

ROHM Solution Simulator

输入电压 3.5V ~ 36V

输出开关电流 4.0A

1ch 降压型开关稳压器

BD90640EFJ/BD90640HFP 仿真指导手册

本文档提供了使用 ROHM Solution Simulator 仿真 BD90640EFJ/BD90640HFP 的指南。本用户指南介绍了 HTSOP-J8 封装中的 BD90640EFJ，但 HRP7 封装中还有 BD90640HFP。请参考数据手册上的端子布局图，然后作为适当的阅读。

目录

设置参数和仿真.....	2
设计参数的设置.....	4
详细步骤	5
1. 输出电压.....	5
2. 开关频率	8
3. 电感	11
4. 输出电容.....	16
5. 输入电容.....	21
6. 肖特基二极管.....	22
7-1. 相位补偿电路: 相位裕量, 增益裕量	24
7-2. 相位补偿电路: 负载动态响应.....	31
8. 软启动	36

信息 ·有关产品的更多详细信息，请参见以下产品信息链接。

▶ 产品信息链接：[BD90640EFJ](#), [BD90640HFP](#)

·有关实际设备与仿真结果之间的比较，请参见以下建模报告。

▶ 建模报告：[Modeling report 1](#), [Modeling report 2](#)

设置参数和仿真

由于 BD90640EFJ 具有多个外部成分，因此有必要确定参数以匹配设计参数。下表 1 显示了设计和仿真所需的项目。

参数按“设计项目”列中数字的顺序确定。

“相关零件名称”列显示相关零件符号。

“仿真器^(NOTE 1)和分析类型”列显示了仿真器环境和分析类型。ROHM 官方网站中的 ROHM Solution Simulator 提供了“Frequency Domain”和“Time Domain”。但是，只能更改有限的组件常量。在同一列中，需要更改电路原理图的项目描述为“SystemVision[®]Cloud”。具有此描述的仿真必须迁移到

SystemVision[®] Cloud 环境。要进行迁移，请在 Rohm Solution Simulator 环境原理图上单击“Edit in systemvision.com”按钮。迁移后，您可以编辑原理图并执行仿真。与 ROHM Solution Simulator 相同，“Frequency Domain”和“Time Domain”可用。

“确认和特性”列显示了显示波形的地点和要确认的特性。

有关每个项目的详细步骤，请参阅页面列中描述的页面。

对每个项目进行仿真，但是由于每个部分都会影响每个特性，因此必须在决定所有部分之后再次执行所有仿真。

Table 1. 需要实施的设计与仿真项目一览表

设计项目	相关零件名称	仿真器 ^(NOTE 1) 和分析类型	确认和特性	项
1. 输出电压	R1, R2	Time Domain	输出端子 输出电压	5
2. 开关频率	RRT	Time Domain	开关端子 开关频率	8
3. 电感	L1	Time Domain	电感 电感电流	11
4. 输出电容	CO1, CO2	Time Domain	输出端子, 输出电容 输出纹波电压, 电容纹波电流	16
5. 输入电容	Cin, Cbulk	计算公式	输入电容 纹波电流	21
6. 肖特基二极管	D1	计算公式	肖特基二极管 二极管电流, 损耗	22
7-1. 相位补偿电路: 相位裕量, 增益裕量	R3, C1 CO1, CO2	Frequency Domain	反馈电路 相位裕量, 增益裕量	24
7-2. 相位补偿电路: 负载动态响应	R3, C1 CO1, CO2	SystemVision [®] Cloud Time Domain	输出端子 负载动态响应	31
8. 软启动	RRT	Time Domain	输出端子 输出电压	36

(NOTE 1) 记载在下一页中

设置参数和仿真(续)

(NOTE 1) 仿真器和分析类型的类型和说明

- Frequency Domain : 这是可以由 ROHM Solution Simulator 执行的频域分析。
- Time Domain : 这是可以由 ROHM Solution Simulator 执行的时域分析。
- SystemVision®Cloud Frequency Domain : 这是可以由 SystemVision®Cloud 执行的频域分析。
- SystemVision®Cloud Time Domain : 这是可以由 SystemVision®Cloud 执行的时域分析。
- 计算公式 : 使用公式而不使用仿真器进行计算。

信息 表 1 中的过程使用的是 ROHM 提供的仿真器。如果您有其他仿真器，我们有一个单独的 SPICE 模型，因此请从以下链接中获取它。

- ▶ SPICE 模型 : [BD90640EFJ](#), [BD90640HFP](#)

SystemVision®是 Mentor Graphics Corp.的注册商标。

设计参数的设置

设计原理图时，请设置参数。表 2 显示了一个示例。显示了典型的项目和值，但是要强调的特性因安装的设备的功能而异，因此请根据情况进行更改。

Table 2. 设计参数示例

项目	值
输入电压	min 6V, nominal 13.2V, max 18V
输出电压	5V±10%
输出纹波电压	20mVp-p 少于
输出电压 负载动态响应	±3%少于 ($I_{OUT}= 1.5A \rightarrow 2.0A \rightarrow 1.5A$ 時)
输出电流	min 0.5A, nominal 1.5A, max 2.0A
开关频率	500kHz
软启动时间	1.38ms

详细步骤

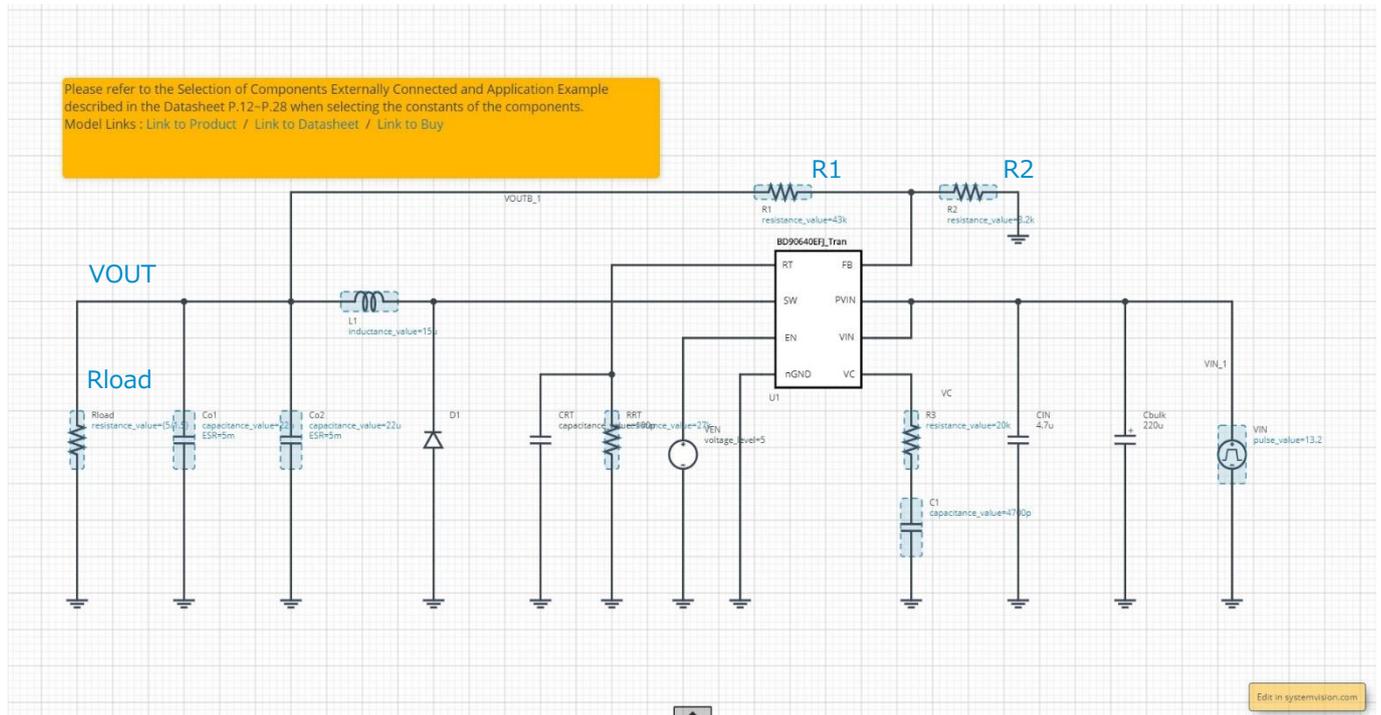
1. 输出电压

使用的仿真器：ROHM Solution Simulator

仿真类型：Time Domain

需设计的外部零件：R1, R2

监控点：VOUT



计算输出电压

- 可以通过以下公式计算输出电压。

$$V_{OUT} = 0.8 \cdot \frac{R1 + R2}{R2} \quad [V]$$

例如，要将输出电压设置为 5V，请将 R2 设置为 8.2kΩ，将 R1 设置为 43kΩ。

$$V_{OUT} = 0.8 \times \frac{43k + 8.2k}{8.2k} = 4.995 \quad [V]$$

详细步骤

1. 输出电压(续)

确定负载电阻

- 根据欧姆定律，使用负载电阻 R_{load} 设置产品运行期间的电流，并使用以下公式进行计算。

$$R_{load} = \frac{V_{OUT}}{I_{LOAD}} \quad [\Omega]$$

当负载电流较小时，即负载电阻较大时，启动后输出电压会略微过冲，然后收敛至设定电压，但负反馈增益较小，收敛时间变长。在这种情况下，必须将仿真结束时间设置得更长一些。例如，将负载电流设置为 1.5A 以缩短收敛时间和仿真时间。根据上式，负载电阻为 3.33Ω。

$$R_{load} = \frac{5}{1.5A} = 3.33 \quad [\Omega]$$

设定仿真时间

- 由于该 IC 具有软启动功能，因此必须将时间设置为比启动时间长。当 $RRT = 27k\Omega$ 时，软启动时间为 1.38ms，因此请考虑输出电压收敛时间将其设置为 4ms。

运行仿真

- 单击 ► 运行仿真，然后等待其完成。

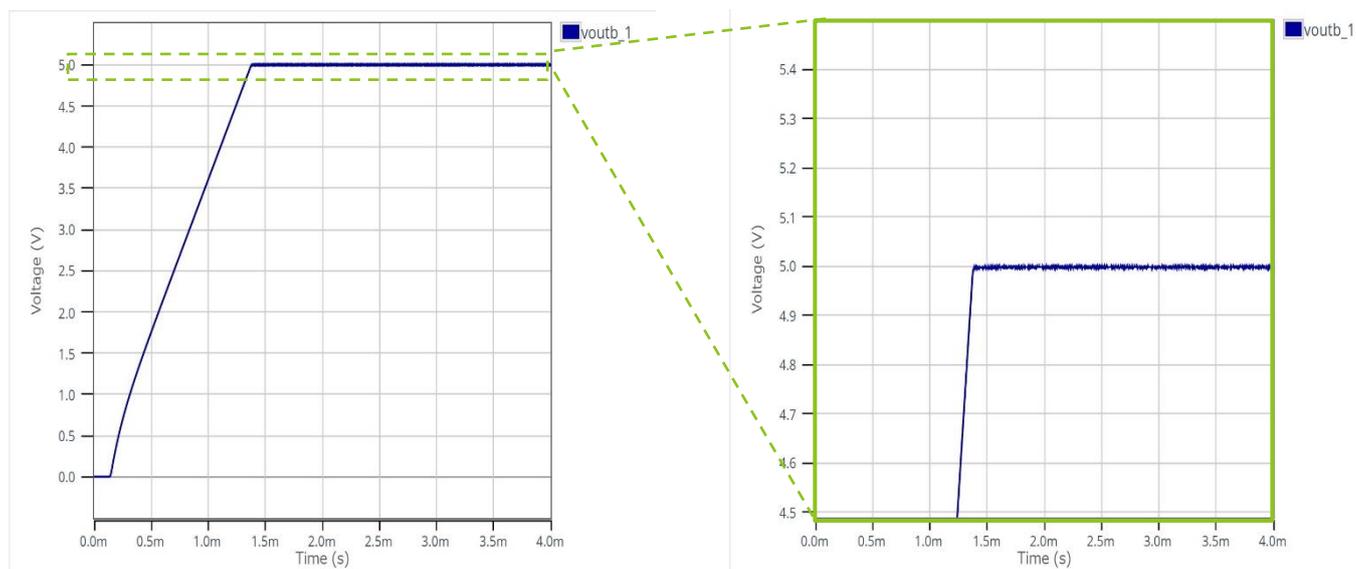
信息 仿真时间约为 14 分钟。时间会因服务器使用情况而异。
Advanced Options 建议“Balanced”。

