

ROHM Solution Simulator

入力電圧 5.0V ~ 35V

出力スイッチ電流 2A

1ch 降圧スイッチングレギュレータ

BD9060HFP/ BD9060F シミュレーションガイド

この資料は ROHM Solution Simulator を用いて BD9060HFP/ BD9060F のシミュレーションを行うための案内を記載しています。この資料は BD9060HFP を例に記述していますので、BD9060F はピン配置を読み替えてください。

定数設定とシミュレーション

ROHM Solution Simulator を用いて BD9060HFP/ BD9060F でシミュレーション可能な項目は、ボード線図上での位相補償確認です。定数設定は、Datasheet に記載されている「アプリケーション部品選定方法」の項を参照に設計してください。シミュレーション手順を次ページに示します。

お知らせ ・製品の詳細は次の製品情報リンクを参照してください。

▶ 製品情報リンク： [BD9060HFP](#), [BD9060F](#)

・実機とシミュレーション結果の比較は次のモデリングレポートを参照してください。

▶ モデリングレポート： [BD9060HFP](#), [BD9060F](#)

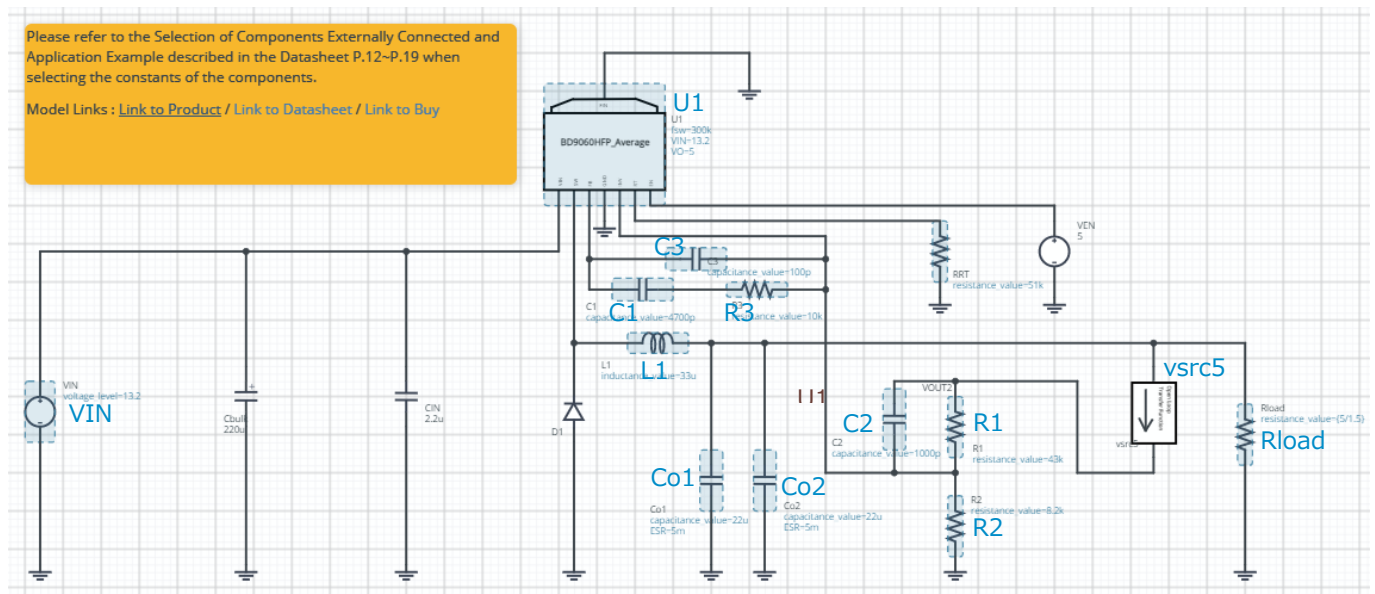
・このドキュメントの手順は、ROHM が提供するシミュレータを使用したものです。他のシミュレータをお持ちの方は、別途 SPICE モデルを提供していますので、上記の製品情報リンクから入手してください。

