



INGENIERÍA
BIOLÓGICA

Teoría de Circuitos 2021

Amplificadores operacionales 2

Licenciatura en Ingeniería Biológica
Universidad de la República





Contenido

- Repaso
- Configuraciones fuera de la zona lineal

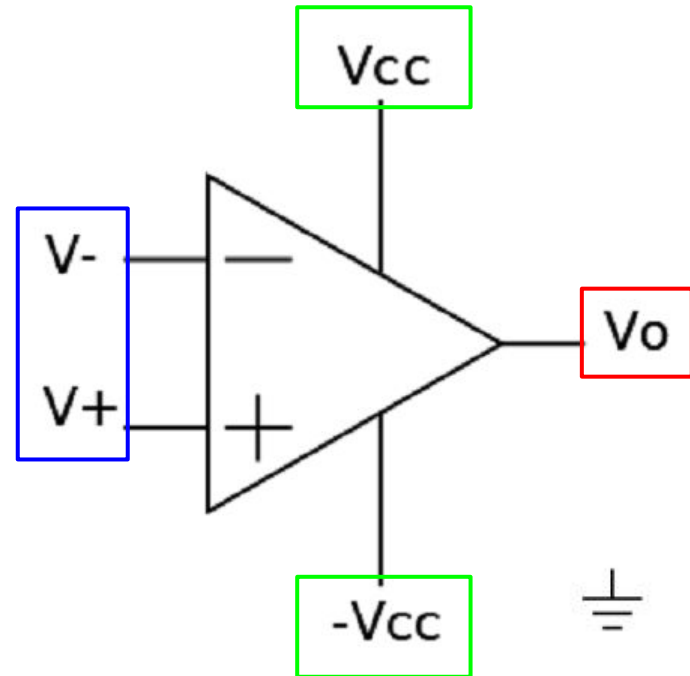


Contenido

- Repaso
- Configuraciones fuera de la zona lineal

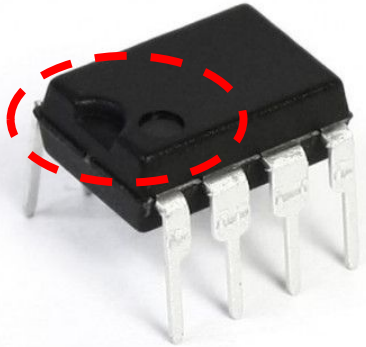
Repaso - Amplificador operacional

- Nueva componente electrónica.
- Elemento activo (a diferencia de R, L y C)
- Terminales:
 - Entradas:
 - V_- : Entrada Inversora (a veces aparece e_-).
 - V_+ : Entrada No Inversora (a veces e_+).
 - Salida: V_o (Referida a tierra)
 - Alimentación:
 - $+V_{cc}$ y $-V_{cc}$ (se alimentan de fuentes simétricas)

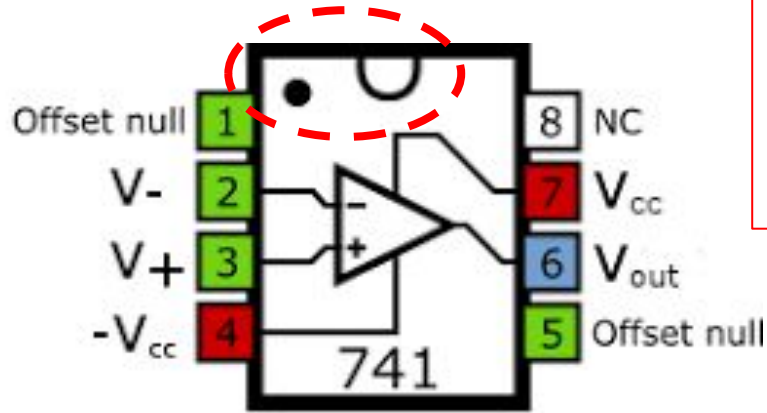


Repaso - Amplificador operacional

El 741



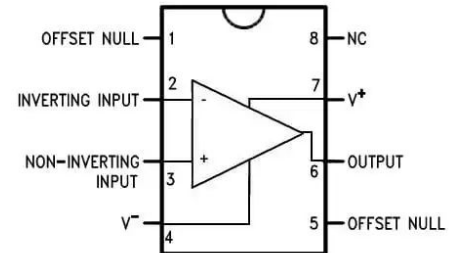
Ver hoja de datos



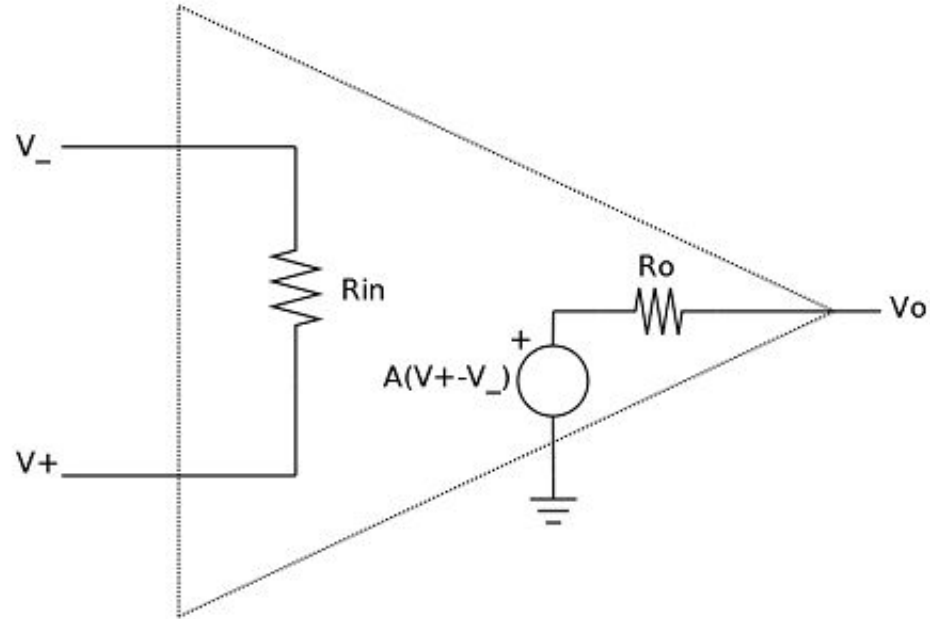
Pinout

¡Ojo! en algunas hojas de datos, las fuentes aparecen con nombre V^+ y V^- y las entradas aparecen con nombre “inversora” y “no inversora”

LM741 Pinout Diagram



Repaso - Modelo eléctrico



Repaso - Modelo eléctrico

Operacional real

Modos de funcionamiento:

- **Zona lineal (ZL):** Donde la diferencia de las entradas amplificadas no superan el valor de V_{cc} en valor absoluto.

