

基于DDS的新颖多功能程控电源的设计

王 政, 徐 霞, 张 强, 徐寅林

(南京师范大学物理科学与技术学院, 江苏 南京 210023)

[摘要] 多功能和数字化控制是现代电源技术发展的重要方向. 本文设计了一种新颖的高精度、多功能程控电源. 系统采用模块化设计, 主要包括信号发生器、恒流源、多功能程控调节电路、功率放大器和触摸式液晶显示屏等模块. 设计的电源, 既能提供 $\pm 15\text{ V}$ 的稳压电源, 并实现 $0\sim 1\ 200\text{ mA}$ 的可编程恒流输出; 也能作为高精度信号发生器输出 $0\sim 100\text{ kHz}$ 的正弦波、三角波和 $0\sim 10\text{ kHz}$ 的方波甚至是任意波形的功率电源, 达到一机多用, 减少实验室仪器设备数量、节省实验桌面空间的目的.

[关键词] DDS, 信号发生器, 程控电源

[中图分类号] TN86 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1672-1292(2016)02-0041-06

Design of Novel Multifunctional Programmable Power Supply Based on DDS

Wang Zheng, Xu Xia, Zhang Qiang, Xu Yinlin

(School of Physics and Technology, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

Abstract: Multi-functional and digital control is an important development direction of the power of modern technology. This paper presents a novel high-precision, multi-functionally programmable power supply. The system uses a modular design, including signal generator, a constant current source, multi-programmable regulating circuit, a power amplifier and a touch-screen LCD display module. Design of power provides $\pm 15\text{ V}$ power supply, and to achieve $0\sim 1\ 200\text{ mA}$ programmable constant current output. It can also be used as high-precision sine wave signal generator output $0\sim 100\text{ kHz}$, triangle and square waves $0\sim 10\text{ kHz}$ and even arbitrary waveform power supply to achieve more than one machine, reducing the number of laboratory equipment and saving desk space experiments.

Key words: DDS, signal generator, programmable power supply

在科学研究或学生实验中既要频繁使用稳压、恒流电源, 也经常需要用到频率、幅值和输出波形可控的正弦波、方波、三角波甚至任意波形的信号发生器. 不仅实验桌往往被电源堆满, 各种电源线交错连接, 也容易造成实验中误碰而导致实验结果错误. 针对上述问题, 本文设计了一种多功能程控电源, 既可作为普通输出可调的稳压、恒流电源使用, 也可在实验室场合作为功率信号发生器使用, 满足中学、大学物理实验以及科研对于电源的需求. 本文介绍了该多功能电源的电路原理、实现方法, 并给出了具体电路.

1 系统基本工作原理

系统的总体设计方案如图1所示. 系统主要包括触摸式液晶屏、DDS信号发生器电路、基准源、多功能程控调节电路、功率放大电路、恒流源. 触摸式液晶屏作为人机界面, 选择输出的电源类型以及配置各项参数; DDS信号发生器电路产生基础频率可控的正弦波、方波、三角波; 基准源提供基准电压; 多功能程

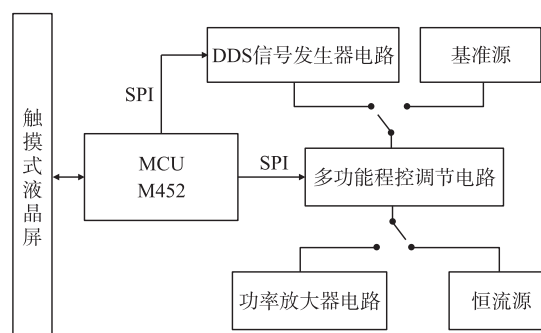


图1 电源系统原理框图

Fig.1 Block diagram of the power supply system

收稿日期: 2016-04-11.

