

将ADuM4135栅极驱动器与Microsemi APTGT75A120T1G 1200 V IGBT模块 配合使用

作者：Martin Murnane

简介

绝缘栅极双极性晶体管(IGBT)是适用于高压应用的经济高效型解决方案，如车载充电器、非车载充电器、DC-DC快速充电器、开关模式电源(SMPS)应用。开关频率范围：直流至100 kHz。IGBT可以是单一器件，甚至是半桥器件，如图1所示设计选择的。

本应用笔记所述设计中的APTGT75A120 IGBT是快速沟槽器件，采用Microsemi Corporation®专有的视场光阑IGBT技术。该IGBT器件还具有低拖尾电流、高达20 kHz的开关频

率，以及由于对称设计，具有低杂散电感的软恢复并联二极管。选定IGBT模块的高集成度可在高频率下提供最优性能，并具有较低的结至外壳热阻。

使用ADI公司的栅极驱动技术驱动IGBT。ADuM4135栅极驱动器是一款单通道器件，在 >25 V的工作电压下（VDD至VSS），典型驱动能力为7 A源电流和灌电流。该器件具有最小100 kV/ μ s的共模瞬变抗扰度(CMTI)。ADuM4135可以提供高达30 V的正向电源，因此， ± 15 V电源足以满足此应用。

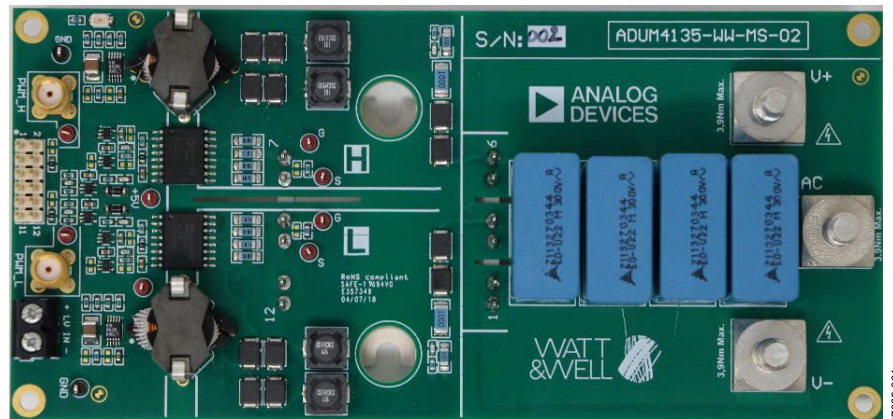


图1. ADuM4135栅极驱动器模块

目录

简介	1	负载测试	6
修订历史	2	开关 IGBT 的性能图和无负载测试	7
测试设置	3	高电流测试	8
电气设置	3	开关 IGBT 的性能图和负载测试	9
测试结果	4	去饱和测试	10
无负载测试	4	应用原理图	11
开关 IGBT 的性能图	5	结论	12

修订历史

2019年5月—修订版0：初始版

测试设置

电气设置

系统测试电路的电气设置如图 2 所示。直流电压施加于半桥两端的输入，900 μF (C1)的解耦电容添加到输入级。输出级为 200 μH (L1)和 50 μF (C2)的电感电容(LC)滤波器级，对输出进行滤波，传送到 2 Ω 至 30 Ω 的负载(R1)。表 1 详述了测试设置功率器件。U1 是用于 HV+和 HV-的直流电源，T1 和 T2 是单个 IGBT 模块。

完整电气设置如图 3 所示，表 2 详细列出了测试中使用的设备。

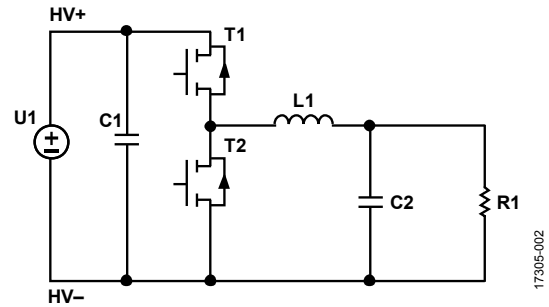


图2. 系统测试电路的电气设置

17305-002

表1. 测试设置功率器件

设备	值
IGBT模块, T1, T2	APTGT75A120T1G1
U1	200 V至900 V
电容C1	900 μF
电感L1	200 μH
电容C2	50 μF
负载电阻R1	2 Ω 至30 Ω

