

英飞凌 XDPL8210 数字反激式控制器IC

XDPTM 数字电源

数据手册

Revision 1.1

特性

- 单级反激式控制器，带 **功率因数校正(PFC)**
- 初级侧调节高精度 **恒流(CC)** 输出
- 支持通用 AC 输入 ($90 V_{rms}$ 至 $305 V_{rms}$)
- 支持较宽的 LED 负载电压范围 (最高可达最低 LED 负载电压的 4 倍)
- 出色的线性调节和负载调节能力 (典型值在 $\pm 2\%$ 范围内)
- 高电能质量 (典型 **功率因数(PF)** 高达 0.99, **总谐波失真(THD)** $< 10\%$)
- 效率很高, 在高输出功率时, 工作在 **准谐振模式第一谷底导通(QRM1)**; 中等输出功率时, 工作在频率受控的 **断续导通模式(DCM)**。
- 调光关断操作 (典型待机功耗低至 60 mW)
- 专用 PWM 输入引脚, 用于通过微控制器或符合 IEC60929 标准的无变压器隔离式 0 - 10 V 调光电路 (基于 CDM10VD) 进行调光控制
- 调光低至 1%
- **限制功率(LP)** 模式
- 输入过压和欠压 (Brown-in/Brown-out) 保护, 可配置输出开/关阈值
- 降低低压掉电时的最大功率, 更好地保护初级元件, 防止过饱和和饱和
- 自适应输出过压保护符合 UL1310 标准 (2 类), 适用于 54 V LED 驱动器设计。
- 输出和 VCC 欠压保护
- 可配置调光参数, 例如调光曲线 (线性/二次方)、最小电流、调光关断选项 (使能/禁用)

产品验证

符合 JEDEC47/20/22 相关的工业应用要求

潜在应用

- 用于 LED 灯具的电子控制装置

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)。

潜在应用

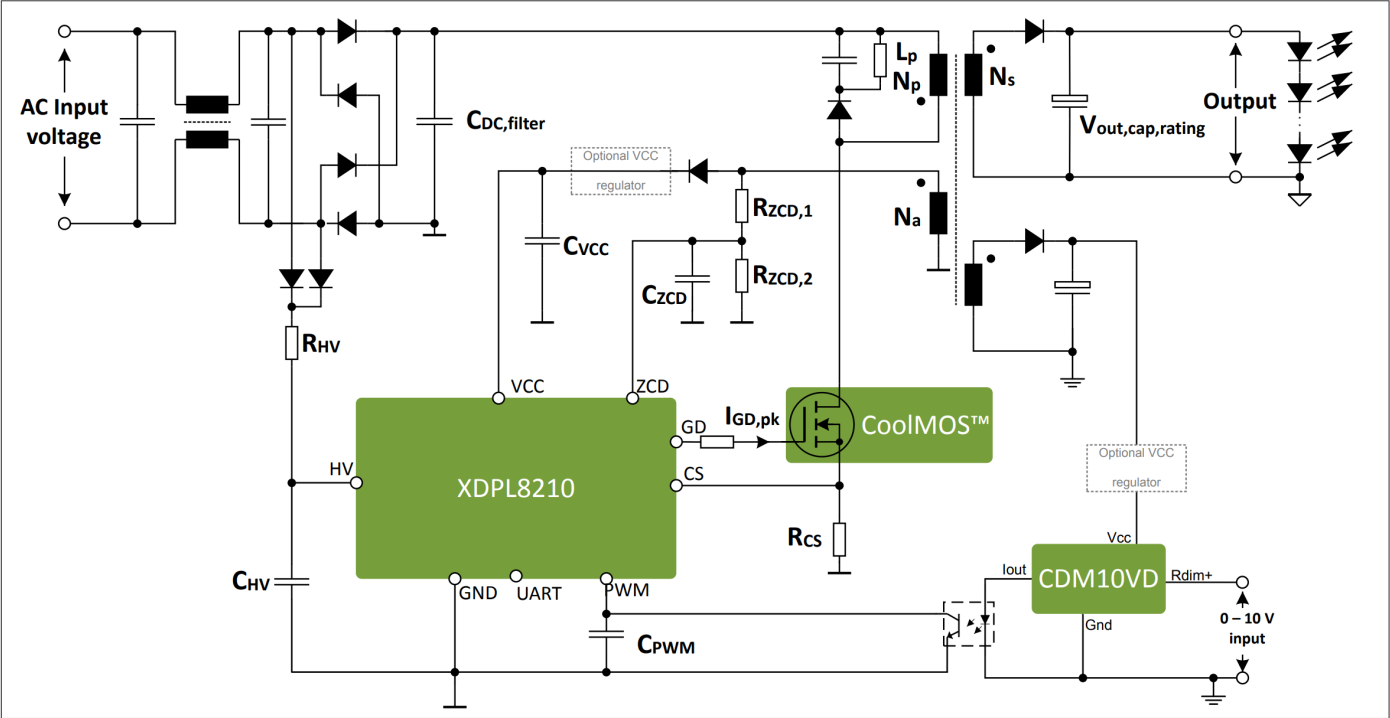


图 1 XDPL8210 的潜在应用 1

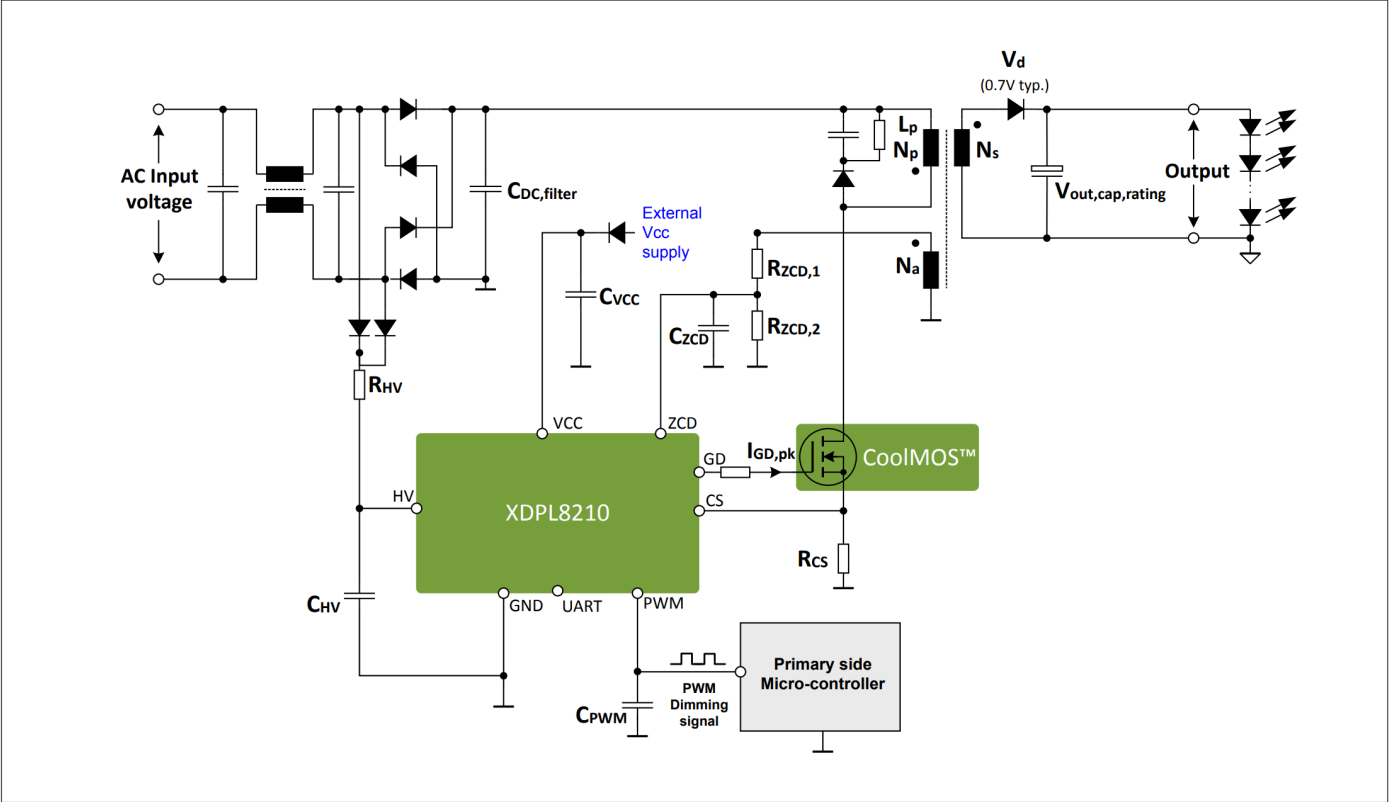


图 2 XDPL8210 的潜在应用 2

Product type	Package	Marking	Firmware version	Ordering code
XDPL8210	PG-DSO-8	XDPL8210	4.2.0.0	SP001643692

描述

描述

XDPL8210 是一款高性能可配置单级反激式控制器，具有高功率因数、初级侧调节恒流输出和 **限制功率 (LP)** 模式。

初级侧控制可节省外部元件，特别是光电耦合器，从而降低成本和工作量，提高可靠性。XDPL8210 具有集成功能，无需外部部件即可实现更多功能。

XDPL8210 的数字内核及其先进的控制算法可提供多种工作模式，如 **QRM1**、**DCM** 或 **主动突发模式 (ABM)**。此外，XDPL8210 还具有增强型 **PFC** 功能，可部分补偿输入电容对功率因数和谐波失真的影响。有了这些功能和工作模式之间的平滑转换，控制器可在宽负载范围内提供高效率、高功率因数和低谐波失真。主动突发模式控制方案大大扩展了调光范围，并与线路频率同步，避免了闪烁等影响，同时降低了噪音。

输出电流、调光曲线和保护功能等运行参数均可进行数字配置。英飞凌为 **个人计算机** 提供了用户友好的 **图形用户界面**，可快速更改工程设计，无需反复进行复杂的元件设计。功能可在生产线末端进行定义。使用不同的 XDPL8210 参数集，可在同一硬件上构建多个不同的 **发光二极管 (LED)** 驱动器。

例如，调光曲线的形状可配置为线性或二次曲线（眼睛自适应），并可选择倒置。此外，还可以使能或禁用 "调光关断" 功能。

注： 默认情况下，英飞凌新 XDPL8210 芯片的可配置参数为空，因此有必要在进行任何应用测试之前对其进行配置。

使用英飞凌 CoolMOS P7 功率 MOSFET 可以优化系统性能和效率。

目录

	特性	1
	产品验证	1
	潜在应用	1
	描述	3
	目录	4
1	引脚配置	6
2	功能框图	7
3	功能说明	8
3.1	稳压模式	8
3.1.1	恒定电流和限制功率设定值	8
3.1.2	多模式工作	9
3.1.3	控制回路初始化	11
3.2	GD 引脚上可配置的栅极电压上升斜率	12
3.3	启动	12
3.4	市电同步	13
3.5	输入电压、输出电压和输出电流计算	14
3.5.1	输入电压计算	15
3.5.2	输出电压计算	15
3.5.3	输出电流计算	16
3.6	功率因数校正	18
3.7	调光控制	18
3.8	保护功能	19
3.8.1	初级 MOSFET 过流保护	20
3.8.2	输出欠压保护	20
3.8.3	输出过压保护	21
3.8.4	变压器消磁时间不足保护	23
3.8.5	稳压模式峰值输出过流保护	23
3.8.6	最低输入电压启动检查和输入欠压保护	24
3.8.7	最大输入电压启动检查和输入过压保护	24
3.8.8	VCC 欠压锁定	24
3.8.9	VCC 过压保护	25
3.8.10	IC 过温保护	25
3.8.11	其他保护	25
3.8.12	保护响应	26
4	调试模式	26
5	参数列表	28



目录

6	电气特性及参数	34
6.1	封装特性.....	34
6.2	绝对最大额定值.....	34
6.3	工作条件.....	35
6.4	DC 电气特性.....	36
7	封装尺寸	46
8	参考文献	48
	修订记录	48
	术语表	48
	免责声明	51

引脚配置

1 引脚配置

引脚分配和基本引脚说明信息如下所示。

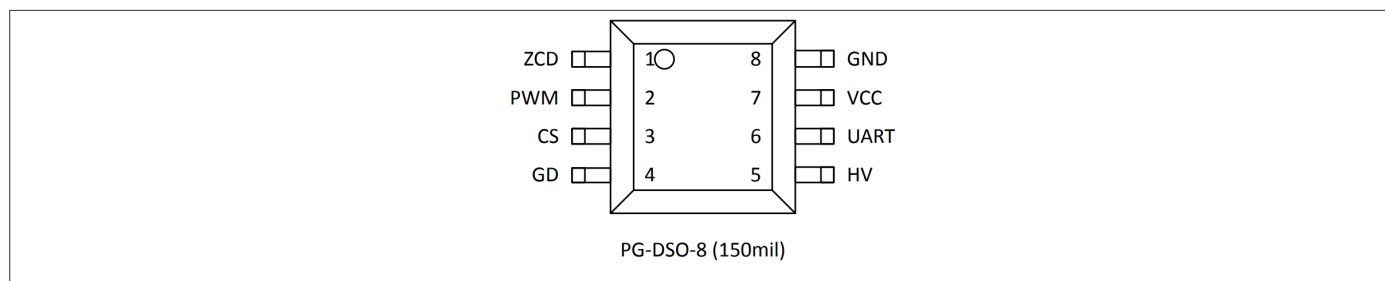


图 3 XDPL8210 的引脚

表 1 引脚定义及功能

Name	Pin	Type	Function
ZCD	1	I	Zero-crossing detection: The ZCD pin is connected to the auxiliary winding via external resistors divider. It is used for zero-crossing detection, primary-side output voltage sensing and input voltage sensing.
PWM	2	I	Pulse Width Modulation (PWM) dimming: The PWM pin is used as a dimming input. The PWM frequency should be fixed in the range from 500 Hz to 2 kHz.
CS	3	I	Current sensing: The CS pin is used for Flyback MOSFET current sensing via external shunt resistor.
GD	4	O	Gate driver: The GD pin is used for Flyback MOSFET gate drive control via external series resistor.
HV	5	I	High voltage: The HV pin is connected to the rectified input voltage via external series resistor. The HV pin is used to charge VCC pin voltage during startup and protection, via an internal 600 V startup cell. In addition, it is also used for line synchronization.
UART	6	I/O	Universal Asynchronous Receiver Transmitter configuration: The UART pin is used as the digital interface for parameter configuration.
VCC	7	I	Operating voltage supply and sensing
GND	8	-	Integrated Circuit (IC) grounding

功能框图

2 功能框图

功能框图显示了从输入引脚经信号处理到输出引脚的基本数据流。

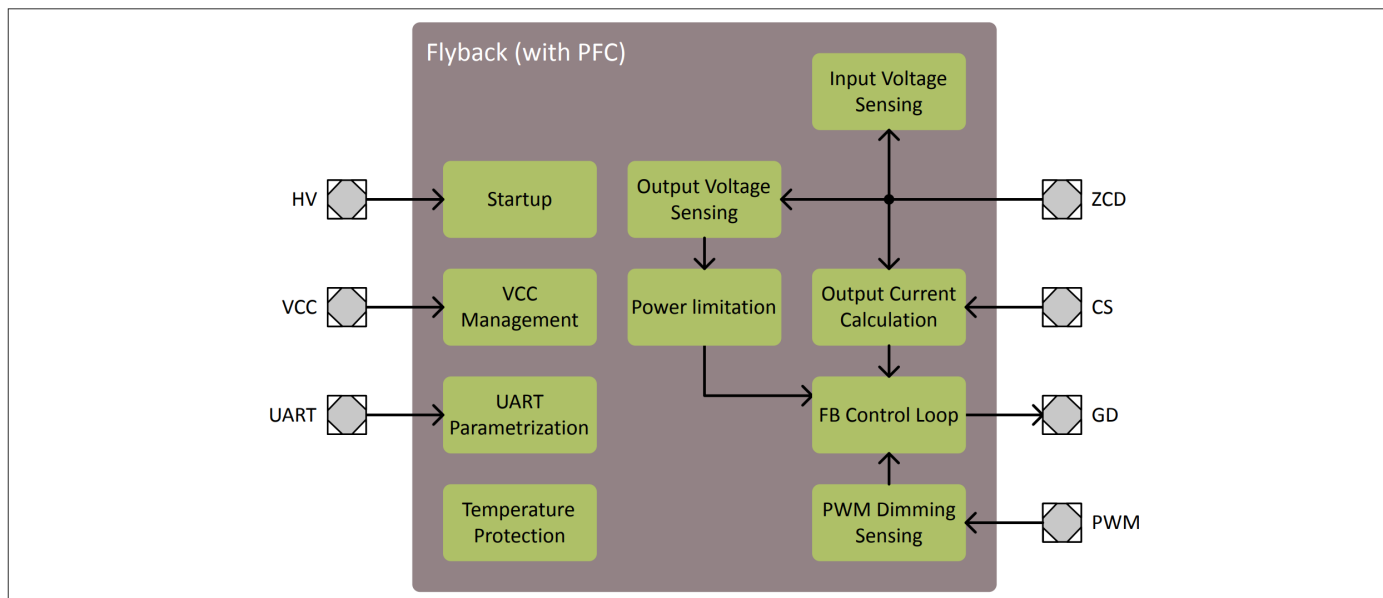


图 4 XDPL8210 功能框图

功能描述

3 功能描述

功能说明概述了集成的功能和特性以及它们之间的关系。所述参数和公式基于 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 时的典型值。相应的最小值和最大值显示在电气特性中。

3.1 稳压模式

XDPL8210 稳压模式可对输出电流进行初级侧控制。由于完全集成了初级侧调节控制回路，因此输出电流控制不需要次级侧反馈元件。

3.1.1 恒定电流和限制功率设定值

在非调光条件下，稳压模式 **CC** 输出电流设定点基于最大输出电流设定点 $I_{\text{out,full}}$ 。在调光条件下，稳压模式 **CC** 输出电流设定点在 $I_{\text{out,full}}$ 和最小输出电流设定点 $I_{\text{out,min}}$ 之间选择，具体取决于调光电平。 $I_{\text{out,min}}$ 和 $I_{\text{out,full}}$ 参数均可配置。

如果稳压模式 **CC** 输出电流设定点和连接的 LED 电压 V_{LED} 产生的输出功率超过可配置的最大输出功率限制设定点 $P_{\text{out,set}}$ ，则基于 $P_{\text{out,set}}$ 参数的稳压模式 **LP** 设定点将接管，并将输出电流设定点降至 $P_{\text{out,set}} / V_{\text{LED}}$ 。

