



GN007 Application Note

RCサーマルSPICEモデルを
用いたGaNPX®&PDFNパッ
ケージの熱モデル

March 08, 2022
GaN Systems Inc.



- GaN Systemsは、SPICEを使用して詳細な熱シミュレーションを実行できるRC熱モデルを提供します。
- モデルはFEA(有限要素法)の熱シミュレーションに基づいて作成され、GaN Systemsによって検証されています。
- Cauerモデルが選択されているため、インターフェース材料とヒートシンクを含めることで、熱モデルをシステムに拡張できます。
- GaN SystemsのデバイスのRC熱モデルは、データシートで入手できます。

- ❑ RC熱回路網の定義
- ❑ GaNPX®&PDFNパッケージのRCモデルの構造
- ❑ RCモデルをSPICEシミュレーションに用いる方法
- ❑ SPICEシミュレーションの例

熱回路網

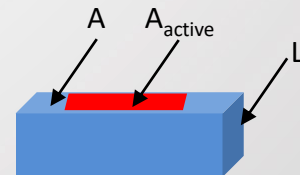
- 熱抵抗 (R_θ)
- 熱容量 (C_θ)
- 時間依存の温度分布

電気パラメータと熱パラメータの類似性

電気パラメータ	熱パラメータ
電圧 V (V)	温度 T (°C)
電流 I (A)	電力 P (W)
抵抗 R (Ω)	熱抵抗 R_θ (°C/W)
コンデンサ容量 C (F)	熱容量 C_θ (W·s/°C)

R_θ と C_θ の計算式:

- $R_\theta = L/(k \cdot A)$ (1)
- $R_\theta = L/(k \cdot A_{\text{active}})$ (2)
- $R_\theta = \Delta T/P$ (3)
- $C_\theta = C_p \cdot \rho \cdot L \cdot A$ (4)
- $C_\theta = C_p \cdot \rho \cdot L \cdot A_{\text{active}}$ (5)



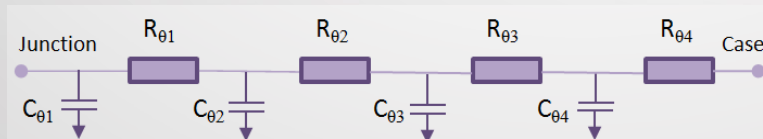
ここで:

- L - 層の厚さ (m)
- k - 熱電伝導率 (W/m·K)
- A - 層の面積 (m²)
- A_{active} - デバイスのアクティブエリア (m²)
- T - 温度 (°C)
- C_p - 定圧比熱容量 (W·s/kg·K)
- ρ - 密度 (kg/m³)

熱時定数: $\tau_\theta = R_\theta \cdot C_\theta$

Cauerモデル

- Cauer RC熱回路網は、物理的特性とパッケージ構造に基づいています
- RC要素はパッケージレイヤーに割り当てられます



長所:

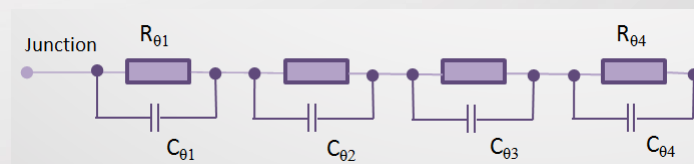
- Cauer RCモデルはデバイスの実際の物理的構造を反映しています
- R_{θ} と C_{θ} を追加して、サーマルインターフェース材料(TIM)またはヒートシンクをシミュレーションできます。

短所:

- FEM(有限要素法)を使用した詳細な熱分析が必要です
- 熱容量を抽出する挑戦が必要です

Fosterモデル

- フォスター熱モデルは、物理的特性とパッケージ構造に基づいていません
- R_{θ} と C_{θ} は曲線近似パラメータです



長所:

- データシートの過渡応答曲線から抽出できます
- 測定された加熱または冷却曲線から抽出可能です

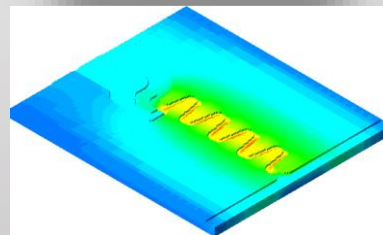
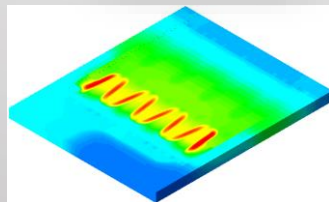
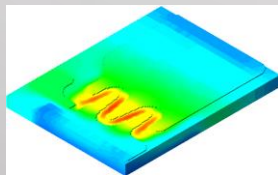
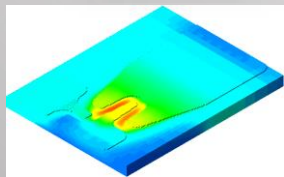
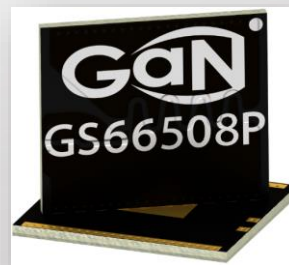
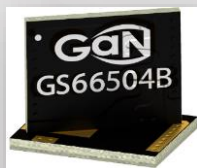
短所:

- 測定された条件下のみで有効です
- さらに抵抗と静電容量を追加するには、新しい曲線フィッティングが必要です

- ❑ [RC熱回路網の定義](#)
- ❑ [GaNPX®&PDFNパッケージのRCモデルの構造](#)
- ❑ [RCモデルをSPICEシミュレーションに用いる方法](#)
- ❑ [SPICEシミュレーションの例](#)

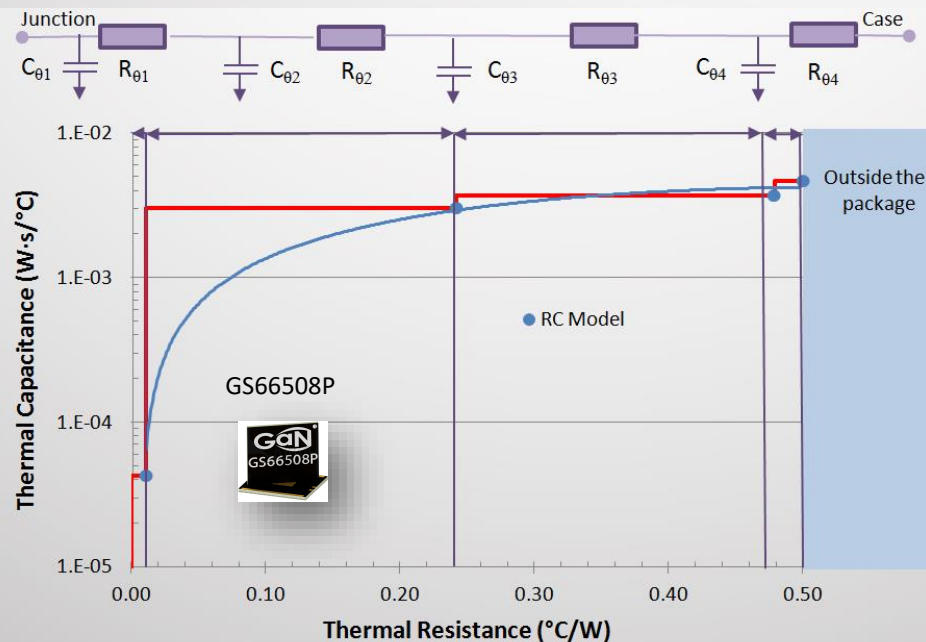
- 詳細な定常状態および非定常熱解析は、計算流体力学（CFD）機能を備えた3D熱伝達ソフトウェア（ElectroFloおよびANSYS Icepack）を使用しました。
- 定常状態分析中に、デバイスの接合部からケースへの熱抵抗を取得しました

