

国内图书分类号: TN929.5

密级: 公开

国际图书分类号: 621.38

西南交通大学

研究生学位论文

无线语音对讲系统的研究

年 级 二〇〇八级

姓 名 姜国朋

申请学位级别 工学硕士

专 业 微电子学与固体电子学

指 导 教 师 王丹 副教授

二零一一年 五月

Classified Index: TN929.5

U.D.C: 621.38



Southwest Jiaotong University

Master Degree Thesis

RESRARCH ON WIRELESS VOICE
CONVERSATIONAL SYSTEM

Class: 2008

Candidate: Jiang Guopeng

Academic Degree Applied for: Master

Major: Micro-electronics & Solid electronics

Supervisor: Wangdan

May. 2011

西南交通大学

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留并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。本人授权西南交通大学可以将本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、缩印或扫描等复印手段保存和汇编本学位论文。

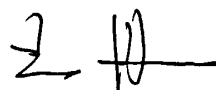
本学位论文属于

1. 保密□，在 年解密后适用本授权书；
2. 不保密☒，使用本授权书。

（请在以上方框内打“√”）

学位论文作者签名：姜国朋

指导老师签名：



日期：2011.6.03

日期：2011.6.3.

西南交通大学

硕士学位论文主要工作（贡献）声明

本人在学位论文中所做的主要工作或贡献如下：

1) 本文设计了一种基于 MCU 和射频芯片为平台的语音收发系统，由 MCU 作为控制器件，以高集成射频芯片作为系统的信号收发部分，减少了以往高频电路复杂性，整机电路简单、抗干扰能力强。

2) 硬件设计部分，对电路芯片的选择，方案的制定，同时设计各个供电电源及控制电路、时钟复位电路、音频处理电路。

3) 对信号发射、接收、亚音编码/解码、信道扫描、静噪处理、电源管理等进行了分析，并在 STM8 系列芯片提供的开发环境 ST Visual DeVelop(STVD)下编写代码，实现各个部分的功能，通过 STM8S 系列单片机提供的 swim ST-Link 仿真板进行软件仿真调试。

4) 最后通过综合测试仪对实验板测试，电路实现信号的发射和接收功能。

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是在导师指导下独立进行研究工作所得的成果。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研究成果。对本文的研究做出贡献的个人和集体，均已在文中作了明确说明。本人完全了解违反上述声明所引起的一切法律责任将由本人承担。

学位论文作者签名：姜国朋

日期：2011.6.03

摘 要

随着信息技术的发展,作为信息交流的无线通信技术在人们生活、生产中起着重要的作用,应用越来越广泛,无线通信技术正向高集成化、高速化发展。人们要求能随时随地利用无线通信进行信息交换,无线语音对讲系统广泛应用病房呼叫系统、无线楼宇对讲系统等领域。

本文主要研究了如何用微控制器和无线通信射频收发器芯片作为系统平台实现无线语音收发系统。本文阐述了本设计所使用的关键技术,首先介绍系统工作原理、无线通信接收和发射的几种常用方案。然后介绍了系统硬件电路设计,包括有微控制器模块、电源模块、射频收发模块、时钟复位模块、音频信号处理模块。其中射频收发模块采用低中频接收机和直接上变频发射机的方案,所选用的射频芯片将接收机和发射机集成于单一芯片上,简化了射频前端电路。

软件部分是通过 STM 公司提供的 MCU 开发套件 ST TOOLSET 来实现编程、调试、烧录程序。软件设计采用任务切换模式编程,由外部事件和 MCU 时钟共同驱动,完成整个系统收发转换。软件设计中详细分析了软件架构,各个模块编程思想;对数字亚音和模拟亚音加密收发流程,以及如何利用单片机对亚音编码和解码做了分析。最后介绍了系统的软件调试,通过 STM8S 系列单片机提供的 swim ST-Link 仿真板进行软件仿真调试。硬件的测试通过无线电综合测试仪测试,电路实现信号的发射和接收功能。

本系统设计同时充分考虑了作为移设备的特殊功耗需要,采用省电模式设计和高低功率切换功能,使得待机时间更长,该系统具有低成本、低功耗的通信终端设备。

关键词: MCU、无线通信、射频收发、低功耗

Abstract

With information technology development, wireless communication technology play a important role in the people production and life, moreover its application is more and more widespread. Wireless communication technology develop forward high integration and high-speed. The people request to be able to exchange information to use wireless communication at any time and place. The wireless voice intercom system widely applied the hospital ward ringing system, the wireless building talkback domains and so on.

In this paper, it discusses how to use the micro controller and the wireless communication transceiver chip to realize the wireless voice receiving and dispatching system. Key technologies which are used in the system are described. Firstly, the article intruded the principle of work and several commonly used plans of the wireless communication transceiver. Secondly, the system have elaborated hardware circuit design, including the micro-controller module, RF transceiver module, power module, the clock reset module and audio signal processing module. Transceiver module selected the sole chip that used a architecture of digital low-IF receiver and the direct-conversion transmitter. The transceiver chip simplified radio frequency front-end circuits.

MCU development kit ST TOOLSET of STM company have achieved the software part of system, which include programming, debugging and the burning process. The software design adopted the task switch mode programming to complete the overall system receiving and dispatching driven by the external event and the MCU clock together. In the software design, the article detailedly analyze software architecture and each module programming ideas. It analyze the shipping/receiving process of CTCSS (Continuous Tone Coded Squelch System) and DCS (Digital Coded Squelch), as well as how to use MCU encoding and decoding of sub-tones. Finally, the article discussed system's software debugging, provided by Swim ST-Link emulator of STM8S series MCU. RF Communications Test Set completed hardware's test. It has been proved to realize function of receiving and dispatching.

The design well considered special requirement of power consumption as mobile device. It adopt power-saving mode and switch function of high and low power to have more long work time. The system has low cost and low-power communication terminal equipment.

Key words: MCU; Wireless Communication; Transceiver; Low-power

目 录

摘 要	I
Abstract	II
目 录	III
第 1 章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 系统工作原理	1
1.3 论文的主要工作以及章节安排	2
第 2 章 无线通信系统方案论述	4
2.1 接收方案	4
2.1.1 外差式结构	4
2.1.2 镜像抑制结构	5
2.1.3 直接下变频结构	8
2.1.4 数字中频结构	9
2.2 发射方案	10
2.2.1 直接上变频和两次变换法方案	10
第 3 章 硬件电路设计	12
3.1 总体设计框图	12
3.2 各单元模块设计	13
3.2.1 微处理器控制模块	13
3.2.2 射频收发模块	15
3.2.3 电源模块	16
3.2.4 时钟及复位模块	18
3.2.5 语音输入、输出处理模块	21
3.3 PCB 设计	22
3.3.1 PCB 设计流程及设计方法	22
3.3.2 PCB 多层板设计	23
第 4 章 系统软件设计	25
4.1 软件开发环境概述	25
4.2 系统软件架构	25
4.3 信号接收检测模块	28
4.3.1 发射亚音设置	28

4.3.2 接收亚音设置.....	29
4.3.3 亚音收发流程.....	29
4.3.4 键扫描.....	30
4.3.5 信号检测流程.....	31
4.4 信号接收、发射模块.....	31
4.5 信道扫描模块.....	33
4.6 静噪取消模块.....	35
4.7 电池管理与错误处理模块.....	37
第 5 章 系统软硬件调试.....	41
5.1 ST 软件调试.....	41
5.1.1 STM8S 系列 MCU 仿真方式与代码固化.....	41
5.1.2 收发模块 (RDA1845) 设置.....	43
5.2 硬件测试.....	46
5.2.1 硬件静态测试.....	46
5.2.2 上电测试.....	46
5.2.3 硬件调试.....	46
结束语.....	51
致谢.....	52
参考文献.....	53
攻读硕士期间发表的论文.....	56

第1章 绪论

1.1 引言

在科技飞速发展的今天,无线通信技术中的新技术、新思想层出不穷,其中先进大规模集成电路和高速信号处理 DSP 促使了通信接收机向数字化方向的发展。1992 年 5 月, Joe Mitola 提出了一个新的概念 Software Radio (软件无线电),它是一种利用软件完成多任务、多频段、可重构的无线通信系统。这个思想的核心技术是将数模转换 (Analog-to-Digital Convertor)和模数转换(Digital-to Analog Convertor)尽量接近射频前端,大部分射频前端电路功能可以用数字信号处理完成,该思想的出现使得无线通信领域出现了跨越性的发展。

传统的无线电设备的射频部分采用复杂的模拟电路,体积大、抗干扰能力差、成本高、设计和生产容易产生偏差,而数字电路则不存在这些问题,并且精确度和稳定性均高于模拟电路。数字集成化的发展使得中频或者更高频率的电路数字化成为可能,目前的数字化处理已经越来越靠近天线。对于经过下变频的中频 IF 信号通过 A/D 采样后可以由 DSP 芯片处理,音频部分也可以进行数字化处理直接得到音频信号输出。许多传统通信接收机和发射机模拟电路的功能均可以用数字处理代替,常用的几个方面主要有:在控制功能方面,如调谐、宽窄带转换、增益控制、静噪门限设置,静噪开关、调制/解调以及类型的选择、接收数据自动纠错、地址识别等;在对源信号进行编码和减少冗余度方面,如音频压缩、音量灵敏度、接收音量幅度设置、预加重去加重、复杂增量调制等;对调制信号加密解密处理、数字滤波。利用数字化处理从而简化了射频前端电路、降低功耗、减小体积、增强抗干扰能力,使得接收机和发射机更稳定、更可靠,提高整体性能。

由于射频全数字化需要 A/D 转换器具有非常高的速度、大的动态范围、高的分辨率、很好的线性度,所以目前 A/D 转换器受到高性能的限制,直接在射频级全部利用 A/D 转换器有很大困难。全数字化射频前端将随着集成电路的发展,新的技术出现将成为现实。

1.2 系统工作原理

本文研究内容分为四部分,射频部分(接收/发射)、控制部分、加密处理、基带处理;软硬件协同设计,实现 UHF 频段无线语音收发,在此基础上尽量实现小型化、低功耗。

1、接收部分

从天线接收的信号进入低通滤波器和收/发转换开关二极管电路,通过 LC 带通滤波器滤除不要的信号,进入射频放大器放大。信号被放大后,再通过 LC 带通滤波器滤除不要的信号选择有用信号进入射频收发芯片 (RFIN)。

2、发射部分

从射频收发芯片产生的射频信号经过缓冲放大器放大的信号输出至前置放大器,再经驱动放大器放大后送至末级功率放大器输出 (一般设定在高功率时产生射频功率放大器输出 5W,设定在低功率时产生射频功率放大器输出 1.5W),在功率发射过程中保证信号正常发射,需要有功率控制电路,通过检测末级功率放大器的漏极电流使输出功率保持稳定。在射频信号到达天线终端之前,射频放大器输出信号通过发射/接收转换电路 (发射模式下开启,在接收模式下关闭),再经过匹配网络滤除谐波、达到阻抗匹配送至天线。

3、载频/基带处理部分

载频/基带处理部分由专用的射频收发芯片完成,该芯片包括内部包括锁相器、压控振荡器、混频器、中频器、基带处理器。解调方法:从天线接收的信号进入该芯片后进行下变频然后经过 DSP 基带处理器解调处理得到音频信号直接输出,经过音频功率放大器后驱动扬声器。调制方法:语音信号通过麦克风转换成音频的电信号,音频信号通过放大电路后,进入芯片进行音频信号处理,在芯片内部进行直接上变频调制输出。

4、加密处理

为了信号保密和避免同频率信号干扰,对信号进行加密处理。MCU 产生或通过射频收发芯片产生模拟亚音/数字亚音 (CTCSS/DTCSS) 信号,本文模拟亚音在射频芯片内部产生。由微处理器产生数字亚音,数字亚音信号进入压控振荡器进行调制后发射。接收到的载波信号经过处理得到低频信号后,同时判断亚音和微控制器预先设置的亚音值是否匹配,如果相匹配,则打音频供电电源,开启扬声器,不匹配则关闭扬声器。

1.3 论文的主要工作以及章节安排

无线语音接收和发射系统一般包括信号放大、PLL 锁相环电路、自动增益电路 AGC、混频、压控振荡器、调制解调等电路技术,而且小型化和低功耗已经成为当今发展趋势。

本文基于无线通信射频收发芯片 RDA1845 设计和实现了一种高性能语音收发系统。内嵌 DSP 核的 RDA1845 芯片完成了载频和基带信号处理,代替了之前的调制解调、加密等一系列专用芯片,使得整体电路结构大大简化,简化设计,降低功耗、降

低了成本。

论文主要工作将全文共分为五章，具体安排如下：

第一章介绍射频全数字化概况及系统工作原理。

第二章介绍无线通信接收和发射几种方案。

第三章介绍系统整体硬件设计方案的选择、各个关键部分的硬件设计包括微处理器模块、射频收发模块、电源时钟及复位模块、声音输入、输出处理模块，最后论述 PCB 设计及设计规则。

第四章介绍软件设计，首先介绍了软件开发环境，分析了软件构架及设计思路，阐述了程序设计过程包括初始化、亚音编码/解码、发射/接收、信号检测/扫描、电源管理等做了分析，给出了各模块程序流程图。

第五章整个系统软件调试，程序代码固化及仿真，最后是对实验板进行测试。

最后，本文对设计过程进行总结，以及今后需要改进的环节

第2章 无线通信系统方案论述

无线通信系统包括发射和接收两个部分，发射电路由基带信号处理电路完成调制、变频，然后信号经过功率放大通过天线发射出去。接收电路从天线接收的信号经过滤波、信号放大、解调出所需信号，如图 2-1 所示。

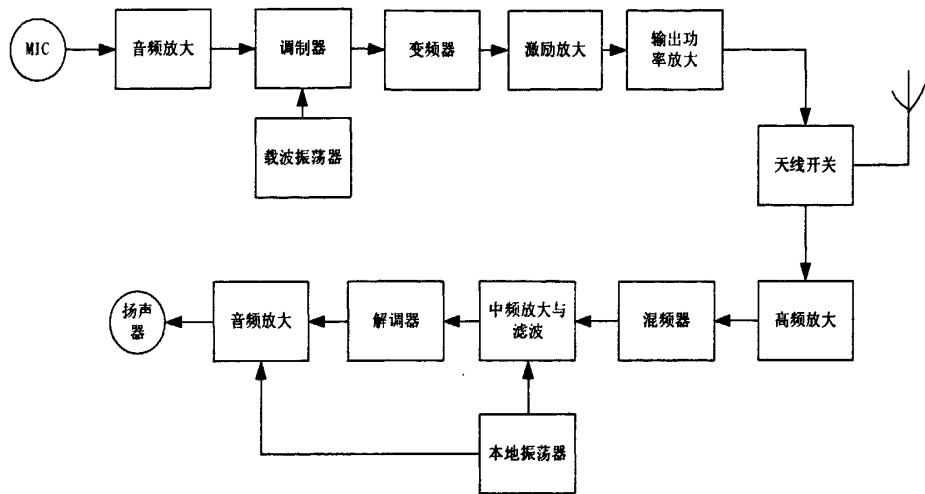


图 2-1 无线通信系统结构图

2.1 接收方案

2.1.1 外差式结构

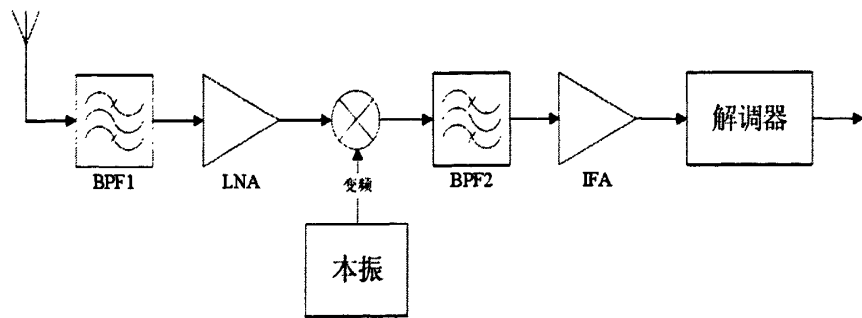


图 2-2 超外差式变频结构方框图

从天线接收的载波信号与本振信号相乘或差拍这种方式称为“超外差”，即通过混频器进行混频后由 BPF2（中频滤波器）选出射频频载波信号与本地振荡信号两者频率的和频或者差频。

超外差式变频结构方框图如图 2-2 所示, 图中乘法器即混频器将载波信号频率 ω_{RF} 和本振频率 ω_{LO} 混频后下变频为固定的中频信号 $\omega_{IF}=\omega_{RF}-\omega_{LO}$ (本振频率大于射频, 则中频为 $\omega_{IF}=\omega_{RF}+\omega_{LO}$) [1][2]。

一般而言, 在高频电路中, 从天线接收的载波信号频率比降频后的中频频率高很多。如果直接滤出所需频率信号, 则要求有很高 Q 值的滤波器, 而且高频电路存在如: 增益、稳定性以及灵敏度等方面问题。从稳定性方面考虑, 由于接收电路从天线接收的信号非常微弱, 一般信号电平为 $-120\sim-100\text{dBm}$ [2], 通常需要将这么弱的信号放大到 $100\sim200\text{dB}$ 才可以解调或者 A/D 变换。考虑到放大器的稳定性, 其增益控制在 $50\sim60\text{dB}$ 范围内, 避免一个频带内的放大器自激振荡。超外差式变频结构, 将接收部分总的增益分配到三个频带 (高频、中频、基带) 上。而且, 在中频段做高增益的放大器要比载波频段做高增益的放大容易而且稳定性好的多。从解调或 A/D 变换方面考虑, 高频信号直接解调在目前技术上难度太大, 中频段比高频段更容易。使用变频器将高频载波信号先降频, 然后在中频段进行选择信道滤波、放大, 解调出所需的信号。