詳細手順

位相補償回路：位相マージン、ゲインマージン

使用するシミュレータ：ROHM Solution Simulator

シミュレーションタイプ：Frequency Domain



応答性能を高めるには、ループゲインのゼロクロス周波数 f_c を高くする必要があります。ただし、周波数を高くすると位相遅れにより位相マージンが減少し安定性が低下するため、両者はトレードオフの関係にあります。また、スイッチングレギュレータアプリケーションは、スイッチング周波数によりサンプリングしているため、スイッチング周波数でのゲインを抑える必要があります。そのため設計値としてゼロクロス周波数 f_c はスイッチング周波数 f_{sw} の $1/10$ 以下に設定する必要があります。

位相補償はFBピンに接続した R_3 , C_1 , C_3 と、フィードバック抵抗 R_1 に接続した C_2 で設定します。位相補償により安定性を得る要領は、系にできる2つのポール f_{p1} と f_{p2} による位相遅れを、2つのゼロ f_{z1} と f_{z2} による位相進みを挿入してキャンセルすることです。

位相マージン、ゲインマージンとゼロクロス周波数は後ほどシミュレーションで確認します。

詳細手順

位相補償回路：位相マージン、ゲインマージン（つづき）

各周波数の計算式

- 以上の、2つのポール(位相遅れ)と2つのゼロ(位相進み)の周波数、および回路によって発生するポールの周波数は次式によって求めることができます。なお、この回路例では、 f_{ESR} がスイッチング周波数より高い位置にあるため、R4による f_{p2} の設定は必要ありません。

$$f_{p1} = \frac{C1 + C3}{2\pi \cdot R3 \cdot C1 \cdot C3} \quad [Hz] \qquad f_{p2} = \frac{1}{2\pi \cdot R4 \cdot C2} \quad [Hz]$$

$$f_{z1} = \frac{1}{2\pi \cdot R3 \cdot C1} \quad [Hz] \qquad f_{z2} = \frac{1}{2\pi \cdot (R1 + R4) \cdot C2} \quad [Hz]$$

$$f_{LC} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{R_o + DCR}{L1 \cdot C_o(R_o + ESR)}} \quad [Hz] \qquad f_{ESR} = \frac{1}{2\pi \cdot ESR \cdot C_o} \quad [Hz]$$

ただし、

C_o : 出力コンデンサ容量^(NOTE 1) [F]

$$R_o: \text{負荷抵抗} [\Omega] = \frac{\text{出力電圧 [V]}}{\text{負荷電流 [A]}} \quad (1)$$

DCR : インダクタの直流抵抗 [Ω]

ESR : 出力コンデンサの直列等価抵抗 [Ω]

(NOTE 1) 積層セラミックコンデンサ(MLCC)はDCバイアス特性やAC電圧特性によって公称容量よりも値が低下します。正確にシミュレーションするには、公称容量ではなく実容量を使用してください。

- 設計パラメータの一例の値を使って各周波数を計算します。ここでは出力コンデンサ容量 C_{o1} と C_{o2} は公称容量 $22\mu F$ のMLCCを使用し、実容量は $13.8\mu F$ であるという想定で計算を行います。 R_o はオームの法則(式 1)で求められ、 f_{LC} は最大負荷電流時で計算します。この例では $1.5A$ とします。 DCR はインダクタ $L1$ の直流抵抗ですが、影響が小さいためここではゼロで計算します。

$$f_{p1} = \frac{C1 + C3}{2\pi \cdot R3 \cdot C1 \cdot C3} = \frac{4700pF + 100pF}{2\pi \times 10k\Omega \times 4700pF \times 100pF} = 163 \text{ kHz}$$

$$f_{p2} = \frac{1}{2\pi \cdot R4 \cdot C2} = \frac{1}{2\pi \times 0 \times 1000pF} = \infty \text{ Hz}$$

$$f_{z1} = \frac{1}{2\pi \cdot R3 \cdot C1} = \frac{1}{2\pi \times 10k\Omega \times 4700pF} = 3.39 \text{ kHz}$$

$$f_{z2} = \frac{1}{2\pi \cdot (R1 + R4) \cdot C2} = \frac{1}{2\pi \times (43k\Omega + 0) \times 1000pF} = 3.70 \text{ kHz}$$

$$f_{LC} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{R_o + DCR}{L1 \cdot C_o(R_o + ESR)}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\frac{5V}{1.5A} + 0\Omega}{33\mu H \cdot 13.8\mu F \times 2 \left(\frac{5V}{1.5A} + \frac{5m\Omega}{2} \right)}} = 5.27 \text{ kHz}$$

$$f_{ESR} = \frac{1}{2\pi \cdot ESR \cdot C_o} = \frac{1}{2\pi \cdot \frac{5m\Omega}{2} \cdot 13.8\mu F \times 2} = 2.31 \text{ MHz}$$

