

文章编号:1671-251X(2012)03-0041-04

DOI:CNKI:32-1627/TP.20120307.1657.014

两种高功率因数开关电源设计的比较

郑征, 陈迪蕾

(河南理工大学电气工程与自动化学院, 河南 焦作 454003)

摘要:针对传统开关电源因输入电路采用不可控二极管或相控晶闸管整流而存在输入电流谐波含量大、功率因数低的问题,提出了两种高功率因数开关电源的设计方案,分析了采用 APFC 技术和 PWM 整流技术来提高开关电源功率因数的原理,并采用 Matlab7.6 仿真软件对单相全桥电压型 PWM 整流电路和 APFC 电路进行了仿真。仿真结果表明,基于 PWM 整流技术的开关电源能更好地实现高功率因数,减少谐波电流。

关键词:开关电源;谐波污染;高功率因数;APFC;PWM 整流

中图分类号:TD611

文献标识码:A

网络出版时间:2012-03-07 16:57

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20120307.1657.014.html>

Comparison of Two Designs of Switching Power Supply with High Power Factor

ZHENG Zheng, CHEN Di-lei

(School of Electrical Engineering and Automation of Henan Polytechnic University,
Jiaozuo 454003, China)

Abstract: In allusion to problems of big harmonic content of input circuit and low power factor existing in traditional switching power supply which uses uncontrollable diode or phase-controlled thyristor for rectification, the paper proposed two design schemes of switching power supply with high power factor, analyzed principle of improving power factor by APFC technology and PWM rectifier technology, and used Matlab7.6 to simulate APFC circuit and voltage mode PWM rectifying circuit of single-phase full-bridge. The simulation result showed that the switching power supply based on PWM rectifier technology can improve power factor and reduce harmonic current.

Key words: switching power supply, harmonic pollution, high power factor, APFC, PWM rectifier

0 引言

传统的开关电源整流电路普遍采用不可控二极管或相控晶闸管整流方式,直流侧采用大电容滤波,输入电流谐波含量大,功率因数低,造成了严重的电网污染和能源浪费。目前,解决谐波问题、提高功率因数的主要方法:(1)对产生谐波的电力电子装置的拓扑结构和控制策略进行改进,使其产生较少的谐波甚至不产生谐波,使得输入电流和输入电压同相,达到提高功率因数的目的,如PWM整流技术;

(2)在整流桥和滤波电容之间加一级用于功率因数校正的功率变换电路,如有源功率因数校正(APFC)技术^[1]。近些年来 APFC 技术和 PWM 技术在中、小功率乃至大功率开关电源中得到了普遍应用。本文以高功率因数开关电源作为研究对象,分析采用 APFC 技术和 PWM 整流技术来提高功率因数的原理,并采用 Matlab7.6 软件对单相电压型 PWM 整流电路和 APFC 电路进行了仿真及分析比较。

收稿日期:2011-12-19

基金项目:河南省教育厅自然科学基金项目(2008A470004)

