

Universidad de Costa Rica

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Eléctrica

IE0308 – Laboratorio Eléctrico I

I ciclo 2023

Prereporte proyecto final

Generador de funciones a partir de salida de audio con
etapa de protección basada en amplificador operacional

Jiménez Jiménez Justin José B96561

Ruiz Sánchez Junior Alfonso B97026

Grupo 06

Profesor: Luis Poveda Wong

31 de mayo del 2023

Índice

1. Justificación	1
2. Nota teórica	2
2.1. Sobre el amplificador operacional	2
2.2. Explique cómo generar funciones a partir de audio	2
2.3. Se usará una aplicación para generar funciones a partir de una aplicación. Explique su interfaz.	4
2.4. ¿Por qué es necesario usar una etapa de protección a la salida de audio del dispositivo a usar?	5
2.5. ¿Como se elabora un sumador no inversor de tensiones con amplificador operacional?	7
2.6. ¿Como se elabora un amplificador de señales con amplificador operacional? Demuestre la formula que proporciona la ganancia de este circuito.	7
2.7. Usando el circuito de amplificación de señales con amplificador operacional ¿Como se usa para amplificar una señal con únicamente alimentación positiva en el amplificador operacional?	8
2.8. ¿Como se obtiene la ganancia máxima relacionada al ancho de banda requerido en un amplificador operacional?	9
3. Diseño	10
3.1. Diseñe el circuito de amplificación con alimentación correspondiente y la ganancia dependiente del ancho de banda	10
3.2. Simule distintas etapas en el simulador de su preferencia	11
4. Lista de equipos	13
5. Lista de componentes	14
6. Procedimiento	15
6.1. Etapa de entrada	15
6.2. Armado del Amplificador operacional	15
6.3. Circuito completo	15
7. Anexos	17

Índice de figuras

1.	Esquema básico del Amplificador Operacional.	2
2.	Esquema de amplificador simplificado.	2
3.	Fragmento del código de fuente del apk de la aplicación Funtion generator . . .	3
4.	Interfaz de la aplicación Funtion Generator.	5
5.	Circuito de salida de audio integrado [1]	6
6.	Tabla de diferentes parámetros correspondientes a tipos de drivers de audio [1] .	6
7.	Sumador no inversor de tensiones.	7
8.	Topología del amplificador operacional.	8
9.	Apoyo gráfico en la explicación de amplificación de señales con únicamente ali- mentación positiva	9
10.	Respuesta en frecuencia de lazo abierto correspondiente al LM358	10
11.	Circuito final	11
12.	Diferentes etapas de la onda sinusoidal	11
13.	Diferentes etapas de la onda cuadrada	12
14.	Diferentes etapas de la onda triangular	12

Índice de tablas

1.	Traducción de valores de la figura 3 a Decimal:	4
2.	Lista de equipos	13
3.	Lista de componentes	14

1. Justificación

Este proyecto demostrará las destrezas aprendidas en el curso de Laboratorio de electrónica 1, tanto en investigación como en trabajo de laboratorio.

Para ello se hará un generador de funciones usando la salida de audio de un dispositivo para realizar mediante una aplicación un generador de funciones, usando un amplificador de señales hecho con un amplificador operacional, ya que de esta forma se tiene un generador de funciones con elementos de bajo costo y elementos de uso cotidiano como lo son el celular o la computadora por ejemplo. También la alimentación para este circuito será de 5 volts, ya que la mayoría de personas disponen de una fuente de 5 volts con la cual cargan su celular. Se usará una aplicación para generar las funciones que se enviarán a la salida de audio, y como el audio está diseñado para la escala audible humana, el ancho de banda de este circuito será de 22 kHz.

2. Nota teórica

2.1. Sobre el amplificador operacional

El nuevo componente a utilizar en el diseño del amplificador de señales es el amplificador operacional. La representación del amplificador se muestra en la siguiente figura:

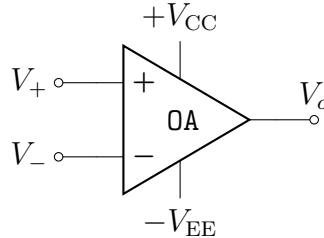


Figura 1: Esquema básico del Amplificador Operacional.

Como se puede ver en la figura anterior, el amplificador operacional posee dos entradas y una salida. V_+ Corresponde a la entrada no inversora, V_- corresponde a la entrada inversora y V_o es la salida. También tiene dos alimentaciones ($+V_{CC}$ y $-V_{EE}$) para asegurar su funcionamiento. Idealmente, la ecuación que define la tensión de salida es $V_o = A_d(V_+ - V_-)$.

La figura 2 muestra el esquema simplificado del amplificador operacional. Idealmente, la impedancia de entrada Z_{in} y la ganancia A_d son infinitas, y la impedancia de salida es igual a cero.

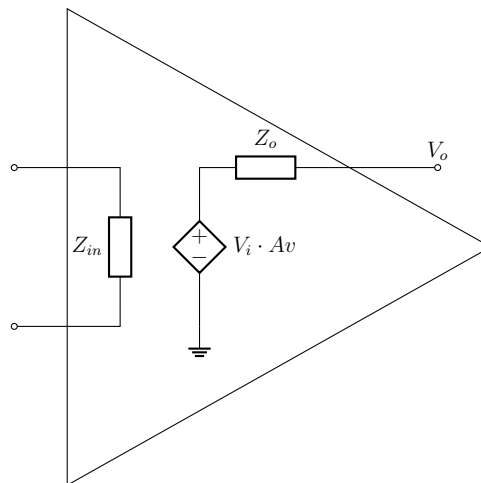


Figura 2: Esquema de amplificador simplificado.

2.2. Explique cómo generar funciones a partir de audio

El audio se refiere al sonido generado por un dispositivo electrónico. El sonido en sí es cierta forma de onda mecánica que se propaga a través de un material (sólido, líquido, gaseoso). Dicha onda tendrá cierta amplitud, frecuencia y longitud de onda. [2]

Entonces, se utilizará la aplicación *Funtion Generator* en un dispositivo electrónico para generar audio que se propague en forma de onda. Algunos parámetros que se controlarán con esta aplicación son la forma de onda, frecuencia, amplitud, el canal (CH 1 y CH2) y la salida de la onda.

La generación de ondas en dispositivos electrónicos se realiza mediante señales digitales que luego se convierten en señales analógicas a través de un DAC (Digital Analogical Converter).

El resultado final es una señal analógica que puede amplificarse y reproducirse a través de altavoces u otros dispositivos de salida.

