

S32K1xx ADC 指南、规格和配置

作者: 恩智浦半导体

1. 简介

NXP S32K1xx 汽车微控制器具有 12 位逐次逼近模数转换器 (SAR ADC), 可用于模拟输入信号的采集和数字化。

本应用笔记提供了有关以下基本主题的信息, 便于从 ADC 模块的使用中获得最大收益:

- 理解 ADC 常用术语、误差来源和规格。
- 提高测量精度的最佳做法。
- S32K1xx 系列的常见触发配置示例。

目录

作者: 恩智浦半导体.....	1
1. 简介.....	1
2. ADC 概念、误差源和规格.....	2
2.1. ADC 基本概念.....	2
2.2. ADC 测量中的误差来源.....	3
2.3. S32K1xx ADC 规格.....	5
3. 提高准确性的最佳措施.....	8
4. ADC 触发模式示例.....	10
4.1. 软件触发.....	11
4.2. PDB 触发器.....	11
4.3. 背靠背模式下的 PDB 触发器.....	13
4.4. TRGMUX 触发器.....	14
5. 参考资料.....	16
附录 A. 示例代码: ADC 软件触发.....	17
附录 B. 示例代码: 带有 PDB 触发器的 ADC.....	19
附录 C. 示例代码: 带有 PDB 和背靠背触发器的 ADC ..	21



2. ADC 概念、误差源和规格

本节解释了用于表征 ADC 的概念和术语以及潜在的误差源，并提供了 S32K1xx 系列数据表中的规范参数。

2.1. ADC 基本概念

分辨率：ADC 数字输出中代表模拟输入信号的位数。对于 S32K1xx 系列，分辨率可配置为 8、10 或 12 位。

参考电压：ADC 需要一个参考电压，用于与模拟输入进行逐次近似比较，以产生数字输出。数字输出是模拟输入相对于该参考电压的比率。

$$VREF = VREFH - VREFL$$

其中：

VREFH = 高参考电压

VREFL = 低参考电压

ADC 输出公式：ADC 的转换公式用于计算特定模拟输入电压对应的数字输出。该等式假设没有引入错误的理想 A/D 转换。

$$ADCresult = \frac{(2^N)(Vin)}{VREF}$$

公式 1 – ADC 转换器公式

其中：

ADC 结果 = 转换产生的数字输出值

N = ADC 分辨率

VREF = 参考电压

Vin = 模拟输入电压

最低有效位 (LSB)：最低有效位 (LSB) 是等于 ADC 最小分辨率的电压单位，即导致数字输出变化的最小增量电压。

LSB 等于参考电压除以 ADC 的最大计数：

$$LSB = \frac{VREF}{2^N}$$

公式 2 – LSB 公式

$N = \text{ADC 分辨率}$ 。对于 S32K1xx，这可以是 8/10/12 位。

$V_{REF} = \text{模拟参考电压}$ 。

ADC 实际传递函数：ADC 将输入电压转换为相应的数字编码。描述此行为的曲线是实际传递函数，包括 ADC 模块本身固有的所有误差。

ADC 理想传递函数：理想的传递函数代表 ADC 的行为，假设它是完全线性的，或者不管输入的初始电平如何，输入电压的给定变化将在转换代码中产生相同的变化。理想传递函数的分级方式取决于 ADC 使用的量化方法。两种可能的方法是：

- **无补偿量化：** 第一步在 1LSB 处执行，每个连续步骤以 1LSB 间隔执行，最后一步在 $V_{REFH} - 1\text{LSB}$ 处执行。
- **1/2LSB 补偿量化：** 第一步在 1/2LSB 处执行，每个连续步骤以 1LSB 间隔执行，最后一步在 $V_{REFH} - 1/2\text{LSB}$ 处执行。

下图显示了无补偿量化和 1/2LSB 补偿量化方法的理想传递函数图，分辨率为 3 位， $V_{REF} = 8\text{V}$ 。

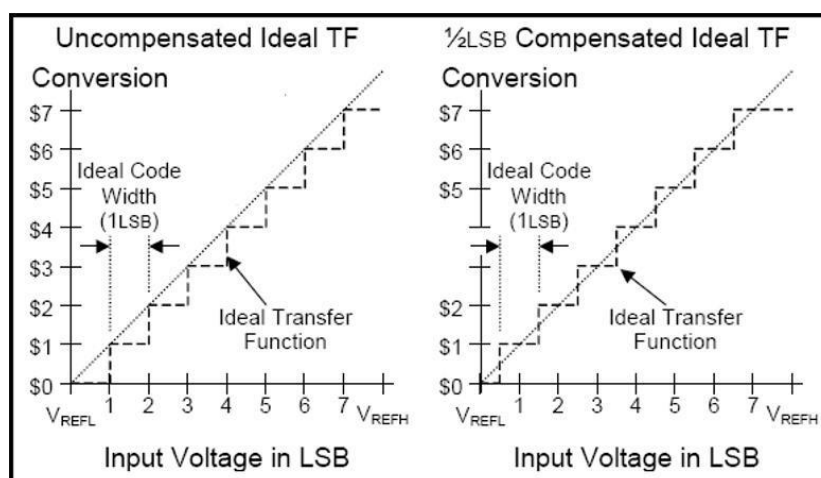


图1 - 理想的传递函数

2.2. ADC 测量中的误差来源

本节介绍了一些影响 ADC 准确执行 A/D 测量的典型因素。

参考电压噪声

ADC 输出与模拟输入电压和参考电压成正比。不稳定的参考电压（例如由电源轨中的噪声引起）会导致转换后的数字输出发生变化。

例子：

- 对于 5 V 的参考电压和 1V 的输入电压，12位分辨率的 ADC 使用公式 1 结果为 819。
- 随着绝对参考电压增加 50mV（即 $V_{REF} = 5.05V$ ），相同 1V 输入电压的转换值变为 811。
- 产生的参考电压噪声误差为 $811 - 819 = -8LSB$ 。

模拟输入信号噪声

模拟输入信号中微小的高频变化可能会在 ADC 采样过程中导致较大的转换误差。周围电气设备的电磁辐射（EMI 噪声）同样会引起噪声，从而降低转换精度。

如果输入信号中存在的噪声高于 1LSB，这会大幅减少转换结果中可靠位的数量，因为最低有效位会因信号变化而不断变化。

模拟信号源电阻

由于电流流入引脚，模拟信号源的阻抗或信号源与输入引脚之间的串联电阻（ R_{IN} ）会导致其两端出现压降。可以将其理解为从 ADC “向外看” 到驱动要采样的输入信号的源中观察到的电阻。

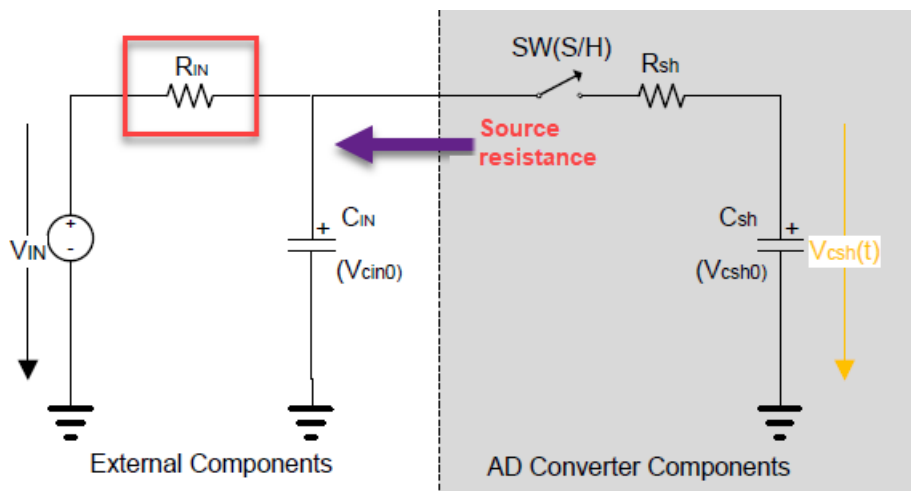


图2 - 模拟信号源电阻

如图 2 所示，输入信号的采样是通过用电阻 R_{sh} 控制开关对内部电容器（ C_{sh} ）充电来实现的。随着源电阻（ R_{IN} ）的增加，保持电容完全充电所需的时间将会增加。如果采样时间小于电容器充电至稳定所需的时间，则 ADC 转换的数字值将小于实际值。