作者简介:郑征(1965-),女,河南南阳人,教授,博士,现主要从事电力拖动、电力电子技术方面的科研与教学工作。E-mail:274468198@qq.com

1 高功率因数开关电源的设计方案

1.1 采用 PWM 整流技术的开关电源

采用 PWM 整流技术的高功率因数开关电源的结构如图 1 所示,本文只探讨其中的 PWM 整流电路部分。

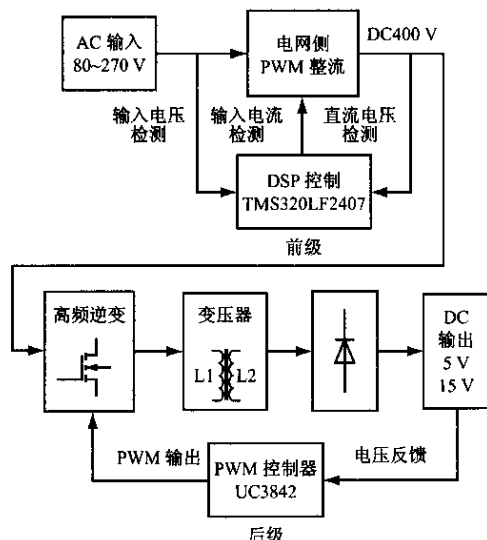


图1 采用 PWM 整流技术的高功率因数开关电源结构

该种高功率因数开关电源设计方案采用 PWM 整流技术和 DSP 技术,能数字化地实现整流器网侧单位功率因数正弦波电流控制,比较适合应用于中等功率开关电源设计中。

1.2 采用 APFC 技术的开关电源

采用 APFC 技术的高功率因数开关电源,其前级 APFC 电路采用实际生产中应用最广泛的 Boost 拓扑结构,负责使交流输入电流正弦化并使其与输入电压同相位,同时保持输出电压稳定;后级 DC/DC 变换电路采用能实现多路输出的反激式拓扑结构,主要负责调整输出电压,通过 DC/DC 变换得到所需要的直流电压,其结构如图 2 所示。

2 单相 PWM 整流电路的基本原理

本节采用图 1 所示的方案,其前级如图 3 所示,即单相全桥电压型 PWM 整流电路,电路采用有 4 个全控型功率开关管的 H 桥型拓扑结构。图 3 中网侧电感为升压电感,起平衡电路电压、支撑无功功率、储存能量和滤除谐波电流的作用; R_s 为滤波电感的寄生电阻;主电路中功率开关均反并联一个续流二极管,用来缓冲 PWM 过程中的无功电能^[2]。

单相全桥电压型 PWM 整流电路的 SPWM 调制方法分为单极性调制和双极性调制两种,本文采

用单极性调制。

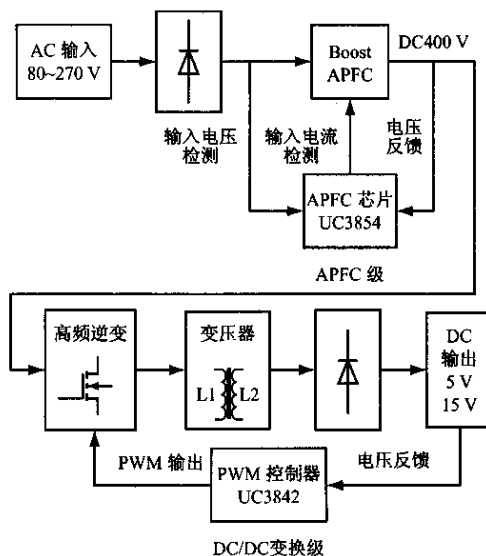


图2 采用两级型 APFC 的高功率因数开关电源结构

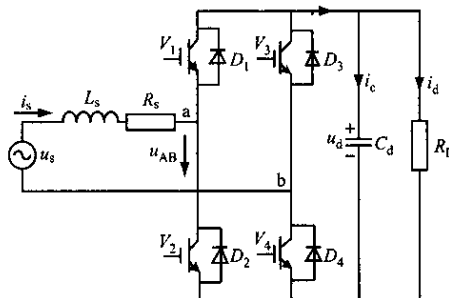


图3 单相全桥电压型 PWM 整流器电路

单相全桥电压型 PWM 整流器选择响应速度较快的三角波电流比较法作为控制策略。因反馈到电压外环的输出电压含有纹波电压,而纹波电压的存在将导致电流内环的给定电流发生畸变,因此本文采用补偿输出直流电压中纹波电压的方法^[4]来减少流入电压控制环的纹波电压,从而改善给定电流的波形。按照以上原理设计的单相全桥电压型 PWM 整流器的控制系统结构如图 4 所示。

