Tema 4: osciladores sinusoidales

Índice

- *Realimentación positiva e inestabilidad*
- *Oscilador sinusoidal, concepto y aplicaciones*
- *Principio de funcionamiento*
- *Elementos de un oscilador*
- *Estabilidad en frecuencia*
- *Condición de inicio de la oscilación*
- *Control de amplitud*
- Oscilador en puente de Wien. Análisis de la ganancia del lazo
- Osciladores LC. Análisis de la ganancia del lazo
- Cristales y osciladores de cuarzo
- *Algunos Ejemplos de osciladores*

Efectos de la realimentación negativa en amplificadores

Resumen de los efectos de la realimentación

A costa de una pérdida de ganancia, el amplificador realimentado tiende a sus condiciones de funcionamiento ideal:

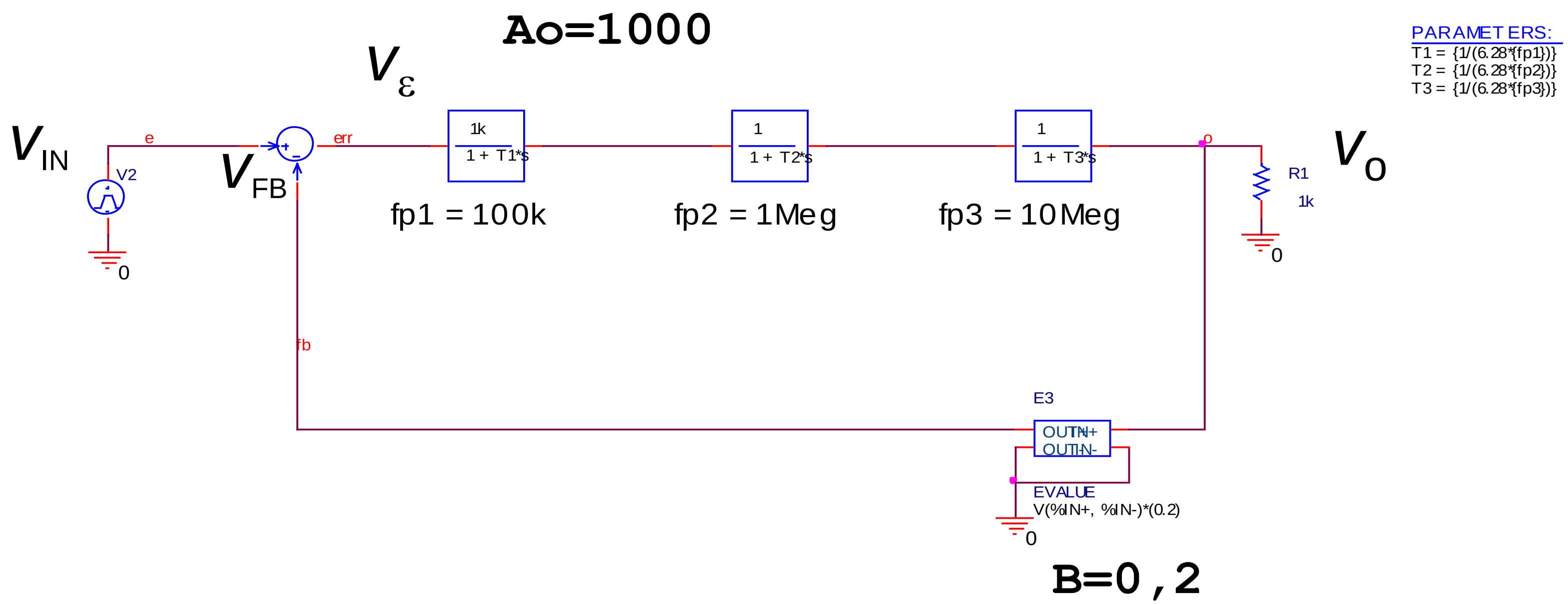
- *Mejora (reducción) de las variaciones relativas a la ganancia en lazo abierto.*
- *Mejora (reducción) de la distorsión respecto a lazo abierto.*
- *Mejora (reducción) de la sensibilidad al ruido y otras perturbaciones*.
- *Mejora de la impedancia de entrada y salida.*
- *Mejora (aumento) del ancho de banda.*

A mayor $A\cdot\beta$, mayor es la mejora que supone la realimentación

…pero, ¿puede aumentar indefinidamente la ganancia del lazo, A.β?

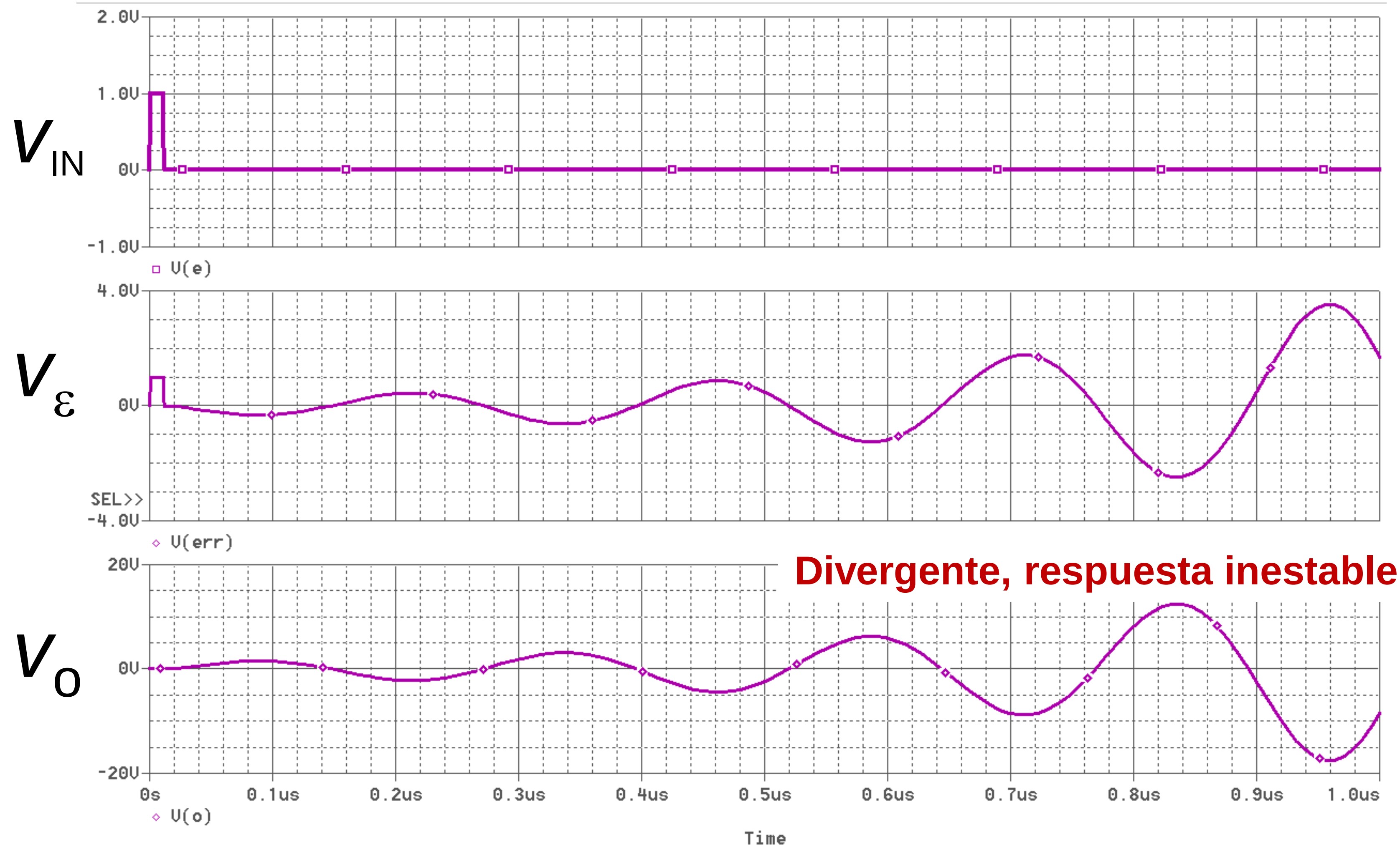
Ejemplo de simulación Pspice de un amplificador multietapa (3-polos)

Un concepto básico de estabilidad



Ejemplo de simulación Pspice de un amplificador multietapa (3-polos)

Un concepto básico de estabilidad



Divergente, respuesta inestable

¿ Que es lo que ha sucedido?

Un concepto básico de estabilidad

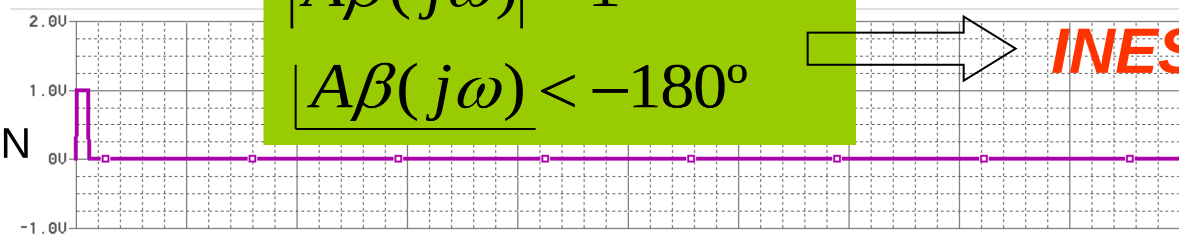
Considerando todas las frecuencias contenidas en la señal de entrada (series de Fourier). Con que solo una de esas frecuencias cumpla las condiciones siguientes, se obtendrá una respuesta divergente e inestable.

$$\left|A\beta(j\omega)\right| = 1$$

$$\underline{\left|A\beta(j\omega)\right.} < -180^{o}$$

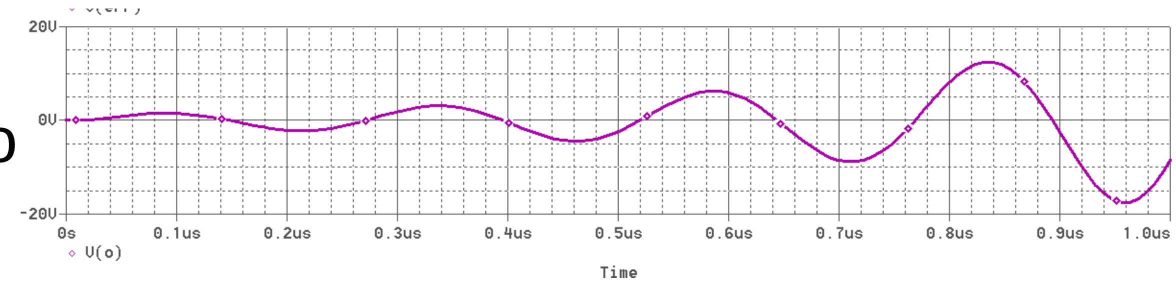
INESTABLE

V_{IN}



Cualquiera que sea la señal de entrada, incluso en el caso de un pico o de ruido, si una de sus frecuencias cumpliera las condiciones anteriores, será amplificada de manera indefinida al pasar a través del bucle en pasadas sucesivas.

V_O

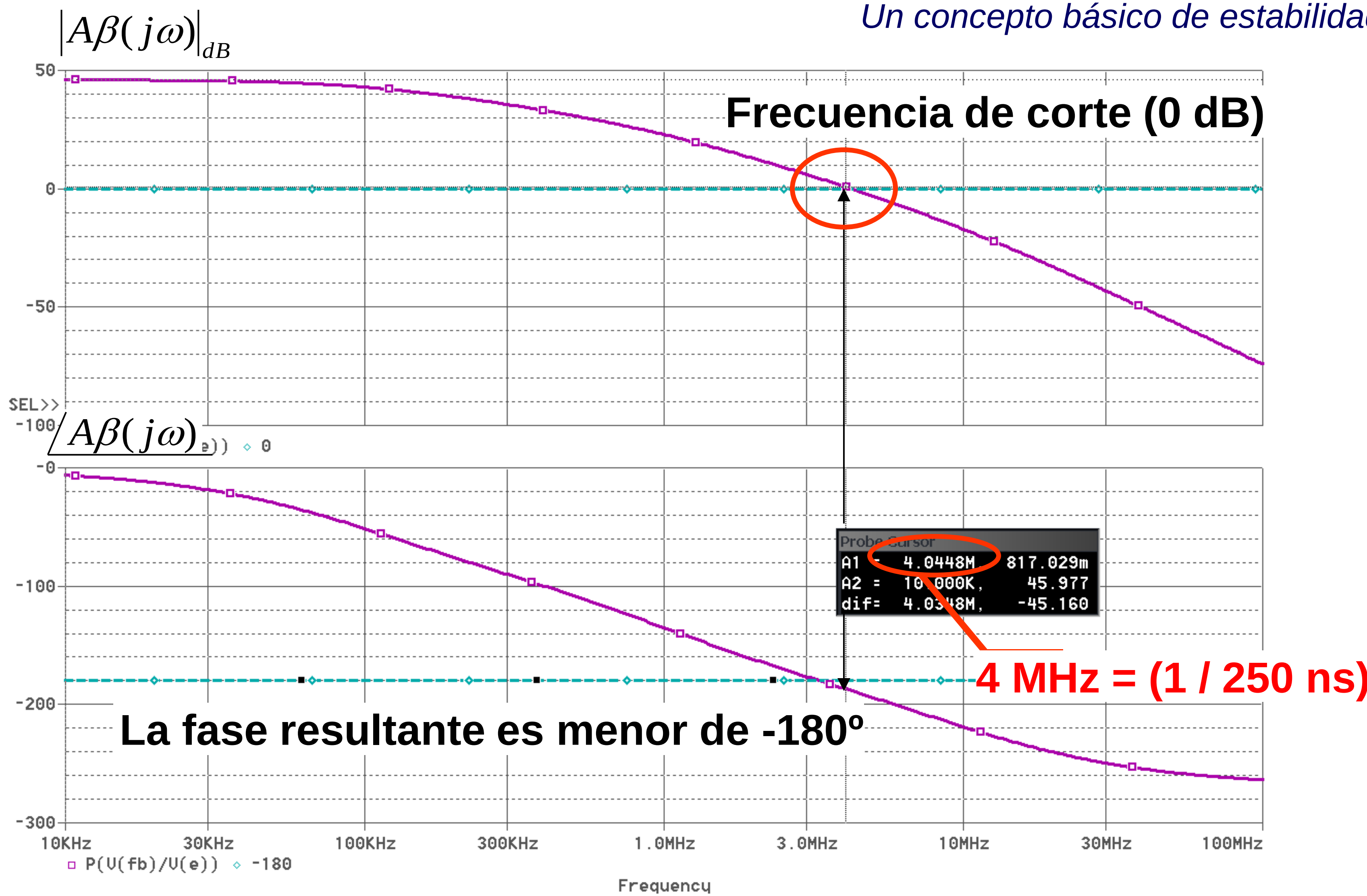


Divergente, respuesta inestable

¿Que es lo que ha sucedido?

Un concepto básico de estabilidad

Diagramas de Bode



¿Que es lo que ha sucedido?

Un concepto básico de estabilidad

*El objetivo del diseño es estar lo más cerca posible de las **condiciones de funcionamiento ideal** del amplificador. Por lo tanto fue seleccionada la **realimentación negativa** con alta ganancia de lazo.*

El circuito se creo para presentar estructuralmente una realimentación negativa. Sin embargo, para una frecuencia particular, la ***inversión de fase*** en bucle cerrado provoca que la ***realimentación se convierte positiva***. En el caso de realimentación positiva si la ganancia es mayor que la unidad el sistema se vuelve inestable.

Criterio de estabilidad *(Criterio simplificado de Nyquist)*
El desplazamiento de fase debe ser menor 180º para la frecuencia de cruce con 0dB:

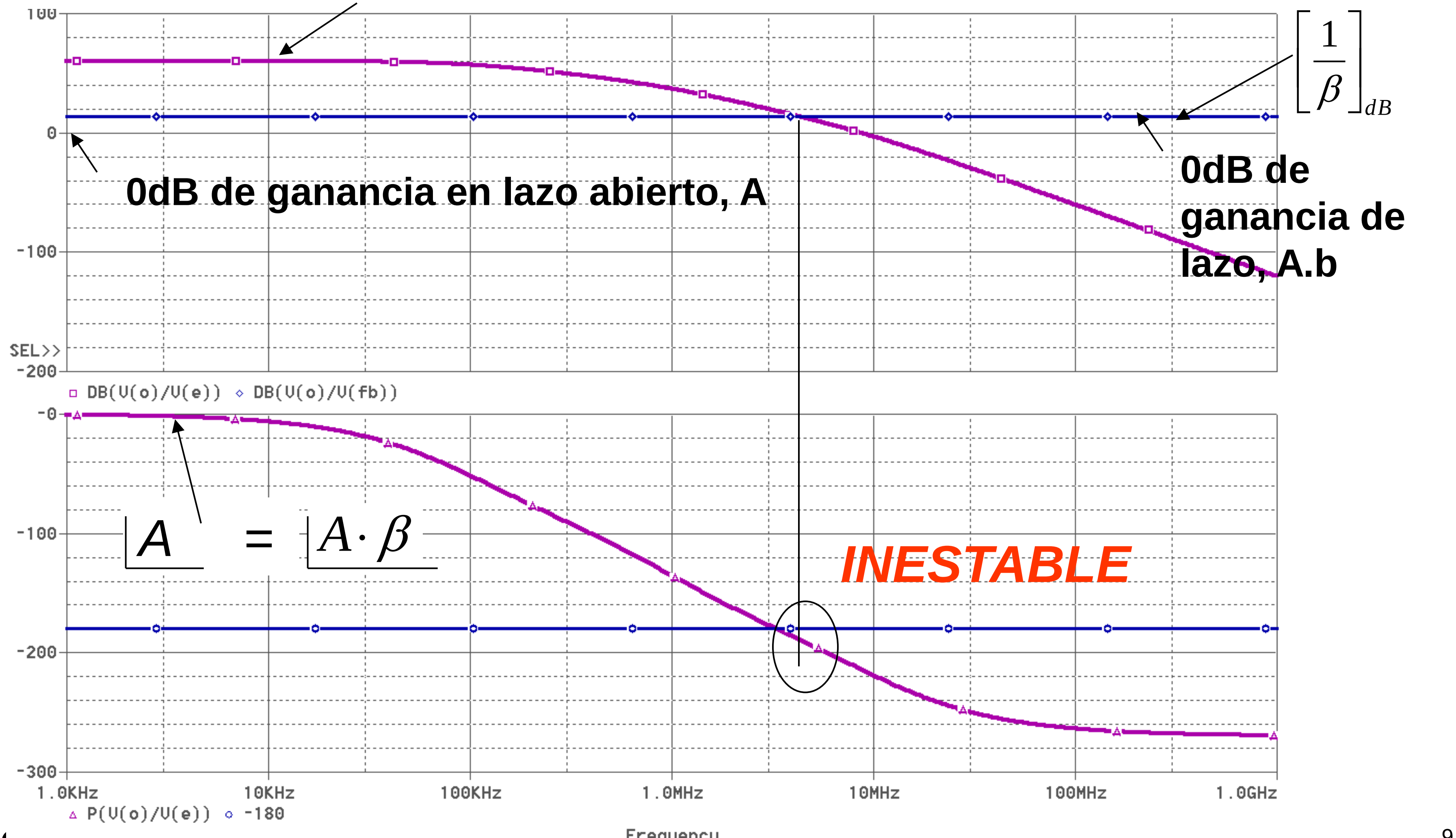
$$\left|A\beta(j\omega_{CRUCE})\right| = 1 \Rightarrow \omega_{CRUCE}$$

$$\angle A\beta(j\omega_{CRUCE}) < -180^{o} \Longrightarrow$$ ***INESTABLE***

Estabilidad del amplificador multietapa (3 polos)

$\left|A\right|_{dB}$ se transforma en $\left|A\cdot\beta\right|_{dB}$

Margen de fase y margen de ganancia

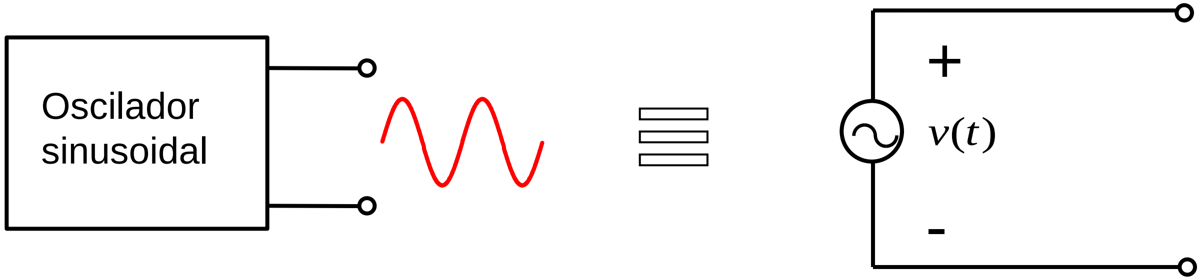


Índice

Oscilador sinusoidal: concepto y aplicaciones

Concepto

Bases del oscilador sinusoidal



- *La tensión de salida sinusoidal se genera sin señal de entrada.*
- *El principal requisito es una muy baja distorsión armónica(THD), amplitud fija y frecuencia variable.*

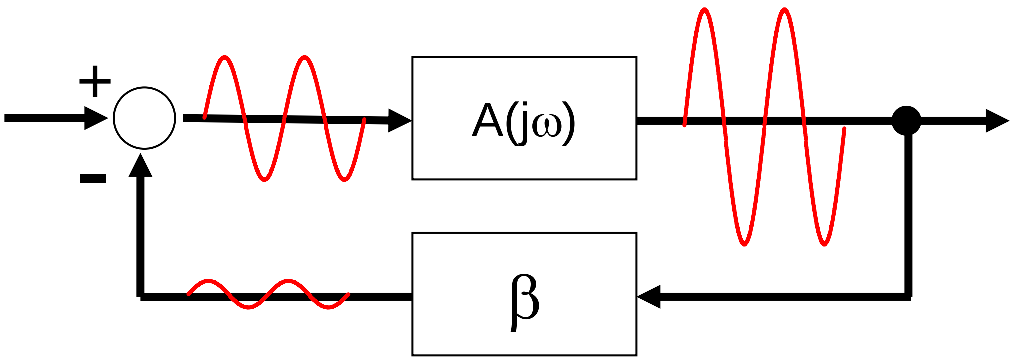
Aplicaciones

- *Generador de funciones*
- *Instrumentos de medición cíclica*
- *Multímetros digitales, osciloscopios*
- *Receptores de radiofrecuencia*
- *"Reloj" en sistemas digitales y ordenadores*
- *Etc.*

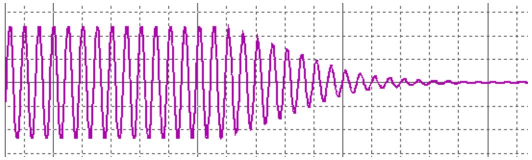
Índice

Principio de funcionamiento: Realimentación negativa

Realimentación negativa



A la entrada se le resta la salida

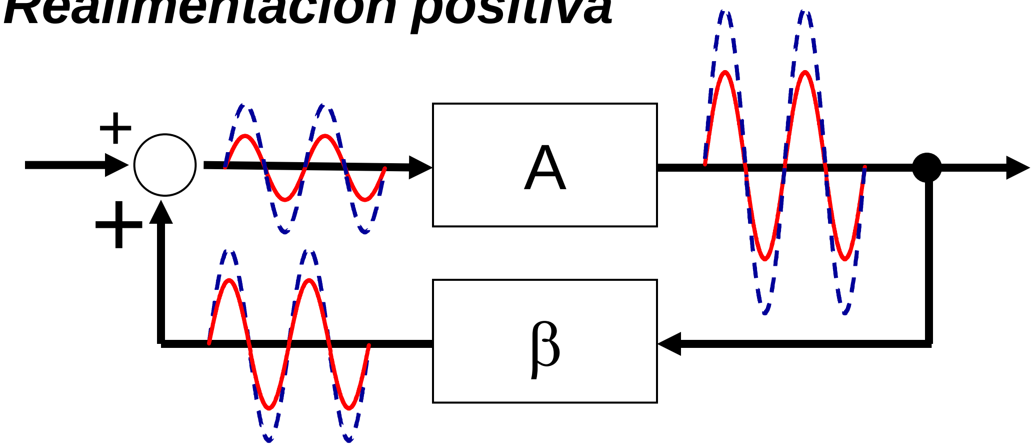


La perturbación tiende a desaparecer progresivamente

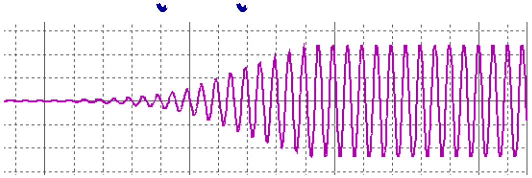
Principio de funcionamiento: Realimentación positiva

Bases del oscilador sinusoidal

Realimentación positiva



A la entrada se le suma la salida



Con realimentación positiva si se cumple que |***A·β***| **>1**, *la perturbación es amplificada progresivamente. Se produce un crecimiento exponencial de la perturbación.*

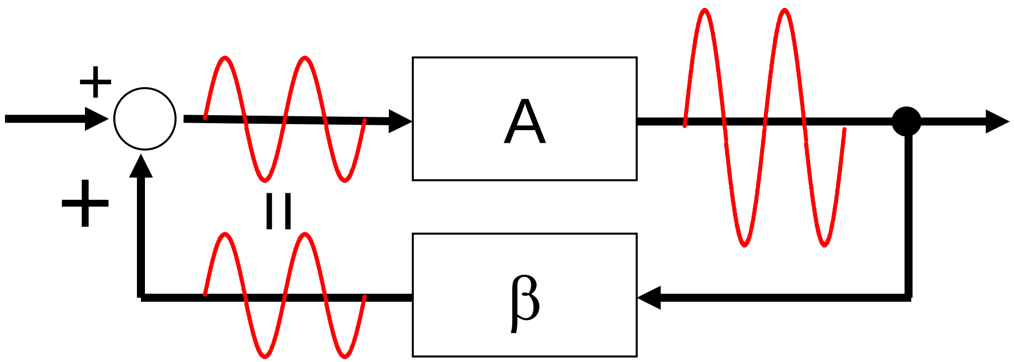
Ganancia en lazo cerrado para ***realimentación positiva*** *y* |***A·β***| **≤ 1**

$$G = \frac{V_O}{V_G} = \frac{A}{1 - A \cdot \beta}$$

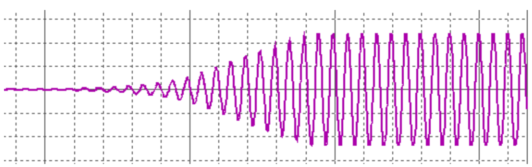
Principio de operación: condición de oscilación

Bases del oscilador sinusoidal

Condición de oscilación $|A\cdot\beta| = 1$



A la entrada se le suma la salida



Con realimentación positiva si se cumple que $|A\cdot\beta| = 1$*, la perturbación se mantiene.*

Ganancia en lazo cerrado para ***realimentación positiva*** *y* $|A\cdot\beta| = 1$

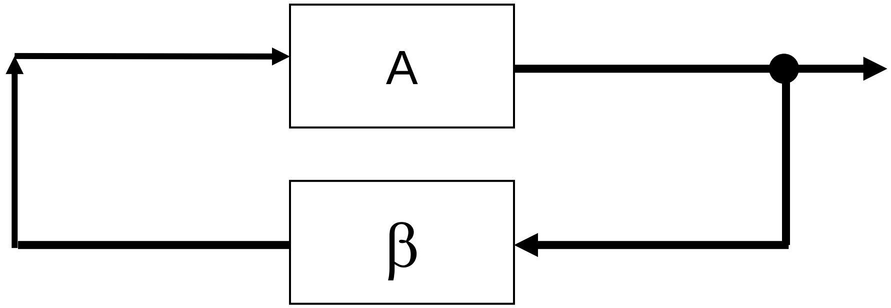
$$G = \frac{V_O}{V_G} = \frac{A}{1 - A\cdot\beta} \rightarrow \infty$$

La ganancia en lazo cerrado tiende a infinito, por lo tanto no se requiere una entrada para obtener una salida.

