

---

**STM32F401 和 STM32F411 系列上的外设内部互联**

---

**前言**

在 STM32F4 系列最高性能和最低价格的基础上，STM32F401/411 外设可以通过名为“外设内部互联矩阵”的网络实现自主通信，无需 CPU 介入。

STM32F401/411 系列产品的这一新特性增强了 CPU 的实时性能，并显著降低了功耗。

本文档首先描述了外设内部互联矩阵的特性，然后概述了外设内部互联以及如何根据应用对其进行配置。详细的应用实例使描述更加完整。

本应用笔记必须与 STM32F401 系列参考手册 (RM0383) 和 STM32F411 系列参考手册 (RM0368) 一起阅读。两参考手册均可从 <http://www.st.com/stm32> 下载。

**表 1. 适用产品**

类型	产品线
微控制器	STM32F401 STM32F411

# 目录

<b>1</b>	<b>模块概述</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>外设内部互联矩阵</b> .....	<b>7</b>
2.1	定时器模块 .....	8
2.1.1	从 TIM 到 TIM .....	8
2.1.2	从 TIM 到 ADC .....	9
2.1.3	从 TIM 到 DMA .....	9
2.2	模拟模块 .....	10
2.2.1	从温度传感器到 ADC1 .....	10
2.2.2	从模拟模块到 DMA .....	10
2.3	时钟模块 .....	10
2.3.1	从 CSS 到 TIM .....	10
2.3.2	从 LSE、LSI、RTC 到 TIM .....	10
2.4	系统模块 .....	11
2.4.1	从 VBAT、VREFINT 到 ADC .....	11
2.4.2	从 EXTI 到模拟模块 .....	11
2.5	通信接口 .....	11
2.5.1	从 USB 模块到 TIM .....	11
2.5.2	从通信接口到 DMA .....	12
2.6	DMA 模块 .....	12
<b>3</b>	<b>应用程序示例</b> .....	<b>13</b>
3.1	硬件说明 .....	13
3.2	软件说明 .....	13
<b>4</b>	<b>结论</b> .....	<b>15</b>
<b>5</b>	<b>修订历史</b> .....	<b>16</b>

## 表格索引

表 1.	适用产品 .....	1
表 2.	STM32F401/411 外设内部互联矩阵 .....	7
表 3.	外设内部互联配置信息 .....	14
表 4.	文档修订历史 .....	16
表 5.	中文文档修订历史 .....	16

# 图片索引

图 1.	STM32F401/411 系列的外设内部互联概览.....	6
图 2.	主 / 从定时器概述 .....	9
图 3.	主 TIM/ 从 ADC 概述.....	9
图 4.	SOF 连接 .....	11
图 5.	应用概述 .....	13