因此，必须采取预防措施以确保模拟输入信号源电阻在 ADC 规格范围内。在 S32K 器件的数据表中，该参数可以在源阻抗（ R_s ）找到。

温度影响

系统温度会对 ADC 精度产生很大影响，主要可以导致失调误差漂移和增益误差漂移。ADC 参考电压也会随温度变化而变化。这些误差可以通过调整微控制器固件来补偿，例如监控内部带隙电压以验证参考电压未改变，或者在应用的温度范围内对系统进行描述以解释误差。

I/O 引脚串扰

由于引脚之间存在电容耦合，在当前进行 ADC 采样的模拟输入引脚附近切换 I/O 将给转换引入噪声，该串扰是由彼此靠近或交叉的 PCB 走线引起的。内部对数字信号和 I/O 进行切换同样会引入高频噪声。

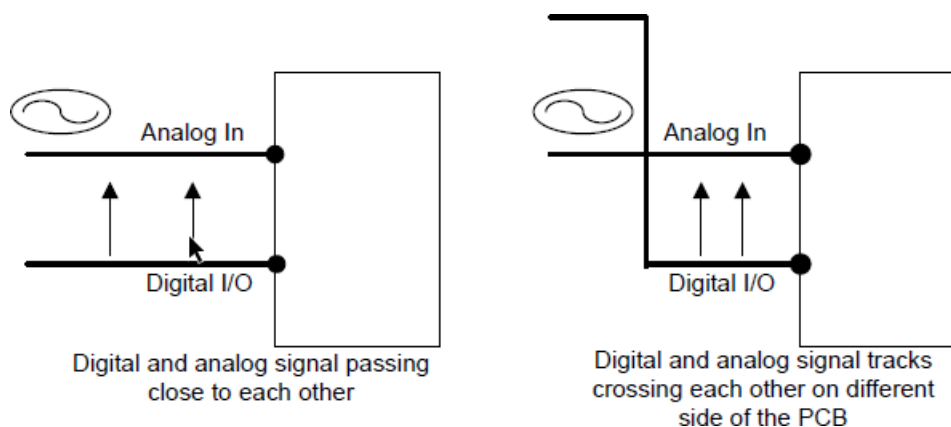


图3 - I/O 引脚串扰

2.3. S32K1xx ADC 规格

本节介绍了集成 S32K1xx 器件数据表中 SAR ADC 规范的参数。

ADC 时钟频率 (f_{ADCK})：SAR ADC 模块的输入转换时钟频率。该频率是决定 A/D 转换时间的主要因素。内部 ADC 逼近机制使用该时钟作为转换状态机中不同转换的基准时间。

ADC 转换频率 (f_{CONV})：也称为“转换率”或“采样率”，这是将模拟信号转换为数字信号速度的衡量指标。对于更高的转换频率，可以在确定的时间窗口内采集更多的样本，而较低的转换频率意味着在相同的时间段内将获得更少的样本。

转化率主要取决于以下因素：

- ADC 时钟频率
- 是否启用硬件平均

- 样本数量
- 配置情况（单次或连续转换）

有关如何计算总转换时间的信息，请参阅设备参考手册。

微分非线性 (DNL)

差分非线性误差是“编码宽度误差”，其中编码宽度是产生给定ADC转换值的输入电压范围 V_{ADIN} 。理想情况下，1LSB 的模拟输入电压变化应该会导致数字编码发生变化。因此，DNL 是实际编码宽度与 1LSB 的理想转换电压之间的差值。

请注意，DNL 是针对每个 ADC 转换编码单独测量的，与其他编码无关。

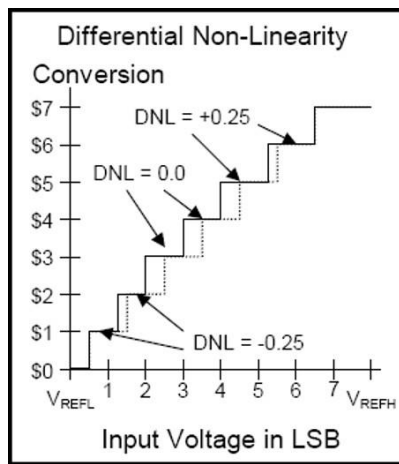


图4 - 微分非线性 (DNL)

DNL误差有两个关键的品质因数：

- **缺失编码：**如果无限小的电压变化导致两个数字计数的结果发生变化，并且中间编码从未设置，则 ADC 会丢失编码。DNL 为 -1.0LSB 表示 ADC 缺少代码。
- **单调性：**如果 ADC 随着电压的增加不断增加转换结果（反之亦然），则它是单调的。对于较高的输入电压，非单调 ADC 可能会给出较低的转换结果，这也可能意味着相同的转换可能来自两个不同的电压范围。大于 1.0LSB 的 DNL 表示非单调性。

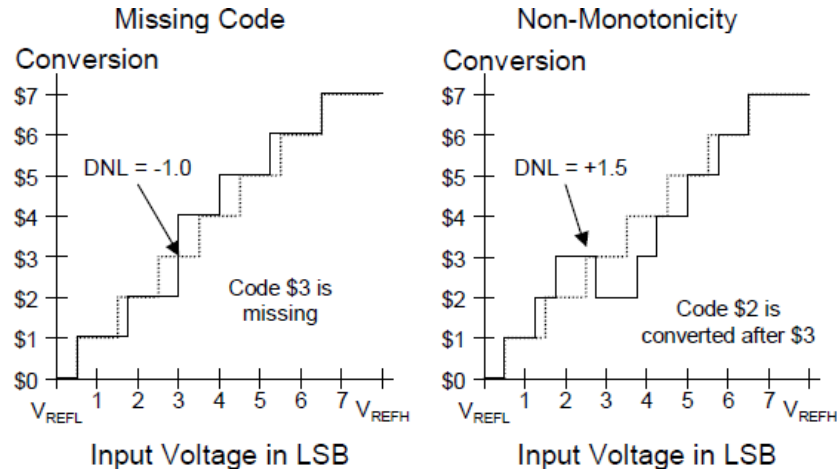


图5 - 缺失编码和非单调性

积分非线性 (INL)

虽然与理想情况相比，任何给定的 ADC 编码都给出了 DNL，但积分非线性 (INL) 是从转换编码 1 到相关编码的所有 DNL 误差的累积效应。那么基本上 INL 是 DNL 的总和，可以用公式 3 表示。

$$INL(x) = \sum_{i=1}^{(x-1)} DNL(i)$$

公式 3 - INL 方程

下图是基于单个 DNL 累积效应的 INL 表示。

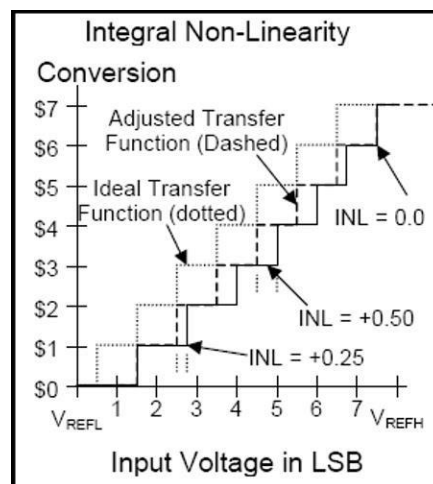


图6 - 积分非线性 (INL)

总未调整的总误差 (TUE)

