NGTG12N60TF1G
アプリケーションノート

IGBT アプリケーション
部分 SW　PFC への活用

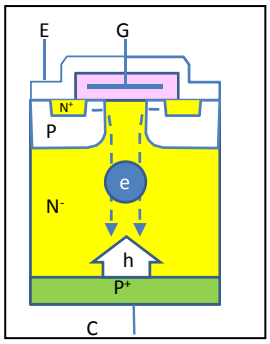
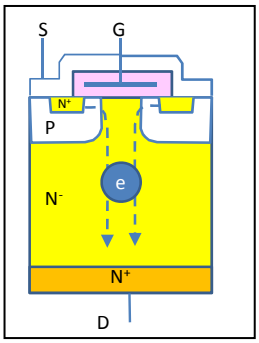
ON Semiconductor®
http://onsemi.jp

1. 初めに

IGBT は Insulated Gate Bipolar Transistor の略であり、PowerMOSFET のようにゲート−エミッタ間に電圧を印加してコレクタ−エミッタ電流を制御して使用します。下記に PowerMOSFET との構造、動作の相似/相違点を表にまとめました。

ポイントとしては、比較的高電圧（V>400V）で電流の大きいアプリケーションにおいては IGBT の方が RDS(on)相当分が小さいので導通ロスが小さくなります。但し、構造上コレクタ部分に PN 接合があるのでダイオードの順方向電圧（VF）が発生するため、電流が小さい領域では逆にMOSFETより導通ロスが大きくなることがあります。

また、スイッチ OFF 時はコレクタの P 層から N 層に注入された蓄積キャリアが直ぐに消滅しないためいわゆる tf テーリング現象が発生するため高周波スイッチングで使用するとスイッチングロスが MOSFET より大きくなります。よって使用する周波数領域は比較的低周波の 30kHz 程度が目安となります。

	IGBT	MOSFET
＊耐圧 400V 以上を想定 e…電子電流 h…ホール電流	 コレクタ面に P 層を形成、この P 層からホールの注入(伝導度変調)により導通時動作抵抗を下げられる	 電流が流れる経路はすべて N 型 耐圧を上げるために N-層の抵抗を上げる必要がある。高耐圧品は IGBT より導通時の抵抗面では不利になる
電流制御法	ゲート-エミッタ電圧。CE 間に電流流す（ON させる）電圧 8～15V が一般的	ゲート-ソース電圧。D-S 間に電流を流す（ON させる）電圧 10～15V が一般的
導通ロス	高電流で MOSFET より優位	耐圧を上げるほど RDS(on)上昇する
スイッチングロス	Tf テーリングのため MOSFET より大きくなる	
使用推奨周波数	30kHz 以下	20～100kHz

© Semiconductor Components Industries, LLC, 2014

September 2014- Rev. 0
Publication Order Number:
ANDNGTG12N60TF1GJP/D

２．スペックの見方（特に重要となるもの）と設計上のポイント

２－１）絶対最大定格

下記表.1 に機種名 NGTG12N60TF1G の絶対最大定格の表記を示し、重要と思われる項目を説明します。

VCES；この機種の場合 VCE に加えられる最大電圧は 600V となります。L 負荷スイッチングで使用する際は、入力信号 OFF 時の回路浮遊インダクタンス等による急峻な VCE 立ち上り、リンギング電圧発生で VCE 電圧が絶対最大定格を超えないか注意が必要です。

Ic；コレクタ電流定格 Ic に関しては Tc で制限を受けるため、Tc が違うと流せる電流も違ってきます。（＊１　参照）

温度が上昇するほど流せる電流は小さくなる方向にあります。概算では温度上昇 Δ75℃で流せる電流が 1/2 になると考えられます。

PD（許容損失）；NGTG12N60TF1G は TO-3P ですがフルモールドパッケージのため TO-3PB に比べると PD 値は小さく算定されます。NGTG12N60TF1G の場合は 54W となります。TO-3P 系で考えるとフルモールドより裏面金属のパッケージの方が Ic 定格表示は大きくなりますが、実際の使用においては裏面を放熱板や基板などから絶縁させるので TO-3PB の許容損失の実効の値は TO3-PF と殆ど変らないか逆に小さくなる場合もあります。

.

表.1　NGTB12N60TF1G　絶対最大定格

Absolute Maximum Ratings at Ta = 25°C, Unless otherwise specified

Parameter	Symbol	Conditions		Ratings	Unit
Collector to Emitter Voltage	VCES			600	V
Gate to Emitter Voltage	VGES			±20	V
Collector Current (DC)	IC*[1]	Limited by Tjmax	@ Tc=25◦C *2	24	A
			@ Tc=100◦C *2	12	A
Collector Current (Pulse)	ICP	Tjmax(Ref:ASO graph)		88	A
Allowable Power Dissipation	PD	dissipation condition) *2		54	W
Junction Temperature	Tj			150	◦C
Storage Temperature	Tstg			- 55 to +150	◦C

Note:　*1Collector Current is calculated from the following formula.

$$IC(TC) = \frac{Tjmax - Tc}{Rth(j-c) \times VCE(sat)(Tjmax, IC(TC))}$$

*2 Our condition is radiation from backside.
The method is applying silicone grease the backside of the device and attaching the device to water-cooled radiator made of aluminium.

