

PSIMチュートリアル
熱モジュールを利用したIGBTの損失計算

Mywayプラス株式会社

1. はじめに

PSIM には、半導体デバイスの損失を比較的容易に計算することを目的とした熱モジュール(オプション)があります。本テクニカルノートでは、この熱モジュールを利用した IGBT の損失計算方法の手順をご紹介します。

2. 対象デバイス

今回、以下の図 1 に示した三相電圧型インバータの損失を計算する場合を考えます。今回は、Semikron 社の三相 IGBT モジュール SEMiX151GD066HDs (データシートは PSIM フォルダ内「doc¥Semikron SEMiX151GD066HDs.pdf」を参照して下さい。)を使用します。

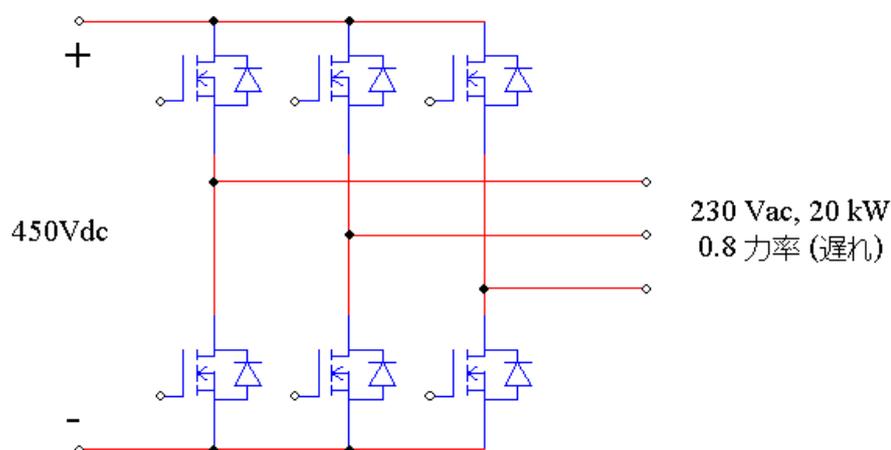


図 1 三相電圧型インバータ

インバータの動作条件は以下のようになります。

DC バス電圧	450Vdc
AC 出力	230V (線間電圧,rms) 60Hz, 20kW, 力率 0.8 (遅れ)
スイッチング周波数	8kHz

これらの値を利用して計算すると、出力電流 I_o は $62.75A(=20000/(1.732*230*0.8))$ になります

3. IGBT の損失計算

3.1. デバイスデータベースエディタに IGBT モジュールを追加

はじめに Semikron 社の IGBT モジュール SEMiX151GD066HDs を PSIM のデバイスデータベースエディタに追加します。この手順を以下に説明します。

3.1.1. デバイスデータベースエディタを起動

PSIM ウィンドウにて、「ユーティリティ (Utilities)」 → 「デバイスデータベースエディタ (Device Database Editor)」を選択し、デバイスデータベースエディタを起動してください。

最初に「Semikron.dev」という新しいデバイスファイルを作成し、PSIM の Device フォルダに追加します。

PcdEditor ウィンドウ(図 1参照)ツールバーにて、「ファイル(File)」 → 「新しいデバイスファイル(New Device File)」より、PSIM ディレクトリの「Device」サブフォルダにファイル「Semikron.dev」を作成します。このファイルはデバイスデータベースエディタの左上隅の「ファイル名(File Name)」リストボックスに表示されます。

「ファイル名(File Name)」欄(図 1赤点線内)で「Semikron.dev」ファイルを選択し、ツールバーの「デバイス(Device)」 → 「新しい IGBT(New IGBT)」を選択します。作成された新しいデバイスは、デバイスファイル「Semikron.dev」に格納されます。

次にこのデバイスのデータシートから、下記の情報が読み取れますので、これを図 2の青点線内の各部に入力します。

デバイスメーカー : Semikron

部品番号 : SEMiX151GD066HDs

パッケージ : 6-Pack

絶対最大定格 : $V_{ce,max}=600(V)$ 、 $I_{c,max} = 150(A)$ 、 $T_{j,max} = 175(^{\circ}C)$

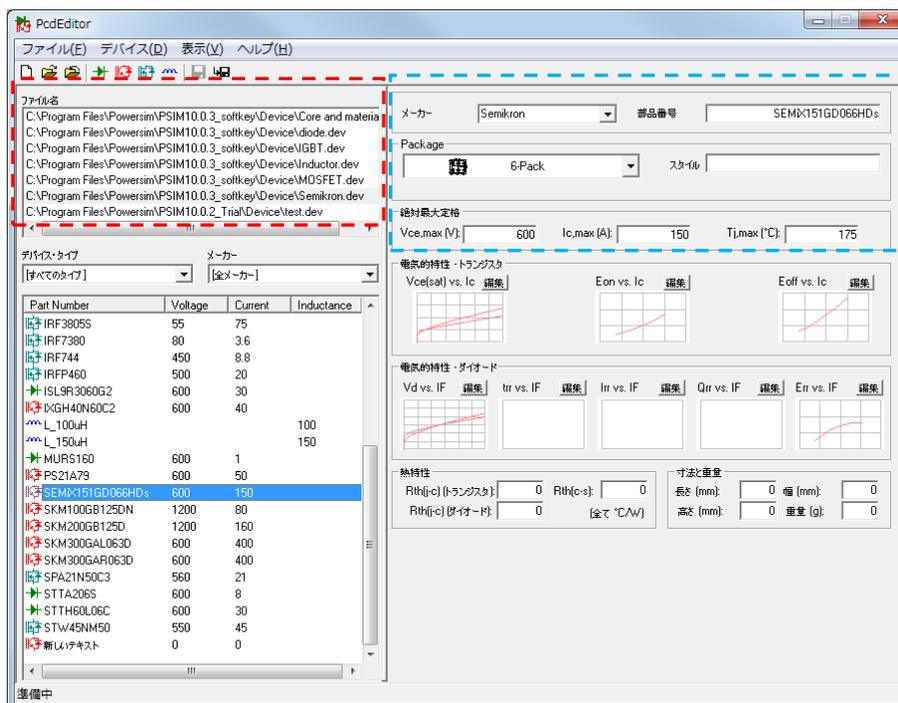


図 2 PcdEditor ウィンドウ

3.1.2. デバイスの伝導特性の入力

SEMIX151GD066HDs のデータシートにはデバイスの順伝導特性「Vce(sat) vs. Ic」自体は提供されておらず、ひとつの点の値(Ic = 150 A、Tj = 150°C、Vce(sat) = 1.7 V)のみが与えられていますので、今回はこの一点のみをデータベースに追加します。