Aplicando ingeniería inversa al código fuente del instalador de la aplicación se tiene el siguiente fragmento:



```
655     invoke-virtual/range {p1 .. p0}, Landroid/graphics/Canvas;-.drawLine(FFFFLandroid/
    graphics/Paint;)V
656
657     :cond_7
658     return-void
659
660     :array_0
661     .array-data 4
662         0x0
663         0x3e9e377a
664         0x3f167918
665         0x3f4f1bbd
666         0x3f737871
667         0x3f800000    # 1.0f
668         0x3f737870
669         0x3f4f1bbd
670         0x3f167918
671         0x3e9e3778
672         0x0
673         -0x4161c885
674         -0x40e986e7
675         -0x40b0e443
676         -0x408c878f
677         -0x40800000    # -1.0f
678         -0x408c8790
679         -0x40b0e444
680         -0x40e986e9
681         -0x4161c889
682         0x0
683     .end array-data
684 .end method
685
686 .method private c(F)Ljava/lang/String;
687     .locals 7
688
689     .line 1
690     iget-object v0, p0, Lcom/keuwl/functiongenerator/MainActivity$1;-.>Lcom/keuwl/
```

Figura 3: Fragmento del código de fuente del apk de la aplicación Funtion generator

Tabla 1: Traducción de valores de la figura 3 a Decimal:

Valor Hexadecimal	Valor en Punto Flotante
0x0	0.0
0x3e9e377a	0.3125
0x3f167918	0.625
0x3f4f1bbd	0.79375
0x3f737871	0.9375
0x3f800000	1.0
0x3f737870	0.93749994
0x3f4f1bbd	0.79375
0x3f167918	0.625
0x3e9e3778	0.31249997
0x0	0.0
-0x4161c885	-11.75
-0x40e986e7	-183.5
-0x40b0e443	-166.25
-0x408c878f	-155.9375
-0x40800000	-1.0
-0x408c8790	-155.93751
-0x40b0e444	-166.25
-0x40e986e9	-183.5
-0x4161c889	-11.750001
0x0	0.0

Se puede intuir que estos valores tienen las componentes de amplitud y fase de la onda. Por lo que la señal se compone por conjuntos de muchos bits, que tienen valores discretos y son enviados a un “driver” de audio por medio del DAC.

2.3. Se usará una aplicación para generar funciones a partir de una aplicación. Explique su interfaz.

La figura 4 muestra la interfaz de la aplicación a utilizar, la cual fue capturada directamente de la interfaz de la aplicación.

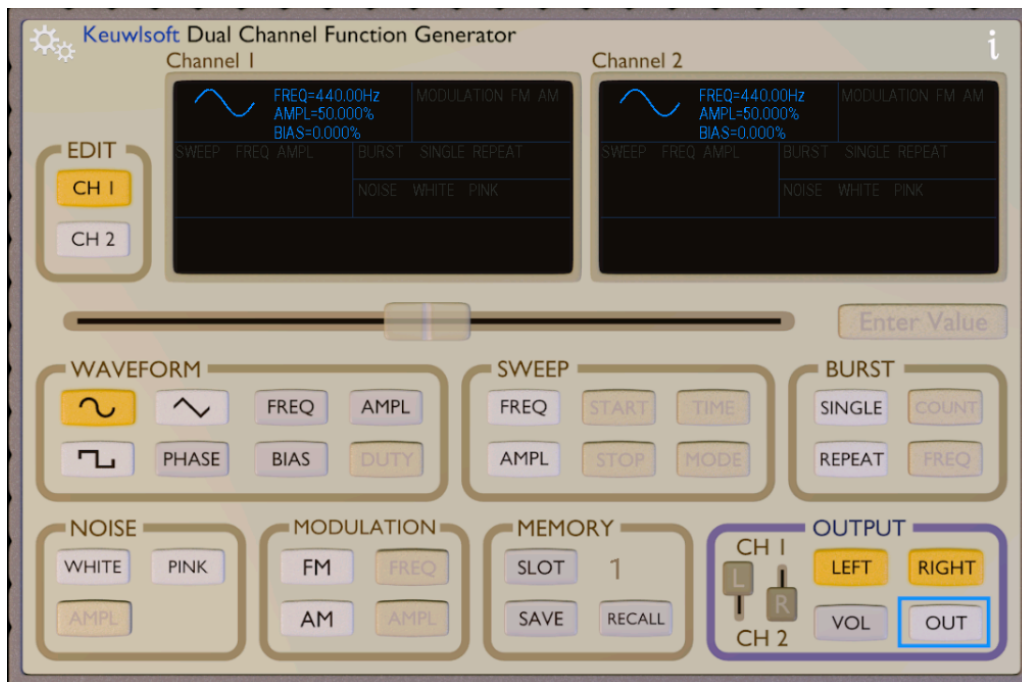


Figura 4: Interfaz de la aplicación Funtion Generator.

Se puede ver que la interfaz de la aplicación contiene 8 secciones. Las importantes para este proyecto son las que se utilizan para controlar el canal, la forma de la señal y la salida.

Con la sección de **EDIT** se puede cambiar del canal 1 al canal 2. Luego, la sección **WAVEFORM** se puede cambiar la forma de la señal -las funciones disponibles son onda sinusoidal, onda cuadrada y onda triangular-, la frecuencia, la amplitud y fase. Por último, en la sección de **OUTPUT** se puede encender y apagar la salida, controlar el canal, el volumen y el auricular que se enciende y apaga (R y L). La interfaz de este programa también posee dos pantallas que muestra toda la configuración de los canales.

2.4. ¿Por qué es necesario usar una etapa de protección a la salida de audio del dispositivo a usar?

Los dispositivos electrónicos de uso cotidiano y con salida de audio analógica utilizan un circuito denominado como “driver”, en español el termino sería “controlador” la función de este circuito es convertir la señal de analógica a digital (DAC).

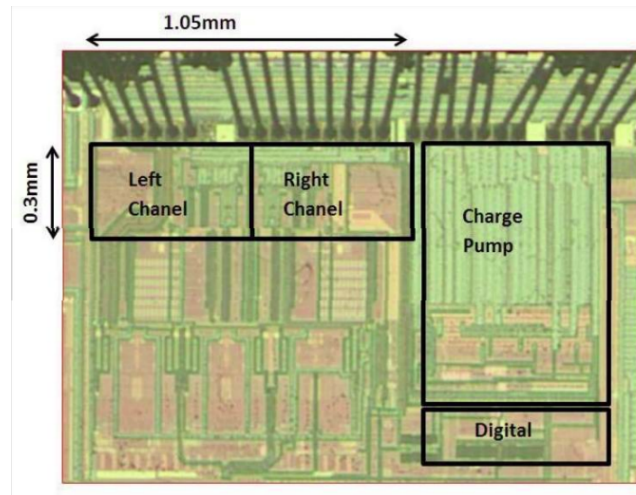


Figura 5: Circuito de salida de audio integrado [1]

Este tipo de circuitos, en el caso de dispositivos portátiles, están diseñados para ser alimentados con batería de litio.

Parameter	This Work	[1]	[2]	[3]	[4]
Process	0.18 μm CMOS	0.18 μm CMOS	65 nm CMOS	-	-
Supply [V]	2.95-4.5	2.65-4.5	± 1.4 ± 0.35	2.5-5.5	1.6-2.0
Quiescent current (per channel) [mA]	0.6	1.15	NA*	0.6	0.58
Output Power (16 Ω) [mw]	62	60	45	25	45
THD+N @Pout=10mw [dB]	-88	-95	-82	-74	-86
Dynamic range (A-weighted) [dB]	108	111	101	105	105
Pop-and-click peak level at power up/power down [dBV]	-87/-86	-	-	-	-68/-80
PQCR F.O.M. (Peak-to-Quiescent Current Ratio Figure of Merit)	146	75.3	NA	93	129

Figura 6: Tabla de diferentes parámetros correspondientes a tipos de drivers de audio [1]

Se puede notar que la potencia máxima de este tipo de circuitos se encuentre en un rango de 25 mW a 62 mW .

El Amplificador operacional LM358 tiene un Output Source Current de 40 mA con 15 V por lo que esta potencia 600 mW .

Por lo que es fácilmente apreciable la diferencia de usar la salida de audio pura, y usar un amplificador operacional para replicar esta señal.

Además de demostrar con números, existen otras causas del por qué usar una etapa de protección es necesaria. Por ejemplo un replicador de tensión que aprovecha la gran impedancia de entrada de un amplificador operacional, junto a su pequeña impedancia de salida. De esta manera, sin importar lo que se le conecte a la salida del amplificador operacional no interfiere con la salida del sistema de audio. Sin embargo la diferencia entre un buffer y un amplificador es mínima, por lo que no aprovechar para implementar una ganancia variable es un desaprovechamiento de este componente.

