International
IOR Rectifier

APPLICATION NOTE

アプリケーション・ノート：AN-1120

大電力用途向け非飽和保護機能付き 高耐圧ICのための負電圧ゲート・バイアス用 バッファ・インタフェース

Marco Palma　International Rectifier
Niels H. Petersen　Grundfos

目次

頁

1. はじめに.....2
2. 回路図 2
3. シミュレーション結果 7
4. 実験結果.....9
5. まとめ 12

このアプリケーション・ノートでは、ゲート駆動 IC シリーズである IR2x14(1)SSPBF と IR2x38(1)QPBF のための負電圧駆動能力を備えたバッファ回路について説明しています。この回路は、大電力用途で使うと、デバイスの電力処理能力を高めます。電力スイッチの負電圧によるオフを含み、新しい高耐圧 IC シリーズに集積したすべての新機能を組み込んでいます。すなわち、短絡を検出するための自動的な非飽和検出機能とソフト・シャットダウン機能です。この回路は、十分に試験され、実際のインバータ用途で採用されました。

©インターナショナル・レクティファイアー・ジャパン（2007 年 5 月）
この文献の無断複製・転載を禁じます。

1. はじめに

ゲート駆動 IC シリーズの IR2x14(1)SSPBF は、中電力のハーフブリッジ・ゲート駆動用に設計されています。これらの IC は、高い電流駆動能力（吐き出し 2 A、吸い込み 3 A）と最大 20 V の出力段を備え、小電力から中電力までの用途、すなわち最大 10 kW までのスイッチを制御できます。一方、IR2x38(1)QPBF は、AC モーター駆動用に最適化された高耐圧 3 相 IGBT ゲート駆動 IC のシリーズです。

どちらのシリーズも各出力段には、IGBTの1つのゲートに対して3 本の制御ピンがあり、IGBTのゲート電荷を最適化できます。また、ハーフブリッジと3 相インバータ・スイッチを保護するように特別に設計されています。パワー・スイッチの非飽和検出が内蔵されているため、システムの信頼性が向上し、部品点数と実装面積が大幅に削減されます。また、貫通（シュートスルー）防止機能とUVLO（低電圧ロックアウト）機能が高電圧側と低電圧側の両方に組み込まれています。

大電力用途では、ゲート駆動 IC の吸い込み（シンク）電流と吐き出し（ソース）電流の能力を大きくするバッファ段が必要になります。同時に、このバッファ段は、このシリーズに新しく組み込まれた機能を生かさなければなりません。大電力モジュールのメーカーによっては、IGBT を安全にオフさせるために負のバイアスを要求／提案することもあります。

このアプリケーション・ノートでは次の機能を備える回路を紹介します。

- IR2x14(1)SSPBFとIR2x38(1)Qの吸い込み／吐き出し電流能力を増加させる。
- ICに新しく組み込まれた機能をすべて維持した上で、負電圧（＋ 15 Vでオン、－ 5 Vでオフ）駆動能力を備える。

この回路は、3個の高耐圧IC（IR2214SSPBF）を使った実際のインバータ用途で試験済みなので、同様の用途に適用できます。

このアプリケーション・ノートの残りの部分では IR2x14(1)SSPBF シリーズのソリューションを紹介しますが、同じ回路は IR2x38(1)QPBF シリーズにも容易に適用できます。

