

## 前言

此应用笔记描述了STM32F3系列器件内置的模拟比较器的主要功能。应用场景为：

- 逐周期电流保护
- 频率和脉宽测量
- 模拟电压监测
- 防止电机控制应用中的伪过电流检测
- 湿度测量

五种应用场景展示了模拟比较器的用处以及它们如何与其他外设（例如数模转换器（DAC）和定时器）集成。

为确保用户快速入门，本文档中呈现的一些应用场景以C语言实现，在STM32F30x和STM32F37x DSP以及标准外设库封装中可用。

请注意，本文档并不能取代产品参考手册中的模拟比较器（COMP）部分。

本文中给出的所有数值仅作参考。参考相关的数据手册来获取有效的最新数据。

在整篇文档中：

- STM32F30x是指STM32F301、STM32F302、STM32F303、STM32F3x8、STM32F328、STM32F358、STM32F398和STM32F334。
- STM32F37x是指STM32F373和STM32F378产品系列。

## 目录

<b>1</b>	<b>模拟比较器概述</b> .....	<b>5</b>
1.1	迟滞 .....	5
1.2	传播延迟（响应时间） .....	7
<b>2</b>	<b>应用程序示例</b> .....	<b>8</b>
2.1	逐周期电流控制（峰值电流控制） .....	8
2.2	频率和脉宽测量 .....	10
2.3	模拟电压监测 .....	10
2.4	防止电机控制应用中的伪过电流检测 .....	12
2.5	湿度测量 .....	13
<b>3</b>	<b>版本历史</b> .....	<b>16</b>

## 表格索引

表1.	典型迟滞值 .....	6
表2.	文档版本历史 .....	16
表3.	中文文档版本历史 .....	16

## 图片目录

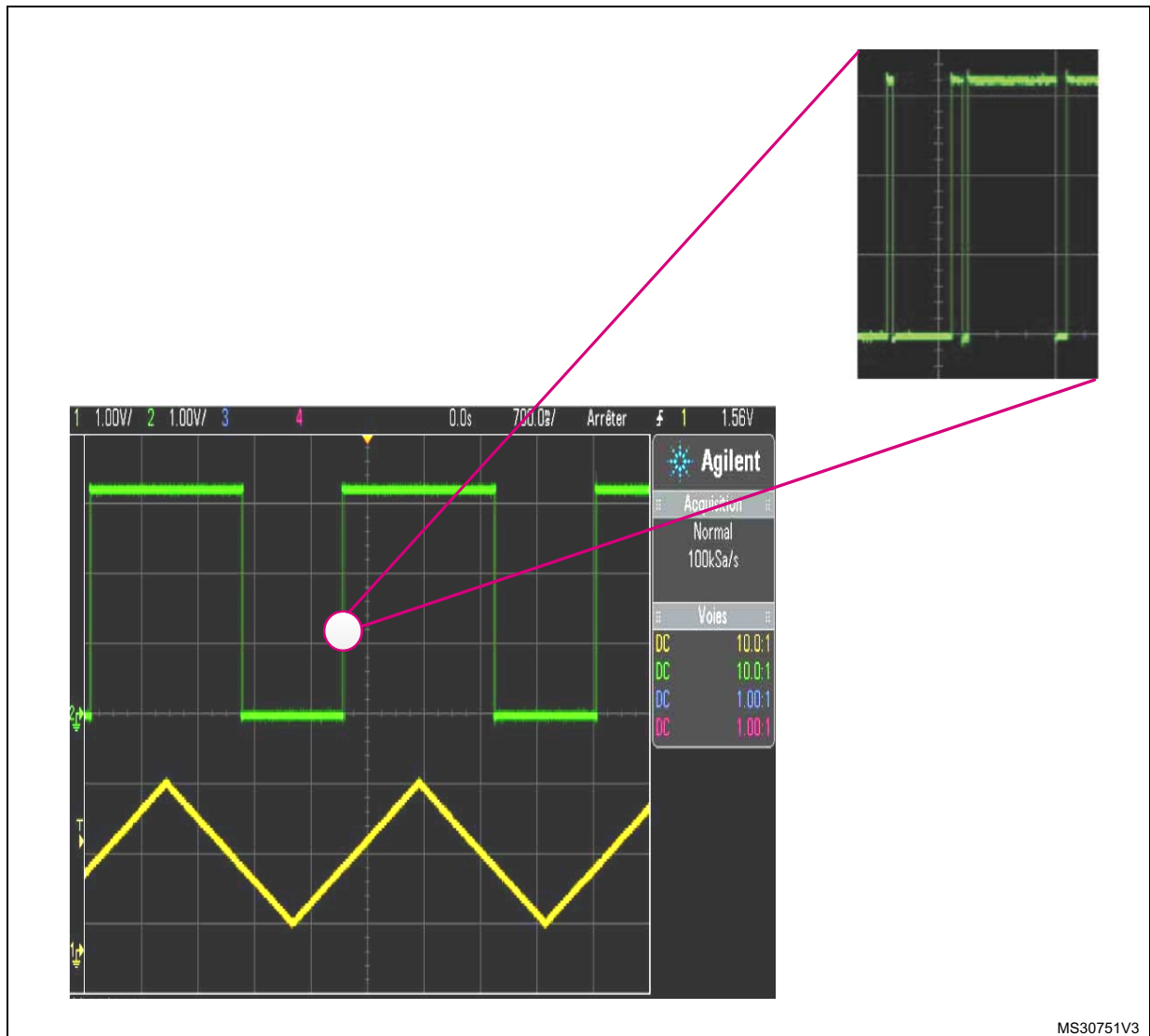
图1.	含噪声的输入对比较器输出的影响 .....	5
图2.	有和没有迟滞的比较器输出波形 .....	6
图3.	模拟比较器中的传播延迟 .....	7
图4.	逐周期电流控制框图 .....	9
图5.	低功耗模式下的比较器输出容量 .....	10
图6.	模拟电压监测应用中的电流消耗 .....	11
图7.	比较器输出消隐 .....	12
图8.	湿度测量应用的框图 .....	14

