IFAT PMM

F. Stueckler

G. Noebauer

K. Bueyuektas

インフィニオンのシミュレーションモデルの概要パワーMOSFET

**目次**

[1 はじめに 4](#_Toc378939501)

[2 モデルライブラリファイル 4](#_Toc378939502)

[2.1 ファイルタイプ 4](#_Toc378939503)

[2.2 TMでのライブラリの実装 5](#_Toc378939504)

[3 モデリングレベルの定義 6](#_Toc378939505)

[3.1 インフィニオンレベル0（基本機能） 7](#_Toc378939509)

[3.2 インフィニオンレベル1（一定温度） 7](#_Toc378939510)

[3.3 インフィニオンレベル2（動的温度設定） 8](#_Toc378939511)

[3.4 インフィニオンレベル3（電熱計算） 8](#_Toc378939512)

[4 4ピンデバイス用のCoolMOS™モデル 9](#_Toc378939513)

[5 インフィニオンパワーMOSFETモデルのオプションパラメータ 11](#_Toc378939514)

[6 典型的なシミュレーションパラメータ 12](#_Toc378939515)

[6.1 SIMetrix™の場合 12](#_Toc378939524)

[6.2 OrCADの場合 12](#_Toc378939525)

[7 モデリングの連絡先アドレス 12](#_Toc378939526)

# はじめに

インフィニオンが提供するモデルは、モデルに関連する半導体製品のすべての仕様および動作特性を完全に表すものとして、インフィニオンが保証するものではありません。モデルは、一般的なデバイスの特性を説明します。すべての場合において、特定のデバイスの現在のデータシート情報は、最終的な設計ガイドラインであり、唯一の実際のパフォーマンス仕様です。

モデルはデバイスのパフォーマンスを評価するのに役立つツールですが、すべての条件下で正確なデバイスのパフォーマンスをモデル化できるわけではなく、最終的な検証のためにブレッドボードを置き換えることも意図されていません。したがって、インフィニオンはそれらの使用に起因するいかなる責任も負わないものとします。

インフィニオンは、事前の通知なしにモデルを変更する権利を留保します。

# モデルライブラリファイル

インフィニオンパワーMOSFETのモデルは、SIMetrixTM-PSpiceシミュレータで評価されます。

インフィニオンパワーMOSFETモデルは、PSpiceシミュレーションコードでテスト、検証、提供されています。すべてのパワーデバイスモデルは、電圧クラスと製品技術に応じて、専用のライブラリファイルに一元化されています。

## ファイルタイプ

多数のシミュレータツールが、PSpiceコードでプログラムされたモデルを処理できます。使用可能なモデルライブラリファイルは、次のもので構成されています。

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **ファイル** | **シミュレーター** | **変更内容** | **対応** |
| **.lib** | **SiMetrix™**  **LT-Spice Multisim** | **PSpiceコードを構成するファイル** | **すべてのインフィニオンパワーMOSFET製品** |
| **.slb** | OrCAD | グラフィックユーザーインターフェイス（GUI）の「回路図面」に必要なモデルのシンボルを提供するファイル。（PSpice / Schematicsシステムの評価版で使用できるようにするために、各シンボルライブラリには20個を超えるシンボルが含まれていません。） | 最新のインフィニオンパワーMOSFET製品には提供されていません。.slbファイルはリクエストに応じて提供できます。.slbファイルは、メニューの[オプションエディター構成ライブラリ設定]からインストールする必要があります。 |
| **.olb** | OrCAD | グラフィカルユーザーインターフェイス「キャプチャ」のシンボルを含むファイル「回路」をGUIとして使用する場合、.libファイルは「分析ライブラリとファイルを含める」メニューからインストールする必要があります。「ライブラリの追加\*」による永続的なインストールをお勧めします。 | 最新のインフィニオンパワーMOSFET製品には提供されていません。slbファイルはOrCADにインポートして、olbファイルに変換できます。 |

表2.1：ファイルタイプ

.libファイルは、次のInfineonWebページで入手できます。

http://www.infineon.com Products MOSFETs PowerMOSFETsで検索してください

## etrixTMでのライブラリの実装

シミュレーションを設定する前に、対象のモデルライブラリをシミュレータツールに統合する必要があります。このセクションでは、SIMetrixTMでのPSpice.libファイルのインストールについて紹介します。さまざまなライブラリファイルのインストールについては、離散シミュレーションツールのオンラインヘルプを確認することを検討してください。

