

Los aficionados al diseño y montaje tienen en este artículo la posibilidad de realizar cualquier oscilador de frecuencia variable que precisen.

Diseño de osciladores de frecuencia variable

JOSE ANTONIO GAZQUEZ*, EA7ED

Seguro que muchos de nosotros alguna vez hemos necesitado un oscilador de frecuencia variable y lo más probable es que no hayamos encontrado el modelo requerido entre los existentes en los libros y revistas consultados.

La solución habrá sido modificar a «ojo de buen cubero» el más parecido, para, sobre la marcha, conseguir el margen de frecuencias requerido.

Con este artículo se pretende que el aficionado al diseño y montaje tenga información teórico-práctica para la realización de cualquier oscilador de frecuencia variable (OFV) que necesite.

Tipos de osciladores

Los osciladores de alta frecuencia de onda senoidal que comúnmente se utilizan en radio para el control de frecuencia, son osciladores autocontrolados de redes LC. Esto quiere decir que se trata de un amplificador realimentado con una red de bobinas y condensadores, la cual nos determina la frecuencia de oscilación del conjunto.

Existen otros tipos de osciladores como pueden ser los de *relajación* usados en circuitos digitales y los de resistencia negativa que son de aplicaciones muy específicas.

Para nuestros diseños de osciladores utilizaremos exclusivamente osciladores LC.

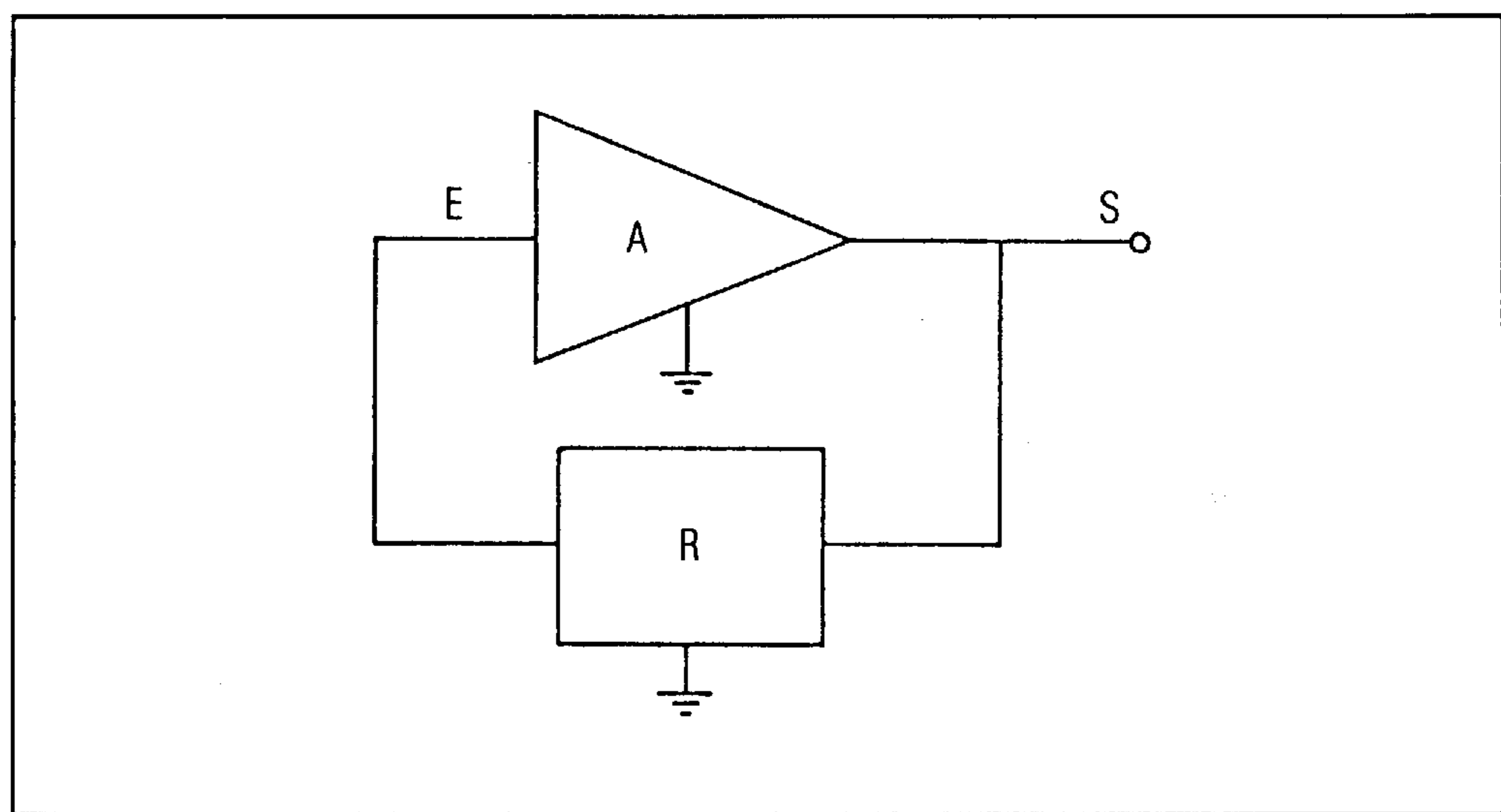


Figura 1. Oscilador autocontrolado.

