

回转式空气预热器变频-工频 同步切换控制器

赵 跃,张伊辉,郑 岗

(西安理工大学 信息与控制工程研究中心,陕西 西安 710048)

摘要: 大容量回转式空气预热器在变频-工频切换瞬间,常因电源相位不一致引发过电流冲击而导致切换失败。为有效解决这一问题,开发了基于锁相环技术的变频-工频同步切换控制装置。将变频器作为压控振荡器(VCO);采用高性能的 C8051F 单片机作为主控制器,通过其内部集成的高速 AD/DA 转换器采集变频、工频电压信号,利用软件锁相技术,经数字运算进行鉴相和锁相控制,实现变频与工频之间的相位锁定。实际运行证明,该同步切换装置锁相快速、准确,稳态相位误差小于 $\pm 7^\circ$,切换电流小于 1.5 倍电机额定值,实现了空气预热器变频-工频的无扰切换。

关键词: 回转式空预器; 变频-工频同步切换; 锁相环技术; C8051F 单片机

中图分类号: TM 921.51

文献标识码: B

文章编号: 1006-6047(2006)08-0071-04

0 引言

回转式空气预热器(简称空预器)是大型火电锅炉必备的空气预热设备。它布置在锅炉的尾部烟道,用来回收废气中的残余热量,其主体是一个转动惯量很大的蓄热元件转子。传统空预器采用围带驱动,通过齿轮拨动空预器转子外沿的围带使空预器旋转。由于围带的影响空预器转子周向密封必须留有缺口,从该缺口泄漏的空气大约使空预器漏风率增加 1%。为了进一步降低空预器的漏风率,近年来各空预器制造厂家纷纷取消了安装在空预器周向的驱动围带,改用中心轴驱动方式。

采用中心轴驱动方式后传动力臂减小,空预器驱动机构的输出力矩增大了数十倍。同时,近年来火电机组容量不断提高,空预器的转动惯量也随换热量的提高而成倍增加。因此,原有的直接启动方式已经不能满足中心驱动式大容量空预器的使用要求。为避免过大的启动冲击损坏设备、干扰电网,必须考虑合适的电机软启动方法。

因为空预器属于重载设备,受惯性和摩擦力的影响,启动时需要很大的力矩。由于变频器具有很好的低速扭矩特性,可以提供空预器所需的大启动力矩。因此,中心驱动的空预器必须采用变频器作为软启动器。空预器正常工作时为定速运行,不需要调速,变频器的存在不但会增加电能损耗还会降低空预器运行的可靠性。因此,空预器启动完成后就遇到了如何将驱动电机由变频向工频切换的问题。

大功率三相异步电机变频-工频切换能否成功的关键问题是在转换的瞬间工频电源和变频电源相

位是否一致。如果相差较大,电机的反电势与电网电压叠加后,会形成很大的冲击电流。当变频器输出电压与电网电压的相位差为 180° 时,情况最为严重^[1-4]。这不仅达不到软启动的效果还会引起电源跳闸,影响电网上其他设备的正常工作,严重时甚至会损坏机械设备。

因难以保证切换瞬间 2 个电势同相位要求,工程实践中常采用延时切换方法以避免因相位差引起的电流冲击问题。然而,空预器运行中摩擦阻力较大,一旦脱开驱动电源,其转速将迅速下降,3 s 内约下降 5~10 Hz。当延时结束工频电源接入电机时,由于较大的转速差仍会造成切换冲击,容易引起连轴器等机械设备的冲击损坏。现场观察,空预器在延时切换的过程中驱动机构有强烈的震动。

