

Cosas que aprender de una fuente vieja (I)

Por Jon Iza
EA2SN
ea2sn@ure.es



Probando un *router* 3G en un QTH sin ruido, toda la banda de 40 metros quedó bloqueada con señales de S9 y más. ¿El culpable? La fuente de alimentación conmutada del *router*, de 12 V 1 A y que traía una ferrita en su salida de baja tensión. Dado que tenía a mano un filtro de RFI hice rápidamente un apañón conectando el filtro entre el enchufe y la fuente sin prácticamente resultado que destacar. Antes de rizar el rizo preparando un blindaje electrostático de la fuente que hiciera de Jaula de Faraday y contuviera el guirigay radiado, me pareció más razonable usar una fuente de alimentación lineal que tenía por el cuarto de radio.

Se trataba de una fuente Grelco de 7-10 A con instrumentos. La compré junto con otros cachivaches hace bastantes años y había estado sin uso. Al encenderla, vi que regulaba la tensión y, al conectar el *router*, el consumo se iba a los 500 mA, cifra adecuada para el equipo en cuestión. Y así viví varios meses totalmente despreocupado.

Hace unas semanas el *router* hizo un extraño y se bloqueó, así que procedí a la maniobra mágica de los informáticos: desenchufar y volver a enchufar. Curiosamente, la tensión pegó un bajonazo hasta unos 8-9 V al desenchufarla, y subió de nuevo a las 12 V al volverla a conectar. Soy partidario del “si funciona, no lo toques” pero, en este caso, oliéndome la tostada decidí “operar”.

Abriendo la caja de truenos

Una vez abierta, además de unas cuantas telarañas y un churrete salino de color blancuzco, me encontré con dos condensadores electrolíticos de filtro en paralelo con una pinta sospechosa, teniendo uno de ellos una especie de gorgoritos resecos junto a los terminales (figura 1). Los valores estaban borrados y una consulta en el foro me dio pistas muy válidas sobre la capacidad de diseño (1.000 $\mu\text{F}/\text{A}$). También encontré esquemas de Grelco que se retrotraían a 1987. ¡Oh! mi fuente era aún más antigua. Esto dice mucho y bueno de esta compañía y sus productos, ya que estamos hablando de una fuente que tiene más de 30 años y está razonablemente bien, a no ser por los achaques debidos de algunos componentes críticos.

La fuente es clásica: se compone de un transformador reductor, seguido de un puente de diodos montado sobre una chapa de aluminio que hace de radiador, dos condensadores de filtro en paralelo que, previsiblemente, eran de 4.700 $\mu\text{F}/25\text{ V}$ cada

uno, y un circuito regulador compuesto por una pequeña plaquita de circuito impreso y dos transistores de paso 2N3055 remachados al radiador. En la plaquita, además del consabido Zener de 6,2 V, había un BC557 haciendo de comparador, así como una cadena de amplificación con un BC547, ¡oh!, ¡qué recuerdos! Un MC140 y los transistores de paso. Los condensadores, de políester, alguno de tipo pijama, que me obligó a rebuscar en mis neuronas más profundas como se leían los valores de capacidad... La primera lección de todo esto es el uso de un Zener de 6,2 V. Esta elección ha sido habitual porque, para fuentes de 12-14 V, es aproximadamente la mitad de la tensión,

lo que da juego para regular y, además, tiene un coeficiente de temperatura muy bajo, haciendo que la tensión sea estable. De hecho, revisando en tablas para diferentes fabricantes, el coeficiente 0 está entre 4,2 y 6,0 V, siendo negativo a tensiones menores, con un mínimo hacia los 3 V y aumentando progresivamente hacia tensiones superiores. La segunda lección la tuve al intentar sacar el esquema del circuito de regulación. Lo que iba a ser un ratito se convirtió en un calvario de varias horas, porque estas fuentes “reguladas por negativo” confunden al más pintado. Y es que, como dice mi amigo Chuck K7QO, “la educación cuesta, lo mires por donde lo mires” (figura 2).

