

# 电离层垂测仪系统信号源设计与实现

廖丽敏<sup>1</sup>, 万 频<sup>1</sup>, 朱正平<sup>2</sup>, 张伯威<sup>1</sup>, 杨东明<sup>1</sup>

(1 广东工业大学 自动化学院, 广东 广州 510006;

2 中南民族大学 电子信息与工程学院, 湖北 武汉 430074)

**摘要:** 为了克服传统电离层垂测仪射频信号软件延时的缺点, 提高大气电离层垂测仪系统信号源产生信号的精度, 更充分地研究电离层物理特性, 利用 DDS 技术和嵌入  $\mu\text{C}/\text{OS-II}$  操作系统的 miniARM 微处理器, 给出了一个新型的电离层垂测仪系统信号源的架构方案; 该系统利用了 32 位 ARM 嵌入式微处理器 LPC2220 的定时器匹配硬件功能, 控制 DDS 芯片 Q2368 完成无延时的相位调制; 实验结果表明, 该信号源所产生的高频信号具有精度高, 频率转换时间短等特点, 其他信号也完全满足电离层垂测仪对信号源的技术要求。

**关键词:** 电离层垂测仪; 高频信号源; miniARM; DDS

## Design and Implementation of HF Signal Sources for Ionospheric Vertical Sounding Instrument

Liao Limin<sup>1</sup>, Wan Pin<sup>1</sup>, Zhu Zhengping<sup>2</sup>, Zhang Bowei<sup>1</sup>, Yang Dongming<sup>1</sup>

(1 Automation College, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China;

2 College of Electronics and Information, South-Central University for Nationalities, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** In order to overcome the disadvantage of software delay in traditional HF signal sources and improve the accuracy of HF signal and research the physical properties of ionosphere, this paper develops a scheme for constructing HF signal sources for ionospheric vertical sounding instrument by using DDS technology and miniARM with embedded system  $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ . The design takes advantage of the hardware features of the timer matching of the 32 ARM to accomplish the control of the phase modulation without time-lapse. The experimental results reveal that the realized signal sources have the merits such as high signal precision and short frequency transition time and the other signals can also absolutely meet the technical demands for ionospheric vertical sounding instrument.

**Key words:** ionospheric vertical sounding instrument; HF signal sources; miniARM; DDS

## 0 前言

电离层是地球周围外层大气的一部分, 对高频电磁波 (1~30 MHz) 产生很强的折射、反射和散射效应。研究电离层与电磁波的相互作用是研究无线电波的传播过程、电离层特性及其状态的重要手段, 同时也为空间物理、航空航天、国防军工等现代科技领域的发展提供理论基础。现有的电离层无线电探测方法与技术可分为地面探测和卫星探测, 其中地面探测中的数字垂直探测方法是历史最悠久, 系统价格最经济, 至今仍在使用的探测方法<sup>[1]</sup>。

地面探测方法通过垂直向上发射频率在 1~30 MHz 范围内变化无线电脉冲, 同时接收在不同频率上由电离层反射回来的回波, 从而测量回波的传播时间  $\tau$  或虚高随频率变化的频高图。所发射的无线电脉冲频率转换越快, 精度越高, 所得到的回波越有研究价值。传统电离层垂测仪是用单片机进入中断对

射频信号的相位发生改变, 有一定的软件延时, 为了克服这种传统电离层垂测仪射频信号软件延时的缺点, 使垂测仪的发射和接收过程一体化, 利用 DDS 技术及高速嵌入式系统技术, 设计了一套用于电离层垂测仪的新型扫频信号源。

## 1 电离层垂测仪信号源系统

电离层垂测仪信号源系统在整个电离层垂测仪系统中起到至关重要的作用, 将电离层垂测仪接收模块和发送模块都需要的信号集成在一个信号源系统中, 提高了系统的集成度, 主要包括高频信号发生模块和中频信号发生模块。根据垂测仪的要求<sup>[2]</sup>, 共需要产生四路信号, 其中有两路同源的高频信号: 一路为频率可调、相位可调的雷达射频信号, 通过 600 W 的功率放大器放大后用于发射, 其信号频率为 1~30 MHz, 另一路为频率可调的本振信号, 用于与接收到的回波信号实现下变频功能, 其信号频率也为 1~30 MHz。另外, 还要产生两路正交的中频信号, 分别用于与本振信号和射频信号下变频后的中频信号实现 I/Q 解调, 两路中频信号的信号频率都为 507.8125 kHz。根据垂测仪的实际需要, 信号源的雷达射频信号参数设置如表 1 所示。