详细步骤

1. 输出电压(续)

显示波形并用光标读取电压值

1. 将“Waveform Probe”拖放到原理图上的 VOUT 以显示波形。
2. 放大波形并检查电压是否稳定。
3. 显示光标并读取电压值，以确认该电压值在设计参数范围内。



详细步骤

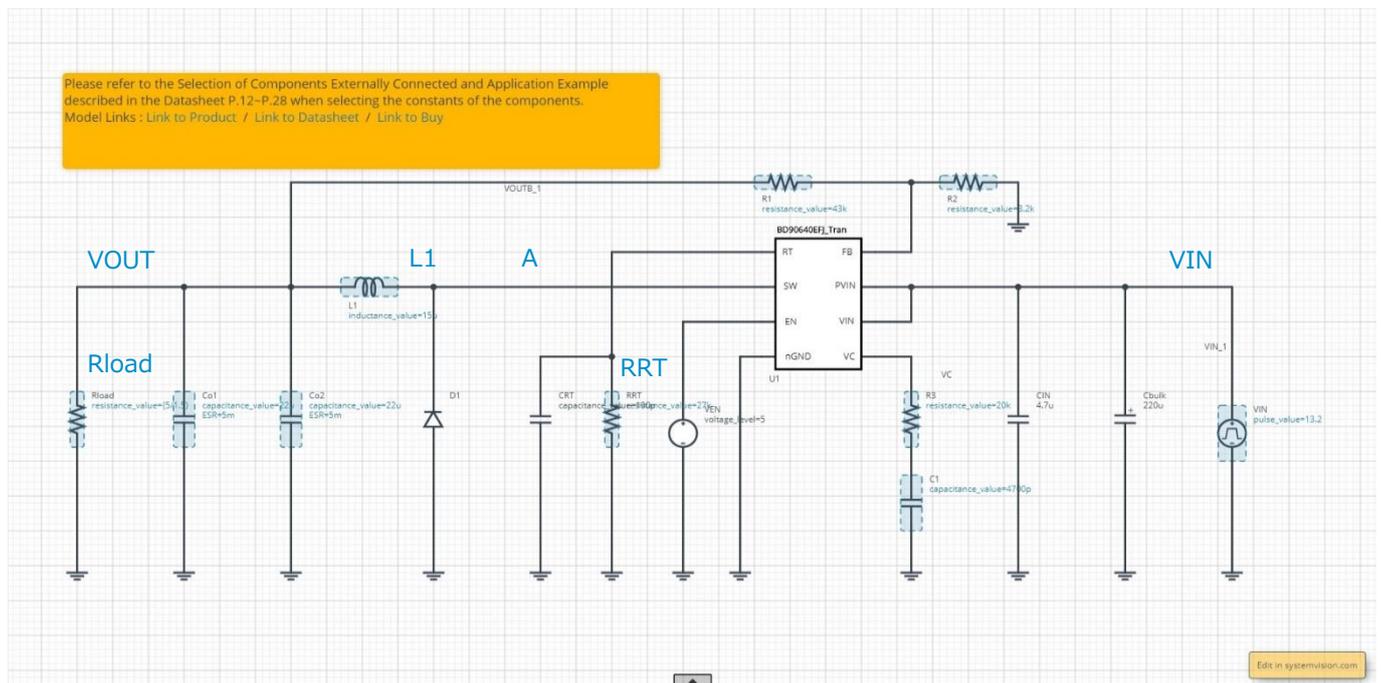
2. 开关频率

使用的仿真器：ROHM Solution Simulator

仿真类型：Time Domain

外部元件设计：RRT

监视点：下图中的 A



设定开关频率

- 开关频率由 RRT 的值设置。

有关 RRT 的值，请参见数据表的“选择开关频率设置电阻器 RRT，CRT”部分中的图表。

设定负载电流

- 对于开关频率，连续操作的波形简单易读，因此负载电流应在某种程度上流动。电流通过以下公式计算。

$$I_{LOAD} > \frac{(V_{IN} - V_{OUT}) \cdot V_{OUT}}{2 \cdot V_{IN} \cdot f_{SW} \cdot L1} > \frac{(18V - 5V) \times 5V}{2 \times 18V \times 500kHz \times 15\mu H} = 241m \quad [A]$$

在此，在满足上述公式的设计参数的范围内将 ILOAD 设置为 1.5A。负载电流为 3.33Ω(= 5V/1.5A)，因为它是由负载电阻 Rload 设置的。

详细步骤

2. 开关频率(续)

设定仿真时间

- 由于该 IC 具有软启动功能，因此必须将时间设置为比启动时间长。考虑开关频率收敛时间，将其设置为 4ms。

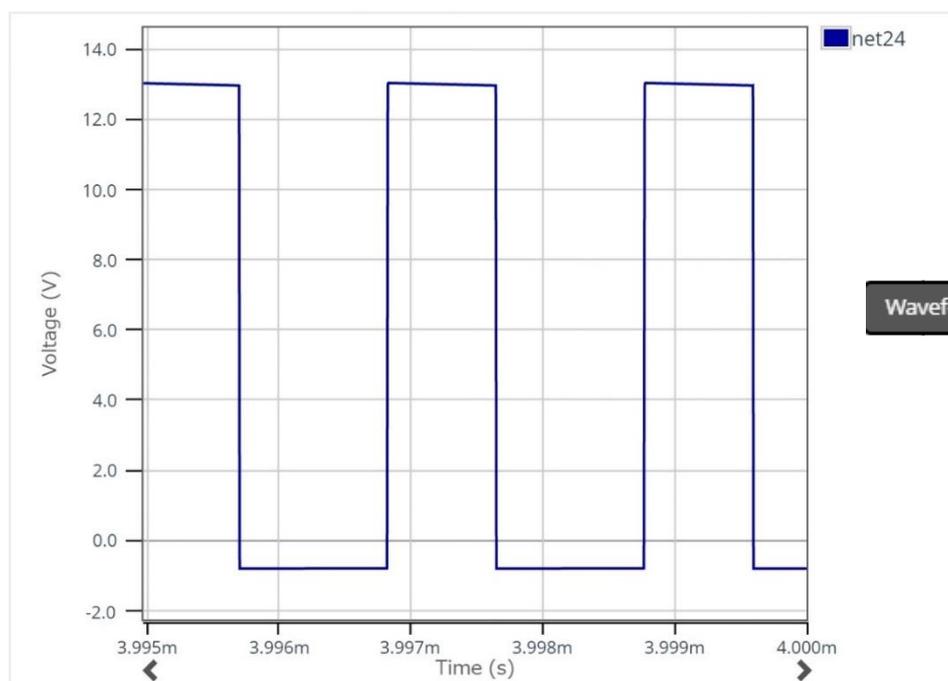
运行仿真

- 单击 ▶运行仿真，然后等待其完成。

信息 仿真时间约为 14 分钟。时间取决于服务器的使用情况。
Advanced Options 建议“Balanced”。

显示波形和读取频率

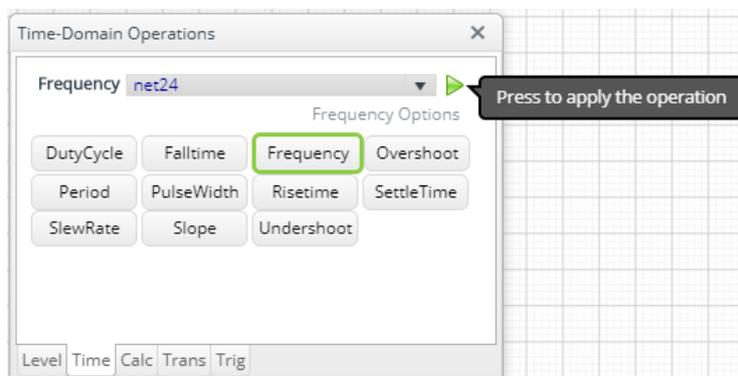
1. 拖放“Waveform Probe”到原理图上的点 A 以显示波形。
2. 将光标移到波形上，然后单击鼠标右键。
3. 从弹出菜单中选择“Plot in Viewer”。
4. 在“Viewer”中，放大波形的末端，然后单击右侧的“Waveform Analyzer”图标。



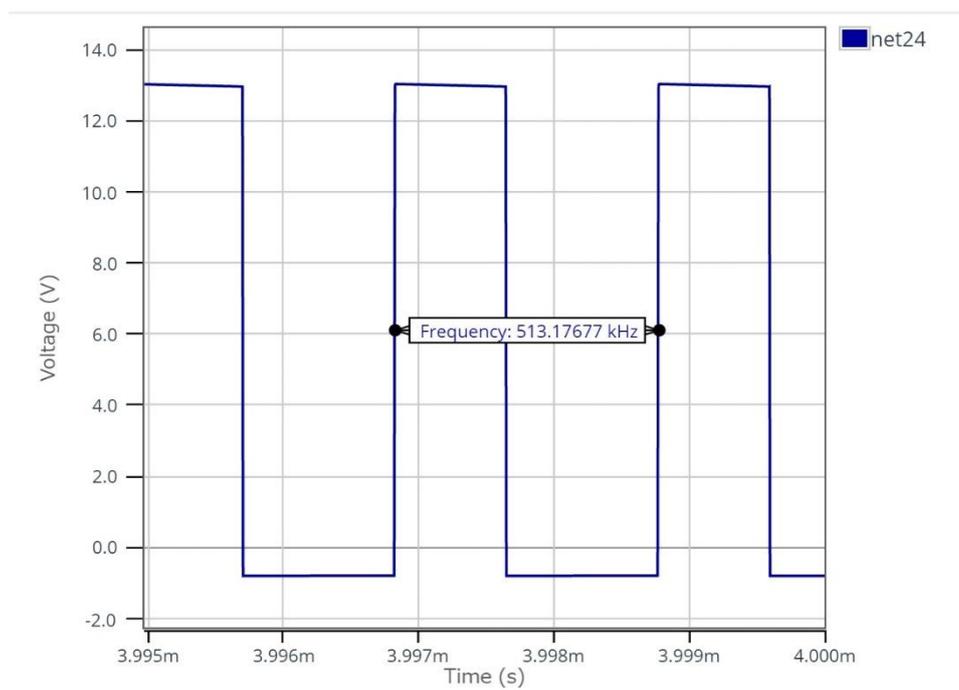
详细步骤

2. 开关频率(续)

