

高精度精密相位检测仪的乘法 电路与放大电路设计

张 凯

(陕西工业职业技术学院 712000)

摘要: 正弦信号的相位检测是许多测量工程的一项基本而重要的任务。本设计给出了模拟式相位测量的基本原理与实现方案。该系统由乘法电路、高精度放大电路两部分构成。讨论了利用模拟相乘法进行相位检测的原理,对实际信号处理流程和测量误差进行分析,并进行了仿真研究,使得测量分辨率精确到 0.5° , 结果表明: 模拟相乘法从实时性、检测精度等方面都优于其他常规方法。该方法已成功应用于多种电子设备的相位检测中。

关键词: 检测; 相差; 相位

Multiplication circuit of high precision phase detector and amplifier circuit design

Zhang Kai

(Shaanxi vocational & technical college 712000)

Abstract: Sine signal phase detection is a lot of surveying engineering is a basic and important task. This design gives the analog phase measuring principle and implementation scheme. The system consists of a multiplication circuit, high precision amplifier circuit two parts of constitutions. Discusses the use of analog multiplication phase detection principle, practical signal processing procedure and measurement error were analyzed, and simulation, makes the measurement resolution is accurate to 0.5° , results show that: analog multiplication from real-time, detection precision, is better than other conventional methods. The method has been successfully applied to a variety of electronic equipment of phase detection.

Keywords: Difference phase detection

1 概述

随着相位测量技术广泛应用于国防、科研、生产、医疗等各个领域,对相位测量的要求也逐步向高精度、高智能化方向发展,在高频范围内,相位测量在医疗部门有着尤其重要的意义,对于高频相位的测量,用传统的指针式仪表显然不能够满足所需的精度要求,随着电子技术以及微机技术的发展,高精度的测量分辨率以及直观化的特点得到越来越广泛的应用。在具体的工程实现中对相位的高精度检测并数字化是一个比较困难的问题。原有的测量方法是对两个输入信号进行调理,应用过零检测的方法使其变换成两个方波,然后用这两方波去控制一个计数器的开停,即用高频的脉冲去填充两个信号的时差实现相位的测量。

本次设计中为了提高测量精度,采用乘法电路模块和高精度放大电路,下面对这两个电路进行说明。

2 乘法电路模块

该模块的主要作用就是得到含有相差信息的低频分量 $\cos \Phi$, 将相差的大小转换为相应的电压值。但在本设计中我们研究的相差是很小的, Φ 的取值范围只是在 $0.1^\circ - 10^\circ$ 之间,这样与之相对应的相差信息分量 $\cos \Phi$ 的值也很小,而一个很小的电压(如毫伏级别)是难以识别的。这是本设计中最为重要的一个问题,如何将一个很小的相差信息转化为一个可以识别的电压。而在此我们设计 AD834 乘法电路可以很好的解决这个问题。

AD834 主要用于高频信号的运算与处理,能够对设计中两路 10MHz 的高频信号进行处理转换。将两路含有相差信息的正弦信

号 $A \sin \omega t$ 和 $A \sin(\omega t + \Phi)$ 送入乘法器 AD834 的两输入端 X 端和 Y 端,我们来分析 AD834 的传递函数 $W=4XY$:

$$W = 4XY = 4 \times A \sin \omega t \times A \sin(\omega t + \Phi)$$

显然,输出 W 由高频分量 $\frac{A^2}{2} \cos(2\omega t + \Phi)$ 和相差信息分量 $\frac{A^2}{2} \cos \Phi$ 构成,其中高频分量 $\frac{A^2}{2} \cos(2\omega t + \Phi)$ 将通过其后的 MAX291 滤波电路被滤除,从而就可得到独立的相差信息分量 $\frac{A^2}{2} \cos \Phi$, 其值为一定值(不含频率 ω , 相差 Φ 的大小也已知)且 $\cos \Phi$ 的值很小。为了克服小电压难以识别的问题我们希望相差信息分量尽可能大些,为此我们要尽可能的提高相差信息分量 $\frac{A^2}{2} \cos \Phi$ 的值,但是 $\cos \Phi$ 的值一定,所以我们只有通过提高系数 $\frac{A^2}{2}$ 的值来达到增大电压值的目的。

