

Migrating from AT32F415 to AT32F402

前言

这篇迁移指南旨在帮助您分析从现有的AT32F415器件迁移到AT32F402器件所需的步骤。本文档收集了最重要的信息，并列出了需要注意的重要事项。

要将应用程序从AT32F415系列迁移到AT32F402系列，用户需要分析硬件迁移、软件迁移。

支持型号列表：

支持型号	AT32F402xx
------	------------

目录

1	AT32F402 与 AT32F415 异同	6
1.1	相同点概述	6
1.2	差异点概述	6
2	硬件迁移	7
3	启动模式兼容性	7
4	软件迁移	8
4.1	外设对比.....	8
4.2	功能区别.....	8
4.2.1	存储器映射	9
4.2.2	中断向量	10
4.2.3	ADC 接口.....	12
4.2.4	CRM 接口	13
4.2.5	DMA 接口	13
4.2.6	Flash 接口.....	13
4.2.7	实时时钟 ERTC 接口	14
4.2.8	EXINT 中断源选择.....	14
4.2.9	GPIO14	
4.2.10	I ² C 接口.....	14
4.2.11	IOMUX.....	14
4.2.12	PWC 接口	15
4.2.13	SPI 接口.....	15
4.2.14	安全库区保护接口.....	15
4.2.15	TMR 接口.....	15
4.2.16	WDT 接口	16
4.2.17	USART 接口	16
4.2.18	温度传感器特性参数不同.....	16

4.3	外设增强	18
4.3.1	AT32F402 新增 WKUP 引脚.....	18
4.3.2	AT32F402 新增红外发射器.....	18
4.3.3	AT32F402 新增 TMR 的 16 位 RPR 寄存器	18
4.3.4	AT32F402 新增 HICK 自动时钟校准模块	18
4.3.5	AT32F402 新增 OTGFS 设备端点号和主机通道	18
4.3.6	AT32F402 新增 SPI 的 TI 模式功能.....	18
4.3.7	AT32F402 新增 GPIO 位翻转功能.....	18
4.3.8	AT32F402 新增 QSPI 存储器扩充接口.....	18
4.3.9	AT32F402 新增 I ² S 组合全双工功能.....	19
4.3.10	AT32F402 新增 I ² SF 外设.....	19
5	版本历史	20

表目录

表 1. 差异点概述.....	6
表 2. AT32F415 启动模式.....	7
表 3. AT32F402 启动模式.....	7
表 4. 外设兼容性.....	8
表 5. 存储器映射关系差异.....	9
表 6. 中断向量差异.....	10
表 7. ADC 接口差异.....	12
表 8. Flash 存储区地址差异.....	13
表 9. PWC 接口差异.....	15
表 10. AT32F415 温度传感器特性.....	16
表 11. AT32F402 温度传感器特性.....	16
表 12. 文档版本历史.....	20

图目录

图 1. AT32F415 V_{TS} 对温度理想曲线图	17
图 2. AT32F402 V_{TS} 对温度理想曲线图	17

1 AT32F402 与 AT32F415 异同

AT32F402系列微控制器基本上兼容AT32F415系列，因对部分外设进行了升级和扩展，故有些地方与AT32F415存在软件上的不兼容，详述于本文档。

1.1 相同点概述

- 管脚定义：相同封装管脚定义相同。为扩增的外设作管脚复用定义延伸
- 编译工具：完全相同，例如Keil、IAR、AT32 IDE

1.2 差异点概述

表 1. 差异点概述

	AT32F402	AT32F415
系统时钟	主频 216 MHz, APB1 120 MHz, APB2 216 MHz	主频 150 MHz, APB1 75 MHz, APB2 75 MHz
浮点运算单元 FPU	支持	无
深度睡眠模式唤醒时间 (LDO 低功耗模式)	500 μ s	360 μ s
待机模式唤醒时间	800 μ s	600 μ s
SRAM 容量	64/96 KB + 6 KB (支持前 48 KB 奇偶校验)	32 KB
QSPI	支持	-
启动加载程序	20 KB, 支持 CAN/SPI/I ² C 方式	18 KB
16 位定时器	8 组	6 组
32 位定时器	1 组	2 组
基本定时器	2 组	-
ACC	支持	-
WDT	支持深睡眠和待机模式下关闭	-
CMP	-	2 组
ADC	支持过采样	不支持过采样
DMA	支持 DMAMUX	不支持 DMAMUX
I ² C	3 组	2 组
SPI/I ² S	3 组	2 组
SDIO	-	1 组
USART/UART	8 组	5 组
OTGFS 设备端点号	8 个 IN, 8 个 OUT(包含端点 0)	4 个 IN, 4 个 OUT(包含端点 0)
OTGFS 主机通道个数	16 个	8 个
V _{DD} 供电电压	2.4 ~ 3.6 V	2.6 ~ 3.6 V
V _{BAT} 供电	-	支持
典型运行模式电流	16.7 mA@72 MHz 外设全开	24.6 mA@72 MHz 外设全开
典型睡眠模式电流	13.2 mA@72 MHz 外设全开	19.7 mA@72 MHz 外设全开
典型深睡眠模式(LDO 低功耗模式)电流	465 μ A	680 μ A
典型待机模式电流	3.7 μ A	6.6 μ A