5. 将打开“Operations window”，选择底部的“Time”选项卡，然后单击“Frequency”按钮。最后，单击 ▶ 以在波形上显示频率。



6. 确保频率在设计目标之内。



詳細手順

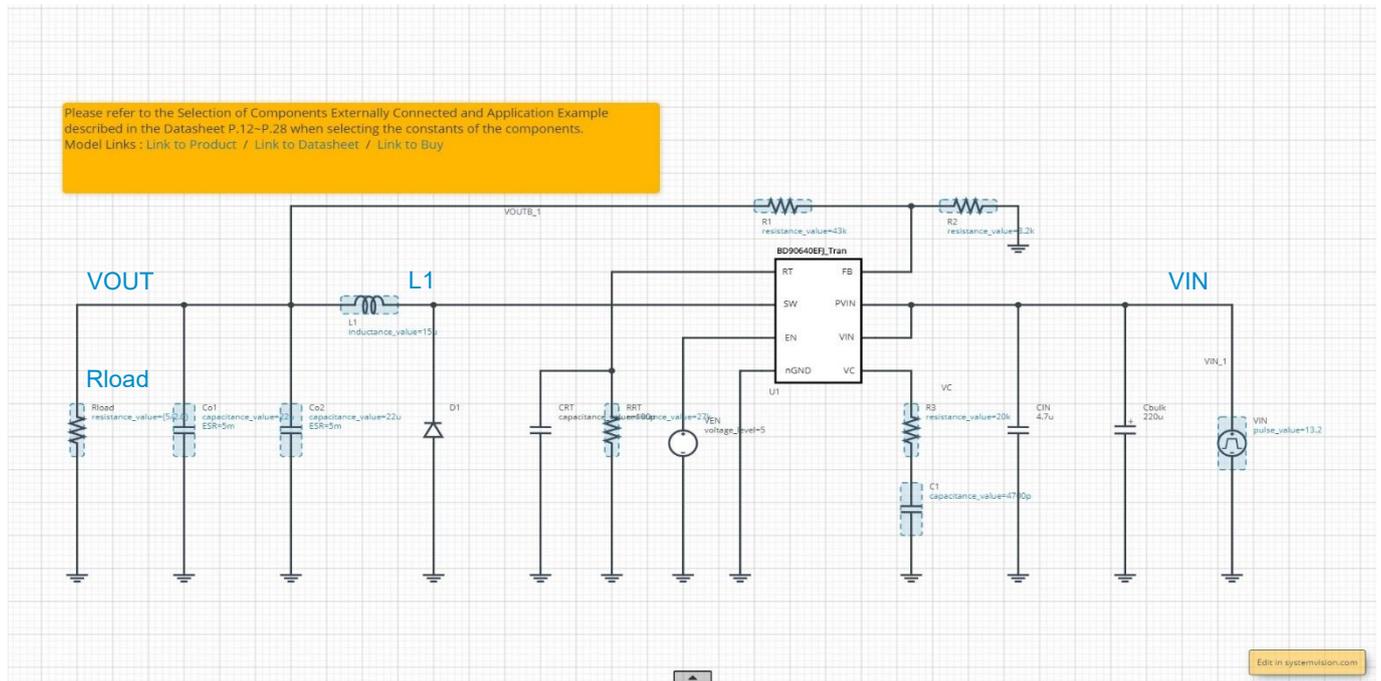
3. 电感

使用的仿真器：ROHM Solution Simulator

仿真类型：Time Domain

设计的外部零件：L1

监控点：L1



计算电感值

- 使用以下公式计算电感值。将电感器纹波电流设置为 IC 允许电流的 30%左右。

$$L1 = \frac{(V_{IN(Max)} - V_{OUT}) \cdot V_{OUT}}{V_{IN(Max)} \cdot f_{SW} \cdot \Delta I_L} \quad [H]$$

$V_{IN(Max)}$: 设计参数的最大输入电压

ΔI_L : 电感纹波电流 = IC允许电流 × 0.3

以设计参数为例的计算如下。

$$L1 = \frac{(18V - 5V) \times 5V}{18V \times 500kHz \times 4.0A \times 0.3} = 6.0 \mu H$$

从商用产品中选择 6.8μH。

详细步骤

3. 电感(续)

检查导致不连续运行的负载电流

- 如果负载电流较小，则操作将不连续。连续运行的负载电流条件可通过以下公式计算。如果负载电流较小并且要避免不连续操作，则需要增加电感值(L1)。

$$I_{LOAD} > \frac{(V_{IN(Max)} - V_{OUT}) \cdot V_{OUT}}{2 \cdot V_{IN(Max)} \cdot f_{SW} \cdot L1} \quad [A]$$

以设计参数为例的计算如下。在此示例中，当负载电流降至 0.53A 以下时，会发生不连续操作。

$$I_{LOAD} > \frac{(18V - 5V) \times 5V}{2 \times 18V \times 500kHz \times 6.8\mu H} \quad [A]$$

$$I_{LOAD} > 0.53 \text{ A}$$

当设计参数的最小负载电流为 0.5A 时，会发生不连续操作。在此，更改规格以连续运转。考虑裕量，请增加电感值，以使其连续运转直至 0.25A。变换以上公式以获得电感值

$$L1 > \frac{(V_{IN(Max)} - V_{OUT}) \cdot V_{OUT}}{2 \cdot V_{IN(Max)} \cdot f_{SW} \cdot I_{LOAD}} \quad [H]$$

$$L1 > \frac{(18V - 5V) \times 5V}{2 \times 18V \times 500kHz \times 0.25A} \quad [A]$$

$$L1 > 14.4 \mu H$$

从商用产品中选择 15μH。

详细步骤

3. 电感(续)

检查电感电流

- 确保电感器电流小于最小过流保护工作输出开关电流。这些关系可以表示为。

$$I_{SWLIMIT(Min)} \geq I_{OUT(Max)} + \frac{\Delta I_L}{2} \quad [A]$$

$I_{OUT(Max)}$: 设计参数最大输出电流

ΔI_L : 电感纹波电流

如上式所示，当将电感器纹波电流设置为“IC 允许电流×0.3”时，开始计算的电感值为 6.0μH。但是，为了减小导致不连续工作的负载电流值，将电感值更改为 15μH。因此，电感器纹波电流小于初始计算时的纹波电流。通过以下公式计算改变电感后的纹波电流。

$$\Delta I_L = \frac{(V_{IN(Max)} - V_{OUT}) \cdot V_{OUT}}{V_{IN(Max)} \cdot f_{SW} \cdot L1} \quad [A]$$

$$\Delta I_L = \frac{(18V - 5V) \times 5V}{18V \times 500kHz \times 15\mu H} = 481mA$$

由于可以计算出电感值为 15μH 时的纹波电流，因此请使用以下公式再次检查是否满足上述条件表达式。

$$4.00 [A] \geq 2.0A + \frac{481mA}{2} \quad [A]$$

$$4.00 [A] \geq 2.241 [A]$$

在该示例中，电感器电流小于过电流保护操作输出开关电流的最小值，因此可以使用设计参数进行操作。

详细步骤

3. 电感(续)

确认防止次谐波振荡

- 在电流模式控制 DC/DC 转换器中，当占空比为 50%或更高并且执行连续操作时，可能会发生次谐波振荡。通过满足下式的条件，可以防止次谐波振荡，因此，通过代入数值进行确认。如果不满足条件，则需要增加电感值。

$$L1 \geq \frac{2 \cdot D - 1}{2 \cdot (1 - D)} \cdot R_S \cdot \frac{V_{IN(Min)} - V_{OUT}}{m} \quad [H]$$

$$D: \text{开关脉冲的 On_Duty} = \frac{V_{OUT}}{V_{IN(Min)}}$$

$V_{IN(Min)}$: 设计参数最小输入电压

R_S : 电流反馈系数 = 4.0 μ [A/A]

m : Slope 补偿电流的斜率 = $6 \times 10^{-6} \cdot f_{SW}$

f_{SW} : 开关频率 [Hz]

以设计参数为例的计算如下。没问题，因为在上述计算中电感值(L1)为 15 μ H。

$$L1 \geq \frac{2 \cdot \frac{5V}{6V} - 1}{2 \cdot \left(1 - \frac{5V}{6V}\right)} \times 4\mu A/A \times \frac{6V - 5V}{6 \times 10^{-6} \times 500kHz} \quad [H]$$

$$L1 \geq 2.7 \mu H$$

设定负载电流

- 要确认电感器电流的最大值，请将负载电流设置为设计参数示例中给出的最大值。在此示例中，它为 2.0A，因此负载电阻 Rload 为 2.5 Ω (=5V/2.0A)。

设定仿真时间

- 由于该 IC 具有软启动功能，因此必须将时间设置为比启动时间长。由于软启动时间为 1.38ms，因此也考虑了输出电压的收敛时间，因此此处设置为 4ms。

详细步骤

3. 电感(续)

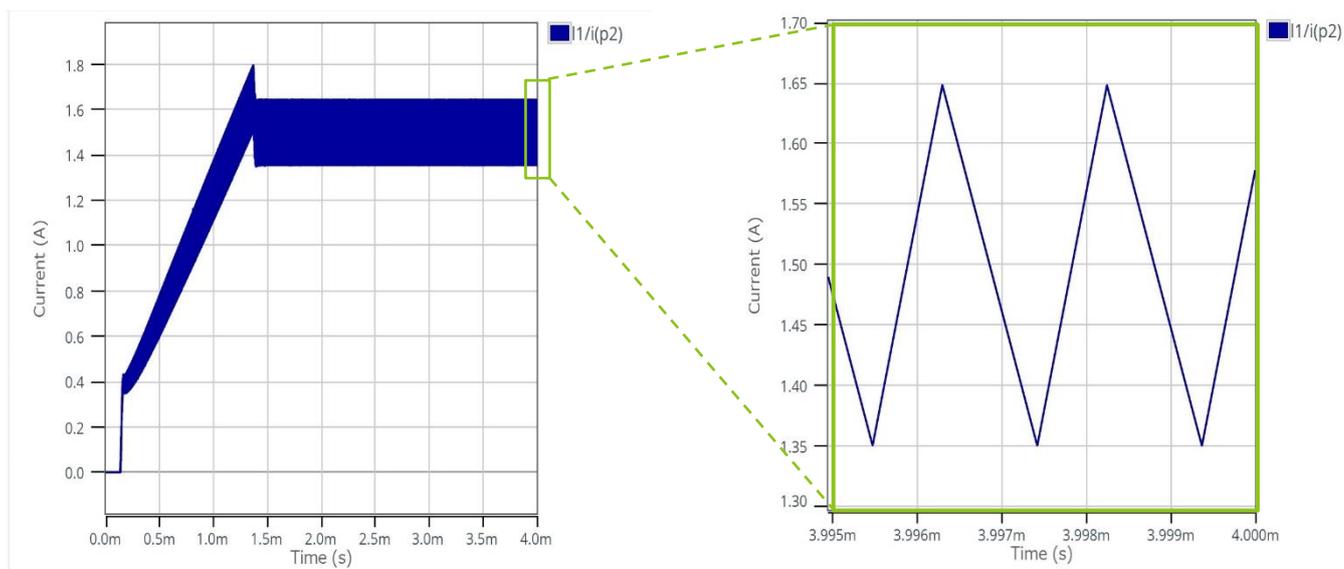
运行仿真

- 单击 ▶ 运行仿真，然后等待其完成。

信息 仿真时间约为 14 分钟。时间取决于服务器的使用情况。
Advanced Options 建议“Balanced”。

显示波形并检查电感电流

1. 将“Waveform Probe”拖放到原理图的 L1 符号上。波形对话框打开，因此选择电流波形“i(p2)”以显示该波形。
2. 扩大电流稳定的区域，并使用光标读取峰值电流。确保它与先前计算的最大输出电流匹配。



