

基于 AD9910 的 70MHz 中频信号源设计^①

刘伟静,刘 丹,韩 强,闫 栋,张 佶,党 兴

(天津航天机电设备研究所,天津 300458)

摘 要:一个频率高度稳定的频率合成器在空间通信、卫星导航等电子系统中具有重要作用。文章立足于实际需求,以 AD9910 为频率合成器件,应用 DDS 技术,设计了一款覆盖 $70\text{MHz} \pm 20\text{MHz}$ 频率范围的中频信号源。该信号源应用 MSP430F149 单片机作为控制核心,控制 AD9910 输出所需频率;应用可调衰减器控制发射功率,使其动态调节范围在 $-20\text{dBm} \sim 10\text{dBm}$ 之间,从而满足多数应用的功率使用需求;并加入放大和滤波环节,以实现谐波和杂散分量的调整或抑制。最后,通过 ADS 仿真、矢量网络分析仪和频谱分析仪测试,表明该中频信号源基本满足设计指标,且该思路为高性能数字调制信号源的设计提供了实现方法,具有较高的实用价值。

关键词:AD9910;DDS;中频信号源;MSP430F149

中图分类号:P228

文献标识码:A

文章编号:1674-7135(2019)03-0068-04

DOI:10.3969/j.issn.1674-7135.2019.03.011

Design on Intermediate Frequency Signal Source Based on AD9910

LIU Weijing, LIU Dan, HAN Qiang, YAN Dong, ZHANG Ji, DANG Xing

(Tianjin Institute of Aerospace Mechanical and Electrical Equipment, Tianjin 300458, China)

Abstract: A Frequency signal source, with highly stable frequency, plays an important role in space communication, satellite navigation and other electronic systems. Based on the actual demand, an intermediate frequency signal source, which can cover the frequency range of $70\text{MHz} \pm 20\text{MHz}$, is designed through the technology of DDS, and it uses AD9910 as frequency synthesis device. As the core of the controlling, MSP430F149 controls AD9910 to output the required frequency. Then the adjustable attenuator controls the transmission power to makes the dynamic range of the transmission power between $-20\text{dBm} \sim 10\text{dBm}$. This range of power regulation meets the needs of most applications. Additionally, amplification device and filtering device are added, for realizing the adjustment or suppression of harmonic and stray components. Finally, by way of ADS simulation, vector network analyzer test and spectrum analyzer test, we know that the signal source basically meets the design criteria. The design idea of this signal source provides a method for the design of high performance digital frequency modulation signal source, which has high practical value in application.

Key words: AD9910; DDS; Intermediate frequency signal source; MSP430F149

0 引言

频率合成器被人们喻为电子系统的核心,是电子对抗与电子系统实现高性能指标的关键,其性能好坏直接影响设备的使用性能^[1]。性能优良的频率合成器可以输出高度稳定的频率,是先进电子系统的必备条件之一。因此,在空间通信^[2]、遥测遥控^[3]、卫星导航^[4]和数字通信等电子系统中,需要有一个频率高度稳定的频率合成器^[5]。

传统应用模拟技术的频率合成器产生的信号,其频率稳定性差,线路复杂。J. Tierney 和 C. M. Tader 等首次提出直接数字频率合成(Direct Digital Frequency Synthesis, DDS)的概念^[6]。DDS 的性能随高速发展的信息技术得到了进一步改善,与传统技术相结合,组成的混合方案将频率源的性能提高到

① 收稿日期:2018-08-30;修回日期:2018-12-05。

作者简介:刘伟静,(1990—),硕士,工程师,主要从事硬件电路设计及软件开发工作。E-mail: xiaodou7356@126.com

新的水平^[7]。与传统技术相比,其具有相对带宽宽、频率捷变速度快、频率分辨率高等优越性能。因为DDS拥有诸多优点,所以,成为调频信号发生技术的设计主流,在电子信息产业领域应用前景广阔,市场潜力巨大^[8]。

AD9910是Analog Device公司推出的DDS系列产品中的器件,通过配置相关寄存器,可获得DDS信号控制参数,并根据该控制参数合成相应的数字波形,所以,是一款输出数字可编程、高频模拟输出的频率合成器。

文章立足于实际需求,以MSP430F149^[9]单片机为核心,应用AD9910频率合成器件,设计了一款覆盖 $70\text{MHz} \pm 20\text{MHz}$ 频率范围的数字调频信号源,用于通信射频链路的测试。

