

características y empleo del IC μ A741

- 1 un integrado famoso
- 2 madurez del μ A741
- 3 la tensión de offset
- 4 corriente de polarización
- 5 la ganancia
- 6 circuito integrador
- 7 circuito derivador
- 8 amplificador de ganancia variable
- 9 filtro sintonizable
- 10 oscilador sintonizable
- 11 versiones distintas

Han transcurrido ya varios años desde que en el mercado de la electrónica aparecieron los primeros circuitos integrados lineales monolíticos, denominados también «amplificadores operacionales». Esta denominación podría resultar nueva para algunos lectores principiantes, a los cuales debe ser expuesta, necesariamente, una breve aclaración de la misma.

El origen de la palabra se deriva del particular empleo que, hasta hace algún tiempo, tenía este tipo de circuito integrado, montado exclusivamente en las calculadoras analógicas para realizar algunas operaciones matemáticas como, por ejemplo, sumas, restas, derivadas y la resolución de ecuaciones algébricas diferenciales.

La expresión «amplificador operacional» se aplica a algunos amplificadores dotados de particulares características, habiéndose desplazado el empleo de este componente del sector del cálculo al de consumo.

No todos los amplificadores pueden considerarse como operacionales, dado que estos últimos deben poseer los siguientes requisitos teóricos: resistencia de entrada infinita, amplificación infinita y resistencia de salida nula. Pero éstas repetimos que son características que contienen un significado puramente teórico, porque un dispositivo real con las cualidades citadas no existe. El más aproximado es aquel que al adjetivo «infinito» se le atribuye la expresión «muy grande» y al «nulo» el significado de muy pequeño.

1

El circuito integrado más difundido tiempo atrás, el que podía simbolizar la primera generación de los amplificadores operacionales, por la notable aproximación de sus características a las ideales, fue el μ A709, que durante muchos años dominó el mundo de la industria electrónica. A continuación, con la producción de una nueva generación de circuitos integrados lineales, se impuso el μ A741, el cual, desde la aparición de los primeros ejemplares, evidenció claramente su predominio.

Este circuito integrado, aun manteniendo un coste extremadamente reducido, presenta muchas ventajas respecto al viejo μ A709. En efecto, además de no requerir ninguna compensación de frecuencia para su funcionamiento que en el μ A709 constituía la causa de muchos inconvenientes, como oscilaciones, disparos y otros, y estando totalmente protegido contra cortocircuitos en la salida, el μ A741 es capaz de superar a su antecesor en todos los parámetros. Por otra parte, al estar dotado de la posibilidad de anulamiento del offset, el μ A741 se ha confirmado como amplificador de precisión en una amplia gama de la instrumentación industrial. La figura 1 reproduce el esquema eléctrico de este componente.

2

Actualmente han aparecido en el mercado del aficionado muchos tipos de circuitos integrados que ofrecen mejores características que el μ A741. No obstante, este último, con su madurez técnica y por la favorable relación entre coste y servicios, en muchas aplicaciones prácticas puede competir con los amplificadores lineales de la última generación, como los JFET, los BIFET, los BIMOS, los HIBRIDOS, etcétera.

El μ A741 es un amplificador operacional realizado con un circuito integrado monolítico, en el que todos los componentes activos y pasivos se han obtenido en una sola oblea de semiconductor. Se adapta a los más diversos empleos prácticos y está internamente compensado en frecuencia para cualquier ganancia. El componente está protegido contra los cortocircuitos en la salida, incluso permanentes, y no presenta el fenómeno del «latch-up» (enganche), o sea del bloqueo permanente de la salida cuando con las dos entradas se supera la tensión de entrada permitida.

