

具有精确基准频率的数控半桥 PWM 输出调整电路

罗 珺 阮 程 徐寅林

(南京师范大学 物理科学与技术学院 江苏 南京 210046)

[摘要] 在超声换能器电源电路中,为使超声换能器以一定的振幅谐振,必须精确控制振荡电路的频率及功放电路的输出功率.设计了一种具有精确基准频率控制的数控半桥 PWM 输出调整电路,利用 DSP 芯片 TMS320F2812 控制 AD9833 产生精确的基准频率信号,并结合数控电位器 X9312 和 555 定时器,实现数控调整 PWM 波形的占空比,达到精确控制输出信号的频率、功率的目的.为了能够驱动乙类功率放大电路,还研究了一个半桥变换电路将单路 PWM 波形变换为两路互补的 PWM 波形.

[关键词] DSP, AD9833, 数控调整, 半桥变换电路

[中图分类号] TN787+.2 [文献标志码] A [文章编号] 1672-4292(2011)02-0034-05

Adjustable Circuit of NC Half-Bridge PWM Output With Precise Reference Frequency

Luo Jun, Ruan Cheng, Xu Yinlin

(School of Physical Science and Technology, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China)

Abstract: An adjustable circuit of NC half-bridge PWM output with precise reference frequency is described in this paper, which is used to make sure that the ultrasonic transducer can work on the resonant point precisely in power amplifier circuit. The precise reference frequency is generated by AD9833. In order to control the output power exactly, X9312 and 555 timer are combined to adjust the duty cycle of PWM, and one PWM signal is transformed into two complementary waves to drive power amplifier circuit of ultrasonic transducer.

Key words: DSP, AD9833, digital controlled, half-bridge circuit

对应用于医学手术之类的超声换能器,为使其将电能高效地转换为机械能,需要换能器工作在谐振状态,要求超声波发生器提供的电源信号频率应与换能器的谐振频率一致.超声手术刀换能器的谐振频率通常会因温度、负载变化等原因发生变化,信号源也应随之变化^[1].对超声功率的控制方法有两种:控制加载电压的大小和调控 PWM 波占空比.

为满足精确度高、控制速度快等要求,本文设计一种以 DSP 为主控芯片的超声手术刀信号源控制系统,在精确可控的频率信号基础上实现 PWM 的控制.在设计中,利用 DSP 控制 AD9833 产生精确基准信号,用数字电位器结合 555 定时器电路来调控 PWM 波占空比,控制功率输出.另外,为了控制乙类放大电路,需要两路相位差为 180°的互补信号,故加入了一个半桥变换电路,将单路的 PWM 波变换成互补的两路 PWM 波形,以驱动乙类功率放大电路.

1 硬件系统结构和原理分析

电路由精确频率信号的产生电路、数控的脉宽调节电路和半桥变换电路三部分构成,如图 1 所示.

通过对超声刀换能器谐振频率特性的研究^[2],测得本实验中超声手术刀的串联谐振频率和并联谐振频率分别为: $f_s = 20.56 \text{ kHz}$, $f_p = 20.85 \text{ kHz}$.为了结合扫频方法精确控制超声信号源频率的大小,所设定的扫频最高精确度至少在 1 Hz 以下, DSP 的最高工作频率为 150 MHz,在 20 kHz 的基础上进行扫频,最小步长只有 3 Hz,无法达到至少在 1 Hz 以下的精度,而 AD9833 在基准输入频率为 25 MHz 时信号输出最小精

收稿日期: 2010-11-02.

通讯联系人: 徐寅林, 博士, 教授, 研究方向: 生物医学电子学. E-mail: xuyinlin@njnu.edu.cn

度为 0.1 Hz 满足系统设计要求.

用 555 定时器和数控电阻 X9312 可控波形的占空比, 并通过简单的组合逻辑电路使之转换为两路反相控制信号用以控制功率开关和功放电路.

1.1 超声信号的产生^[3]

超声波发生器是超声设备的重要组成部分, 担负着向超声换能器提供超声频电能的任务, 为此需要精确频率的超声波电压信号. 由于系统要求产生的信号为 20 kHz 左右的半桥驱动信号, 所以在信号产生的电路部分, 使用 DSP 结合 DDS 的方法产生 40 kHz 的基准频率信号, 这样可在扫频中满足高精度的要求.