1 AD9910 工作原理及特性

AD9910直接数字频率合成器的采样速度可达 1GSample/s ,具有PLL REFCLK乘法器,可在 400MHz 频率下生成频率捷变正弦波形,其原理图如图1所示。该芯片内置DDS核、14位数模转换器、时钟控制单元等,其中,DDS核内由内部的锁相环提供达 1GHz 的采样时钟,核外通过控制寄存器来控制信号的频率、相位和幅度等参数。

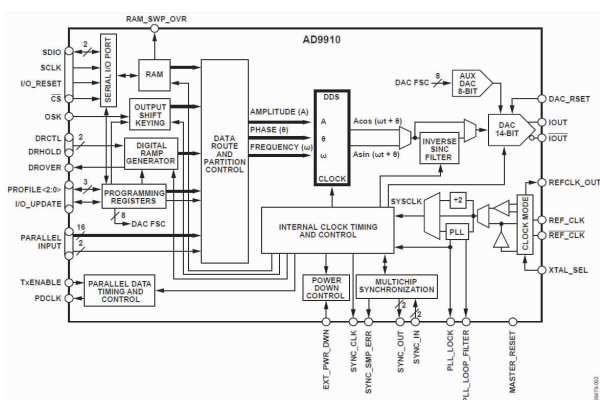


图1 AD9910 内部原理图

Fig.1 AD9910 internal principle diagram

AD9910有4种工作模式,分别为单频模式、RAM调制模式、DRG调制模式和并口调制模式。芯片可在一种或多种模式下工作,在各个模式下,对芯片的操作只需要选择相应的模式,并写入相应的控制字即可。根据设计要求,文章应用AD9910的单频模式,配置与串行I/O口相关的可编程寄存器来

提供DDS信号控制参数,然后采用一组固定的控制字来配置8个64位Profile寄存器,以获取频率、相位和幅度参数。

2 中频信号源设计方案

10MHz 参考通过锁相环路锁到 1GHz ,发至AD9910。高频耦合器转AD9910输出的差分信号为单端信号。MSP430F149通过SPI控制AD9910进行功能设置和基频设置,从而输出所需频率。由于AD9910内部的DAC输出的模拟信号功率是有限的,且存在谐波和杂散分量,因此,加入了放大和滤波环节加以调整和抑制^[10]。单片机控制 31.5dB 可调衰减器控制输出功率,经由宽带高平坦度放大器放大信号,再由中频滤波器取出所需要的频带。同时,MSP430单片机连接外置操作键盘和文本显示屏,实现整体人机界面的控制。设计方案如图2所示。

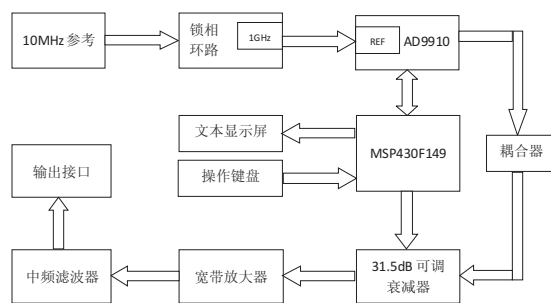


图2 中频信号源设计方案图

Fig.2 Design of intermediate frequency signal source

3 电路设计

文章设计的中频信号源可产生 $70\text{MHz} \pm 20\text{MHz}$ 调节范围的正弦波信号,功率调节范围在 $-20\text{dBm} \sim 10\text{dBm}$,功率调节步进为 0.5dB ,带内杂散优于 -85dB ,相位噪声优于 -100dBc/Hz 。

3.1 1GHz 参考源设计

图3为AD9910的 1GHz 参考源电路原理图。DDS的 1GHz 参考源采用 100MHz 恒温晶振作为参考时钟,由Hittite的频率合成器HMC440QS、TI的THS4211运算放大器和Z-Com的VCO CLV1025E构成锁相环路。其中,HMC440QS是Hittite的一款高达 2.8GHz 整数分频的频率合成器,具有极低的相位噪声, 10kHz 时相位噪声可达 -153dBc/Hz 。THS4211是TI的一款高速、宽带宽、低噪声电压反馈放大器,在此用于锁相环路中实现环路滤波器。

