

## Application Note

## UCC25661x 常见问题解答



Sougata Nayak

## 摘要

本应用手册探讨了 UCC25661x LLC 谐振控制器在不同应用中使用时的常见问题解答。

## 内容

<b>1 UCC25661x 常见问题解答</b>	<b>2</b>
1.1 如何将外部栅极驱动器连接到 UCC25661x 以实现高栅极驱动器电流能力？	2
1.2 控制器工作的开关频率最高可达多少？	2
1.3 UCC25661x 工作时出现 1 秒故障。如何进行调试？	2
1.4 如何使用 UCC25661x 实现电池充电器？	4
1.5 如何设置 OVP/OTP 引脚？	8
1.6 如何在 UCC25661x 系列中设置 TSET 引脚？	9
1.7 如何避免 FB 引脚饱和？如何检测该情况？	9
1.8 如果 HV 引脚电流超过数据表中提及的值，器件是否会受损？	10
1.9 UCC25661 中的 TON 延长功能是如何工作的？	10
1.10 UCC25661x 中的 ZCS 保护是如何工作的？	12
1.11 自适应死区时间是如何工作的？	12
1.12 在 ZCS 检测期间以及在有效压摆率检测的情况下如何确定 UCC25661x 中的死区时间？	13
1.13 如何在不对转换器输入端施加高直流电压的情况下测试 UCC25661？	13
1.14 如何将 GaN 与 UCC25661x 连接？	14
1.15 必须使用最大值是多少的 LL、TSET 和 ISNS 引脚去耦电容器？	14
1.16 如何在运行控制器时更改突发模式编程？	14
1.17 总结	15
1.18 参考资料	15

## 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 UCC25661x 常见问题解答

### 1.1 如何将外部栅极驱动器连接到 UCC25661x 以实现高栅极驱动器电流能力？

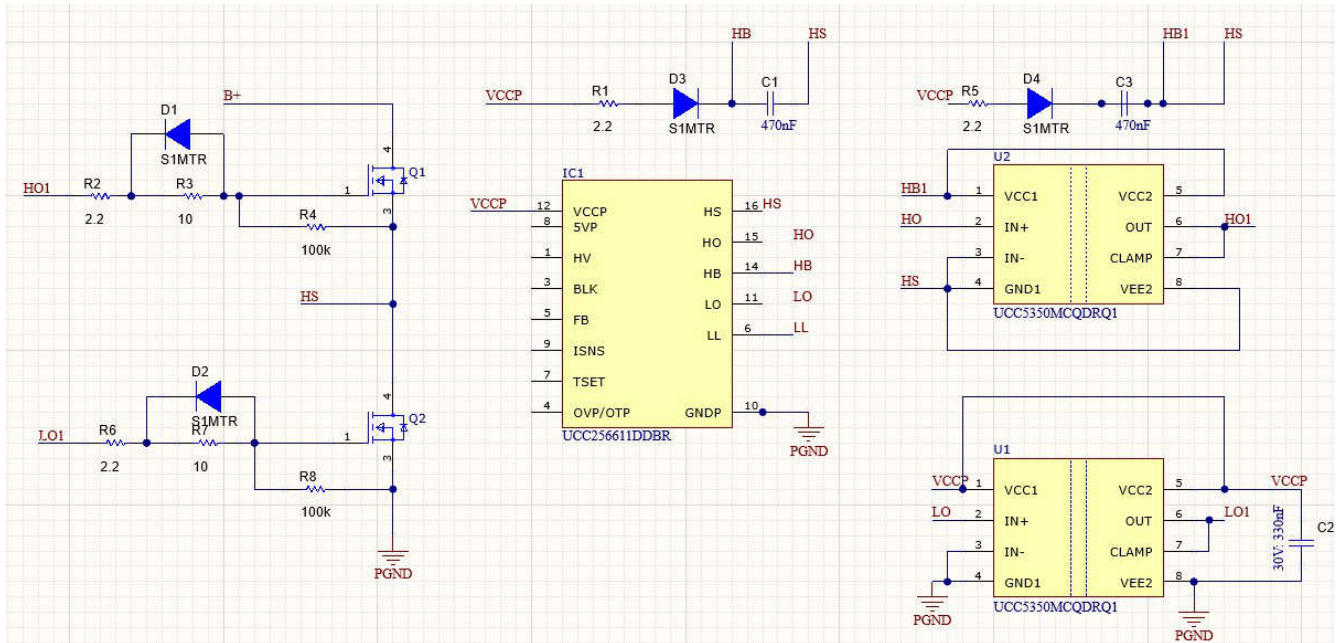


图 1-1. 外部驱动器与 UCC25661x 的连接

图 1-1 显示了一种将外部栅极驱动器连接到 UCC25661x 的更简单方法。此处使用了两个驱动器（例如 UCC5350MCQDRQ1），它们具有更高的输出电流能力。此处的外部高侧驱动器与 UCC25661x 的内部驱动器一样进行自举。

### 1.2 控制器工作的开关频率最高可达多少？

UCC25661x 系列可在高达 750kHz 的开关频率下工作。

### 1.3 UCC25661x 工作时出现 1 秒故障。如何进行调试？

如果控制器触发 LO 脉冲后，控制器侧没有脉冲，且控制器在 1 秒后重试，这是由于 OCP 故障或 OLP 故障所致。如需 OCP 故障检测，必须探测 ISNS 引脚和 PGND 之间的电压。如果 ISNS 引脚处的峰值电压达到 3.5V 的阈值，则为 OCP 故障。为避免 OCP 故障，必须逐渐降低  $R_{isns}$ ，并且必须通过设计计算器相应地调整 TSET 电阻分压器，以使空载到满载变化过程中  $P_{in}$  与 VFBReplica 间的关系图保持在 2V 至 4V 范围内。

如需 OLP 故障检测，必须对第一个原型进行 FBReplica 与引脚间的关系图拟合。在实际硬件中测量 FBReplica 的过程如下：

1. 在反馈光耦合器发射极和接地之间插入一个 5k 电阻器可以测出 FBReplica 电压，如图 1-2 所示。可根据方程式 1 进行计算。

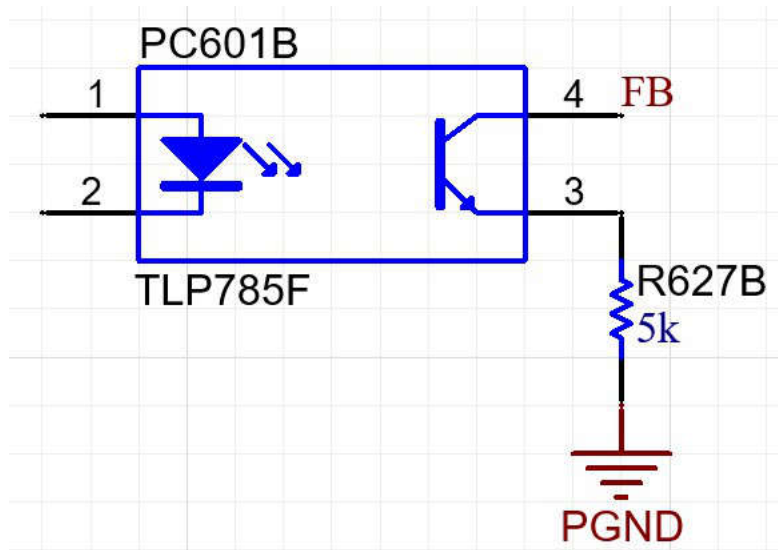


图 1-2. FBReplica 测量电路

$$FBReplica = \left( I_{FB} - \frac{V_{5k}}{5k} \right) \times R_{FBInternal} \# (1)$$

