

高精度中频双极性 PWM 信号发生器的 FPGA 实现

孔德杰 宋悦铭 毛大鹏

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所 长春 130033)

摘要: 针对 DSP 芯片的 PWM 驱动信号精度与载波频率不能兼顾的矛盾,提出了一种基于 FPGA 器件的高精度中频双极性 PWM 信号发生器,该 PWM 信号发生器采用 VHDL 语言予以实现,具有集成度高、抗干扰能力强、中频范围内频率可调而不改变 PWM 精度的特点。仿真结果表明在中频范围内,该 PWM 信号发生器可以方便地改变 PWM 驱动信号频率,而其精度不会变化。在长脉冲激光驱动电路中实验中,该 PWM 信号发生器很好地解决了 PWM 精度与频率之间的矛盾,并具有较强的抗干扰能力。

关键词: 现场可编程门阵列;脉宽调制;超高速集成电路硬件描述语言

中图分类号: TN812 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.8060

High-precision driver signal of if bipolarity PWM based on FPGA

Kong Dejie Song Yueming Mao Dapeng

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: This paper presents a FPGA-based device precision intermediate frequency (IF) bipolar PWM signal generator PWM drive signal to solve the contradiction between the accuracy and the carrier frequency cannot be balanced in DSP chip. The PWM signal generator using VHDL language to be realized, with high integration, strong anti-jamming capability, the frequency range of the intermediate frequency can be adjusted without changing the accuracy of PWM. Simulation results show that in the IF, the PWM signal generator can easily change the frequency of the PWM drive signal, and its accuracy will not change. In the experiment a long pulse laser driver circuit, the PWM signal generator PWM good solution to the conflict between precision and frequency, and has strong anti-jamming capability.

Keywords: field programmable gate arrays(FPGA); pulse width modulation(PWM); very-high-speed integrated circuit hardware description language(VHDL)

1 引言

随着计算机技术进入控制领域,以及新型的电力电子器件的不断出现,采用全控型的开关功率器件进行的脉宽调制(简称 PWM)控制方式已成为绝对主流^[1]。这种控制方式可用专用的集成电路芯片来实现,也可用单片机或 DSP 控制芯片来实现。

数字 PWM 驱动信号一般是由单片机或 DSP 器件直接产生。但是在实际应用中,PWM 驱动信号的精度与频率之间存在矛盾,尤其是在高精度控制领域中,需要高精度、高频率的 PWM,其 PWM 分辨率一般 15 位,而载波频率往往达到 20 kHz 以上。以主流 DSP 器件 TMS320F28335 为例,其 PWM 驱动信号分辨率达到 15 位后,其载波频率就只能

达到 4 kHz,这样就对控制对象造成一些不利影响,对电源来说,会造成体积增大,功耗增加;对电机控制来说,会不利于电流环等控制环节的实现,并产生啸叫等。模拟 PWM 信号一般由专用集成芯片或 IPM 器件产生,其精度与频率之间的矛盾得以解决,但其抗干扰能力相对较差。针对上述问题,提出了采用 CPLD/FPGA 器件来实现高精度中频双极性 PWM 发生器。

2 PWM 驱动信号的 FPGA 实现

2.1 PWM 发生原理

在特种电源与运动控制领域中,双极性 PWM 驱动电路是应用最广的驱动电路之一。其发生原理如图 1 所示。

收稿日期:2015-09

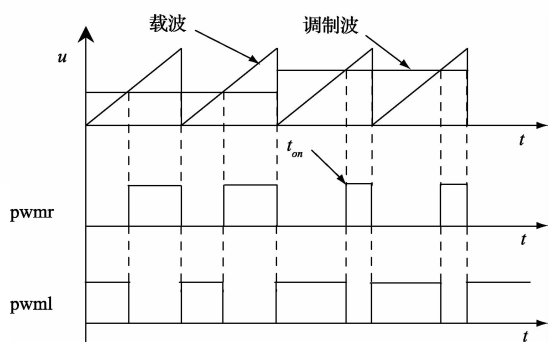


图1 双极性 PWM 驱动信号发生原理

其中,载波决定了 PWM 频率,调制波决定了 PWM 占孔比。PWM 周期为 T ,当 $t_{on} > \frac{T}{2}$,负载端平均电压为正;当 $t_{on} < \frac{T}{2}$,负载端平均电压为负;当 $t_{on} = \frac{T}{2}$,平均电压为零。双极式可逆 PWM 驱动电路负载端平均电压可表示为:

$$U_L = \frac{t_{on}}{T} V_{cc} - \frac{T-t_{on}}{T} V_{cc} = (\frac{2t_{on}}{T} - 1) V_{cc}$$

