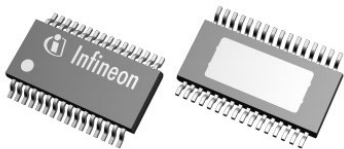


MOTIX™桥式拓扑驱动器

特性

- 集成半桥和高边开关
 - 过流检测
 - 开路负载检测
 - 高边电流检测
 - 半桥脉宽调制 (PWM) 输入 (高达 25 kHz)
 - 集成PWM 发生器，用于高边开关
 - 高边开关电容负载的控制
- 电致变色镜控制
- 用于加热器功能的外部 MOSFET 驱动器
- 5 V / 3.3 V 稳压器，带板外电源短路保护
- 用于控制和诊断的 32 位 SPI 接口
- 过温预警和保护
- 过压和欠压锁定
- 看门狗



潜在应用

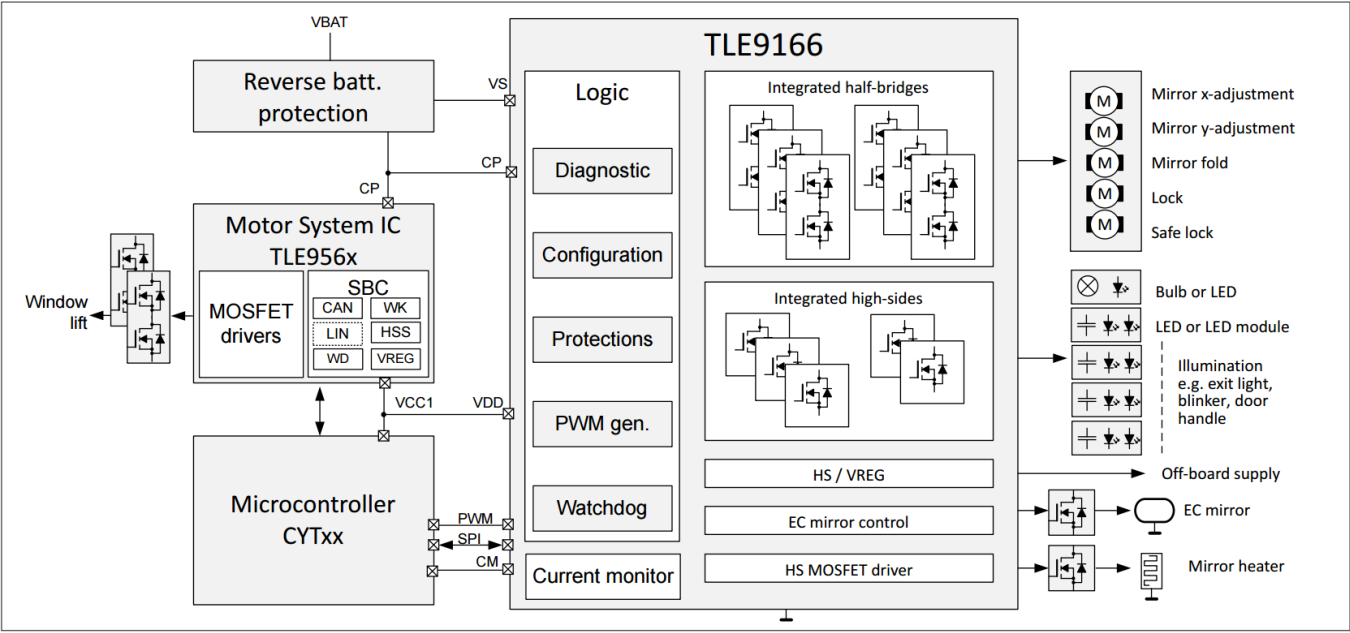
门区应用

产品验证

产品验证符合 AEC-Q100 Grade 1。适用于汽车应用，已获得认证。

描述

该器件针对汽车门区模块进行了优化，以控制镜子定位、折叠和加热等镜子功能，包括电致变色镜功能。它还集成了半桥来控制门锁和保险箱锁，以及高边来控制LED。



Product type	Package	Marking
TLE9166EQ	PG-TSDSO-32	TLE9166EQ

本数据手册的原文使用英文撰写。为方便起见，英飞凌提供了译文；由于翻译过程中可能使用了自动化工具，英飞凌不保证译文的准确性。为确认准确性，请务必访问 infineon.com 参考最新的英文版本（控制文档）。

目录

	目录	2
1	框图	5
1.1	电压和电流定义	6
2	引脚配置	7
2.1	引脚分配	7
2.2	引脚定义和功能	7
3	产品一般特性	9
3.1	绝对最大额定值	9
3.2	工作范围	10
3.3	热阻	11
4	供电及运行模式	12
4.1	供电	12
4.2	过压和欠压	12
4.2.1	VS 欠压	12
4.2.2	VS 过压	12
4.2.3	VDD 欠压	12
4.2.4	电荷泵欠压	12
4.3	工作模式	13
4.3.1	模式描述	13
4.3.1.1	休眠模式	13
4.3.1.2	初始模式	13
4.3.1.3	正常模式	14
4.3.1.4	故障安全模式	14
4.3.1.5	休眠过渡模式	15
4.3.2	模式转换	15
4.4	超时看门狗	16
4.5	温度监测	16
4.5.1	热警告	17
4.5.2	热关断	17
4.6	电气特性	17
5	集成功率输出	20
5.1	集成半桥	20
5.1.1	交叉电流保护	21
5.1.2	PWM 控制的半桥	21
5.2	集成高边开关 OUT7-OUT12	22
5.2.1	PWM 工作	23
5.2.2	恒流模式	23
5.2.3	OUT7的可配置性	26

目录

5.3	集成 ECV 低边	27
5.3.1	OUT10 和 ECV 低边的半桥配置	28
5.4	保护	28
5.4.1	过流检测	29
5.4.2	过流闭锁	29
5.4.3	过流恢复	30
5.4.3.1	半桥过流恢复	30
5.4.3.1.1	禁用 PWM 的半桥 OCR	31
5.4.3.1.2	禁用 PWM 和短路检测功能的半桥 OCR	31
5.4.3.1.3	禁用 PWM 和短路检测和配对功能的半桥 OCR	34
5.4.3.1.4	启用 PWM 和被动续流的半桥 OCR 和短路检测	35
5.4.3.1.5	启用 PWM 和主动 FW 的半桥 OCR 和短路检测	38
5.4.3.2	低 RDS(ON) 模式下的 OUT7 过流恢复	38
5.4.3.2.1	低 RDS(ON) 模式下的 OUT7 短路检测	39
5.5	诊断	39
5.5.1	电流监控	40
5.5.2	开路负载检测	40
5.6	电气特性	41
6	VCC2 稳压器	48
6.1	电气特性	49
7	电致变色镜控制	51
7.1	停用 EC 控制	51
7.2	激活 EC 控制	51
7.3	电气特性	52
8	后视镜加热的高边 MOSFET 驱动器	55
8.1	MOSFET 控制	55
8.2	漏源过压	56
8.3	断电状态诊断	57
8.4	电气特性	57
9	串行外设接口 (SPI)	59
9.1	功能描述	59
9.1.1	SPI 协议	61
9.1.1.1	SDI 帧格式	61
9.1.1.2	SDO 帧格式	61
9.1.2	全局错误标志	61
9.1.3	全局状态字节	62
9.1.4	SPI 协议错误检测	63
9.2	电气特性	63
10	应用信息	66
10.1	应用框图	66



目录

11	封装外形	68
12	修订记录	69
	免责声明	70

图 1 **框图 TLE9166**

1 框图

1.1 电压和电流定义

章节 1.1 显示了本数据手册中使用的术语，以及正值的相关约定。
当 OUT12_VCC2 配置为稳压器时，则从该引脚流出的电流被认为是正向。

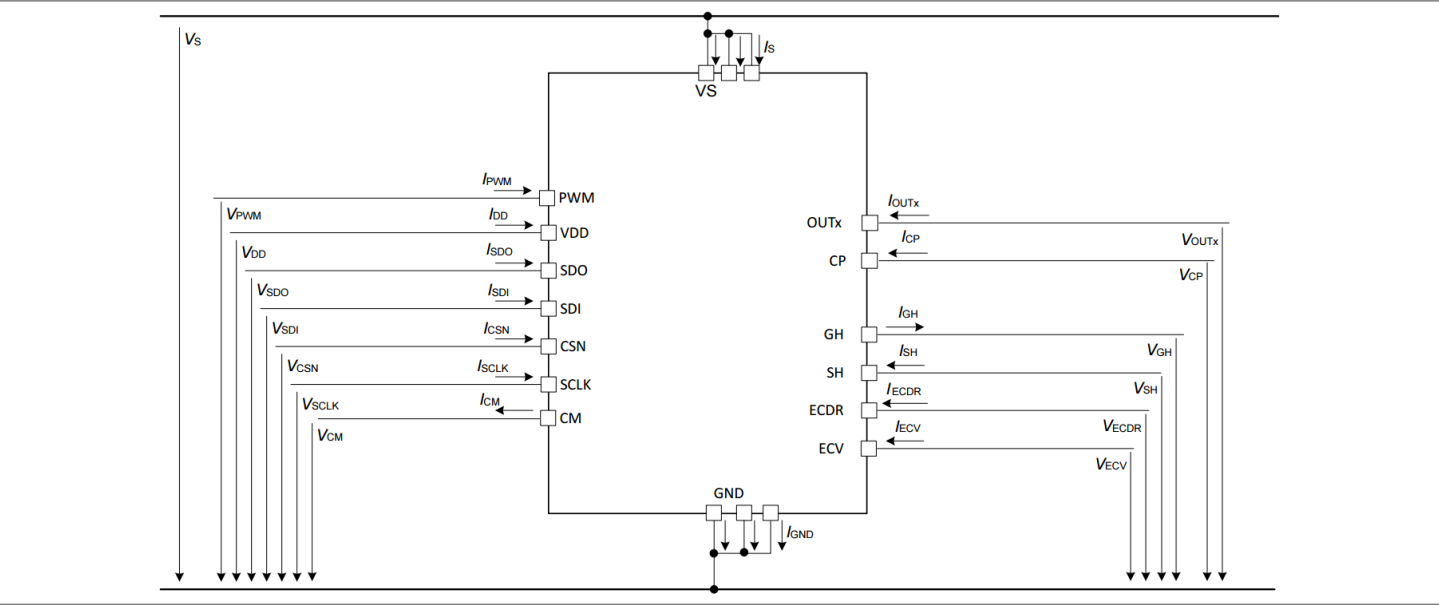


图 2 电压和电流定义

2 引脚配置

2.1 引脚分配

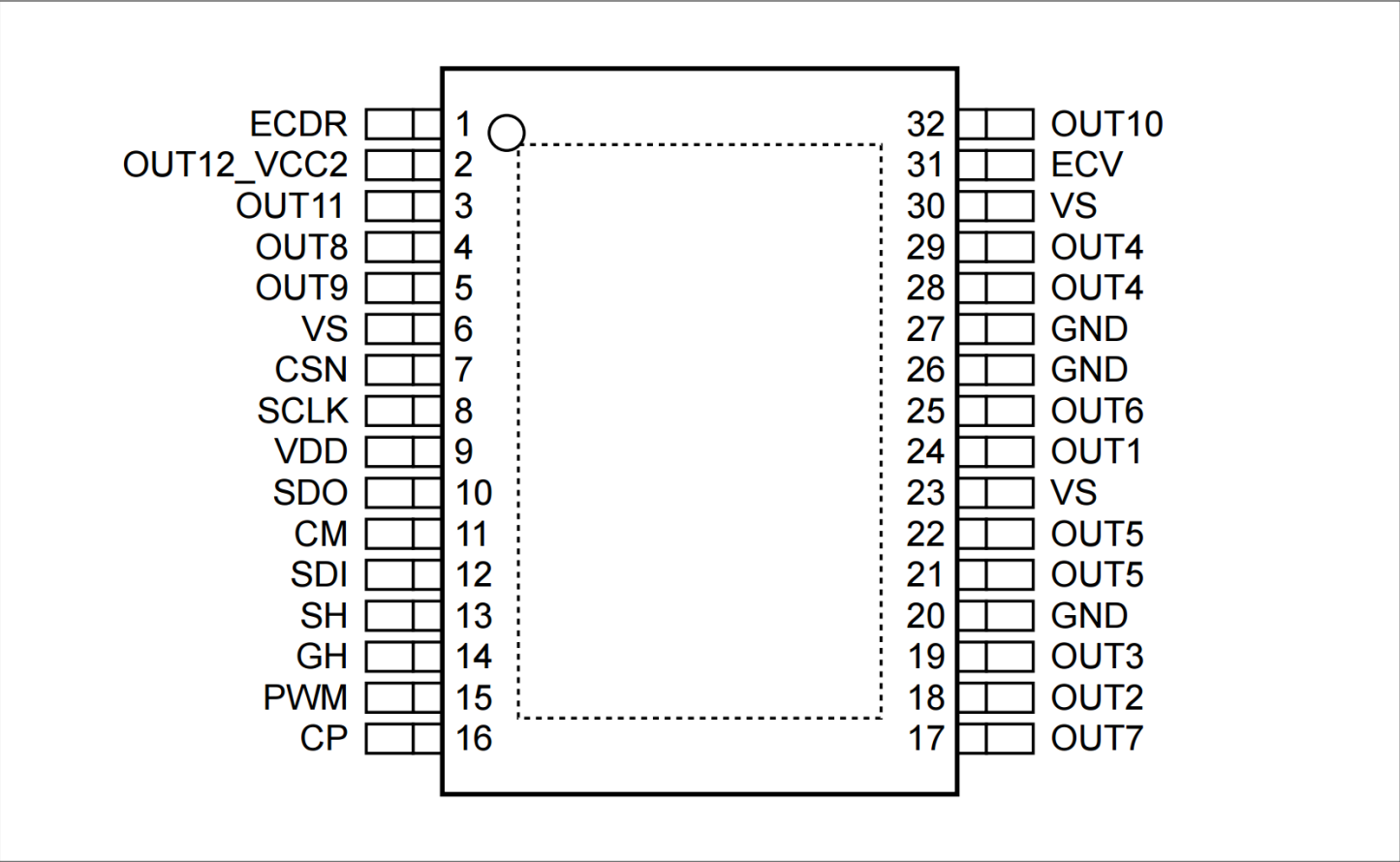


图 3 引脚配置

2.2 引脚定义和功能

表 1 引脚定义和功能

Pin	Symbol	Function
1	ECDCR	MOSFET driver for electrochromic mirror
2	OUT12_V CC2	Output 12 Configurable as high-side or as VCC2 (LDO)
3	OUT11	Output 11 (high-side)
4	OUT8	Output 8 (high-side)
5	OUT9	Output 9 (high-side)
6	VS	Main voltage supply for the integrated high-sides and half-bridges All VS pins must be connected externally
7	CSN	Chip select not input with internal pull-up
8	SCLK	Serial clock input with internal pull-down

(表格续下页.....)

表 1 (续) 引脚定义和功能

Pin	Symbol	Function
9	VDD	VDD supply Power supply for digital circuits. To be connected to the microcontroller supply.
10	SDO	Serial data output
11	CM	Current monitor High-side current sensing and VS monitoring
12	SDI	Serial data input with internal pull-down
13	SH	Connection to the source of the MOSFET for heater function
14	GH	Connection to the gate of the MOSFET for heater function
15	PWM	PWM input
16	CP	Charge pump input
17	OUT7	Output 7 (high-side)
18	OUT2	Half-bridge output 2
19	OUT3	Half-bridge output 3
20	GND	Ground All GND pins must be connected externally
21-22	OUT5	Half-bridge output 5 All OUT5 pins must be connected externally
23	VS	Main voltage supply for the integrated high-sides and half-bridges. All VS pins must be connected externally
24	OUT1	Half-bridge output 1
25	OUT6	Half-bridge output 6
26-27	GND	Ground All GND pins must be connected externally
28-29	OUT4	Half-bridge output 4 All OUT4 pins must be connected externally
30	VS	Main voltage supply for the integrated high-sides and half-bridges. All VS pins must be connected externally
31	ECV	Input for the measurement of the electrochromic mirror voltage. This pin is also connected to a low-side driver for a fast discharge
32	OUT10	Output 10 (high-side)
	EP	Exposed Pad; For cooling purpose only - not usable as electrical ground. Electrical ground must be provided by the GND pins ¹⁾

封装底部裸露的芯片焊垫可以使器件通过PCB更好地散热。

裸露的焊盘 (EP) 必须保持开路或连接到接地点。建议将 EP 连接到接地以获得更好的散热性能。

3 产品一般特性

超过此处所列的应力可能会对器件造成永久性损坏。长时间在绝对最大额定值条件下工作可能会影响器件的可靠性。

集成的保护功能旨在防止IC在数据表所述故障条件下被毁坏。故障情况被认为超出了正常工作范围。保护功能不是为了连续重复的操作而设计的。

3.1 绝对最大额定值

所有电压均相对于地，电流正向流入引脚（除非另有说明）

表 2 绝对最大额定值

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition	P-Number
		Min.	Typ.	Max.			
Voltages							
Supply voltage	V_S	-0.3	–	40	V	–	P_GEN_01_01
Logic supply voltage	V_{DD}	-0.2	–	5.5	V	–	P_GEN_01_02
Charge pump voltage	V_{CP}	-0.3	–	Min(V_S +17; 52)	V	–	P_GEN_01_03
Static output voltage	V_{OUTx}	-0.3	–	V_S +0.3	V	–	P_GEN_01_04
Dynamic half-bridge slew rate	$V_{OUTx_SR_MAX}$	-20	–	20	V/μs	Slew rate applied to OUT1 to OUT6	P_GEN_01_05
SDI, CSN	V_{SDI}, V_{CSN}	-0.3	–	V_S +0.3 V	V	–	P_GEN_01_07
SDO, CM, SCLK	$V_{SDO}, V_{CM}, V_{SCLK}$	-0.3	–	V_{DD} +0.3	V	–	P_GEN_01_08
ECDR voltage	V_{ECDR}	-0.3	–	V_S +0.3	V	–	P_GEN_01_09
ECV voltage	V_{ECV}	-0.3	–	V_S +0.3	V	–	P_GEN_01_10
VECDR - VECV	V_{EC_DIFF}	-0.3	–	V_S	V	V_{ECDR} - V_{ECV}	P_GEN_01_31
VSH voltage	V_{SH}	-6	–	V_S +0.3	V	–	P_GEN_01_11
VGH voltage	V_{GH}	-6	–	V_{CP} +0.3	V	–	P_GEN_01_12
VGH-VSH	V_{GS}	-0.3	–	12	V	–	P_GEN_01_13
VSH - VCP	$V_{SH} - V_{CP}$	–	–	0.6	V		P_GEN_01_29
PWM	V_{PWM}	-0.3	–	V_{CP}	V	–	P_GEN_01_30
Currents							
Cumulated VS current	I_{VS}	-10	–	10	A	Cumulated DC current for all 3 VS pins ¹⁾	P_GEN_01_14

(表格续下页.....)

表 2 (续) 绝对最大额定值

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition	P-Number
		Min.	Typ.	Max.			
Cumulated GND current	I_{GND}	-12	–	12	A	Cumulated DC current for all 3 GND pins ¹⁾	P_GEN_01_15
Output current, OUT1,6	$I_{\text{OUT1,6}}$	-5	–	5	A	²⁾	P_GEN_01_16
Output current OUT2,3	$I_{\text{OUT2,3}}$	-1.1	–	1.1	A	²⁾	P_GEN_01_17
Output current OUT4	I_{OUT4}	-7	–	7	A	²⁾	P_GEN_01_18
Output current OUT5	I_{OUT5}	-8	–	8	A	²⁾	P_GEN_01_19
Output current OUT7	I_{OUT7}	-3	–	3	A	²⁾	P_GEN_01_21
Output current OUT8-12, ECV	$I_{\text{OUT8-12}}$	-1.1	–	1.1	A	²⁾	P_GEN_01_22

Temperatures

Junction temperature	T_{J}	-40	–	150	°C	–	P_GEN_01_24
Storage temperature	T_{stg}	-50	–	150	°C	–	P_GEN_01_25

ESD robustness

ESD robustness all pins (HBM)	$V_{\text{ESD_HBM}}$	-2	–	2	kV	³⁾	P_GEN_01_26
ESD robustness all pins (CDM)	$V_{\text{ESD_CDM1}}$	-500	–	500	V	⁴⁾	P_GEN_01_27
ESD robustness corner pins (CDM)	$V_{\text{ESD_CDM2}}$	-750	–	750	V	⁴⁾	P_GEN_01_28

- 1) 通过接合线的绝对最大DC电流，无需考虑最高功率或其他限制。
 2) 通过接合线的绝对最大DC电流，无需考虑最高功率或其他限制。
 3) 人体模型 (HBM) 按照AEC - Q100-002标准。
 4) 充电模型 (CDM) 按照AEC - Q100-011 Rev-D标准；电压等级是指标准中提到的测试条件（TC）。

3.2 工作范围

表 3 显示器件工作范围。

注释 对于 $V_{\text{UV_OFF}} \leq V_{\text{S}} \leq 5.5 \text{ V}$, $20 \leq V_{\text{S}} \leq 40 \text{ V}$ 和 $V_{\text{DD_POFFR}} \leq V_{\text{DD}} \leq 3 \text{ V}$:

- 器件正在运行
- 参数可能存在偏差
- 当 $V_{\text{S}} \geq V_{\text{OV_OFF}}$ 时，输出关闭

表 3 **工作范围**

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition	P-Number
		Min.	Typ.	Max.			
VS voltage range for normal operation	$V_{S(nor)}$	5.5	–	20	V	–	P_GEN_02_01
Charge pump voltage range for normal operation	V_{CP}	$V_S+7.5$	–	V_S+17	V	–	P_GEN_02_02
Logic supply voltage range for normal operation	V_{DD}	3.0	–	5.5	V	–	P_GEN_02_03
Logic input voltages (SDI, SCLK, CSN, EN, PWM)	$V_{SDI}, V_{SCLK}, V_{CSN}, V_{EN}, V_{PWM}$	-0.3	–	5.5	V	–	P_GEN_02_04
Junction temperature	T_j	-40	–	150	°C	–	P_GEN_02_05

3.3 热阻

表 4 **热阻**

Parameter	Symbol	Typ. value	Unit	Note or condition	P-Number
Junction to ambient (2s2p)	R_{thJA}	23	K/W	1)	P_GEN_03_01
Junction to case	R_{thJC}	3	K/W	–	P_GEN_03_02

特定 R_{thJA} 依据 JEDEC JESD51-2 标准，在自然对流条件下，在散热面积为 6 cm² 的 FR4 2s2p 板上测得；产品（芯片和封装）在 76.2 x 114.3 x 1.5 mm 的电路板上进行模拟，该电路板具有两层内铜层（70 / 35 / 35 / 70 μm Cu）。 $T_a = 85\text{ °C}$ 。