通讯联系人: 徐寅林, 博士, 教授, 研究方向: 精密仪器仪器设计. E-mail: xuyinlin@njnu.edu.cn

控调节电路对选择的参考信号进行程控调节;功率放大电路实现对信号的功率放大;恒流源实现 0~1 200 mA 的可编程恒流输出。

2 主要硬件单元设计

本设计硬件部分主要由 DDS 信号发生器电路、多功能程控调节电路、恒流源和功率放大电路等组成。

电源输出功率信号源是由信号发生器经多功能程控调节电路和功率放大电路后得到,信号发生器的性能高低是决定其频率精度以及稳定性的重要因素之一。因此,设计一个高频率精度、稳定性强的信号发生器是保证电源性能的关键。

2.1 DDS 信号发生器电路

传统的信号发生器采用分立元件以及模拟集成电路,以 RC 或 LC 自激振荡为主振级的信号发生器,虽然结构简单,频率范围宽,但仍克服不了稳定性、准确性差的问题。石英晶体振荡器虽然稳定性和准确性高,但其频率不可调,工作场合比较单一。

针对传统信号发生器的缺陷,本设计中采用 DDS 来产生信号波形。DDS 的工作原理如图 2 所示,直接数字频率合成 DDS 技术^[1-2]基于采样定理,将相位累加器输出的相位码通过查表映射成正弦波幅度码,经 D/A 转换和低通滤波后,产生正弦波形,其输出波形频率与相位可由控制字设置。

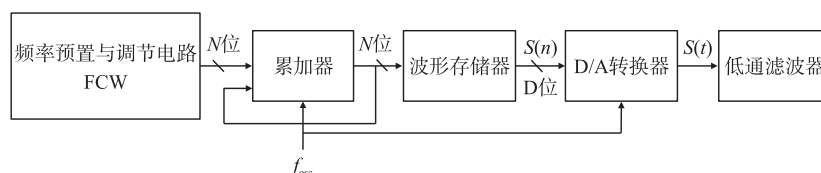


图2 DDS工作原理图

Fig.2 Work diagram of DDS

本设计采用 ADI 公司的 DDS 芯片 AD9833,输出频率范围为 0~12.5 MHz,工作电压为 3 V 时,功耗仅为 12.65 mW,具有低功耗、频率和相位可数字编程等特点,能够产生正弦波、三角波和脉冲波输出^[3-4]。AD9833 的输出频率为:

$$f_{\text{out}} = M \cdot f_{\text{MCLK}} / 2^{28}, \quad (1)$$

式中, f_{MCLK} 为时钟频率; M 为频率控制字,可根据预设的输出频率逆推计算出相应的频率控制字。当 AD9833 输入时钟速率为 25 MHz 时,可实现 0.1 Hz 的分辨率;时钟速率为 1 MHz 时,则可实现 0.004 Hz 的分辨率。

DDS 信号发生器电路图如图 3 所示。本文采用两种方案提供 DDS 芯片所需要的时钟源 MCLK: 用户需要高频率段信号源时,直接使用外接 12 MHz 有源晶振信号;需要低频率段的信号源时,则使用新唐 ARM 可编程时钟输出信号^[5]。在不增加额外器件的情况下,提高 AD9833 发生信号的输出精度。MCU 采用新唐 ARM 的 M452LG6AE,该 ARM 支持可编程的时钟输出,带有一个 2 的若干次幂的频率分频器,分频器是由 16 个链式的二分频器组成的移位寄存器。其中被输出值由一个 16 选 1 的多路转换器选择,该多路转换器接到 CLK0 管脚上,因此共有 2 的 16 次幂种的时钟分频选择。

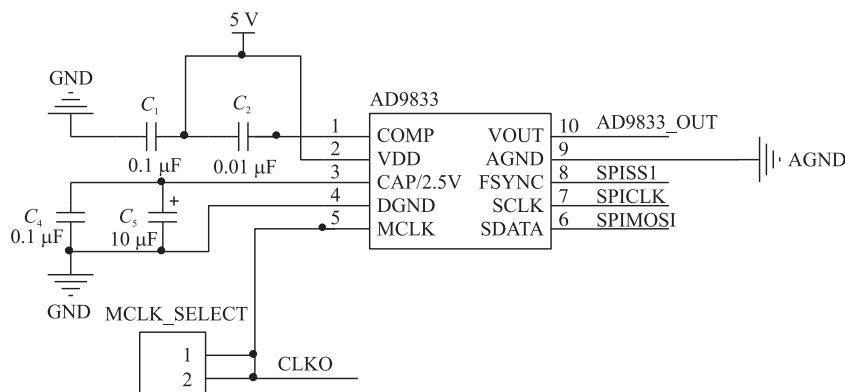


图3 DDS信号发生器电路图

Fig.3 Hardware diagram of DDS signal generator circuit

时钟输出公式为:

$$f_{\text{CLKO}} = f_{\text{in}} / 2^{(N+1)}, \quad (2)$$

式中, f_{in} 为输入时钟频率; f_{CLKO} 为时钟分频器输出频率; N 为 FREQSEL(CLK_CLKOCTL[3:0]) 中的 4 位值. 采用分频器产生的可编程时钟输出, 可为 AD9833 信号发生器提供可编程的时钟输入, 即 $f_{\text{CLKO}} = f_{\text{MCLK}}$.

