

capacímetro de precisión

- 1 alcances del capacímetro
- 2 esquema eléctrico
- 3 el alimentador estabilizado
- 4 realización práctica del alimentador
- 5 realización práctica del capacímetro
- 6 puesta a punto
- 7 componentes del capacímetro (figura 1)
- 8 componentes del alimentador (figura 2)

**CIRCUITO
COMPROBADO**

El instrumento que hemos proyectado, por su precisión, su estabilidad y su precio, es adecuado tanto para el técnico exigente como para el simple aficionado. En efecto, hemos intentado realizar un instrumento que, aun siendo extremadamente simple, sea capaz de superar en precio y en características a los tipos existentes en el comercio.

Creemos, en efecto, que a no ser desembolsando cifras verdaderamente astronómicas, sea imposible hallar un instrumento que indique, con una precisión del 1 %, valores mínimos como 1 pF para llegar a un máximo de 5 μ F a fondo de escala con sólo seis alcances; que tenga una estabilidad tal que, incluso dejándolo encendido durante varios días y noches, indique siempre la idéntica (y, naturalmente, exacta) capacidad de los condensadores en examen; que no se resienta en lo más mínimo de las variaciones de red ni de la temperatura ambiente; que se pueda modificar con gran sencillez para valores a fondo de escala distintos de los elegidos de modo que se obtenga, para valores particulares una precisión todavía superior.

1

Hemos dicho ya que los alcances de este capacímetro son 6:

Primer alcance: de 1 pF a 50 pF

Segundo alcance: de 10 pF a 500 pF

Tercer alcance: de 100 pF a 5.000 pF

Cuarto alcance: de 1.000 pF a 50.000 pF

Quinto alcance: de 10.000 pF a 0,5 μ F

Sexto alcance: de 0,1 μ F a 5 μ F.

Se han dividido las escalas de este modo por el simple motivo de que en el prototipo se utilizó un instrumento de 50 microamperios fondo de escala, con lo que se obtenía la lectura directa en el instrumento de las capacidades a medir, sin tener que introducir una nueva escala, estando dividida ya ésta de 0 a 50.

Si a algún constructor le interesara, por ejemplo, controlar con mayor precisión una determinada capacidad que utilizara asiduamente en sus montajes, podrá calibrar el instrumento para un fondo de escala distinto al elegido por nosotros.

Mostremos un ejemplo: si en un montaje en serie se utilizan condensadores de 82 pF, con el alcance elegido en nuestro laboratorio nos veríamos obligados a emplear la segunda escala, o sea la de 500 pF. En este caso, sin embargo, sería difícil alcanzar a leer con absoluta precisión, considerando el amplio alcance, valores en más o en menos de 1 pF.

Calibrando, en cambio, el capacímetro para 100 pF fondo de escala, tendremos un alcance que permitirá ver con la máxima precisión variaciones de 0,5 pF en más o en menos.

Lo mismo vale también para el alcance máximo, o sea 5 μ F fondo de escala. Si no interesan capacidades tan elevadas, se podrá calibrar el instrumento a 1 ó 2 μ F fondo de escala.

Además, el valor máximo de 5 μ F no es absoluto; si se desea, se puede llegar también a 10 μ F, siendo la particular característica de este aparato la absoluta inmovilidad de la flecha incluso para valores tan altos. En otros instrumentos, ya para capacidades muy inferiores (0,1 μ F), la aguja tiende a oscilar, no permitiendo así una lectura segura.

Debemos admitir que las cualidades de este instrumento no se deben totalmente a nuestro laboratorio, sino en gran parte al circuito integrado μ A709.

2

En la figura 1 se muestra el esquema eléctrico completo del capacímetro. Se puede comprobar que los componentes necesarios son realmente pocos y que la realización es sencillísima.

El principio de funcionamiento es fácilmente intuible: en la práctica está constituido por un solo circuito integrado, el μ A709, empleado como oscilador de onda cuadrada de alta estabilidad.

Según la posición del conmutador S1, que introduce en el circuito de entrada del μ A709 condensadores de diversa capacidad, se obtiene en la salida (terminal 6) ondas cuadradas cuya frecuencia puede variar de un mínimo de 100 a un máximo de 200.000 Hz.