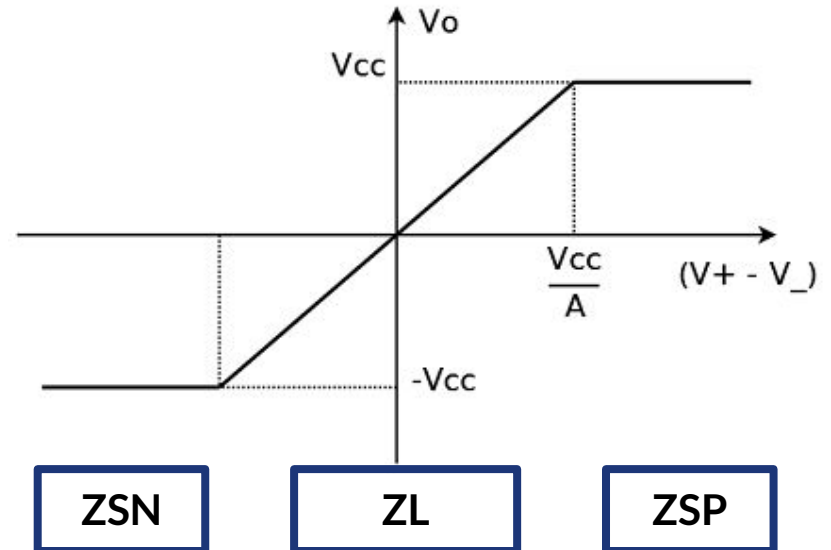
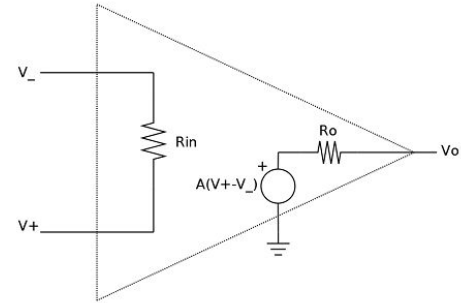
$$\text{si } |V_+ - V_-| < V_{cc}/A \rightarrow V_o = A(V_+ - V_-)$$

- **Zona saturada positiva (ZSP):** Ocurre si la diferencia amplificada supera el valor de V_{cc} .

$$\text{si } V_+ - V_- > V_{cc}/A \rightarrow V_o = +V_{cc}$$

- **Zona saturada negativa (ZSN):** Ídem para $A(V_+ - V_-) < -V_{cc}$.

$$\text{si } V_+ - V_- < -V_{cc}/A \rightarrow V_o = -V_{cc}$$



Repaso - Modelo eléctrico

Operacional ideal

Resistencia de entrada R_{in} infinita:

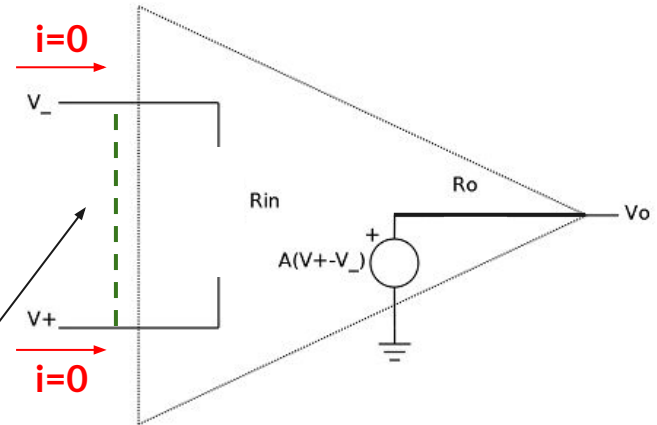
- Las corrientes de entrada son nulas.

Resistencia de salida R_{out} nula:

- La tensión de salida V_o no depende de la corriente que entrega el operacional.

Ganancia A infinita:

- La diferencia entre sus entradas debe de ser **nula** para evitar saturación (cortocircuito virtual).



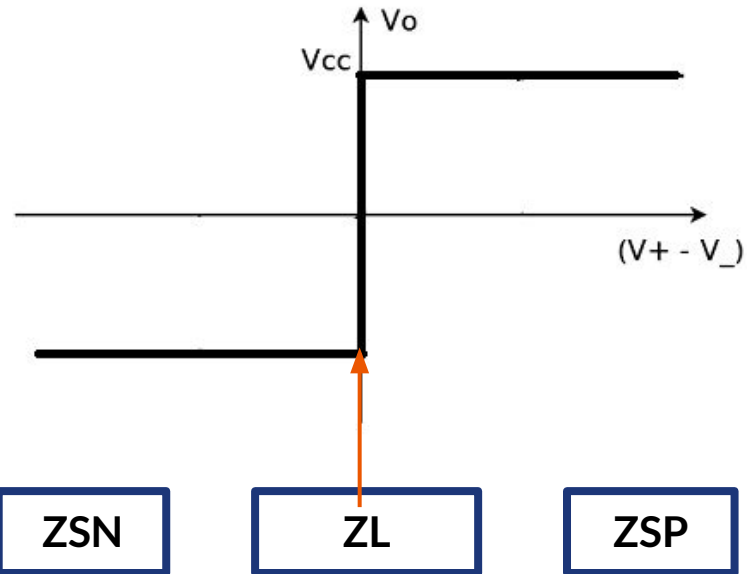
$$V_o = \lim_{\substack{A \rightarrow +\infty \\ (V_+ - V_-) \rightarrow 0}} [A(V_+ - V_-)]$$

Repaso - Modelo eléctrico

Operacional ideal

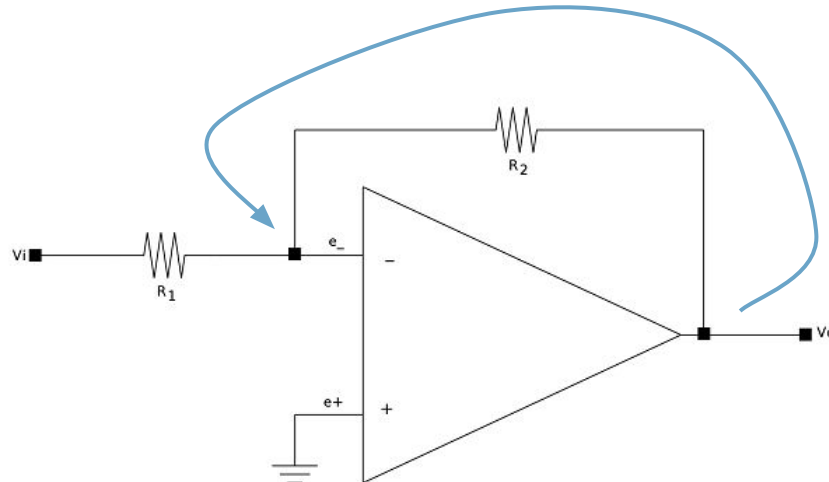
Modos de funcionamiento:

- **Zona lineal (ZL):** Donde la salida no supera la alimentación V_{cc} en valor absoluto.
si $|V_o| < V_{cc} \rightarrow V_+ = V_-$ (cc virtual)
- **Zona saturada positiva (ZSP):** Ocurre si la tensión de la entrada no inversora supera a la inversora.
si $V_+ > V_- \rightarrow V_o = +V_{cc}$
- **Zona saturada negativa (ZSN):** Ídem para $V_+ < V_-$.
si $V_+ < V_- \rightarrow V_o = -V_{cc}$



Repaso - Configuraciones básicas

Configuración inversora

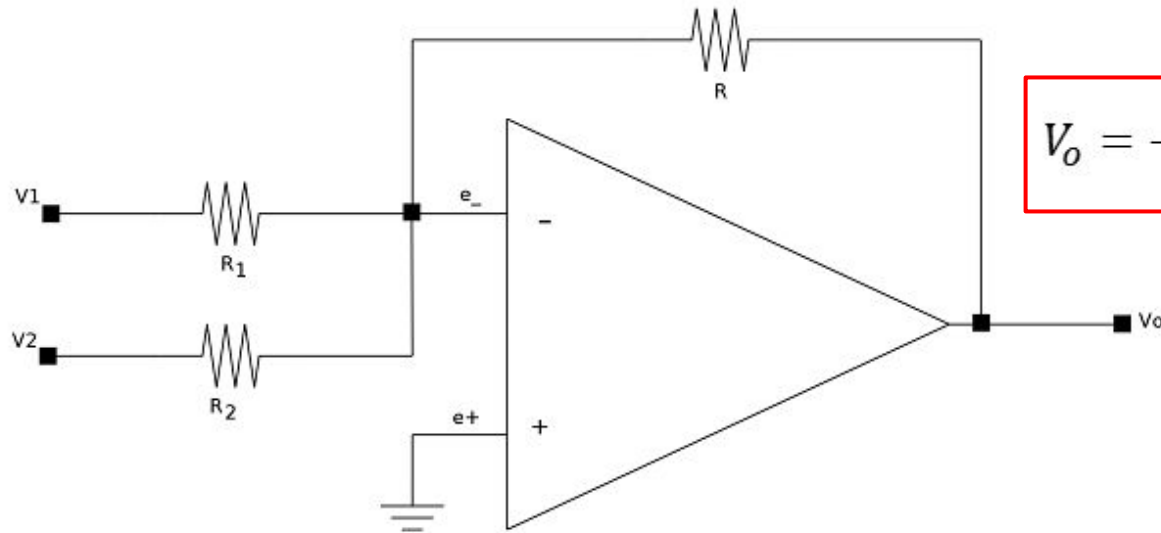


$$V_o = -\frac{R_2}{R_1} V_i$$

Realimentación por la pata (-) → Estabilidad del circuito (ZL)