Condiciones de oscilación: Criterio de Barkhausen

Bases del oscilador sinusoidal

Condición de oscilación $A \cdot \beta(j\omega) = 1.e^{j0}$



Criterio de fase: $\angle A \cdot \beta(j\omega_o) = 0º$

Desfase total en el lazo = 0º = 2π

Criterio de ganancia: $|A \cdot \beta(j\,\omega_o)| = 1$

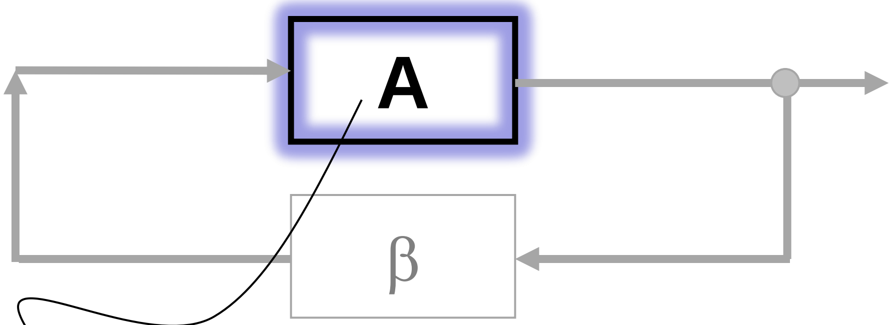
La atenuación de β debe ser compensada por la ganancia de A

A la frecuencia de oscilación, ω_o, se cumplen simultáneamente ambas condiciones

Índice

Elementos de un oscilador: Amplificador

Función del amplificador



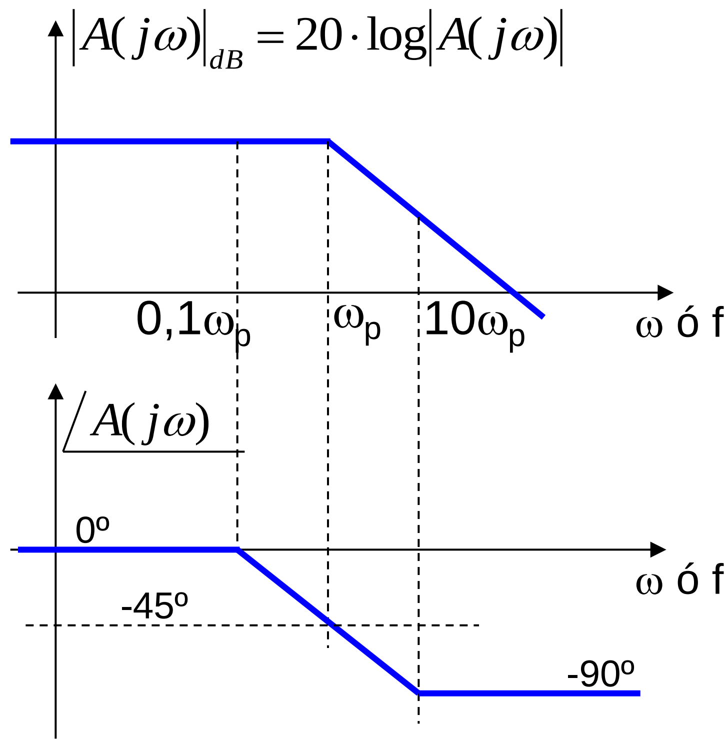
¿Puede servir para seleccionar la frecuencia de oscilación?

El amplificador tiene una respuesta en frecuencia A(jω) normalmente dominada por un único polo (compensación por polo dominante)

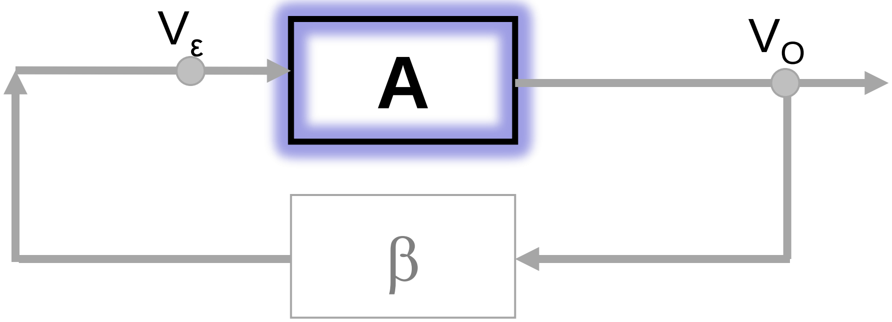
Desde 0 Hz hasta $0.1\omega_p$, su fase es constante e igual a 0º

Por tanto hay infinitas frecuencias que cumplen : $\angle A(j\omega) = 0º$

En conclusión, el amplificador A no sirve para seleccionar la frecuencia de oscilación



Elementos de un oscilador: Amplificador

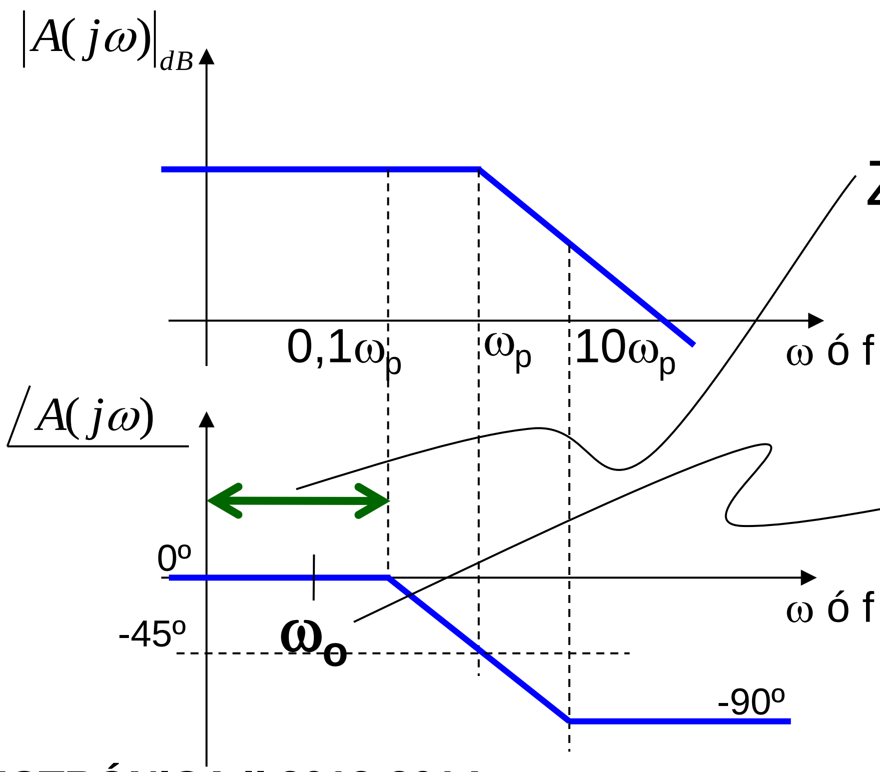


Función del amplificador

Dado que el amplificador no permitirá seleccionar la frecuencia de oscilación, se buscará que a la frecuencia de oscilación se comporte como una ganancia constante, sin ningún efecto sobre la fase

Esto supone una limitación:

La frecuencia de oscilación ha de ser menor que 0.1ω_p

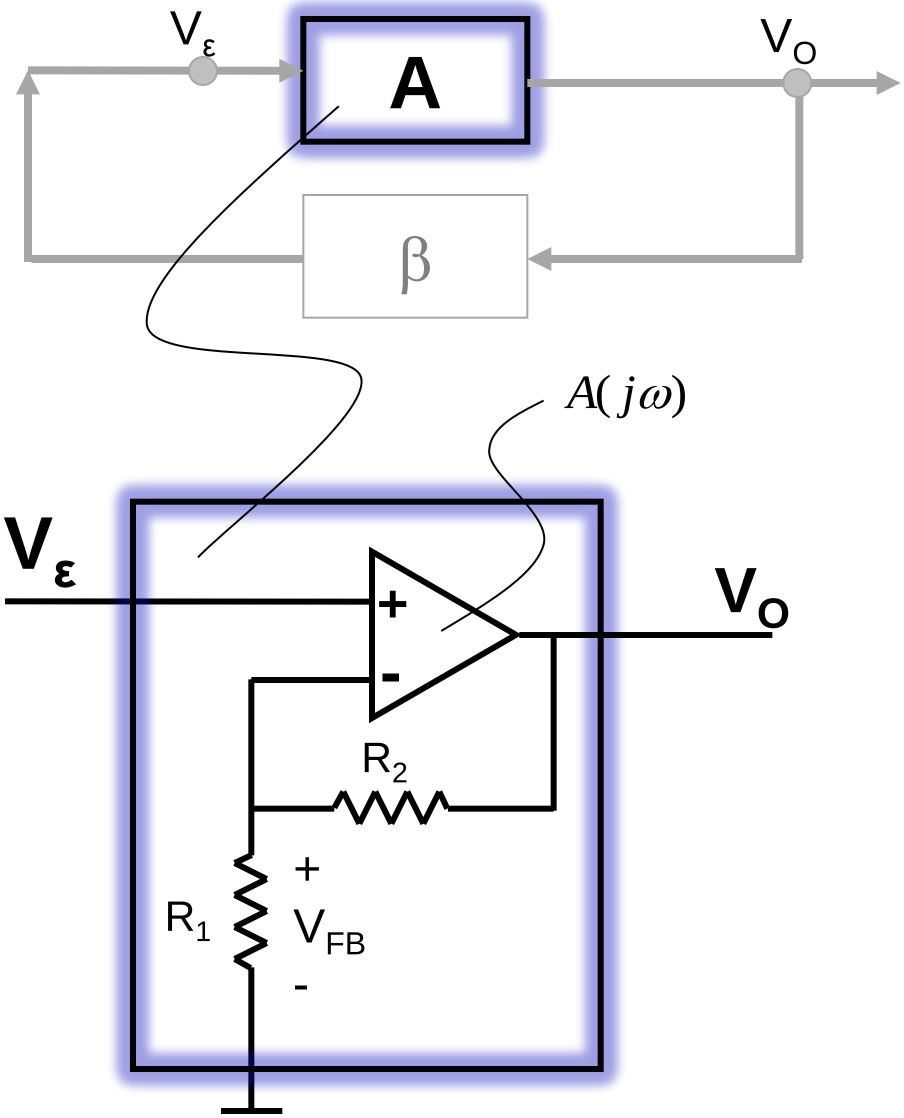


Zona válida $\angle A(j\omega) = 0º$

$\omega_o < 0.1\omega_p$

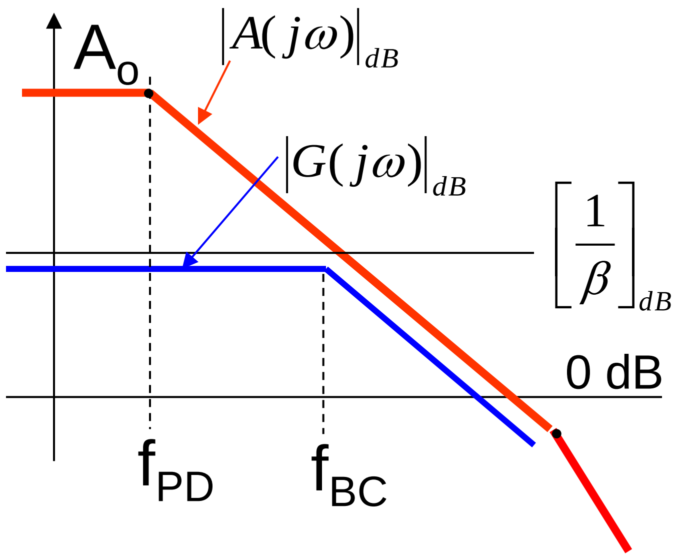
Elementos de un oscilador: Amplificador

Función del amplificador



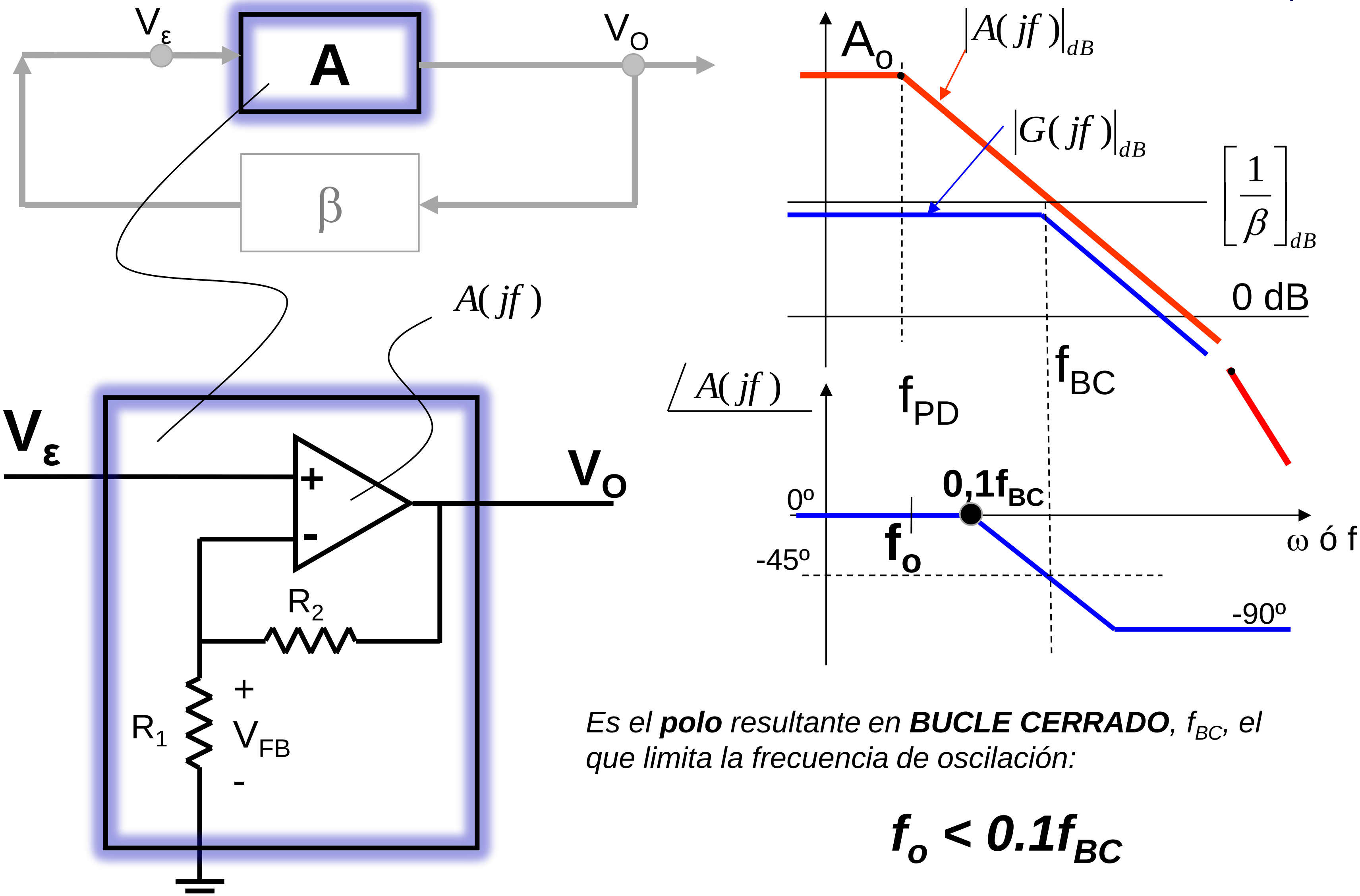
Normalmente el amplificador operará en bucle cerrado con realimentación negativa

Sería mejor hablar de G(jω) que de A(jω)



Elementos de un oscilador: Amplificador

Función del amplificador

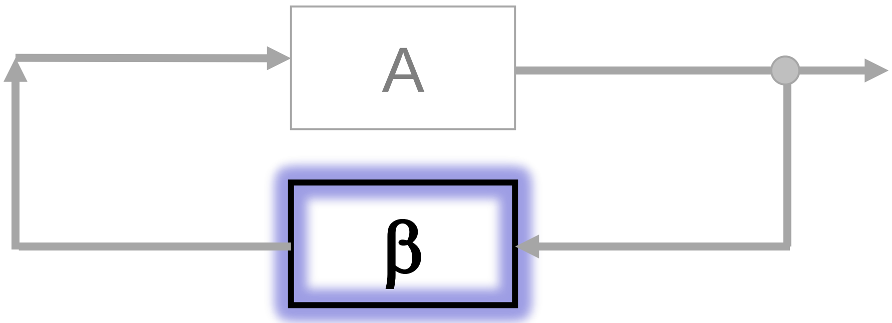


Es el **polo** resultante en **BUCLE CERRADO**, f_{BC}, el que limita la frecuencia de oscilación:

$$f_o < 0.1 f_{BC}$$

Elementos de un oscilador: Red Beta

Función de la red de realimentación β

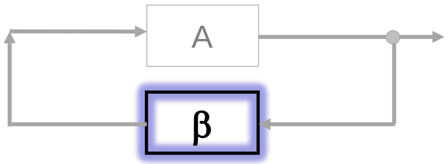


Se buscará una red de realimentación cuya respuesta en frecuencia, β(jω), permita seleccionar la frecuencia de oscilación al cumplirse :

$\angle \beta(j\omega_o) = 0º$ Para amplificadores **No inversores**

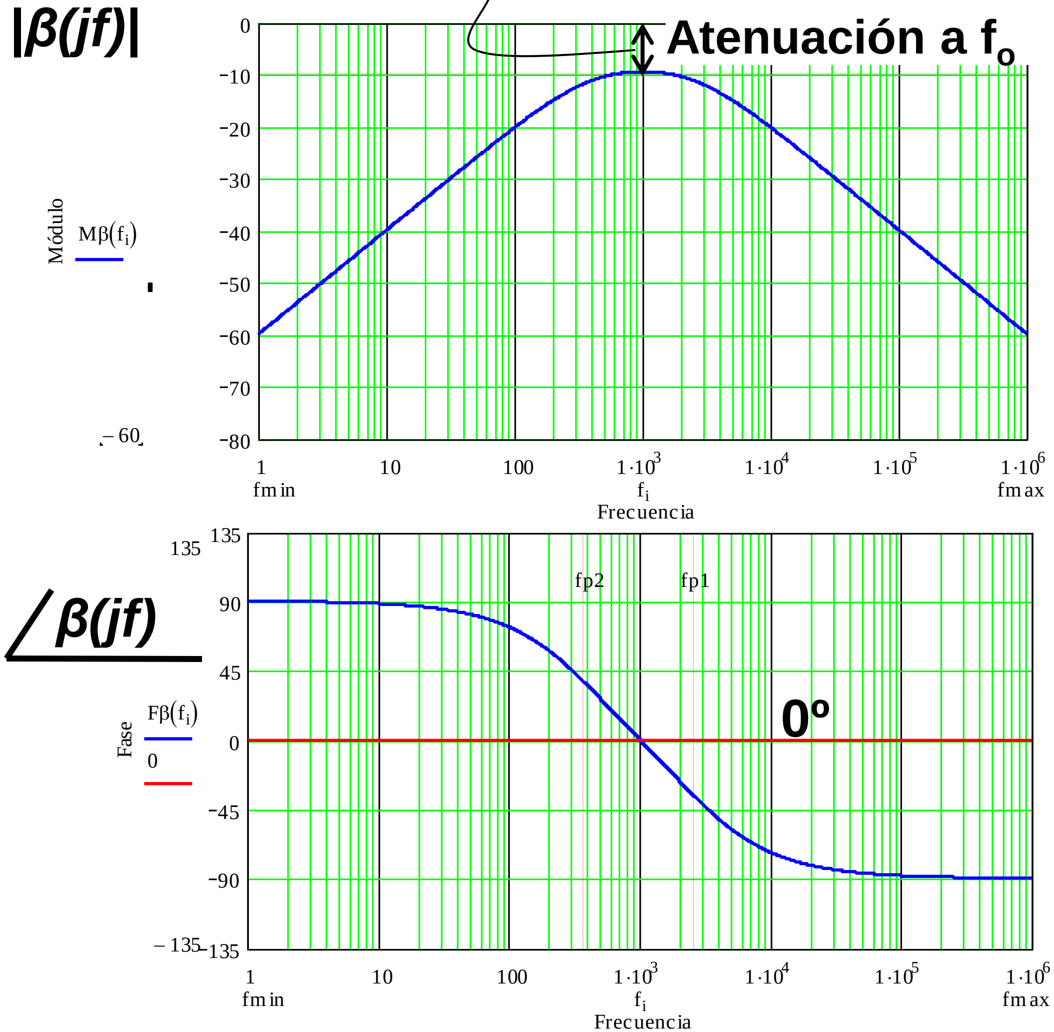
$\angle \beta(j\omega_o) = -180º$ Para amplificadores **inversores**

