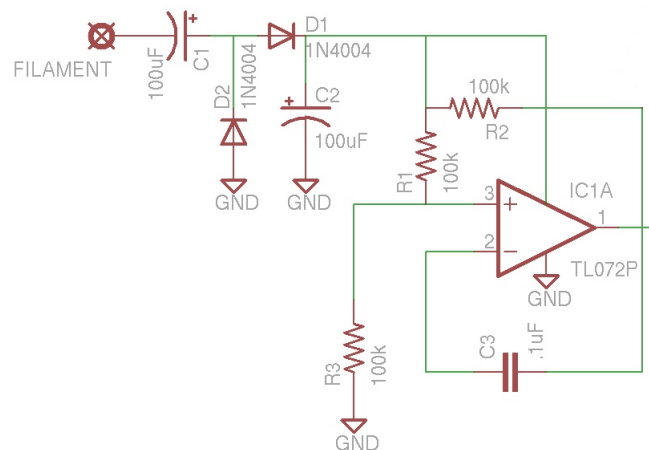


Figura 2: Bloque 1 de circuito EA Tremolo [3].

Teniendo en consideración las características mencionadas sobre el modo de funcionamiento del Oscilador de baja frecuencia, es posible analizar el circuito del Trémolo - Figura 1.- separando este en dos bloques, donde el primero de ellos corresponde al Bloque 1 mostrado en la Figura 2. y que se relaciona con un LFO.

Con respecto al análisis del Bloque 1, en primer lugar, se destaca la importancia de la resistencia $R_3=100[\text{k}\Omega]$ conectada a tierra. El alto valor de ésta permite maximizar la ganancia y la oscilación de salida - cuya forma de onda puede corresponder a una sinusoidal, una triangular o una onda cuadrada - de la amplificación. Por otra parte, otros componentes que cumplen un rol fundamental y de suma importancia en este bloque corresponden a los condensadores $C_1=100[\mu\text{F}]$ y $C_2=100[\mu\text{F}]$ que permiten mantener la impedancia de salida lo más baja posible y, así - nuevamente - priorizar la maximización de la ganancia. Además, junto con lo anterior, el condensador C_2 corresponde a un condensador de desacople - que tiene como principal función el desacople o separación de las señales alternas, como el ruido, de una señal constante - lo que finalmente permite que la señal sea completamente desacoplada muy por debajo de la frecuencia de oscilación[7].

Continuando el análisis del correspondiente bloque, la principal función de los diodos D_1 y D_2 está asociada a la protección del circuito eléctrico ya que, dado que los diodos tienen como principal característica la conducción de corriente eléctrica en un solo sentido, esto permite que, en el caso de D_1 este se conecte de forma inversa a la tierra y así, mientras la tensión se mantenga por debajo del voltaje de ruptura -voltaje máximo aplicable a los terminales de un condensador - , el diodo sólo será atravesado por la corriente inversa de saturación, que resulta ser muy pequeña, por lo que la interferencia con el resto del circuito es mínima[8].

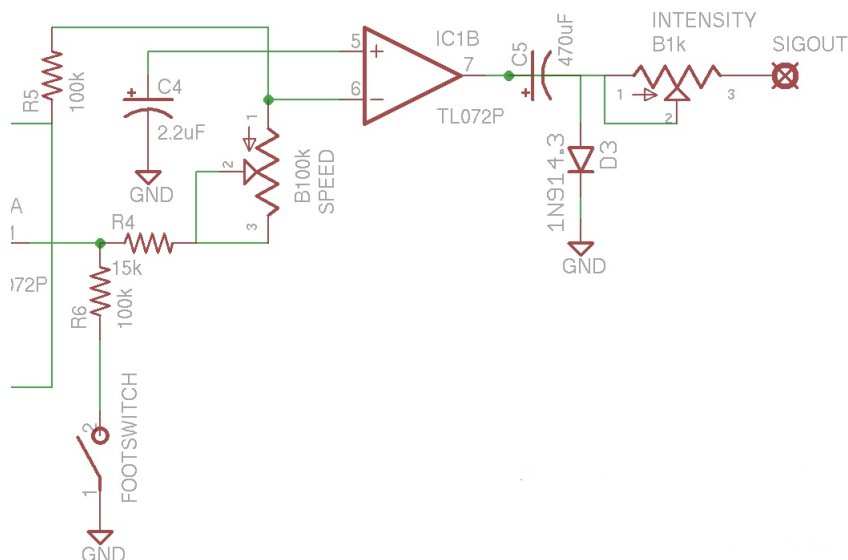


Figura 3: Bloque 2 de circuito EA Tremolo, correspondiente al bloque de modulación de audio [3].

