具有集成 MOSFET 驱动器的 LM5045 全桥接 PWM 控制器

1 特性

- 适用于小尺寸、高密度功率转换器的超高集成度控制器
- 高压启动稳压器
- 智能同步整流器启动允许线性导通进入预偏置负载
- 在 UVLO 模式和断续模式下禁用同步整流器
- 两个独立可编程同步整流器死区时间调整
- 四个高电流 2A 桥栅极驱动器
- 宽带宽光耦合器接口
- 可配置为电流模式或电压模式控制
- 双路模式过流保护
- 2MHz 的电阻器编程振荡器
- 可编程线路 UVLO 及 OVP

2 应用

- 电动自行车
- 军用：雷达和电子战
- 电源：电信直流/直流模块：模拟
- 专用分支交换机 (PBX)
- 太阳能电源逆变器
- 矢量信号发生器
- 微波炉
- 点对点微波回程
- 电源：电信/服务器交流/直流电源：双控制器：模拟
- 光伏微型逆变器
- TETRA 基站
- 洗衣机：低端

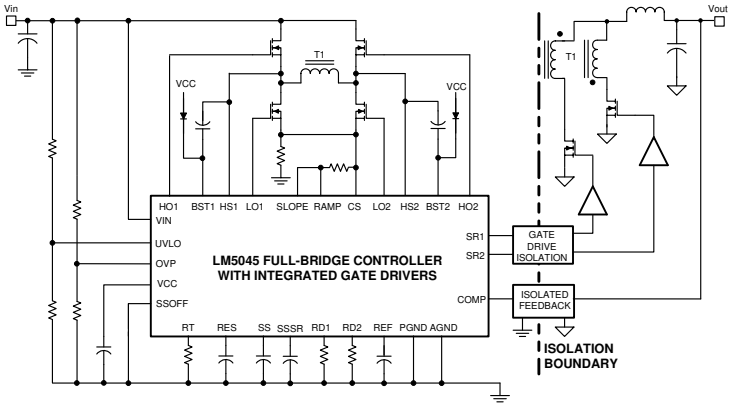
3 说明

LM5045 PWM 控制器具有用电流模式或电压模式控制实现全桥拓扑功率转换器所需的所有特性。此器件旨在于输入电压高达 100V 的隔离式直流/直流转换器的初级侧运行。这款高度集成的控制器驱动器为四个外部桥 MOSFET 提供双路 2A 高侧和低侧栅极驱动器，并为次级侧同步整流器 MOSFET 提供控制信号。外部电阻器对主整流器及同步整流器控制信号之间的前沿和后沿死区时间进行编程。同步整流器的智能启动功能可确保功率转换器即使在预偏置负载条件下也能单调导通。其他特性包括逐周期电流限制、断续模式重启、可编程软启动、同步整流器软启动以及具有同步功能与热关断功能且支持 2MHz 的振荡器。

器件信息

器件型号(1)	封装	封装尺寸（标称值）
LM5045	HTSSOP (28)	9.70mm × 4.40mm
	WQFN (28)	5.00mm × 5.00mm

(1) 如需了解所有可用封装，请参阅数据表末尾的可订购产品附录。



简化的全桥功率转换器

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

内容

1 特性.... 1
2 应用.... 1
3 说明.... 1
4 引脚配置和功能.... 3
5 规格.... 6
5.1 绝对最大额定值.... 6
5.2 ESD 等级.... 6
5.3 建议运行条件.... 6
5.4 热性能信息.... 6
5.5 电气特性.... 7
5.6 典型特性.... 10
6 详细说明.... 12
6.1 概述.... 12
6.2 功能方框图.... 13
6.3 特性说明.... 14
6.4 器件功能模式.... 22
7 应用和实施.... 25
7.1 应用信息.... 25
7.2 典型应用.... 25
8 电源相关建议.... 33
9 布局.... 33
9.1 布局指南.... 33
9.2 布局示例.... 33
10 器件和文档支持.... 35
10.1 接收文档更新通知.... 35
10.2 支持资源.... 35
10.3 商标.... 35
10.4 静电放电警告.... 35
10.5 术语表.... 35
11 修订历史记录.... 36
12 机械、封装和可订购信息.... 37

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

4 引脚配置和功能

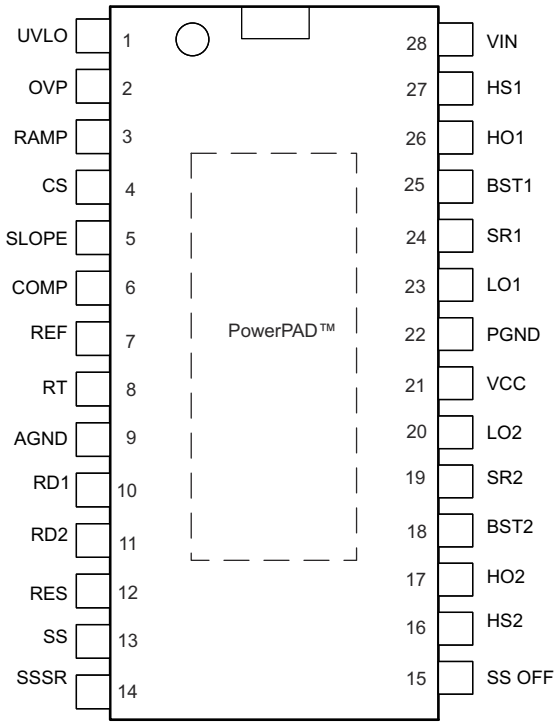


图 4-1. PWP 封装 采用 PowerPAD™ 的 28 引脚 HTSSOP （顶视图）

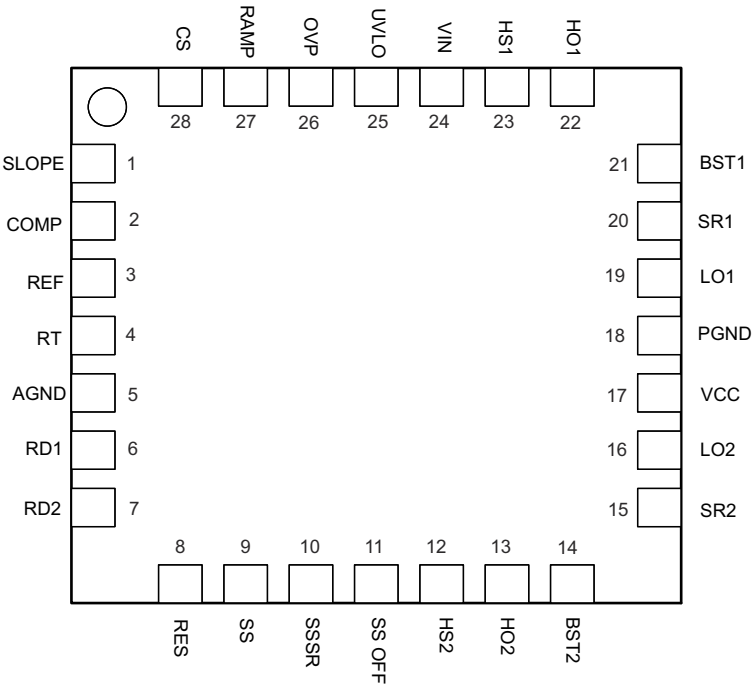


图 4-2. RSG 封装 28 引脚 WQFN，5mm × 5mm 顶视图

表 4-1. 引脚功能

引脚			I/O	说明	应用信息
名称	HTSSOP	WQFN			
AGND	9	5	O	模拟接地	直接连接至电源地端。
BST1	25	21	I	栅极驱动自举	BST1、2 与 SW1、2 之间连接的自举电容器为高侧 HO1、2 栅极驱动器提供辅助电源。当 SW1、2 为低电平时，VCC 和 BST1、2 之间需要外部二极管来为自举电容器充电。
BST2	18	14			
COMP	6	2	I	脉宽调制器的输入	连接至 COMP 引脚的外部光耦合器将电流拉入内部 NPN 电流镜。PWM 占空比最大且输入电流为零，而 1mA 将占空比降至零。电流镜通过降低光耦合器上的交流电压来改善频率响应。
CS	4	28	I	电流检测输入	如果 CS 超过 750mV，PWM 输出脉冲将被终止，从而进入逐周期电流限制。在任一输出切换为高电平以消隐前沿瞬态后，内部开关会将 CS 保持为低电平 40nS。
HO1	26	22	O	高侧输出驱动器	高侧 PWM 输出，能够通过 1.5A 峰值拉电流和 2A 峰值灌电流来驱动电桥的上部 MOSFET。
HO2	17	13			
HS1	27	23	I	开关节点	高侧 FET 源极、低侧 FET 漏极及变压器初级绕组的公共连接。
HS2	16	12			
LO1	23	19	O	低侧输出驱动器	PWM 栅极驱动器的交替输出。能够产生 1.5A 的峰值源电流和 2A 的峰值灌电流。
LO2	20	16			
OVP/OTP	2	26	I	过压保护	输入电源的外部分压器可以在过压情况下设置关断电平。或者，可以使用外部 NTC 热敏电阻分压器来设置关断温度。该阈值为 1.25V。迟滞由内部电流设置，该电流将 20μA 的电流拉入外部电阻分压器。
PGND	22	18	O	电源地	直接连接到模拟地端
斜坡	3	27	I	PWM 比较器的输入	PWM 比较器的调制斜坡。该斜坡可以是表示初级电流的信号（电流模式），也可以与输入电压（前馈电压模式）成正比。该引脚在每个周期结束时复位至 GND。
RD1	10	6	I	同步整流器前沿延迟	RD1 及 AGND 之间连接的电阻分别设置从 SR1 或 SR2 的下降沿到 HO2/LO1 或 HO1/LO2 的上升沿的延迟。
RD2	11	7	I	同步整流器后沿延迟	RD2 和 AGND 之间连接的电阻分别设置从 HO1/LO2 或者 HO2/LO1 的下降沿到 SR2 或 SR1 的上升沿的延迟。
REF	7	3	O	5V 基准的输出	最大输出电流为 15mA。使用 0.1μF 电容器在本地去耦。
RES	12	8	I	重启计时器	每当 CS 引脚超过 750mV 周期电流限制阈值时，30μA 电流就会在 PWM 周期的剩余时间内拉入 RES 电容器。如果 RES 电容器电压达到 1.0V，则 SS 电容器会放电以禁用 HO1、HO2、LO1、LO2 和 SR1、SR2 输出。SS 引脚保持低电平，直到 RES 电容器上的电压通过 10μA 充电和 5μA 放电电流在 2V 和 4V 之间斜升八次。在延迟序列之后，SS 电容器被释放以启动正常的启动序列。
RT/SYNC	8	4	O	振荡器频率控制及频率同步	连接在 RT 和 AGND 之间的电阻设置振荡器频率。通过将脉冲交流耦合至 RT/SYNC 引脚来实现同步，该引脚将电压升高到至少 2V 标称偏置电平以上 1.5V。
SLOPE	5	1	O	斜坡补偿电流	提供了一个从 0 到 100μA 的斜坡电流源，用于电流模式控制中的斜率补偿。该引脚可以通过适当的电阻器连接至 CS 引脚，以提供斜率补偿。如果不需要斜率补偿，则必须将 SLOPE 接地。
SR1	24	20	O	同步整流器驱动器	同步整流器栅极的控制输出。能够实现峰值拉电流 100mA 及灌电流 400mA。
SR2	19	15	O	同步整流器驱动器	同步整流器栅极的控制输出。能够实现峰值拉电流 100mA 及灌电流 400mA。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

表 4-1. 引脚功能（续）

引脚			I/O	说明	应用信息
名称	HTSSOP	WQFN			
SS	13	9	I	软启动输入	内部 20μA 电流源在启动期间为 SS 引脚充电。PWM 比较器的输入随着 SS 电容器充电以稳定增加 PWM 占空比而逐渐上升。将 SS 引脚拉至低于 20 0mV 的电压会停止 HO1、2 和 LO1、2 上的 PWM 脉冲，并关断同步整流器 FET 至低电平状态。
SSOFF	15	11	I	禁用软停止	当 SS OFF 引脚连接到 AGND 时，LM5045 会在出现 VIN UVLO 和断续模式电流限制条件时软停止。如果 SSOFF 引脚连接到 REF 引脚，则控制器会在出现任何故障情况时硬停止。有关更多详细信息，请参阅表 6-1。
SSSR	14	10	I	次级侧软启动	一个外部电容器及一个内部 20μA 电流源设置同步整流器的软启动斜坡。在第一个输出脉冲后且 SS > 2V 及 Icomp < 800μA 的情况下，会启用 SSSR 电容器充电
UVLO	1	25	I	线路欠压锁定	电源的外部分压器可以设置关断和待机比较器电平。当 UVLO 达到 0.4V 阈值时，VCC 和 REF 稳压器将启用。在 1.25V 阈值时，SS 引脚被释放，控制器进入运行模式。迟滞由内部电流阱设置，该电流从外部电阻分压器拉取 20μA。
VCC	21	17	I	启动稳压器的输出	启动稳压器的输出电压最初调节至 9.5V。一旦次级侧软启动（SSSR 引脚）达到 1V，VCC 输出将降至 7.7V。如果辅助绕组将此引脚上的电压升高到稳压设定点以上，内部启动稳压器将关断，从而降低 IC 功耗。
VIN	28	24	I	输入电源	启动稳压器的输入。工作输入范围为 14V 至 100V。对于超出该范围的电源，LM5045 可由外部稳压器直接偏置到 VCC。

5 规格

5.1 绝对最大额定值

	最小值[1]	最大值	单位
VIN 至 GND	-0.3	105	V
HS 至 GND[2]	-5	105	V
BST1/BST2 至 GND	-0.3	116	V
BST1/BST2 至 HS1/HS2	-0.3	16	V
HO1/HO2 至 HS1/HS2[3]	-0.3	BST1/BST2 + 0.3	V
LO1/LO2/SR1/SR2[3]	-0.3	V_{CC} + 0.3	V
V_{CC} 至 GND	-0.3	16	V
REF、SSOFF、RT、OVP、UVLO 至 GND	-0.3	7	V
斜坡	-0.3	7	V
COMP		-0.3	V
COMP 输入电流		10	mA
所有其他输入至 GND[3]	-0.3	REF + 0.3	V
结温		150	°C
贮存温度，T_{stg}	-55	150	°C

(1) 绝对最大额定值是指超过之后可能对器件造成损坏的限值。运行额定值是指器件预期正常工作的条件。有关保证的各种规格和测试条件，请参阅节 *5.5*。
(2) 负 HS 电压绝不能低于 VCC – 16V。例如，如果 VCC = 12V，则 HS 处的负瞬变不得超过 – 4V。
(3) 这些引脚是输出引脚，因此不应连接到外部电压源。所列的电压范围是内部电路在应用电路中在设计上能可靠承受的限值。

5.2 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[1]	±2000	V
	充电器件模型 (CDM)，符合 JEDEC 规范 JESD22-C101[2]	±750	

(1) JEDEC 文档 JEP155 指出：500V HBM 允许在标准 ESD 控制流程下安全生产。
(2) JEDEC 文档 JEP157 指出：250V CDM 能够在标准 ESD 控制流程下安全生产。

5.3 建议运行条件

在自然通风条件下的工作温度范围内测得（除非另有说明）

	最小值	标称值	最大值	单位
VIN 电压	14		100	V
施加到 VCC 的外部电压	10		14	V
结温	-40		125	°C
SLOPE	-0.3		2	V

5.4 热性能信息

热指标[1]		LM5045		单位
		PWP	RSG	
		28 引脚		
$R_{\theta JA}$	结至环境热阻	40	40	°C/W
$R_{\theta JC(top)}$	结至外壳（顶部）热阻	4	4	

(1) 有关新旧热指标的更多信息，请参阅 *IC 封装热指标* 应用报告 SPRA953。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

5.5 电气特性

标准限制仅适用于 T_J = 25°C；最低和最高限制适用于 -40°C 至 125°C 的结温范围。除非另有规定，否则以下条件适用：V_{IN} = 48V、RT = 25kΩ、RD1 = RD2 = 20kΩ。HO1、HO2、LO1、LO2、SR1、SR2 上无负载，COMP = 0V、UVLO = 2.5V、OVP = 0V、SSOFF = 0V。

