

Application NOTE  
P2407-000100

# IGBT内部静電容量の 測定

萩原レクトロニクス株式会社  
パワーデバイス拡販部

このアプリケーションNOTEは[Starpower社が発行している情報](#)を和訳した参考資料です。  
詳しくは、リンク先を参照してください。

## 概要

入力容量 $C_{ies}$ と出力容量 $C_{oes}$ は主に内部自己接合容量から構成され、 $C_{ies}$ が主にIGBTのスイッチング速度とスイッチング損失に影響を与えるが、 $C_{oes}$ が主に $V_{ce}$ の変化に影響を与える。 $C_{cel}$ は主にコレクタ・エミッタ間電圧 $V_{ce}$ の変化に影響し、逆方向伝送容量 $C_{res}$ は主にIGBTのスイッチング速度とスイッチング損失に影響する内部自己接合容量 $C_{gc}$ と $C_{ge}$ である。 $C_{res}$ は内部自己接合容量 $C_{gc}$ で、主にゲート駆動電圧 $V_{ge}$ とコレクタ・エミッタ間電圧 $V_{ce}$ のカップリング関係に影響する。したがって、IGBTの特性をさらに理解するために、内部の $C_{ies}$ 、 $C_{oes}$ 、および $C_{res}$ の高精度測定がより重要である。以下では、IGBT内部の入力容量 $C_{ies}$ 、出力容量 $C_{oes}$ 、帰還容量 $C_{res}$ の正確な測定方法、注意点、原理解析について説明する。

## 目次

1. 測定注意点
2. 測定方法及び原理解析
3. サマリ

# 1. 測定注意点

1) 電圧と接合容量の関係。モジュールの自己発生接合容量値は、バイアス電圧が異なると変化する。図1に接合容量とバイアス電圧の関係を示すので、接合容量を測定する場合は、まずバイアス電圧が印加されていることを確認する必要があり、バイアス電圧未印可(電圧が浮いている)の直接測定は参考値にならない。

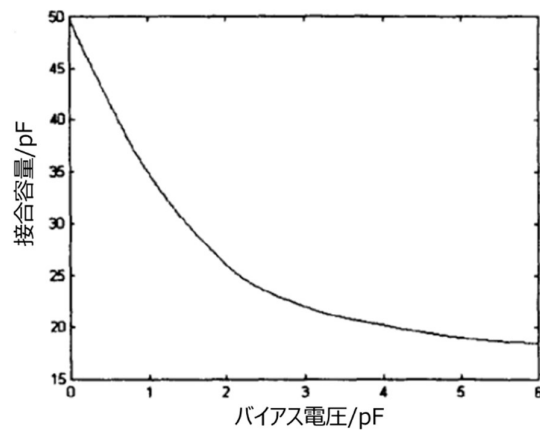


図1 接合容量とバイアス電圧の関係性

2) バイアス電圧測定基準の決定。バイアス電圧からIGBTコレクタ・エミッタ間への電圧が若干電圧ドロップがあるため、IGBTコレクタ・エミッタ間電圧のAB2点間の電圧を直接モニターする必要がある(図2)。この測定値が真のバイアス電圧値となる。

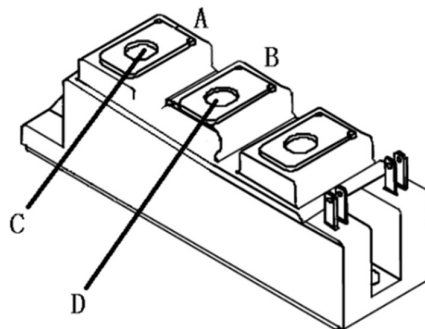


図2 IGBTのバイアス電圧測定参考図

3) 測定周波数の選択。試験回路には浮遊インダクタンスと浮遊キャパシタンスが不可避免的に存在するため、一般的な見方だとすると、図3といったようなRLC直列回路となり、定常状態における電圧と電流の関係は次のような公式：

$$\frac{U}{I} \angle \theta = R + L\omega j + \frac{1}{C\omega j}, \omega = 2\pi f,$$

$$\text{すなわち } \frac{U}{I} \cos \theta + j \frac{U}{I} \sin \theta = R + (L\omega - \frac{1}{C\omega})j, \omega = 2\pi f$$