1 同步切换控制器设计思想

要实现空预器变频软启动的无扰切换,最好采用同步切换技术。文献[2]通过调节变频器的输出电压调整相位,同时检测变频器输出侧与电网侧对应相间的电压,当其最小时视为同相,这种方法虽可在一定程度上减小切换时的冲击,但这种试凑法无法对工频相位进行实时跟踪,切换的可靠性难以保证;文献[5-6]利用锁相技术,开发出相应的同步切换装置,取得了比较满意的效果。文献[5]采用集成锁相环芯片实现锁相控制,用单片机对同步切换操作进行控制;文献[6]利用双 D 触发器、 U/f 变换器、可控电子开关等外围硬件电路及单片机共同组成鉴相电路,并在单片机内用软件进行锁相控制。

本文设计了一种以 Cygnal 公司高性能单片机 C8051F 为核心的切换控制器。该控制器以变频器作为压控振荡器(VCO),利用软件锁相技术,将鉴相、

锁相及同步切换控制功能全部在单片机内用软件实现。该控制器不仅能快速、准确地锁定变频电压与工频电压的相位,保证空预器在同频同相的条件由变频电源到工频电源的快速无扰切换;而且简化了硬件电路,提高了系统的可靠性,降低了能耗,节约了空间,符合“硬件软化”的发展方向。该控制器显著提高了空预器变频驱动装置的性能。

2 基于锁相技术的同步切换控制

2.1 锁相环构成及工作原理

锁相环由鉴相器(PD)、环路滤波器(LF)和压控振荡器(VCO)3个基本组件构成,如图1所示。

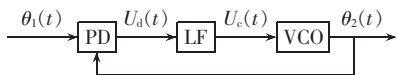


图1 锁相环原理框图

Fig.1 The block diagram of PLL

锁相环路会根据相差产生控制信号 $U_c(t)$,以调节 VCO 的输出频率,直至其输出信号频率和相位与参考信号一致^[7]。本设计以工频电源作为锁相环参考输入信号,以变频器作为压控振荡器,通过锁相环相位跟踪及锁定功能,使变频器输出与工频电网的频率、相位达到一致,进而实现无冲击的平稳切换。

图2所示为变频器用作压控振荡器的原理图。

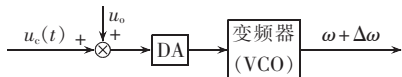


图2 变频器作为VCO原理图

Fig.2 The principle of inverter as VCO

图中 u_o 为变频器输出 50 Hz 时的控制信号, $u_c(t)$ 为锁相运算出的控制量,将 $u_o + u_c(t)$ 经 DA 转换为模拟信号发送给变频器,以控制变频输出电压的频率和相位,达到跟踪工频电源频率和相位的目的。 $\omega = K_o u_o$, $\Delta\omega(t) = K_o u_c(t)$ 表示在控制信号 u_o 、 $u_c(t)$ 作用下的变频输出电压角频率(K_o 为压控增益),则变频器输出电压可表示为

$$u_v(t) = U_2 \sin \left\{ \int [\omega + \Delta\omega(t)] dt + \theta_0 \right\} = U_2 \sin [\omega t + \theta(t)] \quad (1)$$

