

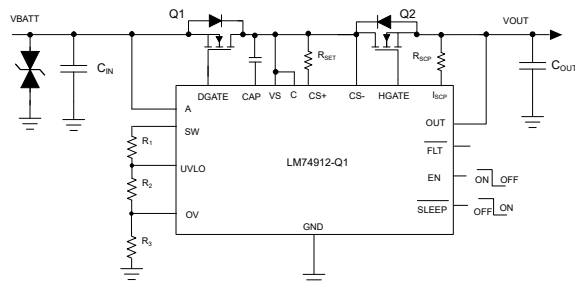
LM74912-Q1 具有故障输出及过压、欠压和短路保护功能的汽车类理想二极管控制器

1 特性

- 符合面向汽车应用的 AEC-Q100 标准
 - 器件温度等级 1：
 - 40°C 至 +125°C 环境工作温度范围
- 功能安全型
 - 可提供用于功能安全系统设计的文档
- 3V 至 65V 输入范围
- 反向输入保护低至 -65V
- 在共漏极配置下，可驱动外部背对背 N 沟道 MOSFET
- 10.5mV 阳极至阴极正向压降调节下，理想二极管正常运行
- 低反向检测阈值 (-10.5mV)，能够快速响应 (0.5μs)
- 20mA 峰值栅极 (DGATE) 导通电流
- 2.6A 峰值 DGATE 关断电流
- 可调节过压和欠压保护
- 具有 MOSFET 锁存状态的输出短路保护
- 超低功耗模式具有 2.5μA 关断电流 (EN=低电平)
- 睡眠模式具有 6μA 电流 (EN=高电平, SLEEP=低电平)
- 采用合适的瞬态电压抑制 (TVS) 二极管，符合汽车 ISO7637 瞬态要求
- 采用 4mm × 4mm 24 引脚 VQFN 封装

2 应用

- 汽车电池保护
 - ADAS 域控制器
 - 信息娱乐系统与仪表组
 - 汽车外部放大器
- 用于冗余电源的有源 ORing



典型应用电路

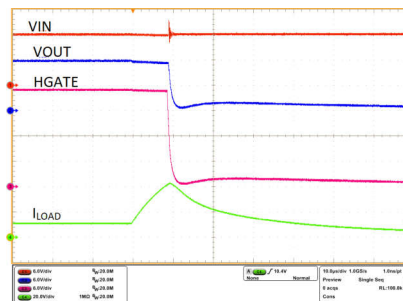
3 说明

LM74912-Q1 理想二极管控制器可驱动和控制外部背对背 N 沟道 MOSFET，从而仿真具有电源路径开/关控制及过压、欠压和输出短路保护功能的理想二极管整流器。3V 至 65V 的宽输入电源电压可保护和控制 12V 和 24V 汽车类电池供电的 ECU。该器件可以承受并保护负载免受低至 -65V 的负电源电压的影响。集成的理想二极管控制器 (DGATE) 可驱动第一个 MOSFET 来代替肖特基二极管，以实现反向输入保护和输出电压保持。在电源路径中使用了第二个 MOSFET 的情况下，该器件允许在发生过流和过压事件时使用 HGATE 控制将负载断开 (开/关控制)。该器件具有集成的电流检测放大器，可提供基于外部 MOSFET VDS 检测的短路保护和可调节电流限值。当检测到输出发生短路时，器件会锁存负载断开 MOSFET。该器件具有可调节过压切断保护功能。该器件具有睡眠模式，可实现超低静态电流消耗 (6μA)，同时在车辆处于停车状态时为始终开启的负载提供刷新电流。LM74912-Q1 的最大额定电压为 65V。

封装信息

器件型号	封装 ⁽¹⁾	封装尺寸 ⁽²⁾
LM74912-Q1	RGE (VQFN, 24)	4.0mm × 4.0mm

- 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。
- 封装尺寸 (长 × 宽) 为标称值，并包括引脚 (如适用)。



短路响应



内容

1 特性	1	8.2 功能方框图	15
2 应用	1	8.3 特性说明	15
3 说明	1	8.4 器件功能模式	20
4 修订历史记录	2	9 应用和实施	21
5 引脚配置和功能	3	9.1 应用信息	21
6 规格	5	9.2 典型的 12V 反向电池保护应用	21
6.1 绝对最大额定值.....	5	9.3 优秀设计实践	29
6.2 ESD 等级.....	5	9.4 电源相关建议	30
6.3 建议运行条件.....	5	9.5 布局	31
6.4 热性能信息.....	6	10 器件和文档支持	33
6.5 电气特性.....	6	10.1 接收文档更新通知	33
6.6 开关特性.....	8	10.2 支持资源	33
6.7 典型特性.....	9	10.3 商标	33
7 参数测量信息	13	10.4 静电放电警告	33
8 详细说明	14	10.5 术语表	33
8.1 概述.....	14	11 机械、封装和可订购信息	33

4 修订历史记录

Changes from Revision * (July 2023) to Revision A (September 2023)	Page
• 将文档状态从 <i>预告信息</i> 更改为 <i>量产数据</i>	1

5 引脚配置和功能

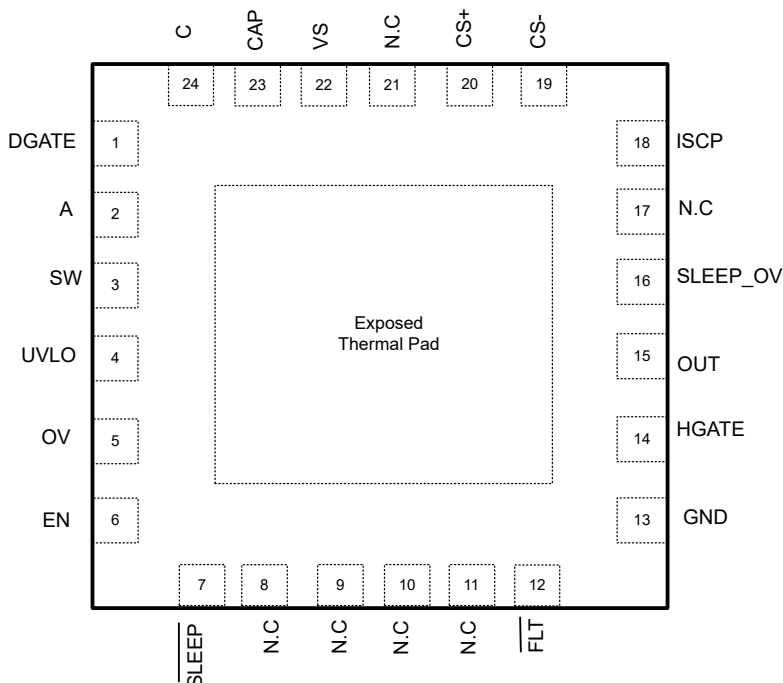


图 5-1. RGE 封装，24 引脚 VQFN (透明顶视图)

表 5-1. 引脚功能

引脚		类型 ⁽¹⁾	说明
名称	编号		
DGATE	1	O	二极管控制器栅极驱动输出。连接到外部 MOSFET 的栅极。
A)	2	I	理想二极管的阳极。连接到外部 MOSFET 的源极。
SW	3	I	电压检测断开开关端子。A 和 SW 通过开关在内部连接。使用 SW 作为电池检测或 OV 电阻梯网络的顶部连接点。当 EN/SLEEP 被拉至低电平时，该开关关断以断开电阻梯与电池线路的连接，从而切断漏电流。如果未使用 A 和 SW 之间的内部断开开关，则 SW 引脚可保持悬空或拉至 A。
UVLO	4	I	可调节欠压阈值输入。在 SW 与 UVLO 端子到 GND 之间连接一个电阻梯。当 UVLO 上的电压低于欠压切断阈值时，HGATE 被拉至低电平，从而关断 HSFET。当检测电压高于 UVLO 下降阈值时，HGATE 导通。
OV	5	I	可调节过压阈值输入。在 SW 与 OV 端子之间连接一个电阻梯。当 OV 上的电压超过过压切断阈值时，HGATE 被拉至低电平，从而关断 HSFET。当检测电压低于 OV 下降阈值时，HGATE 导通。
EN	6	I	EN 输入。连接到 VS 引脚以实现常开运行。可通过微控制器 I/O 从外部驱动。将其拉至低于 $V_{(ENF)}$ 的低电平可使器件进入低 I_q 关断模式。
SLEEP	7	I	低电平有效睡眠模式输入。可以由微控制器驱动。当被拉低时，该器件会进入低功耗状态，并且电荷泵和栅极驱动关闭。内部旁路开关以有限电流能力提供输出电压。不使用时，应连接到 EN 或 VS。
N.C.	8	—	无连接。保持该引脚悬空。
N.C.	9	—	无连接。保持该引脚悬空。
N.C.	10	—	无连接。保持该引脚悬空。
N.C.	11	—	无连接。保持该引脚悬空。
FLT	12	O	开漏故障输出。在发生欠压、过压或输出短路事件时，FLT 引脚会被拉至低电平。
GND	13	G	连接到系统接地点。

表 5-1. 引脚功能 (continued)

引脚		类型 ⁽¹⁾	说明
名称	编号		
HGATE	14	O	HSFET 的栅极驱动器输出。连接到外部 FET 的栅极。
OUT	15	I	连接到输出电源轨 (外部 MOSFET 源极) 。
SLEEP_OV	16	I	睡眠模式过压保护引脚。将此引脚连接到 Vs 以实现过压切断功能。连接到 OUT 以实现过压钳位功能。
N.C.	17	—	无连接。保持该引脚悬空。
ISCP	18	I	电流检测负输入，用于实现可调节的短路保护。当 ISCP 连接到输出时，该器件会根据 50mV 典型内部固定阈值监测 CS+ 与 ISCP 引脚之间的外部 HFET 压降。
CS -	19	I	电流检测放大器电源输入。
CS+	20	I	电流检测正输入，用于实现可调节的短路保护。
N.C.	21	—	无连接。保持该引脚悬空。
VS	22	P	IC 的输入电源。将 VS 连接到共漏极背对背 MOSFET 配置的中点。在 VS 和 GND 引脚之间连接一个 100nF 电容器。
CAP	23	O	电荷泵输出。在 CAP 和 VS 引脚之间连接一个 100nF 电容器。
C	24	I	理想二极管的阴极。连接到外部 MOSFET 的漏极。
RTN	散热焊盘	—	将外露焊盘保持悬空。不要连接到 GND 平面。

(1) I = 输入，O = 输出，I/O = 输入和输出，P = 电源，G = 接地

6 规格

6.1 绝对最大额定值

在自然通风条件下的工作温度范围内测得 (除非另有说明) ⁽¹⁾

		最小值	最大值	单位
输入引脚	A 至 GND	- 65	70	V
	VS、CS+、CS-、ISCP 至 GND	-1	70	
	OUT、SLEEP_OV 至 GND	-1	70	
	C、SW、EN、 $\overline{\text{SLEEP}}$ 、UVLO、OV 至 GND, $V_{(A)} > 0V$	- 0.3	70	
	C、SW、EN、 $\overline{\text{SLEEP}}$ 、UVLO、OV 至 GND, $V_{(A)} \leq 0V$	$V_{(A)}$	$(70 + V_{(A)})$	
	RTN 至 GND	- 65	0.3	
	I_{SW} , I_{FLT}	-1	10	mA
	I_{EN} , I_{SLEEP} , I_{OV} , I_{UVLO} , $V_{(A)} > 0V$	-1		
	I_{EN} , I_{SLEEP} , I_{OV} , I_{UVLO} , $V_{(A)} \leq 0V$	受内部限制		
输出引脚	CAP 至 VS	- 0.3	15	V
	CAP 至 A	- 0.3	85	
	DGATE 至 A	- 0.3	15	
	$\overline{\text{FLT}}$ 至 GND	-1	70	
	HGATE 至 OUT	- 0.3	15	
输出至输入引脚	C 至 A	-5	85	V
	OUT 至 VS	- 65	5	
运行结温, T_j ⁽²⁾	运行结温, T_j	-40	150	°C
贮存温度, T_{stg}		-40	150	

- (1) 超出绝对最大额定值的运行可能会对器件造成永久损坏。绝对最大额定值并不表示器件在这些条件下或在建议运行条件以外的任何其他条件下能够正常运行。如果超出建议运行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。
- (2) 高结温会缩短工作寿命。结温高于 125°C 时, 工作寿命会缩短。

6.2 ESD 等级

			值	单位
$V_{\text{(ESD)}}$	静电放电	人体放电模型 (HBM), 符合 AEC Q100-002 ⁽¹⁾	±2000	V
		充电器件模型 (CDM), 符合 AEC Q100-011 标准	±750	
		转角引脚 (DGATE、GND、EN、ISCP、CS- 和 C)	±500	
		其他引脚	±500	

- (1) AEC Q100-002 指示应当按照 ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 规范执行 HBM 应力测试。

6.3 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) ⁽¹⁾

		最小值	标称值	最大值	单位
输入引脚	A 至 GND	- 60		65	V
	VS、SW、CS+、CS-、ISCP 至 GND	0		65	V
	EN、UVLO、OV、 $\overline{\text{SLEEP}}$ 至 GND	0		65	V
输出引脚	$\overline{\text{FLT}}$ 至 GND	0		65	V
外部电容	CAP 至 A、VS 至 GND、A 至 GND	0.1			μF
外部 MOSFET 最大栅源额定值	DGATE 至 A、HGATE 至 OUT	15			V

6.3 建议运行条件 (continued)

在自然通风条件下的工作温度范围内测得 (除非另有说明) ⁽¹⁾

		最小值	标称值	最大值	单位
T _J	工作结温范围 ⁽²⁾	-40		150	°C

(1) 建议运行条件是器件可正常运行的条件。有关规格和测试条件, 请参阅“电气特性”。

(2) 高结温会缩短工作寿命。结温高于 125°C 时, 工作寿命会缩短。

6.4 热性能信息

热指标		LM74912-Q1	单位
		RGE (VQFN)	
		24 引脚	
R _{θJA}	结至环境热阻	44	°C/W
R _{θJC(top)}	结至外壳 (顶部) 热阻	38.3	°C/W
R _{θJB}	结至电路板热阻	21.3	°C/W
Ψ _{JT}	结至顶部特征参数	0.8	°C/W
Ψ _{JB}	结至电路板特征参数	21.3	°C/W
R _{θJC(bot)}	结至外壳 (底部) 热阻	5.1	°C/W

6.5 电气特性

T_J = -40°C 至 +125°C ; T_J = 25°C、V_(A) = V_(OUT) = V_(VS) = 12V、C_(CAP) = 0.1μF、V_(EN)、V_(SLEEP) = 2V 时的典型值, 在自然通风条件下的工作温度范围内 (除非另有说明)

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
电源电压						
V _(VS)	工作输入电压		3		65	V
V _(VS_PORR)	VS POR 阈值, 上升		2.4	2.65	2.9	V
V _(VS_PORF)	VS POR 阈值, 下降		2.2	2.45	2.7	V
I _(SHDN)	SHDN 电流, I _(GND)	V _(EN) = 0V		2.5	5	μA
I _(SLEEP)	睡眠模式电流, I _(GND)	V _(EN) = 2V, V _(SLEEP) = 0V		5.5	10	μA
I _(Q)	系统总静态电流, I _(GND)	V _(EN) = 2V		610	730	μA
		V _(A) = V _(VS) = 24V, V _(EN) = 2V		615	735	μA
I _(REV)	反极性期间的漏电流 I _(A)	0V ≤ V _(A) ≤ - 65V	- 100	-35		μA
	反极性期间的漏电流 I _(OUT)		-1	- 0.3		μA
使能						
V _(ENR)	低 I _q 关断使能阈值电压, 上升			0.8	1.05	V
V _(ENF)	低 I _q 关断使能下降阈值电压		0.41	0.7		V
I _(EN)		V _(EN) = 65V		55	200	nA
欠压锁定比较器						
V _(UVLOR)	UVLO 阈值电压, 上升		0.585	0.6	0.63	V
V _(UVLOF)	UVLO 阈值电压, 下降		0.533	0.55	0.573	V
I _(UVLO)	UVLO 引脚漏电流	0V ≤ V _(UVLO) ≤ 5V		52	200	nA
睡眠模式						
V _(SLEEP_R)	低 I _Q 模式的 $\overline{\text{SLEEP}}$ 阈值电压			0.8	1.05	V
V _(SLEEP_F)	低 I _q 关断 $\overline{\text{SLEEP}}$ 阈值电压, 下降		0.41	0.7		V
I _(SLEEP)	$\overline{\text{SLEEP}}$ 输入漏电流	0V ≤ V _(SLEEP) ≤ 12V		100	160	nA
过流阈值	睡眠模式过流阈值		150	250	310	mA