En la figura 1 podemos ver el diagrama de bloques de un oscilador de este tipo. Vemos que consta de un amplificador de ganancia A y una red de realimentación de ganancia R (la ganancia de la red de alimentación en realidad se llama

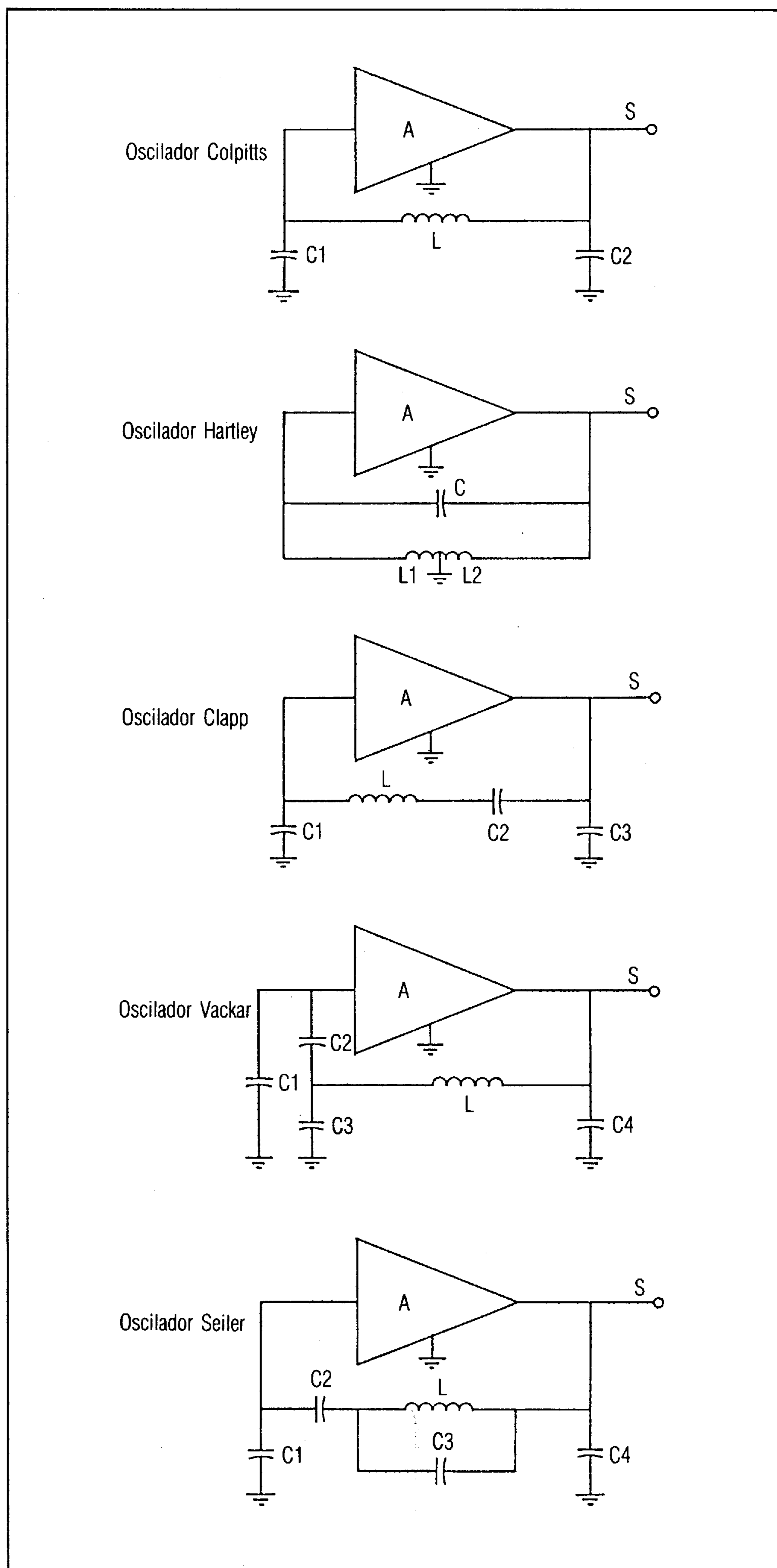


Figura 2. Tipos de osciladores LC.

*Apartado de correos 546. Almería

función de transferencia de la red y es un término función de la frecuencia, pero por simplicidad la llamaremos ganancia).

La realimentación consiste en tomar una muestra de la señal a la salida del amplificador y aplicarla a la entrada del mismo, después de atravesar la mencionada red de realimentación.

Según la realimentación se oponga o favorezca a la señal a la entrada del amplificador, esta realimentación será negativa o positiva respectivamente. En la realimentación negativa la señal realimentada está en oposición de fase con la señal a la entrada del amplificador, el efecto producido es una disminución de la ganancia total del amplificador y un aumento de la estabilidad del mismo. En cuanto a la realimentación positiva, la señal realimentada está en fase con la señal a la entrada y se produce un aumento de la ganancia y de la inestabilidad del amplificador. Si la realimentación positiva es tan fuerte que supera un cierto límite: $|R \cdot A| \geq 1$, el amplificador es un oscilador.

Según la estructura que tenga la red «R» de realimentación obtenemos los distintos tipos de osciladores LC (figura 2).

