

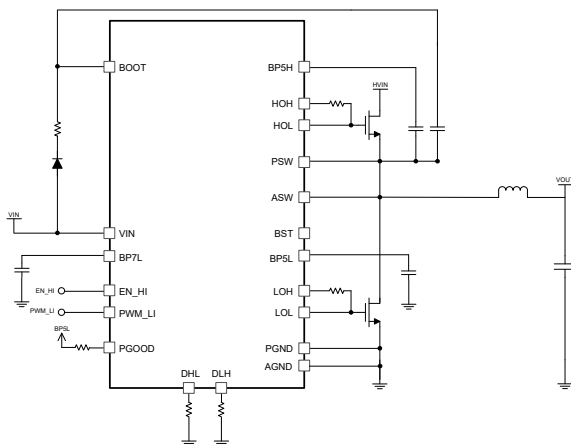
TPS7H60x5-SP 和 TPS7H60x5-SEP 耐辐射保障半桥 GaN FET 栅极驱动器

1 特性

- 辐射性能：
 - 耐辐射保障 (RHA) 高达 100krad(Si) 总电离剂量 (TID)
 - 单粒子瞬变 (SET)、单粒子烧毁 (SEB) 和单粒子栅穿 (SEGR) 对于线性能量传递 (LET) 的抗扰度高达 75MeV-cm²/mg
 - 单粒子瞬变 (SET) 和单粒子功能中断 (SEFI) 的特征值高达 LET = 75MeV-cm²/mg
- 1.3A 峰值拉电流和 2.5A 峰值灌电流
- 两种工作模式：
 - 具有可调死区时间的单个 PWM 输入
 - 两个独立输入
- 在独立输入模式下提供可选输入互锁保护
- 分离输出实现可调的导通和关断时间
- 独立输入模式下的典型传播延迟为 30ns
- 5.5ns 典型延迟匹配
- 通过符合 ASTM E595 标准的塑料封装废气测试
- 可用于军用温度范围，即 -55°C 至 125°C

2 应用

- 太空卫星电源
- 电机驱动
- 反作用轮
- 通信有效载荷
- 光学成像有效载荷
- 卫星电力系统



简化版应用示意图

3 说明

TPS7H60x5 系列耐辐射保障 (RHA) 氮化镓 (GaN) 场效应晶体管 (FET) 栅极驱动器专为高频、高效率和高电流应用而设计。该系列包括 TPS7H6005 (200V 等级)、TPS7H6015 (60V 等级) 和 TPS7H6025 (22V 等级)。这些器件全都采用 56 引脚 HTSSOP 塑料封装，并提供 QMLP 和增强型航天塑料 (SEP) 等级。这些驱动器具有可调节死区时间功能、30ns 低传播延迟，以及 5.5ns 的高侧和低侧匹配。这些器件还包括内部高侧和低侧 LDO，无论电源电压如何，都能确保驱动电压为 5V。TPS7H60x5 驱动器都具有分离栅极输出，可独立灵活地调节输出的导通和关断强度。

TPS7H60x5 驱动器具有两种控制输入模式：独立输入模式 (IIM) 和 PWM 模式。在 IIM 中，每个输出都由专用输入来控制。在 PWM 模式下，两个补偿输出信号由单个输入产生，用户可以调节每个边沿的死区时间。

栅极驱动器还提供用户可配置的输入互锁功能，在独立输入模式下作为防击穿保护。当两个输入同时导通时，输入互锁不允许两个输出同时导通。用户可以选择在独立输入模式下启用或禁用此保护，从而可以在多种不同的转换器配置中使用该驱动器。这些驱动器还可用于半桥和双低侧转换器应用。

器件信息

| 器件型号 ⁽¹⁾ | 等级 | 本体尺寸 ⁽²⁾ |
|---------------------|----------|--|
| 5962R2220104PYE | QMLP-RHA | 56 引脚塑料 6.1mm × 14.0mm 质量 = 119mg ⁽³⁾ |
| TPS7H6005MDCATSEP | SEP | |
| 5962R2220105PYE | QMLP-RHA | |
| TPS7H6015MDCATSEP | SEP | |
| 5962R2220106PYE | QMLP-RHA | |
| TPS7H6025MDCATSEP | SEP | |

(1) 有关更多信息，请查看 [器件选项表](#)。

(2) 本体尺寸 (长 × 宽) 为标称值，不包括引脚。

(3) 质量为标称值。



内容

| | | | |
|------------------------|----|-----------------------------|----|
| 1 特性 | 1 | 8.2 功能方框图 | 21 |
| 2 应用 | 1 | 8.3 特性说明 | 22 |
| 3 说明 | 1 | 8.4 器件功能模式 | 29 |
| 4 器件比较表 | 3 | 9 应用和实施 | 30 |
| 5 器件选项表 | 4 | 9.1 应用信息..... | 30 |
| 6 引脚配置和功能 | 5 | 9.2 典型应用..... | 31 |
| 7 规格 | 7 | 9.3 电源相关建议..... | 35 |
| 7.1 绝对最大额定值..... | 7 | 9.4 布局..... | 35 |
| 7.2 ESD 等级..... | 7 | 10 器件和文档支持 | 38 |
| 7.3 建议运行条件..... | 8 | 10.1 文档支持..... | 38 |
| 7.4 热性能信息..... | 8 | 10.2 接收文档更新通知..... | 38 |
| 7.5 电气特性..... | 9 | 10.3 支持资源..... | 38 |
| 7.6 开关特性..... | 11 | 10.4 商标..... | 38 |
| 7.7 质量合格检验..... | 12 | 10.5 静电放电警告..... | 38 |
| 7.8 典型特性..... | 13 | 10.6 术语表..... | 38 |
| 8 详细说明 | 21 | 11 修订历史记录 | 38 |
| 8.1 概述..... | 21 | 12 机械、封装和可订购信息 | 39 |

4 器件比较表

| 器件 | 绝对最大电压 ⁽¹⁾ | 建议工作电压 ⁽¹⁾ |
|-----------|-----------------------|-----------------------|
| TPS7H6005 | 200V | 150V |
| TPS7H6015 | 60V | 45V |
| TPS7H6025 | 22V | 14V |

(1) 这表示器件的“SW 至 GND”电压额定值，如 [规格](#) 部分所示。

5 器件选项表

| 通用器件型号 | 辐射等级 ⁽¹⁾ | 等级 ⁽²⁾ | 封装 | 可订购器件型号 |
|---------------|---|-------------------|--------------------|-------------------|
| TPS7H6005-SP | TID 高达 100krad(Si), 无 RLAT 和 DSEE, 最高 LET = 75MeV-cm ² /mg | QMLP-RHA | 56 引脚 TSSOP DCA | 5962R2220104PYE |
| TPS7H6005-SEP | TID 高达 50krad(Si), 无 RLAT 和 DSEE, 最高 LET = 43MeV-cm ² /mg | 增强型航天塑料 | | TPS7H6005MDCATSEP |
| TPS7H6015-SP | TID 高达 100krad(Si), 无 RLAT 和 DSEE, 最高 LET = 75MeV-cm ² /mg | QMLP-RHA | | 5962R2220105PYE |
| TPS7H6015-SEP | TID 高达 50krad(Si), 无 RLAT 和 DSEE, 最高 LET = 43MeV-cm ² /mg | 增强型航天塑料 | | TPS7H6015MDCATSEP |
| TPS7H6025-SP | TID 高达 100krad(Si), 无 RLAT 和 DSEE, 最高 LET = 75MeV-cm ² /mg | QMLP-RHA | | 5962R2220106PYE |
| TPS7H6025-SEP | TID 高达 50krad(Si), 无 RLAT 和 DSEE, 最高 LET = 43MeV-cm ² /mg | 增强型航天塑料 | | TPS7H6025MDCATSEP |

(1) TID 是总电离剂量, DSEE 是破坏性单粒子效应。有关其他信息, 请参阅器件的相关 TID 和 SEE 辐射报告。

(2) 有关器件等级的其他信息, 请查看 [SLYB235](#)。

6 引脚配置和功能

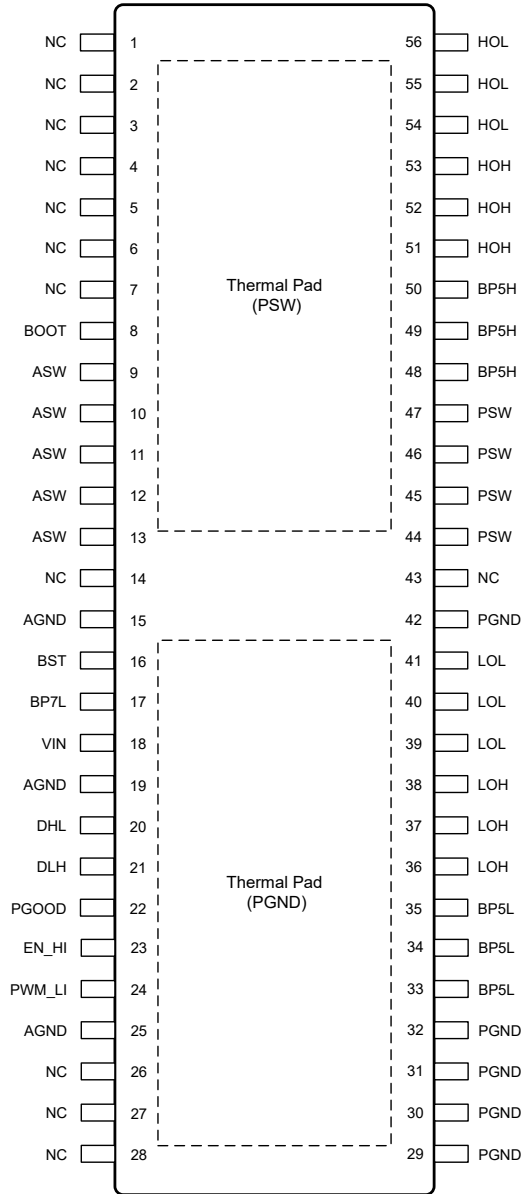


图 6-1. DCA 封装
56 引脚 TSSOP
(顶视图)

表 6-1. 引脚功能

| 引脚 | | I/O ⁽¹⁾ | 说明 |
|--------|------|--------------------|---|
| 编号 | 名称 | | |
| 8 | BOOT | I | 高侧线性稳压器的输入电压电源。外部自举电容器放在 BOOT 和 ASW 之间。外部自举二极管的阴极连接至该引脚。BOOT 和 ASW 之间可能需要齐纳二极管钳位，以免超过绝对最大电气额定值。 |
| 9 - 13 | ASW | — | 高侧驱动器信号回路。ASW(9) 在内部连接到 PSW 和高侧散热焊盘。从外部将 ASW(10-13) 连接至 ASW。 |

表 6-1. 引脚功能 (续)

| 引脚 | | I/O ⁽¹⁾ | 说明 |
|---------------------|---------|--------------------|--|
| 编号 | 名称 | | |
| 16 | BST | O | 对于利用内部自举开关的自举充电, 该引脚用作自举二极管阳极连接点。外部高侧自举电容器可以通过该引脚使用施加到 VIN 的输入电压、内部自举开关和外部自举二极管进行充电。 |
| 17 | BP7L | O | 低侧 7V 线性稳压器输出。从 BP7L 到 AGND 之间需要最低 1 μ F 电容。 |
| 18 | VIN | I | 栅极驱动器输入电压电源。输入电压范围为 10V 至 14V。该引脚用作低侧线性稳压器和内部自举开关的输入。为了直接从输入电压进行自举充电, VIN 还用作自举二极管阳极连接点。 |
| 15、19、25 | AGND | — | 低侧驱动器信号回路。AGND(15) 和 AGND(19) 在内部连接到 PGND 和低侧散热焊盘。从外部将 AGND(25) 连接至 AGND。 |
| 20 | DHL | I | 高侧至低侧死区时间设定。在 PWM 模式下, 从 DHL 到 AGND 之间的电阻设定了高侧关断与低侧导通之间的死区时间。在独立输入模式 (IIM) 下, DHL 用于配置驱动器的输入互锁保护。在启用互锁的 IIM 中, DHL 连接到 BP5L。对于禁用互锁的 IIM, 在 DHL 和 AGND 之间连接一个值在 100k Ω 和 220k Ω 之间的电阻器。 |
| 21 | DLH | I | 低侧至高侧死区时间设定。在 PWM 模式下, 从 DLH 到 AGND 之间的电阻设定了低侧关断与高侧导通之间的死区时间。在独立输入模式 (IIM) 下, DLH 用于配置驱动器的输入互锁保护。对于启用互锁的 IIM, 在 DLH 和 AGND 之间连接一个值在 100k Ω 和 220k Ω 之间的电阻器。在禁用互锁的 IIM 中, DLH 连接到 BP5L。 |
| 22 | PGOOD | O | 电源正常引脚。当任何低侧内部线性稳压器或 VIN 进入欠压锁定状态时, 置位低电平。需要一个 10k Ω 上拉电阻器连接到 BP5L。 |
| 23 | EN_HI | I | 使能输入或高侧驱动器控制输入。在 PWM 模式下, 该引脚用作使能引脚。在独立输入模式 (IIM) 下, 该引脚用作高侧驱动器的控制输入。 |
| 24 | PWM_LI | I | PWM 输入或低侧驱动器控制输入。在 PWM 模式下, 该引脚用作栅极驱动器的 PWM 输入。在独立输入模式 (IIM) 下, 该引脚用作低侧驱动器的控制输入。 |
| 29 - 32、42 | PGND | — | 低侧电源接地。连接到低侧 GaN FET 的源极。内部连接到 AGND 和低侧散热焊盘。在印刷电路板级别连接到 AGND。 |
| 33 - 35 | BP5L | O | 低侧 5V 线性稳压器输出。从 BP5L 到 PGND 之间需要最低 1 μ F 电容。 |
| 36 - 38 | LOH | O | 低侧驱动器拉电流输出。通过短的低电感路径连接到低侧 GaN FET 的栅极。可使用 LOH 和 GaN FET 栅极之间的电阻器来调节导通速度。 |
| 39 - 41 | LOL | O | 低侧驱动器灌电流输出。通过短的低电感路径连接到低侧 GaN FET 的栅极。可使用 LOL 和 GaN FET 栅极之间的电阻器来调节关断速度。 |
| 44 - 47 | PSW | — | 开关节点连接。连接到高侧 GaN FET 的源极。内部连接到 ASW 和高侧散热焊盘。在印刷电路板级别连接到 ASW。 |
| 48 - 50 | BP5H | O | 高侧 5V 线性稳压器输出。从 BP5H 到 PSW 之间需要最低 1 μ F 电容。 |
| 51 - 53 | HOH | O | 高侧驱动器拉电流输出。通过短的低电感路径连接到高侧 GaN FET 的栅极。可使用 HOH 和 GaN FET 栅极之间的电阻器来调节导通速度。 |
| 54 - 56 | HOL | O | 高侧驱动器灌电流输出。通过短的低电感路径连接到高侧 GaN FET 的栅极。可使用 HOL 和 GaN FET 栅极之间的电阻器来调节关断速度。 |
| 1 - 7、14、26 - 28、43 | NC | — | 无连接。这些引脚没有在内部连接。为了避免金属悬空并防止电荷累积, 引脚 1-7 和引脚 26-28 可保持未连接状态或连接到相应的基准电压 (ASW 或 AGND)。对于引脚 14 和 43, 建议让它们保持未连接状态, 以满足 IEC-60664 的爬电距离和间隙要求。最终, 引脚 14 和 43 的连接由用户根据为设计选择的特定爬电距离和间隙指南来决定。 |
| — | PSW 焊盘 | — | 高侧散热焊盘。内部连接到 ASW(9) 和 PSW。应连接到 ASW 引脚。 |
| — | PGND 焊盘 | — | 低侧散热焊盘。内部连接到 AGND(15)、AGND(19) 和 PGND。应连接到 AGND 引脚。 |

(1) I = 输入; O = 输出; I/O = 输入或输出; — = 其他

7 规格

7.1 绝对最大额定值

在工作温度范围内测得 (除非另有说明) ⁽¹⁾

| | 最小值 | 最大值 | 单位 |
|-----------------------------|----------------|------------------|----|
| VIN 至 AGND | -0.3 | 16 | V |
| BP7L 至 AGND | -0.3 | 8 | V |
| BP5L 至 AGND | -0.3 | 7 | V |
| BP5H 到 SW | -0.3 | 7 | V |
| BOOT 至 SW | -0.3 | $V_{SW} + 16$ | V |
| EN_HI | -0.3 | 16 | V |
| PWM_LI | -0.3 | 16 | V |
| DHL、DLH | -0.3 | $V_{BP5L} + 0.3$ | V |
| LOH、LOL | -0.3 | $V_{BP5L} + 0.3$ | V |
| HOH、HOL | $V_{SW} - 0.3$ | $V_{BP5H} + 0.3$ | V |
| PGOOD | -0.3 | $V_{BP5L} + 0.3$ | V |
| SW 至 AGND (TPS7H6005) | -10 | 200 | V |
| SW 至 AGND (TPS7H6015) | -10 | 60 | V |
| SW 至 AGND (TPS7H6025) | -10 | 22 | V |
| BOOT 至 AGND (TPS7H6005) | 0 | 216 | V |
| BOOT 至 AGND (TPS7H6015) | 0 | 76 | V |
| BOOT 至 AGND (TPS7H6025) | 0 | 38 | V |
| BST 至 AGND | -0.3 | 16 | V |
| BST 电流 (3 μ s 瞬态脉冲、非重复) | | 4 | A |
| 结温, T_J | -55 | 150 | °C |
| 贮存温度, T_{stg} | -65 | 150 | °C |

(1) 超出“绝对最大额定值”运行可能会对器件造成永久损坏。绝对最大额定值并不意味着器件在这些条件下或在建议工作条件以外的任何其他条件下能够正常运行。如果超出建议工作条件但在绝对最大额定值范围内使用, 器件可能不会完全正常运行, 这可能影响器件的可靠性、功能和性能, 并缩短器件寿命。

7.2 ESD 等级

| | 值 | 单位 |
|--|------------|----|
| $V_{(ESD)}$ 静电放电 人体放电模型 (HBM), 符合 ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 标准, 所有引脚 ⁽¹⁾ | ± 2000 | V |
| $V_{(ESD)}$ 静电放电 充电器件模型 (CDM), 符合 ANSI/ESDA/JEDEC JS-002 标准, 所有引脚 ⁽²⁾ | ± 500 | V |

(1) JEDEC 文档 JEP155 指出: 500V HBM 时能够在标准 ESD 控制流程下安全生产。

(2) JEDEC 文档 JEP157 指出: 250V CDM 时能够在标准 ESD 控制流程下安全生产。

7.3 建议运行条件

| | 最小值 | 标称值 | 最大值 | 单位 |
|------------------|--------------|-----|---------------|--------------|
| VIN 至 AGND | 10 | | 14 | V |
| EN_HI | 0 | | 14 | V |
| PWM_LI | 0 | | 14 | V |
| BOOT 至 SW | $V_{SW} + 8$ | | $V_{SW} + 14$ | V |
| SW (TPS7H6005) | -10 | | 150 | V |
| SW (TPS7H6015) | -10 | | 45 | V |
| SW (TPS7H6025) | -10 | | 14 | V |
| SW 压摆率 | | | 100 | V/ns |
| VIN 压摆率 | | | 0.03 | V/ μ s |
| PWM_LI、EN_HI 压摆率 | 2 | | | V/ μ s |
| 工作结温 | -55 | | 125 | $^{\circ}$ C |

