

# 正负脉冲式高频开关电源的研究

张元敏, 罗书克

(许昌学院电信学院, 河南 许昌 461000)

**摘要:** 针对电池在充电过程中, 电池内部产生的气体严重影响电池的使用寿命和容量的情况, 提出了在充电过程中, 可以通过瞬间放电把电池内部的气体排出的正负脉冲式充电方法。给出了正负脉冲式高频开关电源的电路拓扑结构及控制方法, 采用新技术提高系统的功率因数。通过试验验证了该方法在提高电池有效容量和缩短电池充电时间方面有了明显的改善。

**关键词:** 正负脉冲; 高频开关电源; 蓄电池

## Study of high-frequency switching power supply with positive and negative pulsing

ZHANG Yuan-min, LUO Shu-ke

(School of Electrical Engineering and Communication, Xuchang College, Xuchang 461000, China)

**Abstract:** In battery charging process, the gas produced in the internal battery seriously affects the battery life and capacity. This paper proposes a positive and negative pulse charging method, with which the gas is exhausted inside the battery through the instantaneous discharging in the charging process. It gives the positive and negative pulsed high-frequency switching power supply circuit topology and control methods. It uses new technology to improve the power factor. The method improves significantly the battery capacity and shortens the battery charging time by test.

**Key words:** positive and negative pulse; high-frequency switching power; battery

中图分类号: TM56 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)08-0067-04

## 0 引言

自铅酸蓄电池问世以来, 由于各种技术条件的限制, 所采用的充电方法均未能遵从电池内部的物理化学规律, 使整个充电过程存在着严重的过充电和析气等现象, 充电效率低且影响了电池的使用寿命<sup>[1]</sup>。

笔者通过长期的实践研究提出的以马斯三定律为理论基础的正负脉冲式高频开关电源<sup>[2-3]</sup>, 一方面加快了蓄电池的化学反应速度<sup>[4]</sup>, 缩短蓄电池达到满充状态的时间, 提高了充电速度; 另一方面保证了蓄电池负极能及时地吸收正极所产生的氧气, 避免了电池的极化现象。较好地实现了铅酸蓄电池的快速充电与去除极化, 提高了电池的有效容量并延长了电池的使用寿命。

## 1 正负脉冲的原理

蓄电池在充放电过程中, 由于电池自身的差异, 充放电电流会有不同的差异, 但都满足下边的三定

理, 也就是 1972 年美国科学家马斯提出的著名的马斯三定律<sup>[5-7]</sup>。

1) 对于任何给定的放电电流, 蓄电池充电时的电流接受比  $a$  与电池放出的容量的平方根成反比, 即

$$a=K_1/\sqrt{C} \quad (1)$$

式中:  $K_1$  为放电电流常数, 视放电电流的大小而定;  $C$  为蓄电池放出的容量。

由于蓄电池的初始接受电流  $I_0=aC$ , 所以

$$I_0=aC=K_1\sqrt{C} \quad (2)$$

2) 对于任何给定的放电量, 蓄电池充电电流接受比  $a$  与放电电流  $I_d$  的对数成正比, 即

$$a=K_2\log kI_d \quad (3)$$

式中:  $K_2$  为放电量常数, 视放电量的多少而定;  $k$  为计算常数。

3) 蓄电池在以不同的放电率放电后, 其最终的允许充电电流  $I_t$  (接受能力) 是各个放电率下的允许充电电流的总和, 即:

$$I_t = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + \dots \quad (4)$$

式中： $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$ 、 $I_4$ ...为各个放电率下的允许充电电流。

综合上述三定律，可以推出，蓄电池的总电流接受比可表示为

$$\alpha = I/C_t \quad (5)$$

式中： $C_t = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + \dots$ 为各次放电量的总和，即蓄电池放出的全部电量。

综上所述，在充电过程中，当充电电流接近蓄电池固有的微量析气充电曲线时，适时地对电池进行反向大电流瞬间放电（如图1所示），能够除去正极板上的气体，并使氧气在负极板上被吸收，可以提高蓄电池的充电接受能力。也就是说通过反向大电流放电，可以使蓄电池的可接受电流曲线不断右移，同时其陡度不断增大，即 $\alpha$ 值增大，从而大大提高充电速度，缩短充电时间，这个过程还可以降低电池内部压力、温度、阻抗，减少能量的损耗，使电能更有效地转化为化学能并存储起来，提高了充电效率和蓄电池的充电接受能力<sup>[8]</sup>。

