

NGTB20N60L2TF1G Application Note



ON Semiconductor®

IGBTによる高速スイッチング アプリケーション

概要

一般的にパワーIGBTはスイッチング動作のカットオフ時に I_C テールリング現象が発生します。そのため、スイッチング電源やインバーターのアプリケーションにIGBTを使おうとした時、動作周波数が制限を受け狭い範囲のアプリケーションしか対応できないのが現状です。

今回開発したFS-2 IGBTはスイッチング時の I_C テールリングが殆ど発生しないため、インターリーブPFC回路に使用することができ出力1kWを超えるエアコンのPFC回路に最適なデバイスです。

IGBTのスイッチング性能評価について

回路の効率を左右するIGBTの特性として重要な項目は $V_{CE(sat)}$ 特性とスイッチング特性ですが、周波数が15kHzを超えるとスイッチング特性の方が支配的になります。パワーIGBTとして使用されているNPTタイプと今回開発したFS-2タイプでスイッチング特性を比較しました。

インターリーブPFCの回路への適用を考えた場合、この回路では、負荷の軽い時は不連続モードまたは臨界モードとなり、さらにインダクタの値は1mH未満であるので I_C 波形は傾きを持ちます。スイッチングロスとしては E_{off} (立ち下がり)の値の評価が E_{on} (立ち上がり)より支配的です。

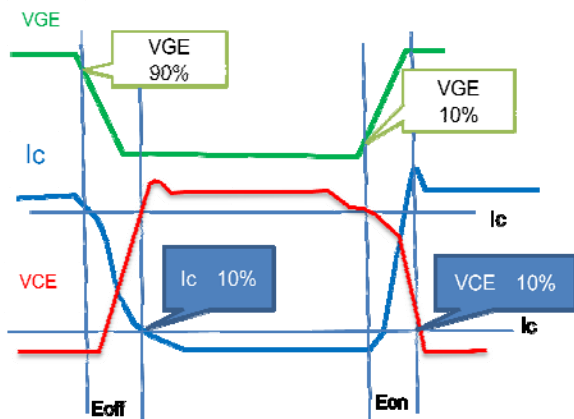


fig.1 スイッチング波形と観測ポイント

L負荷スイッチング動作テストと比較

まず、L負荷スイッチング回路において両者を比較しました。スイッチングタイム（ t_f , t_{on} など）、スイッチングロス（ E_{on} , E_{off} ）については観測ポイントをfig.1に示します。

I_C 電流を調節して測定すると、NPTタイプ（WP.1）ではカットオフ時に I_C テールリングが発生していることが確認されました。FS-2にはそれが殆どありません。（WP.2）このようにNPTでは、比較的低い電流では I_C テールリングを生じることがありますが、FS-2では広い電流域で良い立ち下がり特性を示しています。両者の E_{off} の電流依存性を取ると、fig.2のように低電流域での差が大きく、そのほかの電流域ではFS-2との差が小さい結果となりました。

一方、このスイッチングロス E_{off} の値を使う周波数変化とスイッチングロスの算出方法に関しては、動作周波数を f [Hz]とすると、 $P(E_{off}) = f \times E_{off}$ [W]となります。連続モードの動作になると更に E_{on} の項目が加わりますが、実際は波形が傾きを持つため $E_{on} > E_{off}$ となるのでスイッチングのロスは E_{off} の影響が大きくなります。