２－２）電気的特性の項目の説明　表.2

ゲート/エミッタ遮断電圧 VGE(off)；ノイズによる誤動作を防止するため信号 OFF 時は min 値より低くなっていなければなりません。温度依存性が負なので、高温時の OFF 電圧に特に注意が必要です。一方 Ic を流す動作時十分低い VCE(sat)を得るには VGE=15V±1V 程度を推奨します。また、ターンオフを速めるため OFF 時はゲートをマイナス電位にする場合もありますが、VGE の絶対最大定格は±20V なのでこの範囲で設計します。
コレクタ/エミッタ間電圧VCE(sat)；素子の比較する上で重要となる項目です。Ｉｃ定格の値はパッケージにより変化しますが、VCE(sat)の値はチップの特性で決まるためパッケージが違っても不変です。（温度が同じ時）

そのためIGBTの特に導通損失を評価する上ではVCE(sat)で優劣を比較します。VCE(sat)の温度依存性はIcが十分流れていると正となるので放熱設計に留意する必要があります。
入力容量 Cies；ゲート-エミッタを ON/OFF するときにスイッチングタイムや Eon/Eoff を小さくするときにこの容量値が影響します。小さいほどスイッチングスピードは速くなる傾向にあります。Cies 値によっては Eon/Eoff を小さくするためドライブ IC の出力をダイレクトに IGBT のゲートに加えず BufferTr を用いて IGBT のゲートに加えて使用することがあります。このように IGBT を効率よくドライブするにはゲートのインターフェース回路が重要になってきます。

表.2　NGTG12N60TF1G　電気的特性

Electrical Characteristics at Ta = 25°C, Unless otherwise specified

Parameter	Symbol	Conditions		Ratings min	Ratings typ	Ratings max	Unit
Collector to Emitter Breakdown Voltage	V(BR)CES	IC=500μA, VGE=0V		600			V
Collector to Emitter Cut off Current	ICES	VCE=600V, VGE=0V	Tc=25°C			10	μA
			Tc=125°C			1	mA
Gate to Emitter Leakage Current	IGES	VGE=±20V, VCE =0V				±100	nA
Gate to Emitter Threshold Voltage	VGE(th)	VCE =20V, IC=250μA		4.5		6.5	V
Collector to Emitter Saturation Voltage	VCE (sat)	VGE=15V, IC=12A	Tc=25°C		1.4	1.6	V
			Tc=125°C		1.6		V
Input Capacitance	Cies	VCE =20V,f=1MHz			2000		pF
Output Capacitance	Coes				60		pF
Reverse Transfer Capacitance	Cres				50		pF

３．IGBT のゲートドライブ特性

NGTG12N60TF1GのRg（ゲート抵抗）の大きさを横軸にとり、IGBTのL負荷時スイッチング測定（回路Fig. 1）でのスイッチングロスを見るとＲｇとは正の相関になります。(Fig.2）よってスイッチングロス低減を重視する場合動作ノイズの影響を考慮しながらRgはなるべく小さい値を選択します。（47Ω以下推奨）

また、コントロール IC 出力能力が不足する場合はコントロール IC と IGBT の間に Buffer Tr を付加する必要があります。その場合 toff 性能を上げるため ON 方向より OFF 方向の抵抗を小さくする場合もあります。