详细步骤

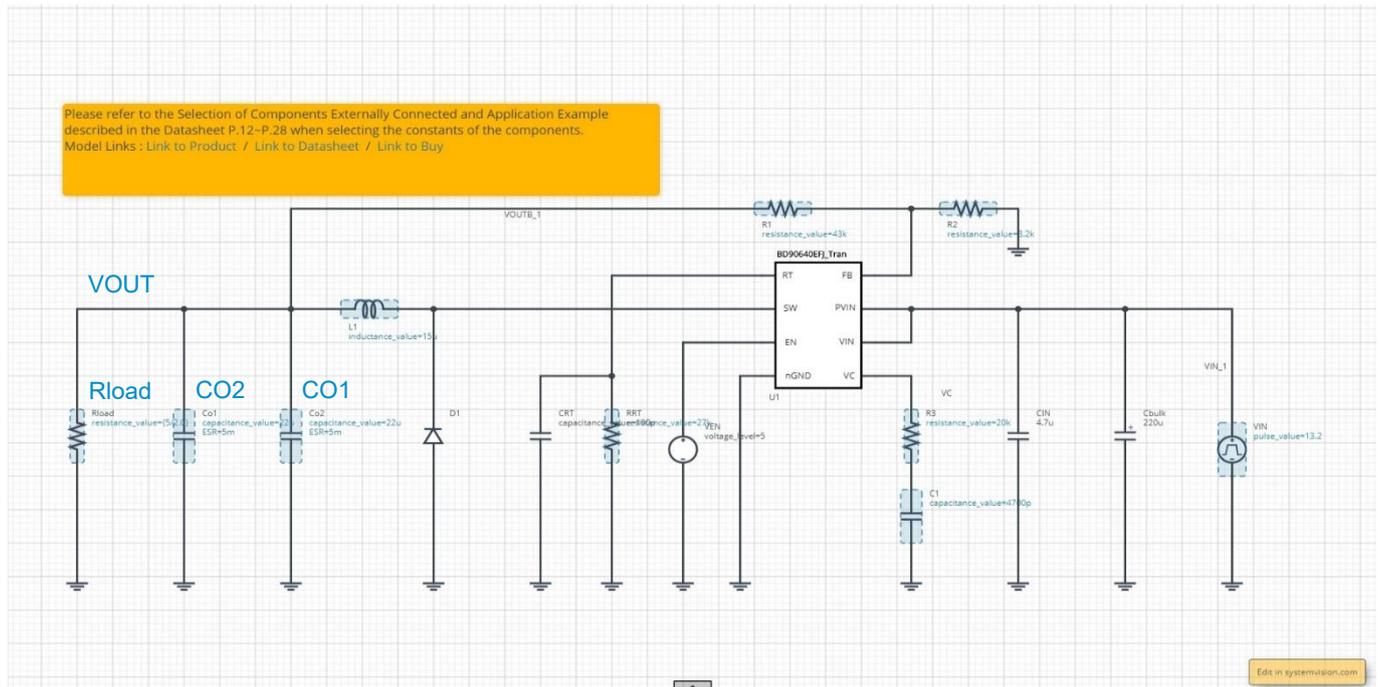
4. 输出电容

使用的仿真器：ROHM Solution Simulator

仿真类型：Time Domain

要设计的外部零件：CO1, CO2

监控点：VOUT, CO1



计算纹波电压

- 输出纹波电压可通过以下公式计算。

$$\Delta V_{PP} = \Delta I_L \cdot ESR + \frac{\Delta I_L}{8 \cdot C_{OUT} \cdot f_{SW}} \quad [V]$$

其中,

ΔI_L : 电感纹波电流 [A]

ESR: 输出电容器的等效串联电阻 [Ω]

C_{OUT} : 输出电容容量 (NOTE 1) [F]

f_{SW} : 开关频率 [Hz]

(NOTE 1) 由于直流偏置特性和交流电压特性，多层陶瓷电容器(MLCC)的值低于标称容量。为了进行精确的仿真，请使用实际容量而不是标称容量。该电路使用的实际电容为 13.8 F，而不是标称电容 22F。

详细步骤

4. 输出电容(续)

此处，对于输出电容器 CO1 和 CO2，使用实际电容为 13.8 μ F 的 MLCC 进行计算。每个电容器的 ESR 为 5m Ω ，并且由于 2 个电容器并联连接，所以 ESR 计算为 1/2。

$$\Delta V_{PP} = 481mA \times \frac{5m\Omega}{2} + \frac{481mA}{8 \times 13.8\mu F \times 2 \times 500kHz} = 5.56 \text{ mV}$$

计算输出电容器的纹波电流

- 输出电容器的纹波电流可通过以下公式计算。

$$I_{CO(RMS)} = \frac{\Delta I_L}{\sqrt{12}} \quad [A_{rms}]$$

其中，

ΔI_L : 电感纹波电流 [A]

为电容器规定了额定纹波电流。必须选择满足上式计算值的电容器。使用上面计算出的电感器纹波电流进行计算得出。

$$I_{CO(RMS)} = \frac{481mA}{\sqrt{12}} = 139 \text{ mA}_{rms}$$

在该电路中，两个 CO1 和 CO2 并联连接，因此每一个的纹波电流是上述计算值的 1/2，即 69.4mA_{rms}。

详细步骤

4. 输出电容(续)

检查最大输出容量

- 如果输出电容太大，则启动时的冲击电流可能会激活过流保护，并且输出可能无法启动。这里提到的输出电容是连接到后级的所有电路(包括 CO1 和 CO2)的电容值之和。容量的最大值必须满足以下条件表达式。

$$C_{OUT} < \frac{T_{SS(Min)} \cdot (I_{SW_LIMIT(Min)} - I_{SW_START(Max)})}{V_{OUT}}$$

其中,

$$T_{SS(Min)}: \text{最小软启动时间} = \frac{690.8}{f_{SW}} \times 0.819 \quad [s]$$

$I_{SW_LIMIT(Min)}$: 过电流保护动作输出开关电流的最小值 = 4.0 A

$I_{SW_START(Max)}$: 启动时流向输出开关的负载电流的最大值 [A]

V_{OUT} : 输出电压 [V]

f_{SW} : 开关频率 [Hz]

作为设计参数的示例，如果启动时流过的电流为 0.8 A，则可以如下计算。必须将连接到下一级的所有电路的总电容值设置为以下值。

$$C_{OUT} < \frac{\frac{690.8}{500kHz} \times 0.819 \times (4.0A - 2.0A)}{5V}$$

$$C_{OUT} < 452.6 \mu F$$

设定负载电流

- 为了确定纹波电压的最大值，请设置设计参数的最大负载电流。在此示例中，它为 2.0A，因此负载电阻 Rload 为 2.5Ω(=5V/2.0)。

设定仿真时间

- 由于该 IC 具有软启动功能，因此必须将时间设置为比启动时间长。由于软启动时间为 1.38ms，因此也考虑了输出电压的收敛时间，因此此处设置为 4ms。

详细步骤

4. 输出电容(续)

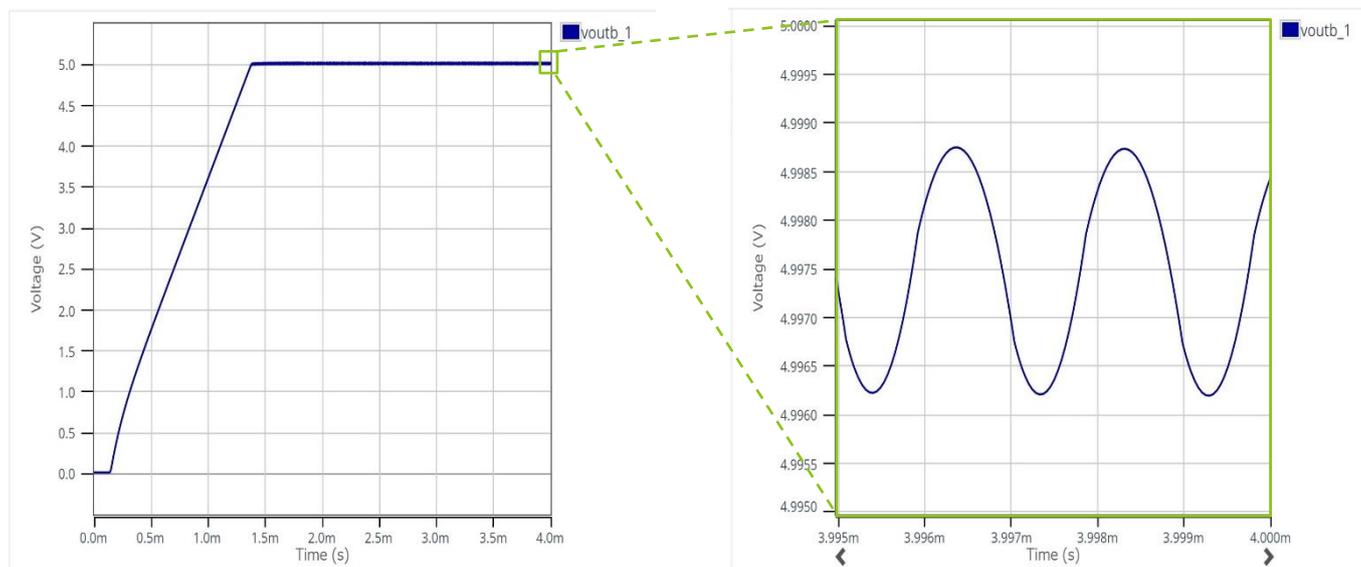
运行仿真

- 单击 ▶ 运行仿真并等待其完成

信息 仿真时间约为 14 分钟。时间取决于服务器的使用情况。
Advanced Options 建议“Balanced”。

显示波形并检查纹波电压

1. 将“Waveform Probe”拖放到原理图上的 VOUT 以显示波形。
2. 放大波形，直到可以读取纹波电压。
3. 显示光标并读取电压幅度。

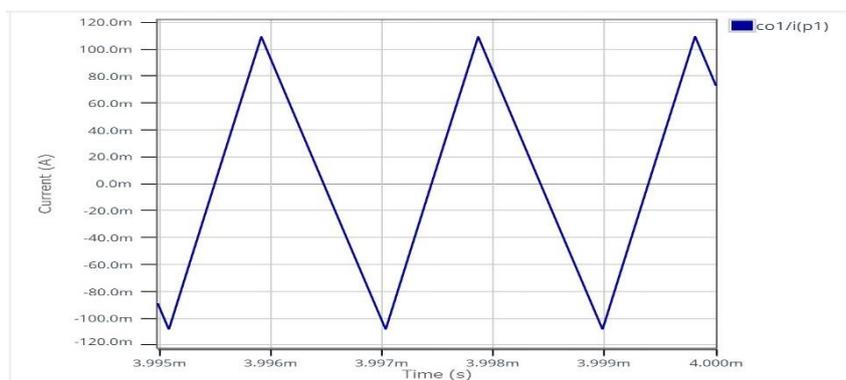


详细步骤

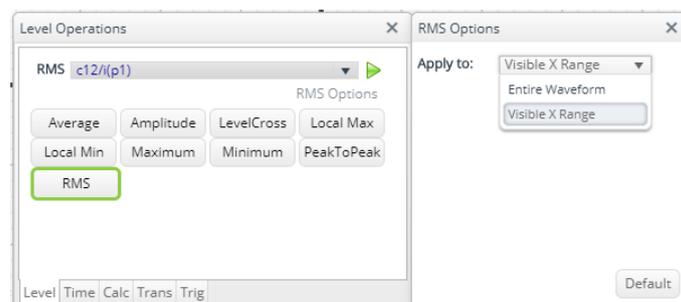
4. 输出电容(续)

