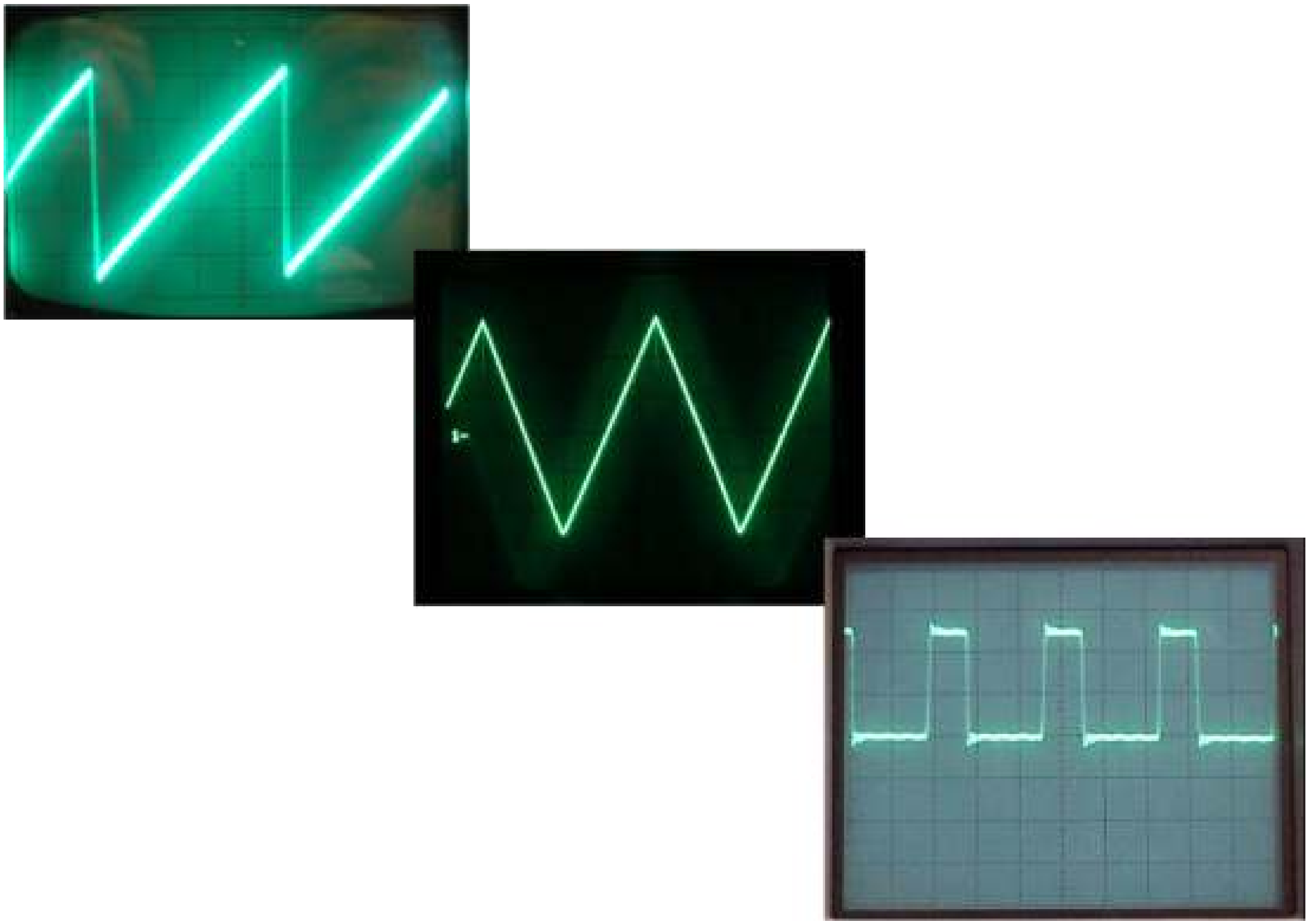
# Osciladores no sinusoidales

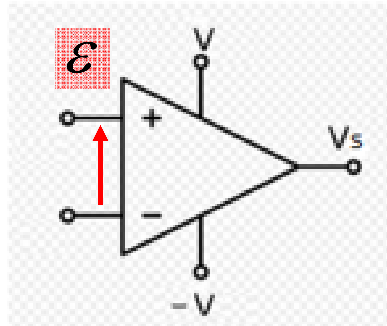


Capacidades de los estudiantes al terminar esta unidad:

- Identificar los componentes y régimen de operación de los osciladores de relajación
- Dimensionar los componentes necesarios para establecer requerimientos de forma de onda, frecuencia y nivel de salida en osciladores de relajación

**OSCILADORES NO-SINUSOIDALES DE RELAJACION**

Dispositivo amplificador:



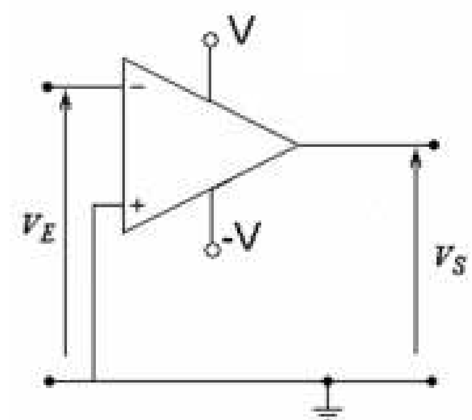

Lo usamos como comparador

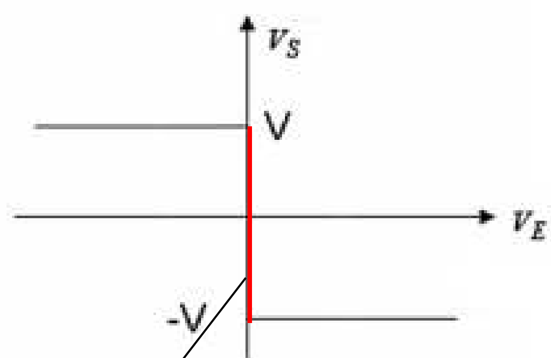
El circuito externo no provocará realimentación negativa

$\varepsilon$ tomará cualquier valor

Vs, sólo dos valores posibles

$$\begin{cases} V_S \simeq V \quad si \quad \varepsilon > 0 \\ V_S \simeq -V \quad si \quad \varepsilon < 0 \end{cases}$$




Importante: velocidad de transición (rise *time*)

LM339, TL331, LM311...
4V/us (LM741: 0,5V/us)

**Muchos osciladores de relajación están basados en el comparador regenerativo o *Schmitt trigger***

**Características del comparador de Schmitt:**

-Detecta niveles definidos de señales lentas y genera transiciones abruptas.
-El intervalo de tensión de histéresis es ajustable.
-Genera ondas rectangulares a partir de señales que varían lentamente en el tiempo.