# 1 模拟比较器概述

## 1.1 迟滞

比较器将反相输入与正相输入进行比较，即使是细微的电压波动都会导致比较器输出突变。在许多应用中，这种突变不可接受。[图 1](#)显示输入有噪声时的输出突变。

图1. 含噪声的输入对比较器输出的影响



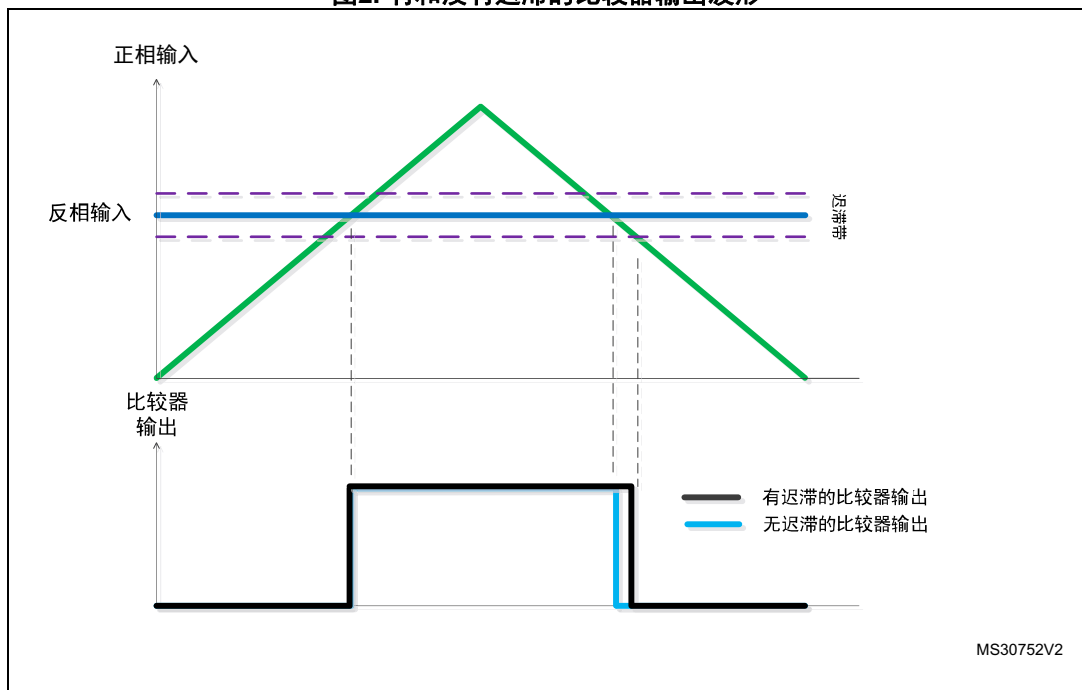
通过在比较器中添加迟滞，可以防止比较器输出突变。STM32F37x和STM32F30x器件中的模拟比较器具有可配置的迟滞值：无、低、中和高迟滞值。[表 1](#)显示了每种配置下的典型迟滞值。

注： 以下微控制器上不提供迟滞功能：  
 STM32F301x6/8、STM32F302x6/8、STM32F303x4/6/8、STM32F334xx、STM32F302xD/E和  
 STM32F303xD/E。