Luego de tener cierta noción del funcionamiento del primer bloque, el segundo bloque correspondiente a la Figura 3. corresponde a la etapa de modulación de audio.

Con respecto al bloque de modulación de audio, en este caso se destaca la presencia de resistencias variables que, en este caso particular, se implementan como una LDR - o Light-Dependent Resistor - es decir, una fotoresistencia. La particularidad de este tipo de resistencias radica en que son fabricadas de tal manera que presentan, en la parte superior, una pequeña lata metálica con una lente que permite el acceso de la luz hasta el material resistivo que se encuentra en el interior - generalmente, sulfuro de cadmio cuya conductividad aumenta al ser iluminado-. Así, el comportamiento de la fotoresistencia se resumen en que, dada la ausencia de luz, la resistencia de este elemento aumenta, mientras que en el caso contrario - presencia de luz - la resistencia disminuye y la conductividad aumenta[6].

Teniendo en cuenta el comportamiento de una fotoresistencia, el funcionamiento del bloque 2 se basa en la señal de salida del bloque 1. Lo anterior se justifica en que, en un trémolo real, en el bloque 1 existe un lámpara interna - LED - y dada la forma de onda de salida del LFO - por ejemplo una onda sinusoidal- la lámpara se enciende y se apaga, siguiendo los valores de máxima amplitud de la señal. Así, la fotoresistencia reacciona a las variaciones de luminosidad asociadas a la lámpara, entonces cuando la lámpara se enciende, la resistencia disminuye tal como se mencionó anteriormente[6]. Por otro lado, cuando la lámpara se apaga y no hay presencia de luz, la resistencia aumenta y así disminuye la conductividad. De esta forma, dado que la señal de salida del LFO provoca variaciones en la resistencia, esto es lo que posteriormente permite las variaciones de volúmenes de las señales de entrada y así se cumple el objetivo principal del trémolo.

Entre los componentes del bloque 2 se encuentra un OPAMP cuya entrada inversora se conecta a una LDR. Así, la fotoresistencia funciona como un potenciómetro de volumen - que cambia su valor de forma manual - pero su modificación ocurre de manera automática debido a la acción de la luz.

Analizando otros componentes correspondientes al bloque 2, se destaca la presencia del diodo D_3 que tiene como principal rol la protección del circuito ya que, al conducir la corriente en solo un sentido, puesto que, en el caso de presentarse un aumento de la tensión del circuito, D_3 comenzaría a conducir corriente eléctrica desviando el exceso hacia la tierra, lo que finalmente permite evitar daños de los componentes del circuito[8]. Además, se destaca la presencia del interruptor en este bloque, que se utiliza para abrir la conexión al LDR, aumentando la ganancia y la sensibilidad del amplificador ante las señales de entrada[6].

Finalmente, con respecto al circuito del Trémolo, correspondiente a la Figura 1., este se construye uniendo los bloques anteriormente analizados. Así, la forma en que ambos bloques se conectan tiene un efecto directo en la señal de salida que tendrá el circuito correspondiente al Trémolo. En este caso, para acoplar ambas etapas se planea utilizar una resistencia variable. El valor de esta resistencia será el que, acoplado al circuito de audio, modulará el volumen de la señal acústica de entrada y así permitirá materializar el efecto producido por el uso del Trémolo[2].