7.4 热性能信息

| 热指标 ⁽¹⁾ | | TPS7H60x5 | 单位 |
|----------------------|--------------|-----------|----------------|
| | | HTSSOP | |
| | | 56 引脚 | |
| $R_{\theta JA}$ | 结至环境热阻 | 21.4 | $^{\circ}$ C/W |
| $R_{\theta JC(top)}$ | 结至外壳 (顶部) 热阻 | 9.2 | $^{\circ}$ C/W |
| $R_{\theta JC(bot)}$ | 结至外壳 (底部) 热阻 | 0.4 | $^{\circ}$ C/W |
| $R_{\theta JB}$ | 结至电路板热阻 | 5.4 | $^{\circ}$ C/W |
| Ψ_{JT} | 结至顶部特征参数 | 0.3 | $^{\circ}$ C/W |
| Ψ_{JB} | 结至电路板特征参数 | 5.3 | $^{\circ}$ C/W |

(1) 有关新旧热指标的更多信息，请参阅 [半导体和 IC 封装热指标](#) 应用报告。

7.5 电气特性

规格是在环境温度工作范围 $T_A = -55^{\circ}\text{C}$ 至 125°C , $V_{IN} = 10\text{V}$ 至 14V , $V_{BP5L} = V_{BP5H} = 5\text{V}$, LOH、LOL、HOH 和 HOL 上无负载的情况下测得的 (除非另有说明)。

| 参数 | | 测试条件 | | SUBGROUP ⁽¹⁾ | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|-----------------|---------------------------------|---|------------------------------|-------------------------|------|------|-------|---------------|
| 电源电流 | | | | | | | | |
| I_{QLS} | 低侧静态电流 | $V_{IN} = 12\text{V}$, $BOOT = 10\text{V}$ | MODE = PWM , EN = 0V | 1、2、3 | | 5 | 6.8 | mA |
| | | | MODE = IIM , LI = HI = 0V | 1、2、3 | | 5 | 8 | |
| I_{QHS} | 高侧静态电流 | $V_{IN} = 12\text{V}$, $BOOT = 10\text{V}$ | MODE = PWM , EN = 0V | 1、2、3 | | 4 | 6.3 | mA |
| | | | MODE = IIM , LI = HI = 0V | 1、2、3 | | 4 | 6.3 | |
| I_{QBG} | BOOT 至 AGND 静态电流 (TPS7H6005) | $SW = 100\text{V}$, $BOOT = 110\text{V}$ | | | | 20 | | μA |
| I_{QBG} | BOOT 至 AGND 静态电流 (TPS7H6015) | $SW = 28\text{V}$, $BOOT = 38\text{V}$ | | | | 15 | | μA |
| I_{QBG} | BOOT 至 AGND 静态电流 (TPS7H6025) | $SW = 12\text{V}$, $BOOT = 22\text{V}$ | | | | 10 | | μA |
| I_{OP_BG} | BOOT 至 AGND 工作电流 (TPS7H6005) | $SW = 100\text{V}$, $BOOT = 110\text{V}$ | | | | 20 | | μA |
| I_{OP_BG} | BOOT 至 AGND 工作电流 (TPS7H6015) | $SW = 28\text{V}$, $BOOT = 38\text{V}$ | | | | 15 | | μA |
| I_{OP_BG} | BOOT 至 AGND 工作电流 (TPS7H6025) | $SW = 12\text{V}$, $BOOT = 22\text{V}$ | | | | 10 | | μA |
| I_{OP_LS} | 低侧工作电流 | MODE = PWM , LOL 和 LOH 无负载 | f = 500kHz | 1、2、3 | | 6 | 9 | mA |
| | | | f = 1MHz | 1、2、3 | | 8 | 11 | |
| | | | f = 2MHz | 1、2、3 | | 12 | 16 | |
| | | | f = 5MHz | 1、2、3 | | 20 | 30 | |
| | | MODE = IIM , LOL 和 LOH 无负载 | f = 500kHz | 1、2、3 | | 6 | 9 | |
| | | | f = 1MHz | 1、2、3 | | 8 | 12 | |
| | | | f = 2MHz | 1、2、3 | | 11 | 17 | |
| | | | f = 5MHz | 1、2、3 | | 20 | 30 | |
| I_{OP_HS} | 高侧工作电流 | MODE = PWM , HOL 和 HOH 无负载 | f = 500kHz | 1、2、3 | | 5 | 6.5 | mA |
| | | | f = 1MHz | 1、2、3 | | 5.3 | 8 | |
| | | | f = 2MHz | 1、2、3 | | 7 | 10.5 | |
| | | | f = 5MHz | 1、2、3 | | 13 | 19 | |
| | | MODE = IIM , HOL 和 HOH 无负载 | f = 500kHz | 1、2、3 | | 4.5 | 6.5 | |
| | | | f = 1MHz | 1、2、3 | | 5.3 | 8 | |
| | | | f = 2MHz | 1、2、3 | | 7 | 10.5 | |
| | | | f = 5MHz | 1、2、3 | | 11.7 | 15 | |
| 低侧至高侧电容 | | | | | | | | |
| | 低侧至高侧电容 | 低侧引脚短接在一起, 高侧引脚短接在一起 | | | | 6 | | pF |
| 栅极驱动器 | | | | | | | | |
| V_{OL} | 低电平输出电压 | $I_{OL} = 100\text{mA}$ | | 1、2、3 | | 0.07 | 0.15 | V |
| $BP5x - V_{OH}$ | 高电平输出电压 | $I_{OH} = 100\text{mA}$ | | 1、2、3 | | 0.13 | 0.3 | V |
| I_{OH} | 峰值拉电流 | HOH、LOH = 0V , $BP5x = 5\text{V}$ | | 1、2、3 | 0.7 | 1.3 | 2.3 | A |
| I_{OL} | 峰值灌电流 | HOL、LOL = 5V , $BP5x = 5\text{V}$ | | 1、2、3 | 1.6 | 2.5 | 4.6 | A |
| 内部稳压器 | | | | | | | | |
| V_{BP5L} | 低侧 5V 稳压器输出电压 | $C_{BP5L} = 1\mu\text{F}$ | | 1、2、3 | 4.75 | 5.0 | 5.175 | V |
| | 要求的 BP5L 输出电容器 ⁽²⁾ | | | 1、2、3 | 1 | | | μF |

7.5 电气特性 (续)

规格是在环境温度工作范围 $T_A = -55^{\circ}\text{C}$ 至 125°C , $V_{IN} = 10\text{V}$ 至 14V , $V_{BP5L} = V_{BP5H} = 5\text{V}$, LOH、LOL、HOH 和 HOL 上无负载的情况下测得的 (除非另有说明)。

| 参数 | | 测试条件 | SUBGROUP ⁽¹⁾ | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 | |
|----------------|-------------------------------|--|-------------------------|---------|------|-------|------------------|----|
| V_{BP5H} | 高侧 5V 稳压器输出电压 | $C_{BP5H} = 1\mu\text{F}$ | 1、2、3 | 4.75 | 5.0 | 5.175 | V | |
| | 要求的 BP5H 输出电容器 ⁽²⁾ | | | 1 | | | μF | |
| V_{BP7L} | 7V 稳压器输出电压 | | 1、2、3 | 6.65 | 7 | 7.35 | V | |
| | 要求的 BP7L 输出电容器 ⁽²⁾ | | | 1 | | | μF | |
| 欠压保护 | | | | | | | | |
| $BP5H_R$ | BP5H UVLO 上升阈值 | $C_{BP5H} = 1\mu\text{F}$ | 1、2、3 | 4.0 | 4.25 | 4.5 | V | |
| $BP5H_F$ | BP5H UVLO 下降阈值 | $C_{BP5H} = 1\mu\text{F}$ | 1、2、3 | 3.8 | 4.05 | 4.3 | V | |
| $BP5H_H$ | BP5H UVLO 迟滞 | $C_{BP5H} = 1\mu\text{F}$ | | | 0.2 | | V | |
| $BP5L_R$ | BP5L UVLO 上升阈值 | $C_{BP5L} = 1\mu\text{F}$ | 1、2、3 | 4.0 | 4.25 | 4.5 | V | |
| $BP5L_F$ | BP5L UVLO 下降阈值 | $C_{BP5L} = 1\mu\text{F}$ | 1、2、3 | 3.8 | 4.05 | 4.3 | V | |
| $BP5L_H$ | BP5L UVLO 迟滞 | $C_{BP5L} = 1\mu\text{F}$ | | | 0.2 | | V | |
| $BP7L_R$ | BP7L UVLO 上升阈值 | $C_{BP7L} = 1\mu\text{F}$ | 1、2、3 | 6.2 | 6.5 | 6.8 | V | |
| $BP7L_F$ | BP7L UVLO 下降阈值 | $C_{BP7L} = 1\mu\text{F}$ | 1、2、3 | 5.9 | 6.2 | 6.5 | V | |
| $BP7L_H$ | BP7L UVLO 迟滞 | $C_{BP7L} = 1\mu\text{F}$ | | | 0.3 | | V | |
| V_{IN_R} | VIN UVLO 上升阈值 | | 1、2、3 | 8.0 | 8.6 | 9.0 | V | |
| V_{IN_F} | VIN UVLO 下降阈值 | | 1、2、3 | 7.5 | 8.1 | 8.5 | V | |
| V_{IN_H} | VIN UVLO 磁滞 | | | | 0.5 | | V | |
| $BOOT_R$ | BOOT UVLO 上升阈值 | | 1、2、3 | 6.6 | 7.1 | 7.4 | V | |
| $BOOT_F$ | BOOT UVLO 下降阈值 | | 1、2、3 | 6.2 | 6.65 | 7 | V | |
| $BOOT_H$ | 启动 UVLO 迟滞 | | | | 0.45 | | V | |
| 输入引脚 | | | | | | | | |
| V_{IR} | 输入上升沿阈值 | | 1、2、3 | 1.80 | | 2.65 | V | |
| V_{IF} | 输入下降沿阈值 | | 1、2、3 | 1.15 | | 1.85 | V | |
| V_{IHYS} | 输入迟滞 | | | | 0.8 | | V | |
| R_{PD} | 输入下拉电阻 | 输入端施加 $V = 2.15\text{V}$ 电压 (EN_HI 或 PWM_LI) | 1、2、3 | 100 | | 400 | $\text{k}\Omega$ | |
| 可编程死区时间 | | | | | | | | |
| T_{DLH} | 从 LO 关断至 HO 导通死区时间 | MODE = PWM, LO 下降至 HO 上升 (90% 至 10%), $f \leq 2\text{MHz}$ | RLH = 3.32k Ω | 9、10、11 | 0 | 4.5 | 10 | ns |
| | | | RLH = 11.8k Ω | 9、10、11 | 8 | 12 | 15.5 | |
| | | | RLH = 21k Ω | 9、10、11 | 15.5 | 21 | 24 | |
| | | | RLH = 52.3k Ω | 9、10、11 | 36 | 50 | 59 | |
| | | | RLH = 105k Ω | 9、10、11 | 74 | 97 | 113.5 | |
| T_{DHL} | 从 HO 关断至 LO 导通死区时间 | MODE = PWM, HO 下降至 LO 上升 (90% 至 10%), $f \leq 2\text{MHz}$ | RHL = 7.87k Ω | 9、10、11 | 0 | 5 | 10 | ns |
| | | | RHL = 13.3k Ω | 9、10、11 | 6 | 10.5 | 15 | |
| | | | RHL = 23.7k Ω | 9、10、11 | 16 | 21 | 24.5 | |
| | | | RHL = 57.6k Ω | 9、10、11 | 44 | 53 | 61 | |
| | | | RHL = 113k Ω | 9、10、11 | 81 | 105 | 125 | |
| 自举二极管开关 | | | | | | | | |
| R_{BST_SW} | 自举二极管开关电阻 | $I_{BST_SW} = 100\text{mA}$ | 1、2、3 | | 0.43 | | Ω | |
| | 自举二极管开关并联电阻 | $I_{BST_RP} = 1\text{mA}$ | 1、2、3 | 0.8 | 1 | 1.2 | $\text{k}\Omega$ | |
| 电源正常 | | | | | | | | |
| | 逻辑低电平输出 | $I_{FLT} = 1\text{mA}$ | 1、2、3 | | | 0.4 | V | |
| | PGOOD 内部电阻 | BP5L = 5V, BP7L = 7V, VIN = 12V | 1、2、3 | 0.7 | 1 | 1.9 | M Ω | |

7.5 电气特性 (续)

规格是在环境温度工作范围 $T_A = -55^{\circ}\text{C}$ 至 125°C , $V_{IN} = 10\text{V}$ 至 14V , $V_{BP5L} = V_{BP5H} = 5\text{V}$, LOH、LOL、HOH 和 HOL 上无负载的情况下测得的 (除非另有说明)。

| 参数 | | 测试条件 | SUBGROUP ⁽¹⁾ | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|----|--------------------------|------|-------------------------|-----|-----|------|----|
| | 有效 PGOOD 输出所需的最小 BP5L 电压 | | 1、2、3 | | 2 | 2.85 | V |

- (1) 子组适用于 QML 器件。有关子组定义, 请参阅 [质量合格检验](#)。
(2) 根据设计确定; 未经生产测试。

7.6 开关特性

规格是在环境温度工作范围 $T_A = -55^{\circ}\text{C}$ 至 125°C , $V_{IN} = 10\text{V}$ 至 14V , $V_{BP5L} = V_{BP5H} = 5\text{V}$, LOH、LOL、HOH 和 HOL 上无负载的情况下测得的 (除非另有说明)。

| 参数 | | 测试条件 | | SUBGROUP ⁽¹⁾ | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|--------------------|----------------------------------|-------------------------------------|---|-------------------------|-----|-----|-----|----|
| t_{LPHL} | LO 关断传播延迟 | MODE = PWM | PWM 上升至 LOL 下降 | 9、10、11 | | 30 | 48 | ns |
| | | MODE = IIM | LI 下降至 LOL 下降 | 9、10、11 | | 27 | 38 | |
| t_{LPLH} | LO 导通传播延迟 | MODE = IIM | LI 上升至 LOH 上升 | 9、10、11 | | 24 | 38 | ns |
| t_{HPHL} | HO 关断传播延迟 | MODE = PWM | PWM 下降至 HOL 下降 | 9、10、11 | | 35 | 50 | ns |
| | | MODE = IIM | HI 下降至 HOL 下降 | 9、10、11 | | 30 | 40 | |
| t_{HPLH} | HO 导通传播延迟 | MODE = IIM | HI 上升至 HOH 上升 | 9、10、11 | | 26 | 40 | ns |
| t_{MON} | 延迟匹配 LO 导通和 HO 关断 ⁽³⁾ | MODE = IIM | | 9、10、11 | | 5.5 | 12 | ns |
| t_{MOFF} | 延迟匹配 LO 关断和 HO 导通 ⁽³⁾ | MODE = IIM | | 9、10、11 | | 1.5 | 4 | ns |
| t_{HRC} | HO 上升时间 | $C_L = 1000\text{pF}$ | 10% 至 90% | 9、10、11 | | 3.5 | 7.5 | ns |
| t_{LRC} | LO 上升时间 | | 10% 至 90% | 9、10、11 | | 3 | 7.5 | |
| t_{HFC} | HO 下降时间 | | 90% 至 10% | 9、10、11 | | 4 | 5.5 | |
| t_{LFC} | LO 下降时间 | | 90% 至 10% | 9、10、11 | | 3 | 5.5 | |
| t_{PW_IIM} | 最小输入脉冲宽度 (导通) | MODE = IIM | | 9、10、11 | | 5 | 8 | ns |
| $t_{PW_IIM_OFF}$ | 最小输入脉冲宽度 (关断) | MODE = IIM | | 9、10、11 | | 8 | 12 | ns |
| t_{PW_PWM} | 目标死区时间所需的最小输入脉冲宽度 ⁽²⁾ | MODE = PWM, DT 降低 $\leq 2\text{ns}$ | RLH = 11.9k Ω , RHL = 13.3k Ω | | | 22 | | ns |
| | | MODE = PWM, DT 降低 $\leq 3\text{ns}$ | RLH = 21k Ω , RHL = 23.7k Ω | | | 30 | | |

- (1) 子组适用于 QML 器件。有关子组定义, 请参阅“质量合格检验”表。
(2) 根据设计确定; 未经生产测试。
(3) 此参数的规格限值表示为绝对值。

7.7 质量合格检验

MIL-STD-883 , 方法 5005 - 组 A

| 子组 | 说明 | 温度 (°C) |
|----|------|---------|
| 1 | 静态测试 | 25 |
| 2 | 静态测试 | 125 |
| 3 | 静态测试 | -55 |
| 4 | 动态测试 | 25 |
| 5 | 动态测试 | 125 |
| 6 | 动态测试 | -55 |
| 7 | 功能测试 | 25 |
| 8A | 功能测试 | 125 |
| 8B | 功能测试 | -55 |
| 9 | 开关测试 | 25 |
| 10 | 开关测试 | 125 |
| 11 | 开关测试 | -55 |

7.8 典型特性

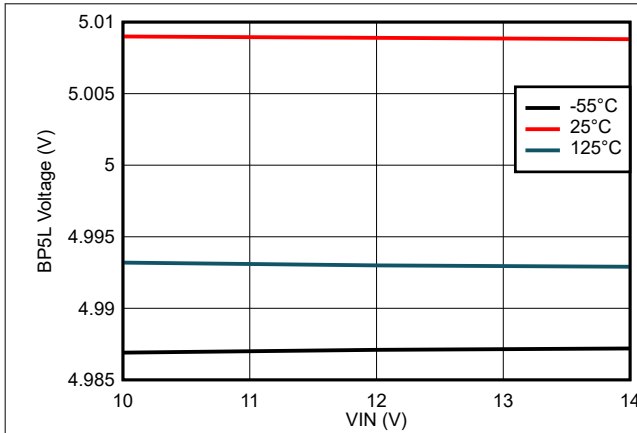


图 7-1. BP5L 输出电压与 VIN 电压间的关系

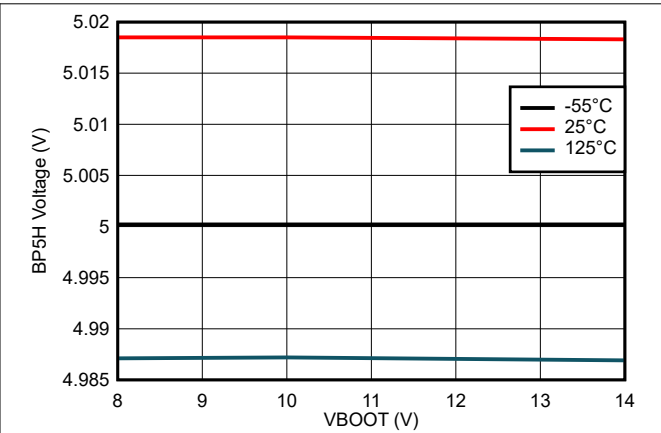


图 7-2. BP5H 输出电压与 BOOT 电压间的关系

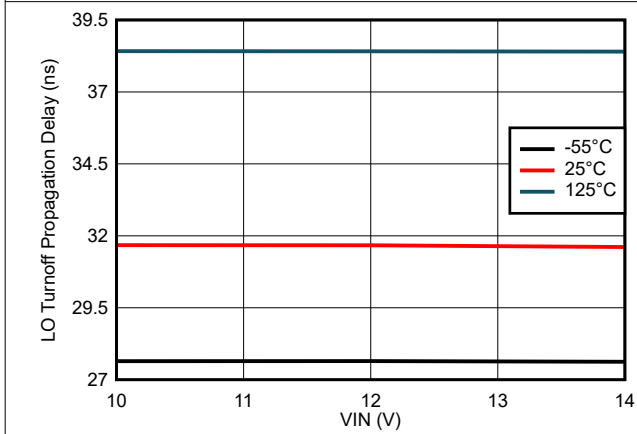


图 7-3. LO 关断传播延迟与 VIN 电压间的关系 (PWM)