4 供电及运行模式

4.1 供电

该器件有三个电源输入：

- VS 引脚为半桥和高边驱动器供电
- VDD 引脚为器件逻辑供电，包括SPI接口和 I/O 缓冲器
- CP 引脚为电荷泵输入，用于控制集成高边

注释：MCU 可以测量 CM 引脚上与 V_S 成比例的电压，参考[章节 5.5.1](#)。

4.2 过压和欠压

该器件监控 V_S 、 V_{DD} 和 V_{CP} ：

- 监控 V_S 的欠压和过压情况 (UV 和 OV)
- 监控 V_{DD} 和 V_{CP} 的欠压情况

4.2.1 VS欠压

A V_S 欠压会被检测，如果 $V_S < V_{SUV_OFF}$ 持续 $t = t_{FVSUV}$

错误响应为：

- 所有输出级均处于锁存关闭状态
- V_S 欠压状态位置位并被锁存

清除寄存器指令包含 V_S 欠压状态位：

- 清除 V_S 欠压状态位
- 根据控制寄存器启用输出

4.2.2 VS过压

如果 V_S 升高至 V_{OV_OFF} 持续 $t = t_{FVSOV}$ ：

- 关闭所有输出级
- V_S 过压位被置位并锁存

清除寄存器指令包含 V_S 过压状态位：

- 清除 V_S 过压状态位
- 根据控制寄存器启用输出

4.2.3 VDD欠压

A V_{DD} 欠压被检测，如果 $V_{DD} < V_{DD_POFFR0}$

如果 V_{DD} 欠压被检测到：

- SPI 不工作
- 数字功能块已停用
- 输出级关闭

4.2.4 电荷泵欠压

如果 V_{CP} 下降至 V_{CPUV} 持续 $t = t_{FCPUV}$ ，那么：

- 关闭所有输出级
- 电荷泵欠压 (CPUV) 位为置位并锁存

清除寄存器指令包含电荷泵欠压位：

4 供电及运行模式

- 清除电荷泵欠压位
- 根据控制寄存器启用输出

4.3 工作模式

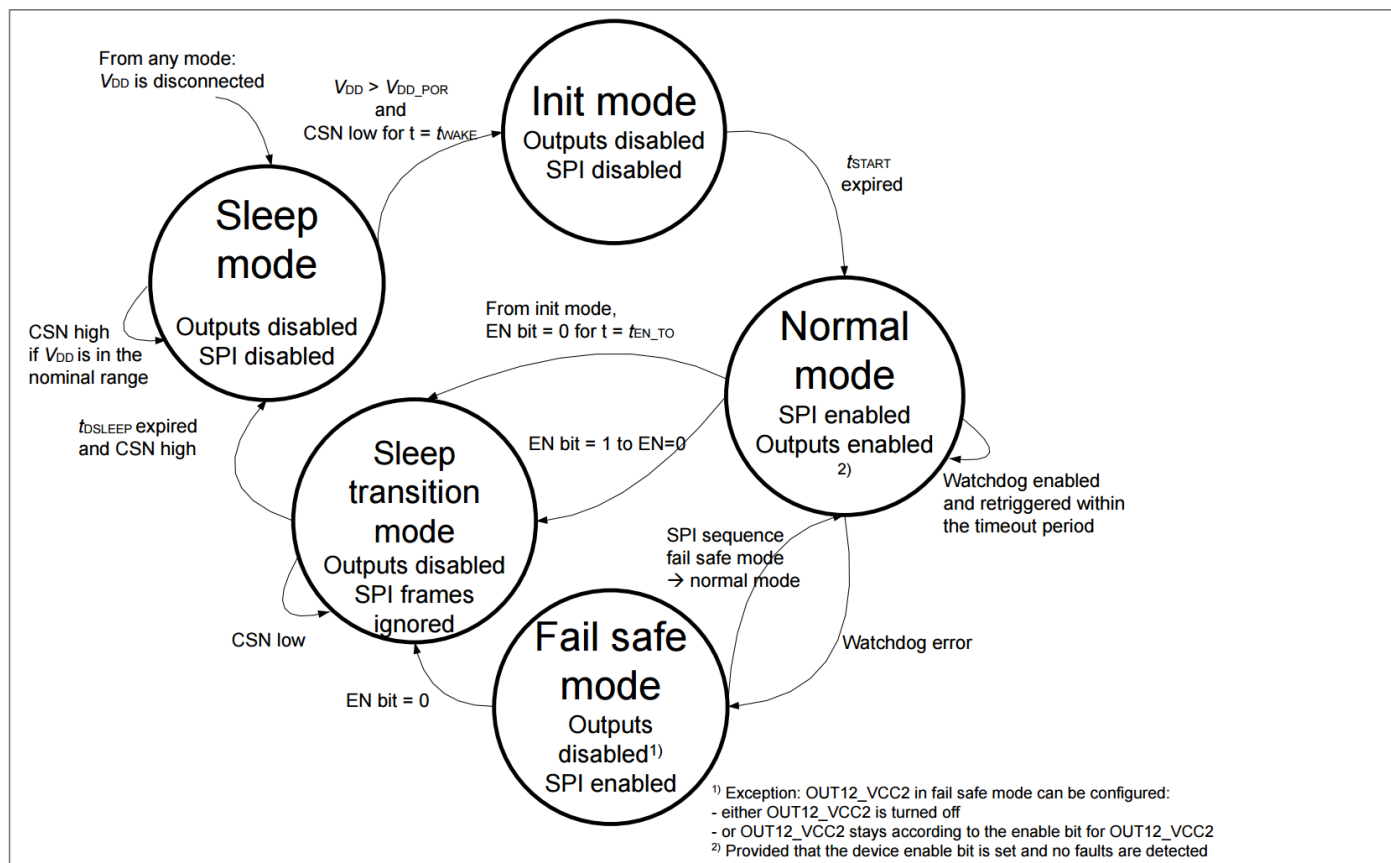


图 4 带有模式转换的状态图

4.3.1 模式描述

4.3.1.1 休眠模式

器件在休眠模式下具有最低的消耗电流。

在休眠模式下：

- 输出关闭
- SPI 通信已禁用
- 消耗电流减少为 $I_{SQ} + I_{DD_Q}$

该器件保持休眠模式：

- 如果 CSN 为高电平且 V_{DD} 处于标称范围内
- 如果 V_{DD} 断开，则独立于 V_{CSN}

4.3.1.2 初始化模式

初始化模式是从休眠模式到正常模式的过渡。在此模式下，器件被初始化。

初始化模式下：

- 输出关闭

4 供电及运行模式

- 寄存器内容重置为默认值
- SPI 通信已禁用

4.3.1.3 正常模式

正常模式是器件的标准运行模式。

在正常模式下，SPI通信是启用的，并且输出遵循控制寄存器的内容，前提是：

- 器件启用位置位
- 未检测到故障

在器件启用位置位之前，SPI写入¹⁾和清除指令将被忽略。无法更改配置¹⁾且无法清除状态寄存器。

¹⁾除了通过SPI为器件启用外，

必须满足以下条件才能保持正常模式：

- 从初始化模式转换到正常模式后，器件启用位必须在 t_{EN_TO} 内置位
- 如果看门狗被启用，则看门狗必须在看门狗周期 (t_{WDPER}) 内重新触发

注意： **OUT12_VCC2可被配置为高边，或5V/3.3V稳压器，根据表30仅在：**

- 从初始模式过渡到正常模式后的 t_{EN_TO}
- 第一个SPI 写入命令。该SPI 写入命令必须置位器件启用位。
OUT12_VCC2 的配置在第一个SPI写命令设置器件启用位时被冻结。

4.3.1.4 故障安全模式

故障安全模式的目的是当看门狗发生故障时禁用输出。

在故障安全模式下：

- 除 OUT12_VCC2 外，所有输出均被禁用。
- SPI通信是启用的
- 故障安全状态位被置位，直到器件收到SPI返回正常模式
- 无论SPI写入指令如何，所有控制位都保持其默认值，但以下情况除外：
 - 器件启用位
 - OUT12_VCC2 配置位为高边或 5 V/ 3.3 V 稳压器
 - OUT12_VCC2 启用位
 - 故障安全模式下OUT12_VCC2设置的控制位
- SPI 写入命令更改控制位的值会导致 SPI 错误¹⁾

¹⁾例外：可以在不触发SPI错误检测的情况下更改器件启用位的值。

允许在故障安全模式下清除状态寄存器，并且不会置位SPI故障位。

表 5 故障安全模式下的 OUT12_VCC2

SPI configuration	OUT12_VCC2
Setting1	Off (default)
Setting2	According to the enable bit for OUT12_VCC2

4 供电及运行模式

注释: 当:

- $OUT12_VCC2$ 配置为高边开关
- $OUT12_VCC2$ 配置为遵循 $OUT12_VCC2$ 的启用位
- $OUT12_VCC2$ 的启用位是置位

然后, $OUT12_VCC2$ 的CCM 模式和PWM模式被禁用, 因为这些控制位在故障安全模式下被复位至其默认值。

有关从故障安全模式恢复到正常模式的序列描述, 请参阅用户手册。

4.3.1.5 休眠过渡模式

该模式的目的是在进入休眠模式之前准备器件。

该器件在休眠转换模式下保持 t_{DSLEEP}

在休眠转换模式期间:

- 输出关闭
- 该器件不接受SPI读或写指令

4.3.2 模式转换

从休眠模式转换到初始化模式

当CSN 为低电平并持续 $t = t_{WAKE}$ 时, 器件从休眠模式进入初始化模式。

从初始模式过渡到正常模式

在 $t = t_{START}$ 期间保持在初始化模式后, 器件自动进入正常模式。

从正常模式过渡到故障安全模式

如果出现看门狗错误, 器件将从正常模式进入故障安全模式输入。

从正常模式过渡到休眠过渡模式

输入以下情况时器件进入休眠转换模式:

- 当 $t = t_{EN_TO}$ 时, 器件通过器件启用位复位从初始化模式进入正常模式
- 器件处于正常模式, 启用位置位。然后器件启用位复位。

从故障安全模式过渡到休眠过渡模式

当出现以下情况时, 器件将进入休眠过渡模式:

1. 该设备处于故障安全模式
2. 然后器件启用位复位

从故障安全模式过渡到正常模式

当接收到特定SPI序列时, 该器件从故障安全模式转为正常模式。请参阅用户手册。

从休眠过渡模式转换到休眠模式

如果CSN为高电平, 器件将在 $t = t_{DSLEEP}$ 后进入休眠模式。

只要CSN为低电平, 器件就会一直处于休眠转换模式。

任何模式都会转换到休眠模式, 如果断开 V_{DD}

当 V_{DD} 断开, 器件进入休眠模式。

当 V_{DD} 断开, 则器件将保持休眠模式, 与 V_{CSN} 电平无关。

4.4 超时看门狗

超时看门狗监控与微控制器的通信以及 SPI 总线的完整性。

看门狗可通过SPI配置：

- 看门狗在上电复位后默认启用，并在从初始化模式转换到正常模式时启动
- 可以通过专用 SPI 序列禁用看门狗
- 可以通过位配置重新启用看门狗
- 看门狗周期可通过位配置选择（表 6）

表 6 可选看门狗周期

Parameter	Symbol	Nominal value	Unit	Default	Tolerance
Watchdog period	t_{WDPER}	50 250	ms	50	t_{OSC1_TOL}

看门狗必须在配置的周期 (t_{WDPER}) 内重新触发才能保持正常模式。

看门狗重新触发后，新的看门狗周期将开始。

有关看门狗重新触发的描述以及禁用看门狗的 SPI 序列，请参阅用户手册。

监控看门狗定时器

看门狗监测位（请参阅用户手册）报告看门狗监测相对于看门狗周期的相对位置。

这样就能检测到与看门狗定时器冻结有关的潜在故障。

微控制器可以监控看门狗计数器的增量，以验证看门狗定时器是否被冻结。

表 7 看门狗定时器的监控

Watchdog monitoring bits	Position of the watchdog timer
00 _B	Between [0%, 25%[of t_{WDPER}
01 _B	Between [25%, 50%[of t_{WDPER}
10 _B	Between [50%, 75%[of t_{WDPER}
11 _B	Between [75%, 100%[of t_{WDPER}

如果看门狗在 t_{WDPER} 内没有重新触发，则：

- 该器件进入故障安全模式（请参阅 4.3.1.4 章节）
- 故障安全位置位

4.5 温度监测

功率级集成了多个温度传感器，用于检测和报告热警告和热关断情况。

热传感器排列成簇，按照表 8。

表 8 **热簇**

Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4	Cluster 5	Cluster 6
OUT1 + OUT6	OUT2 + OUT3	OUT4 + OUT5	OUT7	OUT8+OUT9+OUT11	OUT10, ECV LS, OUT12_VCC2

4.5.1 热警告

如果相应热传感器的温度在超过 T_{jw} 持续时间 $t = t_{FTW}$ ，则会检测到给定热簇的温度警告。

器件反应为：

- 温度警告状态位为置位并锁存
- 热警告事件在全局状态字节中报告
- 属于受影响热簇的输出状态保持不变

当收到包含热警告的寄存器的清除指令时，热警告被清除。

4.5.2 热关断

如果相应传感器的温度在超过 T_{jSD} 持续时间 $t = t_{FTSD}$ ，则检测到给定热簇的热关断 (TSD)。

在这种情况下，器件反应为：

- 热集群的热关断位置位并锁存
- 热关断事件在全局状态字节中报告
- 热簇的输出被锁闭

热关断事件发生后，如果清除热关断状态位，则停用的输出将重新启用（根据控制寄存器）。

4.6 电气特性

电气特性， $V_S = 5.5\text{ V}$ 至 20 V ， $V_{DD} = 3.0\text{ V}$ 至 5.5 V ， $V_{CP} = V_S + 7.5\text{ V}$ 至 $V_S + 17\text{ V}$ ， $T_j = -40^\circ\text{C}$ 至 $+150^\circ\text{C}$ ， $I_{OUTX} = 0\text{ A}$ ；除非另有说明，典型值是指 $V_{DD} = 5.0\text{ V}$ 、 $V_S = 13.5\text{ V}$ 和 $T_j = 25^\circ\text{C}$ ；所有电压均相对于接地点，电流正向流入引脚（除非另有说明）。

表 9 **电气特性**

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition	P-Number
		Min.	Typ.	Max.			
Supply quiescent current	I_{SQ}	–	2.4	5	μA	$-40^\circ\text{C} \leq T_j \leq 85^\circ\text{C}$; $V_S = V_{CP}$	P_SUP_01_01
Logic supply quiescent current	I_{DD_Q}	–	1.8	5	μA	$-40^\circ\text{C} \leq T_j \leq 85^\circ\text{C}$	P_SUP_01_03
Supply current	I_S	–	3.5	5	mA	Outputs off	P_SUP_01_05
Logic supply current	I_{DD}	–	3.5	6	mA	–	P_SUP_01_06

(表格续下页.....)

表 9 (续) 电气特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition	P-Number
		Min.	Typ.	Max.			
CP current	I_{CP}	–	–	3	mA	OUT12 HS; OUT1-12 on; OUT2,4,6 20kHz PWM with active freewheeling; Mirror heater on	P_SUP_01_07
VCC2 supply current	I_{VCC2}	–	2.5	3	mA	OUT12_VCC2 configured as 3.3 V / 5 V regulator VCC2 on, no load	P_SUP_01_33
VSUV filter time	t_{FVSUV}	4	7	12	μs	–	P_SUP_01_09
VSOV filter time	t_{FVSOV}	4	7	12	μs	–	P_SUP_01_10
TW filter time	t_{FTW}	4	7	12	μs	–	P_SUP_01_11
TSD filter time	t_{FTSD}	4	7	12	μs	–	P_SUP_01_12
CPUV filter time	t_{FCPUV}	51	64	77	μs	–	P_SUP_01_13
Undervoltage switch-on voltage threshold	V_{UV_ON}	4.25	–	5.25	V	V_S increasing	P_SUP_01_14
Undervoltage switch-off voltage threshold	V_{UV_OFF}	4	–	5	V	V_S decreasing	P_SUP_01_15
Undervoltage switch-on/off hysteresis	V_{UV_HY}	0.10	0.25	0.40	V	$V_{UV_ON} - V_{UV_OFF}$	P_SUP_01_16
Overvoltage switch- off voltage threshold	V_{OV_OFF}	20	–	22.5	V	V_S increasing	P_SUP_01_17
Overvoltage switch- on voltage threshold	V_{OV_ON}	19	–	21.5	V	V_S decreasing	P_SUP_01_18
Overvoltage switch- on/off hysteresis	V_{OV_HY}	0.7	1	1.3	V	$V_{OV_OFF} - V_{OV_ON}$	P_SUP_01_19
VDD power on reset	V_{DD_POR}	2.5	2.7	2.9	V	V_{DD} increasing	P_SUP_01_20
VDD power off reset	V_{DD_POFFR}	2.4	2.6	2.8	V	V_{DD} decreasing	P_SUP_01_21
VDD power on/off hysteresis	$V_{DD_POR_HY}$	30	–	–	mV	$V_{DD_POR} - V_{DD_POFFR}$	P_SUP_01_22
Wake-up time	t_{WAKE}	–	–	150	μs	–	P_SUP_01_23

(表格续下页.....)

表 9 (续) 电气特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition	P-Number
		Min.	Typ.	Max.			
Start time	t_{START}	400	500	600	μs	–	P_SUP_01_24
Enable timeout	$t_{\text{EN_TO}}$	32	40	48	ms	–	P_SUP_01_25
Sleep time delay	t_{DSLEEP}	80	100	120	μs	–	P_SUP_01_26
Thermal warning junction temperature	T_{jW}	145	160	175	$^{\circ}\text{C}$	–	P_SUP_01_27
Thermal shutdown junction temperature	T_{jSD}	185	200	215	$^{\circ}\text{C}$	–	P_SUP_01_28
Thermal comparator hysteresis	T_{jHYS}	5	10	15	$^{\circ}\text{C}$	–	P_SUP_01_29
CPUV threshold	V_{CPUV}	$V_{\text{S}} + 5.5$	$V_{\text{S}} + 6$	$V_{\text{S}} + 7$	V	–	P_SUP_01_30
Oscillator 1 tolerance	$t_{\text{OSC1_TOL}}$	-20%	–	+20%	–	–	P_SUP_01_31

5 集成功率输出

本章介绍与集成功率输出相关的特性：

- OUT1 至 OUT6：集成半桥
- OUT7 至 OUT11：集成高边开关
- OUT12_VCC2：可配置输出为高边开关或 5 V / 3.3 V 稳压器
- ECV：集成低边

在本章中，主动MOSFET是指MOSFET根据表 10 中定义的MOSFET：

- 设置2：低边MOSFET为主动MOSFET
- 设置3：高边MOSFET为主动MOSFET

注释： 本章适用于OUT12_VCC2 配置为高边时。参见表 30 以及 4.3.1.3 章节 来配置。

注释 器件监视 I_{OUTx} 用于诊断和保护。
对于激活的高边开关：只有当电流流出OUTx 时，才能监控 I_{OUTx} 。否则， I_{OUTx} 被视为等于0。
对于激活的低边开关：只有当电流流入OUTx 时，才能监控 I_{OUTx} 。否则， I_{OUTx} 被视为等于0。

5.1 集成半桥

OUT1 至 OUT6 由集成高边和低边开关组成，针对感性负载进行了优化。

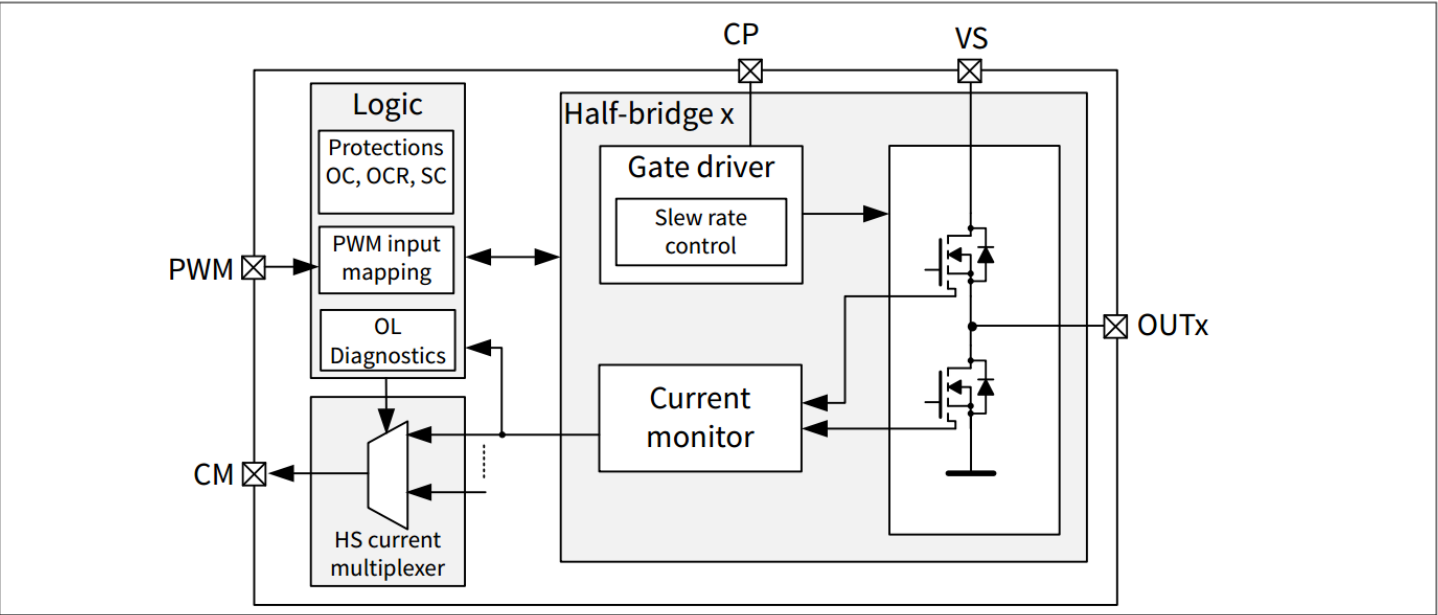


图 5
半桥的 MOSFET 由 SPI 控制，具体如下表 10。

表 10 通过 SPI 控制半桥

SPI Configuration	HSx	LSx	Comment
Setting1	OFF	OFF	Default configuration
Setting2	OFF	ON	–
Setting3	ON	OFF	–

5 集成功率输出

5.1.1 交叉电流保护

集成半桥具有跨流保护，避免直通。

当激活高边或低边时，必须应用交叉电流保护时间（ t_{CCPx} ），同时同一半桥的相对 MOSFET 已经导通。

1. 在 t_{CCPx} 期间，先前导通的 MOSFET 被关断
2. 在 t_{CCPx} 之后，待激活的 MOSFET 导通

无论是否采用PWM操作，交叉电流保护时间均可用。

t_{CCP1} 或 t_{CCP2} 根据表 11 设置

5.1.2 PWM控制的半桥

半桥可以使用高达 25 kHz 的PWM信号频率进行控制。

PWM 输入对 OUT1 至 OUT6 的 PWM 控制是通过 SPI 启用，参考表 11。

主动MOSFET是指MOSFET根据表 10选择的MOSFET，续流MOSFET是同一个半桥的对侧MOSFET。

表 11 半桥 PWM 启用

SPI configuration	Half-bridge configuration	Overcurrent and open load blank time	Slew rate	Cross-current protection time
Setting1	No PWM operation (default)	No OC detection: t_{BLK_OCOL1} Once OC is detected: t_{BLK_OCOL3}	No OC detection: S_{R1} Once OC is detected: S_{R2}	No OC detection: t_{CCP1} Once OC is detected: t_{CCP2}
Setting2	The signal at the PWM input pin is applied to the active MOSFET	t_{BLK_OCOL2}	S_{R2}	t_{CCP2}

半桥可单独根据表 12 配置被动或主动续流。

表 12 PWM 控制中的续流配置

SPI configuration	Freewheeling
Setting 1	Passive freewheeling (default)
Setting 2	Active freewheeling

在被动续流模式下：

- 主动 MOSFET 跟随 PWM 引脚
- 续流 MOSFET 保持关闭状态
- 未采用交叉电流保护

在主动续流模式下：

- 在 PWM 引脚的上升沿
 1. 续流 MOSFET 在 t_{CCP2} 期间关断
 2. 在 t_{CCP2} 之后，PWM MOSFET 导通
- 在 PWM 引脚的下降沿：
 - 主动 MOSFET 在 t_{CCP2} 期间关断
 - 在 t_{CCP2} 之后，续流 MOSFET 导通