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
启动稳压器（V_{CC} 引脚）						
V_{CC1}	V_{CC} 电压	I_{CC}= 10 mA (SSSR < 1 V)	9.3	9.6	9.9	V
V_{CC2}	V_{CC} 电压	I_{CC}= 10 mA (SSSR > 1 V)	7.5	7.8	8.1	V
$I_{CC(Lim)}$	V_{CC} 电流限值	V_{CC} = 6V	60	80		mA
$I_{CC(ext)}$	V_{CC} 电源电流	从外部施加的电源向 VCC 提供电流。V_{CC} = 10V		4.6		mA
	V_{CC} 负载调整	I_{CC} 从 0 到 50mA		35		mV
$V_{CC(UV)}$	V_{CC} 欠压阈值	正向 VCC	V_{CC1}-0.2	V_{CC1}-0.1		V
		负向 VCC	5.9	6.3	6.7	V
I_{IN}	V_{IN} 工作电流			4		mA
	V_{IN} 关断电流	V_{IN} = 20V、V_{UVLO} = 0V		300	520	μA
		V_{IN} = 100V、V_{UVLO} = 0V		350	550	μA
	V_{IN} 启动稳压器漏电流	V_{CC} = 10V		160		μA
电压基准稳压器（REF 引脚）						
V_{REF}	REF 电压	I_{REF} = 0mA	4.85	5	5.15	V
	REF 电压调节	I_{REF} = 0 至 10mA		25	50	mV
$I_{REF(Lim)}$	REF 电流限制	V_{REF} = 4.5V	15	20		mA
V_{REFUV}	V_{REF} 欠压阈值	正向 V_{REF}	4.3	4.5	4.7	V
	迟滞			0.25		V
欠压锁定和关断（UVLO 引脚）						
V_{UVLO}	欠压阈值		1.18	1.25	1.32	V
I_{UVLO}	迟滞电流	当 V_{UVLO} < 1.25V 时的 UVLO 引脚灌电流	16	20	24	μA
	欠压待机使能阈值	UVLO 电压上升	0.32	0.4	0.48	V
	迟滞			0.05		V
V_{OVP}	OVP 关断阈值	OVP 上升	1.18	1.25	1.32	V
	OVP 迟滞电流	OVP > 1.25V 时的 OVP 拉电流	16	20	24	μA
软启动（SS 引脚）						
I_{SS}	SS 充电电流	V_{SS} = 0V	16	20	24	μA
	SSSR 充电电流使能的 SS 阈值	I_{COMP} < 800μA	1.93	2	2.2	V
	SS 输出低电压	灌电流 100μA		40		mV
	禁用开关的 SS 阈值			200		mV
I_{SSSR}	SSSR 充电电流	V_{SS} > 2V，I_{COMP} < 800μA	16	20	24	μA
$I_{SSSR-DIS1}$	SSSR 放电电流 1	V_{UVLO} < 1.25V	54	65	75	μA
$I_{SSSR-DIS2}$	SSSR 放电电流 2	V_{RES} > 1V	109	125	147	μA
	SSSR 输出低电压	灌电流 100μA		50		mV
	启用 SR1/SR2 的 SSSR 阈值			1.2		V
电流检测输入（CS 引脚）						
V_{CS}	电流限制阈值		0.71	0.75	0.785	V
	CS 到输出延迟			65		ns

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

5.5 电气特性（续）

标准限制仅适用于 T_J = 25°C；最低和最高限制适用于 -40°C 至 125°C 的结温范围。除非另有规定，否则以下条件适用：V_{IN} = 48V、RT = 25kΩ、RD1 = RD2 = 20kΩ。HO1、HO2、LO1、LO2、SR1、SR2 上无负载，COMP = 0V、UVLO = 2.5V、OVP = 0V、SSOFF = 0V。

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
	CS 前缘消隐			50		ns
R_{CS}	CS 灌电流阻抗（时钟沿）	内部 FET 灌电流阻抗		18	45	Ω
软停止禁用（SS OFF 引脚）						
$V_{IH(min)}$	SSOFF 输入阈值			2.8		V
	SSOFF 下拉电阻			200		kΩ
电流限制重启（RES 引脚）						
R_{RES}	RES 下拉电阻	断续计时器终止		37		Ω
V_{RES}	RES 断续阈值			1		V
	RES 上限计数器阈值			4		V
	RES 下限计数器阈值			2		V
$I_{RES-SRC1}$	充电电流源 1	V_{RES} < 1V，V_{CS}> 750mV		30		μA
$I_{RES-SRC2}$	充电电流源 2	1V < V_{RES} < 4V		10		μA
$I_{RES-DIS2}$	放电电流源 1	V_{CS} < 750mV		5		μA
$I_{RES-DIS2}$	放电电流源 2	2V < V_{RES} < 4V		5		μA
	断续模式下的时间与电流限制中的时间之比	V_{RES} > 1V，断续计数器		147		
电压前馈（RAMP 引脚）						
	RAMP 灌电流阻抗（时钟沿）			5.5	20	Ω
振荡器（RT 引脚）						
F_{SW1}	频率（LO1，半振荡器频率）	R_T = 25kΩ	185	200	215	kHz
F_{SW2}	频率（LO1，半振荡器频率）	R_T = 10kΩ	420	480	540	kHz
	DC 等级			2		V
	RT 同步阈值		2.8	3	3.3	V

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

5.5 电气特性（续）

标准限制仅适用于 T_J = 25°C；最低和最高限制适用于 -40°C 至 125°C 的结温范围。除非另有规定，否则以下条件适用：V_{IN} = 48V、RT = 25kΩ、RD1 = RD2 = 20kΩ。HO1、HO2、LO1、LO2、SR1、SR2 上无负载，COMP = 0V、UVLO = 2.5V、OVP = 0V、SSOFF = 0V。

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
同步整流器时序控制（RD1 及 RD2 引脚）						
T1	SR 后沿延迟 SR 关断至 HO&LO 均导通	R_{D1} = 20kΩ	45	65	90	ns
		R_{D1} = 100kΩ	232	300	388	ns
T2	SR 前沿 HO 或 LO 关断至 SR 导通	R_{D2} = 20kΩ	43	65	90	ns
		R_{D2} = 100kΩ	227	300	384	ns
COMP 引脚						
V_{PWM-OS}	COMP 电流至 RAMP 失调电压	V_{RAMP} = 0V	680	800	940	μA
V_{SS-OS}	SS 至 RAMP 失调电压	V_{RAMP} = 0V	0.78	1.0	1.22	V
	COMP 电流至 RAMP 增益	Δ RAMP/ Δ I_{COMP}		2400		Ω
	SS 至 RAMP 增益	Δ SS/ Δ RAMP		0.5		
	用于 SSSR 充电电流使能的 COMP 电流	V_{SS} > 2V	690	800	915	μA
	COMP 至输出延迟			120		ns
	最小占空比	I_{COMP} = 1mA			0%	
斜率补偿（SLOPE 引脚）						
I_{SLOPE}	斜率补偿电流斜坡	RAMP 电流峰值		100		μA
升压（BST 引脚）						
$V_{Bst\ uv}$	BST 欠压阈值	V_{BST} – V_{HS} 上升	3.8	4.7	5.6	V
	迟滞			0.5		V
HO1、HO2、LO1、LO2 栅极驱动器						
V_{OL}	低电平状态输出电压	$I_{HO/LO}$ = 100mA		0.16	0.32	V
V_{OH}	高电平状态输出电压	$I_{HO/LO}$ = 100mA V_{OHL} = V_{CC} – V_{LO} V_{OHH} = V_{BST} – V_{HO}		0.27	0.495	V
	上升时间	C-load = 1000pF		16		ns
	下降时间	C-load = 1000pF		11		ns
I_{OHL}	峰值拉电流	$V_{HO/LO}$ = 0V		1.5		A
I_{OLL}	峰值灌电流	$V_{HO/LO}$ = V_{CC}		2		A
SR1、SR2 栅极驱动器						
V_{OL}	低电平状态输出电压	$I_{SR1/SR2}$ = 10mA		0.05	0.1	V
V_{OH}	高电平状态输出电压	$I_{SR1/SR2}$ = 10mA， V_{OH} = V_{REF} – V_{SR}		0.17	0.28	V
	上升时间	C-load = 1000pF		60		ns
	下降时间	C-load = 1000pF		20		ns
I_{OHL}	峰值拉电流	V_{SR} = 0V		0.1		A
I_{OLL}	峰值灌电流	V_{SR} = V_{REF}		0.4		A
热关断						
TSD	热关断温度			160		°C
	热关断迟滞			25		°C

5.6 典型特性

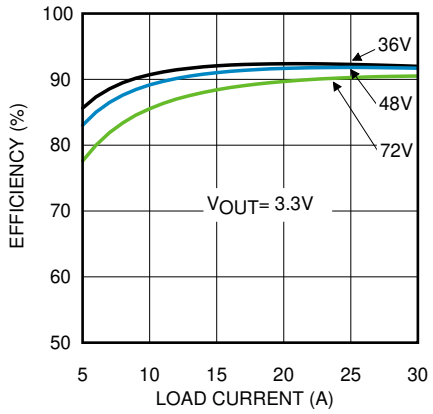


图 5-1. 应用板效率

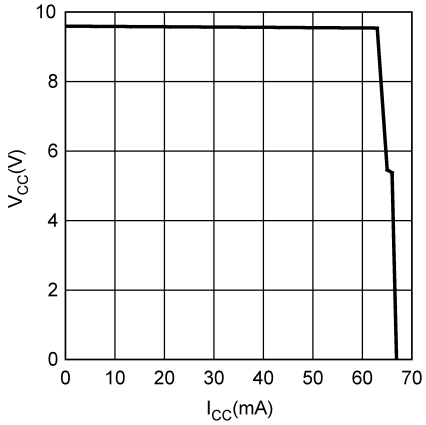


图 5-2. V_{CC} 与 I_{CC} 间的关系

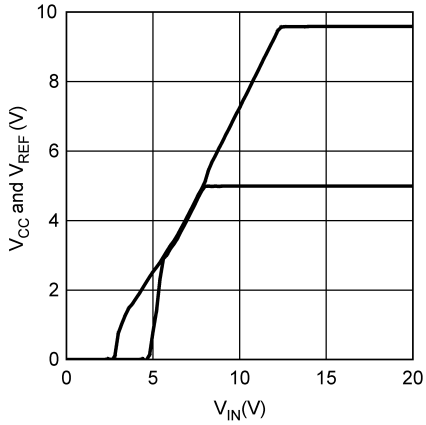


图 5-3. V_{CC} 和 V_{REF} 与 V_{IN} 间的关系

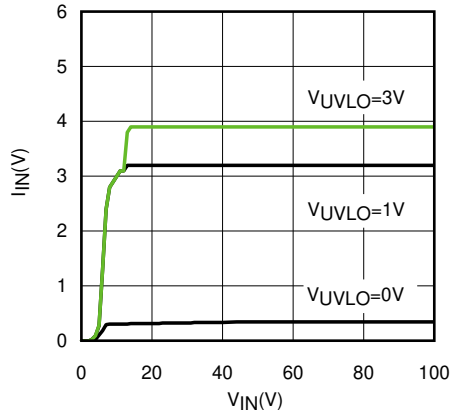


图 5-4. I_{IN} 与 V_{IN} 间的关系

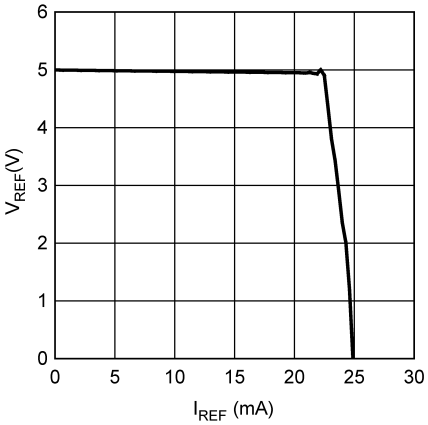


图 5-5. V_{REF} 与 I_{REF} 间的关系

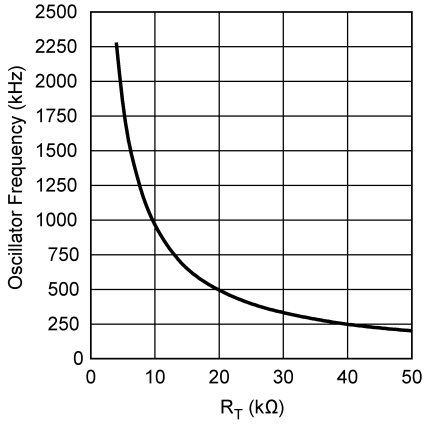


图 5-6. 振荡器频率与 R_T 间的关系

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

5.6 典型特性（续）

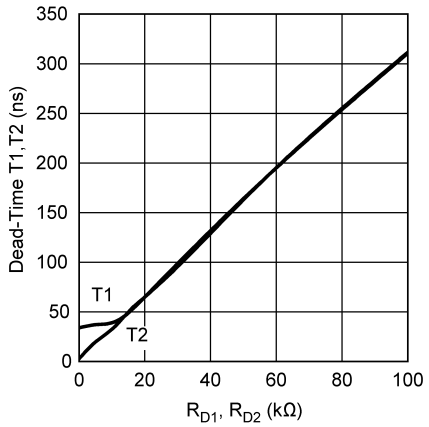


图 5-7. 死区时间 T1、T2 与 R_{D1}、R_{D2} 间的关系

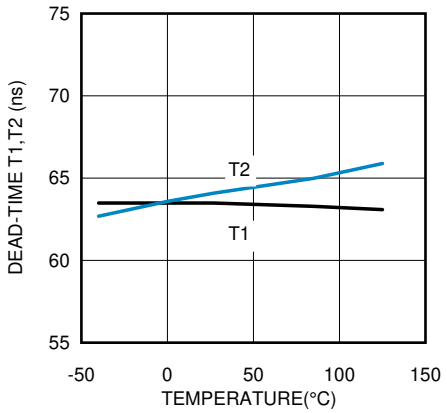


图 5-8. 死区时间 T1、T2 与温度间的关系

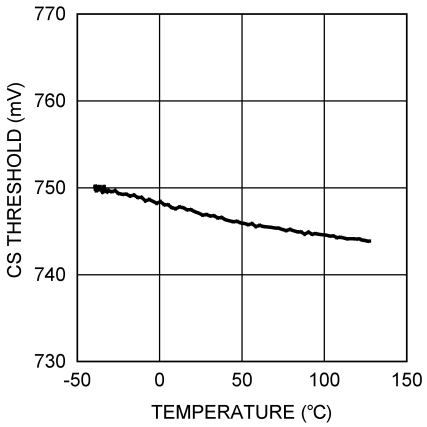


图 5-9. CS 阈值与温度间的关系

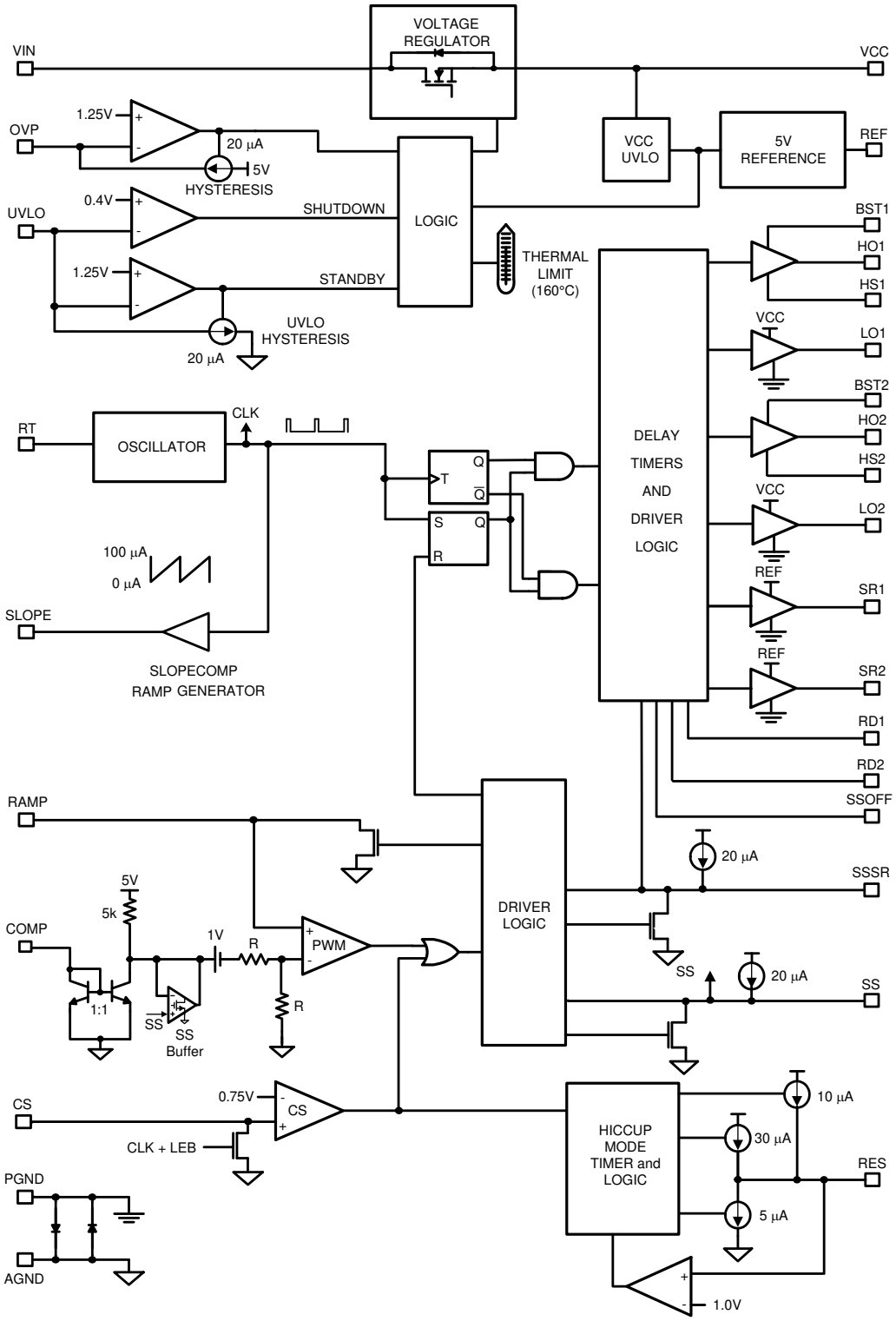
6 详细说明

6.1 概述

LM5045 PWM 控制器具有用电流模式或电压模式控制实现全桥拓扑功率转换器所需的所有特性。此器件适合在输入电压高达 100V 的隔离式直流/直流转换器的初级侧运行。这款高度集成的控制器驱动器为四个外部桥式 MOSFET 提供双路 2A 高侧和低侧栅极驱动器，以及用于次级侧同步整流器的控制信号。外部电阻器对主整流器及同步整流器控制信号之间的前沿和后沿死区时间进行编程。同步整流器的智能启动支持将功率转换器导通至预偏置负载。逐周期电流限制可保护电源元件免受负载瞬态的影响，而断续模式保护可限制扩展过载情况下的平均功耗。其他特性包括可编程软启动、同步整流器软启动以及具有同步功能和热关断功能且支持 2MHz 的振荡器。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

