

英飞凌 XDPS2201E 混合式反激式控制器

数据手册

特性

- 采用 DSO-14 (150mil) 封装的 DC-DC 混合式反激式数字控制器
- 创新的 ZVS 混合反激（非对称半桥）拓扑，可实现超高的系统效率和高密度设计
- 集成半桥 (HB) 栅极驱动器，同时支持 GaN 和 Si 开关
- 600 V 高压启动单元，可实现快速 VCC 充电
- 突发模式工作控制，实现最低空载待机功耗
- 可配置的保护模式和系统性能参数
- 无铅引脚镀层、无卤素（符合 IEC61249-2-21 标准），符合 RoHS 标准
- 峰值电流模式控制，实现稳健且快速的输入和负载控制
- 高侧和低侧开关的零电压开关（ZVS）工作模式（在 DCM 中插入 ZVS 脉冲）
- 可配置的多模式工作方式，以提升平均负载和轻负载下的效率

潜在应用

- 电池充电器
- 照明
- 高密度/宽输出电压范围的电源
- 高功率密度开关模式电源

产品验证

根据 JEDEC47/20/22 的相关测试，符合工业应用要求

产品描述

XDPS2201E PWM 控制器是一款高度集成的多模式 DC-DC 混合式反激式控制器，支持超宽输出电压范围的设计。

订购信息

Product name	Marking	Ordering code	Firmware version	Package
XDPS2201E	XDPS2201E	SP006063851	4.1.5	PG-DSO-14

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	引脚配置与功能	4
2	典型框图	6
3	简介	7
4	功能描述	13
4.1	VCC 高压启动单元管理	13
4.1.1	VCC 电容充电与启动序列	13
4.1.2	启动电压阶段的“Bang-bang”模式运行	14
4.1.3	保护模式运行期间的“Bang-bang”模式	14
4.1.4	突发模式运行期间的VCC供电	15
4.2	混合式反激式控制	15
4.2.1	PWM 控制方案	16
4.2.1.1	连续谐振模式控制方案	16
4.2.1.2	零电压谐振谷值开关模式控制方案	17
4.2.1.3	谷底数控制	18
4.2.1.4	CRM 与 ZV-RVS 之间的模式转换	18
4.2.2	输出控制	18
4.2.2.1	输出电流控制律	19
4.2.2.2	在宽Vbus电压范围内保持零电压开关（ZVS）工作	20
4.2.2.3	在宽输出电压范围内保持零电压开关（ZVS）工作	20
4.2.2.4	在CRM工作模式下实现零电压开关（ZVS）工作及防止体二极管交叉导通	20
4.2.2.5	传输延迟补偿	21
4.2.3	Vout 启动控制	21
4.2.4	频率抖动	21
4.2.5	半桥栅极驱动器	21
4.2.6	突发模式控制	22
4.2.6.1	突发模式进入点	23
4.2.6.2	突发模式工作	23
4.2.6.3	突发模式自举预充电	23
4.3	保护功能	24
4.3.1	保护模式	25
4.3.1.1	欠压锁定后停用IC	25
4.3.1.2	自动重启模式	25
4.3.1.3	锁存模式	25
4.3.1.4	快速重启模式	26
4.3.2	保护功能	26
4.3.2.1	VCC 欠压锁定	26
4.3.2.2	HSVCC 欠压锁定	26

4.3.2.3	VCC 过压保护	26
4.3.2.4	启动电压保护	26
4.3.2.5	启动超时保护	26
4.3.2.6	总线过压保护	26
4.3.2.7	总线欠压保护	26
4.3.2.8	混合式反激式过流保护	27
4.3.2.8.1	输出过流保护	27
4.3.2.8.2	初级侧过流保护 CSPROT	27
4.3.2.9	输出过压和欠压保护	27
4.3.2.9.1	Vout 过压保护	28
4.3.2.9.2	Vout 欠压保护	28
4.3.2.9.3	Vout 短路保护	28
4.3.2.10	CS 引脚短路保护	28
4.3.2.11	FB 引脚启动保护	29
4.3.2.12	混合式反激式开环保护	29
4.3.2.13	外部过温保护	29
4.3.2.14	存储器奇偶校验	29
4.3.3	MFIO 引脚的错误读出	29
5	固件参数	30
6	电气特性	31
6.1	绝对最大额定值	31
6.2	封装特性	33
6.3	工作条件	33
6.4	特性	34
6.4.1	高压 (HV 引脚)	34
6.4.2	电源 (VCC 引脚)	34
6.4.3	浮地 HS 域 (HSGND、HSVCC 和 HSGD 引脚)	35
6.4.4	总线电压检测 (VS 引脚)	36
6.4.5	混合式反激式零交叉检测 (ZCD 引脚)	36
6.4.6	多功能输入和 输出 (MFIO 引脚)	36
6.4.7	混合式反激式电流检测 (CS 引脚)	37
6.4.8	混合式反激式输出反馈 (FB 引脚)	37
6.4.9	LS 栅极驱动器 (LSGD 引脚)	38
6.4.10	中央控制功能	38
7	封装尺寸	39
8	修订记录	40
	免责声明	41

1 引脚配置与功能

1 引脚配置与功能

引脚配置如下图所示，功能说明见下表。

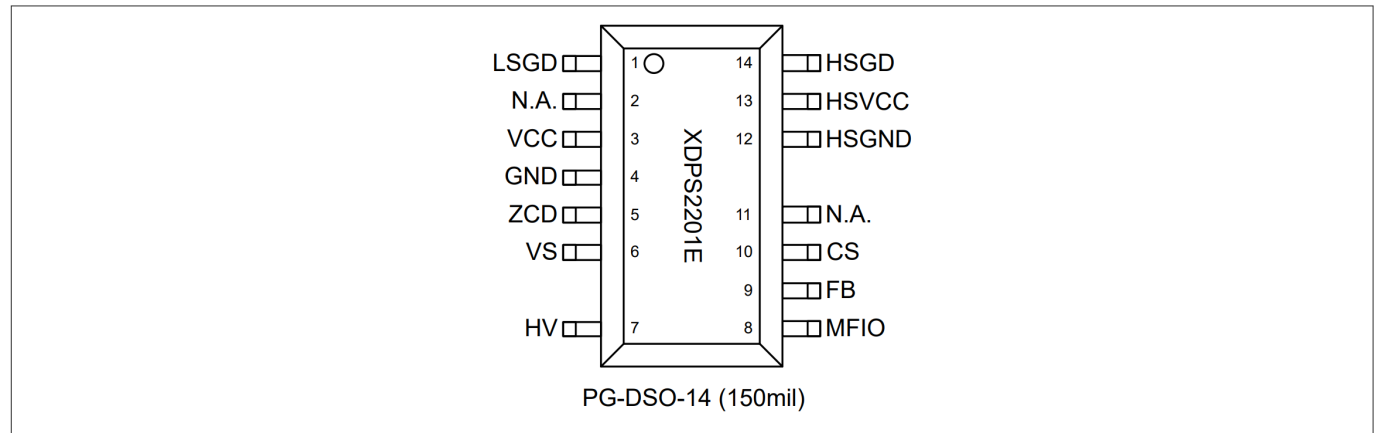


图 1 XDPS2201E 引脚配置

表 1 引脚定义与功能

Symbol	Pin	Type	Function
LSGD	1	O	Hybrid-flyback low-side gate driver This pin drives the low-side transistor of the hybrid-flyback half-bridge via a resistor.
N.A.	2		Not available This pin is internally connected but not used and should be connected to GND.
VCC	3	I	Power supply This pin supplies the IC. During start-up VCC is supplied internally from the AC via the HV pin, while during normal operation VCC is supplied from the auxiliary winding to the hybrid-flyback stage.
GND	4	O	Ground Ground level of the IC for supply voltage, gate drive and sense signals.
ZCD	5	I	Hybrid-flyback zero crossing detection This pin provides zero-crossing detection after low-side gate driver is turned off, during pause phase in skip cycle and burst mode. Furthermore, the reflected output voltage at auxiliary winding can be measured during low-side gate driver turn-on phase.
VS	6	I	Bus voltage sense This pin is connected to a high impedance resistor divider for bus voltage sensing.
HV	7	I	High voltage input The HV pin is connected to the input AC voltage. An internal HV start-up cell is used for initial VCC charging.

(表格续下页.....)

表 1 (续) 引脚定义与功能

Symbol	Pin	Type	Function
MFIO	8	I	Multi-functional input output This pin has different function depending on configuration. One example is to detect ambient temperature using an external NTC resistor connected between MFIO and GND. Furthermore, UART communication for parameter configuration and failure mode reporting is provided by this pin.
FB	9	I	Feedback Feedback signal indicating the required output current, typically connected to optocoupler for secondary side feedback.
CS	10	I	Hybrid-flyback current sense Input pin for current sensing during the hybrid-flyback high-side gate driver turn-on phase.
N.A.	11	O	Not available This pin is internally connected to a signal. It must be left open in application and shall NOT be connected to any external circuitry.
HSGND	12	I	High-side ground Ground reference node for hybrid-flyback floating high-side driver domain.
HSVCC	13	I	High-side power supply Power supply input for hybrid-flyback floating high-side driver domain.
HSGD	14	O	High-side gate driver This pin drives the high-side transistor of the hybrid-flyback half-bridge from the floating driver domain.

2 典型框图

2 典型框图

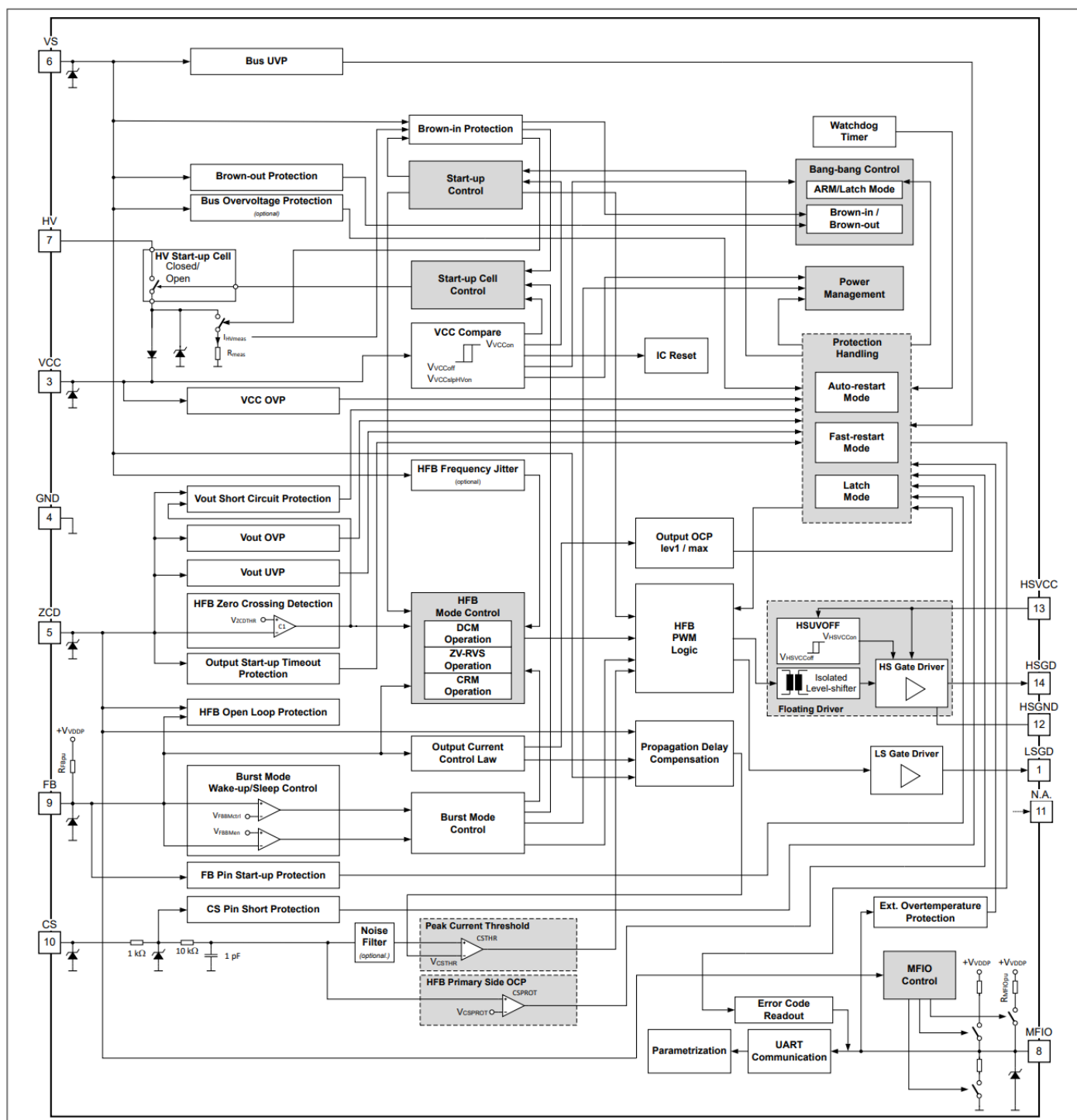


图 2 框图

3 简介

XDPS2201E PWM 控制器是一款高度集成的多模式 DC-DC 混合式反激式 (HFB) 控制器。该控制器可减少外部元器件数量并优化性能。它适用于固定输出电压的应用，对于宽输出电压范围的应用能带来更多优势。通过使用英飞凌 CoolMOS™、CoolGaN™ 晶体管、CoolGaN™ 双晶体管和 OptiMOS™ 晶体管，可进一步提高系统效率。