2.3. Implementación del Trémolo: Teórico

Tal como se planteó en un principio, el principal objetivo de este proyecto radica en la implementación de un trémolo musical que permita la modificación cíclica del volumen de una señal acústica proveniente de una guitarra o bajo eléctrico. Así, teniendo en cuenta este objetivo y analizando el comportamiento y funcionamiento del trémolo, se analiza la implementación de un circuito que emule la mencionada función de variar la amplitud de una señal, que en este caso es el volumen de una onda sonora. De esta forma, se plantea utilizar un circuito equivalente que cumple la misma función y que utiliza elementos de laboratorio ya estudiados en experiencias anteriores, como lo son el generador de funciones, resistencias y LDR - fotorresistencias -.

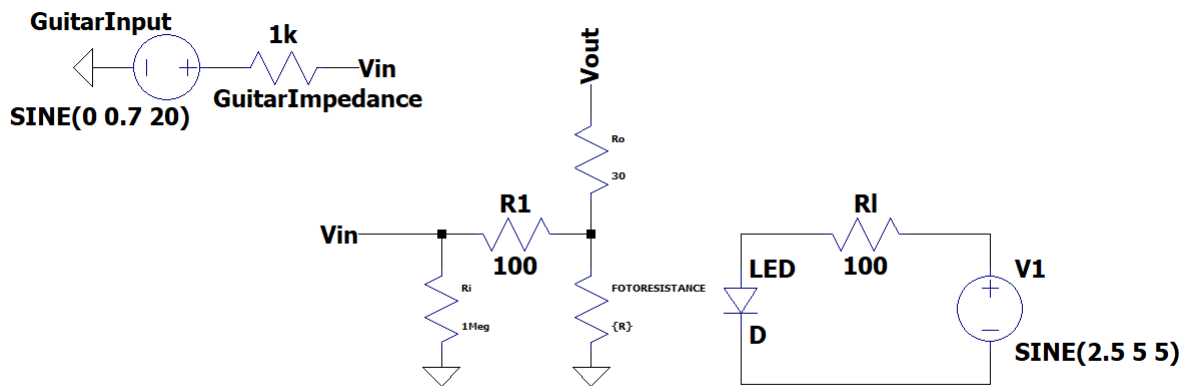


Figura 4: Circuito de Trémolo a implementar.

El funcionamiento del circuito a implementar, correspondiente a la Figura 4., se justifica en base a un divisor de voltaje en el cual el valor de R_2 varía gracias a su propiedad fotorresistiva, de tal manera que modifique levemente la amplitud de la señal en V_{in} por la siguiente relación entre los voltajes dado los respectivos valores de las resistencias a utilizar.

$$V_{out} = V_{in} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Es importante destacar que la función de la red derecha de la Figura 4. tiene como único fin permitir el parpadeo de un diodo emisor de luz (LED), que al proporcionar energía luminica bajo cierta frecuencia sobre la fotorresistencia, permitira que el valor resistivo de esta varíe periódicamente, logrando el efecto buscado. Esta red no se implementara en LTSpice ya que no hay forma de simular el comportamiento de la fotorresistencia frente al LED, por lo que solo existe de forma explicativa, mientras que la variación de la fotorresistencia será simulada gracias a las herramientas proporcionadas por el software para analizar la señal según una resistencia variable. En base a lo anterior, se asume que el sistema fotorresistencia-LED funciona correctamente.

Continuando con el diseño del circuito a implementar, se selecciona R_1 como una resistencia fija de $100[\Omega]$ y R_2 como una fotorresistencia. De esta forma, como ya se mencionó anteriormente,

el LED asociado a la fotorresistencia permite que la resistencia - y por tanto, la conductividad del circuito - genere variaciones en el voltaje de salida, lo que se manifiesta en una modificación cíclica del volumen de la onda sonora de entrada. Numéricamente, el comportamiento de la fotorresistencia corresponde a, en presencia de luz, $300[\Omega]$ y en ausencia de esta llega hasta los $900[k\Omega]$. Junto a las ya mencionadas resistencias, para el desarrollo de el circuito que cumplirá la función del trémolo, se utilizará el generador de funciones y el osciloscopio, con el fin de analizar y comparar las funciones de entrada y salida del circuito. Asimismo, se utilizarán “entradas Jack” en los terminales V_{in} , que permite conectar la guitarra eléctrica, y V_{out} que permite conectar el amplificador al circuito.