Elementos de un oscilador: Red Beta

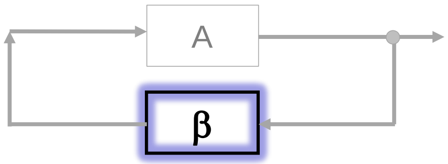


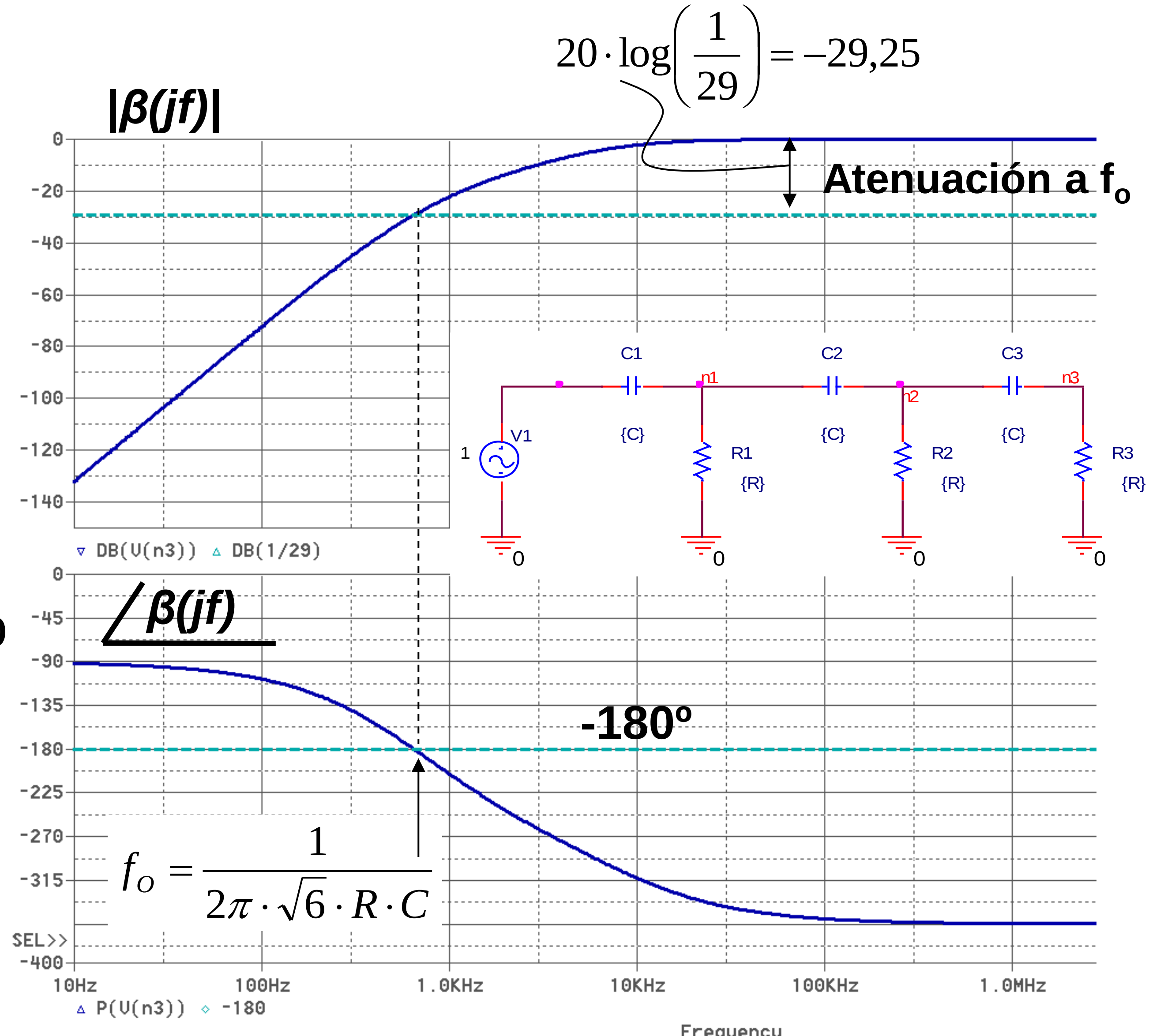
Red β(jf) del oscilador en Puente de Wien

$$20 \cdot \log\left(\frac{1}{3}\right) = -9dB$$



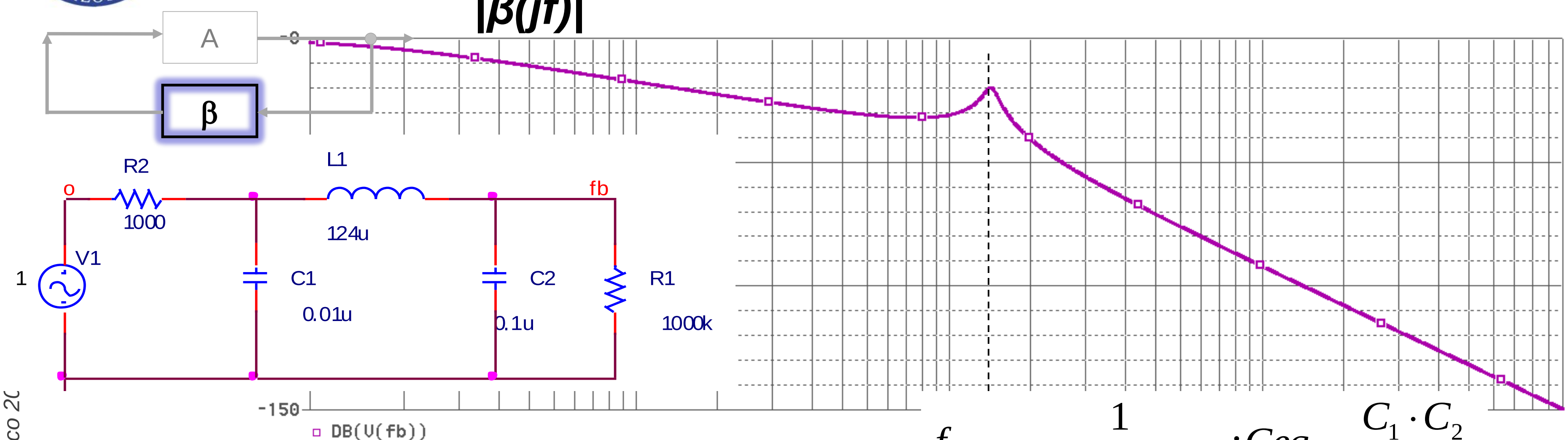
Elementos de un oscilador: Red Beta



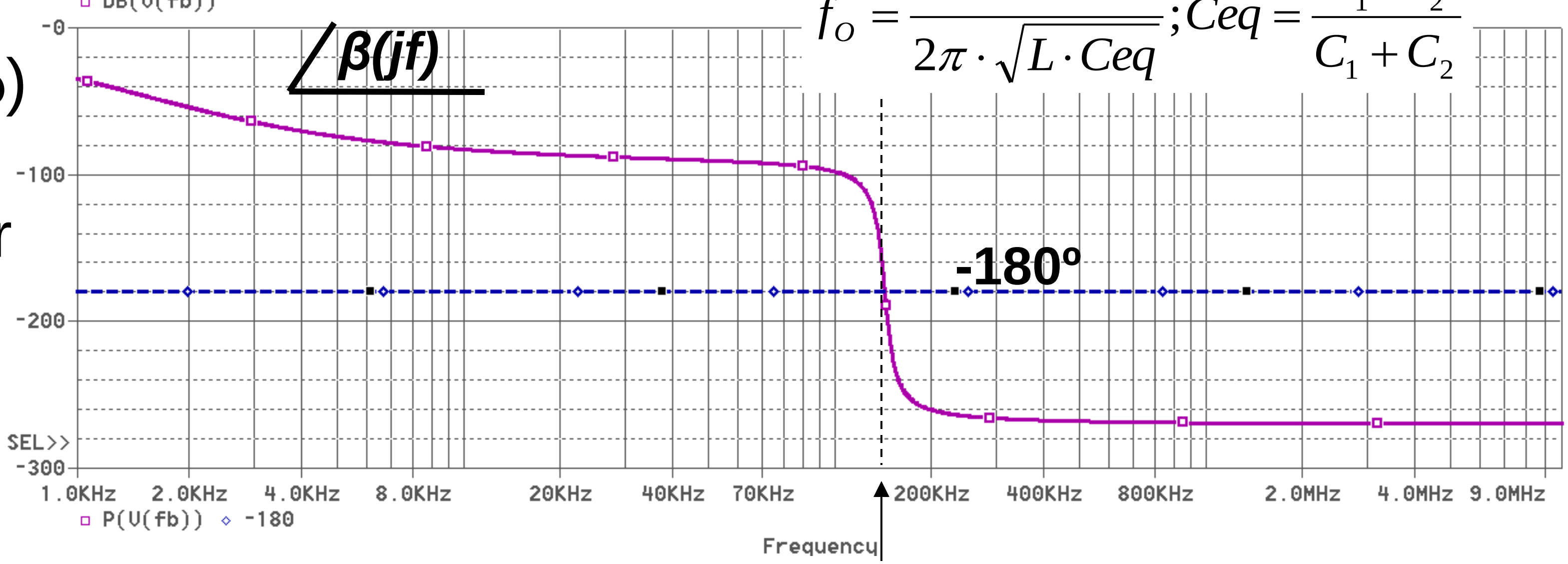


Red β(jω) del oscilador por desplazamiento de fase

Elementos de un oscilador: Red Beta



$$f_O = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot Ceq}}; Ceq = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

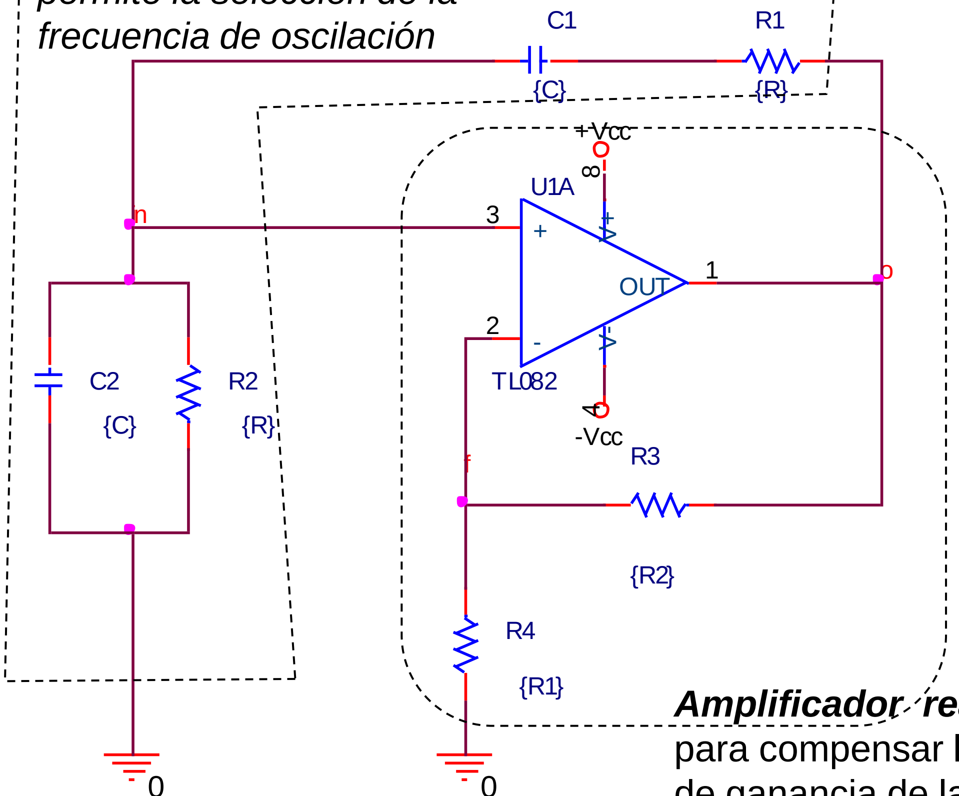


Red β(jω) del oscilador Colpitts

Resumen Componentes básicos del oscilador

Red de realimentación $\beta(j\omega)$ *, permite la selección de la frecuencia de oscilación*

Presenta una ***atenuación*** *o* ***pérdida de ganancia*** *a la* ***frecuencia de oscilación***



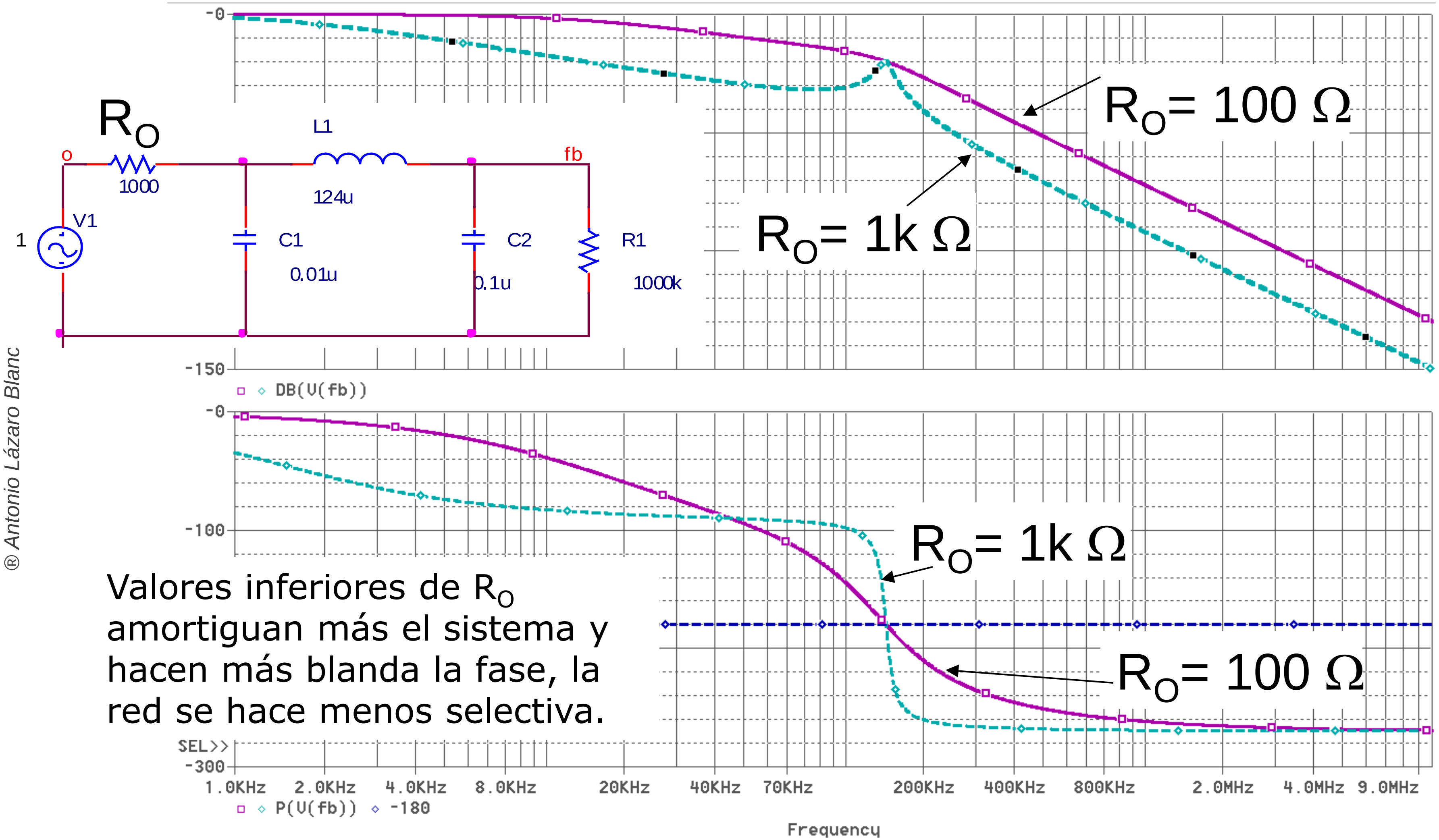
Amplificador realimentado, para compensar las pérdidas de ganancia de la red beta

Índice

- *Realimentación positiva e inestabilidad*
- *Oscilador sinusoidal, concepto y aplicaciones*
- *Principio de funcionamiento*
- *Elementos de un oscilador*
- *Estabilidad en frecuencia*
- *Condición de inicio de la oscilación*
- *Control de amplitud*
- Oscilador en puente de Wien. Análisis de la ganancia del lazo
- Osciladores LC. Análisis de la ganancia del lazo
- Cristales y osciladores de cuarzo
- *Algunos Ejemplos de osciladores*

Red β(jω) del oscilador Colpitts

Efecto R_O



Valores inferiores de R_O amortiguan más el sistema y hacen más blanda la fase, la red se hace menos selectiva.

Estabilidad de frecuencia

La frecuencia de un oscilador también se puede desviar. En algunas aplicaciones puede ser tolerable del 1 al 2% de desviación. No obstante, en otras, la frecuencia debe ser constante durante todo el tiempo. La frecuencia de oscilación depende no solo de elementos del circuito sintonizado (Red β), sino también de los parámetros del dispositivo activo (Amplificador). Por ejemplo, los parámetros del dispositivo activo varían con el voltaje de polarización, temperatura y edad.

Otra causa de desviación de la frecuencia son las variaciones de la tensión de alimentación. Por tanto, para que haya buena estabilidad de frecuencia se deben minimizar los efectos de todos estos parámetros.

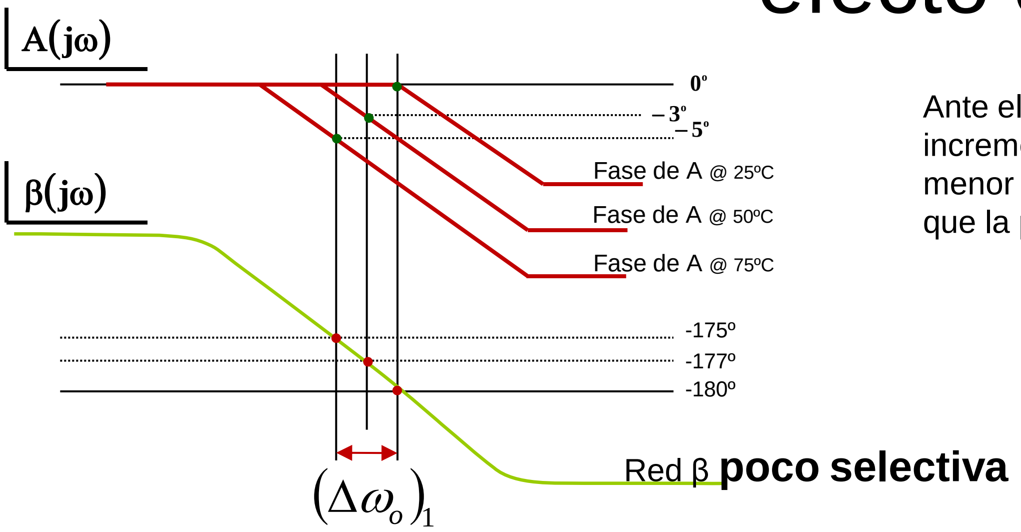
Si se establece que todos estos elementos son la causa de la mayor parte de la inestabilidad de frecuencia en el oscilador, es decir, si el ángulo de fase $\theta(\omega)$ cambia rápidamente con la variación de los valores de estos parámetros, entonces la atención se debe concentrar en estos parámetros.

Estabilidad de frecuencia

En este caso *dθ(ω)/dω*, sirve como medida de la independencia respecto a la frecuencia de todos los otros elementos del circuito. La frecuencia de estabilidad mejora cuando *dθ(ω)/dω* aumenta. Cuando $d\theta(\omega)/d\omega \rightarrow \infty$, la frecuencia de oscilación dependerá exclusivamente de este grupo de elementos.

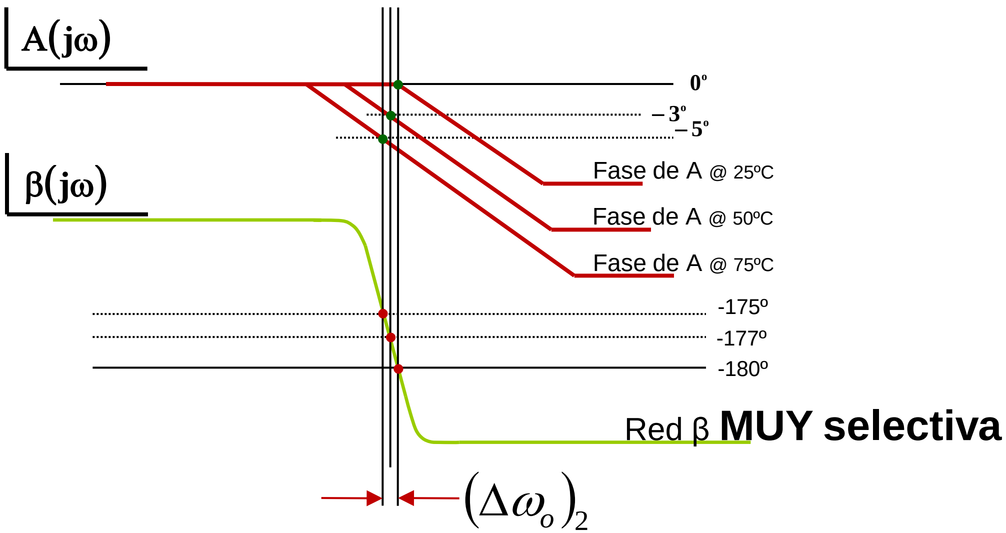
Puede demostrarse que $d\theta(\omega)/d\omega$ *en* $\omega = \omega_0$ es, en general, proporcional al factor de calidad del circuito, *Q*. Por tanto, un oscilador de sintonizado con alto factor de calidad *Q* tendrá una excelente estabilidad de frecuencia. Es por esta causa por la que los osciladores de cristal tienen una excelente estabilización en frecuencia.

Estabilidad en frecuencia: ejemplo del efecto de la temperatura

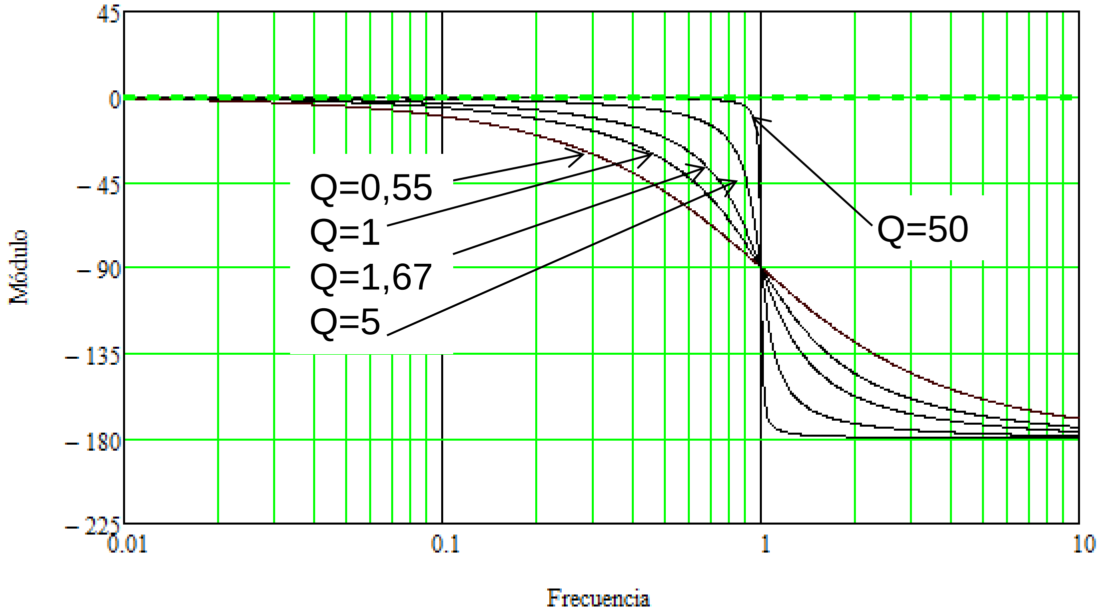


Ante el mismo incremento de temperatura, el incremento de frecuencia de oscilación, $\Delta\omega_o$ es menor en el caso de la red β muy selectiva ya que la pendiente de su fase es mucho más alta

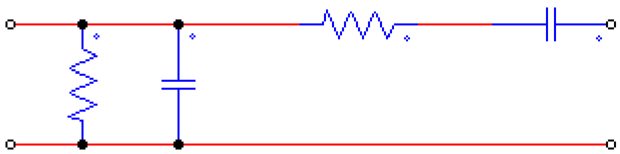
	β poco selectiva	β muy selectiva
ΔTª	50ºC	50ºC
$\frac{\Delta\omega_o}{\omega_o}$	10%	1%
$\frac{d\angle\beta(\omega)}{d\omega}$	45º/dec	110º/dec



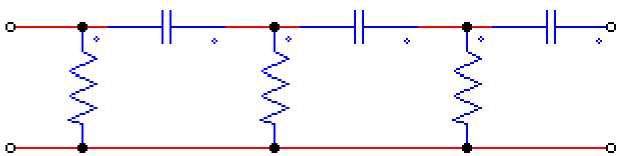
Estabilidad en frecuencia: relación Q y dFase(β(jω)/d ω



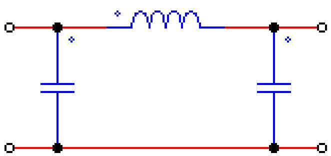
Estabilidad en frecuencia: en función del tipos de red $\beta(j\omega)$



