

多通道高精度幅相检测模块的设计

王耀磊,许国宏,徐林峰

(中国电波传播研究所, 山东 青岛 266107)

摘要: 相控阵雷达为了保证空间功率合成精度和天线波束指向需要各雷达通道激励信号拥有严格的相位关系, 根据需求设计了一种基于AD8302的多通道高精度幅度相位检测模块。分析了AD8302的特点以及工作原理, 给出了由AD8302、AD9852和CPCI总线接口等组成的幅相检测模块具体设计, 并重点阐述了模块自我校准的工作原理和流程, 最终实现多路射频输入信号的相位差和幅度差的精确测量。现场使用结果表明, 幅相检测模块具有检测精度高、工作频率范围宽、抗干扰能力强、系统稳定及实用性强等优点。

关键词: AD8302; 幅相检测; 相位差; 相控阵雷达;

中图分类号:TN911.23 文献标识码:A 文章编号:1009-3044(2015)13-0256-03

DOI:10.14004/j.cnki.ckt.2015.1039

Design of Multi-channel and High-precision Magnitude and Phase Measuring Module

WANG Yao-lei, XU Guo-hong, XU Lin-feng

(China Research Institute of Radio Wave Propagation, Qingdao 266107, China)

Abstract: In order to ensure precision of power synthesizing and antenna beam steering in phased array radar, there is need of strict phase relation in multi-channel radar. According as requirement, a kind of the magnitude and phase measuring module with multi-channel and high precision based on AD8302 is designed. This paper analyses the AD8302 Character and the working principle, and give a specific design of the magnitude and phase measuring module that consist of AD8302, AD9852 and CPCI bus. It focuses on the working principle and process of the module self-calibration. Finally realized the measurement of the magnitude and phase of the multi-channel input signal. The results shows that magnitude and phase measuring module has the advantages of high precision, wide work frequency band, strong anti-jamming, good stable performance, good practicability and so on.

Key words: AD8302; magnitude and phase measuring; phase difference; phased array radar

1 概述

有源相控阵雷达系统为了实现空间功率合成和天线波束快速扫描就必须要求各雷达通道激励信号相位关系精确可控。由于相控阵各天线单元之间的信号幅度与相位因为制造和安装公差、传输反射等原因难以做到一致,存在幅度与相位误差并且严重影响到雷达的波束指向,所以对各雷达通道幅相误差的检测与修正对相控阵系统来说就尤为重要。

传统的数字或模拟幅度相位检测方法电路复杂,易受干扰测量精度低,而且适用的频率范围窄,因此研究出一种电路简单、测量精度高、测量频带宽的新型幅相检测方法就具有很重要的意义。本文设计了一种基于AD8302的多通道高精度幅相检测模块,可精确测量相控阵雷达各通道的射频信号的幅度相位差,同时也可广泛应用于信号变换、信息采集、控制以及通信等领域。

2 AD8302工作原理

AD8302是ADI公司推出的用于RF/IF幅度和相位测量的首款单片集成电路,它能同时测量从低频到2.7GHz频率范围内两输入信号之间的幅度比和相位差。AD8302主要由精密匹

配的两个宽带对数放大器、一个相位检测器、输出放大器组、一个偏置单元和一个输出参考电压缓冲器组成^[1],其功能结构框图如图1所示。AD8302之所以能进行幅度和相位差的精确测量主要是由于其内部的两个宽带对数放大器,每一个宽带对数放大器都由6个10dB增益级串联而成,6个增益级都带有7个辅助滤波器,这样的结构使它具有的对数的压缩功能,可以将宽频带的两个输入电压变为窄带的分贝刻度输出,从而实现了两个输入信号增益的测量。测量后的结果是将输入信号的相位差变换为电压输出,范围是0~1.8V,幅度之比也变换为相应的电压输出^[2]。