如果射频信号频率更高情况下, 可以采用超外差二次变频的方法, 使得滤波器设计更容易, 保证接收部分有良好的选择性和稳定性, 射频前端电路设计绝大多数为超外差二次变频结构。图 2-3 超外差二次变频结构方框图, 信号从天线进入, 首先从提高灵敏度方面考虑, 由于后面混频器的噪声系数较大, 在混频之前引入一个 LNA (Low-Noise Amplifier) 低噪声放大器降低后面混频器和中频放大电路对电路的噪声影响。然后再经高频滤波, 进入混频电路与第一本振信号进行混频得到第一中频信号; 第一中频信号经过滤波后送入第二混频电路和第二本机振荡信号混频, 产生第二中频信号, 再通过带通滤波, 二中频放大, 然后进行解调, 送入基带信号处理。

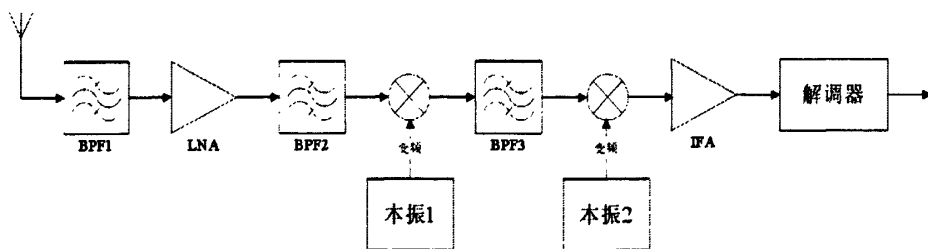


图 2-3 超外差二次变频结构方框图

2.1.2 镜像抑制结构

如图 2-4 所示, 一个与有用信号相对于本振信号 ω_{LO} 的另一侧, 并且与本振频率之差也为中频信号 ω_{IF} , 该信号为镜像频率信号, 可以用 $\omega_{im}=\omega_{LO}+\omega_{IF}$ 表示, 该信号经过

混频器后也形成了中频信号，中频滤波无法滤除该信号，与有用信号混合降低中频输出的信噪比，将会对有用信号产生干扰^{[1][2]}。

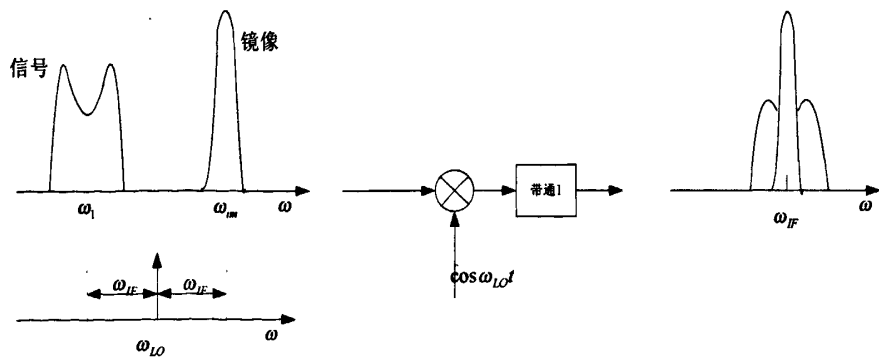


图 2-4 镜像干扰的产生

通常采用镜像抑制滤波器滤除镜像频率干扰，而图 2-5 所示为 Hartley 结构镜像抑制接收方案，不用滤波器而是改变电路的结构来抑制干扰。Hartley 结构用两个正交本振信号进行混频，形成两路信号，通过低通滤波器，其中一路移相 90° ，然后将两路信号叠加产生的中频输出来抑制干扰^[2]。

基本原理：

如图 2-6 所示，在时域上相移 90° 就意味着延时 $T/4$ ， $\sin \omega t$ 延时 $T/4$ 变成 $-\cos \omega t$ ， $\cos \omega t$ 延时 $T/4$ 变成 $\sin \omega t$ 。

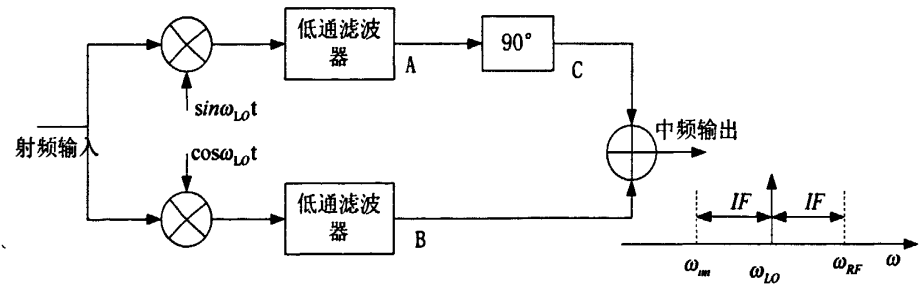


图 2-5 Hartley 结构镜像抑制接收方案

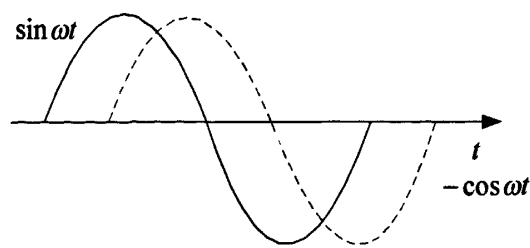


图 2-6 时域 90° 相移

在图 2-5 所示 Hartley 结构镜像抑制接收方案中，将射频信号 $v_{RF}(t) = v_{RF} \cos \omega_{RF} t$ 和

镜像信号为 $v_{im}(t) = v_{im} \cos \omega_{im} t$ 与两个正交的本振信号 $\cos \omega_{LO} t$ 与 $\sin \omega_{LO} t$ 相乘, 经过低通滤波器滤除了和频分量。输出 $v_A(t)$ 和 $v_B(t)$ 为:

$$v_A(t) = \frac{V_{RF}}{2} \sin(\omega_{LO} - \omega_{RF})t + \frac{V_{im}}{2} \sin(\omega_{LO} - \omega_{im})t \quad (2-1)$$

$$v_B(t) = \frac{V_{RF}}{2} \cos(\omega_{LO} - \omega_{RF})t + \frac{V_{im}}{2} \cos(\omega_{LO} - \omega_{im})t \quad (2-2)$$

如图 2-4 所示, $\omega_{LO} - \omega_{RF} < 0$ 和 $\omega_{LO} - \omega_{im} > 0$, 因此 $v_A(t)$ 移相 90° 后变为

$$v_C(t) = \frac{V_{RF}}{2} \cos(\omega_{LO} - \omega_{RF})t - \frac{V_{im}}{2} \cos(\omega_{LO} - \omega_{im})t \quad (2-3)$$

将 $v_C(t)$ 和 $v_B(t)$ 相加的输出为

$$v_{IF}(t) = v_C(t) + v_B(t) = V_{RF} \cos(\omega_{LO} - \omega_{RF}) \quad (2-4)$$

从以上式子分析所知, 由图 2-5 所示方案可以很好的抑制镜像干扰, 但是必须保证两路本振信号完全正交, 否则干扰不能绝对抑制。

另一种镜频抑制方法称为 Weaver 结构。如图 2-7 所示, 在这个方案中, 用二次正交混频替换了 Hartley 结构镜像抑制中的 90° 移相器, 其原理用图 2-11 频谱搬移的方法来分析^{[2][11]}。

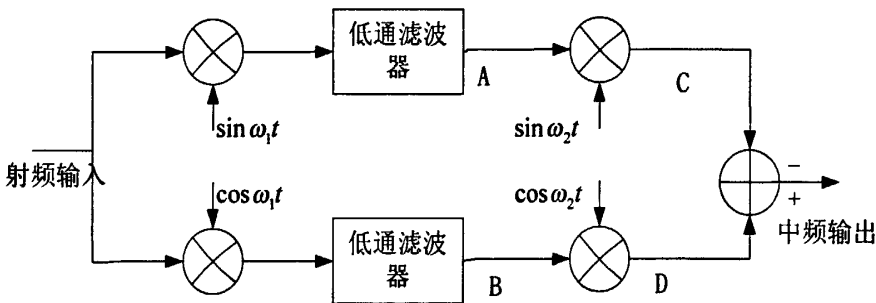


图 2-7 Weaver 结构镜像抑制混频器方案

图 2-8 所示, $j[\delta(\omega + \omega_2) - \delta(\omega - \omega_2)]/2$ 和 A 点的频谱卷积, 在 C 点产生的变换副本中 j 因子取消了。同样, $j[\delta(\omega + \omega_2) - \delta(\omega - \omega_2)]/2$ 和 B 点的频谱进行卷积, 因此它从频率上被同时变换为正频率和负频率。把 D 点的频谱和 C 点的频谱相减后, 在有用信号的频带中极性相反的两个镜像信号刚好抵消, 因此起到了抑制镜像干扰的作用。

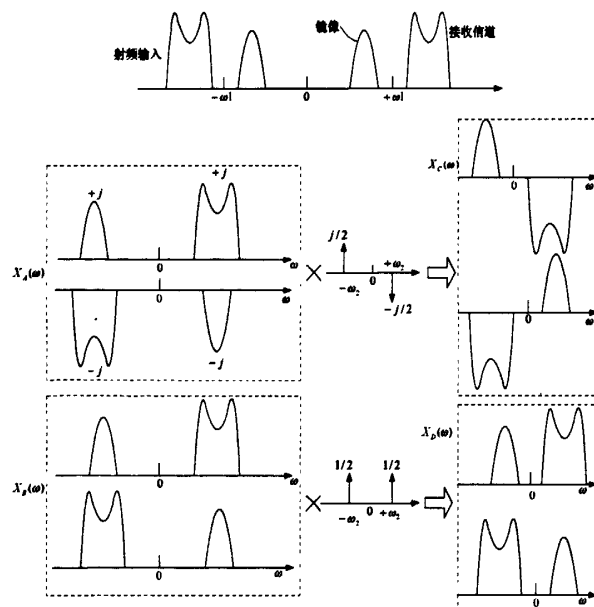


图 2-8 用频谱搬移的概念分析 Weaver 结构镜像抑制混频器

增益和相位失配可能造成不能绝对抑制镜像，Weaver 结构中的二次变频如果是非零频率，还会受到二次镜像的干扰。

2.1.3 直接下变频结构

直接下变频(Direct-conversion)的思想是将载波频率直接变频(Direct-conversion)为基带信号，这种方案也称为零中频结构(Zero-IF)^[2]。使本振频率和载频相等，即 $\omega_{IF} = \omega_{RF} - \omega_{LO} = 0$ ，这种方法的优点是消除了镜像频率干扰。图 2-9 为通信系统的直接下变频方案。所谓的基带信号就是零中频信号，而在数字通信中基带信号分为同相和正交两路信号，因此采用两个正交的本振信号，混频直接变成 I 路和 Q 路信号通过低通滤波器后送出两路正交基带信号^[2]。

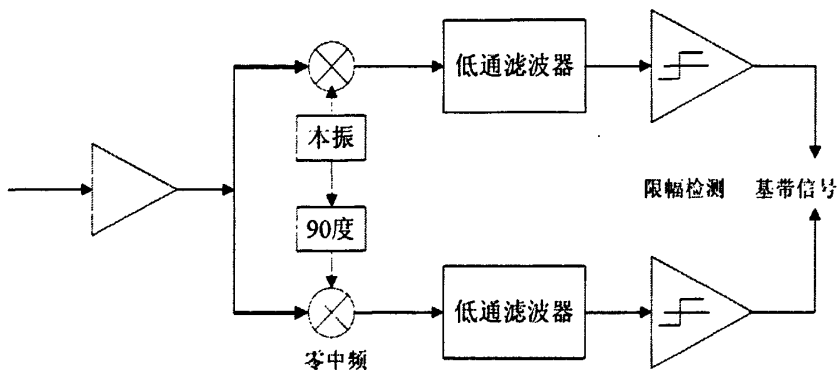


图 2-9 直接下变频结构图

该方案消除了镜像频率干扰，并且这种方案电路结构简单容易做成单一化芯片，

射频部分只有高频低噪声放大器和变频器，不需要专用的镜像滤波器、中频滤波器，只需通过低通滤波器选出有用信道，将基带信号放大。

但是，零中频方案也存在许多缺点，如果混频器部分和射频部分隔离不好，容易使本振信号自混频，即本振泄露的信号通过射频部分经过天线辐射出去，又从天线发射回来经过高放和本级振荡信号再混频产生的零中频为直流信号，对电路产生干扰，如图 2-10 本振信号自混频方框图所示。

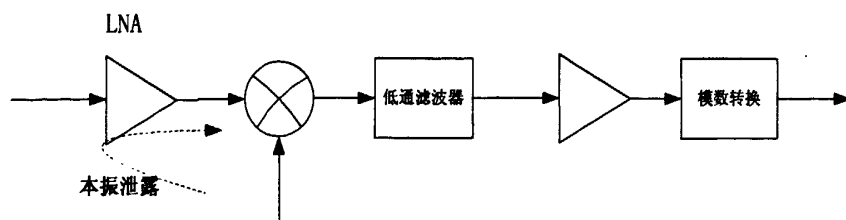


图 2-10 本振信号自混频

同样，混频器的各个端口隔离不好也将造成强干扰信号通过高频放大器漏入本级振荡口，然后又和射频口进来的干扰信号混频差拍为直流。见图 2-11 所示

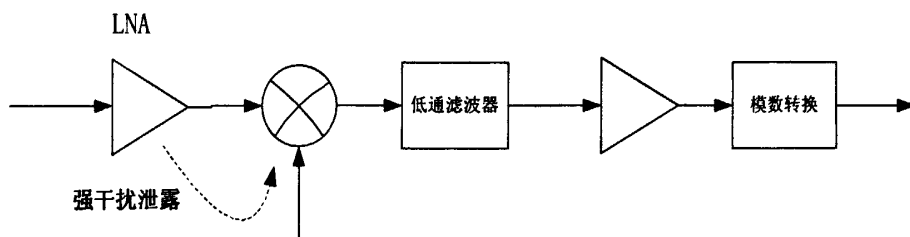


图 2-11 强干扰信号自混频

可以利用后级的数字信号处理方法减弱这些直流偏差干扰，但是电路实现比较复杂，特别是泄露到天线的本振信号，反射回来通过高放、混频后构成的干扰是时变的，消除这种干扰的技术难度很大。

另外，I/Q 两路信号匹配问题和低通滤波器的设计问题都是直接下变频方案的难点。如果两路混频器的增益不同可能造成 I/Q 两路信号不一致，或者是两路本振信号不在绝对的 90° 处也将会使两路信号产生变化。

2.1.4 数字中频结构

随着数字信号处理技术快速发展，器件工艺的提高，之前的基带信号从模拟信号处理变换为数字信号处理，现在的数字信号处理中有非常高的 A/D 变换采样频率，可以直接对中频信号采样，然后进行数字处理。数字 IF 接收方案图，如图 2-12 所示，它

的基本原理是将以上所述的几种接收方案中的低中频级变换为数字处理。在图 2-12 中, 第一中频 IF 信号通过采样变成数字信号, 和数字正弦波信号混频, 通过 LPF 低通滤波器产生正交基带信号。

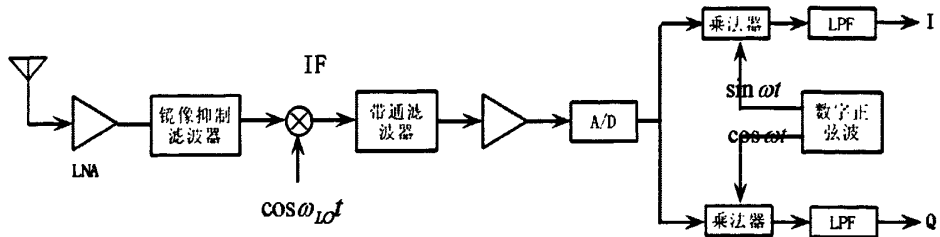


图 2-12 数字中频接收结构图

数字中频结构更容易单片集成, 减少整个系统的复杂性, 在高度集成化下系统稳定行好, 同时降低功耗。数字低频处理使得两路正交信号有很高的精确度的, 不存在失配从而完全抑制了镜像干扰。技术难点是对 A/D 性能指标要求很高, 如: I 中频相对较高, 也需要相应高速的 A/D 变换器; I 中频的信号幅度很小, 需要有很高分辨率的 A/D 变换器同时应该避免大的噪声; 由于传输路径的衰落和多径效应使得接收到的信号电平发生变化, 所以要求 A/D 变换器有比较大的动态范围^[2]。

2.2 发射方案

2.2.1 直接上变频和两次变换法方案

发射机主要完成调制、上变频、信号放大、功率放大和网络匹配滤波。发射机的方案主要有: 直接变换法和两步法。直接上变频是调制和上变频合二为一, 在一个电路完成, 然后通过信号放大和功率放大经天线发射。两次变换法是先将基带信号进行低中频调制后, 这样好处是正交的两支路容易一致, 然后再进行第二次混频, 通过滤波器滤除另一个不需要的边带后将信号放大通过天线发射, 图 2-13 和 2-14 分别是直接上变频和两次变换法的原理框图。

