TB3146

具有计算模块的模数转换器技术简介

作者： *Elvin Hayes Gentiles*
Kristine Angelica Sumague
Microchip Technology Inc.

简介

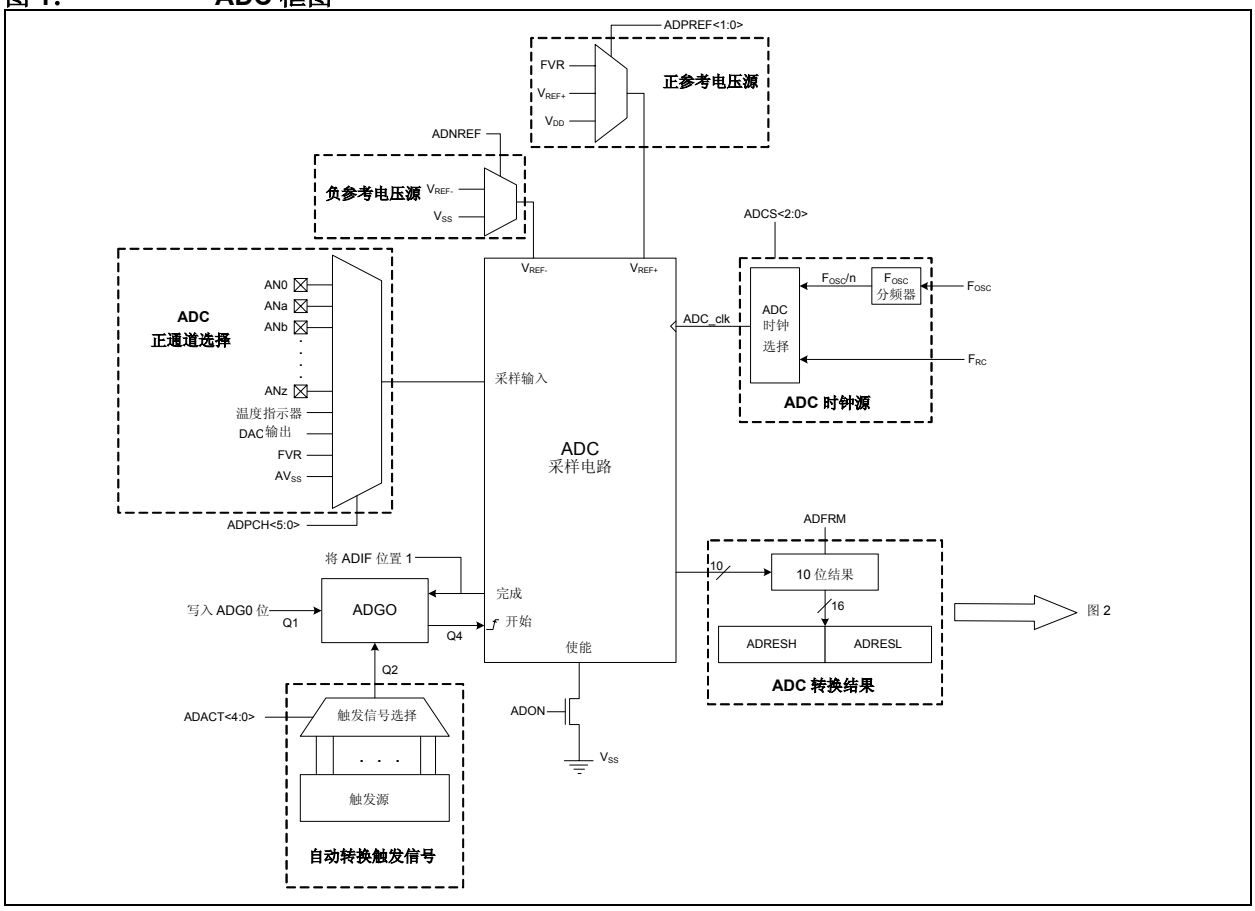
Microchip 最新系列 MCU 中的模数转换器（Analog-to-Digital Converter，ADC）具有计算模块（ADC^2），内置计算特性提供后处理功能，例如过采样、平均和低通滤波。

本技术简介讨论了 ADC^2 特性、配置方法和工作模式。

ADC^2 模块框图

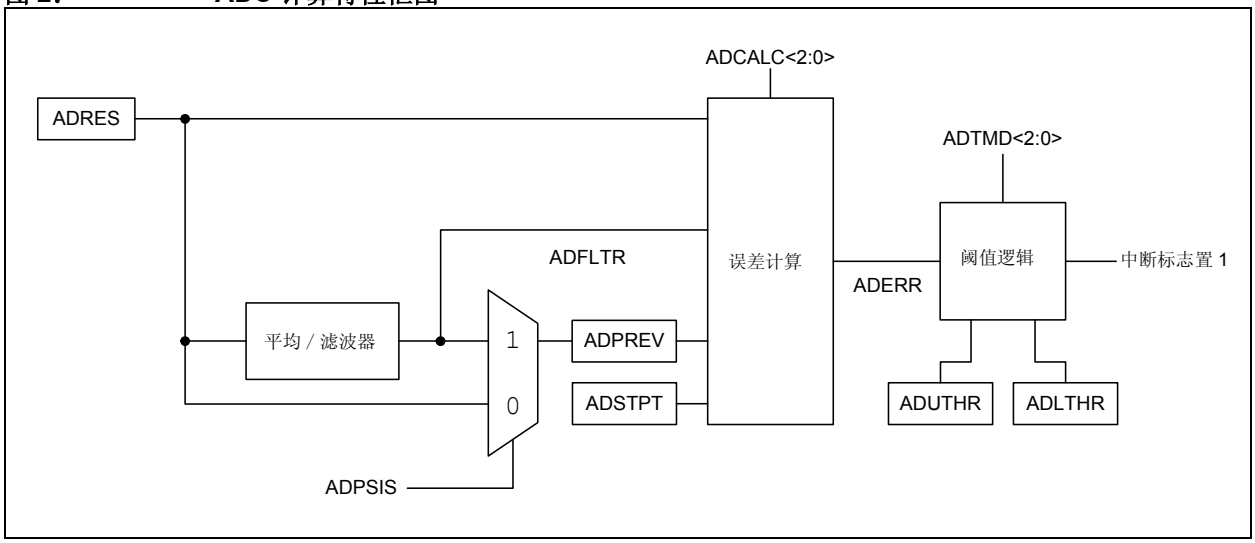
图 1 所示的框图显示了将模拟输入信号转换为数字形式的过程。该框图分为不同模块：正通道选择源、正参考电压源和负参考电压源、转换时钟源、转换结果和自动转换触发源。模拟输入通道源通过多路开关连接到一个采样保持电路。采样保持电路的输出与转换器相连接，该转换器生成模拟输入的二进制表示。当 ADC 以计算特性运行时，转换结果将传递到计算特性框图（见图 2）进行后处理。然后，采用误差计算和阈值比较评估后处理结果。

