

# 一种采用高频 PWM 整流电路的大功率不间断电源

姚为正<sup>1</sup>, 王兆安<sup>1</sup>, 孙良坤<sup>2</sup>, 甘江华<sup>2</sup>, 于文斌<sup>2</sup>

(1. 西安交通大学电气工程学院, 陕西 西安 710049; 2. 许继电源有限公司, 河南 许昌 461000)

**摘要:** 介绍了采用 PWM 整流电路的不间断电源的系统结构, 分析了 PWM 整流电路工作原理和控制方法, 在此基础上, 研制了一台 30kVA 不间断电源样机。实验结果表明, 采用 PWM 整流电路的不间断电源具有注入电网的谐波电流小、输入功率因数接近 1 等优点, 是一种很有发展前途的不间断电源。

**关键词:** PWM; 整流电路; 不间断电源

**中图分类号:** TM910

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1003-4897(2001)06-0035-03

## 1 引言

随着计算机应用的日益普及和全球信息网络化的发展, 不间断电源装置(UPS)的容量和数量也随之日益增长。目前, 中大功率 UPS 的整流器一般采用相控式整流电路。相控式整流电路结构简单, 控制技术成熟, 但交流输入功率因数低, 并向电网注入大量的谐波电流, 不满足“绿色用电”的要求。为了满足电力部门所颁布的有关无功和谐波标准, 用户不得不采用无源或有源滤波器对 UPS 进行无功补偿和谐波抑制。无源 LC 滤波器结构简单、成本低, 但存在体积庞大、补偿效果差等缺点。另外, LC 滤波器还可能与电网阻抗发生谐振, 导致滤波器烧坏, 从而危及 UPS 供电, 造成 UPS 系统可靠性降低。有源滤波器虽然能动态补偿 UPS 产生的无功和谐波, 补偿效果好, 但价格昂贵。为了克服上述缺点, 本文在引进东芝公司 UPS 技术的基础上, 采用高频 PWM 整流电路, 研制出一台 30kVA 三相输出的大功率 UPS。实验结果表明, 采用高频 PWM 整流电路的 UPS 交流输入电流接近正弦波, 注入电网的谐波电流少, 并且输入功率因数接近 1, 完全满足“绿色用电”的要求, 代表 UPS 的发展方向。

## 2 系统结构

图 1 给出了采用高频 PWM 整流电路的 UPS 系统结构简图。它是一种在线式 UPS, 由 PWM 整流电路、蓄电池组、SPWM 逆变电路、输出隔离变压器、旁路电源、切换电路等组成, 其中输入 PWM 整流电路和输出 SPWM 逆变电路均采用 IGBT 器件。除了整流电

路不同外, 其它部分的结构、工作原理和控制方法与采用相控整流电路的在线式 UPS 完全相同。下面便重点介绍 PWM 整流电路的结构、工作原理和控制方法。

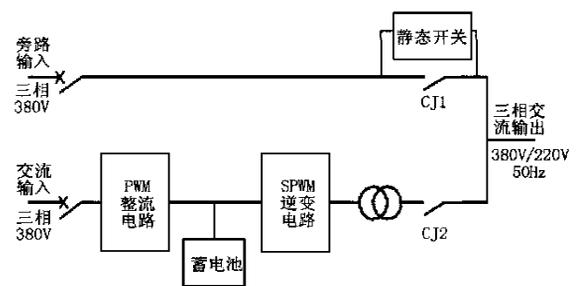


图 1 采用 PWM 整流电路的 UPS 系统结构简图

## 3 PWM 整流电路结构和工作原理

本文研制的 UPS 采用三相 PWM 整流电路, 其电路结构如图 2 所示, 开关器件采用 IGBT。为了更好地说明其工作原理, 首先介绍单相 PWM 整流电路的工作原理。