6.2 功能方框图


VOLTAGE REGULATOR
VIN
VCC
OVP
1.25V
20 µA
5V
HYSTERESIS
VCC UVLO
5V REFERENCE
REF
UVLO
0.4V
SHUTDOWN
LOGIC
THERMAL LIMIT (160°C)
1.25V
STANDBY
UVLO HYSTERESIS
20 µA
BST1
HO1
HS1
VCC
LO1
BST2
HO2
HS2
VCC
LO2
REF
SR1
REF
SR2
RD1
RD2
SSOFF
RT
OSCILLATOR
CLK
DELAY TIMERS AND DRIVER LOGIC
T
Q
S
R
100 µA
0 µA
SLOPE
SLOPECOMP RAMP GENERATOR
RAMP
DRIVER LOGIC
20 µA
SSSR
5V
5k
COMP
1V
R
PWM
1:1
SS
SS Buffer
R
SS
20 µA
SS
CS
0.75V
CS
CLK + LEB
HICCUP MODE TIMER and LOGIC
10 µA
30 µA
RES
5 µA
PGND
AGND
1.0V

6.3 特性说明

6.3.1 高压启动稳压器

LM5045 包含一个内部高压启动稳压器，使输入引脚 (VIN) 能够在 14V 至 100V 的宽范围内直接连接到电源电压。输入可承受高达
105V 的瞬变。当 UVLO 引脚电势大于 0.4V 时，VCC 稳压器会启用，以便为连接到 VCC 引脚的外部电容器充电。VCC 稳压器为电压基准 (REF) 及栅极驱动器（HO1/HO2 和 LO1/LO2）供电。当 VCC 引脚上的电压超过其欠压 (UV) 阈值、内部电压基准 (REF) 达到其 5V 的稳压设定点且 UVLO 电压大于 1.25V 时，软启动电容器将被释放，并开始正常运行。VCC 上的稳压器输出受内部电流限制。VCC 电容器的值取决于整个系统设计及其启动特性。VCC 电容器的推荐值范围为 0.47μF 至 10μF。

通过从外部电源为 VCC 供电，可以降低 LM5045 的内部功耗。VCC 稳压器的输出电压最初调节至 9.5V。同步整流器启用后（大约处于稳压范围内时的输出电压），VCC 电压降至 7.7V。在典型应用中，辅助变压器绕组通过二极管连接至 VCC 引脚。该绕组必须将 VCC 电压升高到 8V 以上，以关闭内部启动稳压器。从辅助绕组为 VCC 供电可提高效率，同时降低控制器的功率耗散。VCC 的 UV 电路在此模式下仍将正常工作，要求 VCC 在启动序列期间绝不会降至低于其 UV 阈值。VCC 稳压器串联导通晶体管包括一个 VCC 和 VIN 之间的二极管，该二极管在正常运行时不应该正向偏置。因此，辅助 VCC 电压不得超过 VIN 电压。

通过将外部偏置电压连接到 VCC 和 VIN 引脚，可以使用外部直流偏置电压代替内部稳压器。*节 7* 部分展示了此实现。外部辅助电源必须大于 10V 且小于 VCC 最大额定电压 14V。

6.3.2 线路欠压检测器

LM5045 包含双电平欠压锁定 (UVLO) 电路。当 UVLO 引脚被拉至 0.4V 以下时，控制器处于低静态电流关断模式。当 UVLO 引脚电压大于 0.4V 但小于 1.25V 时，控制器处于待机模式。在待机模式下，VCC 和 REF 偏置调节器处于活动状态，而控制器输出被禁用。当 VCC 和 REF 输出超过各自的欠压阈值且 UVLO 引脚电压大于 1.25V 时，软启动电容器将释放，并开始正常运行。从 VIN 到 GND 的外部设定点分压器可用于设置转换器的最小工作电压。分压器的设计必须确保当 VIN 在所需的工作范围内时，UVLO 引脚处的电压将大于 1.25V。UVLO 迟滞通过一个内部 20 μA 电流阱实现，该电流阱可通过设定点分压器的阻抗来打开或关闭。当超过 UVLO 阈值时，电流阱被停用，以快速提高 UVLO 引脚处的电压。当 UVLO 引脚电压降至 1.25V 阈值以下时，电流阱将被启用，导致 UVLO 引脚上的电压快速下降。0.4V 关断比较器的迟滞在内部固定为 50mV。

UVLO 引脚也可用于实现各种远程启用/禁用功能。通过强制 UVLO 引脚进入待机状态 (0.4V < UVLO < 1.25V) 来关闭转换器可以提供受控的软停止。有关更多详细信息，请参阅 *节 6.3.16*。

6.3.3 过压保护

外部分压器可以用于设置过压或过热保护。在 OVP 情况下，SS 和 SSSR 电容器将放电，所有输出均被禁用。分压器的设计必须确保在存在过电压/温度条件时，OVP 引脚的电压大于 1.25 V。迟滞通过内部 20μA 电流源实现。当 OVP 引脚电压超过 1.25V 时，20μA 电流源被激活，以快速提高 OVP 引脚的电压。当 OVP 引脚电压降至 1.25V 阈值以下时，电流源将停用，导致 OVP 处的电压快速下降。有关更多详细信息，请参阅 *节 7*。

6.3.4 参考

REF 引脚是 5V 线性稳压器的输出，可用于偏置光耦合器晶体管和外部辅助控制电路。稳压器输出的内部电流限制为 15mA。REF 引脚必须本地使用陶瓷电容器进行去耦，建议的值范围为 0.1μF 至 10μF

6.3.5 振荡器、同步输入

LM5045 振荡器频率由连接在 RT 引脚和 AGND 之间的电阻器设置。RT 电阻器应非常靠近器件。为了设置所需的振荡器频率 (F_{OSC})，RT 电阻器的必要值可以通过以下方程式计算：

$$R_T = \frac{1}{F_{OSC} \times 1 \times 10^{-10}} \tag{1}$$

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

例如，如果所需的振荡器频率为 400kHz，即 200kHz 下的每个相位（LO1 或 LO2），则 R_T 的值将为 25kΩ。如果 LM5045 要与外部时钟同步，则该信号必须通过 100 pF 电容器耦合到 RT 引脚。RT 引脚电压的标称调节电压为 2.0V，外部脉冲振幅应在从低电平到高电平转换时将引脚提升至 3.5V 至 5.0V 之间。同步脉冲宽度应在 15ns 至 200ns 之间。无论振荡器是自由运行还是外部同步，始终需要 RT 电阻器，SYNC 频率必须等于或大于 RT 电阻器设置的频率。当同步到外部时钟时，建议通过在 VCC 引脚与 CS 引脚之间连接一个适当的电阻器来增加斜率补偿。还要通过将 SLOPE 引脚接地来禁用该引脚。

6.3.6 逐周期电流限制

CS 引脚由代表变压器初级电流的信号驱动。如果 CS 引脚上的电压超过 0.75V，电流检测比较器会立即终止 PWM 周期。建议将一个小型 RC 滤波器连接到 CS 引脚并位于控制器附近，以抑制噪声。在每个周期结束时，内部 18Ω MOSFET 使外部电流检测滤波电容器放电。在新 PWM 周期开始后，放电 MOSFET 会额外保持 40ns，从而消隐前沿尖峰。电流检测比较器非常快，可能会响应短时噪声脉冲。布局对于电流检测滤波器和检测电阻器至关重要。与 CS 滤波器关联的电容器必须放置在非常靠近器件的位置，并直接连接到 CS 和 AGND 引脚。如果使用了电流检测变压器，变压器次级的两根引线都应连接到滤波器网络，该滤波器网络应靠近 IC。使用电流检测电阻器进行设计时，所有噪声敏感型低功耗接地连接都应在 AGND 引脚附近连接在一起，并且应在电源接地端（检测电阻器接地点）上进行单一连接。

6.3.7 断续模式

LM5045 提供电流限制重启计时器，可在反复检测到电流限制条件时禁用控制器输出并强制延迟重启（例如断续模式）。触发重启所需的逐周期电流限制事件的数量由 RES 引脚上的外部电容器进行编程。在每个 PWM 周期内，LM5045 会从 RES 电容器拉出或灌入电流。如果检测到电流限制，则禁用 5μA 电流阱并启用 30μA 电流源。如果 RES 电压达到 1.0V 阈值，则会发生以下重启序列，如图 6-1 所示：

- SS 和 SSSR 电容器已完全放电
- 30μA 电流源关闭，10μA 电流源开启。
- 一旦 RES 引脚上的电压达到 4.0V，10μA 电流源就会关闭，5μA 电流阱也会打开，将 RES 电容器上的电压降至 2.0V。
- 一旦 RES 电容器达到 2.0V 的阈值，10μA 电流源就会再次导通。RES 电容器电压会在 4.0V 和 2.0V 之间八次斜升。
- 当计数器达到八时，RES 引脚电压会被拉低，软启动电容器会被释放，以开始软启动序列。SS 电容器电压会缓慢增加。当 SS 电压达到 1.0V 时，PWM 比较器将产生第一个窄脉冲。
- 如果过载情况在重新启动后持续存在，逐周期电流限制将再次开始增加 RES 电容器上的电压，并重复断续模式序列。
- 如果在重新启动后过载情况不再存在，则 RES 引脚将由 5μA 电流阱保持接地，并且恢复正常运行。

通过将 RES 引脚连接到 AGND 引脚，可以完全禁用断续模式功能。在此配置中，逐周期保护将无限期限制最大输出电流，不会发生断续重启序列。

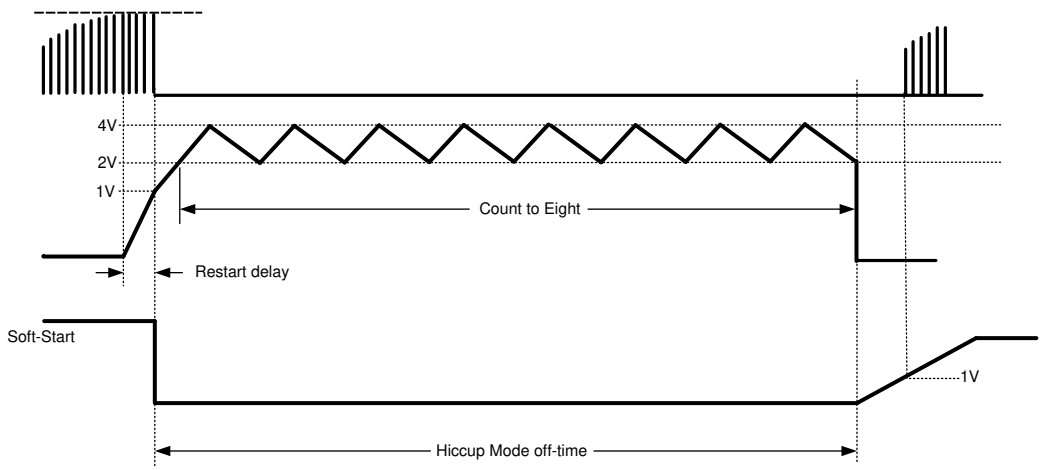


图 6-1. 断续模式延迟和软启动时序图

6.3.8 PWM 比较器

LM5045 脉宽调制器 (PWM) 比较器是一款三输入器件，它将 RAMP 引脚上的信号与环路误差信号或软启动（以较低者为准）进行比较，以控制占空比。该比较器针对速度进行了优化，以实现最短可控占空比。环路错误信号以控制电流的形式从外部反馈和隔离电路被接收，进入 COMP 引脚。COMP 引脚电流由一对匹配的 NPN 晶体管在内部镜像，该晶体管通过连接到 5V 基准的 5kΩ 电阻器灌入电流。产生的控制电压在施加到 PWM 比较器之前会经过 1V 失调电压，然后经过一个 2:1 电阻分压器。

可以在 REF 引脚及 COMP 引脚之间连接一个光耦合器检测器。由于 COMP 引脚由电流输入控制，因此光耦合器检测器上的电势差几乎保持恒定。带宽限制相位延迟通常由光耦合器的大电容引入，因此大大降低。由于光耦合器相关的带宽限制极点现在的频率要高得多，因此可以实现更高的环路带宽。PWM 比较器极性的配置使得在没有电流流入 COMP 引脚的情况下，控制器会产生最大占空比。

6.3.9 Ramp 引脚

RAMP 引脚上的电压为 PWM 比较器提供调制斜坡。PWM 比较器将 RAMP 引脚上的调制斜坡信号同环路误差信号进行比较以控制占空比。调制斜坡信号可作为与输入电压成比例的斜坡（称为前馈电压模式控制）或与初级电流成比例的斜坡（称为电流模式控制）来实现。在每个 PWM 周期结束时，RAMP 引脚由一个内部 MOSFET 和 5.5Ω 的 $R_{DS\ (ON)}$ 进行复位。由于能够将 RAMP 引脚配置为电压模式或电流模式，因此可根据设计限制实现控制器，以实现出色的控制方法。有关配置 RAMP 引脚以实现前馈电压模式控制和峰值电流模式控制的更多详细信息，请参阅 *节 7* 部分。

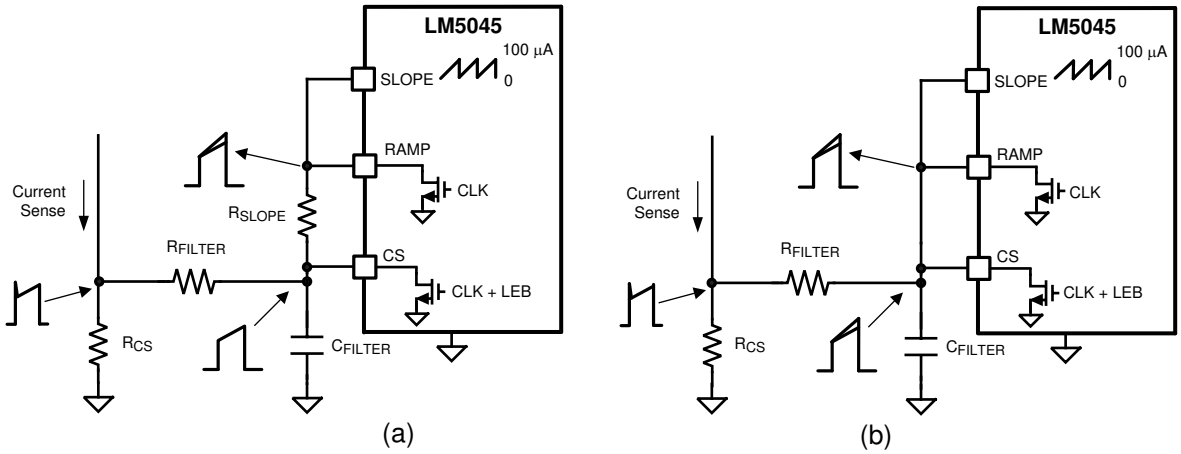
6.3.10 Slope 引脚

对于大于 50%（每相为 25%）的占空比，峰值电流模式控制会受到亚谐波振荡的影响。次谐波振荡通常以观察交替的宽和窄占空比为特征。通过向 RAMP 引脚上的调制信号添加一个称为斜率补偿的人工斜坡，可以消除这种情况。SLOPE 引脚提供一个从 0 斜升到 100μA 的电流源，频率由 RT 电阻器设置，以进行斜率补偿。SLOPE 引脚上的斜坡电流源可以通过几种不同的方式向 RAMP 信号添加斜率补偿：

- 如 图 6-2(a) 所示，SLOPE 引脚和 RAMP 引脚可以通过一个适当的电阻器在一起连接至 CS 引脚。该配置将向 RAMP 引脚注入电流检测信号加斜率补偿，但 CS 引脚不会接收到任何斜率补偿。因此，在该方案中，斜率补偿不会影响电流限制。
- 在第二种配置中，如图 6-2(b) 所示，SLOPE、RAMP 和 CS 引脚可以连接在一起。在此配置中，SLOPE 引脚的斜坡电流源将流经滤波电阻器和滤波电容器，因此 CS 引脚和 RAMP 引脚都将接收到电流检测信号以及斜率补偿斜坡。在该方案中，电流限制由斜率补偿进行补偿，电流限制启动点将发生变化。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

