

MÓDULO DIDÁCTICO DE SISTEMAS DE AUDIO

DIEGO ALBERTO BELTRÁN PIMIENTO
Estudiante de Ingeniería Electrónica, UPB

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BUCARAMANGA
2013

MÓDULO DIDÁCTICO DE SISTEMAS DE AUDIO

DIEGO ALBERTO BELTRÁN PIMIENTO
Estudiante de Ingeniería Electrónica, UPB

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar el título de
Ingeniero Electrónico

Director del Proyecto
RAÚL RESTREPO AGUDELO
Ingeniero Electricista
M. Sc en Telecomunicaciones

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BUCARAMANGA
2013

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Bucaramanga, Enero de 2013

Dedico este proyecto ante todo a Dios, al cual doy gracias por otorgarme la sabiduría y la salud para lograrlo. A mi familia y amigos, los cuales me ayudaron con su apoyo incondicional a ampliar mis conocimientos y lograr cumplir las metas propuestas. ¡Dios los Bendiga!

DIEGO ALBERTO BELTRÁN PIMIENTO

AGRADECIMIENTOS

El autorexpresa sus agradecimientos a:

Director de proyecto, M. Sc. Raúl Restrepo Agudelo por su acompañamiento, entrega, dedicación permanente y por todo su conocimiento entregado para el desarrollo de este propósito.

Profesores de la Facultad de Ingeniería Electrónica por los conocimientos brindados a lo largo de la carrera y sus contribuciones enfocados al desarrollo eficiente de la ingeniería.

CONTENIDO

	pág.
1. OBJETIVOS	17
1.1 OBJETIVO GENERAL	17
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
2. MARCO TEÓRICO	18
2.1 INTRODUCCIÓN	18
2.2 CONCEPTOS GENERALES	18
2.2.1 Onda	18
2.2.2 Sonido	20
2.2.3 Modelo conceptual de un sistema de sonido, esquema	25
2.2.4 Altavoces	28
2.2.5 Micrófonos	31
2.3 COMPONENTES ELECTRÓNICOS UTILIZADOS EN EL PROYECTO	36
2.3.1 Introducción	36
2.3.2 Resistor o resistencia	36
2.3.3 Capacitor o condensador	37
2.3.4 Bobina	38
2.3.5 Diodo	39
2.3.6 Transistor	41
2.3.7 Switch o interruptor	42
2.3.8 Circuito Integrado (CI).	43
2.3.9 Amplificador Operacional (OP-AMP).	45
2.3.10 Amplificadores operacionales comerciales.	47
2.4 FILTROS	50
2.4.1 Introducción	50
2.4.2 Descripción y características de los filtros	50
2.4.3 Tipos de filtros	52
2.4.4 Filtros pasivos.	54
2.4.5 Filtros activos	56
2.4.6 Filtro activo pasabanda	64
2.4.7 Filtro activo rechaza banda	65

2.5 RESUMEN Y CONCLUSIONES DEL CAPITULO	67
3. DISEÑO Y DESCRIPCIÓN DE LOS CIRCUITOS PARA LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO	70
3.1 INTRODUCCIÓN	70
3.2 AMPLIFICADOR NO INVERSOR CON GANANCIA	70
3.2.1 Descripción del circuito.	72
3.2.2 Simulación del circuito	73
3.2.3 Prueba real	74
3.3 BUFFER NO INVERSOR	77
3.3.1 Descripción del circuito	79
3.3.2 Simulación del circuito.	79
3.3.3 Prueba Real	80
3.4 AMPLIFICADOR INVERSOR CON GANANCIA VARIABLE	82
3.4.1 Descripción del circuito	83
3.4.2 Simulación del circuito	84
3.4.3 Prueba Real	85
3.5 BUFFER INVERSOR	86
3.5.1 Descripción del circuito	88
3.5.2 Simulación del circuito	88
3.5.3 Prueba Real	89
3.6 AMPLIFICADOR INVERSOR DE ALTA GANANCIA CON FILTRO DE CORTE DE ALTA FRECUENCIA (HF)	90
3.6.1 Descripción del circuito	91
3.6.2 Simulación del circuito	92
3.6.3 Prueba real	94
3.7 PREAMPLIFICADOR CON CONTROL DE BAJOS Y AGUDOS “BASS-TREBLE”	95
3.7.1 Descripción del Circuito	96
3.7.2 Consejos para el montaje	98
3.7.3 Pruebas y ajustes	98
3.7.4 Simulación del circuito	99
3.8 PREAMPLIFICADOR MEZCLADOR DE DOS ENTRADAS	104
3.8.1 Descripción del circuito	105
3.8.2 Simulación del circuito	105

3.9 SET DE PRUEBAS PARA MICRÓFONO	108
3.9.1 Descripción del circuito	110
3.10 FILTROS ACTIVOS	112
3.10.1 Filtro Pasa-bajos	114
3.10.2 Filtro Pasa-altos	117
3.10.3 Filtro Pasa-banda	120
3.10.4 Filtro Rechaza-banda	123
3.11 FILTROS PASIVOS	125
3.11.1 Filtro Pasa-bajos	126
3.11.2 Filtro Pasa-altos	129
3.11.3 Filtro Pasa-banda	131
4. DESARROLLO Y CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO	135
4.1 INTRODUCCIÓN	135
5. GUÌAS PRÀCTICAS DE LABORATORIO	143
CONCLUSIONES	190
BIBLIOGRAFÍA	192
ANEXOS	195

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Relación en dB tomando como case el cálculo de 1watt	25
Tabla 2. Relación de frecuencias	129
Tabla 3. Relación de frecuencias	131

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Representación de una Onda	20
Figura 2. Representación Onda Acústica	21
Figura 3. Modelo conceptual de un sistema de audio.	26
Figura 4. Partes del Altavoz	29
Figura 5. Clases de Micrófonos	32
Figura 6. Diagramas Polares	32
Figura 7. Micrófono de carbón	34
Figura 8. Micrófono Dinámico o de Bobina móvil	35
Figura 9. Micrófono de Condensador	36
Figura 10. Identificación de Resistencias	37
Figura 11. Condensadores	38
Figura 12. Bobinas	39
Figura 13. Descripción interna del Diodo	39
Figura 14. Representación eléctrica y Esquemática del Diodo	40
Figura 15. Polarización Directa	40
Figura 16. Polarización Inversa	40
Figura 17. Transistores	41
Figura 18. Transistores NPN y PNP	41
Figura 19. Tipos de Interruptores	42
Figura 20. Mecanismos de Accionamiento en Interruptores	43
Figura 21. Circuitos Integrados	43
Figura 22. Distribución de pines del Circuito Integrado TL072	45
Figura 23. Esquema Amplificador Operacional	46
Figura 24. Acoplamiento de Impedancias	46
Figura 25. Diagrama de conexiones CI LM324	48
Figura 26. Diagrama de conexiones CI LM386	49
Figura 27. Diagrama de conexiones CI STK4121V	49
Figura 28. Filtro Pasa Bajo	53
Figura 29. Filtro Pasa Alto	53
Figura 30. Filtro Pasa Banda	54
Figura 31. Filtros Pasivos Pasa Bajos	55
Figura 32. Filtros Pasivo Pasa Bajos con Capacitor	55
Figura 33. Filtro Pasivo Pasa Altos con Condensador	56
Figura 34. Filtro Activo de Paso Bajo de Primer Orden	57
Figura 35. Filtro Activo de Paso Bajo de Segundo Orden	58
Figura 36. Filtro Activo Pasa Bajo de Orden 3	59
Figura 37. Filtro Activo Pasa Bajo de Orden 4	60
Figura 38. Filtro Activo Pasa Altas de Orden 1	61
Figura 39. Filtro Activo Pasa Altos de Orden 2	62
Figura 40. Filtro Activo Pasa Altas de Orden 2 con R de realimentación	63
Figura 41. Filtro Activo Pasa Banda	64

Figura 42. Representación de banda de Banda de paso	65
Figura 43. Representación de banda de Banda de paso	65
Figura 44. Representación de banda de Rechazo	66
Figura 45. Amplificador No Inversor con Ganancia	71
Figura 46. Señales del osciloscopio simuladas en “Proteus u otro simulador”	74
Figura 47. Entrada y Salida	74
Figura 48. Salida	75
Figura 49. Entrada y salida en saturación	75
Figura 50. Salida en saturación	76
Figura 51. Entrada y salida con nivel de DC. Acoplamiento de salida DC.	76
Figura 52. Corrección nivel de DC. Acoplamiento de salida AC.	77
Figura 53. Buffer No Inversor	78
Figura 54. Señales del osciloscopio simuladas en “Proteus u otro simulador”	80
Figura 55. Entrada y Salida	80
Figura 56. Entrada y Salida con nivel DC. Acoplamiento de salida DC.	81
Figura 57. Corrección nivel DC. Acoplamiento de salida AC.	81
Figura 58. Amplificado inversor con ganancia variable	82
Figura 59. Señales del osciloscopio simuladas en “Proteus u otro simulador”	85
Figura 60. Entrada y Salida	85
Figura 61. Entrada y Salida con nivel DC. Acoplamiento de salida DC.	86
Figura 62. Entrada y Salida en saturación. Acoplamiento de salida AC.	86
Figura 63. Buffer Inversor	87
Figura 64. Señales del osciloscopio simuladas en “Proteus u otro simulador”	89
Figura 65. Entrada y Salida	89
Figura 66. Entrada y Salida con nivel DC. Acoplamiento de salida DC.	90
Figura 67. Inversor de Alta Ganancia con Filtro de Corte de Alta Frecuencia	91
Figura 68. Señales de entrada y salida a frecuencia de 1kHz	93
Figura 69. Señales de entrada y salida a frecuencia de 10kHz	93
Figura 70. Señales de entrada y salida a frecuencia de 1kHz	94
Figura 71. Señales de entrada y salida a frecuencia de 10kHz	94
Figura 72. Señales de entrada y salida a frecuencia de 177Hz	95
Figura 73. Preamplificador con Control de Bajos y Agudos “Bass-Treble”	96
Figura 75. Señales de entrada y salida de Bajos	99
Figura 76. Señales de entrada y salida de Bajos real	100
Figura 77. Señales de entrada y salida de Bajos	100
Figura 78. Señales de entrada y salida de Bajos real	101
Figura 79. Configuración del generador de Señales	101
Figura 80. Señales de salida de agudos	102
Figura 81. Señales de salida agudos real	102
Figura 82. Señales de salida agudos	103
Figura 83. Señales de salida agudos real	103
Figura 84. Preamplificador Mezclador de Dos Entradas	104
Figura 85. Señales de salida	106
Figura 86. Entrada del generador 1 (frecuencia de 137Hz)	106
Figura 87. Entrada del generador 2 (frecuencia de 680Hz)	107

Figura 88. Salida del mezclador	107
Figura 89. Micrófono	109
Figura 90. Set de Prueba para Micrófono	109
Figura 91. Set de Prueba para Micrófono de condensador	111
Figura 92. Set de Prueba para Micrófono de bobina móvil	112
Figura 93. Respuesta en frecuencia dependiendo del orden del filtro	113
Figura 94. Filtro Pasa-Bajos Sallen Key	115
Figura 95. Respuesta en frecuencia filtro pasa-bajos	116
Figura 96. Respuesta filtro pasa-bajos	116
Figura 97. Filtro Pasa-Altos Sallen Key	117
Figura 99. Respuesta filtro pasa-altos a 1KHz	119
Figura 100. Respuesta filtro pasa-altos frecuencia de corte	119
Figura 101. Respuesta filtro pasa-altos frecuencia de 10KHz	120
Figura 102. Filtro Pasa-Banda Sallen Key	121
Figura 103. Respuesta en frecuencia filtro pasa-banda	121
Figura 104. Respuesta filtro pasa-banda frecuencia de corte superior	122
Figura 107. Respuesta en frecuencia de cada filtro dentro del sistema rechaza-banda	124
Figura 108. Respuesta en frecuencia filtro rechaza-banda	124
Figura 109. Respuesta filtro rechaza-banda frecuencia de corte superior	125
Figura 111. Filtro pasa Bajo	127
Figura 112. Respuesta en frecuencia filtro pasa bajo	127
Figura 113. Frecuencia de corte real	128
Figura 114. Filtro pasa Alto	129
Figura 115. Respuesta en frecuencia filtro pasa Alto	130
Figura 116. Frecuencia de corte real	130
Figura 117. Filtro pasa Banda	132
Figura 118. Respuesta en frecuencia filtro pasa banda	133
Figura 119. Frecuencia de corte inferior real	133
Figura 120. Tarjetas y mediciones	135
Figura 122. Amplificador no inversor	136
Figura 123. Amplificador de bajos y agudos	137
Figura 124. Mezclador dual	137
Figura 125. Amplificador de micrófono	138
Figura 126. Filtro pasa bajo-pasa alto	138
Figura 127. Filtro pasa banda	139
Figura 128. Filtro rechaza banda	139
Figura 129. Generador de señales	140
Figura 130. Fuente de alimentación	140
Figura 131. Tarjeta final	141
Figura 132. Modulo final	141
Figura 133. Modulo final 2	142

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Amplificadores	195
Anexo B. Amplificador LM2902	202
Anexo C. Amplificador LM386	213
Anexo D. Amplificador TL072	222
Anexo E. XR-2206	232
Anexo F. Amplificador de potencia STK4121V	247

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: MÓDULO DIDÁCTICO DE SISTEMAS DE AUDIO
AUTOR(ES): DIEGOALBERTO BELTRÁN PIMIENTO
FACULTAD: Facultad de Ingeniería Electrónica
DIRECTOR(A): RAÚL RESTREPO AGUDELO

RESUMEN

El proyecto tiene como finalidad desarrollar una herramienta para el estudio de los conceptos básicos del audio, está dirigido a la comunidad estudiantil de la Universidad Pontificia Bolivariana y a todos aquellos que desean conocer el comportamiento de los sistemas electrónicos de audio. El “módulo didáctico para sistemas de audio” ha sido pensado como una herramienta práctica que le permita al estudiante validar conceptos fundamentales en el tratamiento electrónico de las señales de audio, afianzando mediante el “hacer” los conceptos tratados en los módulos incluidos y vistos en clase. El módulo incluye desde la adquisición de señales de voz, la generación de señales básicas tales como formas de onda seno, triangular y cuadrada, la amplificación, el mezclado, el filtrado, el acople de impedancias y finalmente el tratamiento de la potencia al momento de conectarse a los altavoces. A partir de la interconexión de varios sistemas del módulo el estudiante podrá realizar no solamente las prácticas propuestas en este proyecto sino un sin número de combinaciones adicionales que muestran la versatilidad del mismo. Se incluyen además en el proyecto una guía de conceptos adicionales de audio que el lector encontrará de utilidad y le servirán para aclarar algunas dudas que surjan en el uso del equipo. Las prácticas propuestas fueron concebidas de forma que el estudiante a medida que avanza en ellas puede hacer uso de los conceptos adquiridos de forma casi inmediata y realizar un trabajo comparativo que le permita afianzar aún más el tema tratado. Los circuitos aquí consignados podrán servir de referencia para quien lo requiera, son un buen punto de partida para el diseño.

PALABRAS CLAVES:

Sonido, Micrófonos, Sistema de Audio, Taller Didáctico, Amplificadores

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: TRAINING MODULE AUDIO SYSTEMS
AUTHOR(S): DIEGO ALBERTO BELTRÁN PIMIENTO
FACULTY: Facultad de Ingeniería Electrónica
DIRECTOR: RAÚL RESTREPO AGUDELO

ABSTRACT

The project aims to develop a tool to study the basics of audio. This project is addressed to the Universidad Pontificia Bolivariana's Students and all those who are interested in understand the behavior of electronic audio systems. The "training module for audio systems" has been designed as a practical tool which allows the student to validate fundamental concepts of electronic audio signals. The project uses "The doing" as a media for the concepts covered in the modules and studied in the theory classes. The acquisition module includes since the voice signals until the basic signal is generated in waveforms such as sine, triangular, and square. Then the signals are Amplified, mixed, filtered and processed the impedance. Finally these are under a process of power once are connect to the speakers. From the interconnection of several systems in the module the student is available to perform not only the practices proposed, as well as a number of additional combinations that show the versatility of the module. Also included in the draft guidance, additional concepts related with audio. These concepts will be finding useful and will serve to clarify some questions that arise in the use of equipment to the readers. The practical proposals were designed so that the student as he goes in them can make use of the concepts acquired almost immediately and perform comparative work that allows further entrench the subject. Circuits entered here may serve as a reference for those who require it, are a good starting point for design.

KEYWORDS:

Sound, Microphones, Audio System, Educational Workshop, Amplifiers

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

INTRODUCCIÓN

Los sistemas y dispositivos de audio hoy día son medios de consumo masivo en la sociedad. Ofrecen entretenimiento y son productos con alta demanda comercial. Los avances tecnológicos actuales y el estudio de los sistemas de audio han permitido alcanzar una alta fidelidad representada en la calidad del sonido. La variedad de dispositivos electrónicos destinados a sistemas de audio son fáciles de construir y admiten cambios en su estructura para ampliar las características inherentes de las señales de audio.

Por esta razón, resulta conveniente que los estudiantes de Ingeniería Electrónica incursionen en el tratamiento electrónico de las señales de audio, realizando prácticas en las que conozcan los conceptos fundamentales de la amplificación, el filtrado, la distorsión y demás temas asociados con el procesamiento electrónico del sonido.

Cabe resaltar que este texto presenta conceptos muy elementales para un lector profesional en el área de la ingeniería electrónica, pero que resultan fundamentales para un neófito en la materia, que en buena parte es a quien está dirigido este proyecto.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un módulo para el estudio de los conceptos básicos del audio.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desarrollar un documento teórico que permita iniciar a los estudiantes en los conceptos fundamentales de sistemas de audio y familiarizar los componentes electrónicos básicos utilizados en sistemas de audio (R, L, C, fuentes, micrófonos, parlantes, transistores, circuitos integrados), las cantidades eléctricas y los instrumentos y métodos de medición.
- Presentar de manera clara y sencilla la fundamentación teórica asociada con las señales de audio, los preamplificadores y amplificadores de audio, los filtros y la distorsión.
- Desarrollar las guías de las prácticas de laboratorio para el módulo que se construirá.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 INTRODUCCIÓN

Existen en nuestro medio terrestre diversos tipos de señales que son perceptibles para nuestros sentidos, entre ellas el sonido y su formación de onda. A través del presente capítulo se introduce a este fenómeno físico, dando a conocer las características inherentes del sonido, naturaleza y ciertos parámetros necesarios para su estudio.

En primera instancia se presenta un estudio sobre la constitución de las ondas, modos de propagación, características físicas, propiedades, representación matemática y clasificación. Posteriormente se profundiza en las ondas sonoras, que es nuestro material de trabajo, donde se estudian los aspectos fisiológicos del sonido.

2.2 CONCEPTOS GENERALES

2.2.1 Onda. Para comprender el significado de las ondas es necesario dejar en claro los siguientes conceptos:

Onda: Es una perturbación que se propaga de un medio a otro, por ejemplo, una onda del campo eléctrico que se propaga transportando energía a través del espacio.

Cabe resaltar que la teoría referente a las ondas es toda una ciencia, en la que la física estudia a profundidad diferentes fenómenos ondulatorios sin importar su origen mecánico, físico o teórico. Solo para ser precisos basta con mencionar las ondas acústicas, ópticas, magnéticas, mecánicas, etc.

Los elementos que constituyen a una onda son los siguientes:

- **Cresta:** Es el punto máximo de la amplitud de la onda.
- **Longitud de Onda:** Es la distancia que existe entre dos puntos consecutivos, puede ser entre dos crestas consecutivas o dos valles consecutivos. Generalmente se representa por la letra griega lambda (λ). La longitud de onda depende de la frecuencia y de la velocidad con que es transmitida la onda. Si es constante la velocidad de transmisión, entonces la longitud de onda depende sólo de la frecuencia.

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (\text{ec1.1})$$

Dado que se trata de una longitud, su unidad de medida es el metro (m).

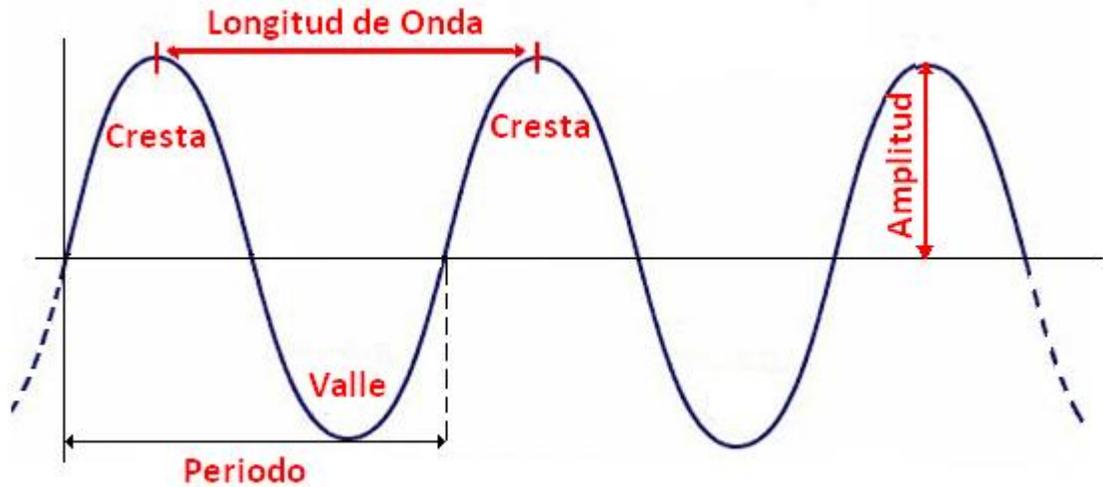
- **Periodo:** Es el tiempo que toma la perturbación en ir y regresar entre dos puntos equivalentes de la onda. Se representa por la letra T (en mayúscula) o por la letra griega pi (π). Su unidad de medida es el segundo (s).
- **Amplitud:** Es la magnitud de la distancia vertical entre el punto medio de la onda y la cresta, denominada Amplitud Pico. Algunas veces se puede describir la amplitud de una onda con valores entre el valor mínimo y máximo de la onda, es decir de pico a pico, a esta amplitud se le conoce como Amplitud pico a pico.
- **Frecuencia:** Es el número de veces que se repite la vibración dentro de un periodo determinado. Esta variable es medida en Hertz (Hz).
- **Valle:** Es el punto bajo de la onda.

Las ondas periódicas están caracterizadas por crestas o montes y valles, y usualmente es categorizada como longitudinal o transversal.

- **Ondas longitudinales:** Son aquellas con vibraciones paralelas en la dirección de la propagación de las ondas; ejemplos incluyen ondas sonoras.
- **Una onda transversal:** Es aquella con las vibraciones perpendiculares a la dirección de propagación de la onda; ejemplos incluyen ondas en una cuerda y ondas electromagnéticas.

Cuando un objeto corte hacia arriba y abajo en una onda en un estanque, experimenta una trayectoria orbital porque las ondas no son simples ondas transversales sinusoidales.

Figura 1. Representación de una Onda



Fuente: RUIZ VASSALLO, Francisco. Diseño y Fabricación de Bafles. p. 5.

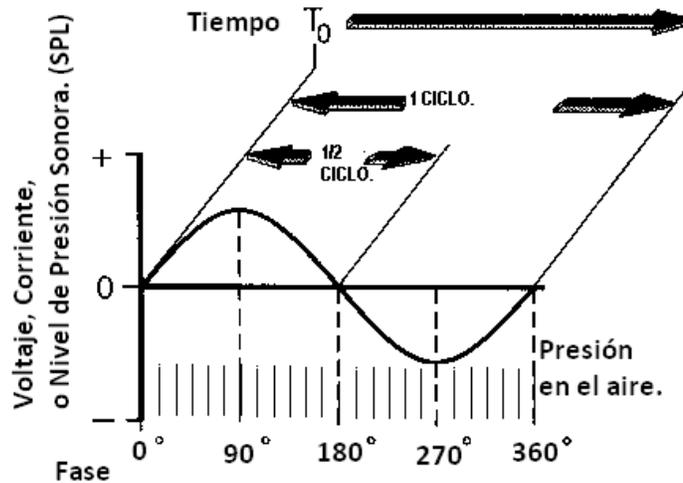
2.2.2 Sonido. Sonido es un fenómeno físico que se produce por la propagación de ondas elásticas, ya sean perceptibles o no por el oído humano, a través de un fluido o medio elástico como, por ejemplo, el aire que genere el movimiento vibratorio de un cuerpo.

➤ **Características.** Las características y propiedades pueden ser extendidas a todas las ondas. Por ejemplo, teniendo en cuenta el principio mecánico de las ondas sonoras, estas pueden propagarse en el tiempo-espacio si y solo si el medio no es infinitamente rígido ni infinitamente flexible. Aunque lo dicho anteriormente no tiene sentido para ondas que no requieren de un medio, sí muestra una característica relevante a todas las ondas independientemente de su origen: para una misma onda, la fase de una vibración (que es el estado de perturbación en que se encuentra una determinada parte del medio) es diferente para puntos adyacentes en el espacio, ya que la vibración llega a estos en tiempos distintos.

➤ **La energía acústica:** Es lo que ocurre cuando oímos un sonido, es la acción de una forma de energía, que trasciende a través de ondas de presión en un medio físico (aire).

➤ **Lacompresión de onda:** Se define como la composición de un ciclo completo el cual está conformado por medio ciclo de alta presión en el aire y un medio ciclo de menor presión. Esto quiere decir que los sonidos más fuertes tienen mayor cantidad de aire que los sonidos de carácter débil.

Figura 2. Representación Onda Acústica



Fuente: AULA PETER. Curso de sonido [en línea]. [Consultado el 10 de agosto de 2012]. Disponible en Internet: <URL:aulapeter.wikispaces.com/file/view/Curso+de+sonido.doc>

➤ **La frecuencia:** Es uno de los aspectos más importantes a comprender. Esta determina la altitud en tonos del sonido oído y se mide en ciclos por segundo. De manera práctica se puede decir que cuando la frecuencia es más alta, también la “altitud” del sonido es mayor, el rango de frecuencias que el oído humano percibe es va de 16Hz a 20KHz. Dentro del rango normal de medición se pueden encontrar ondas acústicas que van desde los 20 ciclos por segundo a los 20. 000 ciclos por segundo.

➤ **El período:** Es un concepto igualmente significativo, ya que a través de esta variable es posible establecer el tiempo que un sonido de frecuencia determinada tarda en cumplir un ciclo completo. Este valor es inversamente proporcional a la frecuencia específica.

$$T = \frac{1}{f} \quad (ec1.2)$$

Dónde:

T: Período
f: Frecuencia

Empleando la anterior ecuación se tiene por ejemplo que una señal con una frecuencia de 20 ciclos por segundo tiene un periodo de 0. 05 segundos.

➤ **La longitud:** De un sonido de frecuencia (f) determinada, teniendo en cuenta que la velocidad del sonido (Vs) en condiciones específicas es aproximadamente 344 metros por segundo se puede determinar la distancia cubierta por un ciclo completo a través de la siguiente ecuación:

$$L = \frac{Vs}{f} \quad (ec1.3)$$

Por ejemplo para la misma frecuencia de 20 Hertz se tiene:

$$L = \frac{Vs}{f} = \frac{344 (m/s)}{20(s^{-1})} = 17.2m$$

A una amplitud mayor se generan mayores presiones y depresiones, lo que lleva a una mayor energía transportada hasta el oído, estos se conoce como **intensidad**.

➤ **El tono:** Es la cualidad del sonido que permite definir entre los agudos y graves dependiendo de la frecuencia que se trabaje.

➤ **El timbre:** hace referencia a los armónicos que son ondas que acompañan a la principal, cuyas frecuencias son múltiples de la misma e intensidades son diferentes de la fundamental, un sonido bien timbrado es aquella que lleva hasta un sexto o séptimo armónico.

• **Representación eléctrica del sonido.** Las señales de audio son oscilaciones de corriente eléctrica o de voltaje eléctrico. Los contrastes y las variaciones de voltaje en los sistemas de audio son equivalentes a las variaciones acústicas del sonido tratado y la amplitud de la forma de onda acústica es proporcionada respectivamente por la corriente eléctrica. Por tanto se puede deducir que la amplitud de un sonido es el nivel y la unidad de medida para este parámetro es el decibel o dB.

El decibel es uno de los términos que presenta dificultad y genera confusión en algunos al momento de definirlo. Para comprender la unidad del decibel se presenta una breve explicación para su correcta interpretación.

En primer lugar el decibel es una décima parte de 1 Bel (Bel es un término inducido y/o relacionado con Alexander Graham Bell, y con la tecnología de las comunicaciones telefónicas), es por esto que su escritura es integrada por una letra d en minúscula y la B en mayúscula: dB.

En términos matemáticos se describe una relación entre dos magnitudes; esta relación es logarítmica, por tanto las cifras pequeñas y sencillas representan

valores que de otra forma tomarían mayores valores. De manera natural nuestro oído es capaz de percibir diferencias sensitivas de una manera logarítmica, por lo que una relación en dB expresaría mejor los contrastes que cualquier otra forma.

La relación de potencia eléctrica, acústica, o de cualquier otro tipo, es entonces un Bel. Su forma de medición se expresa de manera conveniente en la siguiente ecuación matemática:

$$dB = 10 * \text{Log} (P1 / P2)(ec 1. 4)$$

Donde: *P1: Potencia 1*
P2: Potencia 2

Para su mayor comprensión se presentan los siguientes ejemplos:

La relación en dB entre una potencia de 2 Watts y una de 1 Watt.

$$dB = 10 \log \left(\frac{P1}{P2} \right)$$

$$dB = 10 \log \left(\frac{2}{1} \right)$$

$$dB = 10 \log(2)$$

$$dB = 10 * 0,301 = 3$$

De esta manera se demuestra que la relación entre 2 Watts y 1 watt es de 3dB. La relación en dB entre una potencia de 100 Watts y una de 10 Watts.

$$dB = 10 \log \left(\frac{P1}{P2} \right)$$

$$dB = 10 \log \left(\frac{100}{10} \right)$$

$$dB = 10 \log(10)$$

$$dB = 10 * 1 = 10$$

Como resultado de la relación de potencia entre 100 Watts y 10 Watts se obtiene que seade10dB.

Gracias a los anteriores ejemplos se puede concluir que para cuando una relación de potencia es 2 a 1 se obtiene un valor de 3dB, mientras que si la relación de potencia es 10 a 1 se dice que es de 10dB superior.

➤ **Relación entre decibel y niveles acústicos:** El término "nivel de sonido" generalmente se refiere a nivel de presión sonora, aunque, a veces, involucra también potencia de sonido. Es necesario establecer la distinción:

✓ **Potencia de sonido:** Es la energía sonora total generada por un bafle o cualquier otro elemento en todas las direcciones.

✓ **Nivel de presión sonora:** Es el nivel de presión medido en un área específica en un lugar específico.

✓ **dB SPL:** Se puede usar dB para describir niveles de presión de sonido. La fuerza del aire al presionar contra superficies auditivas es comparable a una fuente de energía eléctrica y la resistencia de un circuito.

Por lo tanto, al utilizar dB para describir rangos de presión sonora la ecuación usada es:

$$dB_{SPL} = 20 * \log (P1 / P0) \text{(ec1. 5)}$$

En esta ecuación, P0 y P1 son los niveles de presión sonora medidos en centímetros cuadrados o metros cuadrados. Entonces, una diferencia de 6 dB_{SPL} implica que un determinado parlante es capaz de generar el doble de presión sonora que otro. Una diferencia de 20 dB determina 10 veces la presión sonora.

0 dB_{SPL} es definido como el "umbral de ruido" en el rango más sensible del oído humano (1 - 4kHz) Representa un nivel de presión de 0. 0002 dinas/cm² o de 0. 000002 Newtons/m².

✓ **Volumen:** Es nivel de potencia. En equipamiento de audio, "subir el volumen" implica aumentar la potencia. También tiene que ver con la dimensión "cúbica" de un espacio determinado.

✓ **Nivel:** Es magnitud o cantidad en relación con un nivel de referencia arbitrario. Por ejemplo: dB_{SPL} representa una cantidad en dB, relacionada a una referencia CERO de 0. 0002 dinas por cm².

✓ **Ganancia:** Normalmente se refiere a un aumento de señal, expresado en dB. La tabla 1 muestra, a manera de ilustración, diferentes niveles de potencia expresados en dB, tomando como base de cálculo 1 watt.

Tabla 1. Relación en dB tomando como case el cálculo de 1watt

<i>Valor de potencia en Watts (P_1)</i>	<i>Nivel en dB, en relación a 1W (P_0)</i>	<i>Valor de potencia en Watts (P_1)</i>	<i>Nivel en dB, en relación a 1W (P_0)</i>
1	0	1.0	0
10	10	1.25	1
100	20	1.6	2
200	23	2.0	3
400	26	2.5	4
800	29	3.15	5
1.000	30	4.0	6
2.000	33	5.0	7
4.000	36	6.3	8
8.000	39	8.0	9
10.000	40	10.0	10
20.000	43		
40.000	46		
80.000	49		
100.000	50		

Fuente: EMSIA. Curso de sonido [en línea]. Octubre de 2002. [Consultado el 10 de agosto de 2012] Disponible en Internet: <URL:<http://www.emsia.com.ar/downloads/sonido1.doc>>

2.2.3 Modelo conceptual de un sistema de sonido, esquema. Es importante tener una idea de cómo funciona una sistema de audio. En la figura 3 se muestra un esquema, el cual incluye las siguientes etapas:

1. Conversión de las señales de audio en energía eléctrica.
2. Aumento de la potencia (nivel) de dicha señal a través de medios electrónicos.
3. Conversión y adecuación de la nueva señal eléctrica en una señal de audio aceptable para su transmisión y/o difusión.

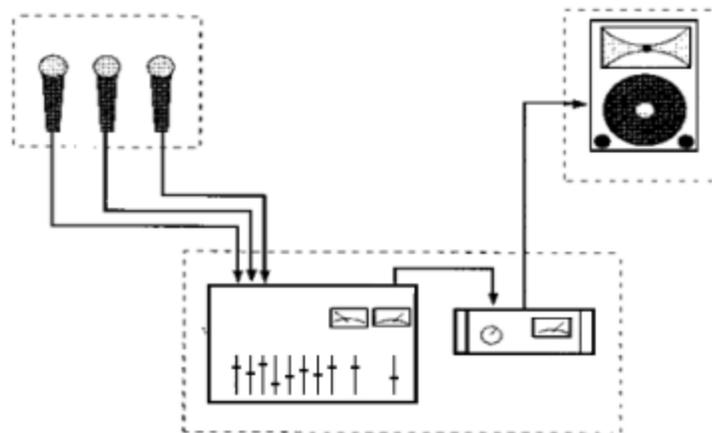
Los transductores son los encargados de transformar un tipo de señal en otro tipo de señal diferente pero de comportamiento análogo al de la primera.

Por ejemplo, un transductor podría convertir una señal mecánica en una señal eléctrica análoga a la anterior; otro tipo de transductor podría hacer lo contrario, es decir, convertir una señal eléctrica en una mecánica.

El micrófono es un transductor que convierte energía mecánica, como el sonido, en energía eléctrica. Una vez que el sonido se ha convertido en una señal eléctrica, se hace una manipulación a dicha señal mediante unos dispositivos electrónicos denominados procesadores.

➤ **Modelo práctico de un sistema de sonido:** En el gráfico mostrado a continuación pueden verse individualizados los componentes típicos de un sistema de sonido:

Figura 3. Modelo conceptual de un sistema de audio.



Fuente: EMSIA. Curso de sonido [en línea]. Octubre de 2002. [Consultado el 10 de agosto de 2012] Disponible en Internet: <URL:<http://www.emsia.com.ar/downloads/sonido1.doc>>

✓ **Transductores de entrada:** Son los que toman las señales de entrada y las comparten a través de los cables hacia los procesadores. Para el ejemplo los micrófonos son los encargados de realizar dicha transducción.

Dentro de los transductores de entrada se tienen los listados a continuación:

- ❖ Micrófonos de presión de aire.
- ❖ Micrófonos de contacto.
- ❖ Cápsulas magnéticas.
- ❖ Cabezales de cinta.
- ❖ Cabezales Láser.
- ❖ Cabezales ópticos.

✓ **Procesadores de señal:** Son equipos que modifican, según el gusto del usuario, las características de las señales de entrada. En un sistema de audio, estas señales de entrada pueden ser las que provienen de micrófonos, cabezales

de cinta, etc. Las salidas de los micrófonos u otros transductores se conectan a circuitos procesadores de señal que están alojados en un equipo conocido como consola de audio. En esta consola es posible encontrar las siguientes etapas básicas de un sistema de audio:

❖ **Pre amplificación:** Generalmente, el voltaje de salida de un transductor es bastante bajo, por lo que se hace necesario aumentar su nivel. Por esta razón, se dispone de un circuito conocido como preamplificador de audio, cuya función es "elevar" el nivel de la señal de cada micrófono para llevarla hasta nivel de línea.

❖ **Ecualización:** A la señal de audio deben ajustársele sus componentes de diferentes frecuencias para resaltar algunas componentes y atenuar otras; a este proceso se le conoce como "ecualización". La consola proporciona los elementos necesarios para ajustar la ecualización de cada uno de los micrófonos, permitiendo al operador obtener la señal más clara posible.

❖ **Mezcla:** Cuando se tienen varias entradas de audio, debe lograrse una mezcla de las mismas antes de enviarlas a la salida del sistema. Para esto, se suman las señales de todos los micrófonos, logrando así una sola señal, que contiene toda la información que entra al sistema.

❖ **Amplificación:** La señal recibida del mezclador es aún muy pequeña para ser aplicada a un altavoz; por lo tanto, es necesario amplificarla, es decir, aumentarle su nivel respecto al que se tenía en la entrada. Al amplificar, el nivel sonoro es más elevado que el de las señales recibidas a través de los micrófonos.

✓ **Transductores de salida:** Estos transductores convierten una señal eléctrica en sonido. Específicamente, al hacer referencia a estos transductores, se habla del parlante o altavoz, el cual convierte la señal amplificada en sonido.

Algunos tipos de altavoces son los siguientes:

- ❖ Parlantes de rango grave, o woofers y sub-woofers.
- ❖ Parlantes de rango medio, o medios.
- ❖ Parlantes de rango agudo, o tweeters.
- ❖ Parlantes de rango completo.
- ❖ Cornetas de perifoneo.
- ❖ Auriculares.

➤ **Definición de Octavas:** Una escala musical está conformada por siete notas, conformando una secuencia como la conocida DO, RE, MI, FA, SOL, LA, SI. La escala puede continuarse duplicando lo anterior, con lo cual quedaría así: DO, RE, MI, FA, SOL, LA, SI, DO, RE, MI, FA, SOL, LA, SI. En este ejemplo, el oído humano distingue una nota de la otra del mismo nombre gracias al efecto que en música se conoce como altura musical y en física, como frecuencia. Desde el

punto de vista del músico, la diferencia de altura musical se determina contando la “distancia” en número de notas, de manera que, si se cuenta desde el primer SOL hasta el siguiente SOL, se encontrará que dicha distancia corresponde a ocho pasos (SOL, LA SI, DO, RE, MI, FA y SOL), y a este intervalo se le conoce como Octava. Desde el punto de vista del físico, el mismo intervalo corresponde a una diferencia del doble de la frecuencia. Dicho de otra forma, una nota SOL tiene una frecuencia de 392 Hz y la nota SOL de la octava siguiente tendrá, entonces, una frecuencia de 784Hz.

En general, entre dos tonos que estén separados por un intervalo de una *octava*, la relación de frecuencia entre ellos es de 2 a 1. El oído humano puede percibir equivalencias entre los dos tonos aún menores, al punto que el mínimo intervalo de frecuencias en una escala musical tiene una relación de 1,059463 a 1.

2.2.4 Altavoces. Los altavoces tienen como objetivo transformar la energía eléctrica en acústica, por tanto son considerados como transductores electroacústicos.

La transformación electroacústica no se lleva a cabo directamente, primero la energía eléctrica se transforma en energía mecánica y luego, en un segundo paso, la energía mecánica se transforma en acústica.

- **Características de los altavoces.** Para una interpretación más exacta del sonido es primordial tener en cuenta las características de los altavoces.

- **Impedancia nominal:** Esta depende de la bobina, del hilo resistivo y de la reactancia inductiva presente en los altavoces. Estos altavoces son diseñados de tal forma que su impedancia no varíe para evitar afectaciones al sistema mediante distorsiones, la impedancia para sistemas de audio esta dado de un rango entre 2Ω a 800Ω para frecuencias entre 20Hz y 20Khz, siendo las impedancias más usadas las de 4Ω y 8Ω .

- **Frecuencia de resonancia (fs):** Es la frecuencia a la que vibra el altavoz espontáneamente ante una perturbación. Esta frecuencia es constante y de amplitud decreciente, se da cuando se aplica un impulso eléctrico que genera una oscilación al cono y a la bobina hasta que retornar al estado de equilibrio.

La frecuencia de resonancia es el límite inferior en el cual opera el altavoz y es inversamente proporcional al diámetro del cono.

- **Respuesta en frecuencia (fr):** Es la curva característica de la intensidad sonora en función frecuencia dependiendo de la frecuencia de la fs y la frecuencia de corte.

➤ **Directividad:** Hace referencia la energía acústica que es enviada a todas direcciones, para esto se hace uso de una carta polar de los diafragmas.

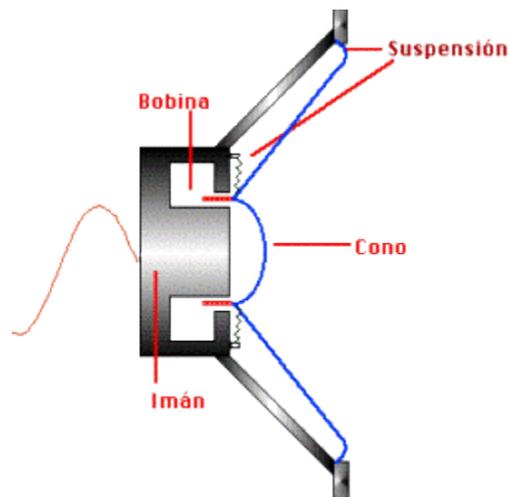
• **Componentes de un altavoz.** Siguiendo las anteriores características es posible dividir los elementos que constituyen a un altavoz en las siguientes partes:

➤ **Parte electromagnética:** Se encuentra constituida por un imán y una bobina que mantiene un libre movimiento dentro del campo de éste. Aquí la energía eléctrica alcanza la bobina móvil que se encuentra dentro del campo magnético y en consecuencia se produce el movimiento de la bobina móvil.

➤ **Parte mecánica:** Conformada por el cono y su suspensión. En el cono está montada la bobina móvil que al moverse permite la vibración del mismo.

➤ **Parte acústica:** Es la encargada de la transmisión de la energía mecánica desarrollada por el cono hasta el recinto de audición, produciendo la energía sonora.

Figura 4. Partes del Altavoz



Fuente: RUIZ VASSALLO, Francisco. Diseño y Fabricación de Baffles. p. 73.

• **Calcificación de Altavoces. Atendiendo** las diferentes aplicaciones y las gamas de frecuencia que reproducen los altavoces, estos pueden clasificarse en las siguientes formas:

➤ Según los elementos eléctricos:

✓ Dinámicos.

- ✓ Electrodinámicos.
- ✓ Electrostáticos.
- ✓ Piezoeléctricos.

- Según los elementos mecánicos:
 - ✓ Altavoces de bobina móvil.
 - ✓ Altavoces de hierro móvil.

- Según los elementos acústicos:
 - ✓ Altavoces de membrana metálica.
 - ✓ Altavoces de membrana cónica de cartón.
 - ✓ Altavoces de aire comprimido.

- Según la banda de frecuencias que pueden reproducir:
 - ✓ Altavoces de uso general.
 - ✓ Altavoces para tonos graves.
 - ✓ Altavoces para frecuencias medias.
 - ✓ Altavoces para tonos agudos.

De todos los anteriores altavoces, los dinámicos son los más utilizados, ya que agrupa ciertas características de manera considerable, superando los otros tipos en fidelidad de reproducción sonora.

- **Tipos de altavoces.** Subwoofer, woofer, midwoofer y tweeter. Solo se especificaran los más usados comercialmente.

- **Woofer:** Son parlantes o altavoces utilizados para reproducir tonos graves con una frecuencia de resonancia muy baja, con un rango de reproducción entre 80 y 1000Hz. Posee dimensiones grandes excelentes para rendimientos de frecuencias bajas, con una respuesta en frecuencia mínima de 20Hz y una frecuencia de corte de 4KHz.

- **Mid-woofer:** Son parlantes o altavoces comprendidos en una rango de 200Hz máximo para medias frecuencias y con una frecuencia de corte que va de 4 a 8KHz.

- **Tweeter:** Son parlantes o altavoces utilizados para reproducir tonos agudos con una frecuencia de resonancia entre 1KHz y 4KHz. Posee dimensiones pequeñas ideales para frecuencias altas por su cúpula, con respuesta en frecuencia mínima de 1KHz y una frecuencia superior a 20KHz.

2.2.5 Micrófonos. Los micrófonos tienen como objetivo transformar variaciones de presión del aire las mismas ondas sonoras en energía mecánica para luego convertirlas en energía eléctrica permitiendo de esta forma un registro, almacenamiento, procesamiento, tratamiento y transmisión de las señales de audio (modulación). Por esta razón los micrófonos son conocidos como transductores electro-acústicos de entrada.

Su desempeño depende de la forma que recoge el sonido, su funcionamiento interno y las características de fabricación.

- **Características de los micrófonos.** La utilización de un micrófono, depende del tipo de características específicas que este tenga.

- **Directividad y diagrama polar:** Hace referencia a la característica de captación de los sonidos provenientes de distintas direcciones y rechazo de otros. Se representa por medio del diagrama polar trabajado en coordenadas polares, este muestra la sensibilidad con que se captan los sonidos dependiendo el ángulo con que estos incidan en el micrófono. Esta medición o diagrama se hace en una cámara aislada y sin reverberación con un micrófono a un eje de 0° sobre la fuente del sonido, se mide la tensión de referencia que se dará a 0dB, luego se rotará el micrófono en su eje captando los valores de tensión que se vayan presentando a diferentes ángulos de incidencia provenientes de la fuente sonora. Este mismo procedimiento debe hacer para diferentes rangos de frecuencias cuando se desea conocer la conducta de varias bandas de frecuencias. Este análisis da como resultado el nivel de atenuación que sufre el sonido que proviene de los diferentes ángulos dando una curva, que nos define el tipo de directividad del micrófono y la forma como se comporta este a estímulos sonoros de diferentes naturalezas.

Los diagramas polares se clasifican en 3 grupos: omnidireccionales, unidireccionales y bidireccionales.

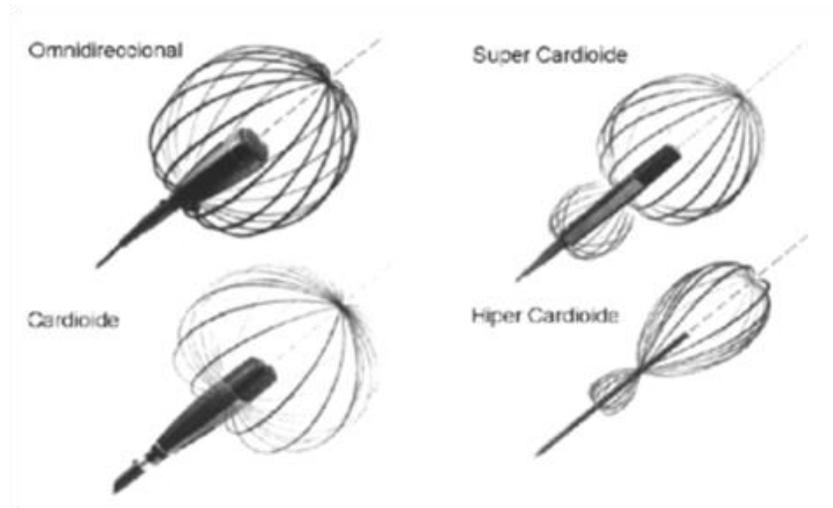
- ✓ **Los omnidireccionales:** Son aquellos que captan con la misma sensibilidad los sonidos que provenientes de todas las direcciones sin importar la posición del micrófono o el camino del sonido, lo que hace que las graficas sean de forma circular. Muy usados para salas de cine y conciertos.

- ✓ **Los bidireccionales:** Son aquellos que captan con mayor sensibilidad los sonidos provenientes del frente de la capsula y su parte posterior.

- ✓ **Los unidireccionales** Son aquellos que captan con una mayor sensibilidad los sonidos provenientes de una sola dirección del frente a la capsula y con un amplio ángulo. Este tipo de diagramas tiene otras subdivisiones: Cardioide, supercardioide y hipercardioide las cuales presentan un diagrama cada vez más

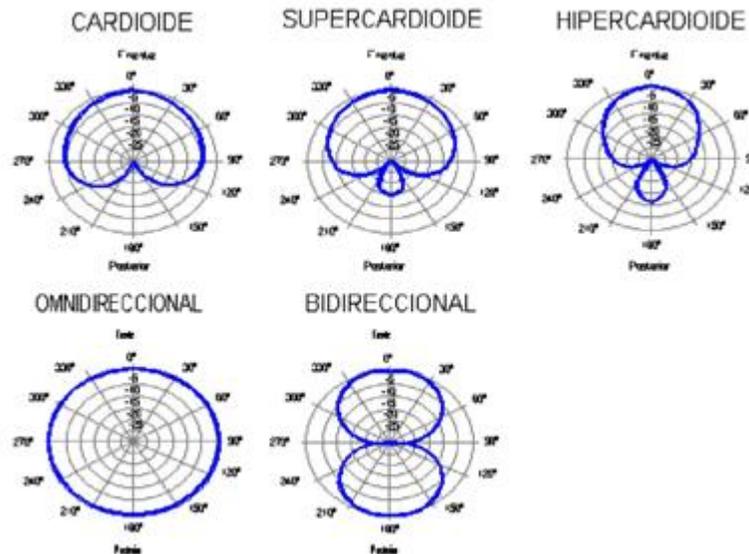
estrecho, lo que significa que son menos sensibles a los sonidos laterales y posteriores.

Figura 5. Clases de Micrófonos



Fuente: UNIVERSITÁT DE VALENCIA. Equipos de audio: Micrófonos [en línea]. [Consultado el 11 de agosto de 2012]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.uv.es/tv/3.%20Equipos%20de%20audio.%20Microfonos.pdf>>

Figura 6. Diagramas Polares



Fuente: UNIVERSITÁT DE VALENCIA. Equipos de audio: Micrófonos [en línea]. [Consultado el 11 de agosto de 2012]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.uv.es/tv/3.%20Equipos%20de%20audio.%20Microfonos.pdf>>

➤ **La sensibilidad:** Hace referencia a la capacidad de captar sonidos débiles o de una baja intensidad esto se produce por la relación entre la energía acústica que llega al micrófono y la energía eléctrica de salida que se genera.

Esta relación se puede expresar de la siguiente forma:

$$s = \frac{t}{p} \text{ (ec1. 6)}$$

Donde t es la tensión eléctrica de salida del micrófono y p la presión acústica de entrada al mismo. Su medida se da en dB con una señal de referencia de 1000Hz.

➤ **Nivel de ruido:** Hace referencia al ruido del ambiente o propio del micrófono (elementos internos como resistencias, condensadores o bobinas) que no tiene que ver con la señal principal y que distorsiona a las frecuencias audibles.

➤ **Relación señal/ruido:** Hace referencia a la diferencia existente entre el nivel de la presión sonora y el ruido que se genera el micrófono cuanto menor sea el coeficiente entre estas mejor será el equipo.

➤ **Respuesta de frecuencias:** Hace referencia a la sensibilidad del micrófono para cada una de las frecuencias que lleguen a él. Por ser tan diferentes los resultados a cada ángulo y frecuencia que se toman, cada micrófono posee una tabla de curva de respuesta en frecuencia para así facilitar su selección.

➤ **Impedancia:** hace referencia a la resistencia al paso de corriente que posee el micrófono internamente, esta impedancia tiene un rango entre 200 y 3000Ω a una frecuencia de 1KHz, por lo general se trabaja con una impedancia baja de 600Ω ya que la longitud de cable que se utiliza para conectar el micrófono es bastante buena a diferencia de los de mayor impedancia que deben ser cortos por las pérdidas que puede provocar el efecto capacitivo.

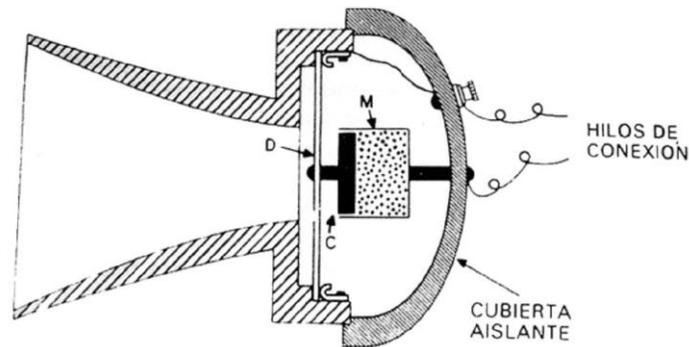
➤ **Fidelidad:** hace referencia a la variación de la sensibilidad con respecto a la frecuencia, es la representación del sonido más exacta que se pueda captar y se hace por medio de espectro de frecuencias.

- **Clasificación de los micrófonos segundo su capsula o transductor**

➤ **Micrófono de carbono o de resistencia variable:** De los primeros micrófonos que se crearon, al ser de resistencia variable cuando surge un cambio de presión sonora se modifica la resistencia provocando una pequeña carga eléctrica. Este micrófono consta de un compartimiento cerrado con cantidades de gránulos de carbono que pueden ser antracita o grafito y un diafragma.

El funcionamiento se basa en que al llegar la onda sonora al micrófono los granulos se desplazan, haciendo que varíe la resistencia y por ende se genera una tensión. Este tipo de micrófono suele presentar una distorsión entre los 250Hz y los 300KHZ, aparte de generar una respuesta bastante limitada y un nivel de ruido alto, por estas razones se usa solo en el ámbito de la citofonia.

Figura 7. Micrófono de carbón

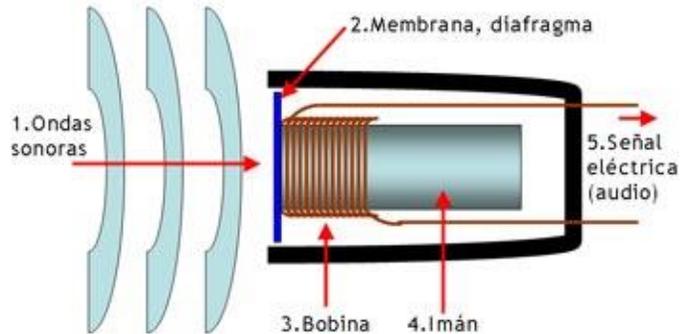


Fuente: UNIVERSITÁT DE VALENCIA. Equipos de audio: Micrófonos [en línea]. [Consultado el 11 de agosto de 2012]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.uv.es/tv/3.%20Equipos%20de%20audio.%20Microfonos.pdf>>

➤ **Micrófono dinámico o de bobina variable:** Integrado por una membrana o diafragma que va unido a una bobina que a su vez esta dentro de un imán.

Su funcionamiento se basa en que al llegar la onda sonora al micrófono el diafragma vibra generando en la bobina imantada movimiento que a su vez crea una tensión eléctrica resultado similar a la onda sonora de la entrada en su amplitud y características. Con una respuesta en frecuencia de 20 a 20KHZ.

Figura 8. Micrófono Dinámico o de Bobina móvil

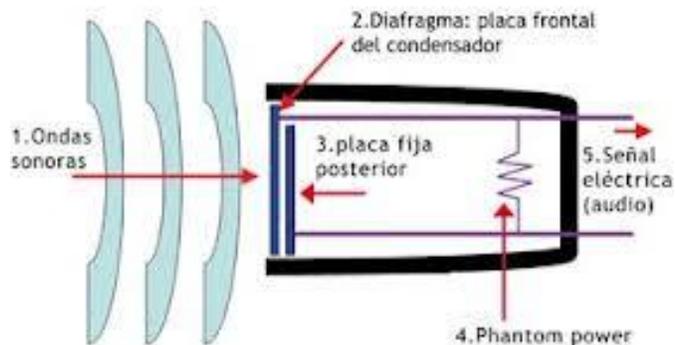


Fuente: APRENDE A PINCHAR MUSICA. Tipos de micrófonos [en línea]. 2012. [Consultado el 25 de agosto de 2012]. Disponible en internet: <URL:http://aprendeapincharmusica.com/sonido_manuales/tipos-de-microfonos/>

➤ **Micrófono de condensador:** Este tipo de micrófono, tiene la particularidad que funciona similar a un condensador convencional. Posee placa una fija y otra móvil (diafragma) con una cierta separación una de la otra, este micrófono tiene una fuente de alimentación mínima que está conectada a la placa fija, puede ser una pila.

Su funcionamiento se basa en que al llegar la onda sonora al micrófono, el diafragma vibra variando la separación que existe entre las placas lo que provoca un cambio en la capacitancia y a su vez una generación de tensión variable a la salida.

Figura 9. Micrófono de Condensador



Fuente: APRENDE A PINCHAR MUSICA. Tipos de micrófonos [en línea]. 2012. [Consultado el 25 de agosto de 2012]. Disponible en internet: <URL:http://aprendeapincharmusica.com/sonido_manuales/tipos-de-microfonos/>

2.3 COMPONENTES ELECTRÓNICOS UTILIZADOS EN EL PROYECTO

2.3.1 Introducción. Los componentes usados en este proyecto son descritos a continuación con la finalidad de comprender su funcionamiento, aplicación y modo de operación en sistemas con alimentación DC y AC. La descripción de dichos componentes electrónicos se encuentra limitada por la caracterización de su uso respectivo en los sistemas de audio descritos en el presente documento y su pretensión es solo mostrar el comportamiento eléctrico y físico de las señales aplicadas en los diferentes circuitos electrónicos.

A través de diagramas esquemáticos y de sencillos circuitos eléctricos se mostrará la respuesta de cada uno de estos elementos ante diferentes señales de entrada.

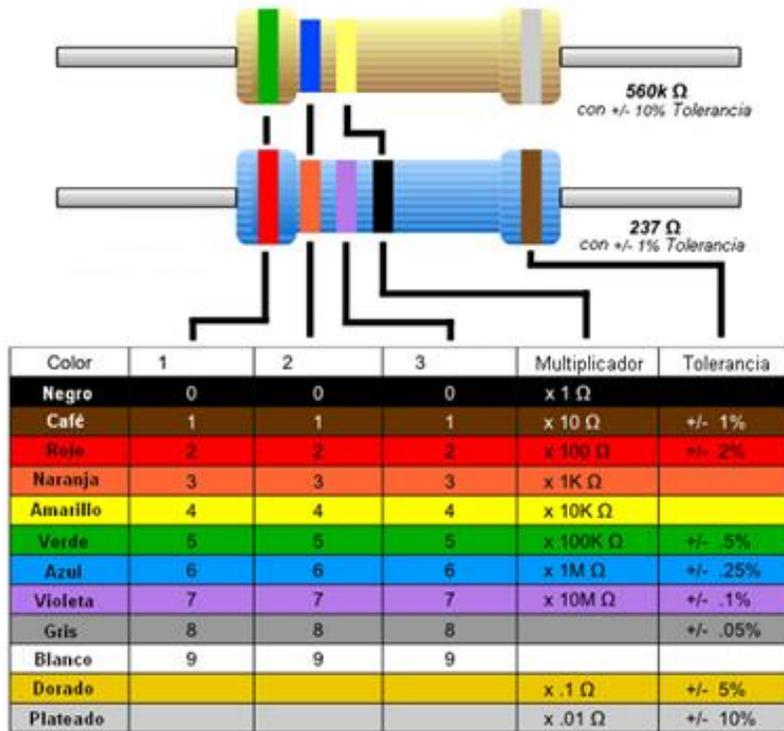
2.3.2 Resistor o resistencia. Antes es necesario definir el concepto de resistencia eléctrica, que es la propiedad que poseen ciertos elementos para atenuar el flujo de electrones o corriente. En la práctica existen diversos métodos para su medición, entre los que se encuentra el uso de un óhmetro.

Las resistencias o resistores son componentes que no poseen polarización, es decir, su desempeño en los circuitos eléctricos y/o electrónicos es indiferente de acuerdo a su sentido de conexión. Para determinar el valor que representa, posee un código en base a franjas de colores impreso en su superficie cilíndrica.

El funcionamiento de las resistencias depende del material (carbono, estaño, aluminio) del cual están hechas y de la temperatura a la cual están sometidas.

A continuación se describe el código de colores para identificar el valor de las resistencias.

Figura 10. Identificación de Resistencias



Fuente: YO REPARO.COM. Resistencias [en línea]. 2012. [Consultado el 20 de septiembre de 2012]. Disponible en Internet: <URL: http://electronica.yoreparo.com/electronica/569174_0.htm>|

Como ejemplo, se tiene una resistencia marcada con los siguientes colores: rojo-violeta-naranja-plateado, por lo que representa el valor de $27 \cdot (1000) = 27k\Omega$ con una tolerancia de +/-10%.

2.3.3 Capacitor o condensador. Un condensador consiste de dos placas o láminas metálicas separadas por un material dieléctrico. Para el propósito del proyecto es suficiente saber que un condensador permite el paso de señales de alta frecuencia, impidiendo el paso de las señales de baja frecuencia. La frecuencia de corte entre las altas y bajas frecuencias es una función de la capacidad del condensador. Mientras más baja es la capacidad, más alta es la frecuencia de corte.

Un ejemplo de la nomenclatura de un condensador marcado 104K es de 100000pF o $0.1\mu\text{F}$. Los condensadores de cerámica no tienen una convención estándar para indicar la capacidad. Generalmente está impresa en picofaradios.

Figura 11. Condensadores



Fuente: MGF. Condensadores [en línea]. 2012. [Consultado el 8 de agosto de 2012]. Disponible en Internet: <URL:<http://pub.mfg.com/sp/categories/8464.jsp>>

2.3.4 Bobina. La bobina o inductor es un elemento formado por espiras de alambre conductor, puede estar o no arrollada sobre un núcleo no metálico, y su característica principal es que almacena la energía en forma de campo magnético. Es diferente del condensador, porque este almacena la energía en forma de campo eléctrico. Por su forma espiral y al circular una corriente sobre esta se produce un campo magnético que atraviesa el inductor y cierra su camino al exterior de la misma.

Las bobinas generalmente se resisten a los cambios bruscos de corriente que circulan por ellas. En sistemas de corriente continua, por ejemplo al conectar y desconectar la fuente, la bobina intentará mantener la condición anterior a la sometida. Para el propósito del proyecto la bobina funciona como un supresor de señales de alta frecuencia dejando pasar las señales de baja frecuencia. En cambio, cuando está conectada a sistemas de corriente alterna ésta produce un desfase entre la corriente y el voltaje aplicado de manera proporcional.

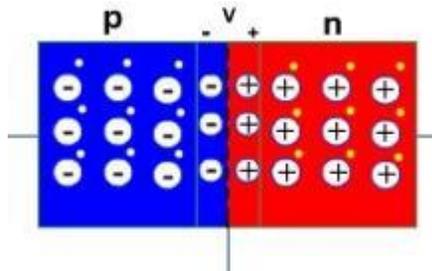
Figura 12. Bobinas



Fuente: BOBINAS BLOG. Bobinas [en línea]. 2012. [Consultado el 20 de septiembre de 2012]. Disponible en Internet: <URL:<http://bobinasmass.blogspot.com/>>

2.3.5 Diodo. Los diodos son elementos semiconductores que disponen de dos terminales al igual que los resistores y los capacitores, pero difiere en su modo de conexión, ya que el diodo cuenta con nombre propio en sus terminales y se encuentran debidamente señalados en el elemento. Internamente el diodo se compone de la unión de dos materiales semiconductores, uno de tipo P denominado Ánodo simbolizado con la letra (A) y otro de tipo N llamado Cátodo simbolizado por la letra (K); este tipo de diodo generalmente es llamado de unión “PN”.

Figura 13. Descripción interna del Diodo



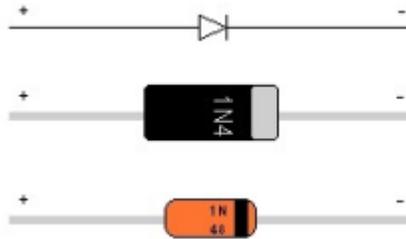
Fuente: TATIANA BLOG. Medir diodos y transistores [en línea]. Mayo de 2011. [Consultado el 5 de septiembre de 2012]. Disponible en Internet: <URL:<http://tatianitta.blogspot.com/2011/05/medicion-de-diodos-transistores-y.html>>

El funcionamiento de un diodo es el siguiente: el componente tipo N posee electrones libres (exceso de electrones) y el componente tipo P posee “huecos” libres (ausencia de electrones).

Cuando una tensión positiva es aplicada en el Ánodo y una tensión negativa en el Cátodo, los electrones del semiconductor N fluyen a través del semiconductor P

más allá de la barrera entre los semiconductores y en consecuencia hay conducción de corriente. En el caso opuesto, cuando es aplicada una tensión negativa en el Ánodo y una positiva en el Cátodo, los electrones del semiconductor N son empujados hacia la región N y los huecos del semiconductor P son empujados hacia la región P, por tanto no hay flujo de corriente.

Figura 14. Representación eléctrica y Esquemática del Diodo



Fuente: NEOTEO ABC. Diodos [en línea]. 2012. [Consultado el 5 de septiembre de 2012]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.neoteo.com/diodos>>

➤ **Polarización Directa:** Se obtiene cuando el diodo es conectado en el sentido que sigue la ruta de la corriente (Ánodo – Cátodo). En este caso el diodo se comporta como un corto circuito y permite el flujo normal de la corriente.

Figura 15. Polarización Directa



Fuente: Autor

➤ **Polarización Inversa:** Se obtiene cuando el diodo es conectado en el sentido contrario de la ruta de la corriente (Cátodo - Ánodo). En este caso el diodo se comporta como un circuito abierto.

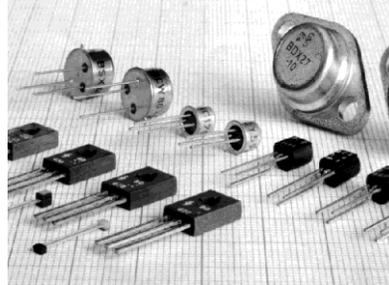
Figura 16. Polarización Inversa



Fuente: Autor

2.3.6 Transistor. El transistor es un dispositivo semiconductor que funciona como elemento de control y regulación de corriente a través de una señal pequeña aplicada en su base.

Figura 17. Transistores

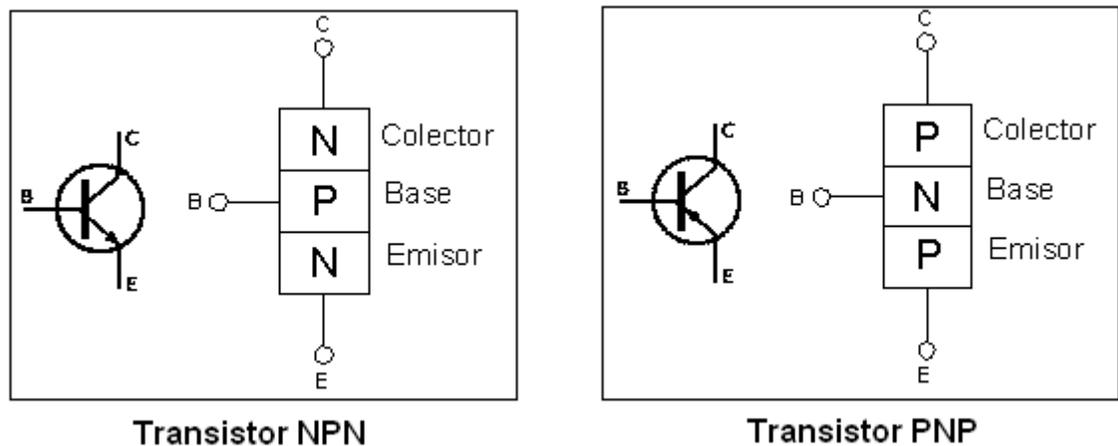


Fuente: ALIBABA.COM. Transistores [en línea]. 2012. [Consultado el 9 de septiembre de 2012]. Disponible en Internet: <URL:<http://spanish.alibaba.com/product-gs/transistors-mosfet-triode-transistor-pnp-transistor-npn-transistor-338051579.html>>

Existen diversos tipos de transistores y sus aplicaciones son innumerables, sin embargo nos limitaremos al conocimiento práctico de los transistores bipolares.

A continuación se encuentra la representación de los transistores bipolares.

Figura 18. Transistores NPN y PNP

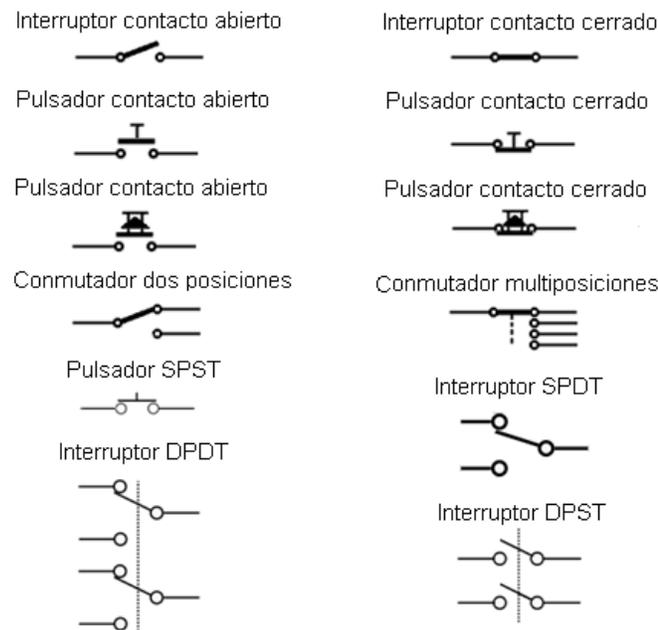


Fuente: CONOCIMIENTOS BJT. Transistores [en línea]. 2010. [Consultado el 5 de noviembre de 2012]. Disponible en Internet: <URL:<http://conocimientosbjt.blogspot.com/2010/05/bjt.html>>

2.3.7 Switch o interruptor. El switch o interruptor eléctrico es un dispositivo comúnmente usado para interrumpir o desviar el flujo de una corriente eléctrica. Existen innumerables diseños y aplicaciones, pueden ser controlados manualmente o de forma automática en sistemas más avanzados. Como se mencionó anteriormente un switch sirve para producir un cambio de tan solo encendido/apagado de cualquier circuito eléctrico.

Además de sus presentaciones existen muchas configuraciones, de hecho existe una terminología específica para conocer las variaciones que estos presentan, conociendo los interruptores se especifica en primera instancia que constan de polos y tiros, esto es P y T respectivamente.

Figura 19. Tipos de Interruptores



Fuente: DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN. Interruptores [en línea]. 2010. [Consultado el 9 de septiembre de 2012]. Disponible en Internet: <URL:<http://dispositivosdeproteccion3103.blogspot.com/2010/09/interruptores.html>>

En la vida cotidiana manejamos estos tipos de interruptores, como ejemplo y el más sencillo de reconocer es el que se encontraría en una lámpara, este circuito es de un solo hilo y se controla el encendido o apagado con un interruptor de tipo SPST.

El interruptor SPST (Solo Polo – Solo Tiro) tiene dos terminales, uno de ellos va conectado a la fuente de energía y el otro va a la salida (generalmente este sería

ubicado después de la fuente de alimentación), por lo tanto la salida estaría conectado a una sola terminal. Puede ser accionado a través de una palanca o dispositivo mecánico que se desliza, retracta, o va y viene.

Generalmente el polo se refiere al número de terminales que pueden estar asociados a la entrada conectada.

Figura 20. Mecanismos de Accionamiento en Interruptores



Fuente: HELLO TRADE, GLOBAL TRADE SEARCH ENGINE. Switches [en línea]. 2012. [Consultado el 10 de septiembre de 2012]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.hellotrade.com/calonix-electronics/mini-rocker-switches.html>>

2.3.8 Circuito Integrado (CI). Un circuito Integrado (CI) es un encapsulado de material semiconductor (algunos de silicio) de tamaño milimétrico, el cual contiene circuitos electrónicos formados por resistencias, diodos, transistores, condensadores, entre otros elementos electrónicos. El circuito integrado también es conocido como chip o microchip y posee conductores o pines metálicos apropiados para ser interconectados con otros circuitos electrónicos.

Figura 21. Circuitos Integrados



Fuente: BLOG WORDPRESS. Circuitos [en línea]. 2012. [Consultado el 10 de septiembre de 2012]. Disponible en Internet: <URL:<http://darlinggrayran.wordpress.com/circuitos/>>

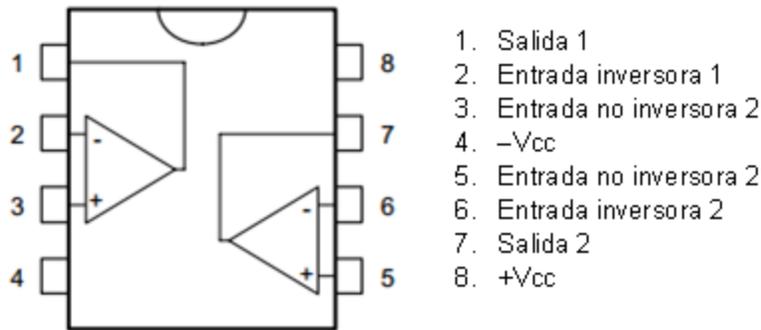
Dependiendo de la configuración de sus terminales externos, los circuitos integrados pueden ser de los siguientes tipos:

- **SIP** (Pines extendidos a lo largo de un solo lado del encapsulado).
- **DIP** (Pines ubicados en ambos lados y extendidos a lo largo del encapsulado, con una muesca que indica el pin número 1).
- **PGA**: Los múltiples pines de conexión se sitúan en la parte inferior del encapsulado.
- **SOP**: Los pines se disponen en los 2 tramos más largos y se extienden en una forma denominada “gullwingformation”.
- **TSOP**: Simplemente una versión más delgada del encapsulado SOP.
- **QFP**: Es la versión mejorada del encapsulado SOP, donde los pines de conexión se extienden a lo largo de los cuatro bordes.
- **SOJ**: En este encapsulado las puntas de los pines se extienden desde los dos bordes más largos dejando en la mitad una separación como si se tratara de dos encapsulados en uno. Recibe este nombre porque los pines se parecen a la letra “J” cuando se lo mira desde el costado. Fueron utilizados en los módulos de memoria SIMM.
- **QFJ**: Al igual que el encapsulado QFP, los pines se extienden desde los cuatro bordes.
- **QFN**: Es similar al QFP, pero con los pines situados en los cuatro bordes de la parte inferior del encapsulado.

