

## 简介

本文档介绍了超低功耗 STM32F05xx 产品系列内置的两个模拟比较器的六个应用实例。这些应用实例如下：

- 模拟电压监测
- 停机模式下的模拟看门狗
- 脉冲宽度测量
- 脉冲宽度调制 (PWM) 信号控制
- 电容测量
- 使用光敏电阻 (LDR) 控制亮度

这六个应用实例演示了模拟比较器的用途，并介绍了它们与数模转换器 (DAC) 和定时器等其它外设联合工作的方式。

为确保用户快速入门，本文档介绍的四个应用实例均用 C 语言实现，并在 *STM32F0xx\_StdPeriph\_Lib* 软件包的 *Project\STM32F0xx\_StdPeriph\_Examples\COMP* 中提供。

请注意，本文档不能替代 RM0091 产品参考手册（针对 STM32F05xx）中的比较器部分。

有关外设的功耗，应参考器件数据手册。

表 1. 适用的产品

类型	料号
微控制器	STM32F05xx

## 目录

1	模拟电压监测 .....	4
2	停机模式下的模拟看门狗 .....	7
3	脉冲宽度测量 .....	9
4	<b>PWM 信号控制</b> .....	11
5	电容测量 .....	12
6	使用光敏电阻 (LDR) 控制亮度 .....	14
7	版本历史 .....	16

## 图片索引

图 1.	传感器输出连接到 COMP2 .....	4
图 2.	模拟电压监测应用中的功耗 .....	5
图 3.	COMP2 配置 .....	6
图 4.	模拟比较器工作在窗口模式下 .....	7
图 5.	停机模式下的模拟看门狗 .....	8
图 6.	具有输出重映射功能的 COMP2 .....	9
图 7.	脉冲宽度测量：COMP2 输出重映射到定时器 .....	10
图 8.	PWM 信号控制：COMP2 输出重映射到定时器 .....	11
图 9.	用于测量电容时的 RC 网络连接 .....	12
图 10.	使用 COMP2 测量电容 .....	13
图 11.	LDR 电阻连接到 STM32F05xx 器件 .....	14
图 12.	比较器输出特性与光强度的关系 .....	15

# 1 模拟电压监测

STM32F05xx 器件内置一个 12 位高速模数转换器 (ADC)，其采样率可达 1 M/秒。但是，该转换器的典型电流消耗为 1.5 mA，如果连续通电，可能会缩短电池使用寿命。因此，建议在超出预定义阈值后需要立即测量模拟输入电压（传感器输出）的应用实例中使用模拟比较器。

在 STM32F05xx 器件中，可使用模拟比较器监视模拟输入电压并在需要时为 ADC 上电。监视模拟电压时，器件可以进入停机模式，同时，两个比较器仍处于通电状态。这样既可优化功耗，又可实现节能。

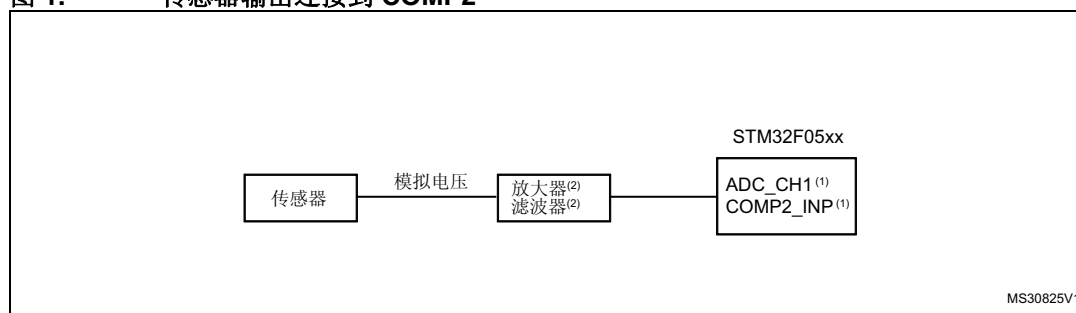
**注：** 模拟比较器由内部参考电压  $V_{REFINT}$  供电，此电压在停机模式下仍处于通电状态。禁止  $V_{REFINT}$  后，便无法再使用比较器。

在模拟电压监测应用中，当传感器输出电压低于阈值时，MCU 可保持在停机模式下，从而实现节能。一旦传感器输出电压超过阈值，MCU 便会唤醒，ADC 通电并开始测量模拟输入电压。当传感器输出电压低于阈值时，MCU 会重新进入停机模式。

