



Y1799046

**THE DESIGN OF 1KW CMMB
DIGITAL TELEVISION TRANSMITTER
MICROCONTROLLER**

A Thesis Submitted to

Shaanxi University of Science and Technology

in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of

Master of Engineering

By **Huang Longyun**

Thesis Supervisor: Professor **Ren Gongchang**

May, 2010



1KWCMMB 数字电视发射机微控制器设计

摘要

数字电视发射机微控制器是数字电视发射机的自动化监控设备,要实现检测并显示发射机运行参数和执行发射机故障保护等功能。

在微控制器系统设计中,采用了分布式控制系统结构,将系统分为上位 PC 机、主控单元、其他控制单元、电源控制单元、功放控制单元以及下面从属的 8 个功放检测单元。主控单元负责响应远程 PC 机命令;协调其他控制单元、电源控制单元和功放控制单元之间的工作;与发射机激励器单元通信等任务。其他控制单元负责采集发射机部分模拟量和开关量,并定时开/关发射机等操作;电源控制单元负责采集给发射机供电的四组电源的电压和电流等模拟量,电源开关状态等开关量;功放控制单元负责于主控单元和 8 个功放检测单元的通信;功放检测单元负责采集功放单元相关的模拟量和开关量。

硬件设计中,采用 RC 低通滤波电路来保证采集模拟量的可靠性;开关量输入输出电路中采用光电隔离方式实现发射机与单片机之间的电隔离;采用继电器触点的方式输出 12V 电压至发射机接口电路;采用具有 I²C 总线的 E²PROM 存储电路来保存断电前控制系统的参数;采用 RS-485 电平转换电路实现串口通信功能;采用看门狗电路防止程序陷入死循环。

软件设计中,运用模拟量 A/D 转换程序、数字滤波求平均值程序和数据处理程序来保证采集模拟量的可靠性;多次采集开关量状态,以出现频率最高的状态为采集开关量的最终状态;在确定主从式通信协议的基础上,编写了串口接收与发送数据程序;按照正确的开关机操作流程和故障保护的要求,编写了开关机程序和故障保护程序。

使用 AT89S52 单片机及其它外围辅助芯片完成了微控制器硬件设计,编写了各个模块程序。在实验室完成调试后,到现场与数字电视发射机连接使用,经过现场调试,该微控制器可以长时间可靠工作。

关键词: 数字电视发射机, 微控制器, 监控, RS-485

THE DESIGN OF 1KW CMMB DIGITAL TELEVISION TRANSMITTER MICROCONTROLLER

ABSTRACT

Microcontroller of digital television transmitter is a set of automatic monitor equipment for digital television transmitter, which is mainly used to monitor and display the state of digital television transmitter during its working time, and to keep the digital television transmitter from being damaged when fault happened.

When designing the structure of microcontroller, a kind of distributed control system was adopted. The system of microcontroller was divided into six parts, in terms of remote PC, master control unit, other control unit, power control unit, amplifier control unit and as well as eight subordinate amplifier detecting units. The main function of master control unit was to respond orders sent by remote PC and coordinated the working relationship among other control unit, power control system, and amplifier control system, other than that, also communicated with the exciter of transmitter. Other control unit was supposed to acquire parts of analog signal and switch signal from transmitter and executed the action of opening/closing transmitter automatically. Power control unit acquired some analog signal like voltage and current of four powers which supported transmitter and some related switch signal like the state of power. The Amplifier control unit communicated with the master control unit and eight amplifier detecting units. The amplifier detecting unit took responsibility of acquiring analog signal and switch signal of each of amplifier units.

In the design of hardware, RC low-pass filter circuit was adopted to ensure the reliability of acquired analog signal. The Photocoupler was used to isolate MCU from the interface circuit of transmitter in the circuit of input and output of switch signal. The way of contact of electromagnetic relay was adopted to send

12V voltage to the circuit of interface of transmitter. E²PROM storage circuit with I²C bus was adopted to save parameters of control system before power off. RS-485 voltage conversion circuit was adopted to realize the function of serial communication. The Watch dog circuit was used to keep software from being involved in endless loop.

In the design of software, for the sake of reliability of acquired analog signal, the digital filter, A/D driver and data processing programs were used in module of analog signal acquisition. The state of switch is acquired for several times, while the state which happened at the highest frequency was considered to be the final state of acquired switch signal. On the base of definite master-slave communication protocol, the software of serial receiving and sending datum was written. According to the right flow of opening and closing transmitter and requirement of fault protection, the software of each module was written.

AT89S52 MCU and some other peripheral assistant chip were used to fulfill the design of hardware of microcontroller, and each of software modules was also written completely. After tested in laboratory, this microcontroller was also connected with digital television transmitter, and it could work reliably in a very long time.

KEY WORDS: digital television transmitter, microcontroller, monitor, RS-485

目 录

摘 要	I
ABSTRACT	III
1 绪论	1
1.1 课题的国内外发展现状	1
1.2 课题研究的意义及发展前景	1
1.3 对数字电视发射机进行微机控制的意義	2
1.4 课题来源	2
1.5 本论文的主要内容	2
2 系统总体设计	3
2.1 数字电视发射机介绍	3
2.2 微控制器功能概述	4
2.2.1 开/关发射机	4
2.2.2 模拟量与开关量采集	5
2.2.3 显示与键盘操作	6
2.2.4 故障保护操作	6
2.2.5 历史数据查询	6
2.2.6 通信功能	6
2.3 输入输出数据统计	7
2.4 故障分类及处理方法	7
2.4.1 故障分类	7
2.4.2 故障处理方法	8
2.5 数字电视发射机微控制器的结构	8
2.6 本章小结	9
3 其他控制单元硬件设计	11
3.1 其他控制单元硬件结构设计	11
3.2 控制器的选型	12
3.3 模拟量采集电路设计	13
3.3.1 模拟量滤波电路设计	13
3.3.2 A/D 转换电路设计	15
3.4 开关量输入输出电路设计	16
3.4.1 开关量输入电路	17

3.4.2 开关量输出电路.....	19
3.5 存储电路设计.....	21
3.6 看门狗电路设计.....	22
3.7 通信电路设计.....	23
3.8 本章小节.....	24
4 其他控制单元软件设计.....	25
4.1 软件系统开发环境介绍.....	25
4.1.1 Keil C51 开发系统整体结构.....	25
4.1.2 Keil C51 提供的库函数.....	26
4.2 模拟量采集程序设计.....	27
4.2.1 A/D 转换驱动程序设计.....	27
4.2.2 A/D 转换数据进行滤波求平均值的程序设计.....	28
4.2.3 A/D 转换结果进行修正和打包的程序设计.....	29
4.3 开关量采集程序设计.....	31
4.4 数据存储程序的设计.....	31
4.4.1 I ² C 总线的特点.....	31
4.4.2 I ² C 总线的通信时序.....	32
4.4.3 软件模拟 I ² C 总线.....	35
4.5 通信程序设计.....	35
4.5.1 通信协议格式.....	35
4.5.2 从机通信流程.....	35
4.5.3 其他控制单元命令字设置.....	37
4.6 开关机程序设计.....	39
4.6.1 开发射机时序要求.....	39
4.6.2 关发射机时序要求.....	41
4.7 故障保护程序设计.....	42
4.8 本章小节.....	44
5 工作总结与展望.....	45
5.1 微控制器系统的应用状况.....	45
5.2 现场调试过程中遇到的问题原因及解决方法.....	46
5.3 工作总结.....	47
5.4 课题展望.....	48
致谢.....	49

参考文献.....	51
附录 A 输入输出参数统计表.....	55
附录 B 其他控制单元原理图.....	57
附录 C 其他控制单元电路板.....	59
附录 D 微控制器命令清单.....	61
附录 E 开发射机程序流程图.....	63
附录 F 关发射机程序流程图.....	65
附录 G 其他控制单元程序流程图.....	67
附录 H 其他控制单元程序说明.....	69
攻读学位期间发表的学术论文目录.....	71
原创性声明及学位论文使用授权的声明.....	73

1 绪论

1.1 课题的国内外发展现状

与无线互联网、移动通信、PDP（等离子）显示和电视演播室技术的迅猛发展相比，数字电视发射技术的发展显得稍慢了一些^[1]。然而，在最近二十年里，在欧美一些发达国家和日本的带领下，数字电视发射机技术一直处于飞速发展状态。

2000年初，欧洲各国正式自动地面数字电视(DVB-T)广播，各主要发射机厂家纷纷推出新一代发射机，如美国HARRIS公司的AtlasTM系列数字发射机、日本NEC公司的VersatileDTU-31系列数字发射机、德国R-S公司的NH/NV7000系列发射机等^[2]。

相对于国外，我国数字电视发射机的研制起步较晚。1996年我国HDTV功能样机系统研究开发工程正式启动。1998年9月中旬，我国第一台单电子管数字电视发射机研制成功。发射机输出射频平均功率50W。发射机与项目其他专题一起，在北京中央广播电视塔成功进行了我国第一套、世界第四套HDTV功能样机系统的开路演示^[3]。

经过近十几年的努力，我国的数字电视发射机技术也有了飞速的发展。特别是2006年国标数字激励器开发成功后，由于关键技术的突破，产品化进展很快。国内一些知名数字电视发射机厂家，如北京广播电视器材厂和上海广科所，可以独立生产具有自主知识产权的发射机，并被广泛应用于全国各地。在已经制定并颁布数字电视标准的国家中，国内的数字电视发射机以及相应的测试设备、测试信号源等都在世界数字电视发射机领域具有较强的竞争力。

发射机的技术在不断地进步，与之相配合使用的发射机控制技术也在不断地改进。随着微型计算机技术和网络技术的发展，发射机也实现了微机控制和远程控制；发射机的模块化发展，使对发射机整机的各个指标及故障的控制越来越精确，实现控制的方法越来越简捷^[4]。在实际运行中，数字电视地面发射机微控制器配合整机的使用，运营商对其功能和使用效果非常满意。

1.2 课题研究的意义及发展前景

目前，无论是在城市还是农村，还存在3亿多用户是采用无线的方式，只能收看模拟节目，数量不多而且质量也没有保证。如果全部转成数字电视，不仅能看到高质量节目，而且还能观看更多套的节目；另外电视广播从模拟走向数字也是必然的趋势，现在总局也在规划部署我国地面数字电视市场的启动。国家广电总局在2009年的广电发展报告中指出，未来将有25亿元财政投入发展地面数字电视，在3年内实现对全国地面数字电视信号的覆盖，除边远山区外，覆盖90%的用户。现在已到位的5亿元资金将主要用于完成对

全国37个大中城市进行频点规划、信号覆盖，以及终端产品的入网测试等。而后续资金的投入主要是为对全国地面数字电视信号进行覆盖^[9]。可见，我国的数字电视发射机市场具有很大的潜在需求。

1.3 对数字电视发射机进行微机控制的意义

数字电视发射机工作状态有几个重要的参数，微控制器是作为发射机的监控装置，它通过与发射机的接口电路相接，能对发射机运行时的重要参数指标进行监控。此外，它还负责了发射机的开关机，日常运行状态的检测记录，以及对发射机异常情况的保护。由于它对发射机状态的监控显示具有直观方便的特点，使得发射机生产厂家在进行发射机的调试时能随时了解发射机的各部分状态，以及变化情况。由于它的保护功能，使得它能极大地减小厂家在装机调试过程中烧毁器件的概率，并且微控制器具有故障保护记录功能，这使得维护人员能很快的查找出发射机产生故障的原因和时间。数字电视发射机一般置于独立的发射机房，早期的发射机系统是由人工定时监测，这样导致了工作量繁重，不能实时监测，而且发射机强大的电磁辐射还会对人体产生伤害。如今，微控制器可以通过远程PC机对发射机进行监控，这让“无人值守”发射机房成为可能，这样既保证了数字电视发射机的运行安全也减少了电台的运营成本^[9]。

1.4 课题来源

本课题是陕西数字广播设备有限公司委托陕西科技大学电信学院，设计应用于1KWCMMB数字电视发射机控制系统，在本论文中称作微控制器。

1.5 本论文的主要内容

1) 根据陕西数字广播数字电视发射机制造厂家对数字电视发射机微控制器的要求，设计出了一个能满足监控要求的控制系统，并对微控制器其他控制单元的硬件选型原因和微控制器多CPU结构组成的方法进行了论述。

2) 硬件设计上采用分布式监控模块来分散微控制器系统内部的干扰性，软件设计上采用了任务优先，任务分级，任务分批次等优化算法。在硬件和软件的设计上保证了微控制器高可靠性，强实时性的要求。

3) 为实现数字电视发射机的远程监控功能，本文介绍了系统通过采用RS-485接口与远程PC机进行相连而组成上下位机系统。

4) 无论在硬件设计还是在软件设计上，本论文对系统的关键部分的设计作了比较详细的论述。

2 系统总体设计

2.1 数字电视发射机介绍

模拟电视发射机的输入信号是视频和音频节目信号，但对于数字电视发射机，视频和音频信号需要经过处理后才能作为它的输入信号。首先按照 MPEG2 标准将视频和音频信号压缩和编码，然后跟其它的数据信息复合打包后成为传输码流（TS 流）。输入的 TS 流，经过信道编码与调制单元，形成符合一定制式标准的模拟中频信号，然后上变频至发射频道，经射频放大后发送^[9]。

本课题的被控制对象是1KWCMMB数字电视发射机。由于发射机不是本课题主要的研究对象，所以本文只简单地介绍发射机的结构和基本工作原理。1KWCMMB数字电视发射机主要由CMMB激励器，激励放大器，功放单元，开关电源，及输出滤波器，电源系统以及风冷系统等部分组成。该发射机结构如图2-1所示。

1KWCMMB数字电视发射机功放系统由两级放大单元组成，即激励放大器和功率放大器。激励放大器为前级放大器，功率放大器为末级放大器。发射机的功放系统由六个250W（数字功率）功放单元、一个功率分配器、一个功率合成器及吸收负载组成。各功放单元采用进口大功率器件和优质进口的阻容元件，使整机的技术指标、可靠性大大提高。功放系统的六分配器和六合器采用同相分配、同相功率合成方式，输入输出阻抗均为 50Ω 。另外，供电电源共有六路2KW开关电源。

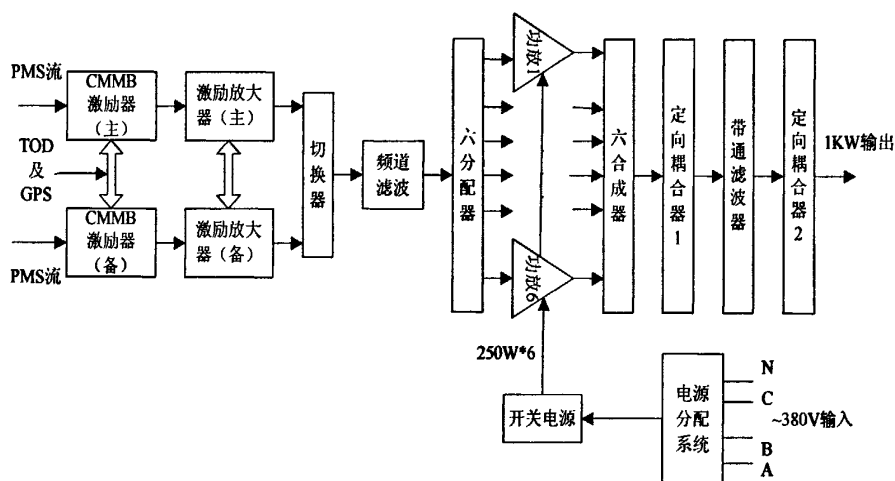


图 2-1 1KWCMMB 数字电视发射机结构图

Fig-2-1 structure chart of 1KWCMMB digital television transmitter

两级放大器的基本工作过程是，激励放大器先将激励器的输出信号放大到1W功率后，该信号将作为发射机末级功放系统的输入推动信号，然后末级放大器将1W功率再次

放大到1KW。

2.2 微控制器功能概述

数字电视发射机微控制器在数字电视发射机自动化监控与管理中最基本的功能是实现发射机的开关机控制（包括定时开关机与手动开关机两种）；检测系统运行时各部分（功放单元，开关电源，激励放大器，风机等）的工作状态；如果发生故障，根据被测信号状态来判断故障类型并给出故障源与报警信息，同时执行相关保护发射机的操作。其管理功能主要是对发射机运行期间重要参数（整机入射功率，整机反射功率，六组开关电源的电压和电流等）的记录与查询；对一些系统参数（例如定时开/关机时间表、系统时间和定时记录间隔时间）的设定与在线修改；通过远程监控达到“无人值守”发射机房的的目的；控制和管理发射机需要良好的人机接口来实现，因此在系统中需要设计相关的人机接口电路。

2.2.1 开/关发射机

微控制器开关机操作包括定时开关机操作和手动开/关发射机操作。开发射机流程如图2-2所示。

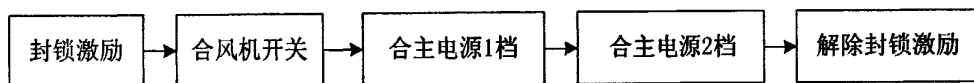


图 2-2 开数字电视发射机流程图

Fig2-2 The process chart of opening digital television transmitter

不管是定时还是手动开/关发射机操作，都必须按照下面的开/关机流程进行操作：

1) 合/断风机开关。发射机在工作过程中会产生很大的热量，在起运行过程中必须要有散热设备，风机就是起该作用的。

2) 合/断主电源1档开关。合/断主电源1档就是接通/断开380VAC高压，也就是接通/断开发射机主变压器的初级电压。

3) 合/断主电源2档开关。380VAC电压经过变压、整流、滤波之后，转换为48VDC电压信号给发射机各模块供电。

4) 合/断激励器开关。激励器是用来提供发射机激励信号源的装置，产生发射机的载频信号；对来自外部或备份的载频激励信号进行自动切换，为发射机提供高稳定的载频信号。合/断激励器开关就是产生/切断发射机的载频信号。

微控制器开/关发射机分为定时与手动开关机两种方式。定时开关机时间设定有两种方式：第一种方式是通过人机接口界面使用键盘设置定时开关机时间；第二种方式是通过远程PC机设置定时开关机操作。定时开关机中，无论是通过以上两种任何一种方式，都必须先将设定的定时开/关机时间保存在主控单元中的某个存储单元，到设置的时间

