

采用 Kinetis L 系列打造低成本的通用电机驱动

作者: Ivan Lovas

1 简介

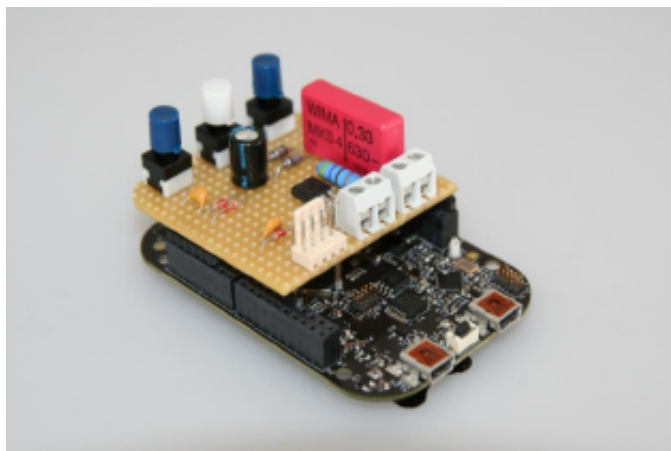
现今通用电机仍广泛应用于各式各样的家电中，如真空吸尘器、洗衣机、电动工具和食品处理器。此应用中使用的工作模式为闭环调速模式。在此模式下，电机轴上需要使用一个速度传感器。此类传感器通常为增量编码传感器或测速发电机。电机和驱动的类型对成本、尺寸、噪音和能效等众多家电特性有着重大的影响。如果需要变速或节能，则通常离不开电子控制。MCU 提供的优势可以实现低成本和充满吸引力的设计。他们仅需配合少量外部元件使用，从而降低能耗和成本。此电路采用 Kinetis L MCU 的主要特性进行设计，原理图极为简单。对于演示用途，已使用 Freescale 低成本 Freedom KL25Z 开发平台。

本应用笔记介绍了基于 Freescales 的 Kinetis L 系列微控制器 (MCU) 和 MAC4DC 无缓冲器三端双向可控硅的低成本相角电机控制驱动系统的设计。此低成本单相功率板专用于工作范围为 1000 RPM 至 15,000 RPM 的通用有刷电机。本应用笔记解释了利用 ARM Kinetis L 系列 MCU 的硬件和软件设计。此类低成本 MCU 功能强大，足以胜任驱动闭环相角系统以及许多其他算法所需的整个任务。

图 1. Freedom 开发平台扩展了通用电机驱动板的功能

内容

1	简介.....	1
2	硬件描述.....	4
3	软件.....	6



相角控制技术用于调整应用于电机的电压（请参阅图 6 软件同步电源）。栅极脉冲的相位偏移可以为电机提供可调的有效电压。仅需要使用一个集成电路和少量的外部元件，即可执行所有需要的功能。这可以打造出紧凑的印制电路板（PCB）设计和经济实惠的解决方案。

1.1 使用微控制器的优势

相比性能不佳的模拟解决方案，基于 MCU 的驱动具有诸多优势。其中包括：

- 可以选择不同的控制算法
- 可以选择任意形状的速度指令（相位加速和减速）
- 可以选择任意类型的转速计
- 软件可以简化硬件
- 诊断功能
- 利用有线通信协议实现远程控制
- 开放创新

1.2 Freescale Freedom 开发平台

Freescale Freedom FRDM-KL25Z 是低成本评估和开发平台，展示 Kinetis-L 系列 MCU 的功能，基于 ARM® Cortex™-M0+，并专门针对高能效应用。

特性：

- KL25Z128VLK4--Cortex-M0+ MCU 特性如下：
 - 128 KB Flash、16 KB SRAM
 - 最高 48 MHz 的工作频率
 - USB 全速控制器
 - OpenSDA-高级 USB 调试接口
 - 三色 LED
 - 电容触摸式“滑块”
 - Freescale MMA8451Q 加速度计
 - 灵活的电源选项
 - 任一板载 USB 连接器都可提供电源
 - 纽扣电池电池座（可选数量选件）
 - 可选 IO 接头提供 5 V-9 V V_{in}
 - 可选 IO 接头接受 5 V
 - 可选 IO 接头接受或提供 3.3 V

