

基于SPWM的大功率交流恒流源系统研究

郁红兵

(恒安(中国)纸业有限公司, 福建 泉州 362200)

摘 要 :针对交流恒流的使用要求,提出了一种不对称规则采样法,利用 ATMEGA16 单片机的 16 位计时器生成 SPWM 信号,驱动 4 个 IGBT 管组成的逆变主电路,通过 LC 滤波后送到输出端,同时在输出端进行采样,将采样值反馈给单片机。单片机根据采样值通过调整配置寄存器的值输出幅度和频率可变的 SPWM 信号,从而调整输出电压的幅度或频率,实现电流的恒定输出。实验表明,通过该种系统实现的交流恒流源精度高、可控性好、成本低。

关键词 :AVR 单片机 SPWM 逆变电源 交流恒流

中图分类号 :TN86 TP368 **文献标识码** :A **文章编号** :1672-4801(2014)03-053-04

交流恒流源是在外界电网电源产生波动或者用电负荷阻抗特性发生变化时,仍能使输出电流保持恒定的交流电源装置。在电力工业中,交流恒流源可以替代原来由交流稳压电源、调压器、大电流变流器组成的交流电流源,主要应用于低压电器行业各种断路器、热继电器、电机启动器等低压电器产品的延时热脱扣试验中,测试产品及其应用场合的电流效应。

本设计在充分研究当前交流恒流源的国内现状,并在充分考虑了产品成本控制及工作稳定性要求的基础上,提出了基于 H 全桥的 SPWM 载波高功率、大电流的交流恒流源实现方案。利用 AVR 单片机控制产生 SPWM 波,控制全桥逆变主电路,经过降压升流后输出,并在输出端对输出电流闭环反馈使电流恒定。该方案调节效率高、恒流输出精度高。

1 系统硬件设计

1.1 系统总体结构

本系统运用 AC-DC-AC 的典型模式。输入端来自工频 220 V 交流市电,经过整流滤波后作为逆变主电路的母线电压。控制核心是单片机,由单片机产生的 SPWM 信号经过死区设置和驱动电路驱动逆变主电路。逆变主电路采用全桥结构。全桥输出端经过变压器进行降压升流。输出端最大输出电流为 200 A,输出电压为 12 V,因此最大输出功率可达到 2 kW 以上。升流后的输出电压经过 LC 滤波电路滤波之后得到正弦波形。在输出端有采样电路对输出电流进行采样,采样结果输入单片机形成闭环控制。其整体结构如

图 1。

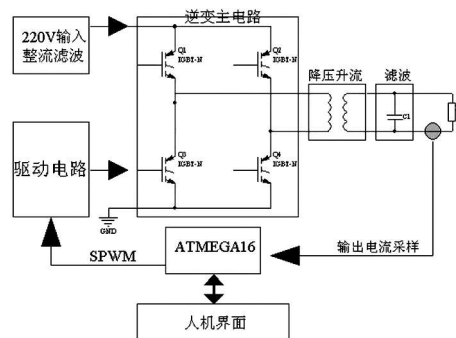


图1 系统结构框图

整个系统最关键的环节在于对于全桥的有效驱动和保护,以及升流变压器的设计。这两者直接关系到系统的可靠性以及所能达到的功率和精度要求。

2 系统软件设计

本恒流源系统软件的设计主要内容在于产生和控制 SPWM 信号以及根据闭环采样信号的恒流控制。

本设计控制核心是 Atmel 公司的 ATMEGA16 单片机。单片机根据额定电流值输出 SPWM 信号,然后对输出端反馈回来的采样信号进行处理,判断当前电流值是否所需的恒定电流。如何用单片机产生和控制 SPWM 波是关键点。

SPWM 波形常用的算法主要有自然采样法、对称规则采样法、不对称规则采样法、等效面积法等,其中不对称规则采样法具有调节速度快、精度高的优点,故本系统采用不规则对称采样法。

不对称规则采样法是在每个载波周期内采样两次,即分别在 A 点对应的三角波下降沿采样一

次,又在B点对应的三角波上升沿采样一次,这样就可以形成更加精确SPWM,图2给出了不对称规则算法的基本原理。

设调制比为 a ,即 $a = \frac{U_c}{U_m}$,令 $U_m = 1$,则所需正弦波可以表示为:

$$y = U_c \sin \omega t = a \sin \omega t \quad (1)$$

图中根据相似三角形的原理,则有:

$$\frac{m_1}{T/2} = \frac{1 + a \sin \omega t_A}{2}, \quad \frac{m_2}{T/2} = \frac{1 + a \sin \omega t_B}{2} \quad (2)$$

可得:

$$m_1 = \frac{T(1 + a \sin \omega t_A)}{4}, \quad m_2 = \frac{T(1 + a \sin \omega t_B)}{4} \quad (3)$$