2.2 多功能程控调节电路

由于 AD9833 输出正弦波、三角波和方波的电压幅值不可调, 故 DDS 信号发生器直接输出的模拟信号幅值固定, 无法满足幅值可调的要求. 为实现对输出模拟信号幅值的数字控制, 本设计利用 D/A 转换电路输出模拟电压与输入数字量及参考电压的关系, 构成一种特殊的微控制器数字程控电压输出电路^[6].

图 4 为多功能程控调节电路. D/A 转换电路输出模拟电压值 v_{OUT} 、参考电压值 v_{REFA} 、 v_{REFB} 及 D/A 输入数字量 D_{IN1} 、 D_{IN2} 之间的关系为:

$$v_{\text{out}} = -\left(-v_{\text{REFA}} \frac{D_{\text{IN1}}}{4096}\right) \frac{D_{\text{IN2}}}{4096} = v_{\text{REFA}} \cdot \frac{D_{\text{IN1}} D_{\text{IN2}}}{4096^2}. \quad (3)$$

上式中, 参考电压 v_{REFA} 可通过继电器切换至 DDS 信号发生器电路或恒定基准电压源上. 根据用户的不同使用要求, 多功能程控调节电路起着不同的作用:

(1) 可控规则信号发生器功能

此时 DDS 输出峰值固定的正弦波、三角波或方波作为 v_{REFA} , 微处理器通过 SPI 总线设置 D/A 转换器的 D_{IN1} 、 D_{IN2} 实现信号发生器的程控放大倍数.

(2) 任意信号发生器功能

基准电压源作为 v_{REFA} , 微处理器通过定时检索内部波表值获取任意波形数据 D_{IN1} 、 D_{IN2} , 实现任意波形信号发生器功能^[7].

(3) 直流稳压源功能

基准电压源作为 v_{REFA} , 根据用户需要的稳压电源输出电压, 微处理器输出相应的 D_{IN1} 、 D_{IN2} , 实现幅度可调节输出的直流稳压电源.

(4) 直流恒流源功能

基准电压源作为 v_{REFA} , 根据用户需要的稳压电源输出电压, 微处理器输出相应的 D_{IN1} 、 D_{IN2} , 输出的 v_{OUT} 进一步控制恒流源模块的电压控制端, 实现可控恒流源输出.

本文综合利用了 D/A 特性, 把双 DAC 级连使用, 即把第一级的 DAC 输出作为第二级 DAC 的参考电压, 变为 24 位分辨率的 DAC. 市面上 24 位分辨率的 DAC 价格昂贵, 本文的设计在不增加成本的基础上, 提高了分辨率.