CAPACÍMETRO DE PRECIÓN

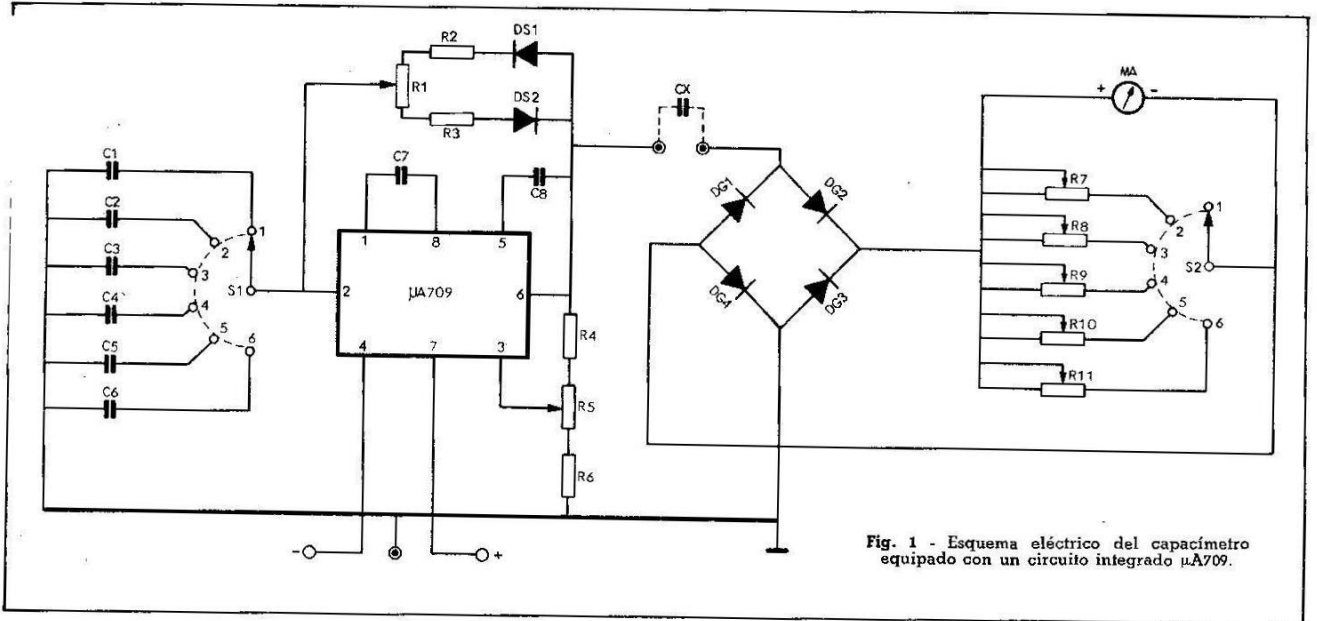


Fig. 1 - Esquema eléctrico del capacitmetro equipado con un circuito integrado $\mu A709$.

Es bien sabido que haciendo recorrer corriente alterna a través de un condensador, éste se comporta como una común resistencia óhmica que se intercalase en el circuito (reactancia capacitiva), con la única diferencia de que su valor óhmico varía al variar la frecuencia de la tensión alterna y de la capacidad.

Aumentando la frecuencia disminuye el valor resistivo; disminuyendo la frecuencia, aumenta este valor.

Para medir capacidades de pocos picofaradios, utilizaremos pues las frecuencias más elevadas, mientras que para capacidades superiores deberemos reducir progresivamente la frecuencia.

En la salida del condensador de prueba tendremos, por tanto, una tensión alterna cuya amplitud resultará proporcional al valor de su capacidad. Si se rectifica tal tensión con un puente de diodos de germanio, de modo que se transforme de alterna en continua, podremos después leer directamente en la escala del instrumento la tensión presente que, una vez efectuado el calibrado, corresponderá a la capacidad del condensador.

El conmutador S2, unido a S1, sirve para introducir en paralelo al microamperímetro las resistencias shunt, adecuadas para calibrar cada alcance en el valor de capacidad elegido, o sea 50-500-5.000-50.000, etc., pF a fondo de escala.

Queremos hacer observar que la desviación de la aguja es lineal; por ello, si a fondo de escala tenemos 50 pF, la mitad de escala corresponderá a una capacidad de 25 pF, el cuarto de escala a 12,5 pF, y así sucesivamente. En la práctica, teniendo un cuadrante dividido en 50 partes, cada división (para el primer alcance) corresponderá a 1 pF.

Para la segunda escala se deberá multiplicar por 10 y por ello cada división corresponderá a 10 pF; para la tercera por 100 y por ello cada raya de la escala graduada corresponderá a 100 pF; para la cuarta por 1.000, para la quinta por 10.000 y para la sexta, finalmente, se deberá dividir por 10 para obtener, sólo en esta escala, un valor directo en microfaradios en lugar de en picofaradios.

Es importante recordar que, para tener las lecturas indicadas, es indispensable emplear un microamperímetro de 50 microamperios fondo de escala, que disponga de una resistencia interna de 3.000 ohmios. Empleando instrumentos que posean una resistencia inferior, se presentará el inconveniente de que no se alcanzarán al fondo de la escala los valores indicados. Por ejemplo, si con 3.000 ohmios de resistencia interna logramos con 50 pF (en el primer alcance) llevar el índice al fondo de la escala, con un instrumento cuya resistencia interna sea inferior, pueden ser necesarios, para alcanzar el fondo de la escala, 150 pF.