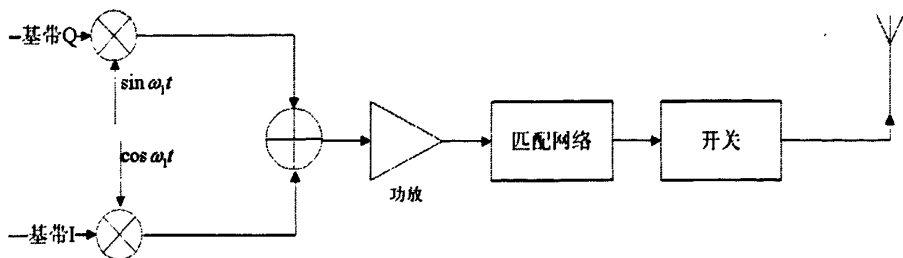


图 2-13 直接上变频

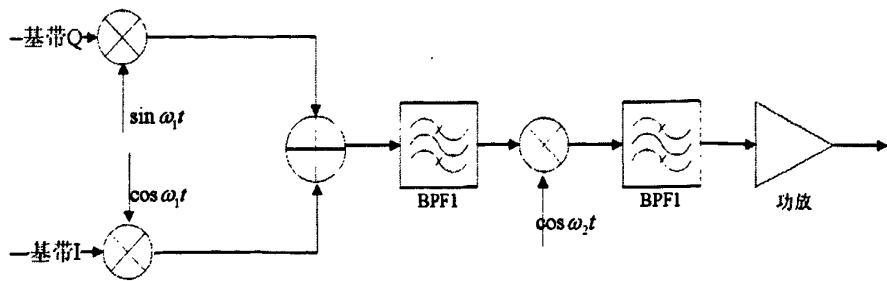


图 2-14 两次变换法

直接变换法简单但有很大的缺点就是容易受到干扰，干扰信号产生主要是由于发射信号是以本振频率为中心的通带信号，经过功率放大或通过天线发射后的强信号会泄漏或发射回来影响本级振荡频率。通常设计电路时候在考虑降低功耗条件下，需要频繁控制功率放大器的通断，这种情况下会产生的更大干扰，使得本振频率不稳。

图 2-15 为方案改进方法，将两个较低的本振频率 ω_1 和 ω_2 合成为 $\omega_1 + \omega_2$ 作为载频，使得发射的载频远大于本振频率，这样增强了本振频率的抗干扰能力^{[1][2]}。

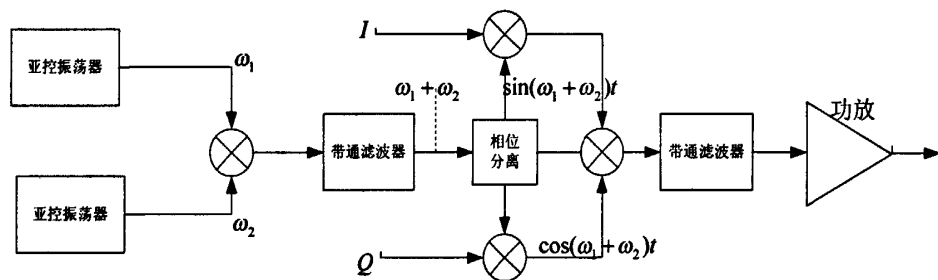


图 2-15 带有两个偏置本振的直接变换发射机

第3章 硬件电路设计

3.1 总体设计框图

系统总体方案构思,在制定硬件电路时应尽量使电路结构简单,因为硬件电路越复杂,可靠性越差,而且成本高,因此首选的方案就是尽量减少外围元器件,选择高集成化芯片替代一些分离元件的功能。本设计主要分为控制部分和收发部分,可以采用 SOC(System on Chip)将两部分功能集与一个芯片,但是此方案工作量太大,技术难度过高。另外一种方案,可以采用 DSP、FPGA、MCU、ARM 芯片作为核心控制部分,收发部分采用专用射频收发芯片。也可以采用一种特殊的嵌入式系统 SOPC (System on programmable),该方案是通过专用硬件描述语言和专用软件进行可编程片上系统,内部包含可裁剪、可扩充的 CPU 软核。

综合考虑本设计采用 MCU 作为核心控制系统,使用高集成化射频收发芯片进行信号调制解调处理。图 3-1 系统总体框图,由微处理器控制模块、接收/发射模块、载频/基带处理模块、音频功放模块、电池/电源模块、时钟复位模块组成。

1)MCU:系统的主处理器,负责电路各部分监测、控制、任务调度、功能协调。本系统采用 8 位微控制器 STM8S104。

2)射频收发模块:采用锐迪科微电子(RDA)推出新款无线通信射频收发芯片 RDA1845,该芯片采用低中频接收方案和直接上变频发射方案,负责信号的收发、调制等处理。

3)时钟及复位模块:时钟电路为系统提供精确的时钟频率,分为微处理器时钟和射频收发芯片时钟。复位电路采用高精度 S-80128ANMC 复位芯片。

4)电源模块:为 MCU、发射/接收电路提供稳定的工作电压。

5)音频模块:完成语音输入输出放大、滤波,语音信号放大采用 TDA2822 音频功放芯片,。

6)人机接口模块:指示系统工作状态、使用者指令连接的桥梁。

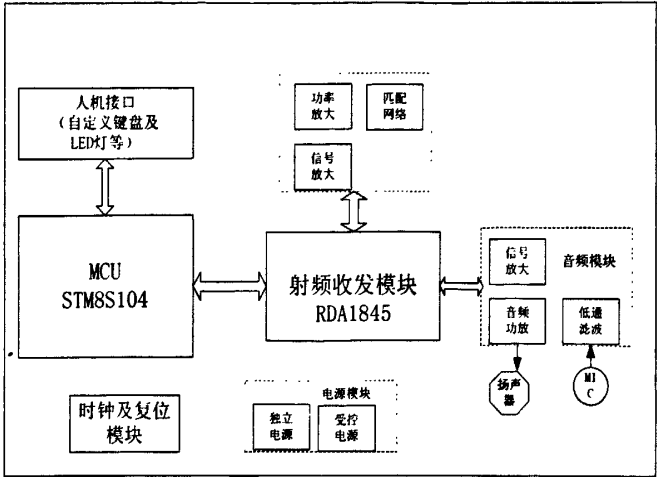


图 3-1 系统总体框图

3.2 各单元模块设计

3.2.1 微处理器控制模块

芯片选择，考虑到系统的成本、研发周期、合适的硬件方案，特别考虑所选用的芯片价格、以及芯片所提供的开发环境、编程手册资料等。本设计采用意法半导体公司提供的 STM8S 系列 8 位微控制器，图 3-2 为微处理器内部结构。该微处理器特点：

- 内核采用高级 STM8 内核，具有 3 级流水线的哈佛结构。
- 存储器：中等密度程序和数据存储器，最多 32K 字节 Flash；1k 字节的数据存储器；RAM 2K 字节以上。
- 时钟、复位和电源管理：3.0-5.5V 工作电压；灵活的时钟控制，4 个主时钟源，低功耗晶体振荡器、外部时钟输入、可调整内部 16MHZ RC、内部低功耗 128KHZ RC；时钟监控安全保障系统；电源管理方面（等待、活跃停机、停机），外设时钟可以单独停止，低功耗上电和掉电复位。
- 中断管理：带有 32 个嵌套中断控制器；6 个外部中断向量，37 个外部中断。
- 定时器：2 个 16 位通用定时器，带有 2+3 个 CAPCOM 通道，3 个互补输出。8 位预分频的 8 位基本定时器。2 个看门狗定时器（窗口看门狗和独立看门狗）。
- 通信接口：带有同步时钟输出 UART，SPI（Serial Peripheral Interface）串行外围设备接口、I²C（Inter Integrated Circuit BUS）内部基础电路总线。SPI 设备接口最大速率：主设备和从设备为 8M 位/秒，I²C 标准速率 100KHZ/s 速 400KHZ/s。
- I/O 端口：48 个封装芯片上 38 个 I/O,包括 16 个高吸收电流输出同时对倒灌电流有非常强的承受能力

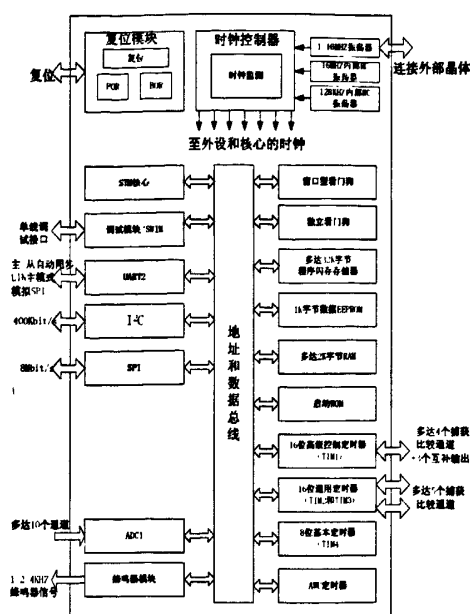


图 3-2 STM8S104 内部方框图

微处理器在系统中作为主控制器件，系统开启时，从存储器读数据，执行程序。图 3-3 所示的微控制电路中，MCU 负责系统任务切换（信号检测、信号发射/接收、信道扫描、省电），协调各个部分工作。

1. 通过采样通道检测电源电压、亚音编码/解码、SQL 静噪控制；
2. 通过 GPIO 口控制发射/接收电源供电控制 RXCC/TXCC、音频放大芯片供电开关控制 AF Power、自动功率控制 APC、蜂鸣器 BEEP、频率调整 FC、静音控制 MIC Mute、LED 等；
3. MCU 和射频收发芯片 RDA1845 之间通信，采用串行外设接口总线 SPI，首先设置 IO 端口数据输入/输出模式，然后与 RDA1845 进行数据传输，读写 RDA1845 数据（如：设置发射/接收模式、初始化、写入频点、设置亚音等）；

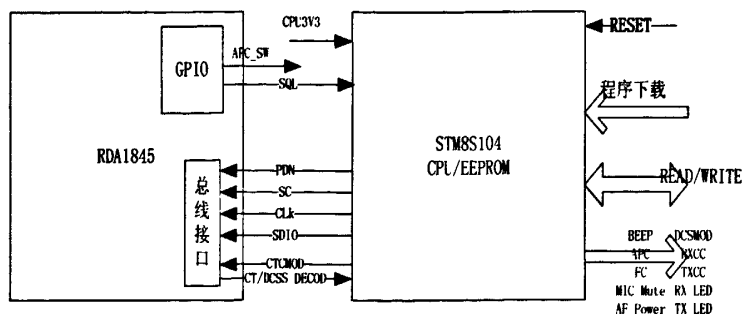


图 3-3 微控制电路

3.2.2 射频收发模块

射频芯片生产商非常多,产品种类也很多,片上集成发射机、接收机、频率综合器、调制解调等,只需少量外围电路配合 MCU 完成所需的功能。根据接收机和发射机方案选择芯片,采用锐迪科微电子(RDA)推出无线通信射频收发芯片 RDA1845,该芯片采用一个数字低中频结构的接收机和直接上变频发射机。

RDA1845 特点:

- CMOS 单片全集成收发芯片
- 支持带宽频率为 300MHZ-500MHZ,12.5KHZ,25KHZ 信道
- Low Noise Amplifier (LNA)低噪声放大器
- 数字低中频变频器(Digital low-IF down-converter)包含镜像抑制降频变换器、高性能 A/D 转换器、内置高性能中频选择电路。
- 全集成数字频率合成器包含全集成片上 RF、中频压控振荡器 VCO 全集成片上环形滤波器
- 直流补偿校准电路、PGA 可编程增益控制
- (AFC Auto frequency control)数字自动频率控制
- 数字自动增益控制(Digital auto gain control)
- 支持多参考时钟频率: 12.8MHZ、25.6MHZ、13 MHZ、26MHZ
- 可选性预加重和去加重电路
- 提供可编程 VOX 和静噪指示
- 模拟和数字音量控制
- 三线串行控制总线接口 SDIO、SCLK、SEN,主要通过与外部 CPU 读写控制的寄存器进行通信。
- 全集成 LDO(Low Dropout Regulator)低压差线性稳压器,范围在 2.7V 到 3.3V 工作电压。

图 3-4 所示 RDA1845 芯片内部结构,包含了变频、中频、基带处理、频率合成器, RDA1845 内嵌的 DSP 内核包含了中频变频器(IF down-converter)、FM 调制器(FM modem)、接收信号强度指示器 RSSI(Receive signal strength indicator)、AFC 自动频率控制环(AFC control loop)、声音/亚音滤波器组和模拟/数字亚音匹配滤波器组(audio/subaudio filter banks and CTCSS/CDCSS matched filter),使得该芯片任何接收环境获得很好的音频信号。

该射频收发芯片中的低中频接收机:从接收电路接收的信号经过带通滤波得到 400-470MHZ 的频率信号直接进入射频收发芯片进行低噪声放大电路、混频得到一中频信号、中频信号经过采样送入 DSP 基带信号处理器解调、去加重后得到所需的音频信

号。芯片内部频率合成器产生本机振荡信号，与载波信号进行正交混频，用于将射频信号转换成恒定的中频 IF 信号，ADCS 和 DACS 时钟也有频率合成器提供。压控振荡器 VCO 的频率通过参考时钟进行调整。RDA1845 支持多种参考时钟，本系统时钟设置为 12.8MHZ。

直接上变频发射机：语音信号进入 RDA1845 芯片，由内部 DSP 内核进行最大频偏调整后在压控振荡器直接进行调制。

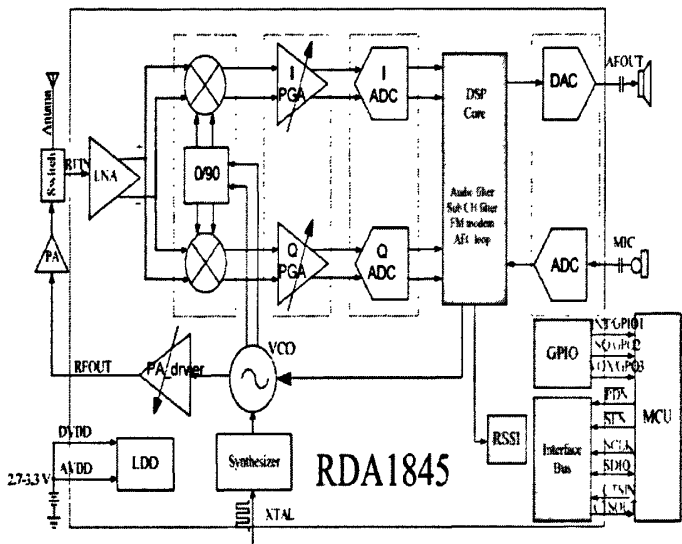


图 3-4 所示 RDA1845 方框图

3.2.3 电源模块

一、电池低压报警电路:

电源电压是整个电路系统最关键的部分。便携式设备一般采用直流供电，由于系统工作一段时间后，电池能量消耗使得电池电压降低，会影响整个电路的正常工作，因此需要时刻监测电源电压的变化，保证系统稳定性。图 3-5 为电池低压报警电路，通过电压采样电路采样 1/3 的电池电压，送入微处理器 AD 采样通道（A/D 转换）取得采样值，监测电池电压，当低于设定的低电报警电压时将发出低电提示音。

- 1) 发射中，当电池电压低于设定的低电报警电压时，通过微处理器 IO 口输出高电平控制 DTC114（嵌入偏置电阻的数字开关晶体管）开启，红色 LED 导通闪烁，并通过 IO 口输出脉冲电压送入扬声器发出“嘟嘟”的低电提示音。
- 2) 当电池电压降到发射锁定电压以下，系统将立刻停止发射。发射按键按下时会有一声“嘟”的提示音，表明需要充电。

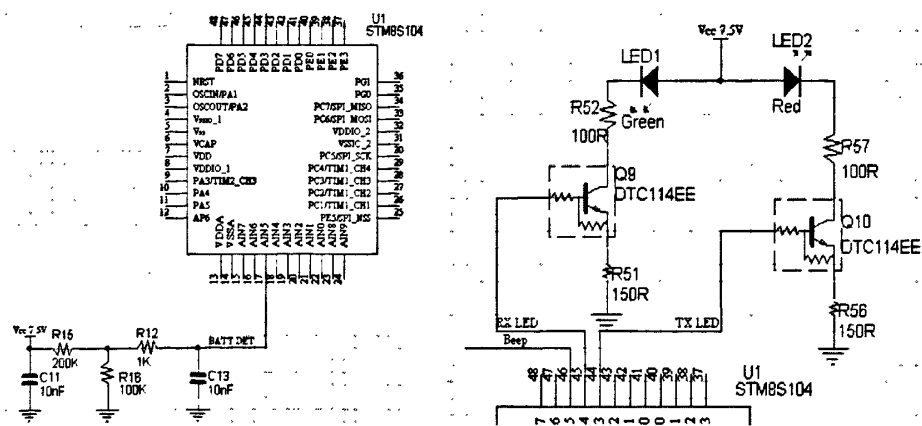


图 3-5 电池低压报警及发射接收指示灯电路

二、电源模块：

本系统电源供电分为受控供电电源和独立供电电源。三个独立电压源分别为 3.3V、CPU3V3 和电池 7.5V。图 3-6 所示，由电池产生 7.5V 电源，电池经过滤波，经过稳压二极管稳压后送出，该电压可以独立供给功率放大电路。由于发射信号时功率放大器输出最大功率 5W，发射电流很大，同时考虑效率问题和电源开关冲击电流.所以选择保险丝最大通过电流为 2.5A.

