

英飞凌 ICL5102 PFC + 谐振半桥控制器，用于 LED 驱动器

第 2 代

数据手册

Rev 1.31

特性

- 集成式两级组合控制器可减少外部组件的数量，优化物料清单 (BOM) 和外形尺寸。
- 具有临界导通模式 (CrCM) + 断续导通模式 (DCM) 的 PFC 控制器
- 具有固定或可变开关频率控制的谐振半桥 (HB) 控制器
- 最大 HB 开关频率为 500 kHz，软启动频率最高可达 1.3 MHz
- 谐振 HB 突发模式 (BM) 可确保功率限制和低待机功耗 < 300mW。
- 支持通用 AC 输入电压（标称值 90 至 305 V_{rms}）。
- 卓越的系统效率，高达 94%
- THD 优化可确保低谐波失真（总谐波失真 (THD) < 5%），即使在 30% 的标称负载下也是如此。
- 集成式高边 MOSFET 驱动器
- 小型 DSO-16 封装

具备全面的保护功能，并有自动重启反应：

- 输入 brown-out 保护
- PFC 总线过压保护
- PFC 过流保护
- 输出过压保护 (OVP)
- 输出过流/短路保护 (OCP)
- 输出过功率/过载保护 (OPP)
- 电容模式保护
- 外部过温保护 (OTP)

潜在应用

- 适用于商业和工业照明的离线式 LED 驱动器，功率最高可达 350 W
- 高密度 AC/DC 电源

产品验证

符合 JEDEC47/20/22 相关测试的工业应用要求

Product Type	Package
ICL5102	PG-DSO-16

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）。

描述

ICL5102 是一款高度集成的多模式（CrCM 和 DCM）PFC 和 谐振 HB 组合控制器。将 PFC 和 HB 集成到单个控制器中，可以减少外部组件，并通过两级的协调运行来优化性能。

两级方法将 PFC 职责与输出电流调节功能分开。这确保了输出电压和电流的低波动性，并实现了低 THD、高功率因数以及更强的抵抗 AC 线路扰动的能力。PFC 转换器的多模式操作可在整个负载范围内提供出色的效率。

谐振 HB 转换器支持 LLC 和 LCC 拓扑结构，具有固定或可变开关频率控制，以实现最高效率，而 BM 可实现低待机功耗。

一套全面的保护功能以及自动重启功能，确保了组件和整个系统的最高安全性和可靠性。

下图展示了采用 ICL5102 和 PFC+LCC 拓扑结构的典型 LED 驱动器应用：

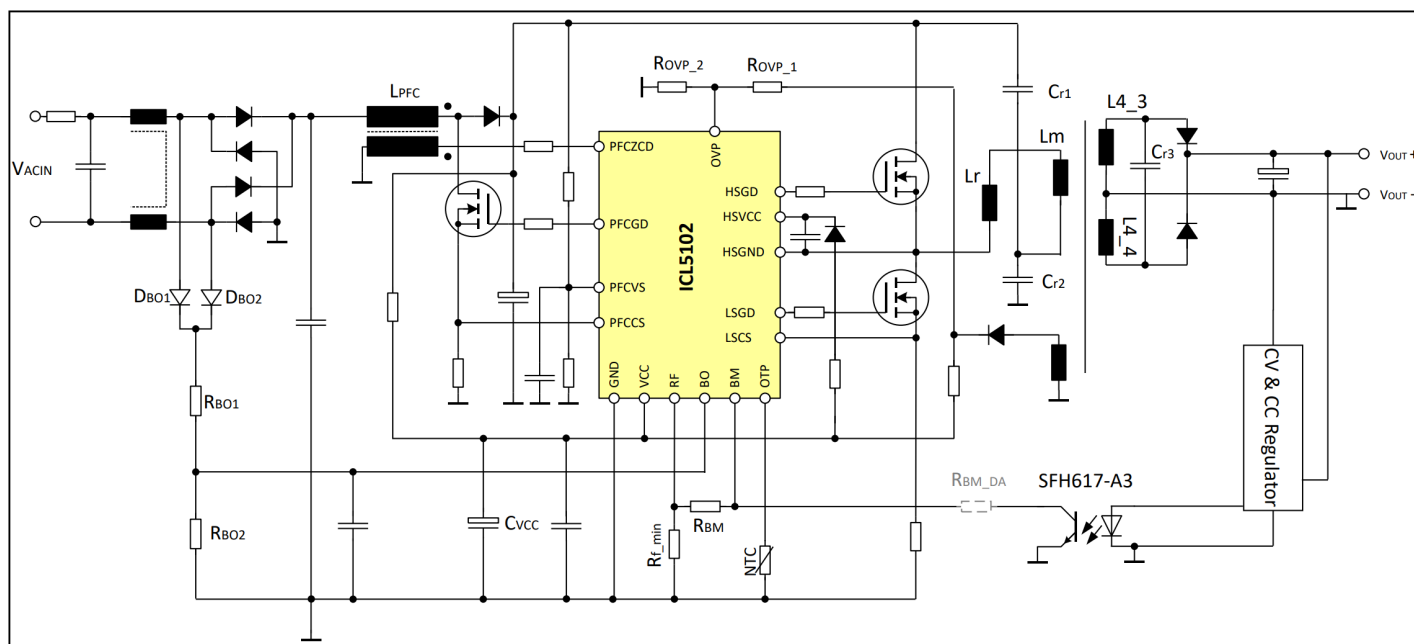


图 1 ICL5102 典型应用（采用 PFC+LCC 拓扑结构）

目录

特性	1
潜在应用	1
产品验证	1
符合 JEDEC47/20/22 相关测试的工业应用要求	1
描述	2
目录	2
1 引脚配置及说明	4
2 功能框图	6
3 功能描述	7
3.1 IC 上电	7
3.2 多模式 PFC 控制器	7

3.2.1	控制方案	7
3.2.1.1	PFC 软启动	7
3.2.1.2	PFC 多模式控制	8
3.2.1.3	PFC THD 校正	9
3.2.2	PFC 总线电压检测	10
3.2.3	输入电压检测	10
3.2.4	PFC 电感峰值电流限制	11
3.2.5	PFC 保护特性	11
3.2.5.1	PFC 总线欠压保护	12
3.2.5.2	PFC 总线过压保护等级 1	12
3.2.5.3	PFC 总线过压保护等级 2	12
3.2.5.4	PFC 开路控制环路保护	12
3.2.5.5	PFC 电感过流保护	12
3.2.5.6	输入 Brown-out 保护	12
3.3	谐振半桥控制器	13
3.3.1	控制方案	13
3.3.1.1	HB 频率控制 (通过 CCO)	13
3.3.1.2	HB 控制器频率设置	14
3.3.1.3	HB 软启动控制 (通过 TCO)	14
3.3.1.4	HB 突发模式工作	16
3.3.2	HB 自适应死区时间	17
3.3.3	HB 保护特性	18
3.3.3.1	HB 过流保护等级 1 (OCP1)	18
3.3.3.2	HB 过流保护等级 2 (OCP2)	18
3.3.3.3	HB 输出过压保护	19
3.3.3.4	HB 电容模式保护	19
3.4	其他保护特性	20
3.4.1	外部过温保护 (OTP)	20
4	ICL5102 工作流程图	22
5	电气特性	23
5.1	封装特性	23
5.2	绝对最大额定值	23
5.3	工作条件	25
5.4	DC 电气特性	25
5.4.1	电源特性	25
5.4.2	PFC 级特性	26
5.4.3	HB 级特性	28
6	封装尺寸	32
	修订记录	33

1 引脚配置及说明

ICL5102 引脚分配和基本引脚说明如图 2 和表 1 所示。

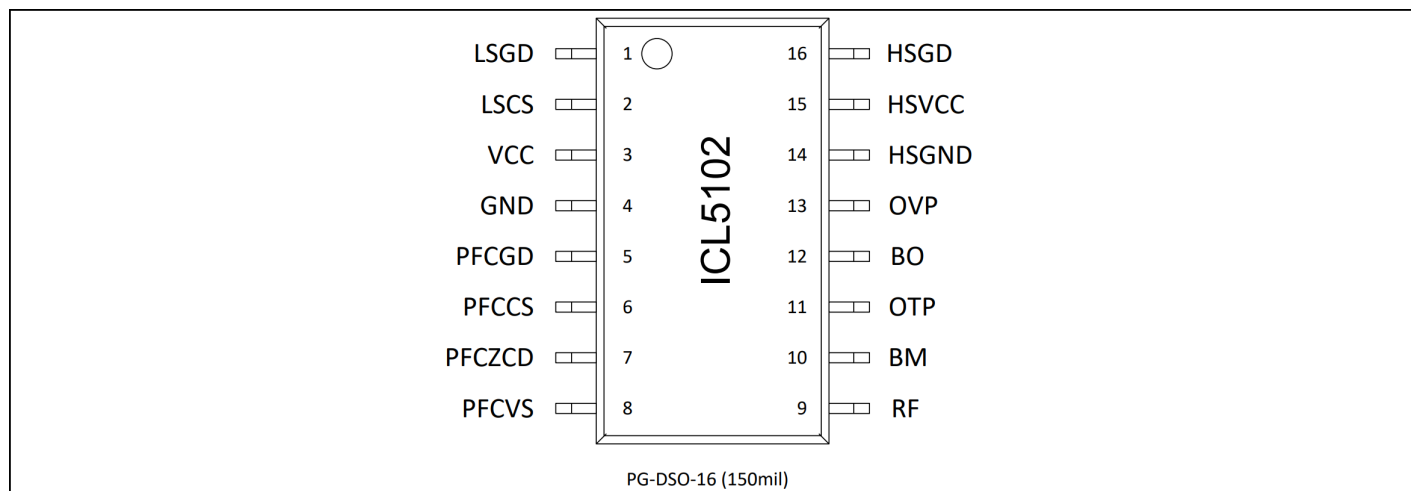


图 2 ICL5102 引脚分配

表 1 引脚定义和功能

Name	Pin	Type	Function
LSGD	1	O	HB low side gate driver Output for directly driving the HB low side MOSFET via a resistor
LSCS	2	I	HB current sense Connected to an external shunt resistor and the source of the HB low side MOSFET
VCC	3	I	Positive power supply IC power supply
GND	4	-	Ground IC Ground
PFCGD	5	O	PFC gate driver Output for directly driving the PFC MOSFET via a resistor
PFCCS	6	I	PFC current sense Connected to an external shunt resistor and the source of the PFC MOSFET
PFCZCD	7	I	PFC zero-crossing detection Connected to the PFC auxiliary winding via a resistor for PFC inductor current zero-crossing detection
PFCVS	8	I	PFC bus voltage sense Connected to a high impedance resistor divider from the PFC controller output for bus voltage sensing
RF	9	I	HB minimum switching frequency setting Connected via an external resistor to GND for HB minimum switching frequency setting
BM	10	I	Burst Mode (BM) enter/exit switching frequency setting Connected to an opto-coupler and to the RF pin with an external resistor for BM enter/exit setting

Name	Pin	Type	Function
OTP	11	I	Over Temperature Protection (OTP) Connected to an external Negative Temperature Coefficient thermistor (NTC) for external over temperature protection
BO	12	I	Brown in/out detection Connected to the rectified input voltage via an external resistor for input brown in/out detection
OVP	13	I	Output Over Voltage Protection (OVP) Connected to the HB auxiliary winding via a resistor divider and diode for OVP of the secondary output voltage
HSGND	14	-	High side ground Ground for floating high side driver of HB
HSVCC	15	I	High side VCC power supply Power supply of the high side floating driver of HB, supplied via bootstrap circuit
HSGD	16	O	High side floating gate driver Output for directly driving the HB floating high side MOSFET via a resistor.