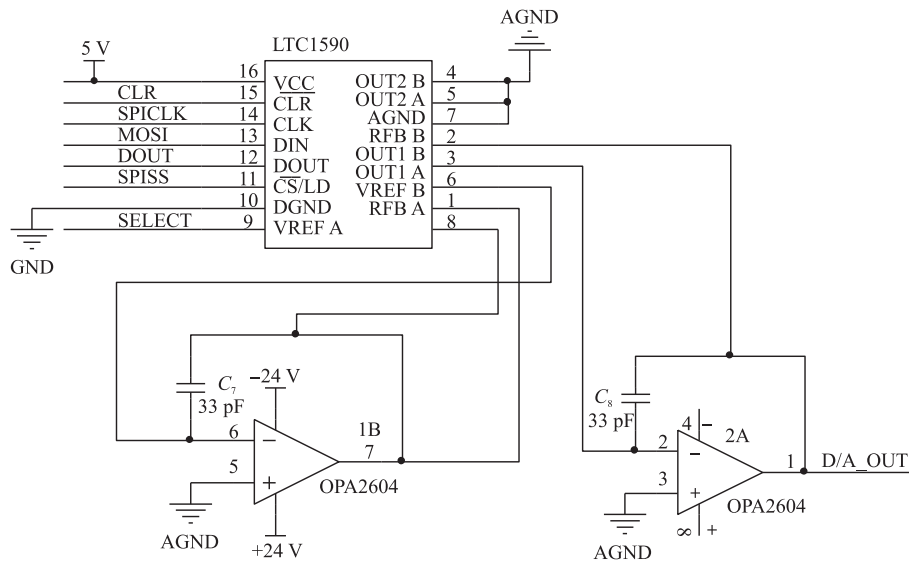


图 4 多功能程控调节电路

Fig.4 Multifunction programmable regulating circuit

2.3 功率放大电路与恒流源

功率放大电路与恒流源电路如图5所示.功率放大电路由连续输出功率68 W的LM3886构成,对输入的信号进行4倍放大.其输出与输入的关系为:

$$V_{\text{LM3886_OUT}} = 4 \times V_{\text{LM3886_IN}} \quad (4)$$

恒流源采用KC24H系列大功率恒流驱动器,输出最大电流为1 200 mA,效率为97%.

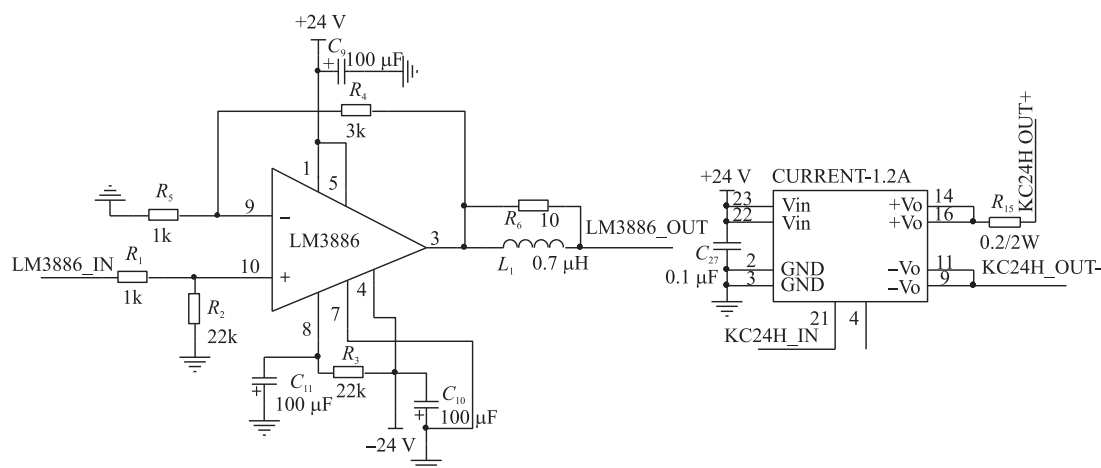


图5 功率放大电路与恒流源电路

Fig.5 Power amplifier circuit and constant current source circuit

3 软件设计

系统软件部分包含:M452单片机的PC.1口复用为CLKO,可实现可编程时钟的输出;配置硬件SPI向AD9833和LTC1590写命令以及初始化;M452的I/O口控制继电器的选择.

3.1 M452的可编程时钟输出

选择M452的外接12 MHz的晶振并实现分频输出,需要控制M452的时钟输出控制寄存器(CLK_CLKOCTL).往CLKOEN(CLK_CLKOCTL[4])写1,分级计数器开始计数.往CLKOEN(CLK_CLKOCTL[4])写0,分级计数器持续计数,直到分频时钟达到低电平并保持在低电平状态.把M452的PC1引脚复用为时钟输出功能并使能时钟输出,时钟为外接高速时钟,即可对12 MHz外接时钟进行所需的2次分频输出.图6为可编程时钟输出软件流程图.

