

How to Implement Serrodyne in Optic Gyro Using Two Frequencies Modulation

LI Ru-chun¹, CUI Zhong-sheng², MA Hui-lian²

(1. College of Information and Electronics Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China;
2. Department of Information and Electronics Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: In resonator fiber optic gyro using two frequencies modulation, the serrodyne must be easy to control and have a high accuracy. According to these requests, this paper proposes a implement way, describes in detail how to solve the number, amplitude and combined method in signal serrodyne, and how to get the serrodyne with two frequencies. The way is testified in DSP.

Key words: Serrodyne's implement way; Two frequencies modulation; Resonator fiber optic gyro

双频率调制光纤陀螺中阶梯波实现的研究

李如春¹, 崔忠升², 马慧莲²

(1. 浙江工业大学信息学院, 杭州 310014; 2. 浙江大学信息与电子工程系, 杭州 310027)

摘要:在双频率调制的谐振式光纤陀螺中,要求阶梯波易于控制且具有较高的精度,本文针对此,提出了一种实现方案,详细阐述了如何求解单个阶梯波的台阶高度、个数和组合方式,以及如何形成两种频率组合的阶梯波,最后在 DSP 上进行了方案的验证。

关键词:阶梯波的实现方案;双频率调制;谐振式光纤陀螺

中图分类号:TN253 文献标识码:A 文章编号:1004-1699(2004)01-0143-03

在谐振式光纤陀螺^[1]中,为了解决模拟调制中对锯齿波的回扫时间和线性度的苛刻要求,往往采用数字调制,即采用阶梯波替代锯齿波。对于普通阶梯波的形成和控制,现已有非常成熟的方法,本篇要阐述的则是双频率调制方法^[2]中阶梯波的处理。

所谓双频率调制的方法,即从激光器出来的光波(设其频率为 f)未经调制,而相位调制器 PM 的控制电压则是由两种频率组合的阶梯波。假设阶梯波由工作频率为 f_1 和 f_1' 的单个阶梯波组合形成,组合后的阶梯波的重复频率为 q ,如图 1 所示。当光纤谐振腔的谐振频率为中心谐振频率 $f + (f_1 + f_1')/2$

时,探测器输一直流信号;而当谐振点偏离 $f + (f_1 + f_1')/2$ 时,探测器上得到的是一方波信号,如图 2 所示。图中,虚线和实线分别表示系统谐振点在中心谐振频率和偏离中心谐振频率时的情况。

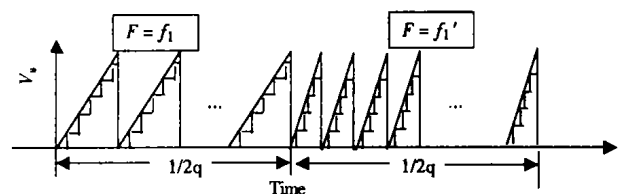


图 1 由两种频率组合的阶梯波示意图

在这种双频率数字调制方法中,由于阶梯波参数往往受控于检测支路的反馈信号,所以其变化

收稿日期:2003-07-16

基金项目:国家重点基础研究发展规划项目课题(G1999033110)

作者简介:李如春(1968-)女,浙江工业大学信息学院讲师,浙江大学信息学院微电子与固体电子学专业在读博士研究生,主要研究方向为传感器与微系统集成技术, lrc@zjut.edu.cn.

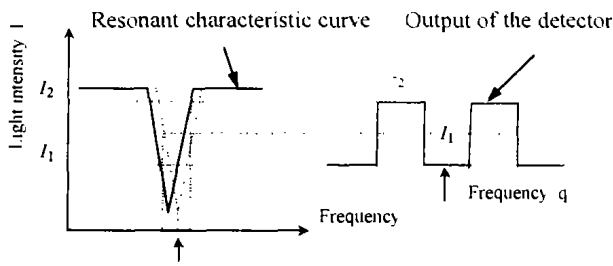


图2 双频率调制的探测器输出波形

是实时的,这使得阶梯波的形成无法采用常规的函数信号发生器等硬件电路来实现,而必须依靠 DSP 之类的内核,通过软件的控制来完成。在实现的过程中,不仅要确定单个阶梯波中台阶个数的取值,而且还要解决两种阶梯波如何恰当地组合,才能保证探测器上输出的是,信号的占空比为 50% 的方波信号,本篇就针对这些问题,进行了详细的研究。