表1. 典型迟滞值

迟滞	典型值
无迟滞	0 mV
低迟滞	8 mV
中等迟滞	15 mV
高迟滞	31 mV

图2. 有和没有迟滞的比较器输出波形



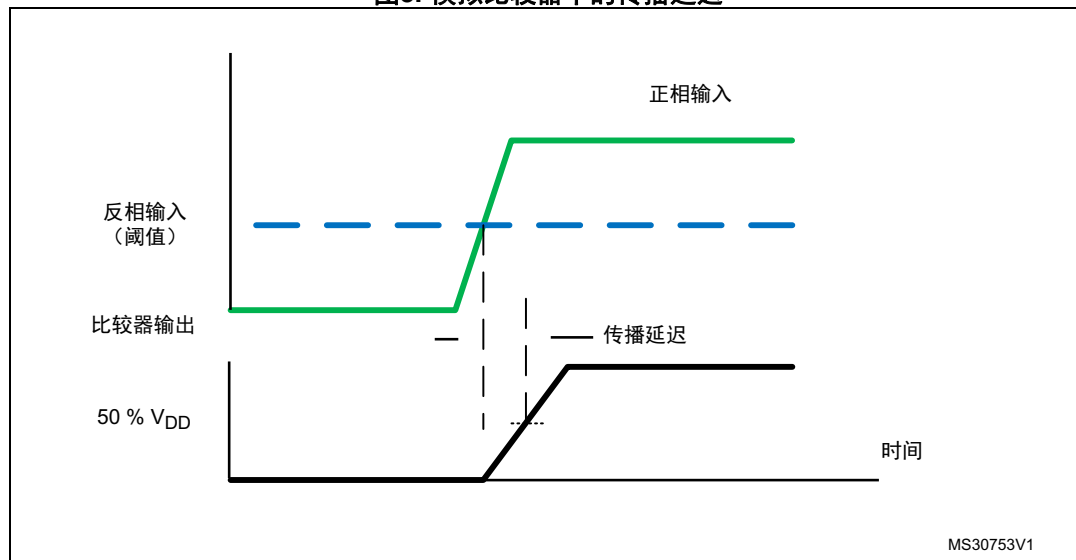
## 1.2 传播延迟（响应时间）

模拟比较器的另一种重要功能是传播延迟。此延迟被定义为输入信号超过阈值的时刻与输出状态变化的时刻之间的时间（通常是在输出达到 $V_{DD}$ 的50%时）。需在比较器传播延迟与功耗之间进行折中：比较器速度越快，其功耗越大。

在STM32F302xB/C、STM32F303xB/C和STM32F37x器件中，工作模式（速度/功耗）可配置，这对低功耗应用（例如电压监测）和时间关键应用（例如电机控制）十分有用。

STM32F30x和STM32F37x器件中的模拟比较器能以 $2\ \mu\text{s}/1.2\ \mu\text{A}$ 的低速/低功耗工作，还能以 $50\ \text{ns}/75\ \mu\text{A}$ 的高速/高功耗工作。

图3. 模拟比较器中的传播延迟



注：在STM32F301x6/8、STM32F302x6/8、STM32F303x4/6/8、STM32F302xD/E和STM32F303xD/E中，可编程速度/功耗功能不可用。传播延迟的典型值为 $25\ \text{ns}$ 。