表 1 信号源射频信号参数列表

工作频率范围	1~30 MHz	脉冲编码方式	B7, B13
脉冲峰值功率	600 W	高度范围	90~510, 90~1020(km)
高度分辨率	6 km	步进频率间隔	400 步线性或对数步进
脉冲重复频率	40 Hz	脉冲持续宽度	40 $\mu\text{s}$

收稿日期: 2009-10-15; 修回日期: 2009-11-20。

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40774089); 湖北省自然科学基金项目 (2008CDB045)。

作者简介: 廖丽敏 (1984-), 女, 湖北荆州人, 工学硕士, 主要从事计算机测控与网络技术方向的研究。

万 频 (1963-), 男, 江西南昌人, 副教授, 主要从事计算机测控与网络技术、楼宇智能化技术方向的研究。

朱正平 (1968-), 男, 湖北谷城人, 副教授, 主要从事电离层无线电探测与诊断、信号实时检测与信息处理方向的研究。

## 2 系统硬件构架

系统硬件构架由高频信号发生模块和中频信号发生模块两部分组成。高频信号发生模块主要包括射频信号发生模块及本振信号发生模块; 中频信号发生模块产生两路正交的中频信号。信号源硬件构架框图如图 1 所示。

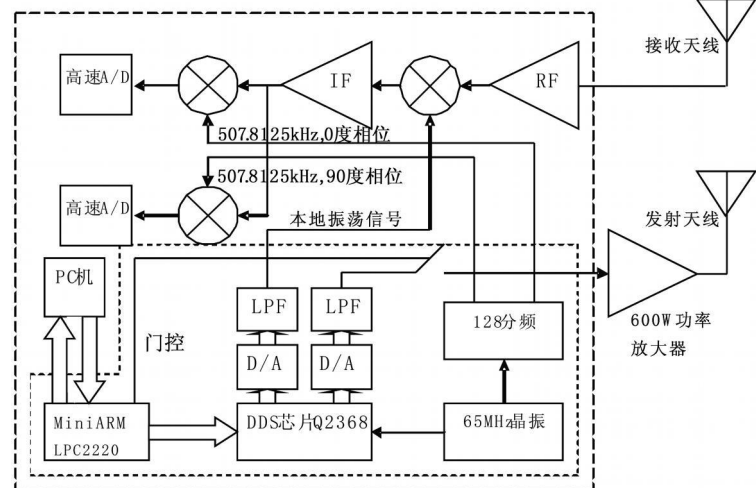


图 1 信号源硬件构架框图

### 2.1 高频信号发生模块

高频信号发生模块主要由以 LPC2220 为核心的 ARM 嵌入式处理器、DDS 芯片 Q2368、D/A 转换部分和低通滤波等组成, 产生射频信号和本振信号。

#### 2.1.1 ARM 处理器

LPC2220 是基于一个支持实时仿真和跟踪的 16/32 位 ARM7TDMI—S CPU; 16 KB 片内静态 RAM; 串行 boot 装载程序通过 UART0 来实现在系统下载和编程; 多达 76 个通用 I/O 口 (可承受 5V 电压), 9 个边沿或电平触发的外部中断引脚等。系统选用以 LPC2220 为微处理器的 MiniARM 工控模块, 能够实现与 PC 机进行通信, 完成系统运行程序的仿真及固化。不同于传统电离层垂测仪信号源控制部分的是, LPC2220 的定时器有硬件匹配功能, 通过 ARM7 从硬件上控制 DDS 芯片 Q2368 产生两路高频信号, 保证了射频信号的高频率转换精度。