Por último y más importante, los daños que puedan suceder por corrientes inversas, picos de tensión, entre otras causas solamente dañan el circuito del amplificador operacional y no la salida de audio ya que este dispositivo únicamente utiliza la tensión de esta salida de audio como referencia, puesto que esta salida de audio no entrega corriente a la entrada del amplificador operacional.

2.5. ¿Como se elabora un sumador no inversor de tensiones con amplificador operacional?

La configuración de un sumador no inversor de tensiones con un amplificador operacional se muestra en la figura 7. La tensión de salida se obtiene de la siguiente manera:

Aplicando superposición se obtiene que V_{x1} es:

$$V_{x1} = \frac{V_1 R_2 + V_2 R_1}{R_1 + R_2}$$

Aplicando divisor de tensión se obtiene que V_{x2} es:

$$V_{x2} = V_o \left(\frac{R_x}{R_x + R_f} \right)$$

En un amplificador operacional, con retroalimentación negativa, la tensión en la entrada inversora es igual a la tensión en la entrada no inversora (corto circuito virtual), por lo tanto, $V_{x1} = V_{x2}$:

Se iguala $V_{x1} = V_{x2}$

$$\frac{V_1 R_2 + V_2 R_1}{R_1 + R_2} = V_o \left(\frac{R_x}{R_x + R_f} \right)$$

Se despeja V_o :

$$V_o = \frac{(R_x + R_f)(V_1 R_2 + V_2 R_1)}{R_x(R_1 + R_2)} \quad (1)$$

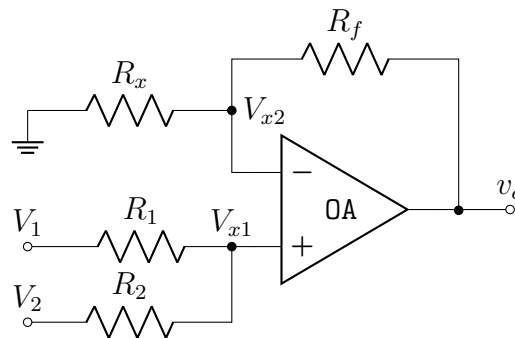


Figura 7: Sumador no inversor de tensiones.

2.6. ¿Como se elabora un amplificador de señales con amplificador operacional? Demuestre la formula que proporciona la ganancia de este circuito.

Se puede elaborar con un amplificador operacional en configuración de retroalimentación negativa, como lo muestra la siguiente figura:

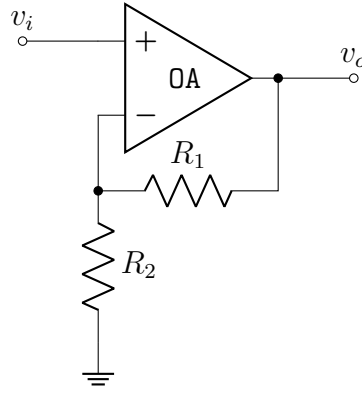


Figura 8: Topología del amplificador operacional.

Para obtener la ganancia del circuito se puede aplicar el concepto de corto circuito virtual, ya que se tiene un amplificador operacional con retroalimentación negativa. Además, se toma la resistencia de entrada y la ganancia diferencial del OA como infinito.

Aplicando CCV (corto circuito virtual):

$$V_+ = V_- \quad \text{donde } V_+ = V_i \quad (2)$$

Aplicando divisor de tensión se obtiene V_- :

$$V_- = V_o \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Sustituyendo V_- en (2):

$$V_i = V_o \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$V_o = V_i \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_2}$$

Ecuación de la tensión de salida:

$$V_o = V_i \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) \quad (3)$$

Ecuación de la ganancia de tensión:

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) \quad (4)$$

2.7. Usando el circuito de amplificación de señales con amplificador operacional ¿Como se usa para amplificar una señal con únicamente alimentación positiva en el amplificador operacional?

Si se quiere amplificar una señal usando únicamente tensión positiva se debe tener una tensión de entrada que varíe entre cero y un valor positivo.

Por lo que si la tensión de la señal a amplificar varia entre un valor $+|x|$ y $-|x|$ se debe aumentar $|x|$ para que la variación sea entre 0 y $2|x|$. Por lo que es facilmente notable que el valor del nivel DC que se debe agregar es de $\frac{1}{2} \cdot V_{pp}$ es decir, la mitad de el valor que corresponde a la tensión pico-pico de la señal.

Una vez esta es amplificada variará entre cero y $A \cdot 2|x|$ y para eliminar el nivel DC y obtener de nuevo una señal que varíe entre positivo y negativo, se utiliza un capacitor en serie con la salida.

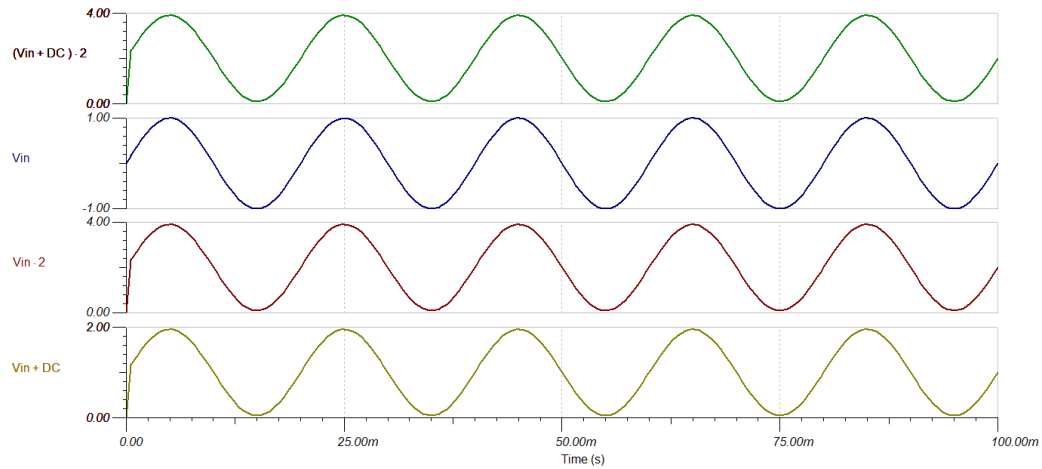


Figura 9: Apoyo gráfico en la explicación de amplificación de señales con únicamente alimentación positiva

El orden correspondiente a las etapas anteriormente explicadas es Azul \rightarrow Amarillo \rightarrow Verde \rightarrow Rojo

Por lo que ahora es posible observar la necesidad de tener un sumador en este caso. Además se puede notar en los circuitos de la figura 7 y la figura 8 que el sumador también contiene una etapa de ganancia. Es un amplificador de señales al que se le agrega una etapa de un divisor de tensiones para así obtener la súper-posición de ambas entradas.

Es decir, el circuito a usar en este caso es semejante mayor mente a la figura 7

2.8. ¿Como se obtiene la ganancia máxima relacionada al ancho de banda requerido en un amplificador operacional?

Esta ganancia se obtiene del gráfico correspondiente a la respuesta en frecuencia en lazo abierto del amplificador operacional, y si se requiere mayor precisión en los cálculos el valor del ancho de banda en ganancia unitaria, sin embargo en este caso es suficiente con el gráfico.