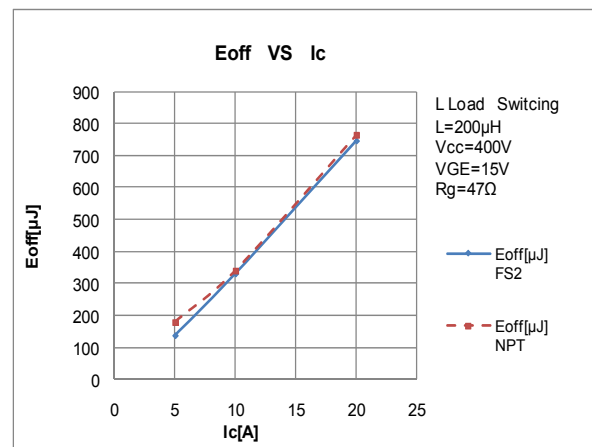
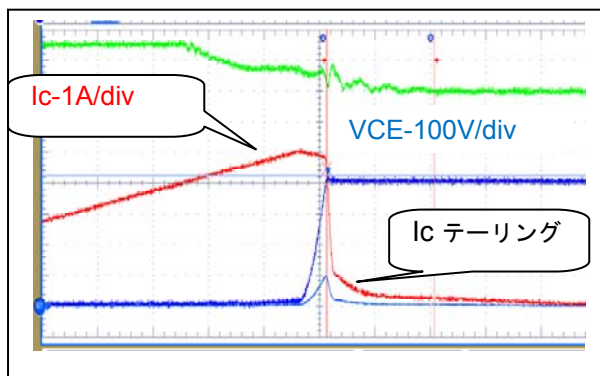
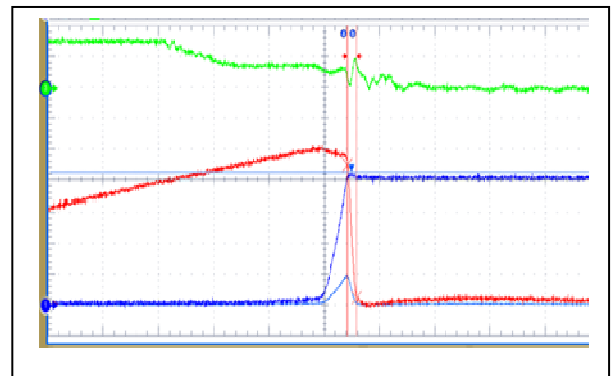


fig.2 E_{off} VS I_C



WP.1 NPT IGBT スwitching(5A)



WP.2 FS-2 IGBT スwitching(5A)

インターリーブ PFC 回路と IGBT の適応性

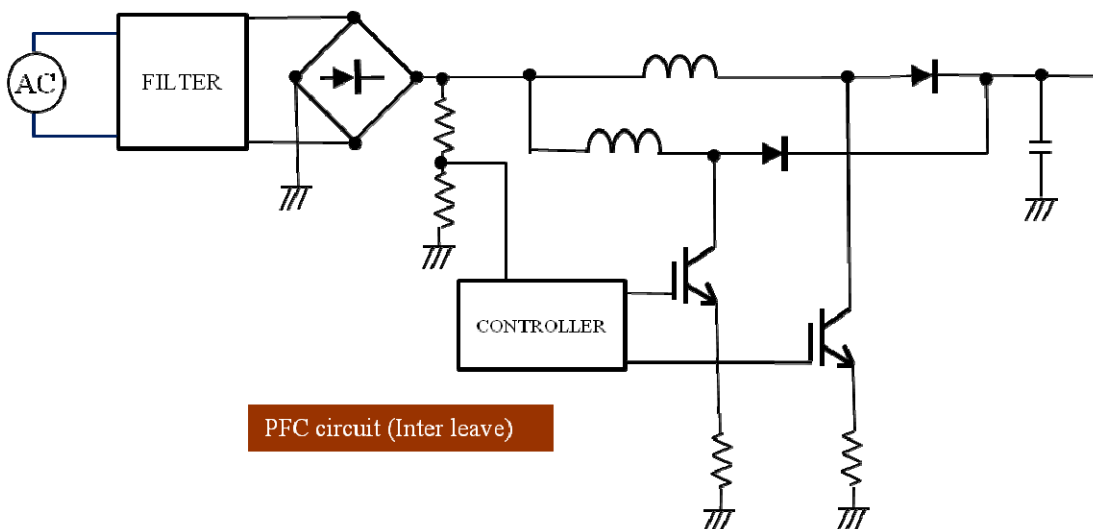
インターリーブ PFC 回路は、アクティブ PFC 回路の 1 つであり、fig.3 に示すように、2 つのスイッチング素子を交互に ON/OFF させます。

インターリーブ PFC 回路での IGBT の挙動

インターリーブ動作回路で NPT と FS-2 を動作させたときの特性を比較しました。表.1
インターリーブ回路では電流が入力電圧と相

似になるように制御するので、常に IGBT の Ic も変化します。波形 WP.3 が NPT タイプですが、これは PFC 動作のピーク電流時の片側 IGBT の波形です。Ic 波形に顕著な Ic テーリングが観測されます。

電流を 2 系統に流すことで、IGBT のピーク電流やインダクタのピーク電流低減や電流リップルの低減が可能になります。回路電流の大きなルームエアコンの PFC 回路などに積極的に使用される方式です。