无论输入值如何，与连续测量模拟电压的应用相比，此应用的平均功耗都会显著降低。

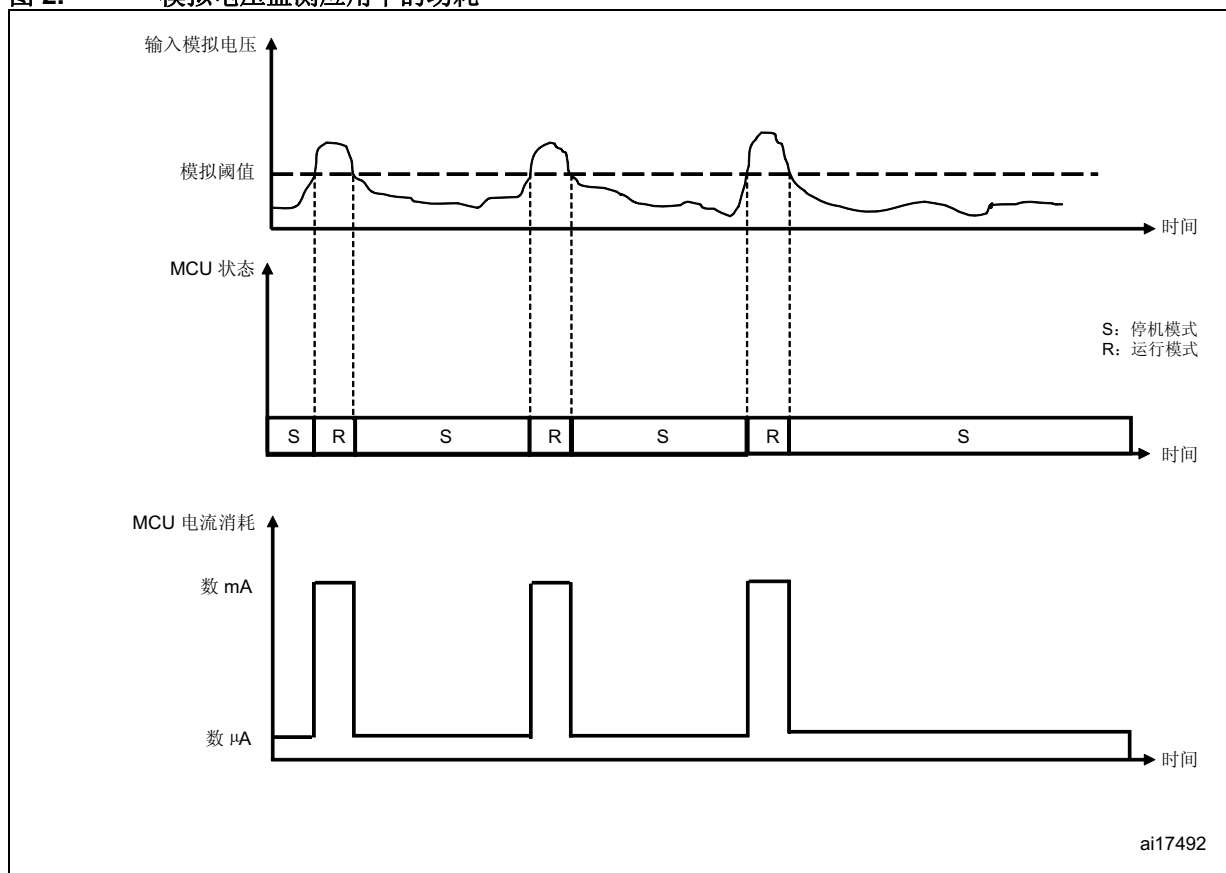
图 1 介绍了如何将传感器输出（温度传感器、压力传感器、热电红外探测器或光电二极管传感器）连接到使用比较器 2 (COMP2) 的模拟电压监测应用中的 STM32F05xx 器件。COMP2 在停机模式下监视模拟电压，而 ADC 在运行模式下测量模拟电压。

**图 1. 传感器输出连接到 COMP2**



1. ADC\_CH1: 交流通道 1  
COMP2\_INP: 比较器 2 同相输入
2. 仅在需要时使用。

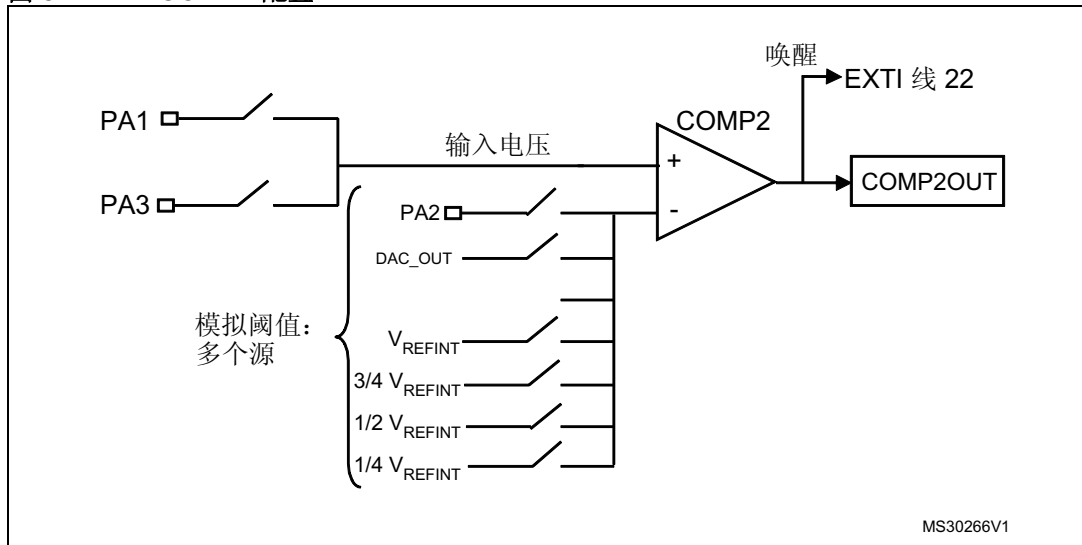
图 2. 模拟电压监测应用中的功耗



输入模拟电压可连接到 COMP1 的 PA1 或 COMP2 的 PA3。模拟阈值可通过  $V_{REFINT}$  及其因数从内部提供，也可通过 COMP1 的外部引脚 PA0 或 PA5 或者 COMP2 的外部引脚 PA2 或 PA5 提供。由于 DAC 通道在待机模式下会断电，因此这类应用中不能使用 DAC 通道 1 (DAC\_OUT)。COMPx 通过外部中断线 (EXTI 线 21 和 22) 从待机模式唤醒器件。

图 3 介绍了反相输入和同相输入的可用配置。

图 3. COMP2 配置



- 1. DAC\_OUT: DAC 通道 1 输出
- V<sub>REFINT</sub>: 内部参考电压
- COMP2OUT: 比较器 2 输出 (内部输出)