要在 $I_{\text{out,min}}$ 和 $I_{\text{out,full}}$ 之间实现全 **CC** 输出调光范围，所连接的 LED 电压 V_{LED} 不得超过 $P_{\text{out,set}} / I_{\text{out,full}}$ ，如图 5 所示。

如果只需要 **CC** 调节，则可通过配置 $P_{\text{out,set}} = 0$ 禁用 **LP** 调节。

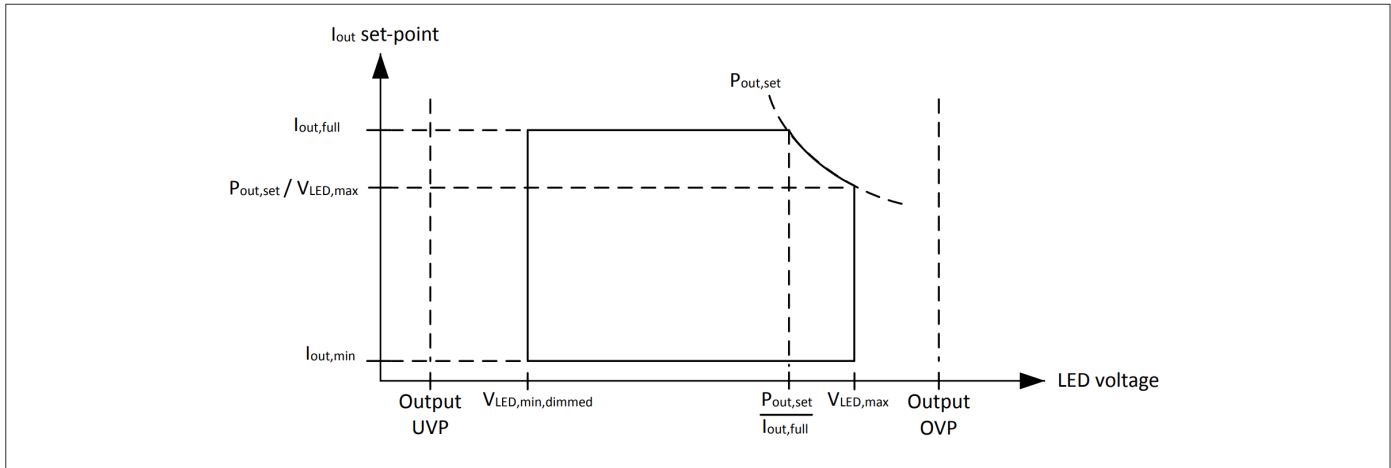


图 5 恒定电流和限制功率调节的运行窗口

注： $V_{\text{LED,max}}$ 指输出电流为 $I_{\text{out,full}}$ 所需的最大 LED 工作电压。 $V_{\text{LED,max}}$ 值应明显低于输出过压保护电平。

注： $V_{\text{LED,min,dimmed}}$ 指输出电流为 $I_{\text{out,min}}$ 时所需的 LED 最小工作电压。
 $V_{\text{LED,min,dimmed}}$ 的设计应远远高于输出欠压保护电平。

3.1.2 多模式工作

在稳压模式下，有三种不同的开关模式（**QRM1**、**DCM** 和 **ABM**）。集成的初级侧控制回路可根据工作条件选择开关模式。

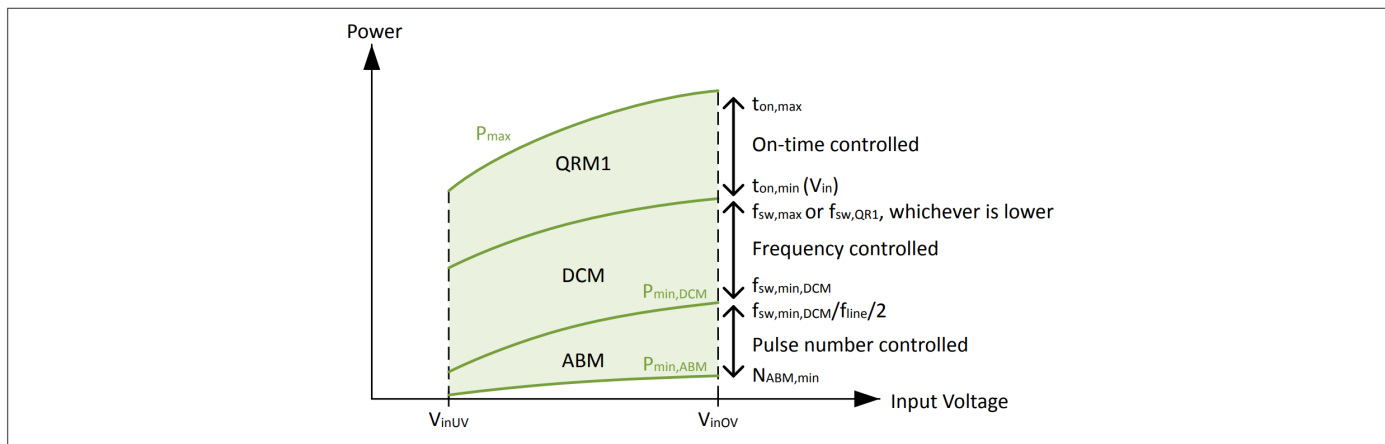


图 6 多模式工作方案

- **QRM1**：该模式通过在初级辅助绕组电压 V_{AUX} 信号的准谐振 1 波谷处开启 MOSFET，将开关损耗降至最低，从而最大限度地提高效率。功率通过调节 MOSFET 的导通时间来控制。

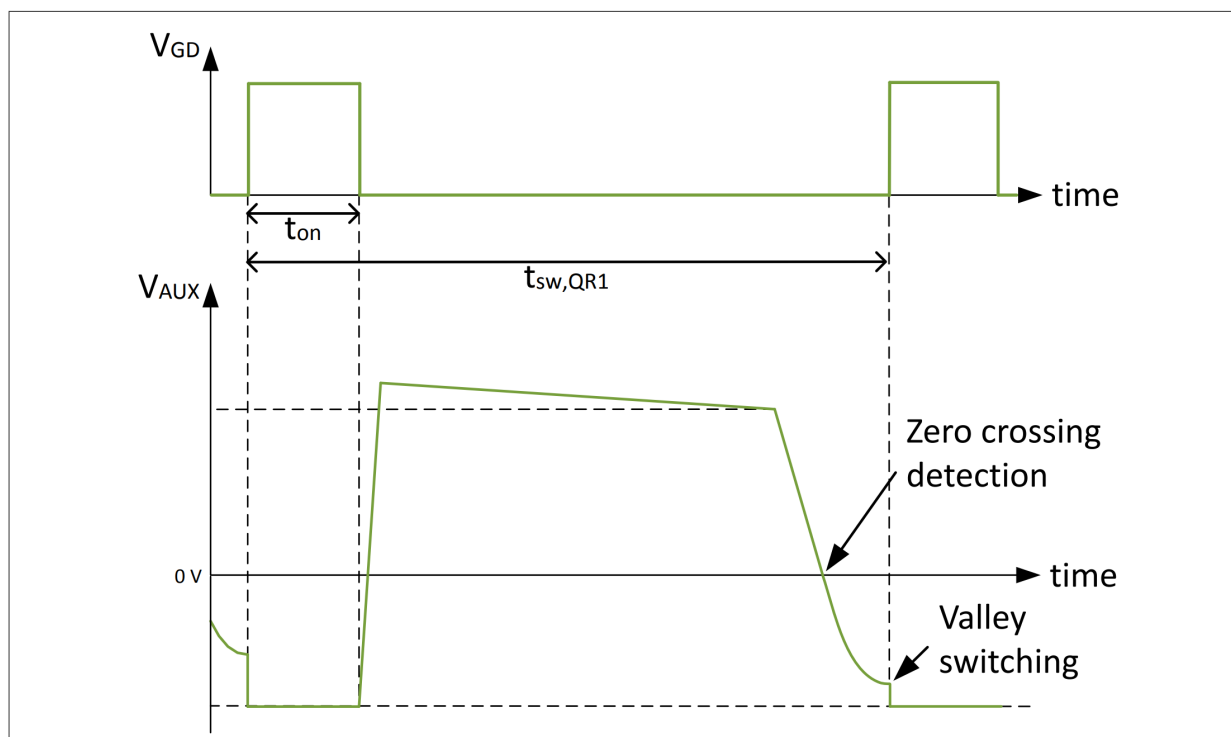


图 7 QRM1 的开关波形

注：如果准谐振第 1 波谷开关周期 $t_{sw,QR1}$ 小于最小开关周期 $1/f_{sw,max}$ ，则 MOSFET 只能在准谐振第 1 波谷之后开启。

- **DCM**：该模式通过在输出功率降低时降低开关频率，将开关损耗降至最低。导通时间保持在最小值，而功率则通过调节开关频率来控制。当达到最小开关频率 $f_{sw,min}$ 时，即为 DCM 模式下的最小功率传输 $P_{min,DCM}$ 。

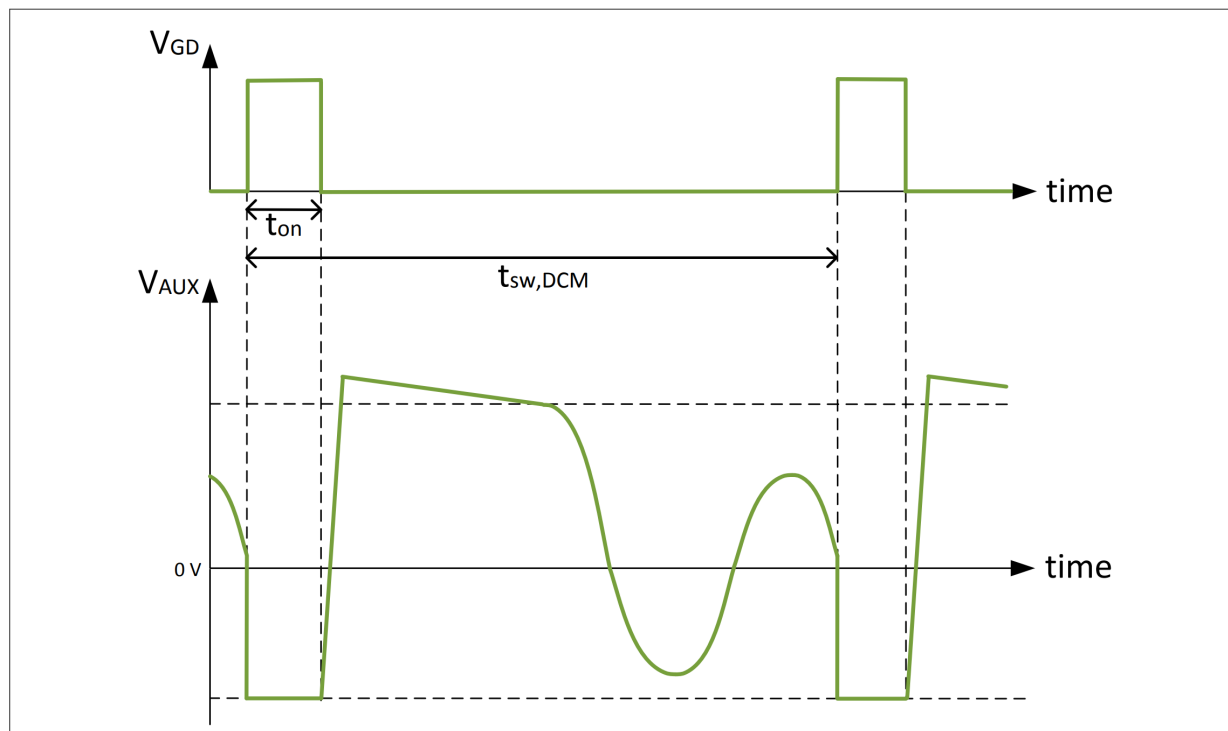


图 8 DCM 的开关波形

- ABM：可通过 EN_{ABM} 参数使能该模式，提供比 **DCM** 模式更低的输出功率，以实现更低的最小输出电流。导通时间和开关频率保持在最小值，而功率则通过调节每个突发周期的开关脉冲数来控制。该模式下的突发频率与整流AC输入频率同步，以确保良好的光质量和低噪音。当达到最小开关脉冲数 $N_{ABM,min}$ 时，即为 **ABM** 模式下的最小功率传输 $P_{min,ABM}$ 。

基于计算输入电压的最小导通时间调整

在所有开关模式中， $t_{on,min,V,out,sense}(V_{in})$ 变量均按比例缩放，以便在输入电压峰值 $V_{in,peak}$ 时，根据 $t_{min,demag}$ 参数设定所需的变压器最小消磁时间，用于输出电压检测。

$$t_{on,min,V,out,sense}(V_{in}) = t_{min,demag} \cdot \frac{N_p}{N_s} \cdot \frac{V_{out}}{V_{in,peak}}$$

公式 1

$t_{on,min}(V_{in})$ 的最小导通时间基于 $t_{on,min}$ 参数或 $t_{on,min,V,out,sense}(V_{in})$ 变量，以较高者为准。

$$t_{on} > t_{on,min}(V_{in}) = \max[t_{on,min,V,out,sense}(V_{in}), t_{on,min}]$$

公式 2

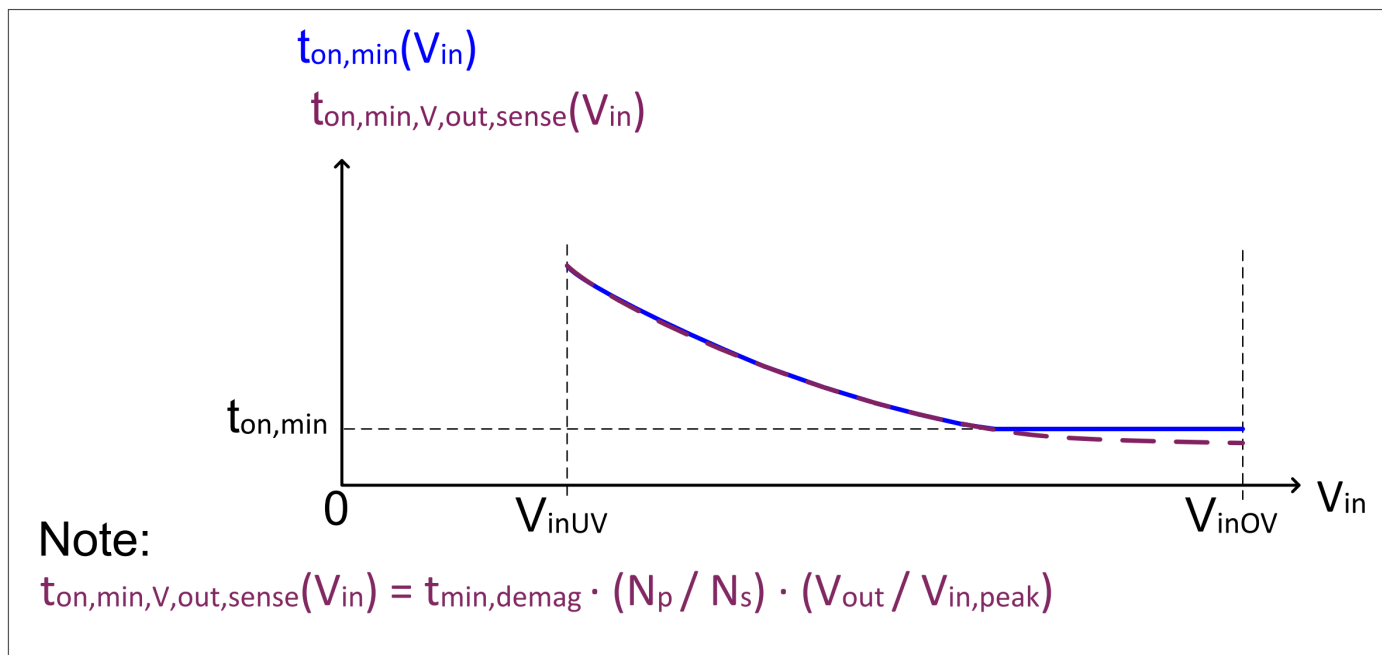


图 9 根据估计输入电压确定的最短导通时间

3.1.3 控制回路初始化

在启动阶段后初始进入稳压模式时，需要对控制环路进行初始化。为确保快速平稳启动并将输出电流过冲降至最低，XDPL8210 具有自适应控制环路开关参数初始化功能，具体取决于 EN_{ABM} 参数和计算的输入电压 V_{in} ：

- 如果使用 EN_{ABM} 参数使能了 **ABM**，则 **ABM** 被选为控制环路的初始开关模式。初始受控 ABM 开关脉冲数 $N_{ABM,init}$ 根据 V_{in} 在 $N_{ABM,min}$ 和 $N_{ABM,init,VinUV}$ 参数之间缩放。
- 如果使用 EN_{ABM} 参数禁用了 **ABM**，则 **DCM** 被选为控制环路的初始开关模式。初始受控 DCM 开关频率数 $f_{DCM,init}$ 根据 V_{in} 在 $f_{sw,min,DCM}$ 和 $f_{DCM,init,VinUV}$ 参数之间缩放（典型值为 20 kHz）。