Configuraciones básicas

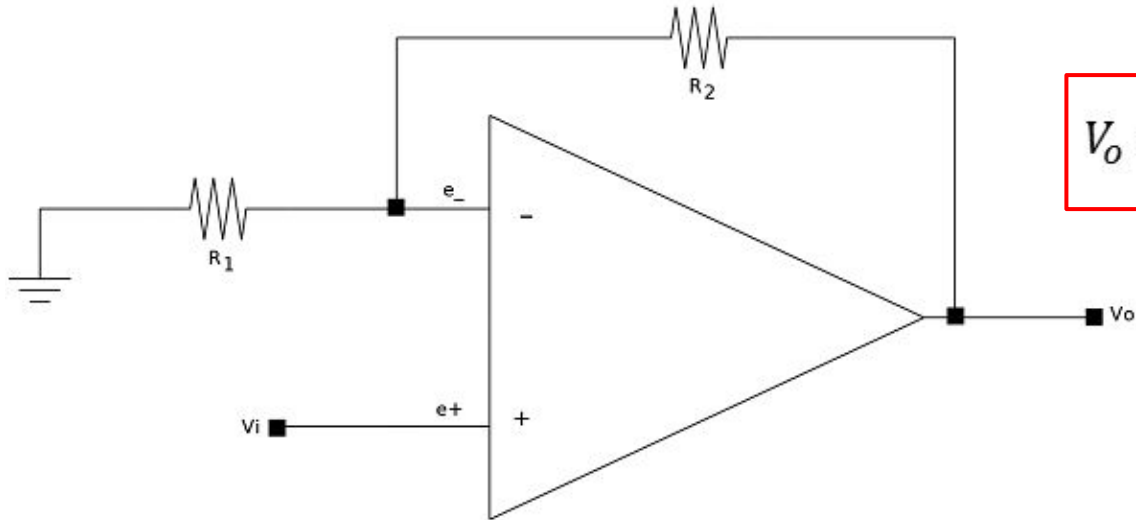
Configuración sumador inversor



$$V_o = - \left[\frac{R}{R_1} V_1 + \frac{R}{R_2} V_2 \right]$$

Configuraciones básicas

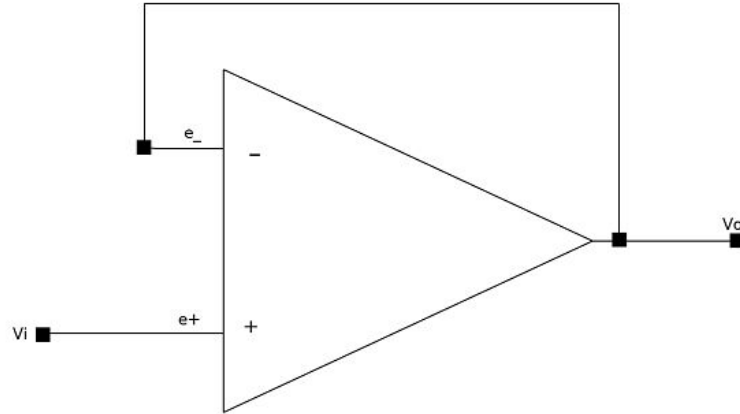
Configuración no inversora



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

Configuraciones básicas

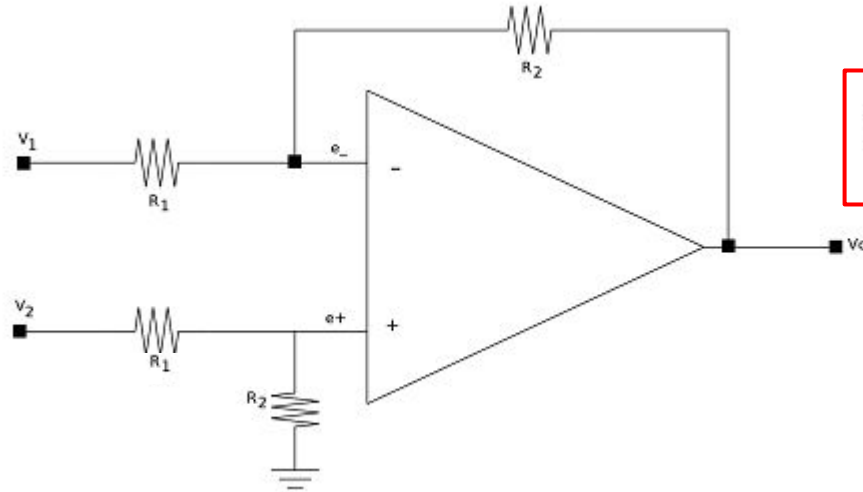
Configuración seguidora



$$V_o = V_i$$

Configuraciones básicas

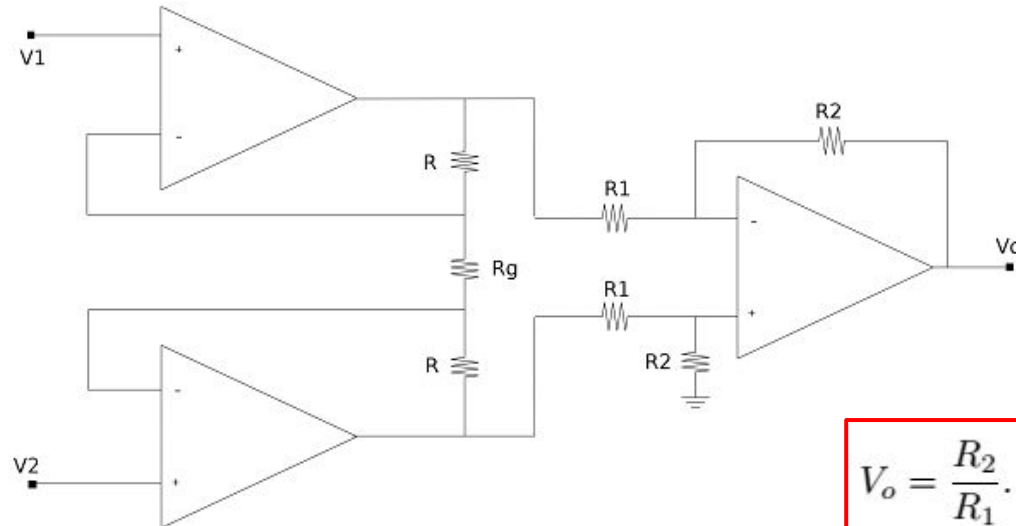
Configuración diferencial



$$V_o = \frac{R_2}{R_1} (V_2 - V_1)$$

Configuraciones básicas

Amplificador de instrumentación



$$V_o = \frac{R_2}{R_1} \cdot \left(1 + \frac{2R}{R_g}\right) \cdot (V_2 - V_1)$$



Contenido

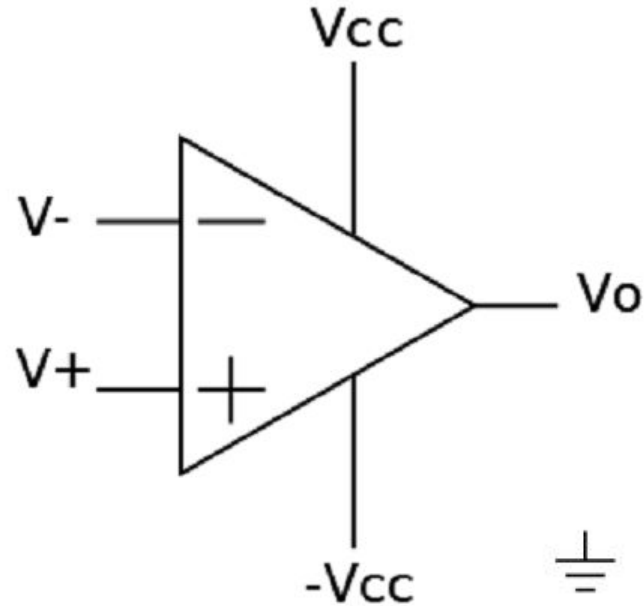
- Repaso
- Configuraciones fuera de la zona lineal

Configuraciones fuera de la zona lineal

- Sin realimentación negativa, no hay estabilidad.
- Inexorablemente va a saturar.
- Salida en función de los terminales:
 - Si $V_+ > V_-$: $V_o = +V_{cc}$ (ZSP)
 - Si $V_+ < V_-$: $V_o = -V_{cc}$ (ZSN)
 - Si $V_+ = V_-$: V_o indeterminado (recordar el efecto de pequeñas perturbaciones)

¿Qué aplicación práctica puede tener esta configuración?

R: Comparador



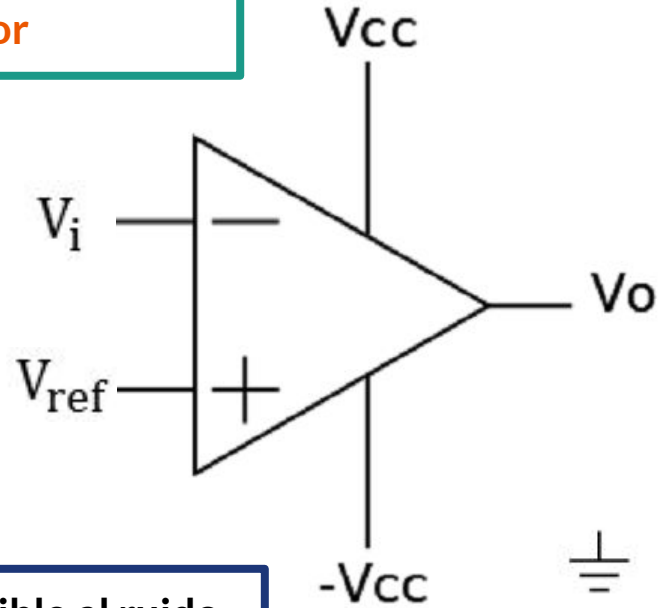
Configuraciones fuera de la zona lineal

Comparador

- Compara una señal V_i con un valor o señal de referencia V_{ref} .
- Salida binaria:
 - Si $V_i < V_{ref}$: $V_o = +V_{cc}$
 - Si $V_i > V_{ref}$: $V_o = -V_{cc}$

