

基于 MSP430 的锁相环控制系统设计

季青涛 殷兴辉

(河海大学 南京 211100)

摘要:给出了一种基于 MSP430 单片机,通过按键控制对高频信号进行数据采集和液晶显示,实现采集显示的系统。该系统以 MSP430 单片机为核心,由自动控制模块、待测信号锁相环路模块、按键控制模块、信号采集及数据显示模块几部分组成。从实验结果来看,该系统能够控制产生稳定的高频信号、完成从 950 MHz~2.15 GHz 频率的扫频、信号自动采集以及显示屏上对数据的实时显示,具有很好的市场前景, also 具有很高的兼容性。该测试系统搭建简单方便、具有精度高、性能稳定、价格低廉等特点。

关键词:MSP430; 锁相环; 数据采集; 扫频

中图分类号: TN87 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.80

Design of PLL control system based on MSP430

Ji Qingtao Yin Xinghui

(Hohai University, Nanjing 211100, China)

Abstract: This paper presents a system about high-frequency signal based on MSP430 MCU for data collection and LCD display. MSP430 is as the core of the system, composed of several parts, the automatic control module, the test signal phase-locked loop module, key control module, signal acquisition and data display module. From the experimental results, the system can control the generation of stable high frequency signals from 950 MHz to 2.15 GHz frequency to complete the sweep, the signal be collected automatically and displayed on the screen in real time. The system has good market prospects and high compatibility, it is simple and convenient, also has the advantage of high precision, stable performance, low price and so on.

Keywords: MSP430; phase-locked loop; data collection; frequency sweep

1 引言

锁相环是建立在相位负反馈基础之上的闭环控制系统,能很好地抑制相位噪声和杂散,其主要功能有锁相解调、载波提取与位同步、频率合成。由于锁相环的优越性,使其在通信、导航设备、空间技术、测量仪表、生物、医疗设备的各方面发挥着无可替代的作用,因此取得了广泛的应用^[1]。这样使得本文对于锁相环的研究也具有了现实意义。

本文着重通过单片机控制锁相环路产生稳定的、高性能的高频信号,由按键扫描来控制产生信号的频率,并经过 AD 采集模块将采集的数据经过一定的处理,然后在液晶上实时显示所测得的信号图,通过观察图形,来分析信号的频谱的性能。制作一个简易的按键控制高频信号的

采集及液晶显示是本文的最终实现。

2 系统总体设计

系统平台的硬件结构如图 1 所示。整个测试系统包括锁相环路模块、信号采集处理模块、按键控制及液晶显示模块。基于性价比、对实验数据要求以及元器件控制的难易程度等多方面的因素,实验中选用 MSP430F149 单片机作为核心控制,锁相环路中鉴频鉴相器选用 ADF4113、压控振荡器是选用 VCO793-1550T、选用 10 MHz 的晶振作为参考晶振,液晶选用深圳市卓立恩科技有限公司基于 RA8806 控制器的 ZLG240128F-BTSSWE-YBC。

系统设计 4×4 矩阵键盘作为操作控制端,以单片机作为核心的控制模块。控制锁相环路产生一个稳定的高频待测信号,采集该信号经过滤波电路后的高频信号并进

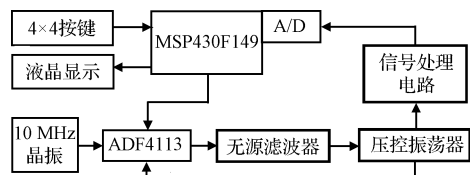


图1 系统平台的硬件结构

行处理,在显示模块LCD 240×128显示采集数据的图像。

系统设计的主要步骤如下:

1) 在IAR编译环境中编写程序,下载到单片机MSP430中,使其控制锁相环路给鉴相器4个寄存器命令,从而控制压控振荡器的输出频率;

2) 在ADIsimPLL软件中仿真出合适的环路中低通滤波器频率带宽,在实际电路中微调电容电阻值,使压控振荡器输出高性能的、稳定的、频率可控的高频信号;

3) 实现按键控制系统的运行,控制锁相环路点频或扫频输出;

4) 通过软件实现扫频操作,采集输出射频信号并在液晶屏上显示出功率图。

3 锁相系统搭建及控制

锁相环路由参考晶振、鉴频鉴相器、低通滤波器、压控振荡器组成^[2]。

3.1 锁相系统软件控制

ADF4113有一个14位的R计数器、一个24位的移位寄存器、由A/B组成的一个19位的N计数器^[3]。

根据公式:

$$B = f_{\text{out}} / (f_{\text{步进}} \times P) \quad (1)$$

$$A = f_{\text{out}} / f_{\text{步进}} - P \times B \quad (2)$$

式中:参考晶振频率 REF_{IN} 为10 MHz,将R计数器配置为20,环路中的步进 $f_{\text{步进}} = REF_{\text{IN}} / R = 10 \text{ MHz} / 20 = 0.5 \text{ MHz}$,本实验电路是有源滤波器,锁相环的锁定频率 f_{out} 范围为950~2 150 MHz, P 为预设的分频模值,设为常数 $16^{[4]}$ 。