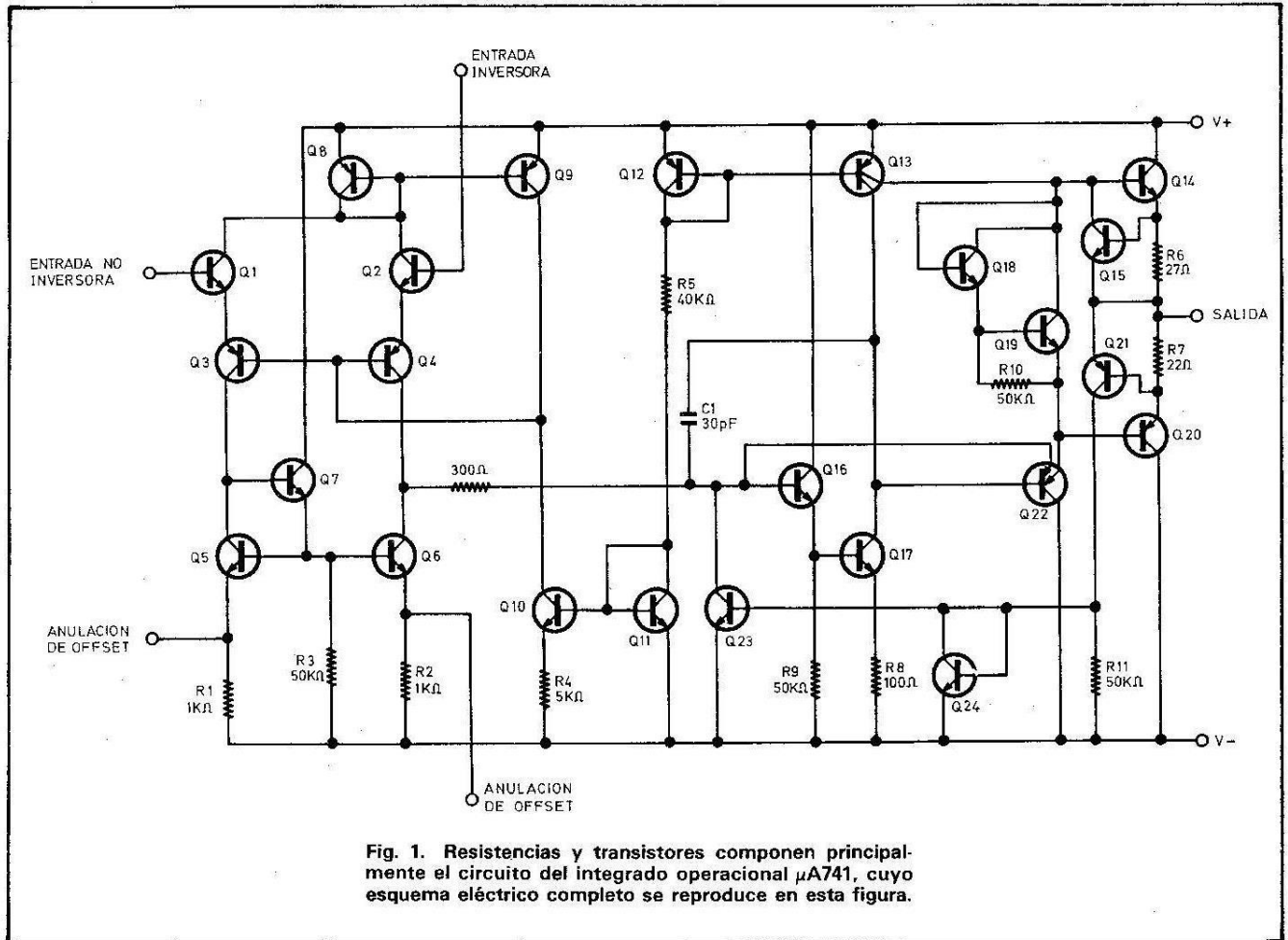


Fig. 1. Resistencias y transistores componen principalmente el circuito del integrado operacional $\mu A 741$, cuyo esquema eléctrico completo se reproduce en esta figura.

El $\mu A 741$ está dotado de una elevada ganancia y de una elevada impedancia de entrada. Ofrece la posibilidad de accionar el offset de entrada mediante un potenciómetro externo y se caracteriza también por amplias tensiones de entrada, tanto de modo común como diferencial.

Para resumir, reproducimos a continuación las principales características eléctricas del componente, conocido como $\mu A 741C$, en el cual la letra C indica que se trata de un modelo comercial:

- Disipación máxima: 670 mW
- Tensión de alimentación: ± 18 V.
- Tensión de entrada dif.: ± 30 V
- Tensión de cada entrada: ± 15 V.

Los valores típicos de funcionamiento a los que normalmente se confía el montador durante las fases de control y verificación, correspondientes a la temperatura de 25 °C y con una alimentación de ± 15 V, son:

- Tensión de offset (entrada): 2 mV
- Posibilidad de ajuste de offset: ± 15 V
- Corriente de polarización de entrada: 80 nA.
- Resistencia de entrada: 2 megohmios
- Ganancia en tensión ($R_L = 2$ k Ω , $V_o = \pm 10$ V) con lazo abierto: 200.000 (200 V/mV)
- Tensión de salida: ± 14 V
- Relación de rechazo de modo común: 90 dB
- Relación de rechazo de la alimentación: 96 dB
- Anchura de banda: 1 MHz
- Consumo de corriente (entr. no con.): 1,7 mA.