时，主控单元才发送开/关机命令至其他控制单元执行响应的操作。

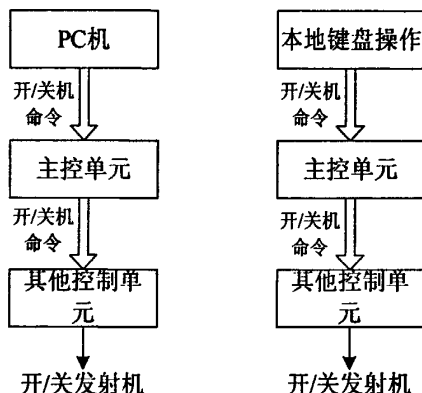


图 2-3 手动开/关发射机过程

Fig2-3 The process of manual operation in opening or closing transmitter

手动开/关发射机过程如图 2-3 所示。不管是远程手动开/关机还是通过本地键盘开/关机，皆通过主控单元发送开/关机命令至其他控制单元，然后其他控制单元执行相关的开/关机操作。但是当两种开/关机方式同时进行操作时，键盘操作的优先级高于远程操作。

发射机接口电路所需输入的开关量信号为 TTL 电平格式，因此，单片机只需输出高/低电平信号，然后驱动继电器触点实现开/关发射机。

2.2.2 模拟量与开关量采集

发射机工作中要对其中一些重要的模拟量和开关量进行采集。本系统中，需要采集的模拟量有：整机入射功率、整机反射功率、电源 1 组的电压和电流、电源 2 组的电压和电流、电源 3 组的电压和电流、电源 4 组的电压和电流、电源 5 组的电压和电流、电源 6 组的电压和电流、功放单元电流、激励放大器输入入射功率、激励放大器输入反射功率、功放单元负载吸收功率。被检测开关量有：风机状态，主电源 1 档状态、主电源 2 档状态、六路开关电源组状态、功放单元过温信号、激励放大器过温信号、功放单元过激励信号、功放单元过载信号和功放单元过流信号。六路开关电源是发射机中的六组 24VDC 电压信号，给发射机各功能模块提供稳定的直流电压。在发射机工作时，要实时检测这六路电源电压和电流，并将其送 LCD 和上位 PC 机显示。发射机接收的音频信号经过输出取样板得到射频电压取样信号和具有 180 度相位差的入射电流、反射电流的信号。这两组信号通过入射功率和反射功率两个方向耦合器分别检测出两个直流电压，这两个电压信号表征了入射功率和反射功率大小的相对值。本系统只需检测发射机接口电路提供的 0~5V 电压信号，并将检测结果送 LCD 显示，以表征入射功率和反射功率的大小。当发射机和天线系统正常工作时，反射功率应接近于零。发射机功放系统在调制信

号的作用下，产生发射机所需要的射频功率信号。功放单元功率信号来自于激励放大器的输出级。功率放大级在调制信号的作用下，产生发射机所需的射频功率信号。

主电源 1 档和 2 档的状态是对 380VAC 和 24VDC 开关状态的检测。因为六路开关电源模块具有自动保护功能，如果电源过压或过流，电源模块就会接通自我保护电路，避免电源损坏。因此，检测开关电源可以知道当前电源是否处于自动保护状态。通过检测风机开关状态，以确定当前风机正常与否。发射机作为大功率设备，其工作时产生大量的热是无法避免的。虽然配有风机对发射机内部进行散热降温处理，但风机可能因长时间运行或其他原因而转速变慢，这会致使发射机功放单元温度很快升高。因此，微控制器系统需要对功放单元的温度进行实时监测。当功放单元承受的电流过大时，超过其设定的安全电流值时，则认为功放单元过载。

需要说明的是功放单元过温信号、激励放大器过温信号、功放单元过激励信号、功放单元过载信号这四类信号是以模拟量的形式采集，以开关量的格式显示。

2.2.3 显示与键盘操作

微控制器对发射机监控的过程中，需要实时显示发射机当前运行参数，并能现场使用键盘来操作，可以进行历史数据查询、定时或者手动开/关发射机、修改系统设置参数和让微控制器复位等功能。所有被采集信号要求分三类菜单进行显示：

1) 整机状态显示。在该菜单中要显示整机入射功率和反射功率、激励放大器频率、六路开关电源的电压和电流、开关机状态、系统时间等。对于模拟量既要显示其大小，还要显示其状态；对于开关量只需显示其当前的状态。

2) 开关电源状态显示。显示主电源 1, 2 档开关状态，开关电源状态。

3) 六路功放单元工作状态显示。本屏中还要显示功放单元过温、激励放大器过温、功放单元过激励、功放单元过载和功放单元过流五类开关信号。1KWCMMB 数字电视发射机的功放系统总共包括六路输出功率为 250W 的功放单元，因此在 LCD 液晶显示屏上共显示 6 组上述信号。

2.2.4 故障保护操作

发射机微控制器要求具有故障保护功能。即在发射机运行过程中，一旦检测到某路信号故障，控制系统需要及时对故障类型进行分析，根据类型执行相应的故障保护操作。

2.2.5 历史数据查询

该微控制器需要有历史数据查询功能，要求能查询至少一个月之内的历史数据。这些数据包括系统运行参数和时间、系统故障参数以及故障时间等。通过查询历史数据，方便用户了解一段时间内系统运行状况并对发射机故障原因进行分析。

2.2.6 通信功能

微控制器要有通信功能，实现与发射机和上位 PC 机之间的通信。发射机通过与功

放系统通信, 接受激励器的驻波比, 功率等信息。与上位 PC 机通信主要实现接收上位机命令、发送发射机运行参数至 PC 机的功能。

2.3 输入输出数据统计

数字电视发射机微控制器的输入输出数据主要包括模拟量输入, 开关量输入和开关量输出(输入输出数据见附录 A)。1KWCMMB 数字电视发射机功放系统由 6 路 250W 功放单元组成。每个功放单元中要检测的量有 10 个, 分别是: 功放单元电流、激励放大器输入入射功率、激励放大器输入反射功率、功放单元负载吸收功率 2 个、功放单元过温信号、激励放大器过温信号、功放单元过激励信号、功放单元过载信号和功放单元过流信号。因此, 1KWCMMB 数字电视发射机功放系统总共要检测 60 路信号, 其中模拟量为 30 路, 以模拟量的格式采集但以开关量格式显示的开关量有 30 路。整机检测中需要检测的量有: 整机入射功率、整机反射功率、电源 1 电压和电流信号、电源 2 电压和电流信号、电源 3 电压和电流信号、电源 4 电压和电流信号、电源 5 电压和电流信号、电源 6 电压和电流信号、风机信号、主电源 1 档和主电源 2 档等总共 17 个信号, 其中模拟量为 14 路, 开关量为 3 路。

2.4 故障分类及处理方法

2.4.1 故障分类

按照故障对发射机工作状态影响程度进行了故障分类。本系统把对发射机工作影响程度最严重的故障视为 I 类故障, 而 II 类故障是控制系统可以自动恢复的故障。当 I 类故障发生时, 微控制器马上做出故障保护操作; 当 II 类故障发生时, 先不执行故障处理, 而是等待故障发生次数超过设定的次数才执行的故障保护操作。具体故障分为:

I 类故障:

- 1) 功放单元过热时;
- 2) 激励放大器过热时;
- 3) 功放单元过载保护时;
- 4) 功放单元过激励保护时;
- 5) 6 路开关电源电压过压, 电压超过 34V 时;
- 6) 开关电源电流超过 80A 时;
- 7) 开关电源故障时(开关电源出现自保护时)。

II 类故障:

反射功率超过 30W, 并且 10 秒钟至少出现了三次。

2.4.2 故障处理方法

对于 I 类故障, 微控制器需要给 LED 屏幕显示和封锁激励信号, 关闭主电源 1 档信号给出过荷报警信号, 并对故障发生时的运行状态进行存储。对于 II 类故障, 微控制器给出过荷信号报警信号, 封锁激励并关闭主电源 1 档, 并保存故障时刻的所有数据和故障发生的时间。

2.5 数字电视发射机微控制器的结构

通过对微控制器需要完成功能的分析以及对输入输出量的统计, 明确要使该控制系统满足检测大量数据、实现与上位机进行通信、实时显示系统当前的运行参数等功能, 在强干扰环境下系统工作的实时性、稳定性和抗干扰性和微控制器易操作, 因此微控制器采用模块化设计的思想将是最好的选择。在本系统设计中, 微控制器的设计分为七部分, 分别为上位机, 主控单元, 其他控制单元, 激励器单元, 电源控制单元, 功放控制单元, 以及下面的八个完全相同的功放检测单元。控制器均采用 51 系列单片机, 保证实现系统功能, 尽量减少诸多被检测信号之间的相互干扰, 从总体上提高系统的可靠性与实时性。整个微控制器结构如图 2-4 所示:

上位 PC 机可以在远离数字电视发射机运行的微机房完成对发射机运行状况的监控。通过远程上位 PC 机监控界面不仅可以了解到与现场一样的状况, 而且还能跟现场一样做出控制操作(优先级低于现场操作), 这样就实现了数字电视发射机的现场无人值守、无人操作。

主控单元主要是协调其他控制单元、电源控制单元、功放控制单元和上位机之间的工作; 保持与上位 PC 机, 其他控制单元、电源控制单元、功放控制单元和激励器之间的通信; 实现人机交互操作(键盘操作和 LCD 显示); 存储至少一个月的历史运行参数并实现历史数据查询; 提供系统时间显示功能。

其他控制单元主要是采集整机入射功率, 整机反射功率等模拟信号, 还有风机, 主电源一档, 主电源二档等开关量信息, 然后在接收到主控单元要求上传数据的命令后将采集到的所有量打包后发送给主控单元。此外, 完成开关机等动作。

电源控制单元采集六路开关电源的电压和电流等模拟量和开关电源状态等开关量, 然后将数据进行组合和打包, 最后发送给主控单元。

功放控制单元接受来自各个功放检测单元的信息, 然后将所有的数据(功率, 电压, 电流和故障信息等)组合和打包, 最后发送给主控单元。

功放检测单元用于采集 6 路功放单元的模拟量和开关量(共 60 路信号), 并对采集结果进行判断。如果功放检测单元请求数据的命令, 则将相关数据打包发送给功放控制单元。

激励器单元完成主控单元与外协各种激励器的通信功能，以便将激励器的有关信息收集和外送。激励器是发射机中用来对声音信号进行修饰和美化的一种谐波处理器。主控单元通过与该部分的通信，可以获得发射机当前的驻波比、功率、左右声道电平以及频率等信号。激励器硬件和软件设计中已经做好了该部分的通信电路和通信软件，主控单元中该部分的通信程序只需按照激励器中设计的通信格式进行设计即可^[7]。

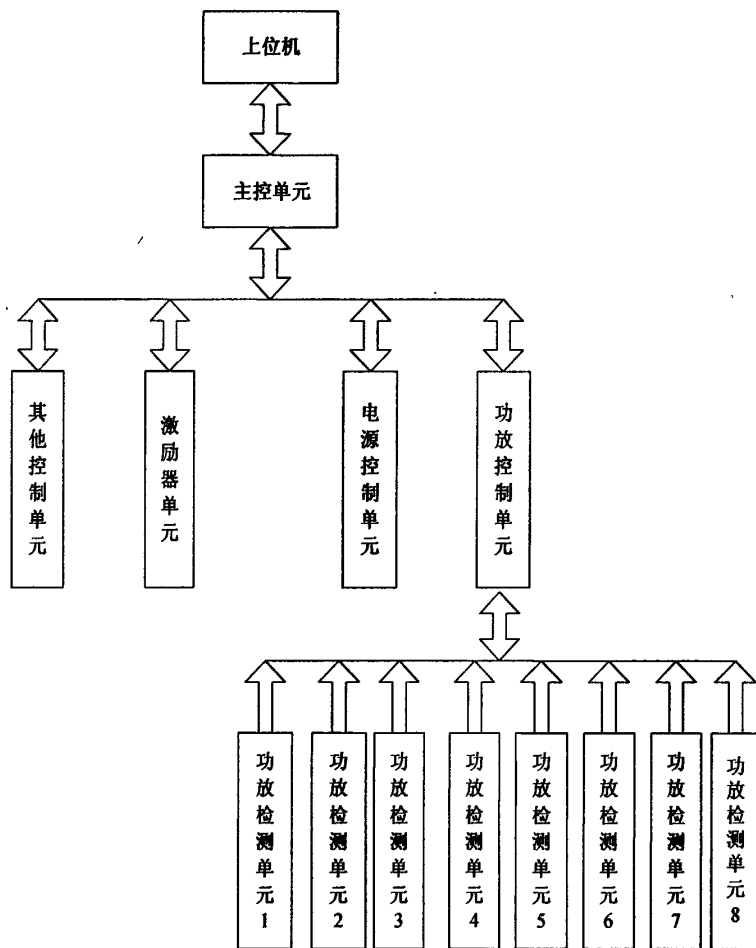


图 2-4 微控制器结构简图

Fig2-4 The structure chart of micro-control

在该微控制器设计中，我主要承担了其他控制单元硬件和软件设计。对于电源控制单元，功放控制单元和下面从属的 8 个功放检测模块，其硬件设计构造和软件设计思想雷同，包括模拟量和开关量的采集部分，通信部分和看门狗等。因此，本论文中将主要介绍其他控制单元的设计方法。

2.6 本章小结

本章介绍了数字电视发射机的组成及基本的工作过程，分析了该微控制器的功能要

求，并统计了系统中要求被检测的所有模拟量和开关量。另外，对于系统故障给出了明确的分类以及相应的处理办法。本课题提出了一种 DCS（分布式控制系统）结构的控制系统设计方案，该方案具有分散控制系统危险，提高其可靠性的优点。

3 其他控制单元硬件设计

在该微控制器设计中，其他控制单元主要是对发射机整机的模拟量，开关量等参数进行实时采集，并在主控单元要求其他控制单元上传数据时把最新采集到的一组数据通过 RS-485 接口电路发送给主控单元。此外，其他控制单元还负责完成发射机的开机和关机动作，并对 I, II 类故障的判断和处理。

3.1 其他控制单元硬件结构设计

其他控制单元在整个微控制器系统中主要完成以下任务：

1) 采集发射机部分模拟量和开关量。发射机运行时要定时对发射机整机入射功率，反射功率进行检测，还要对开关量的状态检测，包括风机，主电源 1 档和主电源 2 档等开关量。发射机工作时对开关量进行检测能够减小故障发生的几率。

2) 开/关发射机。开/关发射机包括自动开/关发射机和手动开/关发射机两种，自动开/关发射机又分为通过远程上位机开/关和系统定时开/关发射机。无论是哪一种开机方式，皆由主控单元发送开/关机命令，其他控制单元执行相应的开关操作。

3) 与主控单元通信。其他控制单元在运行过程中要随时接收并执行主控单元发送的各种有效命令（包括参数设置命令），然后发送相应的执行结果至主控单元。

4) 故障保护。其他控制单元对发射机运行过程中一旦有故障发生时，具有故障保护功能，能够根据故障种类执行不同的保护措施。

综上所述，其他控制单元硬件电路必然要有模拟量采集电路、开关量输入输出电路、通信接口电路、数据存储电路，防止程序陷入死循环的看门狗电路等。由此，其他控制单元硬件电路结构可以确定为如图 3-1 所示：

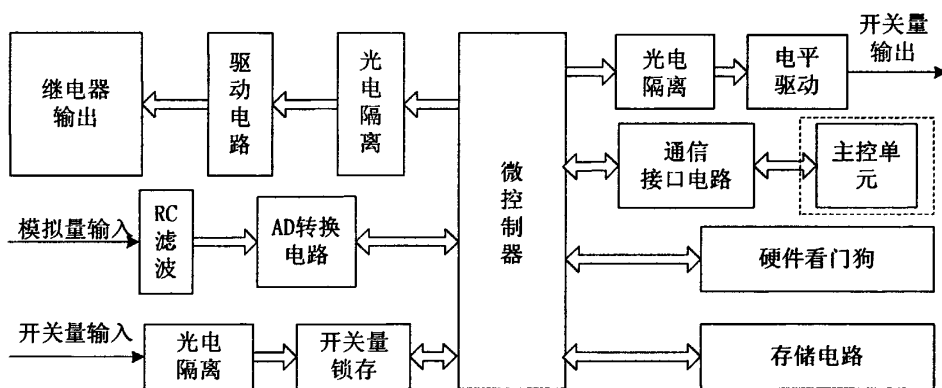


图 3-1 其他控制单元硬件结构图

Fig3-1 Hardware structure of Other Control Unit

3.2 控制器的选型

控制器是其他控制单元的核心部分，控制器的选型应从实际应用需要出发，兼顾到应用需求，设计成本、功耗、易维护等因素。总之，控制器的选型是以最低的成本设计出满足应用要求为基本原则。当今电子市面上可供选择的控制器产品很多，例如有面向基本控制系统的51、PIC和AVR单片机；也有面向消费电子的高性能32位ARM控制器；面向高速信号处理的DSP及FPGA。由于数字电视发射机微控制器的功能与性能要求不高，另外单片机的处理数据速度足够微控制器的要求，因此选择单片机作为其微控制器。在满足基本功能需求的前提下，达到了低成本的设计目的。

市面上单片机的种类和型号很多，有4位、8位、16位以及32位的；有I/O功能强的，输入、输出点数多的；内含ROM和RAM各个相同，有扩展方便的，有不能扩展的；有带片内A/D的，有不带片内A/D的等。选择单片机的原则是：

1) 根据任务要求

根据任务要求有许多选择方法，比如，对象要求的控制精度高，相应速度快就要选择位数高的16位、32位；对象要求速度一般的选择最常见的8位机；如果对象要求体积小，结构简单可以选择片内带A/D转换芯片的。

2) 考虑开发环境

单片机的开发以及调试都需要仿真器系统，所以应该尽量选用容易购买和熟悉的仿真器系统。如果没有选择单片机合适的开发系统，将无法进行调试工作。

3) 尽量选用熟悉的单片机

相同条件下，当选用熟悉的单片机时，明显缩短开发周期^[9]。

针对数字电视发射机对控制系统的要求，以上面三条原则为出发点，其他控制单元控制器选用最广泛使用的8位机。市场上主要有四种8位单片机可供选择，分别是：Freescale的6811、支持Intel的8051、Zilog的Z8和Microchip的PIC16X。它们各有自己的指令集和寄存器，互不兼容，而51系列单片机应用广泛、有较好的性价比和大多数开发工具的支持，因此我们选择51系列单片机作为系统各模块的控制器，这样达到了易维护的目的^[9]。

在可以实现系统功能和降低设计成本的基础上，我们选用AT89S52作为控制器。AT89S52芯片是一种低功耗、高性能CMOS8位微控制器；具有8K在系统可编程Flash存储器；使用Atmel公司高密度非易失性存储器技术制造，与工业80C51产品指令和引脚完全兼容；片上Flash允许程序存储器在系统可编程，亦适于常规编程器；拥有灵巧的8位CPU和在系统可编程Flash，使得AT89S52为众多嵌入式控制应用系统提供高灵活、有效的解决方案。而且该单片机价格便宜，在市场上也很容易买到，为系统后期维护提供了方便。

