

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2018.03.008

# 多电飞机主发电机供电条件 模拟装置设计

## Simulation Device Design of Generator Power Supplying Condition for More Electric Aircraft

赵乐笛 钱长林 李亚峰 周洁敏 郑 罡 /

ZHAO Ledi QIAN Changlin LI Yafeng ZHOU Jiemin ZHENG Gang

(南京航空航天大学, 南京 210016)

(Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

### 摘 要:

多电飞机主发电机要接入电网向电网供电,须要满足很多条件。首先要使准备接通的发电机励磁,然后当发电机转速正常,发电机电压达到要求后,并在外电源已经断开的条件下,接通发电机接触器,使发电机向电网供电。设计基于 C8051 单片机及外围电路的装置,对多电飞机主发电机接入电网的控制条件进行模拟,并将结果显示在装置的 LCD(Liquid Crystal Display,简称 LCD)显示屏上。该装置的设计包括硬件电路设计和软件程序编写。最后对装置进行调试与验证,实验结果能够达到设计初衷。

**关键词:**多电飞机;C8051 单片机;供电条件

**中图分类号:**V242.44

**文献标识码:**A

**OSID:**



[ **Abstract** ] There is a number of conditions for the main generator of more electric aircraft to supply to the power grid. Firstly the generator has to be excited. When the speed of the generator is normal, the generator voltage meets the requirements, and the external power supply is broken off, then the generator contactor should be turned on to supply to the power grid. This design is based on C8051 micro-controller and it's peripheral circuit, in order to simulate the conditions of the main generator of more electric aircraft supplying to the power grid. And the result is displayed on the LCD(Liquid Crystal Display). The design includes hardware circuit design and software programming. Final work is debugging and verification of the device, and the experimental results can meet the original intention.

[ **Keywords** ] more electric aircraft; C8051 micro-controller; conditions of power supply

## 0 引言

20世纪90年代后期,美国空军的多电飞机计划和欧洲针对民机的完全综合多电系统计划都是从飞机整体考虑来探索优化飞机的设计,欧洲从2002年又开始了功率优化飞机(Power Optimization Aircraft,以下简称POA)计划<sup>[1]</sup>,POA计划的目的是认识、优化并验证创新性的飞机设备系统和飞机系统结构,同时能够保证设备的成本和可靠性。

美国、英国、德国等国家的功率电传作动器相关技术研究、实验、试验、试飞及应用发展已经进行了很长一段时间。美国空军和NASA(National Aeronautics and Space Administration,以下简称NASA)还制定了专门研制一体化作动系统的EPAD(Electrically Powered Actuation Design,简称EPAD)计划。

国内在这方面的研究才刚刚起步,许多工作处于论证阶段,多电飞机的研究中有很多工作要做,例如西北工业大学对多电飞机电源系统的机内诊断方

法进行了研究<sup>[2]</sup>,北航自动化学院电气系开展了“多电飞机电力系统的集成仿真研究”等工作<sup>[3]</sup>。所以,开展“多电飞机发电机接入电网模拟装置设计”对研究多电飞机电气系统具有一定的意义。

多电飞机要用机上的电能代替机械能、液压能等<sup>[4]</sup>,这就需要大功率的发电机供电。目前面世的多电飞机均具有大功率的发电机,例如波音 787 总发电功率是 1 450 kVA。电能的大量使用使得电气系统作为多电飞机中极其关键的系统,其供电质量及可靠性、自动化程度等将影响飞机的整体性能。研究多电飞机发电机接入电网的条件,并以此为研究对象设计制作模拟装置,对研究多电飞机电气系统具有重要的意义。

### 1 装置整体设计

如图 1 所示,图中左半部分是单独供电的发电机向电网供电要同时满足的五个条件,右半部分是导致发电机与电网断开的条件。

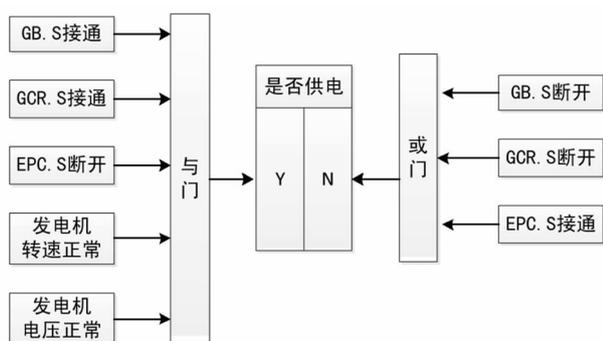


图 1 发电机供电控制条件

其中:

1) GB. S (Generator Breaker Switch, 以下简称 GB. S) 即发电机接触器,属于发电机控制单元(Generator Control Unit, 以下简称 GCU) 控制着发电机与汇流条的接通与断开,由 GCU 检测其驱动信号,并发出控制信号控制其通断。

2) GCR. S (Generator Control Relay Switch, 以下简称 GCR. S) 即发电机励磁继电器(Generator Control Relay, 以下简称 GCR) 在发电机励磁回路中控制着发电机励磁电路的通断,当发电机转速达到建压转速时,由 GCU 发出控制信号接通 GCR,控制发电机电压。

3) EPC. S (External Power Contactor, 以下简称 EPC) 即外电源接触器,外电源与发电机不能同时供

电,发电机向电网供电时需要断开。

4) 发电机在输出额定功率时从最低转速到最高转速的范围称为转速范围,这里以多电飞机为研究对象,因目前多电飞机使用的宽变频发电机的工作频率一般为 360 Hz ~ 800 Hz,转速为 10 800 r/min ~ 24 000 r/min,所以这里取 10 800 r/min ~ 24 000 r/min 为发电机的正常转速范围<sup>[5]</sup>。

5) 发电机向电网供电时需满足汇流条无电的条件,否则会出现电网电流反流向发电机的情况,对发电机造成一定影响甚至损坏发电机。

如图 1 所示,要使发电机向电网供电必须接通发电机励磁继电器,使发电机励磁。当发电机转速正常、汇流条无电时,同时在外电源接触器已断开的条件下,发电机才会向电网输出电压。

当同时满足左半部分五个条件时,发电机向电网供电,即五个条件是“与”的关系;当出现右半部分其中一个情况时,发电机不会向电网供电,即三个条件是“或”的关系。

依据以上的逻辑条件,可利用按钮通断时的高低电平来模拟 GB. S、GCR. S、EPC. S 三个开关的通断,利用小型直流电动机来提供发电机转速的模拟,并设置外接直流电压源到单片机的 AD (Analog-to-Digital, 以下简称 AD) 端口,提供模拟的电网电压值。最后将五个条件采样到的开关量或者模拟量送至单片机进行逻辑判断,同时将各个条件的状态及最后判断结果显示在 LCD (Liquid Crystal Display, 以下简称 LCD) 显示屏上,以便直观看到结果。

### 2 装置硬件制作

依据装置的整体设计思路,使用 Altium Designer 电子产品开发系统设计硬件电路,包括单片机的最小系统模块、LCD 显示模块及条件设置模块。各个模块间的关系如图 2 所示。

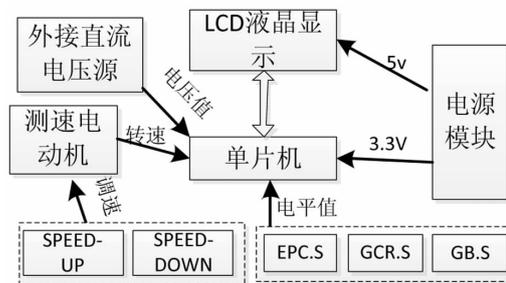


图 2 硬件电路模块间关系

## 2.1 C8051F310 单片机

这里选用的 C8051F310 型号单片机具有高速的 CIP-51 内核,全速、非侵入式的片内系统调试接口,可编程高精度的 24.5 MHz 内部振荡器,可以做到独立工作的片上系统,其 16 kB 的可编程 FLASH 存储器具有系统重新编程能力,可用于存储非易失性数据<sup>[6]</sup>,用户利用软件可控制其所有外设。

单片机的最小系统是单片机正常工作的保证,包括复位部分、电源部分以及振荡部分,这里振荡部分在软件中实现,采用内部振荡器<sup>[7]</sup>;复位部分和电源部分由硬件实现,复位部分由 C2 口实现,在完成一次程序下载以后会完成系统的复位,在电源接通后,自动实现复位操作;电源部分由三端稳压集成电路实现,将外部输入的 15 V 直流电逐步转换成 5 V、3.3 V 直流电压,分别为 LCD 和单片机提供工作电压。