「Vce(sat) vs. Ic」特性グラフ右上の「編集(Edit)」ボタンをクリックすると、特性を入力するウィンドウが表示されます(図 3左図)。「曲線追加」をクリックし、軸の設定をします。ここで、Ic は X 軸、Vce(sat)は Y 軸です。データシートを参照し、X0 に 0、Xmax に 350、Y0 に 0、Ymax に 5 を入力します。Suffix は X 軸 Y 軸共に空欄です。

「Enter values in the following format」の下にある編集フィールドに(150,1.7)を入れます(図 3右図の赤点線内)。接合部温度 Ti に 150 を入力し、「その他の試験条件」をクリックするとゲート電圧を入力するウィンドウが表示されますので、15V を入力し、OK ボタンをクリックして、ダイアログウィンドウを閉じます。

「リフレッシュ」をクリックすると入力した点がグラフ上に現れますので、確認して OK ボタンをクリックします。

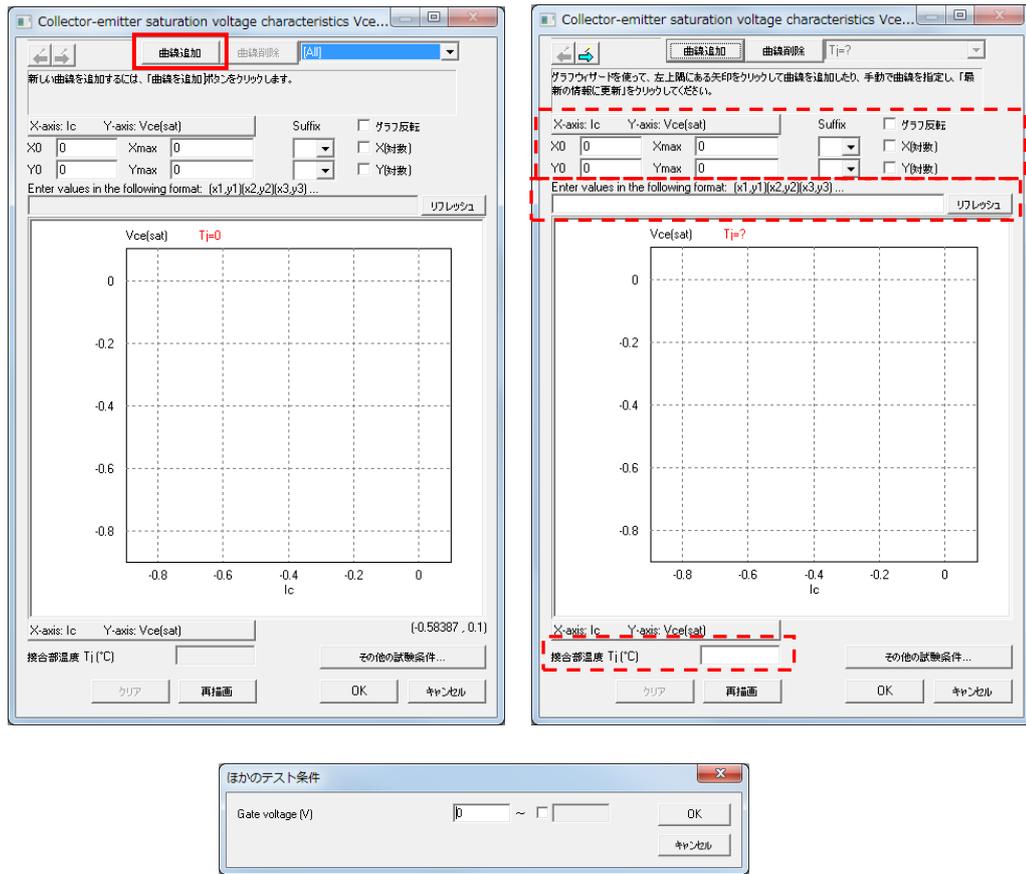


図 3 デバイスの伝導特性入力

3.1.3. トランジスタのスイッチングエネルギー損失特性の入力

SEMiX151GD066HDs のデータシート内の「Fig.3」は電流 I_c に対してデバイスのターンオン及びターンオフエネルギー損失 E_{on} 及び E_{off} の関係を示しています。データベースエディタのグラフウィザードを利用して特性をキャプチャして入力することもできますが、今回は、手動でグラフを定義します。データシートの「Fig.3」から次のエネルギー損失対電流のデータポイントを以下の様に読み取ります。

I_c (A)	E_{on} (mJ)	E_{off} (mJ)	Err (mJ)
100	4	3	3.75
150	6.2	3.75	5.8
200	8.3	5	7
250	10.8	6.6	8
300	13.3	8.3	8.1

「 E_{on} vs. I_c 」特性の「編集(Edit)」ボタンをクリックします。「曲線追加」をクリックし、X 軸、Y 軸の値を設定して「Enter values in the following format」の下にある編集フィールド(図 4参照)に次のデータポイントを書き込みます。

(100, 4) (150, 6.2) (200, 8.3) (250, 10.8) (300, 13.3)

