

UNIDAD PORTATIL PARA
COMPROBAR LA EXISTENCIA
DE FUGAS

disyuntor de circuito por fuga de tierra

- 1 efectos del choque eléctrico
- 2 detector de fugas a tierra
- 3 funcionamiento del circuito
- 4 circuito de disparo
- 5 realización práctica
- 6 construcción del transformador diferencial
- 7 establecimiento de la corriente de disyunción



Cada día se ponen en servicio más equipos eléctricos, la mayoría con partes metálicas accesibles. Las normas exigen que el equipo tenga un aislamiento adecuado y que la carcasa del equipo, como puede ser una máquina de taladrar, debe estar a tierra.

Esto suena bien en teoría, pero deben tenerse en cuenta varios fallos. Una máquina de taladrar puede haber estado en uso durante algún tiempo con todos los aditamentos de seguridad incorporados. Después de mucho flexionar y tirar del cable durante su empleo y su almacenamiento, el conductor de tierra acaba por romperse. Durante los últimos meses se habrá formado una capa de carbón alrededor de una de las escobillas y cuando una persona la ponga en marcha hallándose sobre un pavimento húmedo, se producirá el paso de varios miliamperios. La corriente puede producir dos efectos: en primer lugar un choque directo y, en segundo lugar, una caída debida a las contracciones musculares, arrojando lejos la máquina. Ambos casos pueden ser perjudiciales.

1

En la Tabla 1 pueden verse las cifras determinadas por M. R. Bruner y presentadas en «Hazards of electrical Apparatus», Anesthesiology, Mar-Apr 1967 (Peligros de los aparatos eléctricos, Anestesiología, Marzo-Abril, 1967). Esta Tabla se reprodujo en esta forma por Hewlett-Packard en la Nota de Aplicación AN 718.

Tabla 1: Efectos del choque eléctrico (50Hz) sobre las personas.

Intensidad de la corriente (Contacto de un segundo)	EFECTO
1 mA	Umbral de percepción.
5 mA	Aceptada como máxima intensidad de corriente no peligrosa.
10 a 20 mA	Corriente de «soltado» antes de producirse una contracción muscular sostenida.
50 mA	Dolor, posible desmayo, agotamiento, daños mecánicos. (El corazón y las funciones respiratorias continúan.)
100 a 300 mA	Empieza la fibrilación ventricular, pero el centro respiratorio queda intacto.
6 A	Contracción del miocardio sostenida, seguida de ritmo cardíaco normal. Parálisis respiratoria temporal. Quemaduras si la intensidad de la corriente es elevada.

Normalmente, la resistencia de la piel tiene un valor comprendido entre 50 y 250 kΩ en personas con una piel bastante seca. Por tanto, una tensión de red de 250 V podría producir normalmente un choque de 1 a 5 mA, pero esto no puede servir de consuelo porque la zona de contacto y los daños en la piel producen diferencias. Cualquier contacto más largo que uno accidental puede producir daños que significan un aumento del flujo de corriente.

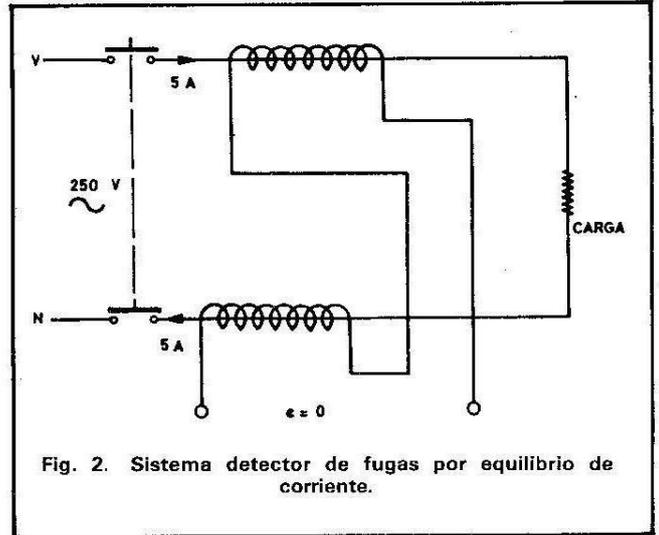
Habiendo indicado alguno de los peligros, surge la pregunta de cuáles son los remedios. Evidentemente, no hay nada a hacer contra el choque entre el vivo y el neutro de la red de alimentación, pero es sorprendentemente difícil que se produzca un choque directo de esta clase. Probablemente, la única forma sería apoyarse sobre los terminales vivos de un transformador o de una unidad similar quedando el choque confinado en una mano.

No obstante, es bastante corriente manejar equipos eléctricos sin conexión de tierra (por ejemplo, lámparas portátiles) y encontrar una corriente de fugas perceptible al tacto. Esta fuga nunca puede tener un nivel peligroso, pero con un cable rozado en el interior de un portalámparas del tipo empleado en algunos aparatos ópticos antiguos, aunque se esté sobre un piso de madera también es posible sufrir una conexión directa, porque se puede tocar accidentalmente otra pieza del aparato que tenga una buena tierra y producir un serio choque. Se sabe de casos en que se han producido accidentes al coger dos lámparas fotográficas al mismo tiempo.