2. 回路図

標準的な応用回路例

IR2x14(1)SSPBF の代表的な応用回路例を**図 1** に示します。回路図を単純化するために、パワー段のピン接続だけを示してあります。

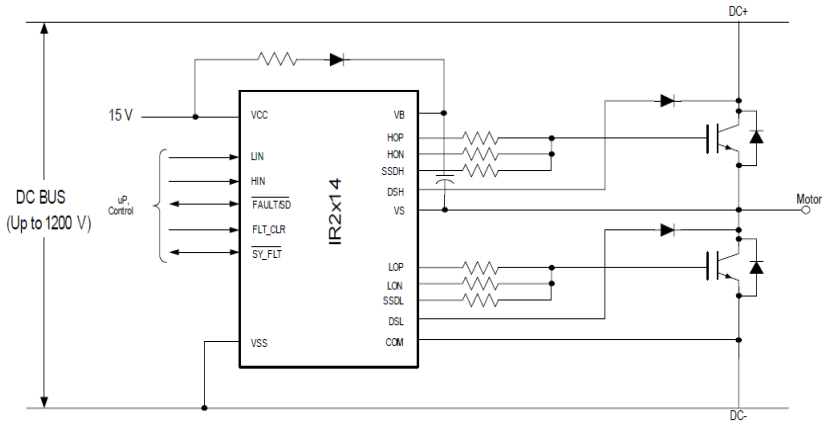


図 1　IR2x14(1)SSPBF の標準的な応用回路例

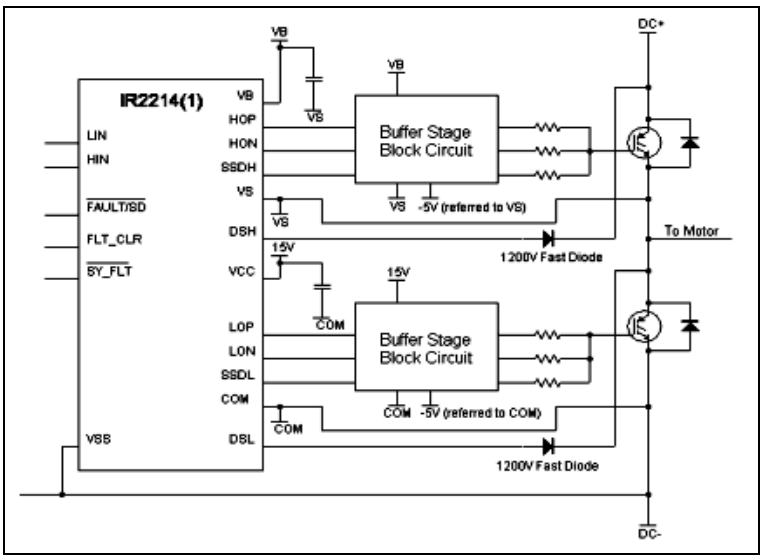
この例のように、V_B-V_S 間のフローティング電圧は通常、ブートストラップ回路を使って V_{CC} 電源から作ります。IGBT の各ゲートに接続された 3 本の抵抗は、その用途で必要とされるオン、オフ、ソフト・シャットダウン機能のために使われます。

一般的な構成での IR2x14(1)SSPBF の使い方の詳細は、米 IR 社のウエブサイト（www.irf.com）で入手できるデータシートや技術資料（Design Tip DT04-4）を参照してください。

負のゲート・バイアス電圧を持つバッファ回路

負のゲート・バイアス電圧を持つバッファ駆動を可能にするために必要とされるインタフェース回路のブロック図が**図 2** です。このインタフェース回路は、ゲート駆動ピンとゲート抵抗ピンの間に挿入されます。回路図では、フローティング電圧 V_B と－ 5 V （V_S を基準として）は、絶縁型電源から供給されるものと仮定しています。ローサイド IGBT に対しては補助電源－ 5 V （COM を基準として）が必要です。

このインタフェース回路は、ハイサイドでは HOP、HON、SSDH の各チャネル間の独立性を、ローサイドでは LOP、LON、SSDL の各チャネル間の独立性を、それぞれ維持する必要があります。また、負電圧が各ゲート駆動ピンに加わることはありません。



2 つのインタフェース・ブロックは概念的には同じであるため、次節ではハイサイド・インタフェースのみを説明します。同じ考えがローサイド・インタフェースにも適用されます。

図 2　負のゲート・バイアス電圧を持つバッファの回路図

バッファ段の回路図

インタフェース回路を**図 3** に示します。各部の簡単な説明を以下に示します。＋15 V と－5 V の電源は、基準電圧端子を得るために、巻線にセンター・タップを備えるフライバック回路から得ることができます。

- HOPBUF は HOP 信号をバッファに通したもので、通常動作時に IGBT をオンするために使います。HOP がオンのとき、HOPBUF もオンです。一方、HON、HONBUF、SSDH、SSDHBUF は高インピーダンスになります。

