
采用独立于内核的外设实现真正的直流 RMS 测量

简介

作者: June Anthony Asistio, Microchip Technology Inc.

本技术简介演示了一种解决方案, 该解决方案使用 PIC18 单片机上独立于内核的外设 (Core Independent Peripheral, CIP) 来测量周期性直流波形的真正直流 RMS。由于使用 CIP 实现了求平均值运算、频率校准和数据传输, 因此该项目使用的代码和 CPU 周期更少。

本演示使用以下 CIP:

- 信号测量定时器 (Signal Measurement Timer, SMT)
- 过零检测器 (Zero Crossing Detector, ZCD)
- 数控振荡器 (Numerically Controlled Oscillator, NCO)
- 直接存储器访问 (Direct Memory Access, DMA) 控制器
- 可配置逻辑单元 (Configurable Logic Cell, CLC)
- 固定参考电压 (Fixed Voltage Reference, FVR)
- 数模转换器 (Digital-to-Analog Converter, DAC)
- 8 位定时器 (TMR2、TMR4)
- 外设引脚选择 (Peripheral Pin Select, PPS)

此外, 还使用了以下片上外设:

- 具有计算功能的模数转换器 (ADC²)
- 通用异步收发器 (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter, UART)
- 向量中断控制器 (Vectored Interrupt Controller, VIC)

可通过 SMT 和 ZCD 直接测量信号的周期。这两个外设用于在测量时校准 RMS 测量的频率。

求和与求平均值运算使用 NCO 累加器完成。

使用两个独立的 DMA 通道将计算出的 RMS 数据传输到 UART 发送缓冲区寄存器和 DAC 输出缓冲区寄存器。主代码中不再需要用于传输数据的函数, 并且 CPU 不执行数据传输。利用 DMA 进行数据传输的优势使 CPU 能够自由执行其他任务。

平方和平方根值是在 RMS 数据处理期间从查找表 (Look-up Table, LUT) 中检索的, 而不是使用 CPU 周期进行乘法运算并获得平方根。

带中断的 TMR4 可以用作计数器, 以替代代码中使用的嵌套 “for” 循环。

VIC 为每个中断源提供一个包含中断服务程序 (Interrupt Service Routine, ISR) 的向量地址。这种方法的优势是可以直接从中断向量执行中断程序, 而不是像在软件传统中断上实施的那样扫描每个中断源。

本文档将介绍用于执行真正直流 RMS 测量的每个外设的设计过程和配置。

目录

简介.....	1
1. 真正直流 RMS 的定义.....	3
2. 真正直流 RMS 测量实现.....	4
2.1. 过程图.....	4
2.2. 固件流程图.....	4
2.3. 系统初始设置.....	5
2.4. 平方和平方根数组.....	6
3. 测试和验证.....	8
3.1. 测试设置.....	8
4. 总结.....	9
5. 附录.....	10
5.1. 附录 A: 测试结果.....	10
5.2. 附录 B: 外设使用.....	13
5.3. 附录 C: 用户定义函数.....	14
Microchip 网站.....	16
产品变更通知服务.....	16
客户支持.....	16
Microchip 器件代码保护功能.....	16
法律声明.....	16
商标.....	17
质量管理体系.....	17
全球销售及服务网点.....	18

1. 真正直流 RMS 的定义

电信号的特性是具有诸如振幅和频率之类的参数。振幅的最常见表示形式是平均值和 RMS 值。

V_{AVE} 是通过获取给定时间内信号的算术平均值来计算的，如公式 1-1 所示。

公式 1-1. 信号的 V_{AVE}

$$V_{AVE} = \sum_{i=1}^n \frac{V_i}{n}$$

AC 电压信号既有正值也有负值，公式 1-2 显示也可通过获取给定时间内信号的算术平方均值的平方根来计算 V_{AC_RMS} 。

公式 1-2. AC 信号的 V_{AC_RMS}

$$V_{AC_RMS} = \sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{V_i^2}{n}}$$

公式 1-2 仅在获取 AC 电压信号的 V_{AC_RMS} 时有效。在测量周期性 DC 电压信号的 V_{AC_RMS} 时，必须先从每个采样中减去 DC 偏移，然后再进行平方、平均和平方根计算。如公式 1-3 中所示。

公式 1-3. DC 信号的 V_{AC_RMS}

$$V_{AC_RMS} = \sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{(V_i - V_{DC_OFFSET})^2}{n}}$$

可使用公式 1-4 计算另一个参数，即周期性 DC 波形的 DC RMS。DC 电压信号最好用 V_{AVE} 表示，而 AC 电压信号用 V_{AC_RMS} 表示。 V_{DC_RMS} 的一种可能应用是测量经整流的 AC 信号的 RMS 电压。本文介绍的真正直流 RMS 测量使用的便是此数学定义。

公式 1-4. DC 信号的 V_{DC_RMS}

$$V_{DC_RMS} = \sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{V_i^2}{n}}$$

2. 真正直流 RMS 测量实现

真正直流 RMS 测量所需的软件功能和外设模块可以从公式 1-4 定义。可以通过将电压输入限值设置为 0V 至 3.999V 来简化设计。选择最大值 3.999V 可以优化具有 4095 电平的 12 位 ADC² 的使用。这为 ADC² 提供了 1 mV 的分辨率。

为此设置选择的频率范围是 50 Hz 至 500 Hz。可以通过 TMR2 改变 ADC² 的采样频率来修改频率范围。对于 50 Hz 波形，周期为 20 ms。TMR2 周期设置为 20 ms 除以 256，等于 78.125 μ s。

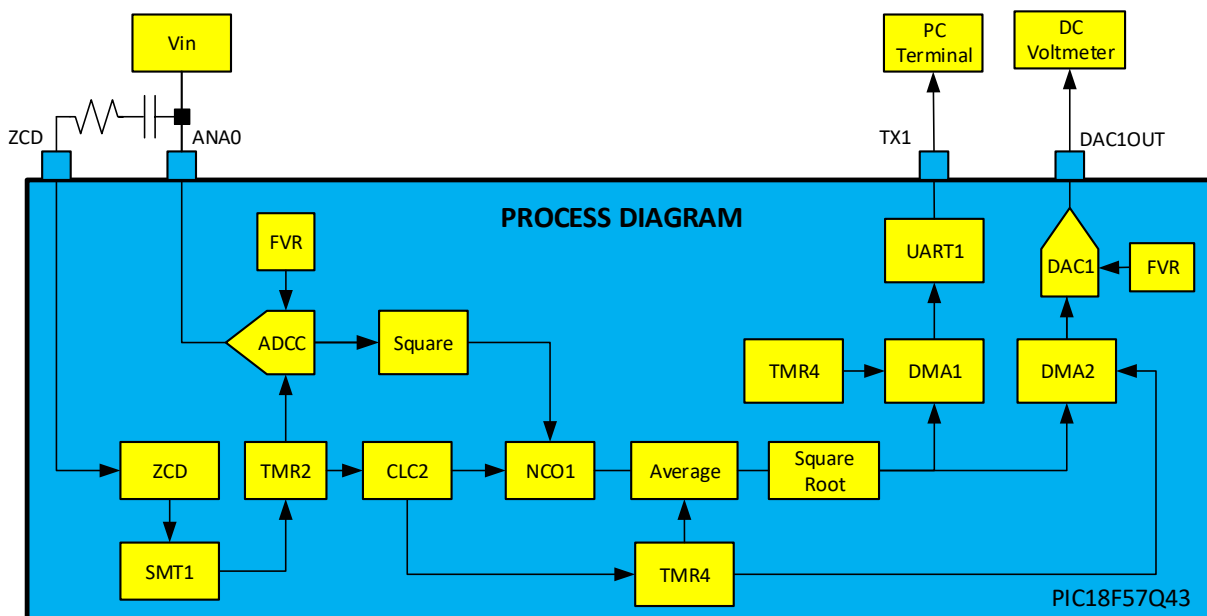
2.1 过程图

计算过程如图 2-1 所示。首先，ADC² 通过单片机的 ANA0 引脚对电压进行采样。通过 FVR 将 ADC² 的正参考电压设置为 4.096V，将负参考电压设置为接地 V_{SS}。ADC² 采样时间通过 TMR2 周期设置。TMR2 周期通过 ADC² 设置自动触发 ADC² 转换。