Modificando la tensión de alimentación, es posible alcanzar en la primera escala los 50 pF, incluso con instrumentos que posean 1 ohmio (porque resultarán de 50 microamperios fondo de escala).

Efectivamente, si alimentamos el capacitmetro con 12 voltios

en lugar de hacerlo con 7,5, obtendremos en la salida una señal de onda cuadrada de mayor amplitud, que permitirá obtener en los extremos del puente de diodos rectificadores una tensión mayor. Esta tensión permitirá que el índice del instrumento alcance el fondo de la escala.

Con este propósito queremos subrayar al lector que el circuito integrado $\mu A709$ puede soportar una tensión de alimentación de 15 + 15 voltios, aunque alimentándolo con 12 + 12 V, se llega a un cierto margen en los límites de seguridad.

Añadamos todavía que el circuito integrado $\mu A709$ requiere una alimentación diferenciada: el terminal 4 debe ser alimentado con una tensión negativa respecto a la masa, mientras que el terminal 7 se alimentará con tensión positiva, siempre respecto a la masa.

Incluso aunque la alimentación con pilas pueda parecer ventajosa desde el punto de vista económico, la desaconsejamos porque con su lento envejecimiento puede dar lugar a errores de lectura que es totalmente necesario evitar.

Por este motivo hemos diseñado un sencillo alimentador estabilizado que, además de ser menos costoso que las dos pilas, ofrecerá siempre lecturas de absoluta precisión.

3

El esquema se muestra en la figura 2. Como se ve en el mismo, el transformador T1, de una potencia de 10 vatios, aproximadamente, posee un secundario capaz de proporcionar 15 + 15 vatios 300 mA. La toma central de este devanado constituirá el conductor de masa, mientras que los dos extremos se conectarán a un rectificador en puente, indicado en el esquema con la sigla RS1. La salida positiva del rectificador, nivelada por el condensador electrolítico C1, se conecta a un transistor NPN de silicio tipo 2N1711 ó MC140 (TR1), que funciona como estabilizador de tensión. Del emisor de este transistor se obtiene una tensión de 7,5 voltios que se llevará luego al terminal 7 del circuito integrado $\mu A709$.

La salida negativa de RS1, nivelada por el condensador electrolítico C4, se lleva al colector de un transistor PNP de silicio tipo BFY64 ó MC150 (TR2) que funciona como estabilizador de la tensión negativa; siempre a través del esquema, se puede observar, en efecto, que del emisor de este transistor se toma la tensión negativa que deberá ser transferida a continuación al terminal 4 del circuito integrado $\mu A709$ (fig. 1).

Se observará también, en el circuito, que existen dos diodos zener, indicados con las siglas DZ1 y DZ2. Si se utiliza un microamperímetro con una resistencia interna de 3.000 ohmios, los

CAPACÍMETRO DE PRECISIÓN

dos zener serán de 400 mW 5,6 voltios; mientras que con un instrumento cuya resistencia sea inferior, será preciso utilizar dos zener de 12 voltios, siempre de 400 mW.

Si se emplean dos zener de 12 voltios, se aconseja reducir los valores de las resistencias R2 y R3 a 120 ohmios.

4

El alimentador se montará sobre una plaquita de circuito impreso, cuyo dibujo se muestra a tamaño natural en la figura 3. La ejecución del montaje sobre el circuito impreso no presenta dificultad alguna, mostrándose claramente la disposición de los componentes en el dibujo de la figura 4.

Es preciso prestar atención a la polaridad de los condensadores electrolíticos y a no confundir los transistores TR1 y TR2, dado que uno es NPN y el otro PNP; el del tipo NPN (o sea, el 2N1711) es TR1, mientras que TR2 es el PNP (o sea, el BFY64). Préstese también la debida atención a los cuatro terminales del rectificador en puente RS1: el que se encuentra en correspondencia con el signo + se conectará a la pista que alimenta C1, el que corresponde al signo - se llevará a la pista que alimenta C4. Los otros dos terminales corresponden a la entrada de la corriente alterna a rectificar y se conectarán a los dos extremos de los 15 + 15 voltios del transformador T1.

El puente rectificador, que en los dibujos ha sido representado con forma cilíndrica, puede ser también cuadrangular; en todos los casos, los terminales + y - están indicados siempre en su envoltura.

Es preciso controlar que también los dos diodos zener se conecten en el circuito con su exacta polaridad: la línea blanca que envuelve su envoltura corresponde al terminal positivo.

Una vez finalizada la realización, se puede controlar la salida: si no se han cometido errores, en el conductor negativo se obtendrán 7,5 voltios negativos respecto a masa y del conductor positivo 7,5 voltios positivos, siempre respecto a masa. Pequeñas diferencias de tensión (por ejemplo, 7,4 ó 7,6 voltios en lugar de 7,5), causadas por las tolerancias propias de los diodos zener, son aceptables.

