

基于 LabVIEW 的软件数字锁相环实现

孙秀桂 张洪斌¹ 张树朝

(大理学院,大理 671003;大理供电局¹,大理 671001)

摘要 锁相环在测控、数字信号处理等领域有着广泛的应用。软件锁相环成为锁相环发展的趋势之一,根据锁相环路的基本组成及原理,利用 LabVIEW 软件提供的强大的数值计算和信号分析等能力对软件数字锁相环进行设计。实验和仿真结果表明该软件锁相环具有较好的捕获和跟踪性能。利用软件实现的锁相环比硬件锁相环具有更好的灵活性和通用性,同时具有结构简单、参数设计灵活等优点。

关键词 软件锁相环 LabVIEW 鉴相器 子 VI

中图分类号 TN911.9; **文献标志码** A

锁相环(Phase-locked Loop, PLL)技术在测控、通信、数字信号处理等众多领域得到了广泛的应用。锁相环能够跟踪和锁定输入信号,使输出信号与输入信号在频率和相位上保持同步,精确获得输入信号的频率和相位信息,广泛应用于 FSCTS、电气传动和无线通信等领域^[1]。目前使用的锁相环主要是模拟锁相环和数字锁相环^[2],随着计算机技术及测试技术的不断提高,为锁相环的软件实现提供了条件,软件锁相环成为锁相环发展的趋势之一。实质上,软件锁相环可认为是一个时间离散的模拟锁相环^[3]。本文利用虚拟仪器技术,根据锁相环的原理对数字软件锁相环进行设计,并通过测试及仿真验证了该锁相器可应用性。

1 锁相环

1.1 原理分析

锁相环路是一个相位的负反馈控制电路,简称锁相环。锁相环的特点是:利用外部输入的参考信号控制环路内部的震荡信号的频率和相位。锁相环

通常由鉴相器(PD)、环路滤波器(LF)和压控振荡器(VCO)三个基本部分组成,锁相环组成的基本原理框图如图1所示。



图1 锁相环基本原理图

锁相环中的鉴相器又称为相位比较器,用来检测输入信号相位和输出信号相位之间的相位差,并将检测出的相位差转换成 $u_d(t)$ 电压信号输出,该信号经低通滤波器滤波后形成压控振荡器的控制电压 $u_c(t)$,对振荡器输出信号的频率实施控制。一般用相乘器电路或序列电路实现^[4]。

1.2 数学模型分析

设外界输入的信号电压和压控振荡器输出的信号电压分别为:

$$u_i(t) = u_m \sin [\omega_i(t) + \theta_i(t)] \quad (1)$$

$$u_o(t) = u_{om} \cos [\omega_o(t) + \theta_o(t)] \quad (2)$$

式中的 ω_o 为压控振荡器的自由振荡频率^[5]。则模拟乘法器的输出电压 $u_d(t)$ 为:

$$u_d(t) = K u_i(t) u_o(t) =$$

$$\frac{1}{2} K U_m U_{om} \sin [\omega_i t + \theta_i(t) + \omega_o t + \theta_o(t)] +$$

2009年8月7日收到 云南省教育厅自然科学基金(08Y0333)资助
第一作者简介:孙秀桂(1974—),女,山东平原人,讲师,研究方向:检测技术与自动化装置。E-mail :sunkerou@yahoo.com.cn。

$$\frac{1}{2}K U_m U_{Om} \sin \{ [\omega_i t + \theta_i(t)] - [\omega_o t + \theta_o(t)] \} \quad (3)$$

用低通滤波器将式(3)中的高频分量滤掉后其差频分量作为压控振荡器的输入控制电压 $u_c(t)$ 。

$$u_c(t) = \frac{1}{2}K U_m U_{Om} \sin \{ [\omega_i t + \theta_i(t)] - [\omega_o t + \theta_o(t)] \} = U_{dm} \sin \{ (\omega_i - \omega_o)t + [\theta_i(t) - \theta_o(t)] \} \quad (4)$$