- 复位按钮
- 扩展 IO 尺寸接受专门设计用于 Arduino™兼容硬件的外设



图 2. Freedom 低成本开发平台

1.3 Freescale Kinetis L 系列

Kinetis L 系列 MCU 既具备新型 ARM® Cortex™-M0+处理器的卓越能效和易用性, 又具备 Kinetis 32 位 MCU 产品组合的性能、外设集、支持环境和可扩展性。

Kinetis L 系列使注重功耗的设计不再受限于 8 位和 16 位 MCU, 因为该系列不仅提供出色的动态和停止电流, 而且具备卓越的处理性能, 多种片上 Flash 存储器密度以及丰富的模拟、连接和 HMI 外设选项。

Kinetis L 系列 MCU 还与基于 ARM Cortex-M4 的 Kinetis K 系列硬件和软件兼容, 提供了一个向更高性能、存储器和特性集成度迁移的可扩展途径。

器件范围覆盖 4 x 4 mm 24 QFN 小型封装的 8 KB Flash 器件到 121 MBGA 封装的高达 256 KB Flash。每个器件都提供超低功耗性能, 以及一套丰富的模拟、通信、时序和控制外设。

通用特性		可选特性									
系统		系列	Flash	SRAM	引脚数	主要特性					
ARM® Corter™ .M0+内核，48 MHz 多个低功耗模式和 外设，低功耗引导， 时钟选通 1.71-3.6 V，-40 °C至+105 °C ^[1]						USB OTG	段式 LCD	DMA	ADC	DAC	I²S
KL46		128-256 KB	16-32 KB	64–121	√	√	√	16位	12位	√	√
KL36		64-256 KB	8-32 KB	64–121		√	√	16位	12位	√	√
KL34		64 KB	8 KB	64–100		√	√	12位			
KL26		128-256 KB	16-32 KB	64–121	√		√	16位	12位	√	√
KL25		32-128 KB	4-16 KB	32–80	√		√	16位	12位		√
KL24		32-64 KB	4-8 KB	32–80	√		√	12位			
KL16		256 KB	16-32 KB	64–80			√	16位	12位	√	√
KL15		32-128 KB	4-16 KB	32–80			√	16位	12位		√
KL14		32-64 KB	4-8 KB	32–80			√	16位			
KL05		8-32 KB	1-4 KB	24–48			√	12位	12位		√
KL04		8-32 KB	1-4 KB	24–48			√	12位			
KL02		8-32 KB	1-4 KB	16–32				12位			

存储器	
90 nm TFS flash、SRAM	
内部存储器安全/保护	

模拟外设	
12/16位ADC、12位DAC	
高速比较器	

串行接口	
UART (包括1个LPUART)	
SPI、I²C	

定时器	
实时时钟 ^[2]	
16位低功耗TPM (GP定时器/PWM)	
低功耗定时器	
32位周期中断定时器	

[1]CSP封装不提供此特性

[2]对于 KL 02，使用软件提供支持

[1]CSP封装不提供此特性

[2]对于KL02, 使用软件提供支持

图 3. Kinetis L 系列产品组合

采用 Kinetis L 系列打造低成本的通用电机驱动, Rev 0, 10/2012

2 硬件描述

本节借助电路原理图和硬件同步流程说明了相角电机控制板的硬件元件的功能。

2.1 功能描述

图 4 原理图中显示了相角电机控制板的原理图。相角驱动仅需要使用一个集成电路 - MCU。无缓冲器三端双向可控硅 MAC4DC 用作功率器件。该三端双向可控硅具有高 dv/dt 抗扰性，因此不需要在三端双向可控硅周围使用 RC 电路。三端双向可控硅的 MT1 引脚连接到交流电源，而 GATE 引脚则直接连接到微控制器。三端双向可控硅 PTC1-PTC3 引脚的导通电平为 0 V。选择该配置的原因有二个。第一个原因是端口 A 引脚的电流驱动能力。在 Kinetis L 系列参数中，我们可以发现拉电流为 5 mA，而灌电流为 10 mA。我们选择了灌电流模式。第二个原因由三端双向可控硅确定。一般来说，具有高 dv/dt 抗扰性的无缓冲器三端双向可控硅需要更高的栅极触发电流 IGT。在负 IGT 的情况下，MAC4DC 通常至少需要 25 mA。在正 IGT 的工作模式下，栅极触发电流更高。我们选择使用负 IGT。PTC 1、2、3 这三个引脚是互连的，足以满足栅极所需要的电流，并稳定导通三端双向可控硅。