2. 绘制不同输入功率下 FBReplica 电压与引脚间的关系图 ( 需要考虑峰值输出功率, 而不仅仅是满载输出功率 ), 如图 1-3 所示。

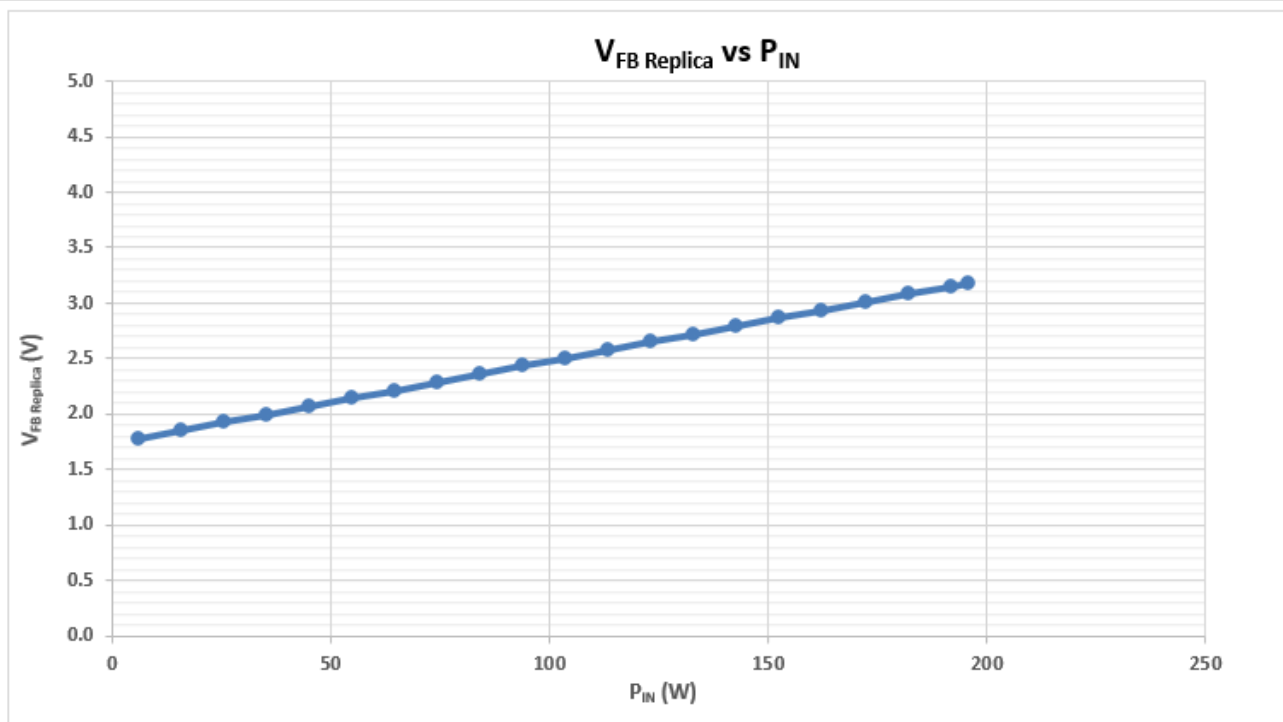


图 1-3. VFBReplica 与引脚间的关系图

如果在任何负载下, FBReplica 达到 4.75V, 则该负载处的故障为 OLP。

### 1.4 如何使用 UCC25661x 实现电池充电器？

电池充电器随着输出电压的变化表现出不同的有效输出电阻变化。对于电池充电器，有效输出电阻随着输出电压的增加而增加，而对于 LED 驱动器，电压可以降低。当在这些应用中设计 LLC 时，我们需要确保满足所需的电压增益。

LLC 谐振槽路参数和匝数比的选择依据是： $V_{in\_typ} = 390V$  (350V - 410V)， $V_{out\_typ} = 58.7V$  ( $V_{out\_min}$  46.2V -  $V_{out\_max}$  71.2V)，

电池充电电流 = 7A， $f_{res} = 100kHz$ 。必须针对采用相同谐振槽路的  $V_{out}$  典型值、最大值和最小值制作三个 Excel 计算器。确保  $Mg(min)$ 、 $Mg(max)$  线与 LLC 增益曲线相交且具有良好的裕度 (LLC 增益曲线的峰值增益至少比  $V_{out\_Max}$  处的  $Mg(max)$  高 10-15%。最小增益低于  $Mg(min)$  的 90%)，如图 1-4、图 1-5 和图 1-6 所示

22	<b>Select Which Device You Are Using</b>		UCC256614	Refer datasheet for the difference of UCC25660x devices
23				
24	<b>OUTPUT</b>			
25	Output Voltage	$V_{out}$	58.7	V Enter required nominal output voltage of converter
26	Maximum Output Power	$P_{out}$	410.9	W Enter required maximum converter output power in Watts
27	Full Load Output Current	$I_{out}$	7	A
28	Maximum Output Voltage Ripple	$V_{out(ripple)}$	120	mV Enter the desired maximum output voltage ripple
29	Target Efficiency	$\eta$	0.97	Enter the Overall Efficiency here
30				
31	<b>INPUT</b>			
32	Nominal Input Voltage	$V_{in}$	390	V Enter the nominal input voltage
33	Maximum DC Input Voltage	$V_{in(max)}$	410	V Enter the maximum input voltage
34	Minimum DC Input Voltage	$V_{in(min)}$	365	V Enter the minimum input voltage
35				
36	<b>LLC STAGE</b>			
37	Nominal LLC Switching Frequency	$f_{LLC}$	100	kHz Enter desired nominal LLC switching frequency
38	<b>LLC Transformer</b>			
39	Recommended Primary/Secondary Turns Ratio	$N_{ps(recommended)}$	3.32197615	
40	Actual Primary/Secondary Turns Ratio	$N_{ps}$	3.33	Enter Actual Primary/Secondary Turns Ratio
41	Recommended Primary/Bias Turns Ratio	$N_{pb(recommended)}$	13.00	
42	Actual Primary/Bias Turns Ratio	$N_{pb}$	11.00	Enter Actual Primary/Bias Turns Ratio
43	LLC Effective Load Resistance at 110% Full Load	$R_{le}$	68.5	$\Omega$
44	LLC Effective Load Resistance at Full Load	$R_{lfullload}$	75.4	$\Omega$
45	<b>LLC Gain Range</b>			
46	Minimum LLC Gain	$M_{g(min)}$	0.962	
47	Maximum LLC Gain Including Losses	$M_{g(max)}$	1.087	
48	Predicted Voltage Drop Due to Losses	$V_{loss}$	0.400	V Enter the predicted voltage drop due to conversion losses in circuit
49	<b>Select <math>L_N</math> and <math>Q_E</math></b>			
50	From the figure on the right, $M_{g(peak)}$ Vs $Q_E$ with respect to $L_N$ , select a point on an $L_N$ curve that has an $L_N$ and $Q_E$ point that corresponds to an Attainable $M_{g(peak)}$ value that is greater than $M_{g(max)}$ . Enter the selected values in the $L_N$ and $Q_E$ cells below.			
51				
52	For example, if $M_{g(max)}$ , calculated above and shown by the horizontal line, was calculated to be 1.4, then using $L_N = 5$ and $Q_E = 0.35$ would result in an attainable $M_{g(peak)} = 1.52$ (interpolated from $L_N = 5$ curve) which satisfies the requirement that the Attainable $M_{g(peak)} > M_{g(max)}$			
53				
54				
55	Selected Primary Inductance Ratio	$L_{N(selected)}$	3.45	
56	Selected Quality Factor for Resonant Network	$Q_{E(selected)}$	0.48	
57	Gain Required at No-Load	$M_{g(no-load)}$	0.775	
58	$f_N$ at Maximum Switching Frequency	$f_{N(max)}$	3.50	
59	The selected $L_N$ and $Q_E$ values should result in an LLC Gain curve, shown below, that intersects with the $M_{g(max)}$ and $M_{g(min)}$ traces. The Gain curve from an overload condition is also plotted, showing the minimum gain at maximum frequency.			
60				
61				
62				
63				
64				
65				
66				
67				
68				
69				
70				
71				
72				
73				
74				
75				
76				
77				
78				
79				
80				
81				
82				
83				
84				
85				
86				
87				
88				