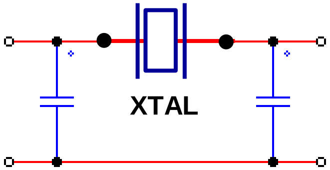
$Q = 1/3$



$Q \leq 1/2$



$5 \leq Q \leq 500$



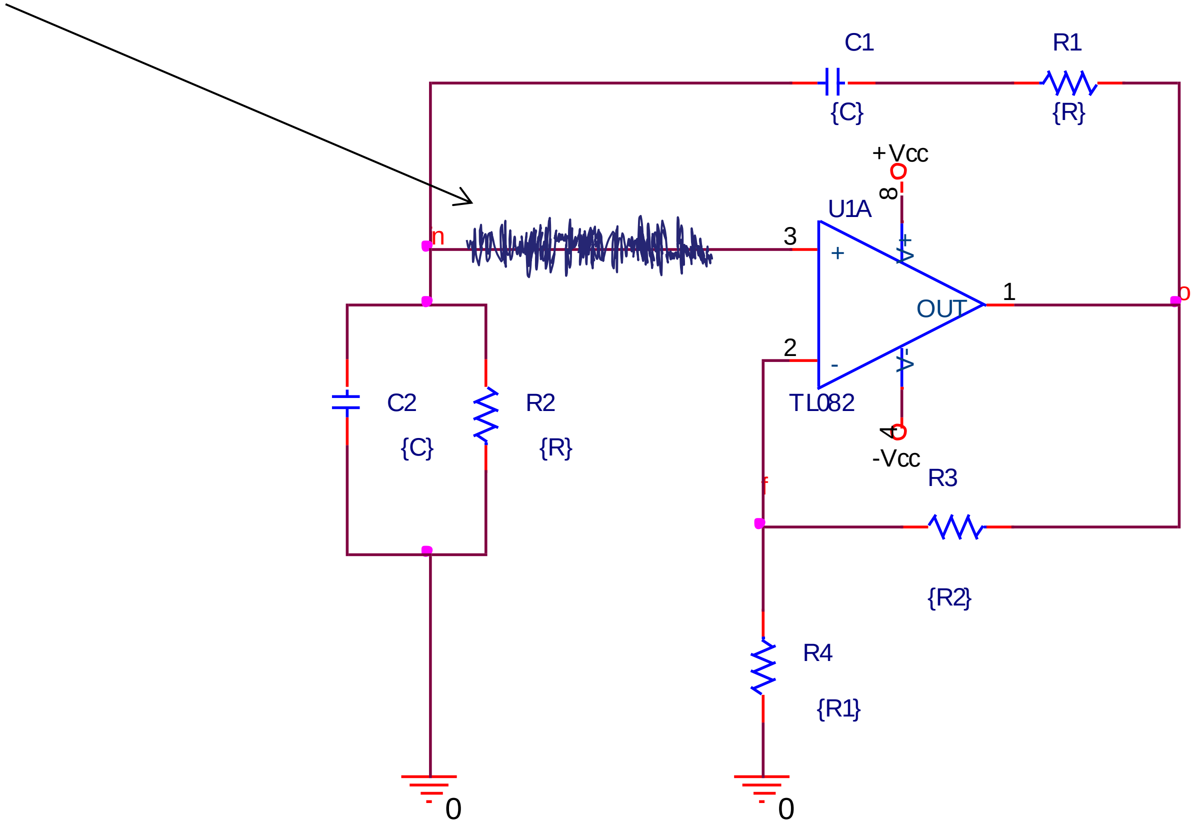
$Q \geq 25000$

Índice

- *Realimentación positiva e inestabilidad*
- *Oscilador sinusoidal, concepto y aplicaciones*
- *Principio de funcionamiento*
- *Elementos de un oscilador*
- *Estabilidad en frecuencia*
- *Condición de inicio de la oscilación*
- *Control de amplitud*
- Oscilador en puente de Wien. Análisis de la ganancia del lazo
- Osciladores LC. Análisis de la ganancia del lazo
- Cristales y osciladores de cuarzo
- *Algunos Ejemplos de osciladores*

Condición de inicio de la oscilación

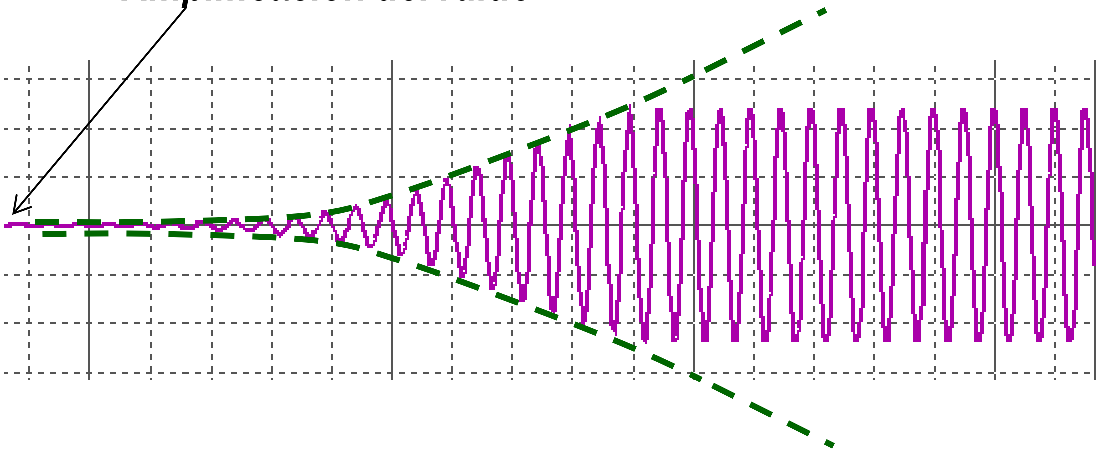
Los ***osciladores sinusoidales*** *basados en realimentación,* ***inician la oscilación por la amplificación del ruido*** *(electromagnético, térmico, error de cuantificación en una simulación, etc.).*



Condición de arranque:

realimentación positiva con: $|\boldsymbol{A \cdot \beta}| > \mathbf{1}$

Amplificación del ruido



El sistema diverge, ya que la realimentación positiva con : $|\boldsymbol{A \cdot \beta}| > \mathbf{1}$ es inestable

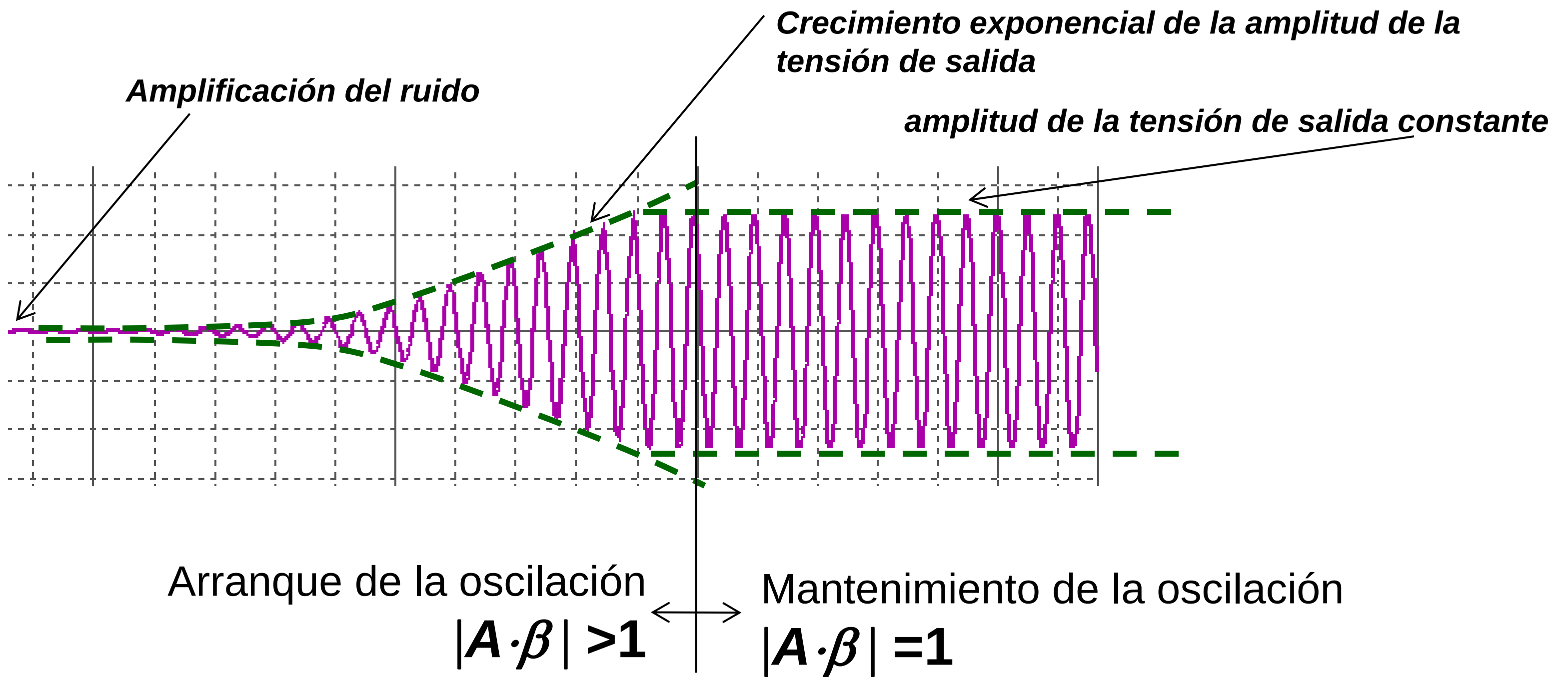
Índice

- *Realimentación positiva e inestabilidad*
- *Oscilador sinusoidal, concepto y aplicaciones*
- *Principio de funcionamiento*
- *Elementos de un oscilador*
- *Estabilidad en frecuencia*
- *Condición de inicio de la oscilación*
- *Control de amplitud*
- Oscilador en puente de Wien. Análisis de la ganancia del lazo
- Osciladores LC. Análisis de la ganancia del lazo
- Cristales y osciladores de cuarzo
- *Algunos Ejemplos de osciladores*

Inicio de la oscilación y mantenimiento de la oscilación

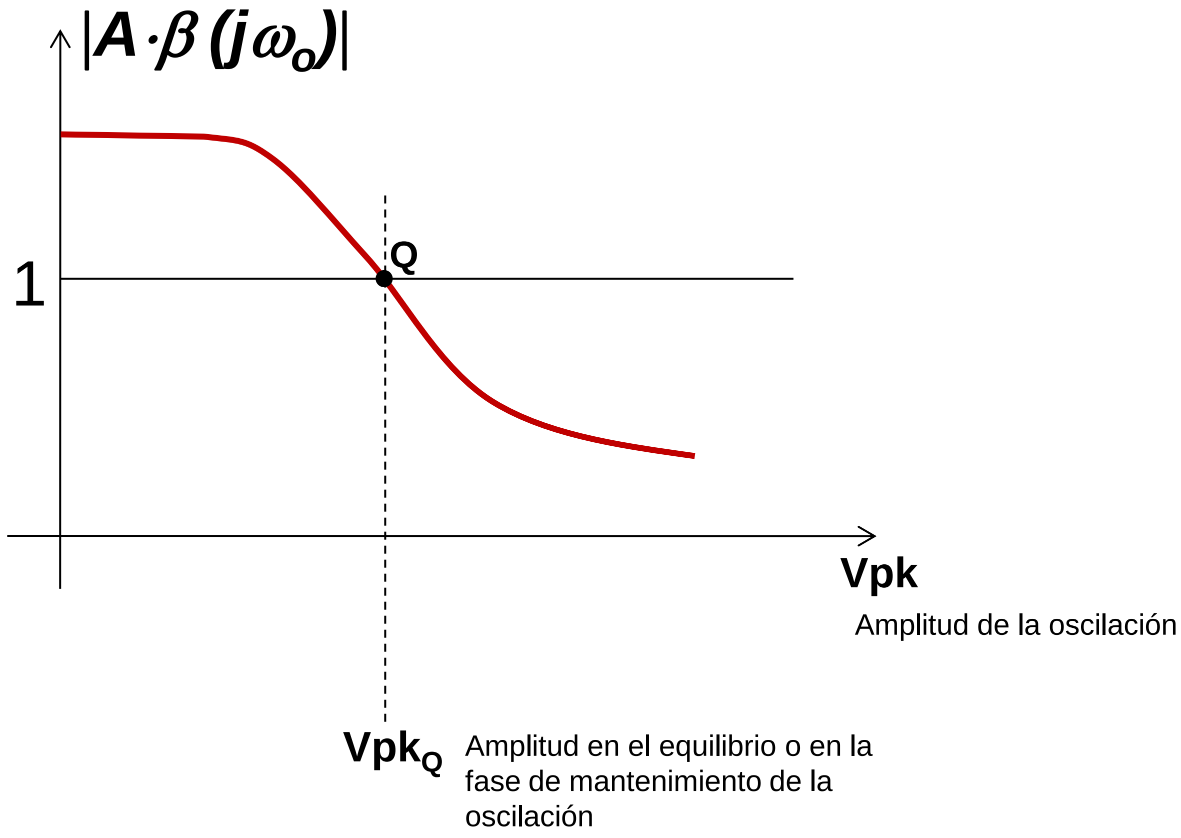
En el inicio, es necesario que el sistema sea inestable ($|\boldsymbol{A\cdot\beta}|$ **>1***), para que partiendo de ruido (unos pocos µV) se alcance la amplitud nominal de la oscilación.*

Después se necesita que el fenómeno divergente con el que se inicia la oscilación se "frene", para dar paso a una oscilación sostenida con una amplitud constante (mantenimiento de la oscilación)



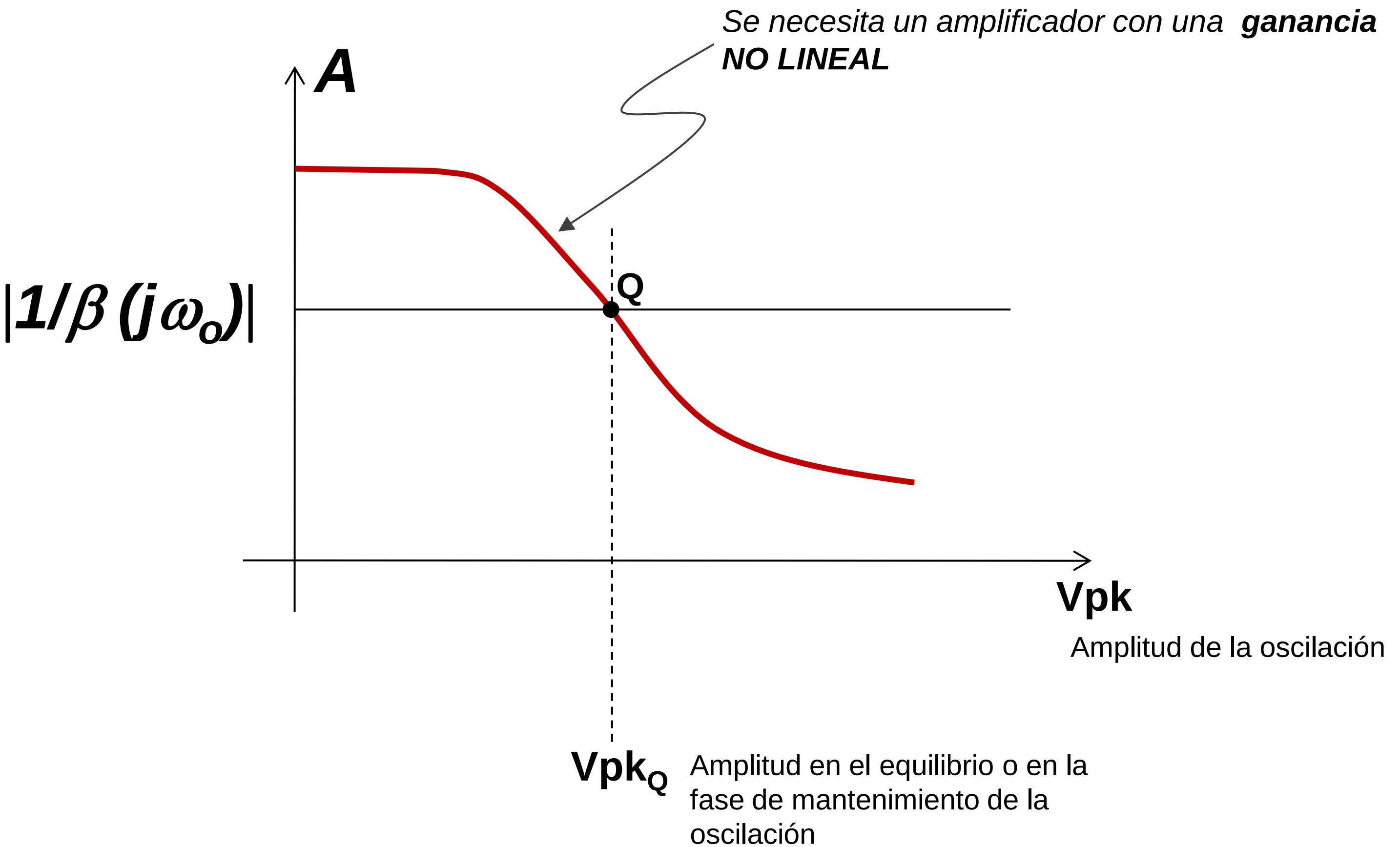
Inicio de la oscilación y mantenimiento de la oscilación

*Para pasar de la fase de arranque (|**A·β**| **>1**) a la de mantenimiento de la oscilación (|**A·β**| **=1**), es necesario que la ganancia del amplificador se reduzca según vaya aumentando la amplitud de la tensión de salida del oscilador.*



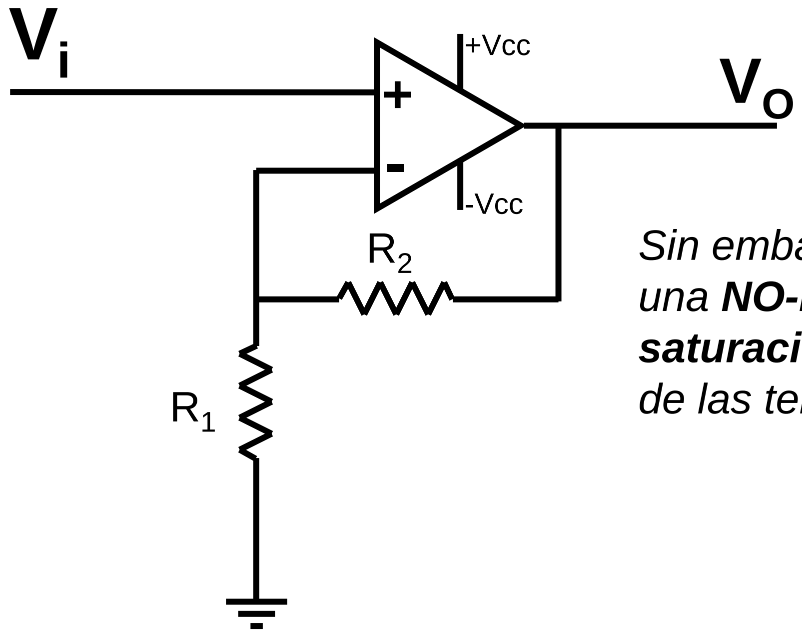
Ganancia no lineal

*Cumplir la condición |**A·β (jω$_o$)**| **>1 y** |**A·β (jω$_o$)**| **=1** para mantener la oscilación se va a lograr modificando la ganancia del amplificador **A**. Que tendrá que ser mayor o igual que el valor frontera que impone la atenuación del la red β:* |**1/β (jω$_o$)**|



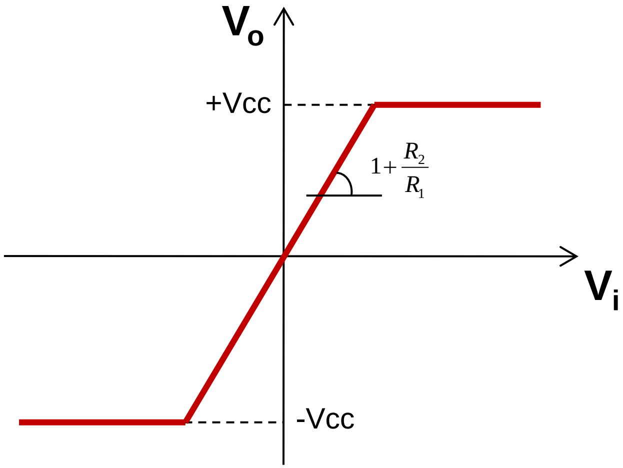
Ganancia no lineal del A. operacional

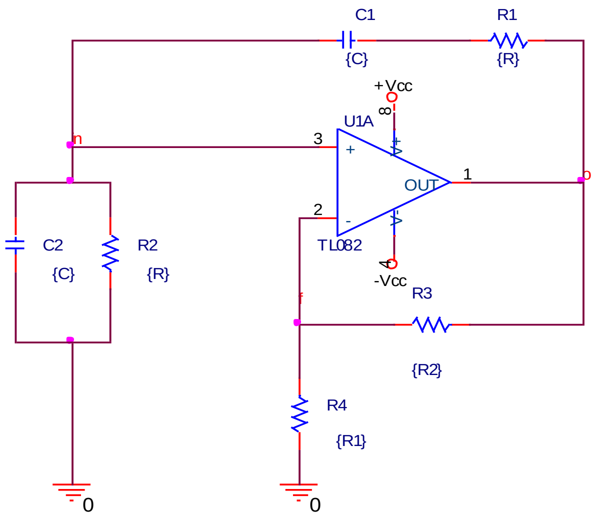
¿Es lineal la ganancia de este amplificador?
En principio se ha considerado que sí y que viene dada por la relación:

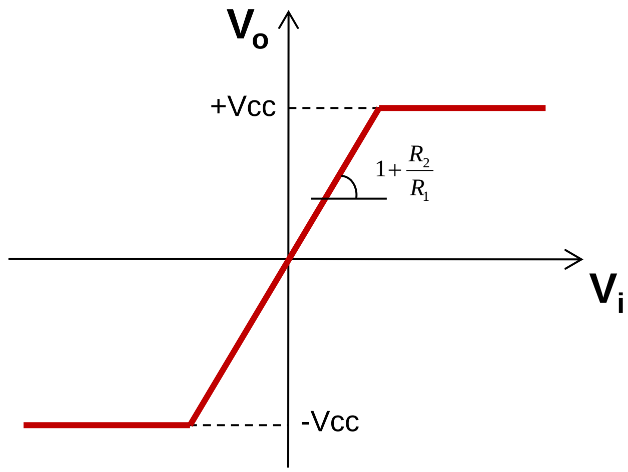


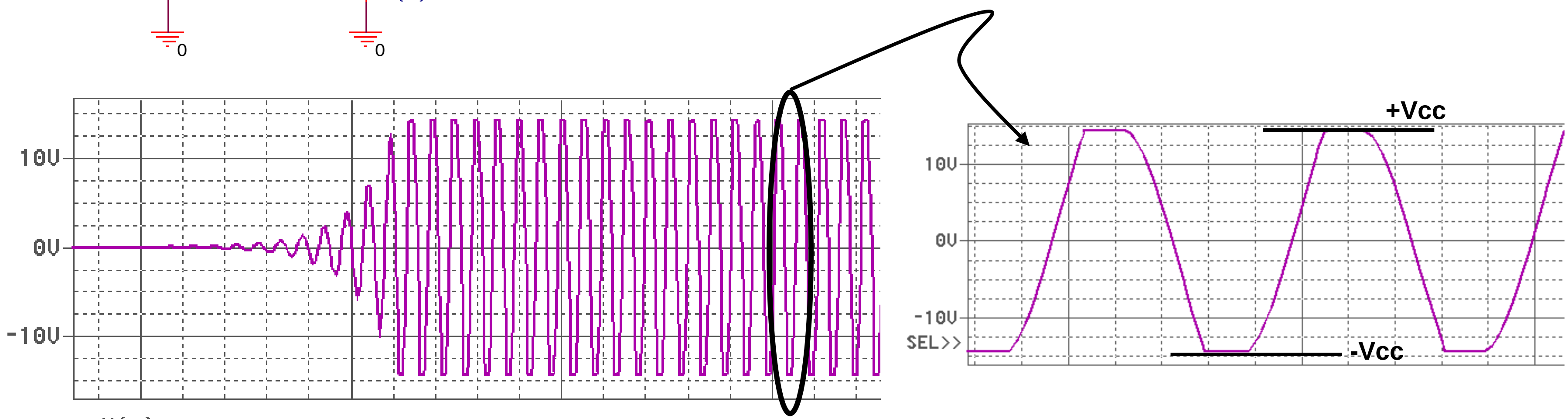
$$G = \frac{V_O}{V_i} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

*Sin embargo cualquier amplificador tiene una **NO-LINEALIDAD** inherente, que es la **saturación** de su tensión de salida al valor de las tensiones de alimentación, $\pm$ Vcc*





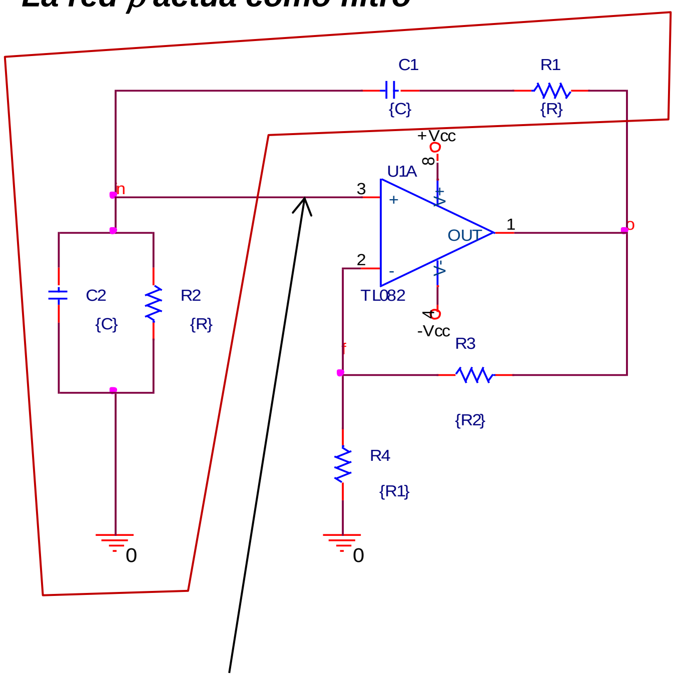


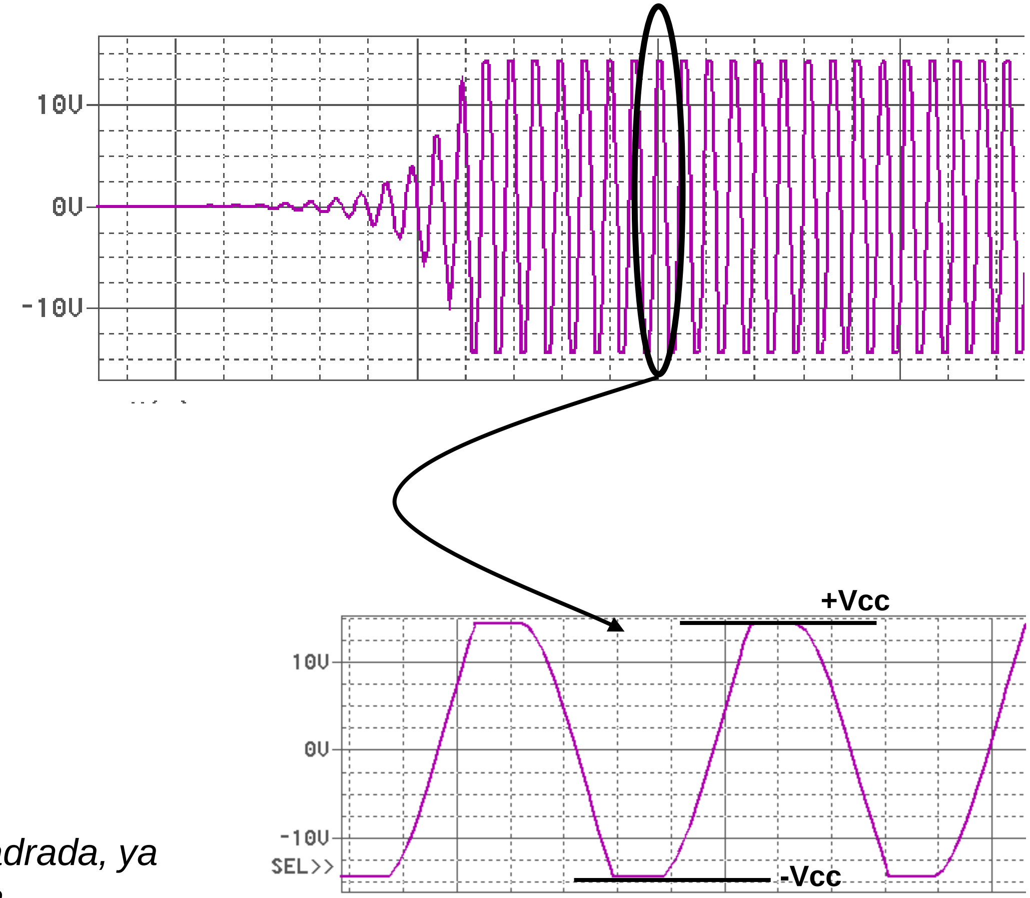


*La **saturación del operacional CONSIGUE estabilizar la amplitud** de la tensión de salida del oscilador. Sin embargo, la NO-LINEALIDAD de tipo SATURACIÓN, provoca que la tensión de salida se distorsione sensiblemente.*