AT89S52具有以下标准功能：8k字节Flash，256字节RAM，32位I/O口线，内部自带的看门狗定时器，2个数据指针，三个16位定时器/计数器，一个6向量2级中断结构，全双工串行口，片内晶振及时钟电路。另外，AT89S52可降至0Hz静态逻辑操作，支持2种软件可选择节电模式。空闲模式下，CPU停止工作，允许RAM、定时器/计数器、串口、中断继续工作。掉电保护方式下，RAM内容被保存，振荡器被冻结，单片机一切工作停止，直到下一个中断或硬件复位为止^[10]。

其他控制单元微控制器电路如图3-2所示。

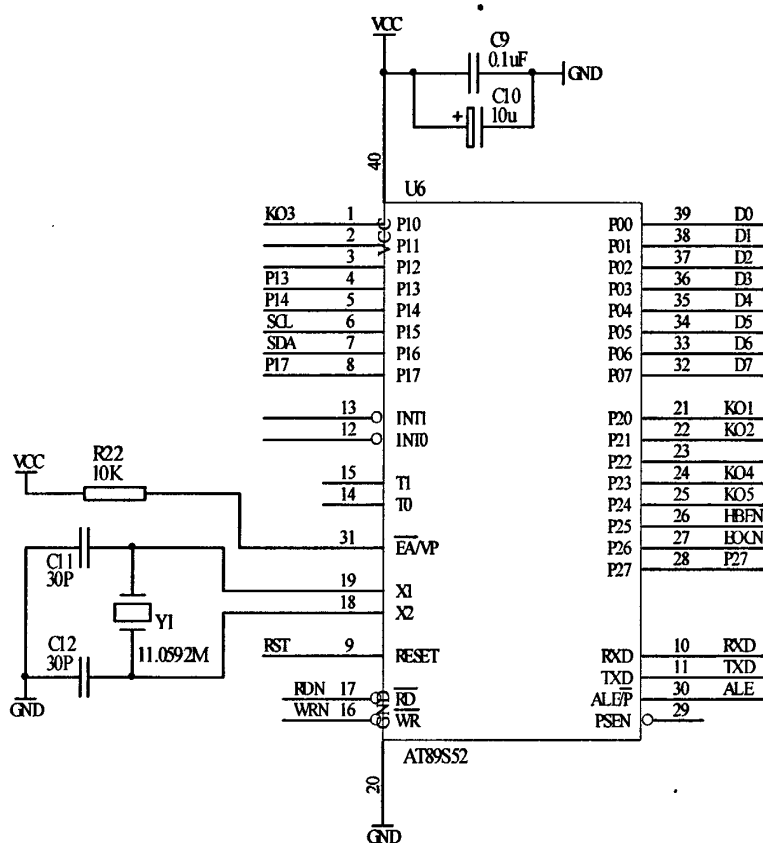


图 3-2 其他控制单元微控制器电路图

Fig3-2 Micro-control circuit of Other Control Unit

3.3 模拟量采集电路设计

微控制器对发射机运行时一些重要的模拟量的检测是不可缺少的环节。本系统中需要采集的模拟量首先通过低通滤波电路，然后进入 A/D 转换芯片，A/D 转换后的数据直接进入其他控制单元的控制器。

3.3.1 模拟量滤波电路设计

通过传感器将被检测的模拟量转化为某一范围的电平信号，然后将该电平信号经过

测控电路的输入通道传送给单片机进行处理的。本系统设计中，陕西数字广播电视公司已经将被测对象经相应传感器转变成 A/D 转换器可以识别的 0~5V 直流电压信号。微控制器不能识别模拟信号，需要将该模拟信号经过 A/D 转换器转换成数字信号再交由单片机处理。由于发射机工作环境是处于强电磁场环境中，因此在模拟量采集电路中消除电磁干扰是确保采集量正确可靠的关键之处。本系统中需要采集的模拟量是频率低于 1KHZ 的低频信号，而干扰信号主要为高于 1MHZ 的高频电磁信号，因此需要采用低通滤波电路抑制干扰。常用的低通滤波电路有 RC 低通滤波电路和 LC 低通滤波电路。这两种低通滤波电路效果与应用不尽相同，它们的比较如表 3-1 所示：

表 3-1 LC 低通滤波与 RC 低通滤波的比较

Tab3-1 The comparison between LC low-pass filter and RC low-pass filter

类型	等效内阻	输出功率	使用场合
LC	小	大	功率输出
RC	大	微小	反馈、测试

相比 LC 低通滤波电路来说，由于电阻 R 与频率变化无关，所以 RC 低通滤波电路在设计与器件选材方面要更加简单，但不适合大功率输出，仅可作为弱信号处理与微小功率应用^[11]。此外，LC 低通滤波电路在电路板上所占体积要远远大于 RC 低通滤波电路，硬件开发成本更高。这里采集的模拟量正是 0-5V 的弱信号，另外为了简化电路设计，降低设计成本，在模拟量输入电路中采用了 RC 滤波电路。模拟量滤波电路如图 3-3 所示。

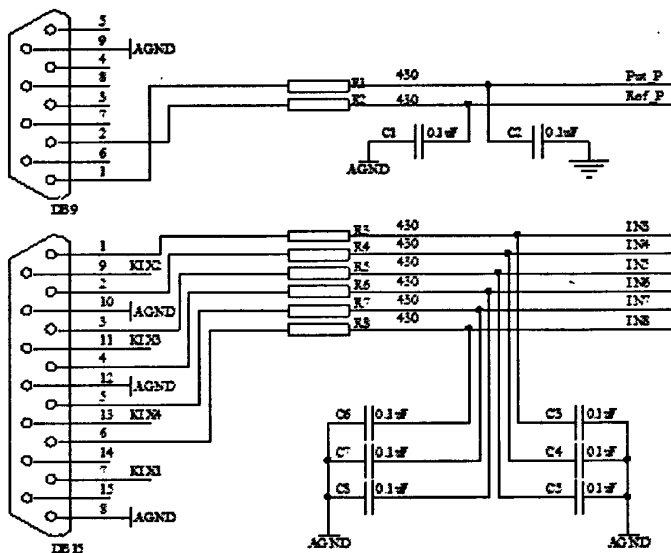


图 3-3 RC 低通滤波器

Fig3-3 The RC low pass filter

RC 低通滤波电路的截止频率计算方法如下:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

在这里, RC 低通滤波电路的 $R=430\ \Omega$, $C=0.1\ \mu\text{F}$, 所以这里的 RC 低通滤波电路最后的截止频率为:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 430 \times 0.1 \times 10^{-6}} = 3.7\ \text{KHz}$$

由此可以知道, 需要采集的模拟量信号可以通过 RC 低通滤波电路, 频率高于 1MHz 的干扰信号不能通过, 达到了避免干扰的效果。

3.3.2 A/D 转换电路设计

为使模拟量采集精度高且能较快完成 2 路模拟信号的采集与转换, 其他控制单元选用 8 输入的 12 位高速 A/D 转换芯片 MAX197, 以保证信号采集的精度和实时性。MAX197 是一款高精度, 高转换速率的 A/D 转换芯片。其具体特性如下: 8 路 12 位 A/D 转换器; 单电源 +5V 供电; 可通过软件编程选择输入模拟电压范围: +10V 或 -10V, +5V, -5V, 0V~10V, 0V~5V; 6 μs 转换时间, 采样速率为 100ksps; 可通过软件选择内部或外部时钟; 可通过软件选择内部或外部采集方式; 可用软件选择使用内部 4.096V 电压基准或外部电压基准; 有两种省电模式。MAX197 各管脚功能:

CLK: 时钟信号输入。在外部时钟模式下, 输入与 TTL/MOS 相匹配的时钟脉冲;

/CS: 片选, 低电平有效;

/WR: 当片选信号为低电平时, 在内部采集模式下 /WR 为低电平时获取控制字, 在其上升沿锁住数据, 并发出一个采集脉冲, 开始 A/D 转换。当片选信号为低电平时, 在外部时钟模式下, 在 /WR 的第一个上升沿启动一次采集, 第二个上升沿采集结束, 并开始 A/D 转换;

/RD: 当 /CS 为低电平时, 在 /RD 的下降沿允许从数据总线上读一次数据;

HBEN: 用来选择 12 位转换结果输出。当其为高电平时输出转换结果的高 4 位, 为低电平时输出转换结果的低 8 位;

/SHDN: 当此引脚为低电平时, 期间进入掉电工作状态;

D₀/D₇~D₈/D₁₁: 当 HBEN 为高电平时, 输出的是转换结果的高 4 位, 当 HBEN 为低电平时, 输出的是低 4 位;

D₇~D₈: 输出转换结果的第 5 位到第 8 位;

AGND: 模拟地;

CH₀~CH₇: 8 路模拟量输入通道;

/INT: 当 A/D 转换结束, 准备输出转换结果时, /INT 变低电平为 A/D 转换结束标

志;

REFADJ: 带隙电压基准输出/外部调节引脚。此引脚与 AGND 之间连接一个 0.01 μ F 的电容。当 REF 要采用外部基准电压时, 此引脚连接到 VDD 上。

REF: 缓冲器基准电压输出/A/DC 基准电压输入。在内部基准电压模式下, 基准缓冲器提供 4.096V 标准电压, 可在 REFA/DJ 脚微调。在外部基准电压模式下, 通过 REFA/DJ 接至 VDD 使得内部缓冲器无效。

VDD: +5V 电源, 与 AGND 之间连接一个 0.1 μ F 的电容^[2]。

A/D 转换电路如图 3-4 所示。

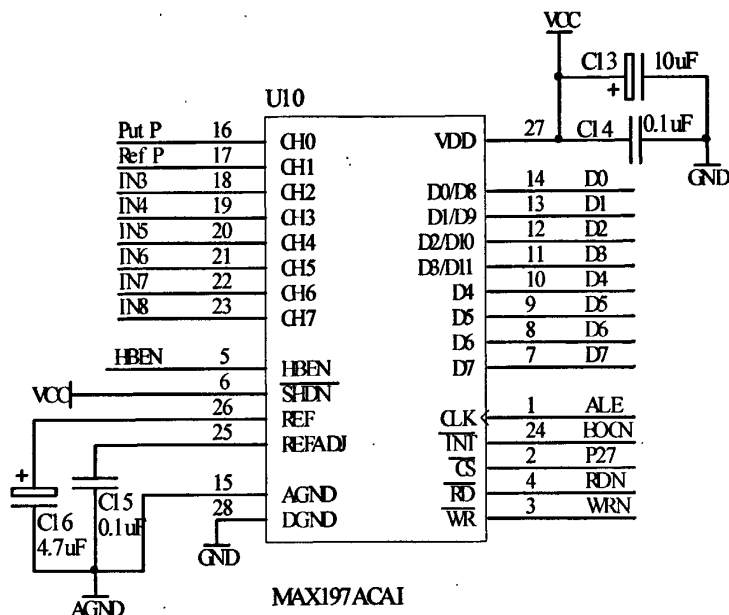


图 3-4 A/D 转换电路

Fig3-4 A/D conversion circuit

本系统采用外部时钟, 将 CLK 管脚和微控制器的 ALE 管脚相连接, 由单片机给 MAX197 提供时钟信号。如果要使该芯片工作在内部时钟模式, 则需要将 CLK 管脚和地之间接入 100pf 电容, 以提供 1.56MHZ 的内部时钟频率信号。通过单片机 P2.5 端口控制读 A/D 转换结果的高八位和低四位。由 P2.7 作为 MAX197 的片选端, 以选通 A/D 转换芯片工作。通过读取 P1.0 端口的电平状态, 判断是否一次 A/D 转换结束。

3.4 开关量输入输出电路设计

其他控制单元要定时采集 3 路开关信号的状态, 这些开关信号是从发射机接口电路输出的 TTL 电平信号。其他控制单元还要在必要的时候输出开关信号(包括封锁/解除封锁激励器、打开/关闭风机、开/关主电源 1 档、开/关主电源 2 档和开/关开关电源)至发射机接口电路, 以实现发射机工作状态的控制。

3.4.1 开关量输入电路

在开关量采集过程中,由于控制对象是功率为 1KW 的发射机,我们通常需把强电部分与弱电的微控制器从电气上隔离开来以避免发射机与微控制器之间相互产生干扰。在过去,常用的方法是使用隔离变压器或继电器来实现。

在数字电视发射机内部,各功能模块之间存在着很强的干扰,这对系统内各部分电路将产生很大影响,所以在这些控制电路的设计过程中,必须采取一定的隔离技术或者其他的一些解决措施,以便防止干扰和噪声等对整个微控制器产生影响,确保系统能够正常的运行,完成各项控制功能。

目前所采取的方法是广泛应用高性能而廉价的光电耦合器件来实现的隔离技术。光电耦合器件就是把发光元件和受光元件同时封装在一个器件中,其工作时以光作为媒介来传递信息,以便隔离输入级与输出级的直接电连接,从而消除干扰。由于光电耦合器件有一系列独特的优点,目前已被广泛地应用到微控制器测量控制系统中,成为接口技术中常用的十分重要的接口器件。其特点有以下几点:

- 1) 体积小,重量轻,抗机械冲击能力强,使用方便,价格便宜,性能稳定,可靠性高;
- 2) 不受磁场影响,不需磁屏蔽;
- 3) 共模抑制比高,抗干扰能力强;
- 4) 相应速度快,既可以传输直流信号,又可以传输高达几 MHz 的脉冲信号;
- 5) 输入端和输出端的地电位可以独立选取,而且它们之间的绝缘电压至少可以达到 1000V,最高可达到 50000V。用其切断地环路来降低噪声电平是非常有效的;
- 6) 单向传送信号,寄生电容反馈小;
- 7) 无触点,寿命长。

因此,在开关量输入电路中,我们选用 TLP512—2 作为双路光电路耦合器。它是一种完全对称性的光电模拟信号隔离器。该光电隔离器件的特点是:其内部的结构为两个光电耦合器,它们的物理特性完全一致,重复性好,并且两个光电耦合器的两个电源实现了完全隔离,有良好的线性度,地线的干扰完全消除。这样该光电耦合器在电路中就将选中的开关量信号的输入级与输出级隔离开来,阻止了相互之间电的联系,从而消除了输入级与输出级间的干扰^[3]。

开关量输入电路如图 3-5 所示。图中 R23 和 R24, R27 和 R28 分别为发光二极管的限流电阻;R25 和 R26, R29 和 R30 分别为对应光敏三极管的集电极负载电阻。74HC14 具有整形作用,引入后可削减输入单片机的开关信号高低电平之间的过渡带,经过上述开关量输入通道之后的开关信号再经过 74HC573 锁存器以后进入单片机的数据线。

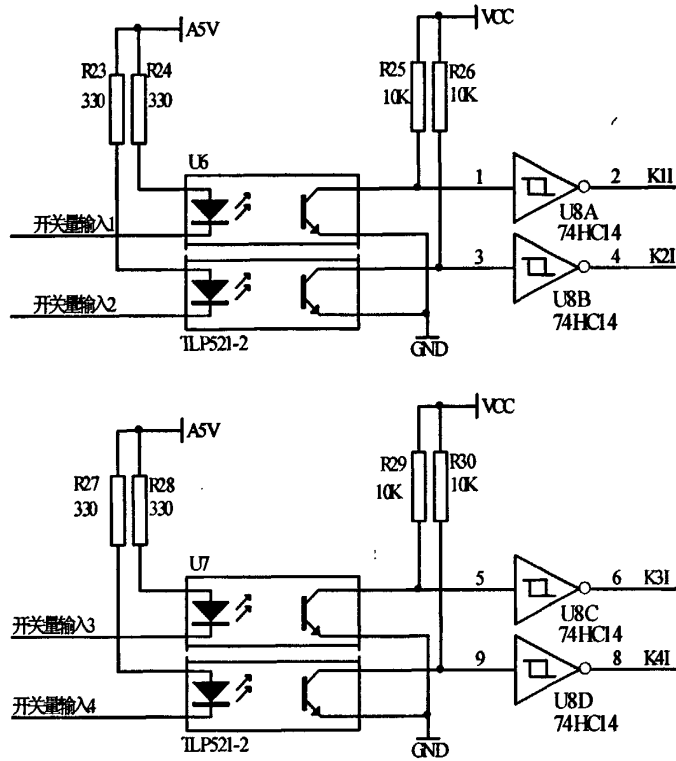


图 3-5 开关量输入电路

Fig3-5 The input circuit of switch signal

74HC573 是八进制 3 态透明锁存器。器件的输入是和标准 CMOS 输出兼容的，当锁存使能端为高时，这些器件的锁存对于数据是透明的（也就是说输出同步）。当锁存使能变低时，符合建立时间和保持时间的数据会被锁存。

74HC573 的特点：

- 1) 输出能直接接到 CMOS, NMOS 和 TTL 接口上；
- 2) 操作电压范围：2.0~6.0V；
- 3) 地输入电流：1.0uA；
- 4) CMOS 器件的高噪声抵抗特性^[14]。

74HC573 功能如表 3-2 所示。

表 3-2 74HC573 功能表

Fig3-2 Function table of 74HC573

输入		输出	
输出使能	锁存使能	D	Q
L	H	H	H
L	H	L	L
L	L	X	不变
H	X	X	Z

开关量锁存电路如图 3-6 所示。

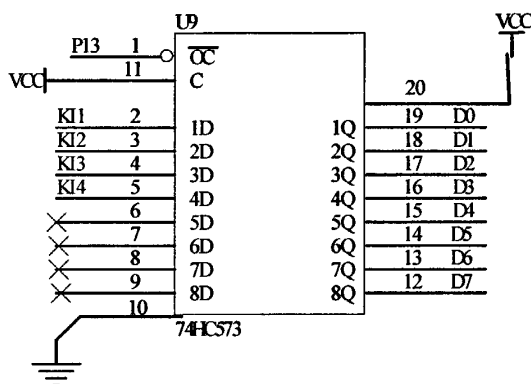


图 3-6 开关量锁存电路

Fig3-6 Switch Latch circuit

3.4.2 开关量输出电路

开关量输出电路的设计可理解为开关量输入电路的反过程，开关量输出电路与开关量输入电路相似。

在开关量输出电路中加入光电隔离开关以保证单片机与发射机的外围电路之间电的隔离，使单片机不会因为发射机的外围电路故障对其造成损坏。在其他控制单元中，采用继电器触点方式实现对发射机接口电路的控制。在这里选用万科 HK4100F-DC5V-SHG 信号继电器，该器件线圈阻值为 $120\ \Omega$ ，额定电压是 5V，瞬时吸合电压和释放电压分别为 3.75V 和 0.5V，因此该继电器瞬时吸合电流至少要等于 32mA。然而，该光电隔离开关集电极输出的最大电流只有 0.5mA，无法直接驱动额定吸合电流为 32mA 的继电器工作。因此，这里必须选用驱动器件以提供足够的驱动电流，本电路中选用三极管 9013 作为驱动器件。三极管基极只需要很小的驱动电流，就可以产生较大的集电极电流，从而驱动继电器工作^[15]。该部分电路连接如图 3-7 所示。

