



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
ESCUELA SUPERIOR DE COMPUTO



## **Configuraciones de amplificador Operacional**

NOMBRE DEL ALUMNO: GARCÍA QUIROZ GUSTAVO IVAN

GRUPO: 4CV1

MATERIA: ELECTRONICA ANALOGICA

NOMBRE DEL PROFESOR: MARTINEZ GUERRERO JOSE ALFREDO

FECHA: 13/06/2023

## Índice

Introducción .....	2
Configuraciones de amplificador Operacional .....	4
Integrador .....	4
El integrador basado en un amplificador operacional .....	4
El integrador ideal .....	4
El integrador práctico .....	6
Derivador .....	7
El diferenciador basado en un amplificador operacional .....	7
Logarítmico .....	9
El amplificador logarítmico básico .....	9
Amplificador logarítmico con un diodo .....	10
Amplificador logarítmico con un BJT .....	11
Antilogarítmico .....	12
El amplificador antilogarítmico básico .....	12
Compresión de señales con amplificadores logarítmicos .....	13
Bibliografía .....	14

## Introducción

Identificar un integrador es fundamental para comprender cómo se procesan las señales en un circuito. Un integrador es un dispositivo que realiza una operación matemática llamada integración, que consiste en acumular una cantidad a lo largo del tiempo. Este proceso se aplica en circuitos utilizando un componente llamado capacitor, el cual juega un papel crucial en la carga y descarga de la señal. La carga de un capacitor en un circuito se produce a medida que se aplica una tensión o corriente al mismo. Durante este proceso, el capacitor acumula carga y su voltaje aumenta gradualmente. El tiempo que tarda en cargar completamente depende de la resistencia y la capacitancia del circuito. Comprender cómo se carga un capacitor es esencial para analizar el comportamiento de un integrador.

Al analizar un integrador, también es importante determinar la razón de cambio de salida. La salida de un integrador es proporcional a la integral de la señal de entrada. Esto implica que el resultado será una señal que muestra cómo varía la amplitud de la señal de entrada en función del tiempo. Entender esta relación nos permite comprender cómo se procesan las señales en un circuito integrador. Además del integrador, es relevante identificar un diferenciador en un circuito. Un diferenciador es un dispositivo que realiza una operación matemática llamada diferenciación, que consiste en calcular la tasa de cambio instantánea de una señal. Al igual que el integrador, el

diferenciador juega un papel importante en el análisis de señales y en diversas aplicaciones en electrónica. La configuración de la realimentación es un aspecto crucial en el diseño de circuitos integradores y diferenciadores. La realimentación es el proceso mediante el cual una parte de la salida del circuito se redirige hacia la entrada. Esta técnica permite controlar y ajustar el comportamiento de los circuitos, optimizando su rendimiento y estabilidad.

Finalmente, en este contexto es relevante definir algunos términos básicos. El logaritmo es una función matemática que nos permite determinar el exponente al cual debemos elevar una base para obtener un número dado. El antilogaritmo, por otro lado, es la operación inversa del logaritmo, y nos permite calcular el número original a partir de su logaritmo. El logaritmo natural, también conocido como logaritmo en base  $e$ , es un caso especial de logaritmo donde la base es el número irracional  $e$ , aproximadamente 2.71828.

En resumen, los integradores y diferenciadores desempeñan un papel fundamental en la electrónica y los circuitos. Comprender cómo se carga un capacitor, determinar la razón de cambio de salida, identificar un diferenciador y comprender la configuración de la realimentación son conceptos esenciales en el diseño y análisis de circuitos. Además, la comprensión de los términos logaritmo, antilogaritmo y logaritmo natural es fundamental para abordar adecuadamente estos conceptos en el campo de la ingeniería electrónica.

# Configuraciones de amplificador Operacional

## Integrador

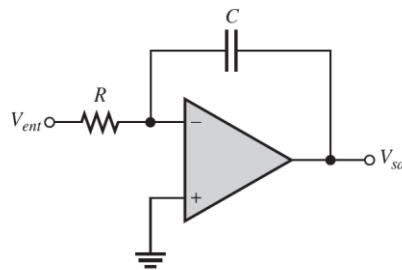
Un **integrador** basado en un amplificador operacional simula la integración matemática, la que básicamente es un proceso de suma que determina el área total bajo la curva de una función.