2 硬件迁移

AT32F402与AT32F415系列相同的封装下各引脚基本上兼容，因GPIO外设的不同，各引脚对应的外设功能需详细参考对应芯片的数据手册。

3 启动模式兼容性

常规情况AT32F402与AT32F415都是在系统复位时加载启动模式。但当AT32F402加载为嵌入式SRAM启动模式后，BOOT状态会被锁定，此时系统复位无法加载新的启动模式，必须上电复位才能重新加载新的启动模式。

AT32F415在选择启动模式时遵循下表所示的对应关系，表格中BOOT0及BOOT1状态分别对应BOOT0和BOOT1引脚上的电平。

表 2. AT32F415 启动模式

模式选择		启动模式	别名使用
BOOT1	BOOT0		
X	0	主 Flash	选择主 Flash 作为启动空间
0	1	启动程序代码区	选择启动程序代码区作为启动空间
1	1	嵌入式 SRAM	选择嵌入式 SRAM 作为启动空间

AT32F402在选择启动模式时遵循下表所示的对应关系，表格中BOOT0状态对应BOOT0引脚上的电平，nBOOT1对应用户系统数据区（USD）里边系统配置字节（SSB）的位nBOOT1的值。

表 3. AT32F402 启动模式

模式选择		启动模式	别名使用
nBOOT1	BOOT0		
X	0	主 Flash	选择主 Flash 作为启动空间
1	1	启动程序代码区	选择启动程序代码区作为启动空间
0	1	嵌入式 SRAM	选择嵌入式 SRAM 作为启动空间

4 软件迁移

4.1 外设对比

AT32F402在外设部分和AT32F415相对比大部分是兼容的，有少部分进行了功能的扩展或重新设计。故针对这些外设需在应用层级的程序开发中进行修改或参考新外设驱动进行全新开发。

表 4. 外设兼容性

外设	AT32F402	AT32F415	兼容性	
			引脚排列	固件驱动
PWC	Y	Y	NA	部分兼容
CRM	Y	Y	相同	部分兼容
CMP	NA	Y	NA	不兼容
FLASH	Y	Y	NA	部分兼容
GPIO	Y	Y	相同	不兼容
IOMUX	NA	Y	NA	不兼容
SCFG	Y	NA	NA	不兼容
EXINT	Y	Y	相同	部分兼容
DMA	Y	Y	NA	部分兼容
CRC	Y	Y	NA	完全兼容
I ² C	Y	Y	相同	不兼容
USART	Y	Y	相同	部分兼容
SPI	Y	Y	相同	部分兼容
QSPI	Y	NA	NA	不兼容
TMR	Y	Y	相同	部分兼容
WWDT	Y	Y	NA	完全兼容
WDT	Y	Y	NA	完全兼容
RTC	Y	Y	相同	部分兼容
ADC	Y	Y	相同	不兼容
CAN	Y	Y	相同	完全兼容
OTGFS	Y	Y	相同	部分兼容
ACC	Y	NA	NA	不兼容
IRTMR	Y	NA	NA	不兼容
SDIO	NA	Y	NA	不兼容
DEBUG	Y	Y	NA	不兼容
I ² SF	NA	Y	NA	不兼容