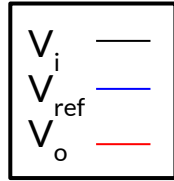
$$V_o = \text{signo}(V_{ref} - V_i) \cdot V_{cc}$$

- Aplicaciones:
 - Detector del signo de V_i (cruces por cero) si $V_{ref} = 0$
 - Detector de umbral

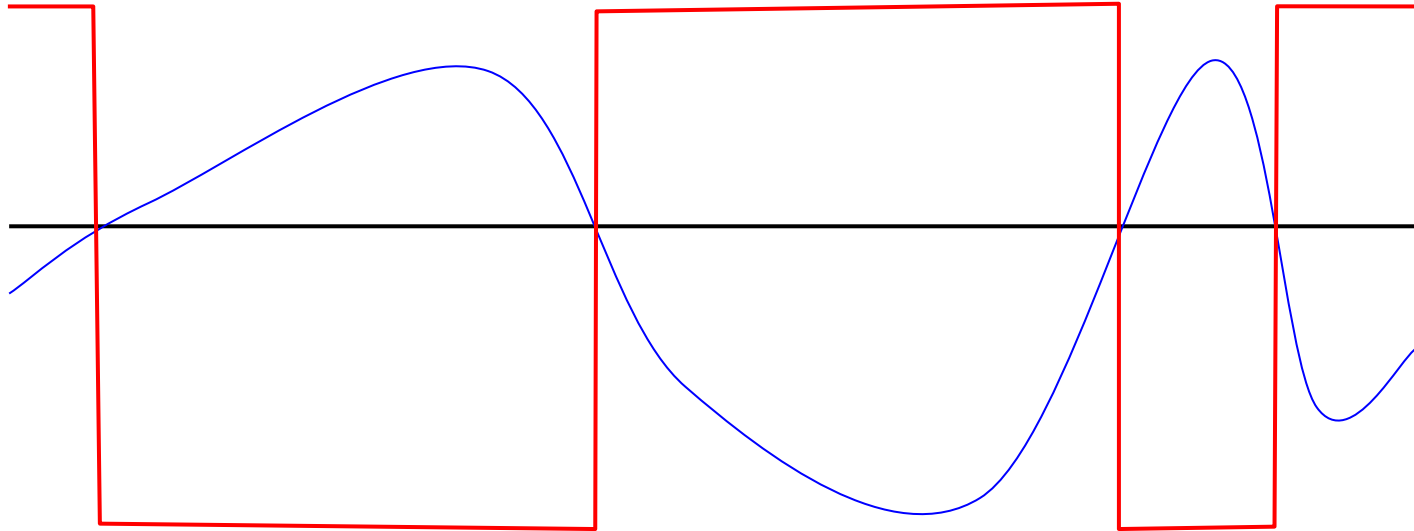


Defecto: Es muy sensible al ruido

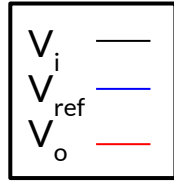
Configuraciones fuera de la zona lineal



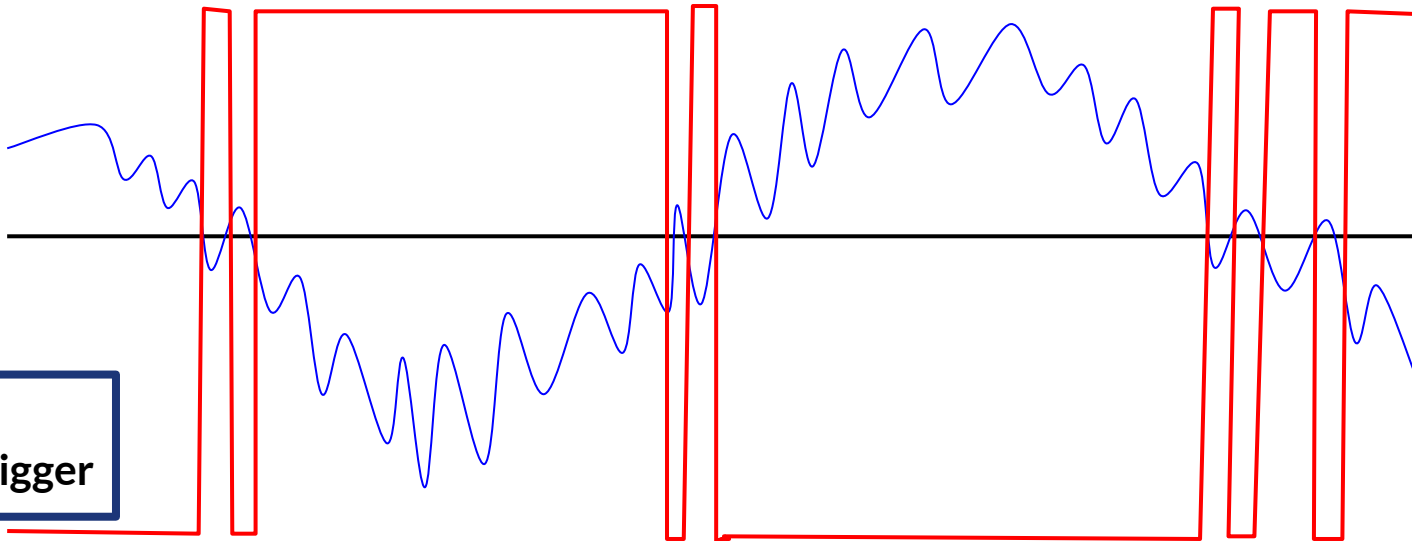
Comparador



Configuraciones fuera de la zona lineal



Comparador

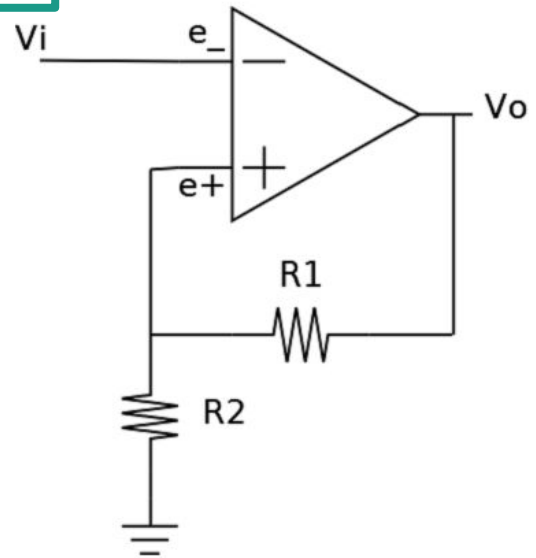


Solución:
Schmitt trigger

Configuraciones fuera de la zona lineal

Schmitt Trigger

- Realimenta por la pata (+)
- Para estudiar la relación entre V_i y V_o se realiza el siguiente análisis:
 1. Imponer un valor de V_o ($+V_{cc}$ o $-V_{cc}$).
 2. Ver qué condición debe cumplir V_i para obtener el valor impuesto de salida.



