

誘導加熱アプリケーション向け 高性能IGBT



ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>

APPLICATION NOTE

要約

ノンパンチスルー(NPT)技術を使用したIGBTで発生する高い飽和電圧が、誘導加熱アプリケーションで生じる大きな導通損失の主要因です。これらの導通損失と、ターンオフ損失およびターンオン損失のため、これらのアプリケーションにおいてIGBTの全体的な効率が低下します。

Field Stop技術により飽和電圧を低くすることができ、結果として導通損失が低減されます。また、この技術はドリフト領域に残る充電キャリアの密度を下げることによって、IGBTターンオフ時に発生する損失を抑えます。この最適化により、IGBTは誘導加熱アプリケーションで使用するのに最適な素子となっています。

このアプリケーション・ノートでは、ソフト・スイッチング方式の誘導加熱アプリケーションでの使用に最適化された、オン・セミコンダクターのField Stop IGBTについて説明します。

キーワード

誘導加熱、Field Stop、ターンオフ・スイッチング損失、導通損失

記号と略称の一覧

ZVS	ゼロ電圧スイッチング
ZCS	ゼロ電流スイッチング
NPT	ノンパンチスルー
$V_{CE(sat)}$	コレクタ・エミッタ間飽和電圧
V_{CE}	コレクタ・エミッタ間電圧
I_C	コレクタ電流
E_{off}	ターンオフ損失
D	デューティ・サイクル
IH	誘導加熱
V_{dc}	整流DC電圧
PT	パンチスルー

はじめに

IH調理器で使用されるIGBTは、特に高電力レベルで動作する際に、大きな電力を消費します。IGBTの接合部温度が推奨仕様値を超えて上昇しないように

するために、通常は大型ヒートシンクが使用されます。

最大接合部温度要件に適合するために、大型ヒートシンクを使用すると、IH調理器の全体的な製造コストが増加します。誘導加熱アプリケーションの市場は急激な成長が予測されており、製造コストを低減できれば、より効率的なIH調理器を開発できます。

IGBTを最適化するときは、いくつかのパラメータを考慮する必要があります。これには、IGBTの厚さやダイ・サイズなどの物理的デバイス特性や飽和電圧、ブロッキング電圧、スイッチング損失などの電気的特性が含まれます。これらのパラメータのどれかを最適化すると、別の特性の性能が低下するという代償を払うことになります。

したがって、性能面で望ましい改善を実現するには、これらのパラメータに対する最適なトレードオフ値が必要です。

このアプリケーション・ノートでは、IHアプリケーションで使用される代表的なトポロジを紹介し、次に、市販されているIH調理器でオン・セミコンダクター製の最適化されたIGBTの性能を評価し、いくつかの競合他社の製品と比較します。

IH調理器アプリケーション向けの代表的なトポロジ

Figures 1とFigure 2に、IH調理器アプリケーションで使われる2つの最も一般的なトポロジの電力段を示します。

Figure 1のハーフブリッジ・トポロジでは、コンデンサC2はスナバとして働きます。スナバはターンオフ時に V_{CE} の上昇レートを調整するため、この期間中のエネルギー損失に影響を与えます。容量の大きいコンデンサを使用すると、 V_{CE} の上昇が緩やかになり、ターンオフ・エネルギーが減少します。IGBT2と L_1C_1 の共振回路を流れる電流は、ほぼ正弦波になります。発振のうち正の半波期間中に、IGBT1が導通します。発振のうち負の半波期間中に、IGBT2が導通します。これらのIGBTは、整流DC電圧 V_{dc} に直接接続されているので、IGBTのブロッキング電圧定格の標準値は600 Vです。誘導電圧スパイクは、IGBTと共通パッケージ型ダイオードによってクランプされます。