显示波形并检查输出电容器的纹波电流

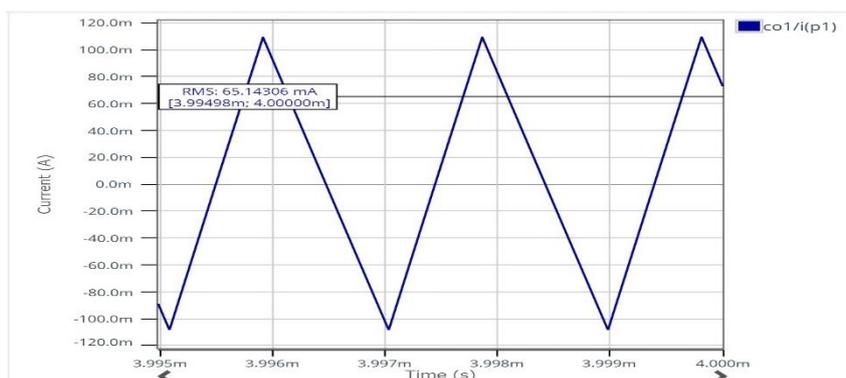
1. 将“Waveform Probe”拖放到原理图上的符号 CO1 上。波形对话框打开，因此选择当前波形“i(p1)”以显示该波形。
2. 将光标移到波形上，然后单击鼠标右键。
3. 从弹出菜单中选择“Plot in Viewer”。
4. 在查看器中的波形末端附近放大，然后单击右侧的“Waveform Analyzer”图标。



5. 将启动“Operations window”，选择底部的“Level”选项卡，然后单击“RMS”按钮。然后单击“RMS Options”，“RMS Options”窗口将向右扩展。从“Apply to:”下拉菜单中选择“Visible X Range”。最后，单击 ▶ 以在波形上显示纹波电流的有效值。



6. 确认纹波电流的有效值接近计算值。



详细步骤

5. 输入电容

计算输入电容器纹波电流

- 输入电容器的纹波电流可通过以下公式计算。在开关波形的占空比为 50%的条件下，纹波电流变为最大。

$$I_{CIN(RMS)} = I_{OUT(Max)} \cdot \frac{\sqrt{V_{OUT} \cdot (V_{IN(50\%)} - V_{OUT})}}{V_{IN(50\%)}} \quad [A_{rms}]$$

其中,

$I_{OUT(Max)}$: 设计参数最大输出电流 [A]

$V_{IN(50\%)}$: 占空比为 50%的输入电压 = $\frac{V_{OUT}}{0.5}$ [V]

V_{OUT} : 输出电压 [V]

为电容器规定了额定纹波电流。必须选择满足上式计算值的电容器。使用设计参数示例进行如下计算。

$$I_{CIN(RMS)} = 2.0A \times \frac{\sqrt{5V \times \left(\frac{5V}{0.5} - 5V\right)}}{\frac{5V}{0.5}} = 1.0 A_{rms}$$

详细步骤

6. 肖特基二极管

计算平均整流电流

- 对于二极管，请使用正向电压低，反向恢复时间短的肖特基势垒二极管。二极管中流过的平均整流电流可以通过以下公式计算。

$$I_{F(AVE)} = I_{OUT(Max)} \cdot \frac{V_{IN(Max)} - V_{OUT}}{V_{IN(Max)}} \quad [A]$$

其中,

$I_{OUT(Max)}$: 设计参数最大输出电流 [A]

$V_{IN(Max)}$: 设计参数的最大输入电压 [V]

V_{OUT} : 输出电压 [V]

选择二极管的平均整流电流的绝对最大额定值是上述计算值的 1.2 倍或更大的组件。使用设计参数示例进行如下计算。

$$I_{F(AVE)} = 2.0A \times \frac{18V - 5V}{18V} = 1.44 \text{ A}$$

二极管平均整流电流的绝对最大额定值 > $I_{F(AVE)} \times 1.2$

二极管平均整流电流的绝对最大额定值 > 1.73A (= 1.44A × 1.2)

计算功率损耗

- 二极管的正向电压越小，损耗越小，效率越好。选择正向电压等于或小于 0.65V 的组件。请注意，使用较大的值可能会损坏 IC 内部元件。二极管中产生的损耗可以通过以下公式计算。

$$P_{Diode} = I_{OUT(Max)} \cdot \frac{V_{IN(Max)} - V_{OUT}}{V_{IN(Max)}} \cdot V_F \quad [W]$$

其中,

$I_{OUT(Max)}$: 设计参数最大输出电流 [A]

$V_{IN(Max)}$: 设计参数的最大输入电压 [V]

V_{OUT} : 输出电压 [V]

V_F : 二极管正向电压 [V]

详细步骤

6. 肖特基二极管(续)

使用设计参数示例(VF 为 0.5V 时)进行以下计算。

$$P_{Diode} = 2.0A \times \frac{18V - 5V}{18V} \times 0.5V = 0.72 \text{ W}$$

当必须承受输出短路条件时，需要更大的电流和散热能力。额定电流应为过电流检测值的 1.5 倍左右。

计算反向电压

- 选择反向电压为输入电压最大值的 1.2 倍或更大的组件。

$$\text{反向电压} > V_{IN(Max)} \times 1.2$$

使用设计参数示例进行如下计算。

$$\text{反向电压} > 21.6V \quad (= 18V \times 1.2)$$

详细步骤

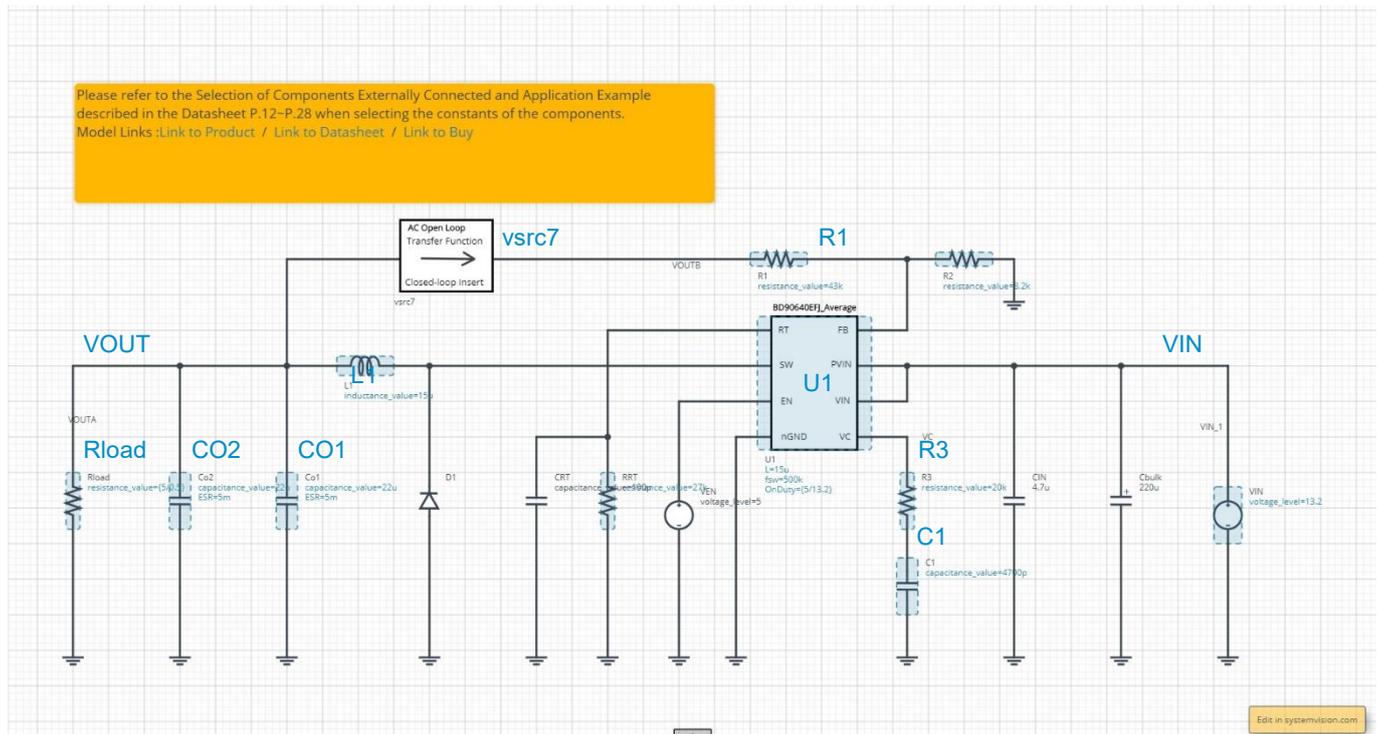
7-1. 相位补偿电路：相位裕量，增益裕量

使用的仿真器：ROHM Solution Simulator

仿真类型：Frequency Domain

设计的外部组件：R3, C1, C2, CO1, CO2

监控点：vsrc7



为了提高响应性能，必须增加环路增益的过零频率 f_c 。但是，如果增加频率，则相位裕量将由于相位延迟而减小，并且稳定性会下降，因此在两者之间要进行权衡。另外，开关稳压器应用是在开关频率下采样的，因此有必要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。

相位补偿由连接到VC引脚的R3和C1设置。归因于系统的两个极点 f_{p1} 和 f_{p2} 导致的相位延迟被归因于零 f_{z1} 的相位超前抵消，从而获得了相位稳定性。尽管本文未使用它，同样当将零交叉频率扩展到高频侧时，可以添加另一个零 f_{z2} 并插入相位引线以改善零交叉频率处的相位裕度。这是通过将C2与反馈电阻R1并联来实现的。此方法称为相位超前补偿。

过零频率，相位裕量和增益裕量将在以后通过仿真确认。

详细步骤

7-1. 相位补偿电路：相位裕量，增益裕量(续)

每个频率的公式

- 两个极点(相位滞后)和两个零点(相位超前)的频率可以通过以下公式计算。

$$f_{P1} = \frac{1}{2\pi \cdot C_{OUT} \cdot R_{load}} \quad [Hz]$$

$$f_{P2} = \frac{G_{EA}}{2\pi \cdot C1 \cdot A_V} \quad [Hz]$$

$$f_{Z1} = \frac{1}{2\pi \cdot R3 \cdot C1} \quad [Hz]$$

$$(f_{Z2} = \frac{1}{2\pi \cdot R1 \cdot C2} \quad [Hz])$$

其中,

$$C_{OUT}: \text{输出电容容量} \quad \text{(NOTE 1)} \quad [F]$$

$$R_{load}: \text{负载电阻} \quad [\Omega] = \frac{\text{输出电压} [V]}{\text{负载电流} [A]} \quad (1)$$

$$G_{EA}: \text{误差放大器跨导} = 270 \quad [\mu A/V]$$

$$A_V: \text{误差放大器的电压增益} = 7943 \quad (= 78dB)$$

(NOTE 1) 由于直流偏置特性和交流电压特性，多层陶瓷电容器(MLCC)的值低于标称容量。为了进行精确的仿真，请使用实际容量，而不是标称容量。该电路中使用的实际电容为 13.8 F，而不是标称的 22F。