6.5 电气特性 (continued)

$T_J = -40^{\circ}\text{C}$ 至 $+125^{\circ}\text{C}$; $T_J = 25^{\circ}\text{C}$ 、 $V_{(A)} = V_{(OUT)} = V_{(VS)} = 12\text{V}$ 、 $C_{(CAP)} = 0.1\mu\text{F}$ 、 $V_{(EN)}$ 、 $V_{(SLEEP)} = 2\text{V}$ 时的典型值，在自然通风条件下的工作温度范围内（除非另有说明）

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
过压阈值	过压比较器上升阈值		19.3	21.5	23	V
	过压比较器下降阈值		18.4	21.04	22.2	V
FET 电阻	睡眠模式旁路 FET 电阻		4.5	7.5	11.5	Ω
TSD	睡眠模式期间的热关断上升阈值		155			℃
过压保护和电池检测输入						
R _(SW)	电池检测断开开关电阻	3V ≤ V _(SNS) ≤ 65V	10	22	46	Ω
V _(OVR)	过压阈值输入，上升		0.585	0.6	0.63	V
V _(OVF)	过压阈值输入，下降		0.533	0.55	0.573	V
I _(OV)	OV 引脚输入漏电流	0V ≤ V _(OV) ≤ 5V		52	200	nA
电流检测放大器						
I _{CS+}	CS+ 引脚灌电流		10	11	11.85	μA
I _{SCP}	ISCP 引脚偏置电流		10	11	11.85	μA
V _(SNS_SCP)	短路保护阈值	R _{ISCP} = R _{SET} = 0Ω	47.3	50	53.4	mV
		R _{SET} = 1kΩ，R _{ISCP} = 0Ω		61		mV
		R _{ISCP} = 1kΩ，R _{SET} = 0Ω		39		mV
故障						
R_FLT	FLT 下拉电阻		11	25	60	Ω
I_FLT	FLT 引脚漏电流		- 100		400	nA
电荷泵						
I _(CAP)	电荷泵拉电流	V _(CAP) - V _(A) = 7V，6V ≤ V _(S) ≤ 65V	2.5	4		mA
VCAP - VS	电荷泵导通电压		11	12.2	13.2	V
	电荷泵关断电压		11.9	13.2	14.1	V
V _(CAP_UVLO)	电荷泵 UVLO 电压阈值，上升		5.4	6.6	7.9	V
	电荷泵 UVLO 电压阈值，下降		4.4	5.4	6.6	V
理想二极管 MOSFET 控制						
V _(A_PORR)	V _(A) POR 阈值，上升		2.2	2.4	2.7	V
V _(A_PORF)	V _(A) POR 阈值，下降		2	2.2	2.45	V
V _(AC_REG)	稳压正向 V _(A) - V _(C) 阈值		3.6	10.5	13.4	mV
V _(AC_REV)	V _(A) - V _(C) 快速反向电流阻断阈值		- 16	-10.5	-5	mV
V _(AC_FWD)	V _(A) - V _(C) 反向至正向转换的阈值		150	177	200	mV
V _(DGATE) - V _(A)	栅极驱动电压	3V < V _(S) < 5V	7			V
		5V < V _(S) < 65V	9.2	11.5	14	V
I _(DGATE)	峰值栅极拉电流	V _(A) - V _(C) = 300mV，V _(DGATE) - V _(A) = 1V		20		mA
	峰值栅极灌电流	V _(A) - V _(C) = - 12mV，V _(DGATE) - V _(A) = 11V		2670		mA
	稳压灌电流	V _(A) - V _(C) = 0V，V _(DGATE) - V _(A) = 11V	6	15		μA
I _(C)	阴极漏电流	V _(A) = - 14V，V _(C) = 12V	4	9	32	μA
高侧 MOSFET 控制						
V _(HGATE) - V _(OUT)	栅极驱动电压	3V < V _(S) < 5V	7			V
		5V < V _(S) < 65V	10	11.1	14	V

6.5 电气特性 (continued)

$T_J = -40^{\circ}\text{C}$ 至 $+125^{\circ}\text{C}$; $T_J = 25^{\circ}\text{C}$ 、 $V_{(A)} = V_{(OUT)} = V_{(VS)} = 12\text{V}$ 、 $C_{(CAP)} = 0.1\mu\text{F}$ 、 $V_{(EN)}$ 、 $V_{(SLEEP)} = 2\text{V}$ 时的典型值，在自然通风条件下的工作温度范围内（除非另有说明）

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
$I_{(HGATE)}$	拉电流		39	55	75	μA
	灌电流		128	180		mA
$V_{(HGATE - OUT_SCP)}$	短路保护启用的 HGATE-OUT 阈值			6.4		V

6.6 开关特性

$T_J = -40^{\circ}\text{C}$ 至 $+125^{\circ}\text{C}$; $T_J = 25^{\circ}\text{C}$ 、 $V_{(A)} = V_{(OUT)} = V_{(VS)} = 12\text{V}$ 、 $C_{(CAP)} = 0.1\mu\text{F}$ 、 $V_{(EN)}$ 、 $V_{(SLEEP)} = 2\text{V}$ 时的典型值，在自然通风条件下的工作温度范围内（除非另有说明）

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
$t_{\text{DGATE_OFF(dly)}}$	反向电压检测期间的 DGATE 关断延迟	$V_{(A)} - V_{(C)} = +30\text{mV}$ 至 -100mV 至 $V_{(\text{DGATE} - A)} < 1\text{V}$, $C_{(\text{DGATE} - A)} = 10\text{nF}$		0.5	0.95	μs
$t_{\text{DGATE_ON(dly)}}$	正向电压检测期间的 DGATE 导通延迟	$V_{(A)} - V_{(C)} = -20\text{mV}$ 至 $+700\text{mV}$ 至 $V_{(\text{DGATE} - A)} > 5\text{V}$, $C_{(\text{DGATE} - A)} = 10\text{nF}$		0.8	1.6	μs
$t_{\text{EN(dly_DGATE)}}$	器件启用期间的 DGATE 导通延迟	$\text{EN} \uparrow$ 至 $V_{(\text{DGATE} - A)} > 5\text{V}$		185	270	μs
$t_{\text{UVLO_OFF(deg_HGATE)}}$	UVLO 期间 HGATE 关断抗尖峰脉冲	$\text{UVLO} \downarrow$ 至 $\text{HGATE} \downarrow$		5	7	μs
$t_{\text{UVLO_ON(deg_HGATE)}}$	UVLO 期间 HGATE 导通抗尖峰脉冲	$\text{UVLO} \uparrow$ 至 $\text{HGATE} \uparrow$		7		μs
$t_{\text{OVP_OFF(deg_HGATE)}}$	OV 期间的 HGATE 关断抗尖峰脉冲	$\text{OV} \uparrow$ 至 $\text{HGATE} \downarrow$, $C_{(\text{HGATE} - \text{OUT})} = 4.7\text{nF}$		4	7	μs
$t_{\text{OVP_ON(deg_HGATE)}}$	OV 期间的 HGATE 导通抗尖峰脉冲	$\text{OV} \downarrow$ 至 $\text{HGATE} \uparrow$		7		μs
$t_{\text{SCP_DLY}}$	短路保护关闭延迟	$(V_{\text{CS+}} - V_{\text{ISCP}}) = 0\text{mV}$ 至 100mV , $\text{HGATE} \downarrow$, $C_{(\text{HGATE} - \text{OUT})} = 10\text{nF}$		2	4.5	μs
$t_{\text{FLT_ASSERT}}$	短路情况下的故障置位延迟	$(V_{\text{CS+}} - V_{\text{ISCP}}) \uparrow$ 至 $\text{FLT} \downarrow$		2.5		μs
$t_{\text{FLT_DE-ASSERT}}$	故障取消置位延迟	$(V_{\text{CS+}} - V_{\text{ISCP}}) \downarrow$ 至 $\text{FLT} \uparrow$		3.5		μs
$t_{\text{SLEEP_OCP_LATCH}}$	睡眠 OCP 锁存延迟	$\overline{\text{SLEEP}} = \text{低电平}$, $\text{EN} = \text{高电平}$		3.5	7.5	μs
$t_{\text{SLEEP_OV_OFF}}$	睡眠模式下的过压关断响应延迟	$\overline{\text{SLEEP}} = \text{低电平}$, $\text{EN} = \text{高电平}$		3.5		μs
$t_{\text{SLEEP_MODE_ENTRY}}$	睡眠模式进入延迟	$\overline{\text{SLEEP}} = \text{低电平}$, $\text{EN} = \text{高电平}$		100		μs

6.7 典型特性

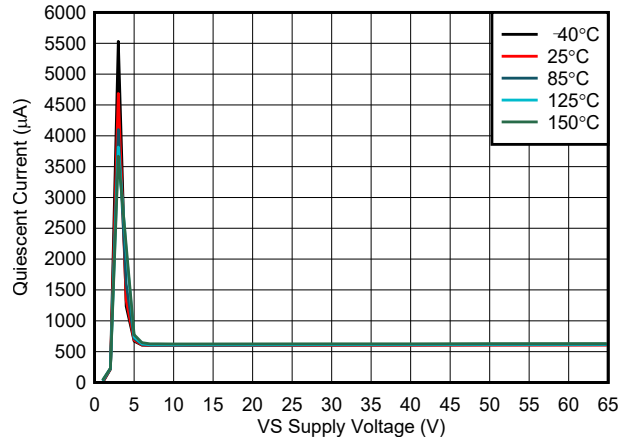


图 6-1. 工作静态电流与电源电压间的关系

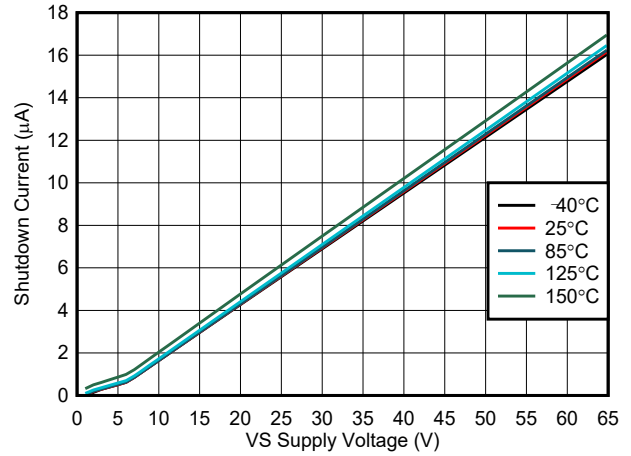


图 6-2. 关断电流与电源电压间的关系

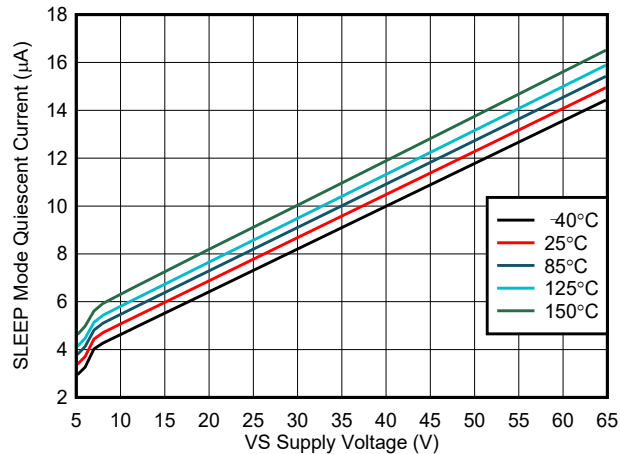


图 6-3. 睡眠模式电流与电源电压间的关系

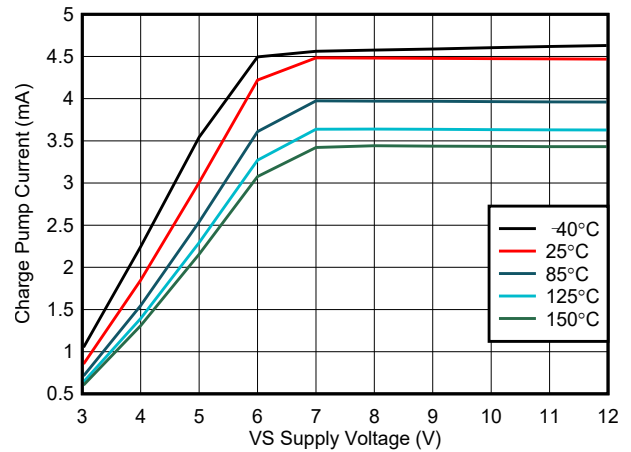


图 6-4. CAP - $V_S \geq 6V$ 时电荷泵电流与电源电压间的关系

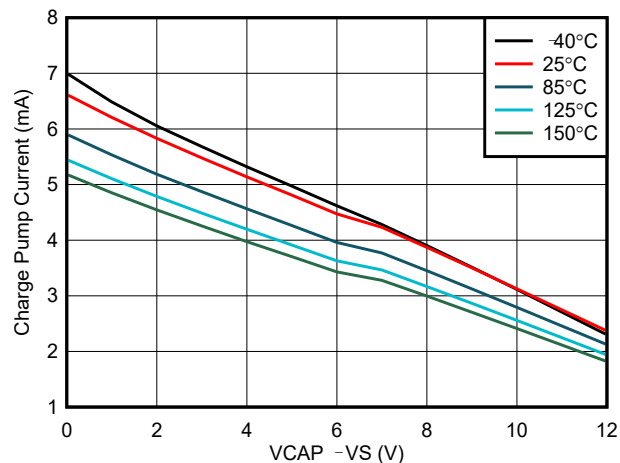


图 6-5. $V_S \geq 12V$ 时的电荷泵 V-I 特性

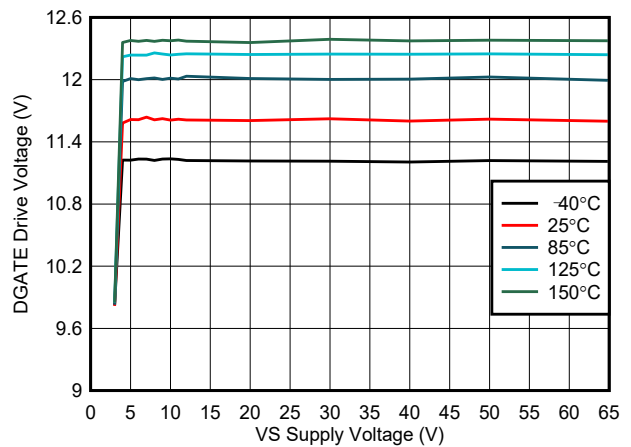


图 6-6. DGATE 驱动电压与电源电压间的关系

6.7 典型特性 (continued)