Hay un circuito integrado de especial interés en audio, que es el TL072. Este dispositivo, que viene en encapsulado tipo DIP de ocho pines, contiene en su interior un par de amplificadores operacionales (de los cuales se hablará a continuación). En la figura siguiente se muestra la distribución de pines del TL072.

En este trabajo de grado se utilizó como circuito integrado principal el TL072 ya que presenta la mejora de no necesitar configurar el offset de desfase y que posee dos amplificadores operaciones en su interior a comparación del LM741.

Figura 22. Distribución de pines del Circuito Integrado TL072



Fuente: DIY STOMBOXES.COM. Foros [en línea]. 2012. [Consultado el 8 de septiembre de 2012]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.diystompboxes.com/smfforum/index.php?topic=48640.0>>

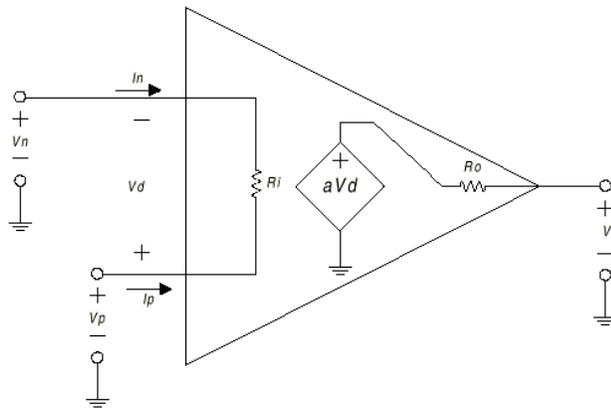
2.3.9 Amplificador Operacional (OP-AMP). Generalmente las señales eléctricas proporcionadas por algún tipo de fuente no pueden ser empleadas de manera directa e inmediatamente después de su producción, algunas pueden ser demasiado fuertes, otras débiles, otras no son apropiadas o acondicionadas a los sistemas de estudio, entre otros factores. Por lo anterior surge la necesidad de amplificar una señal si esta es muy débil o atenuar si es muy fuerte.

Este dispositivo electrónico activo tiene la funcionalidad de dar una tensión de salida dependiendo de la señal de entrada y de los elementos externos configurados. Se basará siempre en trabajar con el modelo ideal del amplificador operacional para el cálculo y diseño de sistemas reales, este modelo ideal está estructurado con una impedancia de entrada infinita R_i , una ganancia infinita A_V , una impedancia de salida nula, un BW (ancho de banda) infinito.

Todas estas características ideales dan como resultado el siguiente análisis; por tener una impedancia de entrada infinita no se presenta flujo de corriente hacia el amplificador lo que produce un corto virtual lo que lleva a que el terminal inversor esté conectado al no inversor directamente; como la ganancia que se presenta es infinita esto quiere decir la señal de entrada es mucho menor que la señal resultante en la salida.

Mediante todas estas características se pueden elaborar diferentes configuraciones que se ven más adelante, mientras se muestra en la siguiente figura la estructura básica de un amplificador ideal.

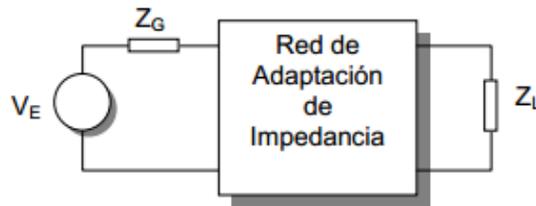
Figura 23. Esquema Amplificador Operacional



Fuente: IFEN. Amplificadores operacionales [en línea]. 2012. [Consultado el 12 de septiembre de 2012]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.qi.fcen.uba.ar/materias/iqi/opamp1.html>>

➤ **Acoplamiento de impedancias:** Una de las razones por la que es necesario aplicar el acoplamiento de impedancias es la de mantener una relación equivalente en potencia o tensión de una señal transferida de un sistema a otro. Lo que se desea finalmente es conservar la potencia transmitida y que sean minimizadas las reflexiones causadas por la carga. Cuando se presentan reflexiones, la señal que se desea transmitir pierde potencia y es devuelta hacia la fuente, provocando pérdida de la señal.

Figura 24. Acoplamiento de Impedancias



Fuente: SANTA CRUZ, Oscar. Adaptación de Impedancias, capítulo 11 [en línea]. 2010. [Consultado el 12 de septiembre de 2012]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.profesores.frc.utn.edu.ar/electronica/ElectronicaAplicadaIII/Aplicada/Cap11Adaptaciondeimpedancias2008.pdf>>

Generalmente cuando se conectan etapas, la impedancia de salida de una etapa se conecta en serie a la impedancia de entrada de la siguiente etapa, formándose un divisor de tensión, provocando que parte de la señal generada por la etapa de salida caiga por su propia impedancia; por lo que es recomendable que la

impedancia de salida de un sistema sea de bajo valor y la impedancia de entrada de un sistema sea alta.

2.3.10 Amplificadores operacionales comerciales. El concepto original del AO (amplificador operacional) procede del campo de los computadores analógicos, en los que comenzaron a usarse técnicas operacionales en una época tan temprana como en los años 40. El nombre de amplificador operacional deriva del concepto de un amplificador DC (amplificador acoplado en continua) con una entrada diferencial y ganancia extremadamente alta, cuyas características de operación estaban determinadas por los elementos de realimentación utilizados.

Cambiando los tipos y disposición de los elementos de realimentación, podían implementarse diferentes operaciones analógicas; en gran medida, las características globales del circuito estaban determinadas sólo por estos elementos de realimentación. De esta forma, el mismo amplificador era capaz de realizar diversas operaciones, y el desarrollo gradual de los amplificadores operacionales dio lugar al nacimiento de una nueva era en los conceptos de diseño de circuitos.

Los primeros amplificadores operacionales usaban el componente básico de su tiempo: la válvula de vacío. El uso generalizado de los AOs no comenzó realmente hasta los años 60, cuando empezaron a aplicarse las técnicas de estado sólido al diseño de circuitos amplificadores operacionales, fabricándose módulos que realizaban la circuitería interna del amplificador operacional mediante diseño discreto de estado sólido. Entonces, a mediados de los 60, se introdujeron los primeros amplificadores operacionales de circuito integrado. En unos pocos años los amplificadores operacionales integrados se convirtieron en una herramienta estándar de diseño, abarcando aplicaciones mucho más allá del ámbito original de los computadores analógicos.

Con la posibilidad de producción en masa que las técnicas de fabricación de circuitos integrados proporcionan, los amplificadores operacionales integrados estuvieron disponibles en grandes cantidades, lo que, a su vez contribuyó a rebajar su costo. Hoy en día el precio de un amplificador operacional integrado de propósito general, con una ganancia de 100 dB, una tensión offset de entrada de 1 mV, una corriente de entrada de 100nA y un ancho de banda de 1 MHz es muy económico.

El amplificador, que antiguamente era un sistema formado por muchos componentes discretos, actualmente se consigue como un componente integrado, y esto ha influido fuertemente en la forma de diseñar circuitos lineales.

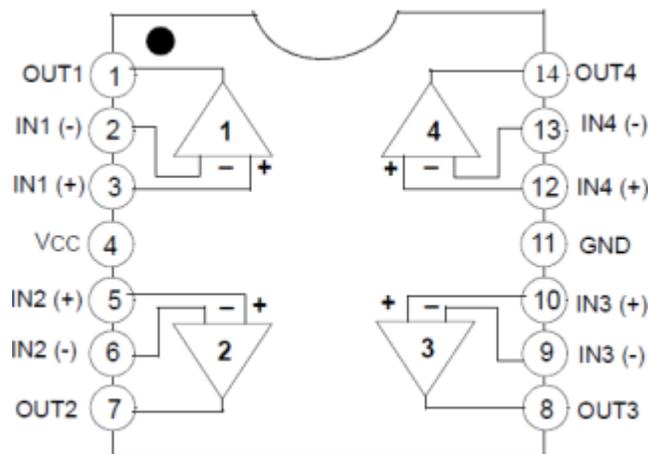
Con componentes de ganancia altamente sofisticados disponibles al precio de los componentes pasivos, el diseño mediante componentes activos discretos se ha convertido en una pérdida de tiempo y de dinero para la mayoría de las aplicaciones DC y de baja frecuencia.

➤ **LM324:** Es un amplificador operacional compuesto por cuatro amplificadores operacionales de alta ganancia, diseñados para operar con fuente de alimentación sencilla entre 3V y 32V. Sin embargo, también son capaces de funcionar con una fuente de alimentación doble entre +/- 1.5V y +/- 16V.

Tiene ventajas sobre los amplificadores operacionales convencionales en aplicaciones de fuente sencilla de alimentación. Es de bajo consumo de energía (aproximadamente 1/5 del consumo de un LM741 convencional). La ganancia de frecuencia unitaria y la intensidad de polarización de entrada (Input biascurrent) están compensadas con la temperatura.

Se puede obtener alta ganancia en DC (100 dB) con un gran ancho de banda (ganancia por unidad) de hasta 1MHz (compensada con la temperatura).

Figura 25. Diagrama de conexiones CI LM324



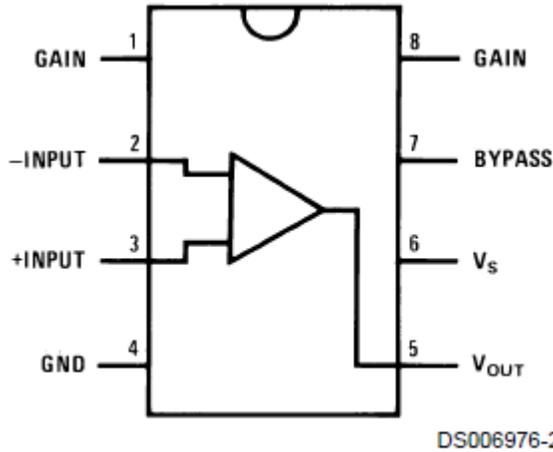
Fuente: FAIRCHILD. Catálogo [en línea]. 2002. [Consultado el 15 de septiembre de 2012]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/fairchild/LM324.pdf>>

Estos cuatro amplificadores operacionales en un solo componente permite entradas cercanas a GND (masa) y la tensión de salida también llega a GND. Bajo consumo de energía, apropiado para funcionar a baterías.

➤ **LM386:** El LM 386 es un amplificador diseñado para aplicaciones donde el consumo de voltaje es bajo. La ganancia internamente se establece en 20, pero la

adición de una resistencia externa y un condensador entre los pines 1 y 8 permite aumentar la ganancia a cualquier valor de 20 a 200. Las entradas se pueden referenciar a tierra, mientras que la salida automáticamente puede limitarse a la mitad de la tensión de alimentación.

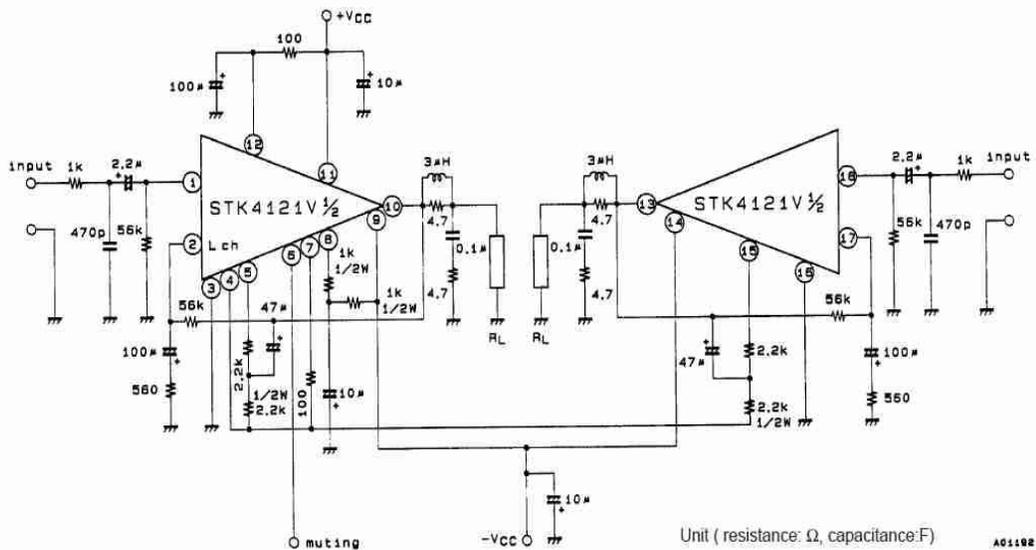
Figura 26. Diagrama de conexiones CI LM386



Fuente: FAIRCHILD. Catálogo [en línea]. 2002. [Consultado el 15 de septiembre de 2012]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/fairchild/LM324.pdf>>

➤ **STK4121V:** Un Amplificador compuesto de 2 amplificadores de alta potencia de 15W cada uno, con muy baja distorsión tensión, con alimentación de +/- 12VDC, con una ganancia de 100 o 40dB y una Rin de 55KΩ.

Figura 27. Diagrama de conexiones CI STK4121V



Fuente: FAIRCHILD. Catálogo [en línea]. 2002. [Consultado el 15 de septiembre de 2012]. Disponible en Internet: <URL: <http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/sanyo/STK4121V.pdf> >

2.4 FILTROS

2.4.1 Introducción. Frecuentemente se intenta extraer una parte el sonido que interesa y la cual se desea conservar, y para ello es necesario separar las señales deseadas de las no deseadas. Lo anterior es posible gracias a los filtros, pues realizar un filtrado de las señales que queremos analizar, permitiría obtener, de manera selectiva, resultados apropiados, tangibles y perceptibles para nuestro sistema auditivo.

Los filtros dentro de un circuito de audio son diseñados con el objeto de manipular selectivamente las señales que son transmitidas y contienen diferentes frecuencias. También son aplicados con la finalidad de garantizar un resultado dentro de un margen específico.

A continuación se presentarán algunos de los filtros más comunes en el área de los circuitos de audio, la distinción de los filtros pasivos y los filtros activos, con la finalidad de estudiar y comprender su uso en amplificadores de audio para mejorar la respuesta en las señales de los mismos.

2.4.2 Descripción y características de los filtros. Los filtros son circuitos capaces de controlar las frecuencias permitiendo o no su paso dependiendo del valor de éstas.

Los filtros pasivos, generalmente son células compuestas por resistencias, condensadores y bobinas sin amplificación, en cambio, un filtro activo es una red RC (resistencia-condensador) y dispositivos activos (amplificadores operacionales), dichos filtros permiten el paso de frecuencias comprendidas dentro del margen para el que han sido calculados, atenuando el resto.

Dependiendo del número de células usadas se determinará el orden del filtro, así como su respuesta y calidad. El funcionamiento de estas células se basa principalmente en que actúan como un divisor de tensión. Al aumentar la frecuencia de la señal, la reactancia que presenta el condensador disminuirá, lo que permitirá entrar más o menos tensión al amplificador operacional (Op-Amp), de forma independiente de si éste es pasa altos, pasa bajos u otro tipo.

Los filtros se clasifican por dos parámetros el primero lugar la funcionalidad (supresión de agudos o graves...) y en segundo lugar por la brusquedad con la que se atenúan las frecuencias fuera del rango. En las gráficas logarítmicas, esto

da una línea recta, que empieza a decaer en la frecuencia de corte con otra línea recta, y la pendiente de esta recta es lo que marca el orden del filtro.

Los filtros causan errores de fase. Cuantos mayor sea el número de componentes utilizados en un filtro, más se presentara un desplazamiento de la fase, pero menor será la interacción entre los altavoces.

En un filtro paso bajo, la frecuencia transmitida se extiende desde cero hasta su frecuencia específica. Un filtro paso alto, sólo deja pasar frecuencias superiores a su valor específico. Los filtros pasa banda, específicamente permiten el paso de frecuencias dentro de un margen. Los filtros banda eliminada, como su nombre indica, eliminan las frecuencias dentro de un margen.

En los filtros se utilizan las siguientes definiciones:

➤ **Frecuencia de corte (Fc):** Es aquella en que la ganancia del circuito cae a -3 dB por debajo de la máxima ganancia alcanzada; en otras palabras la amplitud es el 70,7% de la amplitud máxima o la mitad de la potencia de salida; Por la forma de percibir del oído humano, la disminución de la respuesta a la mitad no se percibe como "la mitad de alto" sino como "un poquito más bajo".

$$A_v = 0,707; \quad 20 \log A_v = -3 \text{dB.}$$

La atenuación de 3dB a 1 rad/s se debe a la normalización de los filtros, (exceptuando los del tipo de función elíptica) en los cuales la atenuación a 1 rad/s es igual al rizo de la banda pasante.

➤ **Banda de paso:** Conjunto de frecuencias de ganancia superior a la de corte en un margen menor o igual a 3 dB.

➤ **Orden:** Cuando un filtro sólo tiene una celda RC, se dice que es de 1^{er}. orden. Cuando tiene 2, 3 o 4 celdas, ese es el número de orden al que pertenece.

La teoría moderna de los circuitos proporciona diferentes tipos de filtros. Entre ellos el filtro pasa-bajos que se caracteriza por tener la siguiente función de transferencia, expresada de forma general así:

$$T(s) = \frac{e_{salida}}{e_{entrada}} = \frac{N(s)}{D(s)} \quad (\text{ec 1.7})$$

El numerador $N(s)$ y el denominador $D(s)$ son polinomios en s , donde $s = j\omega$ y $\omega = 2\pi f$. Las raíces del numerador se llaman ceros, y las del denominador se conocen como polos.

Matemáticamente el orden del filtro también se describe en cuanto al valor de n , donde n es el grado del polinomio del denominador.

➤ **Octava:** Se dice de dos frecuencias $F1$ y $F2$ que están separadas por una octava cuando: $F2 / F1 = 2$

➤ **Década:** A dos frecuencias $F1$ y $F2$ que están separadas por una década cuando: $F2 / F1 = 10$

➤ **Calidad:** Especifica la eficacia del filtro, es decir, la idealidad de su respuesta. Se mide en dB / octava; dB / década. Lo ideal sería que tomara un valor de infinito.

➤ **Anchura de banda:** Se define como la diferencia entre la frecuencia para las que la curva de resonancia ha disminuido un 70% del valor máximo. Cuanto mayor es la anchura de banda (de un circuito oscilador a una frecuencia determinada de resonancia), tanto menor es la calidad del circuito oscilador.

➤ **Escalado de Frecuencia e Impedancia:** Si los elementos reactivos de un filtro se dividen entre un factor de escala de frecuencia (FSF), la respuesta resultante tendrá lugar sobre una banda de frecuencias diferente que se encuentra relacionada con la banda original de operación por medio del factor de escala. Esta característica es que permite utilizar filtros normalizados y sus curvas de respuesta.

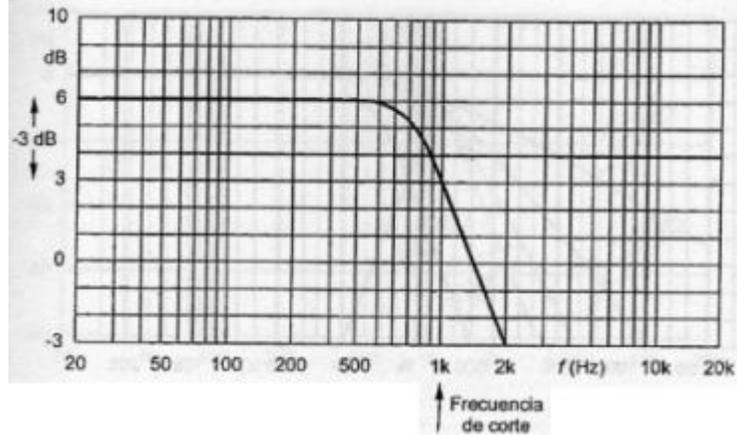
El FSF es adimensional y se denota a continuación:

$$FSF = \frac{\text{frecuenciadereferenciadeseada}}{\text{frecuenciadereferenciaexistente}} \quad (\text{ec 1.8})$$

2.4.3 Tipos de filtros

➤ **Filtro pasa bajo:** El filtro pasa bajo permite el paso de todas las frecuencias por debajo del valor de la frecuencia de corte.

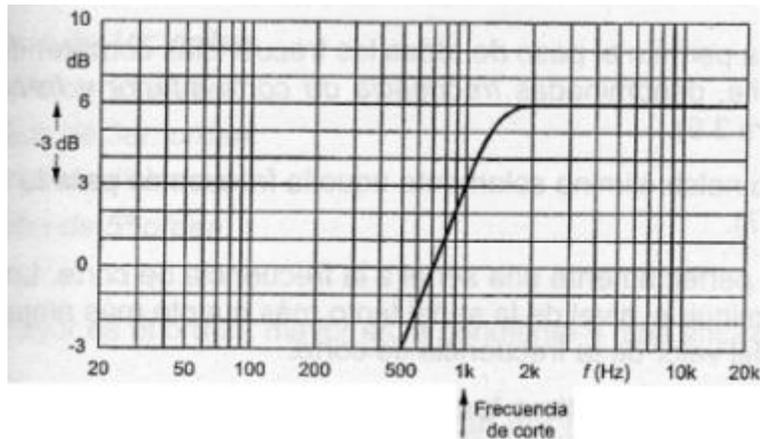
Figura 28. Filtro Pasa Bajo



Fuente: RUIZ VASSALLO, Francisco. Diseño y Fabricación de Bafles. p. 107

➤ **Filtro pasa alto:** El filtro pasa alto permite el paso de todas las frecuencias por encima del valor de la frecuencia de corte.

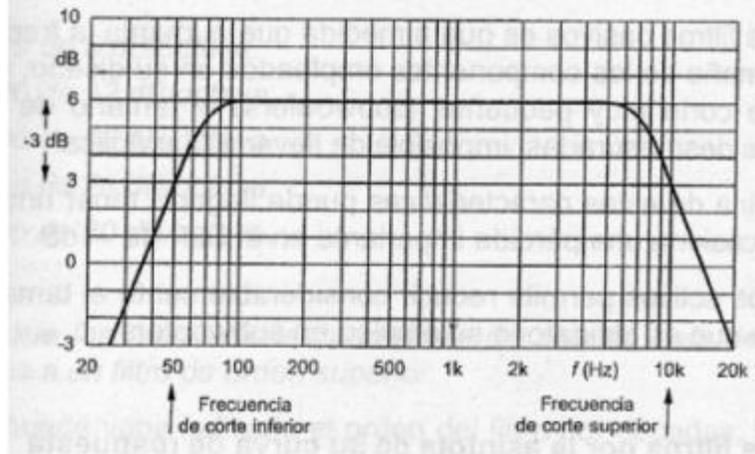
Figura 29. Filtro Pasa Alto



Fuente: RUIZ VASSALLO, Francisco. Diseño y Fabricación de Bafles. p. 107

➤ **Filtro pasa banda:** En los filtros pasa banda y banda eliminada existen dos F_c , una superior y otra inferior, puede considerarse como una ventana, lo que se ve por la ventana es la frecuencia que pasa.

Figura 30. Filtro Pasa Banda



Fuente: RUIZ VASSALLO, Francisco. Diseño y Fabricación de Bafles. p. 107

2.4.4 Filtros pasivos. También llamados filtros de cruce, tienen como objeto separar las frecuencias de audio para que puedan aplicarse a altavoces o diferentes salidas.

Los filtros pasivos son circuitos sencillos compuestos por inductancias, capacitores y, en algunos casos, también resistencias. Su funcionamiento se establece en el hecho de que la reactancia capacitiva (Z_C) de un condensador es inversamente proporcional a la frecuencia (f), mientras que la reactancia inductiva (Z_L) de una bobina es directamente proporcional a la frecuencia de la corriente aplicada a ella.

De acuerdo a la definición anterior se tiene:

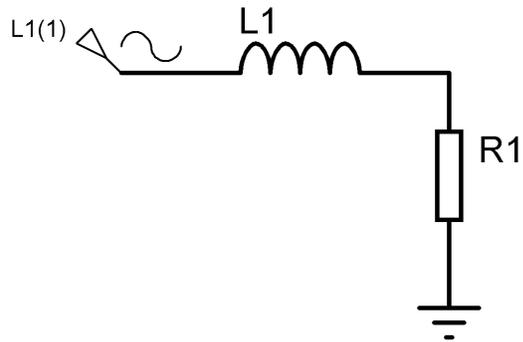
$$Z_C = \frac{1}{2\pi f C} \quad (\text{ec 1.9})$$

$$Z_L = 2\pi f L \quad (\text{ec 1.10})$$

Donde f es la frecuencia de referencia en Hertz, C el valor del capacitor en Faradios y L el valor de la bobina en Henrios.

De acuerdo con las anteriores expresiones, se puede tener un condensador de capacidad C que deja pasar frecuencias elevadas y ofrece una alta resistencia a las bajas frecuencias que, como consecuencia, se ven atenuadas. Por otra parte, las inductancias dejan pasar sin dificultad las bajas frecuencias y se oponen al paso de las altas frecuencias, las cuales se verán atenuadas.

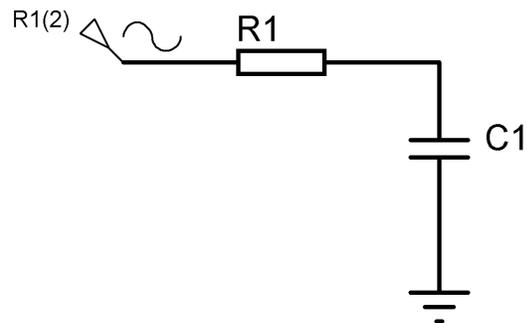
Figura 31. Filtros Pasivos Pasa Bajos



Fuente: Diseño Autor

La figura 31 representa el diseño de un filtro pasivo pasa bajos, implementando el uso de una bobina y una resistencia.

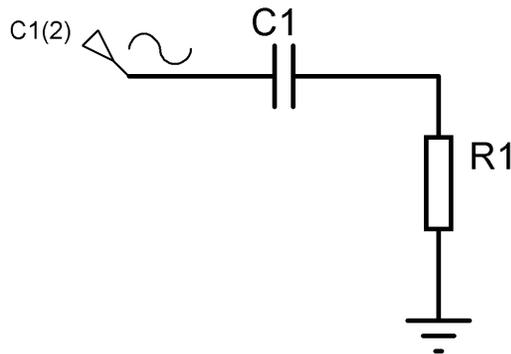
Figura 32. Filtros Pasivo Pasa Bajos con Capacitor



Fuente: Diseño Autor

La figura 32 representa el diseño de un filtro pasivo pasa bajos, implementando el uso de un condensador y una resistencia.

Figura 33. Filtro Pasivo Pasa Altos con Condensador



Fuente: Diseño Autor

La figura 33 representa el diseño de un filtro pasivo pasa altas, implementando el uso de un condensador y una resistencia.

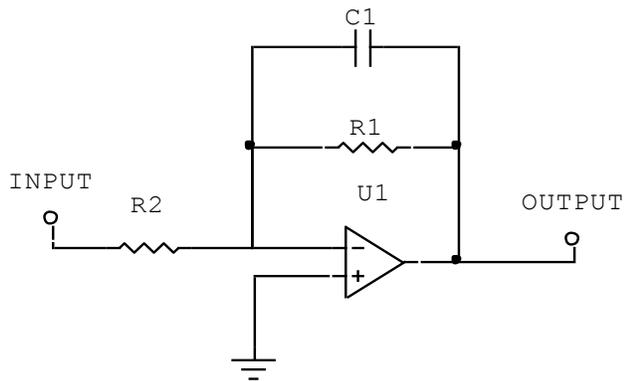
Ningún filtro pasivo tiene la capacidad de cortar perfectamente una señal a la frecuencia de corte. Lo que realmente hacen es disminuir el nivel o potencia de la señal en proporción cuanto más alejada esté la frecuencia de ésta del valor de la frecuencia de corte.

El problema de los filtros pasivos es que a medida que aumenta la frecuencia de corte aumenta el tamaño de los componentes empleados en su diseño, por lo que para frecuencias de corte muy pequeñas (subwoofers) el tamaño de la bobina alcanzaría dimensiones desmesuradas, haciéndolas imposibles de lograr en la práctica, para este problema el siguiente capítulo de filtros activos presenta la solución.

2.4.5 Filtros activos. Los filtros constituidos por elementos pasivos, como resistencias y condensadores, asociados con amplificadores operacionales son llamados filtros activos. Estos filtros presentan diversas ventajas sobre los pasivos y entre lo más destacado es la capacidad de emplear componentes con valores nominales muy bajos, por ende se tienen menores dimensiones y la posibilidad de suprimir el uso de grandes bobinas. Al igual que los filtros pasivos, los filtros activos se clasifican en filtros de paso bajo, paso alto, paso de banda y eliminación de banda o notch.

- **Filtro Activo Paso Bajo de Primer Orden.** La eficacia de un filtro es asegurada si la impedancia de salida del filtro es alta, esto es posible gracias a la aplicación de un amplificador operacional. En el siguiente esquema se muestra la forma más sencilla de obtener un filtro paso bajo con alta impedancia de salida.

Figura 34. Filtro Activo de Paso Bajo de Primer Orden



Fuente: Diseño Autor

El amplificador operacional se dispone entre la salida del filtro paso bajo y la entrada de la etapa a la cual va conectada el filtro, trabajando como adaptador de impedancias. El amplificador también trabaja como inversor, en otras palabras la señal de entrada al filtro es aplicada a la entrada inversora del amplificador operacional, por lo que a la salida se obtendrá la misma señal pero con signo opuesto.

A señales de entrada con baja frecuencia, el condensador C1 adquiere una reactancia elevada, por lo tanto la ganancia en tensión se puede considerar dependiente de los valores de las resistencias R1 y R2.

$$A = 20 \text{ Log} \frac{R1}{R2} \quad (\text{ec 1.11})$$

Cuando la señal de entrada posee un alto valor en frecuencia, el condensador C1 se comporta como un corto circuito, por tanto la tensión de salida caerá a cero.

Para determinar la frecuencia de corte de este circuito se emplea el valor de R1 y la capacitancia de C1 a través de la siguiente fórmula:

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} \quad (\text{ec 1.12})$$

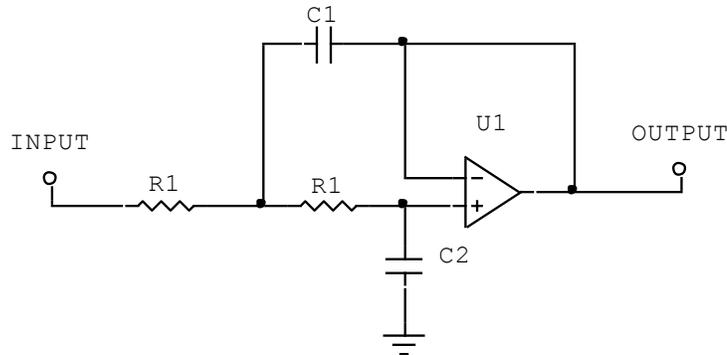
A esta frecuencia la señal de salida alcanza un valor igual al 70,7% de la señal de entrada (lo que anteriormente se determinó como una atenuación aproximada de -3dB). La pendiente de este filtro es de 6dB/octava, por lo tanto se determina como un filtro de primer orden.

Otras configuraciones son permisibles en este tipo de filtros, es el caso de conectar una resistencia a la entrada no inversora del amplificador operacional a

tierra. El valor de esta resistencia sería equivalente a la conexión en derivación de R1 y R2.

- **Filtro Activo Paso Bajo de Segundo Orden.** A continuación se muestra el esquema de un filtro activo de paso bajo de segundo orden.

Figura 35. Filtro Activo de Paso Bajo de Segundo Orden



Fuente: Diseño Autor

El amplificador operacional trabaja como adaptador de impedancia. La señal es aplicada a la entrada no inversora del AOP.

Cuando la frecuencia de la señal aplicada a la entrada es muy baja, los condensadores C1 y C2 presentarán una reactancia elevada. Como la impedancia de entrada del AOP es alta con respecto a los valores de las resistencias del filtro, el circuito funcionará como un buffer, obteniendo una señal con la misma amplitud de la señal de entrada.

Para frecuencias por encima de la frecuencia de corte, los condensadores reducen el valor de la reactancia capacitiva por debajo de la resistiva que conforman los demás elementos, por tanto quedan cortocircuitados y la señal de salida queda atenuada en su mayor parte.

El cálculo de la frecuencia de corte de este tipo de circuito se refleja en la siguiente ecuación:

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_1 \sqrt{C_1 C_2}} \quad (\text{ec 1.13})$$

Como lo que se desea es calcular los valores de los componentes que formarán el filtro con una frecuencia deseada, el método apropiado se describe a continuación:

- Establecer la frecuencia de corte del filtro pasa bajo.
- Seleccionar el valor de las resistencias que lo forman. Se aconseja que el valor de R1 esté comprendido entre 10kΩ y 22kΩ.
- Calcular el valor del condensador C2 empleando la siguiente ecuación:

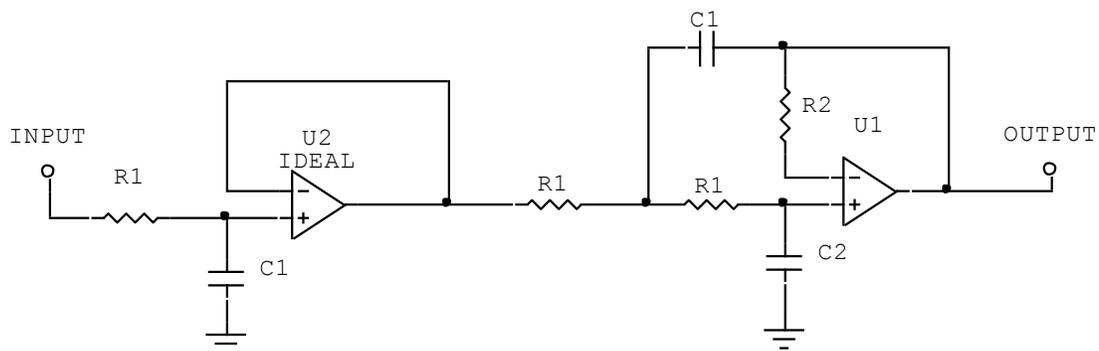
$$C_2 = \frac{0,112}{R_1 f_c} \quad (\text{ec 1.14})$$

- Finalmente el valor del condensador C1 debe tener una capacidad igual al doble que el de C2.

• **Filtro Activo Paso Bajo de Orden Mayor de 2.** Se pueden obtener filtros de mayor orden a 2 prosiguiendo las siguientes indicaciones:

- Para filtros de orden impar, es decir, orden 3, 5, 7, . . . se dispone un primer filtro de paso bajo de primer orden y a continuación tantos filtros pasa bajos de segundo orden como sean necesarios.

Por ejemplo a continuación se presenta un filtro activo de paso bajo orden 3, formado por una pasa bajo de primer orden al que le sigue uno de segundo orden. La pendiente total de este filtro es equivalente a la adición de las pendientes parciales:



Pendiente Total = 6 dB/octava + 12dB/octava = 18 dB/octava

Fuente: Diseño Autor

Los capacitores y resistencias referenciados con el mismo número deben tener el mismo valor.

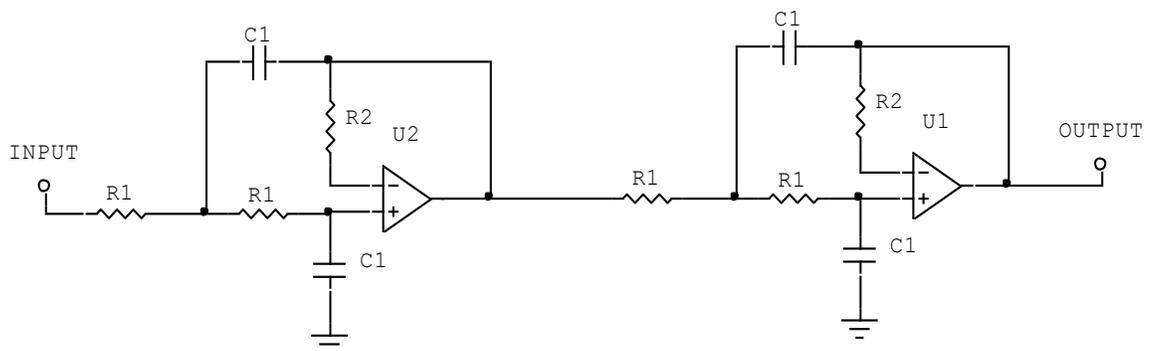
La frecuencia de corte de este filtro es posible determinarse mediante la siguiente fórmula:

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} \quad (\text{ec 1.15})$$

➤ Para los filtros activos de orden par, es decir, orden 4, 6, 8,... se dispone igualmente un filtro activo pasa bajo de segundo orden y a continuación la cantidad de filtros pasa bajos de segundo orden como sean necesarios.

Por ejemplo se muestra a continuación el esquema que corresponde a un filtro activo pasa bajo de cuarto orden. Consiste en la conexión de dos filtros de segundo orden en cascada.

Figura 37. Filtro Activo Pasa Bajo de Orden 4

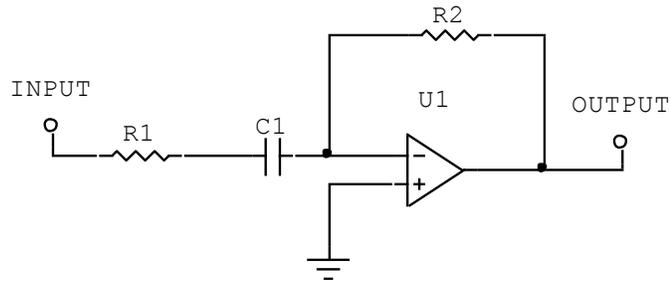


$$\text{Pendiente Total} = 12 \text{ dB/octava} + 12 \text{ dB/octava} = 24 \text{ dB/octava}$$

Fuente: Diseño Autor

- **Filtro Activo de Paso Alto de Primer Orden.** A continuación se presenta un filtro activo de paso alto de primer orden, formado por un condensador y una resistencia conectados a la entrada inversora de un amplificador operacional que trabaja como amplificador inversor, la resistencia R2 está conectada entre la entrada inversora y la salida del AOP. En este caso las resistencias R1 y R2 establecen la ganancia del amplificador inversor. Si son iguales la ganancia será igual a 1.

Figura 38. Filtro Activo Pasa Altas de Orden 1



Fuente: Diseño Autor

En la figura 38 se puede ver el esquema del filtro activo pasa altas, con una resistencia y un capacitor dispuestos a la entrada de inversora de un amplificador operacional. Las resistencias R1 y R2 establecen la ganancia del amplificador. Si el valor de las resistencias es el mismo se tendría una ganancia igual a 1.

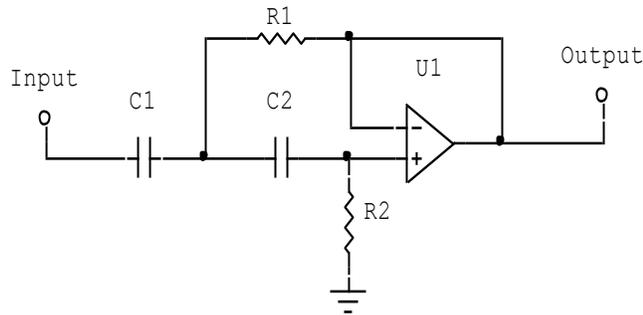
Al tener una señal V_{ac} en la entrada del circuito, con una frecuencia que progresivamente va en aumento desde 0Hz (corriente continua), hacia el infinito, el condensador tendrá un comportamiento como se describe a continuación:

- Cuando la frecuencia de la señal de entrada es cero el capacitor no dejará pasar la corriente a través de él hacia la salida.
- A medida que aumenta la frecuencia de la señal de entrada la reactancia capacitiva del condensador va disminuyendo, hasta que se alcanza un valor de frecuencia tal que la reactancia capacitiva iguala al valor de la resistencia R, en esta circunstancia circula la misma corriente a través de él.

Para las señales de alta frecuencia, por encima de la frecuencia de corte, el condensador C1 se comportará como un corto circuito, por lo que la señal verá como única oposición la resistencia ofrecida por R1. En este caso la ganancia del amplificador será la resultante entre la relación de $R2/R1$, y como ambas las suponemos iguales la ganancia será de 1. (0dB). La frecuencia de este filtro se puede calcular con la fórmula 1.15, sin embargo la única variante con respecto al pasa bajas es la disposición de los elementos, esto es, en el lugar de los capacitores se ubicarán las resistencias y viceversa. Al tratarse de un filtro pasa altas de primer orden se tiene una pendiente de 20dB/década, cuando la frecuencia de la señal de entrada es la décima parte de la frecuencia de corte la amplitud de la señal de salida es de -20dB con relación a la amplitud de la señal a la frecuencia de corte.

- **Filtro Activo Paso Alto de Segundo Orden.** A continuación se presenta el esquema de un filtro activo pasa altas de orden 2; en este circuito el amplificador operacional funciona como un buffer, separando y/o adaptando impedancias, y mantiene una ganancia de 0dB.

Figura 39. Filtro Activo Pasa Altos de Orden 2



Fuente: Diseño Autor

Para frecuencias por debajo de la frecuencia de corte los condensadores C1 y C2 se comportan como circuitos abiertos, por tanto a la salida se presenta una señal nula. Se debe tener en cuenta que el valor de C1 es igual a C2.

Para frecuencias por encima de la frecuencia de corte, los capacitores operan como cortocircuitos, teniendo a la salida una señal similar a la señal de entrada.

La pendiente de este filtro es de 12dB/Octava. En la frecuencia de corte de la señal de salida se obtiene una amplitud -3dB con respecto a la amplitud de la señal de entrada.

Para determinar el valor de la frecuencia de corte de este filtro, se aplica la siguiente fórmula:

$$f_c = \frac{1}{2\pi C_1 \sqrt{R_1 R_2}} \quad (\text{ec } 1.16)$$

Similar a su contraparte del filtro pasa bajas de la ecuación 1.13, las variantes son las disposiciones de sus elementos que la componen, C1, C2, R1 y R2.

Para el diseño de este tipo de filtros se recomienda seguir la siguiente secuencia:

- Determinar arbitrariamente el valor de los condensadores. Estos generalmente tienden a asignarse a valores comerciales y deben estar comprendidos entre 1 y

470nF cuando la frecuencia de corte es de bajo valor, y entre 330pF y 1nF si la frecuencia de corte es más elevada.

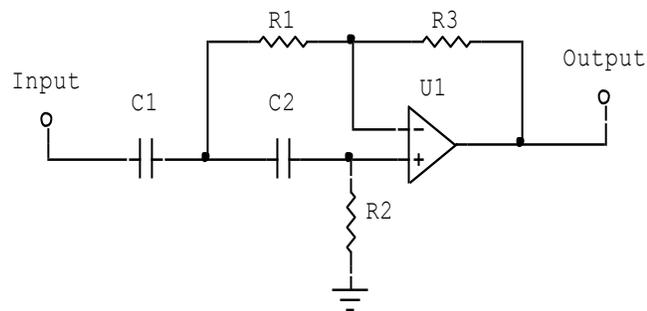
- Los valores de las resistencias pueden tenerse fácilmente gracias a la amplia gama de valores comerciales.
- Partiendo de los datos de F_c y el valor de C_1 se procede al cálculo de R_1 , empleando para ello la siguiente fórmula simplificada:

$$R_1 = \frac{0,112}{C_1 F_c} \quad (\text{ec 1.17})$$

- Para el valor de R_2 se puede elegir un valor que duplique el valor de R_1 .

A continuación se muestra una variante del circuito mostrado en la figura 38.

Figura 40. Filtro Activo Pasa Altas de Orden 2 con R de realimentación



Fuente: Diseño Autor

Este circuito presenta una resistencia adicional R_3 de realimentación, ubicada entre la salida del amplificador operacional y su entrada inversora, y sirve para adecuar la ganancia del sistema.

Para proporcionar facilidad en los cálculos para el diseño del filtro se recomienda dejar los valores de los condensadores C_1 y C_2 con el mismo valor, y las resistencias que constituyen el circuito deberán cumplir la siguiente condición:

$$2R_1=R_2=R_3.$$

Diseñando el filtro con las recomendaciones anteriormente descritas, la frecuencia de corte se puede obtener aplicando la siguiente fórmula:

$$f_c = \frac{0,225}{R_1 C_1} \quad (\text{ec 1.18})$$

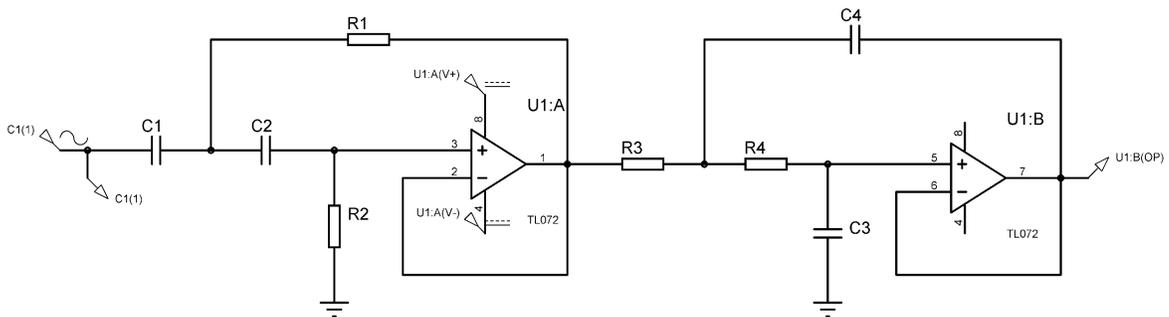
Para facilitar el cálculo resulta práctico asignar valores arbitrarios a R1 o C1; conociendo el valor de uno de estos y la frecuencia de corte que se desea obtener.

- **Filtro Activo Paso Alto de Orden Mayor de 2.** Al momento de aplicar el diseño de un filtro activo pasa alto de orden mayor de 2 se debe tener en cuenta que el diseño es de la misma forma que el ya visto para los activos pasa bajos del mismo orden.

2.4.6 Filtro activo pasa banda. Este tipo de filtro puede presentarse en dos maneras: de banda angosta y de banda ancha. El filtro de banda ancha es el resultado de la composición de un filtro pasa-bajo y otro pasa-alto conectado en serie; esto es práctico cuando la relación de las frecuencias de corte de la banda pasa altas entre la banda pasa bajas excede en 2:1, es decir superados en una octava. Se deben dar por separado las características de normalización del filtro pasa bajas y el filtro pasa altas. Los diseños deben ser individuales y posteriormente pueden ser conectados en serie para obtener la banda de paso deseado.

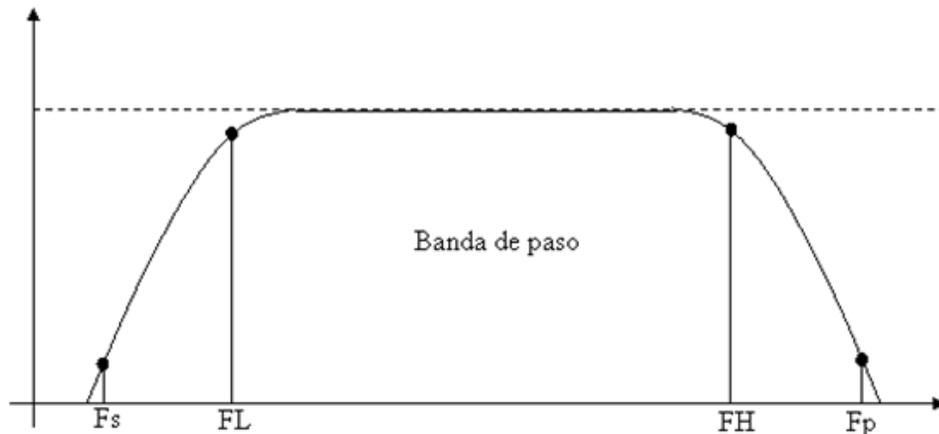
Si la relación entre las frecuencias de corte superior y corte inferior no supera la octava, o es menor a 2, el filtro no podrá diseñarse como la composición en serie de un filtro pasa bajas y un filtro pasa altos, debido a que la disminución moderada.

Figura 41. Filtro Activo Pasa Banda



Fuente: Diseño Autor

Figura 42. Representación de banda de Banda de paso



Fuente: LC. Bandas [en línea]. México, 2012. [Consultado el 20 de septiembre de 2012]. Disponible en Internet: <URL:http://lc.fie.umich.mx/~jfelix/InstruII/FPB/FPB_ba.html>

La ganancia:

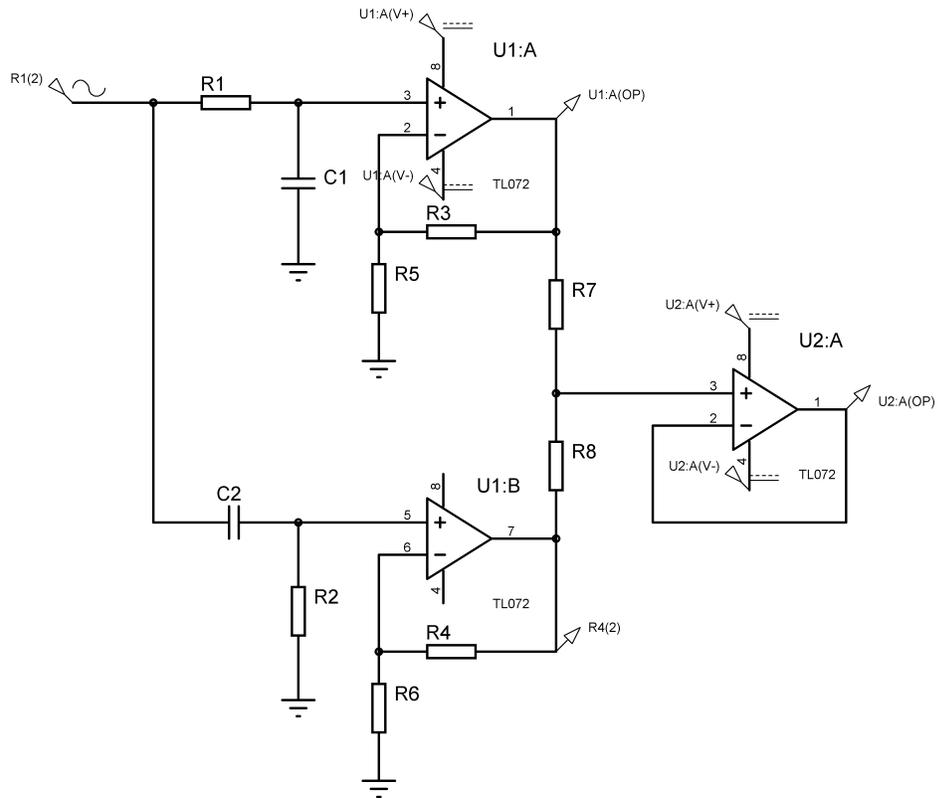
$$AB = FH - Fl \quad ec(1.19)$$

2.4.7 Filtro activo rechaza banda. Al hablar de los filtros rechaza banda o también llamando notch, se hace referencia a un tipo de filtro que impide el paso de un rango de frecuencias determinada dejando pasar solo las frecuencias por encima y debajo de las frecuencias de corte inferior /superior, se pueden diseñar tanto en redes pasivas como activas, para este caso se utilizan redes activas por la comodidad y versatilidad de los amplificadores (TL072).

Existen dos tipos de rechaza banda, banda ancha y banda angosta; lo más básico y usual es trabajarlo de una forma similar al paso de banda con la unión de dos filtros uno pasa bajo y un pasa alto pero con la diferencia que se conectan en paralelo pero también se pueden trabajar con redes pasivas y activas simples.

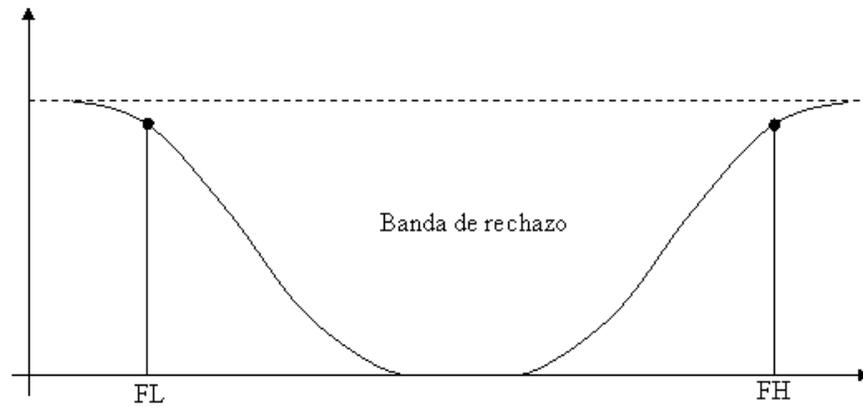
Al ser sistemas lineales e invariantes se pueden sumar sus respectivas salidas, esto se debe hacer mediante un amplificador operación sumador para evitar que se solape la respuesta y así poder eliminar el rango de frecuencias deseado. Se debe aclarar que para ambos filtros pasa bajo y alto sus frecuencias de corte deben ser inferiores y superior a la del filtro rechaza banda para que el diseño funcione.

Figura 43. Representación de banda de Banda de paso



Fuente: Diseño Autor

Figura 44. Representación de banda de Rechazo



Fuente: ELECTRÓNICA ANALÓGICA. Rechaza banda [en línea]. 2012. [Consultado el 20 de septiembre de 2012]. Disponible en Internet: <URL: <https://sites.google.com/site/electronica-analogicaadancin/2-6-5-rechaza-banda>>

La ganancia está dada por:

$$AB = FH - Fl \quad ec(1.19)$$

Las frecuencias de corte están dadas dependiendo del tipo

Para banda angosta:

$$Fc = \sqrt{FH * FL} \quad ec(1.20)$$

Para banda ancha:

$$Fc = \frac{1}{2\pi Rc} \quad ec(1.21)$$

Se debe tener muy en cuenta tanto el orden como la ganancia de los filtros pasa bajo y pasa alto ya que deben ser la misma para que se cumpla los parámetros ideales en un filtro rechaza banda.

2.5 RESUMEN Y CONCLUSIONES DEL CAPITULO

➤ Un concepto fundamental es que no hay un valor absoluto para "dB". De todas maneras, cuando se utiliza una referencia estándar para "0 dB", evidentemente cualquier valor por encima o por debajo de esta referencia tiene una cantidad específica. Por ejemplo:

✓ "El nivel máximo de salida de la consola es de +20 dB". La frase anterior no tiene significado alguno ya que no está especificado el valor de la referencia "0 dB".

✓ "El nivel máximo de salida de la consola es de +20 dB sobre 1 mili watt". En este caso, la descripción es válida. Nos dice que la consola puede generar una señal máxima de 100mili Watts.

➤ Se comprenden dos tipos de ondas, las longitudinales y las transversales. Las primeras son propagadas a través de las vibraciones en direcciones paralelas, mientras que las transversales son perpendiculares a la dirección de la fuente de propagación.

➤ Los sistemas de audio se basan fundamentalmente en dispositivos que contienen diferentes etapas para el tratamiento de las señales: Transductores de entrada, procesadores de las señales y transductores de salida. El objetivo de estos dispositivos es transmitir estas señales electro-mecánicas y transformarlas en sonido, a unos niveles y frecuencias permisibles para el oído humano.

- Se entiende por Octava como el intervalo de separación entre notas que tienen la misma naturaleza pero poseen diferente altura o nivel de intensidad sonora. Ejemplo: las notas Re y 3*Re están separadas por dos octavas.
- Los amplificadores operacionales conectados junto con otros elementos eléctricos como condensadores, resistencias, diodos, etc. pueden dar resultado a diferentes combinaciones, que por sus características infieren en la configuración de circuitos inversores de señal, no inversores, seguidores de señal, integradores o derivadores de señal, sumadores y mezcladores. Para este proyecto en común se debe tener en cuenta que las configuraciones más apropiadas son aquellas que atenúan y no generan ruido, también aquellas que permiten que las diferentes señales se puedan mezclar y transmitir sin que su resultante se vea afectada por fuentes externas o impliquen pérdidas en la señal.
- La frecuencia de corte entre las altas y bajas frecuencias es una función de la capacidad del condensador, mientras más baja es la capacidad, más alta es la frecuencia de corte. Queriendo decir que el condensador suprime las señales de baja frecuencia dejando pasar las señales de alta frecuencia, mientras que la bobina funciona como un supresor de señales de alta frecuencia dejando pasar las señales de baja frecuencia. En cambio, cuando está conectada a sistemas de corriente alterna ésta produce un desfase entre la corriente y el voltaje aplicado de manera proporcional.
- En los amplificadores operacionales existentes se maneja el principio de acople de impedancias, en sus entradas se tiene alta impedancia ya que se requiere que la mayor cantidad de tensión en la señal ingrese al sistema, y en su salida se tenga una baja impedancia para que la mayor parte de la señal salga y sea transmitida. Solo si es requerido se puede anexar una etapa de potencia con la finalidad de aumentar el poder de la señal a transmitir.
- En los circuitos diseñados en el presente proyecto se emplearon los amplificadores LM386, LM324 y STK4121V. Estos circuitos se distinguen entre una amplia gama de amplificadores por su bajo consumo de energía, versatilidad en el diseño que incorpora más de un amplificador operacional, la adaptabilidad a sistemas de audio, entre otras funcionalidades. Claramente, el amplificador operacional integrado ha redefinido las "reglas básicas" de los circuitos electrónicos acercando el diseño de circuitos al de sistemas.
- Los filtros son de gran utilidad sobre todo en el ámbito de la producción discográfica, ya que permiten tener audio de calidad.
- El filtro pasa altas es utilizado para eliminar frecuencias pequeñas y solo quedar con frecuencias de magnitud grande respecto a las frecuencias de corte. Como se mencionó anteriormente, el funcionamiento es sencillo y se puede resumir de la

siguiente manera: para frecuencias por debajo de corte, el condensador de entrada al sistema ofrece una reactancia capacitiva mayor que la ofrecida por la resistencia que se dispone en la realimentación del amplificador (ver figura 37), lo cual significa que la impedancia de este circuito de entrada es mayor que el valor de R_2 , por lo que la ganancia del amplificador será menor de la unidad, por tanto el circuito se comportará como un atenuador de señales de baja frecuencia.

3. DISEÑO Y DESCRIPCIÓN DE LOS CIRCUITOS PARA LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO

3.1 INTRODUCCIÓN

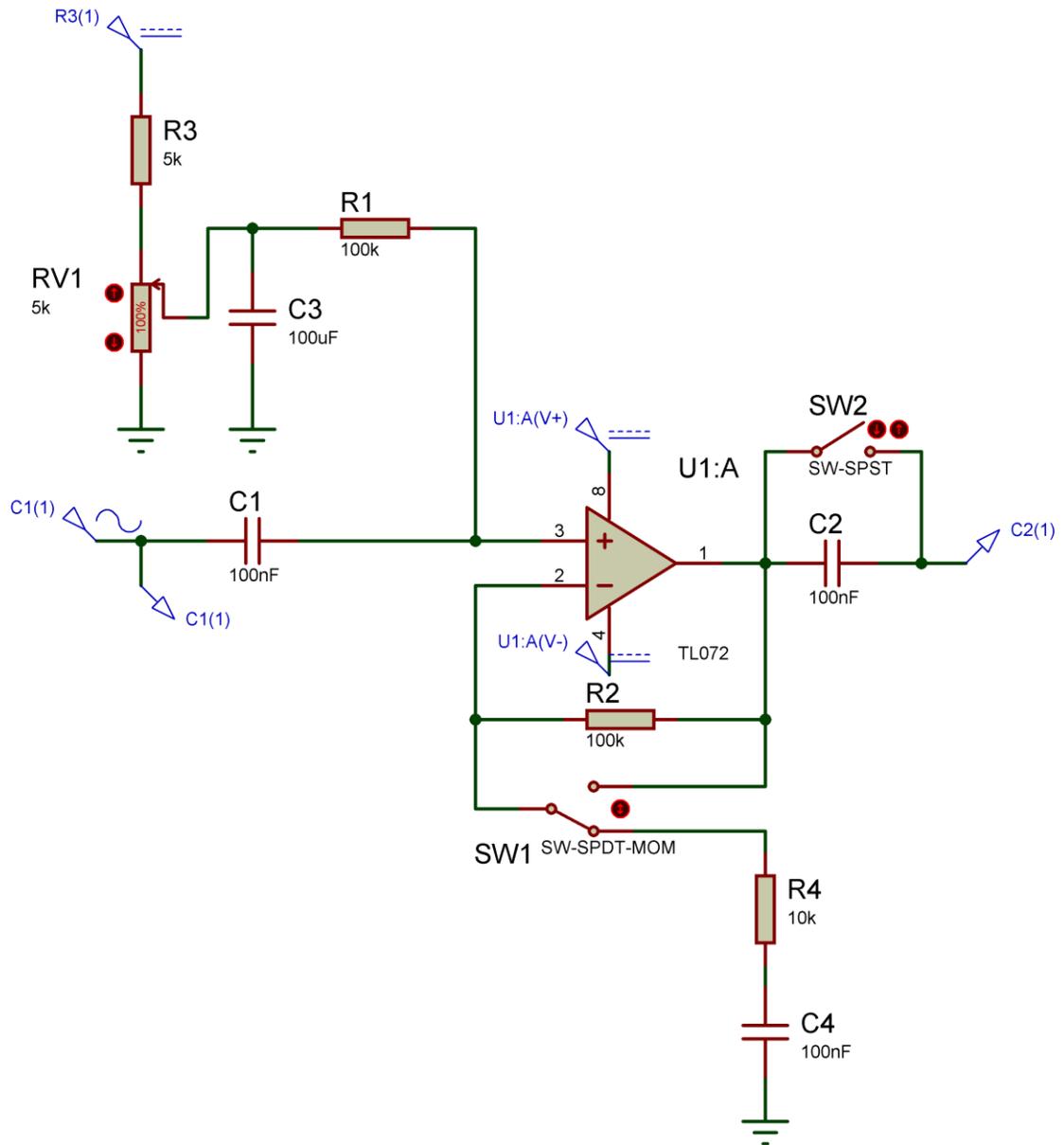
En este capítulo se explican los circuitos que se emplearán en las prácticas de laboratorio, y que se encontrarán dentro del módulo didáctico correspondiente. Como ha de saberse, las señales de audio antes de la etapa de amplificación final deben pasar a través de diferentes procesos para su respectiva adecuación y mejoramiento. Esto se debe a que el ser humano, en lo que se refiere a sonido y/o acústica, siempre querrá percibir una señal de audio lo más clara posible, libre de ruido, distorsión y de interferencias que producen otros tipos de ondas que se encuentran en el ambiente. Este mejoramiento de la señal de audio, se realiza en etapas de baja potencia por medio de varios componentes electrónicos muy comunes pero bastante eficientes, los cuales se encuentran en el diseño de todos los circuitos presentes en este capítulo, en diferentes configuraciones para lograr un determinado objetivo o función específica.

3.2 AMPLIFICADOR NO INVERSOR CON GANANCIA

El amplificador no inversor no invierte la señal de salida con respecto a la señal de entrada. Debido a que se hace énfasis en los amplificadores de audio, hay un buen interés en el amplificador no inversor por su propiedad de proporcionar amplificación o ganancia.

En términos de ganancia, la configuración de no inversor no tiene diferencia. La diferencia entre los amplificadores inversores y no inversores, es que estos últimos son muy empleados en amplificadores dc. Pero en este proyecto, no se empleará para este fin, debido a la presencia de condensadores de acople utilizados en amplificadores de AC, los cuales eliminan cualquier componente DC permitiendo que las señales AC pasen a través de estos. Se puede observar en la figura 44 el circuito que demuestra esta teoría.

Figura 45. Amplificador No Inversor con Ganancia



Fuente: Diseño Autor

MATERIALES REQUERIDOS

- C1: TL 072
- R1: 100k Ω
- R2: 100k Ω
- R3: 5k Ω
- R4: 10k Ω
- RV1: 5k Ω
- C1: 100nF
- C2: 100nF
- C3: 100uF
- C4: 100nF
- C5: 0.1 μ F
- SW2: Switch SPST
- SW1: Switch SPDT-MOM

3.2.1 Descripción del circuito. Este circuito puede ser encontrado en circuitos de amplificación AC. Cuando se trabaja con un amplificador no inversor, se supone que la señal va en el terminal positivo no inversor del amplificador, es decir al pin No. 3. Si ya se han estudiado o construido amplificadores inversores, se puede observar la manera diferente en que se representa y se muestra el símbolo del Circuito Integrado respecto al amplificador no inversor. La señal de entrada está siempre dirigida hacia el terminal superior, de esta manera, los pines de entrada del Circuito Integrado están correctamente marcados. Se puede decir que los circuitos están intercambiados de acuerdo a la forma de conexión.

Aquí hay algo importante que destacar: en los amplificadores operacionales no inversores, la alimentación del divisor de voltaje siempre va hacia el terminal positivo no inversor. Para generar la alimentación del divisor de voltaje, se usa la misma combinación de dos resistencias y un condensador utilizada en el anterior circuito, pero hay una diferencia muy importante en este caso: Se usa una resistencia adicional conectada en serie de modo que la señal AC no se desvía a tierra. El circuito no funcionará sin este componente esencial en su diseño. Las resistencias para ajuste de ganancia se encuentran localizadas entre la salida y el terminal inversor. La resistencia de retroalimentación está bien, donde se espera que esté. La resistencia de retorno a tierra debería ir a través de un condensador cuando retorne a tierra. El condensador de retorno a tierra debe tener una impedancia baja a la frecuencia de interés; siempre y cuando se trabaje en el rango de frecuencias de audio, la frecuencia es de 10KHz y viene siendo el estándar de "frecuencia de audio". A 10KHz un condensador de 0.1uF tiene una impedancia de 159Ω , esto es prácticamente un corto circuito para todos los efectos. La ganancia se establece esencialmente por el cociente de la realimentación a la resistencia de retorno. Para este ejemplo, esta relación es $100K\Omega/10K\Omega$ lo cual nos da una ganancia aproximada de 10. Este es el mismo valor del condensador de acople usado para llevar la señal dentro y fuera del amplificador. Una impedancia en serie de 159Ω no afecta la amplitud de la señal en ningún grado apreciable. Accidentalmente, un valor de 0.01uF ($1.59K\Omega$ de impedancia), el cual es diez veces más pequeño, definitivamente produce una notable atenuación de la señal. Por lo que normalmente nos afianzamos en un valor de 0.1uF. Para aumentar un poco más el bajo (baja frecuencia), un incremento a 0.47uF está bien.

Como consejo para el montaje se debe tener en cuenta los requerimientos de polaridad del condensador C3 y que el potenciómetro RV1 se encuentre en el valor máximo. Además, de los niveles de señal de entrada empleados para este circuito, ya que en la salida puede presentarse distorsión o saturación debido a la ganancia. Recuerde polarizar el amplificador operacional desde un principio, ya que sin este requisito, se pueden causar daños al componente electrónico.

Al momento de realizar las pruebas y ajustes alimente el dispositivo y mida el voltaje en el divisor de tensión en el punto de unión entre R3 y RV1. Debería ser la

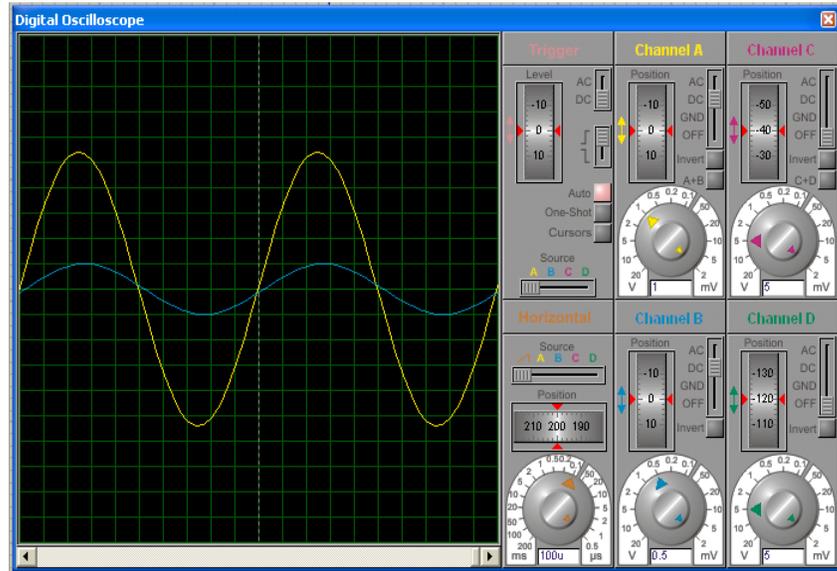
mitad del voltaje de alimentación. Ajuste una condición de referencia conectando una fuente de señal de bajo nivel, la forma más simple podría ser un micrófono conectado en su amplificador de potencia. Mantenga el volumen tan bajo como sea posible hasta que sea apenas audible, ya que se necesita verificar con los oídos cuando el volumen sea más fuerte con el preamplificador conectado. Estando satisfecho de que el circuito está correctamente ajustado, se conecta la salida del preamplificador a la entrada del amplificador de potencia. Esta vez, la señal de salida del micrófono debería ser definitivamente más fuerte. Se puede intentar con otras señales, podría ser una señal de radio, pero teniendo en cuenta de que el nivel de esta señal debe ser bajo. Si se produce un incremento en la ganancia de la señal, se asume que el circuito está trabajando correctamente.

3.2.2 Simulación del circuito. Para ser más breves, se mostrarán las señales de entrada y salida del circuito. La ganancia de este amplificador se halla con la ecuación: $V_{out}/V_{in} = (1 + R_2/R_1)$. Por lo tanto, la ganancia neta del circuito sería de $10 + 1 = 11$, según los valores de resistencia empleados.

Ajuste la configuración del generador de señales, para producir una onda seno con frecuencia de 1KHz (Rango audible) y amplitud de 500mVp. Esta onda producida por el generador de señales corresponde la señal de entrada.

La figura 46 ilustra la pantalla del osciloscopio, para este caso, la señal de entrada es de color azul, y la señal de salida es de color amarillo. Para comprobar el funcionamiento del circuito amplificador, se necesita revisar los ajustes de configuración del osciloscopio para cada señal. La señal de entrada tiene una amplitud de 500mV, es decir 1V pico a pico. Según la figura 46 ocupa 2 divisiones de 0.5V/div. En el caso de la señal de salida (color amarillo), ocupa 11 divisiones de 1V/div, que corresponden a 11 V pico a pico. Con esto se demuestra que el circuito cumple los requisitos para el cual fue diseñado, ya que se obtiene una ganancia neta de 11.

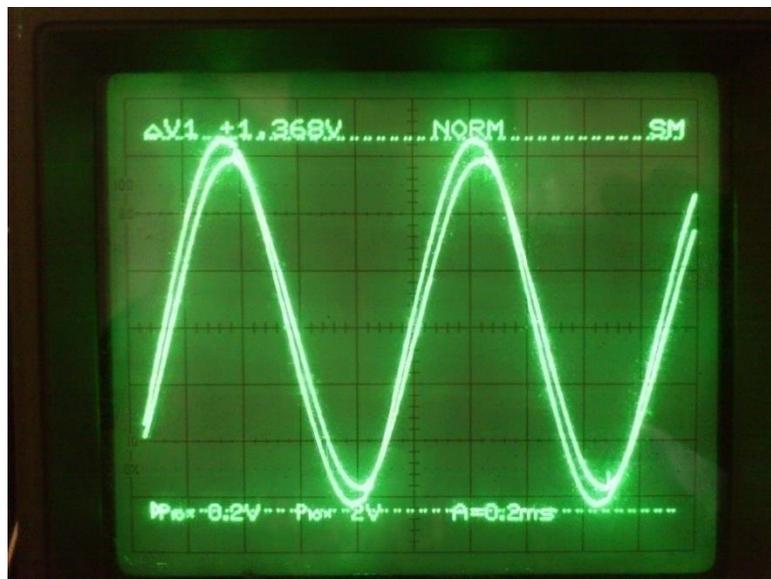
Figura 46. Señales del osciloscopio simuladas en “Proteus u otro simulador”



Fuente: Diseño Autor

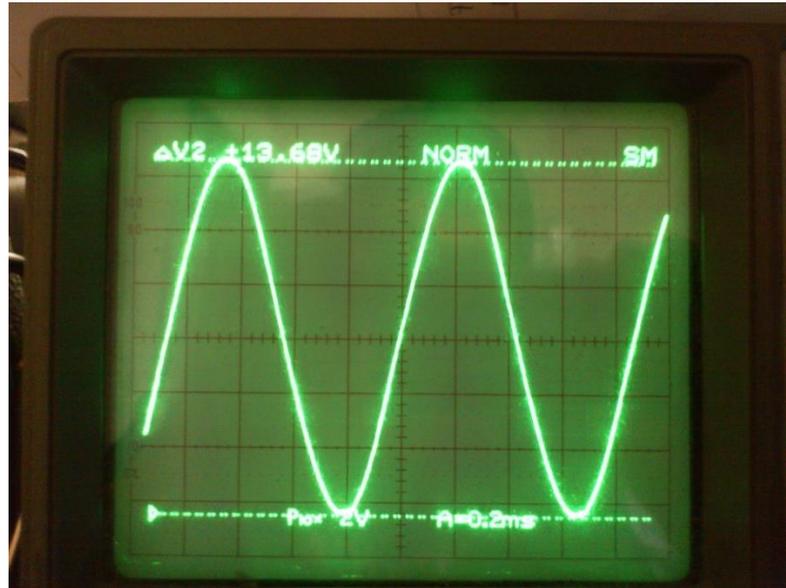
3.2.3 Prueba real. De igual forma como se realizó en la simulación se debe ajustar la configuración del generador de señales para producir una onda seno con frecuencia de 1KHz (Rango audible) y amplitud de 500mV. La figura 47 ilustra la pantalla del osciloscopio.

