

# 基于 PIC16F688 单片机的电感测量电路设计 \*

张 威<sup>1</sup>, 言忆芳<sup>2</sup>, 施 敏<sup>2</sup>

(1. 南通大学 杏林学院, 江苏 南通 226019;

2. 南通大学 电子信息学院, 江苏 南通 226019)

**摘 要:** 提出了一种基于 PIC16F688 单片机的电感测量系统方案。利用 PIC16F688 单片机产生一个可调宽度的单脉冲信号, 单脉冲的宽度范围为 13  $\mu\text{s}$ ~1.05 ms; 通过驱动芯片开关低耗高速 MOSFET, 在脉冲持续时间内使电感的通断产生电流变化值来实现电感值的测量。以标称值 450  $\mu\text{H}$  的电感测量为例, 单脉冲宽度为 300  $\mu\text{s}$  时, 对应的电感测量值为 455.36  $\mu\text{H}$ , 相对误差为 1.2%。该系统结构紧凑, 操作方便, 且具有测量精度高、响应快、测量范围宽的优点。

**关键词:** PIC16F688; 电感测量; 可调宽度单脉冲信号; 高速 MOSFET 开关电路

中图分类号: TP273

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2013)15-0025-03

## Design of inductance measurement circuits based on PIC16F688

Zhang Wei<sup>1</sup>, Yan Yifang<sup>2</sup>, Shi Min<sup>2</sup>

(1. Xinglin College, Nantong University, Nantong 226019, China;

2. School of Electronics and Information, Nantong University, Nantong 226019, China)

**Abstract:** This paper presents inductance measurement system scheme based on PIC16F688 microcontroller. Single pulse signal is generated by PIC16F688, whose pulse duration range is from 13  $\mu\text{s}$  to 1.05 ms. The low power dissipation and high speed MOSFET circuit is controlled by a driving circuit. During the pulse, the inductor is conducting, the change value of inductor current is achieved and the inductance measurement is realized. According to inductance measurement of nominal value of 450  $\mu\text{H}$  as example, under the condition of pulse width of 300  $\mu\text{s}$ , the corresponding inductance measuring value is 455.36  $\mu\text{H}$  and relative error is 1.2%. The experimental results show that it has advantages of compact structure, convenient operation, high precision of measurement, quick response and wide measuring range.

**Key words:** PIC16F688; inductance measurement; width modulation single pulse signal; high speed MOSFET switching circuit

电感是一种常用的电子元件,它具有滤波、振荡、延迟、陷波、电压超前电流、作为感性负载产生无功功率等基本作用,因此在电子电路和工业模拟负载中应用非常广泛。电感量是电感的最主要参数,专用电感测量仪表一般采用电桥法(交流电桥)、谐振法、数字化测量法,最常用的是交流电桥法<sup>[1-2]</sup>。专用电感测量仪表对小功率、高频的普通电感测量比较准确,但是在测量大功率磁芯电感,尤其是低频大功率磁芯电感时,往往会出现测量值偏低的现象。因为大多数仪表给电感的测试信号电压仅 50 mV~2 V,而且要经 100  $\Omega$ ~400  $\Omega$  电阻的限流分压,这个激励电感线圈磁场强度的功率最大仅为

0.04 W 左右,远远小于一般功率磁芯电感正常工作时的功率(300 W 以上,甚至在 100 kW)。所以激励的磁场强度很小,对应的磁导率值偏低,得出的电感值就会比标称值偏低。

本文提出了一种新的测量电感方法,使测量电感值变得更加方便和直观。利用 PIC16F688 单片机产生一个可调宽度脉冲信号,通过驱动芯片开关 MOSFET,在脉冲持续的时间内产生电流变化值来实现电感值的测量。

### 1 系统设计方案

根据主要公式<sup>[3]</sup> $U=L\frac{di}{dt}$ 来进行电感值的测量。通过

变换得到:

《微型机与应用》2013 年第 32 卷第 15 期

\* 基金项目: 南通大学杏林学院科研基金(2012K119)

$$L = \frac{dt}{di} U = \frac{\Delta t}{\Delta i} U \quad (1)$$

只需要测出  $\Delta t$ 、 $\Delta i$ 、 $U$  这 3 个量就可以确定电感值。这种测量方法不需要通过复杂的公式计算,简单明了。由于是在实际流过较大电流的情况下测量所得出的结果,因此更接近使用情况下的真实值,误差将减到最小。 $\Delta t$  和  $U$  的值可以通过示波器即时显示,使测量结果更加直观。 $\Delta i$  则可以通过加入一个忽略不计的小电阻来测量,测量通过小电阻两端的  $\Delta u$  来求出  $\Delta i$ ,公式为:

$$\Delta i = \frac{\Delta u}{R} \quad (2)$$

式(1)中的  $\Delta t$  不能取得过大,一般为几十到几百微秒。为了产生  $\Delta t$ ,系统使用了 PIC16F688 单片机来产生一个单脉冲,该脉冲的宽度即为  $\Delta t$ 。为了让电感在  $\Delta t$  内导通,必须设计一个高速 MOSFET 开关电路。由于单片机所产生的单脉冲不能直接驱动功率 MOSFET,因此必须在单片机和 MOSFET 之间加入一个驱动电路。

该电感测量电路的系统总体框图如图 1 所示,主要由集成稳压电源模块、单脉冲发生模块、MOSFET 驱动和开关模块 4 部分组成。此外,还有稳压、滤波、放电回路保护等辅助电路。

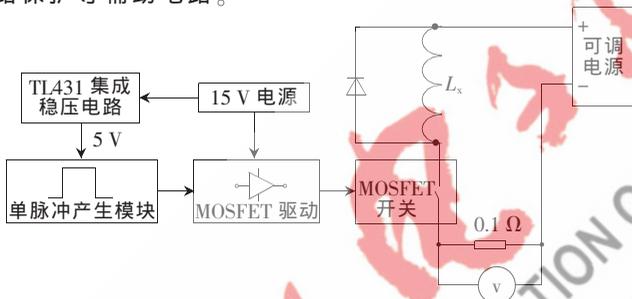


图 1 电感测量电路系统总体框图

### 1.1 集成稳压电源模块

本系统中用到 PIC16F688 单片机的工作电压为 5 V, TC4422 驱动芯片的工作电压为 15 V。为了使电路简单并方便以后的测量,整个电路只使用一个 15 V 的直流稳压电源,设计了一个简单的稳压电源模块,将外接的 15 V 直流稳压电源电压降为 5 V 作为单片机的电源。该模块主要由稳压集成电路 TL431 组成,TL431 是美国 TI 公司开发的一个有良好热稳定性能的三端可调精密电压基准集成电路,由一个 2.5 V 的精密基准电压源、一个电压比较器和一个输出开关管等组成。图 2 为 5 V 稳压直流电源电路。

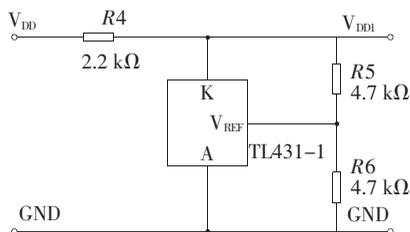


图 2 5 V 直流稳压电源

### 1.2 可调单脉冲产生电路模块

由于很多信号发生器没有可调单脉冲输出功能,本系统利用 Microchip 公司的 PIC16F688 单片机<sup>[4]</sup>来产生可调单脉冲。图 3 为 PIC16F688 可调单脉冲产生电路,其中 J8 为示波器电平脉冲输出,通过接口输入到 PIC16F688 的 RA2/INT(外部中断输入端口); $V_{DD1}$  为单片机 5 V 电源;VR 为电位器,它的可调引脚输入到 PIC16F688 的 RC2 端口,作为 A/D 转换的模拟输入端;J7 为 PIC16F688 的编程端口;PIC16F688 是一种采用纳瓦技术的 14 引脚 8 位 CMOS 闪存单片机,本系统用到了它的 ADC 模块、中断模块、TIMER0 计时模块。当 A/D 转换开始后,单片机就不停地进行转换,转换完一次就把结果存到一个通用寄存器,作为调节产生单脉冲宽度的参数。当遇到外部中断时,就转至中断服务程序,利用 A/D 转换结果作为 TIMER0 计时器参数,产生一个单脉冲,然后中断返回继续检测有无外部中断。PIC16F688 单脉冲产生流程框图如图 4 所示。