如果不需要斜率补偿（例如在前馈电压模式控制中），则必须将 SLOPE 引脚连接到 AGND 引脚。当 RT 引脚与外部时钟同步时，建议禁用 SLOPE 引脚，并通过在 VCC 引脚与 CS 引脚之间连接一个适当的电阻器从外部添加斜率补偿。有关更多详细信息，请参阅 *节 7*。



A. 仅为 PWM 配置斜率补偿（无电流限制斜率）

B. 同时为 PWM 及电流限制配置斜率补偿

图 6-2. 斜率补偿配置

6.3.11 软启动

软启动电路允许功率转换器逐渐达到稳态工作点，从而降低启动应力和电流浪涌。当向 LM5045 提供偏置时，SS 电容器通过内部 MOSFET 放电。当 UVLO、VCC 和 REF 引脚达到其工作阈值时，SS 电容器被释放，并使用 20µA 电流源进行充电。一旦 SS 引脚电压超过 1V 失调电压，SS 就会控制占空比。PWM 比较器是三输入器件；它将 RAMP 信号同软启动和环路误差信号之间的较低信号进行比较。在典型的隔离式应用中，随着次级侧偏置的建立，次级侧软启动上的误差放大器会建立闭环控制，从而使控制远离 SS 引脚。

关断稳压器的一种方法是将 SS 引脚接地。这会强制内部 PWM 控制信号接地，从而快速将输出占空比降至零。释放 SS 引脚将开始软启动周期，然后器件恢复正常运行。*节 7.2.2.3* 部分介绍了第二种关断方法。

6.3.12 栅极驱动器输出

LM5045 提供四个栅极驱动器：两个悬空的高侧栅极驱动器 HO1 和 HO2 以及两个以接地为基准的低侧栅极驱动器 LO1 及 LO2。每个内部驱动器都能够提供 1.5A 峰值拉电流及 2A 峰值灌电流。最初，对角线 HO1 和 LO2 一起导通，然后在所有四个栅极驱动器输出均关断时缩短关断时间。在后续阶段，对角线 HO2 和 LO1 会一起导通，然后经过关断时间。低压侧栅极驱动器由 VCC 稳压器直接供电。HO1 及 HO2 栅极驱动器由分别连接在 BST1/BST2 和 HS1/HS2 之间的自举电容器供电。当相应的开关节点（HS1/HS2 引脚）为低电平时，VCC（阳极引脚）和 BST（阴极引脚）之间连接的外部二极管通过从 VCC 为自举电容器充电来提供高侧栅极驱动器电源。当高侧 MOSFET 导通时，BST1 上升到等于 VCC + V_{HS1} 的峰值电压，其中 V_{HS1} 是开关节点电压。

BST 和 VCC 电容器应靠近 LM5045 的引脚放置，以更大限度地减少寄生电感导致的电压瞬变，因为提供给 MOSFET 栅极的峰值电流可能超过 1.5A。BST 电容器的建议值为 0.1µF 或更大。应使用低 ESR/ESL 电容器（例如表面贴装陶瓷电容器）来防止 HO 转换期间出现压降。

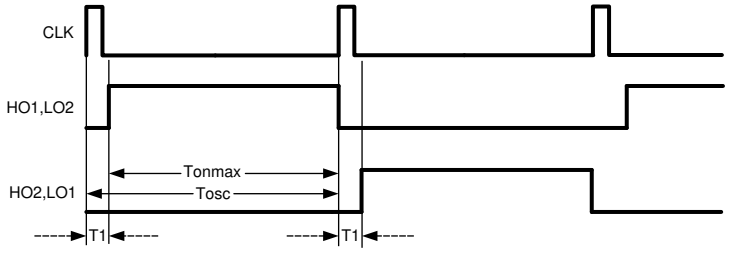
如果 COMP 引脚开路，则输出将以最大占空比运行。每个相位的最大占空比受 RD1 电阻器设置的死区时间的限制。如果 RD1 电阻器设置为零，则由于内部固定的死区时间，最大占空比略小于 50%。内部固定死区时间为 30ns，不随工作频率的变化而变化。每个输出的最大占空比可通过以下公式计算：

$$D_{MAX} = \frac{\left(\frac{1}{F_{OSC}}\right) - (T1)}{\left(\frac{2}{F_{OSC}}\right)} \tag{2}$$

其中

- T1 是 RD1 电阻器设置的时间
- F_{OSC} 是振荡器的频率

例如，如果振荡器频率设置为 400kHz，并且 RD1 电阻器设置的 T1 时间为 60ns，则产生的 D_{MAX} 将等于 0.488。



$$T_{OSC} = \frac{1}{F_{OSC}}$$

$$T1 \alpha RD1$$

图 6-3. 展示 RD1 设置的最大占空比及死区时间的时序图

6.3.13 同步整流器控制输出（SR1 和 SR2）

与二极管整流相比，变压器次级侧的同步整流 (SR) 可提供更高的效率，尤其适用于低输出电压转换器。MOSFET 的整流器正向压降（0.5V 至 1.5V）降至 10mV 至 200mV VDS 电压，可显著降低整流损耗。在典型应用中，变压器次级绕组为中心抽头绕组，输出功率电感器与中心抽头串联。SR MOSFET 为通电的次级绕组和电感器电流提供接地路径。从图 6-4 中可以看出，当 HO1/LO2 对角线打开时，初级侧的功率传输被启用。在此期间，SR1 MOSFET 导通，SR2 MOSFET 关断。此时，连接到 SR2 MOSFET 漏极的次级绕组是中心抽头电压的两倍。在 HO1/LO2 脉冲结束时，电感器电流继续流过 SR2 MOSFET 体二极管。由于体二极管会比 SR MOSFET 引起更多的损耗，因此可以通过更大限度地缩短 T2 周期，同时在所有条件（元件容差等）下保持足够的时序裕度以防止击穿电流来提高效率。当 HO2/LO1 启用来自初级侧的功率传输时，SR2 MOSFET 导通，SR1 MOSFET 关断。

在续流期间，SR1 和 SR2 MOSFET 之间几乎平均分摊电感器电流，这会有效地使变压器次级侧短路。在 HO1/LO2 导通之前，SR2 MOSFET 会被禁用。SR2 MOSFET 体二极管继续承载大约半电感器电流，直到初级电源升高 SR2 MOSFET 漏极电压并使体二极管反向偏置。理想情况下，死区时间 T1 将设置为在 SR MOSFET 体二极管开始导通之前让 SR MOSFET 关断的最短时间。

SR 驱动器由 REF 稳压器供电，每个 SR 输出能够提供 0.1A 拉电流和 0.4A 峰值灌电流。SR 驱动器的振幅限制为 5V。5V SR 信号让 LM5045 能够通过固态隔离器或脉冲变压器跨隔离栅传输 SR 控制。同步 MOSFET 的实际栅极拉电流和灌电流由次级侧偏置和栅极驱动器提供。

通过在 RD1 和 RD2 引脚与 AGND 之间连接一个电阻器，可以对 T1 和 T2 进行编程。应该注意的是，虽然 RD1 会影响最大占空比，但 RD2 不会。RD1 和 RD2 电阻器应非常靠近器件。RD1 和 RD2 电阻器的公式如下所示：

$$RD(1,2) = \frac{T(1,2)}{3\ pF};\ \text{For } 20k < (1,2) < 100k \tag{3}$$

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

如果 T1 所需的死区时间为 60ns，则 RD1 将为 20kΩ。

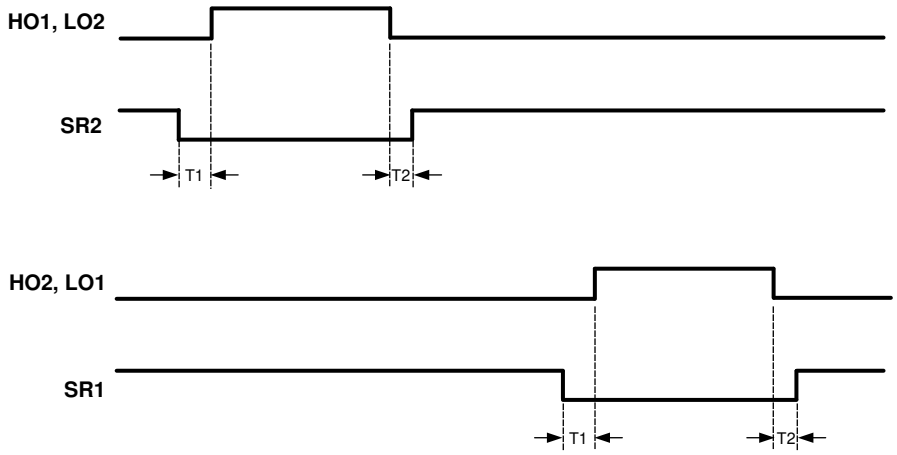
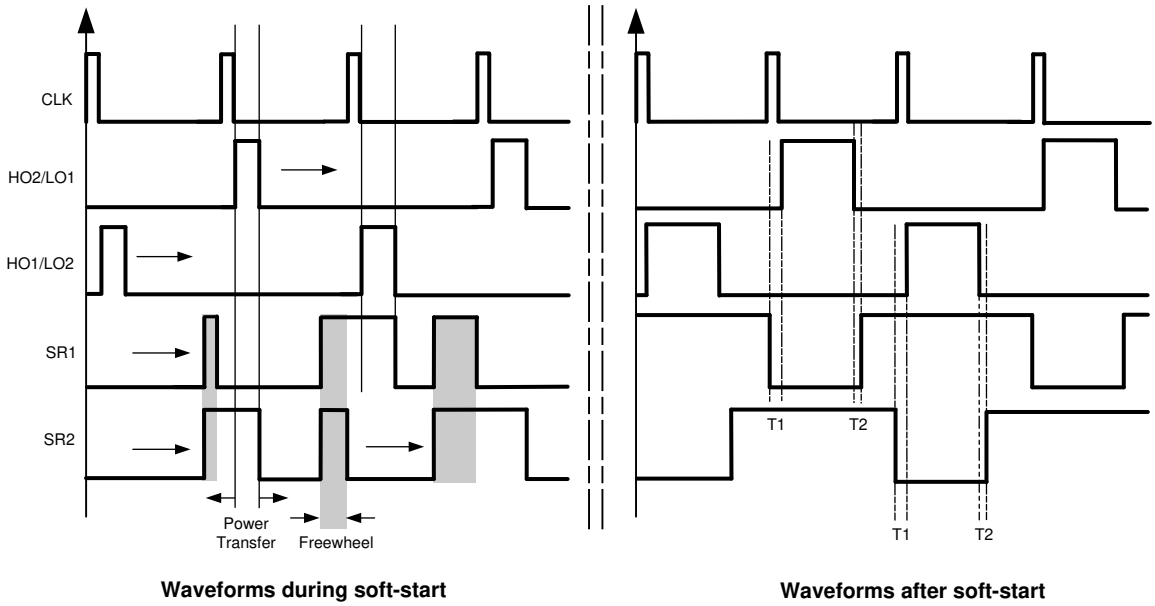


图 6-4. 同步整流器时序图

6.3.14 同步整流器的软启动

除了已经介绍的基本软启动之外，LM5045 还包含第二个软启动功能，该功能会逐渐打开同步整流器以达到其稳态占空比。此功能可在基本软启动期间使同步整流器保持关断状态，即使在预偏置负载中，也能以线性方式启动输出电压。然后，SR 输出占空比会逐渐增加，以防止由于体二极管和同步 MOSFET 通道电阻之间的压降差异而产生的输出电压干扰。最初，当向 LM5045 提供偏置时，SSSR 电容器由内部 MOSFET 放电。当 SS 电容器达到 2V 阈值，并且一旦确定 COMP 控制占空比（例如 I_{COMP} < 800μA），就会释放 SSSR 放电，并且 SSSR 电容器开始使用 20μA 电流源充电。一旦 SSSR 电容器超过内部 1V 阈值，LM5045 便会开始同步 FET 的软启动。SR 软启动遵循前沿调制技术，例如 SR 脉冲的前沿进行软启动，而不是初级 FET 的后沿调制。如图 6-5(a) 所示，SR1 和 SR2 在续流周期内以窄脉冲宽度同时导通。在续流周期结束时，即在内部 CLK 的上升沿，SR FET 与下一个电源传输周期同相，保持导通，而 SR FET 与其关断异相。同相 SR FET 在整个功率传输周期中保持导通，在该周期结束时，初级 FET 和同相 SR FET 将一起关断。通过将 SSSR 引脚接地，可以禁用同步整流器输出。



A. 软启动期间的波形

B. 软启动后的波形

图 6-5. 波形

6.3.15 预偏置启动

功率转换器的一个常见要求是将单调输出电压启动至预充电输出电容器等预偏置负载。在预偏置负载条件下，如果同步整流器过早启用，它们将从预充电的输出电容器灌入电流，从而导致不必要的输出电压骤降。这种情况是不可取的，可能会损坏功率转换器。LM5045 使用独特的控制电路来确保同步整流器的智能导通，从而使输出实现单调启动。最初，SSSR 电容器接地以禁用同步 MOSFET，从而允许体二极管导通。同步整流器软启动一旦确定，则占空比由 COMP 控制，而不是由软启动电容器控制（即 I_{COMP} < 800μA 且 SS 引脚电压 > 2V）。然后释放 SSSR 电容器并由 20μA 电流源充电。此外，如图 6-6 所示，SSSR 引脚上的 1V 失调电压用于提供额外的延迟。该延迟可确保输出电压处于稳压状态，避免在启用同步 MOSFET 时出现任何反向电流。

6.3.16 软停止

如图 6-7 所示，如果 UVLO 引脚电压低于 1.25V 待机阈值但高于 0.4V 关断阈值，则 SSSR 电容器会使用 60μA 电流源（充电电流的 3 倍）进行软停止。一旦 SSSR 引脚达到 1.0V 阈值，SS 和 SSSR 引脚都会立即放电至 GND。软停止功率转换器会逐渐减小输出电容器中的能量，并导致输出电压的单调衰减。在断续模式期间，会执行相同的序列，但 SSSR 使用 120μA 电流源放电（充电电流的 6 倍）。在 OVP、VCC VREF UV、热限值或 UV 条件下，功率转换器硬停止，从而立即将所有控制输出驱动至低电平状态。

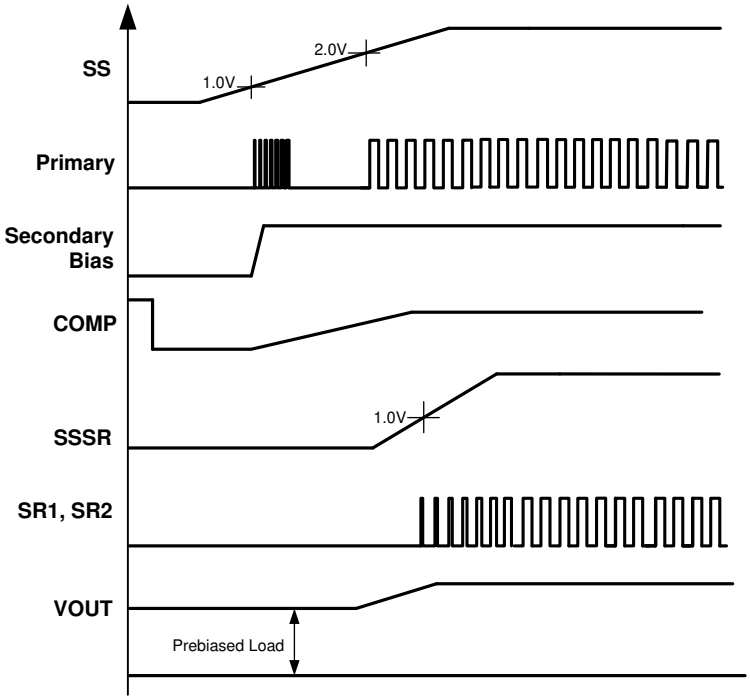


图 6-6. 预偏置电压启动波形

6.3.17 软停止关闭

软启动关闭 (SSOFF) 引脚允许将功率转换器配置为在线路 UVLO 和断续模式条件下的硬停止，从而提供了额外的灵活性。如果 SS OFF 引脚上拉至 5V REF 引脚，则功率转换器在任何故障情况下都硬停止。硬停止功能会立即将每个控制输出驱动至低电平状态。有关更多详细信息，请参阅表 6-1。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

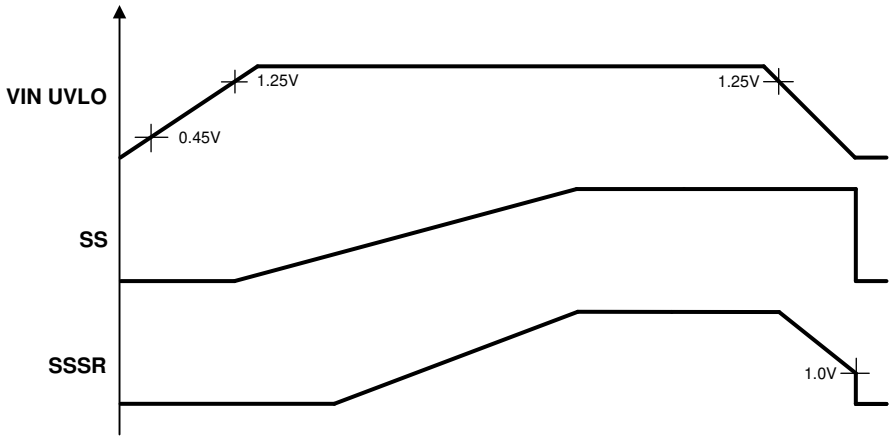


图 6-7. UVLO 事件期间的停止/停止波形

表 6-1. 在故障条件下执行软停止

故障条件 (1)	SSSR
UVLO (UVLO<1.25V)	软停止 3 倍充电速率
OVP (OVP>1.25V)	硬停止
断续 (CS>0.75 和 RES>1V)	软停止 6 倍充电速率
VCC/VREF UV	硬停止
内部热限制	硬停止

