

Capítulo 1

Introducción

El circuito que será estudiado en el presente proyecto es una modificación de un oscilador en puente de Wien (véase la figura (1.1)) al que se le quita el condensador C_1 correspondiente a la rama de realimentación positiva. Además se le añaden dos fuentes de tensión senoidal V_{s1} y V_{s2} que actúan como forzamientos. Hay que notar que debido a que el condensador C_1 ha sido suprimido, el circuito ha perdido la capacidad para comportarse como un oscilador de forma autónoma. Una forma de obtener comportamiento oscilatorio es forzando las oscilaciones haciendo uso de fuentes senoidales, tal y como se muestra en la figura (1.2). Tanto en el presente montaje, como en el oscilador en puente de Wien original existen sendas zonas de resistencia negativa que hacen posible la aparición de oscilaciones. Sin embargo, como se mencionó antes, la supresión de uno de los condensadores hace imposible este fenómeno sin la presencia de excitación externa. Un parámetro importante de este circuito es la relación de frecuencias existentes entre ambos forzamientos.

Para justificar el desarrollo analítico que aparecerá en los próximos capítulos y que tiene como fin estudiar el comportamiento de un circuito electrónico real, se estudia a continuación las ecuaciones que rigen el funcionamiento de dicho circuito.

1.1. Estudio del circuito

Si se observa el circuito se verá que uno de los bloques básicos que lo constituyen es un amplificador operacional en montaje no inversor. Analizándolo se puede alcanzar más fácilmente una explicación al comportamiento global del circuito, en lugar de estudiar éste desde cero.

Suponiendo que el amplificador es ideal se puede simplificar la resolu-

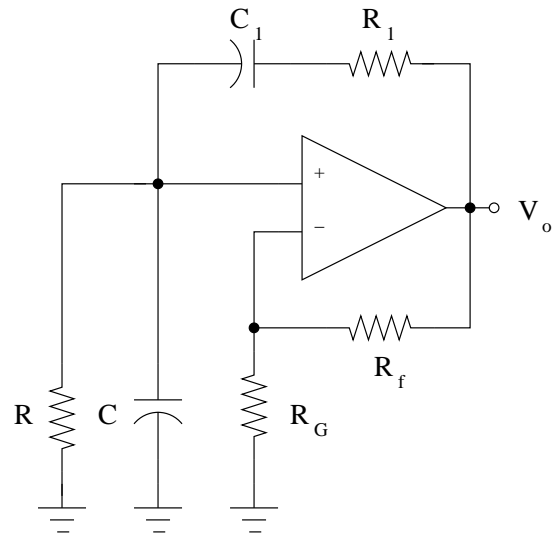


Figura 1.1: Oscilador en puente de Wien

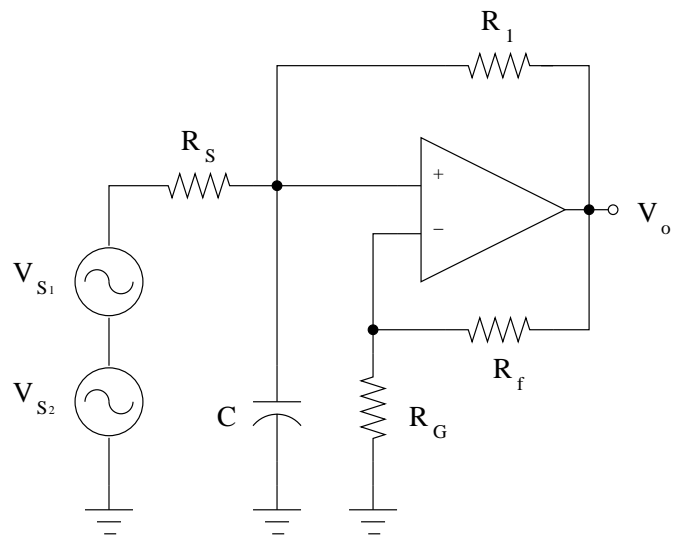


Figura 1.2: Puente de Wien modificado forzado

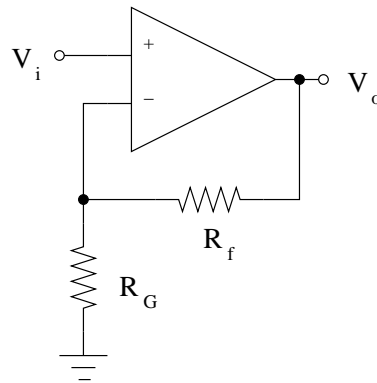


Figura 1.3: Amplificador no inversor

ción del circuito; las simplificaciones que se realizarán son:

- La intensidad que circula por ambos terminales de entrada es casi nula: $i^+ = i^- \approx 0$
- La diferencia de tensión entre dichos terminales es también casi nula: $V^+ - V^- \approx 0$
- La ganancia de entrada del operacional es prácticamente infinita: $A \rightarrow \infty$
- La tensión de salida es finita, y está dada por: $V_o = A(V^+ - V^-)$

Bajo estos supuestos se puede resolver el circuito mediante la siguiente ecuación.

$$\frac{V_o - V_i}{R_f} = \frac{V_i}{R_G}, \quad (1.1)$$

y despejando se tiene que:

$$V_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_G}\right) V_i, \quad (1.2)$$

De ahora en adelante designaremos por α la ganancia en bucle cerrado del montaje amplificador no inversor, esto es:

$$\alpha = 1 + \frac{R_f}{R_G}$$

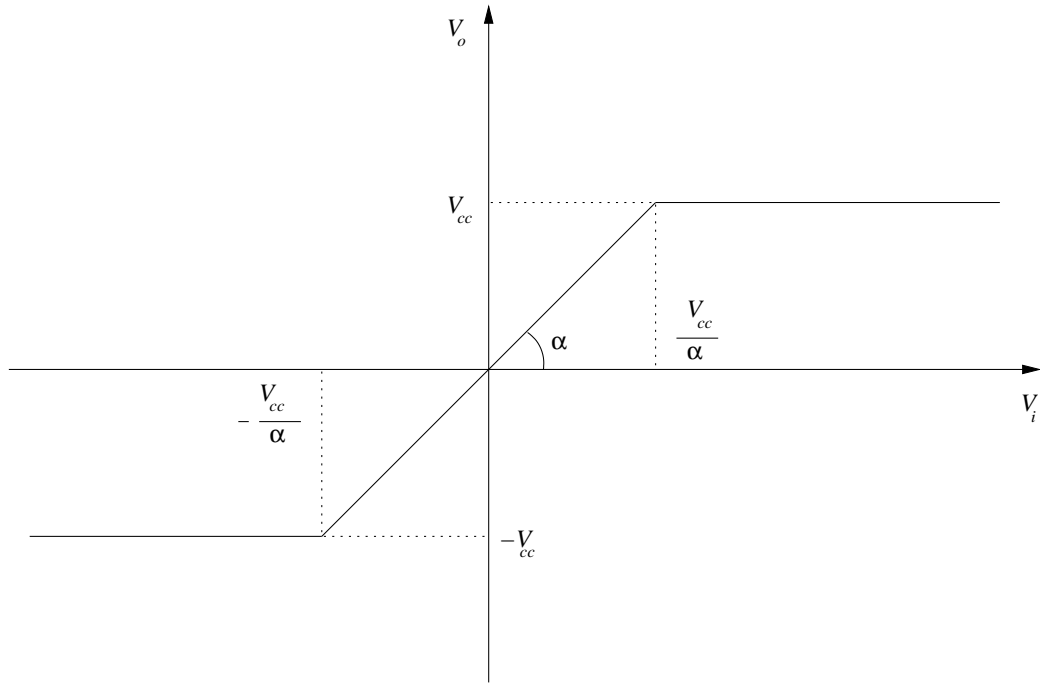


Figura 1.4: Relación entrada salida del amplificador no inversor

Ahora bien, se ha de tener en cuenta que este resultado es válido siempre que la tensión de salida V_o no supere el valor de las tensiones de alimentación del operacional V_{cc} y $-V_{cc}$. En tal caso la tensión de salida del amplificador saturará hacia los valores de tensión de alimentación. Expresando esto en forma de ecuaciones podemos extender la solución dada por (1.2) de la siguiente forma:

$$V_o = \begin{cases} V_{cc}, & \text{si } V_i > \frac{V_{cc}}{\alpha} \\ \alpha V_i, & \text{si } |V_i| \leq \frac{V_{cc}}{\alpha} \\ -V_{cc}, & \text{si } V_i < -\frac{V_{cc}}{\alpha} \end{cases} \quad (1.3)$$

Se puede sustituir el bloque correspondiente al amplificador no inversor en la figura 1.2 por una fuente de tensión dependiente de tensión. El circuito queda como se muestra en la figura 1.5.