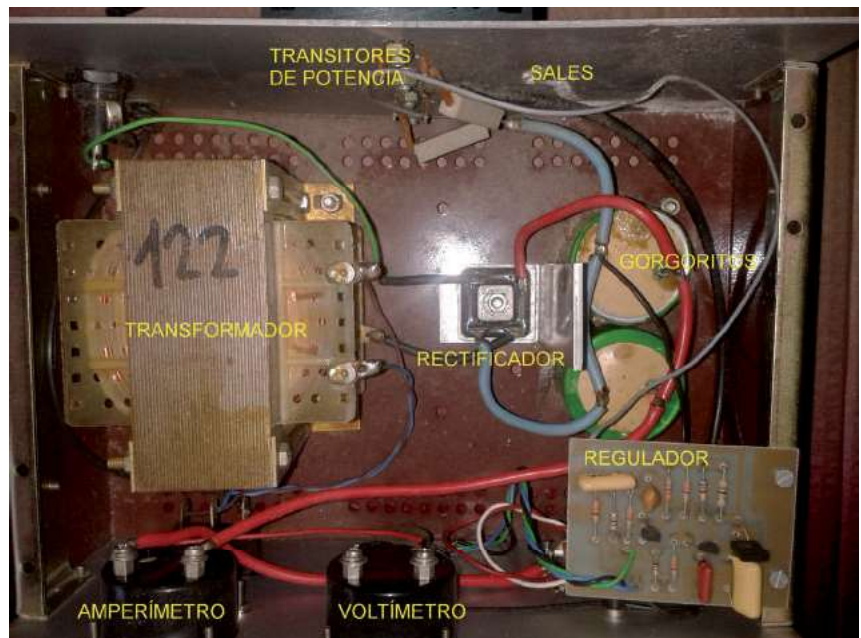


Figura 1. Interior de la fuente

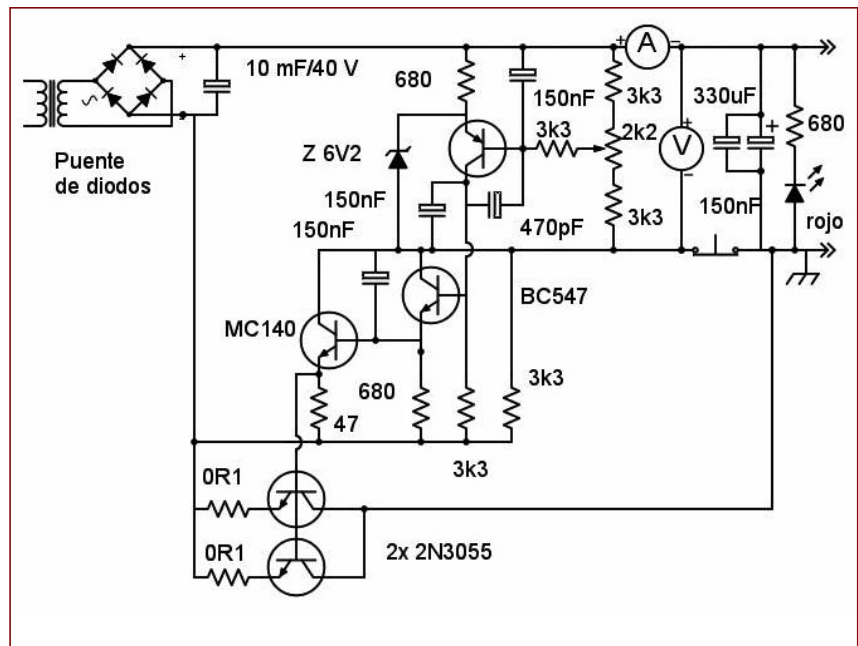


Figura 2. Esquema

Y ahora la reparación, por partes

Estando la fuente desmontada, revisé el circuito de entrada a 220 V (ahora 230 V) y no presentaba problemas, estando los cables y el enchufe en buen estado. Aquí tendría la opción de insertar un filtro de red, pero eso requiere mecanizado, y el sitio es escaso. Después de comprobar que el puente rectificador estaba en buenas condiciones (<http://www.repeater-builder.com/astron/astron-repair/astron-repair.html>), tocaba la tercera lección. Una adición fácil de hacer y que contribuye a reducir el ruido es colocar, en paralelo con los diodos del puente, condensadores de un valor entre 10 nF y 100 nF. ¿Cómo se genera ese ruido? El transformador no es un componente ideal; tiene inductancia y capacidad parásitas que, junto con los diodos del puente rectificador, forman un circuito resonante que puede oscilar a frecuencias elevadas. ¿Y por qué se inicia la oscilación? Porque los diodos rectificadores al conmutar tienen un transitorio de recuperación que sirve para cebar esa oscilación. Al introducir estos condensadores adicionales se baja la frecuencia de resonancia, que ya queda más “a mano” para que el condensador de filtro principal la filtre y reduzca. Si se quiere rizar el rizo, habría que estudiar y caracterizar los componentes, calculando un amortiguador (*snubber*) RC que anularía completamente el efecto. Más detalles en: <http://www.hagtech.com/pdf/snubber.pdf>. El uso de condensadores en paralelo con los diodos es muy habitual en equipos de audio Hi-Fi, donde el ruido puede ser más fácilmente detectable. Por esta misma razón, también suelen colocar con el condensador de filtro condensadores de menor valor, por ejemplo tantalos de 10 $\mu\text{F}/40\text{ V}$ y cerámico de 100 nF. Cada uno de ellos tiene diferentes impedancias a frecuencias elevadas y contribuyen a reducir el ruido. No tengo muy claro que haga mucho, porque no tengo instrumentos tan finos como para observar las diferencias, pero era algo que había leído hace mucho tiempo y que no había aplicado hasta ahora.