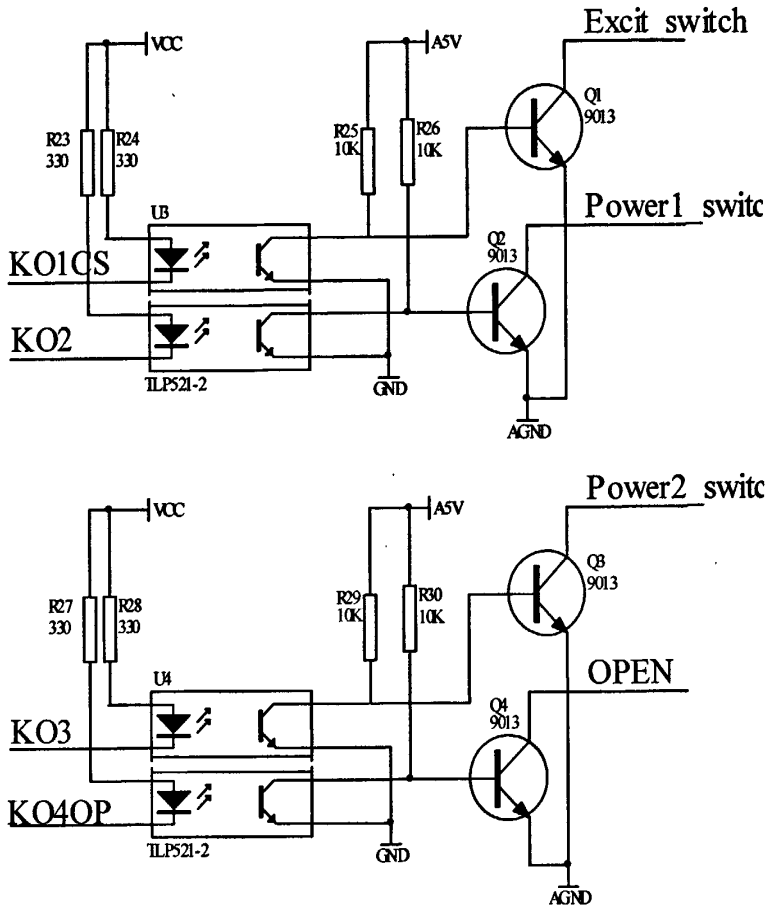


图 3-7 继电器驱动电路

Fig3-7 Relay driver circuit

另外在使用继电器时，值得注意这几点：

- 1) 继电器线圈工作时所需电压和线圈电阻；
- 2) 继电器吸合电流和电压；
- 3) 继电器产生释放动作的最大电流；

4) 在继电器线圈两端接入二极管且该二极管的反向击穿电压要大于继电器的额定电压。这是因为当继电器瞬间截止时，会在电磁线圈两端产生一个较大的反向电动势，该电动势很容易损坏控制它的电子器件，所以必须在继电器线圈两端接入该续流二极管。开关量输出电路如图 3-8 所示。

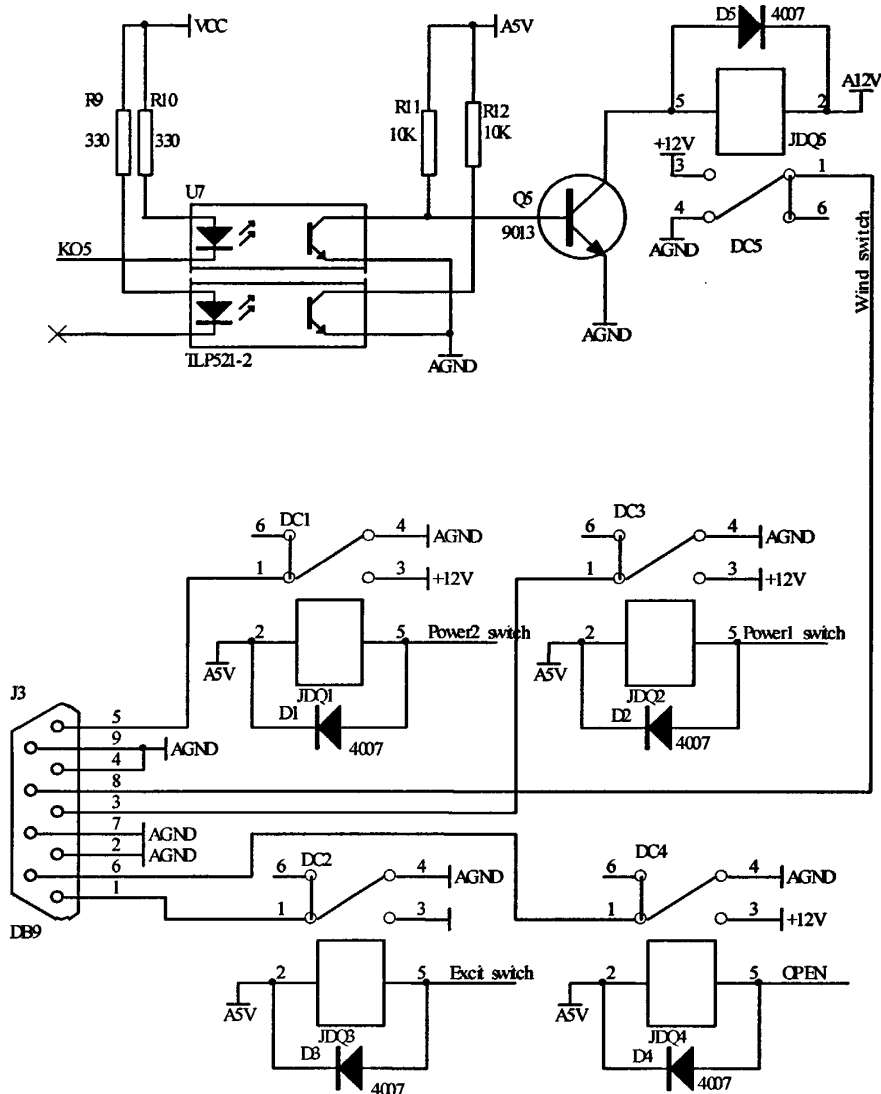


图 3-8 开关量输出电路

Fig3-8 Switch output circuit

3.5 存储电路设计

数据存储主要有 E^2 PROM、Flash 存储器和铁电存储器三种。 E^2 PROM 具有掉电可擦除的优点，同时还可以按字节擦除，而且是按字节写入，这一点要比 Flash 存储器强。Flash 是按页写入的，当每次写入不足一页时，就不是很方便了。铁电存储器是一种新型的存储器，它具有掉电不丢失数据的特点，且可擦写无限多次。但目前铁电存储器的容量都不能满足需要。本设计中采用虚拟 I^2C 技术，即采用单片机的两根 I/O 口线 P1.5 和 P1.6 模拟 I^2C 总线的时钟线 SCL 和数据线 SDA，选用常用的 E^2 PROM 数据存储 24C512 作为存储芯片。该芯片允许页写，每页可以写入 128bytes 字节，一共可以写 512 页，因此单个芯片可以存储 65536 个字节^[16]。

在该芯片的硬件设计中，由于采用漏极开路工艺，因此要注意 SCL 和 SDA 线上必须要接有上拉电阻，图中的 R35 和 R36 就是上拉电阻。上拉电阻有两个作用：第一个是 I²C 总线上要满足电容小于 400pf 的条件，上拉电阻越大要求选择的电容值就越小，可实现的数据传输率就越大；第二个是完成单片机 TTL 电平向 24C512 管脚 CMOS 电平之间的转换。

24C512 芯片与单片机连接电路如图 3-9 所示：

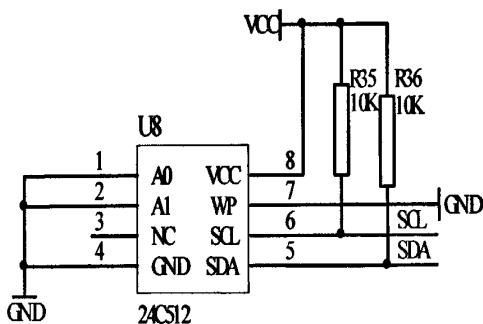


图 3-9 24C512 与单片机接口电路

Fig3-9 Interface circuit of 24C512 and MCU

3.6 看门狗电路设计

工业环境中的干扰大多是以窄脉冲的形式出现，而最终造成微机系统故障的多数现象为“死机”。究其原因是 CPU 在执行某条指令时，受干扰的冲击，使它的操作码或地址码发生改变，致使该条指令出错。这时，CPU 执行随机拼写的指令，甚至将操作数作为操作码执行，导致程序“跑飞”或进入“死循环”。为使这种“跑飞”或进入“死循环”的程序自动恢复，重新正常工作，一种有效的办法是采用硬件“看门狗”技术，用看门狗程序运行。若程序发生“死机”，则产生复位信号，引导单片机程序重新进入正常运行。

在本系统中，选用 MAX813L 作为硬件看门狗芯片。MAX813L 是 MAXIM 公司推出的低成本微处理器监控芯片，有双列直插和贴片两种封装形式，其引脚功能介绍如下：

- 1) /MR: 人工复位输入端，低电平有效；
- 2) Vcc: +5V 电源；
- 3) GND: 电源地；
- 4) PFI: 电源故障输入；
- 5) /PFO: 电源故障输出；
- 6) WDI: 看门狗输入；
- 7) RESET: 复位输出；

8) /WDO: 看门狗输入。

MAX813L 芯片具有以下主要性能特点:

1) 复位输出。系统上电, 掉电以及供电电压降低时, 第 7 管脚产生复位输出, 复位脉冲宽度的典型值为 200ms, 高电平有效, 复位门限的典型值为 4.65V。

2) 看门狗电路输出。如果在 1.6s 内没有触发该电路 (即第 6 管脚无脉冲输入), 则第 8 脚输出一个低电平信号。

3) 手动复位输入, 低电平有效, 即第 1 脚输入一个低电平, 则第 7 脚产生复位输出。

4) 1.25V 时, 第 5 脚输出一个低电平信号^[17]。

本系统中硬件看门狗电路如图 3-10 所示:

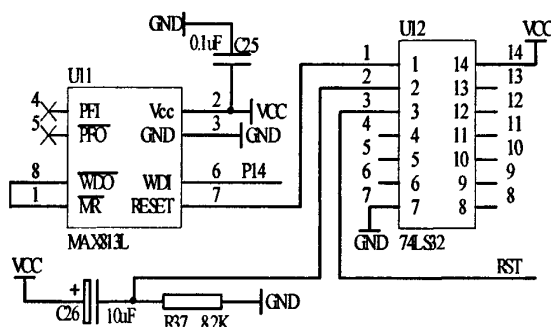


图 3-10 看门狗电路

Fig3-10 The circuit of WDT

3.7 通信电路设计

计算机通信方式分为两种: 串行通信和并行通信。并行通信是指数据的各位同时进行传送的方式, 其特点是传输速度快, 但当距离较远、位数较多时, 所需要的 I/O 线路多, 就会导致通信线路复杂且成本高。串行通信是指数据一位一位地顺序传输的通信方式。其特点是通信线路简单, 只要一对传输线就可以实现, 并且能够实现适用于远距离通信, 但传输速度较慢。工业应用场合的通信节点多、位置分散、通信距离远, 通常都采用串行通信。串行通信中最常用的是 RS-232 和 RS-485 两种, 在本系统中选用后者作为通信接口电路。这是因为 RS-485 具有以下优点^[18]:

1) 采用平衡差分电路, 而差分电路最大的优点是抑制噪声。由于在 RS-485 的两根通信导线上传递着大小相同方向相反的电流, 而噪声电压往往在两根导线上同时出现, 这样一根导线上出现的噪声会被另一根导线上出现的噪声电压抵消, 可以极大地削弱噪声对信号的影响, 因而 RS-485 通信接口具有很强的抗共模干扰的能力, 即抗噪声干扰性能好; 而 RS-232 接口使用一根信号线和一根信号返回线而构成共地的传输形式, 这种共地传输容易产生共模干扰, 所以 RS-232 抗噪声干扰性弱, 而本系统正是工作在强

噪声的环境中。

2) RS-485 传输距离远, 最大传输距离可达 1200 米; RS-232 最大传输距离只有 50 米, 对于想要实现远程监控功能得系统来说, 该串口通信的传输距离就达不到要求。

3) RS-485 具有多站接收的能力, 即最多可接收 32 个收发器。RS-232 总线上只允许连接 1 个收发器, 既单站收发能力。

4) RS-485 的电气特性为: 逻辑"0"以接收和发送数据线间的电压差为 $+(2\sim6)V$ 表示; 逻辑"1"以两线间的电压差为 $-(2\sim6)V$ 表示, 接口信号电平比 RS-232 降低了, 不容易损坏接口电路的芯片。而 RS-232 接口的信号电平值较高, 易损坏接口电路的芯片。

5) RS-485 数据最高传输速率为 10Mbps; 而 RS-232 传输速率较低, 在异步传输时, 波特率约为 115200bps。

由于计算机通信端口提供的只有 RS-232C 通信接口, 该接口对于信号的高低电平定义为: $-3V\sim-15V$ 表示逻辑 1, $+3V\sim+15V$ 代表逻辑 0, 而单片机端口提供的是 TTL 电平, 对于高低电平信号的定义为: 等于或低于 0.8V 为逻辑 0, 大于或等于 2.0V 为逻辑 1。因此, 在通信电路设计中必须采用电平转换芯片。鉴于 RS-485 通信方式的优点, 在本系统中选用了 MAX485 电平转换芯片。

其他控制单元通信电路如图 3-11 所示。

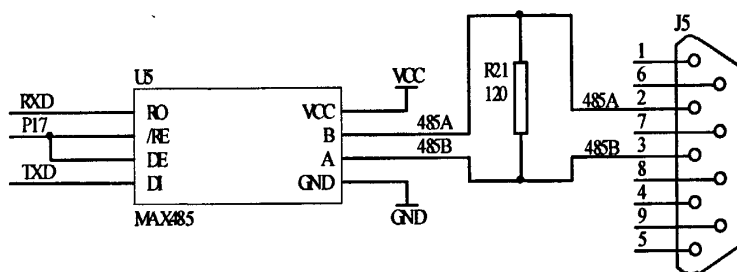


图 3-11 RS-485 通信接口电路

Fig3-11 Communication interface circuit of RS-485

电路中之所以接入 120Ω 电阻, 是因为在应用系统工程中通信载体是双绞线, 而双绞线的阻抗特性大约为 120Ω , 所以需要在 RS485 网络传输线的始端和末端应各加一个这样的匹配电阻, 以减少线路上传输信号的反射。

3.8 本章小节

其他控制单元以 AT89S52 单片机为主控制器, 完成了 2 路模拟量和 3 路开关量的采集、开关量输出电路、参数存储电路和 MAX485 通信电路的设计。为防止软件运行陷入死循环, 系统中还设计了硬件看门狗电路。如此, 完成了其他控制单元硬件设计 (电路原理图和实物图分别见附录 B 和附录 C)。

4 其他控制单元软件设计

在确定其他控制单元硬件后，又熟悉该单元所需要实现的功能，则其他控制单元软件设计可以开始进行了。在其他控制单元软件设计中，由于函数程序错综复杂，因此我们采用了模块化设计思想。每个模块只需要完成特定的功能，彼此又互不干扰影响。其他控制单元软件系统函数模块可以划分为如图 4-1 所示：

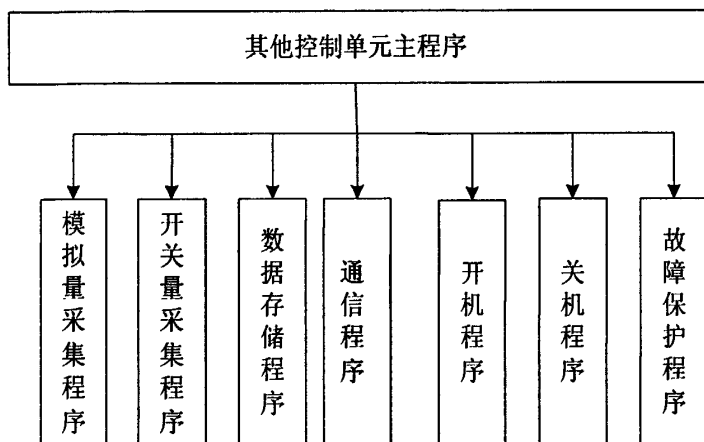


图 4-1 其他控制单元程序模块

Fig4-1 Procedure modules of the other control unit

模拟量采集程序配合相关硬件电路，把整机入射功率和反射功率共两路模拟量分别转换成单片机可以识别并处理的二进制数据，并且对转换后的数据进行滤波求平均值，以防止脉冲干扰造成采集错误数据；开关量采集程序实现对主电源一档状态，主电源二档状态和风机状态共三路开关量的采集，将采集结果送至微控制器以判断整机工作状态；数据存储程序主要包含 24C512 的读写驱动和数据读写函数；通信程序主要包含接受和发送相关数据，对应命令的处理，帧出错和正确地回应函数；开关机程序主要完成手动或自动开关发射机操作；故障保护程序主要对 I 类故障和 II 类故障的判断和处理。

4.1 软件系统开发环境介绍

本系统软件是在 Keil C51 开发环境下完成的。Keil C51 是美国 Keil Software 公司出品的兼容 51 系列单片机 C 语言的软件开发系统。该开发软件具有以下优点：提供了丰富的库函数和功能强大的集成开发调试工具；全 Windows 显示界面；目标代码生成效率非常高而且多数语句生成的汇编代码很紧凑，容易理解。

4.1.1 Keil C51 开发系统整体结构

C51 工具包的整体结构如图 4-2 所示。其中 uVision 是 C51 for Windows 集成开发环

境 IDE, 可以完成编辑、编译、连接、调试、仿真等整个开发流程。开发人员可用 IDE 本身或其它编辑器编辑 C 或汇编源文件, 然后分别由 C51 及 A51 编译器编译生成目标文件.OBJ。目标文件可由 LIB51 创建生成库文件, 也可以与库文件一起经 L51 连接定位生成绝对目标文件.ABS。ABS 文件由 OH51 转换成标准的 Hex 文件, 以供调试器 dScope51 使用进行源代码级调试, 也可由仿真器使用 Hex 文件直接对目标板进行调试, 也可以直接写入程序存储器如 EPROM 中。