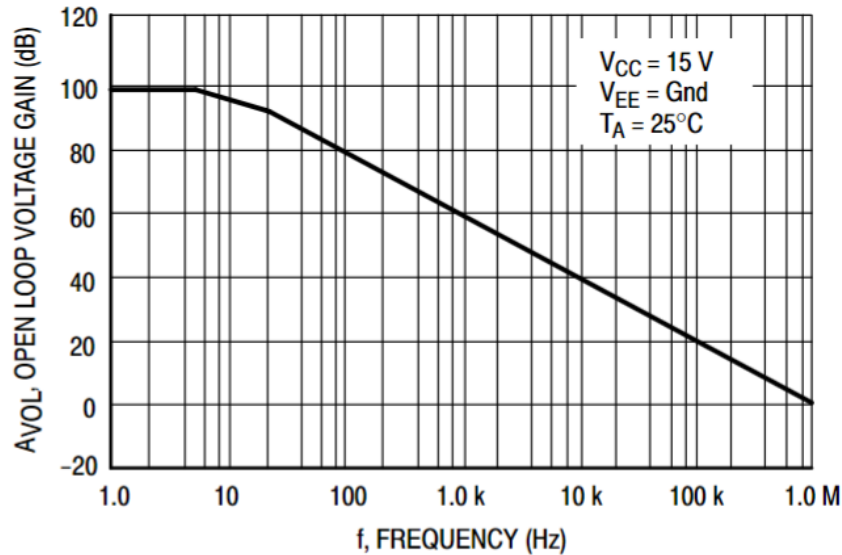


Figura 10: Respuesta en frecuencia de lazo abierto correspondiente al LM358

Para obtener la ganancia máxima correspondiente a nuestro ancho de banda se hace de la siguiente manera:

$$A_1 \cdot B_1 = A_2 \cdot B_2$$

Donde A corresponde a la ganancia y B corresponde al ancho de banda, se tiene el ancho de banda de la ganancia de 1 y se tiene que el ancho de banda en señales de audio es de 22 kHz :

$$1 \cdot 1\text{ MHz} = A_2 \cdot 22\text{ kHz}$$

Por lo que A_2 es 45.45 que es igual a 33 dB , lo cual si se observa el gráfico el resultado concuerda.

3. Diseño

3.1. Diseñe el circuito de amplificación con alimentación correspondiente y la ganancia dependiente del ancho de banda

La alimentación deberá de ser de $V_{CC} = 5\text{ V}$ y V_{EE} conectado a tierra.

El valor de la tensión pico-pico en la salida de audio es de: 1 V

La tensión pico-pico en la salida del amplificador debe de ser de: 5 V

Por lo que la ganancia debe de ser de $\frac{5\text{ V}}{1\text{ V}} = 5$. Lo cual no es mayor de 45.45 que corresponde a la ganancia máxima del LM358 en el ancho de banda de 22 kHz

Además el nivel DC a agregar a la señal debe de ser de la mitad de la amplitud pico-pico, es decir de $0,5\text{ V}$

Usando estas consideraciones se tiene el siguiente circuito:

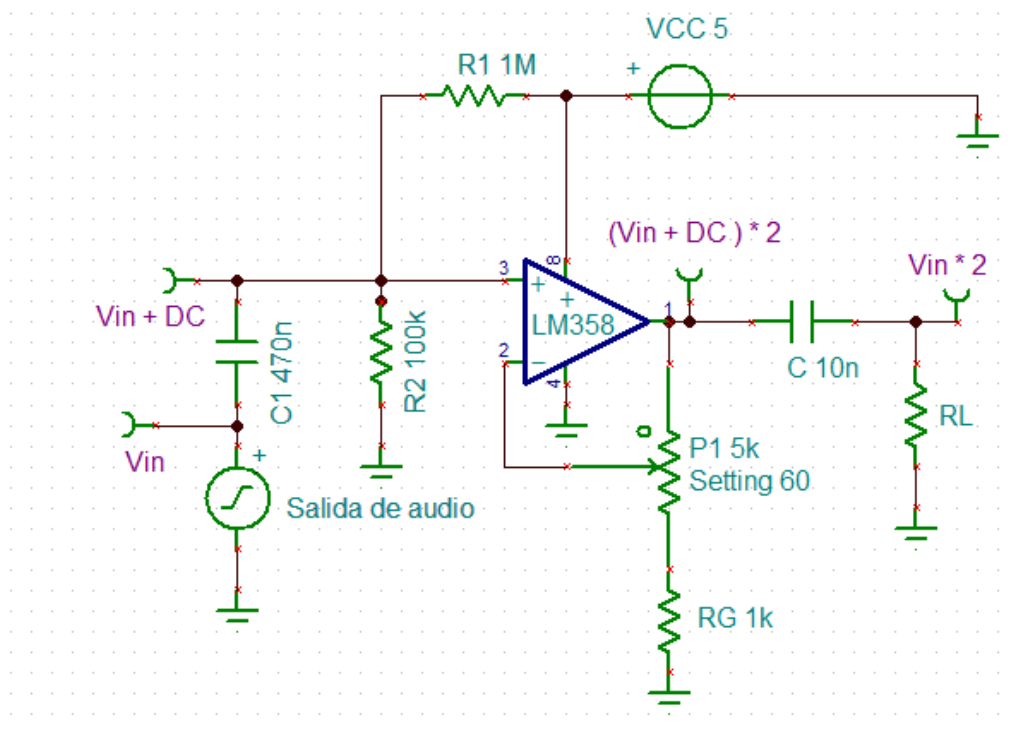


Figura 11: Circuito final

Consideraciones importantes:

Se utilizó un capacitor para impedir la entrada de corriente DC a la salida de audio. La ganancia máxima de este circuito es de 6, y la mínima es de 1. A la salida se tiene un capacitor para limpiar la tensión DC que se agregó en la entrada. La resistencia R1 puede ser reemplazada por un potenciómetro en caso de que la tensión pico-pico de la salida de audio sea mayor a 1 V.