表 2. 完整设置设备

设备	制造厂商	产品型号
示波器	Agilent	DSO-X 3024A, 200 MHz
直流电源	Delta Elektronika	SN660-AR-11 (两个串行)
栅极驱动器板	WATT&WELL	ADUM4135-WW-MS-02 SN001
波形发生器	Agilent	33522A
电流探针	Hioki	3275
电流探针	Hioki	3276
无源电压探针	Keysight	N2873A, 500 MHz
无源高电压探针	Elditest	GE3421, 100 MHz
高压差分探针	Tektronix	P5200
高压差分探针	Testec	TT-SI 9110
热摄像头	Optris	PI 160

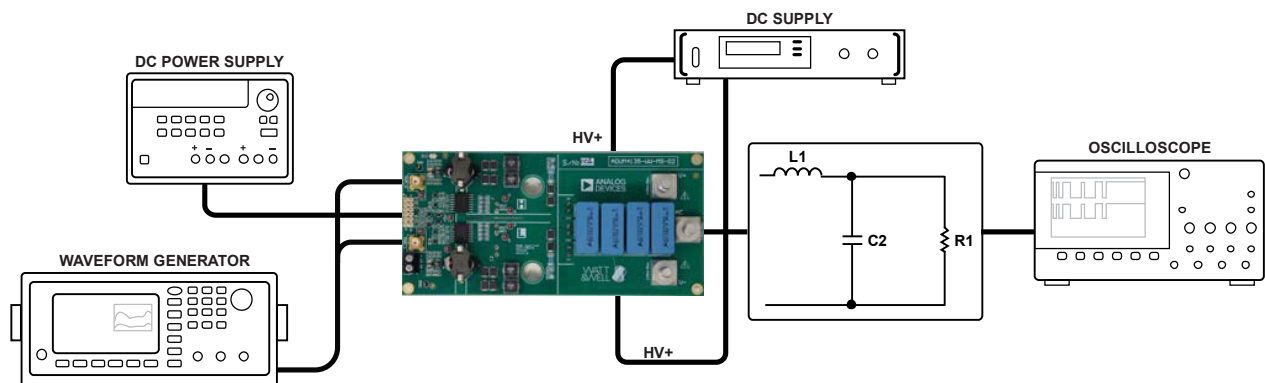


图3. 栅极驱动器配电板测试的连接图

17305-003

测试结果

无负载测试

在无负载测试设置中，在模块输出端汲取低输出电流。在此应用中，使用一个 $30\ \Omega$ 的电阻。

表 3 显示无负载的电气测试设置的重要元件，且负载内的电流低。表 4 显示在模块上观察到的温度。表 3 和表 4 总结了所观察到的结果。图 5 至图 10 显示各种电压和开关频率上的开关波形的测试结果。

如表 3 中所示，测试 1 和测试 2 在 600 V 电压下执行。测试 1 在 10 kHz 开关频率下执行，测试 2 在 20 kHz 开关频率下执行。测试 3 在 900 V 电压下执行，开关频率为 10 kHz。

图 4 显示无负载测试的电气设置。

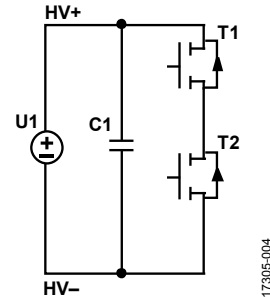


图4. 无负载测试的电气设置

表3. 无负载测试，对应插图

测试	直流电压, V_{DC}^1 , (V)	开关频率, f_{sw} , (kHz)	占空比(%)	I_{IN}^2 (A)	参考图
1	600	10	50	0.007	图5和图6
2	600	20	50	0.013	图7和图8
3	900	10	50	0.009	图9和图10