ICL5102引脚连接示意图如下图 3 所示：

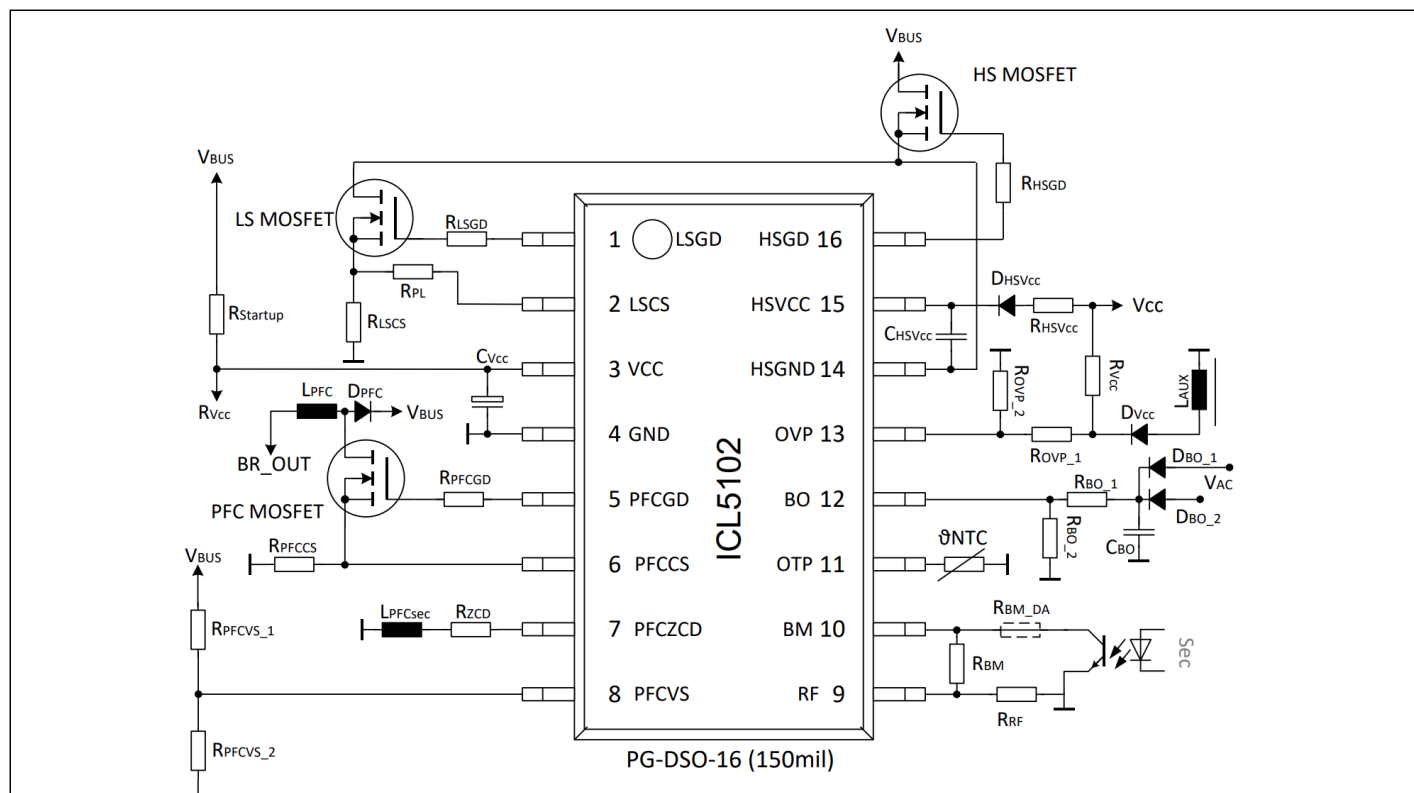


图 3 ICL5102 引脚连接

2 功能框图

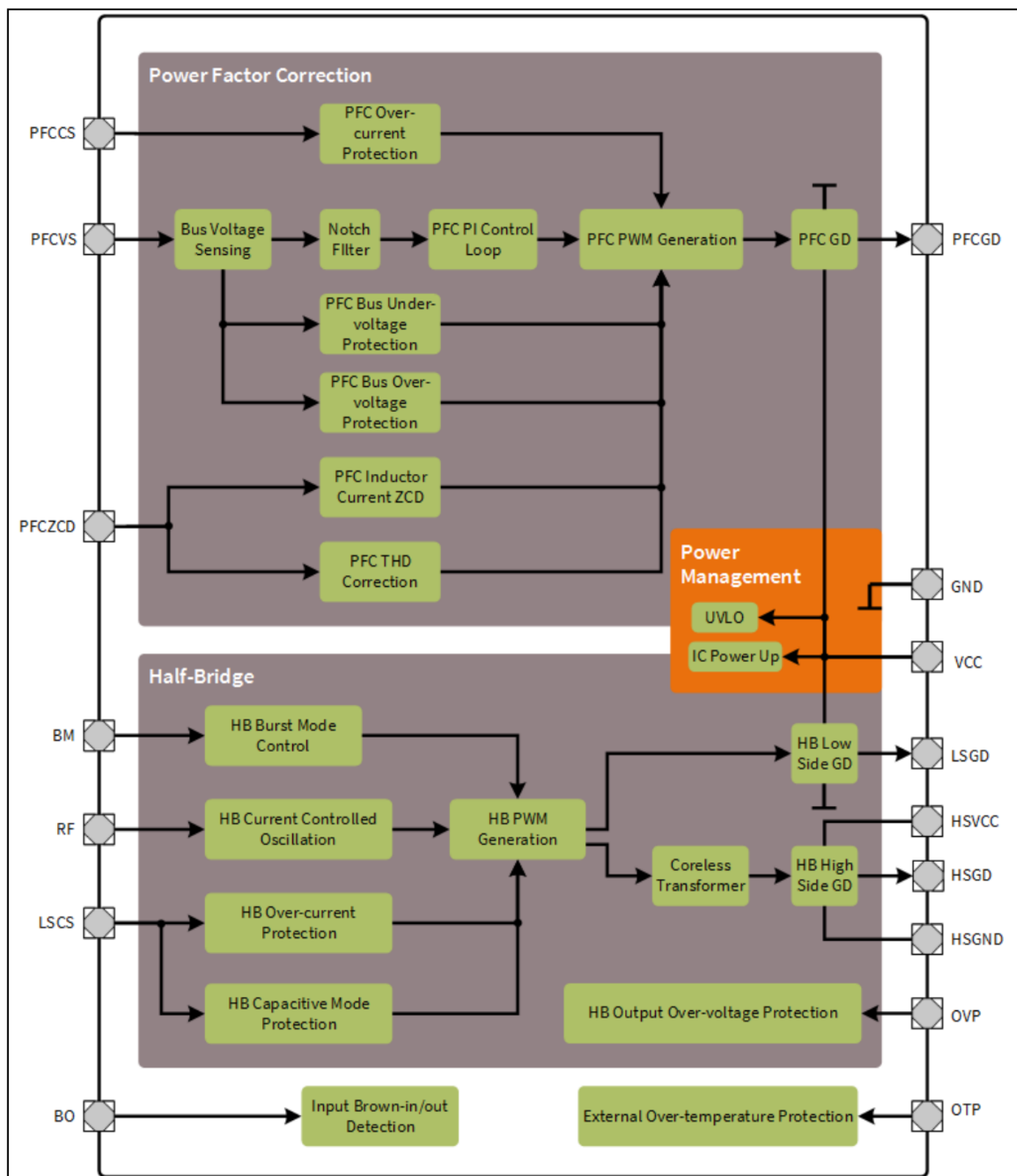


图4 ICL5102 功能框图

3 功能描述

功能描述部分概述了集成功能。其中包括：

- ICL5102 上电
- 多模式 PFC 控制器
- 谐振 HB 控制器

参数和方程基于 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 时的典型值。相关的最小值和最大值在第 5 章的电气特性中给出。

3.1 IC 上电

ICL5102 有四个电源引脚：VCC、GND、HSVCC 和 HSGND：

- ICL5102 的正常启动操作需要引脚 VCC 上的电压高于开启阈值 V_{CC_on} 。ICL5102 激活后，VCC 电压应保持在 V_{CC_on} 和 V_{CC_off} 之间。一旦电压降至 V_{CC_off} 以下，就会触发欠压锁定 (UVLO)，IC 将停止工作。
- HSVCC 和 HSGND 电源引脚为集成的浮动高边驱动器供电，通常由外部自举电路提供。当引脚 HSVCC 和 HSGND 之间的电压高于开启阈值 V_{HSVCC_on} 时，高边驱动器激活。正常工作状态下，一旦该电压降至 V_{HSVCC_off} 以下，高边驱动器将被禁用。

3.2 多模式 PFC 控制器

PFC 控制器通过最大化功率因数 (PF) 和最小化总谐波失真 (THD) 来确保高功率质量。它采用升压拓扑结构设计，为 HB 控制器提供恒定的高 DC 电压。

3.2.1 控制方案

在正常到重载工况下，PFC 母线电压调节采用恒定导通时间控制的 CrCM 实现。PFC MOSFET 的导通时间与 PFC 输出功率成正比，并由 PFC 扼流圈电感 L_{PFC} 、输入电压 V_{in_rms} 、PFC 负载 P_{O_PFC} 和 PFC 转换器效率 η_{PFC} 决定。其表达式为：

$$t_{on_PFC} = \frac{2 * P_{O_PFC} * L_{PFC}}{V_{in_rms}^2 * \eta_{PFC}}$$

ICL5102 PFC 控制器集成了一个 PI 补偿器，该补偿器根据 PFCVS 引脚上的值与参考值 $V_{PFC_ref} = 2.5\text{ V}$ 之间的误差来计算 PFC 导通时间。补偿器之前的陷波滤波器滤除总线电压中的双倍交流线路频率纹波，从而稳定控制器回路。

为了支持轻载运行，采用了断续导通模式 (DCM) 以实现高效运行。

3.2.1.1 PFC 软启动

当引脚 VCC 上的电压高于阈值 V_{CC_on} 时，PFC 控制器将启动软启动，以最大限度地减少输入滤波器、PFC MOSFET、PFC 扼流圈和二极管的压力，前提是满足以下条件：

- Brown-in: Brown-Out 引脚 (BO) 的电压必须高于 $V_{BO_in} = 1.4V$
- 未检测到 PFC 开环: 引脚 PFCVS 的电压必须高于 $V_{PFCVSUV2} = 12.5\% * V_{PFC_ref} = 0.31V$
- 未检测到 PFC 输出过压: 引脚 PFCVS 的电压必须低于 $V_{PFCVSUV2} = 105\% * V_{PFC_ref} = 2.63V$
- 其他保护措施 (例如 OTP 或 OVP) 未出现

ICL5102 PFC 软启动是通过每隔 $280\mu s$ 将 PFC MOSFET 的导通时间从 $t_{PFC_on_initial}$ 增加到 $t_{PFC_on_max} = 22\mu s$ 来实现的。初始 PFC 导通时间 $t_{PFC_on_initial}$ 取决于 BO 引脚检测到的输入电压。一旦 PFCVS 引脚上的电压达到阈值 $V_{PFC_UV2} = 95\% * V_{PFC_ref} = 2.375V$, 软启动即完成。此时, 通过集成的 PI 补偿器进行正常工作导通时间控制。

3.2.1.2 PFC 多模式控制

在 PFC 的 CrCM 工作模式下, PFC MOSFET 在整个交流半周期内以恒定的导通时间导通, 而关断时间则根据输入交流电压幅值的瞬时值而变化。因此, 在每个交流半周期内, 开关频率都会发生变化, 在交流输入电压峰值处开关频率最低, 在过零点附近开关频率最高。如图 5 所示, 当电感电流达到零时, 一个新的开关周期会有一个很小的延迟。

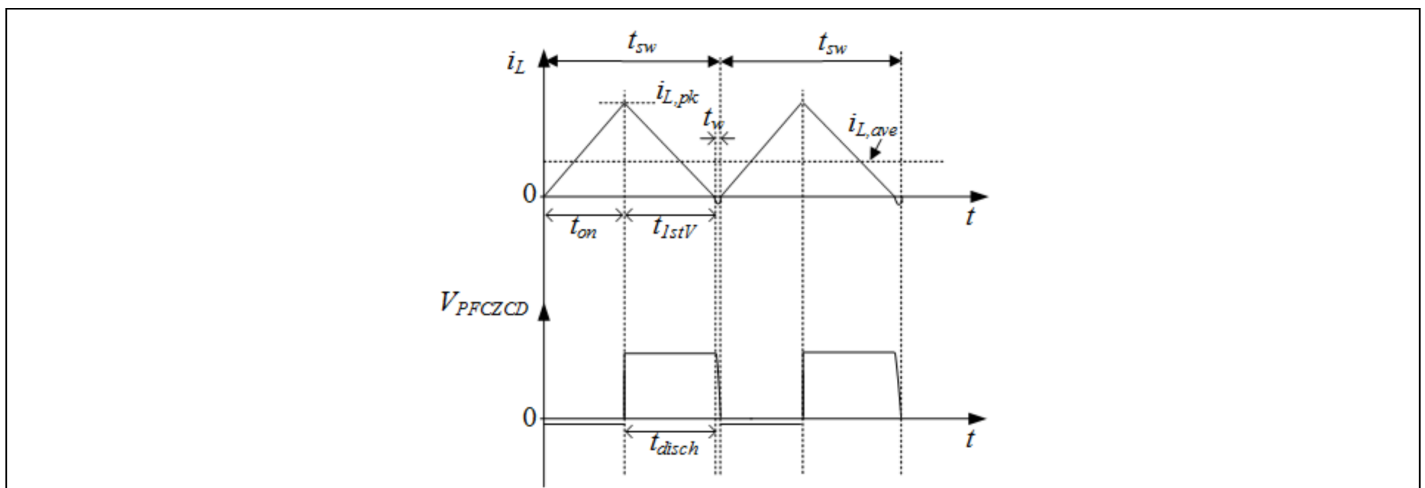


图 5 ICL5102 临界导通模式 PFC 的开关周期

PFC CrCM 非常适合满负荷和重负荷工况, 在这些工况下, 持续导通时间较长。当负载减少和/或输入交流峰值电压增大到 PFC 输出母线电压的幅度时, 导通时间减少 (开关频率增加), PFC 开关损耗增加。这会导致在轻负载和/或高压交流线路条件下效率低下。

为了最大限度地减少此工况下的开关损耗并优化轻载效率, ICL5102 PFC 控制器会从 CrCM 模式切换到 DCM 模式。当 PFC MOSFET 的导通时间低于 $1\mu s$ 时, 就会发生这种切换。在 DCM 模式下, 一旦 PFC 电感电流达到零, 就可以通过跳过开关周期来进一步降低开关频率。如图 6 所示, 插入的延迟是开关时间 (从 PFC 栅极导通到 PFC 电感电流降至零) 乘以一个内部系数。一旦在 DCM 工作模式下 PFC 导通时间增加到 $4\mu s$, ICL5102 将切换回 CrCM 工作模式。在 CrCM 和 DCM 工作模式下, 传输的功率均得到调节。两种模式之间的导通时间滞后 (重叠区域) 确保了模式切换的平滑性, 如图 7 所示。

