



SENSORES Y ACONDICIONADORES

TEMA 15 (2)

CIRCUITOS ACONDICIONADORES DE SENSORES ANALÓGICOS

CIRCUITOS DE EXCITACIÓN, CONVERTIDORES DE PARÁMETRO Y CONVERTIDORES DE FORMATO

**Profesores: Enrique Mandado Pérez
Antonio Murillo Roldan**



DEFINICIÓN

Se denominan acondicionadores los circuitos que convierten una característica del elemento sensor en una señal eléctrica analógica, digital o temporal.

Se puede considerar también que forman parte del circuito acondicionador los circuitos convertidores que proporcionan variables que pueden ser memorizadas en un procesador digital. Algunos autores los denominan circuitos electrónicos de interfaz (*Interface electronic circuits*) porque están situados entre uno o mas sensores y un procesador digital.

Los circuitos acondicionadores están formados por uno o más de los siguientes tipos de circuitos:

- Circuitos adaptadores
- Circuitos amplificadores
- **Circuitos de excitación**
- Circuitos convertidores de parámetro y formato



CIRCUITOS DE EXCITACIÓN

Se denominan circuitos de excitación o excitadores a los circuitos que generan las señales necesarias para convertir la variación de una impedancia o de una inductancia mutua en una señal analógica o temporal.

Los principales circuitos de excitación son:

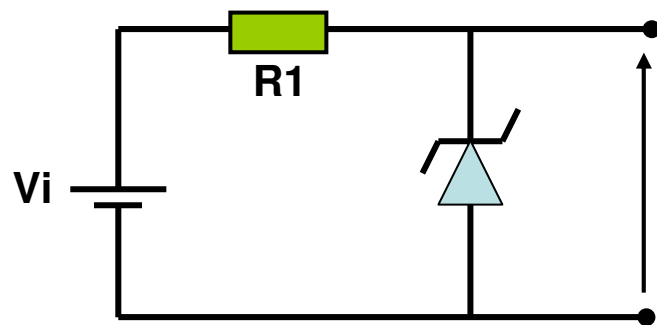
- Fuentes de tensión de referencia
- Fuentes de corriente
- Generadores de señales



CIRCUITOS DE EXCITACIÓN

FUENTE DE TENSIÓN DE REFERENCIA

Las fuentes de tensión de referencia (*Voltage reference*) son circuitos electrónicos que generan una tensión constante independientemente de las variaciones de la fuente de alimentación de entrada, de la temperatura, de la impedancia de la carga, del envejecimiento, etc.

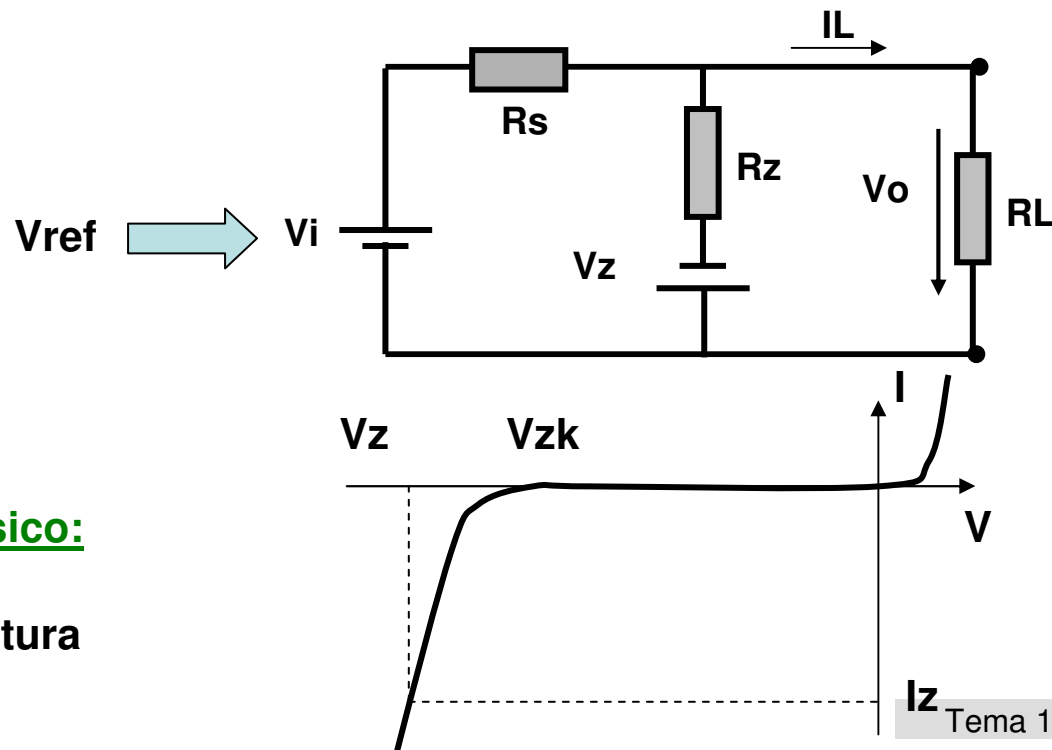


Circuito básico

Inconvenientes del circuito básico:

Dependencia de la temperatura

Dependencia de la carga



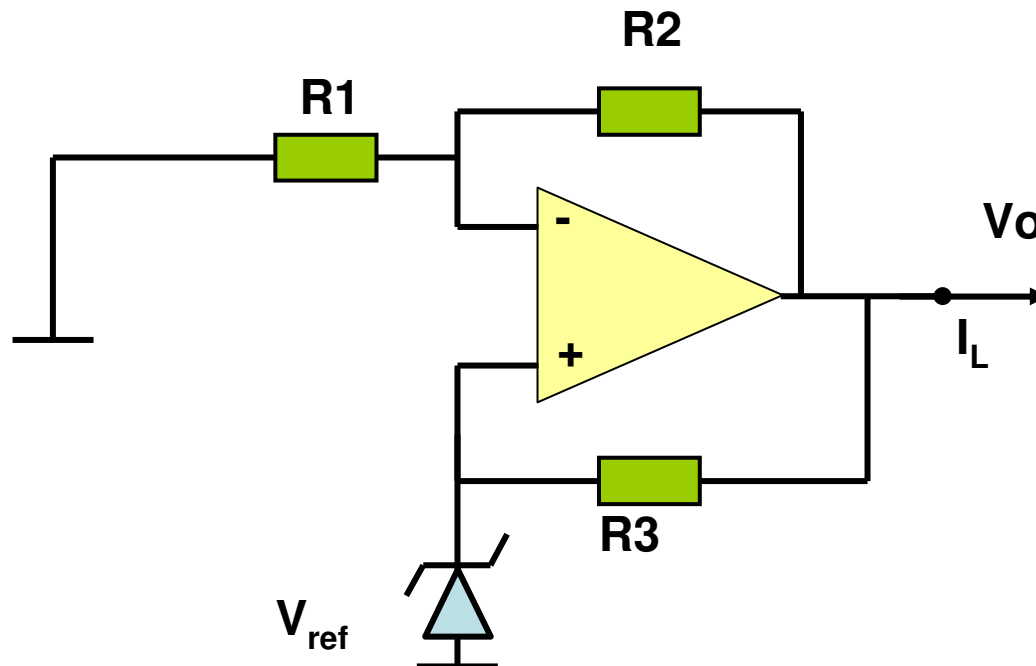


CIRCUITOS DE EXCITACIÓN

FUENTE DE TENSIÓN DE REFERENCIA

Circuito básico con amplificador de error

La combinación de un diodo Zener de baja deriva con un amplificador seguidor de baja impedancia de salida, independiza la V_{ref} de la carga del circuito I_L .



$$V_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) V_{ref}$$

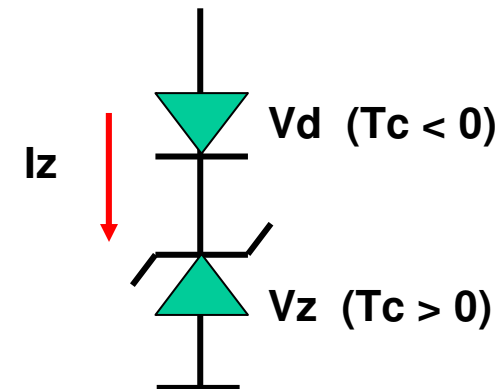


CIRCUITOS DE EXCITACIÓN

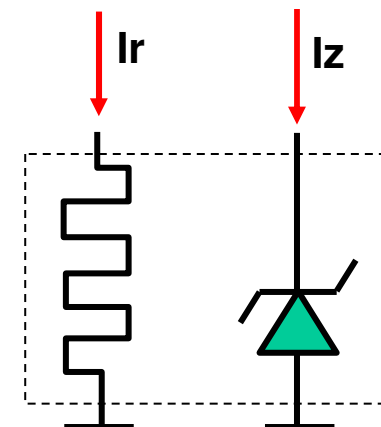
FUENTE DE TENSION DE REFERENCIA

Compensación de temperatura

·Combinación de un diodo Zener y un diodo en serie en oposición para anular el efecto de las variaciones de la temperatura



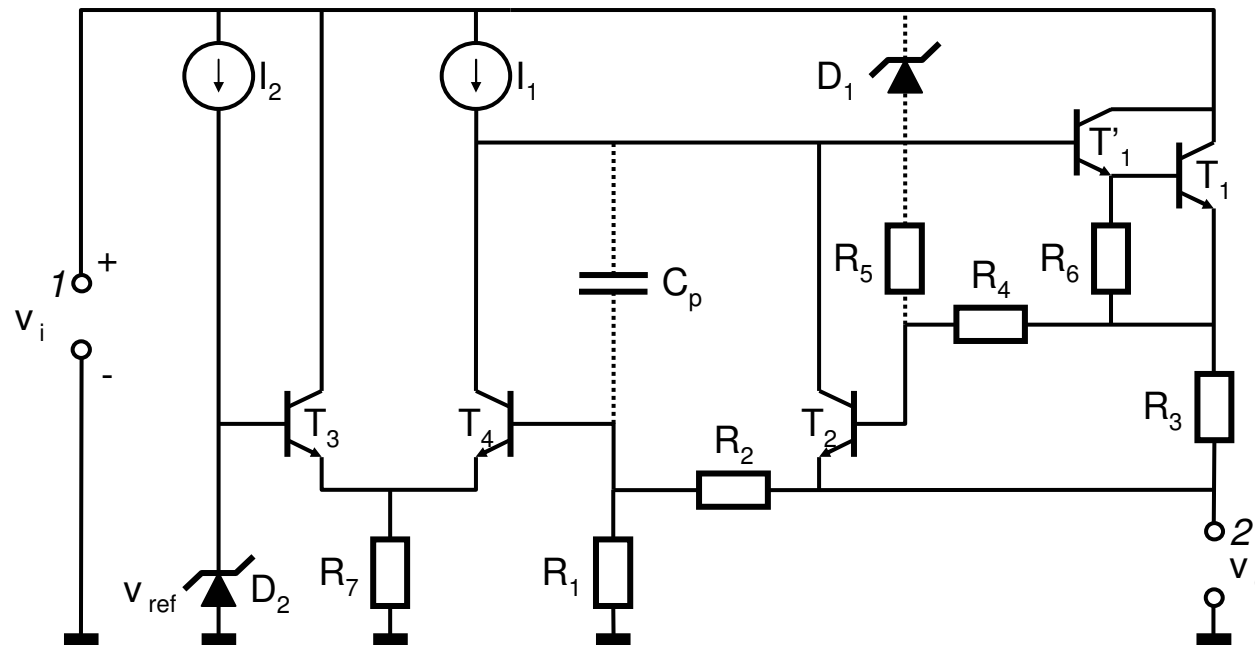
·Combinación de un diodo Zener y una resistencia de caldeo para mantener una temperatura constante por encima del ambiente





CIRCUITOS DE EXCITACIÓN

FUENTE DE TENSIÓN DE REFERENCIA



$$V_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_{ref}$$

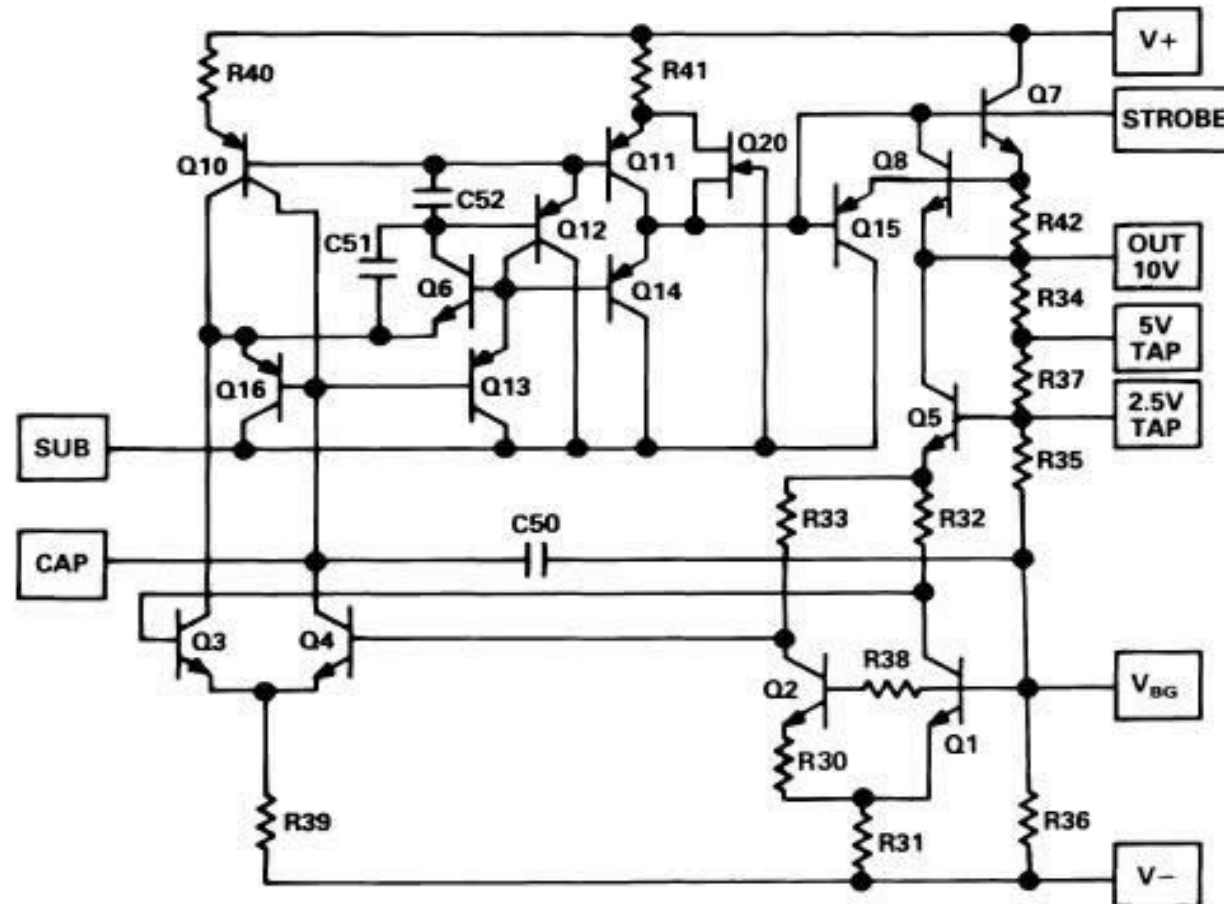
Circuito típico de una fuente de referencia con regulador serie y protección contra cortocircuitos



CIRCUITOS DE EXCITACIÓN

FUENTES DE TENSIÓN DE REFERENCIA

Ejemplo: AD584





CIRCUITOS DE EXCITACIÓN FUENTE DE CORRIENTE

Una fuente de corriente (*Current source or generator*) es un circuito excitador que proporciona la corriente que necesitan algunos sensores. También se le denomina bomba de corriente (*Current pump*) y proporciona una corriente cuyo valor es independiente de la impedancia de la carga.