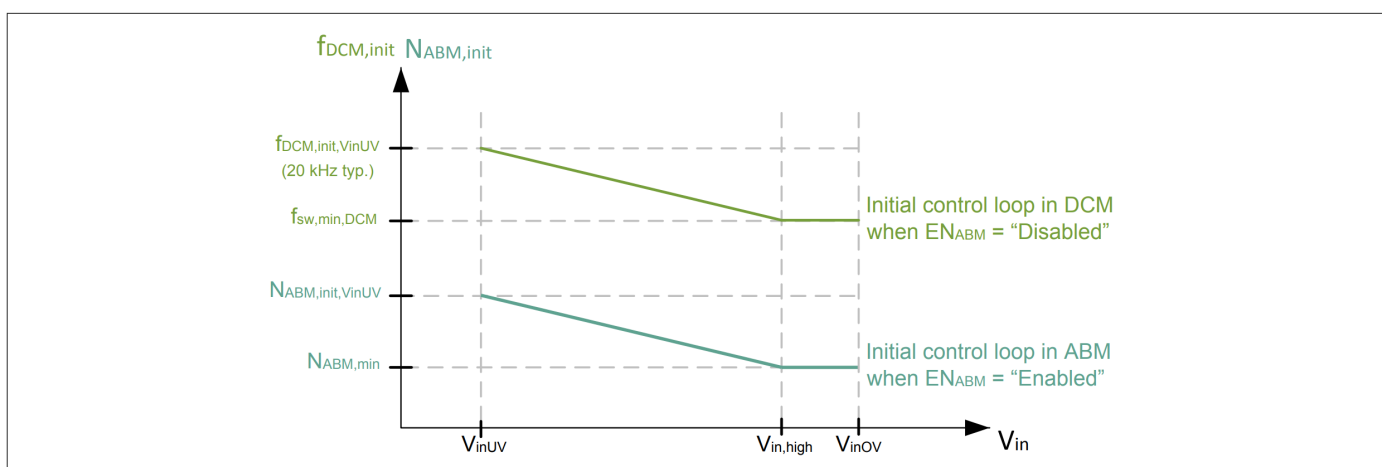


图 10 自适应控制回路参数初始化

注： V_{inUV} 和 V_{inOV} 分别指输入欠压保护电平和输入过压保护电平参数。

注： $V_{in,high}$ 指高输入电压参数。如果估计输入电压 V_{in} 为 $V_{in,high}$ 或更高，则应用 $N_{ABM,init} = N_{ABM,min}$ 或 $f_{DCM,init} = f_{sw,min,DCM}$ 参数。

3.2 GD 引脚上可配置的栅极电压上升斜率

在 V_{CC} 电压充足的情况下，栅极驱动峰值电压 $V_{GD,pk}$ 为 12 V。为了在开关损耗和 **电磁干扰(EMI)** 之间达到良好的平衡，可以控制决定 MOSFET 开关开启速度的栅极电压上升斜率，即通过配置栅极驱动器峰值源电流 $I_{GD,pk}$ 参数（可配置范围：30 mA 至 118 mA）。这就节省了两个元件（见 **图11** 中的 $D_{fastoff}$ 、 R_{slowon} ），传统上这两个元件是为相同目的而添加的。

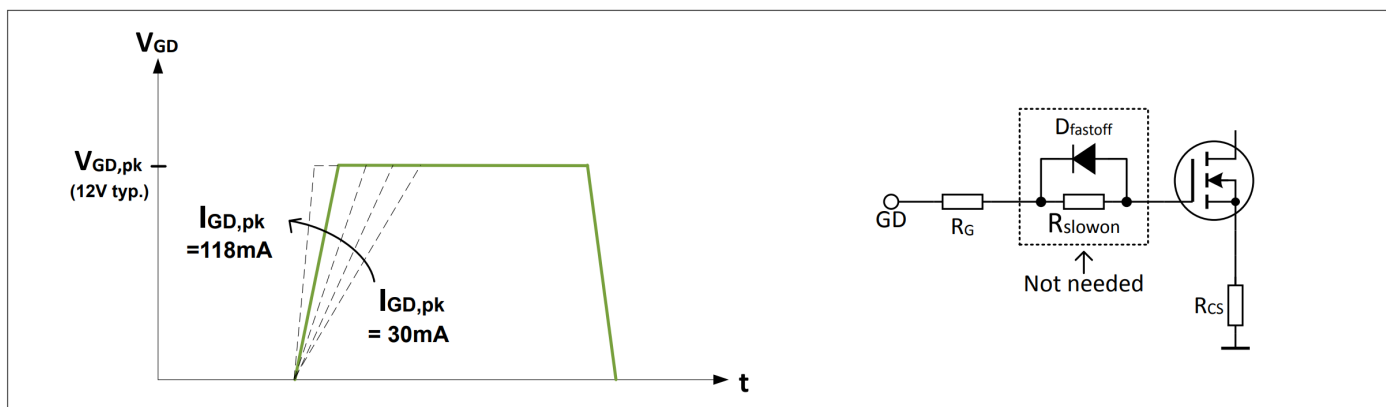


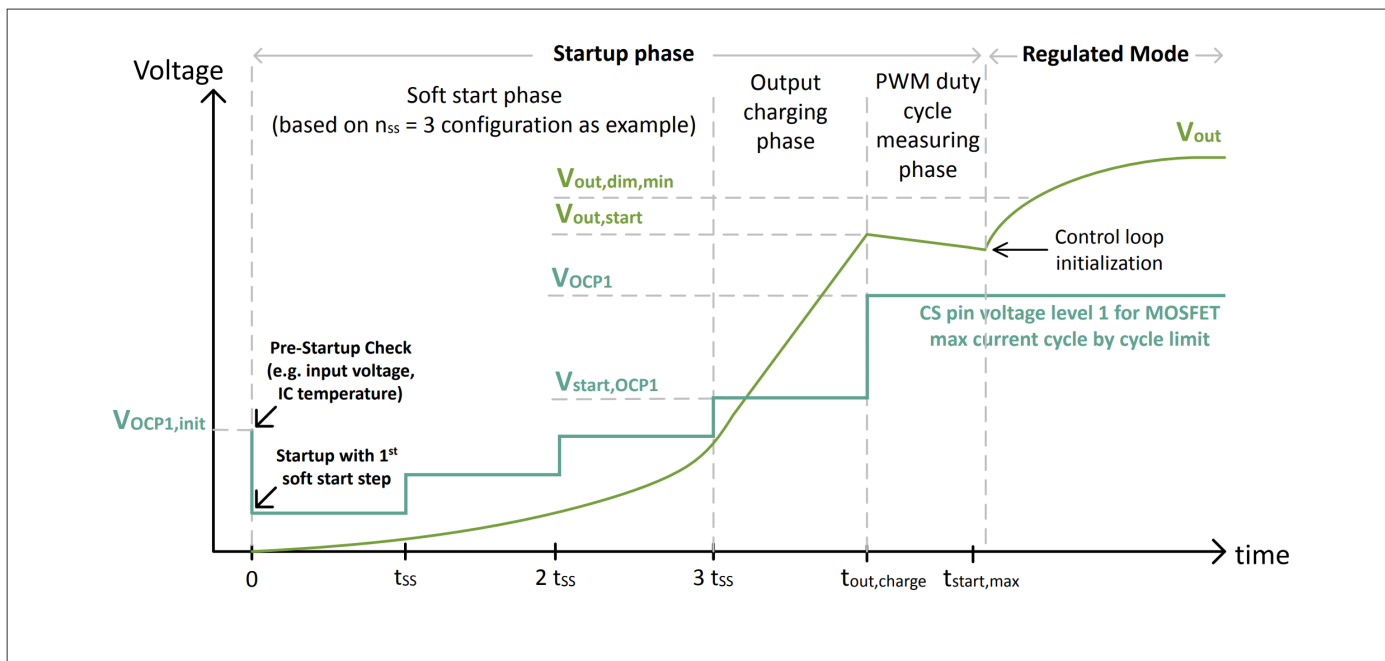
图 11 可配置栅极电压上升斜率和节省元件

3.3 启动

检查启动条件（如输入电压、**集成电路**温度）是否在限制范围内后，即进入启动阶段。

为了计算启动前的输入电压电平， ZCD 引脚信号是在 GD 引脚上产生单脉冲时测量的。该单脉冲的导通时间基于启动前 CS 引脚最大电压限制 $V_{OCP1,init}$ ，或前沿消隐时间 $t_{CS,LEB}$ 的 8 倍（例如 $8 * 480 \text{ ns} = 3.84 \mu\text{s typ.}$ ）。如果估计输入电压或任何其他启动条件不在限制范围内，则不进入启动阶段，并在自动重启持续时间后再次产生单脉冲。

启动阶段包括软启动阶段、输出充电阶段和 **PWM** 占空比测量阶段。软启动阶段旨在将启动过程中的元件应力降至最低。输出充电阶段是对输出电压进行快速充电，以便从初级辅助绕组快速接管 V_{CC} 电压自供电，而 PWM 占空比测量阶段则是确定稳压模式输出电流设定点。

图 12 启动阶段，软启动步骤 $n_{ss}=3$

在软启动阶段，开关频率固定为 20 kHz。在第一个软启动步骤中，MOSFET 电流根据 CS 引脚最大电压限值 $V_{start,OCP1}/(n_{ss} + 1)$ 进行限制，其中 $V_{start,OCP1}$ 是输出充电阶段 CS 引脚最大电压限值参数， n_{ss} 是软启动步骤数参数。软启动阶段 CS 引脚最大电压限值在每个软启动步进后按 $V_{start,OCP1}/(n_{ss} + 1)$ 增加，直到达到 $V_{start,OCP1}$ 为止，每个软启动步进 t_{ss} 的典型持续时间为 $3.2/n_{ss}$ ms 或 0.5 ms，以较低者为准。

在输出充电阶段，输出电压通过 MOSFET 开关脉冲快速充电，该脉冲基于输出充电阶段 CS 引脚最大电压限制 $V_{start,OCP1}$ 或 **QRM1** 中的最大导通时间 $t_{on,max}$ 。要退出启动阶段并进入稳压模式而不触发启动输出欠压保护，ZCD 引脚估计输出电压 V_{out} 必须在达到最大允许启动阶段持续时间 $t_{start,max}$ 之前达到输出充电电压设定点 $V_{out,start}$ （参见图 12 中的示例）。为避免输出过冲， $V_{out,start}$ 的设计应低于完全调光的 LED 最小输出电压 $V_{out,dim,min}$ 。

$t_{start,max}$ 参数可根据 VCC 电容参数 C_{VCC} 间接配置：

$$t_{start,max} = 967 \cdot C_{VCC}$$

公式 3

注：一个典型值为 480 ns 的前沿消隐时间 $t_{CS,LEB}$ ，适用于 $V_{OCP1,init}$ 、 $V_{start,OCP1}$ 及每个软启动步骤（从 $V_{start,OCP1}/(n_{ss} + 1)$ 开始）的 CS 引脚最大电压限制。

在 PWM 占空比测量阶段，MOSFET 开关脉冲的导通时间很短，开关频率为 $f_{sw,DIM,DCM}$ （通常为 1 kHz）。

在启动阶段结束后，既没有触发保护，也没有进入调光关断，控制环路初始化为稳压模式下的输出电流调节。

3.4 市电同步

XDPL8210 的大部分操作通过 HV 引脚与 AC 输入半正弦波周期或整流 AC 输入频率同步。例如，根据 50 Hz 的 AC 输入频率，市电同步应基于 100 Hz 整流后的 AC 输入频率或半正弦波周期 10 ms 的 AC 输入。

这种线路同步用于增强型 **PFC**，以补偿线路滤波器和 DC 链路滤波电容器造成的输入电流位移。如果市电同步未建立，例如在启动过程中，控制器将根据内部预设的约 9.823 ms 的半正弦波周期同步运行。

3.5 输入电压、输出电压和输出电流计算

如 **图13** 所示，通过 ZCD 引脚检测到的辅助绕组电压信号 V_{AUX} 包含变压器退磁时间 t_{demag} 、反射输出电压和反射输入电压的相关信息，而通过 CS 引脚检测到的初级峰值电流信号 $I_{p,pk}$ 则包含次级峰值电流 $I_{s,pk}$ 信息。要计算输出电流，需要 t_{demag} 和 $I_{s,pk}$ 信息。

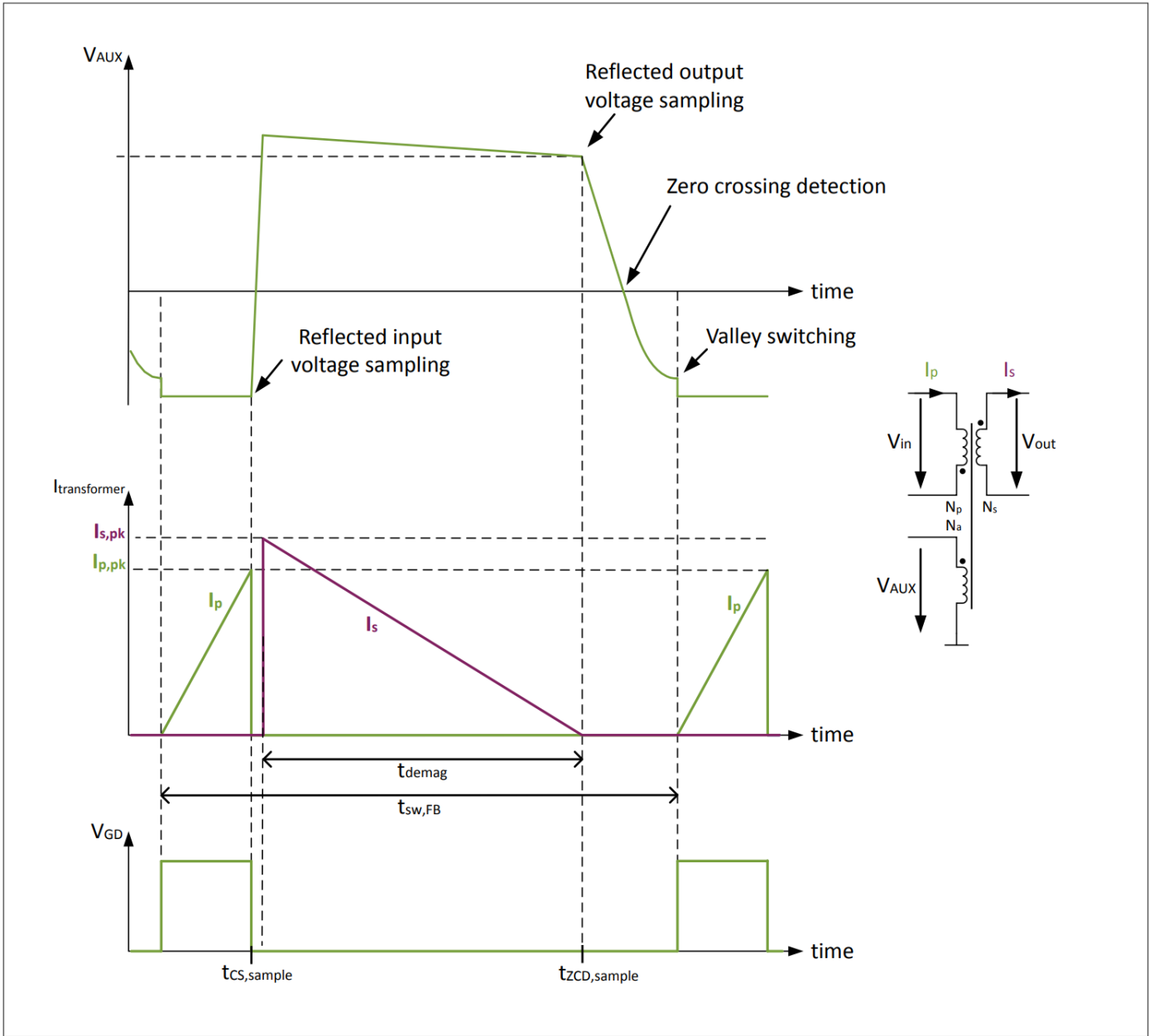


图 13 QRM1 中的反激式开关波形示例

3.5.1 输入电压计算

输入电压是通过检测 MOSFET 接通时变压器初级辅助绕组电压 V_{AUX} 的反射输入电压信号来计算的。由于反射输入电压信号是负电压，无法直接被检测，因此 ZCD 引脚的电压被钳位在 V_{INPCLN} 的负电压上。如 [图 14](#) 所示，由 $R_{ZCD,1}$ 和 $R_{ZCD,2}$ 组成的电阻分压器可根据 ZCD 引脚的工作范围调整流出 ZCD 引脚的钳位电流 $-I_{IV}$ ，同时需要一个 ZCD 引脚滤波电容器 C_{ZCD} 进行噪声滤波。

在 [图 13](#) 所示的 $t_{CS,sample}$ 时间点（即导通时间结束时），根据采样的钳位电流 $-I_{IV}$ 来检测来自 V_{AUX} 的反射输入电压信号。每个 $-I_{IV}$ 采样间隔约为半正弦波周期的 $1/64$ 。

注：半正弦波周期为 9.823 ms 或整流 AC 输入频率的倒数，具体取决于工作条件，详见[市电同步](#)。

半正弦波期间内，计算的峰值输入电压 $V_{in,peak}$ （峰值）依据是

$$V_{in,peak} = \max \left\{ \frac{N_p}{N_a} \cdot \left[\left(-I_{IV} - \frac{V_{INPCLN}}{R_{ZCD,2}} \right) \cdot R_{ZCD,1} - V_{INPCLN} \right] + \frac{R_{in}}{R_{CS}} \cdot V_{CS,peak} \right\}$$

公式 4

其中， N_p 为初级主绕组匝数， N_a 为初级辅助绕组匝数， R_{CS} 为 CS 引脚分流电阻值， $V_{CS,peak}$ 为 CS 引脚峰值电压， R_{in} 为微调参数，用于通过补偿 $C_{DC,filter}$ 上的开关频率电压纹波来提高输入电压检测精度。

控制器根据几个半正弦波周期的滤波值，将计算得到的输入电压 V_{in} 的有效值假定为 $V_{in,peak}$ 的 0.707。 V_{in} 的更新率为每个半正弦波周期一次。

$$V_{in} = 0.707 \cdot V_{in,peak}$$

公式 5

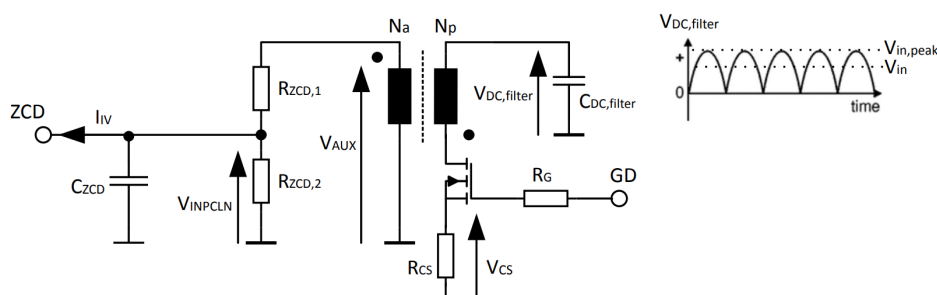


图 14 基于 $-I_{IV}$ 的输入电压计算

计算得到的输入电压 V_{in} 用于输入电压保护和增强型 [功率因数校正](#) (EPFC)。因此，必须确保 IC 参数 $R_{ZCD,1}$ 、 $R_{ZCD,2}$ 、 N_p 、 N_a 和 R_{CS} 按照实际系统硬件尺寸进行配置。