¹ V_{DC} 是HV+和HV-电压。

² I_{IN} 表示通过U1的输入电流。

表4. 无负载测试，温度总结¹

测试	V_{DC} (V)	f_{sw} (kHz)	温度		DC-DC电源温度		栅极驱动器温度	
			环境(°C)	散热器(°C)	高边(°C) ²	低边(°C) ²	高边(°C)	低边(°C)
1	600	10	26	30.8	34	34	38.2	37.6
2	600	20	26	31	35	35	39.5	39.4
3	900	10	26	31	34.2	34.2	38.6	37.7

¹ 所有温度都通过热摄像头记录。

² 从变压器测得。

开关IGBT的性能图

此部分测试结果显示不同目标电压下的开关波形，其中 $f_{sw} = 10\text{ kHz}$ 和 20 kHz 。 V_{DS} 是漏极-源极电压， V_{GS} 是栅极-源极电压。

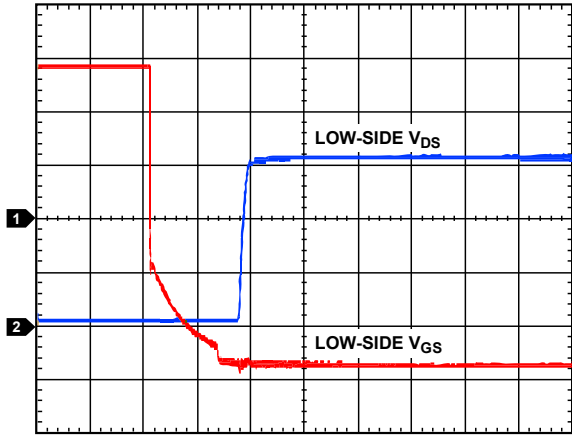


图5. $V_{DC} = 600\text{ V}$, $f_{sw} = 10\text{ kHz}$, 无负载

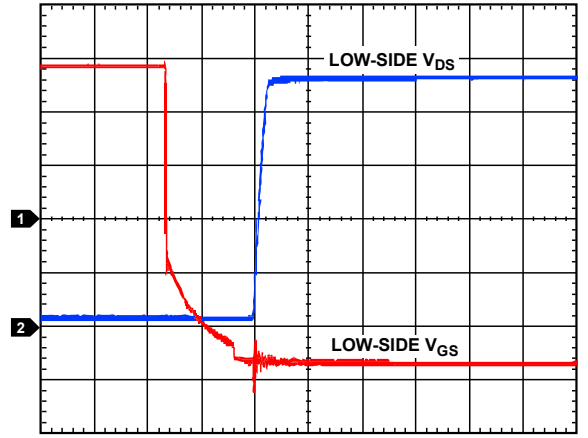


图8. $V_{DC} = 600\text{ V}$, $f_{sw} = 20\text{ kHz}$, 无负载

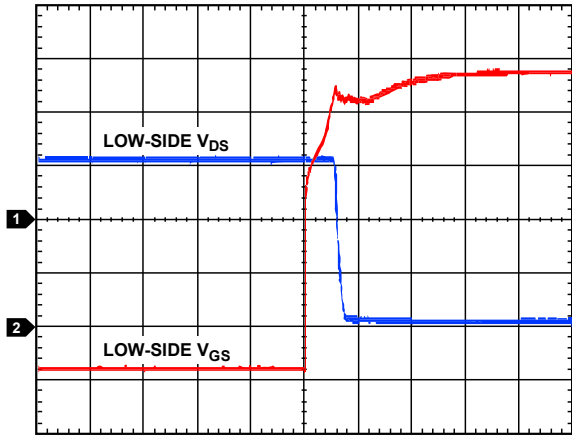


图6. $V_{DC} = 600\text{ V}$, $f_{sw} = 10\text{ kHz}$, 无负载