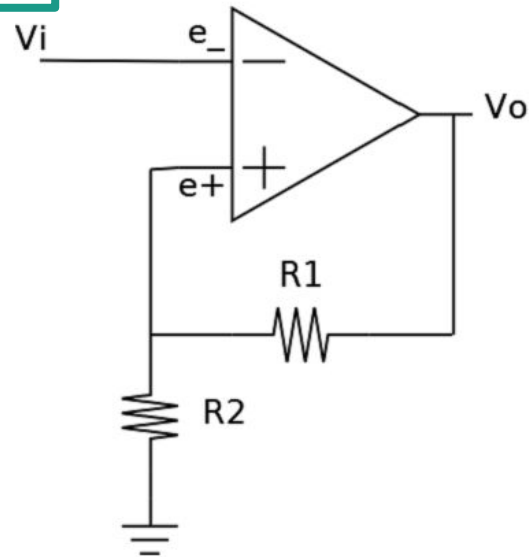
Configuraciones fuera de la zona lineal

Schmitt Trigger

- Si $V_o = V_{cc}$, entonces se debe cumplir que $e_+ > e_-$.
- Sabemos que $e_- = V_i$.
- Por división de tensión: $e_+ = R_2 / (R_1 + R_2) V_{cc}$
- Entonces $V_o = V_{cc}$ mientras se cumpla que:

$$V_i < \frac{R_2}{R_2 + R_1} V_{cc}$$

¿Qué ocurre si V_i supera ese umbral?



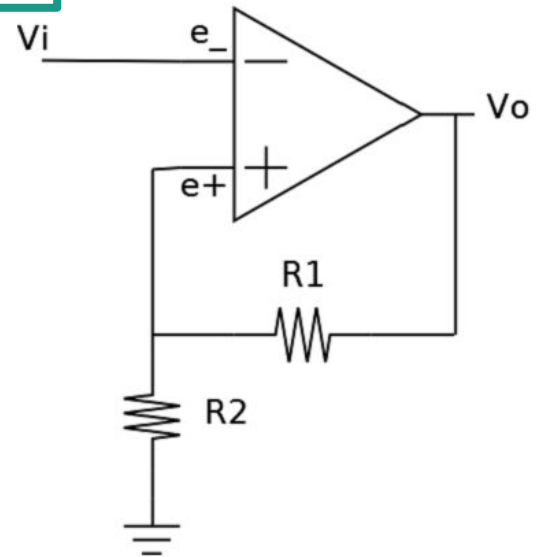
Configuraciones fuera de la zona lineal

Schmitt Trigger

- Si $V_o = -V_{cc}$, entonces se debe cumplir que $e_+ < e_-$.
- Sabemos que $e_- = V_i$.
- Por división de tensión: $e_+ = -R_2/(R_1+R_2)V_{cc}$
- Entonces $V_o = V_{cc}$ mientras se cumpla que:

$$V_i > -\frac{R_2}{R_2 + R_1} V_{cc}$$

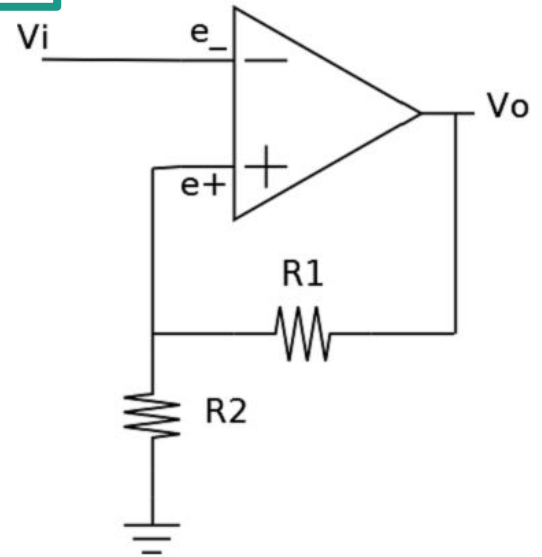
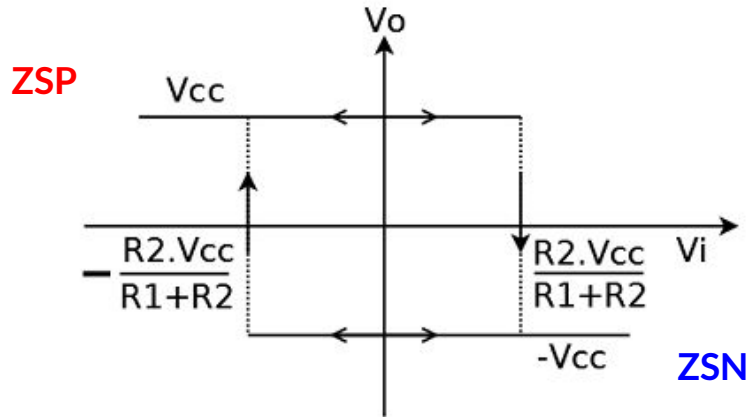
¿Qué ocurre si V_i es menor a ese umbral?



