

FUENTE CONMUTADA PARA UNA FAMILIA DE ELECTROCARDIÓGRAFOS

A.L. Fernández, M.A. Grillo y E. Medina

Instituto Central de Investigación Digital
Calle 202 No. 1704 Playa C. Habana.
Email: arlem@icid.cu

RESUMEN

En la actualidad resulta muy difícil encontrar un equipo médico que no utilice una fuente conmutada (SMPS, de sus siglas en inglés), o que no incorpore alguna solución de este tipo en su bloque de alimentación. Este trabajo presenta el diseño electrónico de una SMPS con respaldo de baterías de Níquel-Hidruro Metálico (Ni-MH), que se utilizará en una familia de electrocardiógrafos que se están desarrollando en Cuba. Después de obtener el diagrama general de la fuente, se explican los 3 bloques fundamentales que la componen; así como las diferentes pruebas paramétricas y de seguridad eléctrica practicadas a estos. Los resultados de estas pruebas evidencian el correcto desarrollo del bloque de alimentación. Para utilizar en la familia de electrocardiógrafos CARDIOCID.

Palabras claves: Fuente conmutada, SMPS, AC-DC, DC-DC, respaldo de baterías.

ABSTRACT

In current times, finding medical equipment which does not use a switched-mode power supply (SMPS) or any other solution of this kind is very hard. This paper presents the electronic design of a SMPS with nickel-metal hydride (Ni-MH) battery backup, which is devised to be used in a group of portable ECG machines developed in Cuba. After obtaining the general diagrams of this power supply, the three main blocks are briefly explained. Then, the different parametric and electric security tests carried out in each of these blocks are talked about. The results of these tests prove that the development of the required SMPS for the medical equipment produced in Cuba is thoroughly feasible.

Key words: Switched-mode power supply, SMPS, AC-DC, DC-DC, battery backup.

1. INTRODUCCIÓN

El diseño de una fuente de alimentación conmutada para un equipo médico, conectada a la línea de alimentación de corriente alterna o del tipo OFF-LINE, es un proceso bastante complejo. Esto se debe, en gran medida, a los diferentes compromisos entre sus parámetros de tensiones y corrientes máximas de salida, los requerimientos de seguridad eléctrica y de compatibilidad electromagnética (EMC).

En este trabajo se presenta el desarrollo de una solución técnicamente fiable y económica de una fuente de alimentación conmutada, para aplicarse como parte de una necesidad en la producción de una familia de electrocardiógrafos multicanales con formatos de impresión de 50 mm, 100 mm y 200 mm, sin sacrificar los principales requisitos paramétricos y de seguridad eléctrica a cumplir.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Las principales especificaciones de la fuente son:

- Tensión de alimentación de entrada: de 100 V a 240 V (rango universal)
- Tensiones de corriente directa de salida:
 - Salida 1: $(23 \pm 0.3) \text{ V} / 2,2 \text{ A máx}$
 - Salida 2: $(12 \pm 0.2) \text{ V} / 0,3 \text{ A máx}$
 - Salida 3: $(5 \pm 0.1) \text{ V} / 2,5 \text{ A máx}$
- Eficiencia: Mayor del 70 %
- Respaldo de batería: Paquete de Ni-MH tipo AA, de 24 V / 2,7 Ah
- Requisitos de seguridad eléctrica: Fuente para equipo Clase I, Tipo CF [1]
- Requisitos de EMC: Cumple con las normas internacionales de inmunidad a ondas de choque, transitorios rápidos en ráfagas y descargas electrostáticas [2], [3] y [4]
- Dimensiones (anchura x profundidad x altura): (160 mm x 100 mm x 40 mm)

2.1 Metodología del diseño de la fuente conmutada.

La metodología para el diseño es la siguiente:

- a- Definición del esquema general de la fuente.
- b- Definición de la topología y esquema general del bloque de conversión de corriente alterna en directa, en lo adelante AC-DC de sus siglas en inglés.
- c- Definición del esquema general del conmutador electrónico y el cargador de baterías.
- d- Definición de la topología y esquema general del bloque de conversión de corriente directa en corriente directa, en lo adelante DC-DC de sus siglas en inglés.