# 1 模块概述

若干外设可以直接进行互联和配置，用以发送或响应可以被路由到器件上其他外设的事件信号。

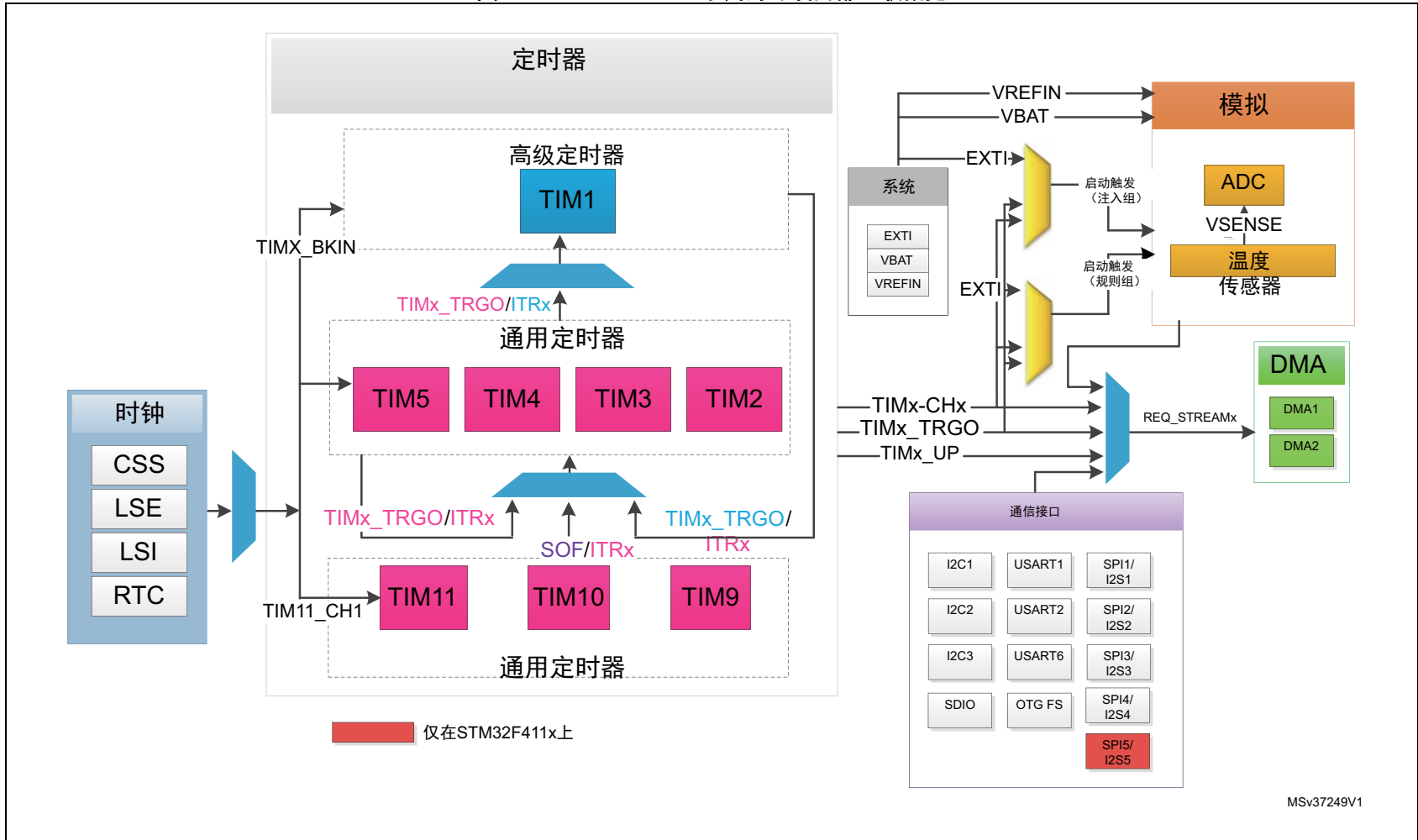
STM32F401/411 系列的自带外设包括：

- **定时器** — 直接在内部互联或连到 DMA 或模拟模块。
- **模拟模块** — 接收来自定时器的事件或向 DMA 发送事件。
- **时钟模块** — 向定时器发送事件。
- **系统模块** — 向模拟模块发送事件。
- **通信接口** — 向定时器或 DMA 发送事件。

