

# ALIMENTACIÓN DE EQUIPOS ELECTRÓNICOS A PARTIR DE LA RED: SIMULACIÓN Y ENSAYO DE ETAPAS CORRECTORAS DEL FACTOR DE POTENCIA (PFC)

M. ALBERRO , X. CENDOYA Y J.L SALAZAR

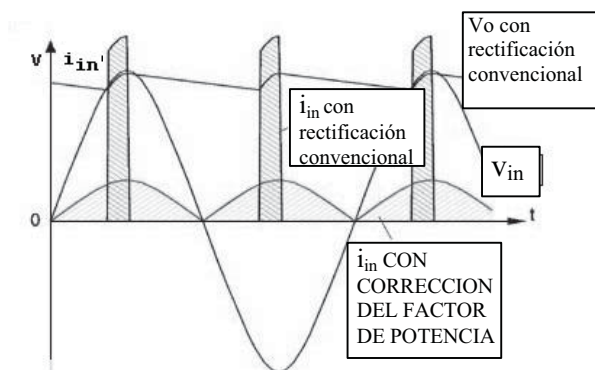
Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de San Sebastián. Universidad del País Vasco. Donostia/San Sebastián. España. <http://www.ehu.es> E-mail: [jtpsasaj@sp.ehu.es](mailto:jtpsasaj@sp.ehu.es)

*En este documento se describe la utilización de una aplicación destinada a reducir el efecto negativo en el factor de potencia de la distorsión de corriente en las alimentaciones clásicas a partir de la red. Esta aplicación será analizada mediante un simulador especializado adecuado a la dificultad que presenta la observación de la respuesta en baja frecuencia de un circuito modulado en alta frecuencia como la etapa PFC. Finalmente se evaluará la respuesta de un prototipo de laboratorio empleando un Analizador de Potencia.*

## 1. Introducción

La mayoría de las alimentaciones de circuitos electrónicos, a partir de la red monofásica doméstica, emplean un rectificador en puente y un filtrado capacitivo en las etapas previas. Como es sabido, este tipo de circuitos consumen una corriente pulsante, produciendo un elevado nivel de armónicos. La corriente distorsionada y el reducido Factor de Potencia (PF) que de ello resulta, redundan en una utilización ineficiente de la red.

El proyecto de norma europea EN 61000-3-2 elaborado por el CENELEC, define unos límites al contenido armónico de las corrientes consumidas por los equipos electrónicos alimentados a partir de la red. Para cumplir esas previsiones, los nuevos diseños deben incorporar una etapa activa, que actúe al tiempo como Correctora del Factor de Potencia, conocida con las siglas PFC.



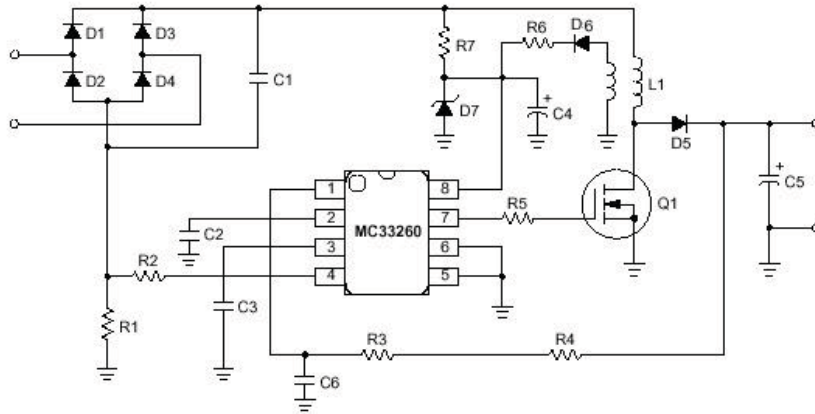
**Figura 1:** Formas de onda de Tensi3n y Comparaci3n de Corrientes de entrada

Una alimentaci3n que incluye correcci3n del factor de potencia es un rectificador activo que absorbe una corriente quasi-sinusoidal de la red (v. Figura 1).

Este trabajo persigue adem3s alcanzar un objetivo did3ctico mediante la descripci3n del empleo sucesivo de dos t3cnicas habituales en un laboratorio de electr3nica de potencia, como son la simulaci3n de circuitos y el ensayo de prototipos.

## 2. Implementación de una etapa PFC

Una etapa PFC se basa en la utilización de un convertidor cc/cc elevador “boost” situado entre el rectificador de entrada D1 a D4 y el filtro de salida C5 y está constituido por una bobina L1, un transistor troceador Q1 y un diodo de bloqueo D5 de la tensión del condensador de salida, como se refleja en la Figura 2 .