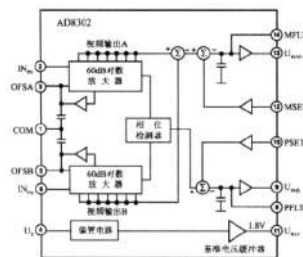


图1 AD8302的功能结构框图

收稿日期:2015-03-20

作者简介:王耀磊(1983—),男,河北任丘人,本科,中国电波传播研究所工程师,研究方向为高频信号产生与检测。

AD8302通过精密匹配的2个宽带对数放大器来实现对2个输入通道信号的幅度和相位测量,其幅度和相位测量方程式为:

$$V_{mag} = V_{slp} \log \left(\frac{V_{inA}}{V_{inB}} \right);$$

$$V_{phs} = V_{\phi} [\phi(V_{inA}) - \phi(V_{inB})];$$

式中: V_{inA} 为A通道的输入信号幅度; V_{inB} 为B通道的输入信号幅度; V_{slp} 为斜率; V_{mag} 为幅度比较输出; $\phi(V_{inA})$ 为A通道的输入信号相位; $\phi(V_{inB})$ 为B通道的输入信号相位; V_{ϕ} 为斜率; V_{phs} 为相位比较输出^[3]。

3 幅相检测模块具体设计

本次设计的幅相检测模块功能是对相控阵雷达发射系统耦合回的多路射频信号进行幅度和相位检测,通过检测值调整激励源,以确保激励源输出信号相位幅度的准确性。幅相检测模块由总线接口部分、开关矩阵部分、幅相检测部分、模拟数字转换部分和时序控制部分组成,幅相检测模块组成如图2所示。

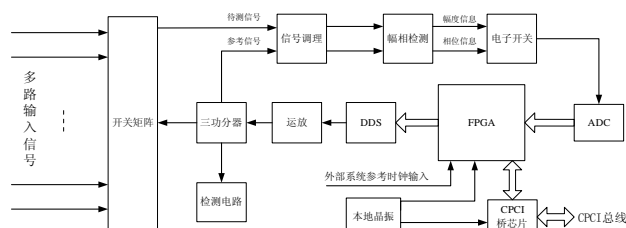


图2 幅相检测模块结构框图

多路射频信号输入模块后由开关矩阵依次选通为待测信号,与DDS经放大、功分输出的参考信号一起调理后直接送至幅相检测芯片AD8302,AD8302将检测所得幅度差及相位差电平由电子开关选择后送至模数转换芯片,数转换芯片分别对电平值进行采样,将所得数字信号送至FPGA中进行处理,将结果通过总线送至主控模块。

3.1 总线接口部分

幅相检测模块需要与主控模块进行数据交互,为满足传输速率的要求,设计采用CPCI总线实现控制命令的下发和检测数据上传的功能。CPCI总线是目前兼容性最强、功能最全的计算机总线,但其总线规范复杂、时序要求严格、接口设计难度大,因此为了降低设计难度,选用PLX公司的PCI9054总线控制芯片。该芯片支持66MHz、64bit的PCI R2.2规范,提供了3中物理总线接口:CPCI总线接口、LOCAL总线接口和串行EPROM接口。PCI9054作为桥接芯片在PCI总线和本地总线之间传输数据,其传输模式灵活多样,包括直接主模式(PCI Master)、直接从模式(PCI Target)和DMA模式。本设计中,PCI9054采用PCI从模式,主控模块作为主设备发起对本地总线的访问,PCI9054请求占有本地总线完成数据传输功能^[4]。

3.2 开关矩阵部分

开关矩阵电路用于实现对多路输入信号以及自检信号的选通,主要由多片射频开关ADG904组成。ADG904为ADI公司推出的一款四选一射频开关,其内部每条通路上都匹配一50Ω吸收负载,可提高系统抗干扰能力,提高电磁兼容性,其工作频率范围为DC~1GHz;在信号不加偏置的情况下最大输入

功率可达7dBm,插入损耗为0.4dB,回波损耗可达27dB。在本设计中,为了防止相控阵雷达系统各通道耦合回的信号幅度的突变,所以在输入端加衰减网络对信号幅度进行衰减,以保证ADG904正常工作,ADG904电路连接如图3所示。

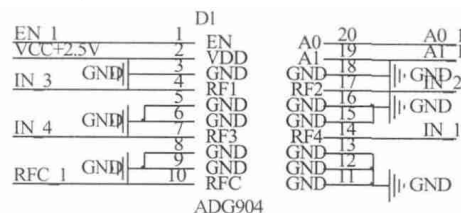


图3 ADG904电路连接图

3.3 幅相检测部分

幅相检测电路为幅相检测模块的核心,用于实现待测信号与参考信号之间幅度差及相位差的检测。该电路主要由幅相检测芯片AD8302和参考信号产生芯片AD9852构成。AD8302把两输入信号幅度之比(即增益)转化为电压输出,其范围为0~1.8V,表示增益范围为-30dB~+30dB,检测精度可达0.2dB;两输入信号的相位差也转化为电压输出,其范围为0~1.8V,可表示两信号的相位差为0°~180°,无法确认待测信号与参考信号的相位差是在0°~180°还是在0°~+180°之间,存在着相位二值性判断问题^[5]。