器件进入停机模式后，只有 COMP2 和内部参考电压 V<sub>REFINT</sub> 保持通电状态。

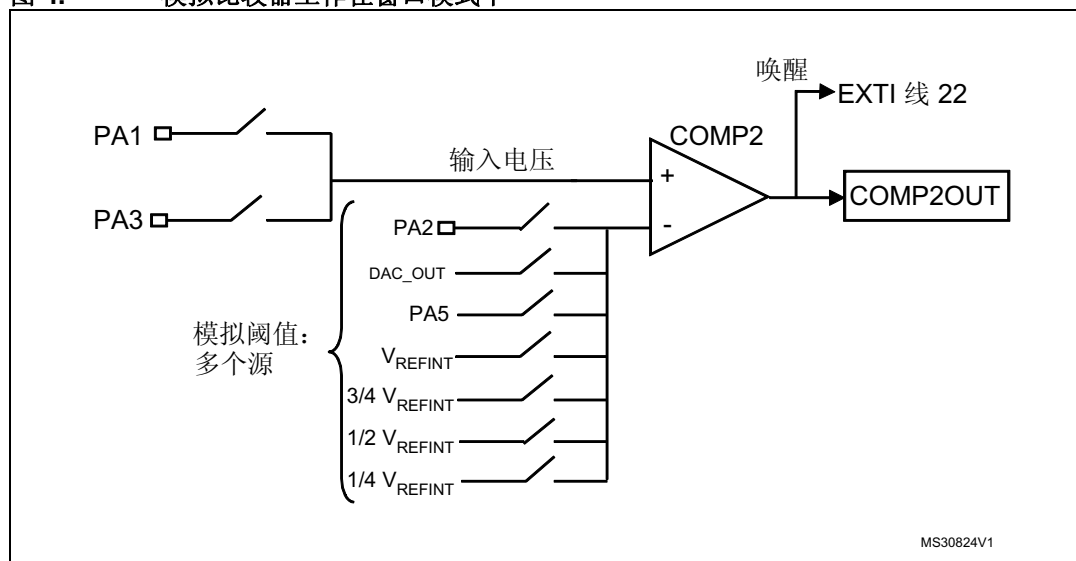
注：有关功耗值，请参见器件数据手册。

## 2 待机模式下的模拟看门狗

STM32F05xx 系列中的 ADC 可用作模拟看门狗，看门狗的阈值上限和下限均可编程。不过，由于 ADC 在待机模式下会断电，因此 MCU 必须保持在运行模式下才能监视输入端的模拟电压。对于 STM32F05xx 器件，可将 COMP1 和 COMP2 这两个模拟比较器组合设置成窗口模式作模拟看门狗，此看门狗可在 MCU 处于待机模式下时保持通电状态。这样既可降低功耗，又可实现节能。

图 4 显示了这类模拟比较器在窗口模式下的配置。阈值 1 设置为内部参考电压  $V_{REFINT}$ ，阈值 2 可配置为  $V_{REFINT}$ 、 $3/4 V_{REFINT}$ 、 $1/2 V_{REFINT}$ 、 $3/4 V_{REFINT}$ 、DAC\_OUT 或外部引脚（PA2 或 PA5）之一。模拟输入电压可施加到（PA1 或 PA3）引脚。

图 4. 模拟比较器工作在窗口模式下



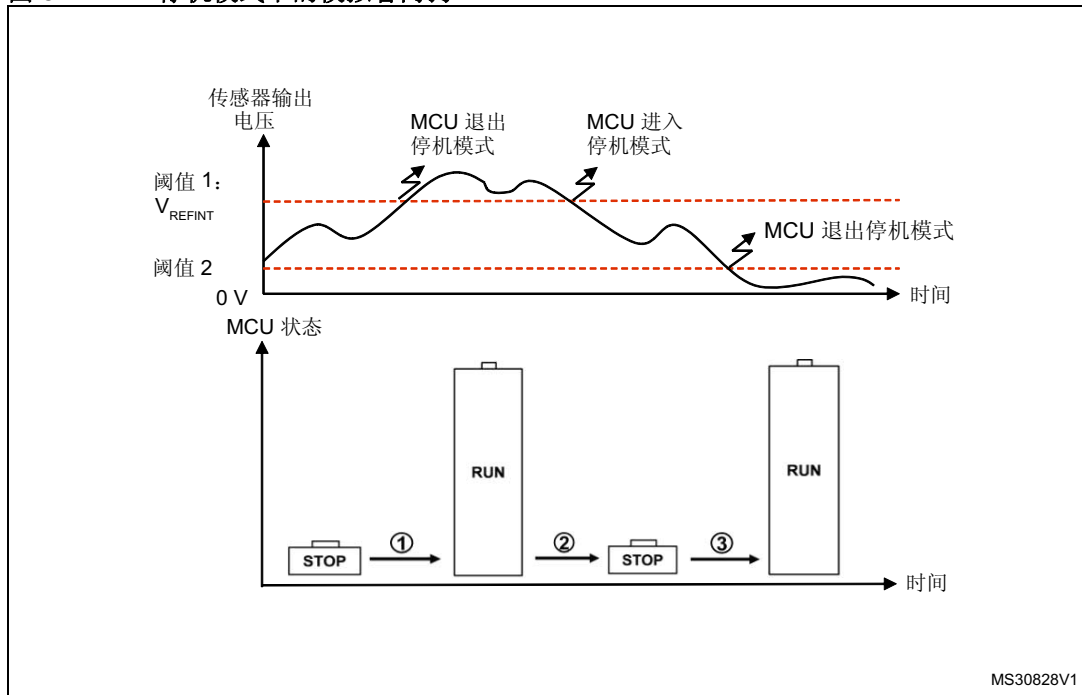
注：由于 DAC 外设已断电，因此无法在待机模式下使用 DAC\_OUT1。

在模拟看门狗应用中，COMP1 通过外部中断线 21（EXTI 线 21）配置，以在模拟输入电压超过  $V_{REFINT}$  时使 MCU 退出待机模式。COMP2 则通过 EXTI 线 22 设置，以便在模拟电压低于阈值下限时使 MCU 退出待机模式。若在整个过程中，模拟电压都处于定义的阈值范围内，MCU 将一直处于待机模式，从而降低功耗。