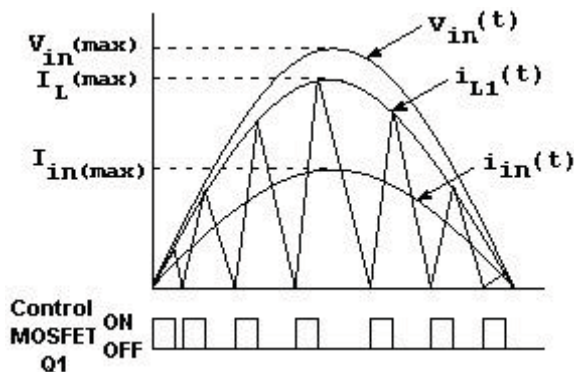


**Figura 2:** Circuito PFC con modulador comercial en modo discontinuo

El controlador aquí empleado MC33260 [1] de Motorola está diseñado para operar en modo límite de conducción continua de corriente y a frecuencia de conmutación libre. Con ello se asegura que la corriente en la bobina L1 caiga a cero antes de iniciar un nuevo ciclo por lo que la conmutación entre el diodo de salida D5 y el transistor Q1 se producirá a corriente cero evitando las pérdidas de recuperación inversa del diodo.

*Tabla 1 : Descripción de componentes del circuito de la Figura 2*

C1	Condensador de filtro de entrada	R1	Resistencia shunt de control de corriente
C2	Condensador de desacoplo del control de tens.	R2	Resistencia de protección de sobrecorriente
C3	Condensador externo de temporización (osc.)	R3-R4	Resistencias de realimentación/reg. de tensión
C4	Condensador auxiliar de alimentación	R5	Resistencia de puerta del transistor conmutador
C5	Condensador de filtro de salida		



**Figura 3:** Modulación de la Corriente.

La operación en Ton fijo asegura una corriente de entrada  $I_{in}$  cuyos valores de pico forman una envolvente sinusoidal cuyo valor de pico está limitado al doble de la corriente media de entrada (v. Figura 3). En el circuito del convertidor [2] se cumple:

$$v_{in}(t) = V_{in(max)} \sin(\omega t) = L \frac{di_L}{dt} \quad (1)$$

de donde:

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{1}{L} V_{in(max)} \sin(\omega t) \quad (2)$$

Si se adopta una modulación con  $t = T_{ON}$  constante, se tendrá que :

$$I_{in(max)} = \frac{2P_o}{\eta V_{in(max)}} = \frac{\sqrt{2}P_o}{\eta V_{in(rms)}} \quad (5)$$

$$i_L(t) = \frac{T_{ON}}{L} V_{max} \sin(\omega t) \quad (3)$$

la corriente de la bobina tendrá una envolvente sinusoidal en fase con la tensión de alimentación.

La corriente de pico de la bobina se valorará, para el valor más bajo posible de la tensión de entrada, por la expresión:

$$I_{Lmax} = 2I_{in(max)} = \frac{2\sqrt{2}P_o}{\eta V_{in(rms)(min)}} \quad (6)$$

Además, se cumple que:

$$P_o = \eta P_{in} = \eta \frac{V_{in(max)} \cdot I_{in(max)}}{2} \quad (4)$$

El valor de  $T_{ON}$  constante se calculará (Ec.3) por el tiempo necesario para que la corriente  $i_{L1}$  alcance su valor de pico:

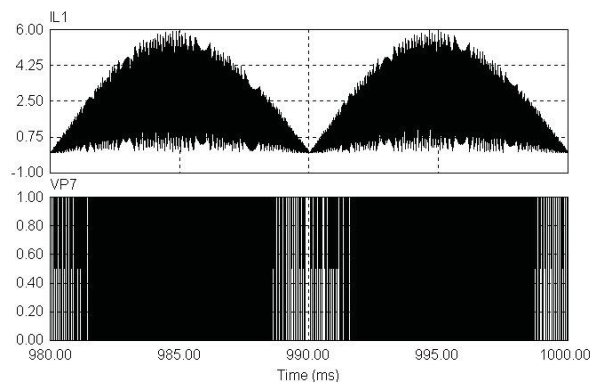
$$T_{ON} = \frac{L \cdot I_{L(max)}}{V_{in(max)}} = \frac{2P_o L}{\eta V_{in(rms)}^2} \quad (7)$$

de donde se obtiene el valor de pico de la corriente de entrada con la expresión:

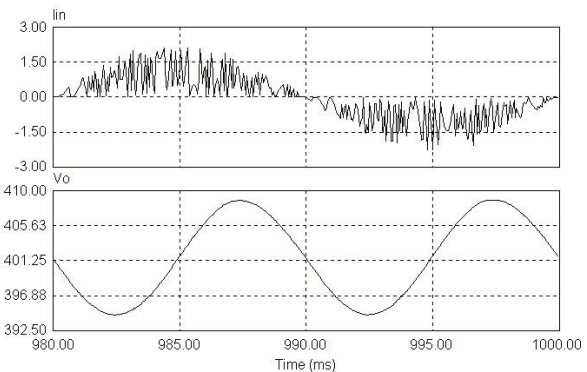
## 2.1 . Simulación del comportamiento de la etapa PFC

La simulación de convertidores de potencia alimentados por la red, como es el caso de Fuentes de alimentación conmutadas o el que nos ocupa, plantea la dificultad de observar una respuesta de baja frecuencia modulada en alta frecuencia. Por ello, si se utiliza un simulador convencional como SPICE, de tiempo de paso “time-step” variable para poder registrar las transiciones rápidas, se tendrá un tiempo de cálculo excesivamente largo. El volumen de datos computados con ese simulador de aplicación general hace que el estudio del comportamiento de tales circuitos sea un penoso proceso.