(1) 注意：当 SSOFF 引脚连接到 GND 时，上述所有条件均有效。如果 SSOFF=5V，则 LM5045 在所有条件下都硬停止。SS 引脚在所有条件下都保持高电平，直到 SSSR 引脚达到 1V。

6.3.18 过热保护

该器件提供了内部热关断电路，以便在超过最高额定结温时保护集成电路。激活时，通常在 160°C 下，控制器会被强制进入关断状态，同时禁用输出驱动器和偏置稳压器 (VCC 和 REF) 。此功能有助于预防因器件意外过热而导致灾难性故障。在热关断期间，SS 和 SSSR 电容器将完全放电，控制器在结温降至工作电平 (140°C) 后遵循正常的启动序列。

6.4 器件功能模式

6.4.1 控制方法选择

LM5045 是一款多功能 PWM 控制 IC，可配置为电流模式控制或电压模式控制。控制方法的选择通常取决于设计人员的偏好。在选择控制方法时必须考虑以下因素。电流模式控制本身可以平衡全桥拓扑的两个相位中的磁通。与其他双端拓扑一样，全桥拓扑容易受到变压器磁芯饱和的影响。两个交替相位之间应用的伏秒积的任何不对称都会导致磁通不平衡，从而导致变压器中累积直流电。这种持续的直流电累积最终可能会使变压器达到饱和状态。可以通过采用电流模式控制来校正伏秒不对称性。在电流模式控制中，将表示初级电流的信号与误差信号进行比较，以控制占空比。在稳定状态下，通过调整脉冲宽度，从而对两个相位施加相等的伏秒，使得每个相位以相同的峰值电流终止。

电流模式控制容易受到噪声和次谐波振荡的影响，而电压模式控制对 PWM 采用较大的斜坡，通常不易受到影响。采用输入线路前馈的电压模式控制也具有出色的线路瞬态响应。在针对电压模式控制进行配置时，可以将一个直流阻断电容器与电源变压器的初级绕组串联，以避免任何可能导致变压器磁芯饱和的磁通不平衡。

6.4.2 使用 LM5045 进行电压模式控制

要将 LM5045 配置为电压模式控制，需要一个连接到 VIN、AGND 和 RAMP 引脚的外部电阻器 (R_{FF}) 和电容器 (C_{FF}) 来创建锯齿调制斜坡信号，如图 6-8 所示。RAMP 上信号的斜率将与输入线路电压成比例变化。变化的斜率提供了利用电压模式控制改善线路瞬态响应所需的线路前馈信息。对于恒定误差信号，导通时间 (T_{ON}) 与输入电压 (VIN) 成反比变化，以稳定变压器初级侧的伏秒乘积。与固定斜率振荡器斜坡相比，使用线路前馈斜坡进行 PWM 控制只需对电压调节环路进行极小的变化，即可补偿输入电压的变化。此外，电压模式控制不易受到噪声的影响，不需要前沿滤波。因此，它是宽输入范围功率转换器的理想选择。由于 L-C 输出滤波器存在复共轭极点，电压模式控制需要一个 III 型补偿网络。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

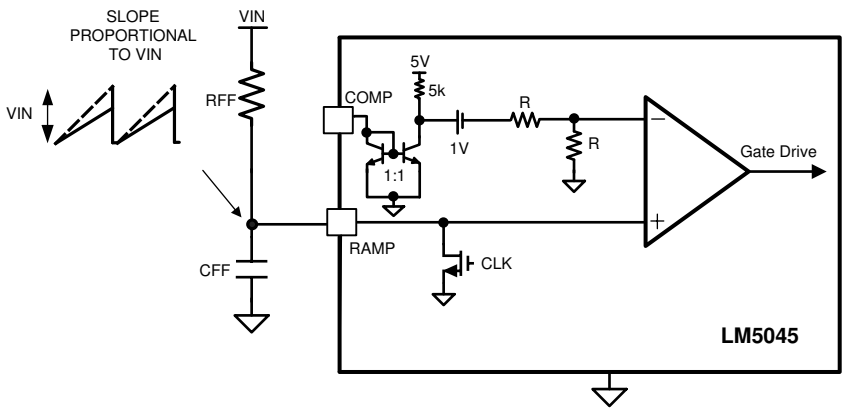


图 6-8. 前馈电压模式配置

C_{FF} 的建议电容器值范围为 100pF 至 1800pF。通过参考图 6-8 可以看出，C_{FF} 值必须足够小，才能在时钟脉冲宽度（通常在 50ns 内）下放电。内部放电 FET 的 $R_{DS(ON)}$ 为 5.5Ω。

可以通过以下公式来计算所需的 R_{FF} 值

$$R_{FF} = \frac{-1}{F_{OSC} \times C_{FF} \times \ln\left(1 - \frac{V_{RAMP}}{VIN_{MIN}}\right)} \tag{4}$$

例如，假设 V_{RAMP} 为 1.5V（信号范围和抗噪性能的良好折衷）、VIN_{MIN} 为 36V（振荡器频率为 400kHz 且 C_{FF} = 470pF 时，R_{FF} 值为 125kΩ）。

6.4.3 使用 LM5045 进行电流模式控制

通过向 RAMP 引脚施加与初级电流成比例的信号，可以将 LM5045 配置为电流模式控制。实现这一点的一种方法如图 6-9 所示。可以使用电流互感器或检测电阻器来检测初级电流，然后对生成的信号进行滤波，并通过用于斜率补偿的电阻器将其应用于 RAMP 引脚。可以看出，施加到 RAMP 引脚的信号包含来自 CS 引脚的初级电流信息以及一个用于斜率补偿的额外斜坡（后者由电阻器 R_{SLOPE} 提供）。

选择电流检测电阻器时应确保在过流情况下，电流检测电阻器两端的电压高于 728mV 的最小 CS 阈值。

通常，可避免次谐波振荡所需的斜率补偿量至少等于转换为初级侧的输出电感器电流的下降斜率的一半。为了减轻一个开关周期后的次谐波振荡，斜率补偿量必须等于滤波电感器电流转移到初级侧的下降斜率的一倍。这称为死拍控制。实现死拍控制所需的斜率补偿电阻器可按如下公式计算：

$$R_{SLOPE} = \frac{V_{OUT} \times R_{CS}}{L_{FILTER} \times F_{OSC} \times I_{SLOPE} \times N_{TR}} \tag{5}$$

其中

- N_{TR} 是相对于次级侧的匝数比

例如，对于初级侧和次级侧之间匝数比为 9:1 的 3.3V 输出转换器，800nH 的输出滤波电感 (L_{FILTER}) 和 150mΩ 的电流检测电阻器 (R_{SENSE})、1.67kΩ 的 R_{SLOPE} 就已足够。

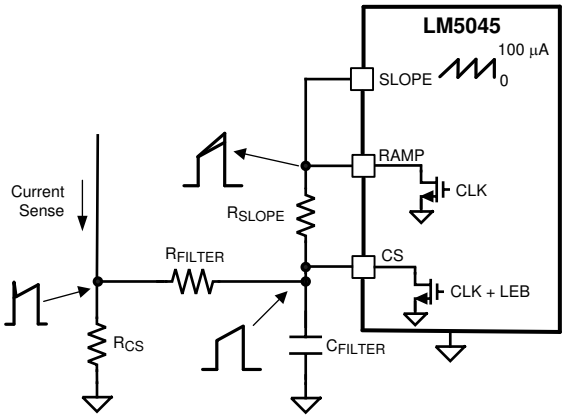


图 6-9. 电流模式配置

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

7 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。

7.1 应用信息

LM5045 是一款高度集成的 PWM 控制器，具有用电流模式或电压模式控制来实现全桥拓扑功率转换器所需的所有特性。该器件适用于输入电压高达 100Vdc、输出功率范围为 100W 至 1kW 的直流/直流转换器应用。

7.2 典型应用

以下原理图展示了一个由 LM5045 控制的 100W 全桥转换器示例。工作输入电压范围为 36V 至 75V、输出电压为 3.3V。输出电流能力为 30A。转换器配置成使用外部斜率补偿进行电流模式控制。辅助绕组用于提高 VCC 电压以降低控制器功率耗散。

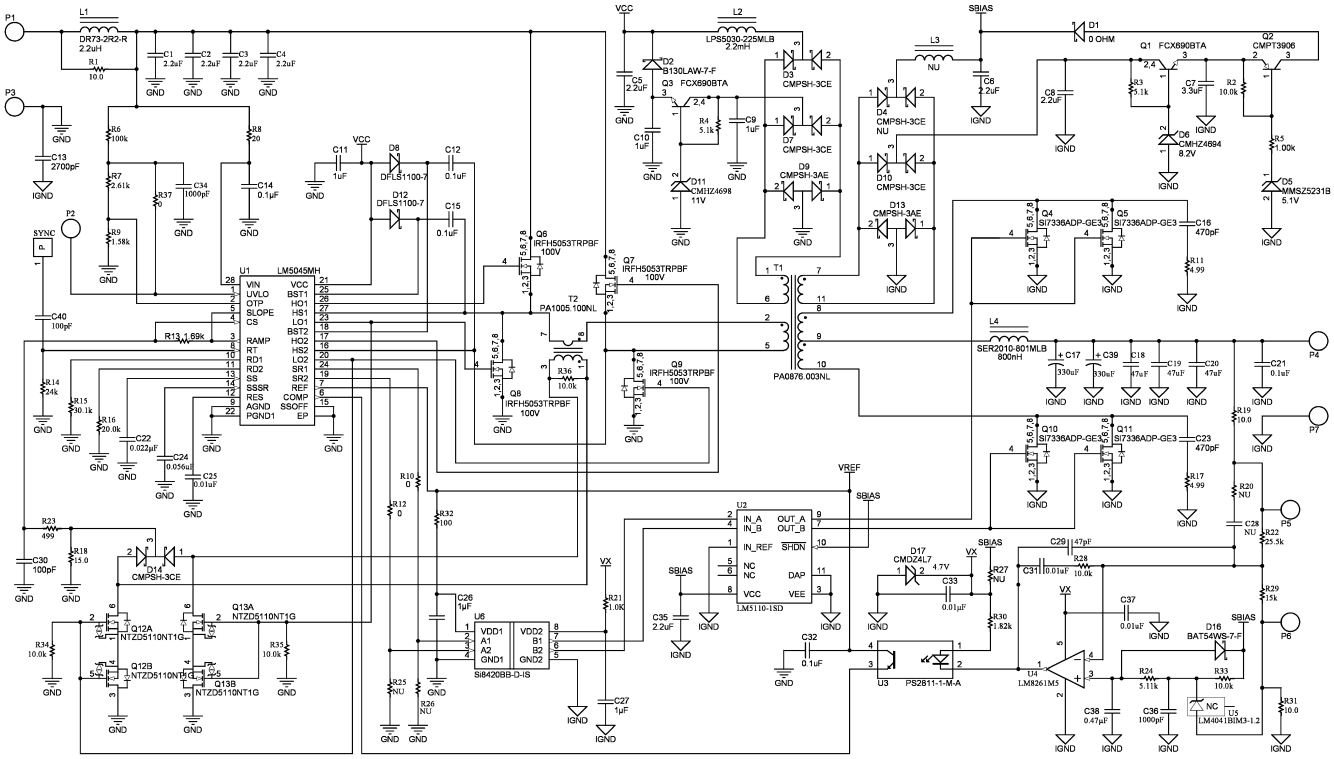


图 7-1. 评估板原理图

7.2.1 设计要求

参数	值
输入工作范围	36V 至 75V
输出电压	3.3V
48V 时测得的效率	92% (30A)
工作频率	420kHz
电路板尺寸	2.28 x 1.45 x 0.5inches
负载调整率	0.2%
线性调整率	0.1%
线路 UVLO	34V/32V 开/关

参数	值
断续模式	电限制流

7.2.2 详细设计过程

7.2.2.1 VIN 和 V_{CC}

施加到 VIN 引脚的电压可以与施加到电源变压器初级侧的系统电压 (V_{PWR}) 相同，在 14V 至 100V 的范围内变化。建议使用图 7-2 中所示的滤波器来抑制输入电源上可能发生的瞬变。当 VIN 在接近 LM5045 的最大额定工作电压的情况下运行时，这一点尤为重要。流入 VIN 的电流主要取决于 LM5045 的工作电流、开关频率及 VCC 引脚上的任何外部负载（通常包括功率 MOSFET 的栅极电容）。在典型应用中，辅助变压器绕组通过二极管连接至 VCC 引脚。该引脚必须将 VCC 电压升高到 8V 以上，以关闭内部启动稳压器。

在输出启用且外部 VCC 电源电压开始向 IC 供电后，流入 VIN 引脚的电流降至 1mA 以下。VIN 应保持等于或高于 VCC 电压的电压，以避免反向电流通过内部 VCC 稳压器的内部体二极管。

7.2.2.2 适用于 > 100 VIN 的应用

对于系统输入电压超过 100V 的应用，VIN 可以由外部启动稳压器供电，如图 7-3 所示。在此配置中，VIN 和 VCC 引脚应连接在一起。VCC 和 VIN 引脚上的电压必须大于 10V（> 最大 VCC 基准电压）但不超过 16V。为了使能运行，VCC 电压必须升至 10V 以上。VCC 引脚上的电压不得超过 16V。图 7-3 右侧的电压源通常从功率级获得，并在 LM5045 的输出处于活动状态后变为活动状态。

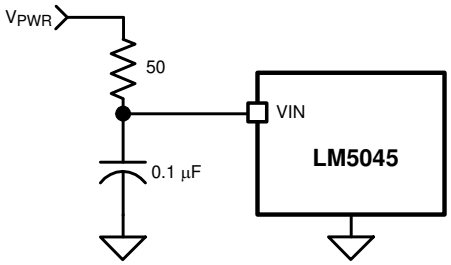


图 7-2. 输入瞬态保护

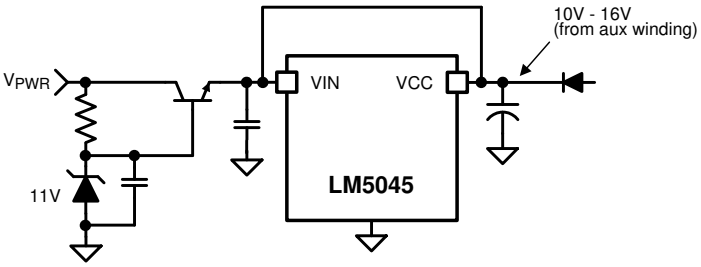


图 7-3. V_{PWR} > 100V 时的启动稳压器

7.2.2.3 UVLO 及 OVP 分压器选择

两个连接到 UVLO 及 OVP 引脚的专用比较器用于检测欠压和过压情况。这两个比较器的阈值都设置为 1.25V。这两个功能可以通过 VIN 到 AGND 之间的两个独立分压器独立编程（如图 7-4 和图 7-4 所示），或通过一个三电阻分压器进行独立编程（如图 7-4 所示）。独立的 UVLO 和 OVP 引脚为用户选择系统的工作电压范围提供了更大灵活性。当 UVLO 引脚被拉至 0.4V 以下时，控制器处于低静态电流关断模式。当 UVLO 引脚电压大于 0.4V 但小于 1.25V 时，控制器处于待机模式。一旦 UVLO 引脚电压大于 1.25V，控制器就会完全启用。可以使用两个外部电阻器对功率转换器的最小工作电压进行编程，如图 7-4 所示。当 UVLO 引脚电压降至 1.25V 阈值以下时，会启用内部 20µA 电流阱，以降低 UVLO 引脚上的电压，从而提供阈值迟滞。可以通过以下公式确定 R_1 及 R_2 的电阻值：

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

$$R_1 = \frac{V_{HYS}}{20\ \mu A}$$

$$R_2 = \frac{1.25V \times R_1}{V_{PWR\text{-}OFF} - 1.25V - (20\ \mu A \times R1)} \quad (6)$$

其中

- V_{PWR} 是所需的导通电压
- V_{HYS} 是 V_{PWR} 处所需的 UVLO 迟滞

例如，如果 LM5045 在 V_{PWR} 达到 33V 时启用，在 V_{PWR} 降低至 31V 时禁用，则 R_1 应为 100kΩ，R_2 应为 4.2kΩ。UVLO 引脚上的电压在任何时候都不应超过 7V。

可以使用两个外部电阻器对功率转换器的最大工作电压进行编程，如图 7-4 所示。当 OVP 引脚电压上升至 1.25V 阈值以上时，会启用内部 20μA 电流源以升高 OVP 引脚上的电压，从而提供阈值迟滞。可以通过以下公式确定 R_1 及 R_2 的电阻值：

$$R_1 = \frac{V_{HYS}}{20\ \mu A}$$

$$R_2 = \frac{1.25V \times R_1}{V_{PWR} - 1.25V + (20\ \mu A \times R1)} \quad (7)$$