650 V Devices



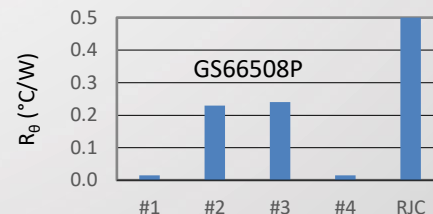
MPN	$R_{\theta JC}$ (°C/W)
GS66502B	2.0
GS66504B	1.0
GS66508B	0.5
GS66508P	0.5

Cauer モデルをすべてのGaN Systemsトランジスタに採用しました



GaN[®] パッケージは4層で構成される:

#1	GaN
#2	Si基板
#3	アタッチメント
#4	銅ベース

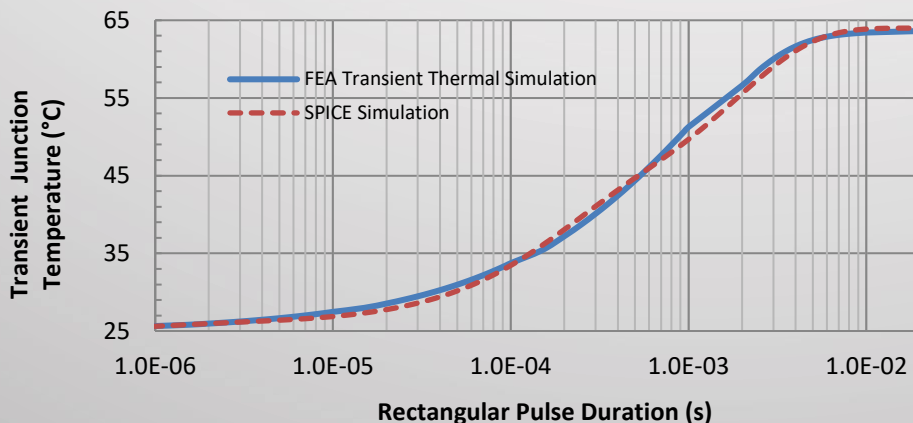
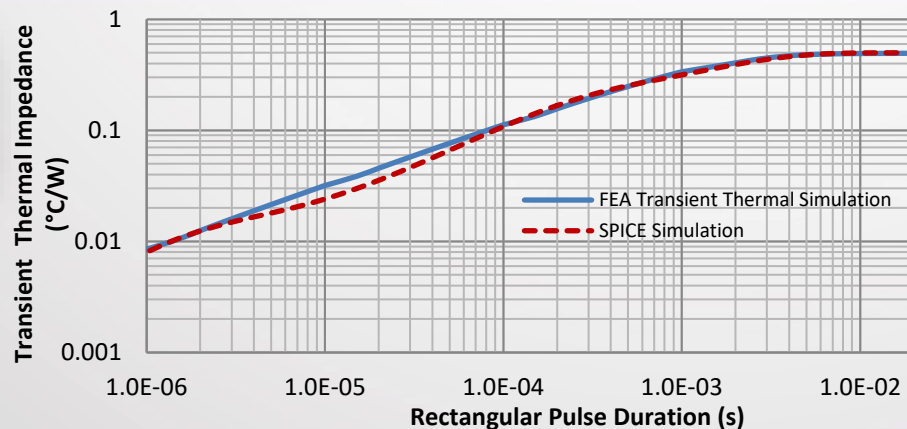


- 層の熱抵抗は熱シミュレーションから導き出され、式(3)を用いて計算:

$$R_{\theta 1} = \Delta T / P = (T_j - T_1) / P$$

- 層の熱容量は、デバイスのアクティブエリアを用いて計算 (式(5)):

$$C_{\theta 1} = C_{p1} \cdot \rho_1 \cdot L_1 \cdot A_{\text{active}}$$

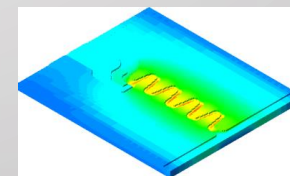
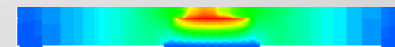
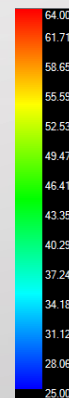


