

适用于来自单端精密 DAC 的差分输出的电路

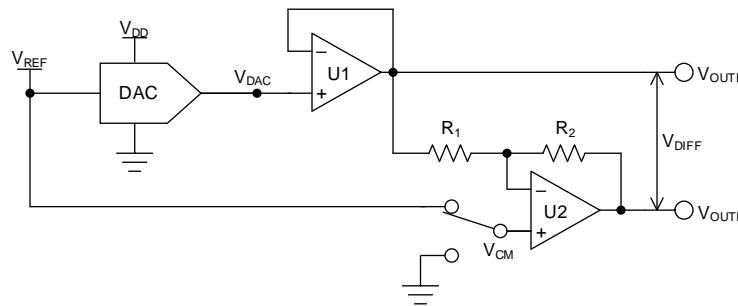
Uttama Kumar Sahu

设计目标

电源	DAC 输出	偏移范围
VCC: 10V, VSS: -10V, VDD: 5V	0V 至 5V	±5V

设计说明

该单端至差分转换电路具有两个运算放大器。它通过单极数模转换器 (DAC) 通道生成双极差分输出。这些类型的电路在低噪声应用（如光学模块、地铁数据中心互连、超声波扫描仪和 X 射线系统）中非常有用。虽然另一种使用全差分放大器 (FDA) 的设计方法对交流性能有利，但运算放大器方法可实现最佳的直流特性。然而，特定的运算放大器或 FDA 会影响两种拓扑的比较。



设计说明

1. 选择具有所需分辨率和输出范围的 DAC
2. 考虑以下关键要求，选择运算放大器以满足系统规格要求：
 - 相对于电源轨的摆幅：对于 5V 电源轨，通常使用轨至轨零交叉失真器件（例如 OPA320 和 OPA365）
 - 失调电压和漂移：该电路相对于 FDA 方法的一项优势是某些运算放大器可能具有很好的直流性能
 - 带宽和静态电流：该电路相对于 FDA 方法的另一项优势是可提供各种运算放大器带宽和相关的静态电流。对于较低的采样率，低带宽、低电流运算放大器可能是最佳选择
3. 选择 R_1 和 R_2 ，以最大程度地减小输出端的热噪声

设计步骤

1. 选择 DAC，如 DAC80501，该器件是一款具有 2.5V 内部基准电压的 16 位单通道缓冲电压输出 DAC。基准输出还可以用作共模电压 (V_{CM})
2. 选择低失真运算放大器（如 OPA320）
3. 以下公式描述了电路的直流传递函数：

$$V_{OUTP} = V_{DAC}$$

$$V_{OUTN} = V_{CM} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) - V_{DAC}$$

- 将 R_1 和 R_2 选择为 $1k\Omega$ ，以实现值为 1 的增益并最大程度地减小噪声。使用 0.1% 容差可最大限度地降低增益误差。
- U1 针对差分输出产生的热噪声具有两条路径：直接通过 U1 以及通过 U2 反转。这两种噪声是相关的，因此它们会直接相加。DAC80501 具有 $74nV/\sqrt{Hz}$ 的输出噪声密度 (e_{n-DAC})，OPA320 具有 $7nV/\sqrt{Hz}$ 的噪声密度 (e_{n-AMP})。U1 的噪声增益 (G_{n-U1}) 为 1。因此，U1 输出所导致的总噪声密度 (e_{n-U1}) 由下式给出：

$$e_{n-U1} = 2 \times \sqrt{(e_{n-DAC})^2 + (e_{n-AMP})^2} = 148.66nV/\sqrt{Hz}$$

- 增益电阻器 R_1 和 R_2 导致的热噪声 (e_{n-R}) 由下式给出：

$$e_{n-R} = \sqrt{4 \cdot K \cdot T \cdot (R_1 \parallel R_2)} = \sqrt{4 \cdot (1.38 \times 10^{-23} J/K) \cdot (298.15K) \cdot (500\Omega)} = 2.87nV/\sqrt{Hz}$$