图 1：ADC 框图



© 2016 Microchip Technology Inc.

图 2： ADC 计算特性框图



通道选择源

ADC 正通道选择寄存器（ADPCH）决定哪一路通道与采样保持电路相连。通道选择源并不仅限于外部模拟输入源，还可以是外设或内部参考电压的输出。请参见产品数据手册了解可用通道选择列表。

> **注：** 在单个 ADC 模块中一次只可选择和转换一个通道。

参考电压源

参考电压用于设置 ADC 的输入电压范围。它可以是来自 VREF+/- 引脚、 VDD、 FVR 和 VSS 的外部源。使用 ADC 参考电压选择寄存器（ADREF）的 ADC 正参考电压选择位（ADPREF）和 ADC 负参考电压选择位（ADNREF）选择正参考电压和负参考电压。

> **注：** 由于某些器件不具有 ADNREF 位，具体请查阅器件数据手册。

转换时钟源

转换时钟具有多个源，可以来自主振荡器（以 2 的倍数进行分频，例如 2、 4 或 128），也可以来自专用内部 RC 时钟。转换时钟源由 ADC 控制寄存器 0（ADCON0）的 ADC 时钟选择位（ADCS）和 ADC 时钟选择寄存器（ADCLK）的 ADC 转换时钟选择位（ADCCS）控制。当 ADCS 清零时，时钟由 FOSC 提供并根据 ADCCS 值进行分频（见公式 1）。当 ADCS 置 1 时，时钟由专用 RC 振荡器 FRC 提供。

公式 1： 确定 ADCCS 的值

$$CLK_{conversion} = \frac{F_{OSC}}{2(ADCCS+1)}$$

示例：

系统以 4 MHz 的振荡频率运行。如果转换时钟需要以 400 kHz 运行，则得出 ADC 转换时钟选择位 ADCCS 的值。

$$CLK_{conversion} = \frac{F_{OSC}}{2(ADCCS+1)}$$

$$400000 = \frac{4000000}{2(ADCCS+1)}$$

$$2(ADCCS+1) = \frac{4000000}{400000}$$

$$2(ADCCS+1) = 10$$

$$(ADCCS+1) = 5$$

$$ADCCS = 4$$

$$\boldsymbol{ADCCS = 0b000100}$$

© 2016 Microchip Technology Inc.

自动转换触发源

自动转换触发器允许模块调度采集和转换序列而无需软件干预。当出现选定源的上升沿时，ADGO 位置 1。可在器件数据手册中找到自动转换触发源。在应用中，这些自动转换触发源可用于设置 ADC 的采样周期。自动转换源使用 ADC 自动转换触发信号控制寄存器（ADACT）进行选择。