但 A 的值受限于 AD834, 因为当差分电压大于 1.3V 时,系统将产生明显失真。所以我们在此将 A 取最大值即 $A=1.3V$ 。

3 高精度运放电路模块

在乘法电路模块中,可以看到乘法器的输出值是比较小的,而小电压难以识别。所以,该模块的主要作用就是对乘法器输出的小直流进行适当的放大使它易于被识别。我们的主要任务就是设计一个性能良好的低频高精度运算放大器。在此,我们选用甚底噪声高精度运算放大器 OP37 来实现,因为: OP37 具有极底的输入噪声、温度漂移,极低的失调电压、失调电流,宽的频带范围和长期工作稳定等显著特点。可广泛应用于微弱信号放大、精密测量、精密仪器的前置放大、优质音响系统、D/A 转换及各种仪器仪表、自动控制等领域中。

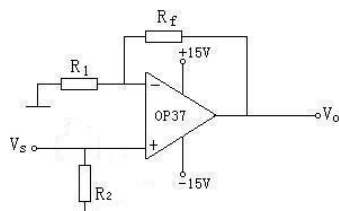
所谓运算放大器,实际上是一种具有很高输入电阻和很高

放大倍数的直接耦合放大器,是一个比较理想的电压增益器件,因此它获得了广泛的应用。运算放大器的种类很多,电路也不尽一致,如:同相与反相放大器,桥式放大器,加法器、积分器、对数运算器等等,但多数运算放大器都是由四个基本部分所构成:输入级、中间级、偏置电路、输出级。

放大电路中的噪声与干扰:放大电路是一种具有较高灵敏度的弱电系统,很容易受到内部和外界一些无规则信号的影响,这些来自放大电路内部或外界无规则的信号我们称之为噪声或干扰。在噪声和干扰电压的大小可以与有用信号相比较时,放大电路输出端有用信号将被它们所“淹没”,或者说放大后的有用信号已难以在输出电压中被检测出来了。因此噪声和干扰是高灵敏度放大器中必须加以考虑的重要问题。下面给出 OP37 的三个主要参数:

- (1)极低的输入噪声电压幅度 $0.08\mu\text{V}_{\text{p-p}}$ ($0.1\text{Hz} - 10\text{Hz}$)
- (2)极低的输入失调电压 $10\mu\text{V}$
- (3)极低的输入失调电压温漂 $0.2\mu\text{V}/^\circ\text{C}$

在本模块中,我们的目的是将很小的输出电压(直流信号),进行适当的放大,不包含相位信息,与相位无关。所以,我们采用由 OP37 构成的同相放大器来实现对输出信号的放大。下面我们给出该运放电路的原理图:



OP37 构成的同相放大器

而 $V_o = \frac{R_f}{R_1 + R_f} V_o$ $V_o = V_s$ 根据 $V_o = V_s$ 得, $V_o = (1 + \frac{R_f}{R_1}) V_s$

相应的闭环放大倍数为: $A_v = \frac{V_o}{V_s} = 1 + \frac{R_f}{R_1}$

上式表示,放大器的输出电压与输入电压同相,且闭环放大倍数也是由外部反馈网络的电阻比值 $\frac{R_f}{R_1}$ 来决定。此时的输入电阻 $R_{id} = \frac{V_s}{I_i} = \infty$, 输出电阻 $R_o \approx 0$ 。

由乘法电路我们知道: $\Phi = 0^\circ$ 、 $W = 0.845$; $\Phi = 0.5^\circ$ 、 $W = 0.844967$; $\Phi = 1^\circ$ 、 $W = 0.844871$; $\Phi = 2^\circ$ 、 $W = 0.844485$

为了辨识 0.5° 单位的相位差,即 0° 与 0.5° 之间的相差, 0° 与 1° 之间的相差……

我们作如下处理:

$\Phi = 0.5^\circ$ 时的相差为 $\Delta = 0.845 - 0.844967 = 0.05\text{mV}$

$\Phi = 1^\circ$ 时的相差为 $\Delta = 0.845 - 0.844871 = 0.129\text{mV}$

$\Phi = 2^\circ$ 时的相差为 $\Delta = 0.845 - 0.844485 = 0.515\text{mV}$

通过观察上面的三组数据知道 Δ 的值非常小,只达到 mV 级别,根本无法识别,该模块将对其进行适当的放大,把它放大到以 V 为单位,这样我们就可以容易测量出它的值。下面我们就来确定所需的放大倍数:

$0.05\text{mV} \times 5000 = 0.25\text{V}$ $0.129\text{mV} \times 5000 = 0.645\text{V}$

$0.515\text{mV} \times 5000 = 2.575\text{V}$

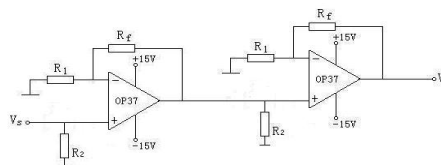
0.25V 、 0.645V 、 2.575V 都是我们可以容易测量出来的,所以,我们需要一个放大倍数为 5000 的放大器。在此,我们采用级联放大电路来实现。用两个 OP37 同相放大器,第一级电压增益 A_{v1} 为 100,第二级电压增益 A_{v2} 为 50。级联后 $A_v = A_{v1} \times A_{v2} = 5000$ 达到要求。下面来确定元件参数:

$A_v = \frac{V_o}{V_s} = 1 + \frac{R_f}{R_1}$ 取 $R_f = 5\text{K}\Omega$ $R_1 = 50\Omega$ 则: $A_v = 100$

取 $R_f = 2.5\text{K}\Omega$ $R_1 = 50\Omega$ 则: $A_{v2} = 50$

偏置电阻 R_2 一般取 $\frac{R_f + R_1}{2}$, 在此我们取 $R_2 = 500\Omega$

最后给出 OP37 构成的电压增益为 5000 的两级同相放大器:



第一级: $R_f = 5\text{K}\Omega$

$R_1 = 50\Omega$

$A_{v1} = 100$

第二级: $R_f = 2.5\text{K}\Omega$

$R_1 = 50\Omega$

$A_{v2} = 50$

4 结束语

本系统实现了对两路 10MHz 正弦信号中 0.1° 到 10° 相差的精确检测,并最终用可识别的电压来表征相差的大小。在高频环境下,能够稳定输出,计算误差小,失真低。乘法电路和高精度运放电路都能够稳定工作,各模块性能都达到设计要求。对系统进行整体调试,工作稳定、性能良好,具有高的实时性、检测精度和抑制噪声能力,能很好的实现在高频环境下,对很小相差的高精度测量。该系统还可以得到进一步的扩展和完善,使该方法能够被广泛应用。随着相位测量技术广泛应用于国防、科研、生产、医疗等各个领域,对相位测量的要求也逐步向高精度、高智能化方向发展,在高频范围内,相位测量在医疗部门有着尤其重要的意义。

参考文献

- [1] Kyan MJ, Guan L, Arnison M R, et al. Feature Extraction of Chromosomes from 3D Confocal Microscope Images. IEEE Transactions in Biomedical Engineering. 2001
- [2] Boukerroui D, Noble J A, Robini M C, et al. Enhancement of Contrast Regions in Suboptimal Ultrasound Images with Application to Echocardiography. Ultrasound Medicine Biology. 2001
- [3] Xiao Z, Hou Z, Miao C, et al. Using Phase Information for Symmetry Detection. Pattern Recognition. 2005
- [4] Sobel I. Neighbourhood Coding of Binary Images for Fast Contour Following and General Array Binary Processing. Computer Graphics and Image Processing. 1998
- [5] 王强, 赵宇. CPLD 在步进电机控制系统中的应用 [J]. 电子测量技术. 2006 (06)
- [6] 宋强. 基于虚拟仪器的电动汽车牵引电机性能测试系统 [J]. 仪器仪表学报. 2007 (11)
- [7] 欧阳春光. 相位检测仪的原理与制作 [J]. 大众用电. 2002 (05)
- [8] 孙玉根. 相位检测仪现存缺陷及其改进 [J]. 建筑电气. 2002 (02)
- [9] 顾春雷. 动态功率因数补偿中的参量检测与控制 [J]. 电力电子技术. 2001 (06)
- [10] 白鹏, 王建华, 刘君华. 基于虚拟仪器的相位测量算法研究 [J]. 电测与仪表. 2002 (08)

作者简介

张凯(1983—),男,汉族,陕西咸阳人。毕业于西北大学电子信息工程专业,现于陕西工业职业技术学院信息工程学院任教,一直从事电子信息专业相关教学。