

# 采用精密 DAC、适用于 SMPS 的电源裕度 调节电路

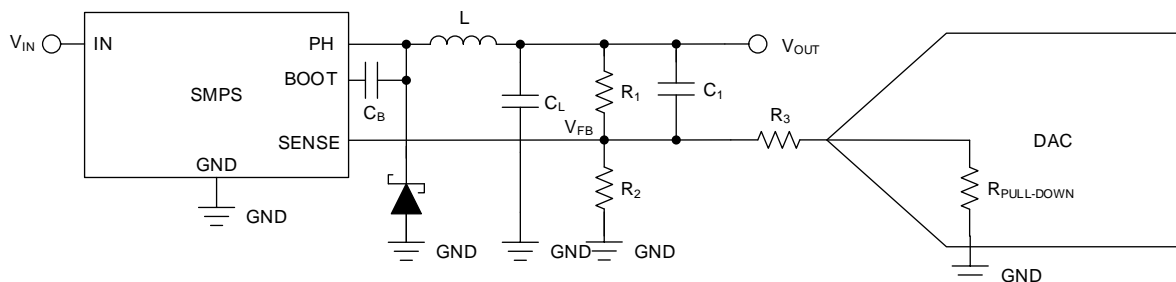
Uttama Kumar Sahu

## 设计目标

| 电源 (DAC VDD) | 标称输出 | 裕度高      | 裕度低      |
|--------------|------|----------|----------|
| 5V           | 5V   | 5V + 10% | 5V – 10% |

## 设计说明

电源裕度电路用于调节电源转换器的输出。这样做可以调整电源输出的失调电压和温漂，或者对所需的输出端值进行编程。LDO 和直流/直流转换器等可调节电源可提供反馈或调节输入，用于设置所需的输出。精密电压输出 DAC 适用于以线性方式控制电源输出。下图显示了一个示例电源裕度调节电路。电源裕度调节的典型应用是测试和测量、通信设备和通用电源模块。



## 设计说明

1. 选择具有所需分辨率、下拉电阻器值和输出范围的 DAC
2. 导出 DAC 输出与  $V_{OUT}$  之间的关系
3. 根据流经反馈电路的典型电流选择  $R_1$
4. 考虑 DAC 的断电和加电条件，计算  $V_{DAC}$  的启动或标称值
5. 选择  $R_2$  和  $R_3$ ，以满足所需的启动输出电压，并且使 DAC 输出电压范围符合所需的调谐范围
6. 计算裕度低和裕度高 DAC 输出
7. 选择补偿电容器，以实现所需的阶跃响应

## 设计步骤

1. 选择开关直流/直流转换器 TPS5450 进行计算。DAC53608 器件是一款适用于此类应用且具有超低成本的 10 位、8 通道、单极输出 DAC
2. 电源的输出电压计算公式为

$$V_{\text{OUT}} = V_{\text{REF}} + I_1 R_1 = V_{\text{REF}} + (I_2 + I_3) R_1$$

其中

- $I_1$  是流经  $R_1$  的电流
- $I_2$  是流经  $R_2$  的电流
- $I_3$  是流经  $R_3$  的电流

该应用中的 DAC 通常包括断电模式，此时电压输出端具有一个内部下拉电阻器。因此，替换前一个公式中的电流值会得到：

- 当 DAC 处于断电模式时：

$$V_{\text{OUT}} = V_{\text{REF}} + \left( \left( \frac{V_{\text{REF}}}{R_2} \right) + \left( \frac{V_{\text{REF}}}{R_3 + R_{\text{PULLDOWN}}} \right) \right) R_1$$

- 当 DAC 输出加电时：

$$V_{\text{OUT}} = V_{\text{REF}} + \left( \left( \frac{V_{\text{REF}}}{R_2} \right) + \left( \frac{V_{\text{REF}} - V_{\text{DAC}}}{R_3} \right) \right) R_1$$

对于 DAC53608， $R_{\text{PULLDOWN}}$  为 10k $\Omega$ 。对于 LDO 器件 TPS5450， $V_{\text{REF}}$  的值为 1.221V。