- HONBUF は HON 信号をバッファに通したもので、通常動作時に負電圧で IGBT をオフさせるために使います。HON がオンのとき、HONBUF もオンです。一方、HOP、HOPBUF、SSDH、SSDHBUF は高インピーダンスになります。
- SSDHBUF は SSDH 信号をバッファに通したもので、短絡の初期段階で IGBT をソフトにシャットダウンさせるために使います。SSDH がオンのとき、SSDHBUF もオンです。一方、HON、HONBUF、HOP、HOPBUF は高インピーダンスに維持されます。
- D1 は、HON がオンするときは HOP のオフを加速し、HOP がオンするときは HON のオフを加速するために使われます。R5 と R8 は、SSDH がオンのとき（ソフト・シャットダウン時）、HOPBUF チャネルと HONBUF チャネルを高インピーダンスにするために使われます。これにより、3 つ目のチャネル（SSDHBUF）が個別に短絡事故を処理できるようになります。
- R13 は、SSDH ピンが高インピーダンスのとき（通常動作時）に、SSDH ピンを既知の固定電圧（＋15 V）に維持するために使います。
- Q1 は、HONBUF チャネルが動作状態に戻る前に、ソフト・シャットダウン時にゲート電圧をゼロまで低下させるために使います。Q1 が存在するため、負電圧が IR2x14(1)SSPBF の SSDH ピン（HONBUF がオンのとき）に加わることはありません。
- MOSFET の X1b と X3 は、HOP 信号に対して初段の反転回路として機能します。これら 2 個の MOSFET は X2a の後での HOP 信号の再生を可能にし、短絡時に X2a を高インピーダンスにするためにも使います。X3 は X2a のオフを加速します。つまり、IGBT のオフを加速します。X3 は、X2a と X2b とが共に導通するのを防ぐために重要な役割を果たします。
- R4 と C1 は X2a のオンの制御に使い、X2a と X2b とが共に導通するのを制限します。さらに、R4 はスイッチング時の X3 と X1b とが共に導通するのを制限するために使います。
- X2a は耐圧 30 V、オン抵抗 0.20 Ω の p チャネル MOSFET（IRF7509：p チャネル MOSFET と n チャネル MOSFET を内蔵した製品）で、IR2x14(1)SS の HOP ピンの出力を再生しますが、降伏電圧 V_{DS} が 30 V なので負電圧に耐えることはできません。短絡時には高インピーダンスに設定されます。この回路があるため、動作時に負電圧が IR2x14(1)SSPBF の HOP ピンに加わることはありません。
- X1a、D2（15 V ツェナー）、R10 は、HON チャネルに対する初段の反転回路として使います。この構成では負バイアスの使用が可能ですが、この段がオンのとき、約 23 mA の静止電流を消費します。X1a と組み合せて n チャネル MOSFET を使うことはできません。負電圧が IR2x14(1)SSPBF の HON ピンに加わってしまうからです。この静止電流があるので、ブートストラップ電源を使うことはできません。ただし、この構成では、動作時に負電圧が IR2x14(1)SSPBF の HON に加わることはありません。
- X2b は耐圧 30 V、オン抵抗 0.11 Ω の n チャネル MOSFET（IRF7509）で、IR2x14(1)SS の HON ピンの出力を再生しますが、負バイアスが IGBT のゲートに加わることを許します。降伏電圧 V_{DS} は 30 V です。短絡時には 5.7 μs～13.5 μs の間、高インピーダンスにされます。これにより、SSDH ピンの介入が可能になります。
- D3、R20、C2 は、通常動作時に X2a がオンするときに X2b のオフを加速するために使います。これは、コンデンサ C2 の存在によって可能になります。D3 は、X2b のオフに対してのみ加速効果を持たせるために使います。これは、IGBT がオンするときに加速されることになります。