Junto con lo anterior, es importante tomar en cuenta que tanto la guitarra como el amplificador poseen una impedancia propia, que es necesario considerar en el diseño del circuito, puesto que este debe tener las impedancias en consideración para evitar la mayor cantidad de pérdidas de la señal tanto en la entrada como en la salida. Aquí es donde juegan un rol fundamental las resistencias R_i y R_o , donde la primera debe ser del valor más alto posible, esto para que el voltaje proveniente del instrumento pase en su mayoría al circuito a implementar, así mismo, la resistencia R_o debe ser de un valor bajo para que su diferencia con la impedancia de entrada del amplificador sea mayor.

Con el fin de que la implementación del circuito se aplique con una señal acústica proveniente de una guitarra eléctrica, se analiza la relación entre la impedancia de entrada y salida de la misma. Así, en base a lo anterior, se busca que la impedancia - resistencia al paso de corriente alterna - de entrada sea mucho mayor que la de salida, y de esta forma exista una relación balanceada entre el voltaje de entrada y el de salida, lo que se observa en la ecuación correspondiente al divisor de voltaje.

3. Simulaciones del Diseño

La siguiente simulacion fue realizada a través del software LTspice y corresponde a un análisis del circuito mostrado en la Figura 4, el cual muestra el valor de voltaje del terminal V_{out} que se aprecia en el circuito, el cual se obtiene mediante una lista en la función `.step` del software para definir distintos valores para R . En la cual los valores entregados fueron de 300Ω - con el cual se observa el grafico de color verde - y $900k\Omega$ con el cual se observa el grafico de color azul. Estos fueron los valores designados debido a que corresponde al comportamiento aproximado de la fotorresistencia.

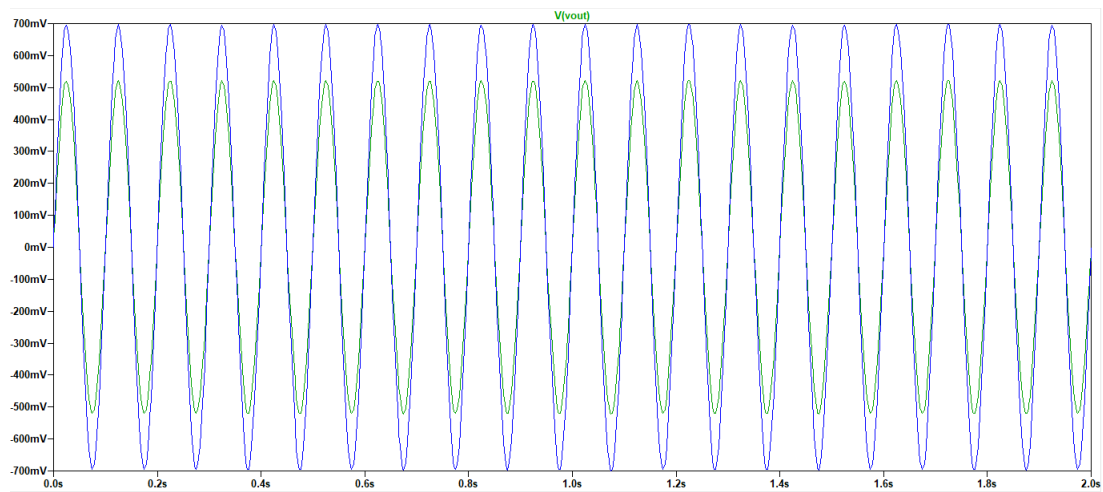


Figura 5: Variación de la amplitud del voltaje de salida de la fotorresistencia cuando el led está encendido (en verde) y apagado (en azul).

4. Análisis del Diseño

En la Figura 5 se observa el efecto esperado del Trémolo. Así, como se explicó anteriormente, simulando mediante la función ".step param R list", se obtiene una variación periódica en la amplitud - a través del tiempo - de la señal de entrada del circuito analizado.