$$\text{そして } \frac{U}{I} \sin \theta = L\omega - \frac{1}{C\omega}$$

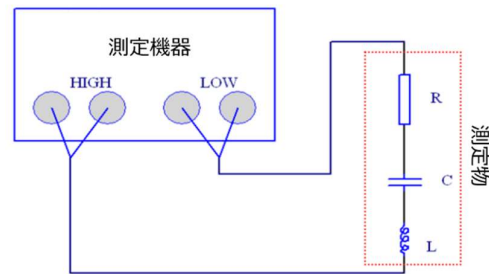


図3 測定物の等価回路図

実際の測定で容量Cap値だけに注目する場合、インダクタンス L値への影響は無視される可能性がある。モジュールのパッケージや測定回路では、インダクタンスLの大きさは一般にnHレベル、モジュールの自己発生接合容量Cの大きさは一般にnFレベルであるため、測定システムがf=1MHzといった周波数を選択した場合、少なくともすでに1/CωはLωの10<sup>3</sup>~10<sup>6</sup>倍であり、Lの影響は無視できる。

4) 測定器の選択。テスト機器の電流精度が測定値の正確度を影響するので、高精度、高性能の測定器を選択することを推奨する。

## 2. 測定方法及び原理解析

### 1) 入力容量 Cies

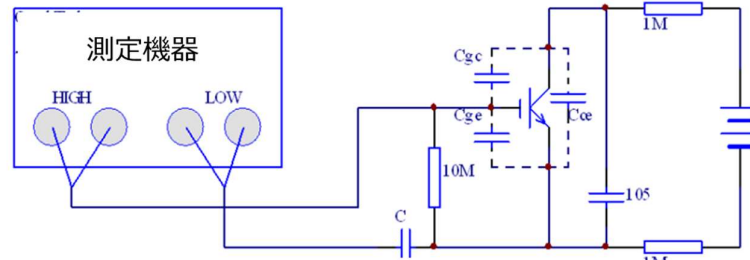


図4 入力容量値Cies測定回路図

図4の設計目的は、IGBTにバイアス電圧を印加した状態で内部入力容量Ciesを測ることであり、入力容量Ciesの定義によれば、すなわち $C_{ies} = C_{ge} + C_{gc}$ であるため、まず考慮すべきは、IGBTの内部容量Cceの影響をいかに除去するかである。静電容量の並列特性によれば、0.1 $\mu$ Fの静電容量によってIGBTの内部容量Cceをシールドすることが導入可能であり、その後、並列接続により得られる容量値は約0.1 $\mu$ Fの容量値となる。そして、この並列接続で得られた静電容量値は、静電容量の直列接続特性に従い、IGBTの内部静電容量Cgcと直列に接続され、0.1 $\mu$ Fの静電容量は再びCgcでシールドされる。GとEの間に10Mの抵抗を追加すると、IGBTが不安定になるのを防ぐための仮想短絡回路として機能する。

IGBT CとEの両端と電源の間に1M $\Omega$ 抵抗を追加され、その高インピーダンス特性を用いて電源回路から測定回路への影響を避けることができる（もちろん、抵抗が大きければ大きいほど効果は高くなりつつ、電圧降下も大きくなる。1M $\Omega$ 抵抗の追加は1M $\Omega$ で引き起こされる電圧降下は相対的に妥協であるため、条件が許せば、また、非減衰インダクタンスに変更すると効果がより良い）。コンデンサCの機能は、DC電流をカットすること。コンデンサCはIGBT内部の接合容量と直列に接続され、IGBT内部の接合容量の等価値は比較的小さいので、コンデンサの直列特性に従って測定への影響を小さくするために、コンデンサCの容量値を大きくとる必要がある。

測定データからIGBT内部の入力容量Ciesを換算する方法は以下の通り：

∵ Cceを0.1 $\mu$ Fのコンデンサと並列に接続する場合、並列に得られる値をC1とする。

∴  $C1 \approx 0.1\mu\text{F}$ とする。

∵ CgcとC1を直列に接続し、直列に得られる値をC2とすると

∴  $C2 = Cgc$

∵ CgeとC2を並列に接続で得られる値をC3とすると

∴  $C3 = Cge + C2$

∴  $C_{ies} = C3$

入力容量Ciesのテスト回路図に基づいて測定器で測った数字をCsとすると

$$\therefore \frac{1}{C_s} = \frac{1}{C} + \frac{1}{C_{ies}}, \text{ すなわち } C_{ies} = \frac{C \times C_s}{C - C_s}$$