Técnicas de diseño

Para el diseño de osciladores, hemos elegido el modelo que se ajusta más a las necesidades: estabilidad de frecuencia, mínima influencia de la carga de salida, sencillez de cálculo. Este corresponde al modelo Seiler modificado.

La red de realimentación está representada en la figura 3.

La frecuencia de oscilación en función de los componentes de la red de realimentación es la siguiente:

$$f_o = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \left(\frac{1}{1/C_2 + 1/C_3 + 1/C_4} + C_1 \right)}}$$

La condición de oscilación es la siguiente:

$$\left(1 + \frac{C_4}{C_3} \right) \cdot A \geq 1$$

A es la ganancia del amplificador T1 que es del orden de 0,5. Si la desigualdad se cumple, el circuito oscilará.

El circuito práctico de este modelo de oscilador es el de la figura 4.

El primer transistor de efecto de campo (FET) con su circuito asociado corresponde al modelo Seiler modificado estudiado anteriormente; el segundo FET es la etapa separadora, para un correcto aislamiento de la carga con la etapa osciladora.

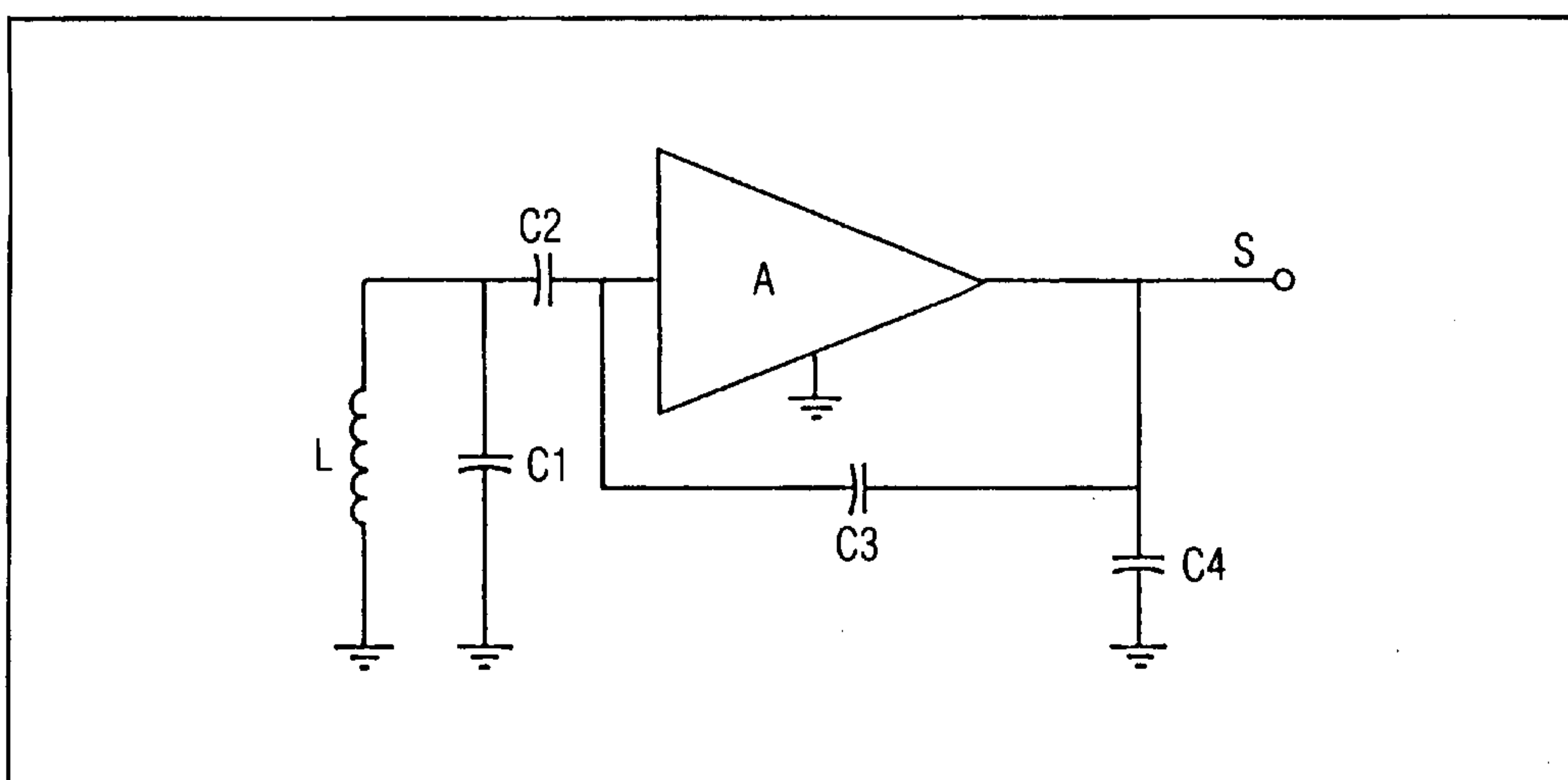


Figura 3. Modelo práctico de oscilador.