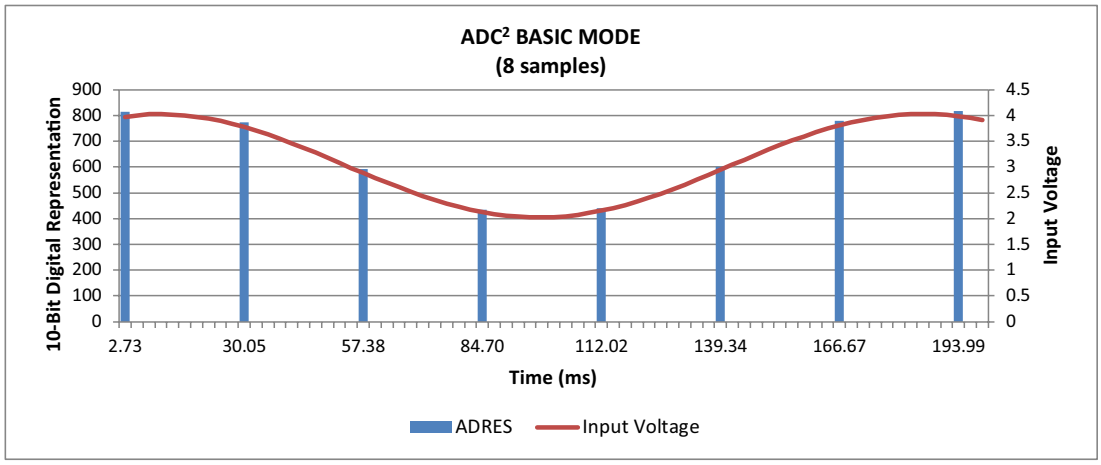
计算模式

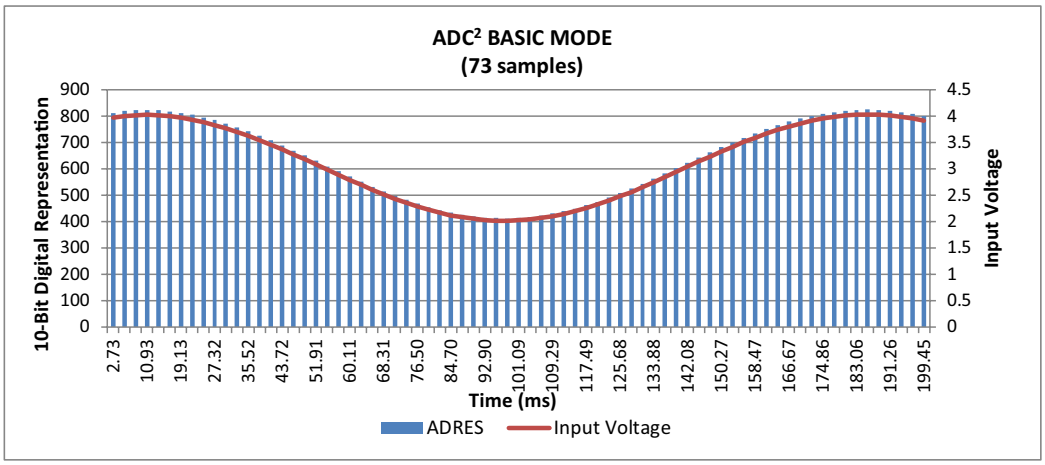
基本模式

ADC^2 的基本模式模仿传统 ADC 操作。在该模式下，累加器逻辑不工作。这意味着 A/D 累加器 （ADACC）和 A/D 重复计数（ADCNT）寄存器值在整个操作中无效。ADC^2 的基本模式通过将 A/D 控制寄存器 2（ADCON2）的 A/D 工作模式选择位 （ADMD）设置为 0 （ADMD = 000）进行选择。借助模块的自动触发特性，可由软件或通过其他外设和外部源轻松触发输入采样。转换结果可与阈值设定点比较，该设定点有可能会触发 PIR1 寄存器的模数转换器中断标志位 （ADTIF）。

图 3 显示了使用不同数量采样的基本模式 ADC 转换的结果。

图 3： 基本模式





累加模式

ADC[2] 的累加模式通过将 ADCON2 寄存器的 ADMD 位设置为 1（ADMD = 001）进行选择。在该模式下，10 位 ADRES 寄存器中的模拟输入信号的数字表示累加到 16 位 ADACC 寄存器。ADCNT 在每次采样时递增，表示累加的采样数。ADCNT 值在 255 个采样处饱和，但不会计满返回到 0。由于累加到 ADACC 的值是 10 位 ADRES 值，ADACC 可能在仅进行 64 个采样后溢出。该事件将触发 ADC 阈值寄存器（ADSTAT）的 ADC 累加器溢出位（ADAOV）。累加值可最多向右移位 6 次，具体通过更改 ADCON2 寄存器的 ADC 累加计算右移选择位（ADCRS）的值实现。这意味着累加值实际上按因子 2（2^{ADCRS}）进行分频。移位累加值的结果存储在 ADFLTR寄存器中。表1显示了累加器模式的采样数据。

表 1：累加器模式示例

ADCNT	ADCRS	VINPUT	10 位 ADRES	16 位 ADACC	16 位 ADFLTR
1	3	2.5V	514	514	64
2	3	2.5V	514	1028	128
3	3	2.5V	514	1542	192
4	3	2.5V	514	2056	257
5	3	2.5V	514	2570	321
6	3	2.5V	514	3084	385
7	3	2.5V	514	3598	449
8	3	2.5V	514	4112	514

平均模式

ADC[2] 的平均模式通过将 ADCON2 寄存器的 ADMD 位设置为 2（ADMD = 010）进行选择。该模式与累加模式相似，其中，ADACC 累加数据采样，而 ADCNT 在每次采样时递增，除非在该模式下累加的采样数达到 A/D 重复设置寄存器（ADRPT）中设置的值。当 ADCNT 等于 ADRPT 时，ADC 滤波寄存器（ADFLTR）中存储的值成为输入信号的平均值。实际上，ADFLTR 中存储的值是 ADACC 和 ADRPT 的结果因子。当 ADPRT 等于公式 2 时，可正确计算输入电压的平均值。当 ADCNT 超过 ADRPT 的值时，ADCNT 和 ADACC 寄存器自动复位以再次累积数据采样。

表 2 显示了平均模式的数据采样，其中 ADRCS 等于 2，这导致 ADRPT 等于 4。这意味着，将累加 4 个采样来获得平均值，然后在第五个采样时，累加器将如图 4 所示自动清零。

可在每个采样需要确定的时间间隔时使用该模式。该模式通过将ADCON2寄存器的ADMD位设置为2来选择。

公式 2：要采集的采样数

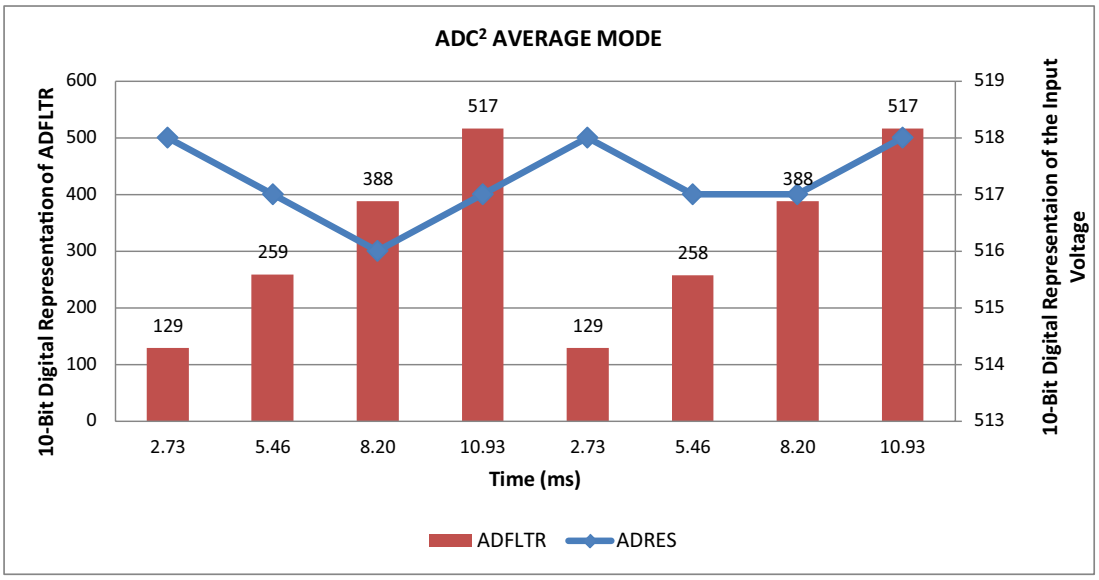
$$ADRPT = 2^{ADCRS}$$

© 2016 Microchip Technology Inc.