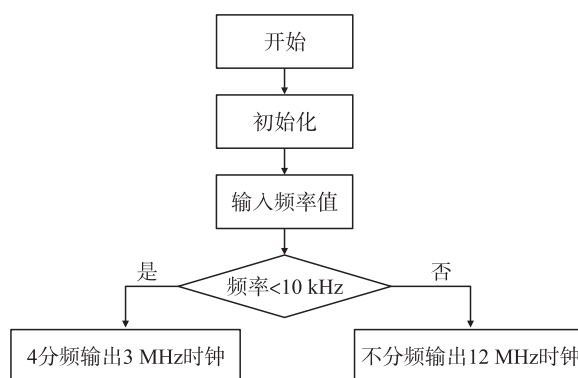


图6 可编程时钟输出软件流程图

Fig.6 Programmable clock output software flow

3.2 AD9833和LTC1590的硬件SPI实现

本文采用新唐M452的单片机,包含3组SPI控制器^[8],支持主机和从机工作模式,支持2位传输模式,支持双I/O和四I/O传输模式,一个事务传输的数据长度可配置为8到32位,提供独立的4级/8级深度发送和接收FIFO缓存支持MSB或LSB优先传输等,功能强大.SPI对AD9833与LTC1590进行操作.图7为主程序的流程图,阐明了整个软件系统的设置过程.

4 实验分析

可编程时钟输入提高了DDS波形精度.图8(a)为AD9833输入晶振3 MHz情况下产生的100 kHz正弦波,(b)为AD9833输入晶振12 MHz情况下产生100 kHz的波形.精度提高十分明显.

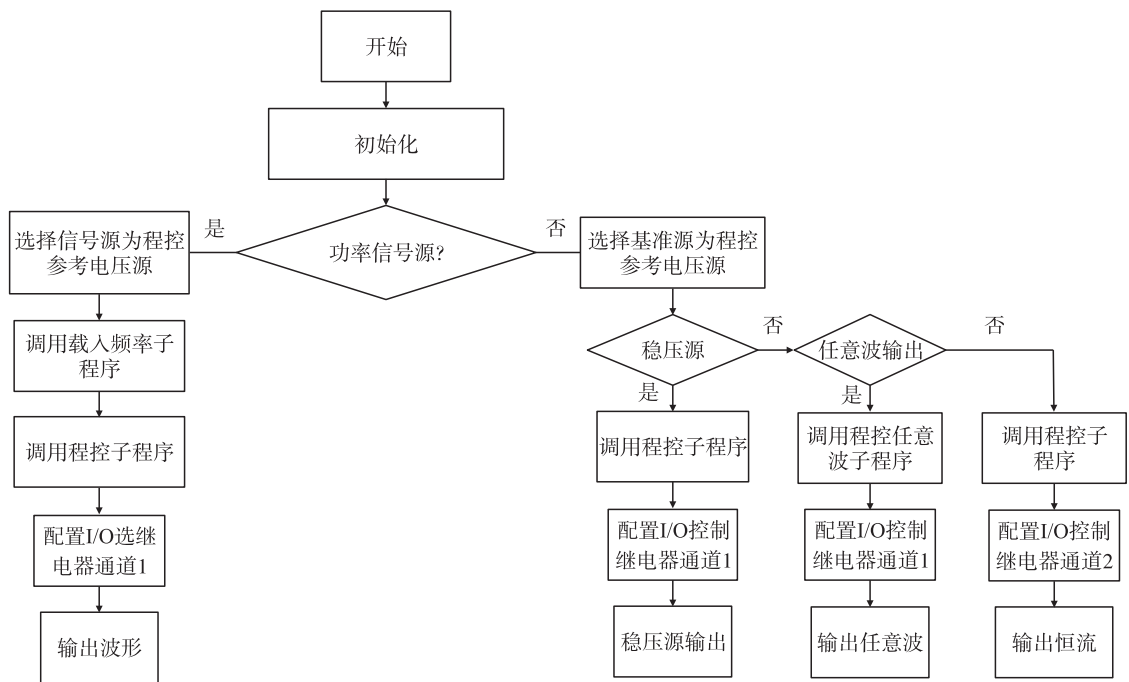


图 7 主程序流程图
Fig.7 The main program flow

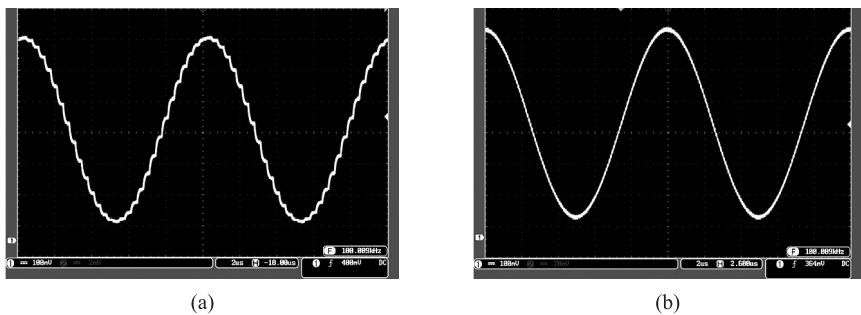


图 8 改变晶振对比图
Fig.8 Crystal change comparison

功率信号源与稳压源的输入与输出,通过数据分析与软件标定,精度可达到 0.01 V. 恒流电路模拟输入电压与输出电流的关系如图 9 所示. 电压输入为 0.2 V 时输出最大电流 1 200 mA,电压输入 4.5 V 时,电流夹断为 0. 从采集的数据得出恒流电路的线性度高,实验数据与理论值相符合.