Las principales características de una fuente de corriente son la resistencia de salida (*Output resistance*) y el valor máximo de la tensión de salida por encima del cual no se mantiene constante la corriente de salida (*Voltage compliance*).

Las fuentes de corriente suelen generar la corriente a partir de una tensión y por ello constituyen en realidad convertidores tensión-corriente que se analizan en el tema 16 dedicado a los circuitos convertidores de parámetro y formato.

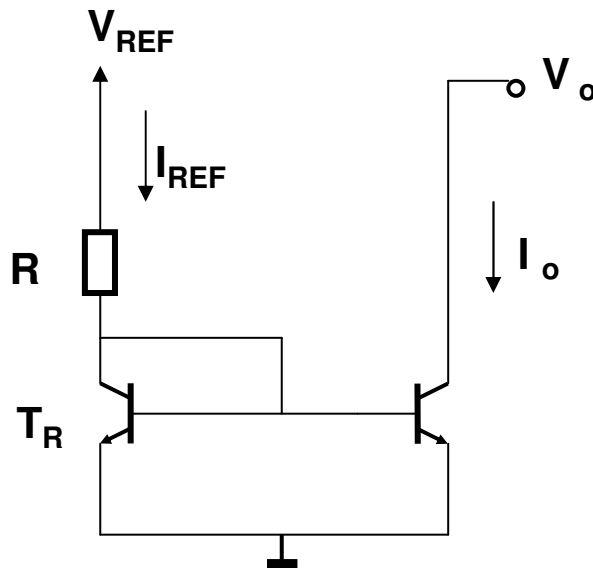


CIRCUITOS DE EXCITACIÓN

FUENTE DE CORRIENTE

Espejo de corriente (*Current mirror*)

A partir de una tensión de referencia se genera una corriente I_{ref} mediante un transistor T_R conectado como diodo. Dicha corriente se puede convertir en otra corriente idéntica I_O (*Current mirror*) aplicable a los circuitos que necesitan como excitación una corriente constante en lugar de una tensión constante. En la práctica el espejo de corriente es un convertidor de tensión constante en corriente constante.



$$I_{REF} = \frac{V_{REF} - V_{BE}}{R} = \frac{V_{REF} - 0,7}{R}$$

$$I_O = I_{REF}$$



CIRCUITOS DE EXCITACIÓN

CIRCUITOS GENERADORES DE SEÑALES

[PALL 98 pag. 428]

Reciben el nombre de generadores de señales los circuitos electrónicos que generan señales periódicas variables.

Según el tipo de señales que generan pueden ser:

- Osciladores senoidales (*Sinewave generators*)
- Generadores de impulsos (*Pulse generators*)
- Generadores de dientes de sierra (*Sawtooth generators*)
- Generadores de funciones (*Function generators*)

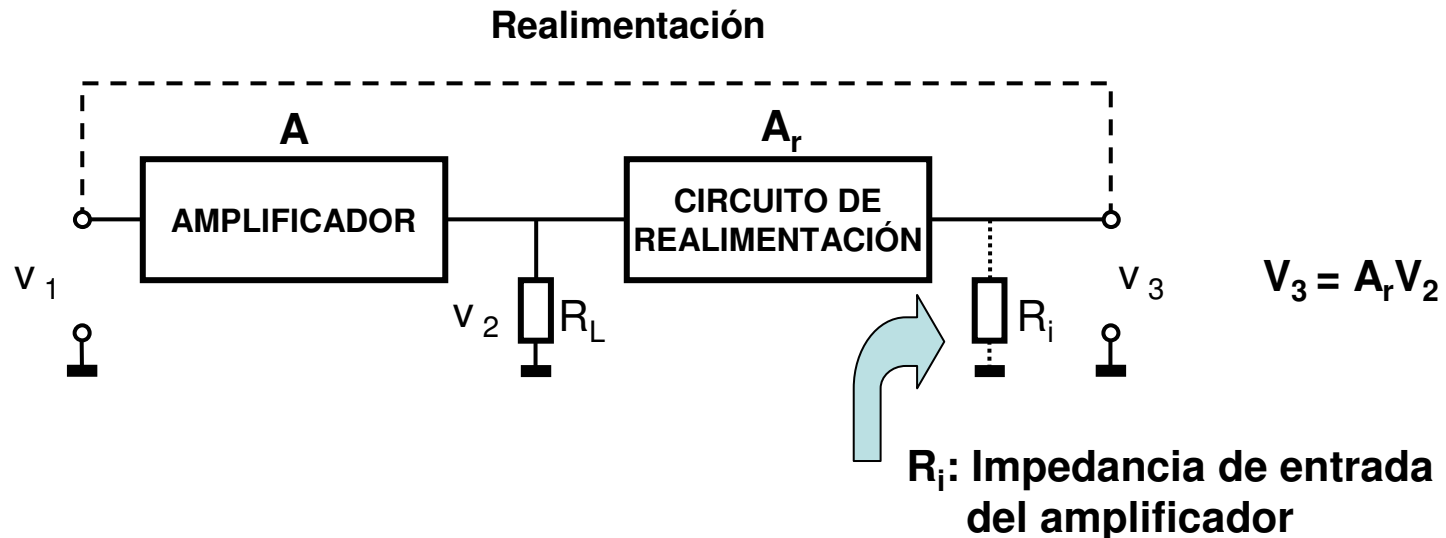


CIRCUITOS DE EXCITACIÓN

CIRCUITOS GENERADORES DE SEÑALES

Osciladores senoidales (*Sinewave generators*)

Fundamentos



El amplificador multiplica V_1 por la ganancia A y genera un desfase α .

El circuito de realimentación proporciona una atenuación A_r cuyo valor depende de la frecuencia y genera un desfase β .

La condición de oscilación es $V_1 = V_3 = A_r A V_1$. Para ello se debe cumplir que $A_r A = 1$ y $\alpha + \beta = 0, 2\pi, \dots$



CIRCUITOS DE EXCITACIÓN

CIRCUITOS GENERADORES DE SEÑALES

Osciladores senoidales (*Sinewave generators*)

Sine-Wave-Generation Techniques				
Type	Typical Frequency Range	Typical Distortion (%)	Typical Amplitude Stability (%)	Comments
Phase Shift	10 Hz–1 MHz	1–3	3 (Tighter with Servo Control)	Simple, inexpensive technique. Easily amplitude servo controlled. Resistively tunable over 2:1 range with little trouble. Good choice for cost-sensitive, moderate-performance applications. Quick starting and settling.
Wein Bridge	1 Hz–1 MHz	0.01	1	Extremely low distortion. Excellent for high-grade instrumentation and audio applications. Relatively difficult to tune — requires dual variable resistor with good tracking. Take considerable time to settle after a step change in frequency or amplitude.
LC Negative Resistance	1 kHz–10 MHz	1–3	3	Difficult to tune over wide ranges. Higher Q than RC types. Quick starting and easy to operate in high frequency ranges.
Tuning Fork	60 Hz–3 kHz	0.25	0.01	Frequency-stable over wide ranges of temperature and supply voltage. Relatively unaffected by severe shock or vibration. Basically untunable.



CIRCUITOS DE EXCITACIÓN

CIRCUITOS GENERADORES DE SEÑALES

Osciladores senoidales (*Sinewave generators*)

Crystal	30 kHz–200 MHz	0.1	1	Highest frequency stability. Only slight (ppm) tuning possible. Fragile.
Triangle-Driven Break-Point Shaper	< 1 Hz–500 kHz	1–2	1	Wide tuning range possible with quick settling to new frequency or amplitude.
Triangle-Driven Logarithmic Shaper	< 1 Hz–500 kHz	0.3	0.25	Wide tuning range possible with quick settling to new frequency or amplitude. Triangle and square wave also available. Excellent choice for general-purpose requirements needing frequency-sweep capability with low-distortion output.
DAC-Driven Logarithmic Shaper	<1 Hz–500 kHz	0.3	0.25	Similar to above but DAC-generated triangle wave generally easier to amplitude-stabilize or vary. Also, DAC can be addressed by counters synchronized to a master system clock.
ROM-Driven DAC	1 Hz–20 MHz	0.1	0.01	Powerful digital technique that yields fast amplitude and frequency slewing with little dynamic error. Chief detriments are requirements for high-speed clock (e.g., 8-bit DAC requires a clock that is 256 x output sine wave frequency) and DAC glitching and settling, which will introduce significant distortion as output frequency increases.



CIRCUITOS DE EXCITACIÓN

CIRCUITOS GENERADORES DE SEÑALES

Osciladores senoidales (*Sinewave generators*)

Los principales circuitos osciladores senoidales son:

- Osciladores LC
 - Oscilador Hartley
 - Oscilador Colpitts
 - Oscilador en contrafase (push-pull)
- Oscilador de cuarzo
- Oscilador RC

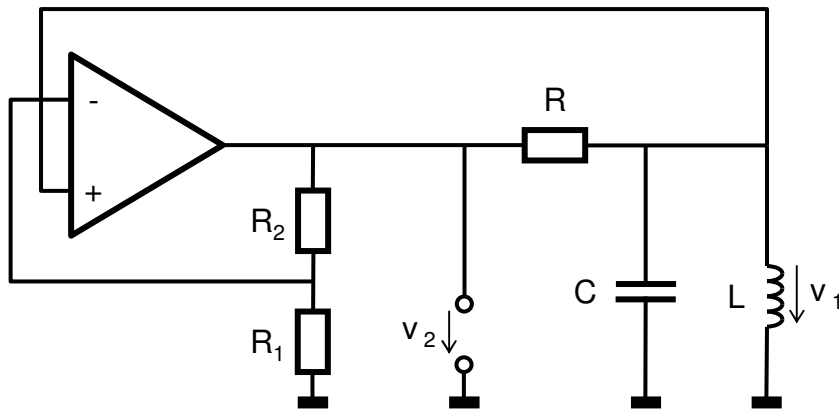


CIRCUITOS DE EXCITACIÓN

CIRCUITOS GENERADORES DE SEÑALES

Osciladores senoidales (*Sinewave generators*)

Fundamento del oscilador senoidal realizado con un circuito LC



$$\omega = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

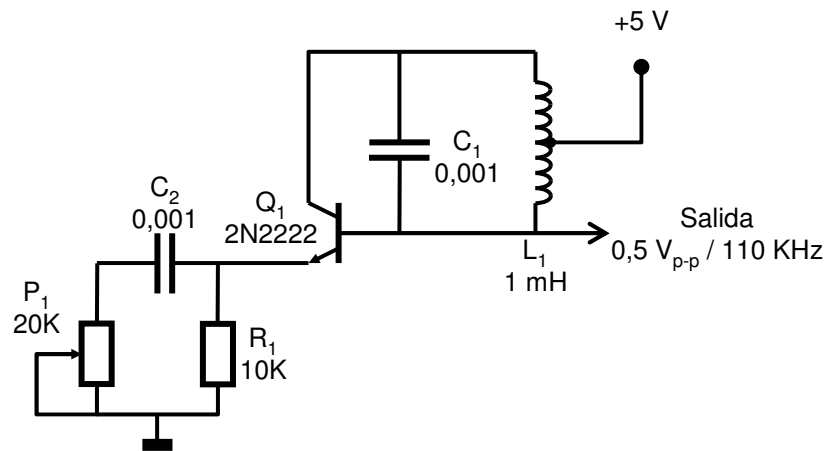


CIRCUITOS DE EXCITACIÓN

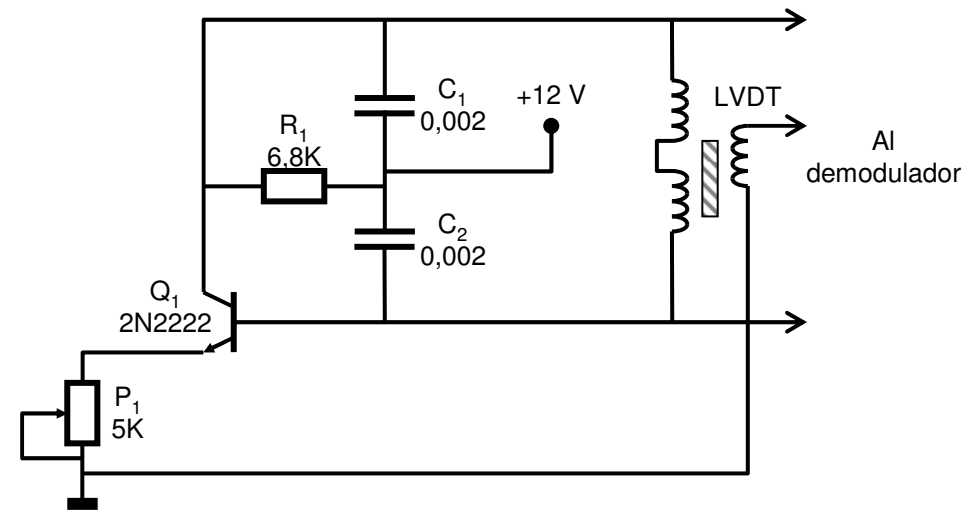
CIRCUITOS GENERADORES DE SEÑALES

Osciladores senoidales (*Sinewave generators*)