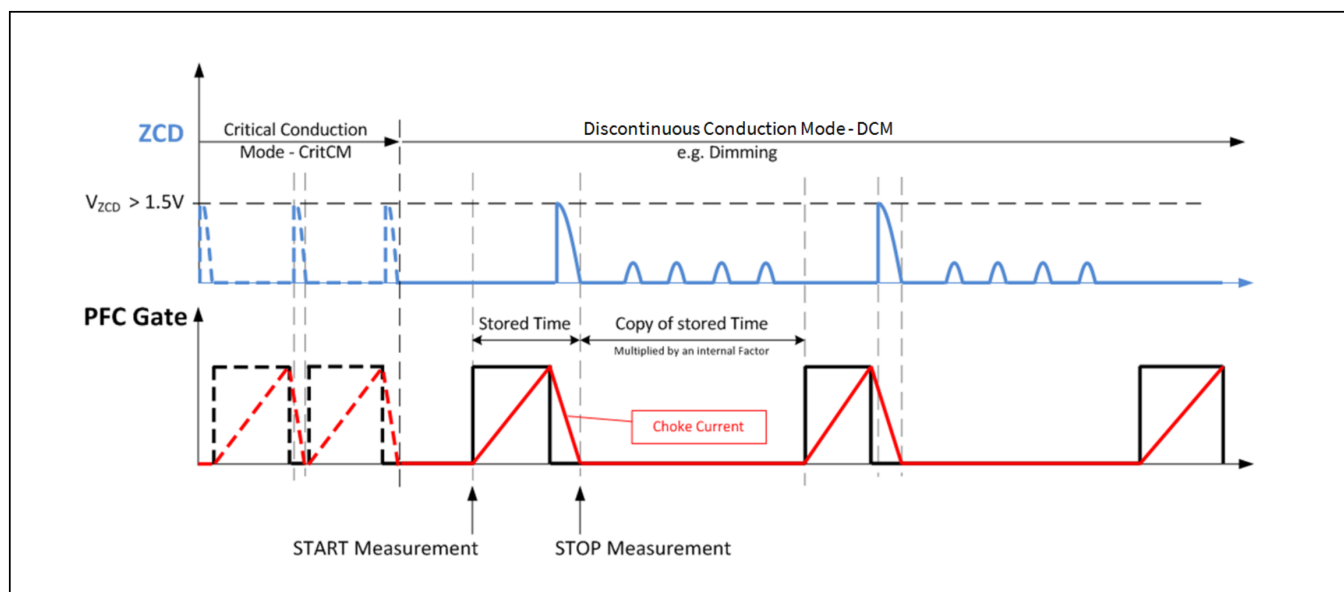


图 6 ICL5102 PFC 模式从 CrCM 到 DCM 的转变

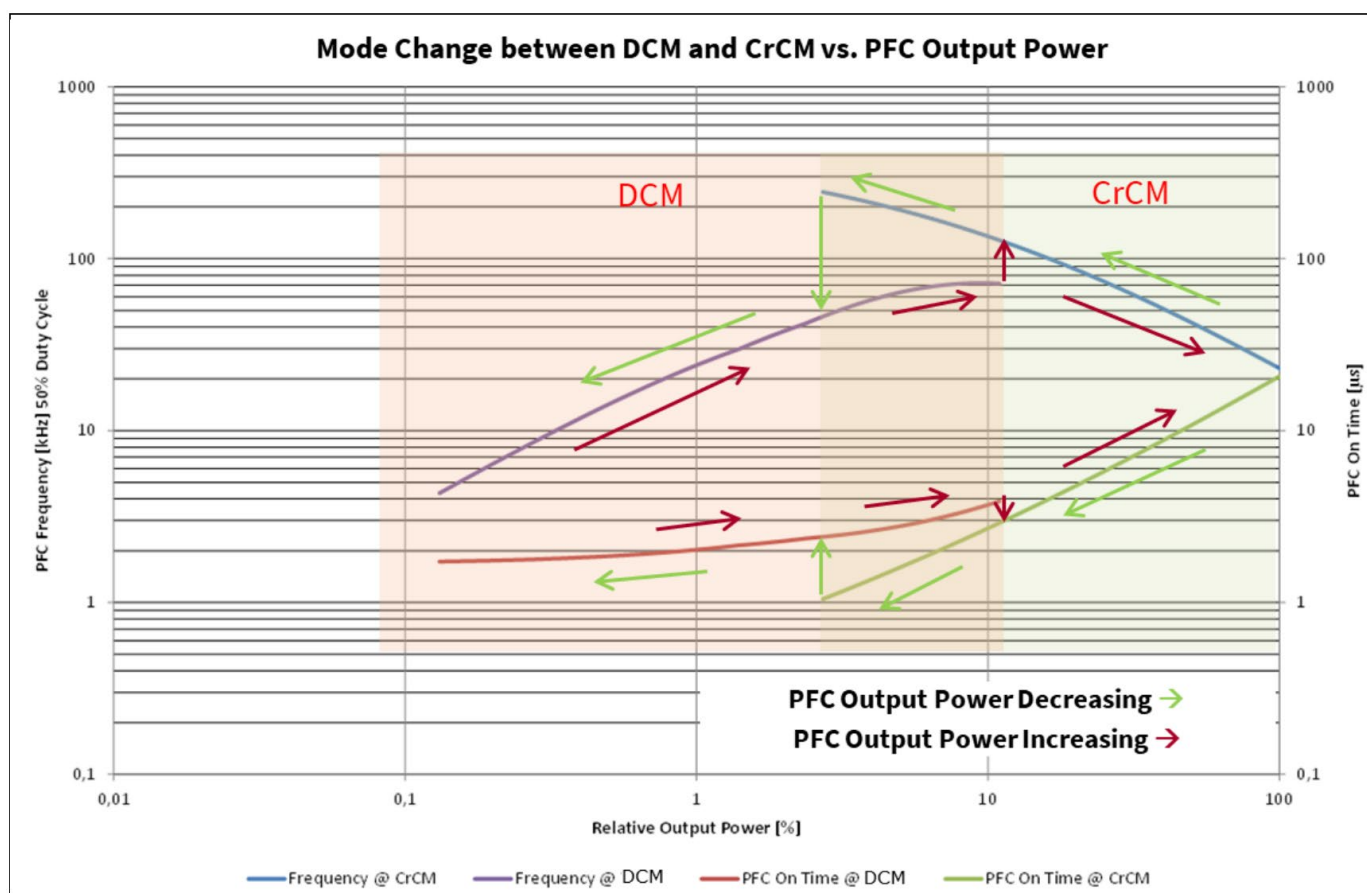


图 7 ICL5102 在 CrCM 和 DCM 模式下的工作频率和导通时间

3.2.1.3 PFC THD 校正

在 AC 输入电压过零点的区域，输入 AC 电流的畸变最为严重。为了确保该区域的电流波形为正弦波，ICL5102 根据输入电压幅值的瞬时值，动态地将 PFC 导通时间延长至 PFC 最大导通时间的两倍。

这通过 PFC 辅助绕组实现 AC 输入电压过零点的检测。当 PFC MOSFET 关断后，PFC 辅助绕组上的电压达到最大值时，即可检测到交流过零点。THD 校正原理如下图 8 所示。

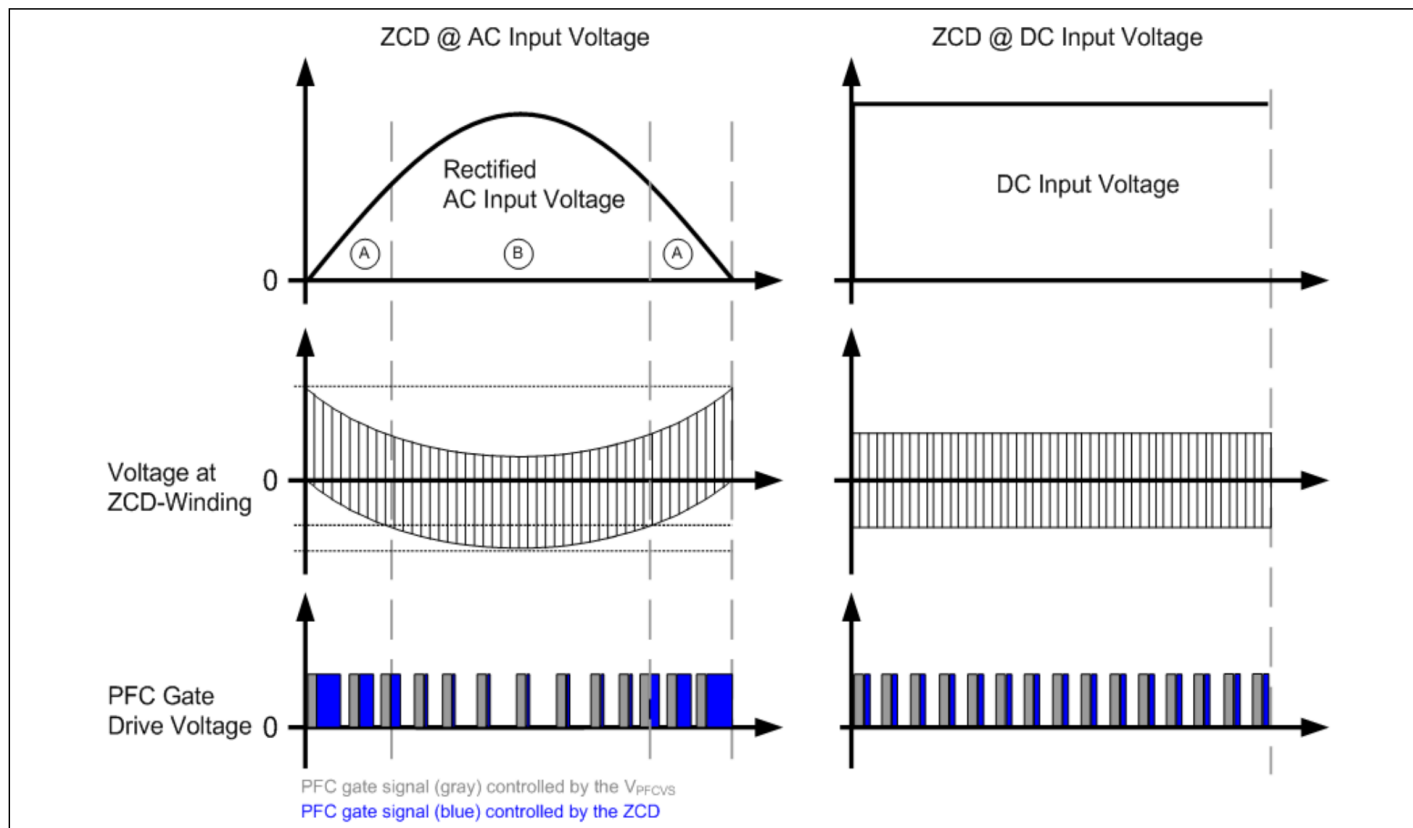


图 8 PFC THD 校正

3.2.2 PFC 总线电压检测

PFC 输出总线电压通过电阻分压器降低，并在 PFCVS 引脚上进行检测，如图 9 所示。应在引脚附近尽可能放置一个优质陶瓷滤波电容，以滤除任何高频开关噪声。该滤波电容可确保不会因噪声扰动而触发错误的 PFC 总线电压保护。

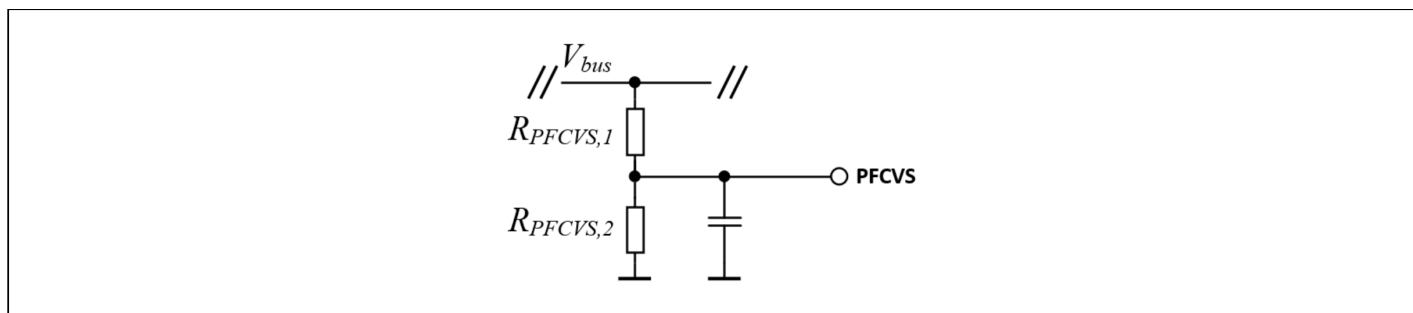


图 9 ICL5102 PFC 总线电压检测

3.2.3 输入电压检测

如图 10 所示，AC 输入电压在 BO 引脚处通过一个电阻分压器进行检测，该分压器会将全波整流后的交流线路电压降低。强烈建议在全波整流二极管之后直接连接一个平滑电容 C_{BO} 和一个高阻电阻 R_{BO1} ，以便检测交流输入电压的峰值。

与 RMS 值相比，当输入电流接近于零时（例如在电压骤降的情况下），交流输入电压的峰值不会失真。

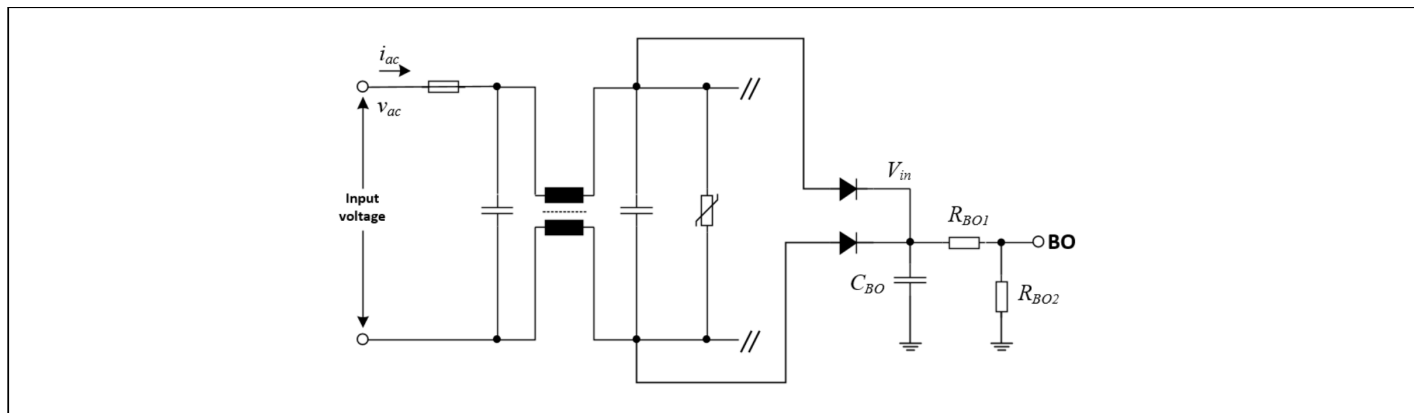


图 10 ICL5102 输入电压检测

BO 引脚上的电压代表交流输入的峰值电压，对 PFC 转换器具有前馈控制。

- 它决定了初始 PFC 软启动的初始开启时间。
- 在轻载条件下，PFC 的导通时间取决于输入电压。

brown-in 和 brown-out 是通过检测 BO 引脚上的电压来实现的。具体条件定义如下：

- Brown-in：引脚 BO 处的电压高于 $V_{BO_in} = 1.4 V_0$ 。
- Brown-out：引脚 BO 的电压低于正常工作时的 $V_{BO_out} = 1.2 V_0$ 。

3.2.4 PFC 电感峰值电流限制

通过 PFC 分流电阻 R_{PFCCS} 监测流经 PFC MOSFET 的 PFC 电感峰值电流，以限制流经 PFC 电感、MOSFET 和续流二极管的最大功率。一旦分流电阻两端的电压超过过流阈值 $V_{PFC_OCP1} = 1.0 V$ 且持续时间超过消隐时间（包括传播延迟） $t_{PFC_OCP1_blanking} = 200 ns$ ，PFC MOSFET 将立即关断。下一个 PFC 开关周期将在 PFC 过零检测 (ZCD) 或达到最大周期超时启动。此峰值电流限制在每个开关周期中都有效。