从平方数组中检索 ADC² 值的平方。然后将平方值馈送到 NCO1 累加器的增量寄存器。另一个采样由 ADC² 取平方，并由累加器求和。重复该过程，直到完成 256 个采样的平方和求和运算。ADC² 为 12 位，NCO1 累加器寄存器为 20 位，需要将 2²⁰ 除以 2¹² 转换为 2⁸ 或 256 个采样，以防止 NCO1 累加器在每次处理最大电压时溢出。

TMR4 用作 0-255 计数器，时钟源通过 CLC2 连接到 TMR2。这种方法无需在主程序中使用软件嵌套循环。

图 2-1. 真正直流 RMS 计算过程图



通过将结果右移 8 位，从 NCO1 累加器中获取累加平方的平均值。通过串联 NCO1ACCU 和 NCO1ACCH 并去掉 NCO1ACCL 值来简化此过程。

从平方根数组中检索出平均值的平方根。结果分别通过 DMA1 和 DMA2 传输到 UART1 发送缓冲区和 DAC1 输出数据缓冲区。

串联的 RC 滤波器提取 DC 波形的 AC 分量，然后将其馈送到 ZCD。ZCD 检测 AC 分量的过零点，SMT1 测量周期。SMT1 在每个 256 采样之后更新 TMR2 采样时间。

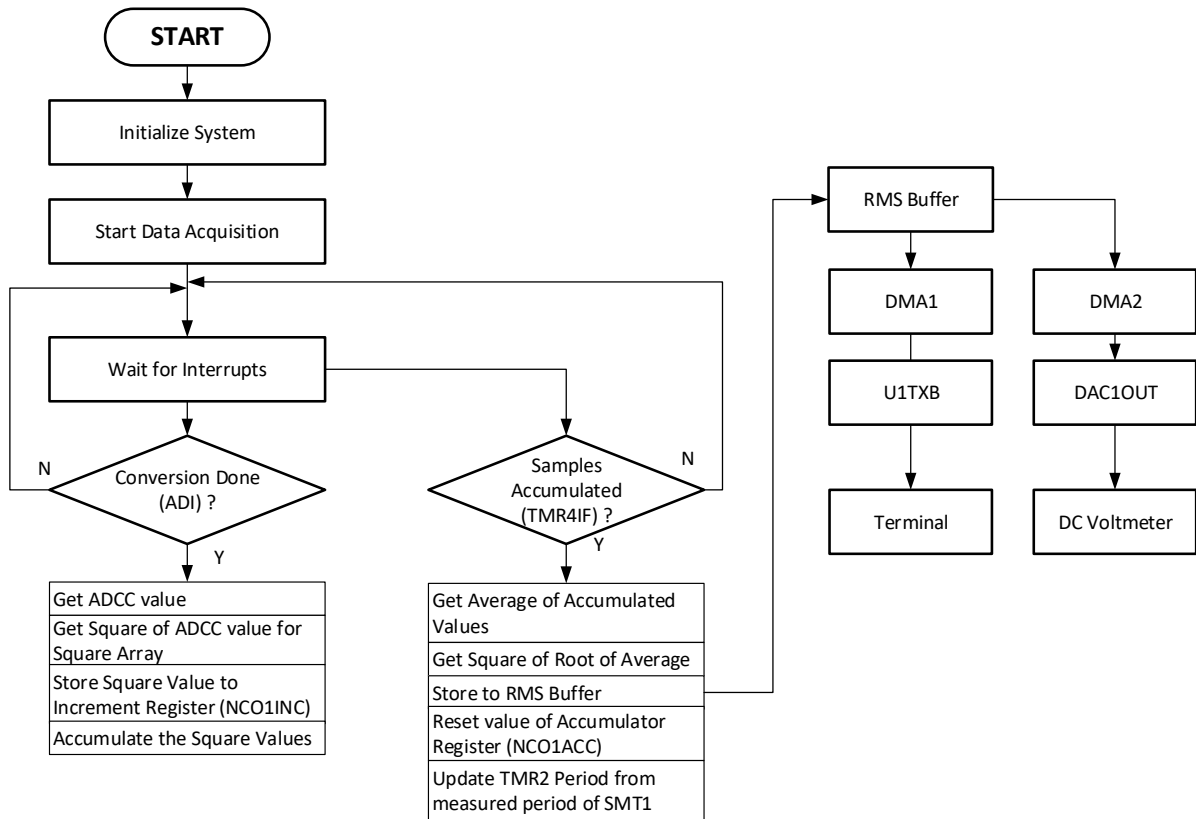
2.2 固件流程图

简化的固件操作如图 2-2 所示。完成系统和所有外设初始化后，单片机等待 ADC² 转换中断和 TMR4 溢出中断完成。

对于每个完成的 ADC² 转换，单片机都会处理 ADC² 值以生成平方值并将该平方值存储在 NCO1 增量寄存器中。

对于发生的 TMR4 中断，已累加 256 个采样的平方。从 NCO1 计算平均值，并从平方根表中检索平均值的平方根。RMS 结果存储在 RMS 缓冲区中。RMS 缓冲区中的数据随后通过 DMA1 通道传输到 UART1 发送缓冲区，并通过 DMA2 通道传输到 DAC1 输出缓冲区。