LLC Gain Curve with the Selected  $L_N$  and  $Q_E$

$M_G(\text{peak})$  Vs  $Q_E$  with respect to  $L_N$

图 1-4. 标称输出电压的设计计算器

22	<b>Select Which Device You Are Using</b>		UCC256614	Refer datasheet for the difference of UCC25660x devices
23	<b>OUTPUT</b>			
25	Output Voltage	$V_{OUT}$	71.2 V	Enter required nominal output voltage of converter
26	Maximum Output Power	$P_{OUT}$	436.4 W	Enter required maximum converter output power in Watts
27	Full Load Output Current	$I_{OUT}$	7 A	
28	Maximum Output Voltage Ripple	$V_{OUT(ripple)}$	120 mV	Enter the desired maximum output voltage ripple
29	Target Efficiency	$\eta$	0.91	Enter the Overall Efficiency here
30	<b>INPUT</b>			
32	Nominal Input Voltage	$V_{IN}$	390 V	Enter the nominal input voltage
33	Maximum DC Input Voltage	$V_{IN(max)}$	410 V	Enter the maximum input voltage
34	Minimum DC Input Voltage	$V_{IN(min)}$	365 V	Enter the minimum input voltage
35	<b>LLC STAGE</b>			
36	Nominal LLC Switching Frequency	$f_{LLC}$	100 kHz	Enter desired nominal LLC switching frequency
37	<b>LLC Transformer</b>			
38	Recommended Primary/Secondary Turns Ratio	$N_{PS(recommended)}$	2.738764045	
40	Actual Primary/Secondary Turns Ratio	$N_{PS}$	3.33	Enter Actual Primary/Secondary Turns Ratio
41	Recommended Primary/Bias Turns Ratio	$N_{PB(recommended)}$	13.00	
42	Actual Primary/Bias Turns Ratio	$N_{PB}$	11.00	Enter Actual Primary/Bias Turns Ratio
43	LLC Effective Load Resistance at 100% Full Load	$R_E$	83.1 <input type="checkbox"/>	
44	LLC Effective Load Resistance at Full Load	$R_{E(full)}$	91.4 <input type="checkbox"/>	
45	<b>LLC Gain Range</b>			
46	Minimum LLC Gain	$M_{G(min)}$	1.165	
47	Maximum LLC Gain Including Losses	$M_{G(max)}$	1.316	
48	Predicted Voltage Drop Due to Losses	$V_{LOSS}$	0.400 V	Enter the predicted voltage drop due to conversion losses in circuit
49	<b>Select <math>L_N</math> and <math>Q_E</math></b>			
50	From the figure on the right, $M_{G(max)}$ Vs $Q_E$ with respect to $L_N$ , select a point on an $L_N$ curve that has an $L_N$ and $Q_E$ point that corresponds to an Attainable $M_{G(peak)}$ value that is greater than $M_{G(max)}$ . Enter the selected values in the $L_N$ and $Q_E$ cells below.			
51				
52	For example, if $M_{G(max)}$ calculated above and shown by the horizontal line, was calculated to be 1.4, then using $L_N = 5$ and $Q_E = 0.35$ would result in an attainable $M_{G(peak)}$ of 1.52 (interpolated from $L_N = 5$ curve) which satisfies the requirement that the Attainable $M_{G(peak)} > M_{G(max)}$ .			
53				
54				
55	Selected Primary Inductance Ratio	$L_{N(selected)}$	3.45	
56	Selected Quality Factor for Resonant Network	$Q_E(selected)$	0.40	
57	Gain Required at No-Load	$M_{G(no-load)}$	0.775	
58	$f_R$ at Maximum Switching Frequency	$f_{R(max)}$	3.50	
59	The selected $L_N$ and $Q_E$ values should result in an LLC Gain Curve, shown below, that intersects with the $M_{G(max)}$ and $M_{G(no-load)}$ traces. The Gain curve from an overload condition is also plotted, showing the minimum gain at maximum frequency.			
60				
61				
62				
63				
64				
65				
66				
67				
68				
69				
70				
71				
72				
73				
74				
75				
76				
77				
78				
79				
80				
81				
82				
83				
84				
85				
86				
87				
88				
89				
90				

图 1-5. 最大输出电压的设计计算器

2 Select Which Device You Are Using		UCC256614	Refer datasheet for the difference of UCC25660x devices
4 OUTPUT			
5 Output Voltage	$V_{OUT}$	46.2 V	Enter required nominal output voltage of converter
6 Maximum Output Power	$P_{OUT}$	323.4 W	Enter required maximum converter output power in W/dtts
7 Full Load Output Current	$I_{OUT}$	7 A	
8 Maximum Output Voltage Ripple	$V_{OUT(ripple)}$	120 mV	Enter the desired maximum output voltage ripple
9 Target Efficiency	$\eta$	0.97	Enter the Overall Efficiency here
1 INPUT			
2 Nominal Input Voltage	$V_{IN}$	390 V	Enter the nominal input voltage
3 Maximum DC Input Voltage	$V_{IN(max)}$	410 V	Enter the maximum input voltage
4 Minimum DC Input Voltage	$V_{IN(min)}$	365 V	Enter the minimum input voltage
6 LLC STAGE			
7 Nominal LLC Switching Frequency	$f_{LLC}$	100 kHz	Enter desired nominal LLC switching frequency
8 LLC Transformer			
9 Recommended Primary/Secondary Turns Ratio	$N_{PS(recommended)}$	4.220773221	
0 Actual Primary/Secondary Turns Ratio	$N_{PS}$	3.33	Enter Actual Primary/Secondary Turns Ratio
1 Recommended Primary/Bias Turns Ratio	$N_{PB(recommended)}$	13.00	
2 Actual Primary/Bias Turns Ratio	$N_{PB}$	11.00	Enter Actual Primary/Bias Turns Ratio
3 LLC Effective Load Resistance at 110% Full Load	$R_L$	53.3 $\Omega$	
4 LLC Effective Load Resistance at Full Load	$R_L(full\ load)$	58.3 $\Omega$	
5 LLC Gain Range			
6 Minimum LLC Gain	$M_{G(min)}$	0.753	
7 Maximum LLC Gain Including Losses	$M_{G(max)}$	0.853	
8 Predicted Voltage Drop Due to Losses	$V_{LOSS}$	0.400 V	Enter the predicted voltage drop due to conversion losses in circuit
9 Select $L_N$ and $Q_L$			
From the figure on the right, $M_{G(peak)}$ Vs $Q_L$ with respect to $L_N$ , select a point on an $L_N$ curve that has an $L_N$ and $Q_L$ point that corresponds to an Attainable $M_{G(peak)}$ value that is greater than $M_{G(max)}$ . Enter the selected values in the $L_N$ and $Q_L$ cells below.			
1 For example, if $M_{G(max)}$ calculated above and shown by the horizontal line, was calculated to be 1.4, then using $L_N = 5$ and $Q_L = 0.35$ would result in an attainable $M_{G(peak)} = 1.52$ (interpolated from $L_N = 5$ curve) which satisfies the requirement that the Attainable $M_{G(peak)} > M_{G(max)}$ .			
2			
3			
4			
5 Selected Primary Inductance Ratio	$L_N(selected)$	3.45	
6 Selected Quality Factor for Resonant Network	$Q_L(selected)$	0.61	
7 Gain Required at No-Load	$M_{G(no\ load)}$	0.775	
8 $f_{sw}$ at Maximum Switching Frequency	$f_{sw(max)}$	3.50	
The selected $L_N$ and $Q_L$ values should result in an LLC Gain Curve, shown below, that intersects with the $M_{G(max)}$ and $M_{G(no\ load)}$ traces. The Gain curve from an overload condition is also plotted, showing the minimum gain at maximum frequency.			