En parte, la respuesta es tener una disciplina adquirida. Por ejemplo, sólo tocar una pieza de un aparato cada vez, con la otra mano colocada en la espalda o en el bolsillo y llevar suelas aislantes en los zapatos (de goma o de pvc no poroso). No obstante, siempre existe una ocasión en que no se pueden evitar determinadas maniobras en las que deben emplearse ambas manos para controlar un equipo. En este caso, la única solución para hacer funcionar el aparato con seguridad es disponer de un medio de detectar las corrientes defectuosas que se derivan a masa.

En un cortocircuito directo, un fusible puede fundirse de forma correcta si las especificaciones están bien elegidas. Los cables pueden hacer arco y pueden cortarse si el cortocircuito es breve y el fusible es del tipo antiguo de hilo de plomo, por lo que el equipo sería el que se fundiría. Los fusibles internos no solucionarían nada, puesto que las averías son en los cables y no los protegerían a menos que la clavija o el circuito se fundiera a un nivel bajo.

Evidentemente, en el interior de la unidad pueden producirse averías que pueden ser peligrosas, como en el caso de que un condensador de filtro se corte, un componente quede apretado por un conductor y el aislante de plástico se perfora haciendo contacto, o algún interruptor que produzca arco. Debería ser imprescindible la instalación de fusibles adecuados, pero incluso en este caso aparecerían problemas porque algunos transformadores tienen corrientes de magnetización muy elevadas y pueden necesitar unos fusibles de calibre mucho mayor de lo que puede parecer, teniendo en cuenta el consumo normal a plena carga. El empleo de fusibles retardados puede ser una solución y el diseño de transformadores de me-



nor intensidad de flujo puede ser otro medio de reducir la corriente de choque y su temperatura de trabajo, pero las razones económicas están en contra de esta última solución.

Cuando la línea de neutro hace contacto con tierra, se establece una pequeña corriente. Es posible encontrar una tensión que se produce en el neutro cuando conduce corriente. Una tensión de 2 V es muy normal. Es inverosímil que se pudiese notar algún efecto a menos que existiesen fusibles de neutro en el sistema e incluso en este caso sólo si la impedancia de la línea de tierra tuviese un valor mucho menor del aceptado de 1 Ω . Con un buen retorno de tierra, de un valor de 0,1 Ω , por ejemplo, sería posible una corriente de 20 A, suponiendo que por el neutro circulara una corriente mucho mayor que ésta para producir dicha corriente de retorno.

En circunstancias normales, un defecto entre la tierra y el neutro no es peligroso. En algunas partes podría serlo si se emplean mezclas de gases, botes con «sprays», etc., ya que si algún aparato que tuviese un defecto entre el neutro y tierra tocara los envases metálicos, se produciría una pequeña chispa. En las situaciones domésticas, sin embargo, no suele existir ningún peligro.

2

La unidad detectora de fugas a tierra descrita a continuación es una respuesta a estos problemas. En principio se diseñó para cumplir con la exigencia de seguridad en un cuarto oscuro de procesado de color. La parte superior de acero inoxidable del banco de procesado, con una gran proximidad al sensor y al sistema calefactor de una unidad de control de temperatura accionada con un tiristor, una amplidora accesible, un controlador de lámpara con tiristor, una amplidora accesible, un controlador de lámpara con tiristor, un temporizador con tiristor, un temporizador de proceso y un reloj, indicaban la necesidad de una unidad detectora de fugas a tierra.

La intención primera fue adquirir un modelo comercial, pero la frustración producida al tratar de comprar un artículo como este para un uso privado determinó al autor hacérselo por sí mismo. Encontró relés operados por tensión, pero no pudo hacerse a la idea de mantener una pieza del equipo con el vivo de la alimentación conectado a ella en espera de que la tensión subiera lo bastante para que el relé funcionara. Cuando se hubiese producido un fallo, la línea de tierra quedaría bajo tensión hasta que el relé se moviera, como en la figura 1. En teoría, esto sucedería con una tensión relativamente baja, del orden de los 30 V, y cualquiera que manejara una herramienta portátil y tocara alguna cañería conectada a tierra, no se daría