## 2 应用程序示例

本节描述如何在应用示例（例如湿度测量、逐周期电机控制、电压监测和PWM控制）中使用STM32F30x和STM32F37x器件的内置模拟比较器。

### 2.1 逐周期电流控制（峰值电流控制）

逐周期电流控制（也称为峰值电流控制）是一种被广泛用于功率转换（通常用于直流/直流转换器、照明或电机驱动器）的技术。

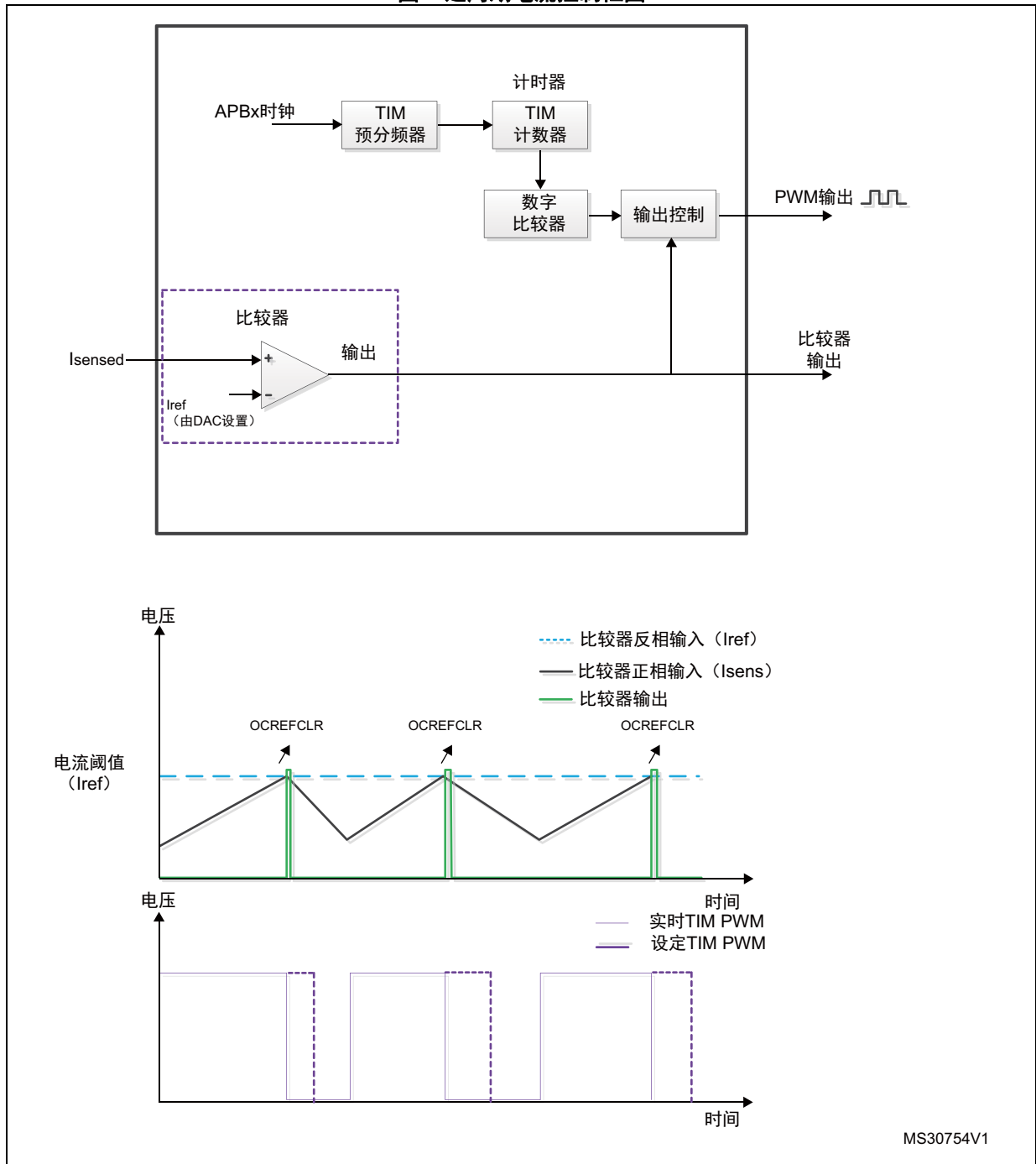
电流传感器输出（例如电阻分流器或电流互感器）连接到比较器正相（ $I_{SENSED}$ ）输入，并与为反相输入（简单的电阻分压器，如果必须动态地调节设定值，则为内置DAC）设置的电流限值进行比较。当被监测的电流超过电流限值时，比较器输出变为高电平，并在PWM周期的剩余时间内禁用PWM输出。在下一个周期中，如果比较器输出回到零（即电流低于限值），将重新使能PWM输出。

如[图 4](#)所示，STM32F30x和STM32F37x器件专为可在PWM模式下使用定时器控制电机的这类应用而设计。模拟比较器可用于实时监测电机电流。比较器输出可内部重定向至OCREFCLR信号，该信号控制PWM状态。内置数模转换器可内部连接至比较器的反相输入。

[图 4](#)中显示了实际PWM（实线）和设定PWM（虚线）值（如果没有OCrefClr反馈）。



图4. 逐周期电流控制框图



## 2.2 频率和脉宽测量

在STM32F30x和STM32F37x器件中，比较器输出可重定向至内置定时器的输入捕获。此功能允许脉宽和/或频率测量。输入信号（必须测量其信号宽度/频率）连接到模拟比较器的正相输入。阈值（参考）可通过以下方式供电：

- 内部参考电压 $V_{REFINT}$ （1.22V）和因数（ $1/4 V_{REFINT}$ 、 $1/2 V_{REFINT}$ 、 $3/4 V_{REFINT}$ ）
- 内置数模转换器
- 外部引脚

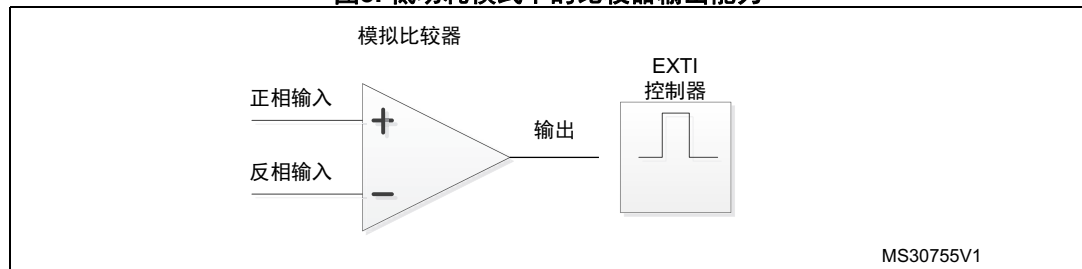
比较器输出内部重定向至输入捕获。在该模式下，在每个有效沿捕获定时器计数。当输入信号高于参考电压时，将比较器输出设置为高电平会在定时器输入捕获时生成上升沿，并在内部寄存器中捕获定时器计数。当输入信号低于参考电压时，将比较器输出设置为低电平会生成下降沿，并在内部寄存器中第二次捕获定时器计数。两次连续捕获之间的时间间隔表示脉宽。因此，要执行脉宽测量，只需将第二次和第一次的捕获时间相减。