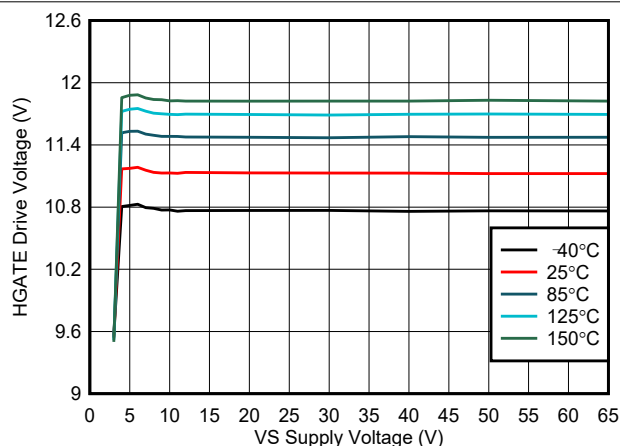


图 6-7. HGATE 驱动电压与电源电压间的关系

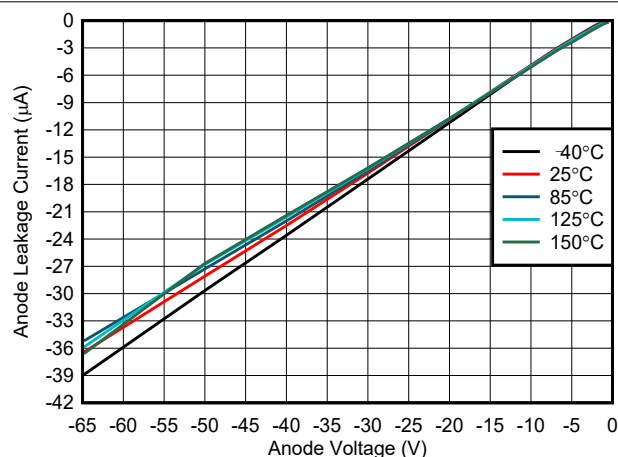


图 6-8. 阳极漏电流与反向阳极电压间的关系

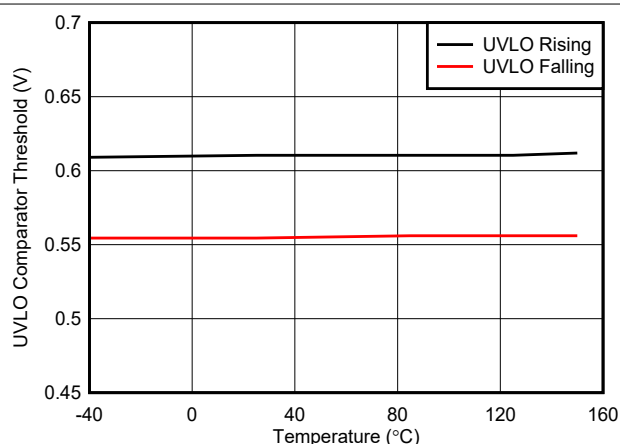


图 6-9. UVLO 阈值与温度间的关系

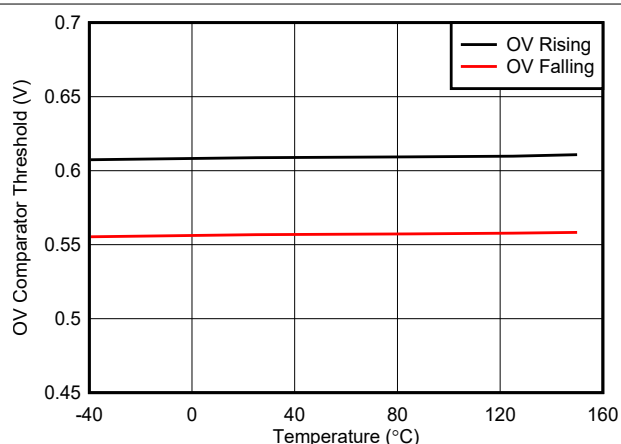


图 6-10. OVP 阈值与温度间的关系

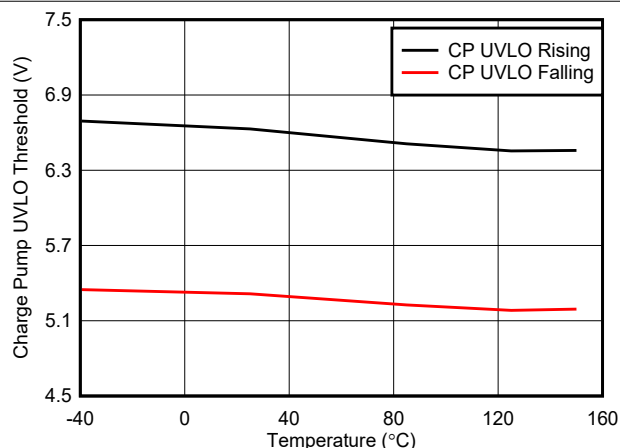


图 6-11. 电荷泵 UVLO 阈值与温度间的关系

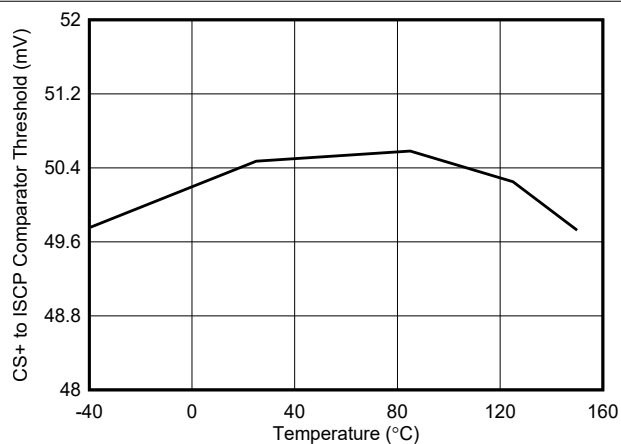


图 6-12. CS+ 至 ISCP 比较器阈值与温度间的关系

6.7 典型特性 (continued)

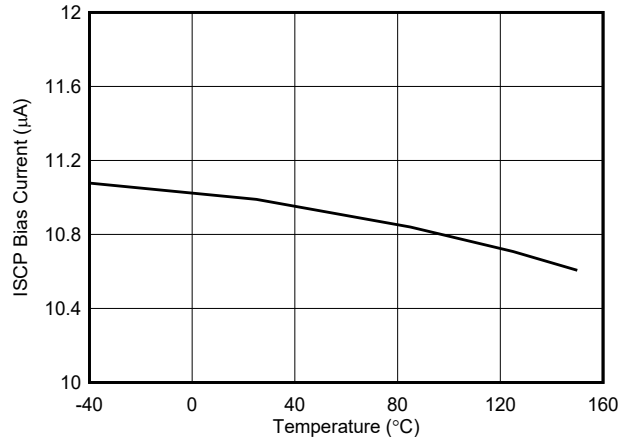


图 6-13. ISCP 偏置电流与温度间的关系

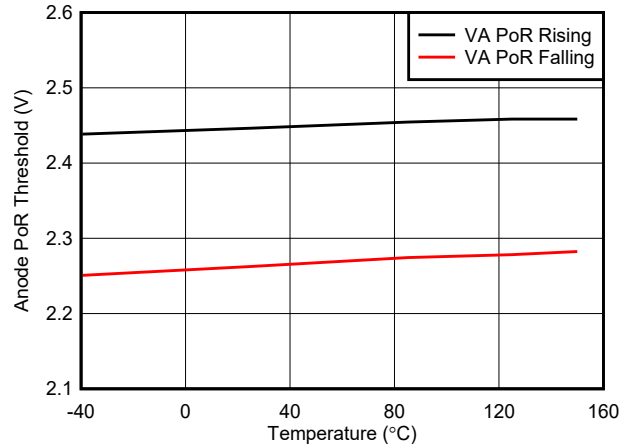


图 6-14. VA POR 阈值与温度间的关系

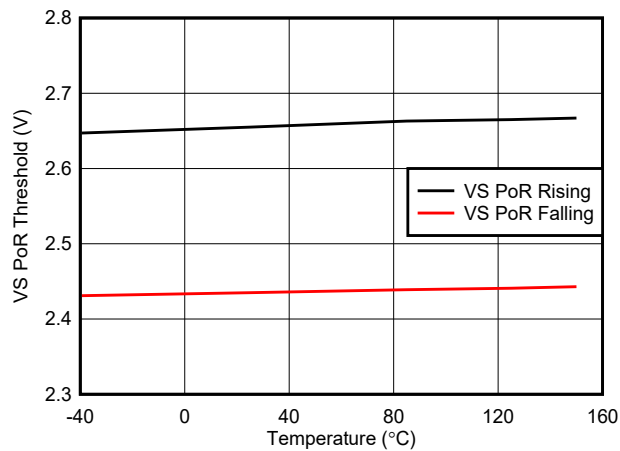


图 6-15. VS POR 阈值与温度间的关系

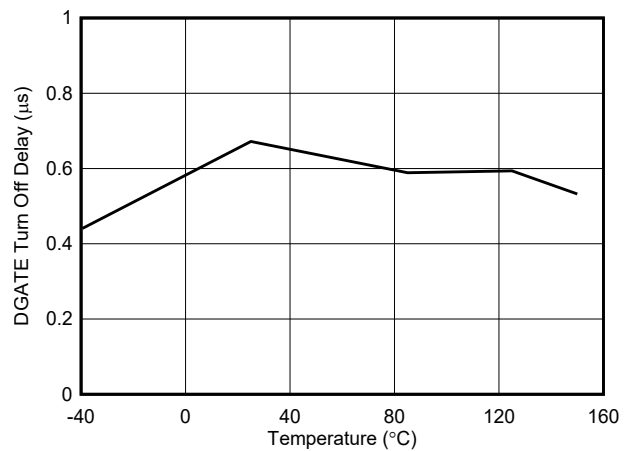


图 6-16. DGATE 关断延迟

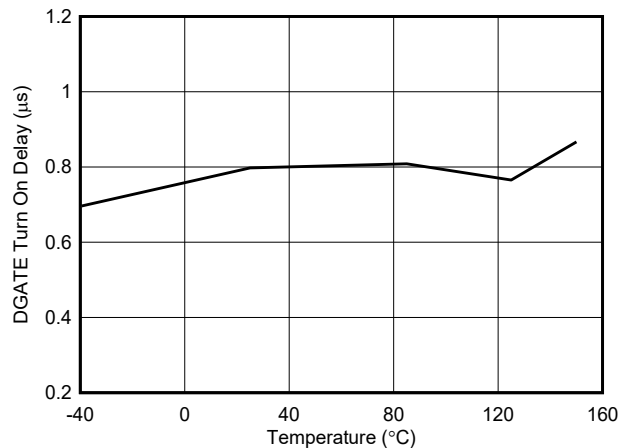


图 6-17. 正向传导期间的 DGATE 导通延迟

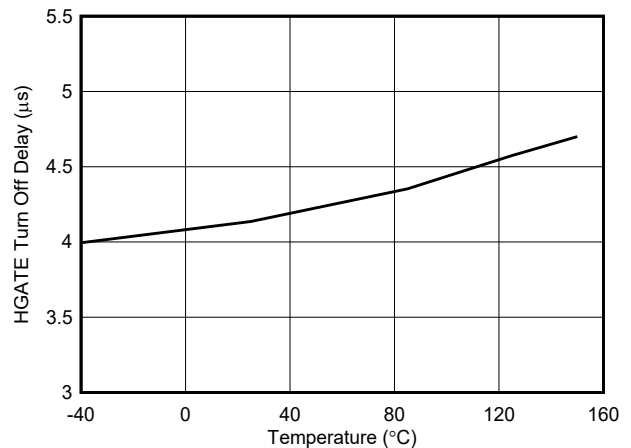


图 6-18. 过压期间的 HGATE 关断延迟

6.7 典型特性 (continued)

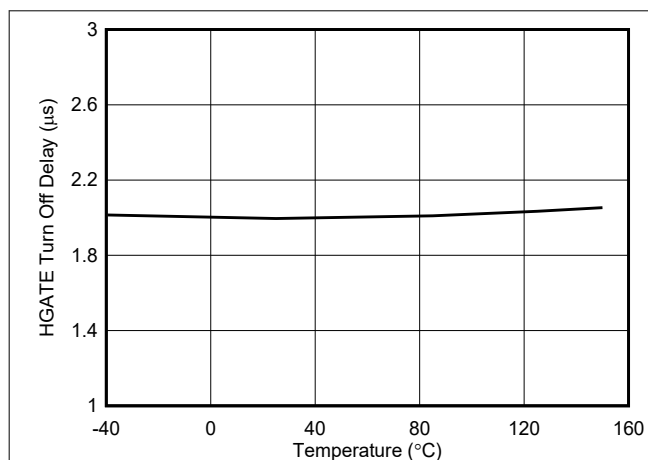


图 6-19. 短路期间的 HGATE 关断延迟

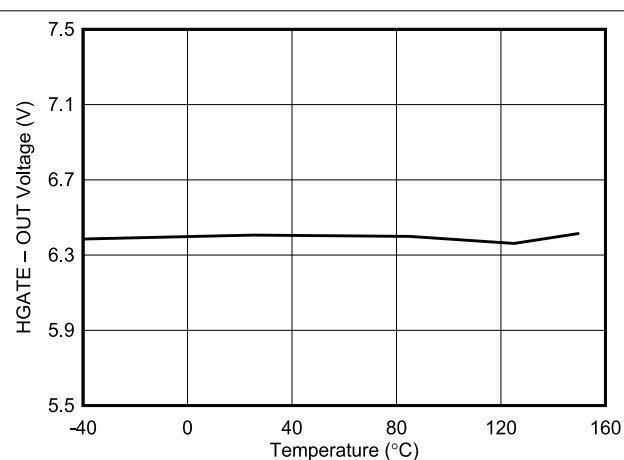


图 6-20. 短路检测启用阈值电压 (HGATE-OUT)

7 参数测量信息

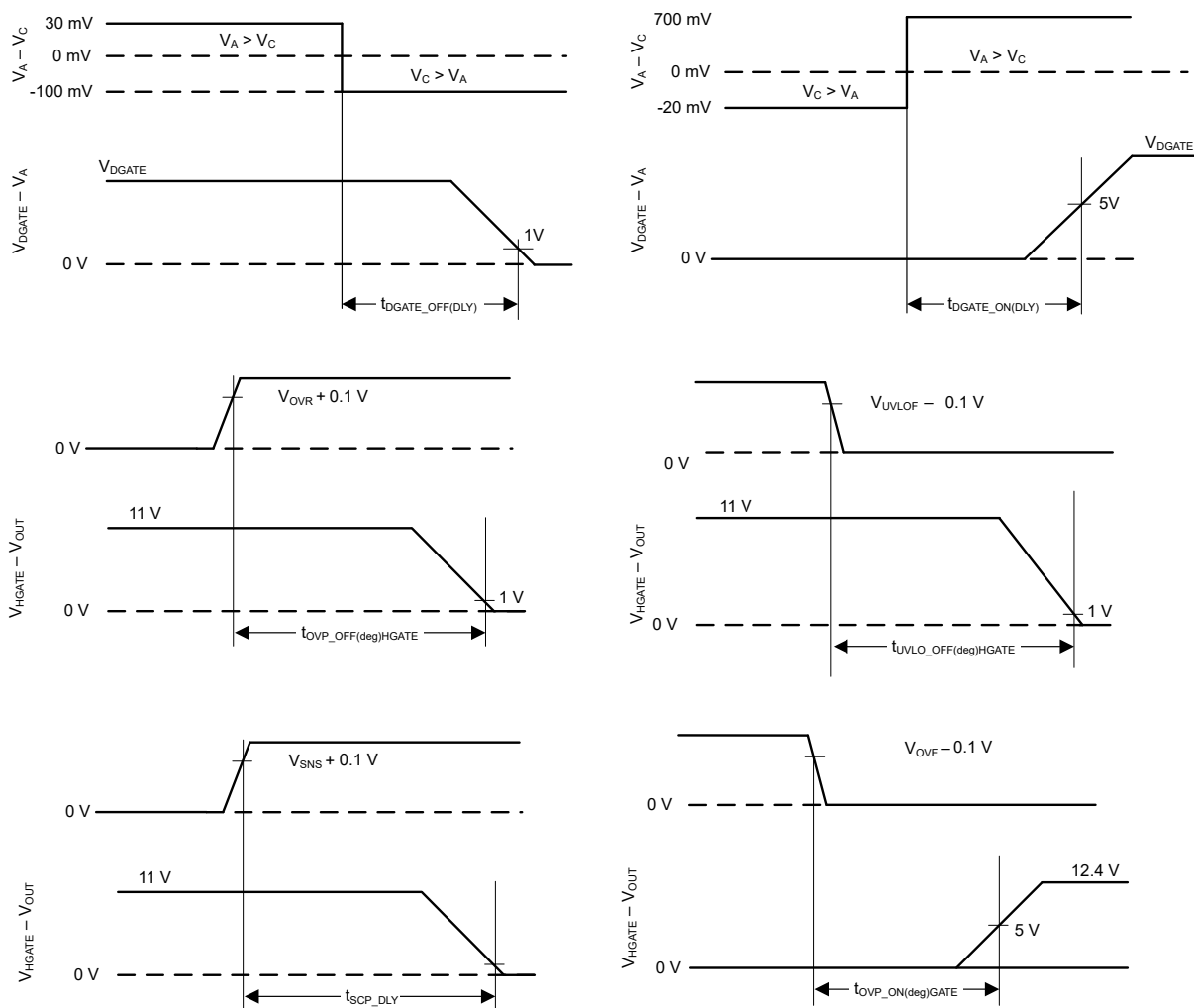


图 7-1. 时序波形

8 详细说明

8.1 概述

LM74912-Q1 理想二极管控制器可驱动背对背外部 N 沟道 MOSFET，从而实现低损耗电源路径保护以及短路、欠压和过压保护功能。

3V 至 65V 的宽输入电源电压可保护和控制 12V 和 24V 汽车类电池供电的 ECU。该器件可以承受并保护负载免受低至 -65V 的负电源电压的影响。集成的理想二极管控制器 (DGATE) 可驱动第一个 MOSFET 来代替肖特基二极管，以实现反向输入保护和输出电压保持。在电源路径中使用了第二个 MOSFET 的情况下，该器件允许负载断开（开/关控制）并使用 HGATE 控制提供过压保护。该器件具有可调节过压切断保护功能。通过功率 MOSFET 的共漏极配置，可以使用另一个理想二极管将中点用于 OR-ing 设计。LM74912-Q1 的最大额定电压为 65V。

