



AN-1536 アプリケーション・ノート

APTMC120AM20CT1AG SiC パワー・スイッチを駆動する ADuM4135 ゲート・ドライバの性能

著者: Martin Murnane

はじめに

太陽光発電 (PV) やエネルギー貯蔵などのアプリケーションにおいては、これまで求められてきた効率向上の必要性に加え、電力密度が増大する傾向にあります。この問題に対するソリューションが、シリコン・カーバイド (SiC) パワー・デバイスの形となって現れています。SiC デバイスはワイド・バンドギャップ・デバイスで、DC 動作電圧を 1000 V 以上に上げることが可能です。ドレイン・ソース・インピーダンス ($R_{DS(on)}$) も低くすることができます。また SiC デバイスは、絶縁性を上げ、それにより効率を向上させるというニーズにも応えます。さらに、SiC デバイスは寄生容量が小さく、それによるスイッチング時の電荷量も少ないため、100 kHz を上回る高速スイッチング速度を示します。しかし、短所の 1 つとして、ゲート・ドライバには 100 kV/ μ s を超える高いコモンモード過渡耐圧 (CMTI) が必要となります。また、SiC のドレイン・ソース間の高速スイッ

チングによりデバイスのゲートでリングングが発生する可能性があるという短所もあります。SiC を実装することで著しく電力密度が改善できる状況において SiC デバイスを高電圧で駆動する場合、このような短所によって問題が発生する可能性があります。この問題を解決できるゲート・ドライバと SiC の組み合わせの 1 つが、ADuM4135 と Microsemi 製 APTMC120AM20CT1AG モジュールです。ADuM4135 ゲート・ドライバは、25 V の動作電圧 ($V_{DD} \cdot V_{SS}$ 間電圧) 時に 7 A (代表値) のソースおよびシンク電流駆動能力を持つ 1 チャンネル・デバイスです。CMTI の最小値は 100 kV/ μ s です。APTMC120AM20CT1AG パワー・モジュールは、ハーフ・ブリッジ SiC デバイスで、1200 V (定格値) のコレクタ・エミッタ電圧、17 m Ω の $R_{DS(on)}$ 、108 A の直流駆動電流の性能を示します。ゲート・ソース間電圧 (V_{GS}) の定格は、-10 V ~ +25 V です。



図 1. ADuM4135 ゲート・ドライバ・モジュール

アナログ・デバイス社は、提供する情報が正確で信頼できるものであることを期していますが、その情報の利用に関して、あるいは利用によって生じる第三者の特許やその他の権利の侵害に関して一切の責任を負いません。また、アナログ・デバイス社の特許または特許の権利の使用を明示的または暗示的に許諾するものでもありません。仕様は、予告なく変更される場合があります。本紙記載の商標および登録商標は、それぞれの所有者の財産です。※日本語版資料は REVISION が古い場合があります。最新の内容については、英語版をご参照ください。

Rev. 0

©2018 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

アナログ・デバイス株式会社

本 社	〒105-6891	東京都港区海岸 1-16-1	ニューピア竹芝サウスタワービル 10F
電話	03 (5402) 8200		
大 阪営業所	〒532-0003	大阪府大阪市淀川区宮原 3-5-36	新大阪トラストタワー 10F
電話	06 (6350) 6868		
名古屋営業所	〒451-6038	愛知県名古屋市中区牛島町 6-1	名古屋ルーセントタワー 40F
電話	052 (569) 6300		

目次

はじめに.....	1	負荷試験.....	6
改訂履歴.....	2	高電流試験.....	8
試験構成.....	3	PWM 遅延.....	9
電氣的構成.....	3	回路図.....	10
テスト結果.....	4	まとめ.....	11
無負荷試験.....	4		

改訂履歴

4/2018—Revision 0: Initial Version

試験構成

電氣的構成

システムの試験回路構成を図 2 に示します。DC 電圧がフル・ハーフ・ブリッジ全体の入力に印加されます。入力段には 900 μF のデカップリング・コンデンサが付加されています。出力段は、83 μH と 128 μF のインダクタ・コンデンサ (LC) フィルタ段で、ここでフィルタリングを行って 2 Ω ~ 30 Ω の負荷 R1 に出力します。

