

# 瞭解PFC對實現高效能 至關重要

PFC的各種控制方案都是為了滿足不同系統的需要而開發的，但總目標都是降低輕載下的開關損耗和較重負載下的導通損耗。

文/Joel Turchi

**幾**乎每個人都意識到需要使效能最佳化，無論是力求在高能源價格時代限制成本的消費者和企業營運商，還是期望滿足日益複雜要求和眾多標準的設計人員。如果未以浪費能源的高成本為動力，那麼產生能量對環境的影響就會隨著熱量的增加而成為越來越顯著的問題。

認知到需要改進，各國政府和產業協會都制定了書面標準，在某些情況下必須在產品投入至市場前就先滿足這些標準。關注成本或有環保意識的客戶在做出購買決定時會依賴這些標準，以確保他們購買的是高效能產品。

需要解決的一個關鍵領域是功率因數調整級（Power Factor Correction；PFC），包括電磁干擾（Electro-Magnetic Interference；EMI）濾波器。

## 高效能不僅僅在單一點

對於任何與電源有關的應用，效能一直是個問題，也是製造商在其規格中規定的一個參數。然而在過去，高效能被認為是單一點最好的可能數字，通常在滿載負荷的75%左右。

因此，製造商將注意力集中在這一負載水準，以提高

他們所認知的產品效能。但實際上器件在這個功率水準上只工作一小部分時間。在實際應用中，特別是具有動態負載的應用，這代表實際能效遠遠低於預期。

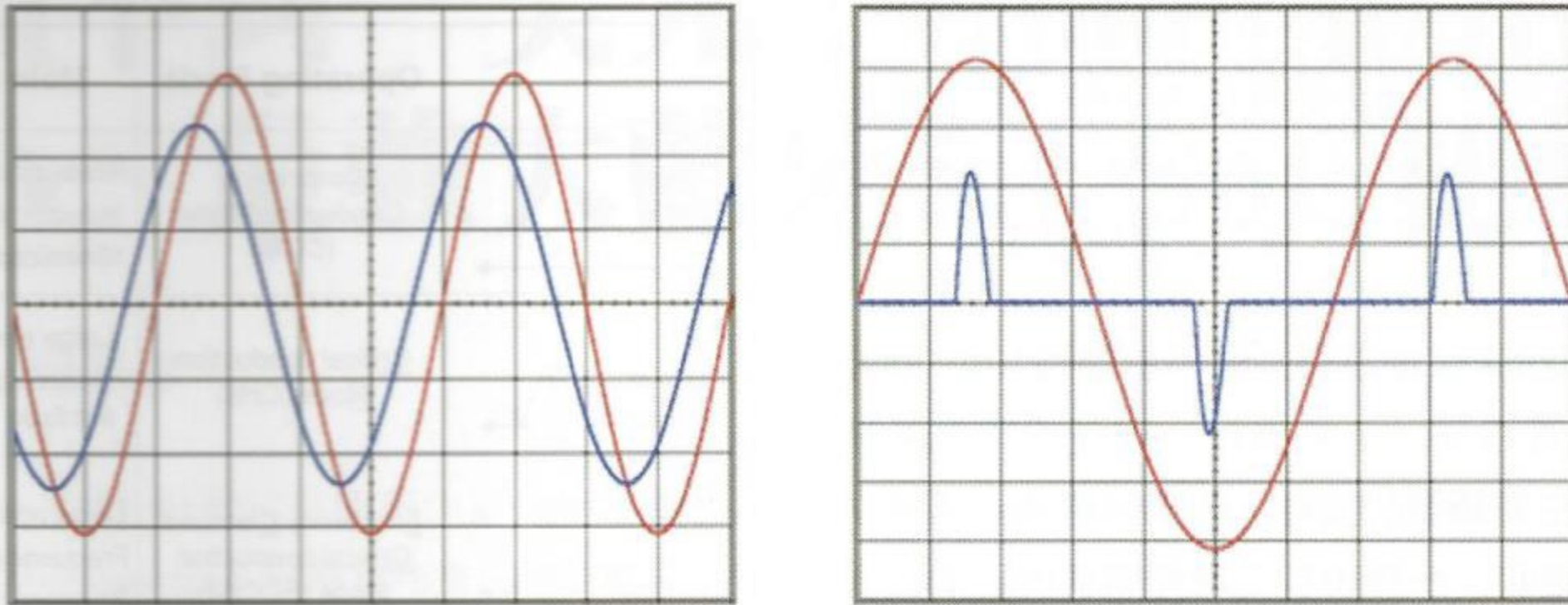
為解決這種情況，現代能源標準考慮的是整個能效曲線的性能，而不僅僅是曲線上的最佳點。因此，設計人員正在研究如何設計電源轉換系統的關鍵元件，以在低負載和中等負載水準下運作得更好。最關鍵的一個領域是PFC和EMI濾波器，二者共消耗高達8%的輸出功率。