Los integradores prácticos a menudo tienen un resistor adicional en paralelo con el capacitor de realimentación para evitar la saturación. Los diferenciadores prácticos pueden incluir un resistor en serie con el comparador para reducir el ruido de alta frecuencia.

## El integrador basado en un amplificador operacional

### El integrador ideal

En la siguiente figura se muestra un integrador ideal. Se observa que el elemento de realimentación es un capacitor que forma un circuito  $RC$  con el resistor de entrada.



### Cómo se carga un capacitor

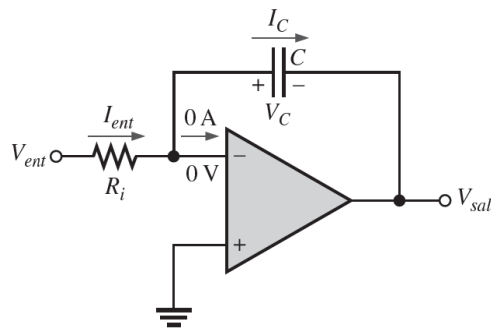
Para entender cómo funciona un integrador es importante revisar cómo se carga un capacitor. La carga  $Q$  en un capacitor es proporcional a la corriente de carga ( $I_C$ ) y al tiempo ( $t$ ).

$$Q = I_C t$$
$$Q = C V_C$$
$$V_C = \left( \frac{I_C}{C} \right) t$$

Esta expresión tiene la forma de una ecuación de una recta que parte de cero con pendiente constante de  $I_C/C$ . Recuerde, de sus clases de álgebra, que la fórmula general de una recta es  $y = mx + b$ . En este caso,  $y = V_C$ ,  $m = \frac{I_C}{C}$ ,  $x = t$  y  $b = 0$ .

El voltaje en el capacitor de un circuito  $RC$  no es lineal sino exponencial. Esto se debe a que la corriente de carga se reduce continuamente a medida que se carga el capacitor y hace que la razón de cambio del voltaje se reduzca de forma continua. La clave con respecto a la utilización de un amplificador operacional con un circuito  $RC$  para formar un integrador es que la corriente de carga del capacitor se haga constante, produciéndose así un voltaje en línea recta (lineal) en lugar un voltaje exponencial. A continuación se verá por qué esto es cierto. En la siguiente figura, la entrada inversora del amplificador operacional está a tierra virtual (0 V), de modo que el voltaje a través de  $R_1$  es igual a  $V_{ent}$ . Consecuentemente, la corriente de entrada es

$$I_{ent} = \frac{V_{ent}}{R_i}$$

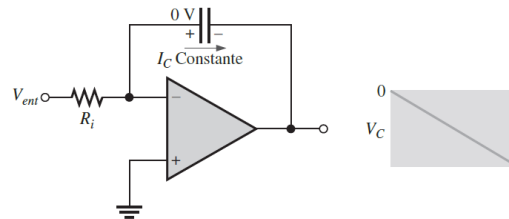


Si  $V_{ent}$  es un voltaje constante, entonces  $I_{ent}$  también lo es porque la entrada inversora siempre permanece a 0 V y mantiene constante el voltaje a través de  $R_i$ . Debido a la impedancia de entrada muy alta del amplificador operacional, existe una corriente despreciable en la entrada inversora. Esto hace que toda la corriente de entrada circule a través del capacitor, como se indica en la siguiente figura, por lo tanto

$$I_C = I_{ent}$$

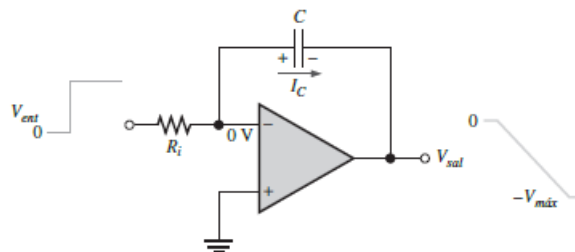
### El voltaje en el capacitor

Como  $I_{ent}$  es constante, también lo es  $I_C$ . La  $I_C$  constante carga el capacitor linealmente y produce un voltaje lineal a través de  $C$ . El lado positivo del capacitor se mantiene a 0 V gracias a la tierra virtual del amplificador operacional. El voltaje en lado negativo del capacitor, el cual es el voltaje de salida del amplificador operacional, se reduce linealmente desde cero a medida que el capacitor se carga, como muestra la siguiente figura. Este voltaje,  $V_C$ , se llama *rampa negativa* y es la consecuencia de una entrada positiva constante.