式(4)中的 ω_i 为输入信号的瞬时震荡角频率, $\theta_i(t)$ 和 $\theta_o(t)$ 分别为输入信号和输出信号的瞬时相位, 其频差的关系式:

$$\frac{d\theta_d}{dt} = \frac{d(\omega_i - \omega_o)t}{dt} + \frac{d[\theta_i(t) - \theta_o(t)]}{dt} \quad (5)$$

式(5)为判定锁相环是否锁定的条件^[6]。

压控振荡器的作用是使其振荡频率向输入信号的频率靠拢, 直至两者的频率相同, 使 VCO 输出信号和输入信号的相位保持某种关系, 以达到相位锁定的目的^[7]。其特性表达式为:

$$\omega_u(t) = \omega_o + K_o u_c(t) \quad (6)$$

未锁定时, $u_c(t)$ 与 ω_u 随时间变化, 锁相环进入“率牵引”, 自动跟踪捕捉输入信号的频率, 使锁相环进入锁定状态, 并保持 $\omega_o = \omega_i$ 的状态不变。

2 软件设计与实现

2.1 LabVIEW 软件

虚拟仪器的关键是软件作为测试仪器的核心, 本为利用虚拟仪器的开发平台 LabVIEW 开发。该软件是第一个采用图形化编程技术的面向仪器的 32 位编译型程序开发系统, 其在功能完整性和应用灵活性上不逊于任何高级语言^[8]。

2.2 程序流程图

根据对锁相环的原理分析, 得到锁相环的数学模型, 在设计的过程中, 利用软件的方法来实现锁相环路的功能。图 2 是系统的程序流程图, 启动程序后, 程序根据程序的运行模式来选择是仿真还是测

试, 根据被检测信号方式的不同, 进行信号锁定、跟踪。设计中将程序按功能划分模块, 每个模块都是一个子 VI, 主要有鉴相器、压控振荡器、仿真信号产生 3 个主要模块, 主程序通过调用各子 VI 完成相应的功能。

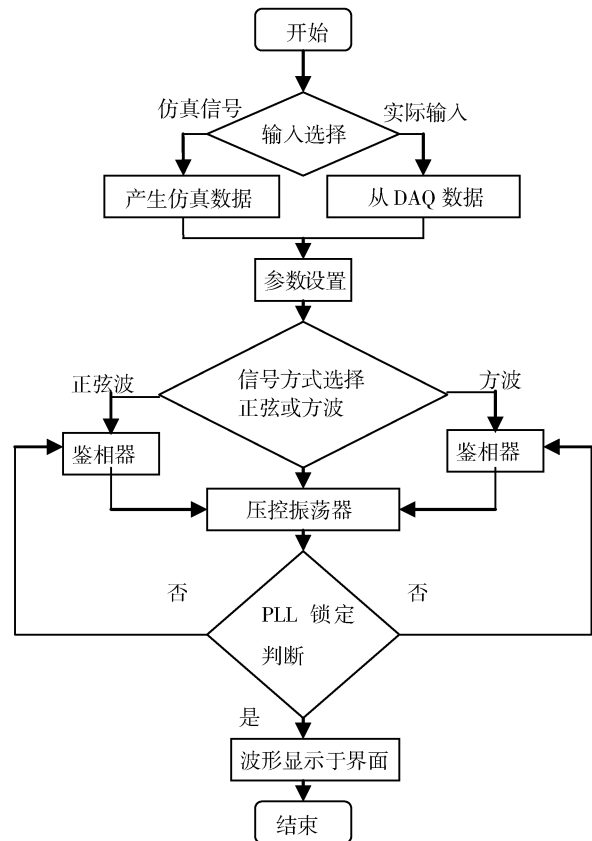


图 2 系统软件流程图

2.2.1 主程序

图 3 为主程序工作于检测信号为正弦波时的前面板。在前面板可显示 DAQ 板的采样信息、压控振荡器的参数、输入信号及反馈信号信息, 在运行结果显示栏内, 可显示 u_c 及 w_c 的值, 振荡频率以及锁相器是否锁定。同时用波形显示器显示输入信号及输出信号。其在运行时信号频率的设定通过运行参数中的参数控件进行设定。其主程序框图如图 5 所示。程序中分别调用子 VII (PD6. vi) 和子 VI2 (VCO. vi), 用以完成跟踪和锁定输入信号。