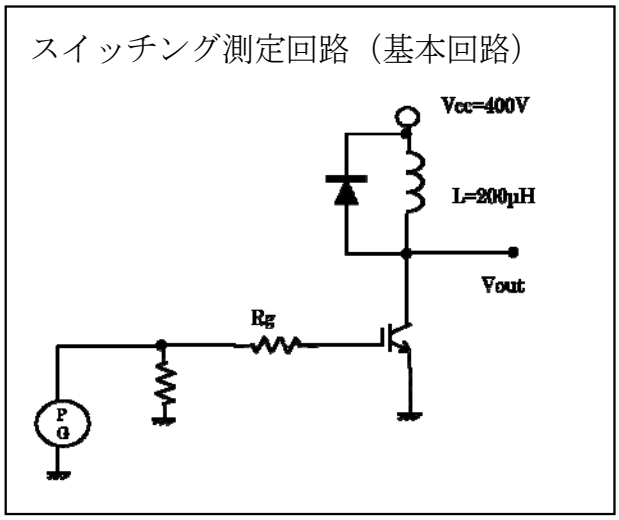


Fig.1　測定回路

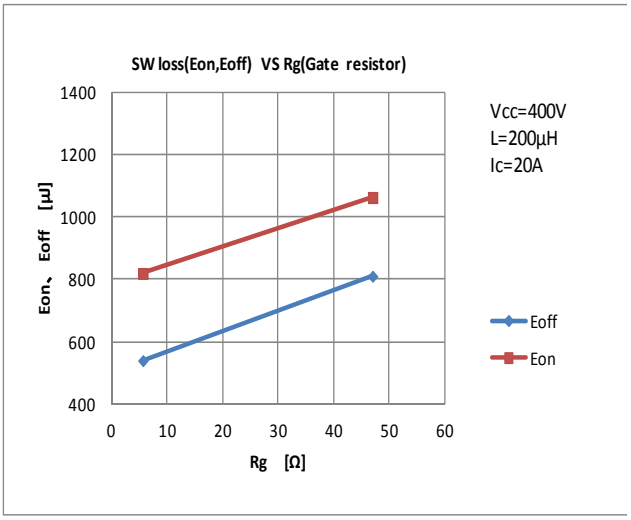


Fig.2　スイッチングロス特性

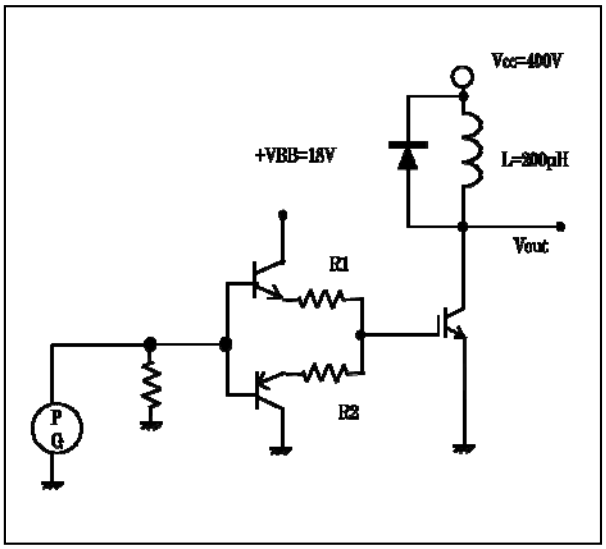


Fig.3　バッファー付加回路

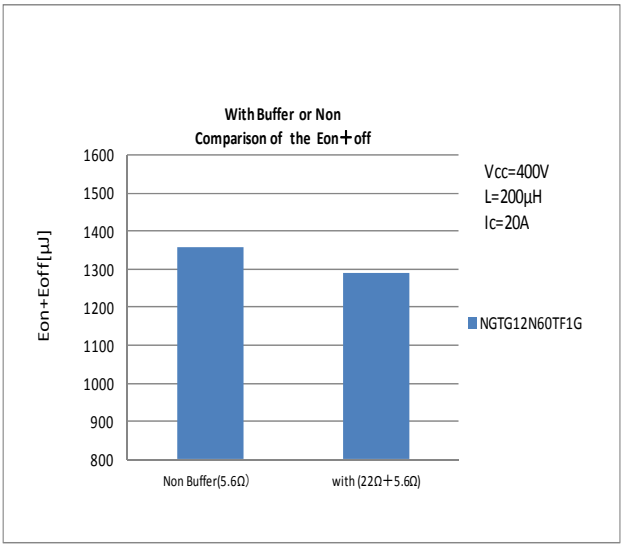


Fig.4　スイッチングロス比較

ドライブ回路設計例
ゲート抵抗 Rg と必要とされる BufferTr のスペックとドライブ電流
　IG=（VBB+|VEE|）/Rg（total）
エミッタコモンの場合 Fig.5 のように IGON と IGOFF で別々の経路を設定する場合が多いため Rg は R1 と R2 のパラレル接続と考えて
IGp'＝（15+5）/（22×4.7÷(22+4.7))
　　＝5.17A
となり、**この回路の場合 Icp＞5.2A　のドライブ能力**のある BufferTr が必要になります。

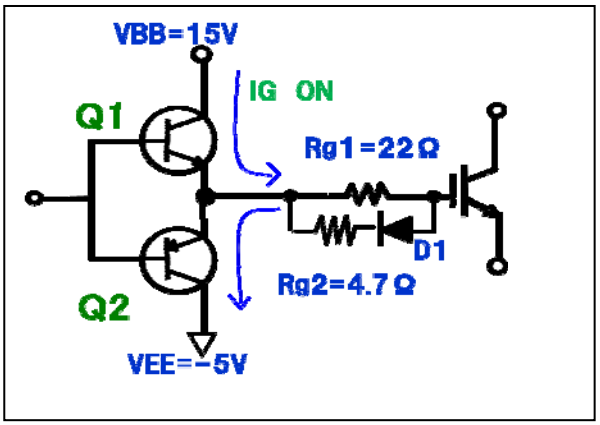


Fig.5　ドライブ例

４．損失と損失値計算について

IGBT はインバータ回路、スイッチング回路等の動作時、損失が発生します。損失を大きく分けると、導通（ON）損失とスイッチング損失（ターンオン/ターンオフ）の 2 つになりほぼこれらの和がトータル損失になります。また、使用時は十分な放熱を実現するため放熱器に装着して使用することになります。