3.2. Simule distintas etapas en el simulador de su preferencia

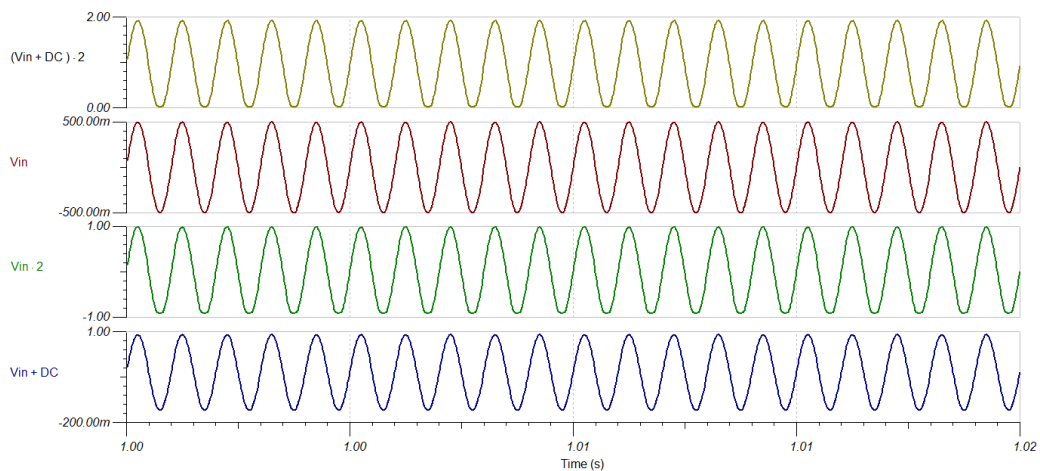


Figura 12: Diferentes etapas de la onda sinusoidal

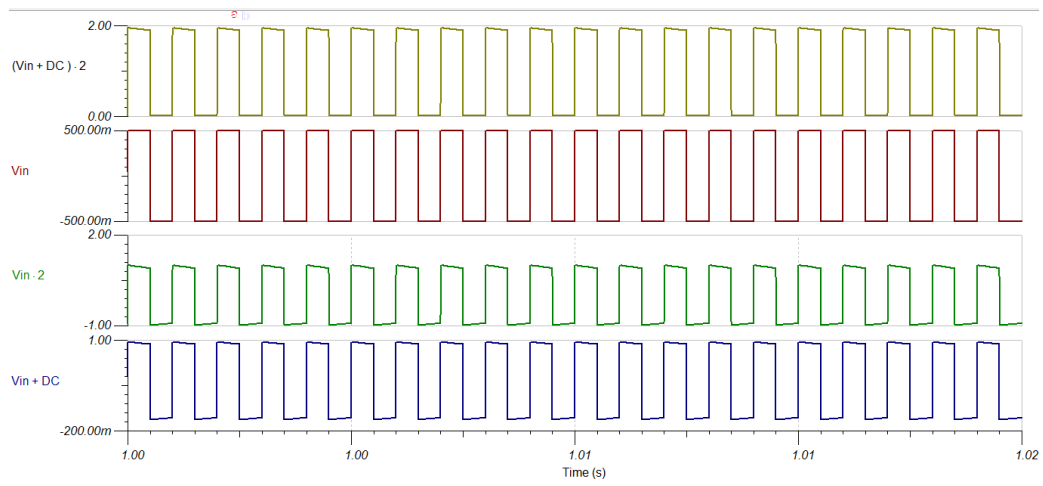


Figura 13: Diferentes etapas de la onda cuadrada

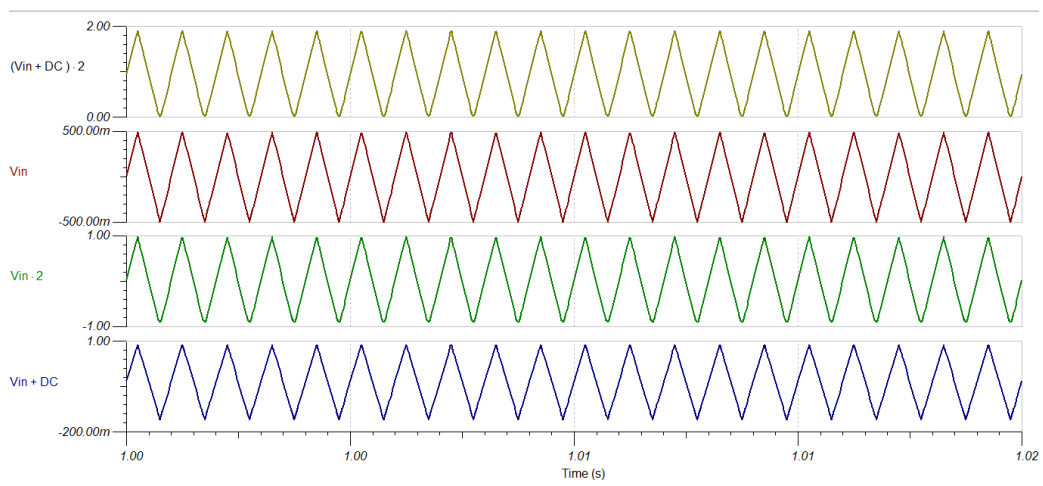


Figura 14: Diferentes etapas de la onda triangular

4. Lista de equipos

La lista de equipos utilizados en el experimento se muestra en la tabla 2.

Equipo	Modelo	Sigla
Osciloscopio Digital	TEKTRONIX TDS109B	280583
Generador de Señales	Agilent 332100A	343474
Medidor multifunción	Agilent 33405A	329742
Fuente DC Digital	Agilent E3630A	193388
Fuente DC Analógica	TEKTRONIX CPS250	326004

Tabla 2: Lista de equipos

5. Lista de componentes

Tabla 3: Lista de componentes

Componente	Sigla	Valor nominal	Valor real	Potencia
Resistor	$R_2 \times 2$	100 k Ω	—	0.25 W
Resistor	R_G	1 k Ω	—	0.25 W
Resistor	R_L	2 k Ω	—	0.25 W
Potenci3metro	P	0 - 1 M Ω	—	—
Potenci3metro	P	0 - 5 k Ω	—	—
Capacitor	C	470 nF	—	—
Capacitor	C	10 nF	—	—
Amp. Operacional	LM358	—	—	—

6. Procedimiento

6.1. Etapa de entrada

- Pruebe las diferentes opciones de la aplicación Funtion generator
- Realice un barrido en frecuencias de la señal de entrada de 10Hz hasta 22kHz
- Compruebe el divisor de tensión correspondiente a la suma del nivel DC necesario para que la señal de entrada varíe entre 0 y un valor positivo

6.2. Armado del Amplificador operacional

- Alimente el amplificador operacional con $5V$ y conecte las resistencias que corresponden a la etapa de ganancia como se mira en la figura 8.
- Para comprobar su funcionamiento, con ayuda del generador de funciones entregue en la entrada una señal que varíe entre 0 y $100mV$.
- Varíe la ganancia, y varíe la forma de las señales
- Realice un barrido en frecuencias de la señal de entrada de 10Hz hasta 22kHz usando una señal sinusoidal varíe entre 0 y $100mV$.

6.3. Circuito completo

- Arme el circuito completo
- Ahora con la salida de audio entregue una señal sinusoidal con amplitud pico-pico de $1V$ de ser posible, en caso contrario ajuste la ganancia para que la salida no se sature.
- Realice un barrido de frecuencias con respecto a la tensión de salida del circuito de 10Hz hasta 22kHz
- Varié la forma de la onda y presente casos de frecuencia baja, media y alta con respecto al ancho de banda de 22kHz

Referencias

- [1] J. Chen, S. K. Arunachalam, T. L. Brooks, I. Mehr, F. Cheung, and H. Venkatram, “A 62mw stereo class-g headphone driver with 108db dynamic range and 600 μ a/channel quiescent current,” in *2013 IEEE International Solid-State Circuits Conference Digest of Technical Papers*. IEEE, 2013, pp. 1–3. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6487691>
- [2] M. Murrell, C. Mannix, and K. Vetrani, “Física del sonido,” <https://www.procame.una.ac.cr/index.php/unidades-didacticas?download=14:fisica-del-sonido>.

7. Anexos

Single Supply Dual Operational Amplifiers

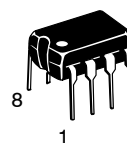
LM258, LM358, LM358A, LM358E, LM2904, LM2904A, LM2904E, LM2904V, NCV2904

Utilizing the circuit designs perfected for Quad Operational Amplifiers, these dual operational amplifiers feature low power drain, a common mode input voltage range extending to ground/ V_{EE} , and single supply or split supply operation. The LM358 series is equivalent to one-half of an LM324.

These amplifiers have several distinct advantages over standard operational amplifier types in single supply applications. They can operate at supply voltages as low as 3.0 V or as high as 32 V, with quiescent currents about one-fifth of those associated with the MC1741 (on a per amplifier basis). The common mode input range includes the negative supply, thereby eliminating the necessity for external biasing components in many applications. The output voltage range also includes the negative power supply voltage.