TUE 是偏移、增益、线性度和量化误差的总和。这是一个关键参数，因为它决定了 ADC 的真实预期精度。对于任何给定的输入电压 V_{ADIN} ，TUE 是实际获得的转换值与理想条件下的期望值之间的差值，用 LSB 表示。

专有名词“未调整”意味着 TUE 是通过原始转换数据测量的，未经过任何方式标准化来消除 ADC 固有误差。

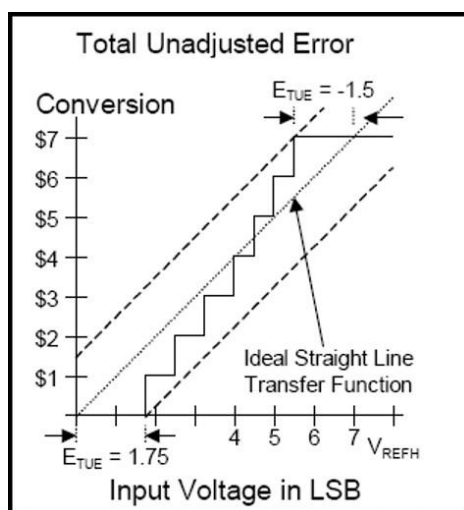


图7 - 总未调整的总误差 (TUE)

DNL、INL和 TUE 表示在静态/直流输入上转换时的 ADC 误差。因此，这些误差代表 ADC 在静态/直流下的性能。

3. 提高准确性的最佳措施

本节介绍了提高 ADC 测量精度的通用建议和良好做法。

ADC 校准

S32K1xx 系列中的 SAR ADC 具有自校准机制，可调整内部采样电容器组，以补偿出厂时每个 IC 单元的电容变化。用户必须在每次上电复位后启动 ADC 的自校准，以获得数据表中规定的 ADC 精度。

校准可以运行一次，然后将校准寄存器的值保存在非易失性存储器中，从而可以在复位后恢复它们来避免后续校准。

以下是获得最佳校准的一些建议：

- 所有数字 IO 都应该是不工作的，不必要的模块须禁用。
- V_{REFH} 应该在规定的范围内尽可能高和稳定，因为更高的 V_{REFH} 意味着更大的 ADC 编码宽度。
- 有一个独立的 V_{REFH} 引脚是最理想的。

- 如果应用中的 ADC 时钟将会快于 25MHz，ADC 自校准应在等于或小于 25MHz 的 ADC 时钟运行。或者，当应用中的 ADC 时钟设置为 25MHz 或更低时，建议在运行校准时使用相同的 ADC 频率。
- 硬件平均应设置为最多32个样本。
- POR 后应在室温下进行一次校准。

有关内部校准机制的更详细说明，请查阅[链接](#)中的文档。

参考电压和电源

由于 ADC 使用 VREF 或 VDDA 作为模拟参考电压，电源应该具有良好的线性、负载调节和温度漂移。因此，VREF 在不同负载下保持稳定是非常重要的。每当通过接通一部分电路来增加负载时，电流的增加不应导致电压降低。

如果电压在很宽的电流范围内保持稳定，则电源具有良好的负载调节能力。线性调节值越低，调节效果越好。

同样，负载调节值越低，电压输出的调节度和稳定性越好。也可以使用有高精度稳压器的 VREF 参考电压。

温度漂移是另一个需要考虑参考电压的重要因素，特别是在某些应用中，ADC 精度需要在全温度范围内规定。

利用带隙电压监测参考电压

要监控 VREF 变化，一个方法是使用内部带隙电压的 ADC 通道。带隙电压通道提供独立于参考电压或模拟电源电压的固定 1V 电压。

监测流程如下：

- 1- 触发带隙电压的 ADC 转换（通道 27）。
- 2- 使用以下等式计算实际 VREF：

$$VREF (mV) = \frac{(1000)(2^N)}{BG_ADCresult}$$

公式 4 – VREF 计算

其中：

N = 以位为单位的 ADC 分辨率 (8/10/12 位)

BG_ADCresult = 带隙电压通道的 ADC 转换结果

- 3- 对于应用中任意电压的计算，请参考[公式 1](#)中的结果 VREF。

模拟源电阻匹配

正如[ADC 概念、误差源和规格](#)中所述，模拟源的阻抗在 ADC 精度中起着重要作用。考虑到该因素，希望具有尽可能低的源阻抗。用户应始终确保模拟信号源的阻抗在数据表中的 ADC 规格范围内。

阻抗匹配的常用方法是在模拟信号源和 ADC 输入引脚之间放置一个外部运算放大器。然而，增加外部运算放大器意味着设计 BOM 成本的增加。

如果测量源阻抗较高的信号，则在配置 ADC 时可能需要考虑以下因素：

- 较低的 ADC 时钟频率 (f_{ADCK})
- 更长的采样时间。S32K1xx 器件中的采样时间会随着 ADC 配置寄存器 2 (CFG2) 中 SMPLTS 字段的值的增加而增加。

有关如何设计外部 RC 采集电路和选择组件的更深入说明，请参阅应用笔记 [AN4373](#)。尽管该文档主要针对 16 位 SAR ADC 和其他 NXP 微控制器系列（例如 Kinetis），但 S32K1xx 中的 ADC 模块与其有着相同的基本架构，因此该理论也适用。

最小化 I/O 引脚串扰

通过在中间放置通畅的模拟接地线来屏蔽模拟信号，可以减少相邻 PCB 走线或 MCU 引脚之间串扰所产生的噪声。下图是这种屏蔽方法的典型用例：

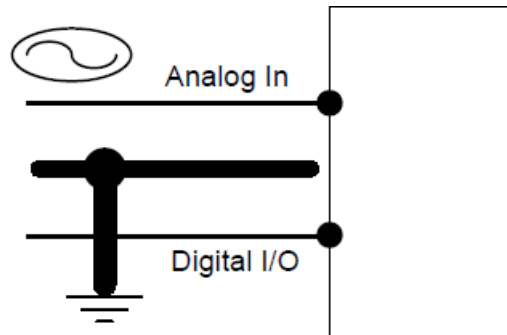


图8 - 推荐的信号间接地方法

4. ADC 触发模式示例

S32K1xx 系列中的 ADC 给可以启动转换的触发源提供了灵活的配置。本节介绍了为典型触发配置创建的示例中的 ADC 工作流程。

示例代码是基于 S32K144 EVB 板创建的，使用电位计作为模拟信号源，使用 PTB5（J2 接头中的引脚 5）作为 TRGMUX 示例的触发输入。

注意

本文档仅提供触发示例的高级概述。有关引脚、时钟、SIM、ADC、PDB 和 TRGMUX 模块的功能和配置设置的详细信息，请参阅参考手册。

4.1. 软件触发

示例代码参见[附录 A](#)。

软件触发是最简单的触发模式。它只是在写入 ADCx_SC1A 寄存器中的 ADCH 字段写入后启动单次或连续转换。需要注意的是，S32K1xx 中的 ADC 提供了多个状态和配置 1 寄存器（SC1A 到 SC1AF），但只有 SC1A 可用于软件触发模式。

在示例中，外部引脚 ADC0_SE12 用作于 ADC 的输入。每次写入 ADC0_SC1A[ADCH] 都会触发一次新的转换。转换完成后，结果可在 ADC0_RA 寄存器中获得。