图 3、图 4 和图 5 展示了采用 CoolGaN™ 单晶体管、CoolGaN™ 双晶体管和 OptiMOS™ 晶体管的潜在应用原理图。

图 6 和图 7 展示了采用 CoolMOS™ 和 OptiMOS™ 晶体管的潜在应用原理图。

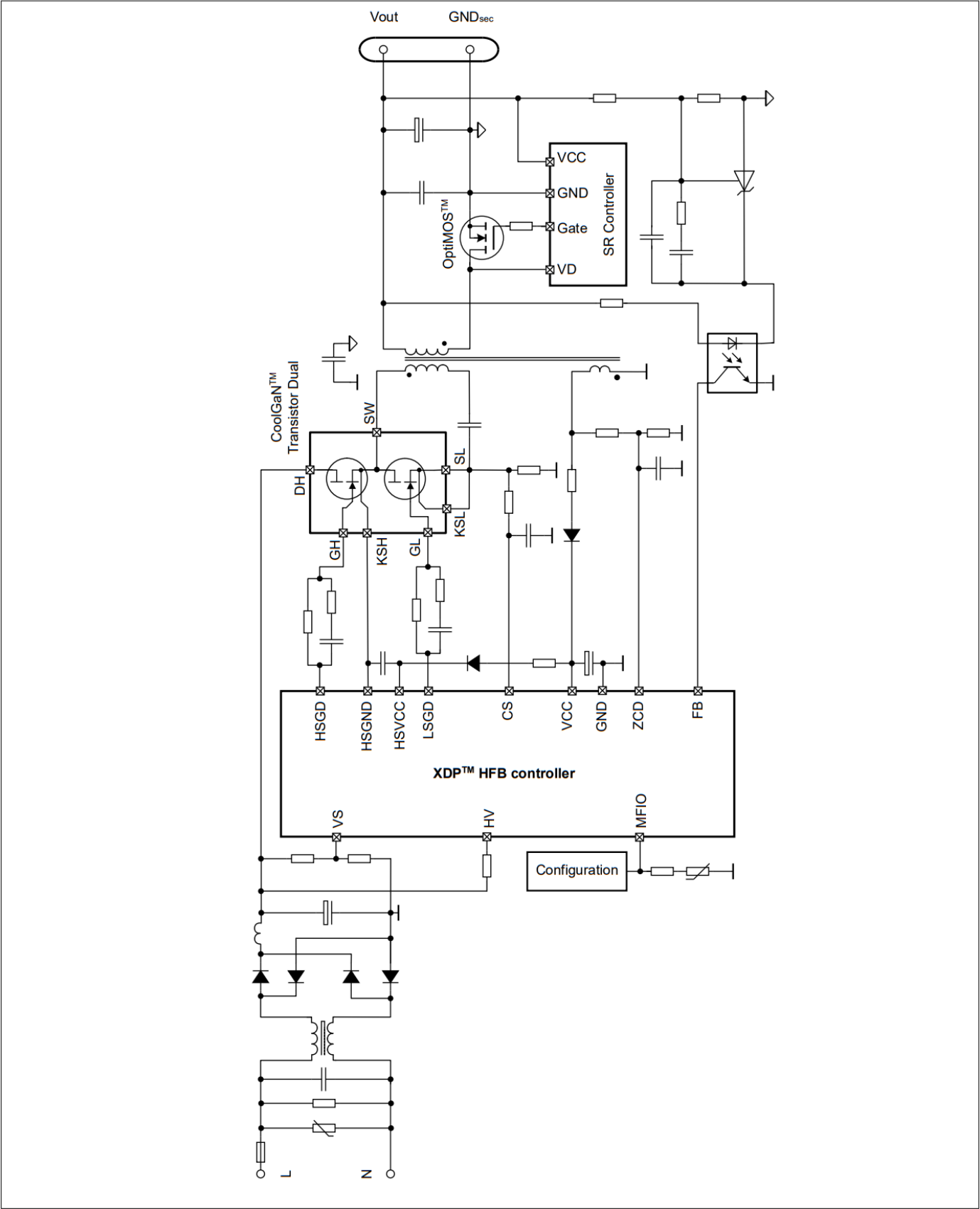


图 3 与 CoolGaN™ 双晶体管结合的典型开关电源应用

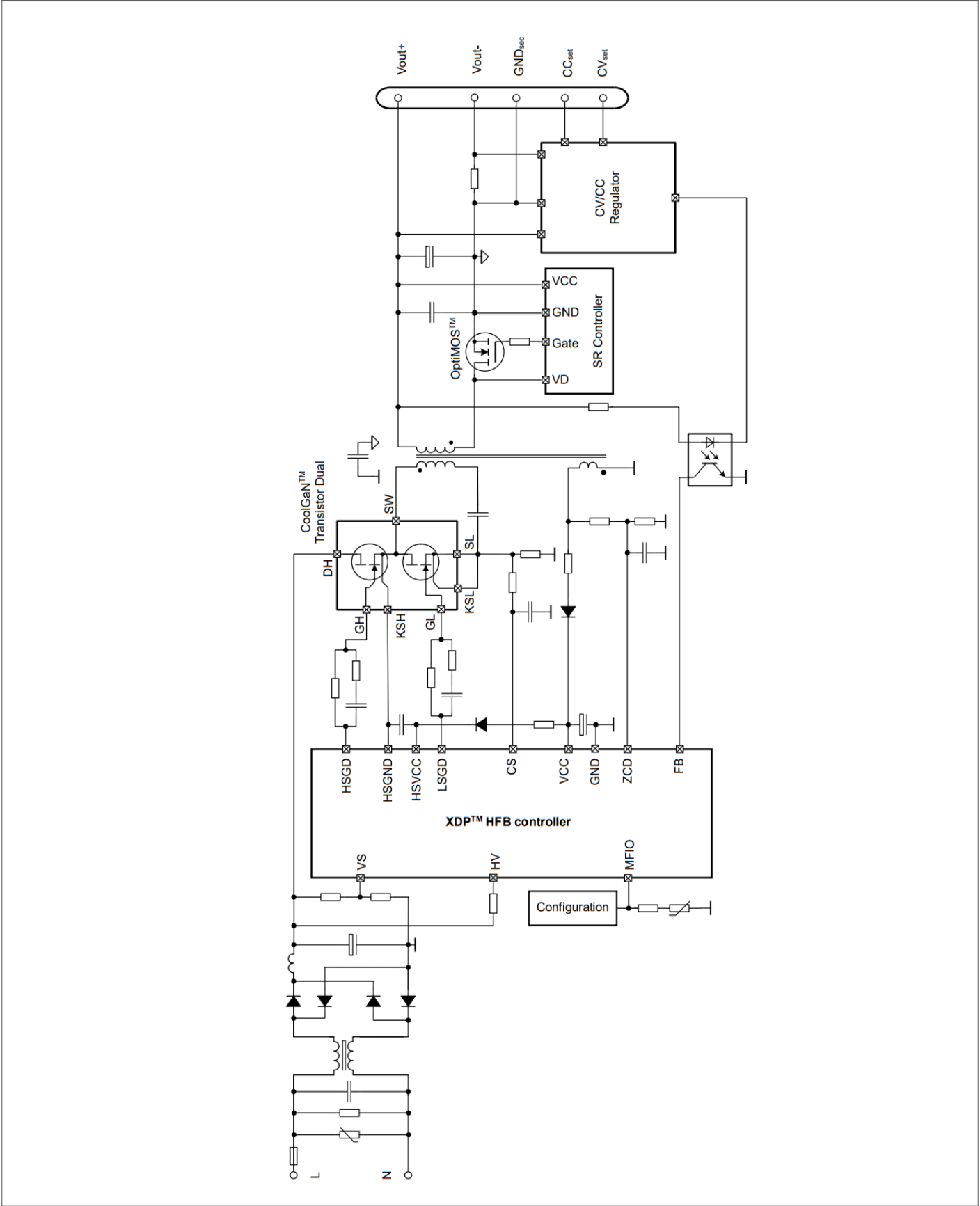


图4 与 CoolGaN™双晶体管结合的典型电池充电器应用，单级

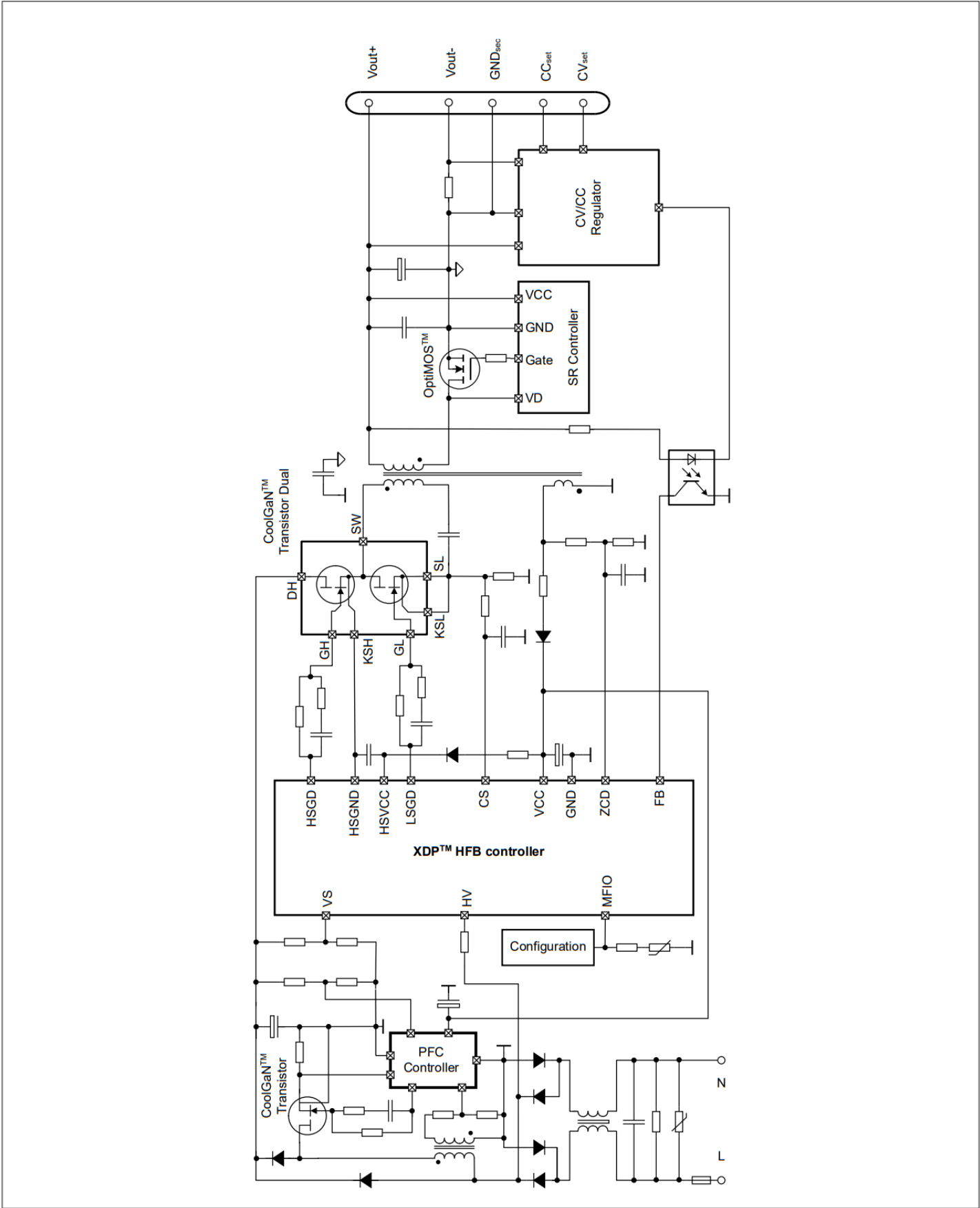


图 5 结合CoolGaN™单晶体管和CoolGaN™双晶体管（带外部 PFC）的典型电池充电器和照明应用

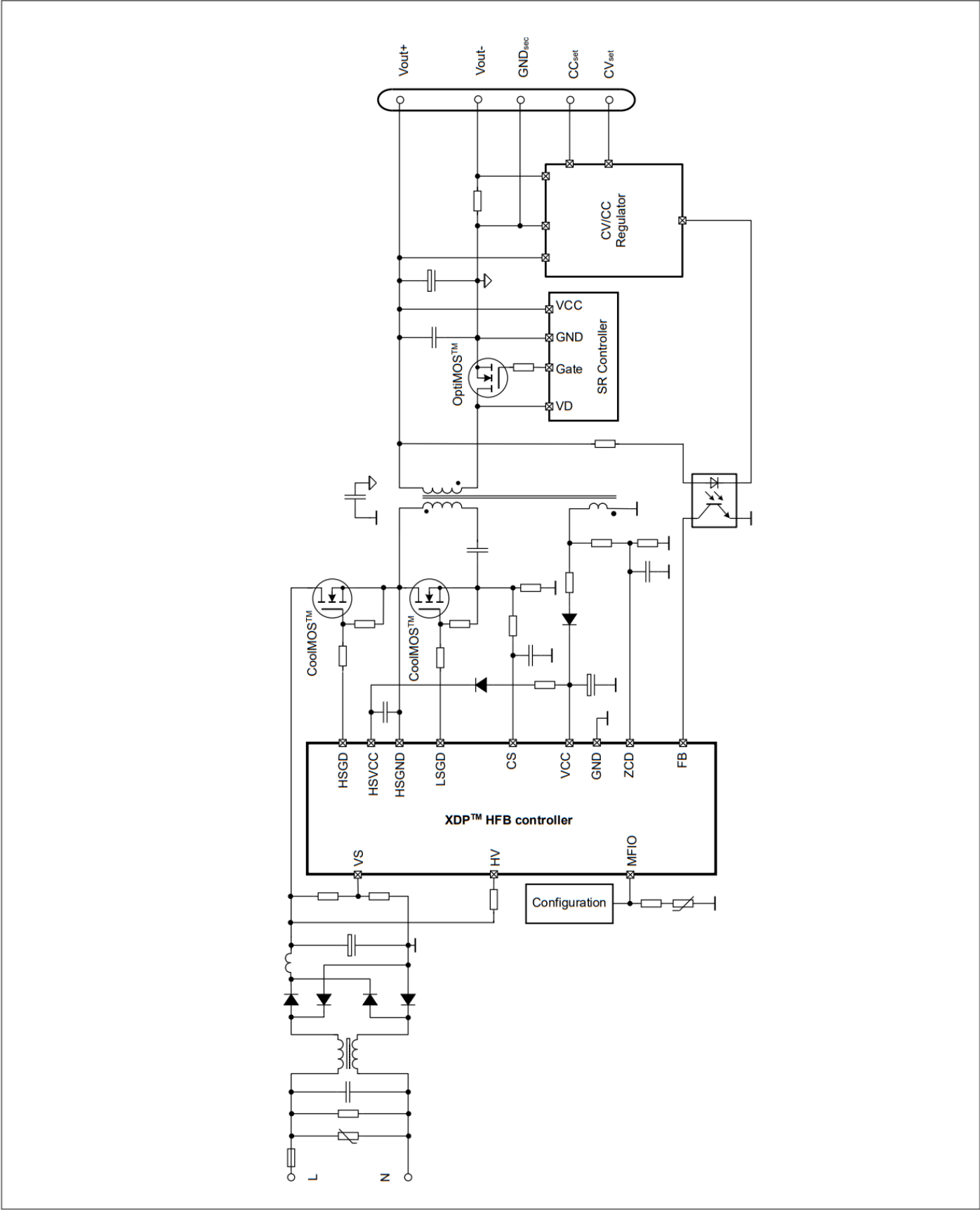


图 6 结合CoolMOS™ 晶体管的典型电池充电器应用，单级

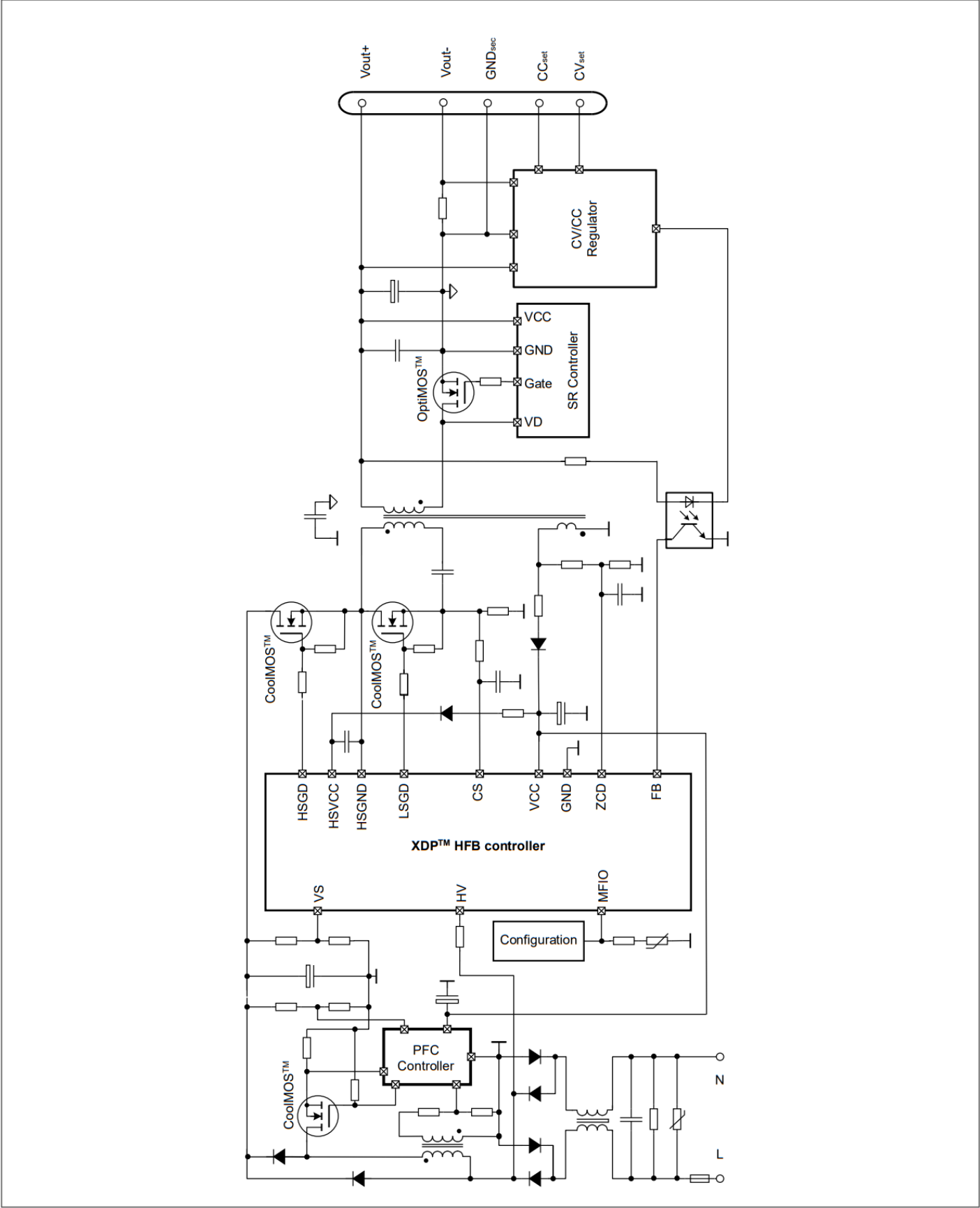


图 7 结合CoolMOS™ 晶体管和外置 PFC 的典型电池充电器和照明应用

4 功能描述

4.1 VCC 高压启动单元管理

VCC 电源管理可确保 IC 运行可靠且稳健。根据控制 IC 的工作模式，电源管理单元对 VCC 电源的运行方式各不相同，具体如下所述。

4.1.1 VCC 电容充电与启动序列

在 VCC 启动时，电容器 C_{VCC} 通过 HV 引脚由内部 HV 启动单元进行充电（参见图 8）。当 V_{VCC} 低于 IC 停用电压阈值 V_{VCCoff} 时，内部高压启动单元被导通。一旦在时间 t_0 时 VCC 引脚上的电压超过阈值 V_{VCCon} ，高压启动单元即被关断，IC 开始工作（参见图 9）。