5.2 集成高边开关 OUT7-OUT12

高边 OUT7 至 OUT12 用于控制：

- 电阻负载，如 LED
- 恒流模式（CCM）的电感性负载

使用这些输出控制感性负载需要接地和相应输出之间的外接续流二极管。

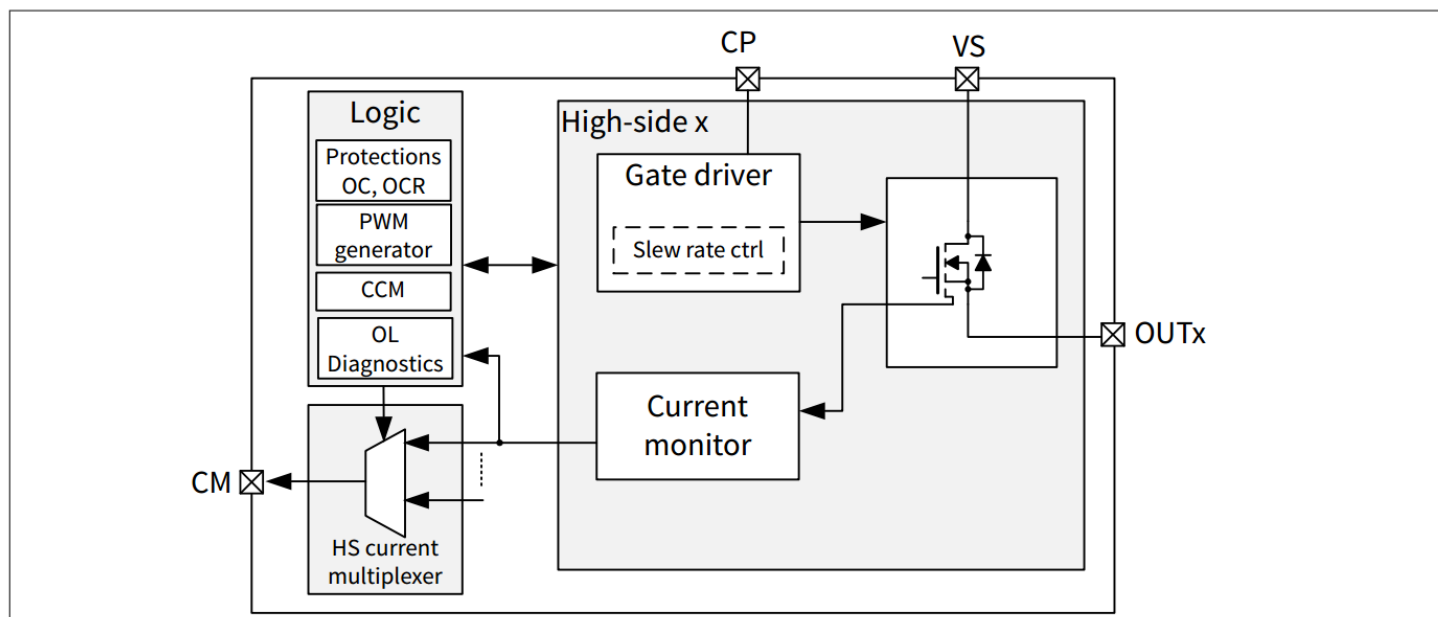


图 6 高边开关框图 - OUT7 至 OUT11

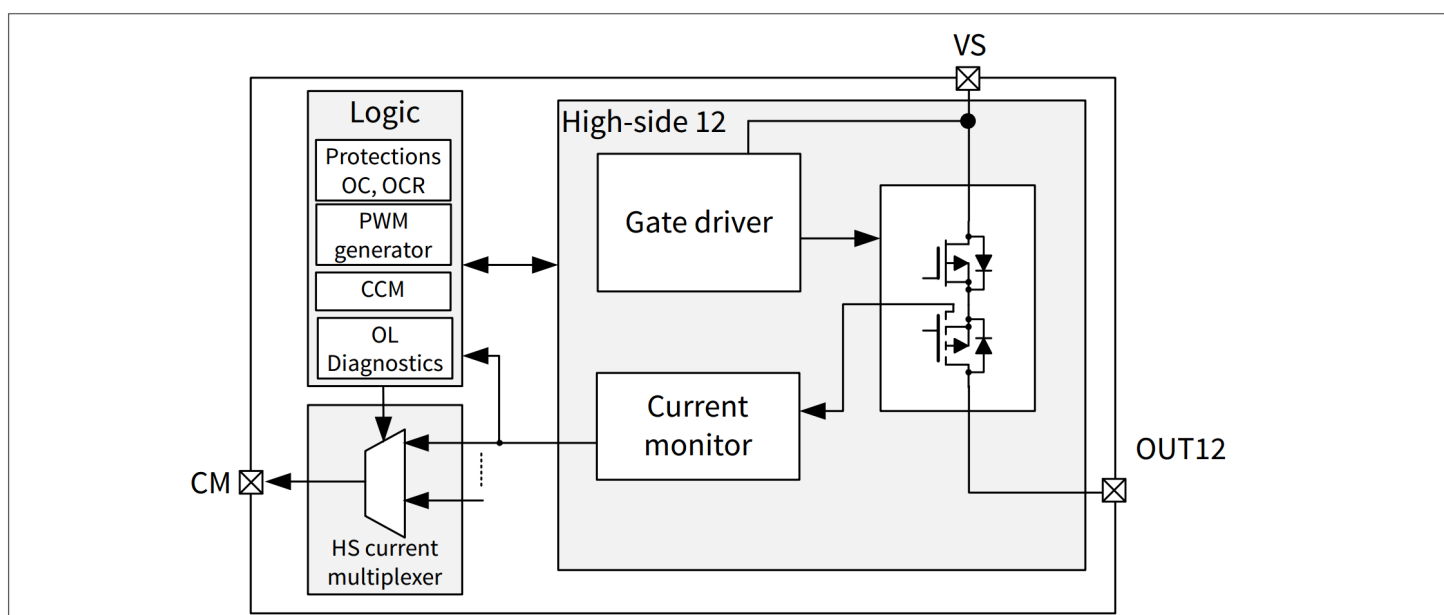


图 7 OUT12_VCC2 配置为高边开关框图

OUT7 至 OUT12 有单独的启用位来控制高边开关。参见表 13：

表 13 OUT7-OUT12 导通

SPI configuration	Output state
Setting1	OUTx is off (default)
Setting2	OUTx is on

5.2.1 PWM工作

OUT7 至 OUT12 可映射到内部 PWM 发生器 PWM1 至 PWM6 之一。

每个PWM发生器的占空比可由SPI以 10 位分辨率配置。

表 14 OUT7 至 OUT12 的 PWM 映射

SPI configuration	PWM mapping
Setting1	No PWM (default)
Setting2	High-side mapped to PWM1
Setting3	High-side mapped to PWM2
Setting4	High-side mapped to PWM3
Setting5	High-side mapped to PWM4
Setting6	High-side mapped to PWM5
Setting7	High-side mapped to PWM6

表 15 内部PWM 频率选择

Parameter	Symbol	Nominal value	Unit	Default	Tolerance
PWMx frequency	F_{PWM}	100	Hz	100	$t_{\text{OSC1_TOL}}$
		200			
		320			
		400			

可根据表 16对每个PWM发生器单独施加相移：

表 16 PWM 发生器相移

Parameter	Nominal range	Unit	Step width	Default
Phase shift	0 to 315	°	45	0

5.2.2 恒流模式

OUT7 至 OUT12 可通过 SPI 在恒流模式 (CCM) 下单独配置，以根据表 17驱动电容负载：

表 17 恒流模式激活

SPI configuration	Constant current mode selection
Setting1	Constant current mode disabled (default) Output in $R_{\text{DS(ON)}}$ mode
Setting2	Constant current mode 1 (CCM1) enabled

(表格续下页.....)

表 17 (续) 恒流模式激活

SPI configuration	Constant current mode selection
Setting3	Constant current mode 2 (CCM2) enabled
Setting4	Constant current mode 3 (CCM3) enabled

OUTx 选择 CCM1：

1. 收到激活 OUTx 的控制信号
2. $|I_{OUTx}|$ 被限制为 I_{CCM1} 当 $t = t_{BLK_OCOL} + t_{CCM1}$
3. 在 t_{CCM1} 之后，OUTx 切换到 $R_{DS(ON)}$ 模式

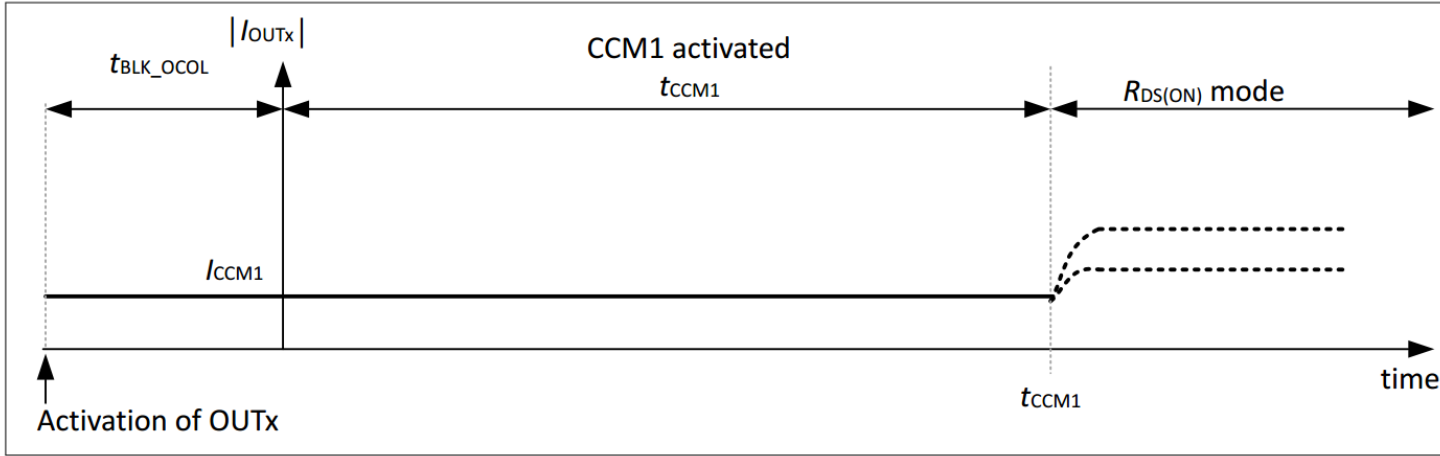


图 8 CCM1

OUTx 选择 CCM2：

1. 收到激活 OUTx 的控制信号
2. 在 $t = t_{BLK_OCOL}$ $|I_{OUTx}|$ 被限制为 I_{CCM1}
3. 然后 CCM2 激活时长 $t = t_{CCM2}$:
 - a. 如果 $V_{OUTx} \leq V_{OUT_LOW}$ 持续了 $t = t_{FVOUT_LOW}$ ，那么 $|I_{OUTx}|$ 被限制为 I_{CCM1}
 - b. 如果 $V_{OUTx} \geq V_{OUT_LOW}$ 持续了 $t = t_{FVOUT_LOW}$ ，那么 $|I_{OUTx}|$ 被限制为 I_{CCM2}
4. 在 t_{CCM2} 之后，OUTx 切换到 $R_{DS(ON)}$ 模式

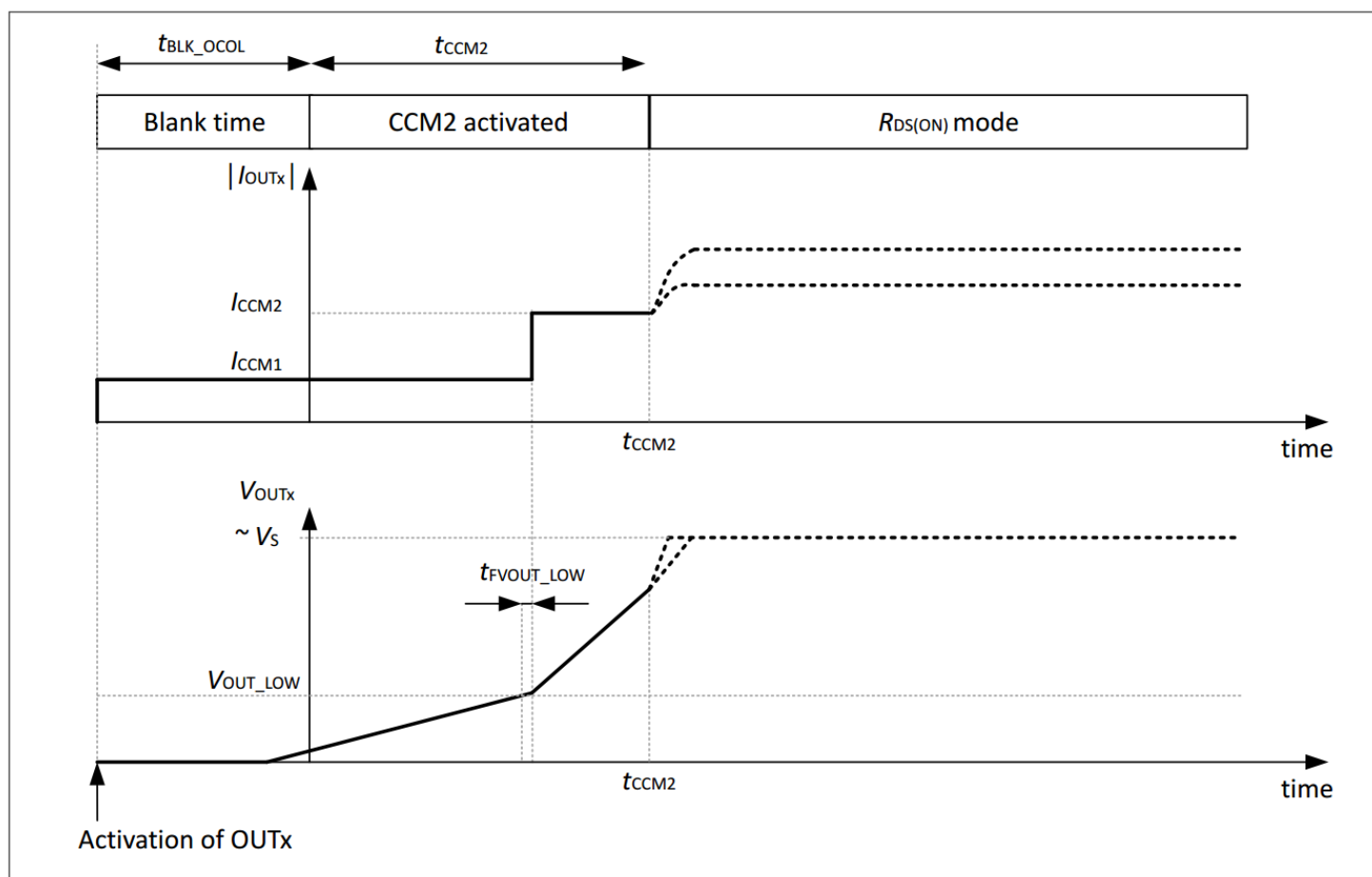


图 9 $OUTx$

$OUTx$ 选择 CCM3:

1. 收到激活 $OUTx$ 的控制信号
2. 当 $t = t_{BLK_OCOL}$, $|I_{OUTx}|$ 被限制为 I_{CCM2}
3. 然后 CCM3 激活时长 t_{CCM3} :
 - a. 如果 $V_{OUTx} \leq V_{OUT_LOW}$ 持续了 $t = t_{FVOUT_LOW}$, 那么 $|I_{OUTx}|$ 被限制为 I_{CCM2}
 - b. 如果 $V_{OUTx} \geq V_{OUT_LOW}$ 持续了 $t = t_{FVOUT_LOW}$, 那么 $|I_{OUTx}|$ 被限制为 I_{CCM3}
4. 当 $t = t_{CCM3}$, $OUTx$ 切换到 $R_{DS(ON)}$ 模式

在 t_{CCM3} 期间, 过流检测被禁用。

5 集成功率输出

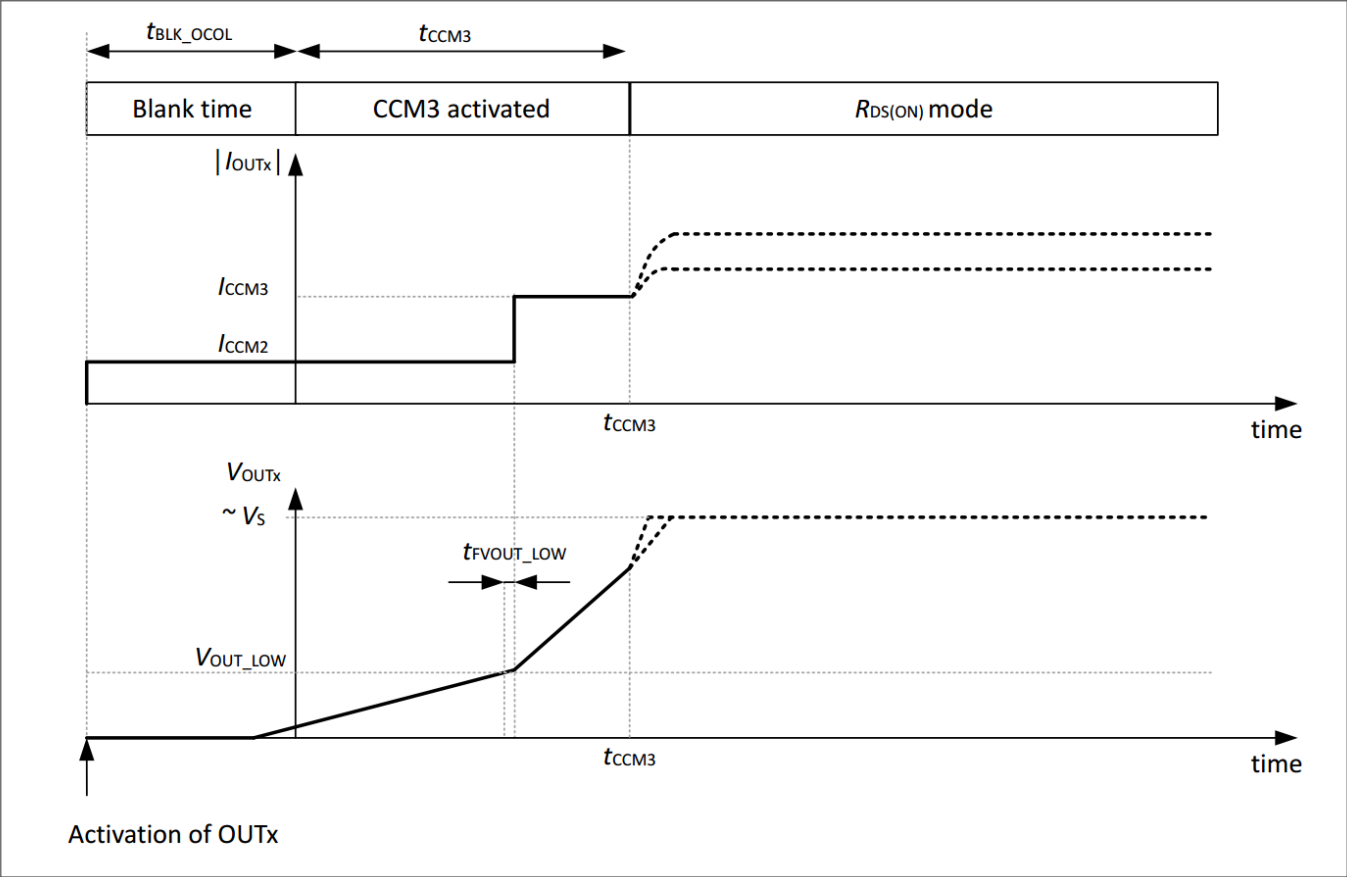


图 10 CCM3

如果在相应 t_{CCMx} 结束之前通过 SPI 禁用 CCM，则 CCM 模式将被停用，并且输出将切换到 $R_{DS(ON)}$ 模式。如果在输出已处于 $R_{DS(ON)}$ 模式时通过 SPI 启用或更改 CCM，则在下次激活输出时应用新的 CCM。对于相应的 CCM 模式，若在 $V_{OUT} < V_{OUT_LOW}$ 且 $t = t_{CCMx}$, $x = 1$ to 3 时，那么：

- 输出关闭
- 过流位是置位

5.2.3 OUT7 的可配置性

OUT7 可配置为控制：

- 可驱动高达10W的白炽灯在低 $R_{DS(ON)}$ 模式，配合过流恢复功能(5.4.3 章节)
- 由于低负载开路检测阈值，LED 处于高 $R_{DS(ON)}$ 模式

OUT7的电气特性配置可按表 18、表 20 和表 19。

表 18 OUT7 RDS(ON)、负载开路和过流阈值

SPI configuration	R_{ON}	Open load	Overcurrent	Current limitation	Note
Setting1: Low $R_{DS(ON)}$	$R_{DS(ON)_OUT7_1}$	$I_{OL_OUT7_1}$	$I_{OC_OUT7_1}$	Configurable Table 20	Default
Setting2: High $R_{DS(ON)}$	$R_{DS(ON)_OUT7_2}$	$I_{OL_OUT7_2}$	$I_{OC_OUT7_2}$	$I_{LIM_OUT7_2}$	–

表19 OUT7 斜率和过流/负载开路消隐时间

Configured $R_{DS(ON)}$	Configured slew rate	Overcurrent recovery	Overcurrent OUT7 status bit	Applied slew rate	OC/OL blank time
Low	Don't care	Don't care	0	S_{R1}	t_{BLK_OCOL1}
Low	Low	Enabled	1	S_{R1}	t_{BLK_OCOL1}
Low	High	Enabled	1	S_{R2}	t_{BLK_OCOL2}
High	Not applicable	Not applicable	0	S_{R1}	t_{BLK_OCOL1}

表 20 OUT7 RDS(ON) 模式电流限制

SPI configuration	I_{LIM}	Note
Setting1	$I_{LIM_OUT7_11}$	–
Setting2	$I_{LIM_OUT7_12}$	Default

注释：即使过流恢复特点是由SPI启用的，只要没有检测到过流， S_{R1} 和 t_{BLK_OCOL1} 也适用于任何配置。

5.3 集成 ECV 低边

ECV 低边 (ECV LS) 可根据表 21 进行配置：

- 低边配置中控制非感性负载
- 与 OUT10 关联时，在半桥配置中控制感性负载
- 允许 ECV 引脚快速放电至接地点，用于电致变色镜

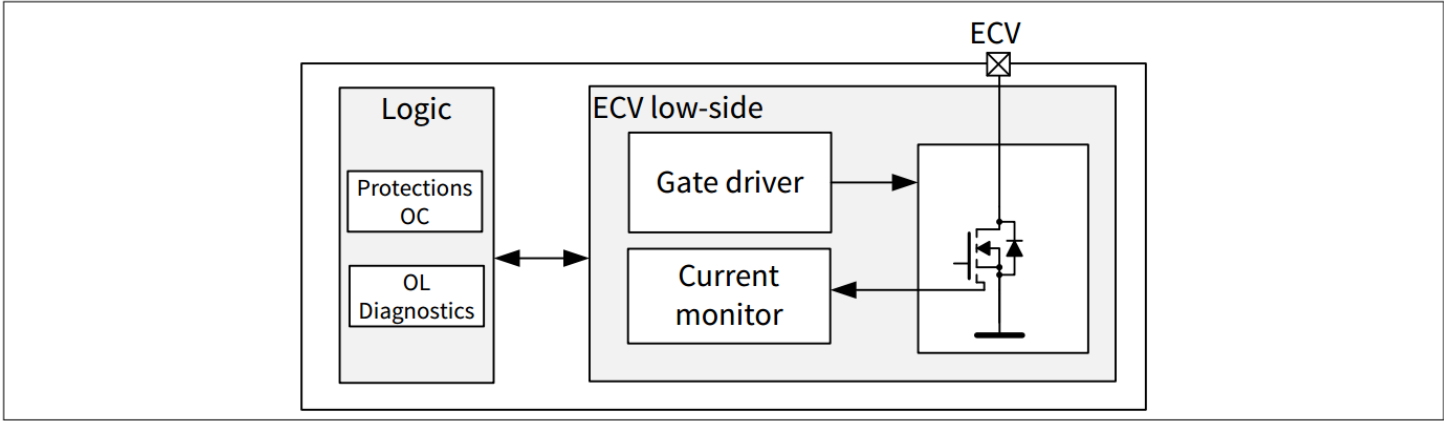


图 11 ECV 低边框图

表 21 ECV 低边和 EC 调节的配置

SPI Configuration	EC regulation	ECV low-side	Remarks
Setting1	Disabled	Standalone low-side switch (default)	The ECV low-side follows its enable bit
Setting2	Disabled	ECV low-side and OUT10 are configured in half-bridge mode	ECV low-side and OUT10 follow their respective enable bit A cross-current protection is implemented

(表格续下页.....)

