

## 一种无 APFC 的全压开关电源设计方案

本文提出一种解决全电压的大功率电源方案，采用自动倍压方式，对输入电压进行实时检测，并根据电压等级确定是否进行倍压处理，以满足全电压自适应要求。同时结合过零检测电路，可实现在无 NTC-负温度系数电阻状态下的零压零流启动，有效扼制浪涌电流，提高系统可靠性和耐用性。此外，能满足“能源之星”的待机功耗要求，增强了技术竞争力的同时，可满足了节能环保的要求。低成本、易实现、功能强、节能环保的特点，使得该方案具备较强的商用性。

### 1. 引言

相对于传统线性电源，开关电源拥有体积小、重量轻、效率高等方生俱来的优势。因此近些年，研究开关电源的人越来越多，相应的技术也层出不穷。研究成本低廉、性能可靠、兼容性强的开关电源成为众多电源设计工程师不断努力的目标。本文针对大功率开关电源提出一种无 APFC 的低成本全电压设计方案，该方案使用自动倍压方式有效减小火牛直流输入电压的范围，从而大大降低电源成本。

### 2. 全压电源

统计全世界交流电压，可以将电压分为：

日本为代表的 100V, 美国为代表的 120V, 墨西哥为代表的 127V, 中国为代表的 220V, 欧洲多为 230V, 澳大利亚 240V. 因此，世界各国电压分布在 100V-127V 和 220V-240V 两个电压段。即若能满足这两个电压段要求的开关电源，即可认为是全电压开关电源。实现全压的开关电源目前大致可分为：普通无级式、APFC 无级式、自动倍压式。

#### 2.1 普通无级式

普通无极开关电源在小功率开关电源中应用非常广泛。在小于 300W 的小功率段，设计者通常在兼顾结构和成本的前提下，采用 100-240V 的全段电压方案。虽然结构简单，但对功率器件（如：火牛、开关管、整流管）则提出了较高要求。由于在一定范围器件参数的提高对于价格并无太大影响，使得在小功率段具备相当的性价比的。随着功率上升，电源对各部分的功率器件提出了新的要求，这个要求在价格上和技术上都有较大的困难。

#### 2.2 APFC 无级式

APFC 是主动式 PFC, 使用专用 PFC 控制器。

电路功率元件由标准的 boost 电路组成，通过电压和电流的双重反馈，其中电压位于外环，而电流位于内环。因此，APFC 在保证输出端恒定电压的同时，使得电流的波形为正弦波。

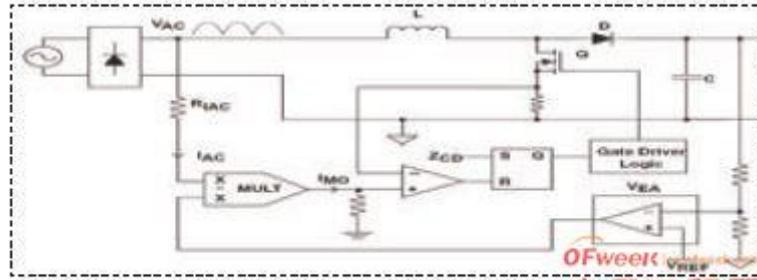


图1-1 APFC基本原理图 电子工程网

APFC 带来的好处也是显而易见：①较大的提高功率因数；②可以兼容输入 100-240V 全段电压；③EMC 方面有很好的改善。不足之处：

①体积和重量有所增大；②电源成本大概有百分之五十的上升。

### 2.3 自动倍压式

鉴于手动操作的种种弊端，以及世界各国电压规律，自动倍压式在手动倍压式基础加以改进，实现了低电压国家输入电压的自动切换。自动倍压开关可以采用继电器、MOSFET、IGBT、可控硅。由于该设计应用在 50-60Hz 的工频条件下，考虑过零要求，以及生产成本。

选用可控硅作为开关切换器件。可控硅在成本上有着极大的优势，而响应速度又能满足要求。

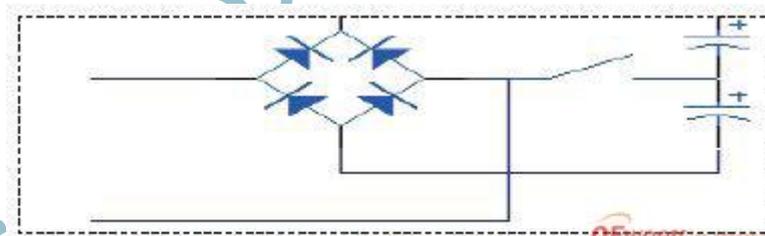


图1-2 基本自动倍压全压电源 电子工程网

## 3. 系统结构及原理

电源基本指标：额定输出 1200W，峰值功率 2400W；输入电压可 AC100-127V 和 220-240V；输出电压为 DC160V。系统满足全电压兼容的同时，兼具备低于 0.3 瓦的超低待机功耗能力。