Como se esta asumiendo que el sistema del LED y la fotoresistencia funciona correctamente, podemos afirmar que el estado encendido y apagado del led, se traducirá en una variación en la resistividad de la fotoresistencia. Esto, en términos del voltaje de entrada y de salida de la misma, hace que, cuando la resistencia sea de $900k\Omega$ (led apagado), tenderá a ser $V_{out} = V_{in}$ debido a que $\frac{900k\Omega}{900k\Omega+100\Omega}$ es muy similar a 1, mientras que cuando sea de 300Ω (led encendido) tenderá a $V_{out} = \frac{300\Omega}{300\Omega+100\Omega} V_{in}$.

Con respecto a las simulaciones obtenidas, en la Figura 5. es posible observar el comportamiento de la onda entrada modificada segun el valor resistivo de la fotoresistencia. En la practica, la señal varía entre los graficos observados según la frecuencia de la onda con la que el LED es alimentado, tambien debe ser posible apreciar que dependiendo de la forma de esta onda, varía levente el efecto final del circuito, por ejemplo, para una onda sinusoidal el cambio entre las amplitudes será mas suave, ya que el LED no se apagara ni encendera inmediatamente, esto se traduce en que la resistencia va a variar mas lentamente entre su valor mínimo y su valor máximo, mientras que una onda cuadrada produce un cambio mas brusco en la amplitud debido a que el LED no tiene un estado de transición entre que está apagado y encendido, por lo que el valor de la resistencia cambiara casi inmediatamente de su valor mínimo a su valor máximo.

5. Implementación del Trémolo: Experimental

El circuito implementado corresponde al diseñado en la etapa de construcción del trémolo. Este se muestra en la siguiente figura:

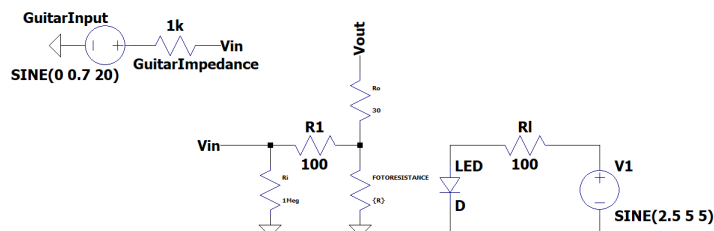


Figura 6: Circuito de Trémolo a implementar.

Así, siguiendo el diseño, el circuito final corresponde al mostrado en la siguiente figura:

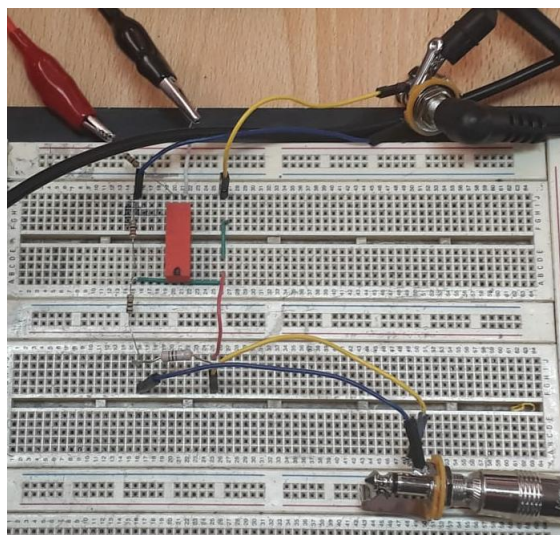


Figura 7: Circuito de Trémolo implementado

En la Figura 7. se puede observar la configuración correspondiente al trémolo. De esta forma, para implementar este proyecto se utilizaron los elementos de valores ya determinados en la etapa de diseño puesto que fueron simulados y aprobados, comprobando que efectivamente se obtenía el resultado esperado. Así, en el circuito se observa la fotoresistencia - con una caja protectora que evita el acceso de otras fuentes de luz distintas al LED interior -, y cuatro resistencias cuyos valores corresponden a $30[\Omega]$, $100[\Omega]$, $1[k\Omega]$ y $1[M\Omega]$. Además, se utilizó el generador de funciones para modificar la señal según el tipo de onda y la frecuencias, junto con el osciloscopio con el fin de observar la variación en la señal acústica asociada a la guitarra eléctrica.