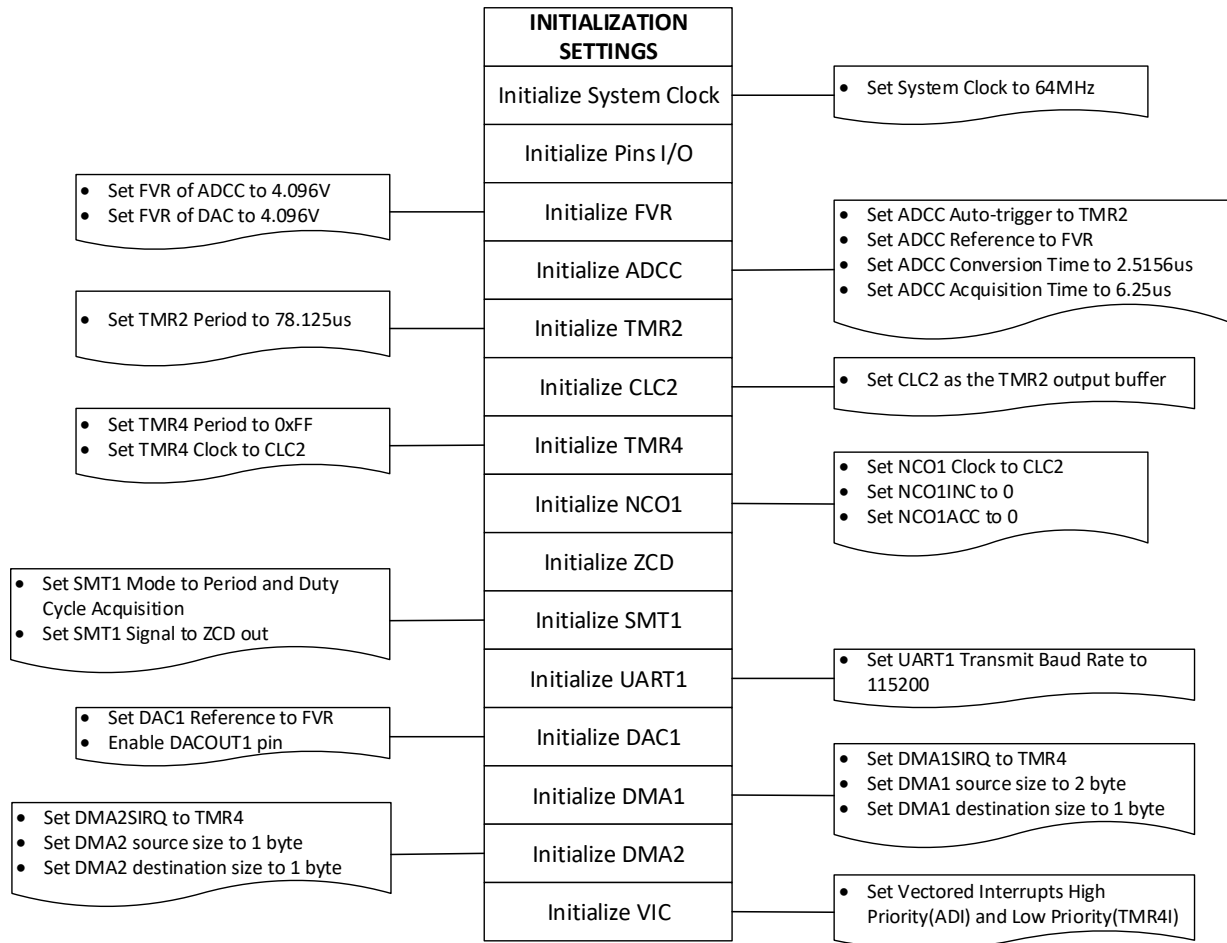
图 2-2. 固件流程图



2.3 系统初始设置

系统时钟设置为最高可用频率，即 64 MHz。外设连接遵循过程图和固件流程图。图 2-3 中汇总了初始设置。

图 2-3. 系统初始设置



2.4 平方和平方根数组

可以使用电子表格程序计算数字平方和平方根值。将平方和平方根归一化以保持结果为 12 位大小。以下步骤概述了创建平方和平方根数组的过程。表 2-1 显示电子表格中用于计算 12 位平方和平方根的部分。

1. 以 1 mV 的增量创建从 0V 到 4V 的第一列模拟值。
2. 通过将所有模拟值除以 4V，创建一列归一化值。
3. 通过获取所有归一化值的平方，创建一列归一化平方值。
4. 通过获取所有归一化值的平方根，创建一列归一化平方根。
5. 将归一化值、归一化平方值和归一化平方根乘以 4000，得到数字值和数字平方值。
6. 将此 12 位平方和平方根数据用作 SquareArray.csv 和 SquareRootArray.csv 的工作文件。
7. 对于 SquareArray.csv，删除“模拟值”、“归一化值”、“归一化平方值”、“归一化平方根”、“数字值”、“数字平方根”列，并删除整个第一行和最后一行。
8. 对于 SquareRootArray.csv，删除“模拟值”、“归一化值”、“归一化平方值”、“归一化平方根”、“数字值”、“数字平方值”列，并删除整个第一行和最后一行。
9. 在头文件 rms.h 的代码中将数据作为 squareValue 和 squareRootValue 数组插入。

表 2-1. 12 位平方和平方根值

模拟值	归一化值	归一化平方值	归一化平方根	数字值	数字平方值	数字平方根
0	0	0	0	0	0	0
0.001	0.00025	6.25E-08	0.015811388	1	0	63
0.002	0.0005	0.00000025	0.02236068	2	0	89
0.003	0.00075	5.625E-07	0.027386128	3	0	110
0.004	0.001	0.000001	0.031622777	4	0	126
0.005	0.00125	1.5625E-06	0.035355339	5	0	141
0.006	0.0015	0.00000225	0.038729833	6	0	155
0.007	0.00175	3.0625E-06	0.041833001	7	0	167
0.008	0.002	0.000004	0.04472136	8	0	179
0.009	0.00225	50.625E-06	0.047434165	9	0	190
0.01	0.0025	0.00000625	0.05	10	0	200
0.011	0.00275	7.5625E-06	0.052440442	11	0	210
0.012	0.003	0.000009	0.054772256	12	0	219
0.013	0.00325	1.05625E-05	0.057008771	13	0	228
...
...
...
...
3.987	0.99675	0.993510563	0.998373678	3987	3974	3993
3.988	0.997	0.994009	0.998498873	3988	3976	3994
3.989	0.99725	0.994507563	0.998624053	3989	3978	3994
3.99	0.9975	0.99500625	0.998749218	3990	3980	3995
3.991	0.99775	0.995505063	0.998874366	3991	3982	3995
3.992	0.998	0.996004	0.998999499	3992	3984	3996
3.993	0.99825	0.996503063	0.999124617	3993	3986	3996
3.994	0.9985	0.99700225	0.999249719	3994	3988	3997
3.995	0.99875	0.997501563	0.999374805	3995	3990	3997
3.996	0.999	0.998001	0.999499875	3996	3992	3998
3.997	0.99925	0.998500563	0.99962493	3997	3994	3998
3.998	0.9995	0.99900025	0.999749969	3998	3996	3999
3.999	0.99975	0.999500063	0.999874992	3999	3998	3999
4	1	1	1	4000	4000	4000

3. 测试和验证

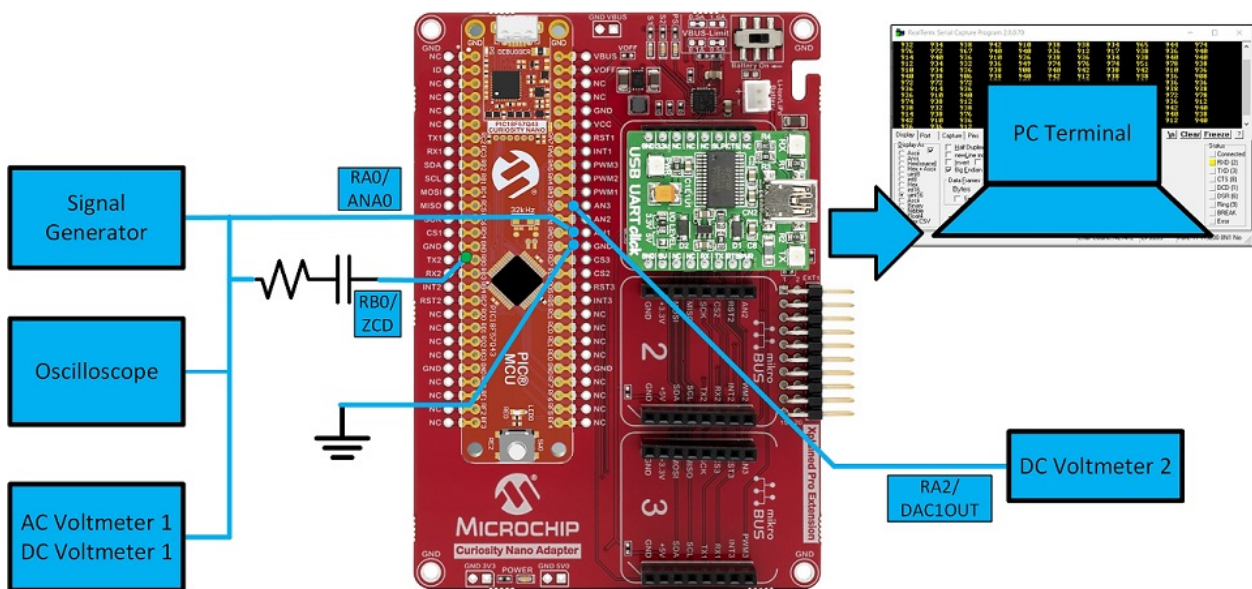
可以使用 Curiosity Nano 适配器将真正直流 RMS 测量固件编程到 PIC18F57Q43 Curiosity 板上。用示波器测量输入信号的 RMS，并将其与该基于 CIP 的真正直流 RMS 测量进行比较。从 DAC1OUT 引脚和 UART1 显示屏监视输出。