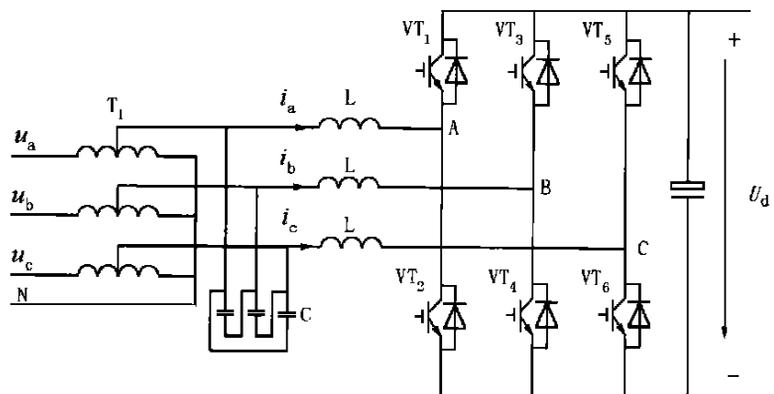


图 2 三相 PWM 整流电路的主电路结构

好地说明其工作原理, 首先介绍单相 PWM 整流电路的工作原理。

图 3 给出了单相 PWM 整流电路的原理框图。

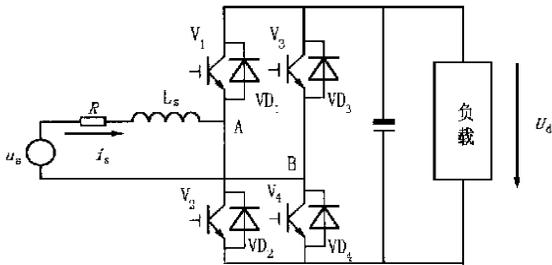


图 3 单相全桥 PWM 整流电路

在 UPS 中,图中的负载即为逆变器和蓄电池。同 SPWM 逆变电路控制输出电压相类似,可在 PWM 整流电路的交流输入端 AB 之间产生一个正弦波调制 PWM 波  $u_{AB}$ ,  $u_{AB}$  中除了含有与电源同频率的基波分量外,还含有与开关频率有关的高次谐波。由于电感  $L_s$  的滤波作用,这些高次谐波电压只会使交流电流  $i_s$  产生很小的脉动。如果忽略这种脉动,  $i_s$  为频率与电源频率相同的正弦波。在交流电源电压  $u_s$  一定时,  $i_s$  的幅值和相位由  $u_{AB}$  中基波分量的幅值及其与  $u_s$  的相位差决定。改变  $u_{AB}$  中基波分量的幅值和相位,就可以使  $i_s$  与  $u_s$  同相位。图 4 给出了单相 PWM 整流电路的相量图,  $\dot{U}_s$  其中表示电网电压,  $\dot{U}_{AB}$  表示 PWM 整流电路输出的交流电压,  $\dot{U}_L$  为连接电抗器  $L_s$  的电压,  $\dot{U}_R$  为电网内阻  $R_s$  的电压。图中  $\dot{U}_{AB}$  滞后  $\dot{U}_s$  的相角为  $\phi$ ,  $\dot{I}_s$  与  $\dot{U}_s$  的相位完全相同,电路工作在整流状态,且功率因数为 1。这就是 PWM 整流电路的基本工作原理。

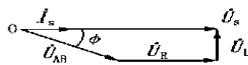


图 4 单相 PWM 整流电路的向量图

三相 PWM 整流电路的工作原理同单相 PWM 整流电路相类似,通过对图 2 电路进行 SPWM 控制,便可在交流输入端得到正弦 PWM 电压  $u_{AB}$ 、 $u_{BC}$ 、 $u_{CA}$ ,并通过控制  $u_{AB}$ 、 $u_{BC}$ 、 $u_{CA}$  的基波分量的幅值和相位,就可以使各相电流为正弦波,并且与电网电压同相位,输入功率因数接近 1。