表 2： 平均模式示例

采样	ADCNT	ADCRS	ADRPT	ADRES	ADACC	ADFLTR
0	1	2	4	518	518	129
1	2	2	4	518	1036	259
2	3	2	4	516	1552	388
3	4	2	4	517	2069	517
4	1	2	4	518	518	129
5	2	2	4	517	1035	258
6	3	2	4	517	1552	388
7	4	2	4	518	2070	517
8	1	2	4	517	517	129
9	2	2	4	516	1033	258

图 4： ADC^2 平均模式



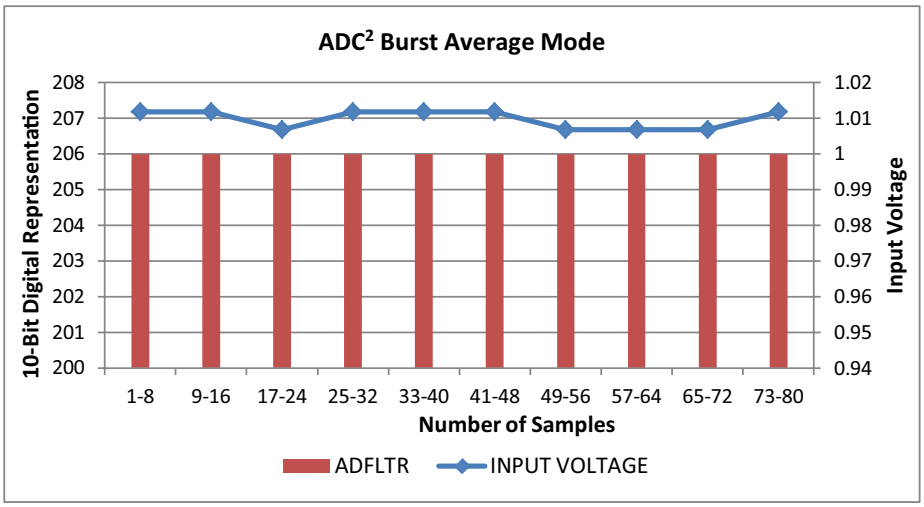
突发脉冲平均模式

突发脉冲平均模式与平均模式相似，都可将输入信号平均（见图 5），但此模式还可在单个除法信号后快速重复采样。这意味着，在单个转换中，所有数据采样累加达到设置的 ADRPT，且当 ADCNT 与设置的 ADPRT 值匹配时，将获得输入信号的平均值。该模式通过将 ADCON2 寄存器的 ADMD 位设置为 3（ADMD = 011）进行选择。表 3 显示了突发脉冲平均模式的数据采样。

表 3： 突发脉冲平均模式示例

采样	触发信号	ADCNT	ADCRS	ADRPT	ADRES	ADACC	ADFLTR
1-8	1	8	3	8	207	1655	206
9-16	2	8	3	8	207	1653	206
17-24	3	8	3	8	206	1653	206
25-32	4	8	3	8	207	1653	206
33-40	5	8	3	8	207	1652	206
41-48	6	8	3	8	207	1653	206
49-56	7	8	3	8	206	1654	206
57-64	8	8	3	8	206	1652	206
65-72	9	8	3	8	206	1655	206
73-80	10	8	3	8	207	1654	206

图 5： ADC^2 突发脉冲平均模式



低通滤波器模式

低通滤波器允许低于截止频率的信号通过，而削弱高于截止频率的信号。该模式通过将 ADCON2 寄存器的 ADMD 位设置为 4（ADMD = 100）进行选择。ADCRS 确定低通滤波器阶。给定表 4 中的弧度值，可使用公式 3 计算截止频率 （– 3 dB 增益时）。

© 2016 Microchip Technology Inc.

表 4： 滤波器截止频率

ADCRS	-3 dB 增益时的弧度值（弧度）	f=1/2T 时的增益（dB）	T (3)（秒）	F_{cutoff}(3)（Hz）	$F_{Nyquist}$ = 1/2T(3)（Hz）
1	0.72	-9.5	1/960 Hz	110.0079	480
2	0.284	-16.9	1/960 Hz	43.392	480
3	0.134	-23.5	1/960 Hz	20.47369	480
4	0.065	-29.8	1/960 Hz	9.931268	480
5	0.032	-36	1/960 Hz	4.88924	480
6	0.016	-42	1/960 Hz	2.44462	480