表 1 に試験構成の電力部品を示します。具体的な構成を図 3 に示します。表 2 には試験で使用した装置構成の詳細を示します。

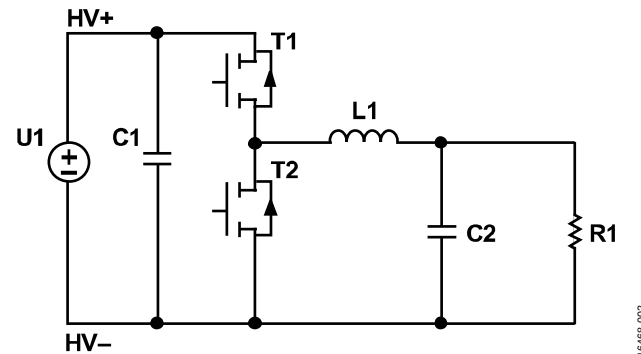


図 2. システムの試験回路構成

表 1. 試験構成の電力部品

Equipment	Value
U1	200 V to 900 V
C1	900 μF
L1	83 μH
C2	128 μF
R1	2 Ω to 30 Ω

表 2. 試験で使用した装置構成

Equipment	Manufacturer	Type
Oscilloscope	Keysight	DSO-X 3024T
DC Supply	Delta Elektronika	SM 660-AR-11 (two in serial)
Gate Driver Board	Watt&Well	ADUM4135-WW-MS-01 SN001
Waveform Generator	Agilent	33522A
Current Probe	Hioki	3275
Passive Voltage Probe	Keysight	N2873A 500 MHz
Passive High Voltage Probe	Elditest	GE3421 100 MHz

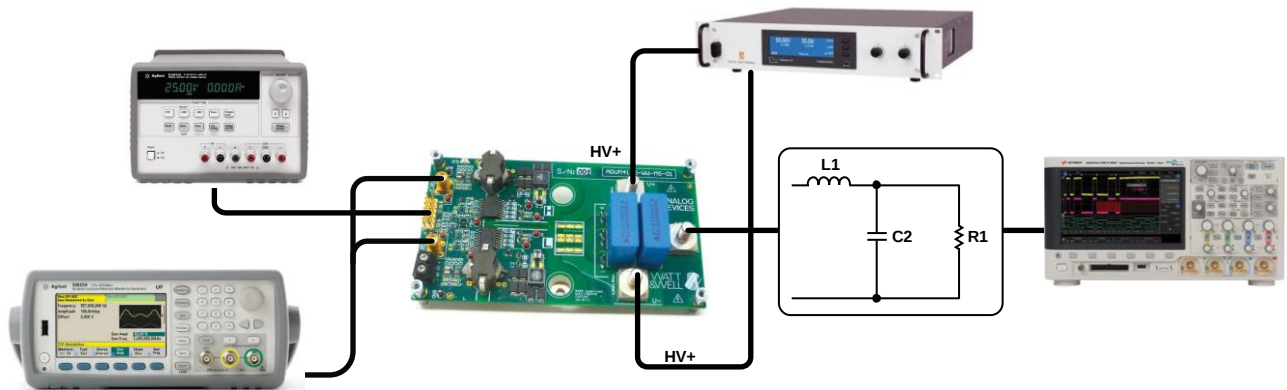


図 3. 具体的な構成

テスト結果

無負荷試験

表 3. 無負荷試験 – 図の割り振り

Test	V_{HV} (V) ¹	Switching Frequency, f_{SW} (kHz)	Duty Cycle (%)	I_{IN} (A) ²	Figures
1	600	50	50	0.26	図 4 and 図 5
2	600	100	50	0.22	図 6 and 図 7
3	900	50	50	0.37	図 8 and 図 9

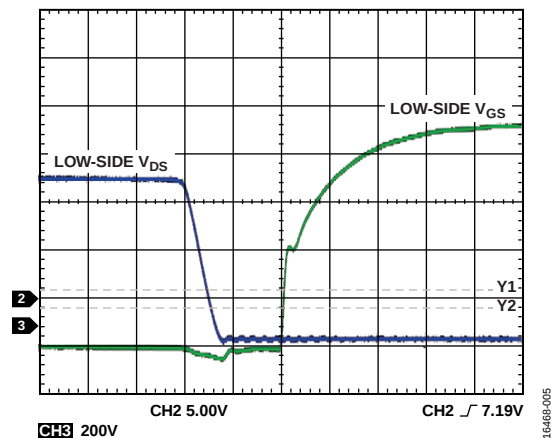
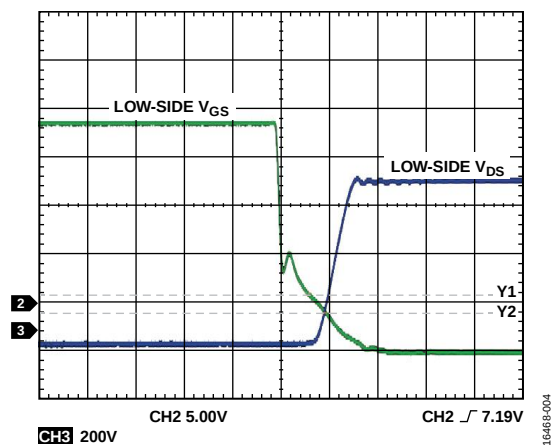
¹ V_{HV} は HV+ と HV- の間の差動電圧。