- U2 导致的不相关噪声密度 (e_{n-U2}) 是增益电阻器的热噪声 (e_{n-R})、U2 的热噪声 (e_{n-AMP}) 和通过 DAC80501 的 V_{REF} 输出进行馈送时 V_{CM} 导致的噪声 (e_{n-VREF}) 的组合。 e_{n-VREF} 为 $140nV/\sqrt{Hz}$ 。U2 的噪声增益 (G_{n-U2})（即 $1+(R_2/R_1)$ ）为 2。因此， e_{n-U2} 可表示为：

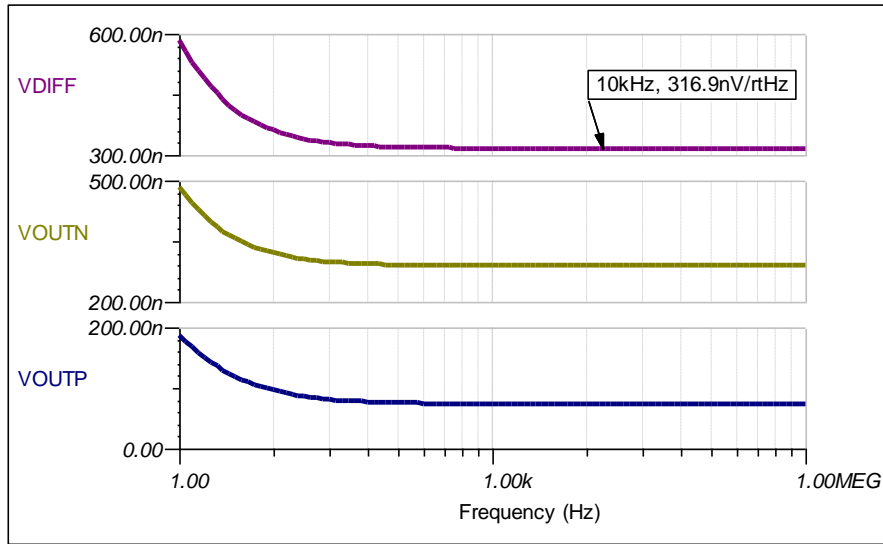
$$e_{n-U2} = \sqrt{(e_{n-VREF} \cdot G_{n-U2})^2 + (e_{n-AMP} \cdot G_{n-U2})^2 + (e_{n-R} \cdot G_{n-U2})^2} = 280.4nV/\sqrt{Hz}$$

- 最后，将 U1 和 U2 产生的噪声结合在一起，我们得到差分输出端的总噪声密度 (e_{n-T})：

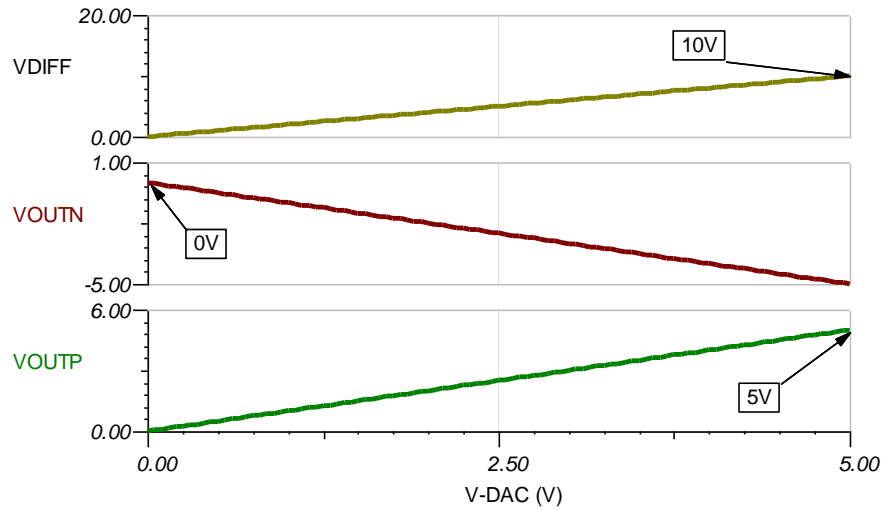
$$e_{n-T} = \sqrt{(e_{n-U1})^2 + (e_{n-U2})^2} = 317.37nV/\sqrt{Hz}$$