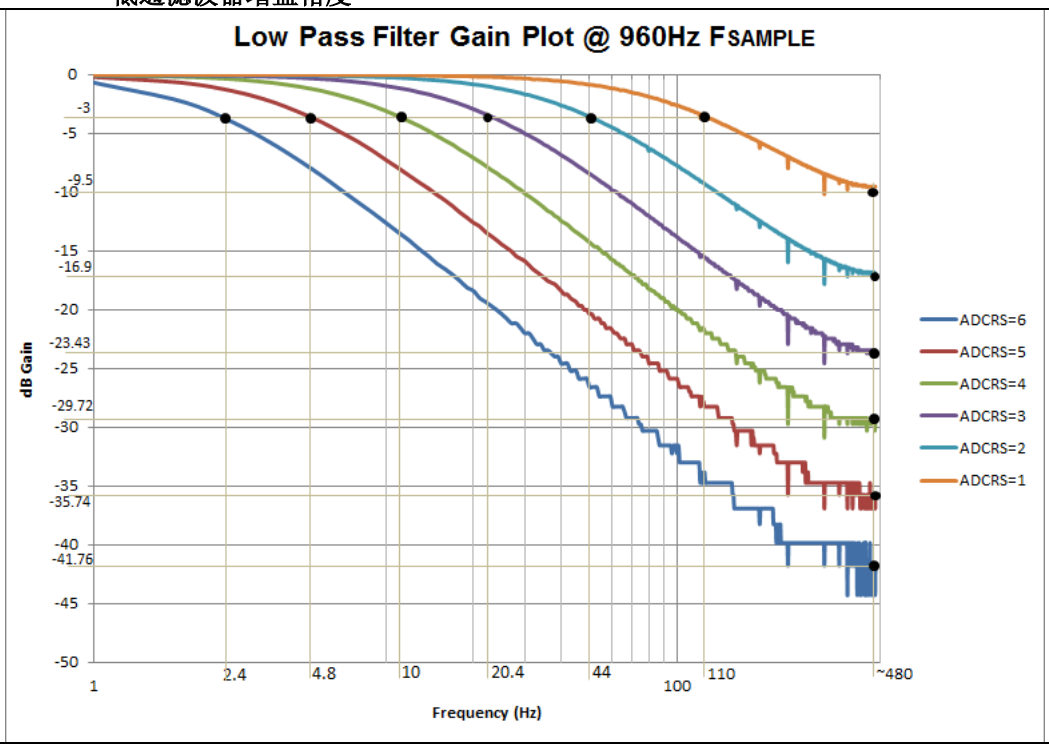
注 1： 有些值并非所有器件都支持。
2： T = 采样时间间隔（秒）。
3： T、 F_{cutoff} 和 $F_{Nyquist}$ 仅作示例。

公式 3： 给定弧度值的截止频率

$$f_{cutoff} = \frac{\text{-3 dB 增益时的弧度值}}{2\pi T}$$

图 6 显示了使用 1/960 Hz 采样时间间隔 T 的低通滤波器的增益裕度。

图 6： 低通滤波器增益裕度



为了演示时间域低通滤波器的效果，以在不同频率运行（即 10 Hz、110 Hz 和 300 Hz）的具有 2% 电压容差的 1V 峰到峰正弦波为例。在例 1 中，必须首先计算预期的最小和最大 ADFLTR 值（使用公式 4）。特定 ADCRS 值处的最大和最小ADFLTR值之间的差值是低通滤波器下输入电压的等效数字表示。

公式 4：　　ADFLTR 峰峰值

$$ADFLTR_{Vpk-to-pk} = \left(\frac{1023 \times Vtolerance}{2^{ADRCS}}\right)$$

例 1：　　计算输入电压的 ADLFTR 值

$$ADFLTR_{VMAX} = \frac{1023 \times 98\%}{2^{1}} = 501$$

$$ADFLTR_{VMIN} = \frac{1023 \times 2\%}{2^{1}} = 10$$

$$ADFLTR_{VINpk-to-pk} = ADFLTR_{VMAX} - ADFLTR_{VMIN} = 501 - 10 = 491$$

计算输入电压的 ADFLTR 值后，将估算低通滤波器的输出。图 7 显示了 10 Hz、110 Hz 和 300 Hz 时低通滤波器的输出。每个输出的幅度具有一个相应的 ADFLTR 值，在表 5 中汇总。低通滤波器输出的 ADFLTR 值使用公式 5 计算。实际测量的最大电压和最小电压之间的差值应转换为 $ADFLTR_{VCONV}$ 值。该 $ADFLTR_{VCONV}$ 值充当低通滤波器输出的相应数字表示。

© 2016 Microchip Technology Inc.

