

# 基于 ATmega16 的双电源自动切换控制器

刘用锋<sup>1</sup>, 王克英<sup>1</sup>, 李长青<sup>2</sup>

(1. 华南理工大学电力学院, 广东 广州 510640; 2. 广州军区空军司令部, 广东 广州 510071)

**摘要:** 提出一种以 AVR 单片机 ATmega16 为核心、以断路器为控制对象的双电源自动切换开关控制器的设计方案。充分利用高性能 AVR 单片机的片内资源, 以其片内 A/D 转换器实现电源电压监测, 以其输入捕获测量电源频率并配合外部中断测量相序, 以其 SPI 总线接口控制数码显示驱动器, 以并行接口连接按键以便设置参数并利用片内 EEPROM 存储参数, 以并行接口经过光耦隔离实现断路器监控。采取硬件和软件双重抗干扰措施提高控制器的可靠性。

**关键词:** 自动切换装置; 控制器; AVR 单片机; ATmega16

**中图分类号:** TM762 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2006)23-0054-04

## 0 引言

随着经济的发展, 电力用户对供电电源的质量和连续供电的要求越来越高。在一些重要的用电部门(如医院、机场、军事设施等), 为保证重要电气设备正常工作, 一般都采用两路独立电源供电, 其中一路为常用电源, 另一路为备用电源, 两路电源的切换控制由双电源切换装置完成<sup>[1]</sup>。

双电源自动切换装置由具有电源监测和执行元件监控功能的控制器以及执行元件组成, 主要功能是最大限度地保证供电的连续性。对于要求电源切换时间较短的负荷, 可以采用无触点电力电子开关作为执行元件<sup>[1]</sup>, 实现几个周波以内的快速切换甚至实现无缝切换<sup>[2]</sup>。由于大多数重要负荷允许有零点几秒甚至几秒钟的间断供电, 双电源切换装置一般采用接触器或断路器作为执行元件。控制器核心通常采用可编程逻辑控制器(PLC)<sup>[3]</sup>或单片机。目前此类控制器通常基于对电压的检测和判断来控制切换<sup>[4]</sup>, 或者增加频率检测和判断<sup>[5]</sup>。根据现场实际, 装置初次接线时可能的接线错误将使三相交流电动机发生反转导致严重生产事故; 同时随着配电自动化的发展以及用电需求侧管理的实施, 远程通讯控制将成为自动控制开关的必备功能, 为此设计了新型双电源自动切换开关控制器。

该控制器以 ATmega16 单片机为核心, 充分利用其丰富的片上外设接口, 通过对两路电源电压、频率以及相序的检测和判断自动切换电源, 并可以由用户根据需要选择控制模式、设定电压和频率的正常工作范围、设定切换延迟时间。

## 1 控制器的硬件设计

### 1.1 硬件结构设计

双电源自动切换控制器主要由电压转换、波形变换、断路器状态检测、断路器状态控制、按键、显示、通讯以及单片机等模块组成, 其结构如图 1 所示。

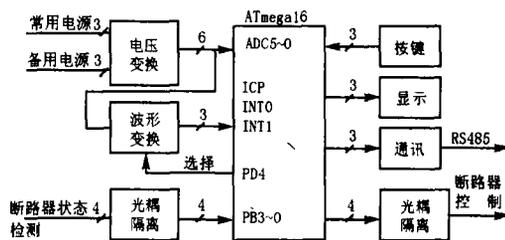


图 1 控制器结构框图

Fig 1 Structure of the controller

控制器的核心 ATmega16 是一款基于 AVR RISC(精简指令集)的低功耗 CMOS 高性能 8 位单片机, 具有将近 1M IPS/MHz 的性能<sup>[6]</sup>。片内集成了 16 KB 的 Flash 程序存储器、1 KB 的 SRAM、512 B 的 E<sup>2</sup>PROM 以及丰富的外部接口(2 个 8 位定时/计数器、1 个具有输入捕获输出比较以及 PWM 功能的 16 位定时/计数器、8 通道 10 位 A/D 转换器、I<sup>2</sup>C 串行接口、UART 通用串行接口、SPI 同步串行接口以及片内模拟比较器), 片内具有可编程看门狗定时器, 有较好的抗干扰能力。

两路电源经电压互感器(PT)变换成最大幅值为 2.5 V 的交流信号, 叠加 2.5 V 的直流偏置以后接入 ATmega16 的 A/D 输入端(ATmega16 的片内 ADC 只能进行单极性 A/D 转换)测量电源电压幅