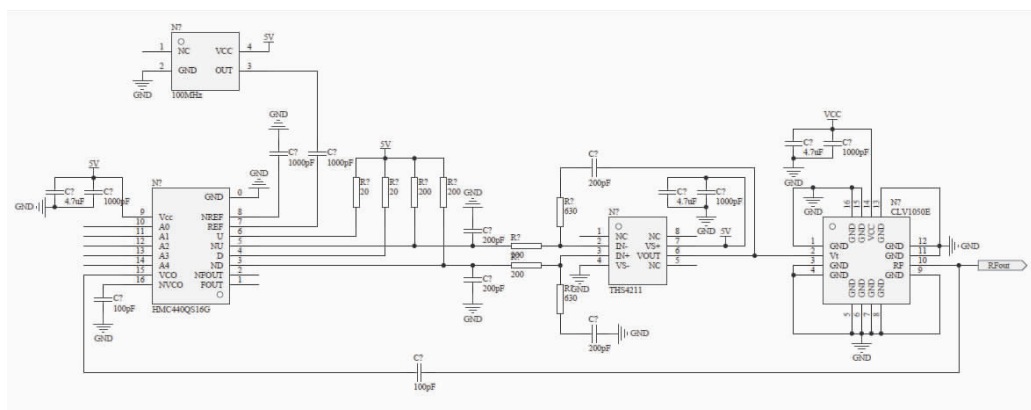


图 3 1GHz 参考源原理图

Fig. 3 Principle diagram of 1GHz reference source

3.2 功率调节及宽带高平坦度放大电路设计

图 4 为功率调节原理图。该部分采用 Mini 的 DAT-31R5-PP + , 31.5dB 调节 0.5dB 步进, 精准度优于 0.1dB, 极低功耗, 适用于 0MHz ~ 2400MHz 频率范围。此设计使用该芯片可实现信号源在 -20dBm ~ 10dBm 动态范围内调节, 且通过 AD9910 内部寄存器设置, 可得到更大的动态范围。

根据设计要求, 宽带高平坦度放大电路采用 SGA2486 (插入匹配电路设计)。通过 SGA2486 放大, 使得功率最大输出控制在 10dBm, 系统带内平坦度优于 0.1dB。功率调节及放大电路原理如图 5 所示。