以1 000 MHz为例,由式(1)计算得出 B 等于125(1111101), A 等于0,将该值赋值到N COUNTER LATCH对应的DB2~DB20位上,得N COUNTER LATCH=0x207801。

同理,锁到960 MHz时,配置N COUNTER LATCH=0x207801;锁到2.15 GHz时,配置N COUNTER LATCH=0x210C31。其他寄存器值不变。因此扫频程序只需计算N COUNTER寄存器的值,给编程带来了很大的方便。

如图2所示为ADF4113芯片与单片机的通信时序。

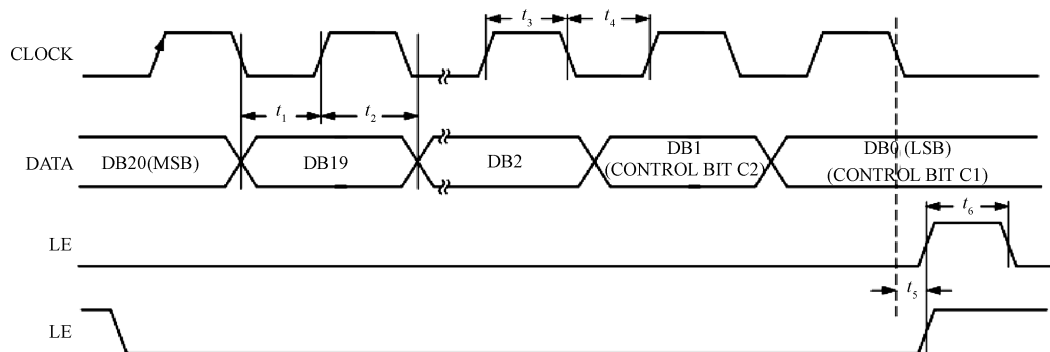


图2 串行口控制字时序写入时序

系统采用软件模拟串口的通信方式一位一位的进行发送。首先发送高位,每次发送8位,发送3次后,LE端口置高,将数据值锁存到相应的锁存器中。在软件模拟串口通信的方式中^[5],从高位开始发送,每发送一位将时钟信号置高,这样直到24位数据全部送出,将LE端置高,数据进入芯片锁存器。

用软件模拟串口的锁相控制程序如下:

```
void SETPLL(unsigned long data_temp){
    int n=0;
    P1OUT &= ~PLL_LE; //将LE端口置低
    P1OUT &= ~PLL_CK; //将时钟信号置低
    do{
        if(data_temp & 0x800000){
```

```
        P1OUT |= PLL_DA; }
    else{
        P1OUT &= ~ PLL_DA; }
    P1OUT |= PLL_CK;
    P1OUT &= ~ PLL_CK;
    data_temp = data_temp << 1;
    n++;
    } while(n < 24);
    P1OUT |= PLL_LE;
    P1OUT &= ~ PLL_LE; }
```

3.2 锁相环硬件设计

锁相环路的关键之处是对环路滤波器的设计,有无源和有源之分^[6]。

如图3(a)所示是3阶的无源滤波器,滤波器中的C1作用是将来自电荷泵的脉冲转为直流电压,R1、C2可以稳定环路,R2、C3用来滤除纹波干扰,同时滤除由鉴相频率带来的杂散分量。C3是VCO电容,值大一点,可以降低其对整个环路的影响,而R3的值需要相对小一点,这样可以减小因阻值过大而带来过多的电阻热噪声^[7]。