3.1 测试设置

图 3-1 显示了用于验证真正直流 RMS 测量性能的测试设置。

1. 将信号发生器连接到真正直流 RMS 测量的输入端。连接示波器。
2. 在 PIC18F57Q43 Curiosity Nano 板上施加 5V 电源。
3. 将 UART Click 连接到计算机，并监视来自终端串行捕获程序（例如 Realterm）的数据。将该程序设置为以十六进制格式显示数据，并将波特率设置为 115200，与 UART1 相同。
4. 在信号发生器上，运行周期性 DC 波形。这可以是具有 1V 振幅、50 Hz 频率、50% 占空比和 1V DC 偏移的三角波形。
5. 在示波器上测量 AC RMS、DC RMS 和 AVE。将时基设置为 20 ms/div。
6. 在 PC 终端上，监视 DC RMS 测量的 UART1 传输的 RMS 测量值。将显示格式从十六进制值转换或更改为 uint16 十进制。
7. 将示波器测量值与 UART1 显示值进行比较。结果应该完全相同。UART1 将以 1 mV 的分辨率显示 DC RMS。
8. 将 DMM 连接到信号发生器，测量 AC 电压和 DC 电压。DMM 仅能够测量波形的 AC RMS 和 DC 平均值。
9. 连接 DMM 以测量 DC RMS 测量的 DAC1OUT 的 DC 电压。DAC1OUT 将显示波形的 DC RMS。
10. 对不同类型的波形重复测试过程。在设计真正直流 RMS 测量的限制范围内改变占空比、频率和振幅。
注：确保输入电压不超过 3.999V 且不低于 0V。结果请见 5.1 附录 A：测试结果。

图 3-1. 用于测量验证的测试设置



4. 总结

CIP 和片上外设为开发使用较少代码和 CPU 资源的基于硬件的真正直流 RMS 测量应用提供了一种快速而可靠的设计解决方案。硬件外设的组合可以简化时序、测量、计算和数据传输操作的实现，而使用完全基于软件的解决方案很难实现这些操作。

5. 附录

5.1 附录 A: 测试结果

使用不同测试波形的比较测量结果如下所示。UART1 端子以 1 mV 的分辨率将真正直流 RMS 显示为 16 位值。在 DAC1OUT 处，电压表显示相同的波形 DC RMS。