6. Resultados

Con el fin de analizar el funcionamiento del trémolo implementado se aplicaron distintas señales, tales como ondas cuadradas y sinusoidales, modificando su determinada frecuencia, a modo de obtener distintas versiones del efecto musical producido por el trémolo. Además, es importante recalcar que se utilizó una guitarra eléctrica y un amplificador para generar la señal acústica a modificar.

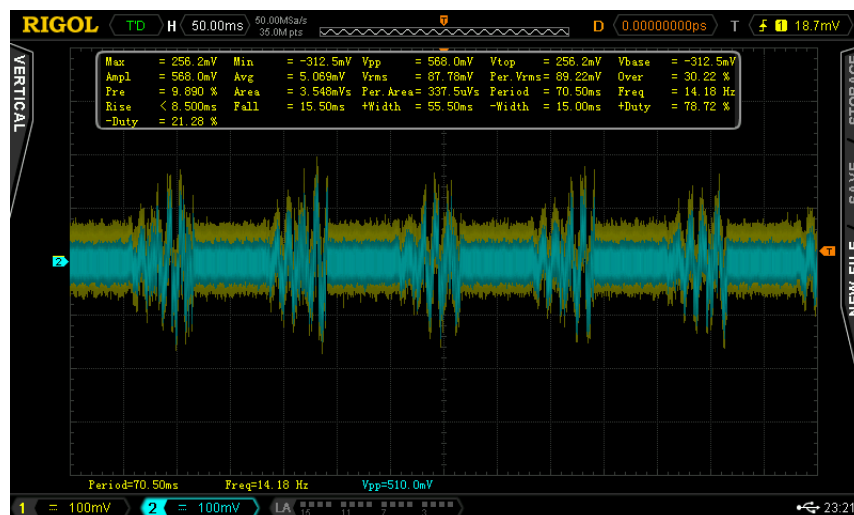


Figura 8: Repetición corta producida con una señal cuadrada de frecuencia 8 [Hz]

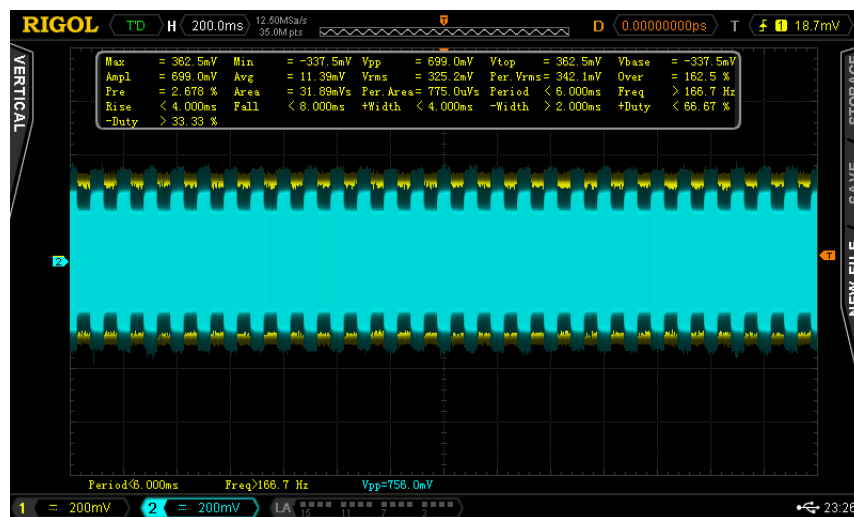


Figura 9: Aplicación de una señal cuadrada de frecuencia 2 [Hz].