PSpiceライブラリファイルのSIMetrixTMへの実装は、シミュレータのバージョン7.10の使用に基づいています。この手順は、以前のソフトウェアバージョンでも同じように有効です。図1は、ライブラリファイルをシミュレータに簡単にインストールする方法の1つのステップを示しています。SIMetrixTMを起動した後、ファイルマネージャウィンドウを開き、実装するライブラリファイルへのパスを入力する必要があります。

ドラッグアンドドロップでライブラリをメインウィンドウに挿入します。確認ダイアログは、アクションが成功し、インストールが完了したかどうかをユーザーに通知します。このツールを使用すると、一度に複数のファイルをインストールできます。このため、必要なライブラリをマークして、1回のアクションでメインウィンドウに移動する必要があります。



図1：SIMetrixTMライブラリの実装

# モデリングレベルの定義

インフィニオンは、MOSFETデバイス用に最大4つの異なるタイプのモデルを提供しています。それらのうちの3つは、MOSFET構造とパッケージの物理的な温度依存モデルに基づいています（いわゆる「レベル1」から「レベル3」まで）。4つ目は、それほど複雑ではありませんが、より高速で、Spiceのようなモデル（「レベル0」）をインポートできる他のSpiceバリアントまたはシミュレーターに適したより経験的なモデルです。

モデルの命名法は、基本的に、レベルを識別する接尾辞が追加されたデバイス名です。

|  |  |
| --- | --- |
| **サフィックス** | **インフィニオンレベル** |
| \_L0 | 0 |
| \_L1 | 1 |
| \_L2 | 2 |
| \_L3またはなし | 3 |

表3.1：モデリングレベルの命名法

たとえば、650Vのレベル3モデル、45mOhm CoolMOSTM C7 IPP65R045C7の部品名は、IPP65R045C7\_L3です。

以下の表は、さまざまなレベルの要約の概要と、推奨される使用法を示しています。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Infineon**  **レベル** | **端子** | **使用法の提案** |
| L0 | G, D, S | 一般的な電気シミュレーション/アプリケーション回路全体。 |
| L1 | G, D, S | 過渡、スイッチング損失、および効率の分析。全温度範囲でのデバイスの動作。 |
| L2 | G, D, S, Tj, Tcase | L1と同じですが、個々のデバイスの温度が異なります。このモデルはL3モデルでカバーされているため、サポートされていません。 |
| L3 | G, D, S, Tj, Tcase | 自己発熱効果、アプリケーションの熱モデルを含む熱流のモデリング。 |

表3.2：レベルの使用法



## インフィニオンレベル0（基本機能）

シミュレーションの焦点が速度に非常に重点を置いている場合は、レベル0のPSpiceモデルがほとんどのアプリケーションシミュレーションに最適です。この構造は、基本的に標準要素で構成される同等のサブサーキットです。

これらのモデルは、機能ステートメントのようなPSpice固有の構文では機能しない他のSpiceのようなシミュレーターでも使用できます。IPP65R045C7のモデル名はIPP65R045C7\_L0です。つまり、サフィックス\_L0が使用されます。インフィニオンのレベル0モデルシンボル（3つのピン）を図2に示します。



図2：レベル0モデルシンボル

## インフィニオンレベル1（一定温度）

レベル1モデルは、回路全体および過渡シミュレーション中に一定のデバイス温度を想定しています（温度は解析セットアップで指定する必要があります）。さらに、静電容量の電圧依存性は非常に正確にモデル化されています。複雑さが増すため、このモデルはレベル0よりも多くの計算能力を必要とします。

シミュレーションの温度は、シミュレーションツールで、環境温度のグローバル設定を編集および更新することで変更できます。インフィニオンのレベル1モデルシンボル（3つのピン）を図3に示します。



**図3：レベル1モデルシンボル**

## インフィニオンレベル2（動的温度設定）

レベル2モデルを使用すると、ユーザーは回路内の個々の部品に異なる温度を定義できます。これらの温度は、電圧源をTj（接合部温度）ピンに接続することにより、過渡計算中に動的に変更できます。電圧は摂氏に変換されます。Tjピンが接続されていない場合、27°Cのデフォルト温度が計算に使用されます。

レベル2のすべての機能がレベル3モデルタイプで完全にカバーされているため、レベル2モデルはCoolMOS™デバイスでは使用できません。

## インフィニオンレベル3（電熱計算）

自己発熱を動的に計算できるようにするために、電気モデルはレベル3モデルのデバイスの熱モデルと結合されます。これを行うために、トランジスタの電流消費電力が恒久的に決定され、この電力に比例する電流が熱等価ネットワークに供給されます。次に、Tjノードの電圧には、時間依存の接合部温度に関する情報が含まれます。この情報は、温度依存の電気モデルに直接作用します。インフィニオンのレベル3モデルシンボル（5ピン）を図4に示します。

.