5

También para el circuito eléctrico del capacímetro, y con mayor razón, hemos preparado el correspondiente circuito impreso, visible a tamaño natural en la figura 5.

La disposición de los componentes sobre esta plaquita se muestra en la figura 6. El dibujo es lo suficientemente claro para permitir un montaje sin problemas, tanto en lo que se refiere a los puntos de aplicación de cada componente, como en las conexiones al conmutador para el cambio de los alcances.

Como es costumbre, precisaremos cuáles son los componentes que requieren una cierta atención: ante todo, el circuito integrado μ A709, y más concretamente los ocho terminales de que consta su zócalo. En la figura 6 se muestra la numeración de los terminales que salen por la parte inferior de la envoltura; examinando la figura 5, podrá comprobarse que en el circuito impreso las pistas han sido contraseñadas con los números 1 y 8 para evitar confusiones. El terminal 8 corresponde al saliente de la envoltura.

En lo que se refiere a los diodos DS1-DS2, éstos pueden invertirse. En efecto, no importa que DS1 tenga el positivo vuelto hacia la resistencia R2 y que DS2 tenga el negativo hacia la resistencia R3. Lo importante es que un diodo quede conectado a una resistencia con la polaridad opuesta a la del otro diodo conectado a la otra resistencia.

Los cuatro diodos del puente, esto es DG1, DG2, DG3 y DG4, deberán conectarse con el terminal positivo, como se muestra en el esquema.

También los terminales de salida que van al instrumento deberán conectarse de modo que se respete la polaridad de los terminales + y - presentes en la caja del microamperímetro.

En lo que se refiere a las conexiones del conmutador S1-S2, si éste es de una sola sección y de 6 posiciones 2 circuitos, podemos seguir la disposición del dibujo. Si, en cambio, tenemos a disposición un conmutador de dos secciones, procuraremos efectuar las conexiones de modo que, cuando S1 se conecta a C1, la sección de S2 resulte con el terminal libre; en la segunda posición, cuando S1 se encuentra conectado a C2, S2 deberá conectarse a R7, etc.

6

Una vez finalizada la construcción, el instrumento requiere una puesta a punto. A continuación ilustraremos las operaciones a efectuar, pudiendo comprobar que éstas no son absolutamente difíciles.

En primer lugar deberá conectarse el alimentador al circuito eléctrico del capacímetro, procurando no confundir los tres conductores de alimentación: -, masa y +. Para evitar errores, aconsejamos utilizar un conductor negro para el negativo, uno rojo para el positivo y uno blanco para la masa.

Para efectuar un calibrado definitivo, es conveniente que el circuito que incorpora el circuito integrado μ A709 esté fijado ya al panel frontal; efectuando el calibrado en la mesa de pruebas,