STM32F401/411 系列的外设内部互联见 [图 1：STM32F401/411 系列的外设内部互联概览](#)。



图 1. STM32F401/411 系列的外设内部互联概览



MSv37249V1

## 2 外设内部互联矩阵

STM32F401/411 的外设通过名为“外设内部互联矩阵”的网络实现互联，该网络可以使某一外设在不唤醒 CPU 的情况下与另一个外设直接相连。

根据不同外设，互联可以工作于运行（Run）、休眠（Sleep）和停止（Stop）模式。

响应事件的外设称为**用户**，发送事件的外设则称为**发生器**。

表 2. STM32F401/411 外设内部互联矩阵<sup>(1)</sup>

发生器		用户								
		定时器						DMA		模拟
		TIM 1	TIM 2	TIM 3	TIM 4	TIM 5	TIM 11	DMA1	DMA2	ADC1
定时器	TIM1	-	X	X	X	-	-	-	X	X
	TIM2	X	-	X	X	X	-	X	-	X
	TIM3	X	X	-	X	X	-	X	-	X
	TIM4	X	X	X	-	X	-	X	-	X
	TIM5	X	-	X	-	-	-	X	-	X
模拟	ADC1	-	-	-	-	-	-	-	X	-
	VSENSE	-	-	-	-	-	-	-	-	X
时钟	LSI	-	-	-	-	X	-	-	-	-
	LSE	-	-	-	-	X	-	-	-	-
	RTC	-	-	-	-	X	X	-	-	-
	CSS	X	-	-	-	-	-	-	-	-

表 2. STM32F401/411 外设内部互联矩阵<sup>(1)</sup> (续)

发生器		用户								
		定时器						DMA		模拟
		TIM 1	TIM 2	TIM 3	TIM 4	TIM 5	TIM 11	DMA1	DMA2	ADC1
通信接口	OTG FS	-	X	-	-	-	-	-	-	-
	SPI1/I2S1	-	-	-	-	-	-	-	X	-
	SPI2/I2S2	-	-	-	-	-	-	X	-	-
	SPI3/I2S3	-	-	-	-	-	-	X	-	-
	SPI4/I2S4	-	-	-	-	-	-	-	X	-
	SPI5/I2S5	-	-	-	-	-	-	-	X	-
	I2C1	-	-	-	-	-	-	X	-	-
	I2C2	-	-	-	-	-	-	X	-	-
	I2C3	-	-	-	-	-	-	X	-	-
	USART1	-	-	-	-	-	-	-	X	-
	USART2	-	-	-	-	-	-	X	-	-
	USART6	-	-	-	-	-	-	-	X	-
SDIO	-	-	-	-	-	-	-	X	-	
系统	VBAT	-	-	-	-	-	-	-	-	X
	VREFINT	-	-	-	-	-	-	-	-	X
	EXTI	-	-	-	-	-	-	-	-	X

1. 灰色部分表示外设仅适用于 STM32F411 产品。

## 2.1 定时器模块

### 2.1.1 从 TIM 到 TIM

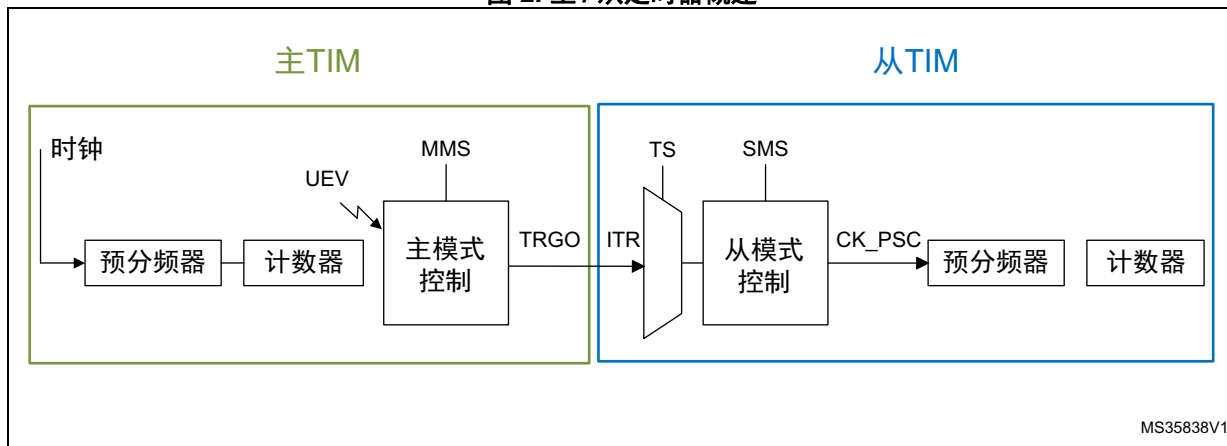
某些定时器从内部连接在一起，以实现定时器同步或链接。当某个定时器 (TIMx) 被配置为主模式时，可对另一个配置为从模式的定时器 (TIMy) 的计数器执行复位、启动、停止操作或为其提供时钟。