图 5-1. 50 Hz 三角波形的 DC RMS

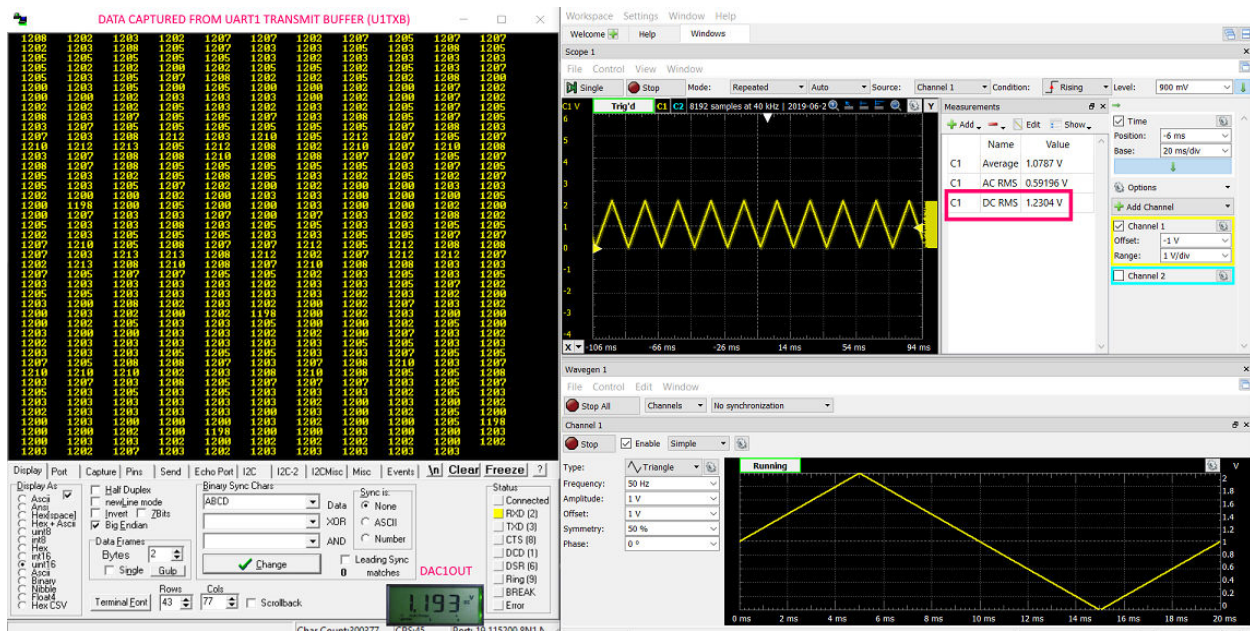


图 5-2. 50 Hz 50% 占空比 PWM 波形的 DC RMS

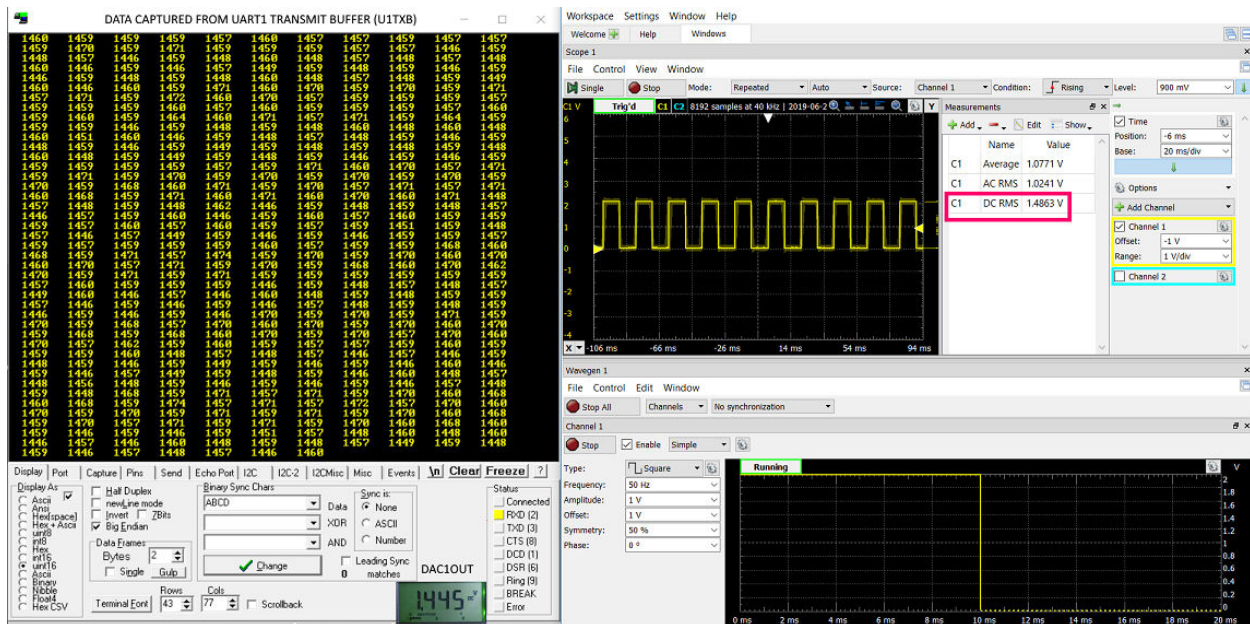


图 5-3. 50 Hz 20% 占空比 PWM 波形的 DC RMS

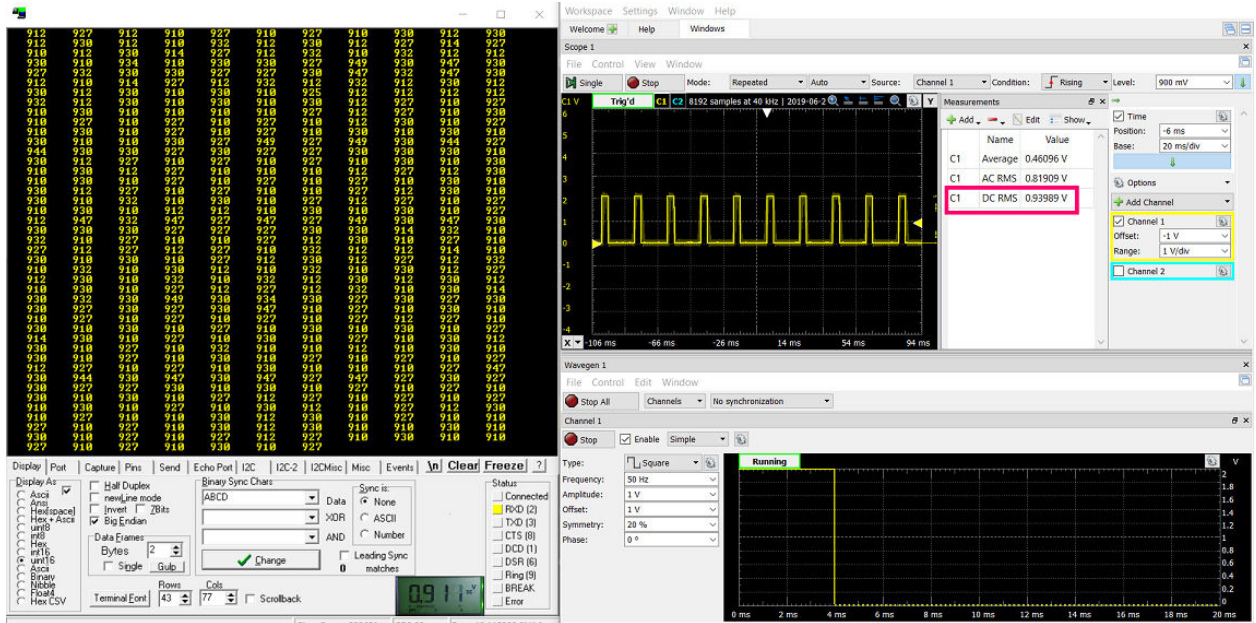


图 5-4. 50 Hz 10% 占空比 PWM 波形的 DC RMS

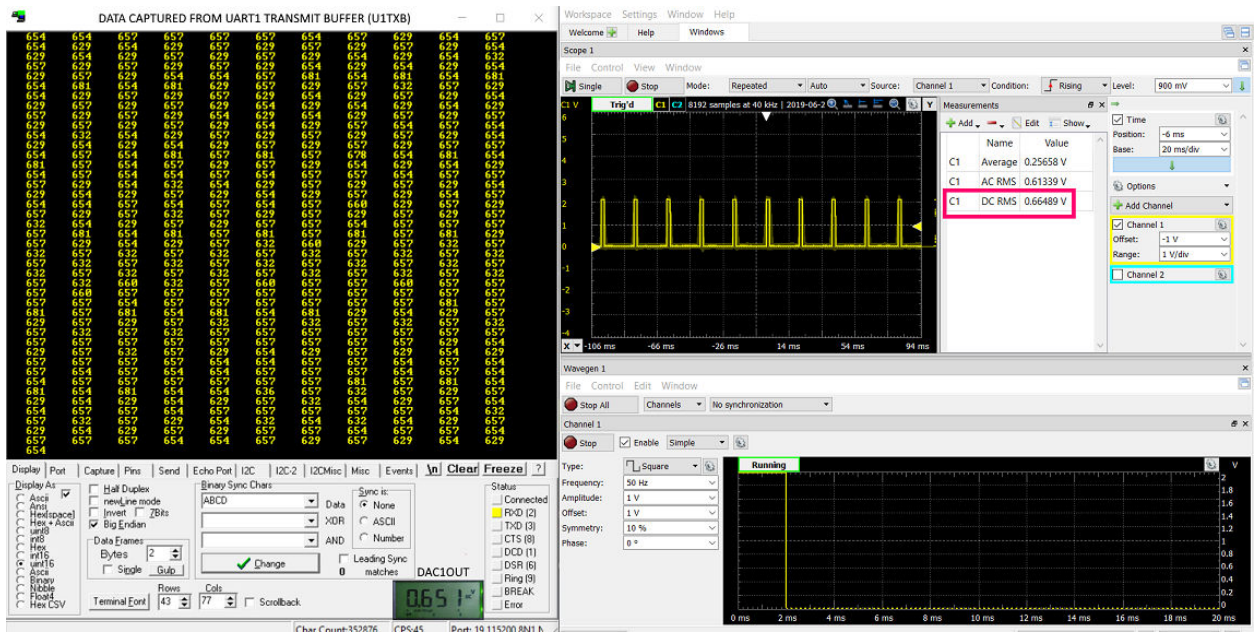


图 5-5. 50 Hz 半正矢波形的 DC RMS

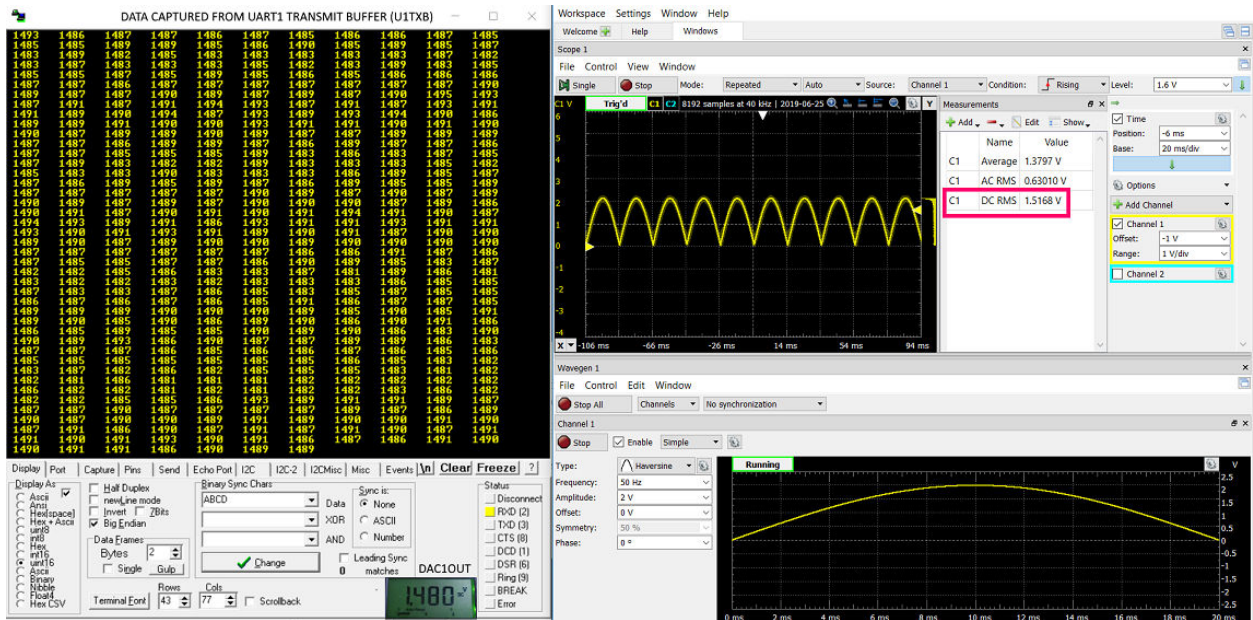