示例工作流程

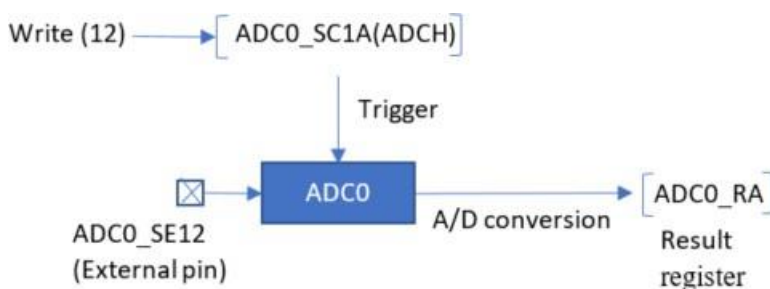


图9 – ADC 软件触发工作流程

4.2. PDB 触发器

示例代码参见[附录 B](#)。

PDB 触发方案是 ADC 的默认和推荐的硬件触发方法。该方法使用 PDB 定时器模块从同一通道或不同通道定期触发一个或多个 ADC 转换。当使用 PDB 作为触发器时，PDB 触发器可以通过两条路径到达 ADC 模块：

- 1) 直接路径：当触发 SC1n 寄存器编号 4 以后（对应寄存器 SC1E 到 SC1AF）的 ADC 转换时遵循此路径。
- 2) PDB/TRGMUX 多路复用触发路径：当触发 SC1n 寄存器 0 到 3（对应寄存器 SC1A、SC1B、SC1C 和 SC1D）的转换时，触发器通过触发器锁存垫。锁存垫提供锁定 ADC 触发请求的能力，然后由 ADC 处理，一次一个。

在该示例中，PDB 每秒触发一次 ADC0 的外部通道 12（ADC0_SE12 引脚）的新转换。PDB0/Channel 0 中的预触发 4 用于触发基于 ADC0_SC1E 寄存器的转换，因此使用“直接路径”模式。PDB 定时器本身最初由软件触发，然后持续运行。

下图展示了触发（蓝色虚线）和预触发（红色虚线）路径。

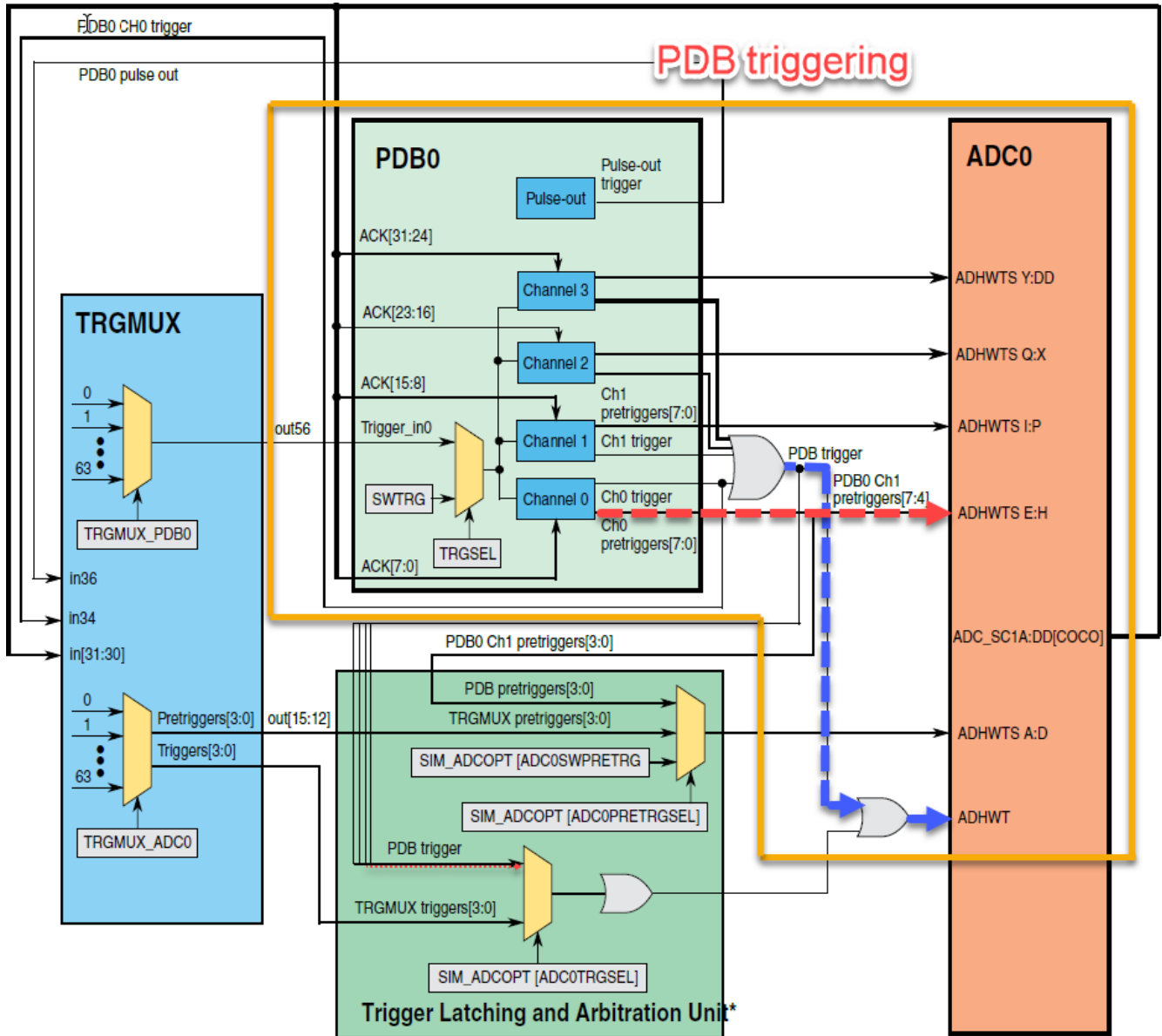


图10 - 直接路径模式下的 PDB 触发器

示例工作流程

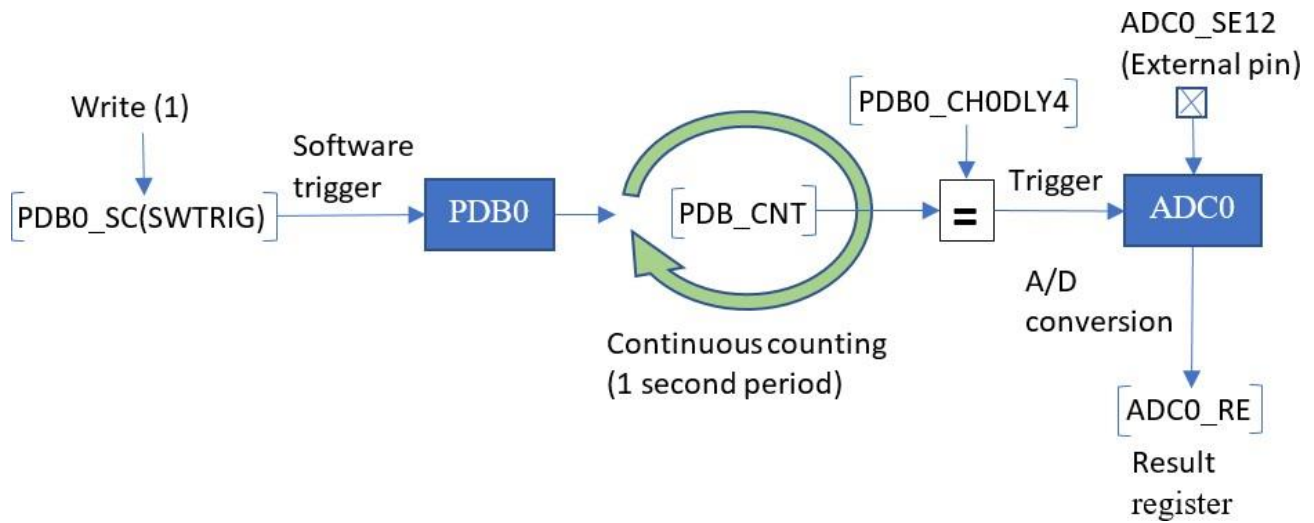


图11 - PDB 触发 ADC 样例的工作流程

4.3. 背靠背模式下的 PDB 触发器

示例代码参见[附录 C](#)。

背靠背是一种操作模式，其中 ADC 转换完成标志触发下一个 PDB 通道预触发和触发输出，一次一个。这在必须一个接一个地连续采样和转换多个 ADC 通道时特别有用。上一节中提到的 PDB 触发的两条路径（直接和复用）仍然适用于该模式。