² I_{IN} は U1 を流れる入力電流。

表 4. 無負荷試験 – 温度のまとめ

Test	V_{HV} (V)	f_{SW} (kHz)	Ambient Temperature (°C)	Heatsink Temperature (°C)	DC-to-DC Power Supply Temperature, High-Side (°C)	DC-to-DC Power Supply Temperature, Low-Side (°C)	Gate Driver Temperature, High-Side (°C)	Gate Driver Temperature, Low-Side (°C)
4	600	50	20	21.3	25.4	25.4	34	33.5
5	600	100	20	23.5	31.5	31.5	42	42
6	900	50	20	23	29	29	37	37

ADuM4135 の最新バージョンには、変更点がいくつかあります。2.2 nF のコンデンサが、パワー MOSFET（金属酸化半導体電界効果トランジスタ）Q1 と Q2 に追加されました。また、15 nF の C0G デカップリング・コンデンサが V_{HV} に追加されています。表 3 と表 4 に測定結果をまとめます。図 4 ～ 図 9 は結果をグラフで示したものです。試験 1 と試験 2 は 600 V で行ったもので、スイッチング周波数はそれぞれ 50 kHz と 100 kHz です。これに対し、試験 3 は 900 V、スイッチング周波数 50 kHz で行ったものです。

図 4. $V_{HV} = 600$ V、 $f_{SW} = 50$ kHz、無負荷、ターン・オン図 5. $V_{HV} = 600$ V、 $f_{SW} = 50$ kHz、無負荷、ターン・オフ