Una vez cambiados los condensadores de poliéster de la placa de control y revisados los transistores de paso quedaba por atacar el problema de los componentes dañados: los condensadores electrolíticos del rectificador. La primera operación fue medirlos; a los precios actuales nadie tiene excusa para no disponer de un multicomprobador de semiconductores y LCR que mide capacidades y también la resistencia serie equivalente (ESR). Pero quien no lo tenga puede medir la capacidad con el método de la medida del tiempo de carga en función de la constante de tiempo descrito por EB3DMR en el foro: <https://www.ure.es/foros/tecnico/fuente-meanwell-12v-funciona-mal/#post-308572>. Quien necesite una descripción detallada y una hoja de cálculo (en inglés) para facilitar el proceso lo puede encontrar en: https://www.coilgun.info/mark5/capacitor_bank.htm.

El primer condensador, el de los gorgoritos resecos, estaba tan podrido por dentro que, al poner la punta de prueba en el terminal, este se hundió, dejando un hueco bastante profundo. El segundo se pudo medir, dando una capacidad de, ¡oh!, 1,21 μF y una ESR de 140 Ω . En los esquemas proporcionados por Grelco en 1987 se leía que la capacidad de filtro era de 1.000 $\mu\text{F}/\text{A}$ y que se ponía un transistor de paso 2N3055 por cada 5 A de corriente nominal. En este caso, la fuente estaba marcada como 7/10 A, por lo que le correspondería un filtro de unos 10 mF (10.000 μF). Buscando por casa encontré unas reliquias adquiridas en una oferta: condensadores de 15 mF/40 V. Una medida rápida dio como resultado algo desconcertante: uno de ellos “era un diodo” y en los otros, aunque la capacidad era más o menos la esperada, la ESR estaba por las nubes, ya que era esperable un valor de unas centésimas de ohmio. Recordé entonces dos cosas más que había leído pero en las que nunca había profundizado: la corriente de fuga y el reformado de los condensadores electrolíticos. Tocaba otra lección.

Condensadores electrolíticos

Un condensador está compuesto por dos placas metálicas separadas por un dieléctrico: vacío, aire o materiales plásticos como el poliéster o la mica, etc. Los condensadores electrolíticos se llaman así porque están compuestos por dos láminas de aluminio separadas por una capa de papel poroso impregnado con una solución conductora: el electrolito o electrolito. El papel mojado está en contacto con la lámina negativa y, a los efectos eléctricos, lámina y papel conductor son uno. El dieléctrico es una finísima capa de óxido de aluminio que se forma en la placa positiva durante la fabricación. Como la capacidad aumenta linealmente según va disminuyendo el espesor del dieléctrico, cuanto más fino sea mayor será la capacidad. Generalmente las “placas” son cintas finas que se enrollan y se introducen en cilindros de aluminio. Suelen venir marcados por la capacidad nominal y tolerancia, la tensión de trabajo máxima (que es a la que se ha formado el dieléctrico durante la fabricación) y, en algunos casos, la temperatura máxima de operación y el número de horas de garantía. En los más grandes se suele indicar un código de fecha de fabricación, año y semana, lo que nos da una idea de lo viejito que es. En mi caso, los condensadores tenían el código 8509, lo que indica que se construyeron en la semana 9 del año 1985. ¡Solo tienen 34 años los angelitos!