4.2 功能区别

本章节描述AT32F402系列与AT32F415系列在各外设功能上的差异，描述主要列举AT32F402系列的行为特征。

4.2.1 存储器映射

- 以下详细的列出AT32F402与AT32F415地址映射区别和总线所属关系

表 5. 存储器映射关系差异

外设	AT32F402		AT32F415	
	总线	基址	总线	基址
QSPI	AHB	0xA0001000	N/A	N/A
DMA2		0x40026400	AHB	0x40020400
DMA1		0x40026000		0x40020000
FLASH		0x40023C00		0x40022000
CRM		0x40023800		0x40021000
SDIO1	N/A	N/A		0x40018000
GPIOF	AHB	0x40021400	APB2	0x40011C00
GPIOD		0x40020C00		0x40011400
GPIOC		0x40020800		0x40011000
GPIOB		0x40020400		0x40010C00
GPIOA		0x40020000		0x40010800
ACC	APB2	0x40017400	N/A	N/A
I ² SF5		0x40016000	APB2	0x40015400
TMR11		0x40014800		
TMR10		0x40014400		
TMR9		0x40014000		
EXINT		0x40013C00		
SCFG		0x40013800	N/A	N/A
ADC		0x40012000	APB2	0x40012400
USART6		0x40011400	N/A	N/A
USART1		0x40011000	APB2	0x40013800
IOMUX	N/A	N/A		0x40010000
TMR1	APB2	0x40010000		0x40012C00
UART8	APB1	0x40007C00	N/A	N/A
UART7		0x40007800		
DAC		0x40007400		
CAN2		0x40006800		
CAN1		0x40006400		
I ² C3		0x40005C00		
SPI3		0x40003C00		
CMP	N/A	N/A	APB1	0x40002400
TMR14	APB1	0x40002000	N/A	N/A
TMR13		0x40001C00		
TMR12		0x40001800		
TMR7		0x40001400		
TMR6		0x40001000		
TMR5	N/A	N/A	APB1	0x40000C00

4.2.2 中断向量

- AT32F402与AT32F415对比在中断号及中断向量部分有以下区别

表 6. 中断向量差异

位置	AT32F402	AT32F415
0	WWDT	WWDT
1	PVM	PVM
2	TAMPER	TAMPER
3	ERTC_WKUP	ERTC
4	FLASH	FLASH
5	CRM	CRM
6	EXINT0	EXINT0
7	EXINT1	EXINT1
8	EXINT2	EXINT2
9	EXINT3	EXINT3
10	EXINT4	EXINT4
11	DMA1_CH1	DMA1_CH1
12	DMA1_CH2	DMA1_CH2
13	DMA1_CH3	DMA1_CH3
14	DMA1_CH4	DMA1_CH4
15	DMA1_CH5	DMA1_CH5
16	DMA1_CH6	DMA1_CH6
17	DMA1_CH7	DMA1_CH7
18	ADC1	ADC1
19	CAN1_TX	CAN1_TX
20	CAN1_RX0	CAN1_RX0
21	CAN1_RX1	CAN1_RX1
22	CAN1_SE	CAN1_SE
23	EXINT9_5	EXINT9_5
24	TMR1_BRK_TMR9	TMR1_BRK_TMR9
25	TMR1_OVF_TMR10	TMR1_OVF_TMR10
26	TMR1_TRG_HALL_TMR11	TMR1_TRG_HALL_TMR11
27	TMR1_CH	TMR1_CH
28	TMR2	TMR2
29	TMR3	TMR3
30	TMR4	TMR4
31	I2C1_EVT	I2C1_EVT
32	I2C1_ERR	I2C1_ERR
33	I2C2_EVT	I2C2_EVT
34	I2C2_ERR	I2C2_ERR
35	SPI1	SPI1
36	SPI2	SPI2
37	USART1	USART1
38	USART2	USART2

位置	AT32F402	AT32F415
39	USART3	USART3
40	EXINT15_10	EXINT15_10
41	ERTCArm	ERTCArm
42	OTGFS1_WKUP	OTGFS1_WKUP
43	Reserved	Reserved
44	TMR13	Reserved
45	TMR14	Reserved
46	Reserved	Reserved
47	Reserved	Reserved
48	Reserved	Reserved
49	Reserved	SDIO1
50	Reserved	TMR5
51	SPI3	Reserved
52	USART4	UART4
53	USART5	UART5
54	TMR6	Reserved
55	TMR7	Reserved
56	DMA2_CH1	DMA2_CH1
57	DMA2_CH2	DMA2_CH2
58	DMA2_CH3	DMA2_CH3
59	DMA2_CH4	DMA2_CH5_4
60	DMA2_CH5	Reserved
61	Reserved	Reserved
62	Reserved	Reserved
63	Reserved	Reserved
64	Reserved	Reserved
65	Reserved	Reserved
66	Reserved	Reserved
67	OTGFS1	OTGFS1
68	DMA2_CH6	Reserved
69	DMA2_CH7	Reserved
70	Reserved	CMP1
71	USART6	CMP2
72	I2C3_EVT	Reserved
73	I2C3_ERR	Reserved
74	Reserved	Reserved
75	Reserved	DMA2_CH7_6
76	Reserved	Reserved
77	Reserved	Reserved
78	Reserved	Reserved
79	Reserved	Reserved
80	Reserved	Reserved
81	FPU	Reserved
82	UART7	Reserved