式中 $\theta(t) = \theta_0 + K_o \int u_c(t) dt$, θ_0 为初始相位。

从式(1)分析,变频器在相位跟踪中起着积分器作用,通过 $u_c(t)$ 可对变频输出电压相位进行控制。

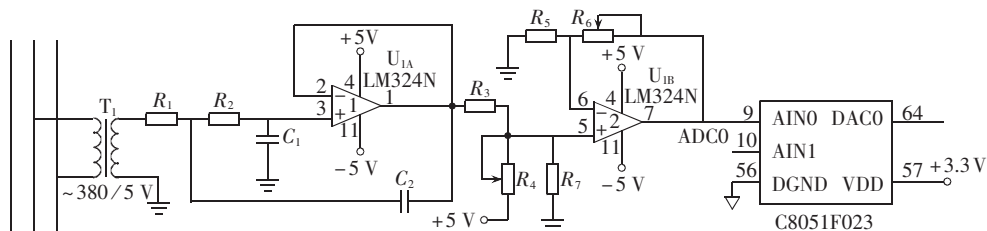


图4 信号采集及变换电路原理图

Fig.4 The principle diagram of signal acquisition and conversion circuit

2.2 切换控制系统的结构和功能

图3为空预器变频软启动切换系统结构原理图。

MCU 为微控制器,为了满足锁相控制中的高速运算要求,设计中选用了Cygnal公司的C8051F单片机。该单片机采用流水线结构,与标准8051单片机相比指令执行速度提高了12倍,时钟频率可达25 MHz。同时,该单片机内部集成了12位AD、DA转换器,可以直接用于信号的采集和控制电压的输出。SSR为固态继电器,由MCU的I/O接口引脚驱动,SSR的输出用于驱动交流接触器 KM_1 、 KM_2 实现驱动电源的切换。

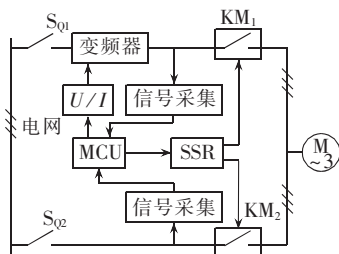


图3 变频-工频切换控制系统原理图

Fig.3 The block diagram of VF-FF switchover system

控制器切换过程如下:首先,闭合 KM_1 ,断开 KM_2 ,变频器拖动电机进行软启动;当变频器输出频率升至 50 Hz,电机达到预定转速后,系统进入锁相阶段;锁相控制程序根据采样数据进行运算并产生相应的控制量,经 U/I 转换成电流信号后发送给变频器,以调节其输出频率从而达到调整相位的目的;当变频器输出电压相位与工频电压相位一致,满足切换条件时,MCU 通过 SSR 控制 KM_1 、 KM_2 动作,完成由变频电源向工频电源的切换。

2.3 切换控制系统硬件电路设计

图4所示为信号采集电路,它由变压器、低通滤波器及信号变换电路组成,用于采集工频电压及变频器输出电压信号。LM324N的 U_{1A} 单元与 R_1 、 R_2 、 C_1 、 C_2 组成带正反馈的二阶低通滤波器,由于变频器的输出电压是SPWM信号,含有大量的高次谐波,低通滤波电路可以滤掉其中的高频噪声,得到标准的双极性正弦信号,幅值在 ± 7 V 之间。由于低通滤波会影响正弦信号的相位,为保证相位锁定的精度,对于没有高次谐波的工频电源也要使用相同的滤波电路进行滤波处理,使相位滞后互相抵消。C8051F单片机内部AD转换器要求输入信号范围是0~2.4 V,是单极性的,需要设计电路将双极性信号变换为单极性,再送到AD转换单元。转换电路由图4中

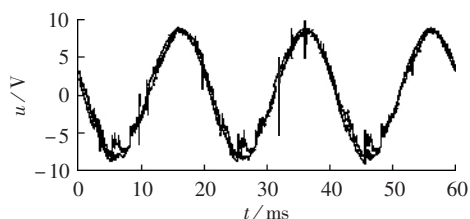


图8 相位锁定后工频、变频电压波形(滤波后)

Fig.8 The voltage waveforms of VF and FF after filtering in phase-locked state

测到的电压波形。图7为滤波之前的波形,其中斩波信号为变频器输出电压,正弦信号为工频电压;图8为经过低通滤波之后的电压波形。由图中波形可以看出,所设计的锁相控制系统具有很高的锁相精度,变频和工频电压波形几乎完全重合;而且系统也具有很好的动态性能,变频输出电压能实时跟踪锁定工频电压相位的变化。

4 结语

基于 Cygnal 公司 C8051F 单片机组成的同步切换装置,充分利用了 C8051F 单片机指令执行速度快的特点,通过数字运算实现鉴相和控制,最终达到相位锁定的目的。试验表明:该同步切换装置锁相快速、准确,有效解决了空预器启动过程中的变频-工频切换问题。该设备的使用有力推动了大型火电锅炉空预器的技术进步,提高了设备整体性能和可靠性。

这种同步切换控制方法同样适用于其他重载设备或对切换平稳性有要求的设备。例如,电厂的输煤程控系统和大容量变频恒压供水。因此,本文介绍的同步切换方法有一定的推广使用价值。

参考文献:

- [1] 黄良沛,刘义伦,阳小燕. 大功率电机平稳切换的理论探讨与方法研究[J]. 大电机技术,2004(3):13-16.