### El voltaje de salida

$V_{sal}$  es el mismo que el voltaje en lado negativo del capacitor. Cuando se aplica un voltaje de entrada positivo constante en forma de un escalón o pulso (un pulso tiene una amplitud constante cuando es alto), la rampa de salida decrece negativamente hasta que el amplificador operacional se satura a su nivel negativo máximo.



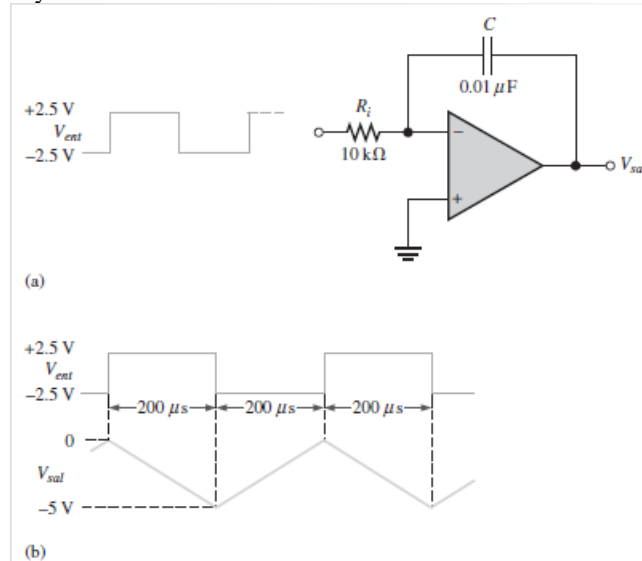
### Razón de cambio de la salida

La razón con la cual se carga el capacitor y, en consecuencia, la pendiente de la rampa de salida, es establecida por la relación  $\frac{I_C}{C}$ , como ya se vio. Como  $I_C = \frac{V_{ent}}{R_i}$ , la razón de cambio o pendiente del voltaje de salida del integrador es  $\frac{\Delta V_{sal}}{\Delta t}$ .

$$\frac{\Delta V_{sal}}{\Delta t} = -V_{ent}/R_i C$$

### Ejemplo

- (a) Determine la razón de cambio del voltaje de salida en respuesta a la onda cuadrada de entrada, como se muestra para el integrador ideal en la figura (a). El voltaje de salida es inicialmente cero. El ancho del pulso es de 100 ms.
- (b) Describa la salida y trace la forma de onda



### Solución

- (a) La razón de cambio del voltaje de salida durante el tiempo que la entrada está a +2.5 V (capacitor cargándose) es

$$\frac{\Delta V_{sal}}{\Delta t} = -\frac{V_{ent}}{R_i C} = -\frac{2.5 \text{ V}}{(10 \text{ k}\Omega)(0.01 \text{ }\mu\text{F})} = -25 \text{ kV/s} = -25 \text{ mV}/\mu\text{s}$$

La razón de cambio de la salida durante el tiempo en que la entrada es negativa (capacitor descargándose) es la misma durante la carga, excepto porque es positiva.

$$\frac{\Delta V_{sal}}{\Delta t} = +\frac{V_{ent}}{R_i C} = +25 \text{ mV}/\mu\text{s}$$

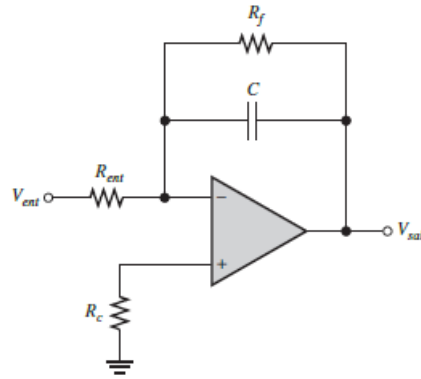
- (b) Cuando la entrada está a +2.5 V, la salida es una rampa que tiende a negativa. Cuando la entrada está a -2.5 V, la salida es una rampa que tiende a positiva.

$$\Delta V_{sal} = (25 \text{ mV}/\mu\text{s})(200 \mu\text{s}) = 5 \text{ V}$$

Durante el tiempo que la entrada está a  $\pm 2.5 \text{ V}$ , la salida cambiará de 0 a -5 V. Durante el tiempo en que la salida está a -2.5 V, la salida cambiará de -5 V a 0 V. Consecuentemente, la salida es una onda triangular con picos entre 0 V y -5 V, como muestra la figura 13-35(b).