位置	AT32F402	AT32F415
83	UART8	Reserved
84	Reserved	Reserved
85	I ² SF5	Reserved
86	Reserved	Reserved
87	Reserved	Reserved
88	Reserved	Reserved
89	Reserved	Reserved
90	Reserved	Reserved
91	Reserved	Reserved
92	QSPI1	Reserved
93	Reserved	Reserved
94	DMAMUX	Reserved
95	Reserved	Reserved
96	Reserved	Reserved
97	Reserved	Reserved
98	Reserved	Reserved
99	Reserved	Reserved
100	Reserved	Reserved
101	Reserved	Reserved
102	Reserved	Reserved
103	ACC	Reserved

4.2.3 ADC 接口

- AT32F402在AT32F415的ADC基础上进行了部分功能的扩展。硬件接口部分差异如下表。
- 文档参考
 - 《AN0115_AT32F415_ADC_Application_Note》
 - 《AN0180_AT32F402_405_ADC_Application_Note》

表 7. ADC 接口差异

ADC	AT32F402		AT32F415	
过采样	支持 2 到 256 倍硬件过采样		不支持	
分频	支持 2~17 任意分频		支持 2/4/6/8/12/16 分频	
外部触发	普通通道	抢占通道	普通通道	抢占通道
	TMR1_TRGOUT	TMR1_CH2	TMR1_CH1	TMR1_TRGOUT
	TMR1_CH4	TMR1_CH3	TMR1_CH2	TMR1_CH4
	TMR2_TRGOUT	TMR2_CH4	TMR1_CH3	TMR2_TRGOUT
	TMR3_TRGOUT	TMR3_CH4	TMR2_CH2	TMR2_CH1
	TMR9_TRGOUT	TMR9_CH1	TMR3_TRGOUT	TMR3_CH4
	TMR1_CH1	TMR6_TRGOUT	TMR4_CH4	TMR4_TRGOUT
	EXINT_Line11	EXINT_Line15	EXINT_Line11	EXINT_Line15
	OCSWTRG	PCSWTRG	TMR1_TRGOUT	TMR1_CH4
			OCSWTRG	PCSWTRG
			TMR1_TRGOUT	TRM1_CH1

ADC	AT32F402	AT32F415
数据获取	支持CPU读取和DMA读取 DMA支持DMAMUX，通道配置更加灵活，具体参考DMA接口	支持CPU读取和DMA读取 DMA同时支持固定映射和弹性映射，具体参考DMA接口

4.2.4 CRM 接口

- AT32F402的CRM接口（时钟与复位管理）与AT32F415对比存在较大区别，软件不兼容。主要的区别点如下：
 1. PLL配置，AT32F402的PLL采用灵活模式，倍频公式： $PLLCLK = (PLL参考时钟 \times PLL_NS) / (PLL_MS \times PLL_FP)$ ，AT32F415同时支持灵活模式和常规模式。灵活模式的倍频公式： $PLLCLK = (PLL参考时钟 \times PLL_NS) / (PLL_MS \times PLL_FR)$ ，常规模式的倍频公式： $PLLCLK = PLL参考时钟 \times PLL_MULT$ 。
 2. 外设时钟低功耗，在进入睡眠模式时，可配置外设时钟关闭。AT32F402每个外设都可以单独配置，AT32F415只支持SRAM和FLASH可配置此功能。
 3. AT32F402当设置HEXT或者HICK直接作为系统时钟时，支持分频设置后再提供给系统时钟。
 4. AT32F402支持HICK 48MHz直接提供USB时钟，AT32F415不支持。
- 文档参考
 - 《AN0177_AT32F402_405_CRM_Start_Guide》
 - 《AN0117_AT32F415_CRM_Start_Guide》

4.2.5 DMA 接口

- AT32F415的DMA支持固定映射和弹性映射；AT32F402的DMA支持DMAMUX（弹性映射功能、DMA请求同步功能、DMA请求生成功能），功能更加丰富。
- 文档参考
 - 《AN0179_AT32F402_405_DMA_Application_Note》

4.2.6 Flash 接口

- 启动程序代码区和用户系统数据区的基地址及大小有所区别，具体见下表

表 8. Flash 存储区地址差异

位置	AT32F402	AT32F415
启动程序代码区	0x1FFFA400-0x1FFFF3FF	0x1FFFAC00-0x1FFFF3FF
用户系统数据区	0x1FFFF800-0x1FFFF9FF	0x1FFFF800-0x1FFFFBFF