在示例中，使用具有直接路径的 PDB 触发 ADC0 的外部通道 12（ADC0_SE12 引脚），每秒连续转换四次。PDB0/Channel 0 的预触发 4 通过计数器匹配其对应的延迟寄存器（PDB0_CH0DLY4）来使能，而预触发 5/6/7 通过背靠背模式下与之相应的 ADC0 COCO 转换标志自动触发。因此使用的 ADC 通道需设置为 ADC0_SC1E 至 ADC0_SC1H。PDB 定时器最初由软件触发。

示例工作流程

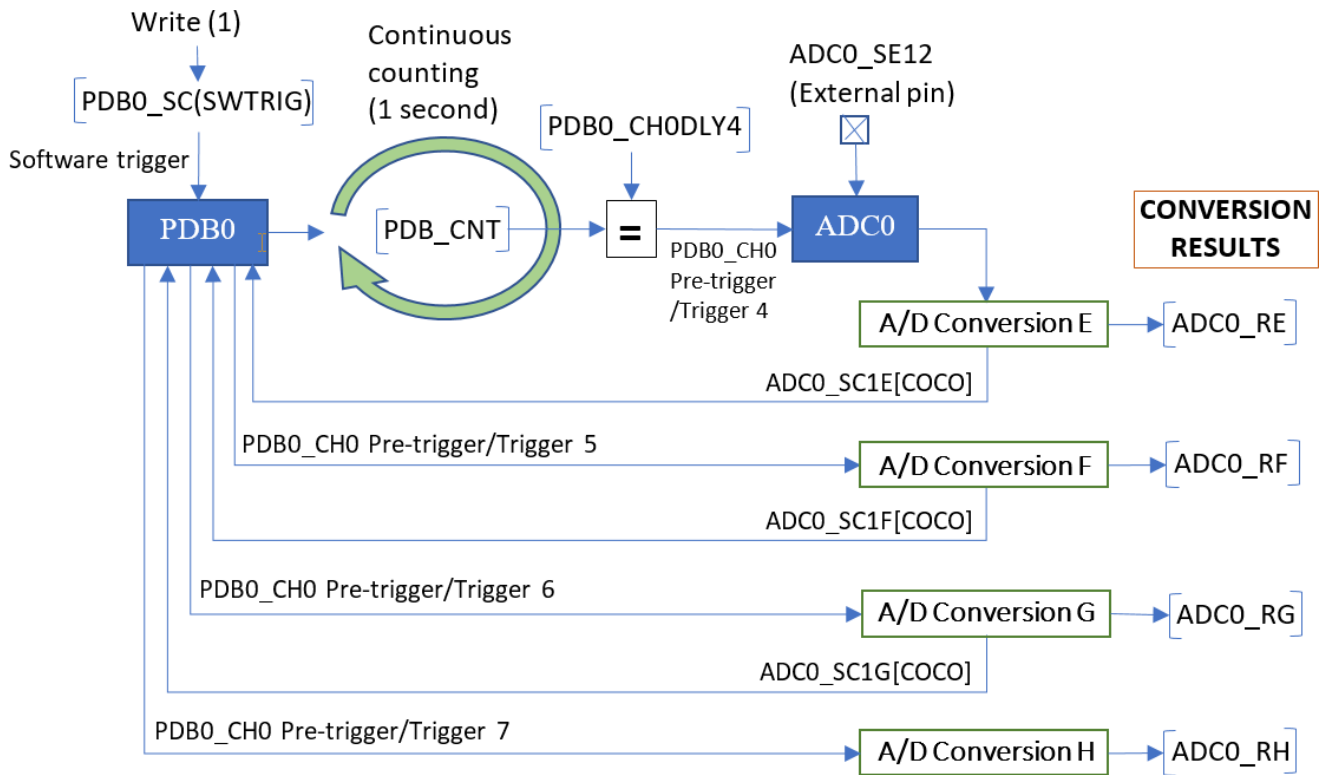


图12 - 背靠背模式下带 PDB 触发器的 ADC

4.4. TRGMUX 触发器

示例代码参见附录 D。

TRGMUX 是一个非常灵活的模块，用于将外设的触发输入与各种内部和/或外部触发信号（定时器模块、模拟模块标志位、外部引脚）互连。特别是对于 S32K1xx 中的 ADC，TRGMUX 可用于将 AD 转换与任何可用的触发信号同步。并且值得注意的是，在触发 SC1n 寄存器 0 到 3 [寄存器 SC1A、SC1B、SC1C 和 SC1D] 的 ADC 转换时，可以使用 TRGMUX 机制，且这种触发每次都要经过触发触发器锁存器。

在该示例中，外部通道 12 (ADC0_SE12) 的单个 ADC0 转换由外部信号（在本例中为信号 TRGMUX_IN0) 的每个上升沿触发。对于此用例，必须通过写入 SIM_ADCOPT[ADC0SWPRETRG] 寄存器字段向 ADC0 提供软件预触发。