图 1-6. 最小输出电压的设计计算器

电池充电器必须在恒流 (CC) 模式或恒压 (CV) 模式下工作，具体取决于电池的充电状态和有效负载电阻。有效负载电阻决定了 CC-CV 控制电源的工作点。

图 1-7 展示了如何实现 CC-CV 环路的示例。

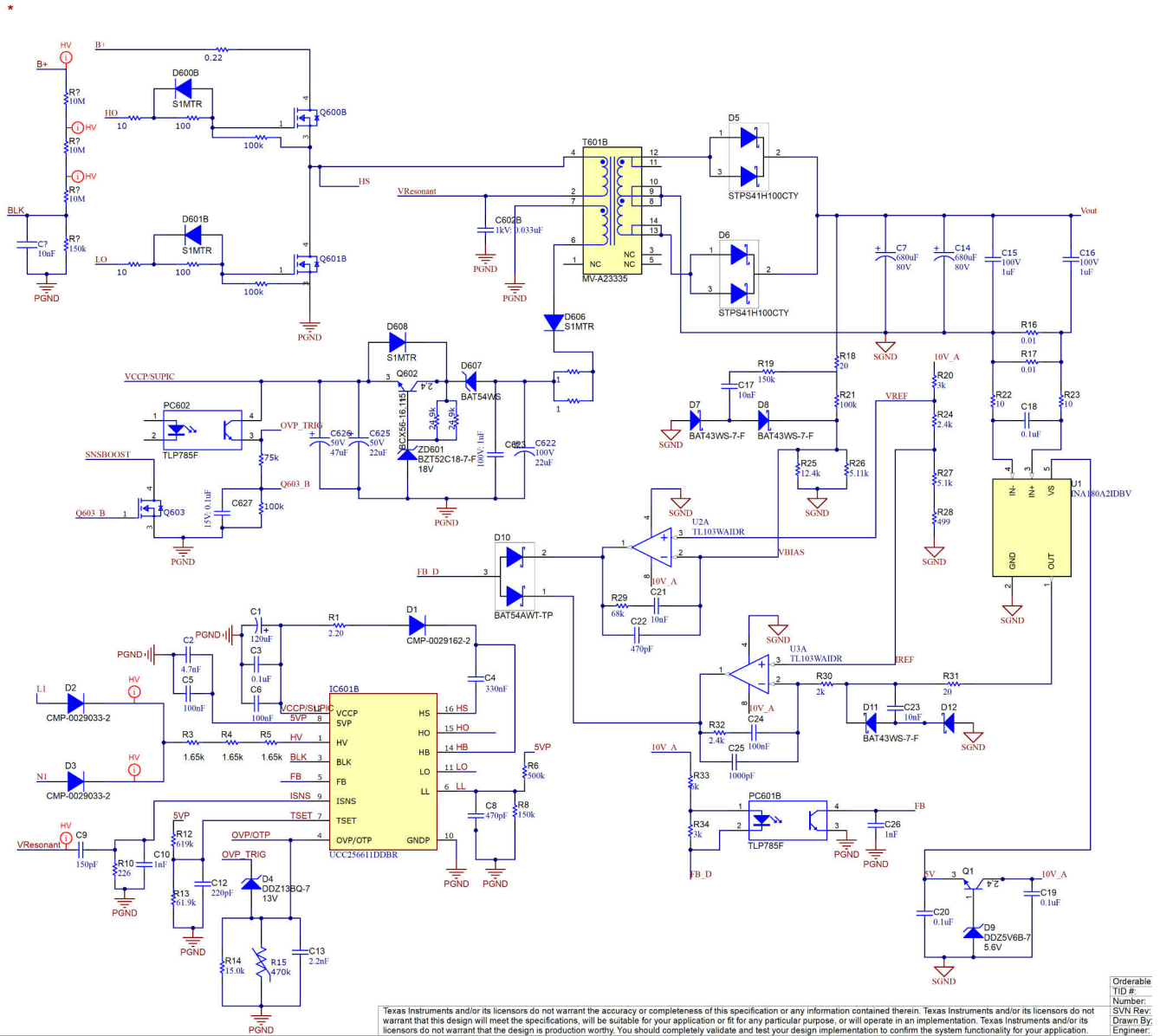


图 1-7. 采用 UCC25661x 的 CC-CV 控制环路电路

## 1.5 如何设置 OVP/OTP 引脚？

UCC25661x 系列使用一个多功能引脚 (OVP/OTP) 来监测是否出现输出过压和外部过热情况。要在正常情况下运行控制器，OVP/OTP 引脚电压应介于  $VOVP_{Pos}$  和  $VOTP_{Neg}$  之间。通常，OVP/OTP 引脚电压为  $I_{OTP} * NTC$  电阻。如果温度非常高，NTC 电阻会变得非常小。OVP/OTP 引脚电压因此变为小于  $VOTP_{Neg}$  时，IC 将触发 OTP 故障。

如果 LLC 转换器的输出电压变得足够高，以使  $VCCP$  变为高电平且 OVP/OTP 引脚中的齐纳二极管开始导通，则通过 NTC 电阻器的总电流变为 (齐纳二极管电流 +  $I_{OTP}$ )。因此，OVP/OTP 引脚处的电压开始上升。如果电压超过  $VOVP_{Pos}$ ，则 IC 触发 OVP 故障。