3.2.5 PFC 保护特性

如果故障持续时间超过消隐时间，则会触发保护功能。由于消隐时间的存在，控制器在超过保护阈值后可能继续运行，如图 11 所示。

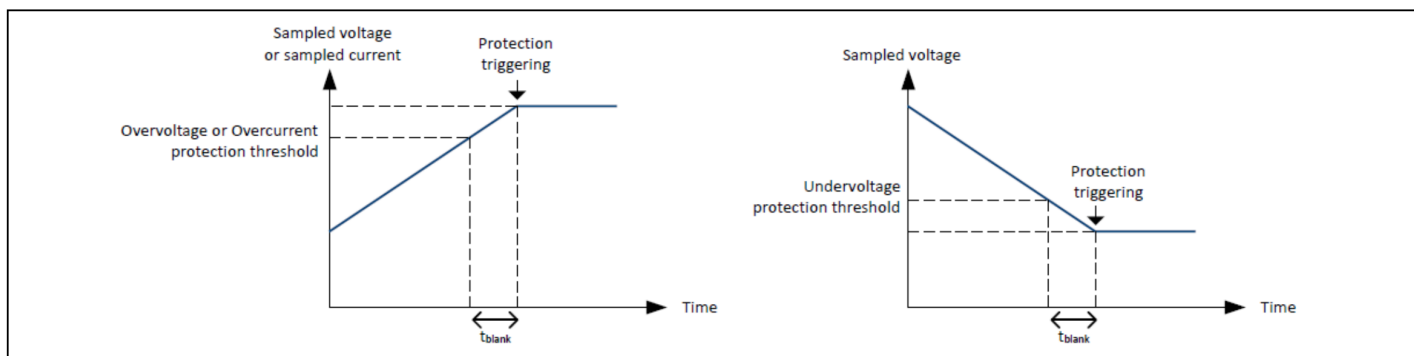


图 11 消隐时间导致的阈值超限

3.2.5.1 PFC 总线欠压保护

在 PFCVS 引脚上监测 PFC 总线欠压。

正常运行时，检测 PFCVS 引脚电压，并将其与欠压阈值 $V_{PFC_UV1} = 75\% \cdot V_{PFC_ref} = 1.88\text{ V}$ 进行比较。一旦引脚电压低于此阈值的时间超过消隐时间，PFC 将停止切换，ICL5102 将进入自动重启状态。

3.2.5.2 PFC 总线过压保护等级 1

在 PFCVS 引脚上监测 PFC 总线过压等级 1。

检测 PFCVS 引脚电压，并将其与过压阈值 $V_{PFC_OV1} = 109\% \cdot V_{PFC_ref} = 2.73\text{ V}$ 进行比较。一旦引脚电压超过此阈值，PFC 将在 $5\text{ }\mu\text{s}$ 内停止切换。只要引脚电压降至 $V_{PFC_OV} = 105\% \cdot V_{PFC_ref} = 2.63\text{ V}$ 以下，PFC 就会恢复工作。

3.2.5.3 PFC 总线过压保护等级 2

在 PFCVS 引脚上监测 PFC 总线过压等级 2。

检测 PFCVS 引脚电压，并将其与过压阈值 $V_{PFC_OV2} = 115\% \cdot V_{PFC_ref} = 2.88\text{ V}$ 进行比较。一旦引脚电压高于此阈值的时间超过消隐时间，PFC 和 HB 都将停止切换，ICL5102 将进入自动重启状态。

3.2.5.4 PFC 开路控制环路保护

在 PFCVS 引脚上监测 PFC 控制环路开路情况。

检测 PFCVS 引脚电压，并将其与过压阈值 $V_{PFC_UV2} = 12.5\% \cdot V_{PFC_ref} = 0.31\text{ V}$ 进行比较。

- 在正常操作中，一旦引脚电压低于此阈值的时间超过消隐时间，PFC 和 HB 都会停止切换，ICL5102 将进入自动重启状态。
- 在 IC 上电阶段，如果引脚电压低于此阈值，ICL5102 将不会启动。

3.2.5.5 PFC 电感过流保护

PFC 电感过流在 PFCCS 引脚处进行检测。

在 PFCCS 引脚上检测 PFC 电流检测分流电阻两端的电压，并将其与过流阈值 $V_{PFC_OCP1} = 1.0\text{ V}$ 进行比较。一旦引脚电压高于此阈值的时间超过消隐时间 $t_{PFC_OCP1_blanking} = 200\text{ ns}$ ，则在当前开关周期中关闭 PFC MOSFET。

3.2.5.6 输入 Brown-out 保护

在 BO 引脚上监测输入 Brown-out 情况。

检测 BO 引脚电压，并将其与欠压阈值 $V_{BO_out} = 1.2\text{ V}$ 进行比较。

- 正常工作状态下，一旦引脚电压低于此阈值且持续时间超过消隐时间 $t_{blanking_BO} = 50\text{ ms}$ ，PFC 和 HB 均停止切换，ICL5102 将进入自动重启状态。一旦引脚电压高于 $V_{BO_in} = 1.4\text{ V}$ ，则开始正常工作 (brown-in)。
- 在 IC 上电阶段，如果引脚电压低于此阈值，ICL5102 将不会启动。

第 2 代

3.3 谐振半桥控制器

与传统的“硬开关”拓扑相比，谐振半桥（HB）拓扑可以降低转换器中的损耗和开关噪声。这是通过正弦波方式的软换向和 HB MOSFET 的零电压开关（ZVS）实现的。

功率器件的软换向可以提高转换器的工作开关频率，并减小变压器和滤波器等无源元件的尺寸。ICL5102 提供对谐振 HB 的独立控制（例如 LLC 或 LCC），用于恒压 (CV) 或恒流 (CC) 输出。它支持固定和可变开关频率控制。

3.3.1 控制方案

ICL5102 谐振 HB 控制在软启动阶段通过时间控制振荡器 (TCO) 实现，在调节正常运行阶段通过电流控制振荡器 (CCO) 实现。在轻载运行期间，ICL5102 将进入突发模式 (BM) 以最大限度地提高轻载效率。具体描述如下：

- 通过电流控制振荡器 (CCO) 实现 HB 开关频率控制
- HB 控制器频率设置
- 通过时间控制振荡器 (TCO) 实现软启动控制
- HB 突发模式 (BM) 工作

3.3.1.1 HB 频率控制（通过 CCO）

在正常工作期间，ICL5102 HB 控制器使用恒流振荡器 (CCO) 来确定开关频率。开关频率由流出 RF 引脚的电流 I_{RF} 决定。RF 引脚保持恒定电压 $V_{RF} = 2.5 \text{ V}$ 。该电压与引脚 V_{BM} 上的电压、电阻 R_{BM} 和 R_{RF} 以及光耦合器共同决定了流出 RF 引脚的电流，如下式和图 12 所示：

$$I_{RF} = I_1 + I_2 = I_{BM} + I_{OP} + \frac{V_{RF}}{R_{RF}}$$

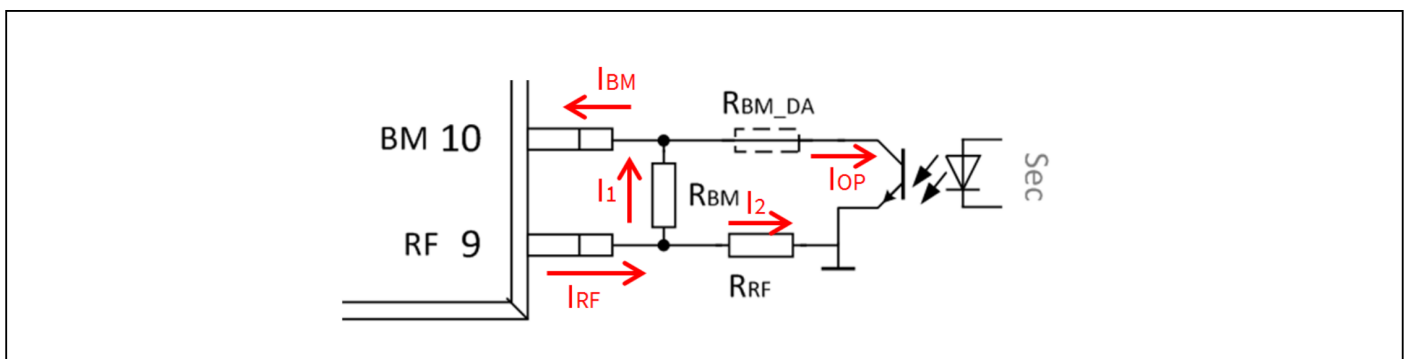


图 12 ICL5102 RF 引脚电流定义

ICL5102 HB 控制器的 CCO 与恒定转换速率 C_{FC} 呈线性关系，如图 13 所示：

$$C_{FC} = 400 \text{ KHz/mA}$$

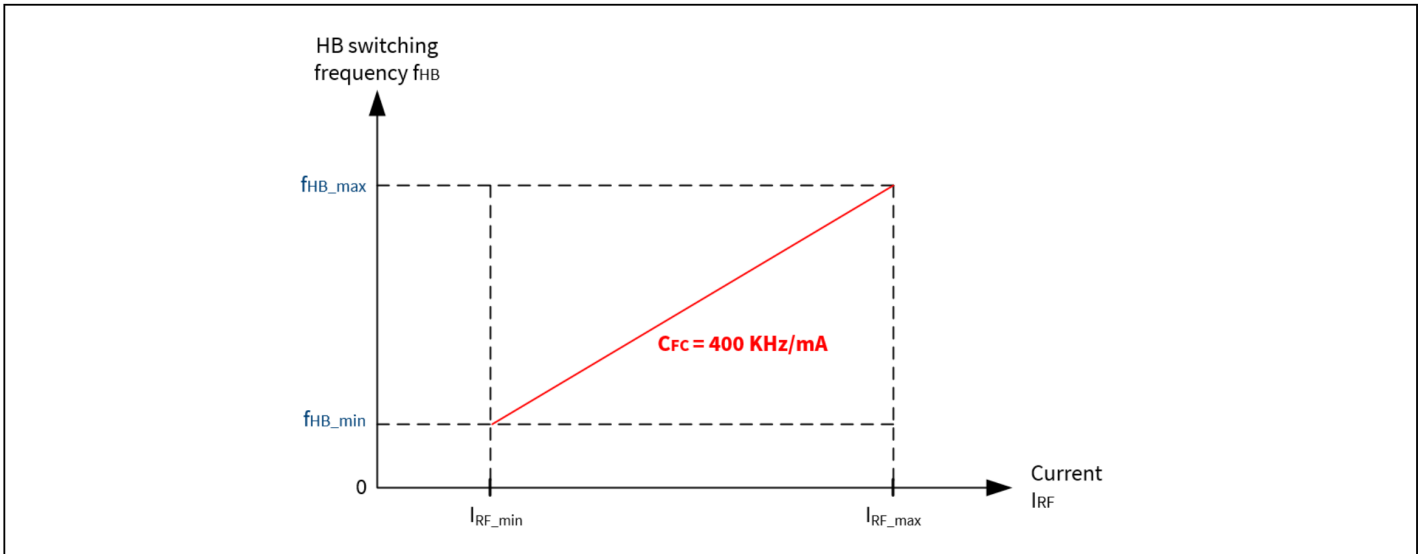


图 13 ICL5102 在正常运行状态下的 CCO

3.3.1.2 HB 控制器频率设置

ICL5102HV 的 TCO 和 CCO 均基于规定的最小和最大 HB 工作频率运行。

- HB 最小工作频率 f_{HB_min} :

在 HB 谐振槽计算中定义了该参数, 以防止 HB 在容性区域工作, 因为在该区域会出现反向增益, 导致 HB MOSFET 的零电压开关 (ZVS) 失效。ICL5102 HB 控制器以 f_{HB_min} 工作, 前提是从 RF 引脚流出的最小电流 I_{RF_min} 满足 CCO:

$$f_{HB_min} = C_{FC} * I_{RF_min}$$

当光耦合器关闭 ($I_{OP} = 0$) 且引脚电压钳位在 $V_{BM_max} = 2.25 \text{ V}$ 时, 电流最小:

$$I_{RF_min} = \frac{V_{RF}}{R_{RF}} + \frac{V_{RF} - V_{BM_max}}{R_{BM}}$$

- HB 最大工作频率 f_{HB_max} :

ICL5102 HB 控制器会随着输出负载的降低而提高 HB 的工作频率。然而, 当工作频率超过最大工作频率 f_{HB_max} 时, 输出功率无法进一步降低, HB 控制器进入 BM 状态。根据 CCO 的定义, f_{HB_max} 由最大电流 I_{RF_max} 决定:

$$f_{HB_max} = C_{FC} * I_{RF_max}$$

当 BM 引脚上的电压为 $V_{BM_entry} = 0.75 \text{ V}$ 时, ICL5102 进入 BM 状态:

$$I_{RF_max} = \frac{V_{RF}}{R_{RF}} + \frac{V_{RF} - V_{BM_entry}}{R_{BM}}$$

HB 的最小和最大工作频率必须满足以下条件:

$$f_{HB_max} < 7 * f_{HB_min}$$

HB 的最小和最大工作频率由外部电阻 R_{BM} 和 R_{RF} 共同设定。如图 12 所示。

3.3.1.3 HB 软启动控制 (通过 TCO)

ICL5102 HB 控制器在总线电压达到标称值的 75% 后 (即 VSPFC 引脚达到 $V_{PFC_UV1} = 75\% * V_{PFC_ref} = 1.88 \text{ V}$), 启动软启动。在软启动期间, HB 开关频率随时间推移而降低 (时间控制振荡器), 如图 14 所示:

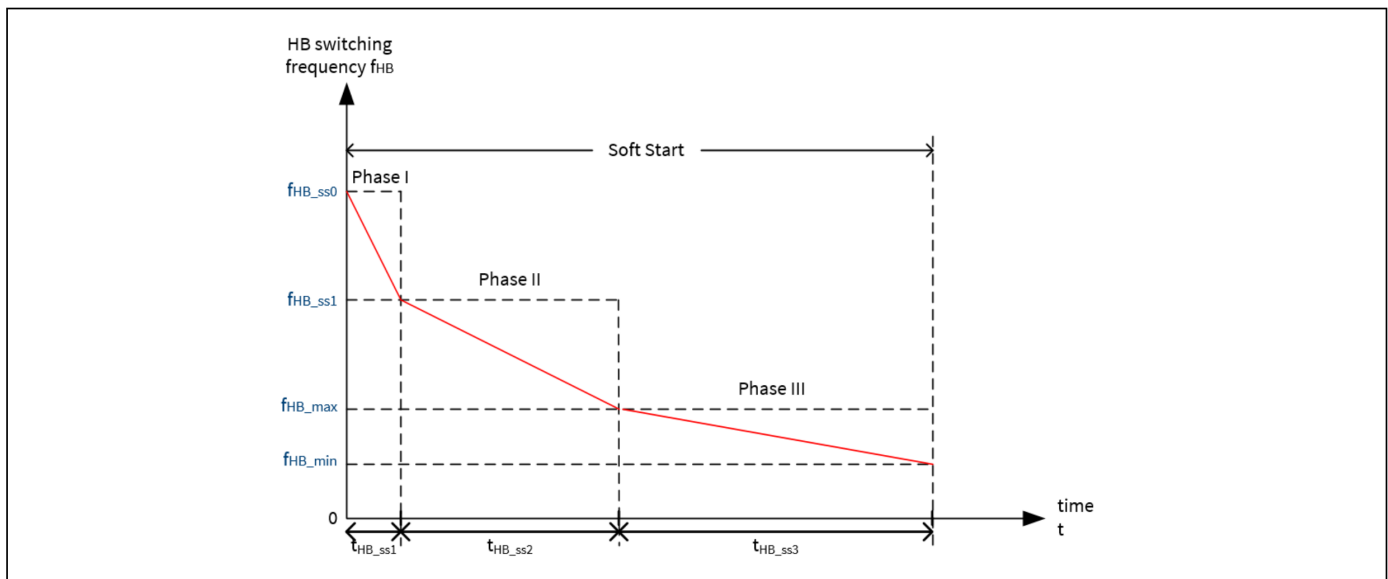


图 14 半桥软启动的 TCO

完整的 HB 软启动最多需要 7 ms，分为三个时间阶段，每个阶段的频率斜率不同：

- 软启动阶段 I

- 软启动阶段 I 的最大持续时间为 $t_{HB_SS1} = 624 \mu s$ 。
- HB 软启动阶段 I 以开关频率 f_{HB_ss0} 开始，其定义为：

$$f_{HB_ss0} = 4 * (f_{max} - f_{min}) + f_{min}$$
- 最大可能的软启动频率为 $f_{HB_ss_start_max} = 1300 \text{ KHz}$ 。
- HB 软启动阶段 I 以开关频率 f_{HB_ss1} 结束，其定义如下：

$$f_{HB_ss1} = 2.6 * (f_{max} - f_{min}) + f_{min}$$

- 软启动阶段 II

- 软启动阶段 II 的最大持续时间为 $t_{HB_SS2} = 2.5 \text{ ms}$ 。
- HB 软启动阶段 II 以开关频率 f_{HB_ss1} 开始。
- HB 软启动阶段 II 以最大开关频率 f_{HB_max} 结束。

- 软启动阶段 III

- 软启动阶段 III 的最大持续时间为 $t_{HB_SS3} = 3.75 \text{ ms}$ 。
- HB 软启动阶段 III 以开关频率 f_{HB_max} 开始。
- HB 软启动阶段 III 以最小开关频率 f_{HB_min} 结束。

在软启动阶段 I 和阶段 II 中，BM 引脚上的电压被钳位在 0.75 V。因此，从 RF 引脚流出的电流是恒定的，HB 开关频率仅由 TCO 决定。

在软启动阶段 III，BM 引脚的电压从 0.75 V 逐渐升高至 2.25 V，RF 引脚的流出电流也相应减小。同时，随着次级侧输出电压接近目标值，流经光耦合器初级侧的电流开始增大。当流经光耦合器的电流 I_{OP} 等于流经电阻 R_{BM} 的电流 I_1 时，电流 $I_{BM} = 0$ （参见图 12），软启动终止，CCO 将从 TCO 接管控制权。

在软启动操作期间，如果 LSCS 引脚上的电压大于阈值 0.8 V，HB 控制器将停止降低开关频率。当电压降至阈值以下时，开关频率降低将恢复。

3.3.1.4 HB 突发模式工作

即使 ICL5102 HB 控制器以最大开关频率 f_{HB_max} 运行，当输出功率大于输出负载需求时，HB 控制器仍会进入 BM 模式。建议将 ICL5102 置于待机（调光至关闭）BM 模式，以获得最低的输入待机功耗。

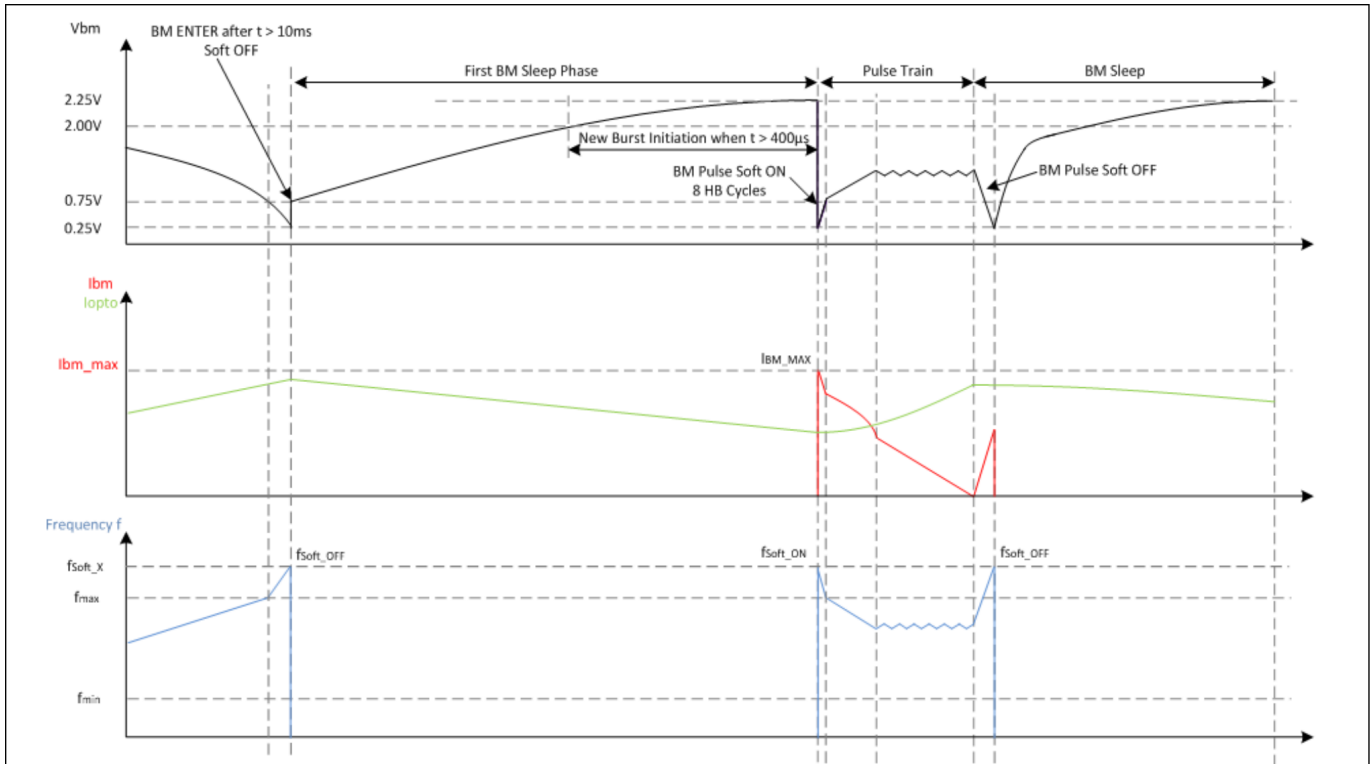


图 15 HB BM 控制

如图 15 所示，BM 控制是通过检测引脚 BM 上的电压 V_{BM} 来实现的：

- BM 进入模式：

正常工作期间，一旦 BM 引脚电压低于 $V_{HB_BM_Entry} = 0.75V$ 且持续时间超过 $t_{HB_BM_Entry_blanking} = 10\text{ ms}$ ，ICL5102 将首先通过将 HB 开关频率从 f_{HB_max} 提高到 f_{HB_BM} 来进行软关断。达到 f_{HB_BM} 后，PFC 和 HB 开关均停止，ICL5102 进入睡眠模式。

$$f_{HB_BM} = \frac{4}{3} * (f_{max} - f_{min}) + f_{min}$$

- BM 突发模式开启：

在睡眠模式下，随着输出电压的下降，BM 引脚电压 V_{BM} 会升高。当 V_{BM} 达到 2.25 V 时，ICL5102 将同时激活 PFC 和 HB 电路。

ICL5102 HB 控制器以 f_{HB_BM} 的开关频率启动，并逐渐降低至 f_{HB_max} 以完成软启动。软启动后，开关频率继续降低，直至 BM 功率限制生效。

- BM 功率限制：

当开关频率达到 f_{HB_PL} 时，ICL5102 会在 BM 脉冲导通阶段激活功率限制。可以通过连接 LSCS 引脚和 HB 低边 MOSFET 源极的电阻 R_{PL} 来调节 BM 中的传输功率，如图 16 所示。在 BM 功率限制阶段，HB 开关频率保持在 f_{HB_PL} 附近。

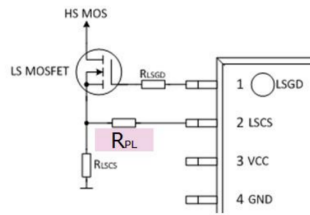


图 16 ICL5102 突发模式功率限制

- BM 突发模式关闭:

当流经光耦合器的电流（随着输出电压的增加）等于流经电阻 R_{BM} 的电流 I_1 ，即 $I_{BM} = 0$ （参见图 12）时，通过将 HB 开关频率增加到 f_{HB_BM} 来启动软关断操作。达到 f_{HB_BM} 后，PFC 和 HB 级均停止开关，ICL5102 进入睡眠模式。

- BM 退出:

ICL5102 将在 4 种不同情况下退出 BM:

- BM 突发模式关闭期间:

如果在突发关断阶段（睡眠模式）发生突然的输出负载阶跃增加，BM 引脚上的电压将急剧升高。如果 V_{BM} 在 $400\ \mu s$ 内从 $2.0\ V$ 升高到 $2.25\ V$ ，ICL5102 将退出 BM。

- 在功率限制激活时，BM 突发模式开启期间:

当 ICL5102 处于突发导通阶段且功率限制激活时，BM 引脚上的电压会被钳位，无法快速变化。一旦电压变化（增加）在 8 个 HB 开关周期内达到 $\Delta V_{BM} = +100\ mV$ ，则检测到输出负载阶跃，ICL5102 将退出 BM。

- 在功率限制激活时，BM 突发模式开启期间:

一旦 BM 突发模式开启持续时间超过 $10\ ms$ ，这意味着输出端的静态负载消耗的功率超过了 BM 功率限制水平，ICL5102 将退出 BM。

- 在功率限制激活时，BM 突发模式开启期间:

当 BM 突发模式开启持续时间是突发模式关闭持续时间的 2 倍时，这意味着输出负载较高，而 BM 的效率不够高。ICL5102 将退出 BM。

要禁用 HB BM 操作，应在 BM 引脚和光耦合器之间添加一个电阻，以防止 BM 引脚上的电压降至 $0.75\ V$ 以下。

3.3.2 HB 自适应死区时间

ICL5102 HB 低边 (LS) 和高边 (HS) 栅极驱动器导通信号之间的死区时间是自适应的。死区时间的典型调节范围为 250 至 $750\ ns$ 。死区时间的测量方法是：在 HS 栅极驱动器关断后，直到引脚 LSCS 上的电压降至 $-50\ mV$ 以下。如图 17 所示，该时间将用于 LS 和 HS 之间的死区时间。

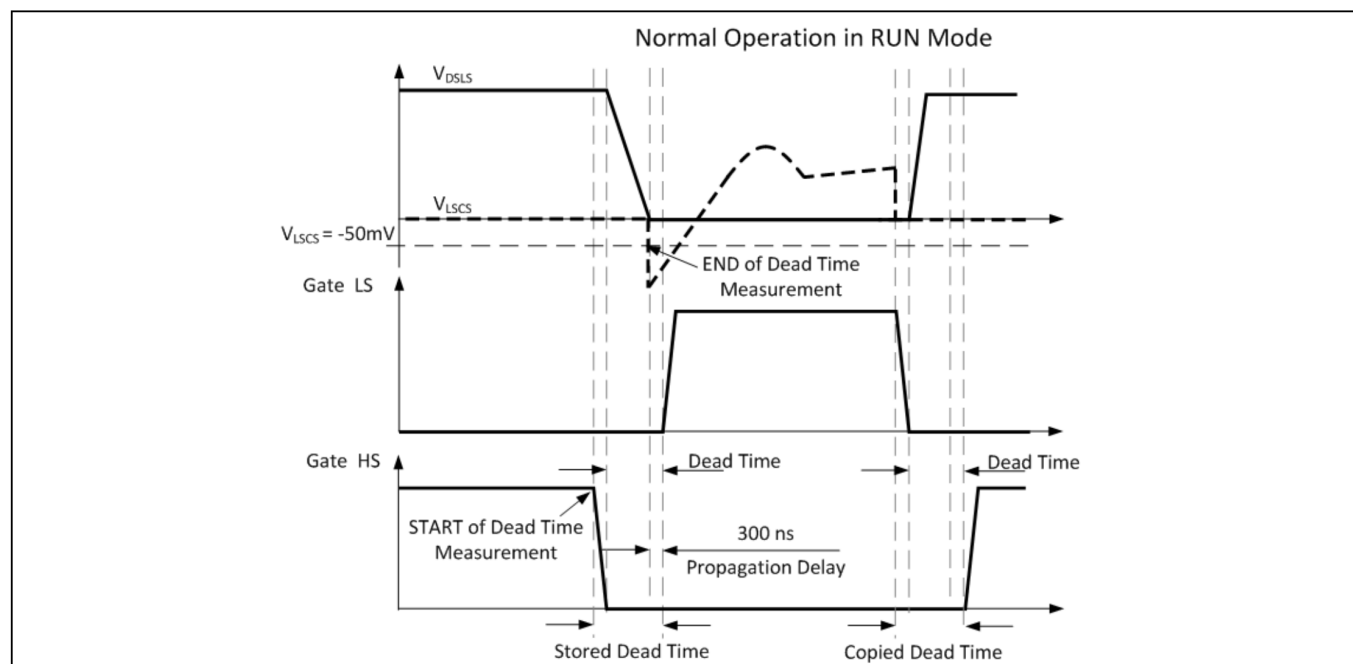


图 17 HB 自适应死区时间

3.3.3 HB 保护特性

3.3.3.1 HB 过流保护等级 1 (OCP1)

在 LSCS 引脚上检测 HB 过流等级 1。

在 HB 低边栅极驱动器导通期间，通过 LSCS 引脚检测 HB LSCS 分流电阻两端的电压，并将其与过流阈值 $V_{HB_OCP1} = 0.8\text{ V}$ 进行比较。一旦电压超过此阈值，控制器将逐周期增加 HB 开关频率，直至达到最大开关频率 f_{HB_max} 。如果在消隐时间 $t_{HB_OCP1_blanking} = 50\text{ ms}$ 之后发生 HB 过流事件 (HB OCP1)，ICL5102 将进入自动重启状态。