下图显示了触发（蓝色虚线）和预触发（红色虚线）信号的整体路径：

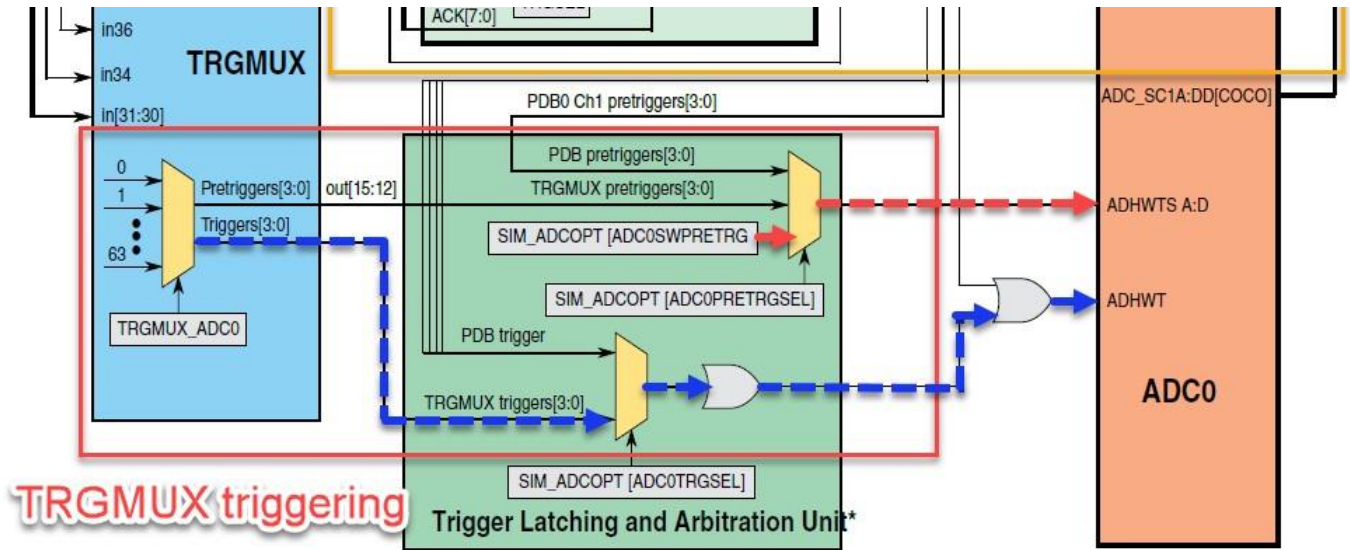


图13 - 通过 TRGMUX 触发 ADC

示例工作流程

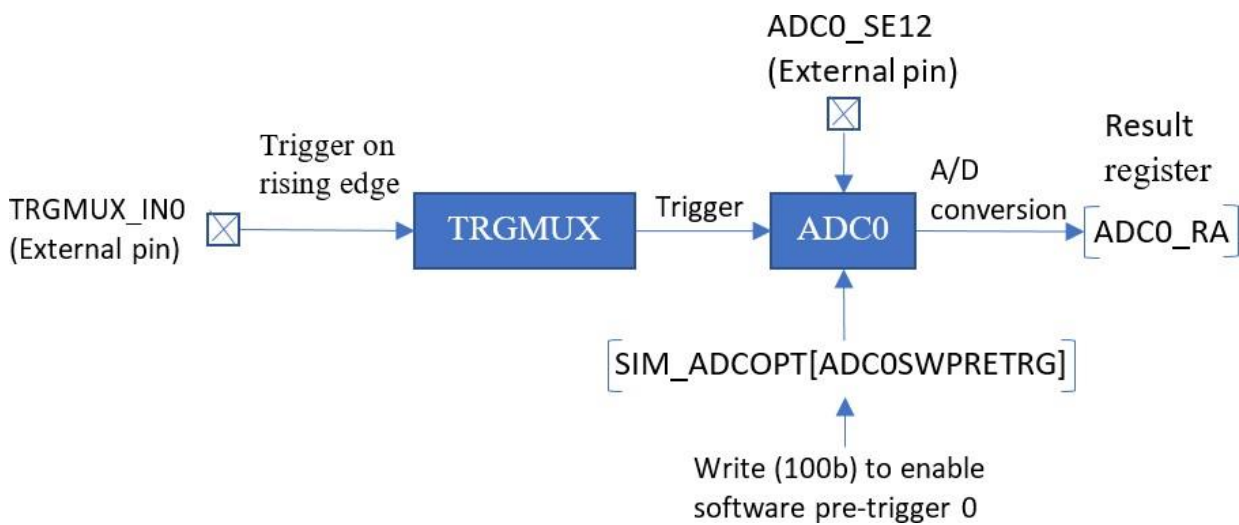


图14 - 带有 TRGMUX 触发示例工作流程的 ADC

5. 参考资料

- [S32K1xx 数据表](#)
- [S32K1xx 参考手册](#)
- [S32K1xx 的 AN5426 硬件设计指南](#)
- [AN4373 SAR ADC 测量手册](#)
- [ADC 校准文件](#)

附录 A. 示例代码：ADC 软件触发

```

#include "S32K144.h" /* include peripheral declarations S32K144 */

uint32_t ADC_RawResult;
uint16_t ADC_mVResult;

void WDOG_disable (void)
{
    WDOG->CNT=0xD928C520;          /* Unlock watchdog */
    WDOG->TOVAL=0x0000FFFF;       /* Maximum timeout value */
    WDOG->CS = 0x00002100;        /* Disable watchdog */
}

int main(void)
{
    WDOG_disable();              /* Disable Watchdog */

    SCG->FIRCDIV = SCG_FIRCDIV_FIRCDIV2(4); /* FIRCDIV2 = 4: FIRCDIV2 divide by 8 */

    /***** Calibrate ADC0 *****/
    PCC->PCCn[PCC_ADC0_INDEX] &=~ PCC_PCCn_CGC_MASK; /* Disable clock to change PCS */
    PCC->PCCn[PCC_ADC0_INDEX] |= PCC_PCCn_PCS(3);    /* PCS = 3: Select FIRCDIV2 */
    PCC->PCCn[PCC_ADC0_INDEX] |= PCC_PCCn_CGC_MASK; /* Enable bus clock in ADC */

    ADC0->SC3 = ADC_SC3_CAL_MASK          /* CAL = 1: Start calibration sequence */
               | ADC_SC3_AVGE_MASK       /* AVGE = 1: Enable hardware average */
               | ADC_SC3_AVGS(3);        /* AVGS = 11b: 32 samples averaged */

    /* Wait for completion */
    while(((ADC0->SC1[0] & ADC_SC1_COCO_MASK)>>ADC_SC1_COCO_SHIFT) == 0);
}

```

```

/*****
 * Initialize ADC0:
 * External channel 12, software trigger,
 * single conversion, 12-bit resolution
 *****/
ADC0->SC1[0] = ADC_SC1_ADCH_MASK;          /* ADCH: Module disabled for conversions */

ADC0->CFG1 = ADC_CFG1_ADIV(0) | ADC_CFG1_MODE(1); /* ADIV = 0: Divide ratio = 1 */
                                                /* MODE = 1: 12-bit conversion */

ADC0->CFG2 = ADC_CFG2_SMPLTS(12); /* SMPLTS = 12: sample time is 13 ADC clks */

ADC0->SC2 = ADC_SC2_ADTRG(0); /* ADTRG = 0: SW trigger */

ADC0->SC3 = 0x00000000; /* ADC0 = 0: One conversion performed */
                       /* AVGE,AVGS = 0: HW average function disabled */

for(;;)
{
    /* Initiate new conversion by writing to ADC0_SC1A(ADCH) */
    ADC0->SC1[0] = ADC_SC1_ADCH(12); /* ADCH = 12: External channel 12 as input */

    /* Wait for latest conversion to complete */
    while(((ADC0->SC1[0] & ADC_SC1_COCO_MASK)>>ADC_SC1_COCO_SHIFT) == 0);
    ADC_RawResult = ADC0->R[0]; /* Read ADC Data Result A (ADC0_RA) */
    ADC_mVResult = (ADC_RawResult * 5000) / (1<<12); /* Convert to mV (@VREFH = 5V) */
}
return 0;
}

```

附录 B. 示例代码：带有 PDB 触发器的 ADC

```

#include "S32K144.h" /* include peripheral declarations S32K144 */

uint32_t ADC_RawResult;
uint16_t ADC_mVResult;

void WDOG_disable (void)
{
    WDOG->CNT=0xD928C520;          /* Unlock watchdog */
    WDOG->TOVAL=0x0000FFFF;       /* Maximum timeout value */
    WDOG->CS = 0x00002100;        /* Disable watchdog */
}

int main(void)
{
    WDOG_disable();              /* Disable Watchdog */

    SCG->FIRCDIV = SCG_FIRCDIV_FIRCDIV2(4); /* FIRCDIV2 = 4: FIRCDIV2 divide by 8 */

    /*****
     * Calibrate ADC0
     *****/
    PCC->PCCn[PCC_ADC0_INDEX] &=~ PCC_PCCn_CGC_MASK; /* Disable clock to change PCS */
    PCC->PCCn[PCC_ADC0_INDEX] |= PCC_PCCn_PCS(3); /* PCS = 3: Select FIRCDIV2 */
    PCC->PCCn[PCC_ADC0_INDEX] |= PCC_PCCn_CGC_MASK; /* Enable bus clock in ADC */

    ADC0->SC3 = ADC_SC3_CAL_MASK /* CAL = 1: Start calibration sequence */
              | ADC_SC3_AVGE_MASK /* AVGE = 1: Enable hardware average */
              | ADC_SC3_AVGS(3); /* AVGS = 11b: 32 samples averaged */

    /* Wait for completion */
    while(((ADC0->SC1[0] & ADC_SC1_COCO_MASK)>>ADC_SC1_COCO_SHIFT) == 0);

    /*****
     * Initialize ADC0:
     * External channel 12, hardware trigger,
     * single conversion, 12-bit resolution
     *
     * NOTE: ADC0->SC1[4] corresponds to ADC0_SC1E register
     *****/
    ADC0->SC1[4] = ADC_SC1_ADCH_MASK; /* ADCH: Module disabled for conversions */

    ADC0->CFG1 = ADC_CFG1_ADIV(0) | ADC_CFG1_MODE(1); /* ADIV = 0: Divide ratio = 1 */
                                                       /* MODE = 1: 12-bit conversion */

    ADC0->CFG2 = ADC_CFG2_SMPLTS(12); /* SMPLTS = 12: sample time is 13 ADC clks */

    ADC0->SC2 = ADC_SC2_ADTRG(1); /* ADTRG = 1: HW trigger */