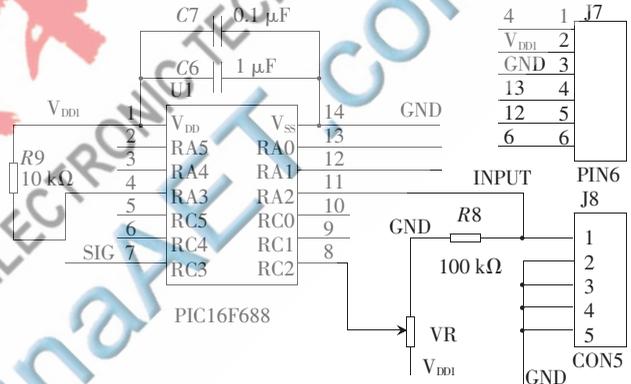


图 3 PIC16F688 可调单脉冲产生电路

### 1.3 TC4422 驱动器 和 MOSFET 功率开关器件

由于 PIC16F688 单片机输出的脉冲信号不能直接驱动功率 MOSFET,因此设计了一个功率 MOSFET 的驱动电路,该驱动电路的速度必须足够快,提供的驱动能力也要足够大。系统选用 TC4422 系列 9A 驱动器来驱动功率开关器件,TC4422 输入端可以由 TTL 或 CMOS (3 V~18 V) 直接驱动。此外,输入端有 300 mV 的迟滞电压,可以防止噪声干扰,并允许使用缓慢升高或降低的波形来驱动器件。驱动器输出为低阻态的 CMOS 推挽式输出,能够用 9.0 A 的峰值电流驱动容性负载,驱动器输出端可以承受任何极性的 1.5 A 反向峰值电流。

系统采用的功率 MOSFET 为英飞凌公司的 IPW60R045CP。该系列器件基于电子科技大学陈星弼院士发明专利<sup>[5-6]</sup>。这个打破了传统功率 MOSFET 理论极限,被国际上盛誉

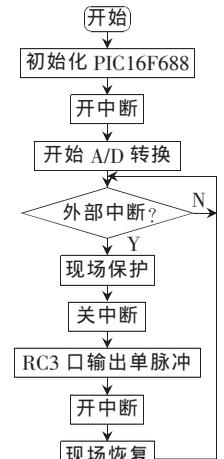


图 4 PIC16F688 单脉冲产生流程图

为功率 MOSFET 领域里程碑的新型功率 MOSFET——CoolMOS<sup>[7]</sup> 于 1998 年问世并很快走向市场。英飞凌推出的 600 V CoolMOS CP 系列对导通电阻和门极电荷这两个指标进行了优化,在 TO247 封装下实现了 45 mΩ 的导通阻抗。与标准 MOSFET 相比,它的开关损耗可显著降低。TC4422 驱动和 MOSFET 开关电路如图 5 所示,SIG 为 PIC16F688 单片机 RC3 口的单脉冲输出,C1、C2 为去耦电容,TC4422 第 6、7 引脚为驱动器输出;在 TC4422 的驱动输出与 MOSFET 之间还加入了一个限流电阻,这个电阻不能太大也不能太小:电阻太小,则驱动电流太大,对 MOSFET 门极电容充电过快,就会使 MOSFET 的开关速度很快,导致开关的瞬间产生大电流毛刺;电阻太大,则驱动电流太小,MOSFET 开关速度变慢,在高电压下很容易损坏 MOSFET 器件。