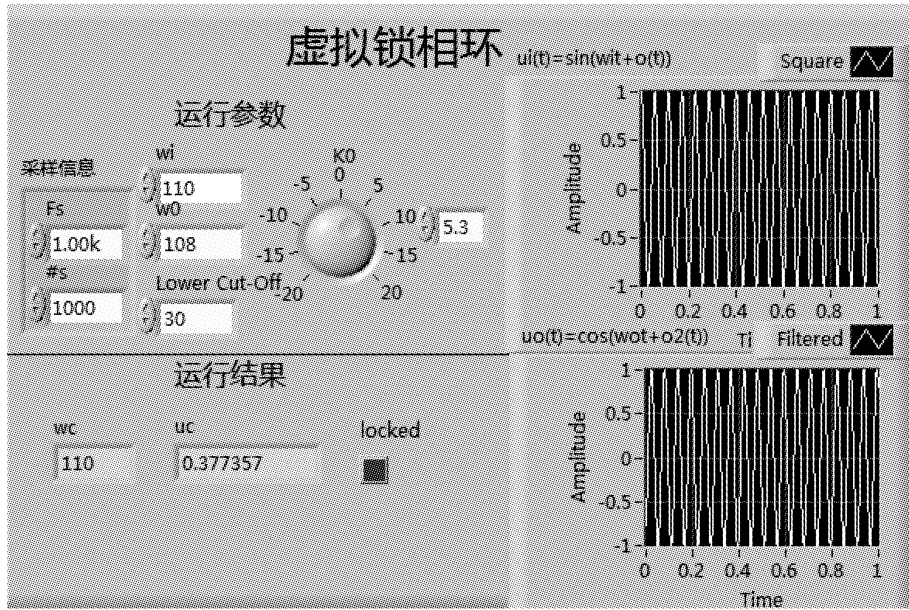


图3 虚拟锁相环(检测信号为正弦波)

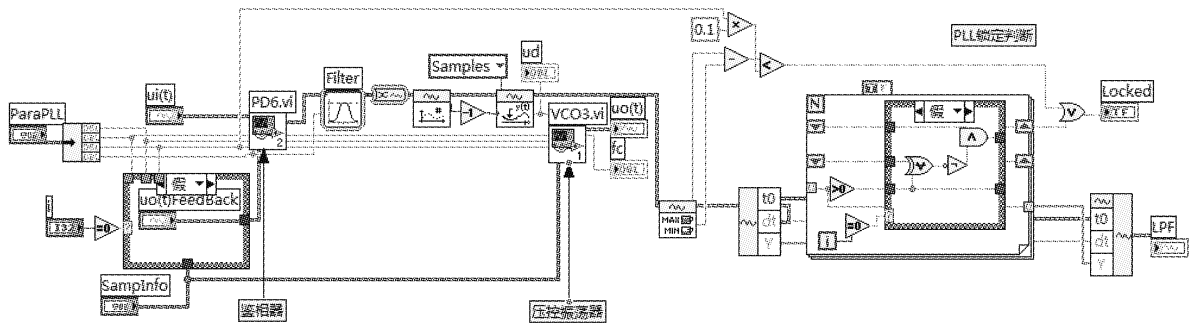


图4 程序框图

2.2.2 鉴相器模块

在设计过程中,利用 LabVIEW 语言提供的强大的数值计算和信号分析能力,根据鉴相器的数学模型用软件来实现,其程序框图如图 5 所示。并利用同样的方法设计 VCO 模块。