Figura 47. Entrada y Salida



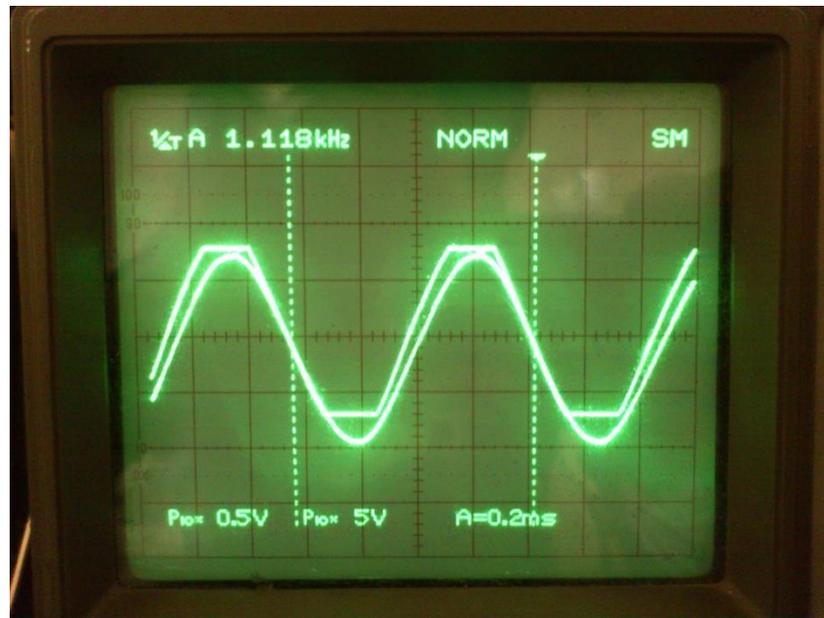
Fuente: Diseño Autor

Figura 48. Salida



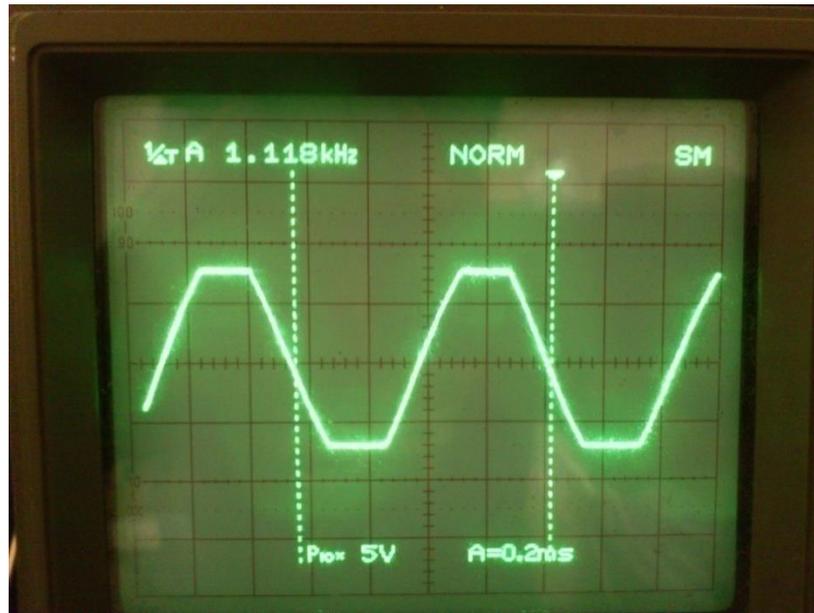
Fuente: Diseño Autor

Figura 49. Entrada y salida en saturación



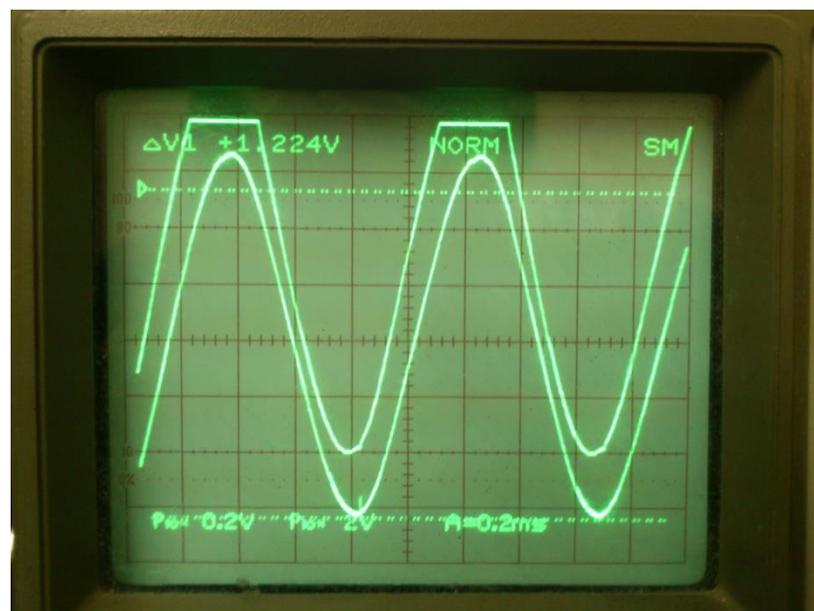
Fuente: Diseño Autor

Figura 50. Salida en saturación



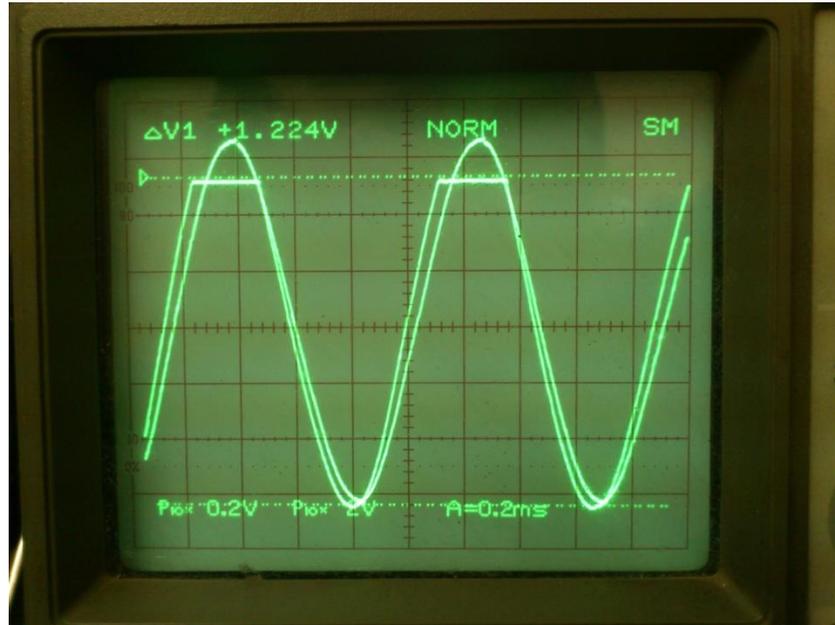
Fuente: Diseño Autor

Figura 51. Entrada y salida con nivel de DC. Acoplamiento de salida DC.



Fuente: Diseño Autor

Figura 52. Corrección nivel de DC. Acoplamiento de salida AC.

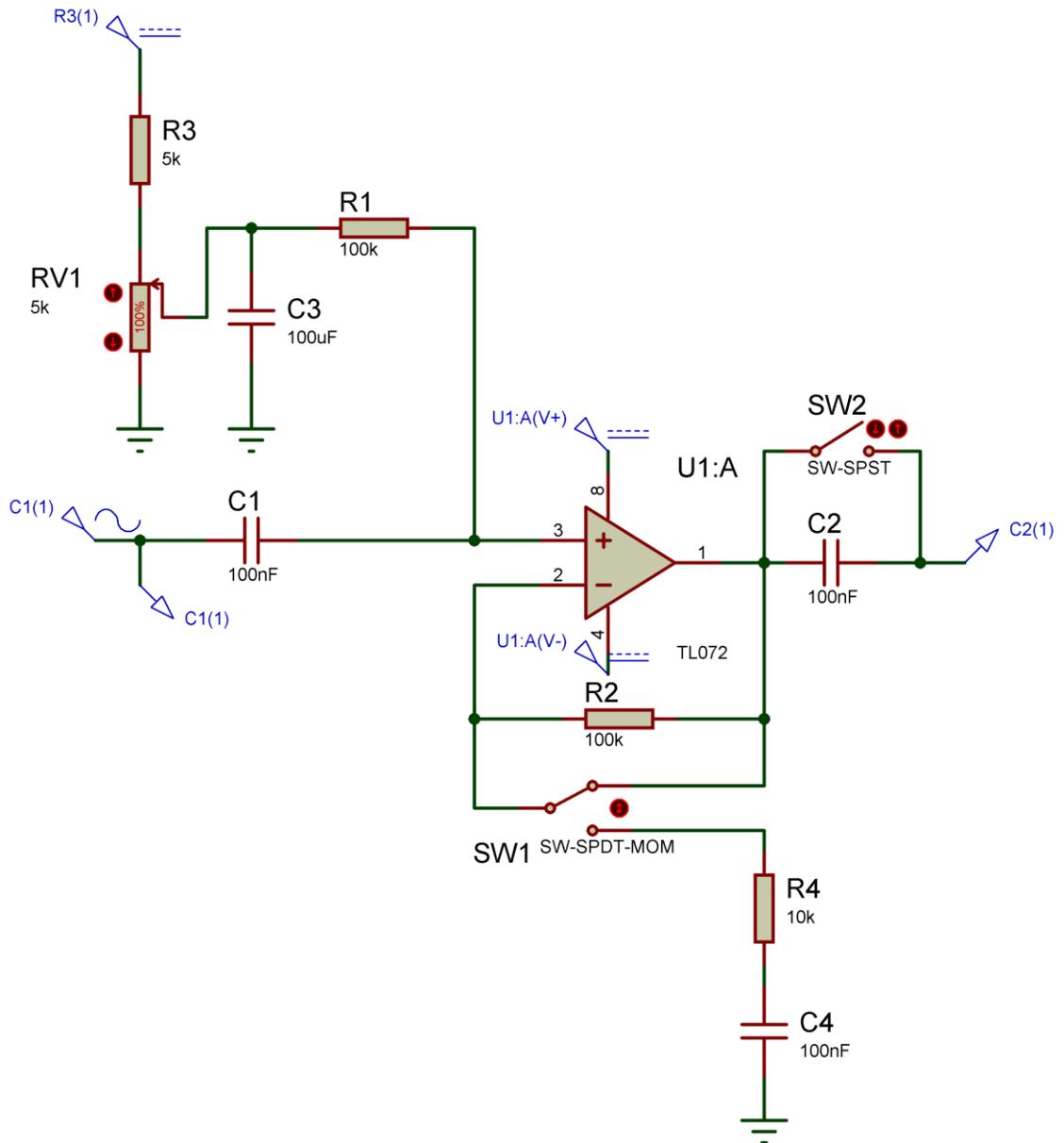


Fuente: Diseño Autor

3.3 BUFFER NO INVERSOR

La ganancia de los buffers es muy pequeña (alrededor de $x1$). Lo que significa que la señal de salida es igual a la señal de entrada. El circuito buffer permite que la señal de entrada no se sobrecargue cuando se presenten cargas de baja impedancia. El buffer no inversor de ganancia $x1$ reúne los requisitos para resolver problemas de cargas con baja impedancia. El buffer no inversor planteado se muestra en la figura 53.

Figura 53. Buffer No Inversor



Fuente: Diseño Autor

MATERIALES REQUERIDOS

- C1: TL 072
- R1: 100k Ω
- R2: 100k Ω
- R3: 5k Ω
- R4: 10k Ω
- RV1: 5k Ω
- C1: 100nF
- C2: 100nF
- C3: 100uF
- C4: 100nF
- C5: 0.1 μ F
- SW2: Switch SPST
- SW1: Switch SPDT-MOM

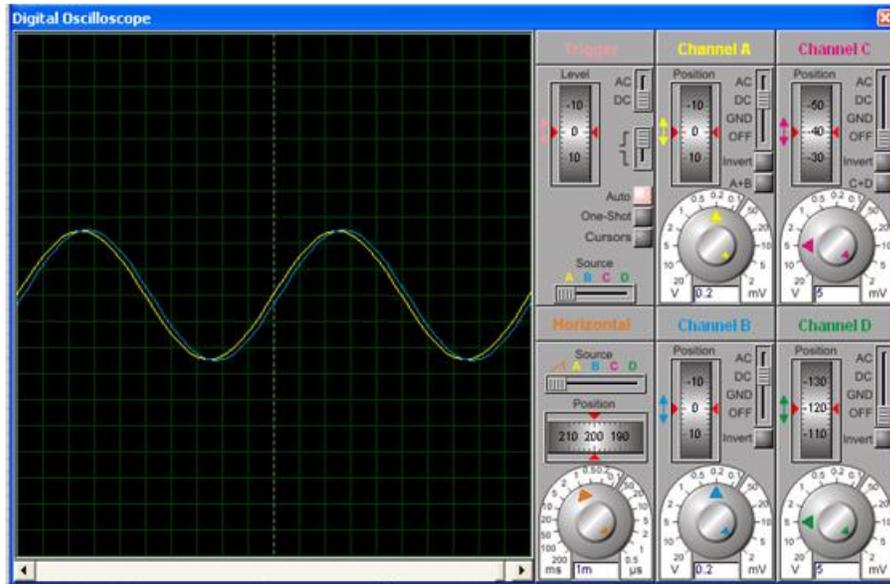
3.3.1 Descripción del circuito. El buffer no inversor no produce inversión de fase entre la salida y la señal de entrada, aunque para aplicaciones de audio este factor no tiene especial relevancia. Un buffer provee muy buen aislamiento entre dos etapas de señal, y, manteniendo estas propiedades de aislamiento, tiene una ganancia unitaria que proporciona neutralidad adicional. La alta impedancia de entrada es la característica para que los buffer inhiban cualquier efecto de carga en la señal. La baja impedancia de salida de los buffers facilita la conexión de una etapa con la siguiente.

Como consejo para el montaje tenga en cuenta que este circuito no emplea muchos componentes, por lo que debería construirse en un solo intento. Emplee conectores para el circuito integrado, esto hace más fácil su reemplazo. Se debe tener en cuenta los requerimientos de polaridad del condensador C3. Recuerde polarizar el amplificador operacional desde un principio, ya que sin este requisito, se pueden causar daños al componente electrónico.

3.3.2 Simulación del circuito. Ajuste la configuración del generador de señales, para producir una onda seno con frecuencia de 1KHz (Rango audible) y amplitud de 500mV. Esta onda producida por el generador de señales corresponde la señal de entrada.

La figura 54 ilustra la pantalla del osciloscopio, para este caso, la señal de entrada es de color azul, y la señal de salida es de color amarillo. Observe que la forma de onda es idéntica.

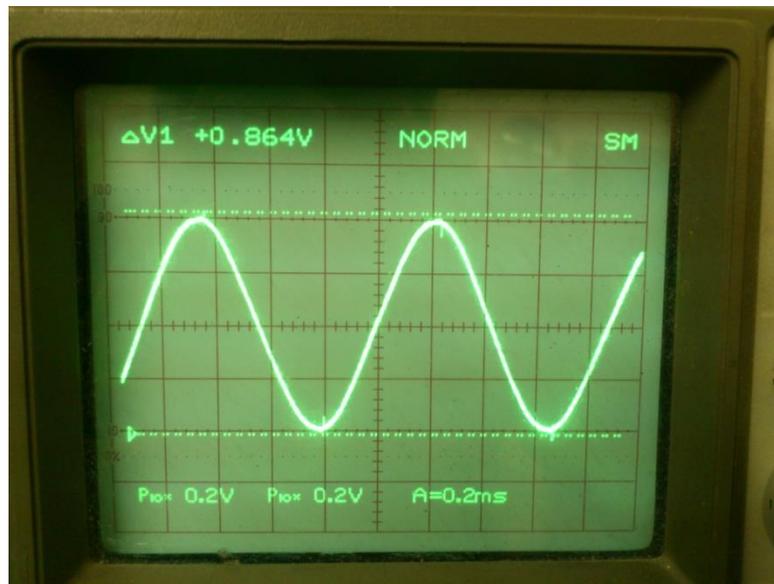
Figura 54. Señales del osciloscopio simuladas en “Proteus u otro simulador”



Fuente: Diseño Autor

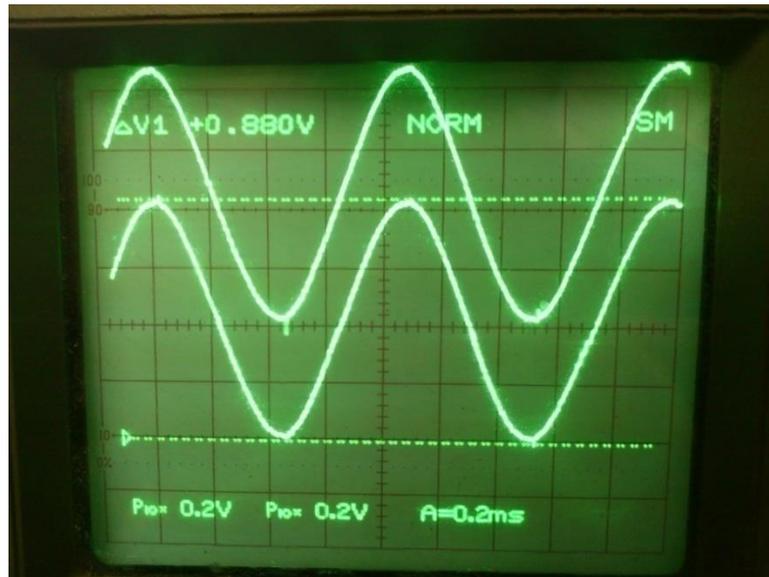
3.3.3 Prueba Real. De igual forma como se realizó en la simulación se debe ajustar la configuración del generador de señales para producir una onda seno con frecuencia de 1KHz (Rango audible) y amplitud de 500mV. La figura 55 ilustra la pantalla del osciloscopio.

Figura 55. Entrada y Salida



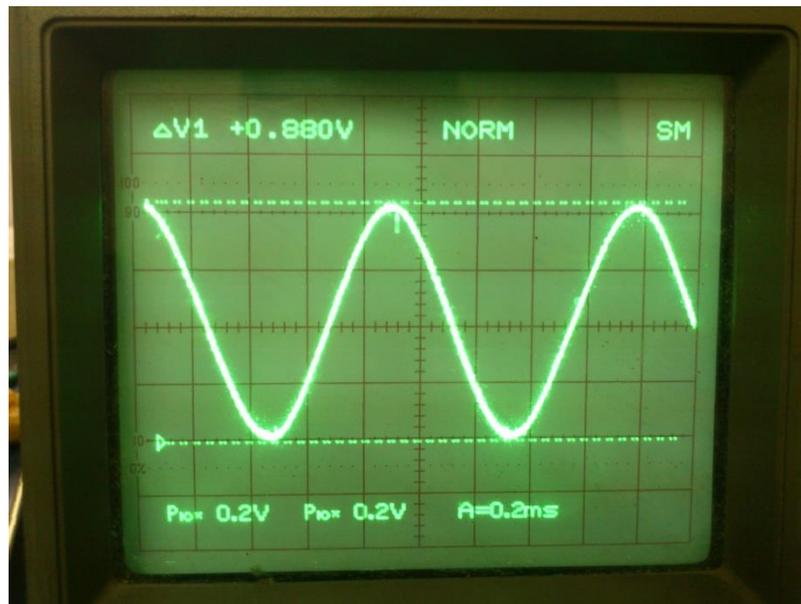
Fuente: Diseño Autor

Figura 56. Entrada y Salida con nivel DC. Acoplamiento de salida DC.



Fuente: Diseño Autor

Figura 57. Corrección nivel DC. Acoplamiento de salida AC.

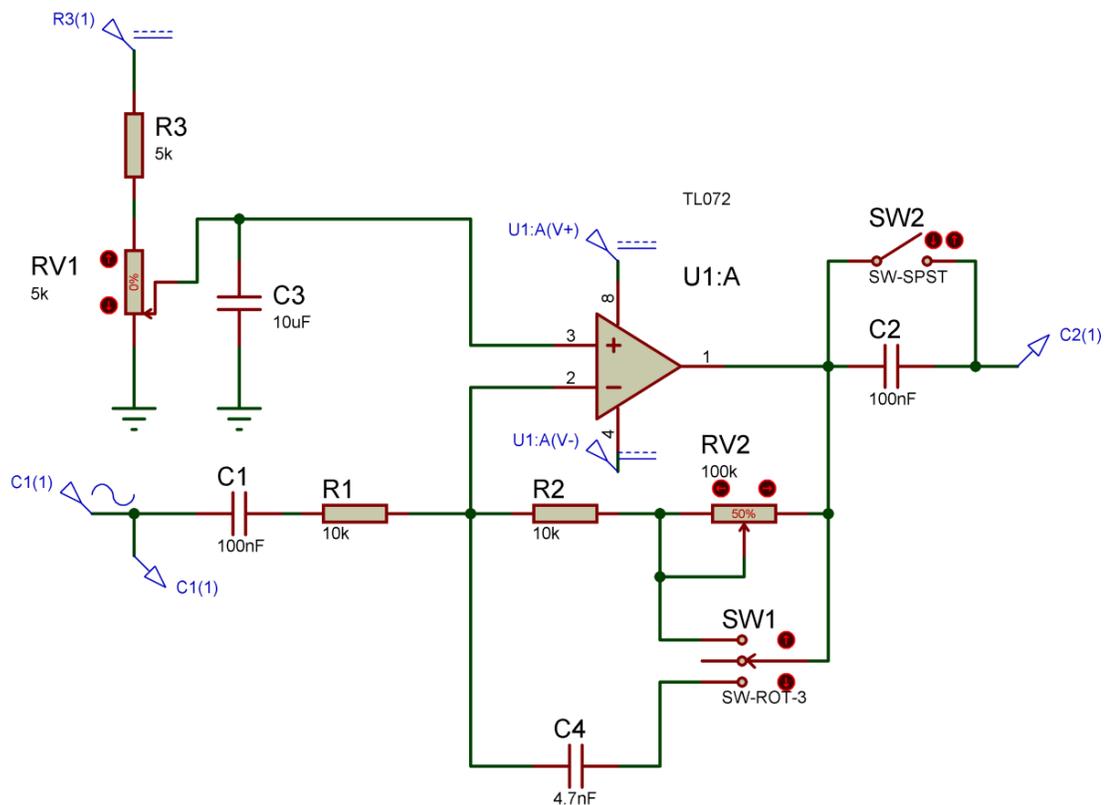


Fuente: Diseño Autor

3.4 AMPLIFICADOR INVERSOR CON GANANCIA VARIABLE

El amplificador operacional básico se puede transformar en un mejor instrumento adicionando sólo un componente. Como se sabe, la ganancia del amplificador por una parte se controla mediante la resistencia de realimentación, de modo que si se varía, la ganancia también variará. El componente extra, es un potenciómetro conectado en el lazo de realimentación, ubicado donde estaría la resistencia de realimentación. Para aplicaciones de audio, una ganancia variable es bastante útil. Se necesita una característica adicional aumentar la ganancia al máximo sin crear distorsión. El circuito mostrado en la figura 58 muestra el proyecto a realizar.

Figura 58. Amplificado inversor con ganancia variable



Fuente: Diseño Autor

MATERIALES REQUERIDOS

- C1: TL 072
- R1: 10k Ω
- R2: 10k Ω
- R3: 5k Ω
- RV1: 5k Ω
- RV2: 100k Ω
- C1: 100nF
- C2: 100nF
- C3: 10uF
- C4: 4.7nF
- SW2: Switch SPST
- SW1: Switch SW-ROT-3

3.4.1 Descripción del circuito. Este circuito ofrece una ganancia variable entre 1 y 10, un rango que satisface las necesidades de muchas aplicaciones. Debido a que el preamplificador probablemente alimente una etapa posterior del amplificador de potencia, no se requiere que la ganancia sea demasiado alta; de lo contrario lo único que se hace es sobrecargar el amplificador final y obtener una salida distorsionada. Adicionando el control de ganancia incluirá versatilidad para este proyecto, porque se puede calibrar la sensibilidad relativa de varios dispositivos de entrada (por ejemplo, micrófonos), ajustando la ganancia para un nivel de salida constante.

Generalmente hay cuatro opciones para variar la ganancia:

1. La más eficiente y mejor manera de ajustar la ganancia, es variar la resistencia de realimentación, como lo muestra este circuito.
2. Variar la resistencia de entrada tiene la desventaja de ajustar también la impedancia de entrada, esta consecuencia no es deseable en el punto de vista de diseño de circuitos, porque la impedancia de entrada debería ser un valor fijo.
3. Se podría mantener la ganancia del circuito alta y variar la señal de entrada a través de un potenciómetro. Pero ajustando el amplificador operacional a una gran ganancia generará más ruido, y este será constante independientemente del estado de la ganancia. Este efecto secundario sería indeseable, sin embargo, es una manera de proporcionar control de volumen a la etapa del amplificador.
4. Otra opción para variar la ganancia, es situar el control de volumen al final de la salida y mantener una ganancia alta constante. Cualquier ruido podría estar presente con este método, de esta manera, si se conecta el control de volumen a la salida no sería un método altamente recomendado de control de ganancia.

Note que en el esquemático hay una resistencia fija, R2, conectada en serie con la resistencia variable, RV2 (Actualmente es un potenciómetro con dos terminales usados). El propósito de esta resistencia extra, es prevenir que la resistencia de realimentación llegue a cero, este caso sería en un extremo del potenciómetro. La resistencia en serie extra R2 (10KΩ) mantiene la mínima resistencia de realimentación a 10KΩ. Con la resistencia R2 en conjunto con el valor del componente mostrado para la resistencia de entrada R1, la ganancia sería $10K\Omega/10K\Omega = 1$. En el otro lado o terminal del ajuste de RV1, se tendría una resistencia total alrededor de 110kΩ. La ganancia en este caso es $110k\Omega/10 K\Omega = 11$.

Como consejo para el montaje se debe tener en cuenta los requerimientos de polaridad del condensador C3. Además, se deben verificar los niveles de señal de entrada empleados para este circuito, ya que en la salida puede presentarse distorsión o saturación debido a la ganancia. Recuerde polarizar el amplificador operacional desde un principio, ya que sin este requisito, se pueden causar daños

al componente electrónico. Emplee cables flexibles para conectar el potenciómetro, debido a que esto es un componente mecánico y se pueden presentar movimientos que desplacen a los terminales del potenciómetro.

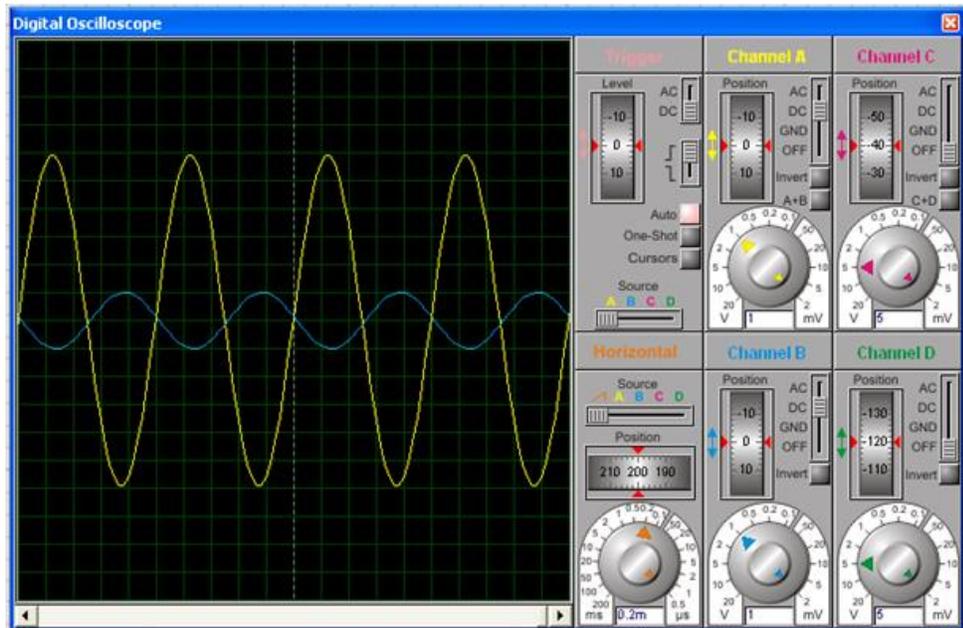
Al momento de realizar las pruebas se necesitará de algún amplificador de potencia para controlar la salida de este proyecto con el fin de verificar que el circuito está funcionando correctamente. Cualquier tipo de señal de entrada puede ser usada. Porque para los preamplificadores con alta capacidad de ganancia, un nivel de señal bajo como la de un micrófono, puede ser usada. Con un amplificador de potencia y un parlante conectados, y una señal alimentando la entrada, la prueba es muy simple.

Se empieza con el control de ganancia en la posición más baja; la perilla debe ser girada hacia toda la dirección en contra de las manecillas del reloj. Con la señal alimentando la entrada, avance el control de ganancia, y el sonido se debe incrementar consecuentemente. El máximo ajuste de ganancia podría causar retroalimentación y chillido del parlante, esto depende de la ganancia del amplificador de potencia y la proximidad del parlante al micrófono, pero ya con esto se asegura que el circuito está funcionando correctamente.

3.4.2 Simulación del circuito. Debido a la alta ganancia que se puede obtener ($\times 10$) en la salida del circuito, se simulará con una señal de baja amplitud en la entrada. La señal de entrada tiene una amplitud de 500mV pico, con una frecuencia de 1KHz (Rango audible).

La figura 59 muestra las dos señales, de entrada y salida. La señal de entrada es de color azul, y la señal de salida es de color amarillo. En este caso, se ajusta el potenciómetro RV2 a la posición del 50%, y la ganancia obtenida es aproximadamente 6. El osciloscopio es configurado como lo muestra la figura 58. Para la señal de entrada, el selector de amplitud de voltaje se encuentra seleccionado en 1V/div, y como se puede observar, se ocupan 2 divisiones que corresponden a 2V pico a pico. La señal de salida debería ser una réplica de la señal de entrada con un desfase de 180 grados, ya que el selector de amplitud de voltaje del osciloscopio se encuentra en las mismas condiciones que el selector de la señal de entrada. Las divisiones que ocupa esta señal de salida son casi 12, que corresponden a 12V pico a pico. Por tanto, la ganancia es de 6 como era de esperarse.

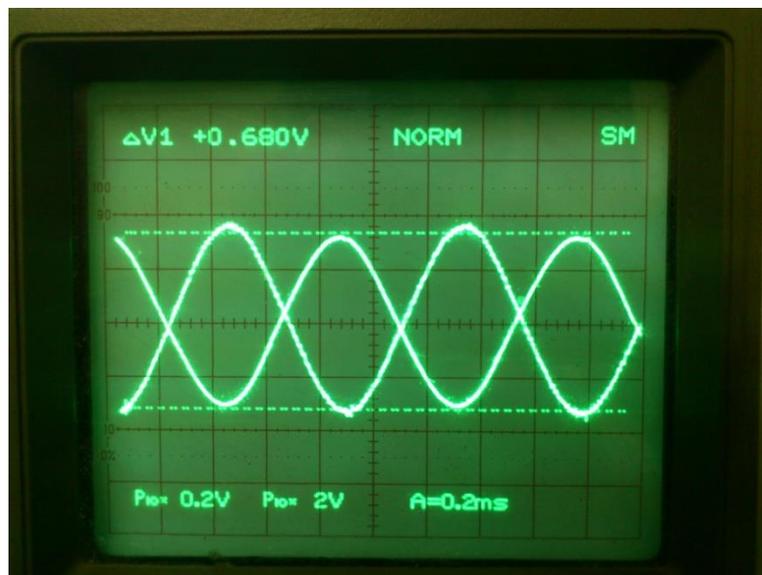
Figura 59. Señales del osciloscopio simuladas en “Proteus u otro simulador”



Fuente: Diseño Autor

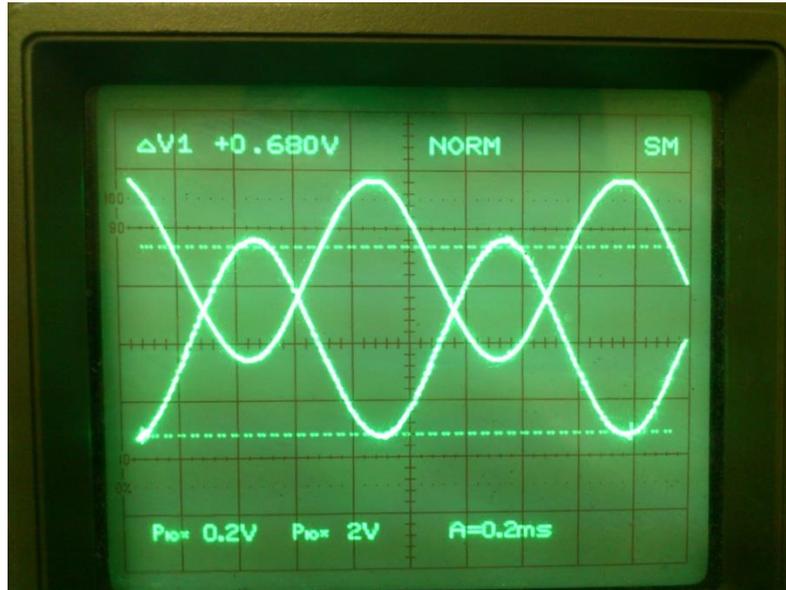
3.4.3 Prueba Real. De igual forma como se realizó en la simulación se debe ajustar la configuración del generador de señales para producir una onda seno con frecuencia de 1KHz (Rango audible) y amplitud de 500mV. La figura 60 ilustra la pantalla del osciloscopio.

Figura 60. Entrada y Salida



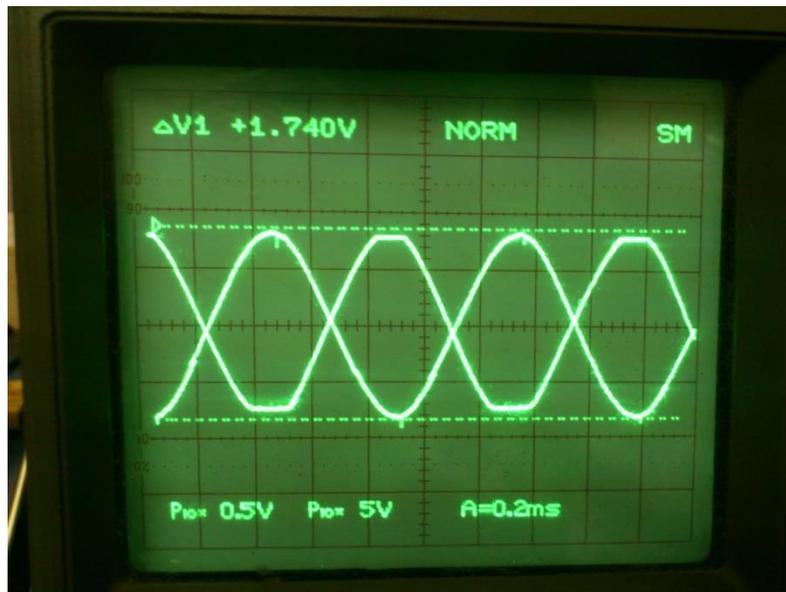
Fuente: Diseño Autor

Figura 61. Entrada y Salida con nivel DC. Acoplamiento de salida DC.



Fuente: Diseño Autor

Figura 62. Entrada y Salida en saturación. Acoplamiento de salida AC.



Fuente: Diseño Autor

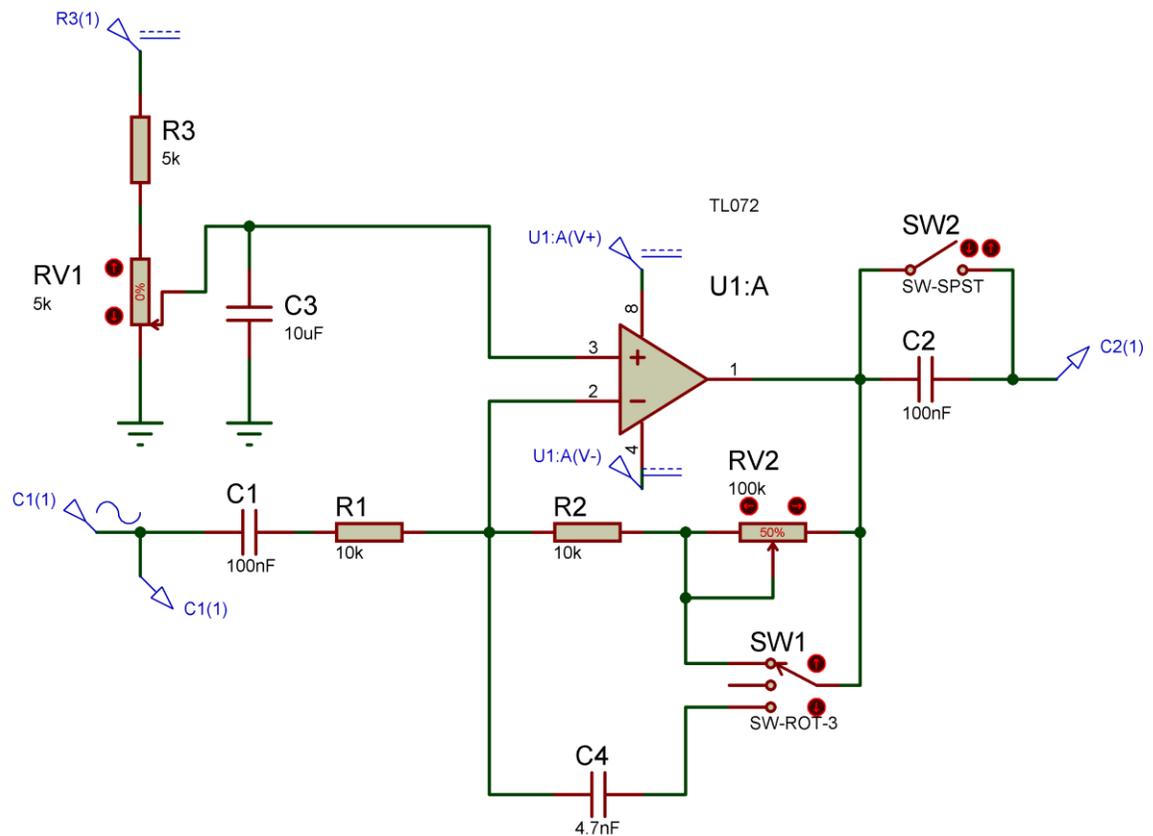
3.5 BUFFER INVERSOR

Cuando se necesita hablar sobre el acople o interfaz entre dos circuitos, el buffer inversor es muy útil aplicarlo. La impedancia de salida del buffer es baja, por lo tanto, si se requiere conectar una carga de baja impedancia, este circuito es el

más adecuado. Por lo visto anteriormente, la salida de los amplificadores se ve afectada por cargas de baja impedancia. Este circuito tiene una impedancia de entrada alta. La ganancia x1 del buffer no es mala idea después de todo. Realmente el buffer es un convertidor de impedancia: convierte una fuente de alta impedancia en una fuente de baja impedancia, por ende, se puede alimentar la señal regulada a una carga de baja impedancia.

Este circuito no tiene la capacidad de controlar mucha corriente, pero para controlar o hacer funcionar medidores, multímetros, es más que suficiente. Este buffer inversor se diseña de acuerdo a la figura 63.

Figura 63. Buffer Inversor



Fuente: Diseño Autor

MATERIALES REQUERIDOS

- C1: TL 072
- R1: 10kΩ
- R2: 10kΩ
- R3: 5kΩ
- RV1: 5kΩ
- RV2: 100kΩ
- C1: 100nF
- C2: 100nF
- C3: 10uF
- C4: 4.7nF
- SW2: Switch SPST
- SW1: Switch SW-ROT-3

3.5.1 Descripción del circuito. Un buffer es un circuito que produce una ganancia de $x1$. Donde la fuente posee un nivel de señal altamente insuficiente, para esto no se adiciona ganancia, sino que se usa la configuración de ganancia unitaria.

Como lo indica su nombre, se está construyendo un buffer inversor, ya que la señal va hacia el terminal negativo (Pin No.2) a través del condensador de entrada C1. La ganancia es unitaria ya que las dos resistencias de realimentación son iguales. La configuración del circuito tiene una alta impedancia, por lo tanto no se carga la alimentación de la señal en el circuito. Tiene una baja impedancia, que facilita controlar la salida en la etapa siguiente.

Como consejo para el montaje emplee conectores para el circuito integrado, esto hace más fácil su reemplazo. Se debe tener en cuenta los requerimientos de polaridad de los condensadores. Recuerde polarizar el amplificador operacional desde un principio, ya que sin este requisito, se pueden causar daños al componente electrónico.

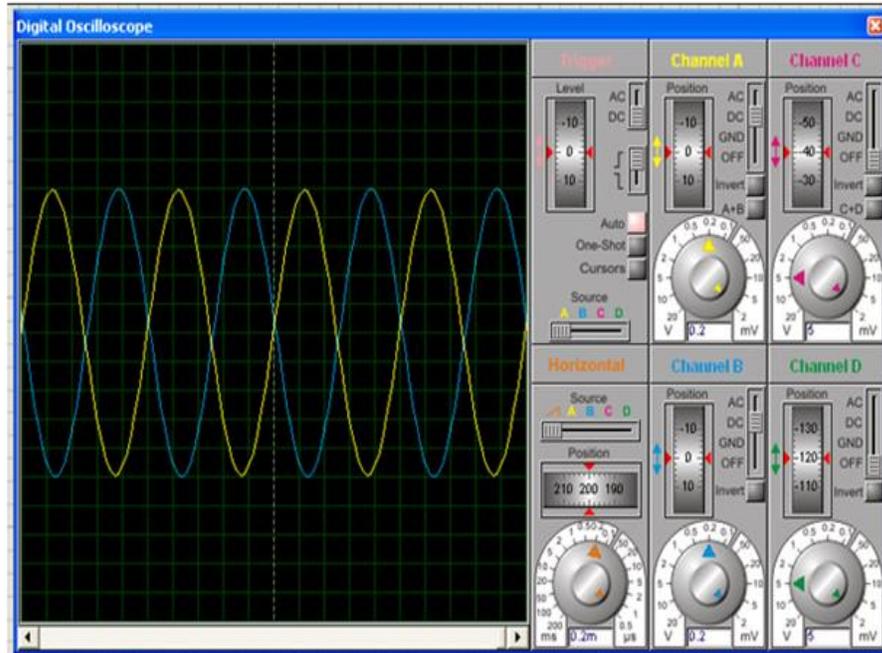
Al momento de realizar las pruebas tenga en cuenta que la configuración de ajuste para el circuito buffer es algo diferente respecto a los demás circuitos cuyas funciones son bastante obvias. Para evaluar el buffer se debe tener más cuidado. Se necesitará alimentarlo con una señal para comenzar. Con el atenuador en la entrada, una simple señal de radio puede ser usada. La salida del buffer necesita ser monitoreada; podría ser con un regular amplificador de potencia alimentando un parlante.

Una vez el ajuste esté funcionando, se puede conectar una resistencia variable entre la salida del buffer y tierra. Como la resistencia de derivación es reducida (use un valor inicial de $100k\Omega$), se puede detectar el punto en el que la señal es notablemente reducida. La resistencia de derivación puede ser medida para dar un punto de referencia al buffer.

3.5.2 Simulación del circuito. Ajuste la configuración del generador de señales, para producir una onda seno con frecuencia de 1KHz (Rango audible) y amplitud de 500mV. Esta onda producida por el generador de señales corresponde la señal de entrada.

La figura 64 ilustra la pantalla del osciloscopio, para este caso, la señal de entrada es de color azul, y la señal de salida es de color amarillo. Observe que la forma de onda es idéntica.

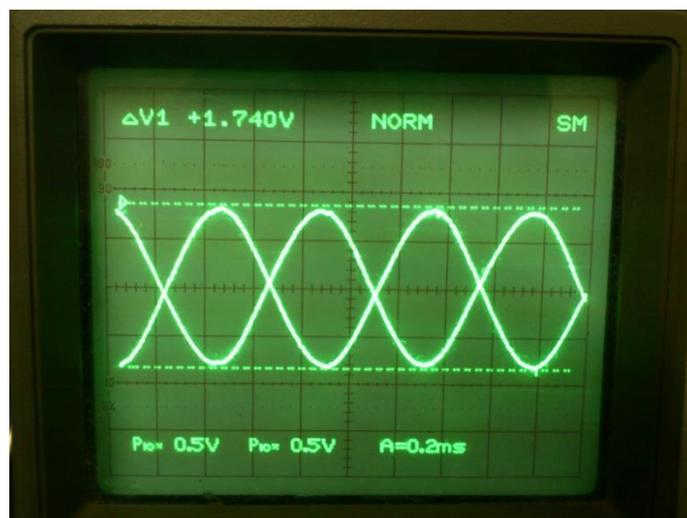
Figura 64. Señales del osciloscopio simuladas en “Proteus u otro simulador”



Fuente: Diseño Autor

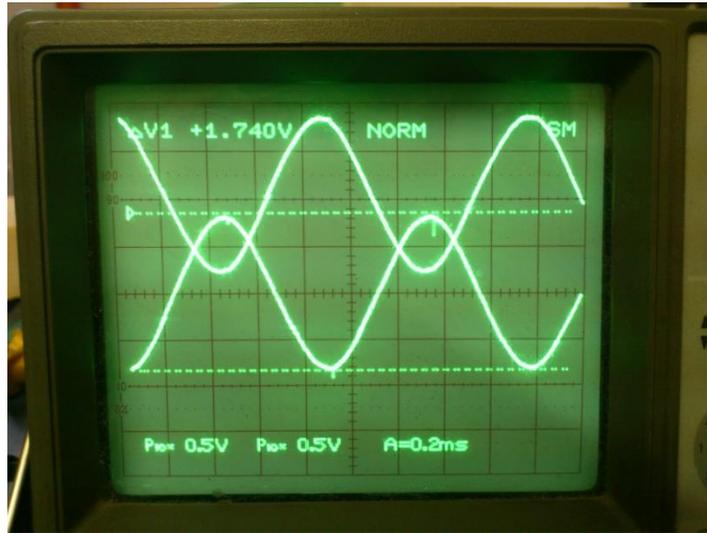
3.5.3 Prueba Real. De igual forma como se realizó en la simulación se debe ajustar la configuración del generador de señales para producir una onda seno con frecuencia de 1KHz (Rango audible) y amplitud de 500mV. La figura 65 ilustra la pantalla del osciloscopio.

Figura 65. Entrada y Salida



Fuente: Diseño Autor

Figura 66. Entrada y Salida con nivel DC. Acoplamiento de salida DC.



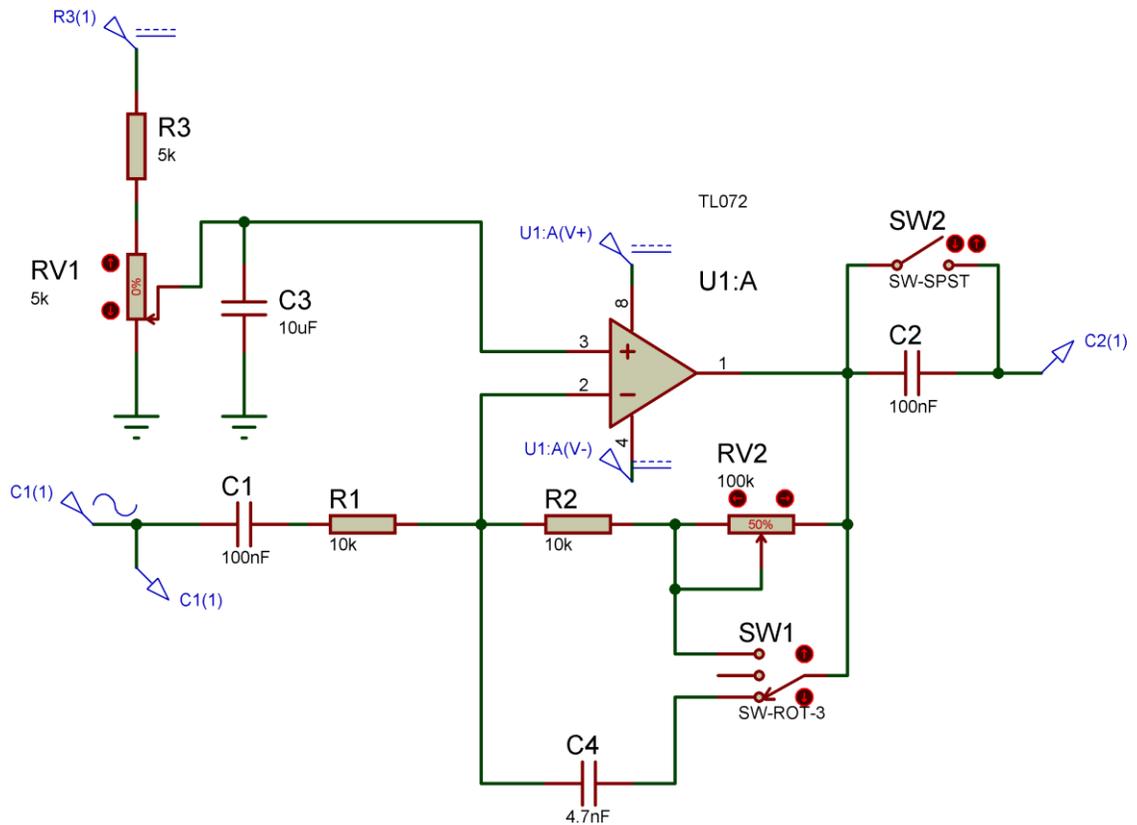
Fuente: Diseño Autor

3.6 AMPLIFICADOR INVERSOR DE ALTA GANANCIA CON FILTRO DE CORTE DE ALTA FRECUENCIA (HF)

La ganancia de los amplificadores operacionales puede ser incrementada fácilmente hacia altos valores, solamente con aumentar la resistencia de realimentación y disminuyendo la resistencia de entrada.

Al mismo tiempo, el circuito podría llegar a ser inestable y oscilar debido a la alta ganancia, o porque mucho ruido puede ser generado. Adicionando un condensador de derivación al lado de la resistencia de realimentación, sería una técnica efectiva para controlar la estabilidad del amplificador y reducir los sonidos de alta frecuencia. La ganancia del circuito es excesivamente alta debido al alto valor de la resistencia de realimentación ($100\text{k}\Omega$). Este amplificador se muestra en la figura 67.

Figura 67. Inversor de Alta Ganancia con Filtro de Corte de Alta Frecuencia



Fuente: Diseño Autor

MATERIALES REQUERIDOS

- C11: TL 072
- R1: 10kΩ
- R2: 10kΩ
- R3: 5kΩ
- RV1: 5kΩ
- RV2: 100kΩ
- C1: 100nF
- C2: 100nF
- C3: 10µF
- C4: 4.7nF
- SW2: Switch SPST
- SW1: Switch SW-ROT-3

3.6.1 Descripción del circuito. La configuración del amplificador operacional inversor mostrada es más compleja que las anteriormente vistas. Tiene una alta ganancia de x11, determinada por el cociente de $R2+RV2$ y $R1$ ($110K\Omega/10K\Omega$). No hay límite para la respuesta de alta frecuencia usando solo $R2$ y $R1$, por consiguiente un condensador de derivación ($C4$) es incluido de manera conmutable usando el interruptor $S1$. El condensador $C4$ ($4.7nF$) causa que la ganancia del amplificador disminuya dramáticamente cuando se incrementa la frecuencia. A $10KHz$ la impedancia del condensador es $3.39K\Omega$. En paralelo con la resistencia $R2+RV2$ de $110k\Omega$, la resistencia resultante es de $3.28K\Omega$, esto es

prácticamente el mismo valor de la impedancia del condensador. Cuando las dos resistencias son conectadas en paralelo, en este caso, la resistencia resultante es dominada por la de valor más pequeño. A la baja frecuencia de 1kHz, la impedancia de C4 se incrementa a 33.9KΩ, y a 100Hz se incrementa a 339KΩ.

Por lo tanto, se observa que la ganancia (con C4 conectado) cae en cuanto la frecuencia es incrementada, produciendo un corte más suave para la alta frecuencia. Si se requiere de una frecuencia de corte más alta, se prueba con un valor dos veces más grande que el condensador C4. La ganancia es reducida como corresponde.

Lo interesante es observar como la ganancia disminuye con las frecuencias para C4 = 0.0047uF y C4 = 0.01uF. Primero se normaliza la ganancia al valor más alto; en este caso se normaliza la ganancia a 100Hz. Esto implica dividir este número entre los otros números de ganancia. Este cálculo arroja claramente la dependencia que hay entre la ganancia y la frecuencia. El resultado es multiplicado por 100 para convertirlo en porcentaje.

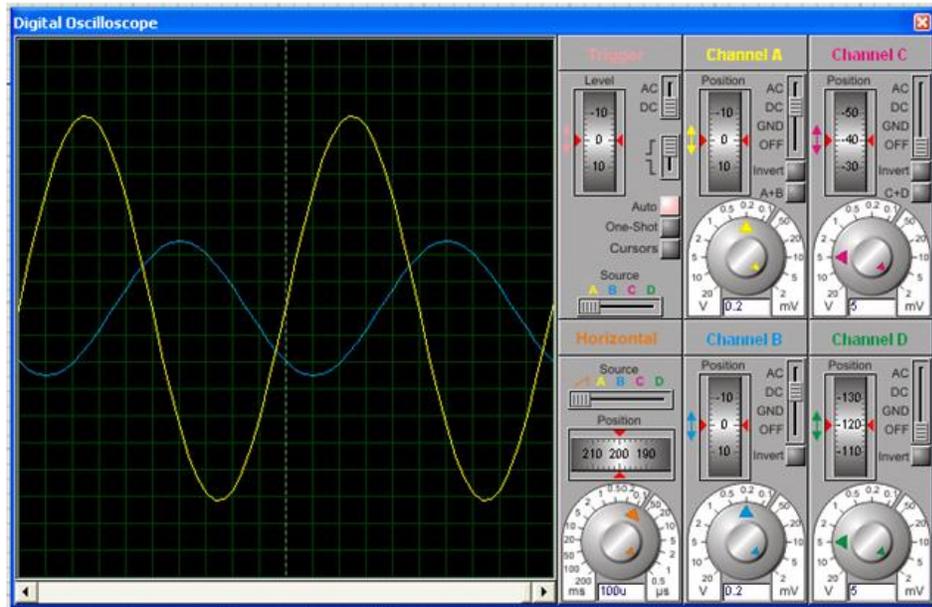
Debido a la presencia del control de volumen de entrada RV1 y el interruptor de filtrado S1, hay que tener cuidado con la conexión de estos componentes mecánicos para no causar daños por medio de los cables, o causar algún corto circuito. Se debe tener en cuenta los requerimientos de polaridad de los condensadores. Recuerde polarizar el amplificador operacional desde un principio, ya que sin este requisito, se pueden causar daños al componente electrónico.

Para escuchar el impacto del filtro de alta frecuencia, es esencial alimentar esta entrada a un amplificador de potencia. La fuente de señal debe tener bajo nivel debido a que la etapa de ganancia debe ser ajustada a su máximo valor.

3.6.2 Simulación del circuito. Ajuste la configuración del generador de señales, para producir una onda seno con frecuencia de 1KHz (Rango audible) y amplitud de 500mV. Esta onda producida por el generador de señales corresponde la señal de entrada.

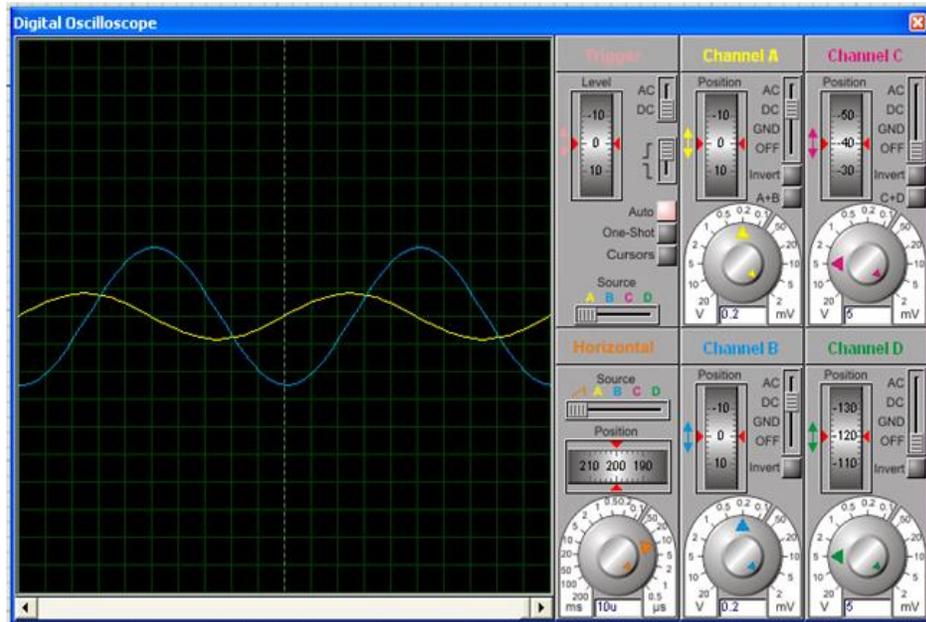
Se realizan dos pruebas con frecuencias diferentes. El resultado puede verse en las figuras 68 y 69 muestran las señales, mencionadas anteriormente. Observe la ganancia mayor con frecuencia de 1kHz. También note el desfase entre entrada y salida.

Figura 68. Señales de entrada y salida a frecuencia de 1kHz



Fuente: Diseño Autor

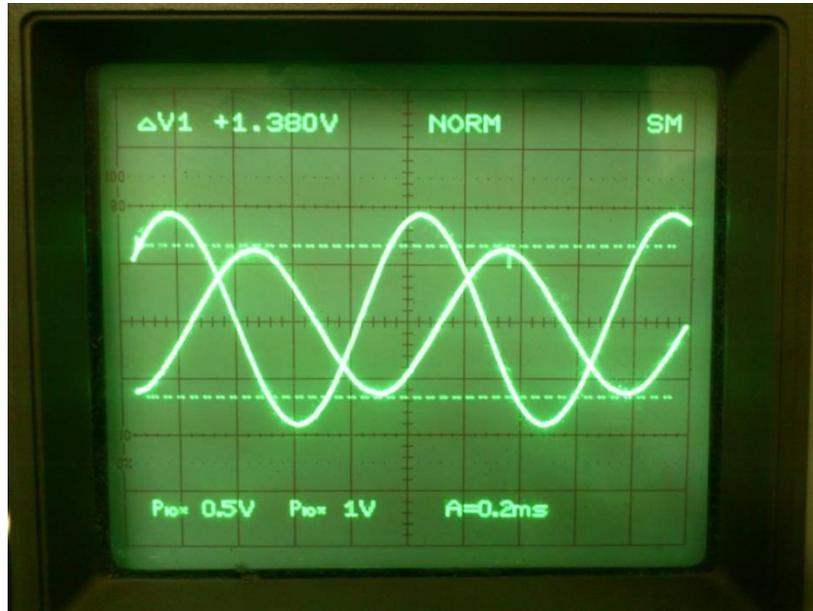
Figura 69. Señales de entrada y salida a frecuencia de 10kHz



Fuente: Diseño Autor

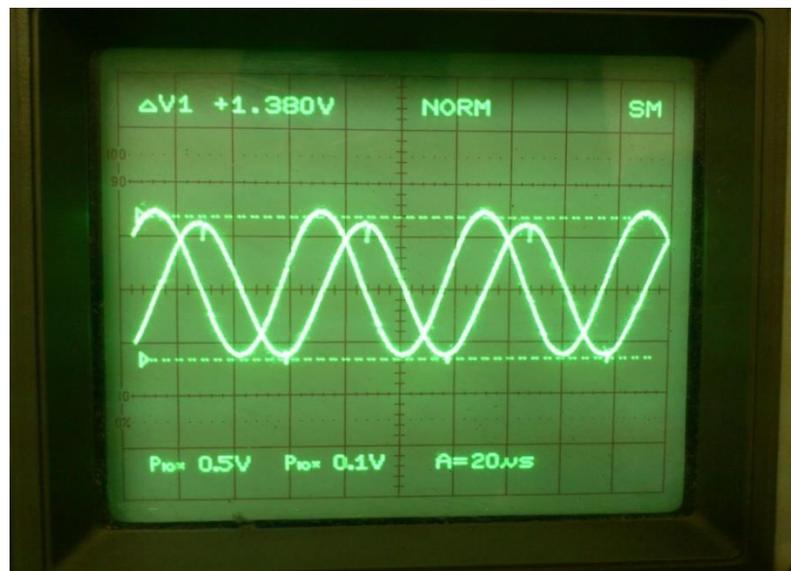
3.6.3 Prueba real. De igual forma como se realizó en la simulación se debe ajustar la configuración del generador de señales para producir una onda seno con frecuencia de 1KHz (Rango audible) y amplitud de 500mV. La figura 70 ilustra la pantalla del osciloscopio. Se repite el procedimiento para 10kHz.

Figura 70. Señales de entrada y salida a frecuencia de 1kHz



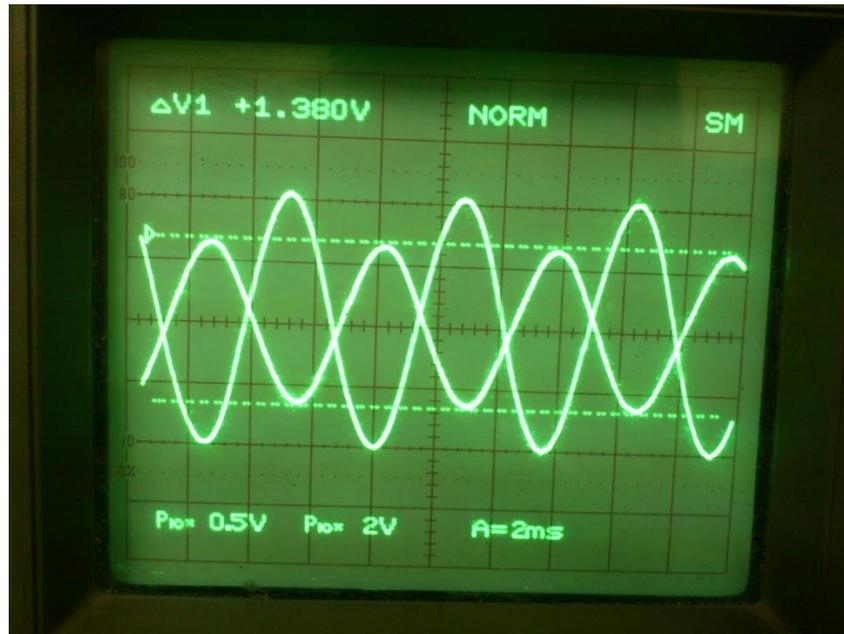
Fuente: Diseño Autor

Figura 71. Señales de entrada y salida a frecuencia de 10kHz



Fuente: Diseño Autor

Figura 72. Señales de entrada y salida a frecuencia de 177Hz

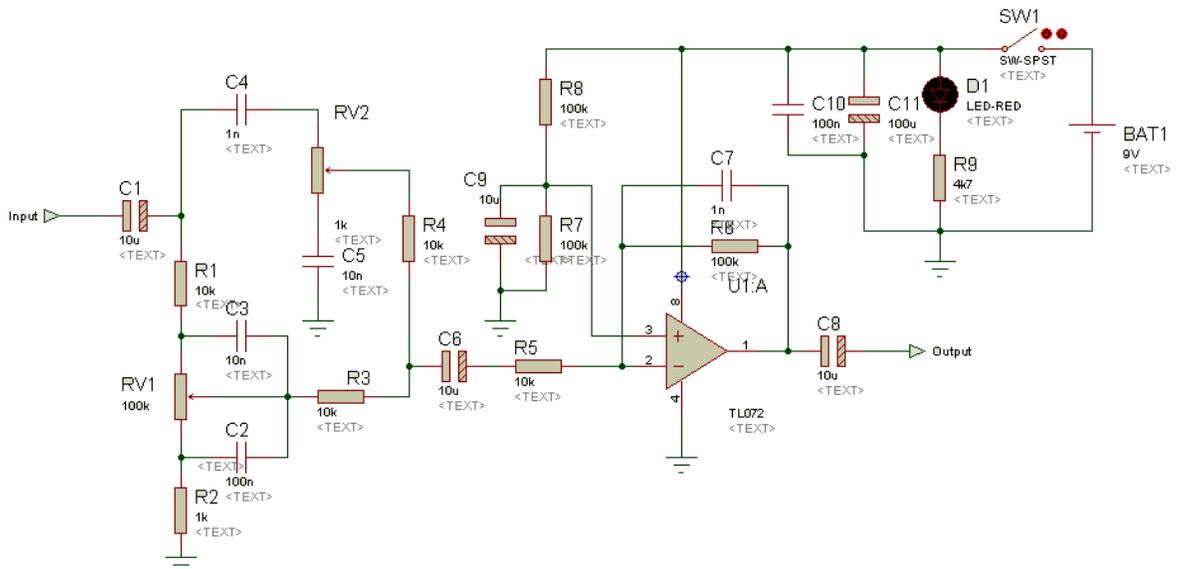


Fuente: Diseño Autor

3.7 PREAMPLIFICADOR CON CONTROL DE BAJOS Y AGUDOS “BASS-TREBLE”

Muchos amplificadores operacionales empleados como preamplificadores, tienen una muy limitada respuesta en frecuencia. Pero si se refuerza el circuito de entrada, se puede mejorar mucho esta respuesta. La calidad del sonido debería ser superior a la de un amplificador común, debido a la propiedad de controlar los tonos. Si se usa una buena calidad, un parlante de 8 pulgadas de diámetro, se puede mejorar la calidad de sonido de fuentes de audio significativamente pequeñas, adicionando bajos y agudos improvisados. La capacidad de este circuito, es que separa las frecuencias bajas y agudas mediante redes de procesamiento. La señal es atenuada en el proceso de mejoramiento, pero la atenuación es de fácil cuidado incluyendo un proceso de amplificación posterior. Se puede enfatizar las altas frecuencias a expensas de las frecuencias medias y bajas. Similarmente, las frecuencias bajas se enfatizan a expensas de las frecuencias medias y altas. Este circuito emplea muchos componentes a primera vista, así como lo muestra la figura 73.

Figura 73. Preamplificador con Control de Bajos y Agudos “Bass-Treble”



Fuente: Diseño Autor

MATERIALES REQUERIDOS

- C11: TL072
- R1: 10kΩ
- R2: 1kΩ
- R3: 10kΩ
- R4: 10kΩ
- R5: 10kΩ
- R6: 100kΩ
- R7: 100kΩ
- R8: 100kΩ
- R9: 4.7kΩ
- C1: 10µF
- C2: 0.1µF
- C3: 0.01µF
- C4: 1nF
- C5: 10nF
- C6: 10µF
- C7: 1nF
- C8: 10µF
- C9: 10µF
- C10: 0.1µF
- C11: 100µF
- RV1: 100kΩ
- RV2: 1kΩ
- S1: Switch SPST

3.7.1 Descripción del Circuito. El amplificador operacional es tipo inversor con ganancia $\times 10$ ($100\text{K}\Omega/10\text{K}\Omega$). Hay un pequeño condensador al lado de la resistencia de realimentación, por lo tanto hay una pequeña frecuencia de corte aplicada, dada porque el condensador C7 es relativamente pequeño. También se encuentran los condensadores de acople para la entrada y salida, los condensadores de acople son incrementados a $10\mu\text{F}$ (del acostumbrado $0,1\mu\text{F}$). A la baja frecuencia de 100Hz , significa un cambio de impedancia de $15,9\text{K}\Omega$ a 159Ω cuando se aumenta la capacitancia de $0,1\mu\text{F}$ a $10\mu\text{F}$.

Esto es un cambio significativo, y lo más importante, significa un incremento en las bajas frecuencias. Se debe advertir sobre los requerimientos de polaridad para los condensadores C6 y C8.

Las redes de bajos-agudos se muestran a la izquierda del circuito integrado. La red bajos-agudos se dibuja por separado para fácil identificación.

Este circuito en particular posee la ventaja adicional de ser totalmente independiente del circuito del amplificador operacional. Cada sección (Bajos o Agudos) pueden ser extraídas independientemente, y el circuito se mantendría funcionando como un amplificador operacional común.

La red de bajos es elaborada por los componentes R1, RV1, R2, C3, C2 y R3. Por el momento se ignoran los condensadores y la resistencia R3, la cual actúa como aislamiento. Los componentes restantes R1, RV1 y R2 se asemejan a un potenciómetro. Se retiran las resistencias fijas (R1 y R2) y sólo se deja el potenciómetro.

Las resistencias R1 y R2 han sido determinadas a través de previos experimentos y sus respectivos valores son mostrados en la figura, según el valor de RV1. Debido a que todo este paquete debe estar junto, no se deben cambiar los valores de estos componentes.

Se adicionan los condensadores C2 y C3 al circuito divisor de tensión. Estos sirven para ajustar la respuesta para que las frecuencias bajas sean impulsadas cuando RV1 se desplace a un lado de la posición del centro, lo contrario sucede cuando RV1 se desplaza hacia la posición opuesta: las frecuencias bajas son cortadas. La señal es atenuada como resultado de la introducción de esta red pasiva; esto es, el valor de la señal cuando sale es menor que cuando entra. Para compensar esto, el preamplificador tiene una ganancia $\times 10$.

El control equivalente a los agudos se encuentra en la parte superior del circuito. Los componentes son C4, RV2, C5, así como la misma resistencia de aislamiento R4. Nuevamente, teniendo en cuenta los componentes importantes, se observa que la señal alimenta a un potenciómetro RV2 y la salida es tomada del terminal central. Cuando se incluyen los condensadores C4 y C5, la respuesta cambia dramáticamente. A un lado de la posición del centro, los agudos se mejoran, y si se mueve a la posición opuesta, los agudos son reducidos.

Para realizar un completo uso de esta red activa para control de tonos, se debe alimentar en una apropiada combinación de amplificador de potencia y parlante capaz de manejar las frecuencias impulsadas. No se debe usar un pequeño transistor de radio y el repuesto de un parlante para esperar escuchar bajos. Se debe usar un parlante de buen tamaño, no menor a 8 pulgadas de diámetro, con una respuesta extensa. Similarmente, un tweeter ayudaría a acelerar las notas altas.

La señal de entrada es comúnmente acoplada a ambas redes de bajos y altos a través del condensador C1 y las resistencias R3 y R4, previniendo influencias no

deseadas entre los dos circuitos. La señal combinada de bajos-alterados y agudos-alterados, es alimentada a través del condensador C6 hacia el usual amplificador operacional inversor.

El condensador de pequeño valor, C7, es conectado al lado de la resistencia de realimentación R6 para reducir las componentes de las frecuencias más altas.

3.7.2 Consejos para el montaje. Se recomienda construir este circuito por etapas, verificando cada una a medida que avanza. Verifique la primera etapa del amplificador operacional básico, que usa las resistencias R5, R6, C6, C8, los componentes del divisor de voltaje R7 y R8, además del condensador C10. La salida de este preamplificador no controla cargas con baja impedancia, por lo tanto se debe emplear un amplificador de potencia con su respectivo parlante. Se puede usar una señal de radio casete como señal de entrada. Verifique la sección de agudos. Se debería obtener una mejora en los agudos cuando el potenciómetro RV1 se encuentre en la posición completa en sentido de las manecillas del reloj. Si estos resultados son contrarios, se deben intercambiar las conexiones de los terminales de RV1. Cuando los agudos son reducidos, se reducen las altas frecuencias, obteniendo un sonido suave.

Una vez que los agudos funcionen correctamente, se verifica la sección de los bajos. Similarmente, se deberían aumentar los bajos cuando RV2 se encuentre en la posición completa en sentido de las manecillas del reloj, y se reducen cuando RV2 se encuentre en la posición completa en sentido contrario de las manecillas del reloj. Debido a la presencia de los potenciómetros RV1, RV2 y el interruptor de alimentación S1, hay que tener cuidado con la conexión de estos componentes mecánicos para no causar daños por medio de los cables, o causar algún corto circuito. Se debe tener en cuenta los requerimientos de polaridad de los condensadores, C1, C6, C8 y C11.

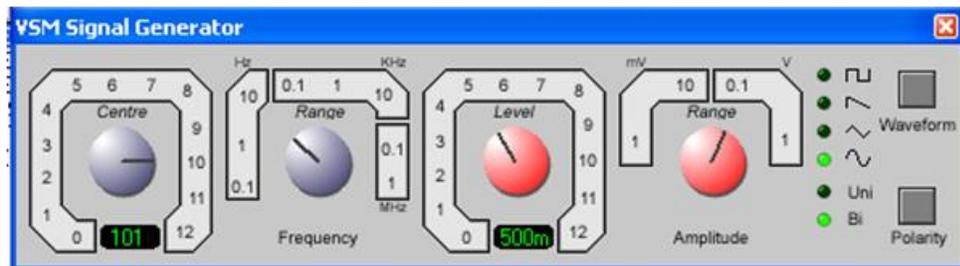
Recuerde polarizar el amplificador operacional desde un principio, ya que sin este requisito, se pueden causar daños al componente electrónico.

3.7.3 Pruebas y ajustes. Para apreciar correctamente las capacidades de este circuito, use un amplificador de potencia para el circuito final, junto con un parlante de alta calidad con la capacidad de reproducir frecuencias altas y bajas. Dependiendo de la señal de entrada utilizada, si dicha entrada posee inherentemente una alta respuesta en frecuencia, se debe encontrar el ajuste para controlar completamente los tonos altos y bajos, el sonido que se obtiene sin duda tendrá una ventaja sobre el sonido plano sin tratar. Este circuito adiciona mejoras considerables en los bajos/agudos a una señal monofónica plana proveniente de un grabador de casete barato. Este tipo de grabadora de casete produce una señal más plana que la de un walkman de alta fidelidad.

Los componentes conectados alrededor de las redes de bajos y agudos van juntos, fijos y no debería ser cambiados uno al tiempo, a diferencia de los más simples situados alrededor del amplificador operacional básico (pueden ser cambiados uno por uno). Esta red de bajos/altos es de un diseño especialmente bueno, debido a que está independizada del amplificador operacional activo.

3.7.4 Simulación del circuito. La configuración del generador de señales se puede observar en la figura 74, donde la señal de entrada tiene una amplitud de 500mV pico, con una frecuencia de 100Hz (Rango audible).