Desde su fabricación estos componentes comienzan a degradarse. Un condensador recién fabricado de 10 mF, 40 V, 105 °C y 5.000 horas mantendrá estas especificaciones aunque esté todas esas horas en un ambiente a 105 °C. Aunque parecen muchas horas, no llegan al año. Según Arrhenius, cada disminución de 10 °C alarga la duración aproximadamente al doble, por lo que si refrigeramos un poquito el circuito, digamos, a 65 °C, la duración habrá aumentado hasta 80.000 horas, y estamos hablando ya de unos cuantos años (9,1). Si el condensador está en la estantería, sin uso, se degrada también, pero no se recomienda “refrigerarlo” y sí situarlo a un rango de 15-25 °C. Esta degradación es, fundamentalmente, una destrucción de la capa de dieléctrico, que se traduce en un aumento de la resistencia eléctrica en paralelo. Antes de su uso para una aplicación crítica algunos fabricantes recomiendan un “reformado” de 30 minutos. Al aplicar tensión, el dieléctrico se regenera y la resistencia disminuye, pero si es una resistencia muy pequeña se habla de que el condensador está “en corto”: hay una corriente de fuga muy grande, que puede causar fundido de fusibles. Si no los hay y la corriente no está limitada, se produce calentamiento interno, hinchado por los gases generados y, en muchos casos, la explosión del condensador, con un estupendo zambombazo

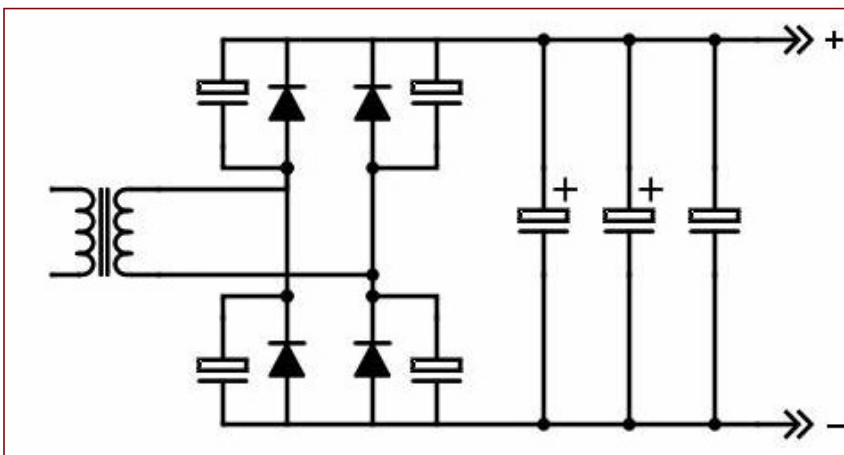


Figura 3. Filtro mejorado

y una lluvia de trocitos de aluminio y papel pingoso. Para evitar el estallido los condensadores modernos tienen el “fondo” del bote de aluminio ranurado: es equivalente a un disco de ruptura en instalaciones de presión. Esas ranuras debilitan la pared y, en caso de aumento de la presión interior, se rajan, limitando el estallido. Una diferencia sustancial entre los condensadores electrolíticos de aluminio y los de tántalo es que estos últimos, al fallar, no se quedan en circuito abierto sino en cortocircuito. Después de dejar escapar el “humo mágico” de su interior o, directamente, de arder, siguen formando parte del circuito; si están en un desacoplo de tipo Rserie-Cparalelo con el circuito alimentado, al entrar en cortocircuito aumenta la corriente en la resistencia. Si esta se quema dejamos al circuito sin tensión pero si no lo hace “tiramos” la alimentación a masa y el circuito deja de funcionar. Los electrolíticos de aluminio también pueden fallar porque se escape o se seque el electrolito interno, disminuyendo mucho su capacidad, lo que se traduce en muchos casos en un peor filtrado y aparición de ruidos de alterna. En esta web se recoge información (en inglés) sobre condensadores: <https://www.repairfaq.org/sam/captest.htm>

Midiendo la corriente de fuga

El medidor de corriente de fuga es una interesante adición a nuestra colección de medidores. En su momento hicieron furor los comprobadores de condensadores en circuito, como los RETEX PC-1 o PACO C-25, y comprobadores más avanzados como el Heathkit IT-28 o el Lafayette TE-46, que incluían medidas de corriente de fuga y todo ello con indicadores por “ojo mágico”. El tema de las fugas en condensadores era el pan nuestro de cada día para los técnicos en reparación y se publicaron muchos medidores que, básicamente, son una fuente de tensión continua y un microamperímetro. Así era el publicado en Radio & Television News de Marzo de 1957, aunque después comenzaron a mejorarse, con fuentes de tensiones múltiples, estabilizadas y limitadas en corriente, como el de Radio Electronics de mayo de 1986, o los más recientes, en Silicon Chip (Australia) de diciembre de 2009 y abril de 2010, más tarde publicados en Inglaterra en Everyday Practical Electronics, y que sustituyen los amperímetros con multímetros externos (https://www.eeweb.com/blog/extreme_circuits/capacitor-leakage-adaptor-for-dmms) o circuitos con microprocesadores y visualizadores LCD. Es curioso ver las gráficas de corriente de fuga de los condensadores de 1957: las escalas están en mA, no en μ A, como los actuales.