当模拟电压超过定义的阈值时，可通过切换至运行模式来降低平均功耗。

图 5 概述了一个阈值 1 高于阈值 2 的模拟看门狗应用。

图 5. 停机模式下的模拟看门狗



1. 当 MCU 处于停机模式时，若输入电压超过阈值 1，MCU 退出停机模式。
2. 当 MCU 处于运行模式时，若输入电压低于阈值 1，MCU 进入停机模式。
3. 当 MCU 处于停机模式时，若输入电压低于阈值 2，MCU 退出停机模式。

注：在停机模式下，只有 COMP1、COMP2 和  $V_{REFINT}$  继续耗电。有关功耗值，请参见特定的器件数据手册。



### 3 脉冲宽度测量

在 STM32F05xx 器件中，COMP2 输出可以重映射到内置定时器 TIM1 的 BKIN（刹车输入）。重映射 COMP2 输出时，可以测量具有特定高/低电平的信号宽度或频率（例如，移位信号）。图 6 显示了 COMP2 输出所有可能的输出重映射。

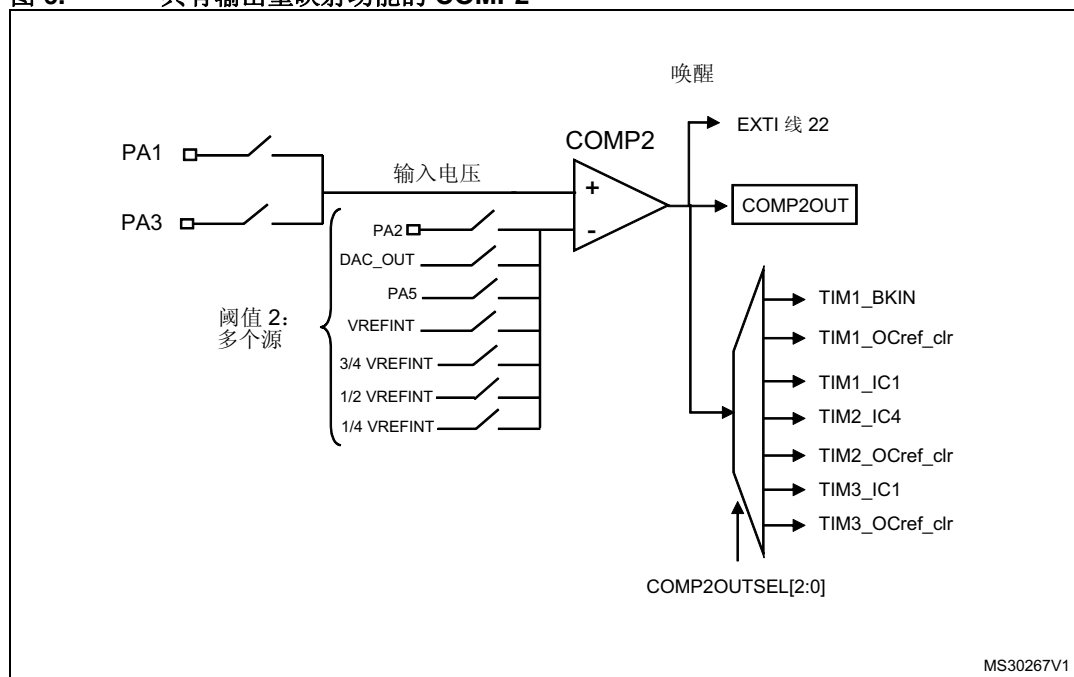
信号宽度需要测量的输入信号连接到 PA3 或 PA1。参考信号可通过以下方式供电：

- 内部参考电压 ( $V_{REFINT}$ 、 $3/4 V_{REFINT}$ 、 $1/2 V_{REFINT}$  或  $1/4 V_{REFINT}$ )
- 内置 DAC（通道 1）
- PA2 的外部引脚

COMP2 输出重映射通过 COMP2OUTSEL[2:0] 位实现。

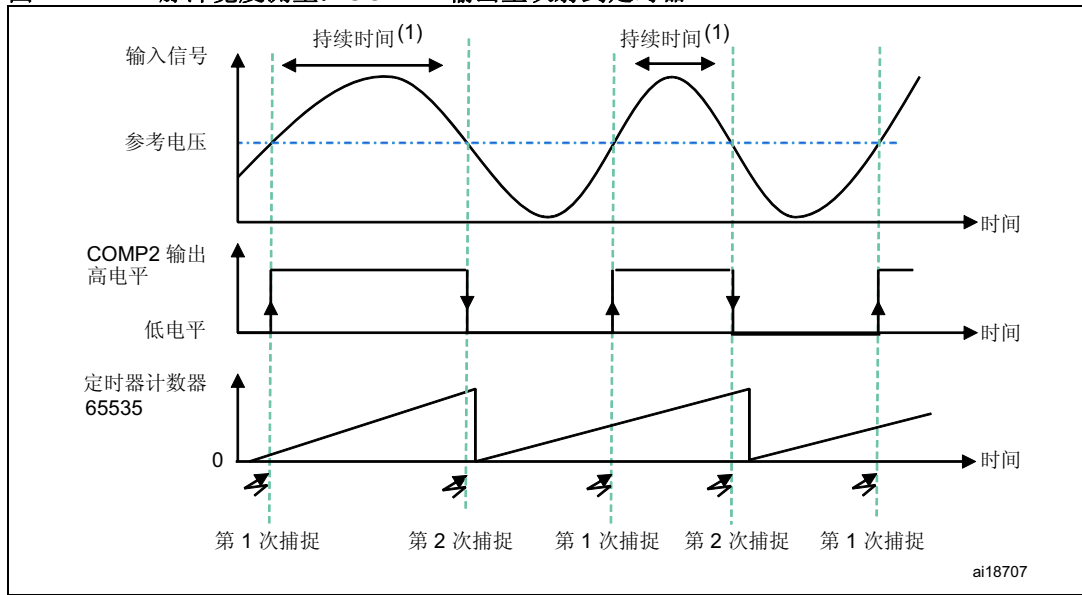
定时器输入捕获通道应配置为同时在上升沿和下降沿保存定时计数器值。当输入信号高于参考电压时，COMP2 输出处于高电平，此时会在定时器输入捕获上生成一个上升沿。当输入信号低于参考电压时，COMP2 输出处于低电平，此时会生成一个下降沿。两个连续事件之间经过的时间（下降沿到上升沿或者上升沿到下降沿）表示脉冲宽度。因此，只需对计数器值做减法即可测量脉冲宽度。图 7 概述了利用 COMP2 测量脉冲宽度的过程。