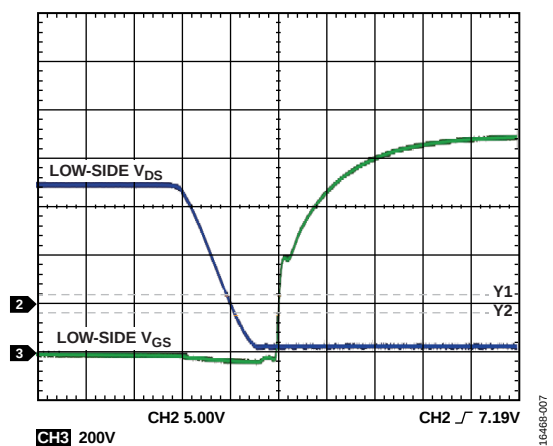


図 6. $V_{HV} = 600\text{ V}$ 、 $f_{SW} = 100\text{ kHz}$ 、無負荷、ターン・オン

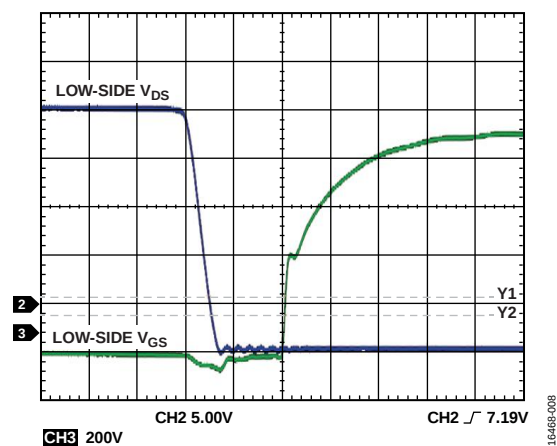


図 8. $V_{HV} = 900\text{ V}$ 、 $f_{SW} = 50\text{ kHz}$ 、無負荷、ターン・オン

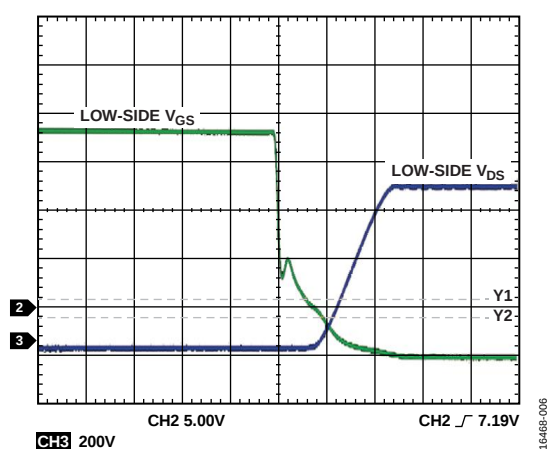


図 7. $V_{HV} = 600\text{ V}$ 、 $f_{SW} = 100\text{ kHz}$ 、無負荷、ターン・オフ

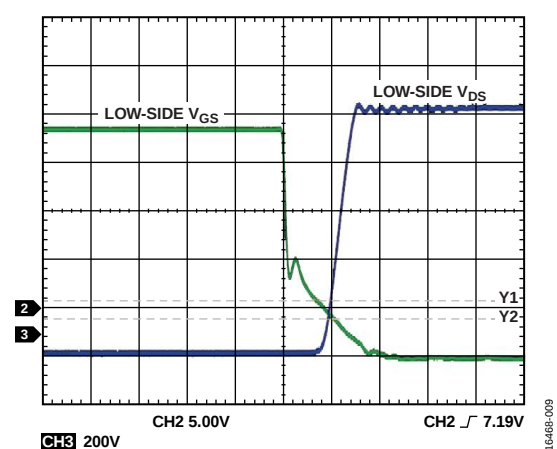


図 9. $V_{HV} = 900\text{ V}$ 、 $f_{SW} = 50\text{ kHz}$ 、無負荷、ターン・オフ

負荷試験

表 5. 負荷試験

Test	V_{HV} (V)	f_{SW} (kHz)	Duty Cycle (%)	I_{OUT}^1 (A)	V_{OUT}^2 (V)	P_{OUT}^3 (W)	I_{IN}^4 (A)	Figures
4	200	50	25	1.7	48	83	0.55	Figure 10 and Figure 11
5	600	50	25	6.9	145	1000	1.66	Figure 12 and Figure 13
6	900	50	25	8.7	215	1870.5	2.47	Figure 14 and Figure 15
7	900	100	25	8.2	200	1640	2.13	Figure 16 and Figure 17

¹ I_{OUT} は負荷抵抗 R1 を流れる出力電流。

² V_{OUT} は R1 に印加される出力電圧。

³ P_{OUT} は出力電力 ($I_{OUT} \times V_{OUT}$)。

⁴ I_{IN} は U1 を流れる入力電流。

基板の構成は、無負荷試験のセクションで説明した試験構成と同様です。

表 5 に負荷試験の測定結果をまとめます。図 10 ～ 図 17 は結果をグラフで示したものです。

出力電圧 (V_{OUT}) は R1 の両端の電圧を測定したものです。この試験結果は、 V_{GS} に若干のミラー効果が表れることを示していますが、 V_{GS} は SiC のゲートにおいて -5 V のレベルを維持しています。900 V のときは、 V_{DS} にある程度のリングングが見られますが、入力 DC 電圧の 100 V を下回っています。この設計によって、ADuM4135 が SiC MOSFET を駆動するのに問題のない性能を持っていることがわかります。