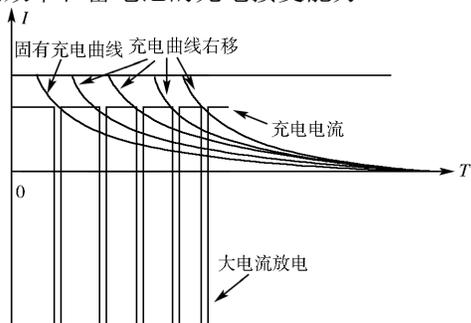


图1 正负脉冲式充电曲线

Fig.1 Charging curve of positive and negative pulse

## 2 最大充电电流的确定

给蓄电池充电时，并非在任何条件下任何充电电流都能接受。研究表明，如果在充电过程中保持等量、微量的气体析出和稳定的温升，则充电曲线是一条指数曲线。即：

$$I = I_0 e^{-at} \quad (6)$$

$$I_0 = aC \quad (7)$$

式中： $I_0$ 为最大初始电流； $a$ 为充电接受率； $C$ 为蓄电池额定容量。

根据上式，充电接受曲线如图2所示，这是一条自然接受曲线，如果充电电流大于该条曲线的充电电流，则会导致充电电流电解水；小于这条曲线的充电电流，均为充电接受电流。

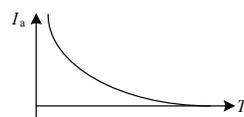


图2 蓄电池充电接受曲线

Fig.2 Battery charge acceptance curve

## 3 主电路设计

根据上边的理论基础和电池的内部特性，为了实现每个充电周期的正负脉冲，设计的主电路拓扑结构如图3所示<sup>[9]</sup>。可分为四部分：电磁滤波（EMI）、功率因数校正（PFC）、正激变换充电和放电。

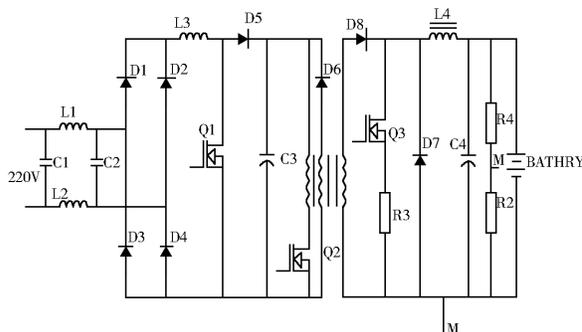


图3 正负脉冲式高频开关电源主电路

Fig.3 Main circuit of positive and negative pulsed high-frequency switching power

电磁兼容部分由  $L1$ 、 $L2$ 、 $C1$ 、 $C2$ 组成，功率因数校正部分由  $L3$ 、 $Q1$ 、 $C3$ 、 $D5$ 组成；正激变换充电部分由  $C3$ 、 $Q2$ 、 $D5$ 、 $D7$ 、 $D8$ 、 $T$ 、 $L4$ 组成；放电部分则由  $Q3$ 、 $L4$ 、 $R3$ 组成。

传统 DC-DC 充电电路一般由交流市电整流和大电容滤波后得到较为平滑的直流电压，由于滤波电容的储能作用使得输入电流为一个时间很短、峰值很高的周期性尖峰电流，含有丰富的高次谐波分量，严重污染了电网。电路引入 Boost 型功率因数有源校正电路使得输入电流和输入电压为同频同相正弦波，大大提高了功率因数。Boost 有源功率因数校正电路输入电流连续，EMI 小，RFI 低，输入电感可以减小对输入滤波器的要求，并可防止电网对主电路高频瞬态冲击。

充放电波形如图4所示，脉冲充电时工作状态分析如下：

(1)  $t_1 \sim t_2$ 时刻，此时处于充电状态下， $Q2$ 导通，电容电压加到变压器两端，变压器  $T$  产生电流并储存能量，由于变压器初次级同相，所以变压器  $T$  次级感应的电压通过正偏的  $D8$ 给电池充电，此时充电