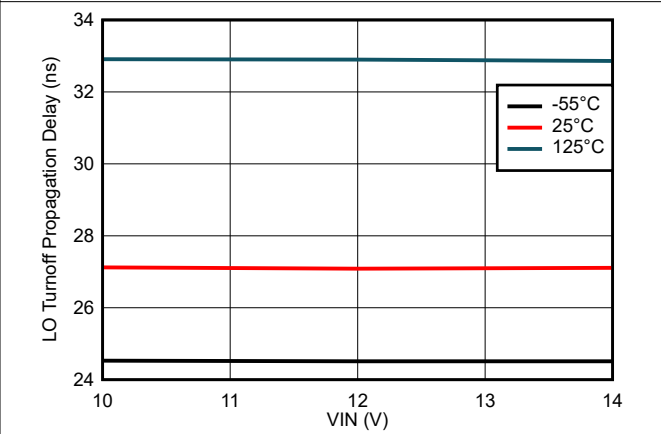


图 7-4. LO 关断传播延迟与 VIN 电压间的关系 (IIM)

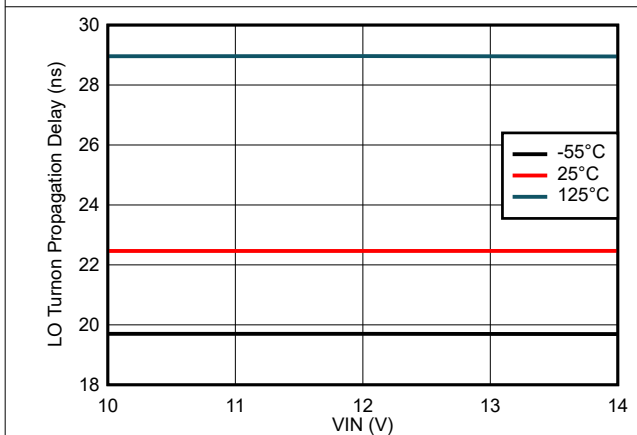


图 7-5. LO 导通传播延迟与 VIN 电压间的关系 (IIM)

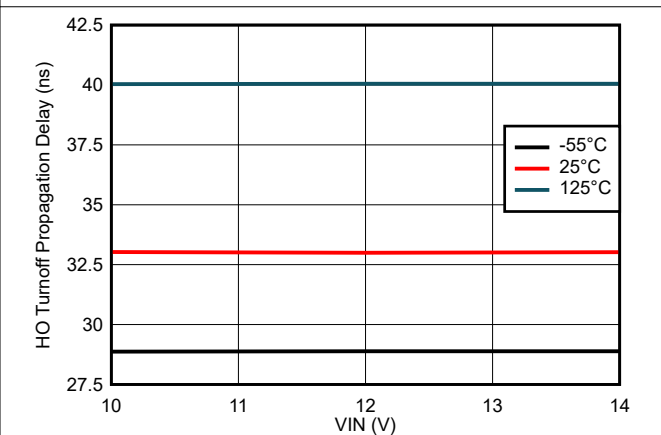


图 7-6. HO 关断传播延迟与 VIN 电压间的关系 (PWM)

7.8 典型特性 (续)

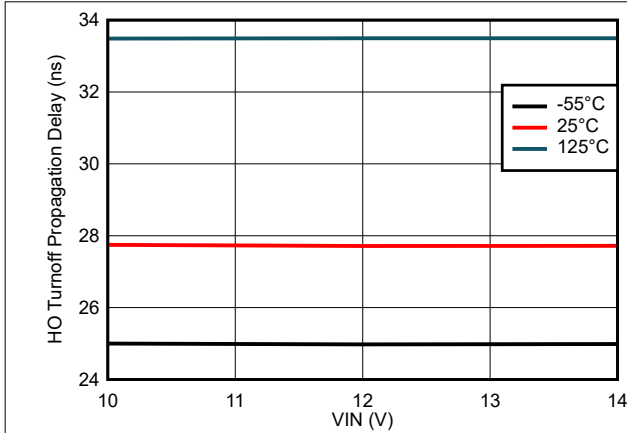


图 7-7. HO 关断传播延迟与 VIN 电压间的关系 (IIM)

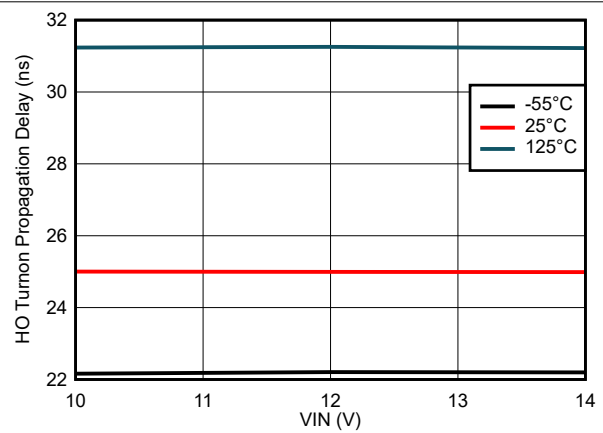


图 7-8. HO 导通传播延迟与 VIN 电压间的关系 (IIM)

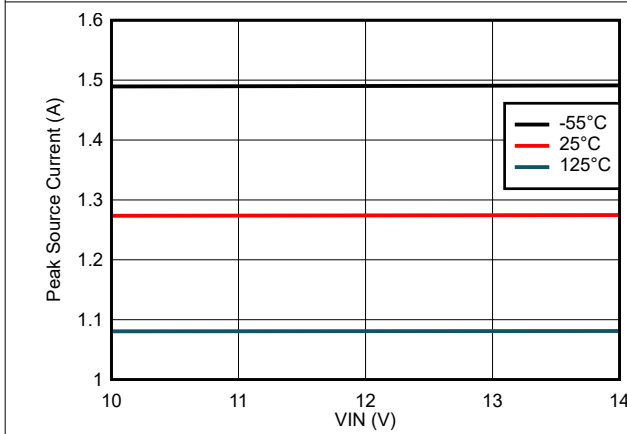


图 7-9. 峰值拉电流与 VIN 电压间的关系

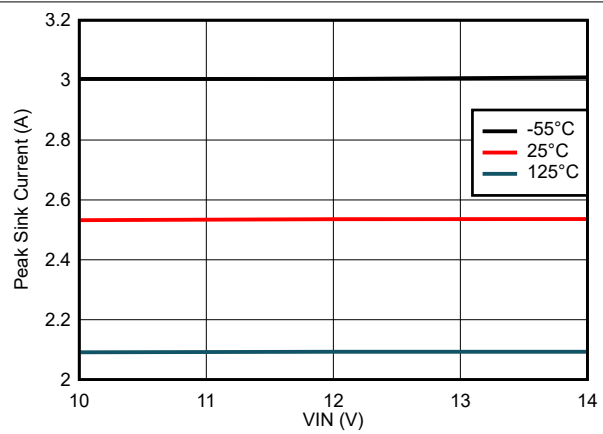


图 7-10. 峰值灌电流与 VIN 电压间的关系

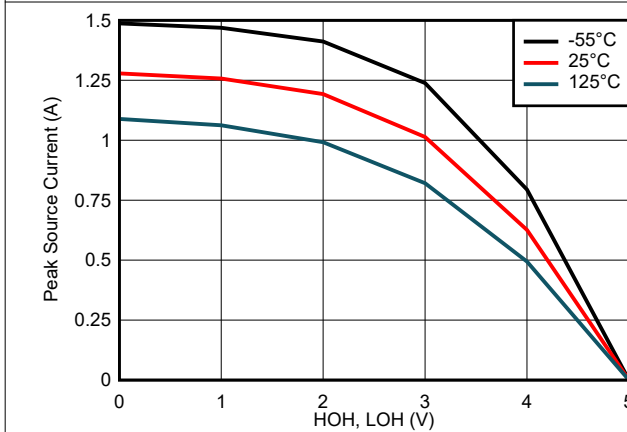


图 7-11. 峰值拉电流与输出电压间的关系

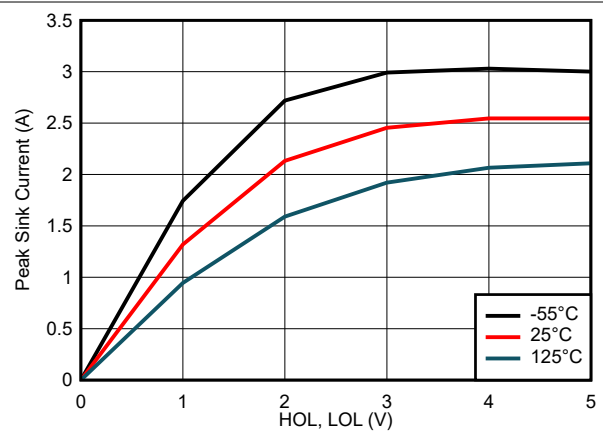


图 7-12. 峰值灌电流与输出电压间的关系

7.8 典型特性 (续)

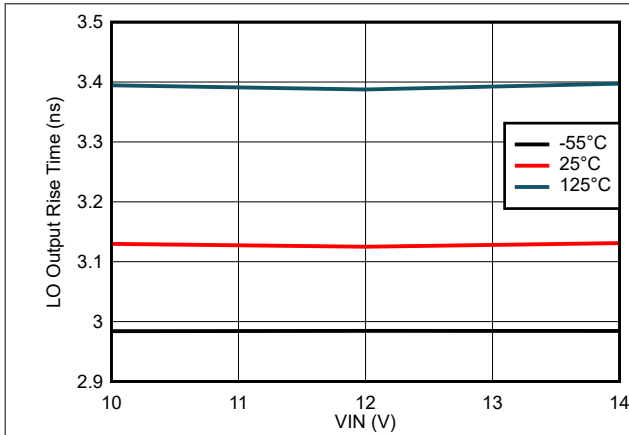


图 7-13. LO 输出上升时间与 VIN 电压间的关系

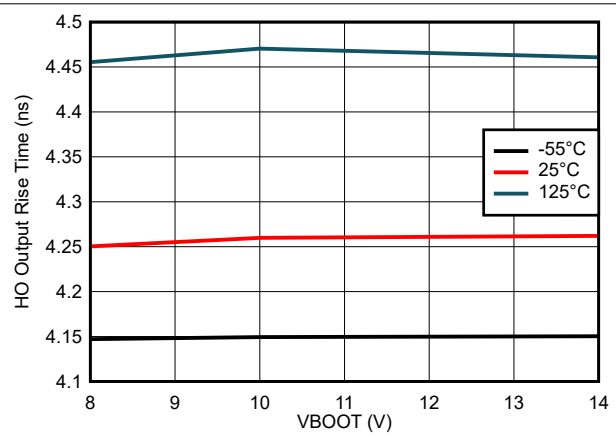


图 7-14. HO 输出上升时间与 BOOT 电压间的关系

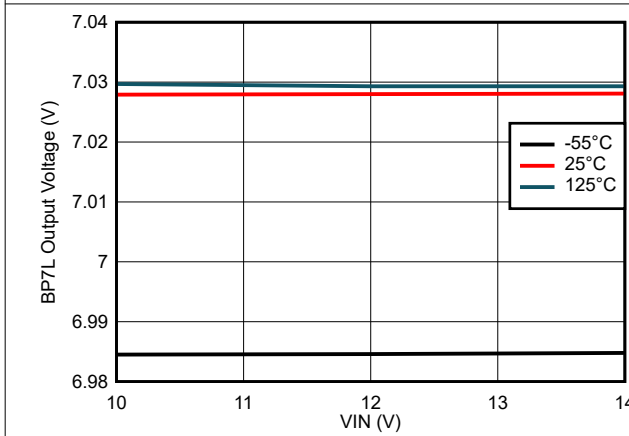


图 7-15. BP7L 输出电压与 VIN 电压间的关系

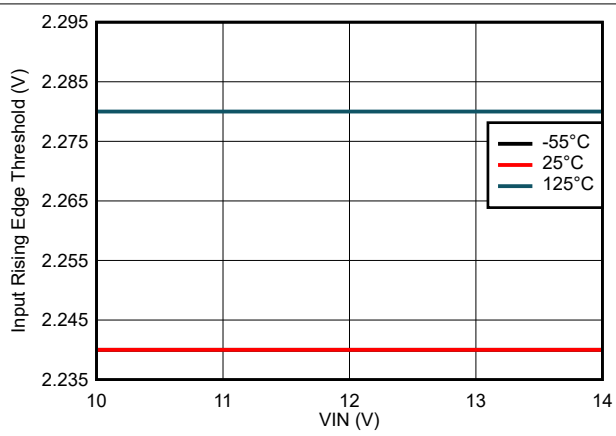


图 7-16. 输入上升沿阈值与 VIN 电压间的关系

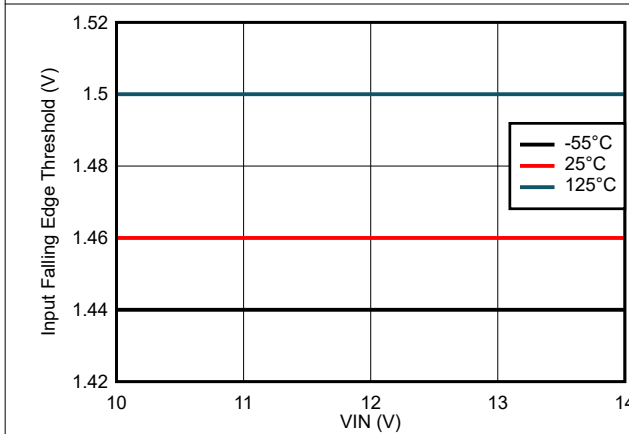


图 7-17. 输入下降沿阈值与 VIN 电压间的关系

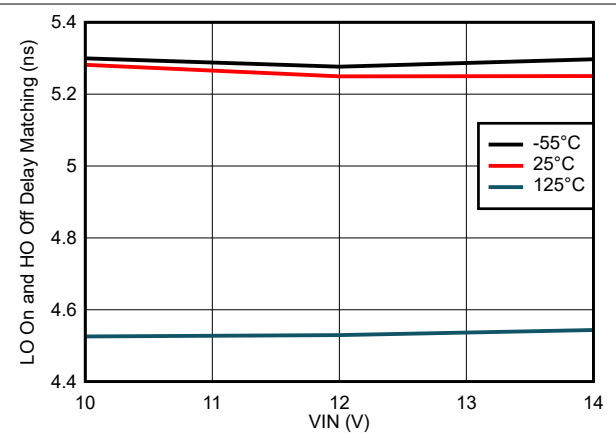


图 7-18. LO 导通和 HO 关断延迟匹配与 VIN 电压间的关系

7.8 典型特性 (续)

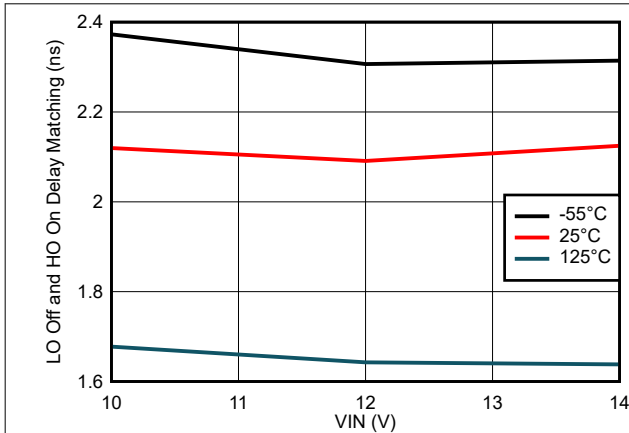


图 7-19. LO 关断和 HO 导通延迟匹配与 VIN 电压间的关系

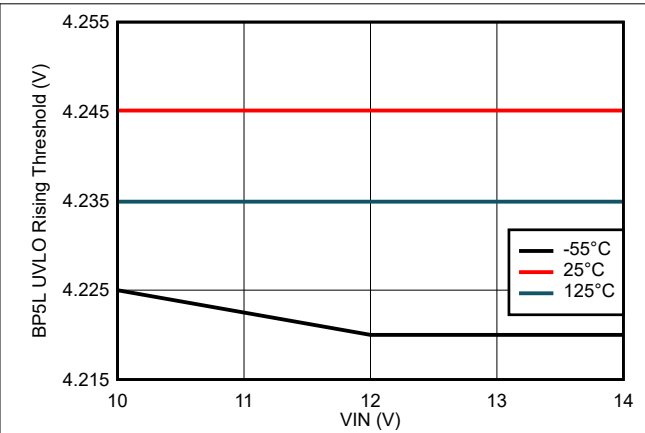


图 7-20. BP5L UVLO 上升阈值与 VIN 电压间的关系

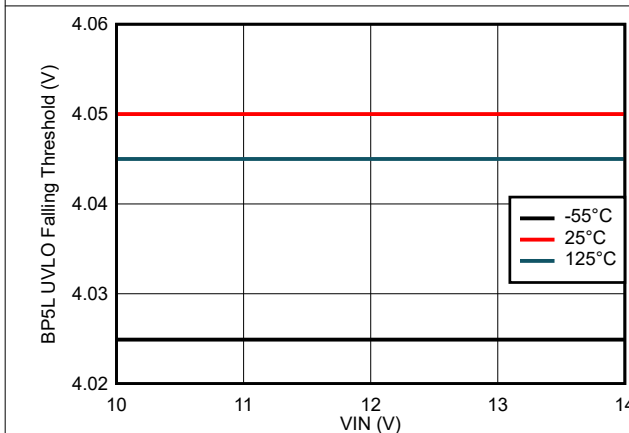


图 7-21. BP5L UVLO 下降阈值与 VIN 电压间的关系

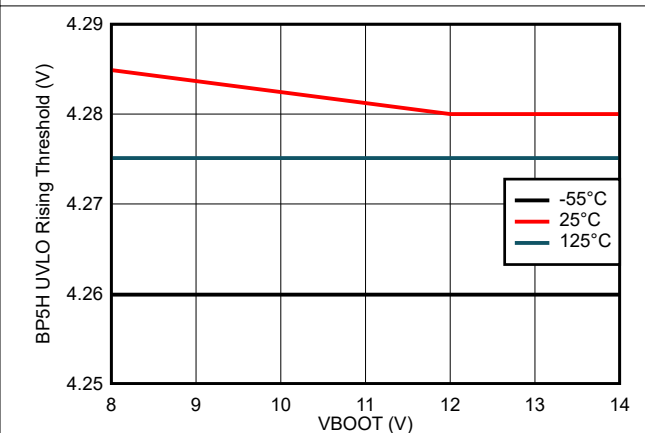


图 7-22. BP5H UVLO 上升阈值与 BOOT 电压间的关系

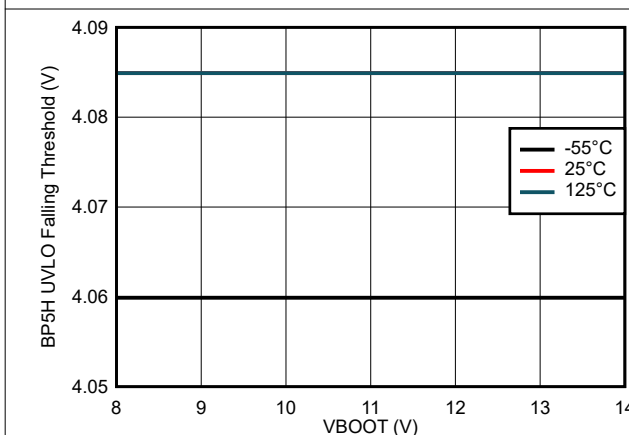


图 7-23. BP5H UVLO 下降阈值与 BOOT 电压间的关系

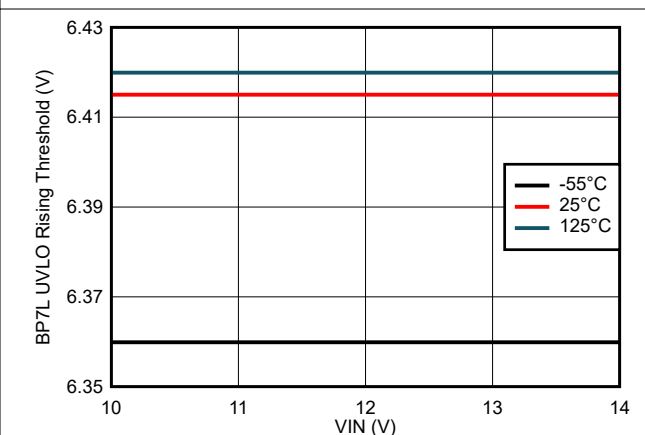


图 7-24. BP7L UVLO 上升阈值与 VIN 电压间的关系

7.8 典型特性 (续)