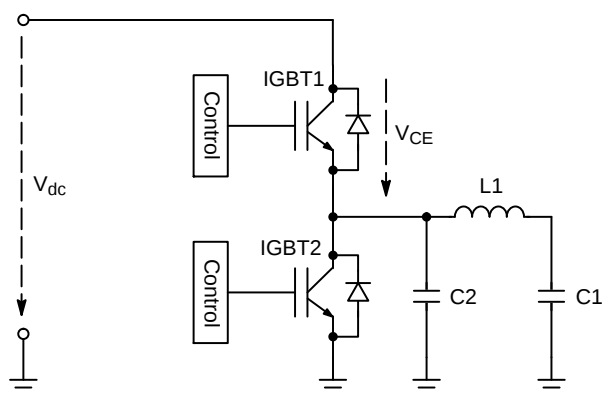


Figure 1. Half-bridge Topology of IH Cooker Power Stage

Figure 2に、シングルエンド・トポロジの電力段を示します。IGBTがターンオンすると、IGBTとインダクタを流れる電流が直線的に増加します。ターンオフ時は、IGBTのコレクタ・エミッタ間の寄生出力容量で決まる立ち下がり時間で電流が減少します。これにより、 I_C の全体的な三角形状が得られます。 L_1C_1 の共振タンクが発振すると、タンク両端の電圧は正弦波の形になります。その結果、 V_{CE} はターンオフ時に正弦波の形になります。このトポロジでは共振電圧の振幅が最大1000 Vに達する可能性があります。IGBTのコレクタが共振タンクに接続されるので、このトポロジで使用するIGBTのブロッキング電圧は標準1200 Vです。

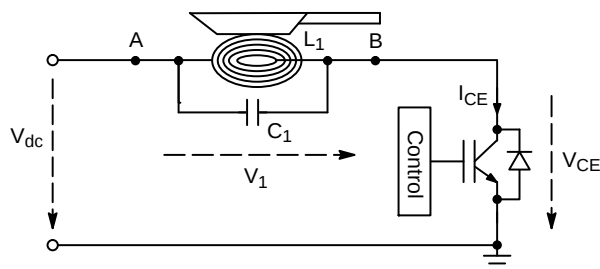


Figure 2. Single-ended Topology of IH Cooker Power Stage

シングルエンドIH調理器アプリケーションでのIGBTの性能評価

シングルエンドIHアプリケーションで使用するIGBTの性能は、アプリケーションの動作中に消費される電力量を測定することによって評価できます。これらのアプリケーションはZVS技法を採用しているため、導通損失とターンオフ損失が検討すべき最も重要な損失です。

共振タンク・インダクタに蓄積された誘導エネルギーがIGBTのコレクタ電圧を振幅させるのに十分な大きさであり、その電圧が0または負になるため、特に通常負荷条件および最大負荷条件ではターンオン損失を無視できます。これが発生するときは、共通パッケージ型ダイオードが導通し、IGBT両端の電圧はダイオード1個の電圧降下分だけ負になります。

電力損失は電圧と電流の積なので、この期間においてIGBTのターンオン中に失われる電力はごく少量です。

このセクションでは、オン・セミコンダクターの最適化されたIGBTであるNGTB25N120IHLの導通損失とターンオフ損失を、いくつかの競合他社製デバイスと比較します。

この性能評価に使用するテスト・システムは市販のIH調理器です。

Table 1およびTable 2に、該当テスト・システムのパラメータとIGBTスイッチング・パラメータをそれぞれ示します。測定のために、入力ライン電流のピークに近い複数の代表的スイッチング・サイクルを使用しました。各電力レベルでこの手順を繰り返しました。テスト対象のすべてのデバイスで同じスイッチング・サイクルを測定するために、IGBTのスイッチング周波数、および入力ライン電圧の周波数に関する情報を使用して、規定スイッチング・サイクルでデジタル・ストレージ・オシロスコープをトリガしました。