El esquema en bloques general de la fuente aparece en la figura 1. Donde se destacan los 3 bloques fundamentales: el AC-DC, el conmutador electrónico/cargador y el bloque

DC-DC, que a su vez está formado por 2 bloques, uno de ellos no aislado (DC-DC1) y otro aislado (DC-DC2)

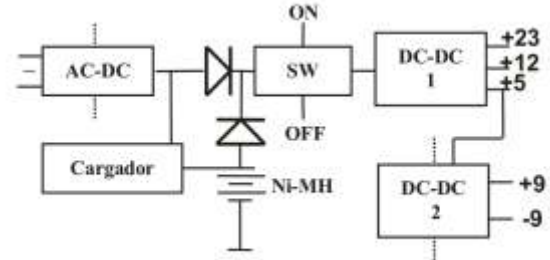


Fig 1. Diagrama en bloques general de la fuente

La potencia total a la salida del DC-DC1 es de 68 W, partiendo de los consumos de cada una de las salidas, más

1,2 W del DC-DC2, quien se alimenta a partir de los 5 V del DC-DC1.

Tomando en cuenta la eficiencia resultante de todo el paso que es de 72 %, se necesitarán aproximadamente 95 W a la entrada. Si a este valor se le suma lo que se necesita para cargar la batería, obtenemos una potencia total necesaria

a la salida del AC-DC de 105 W. De acuerdo a este valor la topología idónea a emplear es la tipo flyback [5].

El esquema en bloques general del AC-DC aparece en la figura. 2, destacándose el filtro contra interferencias en la entrada (EMI), el transformador de ferrita (Transf), el modulador de ancho de pulso más el dispositivo de conmutación (FPS) y el opto-acoplador (Opto). La salida se representa a través del diodo y el capacitor conectados al secundario del transformador. Este último y el opto-acoplador son los que garantizan el aislamiento galvánico entre la salida y la entrada.

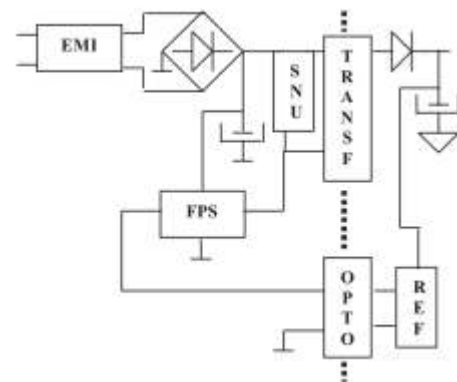


Fig 2. Diagrama en bloques del AC-DC

El conmutador electrónico debe ser capaz de garantizar el encendido y el apagado del convertidor DC-DC, a partir del uso de las teclas ON y OFF en los teclados de los electrocardiógrafos. Debe tener un circuito electrónico que funcione a acciones de teclas tipo push-button, y que mantenga energizado el convertidor DC-DC para la posición de encendido, y desconecte totalmente su alimentación de entrada para la condición de apagado. El cargador de baterías debe tener un esquema electrónico que garantice una corriente de carga máxima de 300 mA, que equivale a C/9, donde C (2,7 Ah) es la capacidad máxima de las baterías tipo AA de Ni-MH que se utilizan como respaldo.

El esquema en bloques general del DC-DC se muestra en la figura 3. Teniendo en cuenta las corrientes que se necesitan en las salidas se seleccionan 2 reguladores conmutados en configuración step-down (Sw1 y Sw2) para las salidas de 5 V y 12 V, y uno lineal de baja caída o low-dropout (LDO) para los 23 V; todos estos formando el DC-DC1. Para el DC-DC2 se utiliza una solución comercial integrada que soporta un aislamiento de 6000 V. Esta solución garantiza la alimentación de ± 9 V a los amplificadores de electrocardiografía (ECG), único bloque en los equipos que tiene conexión con el paciente.