Después de ofrecer estas características intentaremos anali-

zar con más detalle los parámetros que caracterizan el integrado $\mu A 741$, de manera que el lector adquiriera un exacto conocimiento de los mismos.

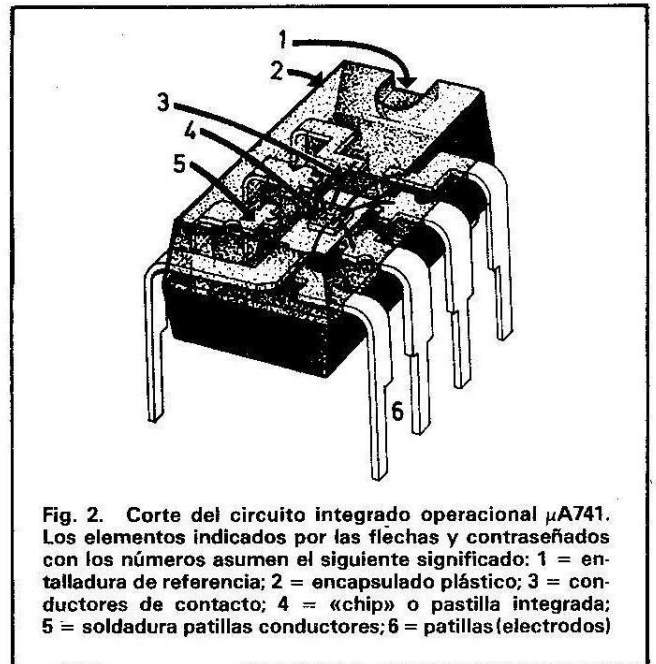


Fig. 2. Corte del circuito integrado operacional $\mu A 741$. Los elementos indicados por las flechas y contraseñados con los números asumen el siguiente significado: 1 = entalladura de referencia; 2 = encapsulado plástico; 3 = conductores de contacto; 4 = «chip» o pastilla integrada; 5 = soldadura patillas conductores; 6 = patillas (electrodos)

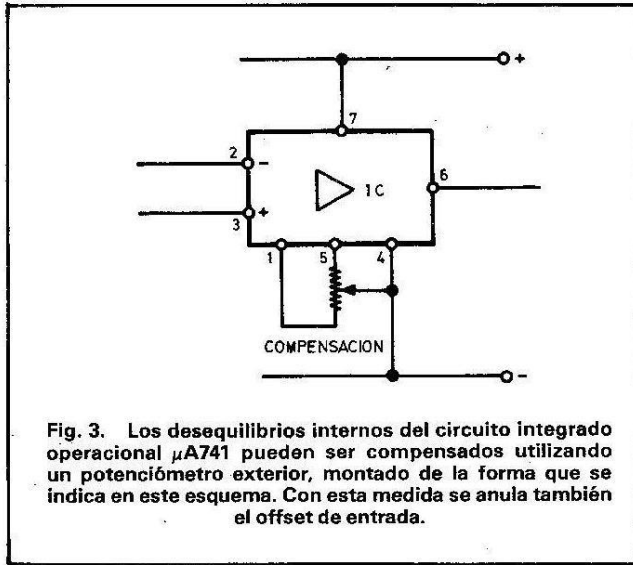


Fig. 3. Los desequilibrios internos del circuito integrado operacional $\mu A741$ pueden ser compensados utilizando un potenciómetro exterior, montado de la forma que se indica en este esquema. Con esta medida se anula también el offset de entrada.

La figura 2 reproduce el aspecto físico de este componente.

3

En la práctica, aunque las entradas del amplificador operacional se lleven a cero, se manifiesta generalmente una tensión de salida distinta de cero. Es necesario, por lo tanto, aplicar a una de las entradas del circuito integrado una pequeña tensión, llamada «tensión de offset», que permite llevar la salida a cero. Así, pues, la tensión de offset es aquella que se puede medir entre las entradas y que sirve para llevar a cero la salida.

En el circuito integrado $\mu A741$, utilizando un potenciómetro exterior, como se indica en el esquema eléctrico de la figura 3, es posible compensar los desequilibrios internos y anular el offset de entrada.

4

Uno de los parámetros menos conocidos del operacional es el de la corriente de polarización, o sea de la corriente que recorre las entradas cuando éstas se encuentran conectadas a masa mediante un elemento pasivo como, por ejemplo, una resistencia.

El parámetro de la corriente de polarización es muy importante cuando se trata de valorar el efecto de la resistencia de la fuente de señales a amplificar en la tensión de entrada. Por ejemplo, si un amplificador operacional presenta un valor de corriente de polarización de 80 nA y trabaja con una fuente de impedancia de 100.000 ohmios, produce una tensión de error en la entrada de:

$$100.000 \times 80 \times 10^{-9} = 8 \text{ mV}$$

En cambio, el $\mu A709$ produciría, con una corriente de polarización típica de 360 nA, una tensión de error de 36 mV.