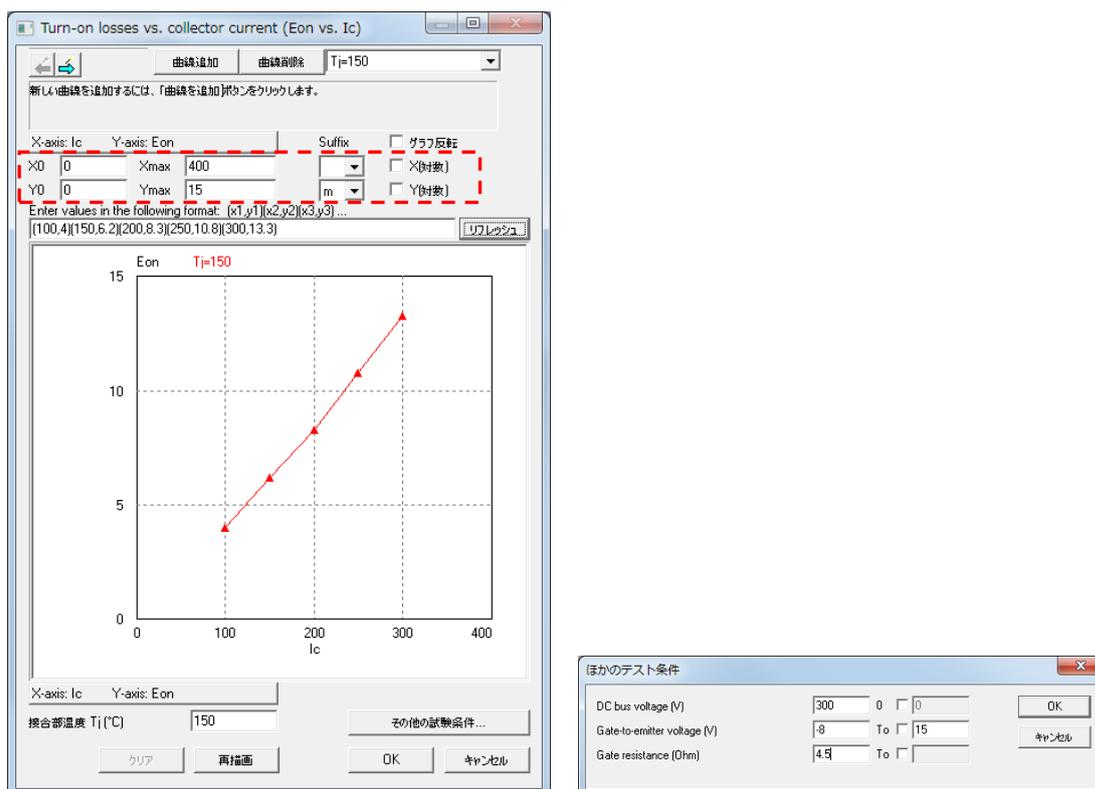


図 4 「Eon vs. Ic」特性入力

また、データシート内の「Fig.3」とグラフと比較がし易いように軸設定を合わせます。(X0 = 0、Xmax = 400、Y0 = 0、Ymax = 15 とそれぞれ設定します。)

同時に Y 軸は mJ 単位ですので単位を m (ミリ) にします。Y 軸の Suffix を「m」に設定します。接合部温度 Tj に 150 を入力し、「その他の試験条件」をクリックして表示されたウィンドウに、DC バス電圧 = 300 V、ゲート電圧 = -8 V~15 V、ゲート抵抗 = 4.5Ω を設定して OK をクリックします。表示されたグラフを確認して OK をクリックします。以上で「Eon vs. Ic」特性の設定は終わりです。

同様に「Eoff vs. Ic」特性の設定も行います。「PcdEditor」ウィンドウで「Eoff vs. Ic」の「編集(Edit)」をクリックしてください。「曲線追加」をクリックし、X 軸、Y 軸の値を設定して「Enter values in the following format」の下にある編集フィールド(図 4 参照)に次のデータポイントを書き込みます。

(100, 3) (150, 3.75) (200, 5) (250, 6.6) (300, 8.3)

設定後の「Eoff vs. Ic」特性グラフは図 5 に示しています。

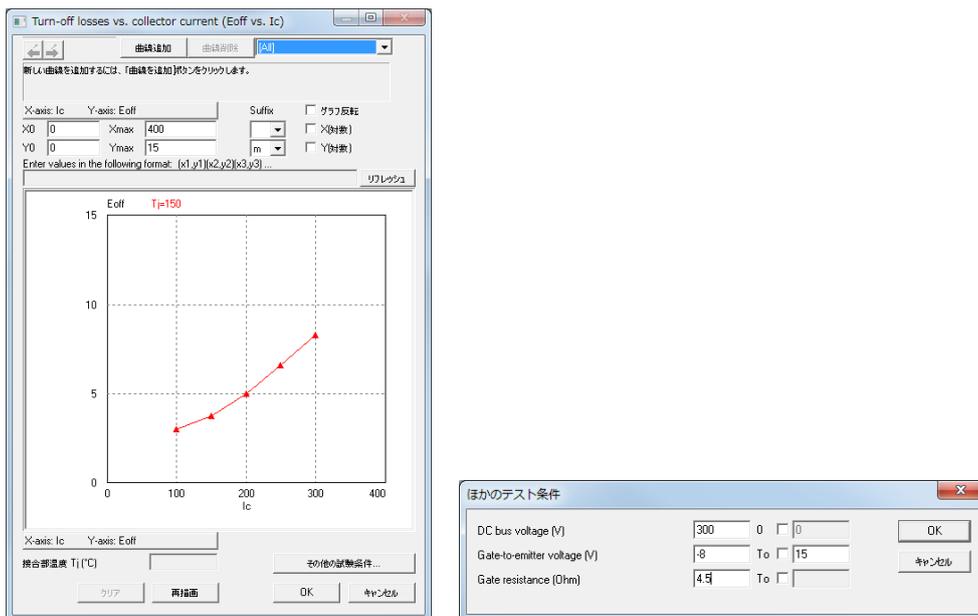


図 5 「Eoff vs. Ic」特性入力

3.1.4. ダイオードの順方向伝導特性の入力

ダイオードの順伝導特性はデータシートの「Fig.11」に表示されています。「Vd vs. IF」特性の「編集(Edit)」ボタンをクリックしてください。データシートの「Fig.11」から、Tj = 150°Cの特性を参照して、次のデータポイントを読み取りました。