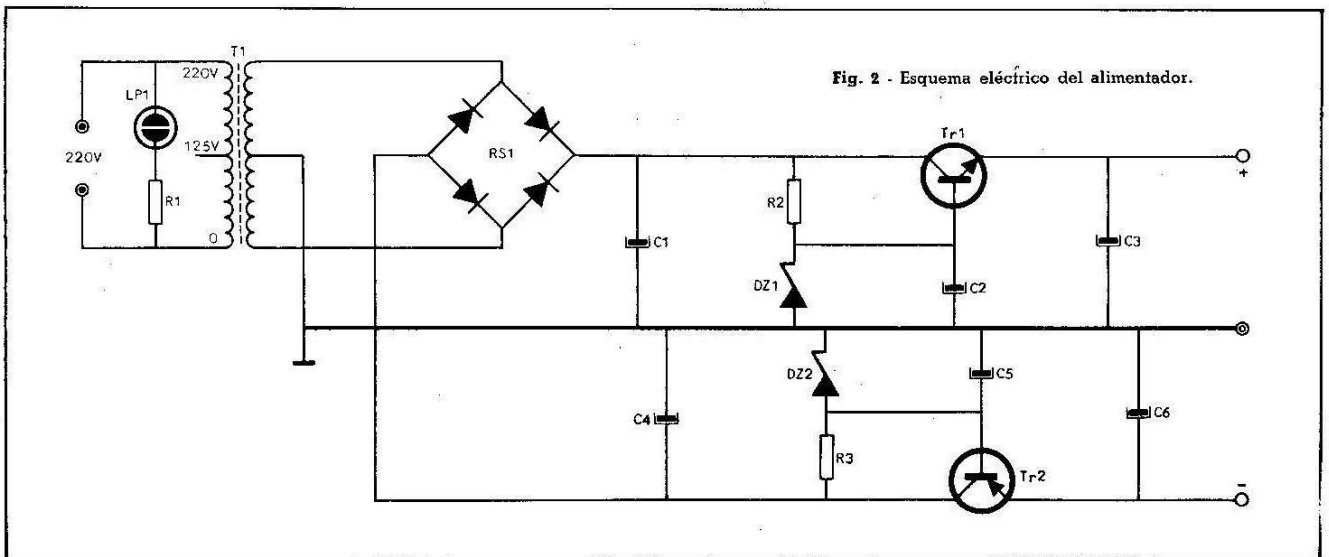
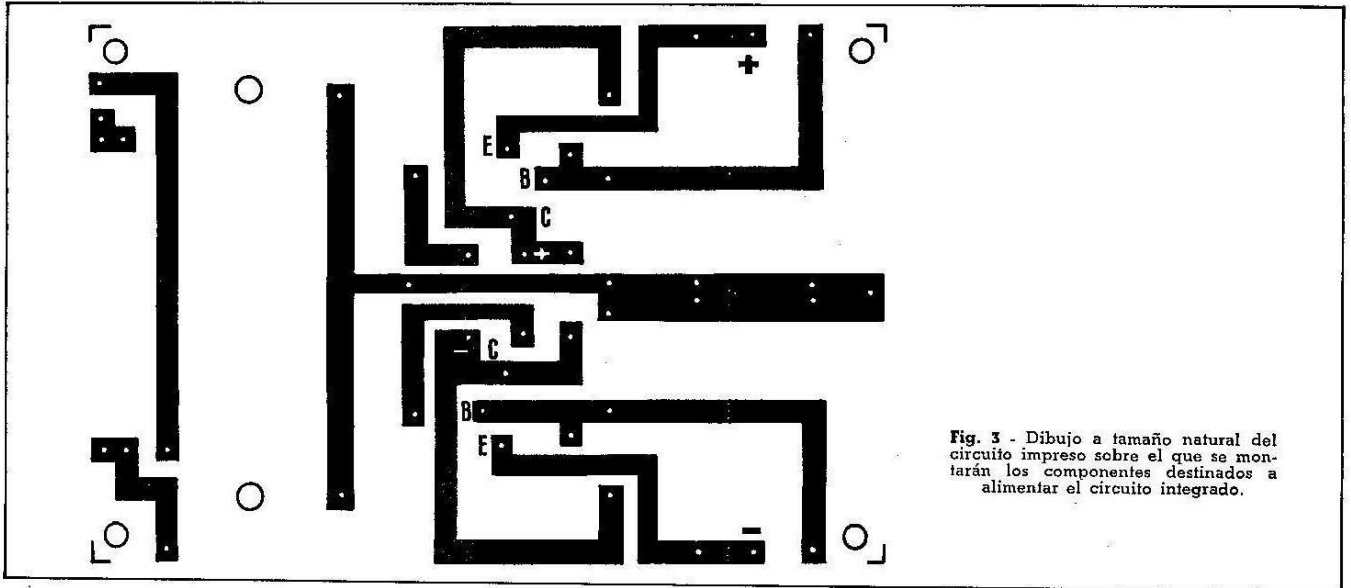


Fig. 2 - Esquema eléctrico del alimentador.

CAPACÍMETRO DE PRECISIÓN



deberemos revisar que el circuito esté introducido en la caja metálica. Esto se debe a que los dos conductores que parten de las pistas contraseñadas CX-CX y que deben conectarse a los bornes externos, si estuviesen muy próximos podrían introducir capacidades parásitas del orden de 0,5 a 1 pF, y por ello falsearían ligeramente la lectura en el primer alcance, o sea el de 50 pF a fondo de escala.

Este es un problema que puede resolverse con gran sencillez: se efectuará el calibrado del instrumento antes de introducirlo en la caja, teniendo la precaución de efectuar a continuación un pequeño reajuste.

Para poder calibrar el capacímetro es necesario disponer de una serie de seis condensadores, cuya capacidad real sea idéntica a la indicada en su envoltura (o, por lo menos, de los cuales conozcamos exactamente su valor). En el prototipo se emplearon condensadores de 47, 470, 4.700, 47.000 y 470.000 pF, más cuatro condensadores de un microfaradio que, conectados en paralelo daban 4 microfaradios útiles para el calibrado del último alcance.

Con esta serie de condensadores se podrán calibrar fácilmente los seis alcances del capacímetro con una total precisión. Subrayaremos que la serie de condensadores pueden ser, en lugar de la indicada, de 50, 470, 5.000 pF, según la disponibilidad de las firmas constructoras.

Para iniciar el calibrado se tomará el condensador patrón de 47 pF introduciéndolo en los dos bornes CX; después se llevará el conmutador S1 al alcance de 50 pF fondo de escala y se encenderá el alimentador. Si el índice del instrumento se desplaza al fondo de la escala, se girará inmediatamente el potenciómetro R5 hasta llevar el índice a la mitad de la escala.