图 6. 具有输出重映射功能的 COMP2



1. DAC\_OUT: DAC 通道 1 输出  
 $V_{REFINT}$ : 内部参考电压  
 COMP2OUT: 比较器 2 输出（内部输出）  
 TIM1\_BK1: 定时器 1 断路输入  
 TIMx ICy: 定时器 x 输入捕获通道 y  
 TIMx\_OCref\_clr: 定时器 x 输出比较参考值清零

图 7. 脉冲宽度测量：COMP2 输出重映射到定时器



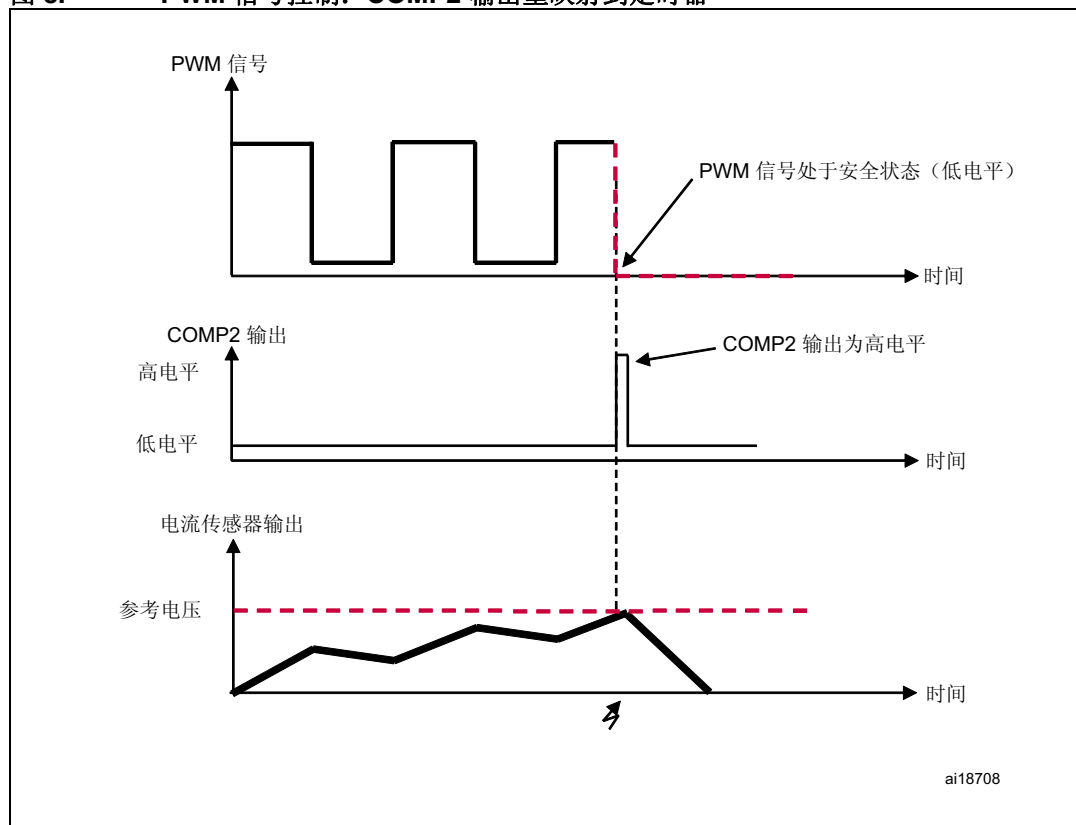
1. 应测量的持续时间。

- 注：
- 1 将定时器输入捕获通道配置为仅在上升沿或下降沿保存计数器值，即可获得信号频率。
  - 2 可将 DAC 输出 (DAC\_OUT) 用作反相输入，这样便可从内部提供参考电压（阈值），并用软件对此电压进行编程，范围为 0 V 到  $V_{REF+}$ 。

## 4 PWM 信号控制

在 STM32F05xx 器件中，COMP2 输出可以重映射到内置定时器 TIM1 的 BKIN 输入（刹车输入）（请参见图 6：具有输出重映射功能的 COMP2）。利用 COMP2 输出的重映射功能，可在发生模拟事件时提供一个独立于系统频率的快速响应时间。在此应用实例中，可以利用 PWM 信号在电流传感器输出连接到 COMP2 同相输入端时进行电机控制。这种情况下，参考电压连接到 COMP2 反相输入。当电流传感器输出超出所选阈值时，COMP2 输出会变为高电平，PWM 信号切换为安全状态。