(0.25,0)(0.5,5)(0.75,25)(0.92,50)(1.25,100)(1.55,150)(1.8,200)(2.05,250)(2.28,300)

Vd vs IF のグラフは、デフォルトで X 軸 : IF、Y 軸 : Vd となっています。図 6 赤点線内の「グラフ反転(Inverse graph)」にチェックを入れて軸を反転させます。あとは先程と同様の手順で特性を入力していきます。設定後の「Vd vs. IF」特性グラフを図 6に示します。

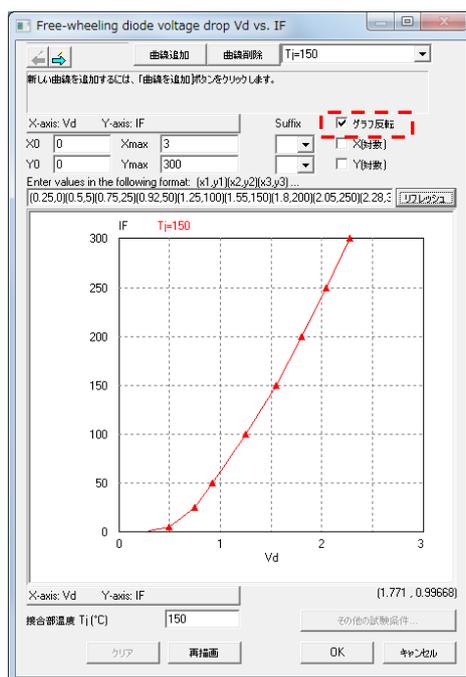


図 6 ダイオードの順方向伝導特性入力

3.1.5. ダイオードの順方向伝導特性の入力

今回、ダイオード逆回復特性 t_{rr} vs. I_F 、 I_{rr} vs. I_F 、 Q_{rr} vs. I_F はデータシートには記載されていません。ダイオード逆回復特性 E_{rr} vs. I_F だけ IGBT モジュールデータシートの「Fig.3」に示されていますので、今回はこの特性のみを入力します。

「 E_{rr} vs. I_F 」カーブを定義するため次のデータポイントを入力してください(図 7 参照)。

(100, 3.75) (150, 5.8) (200, 7) (250, 8) (300, 8.1)

E_{rr} の単位は mJ、測定条件は、逆阻止電圧 $V_R = 300$ V、電流変化率 = 3000 A/us、接合部温度 = 150°C です。

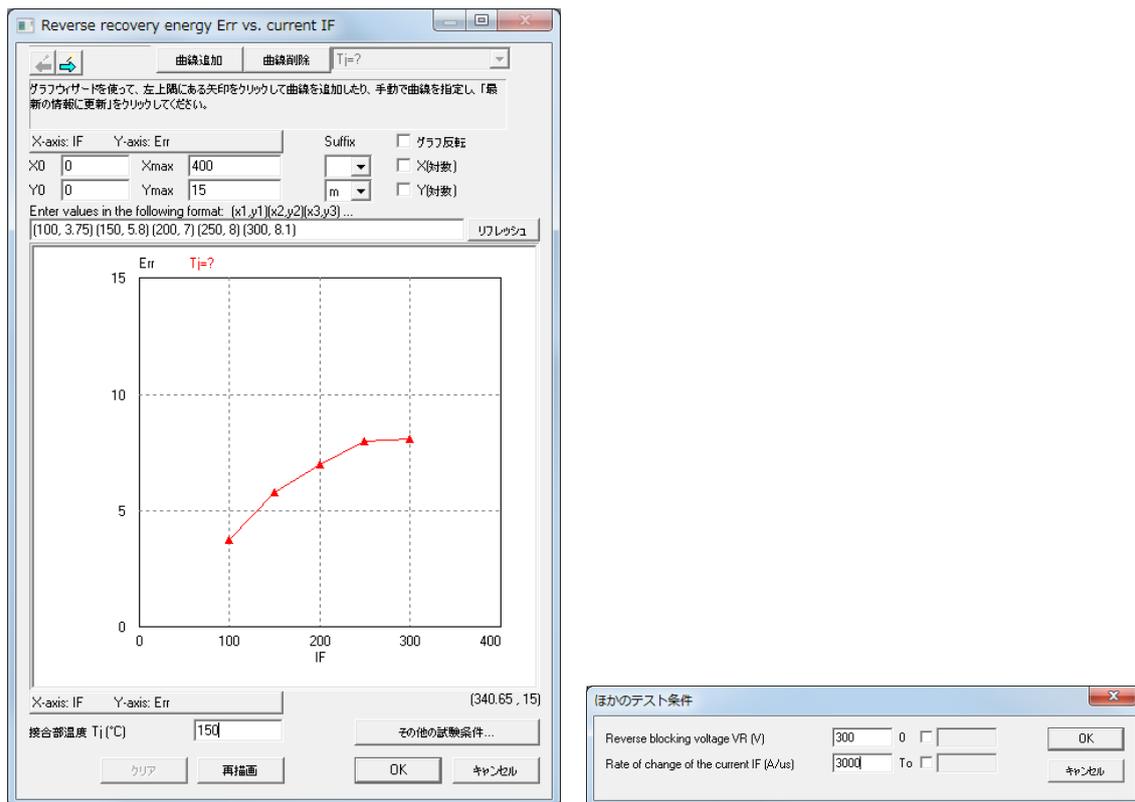


図 7 ダイオードのスイッチング特性入力

これで、データベースへのデバイス情報の入力は終了となります。

以上のデバイス情報を入力した後のモジュールのデータベースエディタの画面は図 8 のようになります。熱特性、寸法および重量の情報を入力することも可能ですが、この情報は損失計算で使用されません。