Ganancia no lineal del A. operacional

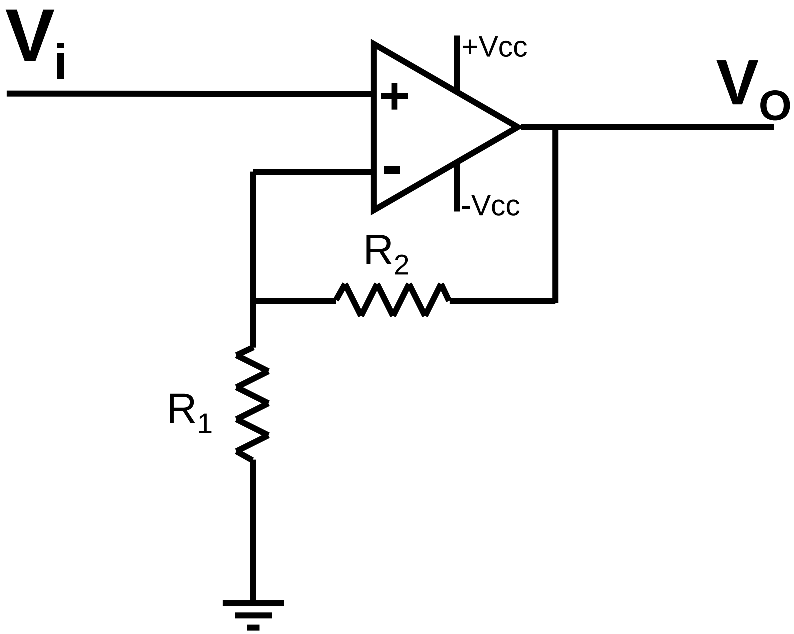
La red β actúa como filtro

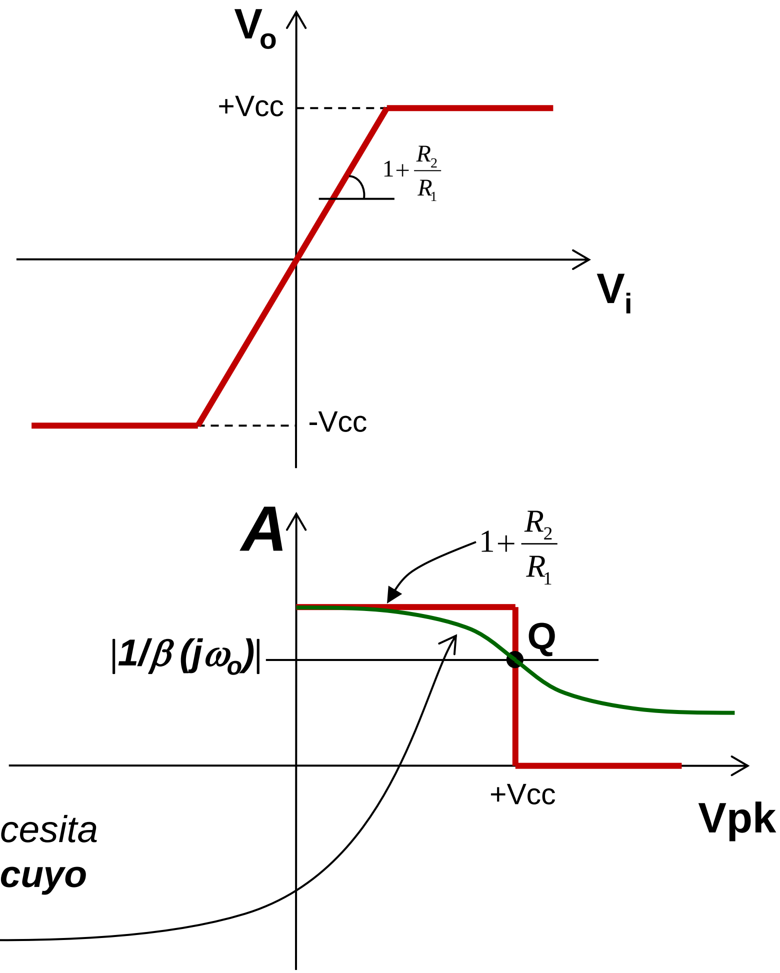




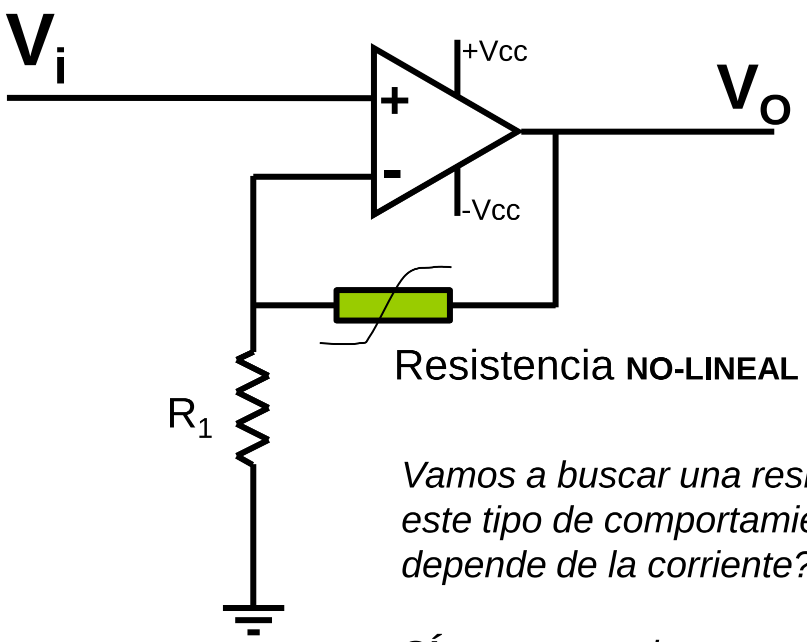
La onda de salida no es totalmente cuadrada, ya que la red β filtraría esa onda cuadrada imponiendo una tensión algo más senoidal en la entrada del amplificador

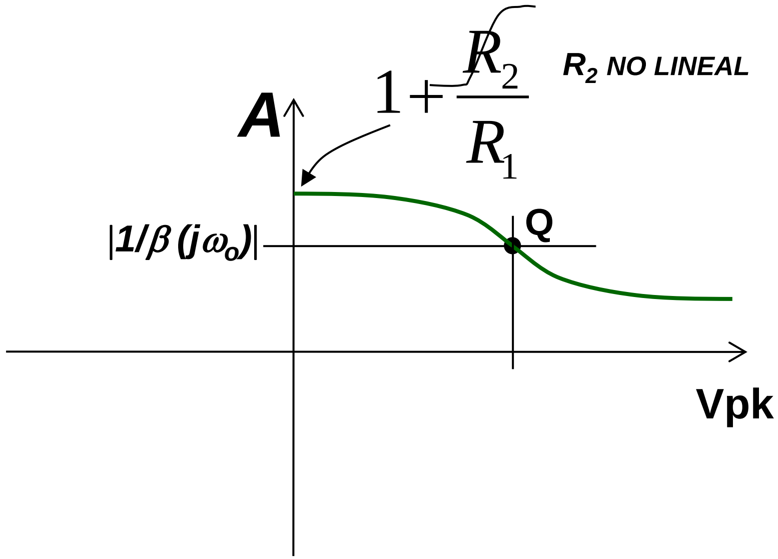
Ganancia no lineal del A. operacional





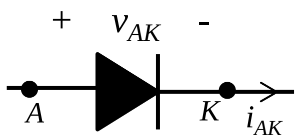
*Para no provocar distorsión en la tensión de salida, se necesita una ganancia no lineal que **no varíe tan bruscamente y cuyo valor final no sea cero**.*

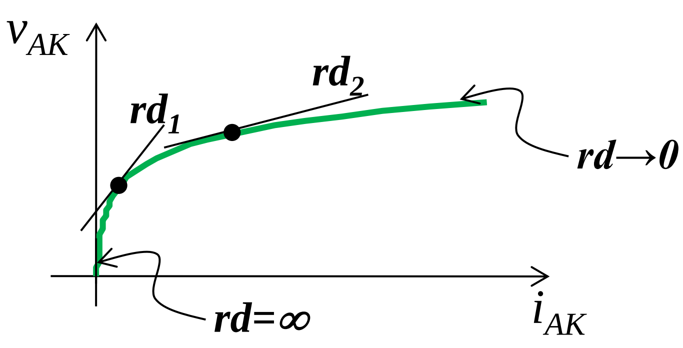




Vamos a buscar una resistencia no lineal. ¿Los diodos presentan este tipo de comportamiento por el cual su resistencia equivalente depende de la corriente?

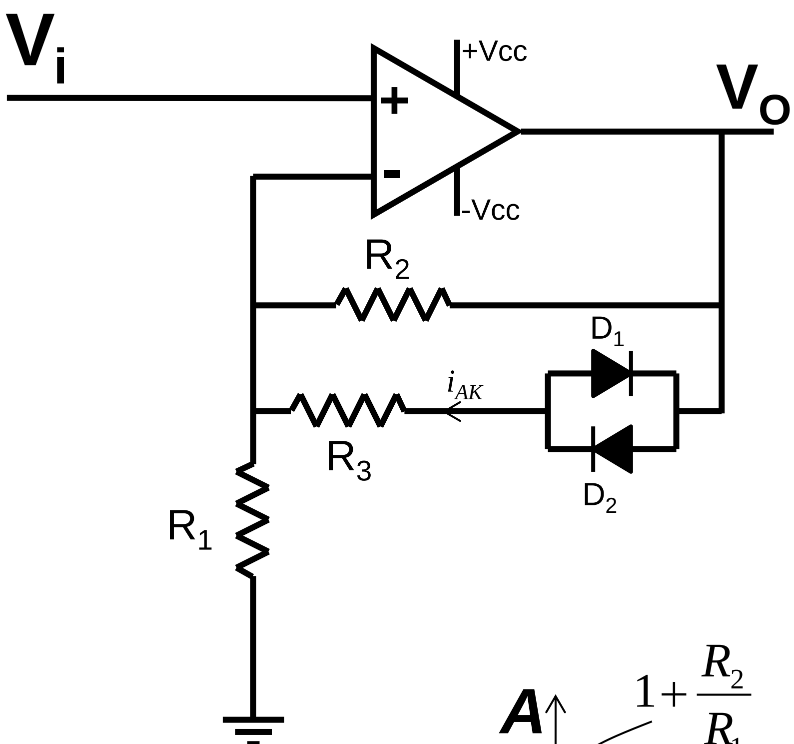
***SÍ** vamos a verlo:*





La resistencia dinámica del diodo, rd, varía entre 0 e ∞. 0 para valores altos de i_{ak} e ∞ para i_{ak} = 0. Entre esos dos extremos toma todos los valores posibles pero su valor es decreciente, es decir a mayor corriente menor resistencia.

Limitador de amplitud con diodos

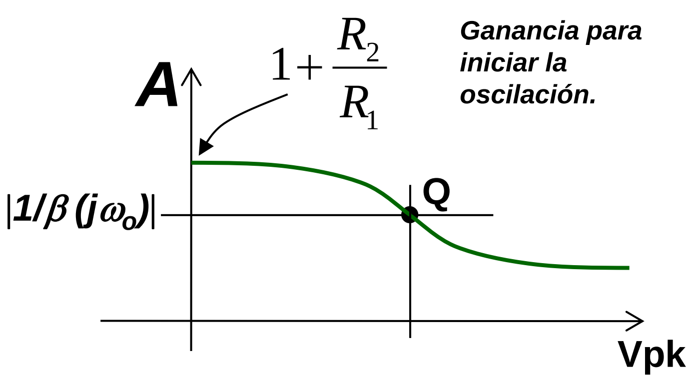


- *D_1 trabaja durante el semiciclo negativo.*
- *D_2 trabaja durante el semiciclo positivo.*
- *Mientras que Vo no supere la tensión umbral de los diodos ($\approx$ 0,7V) la corriente de estos es cero y su resistencia dinámica infinita. Por tanto para Vo < 0,7V la ganancia del operacional será:*

$$A = 1 + \frac{R_2}{R_1} > \frac{1}{\left|\beta(j\omega_o)\right|}$$

- *Una vez que Vo > 0,7V la rd ya es menor que ∞ y por tanto la ganancia vendrá dada por:*

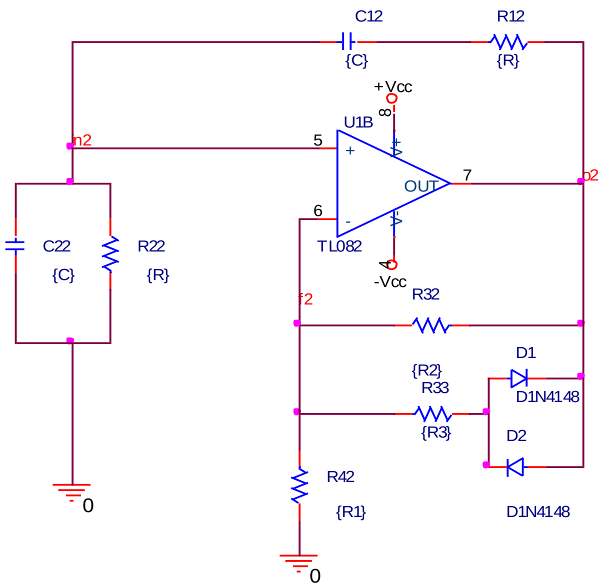
$$A = 1 + \frac{R_2 \| (R_3 + rd)}{R_1} < 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

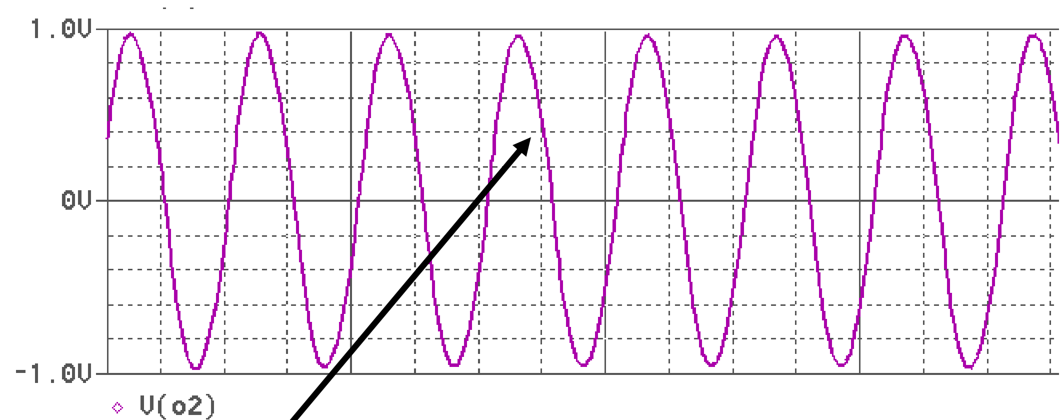


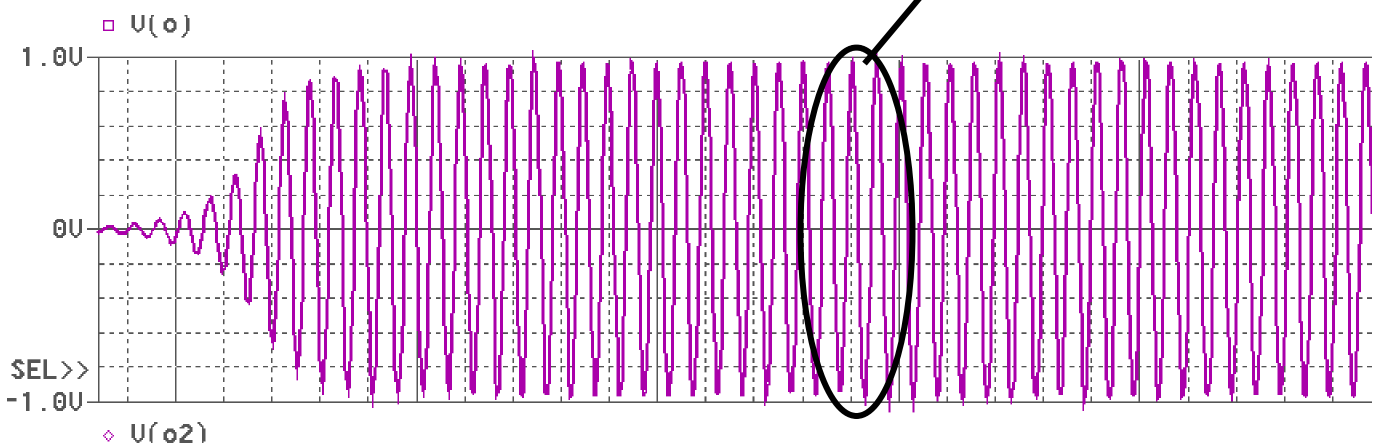
Si aumenta la amplitud de Vo, Vpk, provocará un incremento de i_{AK} y un decremento de rd. Si disminuye rd, el paralelo de R_2 con R_3+rd disminuirá también.
*Por tanto **a mayor Vpk menor ganancia**.*

Limitador de amplitud con diodos

Este es el resultado: Limitación y estabilización de la amplitud con una distorsión muy reducida o nula.





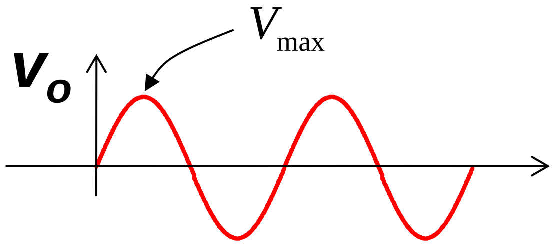


Limitador de amplitud con diodos. Diseño aproximado (I)

Criterio cuantitativo aproximado para el diseño de las resistencias del limitador de amplitud con diodos:

- *La ganancia para el valor de pico (V_{max}) = 3.*

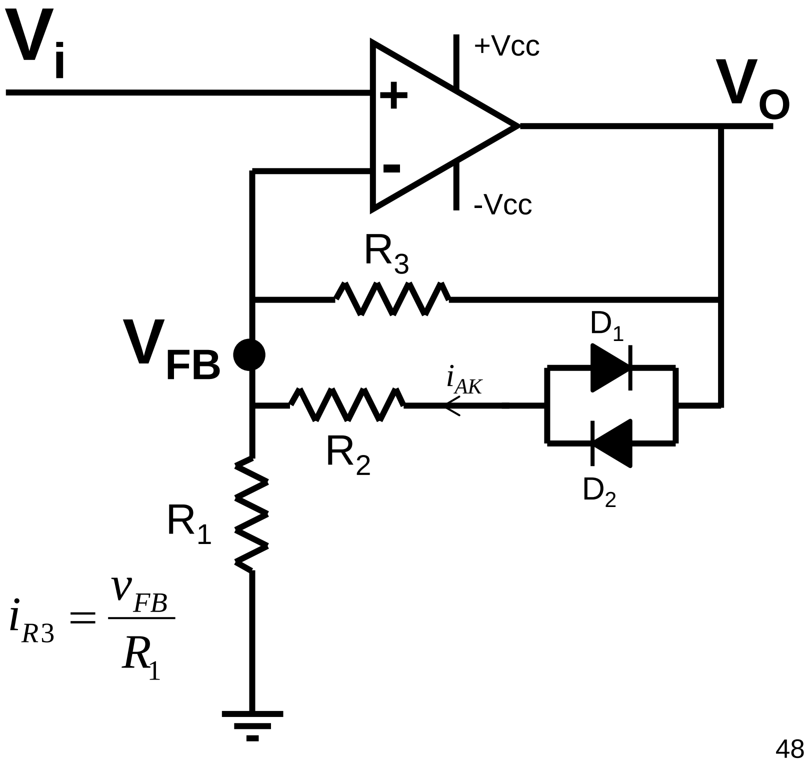
$$G_{O\_@\_V\max} = 3$$



- *La ganancia G_O se va a calcular como el cociente entre la tensión de salida, v_O y la tensión de realimentación, v_{FB}:*

$$G_O = \frac{1}{\beta} = \frac{v_O}{v_{FB}}$$

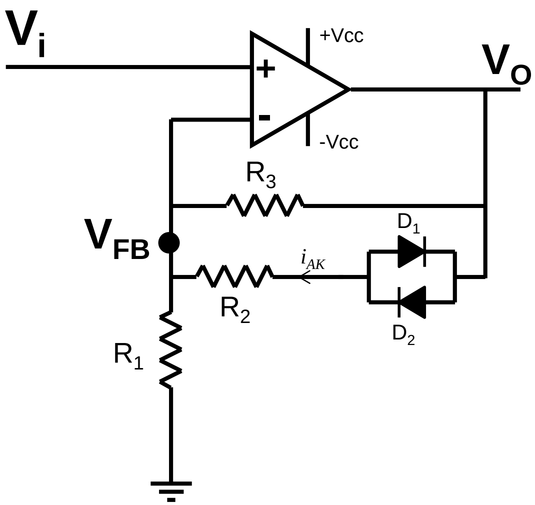
- *La ganancia Go se obtiene considerando las dos redes de la realimentación:*
  - *Rama de R2*
  - *Rama de R3 contando con la caída del diodo que conduce (supuesta aproximadamente constante = V_D)*



$$i_{R3} = \frac{v_O - v_{FB}}{R_3} \quad i_{R2} = \frac{v_O - V_D - v_{FB}}{R_2} \quad i_{R1} = i_{R2} + i_{R3} = \frac{v_{FB}}{R_1}$$

Limitador de amplitud con diodos. Diseño aproximado (II)

$$i_{R3} = \frac{v_O - v_{FB}}{R_3} \quad i_{R2} = \frac{v_O - V_D - v_{FB}}{R_2} \quad i_{R1} = i_{R2} + i_{R3} = \frac{v_{FB}}{R_1}$$



$$\frac{v_O - v_{FB}}{R_3} + \frac{v_O - V_D - v_{FB}}{R_2} = \frac{v_{FB}}{R_1}$$

$$v_O\left[\frac{R_1}{R_3} + \frac{R_1}{R_2}\right] - v_{FB}\left[\frac{R_1}{R_3} + \frac{R_1}{R_2} + 1\right] - V_D\left[\frac{R_1}{R_2}\right] = 0$$

Criterio: *La ganancia para el valor de pico (V_{max}) = 3:*

$$v_O = V_{\max}$$

$$G_{O\_@\_V\max} = 3 \Rightarrow v_{FB} = \frac{V_{\max}}{3}$$

$$V_{\max}\left[\frac{R_1}{R_3} + \frac{R_1}{R_2}\right] - \frac{V_{\max}}{3}\cdot\left[\frac{R_1}{R_3} + \frac{R_1}{R_2} + 1\right] - V_D\left[\frac{R_1}{R_2}\right] = 0$$

Sean:

$$\alpha_1 = \frac{R_1}{R_3}; \alpha_2 = \frac{R_1}{R_2}$$

$$3\cdot V_{\max}\left[\alpha_1 + \alpha_2\right] - V_{\max}\cdot\left[\alpha_1 + \alpha_2 + 1\right] - 3\cdot V_D \alpha_2 = 0$$