图 7： 采样频率为 960 Hz 时的低通滤波器输出

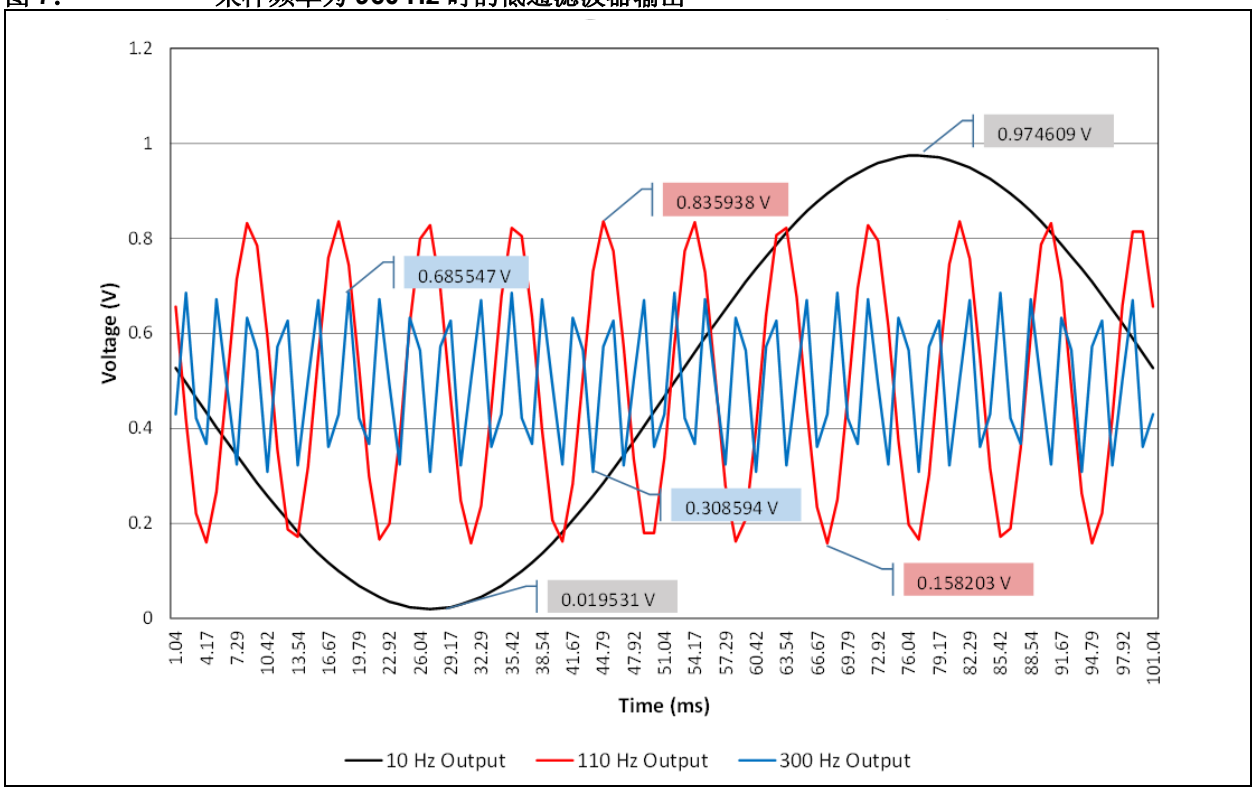


表 5： 低通滤波器输出电压

输入频率	最大值		最小值		差值	
	V_{ACTUAL}	ADFLTR	V_{ACTUAL}	ADFLTR	V_{DIFF}	$ADFLTR_{VCONV}$
10 Hz	0.974609	499	0.019531	10	0.955078	489
110 Hz	0.835938	428	0.158203	81	0.677734	347
300 Hz	0.685547	351	0.308594	158	0.376953	193

公式 5： 电压转换到 ADFLTR

$$ADFLTR_{V\ CONV} = \frac{2^{10-ADCRS} \times V_{DIFF}}{V_{IN}}$$

公式 6 显示了输入频率的 dB 增益的计算。

公式 6： dB 增益

$$dB\ 增益 = 20x\log\left(\frac{ADFLTR_{V\ CONV}}{ADFLTR_{INPUT}}\right)$$

$$10\ Hz\ dB\ 增益 = 20x\log\left(\frac{489}{491}\right) = -1.17\ dB$$

$$110\ Hz\ dB\ 增益 = 20x\log\left(\frac{347}{491}\right) = -3.02\ dB$$

$$300\ Hz\ dB\ 增益 = 20x\log\left(\frac{193}{491}\right) = -8.11\ dB$$

从公式 6 中，可观察到 ADCRS 等于 1 且采样频率为 960 Hz 时截止频率大约等于 110 Hz。可在图 6 中观察到相同的截止频率。

表 6 显示了 ADC^2 不同工作模式的汇总。

表 6： ADC^2 计算模式汇总

模式	ADMD	位清零条件	触发完成后的值		发生 ADTIF 中断时的值		
		ADACC 和 ADCNT	ADACC	ADCNT	ADAOV	ADFLTR	ADCNT
基本	0	ADACLR = 1	不变	不变	n/a	n/a	计数
累加	1	ADACLR = 1	S+ADACC 或者 (S_2-S_1) + ADACC	ADCNT+1，但不大于 255	ADACC 溢出	ADACC/2^{ADCRS}	计数
平均	2	ADACLR = 1 或 ADGO 置 1 或重新触发时 ADCNT ≥ ADRPT	S+ADACC 或者 (S_2-S_1) + ADACC	ADCNT+1，但不大于 255	ADACC 溢出	ADACC/2^{ADCRS}	计数
突发脉冲平均	3	ADACLR = 1 或 ADGO 置 1 或重新触发	每次重复：与平均模式相同 以所有采样的总和结束	每次重复：与平均模式相同 当 ADCNT = ADRPT 时结束	ADACC 溢出	ADACC/2^{ADCRS}	ADRPT
低通滤波器	4	ADACLR = 1	S + ADACC - $\frac{ADACC}{2^{ADCRS}}$ 或者 $(S_2 - S_1)$ + ADACC - $\frac{ADACC}{2^{ADCRS}}$	ADCNT+1，但不大于 255	ADACC 溢出	滤波后的值	计数

© 2016 Microchip Technology Inc.

阈值比较

ADC[2] 模块的后处理结果可与 ADC 阈值寄存器（ADCON3）的 ADC 误差计算模式选择位（ADCALC）中设置的阈值比较。误差计算涉及 ADC 结果寄存器（ADRES）、ADC 前一个结果寄存器（ADPREV）、ADC 阈值设定点寄存器（ADSTPT）和 ADC 滤波寄存器（ADFLTR）。寄存器的计算具体取决于所选误差计算模式和采样转换模式，如表 7 所示。

通过将 ADCON1 寄存器的双采样使能位（ADDSEN）置 1 使能双采样模式。该位置 1 时，至少需要两个转换，模块才能开始计算阈值误差。

表 7： 误差计算模式

ADCALC	误差计算		应用
	ADDSEN=0 单采样模式	ADDSEN=1 CVD 双采样模式 (1)	
000	ADRES-ADPREV	ADRES-ADPREV	单个测量值的一阶导数 (2)
			CVD 中的实际 CVD 结果 (2)
001	ADRES-ADSTPT	(ADRES-ADPREV)-ADFLTR	实际结果与设定点
010	ADRES-ADFLTR	(ADRES-ADPREV)-ADFLTR	实际结果与平均 / 滤波后的值
011	保留		
100	ADPREV-ADFLTR	ADPREV-ADFLTR	滤波后的值的一阶导数 (3)（负数）
101	ADFLTR-ADSTPT	ADFLTR-ADSTPT	平均 / 滤波后的值与设定点
110	保留		
111	保留		

注 1：当 ADPSIS = 0 时，（ADRES-ADPREV）的值等于（S2-S1）。
2：当 ADPSIS = 0 时。
3：当 ADPSIS = 1 时。

计算的结果存储在 ADERR 中，可与所选高阈值或低阈值比较。这两个阈值可通过更改ADC高阈值（ADUTH）寄存器和 ADC 低阈值 （ADLTH）寄存器设置。基于表 8 所示的比较结果为真时，将触发中断。该阈值测试通过 ADCON3 寄存器的阈值中断模式选择位（ADTMD）选择。