４－１）スイッチング動作時の損失計算の概要

Fig.6 のような連続動作の基本的なスイッチング波形を考えます。
・IGBT 部
導通損失 EVCE(sat)は ON 期間 VCE(sat)一定と考え

PVCE(sat)=（Ic1＋Ic2）÷2×VCE(sat)×Ton/T

ターンオン、ターンオフに関しては Ic2 値の時の各デバイスの Eon、Eoff の測定データを使用し算定します。
Pon=Eon×f　 f ：動作周波数
Poff＝Eoff×f
よって、P（IGBTtotal）＝PVCE(sat)＋Pon＋Poff
但し Eon,Eoff の値はゲート抵抗値 Rg、Ic 値によって変化するので近いところのデータを使って計算します。

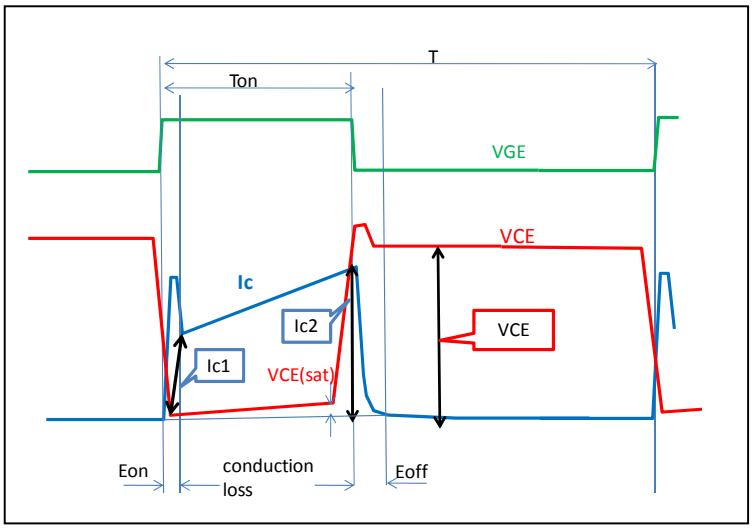


Fig.6　スイッチング連続動作波形例

５．部分 SWPFC を中心とした回路に関して

NGTG12N60TF1G や NGTG20N60L2TF1G はフリーフォイール Di を内蔵しないタイプであり、アプリケーション回路の代表的なものは、部分 SW　PFC 回路、インバータのブレーキ回路があります。

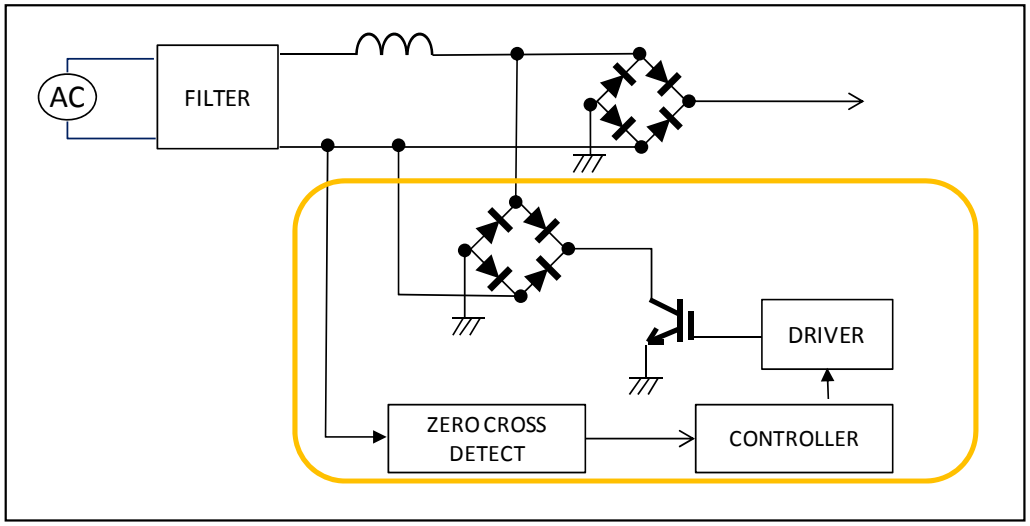


Fig.7　部分スイッチング回路

５－１）部分 SW　PFC 回路

力率を改善するためインダクタンスに強制的に電流を流し、入力電流の流通角を広げるスイッチとして使用します。
＊但し１周期で複数回のスイッチングを行う方式や、フルスイッチング方式の PFC の場合は Ic カットオフ時に VCE のリンギングが発生し、それがマイナス方向の電圧（エミッタ側がプラス）に振れる場合があるので、C-E 間に並列にフリーフォイルダイオードを付加するか、FRD 入りの機種（例えば NGTB20N60L2TF1G）を使用する必要があります。

