

高精度幅相检测系统的设计

李星, 许国宏, 王耀磊

(中国电波传播研究所 山东 青岛 266107)

摘要: 为了提高幅相检测精度、简化电路、扩展频率范围,设计了一种基于 AD8302 高精度幅度相位检测系统。通过分析 AD8302 的特点以及工作原理,提出了几种提高相位检测精度的方法,并设计采用 AD8302、DDS 和单片机组成高精度幅相检测系统,成功地解决了 AD8302 相位检测过程中存在的二值性、非线性、移相以及校准问题,实现两路模拟输入信号的相位差和幅度差的精确测量。测试结果表明基于 AD8302 的幅相检测系统具有精度高、抗干扰能力强等优点。

关键词: AD8302; 幅相检测; 相位差; DDS; 移相

中图分类号: TN911.23

文献标识码: A

文章编号:1674-6236(2012)01-0123-03

Design of high-precision magnitude and phase measuring system

LI Xing, XU Guo-hong, WANG Yao-lei

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

Abstract: In order to raise the accuracy of the magnitude and phase measuring, predigest the circuit, enlarge the range of the frequency, a kind of the magnitude and phase measuring system with high precision based on AD8302 is designed. This paper analysed the AD8302 Character and the working principle, and presented several methods to improved high-precision phase measuring. Then compose the magnitude and phase measuring system with high precision based on AD8302 DDS and MCU, It is successful to resolve problem of double value, nonlinear, phase shift and calibrate in AD8302 phase measuring system, to realize the measurement of the magnitude and phase of the two simulated input signal. The results shows that magnitude and phase measuring system based on AD8302 has the advantages of precision and strong anti-jamming.

Key words: AD8302; magnitude and phase measuring; phase difference; DDS; phase shift

由于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,只能测量中低频信号,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。文中设计了一种基于 AD8302 的高精度幅相检测系统,可精确测量两个独立的射频、中频或低频信号的幅度相位差,测量精度高,可广泛用于在信号变换、信息采集、控制以及通信等领域。

1 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 2.7 GHz 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 10 dB 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 0~1.8 V,幅度之比也变换为相应的电压输出^[2]。

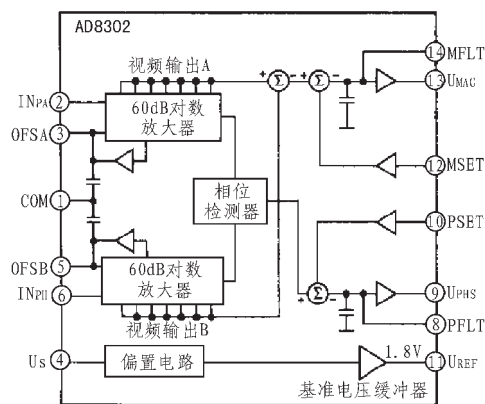


图 1 AD8302 的功能结构框图

Fig. 1 AD8302 unctional block diagram

AD8302 通过精密匹配的 2 个宽带对数放大器来实现对

收稿日期:2011-07-20

稿件编号:201107088

作者简介:李星(1980—),男,山东青岛人,工程师。研究方向:高频信号产生与探测。

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:

$$V_{mag} = V_{slp} \log(V_{inA}/V_{inB});$$

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

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]。

2 提高相位检测精度的方法

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,以下给出几种提高相位检测精度的方法。

2.1 AD8302 相位二值性判断

AD8302 相位差响应特性曲线如图 2 所示,只有一路相位输出信号时我们不能直观判断出待测信号与参考信号的相位差是在 $0^\circ \sim 180^\circ$ 还是在 $0^\circ \sim +180^\circ$ 之间,存在着相位二值性判断问题,即图中所示输出电压为 1.5 V 时,无法判断相位差^[4]是 A 还是 B。