同时,根据AD8302用户手册可知其对在0°和180°附近检测误差较大,最大可达8°,而在90°附近误差小于0.5°。因此,在本设计中引入一参考信号,通过控制参考信号移相,来解决AD8302二值性及误差问题。设计采用频率分辨率高的DDS芯片AD9852产生参考信号,在检测相位时,首先测量输入信号与参考信号相位差,然后控制AD9852使参考信号相位产生90°相移,再次测量相位差,对比两次结果分析出输入信号与参考信号相位关系。

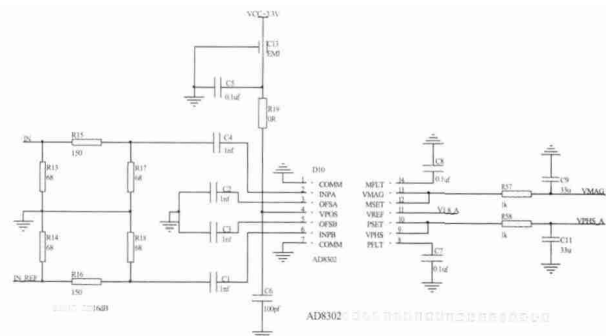


图4 AD8302电路连接图

AD8302的输入信号范围为-60~0dBm(50Ω系统),输入必须经AC耦合,耦合电容根据输入信号的频率范围合理设置。AD8302的电路图如图4所示,两路射频信号首先经电阻衰减网络衰减16dB,然后经电容耦合输入到AD8302中,耦合电容选择0.1μF,输出为0~1.8V的幅相电压信号,其中C7和C8分别构成幅度和相位输出信号的低通滤波器。

3.4 模拟数字转换部分

模数转换电路由AD7942实现,AD7942是ADI公司出品的一款14位逐次逼近型采样芯片,采用2.3V至5.5V单电源供电。它内置一个低功耗、高速、14位无失码采样ADC、一个内部转换时钟和一个SPI端口。基准电压由外部提供,最高可设置

为电源电压。最大积分非线性误差(INL)为 ± 1 LSB。在本设计中,采用3.3V供电,参考电压选择2.5V,以14位计算,其最小可测量电压不到1mV,而AD8302的检测精度分别为30mV/dB以及10mV/deg,可以满足指标要求,AD7942电路连接如图4所示。

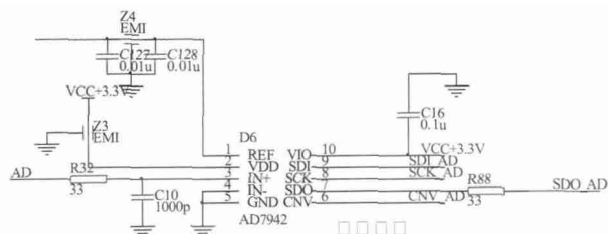


图4 AD7942电路连接图

3.5 时序控制部分

时序控制部分为幅相检测模块提供了数据、地址的缓冲并产生各种控制信号,它主要由FPGA和检测电路来实现。

FPGA要实现的功能有以下部分:总线通信、产生AD9852的控制信号、激励输出及系统参考时钟输入信号的BIT检测、开关矩阵及电子开关的选通控制等,同时从提高幅相检测模块准确度和可靠性的角度考虑,设计FPGA还承担着对幅相检测数据进行处理的任务。FPGA采用Xilinx公司的XC3S250E,相应的配置芯片为XCF02S,XC3S250E采用PQFP208封装,内部含有27K字节的Block RAM和4K字节的分布式RAM。检测电路主要功能为对DDS输出的参考信号进行二极管检波,当有参考信号输入时检测电路输出高电平给FPGA,从而FPGA判断参考信号正常,反之亦然。

