

# 交变交电源逆变器的研制

黄伟军<sup>1</sup>, 何继峥<sup>2</sup>, 郑天南<sup>1</sup>

(1.苏州科技学院 电子与信息工程学院,江苏 苏州 215011; 2.苏州科技学院 环境科学与工程学院,江苏 苏州 215011)

**摘要:**介绍了新开发的小型交变交式燃油发电机的特点与结构。重点分析了其逆变器的控制方式:AC/AC 变流技术——余弦交点法的实现原理,以及其软硬件的实现方法。该机器通过单片机软件实现晶闸管触发角的时序控制,替代传统的硬件电路,减少了器件,提高了产品的性价比。

**关键词:**余弦交点法;触发角;逆变器

中图分类号: TP212

文献标识码: B

文章编号: 1672-0687(2008)04-0064-04

随着边远地区人们生活水平的提高、野外工作与流作业量的增长,小型燃油发电机的需求量日益增大。目前,通用的燃油发电机采用交-直-交逆变技术:先把三相发电机产生的交流电整流滤波成直流电,再通过逆变器把直流电变换成人们日常生活中所需的工频交流电,交-直-交逆变器主电路结构如图1所示。文中介绍了一种交变交式燃油发电机,把三相发电机产生的三相交流电通过晶闸管交变交变频电路直接变换成工频交流电。它的基本结构如图2所示。由于逆变方式的不同,决定了交直交式燃油发电机的输出波形较好,而能量转换效率稍低,而交变交式燃油发电机由于没有中间环节,不需换流,提高了变频效率,简化了硬件电路,但输出波形稍差。对于野外工作来说,许多场合对电源的质量要求并不很高,因此,交变交式燃油发电机具有广阔的市场前景。

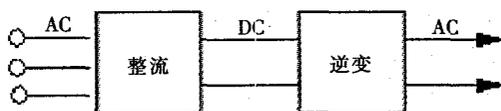


图1 交直交逆变器主电路结构

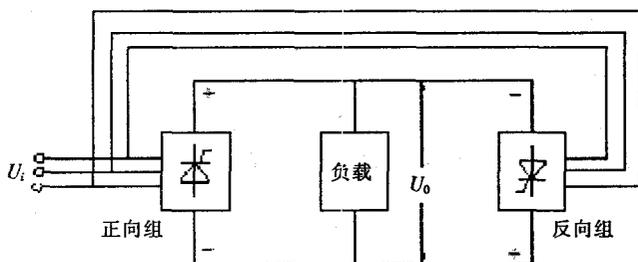


图2 交交逆变器主电路结构

## 1 交变交变频原理

电路构成如图2所示,由正向和反向两组三相零式整流器构成,正反组变流器P和N都是相控晶闸管变流电路。正向组工作时,负载电流 $i_o$ 为正,反向组工作时, $i_o$ 为负,两组变流器按一定的频率交替工作,负载就得到该频率的交流电,改变切换频率,就可改变负载电流的交变频率。

加在负载上的电压的大小和波形,可以通过控制正向和反向两组整流器的控制角 $\alpha$ 来实现。只要变频器的输出频率远低于输入频率,通过对 $\alpha$ 角的“调制”即可控制加在负载上的电压的波形。假如正向和反向两组整流器工作时保持 $\alpha$ 角为一特定值,这样加在负载的电压波形显然是矩形波。为了在负载上得到正弦波的电压,就需要对控制角 $\alpha$ 不断加以改变。如图3所示,为使 $u_o$ 波形接近正弦,可按正弦规律对 $\alpha$ 角进行调制,在半个周期内让正向组 $\alpha$ 角按正弦规律从 $90^\circ$ 减到 $0^\circ$ 或某个值,再增加到 $90^\circ$ ,每个控制间隔内的平均输出电压就按正弦规律从零增至最高,再减到零。在另半个周期内让反向组 $\alpha$ 角按正弦规律从 $90^\circ$ 减到