如果 LM5045 在 $V_{PWR\text{-}OFF}$ 达到 80V 时被禁用，在降低到 78V 时被启用，R_1 应为 100kΩ，R_2 应为 1.5kΩ。OVP 引脚上的电压在任何时候都不应超过 7V。

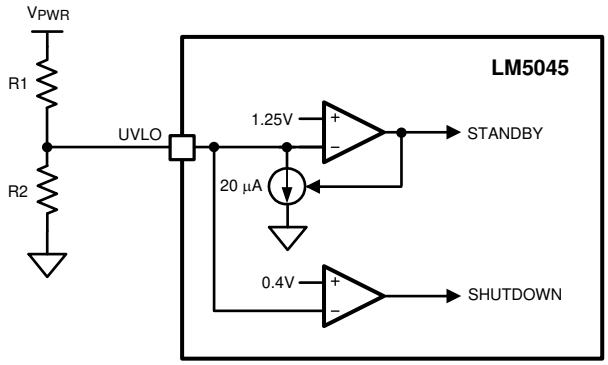


图 7-4. 基本 UVLO 配置

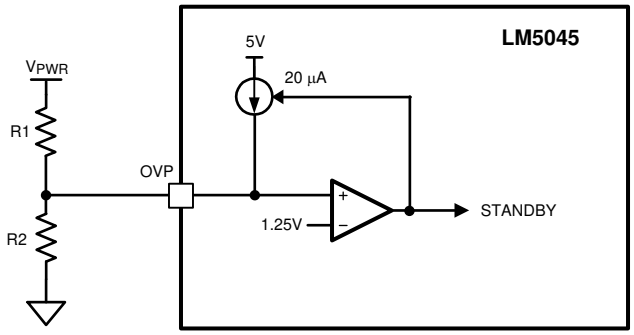


图 7-5. 基本 OVP 配置

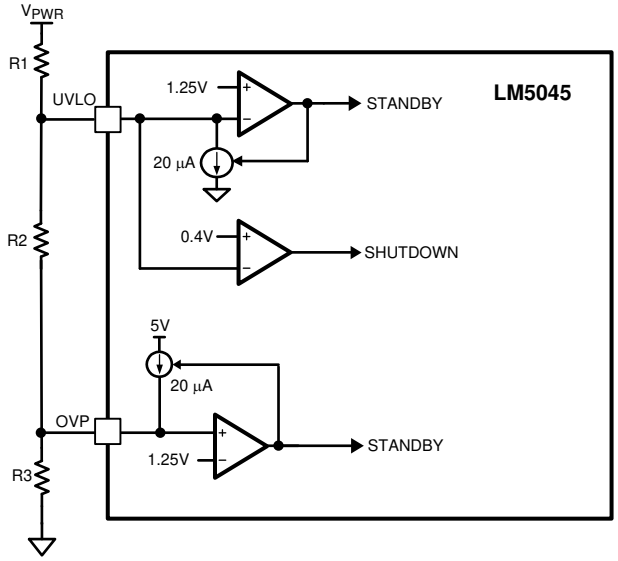


图 7-6. UVLO/OVP 分压器

UVLO 和 OVP 也可以使用 3 电阻分压器梯在一起设置，如图 7-6 所示。R_1 的计算方法如基本 UVLO 分压器选择中所述。使用与上述两个示例中相同的值，对于 UVLO 和 OVP 设定点，R_1 和 R_3 在 100kΩ 和 1.5kΩ 时保持不变。R_2 是通过从 4.2kΩ 中减去 R_3 而获得的 2.7kΩ。

通过将开漏器件连接到 UVLO 引脚，可以实现控制器运行模式的远程配置，如图 7-7 所示。

图 7-8 展示了使用热敏电阻（或多个热敏电阻）进行远程热保护的 OVP 比较器应用，该热敏电阻可能位于功率转换器的主要热源附近。负温度系数 (NTC) 热敏电阻近似呈对数关系，并且在本例中，β 材料常数为 4500 开尔文、阻值为 100kΩ 的热敏电阻，在 130°C 时阻值会变为约 2kΩ。将 R_1 设置为该阻值 (665Ω) 的三分之一，即可使 130°C 成为所需的触发点（当 VREF = 5V 时）。在从低于 20°C 到高于 OVP 阈值 20°C 的温度区间中，分压器几乎呈线性，每 °C 灵敏度为 25mV。

R_2 通过将 OVP 比较器输入增加 R_2 x 20µA，从而提供温度迟滞。例如，如果为 R_2 选择 22kΩ 电阻器，则 OVP 引脚电压将增加 22kΩ x 20µA = 506mV。因此，在 LM5045 从待机模式切换到正常模式之前，NTC 温度必须降低 506mV/25mV /°C = 20°C。

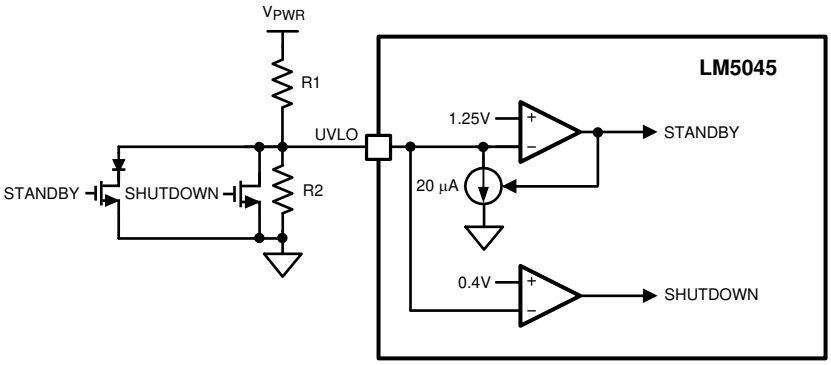


图 7-7. 远程待机和禁用控制

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

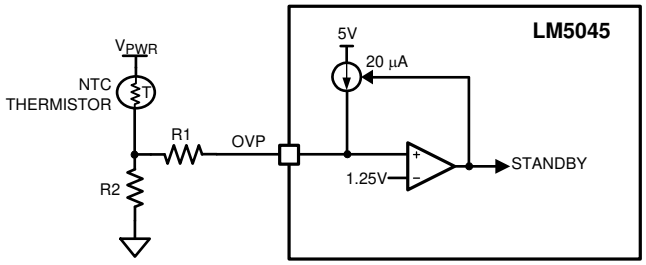


图 7-8. 远程热保护

7.2.2.4 电流检测

CS 引脚接收代表其变压器初级电流的输入信号，该输入信号来自电流检测变压器或位于初级开关源极引脚结处的电阻器，分别如图 7-9 和图 7-10 所示。在这两种情况下，滤波器元件 R_F 和 C_F 应尽可能靠近 IC 放置，而电流检测变压器的接地连接或 R_{SENSE} 应作为连接至相应 GND 引脚的专用布线。如需更多布局提示，请参阅 *节 9* 部分。

过载事件期间，电流检测元件必须在 CS 引脚上提供 > 710mV 的信号。一旦 CS 引脚上的电压超过电流限制阈值，电流检测比较器就会终止 PWM 脉冲并开始为 RES 引脚充电。根据 RES 引脚的配置，LM5045 最终将启动断续模式重新启动，或处于连续电流限制状态。

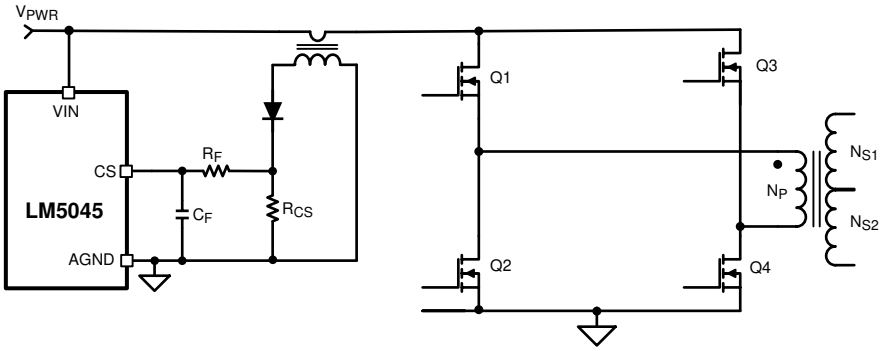


图 7-9. 变压器电流检测

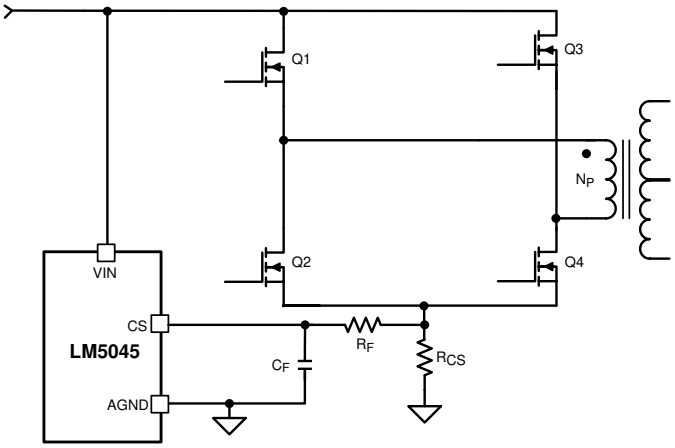


图 7-10. 电阻器电流检测

7.2.2.5 断续模式电流限制重启

本部分介绍了断续模式重启电路的操作。在连续电流限制条件下，RES 引脚由 30µA 电流源充电。达到 1.0V 阈值所需的重启延迟时间由下式给出：

$$T_{CS} = \frac{C_{RES} \times 1.0V}{30\ \mu A} \tag{8}$$

这确立了 IC 启动断续重启序列之前允许的时间。例如，如果 C_{RES} = 0.01μF，则下面图 7-11 中所述的时间 TCS 为 334μs。在 RES 引脚达到 1.0V 后，30μA 电流源将关闭，在斜升至 4V 期间打开 10μA 电流源，并且在斜降至 2V 期间导通 5μA。断续模式关断时间由以下公式得出：

$$T_{HICCUP} = \frac{C_{RES} \times (2.0V \times 8)}{5\ \mu A} + \frac{C_{RES} \times ((2.0V \times 8) + 1.0V)}{10\ \mu A} \tag{9}$$

当 C_{RES} = 0.01μF 时，断续时间为 49ms。断续时间结束后，RES 引脚会拉低，SS 引脚会释放，以便开始软启动序列。一旦 SS 引脚达到 1V，PWM 脉冲将开始。断续模式会在持续过载条件下为功率转换器提供冷却期，从而在此类事件期间降低功率元件的平均输入电流和温度。

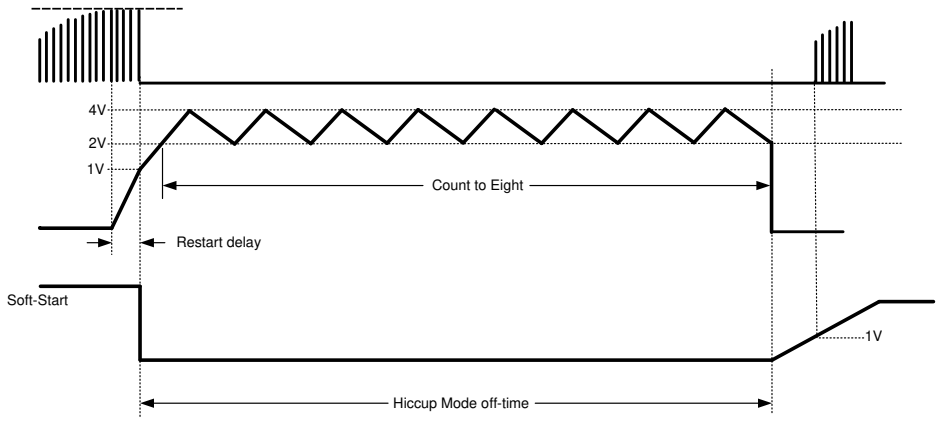


图 7-11. 断续模式延迟和软启动时序图

7.2.2.6 增强栅极驱动强度

LM5045 包含功能强大的 2A 集成式栅极驱动器。但是，在某些大功率应用 (>500W) 中，可能需要增强内部栅极驱动器的强度，以实现更高的效率和更佳的热性能。在高功率应用中，初级 MOSFET 中的 I^2xR 损耗通常明显高于开关损耗。为了更大限度地降低 I^2xR 损耗，需要并联初级 MOSFET 或采用具有低 $R_{DS\ (on)}$ 的 MOSFET。这两种情况都会增加控制器 IC 驱动的总栅极电荷。栅极电荷的增加会增加 FET 转换时间，从而增加开关损耗。因此，为了将总损耗保持在可管理的限制范围内，必须减少转换时间。

通常，在米勒电容充电/放电期间，关断过程中的总可用驱动器电流低于导通过程中的电流，并且通常足以缩短关断时间以实现效率和热性能目标。这只需在功率 FET 的栅极到源极之间采用 PNP 器件（如图 7-12 所示）即可实现。在导通过程中，当 LO1 变为高电平时，电流通过二极管 D1 拉出，并且 BJT Q1 为关断电流提供路径。Q1 应尽可能靠近功率 FET，以便关断电流具有尽可能短的接地路径，而不必流过控制器。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

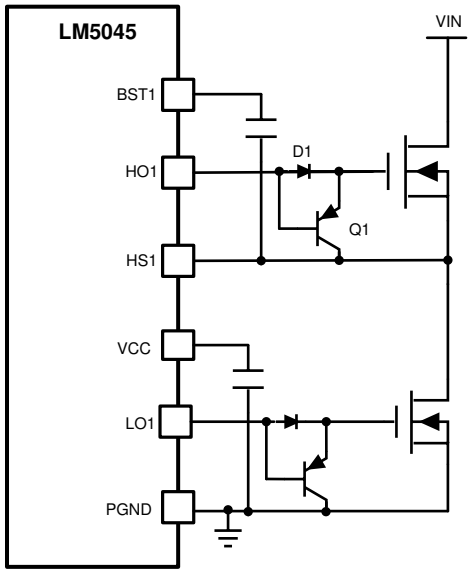


图 7-12. 用于加快关断过程的电路

根据初级 FET 的栅极电荷特性，如果需要加快开通和关断时间，则可以使用图 7-13 中所示的双极图腾柱结构。当 LO1 变为高电平时，栅源电流通过 NPN 晶体管 Q1 拉取，与图 7-12 中所示的电路类似，当 LO1 变为低电平时，PNP 晶体管 Q2 会加快关断过程。

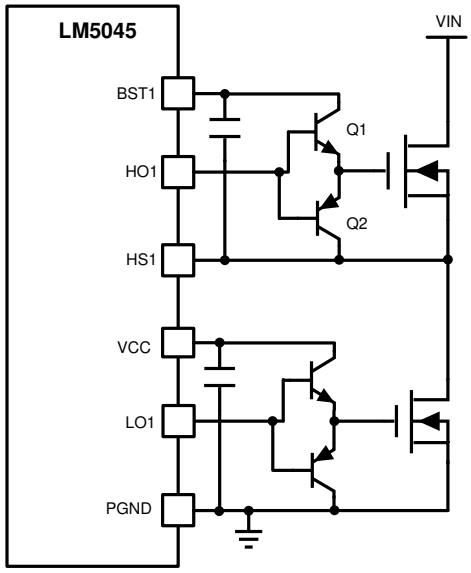


图 7-13. 双极图腾柱排列

或者，也可以使用 LM5112 等低侧栅极驱动器代替分立式图腾柱。LM5112 采用小型封装，具有 3A 拉电流和 7A 灌电流能力。在驱动高侧 FET 时，HS1 用作本地接地，并且 BST 和 HS 引脚之间的引导电容器用作 VCC。

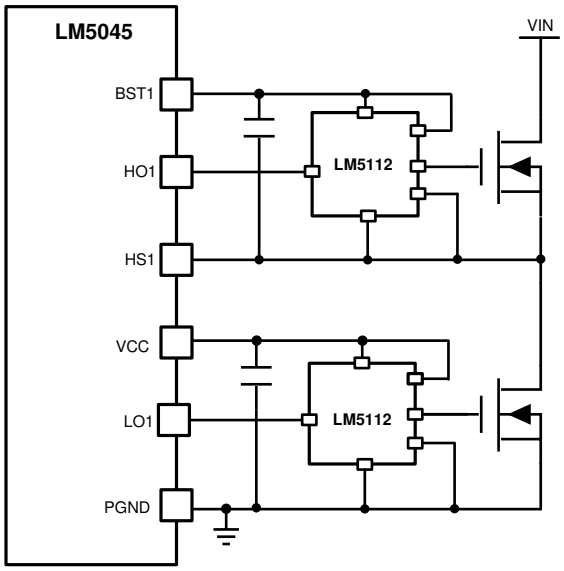


图 **7-14.** 使用低侧栅极驱动器来增强栅极驱动强度

7.2.3 应用曲线

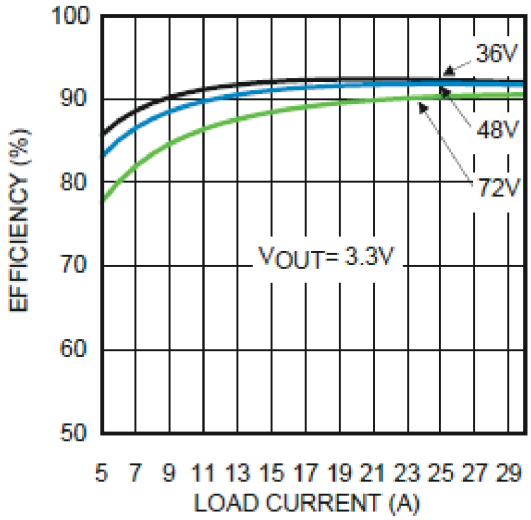


图 **7-15.** 应用板效率

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

8 电源相关建议

LM5045 可以用于控制高达 1kW 的功率级别。因此，电流电平可能相当大。应注意选择具有正确额定电流的元件。这包括磁性元件、功率 MOSFET 及二极管、连接器及导线尺寸。输入及输出电容器应具有正确的纹波电流额定值。建议使用多层 PCB 并选择铜面积，以确保 LM5045 在其最高结温以下运行。