由图 4 可知, PWM 整流控制系统中需要检测的信号有输入交流电压 u_s 、输出直流电压 u_d 以及输入交流电流 i_s 。 u_s 是闭环控制中相位检测的输入信号;通过比较 u_d 与给定参考电压 u_d^* 以及直流侧纹波电压补偿 $\tilde{u}_d$ 来决定电压外环 PI 调节器的输出 i_m ,并将其与输入电压同步信号 $\sin \omega t$ 的乘积作为指定电流 i_s^* ; i_s 与 i_s^* 的差值决定电流内环 PI 调节器的输出;最后比较电流内环 PI 调节器的输出与三角载波,产生 PWM 信号来控制开关管的关断。这样,电流 PI 调节器的输出决定 PWM 信号的占空比,使实际输入电流逼近指定电流值。

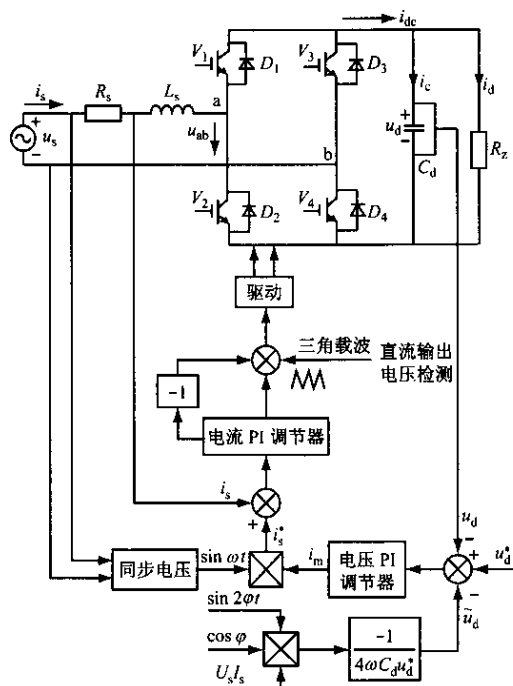


图4 单相全桥电压型PWM整流器的控制系统结构

3 有源功率因数校正技术

本节采用如图2所示的方案,基于Boost-APFC的功率因数校正电路如图5所示。该电路由主电路和控制电路组成。主电路包括桥式整流器、升压电感、功率开关管、续流二极管以及滤波电容等,控制电路包括电压误差放大器VA、电流误差放大器CA、基准电压源、乘法器、PWM比较器以及栅极驱动器。

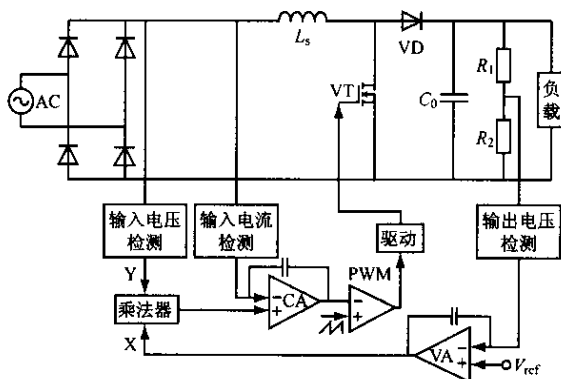


图5 基于Boost-APFC的功率因数校正电路

工作原理:APFC主电路的输出电压经电阻分压后与基准电压相比较,误差值输入到VA;VA输出信号X与输入电压检测信号Y一起输入乘法器,经过平均化处理、放大、比较后,再经过PWM比较器加到栅极驱动器,产生对开关管VT的控制信号,从而使电感 \$L_s\$ 上的电流(即输入电流)平均值始终跟踪模拟乘法器输出的半正弦信号,即跟踪了输入