Features

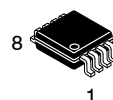
- Short Circuit Protected Outputs
- True Differential Input Stage
- Single Supply Operation: 3.0 V to 32 V
- Low Input Bias Currents
- Internally Compensated
- Common Mode Range Extends to Negative Supply
- Single and Split Supply Operation
- ESD Clamps on the Inputs Increase Ruggedness of the Device without Affecting Operation
- NCV Prefix for Automotive and Other Applications Requiring Unique Site and Control Change Requirements; AEC-Q100 Qualified and PPAP Capable
- These Devices are Pb-Free, Halogen Free/BFR Free and are RoHS Compliant



PDIP-8
N, AN, VN SUFFIX
CASE 626

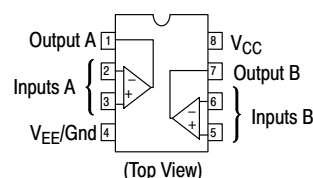


SOIC-8
D, VD SUFFIX
CASE 751



Micro8[™]
DMR2 SUFFIX
CASE 846A

PIN CONNECTIONS



ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information on page 10 of this data sheet.

DEVICE MARKING INFORMATION

See general marking information in the device marking section on page 11 of this data sheet.

LM258, LM358, LM358A, LM358E, LM2904, LM2904A, LM2904E, LM2904V, NCV2904



Figure 1.

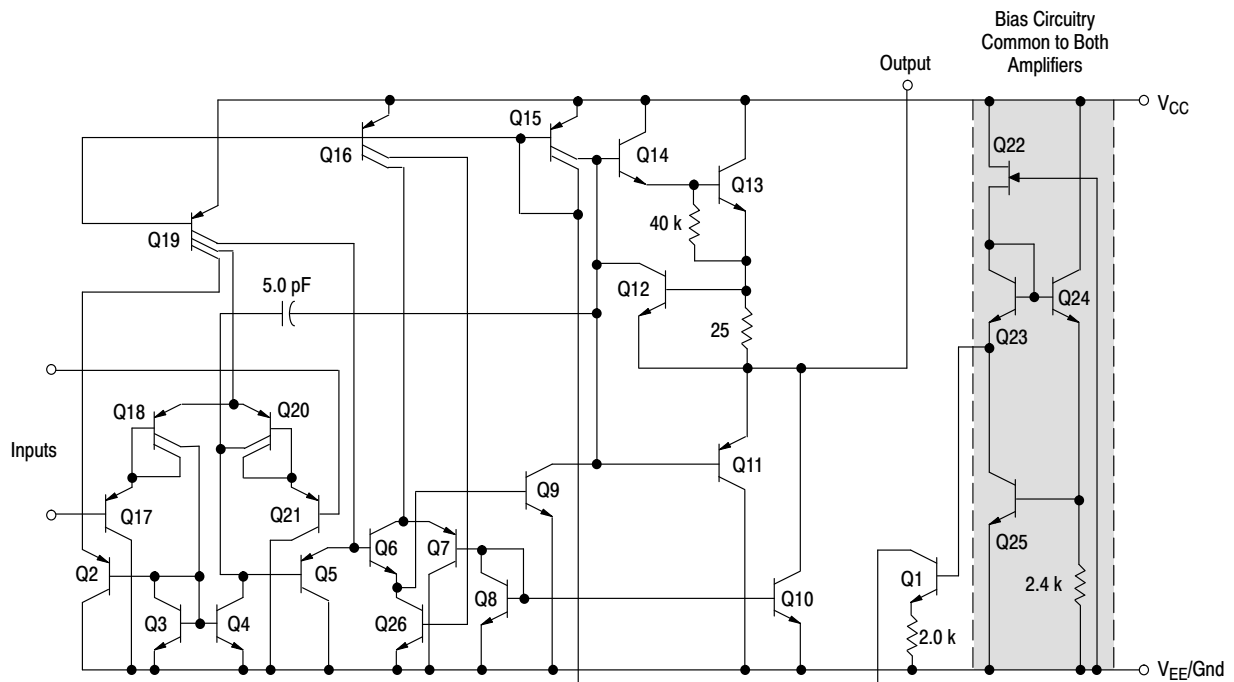


Figure 2. Representative Schematic Diagram
(One-Half of Circuit Shown)

LM258, LM358, LM358A, LM358E, LM2904, LM2904A, LM2904E, LM2904V, NCV2904

MAXIMUM RATINGS (T_A = +25°C, unless otherwise noted.)

Rating	Symbol	Value	Unit
Power Supply Voltages Single Supply Split Supplies	V _{CC} V _{CC} , V _{EE}	32 ±16	Vdc
Input Differential Voltage Range (Note 1)	V _{IDR}	±32	Vdc
Input Common Mode Voltage Range	V _{ICR}	–0.3 to 32	Vdc
Output Short Circuit Duration	t _{SC}	Continuous	
Junction Temperature	T _J	150	°C
Thermal Resistance, Junction–to–Air (Note 2) Case 846A Case 751 Case 626	R _{θJA}	238 212 161	°C/W
Storage Temperature Range	T _{stg}	–65 to +150	°C
Operating Ambient Temperature Range LM258 LM358, LM358A, LM358E LM2904, LM2904A, LM2904E LM2904V, NCV2904 (Note 3)	T _A	–25 to +85 0 to +70 –40 to +105 –40 to +125	°C

Stresses exceeding those listed in the Maximum Ratings table may damage the device. If any of these limits are exceeded, device functionality should not be assumed, damage may occur and reliability may be affected.

1. Split Power Supplies.
2. All R_{θJA} measurements made on evaluation board with 1 oz. copper traces of minimum pad size. All device outputs were active.
3. NCV2904 is qualified for automotive use.

ESD RATINGS

Rating	HBM	MM	Unit
ESD Protection at any Pin (Human Body Model – HBM, Machine Model – MM)			
NCV2904 (Note 3)	2000	200	V
LM358E, LM2904E	2000	200	V
LM358DG/DR2G, LM2904DG/DR2G	250	100	V
All Other Devices	2000	200	V

LM258, LM358, LM358A, LM358E, LM2904, LM2904A, LM2904E, LM2904V, NCV2904

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $V_{EE} = \text{GND}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.)