要使三相 PWM 整流电路正常工作,其直流侧电压必须大于交流输入线电压的峰值<sup>[1]</sup>。

在 UPS 中,整流电路输出电压即为蓄电池的充电电压,一般浮充电压为 390V 左右。当蓄电池放电后重新充电时,充电电压在 280 ~ 410V 范围内变化。对于线电压为 380V 的三相输入 UPS,其线电压峰值大于 280V,不满足三相 PWM 整流电路正常工作的条件。

本文采用自耦变压器  $T_1$  将三相输入电压降低以后再输入 PWM 整流电路,  $T_1$  的变比为 380/210V,这样,当输入电压在允许的范围变化时,在整个充电电压范围内均能满足 PWM 整流电路的电压变换条件。

### 4 PWM 整流电路控制方法

PWM 整流电路的控制方法有直接电流控制和间接电流控制两种<sup>[1][2]</sup>。直接电流控制引入交流输入电流反馈实行闭环控制,其电流指令运算电路比不引入交流输入电流反馈的间接电流控制简单,因此,本文采用直接电流控制方法。

图 5 给出了 PWM 整流电路控制系统的一相结构简图。采用双环控制,其外环为直流电压控制环,内环为交流电流控制环。直流输出电压给定信号  $U_d^*$  和实际的直流电压  $U_d$  比较后的误差信号送入 PI 调节器,PI 调节器的输出即为整流器交流输入电流的幅值,它与标准正弦波相乘后形成交流输入电流的给定信号  $i_a^*$  ( $i_b^*$ 、 $i_c^*$ ),与实际交流输入电流  $i_a$  ( $i_b$ 、 $i_c$ ) 进行比较,电流误差信号经比例调节器放大后送入比较器,再与三角载波信号比较形成 PWM 信号。该 PWM 信号经驱动电路后去驱动主电路开关器件,便可使实际的交流输入电流跟踪指令值,同时达到控制输出电压的目的。

### 5 实验结果

本文在引进日本东芝先进 UPS 技术的基础上,研制了一台 30kVA 三相输出大功率 UPS。该 UPS 的整流电路采用三相 PWM 整流电路,其主电路结构如图 3 所示,控制方法如图 5 所示。为了降低开关损耗,UPS 整流电路和逆变电路的开关频率均选取为 10kHz。图 6 给出了该 UPS 输入电流波形,通过对其进行谐波分析,谐波电流总畸变率 THD 为 4.1%,基本接近正弦波。工作在额定负载下,采用 PM300 电力分析仪测得输入功率因数为 0.99。该 UPS 为在线式智能 UPS,UPS 的逆变器供电与旁路电源供电之间可自动或手动无间断切换。UPS 提供

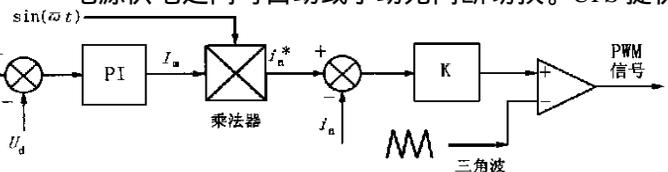


图 5 直接电流控制系统结构图

具有 RS232 计算机标准接口和继电器干触点,具有遥测、遥控、通信等功能。其输出特性为:

- (1) 输出电压为 380V/220V(三相四线),输出频率为 50Hz;
- (2) 输出电压稳压精度高,不大于 1.5 %;
- (3) 输出电压畸变率低,100 %非线性负载时的畸变率不大于 4 %;
- (4) 负载从 0~100 %突变时,输出电压波动小,不大于 5 %;
- (5) 100 %不平衡负载时,电压不平衡不大于 1.5 %;