- D4 は電源が安定するまで IGBT のゲートをロー・レベルに維持するために、電源起動シーケンス時にのみ使います。

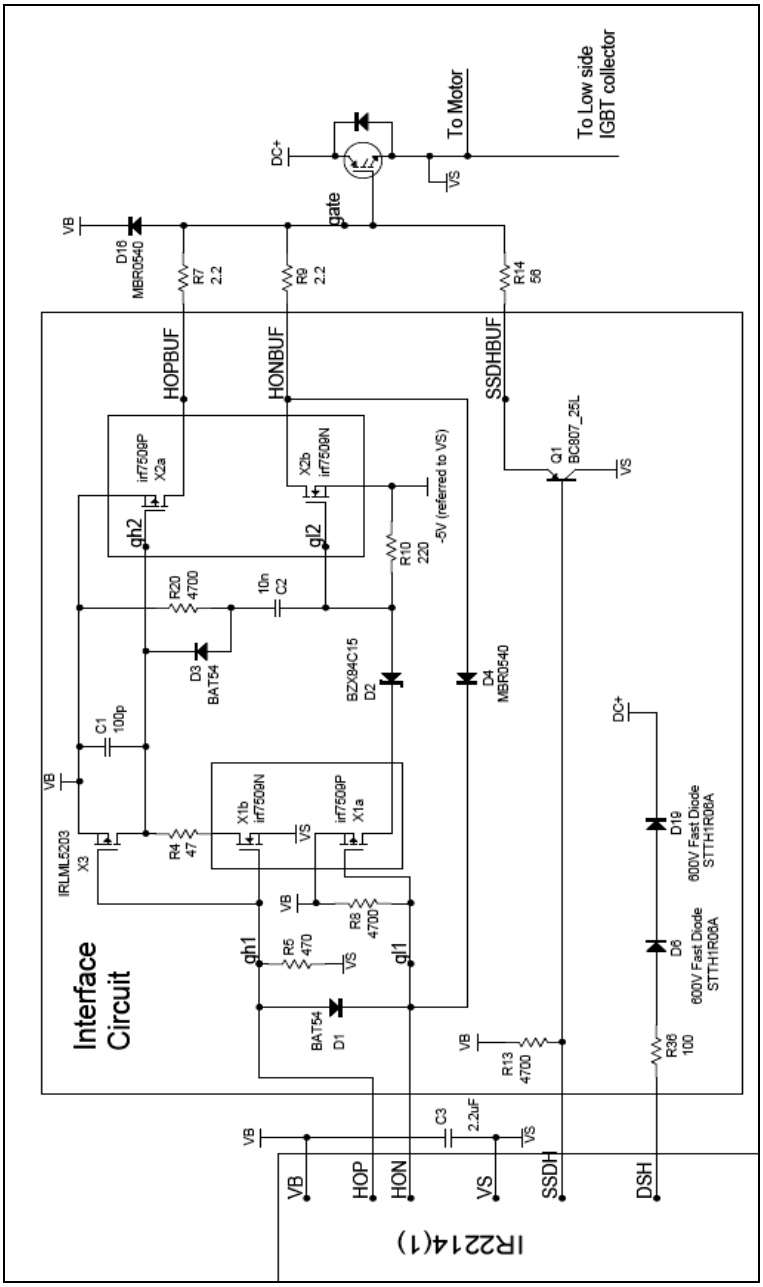
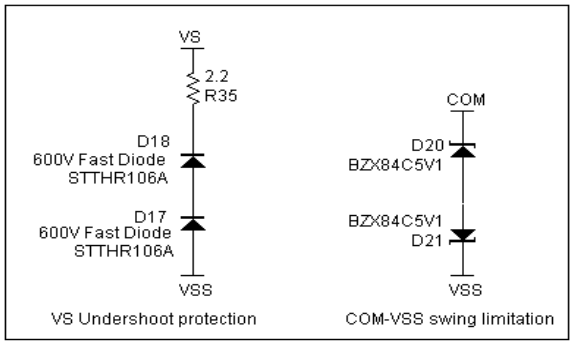


図 3　インタフェース回路の回路図

V_S-V_{SS} 間の負電圧スパイク

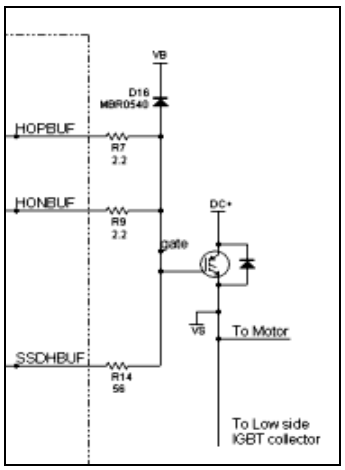
この回路を大電力モジュールと組み合わせて使う場合、PWM が切り替わる際に V_S-V_{SS} 間の負電圧スパイクがゲート駆動 IC（IR2x14(1)SSPBF）の V_S ピンに発生することがあります。これは、電源回路の中にある寄生インダクタンスによって発生します。この負電圧スパイクの振幅と幅を制限するためには、**図 4** に示す回路を IR2x14(1)SSPBF の近くに接続します。抵抗の適切な値は実装するときのレイアウトによって決まりますが、数Ω程度でしょう。この抵抗は、ダイオードのピーク電流を仕様内に収めるために接続します。

この回路では 2 個の 600 V 耐圧のダイオードが使われています。これは、2 個の定格 600 V のダイオードの順方向回復電圧の和（10 V ＋10 V ＝ 20 V）と回復時間（100 ns）が、1 個の定格 1200 V のダイオードの順方向回復電圧（35 V）と回復時間（900 ns）より小さいためです。抵抗は図 4 のように直列に、または V_S ピンと IGBT のエミッタ・ピンとの間に接続することができます（詳細については、技術資料 DT04-4 を参照してください）。



この用途の電力範囲に沿うと、ゲート抵抗値は図 4 に示す制限抵抗値とほぼ同じ値になります。ゲートの充放電ループ内でこの抵抗が干渉しないようにするために図 4 に示す手法を使ったとき、この機能が有効であることが実験で実証されました。図 4 には、切り替え時の V_{SS} に対する COM のアンバランスを制限するために使われる COM-V_{SS} 間振幅制限機能も示してあります。

