

基于直接数字频率合成技术任意波形声纳信号源的设计

贾卫东[†] 王英民 王 成 陶林伟 郑 琨

(西北工业大学 西安 710072)

摘要 基于直接数字频率合成技术的声纳信号源,重点解决了调频波的相位连续性和波形光滑度的难题。该信号源在硬件电路不改变的情况下,只通过更改软件就可以产生任意的波形。由于直接数字频率合成芯片的高度集成化和简单的外围电路,设计出的信号源是小型化的,可直接应用于声纳浮标的发射源。此外这种技术的高可靠性,又在很大程度上保证了浮标的成活率,具有良好的应用前景。

关键词 声纳信号,直接数字频率合成,单片机,波形设置

Direct digital synthesis technique for discretional waveform sonar signal generator

JIA Wei-Dong WANG Ying-Min WANG Cheng

TAO Lin-Wei ZHENG Kun

(Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072)

Abstract In this paper, the Sonar signal generator uses the Direct Digital Synthesis (DDS) technology. The DDS, as a key technique, has reduced the technical difficulties, such as phasic continuity and lubricity of the waveform. This equipment can produce arbitrary waveform by rewriting the software. The product is a miniaturization because of the DDS chip and the simple circuit, and so it can be used in sonobuoy generator. The strong reliability of this equipment can assure the buoy having a high survival rate. This technique would have a great application.

Key words Sonar signal, Direct digital synthesis, Signal-chip technology, Waveform design

2007-01-16 收稿; 2007-06-02 定稿

作者简介:贾卫东(1982-),男,西安市人,硕士,研究方向:声纳浮标水下通信。

王英民(1963-),男,博士,博导。

陶林伟(1978-),男,博士。

王成(1978-),男,博士,讲师。

郑琨(1979-),男,博士,讲师。

[†]通信联系人 E-mail: jwd3711@163.com

1 引言

随着电子技术的快速发展,在电子测量和设备检测仪器领域,信号源起着越来越重要的作用。与此同时,各应用领域对信号源的精度、稳定性以及波形多样性提出了更高的要求。信号源经过长时期的发展,经历了几代技术的革新,已日趋成熟。目前设计的信号产生电路一般应用三种技术:LC、RC 振荡技术、锁相环技术以及数字频率合成技术。

1.1 LC、RC 振荡技术^[1]

LC、RC 振荡技术主要采用分立元件,用晶体振荡电路产生周期波,靠手动转换频率范围和波形。频率的准确度和稳定度与晶体的关系很大。由于阻容元件的稳定性差,且低频信号源所需的电阻、电容都很大,在制作上有很大的困难。加上频率、相位的调节和换档是通过按钮改变桥路阻值来实现的,所以可靠性不高,不能保证输出信号调节精度。设计出的信号源仅能产生几种固定常用的信号波形,很难满足多种场合以及一些特殊场合的应用要求,并且其稳定性不好,准确度也不高。

1.2 锁相环技术^[1]

锁相环技术是将相位反馈理论和锁相技术运用于信号源的设计。最常用的结构是数模混合的锁相环,即数字鉴相器、分频器、模拟环路滤波和压控振荡器的组成方式。该方法一般采用中规模集成器件,用锁相环技术器件产生信号,用 VCO 电压控制频率。因其具有相位噪声低,杂散抑制好,输出频率高,价格便宜等优点曾广泛应用于频率合成领域。但是,锁相环技术虽然在改善频率精度方面有了很大提高,由于其工艺复杂,分辨力不够,频率更换和实现计算机程控也不方便,所以系统的软件灵活性差,实际的经济价值不高。

1.3 直接数字频率合成技术^[2]

直接数字频率合成技术将先进的数字信

号处理理论与方法引入信号合成领域,用一连串数据流经过数模转换器产生出一个预先设定的模拟信号,实现了合成信号的频率转换速度与频率准确度之间的统一。由于具有相位变换连续和频率转换速度快的优点,有效地解决了调频波中相位的连续性和波形光滑度的问题。另外,高的集成度和简单的外围电路,使得设计出的信号源电路尺寸小,可以应用于一些特殊场合。频率分辨率高、相位噪声低、频率稳定度好等优点确保了信号的质量,并且其功能易扩展,要产生其它频率和工作方式的发射信号,只需要更改软件,就可以实现任意波形。

通过上面的论述,根据现代信号源的设计要求,本文决定采用直接数字频率合成技术设计声纳浮标信号源,这种技术改善了以往信号源设计的诸多缺点。高集成的 DDS 芯片,不仅功能强大,软件灵活性高,而且其高集成度使外围电路设计简单,适于浮标的装配。浮标是一次性消耗品,一旦投放,不可回收,设计时一定要考虑其成本。另外,只有具有高的成活率才能确保浮标正常的工作。采用这种技术设计的浮标信号源成本低、可靠性好,可以满足浮标的设计要求。