电流逐渐上升。当 Q2截止时变压器的储能由复位绕组通过 D6释放出来, 充电电流下降。

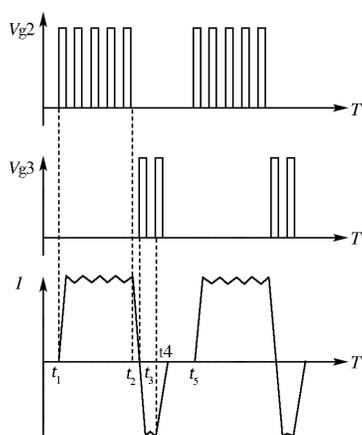


图4 充电工作状态波形图

Fig.4 Waveforms of charging state

(2)  $t_2 \sim t_3$ 时刻, Q2保持截止, L4中储存的能量通过续流回路 D7向蓄电池放电, 直到充电电流下降为零。

(3)  $t_3 \sim t_4$ 时刻, 在  $t_3$ 时刻 Q3导通, 电池通过放电回路开始向 R3放电, 并在 L4中储存能量, 放电电流快速上升。

(4)  $t_4 \sim t_5$ 时刻, Q3保持关断, 放电电流下降至零, 在这个阶段电池既不充电也不放电, 直到  $t_5$ 时间开始下一个充放电周期。

## 4 控制电路设计

控制电路分为功率因数校正控制电路和充放电控制电路两个部分。

### 4.1 功率因数校正控制电路

功率因数校正部分控制芯片采用 UC3854A/B, UC3854A/B 是一种新的高功率因数校正集成控制电路芯片, 它是在 UC3854芯片基础上的一种改进设计。采用平均电流控制方法, 恒频控制, 电流放大器的频带较宽。它可以完成升压变换器校正功率因数所需的全部控制功能, 使功率因数接近于1, 输入电流波形失真小于3%<sup>[10-11]</sup>。控制精度很高, 开关噪声较低, 芯片内部包括了软启动、输入电压前馈、输入电压钳位、过流保护的比较器等。当输入电压在85~260 V 之间变化时, 输出电压还可保持稳定。采用推拉输出级, 具有很强的驱动能力。

### 4.2 充放电控制电路

该部分采用的是数字 PWM 控制器 IXDP610芯

片, 该控制器的占空比、死区时间、工作频率等可由微处理器送来的数据控制, 实现了全数字控制, 开关频率可达300 kHz, 占空比可在0~100%之间变化, 输出电流可达20 mA, 能直接驱动光耦和小功率器件。

微处理器软件部分的功能是通过检测对蓄电池状态的检测, 使充电转入不同的充电阶段并控制占空比的大小。实现各个不同阶段的充电或暂停充电和终止充电的控制, 显示充电器当前状态。充电分为三个阶段:

第一阶段, 通过采集电池电压, 判断电池电压低于正负脉冲充电电压时采用小电流恒流充电, 这样可以避免电池深度放电时大电流充电对电池造成的损害;

第二阶段, 当采集到的电池端电压大于正负脉冲充电电压时采用正负脉冲充电方式;

第三阶段, 当电池电压升至补足充电电压阈值时, 转入补充阶段, 此阶段采用恒压充电方式, 充电电流逐渐减小, 直到充电结束。

## 5 实验结果

我们用普通型的高频开关电源和正负脉冲式的高频开关电源分别对同一只12 V 100 Ah 的电池进行充放电, 得到的实验数据如表1所示。

表1 两种高频开关电源充放电比较表

Tab.1 Charge-discharge comparison table of two high-frequency switching power

名称	普通型	正负脉冲式
充电初始电压	11.03 V	10.95 V
充电初始电流	10 A	5 A
充电终止电压	13.52 V	13.51 V
充电时间	12 h	9 h
放电电流	10 A	10 A
放电终止电压	10.82 V	10.85 V
放电时间	8 h 36 min	9 h 37 min

通过实验结果可知, 采用正负脉冲式高频开关电源在充电时间和提高电池容量方面明显优于普通型的高频开关电源。采用正负脉冲式高频开关电源时充电时间缩短了3 h, 而电池容量提高了将近10%。

## 6 结语

采用正负脉冲式高频开关电源进行充电时在缩短充电时间和提高电池容量方面有了明显改善。并且该电路充电开关 mos 管频率可达156.24 kHz, 充

电电流可达30 A, 充电电压可在1.8~14.5 V 之间调节, 满足了大部分变电站和电厂对2 V、6 V、12 V 单只电池的在线活化功能。同时该电路还采用了功率因数校正技术大大改善了开关电源的功率因数, 主电路采用正激变换器的形式, 驱动电路简单, 控制电路具有良好的响应速度和控制精度。

**参考文献:**

[1] 朱松然. 铅蓄电池技术(第2版)[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.  
ZHU Song-ran. Lead Acid Battery Technologies, Second Edition[M]. Beijing: China Machine Press, 2002.