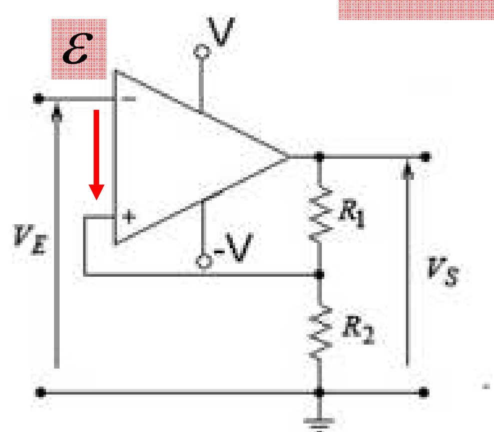
**Comparador de Schmitt con referencia cero**

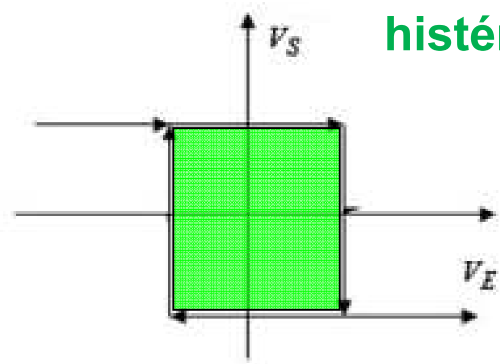
1- Modo Inversor

Con *VE* positivos *Vs* termina siendo negativa (inversor)

$$\varepsilon > 0 \Rightarrow Vo = V$$

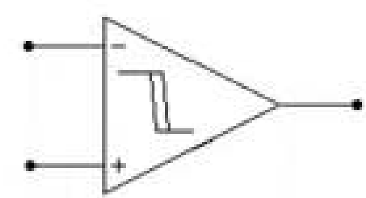
$$\varepsilon < 0 \Rightarrow Vo = -V$$



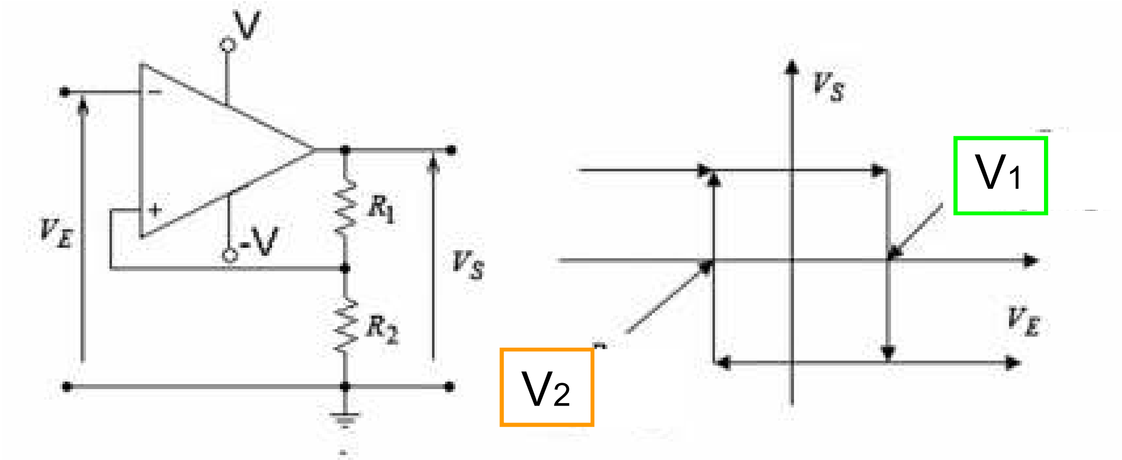




**ventana de histéresis**

Símbolo del ST



# Comparador de Schmitt inversor

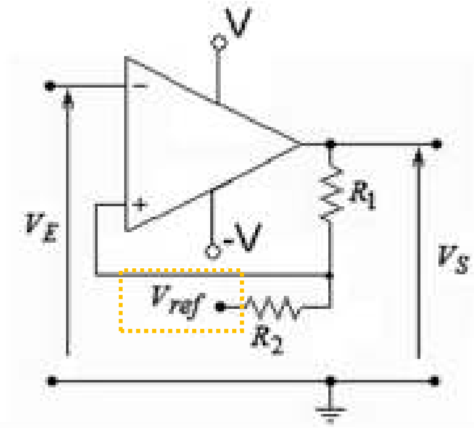


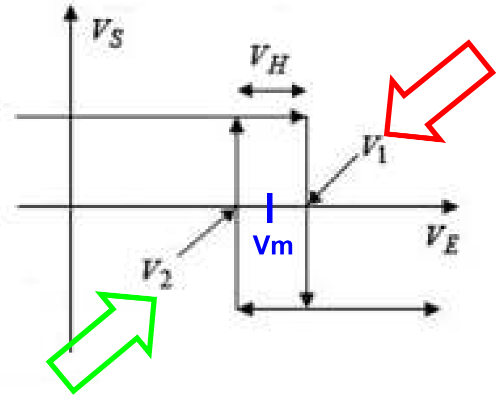

a) Cuando $V_S = V$ el umbral de transición es $\boxed{V_E = V_1}$ donde $V_1 = V \dfrac{R_2}{R_1 + R_2}$

b) Cuando $V_S = -V$ el umbral de tranción es $\boxed{V_E = V_2}$ donde $V_2 = -V \dfrac{R_2}{R_1 + R_2}$

Umbral no es constante como en el comparador a lazo abierto

### Disparador de Schmitt con umbral desplazado




a) Cuando $V_S = V$ $\boxed{(V_{ref} > 0)}$ el umbral de cambio es $V_E = V_1$ Donde: $\boxed{V_1 = \dfrac{V \cdot R_2}{R_1 + R_2} + \dfrac{V_{ref} \cdot R_1}{R_1 + R_2}}$

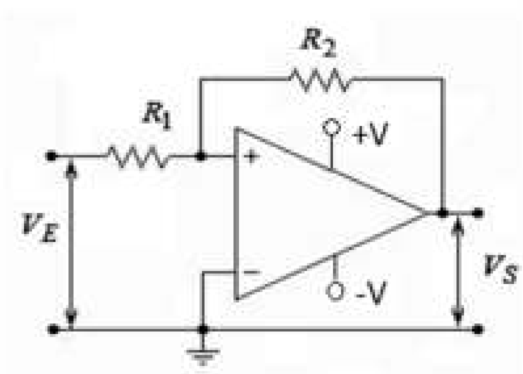
b) Cuando $V_S = -V$ $(V_{ref} > 0)$ el umbral de cambio es $V_E = V+ = V_2$ Donde: $\boxed{V_2 = \dfrac{-V \cdot R_2}{R_1 + R_2} + \dfrac{V_{ref} \cdot R_1}{R_1 + R_2}}$

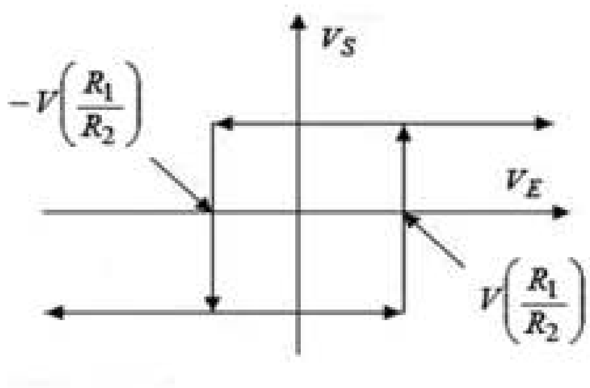
El ancho de la ventana de histéresis $V_H = V_1 - V_2$ puede hacerse mínima con $R_2 << R_1$