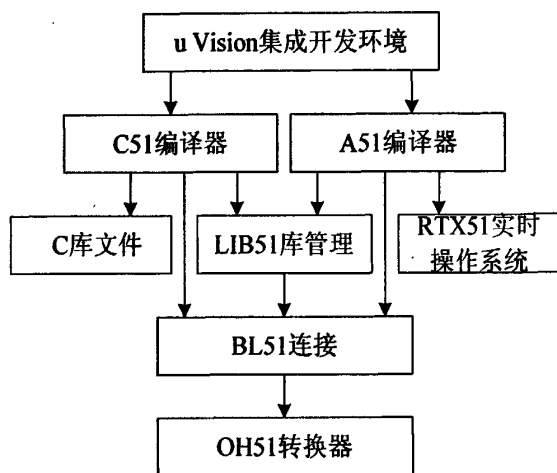


图 4-2 Keil C51 软件开发系统整体结构

Fig4-2 The whole structure of software exploitation in Keil C51

其中, C51 和 A51 分别是 C 语言和汇编语言编译器。L51 是 Keil C51 软件包提供的连接/定位器, 其功能是将编译生成的 OBJ 文件与库文件连接定位生成绝对目标文件.ABS。BL51 也是 C51 软件包的连接/定位器, 它具有 L51 的所有功能, BL51 具有三个特点: 可以连接定位大于 64kByte 的程序; 具有代码域及域切换功能; 可用于 RTX51 操作系统。RTX51 是一个实时多任务操作系统。dScope51 是一源级的调试器和模拟器, 可以调试由 C51 编译器、A51 汇编器产生的程序^{[19][20]}。

4.1.2 Keil C51 提供的库函数

C51 强大功能及其高效率主要体现在其丰富的可直接调用的库函数。多使用库函数能够使程序代码简单、结构清晰、易于调试和维护。Keil C51 提供的几种重要库函数为:

- 1) 专用寄存器 include 文件。8031、8051 专用寄存器文件 REG51.h 中包括了所有 8051 的 SFR 及其位定义, 一般单片机控制系统都必须包括本文件。
- 2) 绝对地址 include 文件 absacc.h。该文件中实际只定义了几个宏, 以确定各存储空间的绝对地址。
- 3) 动态内存分配函数, 位于 stdlib.h 中。对给一组定长度的数据动态分配存储空间。

4) 缓冲区处理函数位于“string.h”中。其中包括拷贝比较移动等函数,如: memccpy memchr、memcmp、memcpy、memmove、memset, 通过调用这些函数可以很方便地对缓冲区进行操作。

5) 输入输出流函数, 位于“stdio.h”中。完成对 8051 串口或用户定义的 I/O 口数据的读写操作, 缺省为 8051 串口, 如要修改, 比如改为 LCD 显示, 可修改 lib 目录中的 getkey.c 及 putchar.c 源文件, 然后在库中替换它们即可。

在 Keil C51 开发环境中调用以上库函数可以降低软件设计的难度, 减少程序代码量从而提高代码的执行效率^[21]。

4.2 模拟量采集程序设计

模拟量采集程序的设计分为三个部分, 第一部分为 A/D 转换驱动程序设计, 第二部分是对 A/D 转换数据进行滤波求平均值的程序设计, 第三部分是 A/D 转换结果进行转换, 打包的程序设计。

4.2.1 A/D 转换驱动程序设计

硬件电路中的 MAX197 芯片用于采集发射机整机的模拟量, 为此设计了具有 A/D 转换的模拟量采集函数。每当对 MAX197 执行一次写控制字操作时 A/D 转换开始。MAX197 控制字格式见表 4-1。

表 4-1 MAX197 控制字格式

Tab4-1 Control word of MAX197

D7(MSB)	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0(LSB)
PD1	PD0	ACQMOD	RNG	BIP	A2	A1	A0

A2, A1, A0 通过不同 0, 1 组合选择 8 路模拟量中的某一路; RNG 和 BIP 的 0, 1 组合确定所采集模拟量的范围, 最大为 $\pm 15V$; ACQMOD 决定 MAX197 采用内部采集模式还是外部采集模式; PD0 和 PD1 组合决定选择正常工作模式还是低功耗工作模式^[12]。

采用内部采集模式时, 一个写脉冲(WR 管脚产生的负跳变)可以启动一次采集过程。无论在内部还是外部采集模式, A/D 转换时间都是 12 个时钟周期。若在转换过程中写入一个新的控制字, 那么本次转换立即结束, 再启动一次新的采集过程。采用外部采集方式可以更精确地控制采样速率, 这种方式可通过 2 个写脉冲控制采集和启动转换。在第一个写脉冲出现时, 写 ACQMOD 位等于 1, 开始采样间隔。在第二个写脉冲出现时, 写入 ACQMOD 位等于 0, MAX197 停止采样, 开始执行 A/D 转换操作。当一次转换结束后, MAX197 相应的 INT 引脚置低电平, 通知处理器可以读取转换结果。外部时钟模式下的转换时序如图 4-3 所示。

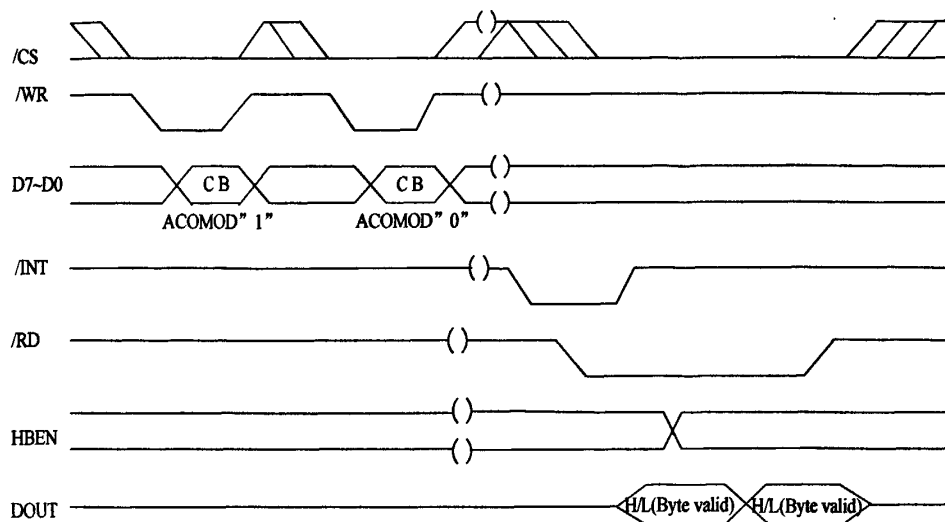


图 4-3 外部时钟模式下的转换时序图

Fig4-3 Conversion timing with external acquisition mode

4.2.2 A/D转换数据进行滤波求平均值的程序设计

虽然在模拟量采集硬件电路中已经设计了 RC 低通滤波器来增加系统的抗干扰性，但是在软件上面也应该对采集到的数据做进一步处理。如此，可以尽可能的消除干扰带来的误差或者将误差减小到最低。

通过软件计算程序对检测的数据进行特定方式的处理，提高检测的可靠性和正确性，消除干扰噪声的影响，这个过程就是数字滤波。从软件上使用数字滤波，可以节省硬件上的成本，并且具有更加可靠，功能更强和不会丢失数据等优点。

一般的数字滤波分为有限幅滤波和中位值滤波、低通滤波、平均滤波共 3 个大类。在其他控制单元硬件设计中，由于已经采用了 RC 低通滤波电路，因此在软件上选用平均滤波的方法。平均滤波又有 3 种，分别是算术平均滤波、去极值平均滤波和递推平均滤波。算术平均滤波只适合一般具有随机干扰的信号进行滤波；递推平均滤波的优点是速度快；因为数字电视发射机在使用中存在随机干扰和脉冲干扰，同时兼顾到单片机的处理速度，在本程序设计中，采用移动的去极值滤波法。程序对数据处理的方法是：对采集到的 10 个数据去掉其中的最大值和最小值，然后对其余的数据取平均值，以这个结果为最终采集结果。下面具体给出这种移动取极值滤波法的程序代码：

```

uint Filter(uchar CHno)
{
    uint   value_buf[10];    //定义 10 个存放采集数据的地址
    uchar  count, i;
    uint  min, max, sum=0;

```

```

for(count=0;count<10;count++)
{
    feedDog();
    value_buf[count]=Sample_AD(CHno); //存放采集到的数据到指定地址
}
min=value_buf[0]; //定义数组中最小值为第一个数据
max=value_buf[0]; //定义数组中最大值为第一个数据
for (i=0;i<10;i++)
{
    feedDog();
    if(min>value_buf[i]) min=value_buf[i]; //在数组中依次查询最小值
    if(max<value_buf[i]) max=value_buf[i]; //在数组中依次查询最大值
    sum+=value_buf[i]; //对数组求和
}
sum=sum-min-max; //去掉采集数据中的最小值和最大值
return ((sum>>3)); //对剩余数据求平均值, 得到采集最终结果
}

```

4.2.3 A/D转换结果进行修正和打包的程序设计

表 4-2 1KWCMMB 数字电视发射机检测电压与功率的关系

Tab4-2 Relation between voltage detected and the power of 1KW digital television transmitter

检测电压值(V)	功率值(KW)	检测电压与功率修正关系式
0.11	0.1	
0.23	0.2	
0.30	0.3	
0.36	0.4	
0.45	0.5	$Y=0.0234X^2+2.3457X-0.1346$
0.51	0.6	
0.59	0.7	
0.65	0.8	
0.73	0.9	

微控制器运行过程中, 其他控制单元采集量为电压信号, 而不是入射功率和反射功率。其他控制单元采集到的所有量都是 0~5V 电压信号, 而不是整机实际的运行参数,

如 0.8KW 等。所以其他控制单元要把采集到的数据经过一定的变换关系修正为实际值。因为对功率检测是通过检测电压得到的，而功率和电压之间是平方关系，必须对其采用非线性修正的方法。

以 1KWCMMB 数字电视发射机检测电压值和实际功率关系为例，说明电压与功率的修正关系（见表 4-2）。通过二次拟合得到曲线方程如表中所示。其中：0.0234，2.3457 和 -0.1346 分别为 1KWCMMB 数字电视发射机采集模拟量修正系数的二次项、一次项和常数项。修正后的结果 Y 作为故障判断和主控单元数据显示的依据。另外，在程序设计中，将采集到的数据进行打包处理可以确保数据传输的可靠性。将采集到的模拟量转换为 ASCII 码的格式，然后存储到指定数组空间。数据打包的具体程序代码为：

```
void PBag1_make(void)
{
    uchar    k;
    uchar    m=0;
    uint     AD_result;
    feedDog();
    AD_result=Sample_result[0];    //对整机入射功率模拟量的处理
    for(k=0;k<3;k++)
    {
        SLAVE1_Data[m]=AD_result&0x000f;
        AD_result>>=4;
        if((SLAVE1_Data[m]>=0)&&(SLAVE1_Data[m]<=9))
            SLAVE1_Data[m++]=SLAVE1_Data[m]+0x30; //将数据转化成 ASCII 码
        else if((SLAVE1_Data[m]>=0x0A)&&(SLAVE1_Data[m]<=0x0F))
            SLAVE1_Data[m++]=SLAVE1_Data[m]+0x37; //将数据转化成 ASCII 码
    }
    AD_result=Sample_result[1]; //对整机反射功率的处理
    for(k=0;k<3;k++)
    {
        SLAVE1_Data[m]=AD_result&0x000f;
        AD_result>>=4;
        if((SLAVE1_Data[m]>=0)&&(SLAVE1_Data[m]<=9))
            SLAVE1_Data[m++]=SLAVE1_Data[m]+0x30;
        else if((SLAVE1_Data[m]>=0x0A)&&(SLAVE1_Data[m]<=0x0F))
```

```
SLAVE1_Data[m++]=SLAVE1_Data[m]+0x37;
```

```
}
```

```
}
```

4.3 开关量采集程序设计

在开关量采集电路中,由于开关量输入通道接近现场,易受脉冲信号干扰,因此在开关量输入通道中,要特别注意提高系统的抗干扰能力。开关量采集中设置 Switch_Const[3] 数组,用数组中的三个字节表示采集到的三组开关量状态。其他控制单元中要采集 3 路开关信号,用每一个字节的 bit0~bit2 依次表示风机、主电源 1 档、主电源 2 档。开关量定义格式见表 4-3。

表 4-3 开关量定义格式

Tab4-3 Definition style of switch signal

名称	字节检测位	检测状态	发射机状态
风机	bit0	0/1	风机正常/故障
电源一档	bit1	0/1	电源 1 档正常/故障
电源二档	bit2	0/1	电源 2 档正常/故障

对上表中的 3 路开关量连续采集 3 次,得到长度为 3 的数组 Switch_Const[3]。对该数组中每个字节的每一位进行检测,如果检测到的位是高电平,对该高电平的次数进行记录,如果有两次或者三次检测到该位是高电平 1,则认为该位所代表的开关状态故障;如果高电平次数小于 2 次,则认为该位所代表的开关状态正常。这样通过多次检测开关量的方法可以确保检测的正确性,降低干扰可能会带来的误差。

4.4 数据存储程序的设计

对于较为复杂的单片机应用系统,元件与芯片之间的短距离通信的物理线路往往会比较多,这样会增加硬件系统设计的难度,还会对系统的稳定性造成不良的影响。针对这一问题,PHILIPS 公司开发的 I²C(Inter-Integrated Circuit)总线技术可以有效地解决这一问题^[22]。I²C 总线是一种由两线式串行总线,用于连接微控制器及其外围设备,外围器件可以利用这两根线进行串行通信。

另外,由于每次开发射机之前都要读取系统设置的参数,以判断发射机当前的工作状态是否正常,所以在本系统中使用了 E²PROM 存储芯片 24C512。该芯片采用 I²C 技术,具有接线简单,存储容量大等特点。

4.4.1 I²C 总线的特点

I²C 总线具有如下基本特点:

1) 两条总线线路, 串行数据线 SDA 和串行时钟线 SCL, 可发送和接受数据。

2) 由于采用漏极开路工艺, 总线上要接上拉电阻。总线空闲时, 总线处于高电平状态。

3) 连接到相同总线上的 IC 数量只受到最大电容 400pF 的限制, 这些 IC 的输出级必须是漏极或者集电极开路的, 这样才具有“线与”功能。

4) 存在冲突检测和仲裁机制以保证数据传输的完整性和稳定性。

5) 连接到总线上的每个器件都有唯一的地址, 通过此地址, 主机可以对从机进行寻址。

6) 标准模式下数据传输速率可达 100kbps, 快速模式下可达 400kbps, 高速模式下可达 3.4Mbps。

7) 总线模式包括主发送模式、从发送模式和从接收模式。 I^2C 总线有自己的协议, 协议允许总线接入多个器件, 并支持多主工作。总线中的器件既可以作为主器件, 也可以作为从器件。既可以是发送器, 也可以是接收器。主器件的功能是启动在总线上传送数据, 并产生时钟脉冲, 以允许被寻址的器件即从器件进行数据传送。一般而言, 任何器件均能成为从器件, 只有微控制器才能成为主器件。 I^2C 总线允许连接多个微控制器, 但显然不能同时存在两个主器件, 那么首先控制总线的微控制器成为主器件。可能有多个微控制器同时企图控制总线成为主器件, 这就产生了总线竞争协议, 竞争成功的微控制器成为主器件, 其他微控制器则退出。竞争过程中, 数据不会被破坏、丢失。数据只能在主、从器件间传输, 传输结束后, 主、从器件将释放总线, 退出主、从器件角色。总线上存在主、从器件时, 总线处于忙的状态, 反之, 总线处于空闲状态。

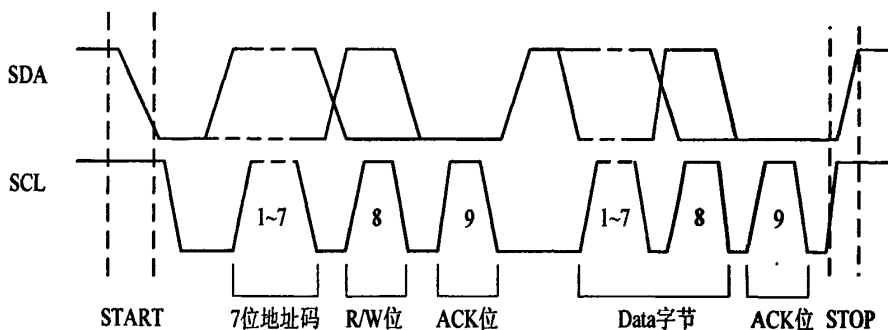
4.4.2 I^2C 总线的通信时序

I^2C 总线在传送数据过程中共有三种类型信号, 它们分别是: START 信号、STOP 信号和 ACK 信号。

START 信号: 当 SCL 为高电平, SDA 电平由高电平变为低电平, 数据开始传输。所有的操作必须是开始之后进行。

STOP 信号: 当 SCL 为高电平, SDA 电平由低电平变为高电平, 数据结束传输。在结束条件下, 所有的操作都不能进行。

ACK 信号: 接收数据的 IC 在接收到 8bit 数据后, 向发送数据的 IC 发出特定的低电平脉冲, 表示已收到数据。CPU 向受控单元发出一个信号后, 等待受控单元发出一个应答信号, CPU 接收到应答信号后, 根据实际情况做出是否继续传递信号的判断。若未收到应答信号, 则判断受控单元是否出现故障^[23]。

图 4-4 I²C 总线通信时序图Fig4-4 Communication timing of I²C BUS

I²C 总线通信时序图如图 4-4 所示。关于 I²C 总线通信时序,其中值得注意的几点是:

1) 在有了 START 信号之后,进行数据传输之前,I²C 总线会首先发送一个字节进行寻址,表示要进行通信的从器件的地址。该字节的定义如表 4-4 所示。地址信息占用了第一字节的高 7 位,可以对 127 个器件进行寻址。该字节的 D0 位用于表示数据的传输方向,当 D0 为高电平时,表示主器件对从器件进行读操作;当 D0 为低电平时,表示主器件对从器件进行写操作。

表 4-4 I²C 总线通信第一字节定义Tab4-4 Definition of first byte of I²C bus

D7~D6	D0
从地址	读/写

2) 主器件在发送完第一字节后,第 9 个脉冲低电平期间,发送器件释放 SDA 线,即置高 SDA。接受器件则把 SDA 线拉成低电平,用于给出一个 ACK 信号。发送器件收到这个信号后,就开始数据的传输。另外,传送的数据字节数没有限制。