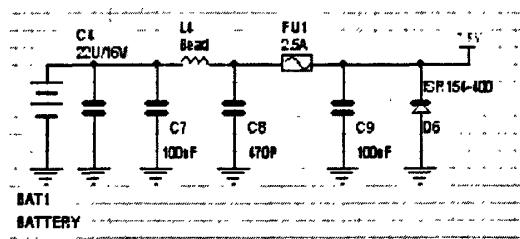


图 3-6 电源电路

受控供电电压由电池电压经过稳压芯片 XC6201P502 芯片转换为 5V 电压。图 3-7 所示电路中该芯片的输入和输出连接一个较大的电容为了保护芯片。XC6201 系列芯片是高精度、低功耗、正电压稳压器，在一个非常小的压差下能提供大的电流。XC6201 芯片内部电路由一个电流限幅电路、驱动管、高精度参考电压和一个误差放大器组成。输出电压以 0.1V 为步长，可选择电压为 1.3V-6V 之间。

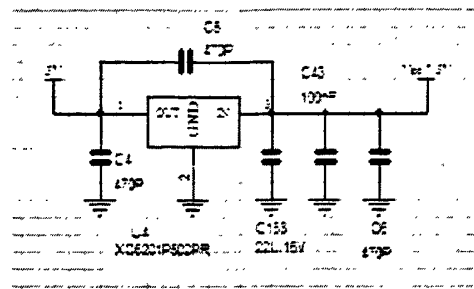


图 3-7 5V 受控电压转换电路

图 3-8 为发射/接收受控供电电路，设计该电路目的是考虑到低功耗所需，利用单

片机控制发射/接收供电电路，在发射状态关闭接收供电，接收状态关闭发射供电。5V 受控供电电压的使能端由单片机控制，单片机扫描到信号处于接收状态时，通过单片机控制端 RXCC 输出一个高电平，转换 Q2、Q14 为接收电路提供 (RX_5V) 电源。在发射状态时，通过单片机控制端 TXCC 输出高电平，导通 Q11、Q12 为发射电路提供 (TX_5V) 电源。

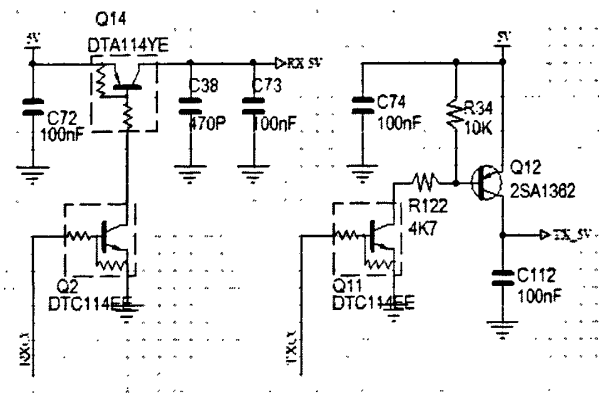


图 3-8 发射、接收受控供电电路

由于射频模块电路发射/接收时电流大容易拉低电压，为了避免影响单片机的工作电压，将用两片稳压器芯片转换出两个 3.3V 电压，如图 3-9 转换电路所示。CPU3V3 电压供给微控制器、3.3V 电压供给射频收发模块 RDA1845 部分电路。

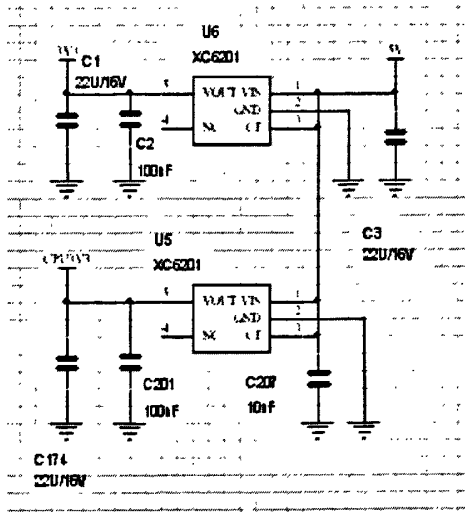


图 3-9 3.3V 转换电路

3.2.4 时钟及复位模块

一、时钟模块设计：

1) 微控制器时钟设计：精确的时钟源是整个系统正常工作的前提，STM8S 系列的单片机有四种时钟源可以作为主时钟源分别为：

1. 1-24MHZ 高速外部晶体振荡器
2. 最大 24MHZ 高速外部时钟信号
3. 16MHZ 高速内部 RC 振荡器
4. 128KHZ 低速内部 RC 振荡器

由于内部 RC 振荡器产生的时钟精度不高，容易受到外部磁场、温度干扰，频率会发生较大的偏移，所以 RC 内部时钟常用于精度要求不高的系统。而外部晶振时钟的优点在于能够产生精确占空比 50%的主时钟信号，而且抗干扰能力强，有利于微控制器更稳定的工作，本设计采用外部晶振时钟，如图 3-10 所示。

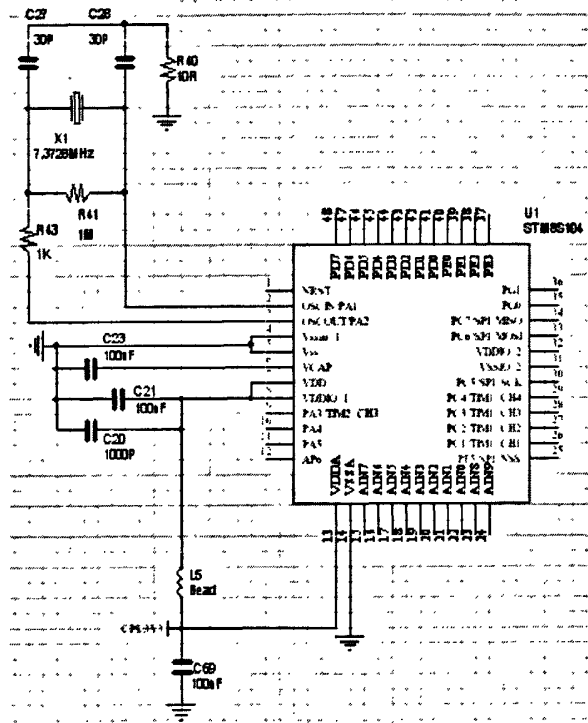


图 3-10 微控制器时钟电路

2) 射频收发器时钟电路设计

频率自动控制（FC）通过 STM8 内部 16 位定时器 TM2 产生相应占空比的 PWM 脉冲信号，通过 RC 低通滤波器优化波形后，调整压控晶体振荡器产生精确的 12.8MHZ 参考时钟源。

数字亚音加密（DCSMOD）通过 STM8 内部 16 位定时器产生数字亚音脉冲信号，信号电平由 1 和 0 表示，由于脉冲信号边沿含有很多谐波分量，这些谐波频率比基频频率高很多，超出亚音的频率，在 300HZ 以上容易造成亚音调制错误，为了得到准确的调制亚音信号，从单片机内部编码生成的数字亚音通过 I/O 口输出，然后经过 RC 低通滤波器优化，滤除高于亚音的频率，使得脉冲信号边沿过度更平滑，然后加载到晶体振荡器 VC 端，调制参考时钟频率送入 RDA1845 完成数字亚音调制。

0 欧电阻通常作为跳线、电流测试点，在数模混合电路中完成数字地和模拟地的连接以此避免互相干扰。本电路设计中所加的 0 欧电阻由碳膜电阻构成，对高频信号有较强的衰减作用，由于电感体积大、价格高，所以在高频电路中常用 0 欧电阻代替电感接电源和 IC 芯片或者地和地之间。利用磁珠滤除电源线、信号线上的高频尖脉冲干扰，如图 3-11 所示。

如果使用外部 TCXO，这个时钟应该连接到 RDA1845 的 XTAL1 脚，XTAL2 脚应该连接到地。时钟峰峰值幅度大约在 1.5V 左右。同时在芯片内部寄存器地址 0x10H 设置相应的 TCX0 时钟。另外 RDA1845 芯片电压供电应该单独用一个稳压电源供电，不能和其他芯片如 MCU 或者电路板其他供电电源共用。避免影响其他供电电压。

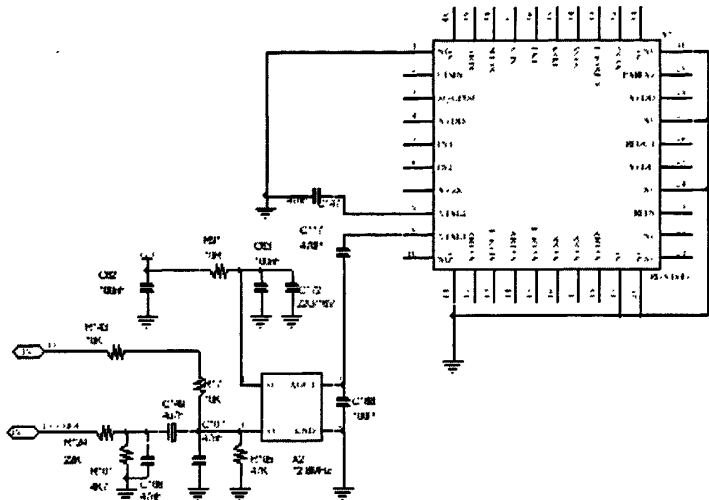


图 3-11 射频收发模块时钟电路

二、复位电路设计：

复位电路在微控制系统中起到非常重要作用。当低于单片机正常工作电压下执行程序，会造成存储器和寄存器中的数据变化或者丢失，如果电源恢复到正常工作电压时，没有把单片机设定为初始状态时，也可能造成之后的异常工作。因此，在电源变化波动比较大如：瞬间停止、开启、电压过低时，或者电路电流、外界强干扰造成电路异常情况下，必须对电路进行复位保证单片机工作的稳定性。

本文单片机芯片 STM8s 的复位引脚是一个输入/开漏输出的双向引脚，内部有一个 30-60K 左右的弱上拉电阻，该复位引脚最小 500ns 的低电平就会是 MCU 产生复位。同时该复位引脚也可以利用开漏输出使其他外部设备产生复位，复位信号使得 STM8S 会在该复位脚产生最少 20us 的低电平。

复位电路采用 S-801 系列高精度电压监测芯片完成。该芯片内嵌延时电路、振荡电路和计数定时器，不需要外部电路直接能够延迟解除信号。有三种延迟时间，A 系列延迟时间 50ms，B 系列延时 100ms，C 系列延迟时间 200ms。该电路采用

S-80128ANMC 型号芯片，监测电压范围 $2.8V\pm2.0\%$ ，延时时间 50ms。复位电路如图 3-12 所示，电源上电时延时输出给芯片一个复位信号，在 MCU 工作时监测正常工作电源电压，如果异常则进行强制复位。

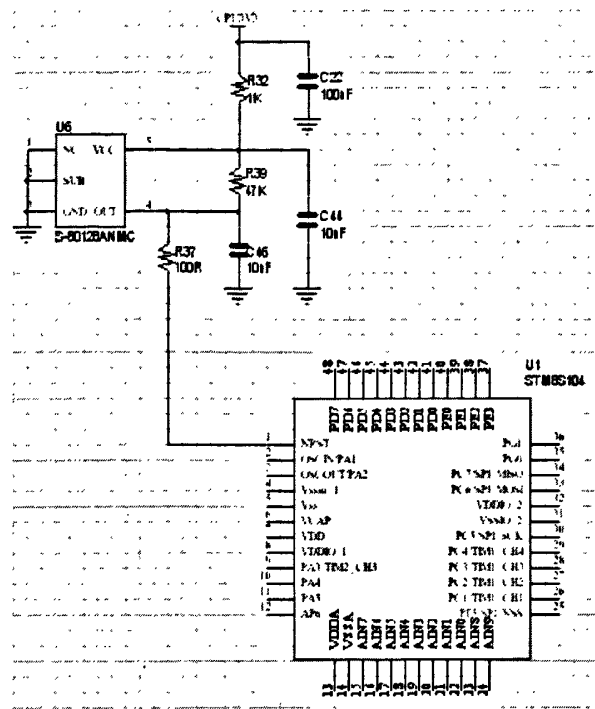


图 3-12 复位电路

3.2.5 语音输入、输出处理模块

1) 音频放大电路

在射频收发芯片 RDA1845 解调处理的音频信号通过音量控制电路再经过音频功率放大器 TDA2822 放大后驱动扬声器工作。TDA2822 是一款双声道音频功率放大电路，该芯片电源电压范围在 1.8V-15V 之间，在 1.8V 的低电压下仍能正常工作，适用于一些便携式低功耗系统中。另外该芯片静态电流小，交越失真小，可以在单声道和双声道两种状态下工作。本系统考虑到成本和降低功耗问题，根据芯片手册采用单声道电路结构，同时由于静态时候，TDA2822 的 OUT1 脚和地之间有 3.75V 的压差，而我们采用的扬声器阻抗为 5 欧姆，会产生 0.75A 的静态电流。所以在扬声器和 TDA2822 输出脚之间加入 100uf 电容和 1K 电阻组成的并联电路，即保证了声音信号通过电容送入扬声器，同时又使得静态电流降低约为 3.75mA，从而降低了功耗。

2) 发射音频电路

发射语音信号由内置话筒 MIC 进行声电转产生语音电信号，经过滤波后信号通过 RDA1845 芯片直接上变频调制。

3.3 PCB 设计

3.3.1 PCB 设计流程及设计方法

电路系统设计最终生成所需要的 PCB 印制板电路, 图 3-13 所示为 PCB 印制电路板设计流程。本系统采用 protel99se 电路设计软件进行原理图设计到 PCB 设计。

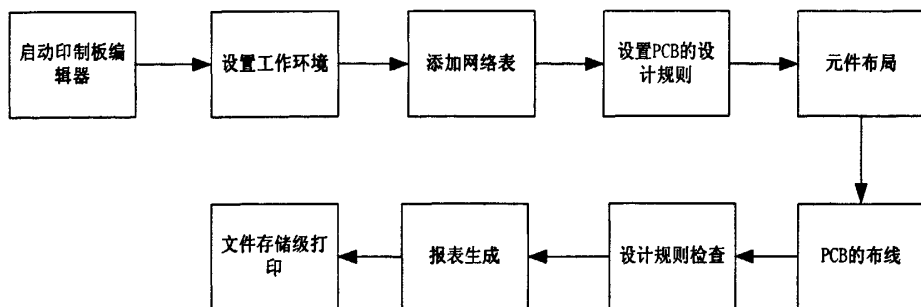


图 3-13 PCB 设计流程图

一、 地的设计

1. 电路板设计中应该将地线加粗, 一般大于 0.3mm。
2. 电路应该采用多点接地, 数字地和模拟地分开, 或者用 0 欧电阻隔离。
3. 尽量减小接地环路的面积, 减少电路噪声干扰。
4. 电路中容易受干扰的元件或者电路模块应该保证一个稳定的地参考点, 减少干扰。
5. 电路模块化布局时, 把高频电路、低频电路、电源部分分开, 同时避免干扰电流通过公共接地回路相互影响。
6. 电路板块中, 高频板块尽量独立一整块地, 减少过孔, 地铺铜面积越大抗干扰能力越强。

二、 电源的设计

1. 考虑到电路中各部分电路对电源要求不同, 选择合适的电源供电。微控器部分的供电电源尽量独立, 避免受其他供电电源干扰。
2. 电路布线在板级设计允许范围, 尽可能增宽电源线。
3. 电路板走线过程中, 应尽量使电源、地方向一致, 增强抗干扰能力。
4. 在电源设计中加一些滤波、磁珠等元件提高电路抗干扰能力。
5. 电源输入端口需要连接相应的上拉电阻, 同时需要加去耦电容。

三、 常用元器件及设计原则

本设计中用了比较多的一些常用元件, 限流电阻: 例如, 发光二极管和电阻连接, 保护二极管。低通滤波电容用于去纹波、稳电压。电容重要的设计指标是耐压值, 通

常 2 倍电源电压；电容容值，根据电路设计，耗电量越大，选越大的容值。高频滤波电容用于滤除高频杂波干扰，经验值 $104\text{p} \approx 0.1\mu\text{f}$ ，特别是在 IC 器件跟电源连接处都要用一个 104pf 电容，去掉静电干扰、脉冲、空气放电等。VCC 和 GND 之间也经常接这个电容，在高频电路常采用贴片电容。三极管常用作开关控制，本系统中的有多处单片机控制的开关电路采用开关三极管；也常作为信号放大。

常用元器件设计原则：

1. 时钟电路、晶振尽可能靠近微控制器的时钟输入管脚，避免干扰低频元件。
2. 各个部分元器件围绕其功能芯片放置，元器件之间引线不易过长。
3. 噪声元器件和非噪声元器件分开。石英晶振的外壳一般要接地，石英晶振远离对噪声特别敏感的元器件，旁边尽量不要布线。
4. 高频元器件一般使用贴片，避免分立元件管脚过长产生干扰，元器件之间连线尽量避免有平行信号线。
5. 射频电路中输入和输出元器件远离，避免干扰。
6. 射频电路的集成电路芯片电源一定要注意加去耦电容。
7. 高频电路中末级功率放大和前端信号放大远离，避免信号受到干扰。
8. 大功率器件避免和放大器等易受温度影响的器件靠近，保证电路稳定性。
9. 通常加 10 欧左右的上拉电阻在数据总线、控制总线和地址总线上，增强抗干扰能力。

3.3.2 PCB 多层板设计

本系统 PCB 电路采用四层板设计，设计具体方法：

1. 自顶向下设计电路，建立顶层模块图，然后分别设计每个模块电路图。
2. DRC 检查无错误，生成网络表。
3. 创建 PCB 文件，规划电路板框。首先设置印制板参考原点，然后将工作层切换到 keepoutlayer，考虑成本问题尽量将板子做到最小化，绘制方法利用属性中 xy 的坐标值精确绘制，选项卡中选择(扑捉栅格)和(元件栅格)可以改栅格大小，绘制精确板块。
4. 元件布局：首先隐藏元件间的预拉线，然后隐藏元件标注，利用模块化布局思想，可以交互布局即电路原理图各个功能模块电路和对应 PCB 中该模块的元件交互操作。模块化布局电路板注意：将同一类型的电源和地集中放置，将模拟模块、数字模块分开放置，实现不同功能模块各个集中在一块。
5. 布线：
 - 1) 首先在设计规则中调整走线和元件间距和元件走线宽度，电源和地走

线要宽些。

- 2) 设置板层结构, 中间层设置为内电层或者中间信号层, 添加是内电层时, 设置板层厚度, 内电层为电源和地其厚度要薄且紧密结合。根据层叠结构耦合原则。利用绘图工具中矩形图形填充内电层中不需要的区域。
 - 3) 分割内电层: 绘制之前先隐藏其他层, 去掉不显示层后选项卡中只显示当前层, 选中要分割的网络, 添加一个分割块, 然后圈成的网络成独立的框架。绘制框架注意: 一、每个分割区只包含一个网络, 不能电源 1 和电源 2 的网络交叉, 对于本电路中不同的供电电源 3.3V 和 5V 的电源网络独立开, 不要交叉绘制产生干扰。二、重合内电层区域边界线, 可以达到最大的合理布局, 不能被选中的电源网络号可以在信号层将其连接到内电层中。
 - 4) 布线: 电源线和地线, 通过焊盘和通孔接到内电层, 可以先布信号线将暂时不需要的部隐藏。布信号线要改变走线转角形状不允许锐角出现, 顶层和底层布线要十字交叉相互垂直避免干扰, 布线时注意避免板层之间有过长的平行信号线, 避免信号线形成环路, 在布高频电路模块为了减小高频干扰避免采用 90° 折线, 关键信号线应加粗, 高速线要短和直。
6. 连接所有电源线和地线, 布线完成后设计规则检查 design rule check。完成四层电路板的设计。