## PFC概述

電力公司的供電電壓總是正弦的，但線路電流的波形和相位取決於所供電的負載。對於最簡單的電阻負載，負載電流也是正弦的，並且在相位上使功率易於計算。

如果負載中有無功元件（reactive element），如電感或電容器，則負載電流保持正弦，但相移與電壓有關。在這種情況下，有效功率（也稱為「實際」或「平均」功率）像以前一樣計算，但要乘以相角（「位移因數」）的餘弦。無功負載越多，有效功率越低。

非線性負載的情況更複雜，例如整合一個二極體電橋



▲ 圖一：無功負載(左)和非線性負載(右)的電壓(藍色)和電流(紅色)

和大輸入電容典型開關電源的輸入級。在這裡，電流是一系列浪湧尖峰，計算功率要使用傅立葉轉換 (Fourier transformation)。

平均兩個正弦波的乘積需要複雜的計算，只有當兩個波形具有相同的頻率時，才能給出一個非零的結果。但由此可以得出，只有基本分量能提供真正的功率，而諧波只產生無用的迴圈電流。

與位移因數類似，失真因數模擬失真（非正弦）波形對實際功率的影響，將實際功率定義為均方根電壓、均方根電流和這兩個因數的乘積。進一步分析將展示總諧波失真 (Total Harmonic Distortion; THD)。

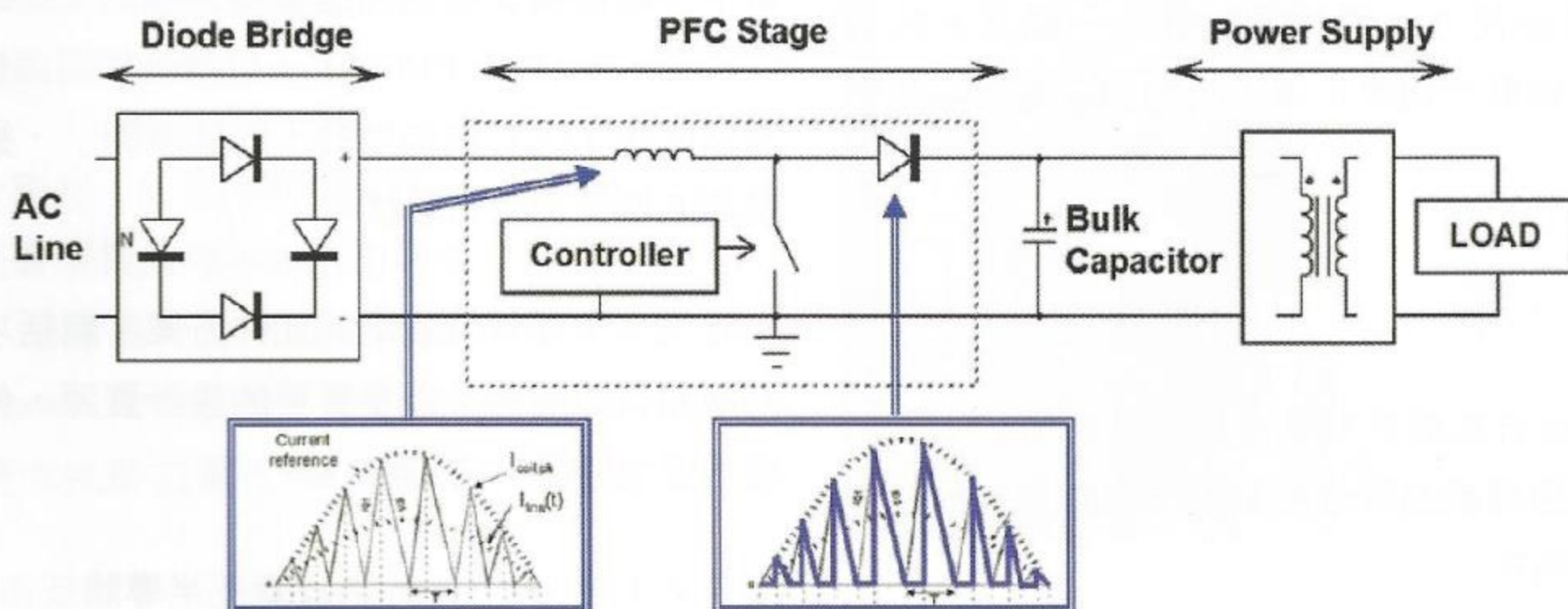
實際上，系統的功率因數只是位移和失真因數的乘積，因此，真正的功率是均方根電壓、均方根電流和