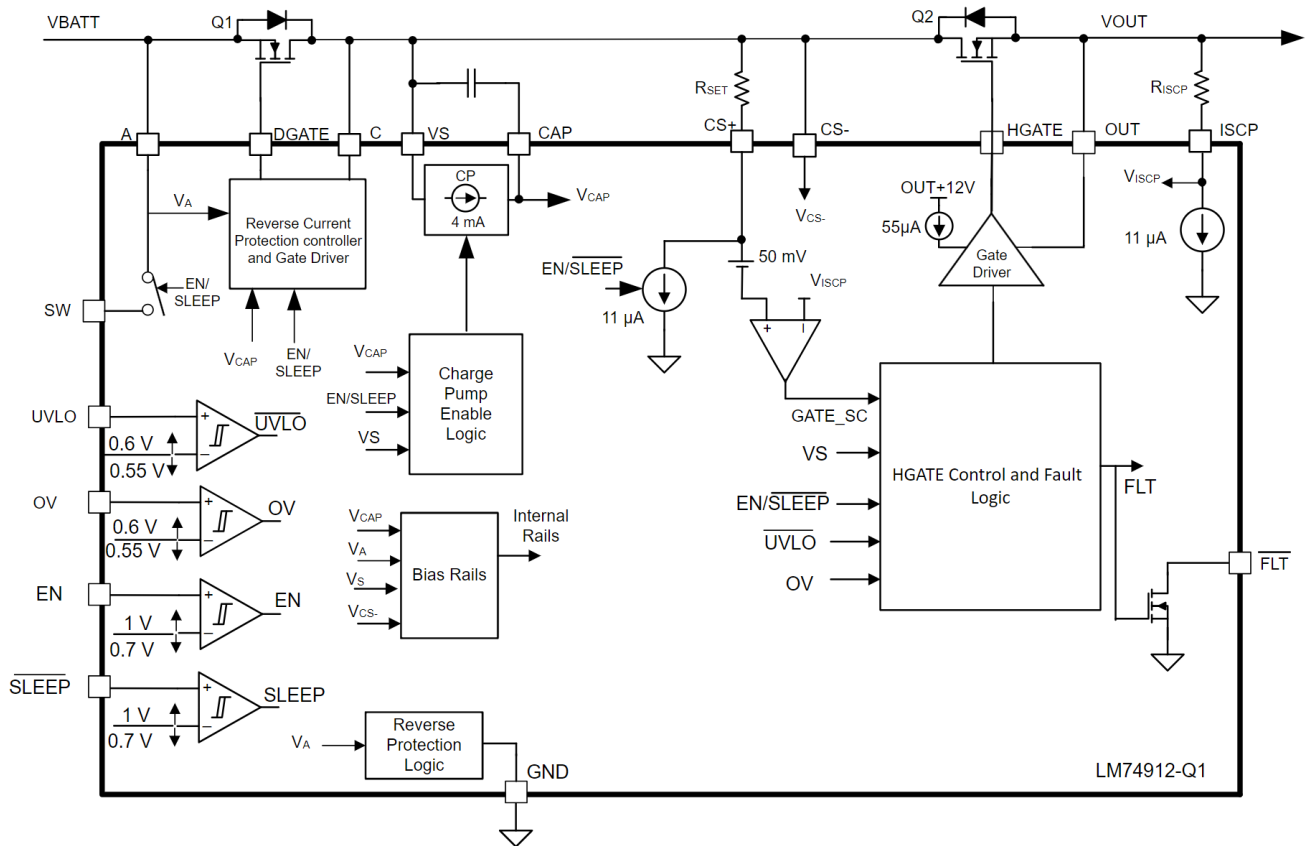
它集成电流检测放大器，可监测外部 MOSFET (Q2) VDS 电压以提供短路保护。该器件具有默认的短路比较器阈值 (50mV)，并且可以使用外部元件 (R_{ISCP} 和 R_{SET}) 非常灵活地更改该阈值。一旦检测到短路情况，该器件会锁闭 MOSFET Q2，直到 EN、 \overline{SLEEP} 或 VS 引脚从低电平切换到高电平。

该器件提供可调节过压和欠压保护，可在发生电压瞬态事件时提供稳健的负载断开功能。

LM74912-Q1 具有两种不同的低功耗模式，具体取决于 EN 和 \overline{SLEEP} 引脚的状态。在睡眠模式 (\overline{SLEEP} = 低电平、EN = 高电平) 下，该器件会关闭外部 MOSFET 栅极驱动器和内部电荷泵，仅消耗 5.5 μA 电流，但同时提供内部旁路路径，以便为电流容量有限的常开负载供电。当使能引脚处于低电平时，器件通过完全切断负载进入超低功耗模式，典型流耗为 2.5 μA 。LM74912-Q1 的高电压额定值有助于简化满足 ISO7637 汽车保护测试标准的系统设计。LM74912-Q1 也适用于 ORing 应用。

8.2 功能方框图

本节展示了 LM74912-Q1 的功能方框图。



8.3 特性说明

8.3.1 电荷泵

电荷泵提供驱动外部 N 沟道 MOSFET 所需的电压。在 CAP 和 VS 引脚之间放置一个外部电荷泵电容器，可以提供能量来导通外部 MOSFET。为了使电荷泵向外部电容器提供电流，EN 和 $\overline{\text{SLEEP}}$ 引脚电压必须高于指定的输入高电平阈值。电荷泵启用后，可提供典型值为 4mA 的充电电流。如果 EN 或 $\overline{\text{SLEEP}}$ 引脚被拉至低电平，则电荷泵保持禁用状态。为确保可将外部 MOSFET 驱动至高于其指定阈值电压，在启用内部栅极驱动器之前，CAP 至 VS 的电压必须高于欠压锁定阈值（通常为 6.6V）。使用方程式 1 可以计算初始栅极驱动器使能延迟。

$$T_{(\text{DRV_EN})} = 175 \mu\text{s} + \frac{C_{(\text{CAP})} \times V_{(\text{CAP_UVLOR})}}{4 \text{ mA}} \quad (1)$$

其中

- $C_{(\text{CAP})}$ 是连接在 VS 和 CAP 引脚之间的电荷泵电容
- $V_{(\text{CAP_UVLOR})} = 6.6\text{V}$ (典型值)

为消除栅极驱动器上的任何抖动，可将大约 1V 的迟滞添加到 VCAP 欠压锁定。电荷泵保持启用状态，直到 CAP 至 VS 的电压达到 13.2V，此时电荷泵通常处于禁用状态，从而减少 VS 引脚上的电流消耗。电荷泵保持禁用状态，直到 CAP 至 VS 的电压低于 12.2V，此时电荷泵通常处于启用状态。CAP 与 VS 之间的电压继续在 12.2V 和 13.2V 之间充电和放电，如图 8-1 所示。通过启用和禁用电荷泵，可降低 LM74912-Q1 的工作静态电流。当电荷泵处于禁用状态时，灌电流为 15μA。

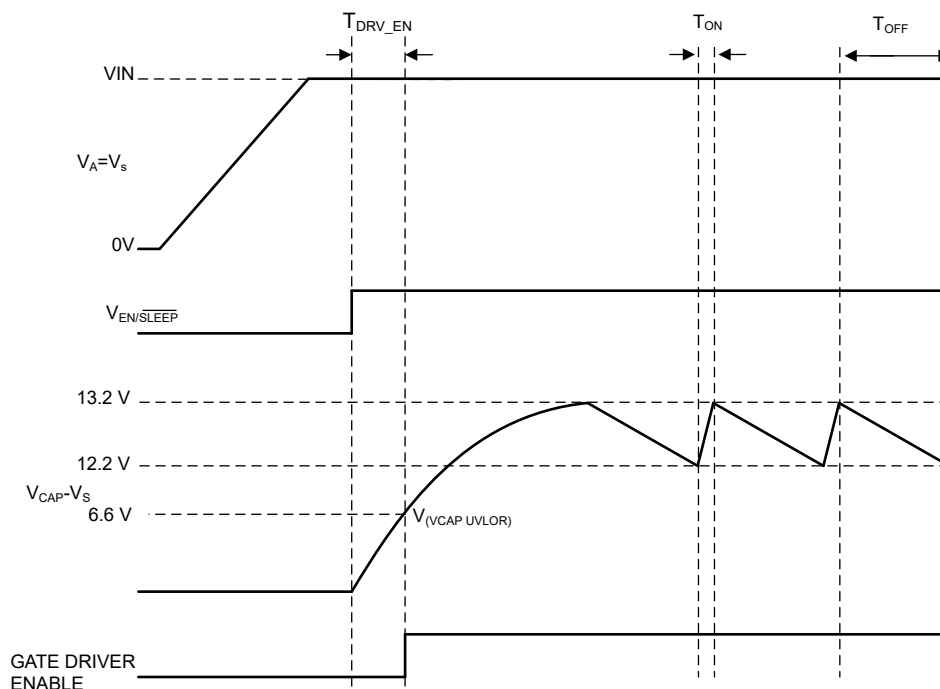


图 8-1. 电荷泵运行情况

8.3.2 双栅极控制 (DGATE、HGATE)

LM74912-Q1 具有两个独立的栅极控制和驱动器输出 (即 DGATE 和 HGATE), 可驱动背对背 N 沟道 MOSFET。

8.3.2.1 反向电池保护 (A、C、DGATE)

A、C、DGATE 由理想二极管级组成。将外部 MOSFET 的源极连接到 A, 将漏极连接到 C, 将栅极连接到 DGATE。LM74912-Q1 具有低至 -65V 的集成反向输入保护功能。

启用 DGATE 驱动器之前, 必须满足以下条件:

- EN 和 SLEEP 引脚电压必须大于指定的输入高电压。
- CAP 至 VS 电压必须大于欠压锁定电压。
- A 引脚上的电压必须大于 VA POR 上升阈值。
- VS 引脚上的电压必须大于 VS POR 上升阈值。

如果未达到上述条件, 则 DGATE 引脚从内部连接到 A 引脚, 确保外部 MOSFET 被禁用。

在 LM74912-Q1 中, 在 A 引脚和 C 引脚之间持续监测 MOSFET 两端的压降, 并根据需要调节 DGATE 至 A 电压, 以将正向压降稳定在 10.5mV (典型值)。该闭环调节方案可在反向电流事件中支持 MOSFET 平稳关断, 并确保零直流反向电流。该方案可确保在慢速输入电压斜降测试期间实现稳健的性能。除了线性稳压放大器方案外, LM74912-Q1 还集成了快速反向电压比较器。当 A 和 C 上的压降达到 $V_{(AC_REV)}$ 阈值时, DGATE 在 0.5μs (典型值) 内变为低电平。这种快速反向电压比较器方案可确保在输入微短路等快速输入电压斜降测试期间实现稳健性能。当 A 和 C 之间的电压在 0.8μs (典型值) 内达到 $V_{(AC_FWD)}$ 阈值时, 外部 MOSFET 重新导通。

8.3.2.2 负载断开开关控制 (HGATE、OUT)

HGATE 和 OUT 由负载断开开关控制级组成。将外部 MOSFET 的源极连接到 OUT, 将栅极连接到 HGATE。

启用 HGATE 驱动器之前, 必须满足以下条件:

- EN 和 SLEEP 引脚电压必须大于指定的输入高电压。
- CAP 至 VS 电压必须大于欠压锁定电压。

- VS 引脚上的电压必须大于 VS POR 上升阈值。

如果未达到上述条件，则 HGATE 引脚从内部连接到 OUT 引脚，确保外部 MOSFET 被禁用。

对于浪涌电流限制，请连接 C_{dVdT} 电容器和 R_1 ，如图 8-2 所示。

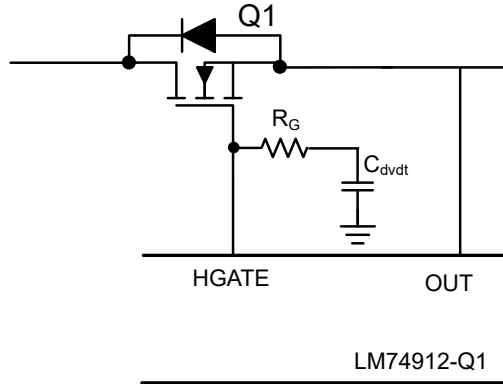


图 8-2. 浪涌电流限制

为了限制浪涌电流，需要使用 C_{dVdT} 电容器在上电期间减缓 HGATE 电压斜升。使用 [方程式 2](#) 计算 C_{dVdT} 电容值。

$$C_{(dVdT)} = C_{OUT} \times \frac{I_{(HGATE_DRV)}}{I_{INRUSH}} \quad (2)$$

其中 I_{HATE_DRV} 为 $55 \mu A$ (典型值)， I_{INRUSH} 为浪涌电流， C_{OUT} 为输出负载电容。与 C_{dVdT} 电容器串联的额外电阻 R_1 可缩短关断时间。

通过连接额外的 C_{dVdT} 电容器来限制浪涌电流，从而减缓 HGATE 响应。当输入线路上存在正线路瞬态时，这可能导致 HGATE 恢复速度变慢，进而导致 HGATE-OUT 有效电压降至标称值以下。

8.3.3 短路保护 (CS+、CS- 和 ISCP)

LM74912-Q1 具有短路保护功能，可快速响应输出短路事件。当 HGATE-OUT 电压高于 6.4V 典型值时，内部短路比较器会启用。这是为了确保外部 FET 得到充分增强，并且在器件启动期间不会错误地触发短路故障。当输出出现短路情况且 CS+ 和 ISCP 两端的电压超过默认短路比较器阈值 (典型值为 50mV) 时，HGATE 会在 $2 \mu s$ 内被拉至 OUT，以保护 HFET。同时， \overline{FLT} 会置为低电平。一旦检测到短路情况，该器件会锁闭 MOSFET Q2，直到 EN、 \overline{SLEEP} 或 VS 引脚从低电平切换到高电平。