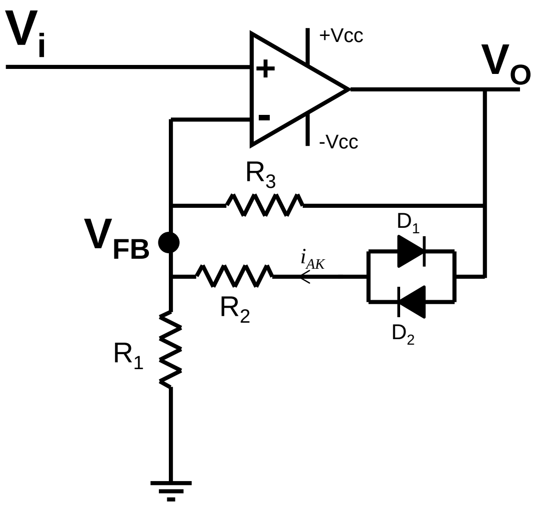
Limitador de amplitud con diodos. Diseño aproximado (III)

Criterio: *La ganancia para el valor de pico (V_{max}) = 3:*

$$v_O = V_{max}$$

$$G_{O\_@\_V\max} = 3 \Rightarrow v_{FB} = \frac{V_{max}}{3}$$

$$\alpha_1 = \frac{R_1}{R_3}; \alpha_2 = \frac{R_1}{R_2}$$



$$\alpha_2 = \frac{V_{max}[1-2\alpha_1]}{2V_{max} - 3\cdot V_D}$$

Condición de arranque Pte. de Wien:

$$1+\frac{R_3}{R_1} > 3 \Rightarrow \alpha_1 = \frac{R_1}{R_3} < \frac{1}{2} \Rightarrow R_3 > 2R_1$$

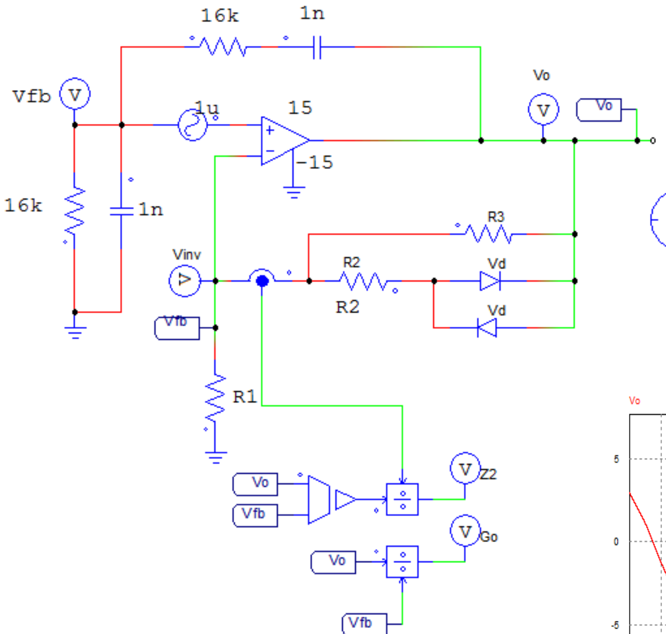
Ejemplo de diseño:

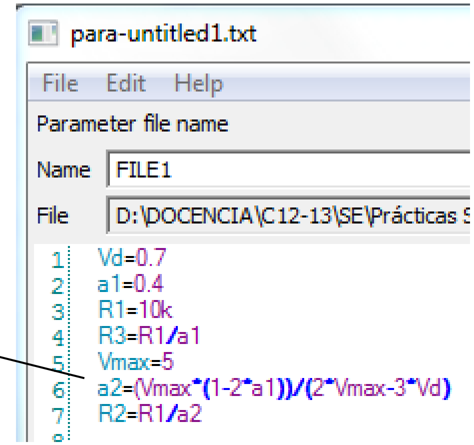
- ***R_1*** *= 10 kΩ (valor de partida)*
- ***α_1*** *= 0,4 < 0,5 ⇒* ***R_3*** *= 25 kΩ*
- ***Vmax*** *=5V (queremos un oscilador cuya amplitud sea aproximadamente 5V)*
- ***Vd*** *= 0,7V*
- ***Cálculo de R2***

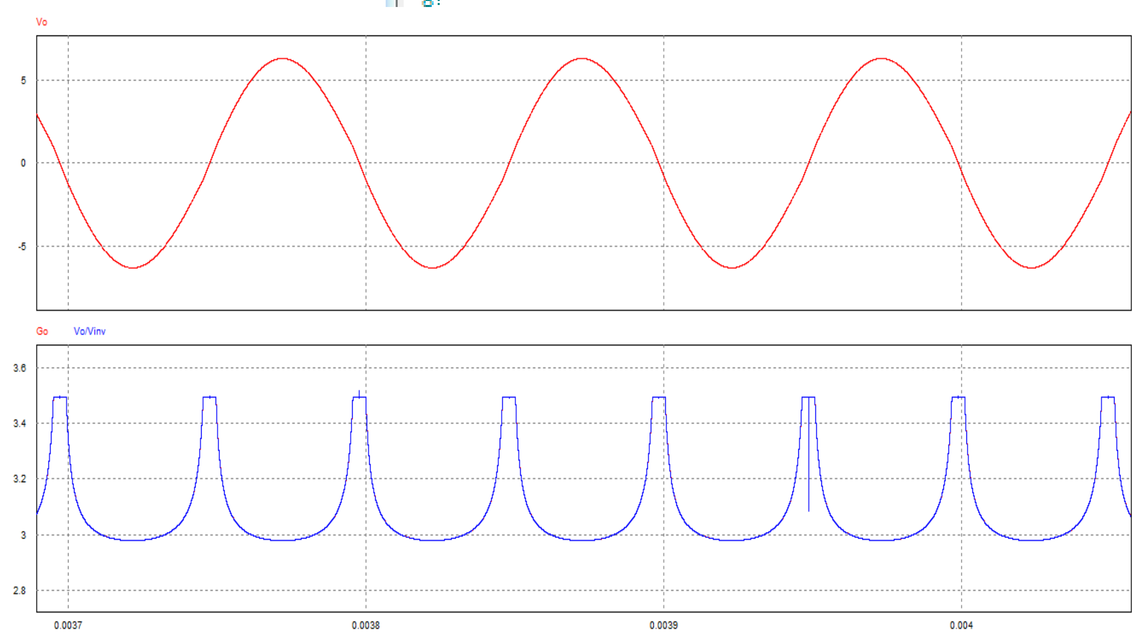
$$\alpha_2 = \frac{R_1}{R_2} = \frac{V_{max}[1-2\alpha_1]}{2V_{max} - 3\cdot V_D} = \frac{5\times(1-0{,}8)}{2\times 5 - 3\times 0{,}7} = 0{,}127 \Rightarrow$$

$$R_2 = \frac{R_1}{\alpha_2} = \frac{10k\Omega}{0{,}127} = 79k\Omega$$

Limitador de amplitud con diodos. Diseño aproximado (IV)

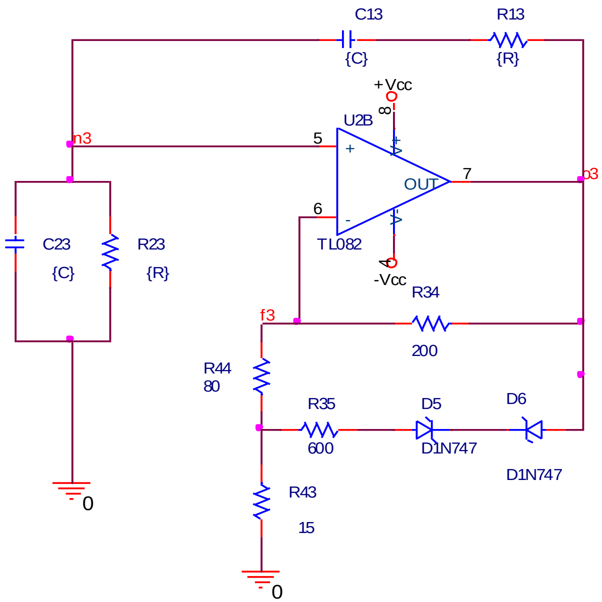


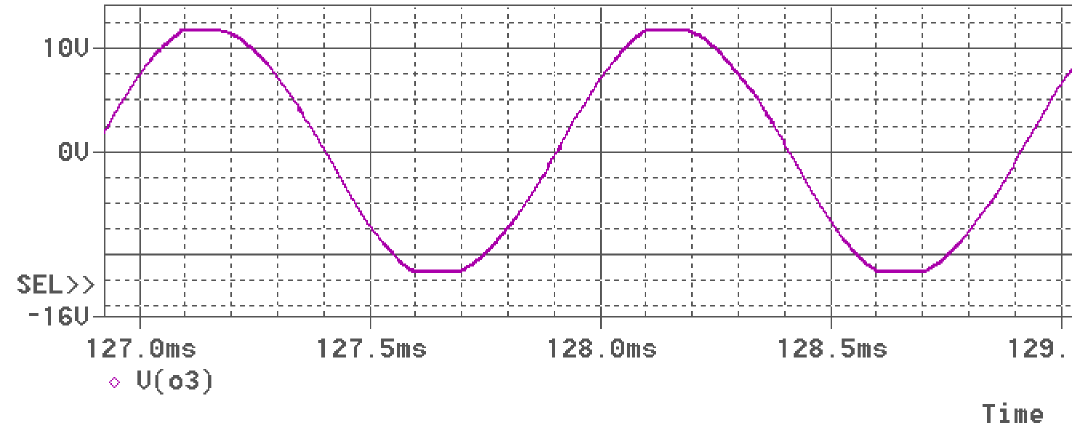


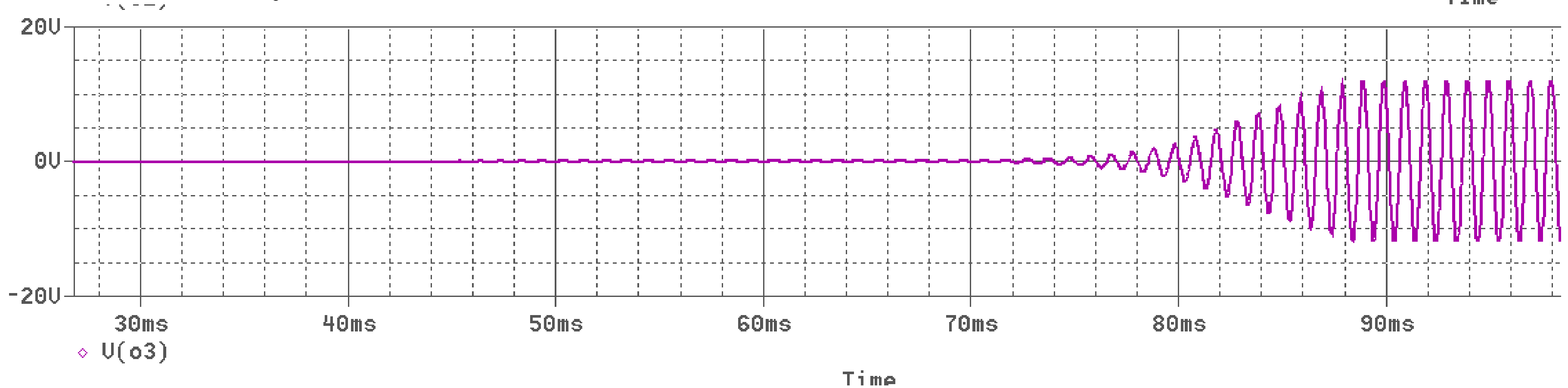


Limitador de amplitud con diodos zener

Los zener amplían la tensión umbral que marca la actuación de la rama de los diodos. Por tanto la amplitud final se establece en un valor más elevado.

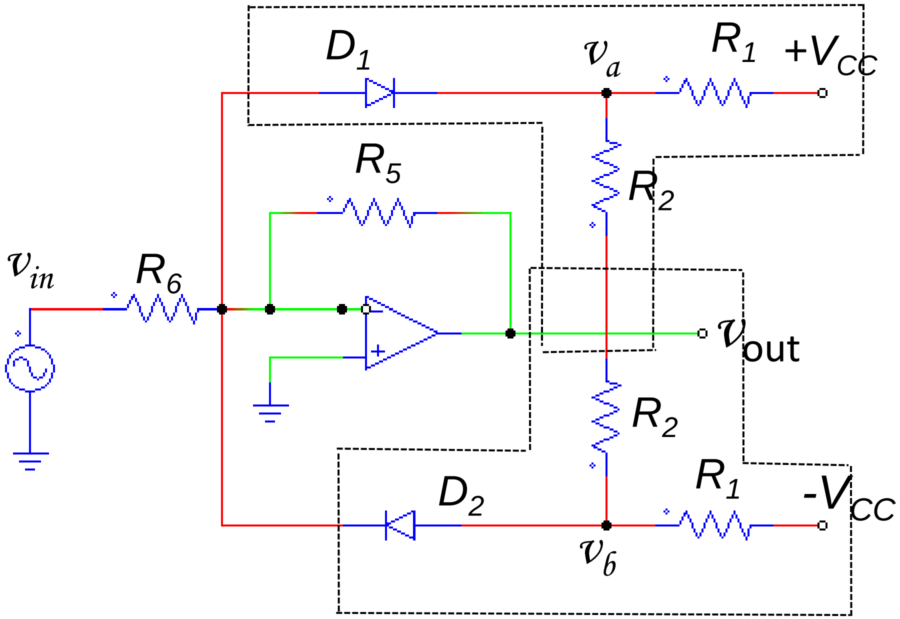


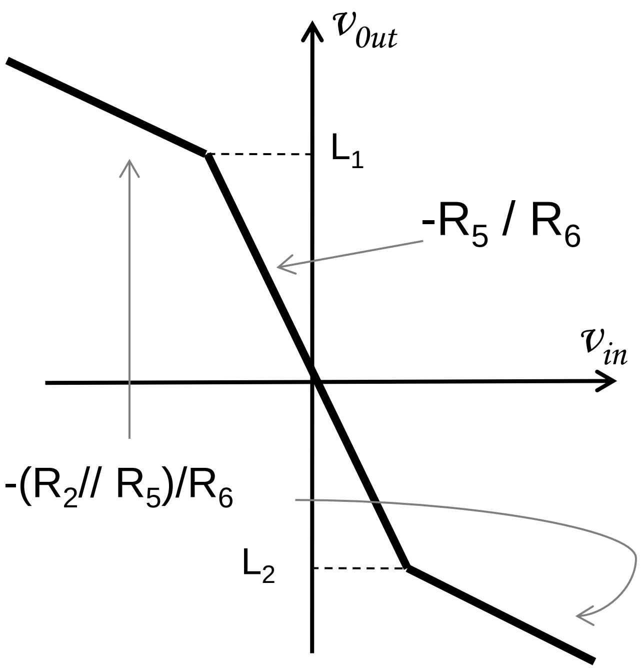




Limitador de amplitud con diodos y resistencias

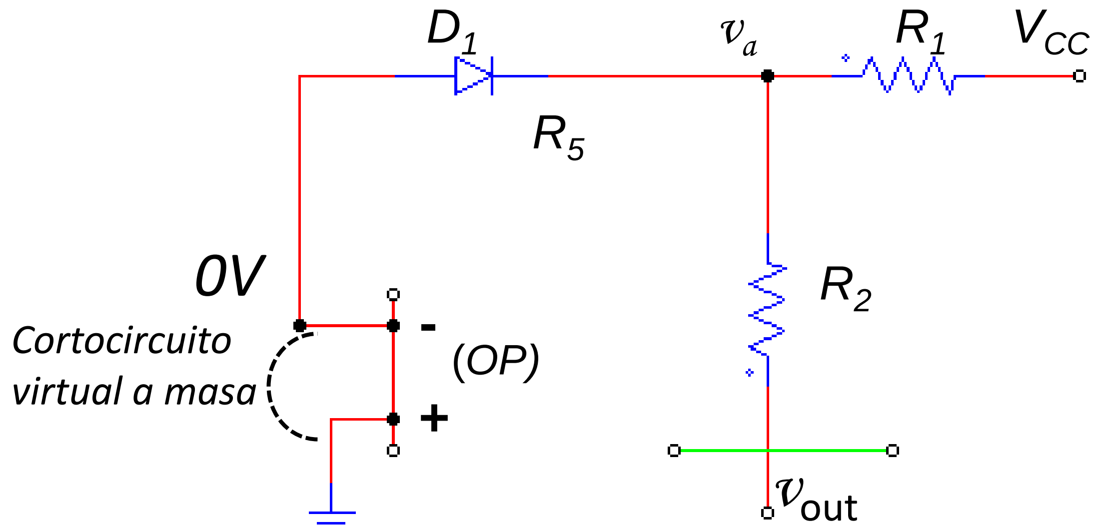
- *Dos redes simétricas (para valores positivos y negativos)*
- *Permite un mejor ajuste de la tensión de limitación.*
- *Reduce la ganancia hasta una cota predeterminada.*





Limitador de amplitud con diodos y resistencias

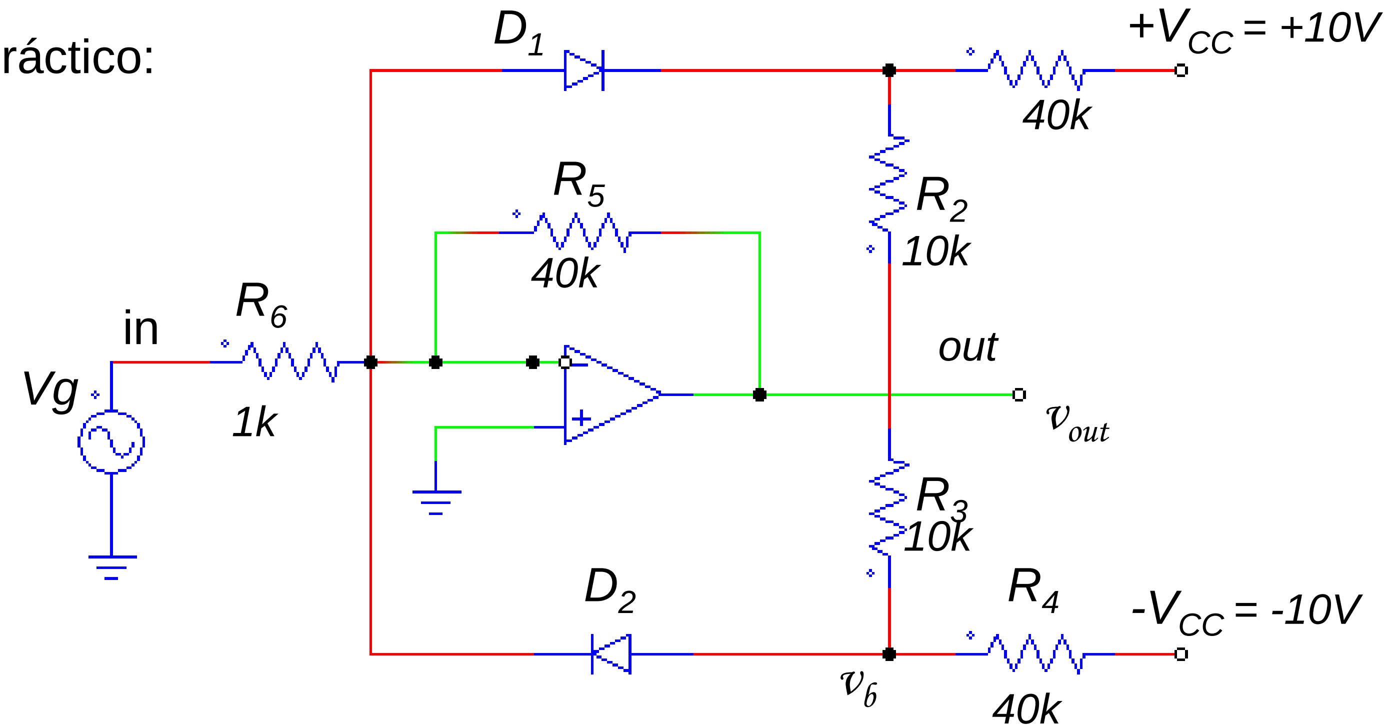
Análisis del limitador para el umbral negativo (L_2)



$$v_a = (V_{CC} - v_{out})\frac{R2}{R1+R2} + v_{out} = V_{CC}\frac{R2}{R1+R2} + v_{out}\frac{R1}{R1+R2}$$

$$v_a = -V_\gamma \Rightarrow v_{out/umbral} = L_2 = -V_\gamma\frac{(R1+R2)}{R1} - V_{CC}\frac{R2}{R1}$$

Ejemplo práctico:



$$L_2 = -0.5\frac{50k\Omega}{40k\Omega} - 10\frac{10k\Omega}{40k\Omega} = -3.25V$$

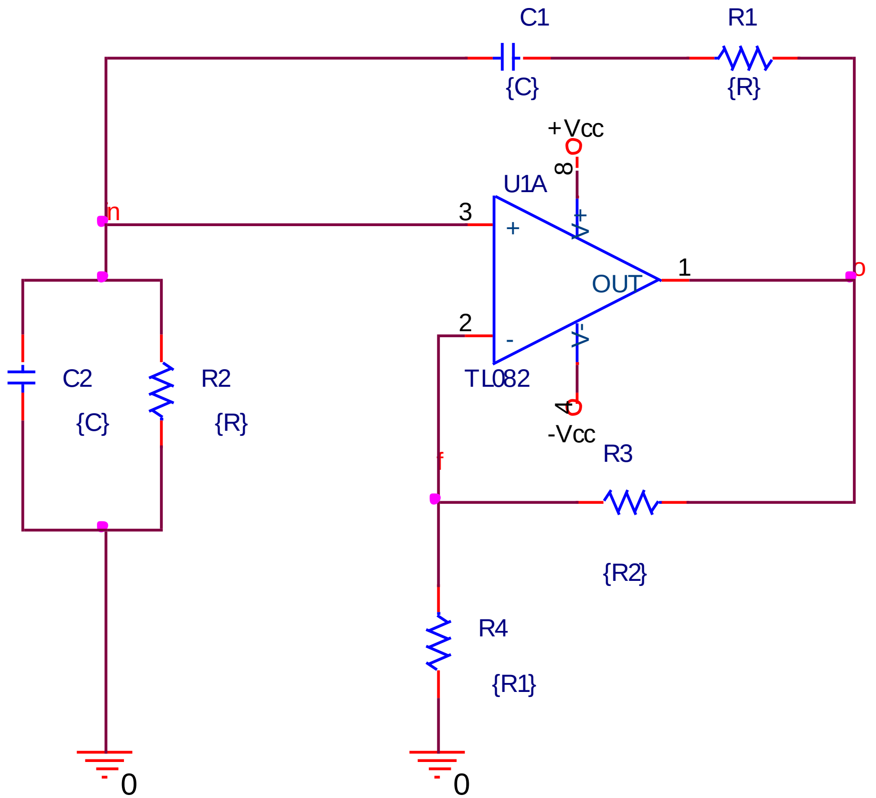
$$L_2 = -3.25V \rightarrow L_1 = +3.25V$$

Índice

- *Realimentación positiva e inestabilidad*
- *Oscilador sinusoidal, concepto y aplicaciones*
- *Principio de funcionamiento*
- *Elementos de un oscilador*
- *Estabilidad en frecuencia*
- *Condición de inicio de la oscilación*
- *Control de amplitud*
- Oscilador en puente de Wien. Análisis de la ganancia del lazo
- Osciladores LC. Análisis de la ganancia del lazo
- Cristales y osciladores de cuarzo
- *Algunos Ejemplos de osciladores*

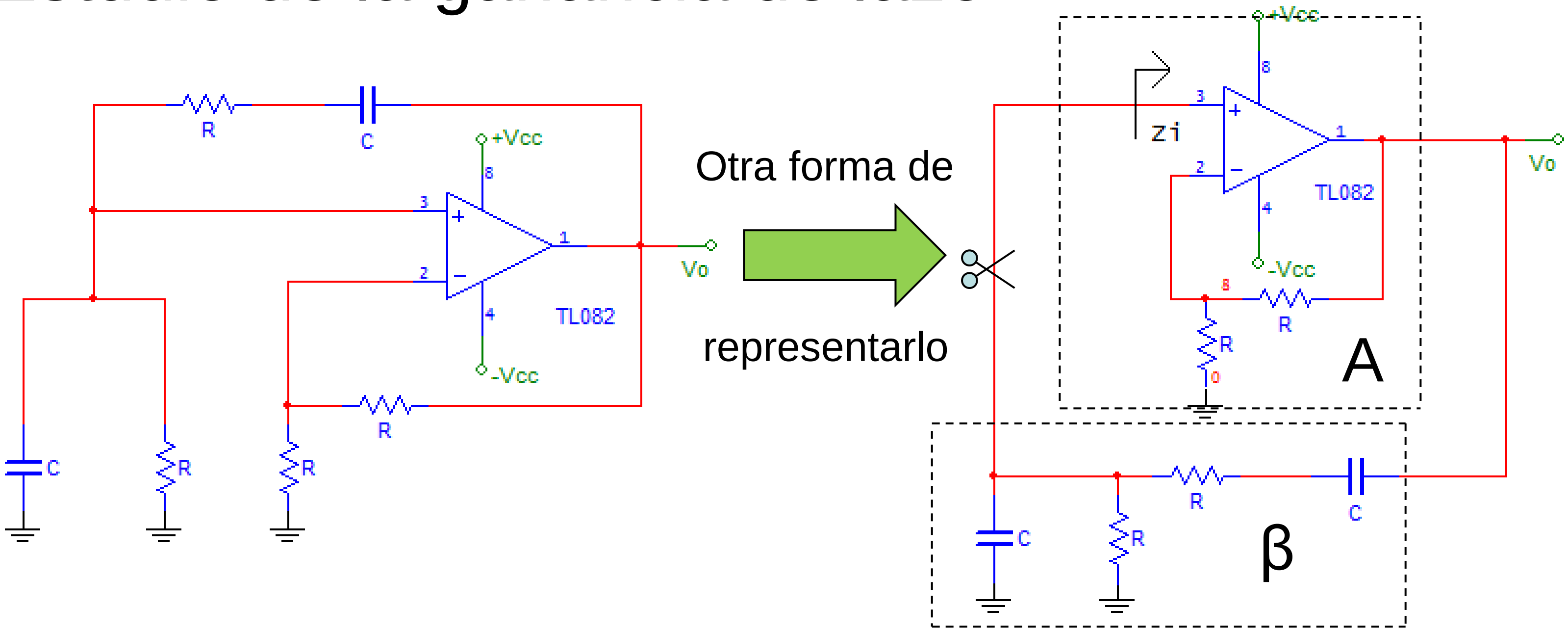
Oscilador en puente de Wien

Oscilador sinusoidal en puente de Wien



Oscilador en puente de Wien

Estudio de la ganancia de lazo

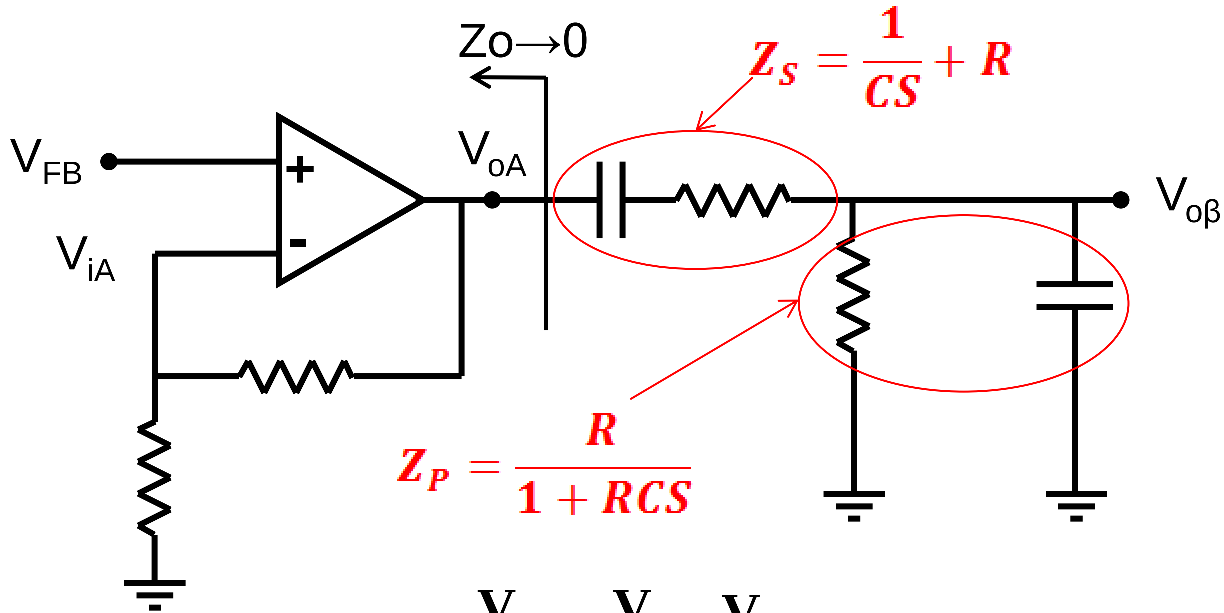


① *ABRIMOS EL LAZO Y ESTUDIAMOS* **A·β**

Hay que abrir en el punto donde ∃ el menor acoplamiento de Zi.