### El integrador práctico

El integrador ideal utiliza un capacitor en la trayectoria de entrada, la cual se abre con cd. Esto implica que la ganancia con cd es la ganancia en lazo abierto del amplificador operacional. En un integrador práctico, cualquier voltaje de error de cd debido al error de desequilibrio de voltaje hará que la salida produzca una rampa que se mueve hacia la saturación positiva o negativa (según el desequilibrio de voltaje), incluso cuando no hay ninguna señal presente. Los integradores prácticos deben disponer de algunos medios para vencer los efectos del desequilibrio de voltaje y la corriente de polarización. Hay varias soluciones disponibles, tales como los amplificadores troceadores (choppers) estabilizados; sin embargo, la solución más simple es utilizar un resistor de realimentación,  $R_f$ , deberá ser grande comparado con el resistor de entrada  $R_{ent}$  para que tenga un efecto despreciable en la forma de onda de salida. Además, se puede agregar un resistor de compensación,  $R_c$ , a la entrada no inversora, para balancear los efectos de la corriente de polarización.



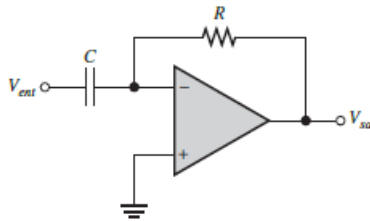
## Derivador

Un **diferenciador** basado en un amplificador operacional simula la diferenciación matemática, la cual es un proceso de determinar la razón de cambio instantánea de una función.

### El diferenciador basado en un amplificador operacional

#### El diferenciador ideal

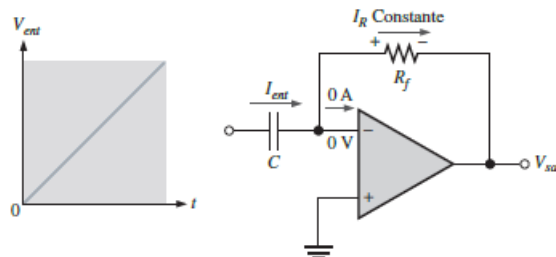
La siguiente figura muestra un diferenciador ideal. Observe cómo difiere la colocación del capacitor y resistor de aquella utilizada en el integrador. El capacitor ahora es el elemento de entrada y el resistor es el elemento de realimentación. Un diferenciador produce una salida que es proporcional a la razón de cambio del voltaje de entrada.



Para ver cómo funciona el diferenciador, aplíquese un voltaje de rampa que tiende a un valor positivo a la entrada, como indica la figura 13-38. En este caso,  $I_c = I_{ent}$  y el voltaje a través del capacitor es igual a  $V_{ent}$  en todo momento ( $V_c = V_{ent}$ ) debido al tierra virtual en la entrada inversora.

Según la fórmula básica,  $V_c = \left(\frac{I_c}{C}\right) t$ , la corriente en el capacitor es

$$I_c = \left(\frac{V_c}{t}\right) C$$

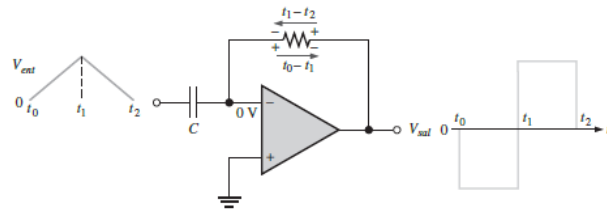


Como la corriente en la entrada inversora es despreciable,  $I_R \approx I_C$ . Ambas corrientes son constantes porque la pendiente del voltaje en el capacitor ( $V_C/t$ ) es constante. El voltaje de salida también es constante e igual al voltaje a través de  $R_f$ , porque un lado del resistor de realimentación siempre está a 0 V (tierra virtual).