在时间 t_1 时，IC 检查启动条件。

为了在时间 t_2 开始混合式反激式工作（混合式反激式开关状态由信号 V_{HBGD} 指示），必须满足以下正常启动条件：

1. 启动电压 (BI) 条件： $V_{in} > V_{inbi}$ 且 $V_{bus} > V_{inbi}$ （参见第 4.3.2.4 章）
2. 无输入过压： $V_{bus} < V_{busovp}$ （参见第 4.1.1 章）
3. 反馈信号在调节范围内： $V_{FB} > V_{FBBMctrl}$

如果在时间段 t_{HVbto} 内满足上述条件，混合式反激式电源将开始切换，外部 Vcc 自供电将接管 IC 的供电。

如果在时间段 t_{HVbto} 有任一条件未满足，IC 将报错，进入“bang-bang”模式（参见第 4.1.2 章）。

一旦满足启动条件，混合式反激式电源即开始工作。图 9 展示了典型的启动过程。

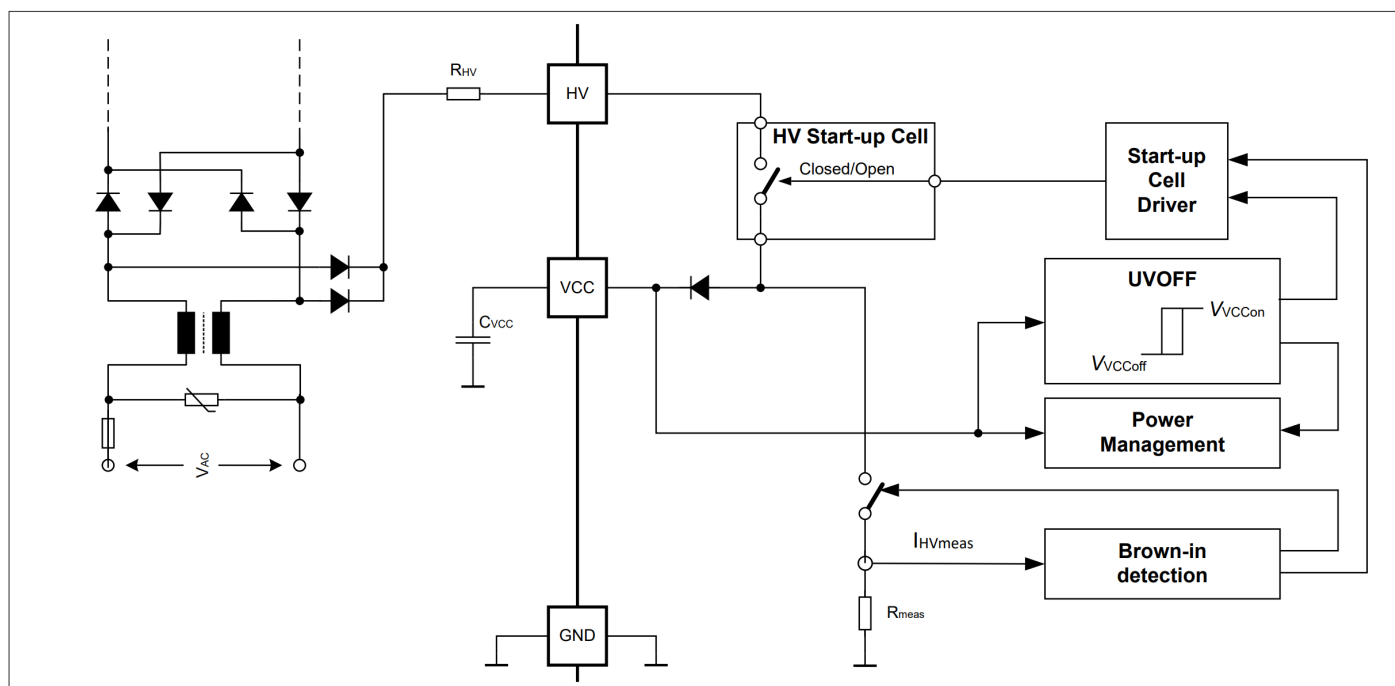


图 8 用于启动和启动电压检测的高压控制

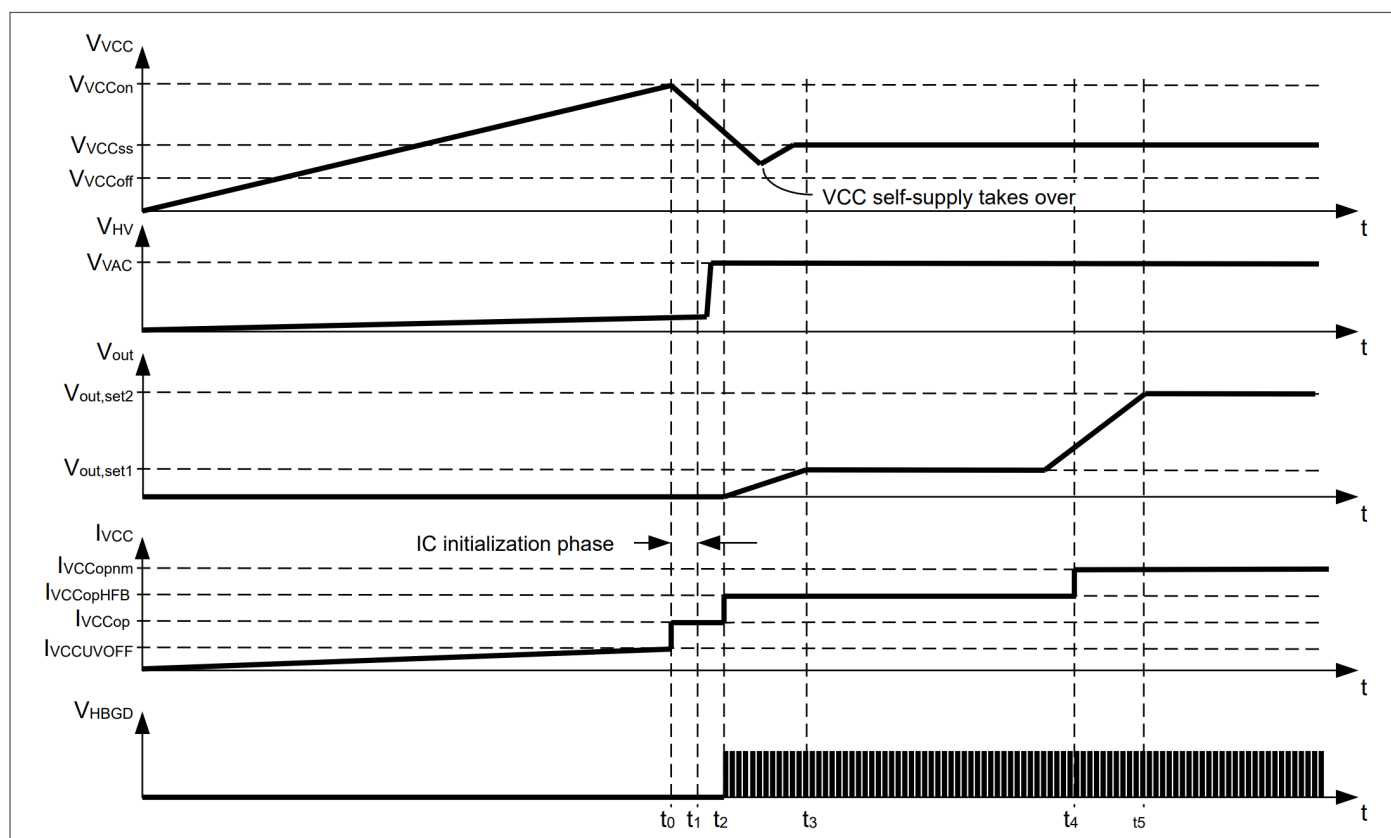


图 9 典型的启动顺序

4.1.2 启动电压阶段的“Bang-bang”模式运行

为了在满足启动电压条件后立即实现快速激活，VCC 电压被维持在较高水平。在启动检查阶段采用“bang-bang”模式运行，可确保 VCC 电压保持在较高水平。

例如，在发生电压跌落 (BO) 事件后，该 IC 将进入睡眠模式，此时电流消耗 I_{VCCBB} 降低。一旦 AC 电源恢复，高压启动单元将导通，并将 VCC 电压充电至阈值 V_{VCCon} 。

当 V_{VCC} 达到 V_{VCCon} 时，IC 便会启动启动电压检测。如果 AC 输入电压足够高，IC 将检测到启动电压状态。

4.1.3 保护模式运行期间的“Bang-bang”模式

在自动重启操作中，高压启动单元会在时间间隔 $t_{ARMbase}$ 后定期开启，并在达到 VCC 引脚电压阈值 V_{VCCon} 时关闭。在此“Bang-Bang”模式运行期间，VCC 被维持在高电平，以确保在自动重启时间 t_{ARM} 到期后能够正常进行重启操作（参见图 10）。

在锁存模式下，高压启动单元在 VCC 引脚电压达到阈值 $V_{VCCslpHVon}$ 时导通，并在达到 VCC 引脚电压阈值 V_{VCCon} 时关断（见图 11）。只有当 VCC 电压降至阈值 V_{VCCoff} 以下时（例如通过断开 AC 电源线），才能实现复位。

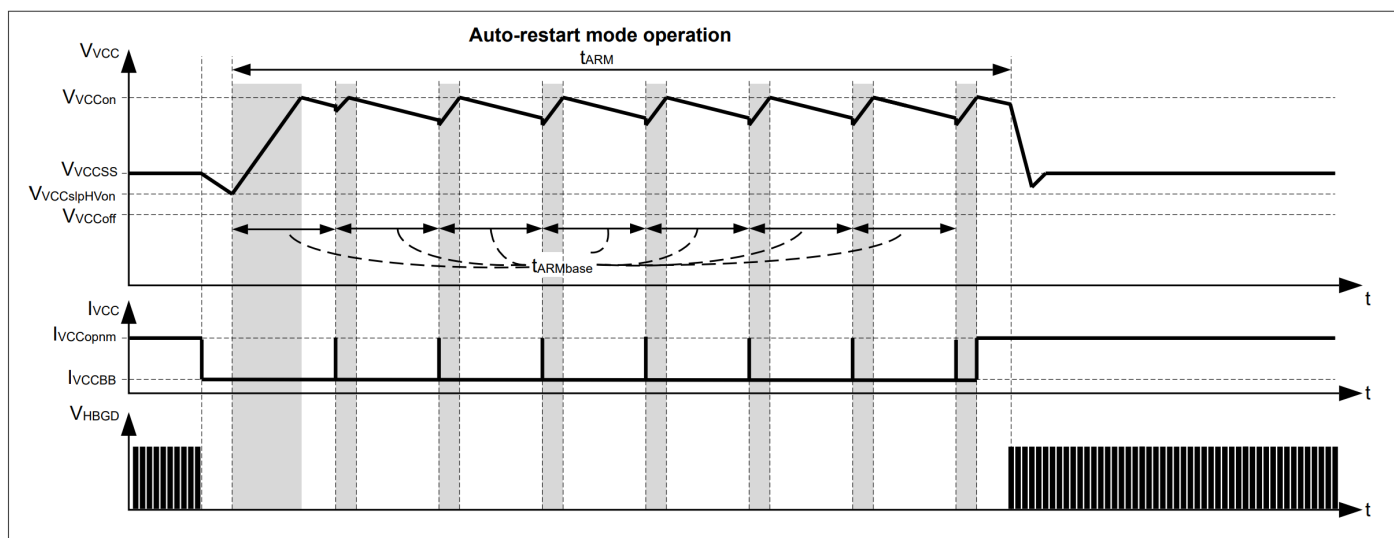


图 10 自动重启模式操作

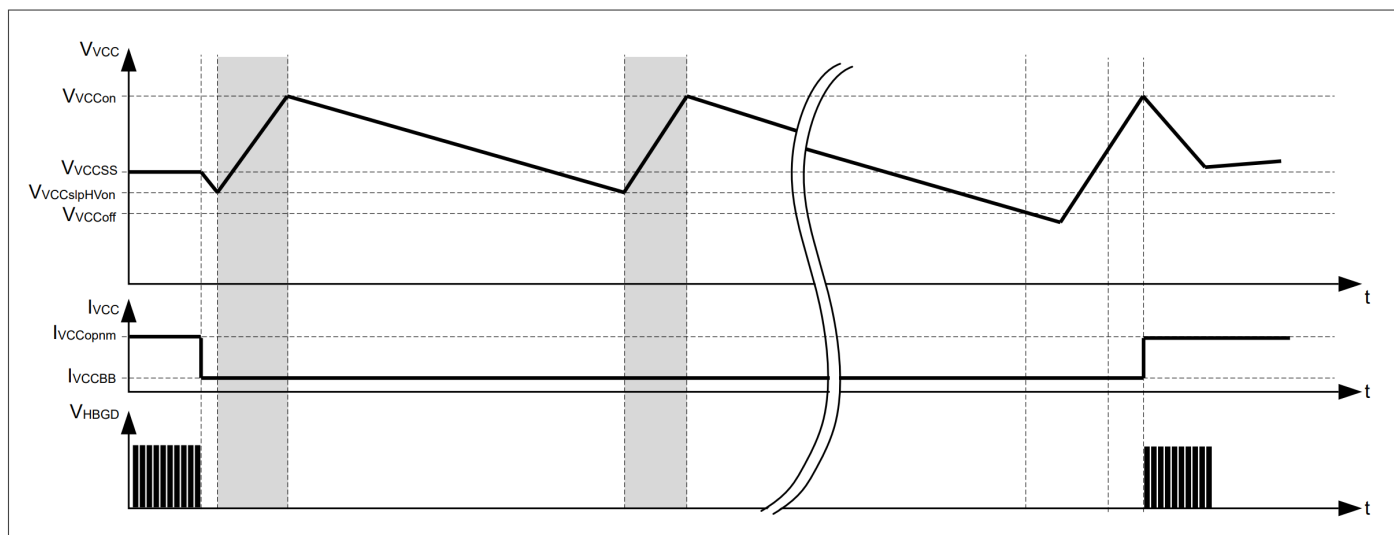


图 11 锁存模式工作

4.1.4 突发模式运行期间的 VCC 供电

在突发模式 (BM) 运行期间, IC 会反复进入一种节能模式, 在此模式下, IC 的电流消耗将降低至 $I_{VCCBMpsm00}$

如果在 BM 工作期间 VCC 电压降至阈值 $V_{CCslpHVon}$ 以下, 则会激活高压启动单元以给 VCC 电容器充电。必须特别注意确保 VCC 的自供电正常, 以避免因 BM 期间启动单元被激活而导致待机功耗过高。

4.2 混合式反激式控制

混合式反激式转换器基于谐振非对称半桥拓扑, 结合了正向转换器和反激式转换器的优点。图 12 展示了混合式反激式级及其相关的控制模块。

通过该控制器, 在合理的系统设计下, 混合式反激功率级可在正常工作时实现初级侧的零电压开关 (ZVS) 工作模式和次级侧的零电流开关 (ZCS) 工作模式。为了实现 ZVS 工作模式和最佳效率, 采用了两种控制方法:

- 连续谐振模式 (CRM) 工作
- 零电压谐振谷值开关 (ZV-RVS) 工作模式

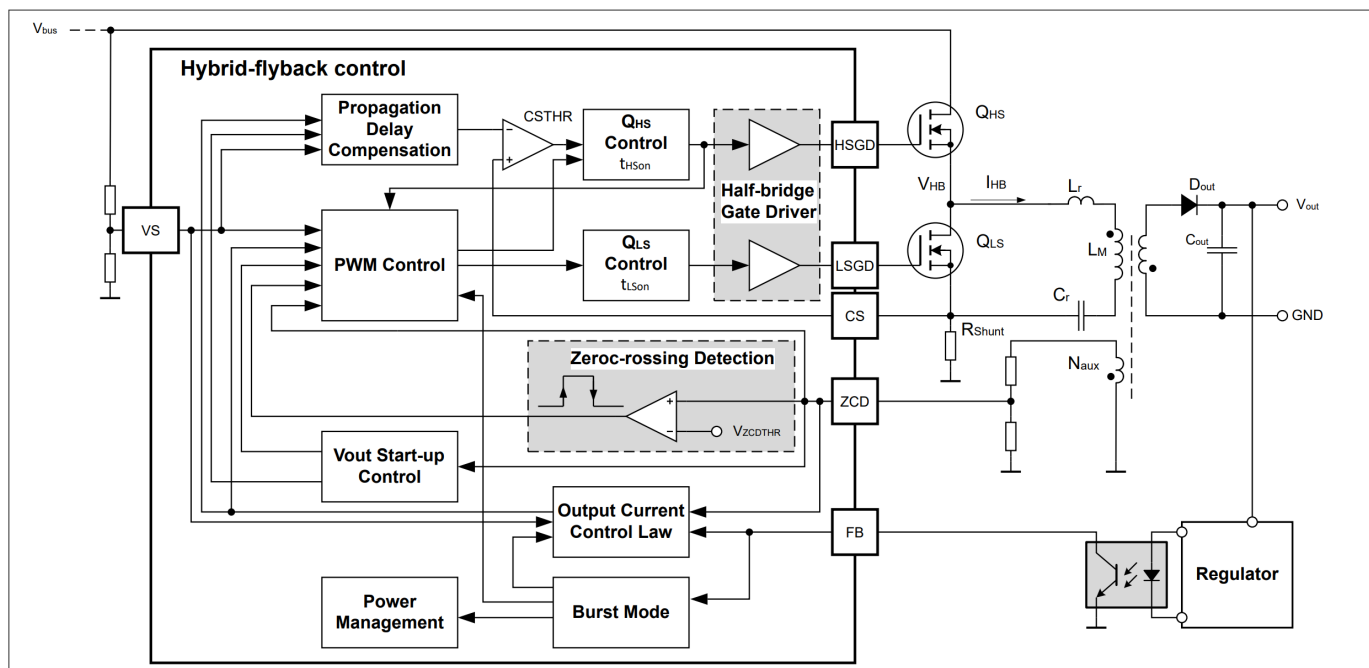


图 12 混合式反激式电路结构及其相关控制模块

输出电流控制利用 CSTHR 比较器，在高侧开关导通时间 t_{HSon} 期间实现峰值电流控制。

4.2.1 PWM 控制方案

在下一章中，将讨论不同控制模式下的脉冲宽度调制（PWM）控制方法以及相关的模式转换。根据负载、输出电压和总线电压，对控制方案进行调制，以确保低侧 (LS) 和高侧 (HS) 开关均能实现零电压开关 (ZVS) 操作。