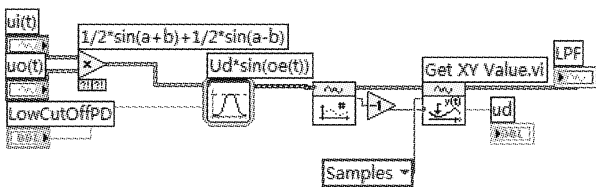


图5 鉴相器程序框图

2.2.3 仿真信号产生模块

该模块通过调用两个子模块分别提供正弦信号

和方波信号两种仿真信号源,既方便调试程序,又可供用户演示使用,其程序框图如图 6 所示。

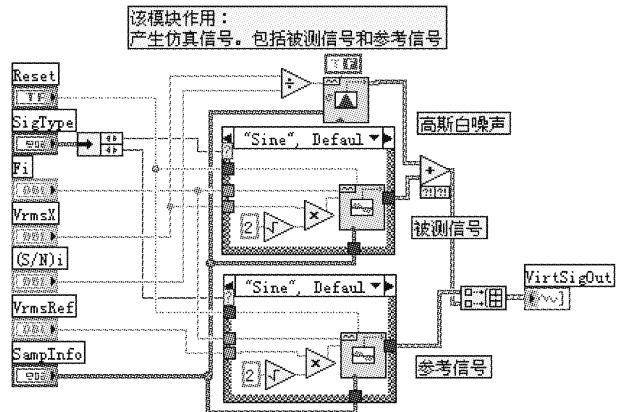


图6 仿真信号产生模块

3 测试结果

实验时,以产生输出 14 Hz 正弦波信号为例。采用正弦波信号发生器产生正弦波作为输入信号,对仪器进行实验。当 $w_i = 14, w_0 = 13$ 且 $2.4 \leq k_0 \leq 5.3$ 时可捕获信号;当 $w_i = 110, w_0 = 100$ 且 $k_0 = 7.7$

时乘积项出现奇异现象,但信号可捕获;当 $w_i = 110, w_0 = 108$ 且 $4.6 \leq k_0 \leq 7.5$, Lower Cut-Off = 30 时可捕获信号,仪器能正确地跟踪,锁定信号并显示结果,如图 4 所示,其频差范围与截止频率和性能参数 K_0 有关。通过仿真测试,在信号加高斯白噪声的情况下,也可捕获信号,实验结果如图 7 所示。

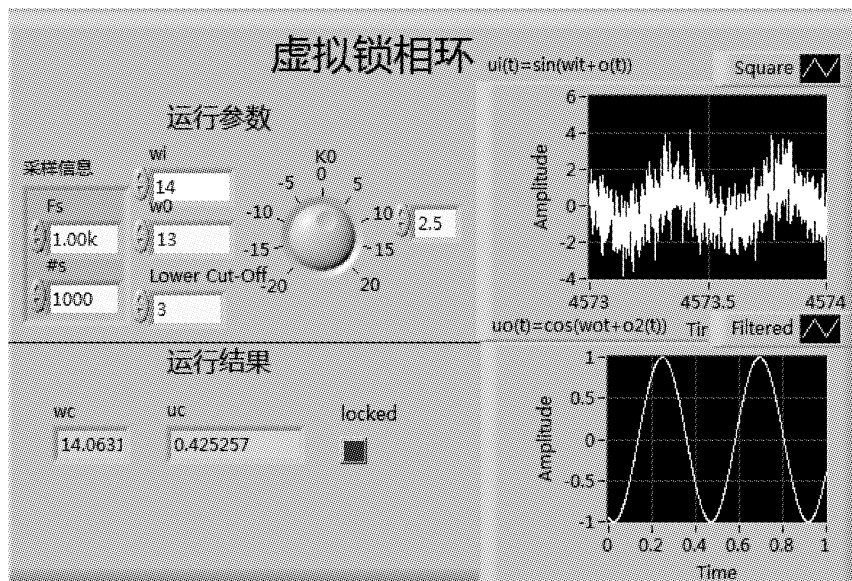


图 7 增加高斯白噪声的仿真结果

4 结论

本文基于锁相环的数学模型,通过 LabVIEW 设计了软件锁相环,摆脱了模拟锁相环和数字锁相环中复杂的硬件电路设计,具有测量精度高、系统结构简单、参数设计灵活等优点,同时本软件锁相器可作为子 VI 与其他虚拟仪器软件组成弱信号测试系统,或通过计算机与其他形式的系统相结合。通过系统的测试和仿真,验证了此锁相环具有较好的捕获和跟踪性能,具有一定的应用价值。