El simulador recomendado PSIM [3] utiliza un time-step fijo y considera todos los elementos ideales (aunque las características reales más significativas pueden todavía considerarse como elementos de circuito) con el fin de generar menor cantidad de datos. PSIM consta de dos partes: SIMCAD dedicado a la captura de esquemáticos y SIMVIEW dedicada a visualizar las formas de ondas generadas durante la simulación del esquema SIMCAD [4]



**Figura 4:** Corriente por la bobina  $i_{L1}$  y tensión de control ON/OFF para entrada reducida  $V_{in(min)} = 85V$  resultando  $I_{Lpk} = 6A$



**Figura 5:** Corriente de red y ondulación de salida  $V_{in} = 230V$   $V_o = 400V$   $\Delta V_{o pp} = 15V$

### 3. Ensayo de un prototipo de etapa PFC

Un circuito prototipo de evaluación [5] se ha empleado para analizar el comportamiento real de una etapa PFC con el controlador UCC3817 [6] de T.I. operando con modulación de corriente en modo continuo. La frecuencia de conmutación es elevada (90 MHz) y la onda de corriente de red casi perfectamente sinusoidal. Se ilustran resultados en las Figuras 6 y 7.

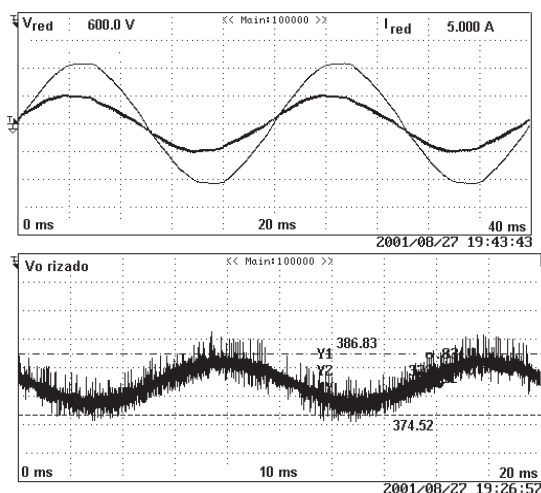


Figura 6: Ondas de red y Rizado de la tensión de salida  $V_o$  (100 Hz)

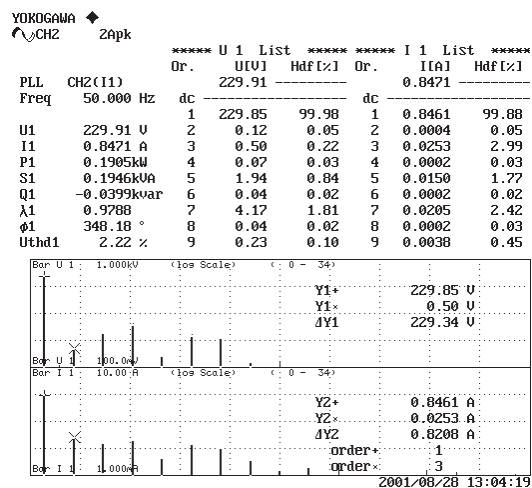


Figura 7: Análisis armónico de la tensión y corriente de red de la Figura 6.1

### 4. Conclusiones y Agradecimientos

El simulador PSIM resulta una herramienta capaz de efectuar un análisis del circuito PFC y presentación de resultados incluso de ondas de baja frecuencia moduladas en alta frecuencia todo ello en un tiempo de proceso moderado/corto en PC actuales.

La evaluación del circuito PFC real muestra una onda de corriente de red con contenido armónico inferior a los límites exigidos por la norma.

Los autores desean agradecer el apoyo económico prestado por la Universidad del País Vasco [Proyecto UPV147.263-TA013] en la realización de este trabajo.

### Referencias

- [1] On Semiconductor (Motorola) Product Preview "Innovative Circuit for Cost Effective Solutions" October, 2000 - Rev.3 <http://onsemi.com>
- [2] M.H. Chew , On Semiconductor (Motorola) Application Note "Greenline™ Compact Power Factor Controller MC33260" February 2000- Rev.0.<http://onsemi.com>
- [3] Powersim Technologies PSIM: <http://www.powersimtech.com>
- [4] Ch. P. Basso , Switch-Mode Power Supply SPICE Cookbook, McGraw Hill 2001
- [5] SLUU077A BiCMOS Power Factor Preregulator EV User's Guide . September 2000
- [6] SLUS395D Product Information Unitrode Products from Texas Instruments UCC3817 October 2000