## 2) 出力容量 Coes

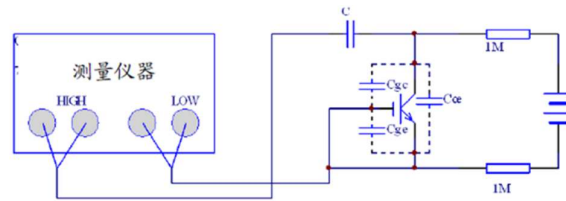


図5 出力容量値Coes測定回路図

図5の設計の目的は、バイアス電圧を印加したIGBTの内部出力容量値を測定することである。

出力容量Coesの定義によれば、 $Coes = Cgc + Cce$ である。

従って、まず考慮すべきは、IGBT内部接合容量Cgeの影響をいかに取り除き、IGBT内部接合容量CgcとCceを並列接続できるようにするかである。

CgcとCceを並列接続する。IGBT内部接合容量Cgeをシールドするために、ゲートCとEを直接ショートすることも可能である。

測定データからIGBT内部の出力容量をCoesに変換する方法は以下の通りである：

∵ Cgeをショートし、CgcをCceと並列に接続した場合、並列に得られる値をC'とする

∴  $C' = Cgc + Cce$ 、すなわち  $C' = Coes$

測定器が出力容量Coes測定回路図に従って得られた測定値をCsと仮定する。

∴  $\frac{1}{Cs} = \frac{1}{C} + \frac{1}{Coes'}$ 、すなわち  $Coes = \frac{C \times Cs}{C - Cs}$

## 3) 帰還容量 Cres

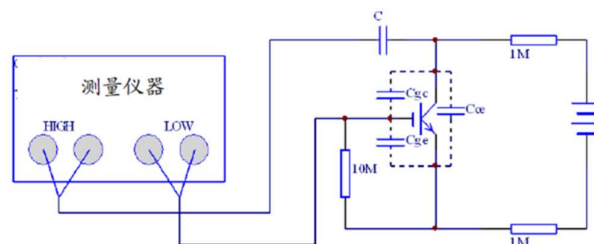


図6 逆伝送容量Cres測定回路図

図6の設計目的は、バイアス電圧を印加した状態でIGBTのG点とE点の静電容量を測定し、図4と図5の測定値を換算して帰還容量Cresを求めること。

試験で得られたデータをIGBT内部の帰還容量Cresに換算する方法は以下：

∵ CceはCgeと直列し、直列に得られる値をC1'とする

∴  $\frac{1}{C1'} = \frac{1}{Cce} + \frac{1}{Cge}$ 、すなわち  $C' = \frac{Cce \times Cge}{Cce - Cge}$

∵ CceとC1'を並列に接続し、直列に得られる値をC2'とする

∴  $C2' = Cgc + C1'$ 、すなわち  $C2' = Cgc + \frac{Cce \times Cge}{Cce + Cge}$

帰還容量Cres試験の回路図に基づいて測定器で測定した値をCsとすると

∴  $\frac{1}{Cs} = \frac{1}{C} + \frac{1}{C2'}$ 、すなわち  $C2' = \frac{C \times Cs}{C + Cs}$

入力容量Cies、出力容量Coesの測定値、および前述の推算式に基づくと、以下のようになる。

$$Cgc + Cge = Cies$$

$$C_{gc} + C_{ce} = C_{oes}$$

$$C2' = C_{gc} + \frac{C_{ce} \times C_{ge}}{C_{ce} + C_{ge}}$$

$$\therefore C_{res} = C_{gc} = C2' - \sqrt{(C_{ies} - C2')(C_{oes} - C2')}$$

固定バイアス電圧で各IGBTの入力容量 $C_{ies}$ 、出力容量 $C_{oes}$ 、帰還容量 $C_{res}$ を測定した後、バイアス電圧を徐々に増加させ、データシートに一般的に記載されたようなカーブを得ることができる。

これにより、異なるバイアス電圧におけるIGBTの入力容量 $C_{ies}$ 、出力容量 $C_{oes}$ 、および帰還容量 $C_{res}$ を理解することができる。

### 3. サマリ

本稿では、IGBT内部の入力容量 $C_{ies}$ 、出力容量 $C_{oes}$ と帰還容量 $C_{res}$ の測定方法と設計原理を紹介する。IGBT内部の接合容量値の測定方法に参考ください