第4章 系统软件设计

4.1 软件开发环境概述

本系统采用意法半导体公司 (ST) 提供的 STM8s 系列微控制器, ST TOOLSET 是 ST 提供的 MCU 开发套件, ST TOOLSET 包含两部分软件: ST Visual Develop(STVD) 和 ST Visual Programmer(STVP), 该开发软件主要面向 ST 的 8 位微控制器产品。STVD 可以创建、调制及烧录程序, STVD 提供一个免费的汇编编译器, 用户可以使用汇编语言直接在 STVD 环境中编写汇编程序。STVD 支持大部分 STM8 芯片的在线调试工具 (Rlink、ST-Link), STVD 可以选择外挂第三方的 C 语言编译器、绑定由 ST 公司提供的用于生产或专用烧录程序的软件 STVP (ST Visual Programmer)。

由于本系统所采用的是 C 语言编写程序, 因此采用外挂第三方 C 语言编译器 Cosmic 编译器 (Cosmic C compiler)。该编译器是 Cosmic 公司 (Cosmic Software Inc.) 提供的全套嵌入开发工具, 包括 C 语言交叉编译器、汇编、连接器、ANSI 库、仿真器、硬件调试器等。

4.2 系统软件架构

本系统采用任务切换模式编程, 由外部事件和 MCU 时钟共同驱动, 完成整个系统收发转换。程序架构思想是系统初始化后, 进入死循环周而复始处理所有任务, 直到掉电或者低电异常复位, 所有任务都是数据和算法组成, 程序根据输入信号变化按照算法执行后输出, 输入数据包括键盘、麦克风等。程序每次进入循环, 首先读取外部事件并根据算法所需要的条件进行运算, 而后驱动输出设备如 LED、扬声器等其他设备。

本文同时考虑特殊功耗需要, 加入了低电压监测、电源管理、省电模式设计, 整机待机时间更长, 更高的实用性和商业价值, 图 4-1 为系统总体流程图。

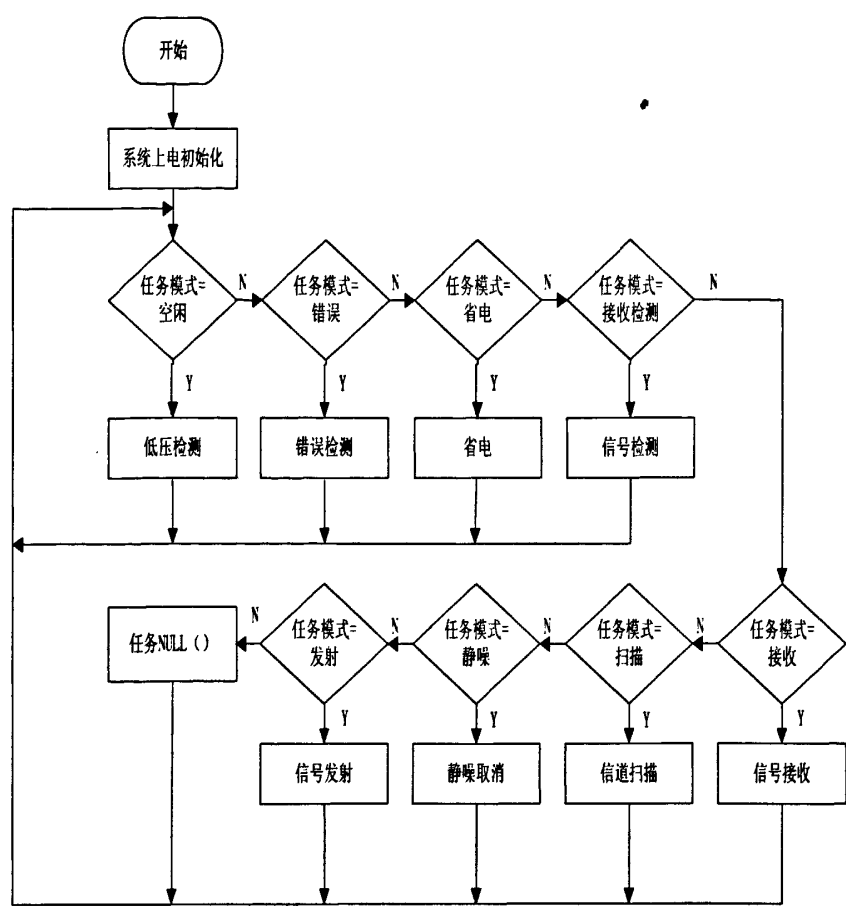


图 4-1 系统总体流程图

系统上电执行初始化代码:

```
void init_sys(void)
{
    dis_Int();
    ini_clock();
    ini_IO();
    ini_tm4();
    ini_tm1();
    ini_tm2();
    ini_AD();
    dcs_Initial();
    LowV_Detect();
    ini_Save();
    eeprom_check();
    ini_RDA1845();
}
```

```
pw_Beep();  
en_Int ();  
keyStatus = IDLE;  
}
```

单片机关闭中断, 确保执行初始化指令时不会产生中断, 造成系统无法正常完成启动任务。

ini_clock(); 时钟控制器将来自不同的振荡器的系统时钟连接到内核和外设, 它也为低功耗模式的时钟选通, 并确保时钟的准确性。该初始化函数对时钟分频进行配置, 实现了速度和电流消耗之间找到了一个最佳的平衡点。复位后, 单片机默认内部 2M 时钟下, 一旦程序运行时可以设置预分频比例和时钟源。由于内部 RC 振荡器不稳定性, 该初始化函数将系统主时钟切换到外部 7.3728MHZ 的时钟源。

ini_IO(); GPIO 通用输入/输出口用于芯片和外部进行数据传输。根据不同的功能需要将 I/O 设置成信息采样输入和脉冲输出。如: MCU 与 RDA1845 通信采用了 SPI 通信协议, MCU 的 PG1 和 PG0 和 PC7 端口, 分别模拟 SDIO、SEN、SCLK, SDIO (SDI 和 SDO 复用), 通过设置 GPIO 口的 ODR 和 IDR 数据输入输出寄存器来实现, 完成 MCU 和 RDA1845 之间的数据传输。

ini_tm4(); TM4 为 STM8 单片机的 8 位的基本定时器, 将 (控制、中断使能、计数器、状态等) 寄存器进行复位, 开启中断和 Tm4 定时器计数。产生 1ms 的定时, 提供各个模块基准时钟, 如延时、键扫描等。

ini_tm1(); TM1 为 STM8 单片机的 16 位的高级定时器, 可以做基本定时, 或者作为产生输出波形 (对输出波形比较, 脉冲宽度调制 PWM 模式和单脉冲模式)。初始化 TM1 寄存器, PWM 值设置和通道设置 (利用单片机 I/O 口设置 PC1 口自动功率控制 APC、PC2 口频率调整 FC 和 PC3 口数字亚音编码 DCSCODE, 分别为捕获/比较通道) 调节 TIM1_CCR (捕获/比较寄存器) 值, 来改变不同占空比的 PWM 信号。

ini_AD(); STM8 提供 10 位的逐次比较型 ADC, 设置 AD 转换的各个寄存器初始值和设置控制状态寄存器初始值 ADC_CSR = 0x05; (初始设置采样通道为第五通道 (低压检测通道))。

dcs_Initial(); DCS 数字亚音的 I/O (PC3 口) 寄存器初始化, 设置数字亚音输出模式、设置中断方式、设置 TM2 预分频器 (计数器时钟频率 = $f_{CK_PSC}/2^{PSCI[3:0]}$)、开启 TM2 计数器。

LowV_Detect(); 低压监测, 根据电路图中单片机设置的 I0 口第五通道作为低压采样通道, 进行 A/D 采样, 采样计数设置为 8。程序进行循环采样如果采样电压值连续五次低压 4.5V, 进入死循环停止工作。

ini_Save(); 省电初始化, 省电时间设置开机初始值 8s, 然后进入信号检测状态。

eeeprom_check(); DATA EEPROM 地址从 00x004000h-00x0043FFh, 容量为 1K 字节数据的电可擦除存储器, 读 EEPROM 数据并测试状态是否正常

ini_RDA1845(); 初始化 RDA1845, 按照参考手册的寄存器值, 通过三线写入芯片。晶振设置为 12.8MHZ、设置芯片亚音模式 (外部输入数字亚音和内部模拟亚音生产方式)、设置频点、设置省电模式 (PDN 置高)。

pw_Beep(); 设置 STM8S 内部蜂鸣器各个寄存器, 设置输出为 1KHZ 频率的提示报警音、设置静音开关、设置音频功放电源开关。

en_Int (); 初始化完成后, 读 EEPROM 值读取信道, 如果信道为 15 信道进入扫描, 其他信道进入接收检测, 然后开启中断, 由外部事件和系统时钟驱动下进入正常的运行状态, 等到事件并处理。

4.3 信号接收检测模块

亚音功能: 为了增强抗干扰, 在音频传输时加上一个比音频信号低的一种频率, 该频率信号称为亚音频, 亚音频信号的频率在 300Hz 以下。亚音相当于一种加密手段, 在发射是附加一种亚音频率, 接收方通过识别发送方的亚音频率值, 如果匹配由单片机控制开启扬声器, 接收来自发送方的语音信号。常用标准模拟亚音的频率范围为: 67.0-254.1Hz。常用标准数字亚音的频率范围为: 023-754 (八进制 DCS 码)。

RDA1845 支持直接写频率方法, 本设计采用的芯片输入时钟为 12.8MHz, 通过参考手册上的计算方法 (目标频率 $FREQ * 2^{22/25.6}$) 然后转换为 30 位二进制数据, 写入芯片内部 0dH, 0eH 寄存器中, 数据的高 12 位存入 0dH, 低 18 位存入 0eh。

本设计默认采用了模拟亚音加密 (由 RDA1845 内部生成), 根据不同的噪声环境所需, 可以设置不同亚音频率, 写入 RDA1845 对应寄存器中。

4.3.1 发射亚音设置

发射模拟亚音设置: 发射模拟亚音由 RDA1845 内部生成方式, 通过三线写入内部寄存器 13H 的 TX_CTS_CNT 位, 生成所需的亚音频率, 计算所需要设定的频率公式为 $TX_CTS_CNT = 12800000 / (16 * CTCSS_FREQ)$ 。

发射数字亚音设置: MCU 设定发送波特率为 134.4Hz, 从 I/O 口一位一位移出调制到 VCO。由于数字亚音信号波形的上升沿和下降沿棱角需要圆滑, 有利于控制在 300HZ 以下。本设计利用了 TM1 的 PWM 功能, 由 16 位定时器 TM2 预分频产生 8192HZ 的时钟作为数字亚音采样频率, 每 61 个周期从 I/O 口发送一位数据, 保证了数字音的 134.3HZ 的要求, 每个周期更新一次占空比, PWM 占空比按 $Asinx$ 调节, x 值利用查表

法从正弦表查得,来模拟出圆滑的上升或者下降沿,从而减少超过 300Hz 的各个谐波频率。重复产生 23 位数字亚音频率相应的信号,送到射频模块的 TXCO 的 VC 端。

使用芯片内部产生亚音模式设置 RDA1845 寄存器 30H 第 12 位 CTS_IN_EN 为 0, 采用外部输入亚音模式设置 CTS_IN_EN 为 1; 发射数字亚音使用外部产生亚音模式, 采用内部产生亚音模式或者外部输入亚音模式都必须设置对应的频率到寄存器 13H 的低 14 位 (TX_CTS_CNT)。

4.3.2 接收亚音设置

接收亚音设置, 方法 1: RDA1845 由其 CTSOUT 管脚输出整形方波, 通过程序解脉冲信号解调出数字亚音码和模拟亚音频率。方法 2: 通过 3 线读取芯片内部寄存器 1aH 的高 10 位 (RX_CTS_CNT), 利用转换公式为 $CTCSS_FREQ = 12800000 / (256 * RX_CTS_CNT)$, 计算出接收到的模拟亚音频率。

数字亚音解码: 采样 (利用定时器对数字亚音输入脚的高电平或者低电平计数, 测试其宽度来实现采样), 将定时器 TM2 的时钟设置为 230.4KHZ, 由 I/O 口 PE6 脚设置分别为上升沿和下降沿产生中断。当产生中断时, 然后记下 TM2 的计数值, 然后记下当前的数字亚音是高电平还是低电平。当接收的数字亚音码中出现连续 0 或者连续 1 时, 通过采样时钟 230.4KHZ 在上升沿中断所得到的计数值和下降沿中断所得到的计数值求出脉宽时间, 由于数字亚音发送频率规定为 134.3HZ, 因此可知每发送一位数据时间, 从而求出当前接收信号脉宽时间, 算出接收到的是连续几位高电平或低电平。数字亚音解码根据数字亚音的特点, 数字亚音是由 23 位格雷码组成, 其中 12 到 10 位为标志校验位 100, 并且能校正 3 位数字的错误, 所以可以循环 23 位采样值, 当数据的 12 位、11 位、10 位分别为 1、0、0 时候, 将其值与设定的数字亚音码比较, 当错误位少于或者等于 3 的时候, 就认为亚音匹配。

模拟亚音由 RDA1845 内部整形通过 CTSOUT 管脚输出, 设置 TM2 计数时钟频率为 230.4khz, 单片机的 PE 口作为输入采样口, 每一个上升沿到来产生一次中断, 记入当前计数器 TM2 的计数值, 然后计数器清零, 所计得一个周期内的脉冲个数, 得出模拟亚音频率, 考虑到干扰因素, 记录 8 个周期频率数, 然后求均值得出比较精确亚音频率值, 然后与所发送的亚音频率进行比较, 如果相等控制开启扬声器输出语音信号。

4.3.3 亚音收发流程

1、启动亚音 Subtone_Sta (void), 设置接收和发射的采样频率、IO 口中断等;

```
#define SAMP_FREQ      230400      //预分频 f/64 采样频率 230.4KHz
```

```
#define Subtone_Min      768      //亚音最大频率 300Hz
#define Subtone_Max      5760     //亚音最小频率 40Hz

#define Subtone_IOint_EN  PORT_E.CR2.bit.b6 = 1
                                //数字/模拟亚音解码中断使能
#define Subtone_IOint_DIS PORT_E.CR2.bit.b6 = 0
                                //数字/模拟亚音解码中断关闭

#define Subtone_Tim_EN    TIME2.CR1.bit.b0 = 1 //开启 TM2 计数器
#define Subtone_Tim_DIS  TIME2.CR1.bit.b0 = 0 //关闭 TM2 计数
#define Subtone_SMP_IOINP PORT_E.IDR.bit.b6 //数字/模拟亚音采样 I/O 口
#define Subtone_DCS_IOOUT PORT_C.ODR.bit.b3 //数字亚音输出 I/O 口
```

2、然后 Subtone_SetCode ()设置频率，RDA_CtDcSet ()设置 1845 内部寄存器是外部输入亚音方式或者内部产生亚音，设置内部模拟亚音频率产生方法。

3、亚音发送 Subtone_Tx，MCU 产生连续数字亚音，模拟亚音频率直接通过三线写入 1845。

4、采样接收 Subtone_RxSamp，利用边沿中断，定时器计数对模拟亚音采样算出亚音频率，对数字亚音采样解码。

5、亚音比较 Subtone_RxCalc，接收的亚音判断类型，根据是模拟还是数字调用

```
if (CTDC_CTCSS == CTDC.Type) //判断亚音类型
{
    RxCtcss();                //模拟亚音比较
}
else
{
    RxDcs();                  //数字亚音比较
}
```

6、亚音比较后返回一个状态值，判断是否匹配。

4.3.4 键扫描

设置定时器 TM4 产生 1ms 的基本定时单元，每 1ms 读一下键盘的端口，然后记下当前键值，当键盘有键按下，并且和上一次键值不一样的时候，为了防止误操作，设置一个防抖动延时 50ms，然后与之前保存的键值比较，如果不同就修改之前记录的

键值；并设置键盘有动作标志位为 1。

4.3.5 信号检测流程

接收检测流程图如图 4-2 所示，系统开机初始化后自动进入信号检测模式，关闭音频功放和扬声器。循环检测，如果检测更新信道数据标志位为 1，将发送预设的频点和亚音频率参数写入射频收发器 RDA1845 内，然后进行按键处理，如果有发送信号键按下，更新任务到发射模式。如果任务转换变量 taskbuf 数据发生切换，退出检测模式。否则检测是否有载波，有载波信号时，检测亚音是否匹配，如果匹配，更新任务进入信号接收模式，退出接收检测。当 200MS 内没有检查到载波信号，系统将进入省电模式。

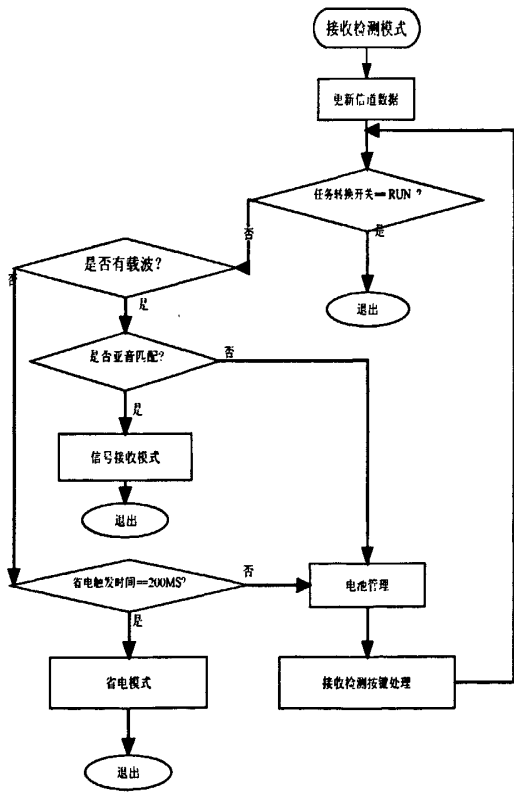


图 4-2 接收检测流程图

4.4 信号接收、发射模块

信号接收流程图 4-3 所示，设置信号接收模式，蜂鸣器关闭、设置 LED_SETUP 为绿色，关闭发射供电电源，通过三线设置 RDA1845 的寄存器 12H 中的接收声音灵敏度等级，在寄存器 0fH 中设置输出声音幅度（设置为最大 144mv），然后亚音设置、