El punto medio de la ventana es: $\boxed{V_m = \dfrac{V_1 + V_2}{2} = V_{ref}\left(\dfrac{R_1}{R_1 + R_2}\right)}$

Cuando $V_{ref} < 0$ la ventana se ubica a la izquierda del eje Vs

2-Modo No-Inversor    para VE positivos Vs termina siendo positiva (no inversor)



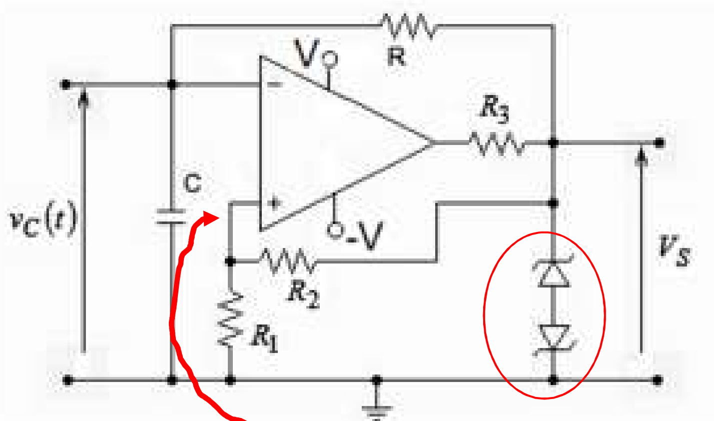




a) Cuando $V_S = V$ la tensión necesaria en VE para que cambie la salida debe cumplir: $\left(\frac{V - V_E}{R_1 + R_2}\right) R_1 + V_E = 0$

Entonces el umbral de cambio es: $V_E = -\frac{R_1}{R_2} V$

b) Cuando $V_S = -V$ el umbral cambia a: $V_E = \frac{R_1}{R_2} V$

# Generador de onda cuadrada




Con los zener me independizo de las $V_{OH}$ y $V_{OL}$ del AO :

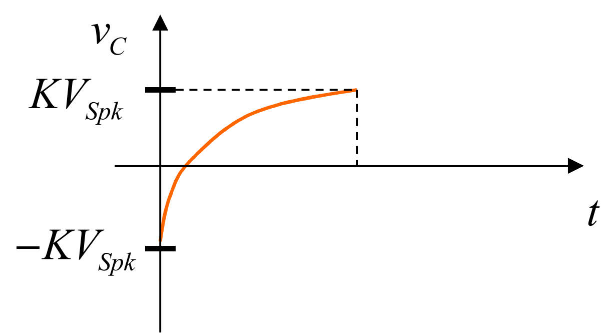
$$V_S = \begin{cases} V_{Spk}^{+} = (V_Z + V_d) \\ V_{Spk}^{-} = -(V_Z + V_d) \end{cases} \qquad V_{Spk} = \left|V_{Spk}^{+}\right| = \left|V_{Spk}^{-}\right|$$

Si Vs=+(Vz+Vd) $V_+ = \dfrac{(V_z + V_d)R_1}{R_1 + R_2} = \dfrac{V_{Spk}^{+} R_1}{R_1 + R_2}$ hasta que Vc(t) no llegue a ese valor, Vs seguirá valiendo Vz+Vd

Cuando $v_C = V_C^{+} = \dfrac{V_{Spk}^{+} R_1}{R_1 + R_2} = K \cdot V_{Spk} \Rightarrow$ Vs cambia a $-(V_z + V_d) \Rightarrow$ V+ se hace negativo y C se empieza a descargar hasta que llega al valor:

$$v_C = V_C^{-} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot V_{Spk}^{-} = -K \cdot V_{Spk}$$

(valor mínimo de tensión en el C )



## Generador de onda cuadrada

La tensión en el capacitor $v_C$ , oscila entre dos valores límites, $\pm K \cdot V_{Spk}$

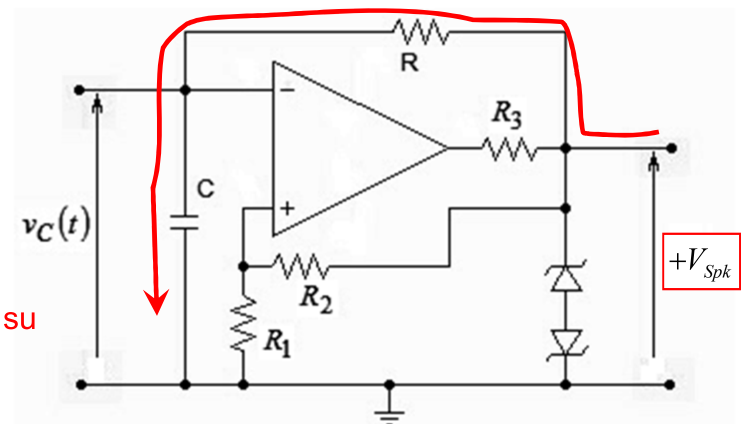
Supongamos que el capacitor está cargado a $-K \cdot V_{Spk}$ y la tensión de salida pasa a $V_{Spk}^{+}$

El capacitor comenzará a cargarse a través de R tendiendo hacia el valor $+V_{Spk}$

$$v_C(t) = V_{Spk} - \left[V_{Spk} - \left(-KV_{Spk}\right)\right] \cdot e^{\frac{-t}{RC}}$$

$$\begin{cases} v_C(t=0) = V_{Spk} - \left[V_{Spk} - \left(-KV_{Spk}\right)\right] \cdot e^{\frac{-t}{RC}} = -KV_{Spk} \quad (valor \;\; inicial) \\ v_C(t=\infty) = V_{Spk} - \left[V_{Spk} - \left(-KV_{Spk}\right)\right] \cdot e^{\frac{-t}{RC}} = V_{Spk} \end{cases}$$

✓ Valor final si el OPA no cambiara su salida




Pero cuando vc llega a $+KV_{Spk}$ el OPA conmuta nuevamente a $-V_{Spk}$

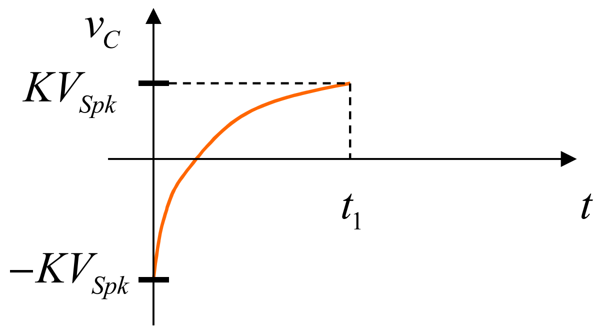
¿Cuanto tarda en llegar desde $-KV_{Spk} \;\; a \;\; KV_{Spk}$ ?