Este circuito puede ser representado de forma más esquemática sustituyendo los elementos vistos a la derecha en bornas del condensador por una conductancia G (véase la figura 1.6). Ésta presenta tres zonas de funcionamiento según el valor de la tensión del condensador V_C .

La expresión que describe el comportamiento de la intensidad de entrada en la conductancia es la siguiente, siendo esta función de la tensión

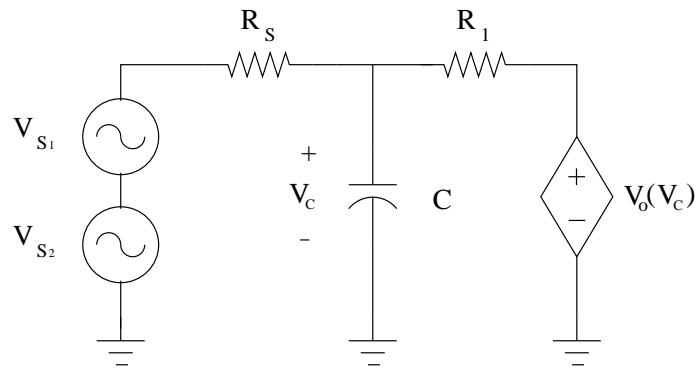


Figura 1.5: Amplificador no inversor modelado como fuente dependiente de tensión

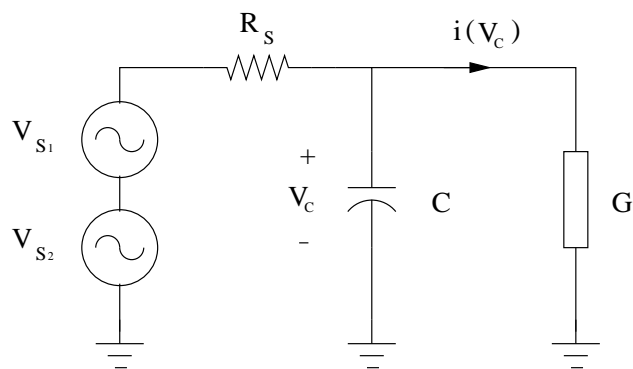


Figura 1.6: Amplificador no inversor modelado como conductancia no lineal

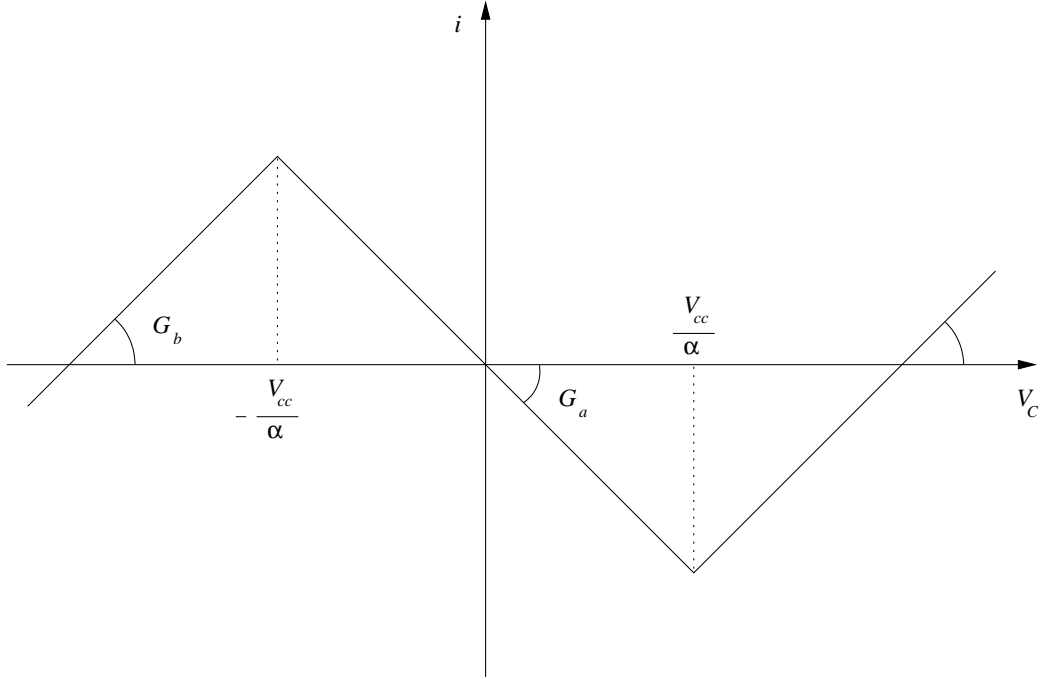


Figura 1.7: Intensidad de la conductancia G en función de la tensión del condensador

del condensador C :

$$i(V_C) = \begin{cases} \frac{V_C - V_{cc}}{R_1}, & \text{si } V_C > \frac{V_{cc}}{\alpha} \\ -\frac{R_f}{R_1 R_G} V_C, & \text{si } |V_C| \leq \frac{V_{cc}}{\alpha} \\ \frac{V_C + V_{cc}}{R_1}, & \text{si } V_C < -\frac{V_{cc}}{\alpha} \end{cases} \quad (1.4)$$

Haciendo uso de la primera ley de Kirchhoff en el nodo indicado en la figura y teniendo en cuenta que la intensidad que circula por un condensador es:

$$i_C = C \frac{dV_C}{dt},$$

se obtiene la expresión siguiente:

$$C \frac{dV_C}{dt} + \frac{V_C - (V_{S_1} + V_{S_2})}{R_S} + i(V_C) = 0 \quad (1.5)$$

Sustituyendo V_{S_1} y V_{S_2} por $A_1 \cos(\omega_1 t + \varphi_0)$ y $A_2 \cos(\omega_2 t)$ respectiva-