频点写入, 设置 RDA1845 为接收状态, 打开接收供电电源。当进入信号接收后, 如果检测到有信号发送键按下更新任务到发射模式, 否则检测有无载波和分析是否有亚音匹配信号, 条件满足打开音频功放供电和扬声器。如果无载波信号更新任务进入信号检测模式, 如果当前电压低于 5.8V 退出接收, 进入低电模式。

信号发射流程图 4-4 所示, 信号发射模式, 如果检测发射键按下, 进入信号发射模式 Task_Tx(), 首先设置 Tot_Init() 发射超时初始化, 检测当前信道是否繁忙 BusyCheck(), 如果有人占用信道, Beep_open 蜂鸣报警。如果信道闲置, 切换任务为发射, 更新信道数据, 进入发射模式, 设置 LED_SETUP 为红色, 关闭接收供电电源, 关闭音频输出到音频放大之间电路, 设置为静音 (AFMute)。设置发射音频灵敏度等级、发射亚音频偏、声音频偏、设置亚音类型, 将亚音值和频点写入 RDA1845, 开启发射供电电源 TxPowOn, 亚音启动 Subtone_Sta(), 发射过程中监测电压管理模块 Powercontrol(), 如果发射电压过低进入低电压模式关闭发射, 产生报警提示。

发射超时管理功能用于限制超时间发射避免系统因长时间发射而造成损坏和长时间占用信道影响其他正常通信。发射超过设定时间将禁止发射并报警提示, 发射限时为 60 秒。

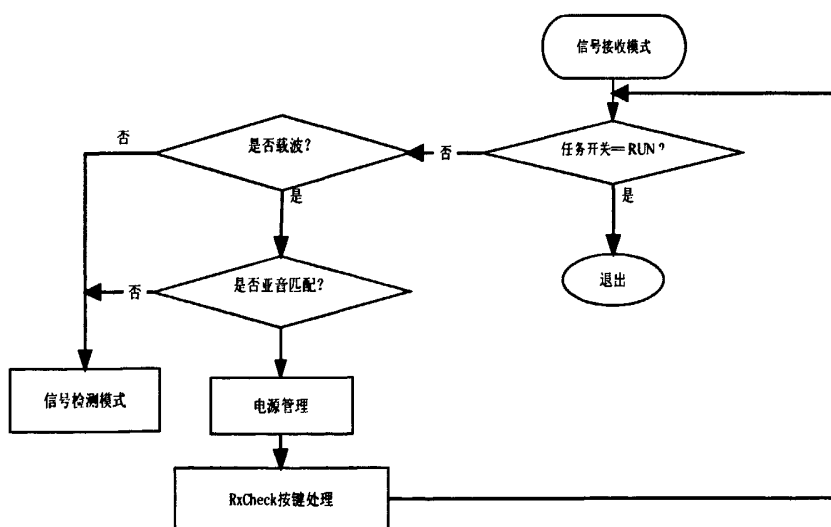


图 4-3 信号接收流程图

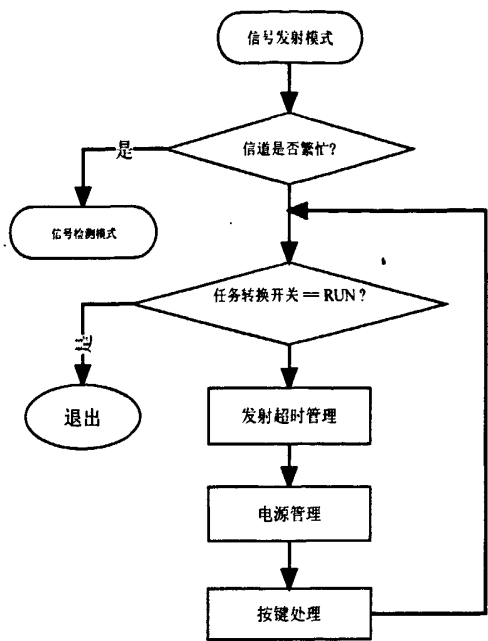


图 4-4 信号发射流程图

4.5 信道扫描模块

信道参数设置:

- 1. 接收频率，可以通过设置不同的频段来设置对应的接收频率。范围：136MHz-174MHz, 220MHz-250 MHz, 350 MHz-390 MHz, 400 MHz-470 MHz, 470 MHz-512 MHz。本系统预设值范围：400MHz-470MHz
- 2. 发射频率，可以通过设置不同的频段来设置对应的发射频率。范围：136MHz-174MHz, 220MHz-250 MHz, 350 MHz-390 MHz, 400 MHz-470 MHz, 470 MHz-512 MHz。本系统预设值范围：400MHz-470MHz

系统设置 16 个信道，1-15 为信号信道，16 信道为扫描信道。信道扫描是为了收听到 1-15 信道中是否有通话信号的一种接收方式，通过信道切换旋钮将系统切换到第 16 信道进入扫描模式，并有“嘟”的提示音。系统开始按顺序逐信道扫描接收一段时间，以收听信道中的信号。当切换到除 16 外的其他信道时，退出扫描状态，并有“嘟嘟”的提示音。

信道扫描流程图如图 4-5 所示，当信道旋钮切换到十六信道时，接收机进入扫描模式，系统初始化为第一信道的频点，将扫描任务缓冲区 SCAN_BUFF 设定为扫描模式下的子模式通用扫描 GeneralCH，然后分析当前信道频点信号能量强度，如图 4-6 所示，当信号大于设定值时，且亚音匹配时候，将扫描任务缓冲区 SCAN_BUFF 设定为扫描模式下的子模式（通用停留模式 GeneralStay），打开扬声器同时检测信号能量和亚

音的匹配，当任何一个条件不成立的时候，系统将切换到下一个信道并退出通用停留模式进入通用扫描模式。在通用扫描模式下系统从第一到第十五信道循环切换，直到信道旋钮不在十六信道时，退出扫描模式。

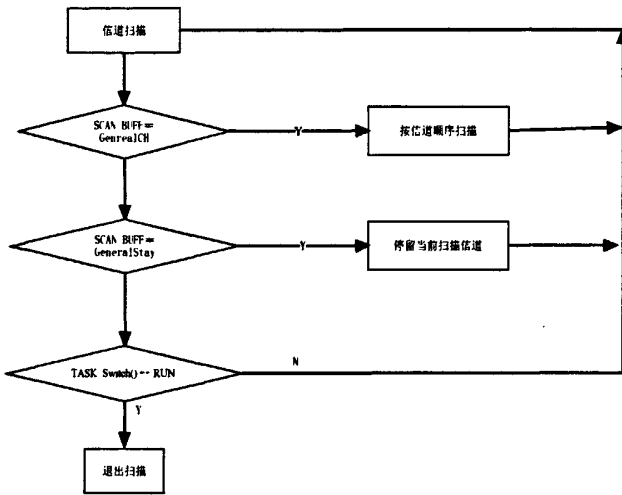


图 4-5 信道扫描流程图

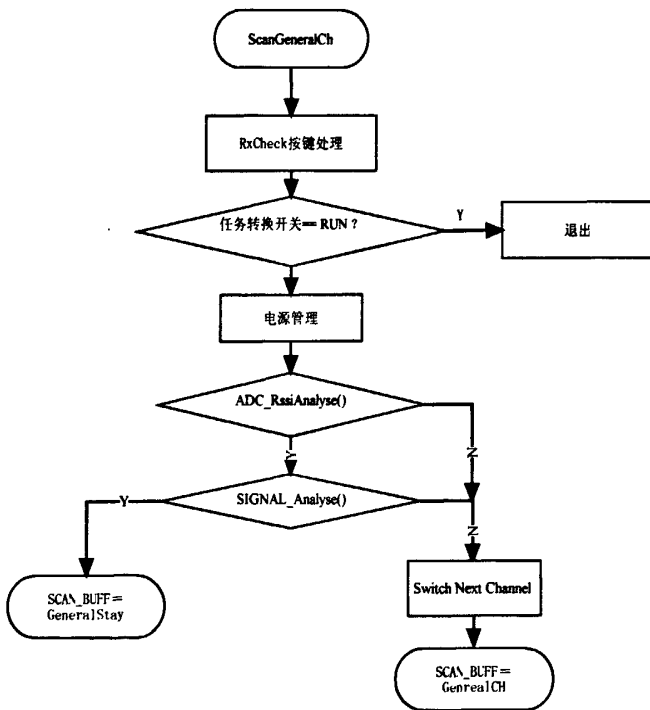


图 4-6 通用扫描流程图

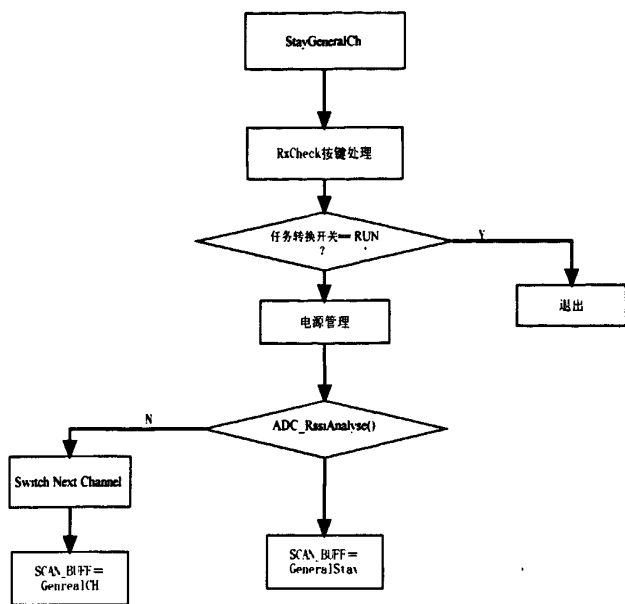


图 4-7 停留扫描

4. 6 静噪取消模块

取消静噪功能是指在信号的信噪比未达到开启水平时强行开启噪声抑制电路(静噪功能失效是指不判断静噪电平门限值)。

无线通信接收机中常会伴随有背景噪声，该噪声和信号强弱、通信距离等有关。背景噪声和接收信号成反比，信号弱，噪声大；信号强，噪声小。设计静噪功能滤除背景噪音，调节静噪电路的电平大小，信号电平达到预设静噪等级将静噪打开，低于该值静噪关闭。

静噪门限能量检测设置，根据参考手册设置 RDA1845 内部寄存器 18H[7:0]位，该寄存器低 8 位为 TH_SQ 静噪阈值，设置具体数值根据参考手册列表初步设置范围(00000011 对应-124DBm，10001000 对应-95DBm)，通过硬件 PCB 板测试定出实际的阈值^[37]。

静噪门限噪声检测，设置 RDA1845 内部寄存器 22H[17:16]=10 时，系统默认为静噪门限噪声检测，然后设置 18H[7:0]位,设置初步值范围（00110111 对应-126DBm，00001001 对应-113DBm）^[37]。

噪声检测如图 4-8 所示，（1）SQ 噪声检测模式：通过 MCU 写入 RDA1845 寄存器 22H[17:16]为 10，设置当前位噪声检测模式，延迟 30ms 后，设置 SQ 开启阈值为 -126dbm，MCU 通过 23 脚 AD 采用通道检测 SQ 状态，如 RDA1845 的 3 脚 SQ 为高电平，微处理器向 AF Power 控制连线发送一个高电平信号开启音频功放供电，打开扬声器。进入（2）SQ 能量检测模式，否则继续检测 SQ 状态。

(2) SQ 能量检测模式：通过 MCU 写入 RDA1845 寄存器 22H[17:16]为 00，设置当前位能量检测模式，延迟 30ms 后，根据参考手册推荐值设置 SQ 门限值为 -100dBm 阈值，MCU 检测 SQ 状态，如 SQ 为高电平 (=1) 保持打开扬声器状态，循环检测 SQ 状态，否则进入 (3) SQ 噪声检测模式，设置 SQ 关闭门限值，MCU 检测 SQ 状态，如 SQ 为高电平 (=1) 保持打开扬声器状态，并跳到 (2)；否则微处理器向 AF Power 控制连线发送一个低电平信号关闭音频功放供电，关闭扬声器。

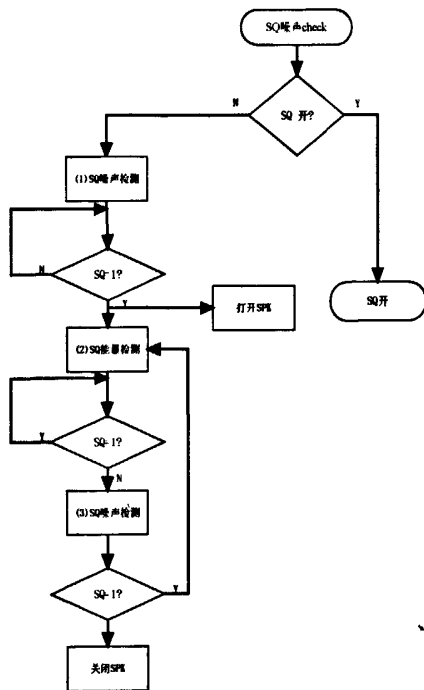


图 4-8 噪声检测

静噪信号 SQL 通过单片机的数据采样第 8 通道进行采样处理，一次 ADC 转换需要 14 个时钟周期，转换完成后 EOC 标志位置位，转换结果保存在 10 位 ADC 数据寄存器中，因为转换时间短，所采集到的数据容易受到干扰导致采样错误引起误操作，因此设置为连续多次进行采样，然后对采样信号滤波，从而得到精确的状态值。有很多滤波方法如：中位值滤波法、限幅滤波法、递推平均滤波法、限幅平均滤波法、中位值平均滤波法、算术平均滤波法等^[28]。本设计应用中考虑其简化程序，采用算术平均滤波法，在低电压检查中使用这种求均值方法，另外在信号接收检测中也采用这种方法进行采样。采样方法大致相同，采用数据采样八次求平均值的方法滤除干扰，得到精确的 RDA1845 的 SQ 管脚状态^[28]，如图 4-9 所示。

稳态取消静噪：按下功能键喇叭强制打开监听当前信道，再按一下关闭喇叭退出取消静噪。暂态取消静噪：按下功能键，喇叭强制打开监听当前信道，松开功能键退出取消静噪喇叭关闭。

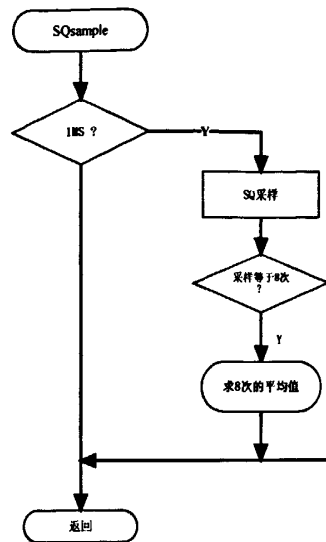


图 4-9 静噪采样流程图

4.7 电池管理与错误处理模块

作为便携式设备，通话质量直接决定了其性能。如果系统工作电压过低，将会造成发射功率变低，接收能力变差。通话质量失真，严重时将造成 MCU 复位，电路不能正常工作。为了保证电路正常工作采用了如图 4-10 所示的低压检测模式，通过 MCU 采样获取当前电压值。

发射报警：在发射状态下采样电池电压若果低于 5.8V 时，红色 LED 闪烁提示，发出 beep 提示音提示电池电量低，关闭发射。

接收报警：在接收状态下采样电池电压若果低于 5.5V 时红色 LED 闪烁提示停止接收并产生报警。

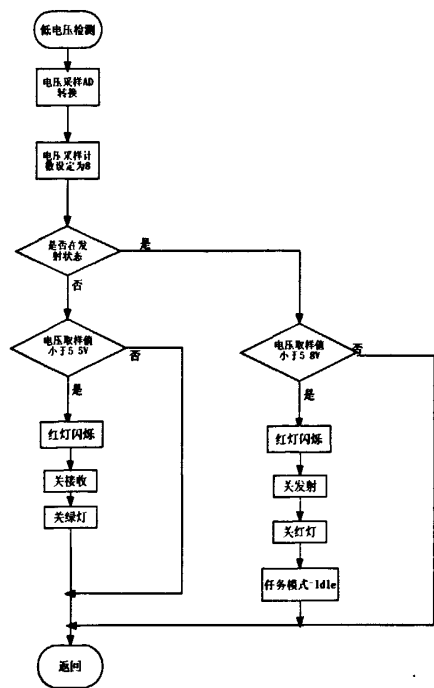


图 4-10 低压检测模式

Error_check ()检测当前 EEprom 是否正常读写以及外围设备是否有错误。

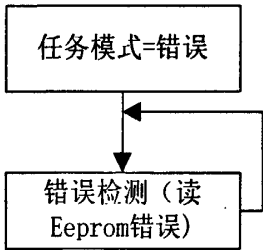


图 4-11 错误模式

低功耗设计在便携式电子产品显得十分重要。本系统为电池供电，考虑电池的容量，为了节约电池用电，尽可能使得产品延长工作时间和待机时间。设置智能省电模式，间歇式开关机。利用程序使得 MCU 控制系统基于省电模式下工作。如图 4-12 所示省电模式流程图，开机后 8 秒钟或无任何操作且无呼叫后 8 秒钟进入省电模式。在省电模式中上电工作 200ms，然后停止工作 600ms，持续循环。省电中关闭发射供电和接收供电，关闭音频功放 TDA2822 芯片 2 脚的 VCC 供电，关闭接收发射供电电源，微控制器 STM8 的 I/O 口 PC5 输出一个低电平到射频收发芯片的使能端 PDN 脚使芯片停止工作。当检测到有载波或者有按键操作，则退出省电状态。