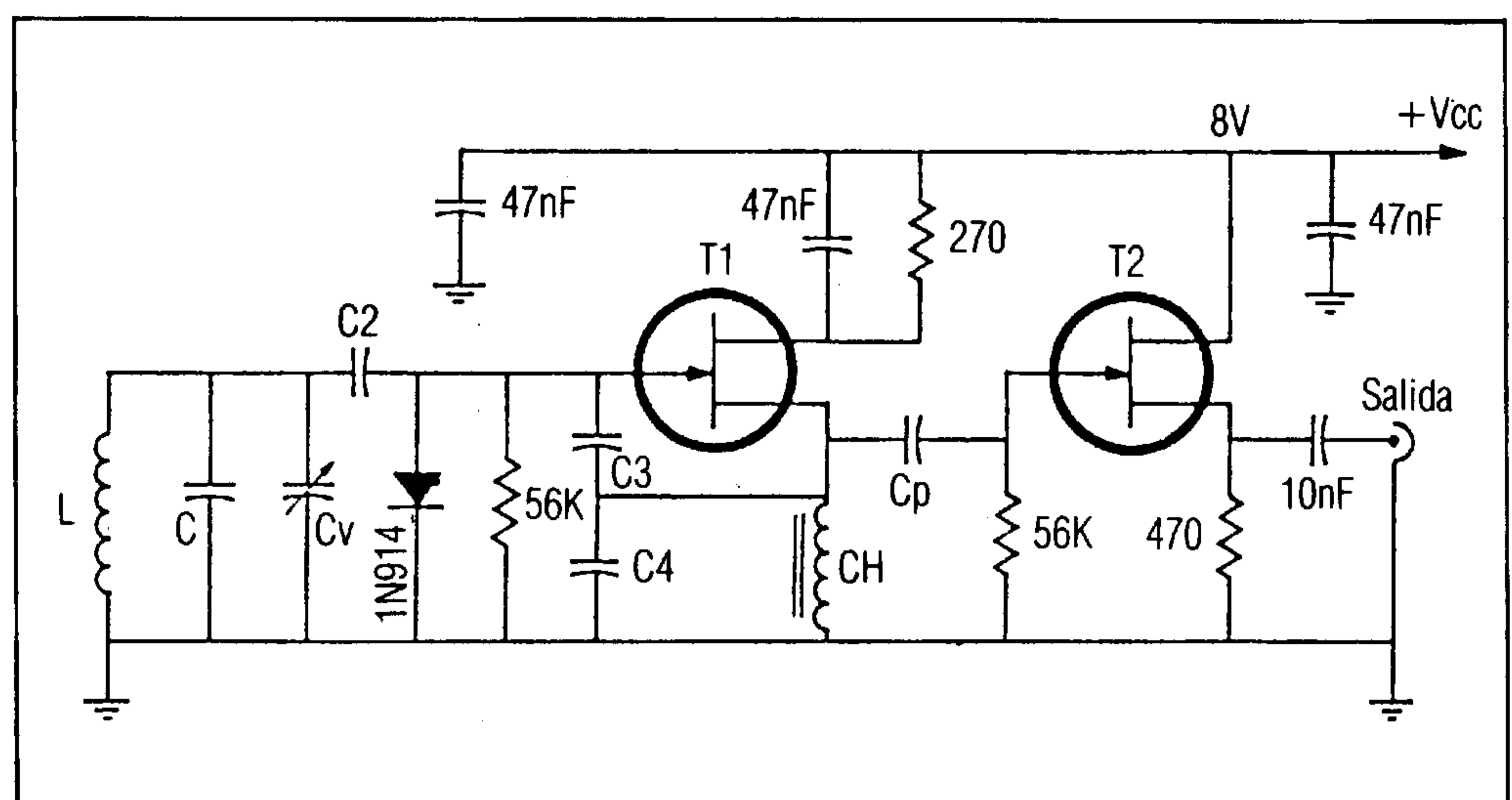


Figura 4.

Pasos a seguir en el diseño

1) Fijar los datos: frecuencia máxima = f_2 ; frecuencia mínima = f_1 ; variación de capacidad de $C_v = C_{vmax} - C_{vmin} = K$ (se supone que C_1 es un condensador variable o diodo varicap C_v en paralelo con un condensador fijo C).

Estos son los datos que debemos elegir de acuerdo con el oscilador deseado. La frecuencia máxima f_2 será la frecuencia más alta que queramos en que oscile, ésta se alcanzará cuando el condensador variable C_v alcance su capacidad mínima C_{vmin} . La frecuencia mínima f_1 es la frecuencia más baja del oscilador y se alcanza cuando el condensador variable C_v presenta su capacidad más alta C_{vmax} .

Resumiendo, para el diseño de nuestro oscilador debemos fijar los márgenes de frecuencia y el tipo de elemento que varía de capacidad, ya sea condensador o diodo de capacidad variable.

Una vez hecho esto se fijan los valores de los condensadores: C_2, C_3, C_4, C_p ; según la tabla de la figura 5. En la misma tabla que nos da el valor más idóneo de estos condensadores en función de la frecuencia global en que vaya a funcionar el oscilador, se expresan los choques CH y los transistores más adecuados.

Los condensadores C_2, C_3, C_4, C_p , pueden tomar otros valores distintos de la tabla de la figura 5 y al aplicar las fórmulas de diseño de la figura 6 obtener los resultados correctos, ya que con las fórmulas se calculan L y C en función de $C_1, C_2, C_3, C_4, f_1, f_2$ y K. Y al darles cualquier valor a éstos saldrán reflejados los valores de L y C correctos. Ahora bien, los valores recomendados en la tabla de la figura 5 son los más adecuados, el diseñador los podrá modificar para obtener mayor cobertura de frecuencia, disminuyendo sus valores, pero perdiendo estabilidad de frecuencia, y viceversa se podrá aumentar la estabilidad de frecuencia y disminuir la cobertura de frecuencia aumentando los valores de los condensadores. La relación entre C_3 y C_4 deberá mantenerse en lo que sea posible $C_3 = C_4$.