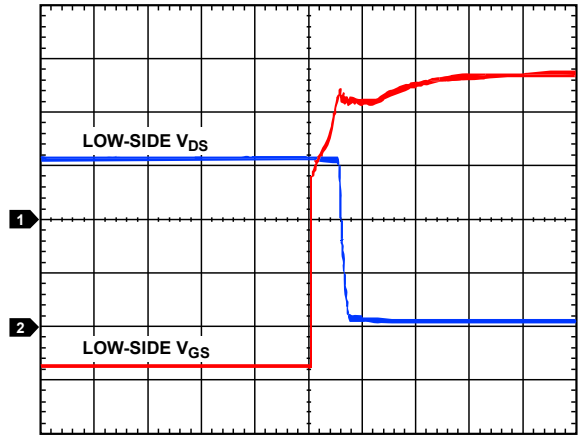


图9. $V_{DC} = 900\text{ V}$, $f_{sw} = 10\text{ kHz}$, 无负载

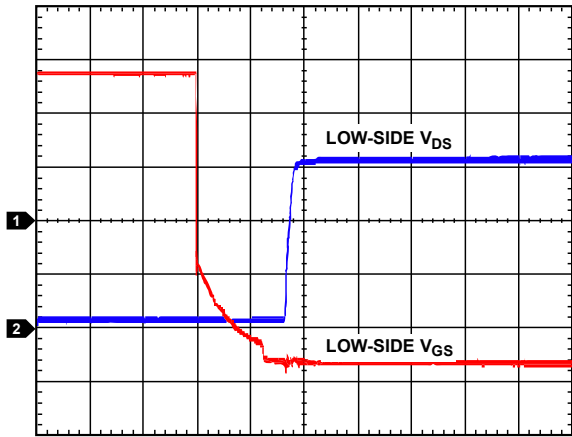


图7. $V_{DC} = 600\text{ V}$, $f_{sw} = 20\text{ kHz}$, 无负载

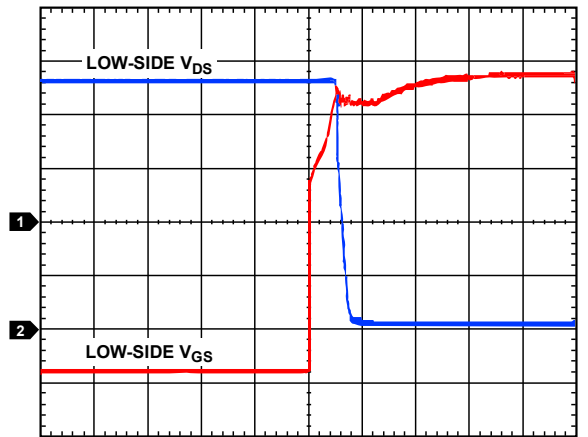


图10. $V_{DC} = 900\text{ V}$, $f_{sw} = 10\text{ kHz}$, 无负载

负载测试

测试配置类似于图 2 所示的测试设置。表 5 总结了观察到的结果，图 11 至图 16 显示各种电压、频率和负载下的测试性能和结果。

测试 4 在 200 V、10 kHz 开关频率下执行，占空比为 25%。

测试 5 在 600 V、10 kHz 开关频率下执行，占空比为 25%。

测试 6 在 900 V、10 kHz 开关频率下执行，占空比为 25%。

表5. 负载测试

测试	V _{DC} (V)	f _{sw} (kHz)	占空比(%)	I _{OUT} ¹ (A)	V _{OUT} ² (V)	P _{OUT} ³ (W)	I _{IN} (A)	参考图
4	200	10	25	1.8	49.3	90.2	0.55	图 11 和图 13
5	600	10	25	5.4	146.5	791.1	1.62	图 12 和图 14
6	900	10	25	7.8	214	1669.2	2.5	图 15 和图 16