El parámetro de la corriente de polarización es de gran utilidad para comprender por qué precisa razón se tiende a conectar ambas entradas de un amplificador operacional con impedancias equivalentes iguales. En efecto, con este comportamiento, dado que en ambas entradas se forma una misma tensión de error, que puede diferir en las dos entradas, se obtiene una compensación de la tensión de salida proporcional a la diferencia entre las tensiones en las entradas.

5

Otro parámetro muy importante para un amplificador opera-

cional está representado por su ganancia. Este dato es proporcionado en las características como «ganancia con lazo abierto». Se trata de un valor que debe ser interpretado como la máxima ganancia del amplificador cuando éste no se encuentra conectado con ningún circuito de realimentación. En realidad, en las aplicaciones prácticas como amplificador operacional, el circuito del integrado es siempre realimentado.

Una ganancia elevada con lazo abierto garantiza una buena estabilidad y una mejora de todos los parámetros, o sea: ganancia, anchura de banda, estabilidad con la temperatura, impedancia de entrada elevada, impedancia de salida baja, distorsión reducida, etc.

Analizaremos por último el significado del parámetro «relación de rechazo de modo común».

Como se ha dicho anteriormente, el amplificador operacional debería amplificar exclusivamente la diferencia entre las dos tensiones de entrada, pero ello sucede únicamente en teoría, por cuanto un amplificador real amplifica también, aunque sea ligeramente, una tensión aplicada simultáneamente a las dos entradas, que se denomina «tensión de modo común».

El rechazo de modo común expresa en decibelios la relación entre la tensión de entrada y la de salida. En particular, en el circuito integrado $\mu A741$ el parámetro en examen resulta igual a 90 dB. Este parámetro debe considerarse como más que satisfactorio para la mayor parte de las aplicaciones prácticas del circuito integrado.

La «relación de rechazo de la tensión de alimentación» se define, de forma análoga, como la relación entre las variaciones de la tensión de alimentación y las correspondientes variaciones de la tensión de salida.

Prosiguiendo el análisis y la exposición de todos aquellos elementos que, a nivel de aficionado, pueden interesar a nuestros lectores, trataremos algunos aspectos de realizaciones que pueden ser llevadas a cabo con este circuito integrado.

Hablaremos, pues, de circuitos integradores, circuitos derivadores, amplificadores, filtros pasabanda, compresores de dinámica, osciladores, pasando de los dispositivos de expresión más clásicos a los más complejos. En los capítulos siguientes nos detendremos con mayor detenimiento en sus aplicaciones prácticas.

6

Empezaremos con la presentación de un circuito integrador o pasa-bajos que reproducimos en la figura 4. Su funcionamiento se basa en el empleo de un condensador introducido en la red de realimentación de un amplificador operacional que permite obtener en la salida una señal cuya entidad resulta proporcional a la integral de la tensión de entrada.

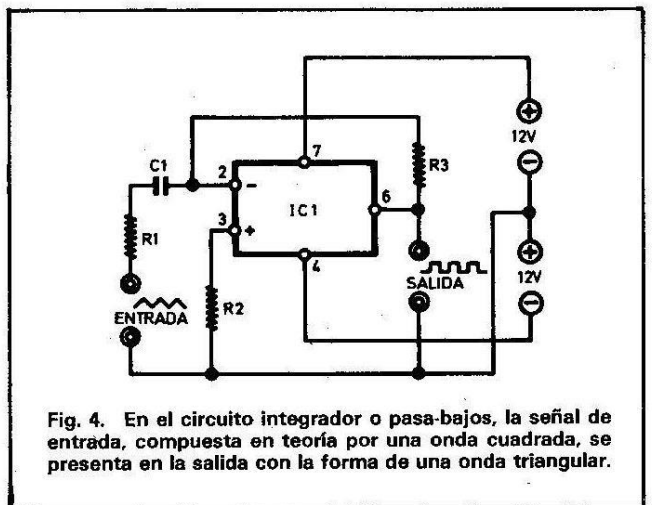


Fig. 4. En el circuito integrador o pasa-bajos, la señal de entrada, compuesta en teoría por una onda cuadrada, se presenta en la salida con la forma de una onda triangular.

