

采用精密 DAC、适用于 LDO 的电源裕度调节电路

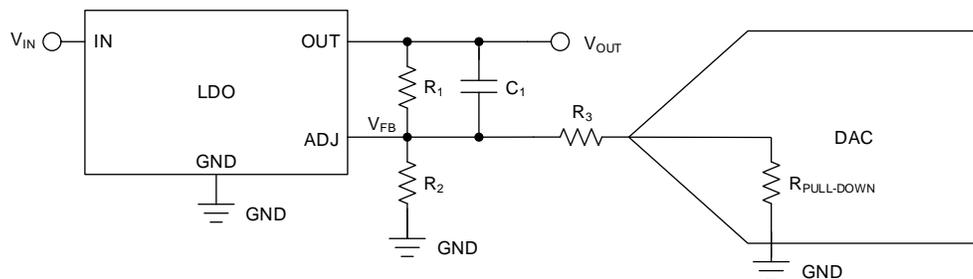
Uttama Kumar Sahu

设计目标

电源 (VDD)	标称输出	裕度高	裕度低
5V	3.3V	3.3V + 10%	3.3V – 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偏移和漂移，或者对所需的输出端值进行编程。一般低压降稳压器 (LDO) 和直流/直流转换器等可调节电源也有提供反馈或调节输入，用于设置所需的输出。一个精密的电压输出数模转换器 (DAC) 是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、通信设备以及电力输送。



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一个 DAC。
2. 导出该 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 值，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 LDO TPS79501 器件进行计算。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：

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

- 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， $R_{\text{PULL-DOWN}}$ 为 10k Ω 。对于 LDO 器件型号 TPS79501， V_{REF} 的值为 1.225V。

3. 可以通过以下方法来计算 R_1 。
流经 TPS79501 的 FB 引脚的电流为 1 μ A。为了使该电流可以忽略不计， I_1 应远大于 I_{FB} 。将 I_1 选择为 50 μ A。使用以下公式计算 R_1 ：

$$R_1 = \frac{V_{\text{OUT}} - V_{\text{REF}}}{I_1} = 41.5 \text{ k}\Omega$$

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：

$$I_{1-\text{HIGH}} = \frac{V_{\text{OUT-HIGH}} - V_{\text{REF}}}{R_1} = 57.95 \mu\text{A}$$

$$I_{1-\text{LOW}} = \frac{V_{\text{OUT-LOW}} - V_{\text{REF}}}{R_1} = 42.05 \mu\text{A}$$

$$I_{1-\text{HIGH}} - I_{1-\text{Nom}} = I_{1-\text{Nom}} - I_{1-\text{LOW}} = 7.65 \mu\text{A}$$

4. 可以使用以下方法计算 V_{DAC} 的标称或启动值：

为了确保在 DAC 从断电转换为加电时 10k Ω 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_{DAC} 的加电或标称值保持在 V_{REF} 的三分之一 (即 408.3mV), 则 R_3 为 $2 \times 10\text{k}\Omega = 20\text{k}\Omega$ 。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 等于 133k Ω 。

6. I_1 的裕度高减去标称值, 相应的公式可以得出

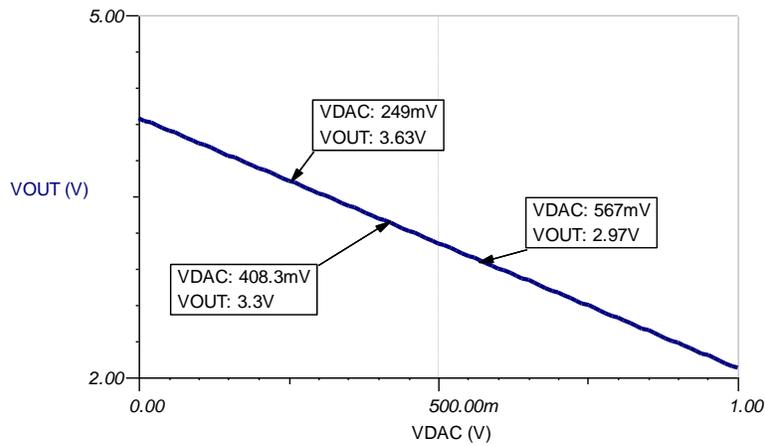
$$\frac{V_{\text{REF}} - V_{\text{DAC}}}{R_3} - \frac{V_{\text{REF}}}{R_3 + 10 \text{ k}\Omega} = 7.95 \mu\text{A}$$