式中, T 为三角波周期, t_A 为在三角波的顶点对正弦信号波进行采样的时刻, t_B 为在三角波的底点对正弦波采样的时刻;用 $\delta = m_1 + m_2$ 为开通时刻的脉冲宽度,根据式(3)可得开通的脉冲宽度为:

$$\delta = \frac{T(2 + a \sin \omega t_A + a \sin \omega t_B)}{4} \quad (4)$$

其中, $\omega t_A = (k + \frac{1}{4})2\pi/N$ ($k = 0, 1, 2, \dots, N-1$)

$$\omega t_B = (k + \frac{3}{4})2\pi/N$$
 ($k = 0, 1, 2, \dots, N-1$)

利用上述公式结合ATMEGA16单片机SPWM的产生机制,可得相应采样点对应的寄存器OCR1B的值。本设计对半周期的正弦波进行128点采样,将这些对应的寄存器值预先编制一张正弦表,在每个中断时依次查询配置寄存器OCR1B的值,输出SPWM波信号。

3 硬件电路设计

3.1 升流变压器的设计

为了使输出电流达到所需要的大电流,在输出端必须要进行电流的提升。本方案中提升电流采用的是一个降压变压器,通过降低输出电压提升其电流。根据使用的环境和范围,输出最大额定电流值设定为200 A,输出电压为12 V。

升流变压器与普通工频变压器有几个区别之处:首先,电源电压为交流方波,而不是普通正弦波,变压器中初级绕组中的经过电流也是非正弦波。其次,升流变压器的工作频率一般在100~

500 kHz,相对于普通工频变压器高很多,具有损耗小、效率高等特点。本设计中其工作载波频率是22 kHz,所以设计升流变压器的时候设计应考虑高次谐波的影响以及满足高频工作的需要。同时,升流变压器往往体积和重量也比较大,绕组线路比较复杂。

变压器的设计主要和初级电压、次级电压、磁芯损耗、次级电流、变换频率、带载能力、绕组漏感等相关。具体的变压器参数设计非常复杂,一般采用经验公式来计算。

经实验表明,当驱动IGBT管的方波占空比在75%(即调制比 $a=0.75$)以上时,IGBT管的发热就会急剧上升,并容易烧毁,使用寿命大大降低。为了保证系统可靠性,单片机输出用于驱动IGBT的SPWM波形最大占空比控制在65%以内,可得经过全桥逆变后输出交流最大有效值为:

$$U_I = 220V \times 65\% = 143V \quad (5)$$

经降压升流后输出端最大输出电压设计为12 V,可得变压器的初次级变比:

$$n = \frac{U_I}{U_O} = \frac{143}{12} \approx 12/1 \quad (6)$$

考虑到输出最大电流为200 A,确定初级最大电流:

$$I_1 = \frac{P_1}{U_1} = \frac{P_2/\eta}{U_1} = \frac{P_2}{\eta U_1} \quad (7)$$

式中, P_2 为输出功率,额定最大功率为2 kW; η 为变压器效率,取值一般在60%~90%。当取最低效率值时可得到初级经过的最大电流值约为28 A。

根据高频变压器的几何尺寸可以用下列关系(式8)以及方波转换的一次侧匝数计算公式(式9)可以得到变压器的窗口面积和匝数。

$$A_c \times A_e = \frac{P_t \times 10^4}{4B_m f K_0 K_j} \times 1.16 \quad (8)$$

$$N_1 = \frac{V_1}{4 \times f \times B_m \times A_e} \quad (9)$$

式中, A_c 为铁芯有效截面积; A_e 为铁芯窗口面积; P_t 为变压器计算功率, $P_t = P_1 + P_2$; B_m 为工作磁通密度; f 为工作频率; K_0 为窗口占空系数; K_j 为绕组的电流密度系数,考虑到散热,可以取230。

3.2 滤波电路的设计

升流后输出的电压不仅仅是SPWM波形,还包含了低次及高次谐波,需要对这些谐波设计滤

波设备,滤波之后最终输出一个完整、失真度 $<5\%$ 的正弦波形提供给负载。本文采用LC滤波电路对谐波进行滤除,具有效果好、结构简单等优点,其原理如图3所示。

其截止角频率为:

$$\omega = 2R/L$$

图3 LC滤波电路

式中 R 为公称阻抗,设其截止频率为 f_c ,则

$$C = \frac{L}{R^2} = \frac{2}{\omega R} = \frac{1}{\pi f_c R} \quad (11)$$

由于升流变压器本身存在漏感,所以上式中电感 L 可以用其本身漏感来表示,而漏磁通量为

$$W = \frac{\mu_0 H^2}{2} g d h = \frac{\mu_0 N^2 I^2}{2h} g d \quad (12)$$

由此可得漏感为:

$$L_s = \frac{2W}{I^2} = \frac{\mu_0 N^2}{h} g d \quad (13)$$

式中, L_s 为漏感; μ_0 为空气磁导率,由于空气中磁感应强度与磁场强度相近,可以将空气的相对磁导率近似为1,在RMKS单位制中 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$; N 为所需设计漏感线圈的匝数; g 为初级和次级线圈之间的平均周长; d 为初级和次级线圈的距离; h 为两个线圈之间的高度。