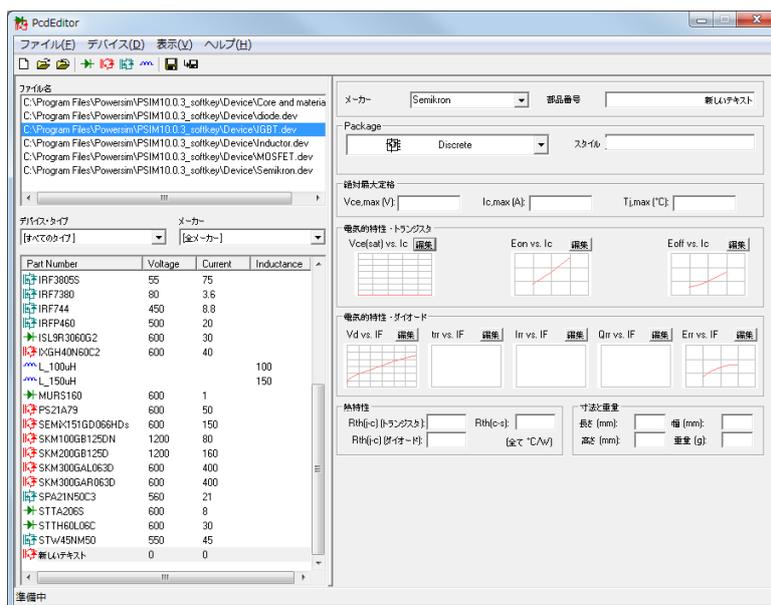


図 8 PcdEditor ウィンドウ、IGBT データベース情報入力後

3.2. 回路図へモジュールの追加

実際にデバイスデータベースエディタにデバイスを追加して、PSIM で損失計算を実行してみます。

まず、PSIM の「素子(Elements)」→「パワー (Power)」→「サーマルモジュール(Thermal Module)」→「データベースの IGBT デバイス(IGBT (database))」を選択して IGBT 素子を回路図に設置します。設置した IGBT 素子をダブルクリックしてプロパティウィンドウを開いてください。「Device」入力フィールドの隣のブラウザボタンをクリックして、デバイス「Semikron SEMiX151GD066HDs」を選んでください。IGBT シンボルは 6 デバイス型インバータブリッジに変わります。

図 9の回路は IGBT モジュール SEMiX151GD066HDs を使用したサンプル回路です。サンプル回路は PSIM インストール時に保存されており、デフォルトでは下記に保存されています。

【保存場所】 C:\Program Files\Powersim\PSIM***\examples\Thermal

***は PSIM のバージョンとライセンス形態

【ファイル名】 IGBT loss calculation SEMiX151GD066HDs.psimsch

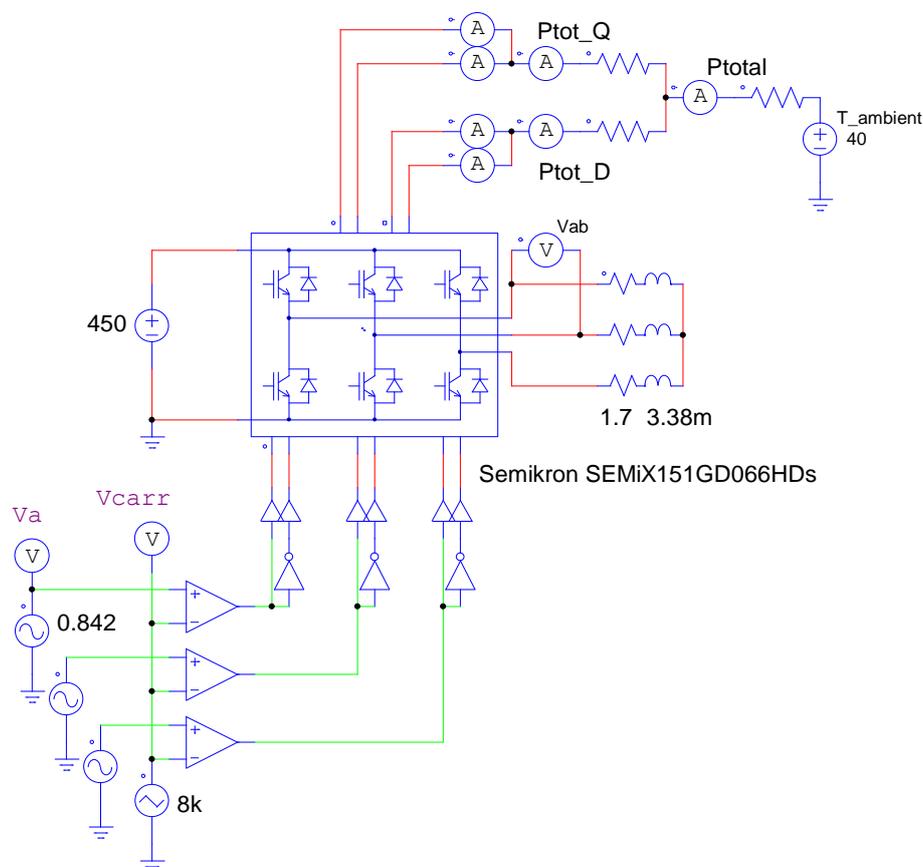


図 9 インバータシステムの損失計算回路

IGBT モジュールシンボルは、左側の 2 つのポートが dc バスターミナル、右側の 3 つが交流出力端子、下側の 6 つがゲート信号入力用ポートとなっています。また、上側の 4 つポートは損失計算を出力します。左側から順に、トランジスタ導通損失 Pcond_Q、トランジスタスイッチング損失 Psw_Q、ダイオード伝導損失 Pcond、ダイオードスイッチング損失 Psw を出力します。これらの損失は全体のモジュール(6 個の IGBT スイッチ)の損失の合計を出力します。損失 Pcond_Q、Psw_Q、Pcond、と Psw_D の単位はワットです。PSIM では、この損失電力はこれらの端子から流れる「電流」として表現されていますので、損失を測定して表示するために、電流計を各ポートと GND 間に接続しています。