功率因數的乘積。

### 調整功率因數的實用方法

涉及PFC的主要標準是EN 61000-3-2，這是為了最小化從電網提供的任何電流THD而編寫的，透過定義從第二次到第四十次的所有諧波最大幅值來進行。PFC的要求也在其他文件中（例如能源之星規範—Energy Star）有所提及，許多人認為這引發了PFC技術普遍用於許多應用。

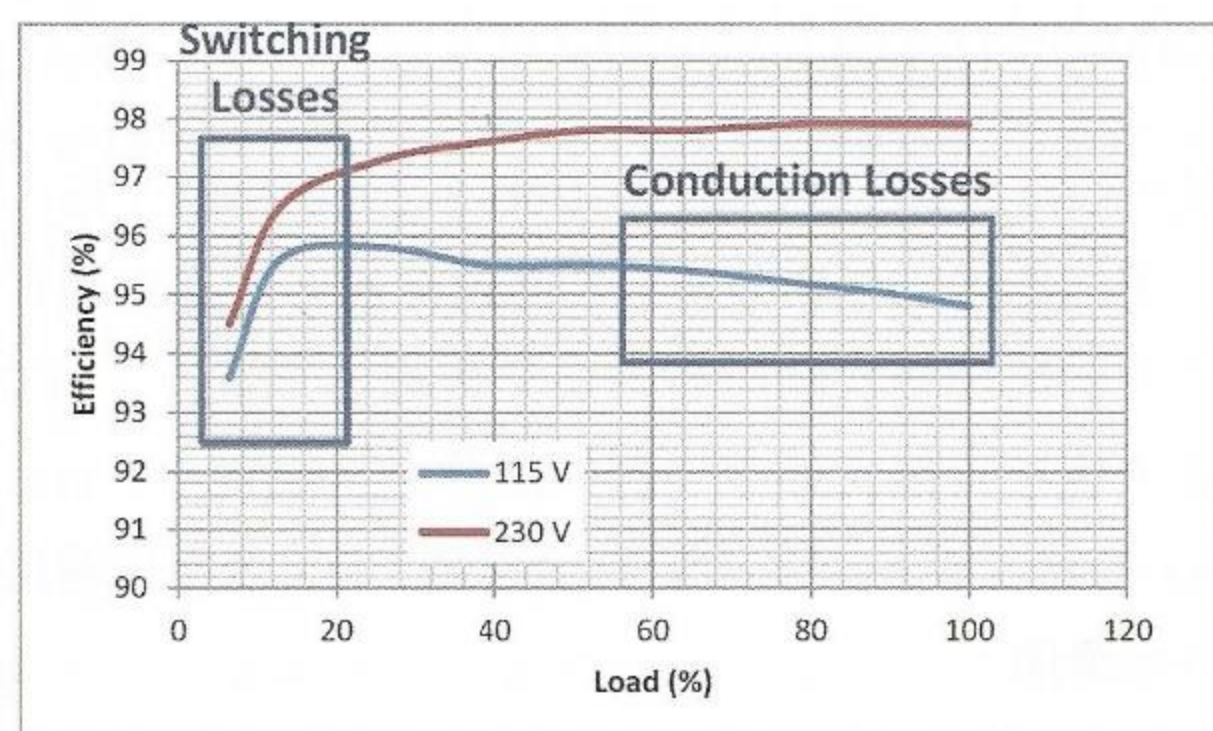
到目前為止，用於滿足這些標準最常見（和最有效）的PFC是主動式PFC。一種典型的方法是在輸入整流橋和大電容器之間添加一個PFC前置穩壓器，以提供恆定的電壓，同時確保電流波形是正弦的。