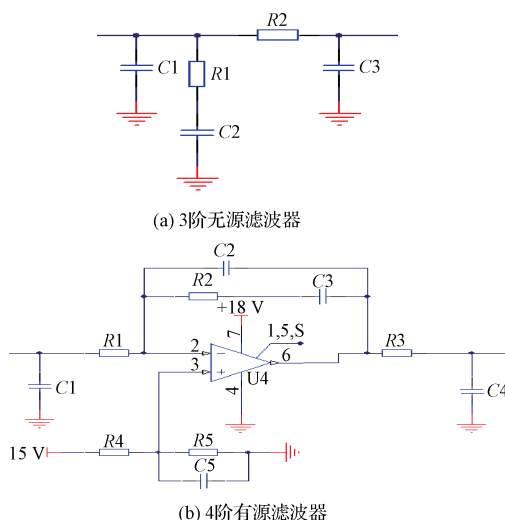


图3 滤波器连接

由于无源环路滤波器构成的锁相系统最大电压是5 V,驱动VCO振荡的频率最大只能到1 200 MHz。因此为了能够达到更宽的频谱,使输出频率到2 150 MHz,需要加入电压放大器,本文采用4阶有源环路滤波器,其结构图如图3(b)所示,运放选用AD820,单电源+18 V供电可以相对减小因增加器件带来的噪声。需要在运放的3号脚处加上一定的偏置电压^[8],不可以直接接地,经试验,R4为10 K,R5为50 K,C5为104的耦合电容。

4 实验结果及分析

4.1 频谱仪测试图

如图4所示无源滤波器时,环路滤波器的相位裕度为 55° ,带宽为50 kHz的输出频谱图^[9],配置C1:1 nF,C2:10 nF,C3:470 pF,R1:820 Ω ,R2:1.2 k Ω 。看出频谱仪扫频宽度为10 MHz,幅度抖动在5 dBm左右。

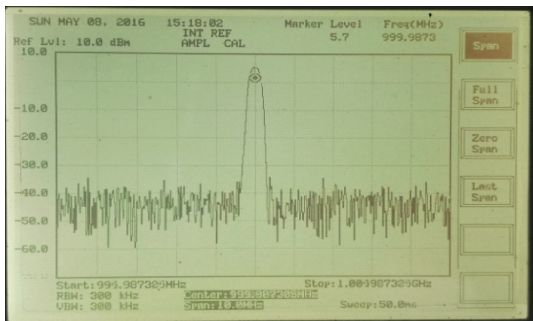
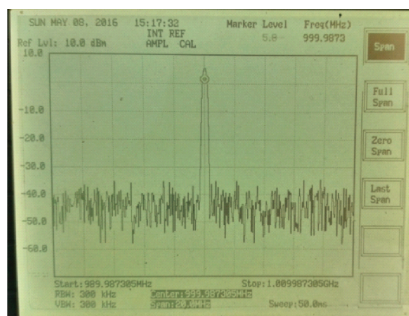
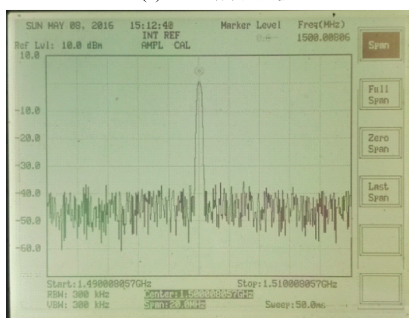


图4 无源滤波器下频谱仪显示1 GHz示意

有源滤波器相位裕度为 55° ,带宽为50 kHz,C1:100 pF,C2:560 nF,C3:12 pF,C4:68 pF,R1:100 Ω ,R2:2 K,R3:1 K,图5(a)为输出频率锁到1 GHz,图5(b)为输出频率锁到1.5 GHz。



(a) 1 GHz频谱示意



(b) 1.5 GHz频谱示意

图5 有源滤波器50 kHz带宽频谱仪显示示意

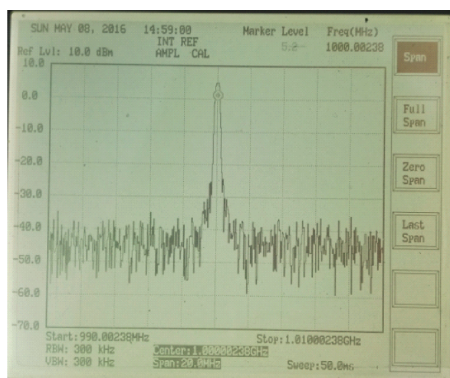
配置有源滤波器相位裕度为 55° ,带宽为150 kHz,C1:560 pF,C2:1.8 nF,C3:47 pF,C4:390 pF,R1:100 Ω ,R2:3.6 K Ω ,R3:1 K Ω ,图6(a)为输出频率锁到1 GHz,图6(b)为输出频率锁到1.5 GHz。

由图4(a)和图5(a)比较可以看出,由于有源滤波器比无源的增加了运放器件,带入了噪声,因此无源滤波器所对应的输出频谱更好,但其输出频谱范围相对较小。因此,若要输出频率在1.2 GHz以下,完全就可以采用3阶无源滤波器,频谱更稳定。若要输出大于1.2 GHz,则使用4阶有源滤波器。由图5和6比较可以看出,滤波器带宽设置的越小,滤除的杂波越多,相噪越小,相位抖动也越小,输出频谱越平滑。因此选用窄带宽的有源滤波器可以使锁相系统输出频谱更加稳定、平滑。