Este DC-DC2 se conecta externamente al resto del bloque de alimentación, aunque forma parte del mismo.

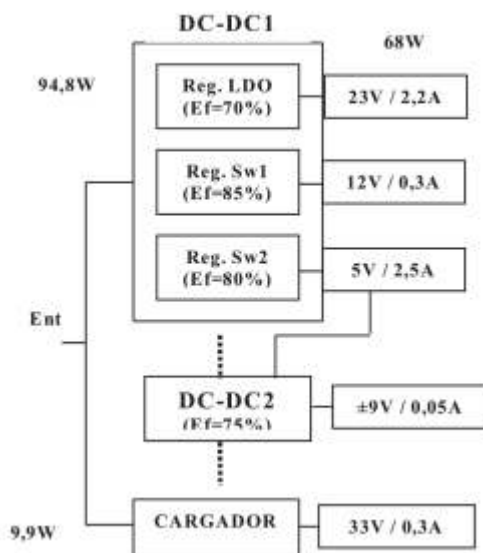


Fig 3. Diagrama en bloques del DC-DC

3. RESULTADOS

Para el diseño del bloque AC-DC en configuración flyback se escoge el dispositivo KA5M0965Q, de la familia de conmutadores de potencia FPS del fabricante Fairchild Semiconductor [6]. Se utiliza el software de diseño SMPS Design Toolkit 1.6 para la obtención de los valores de los distintos componentes, así como el de todas las variables del transformador de ferrita. De acuerdo a la potencia que se necesita, en el orden de los 105 W, se escoge un núcleo EER40 del fabricante Samwha, empleado típicamente en aplicaciones entre 100 W y 150 W.

El principal parámetro evaluado en el AC-DC fue el relacionado con la eficiencia, cuantificándose la misma para potencias medias y altas a la salida, en todo el rango de la alimentación de entrada; así como para variaciones de la potencia de salida en las dos tensiones típicas de trabajo

(115 V y 230 V). Todos los resultados que se relacionan más adelante están amparados en un informe de ensayo interno, por una comisión de ensayo.

La figura 4 muestra la dependencia de la eficiencia ante las variaciones de la tensión de alimentación de AC en un intervalo universal (100 V a 240 V) para una potencia de salida con niveles medios. A partir del análisis de este gráfico se aprecia como la eficiencia se mantiene cercana al 90% hasta 175 V. En este valor comienza a decaer hasta aproximadamente 75% en 250 V.

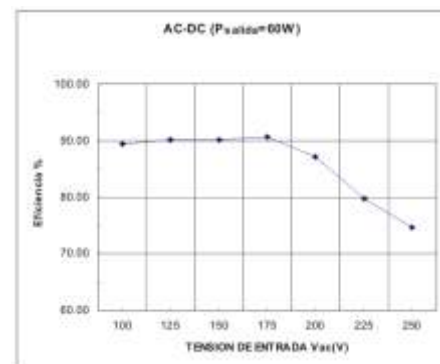


Fig 4. Eficiencia vs Tensión de AC (60W)

En la figura 5 se ofrece el mismo análisis anterior, pero con una potencia de salida de 100 W. En este se aprecia que la eficiencia en todo momento está igualmente por encima de 80% hasta valores de entrada cercanos a 225 V. Sólo por encima de 225 V y hasta 250 V la eficiencia es inferior a 80 %.

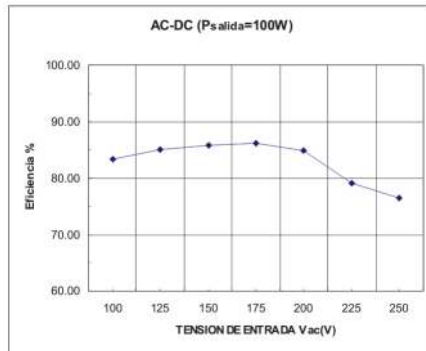


Fig 5. Eficiencia vs Tensión de AC (100W)

La dependencia de la eficiencia con la potencia de salida para una alimentación de 115 V de entrada de AC se muestra en la figura 6. Se quiere hacer notar la alta eficiencia del bloque para esta tensión de alimentación en todo el intervalo de potencia de salida, con valores por encima del 85% en todo el intervalo analizado.

