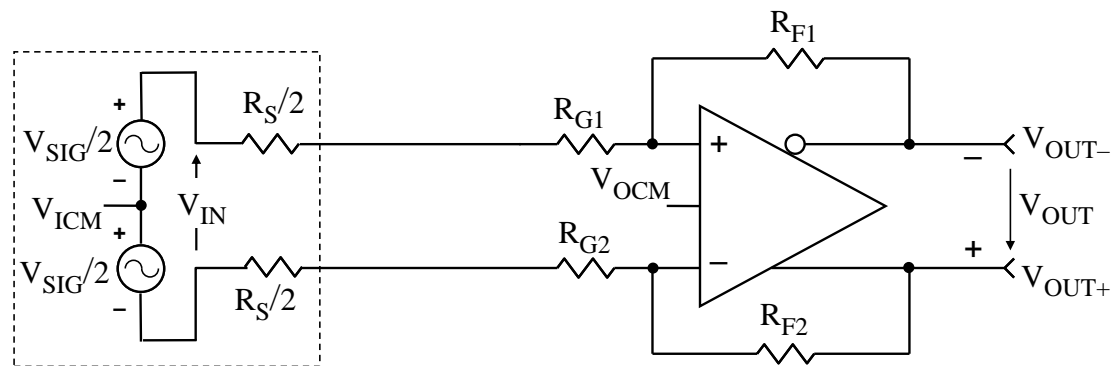


## 差分驱动器分析

差分驱动器可以由单端或差分信号驱动。本教程利用无端接或端接信号源分析这两种情况。

### 情形1：差分输入、无端接信号源

图1显示一个差分驱动器由一个平衡的无端接信号源驱动。这种情况通常是针对低阻抗信号源，信号源与驱动器之间的连接距离非常短。



$$R_{G1} = R_{G2}$$

$$R_{F1} = R_{F2}$$

$$G = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \frac{V_{OUT+} - V_{OUT-}}{V_{SIG}} = \frac{R_{F1}}{R_{G1} + R_S/2}$$

**图1：差分输入、无端接信号源**

设计输入为源阻抗 $R_S$ 、增益设置电阻 $R_{G1}$ 和所需的增益 $G$ 。注意：增益相对于信号电压源 $V_{SIG}$ 进行测量。

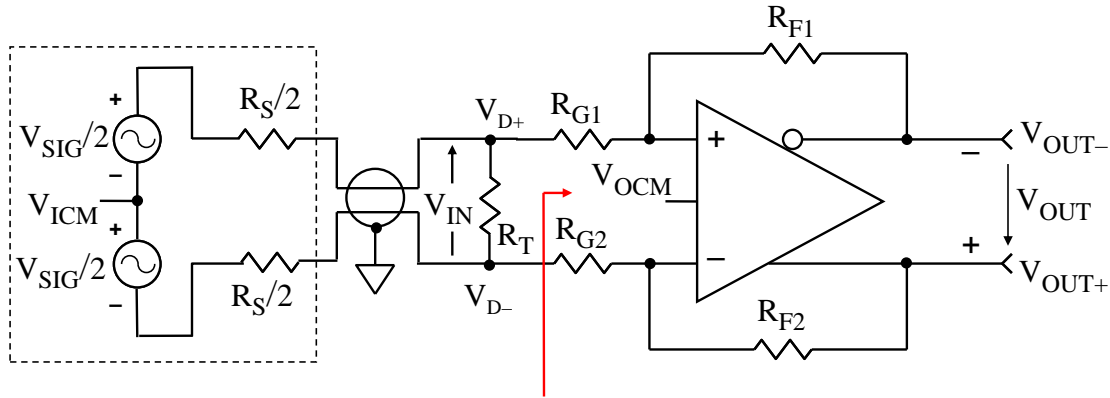
相对于信号源 $V_{SIG}$ ，增益设置电阻的总值等于 $R_{G1} + R_S/2$ 。此外， $R_{G2} = R_{G1}$ 。

这样，所需的反馈电阻值( $R_{F1} = R_{F2}$ )就可以通过下式计算：

$$R_{F1} = R_{F2} = G \left( R_{G1} + \frac{R_S}{2} \right) \quad \text{公式 1}$$

**情形2：差分输入、端接信号源**

许多情况下，差分驱动源需要驱动双绞线，此时必须将双绞线端接为其特征阻抗，以便保持高带宽并使反射最小，如图2所示。



$$R_{IN} = R_{G1} + R_{G2} = 2R_{G1}$$

$$R_{G1} = R_{G2}$$

$$R_{F1} = R_{F2}$$

$$G = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \frac{V_{OUT+} = V_{OUT-}}{V_{D+} - V_{D-}} = \frac{R_{F1}}{R_{G1}}$$