在设计使用  $VOVP_{Pos}$  和  $VOTP_{Neg}$  的电路时，必须考虑 OVP 和 OTP 比较器迟滞值。

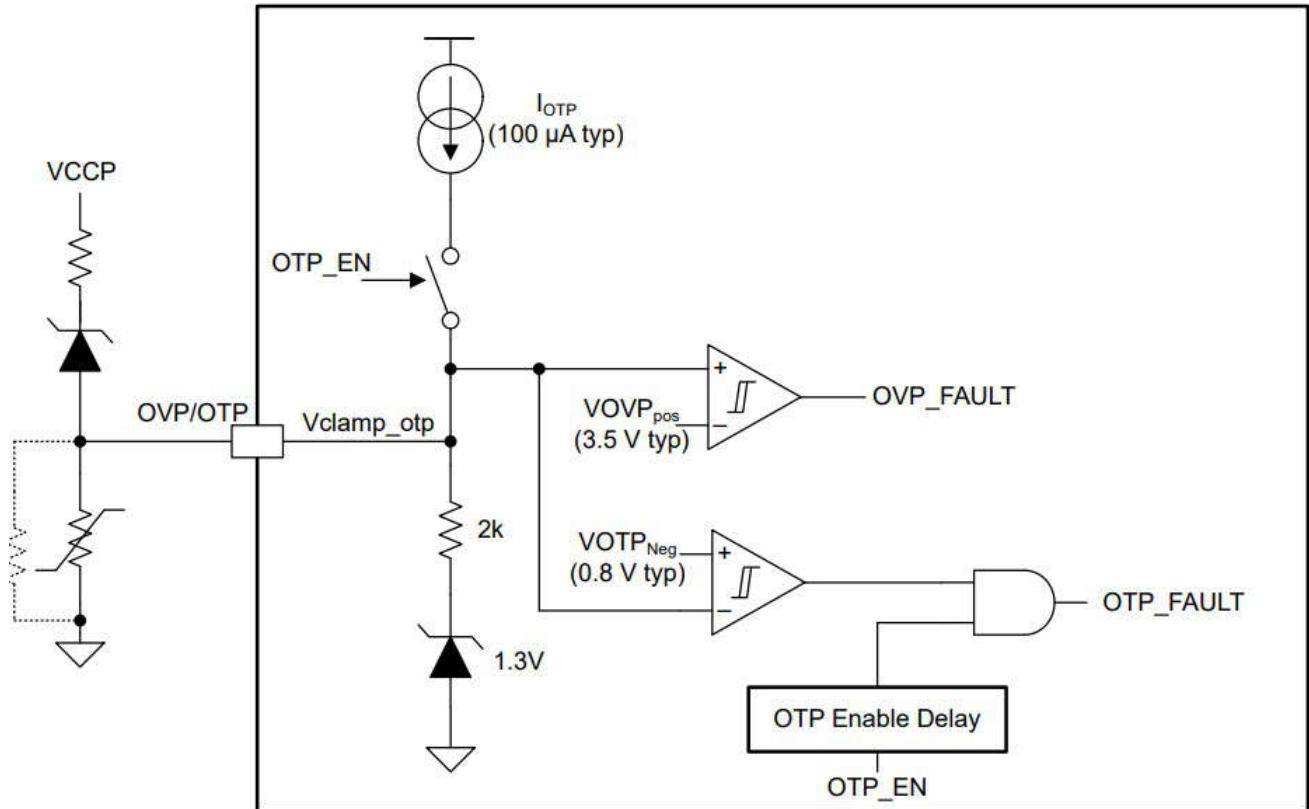


图 1-8. OVP/OTP 引脚架构

## 1.6 如何在 UCC25661x 系列中设置 TSET 引脚？

控制器启动时，会对 TSETA 和 TSETB 电压进行编程。 $V_{TSETB}$  电压配置 IPPC 工作的最小频率和最大死区时间。而  $(V_{TSETA} - V_{TSETB})$  配置积分器时间常数，可帮助设置给定功率输出的 FBReplica 量级。因此，在选择 TSET 时，首先检查满负载时转换器的最小开关频率，然后从 TSET 表中选择一个 TSET 选项，以使该 TSET 选项的最小开关频率小于转换器最小开关频率。之后，选择另一个 TSET 选项，该选项设置 VCR 合成器积分器时间常数，从而确保  $V_{fbreplica}$  与引脚间的关系图保持在 2V (轻负载时) 至 4V (峰值负载时) 之间。如果  $V_{fbreplica}$  达到 4.5V，控制器会触发过载保护 (OLP)，并传导过载电流持续 100ms，之后变为 1 秒故障。

例如，假设转换器的最小工作频率为 350kHz，因此用户可以为 TSETB 选择 1 到 12 之间的任何 TSET 选项。然后，假设在设计计算器中查看引脚与  $V_{fbReplica}$  间的关系图时，用户可以选择七到九之间的任何 TSET 选项，以使  $V_{fbReplica}$  与引脚间的关系图在二到四之间。对于这种情况，最好使用具有更高积分器时间常数的 TSET 选项 (例如，TSET 选项七)。原因是，随着积分器时间常数的减少，系统的带宽会增加。因此，在较大负载瞬态下，谐振电流以及 ISNS 电压可能会在某些周期内瞬间上升到超过 OCP 阈值电平 (3.5V)，并可能达到虚假的 OCP 电平。图 1-9 显示了上一个示例中 TSET 选择的设计计算器快照。

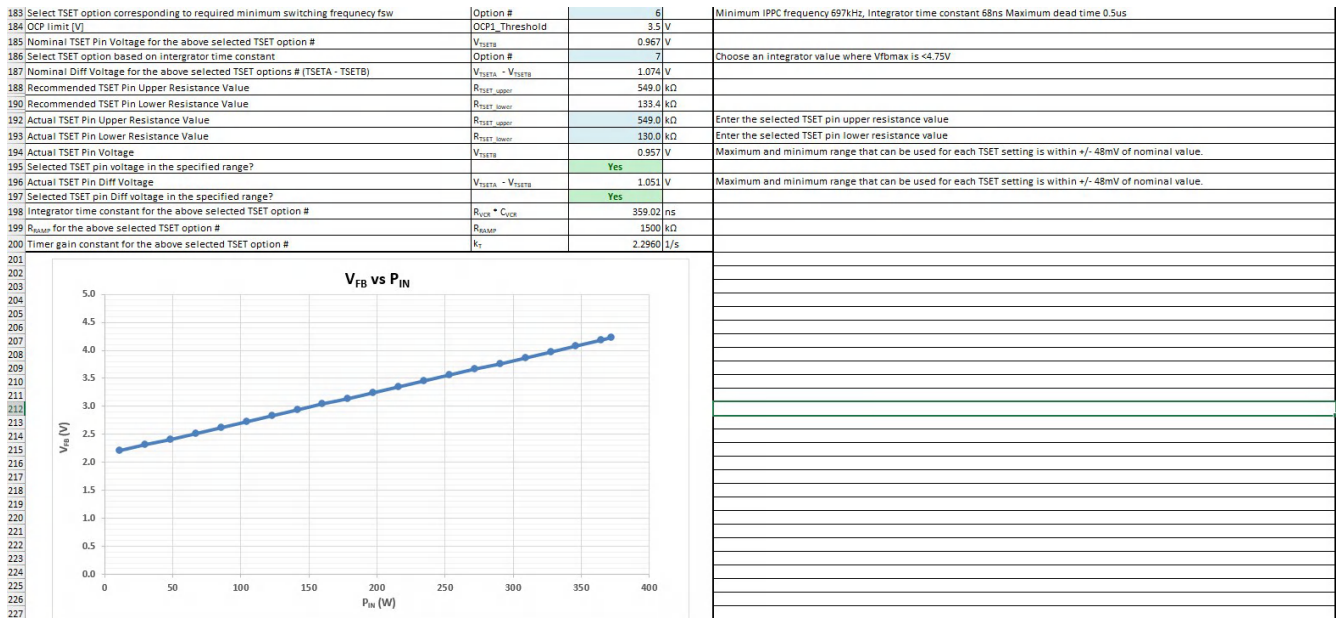


图 1-9. 设计计算器中的 TSET 选项选择

## 1.7 如何避免 FB 引脚饱和？如何检测该情况？

UCC25661x 的 FB 引脚由电流源驱动。因此，FB 引脚电压通常保持恒定 (典型值为 3.5V)。如果想要检查 FB 引脚电压是否饱和，则必须检查 FB 引脚电压。如果 FB 引脚电压降至 3V 以下，则表明与该 FB 引脚关联的光耦合器已饱和。如果 FB 引脚饱和，则转换器的瞬态响应将受到影响。通过使用以下电路避免此问题：在 V5P 引脚和 FB 引脚之间增加一个 1.5V 齐纳二极管 (D100) 和一个 2.22k 电阻器 (R100)，如图 1-10 所示。

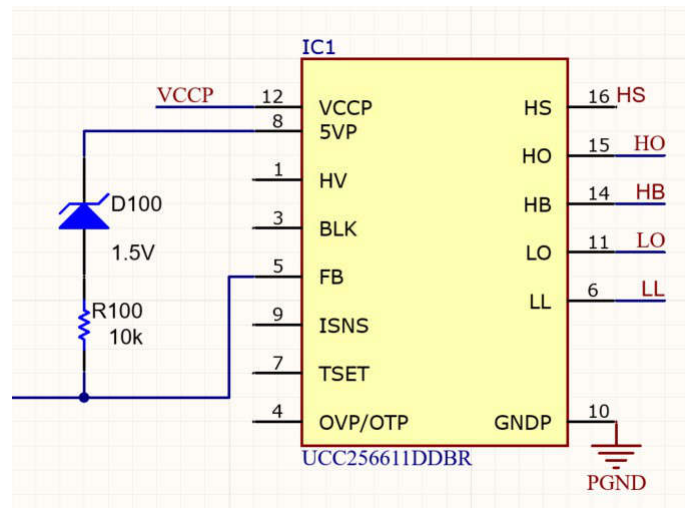


图 1-10. 防止 FB 引脚超出饱和的电路实现方案

### 1.8 如果 HV 引脚电流超过数据表中提及的值，器件是否会受损？

HV 电流在内部被钳位至最大值 13.8mA。因此，HV 电流不能超过该值。建议在 HV 引脚中使用 1kΩ 至 5kΩ 的 HV 电阻器。如果 HV 引脚的阻值增加过多，则电阻器两端的压降会更高，并限制 IC 可以工作的最小输入电压。