4.2.1.1 连续谐振模式控制方案

在连续谐振模式（CRM）下，HS 开关和 LS 开关的切换按以下方式激活：以连续交替的方式，并设置短暂的死区时间：在 HS 开关导通前施加 t_{deadHS} ，在 LS 开关导通前施加 t_{deadLS} 。

通过调节负电流电平 I_{MAGneg} ，该方案旨在实现每个半桥开关周期内的零电压开关（ZVS）操作。

图 13 显示了典型的波形。由于峰值电流足够高，足以使 LS 开关实现正确的 ZVS 操作，因此 HS 和 LS 开关之间的死区时间 t_{deadLS} 被固定。

在 CRM 运行中，死区时间 t_{deadHS} 由两个时间间隔组成：

$$t_{deadHS}(CRM) = t_{LS2ZCD} + t_{ZCD2HS}$$

方程 1

LS 导通时间会根据 ZCD 引脚上检测到的参数 $t_{TRANSnom}$ 、 $I_{MAGnegNom}\%$ 、 $t_{TRANSRVSOV\%}$ 和 V_{out} 逐周期进行调整，而 t_{LS2ZCD} 在确定 LS 导通时间时起辅助作用，但用于确保 ZCD 事件发生后 HS 能够导通。

时间间隔 $t_{ZCD2HS}(t_2 - t_1)$ 用于延迟 HS 开关在时间 t_2 时的导通，以实现 HS 开关的零电压开关（ZVS）。

当死区时间 t_{deadHS} (CRM) 结束，或者开关周期达到由最小开关频率 $f_{swDCMmin}$ 定义的值时，HS 开关被激活。

HS 开关激活后，峰值电流控制决定了 HS 的导通时间。在上升沿尖峰消隐期 t_{HSleib} 之后，即可测量励磁电流。该时间 t_{HSleib} 决定了 HS 开关工作的最小导通时间。

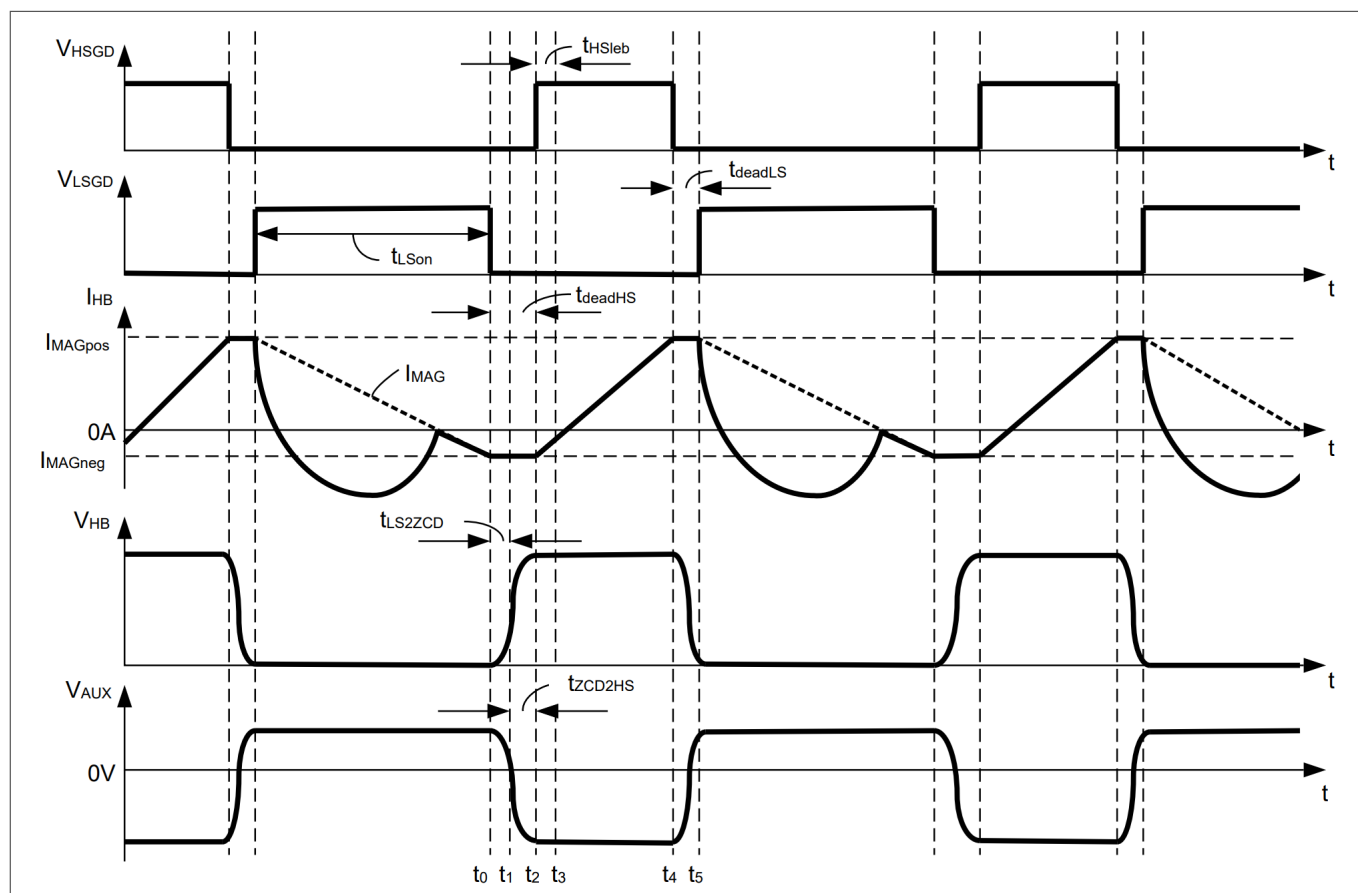


图 13 CRM 工作模式下的半桥时序

4.2.1.2 零电压谐振谷底开关模式控制方案

随着负载的减小，CRM 模式运行通常会导致较高的环流。此外，随着 V_{out} 的减小，退磁时间会变得远长于谐振周期的二分之一。该周期由 L_r 和 C_r 决定，这可能导致进一步的谐振半桥振荡。在次级侧有电流流过时关闭 LS 开关，可能会导致次级整流器两端出现电压尖峰。

为解决这些问题，采用了零电压谐振谷底开关 (ZV-RVS) 模式。该模式在将峰值励磁电流控制在目标范围内的同时，还能确保高侧 (HS) 和低侧 (LS) 开关均保持软开关特性。对于较低的负载，则通过谷底同步技术降低开关频率来应对。图 14 展示了在第二个谷底工作时的典型波形。

在 ZV-RVS 模式下，每个 HFB 周期由两个 LS 脉冲、一个 HS 脉冲以及等待时间 $t_{waitgap}$ 组成。第一个 LS 脉冲 (ZVS 脉冲) 与谷底同步，从而确保 LS 开关在其漏源电压处于谷底且磁化电流为零时导通。该脉冲引入了一小段负电流，从而确保后续 HS 开关导通时的零电压开关 (ZVS)。

ZVS 所需的脉冲宽度 t_{ZVS} 由目标负磁化水平 I_{MAGneg} 、变压器励磁电感 L_m 和输出电压 V_{out} 决定。当输入电压最低且输出电压最高时，ZVS 脉冲宽度最小。此外，还存在一个下限 t_{ZVSmin} 。

在 ZV-RVS 模式运行中插入等待时间 $t_{waitgap}$ 。在此等待时间内，会发生续流振荡，该振荡通过 ZCD 引脚配合比较器进行检测。

输出电压的控制是通过选择适当的谷底 (即适当的 $t_{waitgap}$) 并调整 HS 导通时间 (从而控制励磁峰值电流) 来实现的，使其保持在期望范围内。

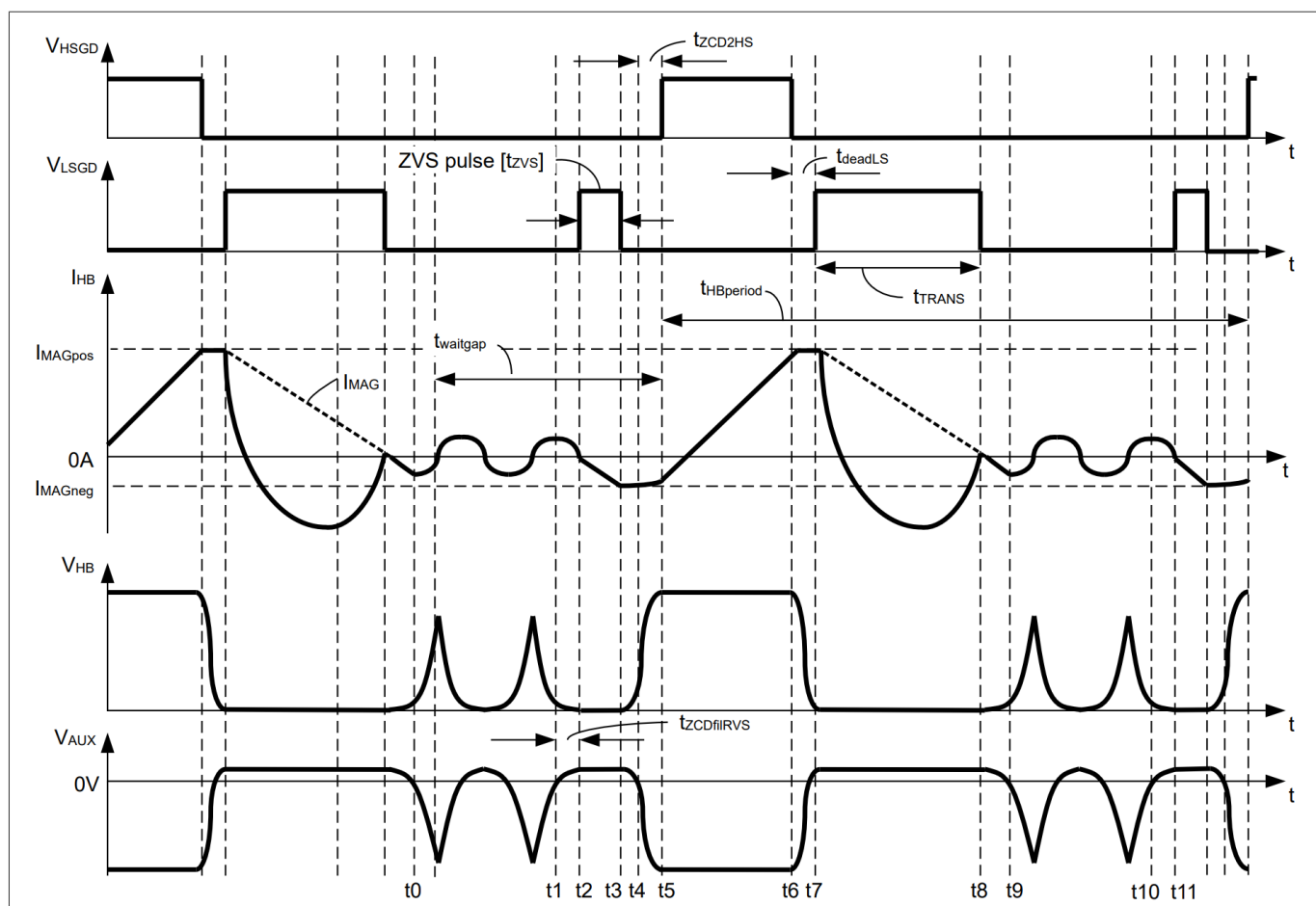


图 14 在 ZV-RVS 模式下工作的混合式反激式变压器

4.2.1.3 谷底数控制

在 ZV-RVS 模式下运行时，会进行谷值检测以确定 ZVS 脉冲的导通时机。等待时间 $t_{waitgap}$ 根据目标检测谷底值数量进行控制。如果无法检测到目标谷底值，则改为控制开关频率。

4.2.1.4 CRM 和 ZV-RVS 之间的模式转换

模式转换控制基于目标峰值电流 I_{MAGpos} 和在 ZCD 引脚测得的电压。首先，只有当通过 ZCD 检测到的输出电压达到特定值时，才可能从 CRM 模式切换至 ZV-RVS 模式，反之亦然。仅当检测到的输出电压大于 $V_{outRVS2CRM}$ 时，才可能从 ZV-RVS 切换至 CRM 模式（为了产生一定的滞后效应，从 CRM 模式切换回 ZV-RVS 模式仅在输出电压小于 $V_{outCRM2RVS}$ 时才发生）。其次，反馈信号 V_{FB} 决定内部电流设定点 I_{SET} ，并与内部切换阈值进行比较。

4.2.2 输出控制

HFB 控制器旨在使输出电流与反馈电压电平成正比。

在 CRM 模式下, 假设系统为理想系统, 输出电流满足以下方程:

$$I_{out} = \frac{P_{out}}{V_{out}} = \frac{1}{2} \cdot N \cdot (I_{MAGpos} + I_{MAGneg})$$

方程 2

4 功能描述

与 CRM 工作模式相比，ZV-RVS 模式增加了等待时间间隔 $t_{waitgap}$ ，在此期间不会发生能量传输。平均输出电流 I_{out} 会随着 $t_{waitgap}$ 的增加而减小，其关系式为：

$$I_{out} = \frac{P_{out}}{V_{out}} = \frac{t_{HBperiod} - t_{waitgap}}{t_{HBperiod}} \cdot \frac{1}{2} \cdot N \cdot (I_{MAGpos} + I_{MAGneg})$$

方程 3

输出电流主要通过调节正磁化电流水平 I_{MAGpos} 来控制。在 CRM 工作模式下，输出电流 I_{out} 通过 FB 引脚处的反馈电压与相应的内部电流设定点 I_{SET} 之间的线性关系进行控制，相关内容详见第 4.2.2.1 节。对负磁化电流 I_{MAGneg} 进行调制，以实现 HS 的零电压开关（ZVS）。

输出电压通过辅助绕组上的 ZCD 引脚进行测量，并在控制器 IC 内部进行滤波，测量结果用于保护功能以及补偿，以确保在宽输出电压范围内实现零电压开关（ZVS）操作。

4.2.2.1 输出电流控制律

正磁化水平 I_{MAGpos} 通过将分流电阻 R_{shunt} 中的电压与内部值进行比较来控制：

$$V_{CSpeak} = I_{MAGpos} \cdot R_{Shunt}$$

方程 4

峰值电流调节容易因噪声而产生误差。与 CS 引脚相关的 PCB 设计应考虑这种敏感性。建议在 CS 引脚上添加外部 RC 滤波器。此外，可设置一个滤波时间为 $t_{CSTHRfil}$ 的数字滤波器，以屏蔽 CSTHR 比较器事件。

图 15 显示了从 FB 引脚的反馈信号输入到 CS 引脚的峰值电流设定值的控制路径。请求的输出电流等于对应反馈信号的内部 I_{SET} 值。随后，根据 V_{bus} 测量值和工作模式计算出所需的峰值电流设定值。