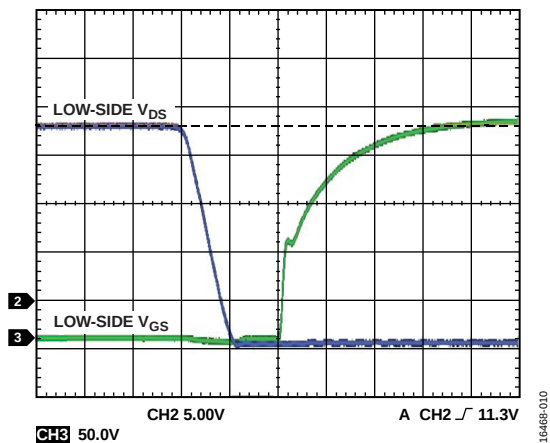


図 10. $V_{HV} = 200$ V、 $f_{SW} = 50$ kHz、 $P_{OUT} = 83$ W、ターン・オン

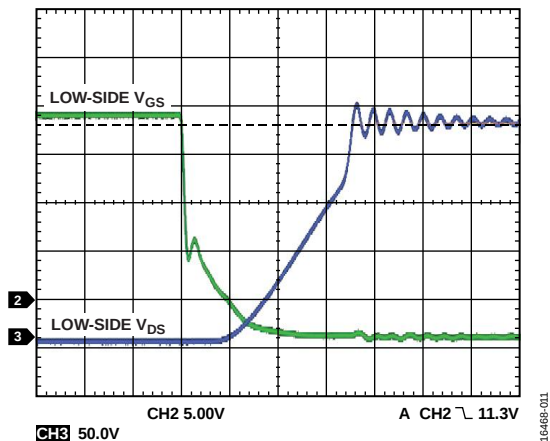


図 11. $V_{HV} = 200$ V、 $f_{SW} = 50$ kHz、 $P_{OUT} = 83$ W、ターン・オフ

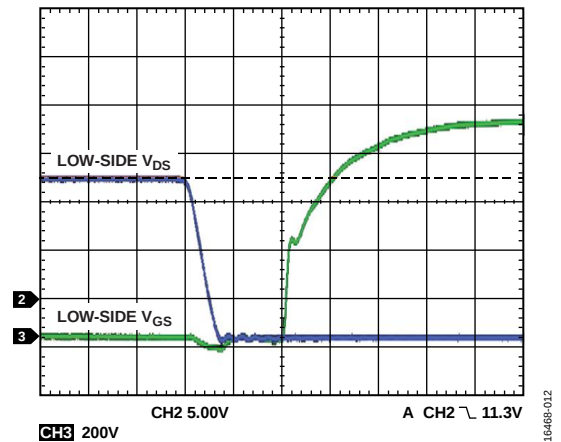


図 12. $V_{HV} = 600$ V、 $f_{SW} = 50$ kHz、 $P_{OUT} = 1000$ W、ターン・オン

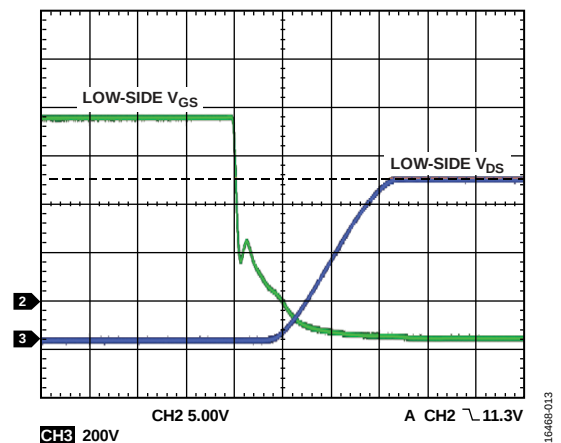


図 13. $V_{HV} = 600$ V、 $f_{SW} = 50$ kHz、 $P_{OUT} = 1000$ W、ターン・オフ

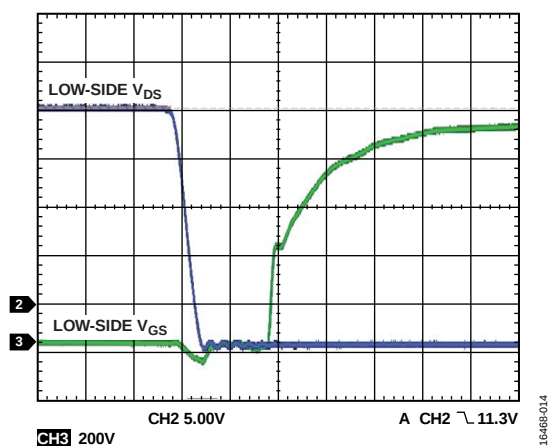


図 14. $V_{HV} = 900\text{ V}$ 、 $f_{SW} = 50\text{ kHz}$ 、 $P_{OUT} = 1870.5\text{ W}$ 、ターン・オン

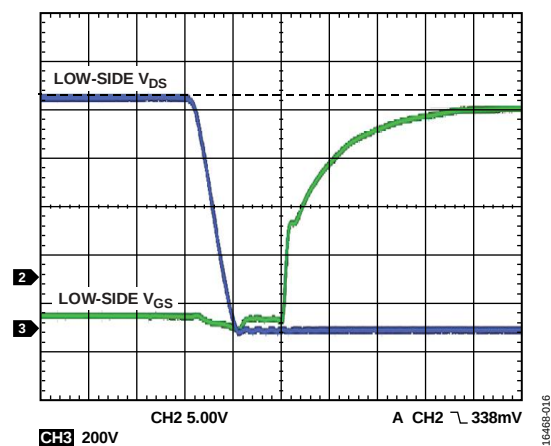


図 16. $V_{HV} = 900\text{ V}$ 、 $f_{SW} = 100\text{ kHz}$ 、 $P_{OUT} = 1640\text{ W}$ 、ターン・オン

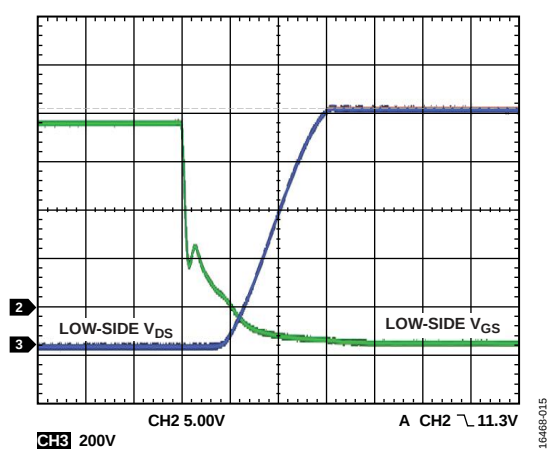


図 15. $V_{HV} = 900\text{ V}$ 、 $f_{SW} = 50\text{ kHz}$ 、 $P_{OUT} = 1870.5\text{ W}$ 、ターン・オフ