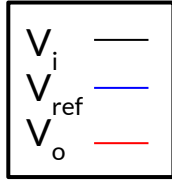
Configuraciones fuera de la zona lineal

Schmitt Trigger

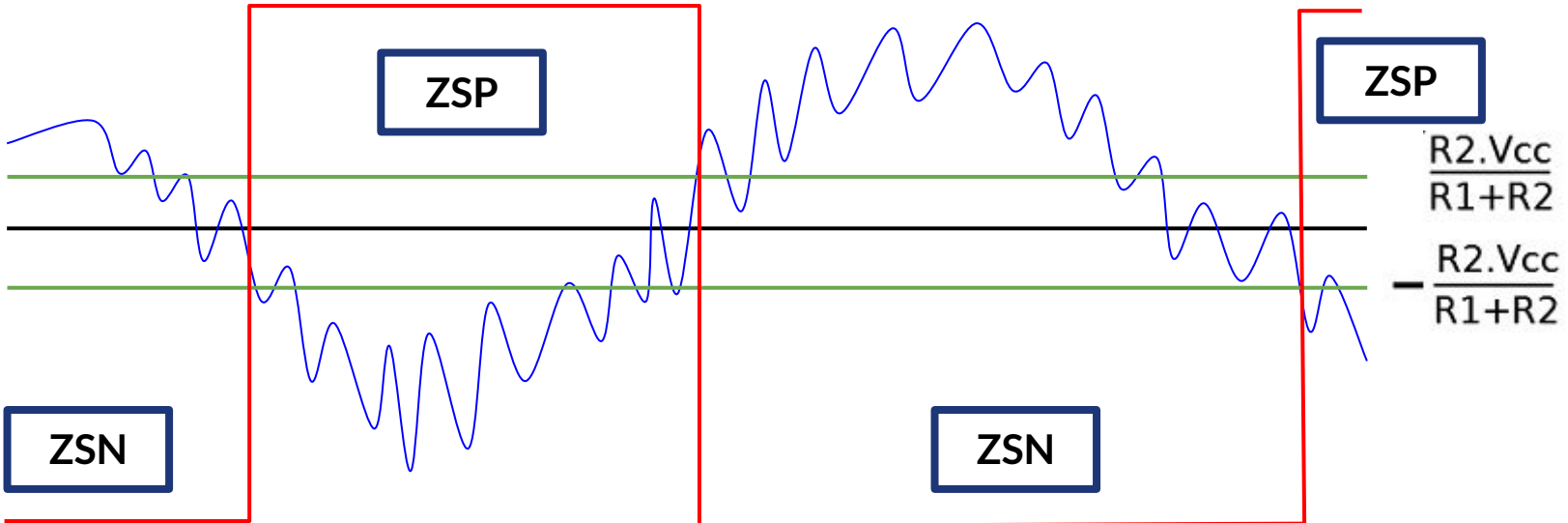
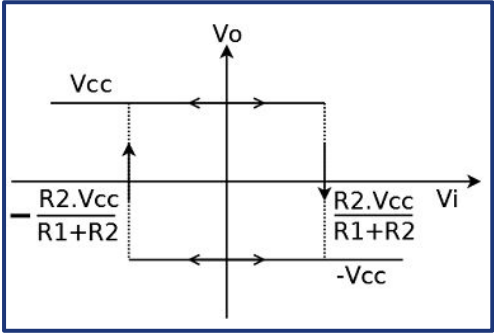
Curva de histéresis:



Configuraciones fuera de la zona lineal



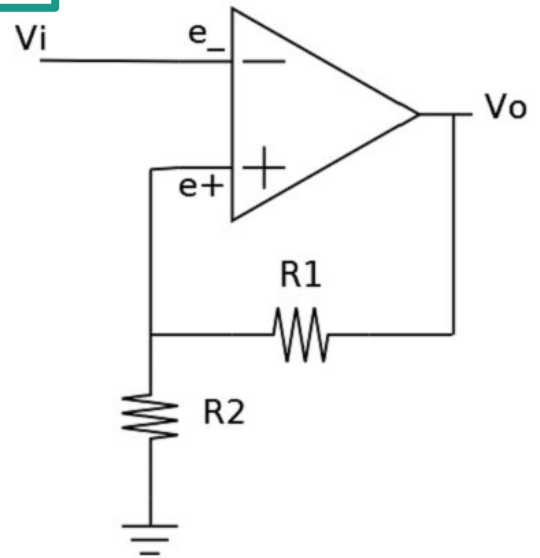
Schmitt Trigger



Configuraciones fuera de la zona lineal

Schmitt Trigger

- Ventaja: Más robusto al ruido
- Desventaja: Puede introducir delay



Configuraciones fuera de la zona lineal

Astable

- Circuito oscilador.
- Veamos cómo funciona:

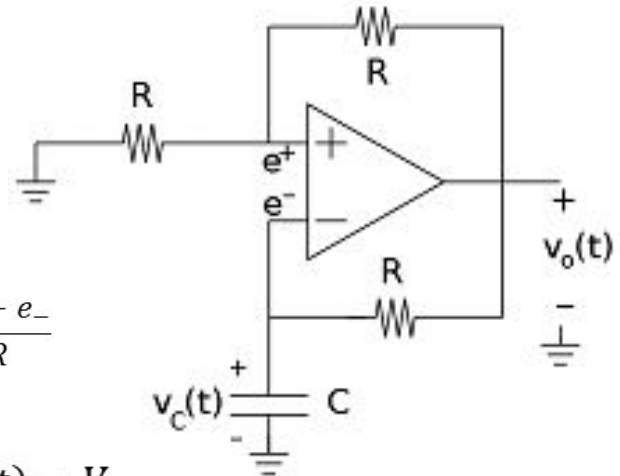
Estado inicial: Capacitor descargado $V_C(0)=0$

Divisor de tensión en rama e_+ : $e_+ = \frac{R}{R+R}V_o = \frac{V_o}{2}$

Corriente por rama RC (notar que $e_- = V_C$): $i = C \frac{de_-}{dt} = \frac{V_o - e_-}{R}$

¿Hay que resolver siempre esta ecuación diferencial?

$$RC \frac{de_-}{dt}(t) + e_-(t) = V_o$$



Configuraciones fuera de la zona lineal

Astable

Ecuación carga-descarga de C

- Sea $v_C(0) = V_{C_0}$ la condición inicial.
- Sea V_f el valor en régimen.

La ecuación general de un RC es: $v_C(t) = Ae^{-\frac{t}{RC}} + B$

Sustituyendo los valores inicial y final en la ecuación queda:

$$v_C(t) = (V_{C_0} - V_f)e^{-\frac{t}{RC}} + V_f$$

Configuraciones fuera de la zona lineal

Astable

Impongamos $V_o = V_{cc}$ (ZSP)

Sustituyendo e_+ : $e_+ = \frac{V_{cc}}{2}$

Ecuación carga-descarga en e_- :

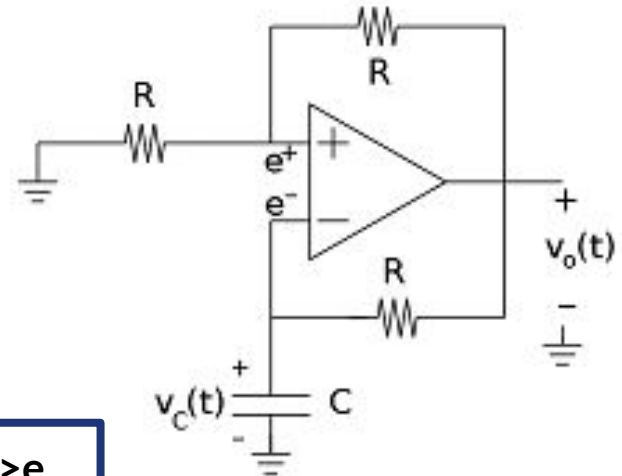
- $V_{c0} = 0$

- $V_f = V_{cc}$

$$e_-(t) = (1 - e^{-\frac{t}{RC}}) V_{cc}$$

¿Hasta cuándo permanece en ZSP?