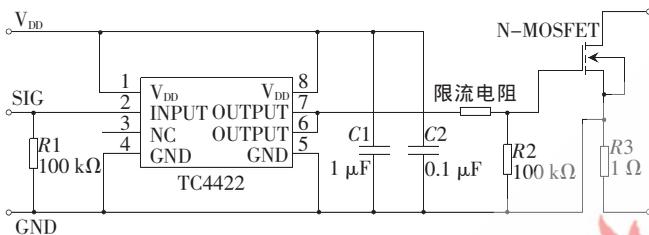


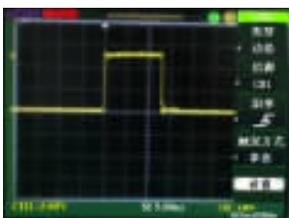
图 5 TC4422 驱动和 MOSFET 开关电路

## 2 测试与分析

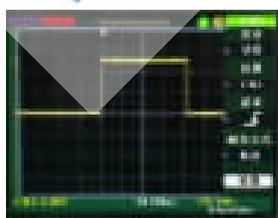
电感测量电路 PCB 图如图 6 所示。主要测试设备有 ATTEN ADS1102C 示波器、ATTEN APS3003S 0~30 V 0~3 A 可调数显直流稳压电源和 ATTEN AT8620 函数发生器。连接好电源、函数发生器和示波器之后,打开电源,函数发生器选择脉冲输出。当函数发生器产生一个上升沿时,PIC16F688 就产生外部中断,产生一个单脉冲。调节电位器 VR 可以改变单脉冲的宽度。图 7(a)和图 7(b)分别为最小脉宽 13 μs 时的波形和最大脉宽 1.05 ms 时的波形,输出电压为 5 V。单脉冲的宽度范围为 13 μs~1.05 ms,完全可以测量各种电感。



图 6 电感测量电路 PCB 图



(a)最小宽度 13 μs



(b)最大宽度 1.05 ms

图 7 单脉冲图

将单脉冲的脉宽调节到 300 μs,得到如图 8 所示的电感测量波形。其中,a 线为示波器 1 通道输入,显示的是电感一端的电压,开始时电感两端都为 8.5 V,当脉

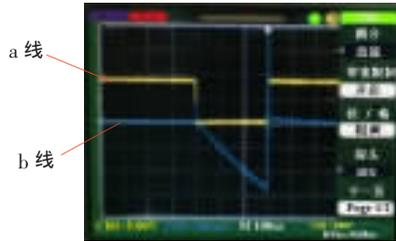


图 8 电感测量波形

冲开始,MOSFET 导通,电感一端电压立刻下降接近为 0,而电感另一端由于电容的稳压作用保持不变,所以可以得出,在脉冲时间内电感两端的电压为 8.5 V;b 线为示波器 2 通道输入,测量的是流过电感的电流,但它不是直接显示的,而是通过测量流过电感回路中 0.1 Ω 电阻上的电压得到的,不直接测量电流是因为电流探头测量到的电流有一定的误差,而且操作起来也比较麻烦。从图 8 中可以看出,电流的变化很均匀。通过式(1)、式(2)可以求出:

$$\Delta i = \frac{\Delta u}{R} = \frac{0.56 \text{ V}}{0.1 \Omega} = 5.6 \text{ A} \quad (3)$$

$$L = \frac{\Delta t}{\Delta i} U = \frac{300 \mu\text{s}}{5.6 \text{ A}} \times 8.5 \text{ V} = 455.36 \mu\text{H} \quad (4)$$

与标称值 450 μH 相比,相对误差为 1.2%,这个误差主要由加入到电路中的 0.1 Ω 电阻产生,可通过适当增大电压来减小误差。

本文提出了一种以 PIC16F688 单片机为核心的电感测量方案,充分利用了单片机 PIC16F688 的硬件资源及简洁而高效的软件设计思想,实现了电感参数的测量。此方案克服了传统的外加交流测量法电源波动易引起偏差和电桥测量法参数调节复杂等问题,系统结构紧凑,操作方便,且具有测量精度高、响应快、测量范围宽的优点。

### 参考文献

- [1] 季彩瑞,郝杰,李彦钢.大功率工业磁芯电感测量方法探讨[J].电源技术应用,2008,11(7):45-46.
- [2] 薛凌霄,钱照明,童立青,等.一种新颖基于半桥电路的功率电感测量方法[J].电力电子技术,2008,42(7):40-42.
- [3] 邱关源,罗先觉.电路(第5版)[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [4] Microchip Technology Inc.PIC16F688 online documents[Z]2007.
- [5] Chen Xingbi. Theory of a novel voltage sustaining (CB) layer for power device[J]. Chinese Journal of Electronics, 1998, 7(3):211-216.
- [6] Chen Xingbi. Semiconductor power devices with alternating conductivity type high-voltage breakdown regions; US Patent, 5216275[P].1993.
- [7] DEBOY G. A new generation of high voltage MOSFET's breaks the limit line of silicon[C]. IEDM, 1998:683-686.

(收稿日期:2013-03-03)

### 作者简介:

张威,女,1985年生,硕士,助教,主要研究方向:嵌入式技术与集成电路设计技术。

施敏,男,1972年生,硕士,副教授,主要研究方向:深亚微米集成电路设计技术和模型。

《微型机与应用》2013年第32卷第15期