Análisis de la red *β(jω)*

Si no se puede evitar, lo que habrá que hacer será cargar a la red β con la Zi del amplificador



$\boxed{\dfrac{V_{0\beta}}{V_{0A}}}$ Análisis de la red *β(jω)*

$$A\cdot\beta = \frac{V_{0\beta}}{V_{iA}} = \frac{V_{0\beta}}{V_{0A}}\cdot\frac{V_{0A}}{V_{iA}}$$

$$\beta(s) = \frac{\dfrac{R}{1+RCS}}{\dfrac{1}{CS}+R+\dfrac{R}{1+RCS}} = \frac{R}{R+R(1+RCS)+\dfrac{1}{CS}(1+RCS)} = \frac{RCS}{RCS+RCS(1+RCS)+1+RCS} = \frac{RCS}{1+3RCS+(RCS)^2}$$

De aquí se puede calcular *β(jω)*

$$\beta(s)=\frac{1}{\frac{1}{RCS}+3+RCS} \Rightarrow \beta(j\omega)=\frac{1}{\frac{1}{jRC\omega}+3+jRC\omega}$$

O bien $$\beta(j\omega)=\frac{1}{3+j\left(RC\omega-\frac{1}{RC\omega}\right)}$$

Finalmente $$A\cdot\beta(j\omega)=A\cdot\frac{1}{3+j\left(RC\omega-\frac{1}{RC\omega}\right)}$$

② *APLICAMOS LAS CONDICIONES DE* **BARKHAUSEN**

$$\left|A\cdot\beta(j\omega)\right|=1 \qquad \angle A\cdot\beta(j\omega_0)=0^{\circ}$$

El criterio de *Barkhausen*

➢ CONDICIÓN DE FASE

$$\angle A\cdot\beta(j\omega_0)=0 \Rightarrow \angle\beta(j\omega_0)=0 \Rightarrow$$ Fase = 0º ≡ parte imaginaria nula.

Por tanto:

$$j\left(RC\omega_0-\frac{1}{RC\omega_0}\right)=0 \Rightarrow RC\omega_0=\frac{1}{RC\omega_0} \Rightarrow \omega_0^2=\left(\frac{1}{RC}\right)^2 \Rightarrow \omega_0=\frac{1}{RC}$$

y de aquí la frecuencia de oscilación:

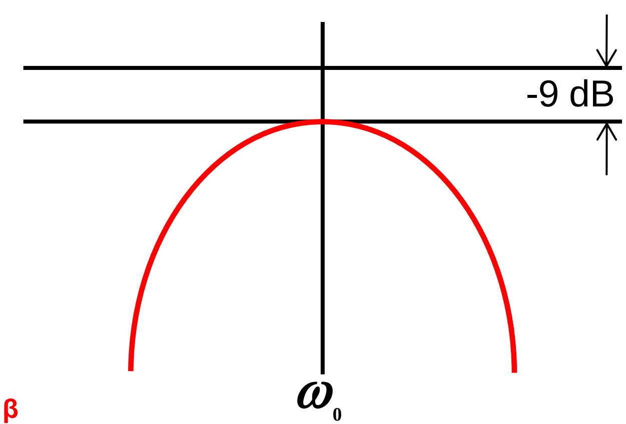
$$\omega_0=\frac{1}{RC} \Rightarrow \boxed{f_0=\frac{1}{2\pi RC}}$$

➢ CONDICIÓN DE MÓDULO

$$\left|A\cdot\beta(j\omega_0)\right|=1 \Rightarrow \left|A\cdot\frac{1}{3+\cancel{j(RC\omega_0-\frac{1}{RC\omega_0})}}\right|=A\cdot\frac{1}{3}$$

Amplificación de A

Atenuación de β

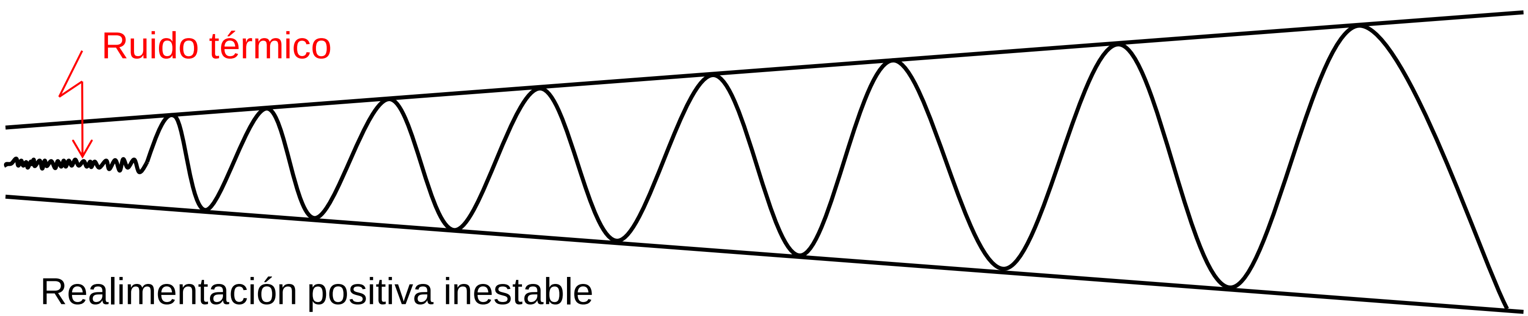


El criterio de *Barkhausen*

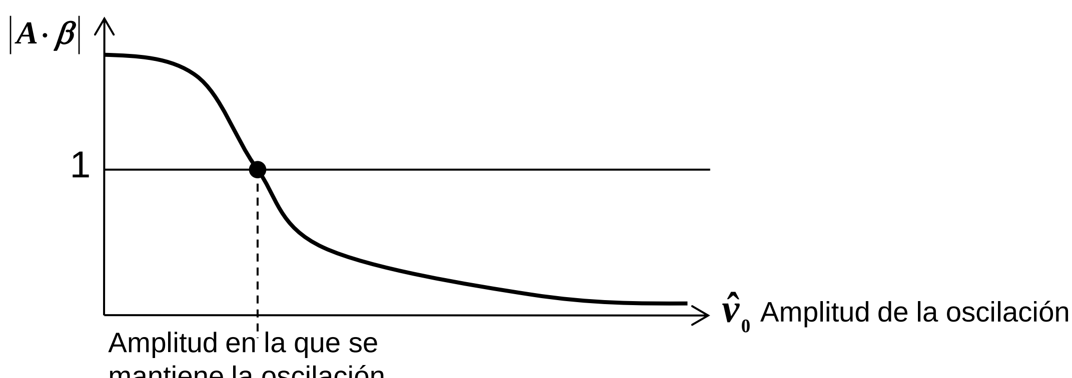
➢ **<u>CONDICIÓN DE MANTENIMIENTO DE LA OSCILACIÓN</u>**

$$\left|A \cdot \beta\right|_{\omega_0} = 1 \quad \Rightarrow \quad A = 3$$

➢ **<u>CONDICIÓN DE ARRANQUE</u>** **A = 3,2**



➢ **<u>ESTABILIZACIÓN DE LA AMPLITUD DE SALIDA</u>**



Índice

- *Realimentación positiva e inestabilidad*
- *Oscilador sinusoidal, concepto y aplicaciones*
- *Principio de funcionamiento*
- *Elementos de un oscilador*
- *Estabilidad en frecuencia*
- *Condición de inicio de la oscilación*
- *Control de amplitud*
- Oscilador en puente de Wien. Análisis de la ganancia del lazo
- Osciladores LC. Análisis de la ganancia del lazo
- Cristales y osciladores de cuarzo
- *Algunos Ejemplos de osciladores*

Tipos de osciladores y aplicaciones

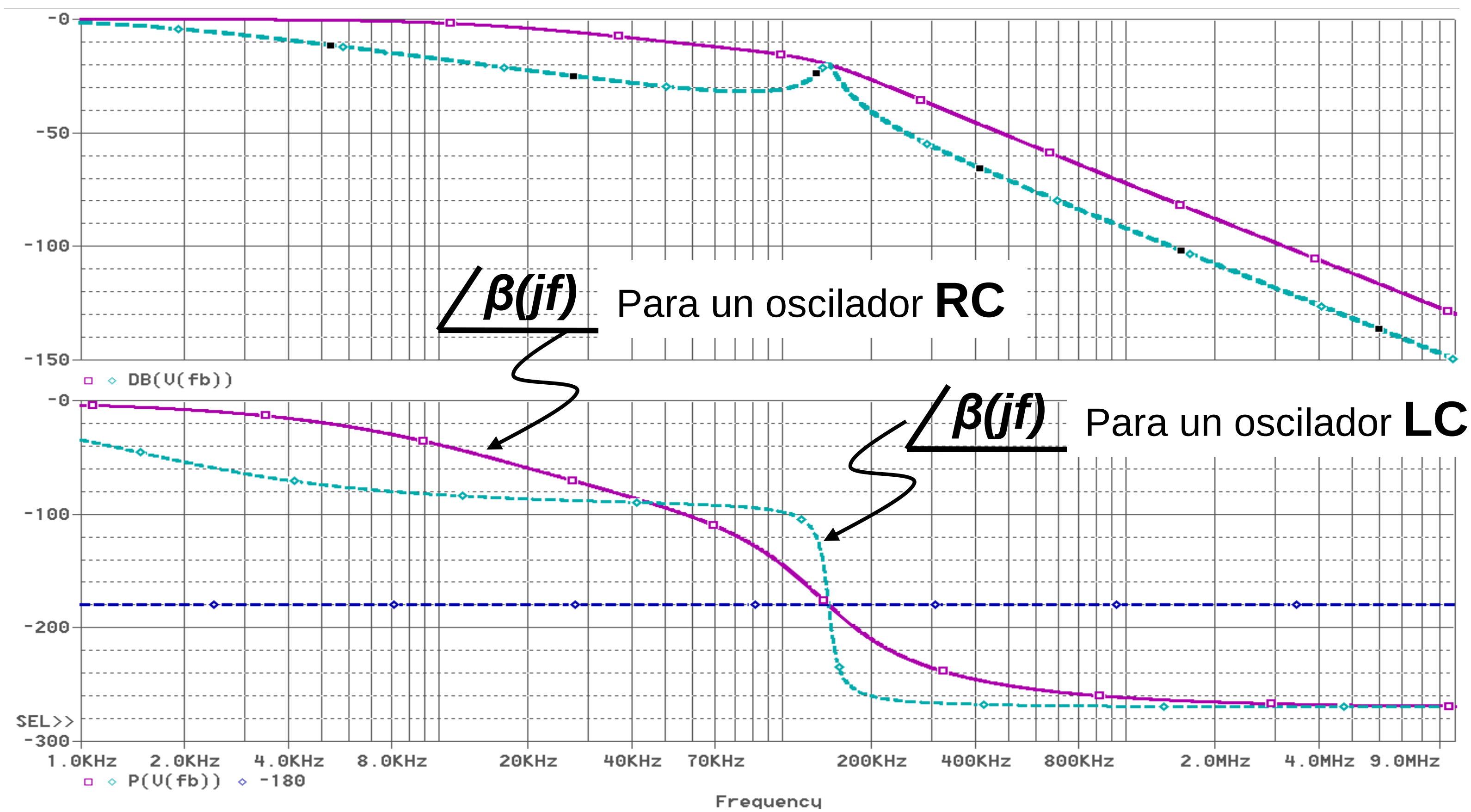
Osciladores con elementos discretos

Tipos de Osciladores

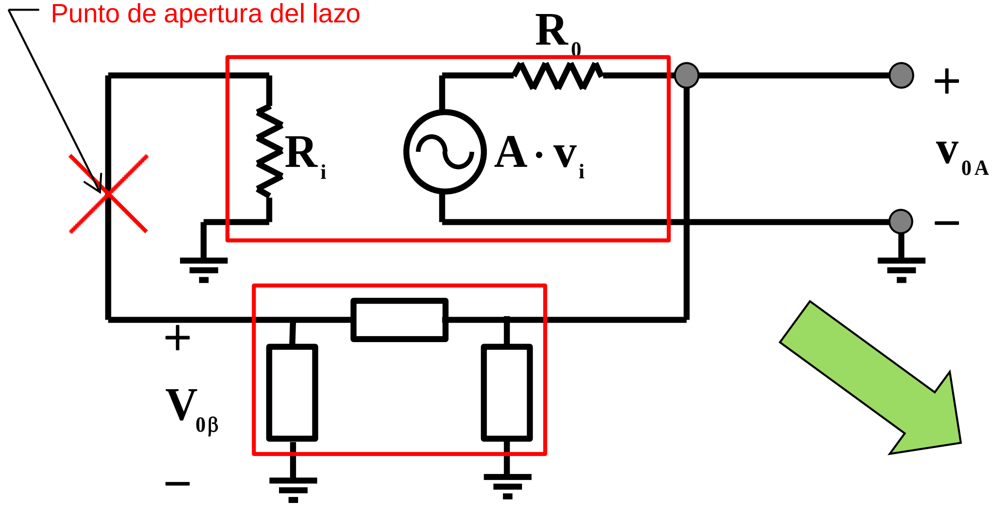
- *de Baja Frecuencia (RC)*
- *de Alta Frecuencia y Frecuencia Variable (LC)*
  - *Colpitts*
  - *Hartley*
  - *Otros (Clapp, ...)*
- *de Alta Frecuencia y Frecuencia Fija (a cristal)*
  - *Colpitts*
  - *Hartley*
  - *Pierce*
  - *Otros (Clapp, ...)*

Red $\beta(j\omega)$ de los osciladores LC

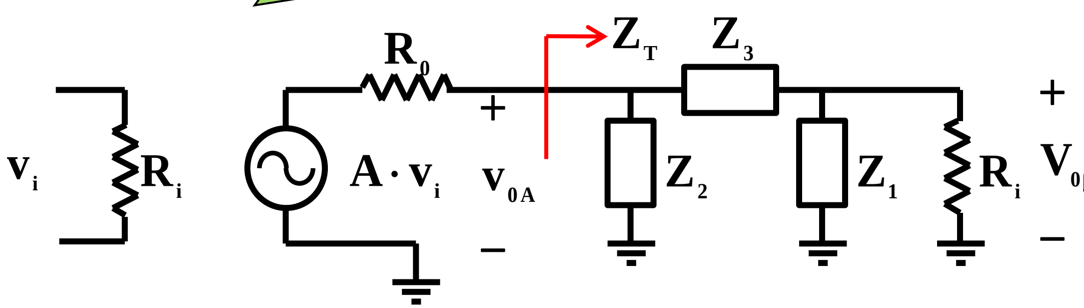
Objetivo osciladores **LC: incrementar** $\dfrac{\partial|\beta(j\omega)|}{\partial\ \omega}$



Análisis de la ganancia de lazo en los osciladores LC



Abrimos el lazo:



Consideraciones:

$R_0 \to 0$ pero $R_0 \neq 0$

$R_i >> \left|Z_i(j\omega_0)\right|$ para que sea despreciable y no provoque ζ>1 en la red β, sino que trabaje en vacio.

$$A\cdot\beta=\frac{v_{0\beta}}{v_i}=\frac{v_{0\beta}}{v_{0A}}\cdot\frac{v_{0A}}{v_i}$$

$$\frac{v_{0\beta}}{v_{0A}}=\frac{Z_1}{Z_1+Z_3}$$

$$Z_T=Z_2\|(Z_1+Z_3)=\frac{Z_2(Z_1+Z_3)}{Z_1+Z_2+Z_3}$$

$$v_{0A}=A\cdot v_i\cdot\frac{Z_T}{R_0+Z_T}$$

$$\frac{v_{0A}}{v_i}=A\cdot\frac{\frac{Z_2(Z_1+Z_3)}{Z_1+Z_2+Z_3}}{R_0+\frac{Z_2(Z_1+Z_3)}{Z_1+Z_2+Z_3}}=\frac{Z_2(Z_1+Z_3)}{R_0(Z_1+Z_2+Z_3)+Z_2(Z_1+Z_3)}$$

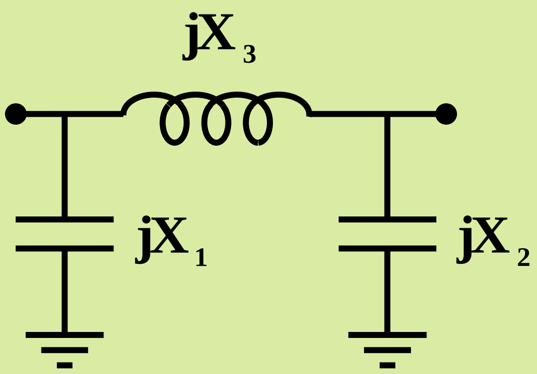
$$A\cdot\beta=A\cdot\frac{Z_2\cancel{(Z_1+Z_3)}}{R_0(Z_1+Z_2+Z_3)+Z_2(Z_1+Z_3)}\cdot\frac{Z_1}{\cancel{(Z_1+Z_3)}}$$

$$\boxed{A\cdot\beta=A\cdot\frac{Z_1\cdot Z_2}{R_0\left(\sum Z_i\right)+Z_2(Z_1+Z_3)}}$$

Osciladores LC

¿Cuáles pueden ser las redes $\beta(j\omega)$?

RED COLPITTS



donde

$$\begin{cases} X_1 = -\dfrac{1}{C_1\omega} \\ X_2 = -\dfrac{1}{C_2\omega} \\ X_3 = L\omega \end{cases}$$

$$A\cdot\beta(j\omega) = A\cdot\frac{jX_1\cdot jX_2}{R_0(jX_1 + jX_2 + jX_3) + jX_2\cdot j(X_1 + X_3)}$$

$$\Rightarrow\quad A\cdot\beta(j\omega) = \frac{-1\cdot X_1\cdot X_2}{R_0\cdot j(X_1 + X_2 + X_3) - X_2\cdot(X_1 + X_3)}$$

Condiciones de mantenimiento

$$\angle A\cdot\beta(j\omega_0) = 0^o \quad\Rightarrow\quad \mathrm{Im}\left[A\cdot\beta(j\omega_0)\right] = 0$$

Esto es así solo porque $R_0 \neq 0$ y eso permite que $X_1 + X_2 + X_3$ deban cumplir:

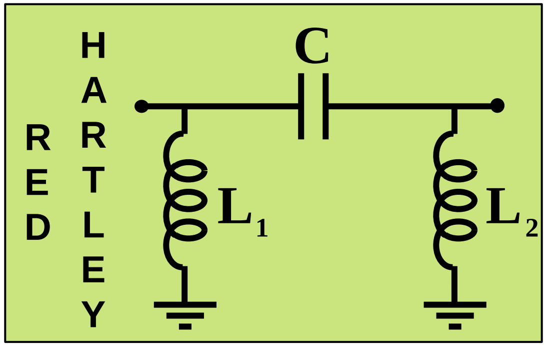
$$X_1 + X_2 + X_3 = 0$$

COLPITTS:

$$-\frac{1}{C_1\omega_0} - \frac{1}{C_2\omega_0} + L\omega_0 = 0 \quad\Rightarrow\quad L\omega_0 = \frac{1}{C_1\omega_0} + \frac{1}{C_2\omega_0} = \frac{1}{\omega_0}\cdot\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}\right) = \frac{1}{\omega_0}\cdot\left(\frac{C_2 + C_1}{C_1 \cdot C_2}\right)$$

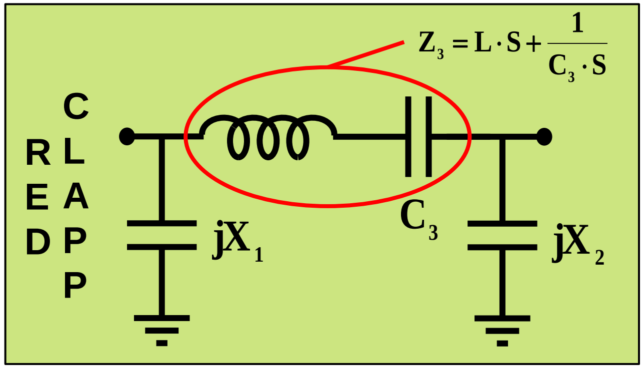
$$\Rightarrow\quad \boxed{\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{L\cdot(C_1 + C_2)}}}$$

HARTLEY:



$$L_1\cdot\omega_0 + L_2\cdot\omega_0 - \frac{1}{C\omega_0} = 0 \quad\Rightarrow\quad \omega_0^2(L_1 + L_2) = \frac{1}{C}$$

$$\Rightarrow\quad \boxed{\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{C\cdot(L_1 + L_2)}}}$$



Ahora bien: $Xc_3 \ll L\omega_0$

Criterio de CLAPP

$$\frac{1}{C_3 \cdot \omega_0} \ll L\omega_0$$

Por tanto es ≈ COLPITTS

CONDICIÓN DE MÓDULO $\left|A \cdot \beta(j\omega_0)\right| = 1$

Partimos ya de $X_1 + X_2 + X_3$ para cumplir $\angle A \cdot \beta = 0$

$$\left|A \cdot \beta(j\omega_0)\right| = \left|A \cdot \frac{-X_1 X_2}{-X_2(X_1 + X_3)}\right| = \left|A \cdot \frac{X_1}{X_1 + X_3}\right|$$

Arranque y mantenimiento

$$\left|A \cdot \frac{X_1}{X_1 + X_3}\right| \geq 1$$

O mejor todavía $\left| A \cdot \frac{X_1}{X_1 + X_3} \right| \geq 1$ es equivalente a:

$$X_1 + X_2 + X_3 = 0 \Rightarrow X_1 + X_3 = -X_2$$

$$\left| A \cdot \frac{X_1}{-X_2} \right| \geq 1 \Rightarrow \boxed{A \geq \frac{X_2}{X_1}}$$

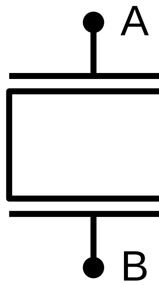
COLPITTS

$$A \geq \frac{\frac{1}{C_2 \omega_0}}{\frac{1}{C_1 \omega_0}} \Rightarrow \boxed{A \geq \frac{C_1}{C_2}}$$

Índice

- *Realimentación positiva e inestabilidad*
- *Oscilador sinusoidal, concepto y aplicaciones*
- *Principio de funcionamiento*
- *Elementos de un oscilador*
- *Estabilidad en frecuencia*
- *Condición de inicio de la oscilación*
- *Control de amplitud*
- Oscilador en puente de Wien. Análisis de la ganancia del lazo
- Osciladores LC. Análisis de la ganancia del lazo
- Cristales y osciladores de cuarzo
- *Algunos Ejemplos de osciladores*

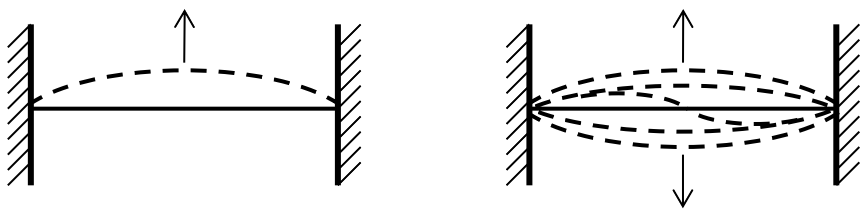
Cristales y osciladores de cuarzo



Efecto piezoeléctrico:

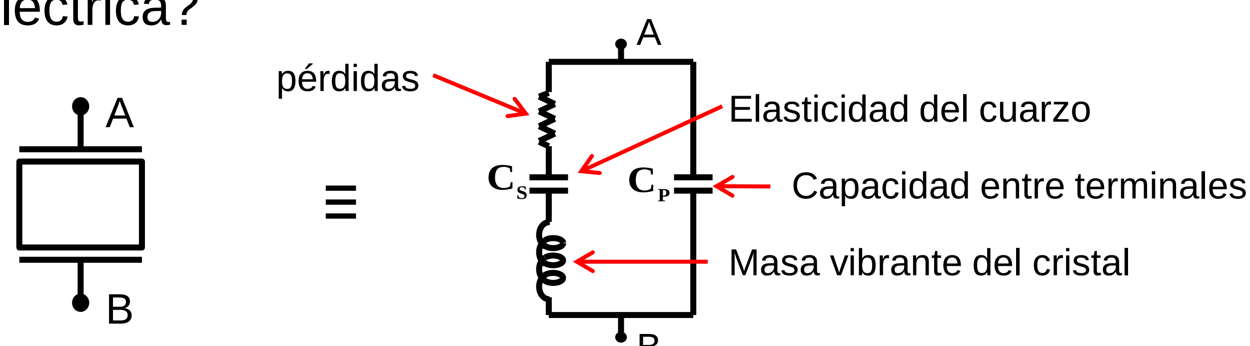
"Se aplica una diferencia de potencial entre A y B ⇨ el cuarzo disminuye su volumen, se contrae"

"Si somos capaces de oprimir el cuarzo, aparece una diferencia de potencial V_{AB}". Ej -> Motor eléctrico.