¹ I_{OUT} 是负载电阻 R1 中的输出电流。

² V_{OUT} 是 R1 两端的输出电压。

³ P_{OUT} 是输出功率 (I_{OUT} × V_{OUT})。

开关IGBT的性能图和无负载测试

此部分测试结果显示 $f_{sw} = 10\text{ kHz}$ 和 20 kHz 的不同目标电压下的开关波形。

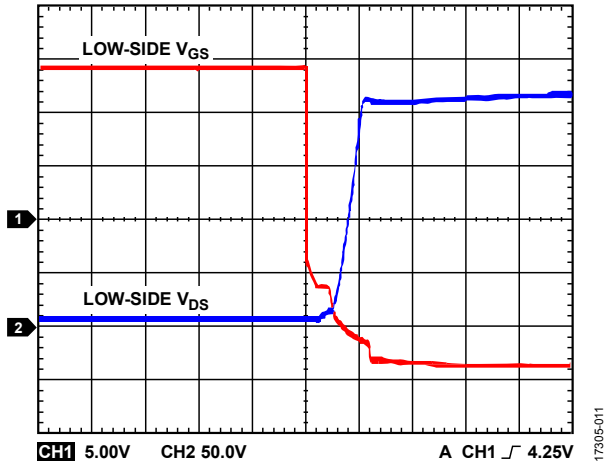


图11. $V_{DC} = 200\text{ V}$, $f_{sw} = 10\text{ kHz}$, $P_{OUT} = 90.2\text{ W}$

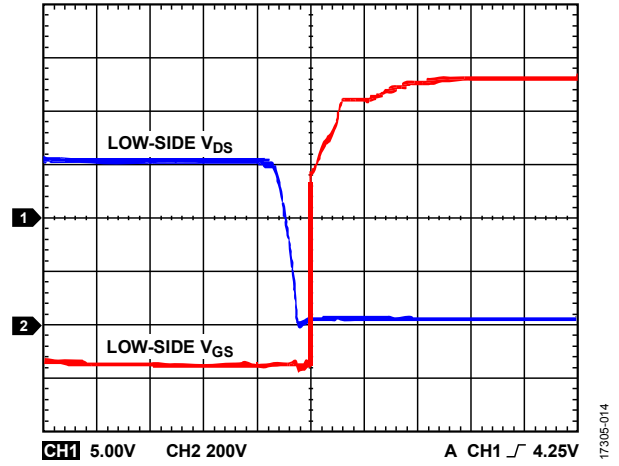


图14. $V_{DC} = 600\text{ V}$, $f_{sw} = 10\text{ kHz}$, $P_{OUT} = 791.1\text{ W}$

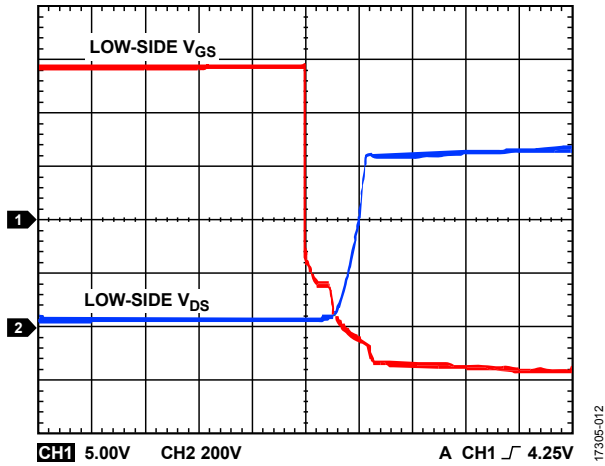


图12. $V_{DC} = 600\text{ V}$, $f_{sw} = 10\text{ kHz}$, $P_{OUT} = 791.1\text{ W}$

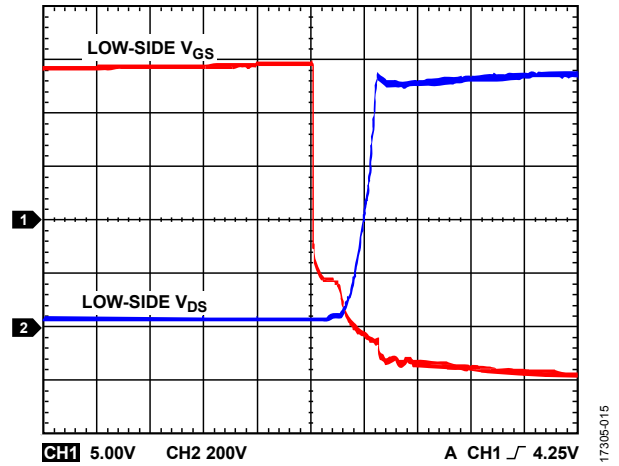


图15. $V_{DC} = 900\text{ V}$, $f_{sw} = 10\text{ kHz}$, $P_{OUT} = 1669.2\text{ W}$