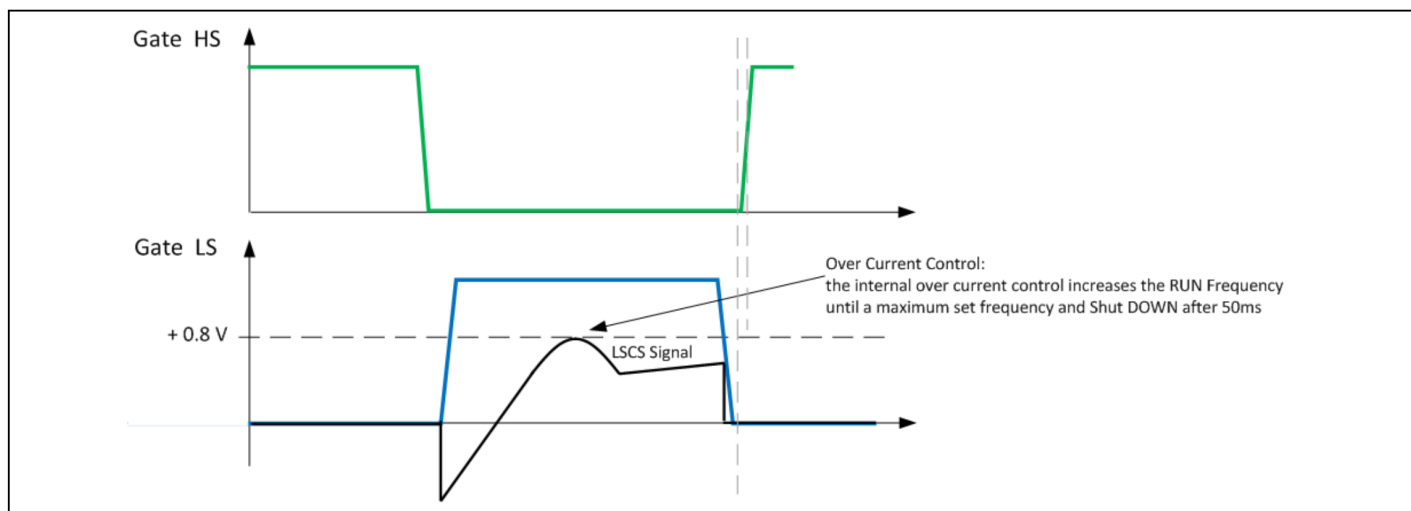


图 18 HB 过流保护等级 1

3.3.3.2 HB 过流保护等级 2 (OCP2)

在 LSCS 引脚上检测 HB 过流等级 2。

在 HB 低边栅极驱动器导通期间，通过 LSCS 引脚检测 HB 低边电流检测分流电阻上的电压，并将其与过流阈值 $V_{HB_OCP2} = 1.6\text{ V}$ 进行比较。一旦电压超过此阈值并持续超过消隐时间 $t_{HB_OCP2_blanking} = 500\text{ ns}$ ，PFC 和 HB 都将停止切换，ICL5102 将进入自动重启状态。

3.3.3.3 HB 输出过压保护

在 OVP 引脚上监测 HB 输出过压。

ICL5102 提供一个独立的 OVP 引脚，用于输出过压保护。该引脚应如图所示连接到 HB 变压器的辅助绕组如下图 19 所示：

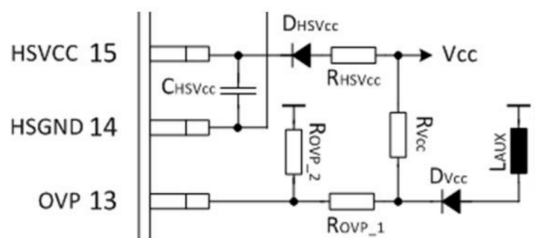


图 19 HB 输出过压保护 (OVP) 检测电路

电阻分压器会降低辅助绕组电压，从而实现辅助电压检测和过压保护 (OVP)。一旦 OVP 引脚上的电压 V_{OVP} 高于 $V_{OVP_ref} = 2.5\text{ V}$ 且持续时间超过 $t_{HB_OVP_blank} = 5\text{ }\mu\text{s}$ ，PFC 和 HB 级都会停止切换，ICL5102 将进入自动重启状态。

3.3.3.4 HB 电容模式保护

当最小 HB 开关频率高于峰值增益频率时，谐振网络的设计阻抗为感性。当 HB 开关频率低于峰值增益频率时，谐振网络的阻抗变为容性，HB 转换器进入电容模式。电容模式最常发生在 HB 谐振转换器的输入电压过低，或者 HB 输出过载（短路或过载）时。

ICL5102 通过监测 LSCS 引脚来检测电容模式工作状态：

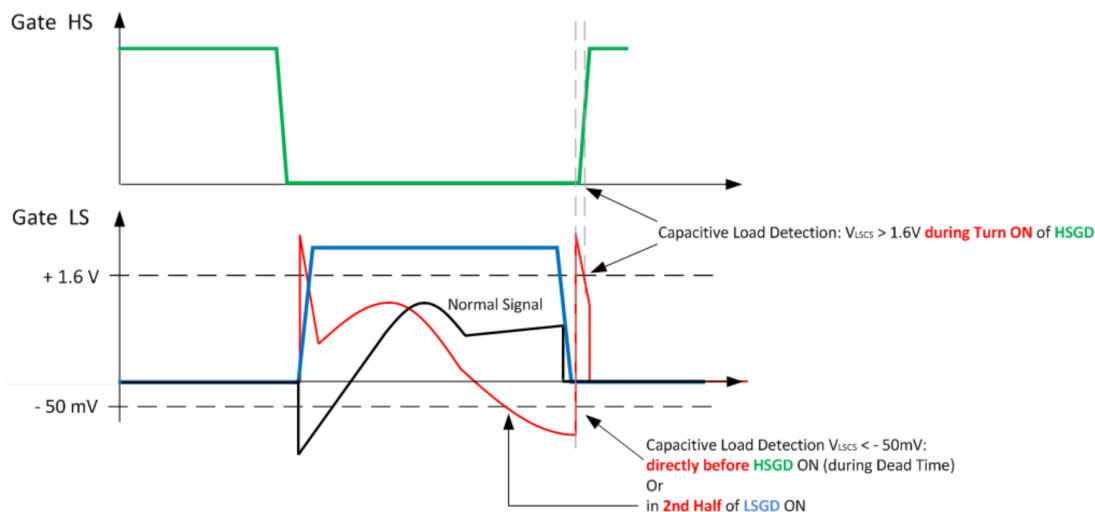


图 20 HB 电容模式检测

如图 20 所示，当 HS 栅极驱动器开启期间 LSCS 引脚上的电压大于 1.6 V，或者在 LSGD 导通时间的后半段或 LS 和 HS 之间的死区时间内电压降至 -50 mV 以下时，即可检测到电容模式操作。

ICL5102 能够为电容模式调节提供逐周期频率控制。当 LSCS 引脚电压在 LSGD 导通时间的前 7% 内高于 +50 mV 时，此功能将被激活。HB 控制器将逐周期增加频率，直到 LSCS 引脚电压的 +50 mV 过零点移至 7% 阈值之后，如图 21 所示。

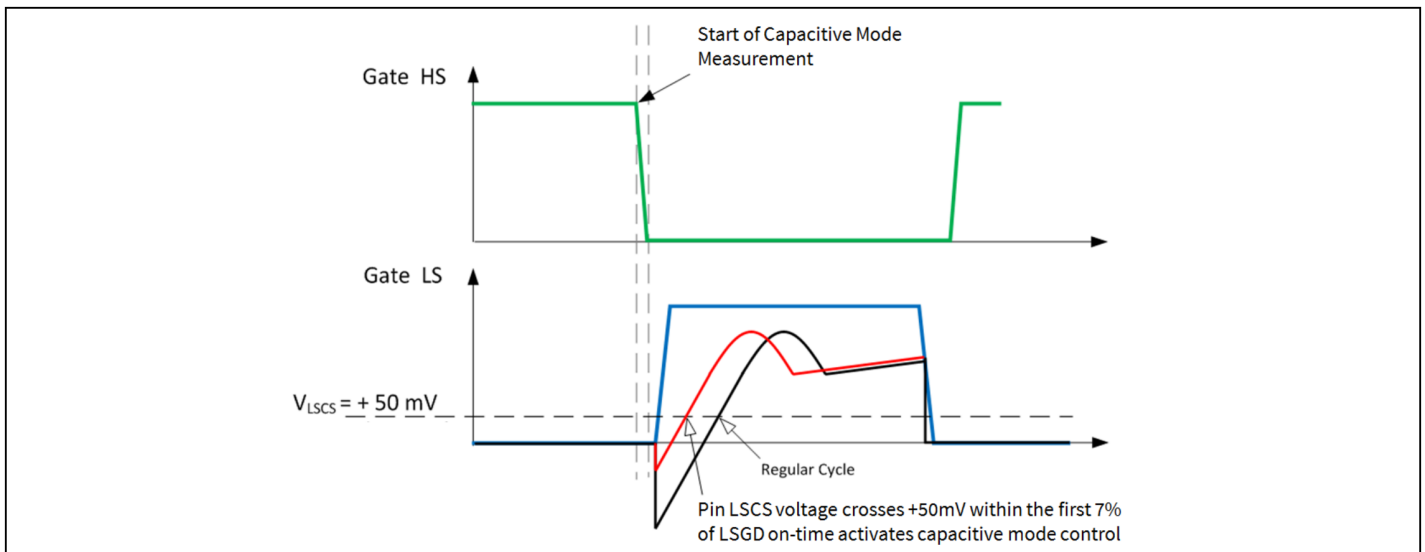


图 21 HB 电容模式调节

如果在电容模式控制下检测到电容模式操作持续时间超过 620 μ s，则 ICL5102 将进入自动重启状态。

3.4 其他保护特性

3.4.1 外部过温保护 (OTP)

通过连接在 OTP 引脚和 GND 之间的外部 NTC 电阻，在 OTP 引脚上检测外部温度。

OTP 引脚的源电流为 $I_{OTP} = 100 \mu A$ 。该电流会在连接的 NTC 热敏电阻上产生压降。在正常工作状态下，一旦 OTP 引脚电压低于 $V_{OTP_off} = 625 \text{ mV}$ 且持续时间超过消隐时间 $t_{OTP_blanking} = 620 \mu s$ ，PFC 和 HB 级将停止切换，ICL5102 将进入自动重启状态。当 OTP 引脚电压高于 $V_{OTP_start} = 703 \text{ mV}$ 且持续时间超过 $t_{OTP_blanking}$ 时，PFC 和 HB 级将恢复工作。如图 22 所示。