図4：レベル3モデルシンボル

レベル3モデルには2つの外部サーマルノードがあるため、5ピンの記号が使用されます。

* 温度接続は電圧ピンとして機能しています。したがって、1Vの電位差は1°Cの温度差を指します。
* 上部の追加接続はTjで、ユーザーは接合部温度を簡単に監視できます。通常、このノードは接続されるべきではありません。ただし、熱平衡とは異なるデバイス接合部温度で計算を開始する必要がある場合は、Tjを小さなコンデンサ（通常は1pF）でグランドに接続し、初期電位差の初期値（パラメータIC）を示します（これは、初期温度を°Cで測定）により、これらのタイプのシミュレーションが可能になります。
* 2番目のサーマルピンはTcase（または、ダイモデルではTpad）です。このピンを接続する必要があります。Tcaseピンとグランド電位の間に外部抵抗-コンデンサ-ネットワークを追加できます。熱ネットワークの右側の端子は、周囲温度を定義するために熱源に接続する必要があります。（図5を参照）。一方、これらのピンを短絡すると、最適な熱伝達がモデル化されるネットワークにつながります。



図5：外部熱ネットワークの接続

図5は、外部ヒートシンクを備えたシミュレーション回路の例を示しています。左側の図では、R1はヒートスラグとヒートシンクの間のインターフェースのthを示しています。C1とR2は、使用済みヒートシンクの熱容量（C1）とRthから環境（R2）までのパラメーターです。Vth信号は、シミュレーションの環境温度の動作を表します。

右の写真では、パッケージのヒートスラグは25°Cに固定されています。このような回路図を使用すると、データシートのグラフに従ってデバイスの動作を調査できます。

# 4ピンデバイス用のCoolMOS™モデル

一部のインフィニオンパワーMOSFETポートフォリオ（CoolMOSTM C7など）には、MOSFETの高速で効率的なスイッチング動作のための個別のソース接続を備えた製品も含まれています。これらの製品は、ソースセンス（SS）と呼ばれるゲート駆動グラウンドへの追加接続を備えています。4ピンアプリケーションノートも参照してください。

4ピンモデルには、3ピン構成で定義されている内部寄生ソースインダクタンス（パッケージ）は含まれていません。これにより、専用のシンボルを必要とせずに、モデルをPSpice以外のシミュレーションシステムに変換できます。

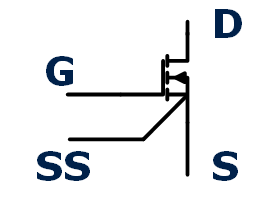


図4ピンTMデバイスの概略記号

このため、シミュレーション回路図には、実際のP​​CBレイアウトに従って外部寄生インダクタンスを取り付ける必要があります。このインダクタンスの値は、トレース長1 mmあたり1nHの1次アプローチとして選択するか、3DPCBモデルのQ3Dなどの3Dシミュレーションモデルによって決定できます。外部インダクタンスに加えて、追加される内部値はパッケージによって異なります。TO247の場合、ソース（S）ピンの内部インダクタンスをnHと考えてください。ThinPAKTMの場合、追加される内部インダクタンスは1nHです。



図4ピンデバイスのシミュレーション回路図

# インフィニオンパワーMOSFETモデルのオプションパラメータ

インフィニオンのパワーMOSFETモデルパラメータは、一般的なデバイスの動作を与えるように選択されています。ただし、最悪の場合の分析を可能にするために、インフィニオンのパワーMOSFETモデルは、ユーザーがより近くにある重要なパラメーターを提供します。

一般に、偏差は[-1; 1]の範囲にスケーリングされます。ここで、-1の値は最小値を示し、0は標準値（デフォルト）であり、1はモデルパラメーターの最大値を表します。すべての組み合わせが可能であるとは限らないように、パラメーターには異なる優先順位があることに注意してください。