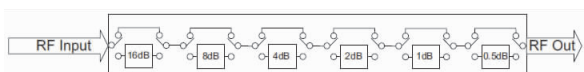


图 4 功率调节

Fig. 4 Power regulation

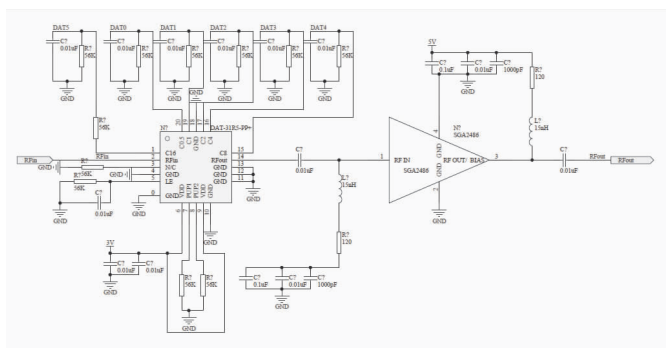


图 5 功率调节及放大电路原理图

Fig. 5 Principle diagram of power regulation and amplifying circuit

3.3 中频滤波器设计

应用 ADS 软件的 S 参数仿真功能, 可以设计出

满足要求的中频滤波器, 如图 6 所示。70MHz 中频滤波器采用 4 阶 LC 实现, 带宽为 40MHz。

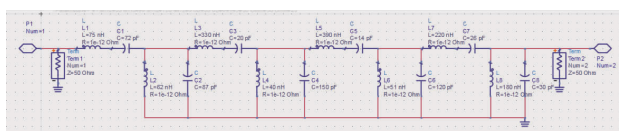


图 6 中频滤波器仿真设计

Fig. 6 Simulation design of intermediate frequency filter

仿真后插入损耗 $S(2,1)$ 和回波损耗 $S(1,1)$ 随频率变化的图形如图 7 所示。

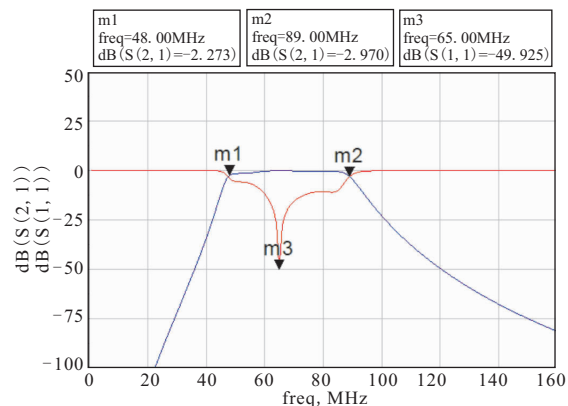


图 7 中频滤波器仿真结果图

Fig. 7 Simulation results of intermediate frequency filter

ADS 仿真结果说明, 该信号源设计带宽为 41MHz, 中心频率约为 65MHz, 通带内最大输入回波损耗为 -49.9dB, 驻波比约为 1.006。

3.4 频率合成电路设计

图 8 给出各个模块在 PCB 板上的布局图 (此图采用白色底板, 便于查看), 用于 PCB 设计参考。其

中,标号1~6分别表示1GHz参考源、中频滤波器、放大电路、控制系统、AD9910和可调衰减器。经矢量网络分析仪实测,通带内最大输入回波损耗为

-28dB,驻波比为1.083,接近于1,说明反射信号对信号源和系统的影响非常小。经频谱分析仪实测,带内杂散优于-85dB,相位噪声优于-100dBc/Hz。

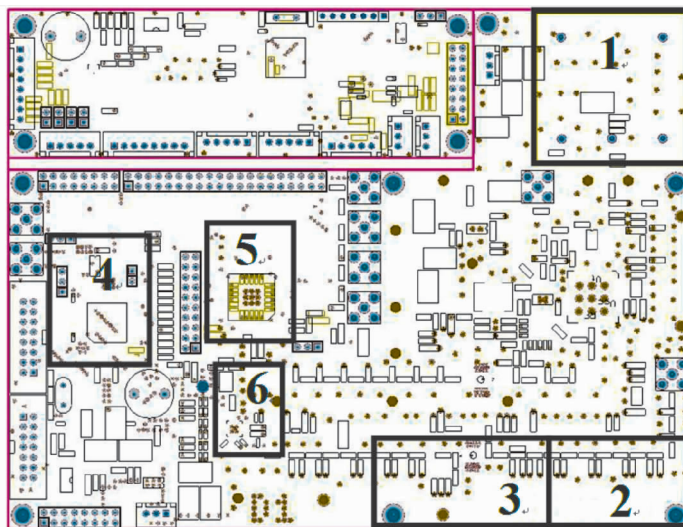


图8 频率合成电路设计

Fig. 8 Design of frequency synthesis circuit

4 结束语

文章以AD9910为频率合成器件,设计了一款覆盖 $70\text{MHz} \pm 20\text{MHz}$ 频率范围的数字调频信号源。该信号源应用单片机MSP430F149,控制AD9910进行功能设置和基频设置,从而输出所需频率,并加入放大和滤波环节,以降低谐波和杂散分量。最后,采用模块化设计思想,分别阐述了1GHz参考源模块、功率调节及宽带高平坦度放大电路模块和中频滤波器模块的设计方法;频率合成电路设计部分则给出PCB版图,系统阐述了中频信号源的排版方式。ADS仿真证明,该中频信号源实现了 $70\text{MHz} \pm 20\text{MHz}$ 频率范围的覆盖,且该中频信号源的驻波比非常接近于1,说明反射信号对信号源和系统的影响非常小,具有很大的设计优势。该信号源为高性能数字调频信号源的设计提供了实现方法,具有较高的实用价值。

参考文献:

[1] 钟金金. 基于PLL技术的合成频率源设计[J]. 电子世界, 2017(10): 179.

- [2] 杜文志, 谭维焄. 空间站空间因特网与空间通信链路设计[J]. 遥测遥控, 2011, 32(1): 5-10.
- [3] 杨立明, 吉欣, 秦玉峰. 一种基于PROM寻址的星载高可靠遥控译码器设计方法[J]. 空间电子技术, 2016, (3): 68-71.
- [4] 谢军, 刘庆军, 边朗. 基于北斗系统的国家综合定位导航授时(PNT)体系发展设想[J]. 空间电子技术, 2017, (5): 1-6.
- [5] 夏江林, 邹传云. 基于ADF4350的锁相环频率合成器设计与实现[J]. 通信技术, 2018, (3): 734-740.
- [6] 黄莺莺, 王保良, 冀海峰. 基于Lamb波气体传感器的数据采集仪[J]. 北京航空航天大学学报, 2017, 43(11): 2216-2223.
- [7] 鞠宗良. 直接数字频率合成技术及其应用[J]. 宁夏石油化工, 2001, (增刊): 10~12.
- [8] 刘颖. 军民两用的微波中频信号源的设计[J]. 自动化与仪器仪表, 2017(5): 79-81.
- [9] TI. SGA-2486[M]. 303 Technology Court, Broomfield, CO 80021.
- [10] 赵同刚, 曹贝贝. 增益控制射频放大器的设计与实现[J]. 实验科学与技术, 2017, 15(4): 7-10.