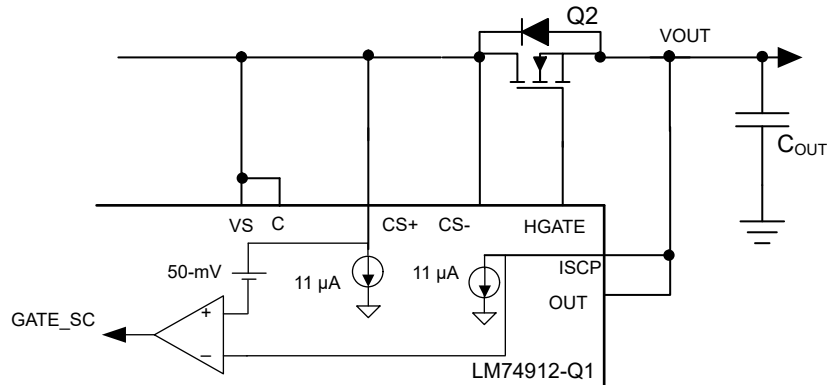


图 8-3. 短路保护比较器

如图 8-4 所示，通过使用 CS+ 引脚上的外部串联电阻器 R_{SET} 或 ISCP 引脚上的 R_{ISCP} ，可以相对于 50mV 的默认阈值增加或减小短路保护阈值。 R_{SET} 电阻器会增加该阈值，而 R_{ISCP} 电阻器会减小该阈值。短路保护阈值的变化可以使用方程式 3 和方程式 4 计算得出。

$$V_{DS_SNS} = 50 \text{ mV} + (11 \mu\text{A} \times R_{SET}) \quad (3)$$

$$V_{DS_SNS} = 50 \text{ mV} - (11 \mu\text{A} \times R_{ISCP}) \quad (4)$$

如图 8-4 所示，可以在 CS+ 引脚与 ISCP 引脚之间添加一个额外的抗尖峰电容器 C_{ISCP} 来针对任何短杂散电流尖峰提供消隐，从而避免因为汽车中的输入微中断 (LV124, E-10)、交流叠加 (LV124, E-06) 或 ISO7637-2 脉冲 2A 等快速瞬态而错误地触发短路故障。

此外，当 MOSFET Q2 因短路情况而关断时，由于电路板寄生效应和输入线束电感产生的电感效应，电源电路上可能出现电压振荡。为了避免这些振荡到达器件电源引脚 VS 并导致错误复位，可以添加额外的串联电阻 R_{VS} 。该串联电阻 R_{VS} 与 VS 侧的去耦电容 C_{VS} 形成一个 R-C 低通滤波器，并有助于抑制振荡。

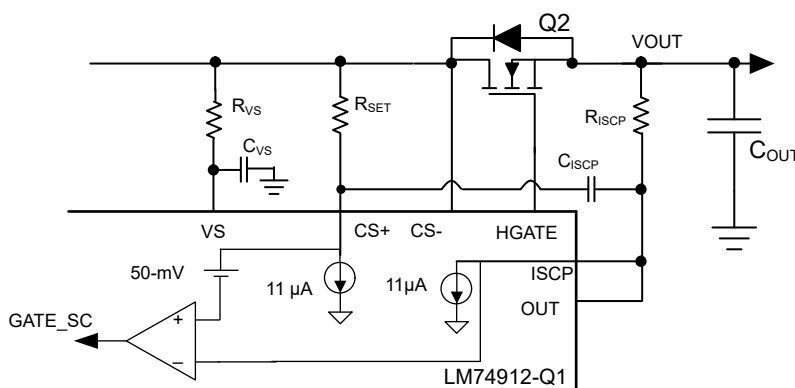


图 8-4. 带抗尖峰脉冲滤波器的短路保护

LM74912-Q1 适用于不需要精确电流检测但需要某种级别故障保护的应用。例如，电源路径中的电感或阻抗会限制短路条件下电流上升的应用。

必须仔细考虑外部 N 沟道 MOSFET 的安全工作区 (SOA)，以确保峰值漏源电流和短路保护响应时间处于 MOSFET 的 SOA 额定值范围内。另请注意，外部 N 沟道 MOSFET 在给定温度范围内的 $R_{DS(ON)}$ 变化将影响过流检测的精度。

8.3.4 过压保护和电池电压检测 (SW、OV、UVLO)

如图 8-5 中所示，连接一个电阻梯以进行过压和欠压阈值编程。

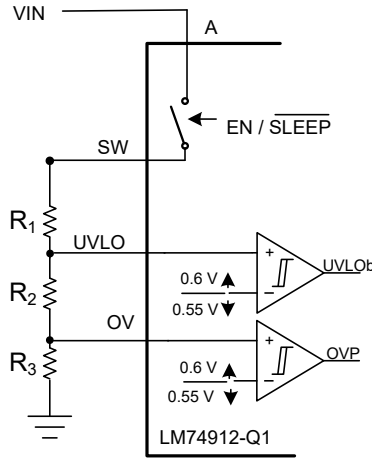


图 8-5. 编程过压阈值和电池检测

在 A 和 SW 引脚之间集成了一个断开开关。当 EN 或 $\overline{\text{SLEEP}}$ 引脚被拉至低电平时，该开关关断。这有助于在系统关断状态（IGN_OFF 状态）期间减小流经电阻分压网络的漏电流。

当输入侧的过压或欠压情况消失后，HGATE 会再次导通。

8.3.5 低 IQ 睡眠模式（ $\overline{\text{SLEEP}}$ 、SLEEP_OV）

LM74912-Q1 支持低 IQ 睡眠模式运行。此模式可通过将 SLEEP 引脚拉至低电平（EN = 高电平）来启用。在睡眠模式下，器件会关闭内部电荷泵和 SW 开关并禁用 DGATE 和 HGATE 驱动，从而实现典型值为 $5.5 \mu\text{A}$ 的低电流消耗。但是，与此同时，器件会为常开负载供电，这些负载通过内部低功率 MOSFET（典型导通电阻为 7Ω ）连接到 OUT 引脚上。在此模式下，器件可支持 100mA 的峰值负载电流。随着负载增加，内部 MOSFET 上的压降也会增加。器件在睡眠模式下提供过流保护，其典型过流阈值为 250mA。如果在睡眠模式下发生过流事件，器件会通过断开内部 MOSFET 开关并锁存器件来保护内部 FET。作为一层额外的保护，器件还在睡眠模式下具有带闭锁功能的热关断，以防器件在睡眠模式下过热。要使器件退出锁存模式，用户必须切换 SLEEP 或 EN 引脚。

在睡眠模式下，LM74912-Q1 可针对输入过压事件提供保护。器件可配置为过压切断（SLEEP_OV 连接到 C）或过压钳位模式（SLEEP_OV 连接到 V_{OUT} ），默认过压阈值为典型值 21V。

如果不需要睡眠模式功能，则应将 $\overline{\text{SLEEP}}$ 引脚连接到 EN。不使用时，SLEEP_OV 引脚可以保持悬空。

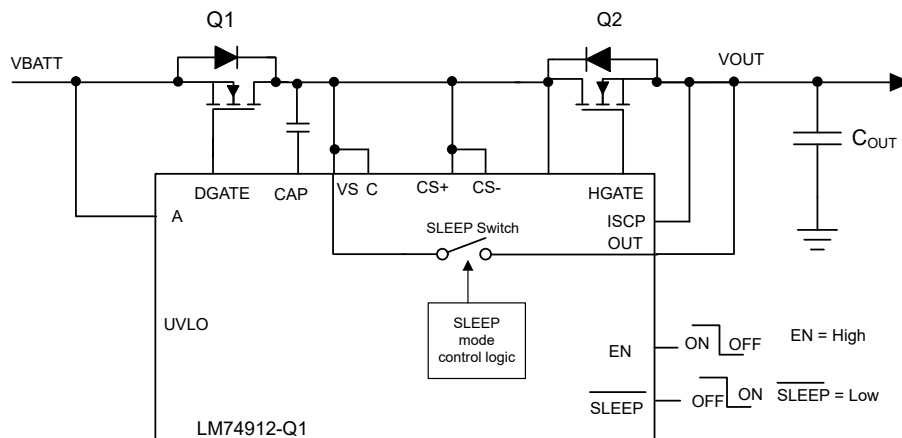


图 8-6. LM74912-Q1 睡眠模式

如图 8-7 所示，可以通过在 SLEEP_OV 引脚与 OUT/C 之间添加一个外部齐纳二极管来为睡眠模式实现更高的过压阈值。在为 24V 或 48V 供电系统配置过压阈值时，此功能非常有用。

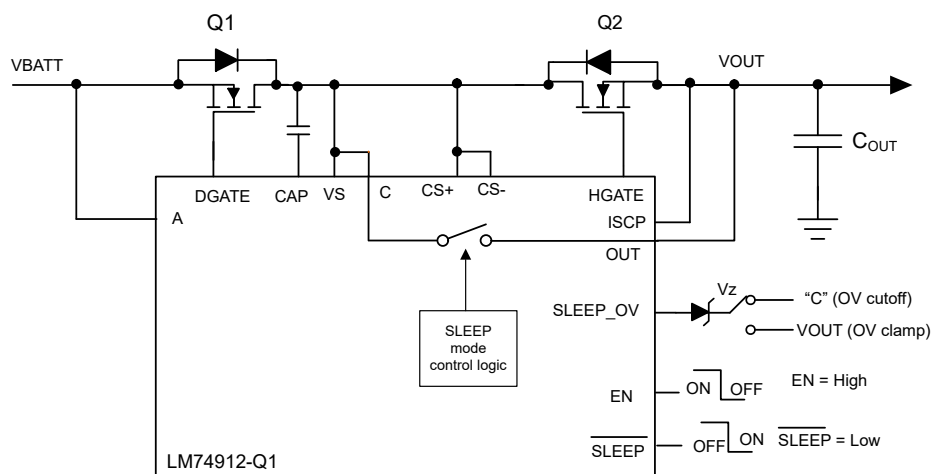


图 8-7. 扩展睡眠模式下的过压阈值

8.4 器件功能模式

关断模式

该使能引脚允许通过外部信号启用或禁用栅极驱动器。如果 **EN** 引脚电压大于上升阈值，则栅极驱动器和电荷泵将按照“电荷泵”中的说明运行。如果 **EN** 引脚电压低于输入低电平阈值 $V_{(ENF)}$ ，则将禁用电荷泵和两个栅极驱动器 (**DGATE** 和 **HGATE**)，从而将 LM74912-Q1 置于关断模式，这时具有 $2.5\ \mu\text{A}$ 的超低电流消耗。**EN** 引脚可承受的最大电压为 65V。对于常开运行，请将 **EN** 引脚连接到 **VS**。

备注

9.1 应用信息

该器件有一个独立的电源输入引脚 (**VS**)。电荷泵源自这个电源输入。**LM74912-Q1** 器件具有单独的电源输入配置和单独的栅极控制架构,可在共漏极拓扑中驱动背对背连接的 **MOSFET**,从而支持各种系统架构,例如电源 **ORing** 应用和电源优先级多路复用器应用。借助这些不同的拓扑,系统设计人员可以设计前端电源系统来满足各种系统设计需求。

配置为共漏极拓扑以提供反向电池保护和过压保护功能的 LM74912-Q1 的典型应用电路如图 9-1 所示。

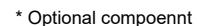


图 9-1. 典型应用电路 - 12V 反向电池保护和过压保护

9.2.1 12V 电池保护的设计要求

表 9-1 中列出了设计参数。

表 9-1. 设计参数 - 12V 反向电池保护和过压保护

设计参数	示例值
工作输入电压范围	12V 电池、12V 标称电压、3.2V 冷启动和 35V 负载突降
输出功率	50W
输出电流范围	4A 标称值, 5A 最大值

表 9-1. 设计参数 - 12V 反向电池保护和过压保护 (continued)

设计参数	示例值
短路电流电平	14A
输入电容	最小值 0.1 μ F
输出电容	至少 0.1 μ F (可选 100 μ F, 以实现 E-10 A 类功能性能)
过压切断	37.0V, 输出切断 > 37.0V
交流叠加测试	2V 峰峰值 30KHz, 可扩展至 6V 峰峰值 30KHz
汽车瞬态抗扰度合规性	ISO 7637-2、ISO 16750-2 和 LV124

9.2.2 汽车反向电池保护

LM74912-Q1 具有两个独立的栅极控制和驱动器输出 (DGATE 和 HGATE), 可驱动背对背 N 沟道 MOSFET。LM74912-Q1 符合 ISO 7637-2 和 ISO 16750-2 标准以及其他汽车 OEM 标准, 能够在各种汽车瞬态测试期间提供全面的抗扰性和强大的系统保护。如需更多信息, 请参阅[使用理想二极管控制器实现符合汽车 EMC 标准的反向电池保护](#)文章。

LM74912-Q1 栅极驱动输出 DGATE 可控制 MOSFET Q1, 以提供反向电池保护和有效的反向电流阻断功能。HGATE 可控制 MOSFET Q2, 以在输入过压条件下关闭电源路径。连接到 OV 和 SW 的电阻网络 R1、R2 和 R3 可配置用于过压保护, 也可配置用于在正常工作条件和电池反向条件下进行电池监测。双向 TVS D1 会将 12V 电池上的汽车瞬态输入电压 (包括正负两个方向的瞬态) 钳位到对 MOSFET Q1 和 LM74912-Q1 安全的电压电平。

由于具有快速反向电流阻断响应和快速反向恢复能力, LM74912-Q1 能够在 ISO 16750-2 和 LV124 E-06 中所述的交流叠加输入期间导通/关断 MOSFET Q1, 并对叠加在直流电池电压上的交流输入进行有源整流。LM74912-Q1 的快速反向电流阻断响应有助于在 ISO 7637-2 中所述的 -150V 2ms 脉冲 1 等负瞬态输入和 LV124 E-10 测试等输入微短路条件下关断 MOSFET Q1。

9.2.2.1 输入瞬态保护: ISO 7637-2 脉冲 1

ISO 7637-2 脉冲 1 规定了与电感负载并联的电子模块在电池断开连接时的负瞬态抗扰度。ISO 7637-2 中指定的典型脉冲 1 从电池断开连接开始, 此时电源电压会骤降至 0V, 然后在电源输入端以 1 μ s 的压摆率使用源阻抗 10 Ω 施加 -150V 电压并持续 2ms。LM74912-Q1 可阻断反向电流并防止输出电压摆动为负值, 从而保护电路的其余部分免受负瞬态电压的损坏。LM74912-Q1 的快速反向比较器可在 0.5 μ s 内快速关断 MOSFET Q1。输入端需要使用单个双向 TVS 将负瞬态脉冲钳制在阴极到阳极的最大工作电压 85V 范围内, 并且不会超出 MOSFET Q1 漏源击穿电压额定值。