图 8. PWM 信号控制：COMP2 输出重映射到定时器



注：当电流传感器电压达到参考电压时，COMP2 输出变为高电平。随后，PWM 和输出比较参考信号均变为低电平（进入安全状态）。

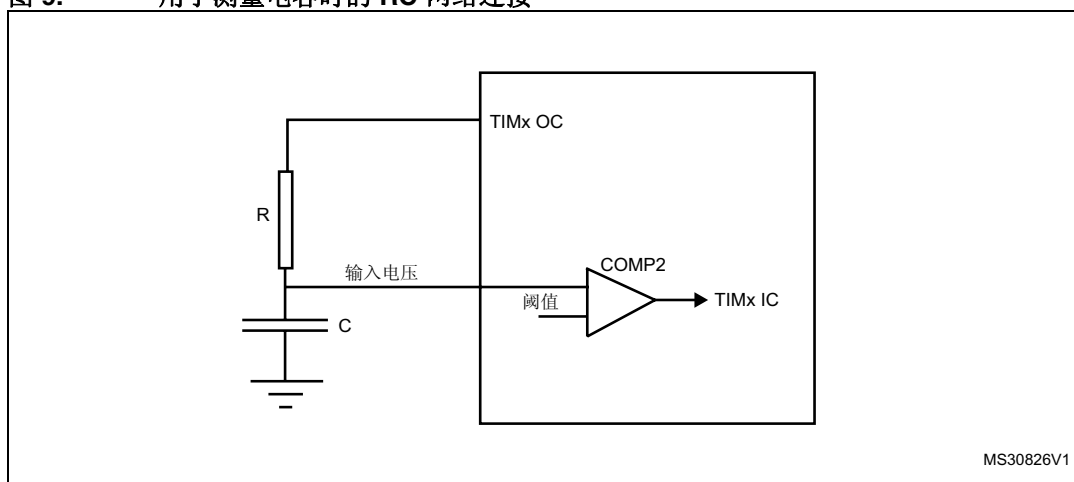
## 5 电容测量

如果将 COMP2 输出连接到定时器的输入捕获通道，则可以测量电容值。测量原理基于电阻电容 (RC) 网络充电时间的测量过程，方法如下：

- 测量充电时间
- 已知充电电阻 (R)
- 可计算未知的电容 (C)

图 9 介绍了 RC 网络到 STM32F05xx 器件的硬件连接。

图 9. 用于测量电容时的 RC 网络连接



电容测量过程包括通过电阻对电容进行充电和放电。充电/放电函数遵循指数曲线。充电函数如示例 1 所示。

### 示例 1

$$\text{Input voltage} = V_{DD}(1 - \exp(-t/T))$$

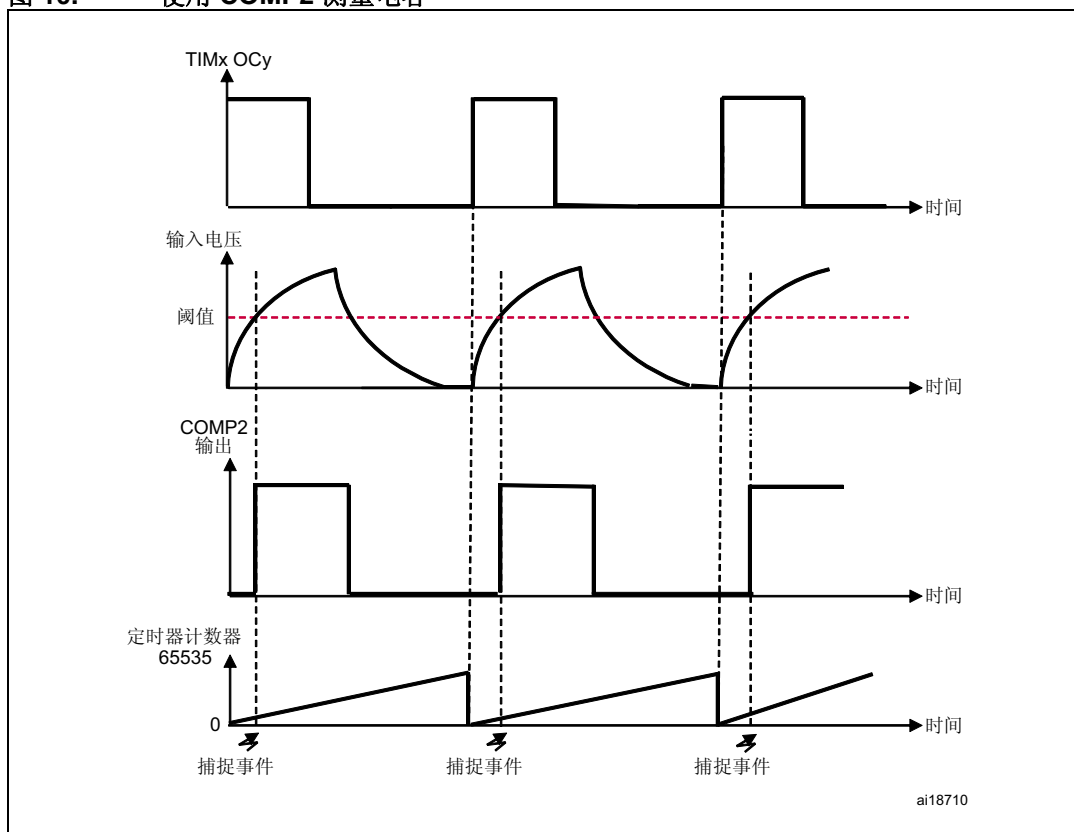
其中：

- $V_{DD}$  为正电源电压
- $t$  为时间
- $T$  为 RC 常数

通过 PWM 模式下配置的定时器输出比较通道 (TIMx OC)，可确保 RC 网络的充电和放电过程。该定时器通道连接到电阻。

输入电压连接到 COMP2 同相输入，而阈值连接到 COMP2 反相输入。当输入电压超过阈值时，COMP2 输出切换为高电平，同时发生保存计数器值的捕获事件。图 10 介绍了电容测量过程。