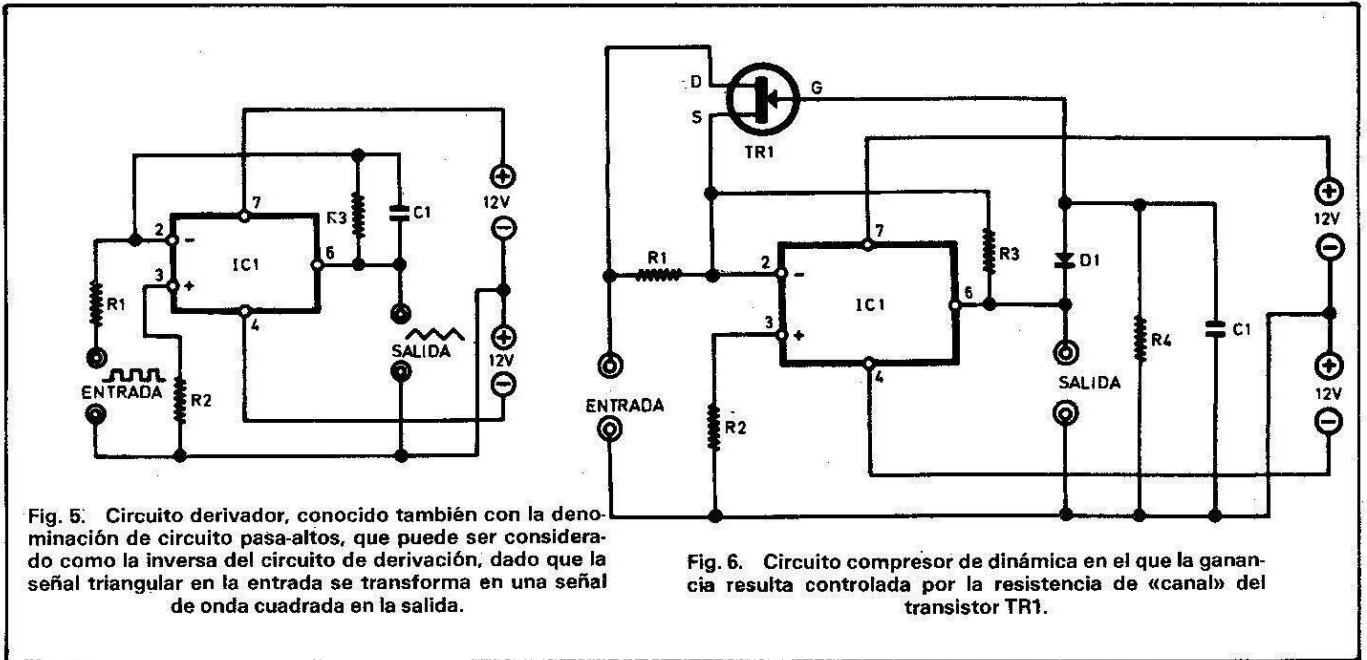


Fig. 5. Circuito derivador, conocido también con la denominación de circuito pasa-altos, que puede ser considerado como la inversa del circuito de derivación, dado que la señal triangular en la entrada se transforma en una señal de onda cuadrada en la salida.

Fig. 6. Circuito compresor de dinámica en el que la ganancia resulta controlada por la resistencia de «canal» del transistor TR1.

Para no recurrir a expresiones matemáticas muy complejas, diremos simplemente que una tensión en onda cuadrada, aplicada a la entrada del circuito integrador de la figura 4, se transforma en una señal triangular en la salida.

Es matemáticamente demostrable que tal transformación equivale a la supresión de las frecuencias más elevadas de la señal. El circuito integrador realiza por lo tanto la función de filtro pasa-bajos, o sea la misma desarrollada por un común filtro resistivo-capacitivo, con la sola diferencia de la posibilidad de amplificar la señal de salida en lugar de atenuarla, como sucede con los circuitos pasabajos pasivos.

La frecuencia de corte puede calcularse por medio de la siguiente fórmula:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}$$

Con f_0 se indica el valor de la frecuencia de corte del circuito pasabajo.

A la resistencia R_3 , conectada en paralelo con el condensador C_1 , se confía la misión de determinar el punto de funcionamiento estático del amplificador y su ganancia en continua.

7

El circuito derivador, llamado también pasa-altos, mostrado en la figura 5, puede ser considerado como el inverso del circuito de derivación. En efecto, con él es posible obtener la derivada de la señal de entrada: una señal triangular, por ejemplo, se transforma en una onda cuadrada.

También el circuito derivador es un filtro selectivo en frecuencia. En particular resulta ser un filtro pasa-altos cuya frecuencia de corte f_0 se obtiene mediante la siguiente relación:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi R_2 C_1}$$

La ganancia a las altas frecuencias se regula en esta ocasión

con la resistencia R_1 conectada en serie con el circuito de entrada.