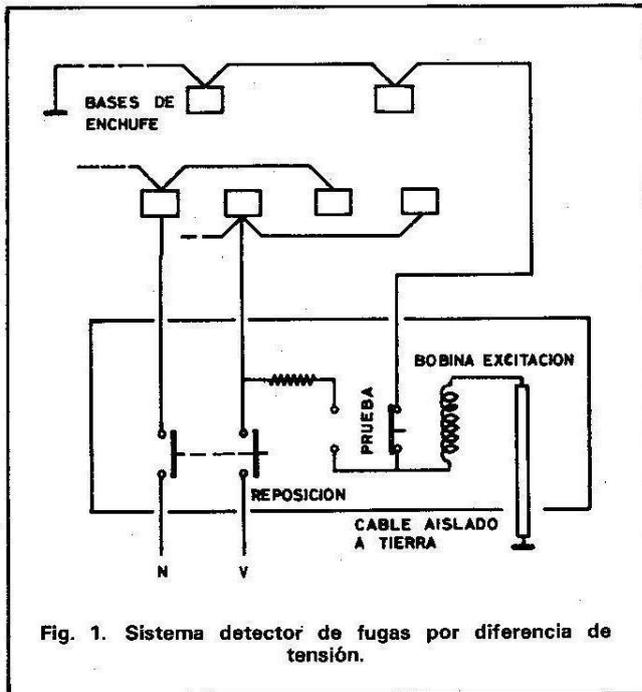
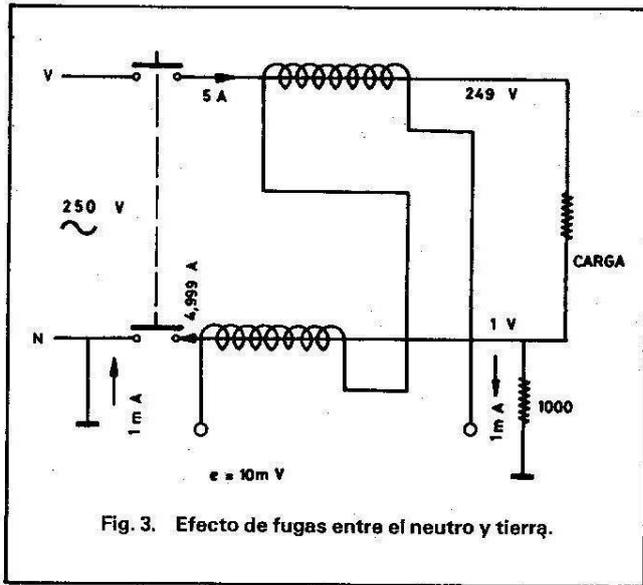


Fig. 1. Sistema detector de fugas por diferencia de tensión.



cuenta de que se creaba una diferencia de tensión. Básicamente, la realización serviría para indicar que la alimentación se ha cortado. No obstante, si en el ejemplo de la máquina de taladrar se supone que el conductor de tierra se ha cortado, la corriente circulará directamente desde la herramienta a través del hombre situado en tierra y el relé aún estará esperando una señal que nunca llegará (por lo menos, por este camino).

Un método alternativo que evita este problema es el sistema revelador de equilibrio de corriente que puede verse en la figura 2. La corriente se envía y se retira de la carga mediante dos conductores. Como en el circuito no se genera corriente, la que llega por un cable sale por el otro si el aislamiento es perfecto. La suma de corrientes en los transformadores de corriente es nula.

Si desde uno cualquiera de los conductores se produce una fuga a tierra como en la figura 3 y en la figura 4, las corrientes en los dos cables no serán iguales y la suma de ambas en los transformadores será diferente de cero.

En las condiciones de la figura 3, la corriente en los transformadores con núcleo de hierro y una bobina de unas 2.000 espiras, puede producir una d.d.p. de unos 10 mV, mientras que si la fuga fuese en el conducto vivo la corriente a tierra sería de 249 mA, tal como se indica en la figura 4. Con los mismos transformadores se puede demostrar que la suma de tensiones podría ser de unos 2,5 V.

Una salida de 100 mV, que puede considerarse una buena cifra de seguridad, limpia de ruido y con la c.a. residual equilibrada a cero, significaría una resistencia de fugas de neutro detectable de unos 100 Ω y una resistencia de fugas del conductor vivo de unos 25 Ω, o sea una corriente de fuga de 10 mA para cada cable. Naturalmente, estas cifras son ejemplos para indicar el orden de magnitud de las tensiones y de las corrientes previsibles. Cualquier transformador destinado a estos consumos debería comprobarse que cumple con estas especificaciones. El empleo de un material de núcleo de baja inercia como el Radiometal mejoraría las características de corriente reducida.

En la práctica, el sistema no tiene dos transformadores. Tanto el cable de ida como el de retorno pasan por un solo núcleo para equilibrar la corriente de carga y pueden detectarse corrientes de fuga tan pequeñas como de 2 mA, con una corriente de carga de 5 A y con un transformador de altavoz de válvulas modificado.

Las ventajas de este sistema es que el monitor es capaz de detectar fugas en cualquier momento y no tiene que esperar necesariamente que se produzca un fallo catastrófico o que una

persona toque una carcasa viva. Si se trata de un cable de tierra cortado o una máquina de taladrar, éste sería el caso, pero si el cable de tierra se rompiera al estirarlo o al doblarlo contra un accesorio situado en el suelo húmedo, la unidad lo detectaría y cortaría la alimentación antes de que pudiera ser tocado el aparato. Cualquier tendencia del aparato a crear una corriente de fuga hará disparar la unidad, aun cuando dicho aparato sea aún intrínsecamente seguro. Cualquier disparo de la unidad de fugas deberá ser causa de una investigación antes de restablecer la alimentación.