3. 可以使用以下方法计算  $R_1$ ：  
流经 TPS5450 器件的 FB 引脚的电流可以忽略不计。将  $I_1$  选择为 50 $\mu\text{A}$ 。因此， $R_1$  的计算公式如下：

$$R_1 = \frac{V_{\text{OUT}} - V_{\text{REF}}}{I_1} = 75.6 \text{ k}\Omega$$

可以通过以下公式计算  $I_1$  的标称值：

- 当 DAC 处于断电模式时：

$$I_{1-\text{Nom}} = \left( \frac{V_{\text{REF}}}{R_2} \right) + \left( \frac{V_{\text{REF}}}{R_3 + 10 \text{ k}\Omega} \right)$$

- 当 DAC 输出加电时：

$$I_{1-\text{Nom}} = \left( \frac{V_{\text{REF}}}{R_2} \right) + \left( \frac{V_{\text{REF}} - V_{\text{DAC}}}{R_3} \right)$$

可以通过以下公式来计算裕度高和裕度低输出下的  $I_1$  值：

$$I_{1-\text{HIGH}} = \frac{V_{\text{OUT-HIGH}} - V_{\text{REF}}}{R_1} = 56.6 \mu\text{A}$$

$$I_{1-\text{LOW}} = \frac{V_{\text{OUT-LOW}} - V_{\text{REF}}}{R_1} = 43.4 \mu\text{A}$$

$$I_{1-\text{HIGH}} - I_{1-\text{Nom}} = I_{1-\text{Nom}} - I_{1-\text{LOW}} = 6.6 \mu\text{A}$$

4. 可以使用以下方法计算  $V_{\text{DAC}}$  的标称或启动值：

为了确保在 DAC 从断电转换为加电时 10k $\Omega$  电阻器不产生影响，可以使用以下公式计算 DAC 电压的加电值：

$$\frac{V_{\text{REF}}}{R_3 + 10 \text{ k}\Omega} = \frac{V_{\text{REF}} - V_{\text{DAC}}}{R_3}$$

前一个公式可以进一步简化为:

$$V_{\text{DAC}} = V_{\text{REF}} \left( \frac{10 \text{ k}\Omega}{R_3 + 10 \text{ k}\Omega} \right)$$

5. 可以使用以下方法计算  $R_2$  和  $R_3$  的值:

如果  $V_{\text{DAC}}$  的加电或标称值保持在  $V_{\text{REF}}$  的 1/3 (即 407mV), 则  $R_3$  为  $2 \times 10\text{k}\Omega = 20\text{k}\Omega$ 。此外, 可以使用以下公式计算  $R_2$ :

$$\frac{V_{\text{REF}}}{R_2} + \frac{V_{\text{REF}}}{R_3 + 10\text{k}\Omega} = 50 \mu\text{A}$$

替换  $R_3$  值, 可以计算出  $R_2 = 131.3\text{k}\Omega$ 。

6. 减去  $I_1$  的裕度高和标称值, 相应的公式可以得出:

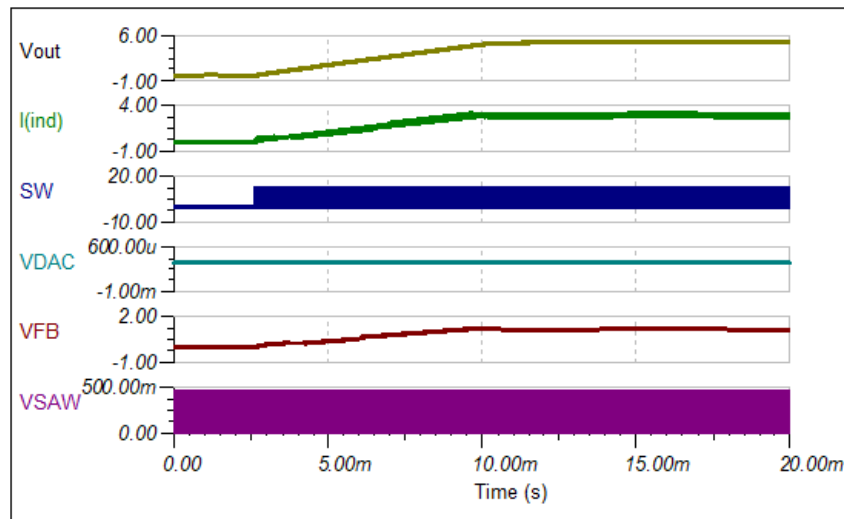
$$\frac{V_{\text{REF}} - V_{\text{DAC}}}{R_3} - \frac{V_{\text{REF}}}{R_3 + 10 \text{ k}\Omega} = 6.6 \mu\text{A}$$