En este punto se regulará el potenciómetro de ajuste R1 hasta obtener la máxima desviación del índice. Normalmente, el potenciómetro R1 deberá hallarse con el cursor casi en el centro; si se hallase todavía hacia un extremo, uno de los dos diodos DS1-DS2 se ha colocado a la inversa o está interrumpido.

Precisaremos que el potenciómetro R1 sirve para linealizar la forma de onda (ver figura 7): si se posee un oscilógrafo, se podrá efectuar el control del potenciómetro de manera simple, haciendo que en la pantalla la longitud superior de la onda cuadrada sea perfectamente igual a la longitud inferior. Sin embargo, teniendo en cuenta que no todos los lectores poseen un oscilógrafo, aconsejamos controlar R1 regulándolo para la máxima salida, con el condensador en examen de 47 pF, puesto que la máxima salida corresponde, en general, a una perfecta simetría de la onda cuadrada.

A continuación mostramos las operaciones a efectuar, las cuales tendrán lugar en el mismo orden indicado:

1. Regular el potenciómetro R1 para la máxima salida con un condensador de 47 pF (actuando sobre el potenciómetro R5 para desplazar el índice a la mitad de escala) o controlar en el oscilógrafo la forma de onda a fin de que resulte lineal.

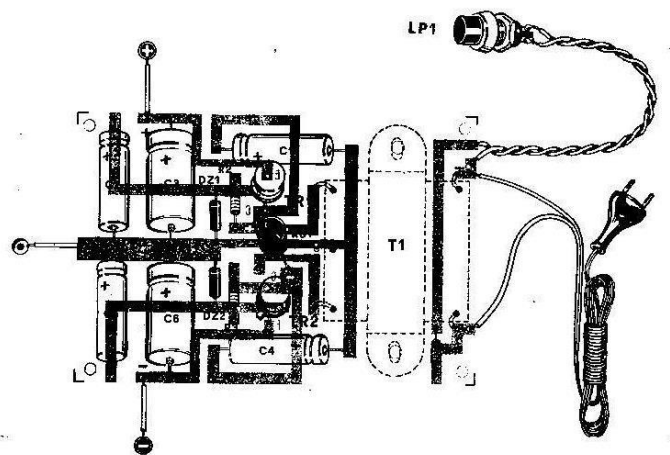
2. Una vez calibrado R1, accionar el potenciómetro R5 hasta que coincida el índice del instrumento con 47, que corresponde a la capacidad del condensador en examen.

3. R1 y R5 no se tocarán más. Conmutar S1-S2 al alcance 470 pF, eliminar de los bornes CX el condensador de 47 pF y aplicar el de 470 pF. En este punto, regular el potenciómetro R7 hasta llevar la flecha a 47 (en el segundo alcance para leer en el instrumento, como ya se ha explicado, se precisa multiplicar por 10, y en consecuencia 47 debe entenderse como $47 \times 10 = 470$).

4. Girar S1-S2 al alcance 4.700 pF; sustituir en los bornes CX el condensador de 470 pF por uno de 4.700 pF y regular R8 hasta hacer coincidir el índice del instrumento con la indicación 47 (para la lectura, en esta gama se multiplicará por 100).

5. Llevar S1-S2 al alcance 47.000 pF fondo de escala; sustituir en los bornes CX el condensador precedente con el de 47.000 pF y regular R9 hasta hacer llevar el índice a 47 (se sobreentiende que, para la lectura es preciso multiplicar por 1.000).

6. Conmutar S1 - S2 al alcance 470.000 pF fondo de escala, eliminar de los bornes CX el condensador anterior y colocar en su lugar uno cuya capacidad sea de 470.000 pF. Regular R10 hasta llevar el índice siempre a 47 (para leer en esta gama será preciso multiplicar por 10.000; por ello, si un condensador que se contro-



CAPACÍMETRO DE PRECISIÓN

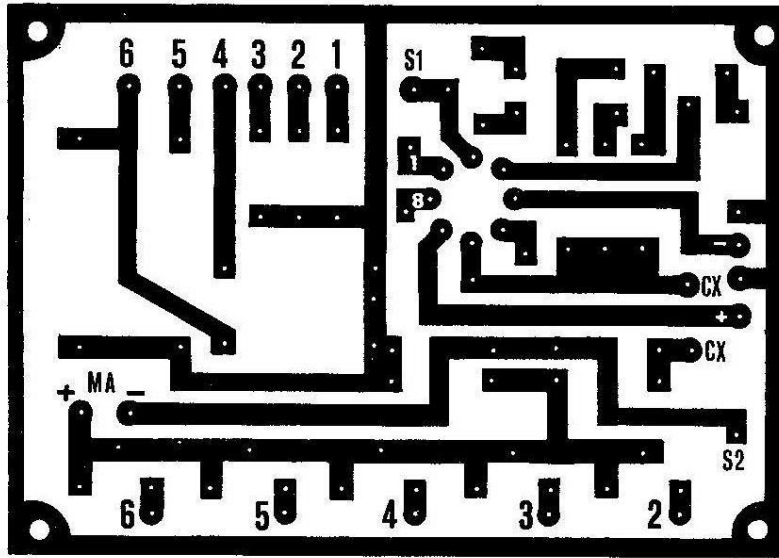


Fig. 5 - Circuito impreso, a tamaño natural, del capacímetro. Los números del 1 al 6 visibles en la parte superior, corresponden al conmutador S1, mientras que la numeración que se inicia por el 2 y finaliza en el 6, en la parte inferior, corresponde a S2. Los dos terminales contrasñados con CX se conectarán a los dos bornes externos, indispensables para aplicar los condensadores a medir.