## Generador de onda cuadrada

Considerando que el tiempo total de carga del capacitor será $t_1$ , al finalizar éste, la tensión habrá pasado de $v_C(0) = -KV_{Spk}$

a $v_C(t_1) = KV_{Spk}$ , tensión a la que se produce la nueva conmutación

$$v_C(t_1) = V_{Spk} - \left[V_{Spk} + KV_{Spk}\right] \cdot e^{-\frac{t_1}{RC}} = KV_{Spk}$$




De ésta podemos despejar $t_1$

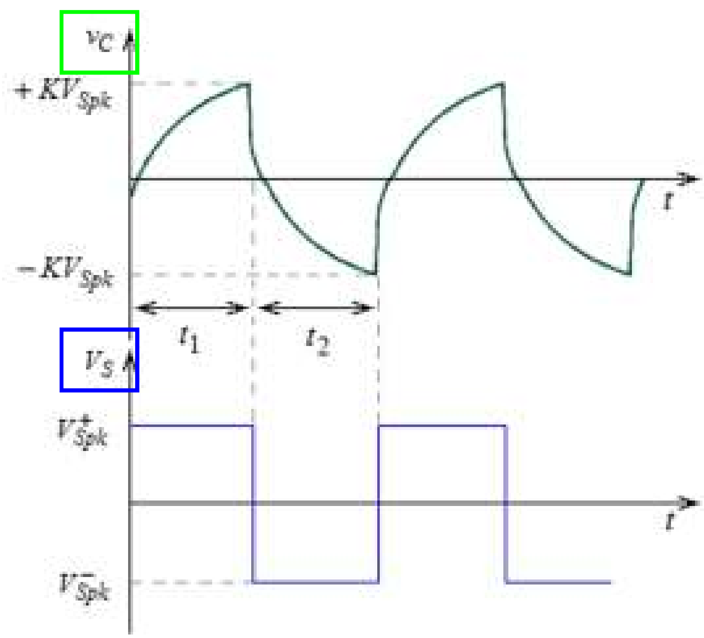
$$t_1 = -RC\ln\frac{(1-K)V_{Spk}}{(1+K)V_{Spk}} = RC\ln\frac{(1+K)}{(1-K)} = RC\ln\left(\frac{1+\frac{R_1}{R_1+R_2}}{1-\frac{R_1}{R_1+R_2}}\right) = RC\ln\left(\frac{2R_1+R_2}{R_2}\right) = \boxed{RC\ln\left(1+\frac{2R_1}{R_2}\right)}$$

## Generador de onda cuadrada

Análogamente se calcula el tiempo de descarga, ahora durante el tiempo $t_2$ la tensión en el capacitor pasará de $\left(+KV_{Spk}\right)$ a $\left(-KV_{Spk}\right)$ para luego repetir el ciclo $t_2 = RC\,ln\left(1+2\frac{R_1}{R_2}\right)$

El período total de la oscilación será

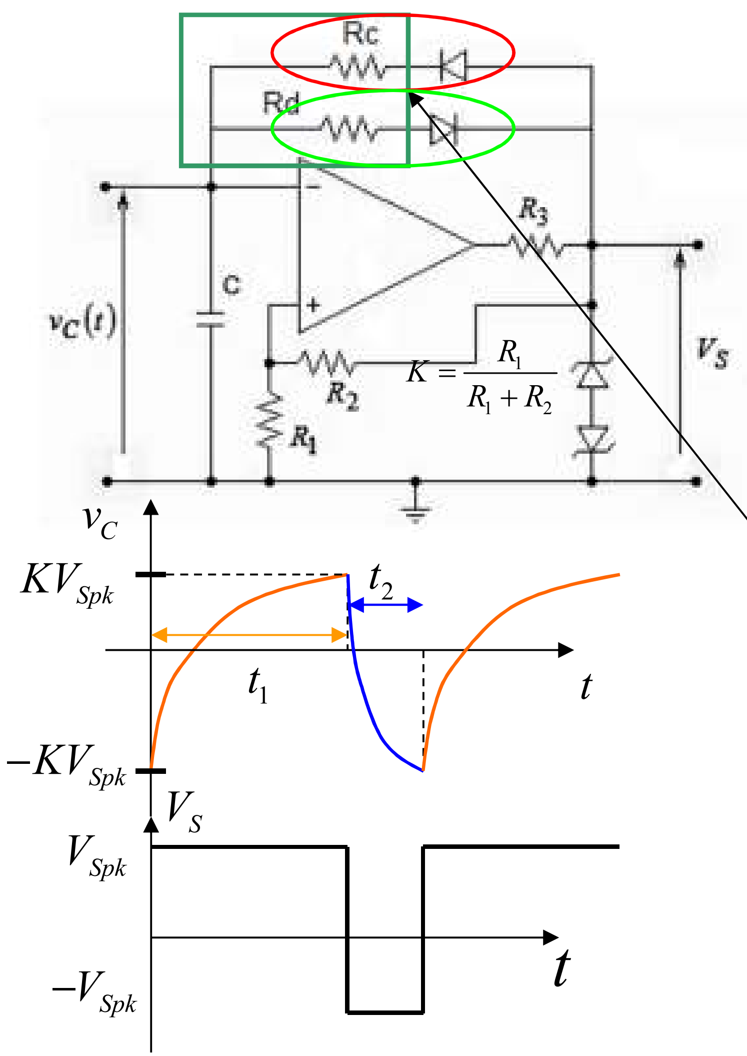
$$T = \left(t_1 + t_2\right) = 2\cdot RC\cdot ln\left(1+2\frac{R_1}{R_2}\right)$$



# Onda cuadrada con ciclo de trabajo variable

**La simetría de la forma de onda anterior se debe a que C se carga y se descarga a través del mismo resistor R**

potenciómetro




**Constante de tiempo de carga: C.Rc**

**Constante de tiempo de descarga: C.Rd**

**Los tiempos de carga y descarga son diferentes**

$$t_1 = CR_C \ln\left(1 + \frac{2R_1}{R_2}\right) \quad \textbf{Y:} \quad t_2 = CR_d \ln\left(1 + \frac{2R_1}{R_2}\right)$$

**Y el período**

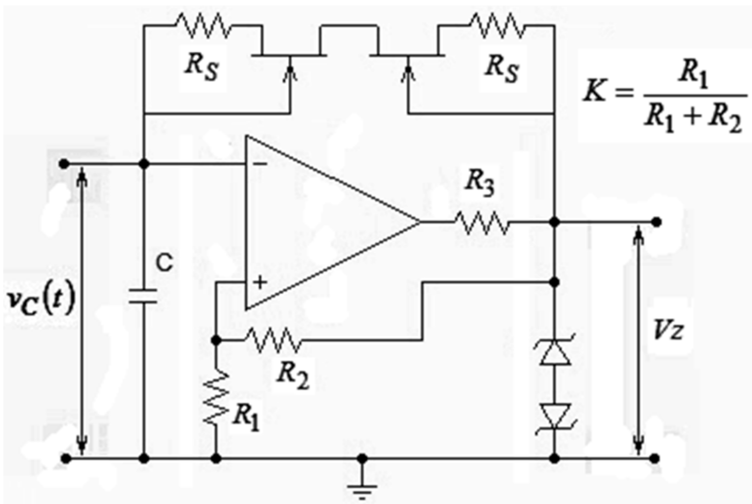
$$T = t_1 + t_2 = C\left(R_C + R_d\right)\ln\left(\frac{V_\gamma - (1+K)V_{Spk}}{V_\gamma - (1-K)V_{Spk}}\right)$$