2) Calcular los valores de L y C correctos.

f	...1 MHz	1 a 4 MHz	4 a 10 MHz	10 a 30 MHz	30 a 50 MHz
C_2	470 pF	180 pF	100 pF	82 pF	47 pF
C_3	1000 pF	270 pF	120 pF	82 pF	47 pF
C_4	1000 pF	270 pF	120 pF	82 pF	47 pF
C_p	220 pF	100 pF	47 pF	18 pF	8,2 pF
CH	1 mH	500 μ H	250 μ H	100 μ H	50 μ H
T1, T2	2N3819	2N3819	2N3819	2N4416	2N4416
C_{gs}	10 pF	10 pF	10 pF	5 pF	5 pF

Figura 5.

Una vez fijados los datos: $f_1, f_2, C_2, C_3, C_4, C_p, K$ se procede a aplicar las fórmulas para calcular L y C . Antes de aplicar dichas fórmulas de la figura 6 hemos de tener en cuenta el efecto de las capacidades parásitas del transistor oscilador, sobre todo si nuestro oscilador es para frecuencias superiores a 5 MHz.

Para ello basta sumar la capacidad parásita puerta-drenador del transistor utilizado al condensador C_3 y trabajar en la fórmula con $C_{gs} + C_3$ en vez de C_3 ; igualmente se trabajará con $C_{gs} + C_4$ en vez de C_4 debido a la capacidad parásita del transistor separador.

Para aplicar las fórmulas de manera más sencilla, introducimos C_2, C_3, C_4 en un término que llamamos «B» o sea:

$$1/C_2 + 1/C_3 + 1/C_4 = B$$

Una vez calculados L y C sólo falta restar al valor de C obtenido el valor de C_{vmin} , que como recordamos es el valor del condensador variable cuando éste tiene mínima capacidad y representa un condensador fijo de valor C_{vmin} . Veamos un sencillo ejemplo: si el valor de C obtenido por las fórmulas de la figura 6 es de $120 \cdot 10^{-12} = 120$ picofaradios (pF) y el valor de C_{vmin} es de 30 pF, el condensador C que deberemos colocar en el circuito es de $120 - 30 = 90$ pF.

Ejemplo práctico

Seguidamente vamos a calcular un oscilador de frecuencia variable por el método visto anteriormente.

1) Definimos los datos:

Frecuencia máxima = 11 MHz = $f_2 = 11 \cdot 10^6$ hercios (Hz)

Frecuencia mínima = 10 MHz = $f_1 = 10 \cdot 10^6$ hercios (Hz)

Condensador variable C_v de 45 a 15 picofaradios

$C_{vmin} = 15 \cdot 10^{-12}$ faradios, $C_{vmax} = 30 \cdot 10^{-12}$ faradios (F)

Calculamos $K = C_{vmax} - C_{vmin} = 30 \cdot 10^{-12}$ faradios (F)

Fijamos C_2, C_3, C_4, C_p de acuerdo con la tabla de la figura 5

$C_2 = 82 \cdot 10^{-12}$ F

$C_3 = 82 \cdot 10^{-12}$ F

$C_4 = 82 \cdot 10^{-12}$ F

$C_p = 18 \cdot 10^{-12}$ (este condensador no interviene en el cálculo pues su influencia con la frecuencia es muy pequeña, pero ha de colocarse en el circuito práctico).

En la misma tabla de la figura 5 miramos las capacidades parásitas de los transistores siendo éstas de $5 \cdot 10^{-12}$ para el 2N4416. Luego los C_3 y C_4 efectivos para el cálculo serán: $C_3 = 82 + 5 = 87 \cdot 10^{-12}$ F, $C_4 = 82 + 5 = 87 \cdot 10^{-12}$ F; luego en la fórmula trabajamos con 87 pF pero en el circuito montamos 82 pF, ya que los otros 5 pF van dentro de los transistores.

Calculamos $B = 1/C_2 + 1/C_3 + 1/C_4 = 1/82 \cdot 10^{-12} + 1/87 \cdot 10^{-12} + 1/87 \cdot 10^{-12} = 35,18 \cdot 10^9 = B$

2) Cálculo de L y C .

$B = 35,18 \cdot 10^9$

$K = 30 \cdot 10^{-12}$

$f_1 = 10 \cdot 10^6$

$f_2 = 11 \cdot 10^6$

$$C = \frac{1 - [f_1/f_2]^2 \cdot (BK + 1)}{B ([f_1/f_2]^2 - 1)}$$

$$L = \frac{B}{(2\pi f_2)^2 \cdot (B \cdot C + 1)}$$

Si L o C sale con valor negativo, K ha de modificarse. Capacidades en faradios, inductancia en henrios, frecuencia en hercios.

Figura 6.

sustituyendo en las fórmulas de la figura 6 obtenemos:

$$C = 114,4 \cdot 10^{-12} \text{ F} = 114,4 \text{ pF}$$

$$L = 1,46 \cdot 10^{-6} \text{ henrios (H)}$$

A continuación calculamos el valor efectivo de C restando el valor de $C_{vmin} = 15 \cdot 10^{-12}$ F.