[2] 张占松, 蔡宣三. 开关电源的原理与设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 1998. 207-215.  
ZHANG Zhan-song, CAI Xuan-san. Theory and Design of Switching Power[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 1998. 207-215.

[3] 刘胜利. 现代高频开关电源实用技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2001.  
LIU Sheng-li. Modern High-frequency Switching Power Practical Techniques[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2001.

[4] Aguilar C, Canales F, Arau J, et al. An Improved Battery Charger Discharger Topology with Power Factor Correction[A]. in: IEEE IECON[C]. 1995.590-595.

[5] 冯仁斌, 魏晓斌, 胡恒生, 等. 铅酸蓄电池的快速充电[J]. 电源技术, 2003, 27(1): 72 - 74.  
FENG Ren-bin, WEI Xiao-bin, HU Heng-sheng, et al. Fast Charging of Lead-acid Batteries[J]. Power Technology, 2003, 27(1): 72-74.

[6] 吴寿松. 谈铅酸蓄电池的充电接受率[J]. 电池, 2005, 35(5): 388-389.  
WU Shou-song. Charging Acceptance Rate of Lead-acid Batteries[J]. Battery, 2005, 35(5): 388 - 389.

[7] 陈静瑾, 余宁梅. 阀控铅酸蓄电池分段恒流充电特性

的研究[J]. 电源技术, 2004, 28(1): 32-33.  
CHEN Jing-jin, YU Ning-mei. Study of Sub-constant-current Charge Characteristics of VRLA Battery[J]. Power Technology, 2004, 28(1): 32 - 33.

[8] 何莉萍, 等. 基于马斯理论的蓄电池充电电流衰减指数研究[J]. 湖南大学学报: 自然科学版, 2008, 35(10): 26-30.  
HE Li-ping, et al. Study of Battery Charge Current Attenuation Index Based on Mas Theory[J]. Journal of Hunan University: Natural Sciences, 2008, 35(10): 26-30.

[9] 徐伟东, 宣伟民, 等. 基于PSM 技术高压脉冲电源的模拟实验[J]. 电工技术学报, 2008, 23(1): 110-113.  
XU Wei-dong, XUAN Wei-min, et al. PSM Technology-based Simulation Experiment of High-voltage Pulsed Power[J]. Journal of Electrotechnical, 2008, 23(1): 110-113.

[10] ITER Joint Central Team and Home Teams. The ITER Pulsed Power Supply System[A]. in: 17th IEEE/NPSS Symposium Fusion Engineering[C]. San Diego: 1997. 491-496.

[11] 王久和, 黄丽培, 等. 一种新的电压型PWM 整流器无源控制器设计[J]. 电力自动化设备, 2008, 28(10): 38-41.  
WANG Jiu-he, HUANG Li-pei, et al. A New Type of Voltage Source PWM Rectifier Controller Design[J]. Electric Power Automation Equipment, 2008, 28(10): 38-41.

收稿日期: 2009-05-06; 修回日期: 2009-06-12

**作者简介:**

张元敏(1963-), 男, 教授, 主要从事电力自动化方面的研究; E-mail: zym@xuc.edu.cn

罗书克(1976-), 男, 研究生, 主要从事控制理论与控制工程和电力传动及自动化方向的研究。

YUAN Ji-xiu, SHENG He-yue, WU Ju-ye. Protective Current Transformers Application Guide[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2004.157-161.

收稿日期: 2009-05-06

**作者简介:**

乾维江(1981-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统继电保护; E-mail: qwj-927@163.com

王晓茹(1962-), 女, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为电力系统保护和安全稳定控制、变电站自动化。

(上接第 18 页 continued from page 18)

[13] 束洪春, 林敏. 电流互感器暂态数学模型建模及仿真的比较研究 [J]. 电网技术, 2003, 27(4): 11-14.  
SHU Hong-chun, LIN Min. Comparative Study on Modeling and Transient Simulation of Current Transformer[J]. Power System Technology, 2003, 27(4): 11-14.

[14] 袁季修, 声和乐, 吴聚业. 保护用电流互感器应用指南[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.157-161.