表 8： 阈值中断模式

ADTMD	中断条件	比较器输出		
		ADERR<ADLTH		ADERR>ADUTH
000	永不中断			
001	误差 < 低阈值	真		—
010	误差 ≥ 低阈值	假		—
011	误差介于阈值之间	假	AND	假
100	误差在阈值之外	真	OR	真
101	误差 ≤ 高阈值	—		假
110	误差 > 高阈值	—		真
111	所有数据中断	—		—

连续模式重新触发

连续模式重新触发可通过将 ADCON0 寄存器的 A/D 连续操作使能位（ADCONT）设置为 1（ADCONT = 1）使能。使能连续模式允许在已测试阈值后重新触发自动采样。在该模式下， ADCON0 寄存器的 A/D 转换状态位 （ADGO）保持置 1，直至根据所选 ADTMD 满足阈值条件且 ADCON3 寄存器的 A/D 中断时停止位（ADSOI）也置 1。

休眠模式

ADC^2 模块工作在休眠模式下时，要求 ADC 时钟源使用专用 RC 振荡器（F_{RC}）。当使用 F_{RC} 时，ADC 会多等待一个指令周期再开始转换。可执行 SLEEP 指令。当转换完成时，器件将在允许 ADC 中断时唤醒。如果禁止 ADC 中断，器件保持在休眠状态且 ADC 使能位（ADON）保持置 1。

如果在休眠期间接收到外部触发信号，且时钟源设置为 F_{RC}， ADC 将执行转换并在完成时将 ADC 中断标志位（ADIF）置 1。如果在休眠期间接收到外部触发信号，而时钟源设置为 F_{RC} 之外的时钟，将记录触发，不过在器件退出休眠模式之前不会开始转换。

结论

本技术简介介绍了 PIC® 单片机上具有计算模块的模数转换器如何工作，涵盖了 ADC^2 内置计算特性和后处理功能。

© 2016 Microchip Technology Inc.

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 愿与那些注重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。

提供本文档的中文版本仅为了便于理解。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 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，包括但不限于针对其使用情况、质量、性能、适销性或特定用途的适用性的声明或担保。** Microchip 对因这些信息及使用这些信息而引起的后果不承担任何责任。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伤害、索赔、诉讼或费用时，会维护和保障 Microchip 免于承担法律责任，并加以赔偿。除非另外声明，在 Microchip 知识产权保护下，不得暗中或以其他方式转让任何许可证。

Microchip 位于美国亚利桑那州 Chandler 和 Tempe 与位于俄勒冈州 Gresham的全球总部、设计和晶圆生产厂及位于美国加利福尼亚州和印度的设计中心均通过了 ISO/TS-16949:2009 认证。Microchip 的 PIC® MCU 与 dsPIC® DSC、KEELOQ® 跳码器件、串行 EEPROM、单片机外设、非易失性存储器和模拟产品严格遵守公司的质量体系流程。此外，Microchip 在开发系统的设计和生产方面的质量体系也已通过了 ISO 9001:2000 认证。

QUALITY MANAGEMENT SYSTEM
CERTIFIED BY DNV
═ ISO/TS 16949 ═

商标

Microchip 的名称和徽标组合、 Microchip 徽标、 AnyRate、 AVR、 AVR 徽标、 AVR Freaks、 BeaconThings、 BitCloud、 CryptoMemory、 CryptoRF、 dsPIC、 FlashFlex、 flexPWR、 Heldo、 JukeBlox、 KEELOQ、 KEELOQ 徽标、 Kleer、 LANCheck、 LINK MD、 maXStylus、 maXTouch、 MediaLB、 megaAVR、 MOST、 MOST 徽标、 MPLAB、 OptoLyzer、 PIC、 picoPower、 PICSTART、 PIC32 徽标、 Prochip Designer、 QTouch、 RightTouch、 SAM-BA、 SpyNIC、 SST、 SST 徽标、 SuperFlash、 tinyAVR、 UNI/O 及 XMEGA 均为 Microchip Technology Inc. 在美国和其他国家或地区的注册商标。

ClockWorks、 The Embedded Control Solutions Company、 EtherSynch、 Hyper Speed Control、 HyperLight Load、 IntelliMOS、mTouch、Precision Edge 和 Quiet-Wire 均为 Microchip Technology Inc. 在美国的注册商标。

Adjacent Key Suppression、AKS、Analog-for-the-Digital Age、Any Capacitor、AnyIn、AnyOut、BodyCom、chipKIT、chipKIT 徽标、 CodeGuard、 CryptoAuthentication、 CryptoCompanion、 CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、 DAM、 ECAN、 EtherGREEN、 In-Circuit Serial Programming、 ICSP、 Inter-Chip Connectivity、 JitterBlocker、 KleerNet、KleerNet 徽标、Mindi、MiWi、motorBench、MPASM、 MPF、 MPLAB Certified 徽标、 MPLIB、 MPLINK、 MultiTRAK、 NetDetach、 Omniscient Code Generation、 PICDEM、 PICDEM.net、PICkit、PICtail、PureSilicon、QMatrix、RightTouch 徽标、 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 Inc. 在美国和其他国家或地区的商标。

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

Silicon Storage Technology 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。

© 2016, Microchip Technology Inc. 版权所有。

ISBN：978-1-5224-0749-2

全球销售及服务网点

美洲

公司总部 Corporate Office
2355 West Chandler Blvd.
Chandler, AZ 85224-6199
Tel: 1-480-792-7200
Fax: 1-480-792-7277
技术支持：
http://www.microchip.com/support
网址：www.microchip.com

亚特兰大 Atlanta
Duluth, GA
Tel: 1-678-957-9614
Fax: 1-678-957-1455

奥斯汀 Austin, TX
Tel: 1-512-257-3370

波士顿 Boston
Westborough, MA
Tel: 1-774-760-0087
Fax: 1-774-760-0088

芝加哥 Chicago
Itasca, IL
Tel: 1-630-285-0071
Fax: 1-630-285-0075

达拉斯 Dallas
Addison, TX
Tel: 1-972-818-7423
Fax: 1-972-818-2924

底特律 Detroit
Novi, MI
Tel: 1-248-848-4000

休斯敦 Houston, TX
Tel: 1-281-894-5983

印第安纳波利斯 Indianapolis
Noblesville, IN
Tel: 1-317-773-8323
Fax: 1-317-773-5453
Tel: 1-317-536-2380