8

Uno de los más comunes empleos del amplificador operacional en el sector de las telecomunicaciones o en el de las grabaciones magnéticas, es como compresor de dinámica. Está esencialmente constituido por un amplificador cuya ganancia resulta automáticamente variada en relación con la amplitud de la señal aplicada a la entrada. La regulación se realiza de manera que disminuya progresivamente la ganancia al aumentar la amplitud de la señal de entrada, para obtener un aplanamiento de la respuesta de salida.

Circuitalmente, el compresor de dinámica, representado en la figura 6, está realizado mediante un amplificador operacional en el que la ganancia permanece controlada por la resistencia de «canal» de un transistor FET en canal N.

Todo lo expuesto queda claramente evidenciado en la curva característica de entrada-salida mostrada en la figura 7. En ella se puede observar que la amplitud de la señal de entrada

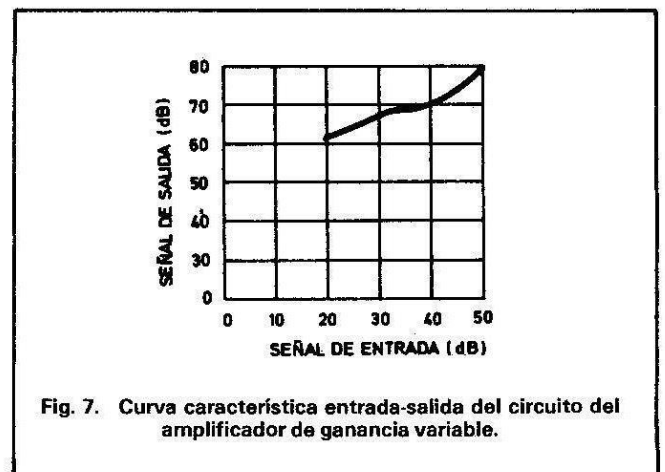
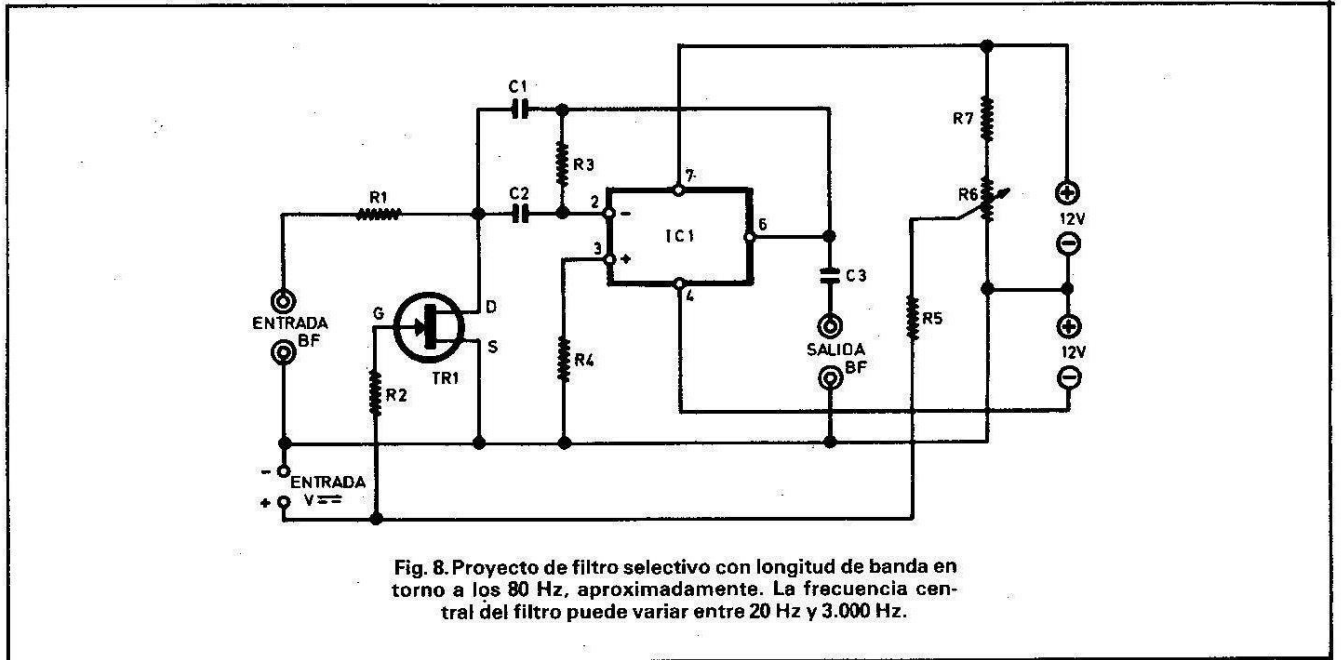


Fig. 7. Curva característica entrada-salida del circuito del amplificador de ganancia variable.



permite una dinámica de 30 dB, mientras que la de salida reduce su dinámica a 17 dB, aproximadamente.