本系统中采用了 AD 公司的产品 AD9833 产生高精度基准频率信号. 它是一个低功耗、频率可编程的波形发生器. AD9833 输出信号的频率和相位是可编程, 且无需外围器件.

采用 DSP 为核心控制器件, 对 DDS 输送频率控制字, 使 DDS 输出相应频率和类型的信号, 接口电路如图 2 所示.

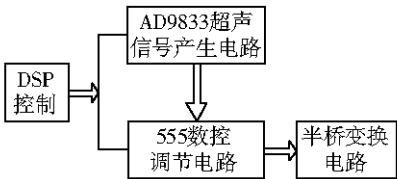


图 1 系统框图
Fig.1 System block diagram

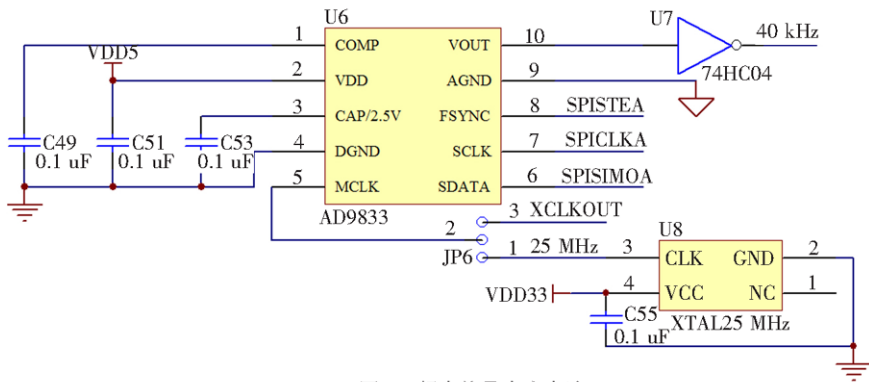


图 2 超声信号产生电路
Fig.2 The circuit diagram of ultrasonic signal generating

由于输入 25 MHz 的基准频率时, 输出的精度可达 0.1 Hz, 故 AD9833 的⑤脚 MCLK 的输入既可采用 25 MHz 的有源晶振, 也可采用 DSP 的 XCLKOUT 输出控制. DSP 与 AD9833 的接口采用 3-WIRE 串行方式, 分别用 DSP 的 SPISTEA、SPICLK、SPISIMO 接 AD9833 的 FSYNC、SCLK 和 SDATA, 通过 DSP 对其配置所需的控制字. ⑩脚输出即为所需要的 40 kHz 左右的超声方波信号.

1.2 数控的脉宽调节电路^[4, 5]

1.2.1 用 555 定时器实现脉宽调制的原理

用 555 定时器, 外接少量的电阻和电容元件, 可以方便地构成单稳态电路, 如图 3 所示.

将 555 定时器的⑥、⑦脚(阈值端和放电端)连接在一起接入 RC 电路, 将②脚单独用作启动脚, 将 PWM 波形(40 kHz 左右的超声信号) $V_i(t)$ 作为触发信号送入. 控制电压端(⑤端)施加一个变化电压 $V_k(t)$. ③脚为输出端, 设输出电压为 $V_o(t)$. 若定时器②脚有触发信号 $(V_i(t) < \frac{1}{2} V_k(t))$, 555 电路进入暂稳态, 放电端近似悬空, 电容 C 进入充电状态; 当 C 充电电压上升到 $V_k(t)$ 时, 电路翻转, 输出状态由高电平跳变为低电平, 放电端近似接地, 于是电容 C 放电, 电路返回到稳定状态. 输出信号的脉宽为:

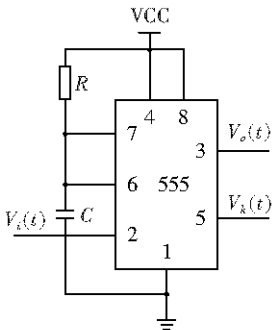


图 3 PWM 占空比调节电路
Fig.3 The circuit diagram of PWM adjust

$$T_w = RC \ln \left(\frac{V_{CC}}{V_{CC} - V_k} \right), \quad (1)$$

当输出的脉冲宽度小于 PWM 波形的周期时, 就可以实现波形占空比的改变.

1.2.2 数字电位器 X9312W

通常情况下,在 555 定时器的⑤ 端接入一个普通的电位器,则可用手动的方式来改变 $V_k(t)$ 的大小,从而可改变输出脉冲的占空比.现改用数字电位器 X9312W 替代以便于由程序精确且稳定地控制输出脉冲的占空比.