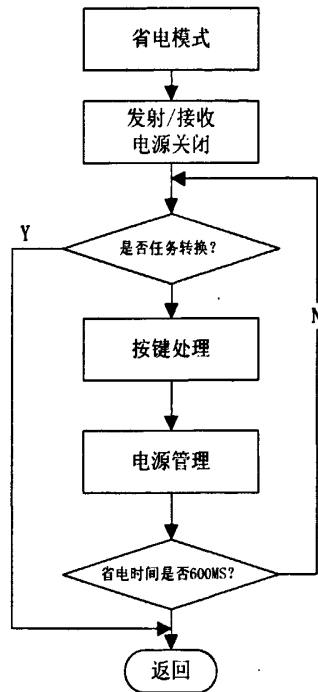


图 4-12 省电模式

省电模式部分代码如下：

```
void Task_Save(void)
{
    Save_OffTm();
    RxTxVariInit();
    Tx_Off; //关闭发射供电
    Rx_Off; //关闭接收供电
    AFPowerOFF; //关闭音频功放供电
    write_RDA1845(0x02005, 0x30); // close RX,TX
    PDN_OFF();
    while(1)
    {
        KeyRxProc();
        if(Task_Switch()== RUN)
        {
            Save_Start = ON;
            PDN_ON();
            return;
        }
    }
}
```

```
if(Save_Tm == RUN)
{
    Save_Tm = IDLE;
    TASK_Set();
    PDN_ON();
    return;
}
}
```

第5章 系统软硬件调试

5.1 ST 软件调试

对于本设计的功能要求以及电路工作流程，软件设计采用任务模块化编程，各部分模块采用任务切换方式工作。软件调试首先设置初始化模块、收发模块等，然后在开发环境中进行模块划分调试。

5.1.1 STM8S 系列 MCU 仿真方式与代码固化

1. 仿真方式

STM8S 芯片内部嵌入调试模块（DM）和单线接口模块（SWIM），在线调试模式或在线应用编程模式由一个单线硬件接口来管理，该接口可以对芯片存储器超高速编程，SWIM 接口与在线调试模块配合提供一种非侵入（non-intrusive）的仿真模式，这种仿真模式下，在线调制器的调试仿真功能强大，性能已经接近全功能仿真器。

意法半导体公司给 STM8S 系列单片机提供了多种仿真套件,其中性价比最高的是swim ST-Link 仿真板,仅占用了 一个 SWIM 口,且传输速度快,可以准备体现软件和硬件的情况很好的连接，缩短开发时间完成调试目的，是一个比较理想的调试工具。本系统采用该工具开发调试。

2. 程序代码固化及仿真

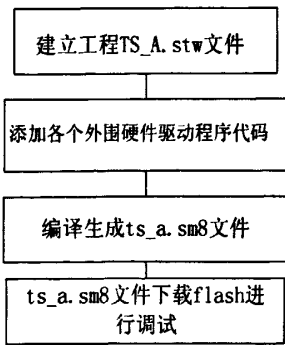


图 5-1 项目软件流程

STM8 系列 FLASH 程序存储区用于存储程序代码，本设计采用的 STM8s 的 flash 容量为 32k，图 5-1 给出项目软件流程。在 windows XP 操作平台，使用意法半导体公司给 STM8S 系列提供的 ST Visual Develop(STVD)开发工具采用 Workspace-project 的结

构来进行管理及项目开发，首先在 Workspace 中建立工程 TS_A.stw 文件，然后编辑各程序模块，最后编译生成 ts_a.sm8 文件；程序编译通过后进行在线调试，将仿真器 swim ST-Link 的 USB 接口和主机相连，另一端连接接到 PCB 板上的 swim 接口，在 STVD 软件中选择 swim ST-Link 调试工具，烧写到 STM8 的 Flash 中指定的地址 0x008000-0x00FFFF,完成了代码的固化。最后进入程序仿真调试界面，通过单步调试和断点调试查看寄存器、存储器、变量等值观察程序运行结果。如下图 5-2，图 5-3，图 5-4，图 5-5。

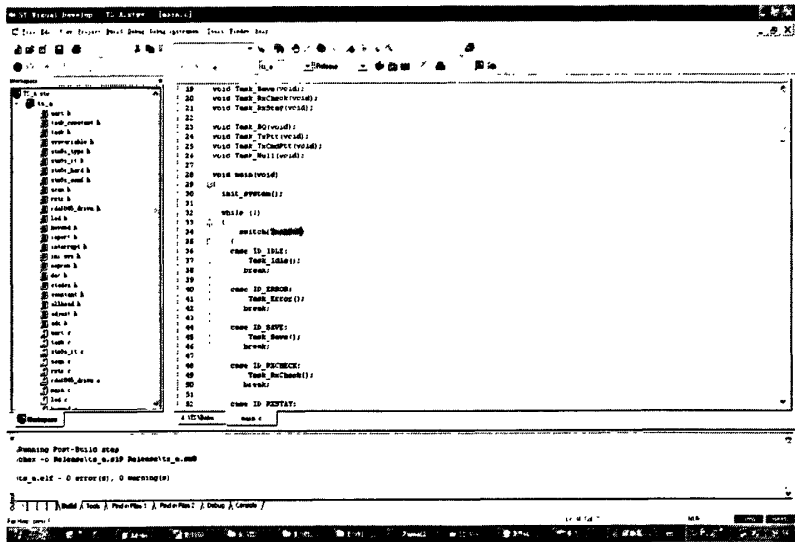


图 5-2 程序编译完成

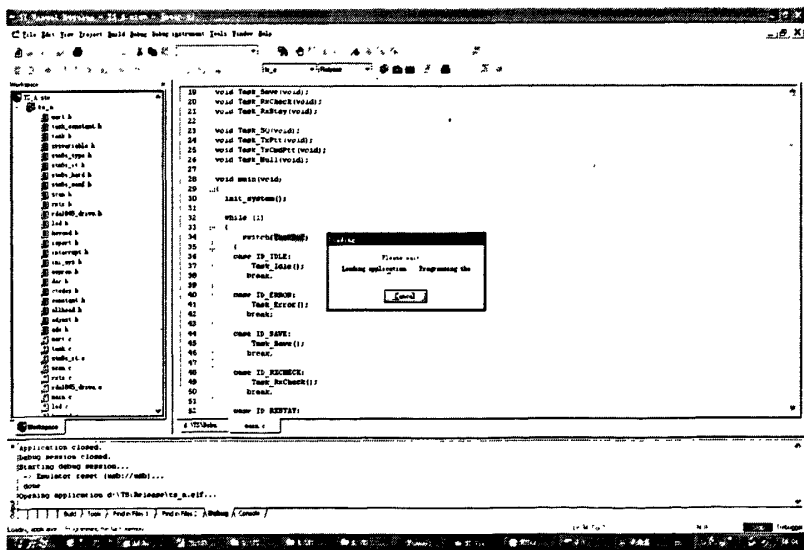


图 5-3 程序下载到 flash

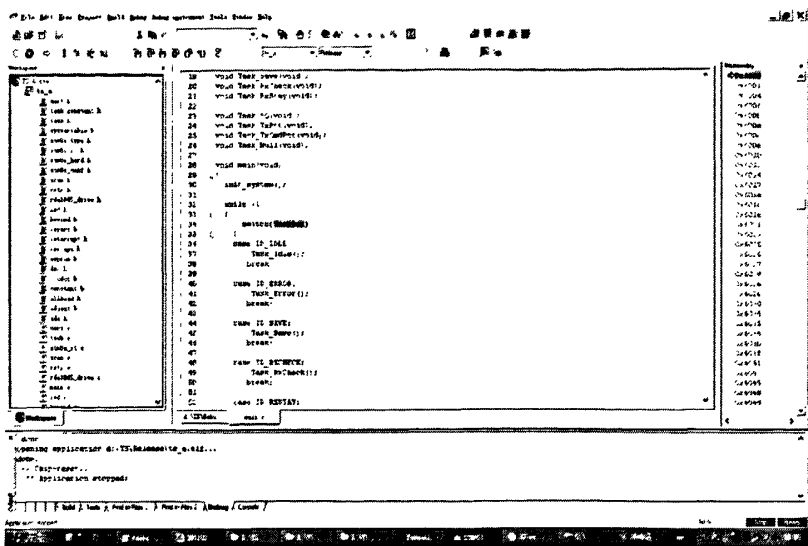


图 5-4 程序仿真运行

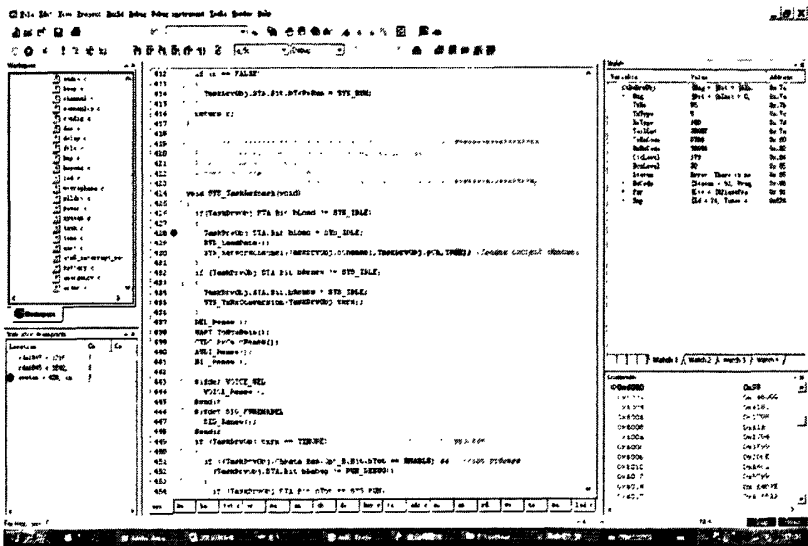


图 5-5 程序断点调试

5.1.2 收发模块（RDA1845）设置

在对系统硬件调试之前，需要设置不同的频率、初始化 RDA1845。设置收发模式、设置发射频率、设置亚音频率等，通过 SPI 接口按照寄存器列表值和顺序通过三线写入芯片。设置对应的寄存器完成（如表 1 RDA1845 初始化寄存器配置列表），最后设置寄存器 30H，RDA1845 进入接收模式（如表 2 RDA1845 进入接收模式初始化列表）。

RDA1845 的三线接口分别是 SDIO(SDI、SDO)、SCLK、SEN，RDA1845 的读写

寄存器为 24 位，写寄存器低 6 位为地址位，高 18 位为数据位。读寄存器的高 12 位默认为 0,6-10 位为地址位，低 6 位为校验位（这里默认校验位为全 0）。

图 5-6 所示为三线接口写时序，CPU 向 RDA1845 写数据时，首先将需要写入的数据和地址变量中 6 位地址数据组合成 24 位写数据，然后设置 CPU 的 I/O 口 PC_ODR.bit.b7 输出低电平，使得三线接口使能端 SEN 有效，设置 PG 口（SDIO）为数据输出模式。由于 CPU 内部 SPI 是由移位寄存器组成，通过将数据左移方法，按位传输，高位在前，所以判断写数据的最高位为 1 或者为 0，在时钟上升沿到来时将数据写入 RDA1845。

读 RDA1845 内部数据，首先向 1845 发送所需要读的该芯片内部寄存器地址，然后设置 PC_ODR.bit.b7 输出低电平，即 SEN=1 有效，设置 PG 口（SDIO）为数据输入模式，根据读时序图设置 SCLK 的时钟沿，通过时钟上升沿到来时查看由 1845 传输到 PG_IDR（I/O 端口输入寄存器）的值，相应读出 RDA1845 的数据。

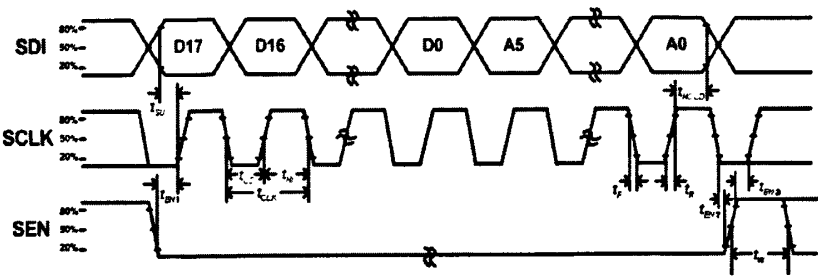


图 5-6 三线接口写时序

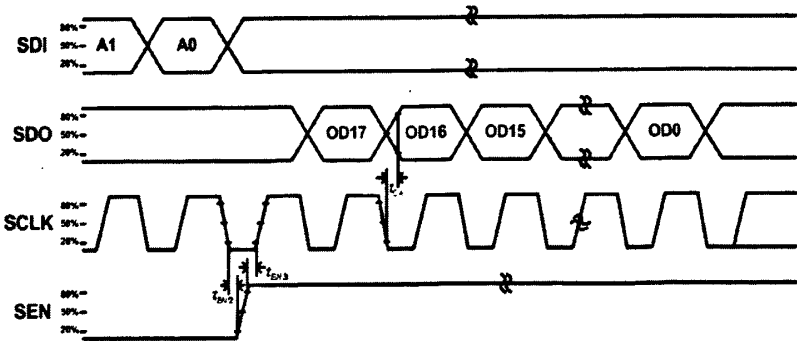


图 5-7 三线接口读时序

表 1 RDA1845 初始化寄存器配置列表

Register			Register		Register
No.	Address	Register Value	No.	Address	Value
1	0x30	0x0D004	19	0x17	0x3E030
2	0x30	0x05005	20	0x18	0x10804
3	0x01	0x0FF73	21	0x19	0x2B3C1
4	0x02	0x00ECF	22	0x1A	0x04444
5	0x03	0x1E27C	23	0x1C	0x18000
6	0x09	0x0050C	24	0x1D	0x3091F
7	0x0A	0x3950D/0x3951A	25	0x1E	0x22BC0
8	0x0B	0x25E03/0x25E00	26	0x1F	0x16427
9	0x0C	0x383E0	27	0x21	0x2C68B
10	0x0D	0x3F3E0	28	0x22	0x07FFE
11	0x0F	0x220BE	29	0x23	0x38100
12	0x10	0x2BB00 /晶振	30	0x24	0x1408C
13	0x11	0x00704	31	0x2E	0x299F8
14	0x12	0x00010	32	0x2F	0x0B9AB
15	0x13	0x23C01	33	0x39	0x1B5F9
16	0x14	0x3224B/12.5kHz	34	0x30	0x0A007
17	0x15	0x1C920	35	0x09	0x00F0C
18	0x16	0x0A010	36	0x30	0x07005

表 2 RDA1845 进入接收模式初始化列表

No.	Register Address	Register Value	Time Sequence
1	0x30	0x02405	without Vox
2	0x30	0x02425	without Vox
1	0x30	0x02415	Vox
2	0x30	0x02435	Vox

5.2 硬件测试

5.2.1 硬件静态测试

在实验板通电之前需要进行硬件静态测试, 尽可能排除电路板的人为故障, 通常在电路板焊接时容易出现虚焊、短路等现象, 特别是电源的短路。

利用万用表测试电路板各部分电源供电模块, 各个端电压之间或者 VCC 和 GND 之间有无导通, 如果电阻为 0 表明有短路现象。判断供电电路中如果电阻无穷大说明有断路, 电阻不稳定可能有虚焊情况, 需要仔细排查找出具体原因之后, 才能进入上电调试工作。

5.2.2 上电测试

排除短路、断路问题之后, 可以对实验板进行通电测试, 由于电路有独立电源和受控电源, 所以进行分开测试, 先给板子供电电压 7.5V, 万用表首先测量电源模块是否输出 3.3V、CPU3V3 和 5V 的电压。如果测试有异常情况, 检查电路元件管脚是否有虚焊或者焊接短路, 并用万用表测试相关电源稳压芯片是否正常工作等, 同时查看电路中是否有过热元器件, 如果有, 元器件可能出现损坏或电路中有异常情况, 需要排除故障后再加电测试。

5.2.3 硬件调试

1. 低电调整

电压检测采用 AD 查询方式: MCU 通过访问 ADC_CSR(AD 状态寄存器)的 EOC 转换结束位, 当 ADC_CSR=1 时, 读取 AD 数据寄存器中的数据, 然后取 8 次的算术平均, 作为本次采样值。操作流程如图 5-8 所示。

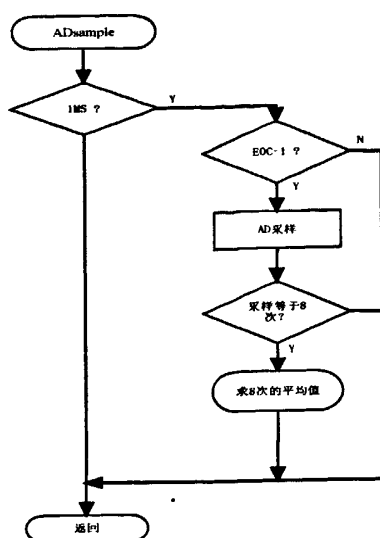


图 5-8 AD 采样流程图（查询方式）

STM8 的 AD 参考电压为 3.3V，AD 取电源电压的三分之一作为采样值，AD 为 10 位采样。5.8V 对应的 AD 采样值为： $(5.8V/3) \times (1024/3.3) = 599.919$ ，低电检测中当 AD 采样值小于 600 时候，低电压报警。5.5V 对应的 AD 采样值为： $(5.5V/3) \times (1024/3.3) = 568.889$ ，低电检测中当 AD 采样值小于 570 时候，低电压报警。发射报警调试：在发射状态，将电源电压调到 5.8V 后，红色 LED 闪烁提示，发出 beep 提示音提示电池电量低，关闭发射。接收报警调试：在接收状态，将电源电压调到 5.5V 时红色 LED 闪烁提示停止接收并产生报警。