[收稿日期] 2008-05-25

[作者简介] 黄伟军(1966-),男,江苏苏州人,讲师,研究方向:电子仪器及通信技术。

0°或某个值,再增加到 90°,每个控制间隔内的平均输出电压就按正弦规律从零减至负的最高,再减到零。由图3可以看出: $u_0$ 由若干段电源电压拼接而成,在  $u_0$  一个周期内,包含的电源电压段数越多,其波形就越接近正弦波。两组变流电路采取无环流工作方式,一组变流电路工作时,封锁另一组变流电路的触发脉冲<sup>[1]</sup>。

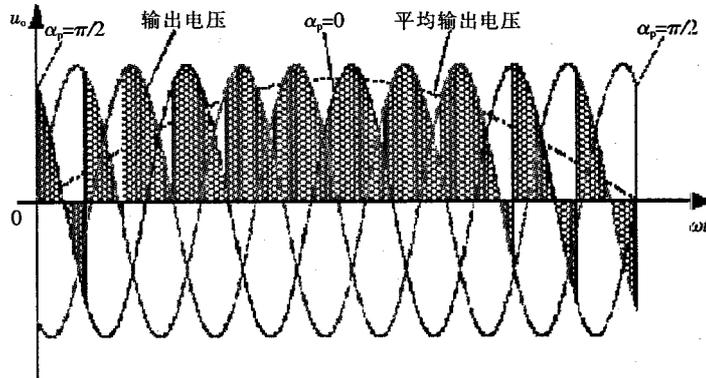


图 3 交变交变频波形图

为了得到较为理想的输出正弦波电压,目前最广泛使用的调制方法为余弦交点法。设  $U_{d0}$  为  $\alpha = 0$  时,整流电路的理想空载电压,则有

$$u_0 = U_{d0} \cos \alpha \tag{1}$$

每次控制时  $\alpha$  角不同,则  $u_0$  也不同。期望的正弦波输出电压为

$$u_0 = U_{0m} \sin \omega_0 t \tag{2}$$

比较(1)和(2)式,应使

$$\cos \alpha = \frac{U_{0m}}{U_{d0}} \sin \omega_0 t = \gamma \sin \omega_0 t \tag{3}$$

因此,可得余弦交点法基本公式

$$\alpha = \cos^{-1}(\gamma \sin \omega_0 t) \tag{4}$$

## 2 逆变器的硬件结构

发电机硬件结构框图如图 4 所示。

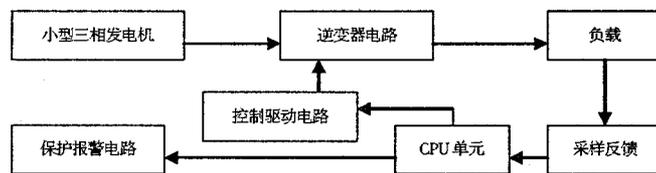


图 4 电源硬件结构框图

小型三相发电机是通过燃油在汽缸燃烧推动转子旋转产生频率数百赫兹的交流电。目前,这种产品技术较为成熟,种类齐全且价格低廉。逆变器电路是通过逆变器把发电机产生的高频交流电变换成人们日常工作生活中所需的工频交流电。按整流脉波数来分,交-交直接变频电路可分为 3 脉波、6 脉波、12 脉波等,显然脉波越多,电压波形越接近正弦波,纹波越少。但缺点是所需的晶闸管越多,电路也就越复杂。综合考虑产品用户的实际需求和硬件线路的成本控制,本逆变器电路采用 6 脉波的方式,如图 5 所示。正半周:1P6P、1P2P、3P2P、3P4P、5P4P、5P6P 根据触发角的大小依次循环导通;负半周:2N1N、2N3N、4N3N、4N5N、6N5N、6N1N 根据触发角的大小依次循环导通,形成正弦波电压输出。显然,A、B、C 三相电压频率越高,半周内,6 组晶闸管的导通次数也越多,波形越接近正弦波。