## 2.3 模拟电压监测

STM32F30x和STM32F37x器件内置12位模数转换器（ADC），其采样频率极高，达到每秒数百万次采样。但是，此时电流消耗典型值为1 mA，如果连续供电，则可能不适合蓄电池供电的应用。因此，如果只需在超过预定义阈值时测量模拟电压（传感器输出），则在应用中使用模拟比较器十分有用。

在STM32F30x和STM32F37x器件中，模拟比较器被设计为即使在低功耗模式（睡眠模式和停止模式）下仍然继续工作。它们仍然带电，因此能够从低功耗模式唤醒MCU。事实上，比较器输出连接到EXTI控制器，它在低功耗模式下仍保持通电。

图5. 低功耗模式下的比较器输出能力



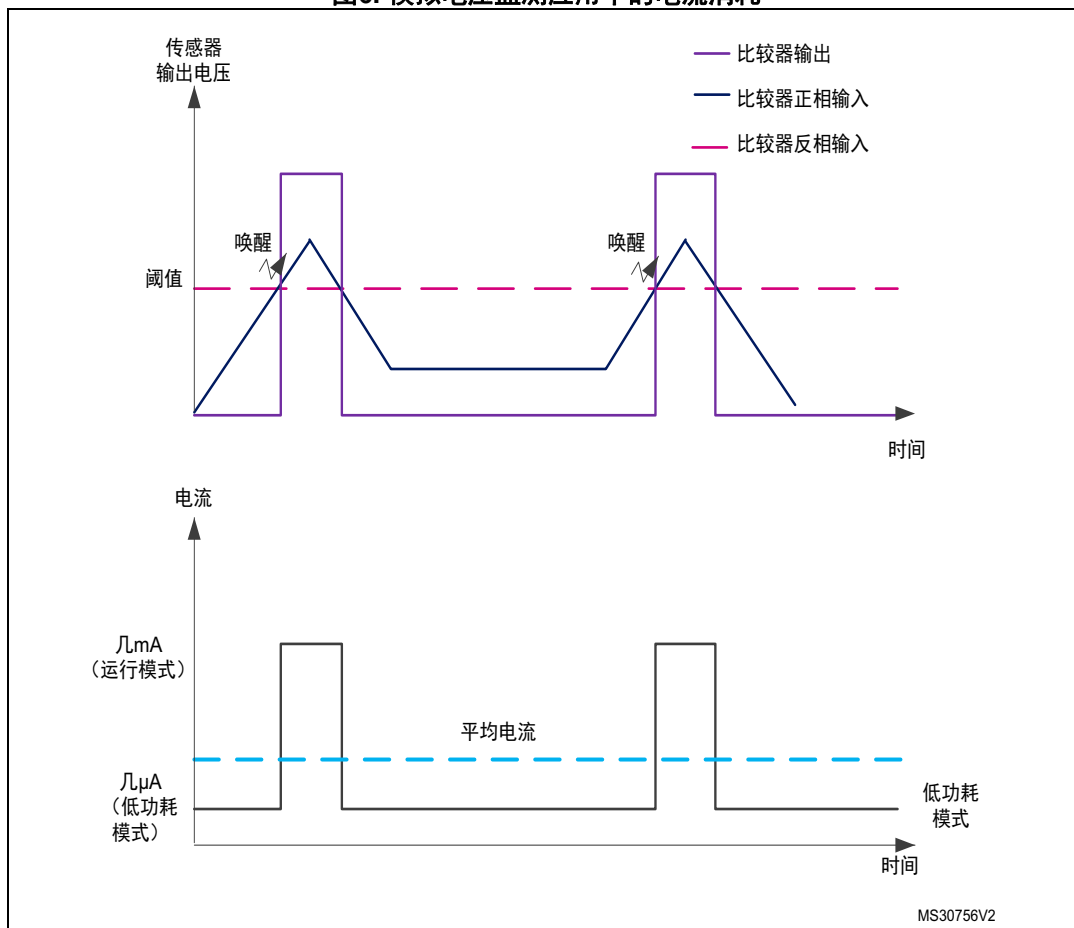
此外，比较器输入是ADC通道，因此PCB设计者无需在比较器输入和ADC通道间建立外部连接。

在传感器输出电压低于阈值的模拟电压监测应用中，MCU维持停止模式以节约电力。一旦传感器输出超过阈值，模拟比较器唤醒MCU，ADC通电，然后测量模拟输入电压。当传感器输出电压低于阈值时，MCU重新进入低功耗模式以延长电池寿命。

与任何模拟电压下始终使能ADC的应用相比，仅在需要（模拟电压大于阈值）时使能ADC，可显著减少平均功耗。

注：当需要监测特定电压范围或窗口内的外部信号时，可以使用窗口模式。在该模式下，比较器COMP1和COMP2的正相输入连接在一起，输入信号必须连接到COMP1的正相输入。在STM32F30x器件中，窗口模式对COMP3/COMP4和COMP5/COMP6可用。