表 21 (续) ECV 低边和 EC 调节的配置

SPI Configuration	EC regulation	ECV low-side	Remarks
Setting3	Enabled	If the ECV LS control bit is set, the ECV low-side is activated depending on V_{ECV}	Refer to Chapter 7
Setting4	Enabled	If the ECV LS control bit is set, ECV low-side is activated independently from V_{ECV}	Refer to Chapter 7

5.3.1 OUT10 和 ECV 低边的半桥配置

在半桥配置中，当必须激活 OUT10 或 ECV 低边时，将应用交叉电流保护时间，而半桥的对面MOSFET已经导通。

- 1. 在 t_{CCP1} 期间，先前导通的 MOSFET 被关断
- 2. 在 t_{CCP1} 之后，待激活的 MOSFET 导通

在半桥配置中，如果 ECV 低边和 OUT10 的启用位均为置位，则：

- 两个输出都关闭
- 输入故障位为置位并锁存

ECV 低边和 OUT10 保持关闭状态，直到输入故障位被清除。

OUT10 CCM 和 PWM 的位设置被忽略：

- CCM 模式已禁用
- OUT10 不受任何 PWM 发生器控制

5.4 保护

每个激活的输出均可以进行过流检测。过流检测时的器件反应取决于输出和寄存器配置。

OUT1 至 OUT6 具有以下保护功能：

- 过流闭锁。请参阅 [5.4.2 章节](#)。
- 带短路检测的过流恢复。请参阅 [5.4.3.1 章节](#)。
- PWM 禁用时，过流恢复功能，带短路检测和半桥配对。请参阅 [5.4.3.1 章节](#)。

低 $R_{DS(ON)}$ 模式下的 OU7 具有以下保护功能：

- 过流闭锁。请参阅 [5.4.2 章节](#)。
- 带短路检测的过流恢复。请参阅 [5.4.3.2 章节](#)。

OUT7 处于高 $R_{DS(ON)}$ 模式，OUT8 至 OUT12 具有过流闭锁保护。请参阅 [5.4.2 章节](#)。OUT1、5、6 的过流阈值可按 [表 22](#) 配置。

表 22 可配置过流阈值

Parameter	Symbol	Nominal value high side / low side	Unit	Default
Overcurrent threshold OUT1,6	$I_{OC_OUT1,6_HS} / I_{OC_OUT1,6_LS}$	-2 / 2 -3 / 3 -4 / 4	A	-2 / 2
Overcurrent threshold OUT5	$I_{OC_OUT5_HS} / I_{OC_OUT5_LS}$	-4 / 4 -6 / 6 -7.5 / 7.5	A	-4 / 4

5.4.1 过流检测

忽略过流检测：

- 对于任何输出：在激活后的 t_{BLK_OCOLx} 期间内
- 对于半桥，当 OCR 和配对启用时：在 t_{BLK_OCOL3} 期间（请参阅 5.4.3.1.3 章节）

t_{BLK_OCOLx} 后，检测到过流：

- 对于激活的高边：如果 $|I_{OUT}| \geq |I_{OC}|$ 持续时间 $t = t_{FOC}$
- 对于激活的低边：如果 $I_{OUT} \geq I_{OC}$ 持续时间 $t = t_{FOC}$
- 对于 ECV 低边：如果 $I_{ECV} \geq I_{OC_ECV_LS}$ ，持续时间 $t = t_{FOC}$

5.4.2 过流闭锁

每个集成的高边和低边都具有过流闭锁功能。当检测到过流条件时：

- 受影响 MOSFET 的过流状态位置位并锁存
- 受影响的半桥闭锁，OUT1 至 OUT6
- 受影响 MOSFET 闭锁，OUT7 至 OUT12

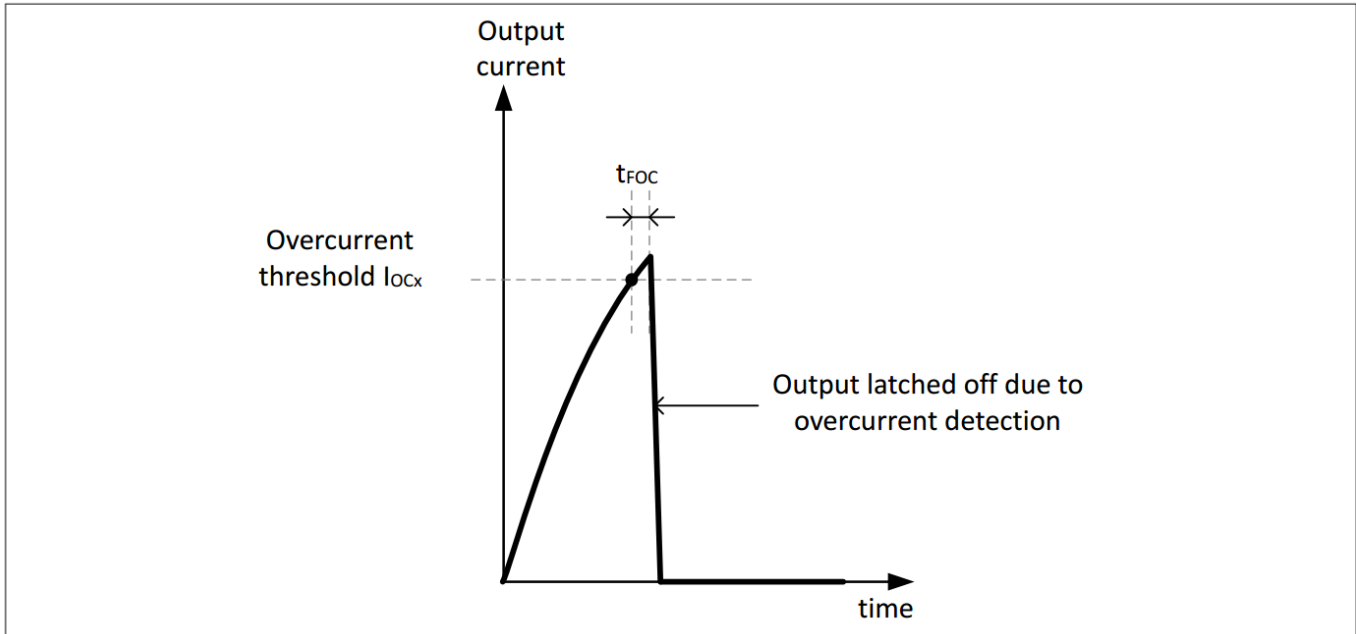


图 12 过流闭锁

过流闭锁后，当过流状态位被清除时，输出将重新启用（根据控制寄存器）。

5.4.3 过流恢复

过流恢复 (OCR) 模式可以控制浪涌电流高于过流检测阈值的负载。出于可靠性原因，建议尽量减少 OCR 条件下的工作，尤其是在短路条件下。

在低 $R_{DS(ON)}$ 模式下，OCR 可用且可单独配置 OUT1 至 OUT6 和 OUT7。

t_{OCR} 可根据表 23 进行配置。

表 23 过流恢复时间设置

Overcurrent recovery time	Symbol	Nominal value	Unit	Default	Tolerance
Integrated half-bridges	t_{OCR}	0 24 32 48	μs	0	t_{OSC1_TOL}
OUT7 in low $R_{DS(ON)}$ mode	t_{OCR}	0 3 6 9	μs	0	t_{OSC1_TOL}

t_{OCR_OFF} 可根据表 24 进行配置。

表 24 OCR 关断时间设置

Parameter	Symbol	Nominal value	Unit	Default	Tolerance
Half-bridges OCR off-time	t_{OCR_OFF}	200 300 400 600	μs	200	t_{OSC1_TOL}
OUT7 in low $R_{DS(ON)}$ OCR off-time	t_{OCR_OFF}	100 200 400 600	μs	200	t_{OSC1_TOL}

5.4.3.1 半桥过流恢复

参见表 11 设置 OCR 期间半桥适用的斜率和 OC/OL 消隐时间 t_{BLK_OCOLx0} 。当 OCR 启用时，短路检测也启用。

说明原因：

- 5.4.3.1.1 章节首先显示短路检测未触发时的器件行为。
- 5.4.3.1.2 章节显示触发短路检测时的器件行为。

注释： 当OCR启用时，建议将半桥的 t_{OCR} 设置为0。

将感性负载（例如，后视镜调节、后视镜折叠或门锁）的导通时间 t_{OCR} 延长到最多48 μ s 不会显著增加负载的平均电流。

然而，在过载期间延长导通时间会增加施加到输出的压力。

5.4.3.1.1 禁用 PWM 的半桥 OCR

当检测到过流时：

1. 输出导通时间为 $t = t_{OCR}$
2. 然后在 $t = t_{OCR_OFF}$ 时关闭输出。
3. 在 $t = t_{OCR_OFF}$ 后：
 - 输出打开
 - t_{BLK_OCOL3} 被应用

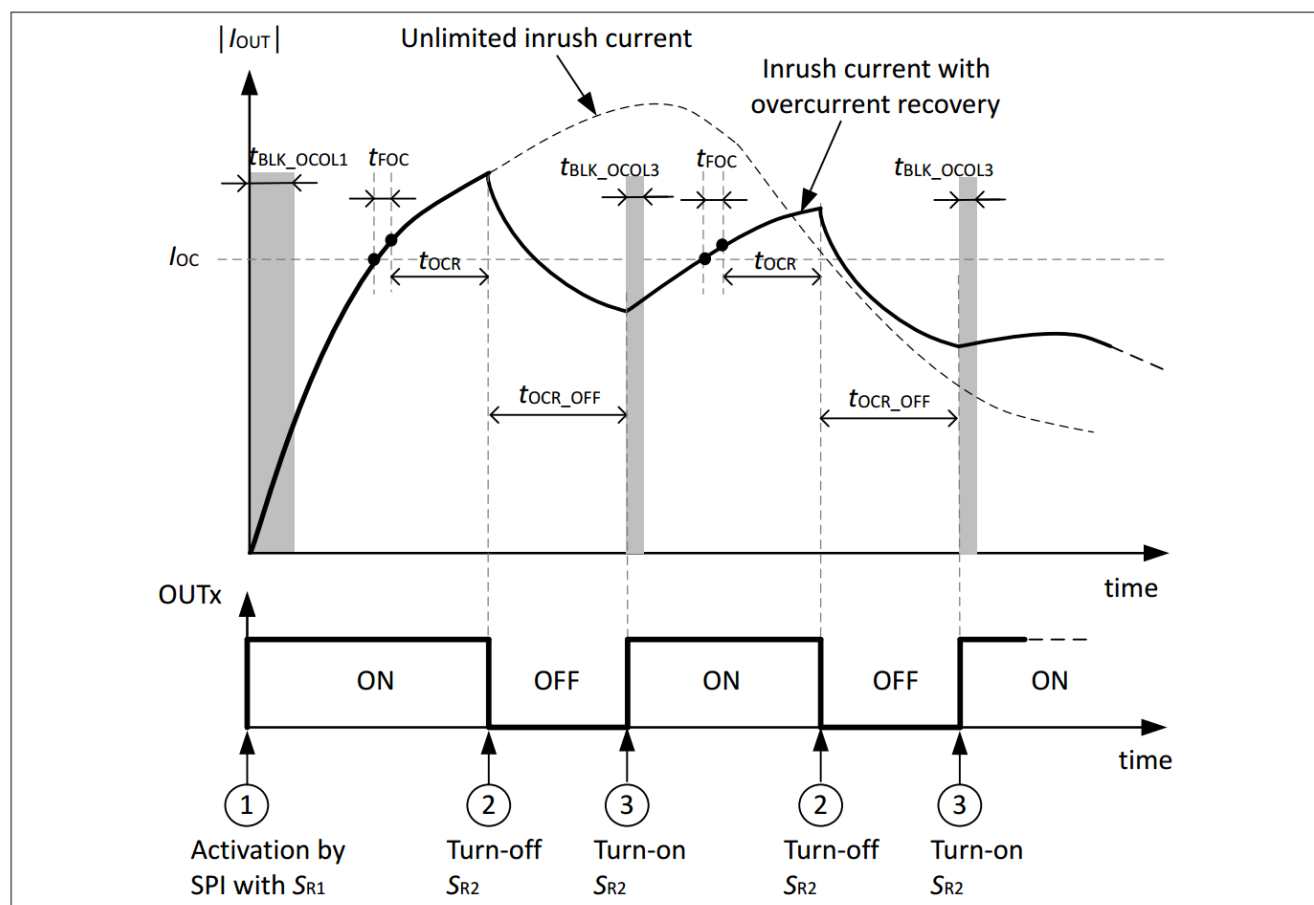


图 13 禁用 PWM 的半桥 OCR

5.4.3.1.2 禁用 PWM 和短路检测功能的半桥 OCR

当 OCR 启用时，将为 $OUT1$ 至 $OUT6$ 实施附加短路阈值和短路检测。

忽略短路检测：

- 在任何 t_{BLK_OCOLx} 期间激活输出时
- 并且在 t_{BLK_OCOL3} 期间，当 OCR 和配对启用时（请参阅5.4.3.1.3 章节）

在 t_{BLK_OCOLx} 之后:

- 对于激活的高边:如果 $|I_{OUT}| \geq |I_{SC}|$ 持续 $t = t_{FSC}$, 那么在高边检测到一个短路脉冲
- 对于激活的低边: 如果 $I_{OUT} \geq I_{SC}$ 持续 $t = t_{FSC}$, 那么在低边检测到一个短路脉冲

对于主动MOSFET, 可以通过SPI禁用或启用短路计数器(OUTx_SC_CFG)。配置位适用于所有半桥。

短路计数器已禁用

如果短路计数器被禁用, 则在第一个短路脉冲 (图 14) :

- 短路状态位置位
- 半桥被锁闭, 直到短路状态位被清除

短路计数器启用

如果短路计数器是启用的 (图 15) , 那么:

- 在第一个短路脉冲时, 主动MOSFET关断 $t = t_{OCR_OFF}$ 时间
- 在 t_{OCR_OFF} 结束时:
 - 主动MOSFET导通
 - t_{BLK_OCOL3} 被应用
- 在第二个连续短路脉冲处:
 - 短路状态位置位
 - 半桥被锁闭, 直到短路状态位被清除

短路计数器在第一个短路脉冲后复位:

- 如果 $|I_{OUT}| \leq |I_{SC}|$ 则:
 - 主动MOSFET导通
 - 并且主动 MOSFET 超出其 OC/OL 消隐时间
- 如果输出被 SPI 停用

注释: 即使在 t_{OCR} 期间, 主动 MOSFET短路检测也会启用。

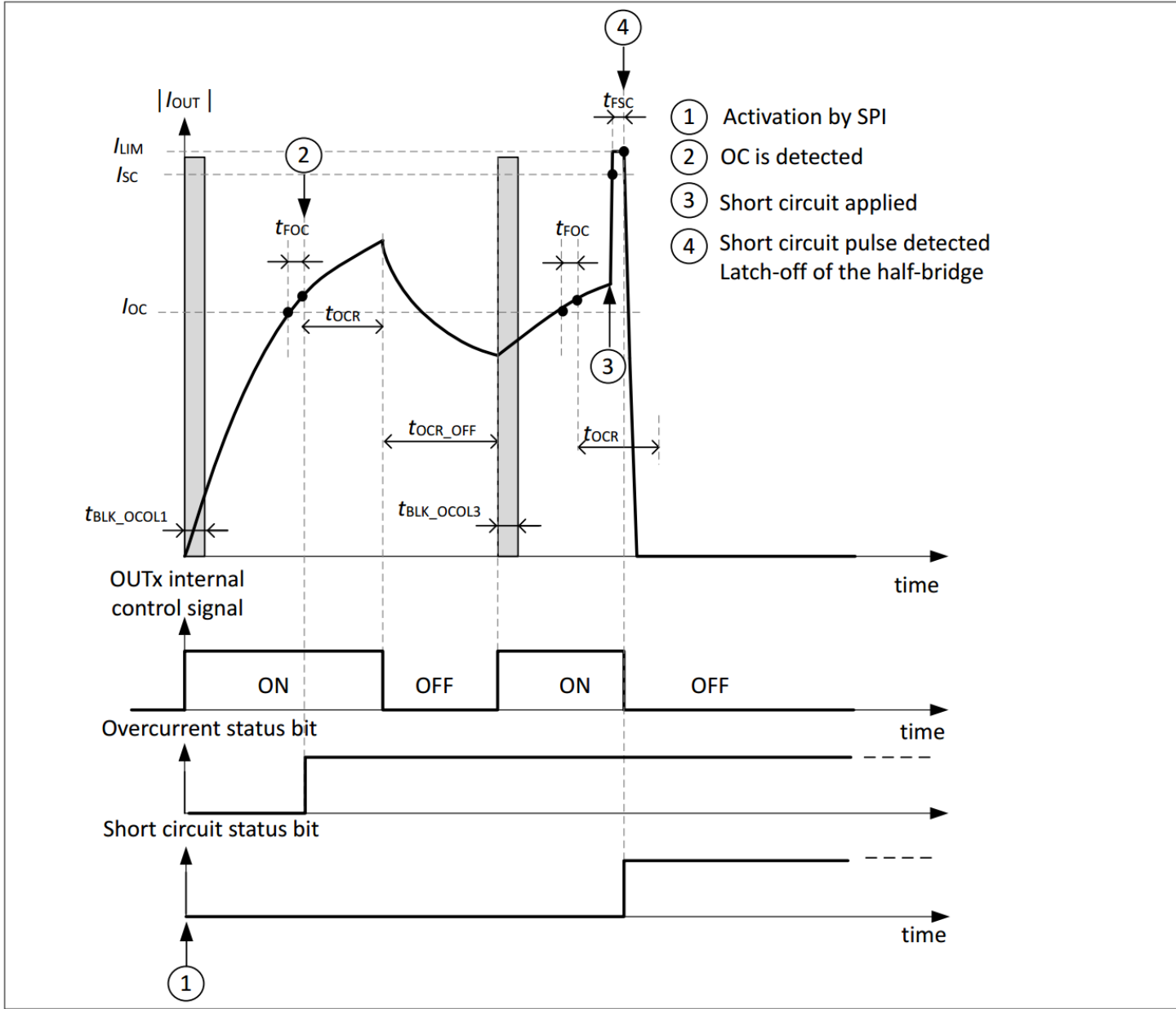


图 14 主动MOSFET短路检测，OCR 启用，短路计数器禁用

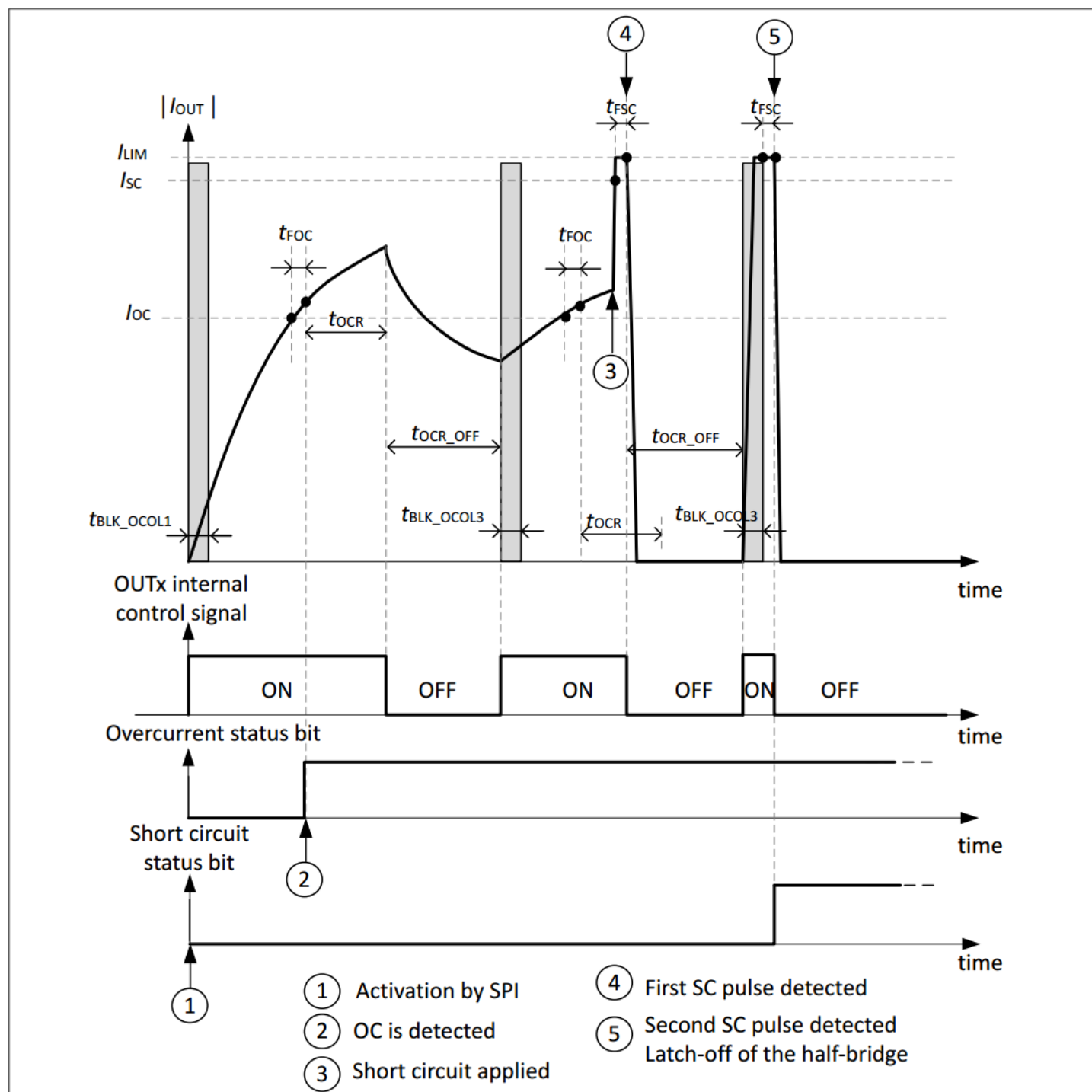


图 15 主动 MOSFET 短路检测, OCR 启用, 短路计数器启用

5.4.3.1.3 禁用 PWM 和短路检测和配对功能的半桥 OCR

当 PWM 控制被禁用并且 OCR 被启用时, 半桥可以配对, 分成两组。参考表 25 和表 26。

OUT1 和 OUT5 定义为主输出, 其余输出定义为从输出。

该配对特性使配对输出能够在过流恢复模式下控制并联电容器高达 $1\ \mu\text{F}$ 的 DC 电机。

5 集成功率输出

当配对启用时，其中一个MOSFET可以导通、关断（根据条件而定）

- 另一个配对的半桥有强制消隐时间 t_{BLK_OCOL3}
- 屏蔽另一对半桥的过流检测

这些措施可避免因以下原因导致的过流或短路检测：

- 电机电容器的充电
- 杂散电感与电机电容器组合产生的振铃

注释：仅当配对组的所有输出的PWM模式均被禁用时，此特性才可用。

表 25 OUT1 – 配对配置

Configuration	Paired outputs
Setting1	No pairing (default)
Setting2	OUT1 paired with OUT2
Setting3	OUT1 paired with OUT3
Setting4	OUT1 paired with OUT2 and OUT3
Setting5	OUT1 paired with OUT6
Setting6	OUT1 paired with OUT2 and OUT6
Setting7	OUT1 paired with OUT3 and OUT3
Setting8	OUT1 paired with OUT2, OUT3 and OUT6

表 26 OUT5 – 配对配置

Configuration	Paired outputs
Setting1	No pairing (default)
Setting2	OUT5 paired with OUT4
Setting3	OUT5 paired with OUT6
Setting4	OUT5 paired with OUT4 and OUT6

将 OUT6 与 OUT1 和 OUT5 配对被视为错误配置。在这种情况下，成对的故障位是置位并被锁定，直到：

1. 配对配置正确
2. 并收到配对故障位的明确指令

所有半桥的配对都会被忽略，直到配对的故障位被清除为止。

如果出现以下情况，一组输出的配对将被忽略：

- 至少有一对输出处于 PWM 模式
- 至少有一对输出的过流重启功能被禁用

5.4.3.1.4 启用 PWM 和被动续流的半桥 OCR 和短路检测

当检测到主动 MOSFET 过流时：

1. 保持输出如果PWM为高，且 $t < t_{OCR}$
2. 输出重新激活：
 - 情况 1：如果 PWM 信号在 t_{OCR_OFF} 结束前保持高电平，则输出在 t_{OCR_OFF} 结束时导通
 - 情况 2：如果 PWM 信号在 t_{OCR_OFF} 结束前变为低电平，则输出在 PWM 上升沿导通