#### 2.1.2 DDS 芯片 Q2368 简介

在信号源系统中, 为了产生两路同源的射频信号和本振信号, 选用了双通道数字输出的 DDS 集成芯片 Q2368。Q2368 是一种功能强大、编程非常灵活的 DDS 器件, 集 Chirp、BF-SK、MSK、BPSK 等多种调制于一体, 并可精确控制输出信号的频率和相位; 具有简单工作方式、BPSK 方式、外部相位调制方式、跳频方式、线性调频方式 (CHIRP Mode) 等多种工作方式; 最主要的是, 根据 Q2368 的内部工作原理可知<sup>[3]</sup>, Q2368 具有双 DDS 结构, 可以同时提供工作时钟达 65 MHz 的双通道输出和工作时钟高达 130 MHz 的单路输出, 并且在双 DDS 结构下可以单独对输出信号实现调频和调相, 保证了信号源系统对高频信号的要求。

Q2368 的 8 根数据线和 6 根地址线分别与微控制器 ARM7 的数据总线和地址总线相连接, 如图 2 所示。直接使用 ARM7

的 GPIO 口作为控制线, Q2368 的 DAC STB 作为后续的 DAC 的驱动信号。系统工作在两个独立的 DDS 模式下, 系统时钟由 SYS CLK1 和 SYS CLK2 提供 (65 MHz), 使用 8 位并行总线输入方式。通过往 Q2368 的 PM2 EXT BIT0 引脚写入 0 或者 1, 来控制 DDS 的外部相位调制发生 0° 和 180° 的相位转换, 而为了确保相位调制时信号的高精度无延时转换, 将 ARM7 的定时器 0 匹配脚与 PM2 EXT BIT0 相连, 当 MAT0 0 引脚发生变化时, 相位调制的输出信号马上发生无延时的相位变化, 确保了系统射频信号输出的高精度性。

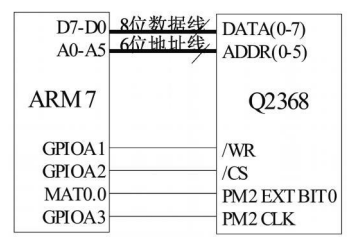


图 2 Q2368 与 ARM7 的接口

### 2.1.3 本振信号输出模块

本振信号输出电路是由 Q2368 的通道 1 依次经过高速 DAC AD9713B、截止频率为 30 MHz 射频滤波器 PLP-30、专用射频放大器 MWA230 最后通过 SMA 高频连接器送至接收板组成的。因为我们输出信号的幅值要求在 1V, 所以在滤波器后使用了专用的射频放大器 MWA230 进行放大, 可以通过调节电位器来达到要求。电路设计时要注意前后阻抗的匹配, 即将每一级电路的输入输出电阻都设置为 50Ω。

### 2.1.4 射频信号发生模块

射频信号发生电路是 Q2368 的通道 2 依次经过高速 DAC AD9713B、30 MHz 有源滤波、射频开关 PAS-3、专用射频放大器 MWA230、衰减网络, 最后由 SMA 高频连接器送至 600W 功率放大器, 通过发射天线发射到天空中。系统由 MiniARM 通过控制达林顿管 MPSA14 进而控制射频开关 PAS-3 断开或闭合。电路设计时要注意电源之间的隔离和滤波, 本模块中我们对模拟电源和数字电源, 模拟地与数字地都进行了很好的隔离和处理。其中, PAS-3 为 MINI—CIRCUITS 公司的衰减器/开关, 带宽为 1~200 MHz, 电流型控制器件, 最大控制电流达到 30 mA。常应用于军事高科技, 双向调节和电子衰减器, 其具有极低的插入损耗, 典型的为 1 dB。

### 2.2 中频信号发生模块

中频信号发生模块要求产生两路正交的中频信号, 分别用于与本振信号和射频回波信号下变频后的中频信号实现 I/Q 解调。信号源系统是通过数字电路对 65 MHz 晶振输出的正弦信号进行 128 分频, 从而产生了两路相位相差 90° 的正交中频信号, 有效地利用系统本身的资源, 并完成了信号源要求, 有一定的巧妙性。电路原理图如图 3 所示, 其中使用 74S197 实现了 16 分频, 每个 D 触发器均实现了 2 分频, 其中的一路信号通过 U25B 后相位翻转了 90°, 从而产生了两路正交中频信号。