Ejemplo de osciladores LC



Oscilador Hartley



Oscilador Colpitts utilizado en un sensor LVDT

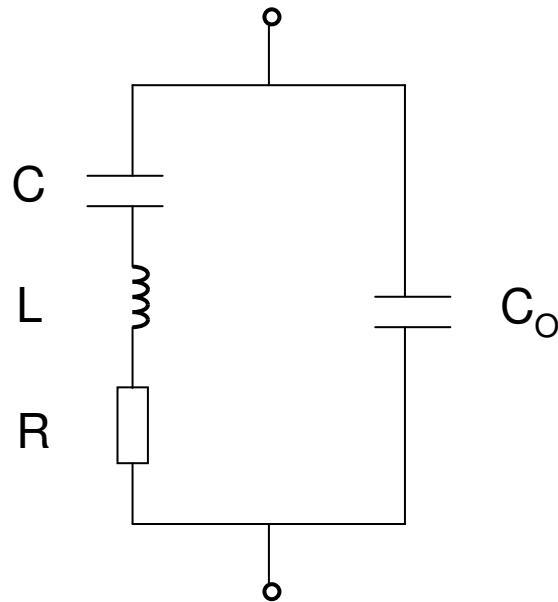


CIRCUITOS DE EXCITACIÓN

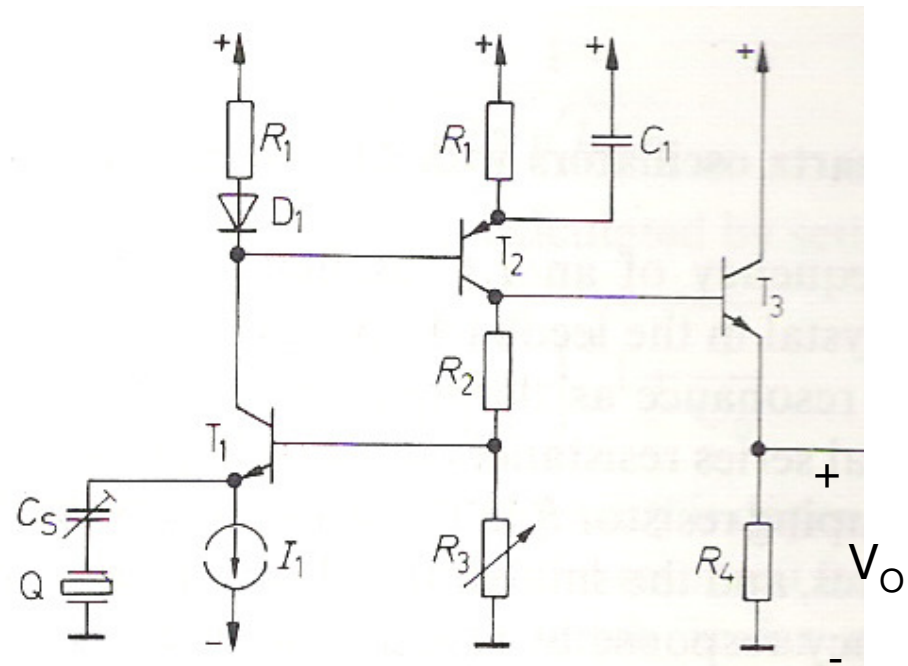
CIRCUITOS GENERADORES DE SEÑALES

Osciladores senoidales (*Sinewave generators*)

Osciladores de cristal de cuarzo



Circuito equivalente de un cristal de cuarzo



Oscilador de cristal de cuarzo



CIRCUITOS DE EXCITACIÓN

CIRCUITOS GENERADORES DE SEÑALES

Generadores de Impulsos (*Pulse generators*)

Los principales circuitos generadores de impulsos son:

- Astables (*astables, multivibrators, pulse generators or clock*)
- Temporizadores analógico-digitales (*Analog timers*)

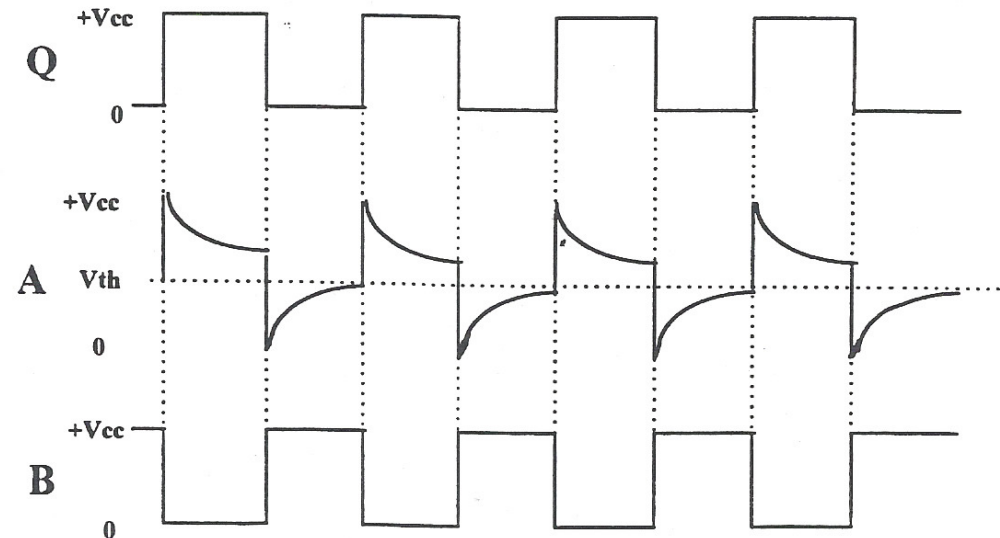
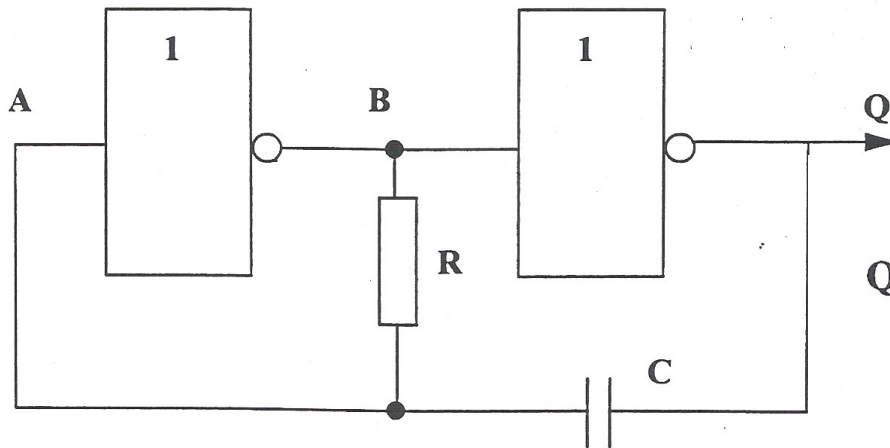


CIRCUITOS DE EXCITACIÓN

CIRCUITOS GENERADORES DE SEÑALES

Generadores de Impulsos (*Pulse generators*)

Ejemplo de Astable en tecnología CMOS



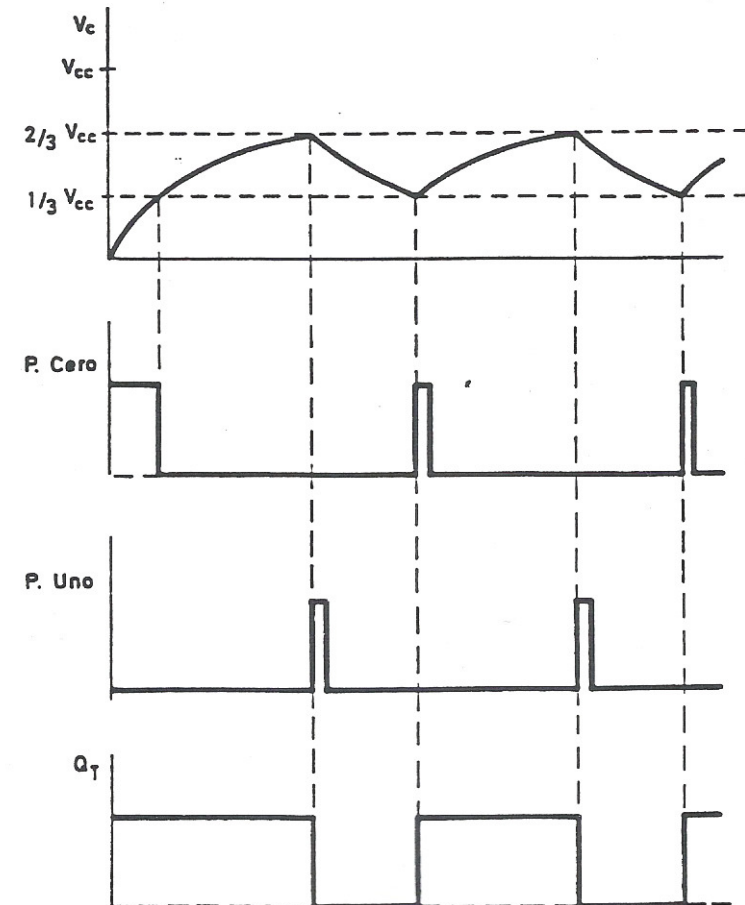
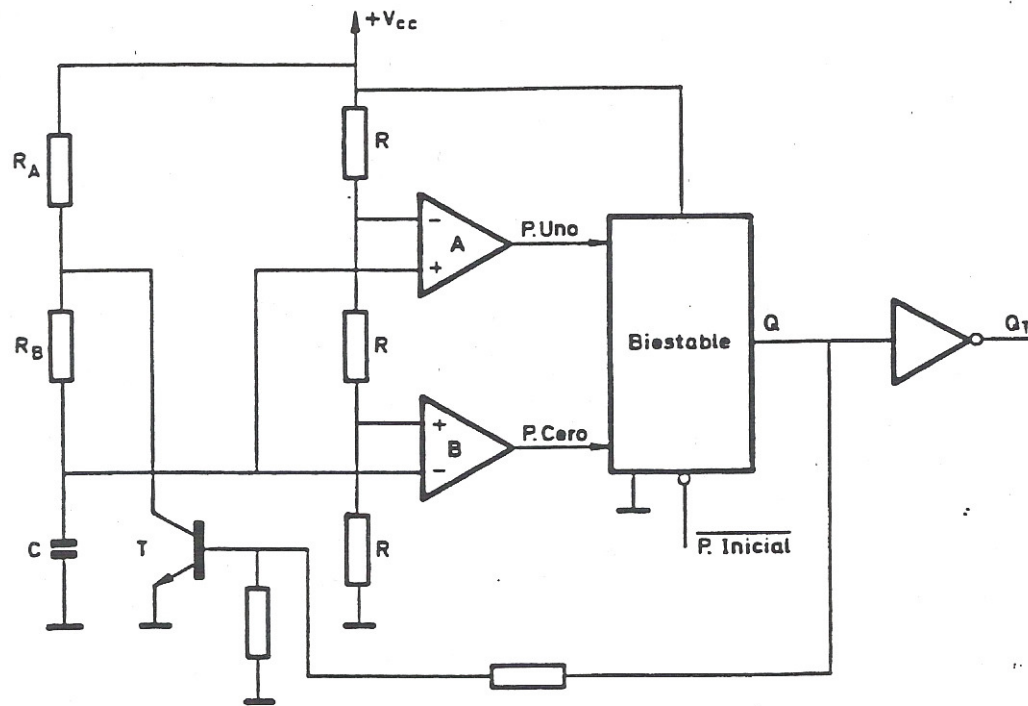


CIRCUITOS DE EXCITACIÓN

CIRCUITOS GENERADORES DE SEÑALES

Generadores de Impulsos (*Pulse generators*) [MAND 08]

Ejemplo: Astable con el circuito integrado 555



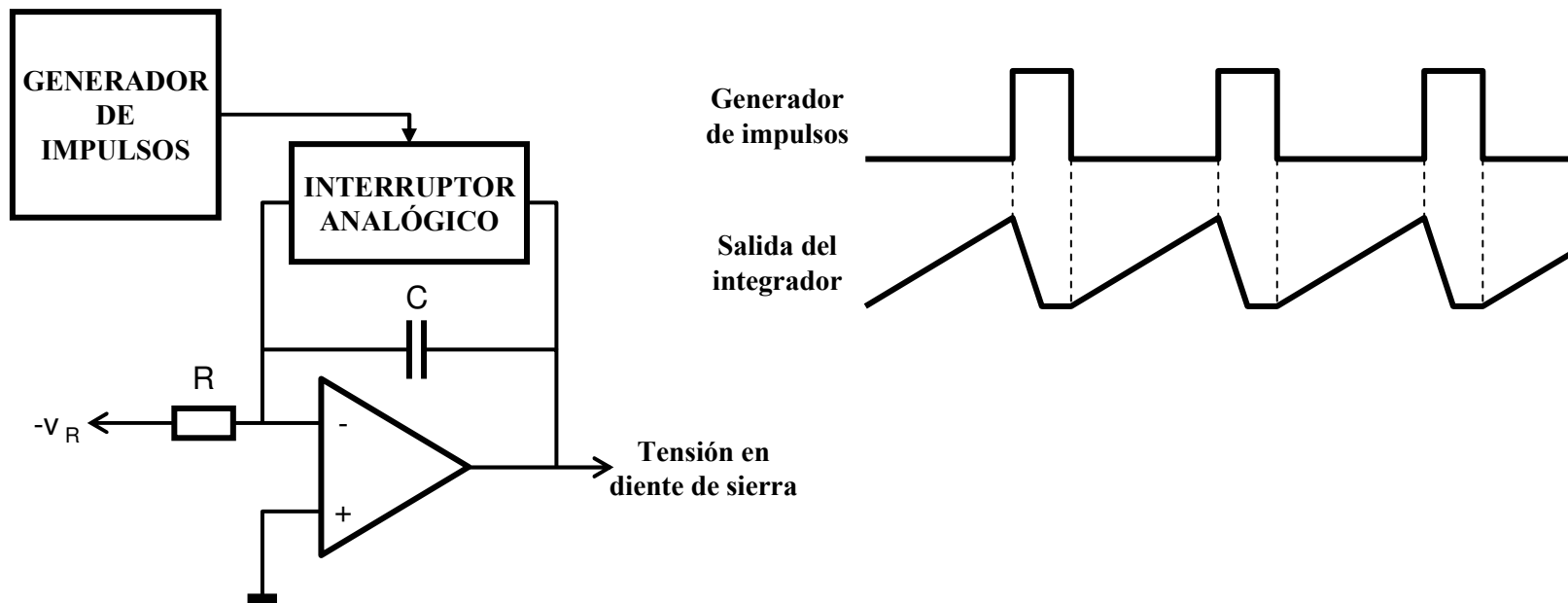


CIRCUITOS DE EXCITACIÓN

CIRCUITOS GENERADORES DE SEÑALES

Generadores de dientes de sierra (*Sawtooth generators*)

Esquema básico de un generador de diente de sierra realizado con un integrador y un generador de impulsos