如果没有充足的散热措施，切勿尝试满功率运行。

9 布局

9.1 布局指南

LM5045 电流检测和 PWM 比较器速度非常快，可响应短时噪声脉冲。CS、COMP、SLOPE、RAMP、SS 和 SSSR、RES、UVLO、OVP、RD1、RD2 和 RT 引脚应在物理上尽可能靠近 IC，从而更大限度地减少 PC 板布线电感上的噪声拾取。消除或尽量减少这些关键连接中的过孔至关重要。布局注意事项对于电流检测滤波器至关重要。如果使用电流检测变压器，则变压器次级侧的两根引线应连接到传感滤波器元件和 IC 引脚。变压器的接地侧应通过专用 PC 板引线连接至 AGND 引脚，而不是通过接地平面连接。如果电流检测电路在驱动晶体管源极中采用检测电阻器，则应使用低电感电阻器。在这种情况下，所有对噪声敏感的低电流地线应靠近 IC 附近共用连接，然后通过单点连接至电源地端（检测电阻的接地点）。

LM5045 的栅极驱动输出应具有短的直接路径来连接功率 MOSFET，从而更大限度地减小 PC 板中的电感。高侧栅极驱动器所需的自举电容器应非常靠近 IC 并直接连接到 BST 及 HS 引脚。VCC 和 REF 电容器也应靠近各自的引脚放置，并具有较短的布线电感。建议将低 ESR 和 ESL 陶瓷电容器用于自举、VCC 和 REF 电容器。两个接地引脚（AGND、PGND）必须通过较短的直接连接在 IC 正下方连接在一起，以避免相对接地反弹导致抖动。

9.2 布局示例

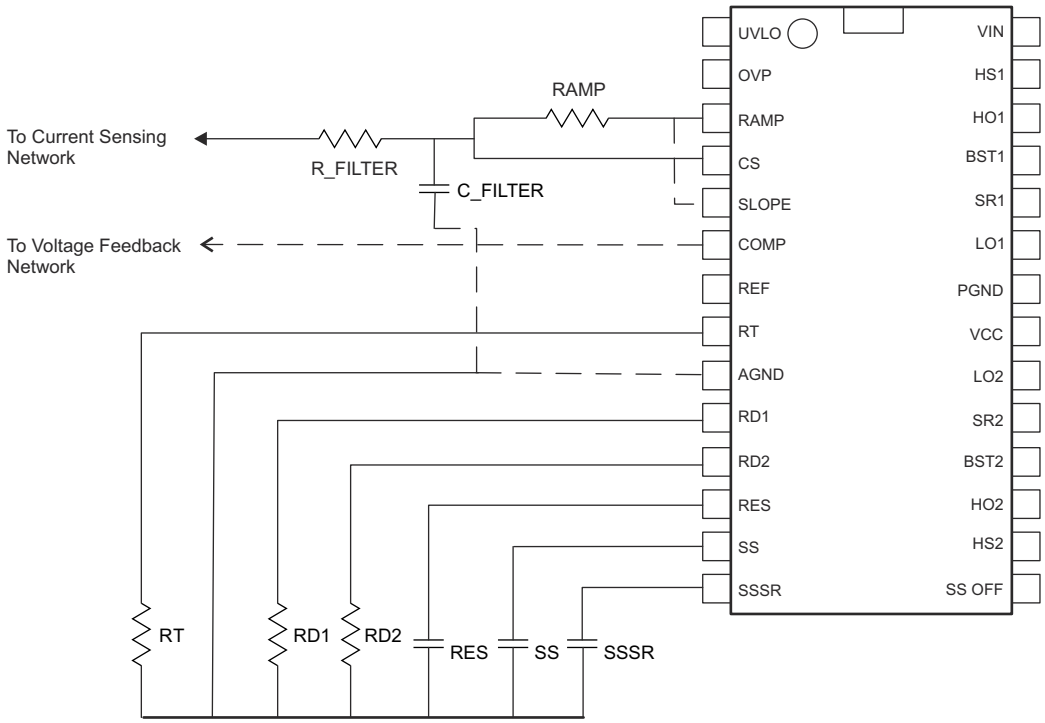


图 9-1. RAMP、CS、SLOPE、COMP、RT、RD1、RD2、RES、SS 和 SSR 周围的元件布局

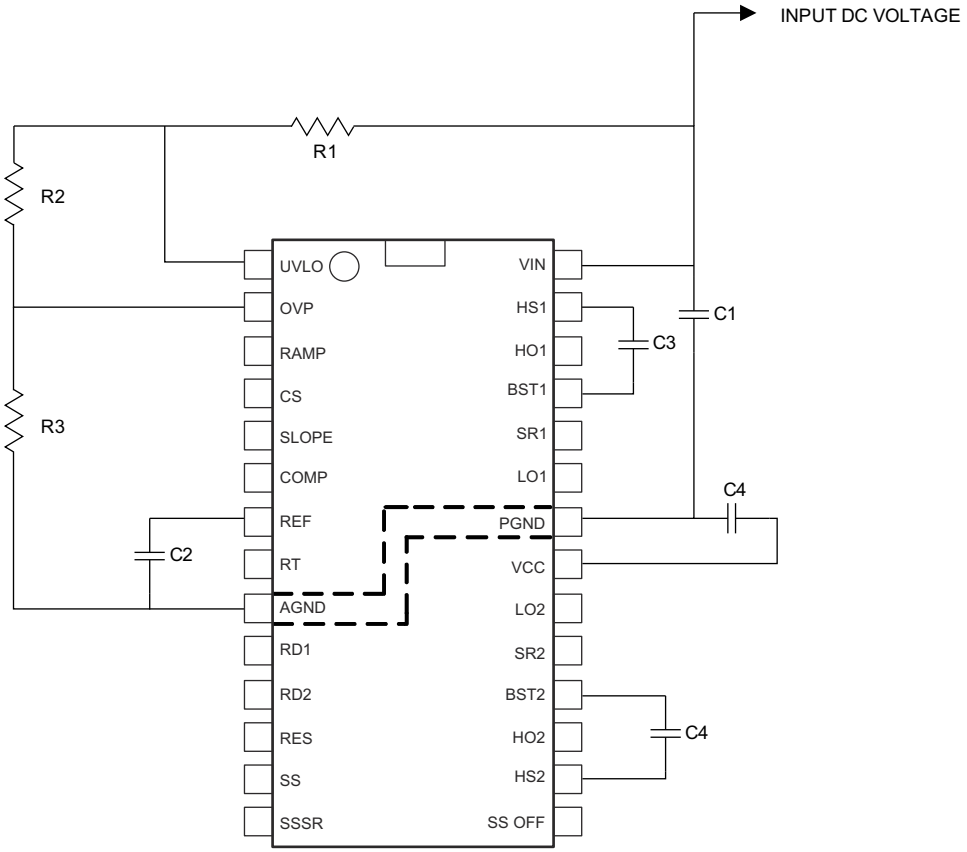


图 9-2. VIN、VCC、AGND、PGND、UVLO、OVP、REF、BST1、BST2、HS1 和 HS2 周围的元件布局

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

10 器件和文档支持

10.1 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。

10.2 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。

10.3 商标

PowerPAD™ and TI E2E™ are trademarks of Texas Instruments.
所有商标均为其各自所有者的财产。

10.4 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。

10.5 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 H (January 2015) to Revision I (May 2026) **Page**

- 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式.....1

Changes from Revision G (March 2013) to Revision H (January 2015) **Page**

- 添加了 *引脚配置和功能* 部分、*ESD 等级* 表、*特性说明* 部分、*器件功能模式*、*应用和实现* 部分、*电源相关建议* 部分、*布局* 部分、*器件和文档支持* 部分以及 *机械、封装和可订购信息* 部分.....1

Changes from Revision F (March 2013) to Revision G (March 2013) **Page**

- 将美国国家通用数据表的版面布局更改为 TI 格式.....25

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

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)
LM5045MH/NOPB	Active	Production	HTSSOP (PWP) | 28	48 | TUBE	Yes	SN	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	LM5045 MH
LM5045MH/NOPB.A	Active	Production	HTSSOP (PWP) | 28	48 | TUBE	Yes	SN	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	LM5045 MH
LM5045MHX/NOPB	Active	Production	HTSSOP (PWP) | 28	2500 | LARGE T&R	Yes	SN	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	LM5045 MH
LM5045MHX/NOPB.A	Active	Production	HTSSOP (PWP) | 28	2500 | LARGE T&R	Yes	SN	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	LM5045 MH
LM5045SQ/NOPB	Active	Production	WQFN (RSG) | 28	1000 | SMALL T&R	Yes	SN	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	L5045
LM5045SQ/NOPB.A	Active	Production	WQFN (RSG) | 28	1000 | SMALL T&R	Yes	SN	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	L5045
LM5045SQX/NOPB	Active	Production	WQFN (RSG) | 28	4500 | LARGE T&R	Yes	SN	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	L5045
LM5045SQX/NOPB.A	Active	Production	WQFN (RSG) | 28	4500 | LARGE T&R	Yes	SN	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	L5045

(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.

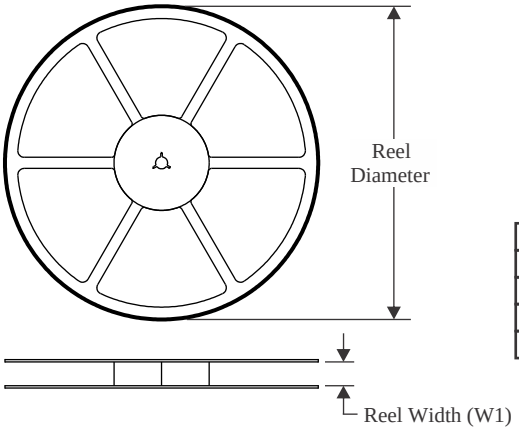
Multiple part markings will be inside parentheses. Only one part marking contained in parentheses and separated by a "~" will appear on a part. If a line is indented then it is a continuation of the previous line and the two combined represent the entire part marking for that device.

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.

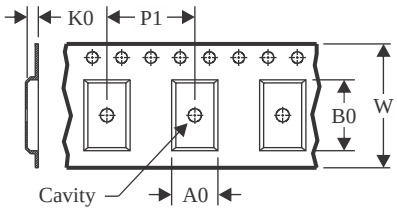
In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

TAPE AND REEL INFORMATION

REEL DIMENSIONS

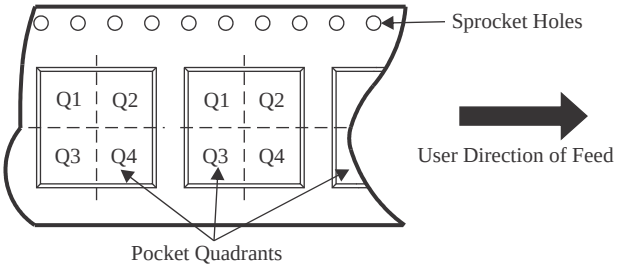


TAPE DIMENSIONS



A0	Dimension designed to accommodate the component width
B0	Dimension designed to accommodate the component length
K0	Dimension designed to accommodate the component thickness
W	Overall width of the carrier tape
P1	Pitch between successive cavity centers

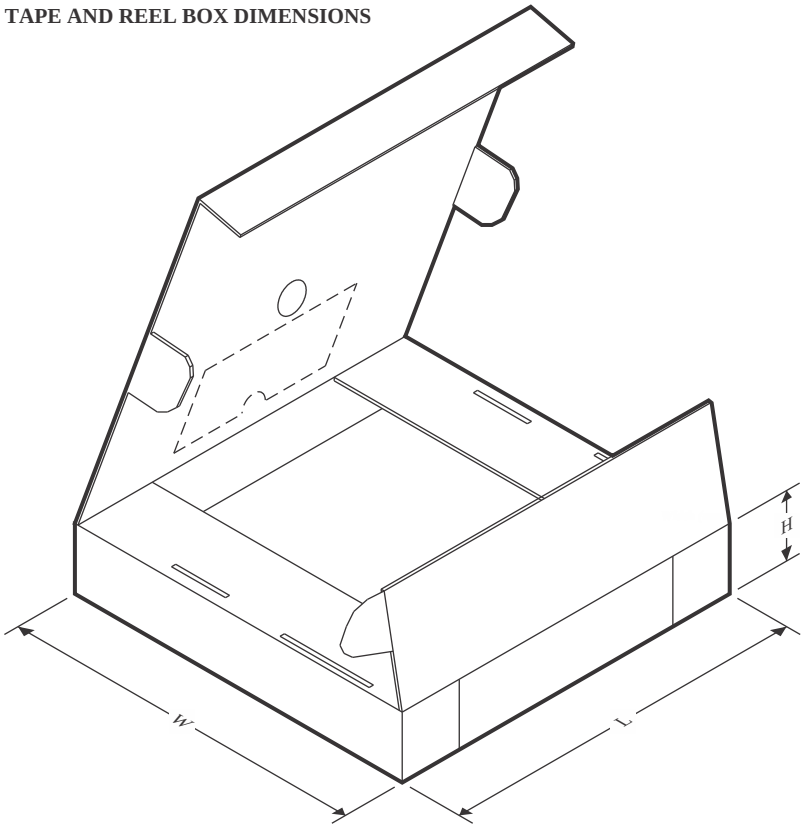
QUADRANT ASSIGNMENTS FOR PIN 1 ORIENTATION IN TAPE



*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
LM5045MHX/NOPB	HTSSOP	PWP	28	2500	330.0	16.4	6.95	10.0	1.7	8.0	16.0	Q1
LM5045SQ/NOPB	WQFN	RSG	28	1000	177.8	12.4	5.3	5.3	1.3	8.0	12.0	Q1
LM5045SQX/NOPB	WQFN	RSG	28	4500	330.0	12.4	5.3	5.3	1.3	8.0	12.0	Q1

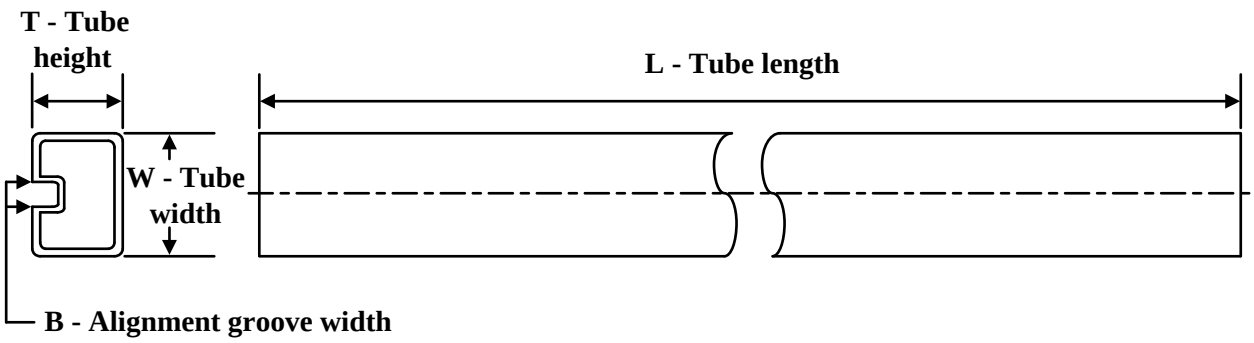
TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS



*All dimensions are nominal

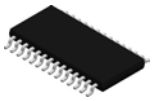
Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
LM5045MHX/NOPB	HTSSOP	PWP	28	2500	367.0	367.0	35.0
LM5045SQ/NOPB	WQFN	RSG	28	1000	208.0	191.0	35.0
LM5045SQX/NOPB	WQFN	RSG	28	4500	367.0	367.0	35.0

TUBE



*All dimensions are nominal

Device	Package Name	Package Type	Pins	SPQ	L (mm)	W (mm)	T (µm)	B (mm)
LM5045MH/NOPB	PWP	HTSSOP	28	48	495	8	2514.6	4.06
LM5045MH/NOPB.A	PWP	HTSSOP	28	48	495	8	2514.6	4.06