**图2：差分输入、端接信号源**

设计输入为源阻抗 $R_S$ 、增益设置电阻 $R_{G1}$ 和所需的增益 $G$ 。注意：对于端接情形，增益是相对于端接电阻的差分电压( $V_{IN} = V_{D+} - V_{D-}$ )进行测量。

对于平衡的差分驱动，输入阻抗 $R_{IN}$ 等于 $2R_{G1}$ 。端接电阻 $R_T$ 按照如下条件选择： $R_T || R_{IN} = R_S$ ，或者

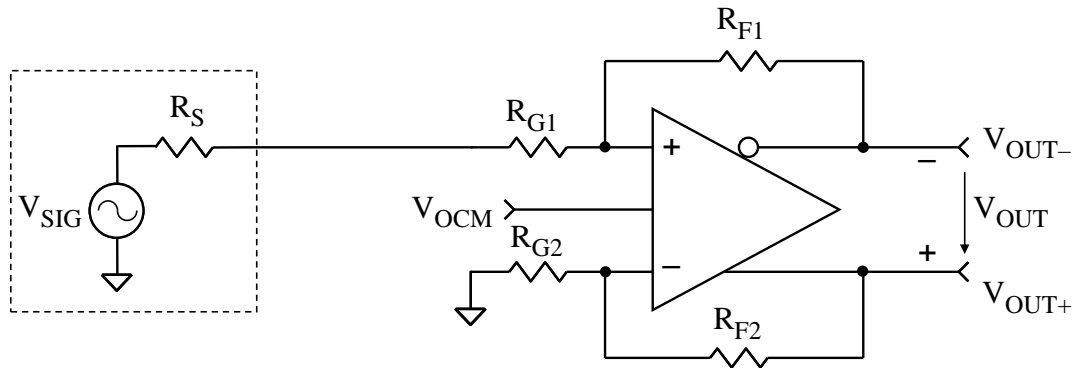
$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_S} - \frac{1}{2R_{G1}}} \tag{公式 2}$$

这样，所需的反馈电阻值( $R_{F1} = R_{F2}$ )就可以通过下式计算：

$$R_{F1} = R_{F2} = G \cdot R_{G1} \tag{公式 3}$$

### 情形3：单端输入、无端接信号源

许多应用中，差分放大器会提供一种有效的途径将单端信号转换成差分信号。图3显示的是无端接单端驱动器的情形。



$$R_{G2} = R_{G1} + R_S$$

$$R_{F1} = R_{F2}$$

$$G = \frac{V_{OUT}}{V_{SIG}} = \frac{V_{OUT+} - V_{OUT-}}{V_{SIG}} = \frac{R_{F1}}{R_{G1} + R_S}$$