图 5-6. 50 Hz 1/2半正矢波形的 DC RMS

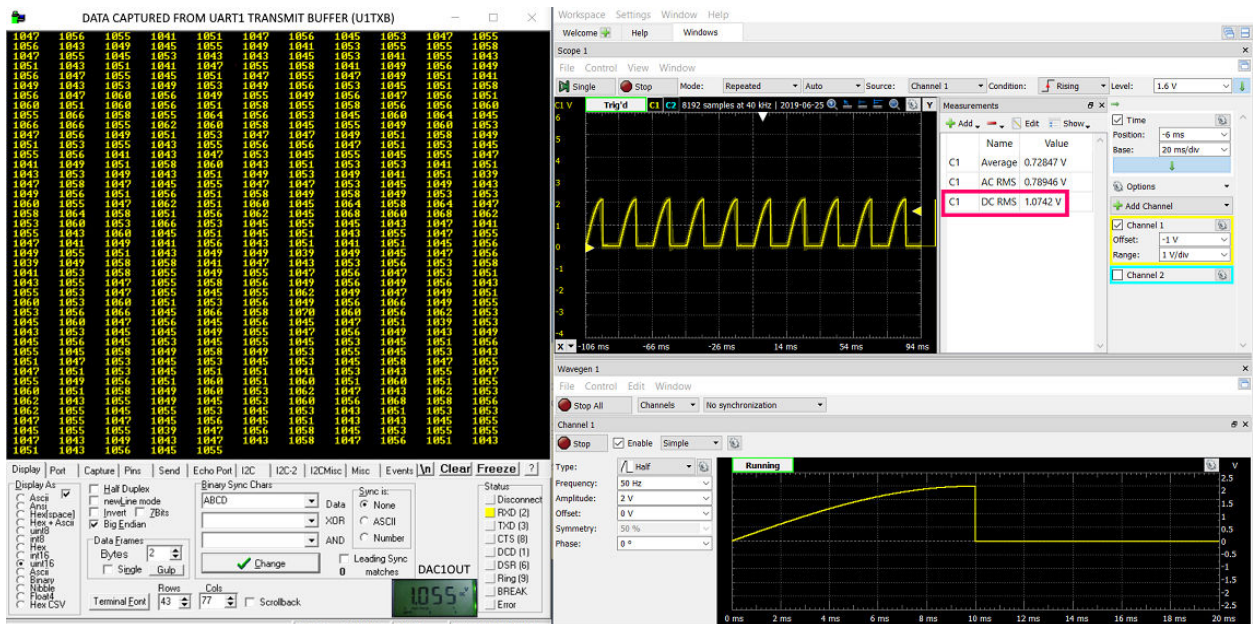


图 5-7. 50 Hz ¼半正弦波形的 DC RMS

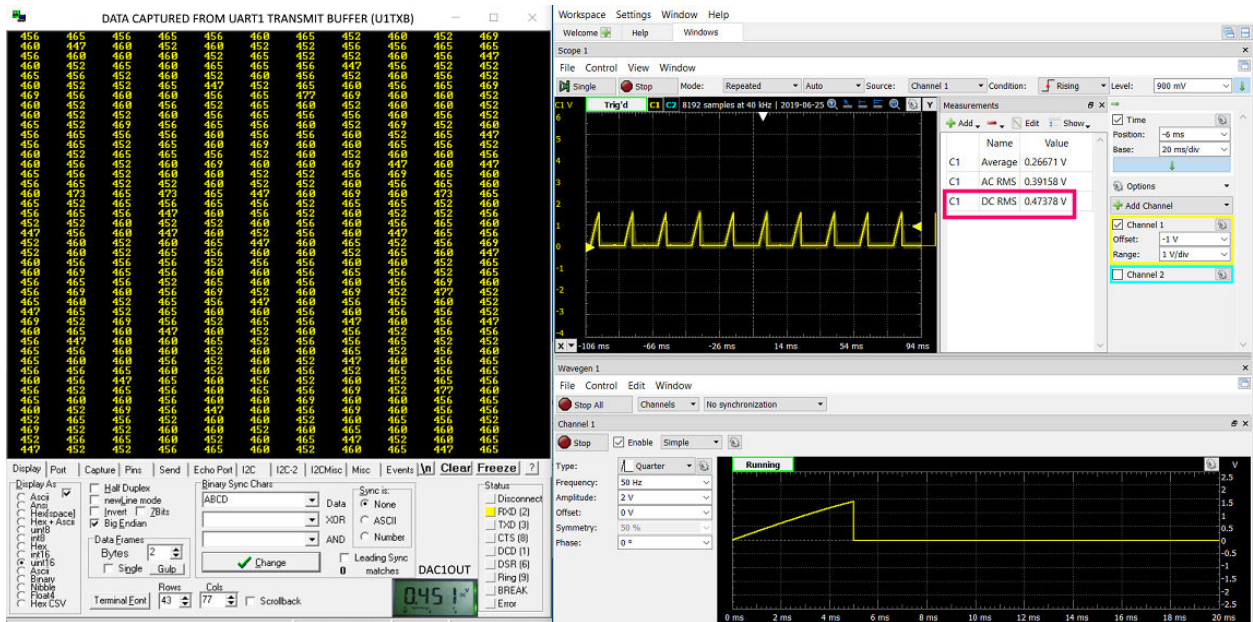
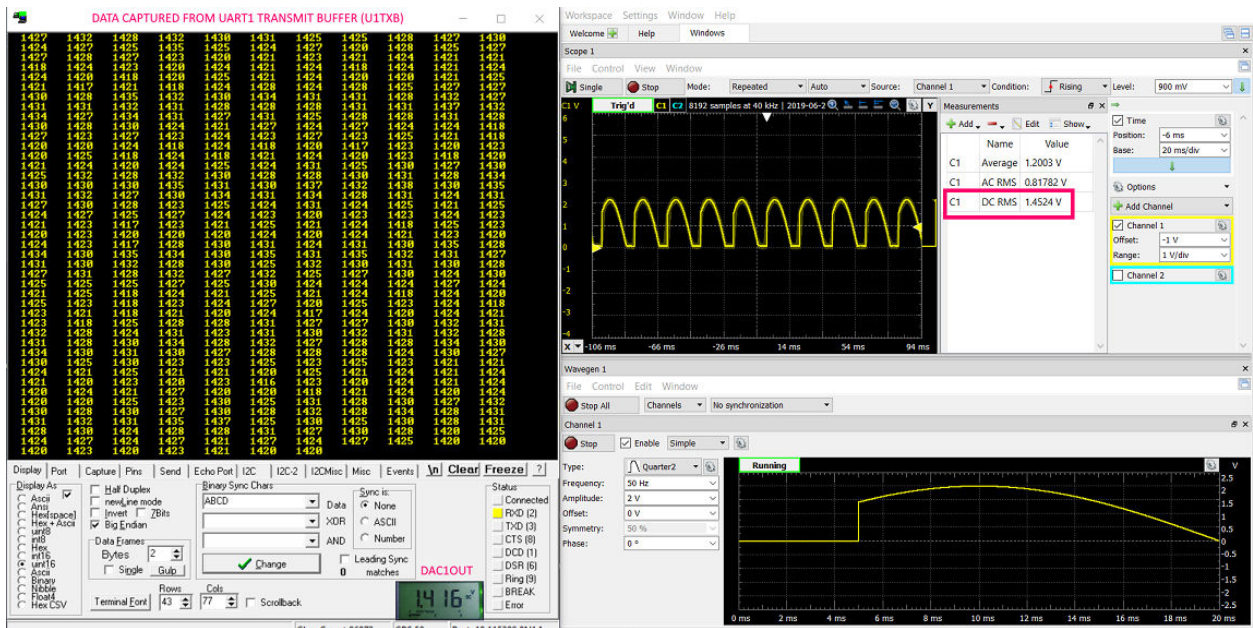


图 5-8. 50 Hz ¾半正弦波形的 DC RMS



5.2 附录 B: 外设使用

表 5-1 汇总了此项目中使用的外设的操作。

表 5-1. 外设模块使用

模块	功能/操作
FVR	FVR 将 ADC ² 和 DAC 参考电压设为 4.096V。
ADC ²	ADC ² 从 ANA0 获取 V _{IN} 采样。ADC ² 设置为从 TMR2 溢出自动触发。