Characteristic	Symbol	LM258			LM358, LM358E			LM358A			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage $V_{CC} = 5.0\text{ V}$ to 30 V , $V_{IC} = 0\text{ V}$ to $V_{CC} - 1.7\text{ V}$, $V_O \approx 1.4\text{ V}$, $R_S = 0\ \Omega$ $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = T_{\text{high}}$ (Note 4) $T_A = T_{\text{low}}$ (Note 4)	V_{IO}	–	2.0	5.0	–	2.0	7.0	–	2.0	3.0	mV
Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 4)	$\Delta V_{IO}/\Delta T$	–	7.0	–	–	7.0	–	–	7.0	–	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Current $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 4)	I_{IO}	–	3.0	30	–	5.0	50	–	5.0	30	nA
Input Bias Current $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 4)	I_{IB}	–	–45	–150	–	–45	–250	–	–45	–100	nA
Average Temperature Coefficient of Input Offset Current $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 4)	$\Delta I_{IO}/\Delta T$	–	10	–	–	10	–	–	10	–	$\text{pA}/^\circ\text{C}$
Input Common Mode Voltage Range (Note 5), $V_{CC} = 30\text{ V}$ $V_{CC} = 30\text{ V}$, $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low}	V_{ICR}	0	–	28.3	0	–	28.3	0	–	28.5	V
Differential Input Voltage Range	V_{IDR}	–	–	V_{CC}	–	–	V_{CC}	–	–	V_{CC}	V
Large Signal Open Loop Voltage Gain $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$, $V_{CC} = 15\text{ V}$, For Large V_O Swing, $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 4)	A_{VOL}	50 25	100 –	– –	25 15	100 –	– –	25 15	100 –	– –	V/mV
Channel Separation $1.0\text{ kHz} \leq f \leq 20\text{ kHz}$, Input Referenced	CS	–	–120	–	–	–120	–	–	–120	–	dB
Common Mode Rejection $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$	CMR	70	85	–	65	70	–	65	70	–	dB
Power Supply Rejection	PSR	65	100	–	65	100	–	65	100	–	dB
Output Voltage–High Limit $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 4) $V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_{CC} = 30\text{ V}$, $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$ $V_{CC} = 30\text{ V}$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$	V_{OH}	3.3 26 27	3.5 – 28	– – –	3.3 26 27	3.5 – 28	– – –	3.3 26 27	3.5 – 28	– – –	V
Output Voltage–Low Limit $V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$, $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 4)	V_{OL}	–	5.0	20	–	5.0	20	–	5.0	20	mV
Output Source Current $V_{ID} = +1.0\text{ V}$, $V_{CC} = 15\text{ V}$ $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (LM358A Only)	I_{O+}	20	40	–	20	40	–	20 10	40 –	– –	mA
Output Sink Current $V_{ID} = -1.0\text{ V}$, $V_{CC} = 15\text{ V}$ $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (LM358A Only) $V_{ID} = -1.0\text{ V}$, $V_O = 200\text{ mV}$	I_{O-}	10 12	20 50	– –	10 12	20 50	– –	10 5.0 12	20 – 50	– – –	mA mA μA
Output Short Circuit to Ground (Note 6)	I_{SC}	–	40	60	–	40	60	–	40	60	mA
Power Supply Current (Total Device) $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 4) $V_{CC} = 30\text{ V}$, $V_O = 0\text{ V}$, $R_L = \infty$ $V_{CC} = 5\text{ V}$, $V_O = 0\text{ V}$, $R_L = \infty$	I_{CC}	– –	1.5 0.7	3.0 1.2	– –	1.5 0.7	3.0 1.2	– –	1.5 0.7	2.0 1.2	mA

4. LM258: $T_{\text{low}} = -25^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +85^\circ\text{C}$
LM2904/A/E: $T_{\text{low}} = -40^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +105^\circ\text{C}$
NCV2904 is qualified for automotive use.

LM358, LM358A, LM358E: $T_{\text{low}} = 0^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +70^\circ\text{C}$
LM2904V & NCV2904: $T_{\text{low}} = -40^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +125^\circ\text{C}$

5. The input common mode voltage or either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3 V. The upper end of the common mode voltage range is $V_{CC} - 1.7\text{ V}$.
6. Short circuits from the output to V_{CC} can cause excessive heating and eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.

LM258, LM358, LM358A, LM358E, LM2904, LM2904A, LM2904E, LM2904V, NCV2904

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_{CC} = 5.0 V, V_{EE} = Gnd, T_A = 25°C, unless otherwise noted.)

Characteristic	Symbol	LM2904/LM2904E			LM2904A			LM2904V, NCV2904			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage V _{CC} = 5.0 V to 30 V, V _{IC} = 0 V to V _{CC} - 1.7 V, V _O ≈ 1.4 V, R _S = 0 Ω T _A = 25°C T _A = T _{high} (Note 7) T _A = T _{low} (Note 7)	V _{IO}	–	2.0	7.0	–	2.0	7.0	–	–	7.0	mV
Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage T _A = T _{high} to T _{low} (Note 7)	ΔV _{IO} /ΔT	–	7.0	–	–	7.0	–	–	7.0	–	μV/°C
Input Offset Current T _A = T _{high} to T _{low} (Note 7)	I _{IO}	–	5.0	50	–	5.0	50	–	5.0	50	nA
Input Bias Current T _A = T _{high} to T _{low} (Note 7)	I _{IB}	–	–45	–250	–	–45	–100	–	–45	–250	nA
Average Temperature Coefficient of Input Offset Current T _A = T _{high} to T _{low} (Note 7)	ΔI _{IO} /ΔT	–	10	–	–	10	–	–	10	–	pA/°C
Input Common Mode Voltage Range (Note 8), V _{CC} = 30 V V _{CC} = 30 V, T _A = T _{high} to T _{low}	V _{ICR}	0	–	28.3	0	–	28.3	0	–	28.3	V
Differential Input Voltage Range	V _{IDR}	–	–	V _{CC}	–	–	V _{CC}	–	–	V _{CC}	V
Large Signal Open Loop Voltage Gain R _L = 2.0 kΩ, V _{CC} = 15 V, For Large V _O Swing, T _A = T _{high} to T _{low} (Note 7)	A _{VOL}	25 15	100 –	– –	25 15	100 –	– –	25 15	100 –	– –	V/mV
Channel Separation 1.0 kHz ≤ f ≤ 20 kHz, Input Referenced	CS	–	–120	–	–	–120	–	–	–120	–	dB
Common Mode Rejection R _S ≤ 10 kΩ	CMR	50	70	–	50	70	–	50	70	–	dB
Power Supply Rejection	PSR	50	100	–	50	100	–	50	100	–	dB
Output Voltage–High Limit T _A = T _{high} to T _{low} (Note 7) V _{CC} = 5.0 V, R _L = 2.0 kΩ, T _A = 25°C V _{CC} = 30 V, R _L = 2.0 kΩ V _{CC} = 30 V, R _L = 10 kΩ	V _{OH}	3.3 26 27	3.5 – 28	– – –	3.3 26 27	3.5 – 28	– – –	3.3 26 27	3.5 – 28	– – –	V
Output Voltage–Low Limit V _{CC} = 5.0 V, R _L = 10 kΩ, T _A = T _{high} to T _{low} (Note 7)	V _{OL}	–	5.0	20	–	5.0	20	–	5.0	20	mV
Output Source Current V _{ID} = +1.0 V, V _{CC} = 15 V	I _{O+}	20	40	–	20	40	–	20	40	–	mA
Output Sink Current V _{ID} = –1.0 V, V _{CC} = 15 V V _{ID} = –1.0 V, V _O = 200 mV	I _{O–}	10 –	20 –	– –	10 –	20 –	– –	10 –	20 –	– –	mA μA
Output Short Circuit to Ground (Note 9)	I _{SC}	–	40	60	–	40	60	–	40	60	mA
Power Supply Current (Total Device) T _A = T _{high} to T _{low} (Note 7) V _{CC} = 30 V, V _O = 0 V, R _L = ∞ V _{CC} = 5 V, V _O = 0 V, R _L = ∞	I _{CC}	– –	1.5 0.7	3.0 1.2	– –	1.5 0.7	3.0 1.2	– –	1.5 0.7	3.0 1.2	mA

7. LM258: T_{low} = –25°C, T_{high} = +85°C
LM2904/A/E: T_{low} = –40°C, T_{high} = +105°C
NCV2904 is qualified for automotive use.

LM358, LM358A, LM358E: T_{low} = 0°C, T_{high} = +70°C
LM2904V & NCV2904: T_{low} = –40°C, T_{high} = +125°C

8. The input common mode voltage or either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3 V. The upper end of the common mode voltage range is V_{CC} – 1.7 V.
9. Short circuits from the output to V_{CC} can cause excessive heating and eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.

Product parametric performance is indicated in the Electrical Characteristics for the listed test conditions, unless otherwise noted. Product performance may not be indicated by the Electrical Characteristics if operated under different conditions.