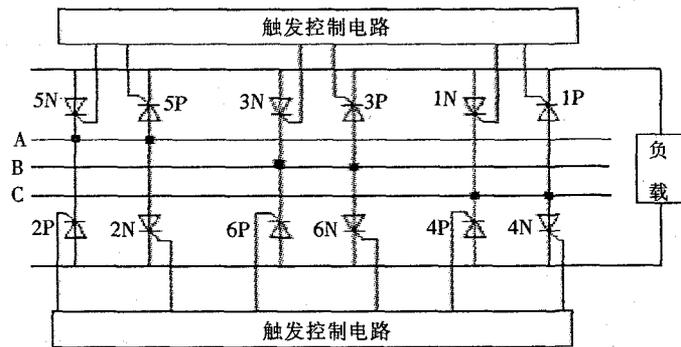


图 5 交变交逆变器电路

### 2.1 触发驱动电路

由该驱动电路根据 CPU 产生的触发时序信号驱动晶闸管依次开通,产生出标准的正弦波,同时把动力回路和控制回路通过光耦相隔离。

### 2.2 单片机控制电路

作为整个机器的大脑,采用 ATMEL 公司的 ATMELGA8 作为 CPU,控制着发电机的平稳运行。主要功能有:根据余弦交点法软件产生晶闸管触发时序信号,控制晶闸管的输出;根据输出电压反馈信号维持发电机的输出稳定;机器的过流、过压、短路保护和报警。本系统采用 ATMEL 公司 ATMELGA8 单片机,它具有以下特点:(1)先进的 RISC 结构,130 条指令,大多数指令执行时间为单个时钟周期,工作于 16 MHz 时性能高达 16 MIPS,只需两个时钟周期的硬件乘法器;(2)两个具有独立预分频器 8 位定时器/计数器,其中之一有比较功能;一个具有预分频器、比较功能和捕捉功能的 16 位定时器/计数器,三通道 PWM;(3)多通道的 10 位 ADC 转换器和低温漂的内部能隙基准,可以满足用户高精度的测量。模拟电源和数字电源是分离的,数字部分的干扰;(4)非易失性程序和数据存储器,8 kb 的系统内可编程 Flash,擦写寿命 10 000 次,512 b 的 EEPROM,擦写寿命:100 000 次;1 kb 的片内 SRAM;(5)高抗干扰性能,极适合燃油发电机这类具有强电磁干扰和振动的机器使用<sup>[2]</sup>。

与通用的变频电路相比,交变交电源的逆变过程与变频器虽然是一样的,但实现的过程却是大相径庭。作为变频器来讲,输入信号的频率是固定的,输出信号的频率是可调的,CPU 根据要求改变输出信号的频率,一旦设定完成,输出信号的频率也是不变的。作为交变交电源来讲,输出电压信号的频率要求是固定的,输入信号的频率取决于发电机的转速,负载越大,输出功率越大,转速也越高,而且,发电机本身的转速即使在固定的负载情形下也会上下波动,因此,输入信号的频率是动态变化的,CPU 应根据输入信号频率的改变随时调整触发角度,确保输出信号频率的稳定<sup>[3,4]</sup>。

目前,数控型交-交逆变器的触发控制方法主要有余弦交点法、平均取样法、改进取样法等。与后两种方法比较,余弦交点法有明显的优点,能将输出的电压波形的总畸变降至较低的水平,明显地降低输出电压中的谐波含量。

## 3 余弦交点法技术的软件设计

由于输入信号的频率是动态变化的,要确保输出信号频率的稳定,CPU 应实时跟踪输入信号频率。本电路采用的方法是在三相电源中任取一项,通过比较电路将其整形为同频率的方波。该方波的信号由 CPU 采集,并实时计算每个方波的周期,以便随时调整触发角度。