2 直接数字频率合成技术简介^[2]

频率合成技术是指对一个高精度的频率,通过一系列的频率算术运算,在一定频率范围内,获得频率间隔一定,稳定性和基准频率相同,数值上与输入频率有一定关系的一种频率合成技术。产生这些新频率的设备为频率合成器(DDS),其输出频率 f_0 可表示为:

$$f_0 = N/M * f_r \quad (1)$$

式中 f_r 为基准频率, N 、 M 为整数。

假设累加器的容量为:

$$N_c = n \quad (2)$$

数字频率合成器的框图如图 1 所示。

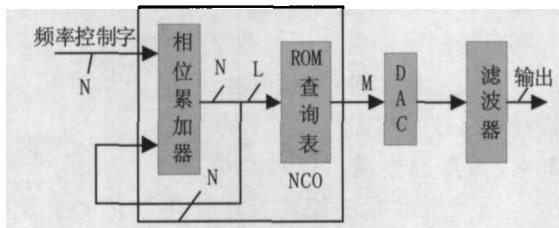


图 1 DDS 基本原理

若 $\Delta\theta$ 是每个时钟周期内加到累加器的角度,那么累加器循环一次所需要的时钟个数为 $N_c/\Delta\theta$,合成的频率是:

$$F_{syn} = \Delta\theta/n \quad (3)$$

全数字化的 DDS 频率合成电路简单、通用性好,要产生任意波形时,只需更改软件设置,具有很好的软件灵活性。此外,它的频率变换快,频率分辨率高,可产生相位连续的调频波,解决了传统信号产生电路的调频波相位连续性差和波形光滑度不高的技术难题。

3 采用直接数字频率合成技术实现小型化声纳浮标信号源设计

3.1 总体设计思想

声纳浮标是一种通过探测潜艇或水面舰船在水下辐射出的声能对目标进行探测及定位的装置,主要用于对需要检查的海域进行大面积连续隐蔽的搜索,声纳浮标对水下潜艇进行跟踪、识别、定位。

对于有发射源的主动声纳浮标系统,水下

分机信号源发射性能的好坏将直接影响整机的工作状态,进而影响探测设备的工作性能。

声纳浮标的设计具体要满足如下几点要求:

(1)输出频率多通道可选,频率范围一般在 2 ~ 4kHz,低频发射减少了传播损失,增大了检测距离;

(2)单频连续和调频等多种工作方式可调,保证信号的多样性;

(3)脉宽可选,周期可变。

根据这些要求,确定采用 DDS 技术作为设计的核心技术,实现输出频率可选以及工作方式可调的技术要求。在控制方面,采用通用的单片机^[3]作为主控单元,实现对整个信号源电路的控制。

频率、脉宽、波形可编程的信号源框图如图 2 所示:

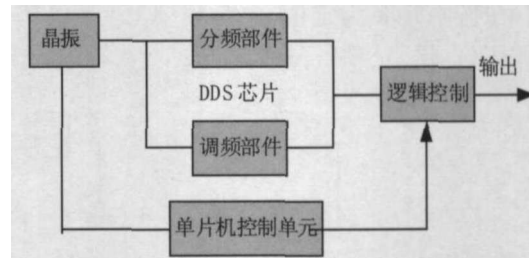


图 2 信号源电路

3.2 硬件设计方案^[4]

根据设计总体设计思想,通过反复论证,决定选用核心器件 DDS 芯片 AD9850 和单片机 89c52 为主要芯片完成本系统的设计,主要电路部分如图 3 所示。

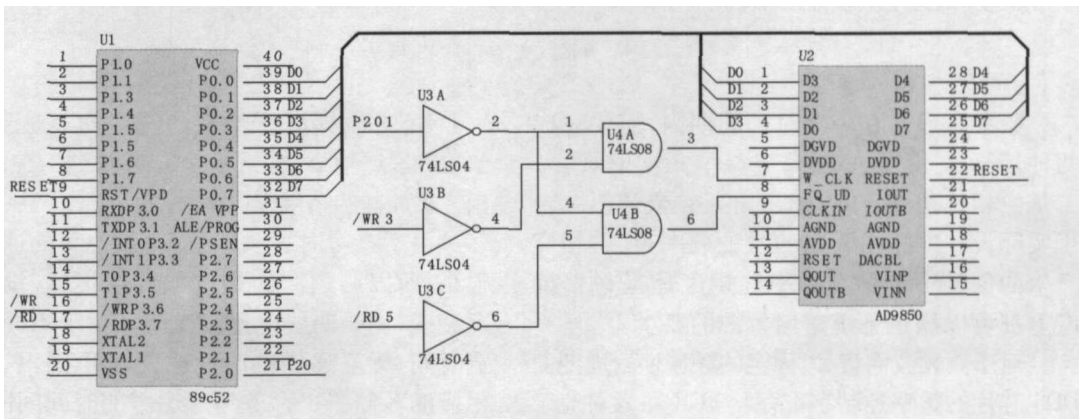


图 3 部分电路图^[5]