主输出为 TIMx\_TRGO 信号。该输出通过 TIMx\_CR2 寄存器配置为定时器事件，并发送至 TIMy\_ITR0/ITR1/ITR2/ITR3 输入。

[图 2: 主/从定时器概述](#)简要介绍了触发选择和主模式选择框图。



图 2. 主 / 从定时器概述



关于该特性的描述见 RM0368 和 RM0383 参考手册的 *定时器同步* 章节，所有可能的主 / 从连接详见 *TIMx 内部触发连接*。

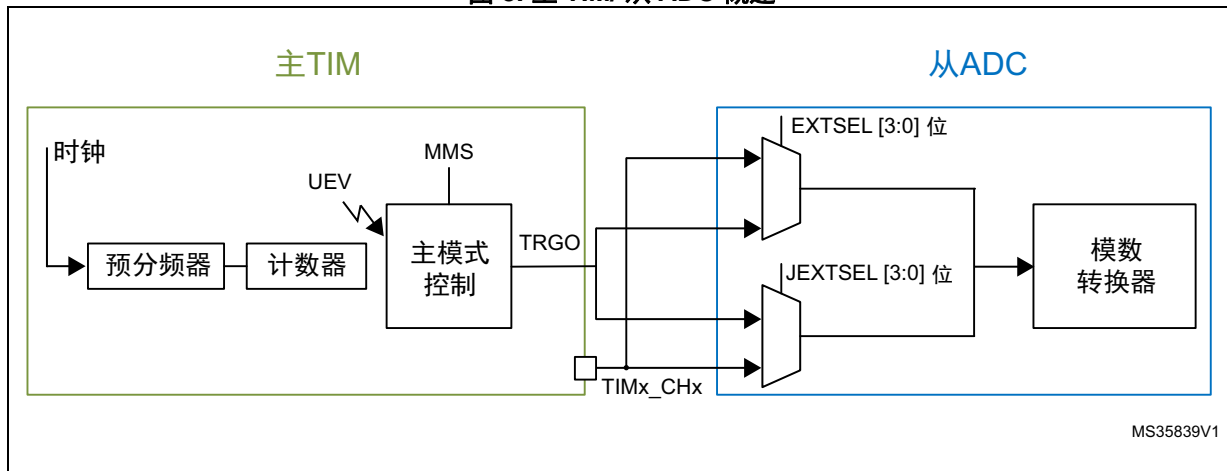
### 2.1.2 从 TIM 到 ADC

一些定时器可用于产生 ADC 触发事件。

定时器输出可以是 TIMx\_TRGO 信号或 TIMx\_CHx 事件。它输出为 ADC EXTSEL[3:0] 和 JEXTSEL [3:0] 信号。

图 3: 主 TIM/ 从 ADC 概述简要介绍了触发选择和主模式选择框图。

图 3. 主 TIM/ 从 ADC 概述



关于 ADC 同步的相关描述见 RM0385 参考手册的 *外部触发和触发极性* 章节。关于定时器和 ADC 常规及注入通道间连接的更多信息，请参见 RM0385 参考手册的 *常规通道外部触发表格* 和 *注入通道外部触发表格*。

### 2.1.3 从 TIM 到 DMA

请参见第 2.6 节: *DMA 模块*。

## 2.2 模拟模块

模拟模块包括：

- ADC 模块 (ADC1)
- 温度传感器模块

### 2.2.1 从温度传感器到 ADC1

在 STM32F401/411 器件上，温度传感器在内部与 ADC1\_IN18 输入通道相连。ADC1\_IN18 用于将传感器输出电压或 VBAT 转换为数字值。