El funcionamiento es muy simple: se ajusta la fuente a la tensión nominal del condensador y, a través de una re-

Tipo de condensador	Corriente de fuga máxima (μ A)				
	10 V	16 V	25 V	35 V	50 V
Cerámico, MKT, Mica, poliestireno, papel	Debe ser 0 para estos tipos				
Tántalo < 4,7 μ F	1,0	1,5	2,5	3,0	3,5
6,8 μ F	1,5	2,0	3,0	4,0	6,5
...
47 μ F	10	10	15	16	17
Aluminio < 3,3 μ F	5,0	5,0	5,0	6,0	8,0
4,7 μ F	5,0	5,0	6,0	8,0	12
...	5,0
10 μ F	...	8,0	13	18	25
15 μ F	8,0	11	19	25	48
...
100 μ F	50	230	300	330	420
150 μ F	230	280	370	430	520
...
680 μ F	500	600	780	950	1.100
1.000 μ F	600	730	950	1.130	1.340
...
4.700 μ F	1.300	1.590	2.060	2.450	2.900

Tiempo de estabilización: Tántalo 1 min / Aluminio: 3 min

Tabla 1. Corrientes de fuga máxima (según Silicon Chip Australia)

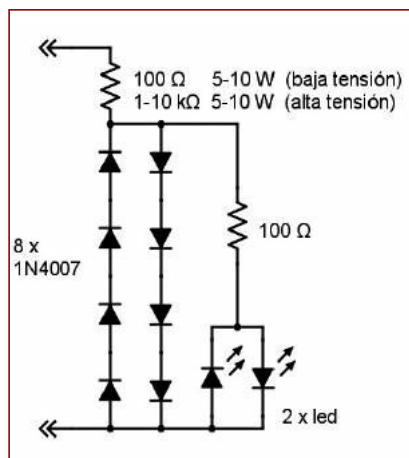


Figura 4. Descargador

sistencia que limita la corriente a unos pocos mA, se carga el condensador. Una vez que la tensión se ha estabilizado (entre 1 y 3 minutos según sea un condensador de tántalo o uno electrolítico, respectivamente) se mide la corriente que circula con un voltímetro en paralelo con la resistencia o con un microamperímetro en serie con la misma: esa es la corriente de fuga. En la tabla 1 se recogen valores de corriente de fuga máxima.

Estos datos provienen de hojas de datos: en algunas se cita como regla mnemotécnica que la corriente de fuga (en μ A) debe ser menor de $0,01 C V$ siendo C la capacidad en μ F y V la tensión nominal en voltios. Otros dicen $0,03 C V$ y he encontrado una referencia a una fórmula compleja: $((0.3CV)^{0.7} + 4) \mu$ A que, según parece, corresponde a la corriente

de fuga después de 5 minutos en carga de acuerdo con la norma EN130300. Epcos, en un documento reciente, usa la siguiente fórmula para sus condensadores electrolíticos: $([0,0005 C V] + 3) \mu$ A, lo que da una idea de la reducción de la corriente de fuga en los condensadores modernos.

Un esquema reciente para condensadores de alta tensión se puede ver en esta web: http://www.angelfire.com/electronic/funwithtubes/Testing_caps.html y la aplicación práctica en esta otra: <http://www.facstaff.bucknell.edu/esantane/restoration/captester.html> que, posiblemente, haya que rescatarla a través de la Wayback Machine: <http://archive.org>.

Es importante descargar los condensadores después de este ensayo. Se puede incorporar un circuito de descarga en el montaje o preparar uno externo que pueda usarse con circuitos que estén en servicio. La figura 4 puede servir para confeccionar un descargador, propuesto por Paul Grohe. La resistencia de potencia limita la corriente de descarga y los diodos permiten obtener una muestra de aproximadamente 2,8-3,0 V que sirve para iluminar un led: cuando este se apaga podemos considerar que el condensador está descargado. Los dos ledes en antiparalelo nos pueden dar una indicación de la polaridad del condensador.

En la segunda parte de este artículo se describirá un medidor simple de corrientes de fuga y un circuito para el reformado, todo ello para baja tensión. ●