PWM 的精度取决于载波与调制波,调制波由上位机给出,在该发生器中,只需设计出适合调制波精度的载波即可。将载波周期 T 分割成 n 份,则驱动信号精度为 $\sigma_{PWM} = \frac{1}{n} V_{cc}$,该精度也是负载端精度。

2.2 FPGA 实现原理

其 FPGA 的实现原理如图 2 所示。

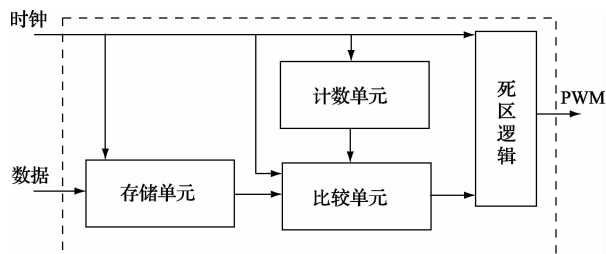


图2 PWM 信号发生器原理

根据图 2 所示 PWM 信号发生器的原理,基于 FPGA 器件,利用 VHDL 语言,即可设计出高精度中频双极性 PWM 信号驱动器^[2-4]。

2.3 高精度 PWM 的 FPGA 实现

根据该电路的特点,可以很方便的用 FPGA 器件来实现。CPLD/FPGA 器件以其灵活性、便捷性,大大提高了系统的集成度,增强了系统的抗干扰性和工作的稳定性^[5-7]。尤其是其运行的高速性,很好的解决了 PWM 驱动信号的控制精度与发生频率的矛盾。

该驱动信号使用 VHDL 语言具体实现。其顶层模块如图 3 所示。

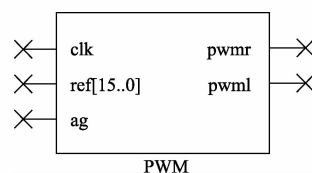


图3 双极性 PWM 发生器顶层模块

图 3 中,ref[15..0]为 FPGA 与上位机数据总线接口,主要接收上位机的控制数据。ag 是上位机数据传送信号,当有新的数据要传送时,其会产生一脉冲信号,使计数器清零。在该模块中,还设计了数据格式转换子程序,把二进制数转换为十进制数,从而方便调试,使仿真结果更为直观,同时也方便了参数设置。该驱动信号的精度为 $\sigma_{PWM} = \frac{1}{50\,000} V_{cc}$,其工作频率或精度可以通过设置程序中相关参数方便地加以设置或调整。

其顶层 VHDL 程序如下:

```
library ieee;
use ieee.std_logic_1164.all;
use ieee.std_logic_unsigned.all;
use ieee.std_logic_arith.all;
use work.pwm_lib.all;
entity pwm is
port( clk:in std_logic;
ref:in std_logic_vector(15 downto 0);
ag:in std_logic;
pwmr:out std_logic;
pwml:out std_logic);
end entity;
architecture behave of pwm is
signal clkout:std_logic;
signal cnt:integer;
signal refa:integer;
signal refs:std_logic;
begin
f1: pll port map(clk,clkout);
f2: tyv port map(clk,ref,refs,refa);
f3: cnt port map(clkout, cnt,refa);
f4:dez port map(clk, ag,pwmr,pwml);
end behave;
```