3) 数据有效转变开始后,当时钟线 SCL 为高电平时,数据线 SDA 必须保持稳定。如果数据线 SDA 需要改变时,必须在时钟线 SCL 为低电平时方可进行。

本系统设计中采用带 I²C 接口的 24C512 存储芯片,而其他控制单元采用的 AT89S52 单片机没有 I²C 接口,但是可以通过单片机的 I/O 端口模拟实现 I²C 总线接口。I²C 总线发送数据和读数据的流程图分别见图 4-5、4-6。

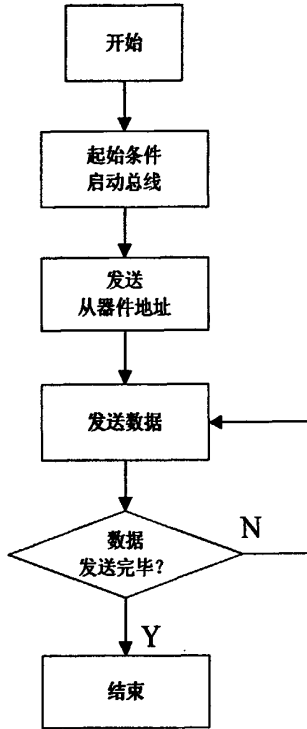


图 4-5 I²C 总线发送数据流程图

Fig4-5 Flow of sending datum of I²C bus

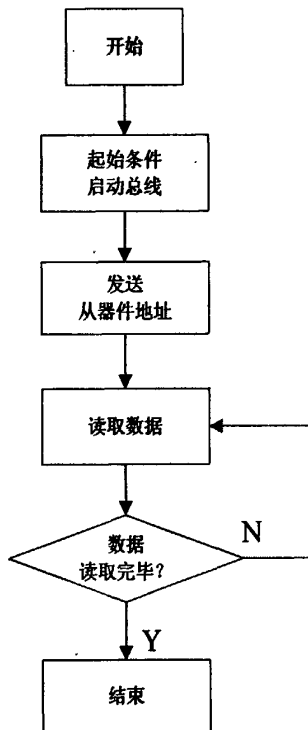


图 4-6 I²C 总线读取数据流程图

Fig4-6 Flow of reading datum of I²C bus

4.4.3 软件模拟I²C总线

如图 3-9 所示,其他控制单元中使用 P1.5 和 P1.6 分别模拟 24C512 芯片 SCL 数据线和 SDA 时钟线。通过程序设置这两个管脚输出电平的高低变化,模拟 I²C 总线开启,停止和应答等信号时序。读/写访问是存储器操作中最基本的函数。读访问又分为读当前地址单元、读给定地址单元和读连续地址单元;而写访问则分为写给定地址单元和写连续地址单元。其中相邻两次写访问需间隔 5 毫秒,此间 AT24C512B 不响应任何操作^[24]。

为防止系统中断、掉电或复位等影响读/写访问的正常时序,AT24C512 还提供了软件复位操作。在上述情况下,通过软件复位后可进行下一次的读写访问。软件复位步骤为:送起始位;送 9 位数据“1”;再送起始位;送结束位。在对 24C512 操作中,所应用的底层驱动函数如下所示:

```
start_bit(void);           //启动 IIC 总线操作;
stop_bit(void);           //停止 IIC 总线操作;
ack(void);                //接收或发送数据应答位;
no_ack(void);             //无应答,在读 24C512 中用到;
write_8bit(uchar ch);     //向 24C512 中写入一个字节数据;
read_8bit(void);          //从 24C512 中读出一个字节数据;
I2CReset(void);           //24C512 软件复位操作;
```

4.5 通信程序设计

在主从通信程序设计中,主机要和从机之间设定一致的通信格式,也就是通信协议。这样才可以保证通信的顺利进行。在本系统中由于涉及到的命令比较多,还需要设置较多的命令字以实现主控单元与从机之间的命令传输。

4.5.1 通信协议格式

微控制器通信中存在多种命令格式与操作方式,因此,两个单片机之间除了要具有物理上的连接以外,还需要用软件协议来保证通信的可靠性^[25]。在主从板的通信过程中,本系统采用了自定义的通信协议。具体格式为:波特率为 19600bps,通信格式为:帧头(CA)+地址+命令+长度+校验+帧尾(DA)。此外,微控制器定义了系统中的各个单元的命令(见附录 D)。

4.5.2 从机通信流程

在通信中由于其他控制单元为从机,因此处于被动应答的状态。并且由于主控单元不但要和其他控制单元通信,还要和电源控制单元,激励器,功放控制单元以及上位 PC 机通信,因此为了在通信时为了尽量少的占用主控单片机时间并能及时响应从机发送的数据,在从机通信程序的编写时采用了轮询的方式,即在本地键盘操作或远程

上位机设置命令的情况下，定时发送请求上传数据命令至其他控制单元、电源控制单元和功放控制单元。从机程序在运行过程中一旦检测到串口中断，立即响应该中断并对中断内容进行分析，分析当前接收到的是参数设置命令是开关机命令，还是其他命令，然后根据命令类型执行相关的标志位设置操作。从机接收数据帧过程如图 4-7 所示：

- 1) 初始化串口设置及相关标志；
- 2) 响应串口通信接收中断；
- 3) 依据标志判断本次通信数据帧接收是否完整。若已接收则转下一步，否则继续准备接收数据转；
- 4) 将本次通信接收的命令进行分析并根据命令类型设置相应任务标志位；
- 5) 当为数据系统参数设置命令时，将接收的数据存入相应的区域内完成设置，而如果为数据上传命令则设置数据上传标志位有效，在程序空闲时再发送相关数据^[26]。

在接收数据时，如果两个字节之间的时间间隔超过 200ms，则认为本次通信失败。通信设置重置，再等到 200ms 后才开始串口通信使能。

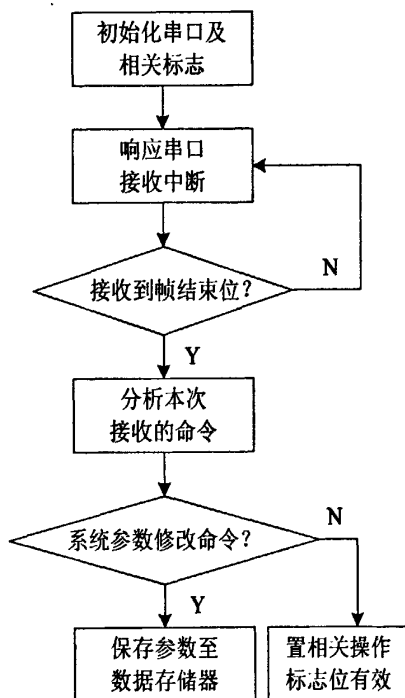


图 4-7 串口数据帧接收流程

Fig4-7 Process of receiving datum from series port

在主程序中检测主控单元请求数据发送标志位是否有效，如果有效且该时刻无串口中断，则执行发送数据命令。否则继续执行其他操作，等下一个循环到来后再对串口状态进行检测^[27]。

4.5.3 其他控制单元命令字设置

其他控制单元在运行时，要实时响应串口发送的各种操作命令。本系统设计中，采用设定的串口通信协议格式完成与主控单元的通信^[29]。本系统采用串口主从通信，主控单元为主机，其他控制单元为从机，通信由主机发起，波特率为 19600bps。

其他控制单元通信部分程序主要完成接收主控单元发送数据的命令和串口发送数据至主控单元的工作。其他控制单元实时采集整机入射功率，整机反射功率等模拟量与风机状态，主电源 1 档状态和主电源 2 档状态等开关量，并对所采集模拟量的大小及其状态和开关量的状态执行打包操作。主控单元向其他控制单元请求上传数据的协议格式见表 4-5。

表 4-5 主控单元-其他控制单元请求数据命令格式

Tab4-5 Command format of master control unit requesting datum from other control unit

主控单元-其他控制单元请求数据命令格式
帧首 0XCA
地址码 0X02
命令码 0XD0
数据长度码
校验码
帧尾 0XDA

主控单元发送该命令后，其他控制单元，电源控制单元和功放检测单元串口能同时接收到该命令，将其与各自的软件中设置的命令相对比，相同则接收并执行该命令，不同则丢弃这组命令。其他控制单元在收到发送数据的命令后，立即响应串口操作，发送当前采集到的一组数据至主控单元。其他控制单元向主控单元发送一帧数据的格式见表 4-6。

其中，0XCA 是帧首，0XD0 是其他控制单元的数据发送命令，0XDA 为帧尾。模拟量采集范围为 0x0000~0x0fff，所以对于采集到的模拟量值保存 3 个 ASCII 值^[29]。

表 4-6 其他控制单元-主控单元发送数据的格式

Tab4-6 Format of other control unit transmitting datum to master control unit

其他控制单元-主控单元发送数据的格式
帧首 0XCA
命令码 0XD0
数据长度码
模拟量 n 的 ASC 值 1
模拟量 n 的 ASC 值 2
模拟量 n 的 ASC 值 3
开关量 m 的状态
校验码
帧尾 0XDA

其他控制单元在模拟量采集过程中，要对模拟量的正常与否做出判断，即通过上位机设置的参考值与实际值进行比较，得出模拟量当前的状态。在系统工作中，有可能要通过远程上位机或者现场键盘对系统正常运行的参考值进行调整，主控单元通过串口将最新设置值的参考值发送至其他控制单元。该数据传输格式见表 4-7。

表 4-7 主控单元发送模拟量上下限数据包格式

Tab4-7 Data packet format of upper and lower limit of analog datum sent by master control unit

主控单元发送模拟量上下限的数据包格式
帧首 0XCA
命令 0XC6
数据长度码
各参数上限和下限
校验码
帧尾 0XDA

模拟量上下限值为浮点型数据，如果直接传输该组数据，会占用系统太多的存储空间，所以软件设计中把浮点型模拟量以字符型的格式打包发送。即把每个模拟量分为整数部分和小数部分，每部分各占一个字节。其他控制单元接收到该数据后，按照主控单元的打包格式拆解该数据包，然后以接收到的值为参考判断系统当前采集到的模拟量是否正常。模拟量上下限在该数据包中的打包格式见表 4-8。

表 4-8 模拟量上下限打包格式

Tab4-8 Data packet format of upper and lower limit of analog datum

名称	A_{min1}	A_{min2}	A_{max1}	A_{max2}
整机入射功率	3	4	5	6
整机反射功率	7	8	9	10

该数据包总共包含 13 个字节。其中数据包中第 0, 1 和 2 字节分别是帧首、命令字和数据长度字节, 第 11 和 12 字节为校验码和帧尾字节, 第 3~10 字节是入射功率和反射功率等模拟量上下限在数据包中的位置。 $A_{min}=A_{min1}+A_{min2} \times 0.01$, $A_{max}=A_{max1}+A_{max2} \times 0.01$, A_{min} 和 A_{max} 为被采集模拟量的范围。这样以来, 使得数据存储空间被直接发送浮点型数据节省了一半^[30]。

4.6 开关机程序设计

在本系统中, 可以设置一周的自动开/关发射机的时间, 且每天至少可设置 5 组。主控单元可通过读取 24C512 中存储的时间值和时钟芯片当前运行时的时间值, 以确定是否需要命令其他控制单元执行开关机操作, 即执行定时开关机; 可以通过接收远程 PC 机发送的开关机命令使其他控制单元执行开关发射机操作或通过响应现场键盘开/关发射机操作执行开关发射机操作, 即实现手动开/关发射机操作。无论哪种开/关发射机操作, 都要通过主控单元发送开关机命令至其他控制单元, 由其他控制单元执行相关操作(开关机程序流程分别见附录 E 和附录 F)。串口发送开关机操作的命令格式见表 4-9。

表 4-9 开/关发射机命令格式

Tab4-9 Command format of open and close transmitter

串口发送开机命令	串口发送关机命令
帧首 0XCA	帧首 0XCA
命令码 0XAB	命令码 0XAD
校验码	校验码
帧尾 0XDA	帧尾 0XDA

4.6.1 开发射机时序要求

数字电视发射机是一个大功率的设备, 它的启动与停止也不能像一般的小功率电器那样随意开关, 而是需要一系列的检测过程。

数字电视发射机在进行开机操作时需要严格遵守一定的时序要求, 并且每进行一步操作后, 都要对相关的开关量和标志位进行检测, 然后按照检测结果进行下一步操作。

数字电视发射机的开机过程操作:

1) 开风机

数字电视发射机中很多器件都是大功率的，在工作时会散发大量的热量。因此，需要风机进行散热，否则会导致器件因高温而烧毁。所以开机前首先打开风机，可以确保发射机通电后及时地被散热，然后需要检测风机正常以后才能进行下一步操作。另外，打开风机后需要大概 5 秒左右的时间才能全速运转起来，所以对风机的检测，需要在打开风机 5 秒之后，防止检测的开关量不能正常的反映系统状态。

2) 开主电源 1 档

当检测到开机标志位为 1、风机、门开关和外部闭锁开关正常时，打开主电源 1 档。数字电视发射机的主电源是将系统的 24V 开关电源接上外部的 380V 电压，也就是通常说的上高压。在上了主电源 1 档以后，系统的开关电源才有可能为系统提供电源，因此必须检测到主电源 1 档正常以后才能进行下一步操作。主电源 1 档开启后需要等待大约 2 秒主电源 1 档才会正常工作起来。因此对主电源 1 档开启后的第一个检测时刻选择在启动主电源 1 档 2 秒后^[26]。

3) 开主电源 2 档

当检测到主电源 1 档正常和开机标志位为 1 时，开主电源 2 档。数字电视发射机主电源 2 档是将系统的 24V 开关电源打开以对系统供电。由于数字电视发射机中的各个器件只能用直流电源，因此系统需要将外部供电系统的交流电转化为系统能用的 24V 直流电信号。在打开主电源 2 档后，需要释放主电源 1 档，即关断主电源 1 档。另外，主电源 2 档开启后需要等待大约至少 3 秒左右时间才会正常。所以对主电源 2 档的检测必须是在打开 3 秒以后。

4) 开激励器

开激励器后，其他控制单元发送开机成功命令至主控单元，然后置采集标志位有效。另外，由于激励器刚开始解除封锁必须经过一段时间才能达到预设的值，所以在开激励器 3 秒左右后，发射机的发射功率才会正常。因此，在模拟量采集程序设计中，对发射机的发射功率进行检测必须是在开激励器 3 秒之后才能进行采集，如此可以确保不会对系统故障做出误判。

下面的图 4-8 是其他控制单元开发射机的程序编译环境。

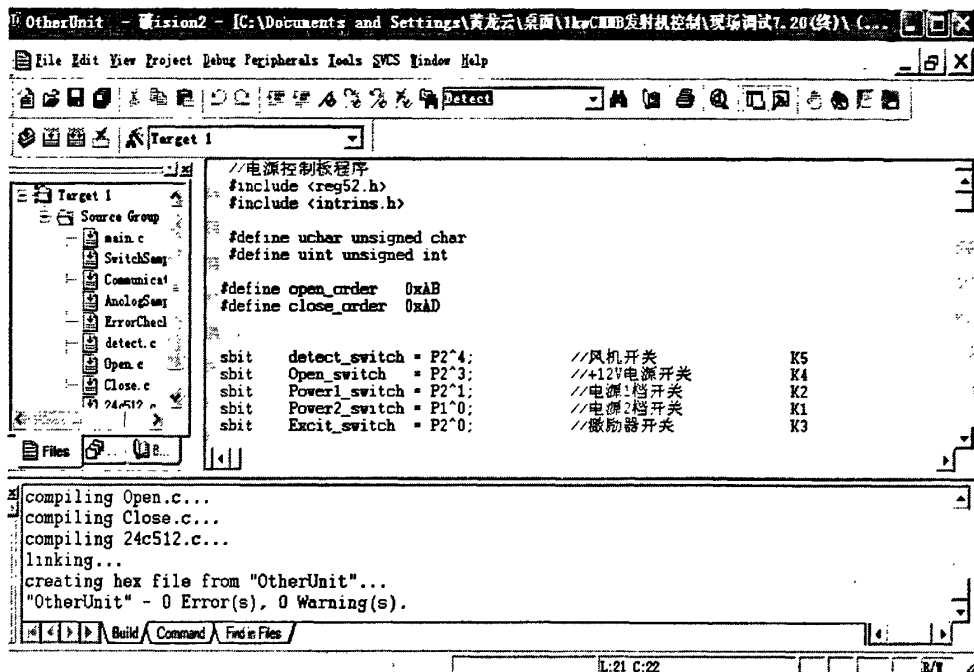


图 4-8 开发发射机程序编辑环境

Fig4-8 Compiling environment of program of opening transmitter

4.6.2 关发射机时序要求

关闭发射机的过程就是打开发射机的逆过程。

- 1) 关闭主电源 2 档，延时 3 秒；
- 2) 关闭主电源 1 档，延时 2 分钟 30 秒；
- 3) 关闭风机，发送关机成功信号；

在关闭发射机过程中，需要注意的是：主电源 1 档关闭后，不能马上关闭风机。原因是数字电视发射机此时还处于高温状态，需要一段时间来降温。因此，主电源 1 档关闭后，需要风机持续保持打开状态 2 分钟 30 秒，确保发射机的温度降低到不会烧毁器件的程度，此时才可以关闭风机。另外，在编写关闭发射机程序时，容易忽略的是在关闭发射机的时候可能还会有开机操作。因此在关机程序设计中，每进行下一步操作之前都要询问开机标志位是否为 1，如果为 1，立即返回；如果为 0，则继续进行关机下一步骤。如此可以确保程序设计的完整性。