建议在 OTP 引脚附近放置优质陶瓷电容器，以防止噪声误触发 OTP 保护。

要禁用外部 OTP，可以在 OTP 引脚上添加一个电阻器而不是 NTC，以使电压始终高于 $V_{OTP_start} = 703 \text{ mV}$ 。

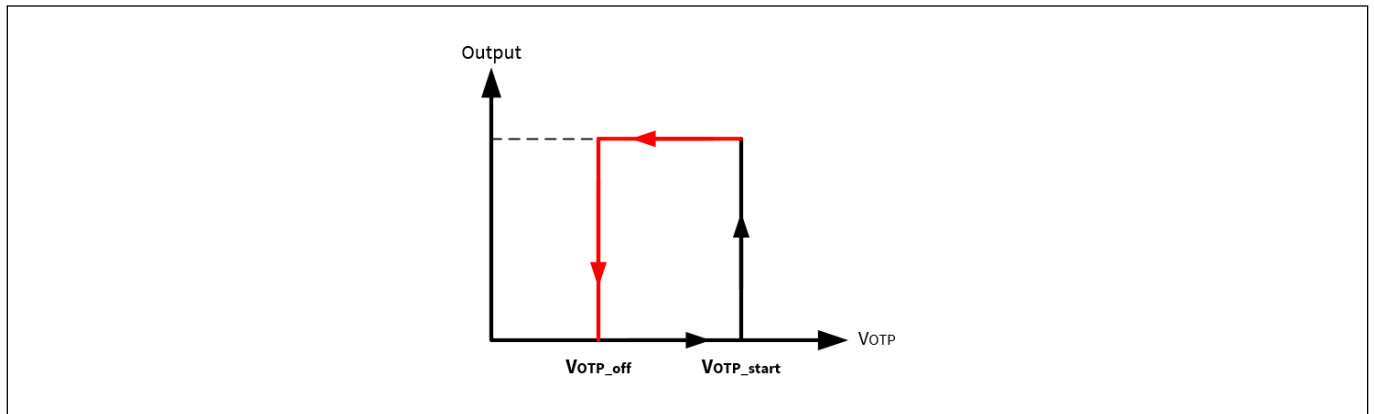


图 22 外部过温保护

4 ICL5102 工作流程图

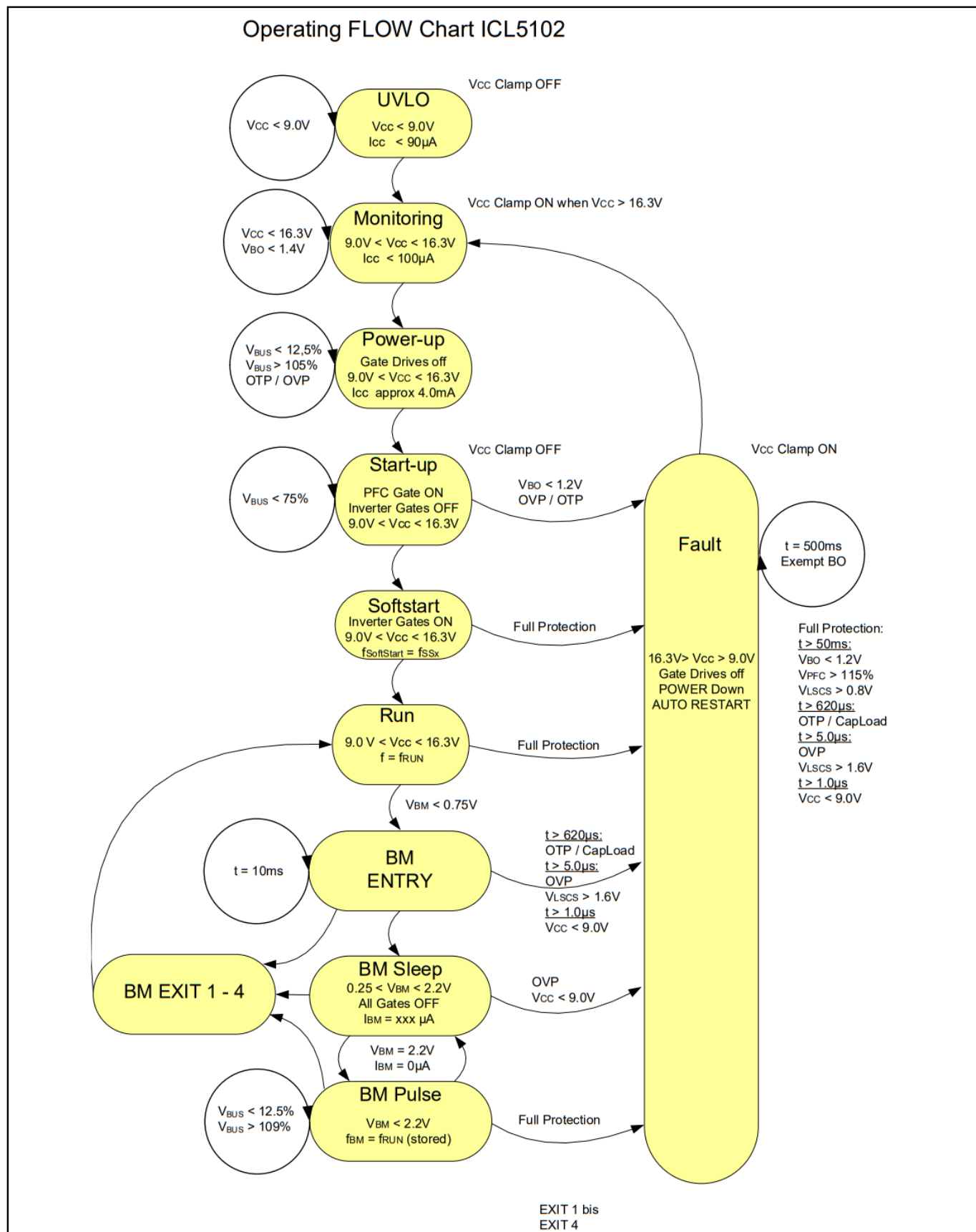


图 23 ICL5102 工作流程图

5 电气特性

注：除高边信号外，所有电压均相对于 GND（引脚 4）测量。高边电压是相对于 HSGND（引脚 14）测量的。如果没有违背其他额定值，则电压电平都有效。

5.1 封装特性

表 2 封装特性

Parameter	Symbol	Limit Values		Unit	Remarks
		Min.	Max.		
Thermal resistance for PG-DSO-16	R_{thJA}	—	119	K/W	PG-DSO-16 @ $T_A = 85^\circ\text{C}$ & PCB Area > 30mm x 20mm
Creepage distance HSGND vs OVP pin	D_{CRHS}	0.78	—	mm	

5.2 绝对最大额定值

注：绝对最大额定值定义（表 3）为当超过该额定值时可能导致集成电路损坏的额定值。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。除非另有说明，这些数值均为直流条件下的数值，并且未经生产测试验证。

表 3 绝对最大额定值

Parameter	Symbol	Limit Values		Unit	Remarks
		Min.	Max.		
LSCS pin Voltage	V_{LSCS}	- 5	6	V	
LSCS pin Current	I_{LSCS}	- 3	3	mA	
LSGD pin Voltage	V_{LSGD}	- 0.3	$V_{CC}+0.3$	V	Internally clamped to 11V
LSGD pin peak source current ¹	$I_{LSGD_O_max}$	- 75	5	mA	< 500 ns
LSGD pin peak sink current ²	$I_{LSGD_I_max}$	- 50	400	mA	< 100 ns
Voltage externally supplied to pin VCC	V_{VCC}	- 0.3	18.5	V	
Vcc pin internal zener diode clamp current	I_{VCC_clamp}	- 5	5	mA	
PFCGD pin voltage	V_{PFCGD}	- 0.3	$V_{CC}+0.3$	V	Internally clamped to 11V
PFCGD pin peak source current ¹	$I_{PFCGD_O_max}$	- 150	5	mA	< 500 ns
PFCGD pin peak sink current ²	$I_{PFCGD_I_max}$	- 100	700	mA	< 100 ns
PFCCS pin voltage	V_{PFCCS}	- 5	6	V	

¹ 当 PFCGD 引脚为高电平时。负号表示电流从 IC 流出。

² 当 PFCGD 引脚为低电平时。负号表示电流从 IC 流出。

Parameter	Symbol	Limit Values		Unit	Remarks
		Min.	Max.		
PFC _{CS} pin current	I _{PFC_{CS}}	- 3	3	mA	
PFC _{ZCD} pin voltage	V _{PFC_{ZCD}}	- 3	6	V	
PFC _{ZCD} pin current	I _{PFC_{ZCD}}	- 5	5	mA	
PFC _{VS} pin voltage	V _{PFC_{VS}}	- 0.3	5.3	V	
RF pin voltage	V _{RF}	- 0.3	5.3	V	
OTP pin voltage	V _{OTP}	- 0.3	5.3	V	
OVP pin voltage	V _{OVP}	- 0.3	5.3	V	
BM pin voltage	V _{BM}	- 0.3	5.3	V	
BO pin Voltage	V _{BO}	- 0.3	5.3	V	
HSGND pin voltage	V _{HSGND}	- 650	650	V	Referring to GND ¹
HSGND pin voltage transient	dV _{HSGND} /dt	- 40	40	V/ns	
Voltage externally supplied to pin H _{SVCC}	V _{H_{SVCC}}	- 0.3	18.0	V	Referred to HSGND
HSGD pin voltage	V _{HSGD}	- 0.3	V _{H_{SVCC}} +0.3	V	Internally clamped to 11V
HSGD pin peak source current ²	I _{HSGD_O_max}	- 75	0	mA	< 500 ns
HSGD pin peak sink current ³	I _{HSGD_I_max}	0	400	mA	< 100 ns
Junction temperature	T _J	- 40	150	°C	
Storage temperature	T _S	- 55	150	°C	
Total IC power dissipation	P _{TOT}	—	1	W	PG-DSO-16 / T _{amb} =25°C
Soldering temperature	T _{SOLD}	—	260	°C	Wave Soldering ⁴
Latch-up capability	I _{LU}	—	150	mA	Pin voltages acc. to abs. maximum ratings ⁵
ESD Capability HBM	V _{ESD_HBM}	—	2	kV	Human Body Model ⁶
ESD Capability CDM	V _{ESD_CDM}	—	500	V	Charged Device Model ⁷

¹ 由于高边引脚和低边引脚之间的爬电距离有限（内部 CTT 900V）

² 当 PFC_{GD} 引脚为高电平时。负号表示电流从 IC 流出。

³ 当 PFC_{GD} 引脚为低电平时。负号表示电流从 IC 流出。

⁴ 根据 JESD22-A111 Rev A

⁵ 根据 JEDEC JESD78D 标准，门锁能力，T_A= 85°C

⁶ ESD-HBM 符合 ANSI/ESDA/JEDEC JS-001-2012

⁷ 根据 JESD22-C101F 标准的 ESD-CDM

5.3 工作条件

下表列出了 DC 电气特性有效的推荐工作条件。

表 4 工作范围

Parameter	Symbol	Limit Values		Unit	Remarks
		Min.	Max.		
Voltage externally supplied to pin HSVCC	V _{HSVCC}	V _{HSVCC_Off}	17.5	V	Referring to HSGND
HSGND pin voltage	V _{HSGND}	- 650	650	V	Referring to GND
External supplied V _{CC}	V _{VCC}	V _{VCC_Off}	17.5	V	T _J = 25°C
External supplied V _{CC}	V _{VCC}	V _{VCC_Off}	18.0	V	T _J = 125°C
LSCS pin voltage	V _{LSCS}	- 4	5	V	In active mode
PFCVS pin voltage	V _{PFCVS}	0	4	V	
PFCCS pin voltage	V _{PFCCS}	- 4	5	V	In active mode
PFCZCD pin voltage	I _{PFCZCD}	- 3	3	mA	In active mode
OVP pin voltage	V _{OVP}	0	2.5	V	
Junction temperature	T _J	- 40	125	°C	
Adjustable HB switching frequency	f _{HB}	20	500	kHz	
HB Soft-start switching frequency	f _{HB_SS_max}	—	1300	kHz	@ Soft Start
AC mains input frequency	f _{AC}	45	65	Hz	For notch filter

5.4 DC 电气特性

注： 电气特性参数是在规定的电源电压和结温范围 T_J（-40 °C 至 125 °C）内给出的数值范围。典型值代表中值，以 25 °C 为参考。除非另有说明，否则假定电源电压为 15 V，V_{HSVCC} = 15 V，且 IC 工作在激活模式。此外，除非另有说明，所有电压均指接地电压 (GND)。

5.4.1 电源特性

表 5 工作范围

Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Remarks
		Min.	Typ.	Max.		
V _{CC} Quiescent supply Current 1	I _{VCC_QU1}	—	70	120	μA	V _{VCC} = 8.0V
V _{CC} Quiescent supply Current 2 ¹	I _{VCC_QU2}	—	4.0	5.8	mA	V _{PFCVS} > V _{PFCVS_OV2} , V _{VCC} = 15V
V _{CC} supply current in sleep mode	I _{VCC_sleep}	—	100	160	μA	
V _{CC} turn-on threshold	V _{VCC_On}	15.4	16.0	16.6	V	

¹ 器件处于激活状态，但栅极处于非激活状态

Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Remarks
		Min.	Typ.	Max.		
Vcc turn-off threshold	V _{Vcc_Off}	8.5	9.0	9.5	V	
Vcc on-off hysteresis	V _{Vcc_Hys}	6.7	7.0	7.4	V	
Vcc internal clamping voltage	V _{Vcc_Clamp}	15.4	16.3	16.6	V	I _{Vcc} = 2mA
Vcc internal clamping current	I _{Vcc_clamp}	2.5	3.5	4.5	mA	V _{Vcc} = 18V
High side leakage current	I _{HSGND_leak}	—	0.01	2.0	μA	V _{HSGND} = 650V, V _{GND} = 0V
HSVcc Quiescent supply Current 1	I _{HSVcc_QU1}	—	190	280	μA	V _{HSVcc} = 8.0V ¹²
HSVcc Quiescent supply Current 2 ¹	I _{HSVcc_QU2}	—	0.65	1.2	mA	V _{HSVcc} > V _{HSVcc_On}
HSVcc turn-on threshold	V _{HSVcc_On}	9.55	10.3	11	V	²
HSVcc turn-off threshold	V _{HSVcc_Off}	7.9	8.6	9.3	V	¹²
HSVcc on-off hysteresis	V _{HSVcc_Hy}	1.4	1.7	2.1	V	¹²

5.4.2 PFC 级特性

表 6 PFCGD 引脚的电气特性

Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Remarks
		Min.	Typ.	Max.		
PFCGD low voltage	V _{PFCGDL}	0.40	0.70	0.92	V	I _{PFCGD} = 5mA
		0.40	0.75	1.12	V	I _{PFCGD} = 20mA
		- 0.20	0.30	0.62	V	I _{PFCGD} = -20mA
PFCGD high voltage	V _{PFCGDH}	10.0	11.0	11.6	V	I _{PFCGD} = -20mA
		7.5	—	—	V	I _{PFCGD} = -1mA ³
		7.0	—	—	V	I _{PFCGD} = -5mA ¹³
PFCGD active shut down	V _{PFCGDLASD}	0.40	0.75	1.12	V	I _{PFCGD} = 20mA / V _{VCC} = 5V
PFCGD UVLO shut down	V _{PFCGDLUVLO}	0.30	1.00	1.60	V	I _{PFCGD} = 5mA / V _{VCC} = 2V
PFCGD peak source current	I _{PFCGDSO}	—	- 100	—	mA	⁴
PFCGD peak sink current	I _{PFCGDSI}	—	500	—	mA	¹⁴
PFCGD voltage during sink current	V _{PFCGDHS}	10.8	11.7	12.3	V	I _{PFCGD} = 3mA
PFCGD rise time	t _{PFCGDR}	125	275	580	ns	2V < V _{PFCGD} < 8V ⁵
PFCGD fall time	t _{PFCGDF}	20	45	72	ns	2V < V _{PFCGD} < 8V ¹⁵

¹ 器件处于激活状态，但栅极处于非激活状态

² 指的是高边地（HSGND）

³ V_{VCC} = V_{Vcc_off} + 0.3 V

⁴ 参数无需经过生产测试 - 通过设计/特性验证

⁵ R_{Load} = 4Ω 且 C_{Load} = 3.3 nF

表 7 PFCSS 引脚的电气特性

Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Remarks
		Min.	Typ.	Max.		
PFC OCP1 comparator reference voltage	V_{PFC_OCP1}	0.95	1.0	1.05	V	
PFC OCP1 blanking time (incl. prorogation delay)	$t_{PFC_OCP1_blanking}$	140	200	260	ns	
Leading-edge blanking	t_{PFC_LEB}	180	250	320	ns	Pulse width when $V_{PFCSS} > 1.0V$
PFCSS pin bias current	$I_{PFCSSBIAS}$	- 0.5	—	0.5	μA	$V_{PFCSS} = 1.5V$

表 8 PFCZCD 引脚的电气特性

Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Remarks
		Min.	Typ.	Max.		
ZCD reset threshold	$V_{PFCZCDTHRH}$	1.4	1.5	1.6	V	
ZCD threshold	$V_{PFCZCDTHRL}$	0.4	0.5	0.6	V	
ZCD hysteresis	$V_{PFCZCDHY}$	—	1.0	—	V	
Input voltage positive clamping level	$V_{PFCZCDCLAMPH}$	4.1	4.6	5.10	V	$I_{PFCZCD} = 2mA$
Input voltage negative clamping level	$V_{PFCZCDCLAMPL}$	- 1.70	- 1.4	- 1.0	V	$I_{PFCZCD} = - 2mA$
PFCZCD pin bias current, high	$I_{PFCZCDBIASH}$	- 0.5	—	5.0	μA	$V_{PFCZCD} = 1.5V$
PFCZCD pin bias current, low	$I_{PFCZCDBIASL}$	- 0.5	—	0.5	μA	$V_{PFCZCD} = 0.5V$
Ringing suppression-time	$t_{PFCZCDRING}$	350	500	650	ns	
Limit value for ON-time extension	$\Delta t \times I_{ZCD}$	400	600	670	pC	