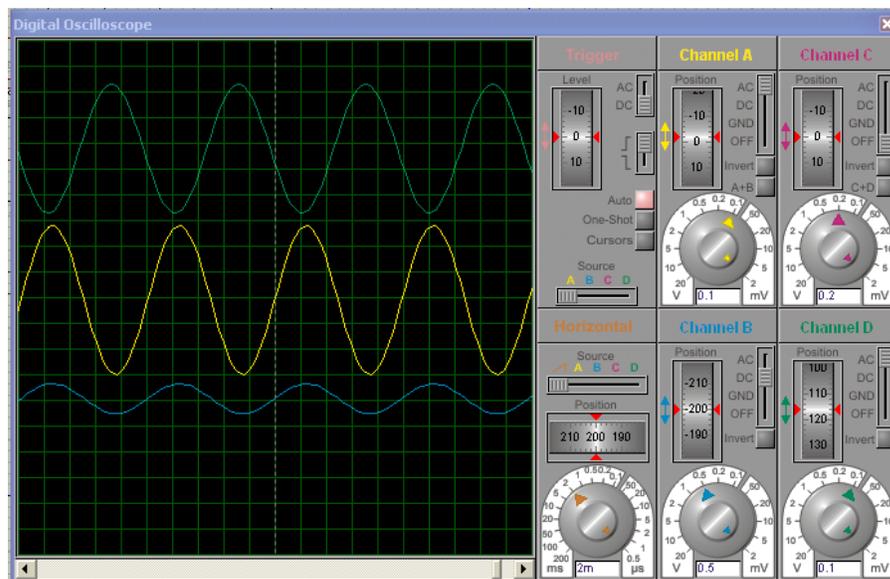
Figura 74. Configuración generador de señales



Fuente: Diseño Autor

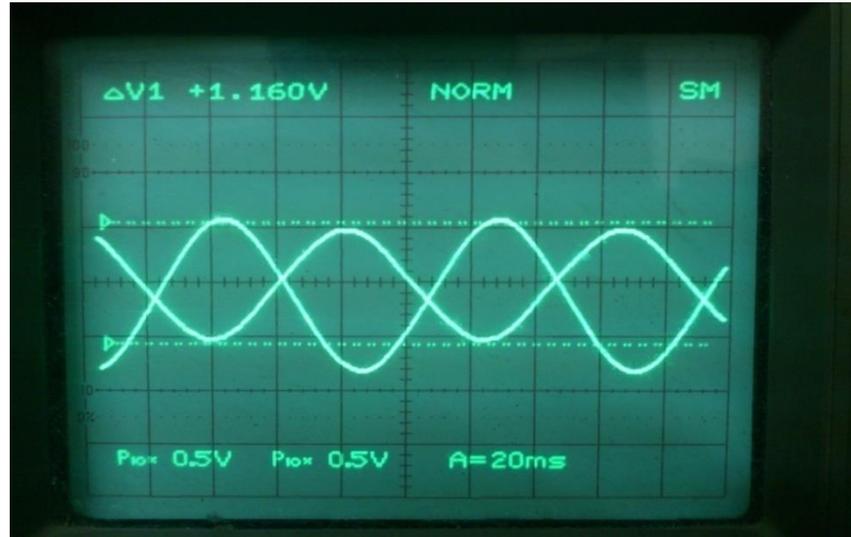
En la figura 75 se puede observar la señal de salida bajos, con una variación RV2 en un 50% y una variación de RV1 al 100%.

Figura 75. Señales de entrada y salida de Bajos



Fuente: Diseño Autor

Figura 76. Señales de entrada y salida de Bajos real

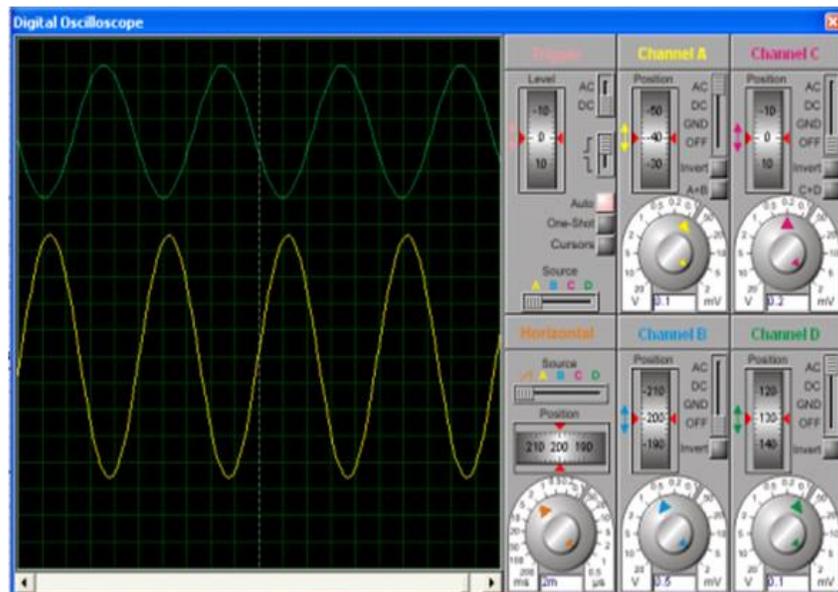


Fuente: Diseño Autor

La figura 75 muestra una pequeña amplificación en la señal de salida (Amarilla) con respecto a la señal de entrada (Verde), las dos escalas de voltaje se encuentran en 0.1V como muestra la figura.

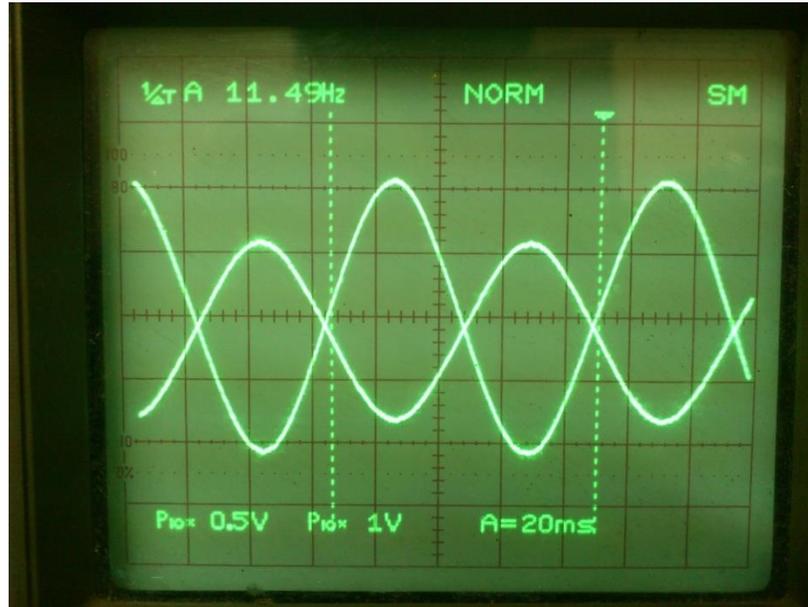
A continuación puede observarse la señal de salida con una variación de RV2 100% y RV1 0%, amplificando considerablemente la señal de salida.

Figura 77. Señales de entrada y salida de Bajos



Fuente: Diseño Autor

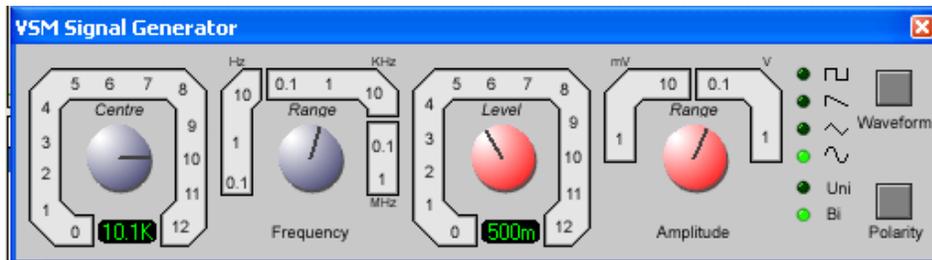
Figura 78. Señales de entrada y salida de Bajos real



Fuente: Diseño Autor

Las siguientes figuras visualizarán el estado de la señal de salida cuando le aplicamos una variación en el control de Agudos, para esta prueba tendremos que configurar el generador de señales con una frecuencia de 10Khz y una amplitud de 500mV, como se muestra en la figura 79.

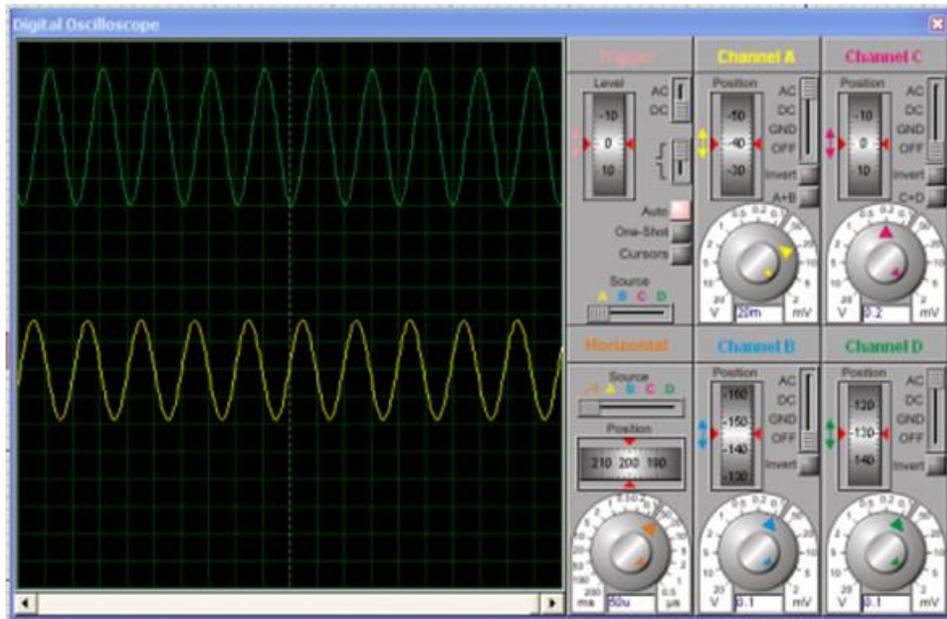
Figura 79. Configuración del generador de Señales



Fuente: Diseño Autor

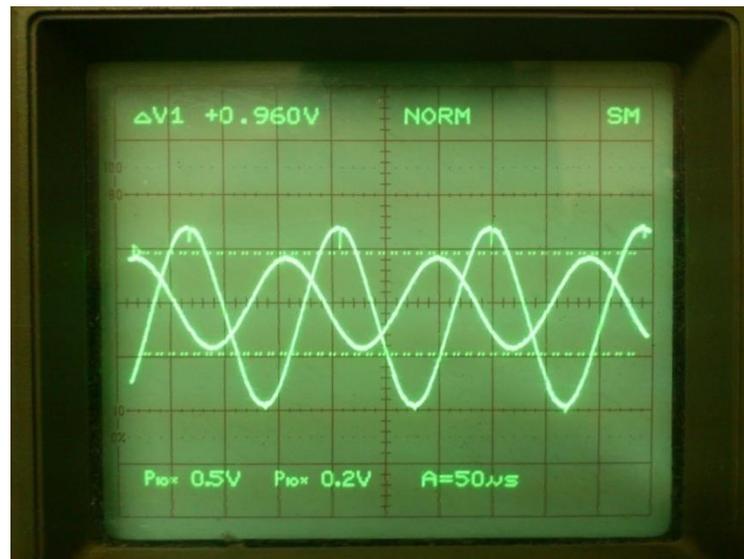
La figura 80 muestra la señal de salida con una variación RV1 del 50% y RV2 del 100% en el control.

Figura 80. Señales de salida de agudos



Fuente: Diseño Autor

Figura 81. Señales de salida agudos real

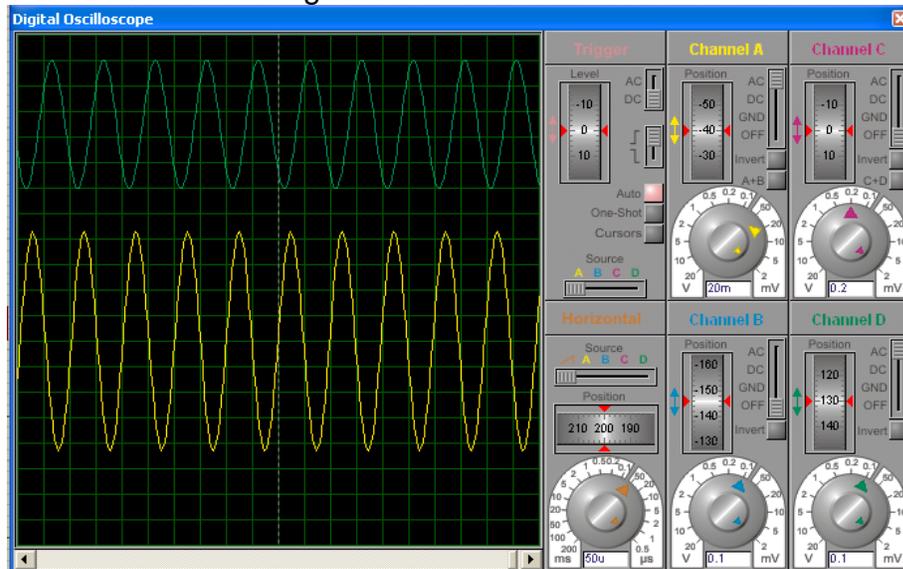


Fuente: Diseño Autor

En la figura 80 se tiene la perilla de la escala de voltaje de la señal de entrada (Verde) en 0.1V y se puede observar que la señal ocupa 5div pico a pico, en la señal de salida (Amarilla) la escala de voltaje se encuentra en 20mV teniendo como salida 80mV pico a pico.

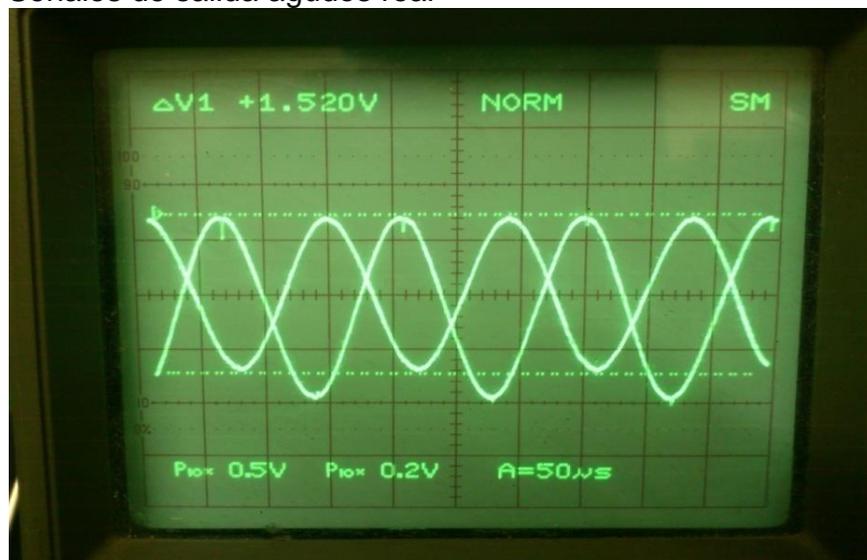
En la figura 82, con una variación RV1 del 100% y RV2 del 0%, la señal de salida tendrá una amplificación.

Figura 82. Señales de salida agudos



Fuente: Diseño Autor

Figura 83. Señales de salida agudos real



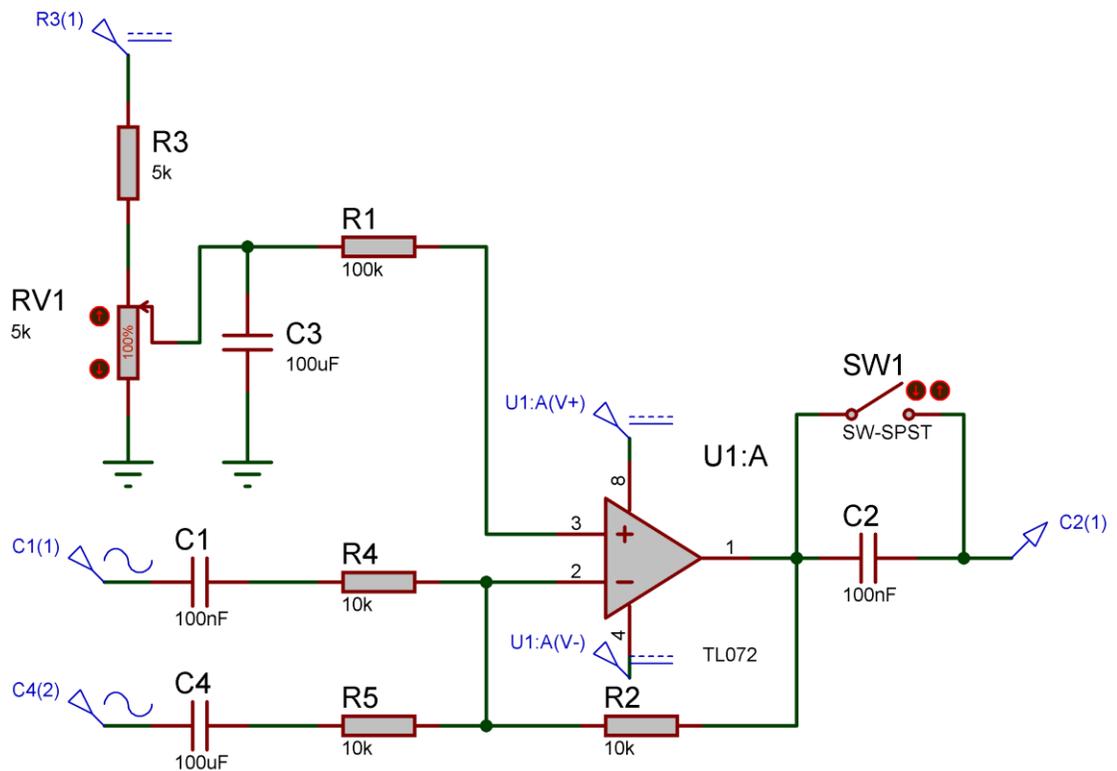
Fuente: Diseño Autor

3.8 PREAMPLIFICADOR MEZCLADOR DE DOS ENTRADAS

Un mezclador de audio permite superponer la voz sobre una pista musical usando solo un puñado de componentes en un diseño simple de sólo un circuito integrado. Una grabadora de cassette mono es usada como la fuente de audio, con la salida alimentada directamente de la toma del auricular. El nivel de la salida será alto, siempre y cuando la salida controle un parlante. Por lo tanto, se conecta a un simple atenuador de dos resistencias.

El mismo micrófono de carbón que es suministrado por la grabadora, puede ser usado para alimentar la voz sobre la pista musical. Una etapa de alta ganancia proporciona el aumento necesario para la voz. Las dos señales son combinadas en un sumador básico. La señal del mezclador puede ser llevada a un amplificador de potencia para ser escuchada.

Figura 84. Preamplificador Mezclador de Dos Entradas



Fuente: Diseño Autor

MATERIALES REQUERIDOS

- CI1: TL072
- R1: 100k Ω
- R2: 10k Ω
- R3: 5k Ω
- R4: 10k Ω
- R5: 10k Ω
- RV1: 5k Ω
- C1: 100nF
- C2: 100nF
- C3: 100uF
- C4: 100nF
- SW1: Switch SPST

3.8.1 Descripción del circuito. Se observa que hay una resistencia de realimentación, R2, de alto valor conectada entre la salida y el terminal inversor. R4 y R5, que son las dos resistencias de entrada. La ganancia del mezclador de ambas entrada es unitaria.

El terminal no inversor se alimenta por medio de un divisor de voltaje conformado por las resistencias de igual valor, R3 y RV1. El condensador electrolítico C3 desacopla la señal AC a tierra. El aislamiento es proporcionado por la resistencia R1. No se debe montar el circuito sin la resistencia R1, ya que es necesaria para la correcta operación del circuito.

Las entradas del circuito están diseñadas para soportar señales con altos niveles, tales como, la salida de una grabadora de casete o una radio portátil. En esta entrada se encuentran condensadores de acople C1 y C4. La salida de la señal se conecta a través del condensador C2 (0.1uF) de acople para DC.

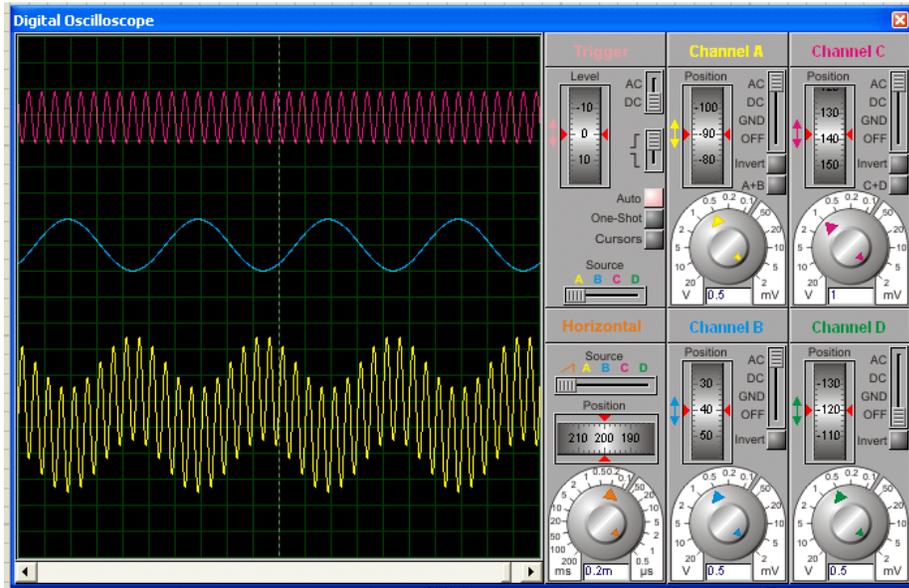
Hay que polarizar el amplificador operacional desde un principio, ya que sin este requisito, se pueden causar daños al componente electrónico.

3.8.2 Simulación del circuito. Ajuste la configuración del primer generador de señales, para producir una onda seno con frecuencia de 150Hz (Rango audible) y amplitud de 500mVp.

Ajuste la configuración del segundo generador de señales, para producir una onda seno con frecuencia de 680Hz (Rango audible) y amplitud de 0.9Vp.

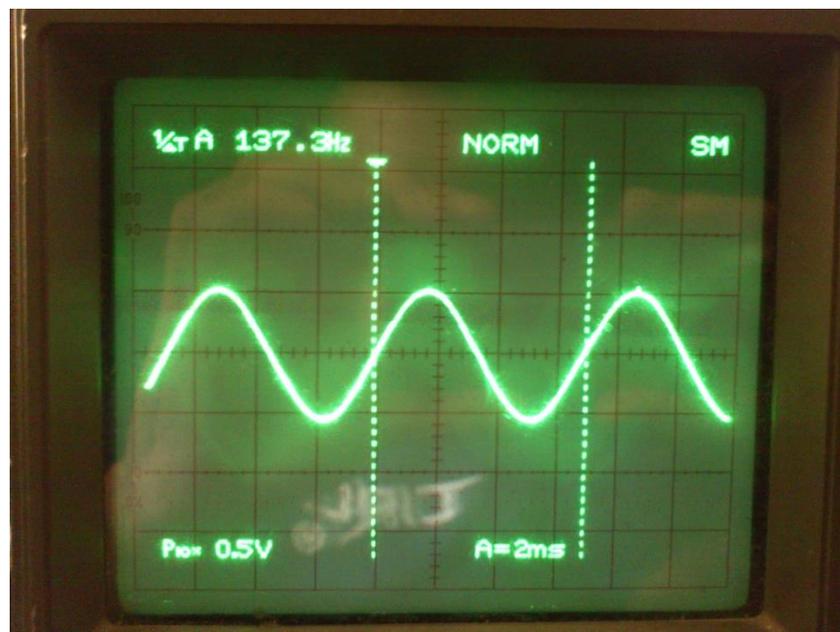
Estas ondas son las producidas por los generadores de señales correspondientes a las señales de entrada. La siguiente figura ilustra la pantalla del osciloscopio, para este caso, la primera señal de entrada es de color azul, la segunda señal de entrada es de color rojo y la señal de salida es de color amarillo. Observe que la forma de onda es una combinación.

Figura 85. Señales de salida



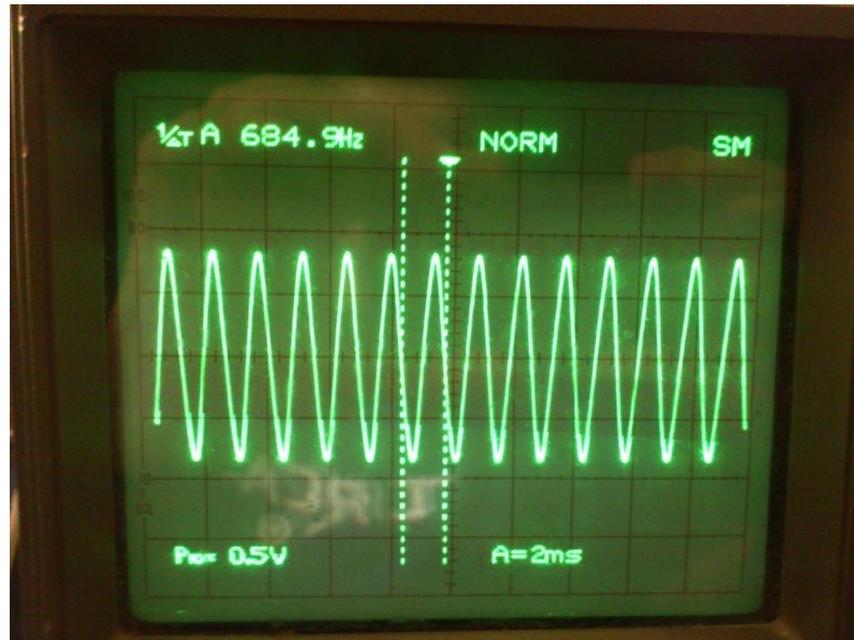
Fuente: Diseño Autor

Figura 86. Entrada del generador 1 (frecuencia de 137Hz)



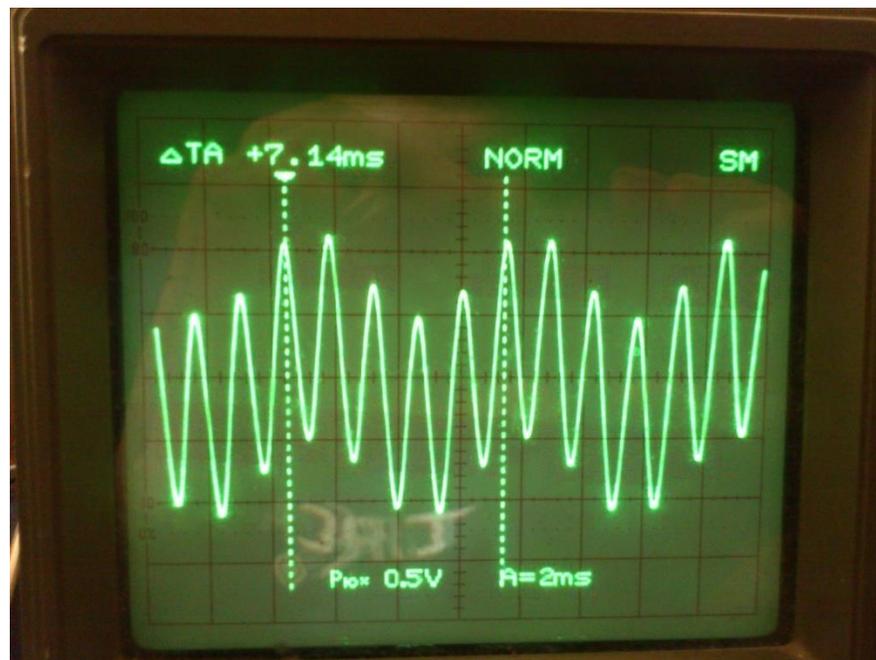
Fuente: Diseño Autor

Figura 87. Entrada del generador 2 (frecuencia de 680Hz)



Fuente: Diseño Autor

Figura 88. Salida del mezclador



Fuente: Diseño Autor

3.9 SET DE PRUEBAS PARA MICRÓFONO

Este set de pruebas proporciona la capacidad para verificar el correcto funcionamiento de un micrófono o cualquier otro transductor que convierta energía acústica en energía eléctrica, tales como los elementos piezoeléctricos, bobinas u otros, pueden ser medidos usando este set de pruebas. Realmente si hay un punto importante a la hora de estudiar el sonido, es el de su captación.

Para poder captar los sonidos que nos rodean en nuestra vida diaria, necesitamos de algún sistema que nos permita transformar las variaciones de presión en el aire (ondas sonoras), en ondas eléctricas, de manera que estas puedan ser manipuladas y almacenadas sobre algún soporte bien sea en formato analógico o digital.

El micrófono es un transductor que nos permite realizar esta conversión entre las variaciones de presión y variaciones de nivel en una corriente eléctrica. A la hora de estudiar los diferentes tipos de micrófonos, podemos hacerlo, bien sea por su tipo de funcionamiento, o bien por la forma en que recoge el sonido, dado que no presentan la misma sensibilidad en todos los ángulos con respecto a la fuente sonora, esta forma que se representa por medio de un diagrama polar.

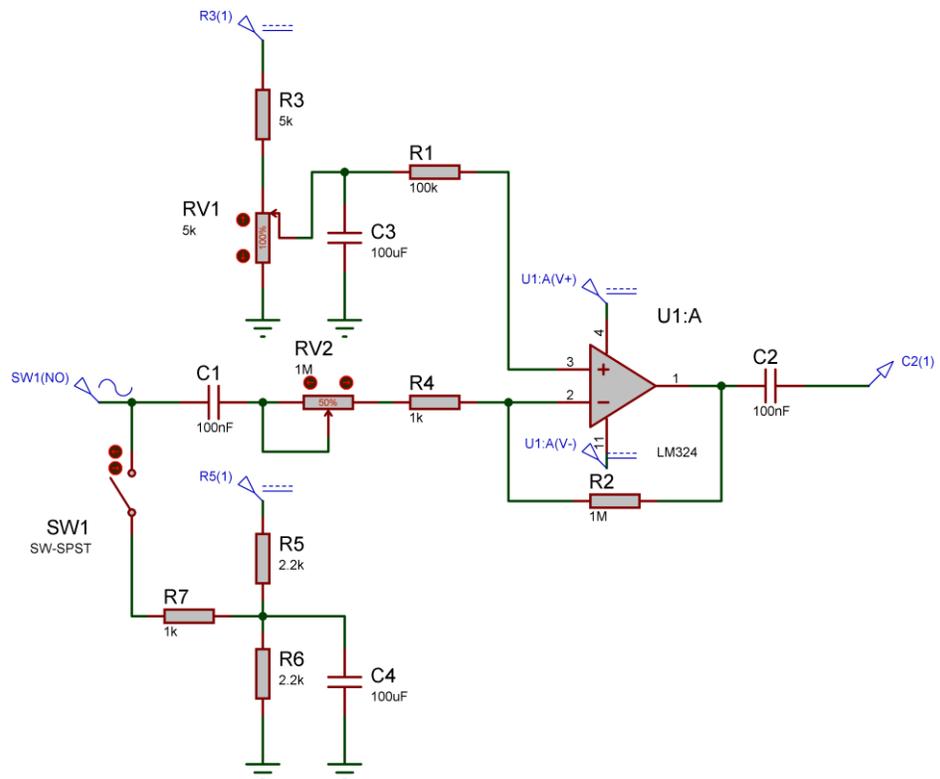
En este proyecto se cuenta con un arreglo de polarización conmutable, que se acomoda correctamente a cualquier tipo de micrófono, ya sea polarizado o no polarizado. La variación de ganancia de un amplificador operacional, se puede lograr modificando la resistencia de entrada (RV2 y R1, son la combinación de la resistencia de entrada), mejor que la resistencia de realimentación. Este circuito se diseña con el fin de probar micrófonos, en la figura 89 se muestra el esquemático respectivo.

Figura 89. Micrófono



Fuente: Diseño Autor

Figura 90. Set de Prueba para Micrófono



Fuente: Diseño Autor

MATERIALES REQUERIDOS

- C1: LM324
- R1: 100k Ω
- R2: 1M Ω
- R3: 5k Ω
- R4: 1k Ω
- R5: 2.2k Ω
- R6: 2.2k Ω
- R7: 1k Ω
- RV1: 5k Ω
- C1: 100nF
- C2: 100nF
- C3: 100 μ F
- C4: 100uF
- RV2: 1M Ω
- SW1: SW-SPST

3.9.1 Descripción del circuito. El circuito integrado LM 324 es un amplificador operacional cuádruple; este tiene cuatro circuitos separados en un solo componente. Las conexiones son totalmente diferentes a las del popular LM 741. Este dispositivo integrado ocupa menos espacio, y es muy usado en amplificadores de audio y filtros, en este caso se configura como amplificador en modo inversor.

La resistencia de realimentación R2 es alta (1 M Ω), debido a que se requiere alta ganancia (y los micrófonos no proveen una buena señal). La resistencia de entrada es una combinación conformada entre la resistencia fija R1 (1k Ω) y el potenciómetro RV2 (1 M Ω). Cuando RV2 se ajusta al mínimo, la resistencia de entrada total es solo de 1k Ω y la ganancia es de 1M Ω /1k Ω = x1000. El condensador de entrada C1 acopla la entrada de micrófono al terminal móvil de RV2.

Un circuito adicional es usado para impulsar al micrófono electret, este se conforma por las resistencias R5 y R6 y el condensador C4. Las Resistencias R5 y R6 son de valor igual; por lo tanto, la tensión de polarización es la mitad del voltaje de alimentación.

Nota: En este caso los valores de los componentes dependen de la posición para la cual son usados dentro del circuito. Una resistencia de aislamiento, R7, con un valor relativamente bajo de 1k Ω , se conecta al interruptor. El interruptor permite seleccionar la polarización a voluntad. La polarización es necesaria para que los micrófonos electret funcionen correctamente.

Volviendo al diseño, un divisor de voltaje es necesario para alimentar el terminal positivo (Pin No. 3). Este se conforma por una red de dos resistencias de igual valor, R3 y RV1 de 5k Ω .

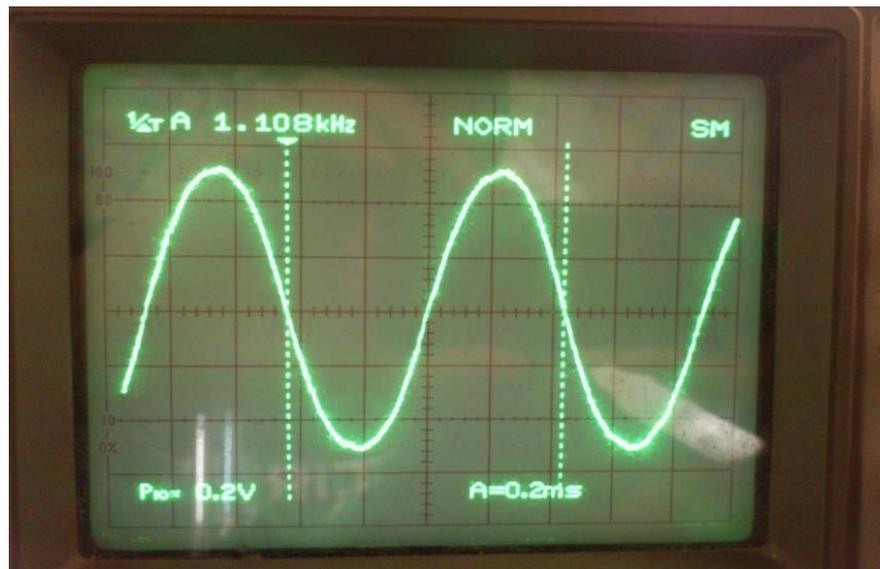
El circuito integrado produce una señal AC que llega al condensador C2. Los micrófonos antiguos, no requieren un voltaje de polarización para funcionar, por lo tanto, el interruptor debe estar cerrado. Alimente la salida de C2 a un amplificador de potencia y verifique que el circuito está funcionando. RV1 controlará la ganancia. Verifique mirando si la ganancia aumenta rotando RV1 en sentido de las manecillas del reloj. Si esto no sucede, intercambie la posición hacia el otro

terminal externo. Si se tiene un micrófono electret, verifíquelo con la polarización conectada a través del interruptor.

Conecte el micrófono y verifique la variación de voltaje al darle un pequeño golpe al micrófono. Se puede determinar la sensibilidad relativa de varios micrófonos usando una fuente de sonido constante. Ajuste la fuente de sonido a una distancia fija para cada micrófono. Grabe los resultados en una tabla con las respectivas medidas de sensibilidad relativa. Este set de pruebas poder ser usado para medir la respuesta direccional de un micrófono.

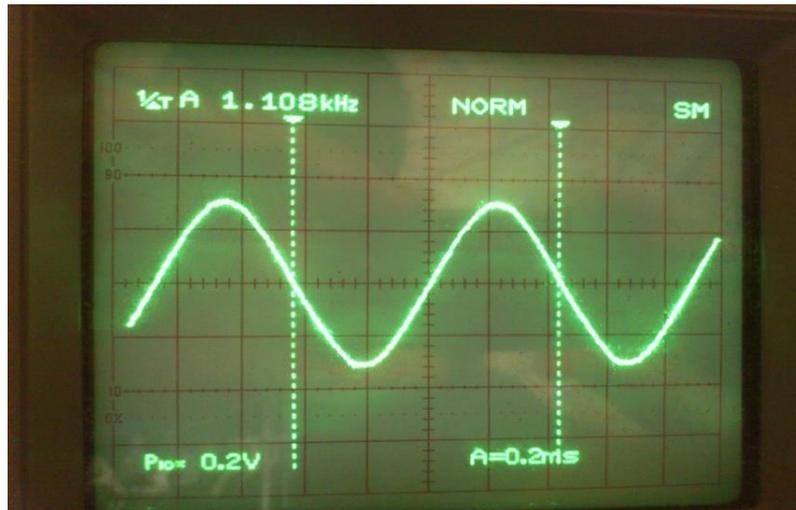
Monte el micrófono de prueba en una plataforma donde pueda girarlo en un plano horizontal. Varíe el ángulo del micrófono y tome lectura de la respuesta correspondiente.

Figura 91. Set de Prueba para Micrófono de condensador



Fuente: Diseño Autor

Figura 92. Set de Prueba para Micrófono de bobina móvil



Fuente: Diseño Autor

3.10 FILTROS ACTIVOS

Un filtro activo se distingue por el uso de uno o más componentes activos, que proporcionan una cierta forma de amplificación de energía, que lo diferencian de los filtros pasivos que solamente usan componentes pasivos y que su ganancia no es de magnitud mayor a 1. Como elementos activos se emplean transistores o unos amplificadores operacionales.

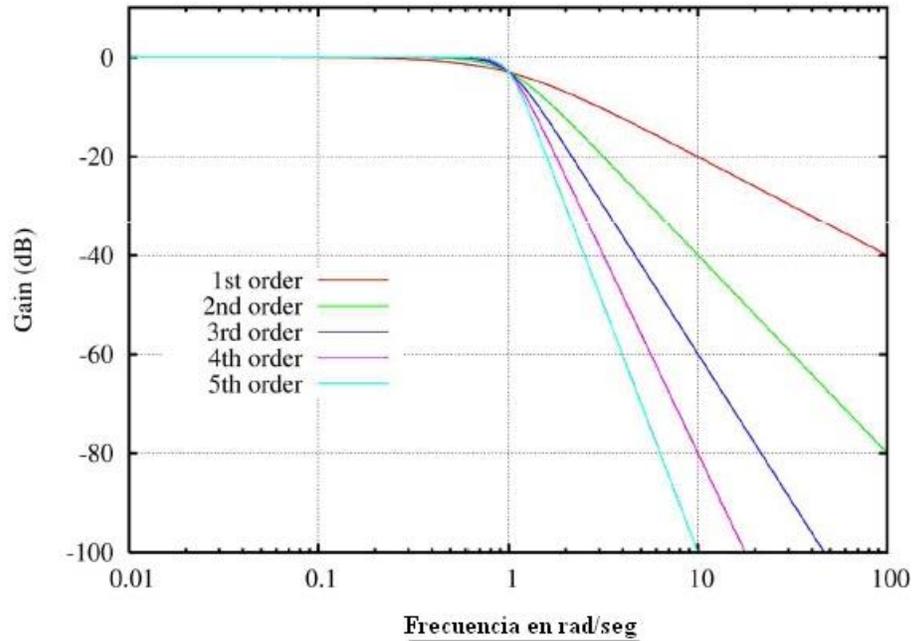
Un filtro activo puede presentar ganancia en toda o parte de la señal de salida respecto a la señal de entrada. De acuerdo a su comportamiento en frecuencia se distinguen los siguientes tipos: Filtros paso bajo, paso alto, paso banda, rechaza banda y filtro notch.

Un circuito con solo un elemento reactivo es un "filtro de primer orden", si el circuito tiene dos elementos reactivos es un "filtro de segundo orden", etc. La diferencia que existe entre un filtro de primer orden y un filtro de orden mayor es la curva de respuesta de frecuencia. Si se desea aumentar el orden del filtro se pueden colocar varios en cascada.

Un filtro de primer orden tiene un nivel de atenuación de -6db/Octava: es decir que cada vez que la frecuencia se duplica, se atenúa su amplitud a la mitad.

$$G(db) = 20 \times \text{Log} \left(\frac{V_{out}}{V_{in}} \right) \quad ec(2.1)$$

Figura 93. Respuesta en frecuencia dependiendo del orden del filtro



Fuente: RECREATE OFICIAL. Filtros activos [en línea]. 2011. [Consultado el 8 de agosto de 2012]. Disponible en Internet: <URL:<http://recreateoficial.blogspot.com/2011/11/filtros-activos.html>>

Es importante definir algunos términos importantes en los filtros:

- **Frecuencia Central (f₀):** Se define como aquella frecuencia a la cual la ganancia es mayor (frecuencia central o frecuencia de resonancia).
- **Frecuencia de corte (f_c):** Es aquella en que la ganancia del filtro cae a -3 dB por debajo de la máxima ganancia alcanzada. En los filtros pasa y elimina banda existen dos: una superior y otra inferior.
- **Ancho de banda (B_w):** Es el rango de frecuencias a las cuales se las permitirá el paso sin atenuación mayor, es igual a la diferencia de las frecuencias de corte superior e inferior:

$$B_w = f_2 - f_1 \quad ec(2.2)$$

- **Calidad (Q):** Especifica la eficacia del filtro, es decir, la idealidad de su respuesta. Es la relación entre la frecuencia de corte o central y el ancho de banda. En conclusión la calidad (Q) en filtros sirve para ver lo selectivos que son. En principio, un filtro con menor ancho de banda (mayor Q), será mejor que otro con más ancho. También, como se puede deducir de la ecuación anterior, es más

difícil hacer filtros de calidad (porque requieren una Q mayor) a alta frecuencia que a baja frecuencia.

$$Q = \frac{f_0}{f_2 - f_1} \quad ec(2.3)$$

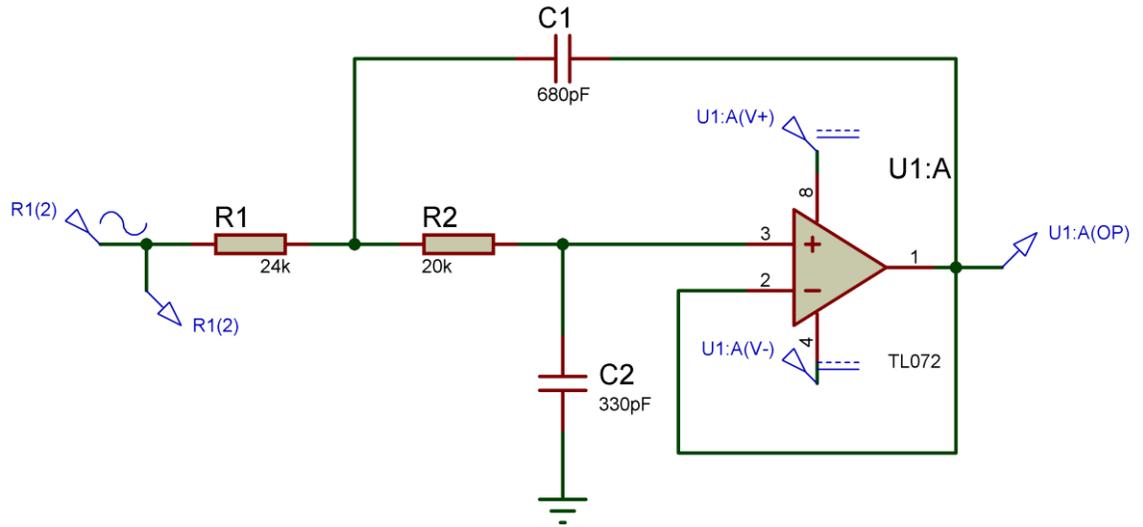
3.10.1 Filtro Pasa-bajos. Un filtro pasa bajos se caracteriza por permitir el paso de las frecuencias más bajas y atenuar las frecuencias más altas a la frecuencia de corte.

El filtro empleado es llamado Sallen Key, este tipo de filtro es muy utilizado por su simplicidad. El circuito produce un filtro pasa bajo de dos polos usando dos resistencias, dos condensadores y un amplificador operacional. Para obtener un filtro de orden mayor se pueden poner en cascada varias etapas. Estos filtros son relativamente flexibles con la tolerancia de los componentes, aunque para obtener un factor Q alto se requieren componentes de valores extremos.

En la siguiente figura se observa un filtro Sallen-Key pasa bajos.

Para frecuencias muy altas los condensadores funcionarán como cortocircuitos, por lo tanto el terminal positivo del amplificador operacional estará a tierra, al tener realimentación negativa, el terminal negativo y por tanto la salida también tendrán la misma tensión. Por el contrario, a bajas frecuencias o tensión continua, los condensadores serán como un circuito abierto, por tanto las dos resistencias estarán en serie y, al no circular corriente por ellas, la tensión de entrada también estará presente en el terminal positivo del operacional y a su salida. Por lo que la tensión de salida a muy altas frecuencias será cero y a frecuencias muy bajas la tensión de salida será igual que la entrada. Para variar la ganancia del filtro se suele poner un divisor de tensión en el lazo de realimentación. En este caso se emplea ganancia unitaria para simplificar las conexiones.

Figura 94. Filtro Pasa-Bajos Sallen Key



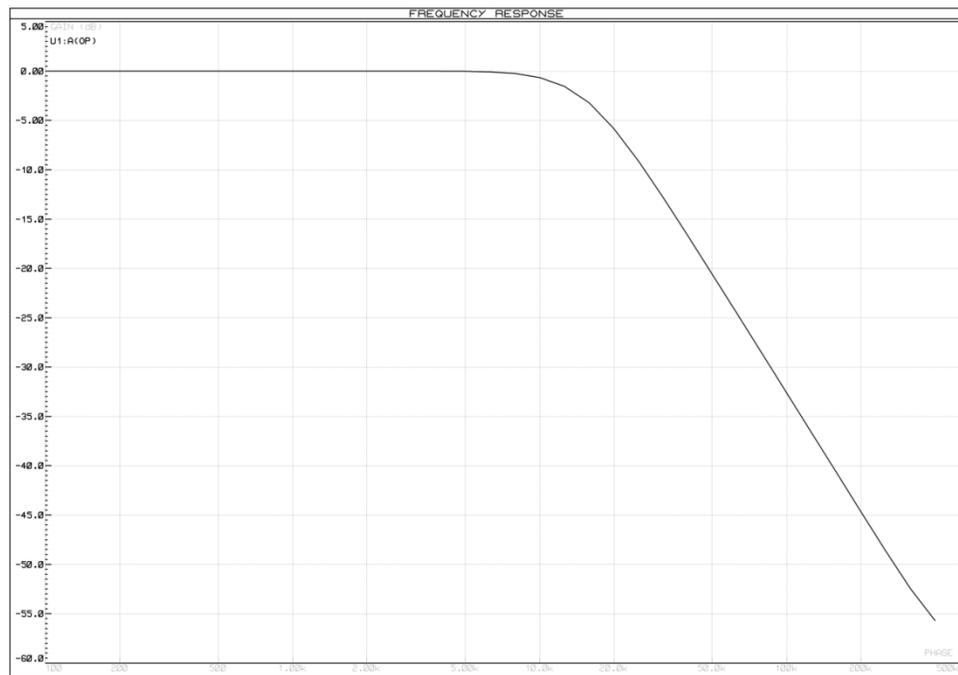
Fuente: Diseño Autor

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1R_2C_1C_2}} Q = \frac{\sqrt{R_1R_2C_1C_2}}{C_2(R_1 + R_2)} \quad ec(2.4)$$

MATERIALES REQUERIDOS

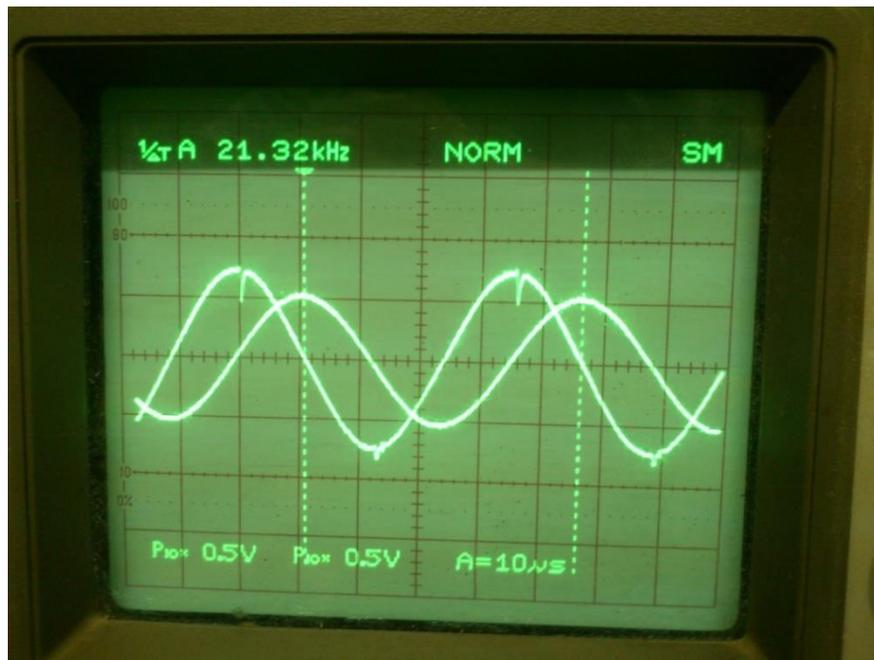
- C1: TL 072
- R1: 24kΩ
- R2: 20kΩ
- C1: 680pF
- C2: 330pF

Figura 95. Respuesta en frecuencia filtro pasa-bajos



Fuente: Autor

Figura 96. Respuesta filtro pasa-bajos



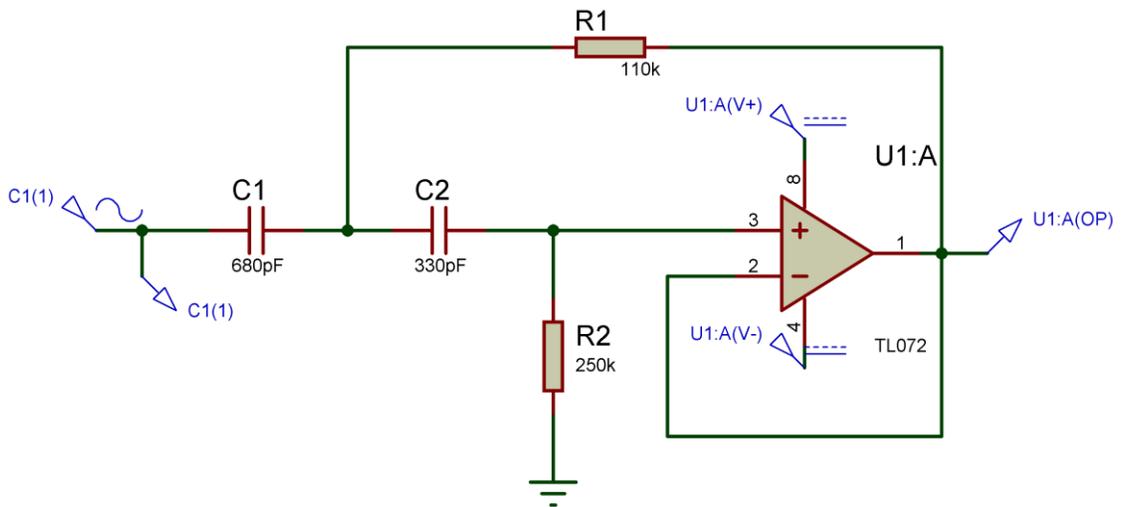
Fuente: Diseño Autor

3.10.2 Filtro Pasa-altos. Un filtro pasa altos se caracteriza por permitir el paso de las frecuencias más altas y atenuar las frecuencias más bajas a la frecuencia de corte.

El filtro empleado es llamado Sallen Key, este tipo de filtro es muy utilizado por su simplicidad. El circuito produce un filtro pasa alto de dos polos usando dos resistencias, dos condensadores y un amplificador operacional. Para obtener un filtro de orden mayor se pueden poner en cascada varias etapas. Estos filtros son relativamente flexibles con la tolerancia de los componentes, aunque para obtener un factor Q alto se requieren componentes de valores extremos.

En la siguiente figura se observa un filtro Sallen-Key pasa-altos. Para frecuencias muy altas los condensadores funcionarán como cortocircuitos, por lo tanto el terminal positivo del amplificador operacional recibirá toda la señal de entrada, al tener realimentación negativa, el terminal negativo y por tanto la salida también tendrán la misma tensión. Por el contrario, a bajas frecuencias o tensión continua, los condensadores serán como un circuito abierto, por tanto las dos resistencias estarán en serie y, al no circular corriente por ellas, la tensión de entrada no logrará llegar hasta el terminal positivo del operacional y por lo tanto no abra salida. Por lo que la tensión de salida a bajas frecuencias será cero y a frecuencias muy altas la tensión de salida será igual que la entrada. Para variar la ganancia del filtro se suele poner un divisor de tensión en el lazo de realimentación. En este caso se emplea ganancia unitaria para simplificar las conexiones.

Figura 97. Filtro Pasa-Altos Sallen Key



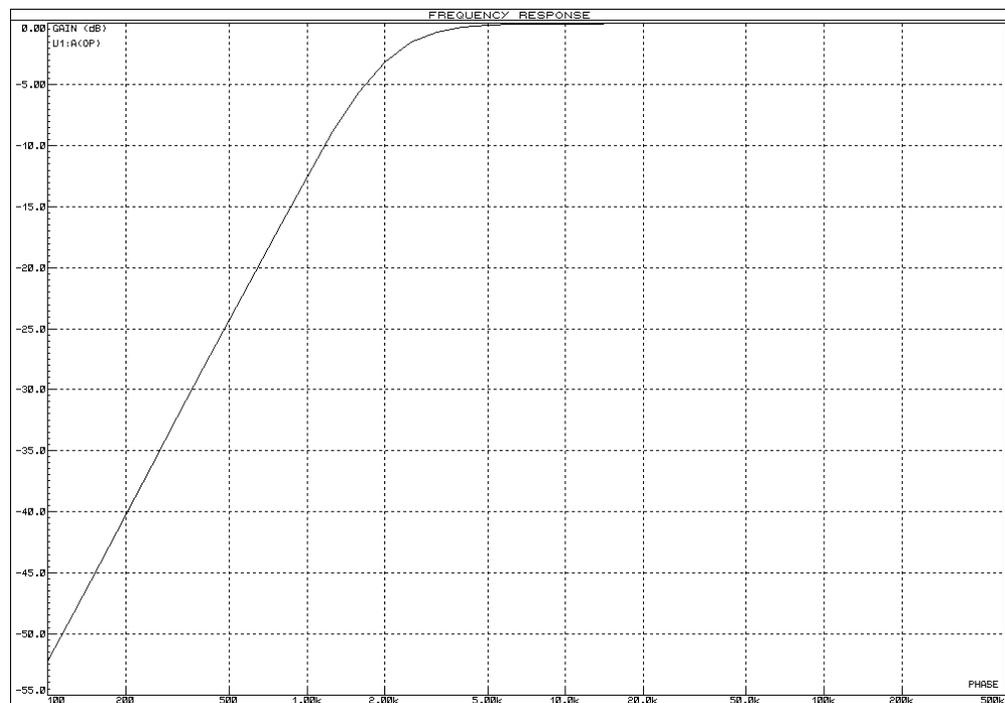
Fuente: Diseño Autor

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1R_2C_1C_2}} Q = \frac{R_1C_x}{\sqrt{R_1R_2C_1C_2}} C_x = \frac{C_1C_2}{C_1 + C_2} \quad ec(2.5)$$

MATERIALES REQUERIDOS

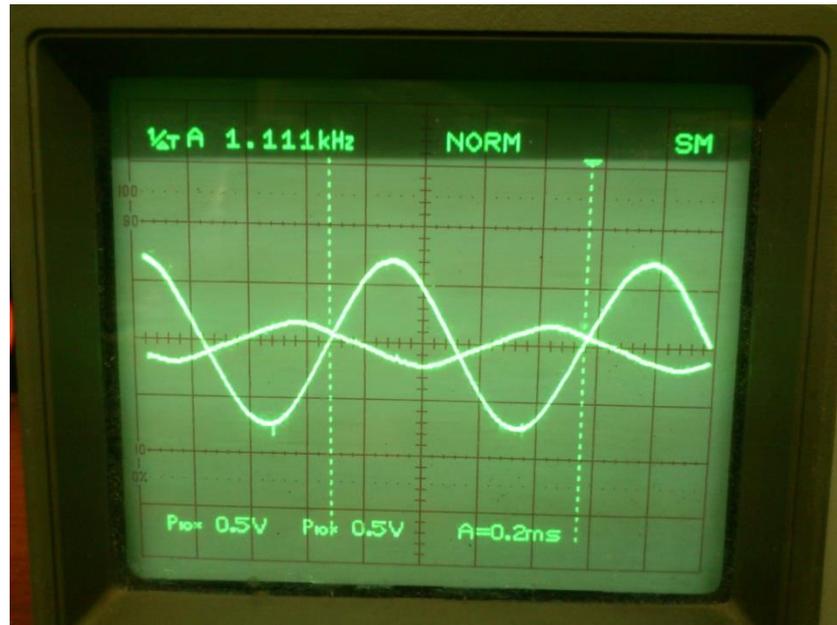
- C11: TL 072
- R1: 110kΩ
- R2: 250kΩ
- C1: 680pF
- C2: 330pF

Figura 98. Respuesta en frecuencia filtro pasa-altos



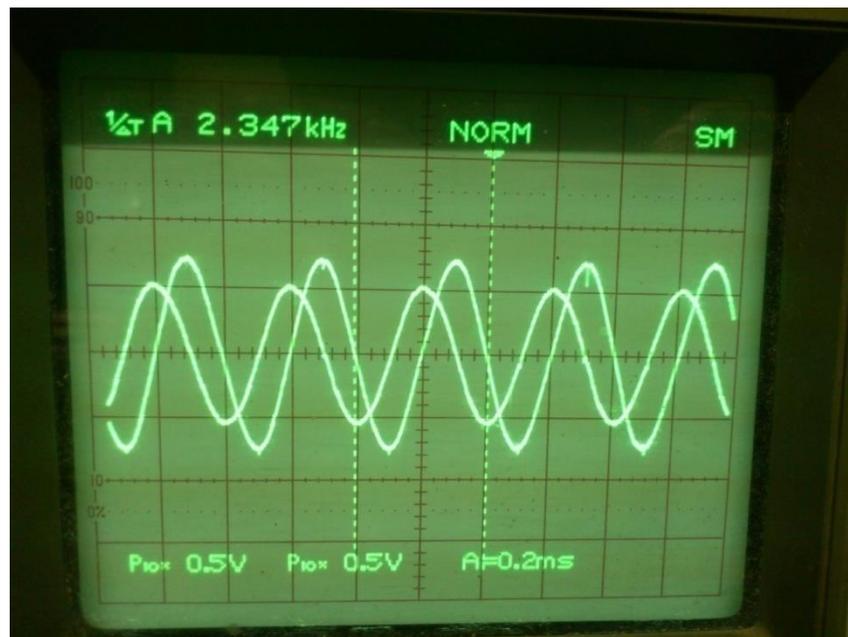
Fuente: autor

Figura 99. Respuesta filtro pasa-altos a 1KHz



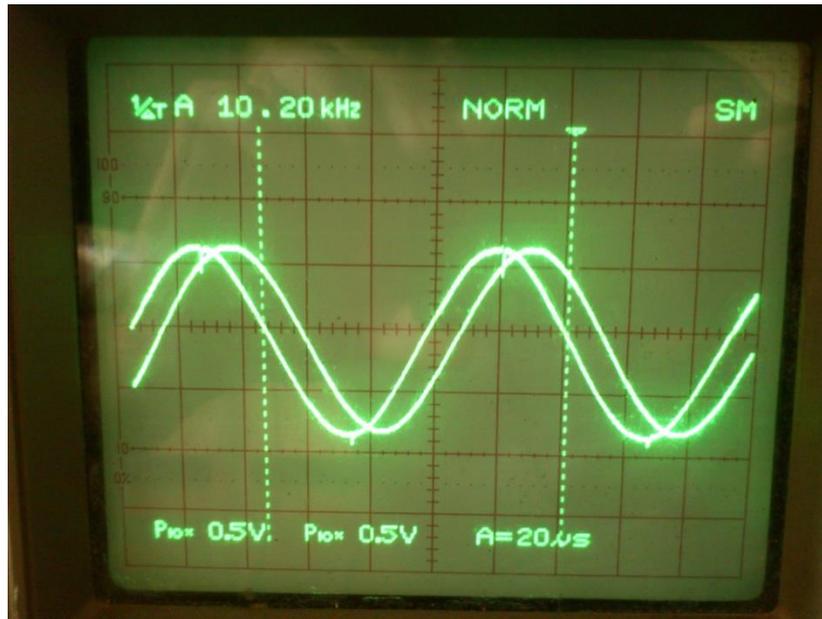
Fuente: Diseño Autor

Figura 100. Respuesta filtro pasa-altos frecuencia de corte



Fuente: Diseño Autor

Figura 101. Respuesta filtro pasa-altos frecuencia de 10KHz



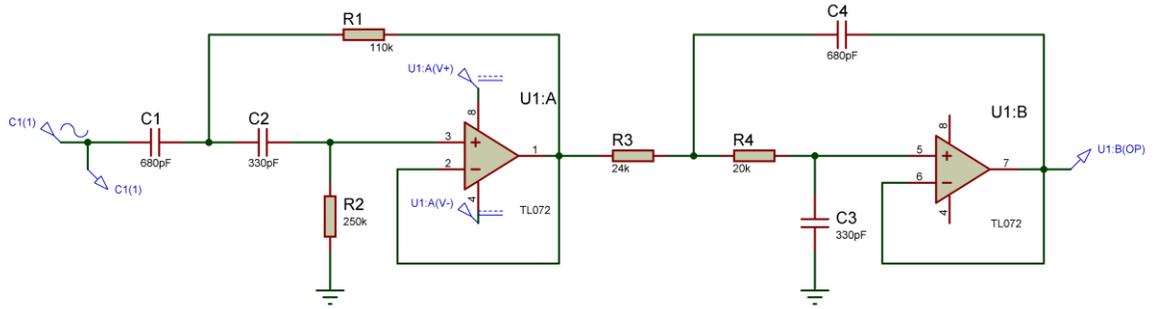
Fuente: Diseño Autor

3.10.3 Filtro Pasa-banda. Un filtro paso banda es un tipo de filtro que permite el paso de un determinado rango de frecuencias de una señal de entrada y atenúa el paso del resto, posee dos frecuencias de corte: una superior y una inferior. El filtro debe suprimir todas las frecuencias por debajo de la frecuencia inferior y por encima de la superior.

Una forma de construir un filtro paso banda suele ser usando un filtro paso altos en serie con un filtro paso bajos entre los que hay un rango de frecuencias que ambos dejan pasar. Para ello, es importante tener en cuenta que la frecuencia de corte del paso bajo sea mayor que la del paso alto, a fin de que la respuesta global sea paso banda (esto es, que haya solapamiento entre ambas respuestas en frecuencia).

Emplearemos los filtros Sallen Key anteriormente empleados. El circuito produce dos filtros de dos polos usando dos resistencias, dos condensadores y un amplificador operacional cada uno.

Figura 102. Filtro Pasa-Banda Sallen Key



Fuente: Diseño Autor

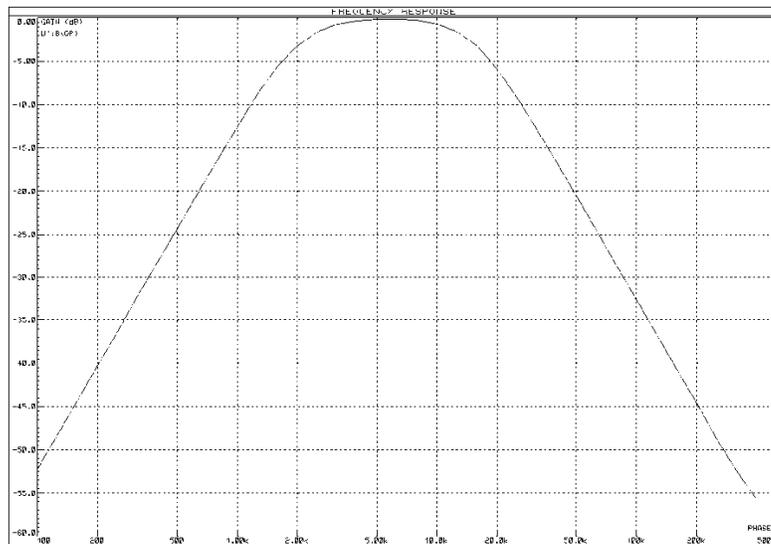
La frecuencia de corte de cada filtro puede calcularse a igual que los anteriores:

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad ec(2.6)$$

MATERIALES REQUERIDOS

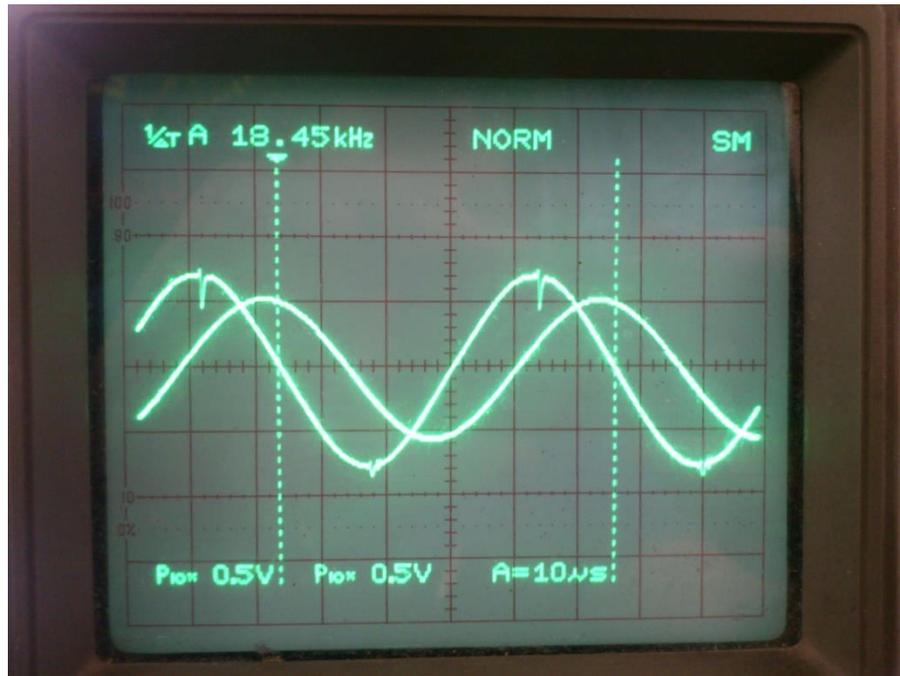
- C1: TL 072
- R1: 110kΩ
- R2: 250kΩ
- R3: 10kΩ
- R4: 10kΩ
- R5: 10kΩ
- R7: 30kΩ
- R8: 30kΩ
- C1: 680pF
- C2: 330pF
- C3: 330pF
- C4: 680pF

Figura 103. Respuesta en frecuencia filtro pasa-banda



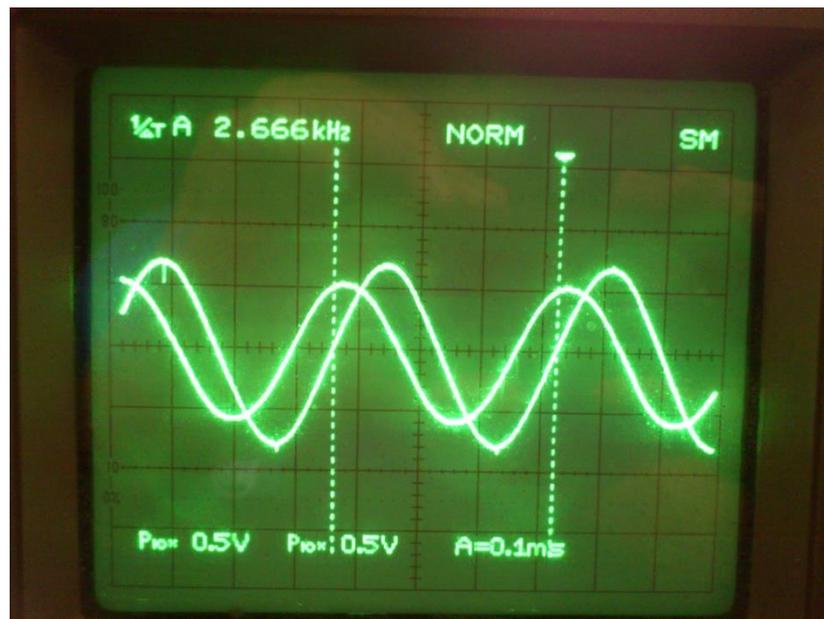
Fuente: autor

Figura 104. Respuesta filtro pasa-banda frecuencia de corte superior



Fuente: Diseño Autor

Figura 105. Respuesta filtro pasa-banda frecuencia de corte inferior

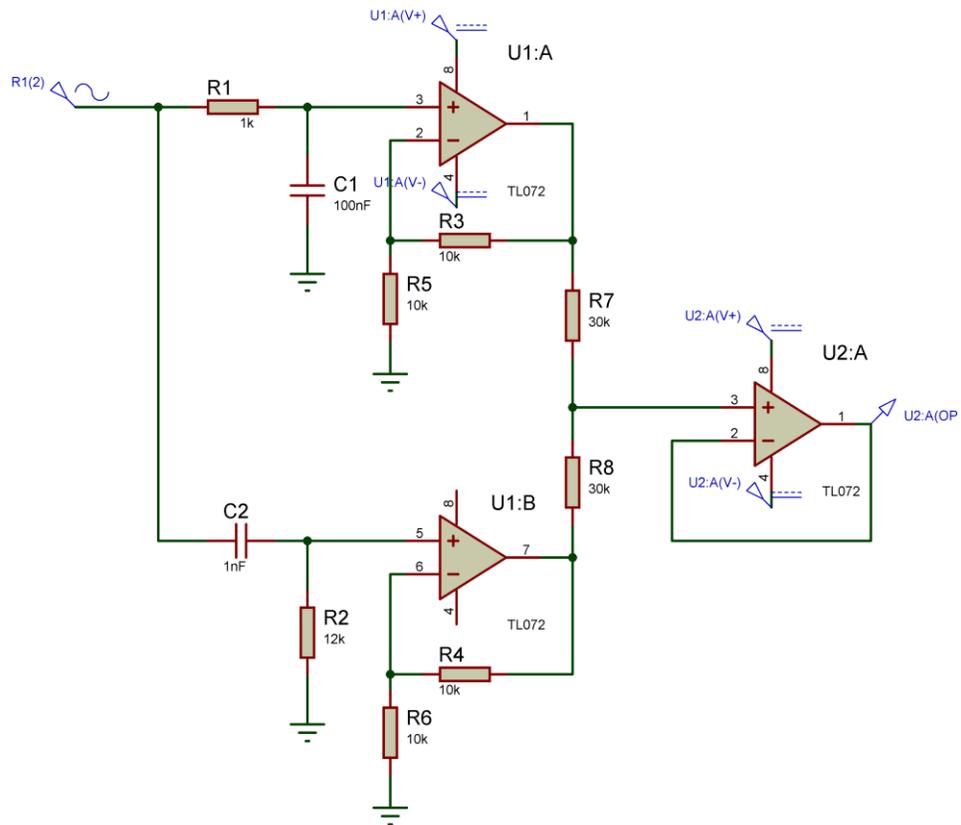


Fuente: Diseño Autor

3.10.4 Filtro Rechaza-banda. Podemos realizar un filtro rechaza banda empleando la suma de un filtro pasa-bajos y un pasa-altos no solapados. En este caso se emplearon filtros de primer orden para simplificar la circuitería.

$$f_{baja} = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} = 1591.56Hz \qquad f_{alta} = \frac{1}{2\pi R_2 C_2} = 13.263kHz$$

Figura 106. Filtro Rechaza-Banda



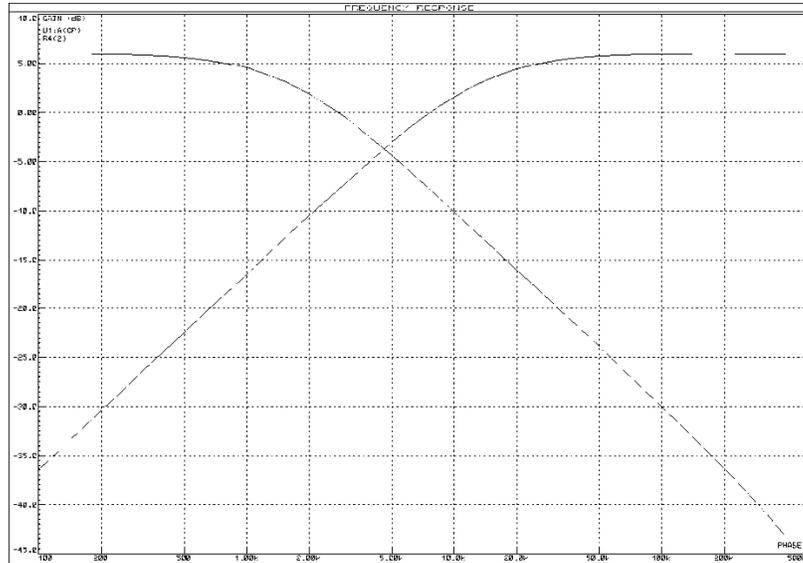
Fuente: Diseño Autor

MATERIALES REQUERIDOS

- C11: TL 072
- C12: TL 072
- R1: 1kΩ
- R2: 12kΩ
- R3: 10kΩ
- R4: 10kΩ

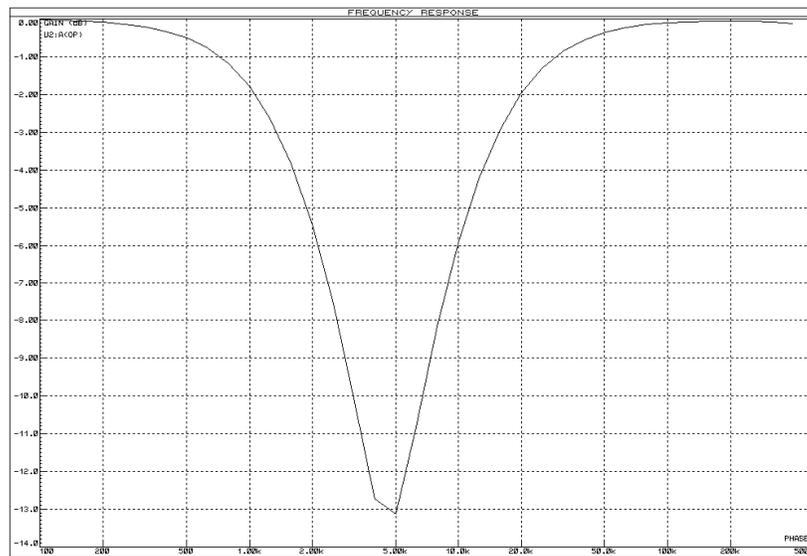
- R5: 10k Ω
- R7: 30k Ω
- R8: 30k Ω
- C1: 100nF
- C2:1nF

Figura 107. Respuesta en frecuencia de cada filtro dentro del sistema rechaza-banda



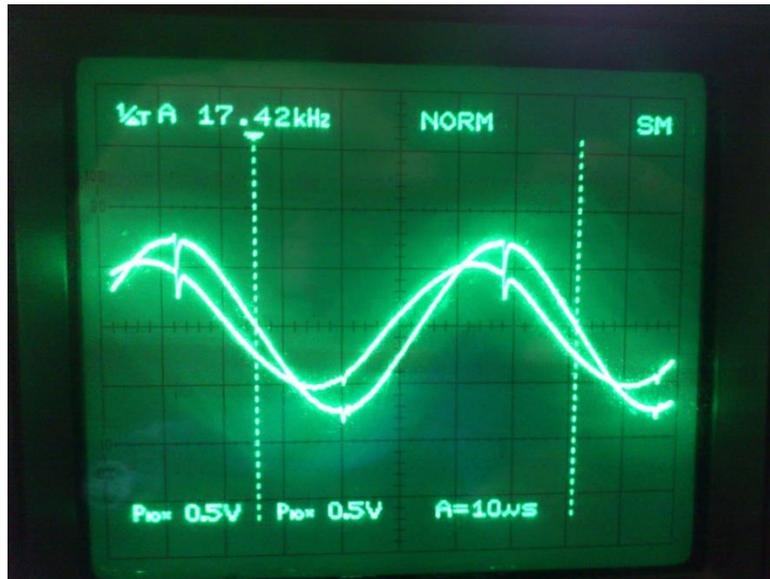
Fuente: Autor

Figura 108. Respuesta en frecuencia filtro rechaza-banda



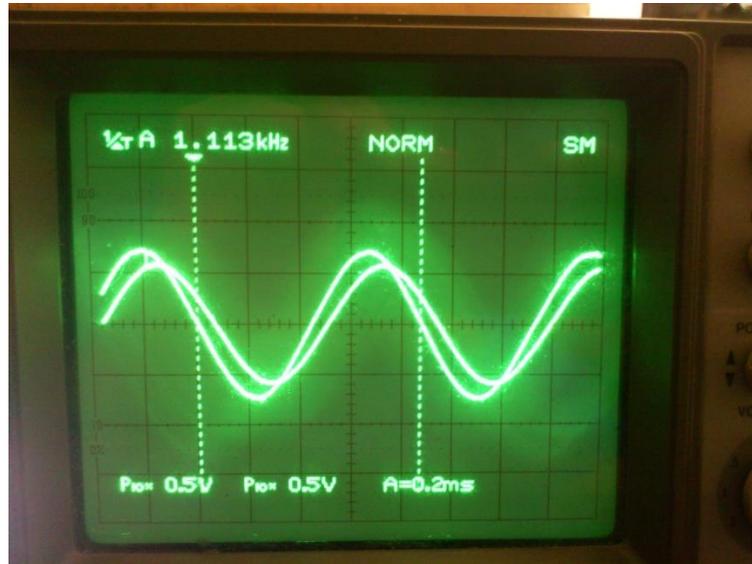
Fuente: Autor

Figura 109. Respuesta filtro rechaza-banda frecuencia de corte superior



Fuente: Diseño Autor

Figura 110. Respuesta filtro rechaza-banda frecuencia de corte inferior



Fuente: Diseño Autor

3.11 FILTROS PASIVOS

Debido a que los bafles no tienen un solo altavoz, sino dos, tres, o a veces más se usan los filtros pasivos. Cuando un baffle tiene un solo altavoz no suelen sonar

demasiado bien, el problema es que no todos los altavoces pueden reproducir correctamente todo el rango de frecuencias audibles.