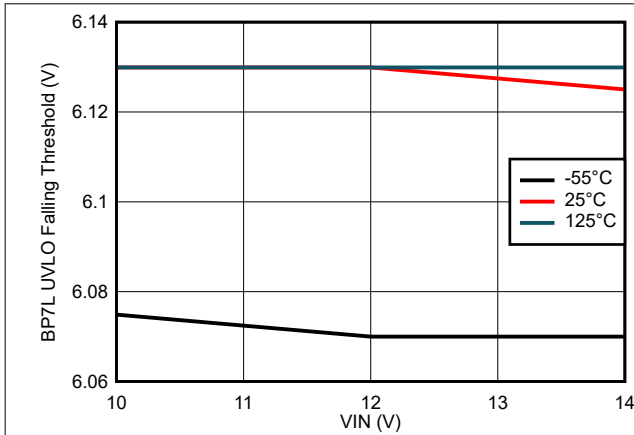


图 7-25. BP7L UVLO 下降阈值与 VIN 电压间的关系

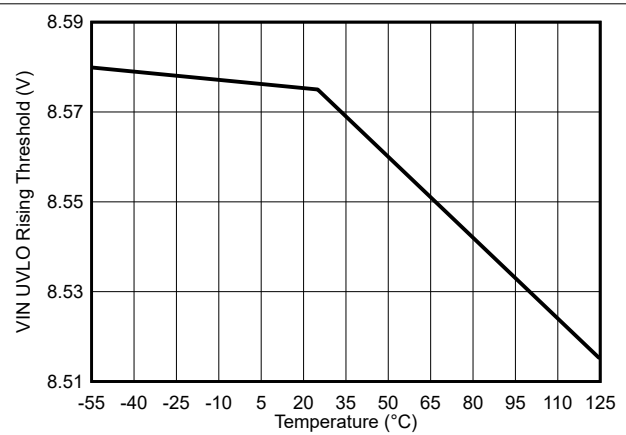


图 7-26. VIN UVLO 上升阈值与温度间的关系

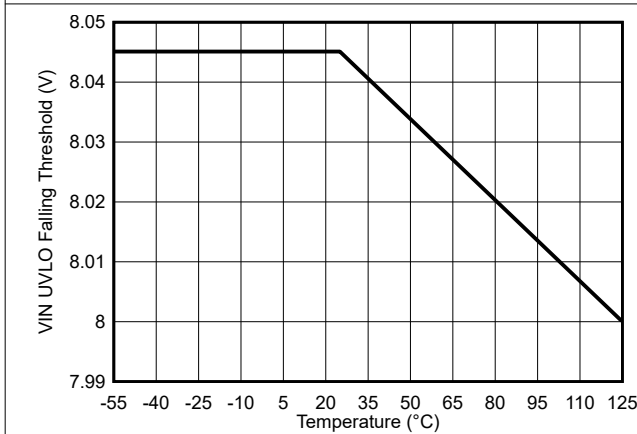


图 7-27. VIN UVLO 下降阈值与温度间的关系

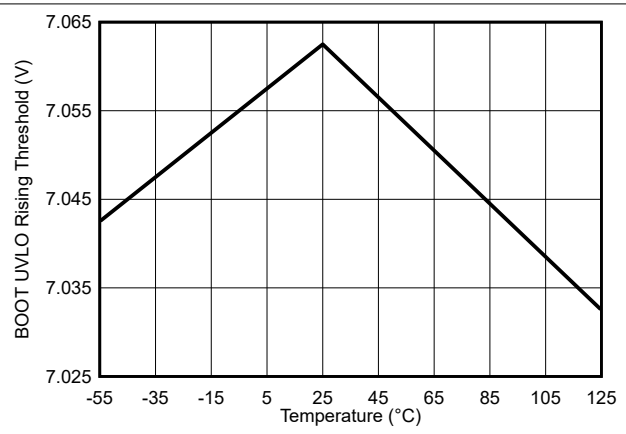


图 7-28. BOOT UVLO 上升阈值与温度间的关系

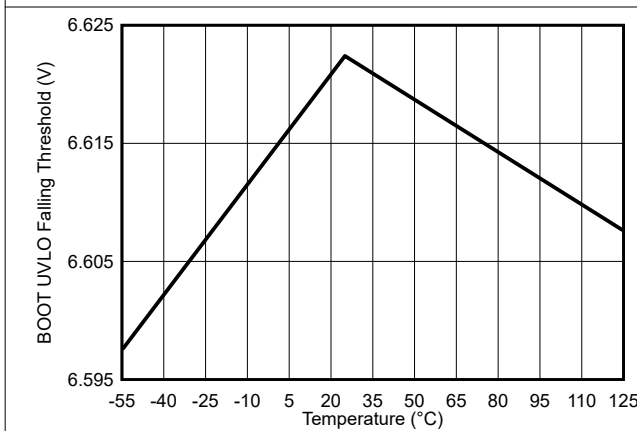


图 7-29. BOOT UVLO 下降阈值与温度间的关系

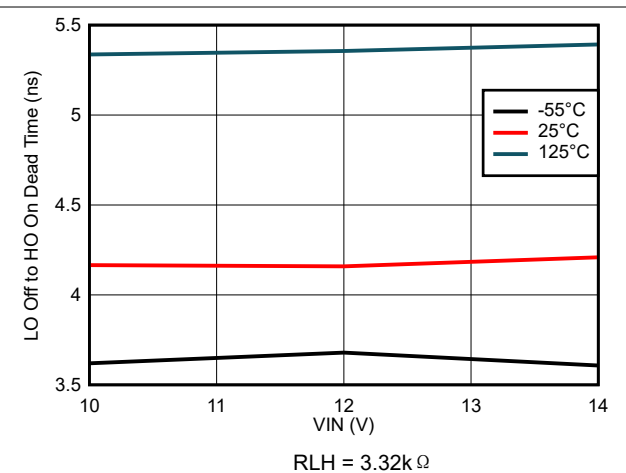


图 7-30. 从 LO 关断至 HO 导通死区时间与 VIN 电压间的关系

7.8 典型特性 (续)

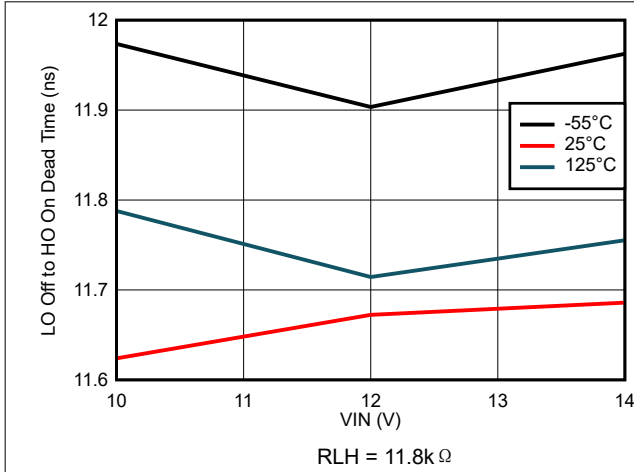


图 7-31. 从 LO 关断至 HO 导通死区时间与 VIN 电压间的关系

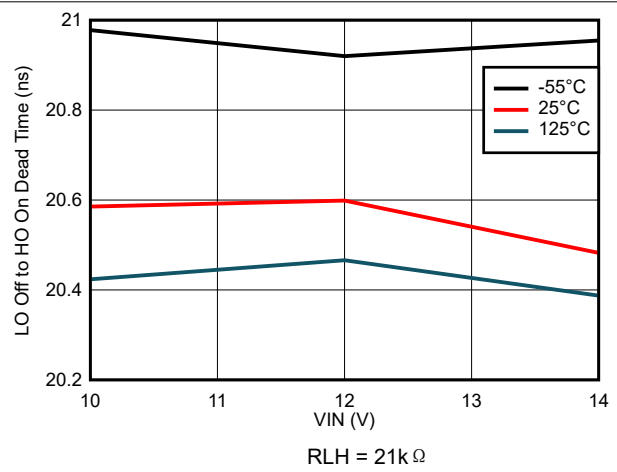


图 7-32. 从 LO 关断至 HO 导通死区时间与 VIN 电压间的关系

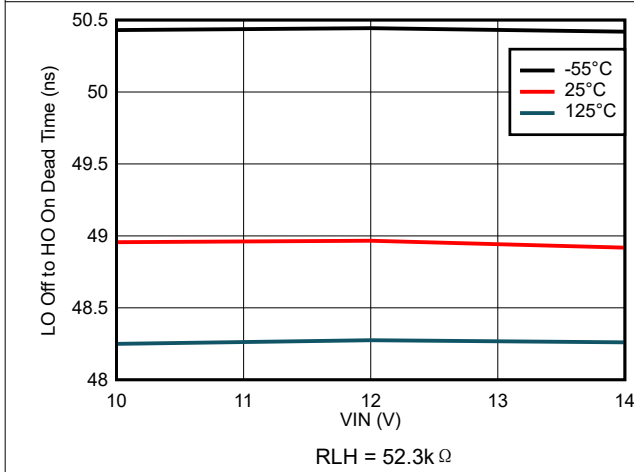


图 7-33. 从 LO 关断至 HO 导通死区时间与 VIN 电压间的关系

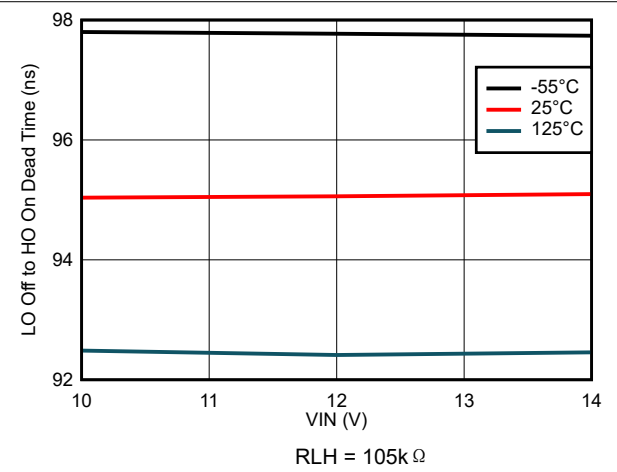


图 7-34. 从 LO 关断至 HO 导通死区时间与 VIN 电压间的关系

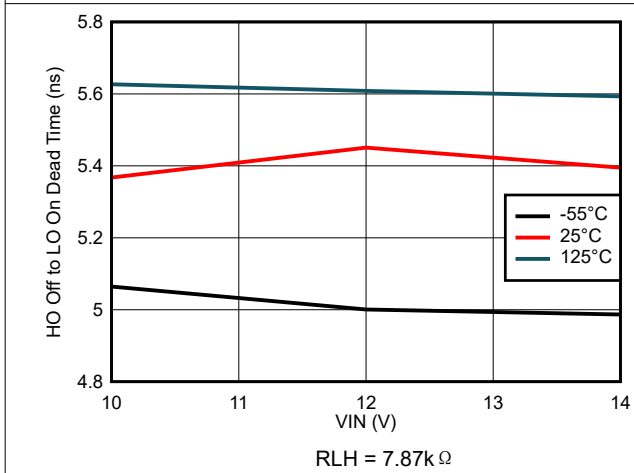


图 7-35. 从 HO 关断至 LO 导通死区时间与 VIN 电压间的关系

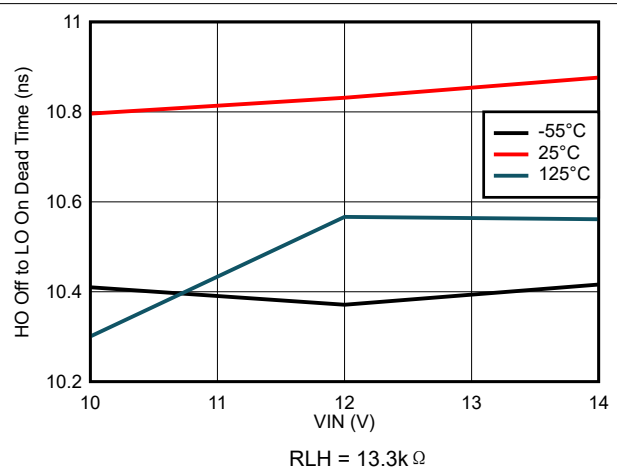


图 7-36. 从 HO 关断至 LO 导通死区时间与 VIN 电压间的关系

7.8 典型特性 (续)