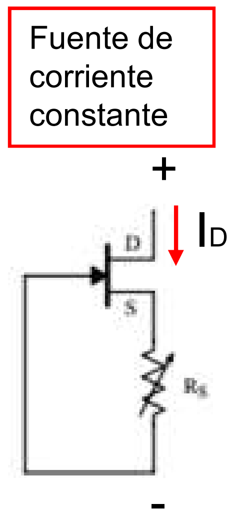
**Para variar el ciclo de trabajo sin modificar la frecuencia**

# Onda triangular

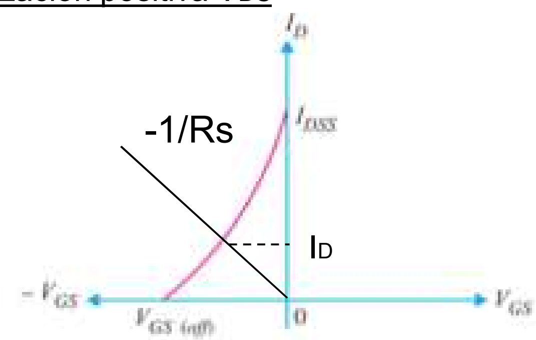
**Oscilador de onda triangular y cuadrada con un solo operacional.**

Para generar una onda triangular debemos alimentar al capacitor con una corriente constante, por ejemplo con transistores FET

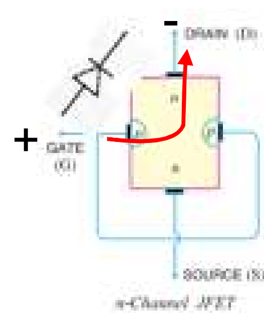


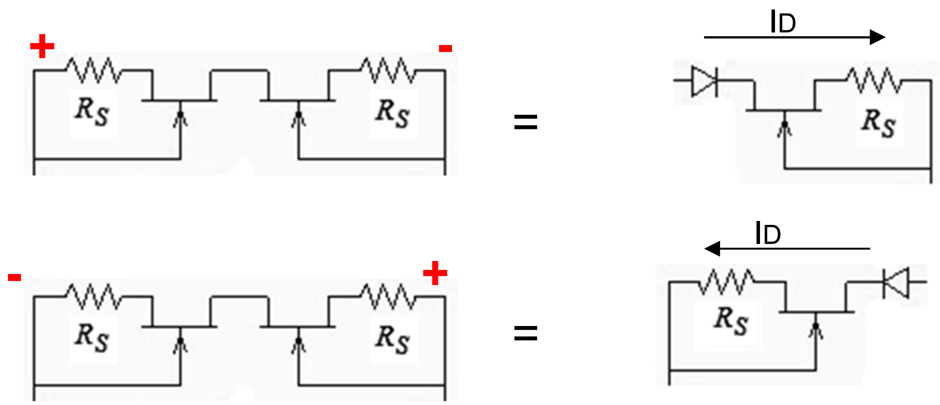

Polarización positiva $V_{DS}$

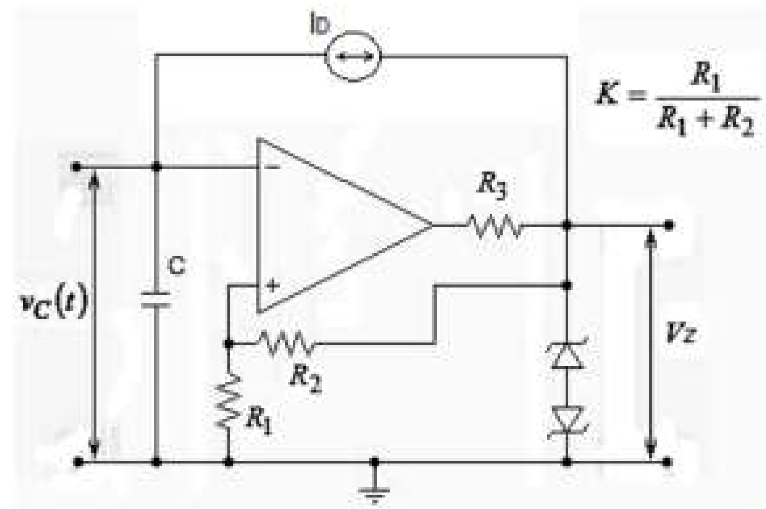



Polarización negativa $V_{DS}$




Presenta un diodo entre D y S




Cálculo de la frecuencia de oscilación:

Variación total de carga en el capacitor: $\Delta Q = C \cdot \Delta v_C = I_D \cdot t$

El tiempo t es el que transcurre para cambiar la tensión del capacitor desde $-KV_{Zpk}$ a $+KV_{Zpk}$ $(\Delta v_C = 2KV_{Zpk})$

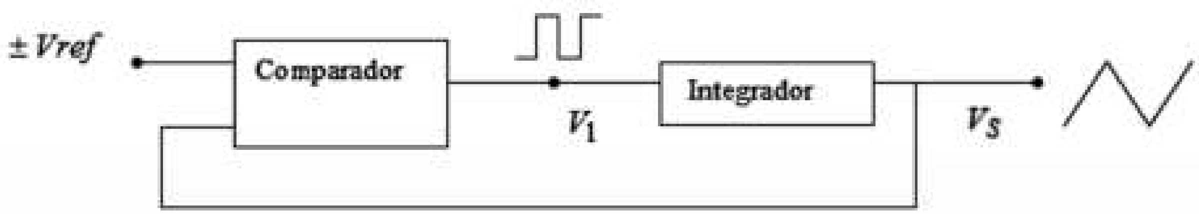
t: mitad del período T $\Rightarrow$ $C \cdot (2KV_{Zpk}) = I_D \dfrac{T}{2}$ $\Rightarrow$ $T = \dfrac{4KV_{Spk}C}{|I_D|}$

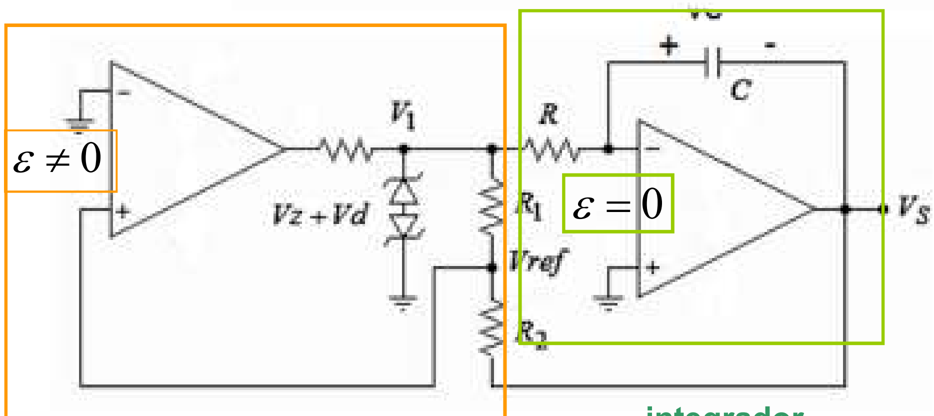
Con distintas Rs puedo lograr distintos tiempos de carga y descarga (<u>pero dependo de la característica del FET</u>)