$$V_{sal} = I_R R_f = I_C R_f$$

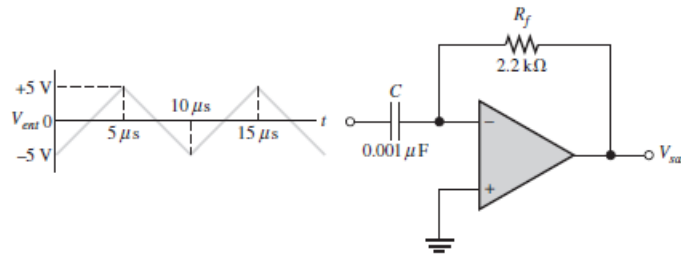
$$V_{sal} = -\left(\frac{V_C}{t}\right) R_f C$$

La salida es negativa cuando la entrada es una rampa que tiende a un valor positivo, y es positiva cuando la entrada es una rampa que tiende a un valor negativo, como se ilustra en la figura siguiente. Durante la pendiente positiva de la entrada, el capacitor se carga con fuente de entrada y la corriente constante fluye a través del resistor de realimentación en la dirección mostrada. Durante la pendiente negativa de la entrada, la corriente fluye en la dirección opuesta porque el capacitor se está descargando.



### Ejemplo

Determine el voltaje de salida del diferenciador ideal basado en un amplificador operacional de la figura siguiente para la entrada de onda triangular mostrada.



### Solución



Partiendo de  $t = 0$ , el voltaje de entrada es una rampa que tiende a un valor positivo desde  $-5 \text{ V}$  hasta  $+5 \text{ V}$  (un cambio de  $+10 \text{ V}$ ) en  $5 \mu\text{s}$ . Luego cambia a una rampa que tiende a un valor negativo desde  $+5 \text{ V}$  hasta  $-5 \text{ V}$  (un cambio de  $-10 \text{ V}$ ) en  $5 \mu\text{s}$ .

La constante de tiempo es

$$R_f C = (2.2 \text{ k}\Omega)(0.001 \mu\text{F}) = 2.2 \mu\text{s}$$

Determine la pendiente o razón de cambio ( $V_C/t$ ) de la rampa que tiende a positiva y calcule el voltaje de salida de la siguiente forma:

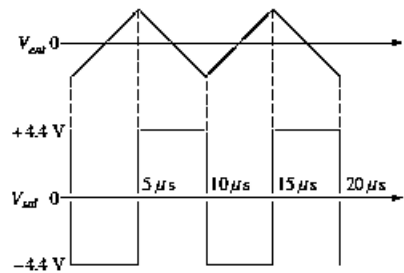
$$\frac{V_C}{t} = \frac{10 \text{ V}}{5 \mu\text{s}} = 2 \text{ V}/\mu\text{s}$$

$$V_{\text{sal}} = -\left(\frac{V_C}{t}\right)R_f C = -(2 \text{ V}/\mu\text{s})(2.2 \mu\text{s}) = -4.4 \text{ V}$$

Asimismo, la pendiente de la rampa que tiende a un valor negativo es  $-2 \text{ V}/\mu\text{s}$  y el voltaje de salida es

$$V_{\text{sal}} = -(-2 \text{ V}/\mu\text{s})(2.2 \mu\text{s}) = +4.4 \text{ V}$$

La figura muestra una gráfica de la forma de onda del voltaje de salida con respecto a la entrada.



## Logarítmico

Los amplificadores logarítmicos y antilogarítmicos se utilizan en aplicaciones que requieren la compresión de datos de entrada analógicos, la linealización de transductores cuyas salidas son exponenciales y la multiplicación y división analógicas. A menudo se utilizan en sistemas de comunicación de alta frecuencia, incluida la fibra óptica, para procesar señales de amplio rango dinámico.

El logaritmo de un número es la potencia a la cual se debe elevar la base para obtener dicho número. Un amplificador logarítmico (log) produce una salida que es proporcional al logaritmo de la entrada y un amplificador antilogarítmico (antilog) toma el antilogaritmo o el logaritmo inverso de la entrada.