3

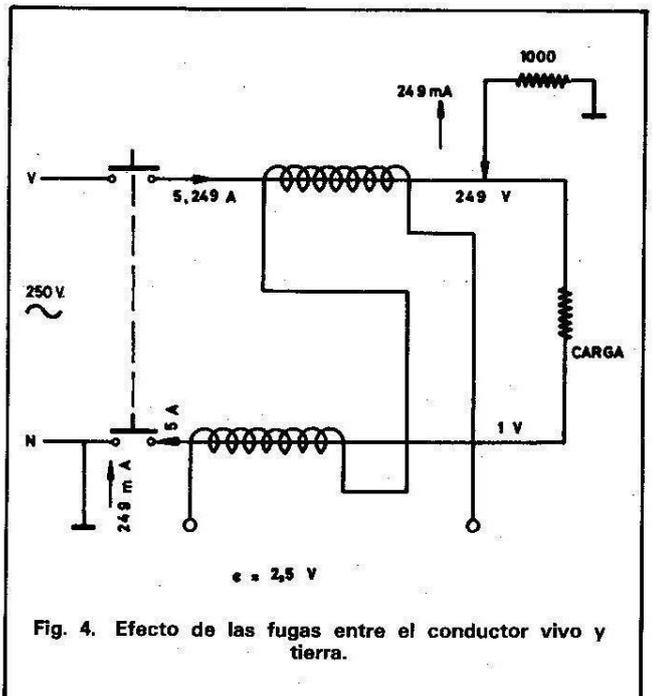
El circuito de la unidad puede verse en la figura 5. La salida del transformador de corriente T1 se aplica a IC1, un amplificador operacional 741, que tiene unos diodos en antiparalelo en su entrada para proteger al amplificador de cualquier daño debido a los transitorios. El circuito de entrada retorna al punto central de las resistencias R6 y R7 para proporcionar una línea de 0 V artificial, de manera que el amplificador queda alimentado realmente con + 6 V y -6 V. Las tensiones exactas dependen del tipo de transformador de 12 V empleado y de su regulación. El valor eficaz puede mantenerse incluso con un consumo de 100 mA empleando un condensador de filtro de 250 μF.

La ganancia de tensión del amplificador especificada es de 180, pero éste es un punto orientativo, ya que la ganancia tiene que rebajarse para alcanzar el nivel de sensibilidad adecuado. En el prototipo final, para R5 se empleó un valor de 680 kΩ, quedando una ganancia de 68. En el planteamiento del montaje debe preverse la posibilidad de cambiar fácilmente esta resistencia de realimentación para poder ajustar su valor una vez se conozcan los parámetros del circuito.

La salida en la patilla 6 del 741 es una onda senoidal que varía en amplitud con la señal procedente del transformador diferencial. Como esta señal depende de la fuga, la salida del amplificador será proporcional a la fuga, aunque la relación no es lineal.

4

El relé es accionado por una forma estandar de circuito de disparo Schmitt. Una característica poco usual es el empleo de