- 使用设计参数值示例计算每个频率。此处，输出电容器电容 CO1 和 CO2 是标称电容为 22μF 的 MLCC，并且假定实际电容为 13.8μF。Rload 由欧姆定律(1)计算。fp1 由该 Rload 更改。Rload 应在最小负载电流和最大负载电流下计算。

$$\text{最小负载电流}(= 0.5A)、f_{P1} = \frac{1}{2\pi \cdot C_{OUT} \cdot R_{OUT}} = \frac{1}{2\pi \times 13.8\mu F \times 2 \times \frac{5V}{0.5A}} = 577 \text{ Hz}$$

$$\text{最大负载电流}(= 2.0A)、f_{P1} = \frac{1}{2\pi \cdot C_{OUT} \cdot R_{OUT}} = \frac{1}{2\pi \times 13.8\mu F \times 2 \times \frac{5V}{2.0A}} = 2.3 \text{ kHz}$$

$$f_{P2} = \frac{G_{EA}}{2\pi \cdot C1 \cdot A_V} = \frac{270}{2\pi \times 4700pF \times 7943} = 1.15 \text{ MHz}$$

$$f_{Z1} = \frac{1}{2\pi \cdot R3 \cdot C1} = \frac{1}{2\pi \times 20k\Omega \times 4700pF} = 1.69 \text{ kHz}$$

$$(f_{Z2} = \frac{1}{2\pi \cdot R1 \cdot C2} = \frac{1}{2\pi \times 43k\Omega \times 180pF} = 20.6 \text{ kHz})$$

详细步骤

7-1. 相位补偿电路：相位裕量，增益裕量(续)

设定 IC 属性

- 设置开关稳压器 IC U1 的属性。
 1. 参数 L：设置与电感器 L1 相同的值。
 2. 参数 fsw：设置上一节中确定的开关频率。
 3. 参数 OnDuty：这是占空比的参数。要设置的值为“{输出电压/输入电压}”。

设定测量频率

- 将“Start Frequency”设置为 0.01 Hz，将“End Frequency”设置为 1 Meg Hz，以便可以观察到整个波特图。

运行仿真

- 单击 ►运行仿真，然后等待其完成。

信息 仿真时间约为 20 秒。时间取决于服务器的使用情况。
Advanced Options 建议“Balanced”。

详细步骤

7-1. 相位补偿电路：相位裕量，增益裕量(续)

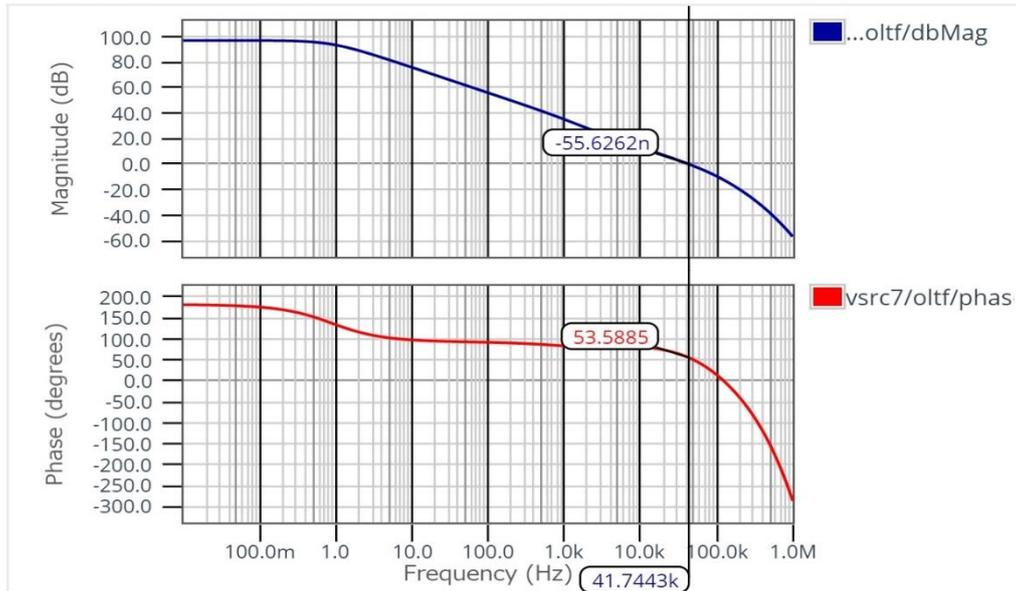
显示特征并检查值

1. 对于特性，振幅和相位特性绘制在初始屏幕上显示的图形上。如果图形已关闭，请按照以下步骤显示。
 - a. 将“Waveform Prove”拖放到原理图上的 vsrc7 符号上。
 - b. 波形对话框打开，进入 vsrc7, oltf 文件夹并选择 dbMag，显示振幅特性。
 - c. 再次将图形左下方的探针符号拖动到 vsrc7 的符号上。
 - d. 波形对话框打开，转到文件夹 vsrc7, oltf 并选择 phase 以显示相位特性。
2. 右键单击图形，然后从弹出菜单中选择“Display Mode”>“Multi Trace”。上图显示振幅特性，下图显示相位特性。
3. 右键单击图形，然后从弹出菜单中选择“Add Cursor”。
4. 显示光标，将光标移动到振幅特性变为零的点。实际上，由于仿真分辨率限制，它是最接近零的点。
5. 读取相位特性的光标值。这是相位裕量值。
6. 读取频率轴上的光标值。这是零交叉频率。

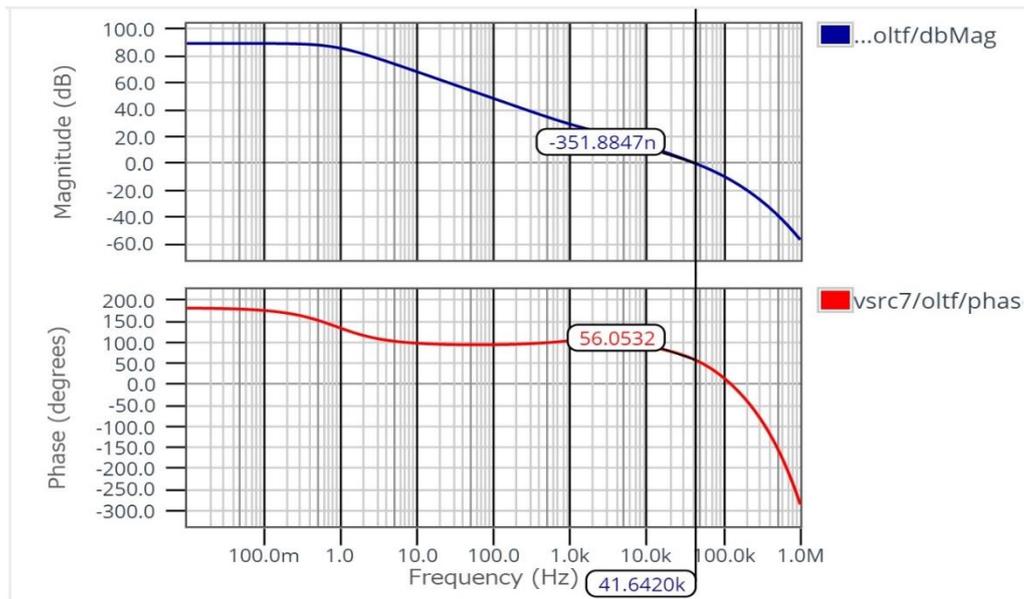
详细步骤

7-1. 相位补偿电路：相位裕量，增益裕量(续)

最小负载电流(=0.5A)时的过零频率和相位裕量



最大负载电流(=2.0A)时的过零频率和相位裕量

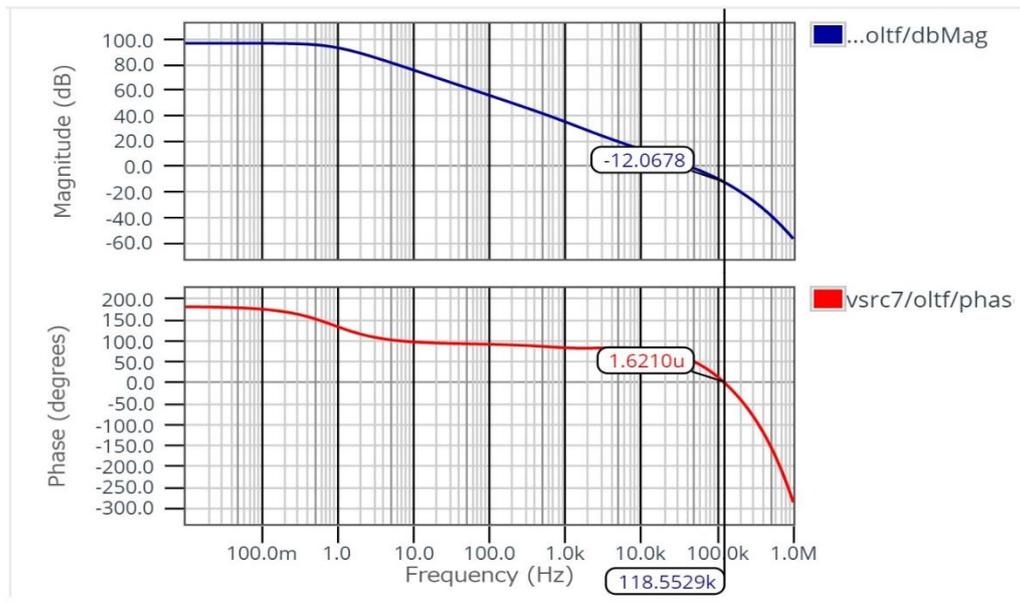


详细步骤

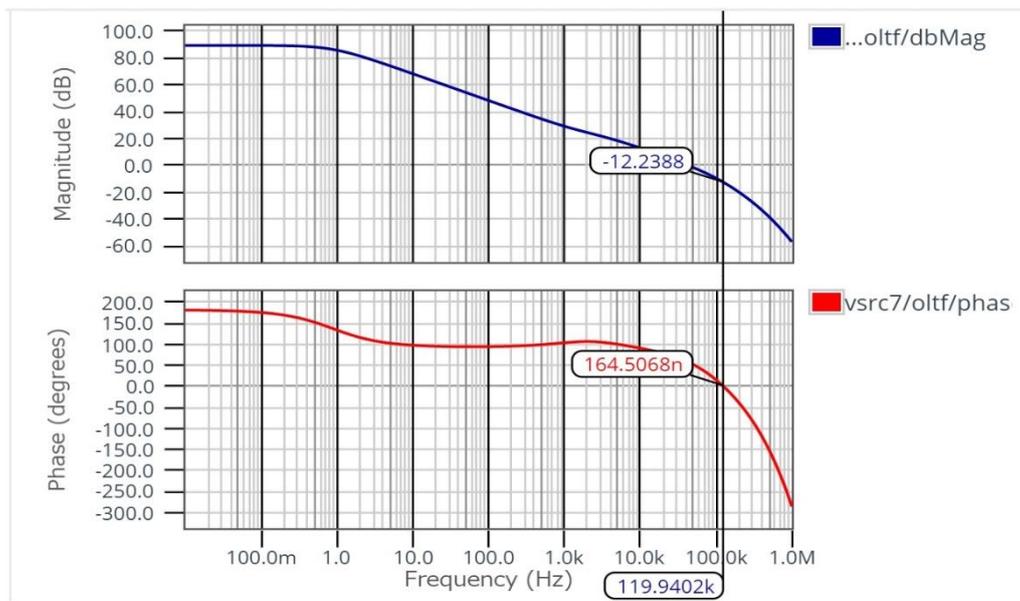
7-1. 相位补偿电路：相位裕量，增益裕量(续)