Dado que la resistencia fuente-drenaje del transistor FET se pilota mediante el diodo D1 del propio amplificador operacional se consigue el fenómeno de la auto-regulación de la ganancia que provoca la compresión.

Se debe tener presente que el grupo resistivo-capacitivo, compuesto por R4 y C1, del cual depende el tiempo de respuesta del compresor, establece el tiempo necesario al circuito para adecuarse al nuevo nivel de entrada.

9

Utilizando también un transistor FET como resistencia variable controlada electrónicamente, es posible obtener con el circuito de la figura 8 un filtro selectivo con una longitud de banda de aproximadamente 80 Hz. La frecuencia central de este filtro pasabanda sintonizable puede variar, en base a la tensión de polarización de la puerta del transistor FET, entre 20 Hz y 3.000 Hz.

La tensión de sintonización puede obtenerse directamente de la misma tensión de alimentación del integrado operacional, o bien, externamente, de cualquier sistema capaz de proporcionar una tensión negativa respecto a masa de 0 a 5 V, aproximadamente.

En la figura 9 mostramos la curva característica representativa de las variaciones de frecuencia de sintonización del filtro al variar la tensión de mando medida en voltios.

10

Tomando el principio del circuito pasabanda de la figura 8, es posible componer un circuito oscilador cuando parte de la señal de salida, oportunamente defasada por una etapa inversora, se lleva a la entrada del filtro provocando una reacción positiva.

Si el filtro, como en el caso del proyecto de la figura 8, resulta sintonizable electrónicamente por medio de un transistor FET, también la frecuencia de oscilación del circuito puede regularse del mismo modo, interviniendo en la tensión de puerta del transistor FET con la misma característica tensión-frecuencia reproducida en la figura 9.

La tensión de sintonización de todo el circuito del oscilador

sintonizable de la fig. 10 puede obtenerse tanto interna como externamente, según la necesidad de empleo.

11

El circuito integrado μA 741 es producido por diversas firmas en versiones y formas distintas entre sí, en cápsulas metálicas y plásticas, en forma de transistor y en configuración rectangular plana. Para facilitar las operaciones de montaje del aficionado, se reproducen en la figura 11 las disposiciones de los terminales en los tres tipos más comunes de circuito integrado μA 741. En este dibujo, los circuitos integrados están expuestos a la vista por su parte superior.

Fig. 4. Componentes

- C1 = 100.000 pF, poliéster plano miniat.
- R1, R3 = 100.000 ohmios 1/4 W \pm 5 %
- R2 = 9.100 ohmios 1/4 W \pm 5 %
- IC1 = Circuito integrado μA 741

Fig. 5. Componentes

- C1 = 100.000 pF, poliéster plano miniat.
- R1 = 270 ohmios, 1/4 W \pm 5 %
- R2, R3 = 10.000 ohmios, 1/4 W \pm 5 %
- IC1 = Circuito integrado μA 741

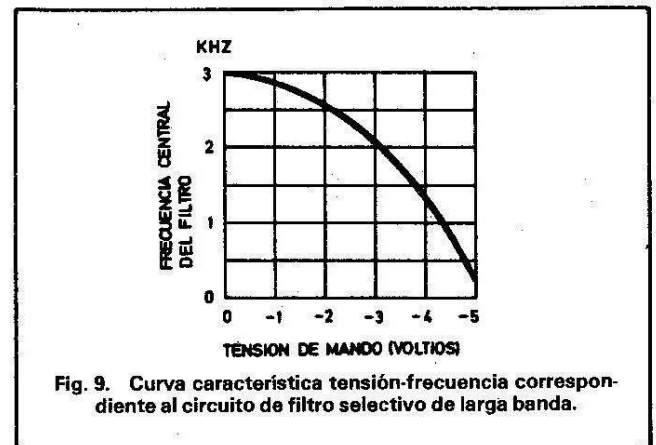


Fig. 10. Proyecto de oscilador sintonizable electrónicamente por medio de un transistor FET.