図 4　V_S-V_{SS} 間の負電圧スパイク保護機能と COM-V_{SS} 間の振幅制限機能



短絡時の IGBT ゲート・クランプ機能

短絡時の電流のピーク値は V_{GE} に依存し、V_{GE} はゲート-コレクタ間容量を経由した dV/dt の帰還によって増加します。この影響は、IGBT のゲートから近くの電源コンデンサ（ハイサイドの V_B とローサイドの V_{CC}）に接続したダイオードを使って V_{GE} を安全にクランプすることによって克服できます（**図 5**）。

図5　短絡時のV_{GE} クランプ機能

3. シミュレーション結果

以下に示すシミュレーション結果は、1400 nC のゲート充放電をシミュレーションするために、IGBT の代わりに 70 nF のコンデンサを接続して得たものです。1400 nC は、150 A（100℃のとき）で定格 1200 V の IGBT の一般的な値です。

オンするときの動作波形

図 6 の上側の図は次を示しています。

- コンデンサへ流入する電流（等価ゲート充電電流を表わします）： I (rgate)
- MOSFET（X2a）を経由して R7 へ流れる電流： I (R7)
- MOSFET（X2b）を経由して R9 へ流れる電流：I (R9)

図 6 の下側の図は次を示しています。

- HOP の電圧：V (HOP)
- HOPBUF の電圧：V (HOPBUF)
- コンデンサの電圧（等価ゲート電圧を表わします）：V (gate)
- HONBUF の電圧（X2b はオフですが、R9 を通して電圧が上昇）：V (HONBUF)

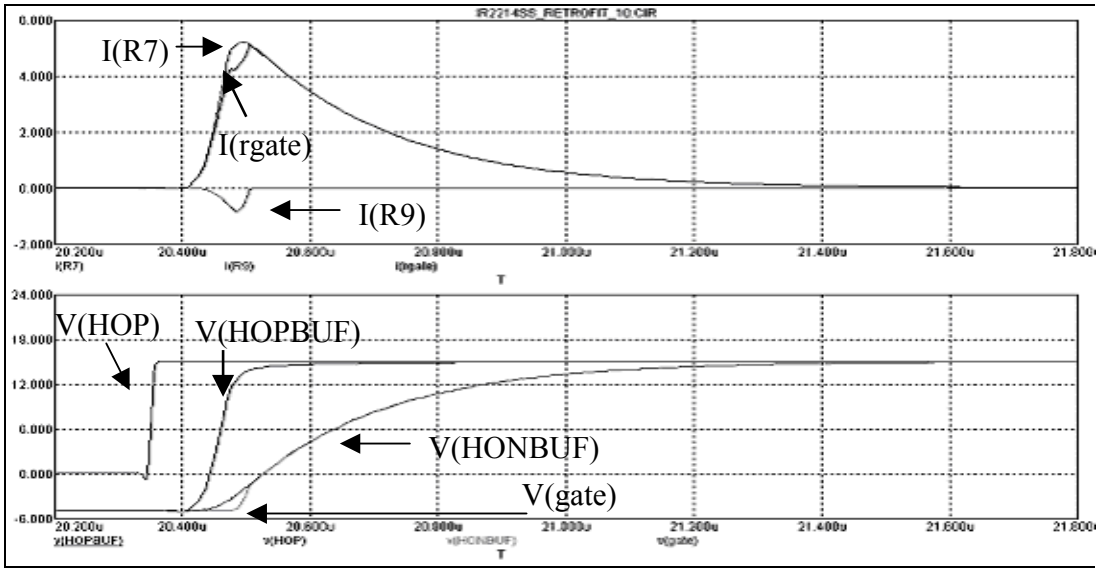


図 6　オンするときの動作波形

オフするときの動作波形

図 7 の上側の図は次を示しています。

- コンデンサから流出する電流（等価ゲート放電電流を表わします）：I (rgate)
- MOSFET（X2a）を経由して R7 へ流れる電流：I (R7)
- MOSFET（X2b）を経由して R9 へ流れる電流：I (R9)

図 7 の下側の図は次を示しています。

- HON の電圧：V (HON)
- HOPBUF の電圧（X2a はオフですが、R7 を通して電圧が上昇）：V (HOPBUF)
- コンデンサの電圧（等価ゲート電圧を表わします）：V (gate)
- HONBUF の電圧：V (HONBUF)