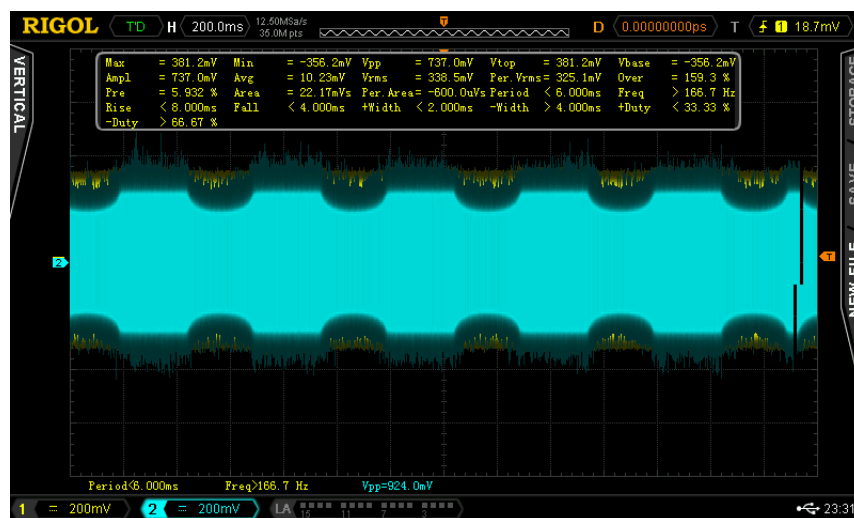


Figura 10: Variación suave de amplitud producida al aplicar una señal sinusoidal de frecuencia de 2 [Hz].

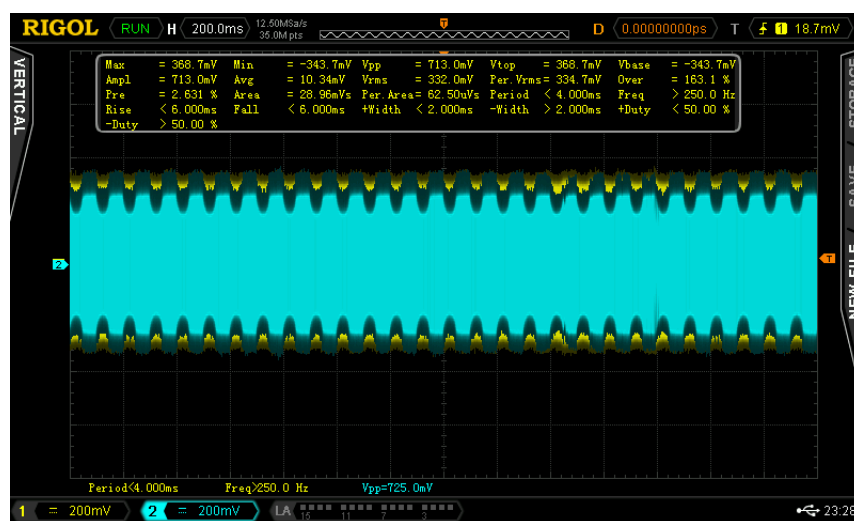


Figura 11: Aplicación de una señal sinusoidal de frecuencia 10 [Hz].

7. Análisis de Resultados

En las imágenes mostradas por el osciloscopio, correspondientes a la Figuras 8, 9, 10 y 11, se puede evidenciar de forma general el correcto funcionamiento del circuito como trémolo. En las figuras, el canal 1 - en color amarillo - representa el voltaje de entrada, que en el caso de la Figura 8. corresponde a la señal emitida al conectar una guitarra eléctrica, y en las Figuras 9, 10 y 11, corresponde a un archivo de audio de la nota "LA" (440kHz) emitido desde un teléfono conectado a la entrada. Por otra parte, en las ya mencionadas figuras, el canal 2 corresponde a la señal modificada en la salida del circuito, con la modulación respectiva - donde esta modulación hace referencia a la aplicación de distintas formas de onda con diferentes frecuencias que permiten modificar aún más la señal obtenida-.

Continuando el análisis respectivo, es posible notar que en la Figura 8., correspondiente a la señal acústica proveniente de la guitarra eléctrica, se aplicó una modulación cuya forma de onda era cuadrada con una frecuencia de 8 [Hz] y se obtuvo el resultado esperado, puesto que tal configuración de modulación permite obtener una señal con repeticiones cortas que se identifican tanto en la amplitud de la señal, como en la intensidad del sonido a la hora de aplicar el efecto del trémolo.