1 形成阶梯波的算法

1.1 单个阶梯波中台阶高度及个数的确定

在数字调制的光纤陀螺中,任何阶梯波信号的复位,都是利用 D/A 转换器自动溢出的方法,自然地产生一个合适的同步复位的。所以,阶梯波的产生与 D/A 转换器的位数密切相关。在下面的讨论中,假设 D/A 转换器的位数为 N 位,则其最低有效相位可表示为:

$$\varphi_{LSB} = \frac{2\pi}{2^N} \quad (1)$$

对于谐振式光纤陀螺,检测支路的反馈信号是由于陀螺旋转而引起的正反两个光路的谐振频差 Δf_R , 而 Δf_R 与相位差 φ_s 之间有如下关系:

$$\varphi_s = 2\pi\Delta f_R \tau \quad (2)$$

式中, τ 是单个台阶的宽度,即光信号渡越光纤谐振腔的时间。

从式(1)可以知道,只要求出 φ_s 对阶梯波的控制关系,即可相应地得到 Δf_R 对其的控制作用。所以,为了便于理解,在下面的内容中主要研究 φ_s 与阶梯波的关系。具体的分析分为两种情况,即陀螺的谐振频差所对应的相位差 φ_s 大于和小于 D/A 转换器最低有效相位 φ_{LSB} , 表示为

$$\varphi_s > \varphi_{LSB} \quad \varphi_s < \varphi_{LSB}$$

1) $\varphi_s > \varphi_{LSB}$

假设检测支路中反馈的频差所对应的相位大小为 φ_s , 则 φ_s 的精确值可表示为^[3]:

$$m\varphi_{LSB} \leq \varphi_s < (m+1)\varphi_{LSB} \quad (3)$$

式中, m 为小于 2^N 的整数,其值为 $m = \left[\frac{\varphi_s}{\varphi_{LSB}} \right]_{int}$ 。

其中, $[]_{int}$ 表示对括号中的数取整。

由式(3)可知,为了保证检测精度,阶梯波可以由 m' 个高度为 $m\varphi_{LSB}$ 的台阶和 m'' 个高度为 $(m+1)\varphi_{LSB}$ 的台阶组成,分别对陀螺的旋转进行欠补偿和过补偿。而 φ_s 的大小,实际上是所有这些台阶高度的平均值,即:

$$\begin{aligned} \varphi_s &= \frac{m'm\varphi_{LSB} + m''(m+1)\varphi_{LSB}}{m' + m''} \\ &= m\varphi_{LSB} \left[1 + \frac{m''}{m(m' + m'')} \right] \end{aligned} \quad (4)$$

假设单个周期中的阶梯波台阶总个数为 n , 则 $n = m' + m''$ 。由于阶梯波的最大高度对应于相位的最大值 2π , 所以 n 满足如下关系:

$$n = m' + m'' = \left[\frac{2\pi}{\varphi_s} \right]_{int} \quad (5)$$

由式(4)和(5)可得

$$\begin{aligned} m'' &= \left(\frac{\varphi_s}{\varphi_{LSB}} - m \right) n \\ m' &= n - m'' \end{aligned} \quad (6)$$

由此可知,只要算出 m 、 m' 和 m'' 的数值,单个阶梯波内台阶的总个数和每个台阶的高度即可确定。

2) $\varphi_s < \varphi_{LSB}$

与 $\varphi_s > \varphi_{LSB}$ 时的分析类似,只是此时的阶梯波是由 m' 个高度为 $\varphi_{LSB}/m+1$ 的台阶和 m'' 个高度为 $\frac{\varphi_{LSB}}{m}$ 的台阶组成,而 φ_s 的大小,是所有这些台阶高度的平均值,即:

$$\varphi_s = \frac{m' \frac{\varphi_{LSB}}{m+1} + m'' \frac{\varphi_{LSB}}{m}}{m' + m''} \quad (7)$$

式中: $m = \left[\frac{\varphi_{LSB}}{\varphi_s} \right]_{int}$ 。

求解式(7)得:

$$\begin{aligned} m'' &= m(m+1)n \frac{\varphi_s}{\varphi_{LSB}} - mn \\ m' &= n - m'' \end{aligned} \quad (8)$$

上式中, n 的取值可根据式(5)得到。

1.2 如何形成周期性的阶梯波

当单个阶梯波中台阶的个数 m' 和 m'' 以及相应的高度确定以后,在阶梯波的一个周期内又如何排列 m' 个高度为 $m\varphi_{LSB}$ 的台阶和 m'' 个高度为 $(m+1)\varphi_{LSB}$ 的台阶呢? 为了在单个阶梯波内,使整体和局部的不

同高度的台阶分布都趋于均匀, 可以根据以下原则进行。

1) $\phi_s > \phi_{LSB}$

先判别 m' 和 m'' 哪个大。如果 $m' > m''$, 取

$$k = \left\lceil \frac{m'}{m''} \right\rceil_{int} \quad (9)$$

由此可将高度为 $(m + 1)\phi_{LSB}$ 的台阶和高度为 $m\phi_{LSB}$ 的台阶按 1:k 的比例循环排列, 直至到达 2π 。

如果 m' 和 m'' 的比值不是恰为整数, 则将幅值为 $(m + 1)\phi_{LSB}$ 的台阶和幅值为 $m\phi_{LSB}$ 的台阶按 1:k 的比例循环排列 m'' 次以后, 剩余的台阶由幅值为 $m\phi_{LSB}$ 的单独完成, 其剩余的台阶个数为 $n - (k + 1)m''$ 。