3 仿真结果

其仿真波形如图 4 所示。

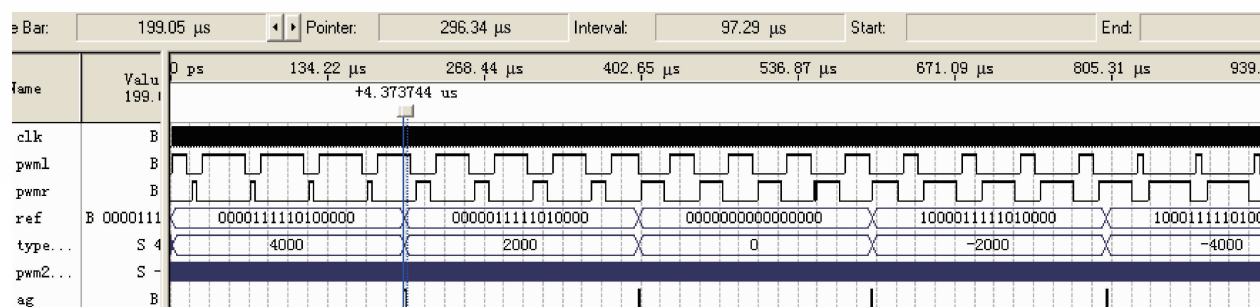


图4 双极性 PWM 仿真波形

从仿真波形图可以清楚地看到,20 kHz 中频 PWM 驱动信号得以产生,并且 VHDL 程序中实现死区发生器,防止了双极性驱动电路的上下桥臂的直通。

4 实验结果

该设计采用了 Altera 公司的 Cyclone 系列 EP1C6Q240C8 器件,为高分辨率中频 PWM 信号的产生提供了基础。一般 PWM 驱动电路在其工作频率或精度确定后,再作改动就比较困难,但是采用 FPGA 器件后,改变 PWM 驱动信号的工作频率以及精度变得简单起来。在不超过 FPGA 器件本身的极限工作频率的情况下,可任意设置 PWM 驱动信号的工作频率,而不影响其精度。DSP 等控制芯片作为控制领域的主流芯片,其从原理上无法实现改变 PWM 工作频率而不影响其精度^[8]。实际工作波形如图 5 中(a)、(b)所示。在此,FPGA 的灵活性得以充分体现。

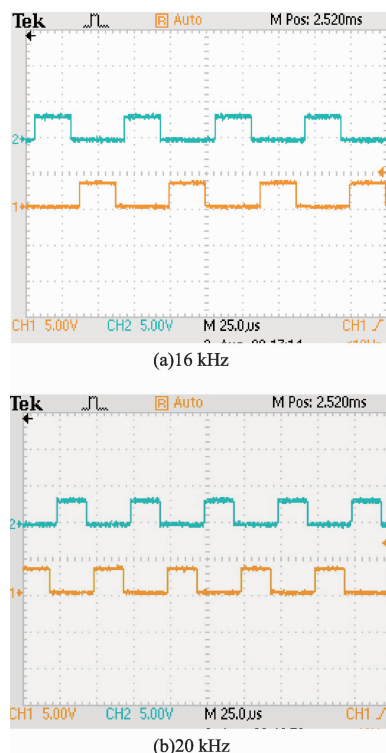


图5 不同频率驱动电路波形

利用该 PWM 驱动发生器得到的长脉冲激光器实际激光波形如图 6 所示。

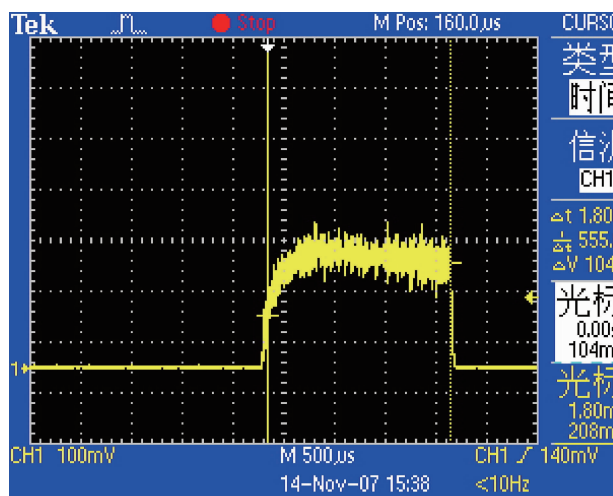


图6 长脉冲激光波形

经实验证明,该电路具备良好的抗干扰能力,并且很好的解决了数字控制电路中 PWM 精度与频率之间的矛盾。

5 结 论

给出了中频高精度的 PWM 驱动信号的 FPGA 实现。由于采用了 FPGA 器件,数字控制电路中 PWM 驱动信号的精度与 PWM 工作频率之间的矛盾得以解决,并且使该系统具有很好的灵活性以及抗干扰性。该系统可应用在激光电源等特种电源、电机控制领域中^[9-10],并在实验中得到了验证,可使控制系统具有更大的灵活性、更快的运行速度和更强的抗干扰能力。

参 考 文 献

- [1] 王兆安. 电力电子技术[M]. 第4版. 北京:机械工业出版社,2000.
- [2] 陈燕,刘守山. 基于 CPLD 的光电编码器四倍频电路的设计[J]. 国外电子测量技术,2015,34(1):45-48.