Para crear sonidos graves (Woofers) hay que desplazar una gran cantidad de aire, y para eso hace falta un altavoz grande. Este altavoz tendrá masa, y será difícil moverlo a altas frecuencias, ya que el tiempo que tarda en adquirir velocidad el cono es grande.

Un tweeter puede estar sometido a campos de 1000 G, aunque la reducida masa de la cúpula hace que la fuerza que acelera la cúpula sea de 20-25 N. Esto sería impensable con las pesadas membranas de los woofers.

Lo contrario ocurre con altavoces pequeños. Para mover un gran volumen de aire con un pistón, puedes tener mucha área y poco desplazamiento o mucho desplazamiento y poca área. El problema es que existen limitaciones a la excursión máxima de la membrana.

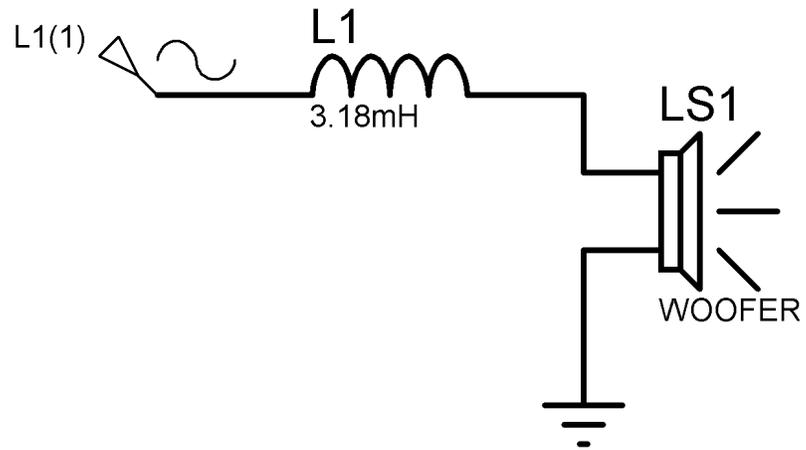
3.11.1 Filtro Pasa-bajos. Deseamos diseñar un filtro tipo Butterworth paso bajo simple de 6dB/oct para una frecuencia de corte de 400 Hz: deberemos de tener en cuenta que el elemento que deberá estar en serie con el altavoz será una bobina. La Resistencia que ofrece una bobina al paso de la corriente alterna depende de su frecuencia por tanto:

$$X_L = 2\pi fL \quad ec(2.7)$$

En un filtro de 6dB/oct a la frecuencia de corte, la X_L debe de ser igual a la resistencia de carga que presente el filtro, es decir el altavoz que esté conectado a este, por ejemplo 8Ω . Calcular la bobina L para una frecuencia de corte de 400Hz y un altavoz conectado de 8Ω :

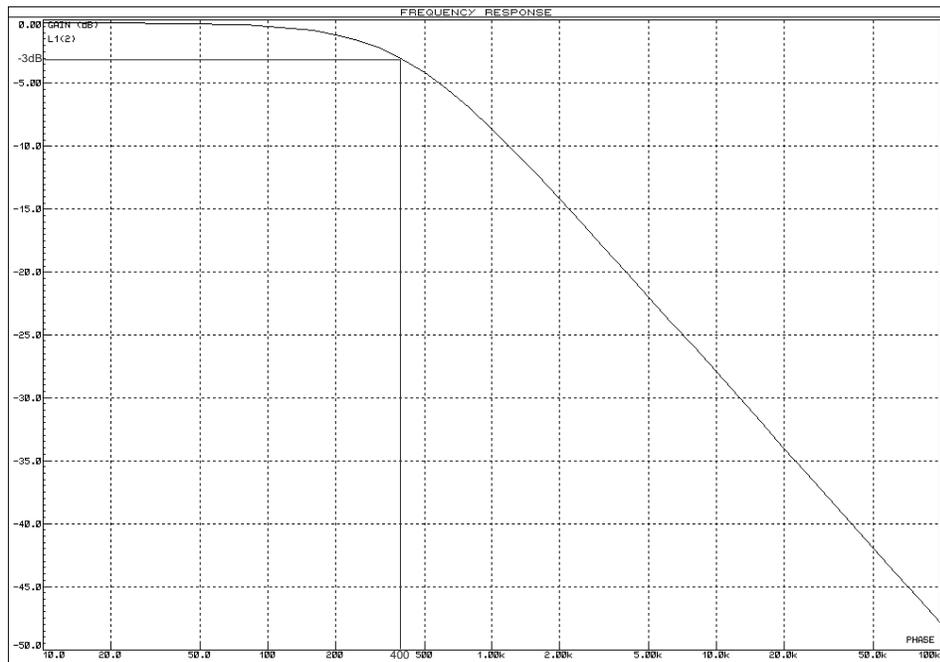
$$X_L = R_{altavoz}; \quad L = \frac{R_{altavoz}}{2\pi f} = \frac{8}{2\pi(400)} = 3.18mH$$

Figura 111. Filtro pasa Bajo



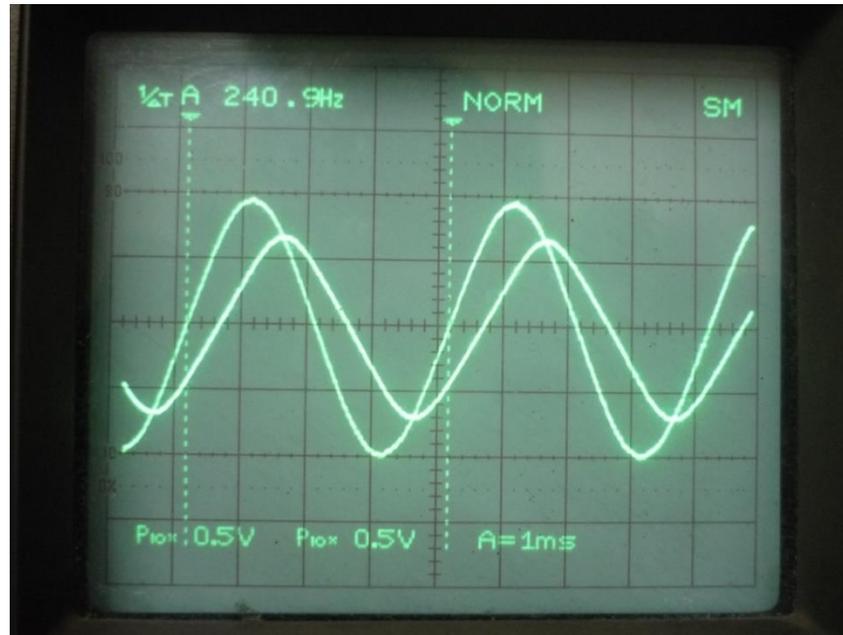
Fuente: Diseño Autor

Figura 112. Respuesta en frecuencia filtro pasa bajo



Fuente: autor

Figura 113. Frecuencia de corte real



Fuente: Diseño Autor

Al tratarse de un filtro paso bajo sólo podemos hablar de una frecuencia de corte, la superior. La frecuencia de corte se define como la frecuencia en la cual la amplitud de la señal de salida es de un 70,7% del valor de la amplitud máxima de la señal a la entrada o, lo que es lo mismo $\frac{1}{\sqrt{2}}$ de la amplitud máxima (punto de potencia media -3dB). Si trazamos una recta desde el punto de ganancia de -3dB hasta la curva de respuesta, en el punto de corte de la recta con la curva obtendremos la frecuencia de corte 400Hz .

Aunque nos dicen que se trata de un filtro con una pendiente de 6 dB/octava , se debe comprobar sobre la gráfica sobre el tramo de caída de la curva por encima de la frecuencia de corte. La pendiente de esta recta es lo que marca el orden del filtro. La pendiente se mide en dB/octava . Una octava es el doble de algo. Para comprobar si se trata de un filtro de orden 1 (6dB/octava) tomamos una frecuencia por encima de los 400Hz , que este cerca del tramo curvo, por ejemplo 500Hz y una frecuencia una octava superior 1KHz y medimos sobre la gráfica el punto de ganancia a cada frecuencia. Se repetirá la operación para otros dos valores más alejados del tramo curvo, por ejemplo 2KHz y 4KHz .

Tabla 2. Relación de frecuencias

Frecuencia	Ganancia	dB/Octava
501,18Hz	-4,09 dB	4,5 dB/Octava
1KHz	-8,59 dB	
1,99KHz	-14,12 dB	6,03 dB/Octava
4,06KHz	-20.15 dB	

Observamos de la tabla tabla 2 que la regla teórica de 6 dB/Octava sólo se cumple cuando nos alejamos de la frecuencia de corte, justo en el tramo recto de caída de la curva de respuesta del filtro.

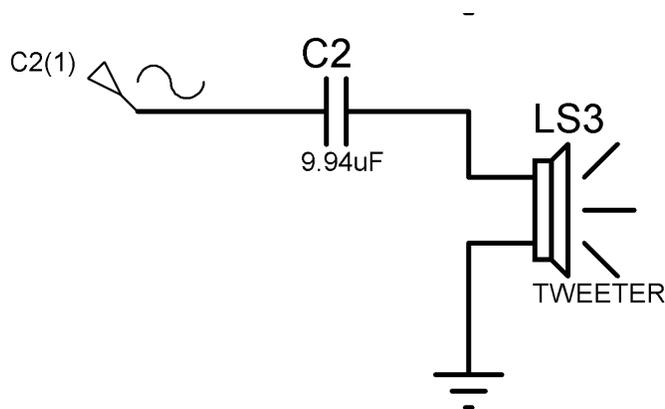
3.11.2 Filtro Pasa-altos. Ya que el comportamiento del condensador en alterna tiene un comportamiento inverso al de la bobina yal estar en serie con el altavoz (resistencia de 8Ω) a medida que la frecuencia aumenta, aumenta la caída de tensión en el altavoz y por supuesto la potencia que se disipa en él.

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} \quad ec(2.8)$$

Para el cálculo de la capacitancia del condensador C, para la frecuencia de corte indicada se emplea el mismo razonamiento que en el filtro pasa-bajos, es decir la impedancia del altavoz se iguala a la del condensador para una señal alterna cuya frecuencia coincide con la de corte 2KHz.

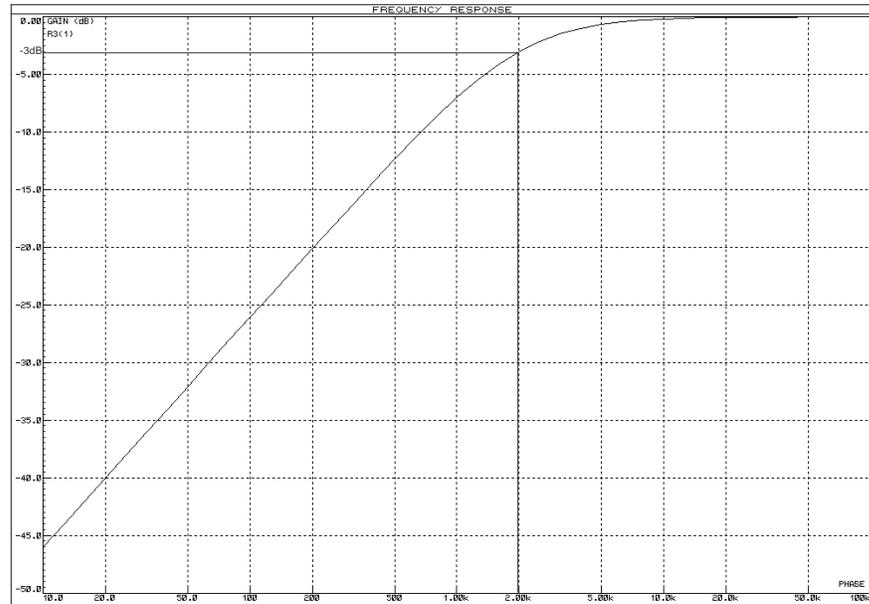
$$X_C = R_{altavoz}; \quad C = \frac{1}{2\pi f R_{altavoz}} = \frac{1}{2\pi(2000)(8)} = 9.95\mu F$$

Figura 114. Filtro pasa Alto



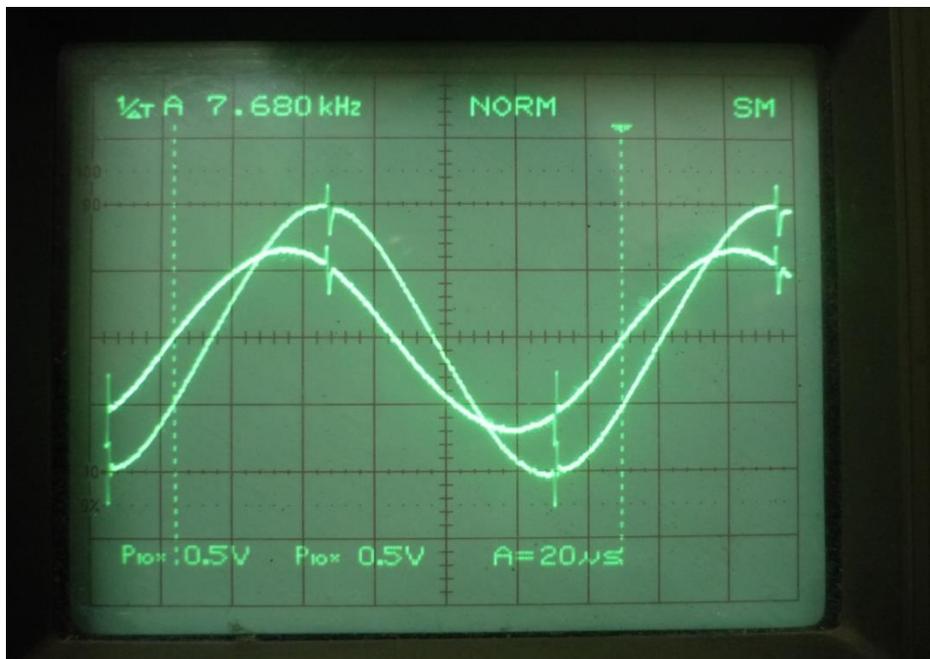
Fuente: Diseño Autor

Figura 115. Respuesta en frecuencia filtro pasa Alto



Fuente: Autor

Figura 116. Frecuencia de corte real



Fuente: Diseño Autor

Al tratarse de un filtro paso alto sólo podemos hablar de una frecuencia de corte, la inferior. La frecuencia de corte se define como la frecuencia en la cual la amplitud de la señal de salida es de un 70,7% del valor de la amplitud máxima de la señal a la entrada o, lo que es lo mismo $\frac{1}{\sqrt{2}}$ de la amplitud máxima (punto de potencia media -3dB). Si trazamos una recta desde el punto de ganancia de -3dB hasta la curva de respuesta, en el punto de corte de la recta con la curva obtendremos la frecuencia de corte 2000Hz .

Aunque nos dicen que se trata de un filtro con una pendiente de 6 dB/octava , se debe comprobar sobre la gráfica sobre el tramo de caída de la curva por encima de la frecuencia de corte. La pendiente de esta recta es lo que marca el orden del filtro.

La pendiente se mide en dB/octava . Una octava es el doble de algo. Para comprobar si se trata de un filtro de orden 1 (6dB/octava) tomamos una frecuencia por debajo de los 2kHz , que este cerca del tramo curvo, por ejemplo 1kHz y una frecuencia una octava inferior 500Hz y medimos sobre la gráfica el punto de ganancia a cada frecuencia. Repetiremos la operación para otros dos valores más alejados del tramo curvo, por ejemplo 400Hz y 200Hz .

Tabla 3. Relación de frecuencias

Frecuencia	Ganancia	dB/Octava
1KHz	-6.99 dB	5.3 dB/Octava
501,18Hz	-12.29 dB	
404,45Hz	-14,06 dB	6 dB/Octava
199.52Hz	-20.06 dB	

Observamos de la tabla 3 que la regla teórica de 6 dB/Octava sólo se cumple cuando nos alejamos de la frecuencia de corte, justo en el tramo recto de caída de la curva de respuesta del filtro.

3.11.3 Filtro Pasa-banda. Combinando los efectos de bobina y condensador y al estar en serie con el altavoz (resistencia de $8\ \Omega$) se obtiene un efecto solapado en el cual la curva de respuesta en frecuencia presenta dos valores entre los cuales se permitirá el paso de señal y fuera de ellos será atenuada.

$$Ganancia = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{2\pi fL}{R} + \frac{1}{2\pi fRC}}} \quad ec(2.9)$$

Se observa que para la frecuencia de 0Hz y para valores elevados, la ganancia se hace bastante pequeña, es decir, se atenúan considerablemente las frecuencias bajas y altas. Sin embargo existe un punto máximo en la curva que corresponde a la frecuencia de resonancia del circuito. A esta frecuencia la tensión de entrada y la intensidad están en fase, es decir, se anulan las impedancias reactivas del circuito.

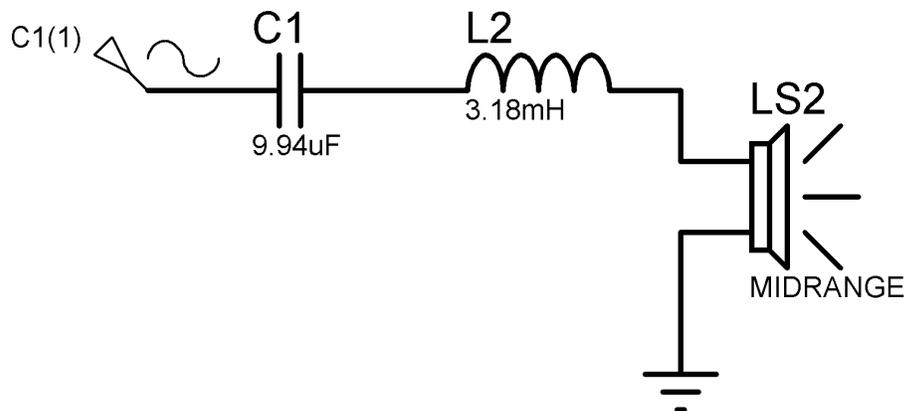
$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad ec(2.10)$$

De la curva se puede deducir que existen dos puntos para Ganancia igual a -3dB: es decir, hay dos frecuencias de corte f_{c1} y f_{c2}

$$f_{c1} = -\frac{R}{4\pi L} + \frac{1}{4\pi} \sqrt{\frac{R^2}{L^2} + \frac{4}{LC}} \quad ec(2.11)$$

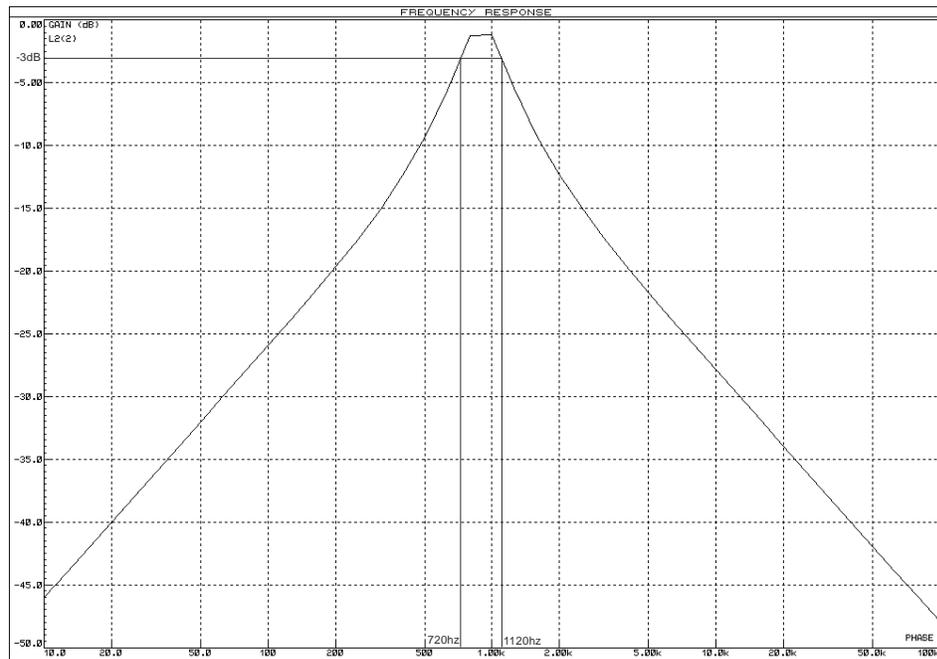
$$f_{c2} = \frac{R}{4\pi L} + \frac{1}{4\pi} \sqrt{\frac{R^2}{L^2} + \frac{4}{LC}} \quad ec(2.12)$$

Figura 117. Filtro pasa Banda



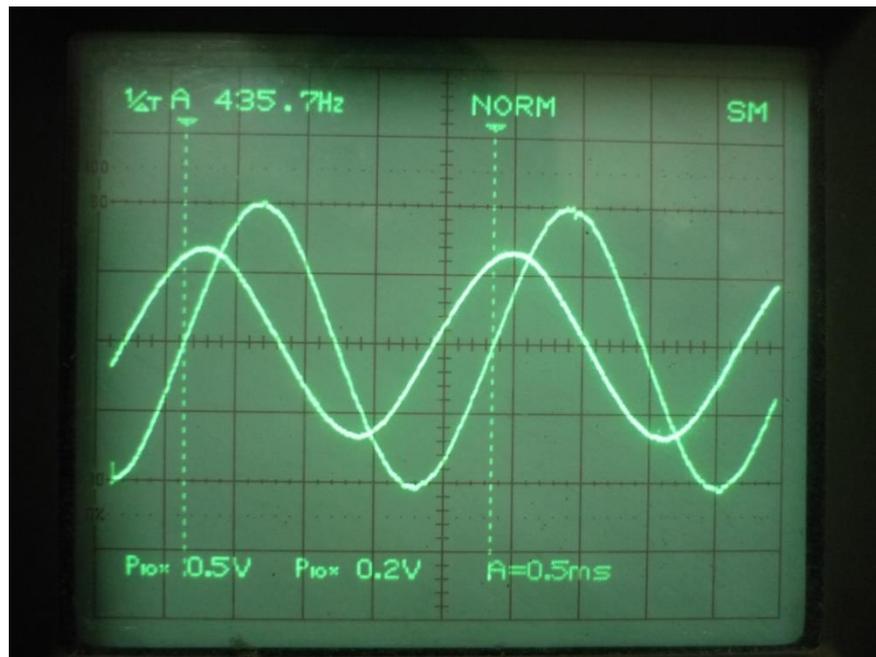
Fuente: Diseño Autor

Figura 118. Respuesta en frecuencia filtro pasa banda



Fuente: Autor

Figura 119. Frecuencia de corte inferior real



Fuente: Diseño Autor

Reemplazando los valores se tiene:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{3.18mH \cdot 9.94\mu F}} = 895.18Hz$$

De la curva se puede deducir que existen dos puntos para Ganancia igual a -3dB: es decir, hay dos frecuencias de corte f_{c1} y f_{c2}

$$f_{c1} = -\frac{8}{4\pi \cdot 3.18mH} + \frac{1}{4\pi} \sqrt{\frac{8^2}{3.18mH^2} + \frac{4}{3.18mH \cdot 9.94\mu F}} = 717.10Hz$$

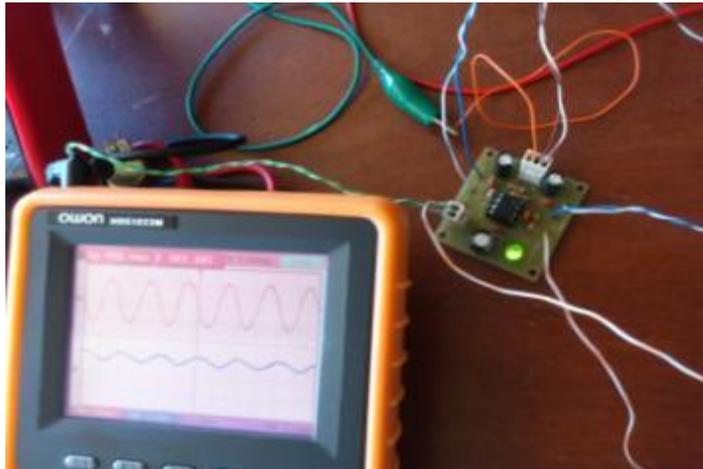
$$f_{c2} = \frac{8}{4\pi \cdot 3.18mH} + \frac{1}{4\pi} \sqrt{\frac{8^2}{3.18mH^2} + \frac{4}{3.18mH \cdot 9.94\mu F}} = 1117.49Hz$$

4. DESARROLLO Y CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO

4.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se mostraran fotos de las diferentes tarjetas utilizadas en el diseño del módulo además de las fotos del mismo en su etapa final.

Figura 120. Tarjetas y mediciones



Fuente: Diseño Autor



Fuente: Diseño Autor

El proyecto está compuesto por diferentes etapas, a continuación mencionaremos cada etapa con su respectivo circuito final.

Figura 121. Amplificador inversor



Fuente: Diseño Autor

Figura 122. Amplificador no inversor



Fuente: Diseño Autor

Figura 123. Amplificador de bajos y agudos



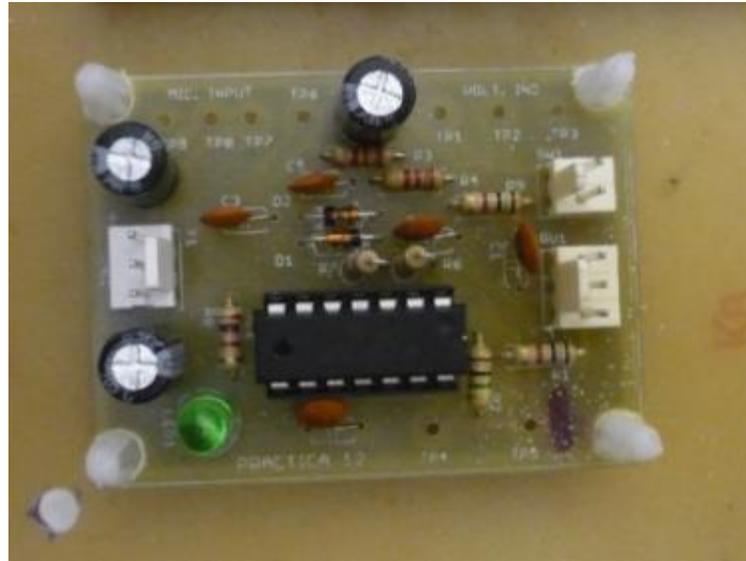
Fuente: Diseño Autor

Figura 124. Mezclador dual



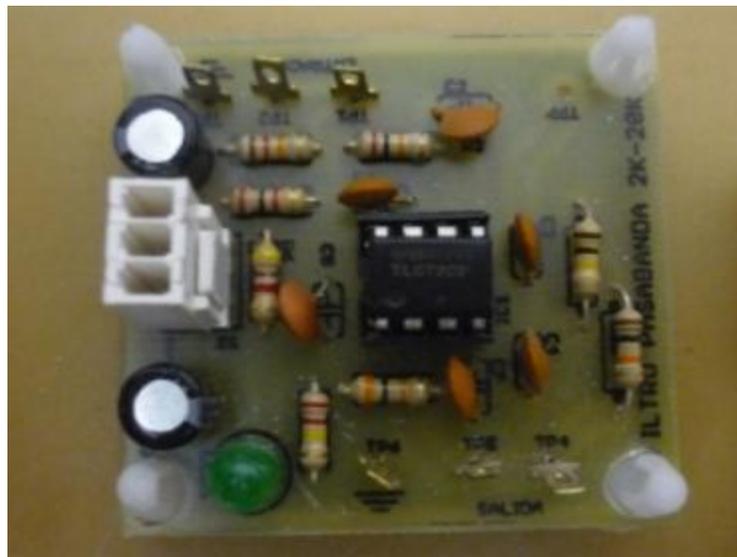
Fuente: Diseño Autor

Figura 125. Amplificador de micrófono



Fuente: Diseño Autor

Figura 126. Filtro pasa bajo-pasa alto



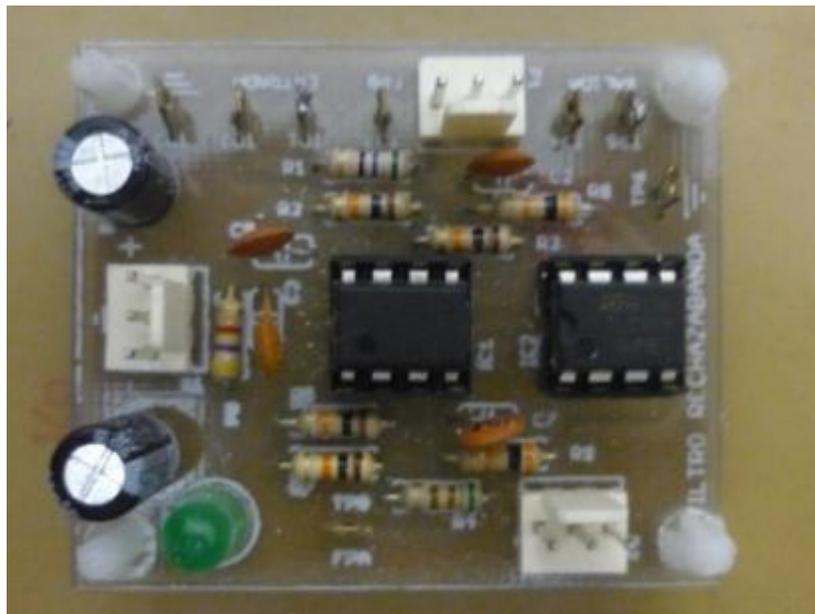
Fuente: Diseño Autor

Figura 127. Filtro pasa banda



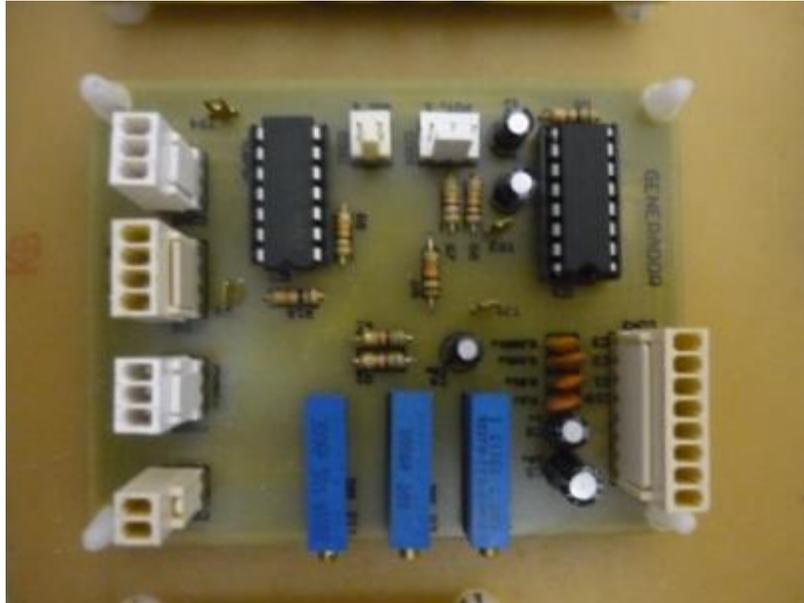
Fuente: Diseño Autor

Figura 128. Filtro rechaza banda



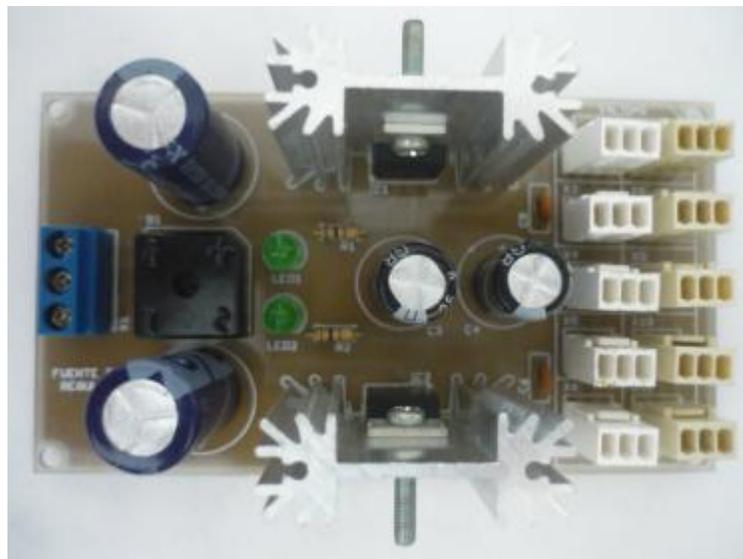
Fuente: Diseño Autor

Figura 129. Generador de señales



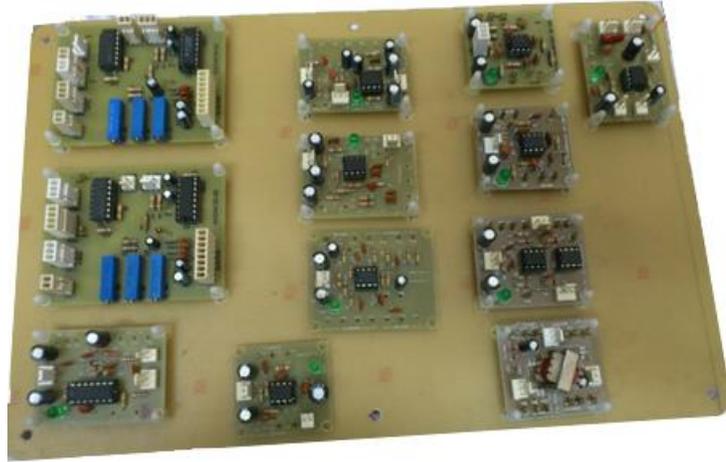
Fuente: Diseño Autor

Figura 130. Fuente de alimentación



Fuente: Diseño Autor

Figura 131. Tarjeta final



Fuente: Diseño Autor

Figura 132. Modulo final



Fuente: Diseño Autor

Figura 133. Modulo final 2



Fuente: Diseño Autor

5. GUÌAS PRÀCTICAS DE LABORATORIO

TALLER MÓDULO DIDÁCTICO DE SISTEMAS DE AUDIO PROYECTO 1: Amplificador No Inversor con Ganancia

OBJETIVOS

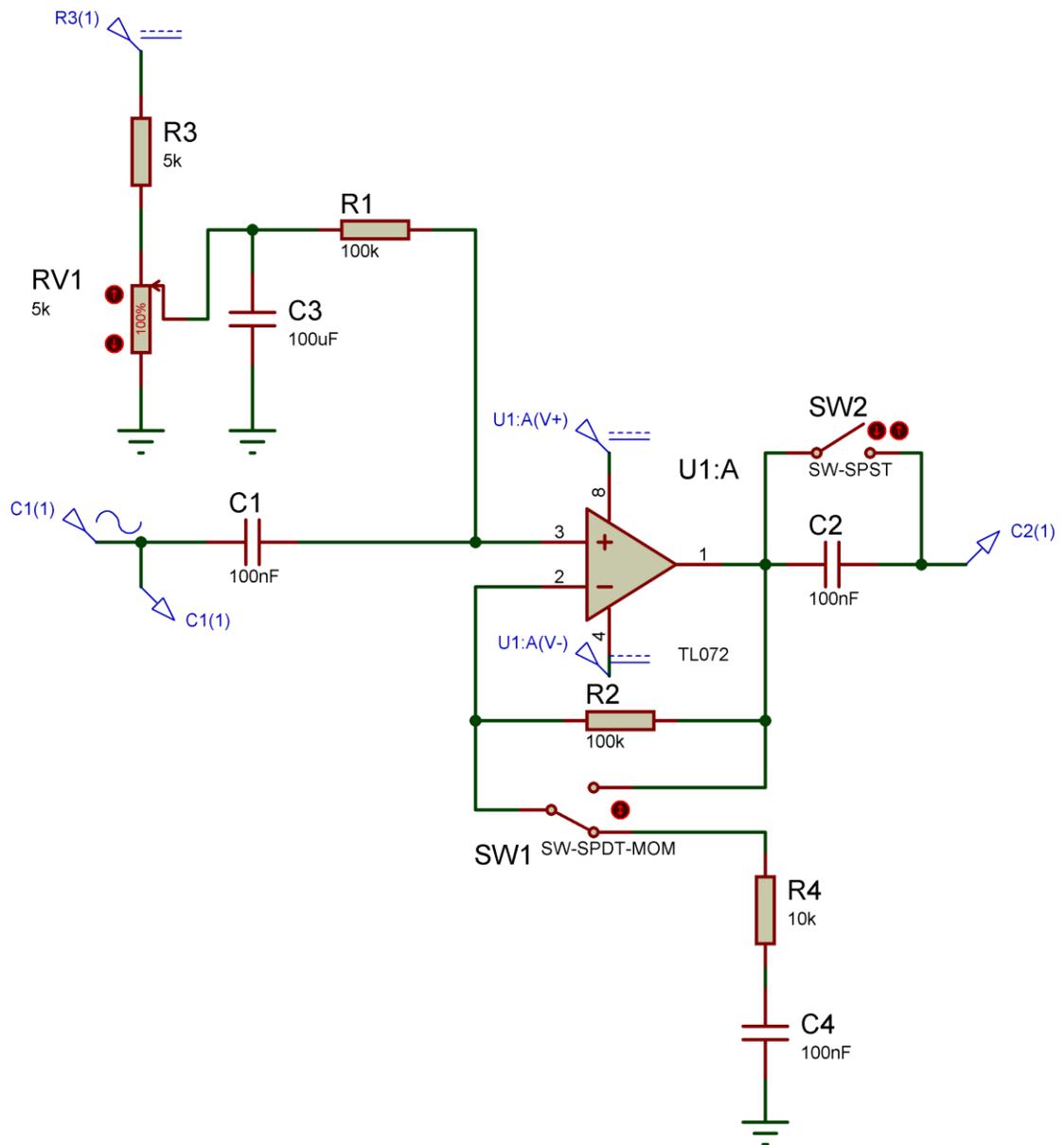
1. Comprender el funcionamiento de un Amplificador No Inversor para señales AC.
2. Conocer, determinar e interpretar características inherentes de los amplificadores de señal (Ganancia, nivel de saturación y Función de Transferencia).
3. Reconocer la importancia de la aplicación de circuitos amplificadores de señal en proyectos relacionados con sistemas de audio.

FUNDAMENTO TEÓRICO

El circuito Op-Amp No Inversor es un circuito que a diferencia del Op-Amp Inversor, permite amplificar sin invertir una señal de entrada. Al proporcionar una señal en la entrada no inversora del amplificador operacional se obtiene una señal con mayor amplitud en la salida del mismo, de manera análoga que el Amplificador Inversor también se presenta una Ganancia en la señal.

Al igual que en el amplificador inversor la ganancia puede verse afectada en función de la frecuencia de la señal de entrada, esto se puede determinar gracias a la Función de Transferencia, que demuestra la ganancia del amplificador para cada frecuencia. Lo usual es que el amplificador se comporte de manera lineal mientras trabaja dentro de un rango de frecuencias determinado, asegurando de este modo una ganancia constante para cualquier señal de entrada.

Figura 134. Proyecto 1: Circuito esquemático Amplificador Operacional No Inversor

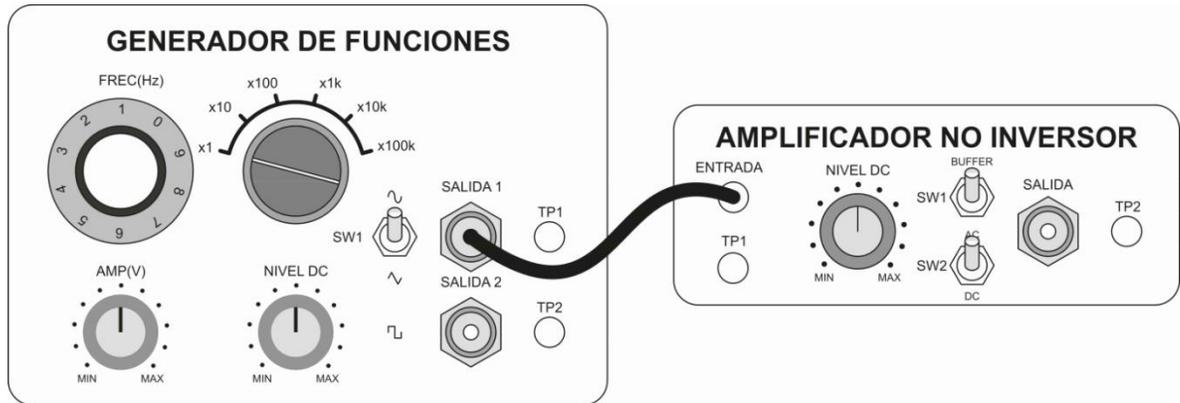


Fuente: Diseño Autor

HERRAMIENTAS REQUERIDAS

- Módulo Didáctico de Sistemas de Audio
- Osciloscopio digital.

Figura 135. Proyecto 1: Conexión Amplificador Operacional No Inversor



Fuente: Diseño Autor

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

1. Asegúrese de contar con las medidas de seguridad adoptadas según el reglamento para el uso de laboratorios de la facultad de ingeniería electrónica.
2. Ajuste el generador de señales a 1KHz y una amplitud de 0.5Vp con cero nivel de DC, para esto seleccione en el SW1 del generador de funciones en la posición para el tipo de onda seno, coloque la perilla de escala de frecuencia en x1K, ajuste el potenciómetro "FREC(Hz)" a 1KHz, gradúe el valor de la amplitud de salida girando el potenciómetro "AMP(V)" de la señal del generador, compruebe todos los pasos anteriores mediante un osciloscopio conectado en "TP1" y realice todos los ajustes necesarios.
3. Conecte la "SALIDA 1" del generador de funciones en la "ENTRADA" del "AMPLIFICADOR NO INVERSOR" empleando los conectores suministrados para el módulo. Verifique que el interruptor "SW1" del amplificador no se encuentre en la posición de "BUFFER".
4. Conecte la punta del segundo canal del osciloscopio en "TP2". Grafique los valores de entrada y el de amplificación a la salida. Compare la amplitud de la señal de salida con la de entrada, diga si varía la frecuencia o la amplitud. Si observa saturación en la salida gire la perilla de "NIVEL DC" de forma que elimine la distorsión.
5. Con el "SW2" del "AMPLIFICADOR NO INVERSOR" en posición AC. Compare la amplitud de la señal de salida con la de entrada, diga si varía la frecuencia o amplitud. ¿Percibe cambios en la amplitud de la señal? , descríbalos, frecuencia y forma de onda. Compare la fase de la señal de salida. Con base en las amplitudes de la señal de entrada y salida determine la ganancia del voltaje.
6. Con el "SW2" del "AMPLIFICADOR NO INVERSOR" en posición DC. Compare la amplitud de la señal de salida con la de entrada, diga si varía la frecuencia o amplitud. ¿Percibe cambios en la amplitud de la señal? , descríbalos, frecuencia y forma de onda. Compare la fase de la señal de salida. Con base en las amplitudes

de la señal de entrada y salida determine la ganancia del voltaje. ¿Qué sucede si gira la perilla de “NIVEL DC”?

7. Aumente la amplitud de la señal de entrada. ¿Qué sucede con la señal de salida? Explique lo que sucedió.

8. Simule el circuito en “Proteus u otro simulador” y describa los resultados de la simulación comparados con los del módulo y saque conclusiones al respecto.

TALLER MÓDULO DIDÁCTICO DE SISTEMAS DE AUDIO

PROYECTO 2: Buffer No Inversor

OBJETIVOS

1. Comprender el funcionamiento de un Circuito Buffer No Inversor para señales AC.
2. Identificar las diferencias de operación y diseño entre un Buffer Inversor y un Buffer No Inversor.
3. Conocer, determinar e interpretar características inherentes de los amplificadores de señal (Ganancia y nivel Saturación).
4. Conocer las aplicaciones de este circuito para sistemas de audio y para proyectos donde se necesite acoplar impedancias.

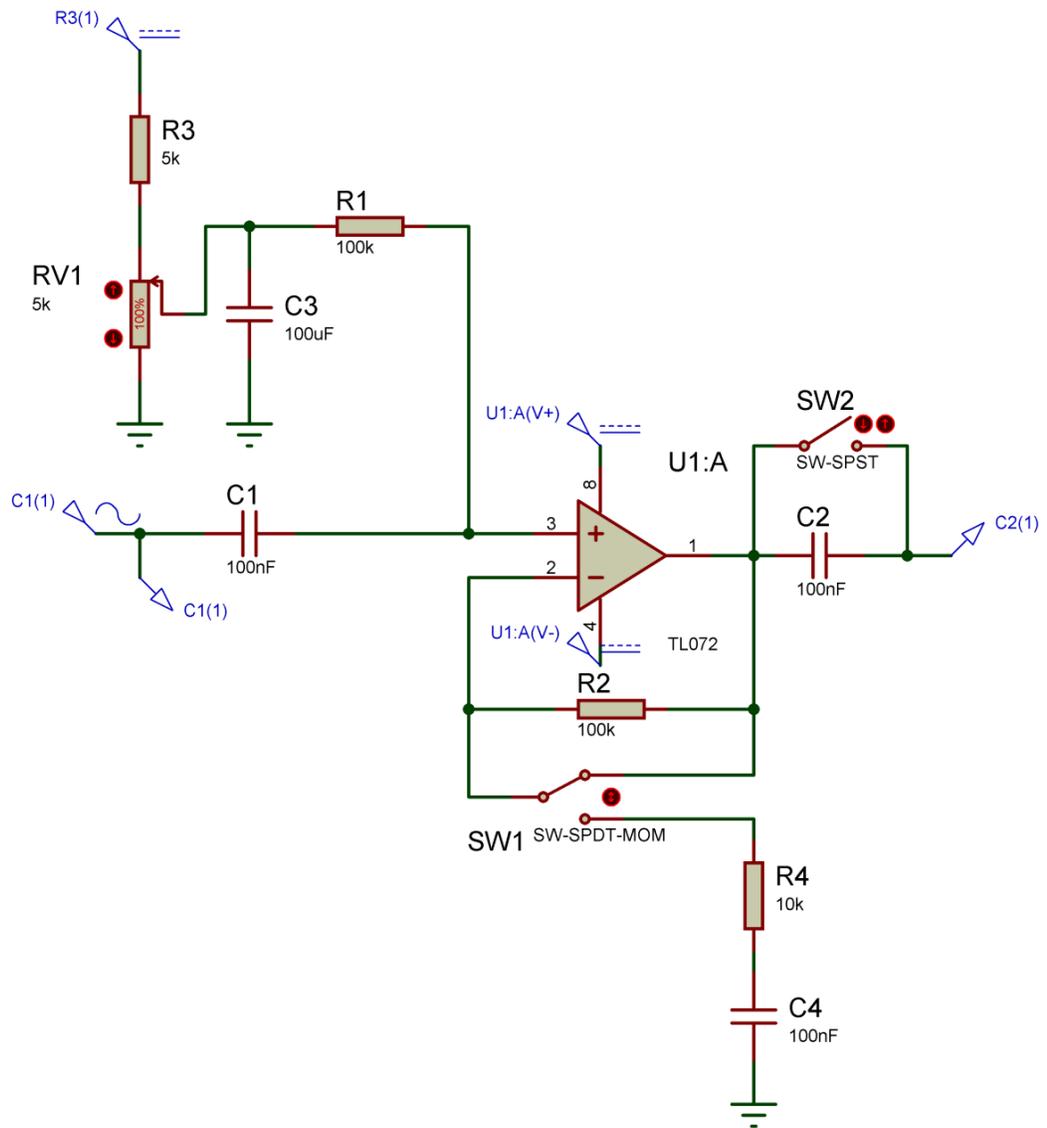
FUNDAMENTO TEÓRICO

El buffer no inversor no produce inversión de fase entre la salida y la señal de entrada, aunque para aplicaciones de audio este factor no tiene especial relevancia. Un buffer provee muy buen aislamiento entre dos etapas de señal, y, manteniendo estas propiedades de aislamiento, tiene una ganancia unitaria que proporciona neutralidad adicional. La alta impedancia de entrada es la característica para que los buffer inhiban cualquier efecto de carga en la señal. La baja impedancia de salida de los buffers facilita la conexión de una etapa siguiente.

Los Buffers no son circuitos puntuales al momento de estudiarlos a fondo, generalmente se presentan como una interface entre dos circuitos para su acoplamiento, por ende no generan expectativa. Un circuito con una ganancia de $x1$ no debe concebir cambios, esto quiere decir que la señal de entrada debe ser exactamente la misma señal de salida.

Es importante notar que si se desea solamente una ganancia de 1, entonces no se encontraría un beneficio en un Amplificador No Inversor con un operacional, pero no se conseguiría las altas impedancias de entrada y las impedancias de salida bajas logradas con la utilización de un Buffer activo.

Figura 136. Proyecto 2: Circuito esquemático Buffer No Inversor

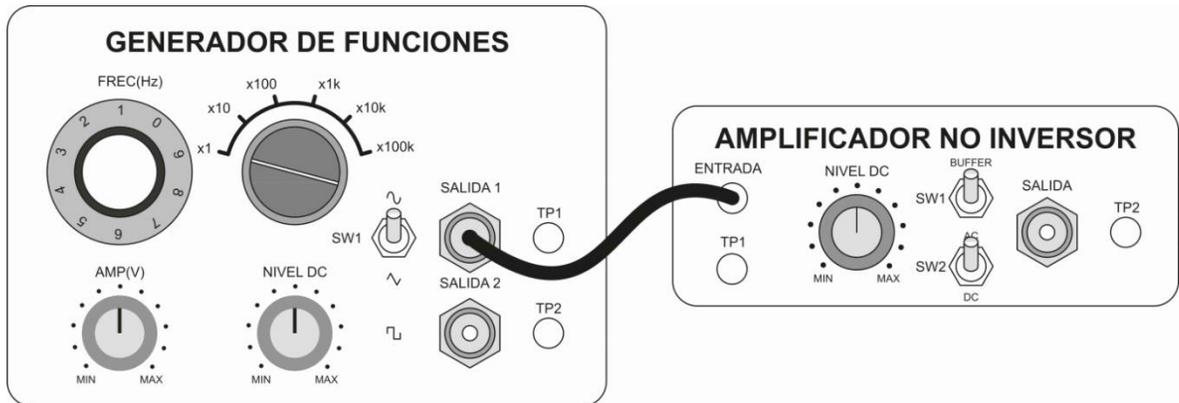


Fuente: Diseño Autor

HERRAMIENTAS REQUERIDAS

- Módulo Didáctico de Sistemas de Audio
- Osciloscopio digital

Figura 137. Proyecto 2: Conexión Buffer No Inversor



Fuente: Diseño Autor

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

1. Asegúrese de contar con las medidas de seguridad adoptadas según el reglamento para el uso de laboratorios de la facultad de ingeniería electrónica.
2. Ajuste el generador de señales a 1KHz y una amplitud de 0.5Vp con cero nivel de DC, para esto seleccione en el SW1 del generador de funciones en la posición para el tipo de onda seno, coloque la perilla de escala de frecuencia en x1K, ajuste el potenciómetro "FREC(Hz)" a 1KHz, gradúe el valor de la amplitud de salida girando el potenciómetro "AMP(V)" de la señal del generador, compruebe todos los pasos anteriores mediante un osciloscopio conectado en "TP1" y realice todos los ajustes necesarios.
3. Conecte la "SALIDA 1" del generador de funciones en la "ENTRADA" del "AMPLIFICADOR NO INVERSOR" empleando los conectores suministrados para el módulo. Verifique que el interruptor "SW1" del amplificador se encuentre en la posición de "BUFFER".
4. Conecte la punta del segundo canal del osciloscopio en "TP2". Grafique los valores de entrada y el de amplificación a la salida. Compare la amplitud de la señal de salida con la de entrada, diga si varía la frecuencia o la amplitud. Si observa saturación en la salida gire la perilla de "NIVEL DC" de forma que elimine la distorsión.
5. Con el "SW2" del "AMPLIFICADOR NO INVERSOR" en posición AC. Compare la amplitud de la señal de salida con la de entrada, diga si varía la frecuencia o amplitud. ¿Percibe cambios en la amplitud de la señal? , descríbalos, frecuencia y

forma de onda. Compare la fase de la señal de salida. Con base en las amplitudes de la señal de entrada y salida determine la ganancia del voltaje.

6. Con el “SW2” del “AMPLIFICADOR NO INVERSOR” en posición DC. Compare la amplitud de la señal de salida con la de entrada, diga si varía la frecuencia o amplitud. ¿Percibe cambios en la amplitud de la señal? , descríbalos, frecuencia y forma de onda. Compare la fase de la señal de salida. Con base en las amplitudes de la señal de entrada y salida determine la ganancia del voltaje. ¿Qué sucede si gira la perilla de “NIVEL DC”?

7. Simule el circuito en “Proteus u otro simulador” y describa los resultados de la simulación comparados con los del módulo y saque conclusiones al respecto.

TALLER MÓDULO DIDÁCTICO DE SISTEMAS DE AUDIO

PROYECTO 3: Amplificador Inversor con Ganancia Variable

OBJETIVOS

1. Comprender el funcionamiento de un Amplificador Inversor para señales AC.
2. Conocer, determinar e interpretar características inherentes de los amplificadores de señal (Ganancia y nivel de Saturación).
3. Reconocer la importancia de la aplicación de circuitos amplificadores de señal en proyectos relacionados con sistemas de audio.

FUNDAMENTO TEÓRICO

El circuito Op-Amp Inversor es un sistema que permite amplificar e invertir una señal de corriente alterna. Al tener una señal de corriente alterna en la entrada del circuito se obtiene una señal con mayor amplitud en la salida del mismo, de aquí surge la característica denominada Ganancia, igualmente esta señal estará desfasada 180 grados respecto a la señal original, lo que significa que estará invertida.

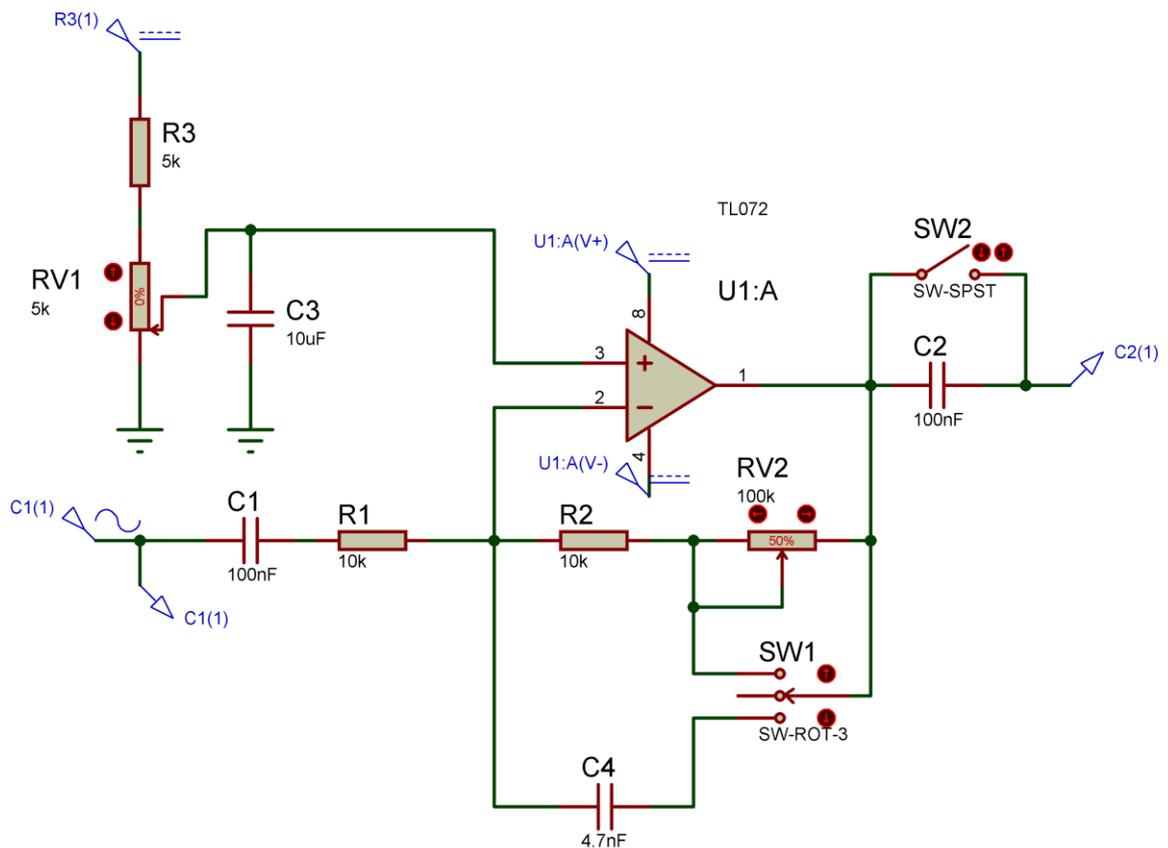
Generalmente los circuitos amplificadores no realizan su función de amplificación para todas las señales con diferentes rangos de frecuencia. Esto se debe a la constitución y diseño del mismo y se conoce como Respuesta en Frecuencia del amplificador operacional. Explícitamente se comprende de la siguiente manera: conforme la frecuencia de la señal a amplificar aumenta, la capacidad que tiene el circuito amplificador operacional disminuye.

El valor máximo para el cual el amplificador operacional obtiene resultados correspondientes al diseño es denominado Frecuencia de Corte indica el límite superior del Ancho de Banda (BW) de este amplificador operacional.

Este circuito ofrece una ganancia variable entre 1 y 10, un rango que satisface las necesidades de muchas aplicaciones. Debido a que el preamplificador probablemente alimente una etapa posterior del amplificador de potencia, no se

requiere que la ganancia sea demasiado alta; de lo contrario lo único que se hace es sobrecargar el amplificador final y obtener una salida distorsionada. Una de las atractivas opciones de este circuito es que puede proporcionar un control de ganancia (RV2). Adicionando el control de ganancia incluirá versatilidad para este proyecto, porque se puede calibrar la sensibilidad relativa de varios dispositivos de entrada (por ejemplo, micrófonos), ajustando la ganancia para un nivel de salida constante.

Figura 138. Proyecto 3: Circuito esquemático Amplificador Operacional Inversor con Ganancia Variable

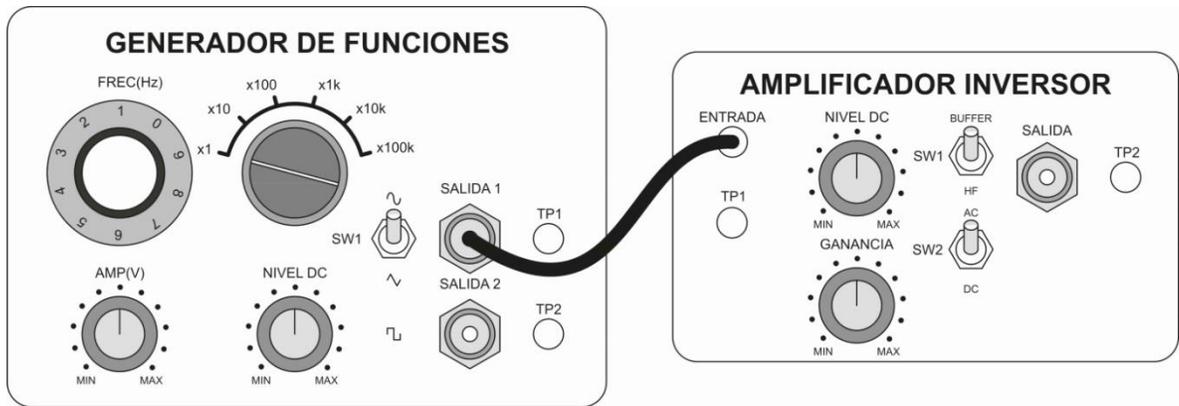


Fuente: Diseño Autor

HERRAMIENTAS REQUERIDAS

- Módulo Didáctico de Sistemas de Audio
- Osciloscopio digital

Figura 139. Proyecto 3: Conexión Amplificador Operacional Inversor con Ganancia Variable



Fuente: Diseño Autor

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

1. Asegúrese de contar con las medidas de seguridad adoptadas según el reglamento para el uso de laboratorios de la facultad de ingeniería electrónica.
2. Ajuste el generador de señales a 1KHz y una amplitud de 0.5Vp con cero nivel de DC, para esto seleccione en el SW1 del generador de funciones en la posición para el tipo de onda seno, coloque la perilla de escala de frecuencia en x1K, ajuste el potenciómetro "FREC(Hz)" a 1KHz, gradúe el valor de la amplitud de salida girando el potenciómetro "AMP(V)" de la señal del generador, compruebe todos los pasos anteriores mediante un osciloscopio conectado en "TP1" y realice todos los ajustes necesarios.
3. Conecte la "SALIDA 1" del generador de funciones en la "ENTRADA" del "AMPLIFICADOR INVERSOR" empleando los conectores suministrados para el módulo. Verifique que el interruptor "SW1" del amplificador no se encuentre en la posición de "BUFFER" ni en "HF". Gire el potenciómetro de "GANANCIA" hasta el máximo.
4. Conecte la punta del segundo canal del osciloscopio en "TP2". Grafique los valores de entrada y el de amplificación a la salida. Compare la amplitud de la señal de salida con la de entrada, diga si varía la frecuencia o la amplitud. Si observa saturación en la salida gire la perilla de "NIVEL DC" de forma que elimine la distorsión.
5. Con el "SW2" del "AMPLIFICADOR INVERSOR" en posición AC. Compare la amplitud de la señal de salida con la de entrada, diga si varía la frecuencia o amplitud. ¿Percibe cambios en la amplitud de la señal?, descríbalos, frecuencia y forma de onda. Compare la fase de la señal de salida. Con base en las amplitudes de la señal de entrada y salida determine la ganancia del voltaje.
6. ¿Que observa si gira el potenciómetro de "GANANCIA"?
7. Con el "SW2" del "AMPLIFICADOR INVERSOR" en posición DC. Compare la amplitud de la señal de salida con la de entrada, diga si varía la frecuencia o

amplitud. ¿Percibe cambios en la amplitud de la señal? , descríbalos, frecuencia y forma de onda. Compare la fase de la señal de salida. Con base en las amplitudes de la señal de entrada y salida determine la ganancia del voltaje. ¿Qué sucede si gira la perilla de “NIVEL DC”?

8. Simule el circuito en “Proteus u otro simulador” y describa los resultados de la simulación comparados con los del módulo y saque conclusiones al respecto.

TALLER MÓDULO DIDÁCTICO DE SISTEMAS DE AUDIO

PROYECTO 4: Buffer Inversor

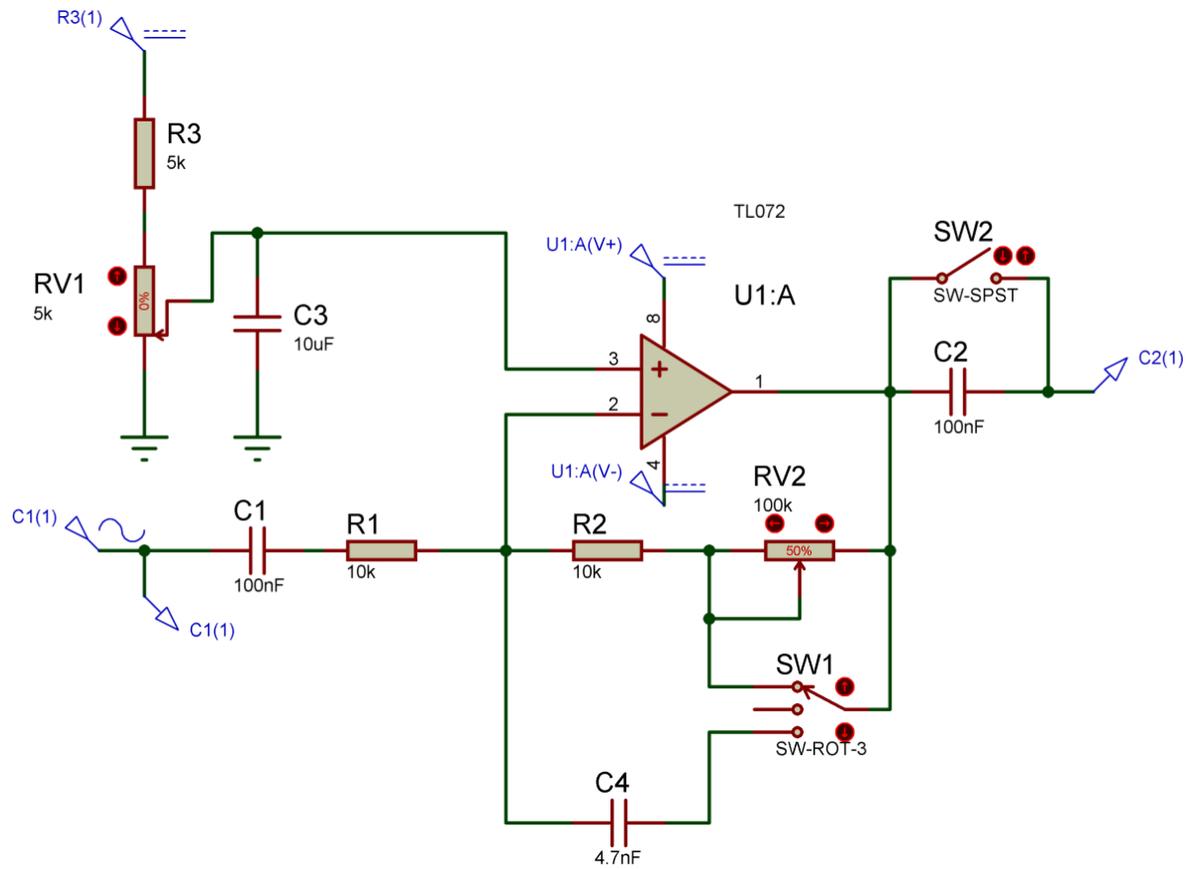
OBJETIVOS

1. Comprender el funcionamiento de un Circuito Buffer Inversor para señales AC.
2. Conocer, determinar e interpretar características inherentes de los amplificadores de señal (Ganancia y nivel de Saturación).
3. Conocer las aplicaciones de este circuito para sistemas de audio y para proyectos donde se necesite acoplar impedancias.

FUNDAMENTO TEÓRICO

Un buffer es un circuito que produce una ganancia de $x1$. Donde la fuente posee un nivel de señal altamente insuficiente, para esto no se adiciona ganancia, sino que se usa la configuración de ganancia unitaria. Se emplea SW1 para cortocircuitar el amplificador inversor y obtener ganancia unitaria.

Figura 140. Proyecto 4: Circuito esquemático Buffer Inversor

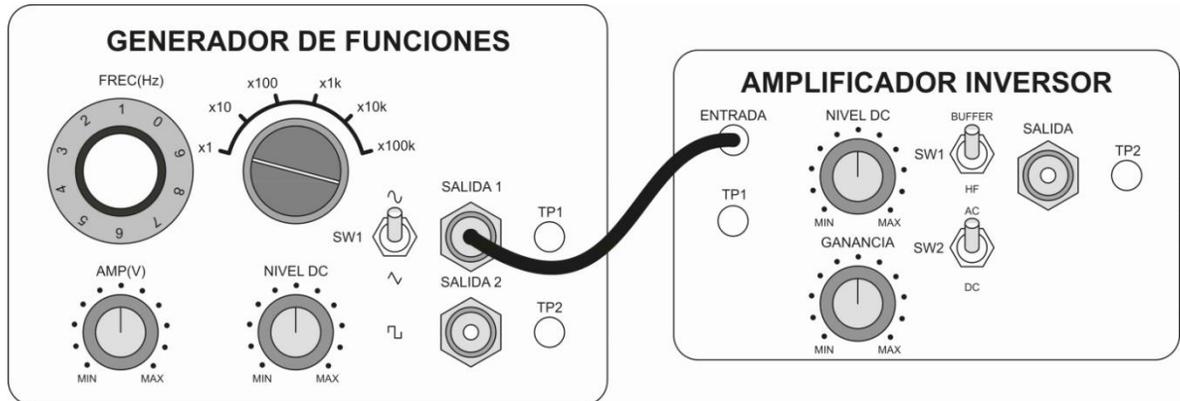


Fuente: Diseño Autor

HERRAMIENTAS REQUERIDAS

- Módulo Didáctico de Sistemas de Audio
- Osciloscopio digital

Figura 141. Proyecto 4: Conexión Buffer Inversor



Fuente: Diseño Autor

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

1. Asegúrese de contar con las medidas de seguridad adoptadas según el reglamento para el uso de laboratorios de la facultad de ingeniería electrónica.
2. Ajuste el generador de señales a 1KHz y una amplitud de 0.5Vp con cero nivel de DC, para esto seleccione en el SW1 del generador de funciones en la posición para el tipo de onda seno, coloque la perilla de escala de frecuencia en x1K, ajuste el potenciómetro "FREC(Hz)" a 1KHz, gradúe el valor de la amplitud de salida girando el potenciómetro "AMP(V)" de la señal del generador, compruebe todos los pasos anteriores mediante un osciloscopio conectado en "TP1" y realice todos los ajustes necesarios.
3. Conecte la "SALIDA 1" del generador de funciones en la "ENTRADA" del "AMPLIFICADOR INVERSOR" empleando los conectores suministrados para el módulo. Verifique que el interruptor "SW1" del amplificador se encuentre en la posición de "BUFFER".
4. Conecte la punta del segundo canal del osciloscopio en "TP2". Grafique los valores de entrada y el de amplificación a la salida. Compare la amplitud de la señal de salida con la de entrada, diga si varía la frecuencia o la amplitud. Si observa saturación en la salida gire la perilla de "NIVEL DC" de forma que elimine la distorsión.
5. Con el "SW2" del "AMPLIFICADOR INVERSOR" en posición AC. Compare la amplitud de la señal de salida con la de entrada, diga si varía la frecuencia o amplitud. ¿Percibe cambios en la amplitud de la señal? , descríbalos, frecuencia y forma de onda. Compare la fase de la señal de salida. Con base en las amplitudes de la señal de entrada y salida determine la ganancia del voltaje.
6. Con el "SW2" del "AMPLIFICADOR INVERSOR" en posición DC. Compare la amplitud de la señal de salida con la de entrada, diga si varía la frecuencia o amplitud. ¿Percibe cambios en la amplitud de la señal? , descríbalos, frecuencia y forma de onda. Compare la fase de la señal de salida. Con base en las amplitudes

de la señal de entrada y salida determine la ganancia del voltaje. ¿Qué sucede si gira la perilla de “NIVEL DC”?

7. Simule el circuito en “Proteus u otro simulador” y describa los resultados de la simulación comparados con los del módulo y saque conclusiones al respecto.