3.3. 損失シミュレーション

回路図上に設置した IGBT モジュールのパラメータ（プロパティウィンドウ内）は以下のよう
に定義します。

Frequency（周波数）：60Hz

Pcond_Q（補正係数）：1

Psw_Q（補正係数）：1

Pcond_D（補正係数）：1

Psw_D（補正係数）：1

パラメータ「周波数(Frequency)」は損失が計算される時間幅の定義になります。例えば、今回の 60Hz の値では 16.67ms ごとに損失の積分値を出力します。スイッチング周期とパラメータ「周波数(Frequency)」の値を同じに設定すると、スイッチングごとの損失を計算することができます。

補正係数(Calibration Factor)は、実験結果に対して計算結果を補正する際に使用します。例えば、計算された損失が 10W であるのに対し、実験の測定損失は 12W の時、補正係数(Calibration factor)を 1.2 に設定する事で、実験結果に近い損失計算が可能となります。

PSIM シミュレーションの結果（図 10参照）から以下の損失結果が得られます(単位は W):

ダイオード伝導損失:	45.44
ダイオードスイッチング損失:	58.31
ダイオード全損失:	103.76
トランジスタ伝導損失:	164.72
トランジスタスイッチング損失:	163.84
トランジスタ全損失:	328.57
全体モジュールの損失:	432.34

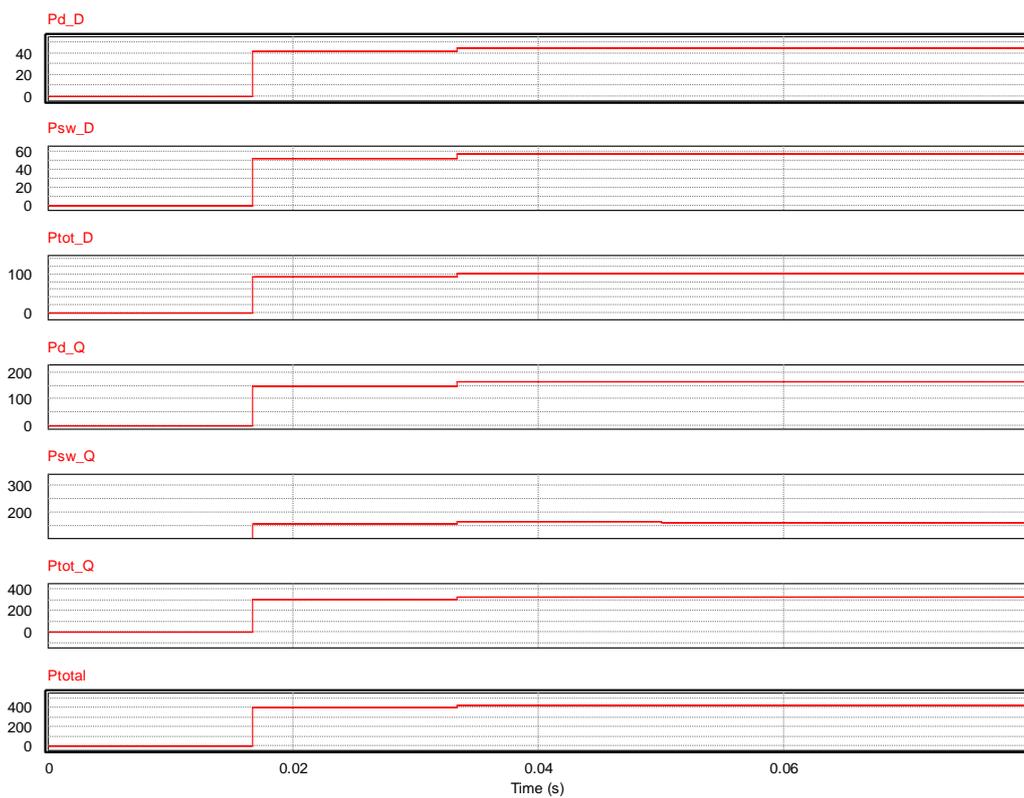


図 10 シミュレーション結果

4. データシートをキャプチャして特性を入力

特性の入力にはプロットの座標を指定して特性を入力する方法と、特性をキャプチャして画像上でプロットして入力する方法があります。ここではキャプチャして特性を入力する方法を示します。デバイスデータエディタの特性を入力するウィンドウを開きます。