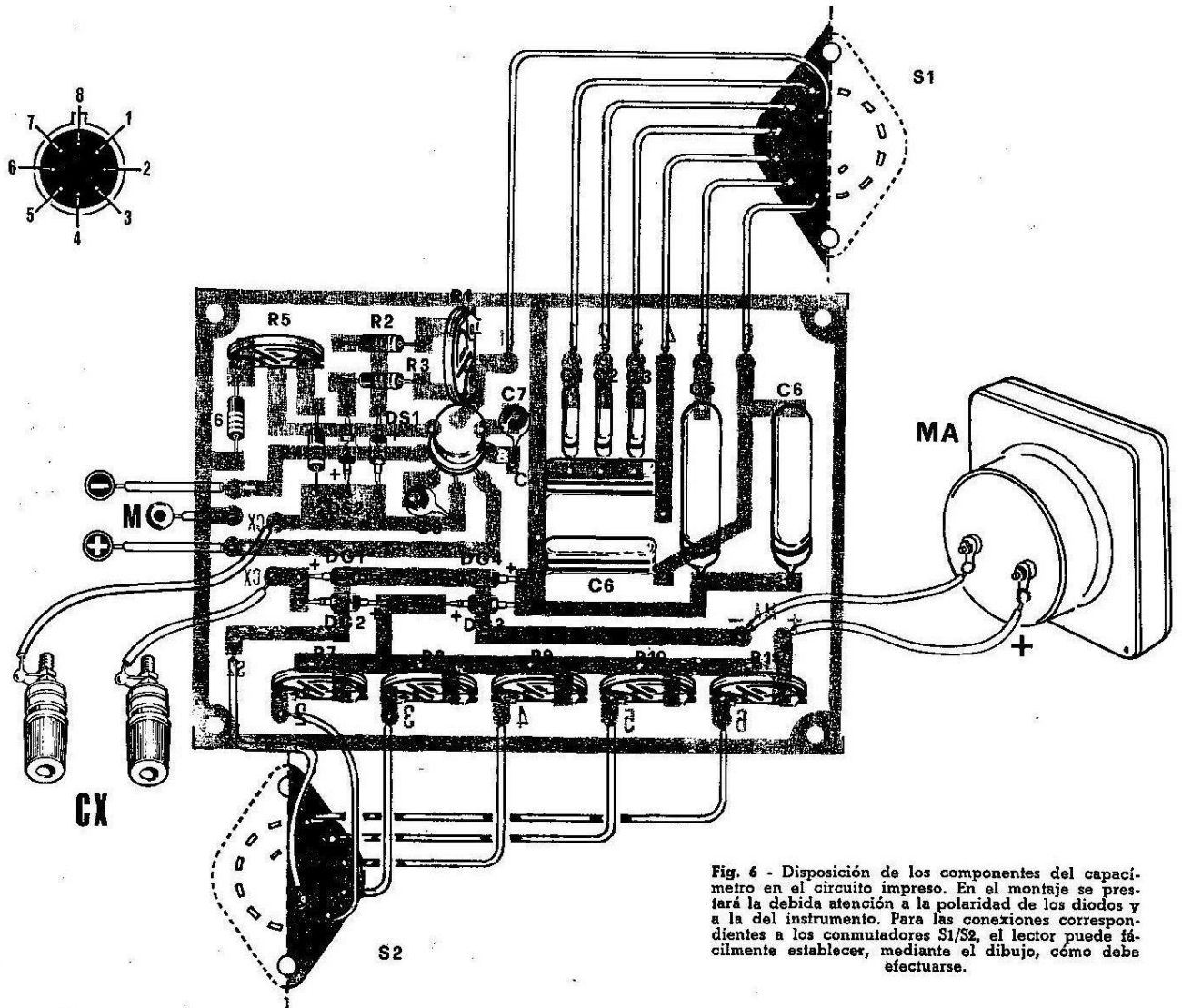


Fig. 6 - Disposición de los componentes del capacímetro en el circuito impreso. En el montaje se prestará la debida atención a la polaridad de los diodos y a la del instrumento. Para las conexiones correspondientes a los conmutadores S1/S2, el lector puede fácilmente establecer, mediante el dibujo, como debe efectuarse.