下面图 4-9 是关发射机的程序编译环境。

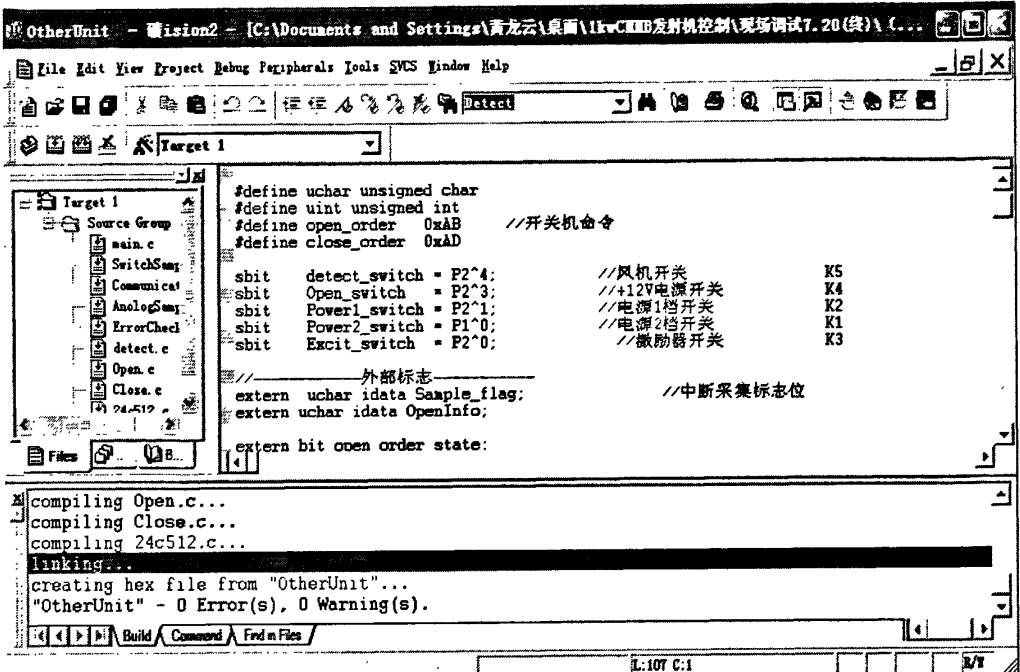


图 4-9 关发射机程序编译环境

Fig-4-9 Compiling environment of closing of transmitter

本系统开关机程序中，每执行一步操作都需要有几秒钟的等待时间，以使该信号恢复正常，这些等待时间都是经过现场调试后确定的最小等待时间。

4.7 故障保护程序设计

其他控制单元在工作过程中，要对其所监控的两路模拟量状态（整机入射功率和整机反射功率）和三路开关量状态（风机，主电源 1 档，主电源 2 档）进行判断，然后上传主控单元。在上述监测量中，除整机反射功率为 2 类故障外，其余均为 1 类故障。对于 1 类故障，处理方法是给出封锁激励信号，关断主电源 2 档，并给出报警信号。

对于 2 类故障，首先需要对整机反射功率进行判断，如果反射功率故障在 10 秒内出现三次，则同样给出封锁激励信号，关断主电源 2 档，并给出报警信号。对于如何判断 2 类故障和处理 2 类故障的程序设计方法如下：

- 1) 对故障和故障时间进行纪录时，如果该段时间超过 10 秒，则清除故障次数和本次故障与下次故障之间的时间间隔；
- 2) 如果 10 秒之内故障发生了两次，但在 20 秒内发生三次，且第二次故障和第三次故障之间时间间隔小于 10 秒，则在程序中应该清除第一次故障纪录，而保存第二，三次故障和第二次故障与第三次故障间的时间间隔，并将所保存故障和故障时间作为下一个 10 秒内的前两次故障；
- 3) 如果连续三次故障的时间小于或等于 10 秒，则认为反射功率故障，执行故障保

护操作。即控制器给出封锁激励信号，关闭主电源 2 档信号，并给出过荷报警信号。其他控制单元故障保护程序设计中，根据模拟量状态判断故障类型程序流程如图 4-10 所示。

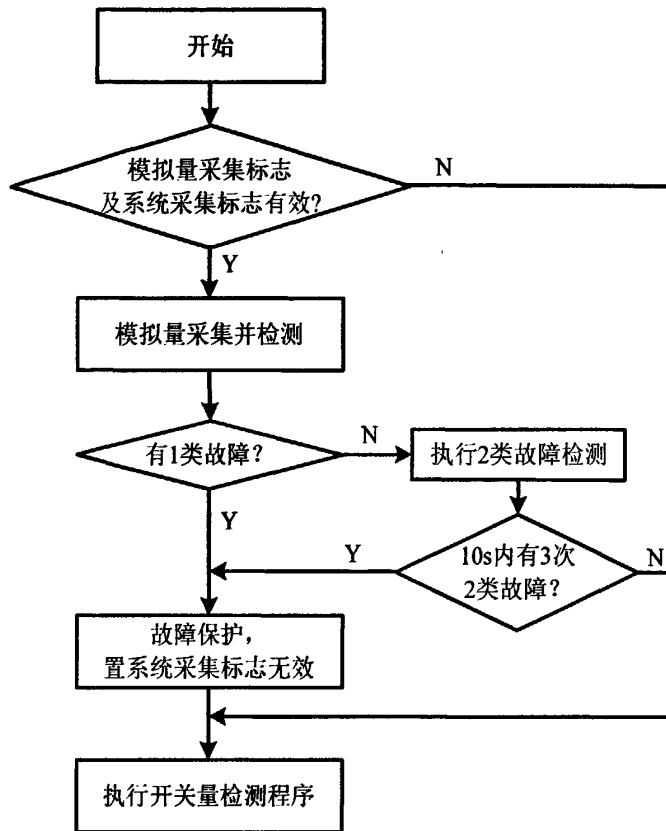


图 4-10 判断故障类型程序流程图

Fig4-10 Flow chart of judging fault type

4.8 本章小节

完成硬件设计后，选择一般常见的 Keil C51 单片机软件开发工具，然后完成了模拟量采集程序模块设计，开关量采集程序模块设计，数据存储程序模块设计，通信程序模块设计，开关机程序模块设计和故障保护程序模块设计，并给出了部分软件模块的具体程序代码，确定了其他控制单元程序流程（见附录 G）以及各个函数模块的功能（见附录 H）。

5 工作总结与展望

5.1 微控制器系统的应用状况

该控制系统在 09 年 3 月期间完成了实验室阶段调试,同年 4 月与数字电视发射机现场联机调试,调试结果显示该微控制器可以满足厂家对发射机控制的要求。控制系统实现了定时开/关发射机或者手动开/关发射机,采集重要模拟量,开关量信号,并根据采集的相关量来判断发射机工作状态正常与否,如果有故障,对故障进行分类,针对不同类型的故障采取不同的措施,同时记录保存故障发生的时间,以便于历史查询。该微控制器和发射机配合使用后的效果非常完好。

下面介绍该微控制器在对发射机进行监控时候的人机界面情况。首先,确定开/关机提示界面和开/关机过程界面是开关机操作中的辅助界面。在开/关机键按下后,液晶显示屏会显示开/关机提示界面以避免操作人员的误操作,如图 5-1 所示。

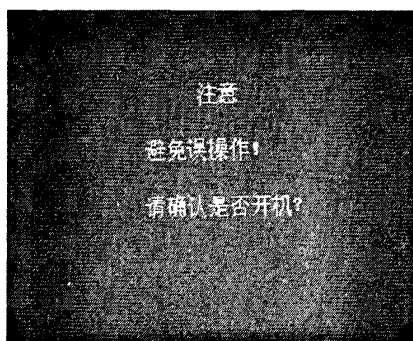


图 5-1 开/关机提示界面

Fig5-1 Reminding interface of opening/closing transmitter

继续按下确定键后,系统进入开/关机流程。此时,液晶屏会显示“正在开/关机,请稍后...”,如图 5-2 所示。其后的每一步开关机动作都会在显示屏上显示出来,如“风机开启正常”等,直至“系统正常开机”。如有异常,会显示故障原因。此段程序的设计,操作人员可以对开关机过程进行监测,一旦出现异常,操作人员可以立刻得到故障原因,减少了操作人员的排查故障的难度。

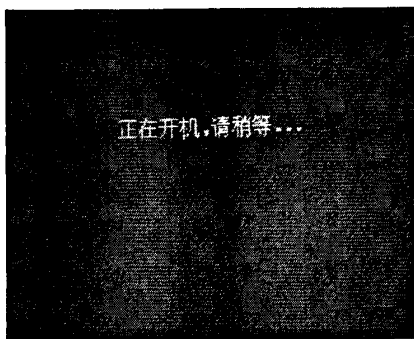


图 5-2 开/关机流程界面

Fig5-2 Flow Interface of opening/closing transmitter

系统要显示来自其他控制单元、电源控制单元和功放控制单元采集的数据，数据量较大，所以本设计将数据分页、分类显示。根据显示状态不同，如图5-3所示，是进入多级界面的切换及系统设置等功能的液晶显示图。

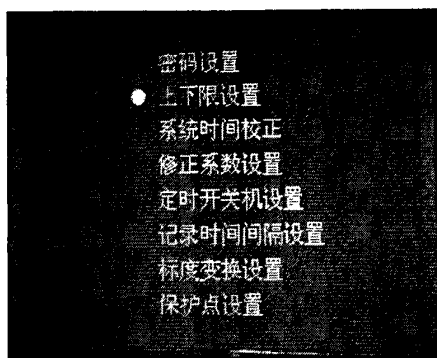


图 5-3 多级界面切换

Fig5-3 multiple interface switching

5.2 现场调试过程中遇到的问题原因及解决方法

在实验室，由我们研发人员调试该系统时，该系统可以长时间的正常运行，但是当将该微控制器置于现场，和数字电视发射机相连接使用时，由一些非专业人员调试时，出现了一些意想不到的问题。

1) 关机过程中不能实现开机

在进行发射机关机动作时，关闭风机是最后一步动作，为了给发射机主体部分进行降温，在关闭主电源 1 档后，还要保持风机处于工作状态三分钟左右。在这三分钟期间，无法对发射机进行重新开机。出现这种现象的原因是：在初始设计开关机程序模块时，没有考虑到这种关机尚未完全结束就要求开机的情况。在设计关机程序时，没有写出响应开机的串口中断程序。所以在此阶段，无法对发射机进行手动开机。

解决方法：在关机程序内部，写入相应的串口中断程序。在加入相应的程序后，调

试结果表明可以在关机尚未完成就可以重新开发射机。

2) 其他控制单元采集到的功率不能反映发射机的实际功率

在模拟量检测程序模块设计中,没有考虑到功率与电压之间的非线性关系,而是单—地把所有的采集量都线性化处理。这使得系统得不到一个正确的修正系数,当然不能如实的反映出发射机的入射功率和反射功率。

解决方法:通过对采集量进行非线性化处理,即提供正确的修正系数,最后可以得到真实反映发射机功率的数据。

3) 其他控制单元无法与主控单元通信

在其他控制单元硬件设计中,原先只设计了看门狗复位电路,没有上电复位电路,MCU 无法工作,所以无法跟主控单元进行通信。

解决方法:加上 RC 上电复位电路后,其他控制单元可以与主控单元通信了。

5.3 工作总结

自受陕西数字广播有限公司委托设计一套针对数字电视发射机的控制系统以来,首先明确了该控制系统应该实现的具体功能,然后分析了如何去实现这些功能,最后从众多设计方案中,选中了这套基于单片机的控制系统。为了降低风险,将该控制系统分为七个单元,各个单元分别实现部分功能,互不干扰影响,这样就确定了控制系统的架构。在确定微控制器系统的架构后,具体设计工作依次展开。

首先,明确整个控制系统平台架构和各单元的结构后,以我所负责的其他控制单元为例,开始器件的选型。在参照国内外的 CMMB 数字电视发射机的控制技术后,结合厂家对发射机控制系统的要求,提出了以 AT89S52 为控制器,其他辅助芯片作为单片机外围电路设计方案。在模拟量采集电路设计中,为了避免需要采集的信号被现场高频电磁信号干扰,采用了 RC 低通滤波电路。在开关量输入输出电路设计中,采用了光电隔离技术隔开发射机和微控制器,保证开关量的稳定和正确。对以开关量格式输出开关发射机的开关信号,硬件设计中采用以继电器触点的格式输出该信号,防止发射机端口高电压,大电流信号给其他控制单元带来的危害。在存储电路设计中,采用 I²C 总线的 E²PROM 存储器可以保存系统断电前的系统参数控制。在通信电路设计中,采用 RS-485 可以实现主从式一对多通信。

其次,在完成其他控制单元硬件设计后,在 Keil C51 单片机软件开发平台上进行其软件设计。在模拟量采集程序模块设计中,对采集到的模拟量进行数字滤波处理,提高了数据的可靠性。在开关量输入输出程序模块设计中,采用程序的冗余设计思想,保证了相关操作的稳定性。在存储数据程序模块设计中,模拟了 I²C 总线技术,实现了系统断电前可以存储系统参数。在通信程序模块设计中,采用通信协议和统一命令,确保了

主控单元与其他控制单元之间数据传输。

最后在现场调试系统时，发现了很多硬件和软件上存在的问题，通过对产生问题现象的原因逐一排除，找到了问题的根源，并解决了调试中出现的所有问题。最后，交付厂家的微控制器可以正常无故障地长期使用。

5.4 课题展望

这套基于单片机的 1KWCMMB 数字电视发射机的微控制器可以实现诸多功能，如实时监测，故障保护和报警，数据的纪录和查询，手动和定时开/关发射机，对系统参数进行设置与在线修改，远程上位 PC 机对发射机的远程监控，但随着嵌入式控制技术的发展，应用性能更强功耗更低的 ARM 处理器来控制发射机将会是新的趋势。在今后对该微控制器系统进行升级的时候，可以考虑使用 ARM 处理器来代替传统的 51 单片机，这样会带来如下几个方面的优点：

- 1) 大量地简化系统的硬件结构，降低硬件成本；
- 2) 由于 ARM 处理器的功耗很低，可以节省系统的运行成

致 谢

回首即将过去的三年研究生学习生活，我过的非常地充实，从外语到专业，相对三年前的水平都有了明显地提高。在这里，我首先要感谢我的导师-任工昌教授，任老师对科研的严谨态度和对学生的关心给我留下了深刻的印象，并使我受益良多，此外，任老师擅于因材施教，给予学生良好的学习环境，让我的才能得到了最大程度的发挥。毫无疑问的是，任老师对我这三年的教导将会给我的一生带来良好的影响，终身受益。在此即将完成学业之际，谨向我尊敬的导师表示最诚挚的感谢和敬意！

其次，还要感谢电信学院党宏社教授对我的指导，以及课题组成员强飞莉，宋晋国，郭琴，梁勇等帮助我完成这个课题。

另外，还要感谢实验室 2B-402 的全体同学们，有了你们的帮助，让我的研究生生活一路上充满求知的乐趣。

最后，一定要感谢我的父母！这么多年来，没有你们在精神和物质上对我的双重支持，我不可能顺利取得今天的成绩。在即将开始的人生另一段旅程上，做出更大的成绩是对关心和帮助我的人唯一的回报。

参考文献

- [1] 赫健, 靖亚兴. 数字电视发射机的特点及与模拟电视发射机的比较[J]. 中国新技术新产品, 2009, (5): 1-2.
- [2] 曹健. 数字电视发射机相关技术和发展动态[J]. 广播与电视技术, 2002, (8): 1-2.
- [3] 卢江浩. 数字电视发射机研发现状[J]. 中国传媒科技, 2001, (8): 31-32.
- [4] 姜文波. 2009年广电发展论坛[N]. 新京报, 2009-2-22 (5).
- [5] 李志杰. 广播发射机微机控制器的设计[D]. 成都: 四川大学, 2004.
- [6] 叶华杰. 浅谈数字电视发射机技术的发展[J]. 浙江工商职业技术学院学报, 2005, (10): 56-57.
- [7] 李绍卓, 韩振宇, 郭祚达. 数字广播发射机监测控制系统的设计与实现[J]. 中国测试技术, 2004, 12(1): 21-22.
- [8] 任芳. 广播发射机微控制器测试平台的设计和实现[D]. 成都: 四川大学, 2006.
- [9] 郑剑香, 韩震宇. 广播发射机微控制器系统的设计[J]. 中国科技信息, 2005, 12(5): 11-15.
- [10] Atmel Corporation. AT89S52 Datasheet[EB/OL].
<http://www.atmel.com/atmel/acrobat/doc1919.pdf>, 2001.
- [11] 宋晋国. 数字功放中的低通滤波器的[EB/OL].
<http://www.21dianyuan.com/bbs/bbshome/topic.php?action=down>, 2003-2-7.
- [12] Maxim Integrated Products. MAX197 Datasheet[EB/OL].
<http://www.maxim-ic.com.cn>, 2007.
- [13] 徐晖, 关辉. 一种模拟量光电隔离的实现[J]. 黑龙江大学自然科学学报, 1999, 16(3): 1-2.
- [14] NXP Corporation. 74HC573 Datasheet[EB/OL].
http://www.nxp.com/documents/data_sheet/74HC_HCT573.pdf, 1999.
- [15] RJ Molnar. Digital/frequency input industrial control applications[P]. US Patent: 5068545, 1991.
- [16] S.H.J.Bos, M.A.Reniers. The I^2C -bus in discrete-time process algebra[J]. Science of Computer Programming, 1997, 29(23): 235-260.
- [17] 王三胜, 徐茵. MAX813L 工作原理及其在 51 单片机系统抗干扰中的应用[J]. 工业仪表与自动化装置, 2001, (3): 1-3.
- [18] 李敏. RS-232/RS-485 接口智能收发转换器设计[J]. 电子设计应用, 2003, (4): 38-39.