LM74912-Q1 的 ISO 7637-2 脉冲 1 性能如图 9-2 所示。

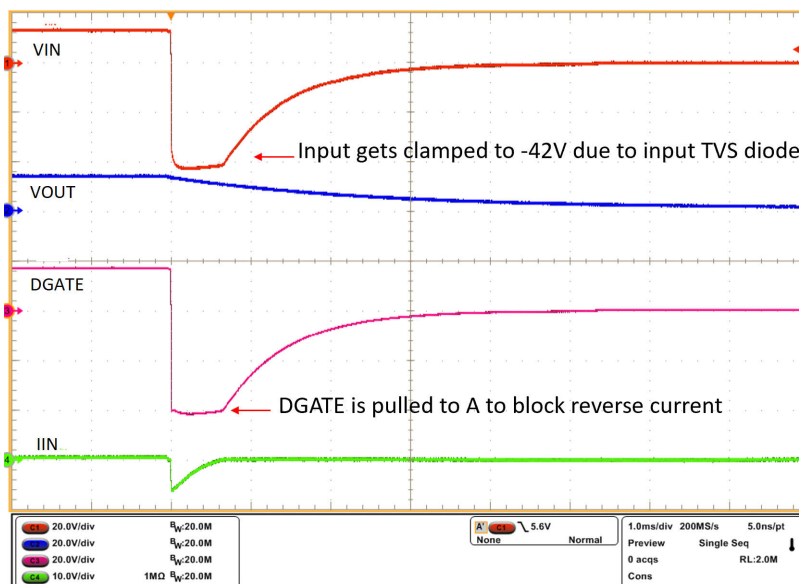
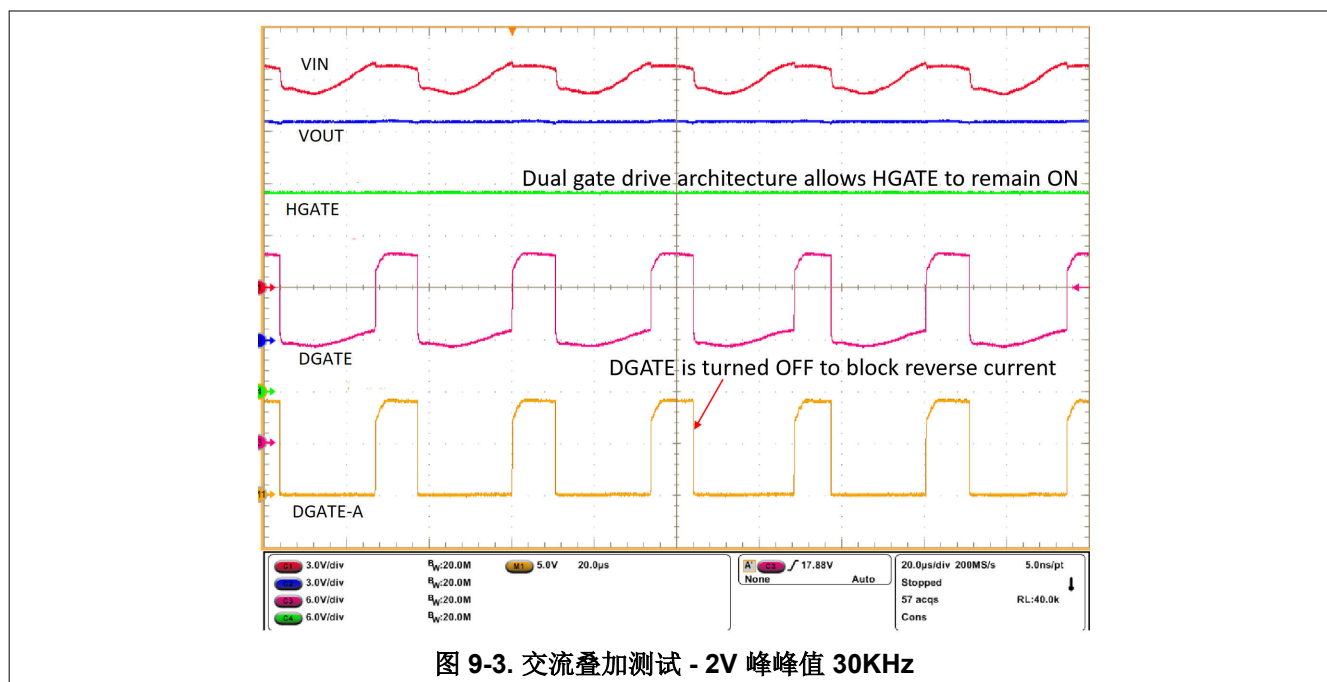


图 9-2. ISO 7637-2 脉冲 1

9.2.2.2 交流叠加输入整流：ISO 16750-2 和 LV124 E-06

交流发电机用于为汽车电气系统供电并在车辆正常运行期间为电池充电。由于发动机转速变化、励磁电流开/关时稳压器占空比以及电气负载的变化等各种原因，交流发电机输出在整流后包含残余交流纹波电压（叠加在直流电池电压上）。采用 12V 电池电源时，交流发电机的输出电压由稳压器通过控制交流发电机转子的励磁电流来进行调节，从而保持在 14.5V 至 12.5V 之间。所有电子模块都经过测试，可在直流电池电压上叠加交流纹波的情况下正常运行。ISO 16750-2 和 LV124 E-06 中所述的交流叠加测试要求在 13.5V 直流电池电压上具有 2V 峰峰值交流纹波，扫描频率为 15Hz 至 30kHz。LM74912-Q1 通过快速关断 MOSFET Q1（以切断反向电流）以及在正向导通期间快速导通 MOSFET Q1，对交流叠加电压进行整流。MOSFET 的快速关断和快速导通可降低 MOSFET Q1 中的功率耗散，而有源整流可将输出保持电容器的 ESR 中的功率耗散减半。图 9-3 展示了 2V 峰峰值 30kHz 交流输入的有源整流。



9.2.2.3 输入微短路保护 : LV124 E-10

LV124 标准中规定的 E-10 测试可检查电子模块对于因接触问题或继电器反弹而导致的电源输入短时中断问题是否具有抗扰能力。该测试 (案例 2) 过程中会对输入施加微短路, 持续时间短至 $10\mu\text{s}$ 至几 ms 。为了达到功能通过状态 A, 电子模块需要在 E-10 测试 (案例 2) 期间以 $100\mu\text{s}$ 的持续时间不间断运行。与单栅极驱动控制器相比, LM74912-Q1 的双栅极驱动架构 (DGATE 和 HGATE) 能够达到功能通过状态 A, 并在输出端提供最佳保持电容。当输入微短路持续 $100\mu\text{s}$ 时, LM74912-Q1 通过将 DGATE 短接至阳极 (MOSFET 的源极) 在 $0.5\mu\text{s}$ 内快速关断 MOSFET Q1 以防止输出放电, 而 HGATE 保持导通状态以使 MOSFET Q2 保持导通状态, 从而在输入短路条件消失后实现快速恢复。

在 E10 输入电源中断测试案例 2 期间 LM74912-Q1 的性能如图 9-4 所示。输入短路条件消失后, 输入电压恢复, MOSFET Q1 在 $130\mu\text{s}$ 内重新导通。请注意, 双栅极驱动拓扑允许 MOSFET Q2 在测试期间保持导通状态, 并有助于更快地恢复输入功率。在整个持续时间内, 输出电压保持不受干扰, 从而达到功能状态 A。

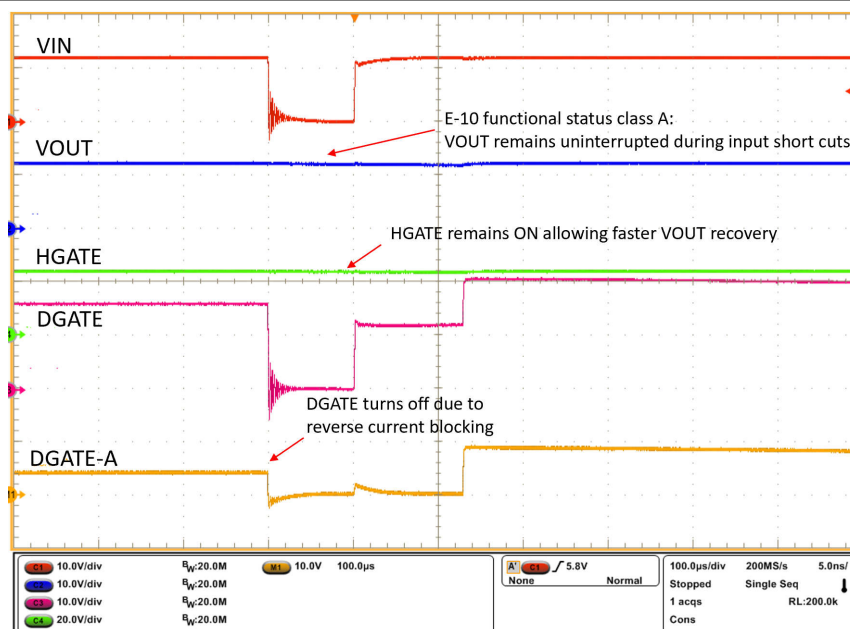


图 9-4. 输入微短路 - LV124 E10 TC 2 100 μ s

9.2.3 详细设计过程

9.2.3.1 设计注意事项

表 9-1 总结了设计具有过压切断功能的汽车反向电池保护电路时必须了解的设计参数。上电期间，需要限制流经 MOSFET Q2 的浪涌电流，以便 MOSFET 在其 SOA 范围内正常运行。PCB 的最大负载电流、最高环境温度和热属性决定了 MOSFET Q2 的 $R_{DS(on)}$ ，最大工作电压决定了 MOSFET Q2 的额定电压。MOSFET Q2 的选择主要取决于最大工作负载电流、最高环境温度、交流叠加电压纹波的最大频率和 ISO 7637-2 脉冲 1 要求。过压阈值根据下游直流/直流转换器或反向电池保护电路之后的其他元件的额定值来确定。需要使用单个双向 TVS 或两个背对背单向 TVS 将 MOSFET Q1、Q2 和 LM74912-Q1 的输入瞬态钳位到安全工作电平。

9.2.3.2 电荷泵电容 VCAP

电荷泵 VCAP 所需的最小电容基于 MOSFET Q1 的输入电容 $C_{ISS(MOSFET_Q1)}$ 和 Q2 的输入电容 $C_{ISS(MOSFET)}$ 。

电荷泵 VCAP：至少需要 $0.1\mu F$ ；VCAP 的建议值 $(\mu F) \geq 10 \times (C_{ISS(MOSFET_Q1)} + C_{ISS(MOSFET_Q2)}) (\mu F)$ 。

9.2.3.3 输入、电源和输出电容

建议最小输入电容 C_{IN} 为 $0.1\mu F$ ，最小输出电容 C_{OUT} 为 $0.1\mu F$ 。VS 引脚用作器件的电源输入。建议在 VS 引脚与接地端之间连接一个最小值为 $0.1\mu F$ 的去耦电容器。

9.2.3.4 保持电容

通常情况下，大容量电容器放置在输出端的原因有很多，例如电源中断期间不间断运行或输入端发生微短路、模块关断前执行存储器转储的保持要求以及滤波要求。该设计考虑了在 LV124 E10 测试案例 2 $100\mu s$ 输入中断期间满足功能状态“A”的最小大容量电容器要求。为了达到功能通过状态 A，LM74912-Q1 输出端中可接受的压降基于下游直流/直流转换器的 UVLO 设置。该设计考虑输出电压在 $100\mu s$ 内从 12V 降至 6.5V（假设下游转换器具有 5V 输出），并且所需的最小保持电容可通过下式计算得出：

$$C_{HOLD_UP_MIN} = \frac{I_{LOAD} \times 100\mu s}{\Delta V_{OUT}} \quad (5)$$

$100\mu s$ 内 5.5V 压降所需的最小保持电容为 $100\mu F$ 。请注意，典型应用电路将保持电容器显示为可选，因为并非所有设计都需要保持电容。

9.2.3.5 过压保护和电池监测器

从 SW 引脚连接到接地的电阻器 R1、R2 和 R3、R4 用于设置欠压和过压阈值。设定欠压阈值（VUVLO 至 5.5V）和过压阈值（VOV 至 37.0V）所需的电阻值可通过求解 [方程式 6](#) 和 [方程式 6](#) 来计算。

$$V_{UVLOF} = \frac{R_2 \times V_{UVSET}}{(R_1 + R_2)} \quad (6)$$

$$V_{OVR} = \frac{R_4 \times V_{OVSET}}{(R_3 + R_4)} \quad (7)$$

为了尽可能减小通过电阻 R_1 、 R_2 和 R_3 从电池汲取的输入电流，建议使用更高的电阻值。使用高阻值电阻会增加计算误差，因为在较高值时流经电阻的电流将与流入 OV 引脚的漏电流相当。流入 OV 引脚的最大漏电流为 $1\mu A$ ，选择 $(R_1 + R_2 + R_3) < 120k\Omega$ 可确保流经电阻的电流比流经 OV 引脚的漏电流大 100 倍。

根据器件电气特性， V_{UVLOF} 为 0.55V。选择 $R_1 = 100k\Omega$ 。根据公式 14 可计算得出 $R_2 = 11.5k\Omega$ 。当 R_3 选择为 $100k\Omega$ 且 $V_{OVR} = 0.6V$ 时，求解公式 15 得出最接近计算电阻值的标准 1% 电阻值为 $R_4 = 1.65k\Omega$ 。

可以将一个可选电容器 C_{UV} 与 UVLO 电阻梯上的 R2 并联，以滤除电池线路上的任何快速欠压瞬变，从而避免错误的 UVLO 触发。

本应用示例中选择了独立的电阻梯来设置过压阈值和欠压阈值。但是，也可以使用从 SW 引脚到接地的共用电阻梯，如 [节 8.3.4](#) 所示。

9.2.3.6 选择短路电流阈值

LM74912-Q1 具有集成电流检测放大器，可监测外部 MOSFET 上的 VDS 压降，并将其与内部 50mV 默认阈值进行比较。当外部 MOSFET 上的压降超过 50mV 阈值时，MOSFET Q2 会在锁存状态下关断。

外部 MOSFET Q2 R_{DS(ON)} 可按照如下公式进行选择：

$$R_{DS(ON)} = \frac{50 \text{ mV}}{I_{SCP}} \quad (8)$$

MOSFET R_{DS(ON)} 在 -40°C 至 125°C 温度范围内的变化幅度高达两倍，其中 R_{DS(ON)} 在 125°C 时更高。这可能会影响短路电流检测精度，需要将其考虑在内。

9.2.3.6.1 缩放电阻器 R_{SET} 和短路保护电阻器 R_{ISCP} 的选型

R_{SET} 是连接在共漏极点和 CS+ 引脚之间的电阻器。该电阻器会增加短路保护阈值电压，而从 ISCP 引脚连接到 VOUT 的电阻器 R_{ISCP} 会减小短路保护阈值电压。用于短路检测的 VDS 检测阈值电压变化可根据以下公式计算：

$$V_{DS_SNS} = 50 \text{ mV} + (11 \mu\text{A} \times R_{SET}) \quad (9)$$

$$V_{DS_SNS} = 50 \text{ mV} - (11 \mu\text{A} \times R_{ISCP}) \quad (10)$$

如图 9-1 所示，可以在 ISCP 引脚与 CS- 引脚之间添加一个额外的去毛刺滤波器（可选，由 R_{SCP} 和 C_{SCP} 组成），以避免因为汽车中的输入微中断（LV124，E-10）、交流叠加（LV124，E-06）或 ISO7637-2 脉冲 2A 等快速瞬态而错误地触发短路故障。

9.2.4 MOSFET 选择：阻断 MOSFET Q1

选择阻断 MOSFET Q1 时，重要的电气参数包括最大持续漏极电流 I_D、最大漏源电压 V_{DS(MAX)}、最大漏源电压 V_{GS(MAX)}、通过体二极管的最大源极电流以及漏源导通电阻 R_{DS(ON)}。

最大持续漏极电流 I_D 额定值必须超过最大持续负载电流。

最大漏源电压 V_{DS(MAX)} 必须足够高，以便承受应用中所见的最高差分电压。这包括所有汽车瞬态事件和任何预期的故障情况。建议使用 V_{DS} 额定电压为 60V 的 MOSFET 以及单个双向 TVS，或使用 V_{DS} 最大额定值为 40V 的 MOSFET 以及两个背对背连接在输入端的单向 TVS。

LM74912-Q1 可驱动的最大 V_{GS} 为 14V，因此应选择 V_{GS} 最小额定值为 15V 的 MOSFET。如果选择了 V_{GS} 额定值小于 15V 的 MOSFET，则可以使用齐纳二极管将 V_{GS} 钳位到安全电平，但这会导致 I_Q 电流增加。

为了减少 MOSFET 传导损耗，应尽可能降低 R_{DS(ON)}，但根据低 R_{DS(ON)} 选择 MOSFET 可能并非总能如愿。更高的 R_{DS(ON)} 将在更低反向电流级别为 LM74912-Q1 反向比较器提供更高电压信息。随着 R_{DS(ON)} 的增加，反向电流检测效果更好。选择一个在最大电流时正向压降小于 50mV 的 MOSFET 是一个很好的起点。