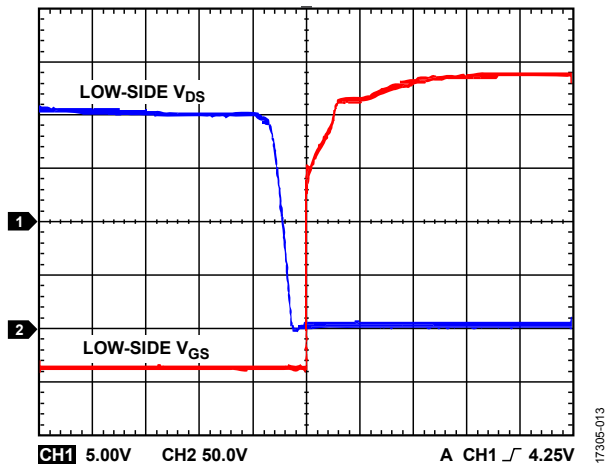


图13. $V_{DC} = 200\text{ V}$, $f_{sw} = 10\text{ kHz}$, $P_{OUT} = 90.2\text{ W}$

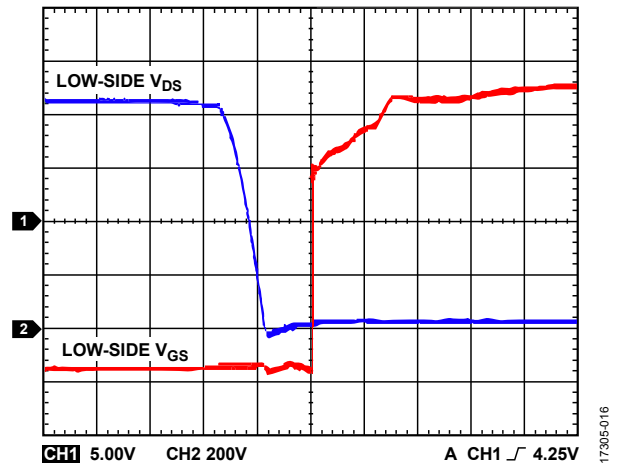


图16. $V_{DC} = 900\text{ V}$, $f_{sw} = 10\text{ kHz}$, $P_{OUT} = 1669.2\text{ W}$

高电流测试

测试配置类似于图3中所示的物理设置。表6总结了观察到的结果，图17至图20显示各种电压、频率和负载下的测试性能和结果。

输出负载电阻视各个测试而异，如表 1 所示，其中 $2\ \Omega$ 到 $30\ \Omega$ 负载用于改变电流。测量 V_{OUT} ，也就是 R1 两端的电压。

测试 7 在 300 V、10 kHz 开关频率下执行，占空比为 25%。

测试 8 在 400 V、10 kHz 开关频率下执行，占空比为 25%。

表6. 高电流测试

测试	V_{DC} (V)	f_{SW} (kHz)	占空比(%)	I_{OUT} (A)	V_{OUT} (V)	P_{IN}^1 (W)	I_{IN} (A)	参考图
7	300	10	25	19.6	68.7	1346.3	5	图 17 和图 19
8	400	10	25	25.8	91.7	2365.9	6.6	图 18 和图 20