# Onda triangular y cuadrada

Independiente de las caracteristicas de un transistor

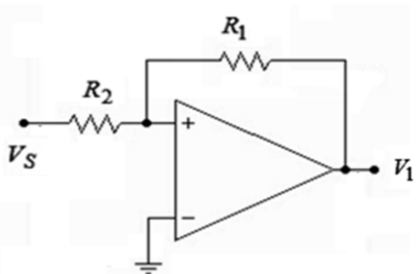
Para linealizar los triángulos se requiere que el capacitor sea cargado mediante una corriente constante, de modo que la tensión en él varíe linealmente con el tiempo

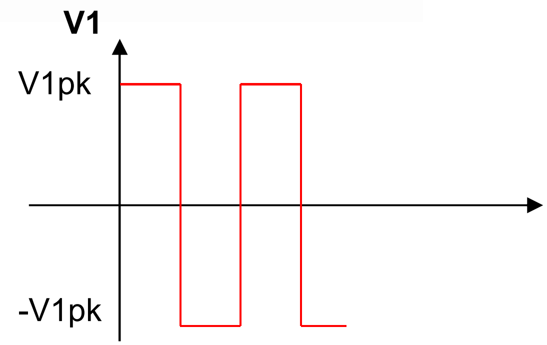


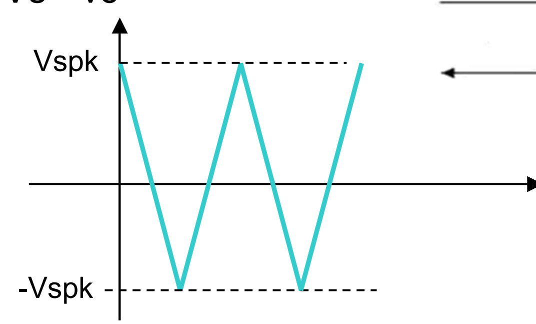

integrador

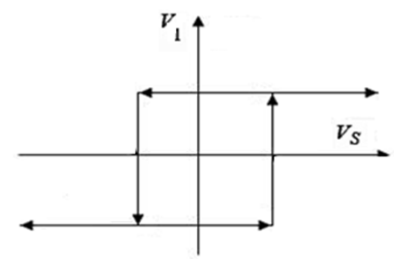
Schmitt no inversor (film. 6)



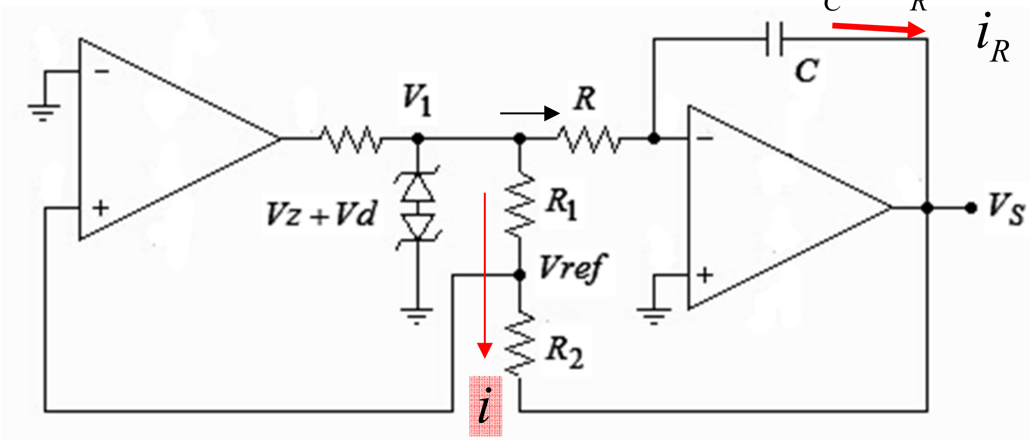

Vs=-vc

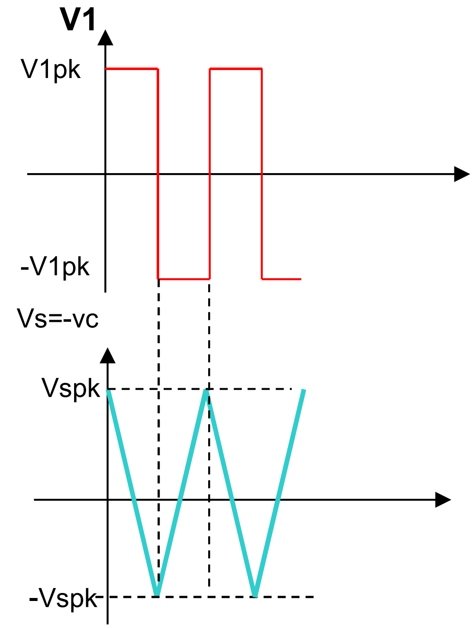


# Onda triangular y cuadrada

$$i_C = i_R \qquad i_R = \frac{V_1}{R}$$




**Cálculo de la tensión Vspk**

El comparador conmutará cuando $V_{ref}$ pase por cero

$$V_{ref} = 0 = V_{1pk} - iR_1 = V_{1pk} - \frac{(V_{1pk} - V_S)}{R_1 + R_2} R_1 = V_{1pk}\left(1 - \frac{R_1}{R_1 + R_2}\right) + \frac{V_S R_1}{R_1 + R_2} \Rightarrow \boxed{V_{Spk} = -v_C = -\frac{R_2}{R_1} \cdot V_{1pk}}$$

**Cálculo de la tensión Vref pico**

El valor pico de $Vref$ se dá cuando V1=+V1pk y Vs=-Vspk

$$V_{ref\_pk} = V_{1pk} - \frac{(V_{1pk} - (-V_{Spk}))}{R_1 + R_2} R_1 = V_{1pk}\left(1 - \frac{R_1}{R_1 + R_2}\right) + \frac{R_2 V_{1pk}}{R_1 + R_2} = \frac{2V_{1pk} R_2}{R_1 + R_2} \Rightarrow \boxed{V_{ref\_pk} = \frac{2V_{1pk} R_2}{R_1 + R_2}}$$