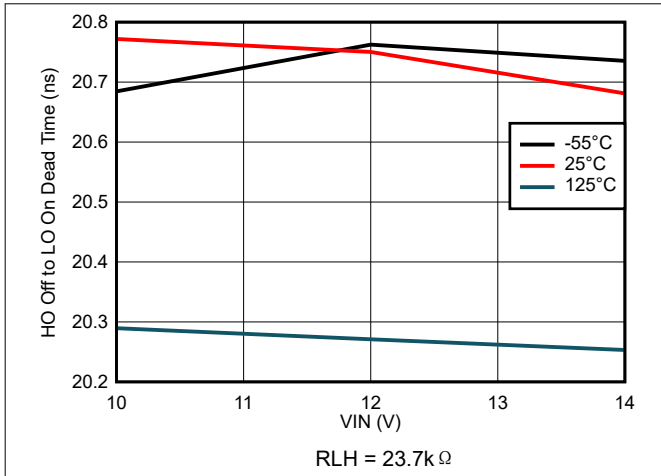


图 7-37. 从 HO 关断至 LO 导通死区时间与 VIN 电压间的关系

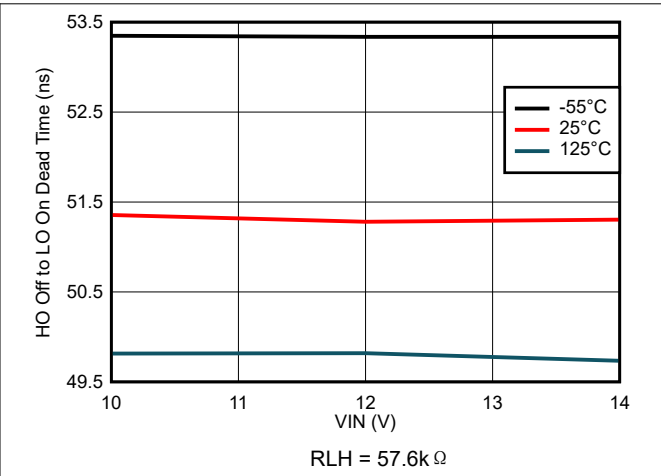


图 7-38. 从 HO 关断至 LO 导通死区时间与 VIN 电压间的关系

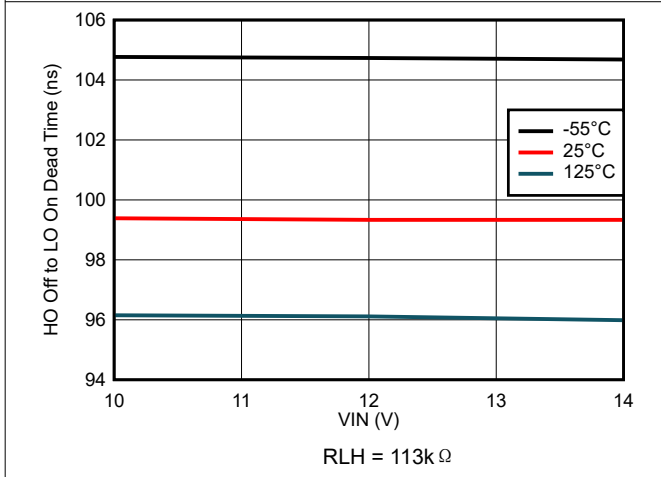


图 7-39. 从 HO 关断至 LO 导通死区时间与 VIN 电压间的关系

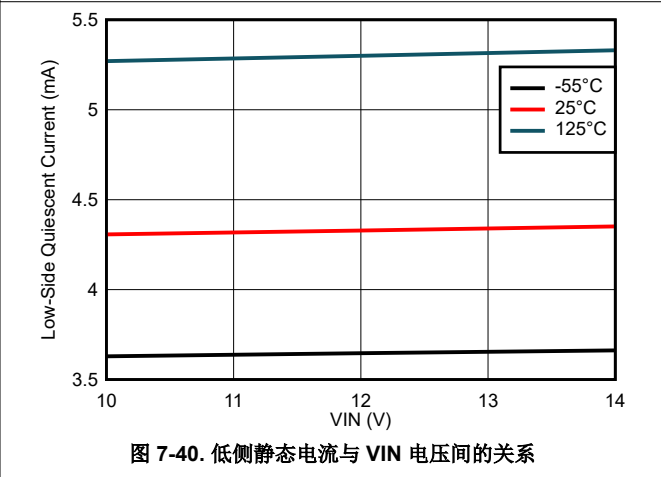


图 7-40. 低侧静态电流与 VIN 电压间的关系

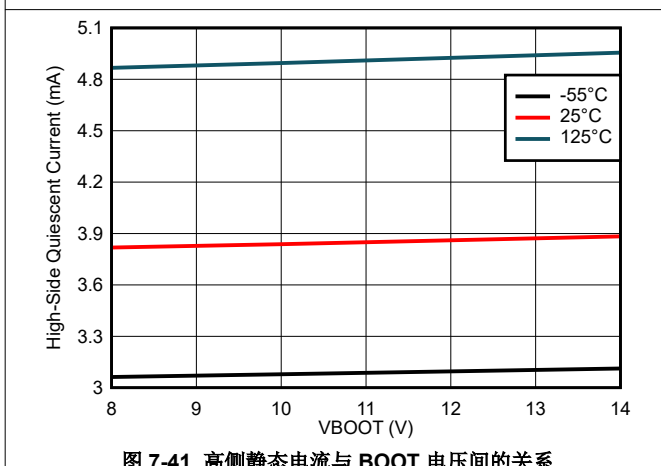


图 7-41. 高侧静态电流与 BOOT 电压间的关系

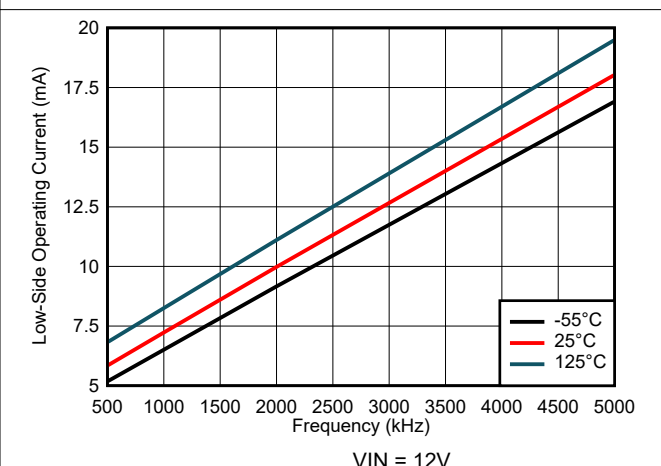
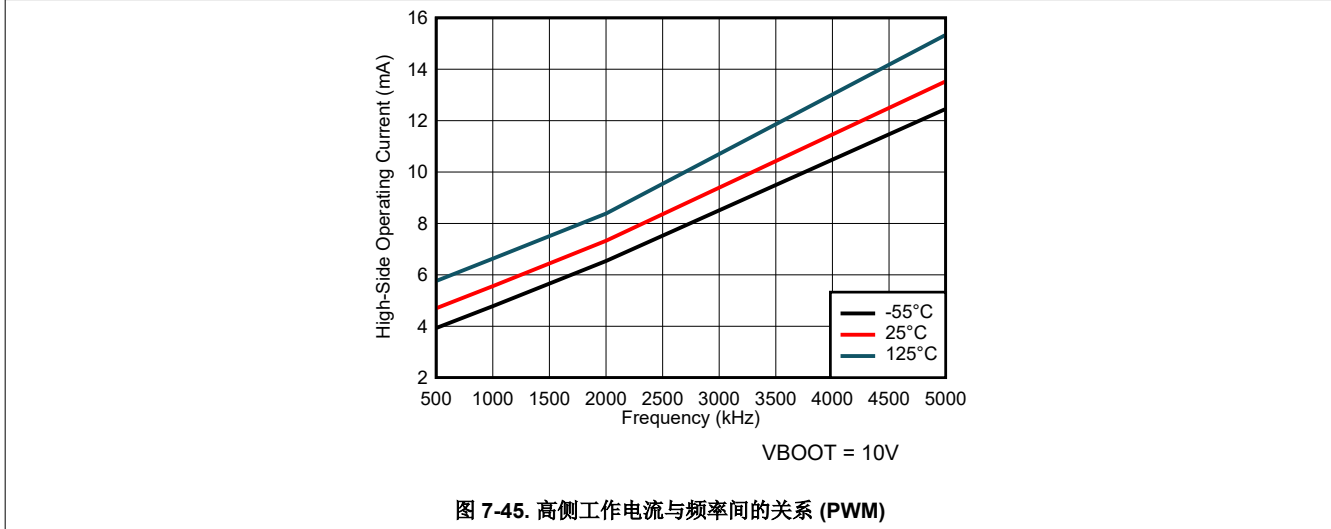
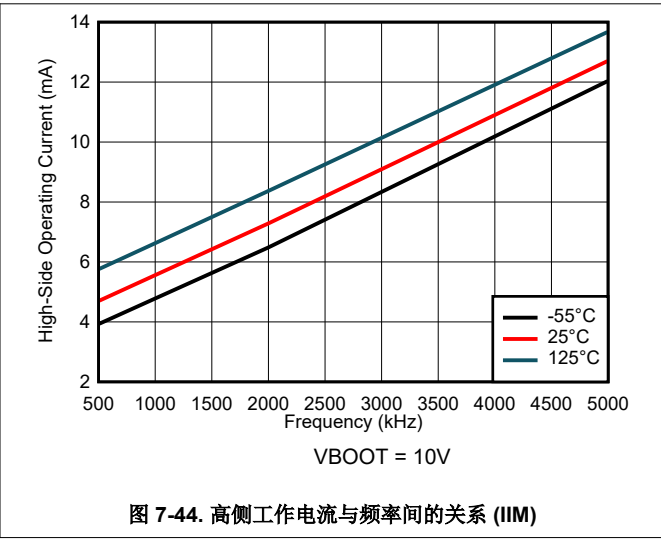
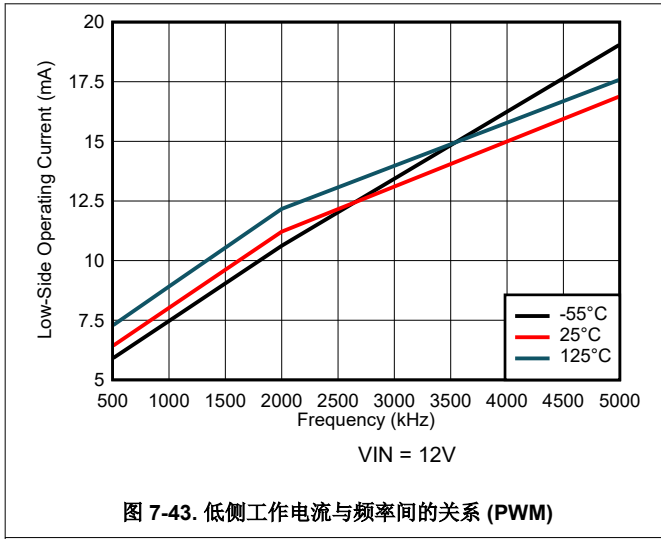


图 7-42. 低侧工作电流与频率间的关系 (IIM)

7.8 典型特性 (续)



8 详细说明

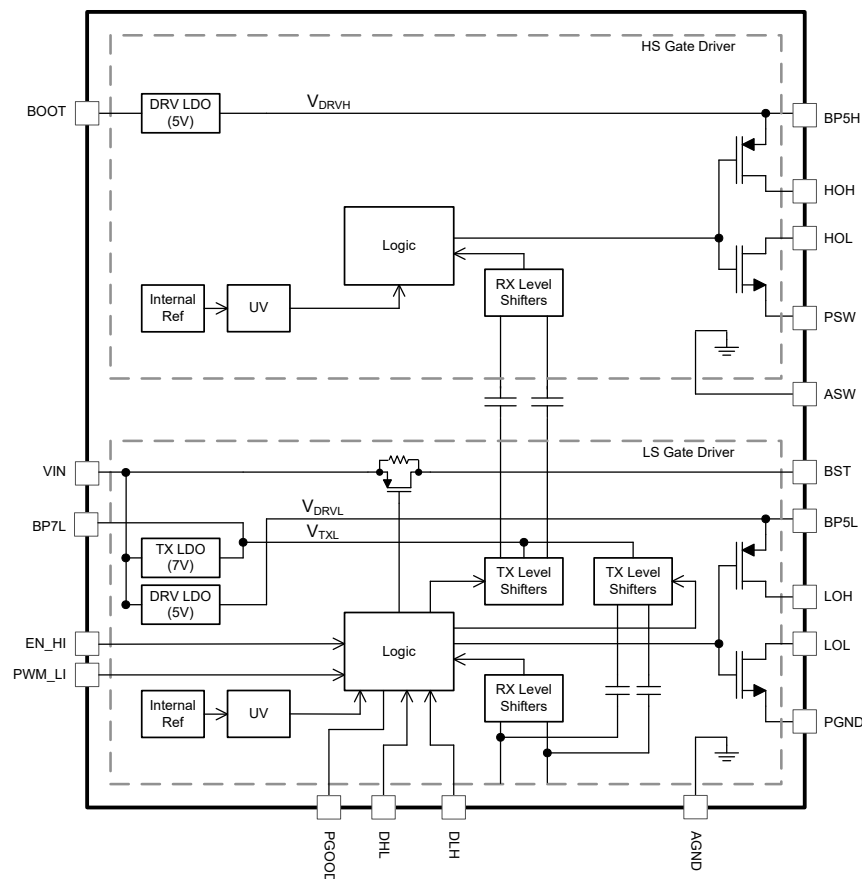
8.1 概述

TPS7H60x5 系列耐辐射保障 (RHA) 半桥栅极驱动器旨在与增强模式 GaN FET 配合使用。该系列包括 TPS7H6005 (200V 驱动器)、TPS7H6015 (60V 驱动器) 和 TPS7H6025 (22V 驱动器)。该系列中的每款驱动器均采用 56 引脚 HTSSOP 封装并且提供 QMLP 和 SEP 器件等级。这些驱动器可用于基于 GaN 的高频、高效率电源转换器设计中。每个驱动器都具有 30ns (典型值) 的传播延迟和 5.5ns (典型值) 的高侧至低侧延迟匹配。

驱动器中包含高侧和低侧内部线性稳压器。这些稳压器可确保栅极电压保持在 5V，以防止驱动的 GaN 器件发生任何损坏。高侧和低侧驱动器上的分离输出为用户提供了灵活性，可独立调节 GaN FET 的导通和关断时间。栅极驱动器需要外部自举二极管，因此用户能够根据应用优化二极管。驱动器包含一个与自举二极管串联的内部开关，可用于防止自举电容器过充并降低二极管中的反向恢复损耗。

栅极驱动器有两种工作模式：PWM 模式和独立输入模式 (IIM)。双模式工作允许每个栅极驱动器与许多 PWM 控制器一起使用，以实现同步整流器控制和 GaN FET 兼容性。用户还可以选择在 IIM 中启用输入互锁保护，从而在同步降压和半桥拓扑中实现防击穿保护。如果需要，也可以在 IIM 中禁用此保护，这样便可以在双开关正激式转换器和双单端应用中使用这种驱动器。

8.2 功能方框图



8.3 特性说明

8.3.1 输入电压

在稳态运行期间，TPS7H60x5 的输入电压必须介于 10V 和 14V 之间。该电压用作两个低侧线性稳压器 BP5L 和 BP7L 的输入。外部高侧自举电容器也从 VIN 充电（请参阅 [自举充电](#)）。为了获得出色性能，请在 VIN 和 AGND 之间添加一个旁路电容器。将该旁路电容器尽可能靠近栅极驱动器放置。该旁路电容器通常至少是自举电容器选定值的十倍。

8.3.2 线性稳压器运行

TPS7H60x5 包含三个内部线性稳压器：BP5L、BP7L 和 BP5H。BP5L 和 BP7L 包含在驱动器的低侧。这些线性稳压器分别提供 5V 和 7V 的标称输出电压。BP5L 用于为低侧逻辑电路以及低侧栅极驱动电压供电。BP5L 稳压器的精度为 $5V +3.5\%/-5\%$ ，可为驱动 GaN FET 提供合适的电压。从 BP5L 引脚到 PGND 之间需要最低 $1\mu F$ 的电容器。BP7L 为驱动器内的低侧发送器供电。从 BP7L 引脚到 AGND 之间也需要最低 $1\mu F$ 的电容器。

在高侧，BOOT 上的电压用作高侧线性稳压器 BP5H 的输入。与低侧的 BP5L 类似，该稳压器用于为高侧逻辑电路供电，同时为外部 FET 提供 $5V +3.5\%/-5\%$ 高侧栅极电压。从 BP5H 到 PSW 之间需要最低 $1\mu F$ 的电容器。对于所有内部线性稳压器，除本文所示之处以外，建议不要在外部加载这些稳压器。

8.3.3 自举运行

为了给半桥配置中使用的高侧栅极驱动器电路发电，栅极驱动器需要使用自举电路。TPS7H60x5 自举元件的选择对于栅极驱动器的正常运行至关重要。该器件还可以使用各种自举电容器充电方法。

8.3.3.1 自举充电

TPS7H60x5 为用户提供多种自举电容器充电选项。这种灵活性使其能够与各种 PWM 控制器配合运行，还允许用户在权衡后选择最适合特定应用的方案。这两种情况下，建议使用自举电阻器来限制初始启动期间的自举电流。自举电阻器和电容器需要精心挑选，以便提供足够的时间为特定应用中的电容器重新充电。

第一个选项允许通过驱动器的内部自举开关为自举电容器充电。此开关从内部连接在 VIN 和 BST 引脚之间，自举二极管从外部连接在 BST（阳极）和 BOOT（阴极）之间。自举开关仅在低侧驱动器输出导通时导通。通过在转换器死区时间内禁止自举充电，可以降低自举电容器上的最大电压。内部自举开关有 $1k\Omega$ 并联电阻，允许在低侧 FET 导通之前的启动时间对自举电容器缓慢充电。

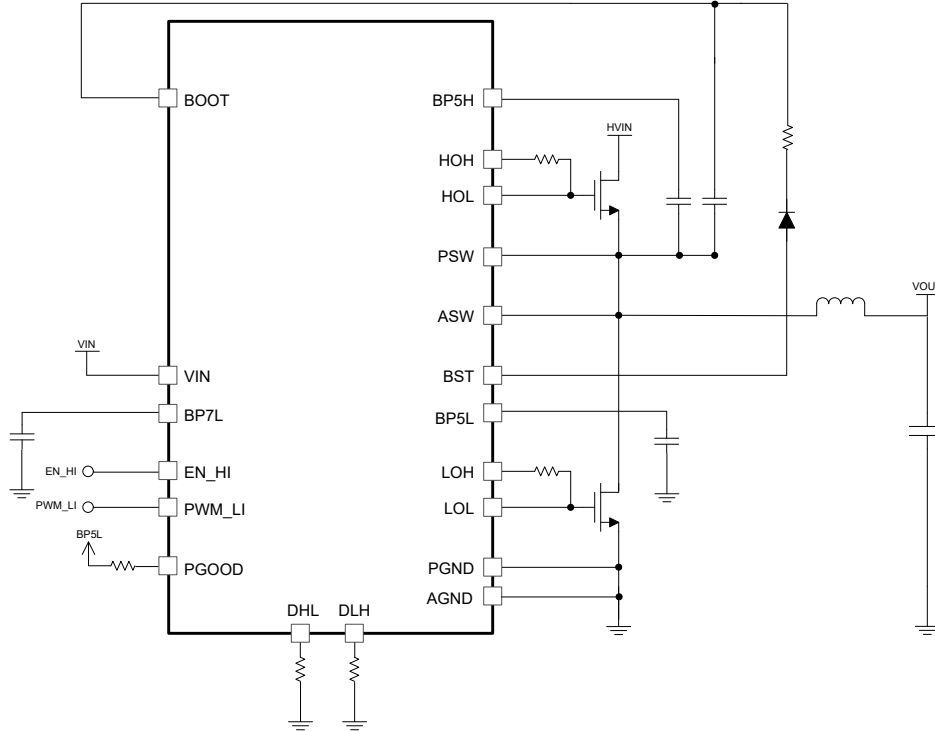


图 8-1. 内部开关自举充电配置

另一个选项是直接从 VIN 为自举电容器充电。这是一种搭配半桥驱动器使用的更为传统的方法。许多用例中都可以考虑该选项，但在低侧 FET 无法立即导通的情况下尤其有用。当使用 TPS7H60x5 与具有集成同步整流输出的 TPS7H500x-SP 系列的三种控制器之一时，就是这种情况。同步整流输出在软启动期间禁用，因此在实现同步降压拓扑时，不能通过驱动器的内部自举开关为自举电容器充电。自举开关确实有用于缓慢充电的并联电阻器，但转换器的时序控制和/或启动要求可能最终决定了充电速度需要更快。使用直接 VIN 充电时，防止自举电容器过充的选项包括，添加一个与自举电容器串联的电阻器，添加一个与自举电容器并联的齐纳二极管，亦或两者方法的结合。使用齐纳二极管时必须考虑它在正常运行期间产生的相关漏电流，这会增加转换器的总损耗。

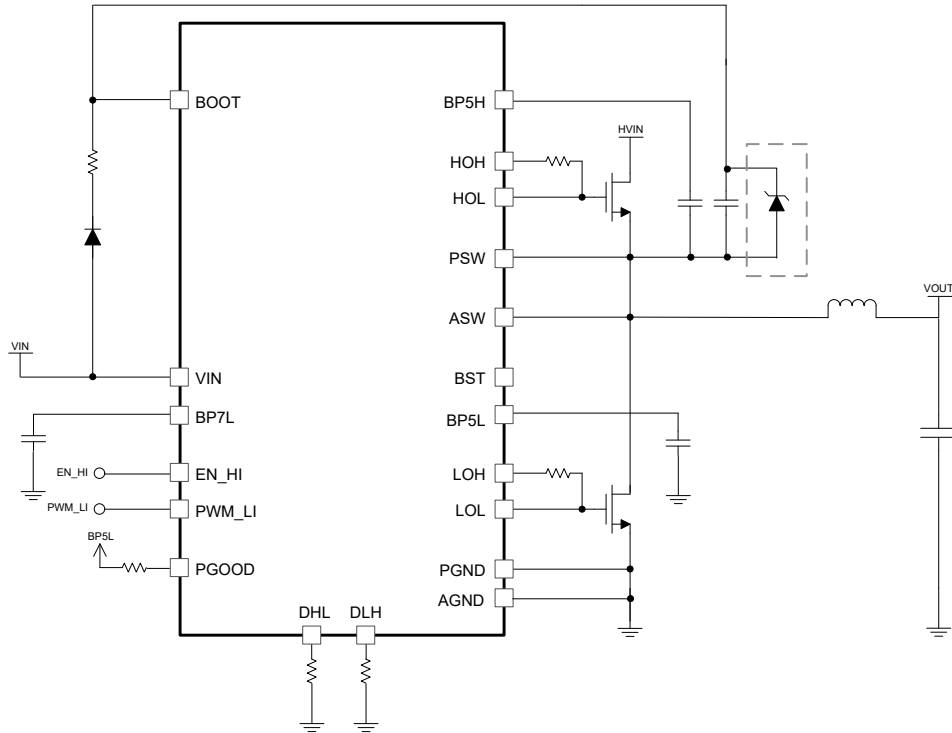


图 8-2. 直接 VIN 自举充电配置

最后，可以考虑双充电选项，它结合了自举开关和直接 VIN 充电方法。这种方法的好处是，可以规避启动期间由于低侧 FET 未导通而导致的任何潜在自举充电问题，同时还可以利用内部开关在正常运行期间降低自举电压的能力。在直接 VIN 充电路径中与自举二极管一起使用的串联电阻必须高于内部自举开关的电阻，以确保在正常运行期间通过自举开关进行充电。这个较高的电阻值也有效地降低了正常运行期间的齐纳电流。这种配置的代价是器件数增加。

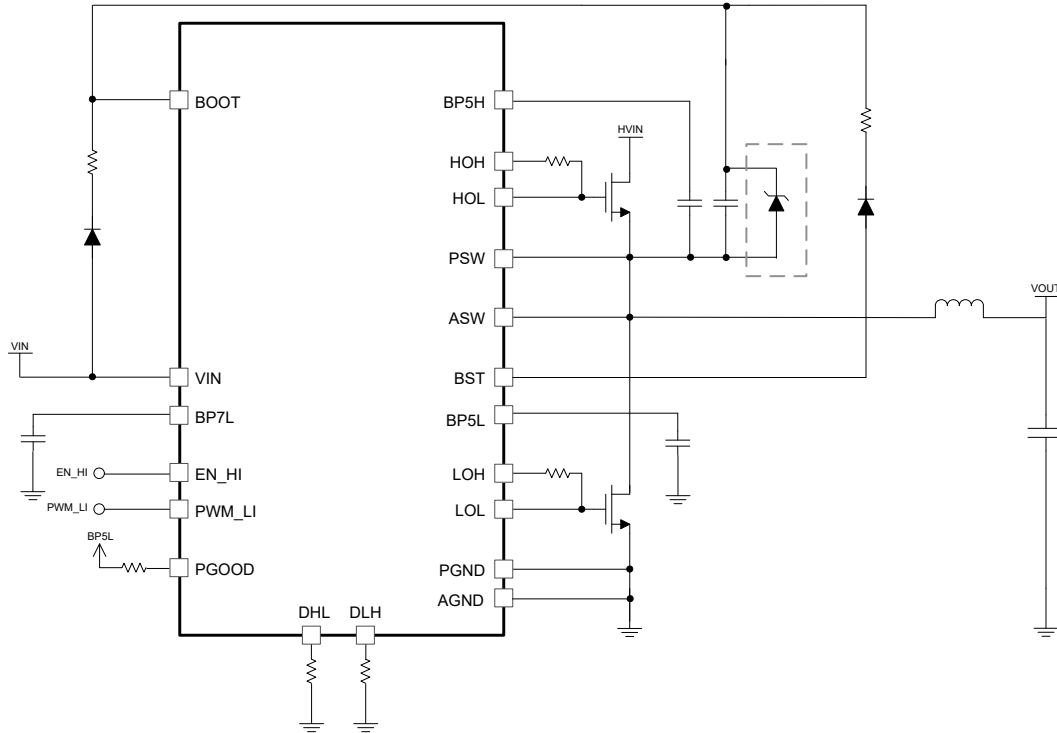


图 8-3. 双自举充电配置

8.3.3.2 自举电容器

驱动器所需的外部自举电容器连接在 **BOOT** 和 **ASW** 之间。自举电容器电压用作高侧线性稳压器 **BP5H** 的输入，为高侧 **GaN FET** 提供栅极驱动电压。选择自举电容器的一般原则是，其值应至少是所驱动的高侧 **GaN FET** 栅极电容的 10 倍：

$$C_{BOOT} \geq 10 \times C_g \quad (1)$$

其中：

- C_g 是高侧 **GaN FET** 的栅极电容

要更具体地计算出所需的最小自举电容，可以使用 [方程式 2](#)：

$$C_{BOOT} \geq \frac{Q_{total}}{\Delta V_{BOOT}} \quad (2)$$

$$Q_{total} = Q_g + I_{QBG} \times \frac{D_{MAX}}{f_{SW}} + \frac{I_{QHS}}{f_{SW}} \quad (3)$$