¹ P_{IN} 是输入电源($I_{IN} \times V_{IN}$)，其中 V_{IN} 是直流电源电压。

开关IGBT的性能图和负载测试

此部分测试结果显示 $f_{sw} = 10\text{ kHz}$ 和 20 kHz 的不同目标电压下的开关波形。

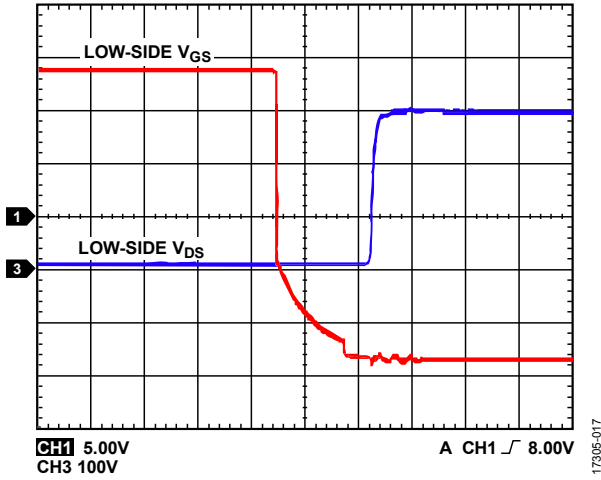


图17. $V_{DC} = 300\text{ V}$, $f_{sw} = 10\text{ kHz}$, $P_{OUT} = 1346.3\text{ W}$

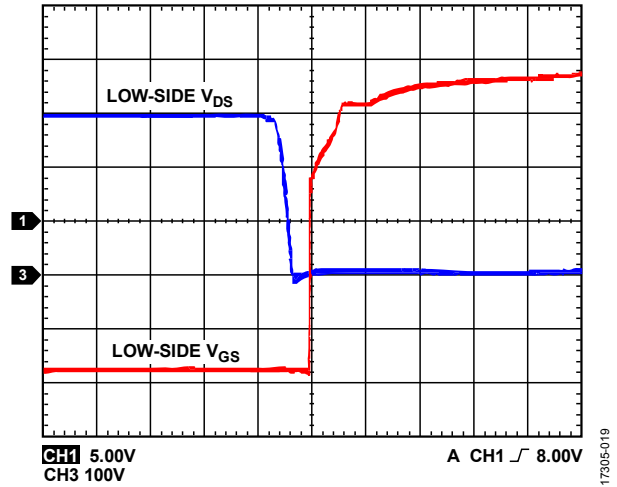


图19. $V_{DC} = 300\text{ V}$, $f_{sw} = 10\text{ kHz}$, $P_{OUT} = 1346.3\text{ W}$

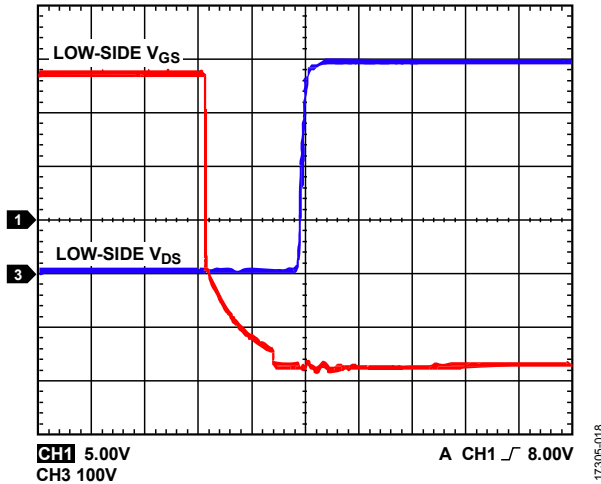


图18. $V_{DC} = 400\text{ V}$, $f_{sw} = 10\text{ kHz}$, $P_{OUT} = 2365.9\text{ W}$

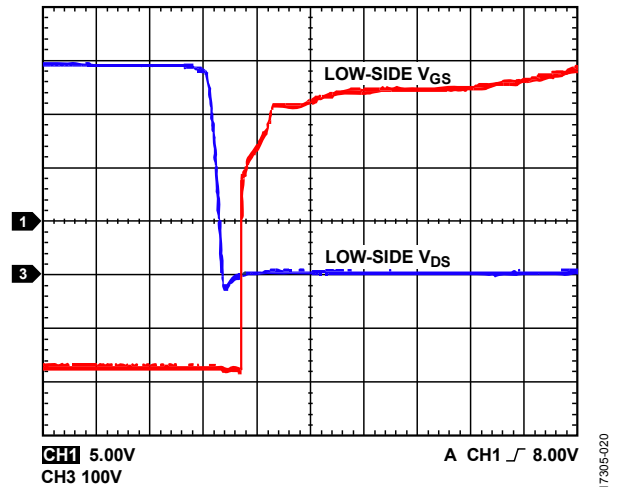


图20. $V_{DC} = 400\text{ V}$, $f_{sw} = 10\text{ kHz}$, $P_{OUT} = 2365.9\text{ W}$