```

```

ADC0->SC1[4] = ADC_SC1_ADCH(12); /* ADCH = 12: External channel 12 as ADC0 input */

ADC0->SC3 = 0x00000000; /* ADC0 = 0: One conversion performed */
/* AVGE,AVGS = 0: HW average function disabled */

/*****
 * Initialize PDB0:
 * 1 second period, continuous mode
 * PDB0_CH0 pre-trigger 4 output enabled
 *****/

PCC->PCCn[PCC_PDB0_INDEX] |= PCC_PCCn_CGC_MASK; /* Enable bus clock in PDB */

PDB0->SC = PDB_SC_PRESCALER(6) /* PRESCALER = 6: clk divided by (64 x Mult factor) */
| PDB_SC_TRGSEL(15) /* TRGSEL = 15: Software trigger selected */
| PDB_SC_MULT(3) /* MULT = 3: Multiplication factor is 40 */
| PDB_SC_CONT_MASK; /* CONT = 1: Enable operation in continuous mode */

/* PDB Period = (System Clock / (Prescaler x Mult factor)) / Modulus */
/* PDB Period = (48 MHz / (64 x 40)) / 18750 */
/* PDB Period = (18750 Hz) / (18750) = 1 Hz */
PDB0->MOD = 18750;

PDB0->CH[0].C1 = (PDB_C1_TOS(0x10) /* TOS = 10h: Pre-trigger 4 asserts with DLY match */
| PDB_C1_EN(0x10)); /* EN = 10h: Pre-trigger 4 enabled */

PDB0->CH[0].DLY[4] = 9375; /* Delay set to half the PDB period = 9375 */

PDB0->SC |= PDB_SC_PDBEN_MASK | PDB_SC_LDOK_MASK; /* Enable PDB. Load MOD and DLY */

PDB0->SC |= PDB_SC_SWTRIG_MASK; /* Single initial PDB trigger */

for(;;)
{
    /* Wait for latest conversion to complete */
    while(((ADC0->SC1[0] & ADC_SC1_COCO_MASK)>>ADC_SC1_COCO_SHIFT) == 0);

    ADC_RawResult = ADC0->R[4]; /* Read ADC Data Result E (ADC0_RE) */
    ADC_mVResult = (ADC_RawResult * 5000) / (1<<12); /* Convert to mV (@VREFH = 5V) */
}
return 0;
}

```

附录 C. 示例代码：带有 PDB 和背靠背触发器的 ADC

```

#include "S32K144.h" /* include peripheral declarations S32K144 */

uint32_t ADC_Results[4];

void WDOG_disable (void)
{
    WDOG->CNT=0xD928C520; /* Unlock watchdog */
    WDOG->TOVAL=0x0000FFFF; /* Maximum timeout value */
    WDOG->CS = 0x00002100; /* Disable watchdog */
}

int main(void)
{
    WDOG_disable(); /* Disable Watchdog*/

    SCG->FIRCDIV = SCG_FIRCDIV_FIRCDIV2(4); /* FIRCDIV2 = 4: FIRCDIV2 divide by 8 */

    /*****
     * Calibrate ADC0
     *****/
    PCC->PCCn[PCC_ADC0_INDEX] &=~ PCC_PCCn_CGC_MASK; /* Disable clock to change PCS */
    PCC->PCCn[PCC_ADC0_INDEX] |= PCC_PCCn_PCS(3); /* PCS = 3: Select FIRCDIV2 */
    PCC->PCCn[PCC_ADC0_INDEX] |= PCC_PCCn_CGC_MASK; /* Enable bus clock in ADC */

    ADC0->SC3 = ADC_SC3_CAL_MASK /* CAL = 1: Start calibration sequence */
              | ADC_SC3_AVGE_MASK /* AVGE = 1: Enable hardware average */
              | ADC_SC3_AVGS(3); /* AVGS = 11b: 32 samples averaged */

    /* Wait for completion */
    while(((ADC0->SC1[0] & ADC_SC1_COCO_MASK)>>ADC_SC1_COCO_SHIFT) == 0);

    /*****
     * Initialize ADC0:
     * External channel 12, hardware trigger,
     * single conversion, 12-bit resolution
     *
     * NOTE: ADC0->SC1[4] corresponds to ADC0_SC1E register
     *****/
    ADC0->SC1[4] = ADC_SC1_ADCH_MASK; /* ADCH = 1F: Module is disabled for conversions*/
                                     /* AIEN = 0: Interrupts are disabled */

    ADC0->SC1[5] = ADC_SC1_ADCH_MASK;
    ADC0->SC1[6] = ADC_SC1_ADCH_MASK;
    ADC0->SC1[7] = ADC_SC1_ADCH_MASK;

    ADC0->CFG1 = ADC_CFG1_ADIV(0) | ADC_CFG1_MODE(1); /* ADIV = 0: Divide ratio = 1 */
                                                       /* MODE = 1: 12-bit conversion */

    ADC0->CFG2 = ADC_CFG2_SMPLTS(12); /* SMPLTS = 12: sample time is 13 ADC clks */

```

```

ADC0->SC2 = ADC_SC2_ADTRG(1); /* ADTRG = 1: HW trigger */

ADC0->SC1[4] = ADC_SC1_ADCH(12); /* SC1E[ADCH] = 12: External channel 12 as input */
ADC0->SC1[5] = ADC_SC1_ADCH(12); /* SC1F[ADCH] = 12: External channel 12 as input */
ADC0->SC1[6] = ADC_SC1_ADCH(12); /* SC1G[ADCH] = 12: External channel 12 as input */
ADC0->SC1[7] = ADC_SC1_ADCH(12); /* SC1H[ADCH] = 12: External channel 12 as input */

ADC0->SC3 = 0x00000000; /* ADC0 = 0: One conversion performed */
/* AVGE,AVGS = 0: HW average function disabled */

/*****
 * Initialize PDB0:
 * 1 second period, continuous mode
 * PDB0_CH0 pre-trigger outputs 4/5/6/7 enabled
 * Pre-trigger 4 asserted by channel delay register match
 * Back to back mode enabled for pre-triggers 5/6/7
 *****/

PCC->PCCn[PCC_PDB0_INDEX] |= PCC_PCCn_CGC_MASK; /* Enable bus clock in PDB */ PDB0-
>SC = PDB_SC_PRESCALER(6) /* PRESCALER = 6: clk divided by (64 x Mult factor) */
    | PDB_SC_TRGSEL(15) /* TRGSEL = 15: Software trigger selected */
    | PDB_SC_MULT(3) /* MULT = 3: Multiplication factor is 40 */
    | PDB_SC_CONT_MASK; /* CONT = 1: Enable operation in continuous mode */

/* PDB Period = (System Clock / (Prescaler x Mult factor)) / Modulus */
/* PDB Period = (48 MHz / (64 x 40)) / 18750 */
/* PDB Period = (18750 Hz) / (18750) = 1 Hz */
PDB0->MOD = 18750;

PDB0->CH[0].C1 = (PDB_C1_BB(0xE0) /* BB = E0h: Back-to-back for pre-triggers 5/6/7 */
    | PDB_C1_TOS(0x10) /* TOS = 10h: Pre-trigger 4 asserts with DLY match */
    | PDB_C1_EN(0xF0)); /* EN = F0h: Pre-triggers 4/5/6/7 enabled */

PDB0->CH[0].DLY[4] = 9375; /* Delay set to half the PDB period = 9375 */

PDB0->SC |= PDB_SC_PDBEN_MASK | PDB_SC_LDOK_MASK; /* Enable PDB. Load MOD and DLY */

PDB0->SC |= PDB_SC_SWTRIG_MASK; /* Single initial PDB trigger */

for(;;)
{
    /* Wait for last conversion in the sequence to complete (ADC0_SC1H) */
    while(((ADC0->SC1[7] & ADC_SC1_COCO_MASK)>>ADC_SC1_COCO_SHIFT) == 0);

    ADC_Results[0] = ADC0->R[4]; /* Read ADC Data Results 4-7 (ADC0_RE to ADC0_H) */
    ADC_Results[1] = ADC0->R[5];
    ADC_Results[2] = ADC0->R[6];
    ADC_Results[3] = ADC0->R[7];
}

return 0;
}