3.5.2 输出电压计算

当 MOSFET 关断并接近变压器退磁结束时，通过检测变压器初级辅助绕组电压 V_{AUX} 的反射输出电压信号来计算输出电压。如 [图 15](#) 所示，由 $R_{ZCD,1}$ 和 $R_{ZCD,2}$ 组成的电阻分压器可根据 ZCD 引脚的工作范围调整其电压，同时需要一个 ZCD 引脚滤波电容器 C_{ZCD} 进行噪声滤波。

如 [图 13](#) 所示 $t_{ZCD,sample}$ （约为 V_{AUX} 第一个过零点之前四分之一振荡周期 ($T_{osc}/4$)）时，所采样得到的 ZCD 引脚电压 $V_{ZCD,SH}$ 可以检测来自 V_{AUX} 的反射输出电压信号的比例。

每次 $V_{ZCD,SH}$ 采样的间隔约为半正弦波周期的 1/64，而振荡周期 T_{osc} 在启动前测量一次，进入稳压模式后每隔 7 个半正弦波周期更新一次。

注：半正弦波周期为 9.823 ms 或整流 AC 输入频率的倒数，具体取决于工作条件，详见[市电同步](#)。

注：由于 V_{AUX} 的过零，只能通过 IC 内部的模拟延迟，以及由 C_{ZCD} 引起的外部延迟，经由 ZCD 引脚被检测到，因此需要对 t_{ZCDPD} 参数进行微调，以补偿这些延迟，从而获得 $t_{ZCD,sample}$ 的正确采样时间点，用于输出电压计算。

需注意：注意变压器消磁时间 t_{demag} 必须长于 2.0 μs ，以确保 ZCD 引脚能正确检测到反射输出电压。

计算输出电压 V_{out} 的依据是

$$V_{out} = V_{ZCD,SH} \cdot \frac{R_{ZCD,1} + R_{ZCD,2}}{R_{ZCD,2}} \cdot \frac{N_s}{N_a} - V_d$$

公式 6

其中， N_s 为变压器次级主绕组匝数， N_a 为变压器初级辅助绕组匝数， V_d 为次级主输出二极管正向电压（控制器假定为 0.7 V）。

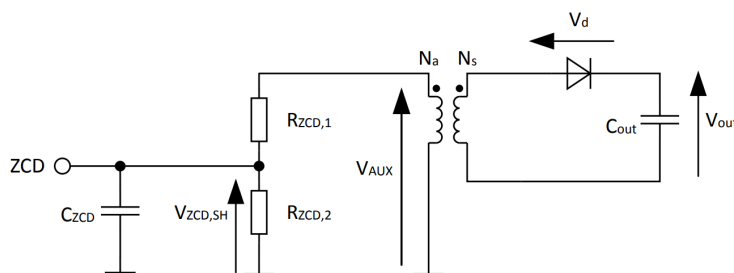


图 15 基于 $V_{ZCD,SH}$ 的输出电压计算

计算的输出电压 V_{out} 用于输出电压保护和增强型 [PFC](#) (EPFC)。因此，必须确保 IC 参数 $R_{ZCD,1}$ 、 $R_{ZCD,2}$ 、 N_s 和 N_a 按照实际系统硬件尺寸进行配置。

3.5.3 输出电流计算

在 [图 13](#) 所示的 $t_{CS,sample}$ （导通时间结束时）时，根据 CS 引脚电压 $V_{CS,SH}$ 的采样值，检测出初级峰值电流信号 $I_{p,pko}$ 。每次 $V_{CS,SH}$ 采样的间隔约为半正弦波周期的 1/64。

注：半正弦波周期为 9.823 ms 或整流 AC 输入频率的倒数，具体取决于工作条件，详见[市电同步](#)。

如 [图 16](#) 所示，为了补偿 GD 引脚电压下降沿与 $I_{p,pk}$ 之间的传播延迟，可以通过优化传播延迟补偿参数 t_{PDC} 值来计算出更精确的初级峰值电流 $I_{p,pk}$ ：

$$I_{p,pk} = \frac{V_{CS,SH}}{R_{CS}} \cdot \frac{t_{on} + t_{PDC}}{t_{on}}$$

公式 7

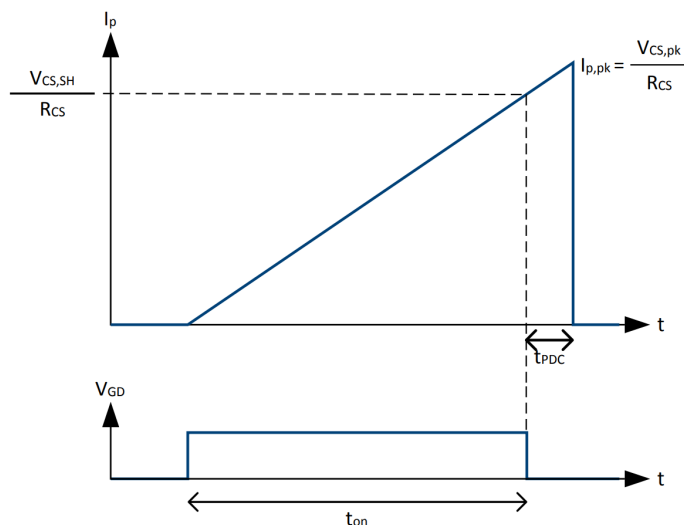


图 16 为更精确地计算初级峰值电流而进行的传播延迟补偿

次级峰值电流 $I_{s,pk}$ 可根据 $I_{p,pk}$ 、变压器匝数比 N_p/N_s 、变压器耦合系数 $K_{coupling}$ 、初级主绕组电感 L_p 和初级漏感 $L_{p,lk}$ 计算得出：

$$I_{s,pk} = I_{p,pk} \cdot \frac{N_p}{N_s} \cdot K_{coupling} \cdot \frac{L_p}{L_p + L_{p,lk}}$$

公式 8

注： $L_{p,lk}$ 默认为 L_p 的 1%。

根据 $I_{s,pk}$ 、变压器消磁时间 t_{demag} 、开关周期 t_{sw} 、**ABM** 脉冲数 N_{ABM} 、电网频率 f_{line} 、**DCM** 最小开关频率参数 $f_{sw,min,DCM}$ 、计算输出电压 V_{out} 、输出欠压保护电平 V_{outUV} 和辅助损耗补偿参数 G_{loss} ，可以计算出每个开关周期的平均输出电流 $I_{out}(n)$ ，从而在低输出电流时实现更好的负载调节。

- **QRM1** 和 **DCM** 中的 $I_{out}(n)$ ：

$$I_{out,QRM1,DCM}(n) = \frac{1}{2} \cdot I_{s,pk} \cdot \frac{t_{demag}}{t_{sw}} - G_{out,loss} \cdot (V_{out} - V_{outUV})$$

公式 9

- **ABM** 中的 $I_{out}(n)$ ：

$$I_{out,ABM}(n) = \frac{1}{2} \cdot I_{s,pk} \cdot \frac{t_{demag}}{t_{sw}} \cdot N_{ABM} \cdot \frac{2 \cdot f_{line}}{f_{sw,min,DCM}} - G_{out,loss} \cdot (V_{out} - V_{outUV})$$

公式 10

每个 $I_{out}(n)$ 样本的间隔约为半正弦波周期的 1/64。根据 64 个 $I_{out}(n)$ 采样值，通过移动平均滤波器获得每个半正弦波周期的平均输出电流，用于输出调节。

注：半正弦波周期为 9.823 ms 或整流 AC 输入频率的倒数，具体取决于工作条件，详见 [市电同步](#)。

3.6 功率因数校正

为了获得更好的 [PFC](#) 性能，可以通过将 C_{EMI} 参数值配置为零以上并微调该值，使能专利的增强型 PFC (EPFC) 功能，以补偿主要由 DC 链路滤波电容器 $C_{DC,filter}$ 引起的输入电流位移效应。使能该功能后，在 [QRM1](#) 中，调节导通时间不是恒定的，而是根据计算输入电压 V_{in} 、计算输出电压 V_{out} 、计算输出电流、相位角和 C_{EMI} 参数值的调制增益。

也可以通过将 C_{EMI} 参数配置为零来禁用增强型 PFC (EPFC) 功能。

3.7 调光控制

XDPL8210 可检测 *PWM* 引脚电压信号的占空比，从而根据配置的调光曲线和最大功率限制设置确定输出电流设定点。在稳压模式下，输出电流为模拟量 ([ABM](#) 除外)，输出纹波频率与两倍市电频率同步，以实现无闪烁运行。

PWM 引脚内部上拉电阻

可以通过将 $PWM_{R,pull,up}$ (上拉) 参数配置在 2.25 kohm 和 30 kohm 之间，选择性地使能 *PWM* 引脚内部上拉电阻，内部上拉电压典型值为 3.2 V。

PWM 引脚占空比检测和频率范围

通过配置 PWM_{type} 参数，XDPL8210 可根据正常 [PWM](#) 信号或反相 PWM 信号检测占空比。

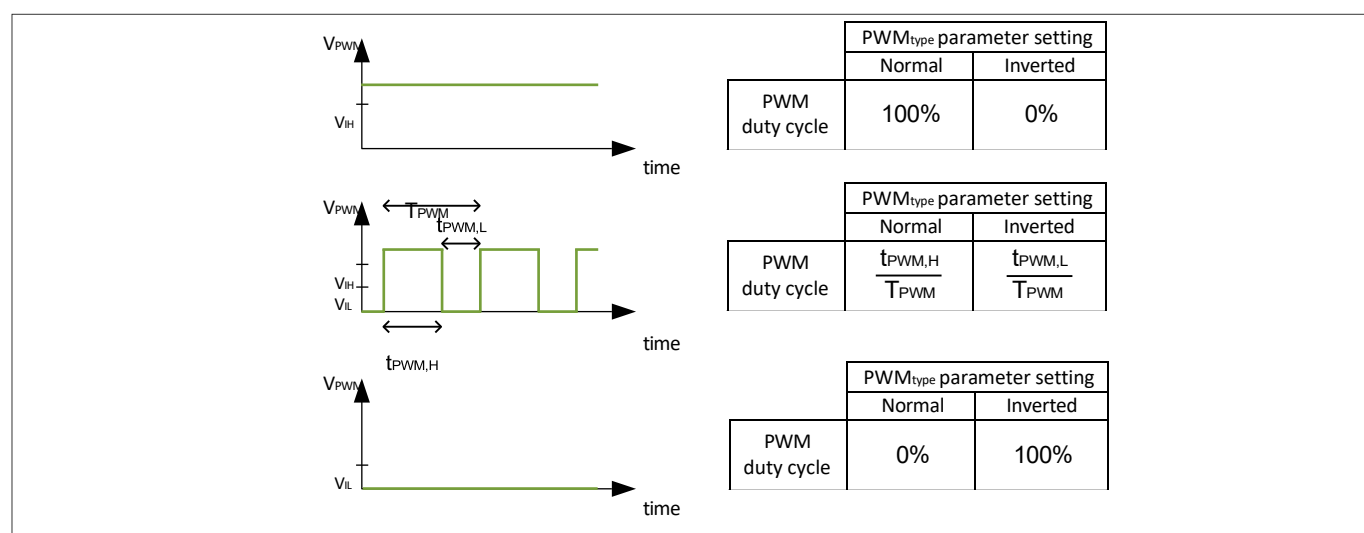


图 17 基于可选 PWM 类型的占空比

为了根据稳定的输出电流设定点来检测稳定的 PWM 占空比调节水平，可通过配置 $PWM_{Duty,hyst}$ 参数，设定一个用于抑制 PWM 占空比抖动的滞回电平。在滞回范围内，PWM 占空比的任何变化都不会影响输出电流。PWM 频率应固定在 500 Hz 和 2 kHz 之间。

调光曲线

如**图18**所示，XDPL8210 可根据 C_{DIM} 参数进行配置，使用线性或二次方调光曲线将 PWM 占空比映射到输出电流设定点。 $D_{DIM,min}$ 和 $D_{DIM,max}$ 的 PWM 占空比水平可确保始终达最小电流 $I_{out,min}$ 和最大电流 $I_{out,full}$ ，从而使应用不受元件容差的影响。

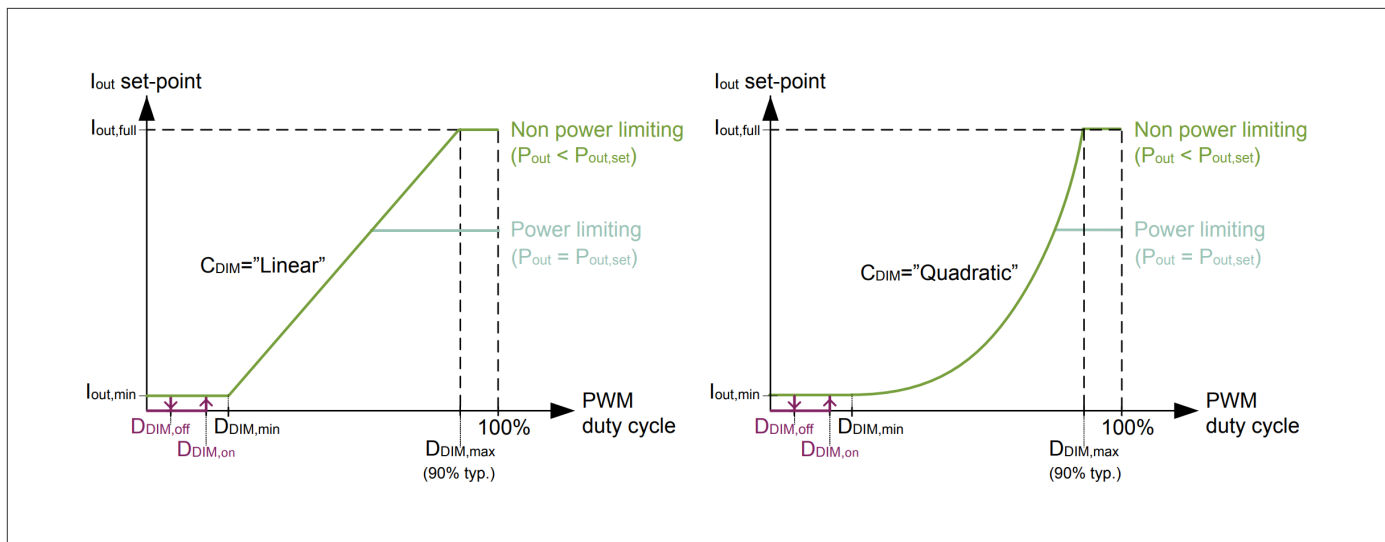


图 18 可选的调光曲线

如果 DIM_{type} 参数被配置为 "Dim (to off)"，则当测量的 PWM 占空比低于 $D_{DIM,off}$ 时，将进入调光关断以关闭光输出（见**图18**中的紫色线）。在调光关断期间，如果测得的 PWM 占空比高于 $D_{DIM,on}$ ，则进入稳压模式，打开光输出。硬件复位后，如果测得的第一个 PWM 占空比高于 $D_{DIM,off}$ ，则进入稳压模式以打开光输出。在调光关断期间，输出电压重新充电（基于 $V_{out,start}$ 参数），以测量 PWM 占空比，每 400 ms 左右的快速自动重启周期 $t_{auto,restart,fast}$ 。当 PWM 占空比在测量过程中，控制器 GD 引脚的开关频率基于 $f_{sw,DIM,DCM}$ ，典型值为 1 kHz。为了在调光关断期间实现低待机功耗，如果测量到的 PWM 占空比低于 $D_{DIM,off}$ ，就会进入睡眠模式。

注： 输出端需要有一个弱的无源泄放负载，以确保从调光到关断的正常操作。

如果 DIM_{type} 参数配置为 "Dim (without off)"，则灯输出不会关闭，当测得的 PWM 占空比低于 $D_{DIM,min}$ 或 $D_{DIM,off}$ 时，输出电流设定点基于 $I_{out,min}$ （见**图18**中的绿线）。

如果输出功率受 $P_{out,set}$ 限制，则输出电流设定点将遵循**图18**中的青色线，这将导致低于 $D_{DIM,max}$ 的无效行程延长。一旦输出电流和输出电压的乘积下降到 $P_{out,set}$ 以下，输出电流就会沿着绿色线移动，如**图18**所示。

3.8 保护功能

保护措施确保控制器在受限条件下运行。本节将介绍保护监控信号采样率、保护触发条件和保护响应。

需注意： 保护监测信号的采样精度受数字量化、元器件（包括IC）容差和间接检测计算（如基于ZCD、CS引脚信号的输入和输出电压计算）的影响，而保护电平触发精度则受采样信号精度、采样延迟、间接检测延迟（如在AC输入相位角为0°和180°附近，ZCD引脚无法检测到反射的输出电压信号）和消隐时间的影响。

3.8.1 初级 MOSFET 过流保护

V_{OCP2} 表示 CS 引脚电压电平 2，用于初级 MOSFET 过流保护。在初级主绕组短路的单一故障条件下，当 CS 引脚电压超过 V_{OCP2} 的时间超过基于 t_{CSOCP2} 参数的消隐时间时，就会触发初级 MOSFET 过流保护。

注： t_{CSOCP2} 参数默认为 240 ns。

根据 [#unique_39/unique_39_Connect_42_table_dxh_gzl_jhb](#) 自动选择 V_{OCP2} 的电平。

表 2 根据 V_{OCP1} 参数值选择 V_{OCP2} 电平

V_{OCP1} (V)	V_{OCP2} (V)
0.40 to 0.54	0.8
0.55 to 0.72	1.2
0.73 to 1.08	1.6

初级 MOSFET 过流保护的响应方式，固定为自动重启。

3.8.2 输出欠压保护

在 LED 负载电压过低或短路的情况下，输出电压会降至较低水平。通过监测基于 ZCD 引脚开关信号所计算得到的输出电压 V_{out} （详见 [输出电压计算](#)），如果满足条件，即可触发输出欠压保护。

在稳压模式下，如果计算输出电压 V_{out} 低于 V_{outUV} 参数的时间超过消隐时间 $t_{VoutUV,blank}$ 参数，则触发稳压模式输出欠压保护。

稳压模式输出欠压保护的响应方式，固定为自动重启。

注：默认情况下， V_{outUV} 固定为可配置 $V_{out,dim,min}$ 参数的 50%。 $V_{out,dim,min}$ 表示完全调光后的最小 LED 输出电压。