GS66508P Cauer RC

	R_{θ} (°C/W)	C_{θ} (W·s/°C)
#1	0.015	8.0E-05
#2	0.23	7.4E-04
#3	0.24	6.5E-03
#4	0.015	2.0E-03

境界条件:

- 電力 $P = 78 \text{ W}$
- ケース温度 $T_{\text{case}} = 25 \text{ °C}$



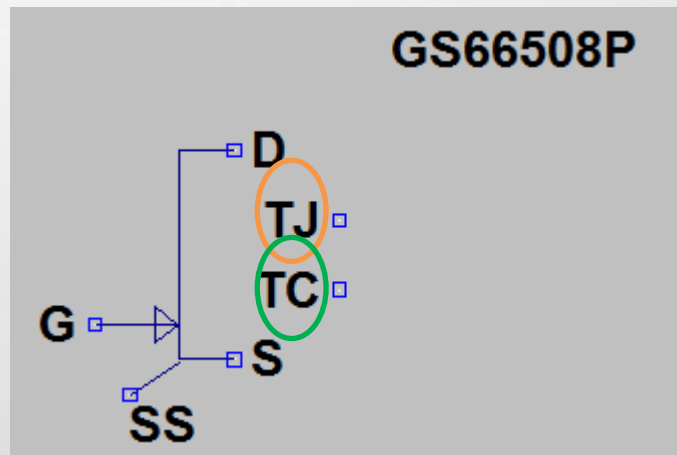
非定常熱シミュレーションとSPICEシミュレーションの良好な一致が得られました

- ❑ [RC熱回路網の定義](#)
- ❑ [GaNPX®&PDFNパッケージのRCモデルの構造](#)
- ❑ [RCモデルをSPICEシミュレーションに用いる方法](#)
- ❑ [SPICEシミュレーションの例](#)

.libファイルの SPICE ネットリスト:

```
Rth_1 T11 TJ {0.011}  
Cth_1 0 TJ {4.25e-5}  
Rth_2 T22 T11 {0.231}  
Cth_2 0 T11 {2.96e-3}  
Rth_3 T33 T22 {0.237}  
Cth_3 0 T22 {6.65e-4}  
Rth_4 TC T33 {0.021}  
Cth_4 0 T33 {1.01e-3}
```

SPICE シンボル:



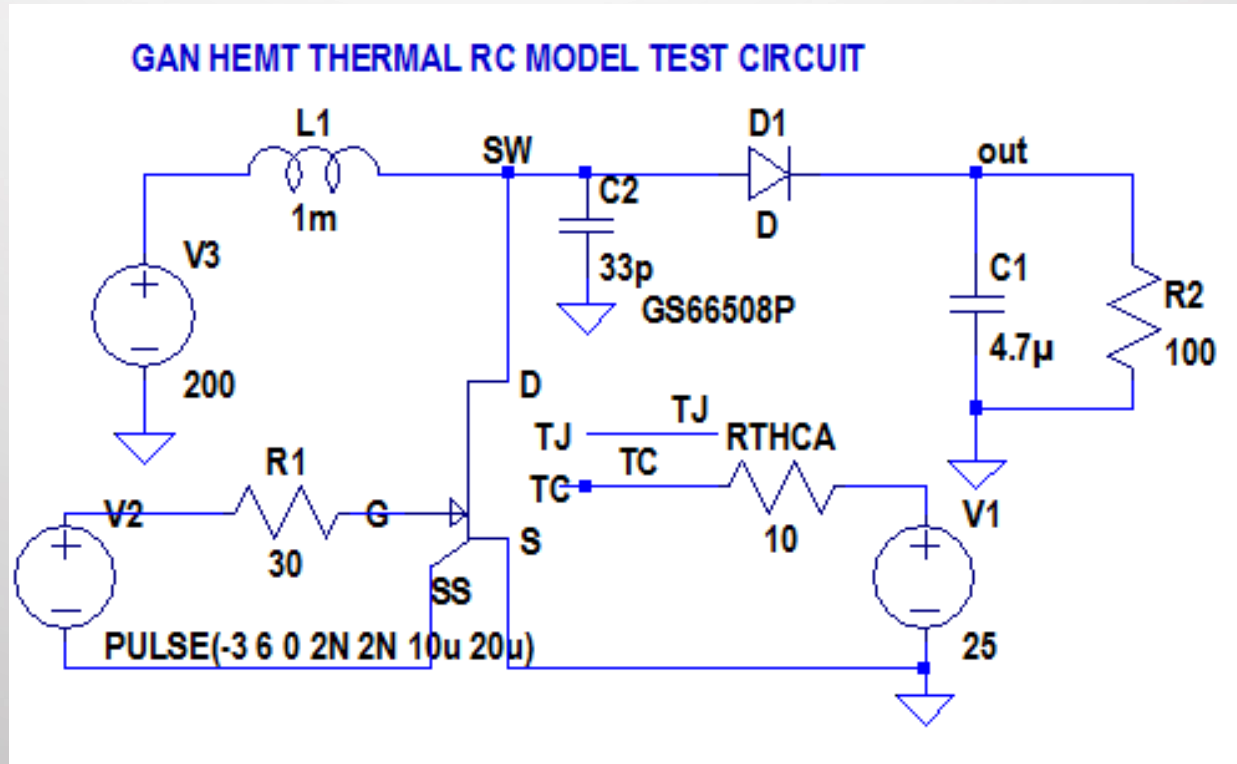
SPICE 回路図の中での使用方法:

- TCは、ケース温度と等しい電圧に接続します。 P13参照
- TJは、電圧を読み取るとジャンクション温度を示します;V(Tj)

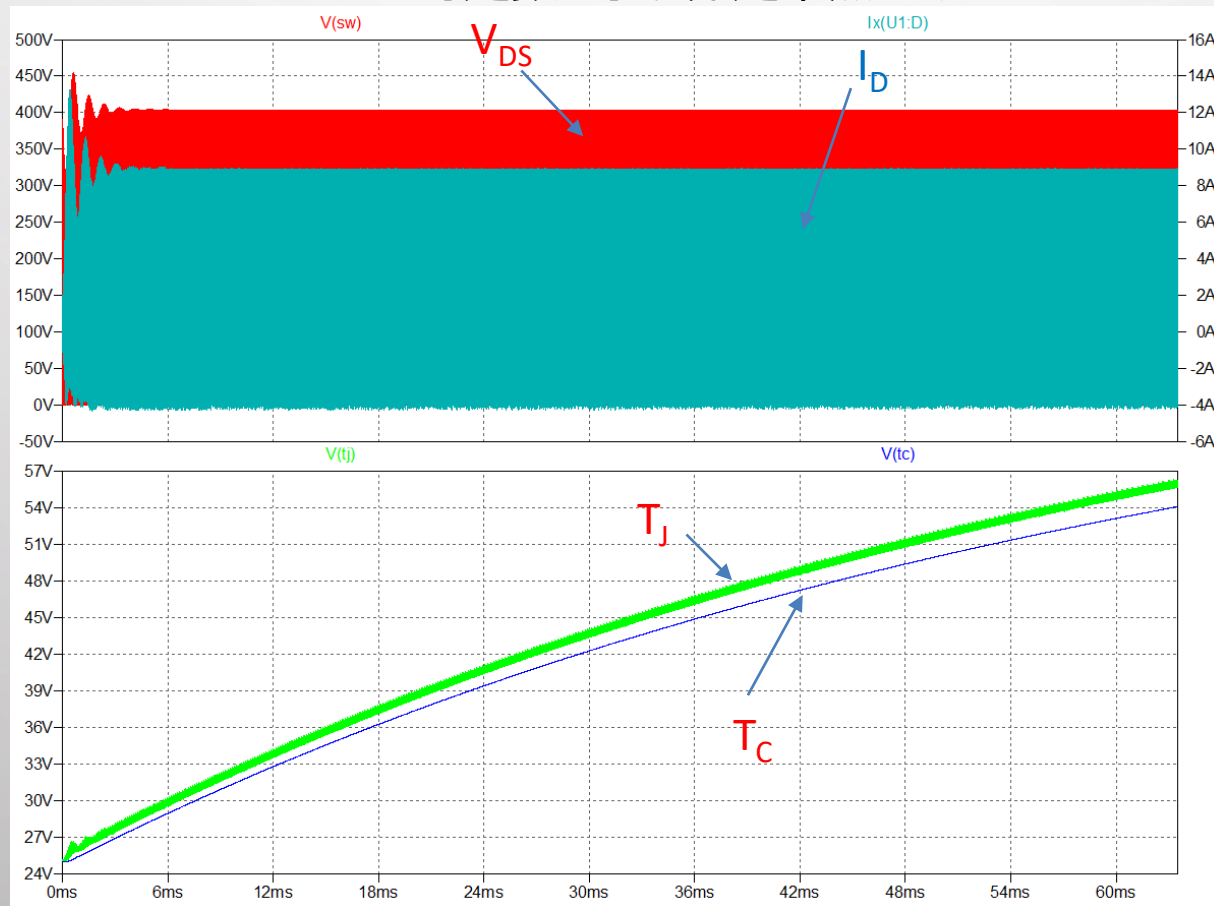
- ❑ [RC熱回路網の定義](#)
- ❑ [GaNPX®&PDFNパッケージのRCモデルの構造](#)
- ❑ [RCモデルをSPICEシミュレーション用いる方法](#)
- ❑ [SPICEシミュレーションの例](#)