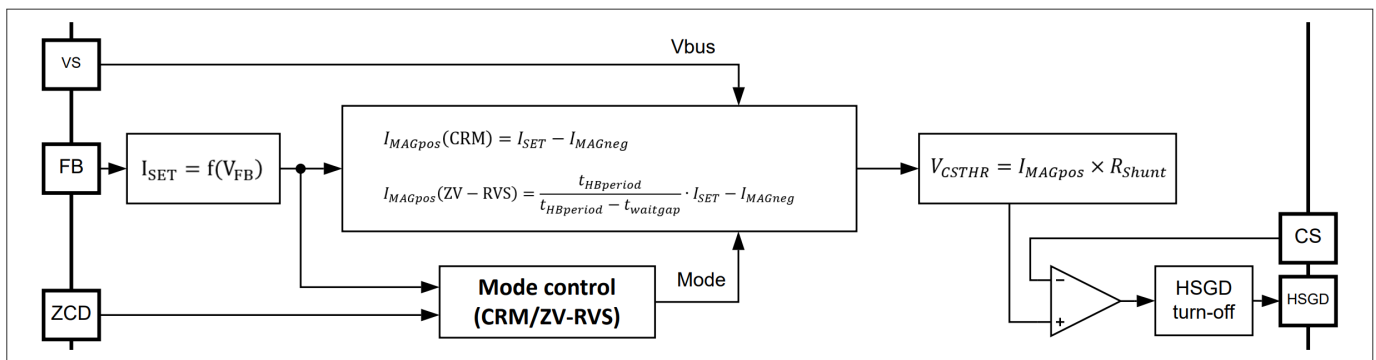


图 15 从反馈输入到峰值电流设定值的控制路径

反馈引脚通过上拉电阻 R_{FBpu} 连接至内部参考电压 (V_{FBoc})。反馈电压 V_{FB} 与输出电流 I_{out} 在突发模式进入电流阈值 $I_{outBMen}$ 与最大输出电流 $I_{outOCpmax}$ 之间呈线性相关。图 16 显示了输出电流与反馈电压之间的关系。

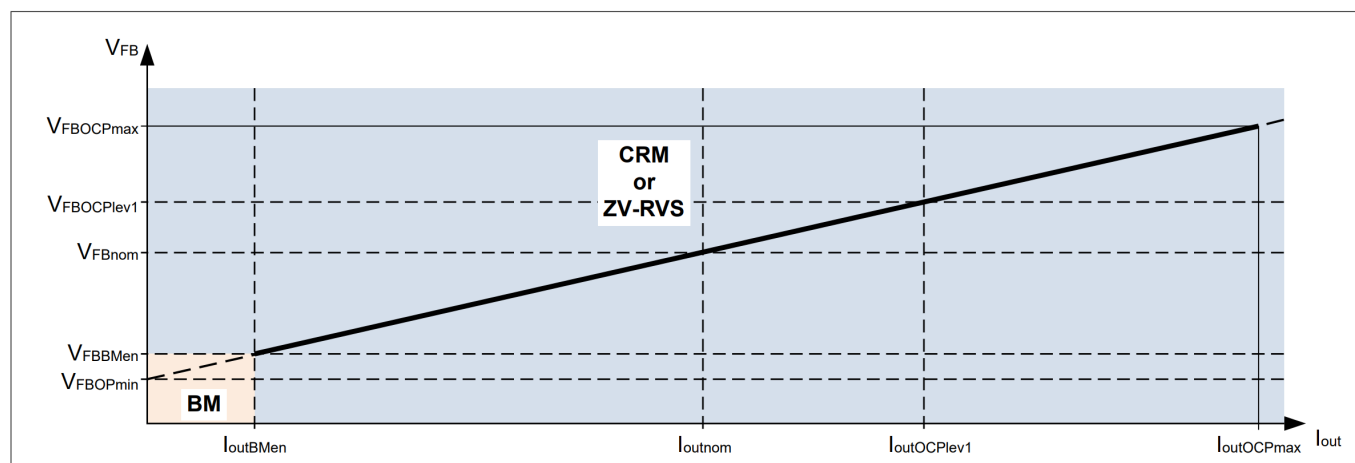


图 16 FB 引脚反馈电压的控制律

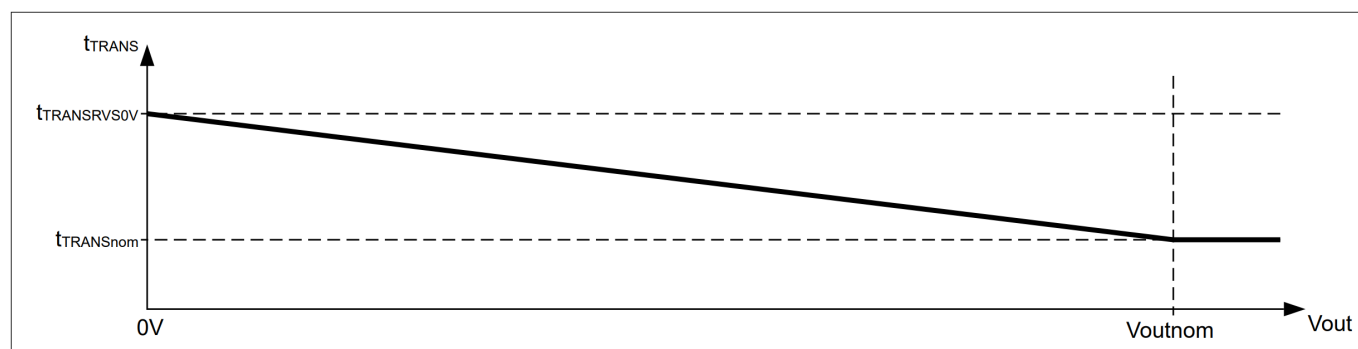
输出电流 I_{out} 由等效内部电流设定点 I_{SET} 表示，该值随后被映射到正磁化水平 I_{MAGpos} 。峰值电流 I_{MAGpos} 由引脚 CS 处具有可变阈值的比较器进行控制。在 CRM 模式和 ZV-RVS 模式下， I_{SET} 和 I_{MAGpos} 之间的关系有所不同。

4.2.2.2 在宽 Vbus 电压范围内保持零电压开关 (zvs) 工作

CRM 中的零电压开关 (ZVS) 工作原理在第 4.2.1.1 节中进行了说明。在 ZV-RVS 中，如第 4.2.1.2 节所述。ZVS 脉冲长度是针对负磁化电流 I_{MAGneg} 进行设置的。此处， $I_{MAGnegnom}$ 为最小负磁化电流。对于其他总线电压水平，负磁化电流自动调整以实现零电压开关。

4.2.2.3 在宽输出电压范围内保持零电压开关 (zvs) 工作

当输出电压 V_{out} 下降时，退磁所需时间会变长。在 CRM 中，通过调整 LS 开关的导通时间 t_{Lson} 以适应变化的 V_{out} ，从而确保零电压开关 (ZVS) 工作。在 ZV-RVS 中，零电压开关 (ZVS) 脉冲宽度 t_{ZVS} 根据 I_{MAGneg} 和 V_{out} 计算得出，而 LS 导通时间 t_{TRANS} 则随 V_{out} 的增加而减小（见图 17）。

图 17 t_{Trans} 调制与 V_{out} 的关系

4.2.2.4 在 CRM 工作模式下实现零电压开关 (zvs) 工作模式及防止体二极管交叉导通

如果磁化电流在 HS 导通时仍为正值，LS 导通时间过短可能会导致硬开关，甚至引发体二极管交叉导通；另一方面，LS 导通时间过长会增加无功电流和导通损耗，甚至可能导致变压器饱和。为避免硬开关和体二极管交叉导通，控制器仅在引脚 ZCD 处的电压表明半桥开关节点电压 V_{HB} 发生变化时 (ZCD 事件)，才会激活 HS 开关。控制器会调整 LS 导通时间以确保零电压开关 (ZVS) 条件。

4.2.2.5 传输延迟补偿

在峰值电流控制过程中，传输延迟会影响峰值电流，导致其数值偏高。该过冲量既取决于输入电压 V_{bus} ，也取决于谐振电容上的反射输出电压 V_{Cr} 。这种对 V_{bus} 和 V_{Cr} 的依赖性会影响应用中电流设定点阈值的精度，因此需要进行补偿，以避免反馈信号 V_{FB} 和内部电流设定点 I_{SET} 出现误差。

4.2.3 Vout 启动控制

在满足启动条件后，将进行混合式反激式启动，详见第 4.1.1 章。第一步，向 HSVCC 引脚施加多个 LS 脉冲以预充电自举电容。随后，进行 ZV-RVS 开关循环，输出电压平滑上升。在此过程中，最初的几个开关周期以较低且固定的频率运行，直到 ZCD 引脚处的电压足够高，能够进行谷值检测。一旦反馈回路接管峰值电流控制，启动阶段即告结束。

在第一个 HS 脉冲期间，会检查 CS 引脚电压以检查分流电阻是否短路。ZVS 脉冲宽度设有最大时限，以防止因 ZCD 引脚测得的电压过低而导致 ZVS 脉冲过长。在启动阶段，当引脚 ZCD 采样的电压超过相关阈值时，系统将从 ZV-RVS 状态切换至 CRM 状态。

在混合式反激式启动的最初几个开关周期内，ZVS 脉冲结束后 HS 开关的导通死区时间固定为 $t_{deadHSRVS}$ ，而死区时间 t_{deadLS} 与 CRM 工作模式下的值相同。

4.2.4 频率抖动

为了降低电磁干扰（EMI）噪声的幅度，在 HFB 级中实现了开关频率抖动。当参数 $I_{MAGnegjitter\%}$ 的值不为零，且输出电流低于其过流保护（OCP）阈值时，无论在 CRM 还是 ZV-RVS 工作模式下，抖动功能均会激活。频率抖动的时间步长由参数 $t_{JitterStep}$ 定义。

4.2.5 半桥栅极驱动器

半桥栅极驱动器由一个由 VCC 和 GND 引脚供电的 LS 开关低侧栅极驱动器，以及一个由 HSVCC 和 HSGND 供电的浮地高侧栅极驱动器组成。浮地 HS 域采用电气隔离设计，并通过无铁芯变压器进行控制。LS 和 HS 栅极驱动器的启用/禁用基于相应的欠压锁定阈值 (V_{VCCon} , V_{VCCoff}) 和 ($V_{HSVCCon}$, $V_{HSVCCoff}$)（参见第 4.3.2.1 节和第 4.3.2.2 节）。两个栅极驱动器均被限制在其最大栅极驱动器输出电压 $V_{LSGDhigh}$ 和 $V_{HSGDhigh}$ 处。若处于禁用状态，栅极驱动器的输出将被主动拉低。当 HSVCC 超过阈值 $V_{HSVCCon}$ 时，高侧栅极驱动器将在经过时间间隔 $t_{HSGDenable}$ 后被启用。

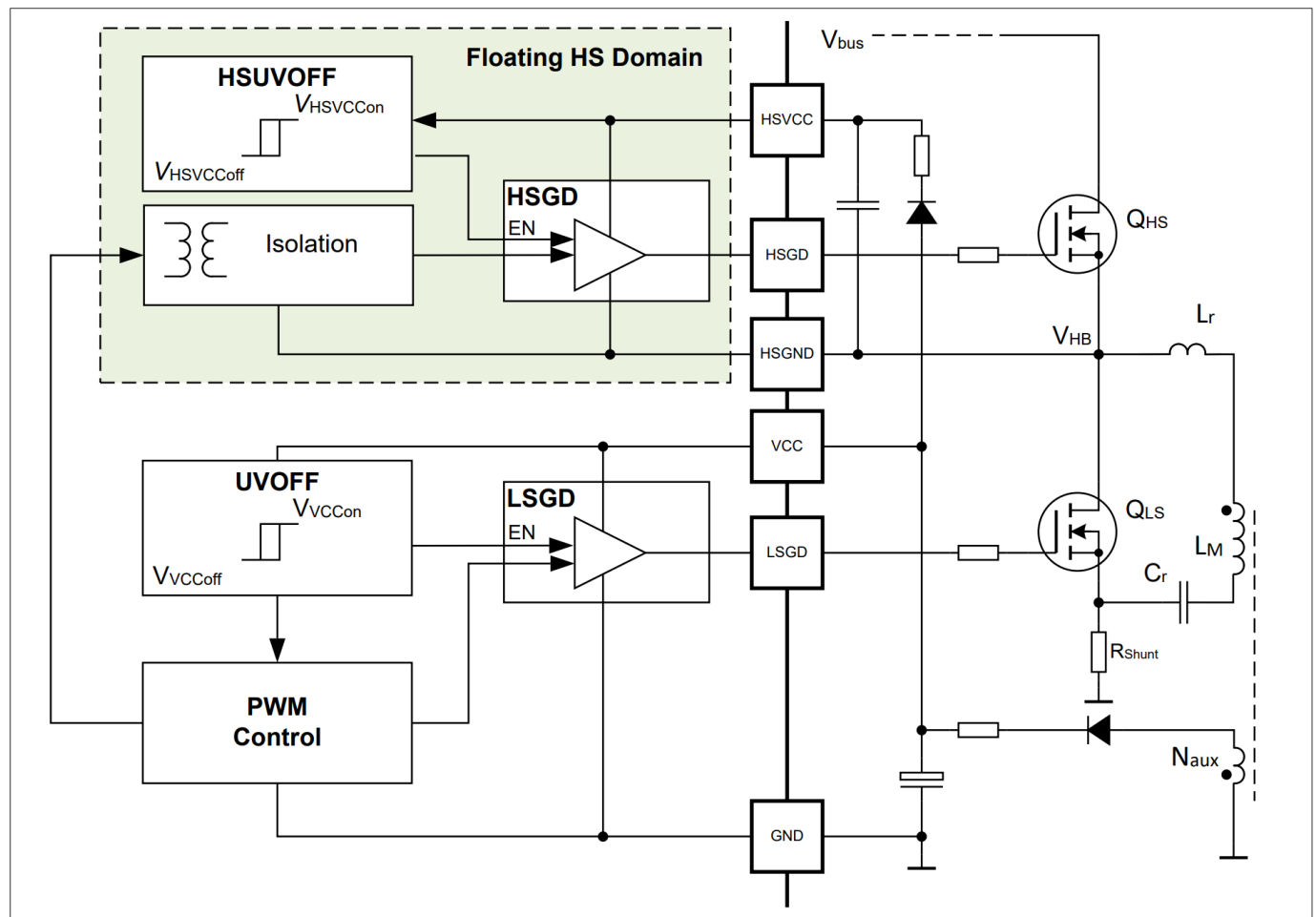


图 18 带 MOSFET 开关的半桥栅极驱动器

为了驱动半桥中的分立 CoolGaN™ 器件，建议使用专用的外部 RC 网络，参见图 4。

4.2.6 突发模式控制

该 IC 内置了一个突发模式控制模块，可在轻载时进入高效率工作模式。通过引入较长的非开关阶段（此时 IC 处于睡眠模式），可在突发模式运行期间降低平均开关损耗和偏置损耗。混合式反激式电源在低负载时以突发模式运行。突发模式的运行由反馈电压 V_{FB} 所反映的输出电流来控制。图 19 显示了突发模式控制的主要功能。

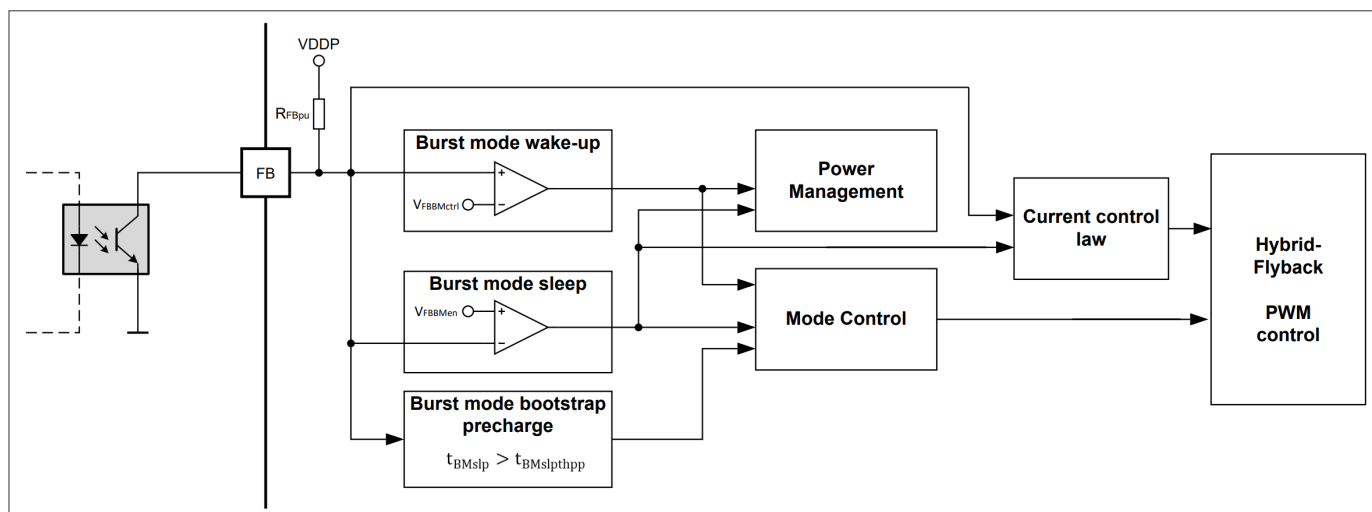


图 19 突发模式控制模块

4.2.6.1 突发模式进入点

一旦 V_{FB} 降至 V_{FBMmen} 以下，将停止生成下一个开关脉冲，并启用突发模式。高压启动单元被导通以给 C_{VCC} 充电，直至达到 V_{VCCon} ，随后 IC 进入睡眠阶段，其电流消耗降至 $I_{VCCBMpsm0o}$ 。