3.3 单频连续波产生设置^[6]

作为核心部件的 DDS 芯片 AD9850, 实现了各种波形的输出。在 AD9850 的存储器中存入每种波形的相关数据, 包括中心频率、脉冲宽度和低电平延迟。为了说明波形的产生, 现以连续波和调频波为例, 简述输出波形是如何产生的。

对单频连续波而言, 我们只需要向 AD9850 的频率相位控制字寄存器 FCR 写入相应的相位的递增值即可产生对应频率的波形。脉宽寄存器存储脉宽定时软件的内、外循环次数。

以中心频率为 5.0kHz 的 CW 波为例, 控制频率相位角递增值:

$$p = \frac{n \times F}{\text{clock}} = 087127H \quad (4)$$

其中时钟 clock 为定值, 中心频率 $F = 5.0\text{kHz}$ 。所以中心频率控制寄存器 $\text{Fre_low} = 27H, \text{Fre_}$

$\text{mid} = 12H, \text{Fre_hi} = 08H$ 。CW 波要求多种工作频率, 所以当需要改变 CW 波形时, 只需要改变中心频率控制字即可。这种数字技术产生的连续波具有波形稳定性好, 精确度高的优点, 改变了以往振荡技术和锁相环技术的不足。

3.4 波形产生重点技术说明^[7]

振荡技术或锁相环技术产生的信号会出现频率稳定度不高和精确度差的问题。采用直接数字频率合成技术, 其波形是一部分一部分产生的, 简化图如图 4 所示。在时钟频率作用下, 表示每个时钟周期内相位变化的数字送至累加器并与累加器原有数据相加, 这样累加器实时计算线性增加的相位角 (以 360° 为模), 输出是某个存储器的地址, 而存储器存储与地址对应的余弦值。

累加器的容量对应于一个完整的周期, 存储器的输出用数模转换 D/A 变成电压, 为了示意方便, 低分辨率模型如下图所示:

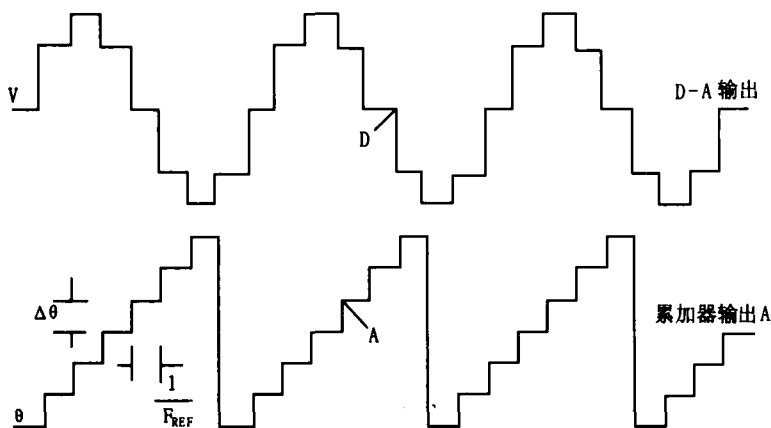


图 4 直接数字合成器产生信号

数字合成器在一个时钟周期内, 需要完成两种计算: 一是累加器完成相位角实时计算; 二是由相位角查表, 得到三角函数余弦值。由于实际设计电路中采用的时钟频率很高, 相应产生的信号不论是在频率稳定度还是在精确度上都可以满足系统对信号源的要求。

对于调频波而言, 以固定的频率递增周期向 DDS 芯片的频率控制字寄存器 FCR 写入对应于一定频率的相位角递增值, 即可产生调频波。产

生 FM 波形时, 改变寄存器的内容, 也就是改变相位角的递增值后, 在下一个参考时钟的控制下, 相位累加器的结果很快会改变。

由于参考时钟频率很高, 相位角的递增值很小, 所以调频波的相位连续性很好, 没有频率突变, 调频曲线也比较光滑。对于不同的脉宽时间, 频率递增的时间间隔也不同, 只需在相应的存储器中存储频率递增的时间间隔。