### 1.9 UCC25661 中的 TON 延长功能是如何工作的？

启动期间，在前几个开关周期内，初级侧上的 MOSFET 可能会经历体二极管反向恢复和硬开关。经历这种情况主要是因为：在启动时，谐振电容器可能具有偏离稳态工作电压 ( $V_{in}/2$ ) 的直流偏置电压（如图 1-11 所示），或者在启动时槽路中的谐振电流为零（如图 1-12 所示）。这些情况会导致启动时谐振槽路电流不对称。在前几个周期中，不对称可能足够高，以至于开关关断点的电流极性错误。TON 延长功能可避免使用 UCC25661x 器件时的电流极性错误。图 1-11 和图 1-12 展示了用于在早期周期内修复电流极性错误的 TON 延长功能。

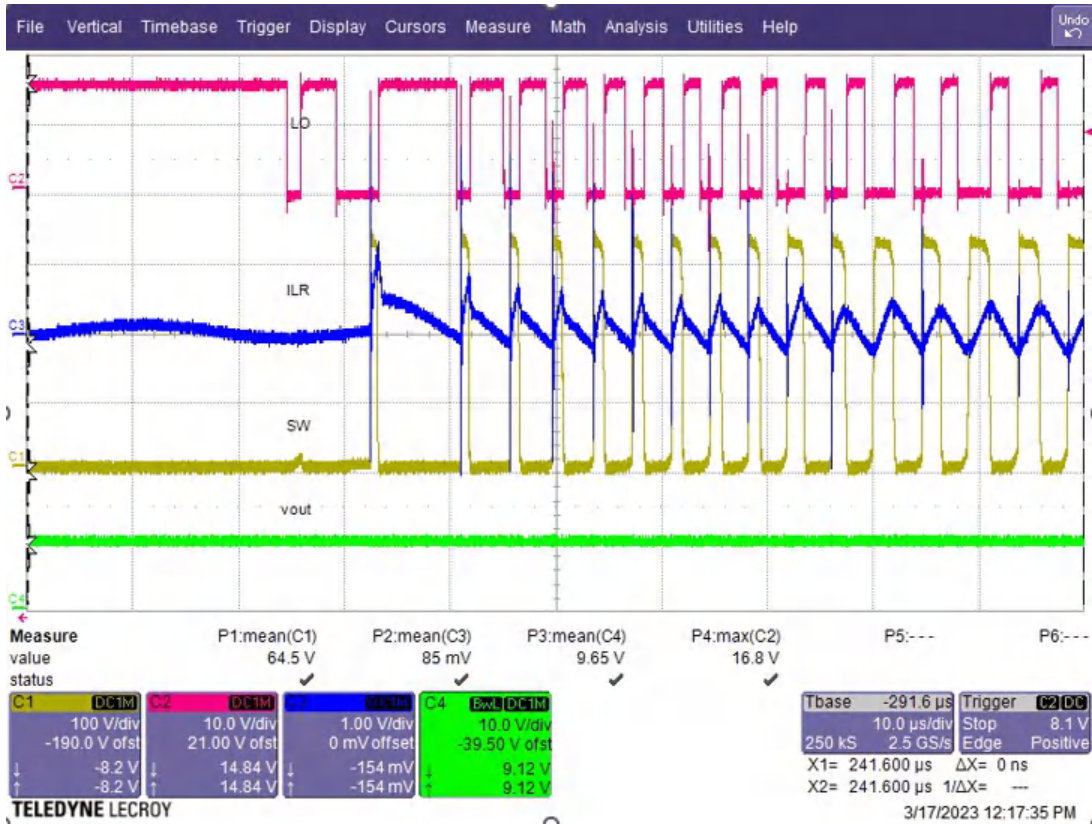


图 1-11. UCC25661x 的启动开关波形

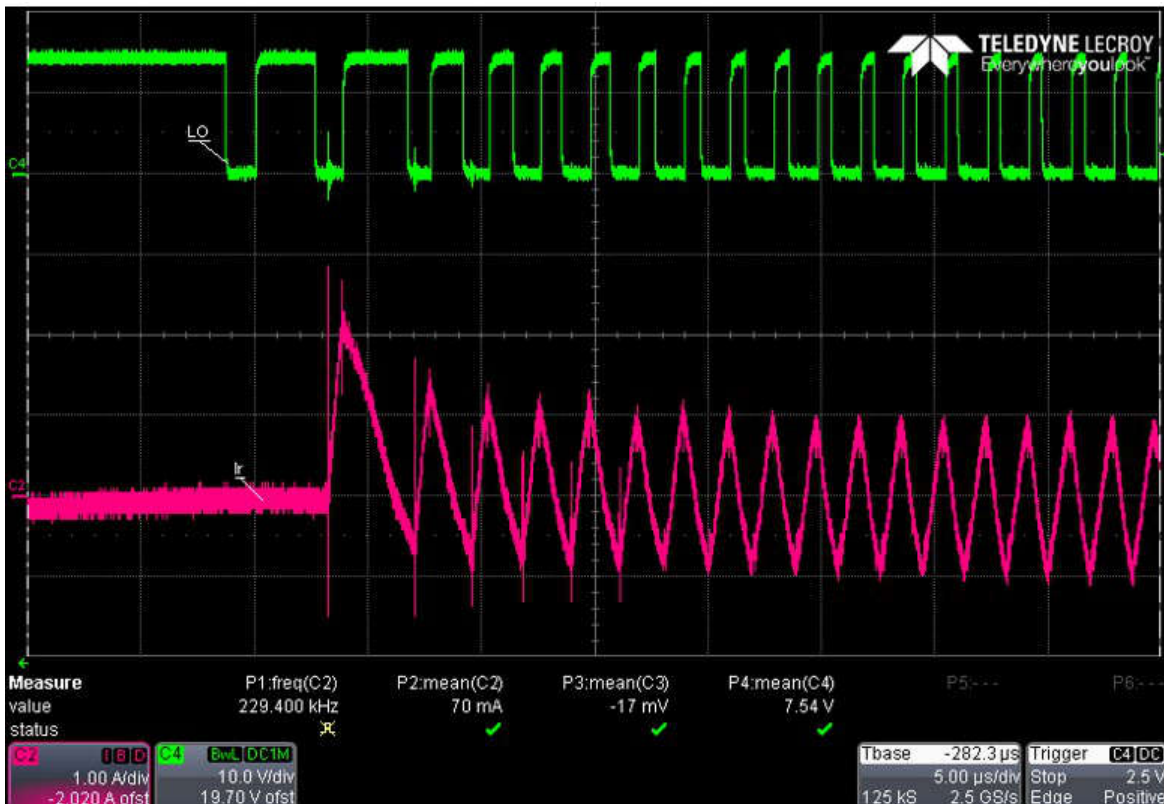


图 1-12. UCC25661x 中的 TON 延长

## 1.10 UCC25661x 中的 ZCS 保护是如何工作的？

LLC 在重负载条件下工作且开关频率过低时，通常会发生 ZCS。ZCS 检测依赖于谐振电流极性检测 (IPolarity)。IPolarity 比较器可检测谐振电流的方向。通过检查 HSON 或 LSON 下降沿的谐振电流极性，进行容性区域检测。如果谐振电流在 LSON 下降沿为正，或在 HSON 下降沿为负，则波形发生器中的 ZCS 信号会变为高电平。检测到 ZCS 事件时，内部软启动斜坡电压会缓慢降低。当内部软启动斜降时，开关频率也会被强制增加，从而强制转换器退出容性区域。如果在 10ms 期间出现持续 ZCS 情况，则 UCC25661x 系列控制器会停止开关并进入故障状态。

当运行接近电感/电容边界时，谐振电流会在栅极关断之前减小。如果 ISNS 波形小于 VISNS\_ZCS 阈值，则栅极脉冲 HO 会提前终止，而不是等待 VCR 波形越过 Vth 边界。这种提前栅极终止方案能够在栅极关断沿产生足够的谐振电流，以便在死区时间内驱动 ZVS 转换。类似的说明同样适用于 LO 栅极脉冲。