「曲線追加」をクリックし、左上の矢印をクリックします。

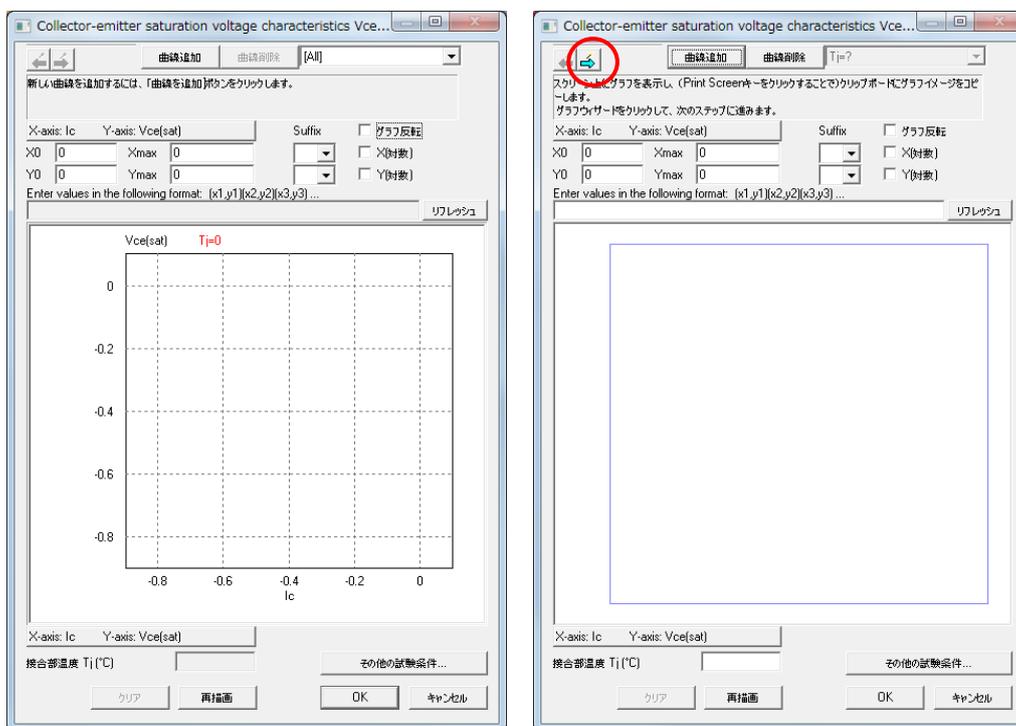


図 11 デバイス特性入力

データシート上の読み込みたい特性をキャプチャか「画像をコピー」でクリップボードにコピーします。特性入力ウィンドウの左上の矢印をクリックします。

取り込んだ画像がウィンドウに表示されます。取り込んだ画像のサイズは変更することができません。ウィンドウを全画面にしても取り込んだグラフの全範囲が表示されない場合、左上の矢印で 1 つ前に戻り、画面キャプチャ時に全体が小さくキャプチャされるようにキャプチャを撮り直します。

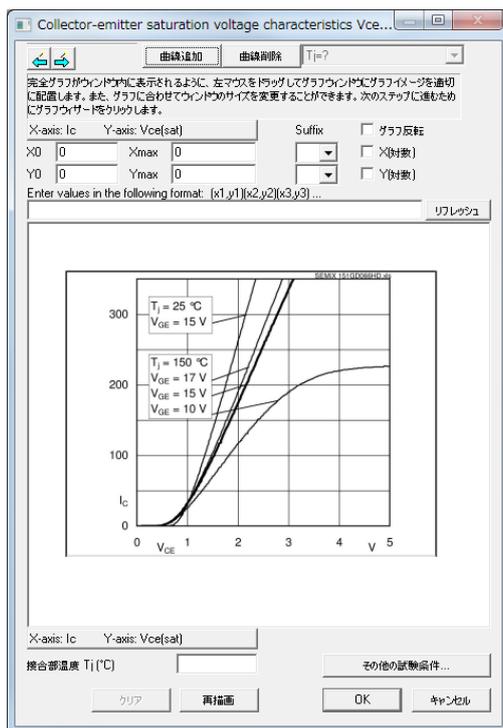


図 12 デバイス特性入力(画像取り込み後)

ウィンドウ内に全範囲が表示されるサイズで画像が貼り付けられたことを確認したら左上の矢印をクリックします。グラフの原点と、原点の対角の角をクリックします。右クリックするとクリックした周辺がズームします。グラフの枠が青線で囲まれたら左上の矢印をクリックします。

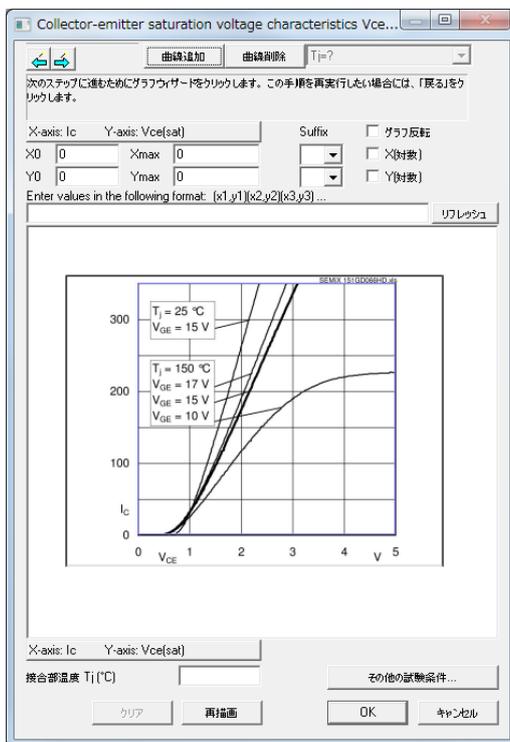


図 13 デバイス特性入力(グラフ範囲設定)

X 軸と Y 軸の値を入力し、入力する特性の接合部温度を入力し、左上の矢印をクリックします。

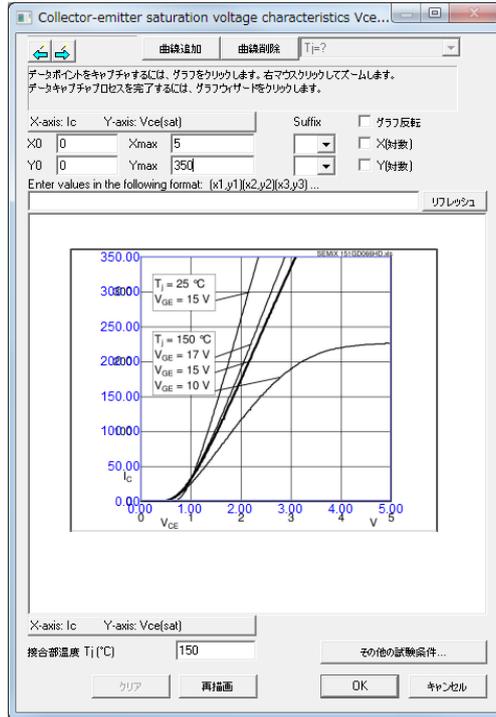


図 14 デバイス特性入力(軸設定後)