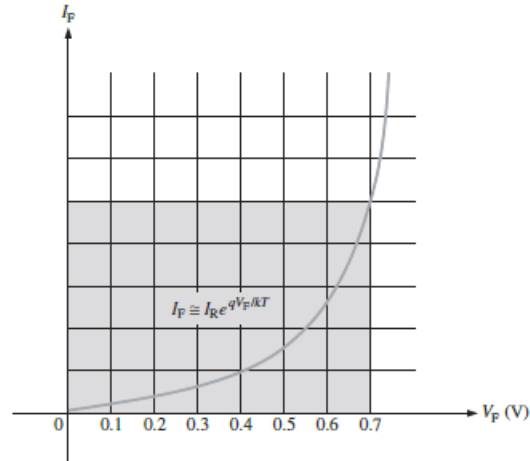
## El amplificador logarítmico básico

El elemento clave en un amplificador logarítmico es un dispositivo que exhibe una característica logarítmica que, cuando se coloca en el lazo de realimentación de amplificador operacional, produce una respuesta logarítmica. Esto quiere decir que el voltaje de salida es una función del logaritmo del voltaje de entrada, como lo expresa la siguiente ecuación general:

$$V_{\text{sal}} = -K \ln(V_{\text{ent}})$$

donde  $K$  es una constante y  $\ln$  es el logaritmo natural en base  $e$ . Un **logaritmo natural** es el exponente al cual se debe elevar la base  $e$  para que sea igual a una cantidad dada. Aunque se utilizarán logaritmos naturales en las fórmulas en esta sección, cada expresión puede convertirse en una logaritmo de base 10 ( $\log_{10}$ ) por medio de la relación  $\ln x = 2.3 \log_{10} x$

La unión *pn* de un semiconductor en la forma de diodo de unión base-emisor de un BJT proporciona una característica logarítmica. Posiblemente recuerde que un diodo tiene una característica no lineal hasta un voltaje en directa de aproximadamente  $0.7 \text{ V}$ . La figura siguiente muestra la curva de característica, donde  $V_F$  es el voltaje en el diodo en directa e  $I_F$  es la corriente en el diodo en directa



Como se puede ver en la gráfica, la curva del diodo no es lineal. No sólo no es lineal la curva de característica, sino que es logarítmica y está específicamente definida por la siguiente fórmula:

$$I_F \cong I_R e^{qV_F/kT}$$

donde  $I_R$  es la corriente de fuga de inversa,  $q$  es la carga en un electrón,  $k$  es la constante de Boltzmann y  $T$  es la temperatura absoluta en Kelvin. De acuerdo con la ecuación previa, el voltaje en el diodo en directa,  $V_F$ , se determina de la siguiente manera. Se toma el logaritmo natural ( $\ln$  es el logaritmo en base  $e$ ) en ambos miembros.

$$\ln I_F = \ln I_R e^{qV_F/kT}$$

$$\ln I_F = \ln I_R + \ln e^{qV_F/kT} = \ln I_R + \frac{qV_F}{kT}$$

$$\ln I_F - \ln I_R = \frac{qV_F}{kT}$$

La diferencia de los logaritmos naturales de dos términos es igual al logaritmo natural del cociente de los términos.

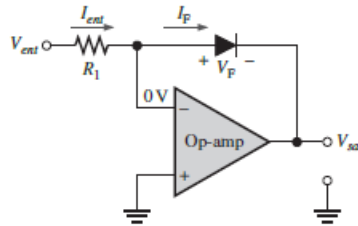
$$\ln\left(\frac{I_F}{I_R}\right) = \frac{qV_F}{kT}$$

$$V_F = \left(\frac{kT}{q}\right) \ln\left(\frac{I_F}{I_R}\right)$$

### Amplificador logarítmico con un diodo

Cuando se coloca un diodo en el lazo de realimentación de un circuito con un amplificador operacional, como muestra la figura siguiente, se obtiene un amplificador logarítmico básico. Como la entrada inversora está a tierra virtual (0 V), la salida está a  $-V_F$  cuando la entrada es positiva. Como  $V_F$  es logarítmico, también lo es  $V_{sal}$ . La salida está limitada a un valor máximo de aproximadamente -0.7 V porque la característica logarítmica del diodo está restringida a voltajes por debajo de 0.7 V. Además, la entrada debe ser positiva

cuando el diodo se conecta en la dirección mostrada en la figura. Para manejar entradas negativas, se debe invertir la posición del diodo.