## 3 系统软件设计

信号源系统以 ARM7 为控制平台, 架构了实时操作系统

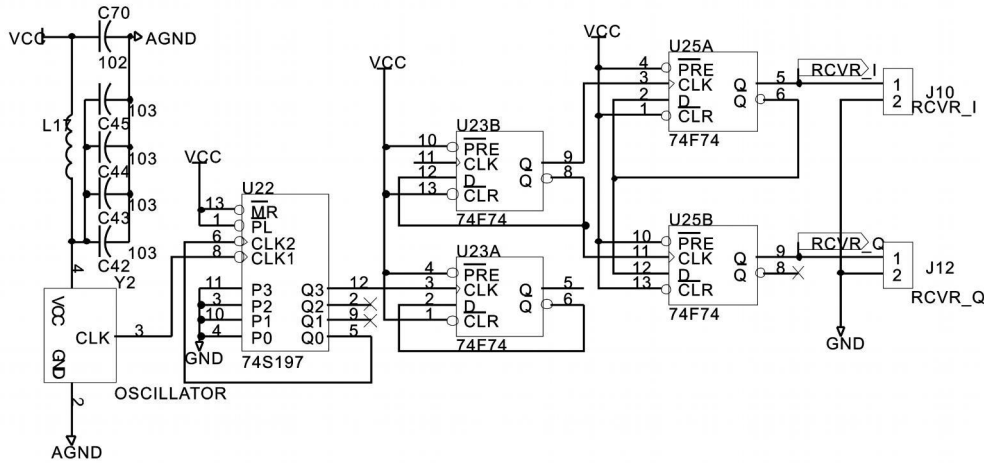


图 3 中频信号发生电路

$\mu C/OS-II$  以更好地满足实时性及实现多任务的要求。系统中主要使用了 ARM 微处理器两个定时器<sup>[4]</sup>，其中一个定时器用于定时脉冲重复周期，使信号源每隔 25 ms 发射一次射频信号，从而满足脉冲周期为 40 Hz 的要求；另一个定时器用于实现发射信号的相位调制功能，其中，相位调制系统使用了定时器的硬件匹配功能与 Q2368 的相位调制方式相结合，很好地避免了中断或软件延时带来的相位误差，从而为确保系统射频信号的高精度频率转换起到了至关重要的作用。

软件设计部分主要包括本振信号发生程序和射频信号发生程序。根据实际需要系统使用了双 DDS 结构的工作模式，两个 DDS 分别使用跳频方式和外部相位调制方式的工作方式，其中 DDS 的通道（以下称 DDS1）用于产生本振信号，不调相，线性调频，调频工作在简单工作模式，即所谓的跳频。DDS 的通道 2（以下称 DDS2）采用外部相位调制用于产生射

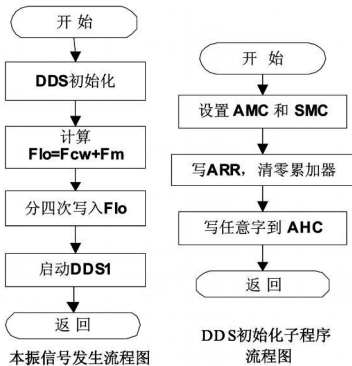


图 4 本振信号发送流程图

频信号，既需要线性调频又需要调相，调频工作在简单工作模式下，调相工作在外部调相模式下；通过外部相位调制功能实现了 13 位 Barker 码（B13）编码射频信号的产生。

3.1 操作系统的介绍及移植

$\mu C/OS-II$  是一种源码公开、可移植、可固化、可剪裁的嵌入式实时操作系统<sup>[5]</sup>，其源代码是用 ANSI C 语言编写，具有硬实时性及低成本、易控制、高性能的特性，其中断管理能

力很强，可以实现多层的中断嵌套，有较好的稳定性和可靠性。 $\mu C/OS-II$  的文件系统结构包括核心代码部分、配置代码部分、处理器相关代码部分，其中处理器相关代码部分是移植时需要修改的部分。