### Frecuencia de oscilación

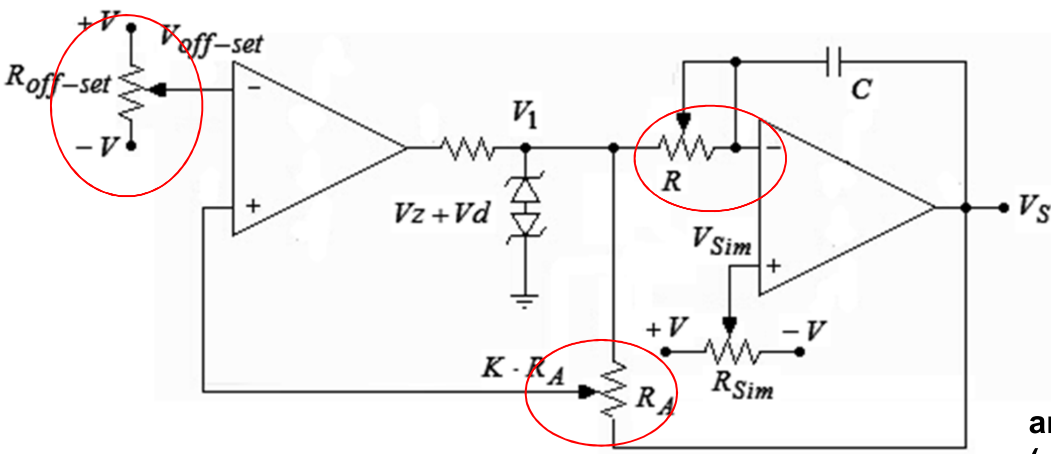
En medio período el capacitor se carga o descarga con una corriente $i_C = V_{1pk} / R$ variando su tensión desde

$-\frac{R_2}{R_1}V_{1pk}$ a $\frac{R_2}{R_1}V_{1pk}$ Luego: $\Delta v_C = 2V_{Spk} = 2\frac{R_2}{R_1}V_{1pk}$

$$\Delta Q = C \cdot \Delta V \Rightarrow \left(i_C \cdot \frac{T}{2}\right) = C \cdot 2V_{Spk} \Rightarrow \left(\frac{V_{1pk}}{R} \cdot \frac{T}{2}\right) = C \cdot 2\frac{R_2}{R_1}V_{1pk} \Rightarrow \frac{T}{2R} = 2C\frac{R_2}{R_1}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{R_1}{R_2} \cdot \frac{1}{4RC}$$

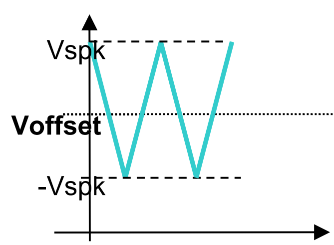
**Modificaciones al oscilador de la figura anterior**




**frecuencia variable:** $\boxed{f = \frac{1}{T} = \frac{R_1}{R_2} \cdot \frac{1}{4RC}}$

**amplitud variable (sólo de la triangular)** $V_{Spk} = -v_C = -\frac{R_2}{R_1} \cdot V_{1pk}$

Nivel variable $(V_{off-set})$ de la triangular



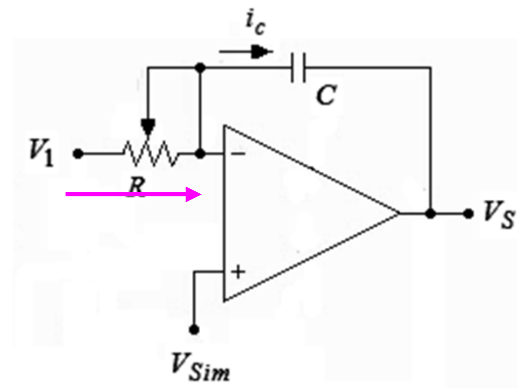
## Simetría variable:

El módulo de la pendiente es distinto para la carga que para la descarga

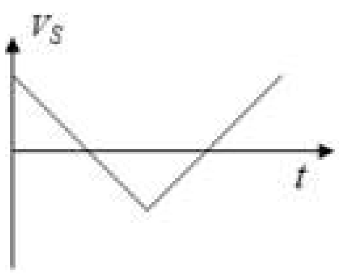
$$i_c = \frac{V_1 - V_{Sim}}{R}$$

$$\frac{\partial V_S}{\partial t} = -\frac{i_c}{C}$$

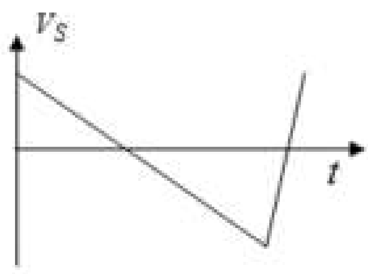
$$\frac{\partial V_S}{\partial t} = -\frac{V_1 - V_{Sim}}{RC}$$