TALLER MÓDULO DIDÁCTICO DE SISTEMAS DE AUDIO

PROYECTO 5: Amplificador Inversor de Alta Ganancia con Filtro de Corte de Alta Frecuencia (HF)

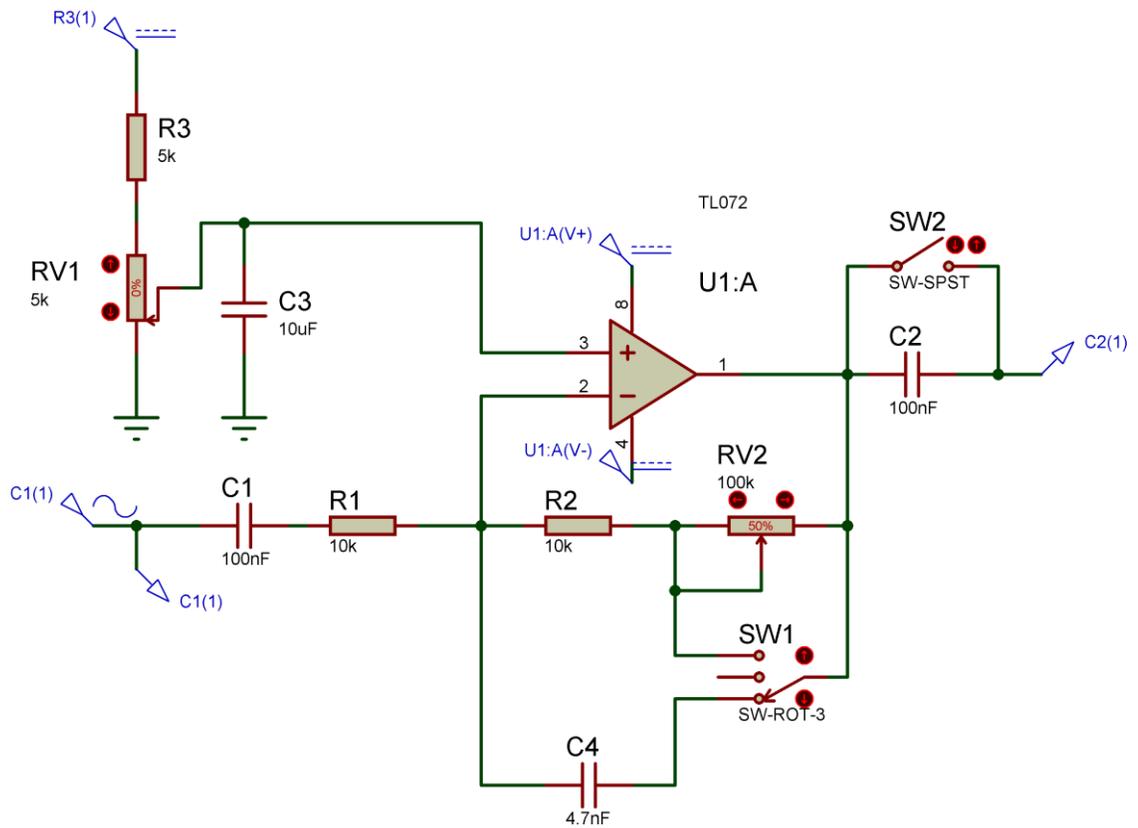
OBJETIVOS

1. Comprender el funcionamiento y la operación de este circuito para señales AC.
2. Conocer, determinar e interpretar características inherentes de los amplificadores de señal (Ganancia y nivel de Saturación).
3. Conocer las aplicaciones de este circuito para proyectos de audio y para proyectos relacionados con Radiofrecuencias.

FUNDAMENTO TEÓRICO

La ganancia de los amplificadores operacionales puede ser incrementada fácilmente hacia altos valores, solamente con aumentar la resistencia de realimentación y disminuyendo la resistencia de entrada. Al mismo tiempo, el circuito podría llegar a ser inestable y oscilar debido a la alta ganancia, o porque mucho ruido puede ser generado. Adicionando un condensador de derivación al lado de la resistencia de realimentación, sería una técnica efectiva para controlar la estabilidad del amplificador y reducir los sonidos de alta frecuencia. La ganancia del circuito es alta debido al alto valor de la resistencia de realimentación.

Figura 142. Proyecto 5: Circuito esquemático Amplificador Inversor de Alta Ganancia con Filtro de Corte de Alta Frecuencia (HF)

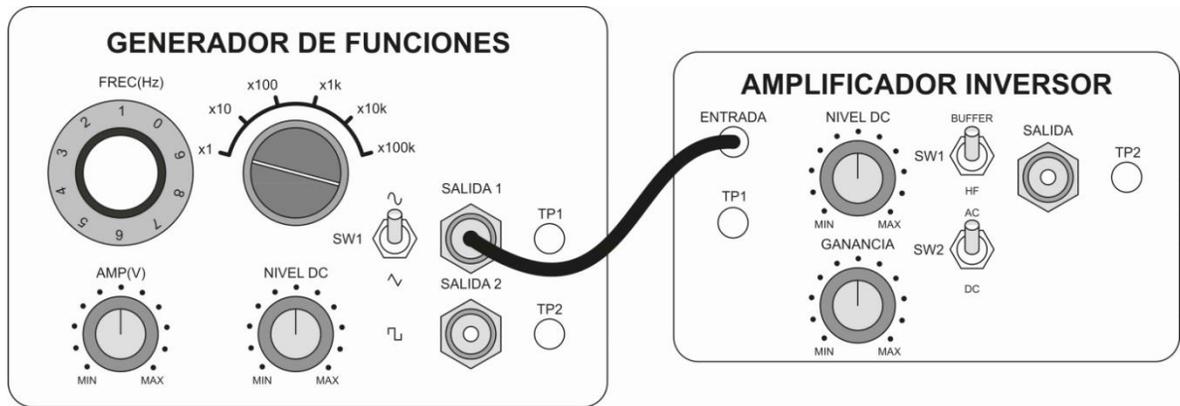


Fuente: Diseño Autor

HERRAMIENTAS REQUERIDAS

- Módulo Didáctico de Sistemas de Audio
- Osciloscopio digital

Figura 143. Proyecto 5: Conexión Amplificador Inversor de Alta Ganancia con Filtro de Corte de Alta Frecuencia (HF)



Fuente: Diseño Autor

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

1. Asegúrese de contar con las medidas de seguridad adoptadas según el reglamento para el uso de laboratorios de la facultad de ingeniería electrónica.
2. Ajuste el generador de señales a 1KHz y una amplitud de 0.5Vp con cero nivel de DC, para esto seleccione en el SW1 del generador de funciones en la posición para el tipo de onda seno, coloque la perilla de escala de frecuencia en x1K, ajuste el potenciómetro "FREC(Hz)" a 1KHz, gradúe el valor de la amplitud de salida girando el potenciómetro "AMP(V)" de la señal del generador, compruebe todos los pasos anteriores mediante un osciloscopio conectado en "TP1" y realice todos los ajustes necesarios.
3. Conecte la "SALIDA 1" del generador de funciones en la "ENTRADA" del "AMPLIFICADOR INVERSOR" empleando los conectores suministrados para el módulo. Verifique que el interruptor "SW1" del amplificador se encuentre en la posición de "HF". Gire el potenciómetro de "GANANCIA" hasta el máximo.
4. Conecte la punta del segundo canal del osciloscopio en "TP2". Grafique los valores de entrada y el de amplificación a la salida. Compare la amplitud de la señal de salida con la de entrada, diga si varía la frecuencia o la amplitud. Si observa saturación en la salida gire la perilla de "NIVEL DC" de forma que elimine la distorsión.
5. Con el "SW2" del "AMPLIFICADOR INVERSOR" en posición AC. Varíe la frecuencia de entrada al circuito en el rango de 20Hz hasta 100KHz y observe que sucede con la amplitud de la señal de salida. ¿Percibe cambios en la amplitud de la señal? , realice una tabla de valores de amplitud de salida para varias frecuencias. Con base en las amplitudes de la señal de entrada y salida determine la ganancia del voltaje.
6. ¿Qué efecto le agrega el condensador colocado en paralelo con la resistencia de realimentación?

7. Simule el circuito en “Proteus u otro simulador” y describa los resultados de la simulación comparados con los del módulo y saque conclusiones al respecto.

TALLER MÓDULO DIDÁCTICO DE SISTEMAS DE AUDIO

PROYECTO 6: Pre-Amplificador con Control de Bajos y Agudos “Bass-Treble”

OBJETIVOS

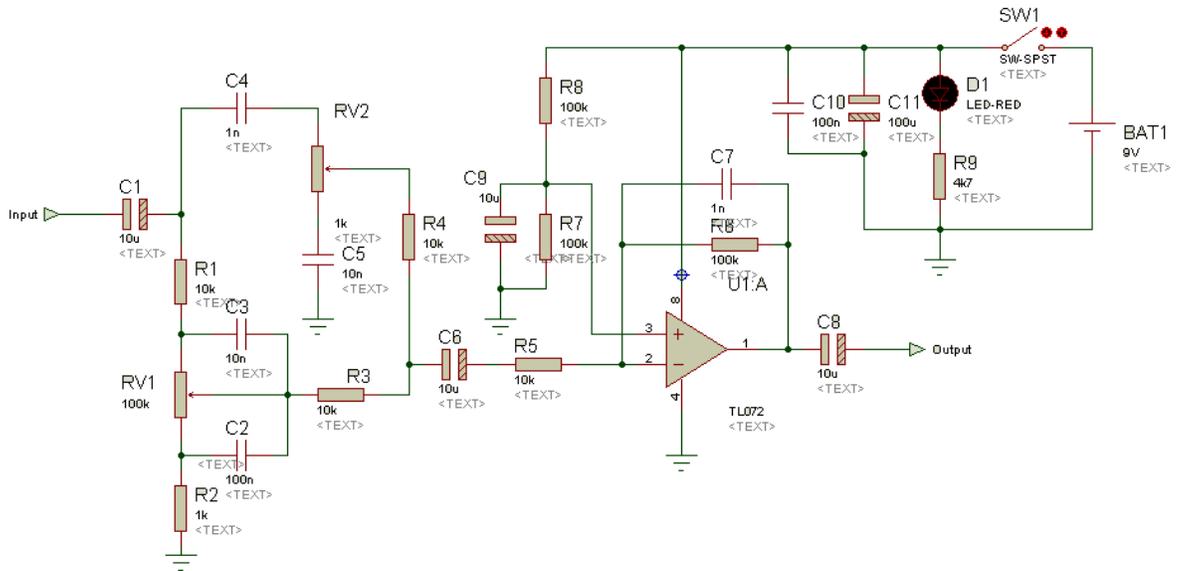
1. Comprender el funcionamiento y la operación de este circuito para señales AC.
2. Conocer, determinar e interpretar características inherentes de los amplificadores de señal (Ganancia y nivel de Saturación).
3. Conocer las aplicaciones de este circuito para proyectos relacionados con sistemas de audio.
4. Comprender el concepto de ecualización de una señal de audio.
5. Aplicar los conceptos de filtrado y ganancia de una señal en proyectos de sistemas de audio.

FUNDAMENTO TEÓRICO

Muchos amplificadores operacionales empleados como preamplificadores, tienen una muy limitada respuesta en frecuencia. Pero si se refuerza el circuito de entrada, se puede mejorar mucho esta respuesta. La calidad del sonido debería ser superior a la de un amplificador común, debido a la propiedad de controlar los tonos. Si se usa una buena calidad, un parlante de 8 pulgadas de diámetro, se puede mejorar la calidad de sonido de fuentes de audio significativamente pequeñas, adicionando bajos y agudos improvisados.

La capacidad de este circuito, es que separa las frecuencias bajas y agudas mediante redes de procesamiento. La señal es atenuada en el proceso de mejoramiento, pero la atenuación es de fácil cuidado incluyendo un proceso de amplificación posterior. Se puede enfatizar las altas frecuencias a expensas de las frecuencias medias y bajas. Similarmente, las frecuencias bajas se enfatizan a expensas de las frecuencias medias y altas.

Figura 144. Proyecto 6: Circuito esquemático Preamplificador con Control de Bajos y Agudos “Bass-Treble”

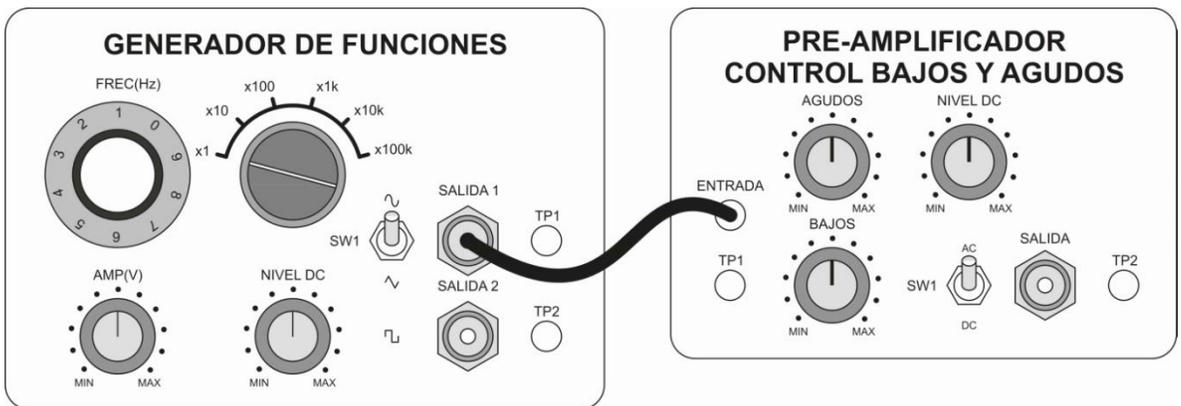


Fuente: Diseño Autor

HERRAMIENTAS REQUERIDAS

- Módulo Didáctico de Sistemas de Audio
- Osciloscopio digital

Figura 145. Proyecto 6: Conexión Preamplificador con Control de Bajos y Agudos “Bass-Treble”



Fuente: Diseño Autor

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

1. Asegúrese de contar con las medidas de seguridad adoptadas según el reglamento para el uso de laboratorios de la facultad de ingeniería electrónica.

2. Ajuste el generador de señales a 1KHz y una amplitud de 0.5 Vp con cero nivel de DC, para esto seleccione en el SW1 del generador de funciones en la posición para el tipo de onda seno, coloque la perilla de escala de frecuencia en x1K, ajuste el potenciómetro “FREC(Hz)” a 1KHz, gradúe el valor de la amplitud de salida girando el potenciómetro “AMP(V)” de la señal del generador, compruebe todos los pasos anteriores mediante un osciloscopio conectado en “TP1” y realice todos los ajustes necesarios.

3. Conecte la “SALIDA 1” del generador de funciones en la “ENTRADA” del “Preamplificador con Control de Bajos y Agudos” empleando los conectores suministrados para el módulo. Conecte la punta del segundo canal del osciloscopio en “TP2”.

4. Gire el potenciómetro “AGUDOS” hasta la posición MIN y el potenciómetro “BAJOS” en MIN. Varíe la frecuencia de entrada al circuito en el rango de 20Hz hasta 20KHz y observe que sucede con la amplitud de la señal de salida, registre los valores de ganancia aproximados en una gráfica como la mostrada en la Figura 146.

5. Gire el potenciómetro “AGUDOS” hasta la posición MIN y el potenciómetro “BAJOS” en MAX. Varíe la frecuencia de entrada al circuito en el rango de 20Hz hasta 20KHz y observe que sucede con la amplitud de la señal de salida, registre los valores de ganancia aproximados en una gráfica como la mostrada en la Figura 146.

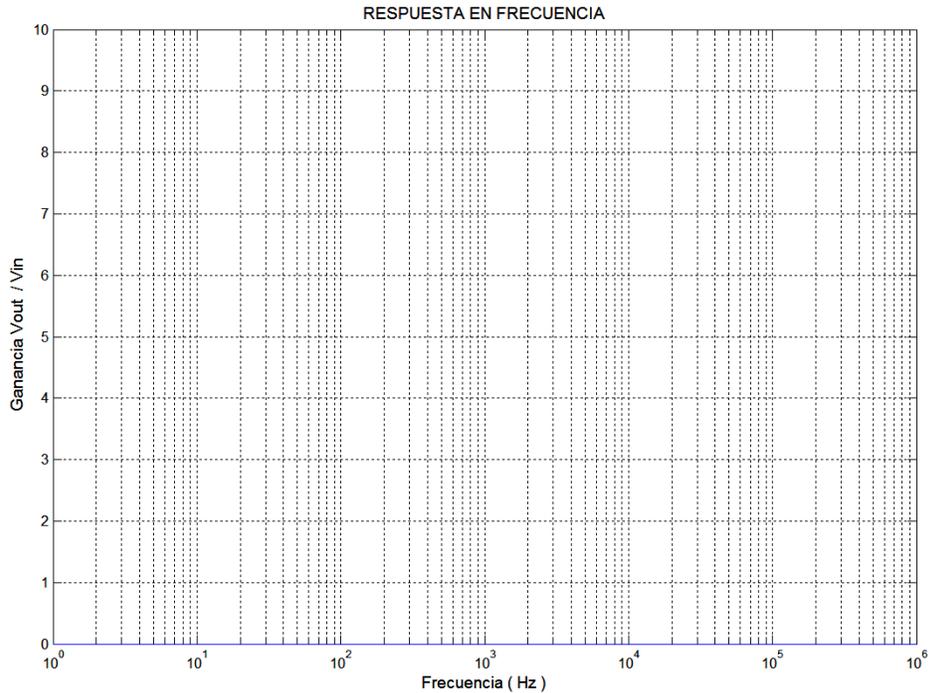
6. Gire el potenciómetro “AGUDOS” hasta la posición MAX y el potenciómetro “BAJOS” en MIN. Varíe la frecuencia de entrada al circuito en el rango de 20Hz hasta 20KHz y observe que sucede con la amplitud de la señal de salida, registre los valores de ganancia aproximados en una gráfica como la mostrada en la Figura 146.

7. Gire el potenciómetro “AGUDOS” hasta la posición MAX y el potenciómetro “BAJOS” en MAX. Varíe la frecuencia de entrada al circuito en el rango de 20Hz hasta 20KHz y observe que sucede con la amplitud de la señal de salida, registre los valores de ganancia aproximados en una gráfica como la mostrada en la Figura.

8. Con base en las observaciones registradas en los puntos anteriores del numeral 4 hasta el 7 responda: ¿Qué efecto tienen los potenciómetros de “AGUDOS” y el de “BAJOS” sobre la señal de salida?

9. Simule el circuito en “Proteus u otro simulador” y describa los resultados de la simulación comparados con los del módulo y saque conclusiones al respecto.

Figura 146. Proyecto 6: Grafica Ganancia vs Frecuencia.



Fuente: Diseño Autor

TALLER MÓDULO DIDÁCTICO DE SISTEMAS DE AUDIO PROYECTO 7: Amplificador de Potencia

OBJETIVOS

1. Comprender el funcionamiento de este circuito para señales AC.
2. Conocer, determinar e interpretar características inherentes de los amplificadores de señal (Ganancia y Saturación).
3. Conocer las aplicaciones de este circuito para proyectos relacionados con sistemas de audio.
4. Reconocer los efectos que causan las cargas de baja impedancia a los amplificadores de potencia.
5. Aplicar los conceptos de filtrado y ganancia de una señal en proyectos de sistemas de audio.
6. Comprender el funcionamiento del circuito integrado STK4121V aplicado a sistemas de amplificación de audio.

FUNDAMENTO TEÓRICO

La diferencia que existe entre un preamplificador y un amplificador de potencia, es que este último tiene la capacidad de manejar una carga de baja impedancia, esto es el caso de un altoparlante o el de un audífono. Un altoparlante tiene una baja

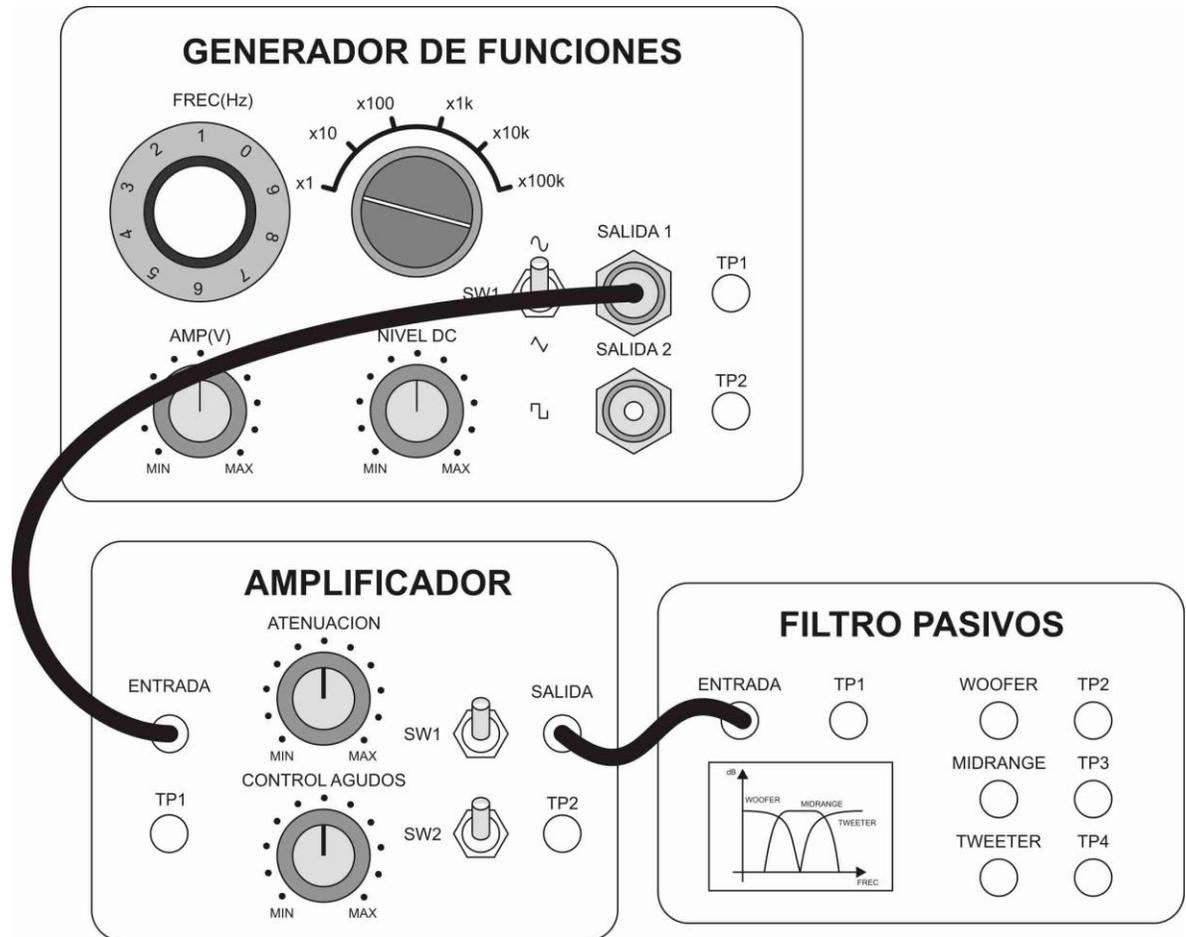
impedancia, típicamente alrededor de 8Ω , por eso es que un amplificador de potencia es el necesario para proporcionar esta capacidad de control. Independientemente de que la salida de potencia sea pequeña (Menor que 1 Vatio para pequeños transistores de radio), actualmente se necesita alimentar a través de una carga de baja impedancia.

La serie STK fue desarrollado por SANYO desde los años 70's y ha sido utilizado en equipos de audio de casi todas las marcas. Su excelente sonido de alta fidelidad llevo al STK a dominar el mercado de etapas de potencia en salidas de audio en equipos de sonido comerciales en todo el mundo. Con el paso del tiempo se han creado varias generaciones de STK, las cuales aun hacen parte de muchos equipos de audio, la mayoría de estos STK son de la década de los 90's hasta la actualidad. El circuito integrado STK, no solo se ha utilizado como etapa de salida de potencia en audio, también se ha utilizado como circuito regulador de potencia en fuentes de alimentación lineales y conmutadas para televisores y videograbadoras. En otros casos se ha utilizado también como etapa de salida vertical, preamplificador, ecualizador grafico y como impulsor de motores. El circuito integrado STK4121V es un amplificador 15W de potencia de alta fidelidad con capacidad de proporcionar excelente calidad de sonido. Haciendo uso de las capacidades internas del dispositivo se incluye ganancia de 100 y una potencia por canal de 15w. Empleando un parlante de buena calidad de alrededor de 8 pulgadas de diámetro e instalado en su propio encerramiento se obtienen excelentes resultados.

HERRAMIENTAS REQUERIDAS

- Módulo Didáctico de Sistemas de Audio
- Osciloscopio digital

Figura 147. Proyecto 7: Conexión Amplificador de Potencia con Aumento de la Ganancia



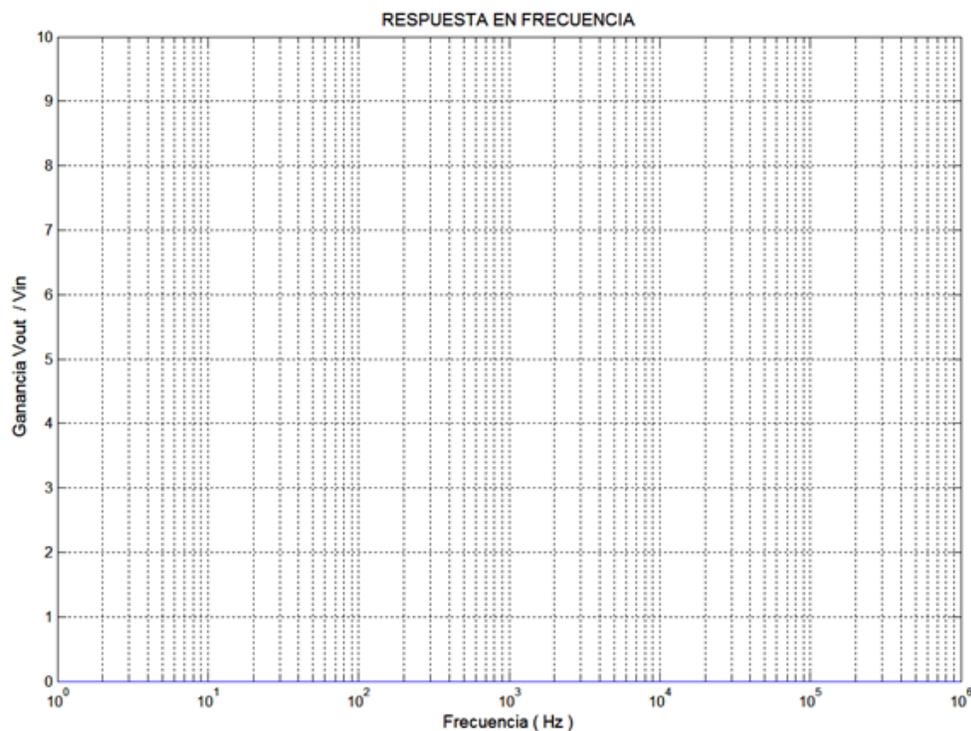
Fuente: Diseño Autor

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

1. Asegúrese de contar con las medidas de seguridad adoptadas según el reglamento para el uso de laboratorios de la facultad de ingeniería electrónica.
2. Ajuste el generador de señales a 1KHz y una amplitud de 0.1Vp con cero nivel de DC, para esto seleccione en el SW1 del generador de funciones en la posición para el tipo de onda seno, coloque la perilla de escala de frecuencia en x1K, ajuste el potenciómetro "FREC(Hz)" a 1KHz, gradúe el valor de la amplitud de salida girando el potenciómetro "AMP(V)" de la señal del generador, compruebe todos los pasos anteriores mediante un osciloscopio conectado en "TP1" y realice todos los ajustes necesarios.
3. Conecte la "SALIDA 1" del generador de funciones en la "ENTRADA" del "AMPLIFICADOR" empleando los conectores suministrados para el módulo.

4. Conecte la punta del segundo canal del osciloscopio en “TP2”. Gire el potenciómetro “ATENUACION” hasta que la salida sea seno sin distorsión.
5. Se deben realizar medidas variando el potenciómetro “ATENUACION” realizando un barrido en la frecuencia de entrada del circuito para un rango de 100Hz hasta 100KHz, observando que sucede con la amplitud de la señal de salida, haciendo las anotaciones respectivas y registrando los valores en una gráfica similar a la mostrada en la Figura 148.
6. Con base en las observaciones registradas responda: ¿Qué efecto tienen el potenciómetro de “ATENUACION” sobre la señal de salida?
7. Conecte la salida del amplificador a la entrada de los filtros pasivos, varíe la atenuación, conecte la punta del segundo canal del osciloscopio “TP2” en cada una de las salidas de los filtros, tome resultados y compare.
8. Simule el circuito en “Proteus u otro simulador” y describa los resultados de la simulación comparados con los del módulo y saque conclusiones al respecto.

Figura 148. Proyecto 7: Gráfica Ganancia vs Frecuencia



Fuente: Diseño Autor

TALLER MÓDULO DIDÁCTICO DE SISTEMAS DE AUDIO

PROYECTO 8: Preamplificador Mezclador de Dos Entradas

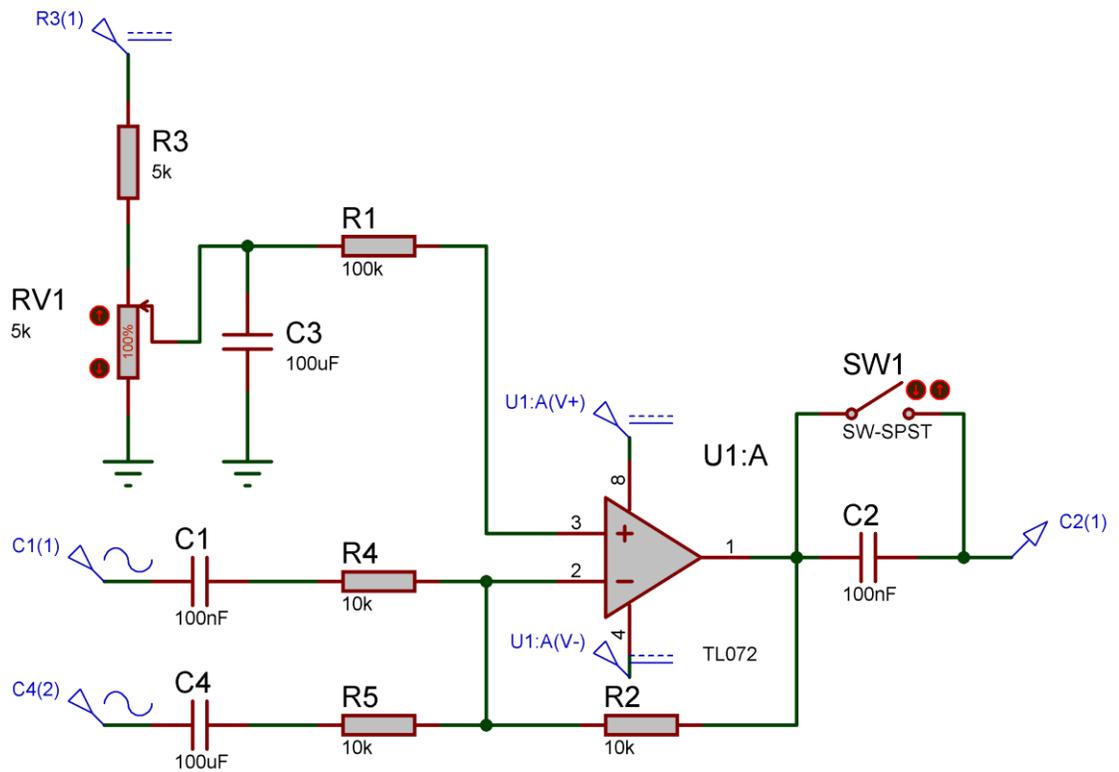
OBJETIVOS

1. Comprender el funcionamiento de este circuito para señales AC.
2. Conocer, determinar e interpretar características inherentes de los amplificadores de señal (Ganancia, y nivel de Saturación).
3. Conocer las aplicaciones de este circuito para proyectos relacionados con sistemas de audio.
4. Comprender las distintas aplicaciones que tienen los amplificadores en configuración de sumadores o mezcladores de señales para sistemas de audio.

FUNDAMENTO TEÓRICO

Un mezclador de audio permite superponer la voz sobre una pista musical usando solo un puñado de componentes en un diseño simple de sólo un circuito integrado. Una grabadora de casete mono es usada como la fuente de audio, con la salida alimentada directamente de la toma del auricular. El nivel de la salida será alto, siempre y cuando la salida controle un parlante. Por lo tanto, se conecta a un simple atenuador de dos resistencias. El mismo micrófono de carbón que es suministrado por la grabadora, puede ser usado para alimentar la voz sobre la pista musical. Una etapa de alta ganancia proporciona el aumento necesario para la voz. Las dos señales son combinadas en un sumador básico. La señal del mezclador es llevada a un amplificador de potencia para que pueda ser escuchada. El control de volumen del mezclador a la salida de la etapa ofrece bastante ajuste para ser conectado al amplificador de potencia. Si resulta que el micrófono es muy sensible, la etapa de ganancia se puede reducir fácilmente disminuyendo el valor de la resistencia de realimentación. Este circuito preamplificador mezclador tiene la particularidad de que sólo usa un circuito integrado, por esto, es un diseño simple, efectivo y flexible.

Figura 149. Proyecto 8: Circuito esquemático Preamplificador Mezclador Dual

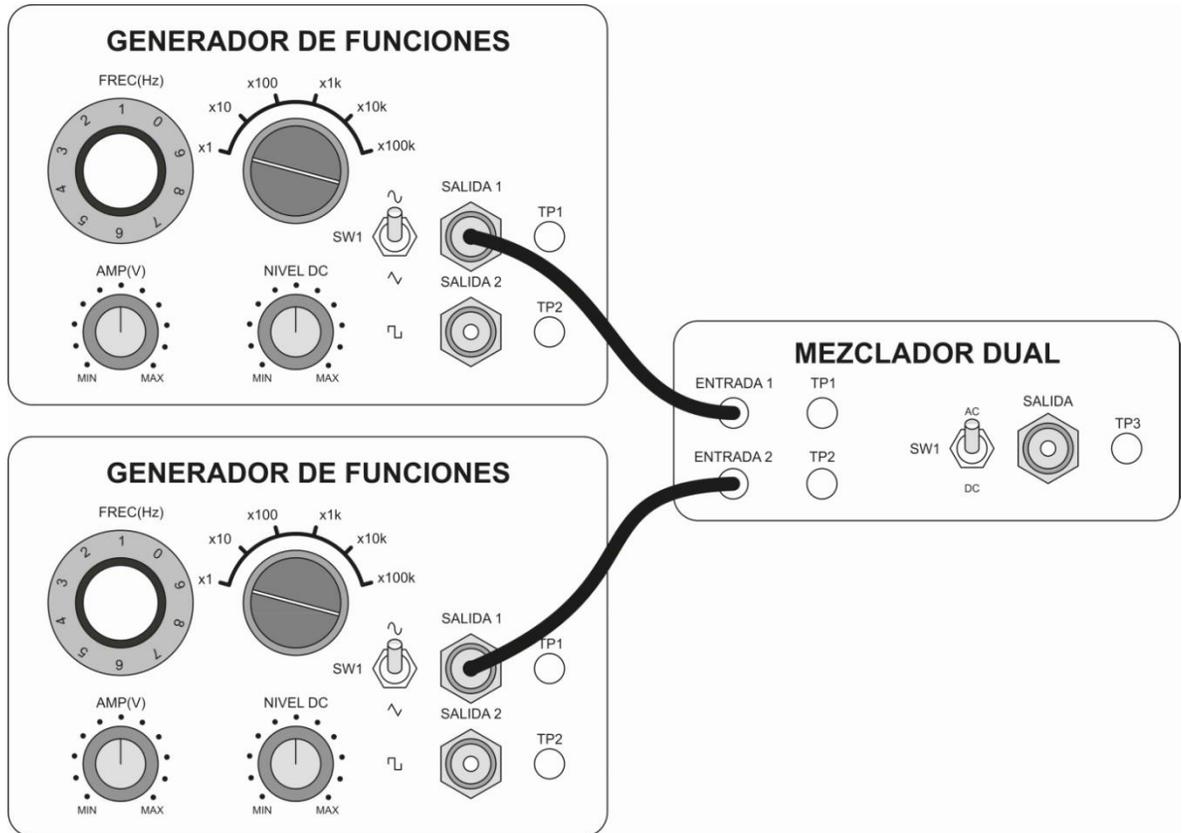


Fuente: Diseño Autor

HERRAMIENTAS REQUERIDAS

- Módulo Didáctico de Sistemas de Audio
- Osciloscopio digital

Figura 150. Proyecto 8: Conexión Preamplificador Mezclador Dual



Fuente: Diseño Autor

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

1. Asegúrese de contar con las medidas de seguridad adoptadas según el reglamento para el uso de laboratorios de la facultad de ingeniería electrónica.
2. Ajuste el primer generador de señales a 1KHz y una amplitud de 0.5Vp con cero nivel de DC, para esto seleccione en el SW1 del generador de funciones en la posición para el tipo de onda seno, coloque la perilla de escala de frecuencia en x1K, ajuste el potenciómetro "FREC(Hz)" a 1KHz, gradúe el valor de la amplitud de salida girando el potenciómetro "AMP(V)" de la señal del generador, compruebe todos los pasos anteriores mediante un osciloscopio conectado en "TP1" y realice todos los ajustes necesarios.
3. Ajuste el segundo generador de señales a 10KHz y una amplitud de 0.1Vp con cero nivel de DC, para esto seleccione en el SW1 del generador de funciones en la posición para el tipo de onda seno, coloque la perilla de escala de frecuencia en x1K, ajuste el potenciómetro "FREC(Hz)" a 1KHz, gradúe el valor de la amplitud de salida girando el potenciómetro "AMP(V)" de la señal del generador, compruebe

todos los pasos anteriores mediante un osciloscopio conectado en “TP1” y realice todos los ajustes necesarios.

4. Conecte la “SALIDA 1” del primer generador de funciones en la “ENTRADA 1” del “MEZCLADOR DUAL” y la “SALIDA 1” del segundo generador de funciones en la “ENTRADA 2” del “MEZCLADOR DUAL”, emplee para esta operación los conectores suministrados para el módulo.

5. Conecte las puntas del osciloscopio en el módulo “MEZCLADOR DUAL” de la siguiente forma: un canal en “TP1” y el otro en “TP3”.

6. Verifique que la salida del mezclador corresponde a la suma de las dos señales ingresadas. Varíe la frecuencia y la amplitud de las señales de entrada y observe los cambios. Seleccione y grafique al menos tres señales que a su criterio considere más significativas.

7. Repita desde el paso dos al paso seis con una razón de frecuencias más baja.

8. Simule el circuito en “Proteus u otro simulador” y describa los resultados de la simulación comparados con los del módulo y saque conclusiones al respecto.

TALLER MÓDULO DIDÁCTICO DE SISTEMAS DE AUDIO

PROYECTO 9: Set de Pruebas para Micrófono

OBJETIVOS

1. Conocer las diversas aplicaciones que tiene este circuito en proyectos de sistemas de audio.

2. Conocer, determinar e interpretar características inherentes de los amplificadores de señal (Ganancia y nivel de Saturación).

3. Identificar los distintos tipos de micrófono usados en el campo de la acústica.

FUNDAMENTO TEÓRICO

Los micrófonos son dispositivos transductores que convierten señales de energía sonora en señales de energía eléctrica. Este set de prueba proporciona un medio útil de comprobación si un micrófono trabaja, y esto también le ayuda a determinar la sensibilidad relativa de los tipos diferentes de micrófonos. En términos de sus modos operacionales, los micrófonos comúnmente se clasifican en dos categorías: los pasivos que no requieren ninguna fuente de alimentación, como es el caso de los micrófonos simples de carbón o bobina; y aquellos que requieren un pequeño voltaje de activación de corriente directa, como es el caso de micrófonos electret más recientes.

Figura 152. Proyecto 9: Conexión Set de Prueba para Micrófono



Fuente: Diseño Autor

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

1. Asegúrese de contar con las medidas de seguridad adoptadas según el reglamento para el uso de laboratorios de la facultad de ingeniería electrónica.
2. Dependiendo del micrófono a probar, se cierra o abre el interruptor "SW1", el cual permite suministrar un voltaje de polarización al micrófono que se prueba. Este voltaje de polarización es necesario para los micrófonos electret. Explique el porqué de la polarización para este tipo de micrófonos.
3. Conecte las puntas del osciloscopio en el módulo "AMPLIFICADOR PARA MICROFONO" de la siguiente forma: un canal en "TP1" (entrada) y el otro en "TP2" (salida del preamplificador).
4. Conecte el micrófono bajo prueba, tenga en cuenta los requisitos de polarización si son necesarios. Compare la señal de entrada con la salida y describa los resultados. Realice una lista comparativa de las características observadas entre los micrófonos y sus respectivos voltajes y obtenga conclusiones al respecto.

TALLER MÓDULO DIDÁCTICO DE SISTEMAS DE AUDIO

PROYECTO 10: FILTRO ACTIVO PASA-BAJOS

OBJETIVOS

1. Estudiar el funcionamiento y la aplicación de los filtros activos pasa-bajos en circuitos electrónicos.
2. Conocer, determinar e interpretar características inherentes de las señales obtenidas a través de la aplicación de los filtros activos en circuitos de audio.
3. Reconocer la importancia de la aplicación de los filtros activos en proyectos relacionados con sistemas de audio.

FUNDAMENTO TEÓRICO

Un filtro pasa bajos se caracteriza por permitir el paso de las frecuencias más bajas y atenuar las frecuencias más altas a la frecuencia de corte.

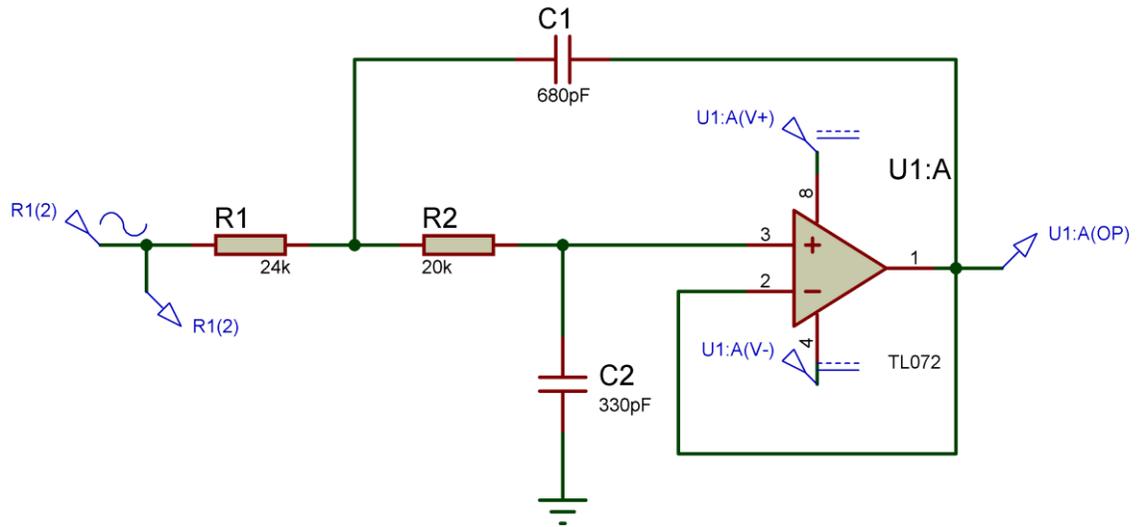
El filtro empleado es llamado Sallen Key, este tipo de filtro es muy utilizado por su simplicidad. El circuito produce un filtro pasa bajo de dos polos usando dos resistencias, dos condensadores y un amplificador operacional. Para obtener un filtro de orden mayor se pueden poner en cascada varias etapas.

Estos filtros son relativamente flexibles con la tolerancia de los componentes, aunque para obtener un factor Q alto se requieren componentes de valores extremos.

En la figura 133 se observa un filtro Sallen-Key pasa bajos. Para frecuencias muy altas los condensadores funcionarán como cortocircuitos, por lo tanto el terminal positivo del amplificador operacional estará a tierra, al tener realimentación negativa, el terminal negativo y por tanto la salida también tendrán la misma tensión. Por el contrario, a bajas frecuencias o tensión continua, los condensadores serán como un circuito abierto, por tanto las dos resistencias estarán en serie y, al no circular corriente por ellas, la tensión de entrada también estará presente en el terminal positivo del operacional y a su salida. Por lo que la tensión de salida a muy altas frecuencias será cero y a frecuencias muy bajas la tensión de salida será igual que la entrada. Para variar la ganancia del filtro se suele poner un divisor de tensión en el lazo de realimentación. En este caso se emplea ganancia unitaria para simplificar las conexiones.

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad Q = \frac{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}{C_2(R_1 + R_2)}$$

Figura 153. Proyecto 10: Circuito esquemático Filtro Activo Pasa-bajos

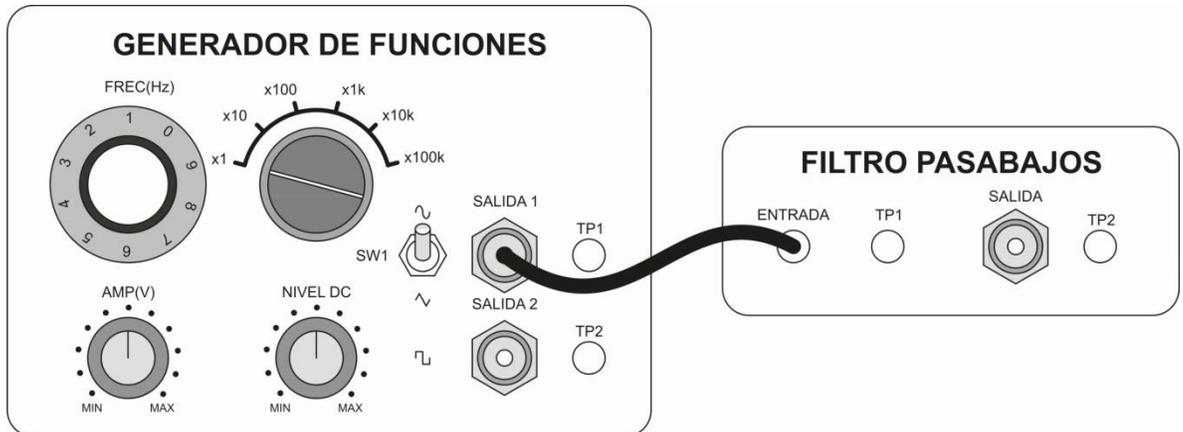


Fuente: Diseño Autor

HERRAMIENTAS REQUERIDAS

- Módulo Didáctico de Sistemas de Audio
- Osciloscopio digital.

Figura 154. Proyecto 10: Conexión Filtro Pasa-bajos

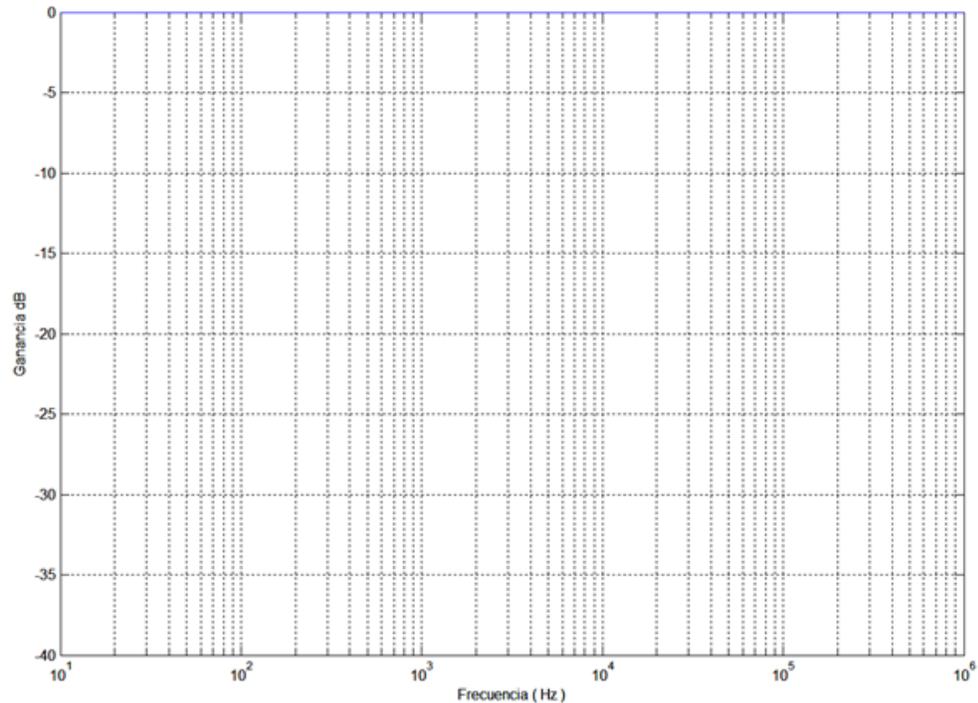


Fuente: Diseño Autor

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

- 1.** Asegúrese de contar con las medidas de seguridad adoptadas según el reglamento para el uso de laboratorios de la facultad de ingeniería electrónica.
- 2.** Ajuste el generador de señales a 1KHz y una amplitud de 1.5Vpp con cero nivel de DC, para esto seleccione en el SW1 del generador de funciones en la posición para el tipo de onda seno, coloque la perilla de escala de frecuencia en x1K, ajuste el potenciómetro "FREC(Hz)" a 1KHz, gradúe el valor de la amplitud de salida girando el potenciómetro "AMP(V)" de la señal del generador, compruebe todos los pasos anteriores mediante un osciloscopio conectado en "TP1" y realice todos los ajustes necesarios.
- 3.** Conecte la "SALIDA 1" del generador de funciones en la "ENTRADA" del "Filtro Pasa-bajos" empleando los conectores suministrados para el módulo. Conecte la punta del segundo canal del osciloscopio en "TP2".
- 4.** Varíe la frecuencia de entrada al circuito en el rango de 100Hz hasta 50KHz y observe que sucede con la amplitud de la señal de salida. Al variar en el generador de señales la perilla de frecuencia observe en el osciloscopio el valor de la amplitud de la señal de salida, y registre algunos valores significativos de forma que pueda realizar completar el gráfico de la figura 4.23, haciendo énfasis en el momento que la señal descienda o aumente en amplitud +/- 3dB (ganancia de 0.71 aprox.), en proporción a la señal de entrada, este valor corresponde a la frecuencia de corte del filtro.
- 5.** ¿Percibe cambios en la amplitud de la señal? , descríbalos, frecuencia y forma de onda. Compare la fase de la señal de salida. Determine si está adelantada o atrasada la señal.
- 6.** Conecte la salida del generador de señales que genera una onda cuadrada a la entrada del filtro, ajuste su amplitud de modo que no se sature la salida del amplificador operacional. Observe la señal de salida del filtro en el osciloscopio en todo el rango de frecuencias del generador. Haga los comentarios correspondientes a esta observación en su informe.
- 7.** Simule en Proteus u otro simulador y describa los resultados de la simulación comparados con los del módulo y saque conclusiones al respecto.

Figura 155. Proyecto 10: Gráfica Ganancia vs Frecuencia



Fuente: Diseño Autor

TALLER MÓDULO DIDÁCTICO DE SISTEMAS DE AUDIO PROYECTO 11: FILTRO ACTIVO PASA-ALTOS

OBJETIVOS

1. Estudiar el funcionamiento y la aplicación de los filtros activos pasa-altos en circuitos electrónicos.
2. Conocer, determinar e interpretar características inherentes de las señales obtenidas a través de la aplicación de los filtros activos en circuitos de audio.
3. Reconocer la importancia de la aplicación de los filtros activos en proyectos relacionados con sistemas de audio.

FUNDAMENTO TEÓRICO

Un filtro pasa altos se caracteriza por permitir el paso de las frecuencias más altas y atenuar las frecuencias más bajas a la frecuencia de corte.

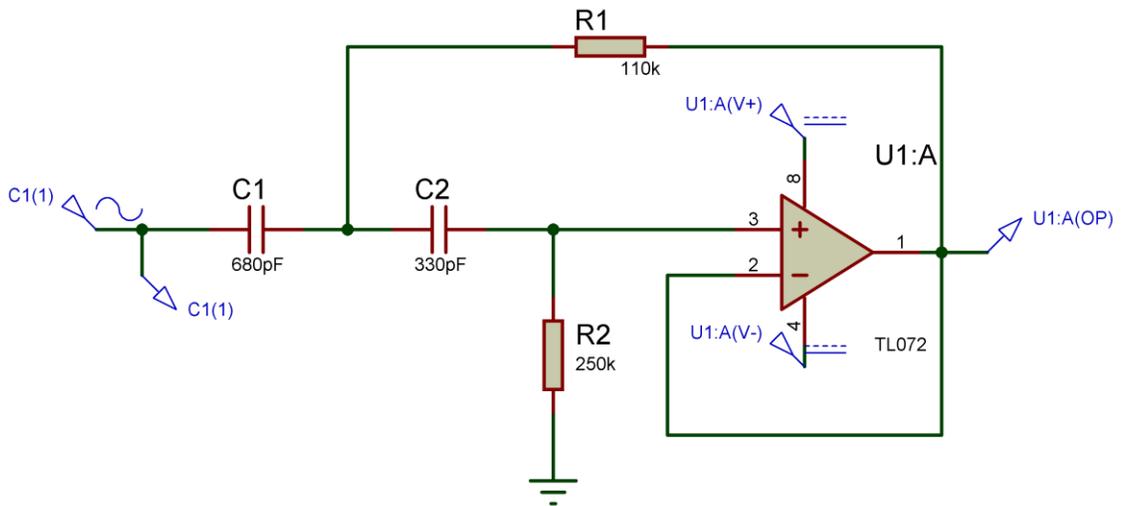
El filtro empleado es llamado Sallen Key, este tipo de filtro es muy utilizado por su simplicidad. El circuito produce un filtro pasa alto de dos polos usando dos resistencias, dos condensadores y un amplificador operacional. Para obtener un filtro de orden mayor se pueden poner en cascada varias etapas. Estos filtros son

relativamente flexibles con la tolerancia de los componentes, aunque para obtener un factor Q alto se requieren componentes de valores extremos.

En la siguiente figura se observa un filtro Sallen-Key pasa-altos. Para frecuencias muy altas los condensadores funcionarán como cortocircuitos, por lo tanto el terminal positivo del amplificador operacional recibirá toda la señal de entrada, al tener realimentación negativa, el terminal negativo y por tanto la salida también tendrán la misma tensión. Por el contrario, a bajas frecuencias o tensión continua, los condensadores serán como un circuito abierto, por tanto las dos resistencias estarán en serie y, al no circular corriente por ellas, la tensión de entrada no logrará llegar hasta el terminal positivo del operacional y por lo tanto no abra salida. Por lo que la tensión de salida a bajas frecuencias será cero y a frecuencias muy altas la tensión de salida será igual que la entrada. Para variar la ganancia del filtro se suele poner un divisor de tensión en el lazo de realimentación. En este caso se emplea ganancia unitaria para simplificar las conexiones.

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad Q = \frac{R_1 C_x}{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} C_x = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

Figura 156. Proyecto 11: Circuito esquemático Filtro Activo Pasa-altos

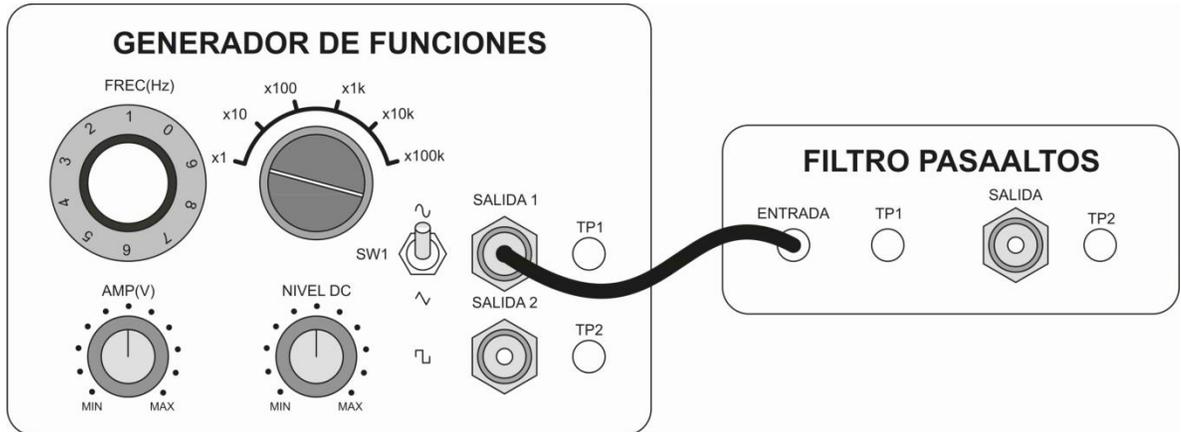


Fuente: Diseño Autor

HERRAMIENTAS REQUERIDAS

- Módulo Didáctico de Sistemas de Audio
- Osciloscopio digital.

Figura 157. Proyecto 11: Conexión Filtro Pasa-altos



Fuente: Diseño Autor

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

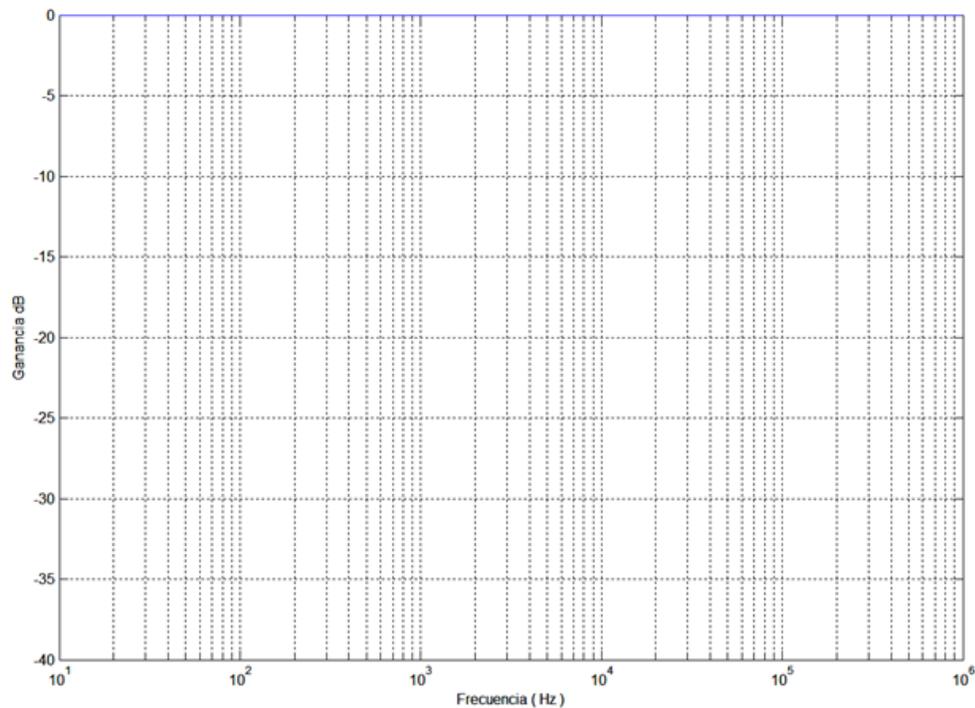
1. Asegúrese de contar con las medidas de seguridad adoptadas según el reglamento para el uso de laboratorios de la facultad de ingeniería electrónica.
2. Ajuste el generador de señales a 1KHz y una amplitud de 1.5Vpp con cero nivel de DC, para esto seleccione en el SW1 del generador de funciones en la posición para el tipo de onda seno, coloque la perilla de escala de frecuencia en x1K, ajuste el potenciómetro "FREC(Hz)" a 1KHz, gradúe el valor de la amplitud de salida girando el potenciómetro "AMP(V)" de la señal del generador, compruebe todos los pasos anteriores mediante un osciloscopio conectado en "TP1" y realice todos los ajustes necesarios.
3. Conecte la "SALIDA 1" del generador de funciones en la "ENTRADA" del "Filtro Pasa-altos" empleando los conectores suministrados para el módulo. Conecte la punta del segundo canal del osciloscopio en "TP2".
4. Varíe la frecuencia de entrada al circuito en el rango de 300Hz hasta 20KHz y observe que sucede con la amplitud de la señal de salida. Al variar en el generador de señales la perilla de frecuencia observe en el osciloscopio el valor de la amplitud de la señal de salida, y registre algunos valores significativos de forma que pueda realizar completar el gráfico de la figura 4.26, haciendo énfasis en el momento que la señal descienda o aumente en amplitud $\pm 3\text{dB}$ (ganancia de 0.71 aprox.), en proporción a la señal de entrada, este valor corresponde a la frecuencia de corte del filtro.

5. ¿Percibe cambios en la amplitud de la señal? , descríbalos, frecuencia y forma de onda. Compare la fase de la señal de salida. Determine si está adelantada o atrasada la señal.

6. Conecte la salida del generador de señales que genera una onda cuadrada a la entrada del filtro, ajuste su amplitud de modo que no se sature la salida del amplificador operacional. Observe la señal de salida del filtro en el osciloscopio en todo el rango de frecuencias del generador. Haga los comentarios correspondientes a esta observación en su informe.

7. Simule en Proteus u otro simulador y describa los resultados de la simulación comparados con los del módulo y saque conclusiones al respecto.

Figura 158. Proyecto 11: Gráfica Ganancia vs Frecuencia



Fuente: Diseño Autor

TALLER MÓDULO DIDÁCTICO DE SISTEMAS DE AUDIO PROYECTO 12: FILTRO ACTIVO PASA BANDA

OBJETIVOS

1. Estudiar el funcionamiento y la aplicación de los filtros activos pasa-banda en circuitos electrónicos.
2. Conocer, determinar e interpretar características inherentes de las señales obtenidas a través de la aplicación de los filtros activos en circuitos de audio.

3. Reconocer la importancia de la aplicación de los filtros activos en proyectos relacionados con sistemas de audio.

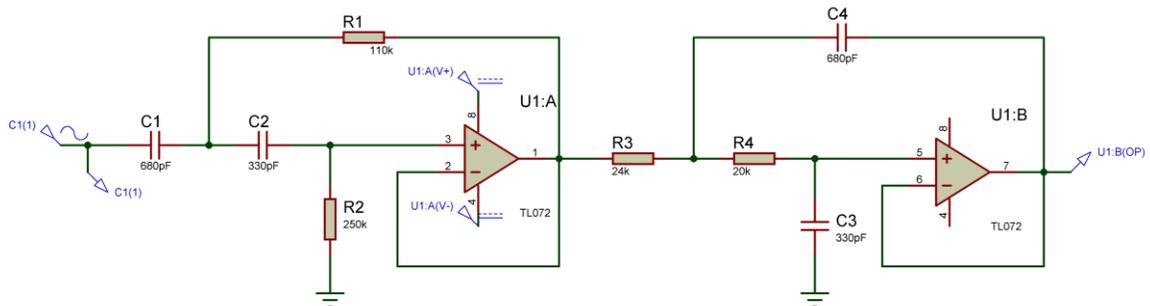
FUNDAMENTO TEÓRICO

Un filtro paso banda es un tipo de filtro que permite el paso de un determinado rango de frecuencias de una señal de entrada y atenúa el paso del resto, posee dos frecuencias de corte: una superior y una inferior. El filtro debe suprimir todas las frecuencias por debajo de la frecuencia inferior y por encima de la superior.

Una forma de construir un filtro paso banda suele ser usando un filtro paso altos en serie con un filtro paso bajos entre los que hay un rango de frecuencias que ambos dejan pasar. Para ello, es importante tener en cuenta que la frecuencia de corte del paso bajo sea mayor que la del paso alto, a fin de que la respuesta global sea paso banda (esto es, que haya solapamiento entre ambas respuestas en frecuencia).

Se emplean los filtros Sallen Key anteriormente empleados. El circuito produce dos filtros de dos polos usando dos resistencias, dos condensadores y un amplificador operacional cada uno.

Figura 159. Proyecto 12: Circuito esquemático Filtro Activo Pasa Banda

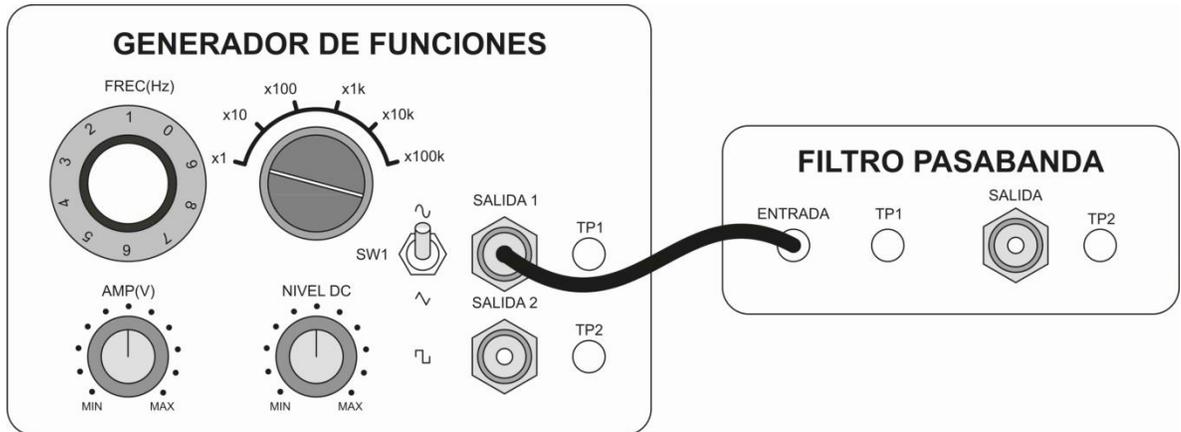


Fuente: Diseño Autor

HERRAMIENTAS REQUERIDAS.

- Módulo Didáctico de Sistemas de Audio
- Osciloscopio digital.

Figura 160. Proyecto 12: Conexión Filtro Pasa-banda



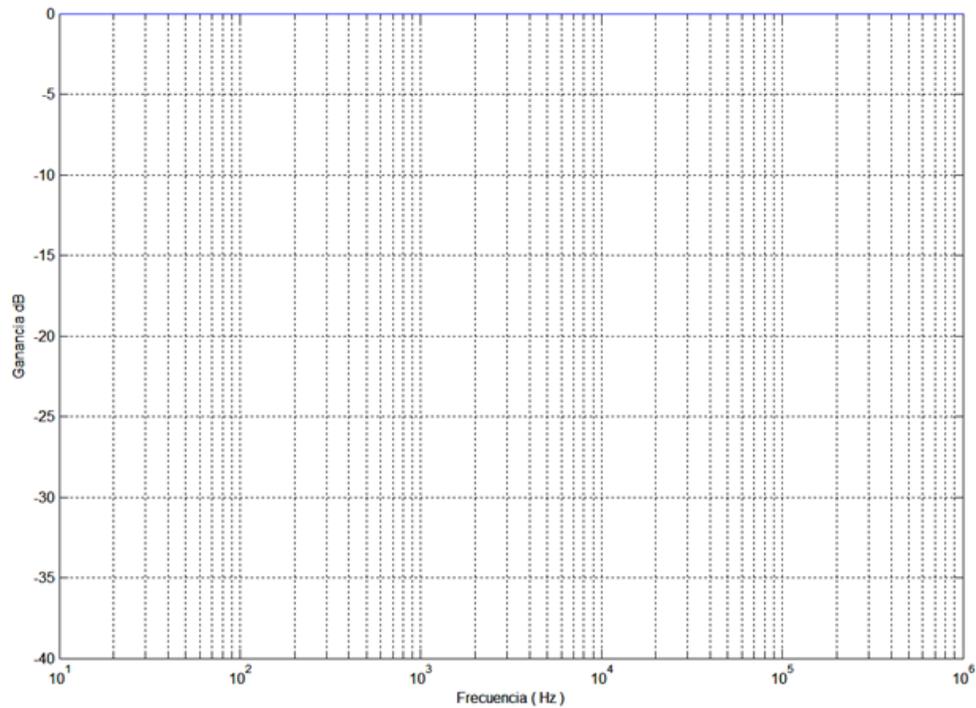
Fuente: Diseño Autor

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

1. Asegúrese de contar con las medidas de seguridad adoptadas según el reglamento para el uso de laboratorios de la facultad de ingeniería electrónica.
2. Ajuste el generador de señales a 1KHz y una amplitud de 1.5Vpp con cero nivel de DC, para esto seleccione en el SW1 del generador de funciones en la posición para el tipo de onda seno, coloque la perilla de escala de frecuencia en x1K, ajuste el potenciómetro "FREC(Hz)" a 1KHz, gradúe el valor de la amplitud de salida girando el potenciómetro "AMP(V)" de la señal del generador, compruebe todos los pasos anteriores mediante un osciloscopio conectado en "TP1" y realice todos los ajustes necesarios.
3. Conecte la "SALIDA 1" del generador de funciones en la "ENTRADA" del "Filtro Pasa-banda" empleando los conectores suministrados para el módulo. Conecte la punta del segundo canal del osciloscopio en "TP2".
4. Varíe la frecuencia de entrada al circuito en el rango de 1KHz hasta 30KHz y observe que sucede con la amplitud de la señal de salida. Al variar en el generador de señales la perilla de frecuencia observe en el osciloscopio el valor de la amplitud de la señal de salida, y registre algunos valores significativos de forma que pueda realizar completar el gráfico de la figura 4.29, haciendo énfasis en el momento que la señal descienda o aumente en amplitud $\pm 3\text{dB}$ (ganancia de 0.71 aprox.), en proporción a la señal de entrada, este valor corresponde a la frecuencia de corte del filtro. Para este tipo de filtro se debe encontrar los dos valores de corte, tanto superior e inferior.
5. ¿Percibe cambios en la amplitud de la señal? , descríbalos, frecuencia y forma de onda. Compare la fase de la señal de salida. Determine si está adelantada o atrasada la señal.

6. Conecte la salida del generador de señales que genera una onda cuadrada a la entrada del filtro, ajuste su amplitud de modo que no se sature la salida del amplificador operacional. Observe la señal de salida del filtro en el osciloscopio en todo el rango de frecuencias del generador. Haga los comentarios correspondientes a esta observación en su informe.
7. Simule en Proteus u otro simulador y describa los resultados de la simulación comparados con los del módulo y saque conclusiones al respecto.

Figura 161. Proyecto 12: Gráfica Ganancia vs Frecuencia



Fuente: Diseño Autor

TALLER MÓDULO DIDÁCTICO DE SISTEMAS DE AUDIO

PROYECTO 13: FILTRO ACTIVO RECHAZA BANDA

OBJETIVOS

1. Estudiar el funcionamiento y la aplicación de los filtros activos rechaza-banda en circuitos electrónicos.
2. Conocer, determinar e interpretar características inherentes de las señales obtenidas a través de la aplicación de los filtros activos en circuitos de audio.
3. Reconocer la importancia de la aplicación de los filtros activos en proyectos relacionados con sistemas de audio.

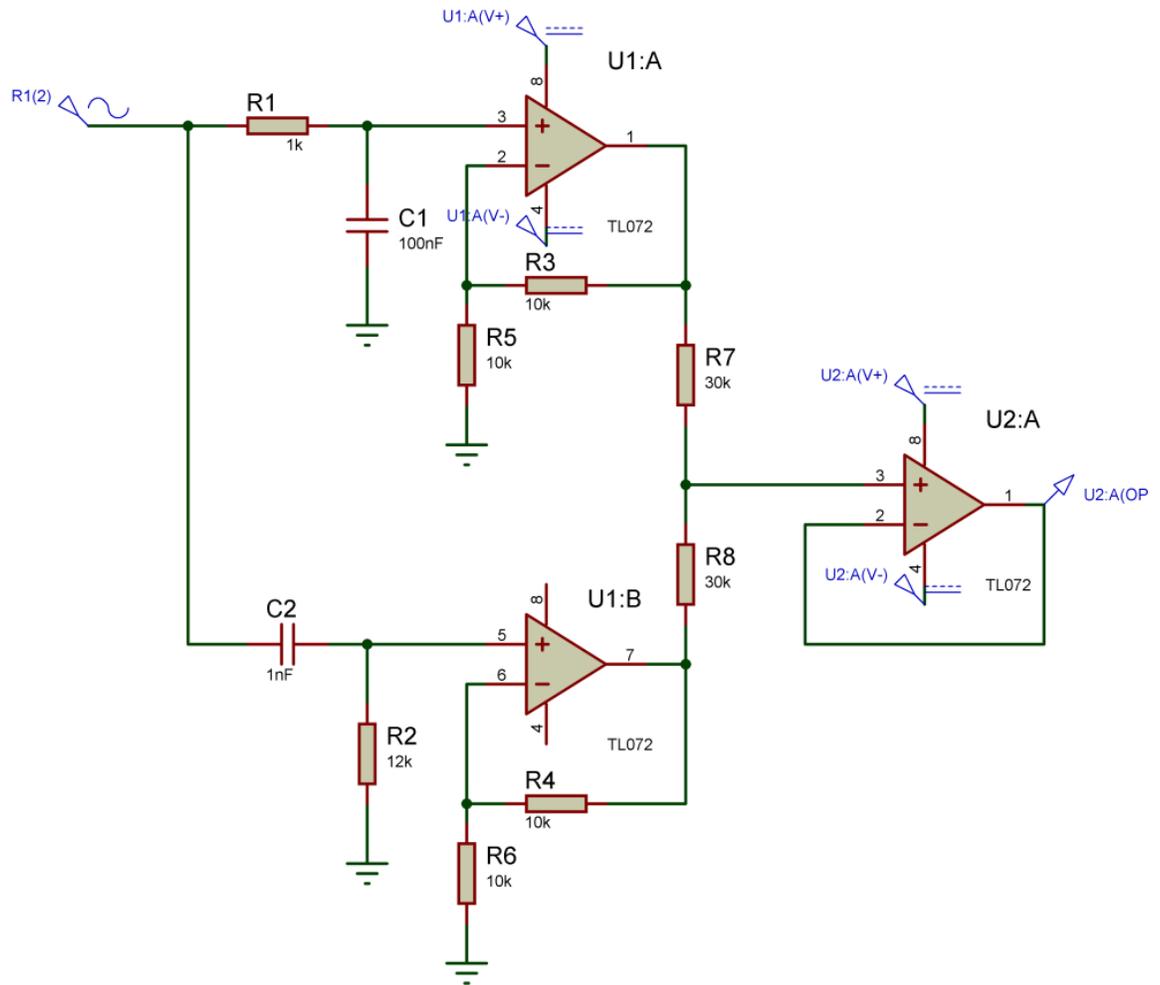
FUNDAMENTO TEÓRICO

Los filtros tienen como objeto separar las frecuencias de audio para que puedan aplicarse a altavoces o diferentes salidas.