2. 接收/发射测试平台

测试平台如图 5-9 所示，测试设备采用无线电综合测试仪，综合测试仪是一种多功能测试设备，包括频率计、射频信号发生器、信纳比仪、示波器、接收机、音频信号发生器等。利用一台测试仪可以完成信号的发射和接收测试和校正，测试频率范围 1-1000MHZ，通过测试仪可以测试发射频率、测试亚音频率、发射频率频谱、亚音波形、接收频率测试、信纳值等。

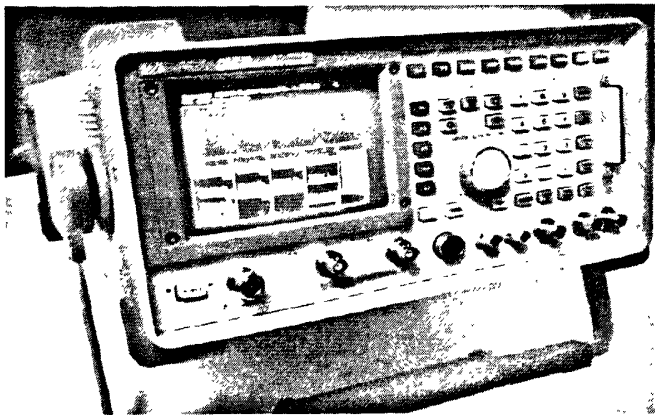


图 5-9 测试平台

3、发射测试

如下表 3 测试数据表所示，设置不同的信道时候，系统将对应的频率参数写入到 RDA1845，按下发射键时候 MIC 打开，并将采集到的语音信号和亚音调制到对应的载波上发射出去，在综合测试仪“TX TEST”界面显示所发射的载波和亚音频率，并开启测试仪内部扬声器发出所接收到的语音。图 5-10、5-11、5-12、5-13、5-14、5-15 所示为信道 1 和信道 2 所测试的发射频率和亚音波形。

表 3 测试数据表

	发射载波	发射亚音	接收载波	接收亚音
信道 1	410MHZ	67	410MHZ	67
信道 2	420 MHZ	171.3	420 MHZ	171.3
信道 3	450 MHZ	85.4	450 MHZ	85.4
信道 4	470 MHZ	250.3	470 MHZ	250.3
信道 5	440 MHZ	88.5	440 MHZ	88.5

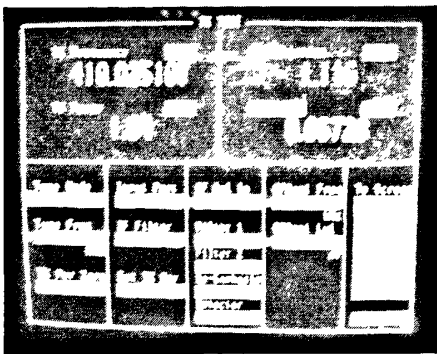


图 5-10 发射频率 410MHZ

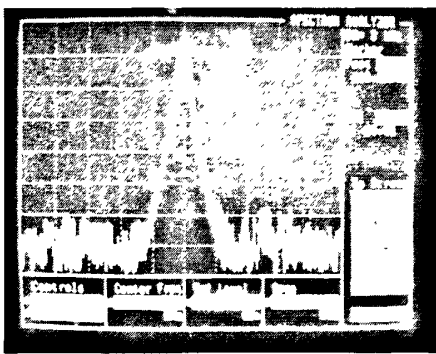


图 5-11 载波频谱（410MHZ）

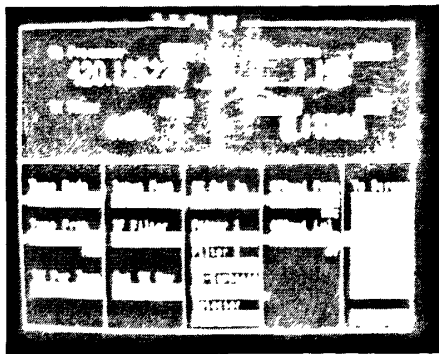


图 5-12 发射频率 420MHZ

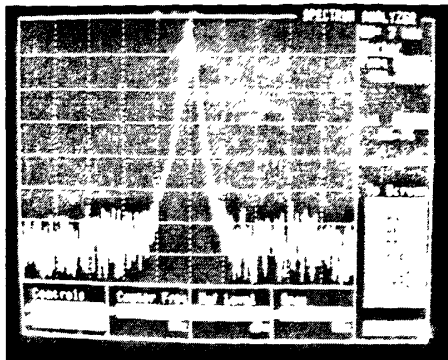


图 5-13 载波频谱 (420MHZ)

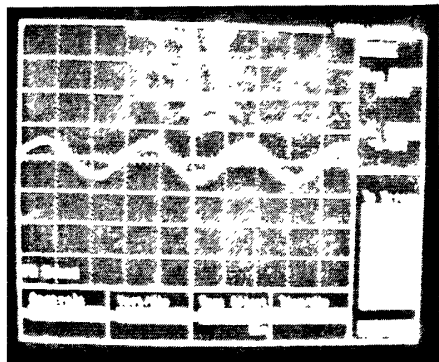


图 5-14 亚音频率波形 67HZ

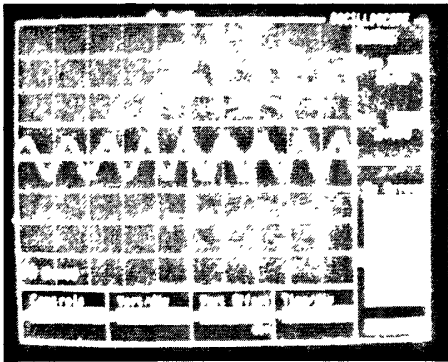


图 5-15 亚音频率波形 171.3HZ

4. 接收测试:

根据 RDA1845 参考手册所提供的 SQ 检测方法,程序中设置关闭门限值和能量检测门限的功率值,使用示波器测试 MCU 第 8 采样通道管脚,查看 SQ 电平变化规律,判断静噪功能是否正常。

SQ 信号有能量检测和噪声检测方法,大于-100DBm 的信号定义为强信号用能量检测方法,小于-100DBm 的信号定义为弱信号用噪声检测方法。

也可以利用综合测试仪直接测试,表三测试数据表所示的,信道 1 到信道 5 都设置了对应的接收频率和亚音频率。连接好综合测试仪进入“RX TEST”接收测试界面, RDA1845 中设置载波频率和亚音频率为对应的接收值。然后通过设置从最小 SQ 的灵敏度,进入 SQ 调试后,调整综合测试仪信号强度(-110DBM 左右),通过修改 RDA1845 对应的 SQ 门限值,直到 SQ 打开(扬声器发声),从最小门限值为参考对应每级增加或减少 3DBM,作为 SQ 调试等级的灵敏度。图 5-16 为 410MHZ 接收测试

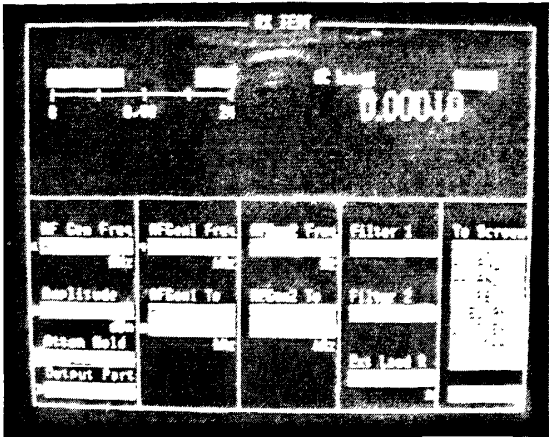


图 5-16 接收测试 410MHZ

结束语

本论文的工作主要围绕以下几点展开：

- 1) 阐述了本系统的关键技术，包括信号的发射、接收、加密处理，并介绍了无线通信收发机制，常用的几种接收方案和发射方案
- 2) 硬件设计部分，对电路芯片的选择，方案的制定，同时设计各个供电电源及控制电路、时钟复位电路、音频处理电路。
- 3) 在所设计的硬件平台基础上，论文采用 c 语言对信号发射、接收，信道扫描、静噪处理、电源管理等进行了描述。并在 STM8 系列芯片提供的开发环境 ST Visual Develop (STVD) 下编写代码，实现各个部分的功能，然后通过 STM8S 系列单片机提供的 swim ST-Link 仿真板进行软件仿真调试。最后通过综合测试仪测试，电路实现信号的发射和接收功能。
- 4) 希望能在今后的工作和学习中进一步加强有关射频方面的设计以及信号完整性分析和电磁兼容方面的设计。

展望：

1. 本系统所使用的参数全部为常量值，不能在线对参数修改，增加了调试难度。由于 STM8S 系列内嵌了一个 1KB 的 EEPROM，所以可通过串口，由 PC 上位机软件配合，可实现整机的动态参数调试。
2. 本系统设计单一的一对一语音信号发射和接收系统，可以在这基础上做一对多系统设计，对讲系统软硬件做适当的修改，可以利用 S0PC 实现如人脸识别、指纹识别可视对讲系统、病房呼叫系统、餐厅餐饮无线呼叫系统、无线楼宇对讲系统、无线可视对讲系统、多媒体无线语音对讲教学系统。

致谢

课题的完成和论文的撰写过程中，一直得到我的导师王丹副教授的指导和帮助。在此，我向在这三年中给我莫大帮助的导师致以衷心的感谢和良好的祝愿。王老师严谨的治学态度、平易近人的作风和乐观向上的生活态度，都将对我以后的工作、生活有很大的影响。

同时，感谢冯全源老师，陈向东老师，白天蕊老师和杨小雪老师这几年对我的循循教导和鼓励支持，他们几位是我研究生期间专业课的主要老师，也是我知识的主要来源，再次对他们给我的帮助表示感谢。

其次，感谢答辩委员会的各位老师，不辞辛劳抽出时间，认真负责的对我论文进行审阅，谢谢你们！

最后，感谢我的家人和我的朋友，因为无论什么时候，他们都坚定的帮助我，毫无怨言，让我体会到家的温暖和朋友的真情，谢谢他们！

三年的求学生活很快将结束，从这里的每个人身上，我都学到了很多。我深深地体会到知识是永远学不完的，一个很小的领域中，也有无尽的知识，值得去学习，去研究。

参考文献

- [1]陈邦媛.射频通信电路.北京:科学出版社,2002. P139-154
- [2] 赵春轅.小型无线收发信机的设计:[D]电子科技大学硕士学位论文,2007 p3-12
- [3]D.K.Weaver,"A Third Method of Generation and Detection of Single-Sideband Signals,"Proc.IRE,Vol.,44,pp.1703-1705,December 1956
- [4]Reinhold Ludwig,Pavel Bretchko.RF Circuit Design:Theory and Applications.北京:电子工业出版社,2002
- [5]Theodore S. Rappaport. Wireless Commucations Principles and Practice.北京:电子工业出版社,1999
- [6]Ulrich L.Rohde,David P.NewKirk.RF Microwave Circuit Design For Wireless Applications,Artech House.2000
- [7]Cornell Drentea.Radio Communications Receivers.TAB Books 1982
- [8]Mitola J.The software radio architechure.IEEE Communications Magazine.May 1995.Vol 33,No5.26-38
- [9] 曹学军主编.无线电通信设备原理与系统应用.北京:机械工业出版社,2006.12297-305
- [10] (美)赛尔著;郭洁等译.无线通信电路设计分析与仿真(第二版)北京:电子工业出版社,2010.1 346-367
- [11] 射频微电子 (美)拉扎维著,余志平等译.北京:清华大学出版社,2006.4 94-122
- [12]徐建,孙大有.一种新的零中频接收机拓扑结构.应用科学学报,2000.18(4):309-312
- [13]徐建,吴建辉,时龙兴.双正交零中频接收机拓扑结构设计.电路与系统学报,2000,5(2):78-8
- [14] 威廉斯(Williams T.)著,周玉坤等译.电路设计技术与技巧:第二版/(英).北京:电子工业出版社,2006.5 260-287
- [15]PROTEL 99SE 原理图与印刷电路板电磁兼容设计.中南大学出版社,2007.8.1 180-240
- [16] 姜宇柏著.硬件开发类职位应聘指南:知识精要与试题解析.北京机械工业出版社,2006.8 130-136
- [17]张肃文.高频电子线路.第二版.北京:高等教育出版社,1984
- [18]樊昌信等.通信原理.第四版.北京:国防工业出版社,1995
- [19]Joseph j.Carr.射频电路设计(RF CIRCUIT DESIGN).Third Edition.北京:电子工业出版社,2001
- [20] 周航慈.单片机与嵌入式系统程序设计技术.北京航空航天大学出版社,2001

-
- [21] 何立民.8 位 MCU 的技术现状与发展空间.电子世界,2002 年第 8 期
- [22] 刘书刚.微控制器硬件抗干扰技术.单片机与嵌入式系统应用,2002 年 9 月期
- [23] 张玉兴.射频模拟电路.北京: 电子工业出版社, 2002
- [24] JOSEPH J.CARR Secrets of RF Circuit Design McGraw Hill Companies,Inc.,2001
- [25] C Language manual Rev.1.4 COSMIC Software 1999,2008
- [26] 湛伟.射频接收芯片结构选择的几个要点.电子质量,2007 第 06 期
- [27] 吴地金.无线通信中数字中频接收系统研究:[D].浙江大学硕士学位论文, 2004
- [28] 陈我友.低功耗高可靠性对讲机的软硬件设计:[D].电子科技大学硕士学位论文,2004
- [29] STMicroelectronics group of companies: RM0016 Reference Manual STM8S microcontroller family,2009 年 1 月
- [30] STMicroelectronics group of companies: UM0036 User Manual ST Visual Develop, August 2009
- [31] STMicroelectronics group of companies: 8,16 and 32-bit microcontrollers product and tool selection guide, March 2006
- [32] CML Semiconductor Products, FX465 Extended Code CTCSS Encoder/Decoder, 1996
- [33] MPT1306 CODE OF PRACTICE, Continuous tone controlled signaling system (CTCSS) for use in the Land Mobile Services, Revised and reprint- ed October 1996
- [34] STMicroelectronics group of companies: PM0051 Programming manual How to program STM8S Flash program memory and data EEPROM, June 2009
- [35] RDA Microelectronics inc: RDA1845_datasheet_rev.1.4, Feb.2008
- [36] Seiko instruments inc: S-801 Series datasheet Rev.3.3
- [37] RDA Microelectronics inc: RDA1845 编程指南 V2.3
- [38] Behzad Razavi. RF MICROELECTRONICS. PRENTICE HALL PTR, 1988
- [39] 程路 向先波. Protel99se 多层电路板设计与制作.北京: 人民邮电出版社.2007
- [40] 何宗彬.8 位单片机开发: 技术、技巧与规范.北京: 机械工业出版社, 2008
- [41] 何立民.8 位 MCU 的技术现状与发展空间.电子世界,2002 年第 8 期
- [42] 李月香等.单片机低功耗技术及应用.电子技术应用,2001 年第 12 期
- [43] 孟惠娟.微处理机系统的低功耗设计.潮州师范学院学报,2000 年第 6 期
- [44] 刘书刚.微控制器硬件抗干扰技术.单片机与嵌入式系统应用,2002 年 9 月期
- [45] 李艳冰.铁路机车车台中基带信号处理模块的研究与实现:[D] 天津大学硕士学位论文.2007
- [46] 张政.基于单片机的亚音频信号发生器设计.民营科技, 2008 年第 11 期
- [47] 田智生. CTSS 调制机理的分析[J].电子技术应用, 2006, 30 (18): 8-10
-

[48]Dorota Rabczuk.The Micro-Coontroller System for Remote Control of the Functions of Radio-Communication System with CTCSS and Sell-Call Signaling.Lviv:Proc of IEEE TCSET,2004:505-506.

[49]朱兵 彭宣戈 周旭艳.基于 DDS 算法的亚音频输出系统.微计算机信息, 2006,22 (4-2)

[50]Lin Jinsong.Spectrum and RF power efficient wireless communication sysystems.LosAngeles:Univ.of California,2003

攻读硕士期间发表的论文

- 1、姜国朋，刘胜. 无线语音收发系统的软硬件设计. 四川师范大学学报（自然科学版）计算机与信息技术专辑. （已录用，2011，3）

作者：[姜国朋](#)
学位授予单位：[西南交通大学](#)

本文读者也读过(10条)

1. [王含光](#) [郑州市业余钢琴教育的现状与展望](#)[学位论文]2011
2. [张文丽](#) [从《悲悼》看奥尼尔对古希腊命运悲剧的传承与超越](#)[学位论文]2011
3. [谭树人](#), [徐伟](#), [陶钧](#), [TAN Shu-ren](#), [XU Wei](#), [TAO Jun](#) [有线无线组合通信的便携式哨兵报警对讲系统](#)[期刊论文]-[电声技术](#)2006(11)
4. [吕立宁](#) [地铁地下结构地震响应数值计算研究](#)[学位论文]2011
5. [刘锋瑞](#) [大鼠再生肝脏细胞周期的研究](#)[学位论文]2011
6. [李翔](#) [新课改理念下郑州市区初中音乐教材的调查研究](#)[学位论文]2011
7. [李芬](#) [非物质文化遗产视域下传统武术的现代化发展](#)[学位论文]2011
8. [朱军](#) [象似性理论与英语新闻语篇连贯](#)[学位论文]2011
9. [罗来](#) [中国早白垩世陆相特殊沉积及古气候研究](#)[学位论文]2011
10. [张翀](#) [钢管混凝土桁架梁桥地震反应分析](#)[学位论文]2011

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Thesis_Y1955595.aspx