值;交流信号经过零比较器组成的波形变换电路处理成方波信号,三相分别接入输入捕获端(ICP)、外部中断0(NT0)和外部中断1(NT1)测量电源频率和相序,并由一根I/O口线(PD4)对两路电源的方波信号进行选择。

为了提高抗干扰能力,从两路断路器辅助触点引入的断路器状态信号经光耦隔离接入单片机并行接口(PB3~PB0),并通过面板上的LED给出指示。由并行接口(PC7、PC6、PC1、PC0)发出的断路器分合闸控制命令亦经光耦隔离及驱动电路接入断路器的电动操作机构。

设置参数的按键通过并行接口(PA7、PA6、PD7)接入单片机并采用内部上拉输入方式,数码管与发光二极管的显示由SPI总线(PB4、PB5、PB7)经LED显示驱动电路MAX7219实现。

通讯模块为了兼容以往的智能电器控制网络,选用RS485全双工通信向计算机或其他RS485控制器提供电源状态信息和自动转换开关运行状态信息,并可通过计算机或其他RS485控制器控制自动转换开关工作,或修改自动转换开关运行参数。具体电路由通用串行接口UART的数据接收线和数据发送线(RXD、TXD)及选定的发送允许控制线(PD5)经RS485驱动器MAX485完成。

软硬件调试通过JTAG接口进行。当调试及程序固化完成后,利用与JTAG接口共用的2根I/O口线通过与断路器控制电路相同的驱动电路实现柴油发电机的起停控制。

## 1.2 主要工作原理

当控制器检测到常用电源电压或频率出现的偏差超出用户设定的范围或相序错误时,延时发出常用电源断路器分闸命令,同时发出发电指令请求柴油机开始发电;当备用电源电压和频率达到正常范围且相序正确时,延时发出备用电源断路器合闸命令;如果常用电源恢复正常,则首先延时发出备用电源断路器分闸命令,然后延时发出常用电源断路器合闸命令,自动将负载切换到常用电源同时发出停电指令请求柴油机停止发电。

设计的延时特性是可恢复的,即延时时间内检测到的状态变化恢复原状时终止延时过程。这种延时控制可以防止检测过程中的干扰导致控制器误动作,同时可以有效防止由于断路器电动操作机构动作时间不一致可能导致的瞬间同时合闸现象。

双电源自动切换装置的两台断路器通常带有机电互锁装置,在控制器设计中又考虑了软件电气互

锁,根据切换逻辑以及断路器状态确定断路器命令,从而保证当一个断路器处于合闸状态时不会发出另一个断路器的合闸的信号,进一步提高了工作可靠性。

## 2 信号检测方法

### 2.1 电源电压检测

根据频率监测结果,分别利用8位定时/计数器T0和T2以中断的方式设定常用电源(ADC0~ADC2)和备用电源(ADC3~ADC5)的采样间隔,每周波采样16点。ATmega16单片机的模数转换器为10位,其采样误差为 $1/2^{10} \approx 0.1\%$ 。电压有效值可运用离散傅里叶变换(DFT)对一个周期的电压采样值进行处理,通过计算基波电压的正弦分量与余弦分量,求出基波电压有效值。其优点是可以直接滤除直流分量,但对于含有谐波分量的信号而言,基波有效值与总有效值之间会有一定误差,尤其当谐波成分较大时。而采用DFT计算高次谐波分量的计算量又很大,尽管ATmega16是高速单片机但仍然不能满足实时计算的要求,经过实验比较,实际应用中采用了按照有效值定义计算电压有效值的方法,并对连续采集5个周波的数据进行计算以滤除噪声,其中直流分量的数值通过实验(校表)的方式确定并存储在EEPROM中。

### 2.2 电源频率检测

分别用过零电压比较器将常用电源和备用电源的三相交流电压整形成方波信号,利用单片机的一根I/O口线控制三组2选1数字开关(数据选择器)将A、B、C三相方波信号分别输入到单片机的输入捕获端口ICP及外部中断源输入端口NT0、NT1(均设置为上升沿输入捕获以及外部中断请求)。

16位定时/计数器T1的时钟设置为晶振频率(8MHz)的8分频,即计数器的时钟频率为1MHz,每 $1\mu\text{s}$ 计数器加1。当输入捕获引脚发生正跳变时定时计数器T1的计数值自动锁存到输入捕获寄存器并发出中断申请,可以在中断服务程序中读取输入捕获寄存器的计数值,而两次输入捕获中断的计数值之差即为信号周期,根据周期即可计算频率。