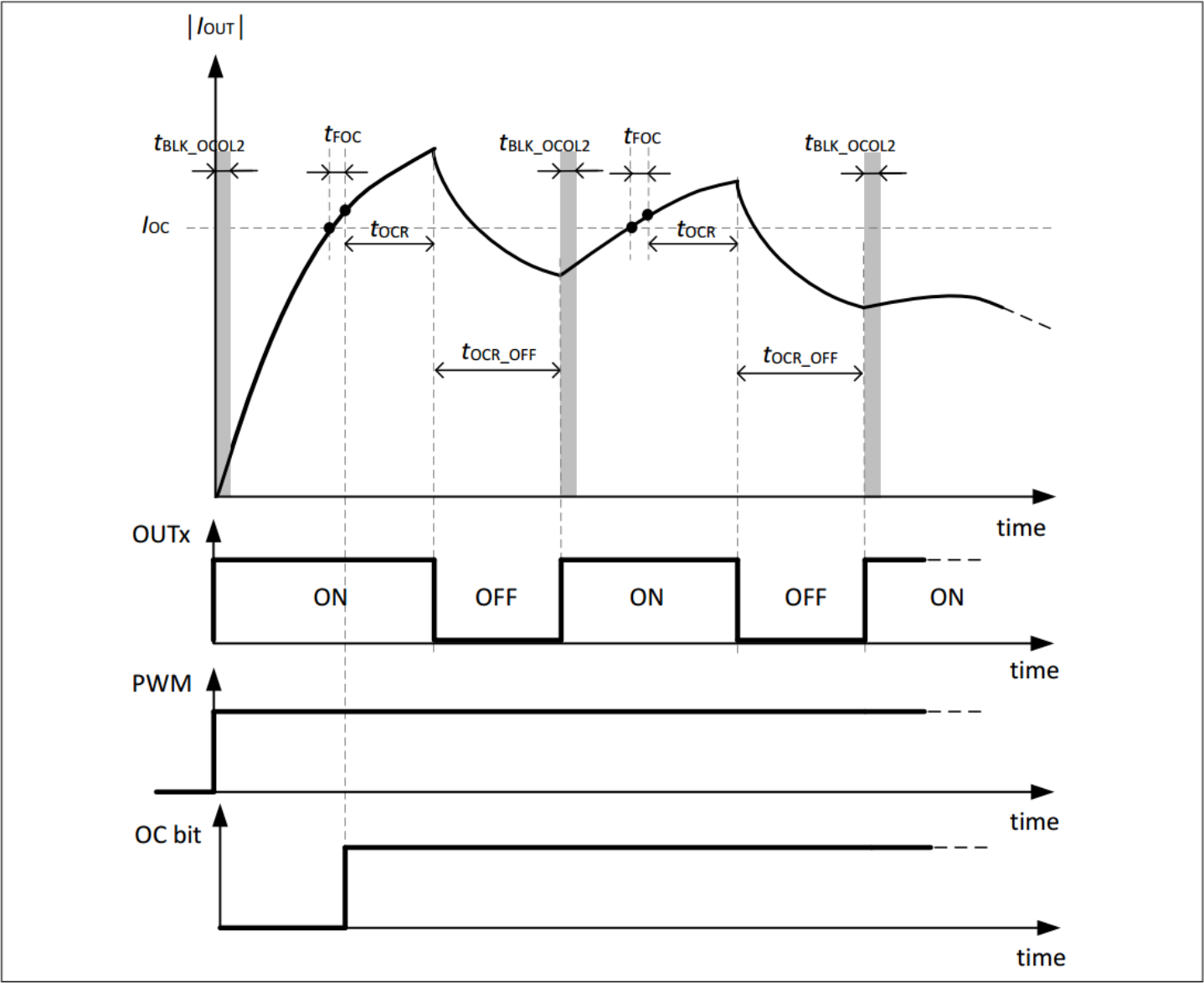


图 16 启用PWM和被动续流的OCR - PWM保持为高，直到 $t = t_{OCR_OFF}$

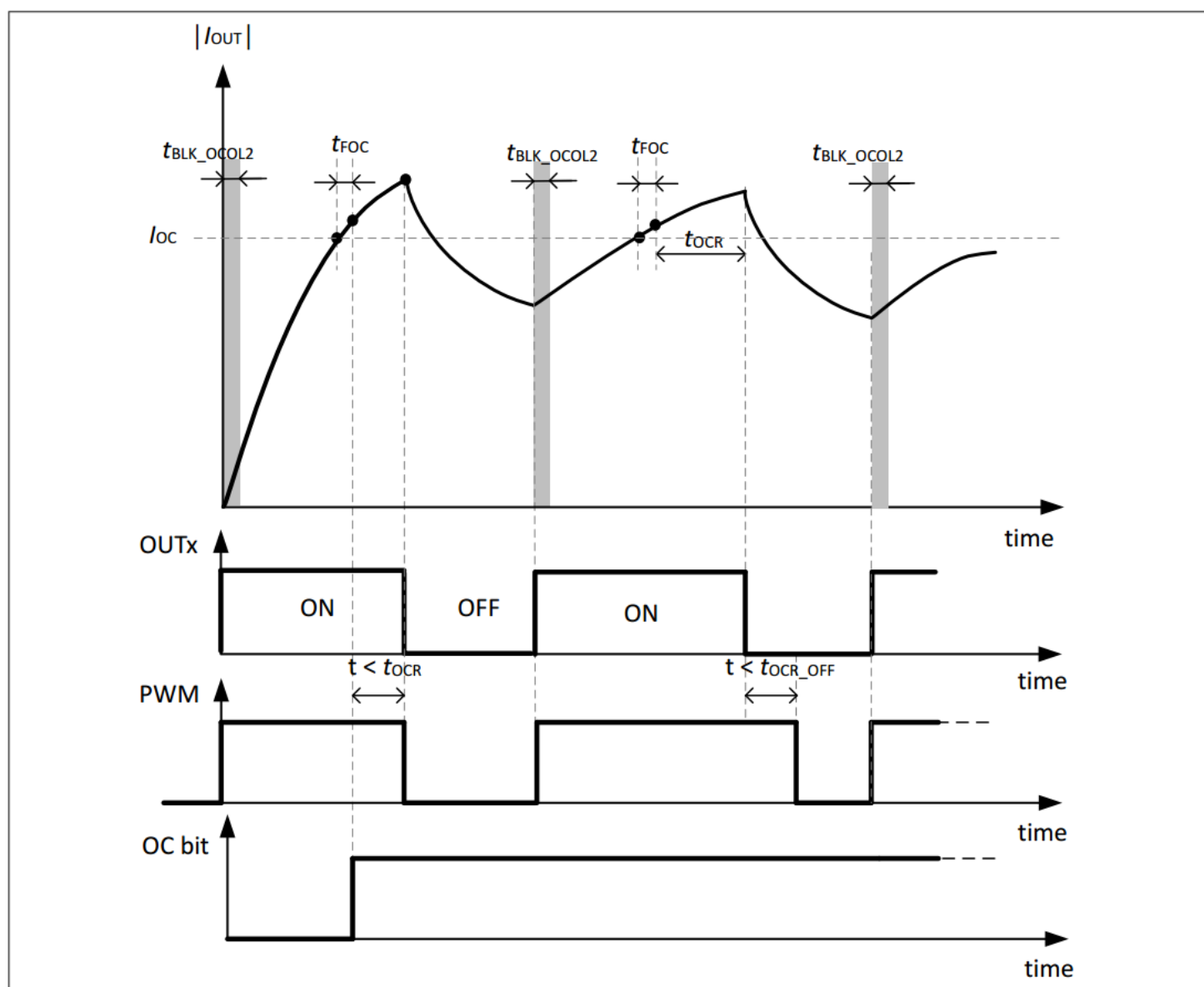


图 17 启用PWM和被动续流的OCR - PWM在 $t < t_{OCR_OFF}$ 结束前变低

主动 MOSFET 的短路检测（短路计数器禁用）

如果短路计数器被禁用，则在第一个短路脉冲

- 短路状态位置位
- 半桥被锁闭，直到短路状态位被清除

主动 MOSFET 的短路检测（短路计数器启用）

如果短路计数器是启用的，则：

- 第一个短路脉冲：
 - 主动 MOSFET 关闭：
 - 对于 $t = t_{OCR_OFF}$ ，如果 PWM 信号在 t_{OCR_OFF} 期间保持高电平
 - 直到 PWM 信号上升，如果 PWM 信号在结束 t_{OCR_OFF} 之前变为低电平

5 集成功率输出

- 在第二个**连续**短路脉冲处：
 - 短路状态位置位
 - 半桥被锁闭，直到短路状态位被清除
- 短路计数器在第一个短路脉冲后复位：
 - 如果 $|I_{OUT}| \leq |I_{SC}|$ 则：
 - 主动 MOSFET 导通
 - 并且主动 MOSFET 超出其 OC/OL 消隐时间
 - 如果通过 SPI 停用输出：

注释：

- 主动 MOSFET 的短路检测被启用，即使在 t_{OCR} 期间
- 如果半桥处于 PWM 模式，则脉宽调制输入的上升或下降不会复位短路计数器

5.4.3.1.5 启用 PWM 和主动 FW 的半桥 OCR 和短路检测

续流 MOSFET 的过流和短路检测

如果检测到续流 MOSFET 的过流，则续流 MOSFET 将被闭锁。

如果检测到续流 MOSFET 的短路脉冲，则整个半桥将被闭锁，独立于短路计数。

主动 MOSFET 的过流和短路检测

在主动续流启用的情况下，主动 MOSFET 在过流和短路情况下的行为与续流禁用时相同，除了短路计数器复位的情况之外。

当短路计数器被启用时，短路计数也会随着续流 MOSFET 的激活而被复位。

重要提示：由于如果续流 MOSFET 激活，短路计数器会复位，因此强烈建议配置 PWM 半桥：

- 激活主动续流并禁用短路计数器
- 禁用主动续流并启用短路计数器

如果出现以下情况，则可能无法检测到主动 MOSFET 的短路，因为短路计数器的重复复位：

- 主动续流已启用
- 并且短路计数器是启用的

当主动 MOSFET 的过流状态位为置位时，即使配置了主动续流，受影响的半桥也会被动续流。

5.4.3.2 低 $R_{DS(ON)}$ 模式下的 OUT7 过流恢复

低 $R_{DS(ON)}$ 模式下 OUT7 在 OCR 期间的斜率和 t_{BLK_OCOLx} 可根据表 19 进行配置。当过流被检测时：

1. OUT7 保持开启：
 - 如果 PWM 被禁用，则 $t = t_{OCR}$
 - 如果 PWM 启用并且 PWM 信号为高，则 $t = t_{OCR}$
 - 直到 PWM 信号为低，如果 PWM 信号在 t_{OCR} 到期之前变为低
2. 然后关闭 OUT7，时间为 $t = t_{OCR_OFF}$
3. OUT7 重新开启：
 - 禁用 PWM：在 $t = t_{OCR_OFF}$
 - 启用 PWM：当 PWM 信号为高且在 t_{OCR_OFF} 结束之后

5.4.3.2.1 低 $R_{DS(ON)}$ 模式下 OUT7 短路检测

当 OCR 激活时，器件在低 $R_{DS(ON)}$ 模式下对 OUT7 采用短路检测。短路被检测，当 $V_{OUT7} < V_{OUT7_SC}$ 在 t_{OCR} 结束后，持续连续两个周期。

OUT7 被锁定，并且 OUT7 的短路状态位为置位，直到收到相应状态寄存器的清除指令为止。

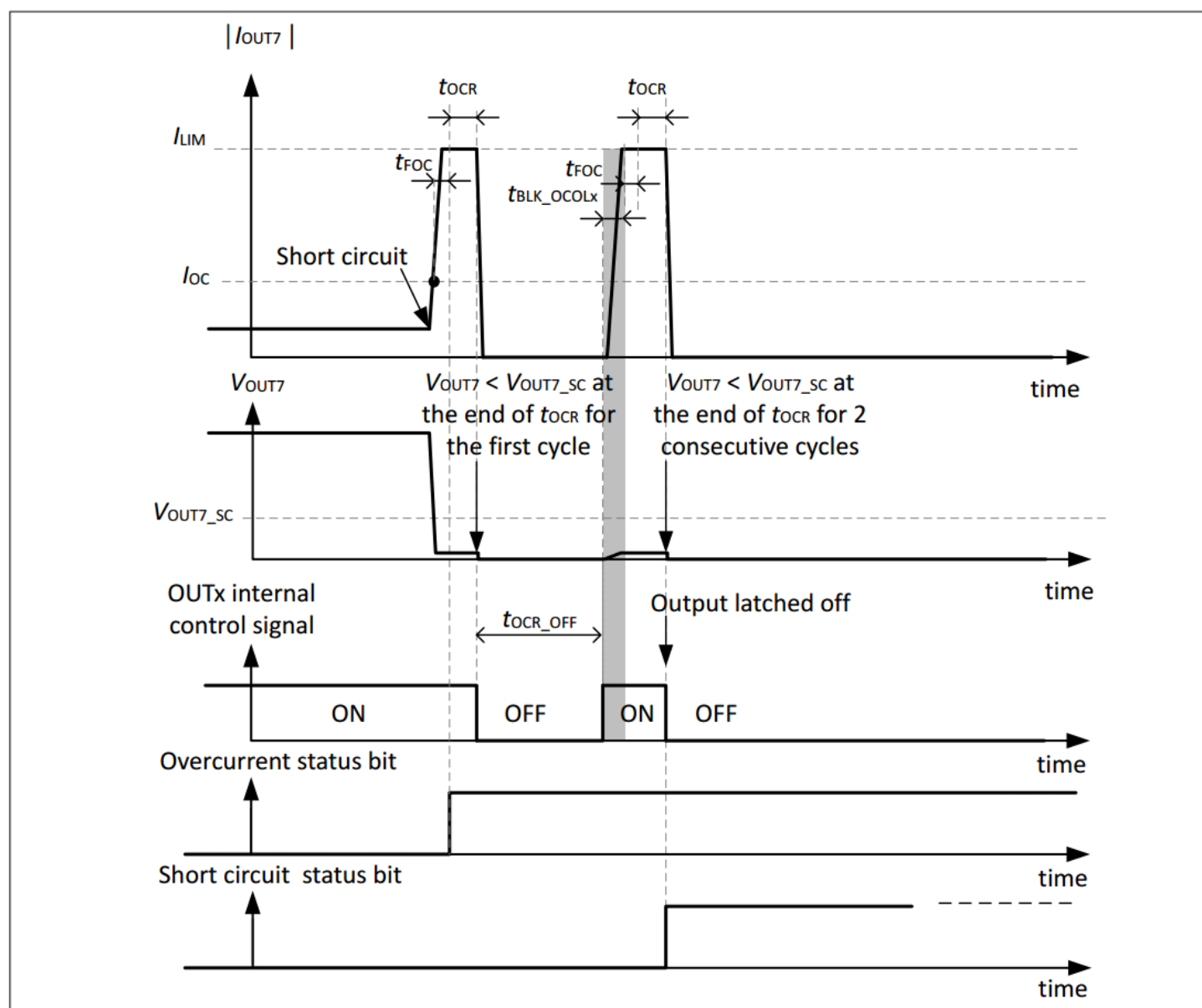


图 18 低 $R_{DS(ON)}$ 模式下 OUT7 短路检测

如果满足以下条件之一，短路计数器将复位：

- 如果检测到过流： $V_{OUT7} \geq V_{OUT7_SC}$ 在 t_{OCR} 结束后
- OUT7 由 SPI 关闭
- 如果激活 PWM 模式： PWM 发生器将 OUT7 关断

5.5 诊断

5.5.1 电流监控

CM (电流监控) 引脚提供高边电流的反馈，电流流出OUTx，或者 V_S 的反馈，根据表 27。

表 27 CM 选择

SPI configuration	CM output	Note
Setting1	CM in high-impedance	Default
Settingx+1, x=1 to 12	$I_{CM} = I_{CM_OFFSET} + I_{OUTx} / d_{KILIS}$	I_{OUTx} flows out of the high-side
Setting14	$V_{CM} = 0.2 \times V_S$	Tolerance: $V_{S_RATIO_TOL}$
Setting15	$V_{CM} = 0.13 \times V_S$	Tolerance: $V_{S_RATIO_TOL}$

V_S 比率可由SPI配置：

表 28 可配置 V_S 比率

Parameter	Symbol	Nominal value	Unit	Default	Tolerance	Note
V_S ratio at CM pin	V_{S_RATIO}	0.200 0.130	–	0.200	$V_{S_RATIO_TOL}$	V_S selected at CM pin

5.5.2 开路负载检测

负载开路检测监测每个激活输出级的电流，包括ECV低边。

忽略负载开路检测：

- 对于任何输出：在激活后的 t_{BLK_OCOLx} 期间内
- OCR 和配对均启用的半桥：在 t_{BLK_OCOL3} 期间（请参阅 5.4.3.1.3 章节）

t_{BLK_OCOL1} 和斜率 S_{R1} 适用于：

- OUT8-OUT12
- ECVLS

请参阅表11对OUT1至OUT6的适用 t_{BLK_OCOLx} 。

请参阅表 19 对于OUT7的适用 t_{BLK_OCOLx} 。

在 t_{BLK_OCOLx} 之后：

- 对于 OUT1 至 OUT6 的已激活高边：如果 $|I_{OUT}| \leq |I_{OL}|$ 持续时间 $t = t_{FOL1}$ ，则在高边处检测到负载开路
- 对于 OUT1 至 OUT6 的已激活低边：如果 $I_{OUT} \leq I_{OL}$ 持续时间 $t = t_{FOL1}$ ，则在低边检测到负载开路
- 对于 OUT7 至 OUT12 的已激活高边：如果 $|I_{OUT}| \leq |I_{OL}|$ 持续时间 $t = t_{FOL2}$ ，则在高边处检测到负载开路
- 对于 ECV 低边：如果 $I_{ECV} \leq I_{OL}$ 持续时间 $t = t_{FOL2}$ ，则在 ECV 低边检测到负载开路

如果检测到负载开路：

- 对应的负载开路状态位被置位并锁存，直到收到对应状态寄存器的清除指令
- 输出状态保持不变

5.6 电气特性

电气特性， $V_S = 5.5\text{ V}$ 至 20 V ， $V_{DD} = 3.0\text{ V}$ 至 5.5 V ， $V_{CP} = V_S + 7.5\text{ V}$ 至 $V_S + 17\text{ V}$ ， $T_j = -40^\circ\text{C}$ 至 $+150^\circ\text{C}$ ；除非另有说明，典型值是指 $V_{DD} = 5.0\text{ V}$ 、 $V_S = 13.5\text{ V}$ 和 $T_j = 25^\circ\text{C}$ ；所有电压均相对于接地点，电流正向流入引脚（除非另有说明）。

表 29 电气特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition	P-Number
		Min.	Typ.	Max.			
Drain-source on-resistance							
RDS(ON) OUT1,6 HS/LS	$R_{DS(ON)_OUT1,6}$	–	280	330	mΩ	$I_{OUT} = \pm 1.5\text{ A}$; $T_j = 25\text{ °C}$	P_OUT_01_01
RDS(ON) OUT1,6 HS/LS	$R_{DS(ON)_OUT1,6}$	–	450	550	mΩ	$I_{OUT} = \pm 1.5\text{ A}$; $T_j = 150\text{ °C}$	P_OUT_01_02
RDS(ON) OUT2,3 HS/LS	$R_{DS(ON)_OUT2,3}$	–	1200	1600	mΩ	$I_{OUT} = \pm 0.4\text{ A}$; $T_j = 25\text{ °C}$	P_OUT_01_05
RDS(ON) OUT2,3 HS/LS	$R_{DS(ON)_OUT2,3}$	–	2000	2400	mΩ	$I_{OUT} = \pm 0.4\text{ A}$; $T_j = 150\text{ °C}$	P_OUT_01_06
RDS(ON) OUT4 HS/LS	$R_{DS(ON)_OUT4}$	–	135	160	mΩ	$I_{OUT} = \pm 3\text{ A}$; $T_j = 25\text{ °C}$	P_OUT_01_07
RDS(ON) OUT4 HS/LS	$R_{DS(ON)_OUT4}$	–	210	250	mΩ	$I_{OUT} = \pm 3\text{ A}$; $T_j = 150\text{ °C}$	P_OUT_01_08
RDS(ON) OUT5 HS/LS	$R_{DS(ON)_OUT5}$	–	135	160	mΩ	$I_{OUT} = \pm 3\text{ A}$; $T_j = 25\text{ °C}$	P_OUT_01_09
RDS(ON) OUT5 HS/LS	$R_{DS(ON)_OUT5}$	–	200	250	mΩ	$I_{OUT} = \pm 3\text{ A}$; $T_j = 150\text{ °C}$	P_OUT_01_10
RDS(ON) OUT7 Low RDS(ON)	$R_{DS(ON)_OUT7_1}$	–	280	350	mΩ	$I_{OUT} = -0.9\text{ A}$; $T_j = 25\text{ °C}$; Low $R_{DS(ON)}$	P_OUT_01_11
RDS(ON) OUT7 Low RDS(ON)	$R_{DS(ON)_OUT7_1}$	–	440	550	mΩ	$I_{OUT} = -0.9\text{ A}$; $T_j = 150\text{ °C}$; Low $R_{DS(ON)}$	P_OUT_01_12
RDS(ON) OUT7 High RDS(ON)	$R_{DS(ON)_OUT7_2}$	–	1.2	1.6	Ω	$I_{OUT} = -0.2\text{ A}$; $T_j = 25\text{ °C}$; High $R_{DS(ON)}$	P_OUT_01_13
RDS(ON) OUT7 High RDS(ON)	$R_{DS(ON)_OUT7_2}$	–	2	2.4	Ω	$I_{OUT} = -0.2\text{ A}$; $T_j = 150\text{ °C}$; High $R_{DS(ON)}$	P_OUT_01_14
RDS(ON) OUT8,9,10	$R_{DS(ON)_OUT8-10}$	–	1.2	1.6	Ω	$I_{OUT} = -0.4\text{ A}$; $T_j = 25\text{ °C}$	P_OUT_01_15
RDS(ON) OUT8,9,10	$R_{DS(ON)_OUT8,9,10}$	–	2	2.4	Ω	$I_{OUT} = -0.4\text{ A}$; $T_j = 150\text{ °C}$	P_OUT_01_16
RDS(ON) OUT11	$R_{DS(ON)_OUT11}$	–	2.2	2.8	Ω	$I_{OUT} = -60\text{ mA}$ $T_j = 25\text{ °C}$	P_OUT_01_17
RDS(ON) OUT11	$R_{DS(ON)_OUT11}$	–	3.5	4.5	Ω	$I_{OUT} = -60\text{ mA}$ $T_j = 150\text{ °C}$	P_OUT_01_18
RDS(ON) OUT12	$R_{DS(ON)_OUT12}$	–	5	7	Ω	$I_{OUT} = -60\text{ mA}$; $T_j = 25\text{ °C}$; OUT12 in HS mode	P_OUT_01_19

(表格续下页.....)

表 29 (续) 电气特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition	P-Number
		Min.	Typ.	Max.			
RDS(ON) OUT12	$R_{DS(ON)_{OUT12}}$	–	7.4	12	Ω	$I_{OUT} = -60 \text{ mA}; T_j = 150^\circ\text{C}; \text{OUT12 in HS mode}$	P_OUT_01_20
RDS(ON) ECV LS	$R_{DS(ON)_{ECV_LS}}$	–	1.2	1.6	Ω	$I_{OUT} = 0.4 \text{ A}; T_j = 25^\circ\text{C}$	P_OUT_01_21
RDS(ON) ECV LS	$R_{DS(ON)_{ECV_LS}}$	–	2	2.4	Ω	$I_{OUT} = 0.4 \text{ A}; T_j = 150^\circ\text{C}$	P_OUT_01_22

Freewheeling forward diode voltage

Freewheeling forward diode voltage	V_f	–	0.8	1	V	$I_{OUT1,6} = \pm 1.5 \text{ A};$ $I_{OUT2,3} = \pm 0.4 \text{ A};$ $I_{OUT4,5} = \pm 3 \text{ A};$ $T_j = 150^\circ\text{C}$	P_OUT_02_01
------------------------------------	-------	---	-----	---	---	--	-------------

Current monitor CM

CM leakage current	I_{CML}	–	–	1	μA	CM deactivated	P_OUT_03_01
VCM functional range	V_{CM}	0	–	$V_{DD} - 1 \text{ V}$	V	–	P_OUT_03_02
CM current capability	I_{CM_MAX}	6	–	–	mA	–	P_OUT_03_03

High-side current monitor (HSx selected to CM pin)

CM offset OUT1,6	$I_{CM(offset)_{OUT1,6}}$	-10	–	10	μA	$ I_{OUT1,6} \geq 0.3 \text{ A}$	P_OUT_04_01
CM offset OUT2,3	$I_{CM(offset)_{OUT2,3}}$	-10	–	10	μA	$ I_{OUT2,3} \geq 0.07 \text{ A}$	P_OUT_04_02
CM offset OUT4,5	$I_{CM(offset)_{OUT4,5}}$	-18	–	18	μA	$ I_{OUT4,5} \geq 0.5 \text{ A}$	P_OUT_04_03
CM offset OUT7 low Rds(on)	$I_{CM(offset)_{OUT7L}}$	-18	–	18	μA	$ I_{OUT7} \geq 0.3 \text{ A}$	P_OUT_04_15
CM Offset OUT7 high Rds(on)	$I_{CM(offset)_{OUT7H}}$	-10	–	10	μA	OUT7 in high $R_{DS(ON)}$ $ I_{OUT7} \geq 0.07 \text{ A}$	P_OUT_04_05
CM Offset OUT8-10	$I_{CM(offset)_{OUT8-10}}$	-10	–	10	μA	$ I_{OUT8,9,10} \geq 0.07 \text{ A}$	P_OUT_04_06
CM Offset OUT11-12	$I_{CM(offset)_{OUT11-12}}$	-9	–	9	μA	OUT12 in HS mode $ I_{OUT11,12} \geq 0.02 \text{ A}$	P_OUT_04_07
Differential CM ratio OUT1,6 low current	$dK_{ILIS_OUT1,6A}$	9850	10800	11950	–	$0.3 \text{ A} \leq I_{OUT1,6} \leq 1 \text{ A}$	P_OUT_04_08
Differential CM ratio OUT1,6 high current	$dK_{ILIS_OUT1,6B}$	10000	10800	11500	–	$ I_{OUT1,6} \geq 1 \text{ A}$	P_OUT_04_16
Differential CM ratio OUT2,3	$dK_{ILIS_OUT2,3}$	2050	2250	2450	–	$ I_{OUT2,3} \geq 0.07 \text{ A}$	P_OUT_04_10
Differential CM ratio OUT4	dK_{ILIS_OUT4}	9400	10200	11000	–	$ I_{OUT4} \geq 0.5 \text{ A}$	P_OUT_04_17
Differential CM ratio OUT5	dK_{ILIS_OUT5}	9800	10600	11400	–	$ I_{OUT5} \geq 0.5 \text{ A}$	P_OUT_04_18

(表格续下页.....)

表 29 (续) 电气特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition	P-Number
		Min.	Typ.	Max.			
Differential CM ratio OUT7 Low Rds(on) low current	dK_{ILIS_OUT7LA}	10400	12200	13500	–	OUT7 in low $R_{DS(ON)}$ $0.3\text{ A} \leq I_{OUT7} \leq 1\text{ A}$	P_OUT_04_22
Differential CM ratio OUT7 Low Rds(on) high current	dK_{ILIS_OUT7LB}	10800	12200	13500	–	OUT7 in low $R_{DS(ON)}$ $ I_{OUT7} > 1\text{ A}$	P_OUT_04_19
Differential CM ratio OUT7 high Rds(on)	dK_{ILIS_OUT7H}	1950	2140	2330	–	OUT7 in low $R_{DS(ON)}$ $ I_{OUT7} \geq 0.07\text{ A}$	P_OUT_04_20
Differential CM ratio OUT8,9,10	$dK_{ILIS_OUT8,9,10}$	1970	2200	2430	–	$ I_{OUT8,9,10} \geq 0.07\text{ A}$	P_OUT_04_21
Differential CM ratio OUT11,12	$dK_{ILIS_OUT11,12}$	840	1070	1300	–	OUT12 in HS mode $ I_{OUT8,9,10} \geq 0.02\text{ A}$	P_OUT_04_12

VS selected to CM pin

VS ratio tolerance	$V_{S_RATIO_TOL}$	-2 %	–	2%	–	–	P_OUT_05_01
--------------------	---------------------	------	---	----	---	---	-------------

Overcurrent, short circuit detection and current limitation

OC filter time	t_{FOC}	5	7	9	μs	–	P_OUT_06_01
OC/OL blank time 1	t_{BLK_OCOL1}	50	65	80	μs	–	P_OUT_06_02
OC/OL blank time 2	t_{BLK_OCOL2}	3	5	7	μs	–	P_OUT_06_03
OC/OL blank time 3 OUT1-6	$t_{BLK_OCOL3_OUT1_6}$	18	24	30	μs	OUT1, OUT6	P_OUT_06_20
OC/OL blank time 3 OUT2-3	$t_{BLK_OCOL3_OUT2_3}$	60	80	100	μs	OUT2, OUT3	P_OUT_06_21
OC/OL blank time 3 OUT4-5	$t_{BLK_OCOL3_OUT4_5}$	10	14	18	μs	OUT4, OUT5	P_OUT_06_22
OC thres. HS/LS OUT1,6	$ I_{OC_OUT1,6_1} $	1.5	2	2.7	A	2 A nom. configured	P_OUT_06_04
OC thres.HS/LS OUT1,6	$ I_{OC_OUT1,6_2} $	2.2	3	3.6	A	3 A nom. configured	P_OUT_06_05
OC thres.HS/LS OUT1,6	$ I_{OC_OUT1,6_3} $	3	4	4.6	A	4 A nom. configured	P_OUT_06_06
OC thres.HS/LS OUT2,3	$ I_{OC_OUT2,3} $	0.5	0.75	1	A	–	P_OUT_06_10
OC thres.HS/LS OUT4	$ I_{OC_OUT4} $	7	7.5	8.8	A	–	P_OUT_06_11

(表格续下页.....)