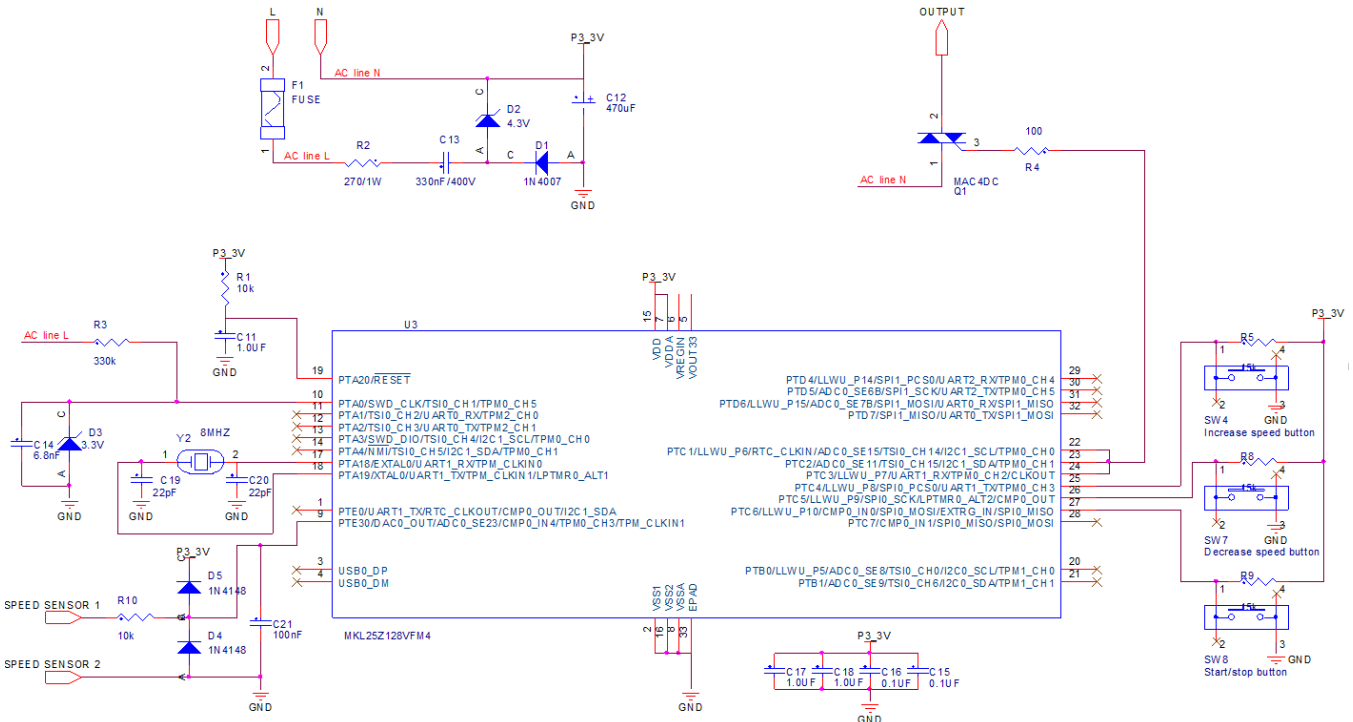
电源仅包含少量的元件 (D1、D4、R2、C12、C13 和 F1)。输出电压为 +3.3 V。虽然电路结构简单，但依然可以为微控制器、外部控制面板以及三端双向可控硅提供电源。

警告

此电路由电源线直接供电。请不要触摸此板上的任何部件。使用此板时，请不要连接任何计算机、示波或开发系统。在这种情况下，必须使用隔离变压器。

2.2 原理图

图 4. 原理图



如果要采集同步信号,则必须要将电路连接到 PTA2 引脚。该信号为微控制器提供最重要的信息,即线路电压的过零信息。过零点是计算任何三端双向可控硅动作的基础。所有关于三端双向可控硅的动作和功能均由软件进行控制。由于此板在闭环模式下提供控制算法,一些器件允许连接转速计或增量位置传感器。具有 D5 的输入滤波器可以在高速下保护内部比较器不受高电压干扰,而二极管 D4 则可以保护比较器不受负电压干扰。如果需要使用增量速度传感器,可省去此保护电路。内部比较器提供的输出方波信号内部连接到定时器。采用这样的设计安排,可以使用微控制器的输入捕捉特性。可使用按钮 SW1 和 SW3 在外部设置速度指令。需要使用外部指令时,应把简单的外部控制面板与相角功率级相链接。