## 2.2 LCD 显示模块

采用 12864 液晶显示屏来显示五个条件的状态及结果。其内置的字库包含有 8 192 个中文汉字和 128 个 ASCII 字符集,利用 LCD 液晶模块显示文字或图形关键是要确定该缓冲区的存储单元与液晶屏幕上像素的对应关系,将某个存储单元中的该位置设为“1”后,可将该存储单元对应的液晶屏上的像素点亮显示出来。

液晶模块的显示程序实际是 ST7920 的驱动程序,并且由于 ST7920 中包含有字库,因此显示程序只需通过数据总线发送指令数据<sup>[8]</sup>。ST7920 中可提供系统接口、数据寄存器(Data Register)、地址计数器(Address Counter)以及 LCD 驱动电路等基本功能或模块,通过指令对功能模块进行控制。

## 2.3 条件设置模块

此模块包括对五个条件的人工设置,用来模拟发电机向电网供电时的不同状态。主要包括三个部分:按钮部分、电压测量部分及电动机转速部分。

### 2.3.1 按钮部分

此处设置三个按钮,分别模拟 GB.S、GCR.S 和 EPC.S,三个按钮一端分别连接到单片机的 I/O 端口,一端连接到地端,通过单片机对 I/O 端口电平高低的读取来判断按钮的通断。

### 2.3.2 电压测量部分

单片机的 AD 端口通过软件选择为 P2.5 口,将 P2.5 口通过电位计接外接直流电压源,外接直流电压源模拟电网电压,调节电阻器可改变单片机 AD

端口的电压,因在硬件电路中会存在电路板内部电阻,所以当 AD 端口的电压小于 50 mV 时,近似认为 AD 端口电压为零,即认为满足汇流条无电的条件。

### 2.3.3 电动机部分

利用直流电动机的转速模拟发电机转速,由单片机的 P3.1 端口输出占空比可调的 PWM 波调节电动机转速,占空比由设置的加减速控制按钮即 SPEEDUP、SPEEDDOWN 控制,可在程序中实现对电动机的转速控制。

## 3 装置软件编程

根据装置的功能及硬件电路的模块功能,利用 silicon labs 开发环境进行软件程序编写,在编写程序时要注意保证软件系统的可靠性,如通过设计看门狗定时器来对系统进行定时诊断;注意跟硬件电路保持一致协调性,当硬件和软件同时可以实现时,选择采用软件实现,如为系统设置内部振荡器,这样可减少硬件电路的费用以及保证振荡的稳定。

为了提高系统的可靠性,这里采用将程序模块化的方法,按照系统功能将程序分为相应的子程序,每个子程序都可以在调试时进行更改纠错而不影响其他部分,最后将各个子程序综合起来进行联调,这样可减少调试时间,方便发现错误、纠正错误。根据装置的功能,软件包括单片机初始化子程序、LCD 显示子程序、电压值测量子程序、开关测量子程序、电动机转速测量子程序及主程序。

### 3.1 单片机初始化

单片机的初始化包括对单片机内部振荡、定时器、ADC0 寄存器、端口 I/O 以及中断的初始化。

单片机包含可编程内部振荡器,该振荡器在复位后默认为系统时钟,其周期可通过 OSCICL(内部振荡器校准寄存器)改变,通过 OSCICL 的 IFCN 位(内部振荡器频率控制位)设定分频数,内部振荡器在出厂时被校准为 24.5 MHz,分频数可设定为 1、2、4 或 8<sup>[9]</sup>,本系统采用的是 24.5 MHz/2,即分频数为 2,晶振频率为 12.25 MHz。

端口 I/O 初始化包括通过设置端口输入/出方式寄存器(PnMDIN/PnMDOUT)设置端口引脚的输入/出方式,以及设置端口跳过寄存器(PnSKIP)设置被交叉开关跳过的引脚,最后将引脚分配至外设。

ADC0 寄存器初始化用来设置定时器 3 溢出启动 ADC0 转换,正负输入通道的选择,以及将 SAR

时钟(逐位比较时钟)设置为 3 MHz,最后是使能 ADC0。

中断的初始化需要设置中断允许寄存器 IE,设置中断允许位,开放所需要的中断。

定时器的初始化主要是设置各个定时器控制寄存器、定时器方式寄存器以及时钟控制寄存器等,这里分别对定时器 0、定时器 1、定时器 2、定时器 3 进行了设置,以便后面的应用。

### 3.2 LCD 显示

LCD 显示内容包括启动图形的显示和操作过程中的状态显示,其指令操作内容包括清除数据随机存储器(Display Data RAM,简称 DDRAM)、初始化 LCD、检查忙碌状态、写数据/指令。