Podemos realizar un filtro rechaza banda empleando la suma de un filtro pasa-bajos y un pasa-altos no solapados. En este caso se emplearon filtros de primer orden para simplificar la circuitería.

$$f_{baja} = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} f_{alta} = \frac{1}{2\pi R_2 C_2}$$

Figura 162. Proyecto 13: Circuito esquemático Filtro Activo Rechaza Banda

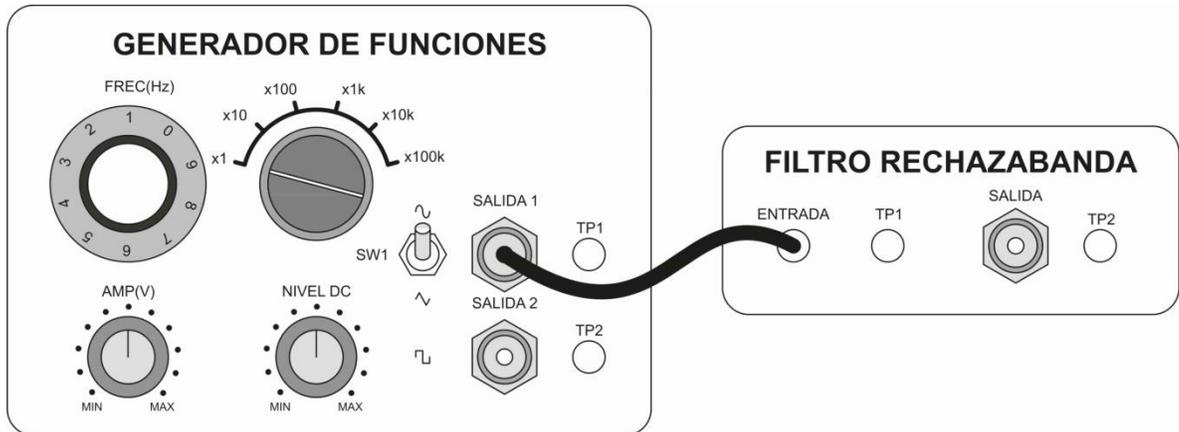


Fuente: Diseño Autor

HERRAMIENTAS REQUERIDAS

- Módulo Didáctico de Sistemas de Audio
- Osciloscopio digital.

Figura 163. Proyecto 13: Conexión Filtro Rechaza-banda



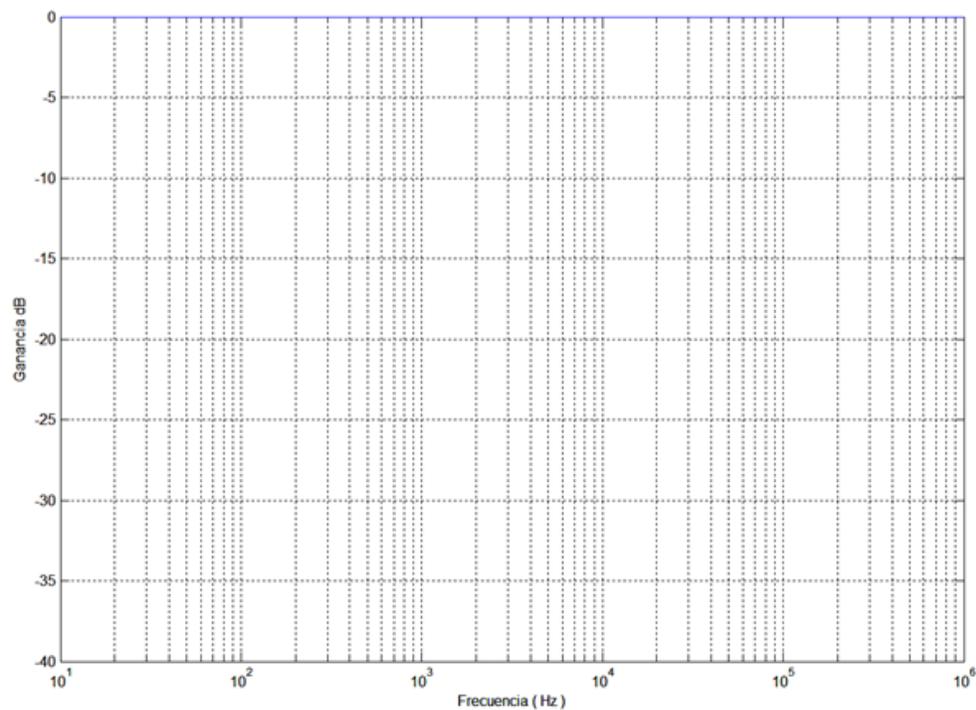
Fuente: Diseño Autor

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

1. Asegúrese de contar con las medidas de seguridad adoptadas según el reglamento para el uso de laboratorios de la facultad de ingeniería electrónica.
2. Ajuste el generador de señales a 1KHz y una amplitud de 1.5Vpp con cero nivel de DC, para esto seleccione en el SW1 del generador de funciones en la posición para el tipo de onda seno, coloque la perilla de escala de frecuencia en x1K, ajuste el potenciómetro "FREC(Hz)" a 1KHz, gradúe el valor de la amplitud de salida girando el potenciómetro "AMP(V)" de la señal del generador, compruebe todos los pasos anteriores mediante un osciloscopio conectado en "TP1" y realice todos los ajustes necesarios.
3. Conecte la "SALIDA 1" del generador de funciones en la "ENTRADA" del "Filtro Rechaza-banda" empleando los conectores suministrados para el módulo. Conecte la punta del segundo canal del osciloscopio en "TP2".
4. la frecuencia de entrada al circuito en el rango de 100Hz hasta 300KHz y observe que sucede con la amplitud de la señal de salida. Al variar en el generador de señales la perilla de frecuencia observe en el osciloscopio el valor de la amplitud de la señal de salida, y registre algunos valores significativos de forma que pueda realizar completar el gráfico de la figura 4.32, haciendo énfasis en el momento que la señal descienda o aumente en amplitud +/- 3dB (ganancia de 0.71 aprox.), en proporción a la señal de entrada, este valor corresponde a la frecuencia de corte del filtro. Para este tipo de filtro se debe encontrar los dos valores de corte, tanto superior e inferior en todas las configuraciones.

5. ¿Percibe cambios en la amplitud de la señal? , descríbalos, frecuencia y forma de onda. Compare la fase de la señal de salida. Determine si está adelantada o atrasada la señal.
6. Conecte la salida del generador de señales que genera una onda cuadrada a la entrada del filtro, ajuste su amplitud de modo que no se sature la salida del amplificador operacional. Observe la señal de salida del filtro en el osciloscopio en todo el rango de frecuencias del generador. Haga los comentarios correspondientes a esta observación en su informe.
7. Simule en Proteus u otro simulador y describa los resultados de la simulación comparados con los del módulo y saque conclusiones al respecto.

Figura 164. Proyecto 13: Gráfica Ganancia vs Frecuencia



Fuente: Diseño Autor

TALLER MÓDULO DIDÁCTICO DE SISTEMAS DE AUDIO PROYECTO 14: FILTROS PASIVOS

OBJETIVOS

1. Estudio de las características de los filtros pasivos.
2. Comprobar la respuesta de frecuencia de los filtros pasivos mediante el osciloscopio

3. Conocer, determinar e interpretar características inherentes de las señales obtenidas a través de la aplicación de los filtros pasivos en circuitos de audio.
4. Reconocer la importancia de la aplicación de los filtros pasivos en proyectos relacionados con sistemas de audio.

FUNDAMENTO TEÓRICO

Filtro Pasa-bajos

Deseamos diseñar un filtro tipo Butterworth paso bajo simple de 6dB/oct para una frecuencia de corte de 400 Hz: deberemos de tener en cuenta que el elemento que deberá estar en serie con el altavoz será una bobina. La Resistencia que ofrece una bobina al paso de la corriente alterna depende de su frecuencia por tanto $X_L = 2\pi fL$: donde L es la inductancia de la bobina.

En un filtro de 6dB/oct a la frecuencia de corte, la X_L debe de ser igual a la resistencia de carga que presente el filtro, es decir el altavoz que esté conectado a este, por ejemplo 8Ω .

Calcular la bobina L para una frecuencia de corte de 400Hz y un altavoz conectado de 8Ω :

$$X_L = R_{altavoz}; L = \frac{R_{altavoz}}{2\pi f} = \frac{8}{2\pi(400)} = 3.18mH$$

Filtro Pasa-altos

Ya que el comportamiento del condensador en alterna tiene un comportamiento inverso al de la bobina y al estar en serie con el altavoz (resistencia de 8Ω) a medida que la frecuencia aumenta, aumenta la caída de tensión en el altavoz y por supuesto la potencia que se disipa en él.

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

Para el cálculo de la capacitancia del condensador C, para la frecuencia de corte indicada empleamos el mismo razonamiento que en el filtro pasa-bajos, es decir la impedancia del altavoz se iguala a la del condensador para una señal alterna cuya frecuencia coincide con la de corte 2KHz.

$$X_C = R_{altavoz}; C = \frac{1}{2\pi f R_{altavoz}} = \frac{1}{2\pi(2000)(8)} = 9.95\mu F$$

Filtro Pasa-banda(Bobina-condensador)

Combinando los efectos de bobina y condensador y al estar en serie con el altavoz (resistencia de 8Ω) se obtiene un efecto solapado en el cual la curva de respuesta

en frecuencia presenta dos valores entre los cuales se permitirá el paso de señal y fuera de ellos será atenuada.

$$Ganancia = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{2\pi fL}{R} + \frac{1}{2\pi fRC}}}$$

Se observa que para la frecuencia de 0Hz y para valores elevados, la ganancia se hace bastante pequeña, es decir, se atenúan considerablemente las frecuencias bajas y altas. Sin embargo existe un punto máximo en la curva que corresponde a la frecuencia de resonancia del circuito. A esta frecuencia la tensión de entrada y la intensidad están en fase, es decir, se anulan las impedancias reactivas del circuito.

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

De la curva se puede deducir que existen dos puntos para Ganancia igual a -3dB: es decir, hay dos frecuencias de corte f_{c1} y f_{c2}

$$f_{c1} = -\frac{R}{4\pi L} + \frac{1}{4\pi} \sqrt{\frac{R^2}{L^2} + \frac{4}{LC}}$$

$$f_{c2} = \frac{R}{4\pi L} + \frac{1}{4\pi} \sqrt{\frac{R^2}{L^2} + \frac{4}{LC}}$$

Reemplazando los valores se tiene:

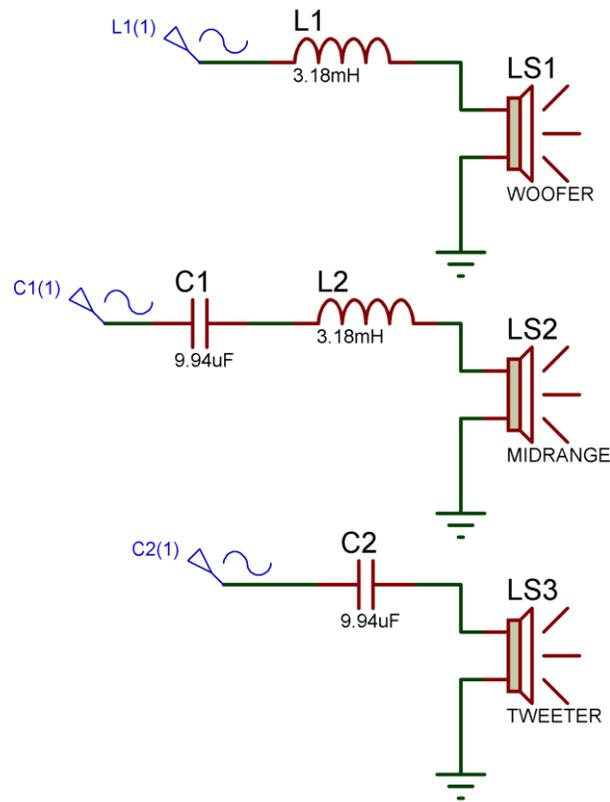
$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{3.18mH \cdot 9.94\mu F}} = 895.18Hz$$

De la curva se puede deducir que existen dos puntos para Ganancia igual a -3dB: es decir, hay dos frecuencias de corte f_{c1} y f_{c2}

$$f_{c1} = -\frac{8}{4\pi \cdot 3.18mH} + \frac{1}{4\pi} \sqrt{\frac{8^2}{3.18mH^2} + \frac{4}{3.18mH \cdot 9.94\mu F}} = 717.10Hz$$

$$f_{c2} = \frac{8}{4\pi \cdot 3.18mH} + \frac{1}{4\pi} \sqrt{\frac{8^2}{3.18mH^2} + \frac{4}{3.18mH \cdot 9.94\mu F}} = 1117.49Hz$$

Figura 165. Proyecto 14: Diagrama esquemático Filtros Pasivos

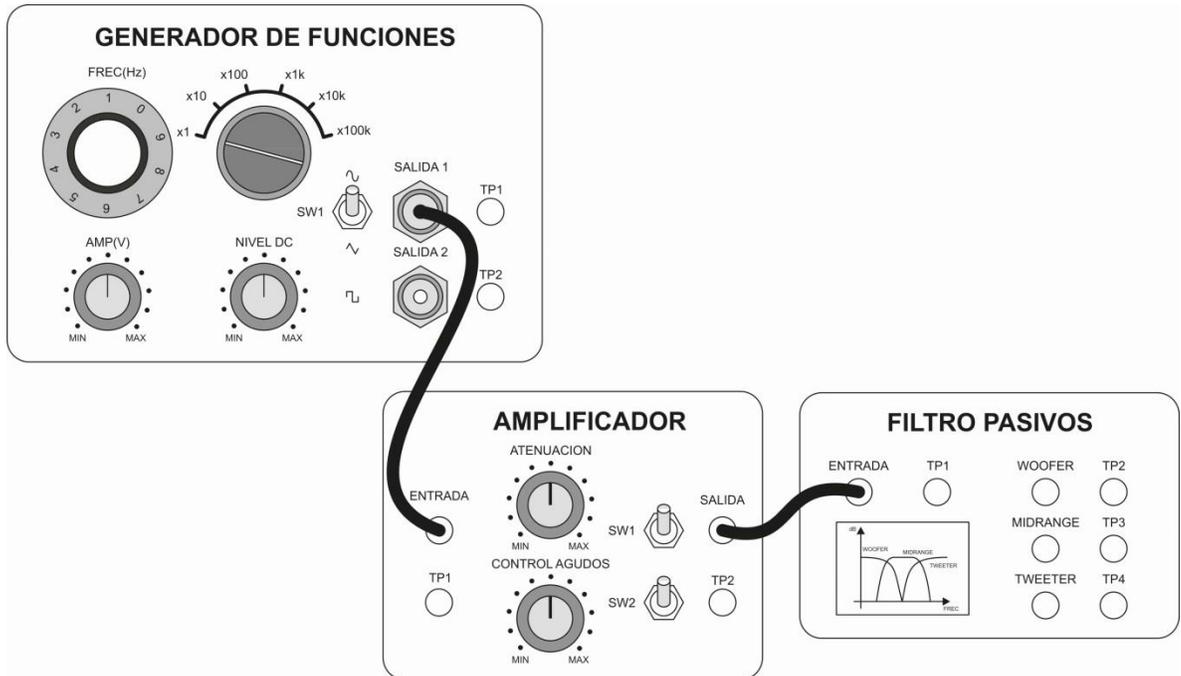


Fuente: Diseño Autor

HERRAMIENTAS REQUERIDAS

- Módulo Didáctico de Sistemas de Audio
- Osciloscopio digital.

Figura 166. Proyecto 14: Conexión Filtros Pasivos



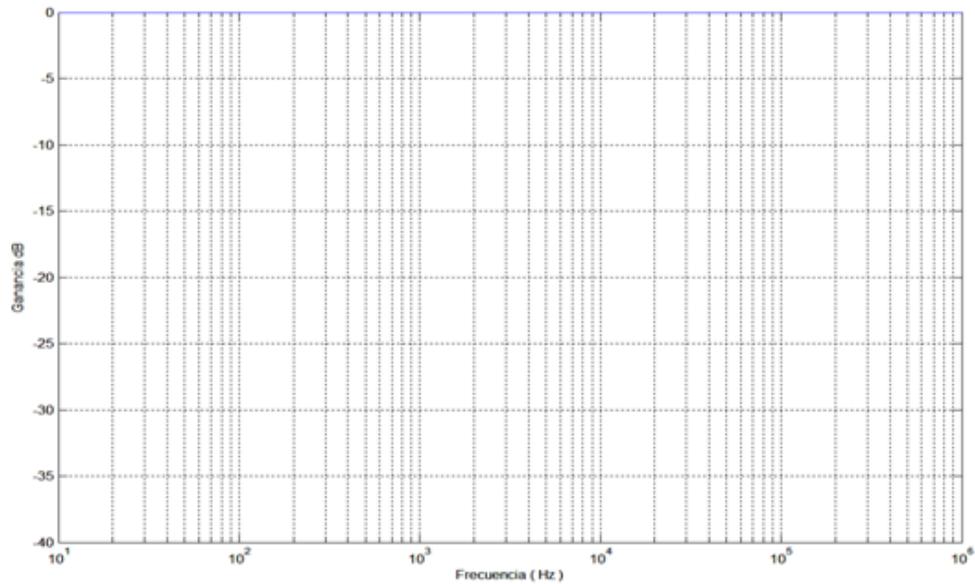
Fuente: Diseño Autor

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

1. Asegúrese de contar con las medidas de seguridad adoptadas según el reglamento para el uso de laboratorios de la facultad de ingeniería electrónica.
2. Ajuste el generador de señales a 1KHz y una amplitud de 0.5Vp con cero nivel de DC, para esto seleccione en el SW1 del generador de funciones en la posición para el tipo de onda seno, coloque la perilla de escala de frecuencia en x1K, ajuste el potenciómetro "FREC(Hz)" a 1KHz, gradúe el valor de la amplitud de salida girando el potenciómetro "AMP(V)" de la señal del generador, compruebe todos los pasos anteriores mediante un osciloscopio conectado en "TP1" y realice todos los ajustes necesarios.
3. Conecte la "SALIDA 1" del generador de funciones en la "ENTRADA" del "Amplificador" empleando los conectores suministrados para el módulo.
4. Conecte la "SALIDA" del "AMPLIFICADOR" en la "ENTRADA" del módulo "FILTRO PASIVOS" empleando los conectores suministrados para el módulo.
5. Conectado un canal del osciloscopio en "TP1" y el segundo canal variara entre "TP2", "TP3" y "TP4". Varíe la frecuencia de entrada al circuito amplificador en el rango de 30hz hasta 20Khz. ¿Percibe cambios en la amplitud de la señal?, descríbalos, frecuencia y forma de onda. Compare la fase de la señal de salida. Determine si está adelantada o atrasada la señal y otras características que encuentre.

6. Repita el barrido de frecuencia anterior y registre algunos valores significativos de forma que pueda realizar completar el gráfico de la figura 4.35, haga especial énfasis en los valores en los cuales la ganancia toma un valor de 0.707, en este valor encontrará la frecuencia de corte.
7. Simule en Proteus u otro simulador y describa los resultados de la simulación comparados con los del módulo y saque conclusiones al respecto.

Figura 167. Proyecto 14: Gráfica Ganancia vs Frecuencia



Fuente: Diseño Autor

CONCLUSIONES

- El micrófono es un transductor que nos permite realizar la conversión de variaciones de presión a variaciones de nivel en una corriente eléctrica. A la hora de estudiar los diferentes tipos de micrófonos, podemos hacerlo, bien sea por su principio de funcionamiento (carbón, bobina, capacitivo, etc.), o bien por la forma en que recoge el sonido (omnidireccional, bidireccional, unidireccional), dado que no presentan la misma sensibilidad en todos los ángulos con respecto a la fuente sonora, forma que se representa por medio de un diagrama polar. Empleando el módulo didáctico es posible realizar comparaciones, medidas, tanto de respuesta en frecuencia, direccionalidad, y sensibilidad, para diferentes clases de micrófonos.
- La conversión de la señal eléctrica a sonido se realiza con la ayuda del altavoz. Existe una gran variedad de altavoces y atendiendo a el rango de frecuencias reproducidas se encuentran: graves, agudos, medios, y múltiples o compuestos. El módulo didáctico posee un sistema de altavoces y un sistema de filtrado anexo, que por su potencia es de carácter pasivo y que ayuda a aprovechar al máximo cada altavoz instalado dependiendo de su aplicación acústica, consiguiendo así un sistema de mayor fidelidad de audio y permitiendo que el estudiante compruebe mediante mediciones su desempeño.
- Dentro del procesamiento del sonido el filtrado es parte primordial, de esta forma los filtros pasa-altos nos eliminan ruidos mecánicos, vibraciones, ruidos de red (60Hz), etc. Los filtros paso-bajos eliminan ruidos de alta frecuencia (como soplido de cinta), equipos de telecomunicaciones y de computación. Combinando estos sistemas de filtrado mejoramos la calidad tanto de la grabación como de la reproducción sonora. El módulo didáctico posee 4 tipos de filtros que ayudarán al estudiante a verificar la teoría vista en clase respecto al filtrado.
- Los amplificadores operacionales son elementos fundamentales en el tratamiento de señales análogas, su aparición en la década de los 60's amplió el panorama enormemente y con ello surgieron un sin número de circuitos de aplicación práctica, estos son usados junto con otros elementos (externos) eléctricos pasivos como condensadores, resistencias, bobinas y diodos, en diferentes combinaciones dando así: circuitos inversores de señal, no inversores, amplificadores, seguidores de señal, integradores o derivadores de señal, sumadores y mezcladores, etc. Al momento de construir un circuito se debe tener en cuenta que las configuraciones más apropiadas son aquellas que no se ven afectadas por el ruido, cualquiera sea su procedencia, o que no impliquen pérdidas en la señal.
- El módulo didáctico fue diseñado con elementos de fuente generadores de señal de audio (micrófono y generador de señales), sistemas de tratamiento de la

señal (preamplificación y filtrado), amplificación de potencia y reproducción del sonido mediante altavoces (Woofers, médiums, tweeters), de esta forma constituye un sistema útil, versátil, adaptable y reconfigurable, pensado para ser una herramienta valiosa para los estudiantes en el aprendizaje básico de los sistemas de audio.

➤ Los filtros pasivos son usados ampliamente en sistemas de audio de alta fidelidad. La necesidad surge debido a que los bafles no tienen un solo altavoz, sino dos, tres, o a veces más. El problema es que no todos los altavoces pueden reproducir correctamente todo el rango de frecuencias audibles. Los "Woofers" que crean los sonidos graves deben desplazar una gran cantidad de aire, y para eso hace falta un altavoz grande. Este altavoz tendrá masa, y será difícil moverlo a altas frecuencias, ya que el tiempo que tarda en adquirir velocidad el cono es grande. Un "tweeter" puede estar sometido a enormes fuerzas G, aunque la reducida masa de la cúpula hace que la fuerza que acelera la cúpula sea de 20-25 N. Esto sería impensable con las pesadas membranas de los "Woofers". Por lo tanto es necesario para una misma salida de potencia, seleccionar las frecuencias que serán entregadas a cada tipo de altavoz.

BIBLIOGRAFÍA

ARTHUR B., William. Amplificadores Operacionales Teoría y sus Aplicaciones. Editorial McGRAW-HILL 1988.

RUIZ VASALLO, Francisco. Diseño y Fabricación de Bafles. Editorial Copyright 2007, p. 5-107.

SINGMIN, Andrew. Practical Audio Amplifier Circuit Projects. Editorial Newnes- Copyright 2000.

WEBGRAFÍA

ALIBABA.COM. Transistores [en línea]. 2012. [Consultado el 9 de septiembre de 2012]. Disponible en Internet: <URL:<http://spanish.alibaba.com/products/transistors-mosfet-triode-transistor-npn-transistor-npn-transistor-338051579.html>>

APRENDE A PINCHAR MUSICA. Tipos de micrófonos [en línea]. 2012. [Consultado el 25 de agosto de 2012]. Disponible en internet: <URL:http://aprendeapincharmusica.com/sonido_manuales/tipos-de-microfonos/>

AULA PETER. Curso de sonido [en línea]. [Consultado el 10 de agosto de 2012]. Disponible en Internet: <URL:aulapeter.wikispaces.com/file/view/Curso+de+sonido.doc>

BLOG WORDPRESS. Circuitos [en línea]. 2012. [Consultado el 10 de septiembre de 2012]. Disponible en Internet: <URL:<http://darlingrayran.wordpress.com/circuitos/>>

BOBINAS BLOG. Bobinas [en línea]. 2012. [Consultado el 20 de septiembre de 2012]. Disponible en Internet: <URL: <http://bobinasm.blogspot.com/>>

CONOCIMIENTOS BJT. Transistores [en línea]. 2010. [Consultado el 5 de noviembre de 2012]. Disponible en Internet: <URL:<http://conocimientosbjt.blogspot.com/2010/05/bjt.html>>

DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN. Interruptores [en línea]. 2010. [Consultado el 9 de septiembre de 2012]. Disponible en Internet: <URL:<http://dispositivosdeproteccion3103.blogspot.com/2010/09/interruptores.html>>

DIY STOMBOXES.COM. Foros [en línea]. 2012. [Consultado el 8 de septiembre de 2012]. Disponible en Internet:

<URL:<http://www.diystompboxes.com/smfforum/index.php?topic=48640.0>>

ELECTRÓNICA ANALÓGICA. Rechaza banda [en línea]. 2012. [Consultado el 20 de septiembre de 2012]. Disponible en Internet: <URL:<https://sites.google.com/site/electronicaanalogicaadancin/2-6-5-rechaza-banda>>

EMSIA. Curso de sonido [en línea]. Octubre de 2002. [Consultado el 10 de agosto de 2012] Disponible en Internet: <URL:<http://www.emsia.com.ar/downloads/sonido1.doc>>

FAIRCHILD. Catálogo [en línea]. 2002. [Consultado el 15 de septiembre de 2012]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/fairchild/LM324.pdf>>

HELLO TRADE, GLOBAL TRADE SEARCH ENGINE. Switches [en línea]. 2012. [Consultado el 10 de septiembre de 2012]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.hellotrade.com/calonix-electronics/mini-rocker-switches.html>>

IFEN. Amplificadores operacionales [en línea]. 2012. [Consultado el 12 de septiembre de 2012]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.qi.fcen.uba.ar/materias/iqi/opamp1.html>>

LC. Bandas [en línea]. México, 2012. [Consultado el 20 de septiembre de 2012]. Disponible en Internet: <URL:http://lc.fie.umich.mx/~jfelix/Instrull/FPB/FPB_ba.html>

MGF. Condensadores [en línea]. 2012. [Consultado el 8 de agosto de 2012]. Disponible en Internet: <URL:<http://pub.mfg.com/sp/categories/8464.jsp>>

NEOTEO ABC. Diodos [en línea]. 2012. [Consultado el 5 de septiembre de 2012]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.neoteo.com/diodos>>

RECREATE OFICIAL. Filtros activos [en línea]. 2011. [Consultado el 8 de agosto de 2012]. Disponible en Internet: <URL:<http://recreateoficial.blogspot.com/2011/11/filtros-activos.html>>

SANTA CRUZ, Oscar. Adaptación de Impedancias, capítulo 11 [en línea]. 2010. [Consultado el 12 de septiembre de 2012]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.profesores.frc.utn.edu.ar/electronica/ElectronicaAplicadaIII/Aplicada/Cap11Adaptaciondeimpedancias2008.pdf>>

TATIANA BLOG. Medir diodos y transistores [en línea]. Mayo de 2011. [Consultado el 5 de septiembre de 2012]. Disponible en Internet:

<URL:<http://tatianitta.blogspot.com/2011/05/medicion-de-diodos-transistores-y.html>>

UNIVERSITAT DE VALENCIA. Equipos de audio: Micrófonos [en línea]. [Consultado el 11 de agosto de 2012]. Disponible en Internet: <URL:<http://www.uv.es/tv/3.%20Equipos%20de%20audio.%20Microfonos.pdf>>

YO REPARO.COM. Resistencias [en línea]. 2012. [Consultado el 20 de septiembre de 2012]. Disponible en Internet: <URL:http://electronica.yoreparo.com/electronica/569174_0.htm>

ANEXOS

Anexo A. Amplificadores

➤ Amplificador inversor

Basado en el modelo ideal del amplificador en modo bucle de lazo cerrado, esto lleva a la conclusión de que el potencial diferencial en los terminales de entrada es cero y la corriente que circula al amplificador es nula, provocando un corto virtual

$$V^- = V^+ = 0 \quad (\text{ec 7.1})$$

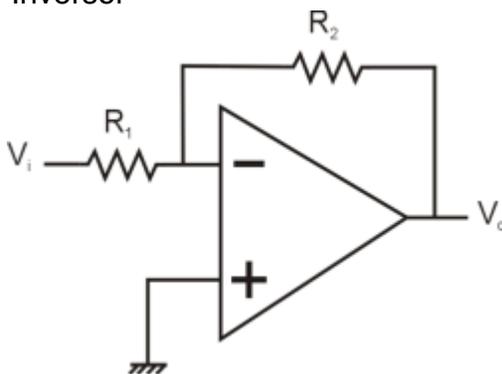
Por consiguiente al aplicar las leyes de corrientes tenemos:

$$\frac{V_i - 0}{R_1} = \frac{0 - V_0}{R_2} \quad (\text{ec 7.2})$$

Por consiguiente la ganancia se da de la forma:

$$\frac{V_0}{V_i} = -\frac{R_2}{R_1} \quad (\text{ec 7.3})$$

Figura 0.1 Amplificador Inversor



Fuente: www.ugr.es/~cartujo/FTC/Tema2_FTC.ppt

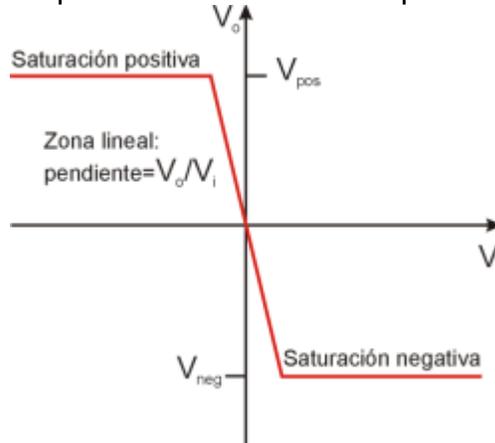
La tensión de salida es proporcional a la de entrada por el factor de R_2/R_1 . Para este diseño se pueden atenuar o amplificar las señales de entrada.

Como se observa en las ecuaciones la ganancia tiene un factor proporcionalidad debido a la resistencia de retroalimentación R_2 e inversamente a R_1 ; dando por sentado que si se varia el R_2 se puede llegar al punto de ruptura o saturación del amplificador.

Este diseño amplifica la señal y la invierte 180 grados debido al desbalance que se tiene a la entrada, como se puede comprobar al ver el signo negativo de la ecuación de ganancia. El terminal positivo funciona en este caso como la referencia del bucle de retroalimentación cerrado para la entrada del terminal negativo, el cual su vez controla el nivel de cada entrada.

Para este diseño se suele colocar una resistencia en el terminal positivo evitando así pérdidas por intensidades residuales del amplificador.

Figura 0.2 Respuesta en Operación Inversa del Amplificador



Fuente: http://www.ugr.es/~cartujo/FTC/Tema2_FTC.ppt

➤ **Amplificador no inversor**

Basado en la misma premisa del amplificador ideal en la forma inversora se tiene que:

$$V^- = V^+ = V_i \quad (ec\ 7.4)$$

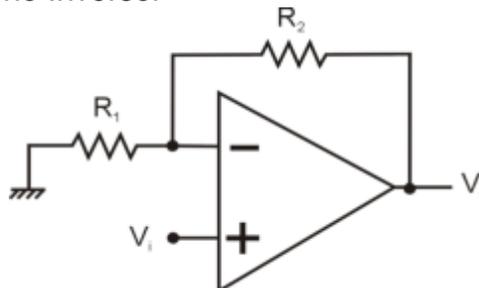
Por consiguiente al aplicar las leyes de corrientes:

$$\frac{0 - V_i}{R_1} = \frac{V_i - V_0}{R_2} \quad (ec\ 7.5)$$

Obteniendo a su vez un cálculo de ganancia de:

$$\frac{V_0}{V_i} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \quad (ec\ 7.6)$$

Figura 0.3 Amplificador no Inversor



Fuente: http://www.ugr.es/~cartujo/FTC/Tema2_FTC.ppt

Figura 0.4 Respuesta en Operación Directa del Amplificador

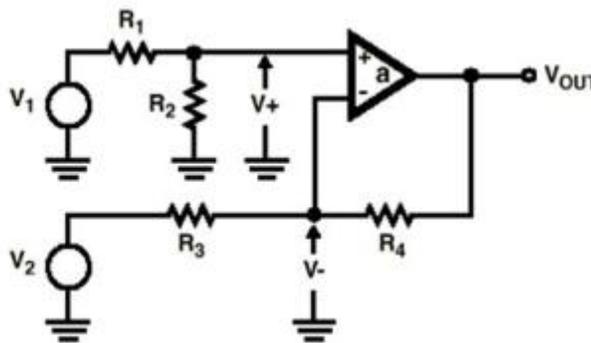


Fuente: http://www.ugr.es/~cartujo/FTC/Tema2_FTC.ppt

De esta configuración se deduce que la ganancia mínima está dada por 1, la señal de salida está en fase con respecto a la señal de entrada; al no estar precedida por un signo negativo la ganancia se presentará sin inversión alguna. Siendo un amplificador lineal se vuelve a presentar que R_2 será el que determine el valor de la ganancia del sistema variando su valor desde su mínimo al máximo rango. Este circuito no permite la atenuación de señales.

➤ **Amplificador Diferencial**

Figura 0.5 Amplificador Diferencial



Fuente: <http://www.qi.fcen.uba.ar/materias/iqi/opamp1.html>

Es un circuito en el cual las dos entradas están alimentadas, más conocido como restador de tensión ya que la señal de salida es la diferencia entre las dos tensiones de entrada amplificadas y en fase con las mismas, este montaje en sí es la combinación de un amplificador en modo inversor con uno no inversor. Este se analiza en forma de amplificador ideal.

$$V^- = V^+ = V_a \quad (ec\ 7.7)$$

$$\frac{V_2 - V_a}{R_3} = \frac{V_a - V_0}{R_4} \quad (ec\ 7.8)$$

$$\frac{V_1 - V_a}{R_1} = \frac{V_a}{R_2} \quad (\text{ec 7.9})$$

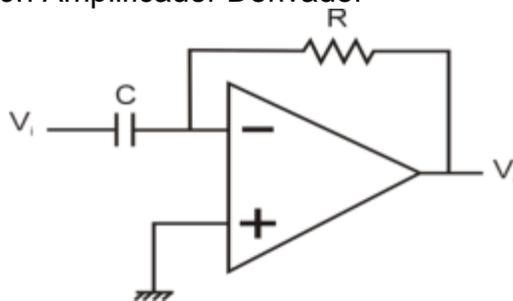
Teniendo en cuenta que $R_1=R_3$ y $R_2=R_4$ e igualando las ecuaciones de las señales de entrada independientes tenemos como resultado:

$$V_0 = \frac{R_2}{R_1}(V_1 - V_2) \quad (\text{ec 7.10})$$

Esta configuración sirve además para rechazar una señal no deseada de ruido que sea común para ambas entradas del amplificador, mientras se amplifica la señal de salida, se debe tener en cuenta que se necesita que las resistencias sea parejas para que esta función sirva; por estas razones este modo de amplificador es único y muy utilizado para funciones de filtrar ruidos indeseados.

➤ Amplificador Derivador

Figura 0.6 Configuración Amplificador Derivador



Fuente: http://www.ugr.es/~cartujo/FTC/Tema2_FTC.ppt

Se presenta en esta configuración que es similar al esquema inversor con una variación en su entrada inversora correspondiente a un condensador, su análisis provoca una derivación con respecto al tiempo de la señal de entrada, esta configuración a su vez es muy sensible al ruido por el modo en que la señal es tratada.

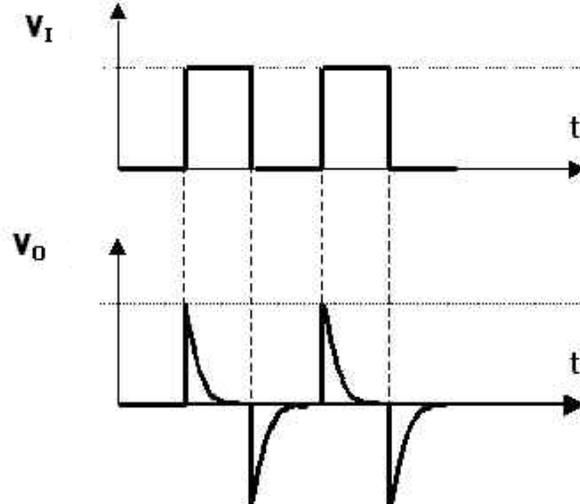
$$V^- = V^+ = 0 \quad (\text{ec 7.11})$$

$$i_c(t) = C \frac{dv_i(t)}{dt} \quad (\text{ec 7.12})$$

$$C \frac{d(V_i - 0)}{dt} = \frac{0 - V_0}{R} \quad (\text{ec 7.13})$$

$$V_0(t) = -RC \frac{dv_i(t)}{dt} \quad (\text{ec 7.14})$$

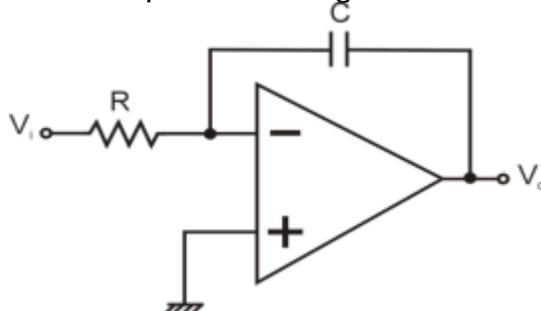
Figura 0.7 Señales de Entrada y Salida: Circuito Derivador



Fuente: <http://www.qi.fcen.uba.ar/materias/iqi/opamp1.html>

➤ **Amplificador integrador**

Figura 0.8 Configuración de Amplificador Integrador



Fuente: http://www.ugr.es/~cartujo/FTC/Tema2_FTC.ppt

Este modo de amplificación se vuelve basar en la misma configuración inversora con la diferencia en este caso la resistencia de retroalimentación es reemplazada por un condensador, esto genera rampa de voltaje gracias a la corriente que atraviesa el condensador; dependiendo de la señal de entrada y sus valores está rampa será positiva o negativa lo que provoca una integración en el tiempo a la salida respecto a la tensión o corriente de entrada.

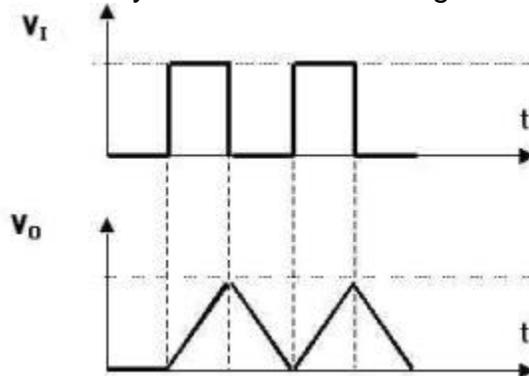
$$V^- = V^+ = 0 \quad (\text{ec 7.15})$$

$$\frac{V_i - 0}{R} = C \frac{d(0 - v_o)}{dt} \quad (\text{ec 7.16})$$

$$V_i = -RC \frac{dv_o}{dt} \quad (\text{ec 7.17})$$

$$V_0 = -\frac{1}{RC} \int V_i dt \quad (\text{ec 7.18})$$

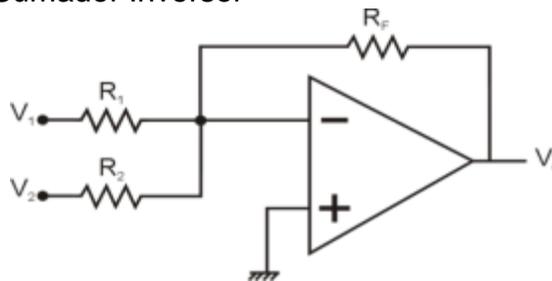
Figura 0.9 Señales de Entrada y Salida: Circuito Integrador



Fuente: <http://www.qi.fcen.uba.ar/materias/iqi/opamp1.html>

➤ **Sumador Inversor**

Figura 0.10 Circuito Sumador Inversor



Fuente: http://www.ugr.es/~cartujo/FTC/Tema2_FTC.ppt

Esta configuración tiene el mismo funcionamiento de la amplificador inversor, con la salvedad que para este caso se usan varias tensiones de entrada con sus respectivas resistencias acopladas al terminal inversor, lo que provoca la sumatoria de estas señales con el factor de proporcionalidad de R_f lo que hace a esta resistencia la variante fundamental de la respuesta de circuito.

Este sumador es de gran utilidad a la hora de mezclar señales en un solo dispositivo sin que se afecten sus valores de entrada.

$$V^- = V^+ = 0 \quad (\text{ec 7.19})$$

$$\frac{V_1 - 0}{R_1} + \frac{V_2 - 0}{R_2} = \frac{0 - V_0}{R_f} \quad (\text{ec 7.20})$$

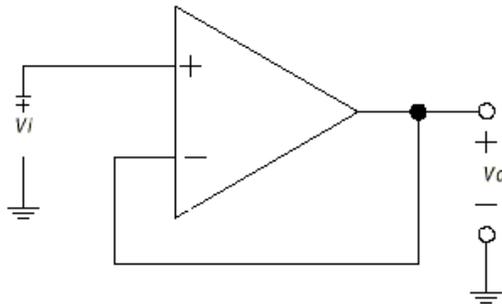
$$V_0 = -R_f \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} \right) \quad (\text{ec 7.21})$$

Si $R_f=R_1=R_2$ entonces:

$$V_0 = -(V_1 + V_2) \quad (\text{ec 2.22})$$

➤ Seguidor de Tensión

Figura 0.11 Circuito Seguidor de Tensión



Fuente: <http://www.qi.fcen.uba.ar/materias/iqi/opamp1.html>

Esta configuración es llamada seguidor de tensión ya que a la salida se presenta una tensión igual a la aplicada en su entrada no inversora, lo importante de esta configuración es que al llegar una señal por su impedancia infinita evita el flujo de corriente y a la salida por su configuración la impedancia tiende a cero; lo que lo hace ideal para el acoplamiento de impedancias.

Anexo B. Amplificador LM2902



www.fairchildsemi.com

LM2902, LM324/LM324A, LM224/ LM224A

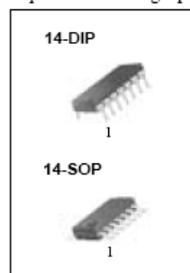
Quad Operational Amplifier

Features

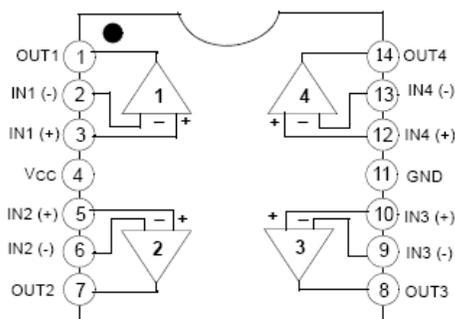
- Internally Frequency Compensated for Unity Gain
- Large DC Voltage Gain: 100dB
- Wide Power Supply Range:
LM224/LM224A, LM324/LM324A : 3V~32V (or $\pm 1.5 \sim 15V$)
LM2902: 3V~26V (or $\pm 1.5V \sim 13V$)
- Input Common Mode Voltage Range Includes Ground
- Large Output Voltage Swing: 0V to $V_{CC} - 1.5V$
- Power Drain Suitable for Battery Operation

Description

The LM324/LM324A, LM2902, LM224/LM224A consist of four independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide voltage range. Operation from split power supplies is also possible so long as the difference between the two supplies is 3 volts to 32 volts. Application areas include transducer amplifier, DC gain blocks and all the conventional OP-AMP circuits which now can be easily implemented in single power supply systems.



Internal Block Diagram

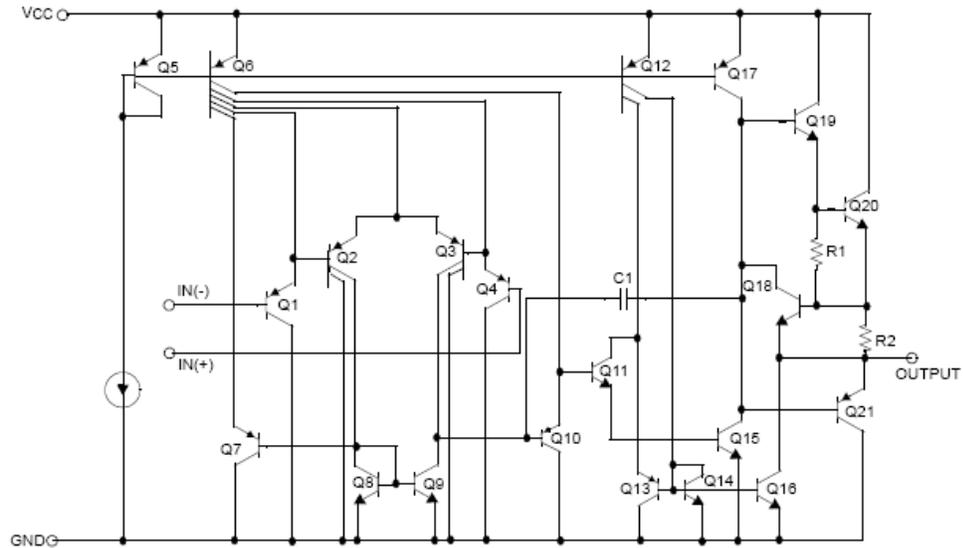


Rev. 1.0.3

©2002 Fairchild Semiconductor Corporation

Schematic Diagram

(One Section Only)



Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	LM224/LM224A	LM324/LM324A	LM2902	Unit
Power Supply Voltage	V_{CC}	± 16 or 32	± 16 or 32	± 13 or 26	V
Differential Input Voltage	$V_{I(DIFF)}$	32	32	26	V
Input Voltage	V_I	-0.3 to +32	-0.3 to +32	-0.3 to +26	V
Output Short Circuit to GND $V_{CC} \leq 15V$, $T_A = 25^\circ C$ (one Amp)	-	Continuous	Continuous	Continuous	-
Power Dissipation, $T_A = 25^\circ C$ 14-DIP 14-SOP	P_D	1310 640	1310 640	1310 640	mW
Operating Temperature Range	T_{OPR}	-25 ~ +85	0 ~ +70	-40 ~ +85	$^\circ C$
Storage Temperature Range	T_{STG}	-65 ~ +150	-65 ~ +150	-65 ~ +150	$^\circ C$

Thermal Data

Parameter	Symbol	Value	Unit
Thermal Resistance Junction-Ambient Max. 14-DIP 14-SOP	$R_{\theta ja}$	95 195	$^\circ C/W$

Electrical Characteristics

($V_{CC} = 5.0V$, $V_{EE} = GND$, $T_A = 25^\circ C$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	LM224			LM324			LM2902			Unit	
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.		
Input Offset Voltage	V_{IO}	$V_{CM} = 0V$ to V_{CC} -1.5V $V_{O(P)} = 1.4V$, $R_S = 0\Omega$	-	1.5	5.0	-	1.5	7.0	-	1.5	7.0	mV	
Input Offset Current	I_{IO}	-	-	2.0	30	-	3.0	50	-	3.0	50	nA	
Input Bias Current	I_{BIAS}	-	-	40	150	-	40	250	-	40	250	nA	
Common-Mode Input Voltage Range	$V_{I(R)}$	Note1	0	-	V_{CC} -1.5	0	V_{CC} -1.5	-	0	-	V_{CC} -1.5	V	
Supply Current	I_{CC}	$R_L = \infty, V_{CC} = 30V$ (all Amps)	-	1.0	3	-	1.0	3	-	1.0	3	mA	
		$R_L = \infty, V_{CC} = 5V$ (all Amps) ($V_{CC} = 26V$ for LM2902)	-	0.7	1.2	-	0.7	1.2	-	0.7	1.2	mA	
Large Signal Voltage Gain	G_V	$V_{CC} = 15V, R_L \geq 2K\Omega$ $V_{O(P)} = 1V$ to $11V$	50	100	-	25	100	-	-	100	-	V/ mV	
Output Voltage Swing	$V_{O(H)}$	Note1	$R_L = 2K\Omega$	26	-	-	26	-	-	22	-	-	V
			$R_L = 10K\Omega$	27	28	-	27	28	-	23	24	-	V
	$V_{O(L)}$	$V_{CC} = 5V, R_L \geq 10K\Omega$	-	5	20	-	5	20	-	5	100	mV	
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	-	70	85	-	65	75	-	50	75	-	dB	
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	-	65	100	-	65	100	-	50	100	-	dB	
Channel Separation	CS	$f = 1KHz$ to $20KHz$	-	120	-	-	120	-	-	120	-	dB	
Short Circuit to GND	I_{SC}	-	-	40	60	-	40	60	-	40	60	mA	
Output Current	I_{SOURCE}	$V_{I(+)} = 1V, V_{I(-)} = 0V$ $V_{CC} = 15V, V_{O(P)} = 2V$	20	40	-	20	40	-	20	40	-	mA	
	I_{SINK}	$V_{I(+)} = 0V, V_{I(-)} = 1V$ $V_{CC} = 15V, V_{O(P)} = 2V$	10	13	-	10	13	-	10	13	-	mA	
		$V_{I(+)} = 0V, V_{I(-)} = 1V$ $V_{CC} = 15V, V_{O(R)} = 200mV$	12	45	-	12	45	-	-	-	-	μA	
Differential Input Voltage	$V_{I(DIFF)}$	-	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	V	

Note :

1. $V_{CC} = 30V$ for LM224 and LM324, $V_{CC} = 26V$ for LM2902

Electrical Characteristics (Continued)(V_{CC} = 5.0V, V_{EE} = GND, unless otherwise specified)The following specifications apply over the range of -25°C ≤ T_A ≤ +85°C for the LM224; and the 0°C ≤ T_A ≤ +70°C for the LM324; and the -40°C ≤ T_A ≤ +85°C for the LM2902

Parameter	Symbol	Conditions	LM224			LM324			LM2902			Unit	
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.		
Input Offset Voltage	V _{IO}	V _{ICM} = 0V to V _{CC} -1.5V V _{O(P)} = 1.4V, R _S = 0Ω	-	-	7.0	-	-	9.0	-	-	10.0	mV	
Input Offset Voltage Drift	ΔV _{IO} /ΔT	-	-	7.0	-	-	7.0	-	-	7.0	-	μV/°C	
Input Offset Current	I _{IO}	-	-	-	100	-	-	150	-	-	200	nA	
Input Offset Current Drift	ΔI _{IO} /ΔT	-	-	10	-	-	10	-	-	10	-	pA/°C	
Input Bias Current	I _{BIAS}	-	-	-	300	-	-	500	-	-	500	nA	
Common-Mode Input Voltage Range	V _{I(R)}	Note 1	0	-	V _{CC} -2.0	0	-	V _{CC} -2.0	0	-	V _{CC} -2.0	V	
Large Signal Voltage Gain	G _V	V _{CC} = 15V, R _L ≥ 2.0KΩ V _{O(P)} = 1V to 11V	25	-	-	15	-	-	15	-	-	V/mV	
Output Voltage Swing	V _{O(H)}	Note 1	R _L = 2KΩ	26	-	-	26	-	-	22	-	-	V
			R _L = 10KΩ	27	28	-	27	28	-	23	24	-	V
	V _{O(L)}	V _{CC} = 5V, R _L ≥ 10KΩ	-	5	20	-	5	20	-	5	100	mV	
Output Current	I _{SOURCE}	V _{I(+)} = 1V, V _{I(-)} = 0V V _{CC} = 15V, V _{O(P)} = 2V	10	20	-	10	20	-	10	20	-	mA	
	I _{SINK}	V _{I(+)} = 0V, V _{I(-)} = 1V V _{CC} = 15V, V _{O(P)} = 2V	10	13	-	5	8	-	5	8	-	mA	
Differential Input Voltage	V _{I(DIFF)}	-	-	-	V _{CC}	-	-	V _{CC}	-	-	V _{CC}	V	

Note:1. V_{CC} = 30V for LM224 and LM324, V_{CC} = 26V for LM2902

Electrical Characteristics (Continued)(V_{CC} = 5.0V, V_{EE} = GND, T_A = 25°C, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	LM224A			LM324A			Unit
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
Input Offset Voltage	V _{IO}	V _{CM} = 0V to V _{CC} -1.5V V _{O(P)} = 1.4V, R _S = 0 Ω	-	1.0	3.0	-	1.5	3.0	mV
Input Offset Current	I _{IO}	-	-	2	15	-	3.0	30	nA
Input Bias Current	I _{BIAS}	-	-	40	80	-	40	100	nA
Input Common-Mode Voltage Range	V _{I(R)}	V _{CC} = 30V	0	-	V _{CC} -1.5	0	-	V _{CC} -1.5	V
Supply Current (All Amps)	I _{CC}	V _{CC} = 30V	-	1.5	3	-	1.5	3	mA
		V _{CC} = 5V	-	0.7	1.2	-	0.7	1.2	mA
Large Signal Voltage Gain	G _V	V _{CC} = 15V, R _L ≥ 2 KΩ V _{O(P)} = 1V to 11V	50	100	-	25	100	-	V/mV
Output Voltage Swing	V _{O(H)}	Note1 R _L = 2 KΩ	26	-	-	26	-	-	V
		R _L = 10 KΩ	27	28	-	27	28	-	V
	V _{O(L)}	V _{CC} = 5V, R _L ≥ 10 KΩ	-	5	20	-	5	20	mV
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	-	70	85	-	65	85	-	dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	-	65	100	-	65	100	-	dB
Channel Separation	CS	f = 1KHz to 20KHz	-	120	-	-	120	-	dB
Short Circuit to GND	I _{SC}	-	-	40	60	-	40	60	mA
Output Current	I _{SOURCE}	V _{I(+)} = 1V, V _{I(-)} = 0V V _{CC} = 15V	20	40	-	20	40	-	mA
	I _{SINK}	V _{I(+)} = 0V, V _{I(-)} = 1V V _{CC} = 15V, V _{O(P)} = 2V	10	20	-	10	20	-	mA
		V _{I(+)} = 0V, V _{I(-)} = 1V V _{CC} = 15V, V _{O(P)} = 200mV	12	50	-	12	50	-	μA
Differential Input Voltage	V _{I(DIFF)}	-	-	-	V _{CC}	-	-	V _{CC}	V

Note:1. V_{CC} = 30V for LM224A, LM324A

Electrical Characteristics (Continued)(V_{CC} = 5.0V, V_{EE} = GND, unless otherwise specified)The following specifications apply over the range of -25°C ≤ T_A ≤ +85°C for the LM224A; and the 0°C ≤ T_A ≤ +70°C for the LM324A

Parameter	Symbol	Conditions	LM224A			LM324A			Unit	
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.		
Input Offset Voltage	V _{IO}	V _{CM} = 0V to V _{CC} - 1.5V V _{O(P)} = 1.4V, R _S = 0Ω	-	-	4.0	-	-	5.0	mV	
Input Offset Voltage Drift	ΔV _{IO} /ΔT	-	-	7.0	20	-	7.0	30	μV/°C	
Input Offset Current	I _{IO}	-	-	-	30	-	-	75	nA	
Input Offset Current Drift	ΔI _{IO} /ΔT	-	-	10	200	-	10	300	pA/°C	
Input Bias Current	I _{BIAS}	-	-	40	100	-	40	200	nA	
Common-Mode Input Voltage Range	V _{I(R)}	V _{CC} = 30V	0	-	V _{CC} - 2.0	0	-	V _{CC} - 2.0	V	
Large Signal Voltage Gain	G _V	V _{CC} = 15V, R _L ≥ 2.0KΩ	25	-	-	15	-	-	V/mV	
Output Voltage Swing	V _{O(H)}	V _{CC} = 30V	R _L = 2KΩ	26	-	-	26	-	-	V
			R _L = 10KΩ	27	28	-	27	28	-	
	V _{O(L)}	V _{CC} = 5V, R _L ≥ 10KΩ	-	5	20	-	5	20	mV	
Output Current	I _{SOURCE}	V _{I(+)} = 1V, V _{I(-)} = 0V V _{CC} = 15V	10	20	-	10	20	-	mA	
	I _{SINK}	V _{I(+)} = 0V, V _{I(-)} = 1V V _{CC} = 15V	5	8	-	5	8	-	mA	
Differential Input Voltage	V _{I(DIFF)}	-	-	-	V _{CC}	-	-	V _{CC}	V	

Typical Performance Characteristics

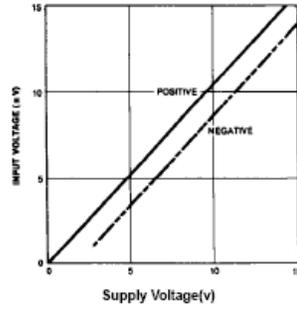


Figure 1. Input Voltage Range vs Supply Voltage

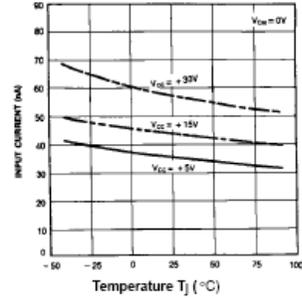


Figure 2. Input Current vs Temperature

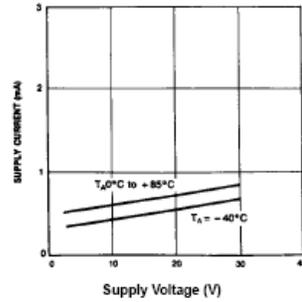


Figure 3. Supply Current vs Supply Voltage

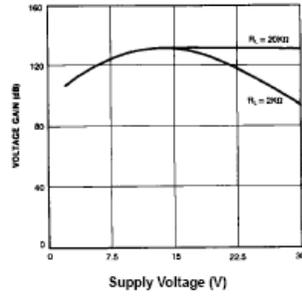


Figure 4. Voltage Gain vs Supply Voltage

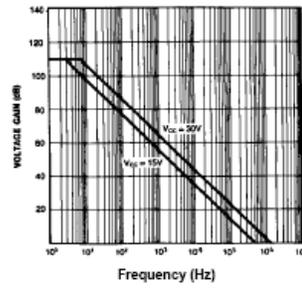


Figure 5. Open Loop Frequency Response

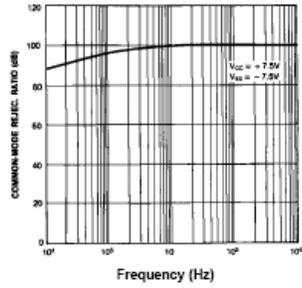


Figure 6. Common mode Rejection Ratio

Typical Performance Characteristics (Continued)

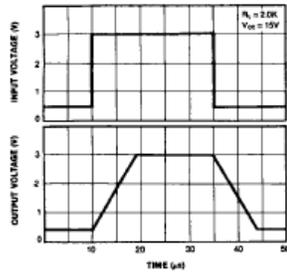


Figure 7. Slew Rate

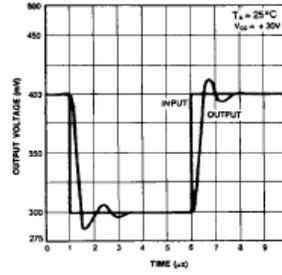


Figure 8. Voltage Follower Pulse Response

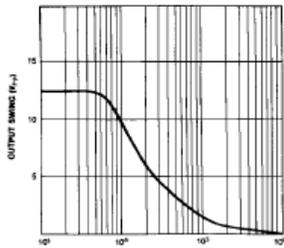


Figure 9. Large Signal Frequency Response

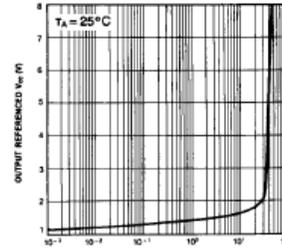


Figure 10. Output Characteristics vs Current Sourcing

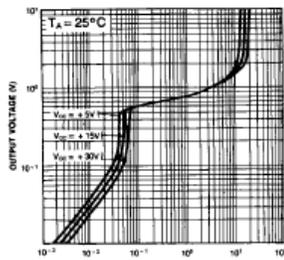


Figure 11. Output Characteristics vs Current Sinking

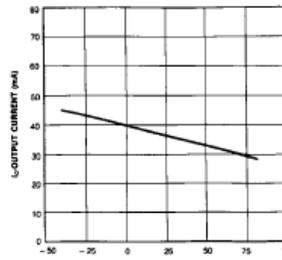


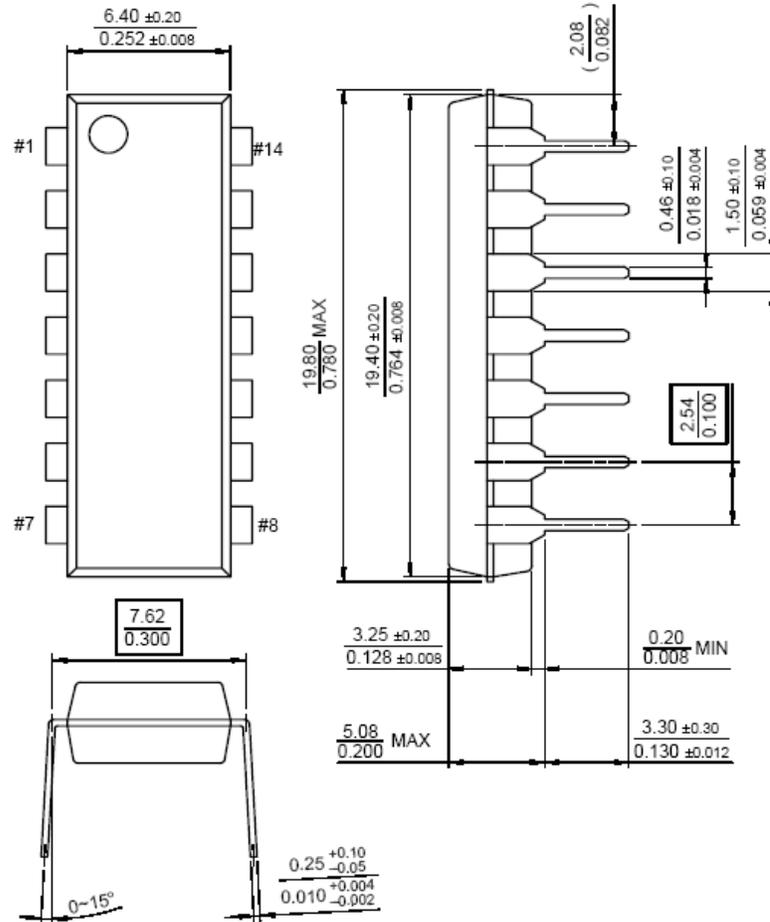
Figure 12. Current Limiting vs Temperature

Mechanical Dimensions

Package

Dimensions in millimeters

14-DIP



Ordering Information

Product Number	Package	Operating Temperature
LM324N	14-DIP	0 ~ +70°C
LM324AN		
LM324M	14-SOP	
LM324AM		
LM2902N	14-DIP	-40 ~ +85°C
LM2902M	14-SOP	
LM224N	14-DIP	-25 ~ +85°C
LM224AN		
LM224M	14-SOP	
LM224AM		

Anexo C. Amplificador LM386



August 2000

LM386 Low Voltage Audio Power Amplifier

LM386 Low Voltage Audio Power Amplifier

General Description

The LM386 is a power amplifier designed for use in low voltage consumer applications. The gain is internally set to 20 to keep external part count low, but the addition of an external resistor and capacitor between pins 1 and 8 will increase the gain to any value from 20 to 200.

The inputs are ground referenced while the output automatically biases to one-half the supply voltage. The quiescent power drain is only 24 milliwatts when operating from a 6 volt supply, making the LM386 ideal for battery operation.

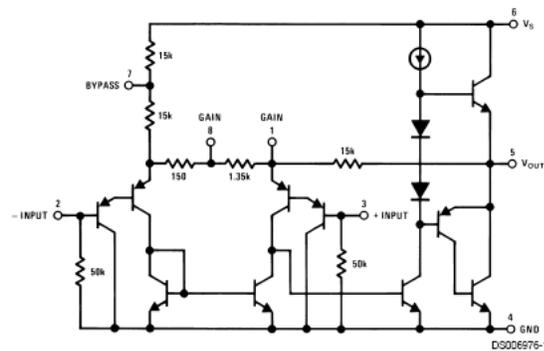
Features

- Battery operation
- Minimum external parts
- Wide supply voltage range: 4V–12V or 5V–18V
- Low quiescent current drain: 4mA
- Voltage gains from 20 to 200
- Ground referenced input
- Self-centering output quiescent voltage
- Low distortion: 0.2% ($A_v = 20$, $V_s = 6V$, $R_L = 8\Omega$, $P_o = 125mW$, $f = 1kHz$)
- Available in 8 pin MSOP package

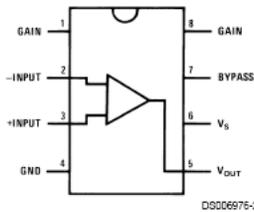
Applications

- AM-FM radio amplifiers
- Portable tape player amplifiers
- Intercoms
- TV sound systems
- Line drivers
- Ultrasonic drivers
- Small servo drivers
- Power converters

Equivalent Schematic and Connection Diagrams



Small Outline,
Molded Mini Small Outline,
and Dual-In-Line Packages



Top View

Order Number LM386M-1,
LM386MM-1, LM386N-1,
LM386N-3 or LM386N-4
See NS Package Number
M08A, MUA08A or N08E

Absolute Maximum Ratings (Note 2)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/ Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage		
(LM386N-1, -3, LM386M-1)	15V	
Supply Voltage (LM386N-4)	22V	
Package Dissipation (Note 3)		
(LM386N)	1.25W	
(LM386M)	0.73W	
(LM386MM-1)	0.595W	
Input Voltage	±0.4V	
Storage Temperature	-65°C to +150°C	
Operating Temperature	0°C to +70°C	
Junction Temperature	+150°C	
Soldering Information		

Dual-In-Line Package		
Soldering (10 sec)		+260°C
Small Outline Package (SOIC and MSOP)		
Vapor Phase (60 sec)		+215°C
Infrared (15 sec)		+220°C
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.		
Thermal Resistance		
θ_{JC} (DIP)		37°C/W
θ_{JA} (DIP)		107°C/W
θ_{JC} (SO Package)		35°C/W
θ_{JA} (SO Package)		172°C/W
θ_{JA} (MSOP)		210°C/W
θ_{JC} (MSOP)		56°C/W

Electrical Characteristics (Notes 1, 2)

$T_A = 25^\circ\text{C}$

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
Operating Supply Voltage (V_S)					
LM386N-1, -3, LM386M-1, LM386MM-1		4		12	V
LM386N-4		5		18	V
Quiescent Current (I_Q)	$V_S = 6\text{V}, V_{IN} = 0$		4	8	mA
Output Power (P_{OUT})					
LM386N-1, LM386M-1, LM386MM-1	$V_S = 6\text{V}, R_L = 8\Omega, \text{THD} = 10\%$	250	325		mW
LM386N-3	$V_S = 9\text{V}, R_L = 8\Omega, \text{THD} = 10\%$	500	700		mW
LM386N-4	$V_S = 16\text{V}, R_L = 32\Omega, \text{THD} = 10\%$	700	1000		mW
Voltage Gain (A_V)	$V_S = 6\text{V}, f = 1\text{kHz}$ 10 μF from Pin 1 to 8		26 46		dB dB
Bandwidth (BW)	$V_S = 6\text{V}$, Pins 1 and 8 Open		300		kHz
Total Harmonic Distortion (THD)	$V_S = 6\text{V}, R_L = 8\Omega, P_{OUT} = 125\text{mW}$ $f = 1\text{kHz}$, Pins 1 and 8 Open		0.2		%
Power Supply Rejection Ratio (PSRR)	$V_S = 6\text{V}, f = 1\text{kHz}, C_{BYPASS} = 10\mu\text{F}$ Pins 1 and 8 Open, Referred to Output		50		dB
Input Resistance (R_{IN})			50		k Ω
Input Bias Current (I_{BIAS})	$V_S = 6\text{V}$, Pins 2 and 3 Open		250		nA

Note 1: All voltages are measured with respect to the ground pin, unless otherwise specified.

Note 2: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not guarantee specific performance limits. Electrical Characteristics state DC and AC electrical specifications under particular test conditions which guarantee specific performance limits. This assumes that the device is within the Operating Ratings. Specifications are not guaranteed for parameters where no limit is given, however, the typical value is a good indication of device performance.

Note 3: For operation in ambient temperatures above 25°C, the device must be derated based on a 150°C maximum junction temperature and 1) a thermal resistance of 107°C/W junction to ambient for the dual-in-line package and 2) a thermal resistance of 170°C/W for the small outline package.

Application Hints

GAIN CONTROL

To make the LM386 a more versatile amplifier, two pins (1 and 8) are provided for gain control. With pins 1 and 8 open the 1.35 k Ω resistor sets the gain at 20 (26 dB). If a capacitor is put from pin 1 to 8, bypassing the 1.35 k Ω resistor, the gain will go up to 200 (46 dB). If a resistor is placed in series with the capacitor, the gain can be set to any value from 20 to 200. Gain control can also be done by capacitively coupling a resistor (or FET) from pin 1 to ground.

Additional external components can be placed in parallel with the internal feedback resistors to tailor the gain and frequency response for individual applications. For example, we can compensate poor speaker bass response by frequency shaping the feedback path. This is done with a series RC from pin 1 to 5 (paralleling the internal 15 k Ω resistor). For 6 dB effective bass boost: $R = 15$ k Ω , the lowest value for good stable operation is $R = 10$ k Ω if pin 8 is open. If pins 1 and 8 are bypassed then R as low as 2 k Ω can be used. This restriction is because the amplifier is only compensated for closed-loop gains greater than 9.

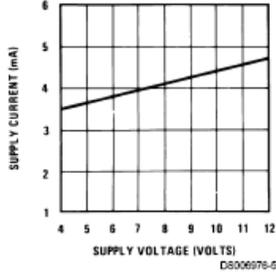
INPUT BIASING

The schematic shows that both inputs are biased to ground with a 50 k Ω resistor. The base current of the input transistors is about 250 nA, so the inputs are at about 12.5 mV when left open. If the dc source resistance driving the LM386 is higher than 250 k Ω it will contribute very little additional offset (about 2.5 mV at the input, 50 mV at the output). If the dc source resistance is less than 10 k Ω , then shorting the unused input to ground will keep the offset low (about 2.5 mV at the input, 50 mV at the output). For dc source resistances between these values we can eliminate excess offset by putting a resistor from the unused input to ground, equal in value to the dc source resistance. Of course all offset problems are eliminated if the input is capacitively coupled.

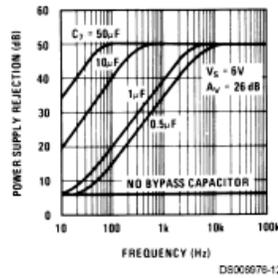
When using the LM386 with higher gains (bypassing the 1.35 k Ω resistor between pins 1 and 8) it is necessary to bypass the unused input, preventing degradation of gain and possible instabilities. This is done with a 0.1 μ F capacitor or a short to ground depending on the dc source resistance on the driven input.