图6. 模拟电压监测应用中的电流消耗



## 2.4 防止电机控制应用中的伪过电流检测

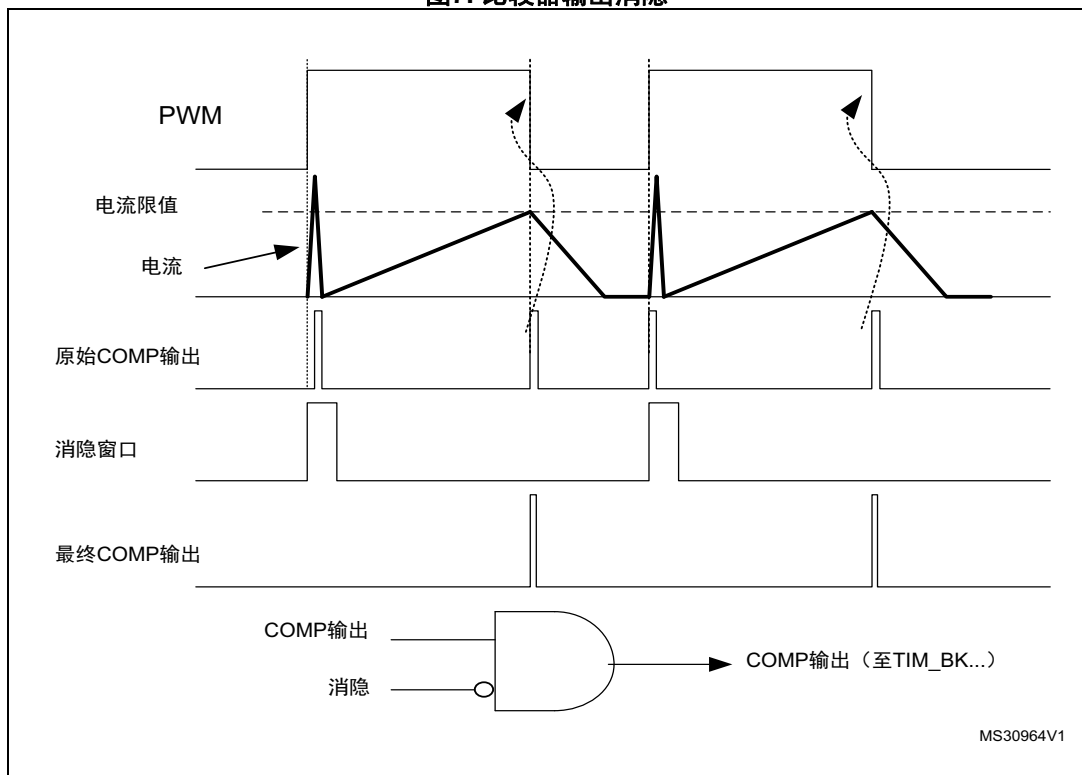
注：输出消隐功能仅在STM32F30x器件上可用。

在PWM启动时，短时间内极高的电流流经电阻分流器，在比较器看来可能大于反相输入。这种情况下，如果比较器连接到定时器断路输入，将设置比较器输出并可能生成意外的紧急停止。此启动电流在PWM周期开始时可接受，并且比较器不得将其作为故障电流来管理（短路、过载、接地故障等）。

在STM32F30x器件中，可使用定时器输出作为消隐源消隐模拟比较器输出。消隐源通过软件进行选择/配置，并与比较器输出进行与操作，得到最终的比较器输出，该输出在PWM周期开始时的峰值期间不为高。

图 7显示了比较器输出如何与定时器输出进行与操作，从而在设定时间段内消隐比较器输出。可以将用于PWM生成的同一TIM用于比较器消隐。

图7. 比较器输出消隐



STM32F30x\_DSP与标准外设库包stm32f30x\_dsp\_stdperiph\_lib的Project\STM32F30x\_StdPeriph\_Examples\COMP\COMP\_OutputBlanking文件夹中提供了C语言编写的示例代码。

注：STM32CubeF3固件包的Projects\STM32303C\_EVAL\Examples\COMP\COMP\_OutputBlanking和Projects\STM32303E\_EVAL\Examples\COMP\COMP\_OutputBlanking文件夹中提供了此示例。

COMP\_OutputBlanking示例旨在展示如何使用消隐功能。

在该示例中，COMP1的配置如下：

- 正相输入连接到PA1
- 反相输入连接到V<sub>REFINT</sub>（1.22V）
- 输出在PA0上可用
- 当正相输入的电压高于反相输入（V<sub>REFINT</sub>）时，将输出重定向至TIM1 BKIN以生成断路事件
- 使用TIM1 OC5作为消隐源