4 幅相检测模块的校准

AD8302作为幅度相位测量芯片也存在着不足,例如在相位检测时只能输出 $0^\circ \sim 180^\circ$ 需要进行二值性判断、相位检测的非线性等。AD8302的这些缺点对相位检测的精度影响尤为突出,所以需要幅相检测模块的自我校准来克服。

当把AD8302的输出引脚VMAG和VPHS直接与芯片反馈设置输入引脚MSET和PSET相连时,芯片的测量模式将工作在

默认的斜率和中心点上,精确幅度测量比例系数为30mV/dB,精确相位测量比例系数为10mV/度^[1]。但根据实际测量可知,AD8302在不同频率下幅相比系数并不相同,所以设计校准的方法为DDS输出的参考信号经功分一路作为参考信号直接进入检测芯片,另一路功分信号经开关矩阵选通作为待测信号也进入检测芯片,由于两路信号都是由DDS产生并功分,因此两路信号存在着固定的相位关系,可由专业仪器例如矢量网络分析仪提前测量好存储起来。同时,把整个测量频段分为若干个小频段,对两信号幅相差进行校准测量,根据测量电平值与真实幅度相位差值进行比对计算出小频段内精确的幅相比系数并存储在FPGA中以便后续使用^[6]。

5 结束语

本文设计的基于AD8302的幅相检测模块已经成功应用在某相控阵雷达系统上,由于采取了若干提高检测精度的措施,相位检测精度可达到 0.2° ,幅度检测精度可达到0.1 dB。实践证明,利用AD8302进行幅度和相位检测电路简单、测量精度高、系统可靠性高、成本低,具有良好的应用前景。

参考文献:

- [1] Analog Devices Inc. AD8302 LF - 2.7 GHz RF/IF Gain and Phase Detector[Z].2002.
- [2] 沙占友,刘阿芳.基于AD8302的单片宽频带相位差测量系统的设计[J].电子设计工程,2006(1):57-60.
- [3] 曹兰娟.基于AD8302芯片的新的幅相测量系统[J].电子工程师,2007(3):6-8.
- [4] 郑成波,杨科技,傅其祥.一种基于CPCI总线的高速雷达回波信号采集系统[J].电子设计工程,2011,19(18):122-124.
- [5] Sam Wetterlin. USE OF PHASE SHIFT TO RESOLVE SIGN AMBIGUITY AND IMPROVE ACCURACY IN THE AD8302 PHASE DETECTOR [J].Electronic Design Engineering, 2009, 18(3):13-17.
- [6] 李星,许国宏,王耀磊.高精度幅相检测系统的设计[J].电子设计工程,2012,20(1):123-125.

(上接第247页)

4 结束语

据初步测算,由于采用了远程集中称重,一个司磅员在微机终端上平均可以同时二个磅进行称重计量,可以提高两倍的劳动效率,真正从‘一职多人’达到‘一人多职’。按照节省出40%劳动力,每个劳动力8万元工资成本费用计算,仅在人员方面每年可以节约的成本非常可观。在防作弊领域,也能带来巨大的经济效益,配套的各种防作弊技术,能够确保所称货物重量的准确性,同时能够遏制影响货物称重时的各种人为的和机械的问题。

本方案中用来遏制各种违法违规现象的主要途径和手段有:数据采集过程中能够实现自动采集的全部采用设备进行自动采集,对必须要人为干预的过程加以监控;提高各个相关设备的准确性,减少各个阶段的损失,提高整个流程的效率;结合港口物流闸口系统实现货物自提量可控,与港口业务系统对接

后,系统能自动读取提货单数量和剩余数量,严格控制自提数量超过委托开票数量,避免人为操作。通过以上三方面,基本上杜绝了在称重过程中的作弊问题。

系统所获得的数据,通过网络,在港口集团内部,只要有相应的权限,均可以共享。这样可以使相关的各个职能及监管部门较好的协同工作。

综上所述,远程集中称重的实施必将提高工作效率、减少工作量、降低人员成本,具有较好的推广应用价值。

参考文献:

- [1] 朱兹昆,卫绍东.全自动无人值守汽车称重管理系统[J].衡器,2007(4).
- [2] 侯有仁.基于物联网技术的防作弊电子秤和信息系统[J].中国计量,2012(8).
- [3] 民用闭路监视系统工程技术规范(GB50198-94)[S].
- [4] 安全防范工程程序与要求(GA/T75-94)[S].