

ROHM Solution Simulator

输入电压 5.0V ~ 35V

输出开关电流 2A

1ch 降压型开关稳压器

BD9060HFP/ BD9060F 仿真指导手册

本资料记载了使用 ROHM Solution Simulator 进行 BD9060HFP/ BD9060F 仿真的指导手册。该资料以 BD9060HFP 为例进行了记述，对于 BD9060F 请重读引脚配置。

参数设定与仿真

可以使用 ROHM Solution Simulator 对 BD9060HFP / BD9060F 进行波特图上确认相位补偿的仿真。通过参考数据表中记载的“应用元件选型方法”部分进行常数设置。仿真过程显示在下一页。

注意事项

·产品详情请参照以下产品信息链接。

▶ 产品信息链接：[BD9060HFP](#), [BD9060F](#)

·实测与仿真结果的比较请参照下面的建模报告。

▶ 建模报告：[BD9060HFP](#), [BD9060F](#)

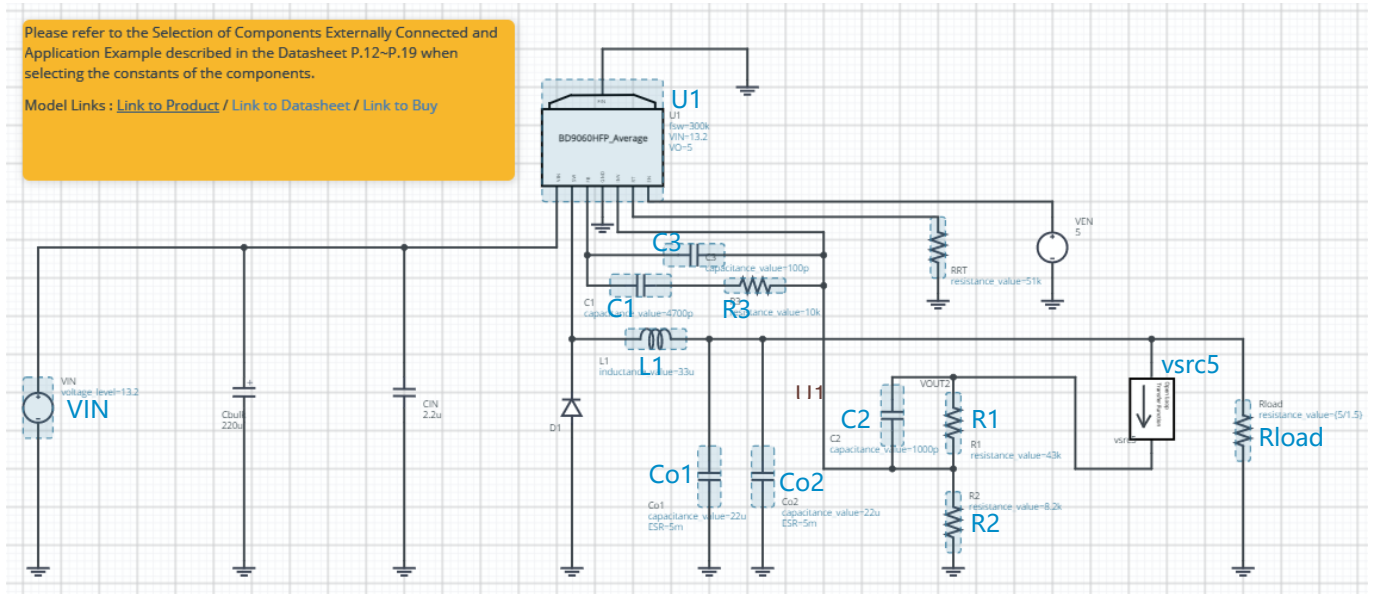
·本文档中的步骤基于 ROHM 提供的仿真器。对于拥有其他仿真器的用户，单独提供了 SPICE 模型，因此请从上面的产品信息链接中获取它们。

详细步骤

相位补偿电路：相位裕度、增益裕度

使用的仿真器：ROHM Solution Simulator

仿真类型：Frequency Domain



为了提高响应性能，必须增加环路增益的过零点频率 f_c 。但是，如果增加频率，则由于相位延迟而使相位裕度降低，并且稳定性降低，因此两者之间存在折衷的关系。同样，开关稳压器应用通过开关频率进行采样，因此必须抑制开关频率下的增益。因此，作为设计值，必须将过零频率 f_c 设定为开关频率 f_{sw} 的 1/10 以下。