詳細手順

位相補償回路：位相マージン、ゲインマージン（つづき）

安定動作の目安を確認する

- 各周波数の関係が次の目安となる式を満たす場合、周波数特性は最適化されていると考えられます。前ページの計算結果を関係式に当てはめます。

1. $0.2 f_{LC} \leq f_{z1} \leq f_{LC}$

$$1.14kHz \leq 3.39kHz \leq 5.72kHz$$

目安の条件を満たしていることが確認できました。

2. $0.5 f_{LC} \leq f_{z2} \leq 2 f_{LC}$

$$2.86kHz \leq 3.70kHz \leq 11.4kHz$$

目安の条件を満たしていることが確認できました。

3. $f_{P1} \approx 0.5 f_{SW}$

$$163kHz \approx 150kHz$$

スイッチング周波数 300kHz 時は、目安の条件を満たしていることが確認できました。

4. $f_{P2} \approx f_{ESR}$

$$\infty Hz \approx 2.31MHz$$

f_{P2} については、 f_{ESR} がスイッチング周波数より高い位置にある場合は、R4 による f_{p2} の設定は必要ありません。

$$f_{ESR} 2.31MHz > \text{スイッチング周波数 } 300kHz$$

詳細手順

位相補償回路：位相マージン、ゲインマージン（つづき）

ICのプロパティを設定する

- スイッチングレギュレータ IC U1 のプロパティを設定します。
 1. パラメータ FSW：スイッチング周波数を設定します。
 2. パラメータ VIN：入力電圧を設定します。
 3. パラメータ VO：出力電圧を設定します。

