

## Oscilador RC desplazamiento de fase

### 20.1. INTRODUCCION

Vimos en la Práctica 19 dos tipos de osciladores senoidales que se caracterizaban por la utilización de un circuito tanque, dando lugar a una salida comprendida dentro de la gama de radiofrecuencia. Para frecuencias de salida bajas, el uso de bobinas o de cristales piezoeléctricos sería prohibitivo debido a su gran volumen y alto precio.

En estos casos es aconsejable utilizar redes de resistencias y condensadores para, aprovechando el desfase introducido por la red, realimentar una señal en fase con la entrada y provocar la oscilación del amplificador.

### 20.2. DESCRIPCION BASICA

El principio básico de funcionamiento de un oscilador RC de desplazamiento de fase es el de variar la fase de la señal de salida mediante células de resistencias y condensadores, consiguiendo un desfase total de  $180^\circ$  que, unidos a los  $180^\circ$  producidos por un transistor en emisor común, dan como resultado una señal en fase con la inicial, la cual al ser realimentada a la entrada del transistor es capaz de automantenerse, dando una salida senoidal de bastante calidad.

La célula RC básica componente de este tipo de oscilador se muestra en la Figura 20.1. Obsérvese que se trata de un circuito serie RC.

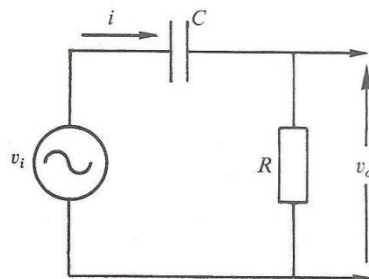


Figura 20.1. Célula básica RC.

Al introducir una señal alterna, de frecuencia constante, en la célula circulará una corriente  $i$  de valor

$$i = \frac{v_i}{X_C + R}$$

la cual estará desfasada respecto a la tensión de línea en un ángulo

$$\varphi = \arctg \frac{X_C}{R} = \arctg \frac{1}{2\pi f RC} \quad [1]$$

y dependerá del valor de la frecuencia aplicada.

Si variamos la frecuencia de la señal aplicada veremos que este ángulo varía, y para una frecuencia determinada valdrá exactamente  $60^\circ$ .

Esta frecuencia puede ser obtenida de la ecuación [1] sin más que sustituir  $\text{tg } 60^\circ$  por su valor  $\sqrt{3}$ , con lo que obtenemos

$$\sqrt{3} = \text{tg } 60^\circ = \frac{1}{2\pi f RC}$$

de donde

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{3} \cdot RC}$$

Este desfase producido por  $RC$  no tendría mayor interés por sí solo, pero si a la salida del circuito de la Figura 20.1 conectamos, sucesivamente, dos células idénticas a la anterior, el resultado es que el desfase total introducido por el circuito es igual a la suma de cada uno de los desfases, es decir, su valor será de  $180^\circ$ .

En la práctica, difícilmente las tres células  $RC$  serán idénticas, variando algo el valor de los componentes, sin embargo, al ser el desfase total la suma de los parciales, con tres células distintas también habrá una frecuencia a la que el desfase total sea de  $180^\circ$ . Es interesante observar que el límite teórico de desfase de un condensador es de  $90^\circ$ , pero en la práctica esto es imposible de conseguir, siendo necesario un mínimo de tres células para obtener un desfase igual a  $180^\circ$ , aunque este valor también puede conseguirse con cualquier número superior de células.

### 20.3. FUNCIONAMIENTO

En la Figura 20.2 se muestra un circuito típico de oscilador  $RC$  por desplazamiento de fase, en el que se observan las células constituidas por  $R_2 - C_1$ ,  $(R_3 + P) - C_2$  y  $Z_i - C_3$ , siendo  $Z_i$  la impedancia de entrada del propio transistor.

La resistencia  $R_1$  cumple la función de resistencia de colector del transistor y  $R_4$  es la resistencia de polarización de base que, a efectos prácticos y una vez iniciada la oscilación, puede considerarse unida al terminal positivo de alimentación.