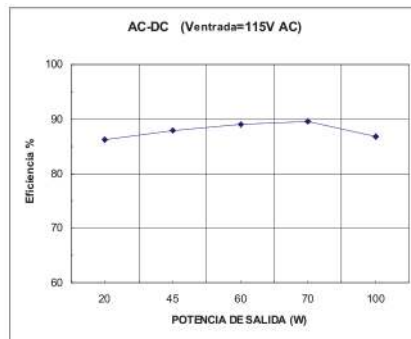


Fig 6. Eficiencia vs Potencia (115V de AC)

En la figura 7 se muestra la misma relación anterior pero para 230 V de entrada de AC. Los valores de eficiencia son inferiores al caso anterior, pero por encima del 70%.

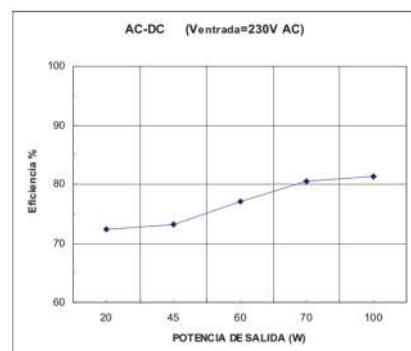


Fig 7. Eficiencia vs Potencia (230 V de AC)

En el caso del DC-DC1, se utiliza el regulador LT1084CP [7] para obtener los 23 V, el regulador conmutado sincronizado LTC1149CN-5 [8] para los 5 V, ambos del fabricante Linear Technology, y por último el regulador conmutado LM2676-ADJ [9] de National Semiconductor para los 12 V. Como DC-DC2 se utiliza una solución integrada de C&D Technologies, el NMS0509 [10].

En el DC-DC1 se hace énfasis en la salida de 23 V, pues es donde más potencia se consume, y por ende la que más incidencia tiene en la eficiencia de este bloque. En la figura 8 se muestra la dependencia de la eficiencia de este paso ante las variaciones de la corriente de salida en un intervalo de valores entre 0,5 A y 3 A, para una tensión de entrada fija de 31,5 V. Se observa que la eficiencia para estos valores de corriente se mantiene por encima del 70%.

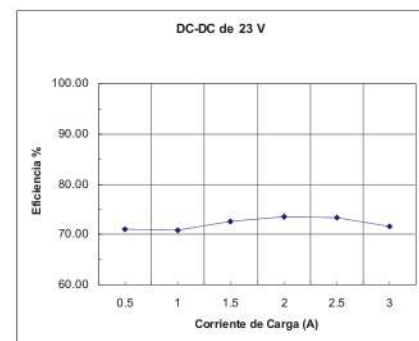


Fig 8. Eficiencia vs Corriente (DC-DC de 23V)

Para el caso del DC-DC de 5 V se hicieron mediciones de la eficiencia del bloque ante variaciones en la corriente de carga para valores de 0,5 A, 1 A y 2 A. Los valores obtenidos se encuentran representados en la figura 9.

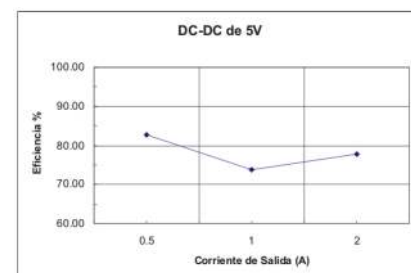


Fig 9. Eficiencia vs Corriente (DC-DC de 5V)

Dada la poca potencia de salida del bloque de los 12 V que es de 3,6 W, no resulta necesario un análisis detallado de eficiencia, pues realmente aporta muy poco a la eficiencia total del convertidor DC-DC. En este caso, sólo se hizo una medición puntual para una corriente de salida cercana a los 0.3 A, lo cuál ofreció una eficiencia cercana al 90% para 33 V de DC a la entrada.