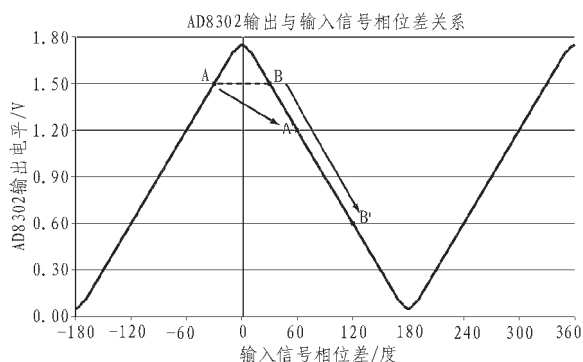


图2 AD8302 相位差响应特性曲线图

Fig. 2 Phase difference response curve of AD8302

为了准确地判断出相位差的正负,我们用附加相移的参考信号再次与待测信号进行测量,例如将参考信号向左转移 90° ,相位差则向右转移 90° ,此时 A 与 B 将成为点 A' 与 B', 这时就可以通过测量到的电压值来判断出相位差的正负,如果测量的电压值是 A' 的电压值那么待测信号与参考信号的相位差就可判断为 A。利用移相的方法可以很好地解决 AD8302 相位检测二值性判断问题。

2.2 AD8302 相位检测非线性问题

许多相位检测器在接近 0° 或 180° 时都有很大的误差存在非线性问题,AD8302 也不例外,据数据手册可知,当输入信号在 900 MHz 时,AD8302 在其整个 180° 的测量范围内能使相位测量精度线性保持在 $\pm 1^\circ$ 以内的部分只有 143° ,而在 0° 或 180° 附近最大误差超过 8° ^[4]。为了使整个测量范围内测量精度基本一致,可采用了两路相位差信号相互校准的方法进行测量。例如图 2 中相位差 A 在 0° 或 180° 附近时,移相

相位差 A' 就会在 90° 或 270° 附近,输出信号在测量的线性区域精度较高,因此,可采用输出信号 A' 的测量结果作为测量结果。反之,当输出信号 A' 的相位差在 0° 或 180° 附近时,输出信号 A 的相位差就会在 90° 或 270° 附近,此时,输出信号 A 在测量的线性区域精度较高,因此,可采用输出信号 A 的测量结果作为测量结果。最后处理时只需要加上或减去移相器移相的相位即可^[5]。

2.3 移相方法分析

信号移相的方法有很多,比如延迟线、移相器以及滤波器等。延迟线在一般的处理过程中可视为无耗传输线,设在同轴电缆的始端接入相位为 ω ,经过长度 L 传输后,得到引入的相位滞后是 $\Delta\varphi = 2\pi fL/c$,显然这是一个正比于频率的量^[6]。而无论是数字移相器还是模拟移相器大多也是利用延迟单元或不同电长度的传输线构成,他们延迟精度主要依赖于延迟器件的稳定度及其本身延迟时间的漂移大小,而且工作频带大多是窄频带。显然,延迟线或移相器都不适合应用在 $0 \sim 100$ MHz 频段。

DDS 技术是一种把一系列数字量形式的信号通过 DAC 转换成模拟量形式的信号合成技术。使用 DDS 进行移相有诸多优点,首先,DDS 相位分辨率高,含有 14 位相位寄存器的 DDS 相位最小分辨率可达到 0.022° ;其次,DDS 输出频率相对带宽很宽,输出的最高频率一般可达 $0.4f_c$,其中 f_c 为 DDS 的系统时钟;再次,DDS 可编程、全数字化、相位输出连续。为此,利用 DDS 输出的参考信号在宽频带内相位可控、移相精度高误差小、相位转换速率快,充分地克服了以往移相器件的不足,这样的参考信号在 AD8302 中分别与待测信号进行比较,测量出的相位差与幅度差精度高。

2.4 相位检测系统校准

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 30 mV/dB,精确相位测量比例系数为 10 mV/度^[1]。根据实际测量可知,AD8302 在不同频率下幅相系数并不相同,为了提高检测精度必须对其进行校准。校准的方法是把整个频段分为若干个小频段,利用专业仪器例如矢量网络分析仪在频段内对幅相差进行测量,根据测量值通过比对计算来确定精确的比例系数。

3 基于 AD8302 的相位检测系统设计

幅相检测系统的如图 3 所示,DDS 选用 AD9959 输出参考信号,AD9959 为四通道输出数字频率合成芯片,它输出的 4 个通道信号都由一个相位累加器输出,所以信号间相位差非常微小。待测信号分别输入两片 AD8302 并与参考信号进行比较,之所以用两片 AD8302 是为了保证与待测信号比较时参考信号的相位连续性。AD8302 输出的相位差和幅度差进入 AD 数模转换芯片,在单片机中运算成待测信号之间的幅度差和相位差。为了判断相位差的二值性,DDS 输出相位