下图显示了差分输出端的热噪声仿真值。仿真值 $316.9nV/\sqrt{Hz}$ 接近于计算所得的值。使用等效电阻器对 DAC 输出和 V_{REF} 输出的热噪声进行了仿真，以进行噪声仿真。

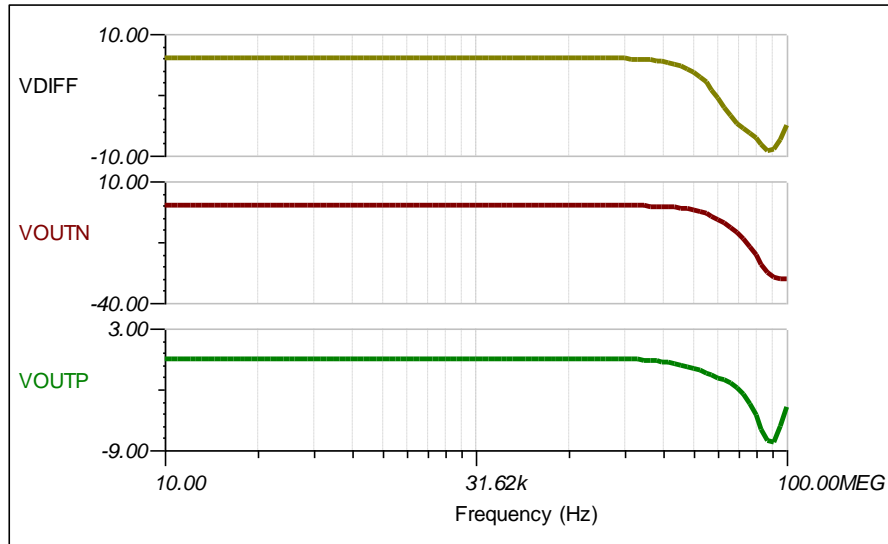
差分输出端的热噪声密度 ($V_{CM} = V_{REF}$)



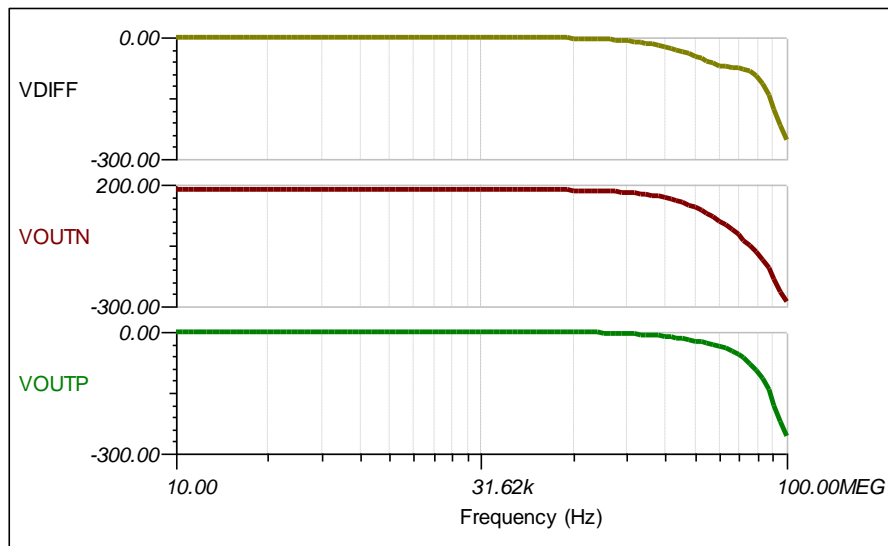
直流传输特性 ($V_{CM} = 0V$)



频率响应 (振幅)