El «C» que montamos es $114,4 - 15 = 99,6$ pF que bien podemos aproximar a 100 pF.

Los componentes de nuestro oscilador son: $C_2 = 82$ pF; $C_3 = 82$ pF; $C_4 = 82$ pF; $C_p = 18$ pF; $L = 1,46$ μ H; $C = 100$ pF; $C_v = 15$ a 45 pF.

Los transistores son 2N4416 y los choques de 100 microhenrios.

Se ha de tener la precaución de que el choque no sea resonante serie en el margen de funcionamiento de nuestro oscilador. Se comprobará con el *dip-meter*, es beneficioso que sea resonante paralelo. Se puede comprobar explorando el choque con los terminales al aire con el *dip-meter* y comprobando que se produce un mínimo en frecuencia próxima a la de trabajo de nuestro oscilador o incluso dentro de la frecuencia de trabajo del mismo.

En la figura 7 se encuentra el circuito práctico con sus valores.

Cómo realizar las bobinas y consejos prácticos

Primeramente diremos que para el diseño teórico lo único que nos hará falta es una calculadora que trabaje con potencias de 10.

Para la realización práctica, es necesario disponer de un frecuencímetro digital y de un *dip-meter*, también sería interesante tener un capacímetro y un osciloscopio para visualizar la forma de onda del oscilador.

La señal que entrega este tipo de osciladores es de 0,4 voltios y a medida que aumentamos la frecuencia, la amplitud de salida disminuye, debido a la pérdida de ganancia de la etapa separadora.

Cálculo de bobinas

Para la realización de la bobina, primero utilizaremos una fórmula y después de construida será necesario la comprobación mediante el *dip-meter*. Una vez montado el oscilador será necesario volver a ajustar la bobina sobre el circuito y leyendo la frecuencia en el contador digital. Fórmula:

$$L = \frac{n^2 \cdot d^2}{40 \cdot d + 110l}$$

siendo L : autoinducción en microhenrios; d : diámetro medio en centímetros; l : longitud en centímetros; n : número de espi-