(下转第 43 页)

制建立了一套视轴稳定系统,将光学遥感载荷的视轴与航空平台的振动及姿态变化隔离,使光学遥感载荷的视轴稳定在惯性空间内。通过在机载通用高精度稳定平台中加载模拟光学载荷,在五轴动目标试验调试仪上实验验证视轴稳定系统的实际效果。实验结果表明,通用高精度稳定平台方位、俯仰、横滚框架在设计范围内运动时,系统的视轴稳定精度小于 5 mrad,完全满足机载通用高精度稳定平台的设计使用要求。

由实验可知,虽然稳定平台的视轴稳定精度满足设计使用要求,但其稳定精度较国外同类产品还存在一定差距,接下来还需要研究进一步提高视轴稳定精度的方法。

参考文献

- [1] 李焱,张海波,张强,等.惯导平台下舰载光电设备舷角正交测距技术[J].仪器仪表学报,2014,35(1):8-14.
- [2] 李海星,惠守文,丁亚林.国外航空光学测绘装备发展及关键技术[J].电子测量与仪器学报,2014,28(5):469-477.
- [3] 徐梓皓,周召发,孙立江.基于卡尔曼滤波器的姿态角测量系统设计[J].电子测量技术,2014,37(1):1-4.

- [4] 赵圣占,杨若红.靶场测量设备与被试品等精度试验的设计方法[J].电子测量技术,2014,37(7):98-106.
- [5] 沈宏海,刘晶红,张葆,等.航空光电成像平台角位置陀螺和角速率陀螺的稳定效果分析[J].光学精密工程,2007,15(8):1293-1299.
- [6] 张施贤.机载相机稳定平台私服系统的研究[D].南京:南京理工大学,2008.
- [7] 李昕泽,姜亮,郝继平.连续波雷达用于舰炮弹目偏差测量的设计与实践[J].国外电子测量技术,2014,33(2):74-77.
- [8] 马宏奎.两框两轴光电稳定平台结构设计研究及有限元分析[D].长春:吉林大学,2011.
- [9] 宋斌,齐永龙.一种卫星通信天线伺服机构设计[J].国外电子测量技术,2014,33(2):49-52.
- [10] 王虎.高精度光电稳定平台研究[D].西安:西安工业大学,2013.

作者简介

张宇鹏,1985年出生,工学硕士,助理研究员。主要研究方向为光电仪器结构设计及优化分析等方面的研究。
E-mail:bigbird5172@yeah.net

(上接第34页)

- [3] 林明权.VHDL数字控制系统设计范例[M].北京:电子工业出版社,2003.
- [4] 徐伟,汤莹,杨绪森,等.基于CPLD的高精度程控移相器[J].电子测量技术,2014,37(12):5-9.
- [5] 廖永波,李平,阮爱武.一种FPGA的可编程逻辑单元的全覆盖测试方法[J].仪器仪表学报,2010,31(4):857-861.
- [6] 刘玉钦,吴国强.运用VHDL实现数字信号处理[J].电子测量与仪器学报,2008,22(增刊1):145-148.
- [7] 刘刚,潘明健.基于FPGA的磁悬浮飞轮用自修复磁轴承控制器的设计[J].光学精密工程,2009,17(11):2762-2767.

- [8] 杨庆庆,徐科军,任保宏,等.变PWM占空比的压电式阀门定位器控制方法[J].电子测量与仪器学报,2014,28(4):424-433.
- [9] 宋薇,刘勘,章亚男,等.高功率激光装置中靶的进化式位姿检测[J].仪器仪表学报,2015,36(1):215-223.
- [10] 吴从均,颜昌翔,高志良.空间激光通信发展概述[J].中国光学,2013,6(30):670-680.

作者简介

孔德杰,1978年出生,博士,副研究员。主要研究方向为光电平台控制。