表 29 (续) 电气特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition	P-Number
		Min.	Typ.	Max.			
OC thres.HS/LS OUT5	$ I_{OC_OUT5_1} $	3.4	4	4.9	A	4 A nom. configured	P_OUT_06_12
OC thres.HS/LS OUT5	$ I_{OC_OUT5_2} $	5.1	6	7.5	A	6 A nom. configured	P_OUT_06_13
OC thres.HS/LS OUT5	$ I_{OC_OUT5_3} $	7	7.5	9.6	A	7.5 A nom. configured	P_OUT_06_14
OC thres.OUT7 low RDS(ON)	$I_{OC_OUT7_1}$	-2.8	-2.3	-1.8	A	OUT7 in low $R_{DS(ON)}$	P_OUT_06_15
OC thres.OUT7 high RDS(ON)	$I_{OC_OUT7_2}$	-0.65	-0.5	-0.35	A	OUT7 in high $R_{DS(ON)}$	P_OUT_06_16
OC thres. OUT8-10	$I_{OC_OUT8-10}$	-1	–	-0.5	A	–	P_OUT_06_17
OC thres. OUT11-12	$I_{OC_OUT11,12}$	-0.5	–	-0.25	A	OUT12 in HS mode	P_OUT_06_18
OC thres. ECV LS	I_{OC_ECVLS}	0.5	–	1	A	–	P_OUT_06_19

Short circuit detection

Short circuit filter time	t_{FSC}	3	5	7	μs	–	P_OUT_07_01
$ ISC_OUT1,6 - IOC_OUT1,6_3 $	$ I_{SC_OUT1,6} - I_{OC_OUT1,6_3} $	500	800	–	mA	–	P_OUT_07_02
$ ISC_OUT2,3 - IOC_OUT2,3 $	$ I_{SC_OUT2,3} - I_{OC_OUT2,3} $	100	175	–	mA	–	P_OUT_07_04
$ ISC_OUT4 - IOC_OUT4 $	$ I_{SC_OUT4} - I_{OC_OUT4} $	0.8	1.5	–	A	–	P_OUT_07_05
$ ISC_OUT5 - IOC_OUT5 $	$ I_{SC_OUT5} - I_{OC_OUT5_3} $	0.9	1.5	–	A	–	P_OUT_07_06
VOUT7_SC	V_{OUT7_SC}	1.6	2	2.4	V		P_OUT_07_07

Current limitation

ILIM - ISC OUT1-6	$I_{LIM} - I_{SC}$	0	–	–	A	–	P_OUT_07_01
ILIM11 OUT7 low RDS(ON)	$I_{LIM_OUT7_11}$	2.1	3	3.7	A	OUT7 in low $R_{DS(ON)}$	P_OUT_07_03
ILIM12 OUT7 low RDS(ON)	$I_{LIM_OUT7_12}$	3.2	4	4.8	A	OUT7 in low $R_{DS(ON)}$	P_OUT_07_04
ILIM11 - IOC OUT7 low RDS(ON)	$I_{LIM_OUT7_11} - I_{OC_OUT7_1}$	0	–	–	A	OUT7 in low $R_{DS(ON)}$	P_OUT_07_07
ILIM - IOC OUT7 high RDS(ON)	$I_{LIM_OUT7_2} - I_{OC_OUT7_2}$	0	–	–	A	OUT7 in high $R_{DS(ON)}$	P_OUT_07_05
ILIM - IOC OUT8-12	$I_{LIM_OUT8-12} - I_{OC_OUT8-12}$	0	–	–	A	OUT12 in HS mode	P_OUT_07_06

(表格续下页.....)

表 29 (续) 电气特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition	P-Number
		Min.	Typ.	Max.			
Constant current mode CCM							
ICCM1 OUT7-10	$I_{CCM1_OUT7-10}$	20	90	170	mA	OUT7 in high or low $R_{DS(ON)}$	P_OUT_08_01
ICCM2 OUT7-10	$I_{CCM2_OUT7-10}$	50	250	380	mA	OUT7 in high or low $R_{DS(ON)}$	P_OUT_08_02
ICCM3 OUT7 low RDS(ON)	$I_{CCM3_OUT7_1}$	0.8	2	2.5	A	OUT7 in low $R_{DS(ON)}$	P_OUT_08_03
ICCM3 OUT7 high RDS(ON)	$I_{CCM3_OUT7_2}$	0.3	0.5	0.65	A	OUT7 in high $R_{DS(ON)}$	P_OUT_08_04
ICCM3 OUT8-10	$I_{CCM3_OUT8-10}$	0.25	0.5	0.75	A	–	P_OUT_08_05
ICCM1 OUT11-12	$I_{CCM1_OUT11-12}$	15	50	75	mA	OUT12 in HS mode	P_OUT_08_06
ICCM2 OUT11-12	$I_{CCM2_OUT11-12}$	50	100	150	mA	OUT12 in HS mode	P_OUT_08_07
ICCM3 OUT11-12	$I_{CCM3_OUT11,12}$	0.1	–	0.5	A	OUT12 in HS mode	P_OUT_08_08
CCM time 1 OUT7-12	$t_{CCM1_OUT7-10}$	16	20	24	ms	OUT7 in high or low $R_{DS(ON)}$ OUT12 in HS mode	P_OUT_08_09
CCM time 2 OUT7-12	$t_{CCM2_OUT7-10}$	4	5	6	ms	OUT7 in high or low $R_{DS(ON)}$ OUT12 in HS mode	P_OUT_08_10
CCM time 3 OUT7-12	t_{CCM3}	32	36	40	μs	OUT7 in high or low $R_{DS(ON)}$ OUT12 in HS mode	P_OUT_08_11
CCM LOW VOUT	V_{OUT_LOW}	4	4.7	5.5	V	–	P_OUT_08_12
VOUT_LOW filter time	t_{FVOUT_LOW}	1	2	3	μs	–	P_OUT_08_13
Open load detection							
OL thres.HS/LS OUT1,6	$ I_{OL_OUT1,6} $	6	30	80	mA	–	P_OUT_09_01
OL thres.HS/LS OUT2,3	$ I_{OL_OUT2,3} $	6	20	35	mA	–	P_OUT_09_03
OL thres.HS/LS OUT4,5	$ I_{OL_HS4,5} $	50	–	300	mA	–	P_OUT_09_05
OL thres.OUT7 low RDS(ON)	$I_{OL_OUT7_1}$	-80	–	-3	mA	OUT7 in low $R_{DS(ON)}$	P_OUT_09_05
OL thres.OUT7 high RDS(ON)	$I_{OL_OUT7_2}$	-10	–	-2	mA	OUT7 in high $R_{DS(ON)}$	P_OUT_09_07
OL thresh. OUT8-10	$I_{OL_OUT8-10}$	-12	–	-1	mA	–	P_OUT_09_08

(表格续下页.....)

表 29 (续) 电气特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition	P-Number
		Min.	Typ.	Max.			
OL thresh. OUT11,12	$I_{OL_OUT11,12}$	-4	–	-0.2	mA	OUT12 in HS mode	P_OUT_09_09
OL thres.ECV LS	I_{OLD_ECVLS}	6	20	30	mA	–	P_OUT_09_10
OL filter time for OUT1 to OUT6	t_{FOL1}	0.8	1	1.2	ms	Valid for OUT1 to OUT6	P_OUT_09_11
OL filter time OUT7-12, ECVLS	t_{FOL2}	150	200	250	μ s	Valid for OUT7-12, ECVLS	P_OUT_09_12

OUTx leakage current

OUT1-6, HS off- state leakage	$I_{L(OFF)_HS}$	-70	–	70	μ A	$V_{OUT} = 0$ V; $V_S = 13.5$ V; $T_J = 85^\circ$ C; Sleep mode and normal mode OUT1 to OUT6	P_OUT_10_01
OUT1-6, LS off-state leakage	$I_{L(OFF)_LS}$	-70	–	70	μ A	OUT1 to OUT6; $V_{OUT} = V_S = 13.5$ V; $T_J =$ 85° C; Sleep mode and normal mode	P_OUT_10_03
OUT7-12 HS off- state leakage	$I_{L(OFF)_HS}$	-5	–	5	μ A	OUT7 to OUT12; $V_{OUT} = 0$ V; $V_S = 13.5$ V; $T_J = 85^\circ$ C; Sleep mode and normal mode	P_OUT_10_05
ECV LS off-state leakage normal	$I_{L(OFF)_ECVLS_Nor}$ mal	-5	–	5	μ A	ECV low-side; $V_{ECV_LS} <$ 6 V; $V_S = 13.5$ V; $T_J =$ 85° C; normal mode	P_OUT_10_07
ECV low-side leakage current sleep	$I_{L(OFF)_ECVLS_Slee}$ p	0	–	700	μ A	ECV low-side; $V_{ECV_LS} <$ 6 V; $V_S = 13.5$ V; $T_J =$ 150° C; sleep mode	P_OUT_10_09

OUTx switching times

Turn-on delay time OUT1-6 SR1	t_{DON}	–	30	80	μ s	^{1) 2)} Slew rate S_{R1} , $V_S =$ 13.5 V	P_OUT_11_01
Turn-on delay time OUT1-6 SR2	t_{DON}	–	1.5	2	μ s	^{1) 3)} Slew rate S_{R2} , $V_S =$ 13.5 V	P_OUT_11_03
Turn-on delay time OUT7 SR1	t_{DON}	–	30	80	μ s	^{1) 2)} Slew rate S_{R1} , OUT7 in high or low $R_{DS(ON)}$, $V_S = 13.5$ V	P_OUT_11_05
Turn-on delay time OUT7 SR2	t_{DON}	–	2.2	5.5	μ s	^{1) 2)} Slew rate S_{R2} , OUT7 in low $R_{DS(ON)}$, $V_S = 13.5$ V	P_OUT_11_06

(表格续下页.....)

表 29 (续) 电气特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition	P-Number
		Min.	Typ.	Max.			
Turn-on delay time OUT2,3,8-12	t_{DON}	–	30	80	μs	^{1) 2)} OUT12 in HS mode, $V_S = 13.5\text{ V}$	P_OUT_11_07
Turn-on delay time ECV LS	t_{DON}	–	30	80	μs	^{1) 2)} $V_S = 13.5\text{ V}$	P_OUT_11_08
Turn-off delay time OUT1-6 SR1	t_{DOFF}	–	60	180	μs	^{1) 4)} Slew rate S_{R1} , $V_S = 13.5\text{ V}$	P_OUT_11_09
Turn-off delay time OUT1-6 SR2	t_{DOFF}	–	3	6	μs	^{1) 5)} Slew rate S_{R2} , $V_S = 13.5\text{ V}$	P_OUT_11_11
Turn-off delay time OUT7 SR1	t_{DOFF}	–	60	160	μs	^{1) 4)} Slew rate S_{R1} , $V_S = 13.5\text{ V}$	P_OUT_11_18
Turn-off delay time OUT7 SR2	t_{DOFF}	–	5	8.5	μs	¹⁾ Slew rate S_{R2} , $V_S = 13.5\text{ V}$	P_OUT_11_19
Turn-off delay time OUT8-12	t_{DOFF}	–	60	160	μs	^{1) 2)} OUT12 in HS mode, $V_S = 13.5\text{ V}$	P_OUT_11_13
Cross current protection time	t_{CCP1}	120	150	180	μs	¹⁾ Slew rate S_{R1} or latch-off	P_OUT_11_14
Cross current protection time	t_{CCP2}	5.5	7	8.4	μs	¹⁾ Slew rate S_{R2}	P_OUT_11_15
Slew rate 1	S_{R1}	0.12	0.5	1.4	$\text{V}/\mu\text{s}$	⁶⁾ $V_S = 13.5\text{ V}$	P_OUT_11_16
Slew rate 2	S_{R2}	5	10	20	$\text{V}/\mu\text{s}$	⁶⁾ $V_S = 13.5\text{ V}$	P_OUT_11_17

- 1) 阻性负载
- 2) 对于高边, 从 $V_{\text{CSN}} = 50\% V_{\text{DD}}$ 到 $V_{\text{OUT}} = 20\% V_S$, 对于低边, 从 $V_{\text{CSN}} = 50\% V_{\text{DD}}$ 到 $V_{\text{OUT}} = 80\% V_S$
- 3) 对于高边, 从 $V_{\text{PWM}} = 50\% V_{\text{DD}}$ 到 $V_{\text{OUT}} = 20\% V_S$, 对于低边, 从 $V_{\text{PWM}} = 50\% V_{\text{DD}}$ 到 $V_{\text{OUT}} = 80\% V_S$
- 4) 对于高边, 从 $V_{\text{CSN}} = 50\% V_{\text{DD}}$ 到 $V_{\text{OUT}} = 80\% V_S$, 对于低边, 从 $V_{\text{CSN}} = 50\% V_{\text{DD}}$ 到 $V_{\text{OUT}} = 20\% V_S$
- 5) 对于高边, 从 $V_{\text{PWM}} = 50\% V_{\text{DD}}$ 到 $V_{\text{OUT}} = 80\% V_S$, 对于低边, 从 $V_{\text{PWM}} = 50\% V_{\text{DD}}$ 到 $V_{\text{OUT}} = 20\% V_S$
- 6) V_{OUT} 从 20%-80% V_S 和 80%-20% V_S

6 VCC2 稳压器

根据表 30，输出 OUT12_VCC2 可配置为稳压器，例如用于板外传感器电源。

本节描述稳压器的作用。

有关将 OUT12_VCC2 设置为高边、3.3V 或 5V 稳压器的条件，参考 4.3.1.3 章节。

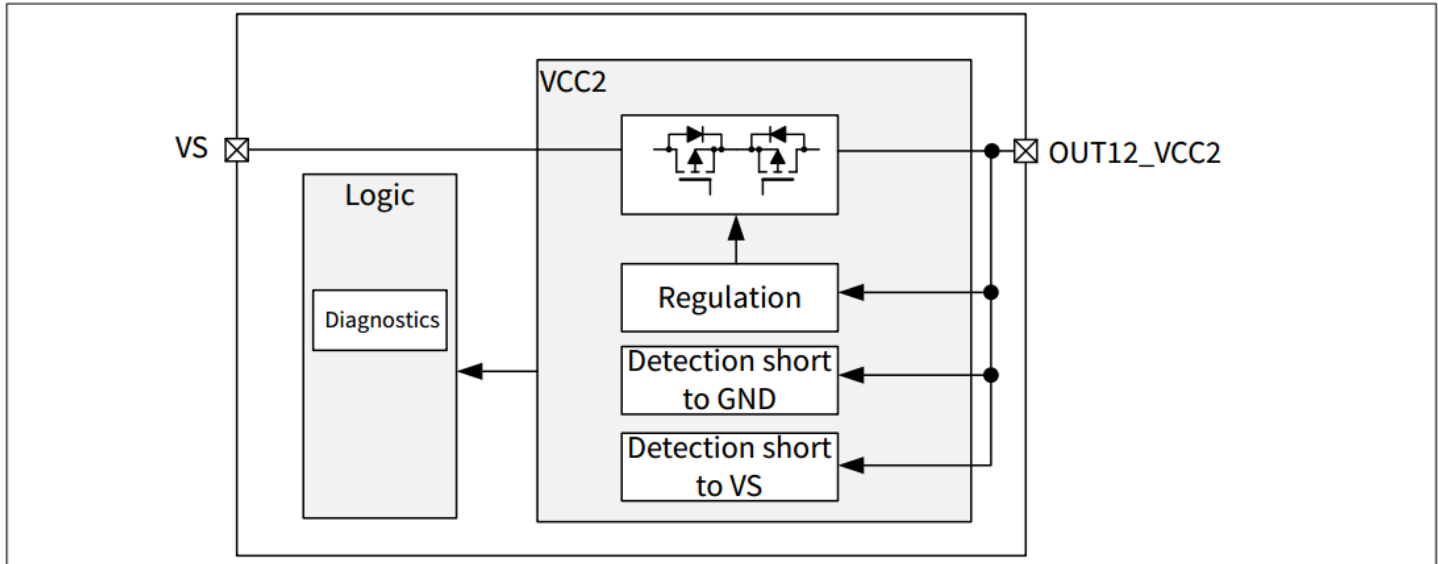


图 19 稳压器 VCC2 的框图

表 30 OUT12_VCC2 设置 - 高边/稳压器

SPI configuration	OUT12_VCC2
Setting1	Voltage regulator V_{CC2_V33} (default)
Setting2	Voltage regulator V_{CC2_V5}
Setting3	High-side

稳压器 VCC2 的可配置标称电压为 V_{CC2_V33} 或 V_{CC2_V5} ，并提供电流高达 I_{VCC2_LIM} 。

在正常模式下，可以通过 SPI 开启或关闭 VCC2，方法是通过 OUT12_VCC2 的启用位（参见表 13）并具有防止电池短路的功能。

VCC2 引脚需要一个低 ESR 的外部输出电容器来保证稳定性并缓冲瞬态负载电流。

稳压器稳定性指定为 C_{VCC2} 的外部电容器值，最大 ESR 为 R_{CVCC2_ESR0} 。

VCC2对接地短路检测

从 VCC2 激活开始，接地短路检测有一个消隐时间 $t_{BLKVCC2_SC_GND0}$ 。

在 $t_{BLKVCC2_SC_GND}$ 之后，若 $V_{OUT12_VCC2} \leq V_{VCC2_SC_GND}$ ，持续时间 $t = t_{FVCC2_SC_GND}$ ，检测到接地短路。

故障反应是：

- VCC2对接地短路状态位为置位
- VCC2 被闭锁，直到状态位被清除

VCC2 对 VS 的短路检测

VCC2对VS短路会被检测到，如果 $V_{CC2} > V_{CC2_SCVS_R}$ 持续 $t = t_{FVCC2_SCVS0}$ 。

6 VCC2 稳压器

如果检测到 VS 短路，则

- VCC2 关闭
- VCC2 对 VS 的短路状态位置位并被锁存。

$V_{CC2_SCVS_R}$ 和 $V_{CC2_SCVS_F}$ 取决于配置的标称 V_{CC2} 电压。

如果 V_{CC2} 低于 $V_{CC2_SCVS_F}$ 且持续时间为 $t = t_{FVCC2_SCVS}$ ，则 VCC2 将重新导通，与状态位无关。

6.1 电气特性

电气特性， $V_S = 5.5\text{ V}$ 至 20 V ， $V_{DD} = 3.0\text{ V}$ 至 5.5 V ， $V_{CP} = V_S + 7.5\text{ V}$ 至 $V_S + 17\text{ V}$ ， $T_J = -40^\circ\text{C}$ 至 $+150^\circ\text{C}$ ；除非另有说明，典型值是指 $V_{DD} = 5.0\text{ V}$ 、 $V_S = 13.5\text{ V}$ 和 $T_J = 25^\circ\text{C}$ ；所有电压均相对于接地点，电流正向流入引脚（除非另有说明）。

表 31 电气特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition	P-Number
		Min.	Typ.	Max.			
VCC2 output voltage V33	V_{CC2_V33}	3.23	3.3	3.37	V	$V_S \geq 5.5\text{ V}$; $10\text{ }\mu\text{A} \leq I_{VCC2} \leq 30\text{ mA}$ Incl. line and load regulation V_{CC2_V33} configured	P_REG_1_01
VCC2 output voltage V5	V_{CC2_V5}	4.9	5	5.1	V	$V_S \geq 5.5\text{ V}$; $10\text{ }\mu\text{A} \leq I_{VCC2} \leq 30\text{ mA}$ Incl. line and load regulation V_{CC2_V5} configured	P_REG_1_02
VCC2 drop voltage V5	V_{CC2_DR}	–	–	0.4	V	$V_S = 5.25\text{ V}$; $I_{VCC2} = 20\text{ mA}$; VCC2 5 V configured	P_REG_1_03
VCC2 output current limitation	I_{VCC2_LIM}	50	–	150	mA	–	P_REG_1_04
VCC2 buffer capacitor	C_{VCC2}	0.47	1	10	μF	–	P_REG_1_05
VCC2 buffer cap. ESR	C_{VCC2_ESR}	–	–	1	Ω	–	P_REG_1_06
VCC2 short circuit to GND	$V_{CC2_SC_GND}$	1.5	2	2.5	V	–	P_REG_1_07
VCC2 short circuit to GND filter time	$t_{FVCC2_SC_GND}$	1.6	2	2.4	ms	–	P_REG_1_08
VCC2 short to GND blank time	$t_{BLKVCC2_SC_GND}$	1.6	2	2.4	ms		P_REG_1_09
VCC2 short to VS, rising V5	$V_{CC2_SCVS_R_V5}$	5.6	5.8	6	V	V_{CC2_V5} configured	P_REG_1_10

(表格续下页.....)

表 31 (续) 电气特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition	P-Number
		Min.	Typ.	Max.			
VCC2 short to VS, falling V5	$V_{CC2_SCVS_F_V5}$	5.45	5.65	5.85	V	V_{CC2_V5} configured	P_REG_1_11
VCC2 short to VS, rising V33	$V_{CC2_SCVS_R_V33}$	3.7	3.85	4	V	V_{CC2_V33} configured	P_REG_1_12
VCC2 short to VS, falling V33	$V_{CC2_SCVS_F_V33}$	3.6	3.75	3.9	V	V_{CC2_V33} configured	P_REG_1_13
VCC2 short to VS filter time	t_{FVCC2_SCVS}	51	64	80	μs	–	P_REG_1_14

7 电致变色镜控制

Setting	Configuration parameter	Symbol	Nominal range	Unit	Step width	Default	Note
Setting1	Target V_{ECV}	V_{TARGET}	0 to V_{TARGET_MAX1}	V	$V_{TARGET_MAX1}/63$	0	–
Setting2	Target V_{ECV}	V_{TARGET}	0 to V_{TARGET_MAX2}	V	$V_{TARGET_MAX1}/63$	0	V_{TARGET} is clamped to V_{TARGET_MAX2}

电压控制环路的状态报告给微控制器：

- ECV过压位置位，当 $V_{ECV} - V_{TARGET} > |dV_{ECV_OV}|$ 持续 $t = t_{EC_UVOV}$
- ECV欠压位置位，当 $V_{TARGET} - V_{ECV} > dV_{ECV_UV}$ 持续 $t = t_{EC_UVOV}$

EC 镜的电容可能很大，具体取决于其尺寸。因此，ECV 和接地之间的 ECV 低边允许快速放电。

可以激活 ECV 低边，使 EC 镜快速放电。启用 EC 控制时，有两种配置可供选择（参阅表 21）：

1. 如果 ECV 低边启用位为置位，则 ECV 低边被激活，直到 $V_{ECV} - V_{TARGET} < |dV_{ECV_OV}|$
2. 如果 ECV 低边启用位为置位，则 ECV 低边的激活与 V_{ECV} 无关。

注释： 不建议使用快速放电的第一个设置：ECV 低边被激活直到 $V_{ECV} - V_{TARGET} < |dV_{ECV_OV}|$ 。由于电致变色镜的行为，此设置导致 ECV 低边重复激活和停用。

表 32 显示发生故障时 EC 稳压器的反应。

表 32 故障条件下 EC 控制的行为

Failure	EC control	ECV LS	$R_{ECDRDIS}$	OUT10	V_{target}
OUT10 OC bit	On	As configured	On	Off	0 V
OUT10 TSD bit	Off	Off	On	Off	–
VS OV bit	Off	Off	On	Off	–
VS UV bit	Off	Off	On	Off	–
Charge pump UV bit	Off	Off	On	Off	–
Fail safe mode	Off	Off	On	Off	–
V_{DD} UV	Off	Off	On	Off	–

当与检测到的故障相关的状态位被清除时，EC 调节将根据控制寄存器重新启用。

7.3 电气特性

电气特性， $V_S = 5.5\text{ V}$ 至 20 V ， $V_{DD} = 3.0\text{ V}$ 至 5.5 V ， $V_{CP} = V_S + 7.5\text{ V}$ 至 $V_S + 17\text{ V}$ ， $T_J = -40^\circ\text{C}$ 至 $+150^\circ\text{C}$ ；除非另有说明，典型值是指 $V_{DD} = 5.0\text{ V}$ 、 $V_S = 13.5\text{ V}$ 和 $T_J = 25^\circ\text{C}$ ；所有电压均相对于接地点，电流正向流入引脚（除非另有说明）。

表33 电气特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition	P-Number
		Min.	Typ.	Max.			
Maximum target voltage	$V_{\text{TARGET_MAX1}}$	1.4	1.5	1.6	V	–	P_ECM_1_01
Maximum target voltage	$V_{\text{TARGET_MAX2}}$	1.12	1.2	1.28	V	–	P_ECM_1_02
Differential non linearity	DNL	-1	–	1	LSB	–	P_ECM_1_03
Voltage difference between VTARGET and VECV	dV_{ECV}	-5% - 1LSB	–	+5% + 1LSB	mV	$dV_{\text{ECV}} = V_{\text{TARGET}} - V_{\text{ECV}}; I_{\text{ECDRV}} < 1 \mu\text{A}$	P_ECM_1_04
VECV undervoltage	$dV_{\text{ECV_UV}}$	80	120	140	mV	$dV_{\text{ECV_UV}} = V_{\text{TARGET}} - V_{\text{ECV}}$ setting ECV UV bit	P_ECM_1_05
VECV overvoltage	$dV_{\text{ECV_OV}}$	-160	-120	-80	mV	$dV_{\text{ECV_OV}} = V_{\text{TARGET}} - V_{\text{ECV}}$ setting ECV OV bit	P_ECM_1_06
Pull-down resistance ECDR in fast discharge mode or when EC mode is off	R_{ECDRDIS}	6.5	10	13.5	k Ω	$V_{\text{ECDR}} = 0.7 \text{ V}$; EC on and $V_{\text{TARGET}} = 0 \text{ V}$; EC off	P_ECM_1_07
Undervoltage/ overvoltage filter time to status bit set	$t_{\text{EC_UVOV}}$	24	32	40	μs	–	P_ECM_1_09
ECDR max. output voltage	$V_{\text{ECDRmin_high}}$	4.7	–	6.8	V	$I_{\text{ECDR}} = -10 \mu\text{A}$	P_ECM_1_10
ECDR max. output voltage	$V_{\text{ECDRmax_low}}$	0	–	0.7	V	$I_{\text{ECDR}} = 10 \mu\text{A}$	P_ECM_1_11
ECDR source current	$I_{\text{ECDR_source1}}$	-100	-50	-10	μA	Low gm ; $V_{\text{TARGET}} > V_{\text{ECV}} + 500 \text{ mV}$; $V_{\text{ECDR}} = 3.5 \text{ V}$	P_ECM_1_12
ECDR sink current	$I_{\text{ECDR_sink1}}$	10	50	100	μA	Low gm; $V_{\text{TARGET}} < V_{\text{ECV}} - 500 \text{ mV}$, $V_{\text{ECDR}} = 1 \text{ V}$; $V_{\text{TARGET}} = 0 \text{ V}$; $V_{\text{ECV}} = 0.5 \text{ V}$	P_ECM_1_13
ECDR source current	$I_{\text{ECDR_source2}}$	-200	-100	-20	μA	High gm; $V_{\text{TARGET}} > V_{\text{ECV}} + 500 \text{ mV}$; $V_{\text{ECDR}} = 3.5 \text{ V}$	P_ECM_1_14

(表格续下页.....)