**图3：单端输入、无端接信号源**

设计输入为源阻抗 $R_S$ 、增益设置电阻 $R_{G1}$ 和所需的增益 $G$ 。注意：增益相对于信号电压源 $V_{SIG}$ 进行测量。

为了防止 $V_{OCM}$ 在差分输出端产生不良的失调电压，差分放大器的两个输入端看到的净阻抗必须相等。因此，

$$R_{G2} = R_{G1} + R_S \quad \text{公式 4}$$

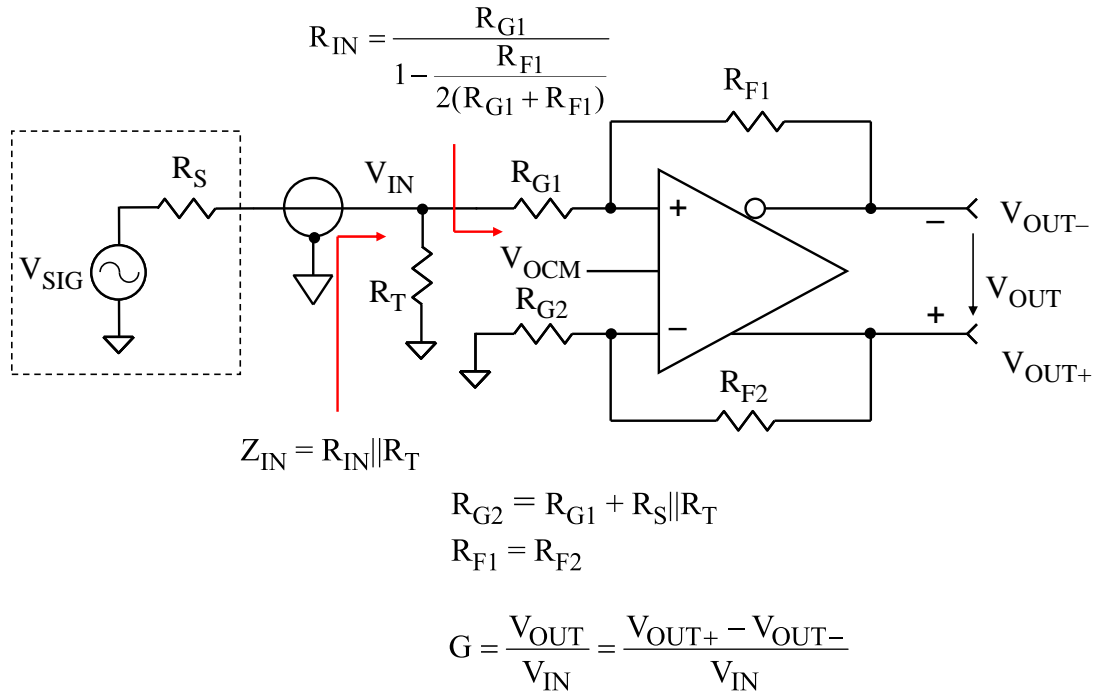
这样，反馈电阻值就可以通过下式计算：

$$R_{F1} = R_{F2} = G(R_{G1} + R_S) \quad \text{公式 5}$$

**情形4：单端输入、端接信号源**

图4显示一个极常见的应用，其中单端信号源驱动一条同轴电缆；为使反射最小并且保持高带宽，必须适当端接同轴电缆。

设计输入为源阻抗 $R_S$ 、增益设置电阻 $R_{G1}$ 和所需的增益 $G$ 。注意：增益相对于端接电阻的电压 $V_{IN}$ 进行测量。



**图4：单端输入、端接信号源**

已知所需的增益 $G$ 、增益设置电阻 $R_{G1}$ 和信号源电阻 $R_S$ ，计算反馈电阻 $R_{F1A}$ 的初始值。此电阻的最终值将会略有提高，原因是需要提高 $R_{G2}$ 以匹配输入阻抗，这将通过后面的公式计算。计算过程如下：

$$R_{F1A} = G \cdot R_{G1} \tag{公式 6}$$

$$R_{IN} = \frac{R_{G1}}{1 - \frac{R_{F1A}}{2(R_{G1} + R_{F1A})}} \tag{公式 7}$$

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_S} - \frac{1}{R_{IN}}} \quad \text{公式 8}$$

$$R_{TS} = \frac{R_S R_T}{R_S + R_T} \quad \text{公式 9}$$

$$R_{G2} = R_{G1} + R_{TS} \quad \text{公式 10}$$

输入电压 $V_{IN}$ 与信号源电压 $V_{SIG}$ 具有如下关系：

$$V_{IN} = V_{SIG} \left[ \frac{R_T \parallel R_{IN}}{(R_T \parallel R_{IN}) + R_S} \right] \quad \text{公式 11}$$

$$V_{SIG} = V_{IN} \left[ \frac{(R_T \parallel R_{IN}) + R_S}{R_T \parallel R_{IN}} \right] \quad \text{公式 12}$$

为了计算反馈电阻的最终值，使用图5所示的戴维宁等效电路。

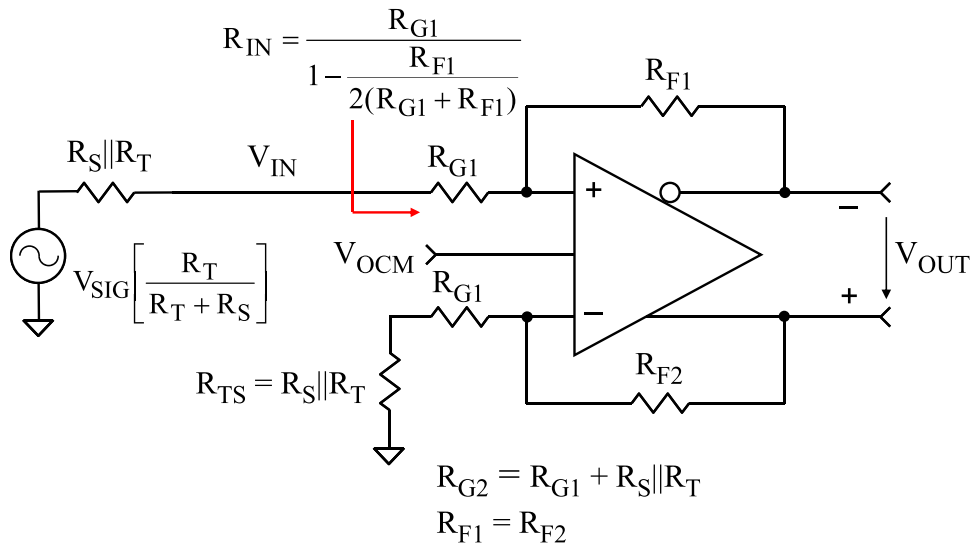


图5：戴维宁等效输入电路

输出电压可以表示为源电压的函数：

$$V_{OUT} = V_{SIG} \left[ \frac{R_T}{R_T + R_S} \right] \left[ \frac{R_{F2}}{R_{G2}} \right] \quad \text{公式 13}$$