4. DISCUSIÓN

Los ensayos a los diferentes bloques componentes de la fuente resultaron satisfactorios. Las eficiencias de los bloques AC-DC y DC-DC han resultado superiores al 70% que se tiene como requisito mínimo de partida, tanto para variaciones de la tensión de línea como ante variaciones de la corriente de carga a la salida.

Los resultados de las pruebas de seguridad fueron igualmente satisfactorios y sus resultados están controlados por una comisión de Ensayos. En cuanto a las pruebas de EMC se argumenta que no se realizó ninguna comprobación práctica fundamentalmente porque no se cuenta con el equipamiento requerido para desarrollarlas.

No obstante, la solución electrónica empleada para la limitación de las sobretensiones originadas por estos fenómenos ha sido comprobada en equipos anteriores desarrollados en el ICID que han pasado rigurosas pruebas de EMC en laboratorios acreditados de Europa. Todas estas pruebas a las que se hacen referencia se hicieron sobre tres prototipos de la fuente diseñada. Se diseñó el circuito impreso que permitiera el montaje de cada una de las componentes que se proponen para cada uno de los bloques.

Como resultado de estos ensayos se puede afirmar que la fuente diseñada cumple con las especificaciones de diseño y puede ser perfectamente el bloque de alimentación de la familia de electrocardiógrafos multicanales con diferentes formatos de impresión.

5. CONCLUSIONES

Se reafirma el criterio de tener una solución propia a este bloque debido a que no existe una solución comercial que se adapte a las especificaciones eléctricas y mecánicas que se necesitan para servir de bloque de alimentación a la familia de electrocardiógrafos que desarrollan.

Se concibió un diseño electrónico que permitió el montaje y puesta en marcha de prototipos que cumplieron con las especificaciones iniciales de diseño, pasando satisfactoriamente las pruebas paramétricas y de seguridad eléctrica según los estándares aplicables al tipo de equipo para el cual está destinado este bloque.

Se garantizó un intervalo universal en la alimentación de entrada entre 100 V y 240 V de CA, se obtuvieron los niveles de corriente de carga necesarios en las 3 salidas, se comprobó que la eficiencia de los bloques AC-DC y DC-DC supera el 70%, y se concibió un respaldo de baterías de Ni-MH en caso de fallas en el suministro de AC.

REFERENCIAS

- [1] Norma Europea, EN 60601-1: Equipos electromédicos. Requisitos generales para la seguridad, 1993.
- [2] Comité Electrotécnico Internacional: Compatibilidad electromagnética. Parte 4: Técnicas de ensayo y de medida. Sección 2: Ensayos de inmunidad a las descargas electrostáticas: CEI/IEC 61000-4-2: 1995.
- [3] Comité Electrotécnico Internacional: Compatibilidad electromagnética. Parte 4: Técnicas de ensayo y de medida. Sección 5: Ensayos de inmunidad a las ondas de choque, CEI/IEC 61000-4-3: 1995.
- [4] Comité Electrotécnico Internacional: Compatibilidad electromagnética. Parte 4: Técnicas de ensayo y de medida. Sección 4: Ensayos de inmunidad a los transitorios eléctricos rápidos en ráfagas: CEI/IEC 61000-4-4:1995.
- [5] Switchmode Power Supply Reference Manual, On Semiconductor, 1999 (www.onsemi.com).
- [6] KA5M0965Q, Fairchild Power Switch", Fairchild, 2003 (www.fairchildsemi.com/).
- [7] LT1083/LT1084/LT1085, 7.5 A, 5 A, 3 A low dropout positive adjustable regulators, Linear Technology, 1994.
- [8] LTC1149/LTC1149-3.3/LTC1149-5, High efficiency synchronous step-down switching regulators", Linear Technology, 1993.
- [9] LM2676, Simple switcher high efficiency 3 A step-down voltage regulator", National Semiconductor, 2003 (www.national.com).
- [10] Product Data Book, C&D Technologies, 2005. (www.dc4power.com).