2.3 用户接口

按钮 SW1、SW2 和 SW3 用于控制驱动。由于此设备不支持在每一个引脚上使用内部上拉电阻,因此需要使用一些外部上拉电阻。SW1 和 SW3 用于增/减电机速度,而 SW2 用于启动/停止驱动。

注

在所有可能的情况下,必须要将用户与控制面板隔离开来。

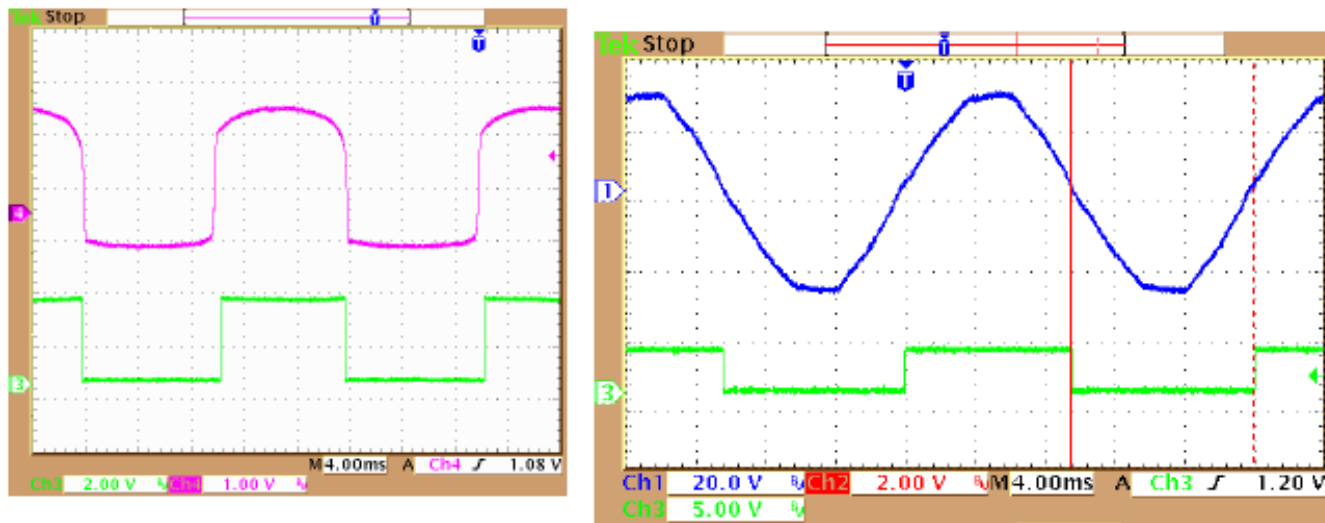
2.4 同步硬件

相角控制算法的基本原理非常简单:将三端双向可控硅的触发脉冲时间与线路电压的过零匹配。此触发脉冲的相位偏移可产生可调的输出电流到负载。选择使用具有二个中断的结构,是为了确保提供合适的功能以及某些其他 CPU 性能。请参阅图 6 软件同步电源。

众所周知,相角驱动系统需要使用关于线路电压和相应过零点的信息。相应的信号连接到 PTA0 引脚。仅需使用一个电阻 (R3)、一个电容 (C14) 和一个二极管 (D3)。由于此解决方案既简单又实惠,输出信号不是真实的方波 (紫色信号)。

在图 5 过零检测波形中,可以看到 PTA0 上的输入信号 (紫色)、过零检测 (绿色) 和线路电压 (蓝色) 之间的关系。

图 5. 过零检测波形



关于同步软件的更多信息,请参阅 3.2 节同步软件。

3 软件

本节讨论如何配置电机控制板的多个外设和软件同步流程。

3.1 外设配置

要让电机控制正确运行，应配置以下外设：

- CPU 内核
- 周期性中断定时器 (PIT)
- GPIO 端口和 GPIO 提供的中断
- 定时器/PWM 模块 (TPM)

3.1.1 CPU 内核配置

默认系统启动把 CPU 时钟配置为 48 MHz。为节省 CPU 消耗的能量，应降低内核的时钟频率。本例中，由于软件非常简单，因此可以把时钟配置为 3 MHz。通过更改寄存器 `SIM_CLKDIV1` 中的内核时钟输出分频器即可实现。但是，仍有足够的能力执行电机控制算法和其他控制软件。更改内核时钟的频率：

```
SIM_CLKDIV1 = SIM_CLKDIV1_OUTDIV1(15); // select core clock divider to 15
```