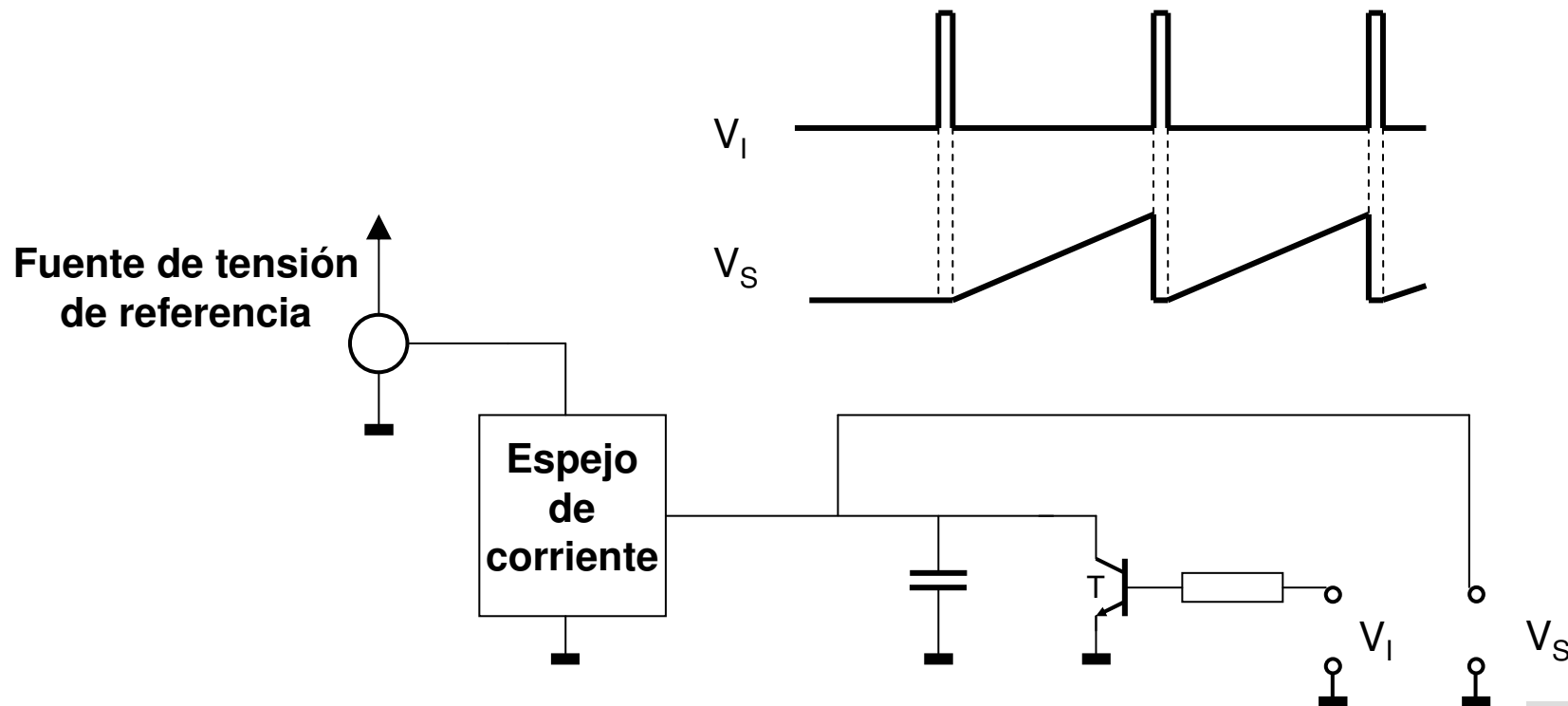


CIRCUITOS DE EXCITACIÓN

CIRCUITOS GENERADORES DE SEÑALES

Generadores de dientes de sierra (*Sawtooth generators*)

Esquema básico de un generador de dientes de sierra realizado con una fuente de tensión de referencia y un circuito espejo de corriente



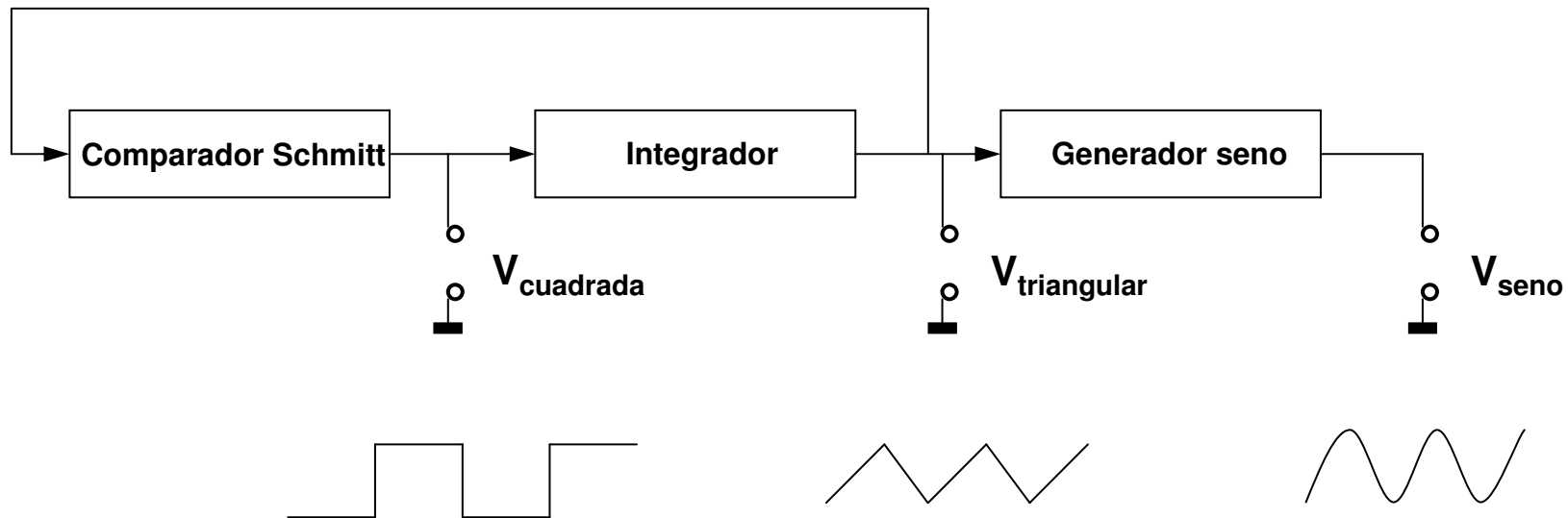


CIRCUITOS DE EXCITACIÓN

CIRCUITOS GENERADORES DE SEÑALES

GENERADORES DE FUNCIONES (*Function generators*)

Generador de señales triangulares (*Triangular waves*)
y cuadradas (*Square waves*)





CIRCUITOS ACONDICIONADORES DE SENSORES

- Circuitos adaptadores
- Circuitos amplificadores
- Circuitos de excitación
- **Circuitos convertidores de parámetro y formato**



CIRCUITOS CONVERTIDORES DE PARÁMETRO Y FORMATO

[PALL 98 pag. 458] [PERE 04, pag. 551]

- CONVERTIDORES DE PARÁMETRO

- Convertidores de tensión en corriente
- Convertidores de corriente en tensión

- CONVERTIDORES DE FORMATO

- Convertidores del formato digital al analógico
- Convertidores del formato analógico al digital
- Convertidores del formato analógico al temporal
- Convertidores del formato temporal al analógico



CIRCUITOS CONVERTIDORES DE PARÁMETRO

CONVERTIDORES DE TENSIÓN EN CORRIENTE

(VOLTAGE TO CURRENT CONVERTERS)

INTRODUCCIÓN

En un sistema de transmisión de señales analógicas en forma de una tensión que lleva la información en la amplitud, la señal recibida no coincide con la transmitida debido a la caída de tensión en los cables, que es función del tipo de material, de la temperatura, de la distancia y de la resistencia de las conexiones.

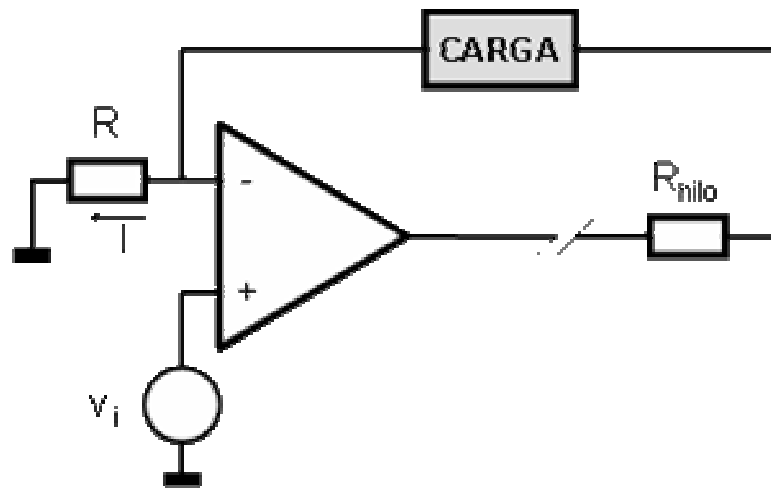
Por ello se han desarrollado convertidores de tensión en corriente que se pueden clasificar en:

- Convertidores de tensión en corriente con carga flotante
- Convertidores de tensión en corriente con carga a masa



CIRCUITOS CONVERTIDORES DE PARÁMETRO

CONVERTIDORES DE TENSIÓN EN CORRIENTE CON CARGA FLOTANTE



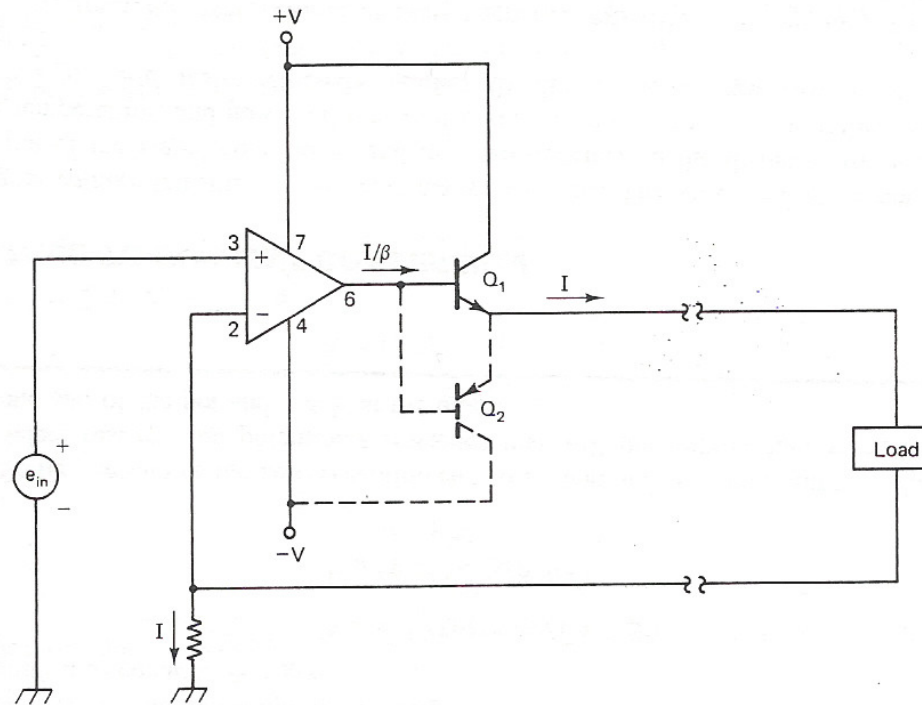
$$I = \frac{V_i}{R}$$

Circuito básico de un convertidor
de tensión en corriente con carga flotante



CIRCUITOS CONVERTIDORES DE PARÁMETRO

CONVERTIDORES DE TENSIÓN EN CORRIENTE CON CARGA FLOTANTE



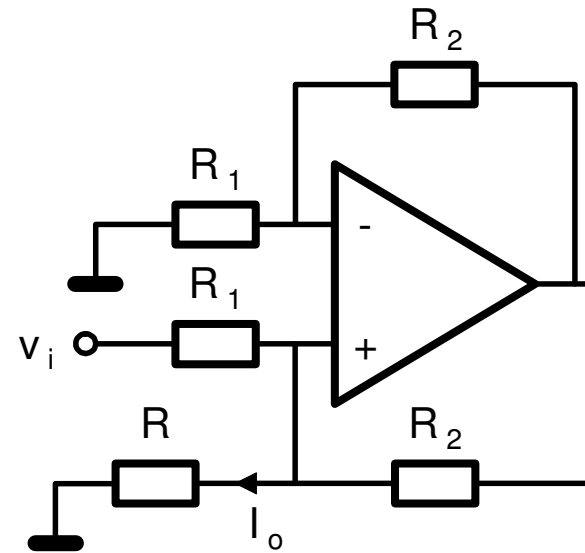
Convertidor con amplificador de corriente