..... (续)	
模块	功能/操作
TMR2	TMR2 设置采样频率。最初，将其设置为 50 Hz 除以 256。在成功计算 RMS 之后，此设置按照 SMT1 周期测量结果更新。
CLC2	CLC2 用作 TMR2 信号的缓冲区。
TMR4	TMR4 用作 0-255 计数器，在一个周期内获取信号的 256 个采样。
NCO1	NCO1 的累加器用于获取 ADC ² 采样的平方和。
ZCD	信号的 AC 分量传递到 ZCD 引脚。ZCD 的输出馈送到 SMT1 以测量周期。
SMT1	SMT1 通过 ZCD 测量信号的 AC 分量的周期。TMR2 采样时间按照 SMT1 周期测量结果更新。
UART1	UART1 发送缓冲区向计算机终端显示 RMS 值。
DAC1	DAC1 输出信号的 DC RMS。
DMA1	DMA1 通过通道将 RMS 值发送到 UART 发送缓冲区 U1TXB。
DMA2	DMA2 通过通道将 RMS 值发送到 DAC1CON1。
VIC	ADIF 设置为高优先级，而 TMR4 设置为低优先级。

5.3 附录 C：用户定义函数

内置了其他函数，以便使用外设进行真正直流 RMS 计算。真正直流 RMS 函数描述如下。

5.3.1 RMSInterruptHandler_Initialize()

此函数会设置 ADC² 和 TMR4 中断处理程序。

```
void RMSInterruptHandler_Initialize(void)
{
    ADCC_SetADIInterruptHandler(ADCC_RMS_InterruptHandler);
    TMR4_SetInterruptHandler(TMR4_RMS_InterruptHandler);
}
```

5.3.2 StartDataAcquisition()

此函数会设置 DMA1 和 DMA2 源地址；DMA1 和 DMA2 目标地址；启动 SMT1；使能 DMA1 和 DMA2 启动传输请求；并启动 TMR2。

```
void StartDataAcquisition(void)
{
    DMA1_SetSourceAddress();
    DMA2_SetSourceAddress();
    DMA1_SetDestinationAddress();
    DMA2_SetDestinationAddress();
    SMT1_DataAcquisitionEnable();
    DMA1_StartTransferRequest();
    DMA2_StartTransferRequest();
    TMR2_Start();
}
```

5.3.3 Accumulate()

此函数会将 squareValue 存储到 NCO1INC 增量寄存器中。

```
void Accumulate(void)
{
    NCO1INCH = squareValue >> 8;
    NCO1INCL = squareValue;
}
```


5.3.4 GetAverageValue()

此函数会返回 NCO1ACC 累加寄存器在 256 个采样之后的平均值。NCO1ACC 右移 8 位。

```
uint16_t GetAverageValue(void)
{
    return (uint16_t)((NCO1ACCU << 8) + NCO1ACCH);
}
```

5.3.5 BufferRmsValue()

此函数会以 2 字节格式存储 UART1 的 DMA1 通道的 12 位 RMS 结果数据，并以 1 字节格式存储 DAC1 输出缓冲区的 DMA2 通道的 8 位 RMS 值。

```
void BufferRmsValue(void)
{
    rmsValue[0] = (uint8_t) (squareRootValue >> 8);
    rmsValue[1] = (uint8_t) (squareRootValue);
    rmsOutput = (uint8_t) (squareRootValue >> 4);
}
```

5.3.6 ResetAccumulator()

此函数会在获得 256 个采样的 DC RMS 结果后清除 NCO1ACC 累加器寄存器。

```
void ResetAccumulator(void)
{
    NCO1ACCU = 0;
    NCO1ACCH = 0;
    NCO1ACCL = 0;
}
```

5.3.7 SetPeriod()

此函数会通过将测量的 SMT1CPR 周期右移 8 位来更新 TMR2 周期。通过将 SMT1 和 TMR2 设置取等值来计算该因数，如公式 5-1 所示。

```
void SetPeriod(void)
{
    T2PR = (SMT1CPR) >> 8;
}
```

公式 5-1. 通过 SMT1 周期测量更新 TMR2 周期

$$SMT1CPR = \frac{20ms \cdot 64MHz}{8 \cdot 4}$$

$$T2PR = \frac{20ms \cdot 64MHz}{256 \cdot 32}$$

$$T2PR = \frac{SMT1CPR}{2^8}$$

Microchip 网站

Microchip 网站 (www.microchip.com/) 为客户提供在线支持。客户可通过该网站方便地获取文件和信息。我们的网站提供以下内容:

- **产品支持**——数据手册和勘误表、应用笔记和示例程序、设计资源、用户指南以及硬件支持文档、最新的软件版本以及归档软件
- **一般技术支持**——常见问题解答 (FAQ)、技术支持请求、在线讨论组以及 Microchip 设计伙伴计划成员名单
- **Microchip 业务**——产品选型和订购指南、最新 Microchip 新闻稿、研讨会和活动安排表、Microchip 销售办事处、代理商以及工厂代表列表

产品变更通知服务

Microchip 的产品变更通知服务有助于客户了解 Microchip 产品的最新信息。注册客户可在他们感兴趣的某个产品系列或开发工具发生变更、更新、发布新版本或勘误表时, 收到电子邮件通知。

欲注册, 请访问 www.microchip.com/pcn, 然后按照注册说明进行操作。

客户支持

Microchip 产品的用户可通过以下渠道获得帮助:

- 代理商或代表
- 当地销售办事处
- 应用工程师 (ESE)
- 技术支持

客户应联系其代理商、代表或 ESE 寻求支持。当地销售办事处也可为客户提供帮助。本文档后附有销售办事处的联系方式。

也可通过 www.microchip.com/support 获得网上技术支持。

Microchip 器件代码保护功能

请注意以下有关 Microchip 器件代码保护功能的要点:

- Microchip 的产品均达到 Microchip 数据手册中所述的技术指标。
- Microchip 确信: 在正常使用的情况下, Microchip 系列产品是当今市场上同类产品中最安全的产品之一。
- 目前, 仍存在着恶意、甚至是非法破坏代码保护功能的行为。就我们所知, 所有这些行为都不是以 Microchip 数据手册中规定的操作规范来使用 Microchip 产品的。这样做的人极可能侵犯了知识产权。
- Microchip 愿意与关心代码完整性的客户合作。
- Microchip 或任何其他半导体厂商均无法保证其代码的安全性。代码保护并不意味着我们保证产品是“牢不可破”的。

代码保护功能处于持续发展中。Microchip 承诺将不断改进产品的代码保护功能。任何试图破坏 Microchip 代码保护功能的行为均可视为违反了《数字器件千年版权法案 (Digital Millennium Copyright Act)》。如果这种行为导致他人在未经授权的情况下, 能访问您的软件或其他受版权保护的成果, 您有权依据该法案提起诉讼, 从而制止这种行为。

法律声明

提供本文档的中文版本仅为为了便于理解。请勿忽视文档中包含的英文部分, 因为其中提供了有关 Microchip 产品性能和使用情况的有用信息。Microchip Technology Inc. 及其分公司和相关公司、各级主管与员工及事务代理机构对译文中可能存在的任何差错不承担任何责任。建议参考 Microchip Technology Inc. 的英文原版文档。

本出版物中提供的信息仅仅是为了方便您使用 Microchip 产品或使用这些产品来进行设计。本出版物中所述的器件应用信息及其他类似内容仅为您提供便利, 它们可能由更新之信息所替代。确保应用符合技术规范, 是您自身应负的责任。

MICROCHIP“按原样”提供这些信息。Microchip 对这些信息不作任何明示或暗示、书面或口头、法定或其他形式的声明或担保，包括但不限于针对非侵权性、适销性和特定用途的适用性的暗示担保，或针对其使用情况、质量或性能的担保。

在任何情况下，对于因这些信息或使用这些信息而产生的任何间接的、特殊的、惩罚性的、偶然的或间接的损失、损害或任何类型的开销，MICROCHIP 概不承担任何责任，即使 MICROCHIP 已被告知可能发生损害或损害可以预见。在法律允许的最大范围内，对于因这些信息或使用这些信息而产生的所有索赔，MICROCHIP 在任何情况下所承担的全部责任均不超出您为获得这些信息向 MICROCHIP 直接支付的金额（如有）。如果将 Microchip 器件用于生命维持和/或生命安全应用，一切风险由买方自负。买方同意在由此引发任何一切损害、索赔、诉讼或费用时，会维护和保障 Microchip 免于承担法律责任。除非另外声明，在 Microchip 知识产权保护下，不得暗中以其他方式转让任何许可证。