4.2.6.2 突发模式工作

突发帧的开启（突发）和关闭（睡眠）状态是通过将 FB 引脚上的电压与阈值 V_{FBMmen} 和 $V_{FBMctrl}$ 进行比较来控制的。一旦 FB 电压下降并低于阈值 V_{FBMmen} ，IC 便进入睡眠阶段。在睡眠状态期间，FB 电压会上升。当其超过阈值 $V_{FBMctrl}$ 时，IC 便会被唤醒，持续工作并进行突发传输直到 FB 电压达到 V_{FBMmen} ，IC 再次进入睡眠状态。突发帧占空比和频率完全由 V_{FB} 控制。

4.2.6.3 突发模式自举预充电

在极轻负载下以突发模式运行时，会导致出现较长时间的睡眠阶段，期间无开关活动。在此睡眠期间， V_{HSVCC} 电压可能会降至关断阈值 $V_{HSVCCoff}$ 以下，此时浮空 HS 栅极驱动器将被停用。为了确保在长时间的 IC 睡眠阶段结束后，能够提供适当的 HSVCC 电源以开启 HS 开关（但仅当捕获的突发模式睡眠时间超过阈值 $t_{BMslpthrpp}$ 时），在第一个 ZV-RVS 开关周期之前引入了一组 $N_{BMprepulse}$ 个预充电脉冲。图 20 展示了 $N_{BMprepulse} = 3$ 时的预充电脉冲序列波形。

注： 如果由于 HSVCC 供电不当导致 HS 脉冲缺失，后续的 LS 脉冲可能会导致硬开关。因此，控制器会尝试检测这种情况，并可能停止开关操作。

4 功能描述

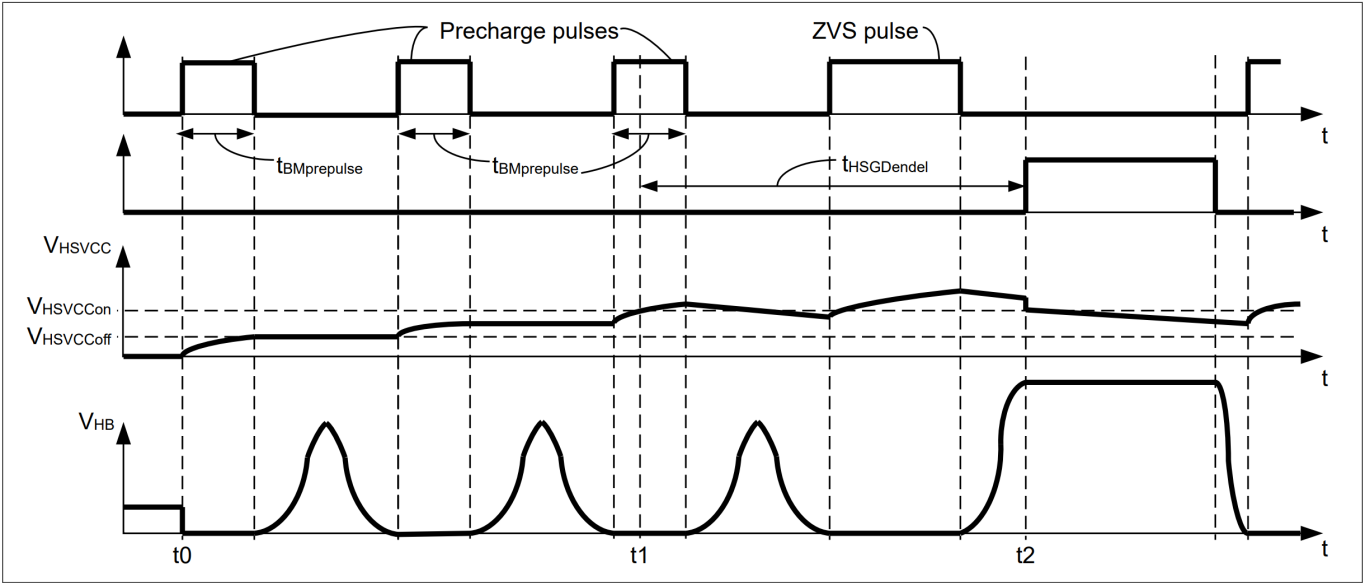


图 20 预充电脉冲序列模式

4.3 保护功能

该 IC 支持多种保护功能，从而产生不同的保护反应。

对于大多数保护事件，IC 会进入保护模式（参见第 4.3.1 章）。保护功能可配置，包括触发值和/或其反应模式。一旦触发保护，通过一次翻转 MFIO 引脚来发送错误代码。

表 2 保护功能和反应

Protection feature	Symbol	Error code	Protection reaction
VCC undervoltage lockout	UVOFF		HW reset and restart
HSVCC undervoltage lockout	HSUVOFF		Disable HS gate driver
VCC overvoltage protection	VCCOVP	25	Configurable: Auto-restart or latch
No brown-in before start-up protection	BIP	16	Bang-bang mode, waiting for brown-in in start-up check phase
Brown-out protection	BOP	2	Fast-restart mode
Output start-up timeout protection	VoutSTTOP	4	Configurable: Auto-restart or latch
Bus overvoltage protection	ACOVP	12	Auto-restart
Bus overvoltage before start-up protection		16	Stop operation and enter bang-bang mode for start-up check phase
Bus undervoltage protection	BusUVP	29 at start-up; 11 during operation	Fast-restart mode
Output overcurrent protection level 1	OCplev1	9	Configurable: Auto-restart or latch

(表格续下页.....)

表 2 (续) 保护功能和反应

Protection feature	Symbol	Error code	Protection reaction
Output maximum current protection	OCPmax	8	Configurable: Auto-restart or latch
HFB primary side overcurrent protection	CSPROT	13	Configurable: Auto-restart or latch
Vout overvoltage protection	VoutOVP	6	Configurable: Auto-restart or latch
Vout undervoltage protection	VoutUVP	7	Configurable: Auto-restart or latch
Vout short circuit protection	VoutSCP	27	Latch
CS pin short protection	CSSCP	3	Configurable: Auto-restart or latch
FB pin low before start-up protection	FBSTUP	16	Stop operation and enter bang-bang mode for start-up check phase
HFB open-loop protection	HFBOLP	26	Latch
External overtemperature during operation protection	extOTP	16	Configurable: Auto-restart or latch
External overtemperature before start-up protection	extOTP	18	Stop operation and enter bang-bang mode for start-up check phase
Watchdog timer	WDOG	19	Auto-restart
Memory parity check	MEMPAR	23	Auto-restart

4.3.1 保护模式

一旦进入保护模式，IC 将停止 LSGD 和 HSGD 引脚上的栅极驱动器开关操作，并进入待机模式。在待机模式下，高压启动单元将以“bang-bang”模式（参见第 4.1.3 章）运行，以将 VCC 电压维持在较高水平，确保 VCC 电容器中存储有足够的能量以供系统启动。如下文所述，本器件支持三种保护模式。

4.3.1.1 欠压锁定后停用 IC

如果 VCC 低于 V_{VCCoff} ，则会触发欠压锁定保护，IC 将完全停用，并且只能通过常规启动机制重新启动（参见章节 4.1.1）。

4.3.1.2 自动重启模式

自动重启模式激活后，控制器将停止在栅极驱动器引脚上的开关操作。自动重启时间 t_{ARM} 过后，控制 IC 将恢复工作。在自动重启时间 t_{ARM} 期间，控制器每隔 $t_{ARMbase}$ 唤醒一次，以将 VCC 重新充电至 V_{VCCon} （参见第 4.1.3 章）。

4.3.1.3 锁存模式

在锁存模式中，系统保持在待机状态，不会尝试重启。只有当 VCC 电压降至 UVOFF 硬件复位阈值 V_{VCCoff} 以下时，才能重置锁存模式。

在锁存模式下，高压启动单元在 VCC 引脚电压达到阈值 $V_{VCCslpHVon}$ 时导通，并在达到 VCC 引脚电压阈值 V_{VCCon} 时关断（参见第 4.1.3 章）。

4.3.1.4 快速重启模式

在快速重启模式下，启动单元被禁用，所有栅极均被拉低。内核继续运行，并消耗 VCC 电容器中存储的能量。当 V_{VCC} 降至 V_{VCCoff} 以下时，控制器将被迫进行新的冷重启。

4.3.2 保护功能

4.3.2.1 VCC 欠压锁定

VCC 欠压锁定 (UVOFF) 功能可根据 VCC 引脚处的供电电压，确保 IC 的启用和停用按规定进行。UVOFF 包含一个迟滞特性，其中 V_{VCCoff} 为停用 IC 的下限电压阈值， V_{VCCon} 为启用 IC 的上限电压阈值。一旦 VCC 电压水平降至下限阈值 V_{VCCoff} 以下，IC 将被完全复位并停用。在复位状态下，高压启动单元保持导通，直至 VCC 电压超过 V_{VCCon} ，然后将开始新的 IC 启动过程（参见第 4.1.1 章）。

4.3.2.2 HSVCC 欠压锁定

已实现的 HSVCC 欠压锁定 (UVOFF) 功能可确保浮地式高侧驱动器的启用和停用符合规定。HSUVOFF 包含一个具有上限电压阈值 $V_{HSVCCon}$ 的滞后特性，用于激活高侧栅极驱动器。当 HSVCC 电压水平降至下限阈值 $V_{HSVCCoff}$ 以下时，高侧驱动器会立即关闭并失效。在失效阶段，高侧驱动器的电流消耗会降低。

4.3.2.3 VCC 过压保护

VCC 引脚具有过压检测功能。该检测功能包括一个阈值 V_{VCCOVp} 和消隐时间 t_{VCCOVp} 。一旦 V_{VCC} 超过该电压阈值的时间超过消隐时间，VCC 过压保护功能就会触发，控制 IC 会进入配置的保护模式。

4.3.2.4 启动电压保护

要成功实现启动电压，必须满足以下条件之一：

- 总线电压超过阈值，($V_{bus} > V_{busbi}$)，该值通过 VS 引脚检测到

为了在检测到启动电压后启动系统，还需检查其他条件（第 4.1.1 章）。

4.3.2.5 启动超时保护

混合式反激式输出实现了启动超时功能。如果启动期间发生过载，输出电压 V_{out} 可能无法达到稳压目标电压，从而导致系统无法进入稳压状态。如果由 V_{FB} 确定的电流设定点在时间段 $t_{startto}$ 内未降至由 V_{out} 确定的电流设定值以下，则检测到超时。

4.3.2.6 总线过压保护

一旦测得的总线电压超过阈值 V_{busOVP} 且持续时间超过 t_{busOVP} ，HFB 运行将停止，控制器进入设定的保护模式。

4.3.2.7 总线欠压保护

总线电压的欠压检测是通过观察 HFB 开关时间间接实现的。一旦保护功能被触发，系统将进入快速重启模式。

4.3.2.8 混合式反激式过流保护

混合式反激式过流保护包含多种检测功能，可保护应用免受输出过流条件或超过初级侧峰值电流超限的影响（参见图 21）。

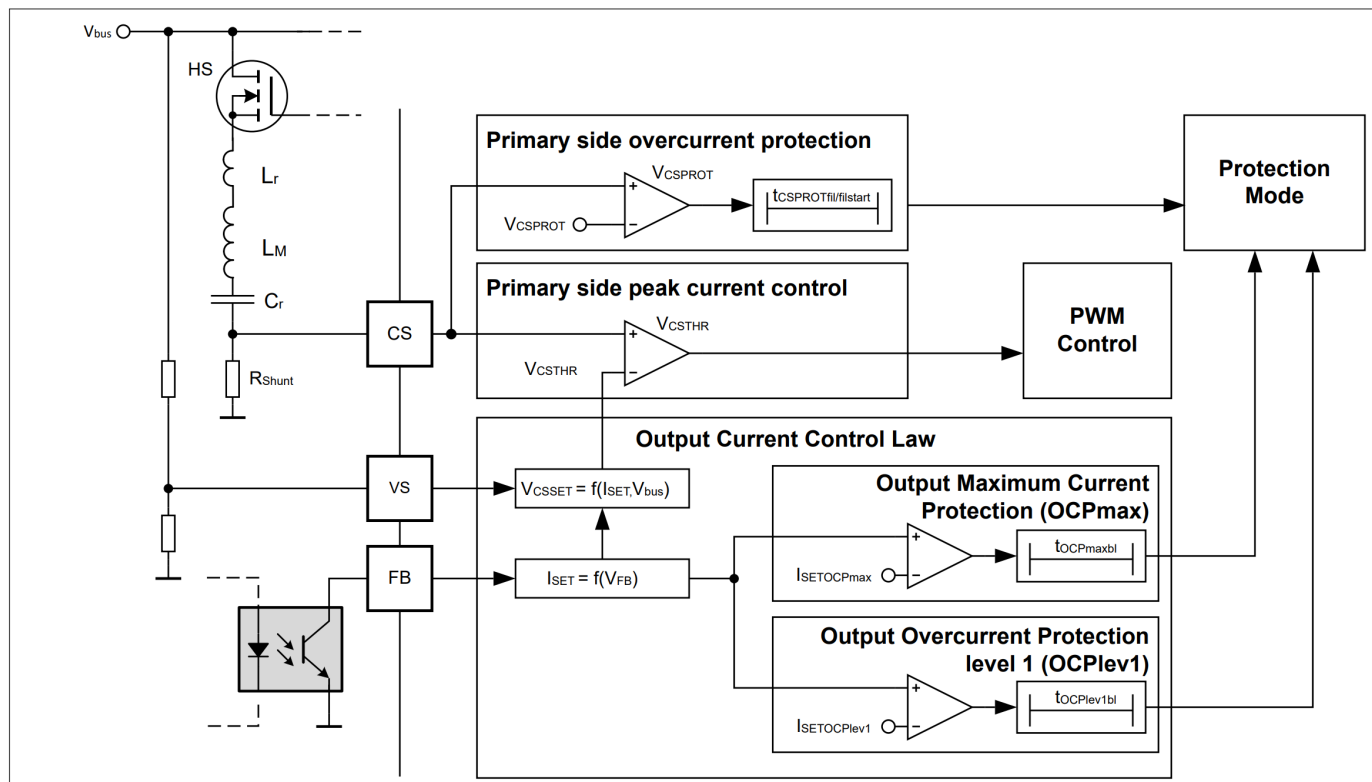


图 21 过流保护概述

4.3.2.8.1 输出过流保护

输出过流保护分为两个级别：

- 输出过流保护级别 1，阈值为 $I_{OUTOCPlév1}$ ，消隐时间为 $t_{OCPlév1bl}$
- 输出最大电流保护，阈值为 $I_{OUTOCpmax}$ ，消隐时间为 $t_{OCPmaxbl}$

根据定义的输出过流保护阈值 $I_{SETOCPlév1/max}$ ，从输出电流控制律中推导出内部阈值 $I_{SETOCPlév1/maxo}$ 。一旦电流设定点 I_{SET} 超过阈值，计时器即开始计时。当计时器达到阈值 $t_{OCPlév1bl/maxbl}$ 时，系统将进入配置的保护模式（自动重启或锁存）。当 I_{SET} 降至阈值以下时，计时器将重置。

一旦要求输出电流高于 $I_{SET} > I_{SETOCpmax}$ 对应的电流设定值通过 V_{FB} 控制，HFB 电流将保持受限状态。在此阶段，由于输出电流高于转换器所能提供的电流，输出电压会下降。

4.3.2.8.2 初级侧过流保护CSPROT

V_{CSPROT} 是一个固定阈值，且大于 $V_{CSTHRmaxo}$ 。在上升沿消隐时间 t_{HSLeb} 期间，CSPROT 功能不会被消隐。一旦 CS 引脚上的电压超过 V_{CSPROT} ，就会进入配置好的保护模式（自动重启或锁存）。

为避免 CSPROT 误触发，将应用消隐时间 $t_{CSPROTfilstart}$ 和 $t_{CSPROTfilo}$

4.3.2.9 输出过压和欠压保护

该 IC 提供了两种输出电压 V_{out} 保护机制，分别针对输出欠压和输出过压，以确保在规定的 V_{out} 工作范围内可靠运行。测量通过引脚 ZCD 进行，利用 LS 开关导通时的消磁阶段中变压器辅助绕组上的反射电压。