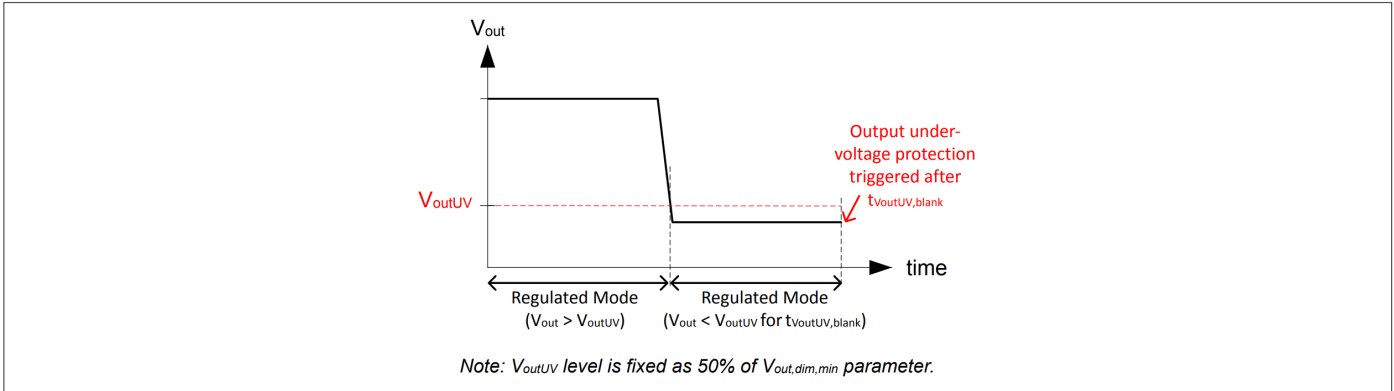


图 19 稳压模式输出欠压保护

在启动阶段，若计算得到的输出电压 V_{out} ，在 $t_{start,max}$ 参数所设定的超时周期内，持续低于 $V_{out,start}$ 参数，则启动输出欠压保护即会被触发， $t_{start,max}$ 参数是指软启动阶段和输出充电阶段的最大允许持续时间。它可以通过 VCC 电容参数 C_{VCC} 间接配置。

启动输出欠压保护的响应方式，固定为自动重启。

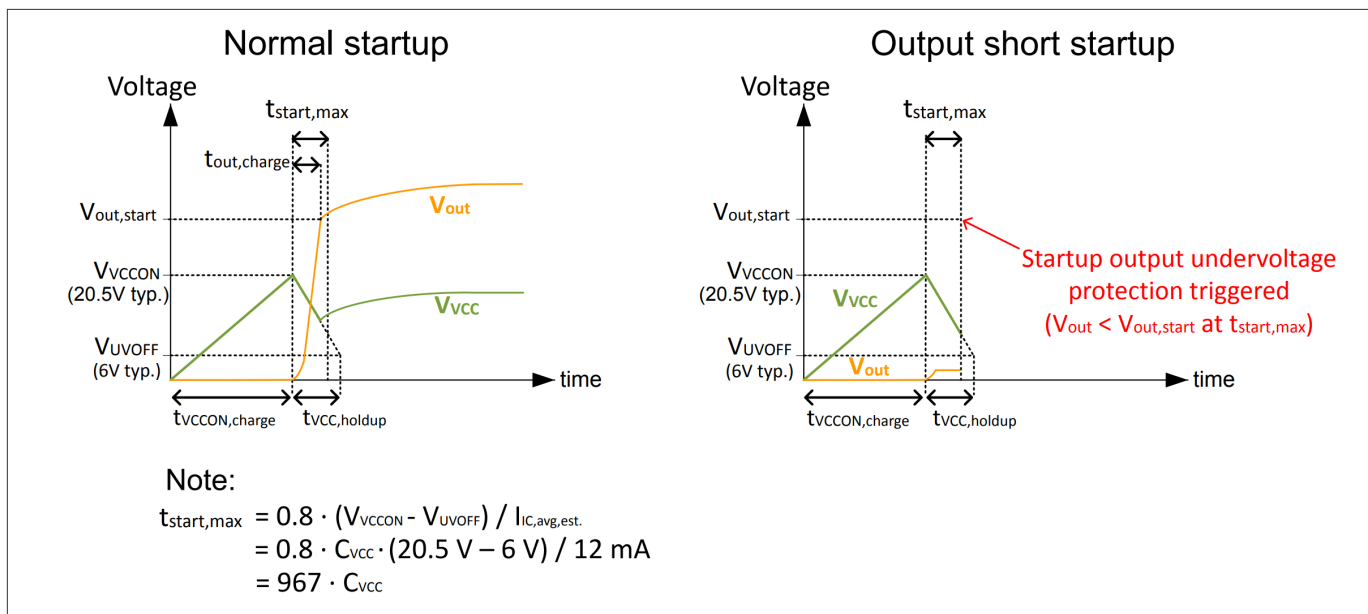


图 20 正常启动和启动输出欠压（短路）保护波形

3.8.3 输出过压保护

在输出开路的情况下，输出电压会升至较高水平。通过监测基于 ZCD 引脚开关信号所计算得到的输出电压 V_{out} （详见[输出电压计算](#)），如果满足条件，即可触发输出过压保护。

如果计算输出电压 V_{out} 高于 V_{outOV} 的时间超过消隐时间，则触发输出过压保护。

注：在**QRM1**和**DCM**中，消隐时间通常为半正弦波周期的四分之一。在**ABM**中，消隐时间可根据 $t_{VoutOV,blank,ABM}$ 参数进行配置。

注：半正弦波周期为 9.823 ms 或整流 AC 输入频率的倒数，具体取决于工作条件，详见[市电同步](#)。

输出过压保护的响应方式可根据 $Reaction_{OVP,Vout}$ 参数设置为自动重启或锁存模式。[图21](#)显示了基于自动重启反应的输出过压保护和恢复波形示例。

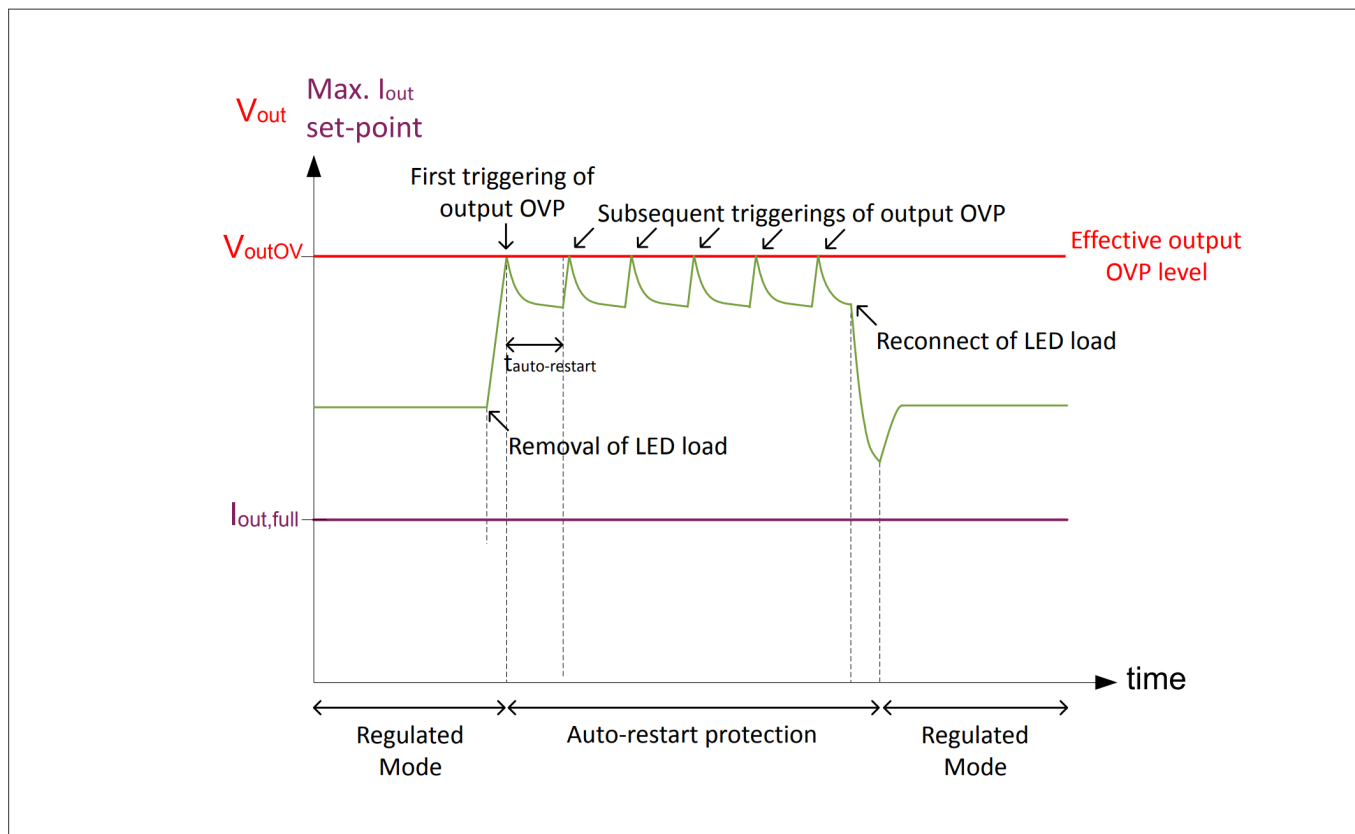


图 21 输出过压保护和恢复波形

注意： 必须确保配置的 V_{outOV} 远低于实际输出电容器的额定电压 $V_{out,cap,rating}$ ，同时所有必要的测试条件下进行实际测试时不超过 $V_{out,cap,rating}$ 。保护电平触发精度受采样信号精度、采样延迟、间接检测延迟（例如，在 AC 输入相位角为 0° 和 180° 附近，ZCD 引脚无法检测到反射的输出电压信号）和消隐时间的影响。

注意： 如果最小 ABM 开关脉冲数参数 $N_{ABM,min}$ 和最小输出电流参数 $I_{out,min}$ 的配置值都很低，则当输出电流设定点为 $I_{out,min}$ 时，输出过压保护的触发水平可能会漂移。

自适应输出过压保护电平

如图 22 所示，为了在自动重启期间获得更低的输出开路负载电压，可以使用 $EN_{adaptive,OVP,Vout}$ 参数使能自适应输出过压保护。

首次触发使能的自适应输出过压保护时，保护电平从 $V_{out,OV}$ 降至 $V_{out,OV,red}$ ，输出电流设定点最大限值从 $I_{out,full}$ 降至 $I_{out,OVP,red}$ 。

为了成功恢复输出，自动重启时的计算输出电压 V_{out} 必须低于基于 $N_{Vout,restore}$ 参数的半正弦波周期数的 $V_{out,OV,red}$ ，以便将保护电平和输出电流设定点最大限值分别恢复到 $V_{out,OV}$ 和 $I_{out,full}$ 。

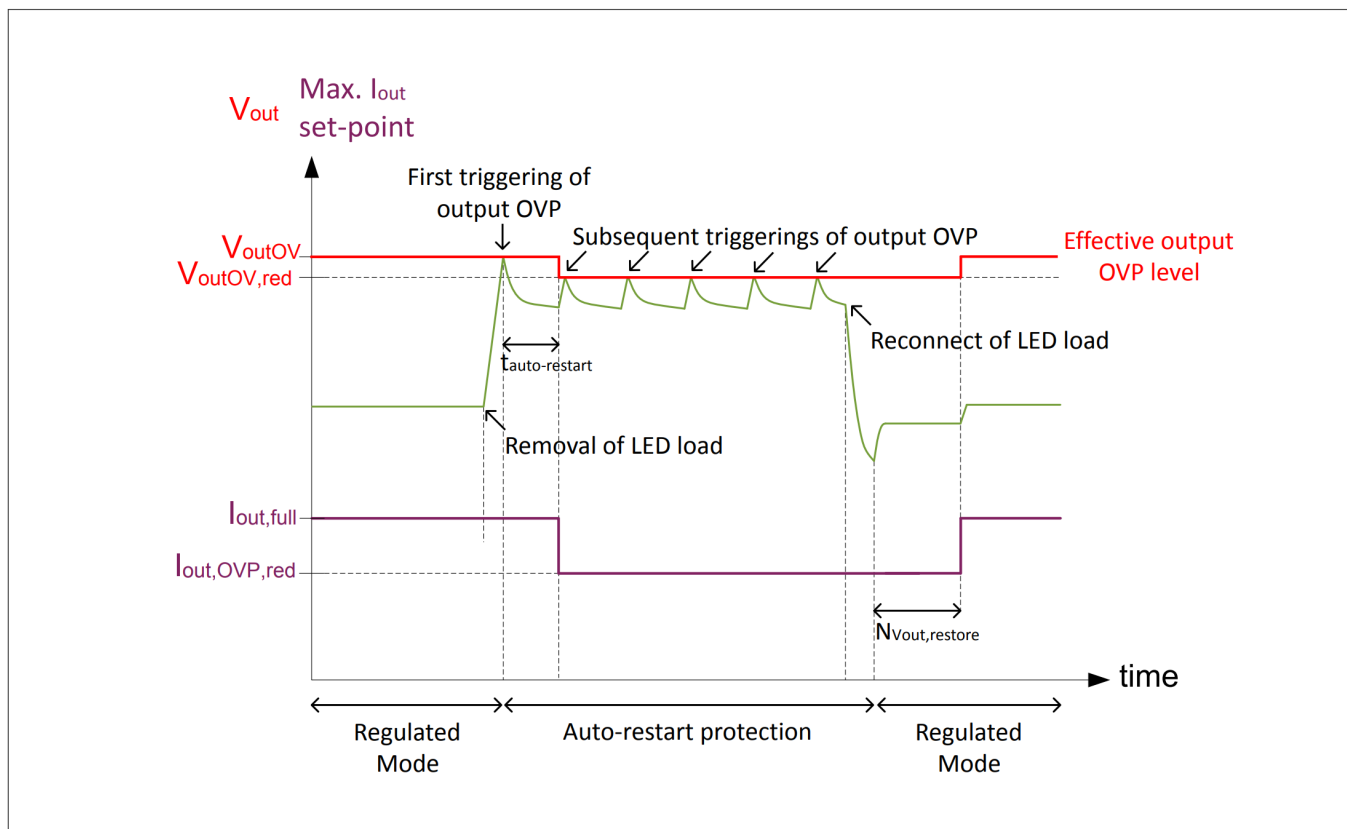


图 22 自适应输出过压保护和恢复波形

注：半正弦波周期为 9.823 ms 或整流 AC 输入频率的倒数，具体取决于工作条件，详见[市电同步](#)。

3.8.4 变压器消磁时间不足保护

如果变压器消磁时间不足，则无法通过 ZCD 引脚正确检测反射输出电压信号。如果这种状况超过半正弦波周期的 50%，保护功能将被触发。该保护的响应方式，固定为自动重启。

注：半正弦波周期为 9.823 ms 或整流 AC 输入频率的倒数，具体取决于工作条件，详见[市电同步](#)。

3.8.5 稳压模式峰值输出过流保护

通过监测基于开关信号的每个开关周期的计算平均输出电流（详见[输出电流计算](#)），在满足条件时可触发稳压模式峰值输出过流保护。

$EN_{I_{out,max,peak}}$ 参数指的是稳压模式峰值输出过流保护的使能开关。

在启动时和稳压模式下，如果 $EN_{I_{out,max,peak}}$ 参数已使能，且每个开关周期的平均输出电流高于 $I_{out,max,peak}$ 的时间长于消隐时间，则将触发稳压模式峰值输出电流保护。消隐时间基于 $I_{out,max,peak,blank}$ 参数设定。

稳压模式峰值输出过流保护的响应方式，固定为自动重启。自动重启速度可根据 $Speed_{OCP,I_{out}}$ 参数进行配置：

- 如果 $Speed_{OCP,I_{out}}$ 配置为 "fast"，自动重启时间约为 0.4 秒。
- 如果 $Speed_{OCP,I_{out}}$ 配置为 "slow"，则自动重启时间基于可配置的 $t_{auto,restart}$ 时间参数

3.8.6 最低输入电压启动检查和输入欠压保护

通过监测根据 ZCD 引脚和 CS 引脚开关信号计算的输入电压 V_{in} （详见[输入电压计算](#)），可执行最低输入电压启动检查，如果满足条件，则可触发输入欠压保护。

$EN_{UVP,In}$ 参数是指最小输入电压启动检查的使能开关（基于 $V_{in,start,min}$ ）和输入欠压保护（基于 V_{inUV} ）。

注： $V_{in,start,min}$ 参数指启动时的最小输入电压电平，而 V_{inUV} 参数指输入欠压保护电平。

在预启动检查期间，如果 $EN_{UVP,In}$ 参数已使能，且计算输入电压 V_{in} 低于 $V_{in,start,min}$ ，则不进入启动阶段，并执行自动重启的保护响应。

在启动时和稳压模式下，如果使能 $EN_{UVP,In}$ 参数，且计算输入电压 V_{in} 低于 V_{inUV} 的时间超过消隐时间，则将触发输入欠压保护。输入欠压保护的消隐时间典型值为 10 个半正弦波周期。

注： 半正弦波周期为 9.823 ms 或整流 AC 输入频率的倒数，具体取决于工作条件，详见[市电同步](#)。

输入欠压保护的响应方式，固定为自动重启。

3.8.7 最高输入电压启动检查和输入过压保护

通过监测根据 ZCD 引脚和 CS 引脚开关信号计算的输入电压 V_{in} （详见[输入电压计算](#)），可执行最高输入电压启动检查，如果满足条件，则可触发输入过压保护。

$EN_{OVP,In}$ 参数指的是最高输入电压启动检查（基于 $V_{in,start,max}$ ）和输入过压保护（基于 V_{inOV} ）的使能开关。

注： $V_{in,start,max}$ 参数指启动时的最高输入电压电平，而 V_{inOV} 参数指输入过压保护电平。

在预启动检查期间，如果 $EN_{OVP,In}$ 参数已使能，且计算输入电压 V_{in} 高于 $V_{in,start,max}$ ，则不进入启动阶段，并执行自动重启的保护响应。

在启动时和稳压模式下，如果使能 $EN_{OVP,In}$ 参数，且计算输入电压 V_{in} 高于 V_{inOV} 的时间超过消隐时间，则将触发输入过压保护。输入过压保护的消隐时间典型值为 1 个半正弦波周期。