HUANG Liang-pei, LIU Yi-lun, YANG Xiao-yan. Discussion in theory and research in method of smooth transformation for high-power electromotor[J]. Large Electric Machine and Hydraulic Turbine, 2004(3):13-16.

- [2] 胡纲衡,唐瑞球,江志敏,等. 交流变频调速的切换控制技术[J]. 电工技术杂志,2001(6):43-45.
HU Gang-heng, TANG Rui-qiu, JIANG Zhi-min, et al. Transfer control technology of AC variable frequency drive[J]. Electro-technical Journal, 2001(6):43-45.
- [3] 徐甫荣. 关于变频器的输出切换问题探讨-兼论水泵群软启停控制方案[J]. 电气传动自动化,2002,24(4):19-23.
XU Fu-rong. Exploration of output switching for the frequency inverts[J]. Electric Drive Automation, 2002, 24(4):19-23.
- [4] 朱洪波,于庆广,李锴,等. 高压变频器与工频电源之间软切换方式的研究[J]. 电力系统自动化,2004,28(6):91-93.
ZHU Hong-bo, YU Qing-guang, LI Pei, et al. Research on soft-switching mode between high-voltage inverter and fundamental frequency power supply[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(6):91-93.
- [5] 刘英. 采用锁相同步切换技术的变频恒压供水控制系统[D]. 北京:北京工业大学,2002.
LIU Ying. Variable-frequency constant-pressure water supply system using synchronous switch with PLL [D]. Beijing:Beijing University of Technology, 2002.
- [6] 杨玉珍,刘红云,赵岗金,等. 锁相技术在变频恒压供水系统中的应用[J]. 电气传动,2003(6):58-60.
YANG Yu-zhen, LIU Hong-yun, ZHAO Gang-jin, et al. Application of phase-lock technique in variable-frequency constant-pressure system of water supply[J]. Electric Drive, 2003(6):58-60.
- [7] 张厥盛,郑继禹. 锁相技术[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2001.

(责任编辑:柏英武)

作者简介:

赵跃(1972-),男,陕西西安人,博士研究生,主要从事工业过程的建模与控制以及新型检测技术与装置方面的研究工作(E-mail:zhaoyue@xaut.edu.cn);

张伊辉(1971-),男,河南洛阳人,硕士研究生,主要从事测控技术及电力电子应用方面的研究;

郑岗(1964-),男,陕西西安人,教授,主要从事计算机信息技术及应用的研究。

VF-FF synchronous switchover controller for revolving air preheater

ZHAO Yue, ZHANG Yi-hui, ZHENG Gang

(Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: At the switchover moment of high-power revolving air preheater from VF(Variable Frequency) to FF(Fundamental Frequency), the large impact current caused by their inconsistent phases may result in switchover failure. A VF-FF synchronous switchover device based on the PLL (Phase-Locked Loop) technology has been designed for it. The device takes the inverter as VCO (Voltage-Controlled Oscillator), the high performance single-chip C8051F integrated with high-speed AD and DA converters as the main controller. It samples voltage signals of VF and FF sources and realizes phase-locked control by software phase-detecting and phase-locking operations. Experiment results show that the device can lock phase quickly and accurately, its steady phase error is within $\pm 7^\circ$ and switching current is below 1.5 times of motor rated current. The device realizes bumpless switchover for air preheater from VF to FF supply source.

Key words: revolving air preheater; VF-FF synchronous switching; PLL technology; single-chip C8051F