R: Hasta que $e_- > e_+$



Configuraciones fuera de la zona lineal

Astable

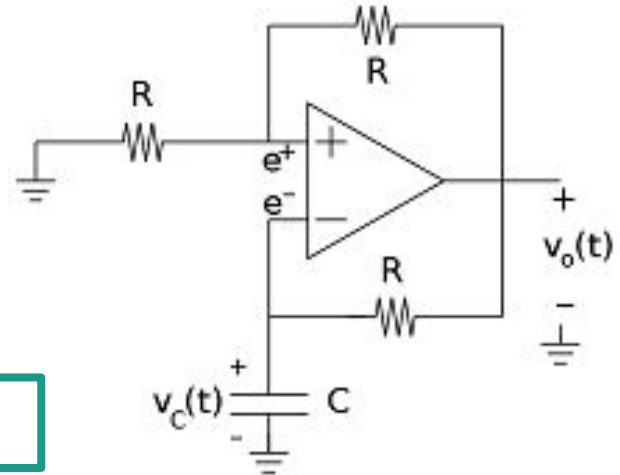
Condición de permanencia en ZSP:

$$e_+ > e_- \rightarrow \frac{V_{CC}}{2} > (1 - e^{-\frac{t}{RC}}) V_{CC}$$

Cambio de zona cuando se da la igualdad.

Ahora hay que estudiar que pasa en ZSN...

Ejercicio: ¿En qué tiempo se da el cambio?



Configuraciones fuera de la zona lineal

Astable

En ZSN: $V_o = -V_{cc}$

Estado inicial: $V_C(0) = V_{cc}/2$ (el estado en el que cambió)

Divisor de tensión en rama e_+ : $e_+ = -\frac{V_{cc}}{2}$

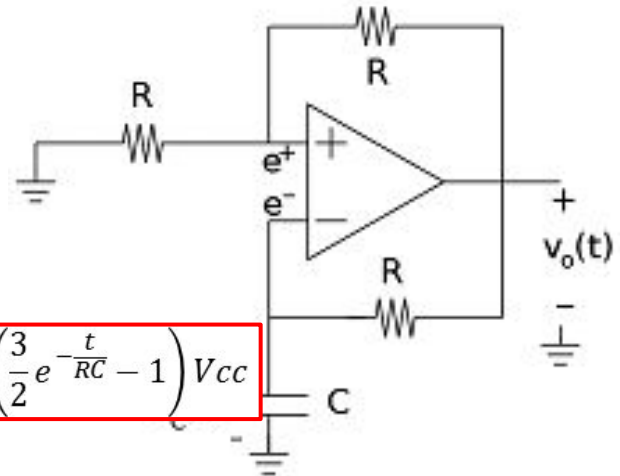
Ecuación carga-descarga en e_- :

- $V_{C0} = V_{cc}/2$

- $V_f = -V_{cc}$

$$v_C(t) = \left(\frac{V_{cc}}{2} - (-V_{cc}) \right) e^{-\frac{t}{RC}} - V_{cc} = \left(\frac{3}{2} e^{-\frac{t}{RC}} - 1 \right) V_{cc}$$

Condición de permanencia en ZSN: $e_-(t) > e_+ = -V_{cc}/2$



Configuraciones fuera de la zona lineal

Astable

En ZSP: $V_o = -V_{cc}$

Estado inicial: $V_C(0) = -V_{cc}/2$ (el estado en el que cambió)

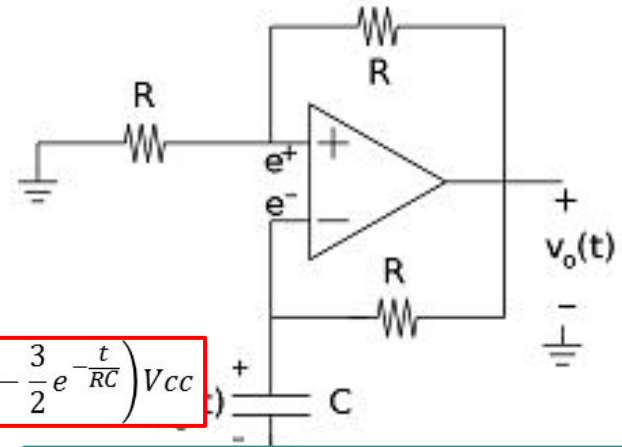
Divisor de tensión en rama e_+ : $e_+ = \frac{V_{cc}}{2}$

Ecuación carga-descarga en e_- :

- $V_{C0} = -V_{cc}/2$
- $V_f = V_{cc}$

$$v_C(t) = \left(-\frac{V_{cc}}{2} - V_{cc}\right) e^{-\frac{t}{RC}} + V_{cc} = \left(1 - \frac{3}{2} e^{-\frac{t}{RC}}\right) V_{cc}$$

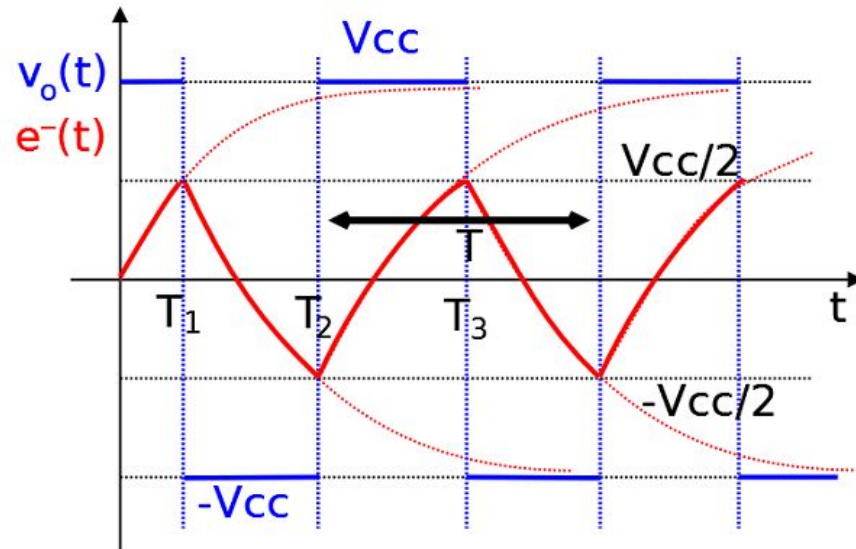
Condición de permanencia en ZSP: $e_-(t) < e_+ = V_{cc}/2$



y así sucesivamente...

Configuraciones fuera de la zona lineal

Astable



La onda cuadrada puede hacerse asimétrica cambiando los valores de las distintas resistencias



FIN