DISYUNTOR DE CIRCUITO POR FUGA DE TIERRA

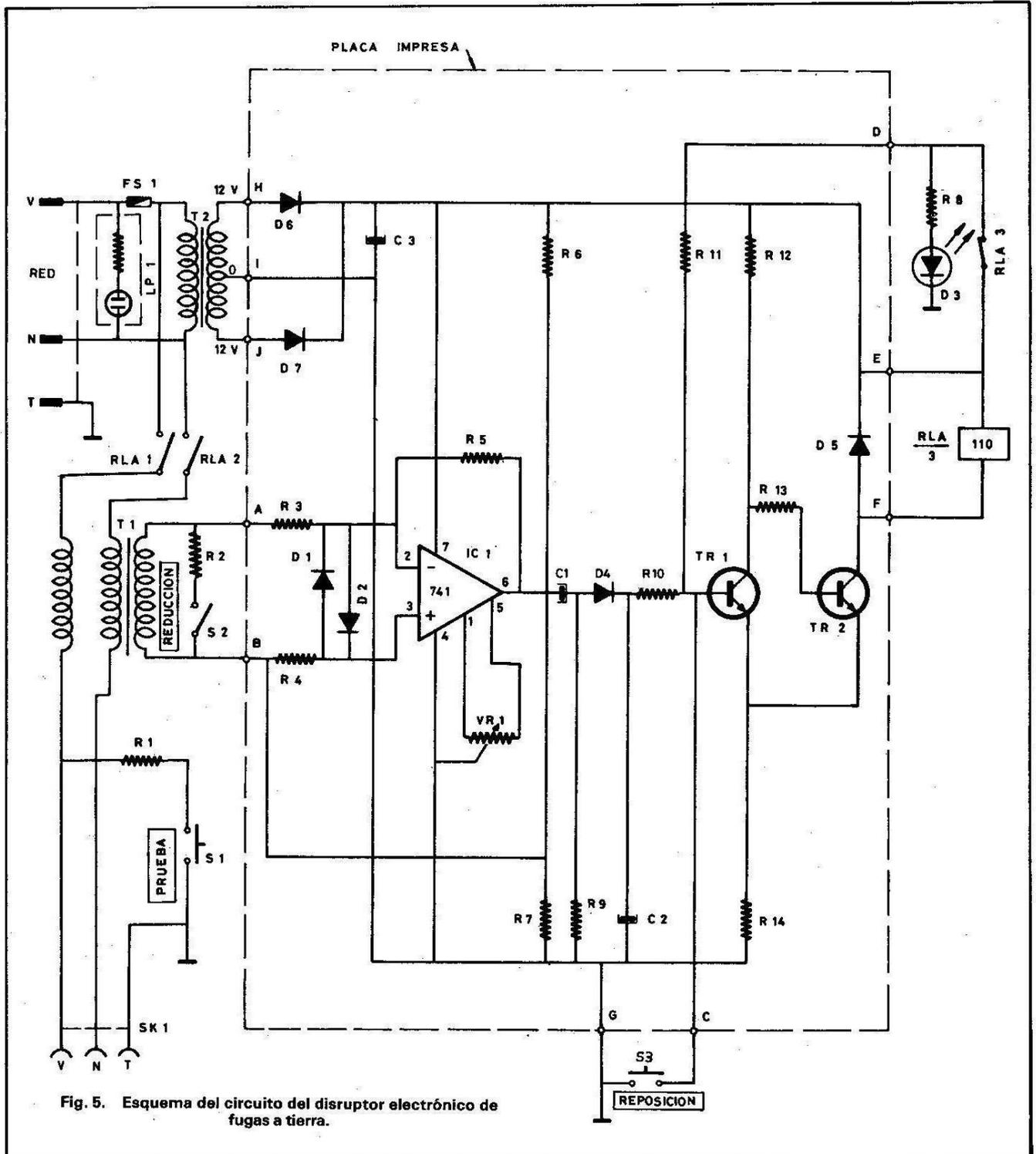


Fig. 5. Esquema del circuito del disyuntor electrónico de fugas a tierra.

transistores no similares. Normalmente, como disparador se emplean dos transistores de pequeña señal o un IC seguido de una etapa de potencia. En este caso las señales son lo bastante grandes para poder acoplar directamente el circuito disparador a la bobina de un relé que necesita unos 100 mA para su funcionamiento.

Con el interruptor cerrado, los contactos normalmente cerrados RLA3 mantienen a TR1 en estado de conducción aplicando su base al positivo a través de R11. El LED D3 tam-

bién se alimenta a través de este contacto y de R8. Mientras TR1 conduce, el potencial de su colector es bajo y no circula corriente hacia la base de TR2. Por tanto, el relé RLA no está excitado.

Este estado puede invertirse apretando el pulsador S3 de restablecimiento. La señal de mando de la base de TR1 se envía a masa, la tensión de su colector se eleva y la corriente circula a la base de TR2 a través de R12 y R13, lo que da como resultado la excitación del relé. Al funcionar el relé, el contacto

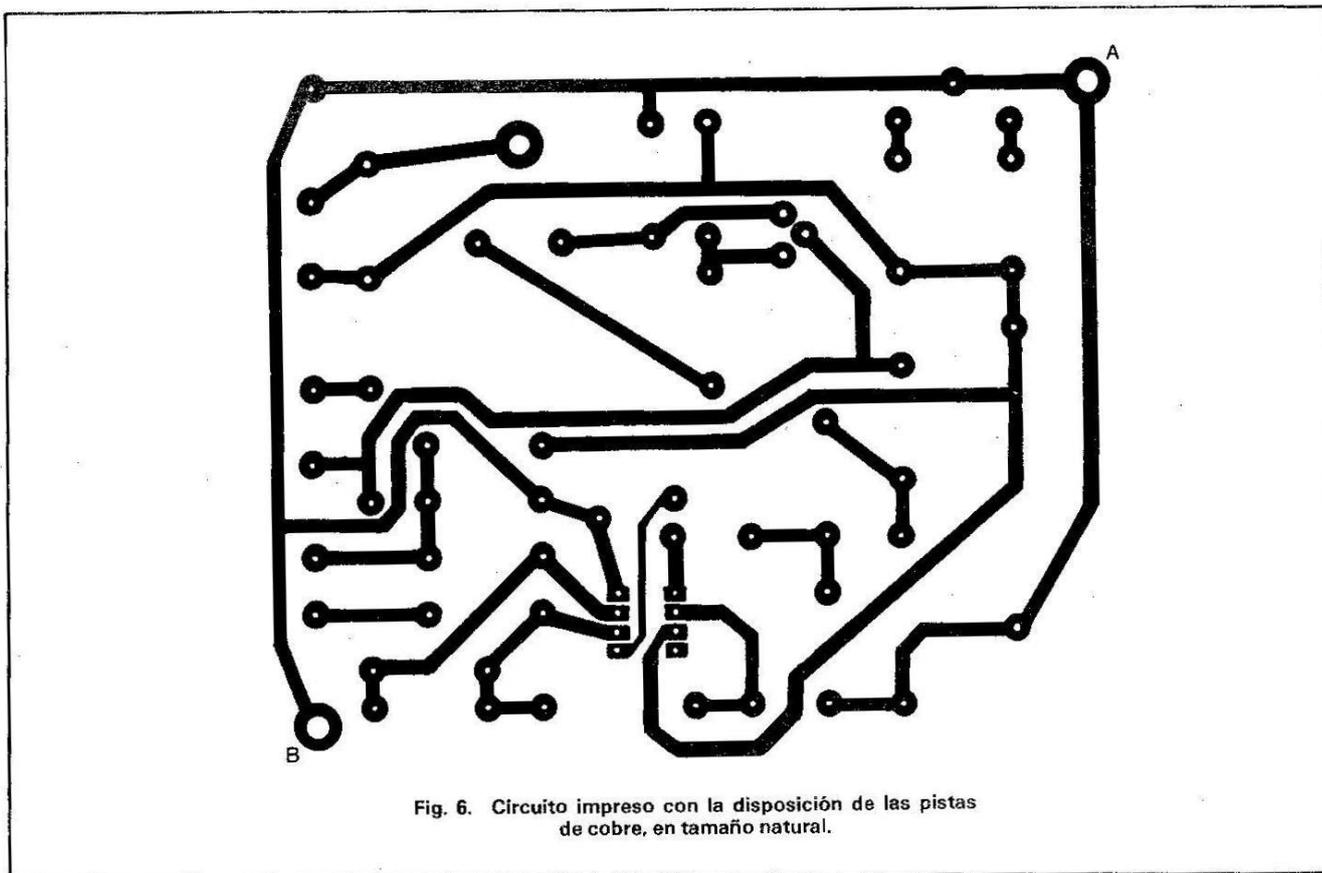


Fig. 6. Circuito impreso con la disposición de las pistas de cobre, en tamaño natural.