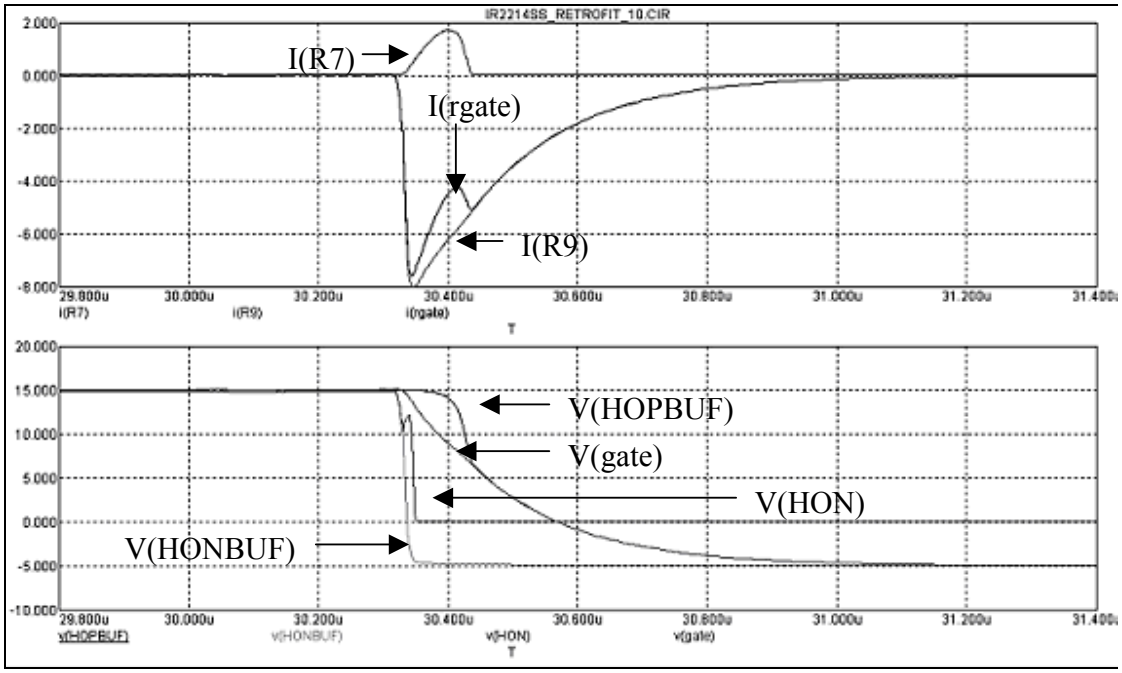


図 7　オフするときの動作波形

ソフト・シャットダウンの動作波形

図 8 の上側の図は次を示しています。

- コンデンサから流出する電流（等価ゲート放電電流を表わします）：I (gate)
- MOSFET（X2a）を経由して R7 へ流れる電流：I (R7)
- MOSFET（X2b）を経由して R9 へ流れる電流：I (R9)
- R14 を流れる電流：I (R14)

図 8 の下側の図は次を示しています。

- SSDH の電圧：V (SSDH)
- SSDHBUF の電圧：V (SSDHBUF)
- HOPBUF の電圧：V (HOPBUF)
- コンデンサの電圧（等価ゲート電圧を表わします）：V (gate)