温度传感器参考手册章节描述了传感器和 ADC 之间的连接以及读取转换器的程序。

### 2.2.2 从模拟模块到 DMA

请参见 [第 2.6 节：DMA 模块](#)。

## 2.3 时钟模块

时钟模块包括：

- LSE 时钟
- LSI 时钟
- 时钟安全系统 (CSS)
- 实时时钟 (RTC)

### 2.3.1 从 CSS 到 TIM

CSS 可生成系统错误。此时，时钟故障事件发送至 TIM1 刹车输入。

刹车功能的目的是保护由 TIM1 和 TIM8 定时器产生的 PWM 信号所驱动电源开关。

可能的刹车源列表见 [使用刹车功能 \(TIM1\)](#) 参考手册章节。

### 2.3.2 从 LSE、LSI、RTC 到 TIM

外部时钟 (LSE)、内部时钟 (LSI) 和 RTC 唤醒中断可用作通用定时器 (TIM5 通道 4/TIM11 通道 1) 的输入。

该特性描述见 RM0368 和 RM0383 参考手册的下列章节：

- [基于 TIM5/TIM11 的内部 / 外部时钟测量](#)
- [TIM5 选项寄存器 \(TIM5\\_OR\)](#)
- [TIM11 选项寄存器 1 \(TIM11\\_OR\)](#)

## 2.4 系统模块

系统模块包括：

- 内部参考电压 ( $V_{REFINT}$ )
- $V_{BAT}$  电源电压
- 外部中断 / 事件控制器 (EXTI)

### 2.4.1 从 VBAT、VREFINT 到 ADC

$V_{BAT}$  通道连接到通道 ADC1\_IN18。通过 ADC\_IN18 通道，它可以转换为注入通道或常规通道。

$V_{REFINT}$  连接到 ADC\_IN17 通道。

参见下列参考手册章节，获得关于  $V_{BAT}$ 、 $V_{REFINT}$  和 ADC 之间互联的详细信息：

- [通道选择](#)
- [电池充电监视](#)

### 2.4.2 从 EXTI 到模拟模块

EXTI 可用于生成 ADC 触发事件或启动 DAC 转换。

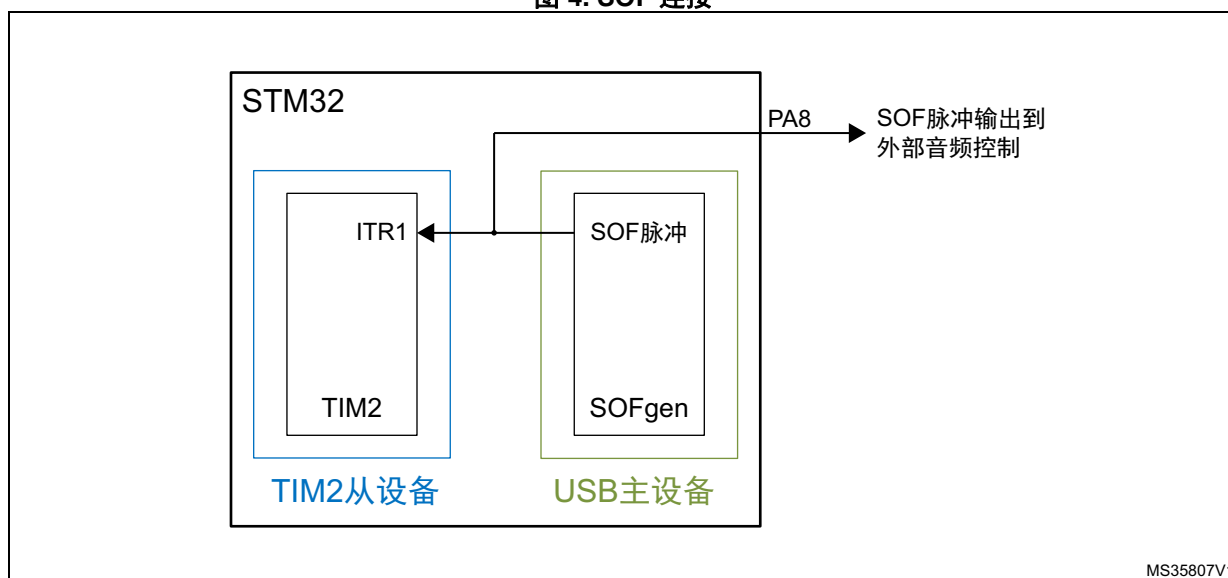
关于 ADC 同步的相关描述见 RM0385 参考手册的[外部触发和触发极性](#)章节。