以调频波的调频带宽为 300Hz, 中心频率

为 5.0kHz,脉冲宽度为 10ms,周期为 10s 为例对调频波的形成进行说明。频率递增的时间间隔为 $10\text{ms}/300\text{Hz} = 33\mu\text{s}$,也就是说,每隔 $33\mu\text{s}$,频率变化 1Hz。初始应该赋予 FCR 对于产生频率为 5.0kHz ~ 150Hz = 4.85kHz 的波。将相应数据存入软件表格中,即调频初识值 $\text{Fre_low} = 00\text{H}$, $\text{Fre_mid} = 13\text{H}$, $\text{Fre_hi} = 00\text{H}$ 。频率间隔存储器 $\text{Widloop_ext} = 01\text{H}$, $\text{Widloop_inn} = 20\text{H}$,以后也就是说每隔 $33\mu\text{s}$,频率变化 1Hz。当然, Fre_low , Fre_mid , Fre_hi 也要随之改变。FM 的脉宽是 300 倍频率递增时间间隔。

3.5 系统性能评估

按照该方案设计的声纳信号源性能指标如下所示:

(1) 频率稳定度好:频率稳定度取决于使用的参考频率源晶体振荡器的稳定度,本次设计中采用的参考频率是 40MHz,其稳定度可以达到 10^{-6} 。

(2) 频率精度高:设计采用的 AD9850 具有 32 位的频率控制字,那么频率分辨率为:

$$\Delta f = F_{\text{ref}}/n \quad (5)$$

F_{ref} 是参考时钟频率如果为 40MHz,累加器的容量为:

$$n = 2^{32} \quad (6)$$

则频率分辨率小于 0.009Hz。

(3) 频率转换快:若为 10 个时钟周期,当时钟频率 $F_{\text{ref}} = 40\text{MHz}$ 时,频率转换时间为:

$$10 \times 1/(40\text{MHz} \times 10^6) = 0.25\mu\text{s} \quad (7)$$

极短的频率转换时间,保证了输出波形很好的相位连续性。

(4) 小型化:由于浮标的结构特殊,腔体空间有限 $\varphi \approx 100\text{mm}$ 。设计的信号源电路板在尺寸上要满足浮标特殊结构的要求,采用 AD9850 芯片内部集成了 D/A 转换,简化了外部电路的设计,考虑变压器和散热装置在内,我们设计的电路板尺寸约为 $120\text{mm} \times 85\text{mm}$ 可以安装浮标内。

(5) 低成本:由于浮标是一次性消耗产品,因此它的成本将是我们重点考虑的问题。

采用通用的单片机控制和高集成的 AD9850,再加上简单的外部电路,可以在保证性能的基础上最大程度降低成本。

(6) 低功耗:当频率 $f_i = 125\text{MHz}$ 时,功耗小于 300mW;当频率 $f_i = 110\text{MHz}$ 时,功耗小于 155mW。

由举例很容易看出,采用了直接数字频率合成技术,由于其具有频率转换速度快和相位变换连续的优点,产生的调频波解决了传统方法的相位不连续和频率光滑度不够的问题,而且大大提高了信号的质量。

4 结束语

该声纳浮标信号源是集直接数字频率合成技术、单片机控制技术于一体,具有精度高、稳定性好、功能易扩展的特点。其小型化的设计、丰富的波形可专用于声纳浮标。较低的成本和较高的可靠性保证了浮标的经济性和成活率。除此之外,还可以在不改动硬件的情况下,通过更改软件,为多种水声设备的研究提供了方便,适用于多种场合,改善了系统性能,减少了不必要的损耗,我们认为是信号源设计与发展的趋势所在。

参 考 文 献

- [1] 宋树祥. 数字移相式信号发生器. 桂林电子工业学院学报, 2003, 23(6): 14 - 17.
- [2] H. Tnicholas, H. Samulei. An analysis of the output spectrum of Direct Digital Frequency Synthesizers in the presence of phase-accumulator truncation, IEEE Proc. 41st AFCS, 1987. 495 - 502.
- [3] 蒋延彪. 单片机原理及应用. 重庆:重庆大学出版社, 2003: 1 - 213.
- [4] 吕思忠, 施齐云. 数字电路实验与课程设计. 哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社, 2001: 50 - 214.
- [5] 张淑清. 单片微型计算机接口技术及应用. 北京:国防工业出版社, 2001: 170 - 180.
- [6] Vankka J. Spur reduction techniques in sine output direct digital synthesis, IEEE Proc. 50th AFCS, 1996. 951 - 959.
- [7] 张庆. 程控信号源的数字调频设计. 电测与仪表, 2001, 38(428): 29 - 31.