注： 半正弦波周期为 9.823 ms 或整流 AC 输入频率的倒数，具体取决于工作条件，详见[市电同步](#)。

输入过压保护的响应方式，固定为自动重启。

3.8.8 VCC 欠压锁定

[欠压锁定\(UVLO\)](#) 是在硬件中实现的。该功能基于 VCC 引脚上工作电源电压 V_{VCC} 的既定阈值进行操作，来确保 IC 的使能和禁用。

UVLO 包含一个滞回，电压阈值 V_{VCCon} 用于使能控制器， V_{UVOff} 用于禁用控制器。一旦施加主输入电压，电流就会通过外部电阻，经由集成耗尽型启动单元和二极管流向进入 HV 引脚，并流向 VCC 引脚。一旦 V_{VCC} 超过 V_{VCCon} 阈值，控制器就会使能，然后 V_{VCC} 开始下降。为实现正常启动， V_{VCC} 电源应在 V_{VCC} 下降到 V_{UVOff} 之前由外部电源或通过辅助绕组自供电接管。

3.8.9 VCC 过压保护

如果采样的 VCC 电压高于 VCC 过压保护电平 $V_{VCC,max}$ ，则会触发 VCC 过压保护。VCC 过压保护响应被固定为自动重启。

VCC 电压每 7 个半正弦波周期采样一次。

注：半正弦波周期为 9.823 ms 或整流 AC 输入频率的倒数，具体取决于工作条件，详见 [市电同步](#)。

3.8.10 IC 过温保护

如果采样的 IC 结温 T_j 高于 $T_{critical}$ 参数，则会触发 IC 过温保护。保护响应被固定为自动重启，而启动和重启时的最高结温 $T_{start,max}$ 比 $T_{critical}$ 低 4 °C。

IC 结温 T_j 每 7 个半正弦波周期采样一次。

注：半正弦波周期为 9.823 ms 或整流 AC 输入频率的倒数，具体取决于工作条件，详见 [市电同步](#)。

注意： 当工作结温高于 125°C 时，不保证 IC 的使用寿命，如果 $T_{critical}$ 配置高于 119°C，温度检测容差为 $\pm 6^\circ\text{C}$ ，则有可能出现这种情况。

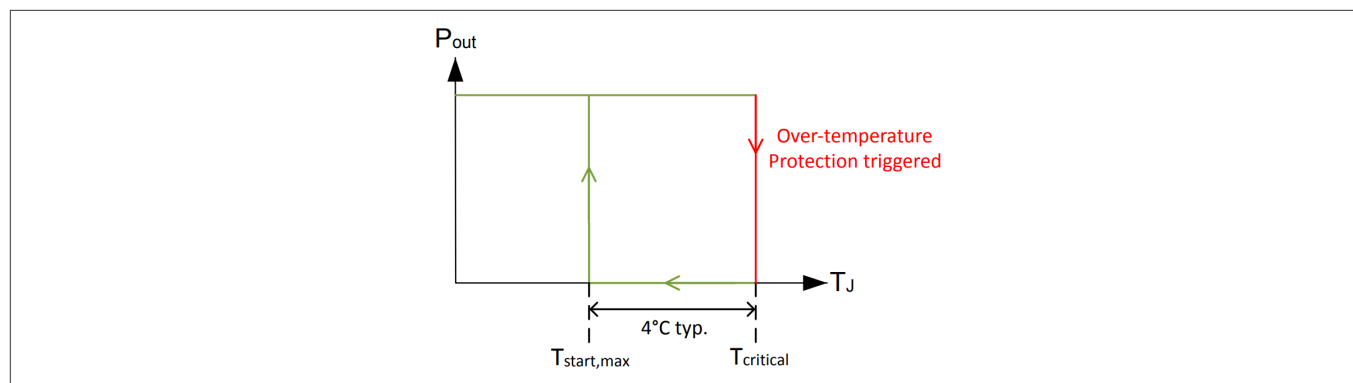


图 23 IC过温保护

3.8.11 其他保护

- 硬件弱上拉可防止 CS 引脚开路。这种保护的响应方式是自动重启。
- 如果 ADC 硬件无法在规定时间内提供所有必要信息，固件看门狗就会触发保护。如果超过 ADC 的时序要求，可能会出现这种情况。这种保护的响应方式是快速自动重启。
- 硬件看门狗可检查固件的正确执行情况。如果固件在规定时间内未对看门狗提供服务，则会触发保护。这种保护的响应方式是自动重启。
- 如果存储器中的某个位发生了意外变化，硬件奇偶校验就会触发保护。这种保护的响应方式是自动重启。
- 每次启动时，固件 [循环冗余校验](#) 验证固件和参数的完整性。这种保护的响应方式是停止模式。
- 如果固件任务未按预期执行，固件任务执行看门狗会触发保护。这种保护的响应方式是自动重启。

- 如果启动时可配置参数值为空，则会触发保护。这种保护的响应方式是停止模式。
- 如果在启动时没有从 ZCD 引脚检测到反射输入电压信号，则会触发保护。该保护的响应方式是停止模式。

3.8.12 保护响应

保护响应（不包括硬件重启反应）的序列如下：

1. 触发保护后，栅极驱动器将在最长不超过半正弦波周期的 $1/512$ 的时间内被禁用。

注：半正弦波周期为 9.823 ms 或整流 AC 输入频率的倒数，具体取决于工作条件，详见 [市电同步](#)。

2. 具体的响应方式，取决于所触发的保护类型：

- 如果在锁存模式下，应用程序此时将进入锁存模式。在 V_{CC} 电压降至 V_{UVOFF} 以下之前，不会执行进一步的动作。
- 如果发生自动重启响应，控制器将进入省电模式 PSMD2，自动重启时间基于 $t_{\text{auto, restart}}$ （重启）参数确定。
- 如果发生快速自动重启响应，控制器将进入省电模式 PSMD2，快速自动重启时间为 0.4 秒。

注：对于锁存模式、自动重启和快速自动重启这几种响应方式，内部高压启动单元会在此序列期间自动使能和禁用，以便将 V_{CC} 电压保持在 V_{UVLO} 和 V_{OVLO} 阈值之间。

注：对于停止模式，如果 V_{CC} 没有外部电压供应， V_{CC} 电压将下降至 V_{UVOFF} ，并执行硬件重启。

3. 在（快速）自动重启时间结束后，控制器会执行一个持续时间为 t_{pw} 的单次放电脉冲。该脉冲对桥式整流器后的电容进行部分放电，以提高下一次启动前输入电压检查的准确性。
4. 任何自动重启都可能包括一个新的 V_{CC} 充电周期。通过 HV 引脚电流对 V_{CC} 重新充电所需的时间，取决于（快速）自动重启时间结束时的输入电压电平及 V_{CC} 。
5. 功率级将使能其栅极驱动器，进行启动前检查。如果启动前检查的条件符合要求，则进入启动阶段，随后进入稳压模式。在此期间如果触发了任何保护，则保护响应序列（不包括硬件重启反应）从上述步骤 1 重新开始。

4 调试模式

如果在测试过程中触发了意外的系统保护，可以使能 $Debug_{\text{Mode}}$ 参数，在保护触发时进入停止模式（ V_{CC} 欠压锁定除外），读出固件状态代码。例如，在 [图24](#) 中，[GUI](#) 中的固件状态代码读数显示为 0040_H （红色），表明输入欠压保护已触发。

注：如果没有触发保护，固件状态代码应为 0000_H （黑色）。

注： $Debug_{\text{Mode}}$ 参数只能在调试时使能。实际运行应用程序时，必须禁用该参数。

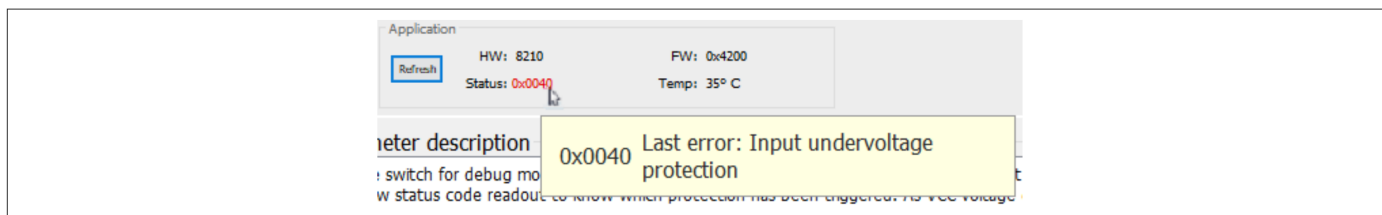


图 24 用于调试的固件状态代码读数

可参见设计指南，了解在调试模式下读取固件状态代码程序的推荐设置及操作步骤。

参数列表

5 参数列表

该列表提供了有关可配置参数和固定参数的信息。

本文档使用符号提升公式的可读性。由于某些工具不支持这种格式，因此使用下划线将符号转换为纯文本。

例如，参数 $f_{sw,max}$ 转换为 f_sw_max 。

所有参数值均为典型设置。精度可能会因数字量化和容差而有所变化。

注： 默认情况下，英飞凌新XDPL8210 芯片的可配置参数为空，因此有必要在进行任何应用测试之前通过UART 引脚对其进行数字配置。

可配置参数列表

表 3 可配置的输出设定点参数

Symbol	Basic description	Example	Minimum value	Maximum value
$I_{out,full}$	Steady-state maximum output current set-point	830 mA	Refer GUI	Refer GUI
$P_{out,set}$	Steady-state maximum output power limit set-point	34.5 W	Refer GUI	Refer GUI

表 4 可配置的调光参数

Symbol	Basic description	Example	Minimum value	Maximum value
DIM_{type}	Dimming type via PWM pin	Dim (to off)	- Non-dim - Dim (without off) - Dim (to off)	
$I_{out,min}$	Minimum output current set-point	41.5 mA	Refer GUI	$I_{out,full}$
C_{DIM}	Shape of the dimming curve	Linear	- Linear - Quadratic	
PWM_{type}	PWM type	Inverted	- Normal - Inverted	
$f_{PWM,max}$	Maximum switching frequency of PWM dimming signal	1050 Hz	$f_{PWM,min}$	2000 Hz
$f_{PWM,min}$	Minimum switching frequency of PWM dimming signal	950 Hz	500 Hz	$f_{PWM,max}$
$D_{DIM,max}$	PWM duty cycle level for maximum output current	90%	$D_{DIM,min}$	Refer GUI
$D_{DIM,min}$	PWM duty cycle level for minimum output current	15%	$D_{DIM,off}$	$D_{DIM,max}$
$D_{DIM,on}$	PWM duty cycle level for exiting dim-to-off	11%	$D_{DIM,off}$	$D_{DIM,min}$
$D_{DIM,off}$	PWM duty cycle level for entering dim-to-off	10%	Refer GUI	$D_{DIM,min}$
$PWM_{Duty,hyst}$	Hysteresis level for PWM duty cycle jittering suppression	0.1%	0%	2%

参数列表

表 5 可配置的硬件配置参数

Symbol	Basic description	Example	Minimum value	Maximum value
N_p	Transformer primary main winding turns	58	1	300
N_s	Transformer secondary main winding turns	17	1	300
N_a	Transformer primary auxiliary winding turns	15	1	300
L_p	Transformer primary main winding inductance	0.566 mH	Refer GUI	3 mH
R_{cs}	Current sense resistor value	0.22 Ω	0.1 Ω	3 Ω
$R_{ZCD,1}$	ZCD series resistor	56.2 k Ω	Refer GUI	255 k Ω
$R_{ZCD,2}$	ZCD shunt resistor	2.7 k Ω	Refer GUI	Refer GUI
$V_{CC, supply}$	VCC voltage supply	Wide	- Wide - Narrow - External	
C_{VCC}	VCC capacitor value	15 μ F	Refer GUI	100 μ F
$V_{out, cap, rating}$	Output capacitor voltage rating	80 V	10 V	450 V
R_{HV}	HV series resistor	100 k Ω	Refer GUI	255 k Ω
$I_{GD, pk}$	Gate driver peak source current	30 mA	30 mA	118 mA
$PWM_{R, pull, up}$	PWM pin internal pull up resistor	2.25 k Ω	2.25 k Ω to 30 k Ω , or Disabled	

表 6 可配置的启动参数

Symbol	Basic description	Example	Minimum value	Maximum value
n_{ss}	Number of soft start steps	20	1	20
$V_{out, dim, min}$	Minimum output voltage when fully dimmed	12 V	$V_{out, start}$	$V_{out, OV}$
$V_{out, start}$	Output charging phase output voltage set-point	10.5 V	50% of $V_{out, dim, min}$	$V_{out, dim, min}$
$V_{start, OCP1}$	Output charging phase CS pin voltage level 1 for MOSFET max. current cycle by cycle limit	0.5 V	Refer GUI	V_{OCP1}
$V_{OCP1, init}$	Initial CS pin voltage level 1 for MOSFET max. current limit on the input voltage measurement pulse before startup	0.3 V	Refer GUI	V_{OCP1}

表 7 可配置的保护参数

Symbol	Basic description	Example	Minimum value	Maximum value
$t_{auto, restart}$	Auto-restart time	1.6 s	0.4 s	4.0 s
V_{OCP1}	Regulated mode CS pin voltage level 1 for MOSFET max. current cycle by cycle limit	0.5 V	Refer GUI	1.08 V
$Reaction_{OVP, V_{out}}$	Output overvoltage protection reaction	Auto-restart	Auto-restart	Latch-Mode
$V_{out, OV}$	Output overvoltage protection level	56.9 V	$V_{out, dim, min}$	Refer GUI

(表格续下页.....)

表 7 (续) 可配置的保护参数

Symbol	Basic description	Example	Minimum value	Maximum value
$t_{VoutOV,blank,ABM}$	Output overvoltage protection blanking time in ABM	0.5 ms	0.2 ms	5.0 ms
$EN_{adaptive,OVP,Vout}$	Enable switch for adaptive output overvoltage protection level	Enabled	Enabled	Disabled
$V_{outOV,red}$	Output overvoltage protection level applied during auto-restart when the last triggered protection is output overvoltage protection with $EN_{adaptive,OVP,Vout}$ enabled.	51.3 V	$V_{out,dim,min}$	V_{outOV}
$I_{out,OVP,red}$	Output current set point max. limit applied during auto-restart when the last triggered protection is output overvoltage protection with $EN_{adaptive,OVP,Vout}$ enabled.	41.5 mA	$I_{out,min}$	$I_{out,full}$
$N_{Vout,restore}$	Blanking time for output voltage below $V_{outOV,red}$ to exit output overvoltage protection with $EN_{adaptive,OVP,Vout}$ enabled.	500	0	5000
$t_{VoutUV,blank}$	Blanking time for regulated mode output undervoltage protection	40 ms	40 ms	1000 ms
$EN_{Iout,max,peak}$	Enable switch for peak output overcurrent protection	Enabled	Enabled	Disabled
$I_{out,max,peak}$	Peak output overcurrent protection level	2100 mA	Refer GUI	Refer GUI
$t_{Iout,max,peak,blank}$	Blanking time for peak output overcurrent protection	1 ms	0 ms	5 ms
$Speed_{OCP,Iout}$	Auto-restart speed for peak output overcurrent protection	Fast	Slow	Fast
$EN_{OVP,In}$	Enable switch for maximum input voltage startup check and input overvoltage protection	Enabled	Enabled	Disabled
$EN_{UVP,In}$	Enable switch for minimum input voltage startup check and input undervoltage protection	Enabled	Enabled	Disabled
V_{inOV}	Input overvoltage protection level (rms in case of AC input)	352 V _{rms}	$V_{in,start,max}$	Refer GUI
$V_{in,start,max}$	Maximum input voltage level at startup (rms in case of AC input)	326 V _{rms}	$V_{in,start,min}$	V_{inOV}
$V_{in,start,min}$	Minimum input voltage level at startup (rms in case of AC input)	80 V _{rms}	V_{inUV}	Refer GUI
V_{inUV}	Input undervoltage protection level (rms in case of AC input)	63 V _{rms}	Refer GUI	$V_{in,start,min}$
$T_{critical}$	Temperature threshold for IC overtemperature protection	119°C	Refer GUI	143°C
$Debug_{Mode}$	Enable switch for debug mode	Disabled	Enabled	Disabled

参数列表

表 8 可配置的多模参数

Symbol	Basic description	Example	Minimum value	Maximum value
$f_{sw,max}$	Maximum switching frequency for QRM1 and DCM	70 kHz	20 kHz	Refer GUI
$N_{DCM,mod,gain}$	Switching period modulation attenuation	16	0 (disabled), 4, 8, 16, 32	
$t_{on,min}$	Minimum on-time $t_{on,min}(V_{in})$ value when $t_{on,min}, V_{out,sense}(V_{in})$ is lower than $t_{on,min}$	2 μ s	Refer GUI	$t_{on,max}$
$t_{min,demag}$	Minimum transformer demagnetizing time value used for $t_{on,min}, V_{out,sense}(V_{in})$ variable calculation internally	3 μ s	3 μ s	Refer GUI
$t_{on,max}$	Maximum on-time	11.5 μ s	Refer GUI	30 μ s
$f_{sw,min,DCM}$	Minimum switching frequency in DCM	20 kHz	Refer GUI	20 kHz
EN_{ABM}	Enable switch for ABM	Enabled	Enabled	Disabled
$N_{ABM,min}$	Minimum number of pulses per burst	11	4	Refer GUI
$N_{ABM,init,V_{in}UV}$	Initial number of pulses per burst when EN_{ABM} is enabled and V_{in} is near to input undervoltage protection level V_{inUV}	132	$N_{ABM,min}$	Refer GUI
$V_{in,high}$	Input voltage level which when exceeded, the initial number of pulses per burst is fixed as $N_{ABM,min}$ if EN_{ABM} is enabled	277 V_{rms}	$V_{in,start,min}$	V_{inOV}

表 9 可配置的控制回路响应参数

Symbol	Basic description	Example	Minimum value	Maximum value
$K_{P,QRM}$	Proportional gain of control loop in QRM1	512	10	3000
$K_{I,QRM}$	Integral gain of control loop in QRM1	32	1	1000
$K_{P,DCM}$	Proportional gain of control loop in DCM	2048	100	30000
$K_{I,DCM}$	Integral gain of control loop in DCM	512	10	10000
$K_{P,ABM}$	Proportional gain of control loop in ABM	128	1	600
$K_{I,ABM}$	Integral gain of control loop in ABM	32	1	200
$ABM_{thrs,multiplier}$	Minimum set-point error threshold multiplier to activate control loop response in ABM	3	0	10

表 10 功率因数校正参数

Symbol	Basic description	Example	Minimum value	Maximum value
C_{EMI}	Input current displacement compensation gain parameter for enhanced PFC	0.1 μ F	0 μ F	1 μ F

表 11 可配置的微调参数

Symbol	Basic description	Example	Minimum value	Maximum value
$t_{ZCD,PD}$	ZCD pin propagation delay compensation parameter	270 ns	0 ns	1000 ns

(表格续下页.....)