数字电位器采用控制 MSO 管的开关来调节滑动端 VW 在 VH 和 VL 之间多个等值电阻的位置,抽头数越多,等值电阻越多,调整的范围越宽.

本设计中所使用的数字电位器为 X9312W,内部结构如图 4 所示. X9312W 的最大阻值为 10 k Ω ,其间有 99 个等值电阻,每个电阻的两端都可以通过转换门的控制接通数控电位器的抽头点;7 位加减计数器用以记录输入端的脉冲个数;7 位非易失性存储器用于保护计数器的数据,以备下次通电时使用;存取控制电路控制 7 位非易失性存储器中计数的存取;100 选 1 译码器根据计数器的数值进行译码来控制转换门中的一个 MOS 管导通.

DSP 与 X9312W 的接口电路如图 5 所示,电位器的高电压端接电源,低电压端接地,3 个控制端分别与 DSP 的 IO 端口连接,通过对端口的不同设置即可对 X9312W 进行操作,十分方便.

数字电位器的优点是调整的精确度高于机械电位器,缺点是线性度没有机械电位器好.此外,机械电位器有触点,滑动端长期滑动易出现接触问题,而数字电位器没有触点,因而使用寿命和可靠性优于机械电位器.

1.3 半桥变换电路

为了控制乙类放大电路结构中的功率开关管,需要两路波形、幅值完全对称,而相位严格相差 180°的 PWM 波形.本文中用最简单的组合逻辑器件,设计了如图 6 所示的电路结构,可实现将单路的 PWM 信号转换为两路反相信号的要求.图中 input 为已调整好占空比的脉冲波形;control 接 DSP 的 IO 控制端口,只有当 control 为高时,信号才能通过;output1 与 output2 即为变换后的两路信号.

用 Quartus II 软件进行仿真,输出的波形结果如图 7 所示.

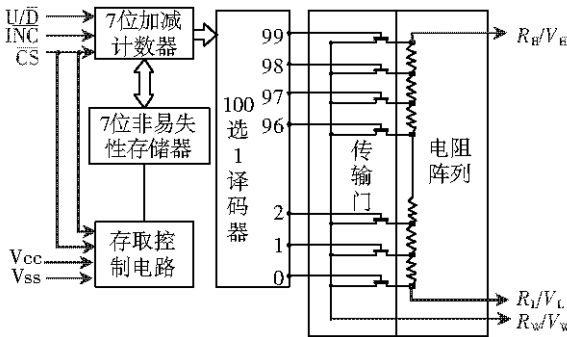


图 4 X9312 的内部结构
Fig.4 Internal structure of X9312

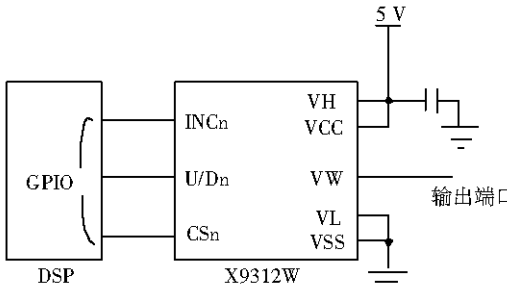


图 5 DSP 与 X9312W 的接口电路
Fig.5 Interface circuit of DSP and X9312W

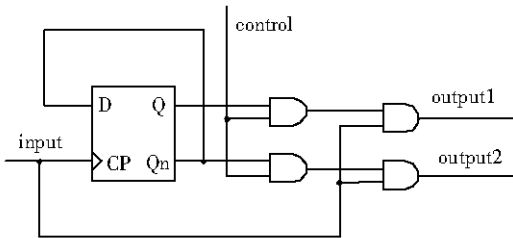


图 6 半桥变换电路图
Fig.6 The circuit diagram of half-bridge transform

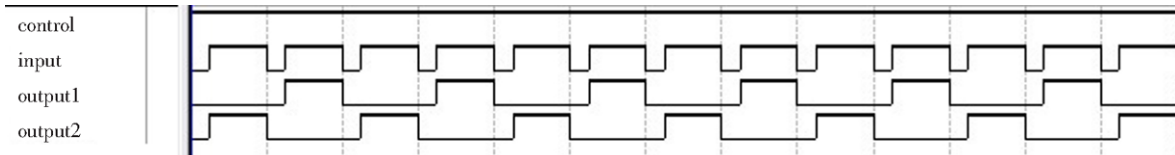


图 7 仿真波形
Fig.7 Simulation waveform

由图 7 可见,当最后输出的两路波形的频率为输入的波形频率的一半,即若要最后输出的 PWM 波频率为 20 kHz 左右(为超声换能器所需的工作频率),那么从 AD9833 电路产生的 PWM 波频率要求为 40 kHz 左右.