入力電圧と電流のイメージ

AC 入力の電圧を v　電流を i とおくと、部分 SW 回路を動作させたときの AC 入力から見た時の波形は Fig. 8 の(a)の様になります。

PFC の IGBT の動作はある期間 ON して入力電流 i を流し、入力電流波形を入力電圧波形に近づけることで力率を改善します。

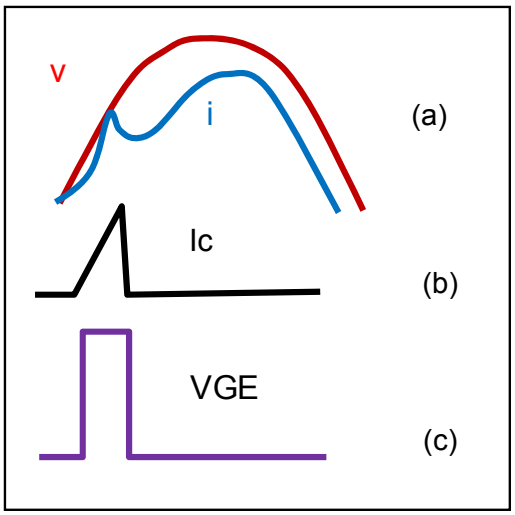


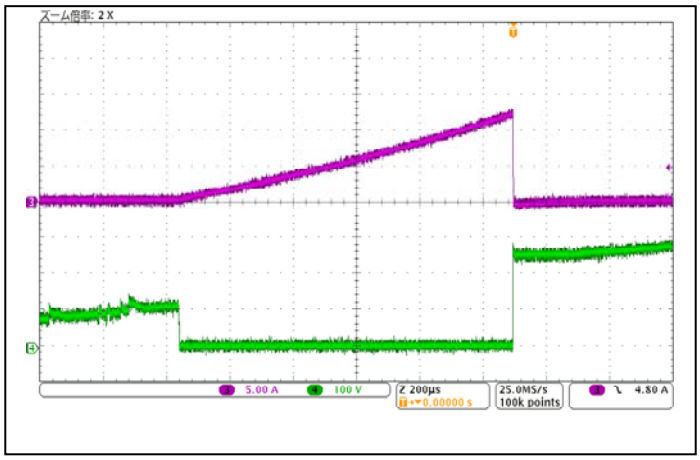
Fig.8　部分スイッチング動作

力率は 0.9~0.97 程度見込めます。

動作は商用周波数の 2 倍の周波数での動作になります。（商用周波数が 50Hz であれ 100Hz 動作）

Ic の波形はゼロクロスで立ち上り三角波になります。

参考に IGBT での動作波形を WP.1 に示します。



WP.1　IGBT 部分スイッチング動作波形例

５－２）その他の IGBT 応用回路例

インバータブレーキ回路(Fig.9)

AC サーボなどで、回生動作時、Vcc ラインの電圧が上昇するのを抑えるため抵抗回路のスイッチとして使用できます。

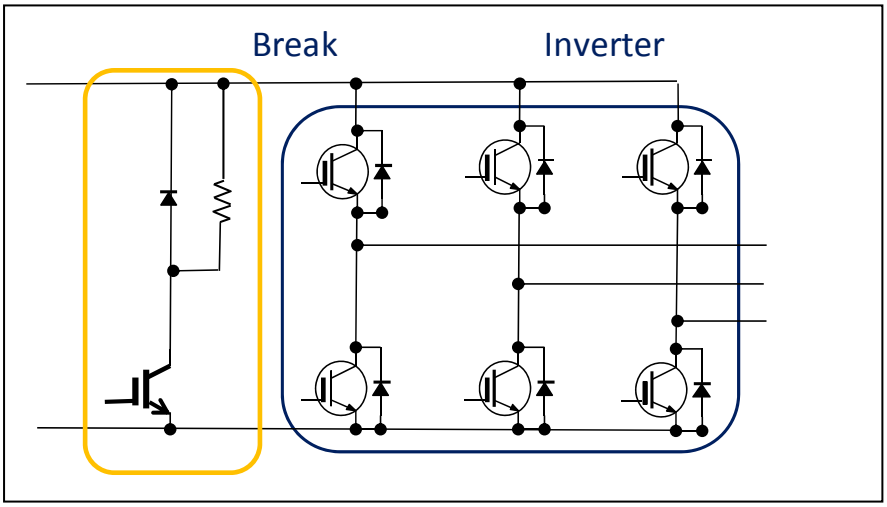


Fig.9　ブレーキ回路

６．PFC 回路（部分スイッチング方式）の応用時の損失に関して

IGBT はエアコンなどの力率改善に使用されています。その回路の一つとして周波数が低いスイッチング回路として５－１）で説明した部分スイッチング PFC 回路があります。