实验证明,本文设计的多功能程控电源,能够连续输出功率为 68 W 高精度的 0~100 kHz 的正弦波、三角波和 0~10 kHz 的方波的功率信号电源,也能提供程控的 ± 15 V 的稳压电源,还能实现 0~1 200 mA 的可编程恒流输出及任意波输出. 整个系统控制精度高,简单易行.

5 结语

本文设计了一种新颖的多功能程控电源,使系统整体的性能得到较大提升. 该电源可以很好地解决市面上电源品种单一问题,不仅将功率信号源、恒流源和稳压源整合在一起,在器件选择方面也是经济实用,有很大的实际应用价值.

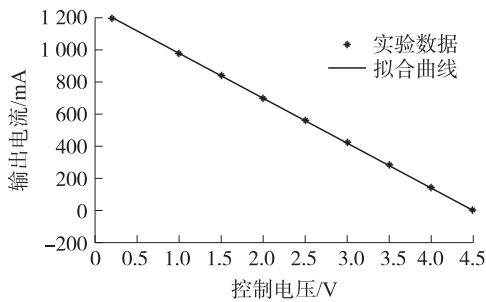


图 9 模拟输入电压与输出电流
Fig.9 Analog input voltage and output current

[参考文献](References)

- [1] CORDESSES L. Direct digital synthesis: a tool for periodic wave generation[J]. IEEE signal processing magazine, 2004, 21(5): 50-54.
- [2] 刘明成, 梁斌, 于振声. 基于 DDS 技术的程控信号源设计[J]. 天津师范大学学报(自然科学版), 2007, 27(4): 74-76.
LIU M C, LIANG B, YU Z S. Design of program-controlled supply oscillator based on DDS[J]. Journal of Tianjin normal university(natural science edition), 2007, 27(4): 74-76. (in Chinese)
- [3] 罗珺, 阮程, 徐寅林. 具有精确基准频率的数控半桥 PWM 输出调整电路[J]. 南京师范大学学报(工程技术版), 2011, 11(1): 52-54.
LUO J, RUAN C, XU Y L. Study on the characteristics of the resonant frequency of the ultrasonic scalpel transducer[J]. Journal of Nanjing normal university(engineering and technology edition), 2011, 11(1): 52-54. (in Chinese)
- [4] 周红敏, 王红玉, 顾艳丽. 直接数字频率合成技术及其实现方案[J]. 科技咨询导报, 2007(24): 121-122.
ZHOU H M, WANG H Y, GU Y L. Direct digital frequency synthesis technology and its implementation[J]. Science and technology innovation herald, 2007(24): 121-122. (in Chinese)
- [5] 刘军, 张洋, 严汉宇. 原子教你玩 STM32(库函数版)[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2013.
LIU J, ZHANG Y, YAN H Y. Atoms teach you to play STM32[M]. Beijing: Beihang University Press, 2013. (in Chinese)
- [6] 康华光. 电子技术基础数字部分[M]. 5 版. 北京: 高等教育出版社, 2006.
KANG H G. Digital electronic technology base part[M]. 5th ed. Beijing: Higher Education Press, 2006. (in Chinese)
- [7] 刘文辉, 周严. 程控任意波形功率电源的研究[J]. 电子设计工程, 2011(6): 168-171.
LIU W H, ZHOU Y. Research of a controllable powering arbitrary wave generator[J]. Electronic design engineering, 2011(6): 168-171. (in Chinese)
- [8] 易志明. SPI 串行外设接口及其实现[J]. 自动化与仪器仪表, 2002(6): 45-48.
YI Z M. SPI serial peripheral interface and its implementation[J]. Automation & instrumentation, 2002(6): 24-48. (in Chinese)

[责任编辑: 严海琳]