▲ 圖二：PFC在二極體電橋和大電容器之間

這種方法除了明顯提高功率因數外，還有許多好處。從PFC輸出的通常是一個調節得相當好的400V，這使得下游轉換器的設計更容易，成本更低。另外，無脈衝電流降低了EMI濾波要求，減少了體積和成本。

然而，這種類型的PFC前置轉換器不能達到100%的能效，因此，確實造成了系統損耗。在任何電源系統中，都有兩種主要類型的損耗，開關和導通。導通損耗是兩種損耗之和：一種由於二極體電橋的正向電壓等因素與系統功率成正比，另一種與系統功率平方成正比，進而構成阻抗損耗如MOSFET的導通電阻。在較高的功率水準下，後者對能效的影響最大。



▲ 圖三：開關和導通損耗構成電源系統的總損耗

另一方面，開關損耗很大部分與電流成正比，因此與傳輸的功率成正比。而其它部分是恆定的，與系統的功率無關。它們是由寄生電容和電荷電流引起的，通常與系統的開關頻率成正比。隨著設計人員增加運作頻率以減少系統尺寸，開關損耗成為一個更大的挑戰，特別是在較低的功率水準下，它們在能效損耗中占相當大比例。

## PFC控制方案

PFC的各種控制方案都是為了滿足不同系統的需要而開發的，但總目標都是降低輕載下的開關損耗和較重負載下的導通損耗。

	Operating Mode	Main Features
	Continuous Conduction Mode (CCM)	Always hard-switching Inductor value is largest Minimized rms current
	Critical conduction Mode (CrM)	Large rms current Switching frequency is not fixed
	Frequency Clamped Critical conduction Mode (FCCrM)	Large rms current Frequency is limited Reduced coil inductance

▲ 圖四：初級單路PFC運作模式

如圖所示，有三種基本的控制方案。連續導通模式（Continuous Conduction Mode；CCM）在固定頻率工作並限制電感電流紋波，同時支援更高損耗。它通常用於較高功率系統（>300 W）。

臨界導通模式（Critical conduction Mode；CrM）在電感電流降到零時開始一個新的開關週期，進而快速恢復二極體。這導致可變開關頻率具有較大紋波電流。這種簡單而低成本方案廣泛用於包括照明在內的低功耗應用。隨著低導通電阻的MOSFET越來越普遍，CrM正用於更高功率的應用中。

頻率鉗位元臨界導通模式（Frequency-Clamped Critical conduction Mode；FCCrM）是在幾年前由安森美半導體推出的，用以限制CrM下的擴頻。在頻率最高的輕載下，運作模式改為非連續導通模式（Discontinuous Conduction Mode；DCM），以降低開關損耗。額外的電路解決了DCM中典型的「死區時間」，進而確保當前的波形是正確的形狀。

安森美半導體提供廣泛的元件方案，包括功率因數控制器和電源開關，以及重要的設計資源，使設計人員有把握地開發PFC方案。■

（本文作者Joel Turchi為安森美半導體技術人員）