Por otra parte, con el fin de generar un contraste con respecto a la configuración anterior, se aplicó una modulación de onda cuadrada y una frecuencia baja - correspondiente a 2 [Hz] - y se obtuvo la señal correspondiente a la Figura 9. en donde la variación de amplitud resulta muy pequeña.

En relación a la Figura 10., dada una señal acústica correspondiente a la nota "La", al aplicar una modulación de forma sinusoidal con frecuencia baja, se obtuvo una variación de la amplitud con mayor permanencia temporal. Por otra parte, el caso contrario correspondiente a la Figura 11. en donde se aplicó también una señal sinusoidal pero de frecuencia alta - correspondiente a 10 [Hz], la variación de amplitud es mínima y reiterativa.

A modo de análisis general, la aplicación de las distintas modulaciones en las señales acústicas de entrada generó el efecto que se busca al utilizar un trémolo, en donde se varía de forma cíclica la amplitud de la señal musical, lo que en la práctica se analiza a través de una variación en la intensidad del sonido.

8. Conclusiones

Durante la realización del proyecto Trémolo, se logró realizar todo un proceso de diseño, implementación y operación de un circuito eléctrico capaz de cumplir una determinada función. Así, se comenzó por obtener la información necesaria sobre el funcionamiento del trémolo y sobre el circuito eléctrico que justifica el efecto que produce sobre las señales acústicas que recibe. De esta forma, teniendo claro el efecto que se buscaba producir - una variación periódica de la amplitud de una onda sonora - y entendiendo el comportamiento de los elementos que componen un trémolo real, se decidió llegar a soluciones más simples de implementar y que cumplieran el mismo objetivo. En base a lo anterior, con el propósito de diseñar e implementar un circuito que simulara el efecto del trémolo, utilizando los conocimientos adquiridos durante el desarrollo del curso, se decidió cuál sería el circuito a construir durante la sesión de laboratorio además de definir los materiales e implementos a utilizar para que lo realizado se mantuviera dentro de lo abordado en el curso. Así, mediante un circuito simple como el de la Figura 4., que consta de algunas resistencias, una fotorresistencia y un led, se propuso lograr cambiar la amplitud de una señal y se realizaron las simulaciones pertinentes que permitieron suponer que el prototipo era viable y efectivamente funcionaría al momento de ser implementado.

Una vez completada la etapa de diseño, se implementó el trémolo durante la sesión de laboratorio obteniendo resultados satisfactorios en el primer intento. Así, utilizando el osciloscopio se comprobó que efectivamente la señal acústica introducida a partir de una guitarra eléctrica, presentaba una modificación cíclica en su amplitud, generando así la variación de la intensidad del sonido producida por un trémolo.

En base a lo expuesto anteriormente, se puede concluir que durante la realización de este proyecto se cumplieron los objetivos planteados al aplicar los conocimientos adquiridos durante el curso con el fin de implementar un dispositivo de gran utilidad y uso en el marco de la industria musical, cuyo trasfondo radica en que, durante todo el proceso realizado, logramos desarrollar habilidades relacionadas a la resolución de problemáticas reales y aplicables a artefactos eléctricos de uso común.

Referencias

- [1] Formosa, D. *A Brief History of Tremolo*
<https://www.premierguitar.com/articles/19777-a-brief-history-of-tremolo?page=1>
- [2] ¿Qué es un Trémolo?
<http://www.cutawayguitarmagazine.com/tremolo-que-es-un-tremolo/>
- [3] Morphew, A. *Tremolo Circuit*
<http://abrammorphew.com/notes/2013/05/19/solid-state-tremolo-for-tube-amps/>
- [4] Lähdevaara, J. *The Science Of Electric and Guitar Electronics*
- [5] Kyttä, T. *Solid-State Guitar Amplifiers*
- [6] Billy Penn's 300 Guitars *Tremolo: How it actually works in your amp*
<https://300guitars.com/articles/the-ins-and-outs-of-tremolo/>
- [7] The Valve Wizard *The Phase-Shift Oscillator for Tremolo*
<http://www.valvewizard.co.uk/trem1.html>
- [8] Thomas, R.; Rosa, A. Toussaint, G. *The Analysis Desing of Linear Circuits. Seventh Edition*