### 3.1 系统结构

整机系统可分为主电源部分用来给功放部分提供电力。辅助电源提供初级控制电路和次级控制电路使用。控制器用来实现自动电压识别及倍压功能，同时结合 MCU 实现遥控唤醒系统功能。AC 转 DC 的整流部分，辅助电源与主电源设计成

独立供电方式。在待机模式中辅助电源脱离主电源整流部分，这样为低待机功耗提供了硬件基础。

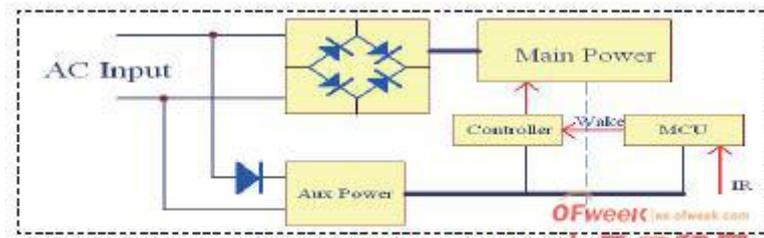


图2-1 案例系统结构 电子工程网

## 3.2 主电源

### 3.2.1 主电源设计

主电源采用移相全桥拓扑。全桥电路易于实现大功率的输出，而移相全桥作为全桥电路的改良版本，在整机效率方面更具备优势。桥式电路中串入谐振电感，谐振电感与MOS管的寄生输出电容 $C_{oss}$ 之间谐振。从而在MOS管开启之间使得DS端电压为零，实现零压开启。因为实现了MOS管的零压开启，降低了驱动电路以及MOS管 $Q_g$ 常数的要求，使得器件成本也随之降低。使用双象可控硅作为倍压开关。单向可控硅可断开整个主电源的供电。当可控硅完全断开时，整个主电源电路上所有器件均无电流环路，除去可控硅本身极小的漏电流，主电路无功损耗损失。

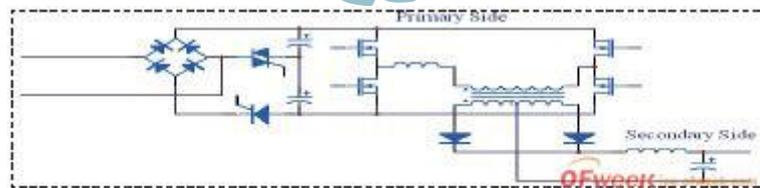


图2-2 主电源结构原理图 电子工程网

### 3.2.2 倍压结构和原理

倍压方式与手动倍压原理一致，当交流电压处于1、2象限时，电流流向为（红色轨迹）： $AC+ \rightarrow D1 \rightarrow CAP1 \rightarrow K \rightarrow AC-$ ，电源给电容 $CAP1$ 充电，其电压将达到交流峰值；当交流电压处于3、4象限时，电流流向为（绿色轨迹）： $AC- \rightarrow K \rightarrow CAP2 \rightarrow D4 \rightarrow AC+$ ，电源给电容 $CAP2$ 充电，其电压也将达到交流峰值。因此，整流后的电压将会双倍于开关断开状态的电压。

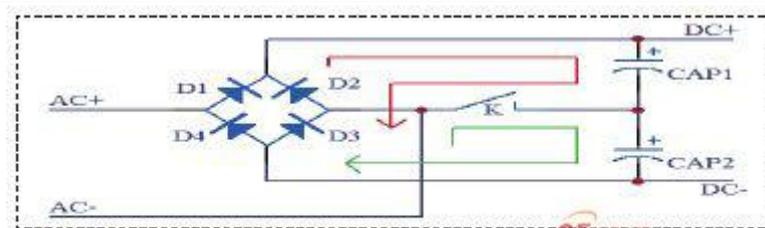


图2-3 倍压原理示意图 电子工程网

AC 输入电压为 AC100V-127V 和 AC220V-240V. 由公式可知整流输出后电压范围为:

DC283-DC360V. 充分考虑器件分压: 如电容 ESR、开关管压降、EMI 器件压降, 可以认为在重载情况下整流导通约为 60 度, 电压取值可以认为在: DC245V-DC360V. 相对于普通全压电源电压取值范围 (将达到: DC122-DC360V) 有大幅度衰减。