- 用户若无启动加载程序（Bootloader）使用需求，可一次性将启动程序代码区配置成一般用户程序和数据区使用。
- AT32F415写保护每一个比特位用于保护主存储器中2个存储页（64 K字节，128 K字节闪存，1 K字节/页；256 K字节闪存，2 K字节/页）；AT32F402写保护每一个比特位用于保护主存储器中4K的资料。
- AT32F415安全库区分为仅允许I-Code总线读取的指令安全库区和仅允许D-Code总线读取的数据安全库区；AT32F402安全库区划分为指令区与唯读区。指令区无法读取，唯读区可被读取。

4.2.7 实时时钟 ERTC 接口

- AT32F402与AT32F415在实时时钟部分有以下区别：
 1. AT32F402有入侵检测2功能，AT32F415无。
 2. AT32F402无V_{BAT}引脚，不支持V_{BAT}供电，AT32F415有V_{BAT}引脚，支持V_{BAT}供电。

4.2.8 EXINT 中断源选择

- 在外部中断配置方式上，AT32F402和AT32F415存在一定的差异。AT32F415使用IOMUX_EXINTCx寄存器进行外部中断的配置，AT32F402通过使用SCFG_EXINTCx寄存器进行配置。此处只是EXINTCx寄存器的映射地址发生了改变，EXINTx配置的意义一样。

4.2.9 GPIO

- AT32F402和AT32F415的GPIO功能区别描述如下：

AT32F402:

GPIO配置通过 GPIOx_CFGR、GPIOx_OMODE和GPIOx_PULL这三个寄存器来进行，这三个寄存器分别用于配置I/O工作模式、输出模式和I/O上下拉。I/O上下拉配置能够对于通用输入/输出工作模式和复用功能工作模式生效。

少数FTf I/O提供20 mA低电平输出能力。

BOOT0在复位后新增作为PF11使用。

AT32F415:

GPIO配置通过 GPIOx_CFGLR和GPIOx_CFGHR两个寄存器来进行，这两个寄存器能够实现I/O工作模式、输出模式和I/O上下拉的配置。I/O上下拉配置仅对输入工作模式时生效。

- 文档参考

《AN0119_AT32F413_415_GPIO_Application_Note》

《AN0181_AT32F402_405_GPIO_Application_Note》

4.2.10 I²C 接口

- AT32F402与AT32F415在I²C上有较大区别，两者软件上不兼容。
402 I²C相比于415 I²C控制逻辑更为简单，并增加了增强快速模式（fast mode plus，最高1 MHz）功能。
- 文档参考
《AN0178_AT32F402_405_I²C_Application_Note》

4.2.11 IOMUX

- AT32F402和AT32F415的IOMUX复用功能区别描述如下：

AT32F402:

任何外设在使用到功能复用时，都必须将I/O配置为复用功能，之后才能正确使用I/O功能。

引脚复用及映射采用GPIOx_MUXL和GPIOx_MUXH这一组寄存器进行配置。

AT32F415:

I/O用作复用功能的配置取决于所使用的外设模式。例如，USART_TX引脚应配置为复用功能推挽，而USART_RX引脚应配置为输入悬空或输入上拉。

为在不用封装上优化外设I/O功能数量，可将某些复用功能重新映射到其他引脚上。采用IOMUX_REMAPx寄存器进行各外设引脚的复用配置。

- 文档参考
 - 《AN0119_AT32F413_415_GPIO_Application_Note》
 - 《AN0181_AT32F402_405_GPIO_Application_Note》

4.2.12 PWC 接口

表 9. PWC 接口差异

PWR 项目	AT32F402	AT32F415
待机唤醒引脚	3 个 WKUP 引脚	1 个 WKUP 引脚
内部电压调节器	支持深度睡眠模式时开启内部电压调节器的额外低功耗功能。 支持内部电压调节器的功耗等级设定	不支持

- AT32F402与AT32F415器件的PWC接口差异如上表所示。AT32F402在AT32F415基础上增加用于待机唤醒的WKUP引脚，以满足更多的应用场景。
- AT32F402新增了进入深度睡眠模式时开启内部电压调节器的额外低功耗功能，开启此功能后可在深度睡眠模式实现更低的功耗标准。
- AT32F402新增了内部LDO的电压调整功能，使用此功能可进一步的优化MCU在效能和功耗之间取得平衡。
- 文档参考
 - 《AN0182_AT32F402_405_PWC_Application_Note》

4.2.13 SPI 接口

- AT32F402器件在保留AT32F415的SPI所有功能的前提下，新增了如下功能：
 1. 支持3分频，通过SPI_CTRL2寄存器的MDIV3EN控制位来开启。
 2. TI模式，通过SPI_CTRL2寄存器的TIEN控制位来开启。