RLA3 se abre, de manera que cuando se suelta el pulsador de restablecimiento, a la base de TR1 no llega señal de mando y el relé permanece en el estado de excitación.

La velocidad con que sucede esto es acelerada por la variación de tensión que se produce en R14, que produce una rápida acción de cerrado. La misma acción invertida produce una rápida bajada de la corriente de excitación en el relé cuando la base de TR1 llega a un nivel crítico de tensión positiva. La acción se produce a unos 2 V al conectarse y a unos 1,5 V al desconectarse con toda la tensión de alimentación en el colector de TR2 en la condición desexcitada y a 1 V en la condición excitada. El relé debe cerrarse y abrirse sin vacilaciones al alcanzarse los límites de accionamiento en la entrada.

Cuando el circuito está funcionando correctamente, el relé puede parecer que se excita más lentamente que cuando se desexcita, lo que es contrario a un funcionamiento normal. Esto puede ser porque la tensión en el colector de TR2 excede de 1 V cuando el relé está excitado. En este caso, será preciso reducir el valor de R13 o emplear un transistor con una ganancia menor.

El pulsador de reposición tiene prioridad sobre la señal de entrada, pero es evidente que no debe accionarse después de una disyunción sin haber investigado la causa. Si es necesario, se puede conectar en serie con los contactos de S3 un condensador de valor grande y una resistencia de valor también elevado para que el restablecimiento funcione como un impulso.

Al restablecer el circuito de disparo y al haberse cerrado los contactos principales RLA1 y RLA2, el sistema está preparado para funcionar con una corriente de fuga. La salida del amplificador se aplica a D4 a través de C1 y carga el condensador C2 a través de la entrada al circuito de disparo. Esto produce un amortiguamiento y evita un funcionamiento errático.

Suponiendo que la señal de entrada de IC es un semiciclo de sentido positivo, la salida seguirá el sentido negativo, C1 se descargará ligeramente a partir de su estado fijo de media tensión y al invertirse la tensión de la señal la onda de salida que aún tiene el sentido negativo dará un impulso de disparo positivo a TR1. Un semiciclo de entrada de sentido negativo se generará inmediatamente. En ambos casos, el relé se desexcitará y se mantendrá en esta condición por el cierre de RLA3. El indicador de disyunción D3 indicará que se ha producido una disyunción. D3 no afecta al potencial de disparo, ya que la tensión en la patilla D del circuito impreso sólo alcanza el nivel necesario para accionar el indicador después de que RLA3 se ha cerrado.

5

La unidad de prototipo se incluyó en una caja adecuada. El amplificador y el disparador se construyeron sobre un panel de matriz. En las figuras 6 y 7 puede verse la placa de circuito impreso desarrollada para ello. Los transformadores, el relé y el bloque de terminales de entrada se montarán en una placa de aluminio de unos 3 mm de grueso. La placa de circuito impreso y la placa de aluminio se fijan en la placa frontal de aluminio de unos 3 mm de grueso mediante tornillos.

6

El corazón del sistema es el transformador diferencial, que puede construirse con un viejo transformador de altavoz para válvula al que se ha eliminado el devanado secundario. Sería preferible emplear un transformador con un devanado por ca-

DISYUNTOR DE CIRCUITO POR FUGA DE TIERRA

pas y que los terminales del primario fuesen hilos de conexión forrados con cloruro de polivinilo. Si el único tipo disponible tiene como salidas los finos hilos del devanado, deberán proveerse de un buen anclaje mecánico. Como alternativa puede emplearse un transformador de red para filamentos, que tiene la ventaja de tener una buena conexión de primario.

Sea cual sea el transformador empleado, deberá eliminarse el secundario. En el caso del transformador de red, esta eliminación deberá realizarse con cuidado para no cortar el hilo del primario y sin desarmar el núcleo, que probablemente estará barnizado, siendo muy difícil hacerlo. El tipo de transformador de altavoz deberá abrirse, se retirará el hilo del secundario (normalmente de gran diámetro) y el núcleo se volverá a montar con las láminas solapadas en lugar de volverlas a colocar en la forma apilada con un entrehierro.

Como el tamaño del transformador no es crítico, un modelo muy pequeño puede hacer que el devanado del circuito de corriente sea muy difícil y un tipo muy grande tenga unas pérdidas en el núcleo que hagan imposible la detección de pequeñas corrientes. Un buen tamaño práctico es el tipo empleado para las versiones para red de 6 VA, con 12 VA como límite superior.