因此, V_{DAC} 的裕度高值将为 249mV, 类似地, 可以通过以下公式计算出裕度低值为 567mV:

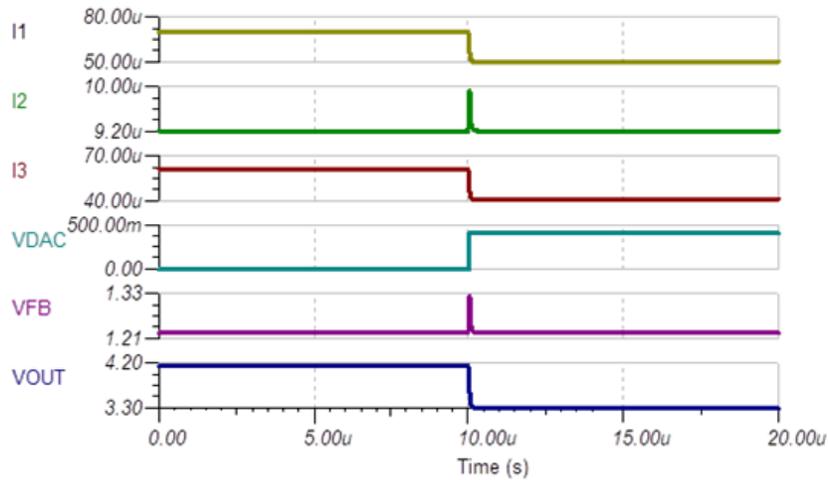
$$\frac{V_{\text{REF}}}{R_3 + 10 \text{ k}\Omega} - \frac{V_{\text{REF}} - V_{\text{DAC}}}{R_3} = 7.95 \mu\text{A}$$

7. 该不包含补偿电容器的电路的阶跃响具有一些过冲和振铃, 如以下曲线所示。这种瞬态响应可能会导致负载电路上出现误差。要最大程度地减小这些误差, 应使用补偿电容器 C_1 。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 22pF 补偿电容器时的波形。

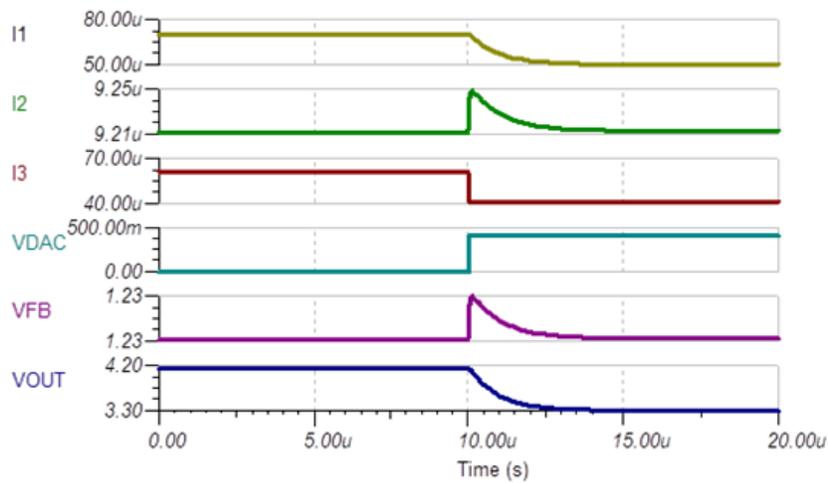
直流传输特性



无补偿时的小信号阶跃响应



$C_1 = 22\text{pF}$ 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 DAC	http://www.ti.com.cn/product/cn/DAC53608
DAC60508	具有精密内部基准的 8 通道、真正 12 位、SPI、电压输出 DAC	http://www.ti.com.cn/product/cn/DAC60508
DAC60501	具有精密内部基准的 12 位、1LSB INL DAC	http://www.ti.com.cn/product/cn/DAC60501
DAC8831	16 位、超低功耗、电压输出 DAC	http://www.ti.com.cn/product/cn/DAC8831
TPS79501-Q1	汽车类单输出 LDO、500mA、可调节（1.2 至 5.5V）、低噪声、高 PSRR	http://www.ti.com.cn/product/cn/TPS79501-Q1

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/sbam415>。

如需 TI 工程师的直接支持，请使用 **E2E** 社区

e2e.ti.com

重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（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，不保证没有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、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(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功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2021，德州仪器 (TI) 公司