4.2.14 安全库区保护接口

- AT32F402安全库区的设计与AT32F415相比有所优化，存在细微差异。
- 文档参考
 - 《AN0183_AT32F402_405_Security_Library_Application_Note》

4.2.15 TMR 接口

- AT32F402的TMR外设扩展高级定时器（TMR1）的重复周期寄存器（TMRx_RPR）为16位寄存器。
- AT32F402的TMR外设新增了定时器（TMR9/10/11/13/14）的重复周期寄存器（TMRx_RPR），寄存器为8位。
- AT32F402的TMR外设新增了定时器（TMR9/10/11/13/14）DMA相关功能，可以通过TMRx_DMACTRL和TMRx_DMADT寄存器相应控制位进行配置。
- AT32F402的TMR外设新增了定时器（TMR9/10/11/13/14）刹车相关功能，可以通过TMRx_BRK寄存器相应控制位（OEN/AOEN/BRKV/BRKEN等）进行配置。
- AT32F402的TMR外设新增了定时器（TMR9/10/11/13/14）互补通道，可以通过TMRx_CCTRL寄存器相应控制位进行配置。
- AT32F402的TMR外设新增了定时器（TMR1/9/10/11/13/14）刹车输入滤波功能，可以通过TMRx_BRK寄存器的BKF控制位进行刹车输入滤波配置。

4.2.16 WDT 接口

- AT32F402的WDT外设新增了窗口功能，新增在深睡眠和待机模式下停止计数功能，其余功能相同，软件兼容，AT32F402向下兼容AT32F415。

4.2.17 USART 接口

- AT32F402器件在保留AT32F415的USART所有功能的基础上，扩展了部分新功能：
 1. 新增TX/RX交换功能。
 2. 新增RS485通讯模式。
 3. 新增7位数据长度模式。
 4. 新增数据发送顺序（MSB/LSB）配置
 5. 新增TX/RX引脚极性配置
 6. 新增DT数据极性配置
 7. 新增接收器超时检测中断源

4.2.18 温度传感器特性参数不同

- AT32F402使用温度传感器结构与AT32F415有差异，特性数据明显不同。

表 10. AT32F415 温度传感器特性

符号	参数	最小值	典型值	最大值	单位
T_L	V_{SENSE} 相对于温度的线性度	-	± 2	± 5	$^{\circ}\text{C}$
Avg_Slope	平均斜率	-4.13	-4.34	-4.54	$\text{mV}/^{\circ}\text{C}$
V_{25}	在25 $^{\circ}\text{C}$ 时的电压	1.26	1.32	1.38	V
t_{START}	建立时间	-	-	100	μs
T_{S_temp}	当读取温度时，ADC采样时间	-	8.6	17.1	μs

表 11. AT32F402 温度传感器特性

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
T_L	V_{TS} 相对于温度的线性度	$T_A = -10 \sim +70 \text{ }^{\circ}\text{C}$	-	± 1	± 2	$^{\circ}\text{C}$
		$T_A = -40 \sim +105 \text{ }^{\circ}\text{C}$	-	-	± 3.5	
Avg_Slope	平均斜率	-	-1.59	-1.69	-1.79	$\text{mV}/^{\circ}\text{C}$
V_{25}	在25 $^{\circ}\text{C}$ 时的电压	-	460	490	520	mV
t_{START}	建立时间	-	-	-	20	μs
T_{S_temp}	当读取温度时，ADC采样时间	-	5.1	-	-	μs