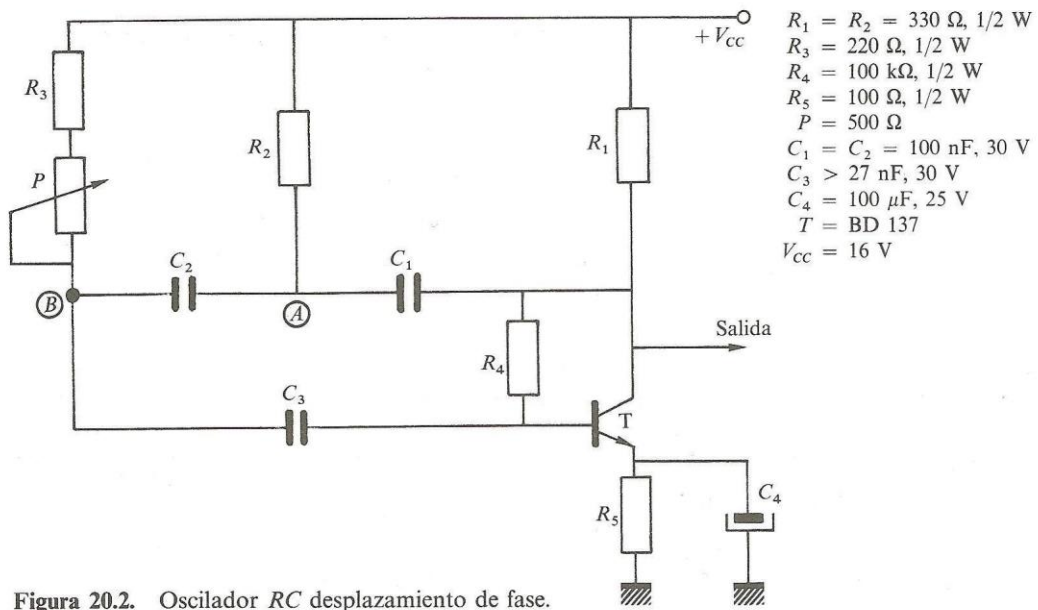


Figura 20.2. Oscilador RC desplazamiento de fase.

La estabilidad térmica del transistor la proporciona  $R_5$ , la cual está desacoplada en alterna por  $C_4$ , condensador de alto valor. Por último,  $P$ , intercalado en la segunda célula, permite variar el desfase introducido por ésta, por lo que la frecuencia que satisface un desfase total de  $180^\circ$  también variará y, con ello, la frecuencia de oscilación del circuito.

Aunque a primera vista parece que la red desfasadora no está intercalada entre la salida y la entrada, es conveniente advertir que para la corriente alterna la batería de alimentación es un cortocircuito, estando, pues, el terminal positivo conectado a masa; por otra parte, el emisor también se encuentra conectado a masa mediante  $C_4$ . El resultado se muestra en la Figura 20.3; en él se señalan con línea discontinua los componentes que forman cada célula RC.

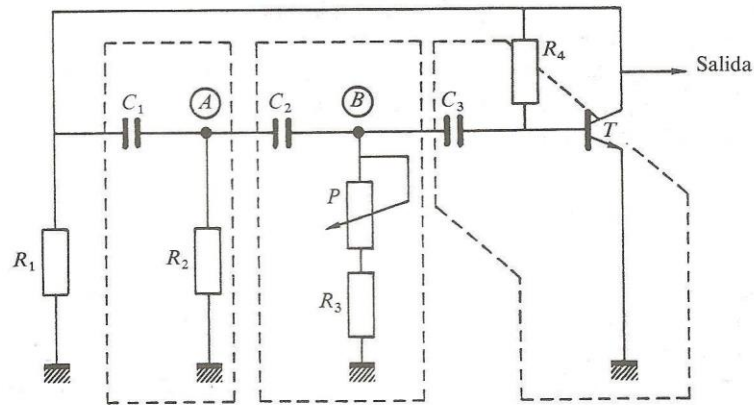


Figura 20.3. Circuito equivalente en alterna de la Figura 20.2.

Analizando dicho circuito y despreciando las variaciones de carga, se demuestra que la frecuencia de oscilación responde a la expresión

$$f = \frac{1}{2\pi RC\sqrt{2N}}$$

en la que  $N$  es el número de células  $RC$  idénticas usadas.