为了对电池电源电压上的交流叠加纹波进行有源整流，必须选择 Q1 的栅源电荷 Q_{GS} 来满足所需的交流纹波频率。每个周期用于有源整流的栅源电荷 Q_{GS}（在 V_{GS} 等于 4.5V 时）为：

$$Q_{GS_MAX} = \frac{2.5 \text{ mA}}{F_{AC_RIPPLE}} \quad (11)$$

其中 2.5mA 是 7V (V_{DGATE} - V_A) 时的最小电荷泵电流，F_{AC_RIPPLE} 是叠加在电池上的交流纹波的频率，Q_{GS_MAX} 是制造商数据表中指定的 6V V_{GS} 时的 Q_{GS} 值。

应根据 MOSFET 的预期最大功率耗散来考虑 MOSFET 的热阻，确保结温 (T_J) 得到良好控制。

9.2.5 MOSFET 选择：热插拔 MOSFET Q2

MOSFET Q2 的 V_{DS} 额定值应足以处理最大系统电压以及输入瞬态电压。对于该 12V 设计，瞬态过压事件发生在抑制负载突降 35V 且持续 400ms 以及 ISO 7637-2 脉冲 2A 50V 且持续 50μs 期间。此外，ISO 7637-2 脉冲 3B

是一个非常快速的 100V 100ns 重复脉冲，通常被输入和输出陶瓷电容器吸收，12V 电池上的最大电压可限制为 < 40V，建议的最小输入电容为 0.1 μ F。输入和输出电容器也可吸收 50V ISO 7637-2 脉冲 2A，并且通过在输入和输出端放置足够大的电容，其振幅可降至 40V 峰值。但是，对于该 12V 设计，最大系统电压为 50V，因此选择 V_{DS} 额定值为 60V 的 MOSFET。

MOSFET Q2 的 V_{GS} 额定值应高于该最大 HGATE-OUT 电压 15V。

在输入热插拔至 12V 电池期间流经 MOSFET 的浪涌电流由输出电容决定。HGATE 上的外部电容 C_{dVdT} 用于限制输入热插拔或启动期间的浪涌电流。需要选择通过方程式 2 确定的浪涌电流值，以确保 MOSFET Q2 在其安全工作区 (SOA) 内正常运行。

为 Q2 选择了具有 60V V_{DS} 和 $\pm 20V$ V_{GS} 额定值的 MOSFET BUK7Y4R8-60E。浪涌期间的功率耗散完全在 MOSFET 的安全工作区 (SOA) 范围内。

9.2.6 TVS 选择

建议使用 SMBJ33CA 等 600W SMBJ 系列 TVS 来实现输入瞬态钳位和保护。如需关于 12V 电池系统 TVS 选择的详细说明，请参阅[适用于 12V 电池系统的 TVS 选型](#)。

9.2.7 应用曲线

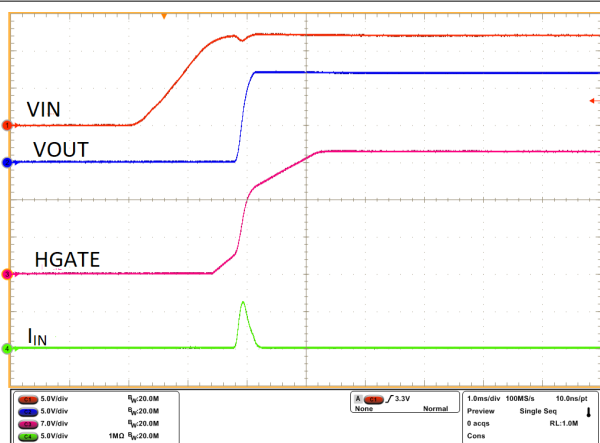


图 9-5. 启动电压为 12V，EN 拉至 VS

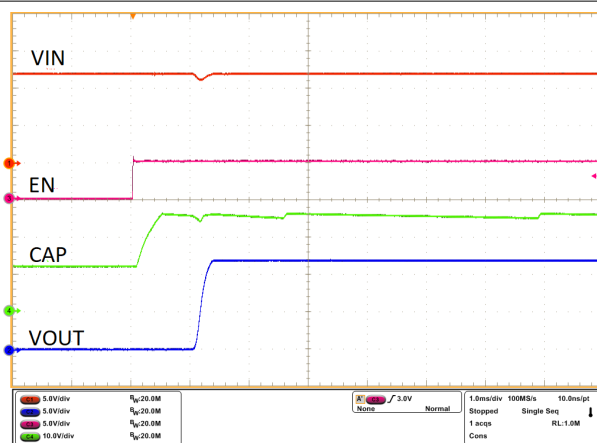


图 9-6. 在 EN 从低电平变为高电平的情况下启动

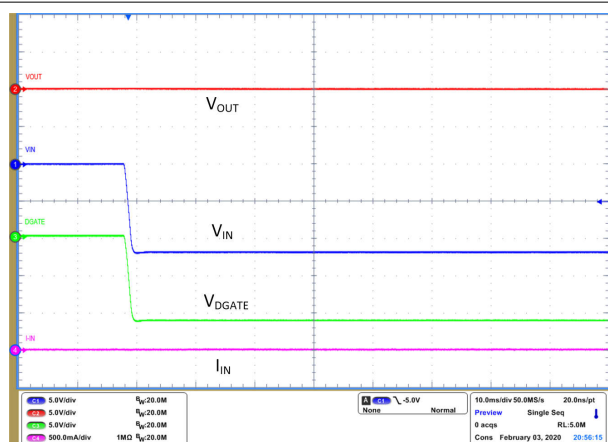


图 9-7. 反向输入电压为 -14V

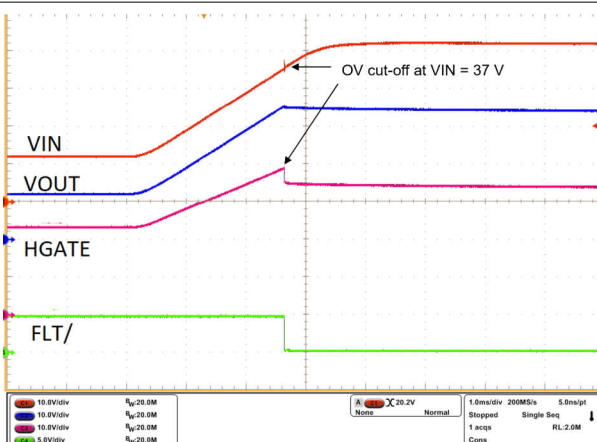


图 9-8. 过压保护

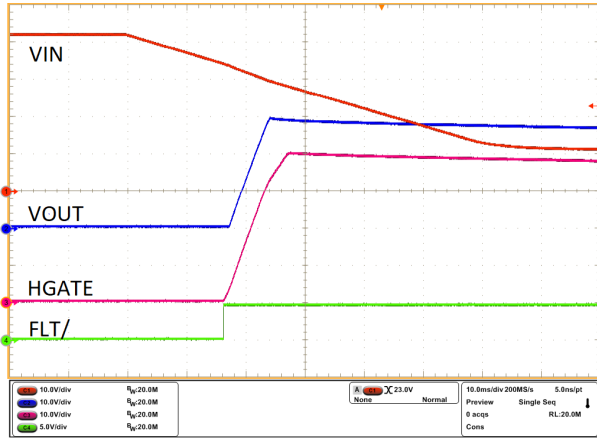


图 9-9. 过压恢复

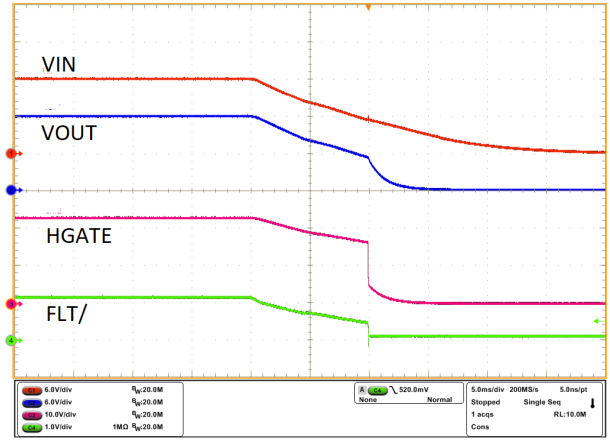


图 9-10. 欠压切断响应

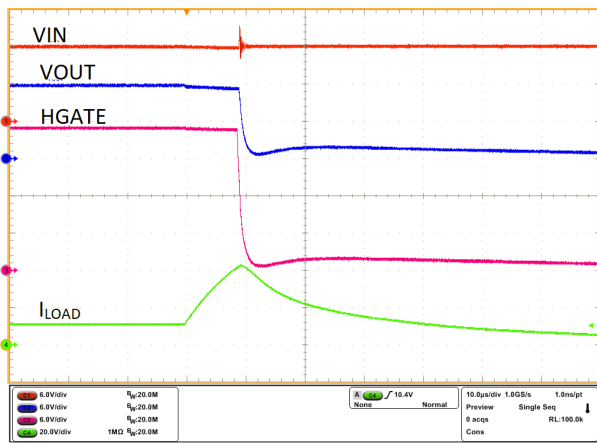


图 9-11. 短路保护

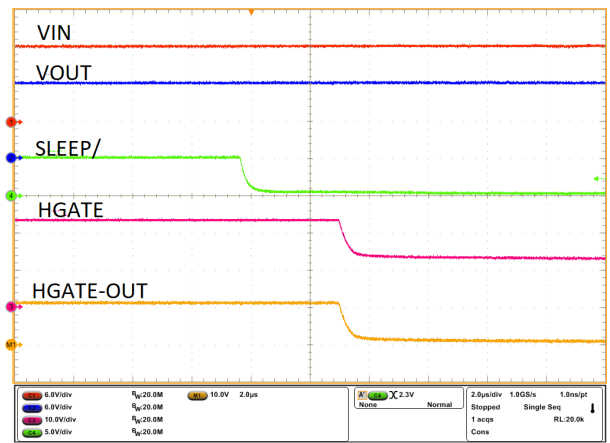


图 9-12. 睡眠模式进入

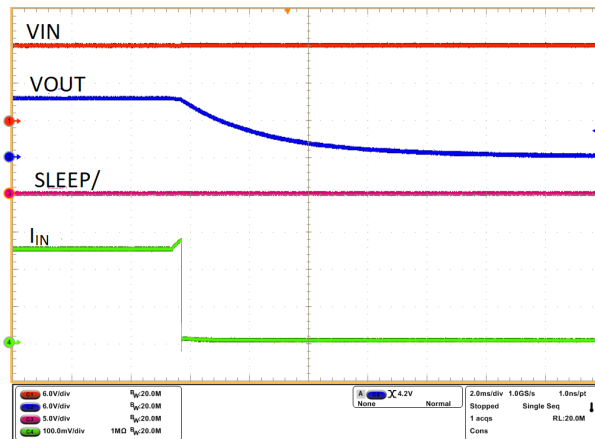


图 9-13. 睡眠模式过流保护

9.3 优秀设计实践

保持 IC 的外露焊盘 (RTN) 悬空。请勿将其连接到 GND 平面。将 RTN 连接到 GND 会禁用反极性保护特性。

9.4 电源相关建议

9.4.1 瞬态保护

当外部 MOSFET 在过流/过压/欠压切断、反向电流阻断导致电流中断等条件下关断时，输入线路电感会在输入端产生正电压尖峰，而输出电感会在输出端产生负电压尖峰。电压尖峰（瞬变）的峰值振幅取决于与器件输入或输出串联的电感值。如果未采取措施解决此问题，这些瞬变可能会超过器件的 [节 6.1](#)。

解决瞬变的典型方法包括：

- 最大限度减少进出器件的引线长度和电感。
- 使用较大的 PCB GND 平面。
- 在输出端和 GND 使用肖特基二极管来吸收负尖峰。
- 使用低容值陶瓷电容器 ($C_{(IN)}$ 低至约 $0.1 \mu F$) 来吸收能量并抑制瞬变。

输入电容的近似值可通过 [方程式 12](#) 进行估算。

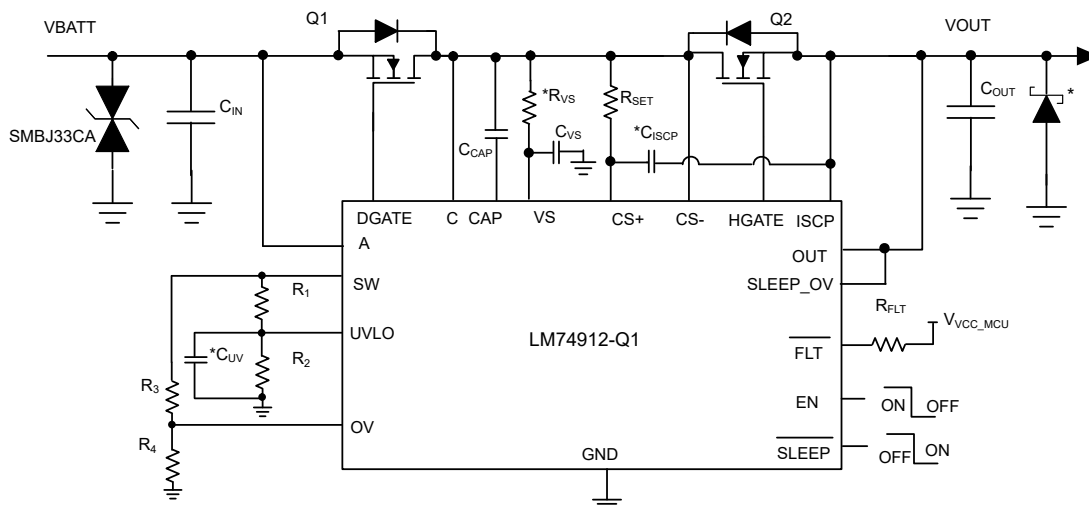
$$V_{\text{spike(Absolute)}} = V_{(IN)} + I_{(Load)} \times \sqrt{\frac{L_{(IN)}}{C_{(IN)}}} \quad (12)$$

其中

- $V_{(IN)}$ 是标称电源电压
- $I_{(LOAD)}$ 是负载电流
- $L_{(IN)}$ 等于在源极中观察到的有效电感
- $C_{(IN)}$ 是输入端存在的电容

某些应用可能需要额外的瞬态电压抑制器 (TVS)，以防止瞬变超过器件的 [节 6.1](#)。这些瞬变可能会在 EMC 测试（例如汽车 ISO7637 脉冲）期间发生。

采用可选保护元件（陶瓷电容器、TVS 和肖特基二极管）的电路实现方案如图 9-14 所示



* Optional component

* 抑制瞬态所需的可选元件

图 9-14. 采用可选保护元件的 LM74912-Q1 电路实现方案

9.4.2 适用于 12V 电池系统的 TVS 选型

选择 TVS 时，重要的规格是击穿电压和钳位电压。TVS+ 的击穿电压应高于 24V 快速启动电压和 35V 抑制负载突降电压，并小于 LM74912-Q1 的最大额定电压 (65V)。TVS- 的击穿电压应超过最大电池反向电压 - 16V，以免 TVS- 因长时间接触反接电池而受损。

钳位电压是 TVS 二极管在大电流脉冲情况下钳位的电压，该电压远高于击穿电压。在 ISO 7637-2 脉冲 1 的情况下，当发生器阻抗为 10 Ω 时，输入电压可上升至 - 150V。这意味着流经 TVS- 的电流为 15A，且 TVS 两端的电压将接近于其钳位电压。

下一个条件是不超过 LM74912-Q1 阴极至阳极电压的绝对最大额定值 (85V) 和 MOSFET 的最大 V_{DS} 额定值。在设计示例中，选择了额定电压为 60V 的 MOSFET，因此阴极至阳极电压的最大限值为 60V。

在 ISO 7637-2 脉冲 1 期间，LM74912-Q1 的阳极由 ISO 脉冲下拉并由 TVS 钳位，而 MOSFET Q1 快速关断，以防止反向电流使大容量输出电容器放电。当 MOSFET 关断时，显示的阴极至阳极电压等于 (TVS 钳位电压 + 输出电容器电压)。如果输出电容器上的最大电压为 16V (最大电池电压)，则 TVS- 的钳位电压不应超过 $(60V - 16V) = - 44V$ 。