图 1. AT32F415 V_{TS} 对温度理想曲线图

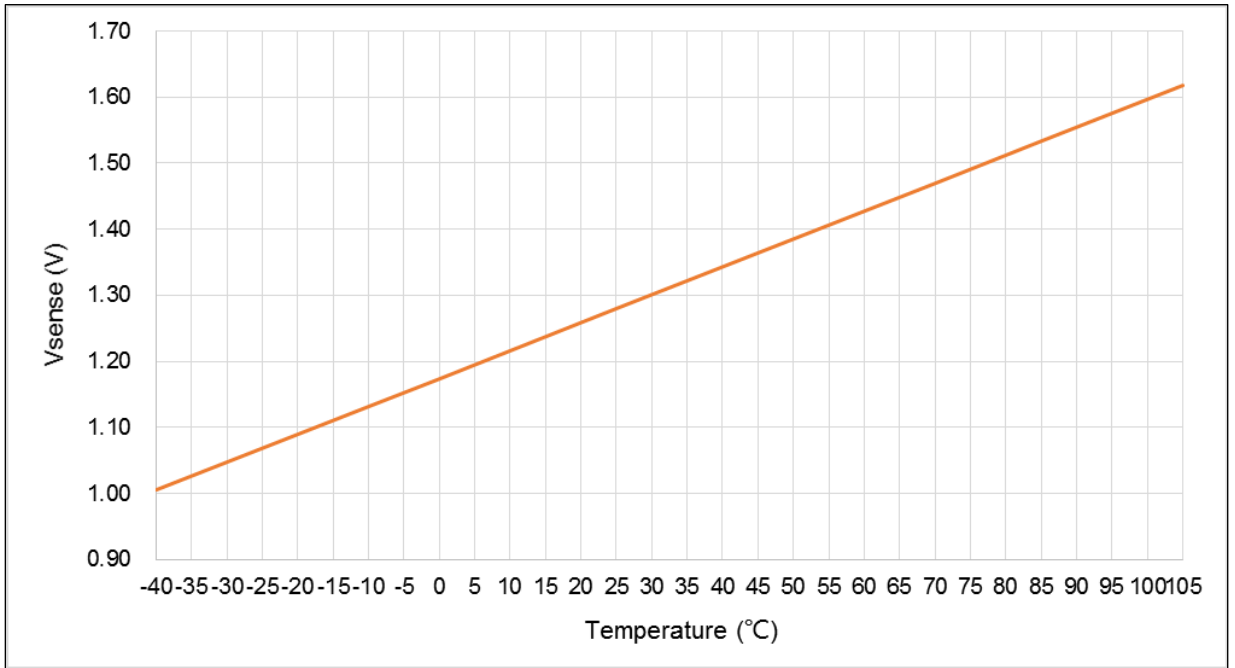
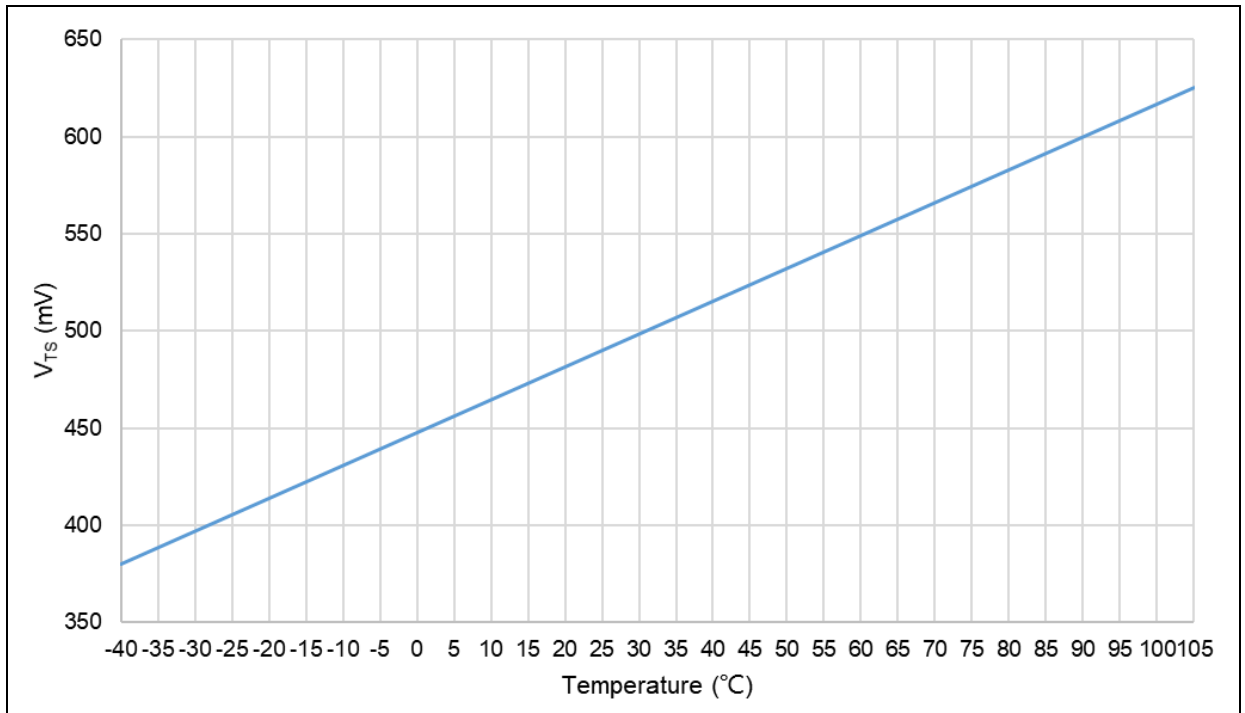