Veamos cómo se comporta el circuito:

Al conectar la alimentación los condensadores se encuentran descargados, por lo cual reflejan un aumento de tensión en la base del transistor que hace que éste comience a conducir hasta la saturación; por esto, la tensión de colector caerá hasta, aproximadamente, 0 voltios, permitiendo que  $C_3$ , a través de  $R_3$ ,  $P$  y la unión base-emisor del transistor, se cargue.

Esta carga de  $C_3$  provoca que la  $I_B$  disminuya de una forma exponencial, por lo cual la tensión de colector crece de esta misma forma;  $C_1$ , que se estaba cargando a través de  $R_2$  y el circuito colector-emisor, cesa su carga y comienza el ciclo de descarga a través de  $R_2$  y  $R_1$ . La descarga de  $C_1$  provoca una corriente que junto con la proveniente de la descarga de  $C_3$  hace que  $C_2$  se vea afectado por un paso de corriente que lo carga. Paralelamente a la descarga de  $C_3$ , la  $I_B$  aumenta de valor, por lo que la tensión de salida disminuye, debido a la conducción del transistor.

En estas condiciones, el condensador  $C_1$  cesa su descarga, al igual que  $C_3$ , por lo que  $C_2$  se descarga a través de  $R_3$ ,  $P$  y  $R_2$ , iniciándose de nuevo el ciclo anterior con las cargas de  $C_3$  y  $C_1$ .

Este sencillo proceso que permite el inicio de las oscilaciones no sería suficiente para mantenerlas por simples cargas y descargas de condensadores, a causa de la menor amplitud de éstas cada vez; sin embargo, una vez iniciadas las oscilaciones, éstas se realimentan a través de la red  $RC$  con un desfase total neto de  $0^\circ$ , es decir, en fase, y por tanto, con realimentación positiva, por lo cual este proceso continúa hasta que se desconecte la alimentación del circuito.

#### **20.4. PROCESO OPERATIVO**

1. Conectar el circuito de la Figura 20.2. Alimentarlo con una  $V_{CC} = 16$  V.
2. Variar  $P$  hasta su valor mínimo.
3. Con el osciloscopio, medir las formas de onda de los puntos: colector, base,  $A$  y  $B$ . Dibujarlas.
4. Medir el desfase respecto de colector de los puntos:  $A$ ,  $B$  y base del transistor. Anotar en la Tabla 20.1.  
Anotar en la Tabla 20.1 la frecuencia de oscilación del circuito.
5. Repetir los puntos 3 y 4 con valores medio y máximo de  $P$ .

Tabla 20.1.

|          | Desfase en grados |   |   | Frecuencia |
|----------|-------------------|---|---|------------|
|          | Base              | A | B |            |
| P mínimo |                   |   |   |            |
| P medio  |                   |   |   |            |
| P máximo |                   |   |   |            |

### CUESTIONES

1. Calcular el desfase introducido por una  $R = 100 \Omega$  y un  $C = 100 \text{ nF}$ , para una  $f = 1 \text{ kHz}$ .
2. ¿Es posible conseguir un desfase de  $180^\circ$  con cuatro células cuyo valor de los componentes es la mitad del de los de la célula anterior? Razonar la respuesta.
3. ¿Cuál sería la frecuencia de oscilación de un oscilador con cuatro células de valor:  $R = 1 \text{ k}\Omega$  y  $C = 10 \text{ nF}$ ?
4. Explicar el proceso de mantenimiento de la señal generada en un oscilador RC desplazamiento de fase.

### CONCLUSIONES

- Los circuitos RC sometidos a una señal alterna de frecuencia  $f$ , varían la fase de la onda en una cantidad proporcional al valor de  $f$  y de los componentes.
- El desfase total introducido por redes RC en cascada es igual a la suma de los desfases individuales.
- Un oscilador RC por desplazamiento de fase se basa en una disposición de células RC, cuyo desfase total es de  $180^\circ$ , dando lugar a una realimentación positiva.
- Los osciladores RC están limitados al empleo en bajas frecuencias, allí donde los osciladores de circuito tanque se hacen inviables por las elevadas dimensiones de la bobina.
- La frecuencia teórica de un oscilador RC desplazamiento de fase de  $N$  etapas es aproximadamente

$$f = \frac{1}{2\pi RC\sqrt{2N}}$$

variando dicha frecuencia en función de la carga.