2 软件设计

图 8 为用 DSP 控制 AD9833 产生波形 ,并调节 X9312W 的程序框图.

在完成 DSP 的初始化以后 ,通过 TMS320F2812 的 SPI 口向 AD9833 写入相应的频率控制字 ,就能产生相应的基准频率信号 ,其中需要注意的是 ,AD9833 的频率控制字是 16 位的 ,因此对于 SPI 的写操作来说需要分两次来完成. 并通过 TMS320F2812 的 IO 口控制数字电位器 X9312W 的变化 ,调节信号占空比.

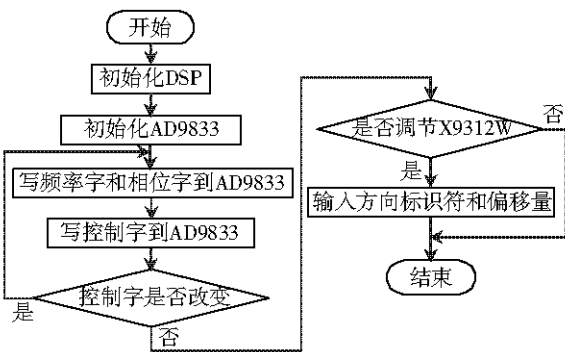


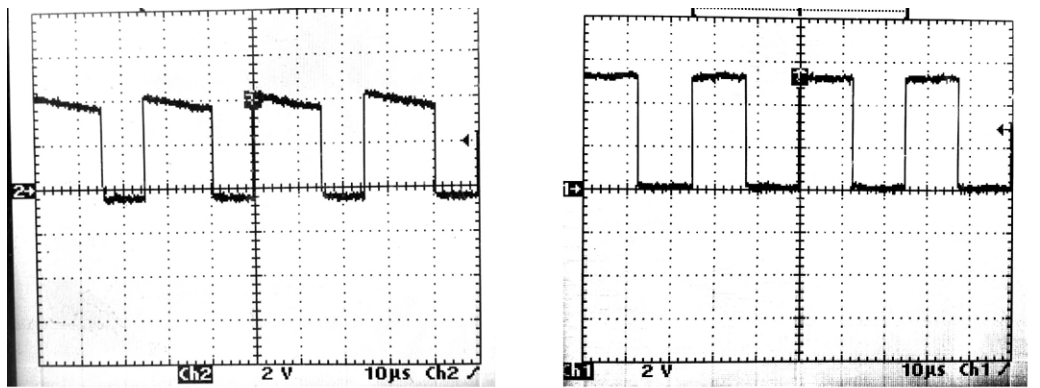
图 8 DSP 的控制流程图

Fig.8 The control flow chart of DSP

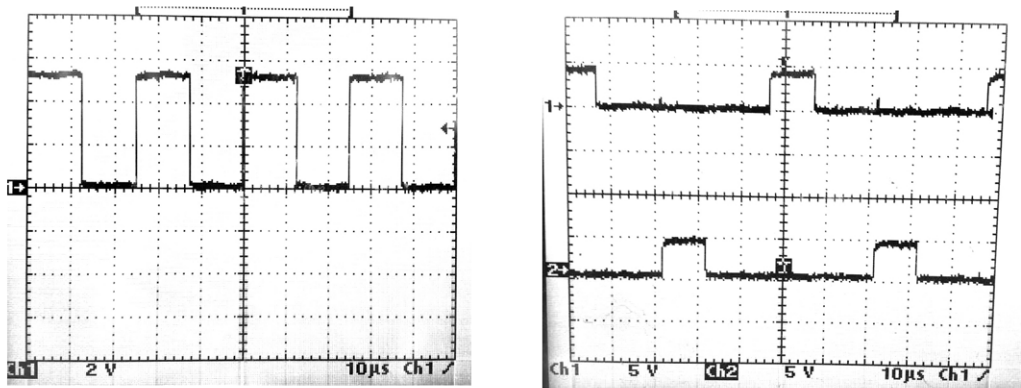
3 实验分析

实验结果如图 9 所示. 从图中可以看出 ,通过电路 ,可将 40 kHz 的 PWM 波转变为两路同频为 20 kHz 且反相的 PWM 波形. 而对于信号占空比的控制只需要改变 X3912 的大小即可.