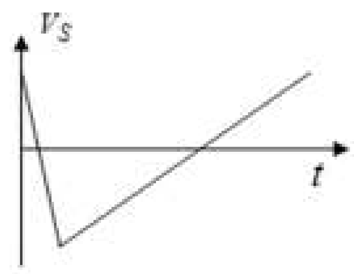

Corriente en R prop. a V1-Vsim




$V_{sim} = 0$

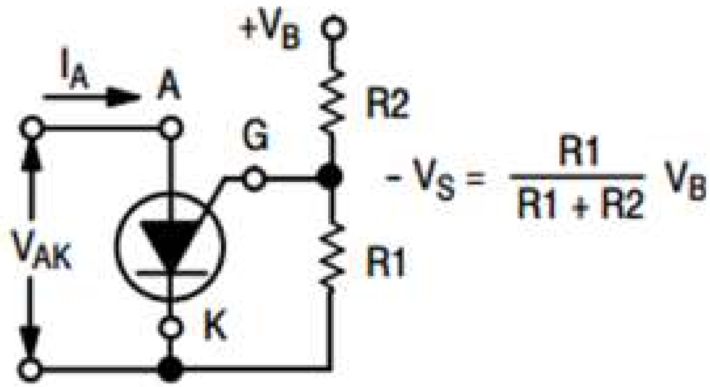



$V_{sim} > 0$

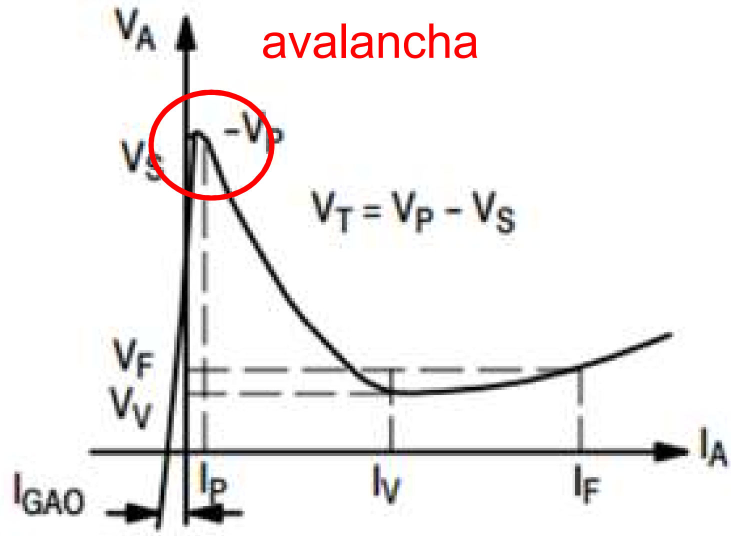



$V_{sim} < 0$

## VCO con PUT




1A - Programmable Unijunction with "Program" Resistors R1 and R2



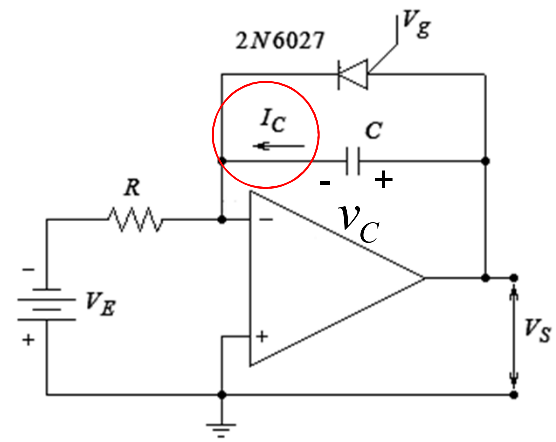

IC - Electrical Characteristics

Tiene una característica similar al DIAC pero la tensión de ruptura se puede programar

# Frecuencia variable con una tensión (VCO)

**Conversión de Tensión a Frecuencia**

**1-** VCO (Oscilador Controlado Por Tensión) con transistor unijuntura programable




**Vak>Vgk** ⇨ **Cebado del PUT**

$$Q = Cv_C = I_C \cdot t = \frac{V_E}{R} \cdot t$$

⇩

$$v_C = t \cdot \frac{V_E}{RC}$$

⇩

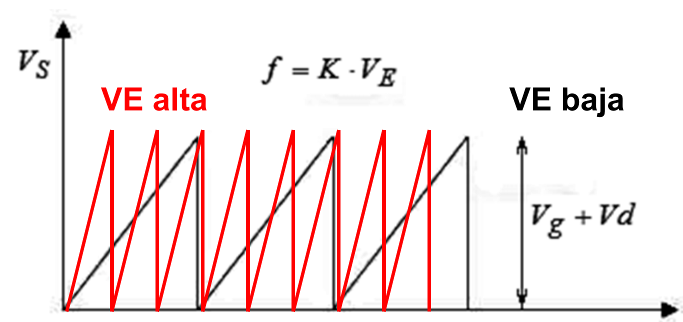
Cuando $v_C$ alcanza a Vg se dispara el UJT y se descarga el capacitor

⇩

$$V_g = T\frac{V_E}{RC} \Rightarrow f = \frac{1}{T} = \frac{1}{V_g RC} V_E$$

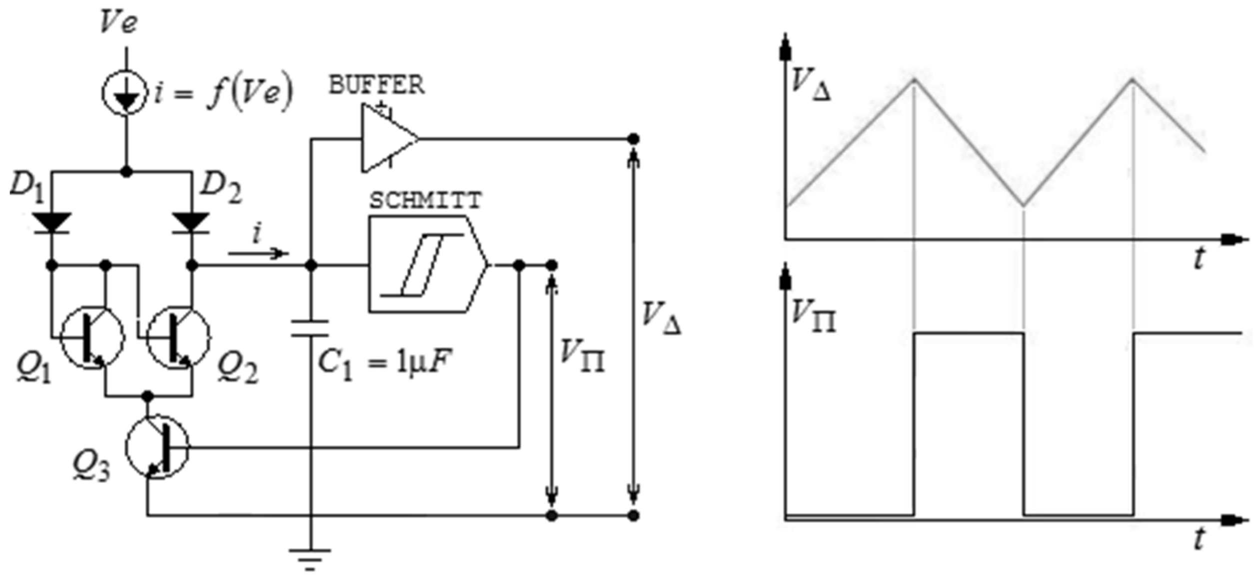
⇩

$$\boxed{f = \frac{V_E}{RCV_g} = kV_E}$$




frecuencia proporcional a la tensión de control

**2-VCO Integrado (LM 566)**




**a. Se carga el C a través de D2, salida del schmitt en cero y entonces Q3 cortado**

**b. La tensión de C llega al umbral y se dispara el Schmitt, haciendo conducir a Q3, que a su vez hace conducir a Q1 y Q2**

**c. La tensión de cátodo de D1 se pone a masa poniendo a D1 en directa y al anodo de D2 a masa (D2 queda, en consecuencia abierto debido a que sobre él está aplicada la tensión de C en inversa)**

**d. Por D1, Q1 y Q3 circula la corriente i de la fuente de corriente**

**e. Como Q1 y Q2 conforman un espejo de corriente ($V_{BE}$ idénticas) la corriente por Q2= corriente por Q1 y entonces el capacitor se descarga a través de Q2 y Q3 a la misma velocidad a la que se cargó previamente**

- **Digital vs. analógico**
- **Simplicidad**
- **Costo**
- **Flexibilidad (f variable)**
- **Frecuencia máxima**

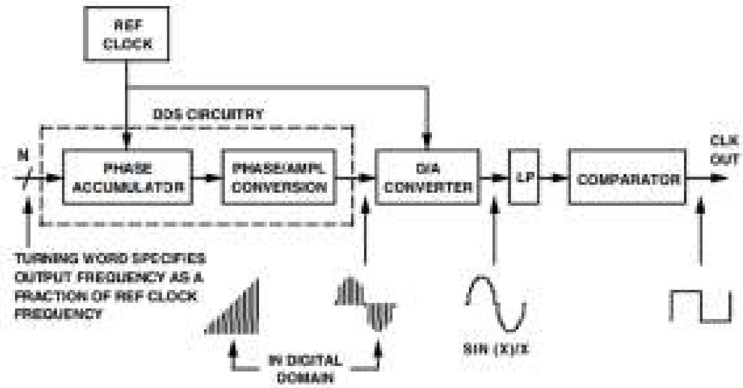



Figure 1. Basic Complete-DDS system block diagram.


https://www.analog.com/en/analog-dialogue/articles/dds-vs-analog-pll.html