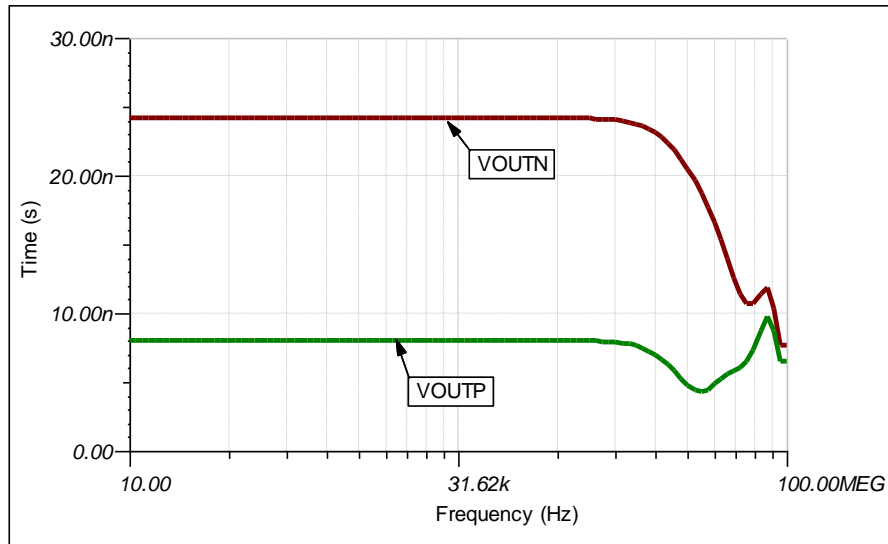


频率响应 (相位)

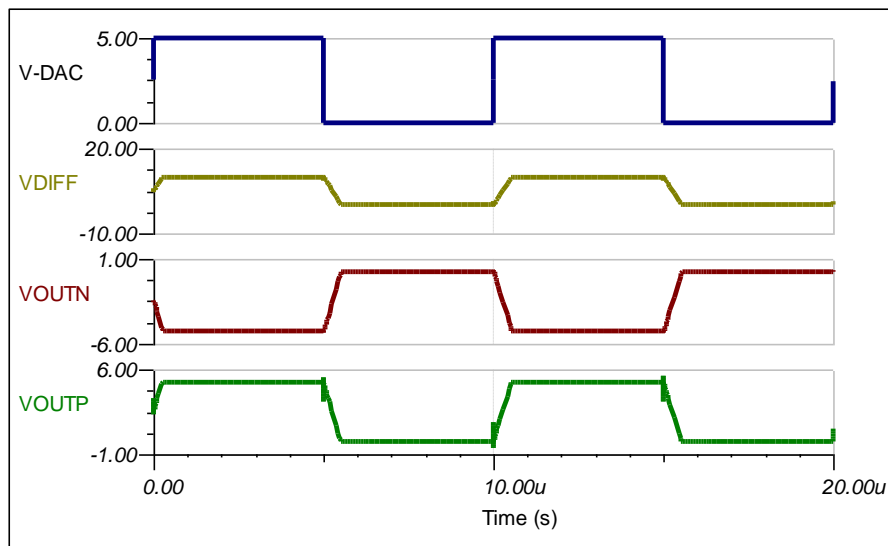


群延迟

群延迟是施加的输入信号和输出信号之间的时间延迟。所有放大器和滤波器都具有群延迟。群延迟是该电路的亮点，因为反相和同相路径都具有不同的群延迟。对于较高频率的信号，这可能会产生失真。有关其他详细信息，请参阅时域图中的群延迟。



输出瞬态响应



设计采用的器件和替代器件

器件	主要 特性	链接
DAC80501	具有精密内部基准电压的 16 位、1LSB INL、数模转换器 (DAC)	http://www.ti.com.cn/product/cn/DAC80501
DAC80508	具有精密内部基准电压的 8 通道、真正 16 位、SPI、电压输出 DAC	http://www.ti.com.cn/product/cn/DAC80508
DAC8562	具有 2.5V、4ppm/°C 基准电压的 16 位、双通道、低功耗、超低干扰、电压输出 DAC	http://www.ti.com.cn/product/cn/DAC8562
OPA320	精密、零交叉、20MHz、0.9pA Ib、RRIO、CMOS 运算放大器	http://www.ti.com.cn/product/cn/OPA320
OPA365	2.2V、50MHz、低噪声、单电源轨至轨运算放大器	http://www.ti.com.cn/product/cn/OPA365

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/sbam419>。

如需 TI 工程师的直接支持，请使用 **E2E** 社区：

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