本系统所选用的单片机 ATMELGA8 特别具有一个“输入捕捉”功能。定时器 T/C1 的输入捕捉单元可用来捕获外部事件,并为其赋予时间标记以说明此事件的发生时刻。外部事件发生的触发信号由引脚 ICP1 输入,也可通过模拟比较器单元来实现。时间标记可用来计算频率、占空比及信号的其他特征,以及为事件创建日志。当引脚 ICP1 上的逻辑电平(事件)发生了变化,或模拟比较器输出 ACO 电平发生了变化,并且这个

电平变化为边沿检测器所证实,输入捕捉即被激发,16位的TCNT1数据被拷贝到输入捕捉寄存器ICR1,同时输入捕捉标志于ICF1置位。如果此时ICIE1=1,输入捕捉标志将产生输入捕捉中断。中断执行时ICF1自动清零,或者也可通过软件在其对应的I/O位置写入逻辑“1”清零。因此,CPU可方便地利用两次输入捕捉产生的中断所记录的时间计算出每一个输入波的周期。

为了实现通过余弦交点法触发,输出50 Hz频率的正弦波,程序以20 ms为基本的时间单位,根据输入捕捉产生的中断所记录的时间计算出每一个输入波的周期,从而推算出20 ms内共有多少个三相正弦波输入,每一相对应一个触发角,根据余弦交点法所计算出来的角度大小,分别触发。由于输入信号的频率是动态的,输入频率随时都在改变,因此,每个工频周期内所有的触发角都有可能不一样。如果每次都根据所测得的输入电压频率按余弦交点法来计算触发角,单片机显然无法承受。为此,笔者采用查表法来解决问题。对发电机来讲,从空载到满负荷,三相输入电压的频率在400~600 Hz范围内变化,不同的频率,触发角都不一样,通过余弦交点法将每一种频率的对应触发角都计算出来,列表存储。单片机根据每个工频周期内测到的三相输入电压的频率查找到对应的触发角,完成触发过程<sup>[5]</sup>。

目前,采用该电路功率为800 W的样机已通过测试和寿命试验,发电机三相输出交流电压260~300 V,频率在400~600 Hz范围内变化,交流输出单相电压 $230\pm 2$  V,频率 $50\pm 0.5$  Hz,功率800 W,线性负载非线性失真 $< 8\%$ 。机器的各项指标满足设计的要求,已开始批量生产。

## 4 结论

笔者利用单片机日益强大的功能,将传统的交-直-交逆变电路简化为交-交逆变电路,由晶闸管来实现换流过程,比较而言,采用晶闸管实现的交-交逆变电路要比采用IGBT实现的交-直-交逆变电路简单,器件费用低,虽然波形质量有所降低,但完全能够满足野外作业的需求,由于成本的降低,有广阔的市场需求。

### 参考文献:

- [1] 何必,林桦. 实现余弦交点法的一种近似算法[J]. 电力电子技术,2004,38(6):79-81.
- [2] 马潮,詹卫前. ATMEGA8原理及应用[M]. 北京:清华大学出版社,2003.
- [3] 马立华. 一种低成本小功率变频器的设计[J]. 微计算机信息,2006,22(1):164-166.
- [4] 王丽军,王萍. 基于IPM的单相SPWM中频电源[J]. 通信电源技术,2005,22(5):25-27.
- [5] 杨龙. 基于TMS320F2812的变频器设计[J]. 变频器世界,2005,(10):47-49.

## Development of an AC-AC Converter Circuit

HUANG Wei-jun<sup>1</sup>, HE Ji-zheng<sup>2</sup>, ZHENG Tian-nan<sup>1</sup>

(1.College of Electron and Information Engineering,USTS,Suzhou 215011,China; 2.School of Environmental Science and Engineering,USTS,Suzhou 215011,China)

**Abstract:** A kind of new intelligent oil generator is introduced. The cosine wave-crossing method is emphatically reported, which is generated by software based on ATMEGA8 MCU, instead of special integrated circuit. The machine is characteristic of high cost performance.

**Key words:** cosine wave-crossing; firing angle; converter

责任编辑:艾淑艳