軸の値が正しいことを確認したら、データポイントをプロットします。グラフの線に沿ってクリックするとデータをプロットします。右クリックでズームします。

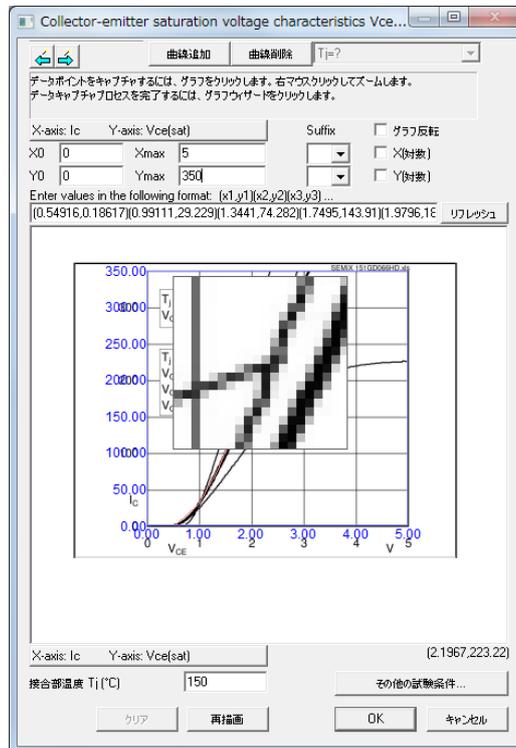


図 15 デバイス特性入力(ズーム)

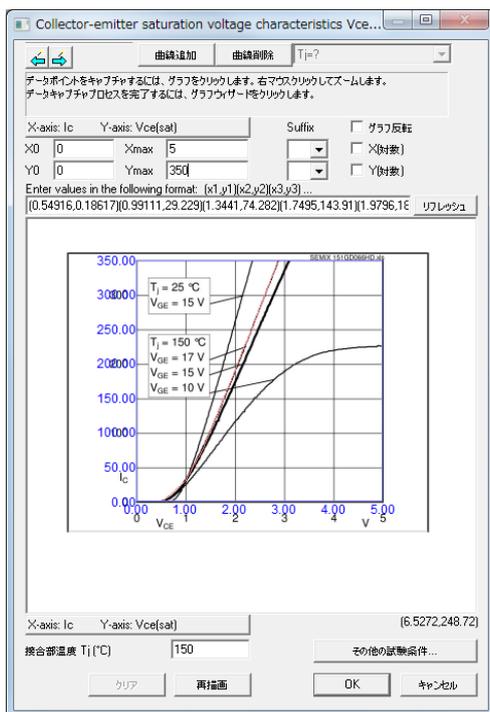


図 16 デバイス特性入力(プロット後)

プロットされた線は赤い線で表示されます。プロットが終わったら左上の矢印をクリックします。

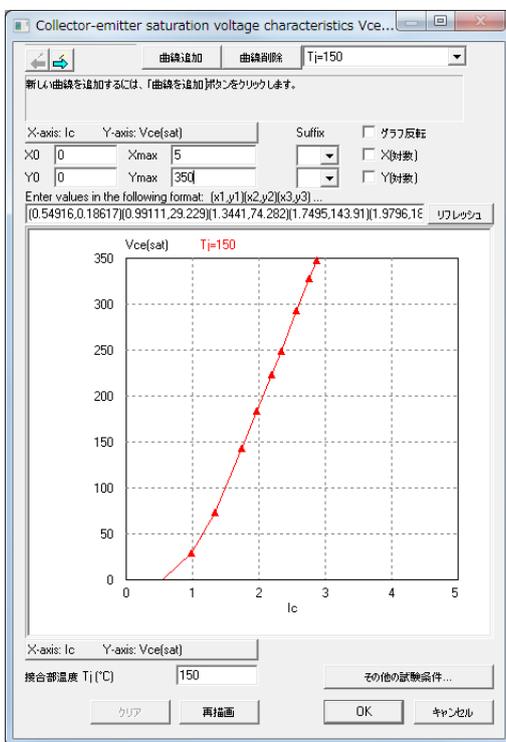


図 17 デバイス特性入力(特性読み込み後)

クリックしたデータポイントがプロットされ、特性が表示されます。「OK」をクリックすると特性の読み込みが完了します。

5. 参考資料

- ・ データシート SEMiX151GD066HDs (Semikron)

ご注意

1. 本資料に記載された製品の仕様は、予告なく変更することがあります。
2. 本資料の内容については、万全を期しておりますが、万一ご不明な点などがありましたら、弊社までお申しつけください。
3. 本資料に記載された情報に起因する損害または特許権その他権利の侵害に関しては、弊社は一切の責任を負いません。
4. 本資料によって第三者または弊社の特許権その他権利の実施権を許諾するものではありません。
5. 弊社の書面許諾なく、本資料の一部または全部を無断で複製することを固くお断りします。
6. 本資料に記載されている会社名、商品名は、各社の商標または登録商標です。

Copyright 2015 by Myway Plus Corporation.

All rights reserved. No part of this manual may be photocopied or reproduced in any form or by any means without the written permission of Myway Plus Corporation. Co., Ltd.

発行：Myway プラス株式会社

〒222-0022

横浜市西区花咲町 6-145 横浜花咲ビル

TEL : 045-548-8831

FAX : 045-548-8832

ホームページ : <http://www.myway.co.jp>

Eメール : sales@myway.co.jp