为了提高频率测量的精度和可靠性,在实际设计中同样采取多周波测量,即通过捕获多个上升沿取平均获得脉冲信号的周期。假设输入捕获通道在检测到第1个及第 $n+1$ 个脉冲信号的上升沿时定时计数器 $T_1$ 的计数值分别为 $m_1$ 、 $m_2$ ,计数器溢出次数为 $N$ ,则所测频率为:

$$f = \frac{n}{(m_2 - m_1 + N \times 65536) \times 10^{-6}} \quad (1)$$

当 A 相电压缺相时,利用 B 相电压的方波信号 (NT0) 或 C 相电压的方波信号 (NT1) 进行频率测量。此时需要在中断服务程序中读取运行中定时器的计数值,这种方式引入了中断响应以及中断服务开始至读计数器过程的时间延迟导致的测量误差。这种误差通常可以忽略不计,也可以通过固定补偿的方法减小该误差。

### 2.3 电源相序检测

相序检测和频率检测采用同一套信号调理电路和类似的监测方法,在 A 相方波的输入捕获中断和 B 相方波的外部中断服务中分别记下信号上升沿时的定时器计数值 (即发生时刻)  $t_1$  和  $t_2$ , 其差值  $\Delta t$  对应于信号正向过零时间间隔,再根据相位差的定义,周期同为  $T$  的两个信号,其相位差  $\phi$  与时间差  $\Delta t$  之间的关系为

$$\phi = 360^\circ \times \frac{\Delta t}{T} \quad (2)$$

由此得出 AB 两相间的相位差,并进行判断,若  $110^\circ < \phi < 130^\circ$  可认为相序正常。

当 A 相电压缺相时,因为已经不满足三相交流电压的正常相序关系,故不再测量 BC 两相间的相位差,而直接判定为相序错误。

## 3 控制器的软件设计

控制器软件结构采用模块化设计的思想,包括 1 个主模块和 6 个子模块 (电源状态监测模块、断路器状态监测模块、断路器控制模块、按键处理模块、数据显示模块、通讯模块等)。

### 3.1 主模块程序设计

双电源自动切换控制器主程序的任务是根据电源状态监测模块检测的电源电压、频率及相序结果进行判断,确定是否需要切换电源,并根据断路器状态监测模块提供的断路器状态信息以及电源切换逻辑确定是否需要发出断路器控制指令,完成相应操作。主程序流程图如图 2 所示。

其中按键处理、电源监测、断路器监测和断路器控制功能实时扫描处理,而数据显示功能在定时器控制下按照 2 秒的显示刷新率进行。

### 3.2 子模块程序功能

1) 电源状态监测模块。在定时器中断控制下完成交流电压信号的 5 周波数据采集,减掉直流量以后按照有效值定义计算电压有效值;在输入捕

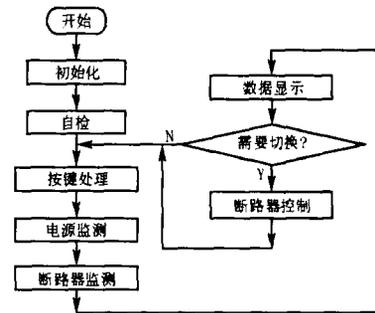


图 2 主程序流程图

Fig 2 Flow chart of main process

获中断和外部中断控制下完成频率和相序测量;把电压有效值和频率与用户设置的正常工作时电源电压和频率上下限进行比较,向主程序模块传递每一路电源是否符合用户要求的状态信息,并向数据显示模块和通讯模块传递详细的电压和频率参数。为了增强测量的可靠性,在算法程序之前采用数字滤波的方法对采集的数据进行预处理,提高控制器的抗干扰能力。

2) 断路器状态监测模块。通过并行接口读取断路器辅助触点对应的开关量,确定每一路断路器的分合闸状态和脱扣报警状态信息。这些信息一方面传递给主程序模块配合电源信息做出正确的切换判断,确保两个断路器不会同时合闸,避免发出重复指令,同时对指令执行结果进行反馈;另一方面传递给数据显示模块和通讯模块。

3) 断路器控制模块。根据电源状态、断路器状态以及切换逻辑启动每一切换步骤预先设定的延时时间,如果延时结束时电源状态仍然满足切换条件则发出正确的断路器分合闸指令或柴油发电机起停指令,如果延时结束前电源状态恢复则终止延时并退出控制模块。