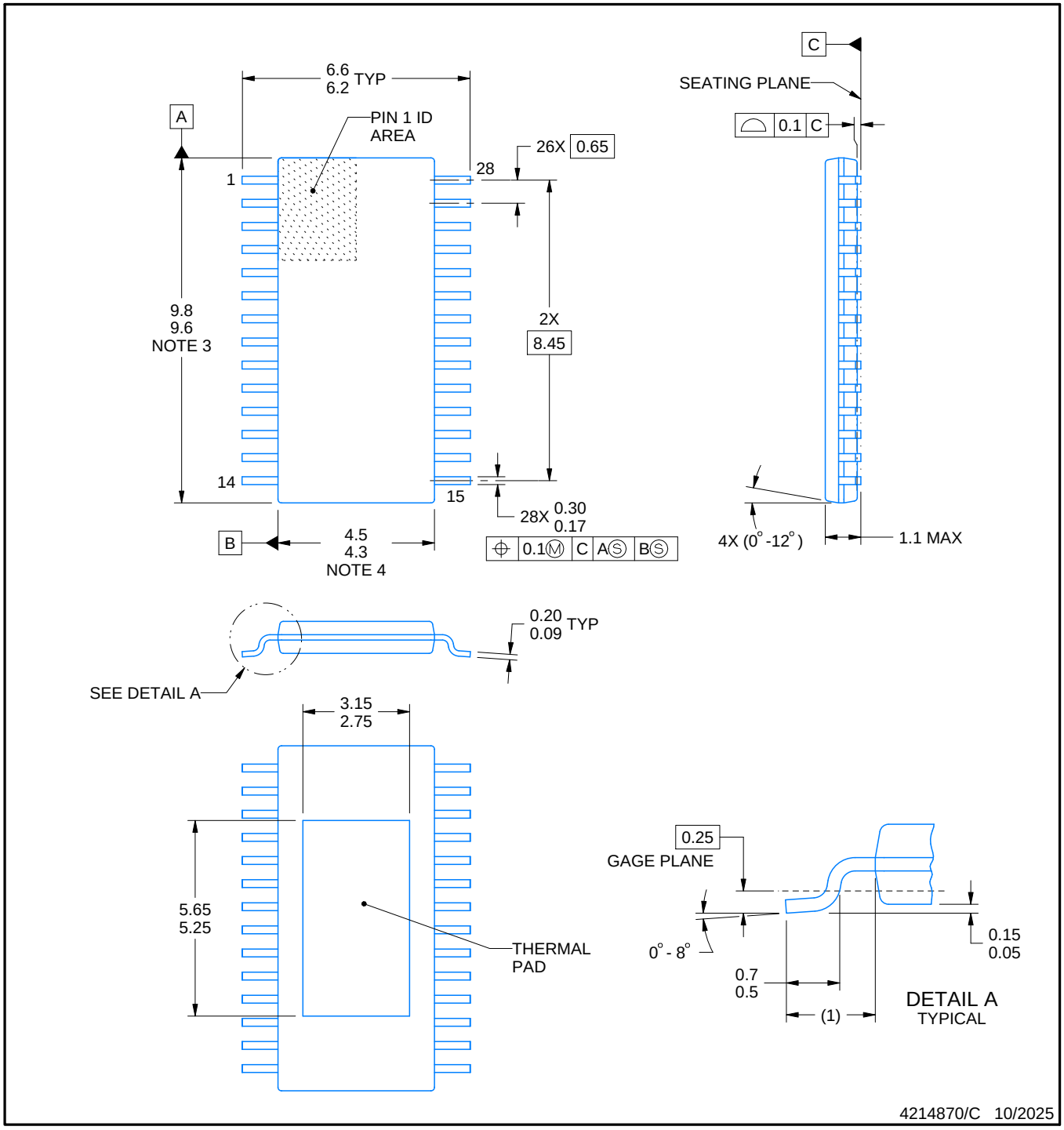


PACKAGE OUTLINE

PWP0028A

PowerPAD™ - 1.1 mm max height

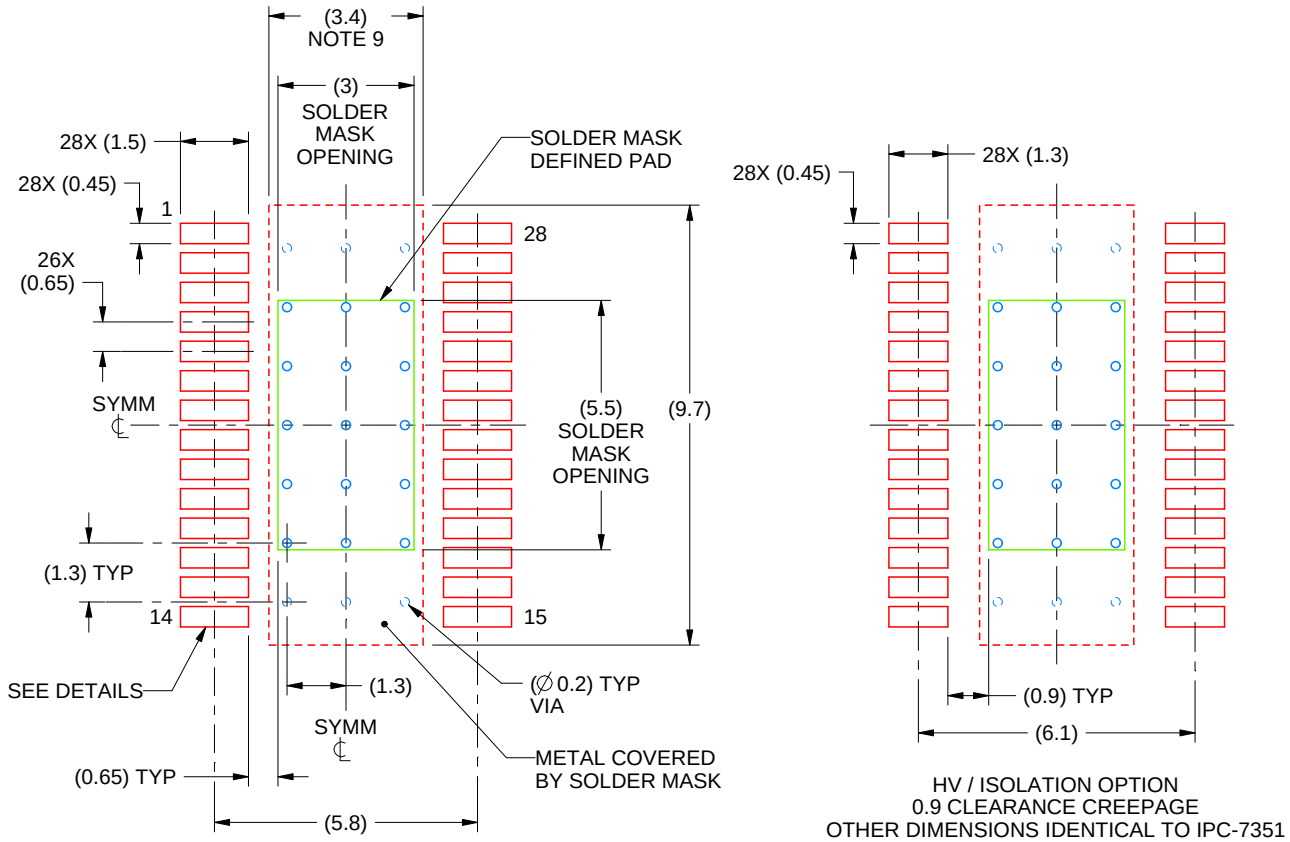
PLASTIC SMALL OUTLINE



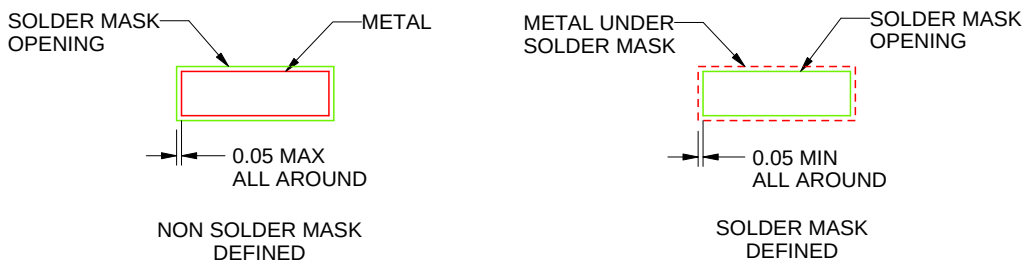
NOTES:

PowerPAD is a trademark of Texas Instruments.

1. All linear dimensions are in millimeters. Any dimensions in parenthesis are for reference only. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.
2. This drawing is subject to change without notice.
3. This dimension does not include mold flash, protrusions, or gate burrs. Mold flash, protrusions, or gate burrs shall not exceed 0.15 mm, per side.
4. This dimension does not include interlead flash. Interlead flash shall not exceed 0.25 mm, per side.
5. Reference JEDEC registration MO-153, variation AET.



LAND PATTERN EXAMPLE
SCALE:6X

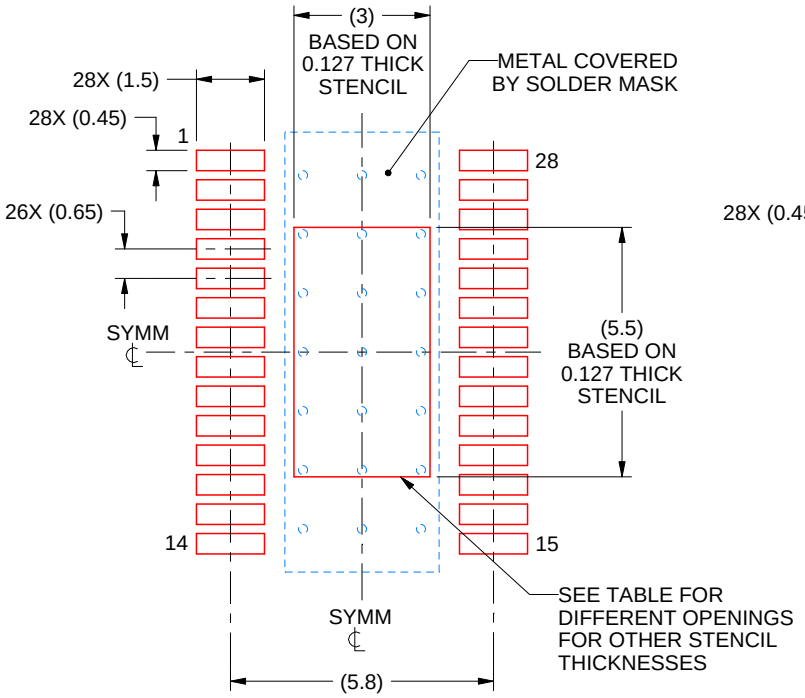


SOLDER MASK DETAILS

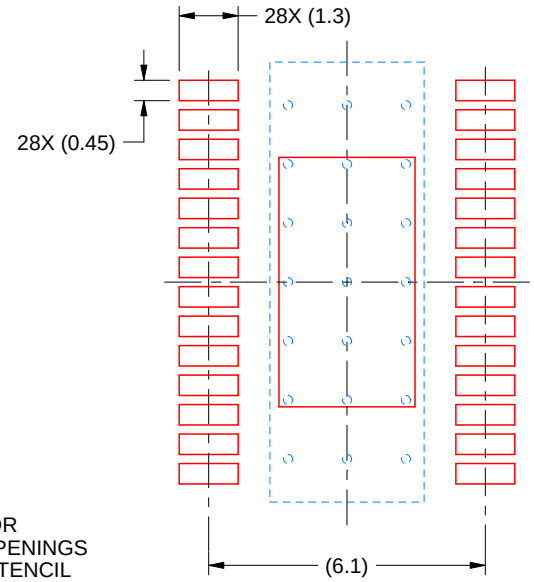
4214870/C 10/2025

NOTES: (continued)

6. Publication IPC-7351 may have alternate designs.
7. Solder mask tolerances between and around signal pads can vary based on board fabrication site.
8. This package is designed to be soldered to a thermal pad on the board. For more information, see Texas Instruments literature numbers SLMA002 (www.ti.com/lit/slma002) and SLMA004 (www.ti.com/lit/slma004).
9. Size of metal pad may vary due to creepage requirement.



IPC-7351 NOMINAL
0.65 CLEARANCE CREEPAGE



HV / ISOLATION OPTION
0.9 CLEARANCE CREEPAGE
OTHER DIMENSIONS IDENTICAL TO IPC-7351

SOLDER PASTE EXAMPLE
EXPOSED PAD
100% PRINTED SOLDER COVERAGE AREA
SCALE:6X

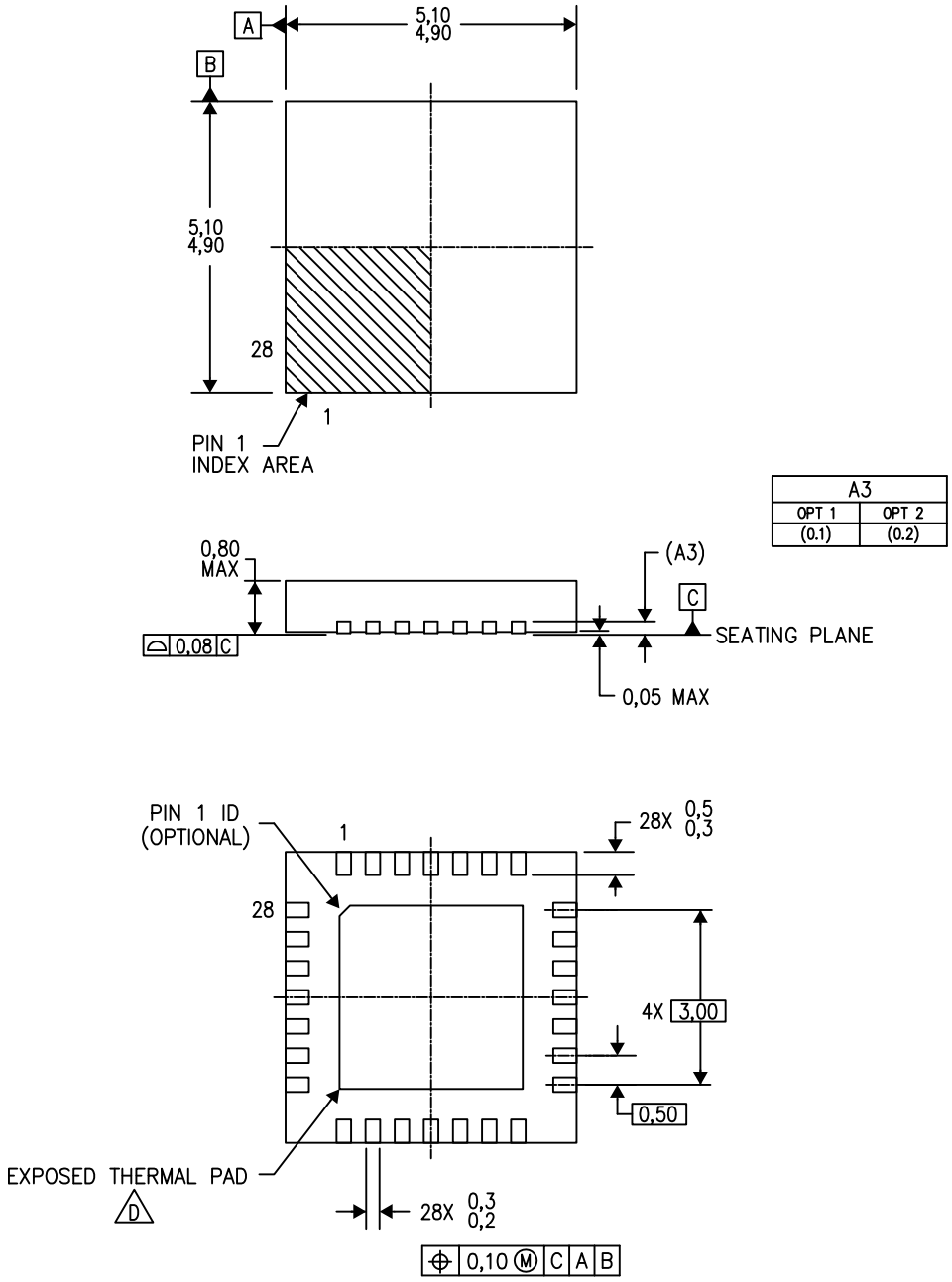
STENCIL THICKNESS	SOLDER STENCIL OPENING
0.1	3.55 X 6.37
0.127	3.0 X 5.5 (SHOWN)
0.152	2.88 X 5.16
0.178	2.66 X 4.77

4214870/C 10/2025

NOTES: (continued)

10. Laser cutting apertures with trapezoidal walls and rounded corners may offer better paste release. IPC-7525 may have alternate design recommendations.
11. Board assembly site may have different recommendations for stencil design.

RSG (S-PWQFN-N28) PLASTIC QUAD FLATPACK NO-LEAD



NOTES:
A. All linear dimensions are in millimeters. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M-1994.
B. This drawing is subject to change without notice.
C. QFN (Quad Flatpack No-Lead) Package configuration.
D. The package thermal pad must be soldered to the board for thermal and mechanical performance. See the Product Data Sheet for details regarding the exposed thermal pad dimensions.
E. Falls within JEDEC MO-220.

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出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 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月