Table 1. SUMMARY OF TEST SYSTEM PARAMETERS

Inductor [LC tank] of IH Cooker	112 μ H
Capacitor [LC tank] of IH Cooker	0.3 μ F
Gate Resistor (NGTB25N120IHL)	15 Ω
Gate Resistor (Competitor Device1)	24 Ω
Gate Resistor (Competitor Device2)	18 Ω
Gate-Emitter Resistor	10 k Ω
Input Line Voltage/Frequency	220 V/60 Hz

Table 2. IGBT SWITCHING PARAMETERS AT DIFFERENT POWER LEVELS

Cooking Power Level (W)	Switching Frequency (kHz)	Duty Cycle (μ s)
1000	23.6	17
1300	21.6	21
2000	19.8	24.7

導通損失

これらの損失は、デジタル・ストレージ・オシロスコープの算術関数ユーティリティを使用して計算しました。このデバイス性能評価では、クランプ回路を使用して高精度の $V_{CE(sat)}$ 測定値を取得しました。異なる負荷電流で損失を測定しました。デューティ・サイクルは、Table 2に示す加熱電力レベルの関数として変化しています。Figure 3では、各デバイスの $V_{CE(sat)}$ の温度依存性を比較しています。Figure 3の測定値は、パルス状DC電流を使用して、さまざまな周囲温度で取得したものです。Figure 4に、さまざまなIH加熱電力レベルにおける導通損失を示します。これらの電力レベルは、異なる負荷電流とIGBTデューティ・サイクルの値を表します。