(参见图 22)。此外，还会监控启动阶段的零交叉检测，以检测输出端的短路。

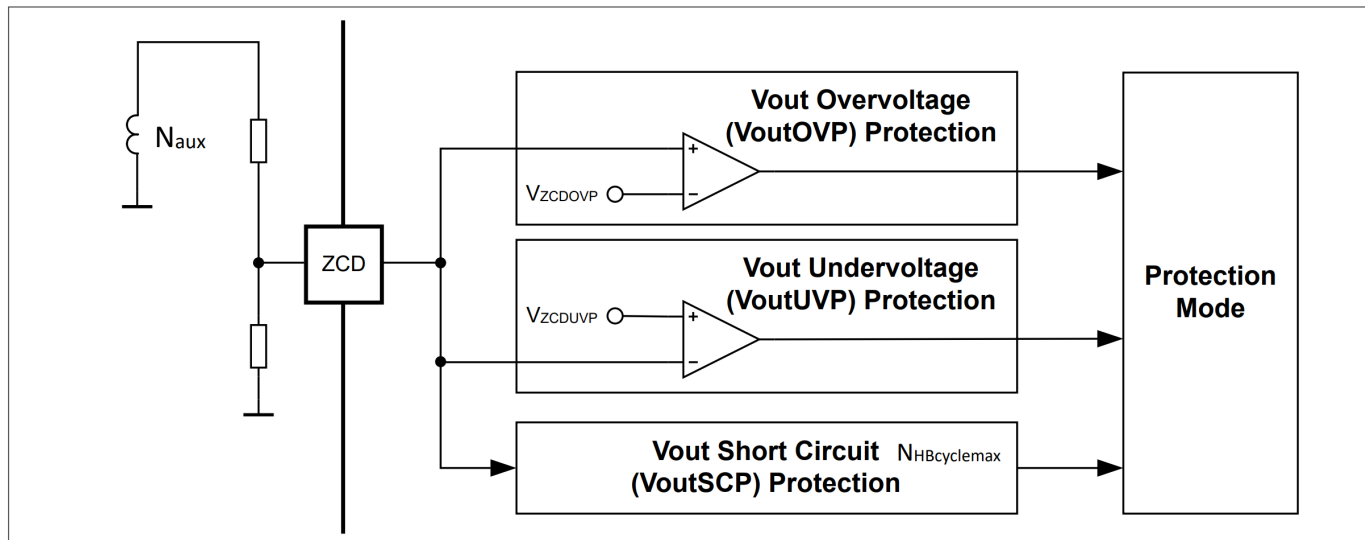


图 22 输出电压保护

4.3.2.9.1 Vout 过压保护

该 IC 提供输出过压检测功能。该功能通过在初级侧测量 ZCD 引脚上的电压来实现，该电压来自变压器的辅助绕组，并在每个开关周期的 LS 导通时间内进行检测。当反射输出电压超过阈值 V_{ZCDOVP} （对应于阈值 V_{outOVP} ）且持续时间超过消隐时间 $t_{outOVPbl}$ ，即检测到输出过压。一旦检测到过压事件，保护模式即被触发。

4.3.2.9.2 Vout 欠压保护

输出欠压检测通过测量 ZCD 引脚上的电压来实现的。启动完成后，当 ZCD 引脚测得的电压降至阈值 V_{ZCDUVP} 以下时，触发 Vout 欠压保护，该阈值对应于阈值 $V_{outUVPo}$ 。一旦保护被触发，系统将进入相应的保护模式。

在突发模式下从睡眠状态唤醒后，由于各种原因，ZCD 引脚测得的电压可能会出现失真。为避免误触发输出欠压保护，输出欠压检测将按 $CFG_{VoutUVPBM}$ 定义的时间进行屏蔽。

4.3.2.9.3 Vout 短路保护

针对输出端的短路保护，实现了两种不同的机制。其中一种仅在启动期间有效，另一个则在启动后生效。在启动过程中，通过限制半桥开关循环的次数来实现 Vout 短路保护。在未检测到零交叉的情况下，允许最多 $N_{HBcyclemax}$ 个连续的半桥开关循环。如果在未检测到零交叉的情况下超过了 $N_{HBcyclemax}$ ，则停止启动阶段并进入配置的保护模式。

在启动后的工作过程中，另一项 Vout 短路保护机制处于激活状态。如果实际电压 V_{ZCD} 与其内部平均值 V_{ZCDavg} 之间的差值大于内部阈值 $\Delta V_{ZCDshort}$ （该阈值对应于参数 ΔV_{outSCP} ），则触发输出短路保护并进入保护模式。

4.3.2.10 CS 引脚短路保护

在第一个 HS 开关脉冲时，CS 引脚的短路检测功能会被激活，以保护在 R_{shunt} 短路情况下运行的应用。

4.3.2.11 FB 引脚启动保护

在启动条件检查阶段，将评估引脚FB的电压。仅当 $V_{FB} > V_{FBMctrl}$ 的条件满足时，系统才会启动。否则，保护功能将被触发，并进入由参数 $EV_{StartFBlow}$ 定义的模式。

4.3.2.12 混合式反激式开环保护

开环保护采用的方法与输出短路保护类似（参见第 4.3.2.9.3 章）。只有在 FB 上的反馈电压饱和的情况下，才会评估通过 ZCD 引脚测量的反射输出电压：如果实际电压 V_{ZCD} 与内部平均值 V_{ZCDavg} 之间的差值大于内部阈值 ΔV_{ZCDolp} （与可配置的输出电压阈值 ΔV_{outolp} 有关），则触发开环保护并进入配置的保护模式。

4.3.2.13 外部过温保护

外部过温保护 (ExtOTP) 基于对 MFIO 引脚上外部 NTC 热敏电阻的测量，参见图 23。一旦外部电阻降至阈值 $R_{MFIOOTptrig}$ 以下，控制器即进入过温保护模式。控制器首先尝试自动重启，但在 OTP 事件发生后的 $N_{OTPeVmax}$ 次内进行，之后将进入锁存模式。若发生自动重启，只有当外部电阻值超过阈值 $R_{MFIOOTPreI}$ 时，才会进行重启循环。

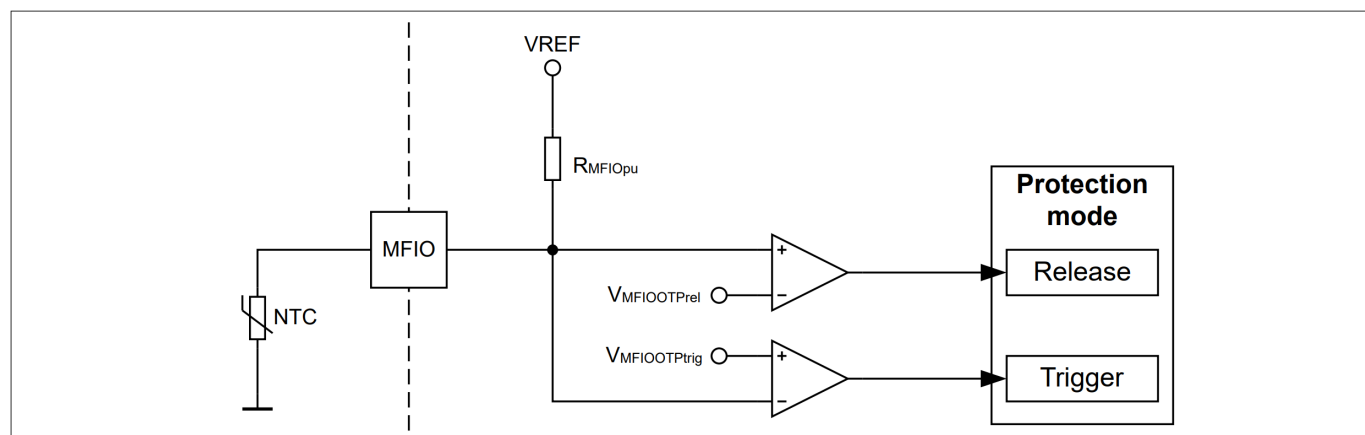


图 23 通过 MFIO 引脚上的 NTC 热敏电阻实现外部过温保护

此外，如果通过外部热敏电阻检测到过温事件（低于 $R_{MFIOOTptrig}$ ），则降低初级侧峰值电流设定值，从而实现功率折返，以避免电源单元过热。一旦电源单元冷却下来，且测得的温度恢复到释放设定值 $R_{MFIOOTPreI}$ ，初级侧峰值电流将再次完全由反馈电压控制。

除了通过外部 NTC 实现的过温保护 (OTP_NTC) 之外，通过使用 MFIO 引脚还集成了其他三项功能：ACT_EN（IC 非突发工作模式下引脚为高电平）、OTP_NTC_Pder（外部过温保护，一旦触发过温将进行功率会降额）以及 VoutTog（MFIO 引脚根据输出电压电平与 $V_{outMFIOgoL}$ 和 $V_{outMFIOgoH}$ 的比较结果进行切换）。最终的功能取决于 $MFIO_{func}$ 的配置。配置完成后，四个选项中仅有一个有效。

4.3.2.14 存储器奇偶校验

为了保证存储器完整性，在运行期间会持续进行奇偶校验。一旦检测到奇偶校验错误，控制器将重置并进入配置的保护模式（自动重启模式或锁存模式）。

4.3.3 MFIO 引脚的错误读出

一旦保护功能被触发，相应的错误代码（参见表 2）将通过 MFIO 引脚输出。

5 固件参数

5 固件参数

固件（FW）参数包括用户可配置参数、常量和中间变量。可配置参数的值可通过英飞凌 .dp Vision 工具更改，而常量的值是固定的。中间变量在 FW 执行过程中产生，其值取决于其他参数。

关于可配置参数、常量及其相关容差类别以及中间变量的信息，将在另一份设计指南中提供，但不在[第 6 章](#)中介绍。

6 电气特性

所有信号均相对于接地 GND 引脚进行测量。只要没有违反其他额定值，这些电压电平即为有效。

图 24 说明了本数据手册中使用的电压和电流参数的定义。

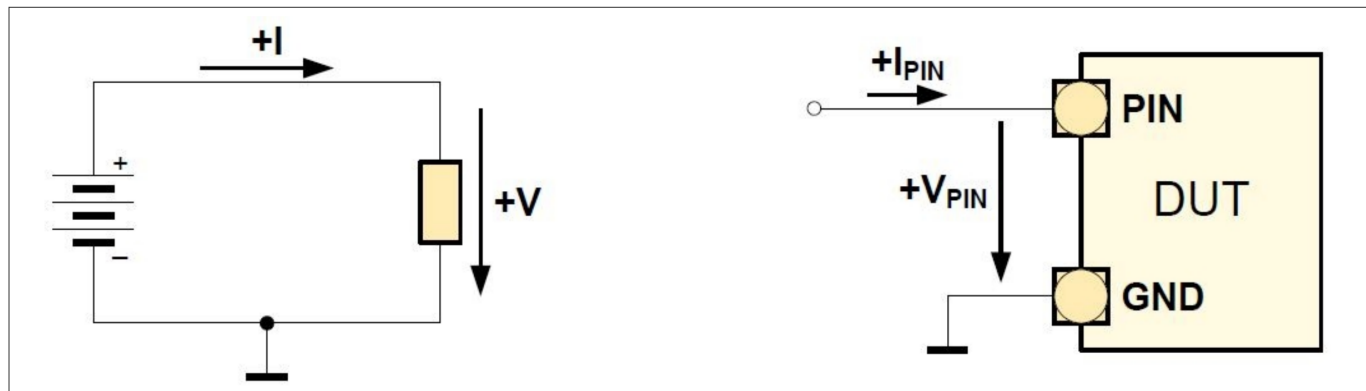


图 24 电压和电流定义

6.1 绝对最大额定值

超过下表所列值的应力可能会对器件造成永久性损坏。在绝对最大额定值条件下持续工作一定时间可能会影响器件的可靠性。最大额定值是绝对额定值；超过其中任何一个值都可能对器件造成不可逆转的损坏。

表 3 绝对最大额定值

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
Voltage at pin HV	V _{HV}	-0.3	-	600	V	¹⁾
Maximum current into pin HV	I _{HV}	-	-	10	mA	¹⁾
Voltage at pin MFIO	V _{MFIO}	-0.5	-	3.6	V	¹⁾
Voltage at pin VS	V _{VS}	-0.5	-	3.6	V	¹⁾
Voltage at pin FB	V _{FB}	-0.5	-	3.6	V	¹⁾
Voltage at pin ZCD	V _{ZCD}	-0.5	-	3.6	V	¹⁾
Maximum negative transient voltage at pin ZCD	-V _{ZCDN_TR}	-	-	1.5	V	pulse < 500 ns
Maximum permanent negative clamping current for pin ZCD	-I _{ZCDCLN_DC}	-	-	2.5	mA	RMS
Maximum transient negative clamping current for pin ZCD	-I _{ZCDCLN_TR}	-	-	10	mA	pulse < 500 ns
Voltage at pin CS	V _{CS}	-0.5	-	3.6	V	¹⁾
Maximum negative transient voltage at pin CS	-V _{CSN_TR}	-	-	3	V	pulse < 500 ns

（表格续下页.....）

¹⁾ 作为 DC 值永久施加。

表 3 (续) 绝对最大额定值

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
Maximum permanent negative clamping current for pin CS	-ICSCLN_DC	-	-	2.5	mA	RMS
Maximum transient negative clamping current for pin CS	-ICSCLN_TR	-	-	10	mA	pulse < 500 ns
Maximum permanent positive clamping current for pin CS	ICSCLP_DC	-	-	2.5	mA	RMS
Maximum transient positive clamping current for pin CS	ICSCLP_TR	-	-	10	mA	pulse < 500 ns
Voltage at pin LSGD	V _{LSGD}	-0.5	-	V _{VCC} +0.3	V	Limited by internal clamping
Voltage at pin HSVCC, HSGD and HSGND	V _{HSx}	-650	-	650	V	Isolation voltage, referred to GND
Voltage at pin HSVCC	V _{HSVCC}	-0.5	-	26	V	referred to HSGND
Voltage at pin HSGD	V _{HSGD}	-0.5	-	V _{HSVCC} +0.3	V	referred to HSGND
Slew-rate for floating high-side domain	dV _{HS} /dt	-50	-	50	V/ns	
Junction operation temperature	T _J	-40	-	125	°C	
Storage temperature	T _S	-55	-	150	°C	
Maximum power dissipation	P _{TOT}	-	-	0.63	W	T _A = 50 °C, T _J = 125 °C
Soldering temperature	T _{Sold}	-	-	260	°C	²⁾ Wave soldering
ESD HBM capability	V _{HBM}	-	-	2000	V	³⁾ Human body model
ESD CDM capability	V _{CDM}	-	-	500	V	⁴⁾ Charged device model
Latch-up capability	I _{LU}	-	-	150	mA	⁵⁾ Pin voltages acc. to abs. max. rating

²⁾ 根据 JESD22-A111 标准³⁾ 根据 ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 标准⁴⁾ 根据 JESD22-C101 标准⁵⁾ 根据 JESD78标准, 85 °C (II 类) 温度

6 电气特性

6.2 封装特性

表 4 封装特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
Thermal resistance from junction to ambient	R _{thJA}	-	-	119	K/W	JEDEC 1s0p
Thermal characterization parameter from junction to top	Ψ _{thJT}	-	-	2	K/W	PG-DSO-14, JEDEC 1s0p
Creepage distance between HV and HSxxx to GND-related pins	D _{crp}	2.1	-	-	mm	

6.3 工作条件

下表给出了工作范围，在此范围内，下一章所示的电气特性均有效。

表 5 工作范围

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
Junction operation temperature	T _J	-40	-	125	°C	
Voltage at pin HV	V _{HV}	-0.3	-	600	V	
External voltage at pin VCC	V _{VCC}	11	-	24	V	Max. value needs to consider internal power losses
Voltage at pin MFIO	V _{MFIO}	-0.3	-	3.3	V	
Voltage at pin FB	V _{FB}	-0.3	-	3.3	V	
Voltage at pin ZCD	V _{ZCD}	-0.3	-	3.3	V	
Voltage at pin CS	V _{CS}	-0.3	-	3.3	V	
Total maximum current out of pins FB and MFIO	-I _{FB} -I _{MFIO}	-	-	0.63	mA	During sleep phase in burst mode
Voltage at pin LSGD	V _{LSGD}	-0.3	-	V _{VCC} + 0.3	V	Internally clamped at V _{LSGDhigh}
Maximum low state output reverse current at pin LSGD	-I _{LSGDLREV}	-	-	100	mA	6) Applies if V _{LSGD} < 0 V and driver at low state
Voltage at pin HSGD	V _{HSGD}	-0.3	-	V _{HSVCC} + 0.3	V	Internally clamped at V _{HSGDhigh}
Maximum low state output reverse current at pin HSGD	-I _{HSGDLREV}	-	-	100	mA	Applies if V _{HSGD} < 0 V and driver at low state

(表格续下页.....)