まず、レベル3モデルでは、ユーザーは標準的な（物理的に最小の）過渡熱インピーダンスとインフィニオンが保証する最大値のどちらかを選択できます。これは、オプションのパラメーターdZthをデフォルト値の0（通常のZth）から1（最大Zth）に変更することで実行できます。中間値が可能です。ネットリスト入力を好むユーザーは、PARAMS：Zth、type = 1をネットリスト行に追加することでこの機能を使用できます。この例では、1は最大のZ番目の動作を示します。

次に、デバイスのオン抵抗は、標準値と最大値の間で選択できます。dRDS（on）の許容範囲は[0; 1]です。ここで、dZth属性と同様に、0が標準で、1が最大値です（ネットリストコード：PARAMS：RDS（on）= 1）。

第3に、すべてのタイプのモデルには、標準値からのしきい値電圧偏差をモデル化するための属性dVthがあります。したがって、デフォルト値0は一般的なデバイス、-1は最小、1は最大しきい値電圧を示します（ネットリストコード：PARAMS：dVth = 1）。値dRDS（on）≠0を設定すると、dVthが上書きされます。

通常、製造プロセスの偏差と特定のデバイスパラメータの変動との間に1対1の関係がないため、デバイスのパフォーマンス偏差のモデリングは複雑なタスクです。したがって、指定されたオプションのパラメータを使用しても、すべてのケースが考慮されるわけではなく、特別な場合には、インフィニオンが保証する仕様を満たさないパフォーマンスが発生する可能性があります。

# 典型的なシミュレーションパラメータ



## ™の場合

次の設定は、SIMetrix™シミュレーションに役立つことがわかっています。

|  |  |
| --- | --- |
| noOpIter | シミュレーションにDCポイントと過渡ポイントを探すように強制します。シミュレーション時間にのみ影響します。精度は影響を受けません。 |
| 方法=ギア | ほとんどの場合、デフォルトの台形法よりもうまく機能します。PSpice-manualによると、数値の振動を引き起こす可能性があります。 |
| アブストル= 10n | 電流許容値は最大10nAまで増やすことができます。控えめな値は1nになります。アブストルが高いほど、精度を犠牲にしてシミュレーションが高速になります。 |
| pointTol = 0.001 | 精度要件によって異なります。値を小さくすると精度は高くなりますが、シミュレーション時間が長くなります。 |

表6.1：SIMetrix™の設定

Ke

## OrCADの場合

PSpiceは元々、パワーエレクトロニクスや高度に非線形なコンポーネント向けに設計されていなかったため、標準のシミュレーションパラメータ（シミュレーションセットアップ/オプション）は適切でないことがよくあります。一般に、次の一般的な値は収束を容易にします。

|  |  |
| --- | --- |
| ABSTOL = 1nA | （最大電流精度） |
| CHGTOL = 1pC | （最大充電精度） |
| ITL1= 150 | （初期条件なしのDC解析の最大反復回数） |
| ITL2 = 150 | （初期条件を使用したDC解析の最大反復回数） |
| ITL4 = 500 | （過渡解析のタイムステップの最大反復回数） |
| RELTOL =0,01 | （電圧と電流の相対精度） |

表6.2：OrCADの設定

多くの場合、一時的な分析のステップサイズを制限する必要があります。回路システムには多くの異なるタイムスケールが含まれており、PSpiceシミュレータの自動ステップ制御は、重要な高速タイムスケール情報を無視することがあり、最終的には収束の問題につながります。通常、1nsのサイズのステップシーリングがこの問題の解決策です。

シミュレートする時間（TSTOP）が比較的長く（通常、熱現象が主な関心事である場合）、急激な勾配が発生している場合、最小ステップサイズが大きすぎる可能性があります。このような場合は、TSTOPを減らして開始し、シミュレーションプロセスを中断して、TSTOPを目的の値に変更すると便利です。

# モデリングの連絡先アドレス

ご不明な点がございましたら、最寄りの営業所、インターネット（http://www.infineon.com）、または著者へのメールでお気軽にお問い合わせください。

注：安全な動作領域外の回路設計にモデルを悪用してはなりません。最終的な決定的なコンポーネント仕様は常にデータシートです!!