CIRCUITOS CONVERTIDORES DE PARÁMETRO

CONVERTIDORES DE TENSIÓN EN CORRIENTE CON CARGA A MASA

$$i_o = \frac{V_i}{R_1}$$

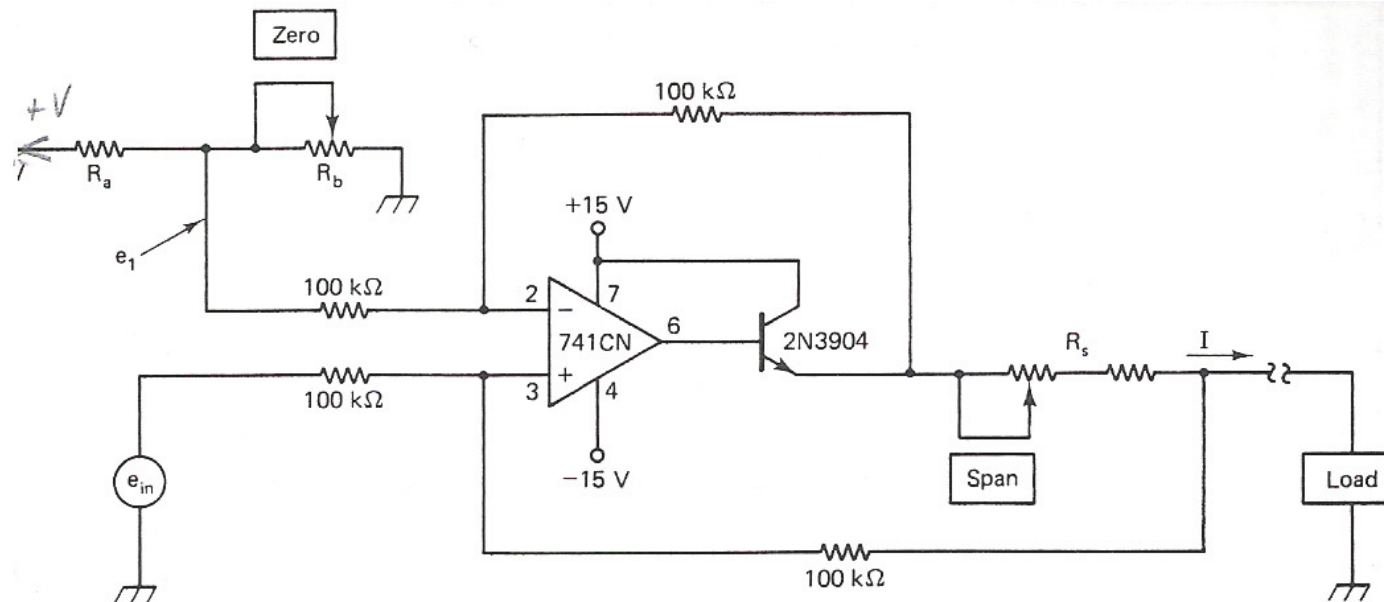


Circuito básico



CIRCUITOS CONVERTIDORES DE PARÁMETRO

CONVERTIDORES DE TENSIÓN EN CORRIENTE CON CARGA A MASA

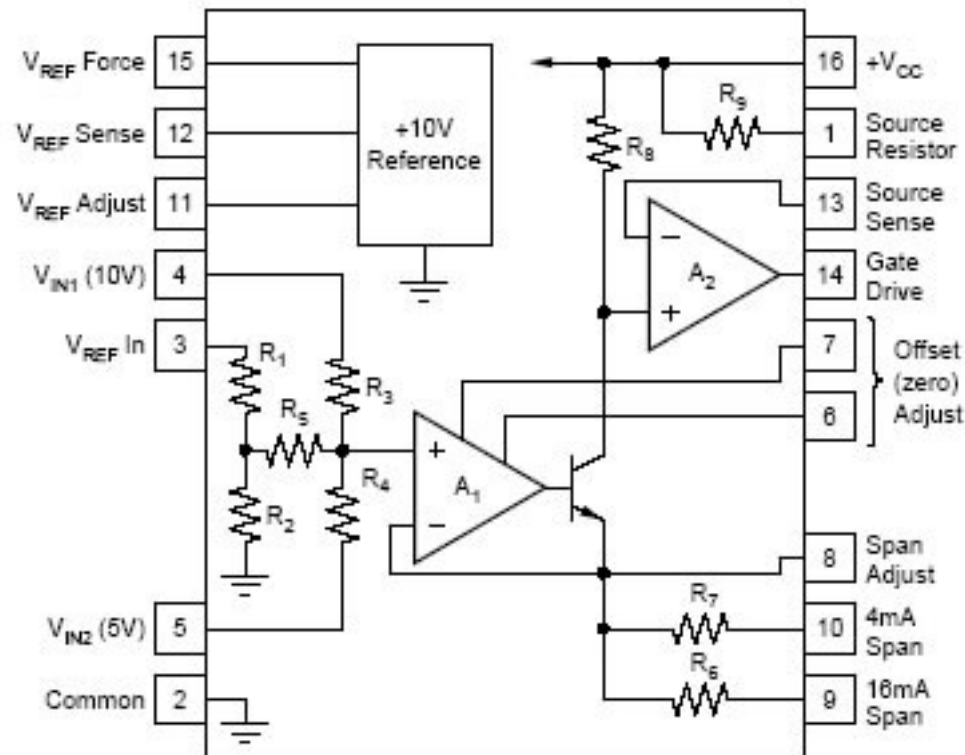


Convertidor con amplificador de corriente
y ajuste de cero (*Zero offset*) y fondo de escala (*Span*)



CIRCUITOS CONVERTIDORES DE PARÁMETRO

CONVERTIDORES DE TENSIÓN EN CORRIENTE

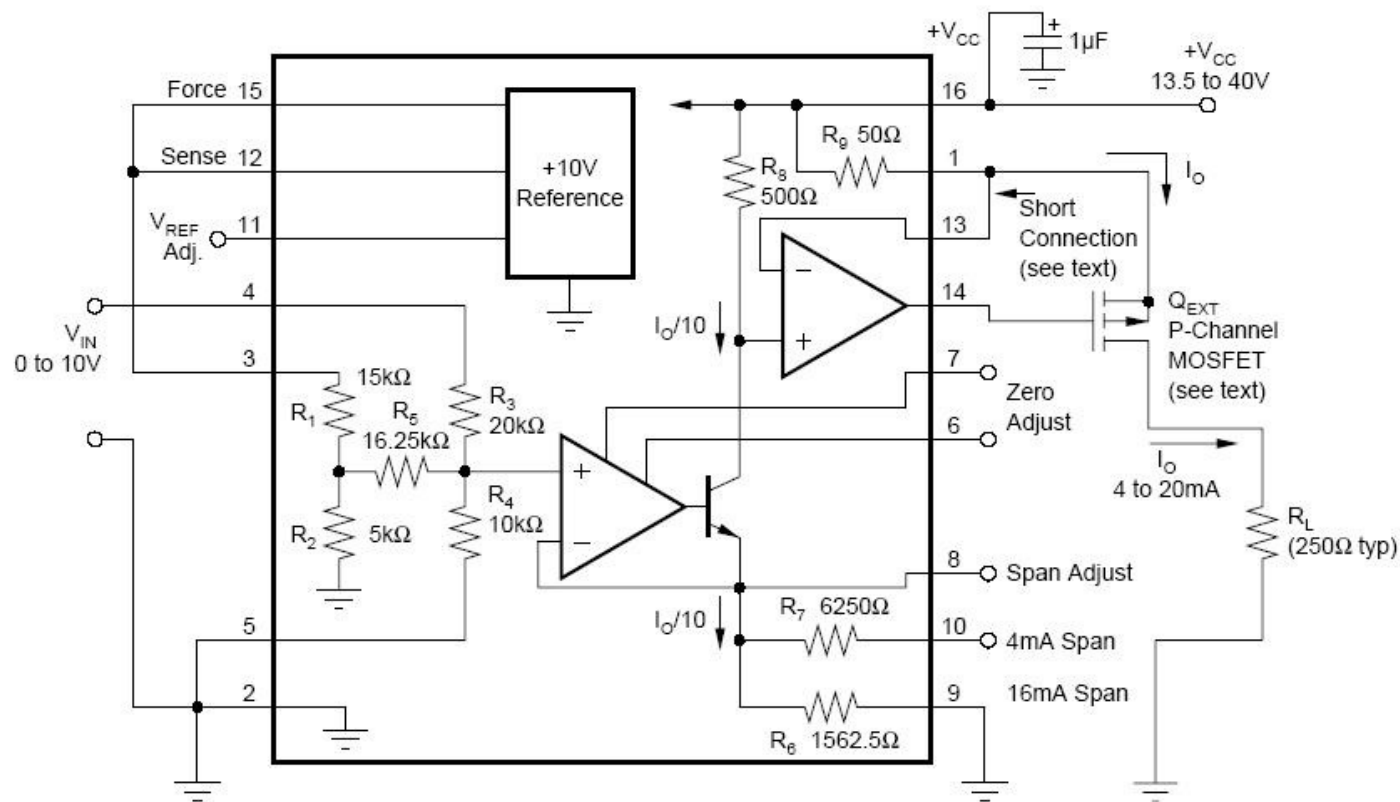


Ejemplo: XTR110



CIRCUITOS CONVERTIDORES DE PARÁMETRO

CONVERTIDORES DE TENSIÓN EN CORRIENTE

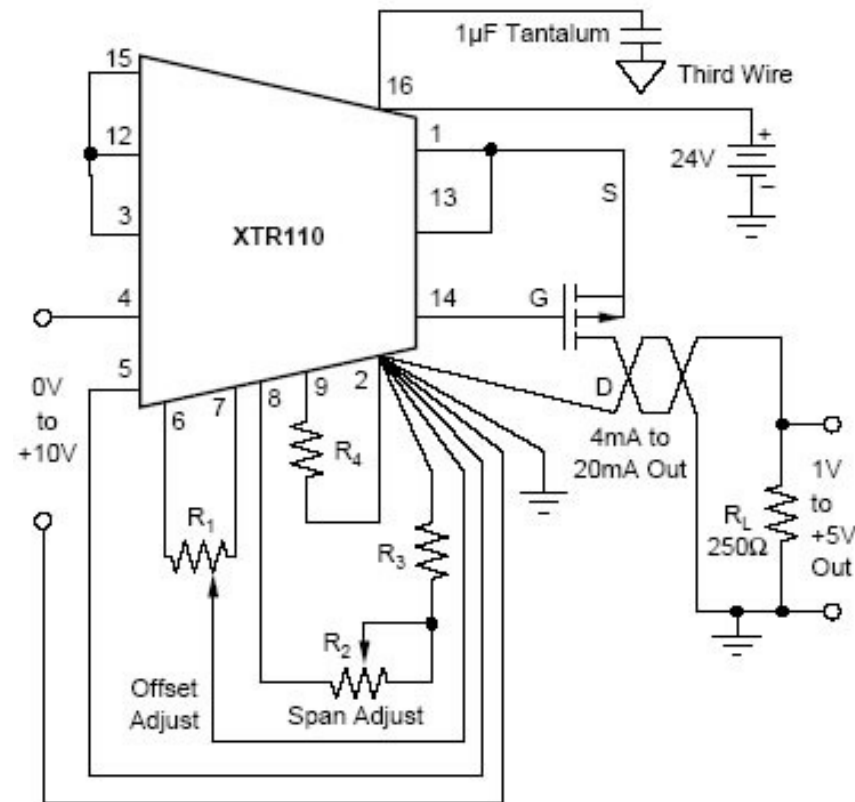


Circuito básico de aplicación del XTR110



CIRCUITOS CONVERTIDORES DE PARÁMETRO

CONVERTIDORES DE TENSIÓN EN CORRIENTE

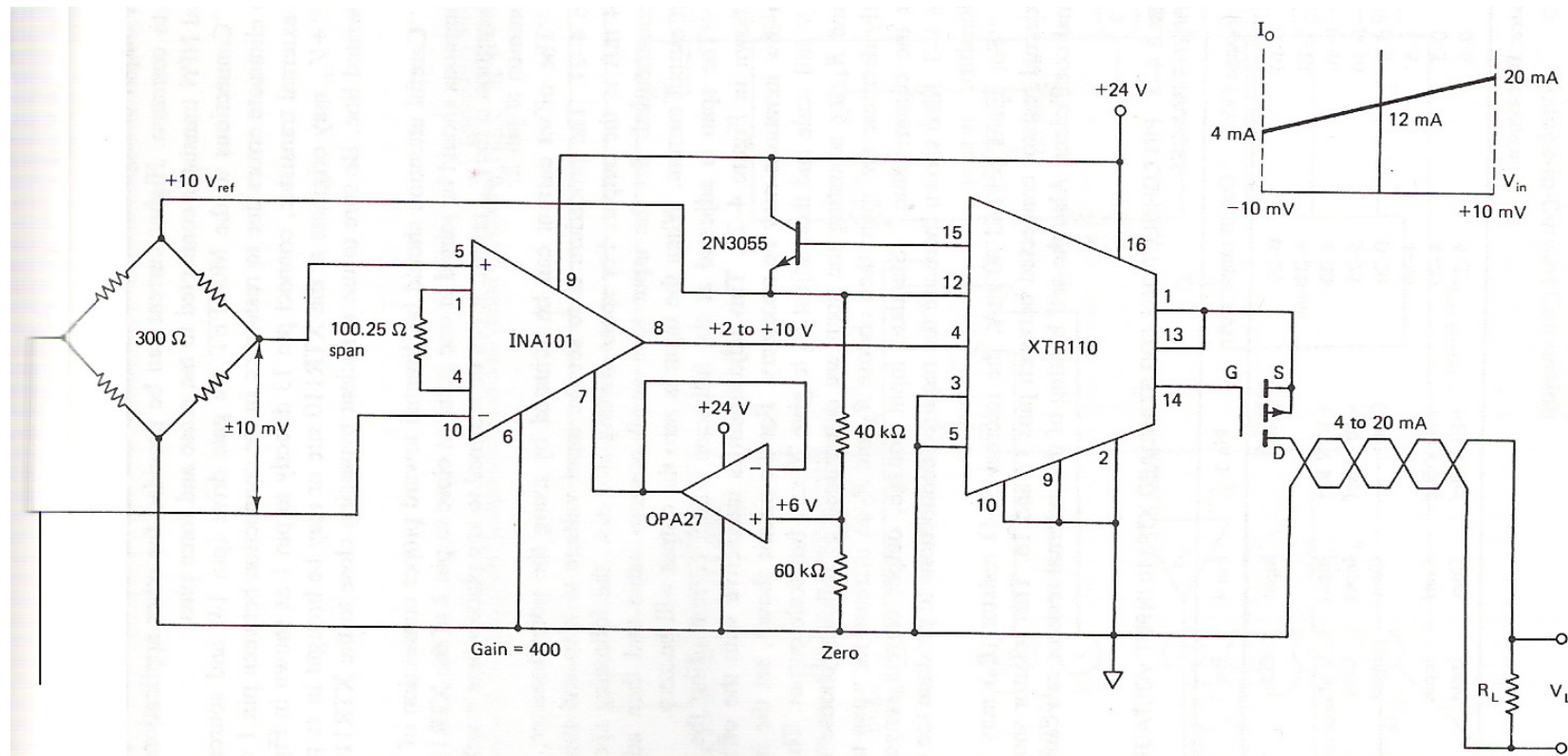


Ejemplo de aplicación del circuito XTR110 con ajuste de cero y de fondo de escala