3.1.2 周期性中断定时器配置

配置 PIT 定时器非常容易。只需配置外设时钟、定时器起始值和中断使能位。

```
// PIT configuration
SIM_SCGC6 |= SIM_SCGC6_PIT_MASK;
PIT_MCR = PIT_MCR_FRZ_MASK; // freeze timer when debug mode
PIT_LDVAL0 = 24000; // default start value (333nS per one tick at 3MHz)
PIT_TCTRL0 = PIT_TCTRL_TIE_MASK |
PIT_TCTRL_TEN_MASK; //enable Timer and timer interrupt
```

3.1.3 GPIO 端口和中断设置

此应用至少应使用 8 个 GPIO 引脚。可以使用两个版本的配置。第一个配置是针对采用 QFN32 封装的 MKL25Z128VFM4 器件。第二个配置是用于包含 80 引脚封装的 Freedom KL25Z 开发平台。根据表 1 微处理器引脚使用情况来设置引脚。

表 1. 微处理器引脚使用情况

	KL25Z128VFM4	Freedom KL25Z
用户接口	端口 C 4、5、6	端口 E 23、29、30
三端双向可控硅栅极脉冲	端口 C 1、2、3	端口 E 20、21、22
过零检测	端口 A 0	端口 A 17
速度测量	端口 E 30	端口 C 6

应正确配置中断。要实现此操作，需要把中断写入到向量表。

```
#undef VECTOR_038
#define VECTOR_038 PIT0_isr
#undef VECTOR_046
#define VECTOR_046 Zero_Cross_isr
```

然后，需要在 NVIC 寄存器中使能中断：

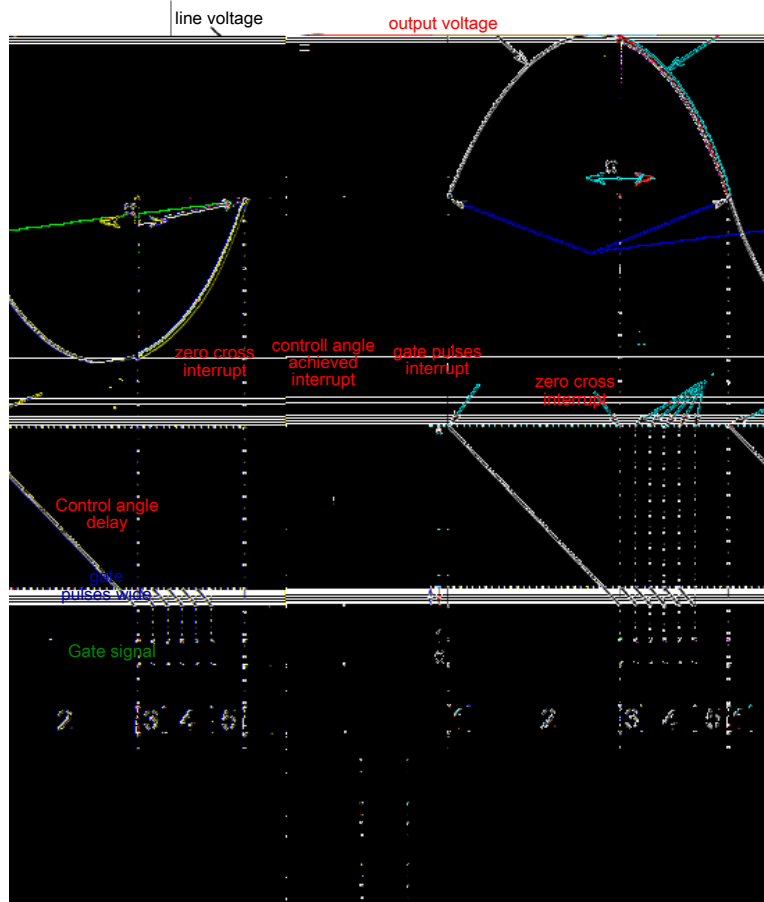
```
/* Determine which of the NVICISERs corresponds to the irq */
NVIC_ICPR |= 1 << ((38 - 16)%32);
NVIC_ISER |= 1 << ((38 - 16)%32);
NVIC_ICPR |= 1 << ((46 - 16)%32);
NVIC_ISER |= 1 << ((46 - 16)%32);
```