PFC circuit (Inter leave)

fig.3 インターリーブ PFC 回路

FS-2 と NPT タイプの動作比較

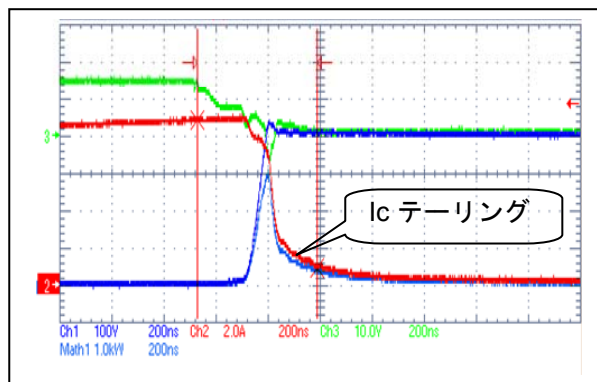
この時の動作効率を見ると η (NPT)
=92.2%となりました。一方、FS-2 で同じ動作
をさせると効率は η (FS-2)=94.4%と
2.2%もアップする結果となりました。
FS-2 の動作波形は WP.5、一方 NPT の動作は
WP.4 であり、

FS-2 の Ic には殆どテーリングがないことが
確認でき、損失はテーリングロスが大きく寄
与することが分かります。
動作周波数は約 34kHz

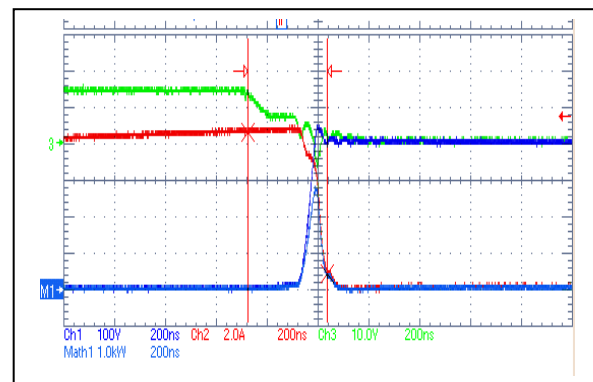
表.1 FS-2 と NPT の動作テスト結果

@ Inter leave PFC circuit (par each) VAC=100V Iout=1.5A Vout=388V

	η [%]	toff[nS]	Eoff[μ J]	tf[nS]	Pin[W]	VCEp[V]	IDp[A]
FS-2	94.4	313	161	93	619	444	8.9
NPT	92.2	461	309	253	631	440	9.0



WP.4 NPT IGBT スイッチング @PFC



WP.5 FS-2 IGBT スイッチング @PFC

次にこの回路で周波数を変化させたときの
特性を取りました。fig.4
結果としては、FS-2 は IGBT としては高周波
スイッチングと考えられる約 50kHz

までは十分に稼働させることが可能であり、
今まで使用が難しかった周波数領域への適応
が可能になります。

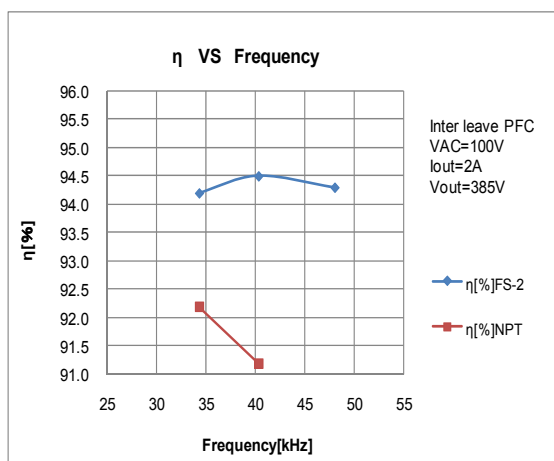
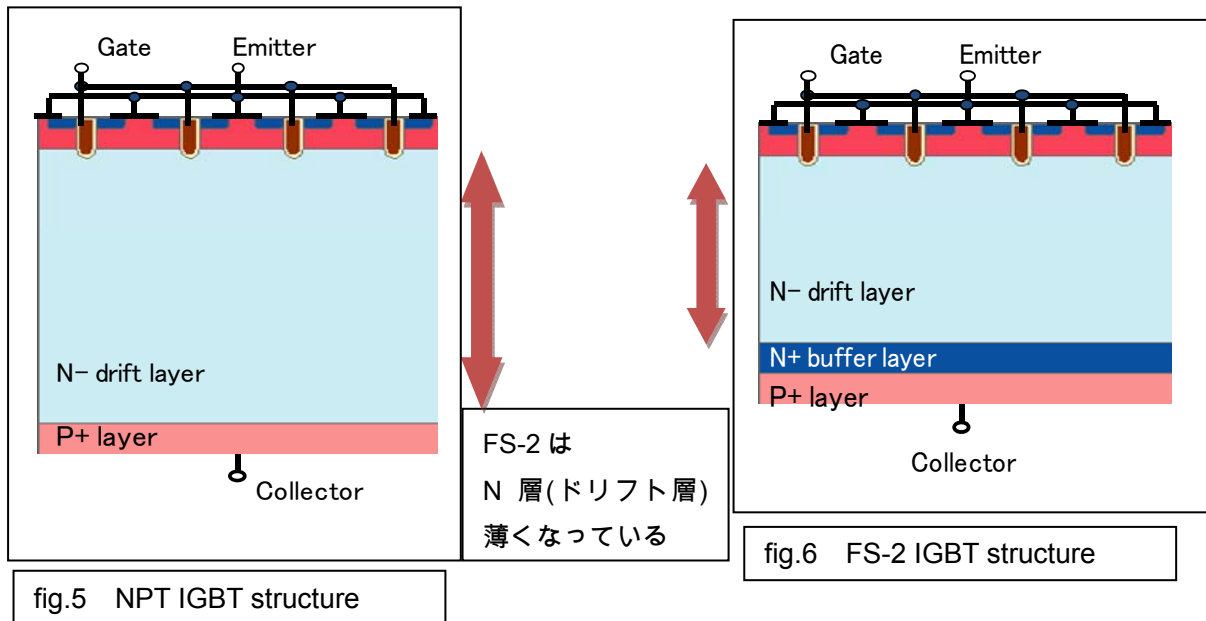