检验证明 整个系统简单易行 ,且控制精度高 ,满足超声电源设计的要求.



(1) 占空比调节前后对比图



(2) AD9833 输出波形和调整后的半桥 PWM 输出对比图

图 9 实验对比图

Fig.9 Experimental comparison chart

4 结论

本文提出了在超声电源设计中 ,对超声信号的产生、脉宽的数控调整和半桥变换电路的设计方案. 系统采用 DSP 为核心 ,控制 AD9833 产生精确基准信号 ,结合 555 定时器和数字电位器对信号进行数控脉宽

调制,并设计了简单的半桥变换电路,产生两路互补的控制信号,用以控制超声换能器功放电路。

[参考文献](References)

- [1] 李小雪,汪东,李平,等.基于 DDS 的超声换能器频率跟踪系统[J].压电与声光,2009,31(5):692-693.
Li Xiaoxue, Wang Dong, Li Ping, et al. Frequency tracing system for piezoelectric transducer based on DDS[J]. Piezoelectrics and Acousto-optics, 2009, 31(5): 692-693. (in Chinese)
- [2] 罗珺,阮程,徐寅林.超声手术刀换能器的谐振频率特性研究[J].南京师大学报:自然科学版,2011,34(1):52-54.
Luo Jun, Ruan Cheng, Xu Yinlin. Study on the characteristics of the resonant frequency of the ultrasonic scalpel transducer [J]. Journal of Nanjing Normal University: Natural Science Edition, 2011, 34(1): 52-54. (in Chinese)
- [3] 彭之威,薛雷,冯运亮.基于 DSP 和 DDS 技术的 EAS 扫频信号源设计[J].微计算机信息:测控自动化,2008,24(10/1):242-244.
Peng Zhiwei, Xue Lei, Feng Yunliang. Design of scanning signal source of EAS based on DSP and DDS[J]. Microcomputer Information: Measurement and Control, 2008, 24(10/1): 242-244. (in Chinese)
- [4] 王声钊,卢健康,高扬.脉宽调制占空比门限电路设计[J].机械与电子,2008(2):46-48.
Wang Shengzhao, Lu Jiankang, Gao Yang. A circuit design for the pulse width modulation duty cycle threshold [J]. Mechanical and Electronic, 2008(2): 46-48. (in Chinese)
- [5] 李莉,胡之惠. PWM 基带数字信号的产生与检测[J].上海师范大学学报:自然科学版,2002,35(3):31-36.
Li Li, Hu Zhihui. The generation of PWM baseband digital signals and the demodulation [J]. Journal of Shanghai Normal University: Natural Science Edition, 2002, 35(3): 31-36. (in Chinese)

[责任编辑:严海琳]

(上接第 33 页)

- [3] 王宏利,程旭德,徐兵,等.基于 AT89C51 的智能测频仪设计[J].计算机测量与控制,2007,15(3):410-412.
Wang Hongli, Cheng Xude, Xu Bing, et al. Design of intelligent frequency instrument based on AT89C51 [J]. Computer Measurement and Control, 2007, 15(3): 410-412. (in Chinese)
- [4] 商俊燕,丁华峰.基于 VHDL 的智能测频仪实现[J].科技广场,2009(1):197-198.
Shang Junyan, Ding Huafeng. Realization of intelligent frequency instrument based on VHDL [J]. Technology Square, 2009 (1): 197-198. (in Chinese)
- [5] 方敏,傅华明.基于振弦式传感器的桥梁测频系统设计[J].电子技术,2010(3):28-29.
Fang Min, Fu Huaming. Design of bridge frequency measuring system based on vibrating-wire sensor [J]. Electronic Technology, 2010(3): 28-29. (in Chinese)
- [6] 夏振华.等精度频率计的实现[J].电子设计工程,2010,18(6):177-178.
Xia Zhenhua. Realization of equal precision frequency meter [J]. Electronic Design Engineering, 2010, 18(6): 177-178. (in Chinese)

[责任编辑:严海琳]