IGBT がこの部分スイッチング PFC 回路に使用された時のロスを波形により算出します。

部分スイッチング Ic 波形は三角波になります。よって、ロスは導通ロスである VCE(sat)ロスと Poff ロスを考えればよいことになります。以下 f=100~120Hz の三角波を考慮して算定。（想定する波形は Fig.10-1　参照）

周波数が低いため、この Poff ロス VCE(sat)ロスに比較して小さいのでロスは VCE(sat)分を重視して算定します。

Ic が 0A からスタートして Icp に至るので VCE(sat)値を 0[A]から Icp[A]までリニアと仮定し、VCE(sat)、Ic を直線近似して算定、Poff は Icp での Eoff 値を使用し、Poff=Eoff×f で算定。
導通ロス $P_{VCE(sat)}$はスタートは 0.6Ｖと仮定（ほぼ 0.6Ｖから電流が立ち上るので）
電流 Ax、電圧 Bx＋0.6 として Ax×（Bx＋0.6）を TON 区間積分します。
但し区間は 0~Ton なので A=Icp/TON
$B=(V_{CEsat(@Icp)}-0.6)/TON$　となり式は枠内に示す式(1)~(3)の通りとなります。

$$\int_0^{TON} f(x)dx=\int_0^{TON}(Icp/Ton\times Icp\times(V_{CEsat(@Icp)}-0.6)\times x^2+0.6\times Icp/Ton\times x)dX$$

$$= [1/(3\times Ton)\times Icp(V_{CEsat(@Icp)}\times Icp-0.6)\times x^3+1/(2\times Ton)\times 0.6\times Icp\times x^2]_0^{Ton}$$

$$=1/6\times(2\times Icp\times V_{CEsat(@Icp)}+0.6\times Icp)\times Ton \quad \ldots(1)$$

周期 T とすれば導通ロス $P_{VCE(sat)}$は

$P_{VCE(sat)}$＝式(1)/T　…(2)

更に Ptotal は

$Ptotal=P_{VCE(sat)}+Poff$　…　(3)

となります。

例　NGTG12N60TF1G では 20A の(Tc=100℃)
Ic－VCE(sat)依存性(Fig.10-2)より
VCE(sat)=1.8V、また TON=1.33mS、
T=8.33mS(120Hz)とすると式(2)に代入
PVCE(sat)＝Ton/T ×1/6×Icp(2×VCEsat+0.6)
=2.24　[W]
また、Poff は Fig.10-3 から Icp=20A
Eoff=825μJ なので
$Poff=120\times825\times10^{-6}=0.099$[W]
よってトータルは
Ptotal= PVCE(sat)+Poff=2.34　[W]となります。

これは Icp=20A とした時の一例であり、Icp が変わり Ton も変わると（傾き一定と仮定）損失は変動するので注意が必要です。Fig.10-4 に Icp 変動時の VCE(sat)損失の変化を示します。

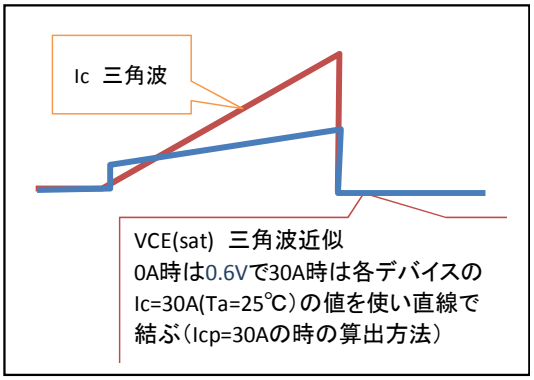


Fig.10-1　損失等価波形

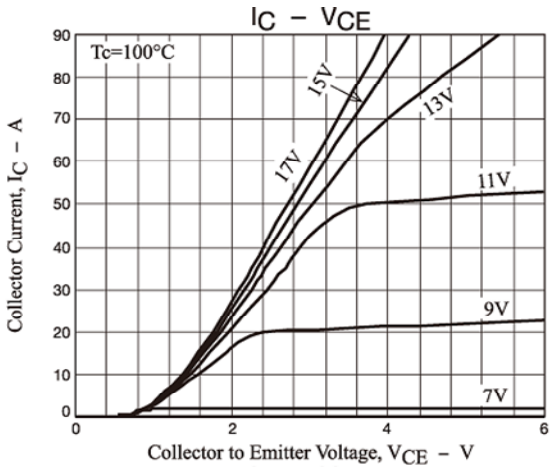


Fig.10-2　Tc=100℃時の Ic-VCE(sat)