7. 接下来，将光标移至相位特性变为零的点。实际上，由于仿真分辨率限制，它是最接近零的点。
8. 读取幅度特性的光标值。这是增益裕量值。

最小负载电流 (=0.5A)时的增益裕量



最大负载电流 (=2.0A)时的增益裕量



详细步骤

7-1. 相位补偿电路：相位裕量，增益裕量(续)

通过设计参数示例检查准则，以确保稳定运行

- 如果极点或零点的频率满足以下公式，则可以说操作稳定。

$$1. 0.5 f_{p1} \leq f_{z1} \leq 5 f_{p1}$$

最小负载电流时(= 0.5A)、 $173\text{Hz} \leq 1.69\text{kHz} \leq 1.73\text{kHz}$

最大负载电流时(= 2.0A)、 $865\text{Hz} \leq 1.69\text{kHz} \leq 8.65\text{kHz}$

确认满足标准条件。更具体地，可以说，如果满足以下三个表达式，则将最终实现稳定的操作。

作为参考，假定插入了 fz2 的情况。

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

最小负载电流时(= 0.5A)、 $20.9\text{kHz} \leq 20.6\text{kHz} \leq 83.5\text{kHz}$

最大负载电流时(= 2.0A)、 $20.8\text{kHz} \leq 20.6\text{kHz} \leq 83.3\text{kHz}$

上述公式无法满足。但是您可以更改参数。

通过设计参数示例确认稳定的运行要求

- 使用示例设计参数值来验证您是否满足以下要求：如果满意，您可以判断它运行稳定。

$$1. \text{零交叉频率 } f_c < \frac{\text{开关频率 } f_{sw}}{10}$$

最小负载电流时(= 0.5A)、 $41.7\text{kHz} < 50\text{kHz}$

最大负载电流时(= 2.0A)、 $41.6\text{kHz} < 50\text{kHz}$

可以确认满足条件。

$$2. \text{相位裕量：典型值为 } 45^\circ \text{ 或更大，最差值为 } 30^\circ \text{ 或更大}$$

最小负载电流时(=0.5A)、 $53.6^\circ > 30^\circ$

最大负载电流时(=2.0A)、 $56.1^\circ > 30^\circ$

可以确认满足条件。

$$3. \text{增益裕量：典型值 } -10\text{dB} \text{ 少于，最差值 } -6\text{dB} \text{ 少于}$$

最小负载电流时(=0.5A)、 $-12.1\text{dB} < -6\text{dB}$

最大负载电流时(=2.0A)、 $-12.2\text{dB} < -6\text{dB}$

可以确认满足条件。

详细步骤

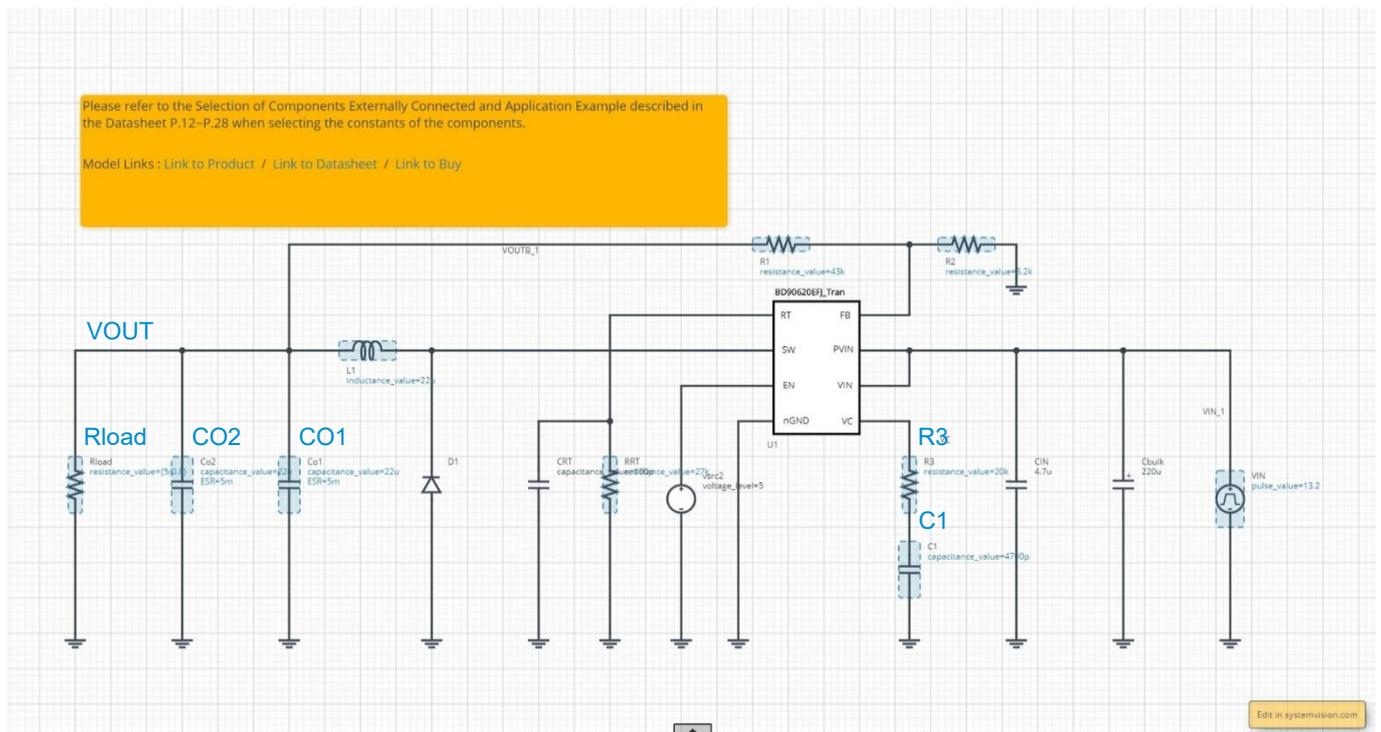
7-2. 相位补偿电路：负载动态响应

使用的仿真器：SystemVision®Cloud

仿真环境和类型：SystemVision®Cloud Time Domain

要设计的外部零件：R3, C1, CO1, CO2

监控点：VOUT



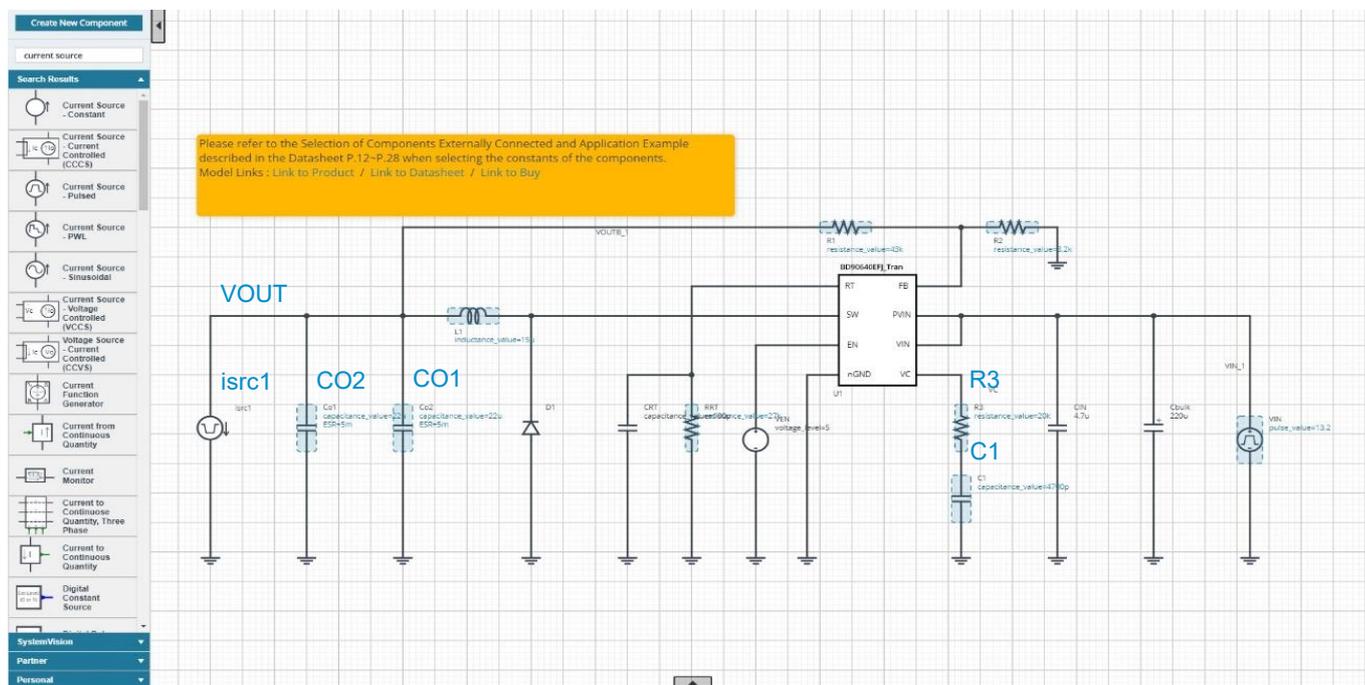
从 ROHM Solution Simulator 中打开“Time Domain”原理图。负载中需要一个可变电流源来仿真负载瞬态响应。在 ROHM Solution Simulator 环境中无法更改原理图，因此请移至 SystemVision®Cloud 环境并继续进行工作。通过单击上图所示的 ROHM Solution Simulator 环境原理图上的“Edit in systemvision.com”按钮，可以移至 SystemVision®Cloud 环境并编辑示意图并执行仿真。

详细步骤

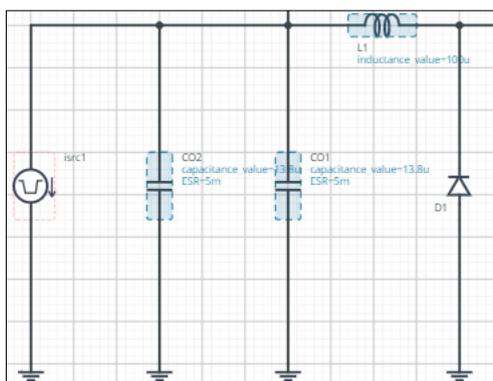
7-2. 相位补偿电路：负载动态响应（续）

更改原理图

- 每个元素的参数都是初始值，因此如有必要，可将其更改为先前设计的值。
- 将负载电阻 Rload 更改为可变电流源。
 1. 移至 SystemVision®Cloud 之后，相关组件将显示在原理图的左侧。
 2. 在搜索组件框中键入“current source”以显示电流源列表。
 3. 选择 Rload，然后按 Delete 键进行删除。
 4. 将“Current Source - Pulsed”拖放到 Rload 所在的位置。



5. 在“Current Source – Pulsed”元素中，电流在初始状态下从 GND 流到 IC。要使电流根据测量方法从 IC 流到 GND，请选择在选择电流源时出现的“Flip Vertical”。(或者，您可以保持原来的方向并使该属性的输入为负。)