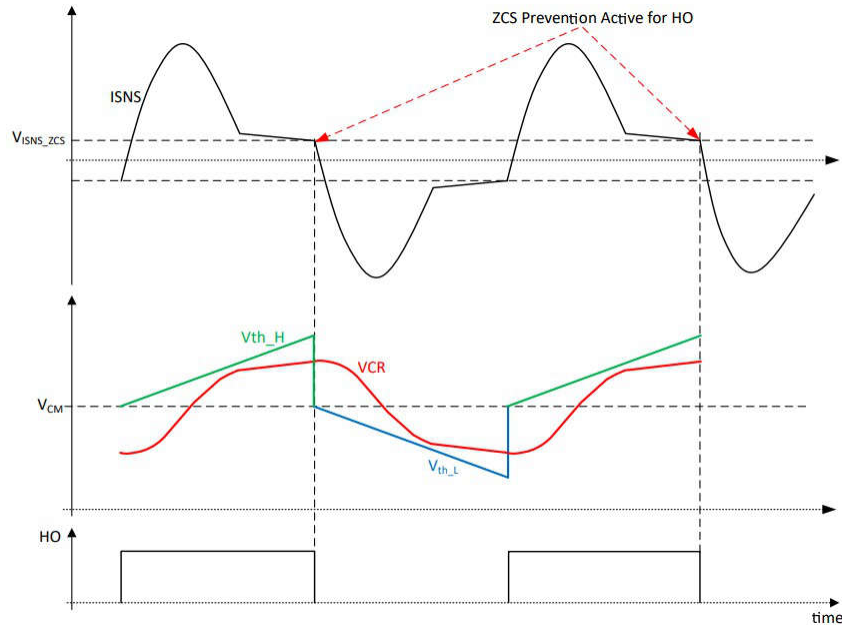


图 1-13. ZCS 边界处的 ZCS 规避算法

## 1.11 自适应死区时间是如何工作的？

在死区时间内，由于感性谐振电流的作用，HS 节点从一个输入电源轨摆动至另一个输入电源轨。要实现零电压开关 (ZVS) 导通，死区时间必须足够长，使谐振电流能够将 HS 节点完全充电或放电。体二极管开始导通后，MOSFET 必须快速导通。导通延迟过长可能会导致反向谐振电流，致使 ZVS 丢失。体二极管上的压降高于 MOSFET 通道上的压降。优化死区时间有助于更大限度地降低功率损耗。在死区时间内流经 HS 节点的谐振电流取决于 LLC 谐振槽路设计，并因工作频率和输出/输入电压比而有所不同。因此，优化的死区时间随 LLC 工作条件的不同而差异显著。UCC25661x 包括自适应死区时间控制功能，可在整个工作范围内自动找到优化的死区时间。该器件检测 HS 节点电压的压摆率变化。在开关转换期间，压摆率会先上升，然后回落至零。压摆率检测器用于检测压摆率降至预定义阈值以下的时刻。仅当死区时间内的压摆率超过阈值然后又回落至阈值以下时，才会检测到摆动完成事件。在突发模式下的 ZCS 预防运行期间，或在压摆率可能较慢的功率级中，谐振回路电流极性信号 (Ipolarity 比较器输出) 用于增强压摆率检测器。利用 LLC 的自然对称操作，压摆率检测器仅确定高侧开关关断和低侧开关导通之间的死区时间。此死区时间会被复制，然后应用于低侧 MOSFET 关断和高侧 MOSFET 导通之间的死区时间。

有一些例外情况，此时死区时间不会被复制

1. 在之前的高至低转换中缺少压摆率检测器信号，
2. 上一周期中的 ZCS 检测

在这些情况下，将使用基于 ISNS 信号的 Ipolarity 比较器，调整低至高转换期间的死区时间。

## 1.12 在 ZCS 检测期间以及在无有效压摆率检测的情况下如何确定 UCC25661x 中的死区时间？

### 情况 1：有效压摆率检测且无 ZCS

一旦高侧栅极 (HO) 关闭，低侧栅极 (LO) 就会在检测到压摆率后导通。在低侧关闭至高侧导通期间，会复制相同的死区时间。

### 情况 2：无压摆率检测且无 ZCS

如果在 HO 关闭后没有发生有效的压摆率检测，则两次转换 (HO 关闭到 LO 导通) 和 (LO 关闭到 HO 导通) 期间的死区时间取决于谐振电流极性。此外，该死区时间不会超过 1us 或 0.5us，具体取决于 TSET 设置。

### 情况 3：HO 关闭期间有 ZCS，LO 关闭期间无 ZCS

如果在 HO 关闭期间检测到 ZCS，则从 HO 关闭到 LO 导通的死区时间由谐振电流的极性 (IPolarity 信号) 决定。此时的最大死区时间不会超过 1.1us。LO 关闭至 HO 导通期间的死区时间取决于谐振电流极性。此外，该死区时间不会超过 1.1us。

### 情况 4：HO 关闭期间无 ZCS，LO 关闭期间有 ZCS

HO 关闭至 LO 导通期间的死区时间取决于压摆率检测，类似于情况 1。但是，如果在 HO 关闭后没有发生有效的压摆率检测，则 HO 关闭到 LO 导通期间的死区时间取决于谐振电流极性。此外，该死区时间不会超过 1us 或 0.5us，具体取决于 TSET 选项。如果在 LO 关闭期间检测到 ZCS，则从 LO 关闭到 HO 导通的时间由谐振电流的极性 (ISNS 信号) 决定。此时的最大死区时间不会超过 1.1us。

### 情况 5：HO 关闭和 LO 关闭期间都有 ZCS

如果在 HO 关闭期间检测到 ZCS，则从 HO 关闭到 LO 导通的死区时间由谐振电流的极性 (IPolarity 信号) 决定。此时的最大死区时间不会超过 1.1us。如果在 LO 关闭期间检测到 ZCS，则从 LO 关闭到 HO 导通的死区时间由谐振电流的极性 (IPolarity 信号) 决定。此时的最大死区时间不会超过 1.1us。

## 1.13 如何在不对转换器输入端施加高直流电压的情况下测试 UCC25661？

必须从外部直流电源向 Vcc 引脚施加 15V 电压。必须在 BLK 引脚处施加 1.5V 电压。必须探测 LO 和 HS 引脚以检查低侧 FET 栅极-源极电压和开关节点电压。在这种情况下，应该会发出一些 LO 脉冲。然后，缓慢地将直流输入电压增加至 20V，并逐步提升至 50V，同时检查 LO 脉冲和开关节点。如果一切正常，则 UCC25661 的 BLK 引脚可由输入电压和 BLK 电阻器供电，并可在转换器的输入侧施加高电压。

### 1.14 如何将 GaN 与 UCC25661x 连接？

UCC25661x 的开关频率可高达 750kHz。因此，将 UCC25661x 系列集成到 GaN 器件非常简单。例如，如果 UCC25661x 必须与 LMG2650 连接，则连接如图 1-14 所示。