参 考 文 献

1 张东升,张东来,王 陶,等. 基于 Lyapunov 函数的全数字锁相环

的优化设计. 电工技术学报,2008;23(11):109—114

- 刘东华,赵 彬,刘志国. 基于软件锁相环的测频方法研究. 电子测量技术,2008;31(4):33—35
- 屈 强,刘东华,杨 君,等. 软件锁相环的设计与应用. 遥测遥控,2007;28(1):10—14
- 魏建玮,王 珂. 锁相环路研究. 黑龙江科技信息,2009;4:32—32
- 高 沈,康宗荣,刘洛琨,等. 一种基于 ADS 和 Matlab 的锁相环电路设计方法. 通信技术,2009;42(5):34—36
- 张厥盛,郑继禹. 锁相技术. 西安:西安电子科技大学出版社,2003:1—19
- Best R E. Phase - locked loops—design, simulation and applications. New York:McGraw-Hill,2003
- 杨乐平,李海涛,赵 勇,等. LabVIEW 高级程序设计. 北京:清华大学出版社,2003

Design of Software and Digital Phase-locked Loop Based on LabVIEW

SUN Xiu-gui, ZHANG Hong-bin¹, ZHANG Shu-chao

(Dali University¹, Dali 671003, P. R. China; Dali Power Supply Bureau¹, Dali 671000, P. R. China)

[**Abstract**] Phase-locked loop(PLL) has broad application in the field of measurement and control, digital signal processing. The software PLL has become a trend of the development of PLL. With a great capacity of digital computing and signal analysis, a software and digital PLL is designed based on the basic principles and composition. Experimental and simulation results show that the software PLL has better performance of capture and tracking. The PLL designed by software has a higher flexibility and versatility than that by hardware, at the same time it has the advantages of simple in structure and flexible design parameters and *etc.*

[**Key words**] software PLL LabVIEW phase detector Sub-VI

(上接第 68 页)

参 考 文 献

- 1 ACAM. TDC-GP2(Uinversal 2 Channel Time-to-Digital Converter). Datasheet. WWW. acam. de/t. leadmin/Download/pdf/English/DB GP2 e. pdf. 2007;1
- 2 Raisanen-ruotsalainen E, Rahkonen T, Kostmov J. AARA integrated time-to-digital converters based on interpolation. Analog Intergrated Circuits and Signal Processing, 1997;15:49—57
- 3 霍玉晶, 陈千颂, 潘志文. 脉冲激光雷达的时间间隔测量综述. 激光与红外, 2001;31(3):730—731, 831, 931
- 4 潘继飞, 蒋秋喜, 毕大平. 模拟内插法机器测量误差分析. 电光与控制, 2007;14(1):147—150
- 5 杨德麟. 红外测距原理及检测. 北京:测绘出版社, 1995;77—83

Research for a Method about the High Precision Time Measurement

QIAO Xiao-feng, KANG Min, ZHOU Rong-hua¹

(College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, P. R. China;
Changzhou Dadi Surveying science&technology Co., Ltd¹, Changzhou 213022, P. R. China)

[**Abstract**] A method of increasing the measuring precision is introduced, the time interval is measured using the high precision, time interval measurement chip TDC-GP2's second measuring range. The problem of lacking measuring range can be avoided by time delaying. The time measurement of less than a clock period can be solved by the merit of the simulation method in order to solve the nonlinearities in the time interval measurement, the A/D convert method is introduced, and the result of the experiment show that the measuring precision is improved effectively.

[**Key words**] laser ranging time interval measurement TDC-GP2 TVC