Una vez eliminado el secundario, quedará un espacio vacío entre el devanado primario y el núcleo. En este espacio se bobinarán los devanados de corriente mediante dos cables de 32 conductores de 0,2 mm de diámetro del tipo para 250 V. Los devanados serán de cinco espiras con los dos conductores juntos, manteniéndolos planos y simétricos (fig. 8). El tipo de bobinado bifilar sirve para mantener la inductancia de dispersión a un mínimo y conseguir un equilibrio de nulo que sea prácticamente cero. Los cables deben dejarse de la longitud suficiente para que lleguen al relé y al zócalo de salida.

El transformador empleado en el prototipo de esta unidad se había utilizado antes en un circuito para pruebas de limitación de corriente y tenía un devanado de 1.500 espiras de hilo de 0,15 mm de diámetro. Para obtener la sensibilidad necesaria de 2 mA, fueron necesarias cinco espiras para el nuevo devanado, que ahora debe llamarse primario. En este caso hubo suficiente espacio entre el devanado original y el núcleo para hacer caber el primario, aunque puede ser que en algún diseño de transformador no suceda así. Este punto deberá intentarse

verificar antes de proceder a la compra de un determinado modelo.

El límite de corriente fijado para esta unidad fue de 5 A y se determinó por la corriente de ruptura segura del relé. Como sólo se preveía el empleo del equipo del cuarto oscuro y el ocasional de alguna herramienta eléctrica, este límite era perfectamente adecuado. Aumentando la capacidad del relé o con un sistema formado por un disyuntor de pequeña capacidad que controle a otro de mayor capacidad, la corriente de trabajo puede ser mucho mayor.

Naturalmente, toda la corriente de los aparatos protegidos deberá circular por el devanado bifilar, pero esto no constituye un gran problema, puesto que muchos transformadores de la clase de 10 VA están devanados tomando como base una densidad de corriente del orden de los 5 A/mm². En este caso, el efecto térmico de las cinco espiras de cable doble es mínimo, puesto que constituyen un buen radiador de calor.

Con el cable indicado se podría trabajar con más intensidad si fuese necesario o bien, para mayor facilidad, se puede emplear un cable más delgado, de 16 conductores de 0,2 mm de diámetro, por ejemplo. Empleando el axioma de que una prueba vale más que cientos de opiniones, la respuesta es sencillamente comprobarlo con una carga, con preferencia empleando un transformador de baja tensión y gran intensidad para suministrar la corriente de prueba, aunque si se realiza la prueba con la red de alimentación tampoco debe producirse ningún problema.

El relé puede ser de un tipo estandar de tres polos con una resistencia nominal de bobina de 100 Ω y una tensión de alimentación de 12 V de c.c. Debe ser un componente de buena calidad porque debe interrumpir la carga total de la unidad pero en el caso de una avería de la línea no es problema, puesto que el fusible de 5 A incluido en la unidad interrumpirá la alimentación a la línea en caso de avería, sin perjudicar al relé.

El tiempo de desconexión del relé es de 20 ms y el tiempo de media onda de 10 ms. El tiempo total de desconexión es de unos 30 ms o un ciclo y medio de la red de 50 Hz. La corriente especificada es de 6 A para una carga resistiva, siendo de 2 A para una carga inductiva, aunque es muy raro que se tenga que aplicar una carga totalmente inductiva, ya que los transforma-