参数列表

表 11 (续) 可配置的微调参数

Symbol	Basic description	Example	Minimum value	Maximum value
t_{zcddel}	Rising edge delay of ZCD signal after gated turn off	380 ns	0 ns	1000 ns
t_{PDC}	CS pin propagation delay compensation parameter	200 ns	0 ns	1000 ns
$K_{coupling}$	Transformer coupling coefficient parameter	0.96	0	2
$G_{out,loss}$	Auxiliary loss compensation parameter	11.9 Ω	0 mS	2 mS
R_{in}	DC link filter capacitor voltage ripple compensation parameter to improve input voltage estimation accuracy	11.0 Ω	0 Ω	30 Ω

表 12 可配置的用户 ID 参数

Symbol	Basic description	Example	Minimum value	Maximum value
$User_{ID,A}$	User ID A	1018	0	65535

固定参数列表

表 13 硬件配置的固定参数

Symbol	Basic description	Default	Minimum value	Maximum value
$L_{p,lk}$	Transformer primary leakage inductance	1% of L_p	-	-
V_d	Secondary main output diode forward voltage assumption for output voltage estimation	0.7 V	-	-
V_{GD}	GD pin peak voltage	12 V	-	-

表 14 启动时的固定参数

Symbol	Basic description	Default	Minimum value	Maximum value
t_{ss}	Soft start time step	0.5 ms or $3.2/t_{ss}$, whichever is lower	-	-

表 15 保护的固定参数

Symbol	Basic description	Default	Minimum value	Maximum value
V_{outUV}	Regulated mode output undervoltage protection level	$V_{out,dim,min} / 2$	-	-
$V_{VCC,max}$	VCC overvoltage protection level	24 V	-	-
$T_{start,max}$	Maximum IC junction temperature for startup	$T_{critical}-4^{\circ}\text{C}$	-	-
$t_{blank,Vin,OV}$	Blanking time for input overvoltage threshold	$1/(2f_{line})$	-	-
$t_{blank,Vin,UV}$	Blanking time for input undervoltage threshold	$10/(2f_{line})$	-	-

表 16 多模固定参数

Symbol	Basic description	Default	Minimum value	Maximum value
$f_{sw,min,QRM}$	Minimum switching frequency in QRM1	20 kHz	-	-
$f_{DCM,init,VinUV}$	Initial DCM switching frequency when EN_{ABM} is disabled and V_{in} is near to input undervoltage protection level V_{inUV}	20 kHz	-	-

表 17 其他固定参数

Symbol	Basic description	Default	Minimum value	Maximum value
$t_{CS,LEB}$	CS leading edge blanking time	480 ns	-	-
t_{CSOCP2}	MOSFET overcurrent protection blanking time	240 ns	-	-
$t_{ZCD,ring}$	ZCD ringing suppression	1200 ns	-	-
$t_{blank,CCM}$	Blanking time for protection	10 ms	-	-
t_{pw}	Discharge pulse duration	1.5 μ s	-	-

6 电气特性及参数

所有信号都是相对于接地引脚 GND 测量的。在其他各项额定参数均未超限的前提下，电压电平有效。

6.1 封装特性

表 18 封装特性

Parameter	Symbol	Limit Values		Unit	Remarks
		min	max		
Thermal resistance for PG- DSO-8-58	R _{thJA}	—	178	K/W	JEDEC 1s0p for 140 mW power dissipation

6.2 绝对最大额定值

注意： 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。
最大额定值是绝对额定值；超过其中一个值可能会对集成电路造成不可逆转的损坏。这些值在生产测试期间没有经过测试。

表 19 绝对最大额定值

Parameter	Symbol	Limit Values		Unit	Remarks
		min	max		
Voltage externally supplied to pin VCC	V _{VCCEXT}	-0.5	26	V	voltage that can be applied to pin VCC by an external voltage source
Voltage at pin GDx	V _{GDx}	-0.5	V _{VCC} + 0.3	V	if gate driver is not configured for digital I/O
Junction temperature	T _J	-40	125	°C	max. operating frequency 66 MHz f _{MCLK}
Junction temperature	T _J	-40	150 ¹⁾	°C	f _{sw,max} ≤ 136 kHz
Storage temperature	T _S	-55	150	°C	
Soldering temperature	T _{SOLD}	—	260	°C	Wave Soldering ²⁾
Latch-up capability	I _{LU}	—	150	mA	³⁾ Pin voltages acc. to abs. max. ratings
ESD capability HBM	V _{HBM}	—	1500	V	⁴⁾ ⁵⁾
ESD capability CDM	V _{CDM}	—	500	V	⁶⁾

(表格续下页.....)

- 1 结温高于 125°C 时，低输入电压条件下自动重启可能会延迟。当 IC 工作结温高于 125°C 时，不保证使用寿命。
- 2 根据 JESD22-A111 Rev A。
- 3 闩锁能力符合 JEDEC JESD78D 标准，T_A = 85°C。
- 4 ESD-HBM 符合 ANSI/ESDA/JEDEC JS-001-2012。
- 5 产品和封装的特定额定值，最高可达 2000 V
- 6 ESD-CDM 符合 JESD22-C101F 标准。

表 19 (续) 绝对最大额定值

Parameter	Symbol	Limit Values		Unit	Remarks
		min	max		
Input Voltage Limit	V _{IN}	-0.5	3.6	V	Voltage externally supplied to pins GPIO, MFIO, CS, ZCD, GPIO, VS, GDx (if GDx is configured as digital I/O). (If not stated different)
Maximum permanent negative clamping current for ZCD and CS	-I _{CLN_DC}	—	2.5	mA	RMS
Maximum transient negative clamping current for ZCD and CS	-I _{CLN_TR}	—	10	mA	pulse < 500ns
Maximum negative transient input voltage for ZCD	-V _{IN_ZCD}	—	1.5	V	pulse < 500ns
Maximum negative transient input voltage for CS	-V _{IN_CS}	—	3.0	V	pulse < 500ns
Maximum permanent positive clamping current for CS	I _{CLP_DC}	—	2.5	mA	RMS
Maximum transient positive clamping current for CS	I _{CLP_TR}	—	10	mA	pulse < 500ns
Maximum current into pin VIN	I _{AC}	—	10	mA	for charging operation
Maximum sum of input clamping high currents for digital input stages of device	I _{CLH_sum}	—	300	μA	limits for each individual digital input stage have to be respected
Voltage at HV pin	V _{HV}	-0.5	600	V	

6.3 工作条件

DC电气特性有效的推荐工作条件如图所示。

表 20 工作范围

Parameter	Symbol	Limit Values		Unit	Remarks
		min	max		
Ambient temperature	T _A	-40	85	°C	
Junction Temperature	T _J	-40	125	°C	max. 66 MHz f _{MCLK}
Lower VCC limit	V _{VCC}	V _{UVOFF}	—	V	device is held in reset when V _{VCC} < V _{UVOFF}
Voltage externally supplied to VCC pin	V _{VCCEXT}	—	24	V	maximum voltage that can be applied to pin VCC by an external voltage source
Gate driver pin voltage	V _{GD}	-0.5	V _{VCC} + 0.3	V	
Line frequency	f _{line}	45	66	Hz	

6.4 DC 电气特性

电气特性提供了在指定电源电压和结温范围 (T_J 为 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 至 $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$) 内适用的各种数值。

器件在 $T_A = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下进行生产测试。这些数值已通过仿真模型或高达 $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的器件特性验证。

典型值代表 $T_A = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的中值。所有电压参考GND，如无特殊说明，假定电源电压为 $V_{VCC} = 18\text{ V}$ 。

注：并非表中给出的所有数值都在生产测试中进行了测试。未测试的值会明确标出。

表 21 供电特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
VCC_ON threshold	V_{VCCon}	—	V_{SELF}	—	V	Self-powered startup (default)
VCC_ON_SELF threshold	V_{SELF}	19	20.5	22	V	$dV_{VCC}/dt = 0.2\text{ V/ms}$
VCC_ON_SELF delay	t_{SELF}	—	—	2.1	μs	Reaction time of V_{VCC} monitor
VCC_UVOFF current	$I_{VCCUVOFF}$	5	20	40	μA	$V_{VCC} < V_{SELF}(\text{min}) - 0.3\text{ V}$ or $V_{VCC} < V_{EXT}(\text{min}) - 0.3\text{ V}$ 7)
UVOFF threshold	V_{UVOFF}	—	6.0	—	V	$\text{SYS_CFG0.SELUVTHR} = 0\text{ }0_B$
UVOFF threshold tolerance	$\Delta UVOFF$	—	—	± 5	%	This value defines the tolerance of V_{UVOFF}
UVOFF filter constant	t_{UVOFF}	600	—	—	ns	1V overdrive
UVLO (UVWAKE) threshold	V_{UVLO}	—	$V_{UVOFF} \cdot 1.25$	—	V	
UVWAKE threshold tolerance	$\Delta UVLO$	—	—	± 5	%	This value defines the tolerance of V_{UVLO}
UVLO (UVWAKE) filter constant	t_{UVLO}	0.6	—	2.2	μs	1 V overdrive
OVLO (OVWAKE) threshold	V_{OVLO}	—	V_{SELF}	—	V	
OVLO (OVWAKE) filter constant	t_{OVLO}	0.6	—	2.4	μs	1 V overdrive
VDDP voltage	V_{VDDP}	3.04	3.20	3.36	V	At PMD0/PSMD1. Some internal values refer to V_{VDDP} / V_{VDDA} and V_{VDDPPS} / V_{VDDAPS} respectively.

(表格续下页.....)

7 测试电压为 $V_{VCC} = 5.5\text{ V}$

表 21 (续) 供电特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
VDDA voltage	V _{VDDA}	3.20	3.31	3.42	V	At PMD0/PSMD1. Some internal values refer to V _{VDDP} / V _{VDDA} and V _{VDDPPS} / V _{VDDAPS} respectively.
Nominal range 0% to 100%	V _{ADCVCC}	0	—	V _{REF}	V	$V_{ADCVCC} = 0.09 \cdot V_{VC}^{8)}$
Reduced VCC range for ADC measurement	R _{ADCVCC}	8	—	92	%	⁹⁾¹⁰⁾
Maximum error for ADC measurement (8-bit result)	TET _{0VCC}	—	—	3.8	LSB ₈	
Maximum error for ADC measurement (8-bit result)	TET _{256VCC}	—	—	5.2	LSB ₈	
Gate driver current consumption excl. gate charge current	I _{VCCGD}	—	0.26	0.35	mA	T _j ≤ 125°C
VCC quiescent current in PMD0	I _{VCCPMD0}	—	3.5	4.7	mA	All registers have reset values, clock is active, CPU is stopped
VCC quiescent current in PSMD2	I _{VCCPSMD2}	—	0.3	0.48	mA	T _j ≤ 85 °CWU_PWD_CFG = 2C _H
VCC quiescent current in PSMD2	I _{VCCPSMD2}	—	—	1.2	mA	T _j ≤ 125 °CWU_PWD_CFG = 2C _H
VCC quiescent current in power saving mode PSDM4 with standby logic active	I _{VCCPSMD4}	—	0.13	0.18	mA	T _j ≤ 125 °C WU_PWD_CFG = 00 _H

表 22 GD 引脚的电气特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
Input clamping current, low	-I _{CLL}	—	—	100	μA	only digital input
Input clamping current, high	I _{CLH}	—	—	100	μA	only digital input

(表格续下页.....)

8 理论最小值, 实际最小值与 V_{UVOFF} 阈值有关。

9 运行值。

10 注意, 如果 V_{VCC} < V_{UOFF}, 系统将关闭。

表 22 (续) GD 引脚的电气特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
APD low voltage (active pull-down while device is not powered or gate driver is not enabled)	V _{APD}	—	—	1.6	V	I _{GD} = 5 mA
R _{PPD} value	R _{PPD}	—	600	—	kΩ	Permanent pull-down resistor inside gate driver
R _{PPD} tolerance	Δ _{PPD}	—	—	±25	%	Permanent pull-down resistor inside gate driver
Driver output low impedance	R _{GD} L	—	—	7.0	Ω	T _J ≤ 125 °C, I _{GD} = 0.1 A
Nominal output high voltage in PWM mode	V _{GDH}	—	12	—	V	GDx_CFG.VOL = 2, I _{GDH} = -1 mA
Output voltage tolerance	ΔV _{GDH}	—	—	±5	%	Tolerance of programming options if V _{GDH} > 10 V, I _{GDH} = -1 mA
Rail-to-rail output high voltage	V _{GDHRR}	V _{VCC} - 0.5	—	V _{VCC}	V	If V _{VCC} < programmed V _{GDH} and output at high state
Output high current in PWM mode for GD0	-I _{GDH}	—	100	—	mA	GDx_CFG.CUR = 8
Output high current tolerance in PWM mode	ΔI _{GDH}	—	—	±15	%	Calibrated 11)
Discharge current for GD0	I _{GDDIS}	800	—	—	mA	V _{GD} = 4 V and driver at low state
Output low reverse current	-I _{GDREVL}	—	—	100	mA	Applies if V _{GD} < 0 V and driver at low state
Output high reverse current in PWM mode	I _{GDREVL}	—	1/6 of I _{GDH}	—	—	Applies if V _{GD} > V _{GDH} + 0.5 V (typ) and driver at high state

表 23 CS 引脚的电气特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
Input voltage operating range	V _{INP}	-0.5	—	3.0	V	

(表格续下页.....)

¹¹ 指 GDx_CFG.CUR = 16

表 23 (续) CS 引脚的电气特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
OCP2 comparator reference voltage, derived from V_{VDDA} , given values assuming $V_{VDDA} = V_{VDDA,typ}$	V_{OCP2}	—	1.6	—	V	SYS_CFG0.OCP2 = 00 _B
OCP2 comparator reference voltage, derived from V_{VDDA} , given values assuming $V_{VDDA} = V_{VDDA,typ}$	V_{OCP2}	—	1.2	—	V	SYS_CFG0.OCP2 = 01 _B
OCP2 comparator reference voltage, derived from V_{VDDA} , given values assuming $V_{VDDA} = V_{VDDA,typ}$	V_{OCP2}	—	0.8	—	V	SYS_CFG0.OCP2 = 10 _B
OCP2 comparator reference voltage, derived from V_{VDDA} , given values assuming $V_{VDDA} = V_{VDDA,typ}$	V_{OCP2}	—	0.6	—	V	SYS_CFG0.OCP2 = 11 _B
Threshold voltage tolerance	ΔV_{OCP2}	—	—	±5	%	Voltage divider tolerance
Comparator propagation delay	t_{OCP2PD}	15	—	35	ns	
Minimum comparator input pulse width	t_{OCP2PW}	—	—	30	ns	
OCP2F comparator propagation delay	$t_{OCP2FPD}$	70	—	170	ns	$dV_{CS}/dt = 100 \text{ V}/\mu\text{s}$
Delay from V_{CS} crossing V_{CSOCP2} to begin of GDx turn-off ($I_{GD0} > 2\text{mA}$)	$t_{CSGDxOCP2}$	125	135	190	ns	$dV_{CS}/dt = 100 \text{ V}/\mu\text{s}$; $f_{MCLK} = 66 \text{ MHz}$. GDx driven by QR_GATE FIL_OCP2.STABLE = 3
OCP1 operating range	V_{OCP1}	0	—	$V_{REF}/2$	V	RANGE = 00 _B
OCP1 threshold at full scale setting (CS_OCP1LVL=FF _H)	V_{OCP1FS}	1187	1209	1243	mV	RANGE = 00 _B
Delay from V_{CS} crossing V_{CSOCP1} to CS_OCP1 rising edge, 1.2 V range	t_{CSOCP1}	90	170	250	ns	Input signal slope $dV_{CS}/dt = 150 \text{ mV}/\mu\text{s}$. This slope represents a use case of a switch-mode power supply with minimum input voltage.

(表格续下页.....)

表 23 (续) CS 引脚的电气特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
Delay from CS_OCP1 rising edge to QR_GATE falling edge	t _{OCP1GATE}	—	—	130	ns	
Delay from QR_GATE falling edge to start of GDx turn-off	t _{GATEGDx}	1	3	5	ns	GDx driven by QR_GATE. Measured up to I _{GDx} > 2 mA
OCP1 comparator input single pulse width filter	t _{OCP1PW}	60	—	95	ns	Shorter pulses than min. are suppressed, longer pulses than max. are passed
Nominal S&H operating range 0% to 100%	V _{CSH}	0	—	V _{REF} /2	V	CS_ICR.RANGE = 00 _B
Reduced S&H operating range	RR _{CVSH}	8	—	92	%	CS_ICR.RANGE = 00 _B Operational values
Maximum error of CS0 S&H for corrected measurement (8-bit result)	TET0 _{CS0S}	—	—	4.7	LSB	CS_ICR.RANGE = 00 _B
Maximum error of CS0 S&H for corrected measurement (8-bit result)	TET256 _{CS0S}	—	—	6.0	LSB	CS_ICR.RANGE = 00 _B
Nominal S&H operating range 0% to 100%	V _{CSH}	0	—	V _{REF} /6	V	CS_ICR.RANGE = 11 _B
Reduced S&H operating range	RR _{CVSH}	20	—	80	%	CS_ICR.RANGE = 11 _B Operational values
Maximum error of CS0 S&H for corrected measurement (8-bit result)	TET0 _{CS0S}	—	—	8.0	LSB	CS_ICR.RANGE = 11 _B
Maximum error of CS0 S&H for corrected measurement (8-bit result)	TET256 _{CS0S}	—	—	8.7	LSB	CS_ICR.RANGE = 11 _B
S&H delay of input buffer	t _{CSHST}	—	—	510	ns	Referring to jump in input voltage. Limits the minimum gate driver T _{on} time.