表 33 (续) 电气特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition	P-Number
		Min.	Typ.	Max.			
ECDR sink current	$I_{\text{ECDR_sink2}}$	20	100	200	μA	High gm; $V_{\text{TARGET}} < V_{\text{ECV}} - 500 \text{ mV}$, $V_{\text{ECDR}} = 1 \text{ V}$; $V_{\text{TARGET}} = 0 \text{ V}$; $V_{\text{ECV}} = 0.5 \text{ V}$	P_ECM_1_15

8 后视镜加热器的高边MOSFET驱动器

本节介绍用于电阻负载（例如镜子加热器）的高边MOSFET驱动器。
高边MOSFET驱动器旨在控制镜子加热器等电阻负载的n沟道MOSFET。

该 MOSFET 驱动器具有以下保护和诊断功能：

- 通过监测外部MOSFET漏源电压（ $V_S - V_{SH}$ ），在通态下对接地点进行短路检测
- 关断状态下开路负载检测及对 V_S 短路检测

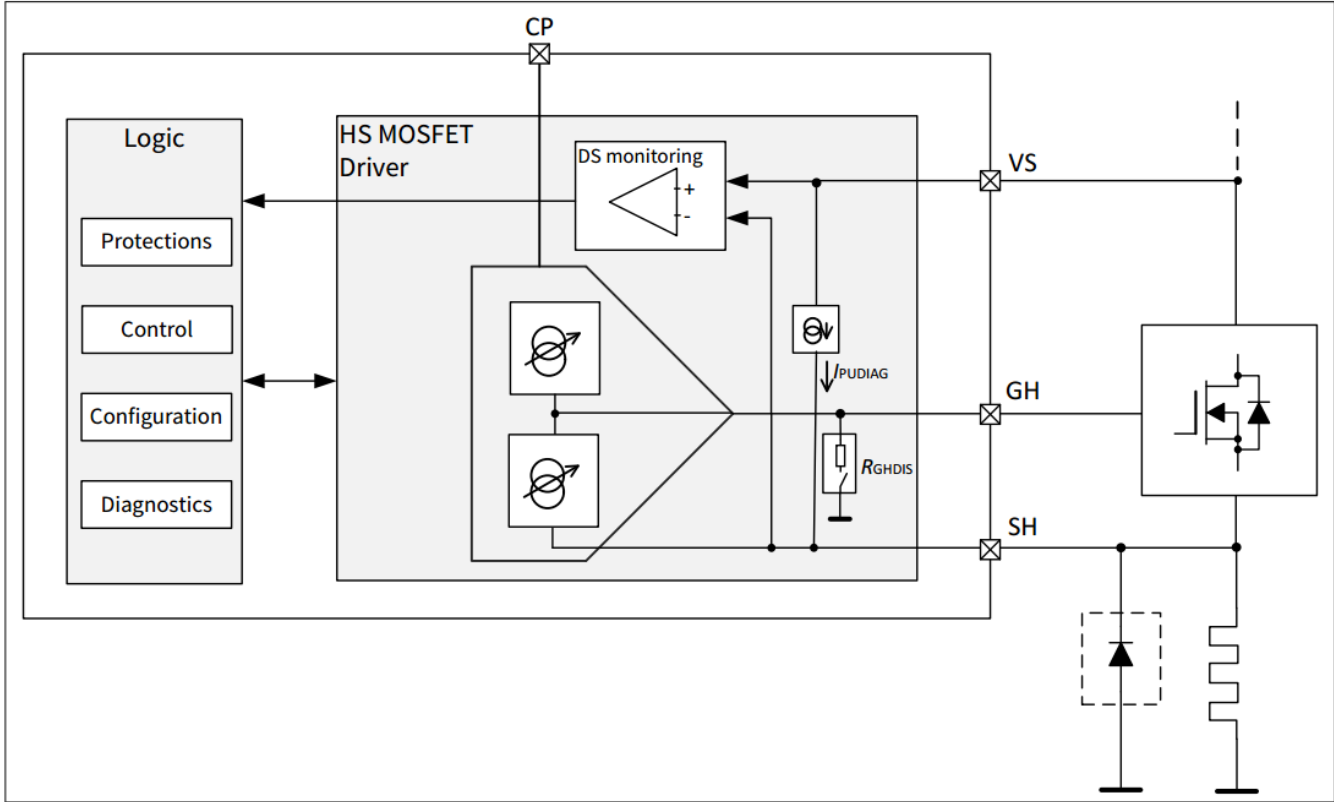


图 21 高边MOSFET驱动器的框图

8.1 MOSFET控制

MOSFET驱动器由电流源和电流吸收器组成，用于驱动高边配置的 n 沟道MOSFET。
高边MOSFET由SPI根据表 34 激活和停用：

表 34 加热器 MOSFET 的激活

Settings	Configuration	Comments
Setting1	Passive off (default)	The MOSFET gate is discharged to GND through the R_{GHDIS}
Setting2	Active off	The MOSFET gate is actively discharged by the MOSFET driver
Setting3	Active on	The MOSFET gate is charged by the MOSFET driver

当 MOSFET 驱动器配置为激活状态时：

- 首先，MOSFET的栅极由 I_{CHG} 在 t_{VDS_BLK} 期间充电
- 在 t_{VDS_BLK} 期间，以 I_{HOLD} 保持MOSFET栅极导通

I_{HOLD} 可通过SPI选择：5 mA 标称值（默认）或 $I_{HOLD}= 12.5$ mA 标称值。

当 MOSFET 驱动器配置为主动关闭时：

1. 首先，MOSFET的栅极由 I_{DCHG} 在 $t_{VDS_BLK_OFF}$ 期间放电
2. 在 $t_{VDS_BLK_OFF}$ 之后，以 $-I_{HOLD}$ 保持MOSFET栅极关闭

表 35 充放电电流配置

SPI configuration	Symbol	Nominal value I_{CHG}	Nominal value I_{DCHG}	Unit	Default	Tolerance
MOSFET driver charge and discharge currents	I_{CHG}, I_{DCHG}	0.5	-0.5	mA	2 / -2	I_{GH_TOL1}
		1	-1			I_{GH_TOL1}
		1.5	-1.5			I_{GH_TOL1}
		2	-2			I_{GH_TOL1}
		2.5	-2.5			I_{GH_TOL1}
		3	-3			I_{GH_TOL1}
		4	-4			I_{GH_TOL1}
		5	-5			I_{GH_TOL2}
		7	-7			I_{GH_TOL2}
		10	-10			I_{GH_TOL2}
		12.5	-12.5			I_{GH_TOL2}

8.2 漏源过压

监视外部MOSFET的漏源以检测过流状况，例如由 SH 到接地短路引起的过流状况。

外部MOSFET的过流会导致漏源过压 (DS OV)，用于故障检测。

消隐时间 t_{VDS_BLK} 被应用，当期间收到SPI指令去导通外部MOSFET。

在 t_{VDS_BLK} 期间，MOSFET的漏源监控器禁用。

t_{VDS_BLK} 旨在避免在MOSFET导通期间错误检测到 DS OV条件。当外部 MOSFET 处于导通状态， $V_S - V_{SH} > V_{DSOV_TH}$ 且持续 $t = t_{FVDS}$ 时，检测到 DS OV 事件。

漏源过压阈值 (V_{SOV_TH}) 可根据表 36 配置。

表 36 漏源过压阈值表

Configuration parameter	Symbol	Nominal value	Unit	Default	Tolerance
DS OV threshold	V_{DSOV_TH}	0.10	V	0.2	V_{DSOVTH_TOL1}
		0.15			V_{DSOVTH_TOL1}
		0.2			V_{DSOVTH_TOL2}
		0.25			V_{DSOVTH_TOL2}
		0.3			V_{DSOVTH_TOL2}
		0.35			V_{DSOVTH_TOL2}
		0.4			V_{DSOVTH_TOL2}
		0.5			V_{DSOVTH_TOL2}
		2			V_{DSOVTH_TOL2}

8 后视镜加热器高边MOSFET驱动器

如果检测到漏源过压事件，故障反应为：

- 漏源过压位为置位并锁存
- 外部MOSFET的栅极放电：
 1. 使用 I_{DCHG} 在 $t_{VDS_BLK_OFF}$ 期间
 2. 使用 $-I_{HOLD}$ 在 $t_{VDS_BLK_OFF}$ 之后

注意： MOSFET 电流下降与杂散电感共同作用，会导致 V_{SH} 为负值。应用时必须确保 SH 引脚不超过绝对最大额定值，尤其是在杂散电感短路的情况下。
如果应用无法确保满足 SH 引脚的绝对最大额定值在安全范围内，则建议使用续流二极管。

t_{VDS_BLK} 和 $t_{VDS_BLK_OFF}$ 由SPI配置，参考表 37：

表 37 消隐时间设置

Parameter	Symbol	Nominal value	Unit	Default	Tolerance
DS OV blank time on/off	$t_{VDS_BLK} / t_{VDS_BLK_OFF}$	8 / 37 50 / 124	μs	8 / 37	t_{OSC1_TOL}

清除漏源过压状态位可重新启用外部 MOSFET（根据控制寄存器）。

8.3 断电状态诊断

SH到VS的短路或者开路检测通过MCU实现，当MOSFET驱动器处于主动关闭模式通过监测 V_{SH} (参考表 38)。在主动关闭模式下，上拉诊断电流被激活。

表 38 VSH 状态位

V_{SH} status bit	Diagnostic
0	$V_S - V_{SH} > V_{DSOV_TH}$
1	$V_S - V_{SH} < V_{DSOV_TH}$

8.4 电气特性

电气特性， $V_S = 5.5\text{ V}$ 至 20 V ， $V_{DD} = 3.0\text{ V}$ 至 5.5 V ， $V_{CP} = V_S + 7.5\text{ V}$ 至 $V_S + 17\text{ V}$ ， $T_j = -40^{\circ}\text{C}$ 至 $+150^{\circ}\text{C}$ ；除非另有说明，典型值是指 $V_{DD} = 5.0\text{ V}$ 、 $V_S = 13.5\text{ V}$ 和 $T_j = 25^{\circ}\text{C}$ ；所有电压均相对于接地点，电流正向流入引脚（除非另有说明）。

表 39 电气特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition	P-Number
		Min.	Typ.	Max.			
High VGS level	V_{GS_H}	9.3	11	11.8	V	$V_{GS_H} = V_{GH} - V_{SH}$; ext. MOSFET on; $V_{CP} \geq V_S + 12\text{ V}$	P_MH_1_01
High VGS level	V_{GS_H}	5	–	–	V	$V_{GH} - V_{SH}$; ext. MOSFET on; $V_{CP} = V_S + 7.5\text{ V}$	P_MH_1_02

(表格续下页.....)

表 39 (续) 电气特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition	P-Number
		Min.	Typ.	Max.			
VDS OV filter time	t_{FVDS}	3.2	4	4.8	μs	–	P_MH_1_04
VDS OV tolerance	V_{DSOVTH_TOL1}	-30%	–	30%	–	–	P_MH_1_05
VDS OV tolerance	V_{DSOVTH_TOL2}	-20%	–	20%	–	–	P_MH_1_06
Passive GH discharge	R_{GHDIS}	10	20	30	$\text{k}\Omega$	–	P_MH_1_08
Pull-up diagnostic current	I_{PUDIAG}	-500	-400	-270	μA	$V_{DSOV_TH} = 2\text{ V}$	P_MH_1_09
IGH tolerance 1	I_{GH_TOL1}	-30	–	30	%	–	P_MH_1_10
IGH tolerance 2	I_{GH_TOL2}	-20	–	20	%	–	P_MH_1_11

9 串行外设接口 (SPI)

该器件具有用于配置和诊断的SPI接口。本节介绍 SPI 协议。

9.1 功能描述

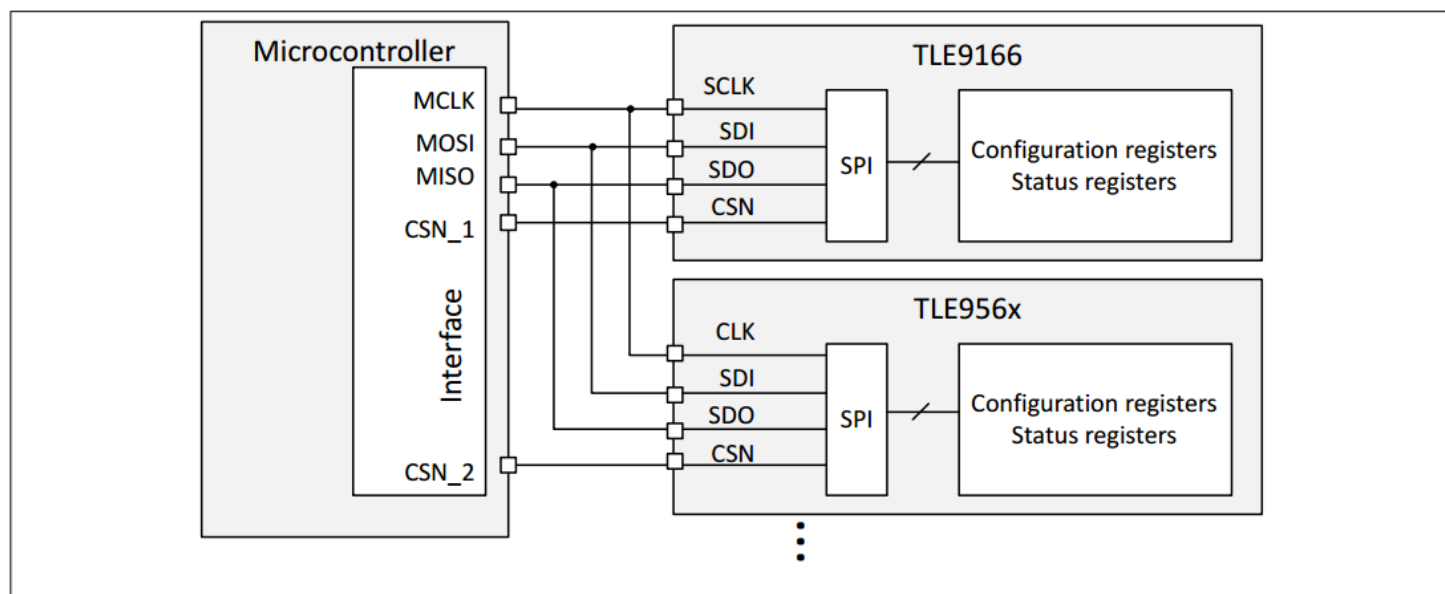


图 22 简化框图：SPI

SDI 引脚读取的输入控制帧与微处理器提供的时钟信号同步在 SCLK 引脚处。实际指令的输出帧同步出现在 SDO 引脚（帧内响应）。

SDI 数据在每个 SCLK 下降沿移入输入寄存器。

SDO 数据在每个 SCLK 上升沿移出。

器件的 SPI 协议不支持菊花链。

SPI 帧通过将 CSN 拉至低电平开始，通过将 CSN 拉至高电平结束。

在 CSN 上升沿：

- SDO 被设置为高阻态
- SDI 收到的帧在 t_{SET} 期间被解码

因此，仅当两个 SPI 帧之间 CSN 保持高电平时间 $t > t_{CSNH}$ 时，新的 SPI 帧才被接受。

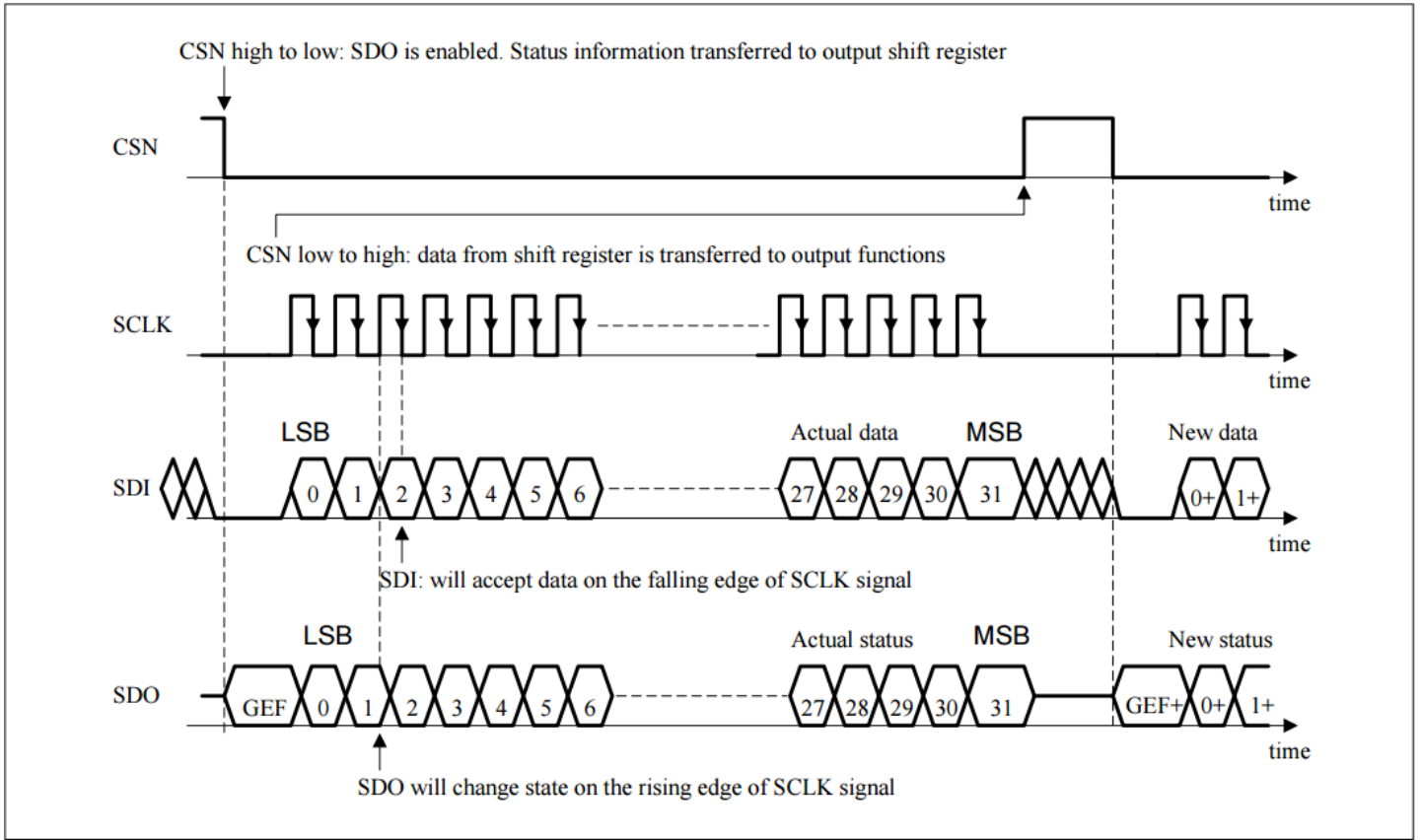


图 23 SPI数据传输时序

SPI具有以下特点：

- 时钟极性为0（第一个边沿=上升沿，第二个边沿=下降沿）
- 时钟相位为 1（在第一个边沿移位数据，在第二个边沿采样数据）

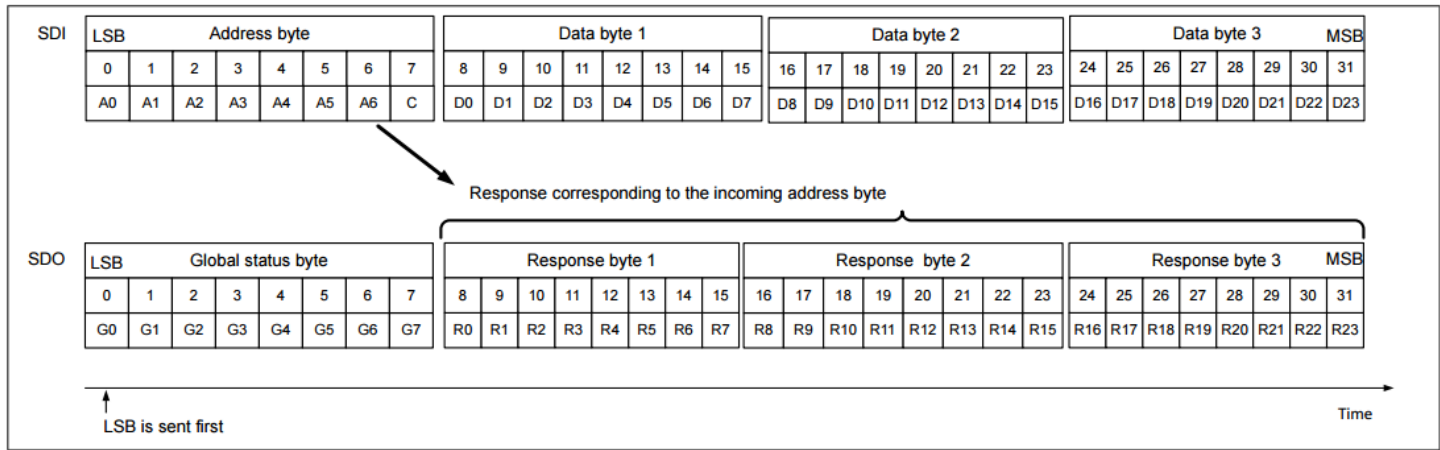


图 24 SPI 帧的内容

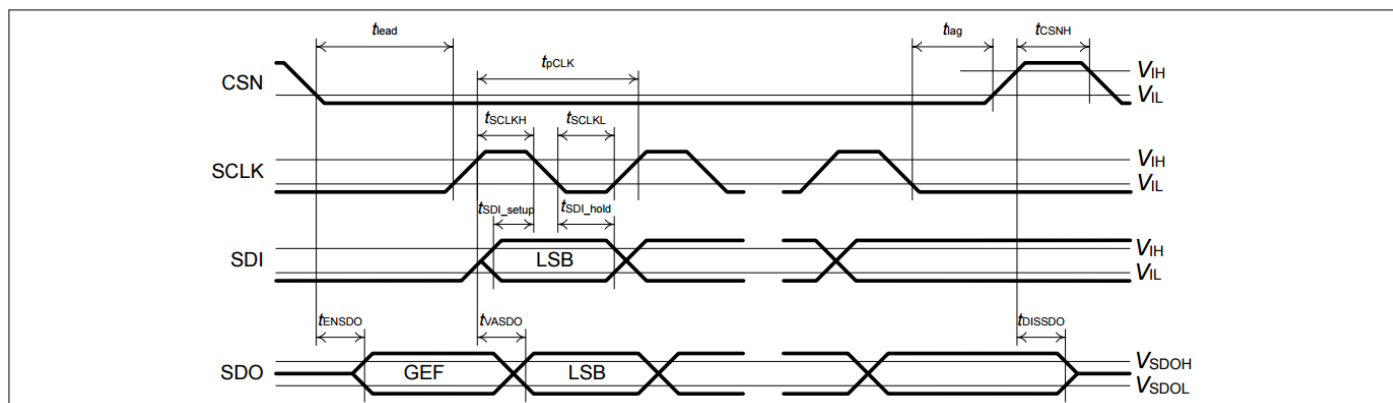


图 25 SPI 数据时序

9.1.1 SPI 协议

SPI 通信由 32 位帧组成。LSB（最低有效位）先发送。

9.1.1.1 SDI 帧格式

一个 SDI 帧包括：

1. 一个地址字节：7 位地址，后跟 1 个指令位“C”
2. 随后是数据字节 1
3. 随后是数据字节 2
4. 随后是数据字节 3

地址字节指定了目标寄存器和指令类型：

- 目标寄存器地址：A[6:0]
- 控制寄存器指令类型：
 - "C" = 0：只读
 - "C" = 1：写入
- 状态寄存器指令类型：
 - "C" = 0：只读
 - "C" = 1：清除