其中：

- Q_g 是高侧 **GaN FET** 的总栅极电荷
- I_{QBG} 是 **BOOT** 至 **AGND** 静态电流
- D_{MAX} 是最大占空比
- I_{QHS} 是高侧静态电流
- f_{SW} 是开关频率

ΔV_{BOOT} 是为了正常运行 **BOOT** 上允许的最大压降：

$$\Delta V_{BOOT} = V_{IN} - (n \times V_F) - V_{BOOT_UVLO} \quad (4)$$

其中：

- V_{IN} 是栅极驱动器输入电压
- n 是串联的外部自举二极管的数量
- V_F 是自举二极管的正向压降
- V_{BOOT_UVLO} 是 $BOOT$ 的下降欠压锁定阈值 (典型值为 6.65V)

使用足够大的电容器, 可以使用 TPS7H60x5 器件支持低频电机驱动器应用。建议选择具有低 ESR 和 ESL 的自举电容器。自举电容器的额定电压应在最大预期自举电压之上有足够的裕量。

8.3.3.3 自举二极管

无论采用何种方法为自举电容器充电, TPS7H60x5 都需要一个外部自举二极管, 其额定值可承受施加到半桥配置中的转换器功率级上的输入电压。选择外部自举二极管时必须谨慎。自举二极管需要能够处理启动期间出现的峰值瞬态电流。自举电路中应使用快速恢复二极管。用户需要检查所选二极管的 I-V 特性, 以验证预期工作条件下的正向电压不会过大而触发 BP5H 稳压器的欠压锁定。总体而言, 用户需要满足 [方程式 5](#) 的条件:

$$V_{IN} - (n \times V_F) \geq V_{BOOT_UVLO} \quad (5)$$

其中:

- V_{IN} 是栅极驱动器输入电压
- n 是串联的外部自举二极管的数量
- V_F 是自举二极管的正向压降
- V_{BOOT_UVLO} 是 $BOOT$ 的下降欠压锁定阈值 (典型值为 6.65V)

8.3.3.4 自举电阻

自举电阻器用于 (1) 限制栅极驱动器启动期间的峰值电流, (2) 控制启动时的压摆率 (dv/dt)。在初始充电期间, 流经自举二极管和通过 BST 开关 (如果使用) 的峰值电流可能会变得过高。此外, $BOOT$ 处过大的压摆率可能会导致启动期间 BP5H 电压发生轻微过冲。为了缓解这些问题, 建议使用至少 $2\ \Omega$ 的自举电阻器。

虽然自举电阻器确实能够缓解峰值电流和压摆率问题, 但该电阻器与自举电容器结合使用会引入时间常数 τ :

$$\tau = \frac{R_{BOOT} \times C_{BOOT}}{D} \quad (6)$$

其中:

- R_{BOOT} 是自举电阻器值, 单位为欧姆
- C_{BOOT} 是自举电容器值, 单位为法拉
- D 为开关转换器的占空比

需要根据时间常数来检查自举电容器充电和刷新充电所需的时间。最后, 电阻器在初始充电期间可能会出现高功耗。选择在此充电期间可处理这种能量的电阻器:

$$E = \frac{1}{2} \times C_{BOOT} \times V_{BOOT}^2 \quad (7)$$

其中:

- C_{BOOT} 是自举电容器值, 单位为法拉
- V_{BOOT} 是自举电容器的最终电压

8.3.4 高侧驱动器启动

为了让高侧正常启动, $BOOT$ 至 SW 电压必须高于 6.4V (典型值) 的 $BOOT$ UVLO 上升阈值。在输出端存在预偏置电压的半桥转换器配置中, 自举电容器可能无法在输出电压充分放电之前从 V_{IN} 充分充电。在 V_{IN} 欠压期间也可看到同样的行为, 此时输入电压会暂时降至 V_{IN} UVLO 下降阈值以下。恢复后, 低侧驱动器将尝试开始正常运行, 但由于转换器上存在输出电压, 所以高侧驱动器的导通将延迟。这是半桥栅极驱动器固有的问题。转换器输出端的放电电路可以帮助缓解该问题, 方法是仅在栅极驱动尝试启动之后强制输出变为低电压。

8.3.5 输入和输出

TPS7H60x5 的输入引脚为 PWM_LI 和 EN_HI。其中每个引脚都有一个约 200kΩ (典型值) 的内部下拉电阻。这些引脚的功能取决于所选的栅极驱动器工作模式, 如 [器件功能模式](#) 中所述。在 PWM 模式下, PWM_LI 将作为驱动器的单个 PWM 控制信号输入引脚, EN_HI 将作为驱动器的使能引脚。在独立输入模式下, PWM_LI 用作低侧输入, EN_HI 用作高侧输入。输入能够承受高达 14V 的电压, 这使得它们能够直接连接至电源电压小于或等于 14V 的模拟 PWM 控制器的输出。如果在独立输入模式下工作并且两个输入通道 PWM_LI 和 EN_HI 均未使用, 则建议将输入连接到 AGND。鉴于输入是边沿触发的, 建议使用压摆率大于 2V/μs 的输入信号以按预期工作。

TPS7H60x5 高侧和低侧都包含分离输出。高侧由输出 HOH 和 HOL 组成, 它们分别是拉电流输出和灌电流输出。同样, 低侧具有拉电流输出 LOH 和灌电流输出 LOL。这些分离输出通过在驱动的 GaN 器件的导通或关断路径上放置额外的阻抗, 提供了独立调节导通和关断速度的灵活性。这些输出能够提供 1.3A 的拉电流和 2.5A 的灌电流 (典型值)。

8.3.6 死区时间

在 PWM 模式下运行时, DLH 和 DHL 上都需要连接到 AGND 的电阻器来设定死区时间。DHL 电阻器设定高侧输出 (HO) 关断到低侧 (LO) 输出导通之间的死区时间。同理, DLH 上的电阻器设定低侧 (LO) 关断到高侧 (HO) 导通之间的死区时间。该电阻器可用于在最小约 5ns 到最高 100ns 的范围内设定死区时间。两个引脚上必须安装该电阻器, 才能在这种模式下运行器件。

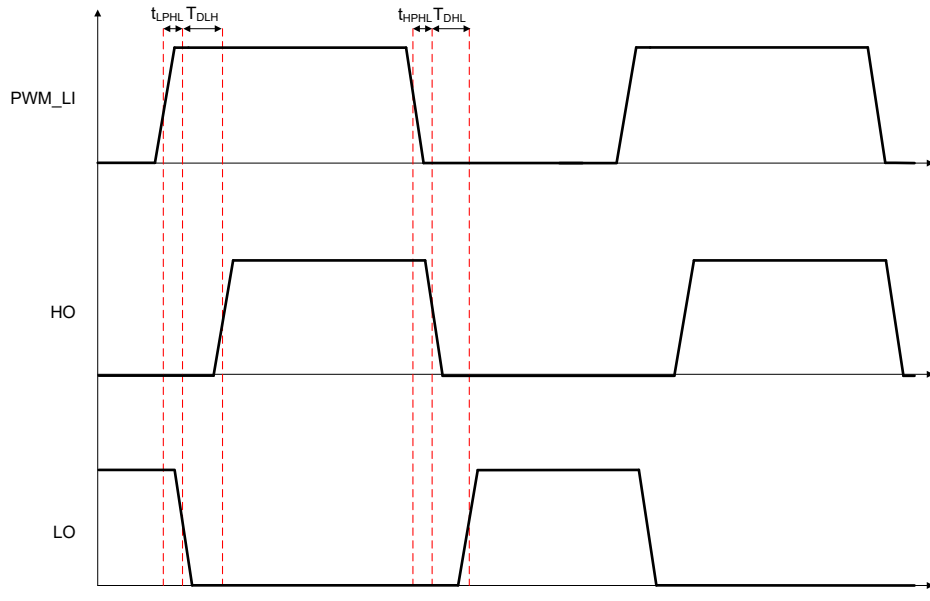


图 8-4. PWM 模式下显示死区时间的时序波形

需根据目标死区时间设定的电阻器可通过以下公式计算得出

$$RHL = 1.077 \times T_{DHL} + 1.812 \quad (8)$$

其中:

- T_{DHL} 是“HO 关断至 LO 导通”目标死区时间, 以 ns 为单位
- RHL 以 kΩ 为单位

$$RLH = 1.064 \times T_{DLH} - 0.630 \quad (9)$$

其中:

- T_{DLH} 是“LO 关断至 HO 导通”目标死区时间, 以 ns 为单位

- RLH 以 $k\Omega$ 为单位

请谨慎选择死区时间，以防止高侧和低侧开关之间发生跨导，同时更大限度地降低在此期间的损耗。建议为 RHL 和 RLH 选择的电阻器具有 1% 或更佳的容差。

8.3.7 输入互锁保护

TPS7H60x5 可配置为在独立输入模式 (IIM) 下提供输入互锁保护。要在 IIM 中激活输入互锁保护，DHL 必须连接到 5V，同时 DLH 在该引脚和 AGND 之间连接有一个电阻器（值在 $100k\Omega$ 和 $220k\Omega$ 之间）。该保护功能可防止半桥配置中的 GaN FET 击穿，从而提高与驱动器配合使用的功率级的稳健性和可靠性。只要启用保护且两个输入都为逻辑高电平，那么内部逻辑就会关断两个输出。两个输出都保持关断，直到一个输入变为低电平，此时输出会遵从输入逻辑。为了不影响驱动器的传播延迟和死区时间，该功能没有固定时间的抗尖峰脉冲。驱动器输入端的小型滤波器可用于在易受噪声干扰的应用中提高稳健性。

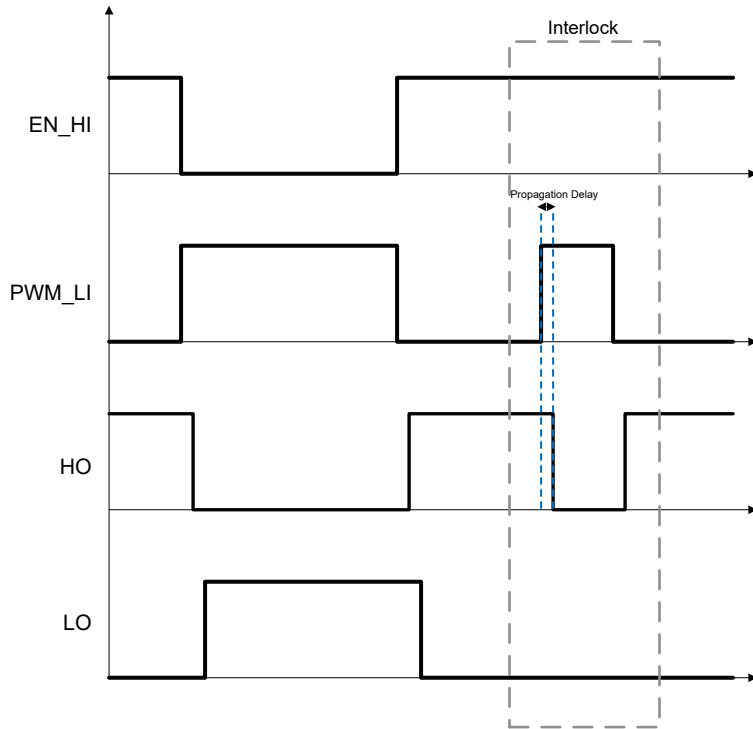


图 8-5. 独立输入模式下的输入互锁保护

8.3.8 欠压锁定和电源正常 (PGOOD)

TPS7H60x5 的 BP5L、BP7L、BP5H、BOOT 和 VIN 上有欠压锁定 (UVLO)。当任何低侧线性稳压器或 VIN 上的输出电压低于 UVLO 阈值 (BP5L 线性稳压器的 4.05V，BP7L 线性稳压器的 6.2V，VIN 的 8.1V) 时，PWM 输入会被忽略，以防止 GaN FET 局部导通。在这种情况下，UVLO 会主动将 LO 和 HO 拉至低电平。当低侧稳压器和 VIN 均高于相应的 UVLO 阈值，但触发了其中一个高侧 UVLO (BP5H 的 4.05V 和/或 BOOT 的 6.65V) 时，只会把 HO 拉至低电平。

栅极驱动器还有一个电源正常 (PGOOD) 引脚，可指示任何低侧线性稳压器何时进入欠压锁定状态。当所有低侧稳压器和 VIN 均超过各自的上升 UVLO 阈值时，该引脚进入逻辑高电平状态。如果其中任何一个线性稳压器或 VIN 降至相应的下降 UVLO 阈值以下，则该引脚会变为或保持逻辑低电平。当 PGOOD 引脚处于逻辑高电平状态时，该引脚有一个 $1M\Omega$ 的内部下拉电阻。建议在 PGOOD 到 BP5L 之间连接一个 $10k\Omega$ 上拉电阻。

8.3.9 SW 负电压瞬变

尽管增强模式 GaN FET 不像硅 FET 那样包含体二极管，但由于采用对称器件结构，这些器件能够反向导通。反向导通期间，GaN FET 的源漏电压通常高于传统硅 FET 的源漏电压，这在很大程度上取决于所使用的 GaN 器件

类型。因此，驱动器的开关节点引脚（ASW 和 PSW，统称为 SW）存在负电压。由于 BOOT 始终以 SW 为基准，所以这种负瞬变可能会导致自举电压过大。此外，印刷电路板布局布线和器件寄生电感可以进一步加强负电压瞬变。在高于绝对最大值 16V 的自举电压下运行可能会对栅极驱动器产生不利影响，因此必须注意确保不超过 BOOT 至 SW 的最大电压差。通常，BOOT 瞬间追随 SW，以免 BOOT 至 SW 电压显著过冲。但是，可在 BOOT 和 SW 之间使用外部齐纳二极管，以在运行期间将自举电压钳到可接受的值。

8.3.10 电平转换器

TX 和 RX 电平转换器连接在低侧输入与以高压开关节点（ASW）为基准的高侧驱动器级之间。电平转换器支持控制 HO 输出。高侧和低侧信号路径中的电平转换器相同，提供出色的延迟匹配（典型值为 5.5ns）。

8.4 器件功能模式

TPS7H60x5 的工作模式由 DHL 和 DLH 引脚的状态决定。器件运行期间不应更改这些引脚的配置。工作模式有两种：PWM 和独立输入模式。在 PWM 模式下，EN_HI 引脚用于启用器件，PWM_LI 上需要单个 PWM 输入信号，而且 TPS7H6005 在 LO 和 HO 上生成互补输出信号。由于此模式的主要应用是同步降压转换器，因此 HO 将生成主输出，LO 将生成同步整流输出。从 DHL 到 AGND 和从 DLH 到 AGND 之间连接电阻器，以便设定高侧和低侧输出之间的死区时间。有关在 PWM 模式下要使用的可接受电阻值（待定），请参阅[死区时间](#)一节。

在独立输入模式（IIM）下，PWM_LI 和 EN_HI 上需要单独的 PWM 输入信号。TPS7H60x5 的相应输出直接从这些输入驱动。在禁用互锁的 IIM 中，DLH 连接到 BP5L 而且 DHL 有一个电阻器连接到 AGND。要在启用互锁的 IIM 中工作，请在 DLH 和 AGND 之间连接一个电阻器，同时将 DHL 连接到 BP5L。对于 IIM 中的两种工作模式选项，使用的电阻值必须在 100kΩ 和 220kΩ 之间。

表 8-1 显示了每种工作模式的配置。请注意，这些是唯一有效的驱动器工作模式，DLH 和 DHL 的连接必须遵从其中一种配置才能正常工作。

表 8-1. TPS7H60x5 工作模式选择

| 工作模式 | DLH | DHL |
|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|
| PWM | 电阻器至 AGND | 电阻器至 AGND |
| 独立输入模式 - 输入互锁禁用 | BP5L | 电阻器至 AGND (100kΩ 至 220kΩ) |
| 独立输入模式 - 输入互锁启用 | 电阻器至 AGND (100kΩ 至 220kΩ) | BP5L |

表 8-2 显示了 TPS7H60x5 每种功能模式的真值表。

表 8-2. TPS7H60x5 真值表

| 输入 | | PWM 模式 | | IIM - 互锁禁用 | | IIM - 互锁启用 | |
|-------|--------|--------|----|------------|----|------------|----|
| EN_HI | PWM_LI | HO | LO | HO | LO | HO | LO |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |

9 应用和实施

备注

以下应用部分中的信息不属于 TI 元件规格，TI 不担保其准确性和完整性。TI 的客户负责确定元件是否适合其用途，以及验证和测试其设计实现以确认系统功能。

9.1 应用信息

TPS7H60x5 系列包含半桥栅极驱动器，用于在航天环境中实现对 GaN FET 的出色控制。每款器件都实现了高频、高效的航天级转换器设计，同时提供出色的稳健性，抵御辐射诱发的效应。这些驱动器包含用于低侧和高侧栅极电压的集成式 5V 线性稳压器，可确保驱动的 GaN FET 具有更高的可靠性。驱动器的主要用例是半桥配置，例如同步降压或全桥拓扑。但是，驱动器也可轻松地用于其他常见的转换器拓扑中，例如推挽式、有源钳位正激式或双开关正激式（增加了外部电路）。

TPS7H60x5 具有多种特性，支持在以 GaN 为中心的转换器设计中与传统耐辐射 PWM 控制器和 TPS7H5001-SP 或 TPS7H5005-SEP 等更新的器件配合工作。该驱动器的输入引脚可接受高达 14V 的信号，因而可直接连接具有高输出电压的旧版 PWM 控制器。该器件还提供两种不同的工作模式：PWM 模式和独立输入模式 (IIM)。在 PWM 模式下，栅极驱动器仅需要一个输入，同时生成控制同步降压转换器所需的初级和同步整流输出。生成的信号之间的死区时间可通过栅极驱动器进行编程。IIM 允许通过独立信号控制低侧和高侧，或者在需要时可用于在双低侧配置中运行该器件。在 IIM 中，可以根据特定用户需求打开或关闭互锁保护。