6 电气特性

表 5 (续) 工作范围

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
Voltage at pin HSVCC	VHSVCC	10	-	24	V	Referred to HSGND
Voltage at pin HSGND	VHSGND	-0.3	-	600	V	
UART Baudrate at pin MFIO	tBD	10k	-	115k	Bd	
Voltage at pin VS	VVs	-0.3	-	3.3	V	

6.4 特性

电气特性涉及在规定的电源电压和结温范围内给出的数值分布。典型值代表与 $T_A = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 相关的中位数值。所有电压均相对于 GND，除非其他说明，否则假定电源电压为 $V_{CC} = 14.0\text{ V}$ 。

6.4.1 高压 (HV引脚)

表 6 HV 引脚的电气特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
HV VCC charge current capability	IHVchargeVCC	2.4	5.0	7.5	mA	7) $V_{VCC} = 1\text{ V}$, $V_{HV} = 30\text{ V}$, $T_J \geq -25\text{ }^{\circ}\text{C}$; Peak current limited in application by external resistors
HV VCC charge current capability	IHVchargeVCC	2.0	5.0	7.5	mA	7) $V_{VCC} = 1\text{ V}$, $V_{HV} = 30\text{ V}$, $T_J < -25\text{ }^{\circ}\text{C}$; Peak current limited in application by external resistors
Maximum leakage current at HV pin	IHVLeak	-	-	10	μA	$V_{HV} = 600\text{ V}$, HV start-up cell disabled

6.4.2 电源 (VCC引脚)

表 7 电源 (VCC引脚) 的电气特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
Turn-on threshold	VVCCon	19.0	-	22.0	V	Rising slope

(表格续下页.....)

7 在该应用中，最大峰值充电电流由连接至 HV 引脚的外部电阻限制。

6 电气特性

表 7 (续) 电源 (VCC引脚) 的电气特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
Turn-off threshold	V _{VCCoff}	7.98	-	8.82	V	Falling slope, IC not in auto-restart or latch mode
Turn-off threshold	V _{VCCoff}	2.90	-	5.70	V	Falling slope, IC in auto-restart or latch mode
Threshold to activate HV cell for VCC-supply during burst mode	V _{VCCslpHVon}	9.97	10.5	11.03	V	Falling slope
UVOFF current	I _{VCCUVOFF}	-	20	40	μA	V _{VCC} < V _{VCCoff(min)} – 0.3 V
Supply current	I _{VCCopnm}	-	11	14.5	mA	Without gate driver gate charge losses and during brown-in phase
Quiescent current during burst mode power-saving phase	I _{VCCBMpsm0}	-	0.7	3.4	mA	Burst mode entered; pin MFIO and FB open
Quiescent current during bang-bang mode	I _{VCCBB}	-	0.32	0.58	mA	Protection mode entered; pin MFIO and FB open
Overvoltage protection threshold	V _{VCCOVp}	22.0	23.0	24.0	V	
Overvoltage protection blanking time	t _{VCCOVp}	-	1.0	-	ms	

6.4.3 浮地 HS 域 (HSGND、HSVCC 和 HSGD 引脚)

表 8 HS域引脚电气特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
HSVCC turn-on threshold	V _{HSVCCon}	8.7	9.2	9.7	V	Rising slope
HSVCC turn-off threshold	V _{HSVCCoff}	6.2	6.7	7.2	V	Falling slope
HSVCC idle current	I _{HSVCCidle}	-	0.3	0.8	mA	Without gate driver gate charge losses, V _{HSVCC} = 14 V
HSGD enabling delay time after HSVCC voltage is exceeding turn-on threshold	t _{HSGDendel}	-	2.3	4.1	μs	V _{HSVCC} = 11 V
HSGD voltage at high state	V _{HSGDhigh}	10	11	12	V	I _{HSGD} = -20 mA
HSGD voltage at active shutdown	V _{HSGDaSD}	-	25	200	mV	I _{HSGD} = 20 mA, V _{HSVCC} = 5 V

(表格续下页.....)

6 电气特性

表 8 (续) HS 域引脚的电气特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
HSGD peak source current	$-I_{HSGDpksrc}$	130	-	-	mA	
HSGD peak sink current	$I_{HSGDpksnk}$	450	-	-	mA	
HSGD driver output low impedance	R_{HSGDLS}	-	-	5	Ω	$I_{HSGD} = 100 \text{ mA}$

6.4.4 总线电压检测 (VS引脚)

表 9 VS引脚的电气特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
Leakage current	I_{VSlk}	-0.2	-	0.2	μA	$0 \text{ V} < V_{VS} < 2.9 \text{ V}$
Dynamic voltage range	V_{VS}	0.13	-	2.75	V	
Second level overvoltage protection (OVP2) threshold	V_{VSovp2}	2.7	2.8	2.9	V	

6.4.5 混合式反激式零交叉检测 (ZCD 引脚)

表 10 ZCD引脚的电气特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
Leakage current	I_{ZCDlk}	-10	-	10	μA	$V_{ZCD} = 0 \text{ V} / 3.0 \text{ V}$
Maximum pin voltage threshold for Vout overvoltage protection	$V_{ZCDOVPmax}$	-	2.75	-	V	
Zero-crossing detection threshold	V_{ZCDTHR}	15	40	70	mV	Falling slope
Input voltage negative clamping	$-V_{ZCDCLN}$	140	180	220	mV	

6.4.6 多功能输入和输出 (MFIO引脚)

表 11 MFIO 引脚的电气特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
Pull-up resistor	R_{MFIOpu}	8.8	11	13.2	k Ω	8) MFIO _{func} = ExtOTP
Open circuit output voltage	V_{MFIOoc}	-	V_{REF}	-	V	8) MFIO _{func} = ExtOTP

(表格续下页.....)

表 11 (续) MFIO 引脚的电气特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
Input high current with active weak pull-down	-IMFIOhpd	90	-	300	μA	Measured at min. V_{MFIOIH}
Leakage current	IMFIOIk	-5	-	1	μA	$V_{\text{MFIO}} = 0\text{ V} / 3.0\text{ V}$
Input capacitance	CMFIOIN	-	-	10	pF	
Input threshold for logic "0"	VMFIOIL	-	-	1	V	8)
Input threshold for logic "1"	VMFIOIH	2	-	-	V	8)
Output voltage for logic "0"	VMFIOOL	-	-	0.8	V	8) $I_{\text{MFIOOL}} = 2\text{ mA}$
Output voltage for logic "1"	VMFIOOH	2.2	-	-	V	8) $I_{\text{MFIOOH}} = -2\text{ mA}$
Maximum output sink current	IMFIOOL	-	-	2	mA	8)
Maximum output source current	-IMFIOOH	-	-	2	mA	8)
Output rise time (0 $\rightarrow$ 1)	tMFIOrise	-	-	25	ns	20 pF load
Output fall time (1 $\rightarrow$ 0)	tMFIOfall	-	-	25	ns	20 pF load

6.4.7 混合式反激式电流检测 (CS 引脚)

表 12 CS 引脚的电气特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
Leakage current	ICSIk	-10	-	10	μA	$0\text{ V} < V_{\text{CS}} < 2.8\text{ V}$
Maximum operating current range	VCSTHRmax	394	426	458	mV	
CSTHR propagation delay	tCSTHRpd	121	213	305	ns	input signal slope, $dV_{\text{CS}}/dt = 150\text{ mV}/\mu\text{s}$
CSPROT threshold	VCSPROT	550	600	650	mV	

6.4.8 混合式反激式输出反馈 (FB 引脚)

表 13 FB 引脚的电气特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
Open circuit output voltage	VFBoc	3.04	3.2	3.36	V	
Threshold maximum usable range	VFBOPmax	-	-	2.428	V	
Burst mode wake-up threshold	VFBMctrl	510	580	610	mV	During sleep phase in burst mode

6.4.9 LS 栅极驱动器 (LSGD 引脚)

表 14 LSGD 引脚的电气特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
Nominal output high voltage	V _{LSGDhigh}	9.9	10.5	11.1	V	I _{LSGD} = -20 mA
Voltage at active shutdown	V _{LSGDaSD}	-	-	1.6	V	I _{LSGD} = 5 mA, V _{VCC} = 5 V
Peak sink current	I _{LSGDpksnk}	800	-	-	mA	V _{LSGD} = 4.0 V
Peak source current	-I _{LSGDpksrc}	-	360	-	mA	
Driver output low impedance	R _{LSGDLS}	-	-	4.4	Ω	I _{LSGD} = 100 mA

6.4.10 中央控制功能

表 15 中央控制功能的电气特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or condition
		Min.	Typ.	Max.		
VDDP power supply	V _{VDDP}	3.04	3.2	3.36	V	
VREF reference voltage	V _{VREF}	2.391	2.428	2.465	V	
Main clock oscillation period time base	t _{MCLK}	15	15.8	16.6	ns	
Stand-by clock oscillation period time base	t _{STBCLK}	9	10	11.2	μs	
Slow task period time base	t _{SLWTASK}	111	120	129	μs	
Very slow task period time base	t _{VSLWTASK}	4.68	5	5.32	ms	
Sampling time period	t _{sample}	-	t _{SLWTASK}	-	μs	
Restart step time base for auto-restart mode	t _{ARMbase}	270	300	336	ms	Base for configurable auto-restart time t _{ARM} when auto-restart mode entered
Limited maximum change in on-time control for HS switch during CRM operation	Δt _{HSonmaxCRM}	75	80	85	ns	CRM operation, t _{HSon} not limited by V _{CSSET} , only applies for small V _{bus}

7 封装尺寸

7 封装尺寸

您可以在我们的英飞凌网页“产品：<http://www.infineon.com/products>”上找到我们所有的封装、包装种类和其他信息。

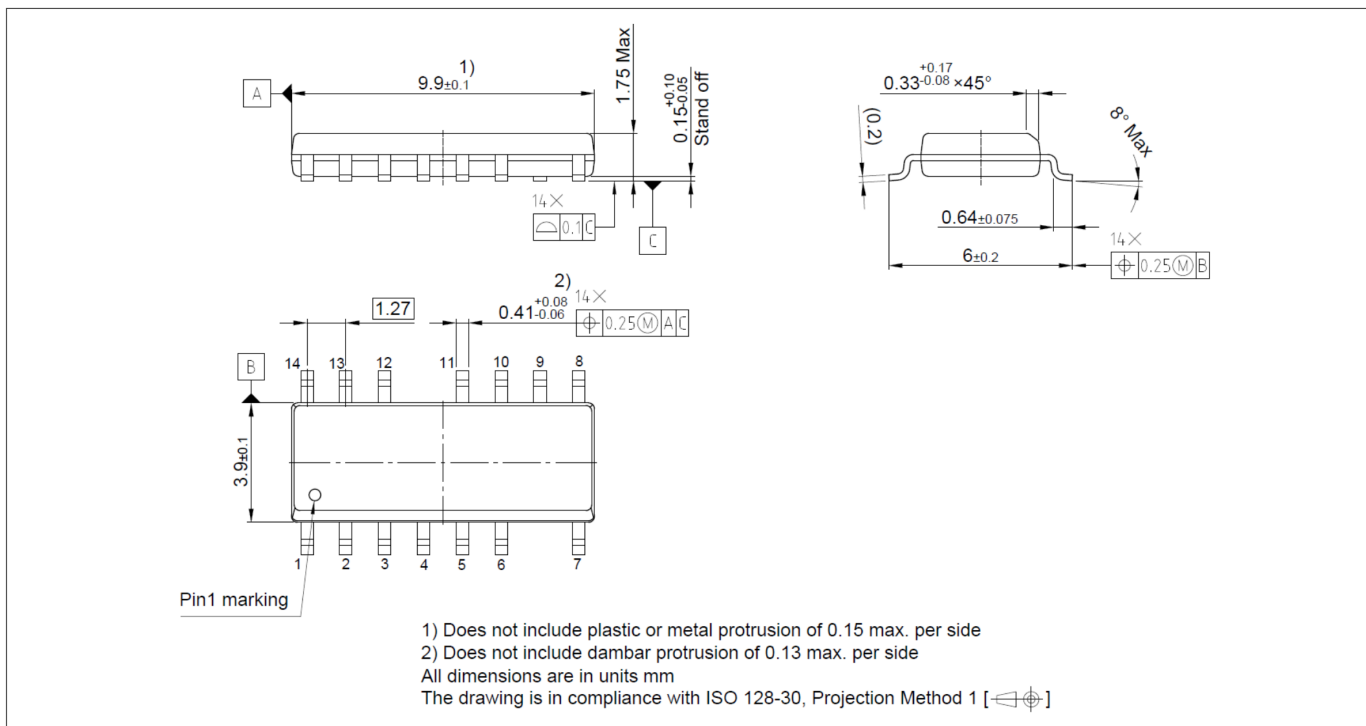


图 25 PG-DSO-14 外形图

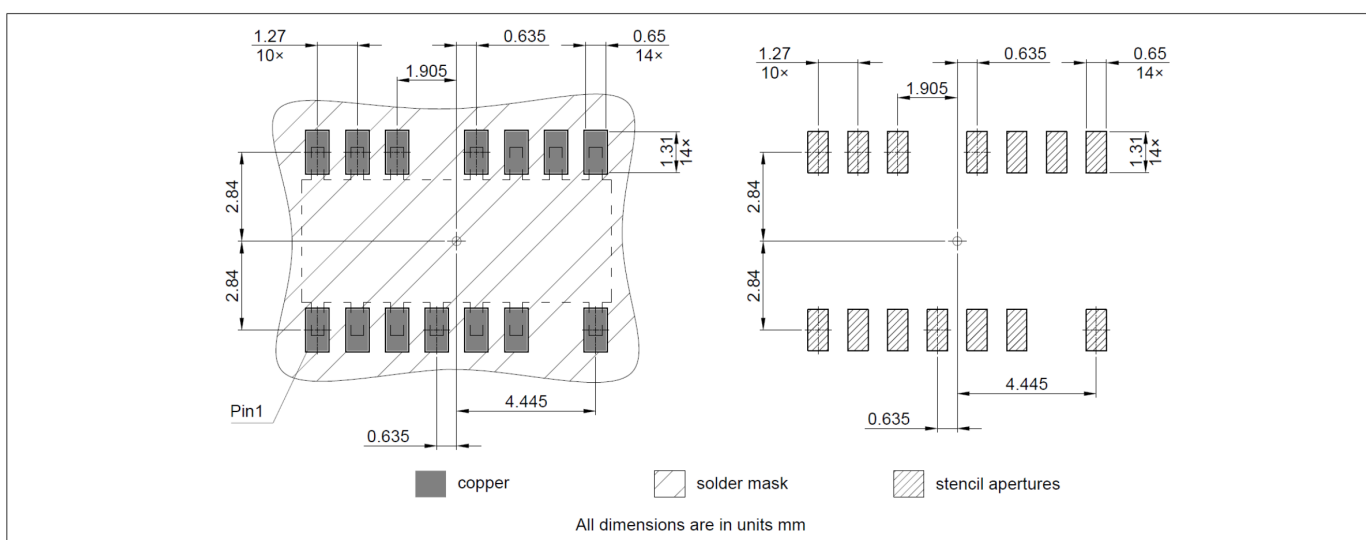


图 26 PG-DSO-14 封装尺寸

绿色产品（符合 RoHS 标准）

为了满足全球客户对环保产品的需求，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（即引线采用无铅涂层，并且符合 IPC/JEDEC J-STD-020 标准，适用于无铅焊接）。更多封装信息请访问：<https://www.infineon.com/packages>

8 修订记录

8 修订记录

Document version	Date of release	Description of changes
Rev 1.1	2025-11-07	• Editorial text update, mainly in the Figure 2 • Update of the Figure 8 • V_{HSVCC} maximum value in the Table 3 updated • T_J operating junction temperature lower limit in the Table 5 updated • $I_{HVchargeVCC}$ HV VCC charge current capability in the Table 6 updated • Update of the start-up condition check in the Chapter 4.1.1 and error code in the Table 2 • General description about FW parameters added in the Chapter 5 • FW parameter t_{bo} removed from EC table
Rev 1.0	2025-02-18	Initial release

Trademarks

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

Edition 2025-11-07

Published by

Infineon Technologies AG

81726 Munich, Germany

© 2025 Infineon Technologies AG

All Rights Reserved.

Do you have a question about any aspect of this document?

Email: erratum@infineon.com

Document reference

IFX-jeg1707906863624

Important notice

The information given in this document shall in no event be regarded as a guarantee of conditions or characteristics ("Beschaffenheitsgarantie").

With respect to any examples, hints or any typical values stated herein and/or any information regarding the application of the product, Infineon Technologies hereby disclaims any and all warranties and liabilities of any kind, including without limitation warranties of non-infringement of intellectual property rights of any third party.

In addition, any information given in this document is subject to customer's compliance with its obligations stated in this document and any applicable legal requirements, norms and standards concerning customer's products and any use of the product of Infineon Technologies in customer's applications.

The data contained in this document is exclusively intended for technically trained staff. It is the responsibility of customer's technical departments to evaluate the suitability of the product for the intended application and the completeness of the product information given in this document with respect to such application.

Warnings

Due to technical requirements products may contain dangerous substances. For information on the types in question please contact your nearest Infineon Technologies office.

Except as otherwise explicitly approved by Infineon Technologies in a written document signed by authorized representatives of Infineon Technologies, Infineon Technologies' products may not be used in any applications where a failure of the product or any consequences of the use thereof can reasonably be expected to result in personal injury.



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 2026-08-20

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。

如果本文档包含或引用软件：

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>。