## 2.5 通信接口

### 2.5.1 从 USB 模块到 TIM

USB OTG\_FS SOF 脉冲信号可以触发 TIM2 通用定时器。

图 4. SOF 连接



MS35807V1

关于 USB 和 TIM2 互联的描述，详见 RM0368 和 RM0383 参考手册的 *SOF 触发* 章节。

### 2.5.2 从通信接口到 DMA

请参见 [第 2.6 节：DMA 模块](#)。

## 2.6 DMA 模块

每个数据流都与一个 DMA 请求相关联，此 DMA 请求可以从 8 个可能的通道请求中选出。此选择由 DMA\_SxCR 寄存器中的 CHSEL[2:0] 位控制。来自外设的 8 个请求（TIM、ADC、SPI、I2C 等）独立连接到每个通道，具体的连接取决于产品实现情况。

该特性描述见 RM0368 和 RM0383 参考手册的下列表格：

- *DMA1 请求映射*
- *DMA2 请求映射*

### 3 应用程序示例

本应用示例演示了如何在 STM32F401/411 产品上使用外设内部互联矩阵，如何在并行模式中同步 TIM 外设。

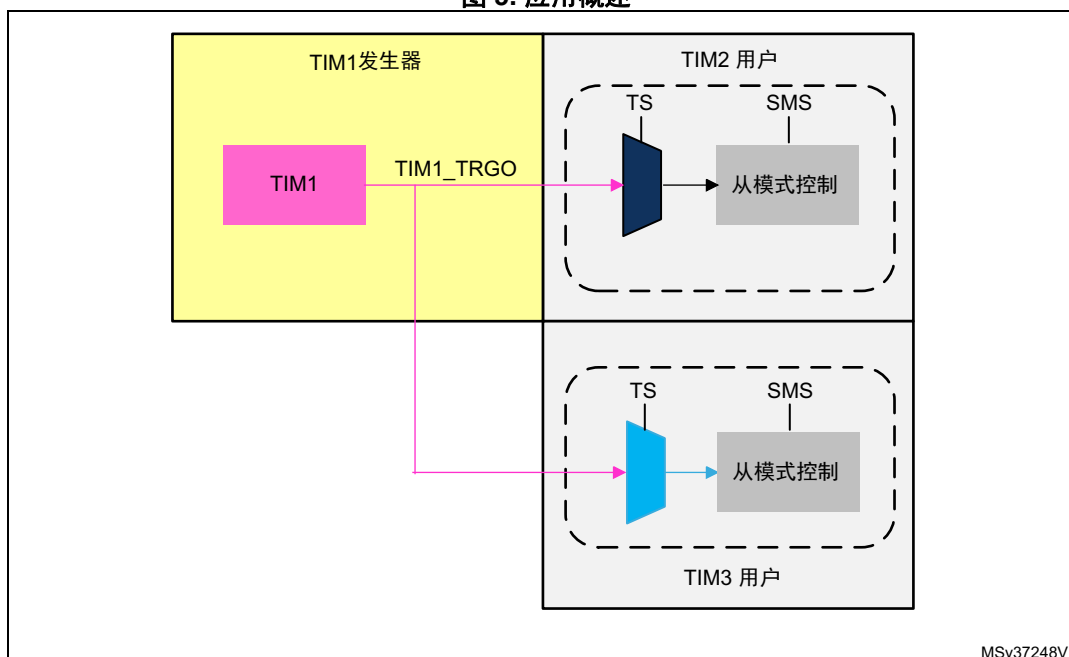
该固件基于 STM32F4xx HAL 驱动器，后者属于 STM32CubeF4 系列。