mente, y despejando $\frac{dV_C}{dt}$ de (1.5) resulta:

$$\frac{dV_C}{dt} = -\frac{1}{C} \left(i(V_C) + \frac{V_C}{R_S} \right) + \frac{1}{R_S C} [A_1 \cos(\omega_1 t) + A_2 \cos(\omega_2 t)] \quad (1.6)$$

Llevando los forzamientos al primer miembro de (1.6) tenemos y renombrando el mismo como $f(t, V_C)$:

$$f(V_C) = -\frac{1}{C} \left(i(V_C) + \frac{V_C}{R_S} \right) \quad (1.7)$$

Desarrollando la ecuación (1.7) aprovechando los resultados de (1.4), ésta toma la forma:

$$f(V_C) = \begin{cases} -\frac{R_1+R_S}{R_1 R_S C} V_C + \frac{V_{cc}}{R_1 C}, & \text{si } V_C > \frac{V_{cc}}{\alpha} \\ \frac{R_S R_f - R_1 R_G}{R_1 R_S R_G C} V_C, & \text{si } |V_C| \leq \frac{V_{cc}}{\alpha} \\ -\frac{R_1+R_S}{R_1 R_S C} V_C - \frac{V_{cc}}{R_1 C}, & \text{si } V_C < -\frac{V_{cc}}{\alpha} \end{cases} \quad (1.8)$$

y sustituyendo los nombres de variables por los siguientes:

$$a = \frac{R_S R_f - R_1 R_G}{R_1 R_S R_G C}, \quad (1.9)$$

$$b = -\frac{R_1 + R_S}{R_1 R_S C}, \quad (1.10)$$

$$x = V_C, \quad (1.11)$$

$$x_0 = \frac{V_{cc}}{\alpha}, \quad (1.12)$$

$$R = \frac{A_1}{R_S C}, \quad (1.13)$$

$$r = \frac{A_2}{R_S C}, \quad (1.14)$$

$$\omega_1 = \Omega, \quad (1.15)$$

$$\omega_2 = \omega \quad (1.16)$$

podemos reescribir (1.8) como:

$$f(x) = \begin{cases} bx + (a - b)x_0, & \text{si } x > x_0, \\ ax, & \text{si } |x| \leq x_0, \\ bx - (a - b)x_0, & \text{si } x < -x_0. \end{cases} \quad (1.17)$$

y (1.6) de esta forma:

$$\frac{dx}{dt} = f(x) + R \cos(\Omega t + \varphi_0) + r \cos(\omega t) \quad (1.18)$$