fig.4 効率 VS 周波数

NPT と FS-2 の構造について

NPT (Non punch through) は wafer の厚みが必要となります。その理由としては、Ic カットオフ時にコレクタエミッタ間の耐圧を出すのに N 層の空乏層を確保するためです。一方 FS-2 は第 2 世代の Field Stop 構造の薄型プロセスの IGBT であり、N 層と裏面の P 層の間に比較的高濃度の N 層を形成しています。これにより、NPT に比べ wafer 厚みを薄くすることができます。

このプロセスにより、スイッチング特性、特にカットオフ時の電流の切れを良くすることが可能になりました。スイッチングの高速化と VCE(sat)値低減はトレードオフの関係にありますが、FS-2 はそのトレードオフの関係を改善するプロセスであり、VCE(sat)も同時に低減させています(fig.5,fig.6 参照)。



FS-2 の実際の製品

製品としては 600V/20A 品として FRD 入りの NGTB20N60L2TF1G、FRD なしの NGTG20N60L2TF1G、600V/30A 品として FRD 入りの NGTB30N60L2WG があります。

table.2 FS-2-IGBT Line UP

Type No.	Package	Absolute maximum ratings				Electrical characteristics /Ta=25°C/VGE=15V			FRD Electrical Characteristics / Ta=25°C		
		VCES	IC		PD	VCE(sat)		Cies	VF		trr(typ) 100A/μs
			@Tc=25°C	@Tc=100°C		typ	@IC		max	@IC	
			[V]	[A]		[V]	[A]	[pF]	[V]		
NGTB20N60L2TF1G	TO-3PF-3L	600	40	20	64	1.45	20	2000	1.5	20	70
NGTG20N60L2TF1G	TO-3PF-3L	600	40	20	64	1.45	20	2000	—	—	—
NGTB30N60L2WG	TO-247-3L	600	60	30	130	1.4	30	4130	1.7	25	70

ON Semiconductor and the ON logo are registered trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC (SCILLC) or its subsidiaries in the United States and/or other countries. SCILLC owns the rights to a number of patents, trademarks, copyrights, trade secrets, and other intellectual property. A listing of SCILLC's product/patent coverage may be accessed at www.onsemi.com/site/pdf/Patent-Marking.pdf. SCILLC reserves the right to make changes without further notice to any products herein. SCILLC makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does SCILLC assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in SCILLC data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. SCILLC does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. SCILLC products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the SCILLC product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use SCILLC products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold SCILLC and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that SCILLC was negligent regarding the design or manufacture of the part. SCILLC is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer. This literature is subject to all applicable copyright laws and is not for resale in any manner.

(参考訳)

ON Semiconductor及びONのロゴは、Semiconductor Components Industries, LLC (SCILLC) 若しくはその子会社の米国及び/または他の国における登録商標です。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。