3.2 同步软件

仅使用一个周期中断定时器，便可以在过零和三端双向可控硅栅极脉冲后生成延迟。关于同步如何执行的说明，请参阅“图 6 软件同步电源”。PIT 状态由图中的五个状态来表示。

1. 检测到过零 - 使用 GPIO 端口中断来检测过零点。发生过零中断并成功生成上一个脉冲后，PIT 定时器重新进行配置，以获取需要的控制角度。此时，PIT 开始计数。“controll_angle”变量用于更改实际的控制角度。
2. 等待角度控制 - 定时器的状态切换为“等待脉冲”模式。微处理器在此模式下等待 PIT 中断。
3. 实现角度控制 - 当达到了需要的相角时，发生 PIT 中断。定时器被重新配置，根据需要的脉冲宽度生成三端双向可控硅栅极脉冲。“pulse_wide”变量用于更改栅极脉冲宽度。
4. 脉冲生成 - 生成栅极信号。脉冲数量由 PULSES_COUNT 宏决定。
5. 脉冲完成 - 成功生成脉冲。应用等待下一个半波。

图 6. 软件同步电源



过零事件服务的中断服务:

```
void Zero_Cross_isr (void)
{ if (pit_state == PULSE_OK) // if previous pulse generated successfully setup PIT for next trigger
{ PIT_LDVAL0 = controll_angle; // for enter new value into PIT, timer should be disabled and enabled again
PIT_TCTRL0 = 0; // timer disable
PIT_TCTRL0 |= PIT_TCTRL_TEN_MASK | PIT_TCTRL_TIE_MASK; // timer enable pit_state = WAIT_FOR_PULSE; // change PIT status }
PORTA_ISFR |= (1UL); // clear flag}
```

PIT 事件服务的中断服务:

PIT 定时器有二个用途:

1. 出现线路电压过零后在预定时间生成中断。在这种情况下，检测到线路电压过零时，Zero_Cross_isr 例程启动 PIT 计数器。
2. 另一个用途是生成针对三端双向可控硅的脉冲序列。在这种情况下，PIT0_isr 例程启动定时器，然后周期性调用中断，直至达到需要的脉冲数量。

```
void PIT0_isr(void)
{
switch(pit_state)
{
case (WAIT_FOR_PULSE): // start to generate triac pulses after defined phase angle
{
PIT_LDVAL0 = pulse_wide; // set pulse wide for triac gate in PIT cycles
// for enter new value into PIT, timer should be disabled, flag cleared
// and PIT enabled again
PIT_TCTRL0 = 0; // timer disable
```

```
PIT_TFLG0 |= PIT_TFLG_TIF_MASK; // clear flag
PIT_TCTRL0 |= PIT_TCTRL_TEN_MASK | PIT_TCTRL_TIE_MASK; // timer enable
if(run == 1) { GPIOC_PCOR |= PORTC_1_2_3_MASK; } // generate pulse on 3 pins simultaneously
using mask
pulse_counter = 0;
pit_state = PULSE_GEN; // switch state
break;
}
case (PULSE_GEN):
{
if(run == 1) {GPIOC_PTOR |= PORTC_1_2_3_MASK;} // set pin level on three pins at the same
time, using mask
pulse_counter ++;
if( pulse_counter > PULSES_COUNT)//repeat until required pulse count achieved
{ PIT_LDVAL0 = controll_angle; // after all pulses was generated wait for next line voltage
half wave PIT_TCTRL0 = 0; // timer disable pit_state = PULSE_OK;
}
break;
}
}
PIT_TFLG0 |= PIT_TFLG_TIF_MASK; //clear flag
}
```