CIRCUITOS CONVERTIDORES DE PARÁMETRO

CONVERTIDORES DE TENSIÓN EN CORRIENTE



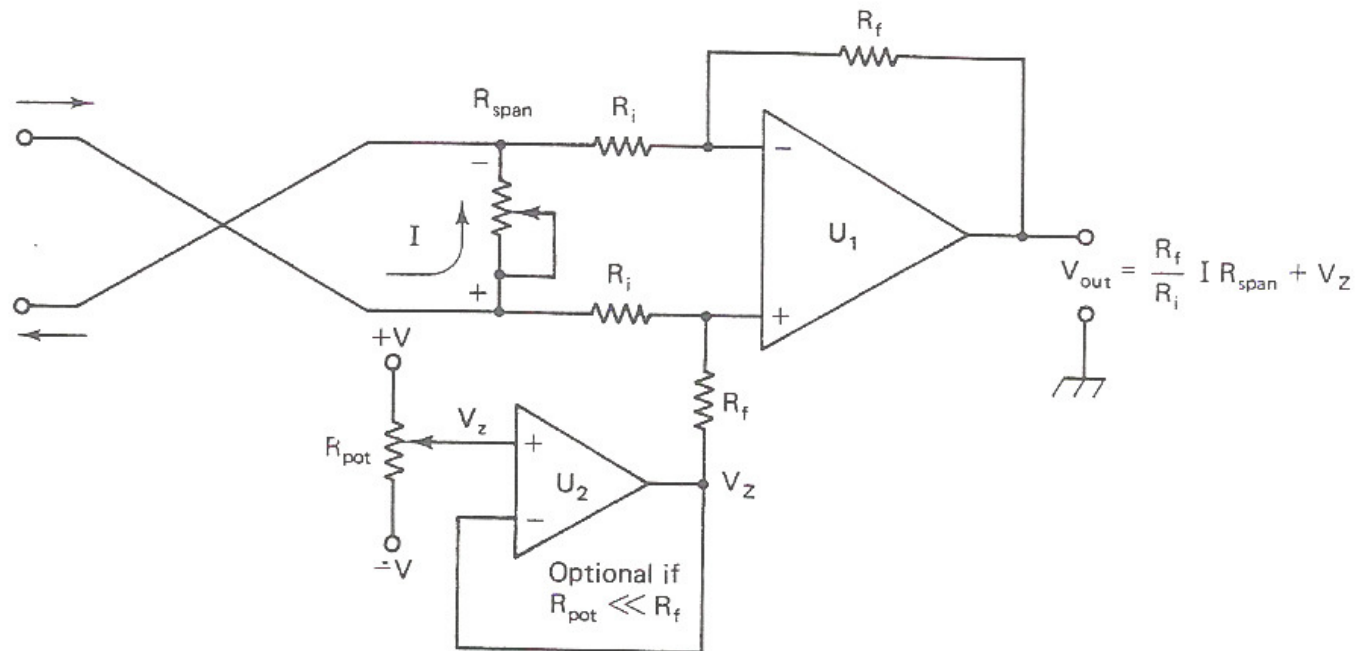
Aplicación del XTR110 a la transmisión a distancia de la señal procedente de un puente de medida



CIRCUITOS CONVERTIDORES DE PARÁMETRO

CONVERTIDORES DE CORRIENTE EN TENSIÓN

CON ENTRADA FLOTANTE (NO REFERIDA A MASA)

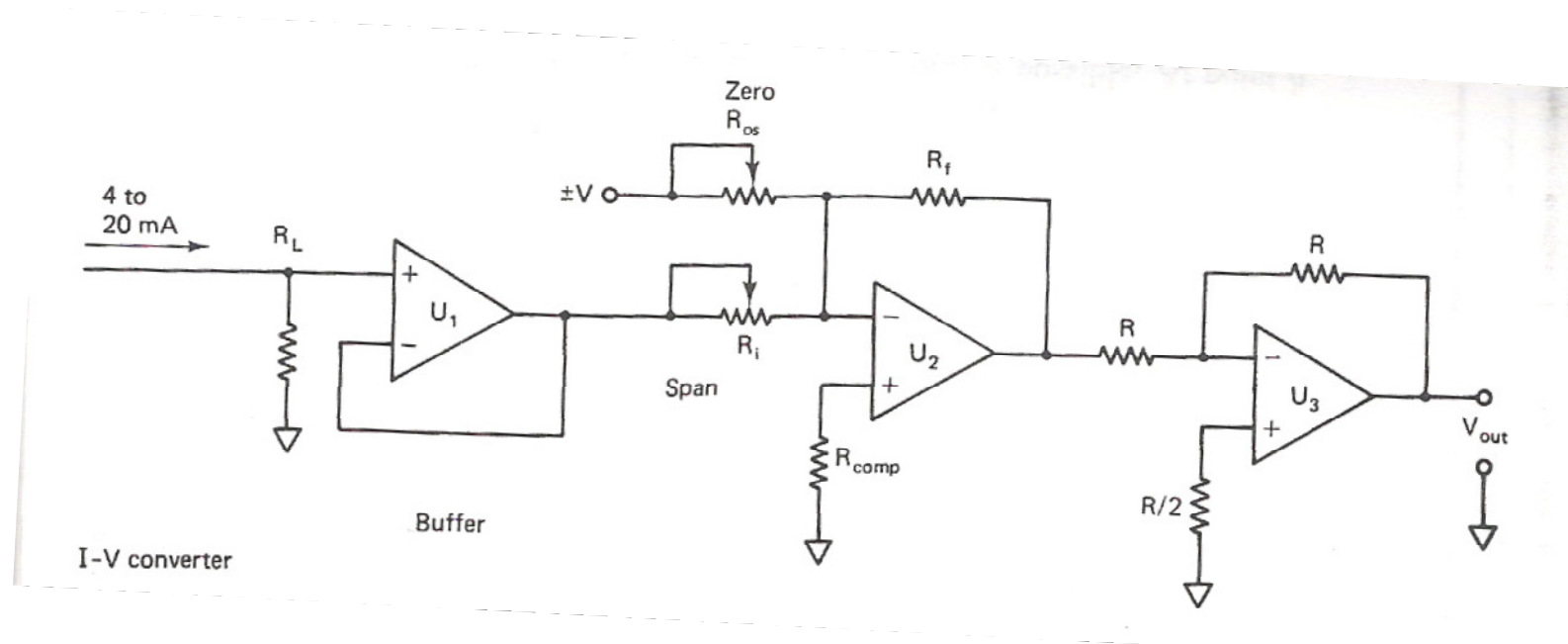


Circuito básico



CIRCUITOS CONVERTIDORES DE PARÁMETRO

CONVERTIDORES DE CORRIENTE EN TENSIÓN CON ENTRADA REFERIDA A MASA



Circuito básico



CIRCUITOS CONVERTIDORES DE FORMATO

CONVERTIDORES DEL FORMATO DIGITAL AL ANALÓGICO (D/A)

[PERE 04, pag. 617]

Son sistemas electrónicos que convierten una información binaria codificada en un determinado código binario (binario natural, BCD natural, etc.) en una tensión o una corriente analógicas.

Existen diferentes tipos de convertidores D/A entre los que cabe citar:

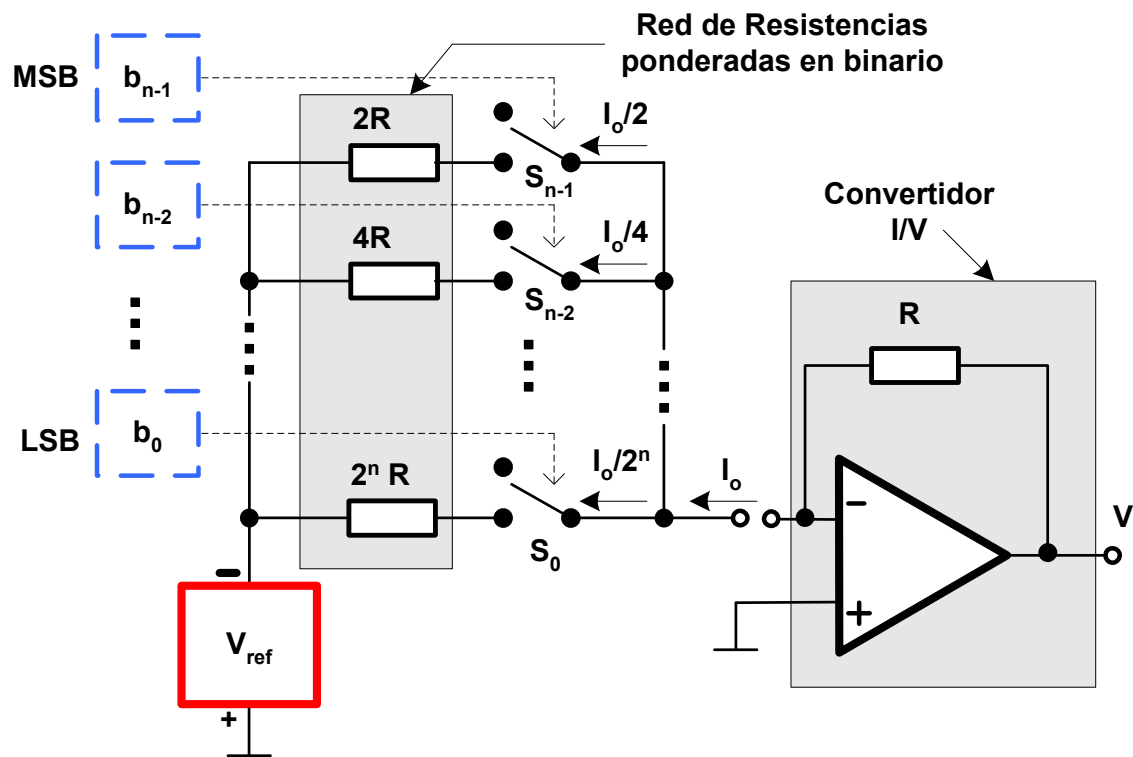
- Convertidores D/A de resistencias ponderadas
- Convertidores D/A de resistencias en escalera (*ladder*)
- Convertidores D/A de tensiones o corrientes segmentadas
- Convertidores D/A Sigma-Delta



CIRCUITOS CONVERTIDORES DE FORMATO

CONVERTIDORES DEL FORMATO DIGITAL AL ANALÓGICO (D/A)

Convertidor de resistencias ponderadas



$$-I_o = \frac{V_{ref}}{2^n R} \cdot \sum_{i=0}^{n-1} 2^i \cdot b_i$$

$$V_o = \frac{V_{ref}}{2^n} \cdot \sum_{i=0}^{n-1} 2^i \cdot b_i$$



CIRCUITOS CONVERTIDORES DE FORMATO **CONVERTIDORES DEL FORMATO ANALÓGICO AL DIGITAL (D/A)**

Son sistemas electrónicos que convierten una tensión o una corriente analógicas en una información binaria codificada en un determinado código binario (binario natural, BCD natural, etc.) .

Existen diferentes tipos de convertidores A/D entre los que cabe citar:

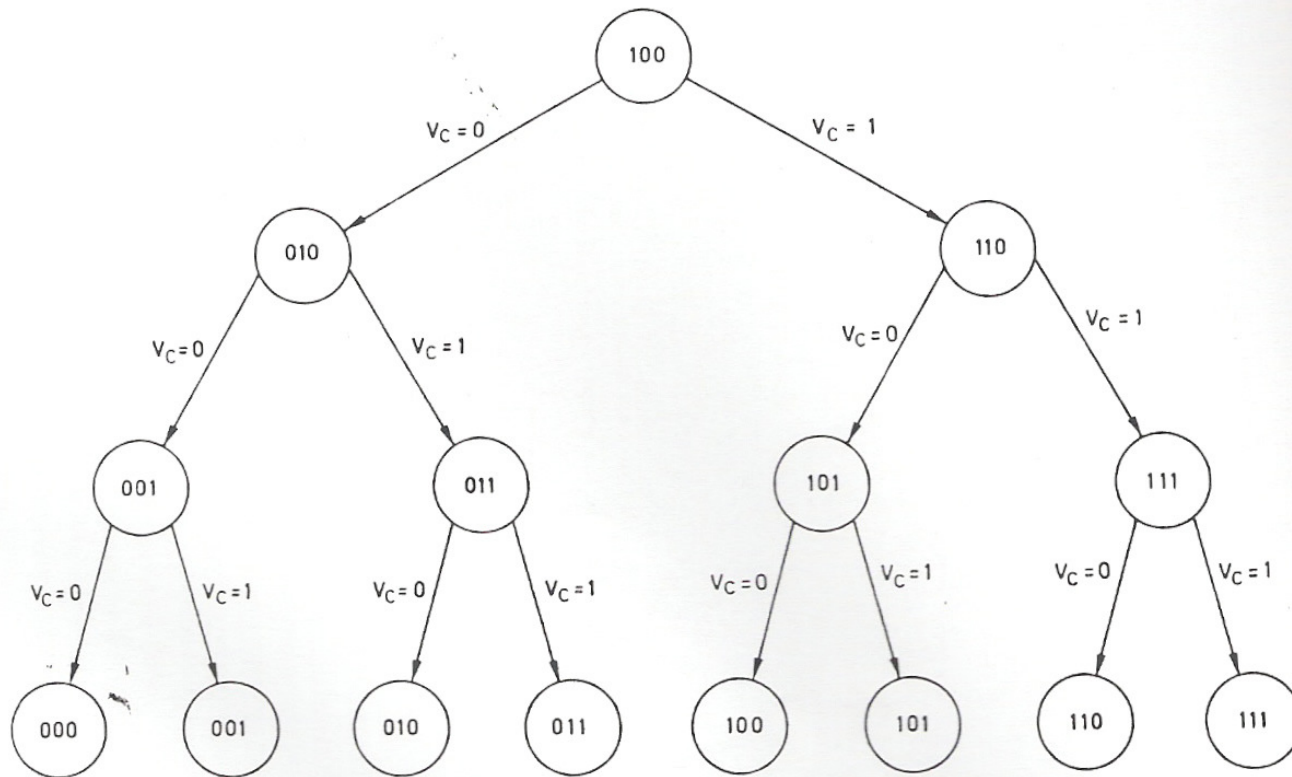
- Convertidores A/D simultáneos (Flash A/D Converters) y semi-simultáneos (Half Flash A/D Converters)
- Convertidores A/D implementados con convertidor D/A
 - Convertidor de rampa digital (tracking A/D Converters)
 - Convertidor de aproximaciones sucesivas
- Convertidores A/D de rampa analógica simple, doble o triple
- Convertidores A/D Sigma-Delta



CIRCUITOS CONVERTIDORES DE FORMATO

CONVERTIDORES DEL FORMATO ANALÓGICO AL DIGITAL (D/A)