TIM1配置如下：

- TIM1周期为APB2时钟/周期 = 72000000/50000 = 1440 Hz
- PWM模式下配置的TIM1 CH2（PA9）的频率等于1440 Hz，占空比脉冲/周期 = 100 \* (37500/50000) = 75%
- PWM模式下配置的TIM1 OC5（内部通道：在GPIO上不可用）频率等于1440 Hz，高值等于脉冲/周期 = 2000/72000000 = 27.7微秒
- 在高极性时生成断路事件（当正相输入的电压高于反相输入时）

*注：* STM32CubeF3固件包的Projects\STM32303C\_EVAL\Examples\COMP\COMP\_OutputBlanking和Projects\STM32303E\_EVAL\Examples\COMP\COMP\_OutputBlanking文件夹中提供了此示例。

## 2.5 湿度测量

模拟比较器可内部连接至内置定时器的输入捕获。此特性便于使用充电/放电法测量电容值。此“湿度测量”应用基于STM32303C-EVAL和STM32303E-EVAL评估板中提供的HS1100/HS1101相对湿度电容传感器。

*注：* STM32F30x\_DSP与标准外设库包stm32f30x\_dsp\_stdperiph\_lib的Project\STM32F30x\_StdPeriph\_Examples\COMP\COMP\_Hygrometer文件夹中提供了应用源代码。

STM32CubeF3固件包的Projects\STM32303C\_EVAL\Examples\COMP\COMP\_Hygrometer和Projects\STM32303E\_EVAL\Examples\COMP\COMP\_Hygrometer文件夹中提供了此示例。

使用RxC时间常量的变化量执行电容测量。TIM4生成的方波信号通过充电电阻传输，以对电容传感器进行充电/放电。传感器上的电压（U<sub>c</sub>）来自以下公式：

$$U_c = V_{DD} \times (1 - e^{(-t / (R \times C))})$$

其中：

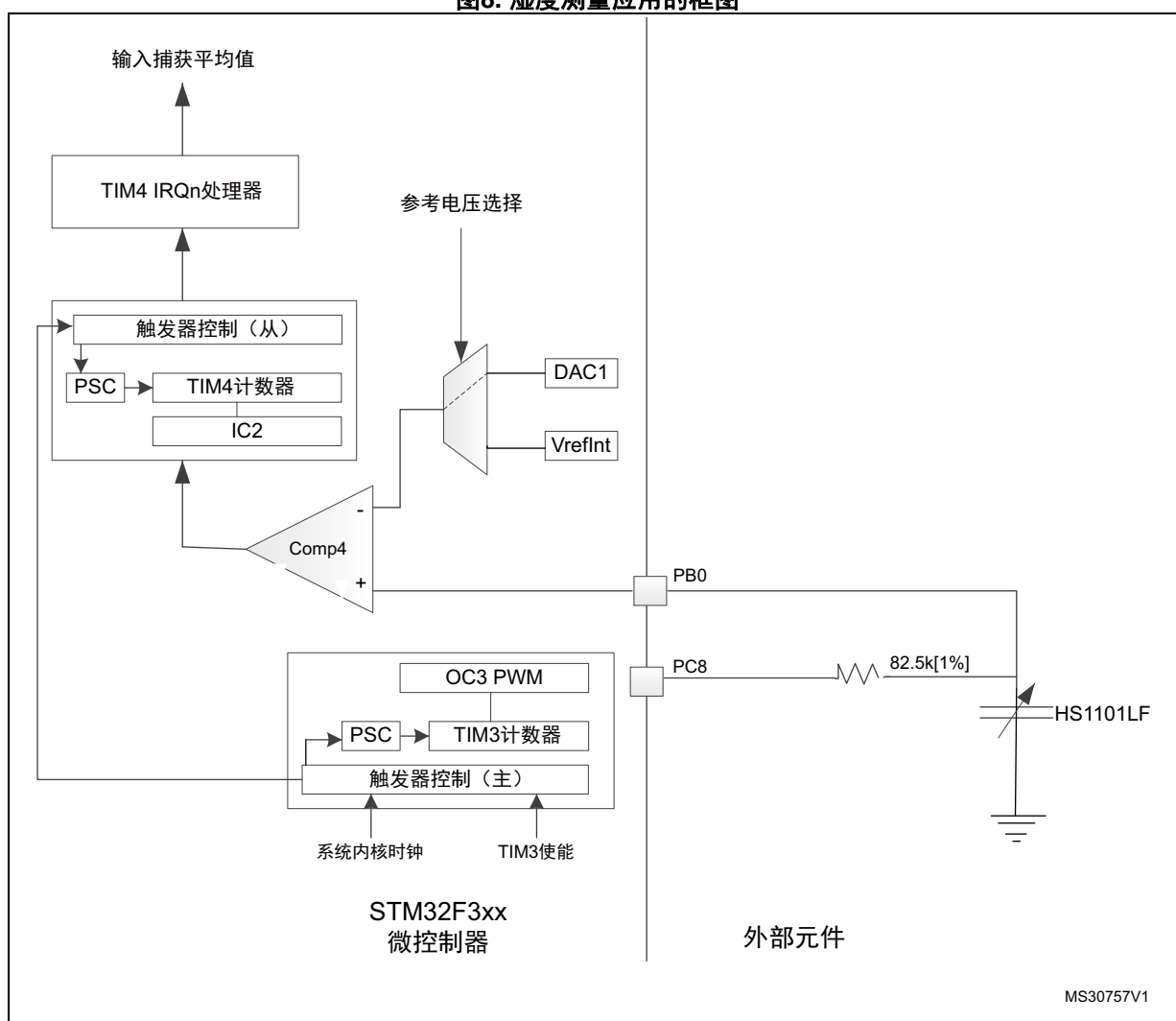
- V<sub>DD</sub>为MCU供电电压
- R为充电电阻
- C为传感器电容。