表 9 PFCVS 引脚的电气特性

Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Remarks
		Min.	Typ.	Max.		
PFCVS pin reference voltage	V_{PFCVS_ref}	2.46	2.50	2.54	V	
PFC OVP level 2 threshold (115% V_{PFCVS_ref})	$V_{PFCVS OV2}$	2.82	2.88	2.93	V	PFC and HB OFF
PFC OVP level 1 threshold (109% V_{PFCVS_ref})	$V_{PFCVS OV1}$	2.67	2.73	2.78	V	PFC OFF
PFC OVP recovery threshold (105% V_{PFCVS_ref})	$V_{PFCVS OVR}$	2.56	2.63	2.68	V	
PFC OVP hysteresis	$V_{PFCVS OVHY}$	70	100	130	mV	4 % rated bus voltage
PFC rated bus voltage (95% V_{PFCVS_ref})	$V_{PFCVS RATED}$	2.32	2.38	2.425	V	

Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Remarks
		Min.	Typ.	Max.		
PFC UVP threshold (75% V_{PFCVS_ref})	$V_{PFCVSUV1}$	1.83	1.88	1.92	V	
PFC open loop threshold (12.5% V_{PFCVS_ref})	$V_{PFCVSUV2}$	0.237	0.31	0.387	V	
PFCVS pin bias current	$I_{PFCVSBias}$	- 1.0	—	1.0	μA	$V_{PFCVS} = 2.5V$

表10 PFC PWM 生成

Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Remarks
		Min.	Typ.	Max.		
PFC initial on-time in soft-start	$t_{PFC_on_initial}$	1.75	6.0	10.64	μs	$V_{PFCZCD} = 0V, V_{BO} = 2.0V$
PFC maximum on-time	$t_{PFC_on_max}$	17	22	26	μs	$V_{ACIN} = 90V$
PFC minimum on-time in CrCM operation	$t_{PFC_on_min}$	100	220	370	ns	
PFC repetition-time	t_{PFC_rep}	47	52	60	μs	$V_{PFCZCD} = 0V$
PFC maximum off-time	t_{PFC_off}	42	47	52.5	μs	

5.4.3 HB 级特性

表 11 LSGD 引脚的电气特性

Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Remarks
		Min.	Typ.	Max.		
LSGD low voltage	V_{LSGDL}	0.40	0.70	1.00	V	$I_{LSGD} = 5\text{ mA}$
		0.40	0.80	1.20	V	$I_{LSGD} = 20\text{ mA}$
		- 0.30	0.20	0.53	V	$I_{LSGD} = - 20\text{ mA}$
LSGD high voltage	V_{LSGDH}	10.0	10.8	11.6	V	$I_{LSGD} = - 20\text{ mA}$
		7.5	—	—	V	$I_{LSGD} = - 1\text{ mA}^1$
		7.0	—	—	V	$I_{LSGD} = - 5\text{ mA}^{16}$
LSGD active shut down	$V_{LSGDLASD}$	0.4	0.75	1.12	V	$I_{LSGD} = 20\text{ mA} / V_{CC} = 5V$
LSGD UVLO shut down	$V_{LSGDLUVLO}$	0.3	1.0	1.6	V	$I_{LSGD} = 5\text{ mA} / V_{CC} = 2\text{ V}$
LSGD peak source current	I_{LSGDSO}	—	- 50	—	mA	²
LSGD peak sink current	I_{LSGDSI}	—	300	—	mA	¹⁷
LSGD voltage during sink current	V_{LSGDHS}	—	11.7	—	V	$I_{LSGD} = 3\text{ mA}$
LSGD rise time	t_{LSGDR}	125	275	580	ns	$2\text{ V} < V_{LSGD} < 8\text{ V}^3$
LSGD fall time	t_{LSGDF}	20	35	60	ns	$2\text{ V} < V_{LSGD} < 8\text{ V}^{18}$

¹ $V_{VCC} = V_{CCOFF} + 0.3\text{ V}$
² 该参数不适用于生产测试 – 由设计/特性验证。

³ Load: $R_{Load} = 10\ \Omega$ 且 $C_{Load} = 1\text{ nF}$

表 12 LSCS 引脚的电气特性

Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Remarks
		Min.	Typ.	Max.		
HB over-current protection level 2	V _{HB_OCP2}	1.54	1.6	1.66	V	
Blanking time for HB over-current protection level 2	t _{HB_OCP2_blanking}	430	600	670	ns	
HB over-current protection level 1	V _{HB_OCP1}	0.74	0.8	0.86	V	
Blanking time for HB over-current protection level 1	t _{HB_OCP1_blanking}	—	50	—	ms	¹
HB capacitive mode detection level 1	V _{HB_Cap1}	1.54	1.6	1.66	V	during turn-on of the HSGD
Blanking time for HB capacitive mode detection level 1	t _{HB_Cap1_blanking}	30	50	90	ns	
HB capacitive mode detection level 2	V _{HB_Cap2}	- 70	- 50	- 25	mV	before turn-on of the HSGD
Blanking time for HB capacitive mode detection level 2	t _{HB_Cap2_blanking}	300	390	550	ns	
HB capacitive mode regulation voltage	V _{HB_cap_reg}	25	50	70	mV	
HB capacitive mode regulation ratio	K _{HB_cap_reg}	4.5	7.0	9.0	%	
HB over-current control	V _{LSCSCC}	0.74	0.8	0.86	V	
LSCS pin bias current	I _{LSCSBA}	-1.0	—	1.0	μA	V _{LSCS} = 1.5 V

表 13 HSGD 引脚的电气特性

Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Remarks
		Min.	Typ.	Max.		
HSGD low voltage	V _{HSGDL}	0.018	0.05	0.1	V	I _{HSGD} = 5mA
		0.40	1.10	2.50	V	I _{HSGD} = 100mA
		- 0.40	-0.20	- 0.04	V	I _{HSGD} = - 20mA
HSGD high voltage	V _{HSGDH}	9.7	10.5	11.3	V	V _{CC_HS} =15V I _{HSGD} = - 20mA
		7.8	—	—	V	V _{CCHSOFF} + 0.3V I _{HSGD} = - 1mA
HSGD active shut down	V _{HSGDLASD}	0.04	0.22	0.5	V	V _{CCHS} =5V I _{HSGD} = 20mA
HSGD peak source current	I _{HSGDSO}	—	-50	—	mA	¹⁹
HSGD peak sink current	I _{HSGDSI}	—	300	—	mA	¹⁹
HSGD rise time	t _{HSGDR}	120	220	320	ns	2 V < V _{HSGD} < 8 V ²
HSGD fall time	t _{HSGDF}	17	35	70	ns	2 V < V _{HSGD} < 8 V ²⁰

¹ 这些参数不适用于生产测试 – 由设计/特性验证。

² Load: R_{Load} = 10 Ω 且 C_{Load} = 1 nF

表 14 RF 引脚的电气特性

Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Remarks
		Min.	Typ.	Max.		
RF pin voltage in normal operation	V_{RF}	2.46	2.5	2.54	V	@ $100\mu A < I_{RFM} < 800\mu A$
HB nominal switching frequency	f_{NOM}	97.5	100	102.5	kHz	$R_{RF} = 10k\Omega$ without the resistor to BM pin
Adjustable HB switching frequency via the CCO	f_1	37	40	43	kHz	$I_{RF} = -100\mu A$
	f_2	76	80	84	kHz	$I_{RF} = -200\mu A$
	f_3	190	200	210	kHz	$I_{RF} = -500\mu A$
	f_4	220	240	260	kHz	$I_{RF} = -600\mu A$
	f_5	290	320	350	kHz	$I_{RF} = -800\mu A$
	$f_{max-25^\circ C}$	450	500	—	kHz	$I_{RF} = -1.25\text{ mA} / @ T_j = -25^\circ C^1$
	$f_{max-40^\circ C}$	400	500	—	kHz	$I_{RF} = -1.25\text{ mA} / @ T_j = -40^\circ C^1$

表 15 BM 引脚的电气特性

Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Remarks
		Min.	Typ.	Max.		
HB burst mode entry voltage threshold	$V_{HB_BM_entry}$	710	750	790	mV	
Blanking time for HB burst mode entry	$t_{HB_BM_entry_blanking}$	8.5	10.0	11.5	ms	
HB burst mode turn-on threshold	$V_{HB_BM_on}$	2.13	2.20	2.27	V	
HB burst mode exit threshold	$V_{HB_BM_exit}$	1.93	2.0	2.07	V	
Maximum sink current into the BM pin	I_{BM_max}	—	800	—	μA	²
BM pin current in the sleep mode	I_{BM_Stop}	-3	—	14	μA	

表 16 BO 引脚的电气特性

Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Remarks
		Min.	Typ.	Max.		
Brown-out threshold	V_{BO_out}	1.14	1.2	1.26	V	
Brown-in threshold	V_{BO_in}	1.34	1.4	1.46	V	
BO pin bias current	I_{BOBA}	-0.5	—	0.5	μA	$V_{BO} = 5.0V$

¹ 确保预期环境温度不会导致最大结温高于 125°C

² 这些参数不适用于生产测试 - 由设计/特性验证。

表 17 OVP 引脚的电气特性

Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Remarks
		Min.	Typ.	Max.		
HB OVP pin reference voltage for OVP detection	V _{HB_OVP_ref}	2.45	2.5	2.55	V	t > 5μs
Blanking time for HB OVP detection	t _{HB_OVP_blanking}	—	5	—	μs	
OVP pin bias current	I _{OVPBA}	- 0.5	—	0.5	μA	V _{OVP} = 3.0V

表 18 OTP 引脚电气特性

Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Remarks
		Min.	Typ.	Max.		
OTP turn-on threshold	V _{OTP_start}	670	703	735	mV	
OTP turn-off threshold	V _{OTP_off}	594	625	665	mV	
Blanking time for OTP detection	t _{OTP_blanking}	—	620	—	μs	¹
OTP pin source current in normal operation	I _{OTP}	- 106	- 100	- 94	μA	

表 19 时间段

Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Remarks
		Min.	Typ.	Max.		
HB maximum dead time 1	t _{Dead_max1}	550	750	930	ns	LSCS > - 50mV / 100kHz
HB maximum dead time 2	t _{Dead_max2}	350	500	600	ns	LSCS > - 50mV / 500kHz
HB minimum dead time	t _{Dead_min}	150	250	300	ns	LSCS < - 50mV / 500kHz

¹ 这些参数不适用于生产测试 – 由设计/特性验证。

6 封装尺寸

提供了 PG-DSO-16 的封装尺寸。

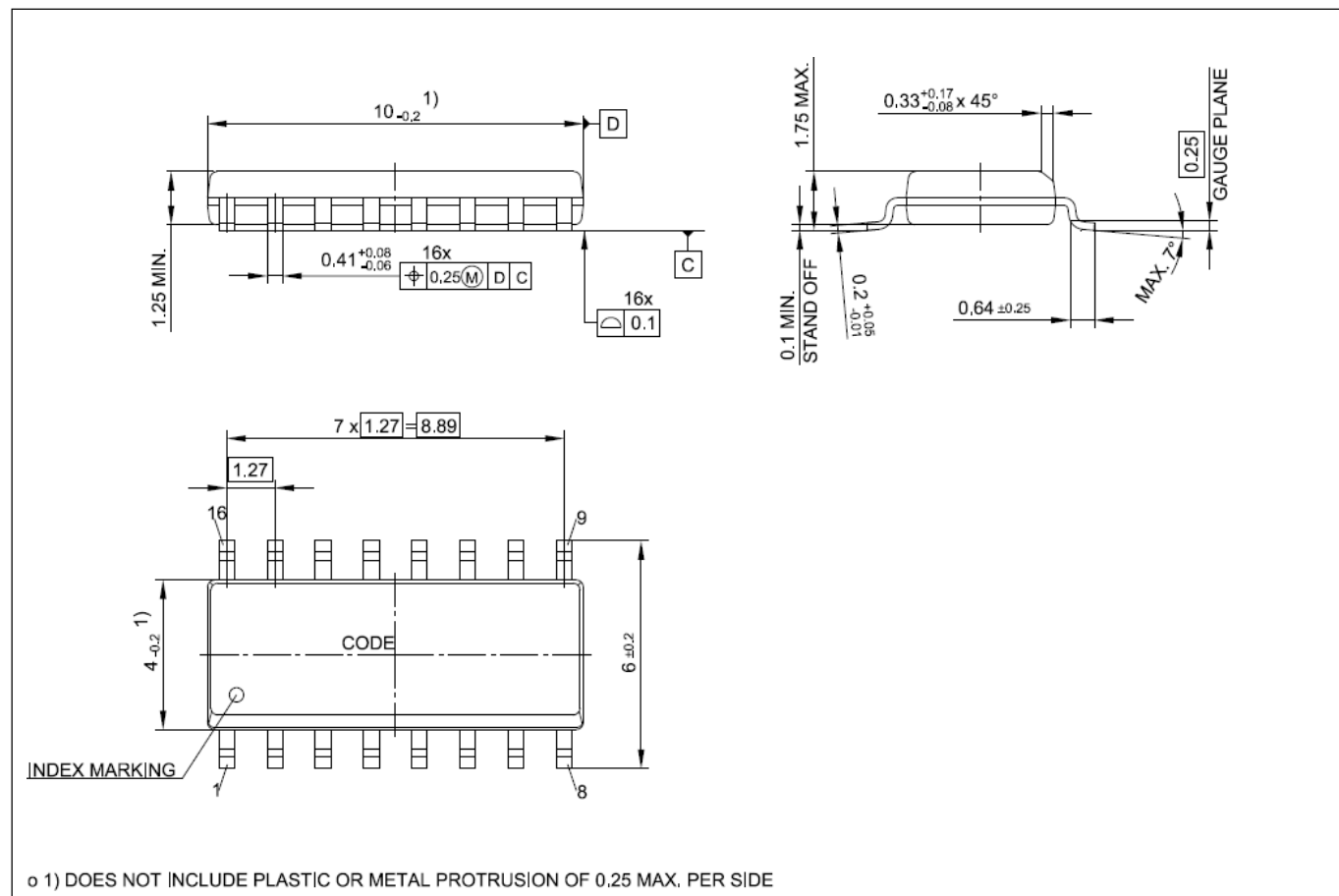


图 24 PG-DSO-16 的封装尺寸

注： 尺寸单位为mm。

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

修订记录

Document version	Date of release	Description of changes
V1.31	12.01.2022	Correction of test conditions in electrical characteristics tables
V1.2	01.04.2019	Errors correction and content modification
V1.1	09.11.2018	Errors correction and content modification
V1.0	01.06.2018	First release

Trademarks

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

Edition 2022-01-12

Published by

**Infineon Technologies AG
81726 München, Germany**

**© 2022 Infineon Technologies AG.
All Rights Reserved.**

Do you have a question about this document?

Email: erratum@infineon.com

Document reference

ifx1

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.

For further information on the product, technology delivery terms and conditions and prices please contact your nearest Infineon Technologies office (www.infineon.com).

WARNINGS

Due to technical requirements products may contain dangerous substances. For information on the type 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.

重要通知

版本 2026-08-27

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

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>。