图 10. 使用 COMP2 测量电容



在输入电压超过阈值的瞬间，COMP2 输出切换为高电平，充电函数如公式 1 所示。

## 公式 1

$$\text{Threshold} = V_{DD}(1 - \exp(-tc/T))$$

其中“tc”是输入电压超过阈值的时间。

利用公式 1，可由公式 2 计算出电容值。

## 公式 2

$$C = -t/(R \times \ln(1 - \text{threshold}/(V_{DD})))$$

通常，阈值 R 和  $V_{DD}$  均为常数，因此电容测量公式简化为求解公式 3。

## 公式 3

$$C = -t/K$$

其中，K 可通过公式 4 求解

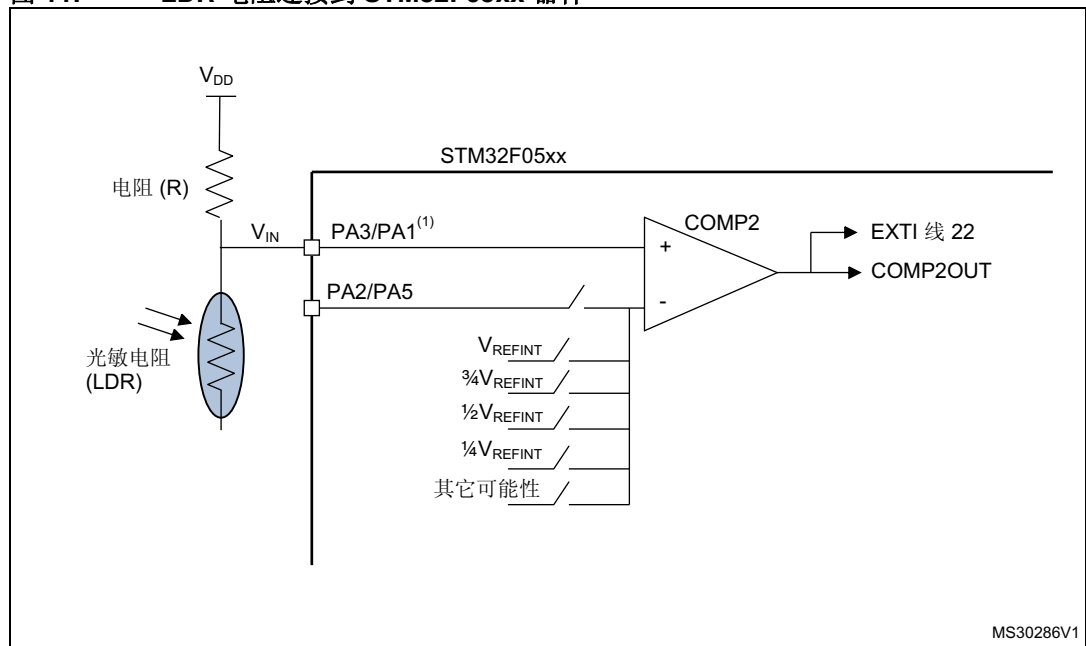
## 公式 4

$$K = R \times \ln(1 - \text{threshold}/(V_{DD}))$$

## 6 使用光敏电阻 (LDR) 控制亮度

在某些用电池供电的应用中，微控制器需要在环境明亮时上电；其它情况下，微控制器必须保持断电状态。对于此类应用，可以使用电阻随光强度变化的光敏电阻 (LDR) 来控制微控制器的状态。使用 LDR 传感器时，微控制器可根据 LDR 电阻提供的电压切换到低功耗模式或从低功耗模式切换回来。[图 11](#) 介绍了如何将 LDR 电阻连接到 STM32F05xx 器件。COMP2 同相输入可通过分压器 ( $V_{IN}$ ) 连接到 LDR 电阻。阈值既可设置为连接外部 PA2 或 PA5 引脚，也可在内部设置为  $V_{REFINT}$ 、 $3/4 V_{REFINT}$ 、 $1/2 V_{REFINT}$  或  $1/4 V_{REFINT}$ 。当 COMP2 输出 (COMP2OUT) 配置为同时检测 COMP2OUT 上的上升沿和下降沿时，可在内部将该输出连接到 EXTI 线 22，该线可用作中断源，以供切换到低功耗模式或从低功耗模式切换回来。