$V_{\text{DAC}}$  的裕度高值为 275mV, 类似地, 可以使用以下公式计算出裕度低值为 539mV:

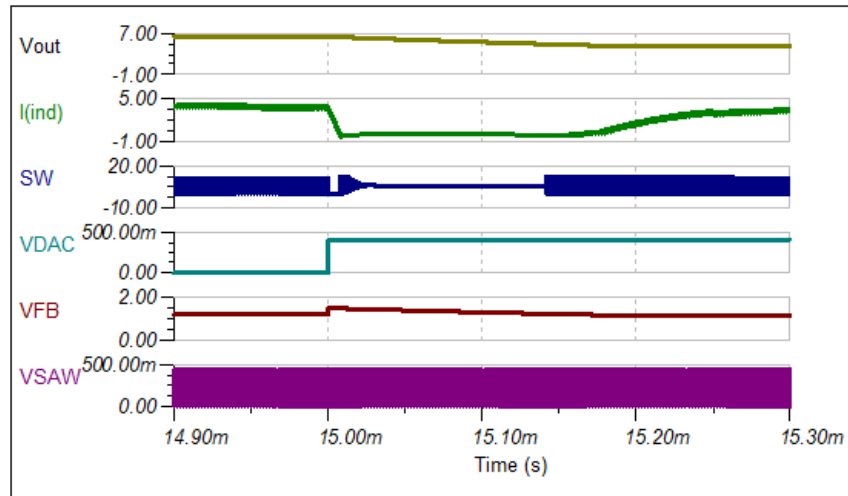
$$\frac{V_{\text{REF}}}{R_3 + 10 \text{ k}\Omega} - \frac{V_{\text{REF}} - V_{\text{DAC}}}{R_3} = 6.6 \mu\text{A}$$

7. 该不包含补偿电容器的电路的阶跃响应会使电感器电流达到其限值, 如下图所示。这种浪涌可以使电感器达到饱和状态。为了最大程度地减小该浪涌, 使用了补偿电容器  $C_1$ , 如电路图所示。通常可以通过仿真来获取该电容的值。比较输出显示了采用 10nF 补偿电容器时的波形。