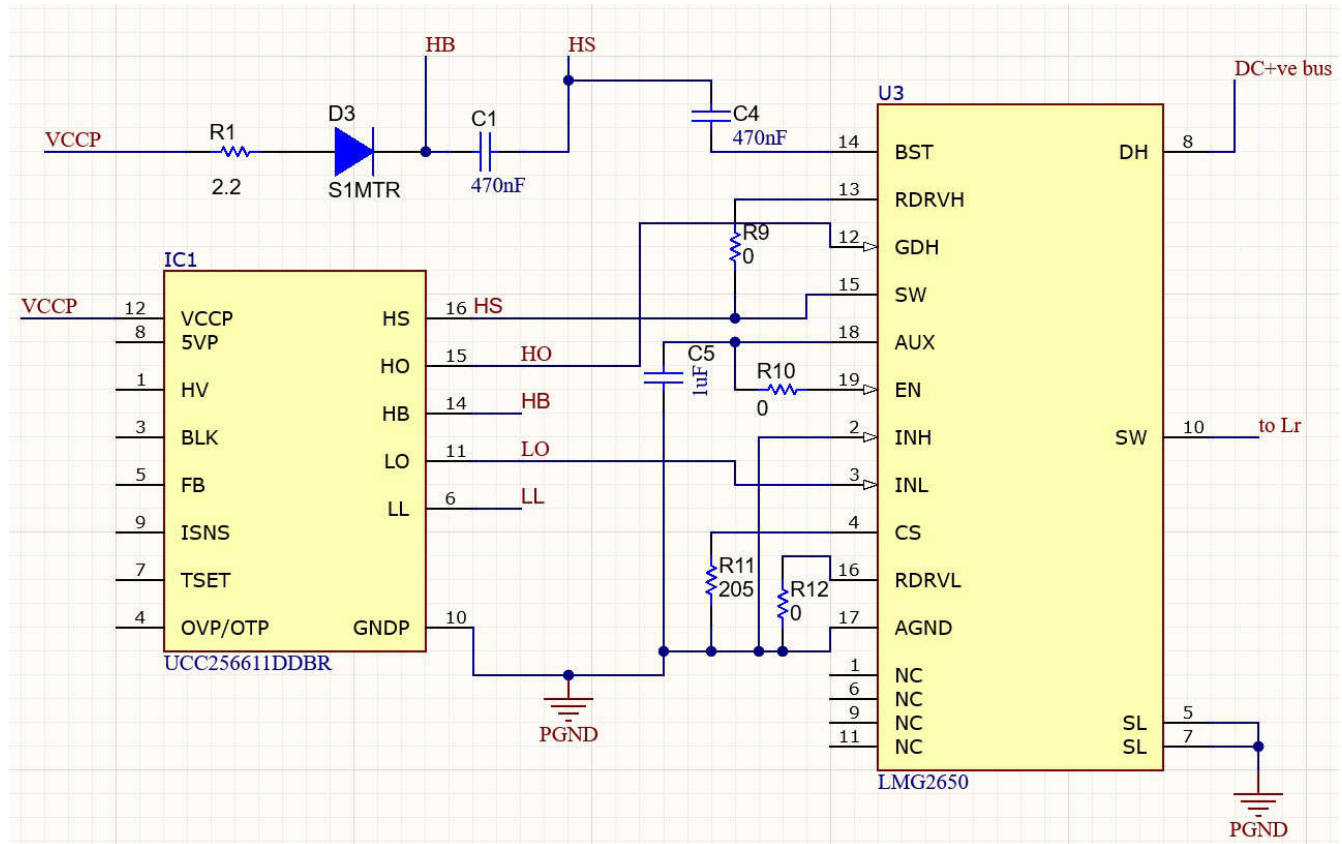


图 1-14. LMG2650 与 UCC25661x 互连

### 1.15 必须使用最大值是多少的 LL、TSET 和 ISNS 引脚去耦电容器？

通常，建议在 LL 和 TSET 引脚处使用时间常数值不超过 0.5ms 的去耦电容器。高于建议值的电容可能会导致相应引脚处的时间常数增加，从而导致在启动期间编程时相应引脚出现编程错误。建议在 ISNS 引脚处使用最大值为 1nF 的去耦电容器。LL、TSET 和 ISNS 引脚去耦电容器必须靠近 IC 放置。

### 1.16 如何在运行控制器时更改突发模式编程？

动态 LL 引脚配置可以在 UCC25661x 的 LL 引脚处完成，如图 1-15 所示。通过借助 LL\_Control 信号和 PC1 光耦合器导通 Q1，R3 可以用作与 R2 并联的电阻器。VLLA 在启动时进行编程，而 VLLB 在整个工作过程中由控制器进行检测。因此，可以使用 R1、R2 和 R3 的电阻值来更改 VLLB。此外，要在工作期间的任何时刻禁用突发模式，R3 值必须选择为 0Ω。如果需要隔离，LL\_Control 信号可以直接施加到 Q1 的栅极（以 PGND 为基准）。

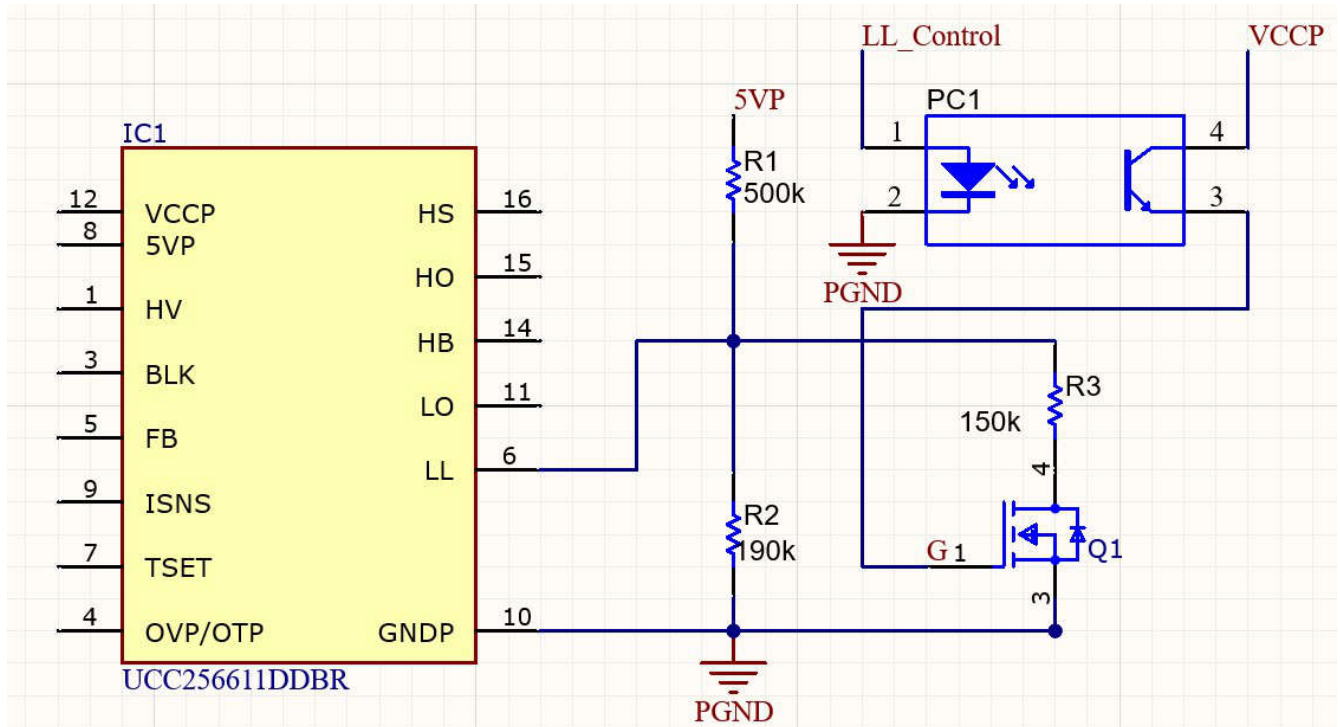


图 1-15. UCC25661x 中的动态 LL 引脚电路图

## 1.17 总结

UCC25661x 是一款模拟 LLC 控制器，在正常情况下开关频率可高达 750kHz，从而使其能够与 GaN 集成。该控制器可根据用户需求进行配置。该系列中的 UCC256610 和 UCC256614 型号能够支持宽输入 LLC 应用。

## 1.18 参考资料

1. 德州仪器 (TI), [UCC25661](#) 产品页面。
2. 德州仪器 (TI), [UCC25661-Q1](#) 产品页面。
3. 德州仪器 (TI), [UCC25661x 设计计算器](#), 设计计算器。
4. 德州仪器 (TI), [UCC25661EVM-128](#), EVM。

## 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 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月