通过将 R3, C1, C3 连接到 FB 引脚并将 C2 连接到反馈电阻 R1 来设置相位补偿。通过相位补偿获得稳定性的方法是消除由于两个极点 f_{p1} 和 f_{p2} 引起的相位延迟，这可以通过插入由于两个零点 f_{z1} 和 f_{z2} 引起的相位超前而消除。

相位裕度，增益裕度和过零点频率将稍后通过仿真确认。

详细步骤

相位补偿电路：相位裕度、增益裕度（继续）

各个频率的计算公式

- 以上两个极点（相位滞后）和两个零点（相位超前）的频率以及电路产生的极点频率可以通过以下公式计算。在此电路示例中，由于 f_{ESR} 高于开关频率，因此无需通过 R4 设置 f_{p2} 。

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

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

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

此处，

C_o : 输出电容器容量 ^(NOTE 1) [F]

R_o : 负载电阻 [Ω] = $\frac{\text{输出电压 [V]}}{\text{负载电流 [A]}}$ (1)

DCR : 电感器的直流电阻 [Ω]

ESR : 输出电容器的串联等效电阻 [Ω]

(NOTE 1) 多层陶瓷电容器 (MLCC) 由于其 DC 偏置和 AC 电压特性而具有比其标称电容低的值。为了进行精确的仿真，请使用实际容量而不是标称容量。

- 使用示例设计参数中的值计算每个频率。此处，输出电容器容量 C_{o1} 和 C_{o2} 使用标称电容为 $22\mu F$ 的 MLCC，并且在实际电容为 $13.8\mu F$ 的假设下计算。 R_o 是根据欧姆定律（公式 1）计算的，而 f_{LC} 是在最大负载电流下计算的。在这个例子中，它是 $1.5A$ 。 DCR 是电感器 $L1$ 的直流电阻，但是由于其影响很小，因此在此计算为零。