3.2 本振信号发生程序模块

本振信号发送流程图如图 4 所示。由于 DDS 芯片 Q2368 只有 8 根数据线，所有需要分四次写入频率控制字。

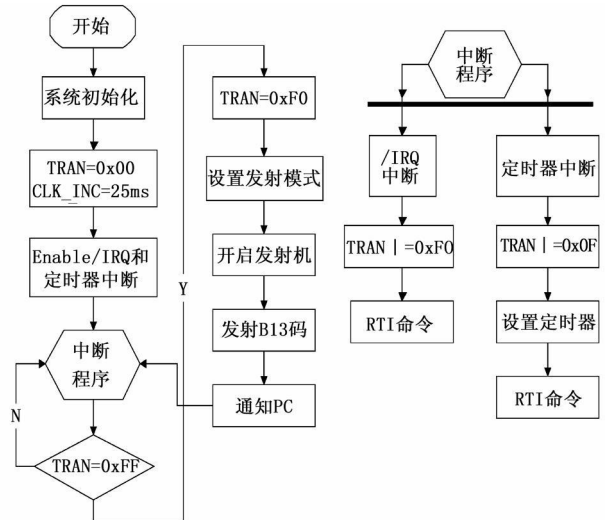


图 5 射频信号发生程序流程图

3.3 射频信号发生程序模块

系统人为地通过上位机通知 ARM 是否需要发送射频脉冲，若有发送命令，则置标志位  $TRAN=0xF0$ 。然后由 Min-ARM 定时器 1 精确计时，每 25 ms 定时器溢出一次中断，保证了脉冲重复频率为 40 Hz。在中断服务程序里，将标志位  $TRAN$  的低八位位置为全 1，即  $TRAN=0xF0$ 。当系统检测到标志位  $TRAN=0xFF$  时才开始控制发射开关，开启发射机，即启动信号源的工作。射频信号发生程序流程图如图 5 所示。

4 实验结果

为了保证输出码元的连续性<sup>[6]</sup>，理想的情况是当定时器计

数器中一个码元时间计完时, 外部调相控制字应该毫无延时地输出。而若靠软件给出外部调相控制字是不可能实现这种理想的状态, 系统采用了 ARM7 内部的定时器计数器 0 的匹配硬件翻转功能, 用于精确地控制相位的调制信号, 经 Barker 调制后应发送的理想波形与经过实际软件调试后得到的波形分别如图 6 图 7 所示。通过对两图的比较, 我们可以得出, 射频信号的频率转换的时间短, 精确度很高, 无任何延时, 从 DDS 中输出的每个脉冲都是  $40\mu\text{s}$ , 输出的 13 位 Barker 压缩脉冲也是按照射频信号参数工作的, 射频信号所要求的频率步进也可以在程序实现。