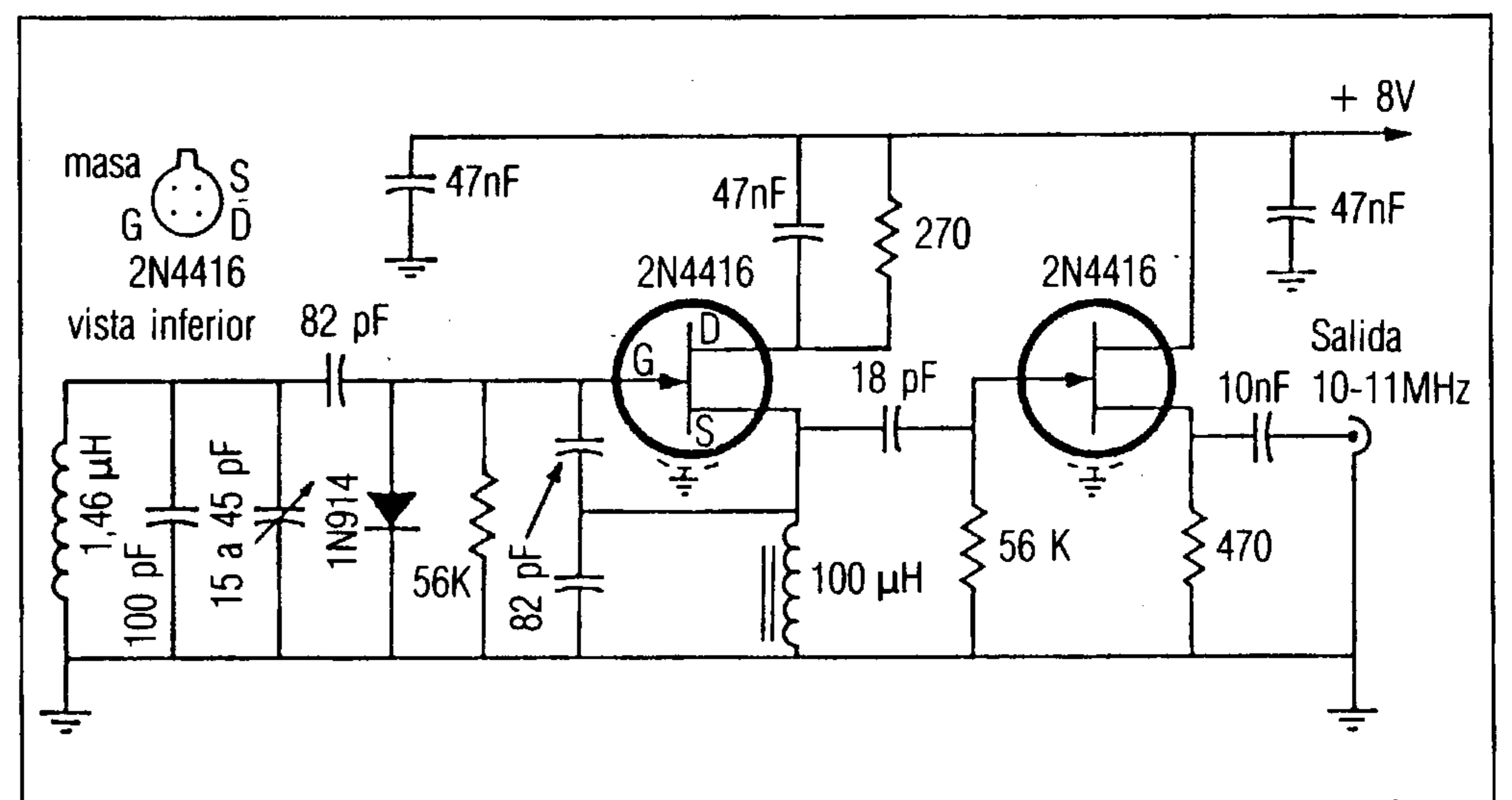


Figura 7. Oscilador de 10 a 11 MHz.

ras; n/l : número de espiras por centímetro (característica del hilo).

La siguiente fórmula nos da la longitud de la bobina en función de la autoinducción, el diámetro medio y la relación espiras por centímetro del hilo de cobre a emplear.

$$l = \frac{\frac{110 L}{(n/l)^2 \cdot d^2} + \sqrt{\left(\frac{110 L}{(n/l)^2 \cdot d^2}\right)^2 + \frac{160 L}{(n/l)^2 \cdot d}}}{2}$$

siendo L : autoinducción en microhenrios; d : diámetro medio en centímetros; l : longitud del devanado en centímetros; n/l : número de espiras por centímetros de hilo (figura 8).

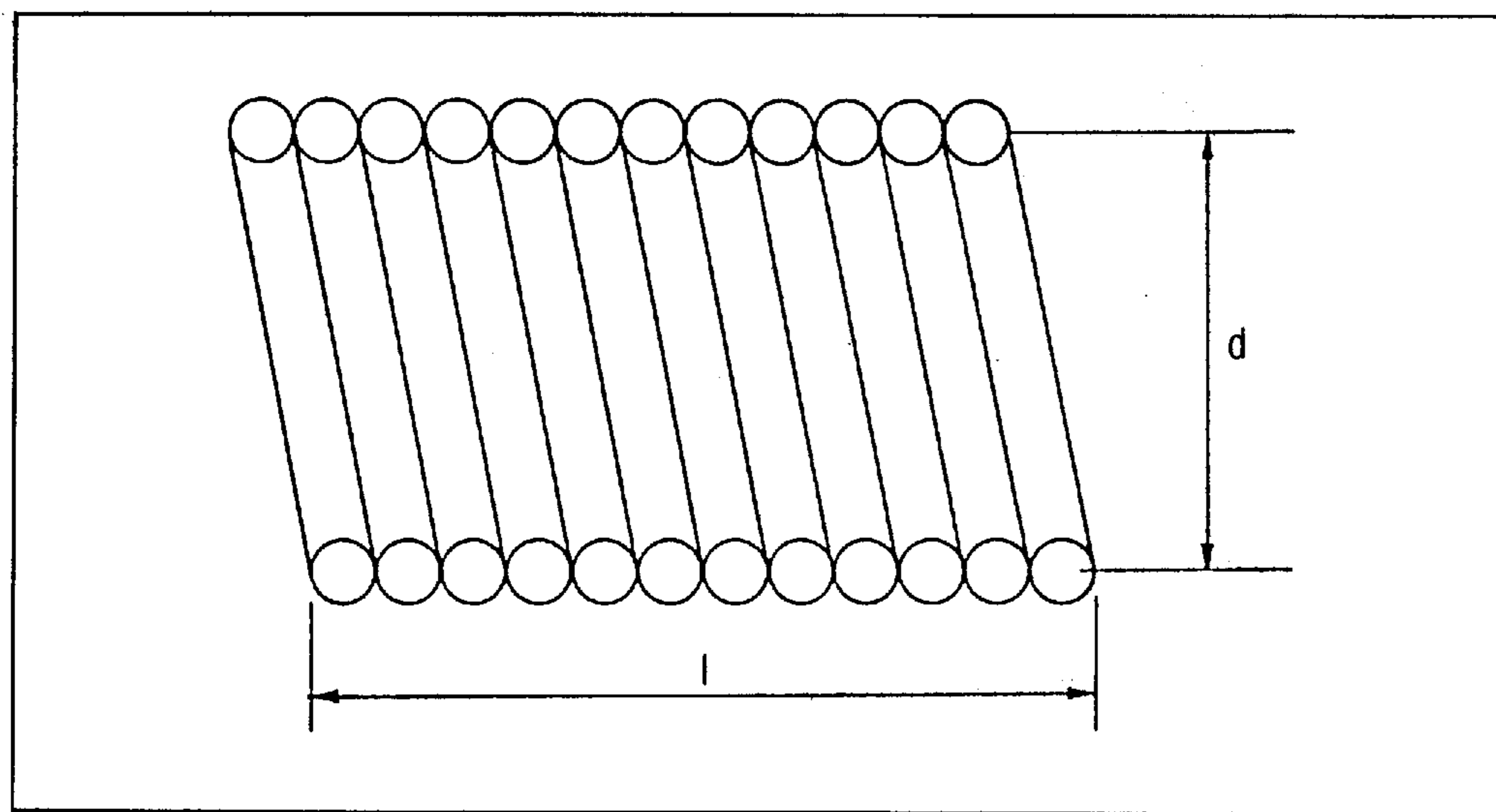


Figura 8.