表 24 ZCD引脚的电气特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
Input voltage operating range	V _{INP}	-0.5	—	3.3	V	
Input clamping current, high	I _{CLH}	—	—	100	μA	
Zero-crossing threshold	V _{ZCTHR}	15	40	70	mV	
Comparator propagation delay	t _{ZCPD}	30	50	70	ns	dV _{ZCD} /dt = 4 V/μs
Input voltage negative clamping level	-V _{INPCLN}	140	180	220	mV	Analog clamp activated
Nominal I/V-conversion operating range 0% to 100%	-I _{IV}	0	—	0.5	mA	CRNG = 11 _B Gain = 4800 mV/mA
Nominal I/V-conversion operating range 0% to 100%	-I _{IV}	0	—	1	mA	CRNG = 10 _B Gain = 2400 mV/mA
Nominal I/V-conversion operating range 0% to 100%	-I _{IV}	0	—	2	mA	CRNG = 01 _B Gain = 1200 mV/mA
Nominal I/V-conversion operating range 0% to 100%	-I _{IV}	0	—	4	mA	CRNG = 00 _B Gain = 600 mV/mA
Reduced I/V-conversion operating range	RR _{IV}	5	—	80	%	
Maximum error for corrected ADC measurement (8-bit result)	TET0 _{IV}	—	—	4.1	LSB ₈	CRNG = 00 _B
Maximum error for corrected ADC measurement (8-bit result)	TET256 _{IV}	—	—	9.7	LSB ₈	CRNG = 00 _B
Maximum deviation between ZCD clamp voltage and trim result stored in OTP	E _{ZCDClp}	—	—	±5	%	-I _{IV} > 0.25 mA
IV-conversion delay of input buffer	t _{IVST}	—	—	900	ns	Refers to jump in input current ¹²⁾

(表格续下页.....)

12 限制最小栅极驱动器T_{on}时间。

表 24 (续) **ZCD 引脚的电气特性**

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
Nominal S&H input voltage range 0% to 100%	VZSH	0	—	$2/3 \cdot V_{REF}$	V	SHRNG = 0 _B
Nominal S&H input voltage range 0% to 100%	VZSH	$V_{REF}/2$	—	$7/6 \cdot V_{REF}$	V	SHRNG = 1 _B
Reduced S&H input voltage range	RRZVSH	4	—	95	%	
Maximum error for corrected ADC measurement (8-bit result)	TET0 _{ZVS0}	—	—	3.7	LSB ₈	SHRNG = 0 _B
Maximum error for corrected ADC measurement (8-bit result)	TET256 _{ZVS0}	—	—	4.9	LSB ₈	SHRNG = 0 _B
Maximum error for corrected ADC measurement (8-bit result)	TET0 _{ZVS1}	—	—	4.2	LSB ₈	SHRNG = 1 _B
Maximum error for corrected ADC measurement (8-bit result)	TET256 _{ZVS1}	—	—	5.8	LSB ₈	SHRNG = 1 _B
S&H delay of input buffer referring to jump of input voltage	tzSHST	—	—	1.0	μs	SHRNG = 0 _B T _j ≤ 125 °C
S&H delay of input buffer referring to jump of input voltage	tzSHST	—	—	1.6	μs	SHRNG = 1 _B T _j ≤ 125 °C

表 25 **HV 引脚的电气特性**

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
Current for V _{CC} cap charging	ILD	3.0	5	7.5	mA	V _{HV} = 30 V; V _{VCC} < V _{VCCCon} - 0.3 V; T _j ≥ 0 °C
Current for V _{CC} cap charging	ILD	2.4	5	7.5	mA	V _{HV} = 30 V; V _{VCC} < V _{VCCCon} - 0.3 V; -25 °C < T _j < 0 °C
Current for V _{CC} cap charging	ILD	2.0	5	7.5	mA	V _{HV} = 30 V; V _{VCC} < V _{VCCCon} - 0.3 V; T _j < -25 °C

(表格续下页.....)

表 25 (续) HV 引脚的电气特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
Nominal current for measurement path 0% to 100%	I _{MEAS}	0	—	9.6	mA	CURRNG = 11 _B
Nominal current for measurement path 0% to 100%	I _{MEAS}	0	—	4.8	mA	CURRNG = 10 _B
Nominal current for measurement path 0% to 100%	I _{MEAS}	0	—	1.6	mA	CURRNG = 01 _B
Comparator threshold (in % of full range of I _{MEAS})	THR _{COMP}	15	20	25	%	COMP _{THR} = 00 _B
Comparator threshold (in % of full range of I _{MEAS})	THR _{COMP}	25	30	35	%	COMP _{THR} = 01 _B
Comparator threshold (in % of full range of I _{MEAS})	THR _{COMP}	45	50	55	%	COMP _{THR} = 11 _B

表 26 PWM 引脚的电气特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
MFIO reference voltage	V _{MFIOREF}	—	V _{VDDP}	—	V	Selection = V _{VDDP} , not power down
Input low voltage	V _{IL}	—	—	1.0	V	
Input high voltage	V _{IH}	2.0	—	—	V	
Pull-up resistor tolerance	Δ _{RPU}	—	—	±20	%	Overall tolerance
PWM frequency	f _{PWM}	500	—	2000	Hz	

表 27 UART 引脚的电气特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
Input clamping current, low	-I _{CLL}	—	—	100	μA	only digital input
Input clamping current, high	I _{CLH}	—	—	100	μA	only digital input
Input capacitance	C _{INPUT}	—	—	25	pF	
Input low voltage	V _{IL}	—	—	1.0	V	
Input high voltage	V _{IH}	2.1	—	—	V	
Input low current with active weak pull-up WPU	-I _{LPU}	30	—	90	μA	Measured at max. V _{IL}

(表格续下页.....)

表 27 (续) UART 引脚的电气特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
Max. input frequency	f_{INPUT}	15	—	—	MHz	
Output low voltage	V_{OL}	—	—	0.8	V	$I_{\text{OL}} = 2 \text{ mA}$
Output high voltage	V_{OH}	2.4	—	—	V	$I_{\text{OH}} = -2 \text{ mA}$
Output sink current	I_{OL}	—	—	2	mA	
Output source current	$-I_{\text{OH}}$	—	—	2	mA	
Output rise time (0 → 1)	t_{RISE}	—	—	50	ns	20 pF load, push/pull output
Output fall time (1 → 0)	t_{FALL}	—	—	50	ns	20 pF load, push/pull or open-drain output
Max. output switching frequency	f_{SWITCH}	10	—	—	MHz	
UART baudrate	f_{UART}	-10%	57600	+10%	baud	

表 28 A/D 转换器的电气特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
Integral non-linearity	INL	—	—	1	LSB ₈	13)

表 29 基准电压的电气特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
Reference voltage	V_{REF}	—	2.428	—	V	
VREF overall tolerance	ΔV_{REF}	—	—	±1.5	%	Trimmed, $T_j \leq 125^\circ\text{C}$ and aging

表 30 OTP 编程的电气特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
OTP programming voltage at the VCC pin for range C000 _H to CFFF _H	V_{PP}	7.35	7.5	7.65	V	Operational values
OTP programming current	I_{PP}	—	1.6	—	mA	Programming of 4 bits in parallel

13 在 STC = 5 条件下, 通过通道 MFIO 测得的 ADC 能力, 不含因相邻引脚 (如栅极驱动器) 开关动作而产生的误差。只取 ADC 输出值 ≥ 30 , 屏蔽了 MFIO 缓冲器的非线性。

表 31 时钟振荡器的电气特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
Master clock oscillation period including all variations	t_{MCLK}	15.0	15.8	16.6	ns	In reference to 66 MHz f_{MCLK}
Main clock oscillator frequency variation of stored DPARAM frequency	Δ_{MCLK}	-3.2	—	+3.5	%	Temperature drift and aging only, 66 MHz f_{MCLK}
Standby clock oscillator frequency	f_{STBCLK}	96	100	104	kHz	Trimming tolerance at $T_A = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$
Standby clock oscillator frequency	f_{STBCLK}	90	100	110	kHz	Overall tolerance, $T_j \leq 125\text{ }^{\circ}\text{C}$

表 32 温度传感器的电气特性

Parameter	Symbol	Values			Unit	Note or Test Condition
		Min.	Typ.	Max.		
Temperature sensor ADC output operating range	ADC_{TEMP}	0	—	190	LSB	$ADC_{TEMP} = 40 + \text{temperature} / ^{\circ}\text{C}$
Temperature sensor tolerance	Δ_{TEMP}	—	—	± 6	K	Incl. ADC conversion accuracy at 3σ

7 封装尺寸

提供了 PG-DSO-8 的封装尺寸。

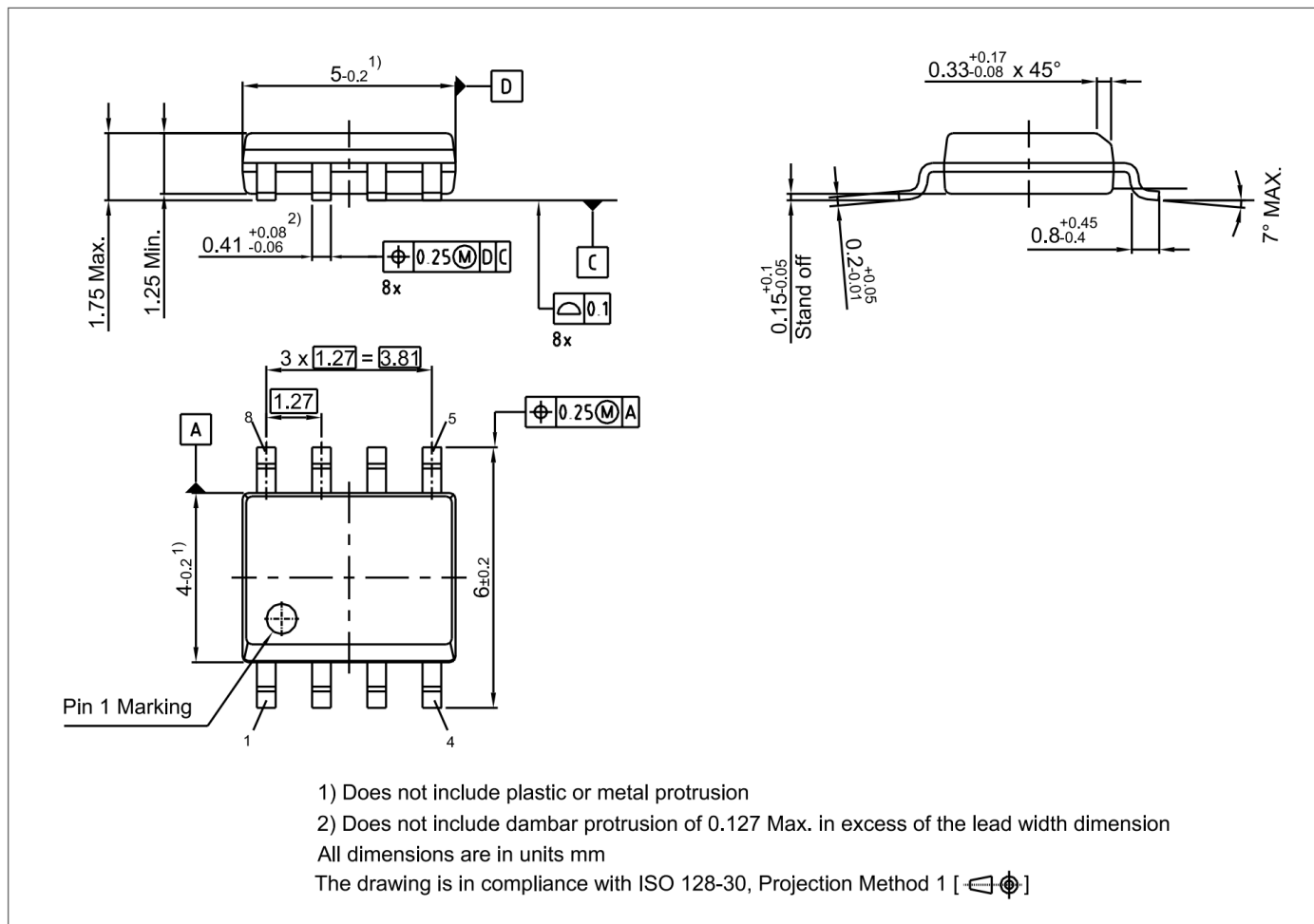
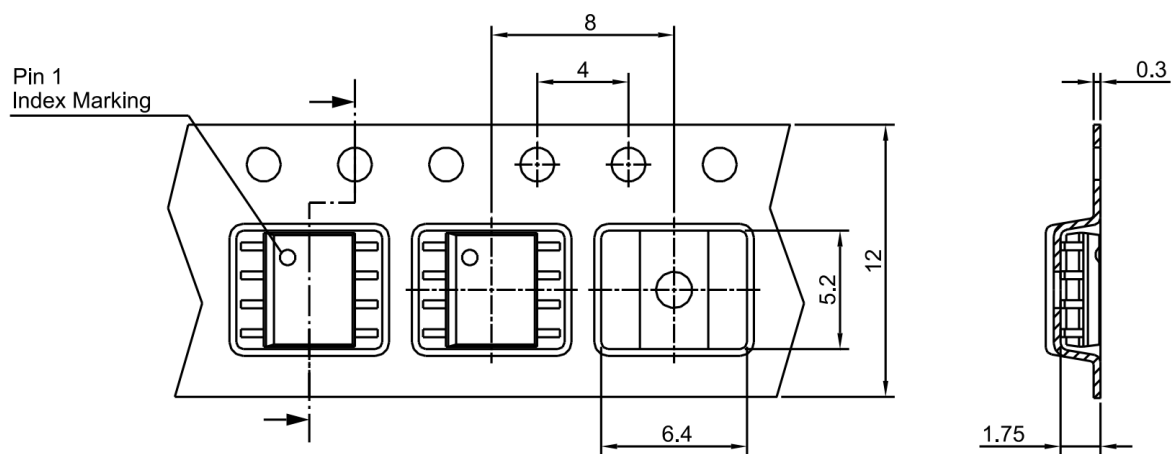


图 25 **PG-DSO-8 的封装尺寸**



All dimensions are in units mm

The drawing is in compliance with ISO 128 & Projection Method 1 []

图 26 **卷带详情 PG-DSO-8**

注： 您可以在英飞凌官网“产品”页面：<http://www.infineon.com/products>上找到我们的所有封装、包装类型和其他封装信息。

参考文档

8 参考文档

1. Infineon Technologies AG: XDPL8210 Design Guide
2. Infineon Technologies AG: XDPL8210 CDM10VD 35 W reference design with IPN80R900P7
3. Infineon Technologies AG: CoolMOS P7 power MOSFETs, <http://www.infineon.com/P7>
4. Infineon Technologies AG: .dp Vision User Manual
5. Infineon Technologies AG: .dp Interface Gen2 which can be ordered at <https://www.infineon.com/cms/en/product/evaluation-boards/if-board.dp-gen2/>
6. Infineon Technologies AG: .dp Interface Gen2 User Manual
7. Infineon Technologies AG: XDP Programming Manual

修订记录

自上次修订以来的主要变化

修订记录

Revision	Description
1.1	• Remove DC input related text • Update .dp Interface Gen2 ordering link • Remove $D_{DIM,max}$ from list of fixed parameters • Add $D_{DIM,max}$, $f_{PWM,max}$ and $f_{PWM,min}$ to list of configurable parameters • Change maximum value of configurable parameter $D_{DIM,min}$ • Change minimum value of configurable parameter $D_{DIM,off}$
1.0	Initial release

术语表

ABM

主动突发模式 (ABM)

主动突发模式是开关电源在极轻负载条件下的一种工作模式。控制器以脉冲突发的形式进行开关动作，突发脉冲之间存在不进行任何开关动作的暂停间隔。

CC

恒定电流 (CC)

恒流是一种电源模式，在这种模式下，无论负载如何，输出电流都保持恒定。

CRC

循环冗余校验

循环冗余校验是一种错误检测代码，通常用于检测原始数据的意外更改。

DCM

断续导通模式 (DCM)

断续导通模式是开关电源的一种工作模式，在这种模式下，电流从开始到归零。

词汇表

ECG

电子控制装置 (ECG)

电子控制装置是一种电源，可为一个或多个照明模块提供适当的电压或电流。

EMI

电磁干扰 (EMI)

也称为射频干扰 (RFI)，它是由于外部辐射源发出的电磁辐射而影响电路的一种干扰（通常是不良干扰）。干扰可能会中断、阻碍或以其他方式降低或限制电路的有效性能。

FB

反激式 (FB)

反激式转换器是一种功率转换器，它将电感器分割成一个变压器，从而使电压比成倍增加，并具有输入和输出之间电气隔离的额外优势。

GUI

图形用户界面

图形用户界面是一种允许用户通过图形图标和视觉指示器与电子设备进行交互的界面。

IC

集成电路 (IC)

在半导体材料薄基板表面制造的微型电子电路。IC也可称为微电路、微芯片、硅芯片或芯片。

LED

发光二极管 (LED)

发光二极管是一种双引线半导体光源，启动时会发光。

LP

限制功率 (LP)

限制功率是一种电源模式，在这种模式下，无论负载如何，输出功率都受到限制。

MCU

微控制器单元 (MCU)

微控制器是单个IC上的小型计算机，包含处理器内核、存储器和可编程输入/输出外设。

PC

个人计算机

个人计算机是一种通用计算机，其尺寸、功能和原始销售价格使其适合个人使用，其目的是由最终用户直接操作，无需依赖此前允许多人（通常是同时）使用更大、更昂贵的微型计算机和大型机系统的计算机分时共享模式。

PFC

功率因数校正 (PFC)

功率因数校正可使 AC 电路的功率因数更接近 1，这相当于将电路的无功功率降至最低。

词汇表

PF

功率因数(PF)

功率因数是实际功率和视在功率之间的比率。

PWM

脉宽调制(PWM)

脉宽调制是一种将模拟值编码为任意振幅脉冲信号占空比的技术。

QRM1

准谐振模式，第一谷导通(QRM1)

准谐振模式是开关电源的一种工作模式，可最大限度地提高效率。这是通过在信号出现第一个谷值时进行开关来实现的，此时开关损耗较低。

THD

总谐波失真

信号的总谐波失真是对存在的谐波失真的测量，定义为所有谐波分量的功率之和与基频功率之比。

UART

通用异步收发器

通用异步收发器用于通过外围设备串行端口进行串行通信，在并行和串行形式之间转换数据。

USB

通用串行总线

通用串行总线是一种工业标准，它定义了总线中使用的电缆、连接器和通信协议，用于计算机与电子设备之间的连接、通信和供电。

UVLO

欠压锁定(UVLO)

欠压锁定是一种电子电路，用于在电压降至工作值以下时关闭电子设备的电源。

Trademarks

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

Edition 2021-06-25

Published by
Infineon Technologies AG
81726 Munich, Germany

© 2021 Infineon Technologies AG
All Rights Reserved.

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

Email: erratum@infineon.com

Document reference
IFX-jtr1464681287355

IMPORTANT NOTICE

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

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>。