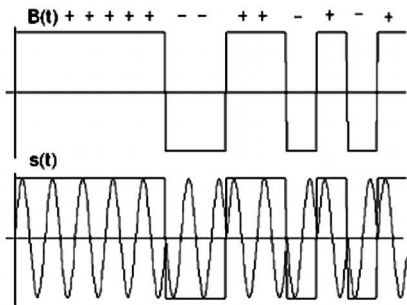


图 6 13 位 Barker 调制后发送的波形图

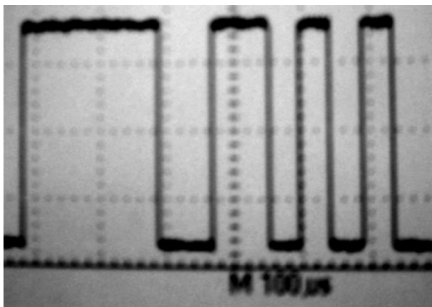


图 7 13 位 Barkerr 的射频压缩脉冲波形

信号源系统产生的中频信号如图 8 所示, 从图中我们可以看出, 上下两路信号相位相差  $90^\circ$ , 完全符合信号源系统的要

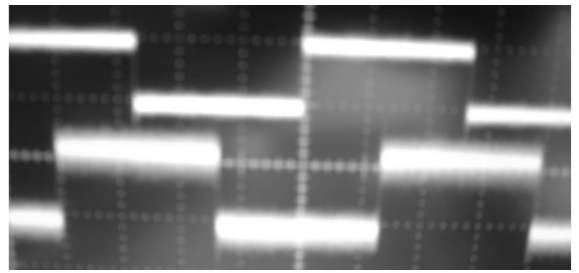


图 8 两路正交的中频信号图

求。在接收电路的中频混频器后设计了低通滤波器, 尽管信号为方波, 但是并不影响信号的 I/Q 解调。

## 5 结论

电离层垂测仪信号源系统产生了电离层垂测仪所需的 4 路信号, 文中详细介绍了垂测仪中的编码调制射频脉冲信号和本振信号的软硬件设计原理和设计方案。系统利用嵌入  $\mu\text{C}/\text{OS-II}$  实时操作系统的 miniARM 微处理器和 Q2368 来设计产生信号源, 射频信号的产生精度较高, 频率转换快, 无延时; 中频信号发生部分则很合理地利用了系统资源, 利用数字电路产生两路正交信号。该设计经现场测试性能稳定。

## 参考文献:

- [1] 朱正平, 宁百齐. 电离层垂直探测中扰动观测模式研究 [J]. 电波科学学报, 2007, 22 (5): 760-766.
- [2] Lily X. Li. Meteor Radar Using CADI Ionosonde [D]. Canada, 1999.
- [3] 张颖光等. DDS 器件 Q2368 及其在雷达信号产生中的应用 [J]. 集成电路应用, 2000, 6: 30-33.
- [4] 周立功. ARM 嵌入式系统基础教程 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2005.
- [5] Labrosse JJ. 嵌入式实时操作系统  $\mu\text{C}/\text{OS-II}$  (第 2 版) [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2003.
- [6] 田印祥, 孙士洁. 一种基于 DDS 的 DS/FH 系统的设计与实现 [A]. 杨义先等. 电子工业出版社第一届中国高校通信类院系学术研讨会论文集 [C]. 北京: 电子工业出版社, 2007, 7: 706-711.

(上接第 1442 页)

的编码, 结论为: Dos 和 Normal 与实际相符。据统计 225 个测试样本中共有 201 诊断准确, 确诊率为 89.93%, 由此可见, 网络的训练是成功的。

## 3 结论

利用 ActiveX 自动化技术将 Matlab 与 VB 结合, 混合编程进行 BP 神经网络计算, 不仅实现了界面的可视化, 还充分利用了 Matlab 神经网络工具箱中的网络模型和它所集成的学习算法, 使二者能相互取长补短, 从而减少程序编制的工作量, 缩短程序的开发周期, 高效地完成工作。将基于 BP 神经网络的网络故障诊断方法制作成界面可视化的软件, 利用人机交互的友好性, 易学易用, 为网络的日常维护与管理带来较大的帮助。

## 参考文献:

- [1] 戚涌, 李千目, 刘凤玉. 基于 BP 神经网络的网络智能诊断系统 [J]. 微电子学与计算机, 2004, 21 (10): 10-13.
- [2] 葛哲学. 精通 MATLAB [M]. 北京: 电子工业出版社, 2008.
- [3] 张振山, 高子恒, 范建领. 基于 VB 语言的神经网络专家系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2008, 16 (8): 1099-1100.
- [4] 丁常富, 代志纲, 肖涛. VB 调用 Matlab 在凝汽器故障诊断中的应用 [J]. 计算机工程与设计, 2007, 28 (11): 2730-2732.
- [5] 李永松, 艾凯, 尹健民. 基于 VB 与 Matlab 的 BP 神经网络在地应力场分析中的应用 [J]. 长江科学院院报, 2009, 26 (6), 24-26.
- [6] University of California Irvine. UCI KDD Archive [DB/OL]. <http://kdd.ics.uci.edu/>.
- [7] Zhang Li, Meng Xiangru, Wu Weijia, Zhou Hua. Network fault feature selection based on adaptive immune clonal selection algorithm [A]. 2009 International Joint Conference on Computation Sciences and Optimization [C]. 2009, 4: 969-973.