所用外设的配置如下：

1. COMP4配置如下：
  - a) 反相输入连接到DAC1
  - b) 正相输入连接到湿度传感器
  - c) 输出从内部连接到TIM4通道2（配置为输入捕获模式）。
2. TIM4的时钟频率为72 MHz，TIM4的通道2配置为输入捕获模式，用于测量时间常量。
3. TIM3的时钟频率为72 MHz，将通道3配置为PWM模式，占空比为50%。
4. DAC1用于设置阈值（参考），阈值等于2.85V。它从内部连接到COMP4反相输入。

图 8显示了应用的框图，以及所用外设如何互连。

图8. 湿度测量应用的框图



当正相COMP4达到DAC1值时，电容值的计算公式如下：

$$\text{TriggerTime} = \text{RES} * \text{电容} * \ln \left( \frac{V_{DD}}{V_{DD} - V_{REF}} \right)$$

其中：

- TriggerTime是捕获事件的发生时间
- RES为充电电阻。其值为82.5 K 1%
- Capacitance为湿度传感器的电容值
- $V_{DD}$ 为器件电源电压。它等于3.3V
- $V_{REF}$ 是DAC1生成的阈值

当 $V_{REF} = 2.086\text{V}$ （由DAC生成）时， $\ln \left( \frac{V_{DD}}{V_{DD} - V_{REF}} \right)$ 约等于1。

因此， $\text{TriggerTime} = \text{RES} * \text{Capacitance}$ ， $\text{Capacitance} = \text{TriggerTime}/\text{RES}$ ，所以  
 $\text{Capacitance} = (\text{ICReadValue}/\text{SystemCoreClock})/\text{RES}$

其中：

- ICReadValue是捕获的TIM4计数值
- SystemCoreClock是器件运行频率（特指TIM3和TIM4）。

在计算电容后，通过以下公式计算湿度值：

$$\text{RH} (\%) = -3.4656 * 10^3 * X^3 + 1.0732 * 10^4 * X^2 - 1.0457 * 10^4 * X + 3.2459 * 10^3$$

其中：

- $X = \text{Capacitance}/\text{Capacitance55RH}$
- Capacitance55RH为相对湿度为55%时的电容。

### 3 版本历史

表2. 文档版本历史

日期	版本	变更
2013年1月31日	1	初始版本。
2015年1月29日	2	将适用性扩展至STM32F302xD/E和STM32F303xD/E。更新了以下内容： <ul style="list-style-type: none"> <li>- <a href="#">前言</a></li> <li>- <a href="#">第 1.1 节: 迟滞</a>,</li> <li>- <a href="#">第 1.2 节: 传播延迟 (响应时间)</a>,</li> <li>- <a href="#">第 2.4 节: 防止电机控制应用中的伪过电流检测</a></li> <li>- <a href="#">第 2.5 节: 湿度测量</a></li> </ul>
2017年1月5日	3	更新了 <a href="#">图 2: 有和没有迟滞的比较器输出波形</a> 中从有/无迟滞的相同电平开始的比较器输出正边沿。

表3. 中文文档版本历史

日期	版本	变更
2018年5月11日	1	中文初始版本。



**重要通知 - 请仔细阅读**

意法半导体公司及其子公司 (“ST”) 保留随时对 ST 产品和 / 或本文档进行变更、更正、增强、修改和改进的权利，恕不另行通知。买方在订货之前应获取关于 ST 产品的最新信息。ST 产品的销售依照订单确认时的相关 ST 销售条款。

买方自行负责对 ST 产品的选择和使用，ST 概不承担与应用协助或买方产品设计相关的任何责任。

ST 不对任何知识产权进行任何明示或默示的授权或许可。

转售的 ST 产品如有不同于此处提供的信息的规定，将导致 ST 针对该产品授予的任何保证失效。

ST 和 ST 徽标是 ST 的商标。所有其他产品或服务名称均为其各自所有者的财产。

本文档中的信息取代本文档所有早期版本中提供的信息。本文档的中文版本为英文版本的翻译件，仅供参考之用；若中文版本与英文版本有任何冲突或不一致，则以英文版本为准。

© 2018 STMicroelectronics - 保留所有权利