3.3 性能

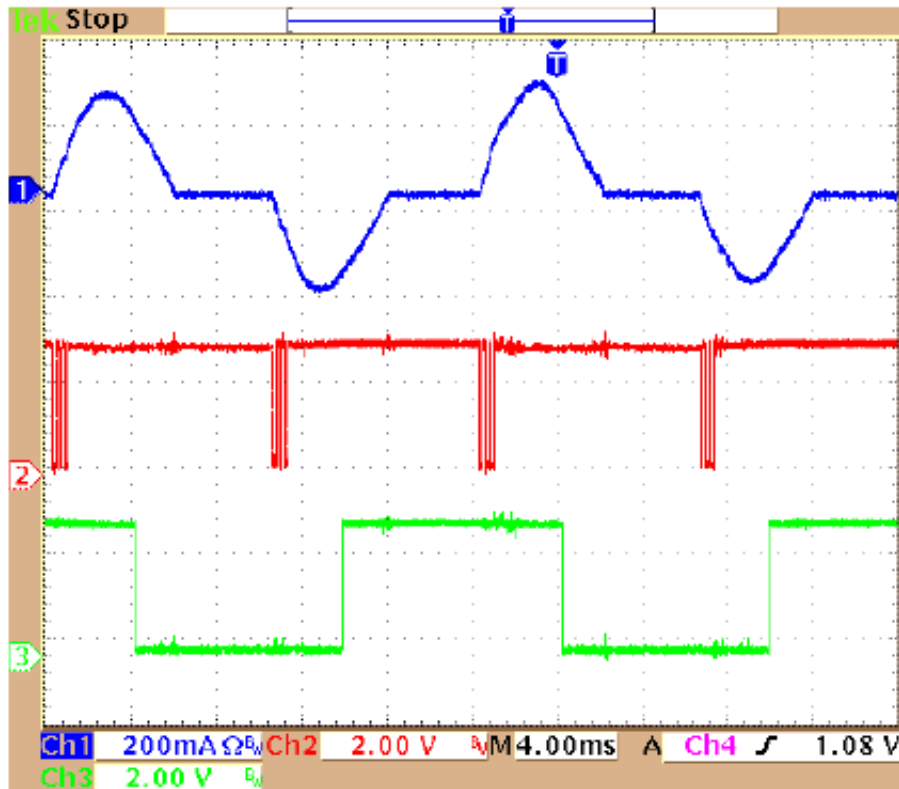
表 2 存储器使用情况说明了运行相角驱动所需要的存储器大小。仍有很大一部份存储器容量可供使用。

表 2. 存储器使用情况

存储器	可用	已使用
SRAM	32 KB	65 字节
ROM	256 KB	1.5 KB

“图 7 电流波形、三端双向可控硅脉冲和过零检测”对此应用的最后操作进行说明。蓝线波形表示驱动输入电流。红线波形为微控制器生成的三端双向可控硅栅极脉冲，绿线波形表示线路电压过零检测。

图 7. 电流波形、三端双向可控硅脉冲和过零检测



3.4 结论

本应用笔记介绍了可以在低成本产品中使用的应用。未使用的存储器和性能容量仍可供客户实现其他用途。这些特性使得本应用特别适合家电市场。

3.5 参考

1. 《AN1663, 低成本通用电机无传感器相角驱动系统》，作者：Ivan Skalka 和 Andrzej Lara, Freescale, Inc.
2. 《AN1662, 低成本通用电机相角驱动系统》，作者：Ivan Skalka, Freescale, Inc.
3. 《MAC4DCM 数据手册》，ON Semiconductor
4. 《KL25 子系列参考手册》，Freescale, Inc.

How to Reach Us:**Home Page:**freescale.com**Web Support:**freescale.com/support

本文档中的信息仅供系统和软件实施方使用 Freescale 产品。本文并未明示或者暗示授予利用本文档信息进行设计或者加工集成电路的版权许可。Freescale 保留对此处任何产品进行更改的权利，恕不另行通知。

Freescale 对其产品在任何特定用途方面的适用性不做任何担保、表示或保证，也不承担因为应用程序或者使用产品或电路所产生的任何责任，明确拒绝承担包括但不限于后果性的或附带性的损害在内的所有责任。

Freescale 的数据表和/或规格中所提供的“典型”参数在不同应用中可能并且确实不同，实际性能会随时间而有所变化。所有运行参数，包括“经典值”在内，必须经由客户的技术专家对每个客户的应用程序进行验证。

Freescale 未转让与其专利权及其他权利相关的许可。Freescale 销售产品时遵循以下网址中包含的标准销售条款和条件：freescale.com/SalesTermsandConditions。

Freescale, the Freescale logo, and Kinetis, are trademarks of Freescale Semiconductor, Inc., Reg. U.S. Pat. & Tm. Off. All other product or service names are the property of their respective owners.

© 2012 Freescale Semiconductor, Inc.

© 2012 飞思卡尔半导体有限公司