3.3 逆变主电路的设计

逆变主电路采用4个IGBT管构成全桥结构。绝缘栅双极型晶体管(IGBT)是由BJT(双极型三极管)和MOS(绝缘栅型场效应管)组成的复合全控型电压驱动式功率半导体器件。兼有MOSFET的开关速度快的特性,又有双极晶体管的饱和压降低、载流密度大、驱动电流大的特点。正是由于IGBT综合了以上两种器件开关频率高、工作电流大的优点,广泛应用于变频器、牵引传动、开关电源交流电机等领域。

通过式(7)所得到的初级经过的最大电流值28 A,再出于电压波动和安全性的考虑,确定用于全桥结构的IGBT模块参数为:最大初级电流需要在50 A以上,所能承受的电压需大于400 V。为

符合本设计要求采用了2MB175P-140。该IGBT模块的极限耐压值为1400 V,电流值为75 A。

IGBT管使用的重点主要是两个方面:有效地驱动IGBT管以及安全地使用。即IGBT管驱动电路和保护电路的设计。

目前很多公司都设计了驱动和保护IGBT管的集成驱动芯片,M57962L是日本三菱电气公司为驱动IGBT管而设计的厚膜集成电路,实质是隔离型放大器,采用光电耦合方法实现输入与输出的电气隔离,隔离电压达2500 V,并配置了短路与过载保护。本设计中选用的IGBT模块最大电流75 A,耐压1400 V,选用M57962L驱动模块具有很高的性价比并符合设计要求。

4 实验结果

利用相关模块搭建系统,系统经LC滤波后的输出信号波形如图4所示,频率值为50 Hz。

系统在相应输出电流值设定时实际输出电流值如表1所示。实验表明本恒流源系统输出电流稳定,误差在 $\pm 0.5\%$ 以内,输出波形谐波小,精确度高。通过设定可以满足不同场合对不同电流输出的需要。

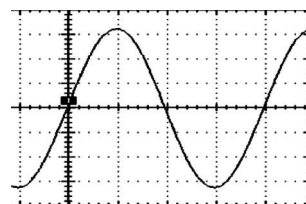


图4 输出波形

表1 输出电流情况

设定电流/A	实际电流最小值/A	实际电流最大值/A	稳定度/%
10	9.9	10.1	98.0
30	30.0	30.2	99.4
50	49.8	50.1	99.4
100	99.7	100.2	99.5
150	149.7	150.3	99.6
200	199.8	200.3	99.8

5 结语

实验结果表明,本文利用单片机产生SPWM交流恒流源解决方案具有输出电流波形稳定、精度高、误差小($\pm 5\%$)、线性好能适应不同的负载需求等优点。通过单片机设定不同的SPWM可输出0~200 A的电流,适用于各种不同的场合。

参考文献:

- [1] 张强,姚绪梁,张敬南.大功率直流电源并联运行的均流控制[J].电力电子技术,2011,45(3):73-75.
- [2] 杜鹏英,任国海,杜少武,等.基于IGBT器件的大功率DC/DC电源并联技术研究[J].原子能科学技术,2006,40(3):326-330.

(下转第63页)

配药机构的调配药进程。

2.3 程序设计

表1为PLC控制系统针对1台分装设备的主要组件说明。PLC程序由三菱GX Works2软件进行编写。图5为控制1台分装设备的PLC程序。

表1 组件说明

PLC软元件	控制说明
Y1	分装设备的电磁振动器动作
Y2	传输带步进电机电动作
Y3	出料口动作
M8002	启动正向脉冲 初始脉冲
X1	分装设备启动
X2	光电感应器

2.4 PLC与上位机的串行通信

PLC生产厂家一般都会开发软件实现自己生产的PLC与上位机的串行通信。但考虑硬件成本及程序的通用性,本设计采用VC编写程序实现PLC与上位机的通信。通过标准的RS-232C串行通信口,只需要一根数据线即可传输数据,然后根据实际使用要求编制通信软件,使上位机的中药药方信息快速传递给PLC,并在上位机上显示PLC的工作状态以实施控制。

3 结语

随着社会的发展,国内中药房迫切需要实现