此外，该器件为其内部稳压器以及 VIN 和 BOOT 电压提供欠压锁定保护。驱动器中集成了一个可选的自举开关，允许通过 VIN 为自举二极管充电，并且仅在低侧输出导通时保持导通状态。TPS7H60x5 的特性和辐射性能相结合，使其非常适合用在航天级转换器设计中。

9.2 典型应用

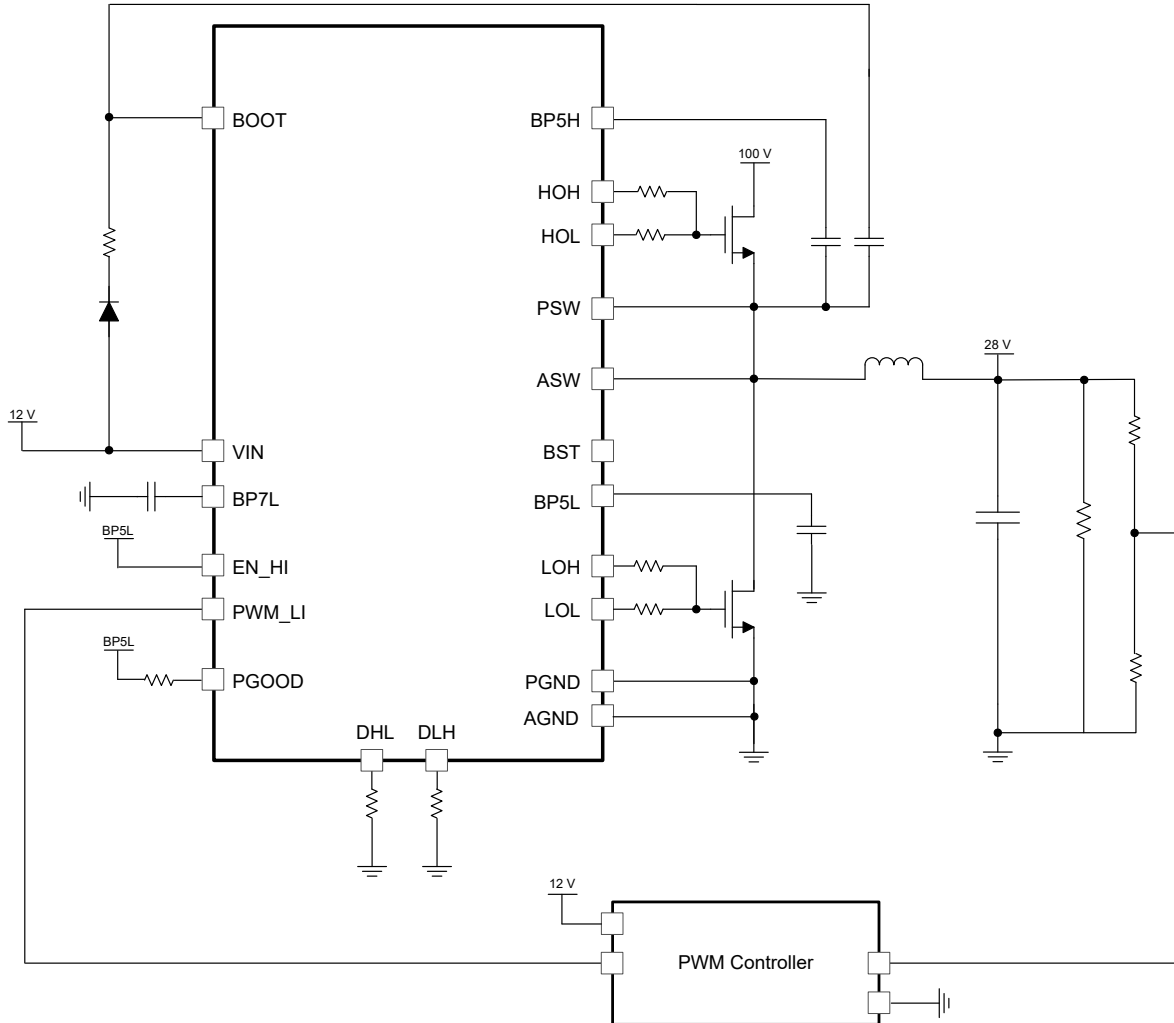


图 9-1. 在同步降压转换器中使用 TPS7H6005 的典型应用

9.2.1 设计要求

提供的示例旨在演示 TPS7H6005 在高压同步降压转换器中的使用。此设计示例旨在详细介绍与 TPS7H6005 相关的元件选择和配置。对于此特定应用，栅极驱动器在 PWM 模式下运行。

表 9-1. 设计参数

| 参数 | 值 |
|-----------|-------------------|
| 功率级输入电源电压 | 100V |
| 输出电压 | 28V |
| 输出电流 | 10A |
| 开关频率 | 500kHz |
| 栅极驱动器输入电压 | 12V |
| 占空比 | 28% 标称值, ~35% 最大值 |
| 电感器 | 15 μ H |
| GaN FET | EPC2307 (仅限评估) |
| 工作模式 | PWM |

请注意，所选的 GaN FET 用于驱动器的实验室评估。TI 建议选择一个同时满足此设计的电气和辐射要求的 GaN FET。

9.2.2 详细设计过程

9.2.2.1 自举电容器和旁路电容器

在正常运行期间，外部自举电容器需要保持在 BOOT UVLO 下降阈值以上运行。最佳设计实践是，调整电容器的大小，以便为该阈值留出显著的裕度。确定自举电容值的第一步是计算 ΔV_{BOOT} 。这是自举电容器上的最大允许压降：

$$\Delta V_{BOOT} \approx V_{IN} - (n \times V_F) - V_{BOOT_UVLO} = 12V - (1 \times 0.9V) - 6.65V = 4.35V \quad (10)$$

其中：

- n 是串联的自举二极管的数量
- V_F 是所选自举二极管的压降
- V_{BOOT_UVLO} 是 BOOT UVLO 下降阈值电压

为了保持显著的裕度并考虑所用自举电阻器上的任何额外压降以及负载瞬变，可按照 $1.5V \Delta V_{BOOT}$ 计算电容值。参考 [自举电容器](#)，需要首先确定 Q_{total} 的值，随后可以计算 C_{BOOT} ：

$$Q_{total} = Q_g + I_{QBG} \times \frac{D_{MAX}}{f_{SW}} + \frac{I_{QHS}}{f_{SW}} = 10.6nC + 20\mu A \times \frac{0.35}{500kHz} + \frac{4mA}{500kHz} = 18.6nC \quad (11)$$

$$C_{BOOT} \geq \frac{Q_{total}}{\Delta V_{BOOT}} = \frac{18.6nC}{1.5V} = 12.4nF \quad (12)$$

该设计需要的最小值是 $12.4nF$ 。但是，考虑到电容可能会随温度和施加的电压而变化，以及意外的电路行为（例如影响自举充电时间的负载瞬变），因此选择 $100nF$ X7R 电容器。

选择的 V_{IN} 电容器必须大于自举电容器。一般建议该电容至少是自举电容值的十倍，因此在这种情况下可提供 $1\mu F$ 电容。对于评估设置，在 V_{IN} 处使用了 $2.2\mu F$ 和 $1\mu F$ 电容器，这两个都是陶瓷 X7R 型电容器。建议将这些电容器和自举电容器尽可能靠近各自的引脚放置。选择额定电压远大于最大施加电压的电容器（即可能的话超过两倍）。

最后，如 [线性稳压器运行](#) 中所述，选择用于 BP5H、BP5L 和 BP7L 输出的高质量 $1\mu F$ X7R 陶瓷电容器。将这些电容器靠近相应的引脚放置。

9.2.2.2 自举二极管

自举二极管需要有足够的额定电压来阻止同步降压应用中电源转换器的功率级输入电压。根据所选二极管的类型，如果功率级输入电压较高，则需要串联二极管。如 [自举二极管](#) 中所述，二极管还需要能够处理栅极驱动器启动期间的峰值电流，并呈现低正向压降、低结电容和快速恢复时间。尤其是在较高频率下，可能需要肖特基二极管。评估设置选择了额定 $150V$ 、 $1A$ 且结电容为 $110pF$ 的肖特基二极管。请注意，选择用于评估的二极管仅用于实验室测试，TI 建议选择满足所有系统性能和辐射需求的二极管。

9.2.2.3 BP5x 过冲和下冲

尽管 TPS7H6005 有内部高侧和低侧线性稳压器（分别为 BP5H 和 BP5L）提供具有出色直流精度的栅极驱动电压，但 PCB 布局和 GaN FET 的寄生电感与电容都可能会在开关期间导致栅极驱动波形上出现瞬态振铃。这种振铃可导致电压峰值高于调节后的 BP5x 电压，并可能超过所选 GaN FET 的绝对最大 VGS 额定值。请注意，在关断期间还可能违反最小 VGS 额定值，具体取决于栅极电压波形上的振荡严重度。为了减轻振荡的振幅并避免过度振铃，驱动器需要靠近被驱动的 GaN FET 并可使用栅极电阻器。[栅极电阻器](#) 部分提供了有关栅极电阻器选择的更多详细信息。有关如何优化栅极驱动器布局的建议，请参阅 [布局指南](#) 部分。

9.2.2.4 栅极电阻器

TPS7H6005 具有分离输出，允许电阻器在导通和关断路径中与 GaN FET 的栅极串联。这些栅极电阻器用于抑制器件栅极上由寄生电容和电感引起的振铃。栅极驱动电源环路中的高电压和电流开关也可以产生振铃和噪声。这对于绝对最大栅极电压值较低的 GaN 器件尤其重要。此外，栅极电阻器也可用于调节驱动器的驱动强度。这是通过限制驱动器的峰值电流能力来实现的。对于此设计，导通和关断栅极路径均使用 2Ω 电阻器。根据这些值，可按所示公式计算高侧峰值上拉电流：

$$I_{OHH} = \text{MIN}\left(1.3\text{A}, \frac{V_{BP5H}}{R_{HOH} + R_{GATE_ON} + R_{GFET(int)}}\right) \quad (13)$$

其中：

- V_{BP5H} 是高侧线性稳压器的输出电压
- R_{HOH} 是内部高侧上拉电阻（根据高电平输出电压规格计算得出 1.3Ω ）
- R_{GATE_ON} 是导通路径中使用的栅极电阻值
- $R_{GFET(int)}$ 是驱动的 GaN FET 的内部栅极电阻（通常由 GaN FET 制造商提供）

请注意，如 [规格](#) 部分所示，驱动器能够提供的峰值拉电流约为 1.3A （典型值），因此 I_{OHH} 受该值的限制。在这种情况下：

$$I_{OHH} = \frac{V_{BP5H}}{R_{HOH} + R_{GATE_ON} + R_{GFET(int)}} = \frac{5\text{V}}{1.3\Omega + 2\Omega + 0.4\Omega} \approx 1.3\text{A} \quad (14)$$

同样，对于峰值高侧灌电流：

$$I_{OLH} = \text{MIN}\left(2.5\text{A}, \frac{V_{BP5H}}{R_{HOL} + R_{GATE_OFF} + R_{GFET(int)}}\right) \quad (15)$$

其中：

- R_{HOL} 是内部高侧下拉电阻（根据低电平输出电压规格计算得出 0.7Ω ）
- R_{GATE_OFF} 是关断路径中使用的栅极电阻值

因此，可以如下计算峰值灌电流：

$$I_{OLH} = \frac{V_{BP5H}}{R_{HOL} + R_{GATE_OFF} + R_{GFET(int)}} = \frac{5\text{V}}{0.7\Omega + 2\Omega + 0.4\Omega} = 1.6\text{A} \quad (16)$$

这里提供了低侧峰值拉电流和灌电流的公式，但请注意，在这种情况下，这些值与计算出的高侧值相同。

$$I_{OHL} = \text{MIN}\left(1.3\text{A}, \frac{V_{BP5L}}{R_{LOH} + R_{GATE_ON} + R_{GFET(int)}}\right) = \frac{5\text{V}}{1.3\Omega + 2\Omega + 0.4\Omega} \approx 1.3\text{A} \quad (17)$$

$$I_{OLL} = \text{MIN}\left(2.5\text{A}, \frac{V_{BP5L}}{R_{LOL} + R_{GATE_OFF} + R_{GFET(int)}}\right) = \frac{5\text{V}}{0.7\Omega + 2\Omega + 0.4\Omega} = 1.6\text{A} \quad (18)$$

外部栅极电阻器的选择通常需要优化，这是一个迭代的过程。最佳实践是评估特定 PCB 设计上的栅极电阻器值，以验证预期影响并根据需要进行调整。

9.2.2.5 死区时间电阻器

当配置为 PWM 模式时，栅极驱动允许设定两个单独的死区时间：

- LO 关断到 HO 导通之间（使用 RLH）
- HO 关断到 LO 导通之间（使用 RHL）

选择的死区时间值至关重要，因为这些值会直接影响这些期间转换器中发生的损耗。精心选择死区时间，以避免高侧 FET 和低侧 FET 之间的跨导，同时还能更大限度地缩短 GaN FET 的第三象限导通时间。对于这一特定应用， T_{DLH} 和 T_{DHL} 的目标死区时间约为 25ns。

$$RHL = 1.077 \times T_{DHL} + 1.812 = (1.077 \times 25\text{ns}) + 1.812 = 28.74\text{k}\Omega \quad (19)$$

$$RLH = 1.064 \times T_{DLH} - 0.630 = (1.064 \times 25\text{ns}) - 0.630 = 25.97\text{k}\Omega \quad (20)$$

RHL 和 RLH 均使用了 30k Ω 电阻器值。

9.2.2.6 栅极驱动器损耗

TPS7H6005 之类的栅极驱动器包含多个不同的元件，它们共同产生了功率损耗。静态功率损耗 P_{QC} 可使用 [方程式 21](#) 确定：

$$P_{QC} = (V_{IN} \times I_{QLS}) + (V_{BOOT} \times I_{QHS}) = (12\text{V} \times 5\text{mA}) + (10\text{V} \times 4\text{mA}) = 100\text{mW} \quad (21)$$

其中：

- I_{QLS} 是低侧静态电流（在此设计中选择用于 PWM 模式）
- I_{QHS} 是高侧静态电流（在此设计中选择用于 PWM 模式）
- V_{BOOT} 是相对于 ASW 的 BOOT 电压

漏电流功率损耗 P_{BG} 可使用 [方程式 22](#) 计算：

$$P_{BG} = V_{BG} \times I_{QBG} \times D_{MAX} = 110\text{V} \times 20\mu\text{A} \times 0.35 = 0.77\text{mW} \quad (22)$$

其中：

- V_{BG} 是 BOOT 和 AGND 之间的电压
- I_{QBG} 是 BOOT 到 AGND 的漏电流

由于 GaN FET 栅极电荷的充电和放电，驱动器内会发生损耗。要确定这些损耗，首先如下计算 P_{GATE} ：

$$P_{GATE} = V_{BP5x} \times Q_G \times f_{SW} = 5\text{V} \times 10.6\text{nC} \times 500\text{kHz} = 26.5\text{mW} \quad (23)$$

此损耗实际上分布在栅极驱动器环路中的各个电阻之间，包括驱动器、栅极电阻和 GaN FET。可计算出 TPS7H6005 在导通和关断时的功耗：

$$P_{DRV_ON_HS} = \frac{1}{2} \times \frac{R_{HOH} \times P_{GATE}}{R_{HOH} + R_{GATE} + R_{GFET(int)}} \quad (24)$$

$$P_{DRV_OFF_HS} = \frac{1}{2} \times \frac{R_{HOL} \times P_{GATE}}{R_{HOL} + R_{GATE} + R_{GFET(int)}} \quad (25)$$

$$P_{DRV_ON_LS} = \frac{1}{2} \times \frac{R_{LOH} \times P_{GATE}}{R_{LOH} + R_{GATE} + R_{GFET(int)}} \quad (26)$$

$$P_{DRV_OFF_LS} = \frac{1}{2} \times \frac{R_{LOL} \times P_{GATE}}{R_{LOL} + R_{GATE} + R_{GFET(int)}} \quad (27)$$

在这种情况下，高侧和低侧损耗相同：

$$P_{DRV_ON_HS} = P_{DRV_ON_LS} = \frac{1}{2} \times \frac{R_{xOH} \times P_{GATE}}{R_{xOH} + R_{GATE} + R_{GFET(int)}} = \frac{1}{2} \times \frac{1.3\Omega \times 26.5\text{mW}}{1.3\Omega + 2\Omega + 0.4\Omega} = 4.7\text{mW} \quad (28)$$

$$P_{DRV_OFF_HS} = P_{DRV_OFF_LS} = \frac{1}{2} \times \frac{R_{xOL} \times P_{GATE}}{R_{xOL} + R_{GATE} + R_{GFET(int)}} = \frac{1}{2} \times \frac{0.7\Omega \times 26.5\text{mW}}{0.7\Omega + 2\Omega + 0.4\Omega} = 3\text{mW} \quad (29)$$

最后，可以得出驱动器内的 P_{GATE} 损耗：

$$P_{DRV_HS} = P_{DRV_ON_HS} + P_{DRV_OFF_HS} = 4.7\text{mW} + 3\text{mW} = 7.7\text{mW} \quad (30)$$

$$P_{DRV_LS} = P_{DRV_ON_LS} + P_{DRV_OFF_LS} = 4.7\text{mW} + 0.8\text{mW} = 7.7\text{mW} \quad (31)$$

$$P_{DRV} = P_{DRV_HS} + P_{DRV_LS} = 7.7\text{mW} + 7.7\text{mW} = 15.4\text{mW} \quad (32)$$

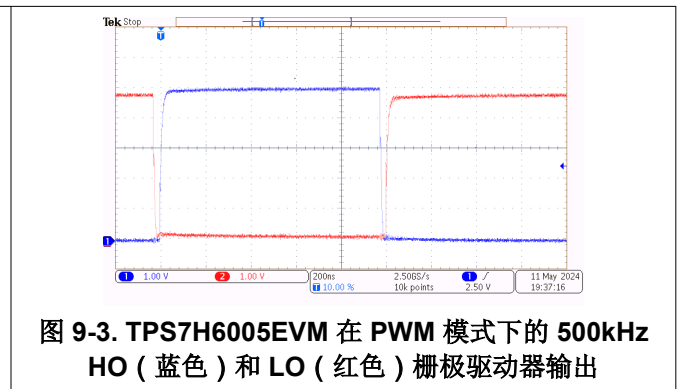
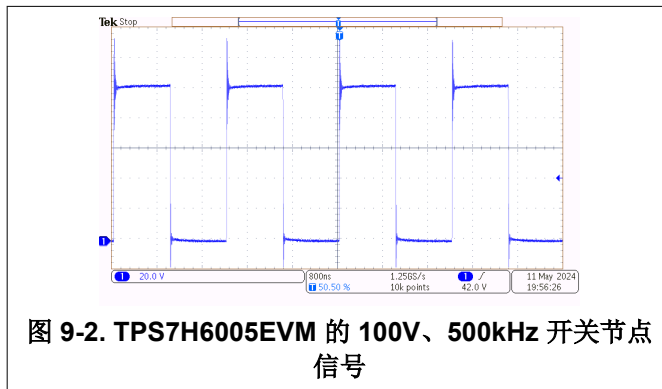
另一个功耗分量与驱动器的工作电流相关，它是在空载情况下指定的并受频率的影响。可使用 [规格](#) 部分中的工作电流参数对这些值进行近似计算：

$$P_{OP_PWM} = (V_{IN} \times I_{OP_PWM_LS}) + (V_{BOOT} \times I_{OP_PWM_HS}) = (12\text{V} \times 6\text{mA}) + (10\text{V} \times 5\text{mA}) = 122\text{mW} \quad (33)$$