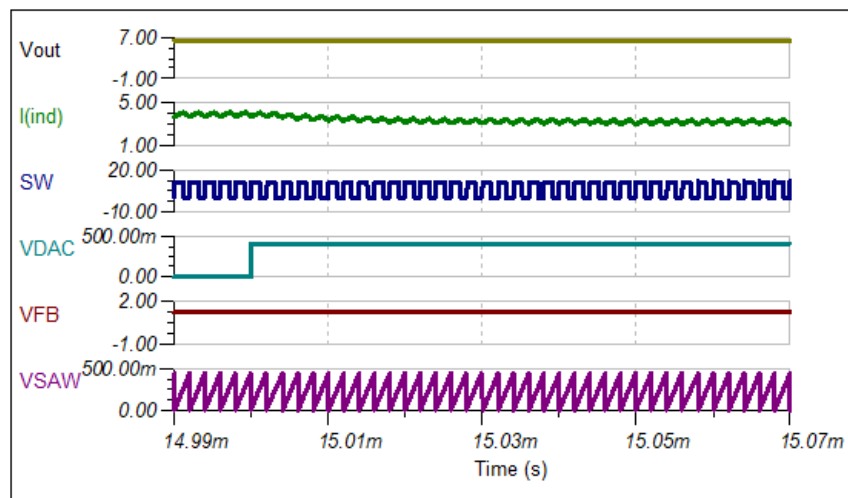
**DAC** 处于断电模式时的输出



无补偿时的小信号阶跃响应



$C_1 = 10\text{nF}$  时的小信号阶跃响应



## 设计采用的器件和替代器件

| 器件       | 主要 特性                                 | 链接  |
|----------|---------------------------------------|---|
| DAC53608 | 8 通道 10 位、I2C 接口、缓冲电压输出数模转换器 (DAC)    | <a href="http://www.ti.com.cn/product/cn/DAC53608">http://www.ti.com.cn/product/cn/DAC53608</a> |
| DAC60508 | 具有精密内部基准电压的 8 通道、真正 12 位、SPI、电压输出 DAC | <a href="http://www.ti.com.cn/product/cn/DAC60508">http://www.ti.com.cn/product/cn/DAC60508</a> |
| DAC60501 | 具有精密内部基准电压的 12 位、1LSB INL 数模转换器 (DAC) | <a href="http://www.ti.com.cn/product/cn/DAC60501">http://www.ti.com.cn/product/cn/DAC60501</a> |
| DAC8831  | 16 位、超低功耗、电压输出数模转换器                   | <a href="http://www.ti.com.cn/product/cn/DAC8831">http://www.ti.com.cn/product/cn/DAC8831</a>   |
| TPS5450  | 5.5V 至 36V 输入、5A、500kHz 降压转换器         | <a href="http://www.ti.com.cn/product/cn/TPS5450">http://www.ti.com.cn/product/cn/TPS5450</a>   |

### 设计参考资料

请参阅《[模拟工程师电路说明书](#)》，了解有关 TI 综合电路库的信息。

### 主要文件链接

TINA 源文件 – <http://www.ti.com/cn/lit/zip/sbam416>。

如需 TI 工程师的直接支持，请使用 **E2E** 社区

[e2echina.ti.com](http://e2echina.ti.com)

## 重要声明和免责声明

TI 均以“原样”提供技术性 & 可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证其中不含任何瑕疵，且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、适合某特定用途或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

所述资源可供专业开发人员应用 TI 产品进行设计使用。您将对以下行为独自承担全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品；(2) 设计、验证并测试您的应用；(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保或其他要求。所述资源如有变更，恕不另行通知。TI 对您使用所述资源的授权仅限于开发资源所涉及 TI 产品的相关应用。除此之外不得复制或展示所述资源，也不提供其它 TI 或任何第三方的知识产权授权许可。如因使用所述资源而产生任何索赔、赔偿、成本、损失及债务等，TI 对此概不负责，并且您须赔偿由此对 TI 及其代表造成的损害。

TI 所提供产品均受 TI 的销售条款 (<http://www.ti.com.cn/zh-cn/legal/termsofsale.html>) 以及 [ti.com.cn](http://www.ti.com.cn) 上或随附 TI 产品提供的其他可适用条款的约束。TI 提供所述资源并不扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品所发布的可适用的担保范围或担保免责声明。

邮寄地址：上海市浦东新区世纪大道 1568 号中建大厦 32 楼，邮政编码：200122  
Copyright © 2019 德州仪器半导体技术（上海）有限公司

## 重要声明和免责声明

TI 均以“原样”提供技术性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证其中不含任何瑕疵，且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、适合某特定用途或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

所述资源可供专业开发人员应用TI 产品进行设计使用。您将对以下行为独自承担全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的TI 产品；(2) 设计、验证并测试您的应用；(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保或其他要求。所述资源如有变更，恕不另行通知。TI 对您使用所述资源的授权仅限于开发资源所涉及TI 产品的相关应用。除此之外不得复制或展示所述资源，也不提供其它TI 或任何第三方的知识产权授权许可。如因使用所述资源而产生任何索赔、赔偿、成本、损失及债务等，TI 对此概不负责，并且您须赔偿由此对TI 及其代表造成的损害。

TI 所提供产品均受TI 的销售条款 (<http://www.ti.com.cn/zh-cn/legal/termsofsale.html>) 以及ti.com.cn上或随附TI产品提供的其他可适用条款的约束。TI提供所述资源并不扩展或以其他方式更改TI 针对TI 产品所发布的可适用的担保范围或担保免责声明。

邮寄地址：上海市浦东新区世纪大道 1568 号中建大厦 32 楼，邮政编码：200122  
Copyright © 2019 德州仪器半导体技术（上海）有限公司