CAPACÍMETRO DE PRECISIÓN

lase llevase el índice al 10, su capacidad sería de $10 \times 10.000 = 100.000$ pF).

7. Tomar los cuatro condensadores de 1 microfaradio y conectarlos en paralelo; a continuación conmutar S1-S2 al alcance de 5 microfaradios fondo de escala y regular el potenciómetro R11 hasta hacer coincidir el índice del instrumento con la indicación 40 que corresponderá, dado que para este alcance la indicación de la escala se dividirá por 10, a 4 microfaradios.

Llegados a este punto, el capacímetro se encuentra en perfecto estado para funcionar, para controlar pues la capacidad de cualquier condensador; y, dadas sus características, será de gran ayuda para establecer la capacidad de los condensadores variables de aire o trimmers, incluso si éstos tienen 5-6 picofaradios, para establecer sus capacidades residuales y, lo que reviste mayor importancia, ofrecerá la posibilidad de averiguar la capacidad de los condensadores de capacidad fija, o sea lo que en la práctica se hace con las resistencias con ayuda de un óhmetro.

Si, contrariamente a nuestras instrucciones, se iniciaran las operaciones por las gamas inferiores para llegar a las superiores, el índice se desplazará violentamente hacia el fondo de la escala. Para lograr un perfecto funcionamiento del capacímetro, evitar que se produzcan estos inconvenientes y partir siempre del alcance más elevado.

Finalmente, precisaremos que este instrumento sirve para condensadores de papel, de mica, de aire, de cerámica, políester, etc., pero no para condensadores electrolíticos, porque para éstos es necesario un esquema muy distinto al ofrecido.

7

- R1 = Potenciómetro de ajuste de 100.000 ohmios
- R2 = 10.000 ohmios
- R3 = 10.000 ohmios
- R4 = 100.000 ohmios.
- R5 = Potenciómetro de ajuste de 25.000 ohmios
- R6 = 1.200 ohmios
- R7 = Potenciómetro de ajuste de 10.000 ohmios
- R8 = Potenciómetro de ajuste de 10.000 ohmios
- R9 = Potenciómetro de ajuste de 10.000 ohmios
- R10 = Potenciómetro de ajuste de 1.000 ohmios
- R11 = Potenciómetro de ajuste de 100 ohmios

Todas las resistencias de $1/3 W \pm 5 \%$

- C1 = 1.000 pF, cerámico
- C2 = 3.300 pF, cerámico
- C3 = 33.000 pF, políester plano miniatura

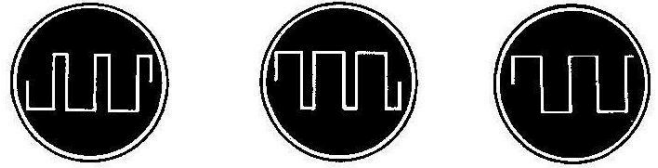


Fig. 7 - El potenciómetro R1 sirve para hacer perfectamente lineal la forma de onda. Si se posee un osciloscopio, se puede girar el cursor de R1 de modo que se obtenga, en la pantalla del mismo, la forma de onda visible a la derecha. Los dibujos de la izquierda y del centro muestran la forma de onda cuadrada cuando R1 no es regulado correctamente. Si no se está en posesión de un oscilógrafo, proceder como se describe en el texto.

- C4 = 270.000 pF, políester plano miniatura
- C5 = 1 μ F, políester
- C6 = 1,33 μ F, políester (1 μ F + 330.000 pF)
- C7 = 8 pF pin-up
- C8 = 2 pF pin-up

- Circuito integrado μ A709 (SGS)
- DS1 - DS2 = Diodos de silicio BA114
- DG1, DG2, DG3, DG4 = Diodos de germanio 0A95
- MA = Microamperímetro de 50 microamperios
- S1/S2 = Conmutador giratorio de 2 circuitos
6 posiciones
Circuito impreso

8

- R1 = 120.000 ohmios.
- R2 = 330 ohmios
- R3 = 330 ohmios

Todas las resistencias de $1/2 W \pm 5 \%$

- C1 = 500 μ F/25 V, electrolítico
- C2 = 500 μ F/25 V, electrolítico
- C3 = 1.000 μ F/25 V, electrolítico
- C4 = 500 μ F/25 V, electrolítico
- C5 = 500 μ F/25 V, electrolítico
- C6 = 1.000 μ F/25 V, electrolítico
- RS1 = Rectificador puente de 50-60 V/1A B60C 1.500/1.000
- T1 = Transformador con primario 125/220 V y secundario 40 V/0,3 A, con toma media
- Lp1 = Lámpara de neón de 125 V
- TR1 = Transistor NPN tipo MC140
- TR2 = Transistor PNP tipo MC150
- DZ1, DZ2 = Diodos zener de 7,5 V/400 mW BZY88/C7V5
- Circuito impreso.