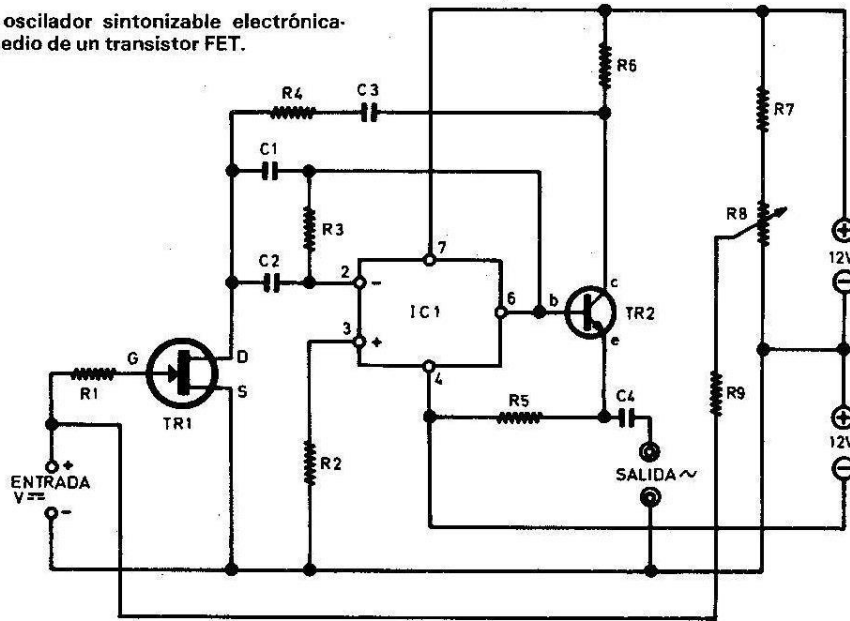


Fig. 6. Componentes

- C1 = 4,4 μF poliestere plano miniatura (2 cond. de 2,2 μF en paralelo)
- R1, R2 = 5.600 ohmios, 1/4 W $\pm 5\%$
- R3 = 22.000 ohmios, 1/4 W $\pm 5\%$
- R4 = 100.000 ohmios, 1/4 W $\pm 5\%$
- D1 = Diodo 1N4148
- TR1 = Transistor FET 2N3819
- IC1 = Circuito integrado $\mu A 741$

Fig. 8. Componentes

- C1, C2 = 4.700 pF, cerámico de disco
- C3 = 47.000 pF, cerámico de disco
- R1 = 27.000 ohmios 1/4 W $\pm 5\%$
- R2 = 10.000 ohmios 1/4 W $\pm 5\%$
- R3, R4 = 1 megohmio 1/4 W $\pm 5\%$
- R5 = 100.000 ohmios 1/4 W $\pm 5\%$
- R6 = Potenciómetro lineal de 10.000 ohmios
- R7 = 15.000 ohmios 1/4 W $\pm 5\%$
- TR1 = Transistor FET 2N3819
- IC1 = Circuito integrado $\mu A 741$

Fig. 10. Componentes

- C1, C2 = 4.700 pF, cerámico de disco
- C3 = 47 pF, cerámico de disco
- C4 = 47.000 pF, poliestere plano miniatura
- R1 = 10.000 ohmios 1/4 W $\pm 5\%$
- R2, R3 = 1 megohmio 1/4 W $\pm 5\%$
- R4 = 27.000 ohmios 1/4 W $\pm 5\%$
- R5 = 3.900 ohmios 1/4 W $\pm 5\%$
- R6 = 470 ohmios 1/4 W $\pm 5\%$
- R7 = 15.000 ohmios 1/4 W $\pm 5\%$
- R8 = Potenciómetro lineal 10.000 ohmios
- R9 = 100.000 ohmios 1/4 W $\pm 5\%$
- TR1 = Transistor FET 2N3819
- TR2 = Transistor BC547
- IC1 = Circuito integrado $\mu A 741$

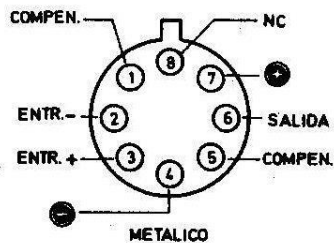
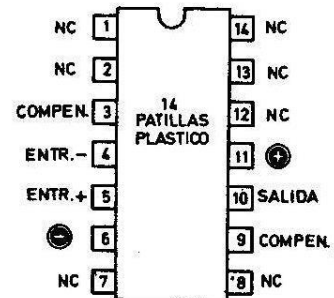


Fig. 11. Reproducimos en esta ilustración todas las indicaciones necesarias para que el lector pueda identificar la exacta disposición de los terminales en los tres tipos más comunes de circuito integrado $\mu A 741$, en cápsula plástica y metálica. Las tres cápsulas están vistas por la parte superior, o sea por el lado opuesto donde se encuentran los terminales.