清除的指令将清除一整个的状态寄存器。

9.1.1.2 SDO 帧格式

SPI 协议包含一个帧内响应：寻址寄存器的内容在同一个 SPI 帧内由 SDO 移出。

SDO 传输：

1. 全局状态字节
2. 随后是响应字节 1
3. 随后是响应字节 2
4. 随后是响应字节 3

9.1.2 全局错误标志

全局错误标志（GEF 位）允许快速向全局报告：

- 如果发生故障
- 如果器件来自上电复位

全局错误标志（图 23）在 t_{ENSDO} 之后的 CSN 下降沿和第一个 SCLK 上升沿之间的 SDO 上报告。

9 串行外设接口 (SPI)

GEF = (HBE) 或 (PAIRE) 或 (TSD) 或 (TW) 或 (NOT(NPOR)) 或 (SUPE) 或 (LE) 或 (FS) 或 (SPIE) 如果 MASKOL = MASKTW = 0

- 如果 MASKOL = 1: OL 不在 GEF 中报告
- 如果 MASKTW = 1: TW 不在 GEF 中报告

9.1.3 全局状态字节

这个全局状态字节 (GSB) 提供了器件状态的概述，当控制器发送地址字节。

SDO 输出 GSB (图 24) 在前八个 SCLK 周期内。GSB 报告以下故障：

- G0: 读数始终为 0
- G1 (INE): 输入错误
- G2 (TE): 热错误
- G3 (NPOR) : 非上电复位
- G4 (SUPE): 供电错误
- G5 (LE): 负载错误
- G6 (FS): 故障安全
- G7 (SPIE) : SPI 错误

下表显示了 GSB 和 GEF 报告故障的方式：

表 40 全局状态字节和全局错误标志故障报告

Type of error	Bits of of the GSB	Global error flag
Half-bridge configuration error (HBE) for ECV low-side and OUT10 is detected	INE = 1	1
Pairing error (PAIRE) is detected	INE = 1	1
Thermal shutdown	TE = 1	1
Thermal warning	TE = 1	1 if MASKTW = 0 0 if MASKTW = 1
Power-on reset	NPOR = 0	1
Supply error	SUPE = 1	1
Open load	LE = 1	1 if MASKOL = 0 0 if MASKOL = 1
Overcurrent	LE = 1	1
Fail safe	FS = 1	1
SPI protocol error	SPIE = 1	1
No error and no power-on reset	TW = 0 TSD = 0 NPOR = 1 SUPE = 0 LE = 0 FS = 0 SPIE = 0	0

NPOR 的默认值（上电复位后）为0，因此 GEF 的默认值为1。

INE 位

输入故障位是一个 OR 组合：

- ECV低边和OUT10的半桥配置故障位
- OUT1 至 OUT6 之间的配对故障位

INE = (HBE) 或 (PAIRE)

TE 位

热位故障位 (TE) 是热关断位和热警告状态位的 OR 组合。TE = (TSD) 或 (TW)。

NPOR位

上电复位后，NPOR = 0，直到接收到通用状态寄存器 (GENSTAT1) 的清除指令。

SUPE 位

SUPE 位是 VS 欠压、VS 过压和电荷泵状态位的 OR 组合。

LE 位

如果 MASKOL = 0：LE = (过载状态寄存器中位的 OR 组合) 或 (负载开路状态寄存器中位的 OR 组合)。如果 MASKOL = 1：LE = 过载状态寄存器中位的 OR 组合

FS 位

FS 表示在故障安全模式下运行操作。

9.1.4 SPI协议错误检测

微控制器可通过监测SPI故障位(SPIE)来监控SDI引脚接收到的数据完整性。如果检测到以下情况之一，则会报告 SPI 协议错误：

- CSN为低时接收到的SCLK时钟脉冲数既不是0也不是32
- 微控制器将SPI指令发送到未使用的地址。
- 微控制器发送一个清除的指令到地址 0x7F
- 检测到时钟极性错误：输入时钟信号在 CSN 上升沿或下降沿期间为高
- SPI写入命令，用于在故障安全模式下更改控制位的值，器件启用位除外

如果在给定帧期间检测到SPI协议错误，则读取器可以在下一个SPI通信中读取SPI故障位
当接收到有效的SPI指令时，SPIE 自动复位。

为确保SPI通讯正常：

- SCLK 必须保持为低，至少 t_{BEF} 在CSN下降沿之前，以及 t_{lead} 在CSN下降沿之后
- SCLK 必须保持为高，至少 t_{lag} 在CSN上升沿之前，以及 t_{BEH} 在CSN上升沿之后

9.2 电气特性

电气特性， $V_S = 5.5\text{ V}$ 至 20 V ， $V_{DD} = 3.0\text{ V}$ 至 5.5 V ， $V_{CP} = V_S + 7.5\text{ V}$ 至 $V_S + 17\text{ V}$ ， $T_j = -40^\circ\text{C}$ 至 $+150^\circ\text{C}$ ；除非另有说明，典型值是指 $V_{DD} = 5.0\text{ V}$ 、 $V_S = 13.5\text{ V}$ 和 $T_j = 25^\circ\text{C}$ ；所有电压均相对于接地点，电流正向流入引脚（除非另有说明）。

表 41 **电气特性**

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition	P-Number
		Min.	Typ.	Max.			
SPI Interface							
Maximum SPI frequency	$f_{\text{SPI,max}}$	–	–	6	MHz	–	P_SPI_1_01
SDI, SCLK, CSN and PWM							
High input voltage threshold	V_{IH}	–	–	$0.75 \times V_{\text{DD}}$	V	–	P_SPI_1_02
Low input voltage threshold	V_{IL}	$0.25 \times V_{\text{DD}}$	–	–	V	–	P_SPI_1_03
Hysteresis of input voltage	V_{IHY}	100	–	–	mV	–	P_SPI_1_04
Pull-up resistor at pin CSN	$R_{\text{PU_CSN}}$	20	40	80	kΩ	$V_{\text{CSN}} = 0.75 \times V_{\text{DD}}$	P_SPI_1_05
Pull-down resistor at pin SDI, SCLK and PWM	$R_{\text{PD_SDI}},$ $R_{\text{PD_SCLK}},$ $R_{\text{PD_PWM}}$	20	40	80	kΩ	$V_{\text{SDI}} = V_{\text{SCLK}} = V_{\text{PWM}} = 0.25 \times V_{\text{DD}}$	P_SPI_1_06
Input capacitance at pin CSN, SDI or SCLK	C_{I}	–	–	15	pF	$V_{\text{CSN}} = V_{\text{SDI}} = V_{\text{SCLK}} = V_{\text{DD}}$	P_SPI_1_07
SDO							
High output voltage level	V_{SDOH}	$0.8 \times V_{\text{DD}}$	–	–	V	$I_{\text{SDOH}} = -2 \text{ mA}$	P_SPI_2_01
Low output voltage level	V_{SDOL}	–	–	$0.2 \times V_{\text{DD}}$	V	$I_{\text{SDOL}} = 2 \text{ mA}$	P_SPI_2_02
Tri-state Leakage Current	I_{SDOLK}	-10	–	10	μA	$V_{\text{CSN}} = V_{\text{DD}}$ $0 \text{ V} < V_{\text{SDO}} < V_{\text{DD}}$	P_SPI_2_03
Tri-state input capacitance	C_{SDO}	–	–	15	pF	–	P_SPI_2_04
SDI timing							
SCLK period	t_{pCLK}	160	–	–	ns	–	P_SPI_3_01
SCLK high time	t_{SCLKH}	70	–	–	ns	–	P_SPI_3_02
SCLK low time	t_{SCLKL}	70	–	–	ns	–	P_SPI_3_03
SCLK low before CSN Low	t_{BEF}	70	–	–	ns	–	P_SPI_3_04
CSN setup time	t_{lead}	160	–	–	ns	–	P_SPI_3_05
SCLK setup time	t_{lag}	160	–	–	ns	–	P_SPI_3_06
SCLK low after CSN high	t_{BEH}	70	–	–	ns	–	P_SPI_3_07

(表格续下页.....)

表 41 (续) 电气特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition	P-Number
		Min.	Typ.	Max.			
SDI setup time	t_{SDI_setup}	60	–	–	ns	–	P_SPI_3_08
SDI hold time	t_{SDI_hold}	40	–	–	ns	–	P_SPI_3_09
Input signal rise time at pin SDI, SCLK, CSN	t_{rIN}	–	–	20	ns	–	P_SPI_3_10
Input signal fall time at pin SDI, SCLK, CSN	t_{fIN}	–	–	20	ns	–	P_SPI_3_11
Minimum CSN high time	t_{CSNH}	3	–	–	μs	–	P_SPI_3_12

SDO timing

SDO rise time	t_{rSDO}	–	30	40	ns	$C_{load} = 25\text{ pF}$ $V_{SDO} < 0.2 \times V_{DD}$ to $V_{SDO} > 0.8 \times V_{DD}$	P_SPI_4_01
SDO fall time	t_{fSDO}	–	30	40	ns	$C_{load} = 25\text{ pF}$, $V_{SDO} < 0.8 \times V_{DD}$ to $V_{SDO} > 0.2 \times V_{DD}$	P_SPI_4_02
SDO enable time after CSN falling edge	t_{ENSDO}	–	–	90	ns	Low impedance	P_SPI_4_03
SDO disable time after CSN rising edge	t_{DISSDO}	–	–	90	ns	High impedance	P_SPI_4_04
Duty cycle of incoming clock at SCLK	$duty_{SCLK}$	45	–	55	%	–	P_SPI_4_05
SDO valid time	t_{VASDO}	–	–	45	ns	$V_{SDO} < 0.2 \times V_{DD}$ $V_{SDO} > 0.8 \times V_{DD}$ $C_{load} = 25\text{ pF}$	P_SPI_4_06

10 应用信息

以下简化的应用示例仅作为器件应用的提示，不应被视为对器件某种功能、状态或质量的描述或担保。所描述电路的功能必须在应用中进行验证。

10.1 应用框图

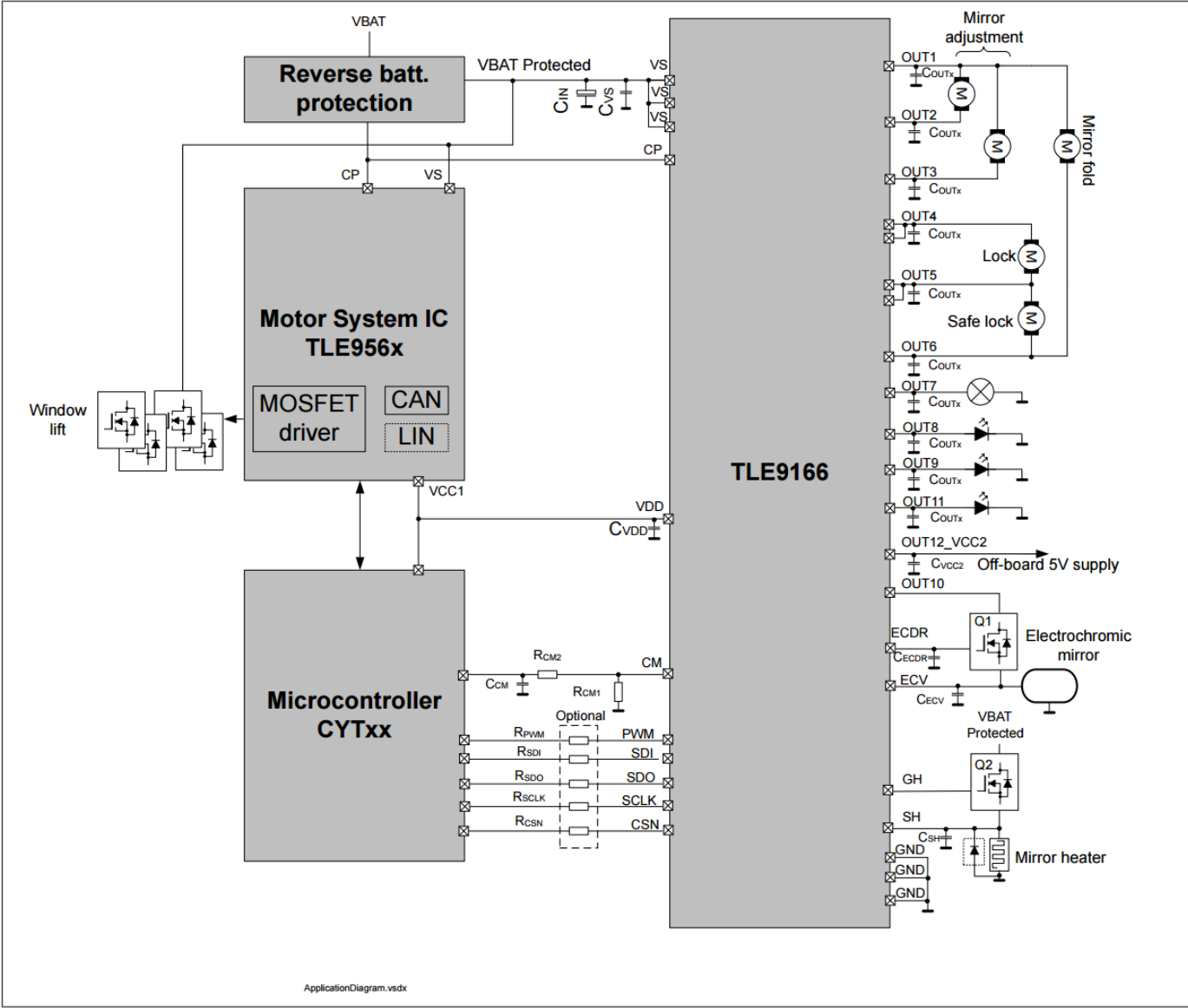


图 26 简化应用图

表 42 物料清单

Reference	Nominal value	Purpose / comment
Capacitors		
C _{OUTx}	22 nF, 50 V	ESD protection as required by the application
C _{SH}	Ceramic	To be placed close to the connector

(表格续下页.....)

表 42 (续) 物料清单

Reference	Nominal value	Purpose / comment
C_{ECV}	220 nF, 50 V Ceramic	Stability of EC control To be placed close to Q1
C_{ECDR}	4.7 nF, 50V Ceramic	Stability of EC control To be placed close to Q1
C_{VCC2}	2.2 μ F, 16V Ceramic	Blocking capacitor. Min. 470 nF for stability. Required if OUT12_VCC2 is configured as voltage regulator.
C_{VS}	100 nF, 50 V Ceramic	Filter capacitor for high frequency noise
C_{IN}	Electrolytic capacitor. To be dimensioned according to the motors	Buffer capacitor for motor supply The value depends on the motors characteristics
C_{VDD}	100 nF, 16 V Ceramic	Filter capacitor for high frequency noise
C_{CM}	10 nF, 16V	Builds a low pass filter together with R_{CM2}

Resistors

R_{CM1}	1 k Ω to 10 k Ω	For current monitoring
R_{CM2}	1 k Ω	Builds a low pass filter together with C_{CM}
R_{CSN} R_{PWM}	1 k Ω	Decoupling resistor Optional
R_{SDI} , R_{SDO} , R_{SCLK}	330 Ω	Decoupling resistors and for emission purpose Optional

Capacitors

D_1	–	A free-wheeling diode between SH and GND is recommended if V_{SH} violates the device absolute maximum rating of the SH pin, for example during the fast turn-off of the external MOSFET in combination with cable stray inductances. The worst case can occur in short circuit condition with stray inductances.
-------	---	---

11 封装外形

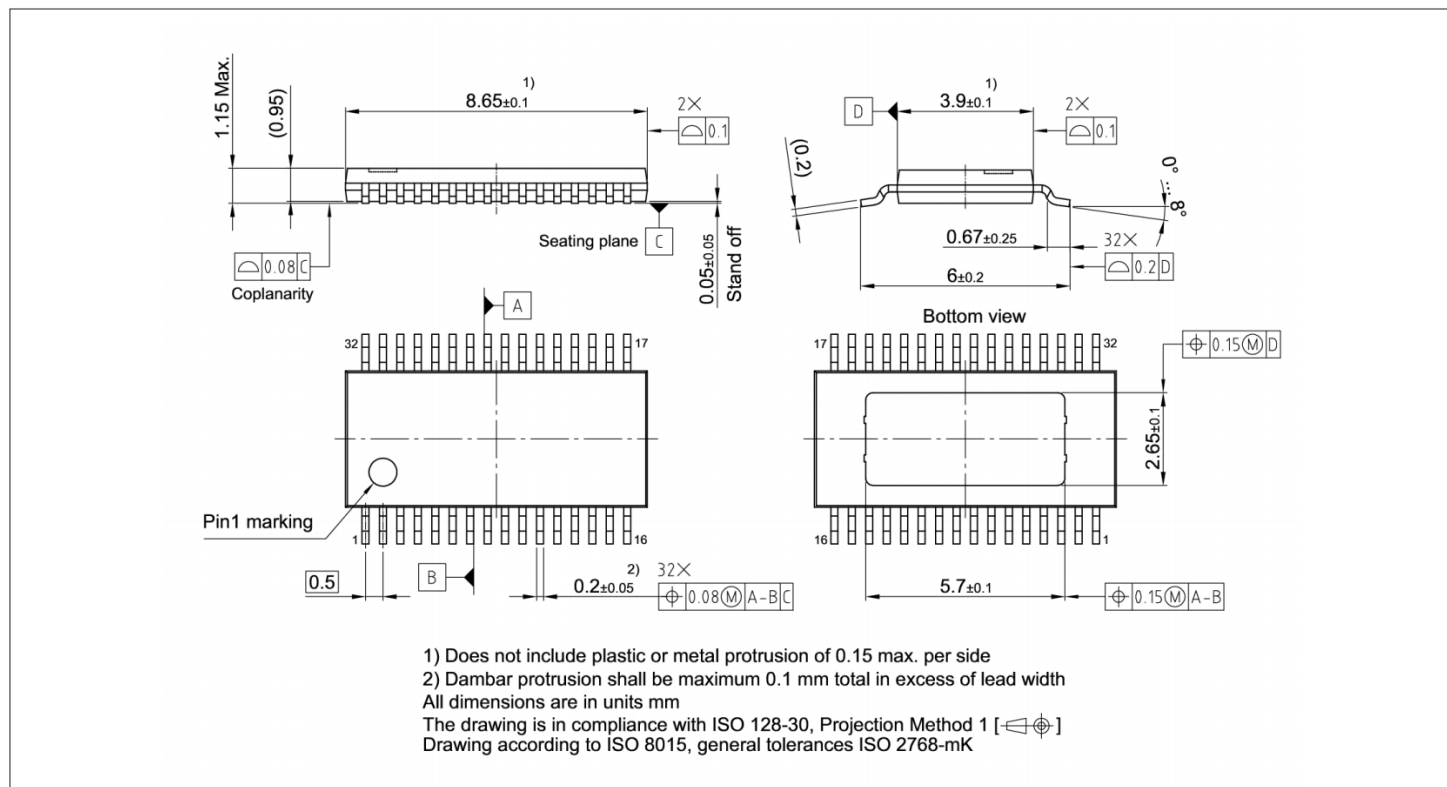


图 27 封装外形 PG-TSDSO-32

为了满足全球客户对环保产品的要求，并遵守政府法规，该器件以绿色产品的形式提供。绿色产品符合 RoHS 标准（即引线采用无铅表面处理，适合无铅焊接（符合 IPC/JEDEC J-STD-020））。



修订记录

12 修订记录

Document version	Date of release	Description of changes
Rev. 1.01	2025-02-17	• Document confidentiality updated
Rev. 1.00	2024-09-12	• First release



免责声明

请注意，本文件的原文使用英文撰写，为方便客户浏览英飞凌提供了中文译文。该中文译文仅供参考，并不可作为任何论点之依据。

由于翻译过程中可能使用了自动化程序，以及语言翻译和转换过程中的差异，最后的中文译文与最新的英文版本原文含义可能存在不尽相同之处。

因此，我们同时提供该中文译文版本的最新英文原文供您阅读，请参见 <http://www.infineon.com>

英文原文和中文译文版本之间若存有任何歧异，以最新的英文版本为准，并且仅认可英文版本为正式文件。

您如果使用本文件，即表示您同意并理解上述说明。英飞凌不对因翻译过程中可能存在的任何不完整或不准确信息而产生的任何直接或间接损失或损害负责。英飞凌不承担中文译文版本的完整性和准确性责任。如果您不同意上述说明，请不要使用本文件。

Trademarks

All referenced product or service names and trademarks are the property of their respective owners.

版本 2026-07-01

Infineon Technologies AG 出版，
德国 Neubiberg 85579

版权 © 2026 Infineon Technologies AG
及其关联公司。
保留所有权利。

**Do you have a question about this
document?**

Email:

erratum@infineon.com

重要通知

Infineon Technologies AG 及其关联公司（以下简称“英飞凌”）销售或提供和交付的产品（可能也包括样品，且可能由硬件或软件或两者组成）（以下简称“产品”），应遵守客户与英飞凌签订的框架供应合同或其他书面协议的条款和条件，如无上述合同或其他书面协议，则应遵守适用的英飞凌销售条件。只有在英飞凌明确书面同意的情况下，客户的一般条款和条件或对适用的英飞凌销售条件的偏离才对英飞凌具有约束力。

为避免疑义，英飞凌不承担不侵犯第三方权利的所有保证和默示保证，例如对特定用途/目的的适用性或适销性的保证。

英飞凌对与样品、应用或客户对任何产品的具体使用有关的任何信息或本文件中给出的任何示例或典型值概不负责。

本文件中包含的数据仅供具有技术资格和技能的客户代表使用。客户有责任评估产品对预期应用和客户特定用途的适用性，并在预期应用和客户特定用途中验证本文件中包含的所有相关技术数据。客户有责任正确设计、编程和测试预期应用的功能性和安全性，并遵守与其使用相关的法律要求。

除非英飞凌另行明确批准，否则产品不得用于任何因产品故障或使用产品的任何后果可合理预期会导致人身伤害的应用。但是，上述规定并不妨碍客户在英飞凌明确设计和销售的使用领域中使用任何产品，但是客户对应用负有全部责任。

英飞凌明确保留根据适用法律，如《德国版权法》（UrhG）第 44b 条，将其内容用于商业资料和数据勘探（TDM）的权利。

如果产品包含安全功能：

由于任何计算设备都不可能绝对安全，尽管产品采取了安全措施，但英飞凌不保证产品不会被入侵、数据不会被盗或遗失，或不会发生其他漏洞（以下简称“安全漏洞”），英飞凌对任何安全漏洞不承担任何责任。

如果本文件包含或引用软件：

根据美国、德国和世界其他国家的知识产权法律和条约，该软件归英飞凌所有。英飞凌保留所有权利。因此，您只能按照软件附带的软件授权协议的规定使用本软件。

如果没有适用的软件授权协议，英飞凌特此授予您个人的、非排他性的、不可转让的软件知识产权授权（无权转授权）：(a) 对于以源代码形式提供的软件，仅在贵组织内部修改和复制该软件用于英飞凌硬件产品；及 (b) 对于以二进制代码 (binary code) 形式对外向终端用户分发该软件，仅得用于英飞凌硬件产品。禁止对本软件进行任何其他使用、复制、修改、翻译或编译。有关产品、技术、交货条款和条件以及价格的详细信息，请联系离您最近的英飞凌办公室或访问 <https://www.infineon.com>。