洛杉矶 Los Angeles
Mission Viejo, CA
Tel: 1-949-462-9523
Fax: 1-949-462-9608
Tel: 1-951-273-7800

罗利 Raleigh, NC
Tel: 1-919-844-7510

纽约 New York, NY
Tel: 1-631-435-6000

圣何塞 San Jose, CA
Tel: 1-408-735-9110
Tel: 1-408-436-4270

加拿大多伦多 Toronto
Tel: 1-905-695-1980
Fax: 1-905-695-2078

亚太地区

亚太总部 Asia Pacific Office
Suites 3707-14, 37th Floor
Tower 6, The Gateway
Harbour City, Kowloon
Hong Kong
Tel: 852-2943-5100
Fax: 852-2401-3431

中国 - 北京
Tel: 86-10-8569-7000
Fax: 86-10-8528-2104

中国 - 成都
Tel: 86-28-8665-5511
Fax: 86-28-8665-7889

中国 - 重庆
Tel: 86-23-8980-9588
Fax: 86-23-8980-9500

中国 - 东莞
Tel: 86-769-8702-9880

中国 - 广州
Tel: 86-20-8755-8029

中国 - 杭州
Tel: 86-571-8792-8115
Fax: 86-571-8792-8116

中国 - 南京
Tel: 86-25-8473-2460
Fax: 86-25-8473-2470

中国 - 青岛
Tel: 86-532-8502-7355
Fax: 86-532-8502-7205

中国 - 上海
Tel: 86-21-3326-8000
Fax: 86-21-3326-8021

中国 - 沈阳
Tel: 86-24-2334-2829
Fax: 86-24-2334-2393

中国 - 深圳
Tel: 86-755-8864-2200
Fax: 86-755-8203-1760

中国 - 武汉
Tel: 86-27-5980-5300
Fax: 86-27-5980-5118

中国 - 西安
Tel: 86-29-8833-7252
Fax: 86-29-8833-7256

中国 - 厦门
Tel: 86-592-238-8138
Fax: 86-592-238-8130

中国 - 香港特别行政区
Tel: 852-2943-5100
Fax: 852-2401-3431

亚太地区

中国 - 珠海
Tel: 86-756-321-0040
Fax: 86-756-321-0049

台湾地区 - 高雄
Tel: 886-7-213-7830

台湾地区 - 台北
Tel: 886-2-2508-8600
Fax: 886-2-2508-0102

台湾地区 - 新竹
Tel: 886-3-5778-366
Fax: 886-3-5770-955

澳大利亚 Australia - Sydney
Tel: 61-2-9868-6733
Fax: 61-2-9868-6755

印度 India - Bangalore
Tel: 91-80-3090-4444
Fax: 91-80-3090-4123

印度 India - New Delhi
Tel: 91-11-4160-8631
Fax: 91-11-4160-8632

印度 India - Pune
Tel: 91-20-3019-1500

日本 Japan - Osaka
Tel: 81-6-6152-7160
Fax: 81-6-6152-9310

日本 Japan - Tokyo
Tel: 81-3-6880-3770
Fax: 81-3-6880-3771

韩国 Korea - Daegu
Tel: 82-53-744-4301
Fax: 82-53-744-4302

韩国 Korea - Seoul
Tel: 82-2-554-7200
Fax: 82-2-558-5932 或
82-2-558-5934

马来西亚 Malaysia - Kuala Lumpur
Tel: 60-3-6201-9857
Fax: 60-3-6201-9859

马来西亚 Malaysia - Penang
Tel: 60-4-227-8870
Fax: 60-4-227-4068

菲律宾 Philippines - Manila
Tel: 63-2-634-9065
Fax: 63-2-634-9069

新加坡 Singapore
Tel: 65-6334-8870
Fax: 65-6334-8850

泰国 Thailand - Bangkok
Tel: 66-2-694-1351
Fax: 66-2-694-1350

欧洲

奥地利 Austria - Wels
Tel: 43-7242-2244-39
Fax: 43-7242-2244-393

丹麦 Denmark - Copenhagen
Tel: 45-4450-2828
Fax: 45-4485-2829

芬兰 Finland - Espoo
Tel: 358-9-4520-820

法国 France - Paris
Tel: 33-1-69-53-63-20
Fax: 33-1-69-30-90-79

法国 France - Saint Cloud
Tel: 33-1-30-60-70-00

德国 Germany - Garching
Tel: 49-8931-9700

德国 Germany - Haan
Tel: 49-2129-3766400

德国 Germany - Heilbronn
Tel: 49-7131-67-3636

德国 Germany - Karlsruhe
Tel: 49-721-625370

德国 Germany - Munich
Tel: 49-89-627-144-0
Fax: 49-89-627-144-44

德国 Germany - Rosenheim
Tel: 49-8031-354-560

以色列 Israel - Ra'anana
Tel: 972-9-744-7705

意大利 Italy - Milan
Tel: 39-0331-742611
Fax: 39-0331-466781

意大利 Italy - Padova
Tel: 39-049-7625286

荷兰 Netherlands - Drunen
Tel: 31-416-690399
Fax: 31-416-690340

挪威 Norway - Trondheim
Tel: 47-7289-7561

波兰 Poland - Warsaw
Tel: 48-22-3325737

罗马尼亚 Romania - Bucharest
Tel: 40-21-407-87-50

西班牙 Spain - Madrid
Tel: 34-91-708-08-90
Fax: 34-91-708-08-91

瑞典 Sweden - Gothenberg
Tel: 46-31-704-60-40

瑞典 Sweden - Stockholm
Tel: 46-8-5090-4654

英国 UK - Wokingham
Tel: 44-118-921-5800
Fax: 44-118-921-5820

© 2016 Microchip Technology Inc.