转移 90 后的参考信号再进行一次检测。

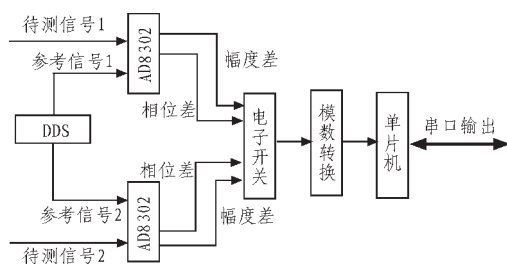


图 3 幅相检测系统框图

Fig. 3 Magnitude and phase measuring block diagram

AD8302 的输入信号范围为 $-60\sim 0$ dBm ($50\ \Omega$ 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 16 dB, 然后经电容耦合输入到 AD8302 中, 耦合电容选择 $0.1\ \mu\text{F}$, 输出为 $0\sim 1.8\ \text{V}$ 的幅相电压信号, 其中 C_7 和 C_8 分别构成幅度和相位输出信号的低通滤波器。

4 结束语

本文设计的基于 AD8302 的幅相检测系统已经成功应用于某技改科研项目上, 由于采取了若干提高检测精度的措

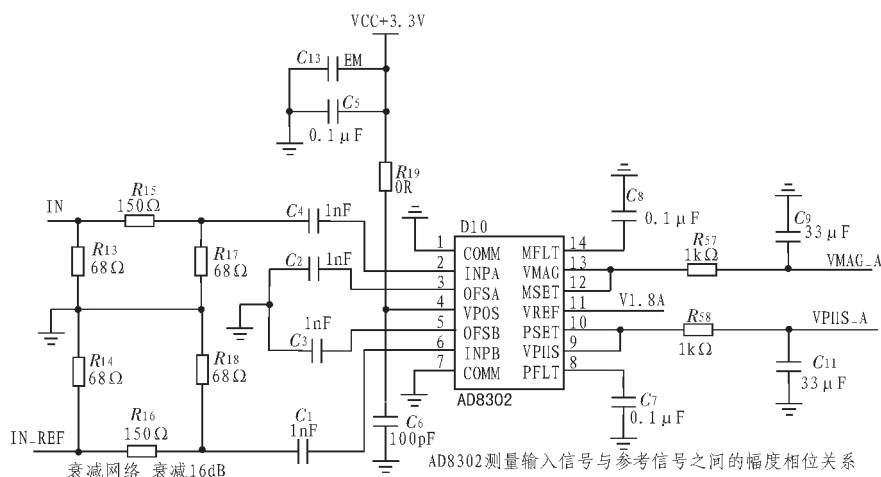


图 4 AD8302 电路连接图

Fig. 4 Circuit diagram of AD8302

施, 相位检测精度可达到 0.2° , 幅度检测精度可达到 $0.1\ \text{dB}$ 。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[EB/OL]. 2002. <http://www.analog.com>.
- [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.
SHA Zhan-you, LIU A-fang. Design of single-chip broad band phase bias measure system based on AD8302[J]. Electronic Design Engineering, 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.
CAO Lan-juan. A new measuring system of phase and amplitude based on AD8302 [J]. Electronic Engineer, 2006

(1): 57-60.

- [4] Wetterlin S. 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.
- [5] 韦进强, 张涛, 何子牛, 等. 基于 AD8302 的双纵模双频激光干涉仪信号处理系统[J]. 中国测试, 2009(5): 52-55.
WEI Jin-qiang, ZHANG Tao, HE Zi-niu, et al. Signal processing system of dual-frequency laser interferometer with two longitudinal modes based on AD8302 [J]. China Measurement & Test, 2009(5): 52-55.
- [6] 何源. 基于 AD8302 的 X 波段瞬时频率测量系统设计 [J]. 电子测量技术, 2011(2): 66-68.
HE Yuan. Design and realization of IFM system based AD8302 in X-band[J]. Electronic Measurement Technology, 2011(2): 66-68.

欢迎订阅 2012 年度《电子设计工程》(半月刊)

国内邮发代号: 52-142

国际发行代号: M2996

订价: 15.00 元/期 360.00 元/年