Oscilación natural a una frecuencia concreta

¿Cómo se representa eléctricamente este fenómeno de la oscilación piezoeléctrica?



A 32 KHz ¿Qué ocurre?,

¿Cómo son las impedancias?

R_S = 40 KΩ

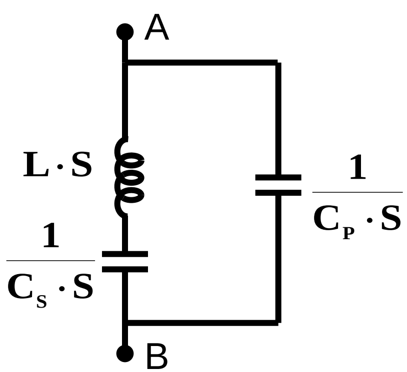
L = 4.800 H ⇨ $L \cdot 2\pi \cdot 32 \cdot 10^3 =$

$= 4.800 \cdot 2\pi \cdot 32 \cdot 10^3 = 965\ M\Omega$

$L\omega >> R_S$ ⇨ R_S despreciable

Algunos valores típicos		
f	32 KHz	10 MHz
R_S	40 KΩ	5 Ω
L	4.800 H	12 mH
C_S (pf)	0´00491	0´0145
C_P (pf)	2´85	4´35
C_P/C_S	580	300
Q	25.000	150.000

Por tanto el circuito se puede simplificar. ¿Cuál es la Z(s)?



$$Z_S(S) = LS + \frac{1}{C_S \cdot S}$$

$$Z_P(S) = \frac{1}{C_P \cdot S}$$

$$Z(s)=Z_P\|Z_S=\frac{\dfrac{1}{C_P\cdot S}\left(L_S+\dfrac{1}{C_S\cdot S}\right)}{\dfrac{1}{C_P\cdot S}+L\cdot S+\dfrac{1}{C_S\cdot S}}=\frac{1}{C_P\cdot S}\cdot\frac{1}{1+\dfrac{\left(\dfrac{1}{C_P\cdot S}\right)}{L\cdot S+\dfrac{1}{C_S\cdot S}}}=\frac{1}{C_P\cdot S}\cdot\frac{1}{1+\dfrac{1}{C_P\cdot Ls^2+\dfrac{C_P}{C_S}}}=$$

$$=\frac{1}{C_P\cdot S}\cdot\frac{1}{\dfrac{C_PL\cdot S^2+\dfrac{C_P}{C_S}}{C_PL\cdot S^2+\dfrac{C_P}{C_S}+1}}=\frac{1}{C_P\cdot S}\cdot\frac{C_P\cdot L\left[S^2+\dfrac{\cancel{C_P}}{C_S}\cdot\dfrac{1}{\cancel{C_P}\cdot L}\right]}{C_P\cdot L\left[S^2+\dfrac{\cancel{C_P}}{C_S}\cdot\dfrac{1}{\cancel{C_P}\cdot L}+\dfrac{1}{C_P\cdot L}\right]}=\frac{1}{C_P\cdot S}\cdot\frac{S^2+\dfrac{1}{C_S\cdot L}}{S^2+\dfrac{1}{C_S\cdot L}+\dfrac{1}{C_P\cdot L}}$$

$$\omega_P^2=\frac{1}{C_S\cdot L}+\frac{1}{C_P\cdot L}=\frac{1}{L\cdot\left(C_S\|C_P\right)}$$

$$Z(s)=Z_P\|Z_S=\frac{1}{C_P\cdot S}\cdot\frac{S^2+\omega_S^2}{S^2+\omega_P^2}$$

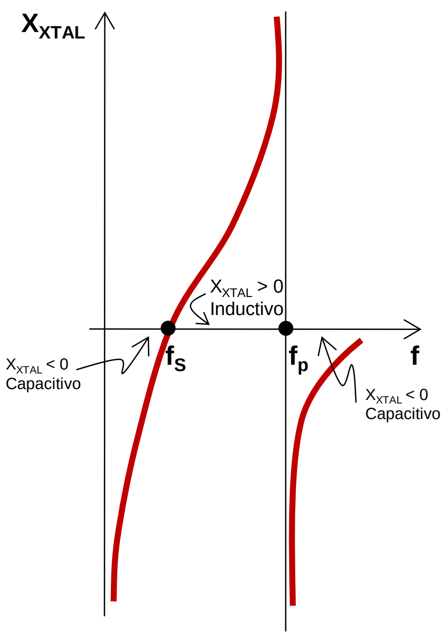
$$Q=\frac{\omega_0}{\omega_P-\omega_S}$$

$$Z(s) = Z_P \| Z_S = \frac{1}{C_P \cdot S} \cdot \frac{S^2 + \omega_S^2}{S^2 + \omega_P^2}$$

$$Z(j\omega) = j \cdot X_{XTAL} = j \cdot \frac{-1}{C_P \cdot \omega} \cdot \frac{\omega_S^2 - \omega^2}{\omega_P^2 - \omega^2}$$

$$\omega_P^2 = \frac{1}{C_S \cdot L} + \frac{1}{C_P \cdot L} = \frac{1}{L \cdot (C_S \| C_P)}$$

$$\omega_S^2 = \frac{1}{C_S \cdot L}$$



Interesa operar en la zona entre fp y fs (fs < f < fp) ya que de esta manera la frecuencia de oscilación será algún valor entre ellas y éstas están muy juntas, son prácicamente idénticas.

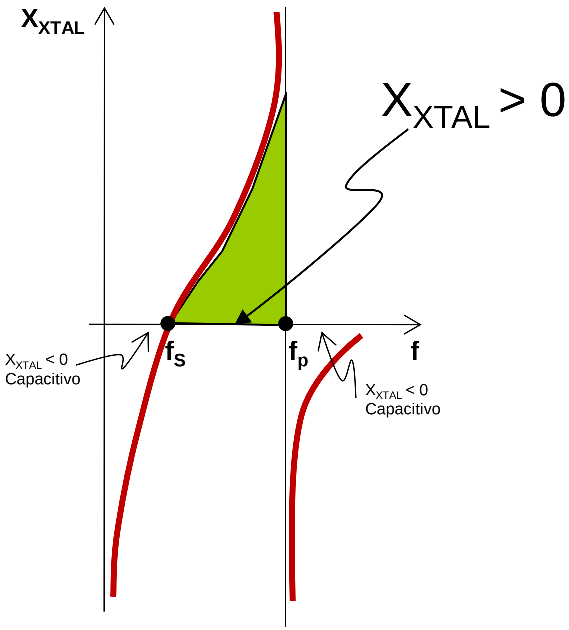
Factor de calidad, Q

$$Q = \frac{\omega_0}{\omega_P - \omega_S}$$

El factor de calidad es tan alto, ya que ω_S y ω_p son prácticamente idénticas, ya que: Cp >>> Cs

Algunos valores típicos		
f	32 KHz	10 MHz
R_S	40 KΩ	5 Ω
L	4.800 H	12 mH
C_S (pf)	0´00491	0´0145
C_P (pf)	2´85	4´35
C_P/C_S	580	300
Q	25.000	150.000

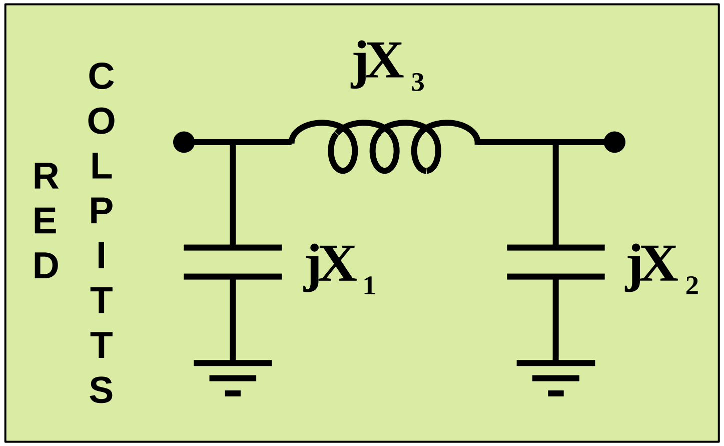
Cristales y osciladores de cuarzo



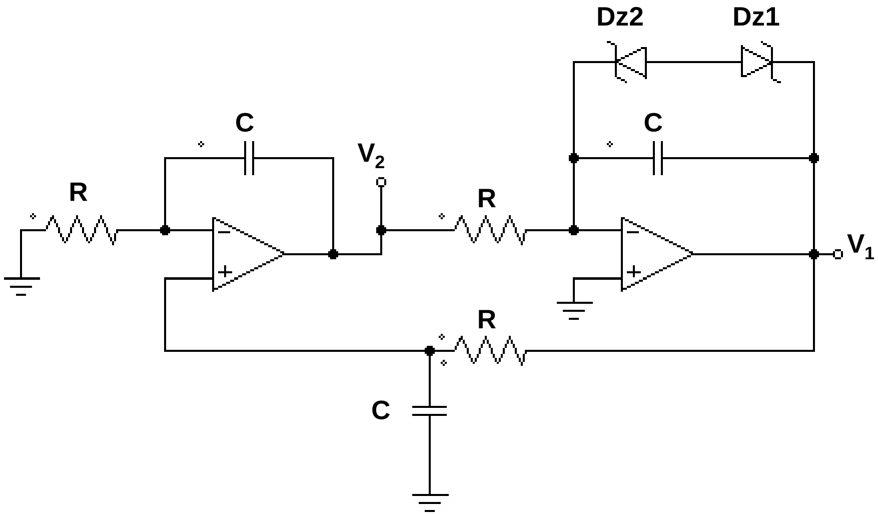
- *En la zona útil (fs < f < fp) , la impedancia del cristal presenta carácter inductivo.*
- *Para imponer que el oscilador trabaje entre fs y fp, la red el red $\beta(j\omega)$ ha de estar compuesta por el Xtal y 2 condensadores para que se pueda cumplir la condición de fase:*

$$X_1 + X_2 + X_3 = 0$$

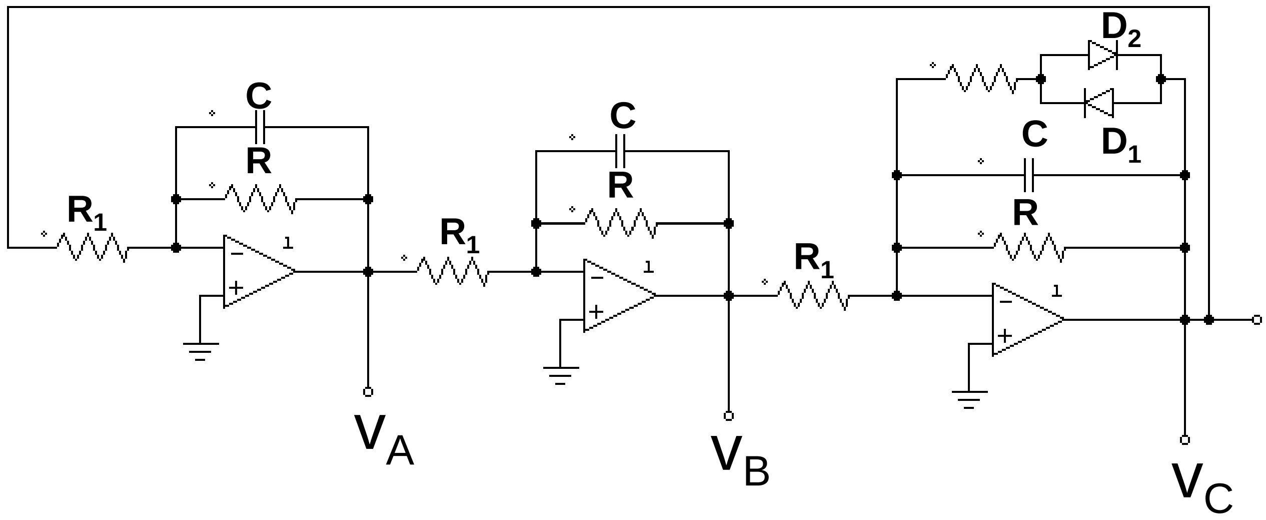
La red válida será:



Índice

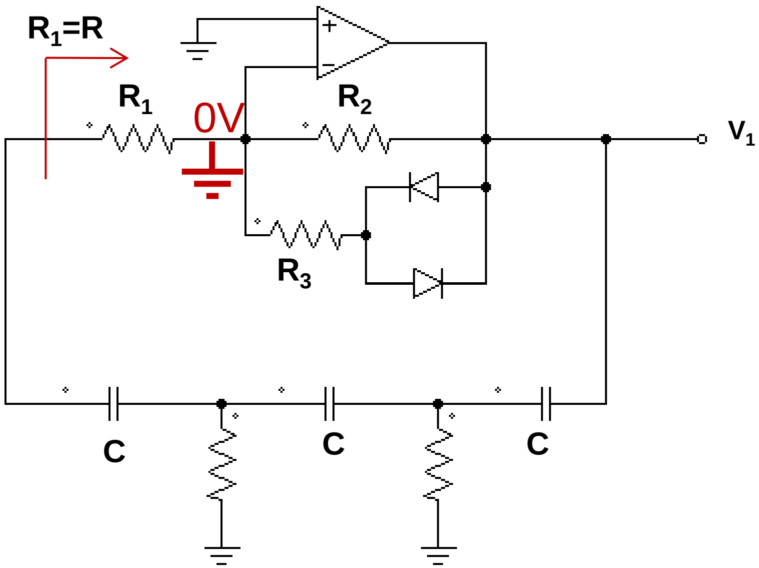


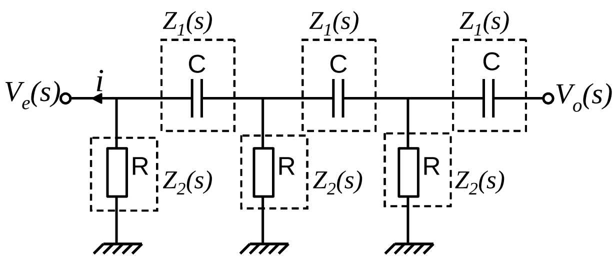
$$A_{osc} \cdot \beta_{osc}(j\omega) = \frac{1}{j\omega^2 R^2 C^2}$$



$$A_{osc}\cdot\beta_{osc}(j\omega)=-\left(\frac{R}{R_1}\right)^3\frac{1}{1-3\left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^2+j\left[3\cdot\frac{\omega}{\omega_p}-\left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^3\right]}\qquad \omega_p=\frac{1}{RC}$$

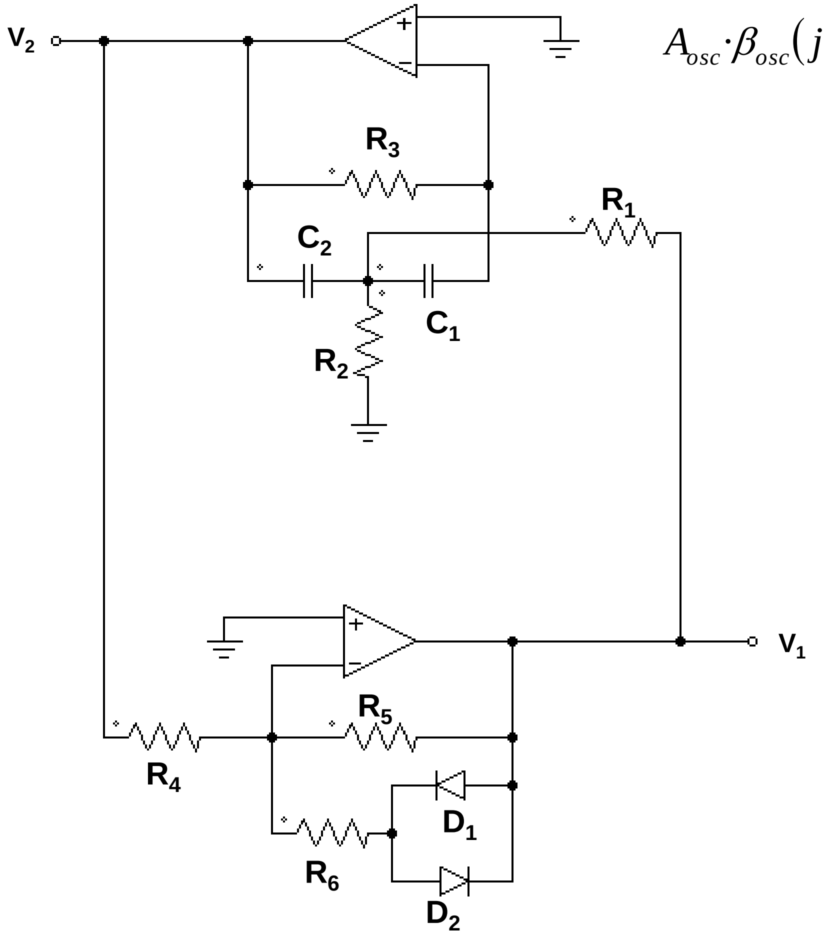
Oscilador por desplazamiento de fase





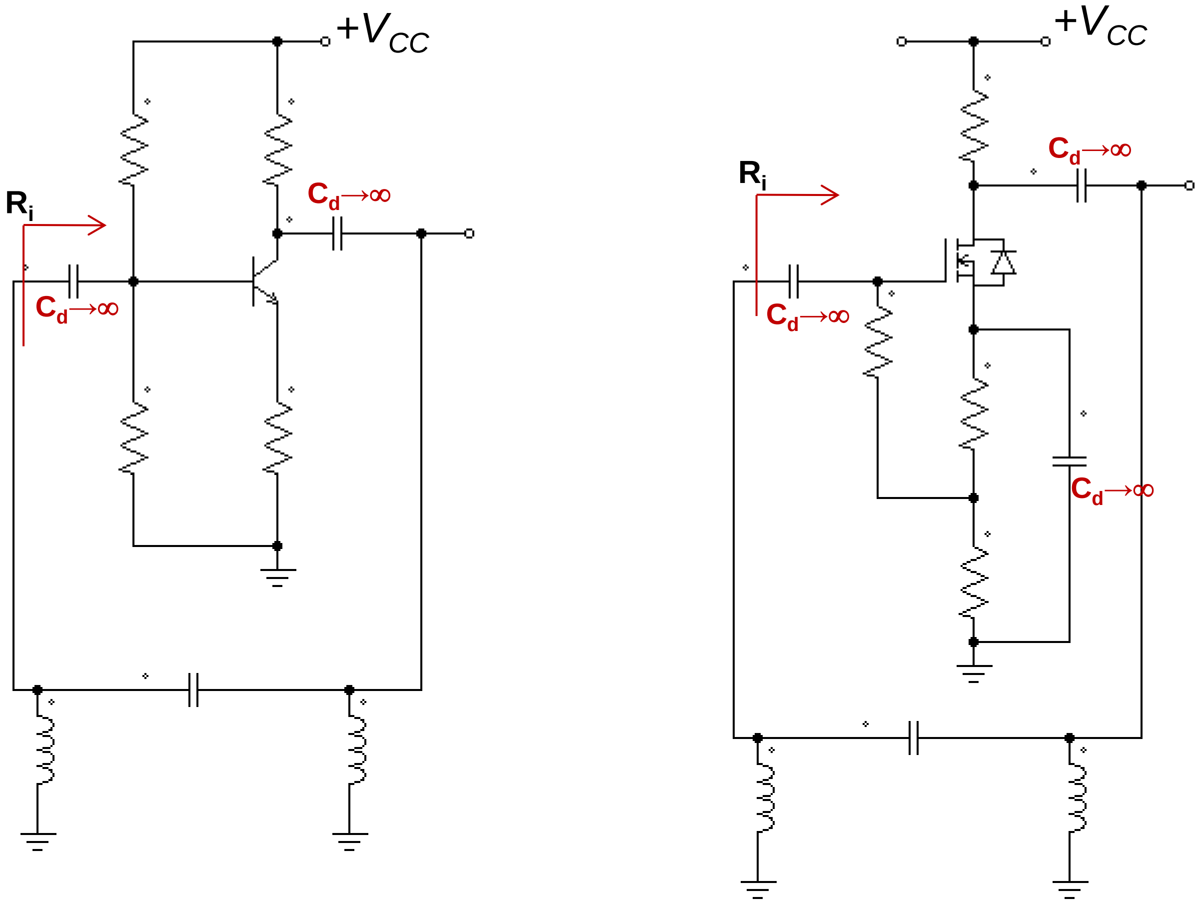
$$\frac{V_e}{V_O}(s) = \frac{1}{\left(\frac{Z_1(s)}{Z_2(s)}\right)^3 + 5\left(\frac{Z_1(s)}{Z_2(s)}\right)^2 + 6\left(\frac{Z_1(s)}{Z_2(s)}\right) + 1}$$

Oscilador sintonizado por filtro activo



$$A_{osc}\cdot\beta_{osc}(j\omega)=-A_v\cdot\frac{-j\omega\frac{1}{R_1C_2}}{-\omega^2+j\omega\frac{1}{R_3}\left(\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}\right)+\frac{1}{R_3C_1C_2}\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)}$$

$C_d \rightarrow$ **Condensadores de desacoplo**



Oscilador a cristal

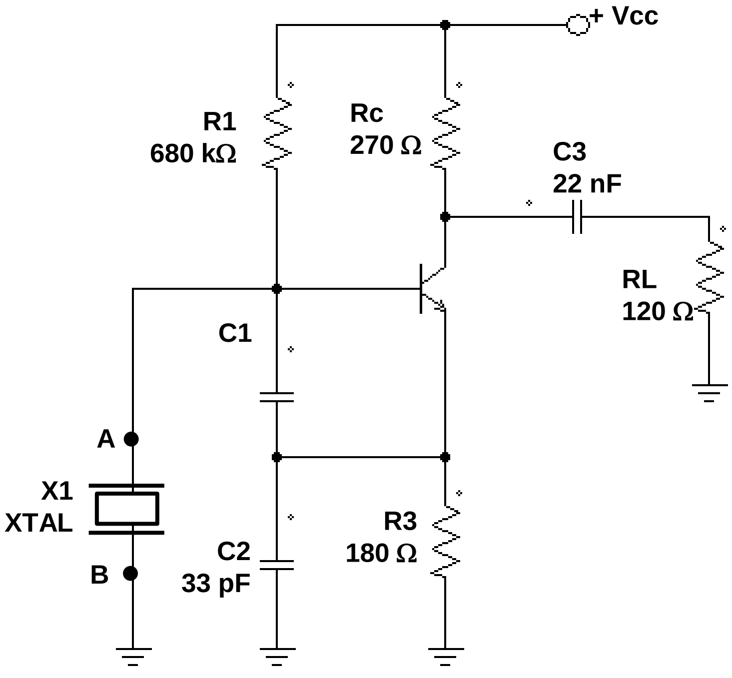


Figura 1