其中：

- $I_{OP_PWM_LS}$ 是低侧工作电流（在 500kHz 下选择用于 PWM 模式）
- $I_{OP_PWM_HS}$ 是高侧工作电流（在 500kHz 下选择用于 PWM 模式）

9.2.3 应用曲线



9.3 电源相关建议

TPS7H60x5 的建议辅助电源电压范围为 10V 至 14V。驱动器的输入电压电源应经过良好调节和正确旁通，以实现出色的电气性能。为高侧驱动器供电的 BOOT 电压应介于 8V 至 14V 之间。必须尽量减小自举充电路径上的压降，以免高侧驱动器在正常运行期间意外进入欠压锁定状态。

VIN 和 AGND 引脚之间必须放置一个本地旁路电容器。同样，自举电容器应放置在 BOOT 和 ASW 引脚之间，并且也必须靠近器件。该电容器必须尽可能靠近器件。TI 建议在 VIN 和 BOOT 处连接低 ESR、低 ESL 的陶瓷表面贴装电容器 (X7R 或更好的器件)。

9.4 布局

9.4.1 布局指南

小栅极电容和米勒电容使得增强模式 GaN FET 能够以很快的开关速度运行。感应的高 dv/dt 和 di/dt 配合低栅极阈值电压和增强模式 GaN FET 栅极电压的有限余量使得电路布局对于实现最佳性能至关重要。以下是一些建议：

1. 尽可能靠近栅极驱动器放置 GaN FET。布局的主要优先事项是，通过对 GaN FET 栅极进行充电和放电的峰值电流限制在印刷电路板上的极小物理区域内，降低整体环路电感并更大幅度地减少噪声耦合问题。
2. 最大限度地减小自举充电路径的环路面积，因为它可能包含高峰值电流。考虑到 TPS7H60x5 有多个自举充电选项且充电是按周期进行，请放置自举电容器和二极管，以使所选的充电方法占用较小的环路面积。

3. 将所有旁路电容器 (VIN 至 AGND、BP5L 至 AGND、BP5H 至 ASW、BOOT 至 ASW) 尽可能靠近器件和各自的引脚放置。建议使用低 ESR 和 ESL 的电容器。如果可能, 将这些电容器与栅极驱动器放置在印刷电路板的同一侧。
4. 分离电源迹线和信号迹线, 并尽量减少不同印刷电路板层上的信号重叠。
5. 与高侧 FET 和低侧 FET 的源极串联的寄生电感会在开关期间向驱动器施加过多的负电压瞬变。使用短的低电感路径将 PSW 连接到高侧 FET 源极并将 PGND 连接到低侧 FET 源极。
6. 为了防止输入电源总线上出现过多的振铃, 需要采取良好的去耦合做法, 就是在 GaN FET 附近放置低 ESR 电容器。

9.4.2 布局示例

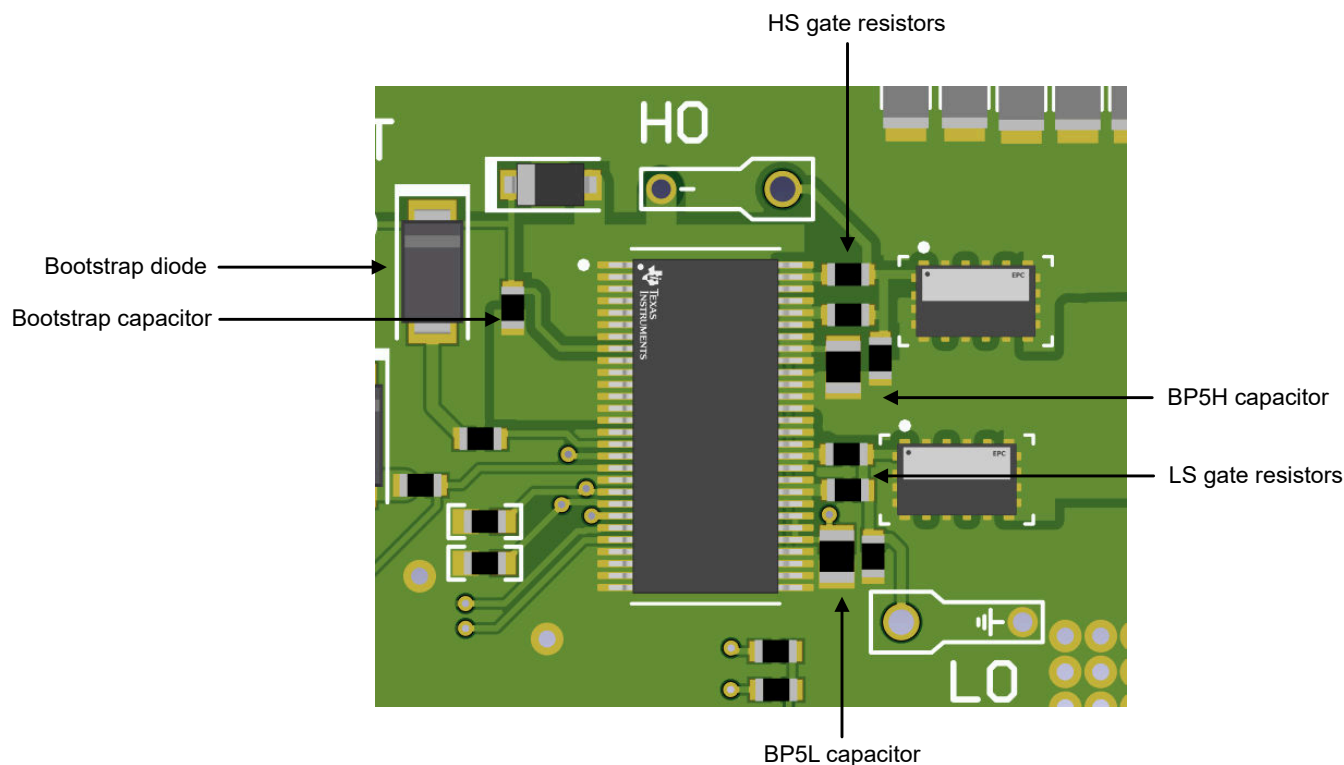


图 9-4. TPS7H6005EVM 的 3D 视图

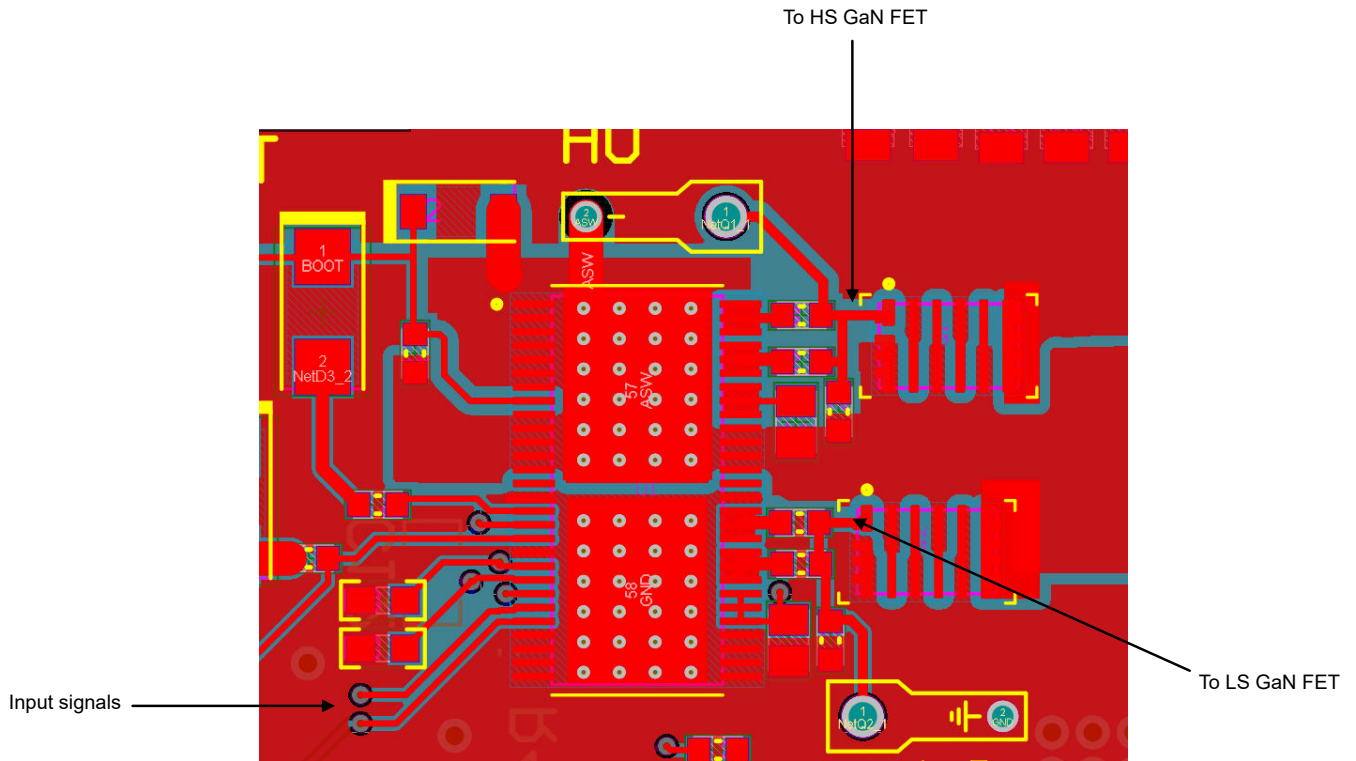


图 9-5. TPS7H6005EVM 的布局示例

10 器件和文档支持

10.1 文档支持

10.1.1 相关文档

请参阅以下相关文档：

- 德州仪器 (TI), [TPS7H6005EVM 评估模块用户指南](#)
- 德州仪器 (TI), [TPS7H60x5-SEP 单粒子效应辐射报告](#)
- 德州仪器 (TI), [TPS7H60x5-SP 单粒子效应辐射报告](#)
- 德州仪器 (TI), [TPS7H60x5-SEP 电离辐射总剂量 \(TID\) 辐射报告](#)
- 德州仪器 (TI), [TPS7H6005-SP 电离辐射总剂量 \(TID\) 辐射报告](#)
- 德州仪器 (TI), [TPS7H60x5 中子位移损伤辐射报告](#)

10.2 接收文档更新通知

要接收文档更新通知，请导航至 [ti.com](#) 上的器件产品文件夹。点击 [通知](#) 进行注册，即可每周接收产品信息更改摘要。有关更改的详细信息，请查看任何已修订文档中包含的修订历史记录。

10.3 支持资源

[TI E2E™ 中文支持论坛](#) 是工程师的重要参考资料，可直接从专家处获得快速、经过验证的解答和设计帮助。搜索现有解答或提出自己的问题，获得所需的快速设计帮助。

链接的内容由各个贡献者“按原样”提供。这些内容并不构成 TI 技术规范，并且不一定反映 TI 的观点；请参阅 TI 的 [使用条款](#)。

10.4 商标

TI E2E™ is a trademark of Texas Instruments.

所有商标均为其各自所有者的财产。

10.5 静电放电警告



静电放电 (ESD) 会损坏这个集成电路。德州仪器 (TI) 建议通过适当的预防措施处理所有集成电路。如果不遵守正确的处理和安装程序，可能会损坏集成电路。

ESD 的损坏小至导致微小的性能降级，大至整个器件故障。精密的集成电路可能更容易受到损坏，这是因为非常细微的参数更改都可能会导致器件与其发布的规格不相符。

10.6 术语表

[TI 术语表](#) 本术语表列出并解释了术语、首字母缩略词和定义。

11 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

| Changes from Revision B (February 2025) to Revision C (April 2025) | Page |
|---|------|
| • 将 TPS7H6005-SP、TPS7H6015-SP 和 TPS7H6025-SP 封装从 产品预发布 更改为 量产数据 | 1 |
| • 将静电放电人体放电模型 (HBM) 的额定值从 $\pm 1000\text{V}$ 更新为 $\pm 2000\text{V}$ | 7 |
| • 将静电放电充电器模型 (CDM) 的额定值从 $\pm 250\text{V}$ 更新为 $\pm 500\text{V}$ | 7 |

| Changes from Revision A (December 2024) to Revision B (February 2024) | Page |
|---|------|
| • 将 TPS7H6015-SEP 和 TPS7H6025-SEP 器件从 预告信息 更改为 量产数据 | 1 |

12 机械、封装和可订购信息

以下页面包含机械、封装和可订购信息。这些信息是指定器件可用的最新数据。数据如有变更，恕不另行通知，且不会对此文档进行修订。有关此数据表的浏览器版本，请查阅左侧的导航栏。

PACKAGING INFORMATION

| Orderable part number | Status (1) | Material type (2) | Package Pins | Package qty Carrier | RoHS (3) | Lead finish/ Ball material (4) | MSL rating/ Peak reflow (5) | Op temp (°C) | Part marking (6) |
|-----------------------------------|---------------|----------------------|-------------------|-----------------------|-------------|--------------------------------------|-----------------------------------|--------------|---------------------|
| 5962R2220104PYE | Active | Production | HTSSOP (DCA) 56 | 250 SMALL T&R | Yes | NIPDAU | Level-3-260C-168 HR | -55 to 125 | R2220104PYE |
| 5962R2220105PYE | Active | Production | HTSSOP (DCA) 56 | 250 SMALL T&R | Yes | NIPDAU | Level-3-260C-168 HR | -55 to 125 | R2220105PYE |
| 5962R2220106PYE | Active | Production | HTSSOP (DCA) 56 | 250 SMALL T&R | Yes | NIPDAU | Level-3-260C-168 HR | -55 to 125 | R2220106PYE |
| TPS7H6005MDCATSEP | Active | Production | HTSSOP (DCA) 56 | 250 SMALL T&R | Yes | NIPDAU | Level-3-260C-168 HR | -55 to 125 | 7H6005DCA |
| TPS7H6015MDCATSEP | Active | Production | HTSSOP (DCA) 56 | 250 SMALL T&R | Yes | NIPDAU | Level-3-260C-168 HR | -55 to 125 | 7H6015DCA |
| TPS7H6025MDCATSEP | Active | Production | HTSSOP (DCA) 56 | 250 SMALL T&R | Yes | NIPDAU | Level-3-260C-168 HR | -55 to 125 | 7H6025DCA |
| V62/24632-01XE | Active | Production | HTSSOP (DCA) 56 | 250 SMALL T&R | Yes | NIPDAU | Level-3-260C-168 HR | -55 to 125 | 7H6005DCA |
| V62/24632-02XE | Active | Production | HTSSOP (DCA) 56 | 250 SMALL T&R | Yes | NIPDAU | Level-3-260C-168 HR | -55 to 125 | 7H6015DCA |
| V62/24632-03XE | Active | Production | HTSSOP (DCA) 56 | 250 SMALL T&R | Yes | NIPDAU | Level-3-260C-168 HR | -55 to 125 | 7H6025DCA |

(1) **Status:** For more details on status, see our [product life cycle](#).

(2) **Material type:** When designated, preproduction parts are prototypes/experimental devices, and are not yet approved or released for full production. Testing and final process, including without limitation quality assurance, reliability performance testing, and/or process qualification, may not yet be complete, and this item is subject to further changes or possible discontinuation. If available for ordering, purchases will be subject to an additional waiver at checkout, and are intended for early internal evaluation purposes only. These items are sold without warranties of any kind.

(3) **RoHS values:** Yes, No, RoHS Exempt. See the [TI RoHS Statement](#) for additional information and value definition.

(4) **Lead finish/Ball material:** Parts may have multiple material finish options. Finish options are separated by a vertical ruled line. Lead finish/Ball material values may wrap to two lines if the finish value exceeds the maximum column width.

(5) **MSL rating/Peak reflow:** The moisture sensitivity level ratings and peak solder (reflow) temperatures. In the event that a part has multiple moisture sensitivity ratings, only the lowest level per JEDEC standards is shown. Refer to the shipping label for the actual reflow temperature that will be used to mount the part to the printed circuit board.

(6) **Part marking:** There may be an additional marking, which relates to the logo, the lot trace code information, or the environmental category of the part.

Multiple part markings will be inside parentheses. Only one part marking contained in parentheses and separated by a "-" will appear on a part. If a line is indented then it is a continuation of the previous line and the two combined represent the entire part marking for that device.

Important Information and Disclaimer: The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and continues to take reasonable steps to provide representative

and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

OTHER QUALIFIED VERSIONS OF TPS7H6005-SEP, TPS7H6005-SP, TPS7H6015-SEP, TPS7H6015-SP, TPS7H6025-SEP, TPS7H6025-SP :

- Catalog : [TPS7H6005-SEP](#), [TPS7H6015-SEP](#), [TPS7H6025-SEP](#)
- Space : [TPS7H6005-SP](#), [TPS7H6015-SP](#), [TPS7H6025-SP](#)

NOTE: Qualified Version Definitions:

- Catalog - TI's standard catalog product
- Space - Radiation tolerant, ceramic packaging and qualified for use in Space-based application

TAPE AND REEL INFORMATION

QUADRANT ASSIGNMENTS FOR PIN 1 ORIENTATION IN TAPE


*All dimensions are nominal

| Device | Package Type | Package Drawing | Pins | SPQ | Reel Diameter (mm) | Reel Width W1 (mm) | A0 (mm) | B0 (mm) | K0 (mm) | P1 (mm) | W (mm) | Pin1 Quadrant |
|-------------------|--------------|-----------------|------|-----|--------------------|--------------------|---------|---------|---------|---------|--------|---------------|
| 5962R2220104PYE | HTSSOP | DCA | 56 | 250 | 178.0 | 24.4 | 8.6 | 14.5 | 1.8 | 12.0 | 24.0 | Q1 |
| 5962R2220105PYE | HTSSOP | DCA | 56 | 250 | 178.0 | 24.4 | 8.6 | 14.5 | 1.8 | 12.0 | 24.0 | Q1 |
| 5962R2220106PYE | HTSSOP | DCA | 56 | 250 | 178.0 | 24.4 | 8.6 | 14.5 | 1.8 | 12.0 | 24.0 | Q1 |
| TPS7H6005MDCATSEP | HTSSOP | DCA | 56 | 250 | 178.0 | 24.4 | 8.6 | 14.5 | 1.8 | 12.0 | 24.0 | Q1 |
| TPS7H6015MDCATSEP | HTSSOP | DCA | 56 | 250 | 178.0 | 24.4 | 8.6 | 14.5 | 1.8 | 12.0 | 24.0 | Q1 |
| TPS7H6025MDCATSEP | HTSSOP | DCA | 56 | 250 | 178.0 | 24.4 | 8.6 | 14.5 | 1.8 | 12.0 | 24.0 | Q1 |

TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS


*All dimensions are nominal

| Device | Package Type | Package Drawing | Pins | SPQ | Length (mm) | Width (mm) | Height (mm) |
|-------------------|--------------|-----------------|------|-----|-------------|------------|-------------|
| 5962R2220104PYE | HTSSOP | DCA | 56 | 250 | 223.0 | 191.0 | 55.0 |
| 5962R2220105PYE | HTSSOP | DCA | 56 | 250 | 223.0 | 191.0 | 55.0 |
| 5962R2220106PYE | HTSSOP | DCA | 56 | 250 | 223.0 | 191.0 | 55.0 |
| TPS7H6005MDCATSEP | HTSSOP | DCA | 56 | 250 | 223.0 | 191.0 | 55.0 |
| TPS7H6015MDCATSEP | HTSSOP | DCA | 56 | 250 | 223.0 | 191.0 | 55.0 |
| TPS7H6025MDCATSEP | HTSSOP | DCA | 56 | 250 | 223.0 | 191.0 | 55.0 |

重要通知和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、与某特定用途的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保法规或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月