Un análisis del circuito de la figura 14-30 comienza por considerar el hecho de que  $V_{sal} = -V_F$  e  $I_F = I_{ent}$  ya que no hay corriente en la entrada inversora.

$$V_{sal} = -V_F$$

$$I_F = I_{ent} = \frac{V_{ent}}{R_1}$$

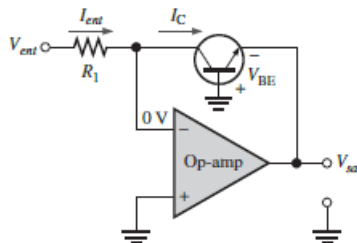
$$V_{sal} = -\left(\frac{kT}{q}\right) \ln\left(\frac{V_{ent}}{I_R R_1}\right)$$

El término  $\frac{kT}{q}$  es una constante igual a 25 mV a 25°C. Consecuentemente, el voltaje de salida se expresa como

$$V_{sal} \cong - (0.025 \text{ V}) \ln\left(\frac{V_{ent}}{I_R R_1}\right)$$

### Amplificador logarítmico con un BJT

La unión base-emisor de un transistor de unión bipolar presenta el mismo tipo de característica logarítmica que un diodo porque también es una unión *pn*. En la siguiente figura se muestra un amplificador logarítmico con un BJT conectado en base común en el lazo de realimentación. Se observa que  $V_{sal}$  con respecto a tierra es igual a  $-V_{BE}$ .



El análisis de este circuito es igual al del amplificador logarítmico con diodo, excepto porque  $V_{BE}$  reemplaza a  $V_F$ ,  $I_C$  reemplaza a  $I_F$  e  $I_{EBO}$  reemplaza a  $I_R$ . La expresión para el  $V_{BE}$  contra la curva de la característica  $I_C$  es

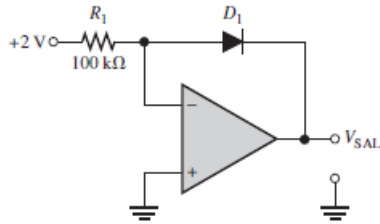
$$I_C = I_{EBO} e^{qV_{BE}/kT}$$

donde  $I_{EBO}$  es la corriente de fuga en la unión base-emisor. La expresión para el voltaje de salida es

$$V_{sal} = - (0.025 \text{ V}) \ln\left(\frac{V_{ent}}{I_{EBO} R_1}\right)$$

### Ejemplo

Determine el voltaje de salida para el amplificador logarítmico de la figura siguiente. Considere  $I_R = 50 \text{ nA}$ .



### Solución

El voltaje de entrada y el valor del resistor se dan en la figura

$$\begin{aligned} V_{sal} &= -(0.025 \text{ V}) \ln \left( \frac{V_{ent}}{I_R R_1} \right) = -(0.025 \text{ V}) \ln \left( \frac{2 \text{ V}}{(50 \text{ nA})(100 \text{ k}\Omega)} \right) \\ &= -(0.025 \text{ V}) \ln(400) = -(0.025 \text{ V})(5.99) = -0.150 \text{ V} \end{aligned}$$

## Antilogaritmico

### El amplificador antilogarítmico básico

El **antilogaritmo** de un número es el resultado obtenido cuando la base se eleva a una potencia igual al logaritmo de dicho número. Para obtener el antilogaritmo, se debe tomar la exponencial del logaritmo (antilogaritmo de  $x = e^{\ln x}$ ).

Un amplificador antilogarítmico se forma conectando un transistor (o diodo) como el elemento de entrada, como muestra la figura siguiente. La fórmula exponencial aún es válida para la unión *pn* base-emisor. La corriente (igual a la corriente en el colector) a través del resistor de realimentación determina el voltaje de salida.

La ecuación de característica de la unión *pn* es

$$V_{sal} = -R_f I_C$$

$$I_C = I_{EBO} e^{qV_{BE}/kT}$$

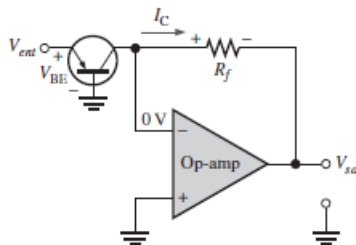
$$V_{sal} = -R_f I_{EBO} e^{qV_{BE}/kT}$$