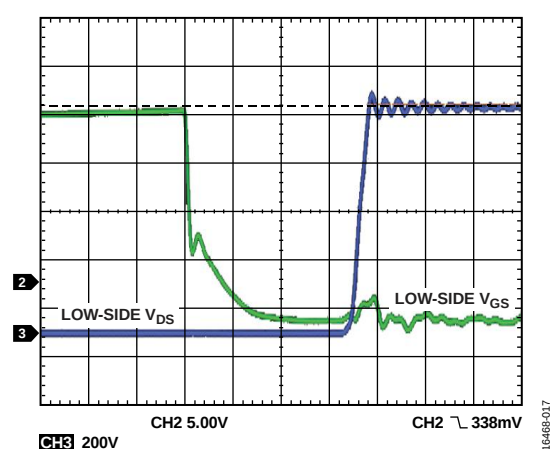


図 17. $V_{HV} = 900\text{ V}$ 、 $f_{SW} = 100\text{ kHz}$ 、 $P_{OUT} = 1640\text{ W}$ 、ターン・オフ

高電流試験

表 6. 高電流試験

Test	V_{HV} (V)	f_{SW} (kHz)	Duty Cycle (%) ¹	I_{OUT} ² (A)	V_{OUT} ³ (V)	P_{IN} ⁴ (W)	I_{IN} ⁵ (A)	Figures
4	300	50	25	21.8	70.14	1526	5	Figure 18 and Figure 19
5	400	50	25	27.1	93.8	2640	6.6	Figure 20 and Figure 21
6	600	50	25	40.5	141	6000	10	Figure 22 and Figure 23