4) 按键处理模块。完成按键处理,读入并显示用户设定的电压检测上下限参数、频率偏差以及切换延时时间,并把这些参数存储在片内 EEPROM 中,当单片机复位后进行初始化时从 EEPROM 读到 SRAM 中。

5) 数据显示模块。在定时器控制下利用数码管显示电源电压、频率,利用发光二极管显示每一相电压是否过压、欠压,显示断路器分合闸状态和脱扣报警。

6) 通讯模块。在串行口数据接收中断的控制下响应上位机指令,接收上位机发送的设置参数,上传两路电源状态和断路器状态信息。

#### 4 结束语

本文设计的控制器采用 AVR 高性能单片机 ATmega16,充分利用片内资源实现电源电压、频率和相序检测、断路器监控以及 RS485 通讯功能,具有良好的人机交互界面,使用户可以方便地根据备用电源及负荷的实际情况设定电压频率偏差和动作延迟时间等各项参数。由于减少了外围电路并采取光耦隔离、屏蔽、看门狗以及数字滤波和可恢复延时特性等一系列软硬件措施,使得控制器具有很好的抗干扰能力。

#### 参考文献:

- [1] 于庆广,官荷林,李建勋. 智能无触点开关及双回路电源自动投切装置 [J]. 电工技术杂志, 2004, (5): 72-73, 82  
YU Qing-guang, GUAN He-lin, LI Jian-xun. A Set of Novel High Power Contactless Switch for Double Power Supplies [J]. Electrotechnical Journal, 2004, (5): 72-73, 82
- [2] 秦娟英,陆家珍,吴国平. 双供电电源系统数字式智能控制策略 [J]. 电力系统自动化, 2004, 28(16): 93-96  
QIN Juan-ying, LU Jia-zhen, WU Guo-ping. Digital Intelligent Control Strategy for a Dual Power Supply System [J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(16): 93-96
- [3] Ashour H. Automatic Transfer Switch (ATS) Using Programmable Logic Controller (PLC) [J]. IEEE Mechatronics, 2004 531-535.
- [4] 陈国栋,徐国卿,张明锐,等. 基于 AVR 型单片机智能双电源开关的研制 [J]. 通信电源技术, 2005, 22(4): 14-16, 25  
CHEN Guo-dong, XU Guo-qing, ZHANG Ming-ru, et al. Development of Automatic Switching Device Based on AVR Singlechip for Duplicate Power [J]. Telecom Power Technologies, 2005, 22(4): 14-16, 25
- [5] 李雨,丁鸿杰,齐从谦. 双供电系统实时监控和自动切换装置的研制 [J]. 工业仪表与自动化装置, 2003, (5): 58-61.  
LI Yu, DING Hong-jie, QI Cong-qian. The Development of a Real-time Surveillance and Automatic Switching Apparatus for Use with a Double Power Supply System [J]. Industrial Instrumentation & Automation, 2003, (5): 58-61.
- [6] 耿德根,宋建国,马潮,等. AVR 高速嵌入式单片机原理与应用 (修订版) [M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2002  
GENG De-gen, SONG Jian-guo, MA Chao, et al. Theory and Application of AVR High-speed Embedded Chip (Revised Edition) [M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 2002

收稿日期: 2006-07-03; 修回日期: 2006-09-12

#### 作者简介:

刘用锋 (1979-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统的运行与控制; E-mail: fjljlyf@163.com

王克英 (1963-), 男, 博士, 教授, 从事电力系统监测与控制的研究。

### Design of dual sources automatic transfer switches controller based on ATmega16

LU Yong-feng<sup>1</sup>, WANG Ke-ying<sup>1</sup>, LI Chang-qing<sup>2</sup>

(1. Electrical Power Institute, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China;

2. General Headquarters of the Air Force of Guangzhou Military Command, Guangzhou 510071, China)

**Abstract:** Based on AVR MCU ATmega16, a design scheme of an intellectualized controller is presented for dual sources automatic transfer switches with circuit-breakers in heavy-loaded distribution systems. The on-chip peripherals of the micro-controller are used adequately by measuring the voltage of the sources with its A/D converter, measuring the frequency and phase order of the sources by input capture and external interrupt function, connecting LED display driver with SPI interface. Critical parameters are set by panel and stored to the on-chip EEPROM. The status detection and driving control of circuit-breakers are performed by parallel interface with optical coupling. The reliability of the controller is enhanced by taking several measures both in hardware and software to prevent electromagnetic interference.

**Key words:** automatic transfer switch; controller; AVR MCU; ATmega16