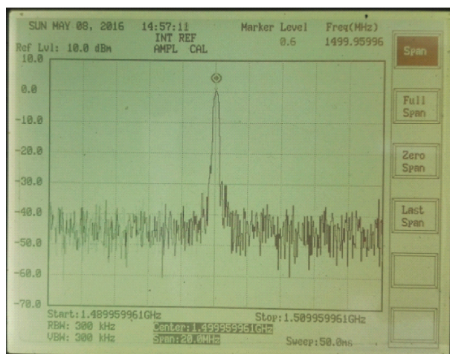
本文的结论是建立在对于实际测量结果的分析对比的基础之上得出的,而不是根据仿真结果分析得出的,因此得出的结论更具说服力。

4.2 液晶显示

通过点频测试,在950~2 150 MHz频率范围中,A/D采集电压在2.20~2.38 V之间。经过公式:(AD-2 390)/39(其中,AD值以mV为单位),得到功率波动最大在5 dBm左右,因此,系统输出功率的波动比较平坦。如图7所示,是在扫频过程中采集输出功率的液晶显示结果。



(a) 1 GHz频谱示意



(b) 1.5 GHz频谱示意

图6 有源滤波器 150 kHz 带宽频谱仪显示图



图7 液晶显示扫频功率

如图7可见是一个缓慢的下降曲线,随着频率增大,输出电压变大,由于计算公式得出的是负值,所以算的功率值越小,实际采集的结果符合理论分析。本文对于功率输出的测量可以作为作为系统稳定度的一个重要参考指标,图形显示越平缓,系统扫频输出越稳定。是本系统的亮点之一。

5 结 论

根据锁相环的相关理论的研究,本文构建了以MSP431F149为核心的锁相环射频信号的采集处理与显示系统。通过点频研究分析低通滤波器参数对单个频率输出的影响,扫频的信号处理及显示屏显示,论证了实

验的可行性,整个系统实验结果完全吻合实际分析。本系统侧重于对高频信号的采集并显示,更加生动形象,便于分析锁相环扫频信号的频率变化特性。本实验也可以用于测试输出高频信号的稳定性。当然对于后续做数字频谱仪^[10]有一定的帮助,可以提供一个稳定的本振信号。同时整个系统的搭建简单方便,成本也很低,符合实验室测试的要求。

由于滤波器的带宽设置的越小,可以使输出频杂波越少,但同时使锁定时间变长。对于扫频来说,单个频率锁定所需的时间长并不好。因此需要不断的调节参数,使这两个方面达到一个最佳的平衡^[11]。本文的实验可能不是最佳的参数,但是完全达到了实验的要求。

参 考 文 献

- [1] 迟忠君,徐云,常飞. 频率合成技术发展概述[J]. 现代科学仪器,2006(3):21-24.
- [2] 徐江涛. 一种高速低相位噪声锁相环的设计[J]. 天津大学学报,2008,41(3): 300-304.
- [3] 郑秀云,唐小宏. 可用于频率合成的高性能锁相芯片ADF4113[J]. 国外电子元器件,2005(4): 68-70.
- [4] 汪海燕. 基于 ADF4113 的锁相环频率合成 PLL 模块设计[J]. 安徽电子信息职业技术学院学报,2015,14(1):14-16.
- [5] 杨平,王威. MSP430 系列超低功耗单片机及应用[J]. 国外电子测量技术,2008,27(12): 48-50.
- [6] 陈鑫,杨军,胡晨. 一种快速锁定数控锁相环[J]. 东南大学学报: 自然科学版,2010,40(2): 258-263.
- [7] 惠欣. RFID 系统中的低通滤波器设计[J]. 微电子学,2013(5): 7.
- [8] 苟元潇,林茂六,傅佳辉. 67GHz 宽带谐波相位参考及其定标技术[J]. 仪器仪表学报,2015, 36(7): 1488-1496.
- [9] 任鹏,周资伟,朱江. 一种基于 DDS 和 PLL 技术本振源的设计与实现[J]. 现代电子技术,2009,32(9): 178-180.
- [10] 张志鑫. 基于信号源与频谱仪的相位噪声测试软件设计[J]. 国外电子测量技术,2012,31(3): 65-67.
- [11] 黄志芳,罗宏伟. 基于频谱仪和矢网的混频器变频损耗测量技术[J]. 电子测量技术,2015,38(11): 85-87.

作 者 简 介

季青涛,1991 年出生,工学硕士,学生,主要研究方向为射频信号处理。

E-mail:969090986@qq.com