¹ デューティ・サイクル・ハイ・サイド。

² I_{OUT} は負荷抵抗 R1 を流れる出力電流。

³ V_{OUT} は R1 に印加される出力電圧。

⁴ P_{IN} は入力電力 ($I_{IN} \times V_{HV}$)。

⁵ I_{IN} は U1 を流れる入力電流。

基板構成は、無負荷試験のセクションで説明した試験構成と同様です。この試験では Regatron の電源を使用しました。

表 6 に高電流試験の測定結果をまとめます。図 18 ～ 図 23 は結果をグラフで示したものです。

V_{OUT} は R1 の両端の電圧を測定したものです。

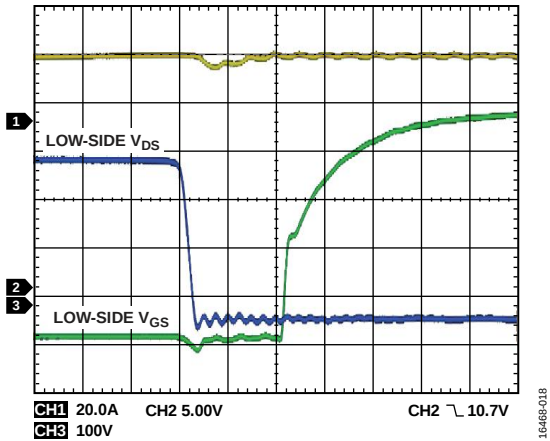


図 18. $V_{HV} = 300$ V、 $f_{SW} = 50$ kHz、出力電流 (I_{OUT}) = 21.8 A、ターン・オン

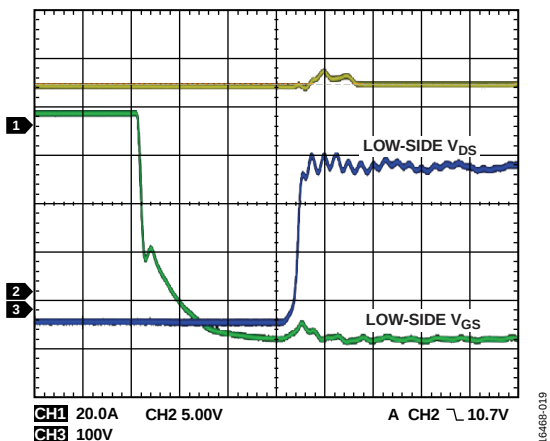


図 19. $V_{HV} = 300$ V、 $f_{SW} = 50$ kHz、出力電流 (I_{OUT}) = 21.8 A、ターン・オフ

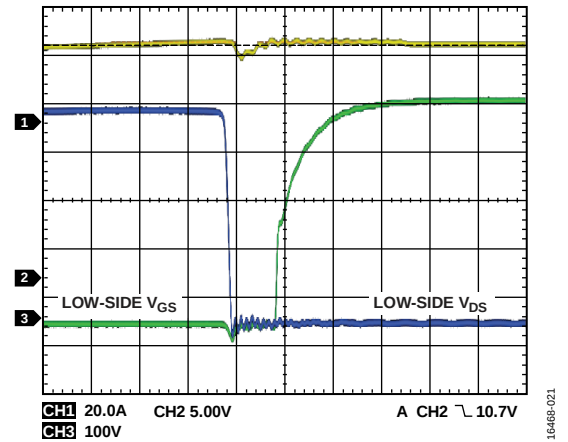


図 20. $V_{HV} = 400$ V、 $f_{SW} = 50$ kHz、出力電流 (I_{OUT}) = 27.1 A、ターン・オン

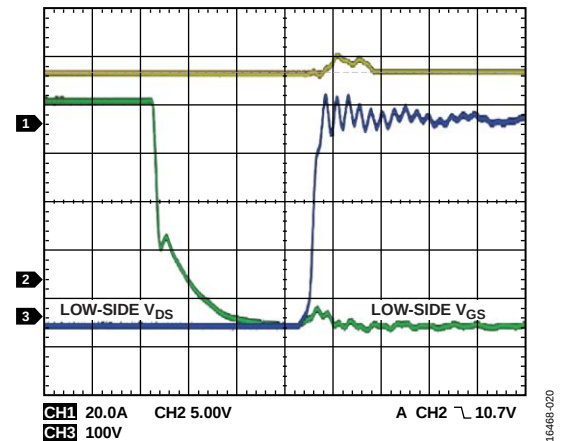


図 21. $V_{HV} = 400$ V、 $f_{SW} = 50$ kHz、出力電流 (I_{OUT}) = 27.1 A、ターン・オフ

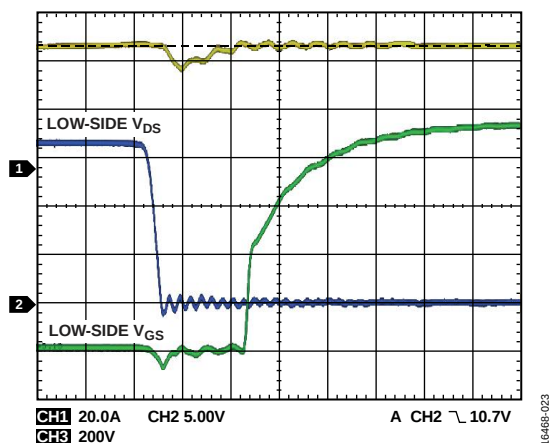


図 22. $V_{HV} = 600\text{ V}$, $f_{SW} = 50\text{ kHz}$,
出力電流 (I_{OUT}) = 40.5 A、ターン・オン

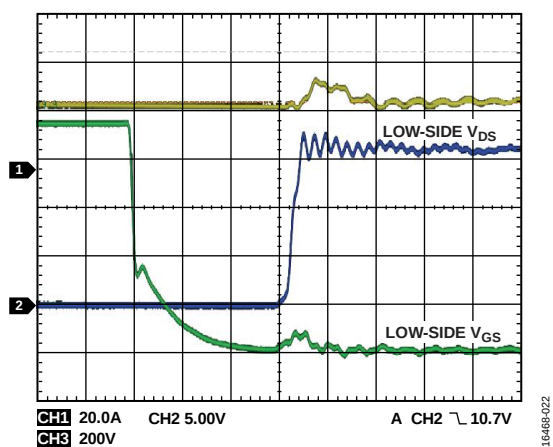


図 23. $V_{HV} = 600\text{ V}$, $f_{SW} = 50\text{ kHz}$,
出力電流 (I_{OUT}) = 40.5 A、ターン・オフ

PWM 遅延

ADuM4135 の入力 PWM と出力 PWM とで、入出力信号間の遅延を測定できます。測定は、ADuM4135 の入出力ピンで直接行いました。遅延は 59.4 ns になります。