初始化 LCD 包括功能设定、位址归位、设置光标移动方向、开显示关游标。在 LCD 接收指令前,必须先确认模块内部是否处于忙碌状态,即读取 BF 标志的状态是否为“0”,若 BF 标志为“0”,可进行接收下一步指令;如果在执行一个指令前没有读取 BF 标志,则可以等待前一个指令一段较长的时间后,确保之前一个指令完成后执行。

写数据/指令通过设置 RS(寄存器选择位)和 RW(读/写控制位)的状态来决定读写模式,当 RS 与 RW 均为低电平时,可写指令到指令寄存器;当 RS 为低电平,RW 为高电平时,可读出忙碌标志位(BF)的状态;当 RS 为高电平,RW 为低电平时,可写数据到数据寄存器;当 RS 和 RW 均为高电平时,可从数寄存器读出数据。因此可通过将 RS 和 RW 设置为低电平,完成上述写指令的操作;将 RS 置为高电平,RW 置为低电平,完成将启动图形的数据、五个状态量的数据及逻辑判断的结果数据写入显示屏的操作;将 RS 置为低电平,RW 置为高电平,完成在写数据/指令前的读取忙碌状态(BF)的操作。

### 3.3 电压值测量

通过在初始化子程序中对 ADC0(10 位数模转换器)的初始化,AD 的正输入选择通道为 P2.5 口,负输入选择通道为 GND,启动转换方式设置为定时器 3 溢出启动,所以在每次定时器 3 溢出时单片机将 P2.5 口的电压值转换为数字量,显示在 LCD 上。

### 3.4 开关测量

开关测量包括对 GB.S、GCR.S 和 EPC.S 三个按钮的电平值进行检测,通过定时器 2 作为开关测量的定时器,每 200 ms 时会对三个按钮的电平状态

进行一次检测,低电平表示按钮按下,即开关接通;高电平表示按钮未按下,即开关断开,并将其状态值返回主函数。

### 3.5 电动机转速测量

利用定时器 0 溢出中断实现 PWM 输出,首先设定计数值 count 和高电平时间 t,定时器 0 每溢出一次,count 数值加 1,当  $count < t$  时,P3.1 端口输出高电平,当  $count > t$  时,P3.1 端口输出低电平,直到  $count = T$ (周期 50 ms)时,count 值清零,如图 3 所示,占空比 D 为  $t/T$ 。SPEEDUP、SPEEDDOWN 按钮通过改变 t 的值改变 PWM 波形的占空比,从而改变电动机电压,进而改变电动机转速。

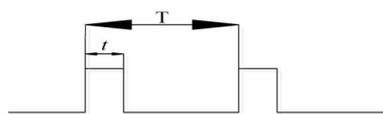


图 3 PWM 波形

### 3.6 主程序

在主函数中将三个按钮的状态返回值、电压值及电动机转速的状态返回值进行逻辑运算,当满足上文所述发电机向电网供电的逻辑关系时,即 GB.S 按钮按下、GCR.S 按钮按下、EPC.S 按钮未按下、电压值小于 50 mV 及电动机转速在 10 800 r/min ~ 24 000 r/min 范围内时,则说明满足发电机向电网供电的条件;而当 GB.S 按钮未接通,或者 GCR.S 按钮未接通,或者 EPC.S 按钮接通时,使得满足发电机不向外供电的条件,导致发电机不向电网供电。

主函数流程如图 4 所示,首先对单片机进行初始化,使其能够正常工作,初始化完成以后,在 LCD 液晶显示屏上显示开机启动图形,同时单片机会对五个状态量进行检测,并显示在 LCD 上。

在操作者任意改变了装置的五个状态量时,单片机端口的状态随之发生改变,在进行逻辑判断以后,操作者对电路的操作情况会显示在 LCD 液晶显示屏上,同时是否符合发电机向电网供电的条件及最后结果将显示出来。

## 4 装置整体测试

硬件电路及编程均完成以后,通过适配器将单片机的 C2 口链接到计算机,并将 HEX 文件下载到单片机,即可进行系统联调。准备工作做好以后,可进行结果验证,具体操作过程如下:

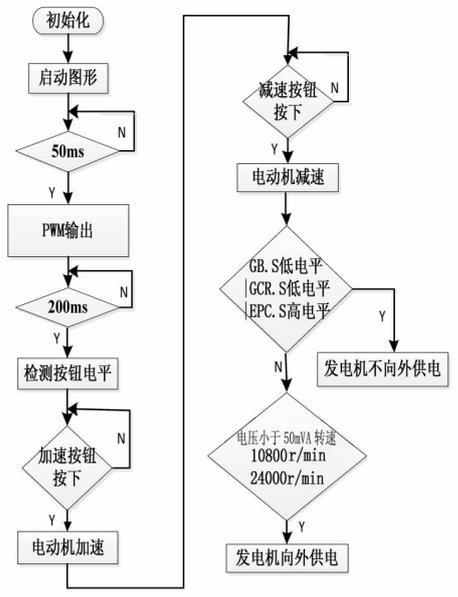


图4 主函数流程图

- 1) 打开电源模块开关,使装置开始工作;
- 2) 将外接直流电压源开关打开,调节电阻器使电压值小于 50 mV;
- 3) 将 GB.S 开关按下;
- 4) 将 GCR.S 开关按下;
- 5) 将 EPC.S 开关置于未按下状态;
- 6) 调节 SPEEDUP 和 SPEEDDOWN 按钮调节电动机转速至 10 800 r/min ~ 24 000 r/min 范围内;
- 7) 观察 LCD 上显示的状态;
- 8) 通过控制变量法分别改变三个按钮的状态,观察 LCD 上显示结果。

最后测试结果如表 1 所示。

表 1 测试结果

GB.S	GCR.S	EPC.S	电压值 /mV	转速 /(r · min <sup>-1</sup> )	是否 供电
ON	ON	OFF	< 50	10 800 ~ 24 000	Y
OFF	ON	OFF	< 50	10 800 ~ 24 000	N
ON	OFF	OFF	< 50	10 800 ~ 24 000	N
ON	ON	ON	< 50	10 800 ~ 24 000	N

测试结果显示,该装置可以模拟检测发电机向电网供电时需满足的条件状态量,对其进行逻辑运算,并将检测结果显示在 LCD,能够实现装置设计的功能和初衷。

## 5 结论

1) 应用易于操作的单片机编程来对飞机发电机向电网供电的逻辑控制关系进行模拟,研究发电机供电的逻辑条件,对研究多电飞机的电源系统的可靠性具有重要意义。

2) 实验结果表明该装置可实现对控制发电机向电网供电的条件的模拟,并进行逻辑判断,最后将结果显示出来,便于操作人员的直观判断和后续操作。

## 参考文献:

- [1] 胡晓煜. 罗尔斯·罗伊斯公司引领未来多电发动机技术[J]. 中国民用航空, 2003(9): 60-62.
- [2] 刘震. 智能 BIT 诊断方法研究及其在多电飞机电源系统中的应用[D]. 西安: 西北工业大学, 2007.
- [3] 梁嘉琳, 周元均, 董世良. 多电飞机电力系统集成仿真技术研究[C]//中国航空学会自动控制专业分会. 中国航空学会控制与应用第十二届学术年会论文集, 2006, 5.
- [4] 朱新宇. 多电飞机及其技术发展分析[J]. 民用飞机设计与研究, 2007(4): 17-22.
- [5] 周洁敏. 飞机电气系统原理和维护[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2014.
- [6] 孙璐. MC9S12 系列单片机程序下载系统的设计与实现[D]. 北京: 北京交通大学, 2009.
- [7] 陈旦花. 单片机最小系统的设计与应用[J]. 无线互联科技, 2012(10): 103-104.
- [8] 刘鲲, 孙春亮. 单片机 C 语言入门[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2008.
- [9] 戴仙金. 51 单片机及其 C 语言程序开发实例[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008.

## 作者简介

赵乐笛 女, 硕士研究生。主要研究方向: 电子信息处理及智能控制。E-mail: 309243446@qq.com

钱长林 男, 大学本科。专业: 民航电子电气工程。E-mail: 1273883290@qq.com

李亚峰 男, 大学本科。专业: 民航电子电气工程。E-mail: 1258153084@qq.com

周洁敏 女, 硕士, 教授, 硕士生导师。主要研究方向: 电力电子技术、飞机电气自动化。E-mail: jieminz@nuaa.edu.cn

郑 罡 男, 博士, 副教授, 研究生导师。主要研究方向: 电力电子技术、飞机电气自动化。E-mail: gang.zheng@nuaa.edu.cn