シミュレーション周波数を設定する

- ボード線図の全容が観測できるように、“Start Frequency”を 0.1 Hz に、“End Frequency”を 1Meg Hz に設定します。

シミュレーションを実行する

- ▶をクリックしシミュレーションを実行し、終了するまで待ちます。

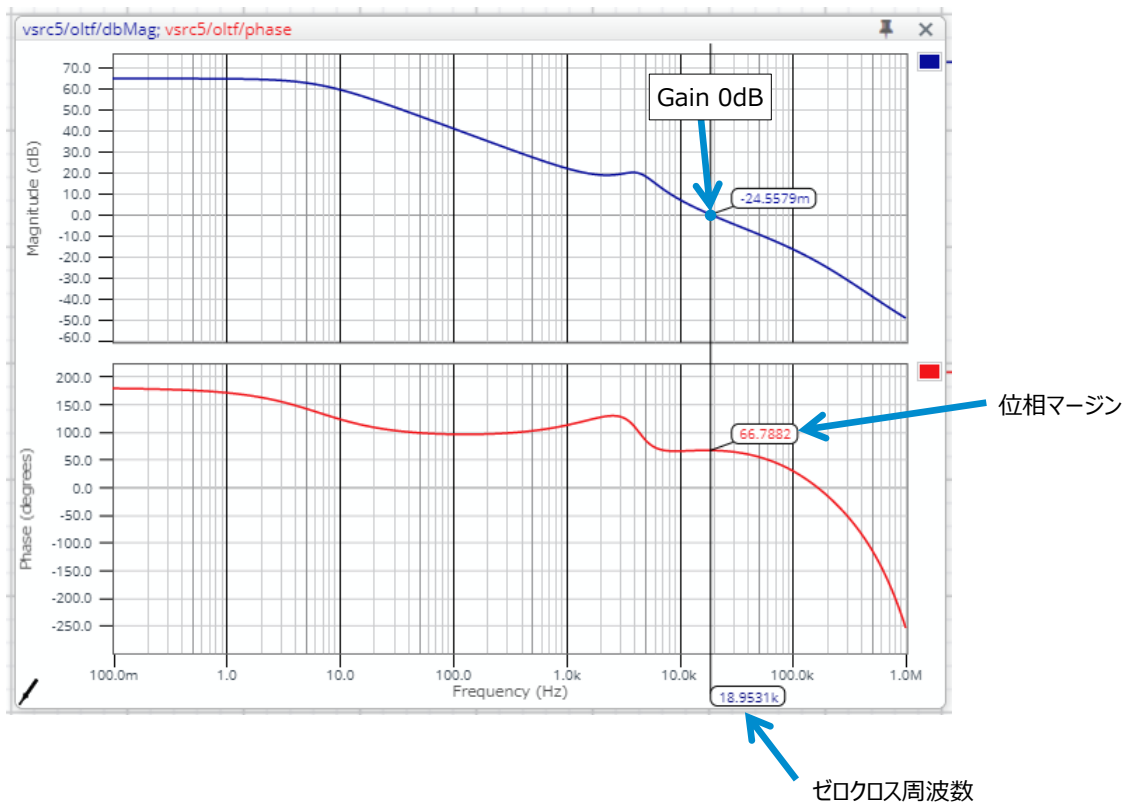
詳細手順

位相補償回路：位相マージン、ゲインマージン（つづき）

特性を表示し値を確認する

- 特性は初期画面に表示されているグラフへ、振幅と位相特性が描画されます。もしグラフを閉じてしまった場合は次の手順で表示します。
 - “Waveform Probe” を回路図の vsrc5 のシンボル上へドラッグ・アンド・ドロップします。
 - 波形ダイアログが開くので、フォルダ vsrc5、oltf と進み、dbMag を選択すると振幅特性が表示されます。
 - グラフの左下にあるプローブシンボルをもう一度 vsrc5 のシンボル上へドラッグ・アンド・ドラッグします。
 - 再度波形ダイアログが開くので、フォルダ vsrc5、oltf と進み、phase を選択すると位相特性が表示されます。
- グラフ上で右クリックし、ポップアップメニューから「Display Mode」の「Multi Trace」を選択します。上のグラフに振幅特性、下に位相特性が表示されます。
- グラフ上で右クリックし、ポップアップメニューから「Add Cursor」を選択します。
- カーソルが表示されるので、振幅特性がゼロとなる点へカーソルを移動します。実際はシミュレーションの分解能の制限でゼロに最も近い点になります。
- 位相特性のカーソル値を読みます。これが位相マージンの値です。
- 周波数軸のカーソル値を読みます。これがゼロクロス周波数です。

位相マージンとゼロクロス周波数、負荷電流最大時(=1.5A)