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

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

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

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

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

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

详细步骤

相位补偿电路：相位裕度、增益裕度（继续）

确认稳定动作的目标

- 当各频率的关系满足以下目标条件时，频率特性被认为是最佳的。将上一页的计算结果应用于以下关系式中。

1. $0.2 f_{LC} \leq f_{Z1} \leq f_{LC}$

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

确认满足了目标条件。

2. $0.5 f_{LC} \leq f_{Z2} \leq 2 f_{LC}$

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

确认满足了目标条件。

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

$$163kHz \approx 150kHz$$

确认了当开关频率为 300 kHz 时满足目标条件。

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

$$\infty Hz \approx 2.31MHz$$

对于 f_{P2} ，如果 f_{ESR} 高于开关频率，则无需通过 R4 设置 f_{P2} 。

$$f_{ESR} 2.31MHz > \text{开关频率 } 300kHz$$

详细步骤

相位补偿电路：相位裕度、增益裕度（继续）


设定 IC 的参数

- 对开关稳压器 IC U1 的参数进行设定。
 1. 参数 FSW：设定开关频率。
 2. 参数 VIN：设定输入电压。
 3. 参数 VO：设定输出电压。

设定仿真频率

- 将“Start Frequency”设置为 0.1 Hz，将“End Frequency”设置为 1 Meg Hz，以便可以观察整个波特图。

执行仿真

- 单击  以运行仿真并等待其完成。

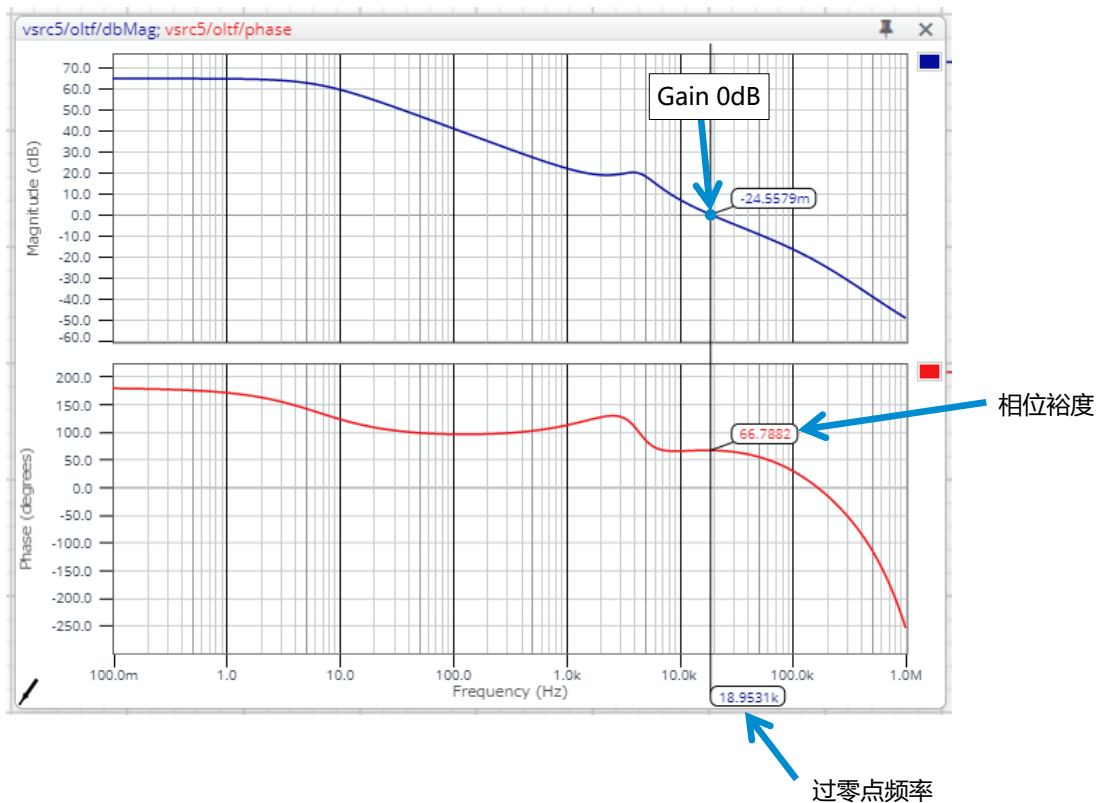
详细步骤

相位补偿电路：相位裕度、增益裕度（继续）

显示特性并确认值

- 在初始画面显示的图表中绘制了振幅和相位特性。如果图表已关闭，可以按照以下步骤重新显示：
 - 将“Waveform Probe”拖放到电路图中的 vsrc 的符号上。
 - 波形对话框打开后，进入文件夹 vsrc5，打开 oltf，选择 dbMag 后显示振幅特性。
 - 再次将图表左下角的探测符号拖放到 vsrc5 的符号上。
 - 波形对话框打开后，进入文件夹 vsrc5，打开 oltf，选择 phase 后显示相位特性。
- 右键单击图表，从弹出菜单中选择“Display Mode”的“Multi Trace”。在图表的上面显示振幅特性，下面显示相位特性。
- 右键单击图表，从弹出菜单中选择“Add Cursor”。
- 显示光标，将光标移到振幅为零的点。实际上，由于仿真分辨率的限制，只能移动到接近于零的点。
- 读取相位特性的光标值。这就是相位裕量的值。
- 读取频率轴的光标值。这就是过零点频率。

相位裕度与过零点频率：负载电流最大时(=1.5A)