电压波形,并实现了输入电流正弦化,使功率因数接近1,达到校正功率因数的目的^[5]。

4 仿真分析

4.1 PWM整流器电路仿真与分析

采用Matlab7.6对所设计的单相全桥电压型PWM整流器进行建模和仿真,在Simulink中搭建仿真模型,主电路仿真参数:峰值电压为311V,频率为50Hz,相位为0°,采样时间为0s; \$L_s=2\text{mH}\$, \$R_s=0.5\Omega\$,直流侧滤波电容 \$C_d=2500\mu\text{F}\$,直流侧负载电阻 \$R_L=50\Omega\$;从Power Electronics中调用Universal Bridge模块,并将其设置成二桥臂IGBT/Diodes模式,仿真算法设置为可变步长类算法中的ode45算法^[6]。

交流输入侧电压与电流的仿真波形如图6所示,可见交流侧电流、电压能始终保持同相,且电流能实现正弦化。直流侧输出电压波形如图7所示,可见0.06s后输出电压稳定在400V左右。

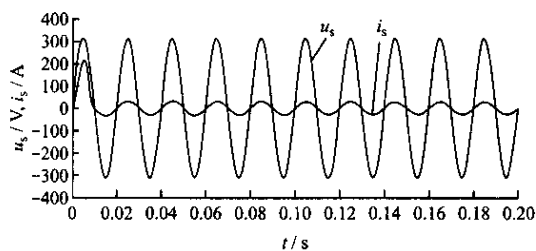


图6 输入侧电压与电流波形

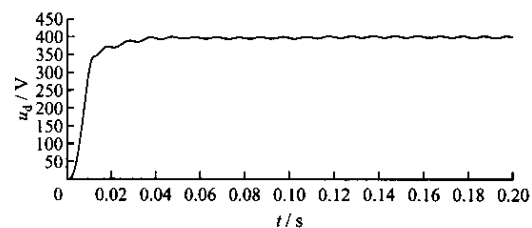


图7 PWM整流器直流侧输出电压波形

在Powergui模块中对电路进行FFT分析;在Available Signals中进行相关设置后对输入侧电流进行谐波分析,结果如图8所示。由图8可知,总谐波畸变率 \$D_{TH}=0.77\%\$,实现了系统低谐波畸变率的目标,电流谐波得到了很好的抑制。

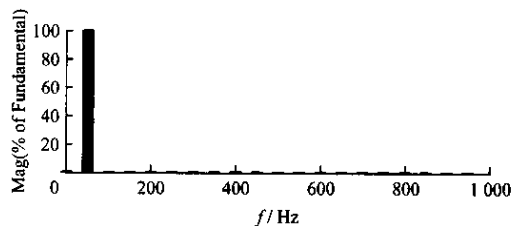


图8 输入侧电流谐波分析结果

PWM 整流器功率因数波形如图 9 所示。由图 9 可知,电路功率因数始终大于 0.985,且工作 0.03 s 后功率因数能达到 1。

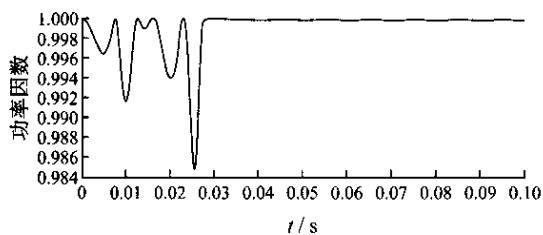


图 9 整流器功率因数波形

4.2 单相 APFC 电路仿真与分析

单相 APFC 电路采用 Matlab7.6 进行建模与仿真。图 10 为 APFC 电路输入电压和电流波形,可见网侧输入电流由窄脉冲波形变成正弦电流波形,且与输入电压同相位。图 11 为 APFC 电路输出电压波形,可见经过 60 ms 的软启动过程之后,输出电压稳定在 400 V 左右,满足设计要求。图 12 为 APFC 电路输入电流谐波分析结果,可见除基波外,其余谐波含量均很小。