图 11. LDR 电阻连接到 STM32F05xx 器件



1. PA3 或 PA1 可用作 COMP2 同相输入。因此， $V_{IN}$  可连接到 PA3 或 PA1。

利用 [公式 5](#) 可计算出电压  $V_{IN}$ 。

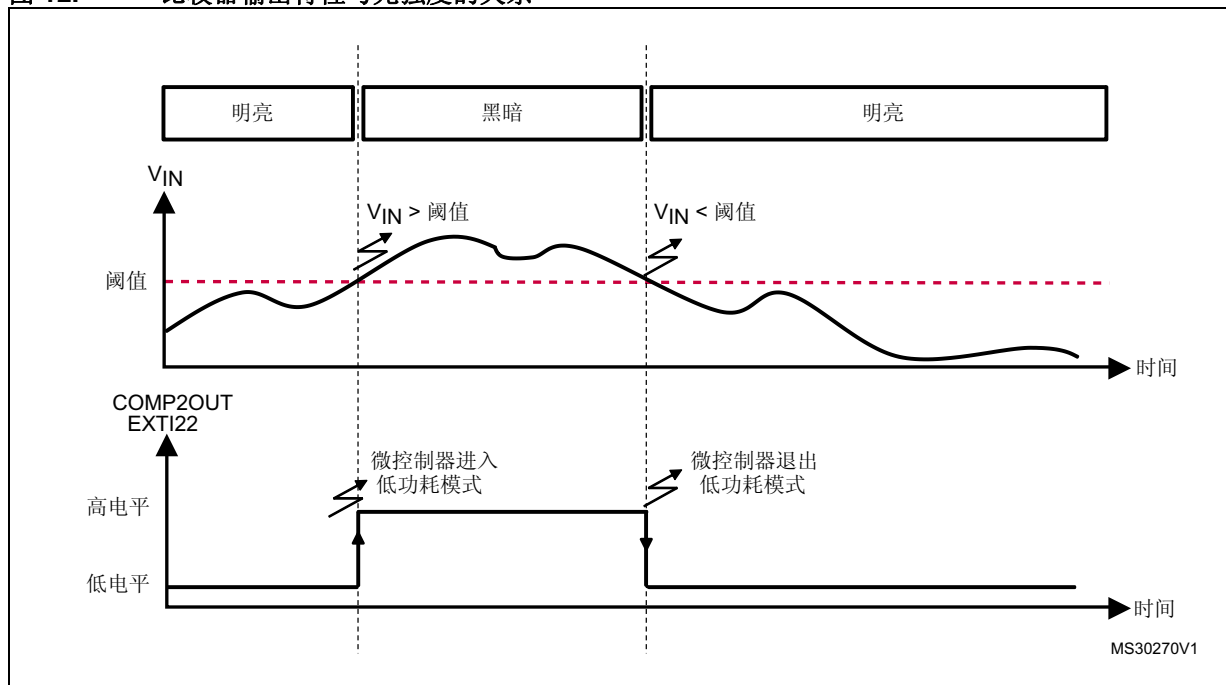
公式 5

$$V_{IN} = \frac{LDR}{(LDR + R)} \times V_{DD}$$

由于 LDR 电阻随光强度增加而减小，因此电压  $V_{IN}$  也会随 LDR 上光强度的增加而减小。

图 12 的上半部分显示了  $V_{IN}$  与不同光强度的关系。所选阈值 (COMP2 反相输入) 确定了环境黑暗/明亮的界限。图 12 的下半部分显示出, COMP2 输出 (COMP2OUT) 电平取决于  $V_{IN}$ , 因而也取决于光强度。利用 EXT1 线 22 (内部连接到 COMP2OUT), 微控制器可以检测 COMP2OUT 电平开关 (从高电平到低电平或相反)。

图 12. 比较器输出特性与光强度的关系



LDR 电阻可用于其它基于微控制器的应用, 而不只是用于黑暗环境控制 (例如: 直流继电器控制和自动聚焦)。

有关使用 LDR 电阻的模拟比较器的其它用法, 请参见 STM320518-EVAL (针对 STM32F05xx 器件) 演示固件。

在此演示中, 当光度发生变化时, 彩色 LCD 上显示的进度条会随着比较器检测到的光强度级别而发生变化。

## 7 版本历史

表 2. 文档版本历史

日期	版本	变更
2012 年 06 月 26 日	1	初始版本。



**请仔细阅读：**

中文翻译仅为方便阅读之目的。该翻译也许不是对本文档最新版本的翻译，如有任何不同，以最新版本的英文原版文档为准。

本档中信息的提供仅与ST产品有关。意法半导体公司及其子公司（“ST”）保留随时对本文档及本文所述产品与服务进行变更、更正、修改或改进的权利，恕不另行通知。

所有ST产品均根据ST的销售条款出售。

买方自行负责对本文所述ST产品和服务的选择和使用，ST概不承担与选择或使用本文所述ST产品和服务相关的任何责任。

无论之前是否有过任何形式的表示，本文档不以任何方式对任何知识产权进行任何明示或默示的授权或许可。如果本文档任何部分涉及任何第三方产品或服务，不应被视为ST授权使用此类第三方产品或服务，或许可其中的任何知识产权，或者被视为涉及以任何方式使用任何此类第三方产品或服务或其中任何知识产权的保证。

除非在ST的销售条款中另有说明，否则，ST对ST产品的使用和/或销售不做任何明示或默示的保证，包括但不限于有关适销性、适合特定用途（及其依据任何司法管辖区的法律的对应情况），或侵犯任何专利、版权或其他知识产权的默示保证。

意法半导体的产品不得应用于武器。此外，意法半导体产品也不是为下列用途而设计并不得应用于下列用途：（A）对安全性有特别要求的应用，例如，生命支持、主动植入设备或对产品功能安全有要求的系统；（B）航空应用；（C）汽车应用或汽车环境，且/或（D）航天应用或航天环境。如果意法半导体产品不是为前述应用设计的，而采购商擅自将其用于前述应用，即使采购商向意法半导体发出了书面通知，采购商仍将独自承担因此而导致的任何风险，意法半导体的产品设计规格明确指定的汽车、汽车安全或医疗工业领域专用产品除外。根据相关政府主管部门的规定，ESCC、QML或JAN正式认证产品适用于航天应用。

经销的ST产品如有不同于本文档中提出的声明和/或技术特点的规定，将立即导致ST针对本文所述ST产品或服务授予的任何保证失效，并且不应以任何形式造成或扩大ST的任何责任。

ST和ST徽标是ST在各个国家或地区的商标或注册商标。

本文档中的信息取代之前提供的所有信息。

ST徽标是意法半导体公司的注册商标。其他所有名称是其各自所有者的财产。

© 2013 STMicroelectronics 保留所有权利

意法半导体集团公司

澳大利亚 - 比利时 - 巴西 - 加拿大 - 中国 - 捷克共和国 - 芬兰 - 法国 - 德国 - 中国香港 - 印度 - 以色列 - 意大利 - 日本 - 马来西亚 - 马耳他 - 摩洛哥 - 菲律宾 - 新加坡 - 西班牙 - 瑞典 - 瑞士 - 英国 - 美国

www.st.com