商标

Microchip 的名称和徽标组合、Microchip 徽标、Adaptec、AnyRate、AVR、AVR 徽标、AVR Freaks、BesTime、BitCloud、chipKIT、chipKIT 徽标、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、FlashFlex、flexPWR、HELDO、IGLOO、JukeBlox、KeeLoq、Kleer、LANCheck、LinkMD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、Microsemi、Microsemi 徽标、MOST、MOST 徽标、MPLAB、OptoLyzer、PackeTime、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32 徽标、PolarFire、Prochip Designer、QTouch、SAM-BA、SenGenuity、SpyNIC、SST、SST 徽标、SuperFlash、Symmetricom、SyncServer、Tachyon、TempTrackr、TimeSource、tinyAVR、UNI/O、Vectron 及 XMEGA 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家或地区的注册商标。

APT、ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、FlashTec、Hyper Speed Control、HyperLight Load、IntelliMOS、Libero、motorBench、mTouch、Powermite 3、Precision Edge、ProASIC、ProASIC Plus、ProASIC Plus 徽标、Quiet-Wire、SmartFusion、SyncWorld、Temux、TimeCesium、TimeHub、TimePictra、TimeProvider、Vite、WinPath 和 ZL 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国的注册商标。

Adjacent Key Suppression、AKS、Analog-for-the-Digital Age、Any Capacitor、AnyIn、AnyOut、BlueSky、BodyCom、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoAutomotive、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、EtherGREEN、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、KleerNet、KleerNet 徽标、memBrain、Mindi、MiWi、MPASM、MPF、MPLAB Certified 徽标、MPLIB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICKit、PICKtail、PowerSmart、PureSilicon、QMatrix、REAL ICE、Ripple Blocker、SAM-ICE、Serial Quad I/O、SMART-I.S.、SQI、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Total Endurance、TSHARC、USBCheck、VariSense、ViewSpan、WiperLock、Wireless DNA 和 ZENA 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家或地区的商标。

SQTP 为 Microchip Technology Incorporated 在美国的服务标记。

Adaptec 徽标、Frequency on Demand、Silicon Storage Technology 和 Symmcom 均为 Microchip Technology Inc. 在除美国外的国家或地区的注册商标。

GestIC 为 Microchip Technology Inc. 的子公司 Microchip Technology Germany II GmbH & Co. KG 在除美国外的国家或地区的注册商标。

在此提及的所有其他商标均为各持有公司所有。

© 2021, Microchip Technology Incorporated 版权所有。

ISBN: 978-1-5224-7440-1

质量管理体系

有关 Microchip 的质量管理体系的信息，请访问 www.microchip.com/quality。

全球销售及服务中心

美洲	亚太地区	亚太地区	欧洲
公司总部 2355 West Chandler Blvd. Chandler, AZ 85224-6199 电话: 480-792-7200 传真: 480-792-7277 技术支持: www.microchip.com/support 网址: www.microchip.com	澳大利亚 - 悉尼 电话: 61-2-9868-6733 中国 - 北京 电话: 86-10-8569-7000 中国 - 成都 电话: 86-28-8665-5511 中国 - 重庆 电话: 86-23-8980-9588 中国 - 东莞 电话: 86-769-8702-9880 中国 - 广州 电话: 86-20-8755-8029 中国 - 杭州 电话: 86-571-8792-8115 中国 - 香港特别行政区 电话: 852-2943-5100 中国 - 南京 电话: 86-25-8473-2460 中国 - 青岛 电话: 86-532-8502-7355 中国 - 上海 电话: 86-21-3326-8000 中国 - 沈阳 电话: 86-24-2334-2829 中国 - 深圳 电话: 86-755-8864-2200 中国 - 苏州 电话: 86-186-6233-1526 中国 - 武汉 电话: 86-27-5980-5300 中国 - 西安 电话: 86-29-8833-7252 中国 - 厦门 电话: 86-592-2388138 中国 - 珠海 电话: 86-756-3210040	印度 - 班加罗尔 电话: 91-80-3090-4444 印度 - 新德里 电话: 91-11-4160-8631 印度 - 浦那 电话: 91-20-4121-0141 日本 - 大阪 电话: 81-6-6152-7160 日本 - 东京 电话: 81-3-6880-3770 韩国 - 大邱 电话: 82-53-744-4301 韩国 - 首尔 电话: 82-2-554-7200 马来西亚 - 吉隆坡 电话: 60-3-7651-7906 马来西亚 - 槟榔屿 电话: 60-4-227-8870 菲律宾 - 马尼拉 电话: 63-2-634-9065 新加坡 电话: 65-6334-8870 台湾地区 - 新竹 电话: 886-3-577-8366 台湾地区 - 高雄 电话: 886-7-213-7830 台湾地区 - 台北 电话: 886-2-2508-8600 泰国 - 曼谷 电话: 66-2-694-1351 越南 - 胡志明市 电话: 84-28-5448-2100	奥地利 - 韦尔斯 电话: 43-7242-2244-39 传真: 43-7242-2244-393 丹麦 - 哥本哈根 电话: 45-4485-5910 传真: 45-4485-2829 芬兰 - 埃斯波 电话: 358-9-4520-820 法国 - 巴黎 电话: 33-1-69-53-63-20 传真: 33-1-69-30-90-79 德国 - 加兴 电话: 49-8931-9700 德国 - 哈恩 电话: 49-2129-3766400 德国 - 海尔布隆 电话: 49-7131-72400 德国 - 卡尔斯鲁厄 电话: 49-721-625370 德国 - 慕尼黑 电话: 49-89-627-144-0 传真: 49-89-627-144-44 德国 - 罗森海姆 电话: 49-8031-354-560 以色列 - 若那那市 电话: 972-9-744-7705 意大利 - 米兰 电话: 39-0331-742611 传真: 39-0331-466781 意大利 - 帕多瓦 电话: 39-049-7625286 荷兰 - 德卢内市 电话: 31-416-690399 传真: 31-416-690340 挪威 - 特隆赫姆 电话: 47-72884388 波兰 - 华沙 电话: 48-22-3325737 罗马尼亚 - 布加勒斯特 电话: 40-21-407-87-50 西班牙 - 马德里 电话: 34-91-708-08-90 传真: 34-91-708-08-91 瑞典 - 哥德堡 电话: 46-31-704-60-40 瑞典 - 斯德哥尔摩 电话: 46-8-5090-4654 英国 - 沃金厄姆 电话: 44-118-921-5800 传真: 44-118-921-5820
亚特兰大 德卢斯, 佐治亚州 电话: 678-957-9614 传真: 678-957-1455 奥斯汀, 德克萨斯州 电话: 512-257-3370 波士顿 韦斯特伯鲁, 马萨诸塞州 电话: 774-760-0087 传真: 774-760-0088 芝加哥 艾塔斯卡, 伊利诺伊州 电话: 630-285-0071 传真: 630-285-0075 达拉斯 阿迪森, 德克萨斯州 电话: 972-818-7423 传真: 972-818-2924 底特律 诺维, 密歇根州 电话: 248-848-4000 休斯顿, 德克萨斯州 电话: 281-894-5983 印第安纳波利斯 诺布尔斯特维尔, 印第安纳州 电话: 317-773-8323 传真: 317-773-5453 电话: 317-536-2380 洛杉矶 米慎维荷, 加利福尼亚州 电话: 949-462-9523 传真: 949-462-9608 电话: 951-273-7800 罗利, 北卡罗来纳州 电话: 919-844-7510 纽约, 纽约州 电话: 631-435-6000 圣何塞, 加利福尼亚州 电话: 408-735-9110 电话: 408-436-4270 加拿大 - 多伦多 电话: 905-695-1980 传真: 905-695-2078			