CIRCUIT DESCRIPTION

The LM358 series is made using two internally compensated, two-stage operational amplifiers. The first stage of each consists of differential input devices Q20 and Q18 with input buffer transistors Q21 and Q17 and the differential to single ended converter Q3 and Q4. The first stage performs not only the first stage gain function but also performs the level shifting and transconductance reduction functions. By reducing the transconductance, a smaller compensation capacitor (only 5.0 pF) can be employed, thus saving chip area. The transconductance reduction is accomplished by splitting the collectors of Q20 and Q18. Another feature of this input stage is that the input common mode range can include the negative supply or ground, in single supply operation, without saturating either the input devices or the differential to single-ended converter. The second stage consists of a standard current source load amplifier stage.

Each amplifier is biased from an internal-voltage regulator which has a low temperature coefficient thus giving each amplifier good temperature characteristics as well as excellent power supply rejection.

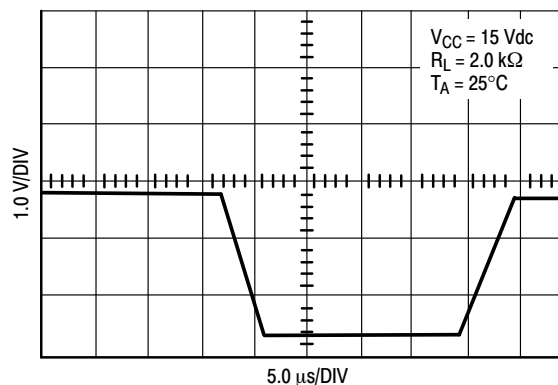


Figure 3. Large Signal Voltage Follower Response

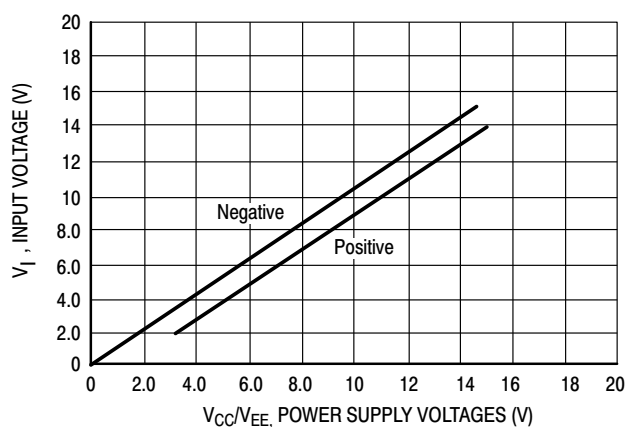


Figure 4. Input Voltage Range

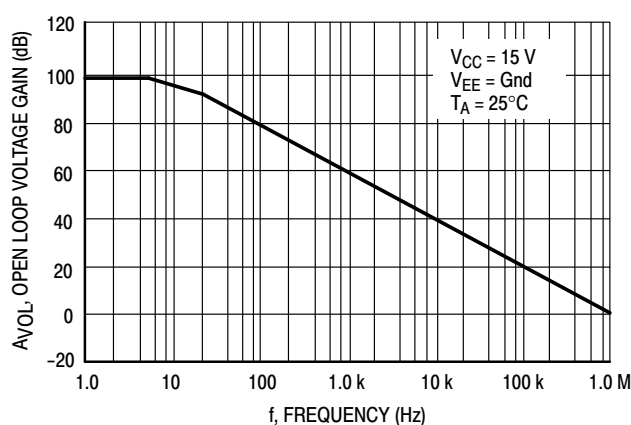


Figure 5. Large-Signal Open Loop Voltage Gain

LM258, LM358, LM358A, LM358E, LM2904, LM2904A, LM2904E, LM2904V, NCV2904

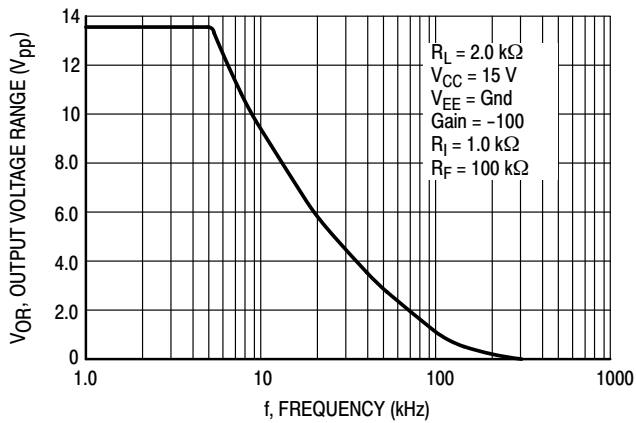


Figure 6. Large-Signal Frequency Response

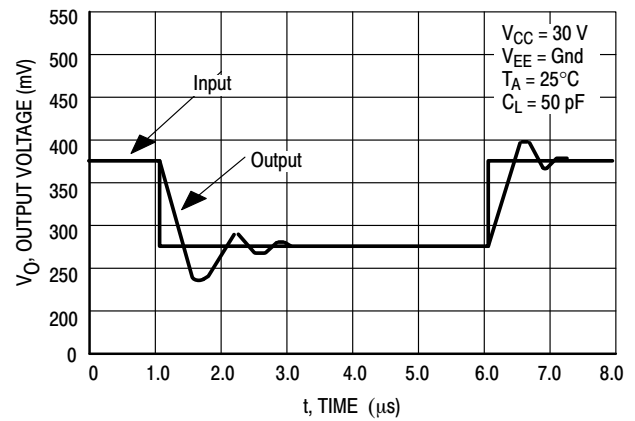


Figure 7. Small Signal Voltage Follower Pulse Response (Noninverting)

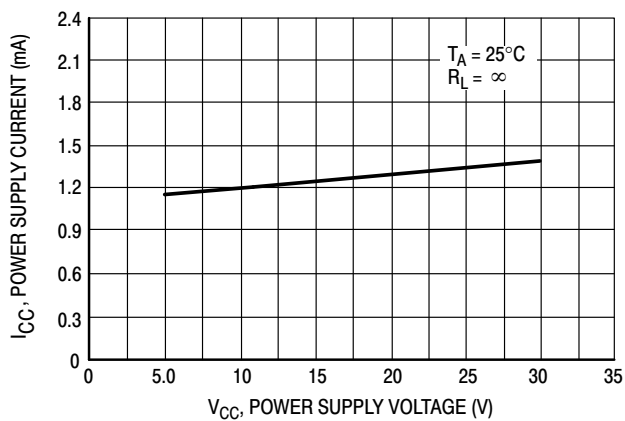


Figure 8. Power Supply Current versus Power Supply Voltage

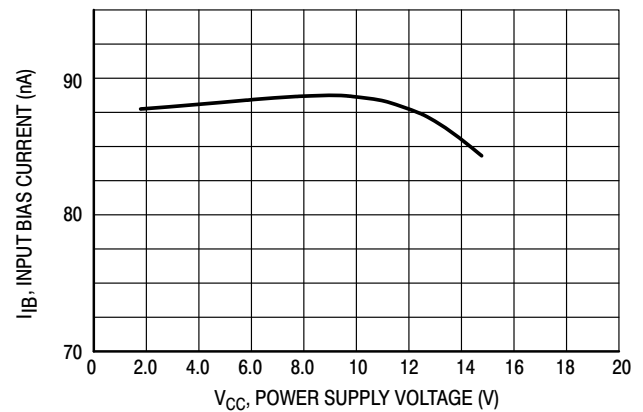


Figure 9. Input Bias Current versus Supply Voltage