图 2. AT32F402 V_{TS} 对温度理想曲线图



4.3 外设增强

4.3.1 AT32F402 新增 WKUP 引脚

- AT32F402器件在保留AT32F415原有的WKUP引脚（WKUP1-PA0）基础上，还增加2个用于待机唤醒的WKUP引脚。

WKUP引脚2——PC13

WKUP引脚6——PB5

该2个WKUP引脚有各自独立的使能位（此部分差异的详细细节请参考对应的芯片技术手册及数据手册）。WKUP引脚使能后，对应引脚上的唤醒事件可实现待机唤醒。应用可根据实际需求，使能其中任意一个或多个来唤醒待机模式。

4.3.2 AT32F402 新增红外发射器

- 基于TMR10、USART1或USART2与TMR11间的内部连接。TMR11用于提供载波频率，TMR10、USART1、或USART2提供要发送的主信号。红外输出信号在PB9或PA13上可用。

4.3.3 AT32F402 新增 TMR 的 16 位 RPR 寄存器

- TMR的RPR(重复周期)寄存器由原来的8位增加到16位，以支持在单脉冲模式下配置RPR实现多脉冲的功能，最多可一次发送65536个脉冲。

4.3.4 AT32F402 新增 HICK 自动时钟校准模块

- HICK自动时钟校准模块（ACC）利用外部USB主机产生的SOF信号（周期为1毫秒）作为参考信号，实现对HICK时钟的采样和校准。主要功能就是实现内部对OTGFS处于设备模式时提供48 MHz \pm 0.25 %精度的时钟，支持无晶振（Crystal-less）。

4.3.5 AT32F402 新增 OTGFS 设备端点号和主机通道

- OTGFS在设备模式下，支持1个双向控制端点，7个IN端点和7个OUT端点。
- OTGFS在主机模式下，支持16个主机通道。

4.3.6 AT32F402 新增 SPI 的 TI 模式功能

- AT32F402较AT32F415增加了SPI TI模式。AT32F402的SPI接口支持TI协议。在使能TI模式后，SPI接口将严格TI协议进行通讯，包括按照TI协议产生符合极性相位特征的通讯时钟、CS信号等。

4.3.7 AT32F402 新增 GPIO 位翻转功能

- AT32F402较AT32F415增加了GPIO位翻转功能。通过将GPIO的TOGR（位翻转）寄存器的某一位写‘1’，所对应的ODT（输出数据）寄存器位会自动翻转原有的值。

4.3.8 AT32F402 新增 QSPI 存储器扩充接口

- AT32F402较AT32F415增加了QSPI存储器扩充接口。
- QSPI接口使用4线制模式通讯或对存储器进行访问，并支持XIP功能。
- 文档参考

《AN0088_AT32_MCU_QSPI_Application_Note》

4.3.9 AT32F402 新增 I²S 组合全双工功能

- AT32F402较AT32F415增加了I²S全双工功能。根据应用需求可选择I²S1/I²S2/I²S3中的任意两组组合成I²S全双工。在选择两个I²S组合成I²S全双工后，配置为全双工主导方（I²S1/I²S2）的I/O重映射关系不变，配置为全双工附属方（I²S2/I²S3）的SCK和WS在芯片内部与主导方的SCK和WS连在一起，附属方的SD线重映射到I2Sext_SD上，且附属方原本的I/O重映射关系失效，其对应的I/O被释放。

4.3.10 AT32F402 新增 I²SF 外设

- AT32F402较AT32F415增加了I²SF外设，I²SF在兼容I²S功能基础上，还新增有如下功能：
 - I²SF可作为一组独立的I²S全双工
 - I²SF支持主时钟源可选（System Clock、PLL、HICK 48MHz、外部输入时钟）
 - I²SF的PCM模式采样沿可设定（上升沿采样、下降沿采样）

5 版本历史

表 12. 文档版本历史

日期	版本	变更
2023.08.18	2.0.0	最初版本

重要通知 - 请仔细阅读

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

无论之前是否有任何形式的表示，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，不应被视为雅特力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。

除非在雅特力的销售条款中另有说明，否则，雅特力对雅特力产品的使用和/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。

雅特力产品并非设计或专门用于下列用途的产品：**(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)**航天应用或航天环境；**(D)**武器，且/或**(E)**其他可能导致人身伤害、死亡及财产损害的应用。如果采购商擅自将其用于前述应用，即使采购商向雅特力发出了书面通知，风险及法律责任仍将由采购商单独承担，且采购商应独立负责在前述应用中满足所有法律和法规要求。

经销的雅特力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，将立即导致雅特力针对本文所述雅特力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雅特力的任何责任。

© 2023 雅特力科技 保留所有权利