#### 3.1 硬件说明

本例中使用了三个定时器：

- TIM1 配置为主定时器：
  - PWM 模式使能
  - TIM2 更新事件用作触发输出。
- TIM2 和 TIM3 作为 TIM1 的从设备使用
  - PWM 模式使能
  - ITR0(TIM1) 用作两个从定时器的输入。

图 5. 应用概述



1. 发生器 (TIM1) 表示为黄色，用户模块 (TIM2 和 TIM3) 表示为灰色高亮。

#### 3.2 软件说明

TIM1 计数器时钟频率为 84 MHz。

TIM1 主定时器工作在 TIM1 频率：

- TIM1 频率 = TIM1 计数器时钟 / (TIM1 周期 + 1) = 328.125 KHz
- 占空比等于 TIM2\_CCR1 / (TIM2\_ARR + 1) = 25%。

TIM2 从定时器工作频率为：

- $(\text{TIM1 频率}) / (\text{TIM2 周期} + 1) = 32.815 \text{ KHz}$
- 占空比等于  $\text{TIM2\_CCR1} / (\text{TIM2\_ARR} + 1) = 30\%$ 。

TIM3 从定时器工作频率为：

- $(\text{TIM1p 频率}) / (\text{TIM3 周期} + 1) = 65.630 \text{ KHz}$
- 占空比等于  $\text{TIM3\_CCR1} / (\text{TIM3\_ARR} + 1) = 60\%$ 。

表 3：外设内部互联配置信息给出了配置上述 TIM1、TIM2 和 TIM3 的代码示例。

表 3. 外设内部互联配置信息

互联	示例	注释
TIM1 主定时器	<pre>sMasterConfig.MasterOutputTrigger = TIM_TRGO_UPDATE sMasterConfig.MasterSlaveMode = TIM_MASTERSLAVEMODE_ENABLE; HAL_TIMEx_MasterConfigSynchronization(&amp;htim1, &amp;sMasterConfig);</pre>	配置 TIM2 更新事件为触发输出
TIM2 从定时器	<pre>sSlaveConfig.SlaveMode = TIM_SLAVEMODE_GATED; sSlaveConfig.InputTrigger = TIM_TS_ITR0; HAL_TIM_SlaveConfigSynchronization(&amp;htim2, &amp;sSlaveConfig); sMasterConfig.MasterOutputTrigger = TIM_TRGO_RESET; sMasterConfig.MasterSlaveMode=TIM_MASTERSLAVEMODE_DISABLE; HAL_TIMEx_MasterConfigSynchronization(&amp;htim2, &amp;sMasterConfig);</pre>	配置 ITR0 为两个从设备的触发输入。使能门控模式，从而通过主触发器输出信号（更新事件）控制从计数器的启动 / 停止。
TIM3 从定时器	<pre>sSlaveConfig.SlaveMode = TIM_SLAVEMODE_GATED; sSlaveConfig.InputTrigger = TIM_TS_ITR0; HAL_TIM_SlaveConfigSynchronization(&amp;htim2, &amp;sSlaveConfig); sMasterConfig.MasterOutputTrigger = TIM_TRGO_RESET; sMasterConfig.MasterSlaveMode=TIM_MASTERSLAVEMODE_DISABLE; HAL_TIMEx_MasterConfigSynchronization(&amp;htim2, &amp;sMasterConfig);</pre>	

## 4 结论

本应用笔记通过引入外设内部互联矩阵，对 STM32F401/411 数据手册和参考手册加以补充。

本应用笔记给出了详细的基本示例，可以作为您自主开发应用程序的入门教材。

## 5 修订历史

表 4. 文档修订历史

日期	版本	变更
2015 年 3 月 19 日	1	初始版本。

表 5. 中文文档修订历史

日期	版本	变更
2015 年 9 月 9 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。

© 2015 STMicroelectronics - 保留所有权利 2015