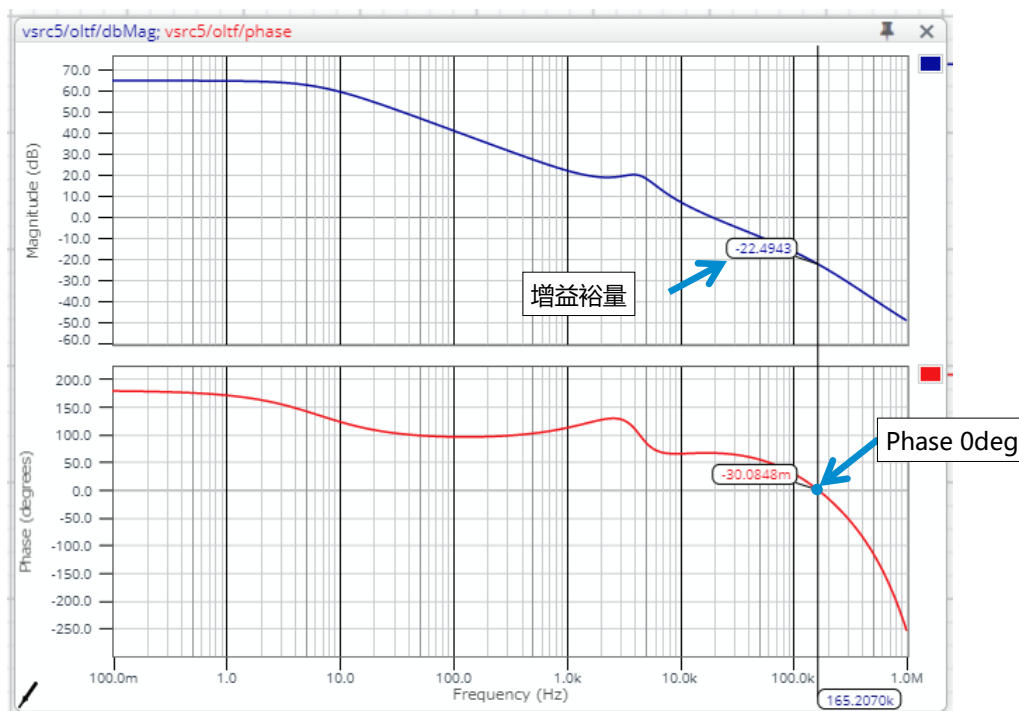
详细步骤

相位补偿电路：相位裕度、增益裕度（继续）

7. 接下来将光标移到相位为零的点。实际上，由于仿真分辨率的限制，只能移动到接近于零的点。

8. 读取振幅特性的光标值。这就是增益裕度。

增益裕量：负载电流最大时(=1.5A)



确认稳定动作的目标

● 确认是否满足以下所示的要求。 如果满足，则可以判断其运行稳定。

1. 过零点频率 $f_c < \frac{\text{开关频率 } f_{sw}}{10}$

$$18.9\text{kHz} < 30\text{kHz}$$

确认满足了目标条件。

2. 相位裕度：45°以上

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

确认满足了目标条件。

3. 增益裕度：-10dB 以下

$$-22.5\text{dB} < -10\text{dB}$$

确认满足了目标条件。

Notes

- 1) The information contained herein is subject to change without notice.
- 2) Before you use our Products, please contact our sales representative and verify the latest specifications :
- 3) Although ROHM is continuously working to improve product reliability and quality, semiconductors can break down and malfunction due to various factors.
Therefore, in order to prevent personal injury or fire arising from failure, please take safety measures such as complying with the derating characteristics, implementing redundant and fire prevention designs, and utilizing backups and fail-safe procedures. ROHM shall have no responsibility for any damages arising out of the use of our Products beyond the rating specified by ROHM.
- 4) Examples of application circuits, circuit constants and any other information contained herein are provided only to illustrate the standard usage and operations of the Products. The peripheral conditions must be taken into account when designing circuits for mass production.
- 5) The technical information specified herein is intended only to show the typical functions of and examples of application circuits for the Products. ROHM does not grant you, explicitly or implicitly, any license to use or exercise intellectual property or other rights held by ROHM or any other parties. ROHM shall have no responsibility whatsoever for any dispute arising out of the use of such technical information.
- 6) The Products specified in this document are not designed to be radiation tolerant.
- 7) For use of our Products in applications requiring a high degree of reliability (as exemplified below), please contact and consult with a ROHM representative : transportation equipment (i.e. cars, ships, trains), primary communication equipment, traffic lights, fire/crime prevention, safety equipment, medical systems, servers, solar cells, and power transmission systems.
- 8) Do not use our Products in applications requiring extremely high reliability, such as aerospace equipment, nuclear power control systems, and submarine repeaters.
- 9) ROHM shall have no responsibility for any damages or injury arising from non-compliance with the recommended usage conditions and specifications contained herein.
- 10) ROHM has used reasonable care to ensure the accuracy of the information contained in this document. However, ROHM does not warrants that such information is error-free, and ROHM shall have no responsibility for any damages arising from any inaccuracy or misprint of such information.
- 11) Please use the Products in accordance with any applicable environmental laws and regulations, such as the RoHS Directive. For more details, including RoHS compatibility, please contact a ROHM sales office. ROHM shall have no responsibility for any damages or losses resulting non-compliance with any applicable laws or regulations.
- 12) When providing our Products and technologies contained in this document to other countries, you must abide by the procedures and provisions stipulated in all applicable export laws and regulations, including without limitation the US Export Administration Regulations and the Foreign Exchange and Foreign Trade Act.
- 13) This document, in part or in whole, may not be reprinted or reproduced without prior consent of ROHM.



Thank you for your accessing to ROHM product informations.
More detail product informations and catalogs are available, please contact us.

ROHM Customer Support System

<https://www.rohm.com.cn/contactus>