シンプルなブーストコンバータ回路を使用して、RC熱モデルの機能を検証しました

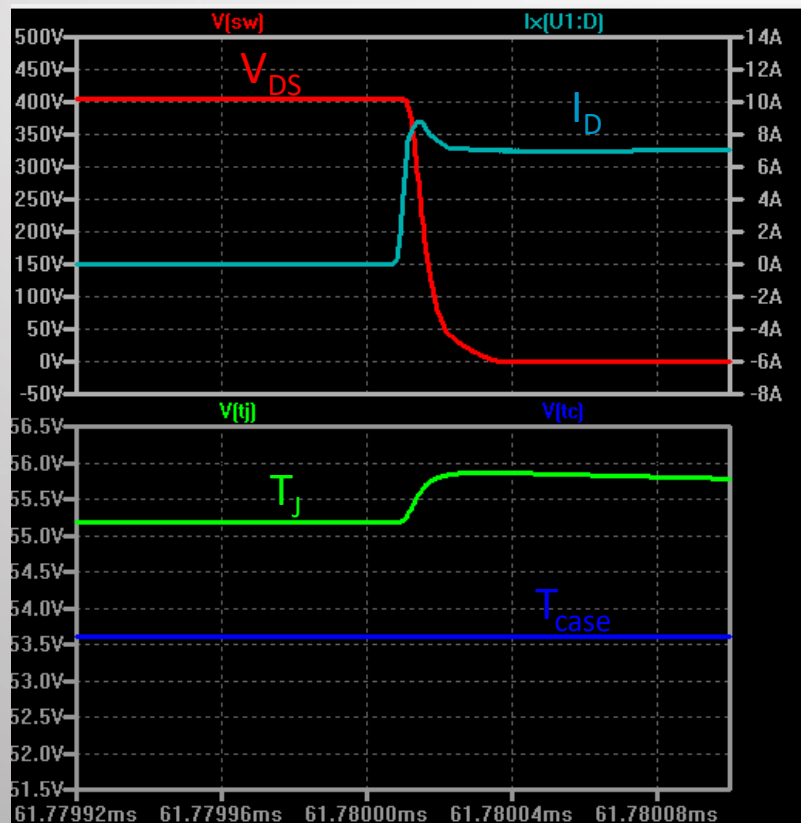
- 200-400V, $I_{out}=4$ A
- $D = 0.5$, $F_{sw}=50$ kHz
- 周囲温度 $T_A = 25$ °C
- ケース- T_A 間熱抵抗
 $R_{THCA}=10^{\circ}\text{C/W}$
- 測定 T_J , T_C



起動から70msの T_J および T_C の時定数を示す非定常熱シミュレーション



熱シミュレーション – ターンオン



熱シミュレーション – ターンオフ