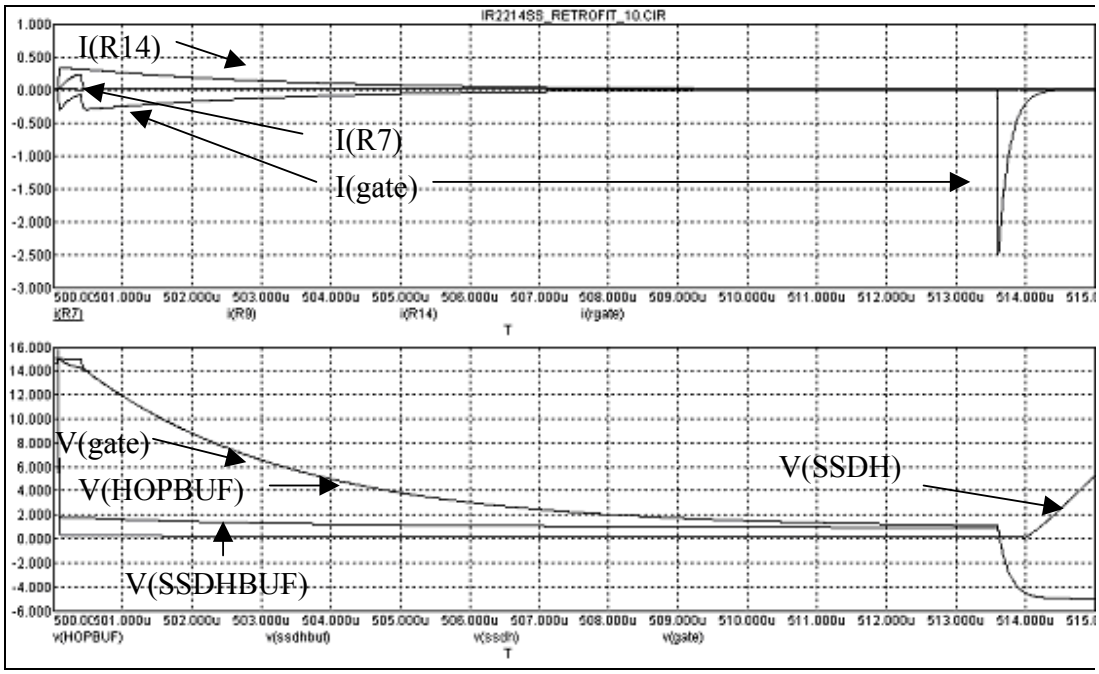


図８　ソフト・シャットダウンの動作波形

4. 実験結果

この回路を定格 1200 V、100 A の IGBT を使ったインバータで評価しました。オン、オフ、V_S-V_{SS} 間のアンダーシュートの各動作を試験しました。

- **図 9** に、直流バス電圧 600 V で電流 80 A のハイサイド IGBT がオンするときの動作波形を示します。
- **図 10** に、同じく 600 V、80 A のハイサイド IGBT がオンするときの動作波形を示します。COM-V_{SS} 間の振幅はツェナー・ダイオードによって制限されています。

- **図 11** に、同じく 600 V、80 A のハイサイド IGBT がオフするときの動作波形を示します。
- **図 12** は、直流バス電圧 350 V で電流 100 A のハイサイド IGBT がオフした後の V_S-V_{SS} 間の負電圧スパイクの波形です。

図9	測定点		感度
チャネル名	+	-	1 µs /div
3	DC+	Out B	100 V
4	ゲート・ハイ （B相）	エミッタ・ハイ （B相）	5 V
A	$I_C \times V_{CE}$		25 kW
B	I_C = 80 A		50 A
Eon領域（A）	6.7		[mJ]
I_C の立ち上がり時間（20%から80%）	14		[ns]
V_{CE} の降下時間（80%から20%）	80		[ns]

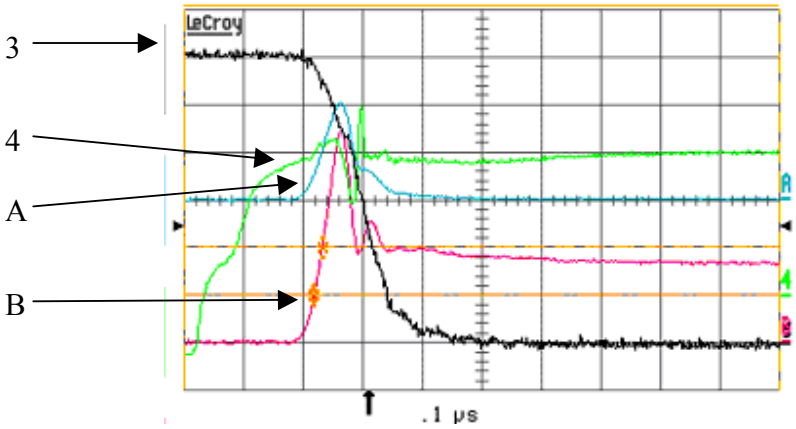


図 9　ハイサイド IGBT がオンするときの動作波形：V_{DC} = 600 V、I_C = 80 A

図10	測定点		感度
チャネル名	+	-	1 µs /div
3	DC+	Out B	100 V
4	COM（B相）	V_{SS}（B相）	5 V
A	$I_C \times V_{CE}$		25 kW
B	I_C = 80 A		50 A
Eon 領域（A）	6.67		[mJ]
I_C の立ち上がり時間（20%から80%）	13.5		[ns]
V_{CE} の降下時間（80%から20%）	63.2		[ns]