Convertidor de aproximaciones sucesivas

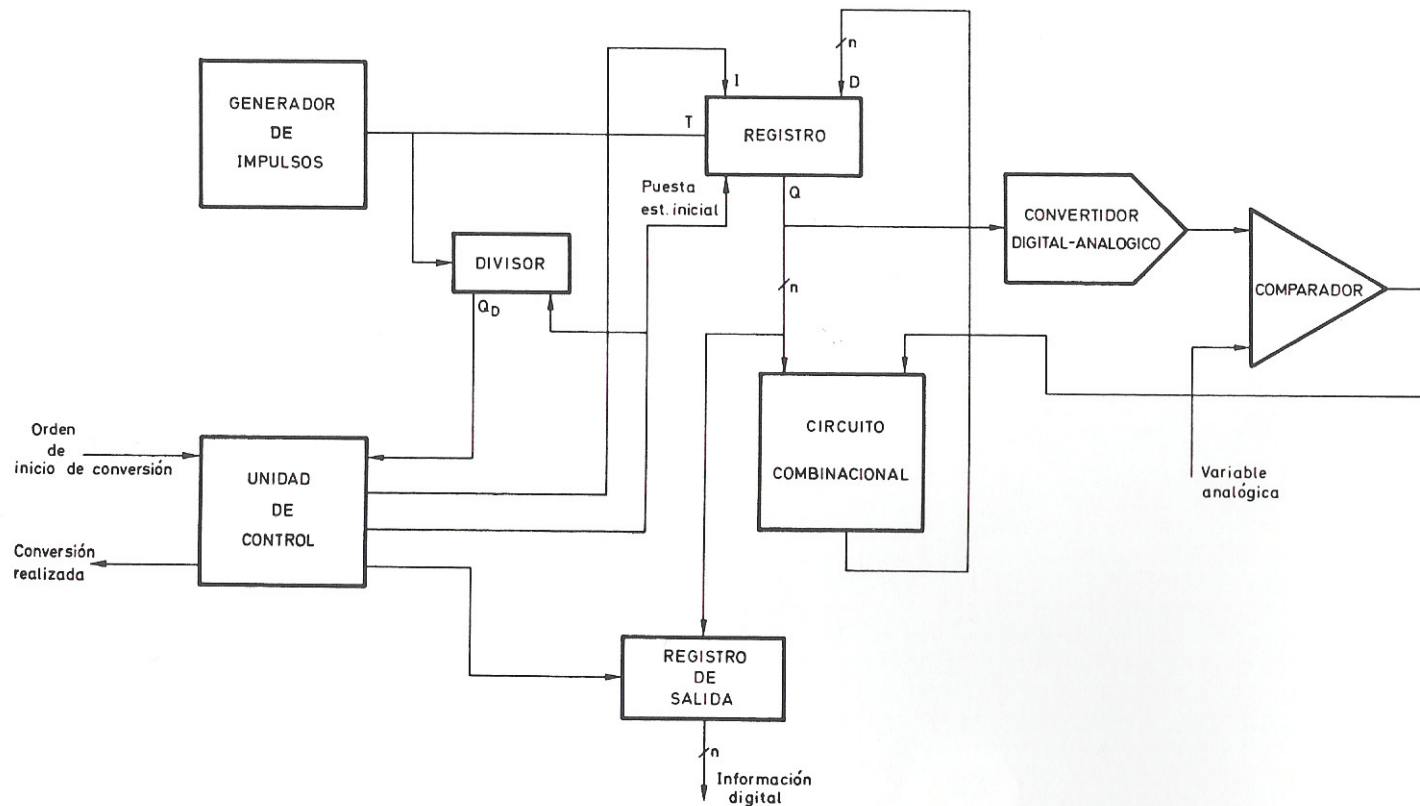


Evolución del resultado de las comparaciones sucesivas



CIRCUITOS CONVERTIDORES DE FORMATO

CONVERTIDORES DEL FORMATO ANALÓGICO AL DIGITAL (D/A)



Esquema de bloques de un convertidor A/D de aproximaciones sucesivas



CIRCUITOS CONVERTIDORES DE FORMATO

CONVERTIDORES DEL FORMATO ANALÓGICO AL TEMPORAL

[PALL 98 pag. 441] [PERE 04, pag. 663]

Son sistemas electrónicos que convierten una tensión o una corriente analógicas en una variable que lleva la información en algún parámetro temporal.

Los más utilizados son:

- Convertidores de tensión en frecuencia (V/f)
- Convertidores de tensión en anchura de impulso (V/PWM)

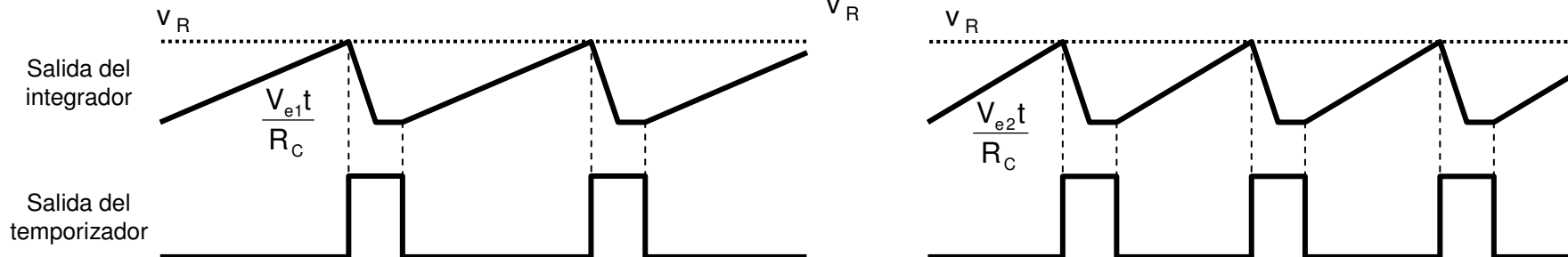
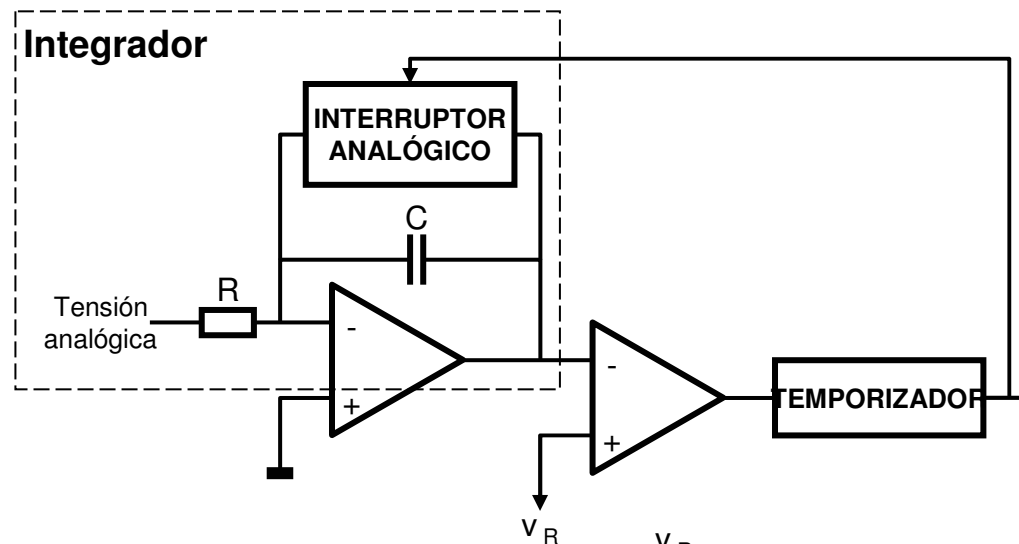


CIRCUITOS CONVERTIDORES DE FORMATO

CONVERTIDORES DEL FORMATO ANALÓGICO AL TEMPORAL

CONVERTIDORES DE TENSIÓN EN FRECUENCIA (V/f)

Implementación con un integrador, un comparador y un temporizador



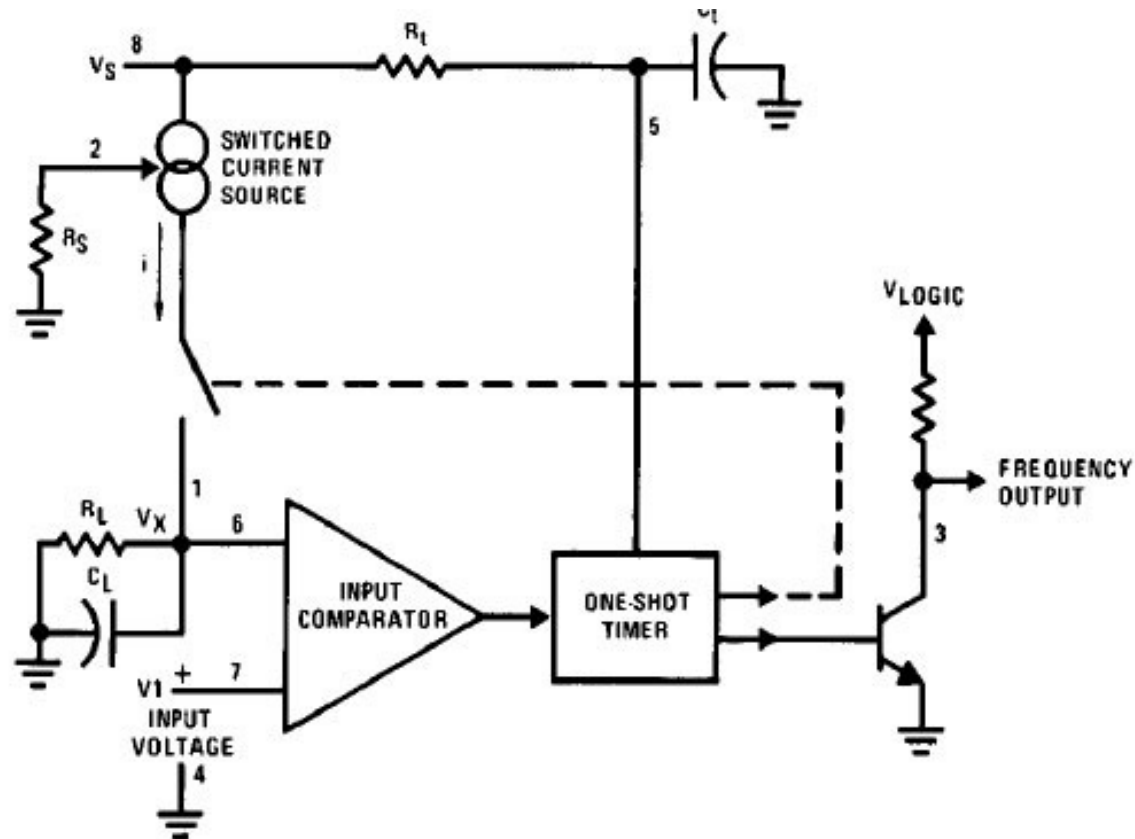


CIRCUITOS CONVERTIDORES DE FORMATO

CONVERTIDORES DEL FORMATO ANALÓGICO AL TEMPORAL

CONVERTIDORES DE TENSIÓN EN FRECUENCIA (V/f)

Implementación con bomba de corriente (*Current pump*)

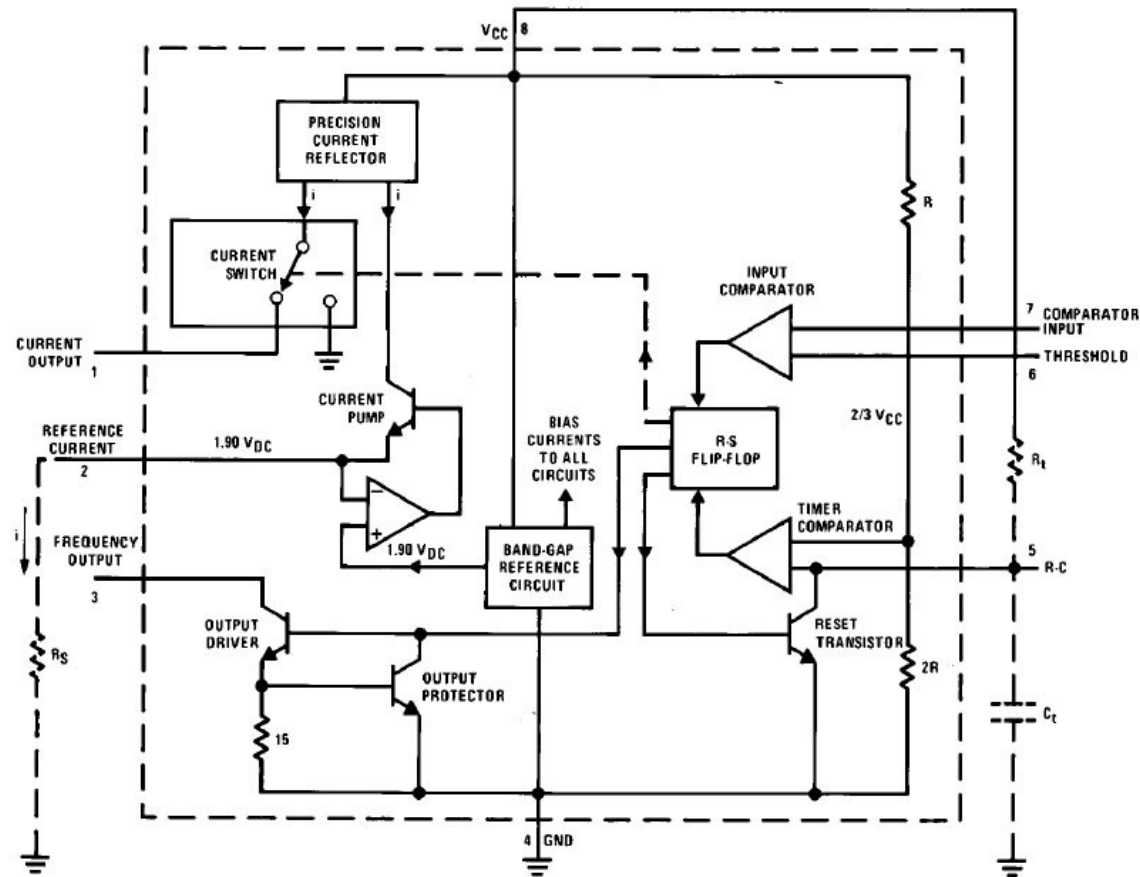




CIRCUITOS CONVERTIDORES DE FORMATO

CONVERTIDORES DEL FORMATO ANALÓGICO AL TEMPORAL

CONVERTIDOR DE TENSIÓN EN FRECUENCIA (V/f)



El convertidor tensión/frecuencia con bomba de corriente: LM331

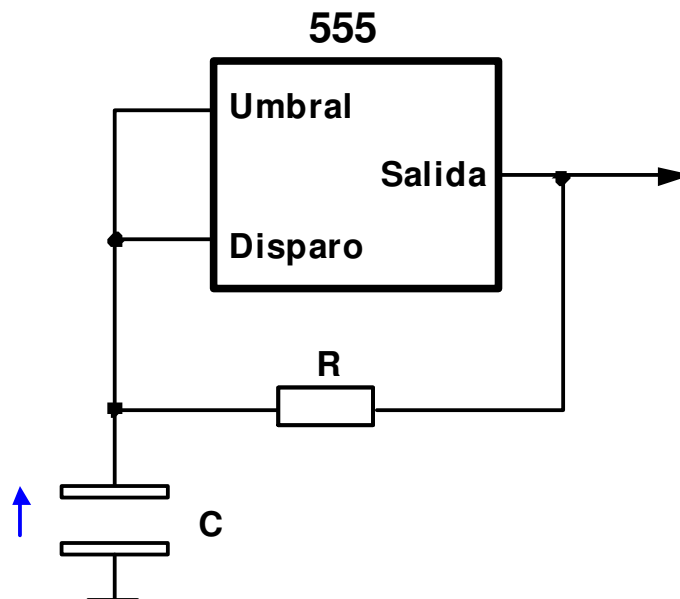


CIRCUITOS CONVERTIDORES DE FORMATO CONVERTIDORES DEL FORMATO ANALÓGICO AL TEMPORAL

CONVERTIDORES DE TENSIÓN EN FRECUENCIA (V/f)

Implementación con un generador de impulsos de frecuencia variable.