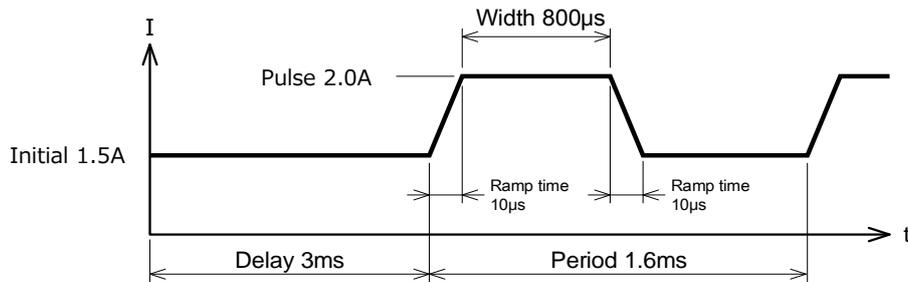


详细步骤

7-2. 相位补偿电路：负载动态响应(续)

设定负载电流

- 瞬态变化的负载电流由上一页上的电流源 isrc1 设置。双击该符号以显示属性并输入值。设置示例如下所示。



负载电流示例

属性值

Property Editor	
Current Source - Pulsed	
Label	isrc1
INITIAL_VALUE	
1.5	A
PULSE_VALUE	
2.0	A
RAMPTIME_INITIAL_TO_PULSE	
10e-6	sec
RAMPTIME_PULSE_TO_INITIAL	
10e-6	sec
START_DELAY	
3e-3	sec
PULSE_WIDTH	
800e-6	sec
PERIOD	
1.6e-3	sec
AC_MAGNITUDE	
0.0	A
AC_PHASE	
0.0	degree

详细步骤

7-2. 相位补偿电路：负载动态响应(续)

设定仿真时间

- IC 的软启动时间为 13.8ms($RRT = 27k\Omega$)，然后设置为 4ms 以检查由于电子负载引起的输出波动。

运行仿真

- 单击 ▶ 运行仿真并等待其完成

信息 仿真时间约为 12 分钟。时间取决于服务器的使用情况。
Advanced Options 建议“Balanced”。

显示波形并确认负载变动电压

1. 将“Waveform Probe”拖放到原理图上的 VOUT 以显示电压波形。
2. 从列表中选择 i(p1)(如果“Current Source – Pulsed”未垂直翻转为“Flip Vertical”，则选择 i(p2))。
3. 要确认负载波动，请将 x 轴扩扩张约 2.8ms 至 4ms，将 y 轴扩扩张约 4.9V 至 5.1V。
4. 右键单击图形以添加光标。
5. 将光标移至 2.8ms 左右的稳态输出电压，最小下冲值和最大过冲值。
6. 从测量值中可以找到下冲率和过冲率，并且可以确认满足设计参数。

(A) 输出电压下冲由下式计算。

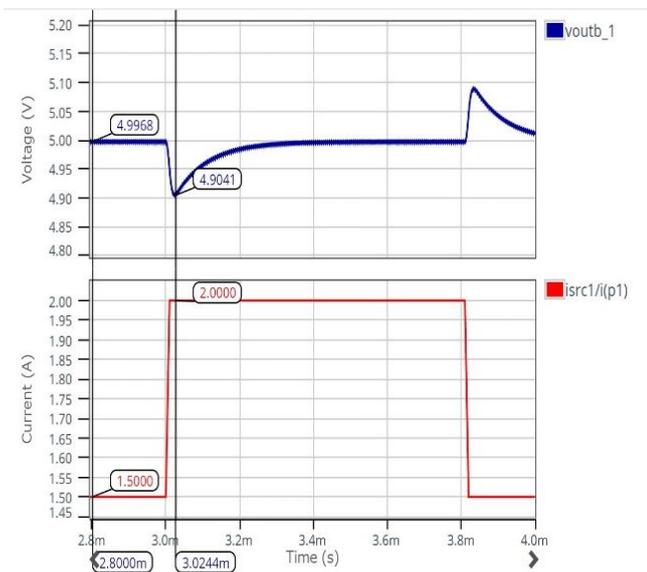
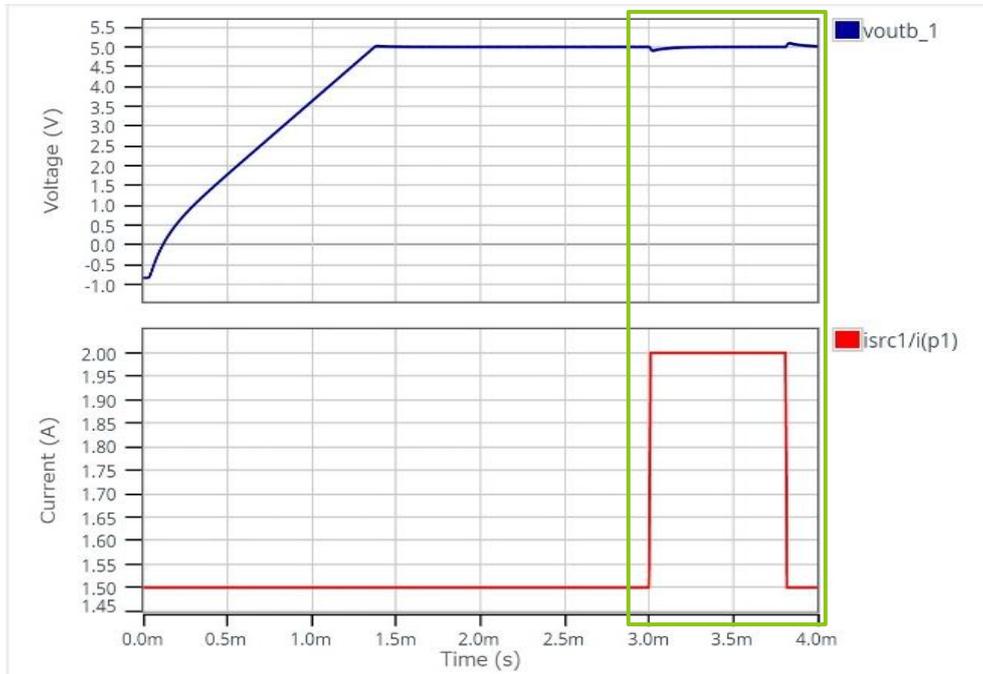
$$(4.9041 \text{ V} - 4.9968 \text{ V}) / 4.9968 \text{ V} \times 100 = -1.86\%$$

(B) 输出电压过冲由下式计算

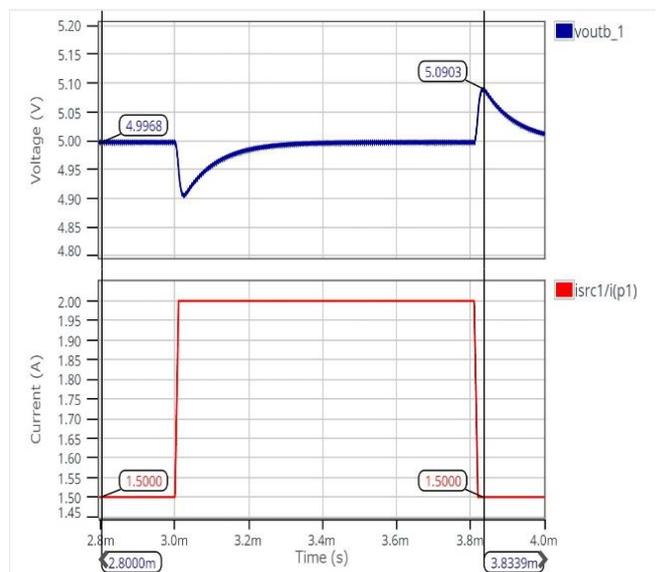
$$(5.0903 \text{ V} - 4.9968 \text{ V}) / 4.9968 \text{ V} \times 100 = +1.87\%$$

详细步骤

7-2. 相位补偿电路：负载动态响应(续)



下冲确认



过冲确认

详细步骤

8. 软启动(续)

设定负载电流

- 负载电流由负载电阻 R_{load} 设置，可以通过以下公式计算。

$$I_{LOAD} = \frac{V_{OUT}}{R_{load}} \quad [A]$$

负载电流设置为 1.5A，这是一个来自设计参数示例的标准值。根据上式，负载电阻为 3.33Ω。

$$R_{Load} = \frac{5}{1.5A} = 3.33 \quad [\Omega]$$

设定仿真时间

- 必须设置比软启动时间更长的时间。软启动时间为 1.38ms($RRT = 27k\Omega$)，但根据其他项目设置为 4ms。

运行仿真

- 单击 ▶ 以运行仿真并等待其完成。

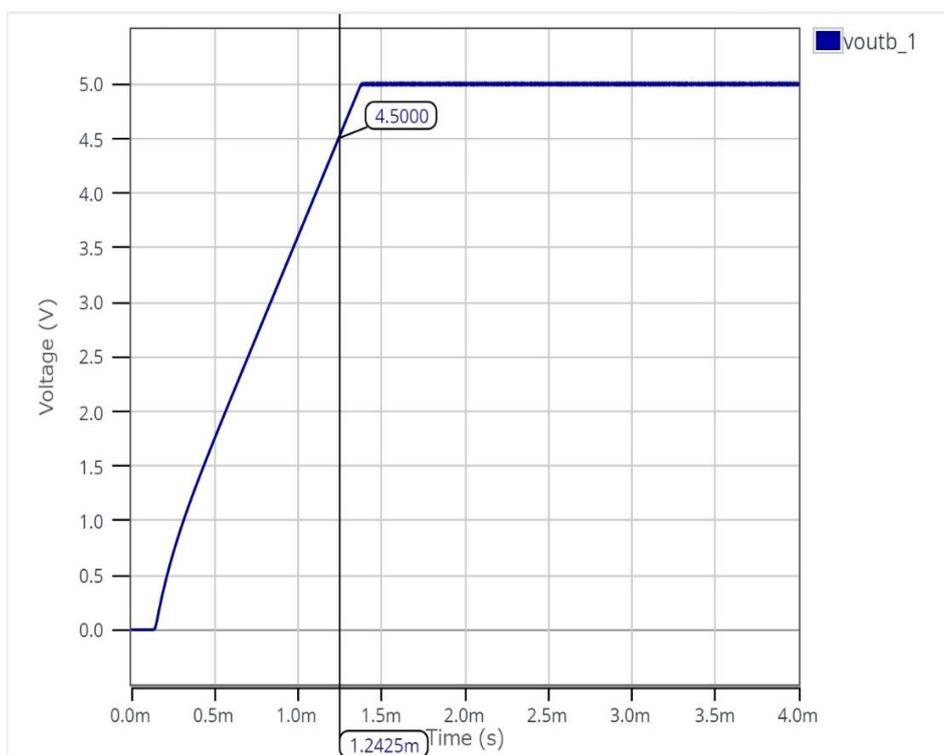
信息 仿真时间约为 14 分钟。时间取决于服务器的使用情况。
Advanced Options 建议“Balanced”。

详细步骤

8. 软启动(续)

显示波形并用光标读取电压值

1. 将“Waveform Probe”拖放到原理图上的 VOUT 以显示波形。
2. 显示光标，然后移至达到输出电压的 90% 的位置。在此示例中，它是 $4.5\text{V} (= 5\text{V} \times 0.9)$ 。读取时间值，并确认它在设计目标值之内。



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

<http://www.rohm.com/contact/>