Una vez calculada la bobina por este método, comprobaremos su exactitud utilizando el *dip-meter*. Para ello le colocamos en paralelo con sus terminales un condensador de capacidad conocida C y exploraremos la frecuencia de resonancia con el *dip-meter*. Dicha frecuencia se presenta cuando el instrumento del *dip-meter* nos dé un mínimo.

Con la siguiente fórmula calculamos la inductancia de la bobina.

$$L = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 \cdot C}$$

donde L = inductancia en henrios; C = capacidad conocida en faradios; f_0 = frecuencia del mínimo en hercios.

Siguiendo con el cálculo de las bobinas hemos de hacer unas consideraciones, si utilizamos núcleos de ferrita o blindajes metálicos.

Si se utiliza núcleo de ferrita, la bobina se deberá calcular un 75% del valor requerido. Al introducir el núcleo se dobla la inductancia, de esta manera podremos ajustar la bobina entre 0,75 y 1,5 veces el valor requerido.

Si se utiliza blindaje metálico habrá que calcular la bobina con un 20% más de inductancia, debido a las pérdidas por Foucault que introduce el blindaje.

Consejos prácticos

Un oscilador de frecuencia variable, si se va a utilizar para la sintonía de un equipo de radioaficionado, debe tener gran estabilidad de frecuencia, ya sea frente a vibraciones mecánicas, por cambio de temperatura, deriva a lo largo del tiempo.

Si el equipo va a trabajar en la modalidad de banda lateral única (BLU), la estabilidad deberá ser superior a 500 hercios por hora, ya que una deriva mayor nos haría estar resintoni-

zando con mucha frecuencia el equipo. En BLU si nos desviamos más de 200 hercios (Hz) de la frecuencia de portadora la inteligibilidad se degrada notoriamente. Si se trabaja en AM o FM se puede permitir una tolerancia de más de 1 kHz, sin notar ninguna anomalía en la transmisión.

La recomendación número uno para la construcción de un OFV estable es la utilización de condensadores con coeficiente de temperatura cero, en las partes del circuito que son del control de frecuencia; en nuestro caso, en los condensadores que se dan en la tabla de la figura 5. Este tipo de condensadores son cerámicos de tipo 1 y se pueden encontrar hasta de 120 pF. Para valores superiores, utilizar paralelos, o de mica plateada.

Otra importante consideración es utilizar un buen condensador de capacidad variable, de chapas robustas y de aislante cerámico; en el mercado se encuentran con facilidad.

La bobina se construirá con el hilo más grueso posible y se afianzará con parafina.

En cuanto a la caja donde se monte el oscilador, será conveniente que sea robusta y rígida, el aluminio es un buen material para ello. Para evitar acoplos indeseables se utilizarán condensadores pasamuros para suministrarle alimentación al circuito. Así mismo se utilizará un conector coaxial para extraer la señal del mismo.

Si una vez construido se observa una deriva continua de frecuencia en un mismo sentido, se empleará un condensador de coeficiente de temperatura conocido para contrarrestar dicha deriva. Este condensador se colocará en paralelo con la bobina y se volverá a reajustar la frecuencia y observar la deriva, hasta que ésta desaparezca. Si la deriva es positiva, o sea que tiende a subir de frecuencia, se colocará un condensador de coeficiente de temperatura positivo, los hay de + 100 PPM (partes por millón), llevan impresas una banda roja y otra violeta. Si la deriva por el contrario es negativa, se colocará un condensador de coeficiente de temperatura negativo, los hay de -75 (banda roja), -150 (naranja), -220 (amarilla), -330 (verde), -470 (azul), -750 (violeta). PPM.

Los de coeficiente de temperatura cero se los distingue porque el color de la banda es negro.

El condensador corrector de temperatura será siempre de un valor muy pequeño; 5 pF como mucho es suficiente.

Con la información aquí recogida nos podemos atrever a construir nuestro oscilador de frecuencia variable con la seguridad de que éste funcionará, si hemos sido lo suficientemente cuidadosos en el cálculo y la construcción. A primera vista puede asustar un poco tanta fórmula, pero si nos hacemos primero un par de ejemplos teóricos, cogeremos la técnica de diseño sin demasiadas dificultades. No olvidemos que deberemos alimentar a nuestro oscilador con una tensión perfectamente estabilizada. □

Bibliografía

1. *Sintetizadores digitales*. Motorola. Edición de la empresa.
2. *Electronic Engineers Handbook*. Donald G. Fink. McGraw-Hill.
3. *Radio Handbook*. William I. Orr. Marcombo, S.A.
4. *Circuitos electrónicos analógicos*. Tomo II. Muñoz Merino. ETS de Ingenieros de Telecomunicación. Madrid.
5. *Circuitos electrónicos digitales*. Muñoz Merino. ETS de Ingenieros de Telecomunicación. Madrid.
6. *Síntesis de redes lineales*. W. Warzenskyj. ETS de Ingenieros de Telecomunicación. Madrid.
7. *Electrónica integrada*. Millman-Halkias. Labor.
8. Revista *Electronic Design*, núm. 24, 22 de noviembre de 1977.
9. Revista *Microwaves*, julio de 1978.
10. *Integrated circuits TTL*. Texas Instruments.