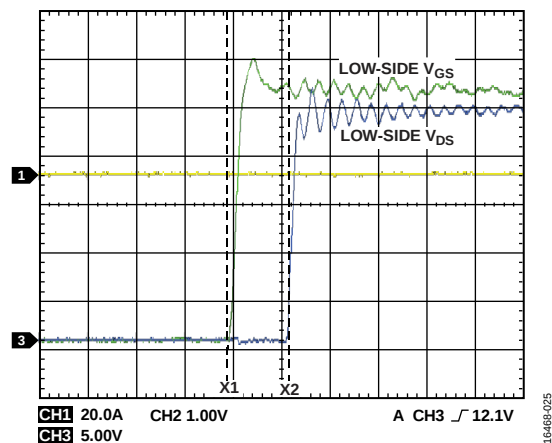


図 24. 入出力の PWM 間の遅延、ターン・オン

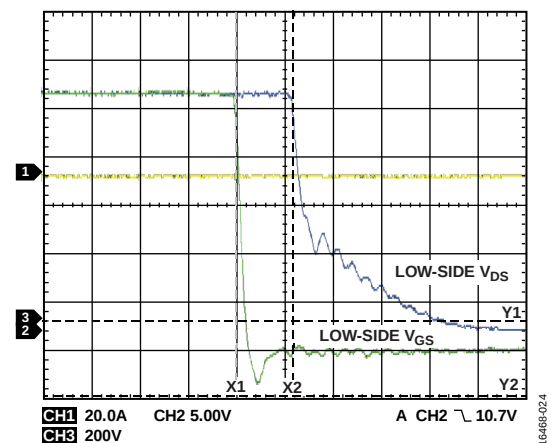


図 25. 入出力の PWM 間の遅延、ターン・オフ

回路図

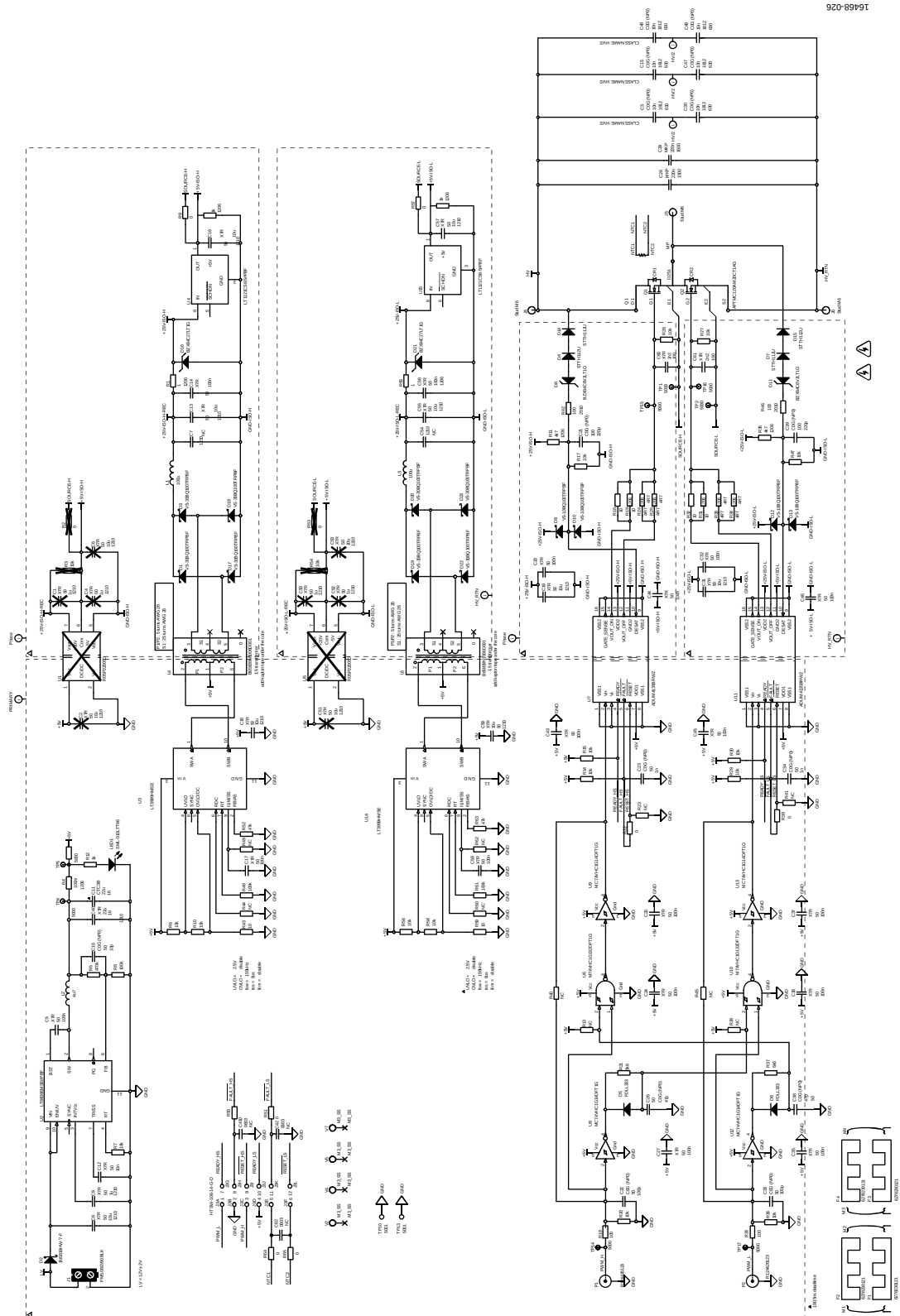


図 26. ADuM4135 ゲート・ドライブ基板の回路図

まとめ

ADuM4135 には電流駆動能力、正確な電源範囲、100 kV/μs を上回る強い CMTI 能力が備わっており、SiC MOSFET を駆動する場合に問題のない性能を発揮します。

この試験結果から、絶縁電源や SiC を駆動する高電圧ゲート・ドライバとして使用可能なソリューションがあることが示されました。