SMBJ33CA TVS 二极管可用于 12V 电池保护应用。36.7V 的击穿电压满足正极侧的快速启动、负载突降要求以及负极侧的 16V 电池反向连接要求。在 ISO 7637-2 脉冲 1 测试期间，显示出 SMBJ33CA 钳位在 - 44V，峰值浪涌电流为 12A，满足钳位电压 $\leq 44V$ 的要求。

SMBJ 系列 TVS' 的额定峰值脉冲功率级别高达 600W，足以支持 ISO 7637-2 脉冲。

9.4.3 适用于 24V 电池系统的 TVS 选型

对于 24V 电池保护应用，需要更改图 9-1 中的 TVS 和 MOSFET 以满足 24V 电池要求。

TVS+ 的击穿电压应高于 48V 快速启动电压，低于 LM74912-Q1 阳极和使能引脚的绝对最大额定值 (70V)，并应承受 65V 抑制负载突降。TVS- 的击穿电压应低于最大电池反向电压 - 32V，以免 TVS- 因长时间接触反接电池而受损。

在 ISO 7637-2 脉冲 1 期间，当发生器阻抗为 50 Ω 时，输入电压可上升至 - 600V。这意味着流经 TVS- 的电流为 12A。TVS- 的钳位电压不能与 12V 电池保护电路的钳位电压相同，因为在 ISO 7637-2 脉冲期间，所见的阳极至阴极电压等于 $(- TVS \text{ 钳位电压} + \text{输出电容器电压})$ 。对于 24V 电池应用，最大电池电压为 32V，那么 TVS- 的钳位电压不应超过 $85V - 32V = 53V$ 。

单路双向 TVS 不能用于 24V 电池保护，因为 TVS+ 的击穿电压 $\geq 65V$ ，最大钳位电压 $\leq 53V$ ，钳位电压不能小于击穿电压。需要在输入端使用两个背对背连接的单向 TVS。对于正极侧 TVS+，建议使用击穿电压为 64.4V (最小值)、67.8V (典型值) 的 SMBJ58A。对于负极侧 TVS-，建议使用击穿电压接近 32V (可承受最大电池反向电压 - 32V)、最大钳位电压为 42.1V 的 SMBJ28A。

对于 24V 电池保护，建议使用额定电压为 75V 的 MOSFET，并搭配使用在输入端背对背连接的 SMBJ28A 和 SMBJ58A。

9.5 布局

9.5.1 布局指南

- 对于理想二极管级，将 LM74912-Q1 的 A、DGATE 和 C 引脚连接到靠近 MOSFET 源极、栅极和漏极引脚的位置。
- 对于负载断开级，将 LM74912-Q1 的 HGATE 和 OUT 引脚连接到靠近 MOSFET 栅极和源极引脚的位置。
- 该解决方案的大电流路径通过 MOSFET，因此务必为 MOSFET 的源极和漏极使用粗而短的布线，以便最大限度地降低电阻损耗。
- 必须用较短的布线将 LM74912-Q1 的 DGATE 引脚连接到 MOSFET 栅极。
- 将瞬态抑制元件放置在靠近 LM74912-Q1 的位置。
- 将去耦电容器 C_{VS} 放置在靠近 VS 引脚和芯片 GND 的位置。
- CAP 和 VS 引脚上的电荷泵电容器必须远离 MOSFET，来降低对电容值的热影响。
- 将器件外露焊盘 (RTN) 保持悬空。不要将 RTN 连接到接地层。

- 使用替代布局方案也许能够获得可接受的性能；不过，[布局示例](#)中显示的布局可用作指南，且效果良好。

9.5.2 布局示例

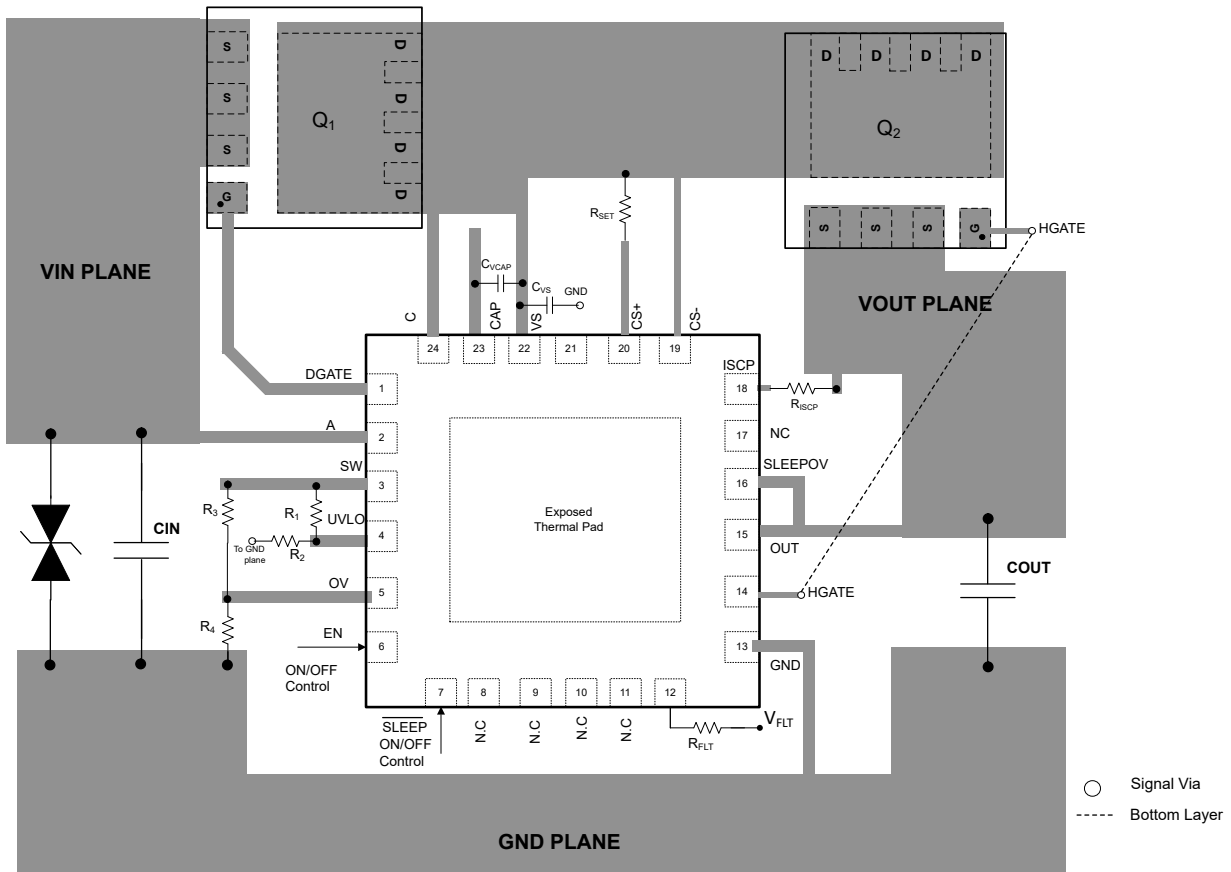


图 9-15. PCB 布局示例

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](https://www.ti.com) 上的器件产品文件夹。点击 [订阅更新](#) 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™ 支持论坛 是工程师的重要参考资料，可直接从专家获得快速、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可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

TI E2E™ is a trademark 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 机械、封装和可订购信息

下述页面包含机械、封装和订购信息。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)
LM74912QRGERQ1	Active	Production	VQFN (RGE) 24	3000 LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 125	LM 74912Q
LM74912QRGERQ1.A	Active	Production	VQFN (RGE) 24	3000 LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 125	LM 74912Q
PLM74912QRGERQ1	Active	Preproduction	VQFN (RGE) 24	3000 LARGE T&R	-	Call TI	Call TI	-40 to 125	
PLM74912QRGERQ1.A	Active	Preproduction	VQFN (RGE) 24	3000 LARGE T&R	-	Call TI	Call TI	-40 to 125	

⁽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.

RGE 24

GENERIC PACKAGE VIEW

VQFN - 1 mm max height

PLASTIC QUAD FLATPACK - NO LEAD



Images above are just a representation of the package family, actual package may vary.
Refer to the product data sheet for package details.

4204104/H



PACKAGE OUTLINE

VQFN - 1 mm max height

PLASTIC QUAD FLATPACK - NO LEAD



NOTES:

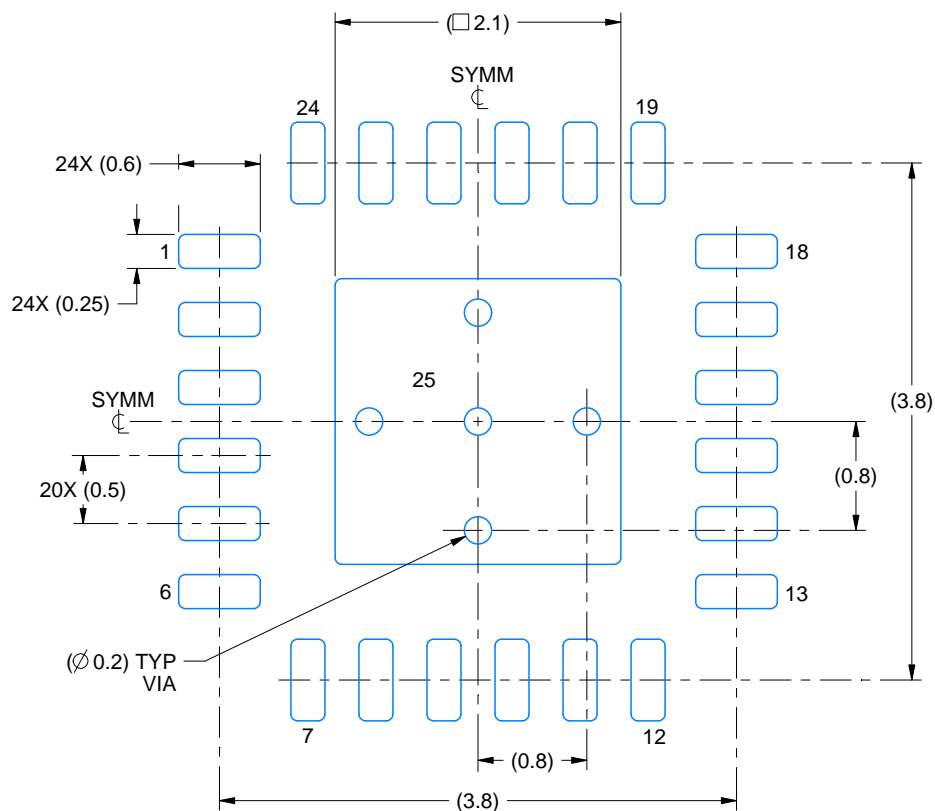
1. All linear dimensions are in millimeters. Any dimensions in parenthesis are for reference only. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.
2. This drawing is subject to change without notice.
3. The package thermal pad must be soldered to the printed circuit board for thermal and mechanical performance.

EXAMPLE BOARD LAYOUT

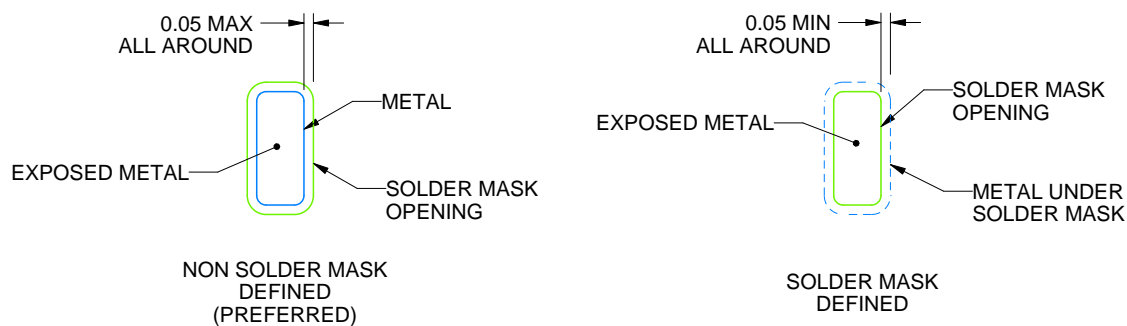
RGE0024T

VQFN - 1 mm max height

PLASTIC QUAD FLATPACK - NO LEAD



LAND PATTERN EXAMPLE
EXPOSED METAL SHOWN
SCALE:18X



SOLDER MASK DETAILS

4228214/A 11/2021

NOTES: (continued)

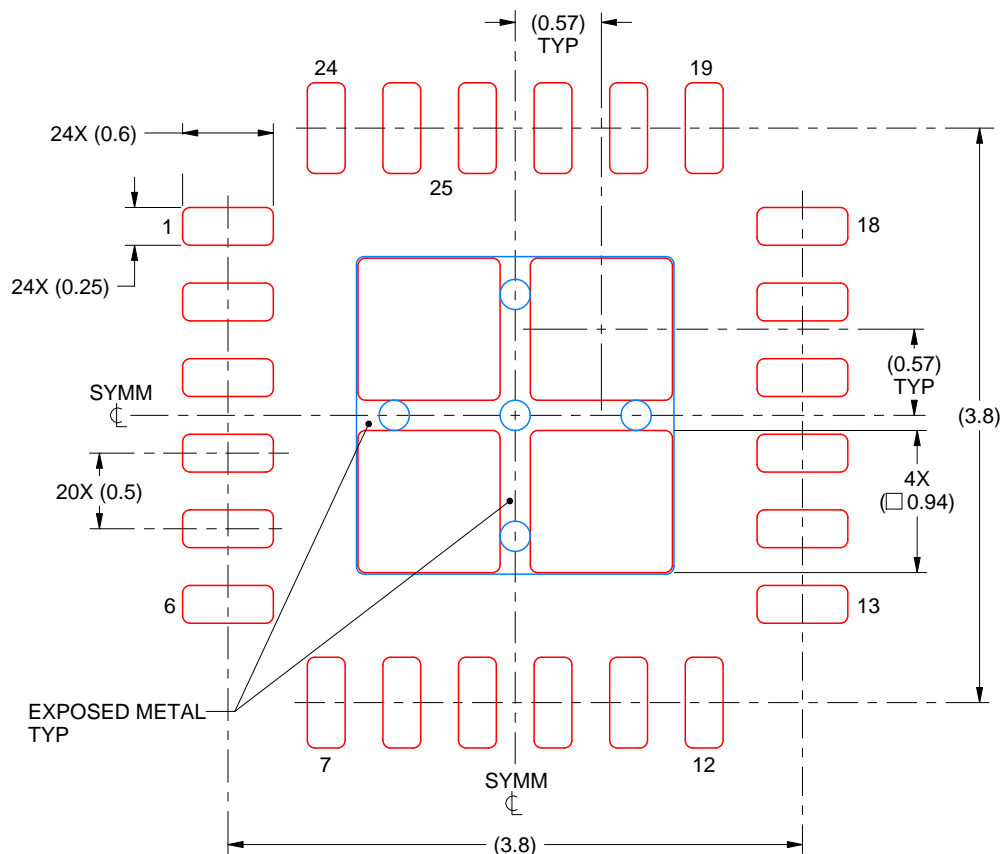
- This package is designed to be soldered to a thermal pad on the board. For more information, see Texas Instruments literature number SLUA271 (www.ti.com/lit/sluea271).
- Vias are optional depending on application, refer to device data sheet. If any vias are implemented, refer to their locations shown on this view. It is recommended that vias under paste be filled, plugged or tented.

EXAMPLE STENCIL DESIGN

RGE0024T

VQFN - 1 mm max height

PLASTIC QUAD FLATPACK - NO LEAD



SOLDER PASTE EXAMPLE
BASED ON 0.1 mm THICK STENCIL

THERMAL PAD 25:
77% PRINTED SOLDER COVERAGE BY AREA UNDER PACKAGE
SCALE:20X

NOTES: (continued)

6. Laser cutting apertures with trapezoidal walls and rounded corners may offer better paste release. IPC-7525 may have alternate design recommendations.

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