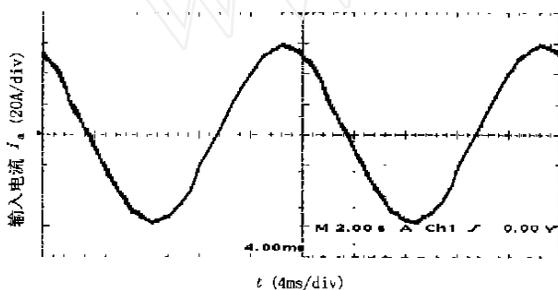


图 6 UPS 输入电流波形

## 6 结论

本文采用 PWM 整流电路,研制出一台 30kVA 三相输出在线式智能 UPS。实验结果表明,同采用

相控整流电路 UPS 相比,本文研制的 UPS 具有以下优点:

- (1) 输入电流接近正弦波,极大地减少 UPS 产生的谐波对电网的污染,不需增加额外的滤波装置,从而可减少装置的体积;
- (2) 输入功率因数 0.99,使得 UPS 与电网之间传递的无功很少,可以降低 UPS 电源系统的变压器容量,大幅减少无功损耗,从而可以节约能源,降低系统成本;
- (3) PWM 整流电路输出直流电压纹波小,可延长蓄电池使用寿命。

采用高频 PWM 整流电路的 UPS 完全满足“绿色用电”的要求,具有十分广阔的发展前途。

## 参考文献:

- [1] 王兆安,杨君,刘进军. 谐波抑制和无功功率补偿. 北京:机械工业出版社,1998.
- [2] 董晓鹏,王兆安. 三相电压型单位功率因数 PWM 整流器的研究. 电力电子技术,1997,(4).

收稿日期: 2000-11-30;

作者简介: 姚为正(1967-),男,博士,主要从事电力电子产品的研究与设计工作; 孙良坤(1967-),男,工程师,主要从事不间断电源 UPS 的研究与设计工作; 甘江华(1975-),男,工程师,主要从事不间断电源 UPS 的研究与设计工作。

## An uninterruptible power system using high frequency PWM rectifier

YAO Wei-zheng<sup>1</sup>, WANG Zhao-an<sup>1</sup>, SUN Liang-kun<sup>2</sup>, GAN Jiang-hua<sup>2</sup>, YU Wen-bin<sup>2</sup>

(1. Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China; 2. XI Power Co., Ltd, Xuchang 461000, China)

**Abstract:** The system configure of a UPS using high frequency PWM rectifier is introduced, and the operation principle of PWM rectifier and its control method are analyzed. A 30kVA UPS prototype is manufactured according to them. The experiment results indicate that the UPS using high frequency PWM rectifier has the characteristics of low harmonic current and high input power factor, and has a good future.

**Keyword:** PWM; rectifier; UPS

(上接第 30 页)

收稿日期: 2000-11-02

作者简介: 崔文强(1975-),男,本科,从事电器自动化研究与应用工作; 张星荣(1972-),男,本科,从事电器自动化研究及应用工作; 陈瑞强(1972-),男,本科,从事煤矿电器应用工作。

## Achievement of selective leakage protection system in underground tunneling face power supply networks

CUI Wen-qiang<sup>1</sup>, ZHANG Xing-rong<sup>1</sup>, LI An-ping<sup>1</sup>, SONG Jian-cheng<sup>1</sup>, CHEN Rui-qiang<sup>2</sup>, ZHANG Jia-yuan<sup>2</sup>

(1. Hongke Electrical Apparatus Factory, Taiyuan 030024, China; 2. Jincheng Mining Bureau, Jincheng 048006, China)

**Abstract:** On the basis of analyzing the causes being short of selection leakage protection in underground tunneling face networks, a selection leakage protective scheme based on additional DC measurement and zero sequence current direction judgement is presented in this paper. A detecting circuit of zero sequence voltage and generator of interrupt control signal is also designed with which the latitudinal and longitudinal selective leakage protection can be effectively achieved combined with subfeeding gears switch produced by Hongke Electrical Apparatus Factory.

**Keywords:** leakage protection; selectivity; zero sequence current; zero sequence voltage