如果 $m' < m''$, 情况与上述类似。

2) $\phi_s < \phi_{LSB}$

整个分析情况与 $\phi_s > \phi_{LSB}$ 时类似, 只是此时台

阶高度为 $\frac{\phi_{LSB}}{m + 1}$ 的意思是: 在 $m + 1$ 个 τ 时间内输出一个 ϕ_{LSB} , 即在 m 个时钟期间没有台阶, 而在第 $m + 1$ 个时钟期间恰好输出一个 ϕ_{LSB} 。例如 $m = 3$, 在 1-3 个 τ 时间内无输出, 而在第 4 个 τ 时间输出一个 ϕ_{LSB} , 如图 3 所示:

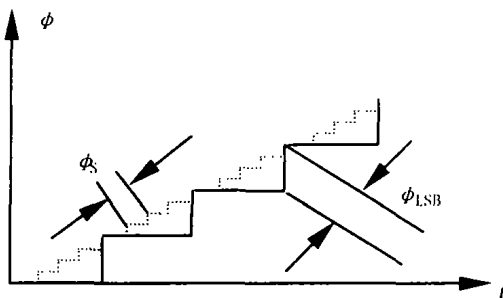


图 3 阶梯波单个台阶高度为 $\phi_{LSB}/m + 1$ 的示意图

1.3 如何形成两种频率组合的阶梯波

假设阶梯波的两组频率分别为 f_1 和 f_2 , 其重复频率为 p 。为了保证在一个周期 $1/p$ 内, 频率为 f_1 和 f_2 的阶梯波所占的时间相同, 分别为 $1/2p$, 即保证探测器上输出的是方波信号, 应满足下式:

$$\frac{c_1}{f_1} = \frac{c_2}{f_2} = \frac{1}{2p} \quad (13)$$

如果取 $f_1 = 50 \text{ kHz}$, $f_2 = 100 \text{ kHz}$, $p = 2.5 \text{ kHz}$, 则 $c_1 = 10$, $c_2 = 20$ 。即在组成组合阶梯波时, 先将频率为 f_1 的阶梯波重复 10 次, 再将频率为 f_2 的阶梯波重复 20 次, 形成一个完整的 $1/p$ 周期, 如图 4 所示。

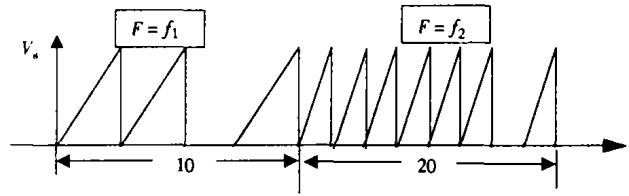


图 4 组合阶梯波形成的示意图

2 基于 DSP 的阶梯波实现

根据前述算法, 可以利用 DSP 芯片^[4] 实现两种频率组合的阶梯波。编程实现的组合阶梯波如图 5 所示。图中的具体参数为: $f_1 = 50 \text{ kHz}$, $f_2 = 100 \text{ kHz}$, $p = 2.5 \text{ kHz}$ 。

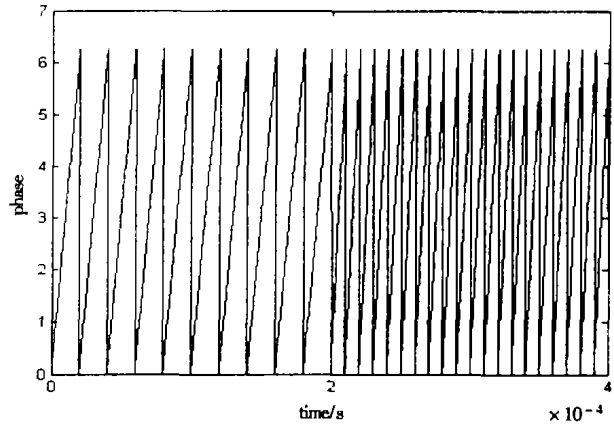


图 5 基于 DSP 的组合阶梯波仿真图

3 结论

在双频率调制的光纤陀螺中, 阶梯波的精确与否, 直接关系到陀螺的检测精度, 所以是至关重要的。利用文中所述的算法, 基于 DSP 进行实现, 不仅输出波形易于控制, 而且精度高, 是一种理想的实现方案。

参考文献:

- [1] Meyer R E, Ezekiel S and Stowe D W. Passive fiber optic ring resonator for rotation sensing[J]. Journal of Optic Letters, 1983, 8:644 - 646.
- [2] Kazuo Hotate, Member, IEEE. and Michiko Harumoto. Resonator fiber optic gyro using digital serrodyne modulation[J]. Journal of Lightwave Technology. 1997, 15:466 - 473.
- [3] 张桂才, 王巍. 光纤陀螺仪[M]. 国防工业出版社, 2002, 114 - 120.
- [4] 张雄伟, 陈亮, 徐光辉. DSP 集成开发与应用实例[M]. 电子工业出版社, 2002.