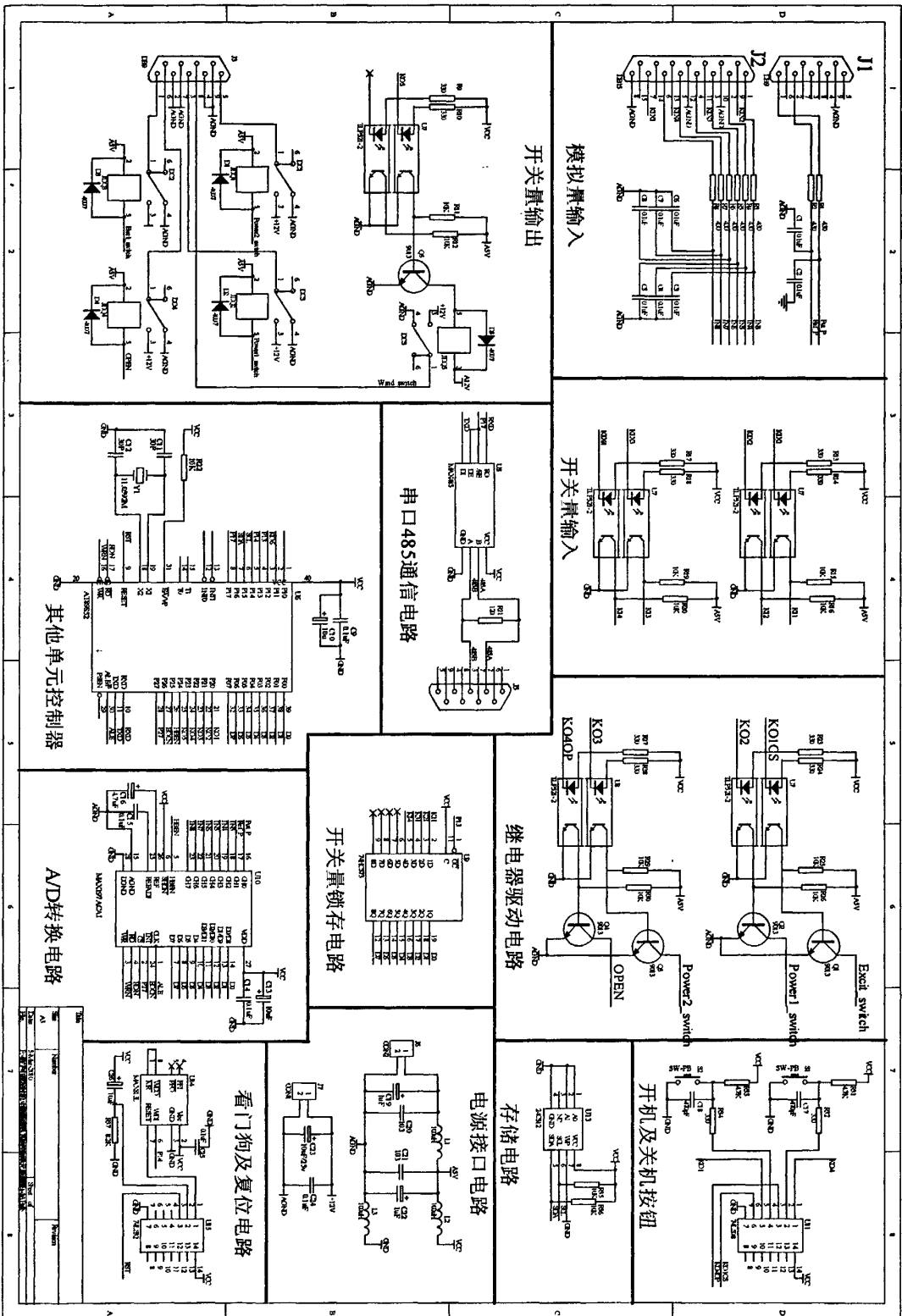
- [19] 吴文斌, 孙卫民. 发射机远程控制与测试系统[J]. 广播与电视技术, 2000, (11): 15-16.
- [20] 徐爱钧, 彭秀华. 单片机高级语言编程与 uVision2[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008:6-15.
- [21] 田梦倩, 毛玉良. 半导体除湿机单片机控制系统的设计[J]. 自动化与仪表, 2003, 5: 23-25.
- [22] 戴佳, 戴卫恒, 刘博文. 51 单片机 C 语言应用程序设计实例精讲 (第二版) [M]. 北京: 电子工业出版社, 2008, 366-367.
- [23] 王洪福. 高致病性传染病移动人群实时预警系统的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2006.
- [24] Datasheet of AT24C512. ATMEL Corporation.
- [25] 李华, 孙晓民, 李红青, 徐平, 张新宇. MCS-51 系列单片机实用接口技术[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1993:491-568.
- [26] 杨斌. 调频广播发射机微控制器的系统设计与实现[D]. 成都: 四川大学, 2005.
- [27] 寇强, 党宏社. 3KW 调频广播发射机微机控制器的硬件设计[J]. 计算机测量与控制, 2008, (16):7-8.
- [28] E Tover, F Vasques. A communication support for real-time distributed computer controlled systems[J]. IEEE International Workshop on Discrete Event Systems, 1998, 48(12), 178-183.
- [29] 佟明. 3KW 广播发射机测控系统设计[D]. 西安: 陕西科技大学, 2009.
- [30] 李小瑞. 3KW 广播发射机控制器设计[D]. 西安: 陕西科技大学, 2009.
- [31] 刘涛, 马积勋, 廉海涛. 利用 RS-485 通讯协议实现 PC 机与单片机的多点通讯[J]. 现代电子技术, 2002 (5).
- [32] 耿束建. 地面数字电视发射系统关键技术研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2007.
- [33] 高秀华. 基于 ARM 的中波发射机实时监控系统的设计与实现[D]. 济南: 山东大学, 2008.
- [34] 傅培鑫. 大功率广播发射机计算机实时监控系统的抗干扰及取样技术[J]. 广播与电视技术, 2000, (3): 11-14.
- [35] 何立民. MCS-51 系列单片机应用程序设计—系统配置与接口技术[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1993, 32-40.
- [36] Maxim Integrated Products. Selecting and Using RS-232 and RS-485 Serial Data Standards [EB/OL]. <http://www.maxim-ic.com.cn>, 2007.
- [37] K.G.Shin, C.C.Chou. Design and evaluation of real-time communication for

- fieldbus-based manufacturing systems[J]. IEEE Transaction on Robots and Automation, 1996, 11(1996): 357-367.
- [38] 杨卫东. UHF3KW 全固态电视发射机电源控制系统分析[J]. 广播与电视技术, 2004, (6): 2-7.
- [39] 丁小峰, 韩方景, 王振伟. 基于 FPGA 和 DDS 数字调频发射机的实现[J]. 电声技术, 2006, (9): 1-3.
- [40] 曹小飞, 王仲东, 黄剑, 皮鲲. 微机多串口通信在监控系统中的应用[J]. 武汉理工大学学报, 2003, (2): 8-10.
- [41] 艾红, 王捷, 李正熙. 集散控制系统中控制方案实现与研究[J]. 微计算机信息, 2005, 21, (7-1): 14-16.
- [42] 邹逢兴, 张湘平. 计算机应用系统的故障诊断与可靠性技术基础[M]. 上海: 高等教育出版社, 1999: 8-10.
- [43] F.Attivissimo, N.Giaquinto, A.M.L.Lanzolla, M.Savino.Effects of midpoint linearization and nonsubtractive dithering in A/D converters[J]. Measurement, 2006.
- [44] 吴文斌, 孙卫民, 吴卫东. 发射机远程控制与测试系统[J]. 广播与电视技术, 2000, (11): 1-2.
- [45] John E. Leonard, San Jose, Calif. Remote Control Unit For Radio/Television Transmitter Station[P]. United States Patent: 4872195, 1989.
- [46] 刘平. 基于 ARM 技术的广播发射机控制器的设计[D]. 西安: 西北农林科技大学, 2007.
- [47] 李小瑞, 党宏社, 佟明, 胡尊凤. 基于 STM32F103CBT6 的广播发射机微控制器硬件设计[J]. 电视技术, 2008, (11): 2-3.
- [48] 杨国斌, 赵正予. 基于串行通信的发射机控制系统设计[J]. 无线电工程, 2006, (9): 1-2.
- [49] 王延涛, 王帅. 电视发射机控制系统的开发[J]. 科技创新导报, 2007, (36): 1-2.
- [50] 刘晓燕, 蒋朝根. 基于 STC 系列单片机的比例遥控系统[J]. 甘肃科技纵横, 2008, (2): 3-5.
- [51] 刘蕊. 电视发射机监控系统的设计与实现[D]. 天津: 天津大学, 2008.
- [52] 佟明, 党宏社, 胡尊凤, 强飞莉. 3KW 广播发射机测控系统的软件设计[J]. 陕西科技大学学报, 2009, (4): 3-4.
- [53] 陈群英. 基于 S3C44BOX 嵌入式智能广播发射机危机控制器的设计[D]. 西安: 西北大学, 2006.

附录 A 输入输出参数统计表

名称	数量	采样形式	备注
整机入射功率	1	0~5V 电压	整机送控制器
整机反射功率	1	0~5V 电压	整机送控制器
功放单元电流	1	0~5V 电压	功放送控制器
激励放大器输入入射功率	1	0~5V 电压	功放送控制器
激励放大器输入反射功率	1	0~5V 电压	功放送控制器
激励放大器过温	1	TTL 低电平有效	功放送控制器
功放单元过温	6	TTL 低电平有效	功放送控制器
功放单元过流	6	TTL 低电平有效	功放送控制器
功放单元过载	6	TTL 低电平有效	功放送控制器
功放单元过激励	6	TTL 低电平有效	功放送控制器
电源 1 电压	1	0~5V 电压	整机送控制器
电源 1 电流	1	0~5V 电压	整机送控制器
电源 2 电压	1	0~5V 电压	整机送控制器 (有上下限)
电源 2 电流	1	0~5V 电压	整机送控制器 (有上下限)
电源 3 电压	1	0~5V 电压	整机送控制器 (有上下限)
电源 3 电流	1	0~5V 电压	整机送控制器 (有上下限)
电源 4 电压	1	0~5V 电压	整机送控制器 (有上下限)
电源 4 电流	1	0~5V 电压	整机送控制器 (有上下限)
电源 5 电压	1	0~5V 电压	整机送控制器 (有上下限)
电源 5 电流	1	0~5V 电压	整机送控制器 (有上下限)
电源 6 电压	1	0~5V 电压	整机送控制器 (有上下限)
电源 6 电流	1	0~5V 电压	整机送控制器 (有上下限)
主电源 1 档正常	1	TTL 低电平有效	整机送控制器
主电源 2 档正常	1	TTL 低电平有效	整机送控制器
开关电源正常	1	TTL 低电平有效	整机送控制器
风机正常	1	TTL 低电平有效	整机送控制器
风机开/关	1	TTL 低电平有效	控制器送整机
电源 1 档开/关	1	低电平有效	控制器送整机
电源 2 档开/关	1	低电平有效	控制器送整机
激励器封锁开/关	1	低电平有效	控制器送整机

附录 B 其他控制单元原理图

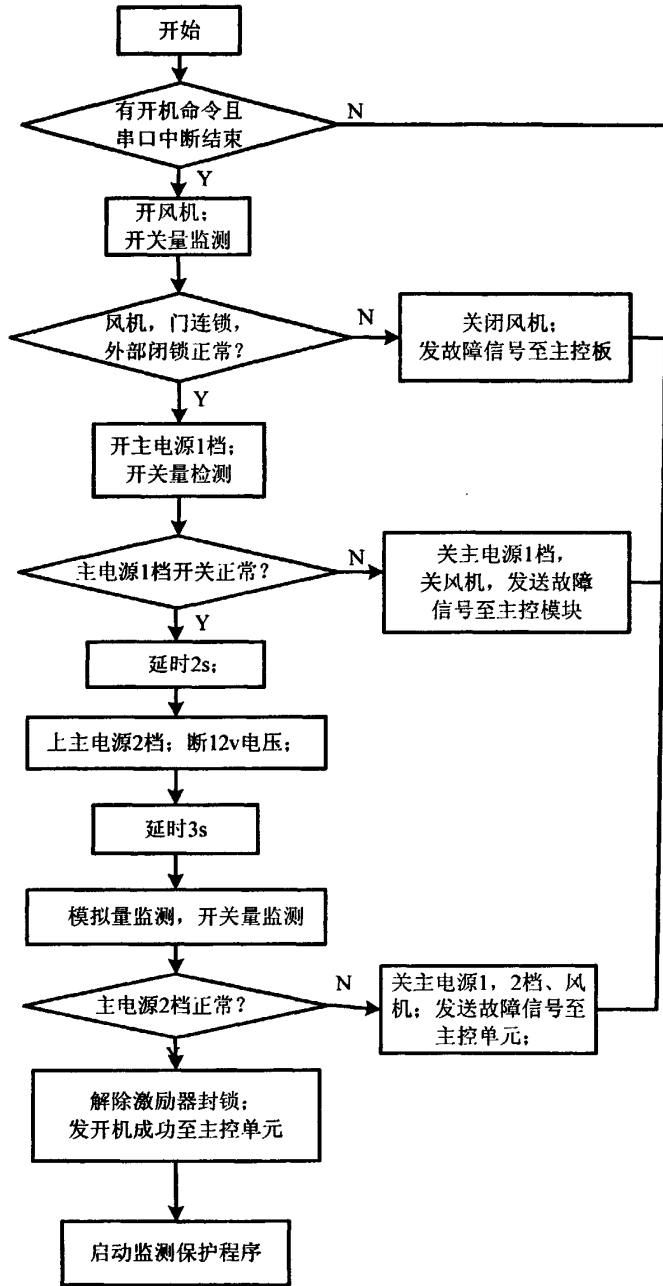




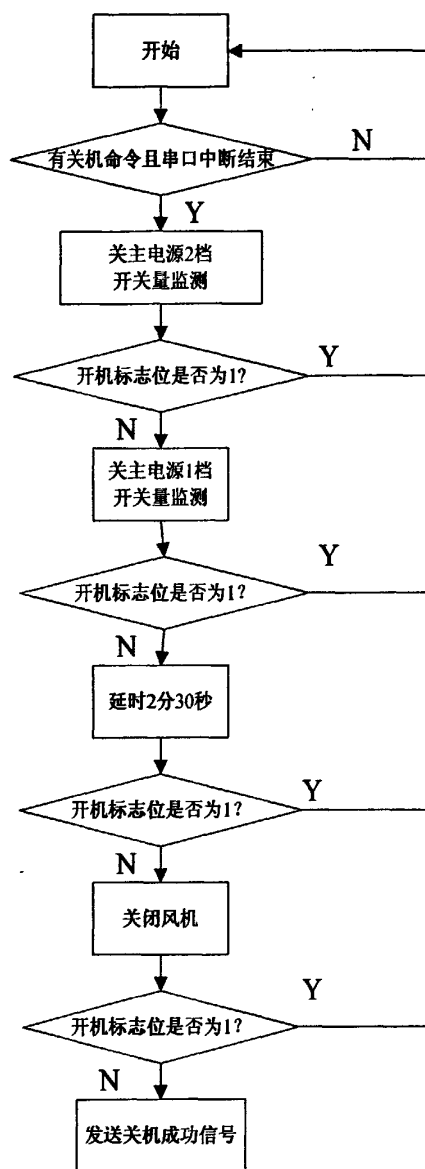
附录 D 微控制器命令清单

命令	命令功能
A0	电源控制板通信主控单元风机异常
A1	其他控制单元通信主控单元一档异常
A2	其他控制单元通信主控单元二档异常
A3	其他控制单元通信主控单元开机完成
A4	其他控制单元通信主控单元风机正常
A5	其他控制单元通信主控单元一档正常
A6	其他控制单元通信主控单元二档正常
A7	主控单元询问功放控制单元功放是否插入
B0	主控单元通信其他控制单元执行开机动作
B1	主控单元通信其他控制单元执行关机动作
B2	其他控制单元通信主控单元关机完成
B3	其他控制单元通信主控单元开机完成
BB	过荷报警信号
C1	主控单元通信功放控制单元功放单元故障
C2	主控单元通信功放控制单元开机过程功放插入正常
C3	主控单元通信功放控制单元开机过程功放插入故障
C4	主控单元通信功放控制单元下传保护点
C5	主控单元通信电源控制单元, 其他控制单元下传修正系数
C6	主控单元通信电源控制单元, 其他控制单元下传上下限
D0	主控单元通信其他控制单元上传数据
D1	主控单元通信电源控制单元上传数据
D2	主控单元通信功放单元 12 组上传数据
D3	主控单元通信功放单元 34 组上传数据
D4	主控单元通信功放单元 56 组上传数据
AB	主控单元通信其他控制单元执行开机动作
AD	主控单元通信其他控制单元执行关机动作

附录 E 开发射机程序流程图

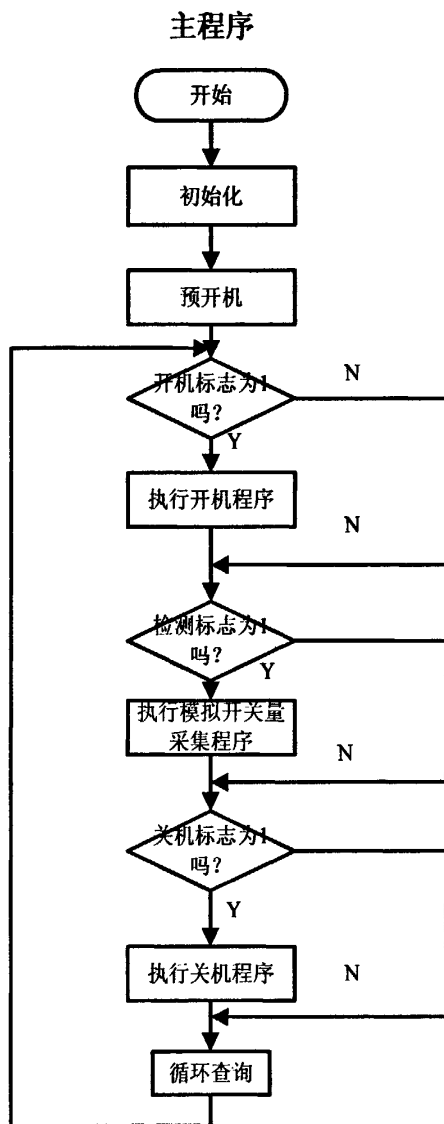


附录 F 关发射机程序流程图



续

附录 G 其他控制单元程序流程图



✱

附录 H 其他控制单元程序说明

文件名	文件功能说明
main.c	主程序函数主要完成一系列开机和关机动作，并对 1, 2 类故障检测和处理，与主机进行通信的功能。
analogSample.c	模拟量采集程序函数主要包含对外部 2 路模拟量的采集和对采集数据进行 ASCII 码的转换的函数。
switchSample.c	开关量采集程序函数主要包含对外部对应 4 路开关量的采集和对采集数据进行 ASCII 码的转换的函数。
Communication.c	通信程序函数主要包含通信的相关函数，包含接收和发送相关数据；对不同命令的处理；帧出错和正确的回应函数。
Errorcheck.c	故障判断程序函数主要包含对 1, 2 类故障的判断和处理的函数。
Detect.c	检测程序函数主要包含相应的模拟量和开关量的定时采集和修正系数和模拟量上下限数据的保存函数。
Open.c	开机程序函数就是开机执行函数。
Close.c	关机程序函数就是关机执行函数
24C512.c	数据存储程序函数主要包含 24C512 的读写驱动和数据读写函数

攻读学位期间发表的学术论文目录

- [1] 黄龙云, 任工昌, 刘丽. 直接序列扩频在低压电力载波抄表中的应用[J]. 机械设计制造, 2010, (5).
- [2] 黄龙云, 任工昌, 苗新强. 基于 GPRS 的卷烟企业能源管理系统研究[J]. 微型电脑应用, 2009, (10).
- [3] 任工昌, 苗新强, 黄龙云. 基于 GPRS 的配电网自动化监控系统研究[J]. 机械设计与制造, 2009, (4).
- [4] 任工昌, 王党席, 郭军, 黄龙云. 基于 GPRS 的远程抄表系统集中器设计与研究[J]. 机械设计与制造, 2009, (11).

参与的科研项目和获奖情况

1. 参与的项目:

1KWCM MB 数字电视发射机微控制器的开发 2008.9 至今

2. 获奖情况:

2008-2009 学年 三等奖学金

2009 年 4 月 西北地区非英语专业研究生英语演讲大赛三等奖

原创性声明及学位论文使用授权的声明

原创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的科研成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律责任由本人承担。

论文作者签名：葛龙云 日期：2010年5月

关于学位论文使用授权的声明

本人完全了解陕西科技大学有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留或向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅；本人授权陕西科技大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文和汇编本学位论文。

(保密论文在解密后应遵守此规定)

论文作者签名：葛龙云 导师签名：张工 日期：2010年5月