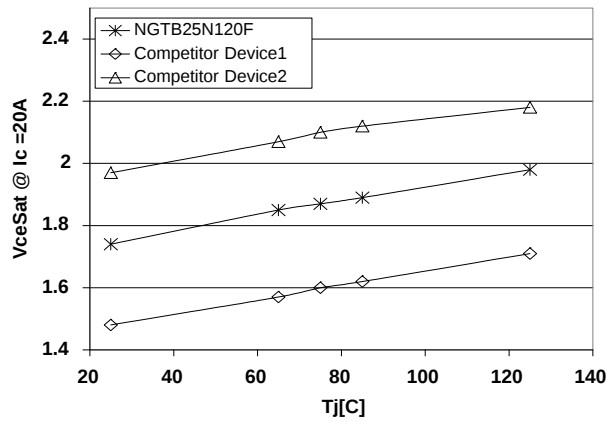


Figure 3. Variation of V_{CEsat} with IGBT Junction Temperature

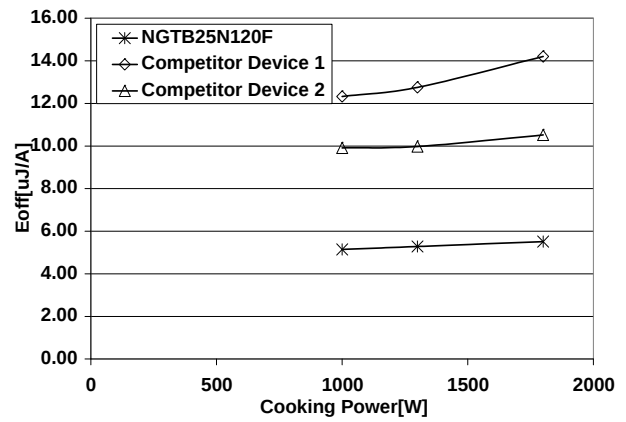


Figure 5. Variation of Turn-off losses with Cooking Power

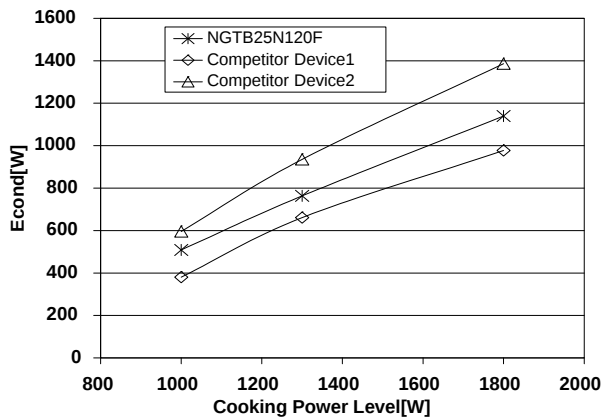


Figure 4. Conduction Losses at Different Cooking Power Levels

スイッチング損失

ターンオフ電力損失は、IGBTの残留電流の減衰レートによって影響されます。

Figure 5に、NGTB25N120IHLおよび競合デバイス1と2に対応するIH加熱電力に対するターンオフ損失の変動を示します。ゲート信号のターンオン時定数は、デバイスごとに異なる値のゲート抵抗を使用し、すべてのデバイスでほぼ等しい値に維持しました。すべてのデバイスで E_{off} を直接比較できるように、 I_C を使用して E_{off} を正規化しています。

合計電力損失

合計電力損失に対するターンオン損失の寄与は、軽負荷時に非常に大きくなります。軽負荷時には、IGBTが再びターンオンする前に、LCタンク・インダクタがIGBTのコレクタの電圧を振幅させるのに十分な誘導エネルギーを蓄積することはありません。そのため、共通パッケージ型ダイオードが導通することはなく、ターンオン時のIGBT両端の電圧はより高くなります。ただし、今回の評価では、デバイスのテストに使用したすべての電力レベルでZVSが可能でした。したがって、合計電力損失に大きく寄与するのは導通損失とターンオフ損失です。

これらの測定は選択したスイッチング・サイクルを使用して実施しましたが、測定の妥当性はケース温度の測定値に反映されています。デバイスの温度上昇はデバイスの消費電力に比例します。したがって、Figure 6に示すとおり、合計電力損失が最も大きいデバイスがケース温度の上昇も最大でした。

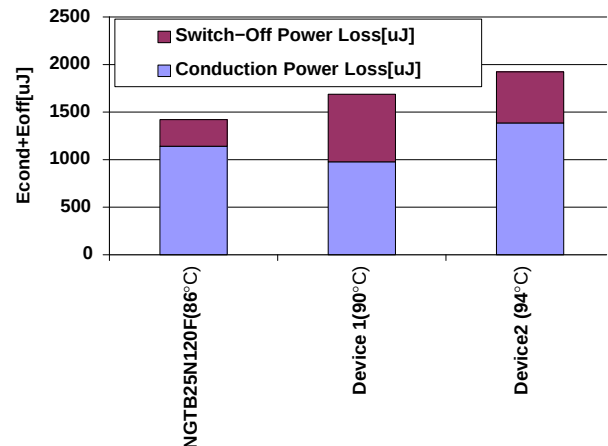


Figure 6. Variation of Total Losses (Conduction and Turn-off) with Case Temperature at 1800 W

テスト結果の解析

Figure 3からFigure 6により、次の結論を導くことができます。

- Figure 3、Figure 4、およびFigure 6から、NGTB25N120IHLの $V_{CE(sat)}$ が競合他社製のデバイス1よりわずかに高く、デバイス2より低いことがわかります。その結果、NGTB25N120IHLの導通損失は競合他社製のデバイス1よりわずかに大きく、デバイス2より小さくなっています。競合他社製のデバイス2はNPT技術を使用しています。したがって、 $V_{CE(sat)}$ の値がより高くなることが予測されます。競合他社製のデバイス1は、アノード短絡技術を使用して、 $V_{CE(sat)}$ 値を小さくしていますが、温度上昇に伴ってターンオフ損失が大きくなります。NGTB25N120IHLの $V_{CE(sat)}$ の値は、ターンオフ損失と導通損失の両方を最小化する最適なトレードオフ値を表しています。
- Figure 5では、競合他社製のデバイス1が加熱電力レベルに対する E_{off} の依存性が最大であり、他方NGTB25N120IHLはすべての電力レベルにおいてターンオフ損失が最小であることを示しています。さらに、NGTB25N120IHLはIH加熱電力レベルに対するターンオフ電力損失の依存性が最小です。これにより、幅広い加熱電力レベルを有するIHアプリケーションでの使用に最適です。
- Figure 6からは、合計電力損失に対する導通損失とターンオフ損失の寄与の割合がデバイスごとに異なることがわかります。しかし、NGTB25N120IHLは、最大加熱電力レベルにおいて3デバイスのうちケース温度が最小なので、両タイプの損失の寄与率の組み合わせが最適です。