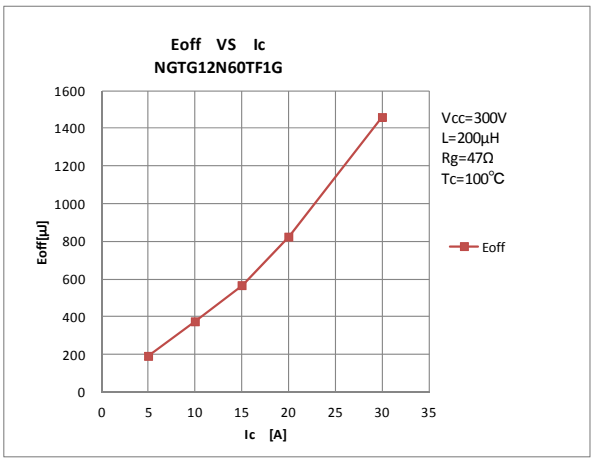


Fig.10-3　Icp 変化時の Eoff 値

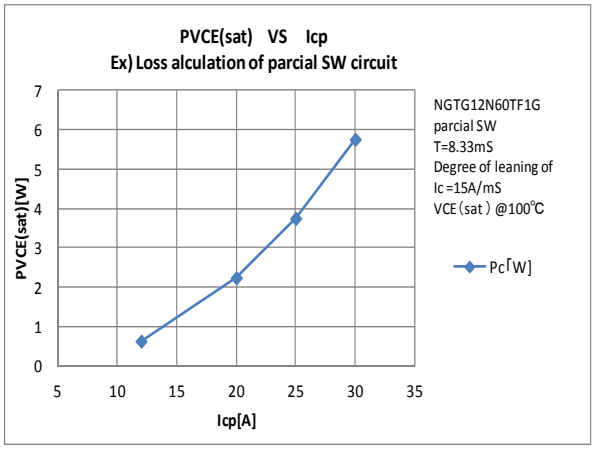


fig.10-4　Icp 変化時の VCE(sat)損失算定値

7．　放熱板設計　（NGTG12N60TF1G を中心とした記述）

NGTG12N60TF1G の Tjmax は 150℃であり、動作のワーストケースにおいても、この温度を超えることのないよう放熱設計をする必要があります。さらにスイッチング動作時の高信頼性を考慮した場合 Tc（ケース温度）は 100～110℃にすることを推奨します。

部分 SW 動作 Icp=30A では Fig.10-3 より Eoff=1460μJ、 Fig.10-4 より Icp=30A 時 PVCE(sat)=5.8W となるので、式(3)より

$P_{total}=5.8+120\times1460\times10^{-6}\fallingdotseq5.98W$

Tc=100℃に抑えるためには、
周囲温度の Tamax=60℃と考えた場合
$\Theta h=(100-60)\div5.98\fallingdotseq6.6$　℃/W　の放熱板になります。

またこの時の Tj は上記素子ではスペックシートより熱抵抗 Rth(j-c)=2.33℃/W　となっているので Tj＝5.8×2.33+100=113.5℃
となり、十分許容できる温度(Tjmax=150℃に対して）となります。

８．ASO（安全動作領域）について

ASO（SOA*）は特に高耐圧、大電流を扱うパワーデバイスをスイッチング回路に使用する際に、デバイスを破壊させないで動作させる上で守るべき重要な項目になります。ASO は FB（Forward　Bias）順方向と RB（Reverse Bias）逆方向の２つの領域に分かれており、ゲート入力の状況に応じてどちらか一方の ASO を評価に使用します。＊一般的には SOA の呼び方が多いですが NGTG12N60TF1G のスペックシートに合わせて本文は ASO で進めています。

８－１）FB・ASO（順方向　安全動作領域）

FB・ASO はゲート電圧が Vth を超えて順方向のコレクタ電流が流れるときのコレクタ-エミッタ間の電圧/電流の２次元的な挙動（ローカス）を評価するためのものです。この ASO はパワーの印加される時間 PT に依存します。領域は
①Icp で制限される領域、
②Tjmax で制限される領域
③2 次降伏で制限される領域
④VCESmax で制限される領域
で構成されています。
NGTG12N60TF1G ではそのエリアは Fig.11 の様になります。