### 3.3 辅助电源

辅助电源采用反激 RCD 拓扑。辅助电源为所有控制电路提供电力, 由于整体要求功耗低于 15W, 选用反激拓扑结构的集成方案实现。

无论在体积和成本控制均为理想的选择。集成方案中常引入了‘打嗝’模式很容易将功耗控制在 0.3W 以内。

### 3.4 控制电路

过零逻辑电路、倍压逻辑电路、可控硅驱动电路等组成控制电路。由于使用单向可控硅和双向可控硅相结合可以切断整流后级电路 (包含滤波电容), 理论上后级电路零功耗。

结合辅助火牛, 整机待机功耗可轻易控制在 0.5W 以内, 满足‘能源之星’的要求。

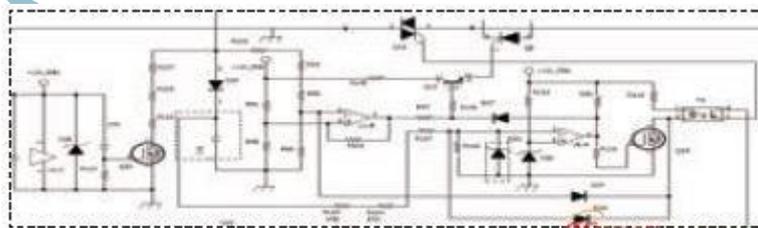


图2-4 控制电路原理图 电子工程网

#### 3.4.1 过零电路

由于没有 NTC 的阻流作用，控制电路还须实现 ZVS 控制。倍压控制逻辑和 ZVS 控制逻辑必须保持同步。驱动电路则使用光耦进行隔离驱动，有效避免可控硅驱动电位不一致的问题。

图 2-4 中比较器 U1-B 可实时监测过零状态，同时为避免多次过零判断，加入 R101 完成过零逻辑自锁。图 2-5 和 2-6 为实测电压和电流波形。

其中图 2-5 为使用 NTC 限流电路，在电源开启瞬间电压和电流波形。图 2-6 为零压开关电路，电流得到很好的控制，电流有一个从 ‘0’

开始变大的过程。浪涌电流也低于 NTC 限流电路，浪涌电流得到明显的控制，且不受开机间隔的限制，可以任意开关次数和频率的限制，效果非常明显。

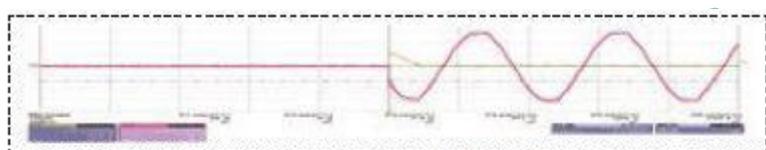


图2-5 有NTC开机波形

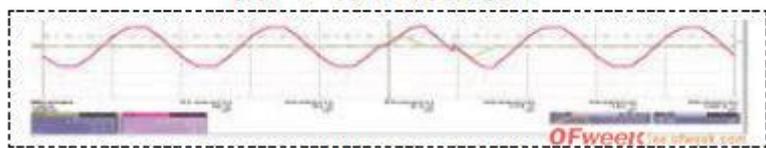


图2-6 无NTC带过零开机波形

自动倍压逻辑先于过零逻辑产生。图 2-4 中，比较器 U1-A 实时监测输入电压，其输出逻辑与过零逻辑为 ‘与’ 的关系。倍压逻辑电路一方面要能够根据输入电压自动实现倍压操作，同时要能够有效的防止干扰性波形，引起系统不必要的动作甚至误操纵的可能。如：当负大幅度波动时所带来的输入电压的波动，而这种波动是在一定范围内活动的，所以只需对门限进行设定，便可以允许一定范围内的电压波动。而在开机过程中需要避免的是电路需要避开电压上升过程带来的倍压误操作和关机过程中，电压的正常下跌时倍压的误操作。快速开关操作过程中，可能存在的倍压误操作。

### 3.4.3 可控硅驱动

双向可控硅的驱动方面对工作象限较为敏感。令驱动电压方向为横轴，电流方向为纵轴。对于双向可控硅而言，最佳工作象限为一象限其次是二三象限，第四象限通常不推荐。

工作在第四象限的区间内，可控硅的损耗达到最大，而且对于  $di/dt$  的承受应力也急剧下降。

因此，采用下图的二三象限工作区间，既可保证可控硅的良好性能，又能简化驱动电路。

#### 4. 结论

此电源拥有自动倍压、无 NTC 以及超低待机功耗的特点于一身。为追求环保的大功率开关电源提出了一种新的设计思路，给出了一种新的解决方案，具备较强的实用性和商用性。

OFweek 电子工程网