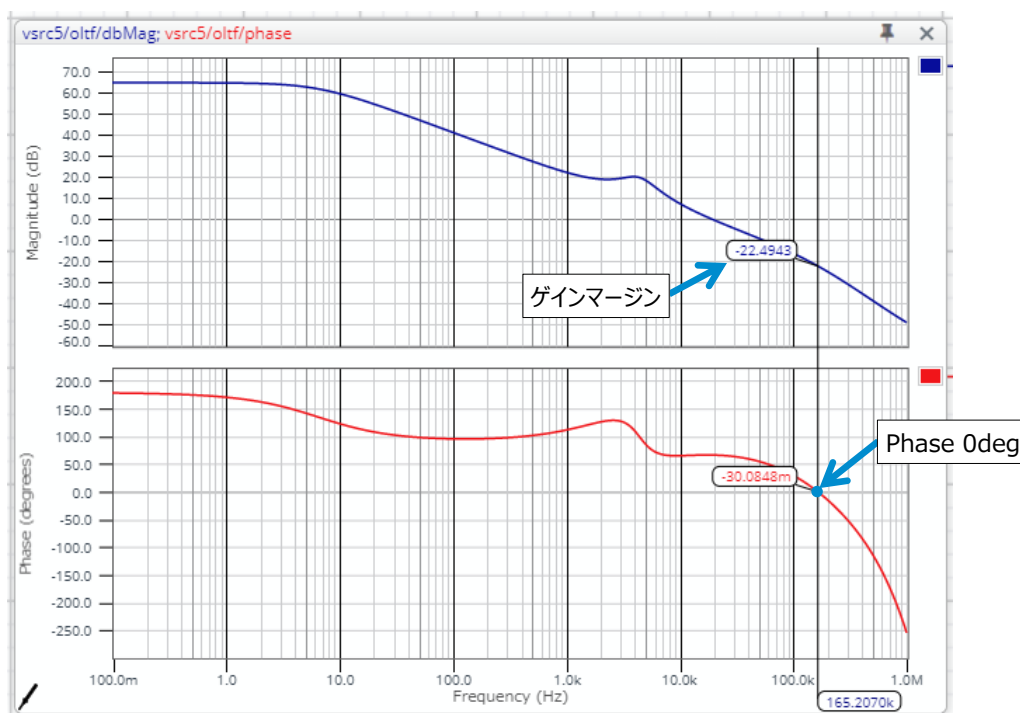
詳細手順

位相補償回路：位相マージン、ゲインマージン（つづき）

7. 次にカーソルを、位相特性がゼロとなる点へ移動します。実際はシミュレーションの分解能の制限でゼロに最も近い点になります。

8. 振幅特性のカーソル値を読みます。これがゲインマージンの値です。

ゲインマージン、負荷電流最大時(=1.5A)



安定動作の要件を確認する

- 次に示す要件を満たしているか確認します。満たしていれば安定動作していると判断できます。

1. ゼロクロス周波数 $f_c < \frac{\text{スイッチング周波数 } f_{sw}}{10}$

$$18.9kHz < 30kHz$$

要件を満たしていることが確認できました。

2. 位相マージン：45°以上であること

$$66.7^\circ > 45^\circ$$

要件を満たしていることが確認できました。

3. ゲインマージン：-10dB以下であること

$$-22.5dB < -10dB$$

要件を満たしていることが確認できました。

ご 注 意

- 1) 本資料の記載内容は改良などのため予告なく変更することがあります。
- 2) 本資料に記載されている内容は製品のご紹介資料です。ご使用に際しては、別途最新の仕様書を必ずご請求のうえ、ご確認ください。
- 3) ロームは常に品質・信頼性の向上に取り組んでおりますが、半導体製品は種々の要因で故障・誤作動する可能性があります。
万が一、本製品が故障・誤作動した場合であっても、その影響により人身事故、火災損害等が起こらないようご使用機器でのディレーティング、冗長設計、延焼防止、バックアップ、フェイルセーフ等の安全確保をお願いします。定格を超えたご使用や使用上の注意書が守られていない場合、いかなる責任もロームは負うものではありません。
- 4) 本資料に記載されております応用回路例やその定数などの情報につきましては、本製品の標準的な動作や使い方を説明するものです。
したがって、量産設計をされる場合には、外部諸条件を考慮していただきますようお願いいたします。
- 5) 本資料に記載されております技術情報は、製品の代表的動作および応用回路例などを示したものであり、ロームまたは他社の知的財産権その他のあらゆる権利について明示的にも黙示的にも、その実施または利用を許諾するものではありません。上記技術情報の使用に起因して紛争が発生した場合、ロームはその責任を負うものではありません。
- 6) 本資料に掲載されております製品は、耐放射線設計はなされていません。
- 7) 本製品を下記のような特に高い信頼性が要求される機器等に使用される際には、ロームへ必ずご連絡の上、承諾を得てください。
・輸送機器（車載、船舶、鉄道など）、幹線用通信機器、交通信号機器、防災・防犯装置、安全確保のための装置、医療機器、サーバー、太陽電池、送電システム
- 8) 本製品を極めて高い信頼性を要求される下記のような機器等には、使用しないでください。
・航空宇宙機器、原子力制御機器、海底中継機器
- 9) 本資料の記載に従わないために生じたいかなる事故、損害もロームはその責任を負うものではありません。
- 10) 本資料に記載されております情報は、正確を期すため慎重に作成したのですが、万が一、当該情報の誤り・誤植に起因する損害がお客様に生じた場合においても、ロームはその責任を負うものではありません。
- 11) 本製品のご使用に際しては、RoHS 指令など適用される環境関連法令を遵守の上ご使用ください。
お客様がかかる法令を順守しないことにより生じた損害に関して、ロームは一切の責任を負いません。
本製品の RoHS 適合性などの詳細につきましては、セールス・オフィスまでお問合せください。
- 12) 本製品および本資料に記載の技術を輸出又は国外へ提供する際には、「外国為替及び外国貿易法」、「米国輸出管理規則」など適用される輸出関連法令を遵守し、それらの定めにしたがって必要な手続を行ってください。
- 13) 本資料の一部または全部をロームの許可なく、転載・複写することを堅くお断りします。



ローム製品のご検討ありがとうございます。
より詳しい資料やカタログなどご用意しておりますので、お問合せください。

ROHM Customer Support System

<http://www.rohm.co.jp/contact/>