また FB・ASO は温度に依存し温度が高くなるほど狭くなるので温度上昇時は注意が必要です。温度上昇時の FB・ASO に関しては別途ご相談ください。

８－２）RB・ASO　逆方向　安全動作領域

RB・ASO はゲート電圧が Vth 未満の領域でのコレクタ-エミッタ間のローカスを評価するものです。L 負荷でのスイッチング動作では動作 OFF するためゲート電圧を 0V もしくは負の電圧にしますが、コレクタ電圧の上昇と共に電流は遅れて減少する独特なローカスとなります。特に L 負荷 SW の場合、RB・ASO が重要になります。RB・ASO のグラフ例を Fig.12 に示します。
RB・ASO のエリアはピークコレクタ電流で制限される領域とコレクタ-エミッタ間電圧 VCES で制限される領域の２つで示される場合が一般的です。例えば、WP.1 の様な動作時の ASO の動作軌跡（ローカス）を Fig.12 の RB・ASO グラフにプロットするとこの動作はエリア内であることが分かります。実際は、動作のワーストケース（電流、電圧において、Max となる動作モード）での検証を行い、RB・ASO のエリア内に入るかどうか検証して下さい。

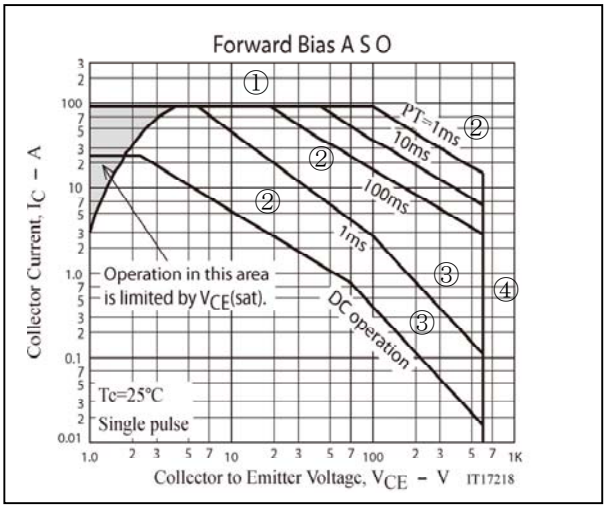


Fig.11　FB・ASO
NGTG12N60TF1G の例

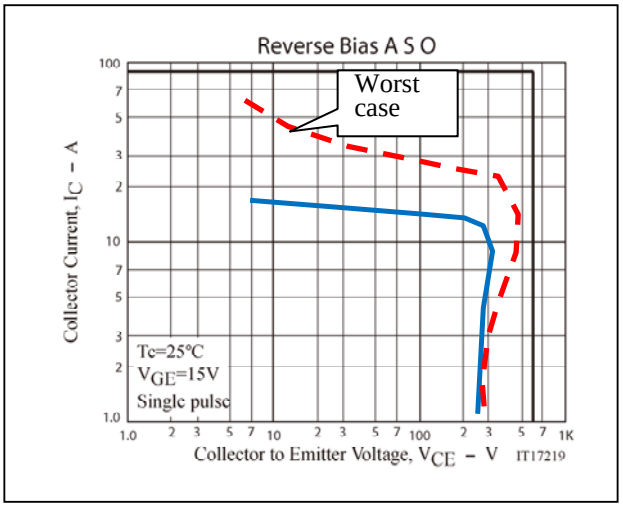
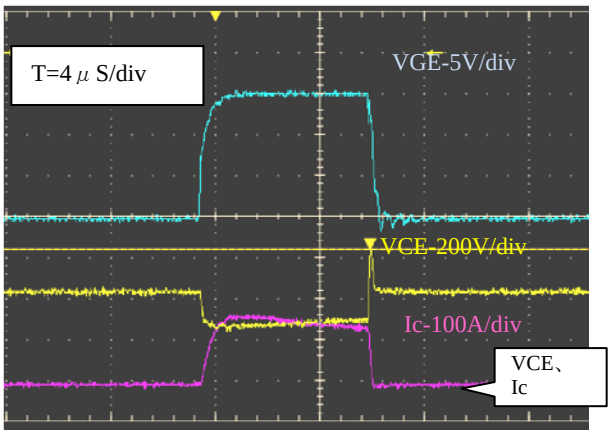


Fig.12　RB・ASO　と動作ローカス検証
NGTG12N60TF1G の例

９．短絡耐量（SC　SOA）について

C-E 間が短絡状態となった時、どれだけの時間素子が破壊しないで動作するかを時間で示したものです。(WP.2)保護回路においてこの短絡耐量の時間より短い期間に保護回路を作動させゲート電圧を完全に OFF させる必要があります。短絡耐量の値は素子の温度や VGE が高くなる場合、更にコレクタ側の電源ラインの電圧が高くなる場合はこの値が小さく（短く）なるので
注意が必要です。
NGTG12N60TF1G の場合、
Tc=100℃、VGE=15V、Vcc=300V で
5μS が設計保障となっています。



WP.2　SC SOA　動作波形例

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。