$$V_{ent} = V_{BE}$$

$$V_{sal} = -R_f I_{EBO} e^{qV_{ent}/kT}$$

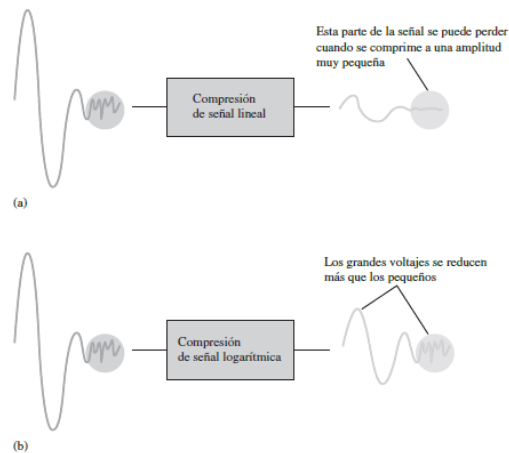
$$V_{sal} = -R_f I_{EBO} \text{antilog} \left( \frac{V_{ent} q}{kT} \right)$$

$$V_{sal} = -R_f I_{EBO} \text{antilog} \left( \frac{V_{ent}}{25 \text{ mV}} \right)$$



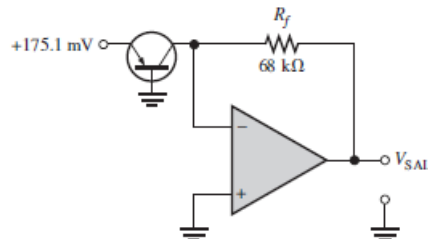
## Compresión de señales con amplificadores logarítmicos

En ciertas aplicaciones, una señal puede ser de magnitud demasiado grande para que un sistema particular la maneje. El término *rango dinámico* a menudo se utiliza para describir el intervalo de voltajes contenidos en una señal. En estos casos, el voltaje de la señal debe ser reducido mediante un proceso llamado **compresión de señal** de modo que pueda ser manejada de forma apropiada por el sistema. Si se utiliza un circuito lineal para reducir la amplitud de una señal, los voltajes bajos se reducen en el mismo porcentaje que los altos. La compresión de señal lineal frecuentemente produce voltajes que llegan a ser opacados por el ruido y son difíciles de distinguir con precisión, como se ilustra en la siguiente figura (a). Para superar este problema, una señal con un rango dinámico grande se puede comprimir por medio de una respuesta logarítmica, como muestra la figura (b). En la compresión de señal logarítmica, los voltajes altos se reducen en un porcentaje mayor que los voltajes bajos, por lo que se evita que las señales de bajo voltaje se pierdan en el ruido.



### Ejemplo

Para el amplificador antilogarítmico de la figura siguiente, determine el voltaje de salida. Considere  $I_{EBO} = 40 \text{ nA}$ .



### Solución

Por principio de cuentas, observe que el voltaje de entrada mostrado en la figura 14-34 es el voltaje de salida invertido del amplificador logarítmico del ejemplo 14-9, donde el voltaje de salida es proporcional al logaritmo del voltaje de entrada. En este caso el amplificador antilogarítmico invierte el proceso y produce una salida que es proporcional al antilogaritmo de la entrada. Expresado de otra manera, la entrada de un amplificador antilogarítmico es proporcional al logaritmo de la salida. Por lo tanto, el voltaje de salida del amplificador antilogarítmico de la figura 14-34 deberá tener la misma magnitud que el voltaje de entrada del amplificador logarítmico del ejemplo 14-9 porque todas las constantes son las mismas. Veamos si es cierto.

$$V_{SAL} = -R_f I_{EBO} \text{antilog}\left(\frac{V_{ent}}{25 \text{ mV}}\right) = -(68 \text{ k}\Omega)(40 \text{ nA}) \text{antilog}\left(\frac{175.1 \text{ mV}}{25 \text{ mV}}\right)$$

$$= -(68 \text{ k}\Omega)(40 \text{ nA})(1101) = -3 \text{ V}$$

## Bibliografía

Floyd, T. L. (2008). *Dispositivos electrónicos 8ED*.

Juan, C. G. (2020a, December 3). **【AMPLIFICADOR INTEGRADOR】** *Análisis y funcionamiento*. Amplificadores.info; Amplificadores.

<https://amplificadores.info/amp-op/integrador>

Juan, C. G. (2020b, December 3). ▷ **【AMPLIFICADOR DERIVADOR】** *Análisis y Diseño*. Amplificadores.info; Amplificadores.

<https://amplificadores.info/amp-op/derivador>