```

附录 D. 示例代码：带有 TRGMUX 触发器的 ADC

```

#include "S32K144.h" /* include peripheral declarations S32K144 */

uint32_t ADC_RawResult;
uint16_t ADC_mVResult;

void WDOG_disable (void)
{
    WDOG->CNT=0xD928C520; /* Unlock watchdog */
    WDOG->TOVAL=0x0000FFFF; /* Maximum timeout value */
    WDOG->CS = 0x00002100; /* Disable watchdog */
}

int main(void)
{
    WDOG_disable(); /*!Disable Watchdog*/

    SCG->FIRCDIV = SCG_FIRCDIV_FIRCDIV2(4); /* FIRCDIV2 = 4: FIRCDIV2 divide by 8 */

    /*****
     * Configure pin PTB5 as TRGMUX_IN0
     *****/
    PCC->PCCn[PCC_PORTB_INDEX] = PCC_PCCn_CGC_MASK; /* Enable clock gate for PORTB */
    PORTB->PCR[5] = PORT_PCR_MUX(6); /* Mux = 6: PTB5 as TRGMUX_IN0 */

    /* Select TRGMUX_IN0 as ADC0 Trigger Mux input source 0 */
    TRGMUX->TRGMUXn[TRGMUX_ADC0_INDEX] = TRGMUX_TRGMUXn_SEL0(2U);

    /*****
     * Calibrate ADC0
     *****/
    PCC->PCCn[PCC_ADC0_INDEX] &=~ PCC_PCCn_CGC_MASK; /* Disable clock to change PCS */
    PCC->PCCn[PCC_ADC0_INDEX] |= PCC_PCCn_PCS(3); /* PCS = 3: Select FIRCDIV2 */
    PCC->PCCn[PCC_ADC0_INDEX] |= PCC_PCCn_CGC_MASK; /* Enable bus clock in ADC */

    ADC0->SC3 = ADC_SC3_CAL_MASK /* CAL = 1: Start calibration sequence */
                | ADC_SC3_AVGE_MASK /* AVGE = 1: Enable hardware average */
                | ADC_SC3_AVGS(3); /* AVGS = 11b: 32 samples averaged */

    /* Wait for completion */
    while(((ADC0->SC1[0] & ADC_SC1_COCO_MASK)>>ADC_SC1_COCO_SHIFT) == 0);

    /*****
     * Initialize ADC0:
     * External channel 12, hardware trigger,
     * single conversion, 12-bit resolution
     *****/
    ADC0->SC1[0] = ADC_SC1_ADCH_MASK; /* ADCH: Module disabled for conversions */

    ADC0->CFG1 = ADC_CFG1_ADIV(0) | ADC_CFG1_MODE(1); /* ADIV = 0: Divide ratio = 1 */
                                                       /* MODE = 1: 12-bit conversion */

```

```

ADC0->CFG2 = ADC_CFG2_SMPLTS(12); /* SMPLTS = 12: sample time is 13 ADC clks */
ADC0->SC2 = ADC_SC2_ADTRG(1); /* ADTRG = 1: HW trigger */
ADC0->SC1[0] = ADC_SC1_ADCH(12); /* ADCH = 12: External channel 12 as input */
ADC0->SC3 = 0x00000000; /* ADC0 = 0: One conversion performed */
/* AVGE,AVGS = 0: HW average function disabled */

/*****
 * SIM Configurations for ADC triggering:
 * Pre-trigger source: Software pre-trigger
 * Trigger select: TRGMUX output
 *****/
SIM->ADCOPT = SIM_ADCOPT_ADC0PRETRGSEL(2) /* ADC0PRETRGSEL = 10b: Software pretrigger */
| SIM_ADCOPT_ADC0SWPRETRG(4) /* ADC0SWPRETRG = 100b: SW Pre-trigger 0 */
| SIM_ADCOPT_ADC0TRGSEL(1); /* ADC0TRGSEL = 1: TRGMUX output as trigger */

for(;;)
{
    /* Wait for latest conversion to complete */
    while(((ADC0->SC1[0] & ADC_SC1_COCO_MASK)>>ADC_SC1_COCO_SHIFT) == 0);
    ADC_RawResult = ADC0->R[0]; /* Read ADC Data Result 0 */
    ADC_mVResult = (ADC_RawResult * 5000) / (1<<12); /* Convert to mV (@VREFH = 5V) */
}
return 0;
}

```


How to Reach Us:

Home Page:

nxp.com

Web Support:

nxp.com/support

Information in this document is provided solely to enable system and software implementers to use NXP products. There are no express or implied copyright licenses granted hereunder to design or fabricate any integrated circuits based on the information in this document. NXP reserves the right to make changes without further notice to any products herein.

NXP makes no warranty, representation, or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does NXP assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters that may be provided in NXP data sheets and/or specifications can and do vary in different applications, and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "typicals," must be validated for each customer application by customer's technical experts. NXP does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. NXP sells products pursuant to standard terms and conditions of sale, which can be found at the following address:

nxp.com/SalesTermsandConditions.

While NXP has implemented advanced security features, all products may be subject to unidentified vulnerabilities. Customers are responsible for the design and operation of their applications and products to reduce the effect of these vulnerabilities on customer's applications and products, and NXP accepts no liability for any vulnerability that is discovered. Customers should implement appropriate design and operating safeguards to minimize the risks associated with their applications and products.

NXP, the NXP logo, NXP SECURE CONNECTIONS FOR A SMARTER WORLD, COOLFLUX, EMBRACE, GREENCHIP, HITAG, I2C BUS, ICODE, JCOP, LIFE VIBES, MIFARE, MIFARE CLASSIC, MIFARE DESFire, MIFARE PLUS, MIFARE FLEX, MANTIS, MIFARE ULTRALIGHT, MIFARE4MOBILE, MIGLO, NTAG, ROADLINK, SMARTLX, SMARTMX, STARPLUG, TOPFET, TRENCHMOS, UCODE, Freescale, the Freescale logo, AltiVec, C 5, CodeTEST, CodeWarrior, ColdFire, ColdFire+, C Ware, the Energy Efficient Solutions logo, Kinetis, Layerscape, MagniV, mobileGT, PEG, PowerQUICC, Processor Expert, QorIQ, QorIQ Qonverge, Ready Play, SafeAssure, the SafeAssure logo, StarCore, Symphony, VortiQa, Vybrid, Airfast, BeeKit, BeeStack, CoreNet, Flexis, MXC, Platform in a Package, QUICC Engine, SMARTMOS, Tower, TurboLink, and UMEMS are trademarks of NXP B.V. All other product or service names are the property of their respective owners. ARM, AMBA, ARM Powered, Artisan, Cortex, Jazelle, Keil, SecurCore, Thumb, TrustZone, and μ Vision are registered trademarks of ARM Limited (or its subsidiaries) in the EU and/or elsewhere. ARM7, ARM9, ARM11, big.LITTLE, CoreLink, CoreSight, DesignStart, Mali, mbed, NEON, POP, Sensinode, Socrates, ULINK and Versatile are trademarks of ARM Limited (or its subsidiaries) in the EU and/or elsewhere. All rights reserved. Oracle and Java are registered trademarks of Oracle and/or its affiliates. The Power Architecture and Power.org word marks and the Power and Power.org logos and related marks are trademarks and service marks licensed by Power.org.

© 2018 NXP B.V.

Document Number: AN12217

Rev. 0

08/2018