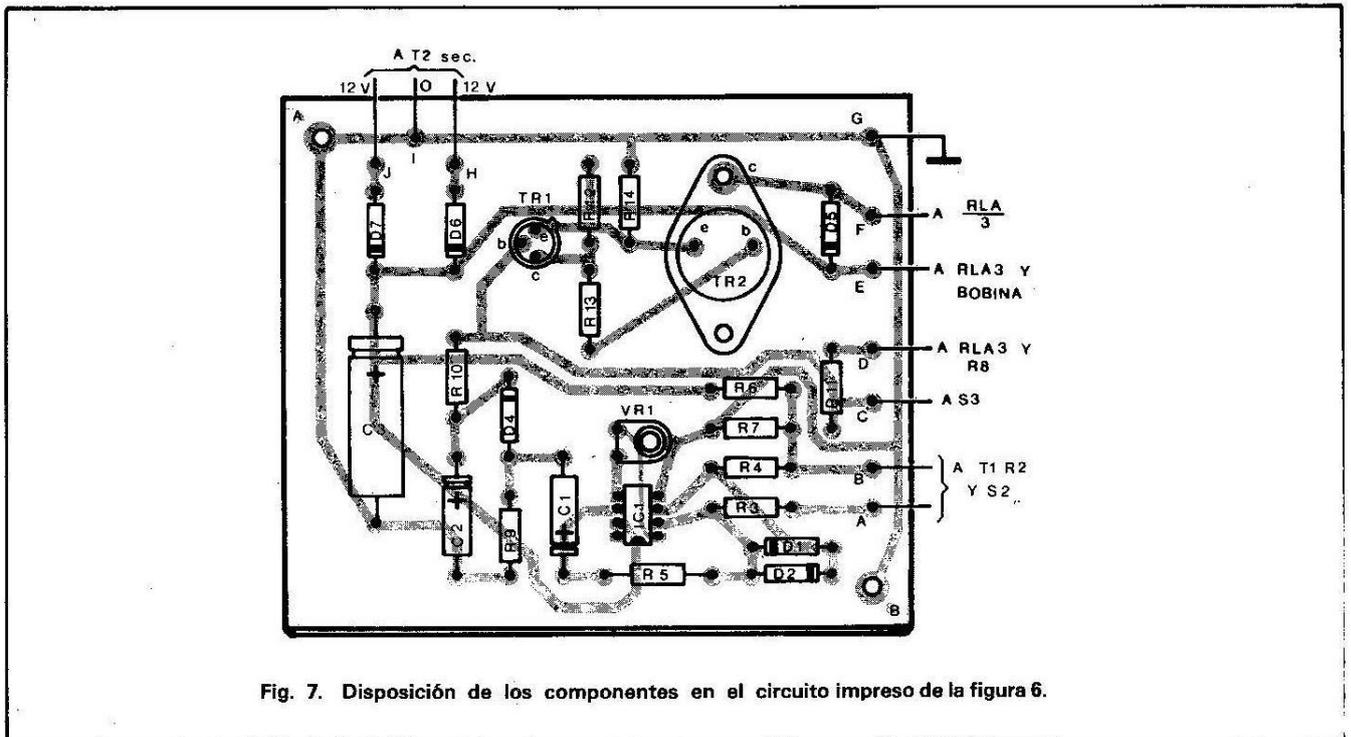
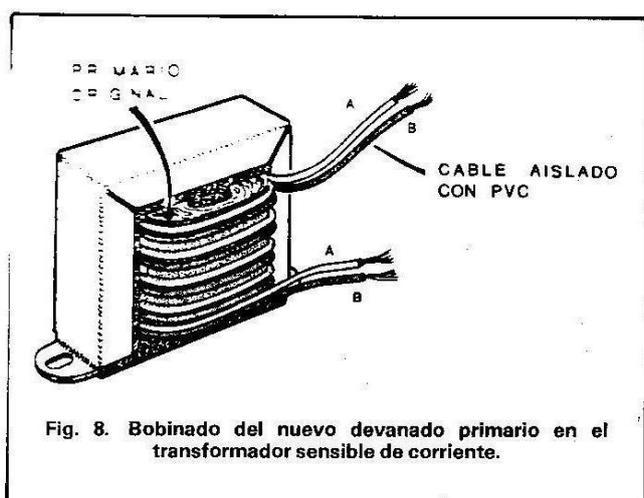


Fig. 7. Disposición de los componentes en el circuito impreso de la figura 6.



dores suelen tener siempre una carga resistiva en el secundario y las herramientas de potencia no tienen unas inductancias particularmente grandes.

7

A pesar de que se ha puesto algo de énfasis en la consecución de los 2 mA, esto era en parte un ejercicio académico y la unidad final tiene un conmutador para hacerla menos sensible. Para todo el cuarto oscuro, incluyendo una caldera de 1 kW con el regulador de temperatura del agua con tiristor para el revelado de color, el nivel de 2 mA es ideal, pero para algunas herramientas de potencia puede emplearse tranquilamente un nivel más elevado, del orden de los 15 mA. Por ello, al conectar S2, la resistencia R2 hace descender la sensibilidad de disrupción a 18 mA. Si se desea, este efecto también puede conseguirse disminuyendo la amplificación del 741 conmutando en paralelo una resistencia a la R5 de realimentación.

La unidad está destinada a ser portátil con un cable de extensión. Por esta razón, deberá prestarse una gran atención para asegurar la continuidad del conductor de su conexión de tierra, a menos que se emplee la técnica del doble aislamiento con todos los materiales de plástico.

En cualquier caso, la toma de tierra de la base de salida deberá ser muy efectiva, por lo que dicha base deberá ser de buena calidad. Es la única manera de obtener una protección de «vigilancia temprana» contra equipos que vayan haciéndose gradualmente «fugosos», al mismo tiempo que se dispone de la buena seguridad necesaria en el caso de que en la unidad se produzca una avería. El pulsador de verificación deberá emplearse para comprobar el funcionamiento cada vez que se emplee la unidad o si la unidad se deja fija en un sitio, deberá hacerse una comprobación una vez por semana como mínimo.

Lista de componentes

- R1, R3, R4 = 10 k Ω
- R2, R6, R7, R9 a R12 = 1 k Ω
- R5 = 68 k Ω (ver texto)
- R8 = 4,7 k Ω
- R13 = 3,9 k Ω
- R14 = 22 Ω
- Todas del 5 % 1/2 W
- C1 = 25 μ F/25 V, electrolítico
- C2 = 10 μ F/64 V, electrolítico
- C3 = 250 μ F/25 V, electrolítico
- IC1 = 741 (d.i.l. de 8 patillas)
- TR1 = BFY50, MC140
- TR2 = 2N3055
- D1, D2, D4, D5, D6, D7 = 1N4003
- D3 = LED TIL209
- VR1 = Trimmer potenciométrico de 10 k Ω
- T1 = Ver texto
- T2 = Transformador con primario 220 V y secundario 12 + 12 V/0,3 A
- RLA = Relé de 110 Ω /12 V, 3 conmutaciones
- FS1 = Fusible de 5 A
- Lp1 = Lamparita de neón para 220 V
- S1, S3 = Pulsadores
- S2 = Interruptor