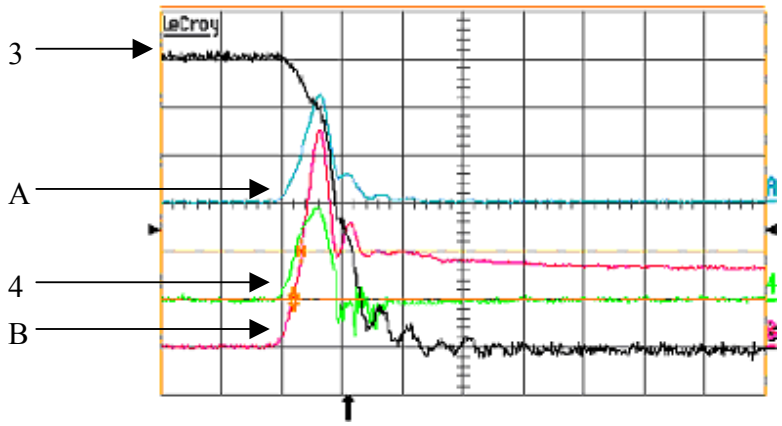


図 10　ハイサイド IGBT がオンするときの動作波形
V_{DC} = 600 V、I_C = 80 A、V_{SS} -COM 間の詳細

図11	測定点		感度
チャネル名	+	-	1 µs /div
3	DC+	Out C	100 V
4	ゲート・ハイ （C相）	エミッタ・ハイ （C相）	5 V
A	$I_C \times V_{CE}$		25 kW
B	I_C = 80 A		50 A
Eoff 領域（A）	3.7		[mJ]
I_C の降下時間（80%から20%）	15		[ns]
V_{CE} の立ち上がり時間（20%から80%	53		[ns]

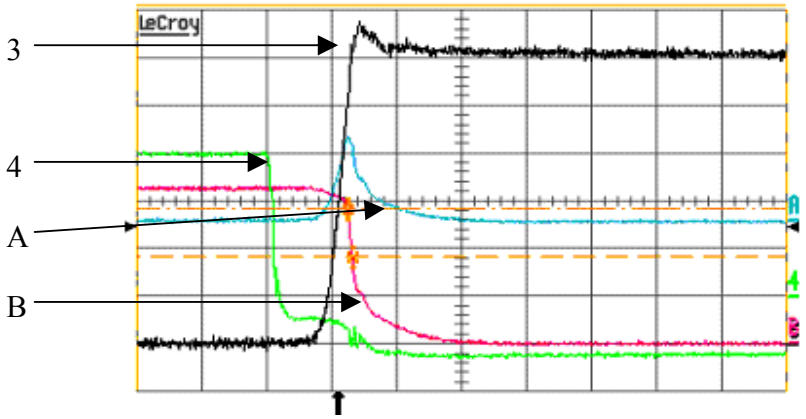


図 11　ハイサイド IGBT（C 相）がオフするときの動作波形

V_{DC} = 600 V、I_C = 80 A

図12	測定点		感度
チャネル名	+	-	1 µs /div
3	DC+	Out B	100 V
4	V_S（C相）	V_{SS}（C相）	50 V
B	I_C = 100 A		50 A
V_{DC}	350		[V]
V_S-V_{SS}	−28		[V]

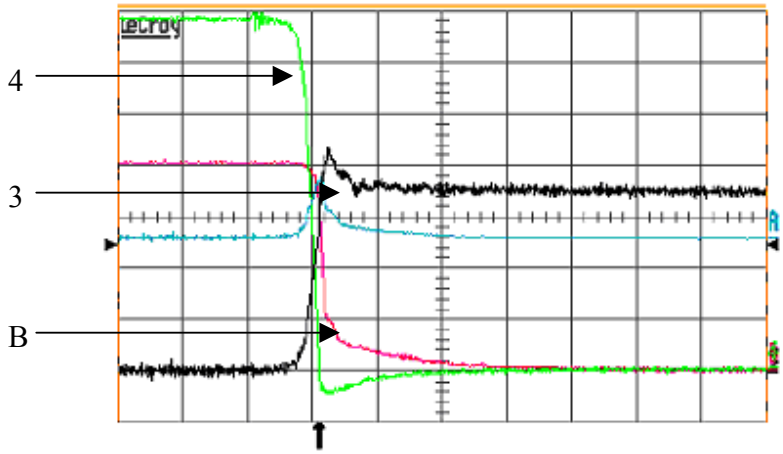


図 12　ハイサイド IGBT（C 相）がオフするときの動作波形
V_{DC} = 350 V、I_C = 100 A 、V_S-V_{SS} 間の詳細（保護回路の効果）

5.　まとめ

ゲート駆動 IC シリーズである IR2x14(1)SSPBF と IR2x38(1)QPBF 向けの負バイアス電圧駆動能力を備えるバッファ回路を紹介しました。この回路は、これらデバイスの電力処理能力を強化し、大電力用途での使用を可能にします。回路にはスイッチ用の負のオフが含まれ、これらの新しい高耐圧 IC シリーズに集積されたすべての新しい機能を組み込んでいます。提案した回路は十分に試験し、実際の IGBT 利用のインバータ用途に適用されました。

©インターナショナル・レクティファイアー・ジャパン（2007 年 5 月）
この文献の無断複製・転載を禁じます。