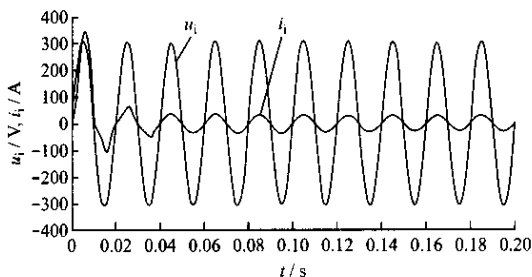


图 10 APFC 电路输入电压和电流波形

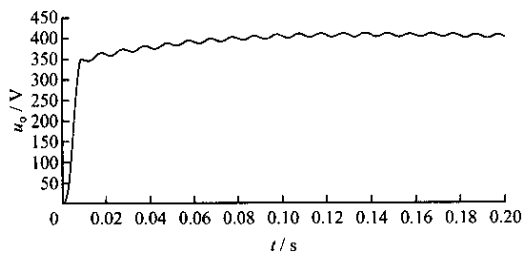


图 11 APFC 电路输出电压波形

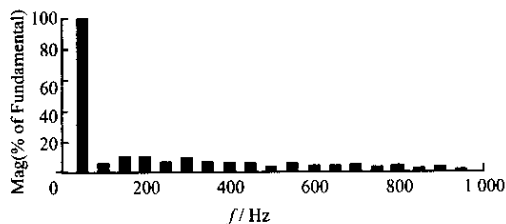


图 12 APFC 电路输入电流谐波分析结果

由图 12 可知,输入电流 D_{HD} 为 0.256 5。功率因数计算公式为 $P_F = \gamma \cos \varphi$, 其中 r 为基波因子。由于输入电流与电压基本同相位,即相位差 φ 为 0, 则 $\cos \varphi = 1$, $P_F = \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 + D_{TH}^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 0.2565^2}} = 0.969$ 。

5 结语

采用功率因数校正技术和 PWM 整流技术设计了两种高功率因数的开关电源,采用 Matlab7.6 建立仿真模型。由仿真结果可知,采用 DSP 芯片 TMS320LF2407 设计的前级单相全桥电压型 PWM 整流电路功率因数大于 0.985,并在电路稳定后达到 1,大于 APFC 电路的功率因数 0.969;且电压型 PWM 整流电路电流总谐波畸变率为 0.77%,远小于 APFC 电路的总电流谐波畸变率 25.65%。两者相比,单相全桥电压型 PWM 整流器能更好地实现输入侧电流的正弦化和与输入侧电压的同相位,能更彻底地解决传统开关电源电流谐波大、功率因数低的问题,更好地实现绿色电能转换的目标。但是电压型 PWM 整流器成本较高,在实际应用中应根据具体需求选择适合的类型。

参考文献:

- [1] 沈锦飞. 电源变换应用技术[M]. 北京:机械工业出版社,2007.
- [2] 张雪群. 基于 DSP 的单相可逆 PWM 整流器研究[D]. 广州:广东工业大学,2008.
- [3] 张崇巍,张兴. PWM 整流器及其控制[M]. 北京:机械工业出版社,2003.
- [4] 李学亮,宋建成,郑丽君. 基于纹波电压补偿的单相 PWM 可逆整流器的研究[J]. 电气技术,2008(5):65-68.
- [5] 张丽娟. 基于 UC3854 的两级有源功率因数校正电路的研究[D]. 西安:西安理工大学,2008.
- [6] 洪乃刚. 电力电子和电力拖动控制系统的 MATLAB 仿真[M]. 北京:机械工业出版社,2006.
- [7] 陈航新. 基于 Saber 的反激式开关电源仿真[J]. 电子科学,2010(8):20-21.
- [8] 李娜,杨玉岗. 本质安全 Boost 开关电源的设计[J]. 电气传动,2011(6):19-22.
- [9] 李燕,肖龙斌,尹晓林. 基于 TL494 的井下高频开关电源应用分析[J]. 山东煤炭科技,2010(2):82-83.