Typical Performance Characteristics

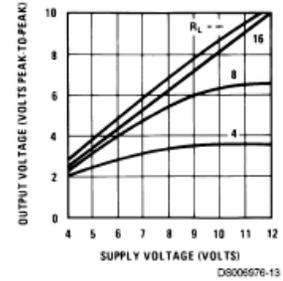
Quiescent Supply Current vs Supply Voltage



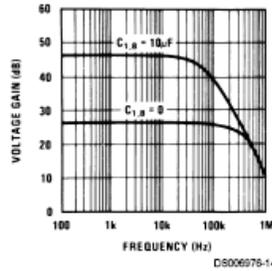
Power Supply Rejection Ratio (Referred to the Output) vs Frequency



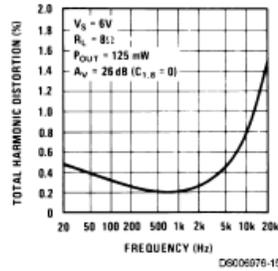
Peak-to-Peak Output Voltage Swing vs Supply Voltage



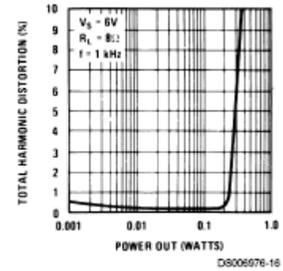
Voltage Gain vs Frequency



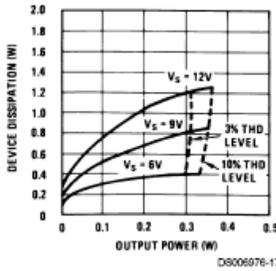
Distortion vs Frequency



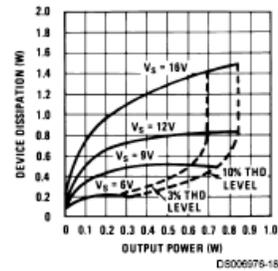
Distortion vs Output Power



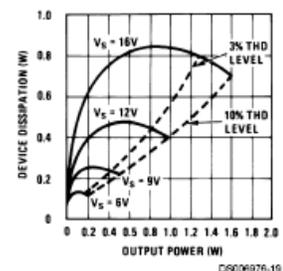
Device Dissipation vs Output Power—4Ω Load



Device Dissipation vs Output Power—8Ω Load

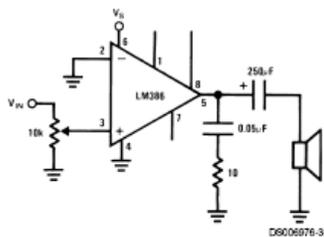


Device Dissipation vs Output Power—16Ω Load

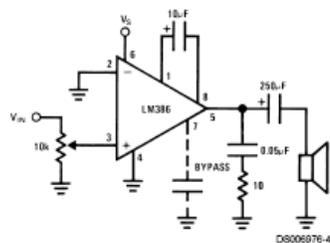


Typical Applications

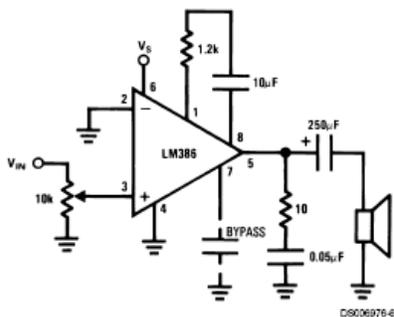
Amplifier with Gain = 20
Minimum Parts



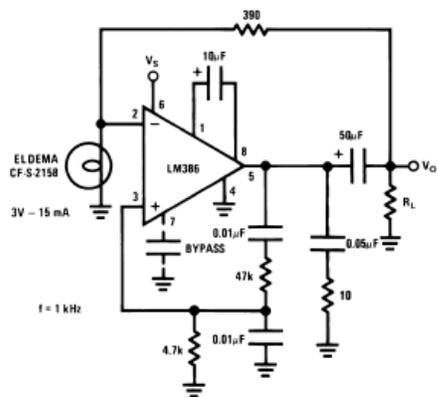
Amplifier with Gain = 200



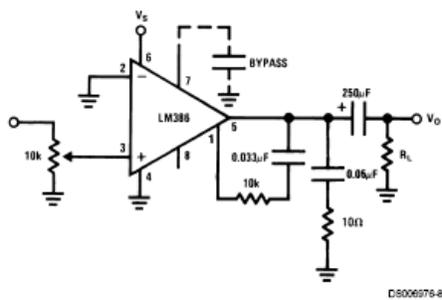
Amplifier with Gain = 50



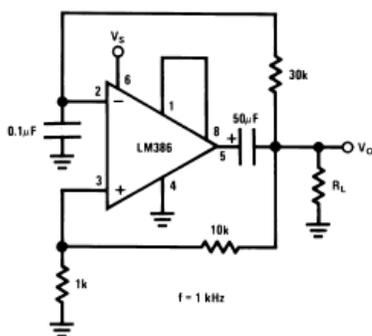
Low Distortion Power Wienbridge Oscillator



Amplifier with Bass Boost

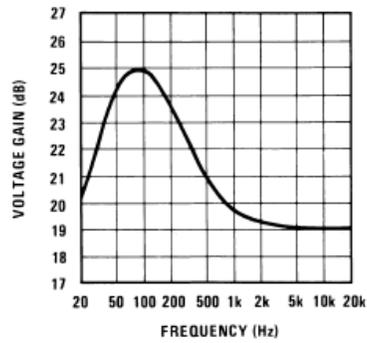


Square Wave Oscillator



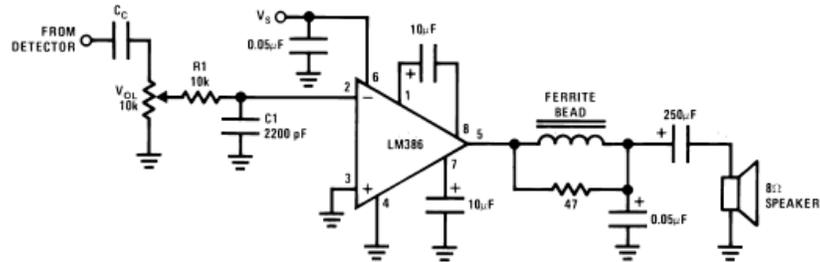
Typical Applications (Continued)

Frequency Response with Bass Boost



D8006976-10

AM Radio Power Amplifier



D8006976-11

Note 4: Twist Supply lead and supply ground very tightly.

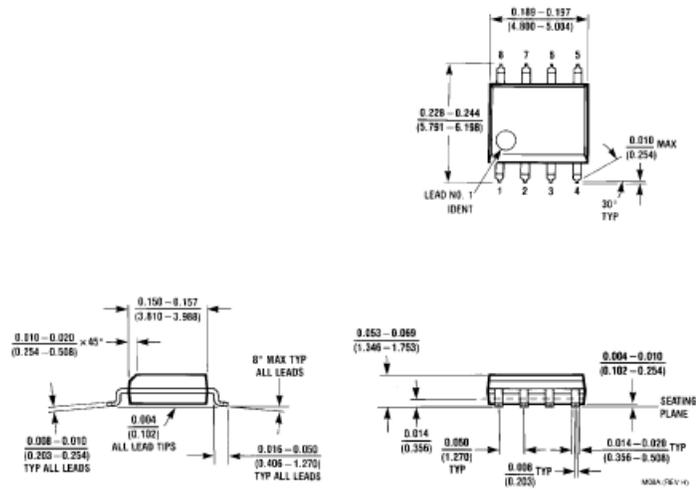
Note 5: Twist speaker lead and ground very tightly.

Note 6: Ferrite bead in Ferroxcube K5-001-001/3B with 3 turns of wire.

Note 7: R1C1 band limits input signals.

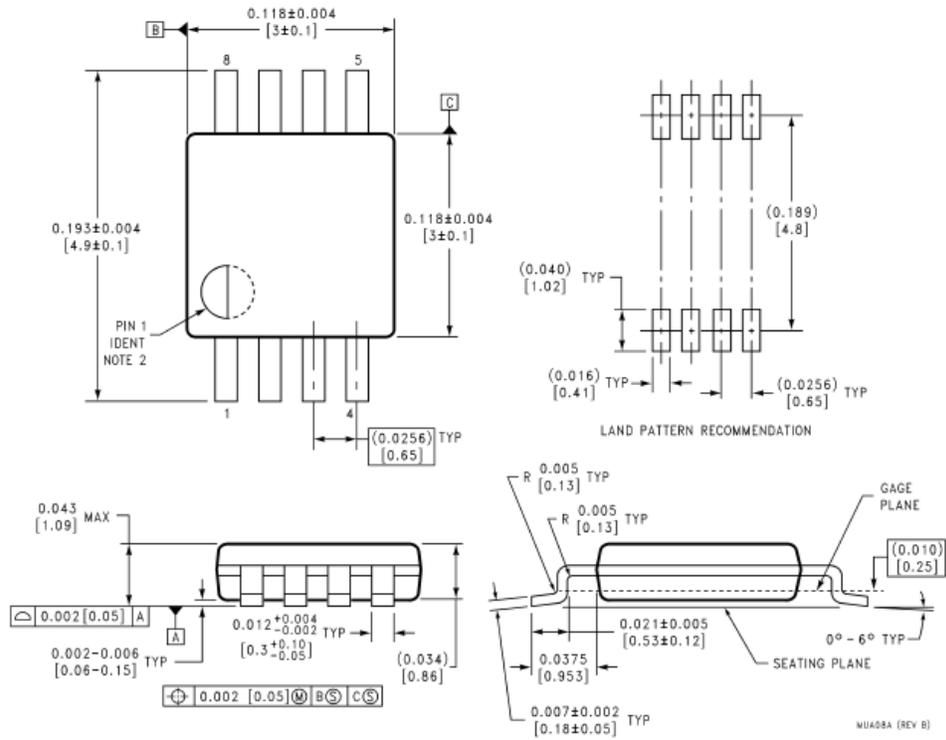
Note 8: All components must be spaced very closely to IC.

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



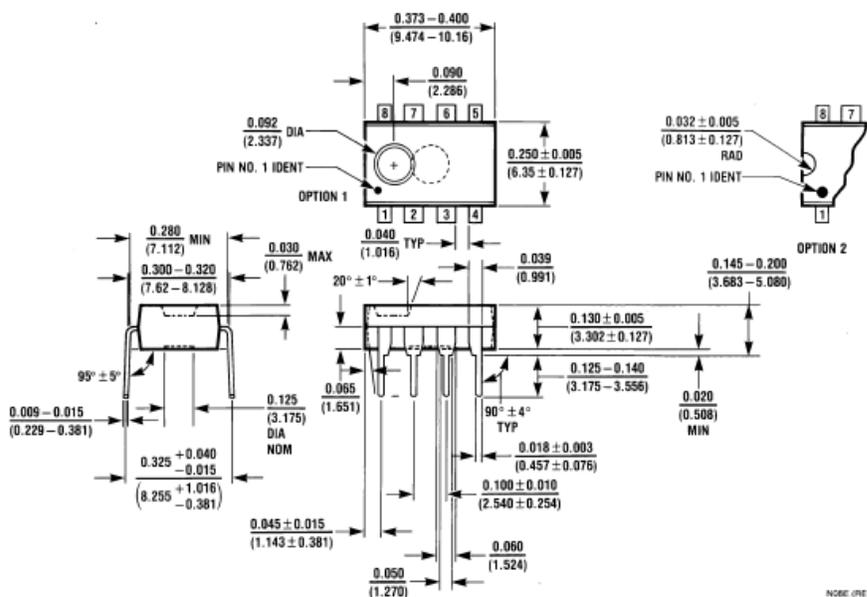
SO Package (M)
 Order Number LM386M-1
 NS Package Number M08A

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



8-Lead (0.118" Wide) Molded Mini Small Outline Package
Order Number LM386MM-1
NS Package Number MUA08A

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



Dual-In-Line Package (N)
 Order Number LM386N-1, LM386N-3 or LM386N-4
 NS Package Number N08E

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

 National Semiconductor Corporation
 Americas
 Tel: 1-800-272-9959
 Fax: 1-800-737-7018
 Email: support@nsc.com
 www.national.com

National Semiconductor
 Europe
 Fax: +49 (0) 180-530 85 86
 Email: europe.support@nsc.com
 Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208
 English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171
 Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

National Semiconductor
 Asia Pacific Customer
 Response Group
 Tel: 65-2544466
 Fax: 65-2504466
 Email: ap.support@nsc.com

National Semiconductor
 Japan Ltd.
 Tel: 81-3-5639-7560
 Fax: 81-3-5639-7507

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

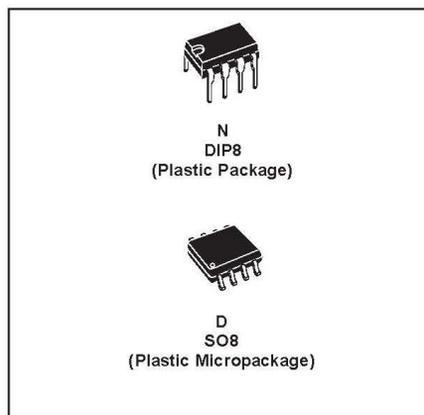
Anexo D. Amplificador TL072



TL072
TL072A - TL072B

LOW NOISE J-FET DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS

- WIDE COMMON-MODE (UP TO V_{CC}^+) AND DIFFERENTIAL VOLTAGE RANGE
- LOW INPUT BIAS AND OFFSET CURRENT
- LOW NOISE $e_n = 15\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ (typ)
- OUTPUT SHORT-CIRCUIT PROTECTION
- HIGH INPUT IMPEDANCE J-FET INPUT STAGE
- LOW HARMONIC DISTORTION : 0.01% (typ)
- INTERNAL FREQUENCY COMPENSATION
- LATCH UP FREE OPERATION
- HIGH SLEW RATE : $16\text{V}/\mu\text{s}$ (typ)

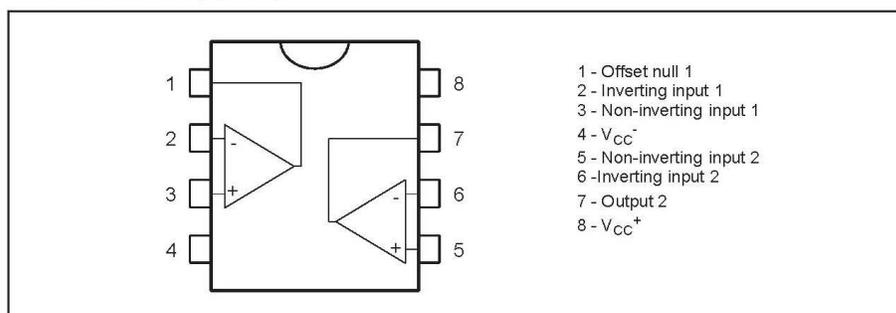


DESCRIPTION

The TL072, TL072A and TL072B are high speed J-FET input dual operational amplifiers incorporating well matched, high voltage J-FET and bipolar transistors in a monolithic integrated circuit.

The devices feature high slew rates, low input bias and offset current, and low offset voltage temperature coefficient.

PIN CONNECTIONS (top view)



ORDER CODE

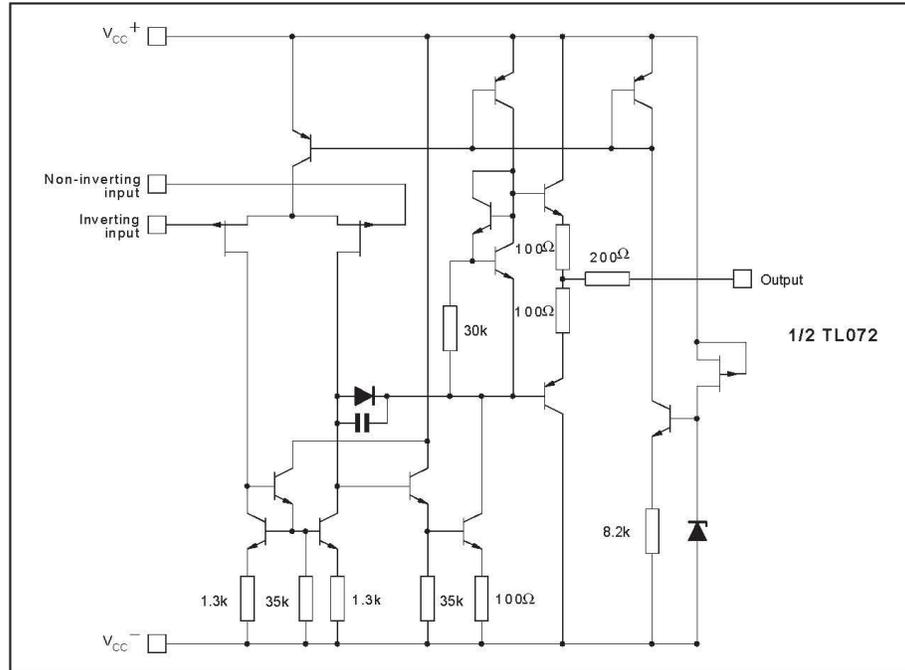
Part Number	Temperature Range	Package	
		N	D
TL072M/AM/BM	-55°C, +125°C	•	•
TL072I/AI/BI	-40°C, +105°C	•	•
TL072C/AC/BC	0°C, +70°C	•	•

Example : TL072CN

N = Dual in Line Package (DIP)
D = Small Outline Package (SO) - also available in Tape & Reel (DT)

TL072 - TL072A - TL072B

SCHMATIC DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	TL072M, AM, BM	TL072I, AI, BI	TL072C, AC, BC	Unit
V_{CC}	Supply voltage - note 1)	±18			V
V_i	Input Voltage - note 2)	±15			V
V_{id}	Differential Input Voltage - note 3)	±30			V
P_{tot}	Power Dissipation	680			mW
	Output Short-circuit Duration - note 4)	Infinite			
T_{oper}	Operating Free-air Temperature Range	-55 to +125	-40 to +105	0 to +70	°C
T_{stg}	Storage Temperature Range	-65 to +150			°C

1. All voltage values, except differential voltage, are with respect to the zero reference level (ground) of the supply voltages where the zero reference level is the midpoint between V_{CC+} and V_{CC-} .
2. The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or 15 volts, whichever is less.
3. Differential voltages are the non-inverting input terminal with respect to the inverting input terminal.
4. The output may be shorted to ground or to either supply. Temperature and/or supply voltages must be limited to ensure that the dissipation rating is not exceeded.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

$V_{CC} = \pm 15V$, $T_{amb} = +25^{\circ}C$ (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	TL072I,M,AC,AI,AM, BC,BI,BM			TL072C			Unit
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
V_{io}	Input Offset Voltage ($R_S = 50\Omega$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ TL072 TL072A TL072B $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ TL072 TL072A TL072B		3 3 1	10 6 3 13 7 5		3	10 13	mV
DV_{io}	Input Offset Voltage Drift		10			10		$\mu V/^{\circ}C$
I_{io}	Input Offset Current - note 1) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		5	100 4		5 100 10		pA nA
I_{ib}	Input Bias Current -note 1 $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		20	200 20		20 200 20		pA nA
A_{vd}	Large Signal Voltage Gain ($R_L = 2k\Omega$, $V_o = \pm 10V$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	50 25	200		25 15	200		V/mV
SVR	Supply Voltage Rejection Ratio ($R_S = 50\Omega$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	80 80	86		70 70	86		dB
I_{CC}	Supply Current, no load $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		1.4	2.5 2.5		1.4 2.5 2.5		mA
V_{icm}	Input Common Mode Voltage Range	± 11	+15 -12		± 11	+15 -12		V
CMR	Common Mode Rejection Ratio ($R_S = 50\Omega$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	80 80	86		70 70	86		dB
I_{os}	Output Short-circuit Current $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	10 10	40	60 60	10 10	40 60 60		mA
$\pm V_{opp}$	Output Voltage Swing $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ RL = 2kΩ RL = 10kΩ RL = 2kΩ RL = 10kΩ	10 12 10 12	12 13.5		10 12 10 12	12 13.5		V
SR	Slew Rate ($T_{amb} = +25^{\circ}C$) $V_{in} = 10V$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, unity gain	8	16		8	16		V/ μs
t_r	Rise Time ($T_{amb} = +25^{\circ}C$) $V_{in} = 20mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, unity gain		0.1			0.1		μs
K_{ov}	Overshoot ($T_{amb} = +25^{\circ}C$) $V_{in} = 20mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, unity gain		10			10		%
GBP	Gain Bandwidth Product ($T_{amb} = +25^{\circ}C$) $V_{in} = 10mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, $f = 100kHz$	2.5	4		2.5	4		MHz
R_i	Input Resistance		10^{12}			10^{12}		Ω

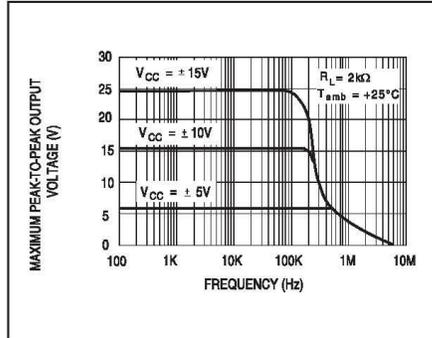


TL072 - TL072A - TL072B

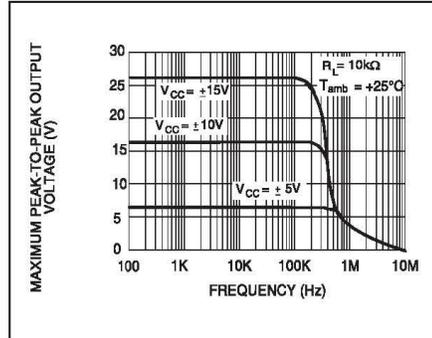
Symbol	Parameter	TL072I,M,AC,AI,AM, BC,BI,BM			TL072C			Unit
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
THD	Total Harmonic Distortion ($T_{amb} = +25^{\circ}\text{C}$) $f = 1\text{kHz}$, $R_L = 2\text{k}\Omega$, $C_L = 100\text{pF}$, $A_V = 20\text{dB}$, $V_o = 2V_{pp}$		0.01			0.01		%
e_n	Equivalent Input Noise Voltage $R_S = 100\Omega$, $f = 1\text{KHz}$		15			15		$\frac{\text{nV}}{\sqrt{\text{Hz}}}$
ϕ_m	Phase Margin		45			45		degrees
V_{o1}/V_{o2}	Channel separation $A_V = 100$		120			120		dB

1. The input bias currents are junction leakage currents which approximately double for every 10°C increase in the junction temperature.

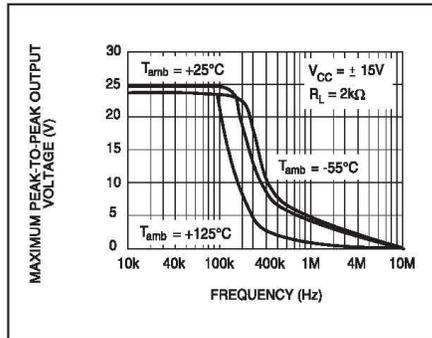
MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE versus FREQUENCY



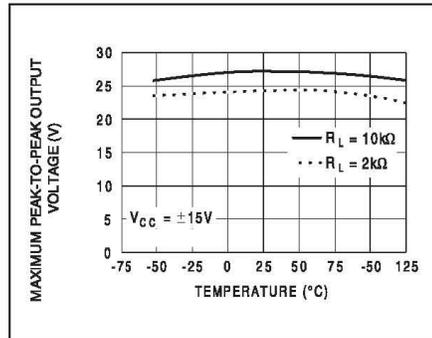
MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE versus FREQUENCY



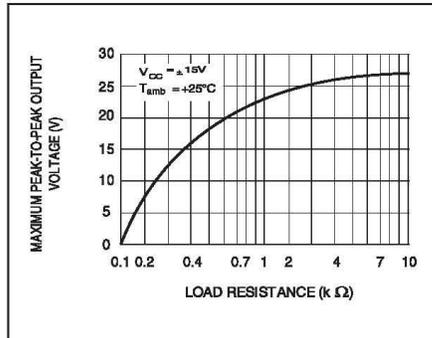
MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE versus FREQUENCY



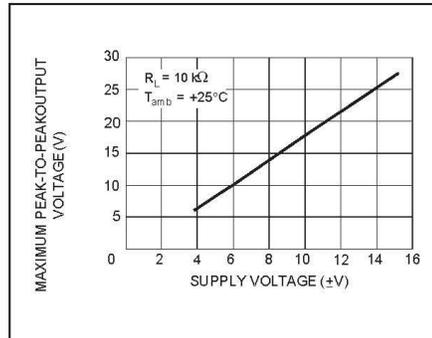
MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE versus FREE AIR TEMP.



MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE versus LOAD RESISTANCE

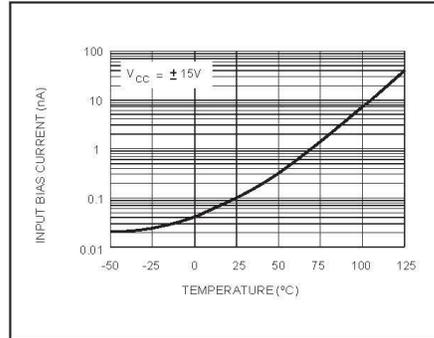


MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE versus SUPPLY VOLTAGE

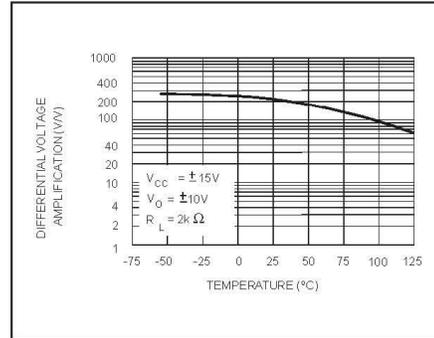


TL072 - TL072A - TL072B

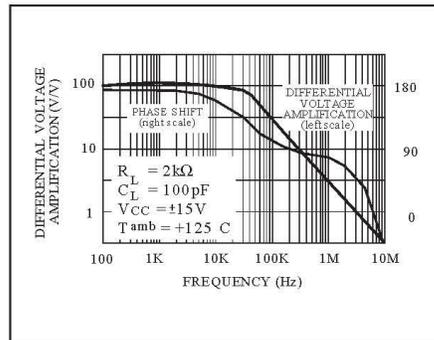
INPUT BIAS CURRENT versus FREE AIR TEMPERATURE



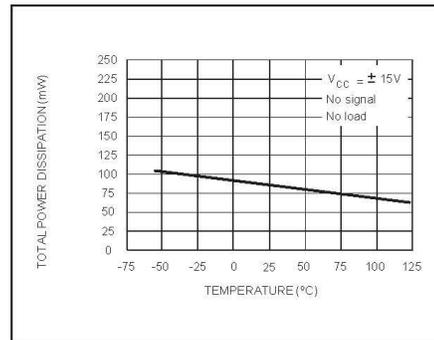
LARGE SIGNAL DIFFERENTIAL VOLTAGE AMPLIFICATION versus FREE AIR TEMP.



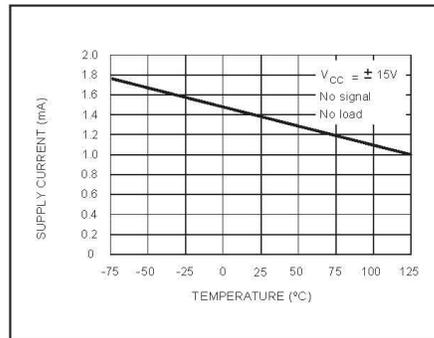
LARGE SIGNAL DIFFERENTIAL VOLTAGE AMPLIFICATION AND PHASE SHIFT versus FREQUENCY



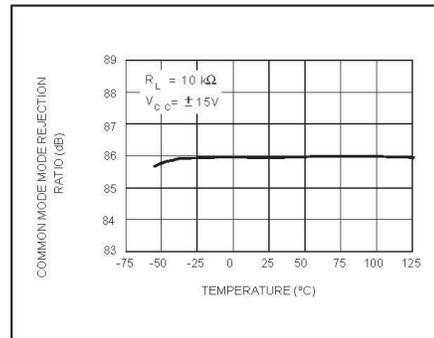
TOTAL POWER DISSIPATION versus FREE AIR TEMPERATURE



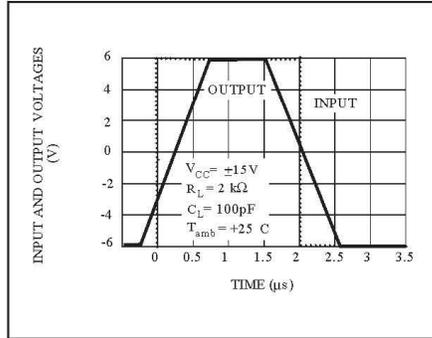
SUPPLY CURRENT PER AMPLIFIER versus FREE AIR TEMPERATURE



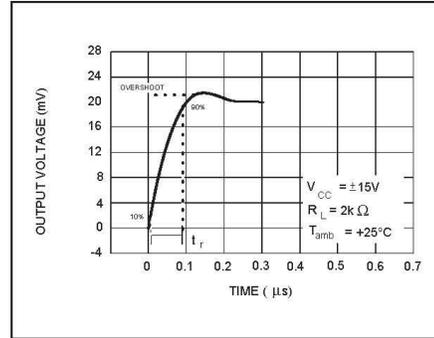
COMMON MODE REJECTION RATIO versus FREE AIR TEMPERATURE



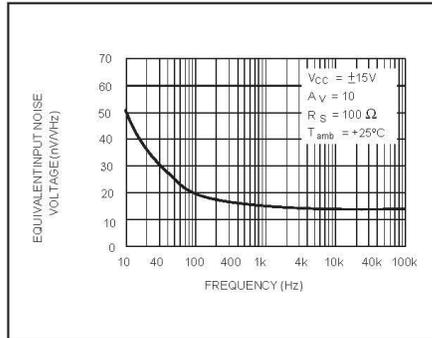
VOLTAGE FOLLOWER LARGE SIGNAL PULSE RESPONSE



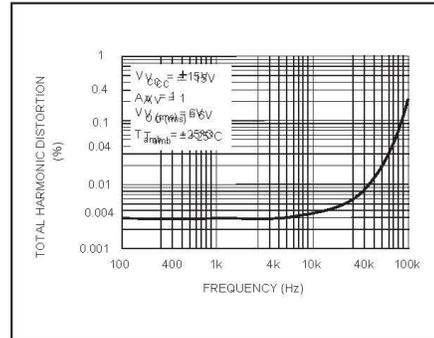
OUTPUT VOLTAGE versus ELAPSED TIME



EQUIVALENT INPUT NOISE VOLTAGE versus FREQUENCY



TOTAL HARMONIC DISTORTION versus FREQUENCY



PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

Figure 1 : Voltage Follower

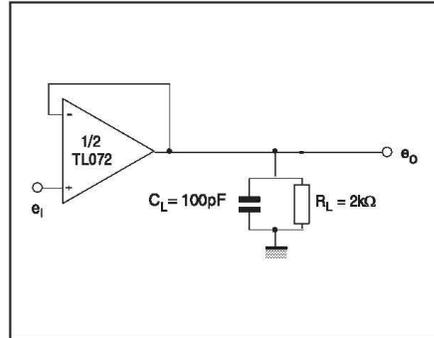
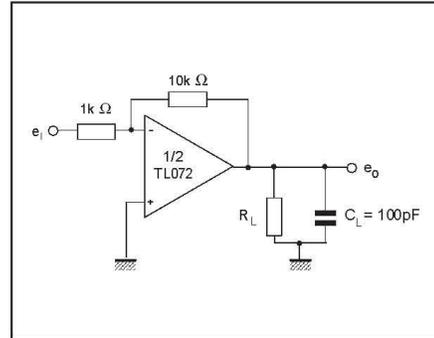
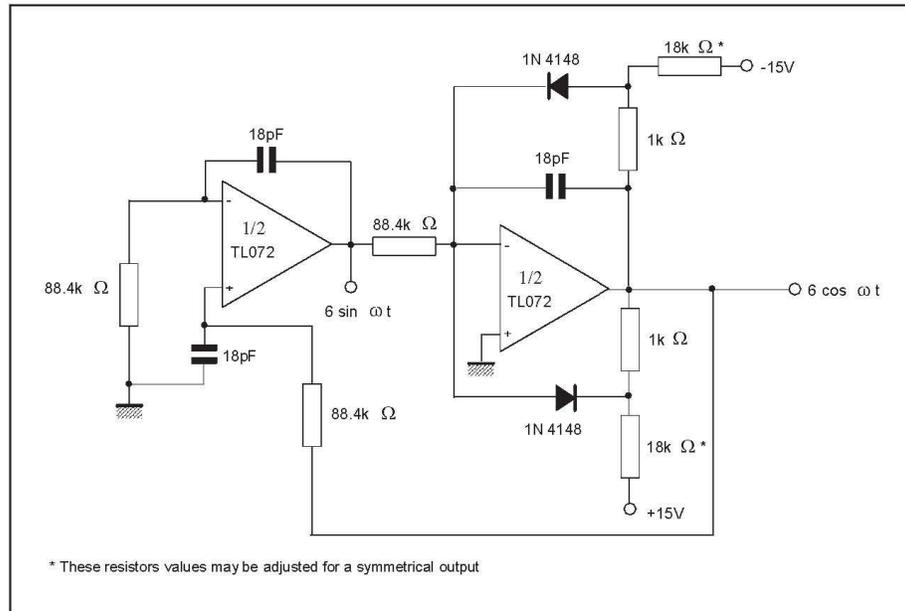


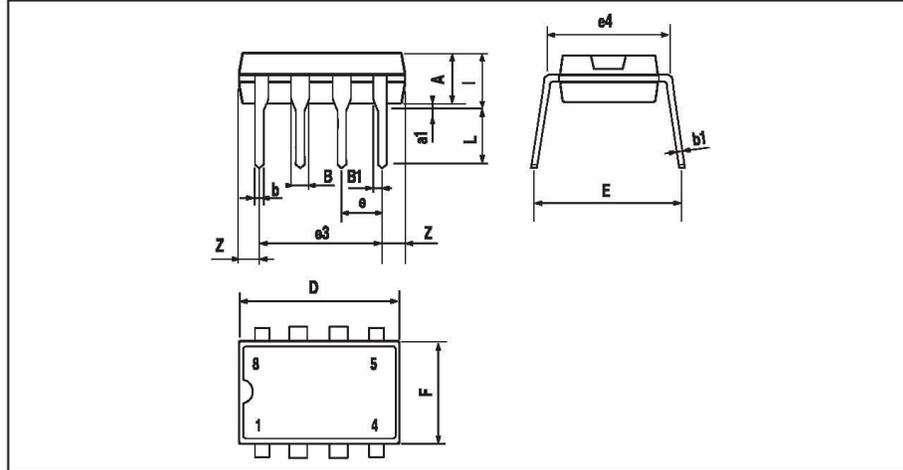
Figure 2 : Gain-of-10 Inverting Amplifier



TYPICAL APPLICATIONS
100KHz QUADRUPLE OSCILLATOR



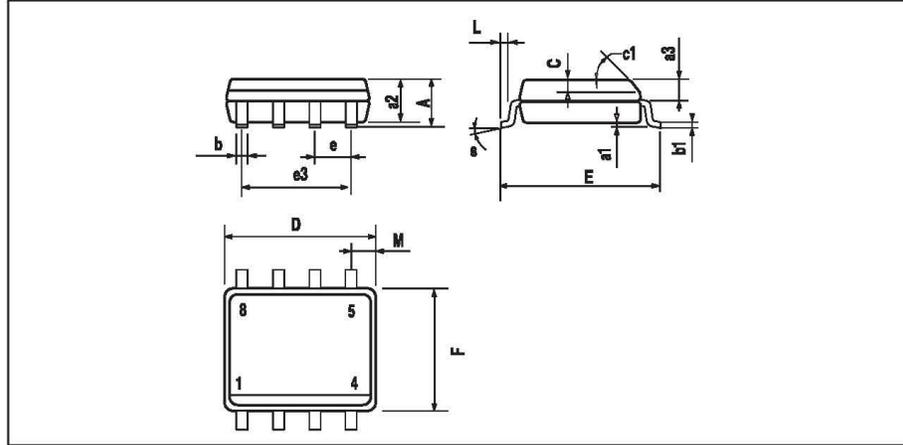
PACKAGE MECHANICAL DATA
8 PINS - PLASTIC DIP



Dim.	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A		3.32			0.131	
a1	0.51			0.020		
B	1.15		1.65	0.045		0.065
b	0.356		0.55	0.014		0.022
b1	0.204		0.304	0.008		0.012
D			10.92			0.430
E	7.95		9.75	0.313		0.384
e		2.54			0.100	
e3		7.62			0.300	
e4		7.62			0.300	
F			6.6			0.260
i			5.08			0.200
L	3.18		3.81	0.125		0.150
Z			1.52			0.060

TL072 - TL072A - TL072B

PACKAGE MECHANICAL DATA
8 PINS - PLASTIC MICROPACKAGE (SO)



Dim.	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A			1.75			0.069
a1	0.1		0.25	0.004		0.010
a2			1.65			0.065
a3	0.65		0.85	0.026		0.033
b	0.35		0.48	0.014		0.019
b1	0.19		0.25	0.007		0.010
C	0.25		0.5	0.010		0.020
c1	45° (typ.)					
D	4.8		5.0	0.189		0.197
E	5.8		6.2	0.228		0.244
e		1.27			0.050	
e3		3.81			0.150	
F	3.8		4.0	0.150		0.157
L	0.4		1.27	0.016		0.050
M			0.6			0.024
S	8° (max.)					

Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specifications mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

© The ST logo is a registered trademark of STMicroelectronics

© 2001 STMicroelectronics - Printed in Italy - All Rights Reserved

STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - China - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Italy - Japan - Malaysia - Malta - Morocco
Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom

© <http://www.st.com>



Anexo E. XR-2206



XR-2206 Monolithic Function Generator

June 1997-3

FEATURES

- Low-Sine Wave Distortion, 0.5%, Typical
- Excellent Temperature Stability, 20ppm/°C, Typ.
- Wide Sweep Range, 2000:1, Typical
- Low-Supply Sensitivity, 0.01%V, Typ.
- Linear Amplitude Modulation
- TTL Compatible FSK Controls
- Wide Supply Range, 10V to 26V
- Adjustable Duty Cycle, 1% TO 99%

APPLICATIONS

- Waveform Generation
- Sweep Generation
- AM/FM Generation
- V/F Conversion
- FSK Generation
- Phase-Locked Loops (VCO)

GENERAL DESCRIPTION

The XR-2206 is a monolithic function generator integrated circuit capable of producing high quality sine, square, triangle, ramp, and pulse waveforms of high-stability and accuracy. The output waveforms can be both amplitude and frequency modulated by an external voltage. Frequency of operation can be selected externally over a range of 0.01Hz to more than 1MHz.

The circuit is ideally suited for communications, instrumentation, and function generator applications requiring sinusoidal tone, AM, FM, or FSK generation. It has a typical drift specification of 20ppm/°C. The oscillator frequency can be linearly swept over a 2000:1 frequency range with an external control voltage, while maintaining low distortion.

ORDERING INFORMATION

Part No.	Package	Operating Temperature Range
XR-2206M	16 Lead 300 Mil CDIP	-55°C to +125°C
XR-2206P	16 Lead 300 Mil PDIP	-40°C to +85°C
XR-2206CP	16 Lead 300 Mil PDIP	0°C to +70°C
XR-2206D	16 Lead 300 Mil JEDEC SOIC	0°C to +70°C

Rev. 1.03
©1972



EXAR Corporation, 48720 Kato Road, Fremont, CA 94538 ♦ (510) 668-7000 ♦ (510) 668-7017

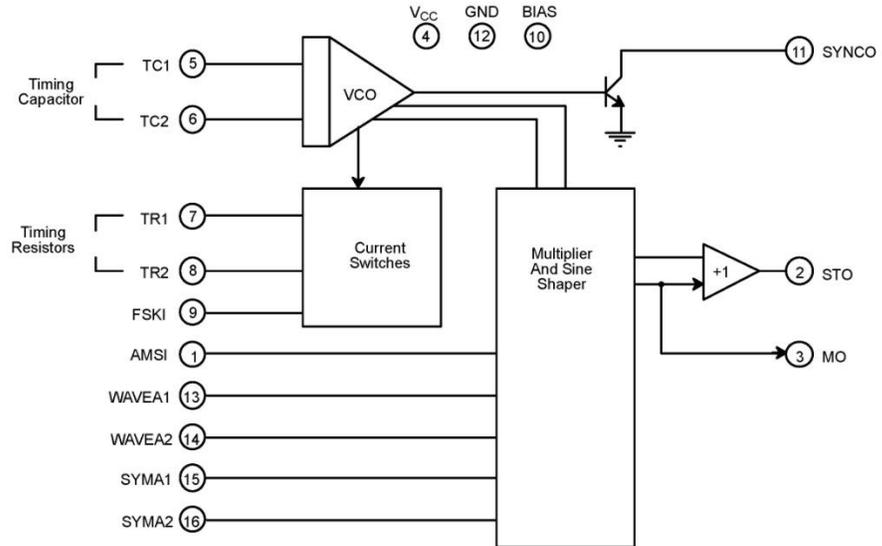
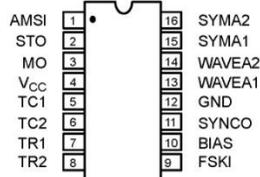
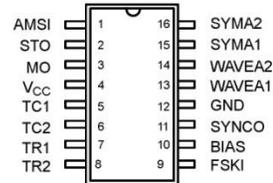


Figure 1. XR-2206 Block Diagram



16 Lead PDIP, CDIP (0.300")



16 Lead SOIC (Jedec, 0.300")

PIN DESCRIPTION

Pin #	Symbol	Type	Description
1	AMSI	I	Amplitude Modulating Signal Input.
2	STO	O	Sine or Triangle Wave Output.
3	MO	O	Multiplier Output.
4	V _{CC}		Positive Power Supply.
5	TC1	I	Timing Capacitor Input.
6	TC2	I	Timing Capacitor Input.
7	TR1	O	Timing Resistor 1 Output.
8	TR2	O	Timing Resistor 2 Output.
9	FSKI	I	Frequency Shift Keying Input.
10	BIAS	O	Internal Voltage Reference.
11	SYNCO	O	Sync Output. This output is an open collector and needs a pull up resistor to V _{CC} .
12	GND		Ground pin.
13	WAVEA1	I	Wave Form Adjust Input 1.
14	WAVEA2	I	Wave Form Adjust Input 2.
15	SYMA1	I	Wave Symetry Adjust 1.
16	SYMA2	I	Wave Symetry Adjust 2.

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Test Conditions: Test Circuit of *Figure 2* $V_{CC} = 12V$, $T_A = 25^\circ C$, $C = 0.01\mu F$, $R_1 = 100k\Omega$, $R_2 = 10k\Omega$, $R_3 = 25k\Omega$
 Unless Otherwise Specified. S_1 open for triangle, closed for sine wave.

Parameters	XR-2206M/P			XR-2206CP/D			Units	Conditions
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.		
General Characteristics								
Single Supply Voltage	10		26	10		26	V	
Split-Supply Voltage	± 5		± 13	± 5		± 13	V	
Supply Current		12	17		14	20	mA	$R_1 \geq 10k\Omega$
Oscillator Section								
Max. Operating Frequency	0.5	1		0.5	1		MHz	$C = 1000pF$, $R_1 = 1k\Omega$
Lowest Practical Frequency		0.01			0.01		Hz	$C = 50\mu F$, $R_1 = 2M\Omega$
Frequency Accuracy		± 1	± 4		± 2		% of f_0	$f_0 = 1/R_1C$
Temperature Stability Frequency		± 10	± 50		± 20		ppm/ $^\circ C$	$0^\circ C \leq T_A \leq 70^\circ C$ $R_1 = R_2 = 20k\Omega$
Sine Wave Amplitude Stability ²		4800			4800		ppm/ $^\circ C$	
Supply Sensitivity		0.01	0.1		0.01		%/V	$V_{LOW} = 10V$, $V_{HIGH} = 20V$, $R_1 = R_2 = 20k\Omega$
Sweep Range	1000:1	2000:1			2000:1		$f_H = f_L$	$f_H @ R_1 = 1k\Omega$ $f_L @ R_1 = 2M\Omega$
Sweep Linearity								
10:1 Sweep		2			2		%	$f_L = 1kHz$, $f_H = 10kHz$
1000:1 Sweep		8			8		%	$f_L = 100Hz$, $f_H = 100kHz$
FM Distortion		0.1			0.1		%	$\pm 10\%$ Deviation
Recommended Timing Components								
Timing Capacitor: C	0.001		100	0.001		100	μF	<i>Figure 5</i>
Timing Resistors: R_1 & R_2	1		2000	1		2000	k Ω	
Triangle Sine Wave Output¹								
Triangle Amplitude		160			160		mV/k Ω	<i>Figure 2</i> , S_1 Open
Sine Wave Amplitude	40	60	80		60		mV/k Ω	<i>Figure 2</i> , S_1 Closed
Max. Output Swing		6			6		Vp-p	
Output Impedance		600			600		Ω	
Triangle Linearity		1			1		%	
Amplitude Stability		0.5			0.5		dB	For 1000:1 Sweep
Sine Wave Distortion								
Without Adjustment		2.5			2.5		%	$R_1 = 30k\Omega$
With Adjustment		0.4	1.0		0.5	1.5	%	See <i>Figure 7</i> and <i>Figure 8</i>

Notes

¹ Output amplitude is directly proportional to the resistance, R_3 , on Pin 3. See *Figure 3*.

² For maximum amplitude stability, R_3 should be a positive temperature coefficient resistor.

Bold face parameters are covered by production test and guaranteed over operating temperature range.

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (CONT'D)

Parameters	XR-2206M/P			XR-2206CP/D			Units	Conditions
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.		
Amplitude Modulation								
Input Impedance	50	100		50	100		k Ω	
Modulation Range		100			100		%	
Carrier Suppression		55			55		dB	
Linearity		2			2		%	For 95% modulation
Square-Wave Output								
Amplitude		12			12		Vp-p	Measured at Pin 11.
Rise Time		250			250		ns	C _L = 10pF
Fall Time		50			50		ns	C _L = 10pF
Saturation Voltage		0.2	0.4		0.2	0.6	V	I _L = 2mA
Leakage Current		0.1	20		0.1	100	μ A	V _{CC} = 26V
FSK Keying Level (Pin 9)	0.8	1.4	2.4	0.8	1.4	2.4	V	See section on circuit controls
Reference Bypass Voltage	2.9	3.1	3.3	2.5	3	3.5	V	Measured at Pin 10.

Notes

¹ Output amplitude is directly proportional to the resistance, R₃, on Pin 3. See Figure 3.

² For maximum amplitude stability, R₃ should be a positive temperature coefficient resistor.

Bold face parameters are covered by production test and guaranteed over operating temperature range.

Specifications are subject to change without notice

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Power Supply 26V
 Power Dissipation 750mW
 Derate Above 25°C 5mW/°C

Total Timing Current 6mA
 Storage Temperature -65°C to +150°C

SYSTEM DESCRIPTION

The XR-2206 is comprised of four functional blocks; a voltage-controlled oscillator (VCO), an analog multiplier and sine-shaper; a unity gain buffer amplifier; and a set of current switches.

The VCO produces an output frequency proportional to an input current, which is set by a resistor from the timing

terminals to ground. With two timing pins, two discrete output frequencies can be independently produced for FSK generation applications by using the FSK input control pin. This input controls the current switches which select one of the timing resistor currents, and routes it to the VCO.

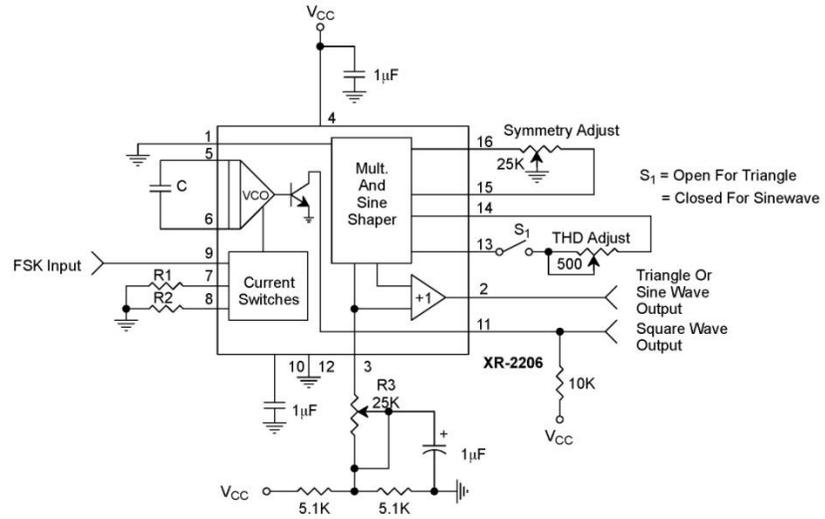


Figure 2. Basic Test Circuit

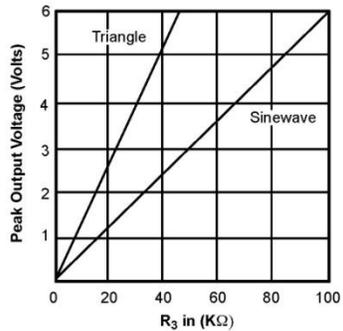


Figure 3. Output Amplitude as a Function of the Resistor, R3, at Pin 3

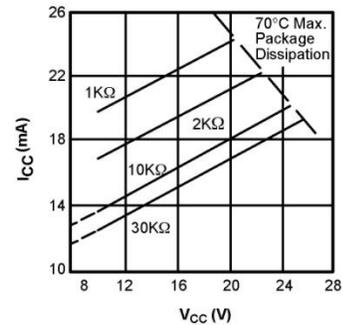


Figure 4. Supply Current vs Supply Voltage, Timing, R

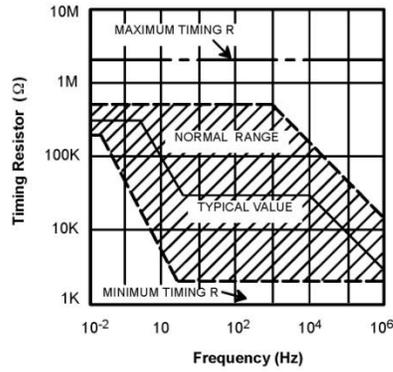


Figure 5. R versus Oscillation Frequency.

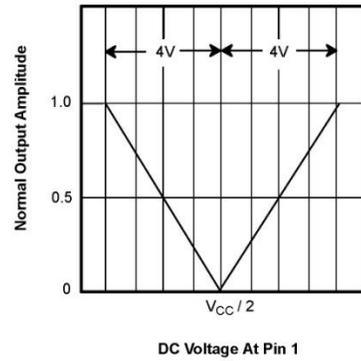


Figure 6. Normalized Output Amplitude versus DC Bias at AM Input (Pin 1)

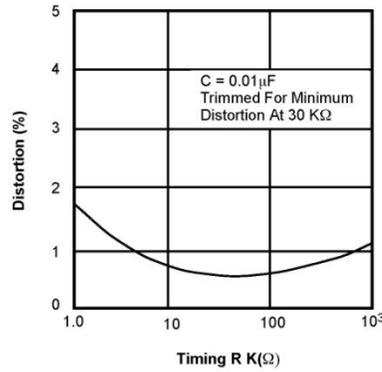


Figure 7. Trimmed Distortion versus Timing Resistor.

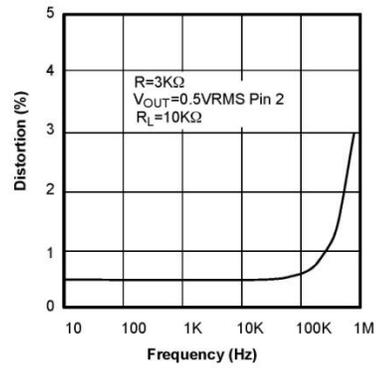


Figure 8. Sine Wave Distortion versus Operating Frequency with Timing Capacitors Varied.

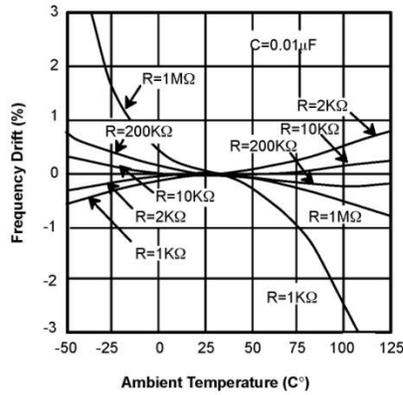


Figure 9. Frequency Drift versus Temperature.

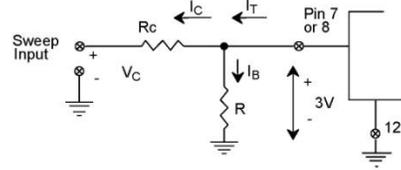


Figure 10. Circuit Connection for Frequency Sweep.

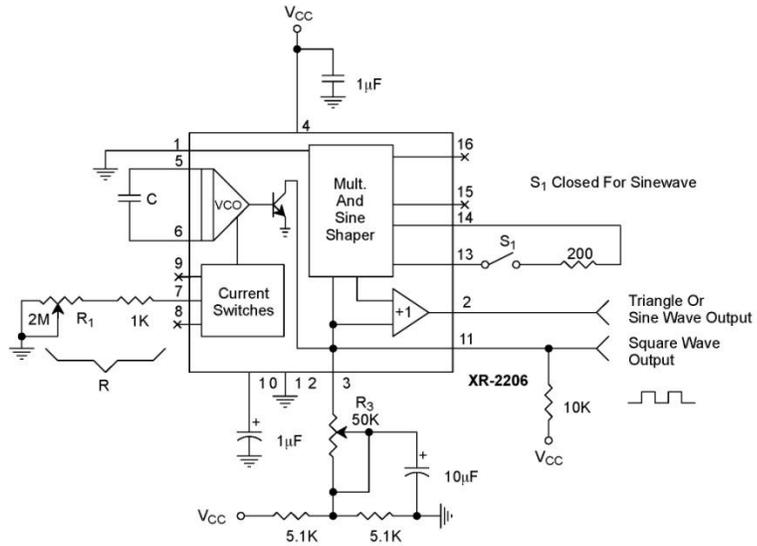


Figure 11. Circuit for Sine Wave Generation without External Adjustment. (See Figure 3 for Choice of R₃)

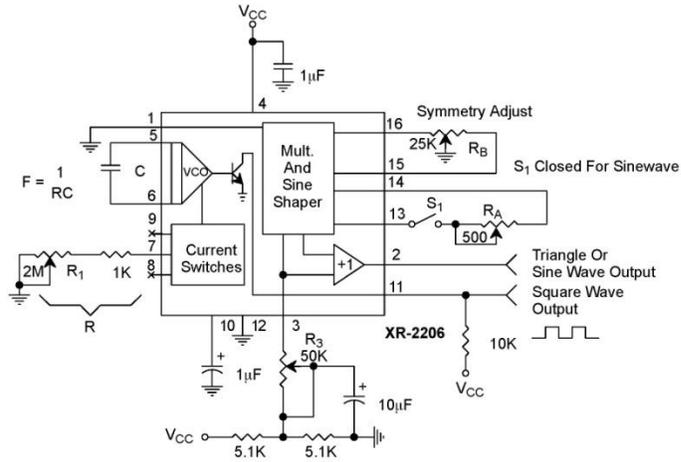


Figure 12. Circuit for Sine Wave Generation with Minimum Harmonic Distortion. (R₃ Determines Output Swing - See Figure 3)

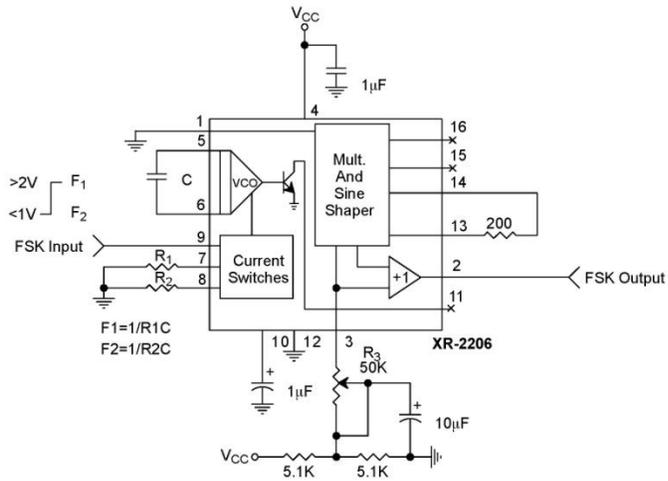


Figure 13. Sinusoidal FSK Generator

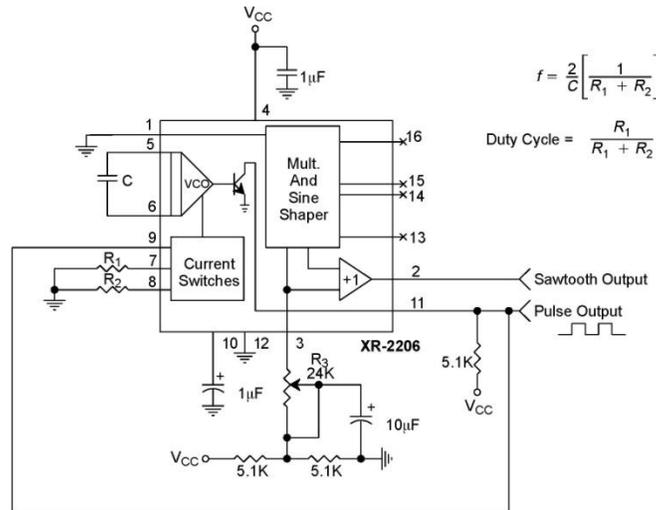


Figure 14. Circuit for Pulse and Ramp Generation.

Frequency-Shift Keying

The XR-2206 can be operated with two separate timing resistors, R_1 and R_2 , connected to the timing Pin 7 and 8, respectively, as shown in Figure 13. Depending on the polarity of the logic signal at Pin 9, either one or the other of these timing resistors is activated. If Pin 9 is open-circuited or connected to a bias voltage $\geq 2V$, only R_1 is activated. Similarly, if the voltage level at Pin 9 is $\leq 1V$, only R_2 is activated. Thus, the output frequency can be keyed between two levels, f_1 and f_2 , as:

$$f_1 = 1/R_1C \text{ and } f_2 = 1/R_2C$$

For split-supply operation, the keying voltage at Pin 9 is referenced to V^- .

Output DC Level Control

The dc level at the output (Pin 2) is approximately the same as the dc bias at Pin 3. In Figure 11, Figure 12 and Figure 13, Pin 3 is biased midway between V^+ and ground, to give an output dc level of $\approx V^+/2$.

APPLICATIONS INFORMATION

Sine Wave Generation

Without External Adjustment

Figure 11 shows the circuit connection for generating a sinusoidal output from the XR-2206. The potentiometer, R_1 at Pin 7, provides the desired frequency tuning. The maximum output swing is greater than $V^+/2$, and the typical distortion (THD) is $< 2.5\%$. If lower sine wave distortion is desired, additional adjustments can be provided as described in the following section.

The circuit of Figure 11 can be converted to split-supply operation, simply by replacing all ground connections with V^- . For split-supply operation, R_3 can be directly connected to ground.

With External Adjustment:

The harmonic content of sinusoidal output can be reduced to -0.5% by additional adjustments as shown in *Figure 12*. The potentiometer, R_A , adjusts the sine-shaping resistor, and R_B provides the fine adjustment for the waveform symmetry. The adjustment procedure is as follows:

1. Set R_B at midpoint and adjust R_A for minimum distortion.
2. With R_A set as above, adjust R_B to further reduce distortion.

Triangle Wave Generation

The circuits of *Figure 11* and *Figure 12* can be converted to triangle wave generation, by simply open-circuiting Pin 13 and 14 (i.e., S_1 open). Amplitude of the triangle is approximately twice the sine wave output.

FSK Generation

Figure 13 shows the circuit connection for sinusoidal FSK signal operation. Mark and space frequencies can be independently adjusted by the choice of timing resistors, R_1 and R_2 ; the output is phase-continuous during transitions. The keying signal is applied to Pin 9. The circuit can be converted to split-supply operation by simply replacing ground with V^- .

Pulse and Ramp Generation

Figure 14 shows the circuit for pulse and ramp waveform generation. In this mode of operation, the FSK keying terminal (Pin 9) is shorted to the square-wave output (Pin 11), and the circuit automatically frequency-shift keys itself between two separate frequencies during the positive-going and negative-going output waveforms. The pulse width and duty cycle can be adjusted from 1% to 99% by the choice of R_1 and R_2 . The values of R_1 and R_2 should be in the range of $1k\Omega$ to $2M\Omega$.

PRINCIPLES OF OPERATION**Description of Controls****Frequency of Operation:**

The frequency of oscillation, f_o , is determined by the external timing capacitor, C , across Pin 5 and 6, and by the timing resistor, R , connected to either Pin 7 or 8. The frequency is given as:

$$f_o = \frac{1}{RC} \text{ Hz}$$

and can be adjusted by varying either R or C . The recommended values of R , for a given frequency range, as shown in *Figure 5*. Temperature stability is optimum for $4k\Omega < R < 200k\Omega$. Recommended values of C are from $1000pF$ to $100\mu F$.

Frequency Sweep and Modulation:

Frequency of oscillation is proportional to the total timing current, I_T , drawn from Pin 7 or 8:

$$f = \frac{320I_T(mA)}{C(\mu F)} \text{ Hz}$$

Timing terminals (Pin 7 or 8) are low-impedance points, and are internally biased at +3V, with respect to Pin 12. Frequency varies linearly with I_T , over a wide range of current values, from $1\mu A$ to $3mA$. The frequency can be controlled by applying a control voltage, V_C , to the activated timing pin as shown in *Figure 10*. The frequency of oscillation is related to V_C as:

$$f = \frac{1}{RC} \left(1 + \frac{R}{R_c} \left(1 - \frac{V_C}{3} \right) \right) \text{ Hz}$$

where V_C is in volts. The voltage-to-frequency conversion gain, K , is given as:

$$K = \partial f / \partial V_C = -\frac{0.32}{R_c C} \text{ Hz/V}$$

CAUTION: For safety operation of the circuit, I_T should be limited to $\leq 3mA$.

Output Amplitude:

Maximum output amplitude is inversely proportional to the external resistor, R_3 , connected to Pin 3 (see Figure 3). For sine wave output, amplitude is approximately 60mV peak per k Ω of R_3 ; for triangle, the peak amplitude is approximately 160mV peak per k Ω of R_3 . Thus, for example, $R_3 = 50k\Omega$ would produce approximately 13V sinusoidal output amplitude.

Amplitude Modulation:

Output amplitude can be modulated by applying a dc bias and a modulating signal to Pin 1. The internal impedance

at Pin 1 is approximately 100k Ω . Output amplitude varies linearly with the applied voltage at Pin 1, for values of dc bias at this pin, within 14 volts of $V_{CC}/2$ as shown in Figure 6. As this bias level approaches $V_{CC}/2$, the phase of the output signal is reversed, and the amplitude goes through zero. This property is suitable for phase-shift keying and suppressed-carrier AM generation. Total dynamic range of amplitude modulation is approximately 55dB.

CAUTION: AM control must be used in conjunction with a well-regulated supply, since the output amplitude now becomes a function of V_{CC} .

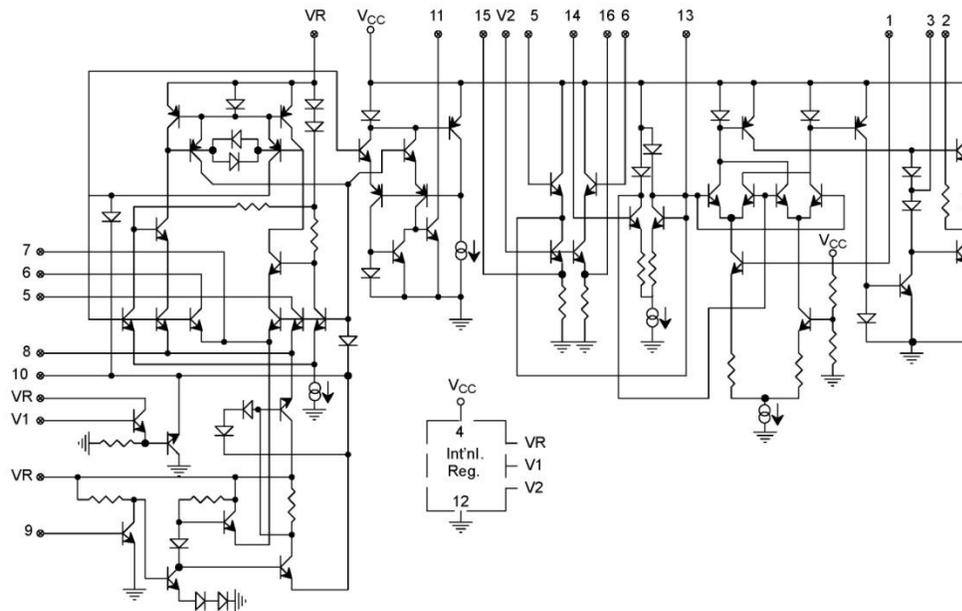
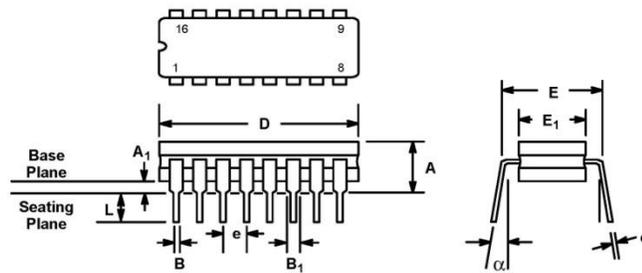


Figure 15. Equivalent Schematic Diagram

**16 LEAD CERAMIC DUAL-IN-LINE
(300 MIL CDIP)**

Rev. 1.00

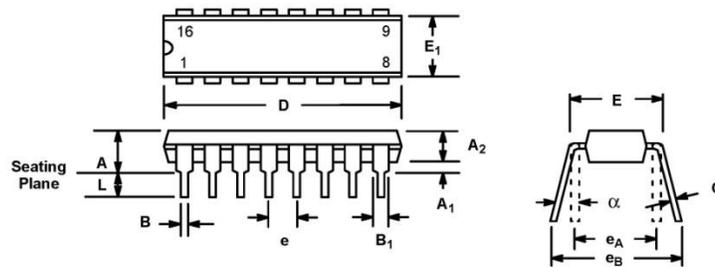


SYMBOL	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.100	0.200	2.54	5.08
A ₁	0.015	0.060	0.38	1.52
B	0.014	0.026	0.36	0.66
B ₁	0.045	0.065	1.14	1.65
c	0.008	0.018	0.20	0.46
D	0.740	0.840	18.80	21.34
E ₁	0.250	0.310	6.35	7.87
E	0.300 BSC		7.62 BSC	
e	0.100 BSC		2.54 BSC	
L	0.125	0.200	3.18	5.08
α	0° 15°		0° 15°	

Note: The control dimension is the inch column

16 LEAD PLASTIC DUAL-IN-LINE
(300 MIL PDIP)

Rev. 1.00

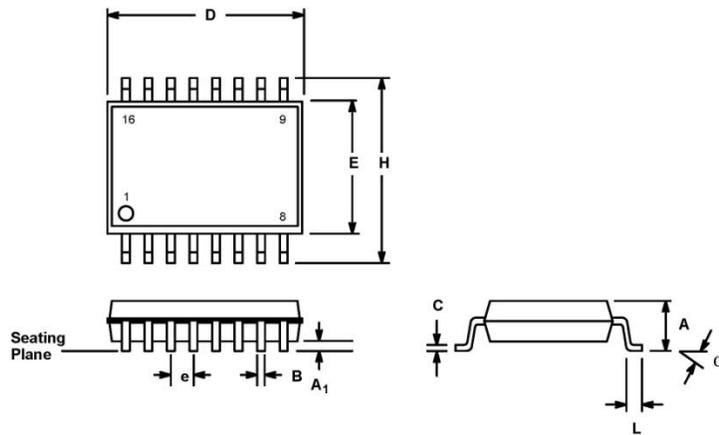


SYMBOL	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.145	0.210	3.68	5.33
A ₁	0.015	0.070	0.38	1.78
A ₂	0.115	0.195	2.92	4.95
B	0.014	0.024	0.36	0.56
B ₁	0.030	0.070	0.76	1.78
C	0.008	0.014	0.20	0.38
D	0.745	0.840	18.92	21.34
E	0.300	0.325	7.62	8.26
E ₁	0.240	0.280	6.10	7.11
e	0.100 BSC		2.54 BSC	
e _A	0.300 BSC		7.62 BSC	
e _B	0.310	0.430	7.87	10.92
L	0.115	0.160	2.92	4.06
α	0°	15°	0°	15°

Note: The control dimension is the inch column

**16 LEAD SMALL OUTLINE
(300 MIL JEDEC SOIC)**

Rev. 1.00



SYMBOL	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.093	0.104	2.35	2.65
A ₁	0.004	0.012	0.10	0.30
B	0.013	0.020	0.33	0.51
C	0.009	0.013	0.23	0.32
D	0.398	0.413	10.10	10.50
E	0.291	0.299	7.40	7.60
e	0.050 BSC		1.27 BSC	
H	0.394	0.419	10.00	10.65
L	0.016	0.050	0.40	1.27
α	0°	8°	0°	8°

Note: The control dimension is the millimeter column

Anexo F. Amplificador de potencia STK4121V

Ordering number : EN4477A

Thick Film Hybrid IC



STK4121V

AF Power Amplifier (Split Power Supply)
(15 W + 15 W min, THD = 0.08 %)

Features

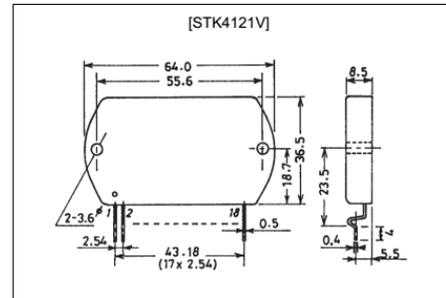
- Built-in muting circuit cuts off various kinds of pop noises.
- Current mirror circuit provides low distortion (THD = 0.08%).
- Pin compatible with the STK4102II series, forming a series of products with output powers from 15 W/ch to 120 W/ch.

Specified Transformer Power Supply (RP-22 equivalent)

Package Dimensions

unit: mm

4040



Specifications

Maximum Ratings at $T_a = 25^\circ\text{C}$

Parameter	Symbol	Conditions	Ratings	Unit
Maximum supply voltage	$V_{CC \text{ max}}$		± 32	V
Thermal resistance	$\theta\text{-j-c}$		2.6	$^\circ\text{C/W}$
Junction temperature	$T_{J \text{ max}}$		150	$^\circ\text{C}$
Operating substrate temperature	T_c		125	$^\circ\text{C}$
Storage temperature	T_{stg}		-30 to $+125$	$^\circ\text{C}$
Available time for load short circuit	t_s	$V_{CC} = \pm 21.5 \text{ V}$, $R_L = 8 \ \Omega$, $f = 50 \text{ Hz}$, $P_O = 15 \text{ W}$	2	s

Recommended Operating Conditions at $T_a = 25^\circ\text{C}$

Parameter	Symbol	Conditions	Ratings	Unit
Recommended supply voltage	V_{CC}		± 21.5	V
Load resistance	R_L		8	Ω

SANYO Electric Co., Ltd. Semiconductor Business Headquarters

TOKYO OFFICE Tokyo Bldg., 1-10, 1 Chome, Ueno, Taito-ku, TOKYO, 110 JAPAN

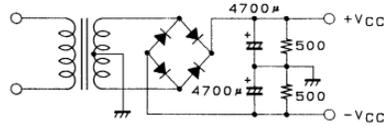
43097HA (OT)73093YO 5-2191 No. 4477-1/3

STK4121V

Operating Characteristics

at $T_a = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = \pm 21.5\text{ V}$, $R_L = 8\ \Omega$, $R_g = 600\ \Omega$, $V_G = 40\ \text{dB}$, R_L : non-inductive load

Parameter	Symbol	Conditions	Ratings			Unit
			min	typ	max	
Quiescent current	I_{CCQ}	$V_{CC} = \pm 26\text{ V}$	20	40	100	mA
Output power	$P_o(1)$	THD = 0.08%, $f = 20\text{ Hz to } 20\text{ kHz}$	15			W
	$P_o(2)$	$V_{CC} = \pm 18\text{ V}$, THD = 0.2%, $R_L = 4\ \Omega$, $f = 1\text{ kHz}$	15			W
Total harmonic distortion	THD	$P_o = 1.0\text{ W}$, $f = 1\text{ kHz}$			0.08	%
Frequency response	f_L, f_H	$P_o = 1.0\text{ W}$, $+0, -3\text{ dB}$		20 to 50 k		Hz
Input impedance	r_i	$P_o = 1.0\text{ W}$, $f = 1\text{ kHz}$		55		k Ω
Output noise voltage	V_{No}	$V_{CC} = \pm 26\text{ V}$, $R_g = 10\text{ k}\Omega$			1.2	mVrms
Neutral voltage	V_N	$V_{CC} = \pm 26\text{ V}$	-70	0	+70	mV
Muting voltage	V_M		-2	-5	-10	V



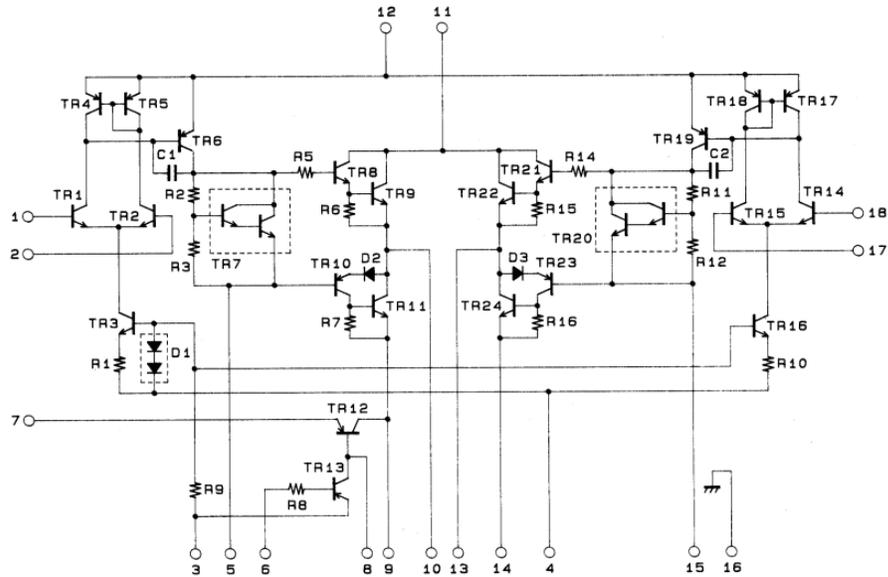
A01190

Unit (resistance: Ω , capacitance:F)

Notes

- Use a constant voltage power supply for the test power supply unless otherwise noted.
- Use the transformer power supply shown in the figure above when measuring the available time for load short circuit and the output noise voltage.
- The output noise voltage is the peak value measured with an averaging rms scale volt meter (VTVM). A 50 Hz AC stabilized power supply should be used to eliminate the effects of AC primary line flicker noise when an AC power supply is used.

Equivalent Circuit

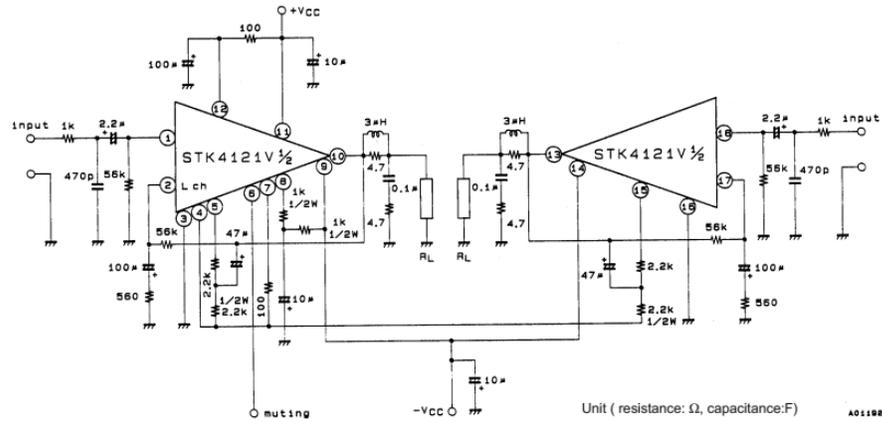


A01191

No. 4477-2/3

STK4121V

Sample Application Circuit: 15 W (minimum) 2-channel AF power amplifier



- No products described or contained herein are intended for use in surgical implants, life-support systems, aerospace equipment, nuclear power control systems, vehicles, disaster/crime-prevention equipment and the like, the failure of which may directly or indirectly cause injury, death or property loss.
- Anyone purchasing any products described or contained herein for an above-mentioned use shall:
 - ① Accept full responsibility and indemnify and defend SANYO ELECTRIC CO., LTD., its affiliates, subsidiaries and distributors and all their officers and employees, jointly and severally, against any and all claims and litigation and all damages, cost and expenses associated with such use:
 - ② Not impose any responsibility for any fault or negligence which may be cited in any such claim or litigation on SANYO ELECTRIC CO., LTD., its affiliates, subsidiaries and distributors or any of their officers and employees jointly or severally.
- Information (including circuit diagrams and circuit parameters) herein is for example only; it is not guaranteed for volume production. SANYO believes information herein is accurate and reliable, but no guarantees are made or implied regarding its use or any infringements of intellectual property rights or other rights of third parties.

This catalog provides information as of April, 1997. Specifications and information herein are subject to change without notice.

No. 4477-3/3