去饱和和测试

系统测试电路的电气设置如图 21 所示。直流电压施加于半桥两端的输入，900 μF 的解耦电容添加到输入级。此设置用于测试去饱和和检测。在此应用中，最大 $I_c = 150\text{ A}$ ，其中 I_c 是通过 T1 和 T2 的电流。

高端开关 IGBT (T1) 被 83 μH 的电感旁路，T1 开关必须关闭。

低端开关 IGBT (T2) 每 500 ms 被驱动 50 μs 。

表 7 详细列出了去饱和和测试设置的功率器件。

图 22 显示电感 L1 中电流 135 A 时的开关动作，图 23 显示电感 L1 中电流 139 A 时的去饱和检测。

表 7. 功率器件去饱和和测试的测试设置

设备	值
U1	0 V 至 80 V
C1	900 μF
L1	83 μH

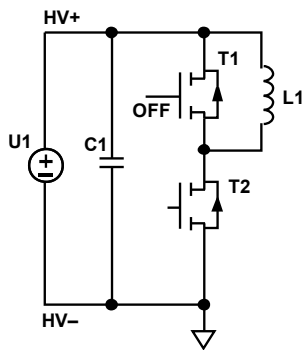


图 21. 系统测试电路的电气设置

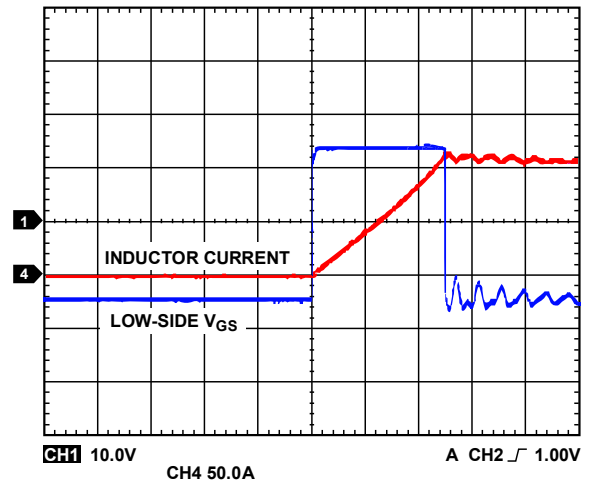


图 22. $V_{DC} < 68\text{ V}$, $f_{sw} = 2\text{ Hz}$, 占空比 = 0.01%

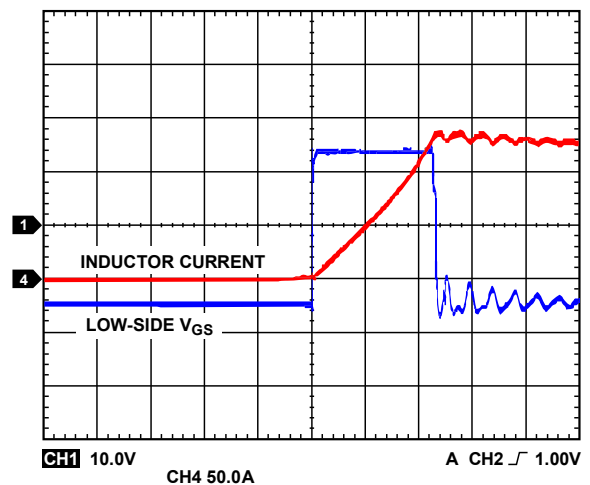


图 23. $V_{DC} > 68\text{ V}$, $f_{sw} = 2\text{ Hz}$, 占空比 = 0.01%

结论

ADuM4135栅极驱动器具有优异的电流驱动能力，合适的电源范围，还有 100 kV/ μ s 的强大 CMTI 能力，在驱动 IGBT 时提供优良的性能。

本应用笔记中的测试结果提供的数据表明，ADuM4135评估板是驱动 IGBT 的高压应用的解决方案。