概要と結論

ZVS技法を使用するシングルエンドIHアプリケーションでは、導通損失とターンオフ損失の両方がIGBTの合計電力損失に寄与します。これらのアプリケーションで使用するIGBTの効率は、 $V_{CE(sat)}$ とスイッチング速度間のトレードオフが最適になるようにIGBTを設計すれば改善できます。

NGTB25N120IHLはこれらのトレードオフ値が最適になるように設計されており、市販のIH調理器でその性能を検証し、競合他社製のデバイスよりも優れていることが実証されました。

ON Semiconductor及びONのロゴはSemiconductor Components Industries, LLC (SCILLC) の登録商標です。SCILLCは特許、商標、著作権、トレードシークレット(営業秘密)と他の知的所有権に対する権利を保有します。SCILLCの製品/特許の適用対象リストについては、以下のリンクからご覧いただけます。www.onsemi.com/site/pdf/Patent-Marking.pdf。SCILLCは通告なしで、本書記載の製品の変更を行うことがあります。SCILLCは、いかなる特定の目的での製品の適合性について保証しておらず、また、お客様の製品において回路の応用や使用から生じた責任、特に、直接的、間接的、偶発的な損害に対して、いかなる責任も負うことはできません。SCILLCデータシートや仕様書に示される可能性のある「標準的」パラメータは、アプリケーションによっては異なることもあり、実際の性能も時間の経過により変化する可能性があります。「標準的」パラメータを含むすべての動作パラメータは、ご使用になるアプリケーションに応じて、お客様の専門技術者において十分検証されるようお願い致します。SCILLCは、その特許権やその他の権利の下、いかなるライセンスも許諾しません。SCILLC製品は、人体への外科的移植を目的とするシステムへの使用、生命維持を目的としたアプリケーション、また、SCILLC製品の不具合による死傷等の事故が起こり得るようなアプリケーションなどへの使用を意図した設計はされておらず、また、これらを使用対象としておりません。お客様が、このような意図されたものではない、許可されていないアプリケーション用にSCILLC製品を購入または使用した場合、たとえ、SCILLCがその部品の設計または製造に関与して過失があったと主張されたとしても、そのような意図せぬ使用、また未許可の使用に関連した死傷等から、直接、又は間接的に生じるすべてのクレーム、費用、損害、経費、および弁護士料などを、お客様の責任において補償をお願いいたします。また、SCILLCとその役員、従業員、子会社、関連会社、代理店に対して、いかなる損害も与えないものとします。SCILLCは雇用機会均等/差別撤廃雇用主です。この資料は適用されるあらゆる著作権法の対象となっており、いかなる方法によっても再販することはできません。

PUBLICATION ORDERING INFORMATION

LITERATURE FULFILLMENT:

Literature Distribution Center for ON Semiconductor
P.O. Box 5163, Denver, Colorado 80217 USA
Phone: 303-675-2175 or 800-344-3860 Toll Free USA/Canada
Fax: 303-675-2176 or 800-344-3867 Toll Free USA/Canada
Email: orderlit@onsemi.com

N. American Technical Support: 800-282-9855 Toll Free
USA/Canada
Europe, Middle East and Africa Technical Support:
Phone: 421 33 790 2910
Japan Customer Focus Center
Phone: 81-3-5817-1050

ON Semiconductor Website: www.onsemi.com

Order Literature: <http://www.onsemi.com/orderlit>

For additional information, please contact your local Sales Representative