Utilización como circuito de acondicionamiento de un sensor capacitivo.



$$f_{osc} = \frac{1}{1,4RC}$$

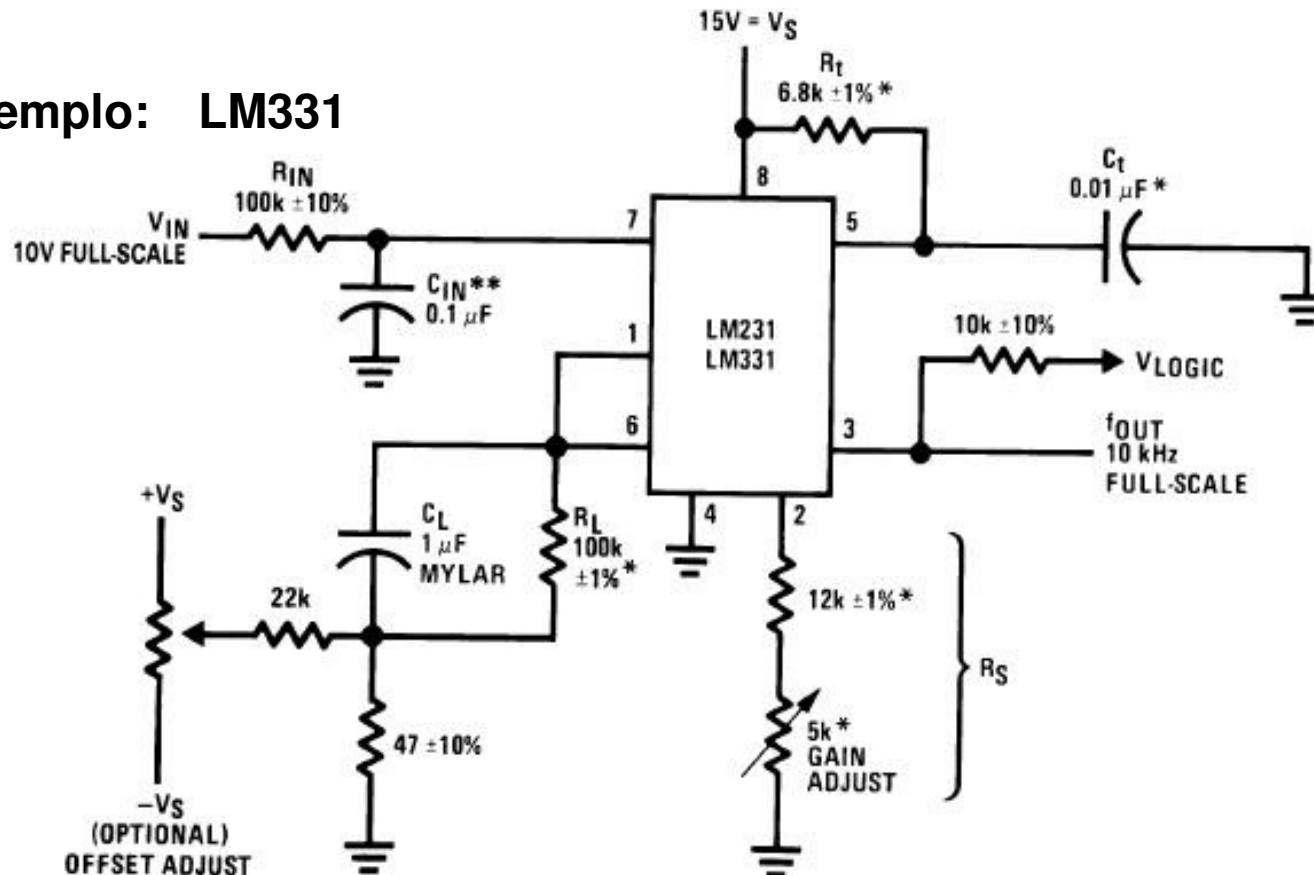


CIRCUITOS CONVERTIDORES DE FORMATO

CONVERTIDORES DEL FORMATO ANALÓGICO AL TEMPORAL

CONVERTIDORES DE TENSIÓN EN FRECUENCIA (V/f)

Ejemplo: LM331

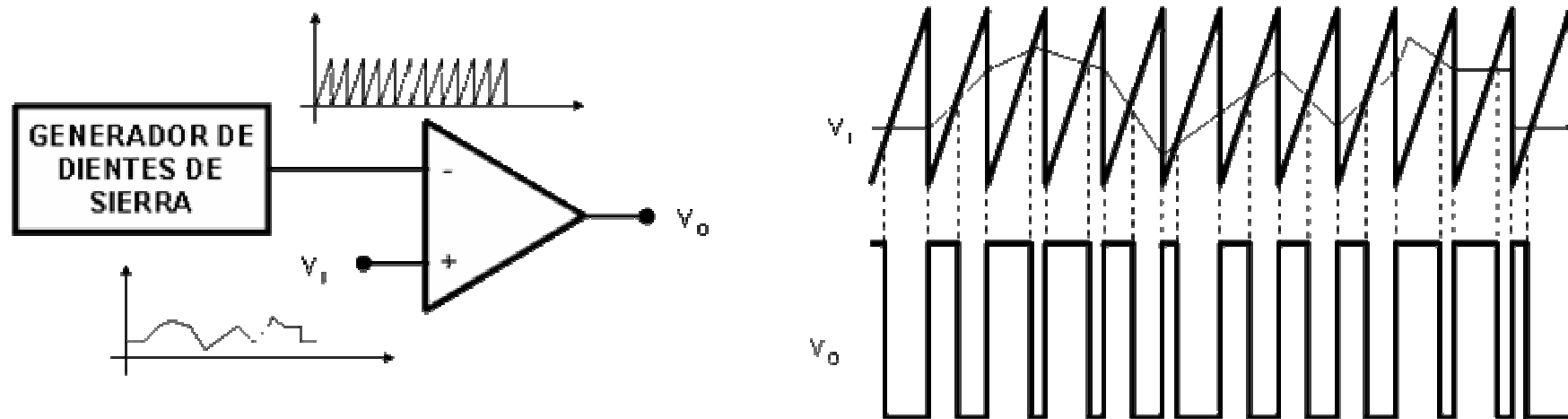




CIRCUITOS CONVERTIDORES DE FORMATO

CONVERTIDORES DEL FORMATO ANALÓGICO AL TEMPORAL

CONVERTIDORES DE TENSIÓN EN ANCHURA DE IMPULSO (V/PWM)





CIRCUITOS CONVERTIDORES DE FORMATO **CONVERTIDORES DEL FORMATO TEMPORAL AL ANALÓGICO**

Son sistemas electrónicos que convierten una señal temporal en una tensión o una corriente analógicas.

Los más utilizados son:

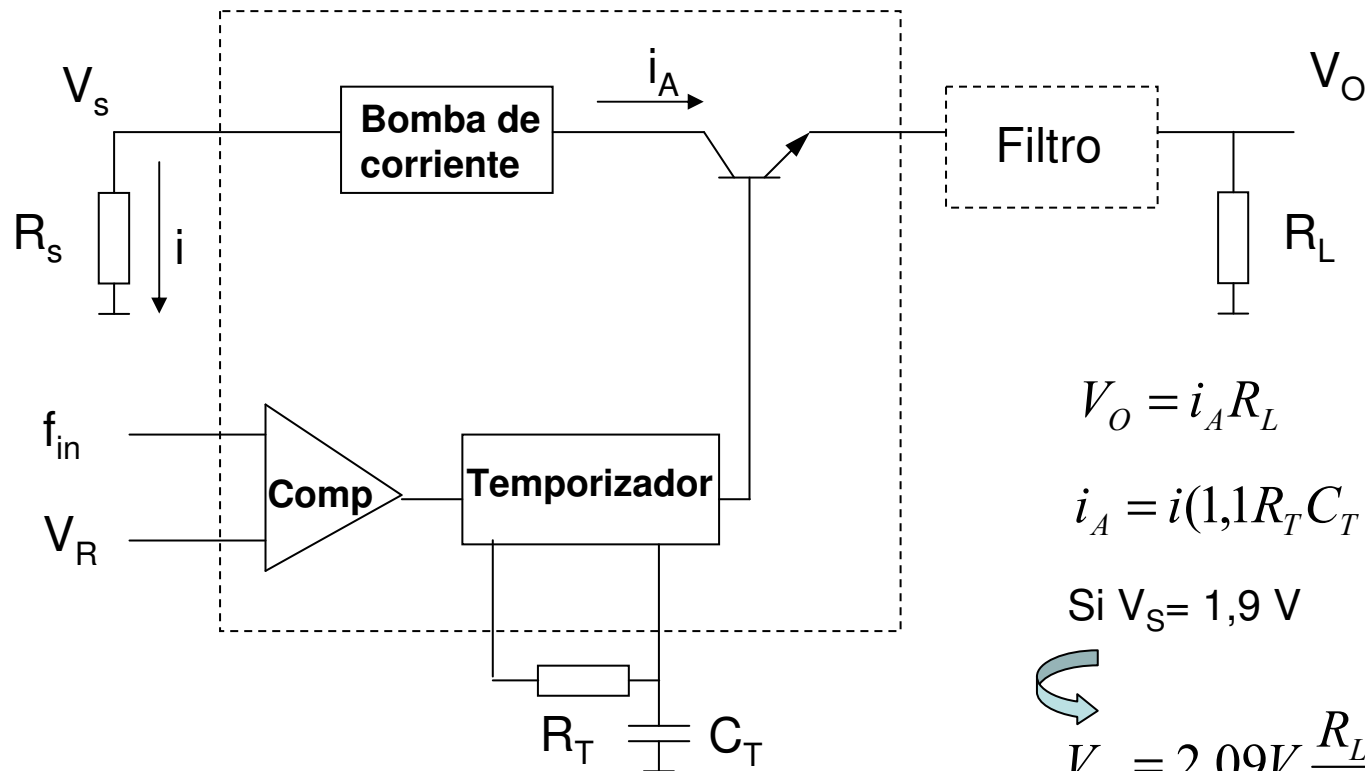
- Convertidores de frecuencia en tensión (f/V)
- Convertidores de anchura de impulso en tensión (PWM/V)



CIRCUITOS CONVERTIDORES DE FORMATO

CONVERTIDORES DEL FORMATO TEMPORAL AL ANALÓGICO

CONVERTIDORES DE FRECUENCIA EN TENSIÓN (f/V)



$$V_O = i_A R_L$$

$$i_A = i(1,1R_T C_T) f_{in}$$

Si $V_S = 1,9 \text{ V}$

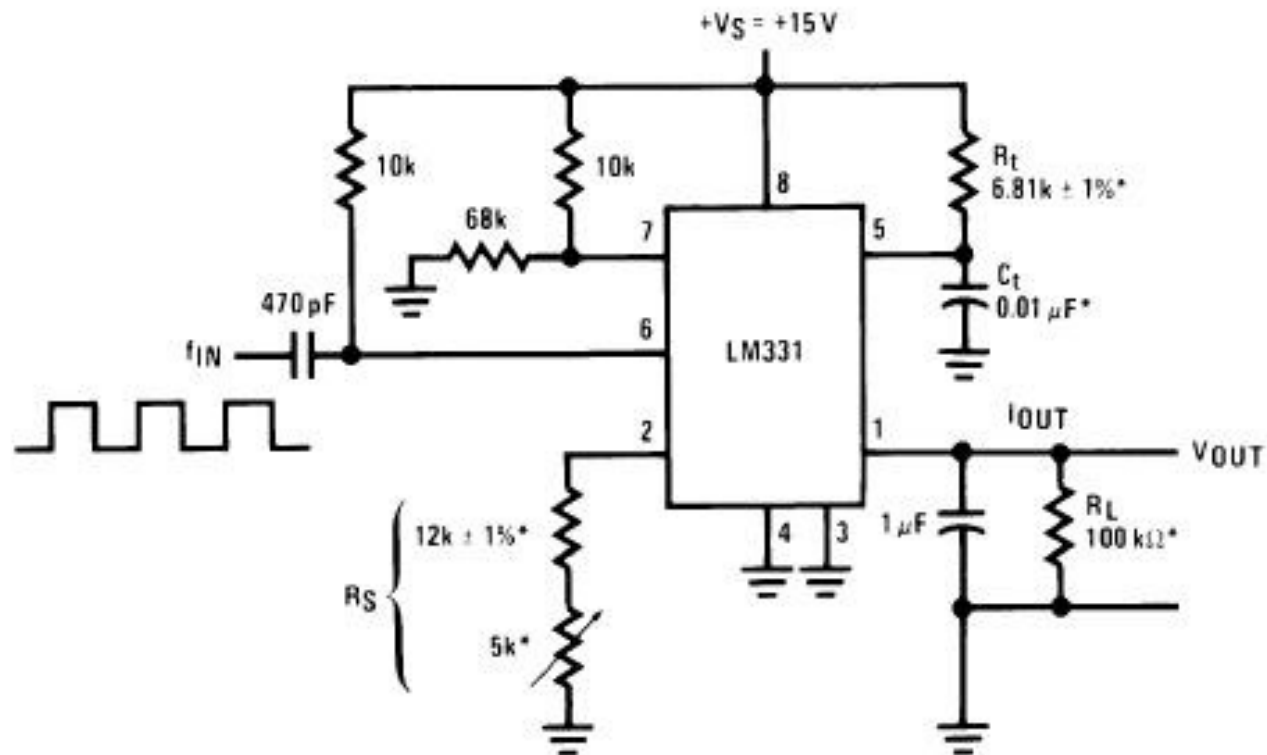
$$V_O = 2,09V \frac{R_L}{R_S} (R_T C_T) f_{in}$$



CIRCUITOS CONVERTIDORES DE FORMATO

CONVERTIDORES DEL FORMATO TEMPORAL AL ANALÓGICO

CONVERTIDORES DE FRECUENCIA EN TENSIÓN (f/V)



Ejemplo: Circuito de aplicación del LM331



CIRCUITOS CONVERTIDORES DE FORMATO

CONVERTIDORES DEL FORMATO TEMPORAL AL ANALÓGICO

CONVERTIDORES DE ANCHURA DE IMPULSO EN TENSIÓN (PWM/V)