将求解 $V_{SIG}$ 的公式12代入公式13：

$$V_{OUT} = V_{IN} \left[ \frac{(R_T \parallel R_{IN}) + R_S}{R_T \parallel R_{IN}} \right] \left[ \frac{R_T}{R_T + R_S} \right] \left[ \frac{R_{F2}}{R_{G2}} \right] \quad \text{公式 14}$$

$$G = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \left[ \frac{(R_T \parallel R_{IN}) + R_S}{R_T \parallel R_{IN}} \right] \left[ \frac{R_T}{R_T + R_S} \right] \left[ \frac{R_{F2}}{R_{G2}} \right] \quad \text{公式 15}$$

正确端接时， $R_S = R_T \parallel R_{IN}$ ，因此公式15可以简化为：

$$G = \left[ \frac{2R_T}{R_T + R_S} \right] \left[ \frac{R_{F2}}{R_{G2}} \right] \quad \text{公式 16}$$

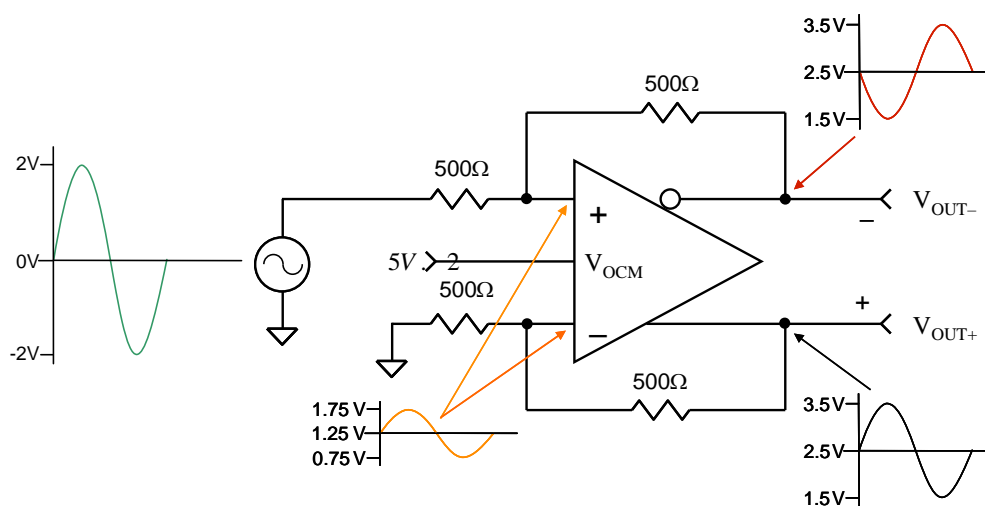
通过公式16求解 $R_{F2} = R_{F1}$ ：

$$R_{F2} = R_{F1} = G \left[ \frac{R_{G2}(R_S + R_T)}{2R_T} \right] \quad \text{公式 17}$$

### 共模输入和输出考虑

使用差分放大器时必须小心，确保不要超过输入和输出共模电压范围，单电源应用中尤其需要注意。

图6所示为差分放大器的一个应用：为了驱动一个ADC，必须将以地为基准的单端双极性信号转换成差分信号。本例中，ADC的共模输入电压为+2.5 V，ADC的差分输入摆幅为4 V p-p。如果电源电压至少为+5 V，那么有许多差分放大器可以处理该输出摆幅。



- ◆ Input CM Voltage is a Scaled Replica of the Input Signal
- ◆ Input CM Voltage Partially Bootstraps  $R_g$ , Raising Effective Input Resistance
- ◆ Single-Supply Application can Accept Bipolar Input
- ◆ Must Ensure That Input Common-Mode Voltage Stays Within Specified Limits

**图6：采用双极性输入信号时单端差分转换器的输入/输出共模要求**

图6同时显示了放大器(+)和(-)引脚的对应输入信号摆幅。注意，它是输入信号的缩放形式。这种情况下，差分放大器必须支持+0.75 V至+1.75 V的输入共模电压范围。同样，许多差分放大器满足这一要求。

图7所示为差分放大器转换单端单极性信号的应用。

此时，共模输出电压设置为+2 V。输入信号摆幅为0 V至+4 V。放大器输入引脚的对应信号摆幅为+1.5 V至+2.5 V。放大器输出摆幅必须为+1 V至+3 V。采用所需的电源电压工作时，所选的差分放大器必须支持上述要求。

[ADIsimDiffAmp](#)交互式设计工具可以为ADI公司的各种差分放大器执行上述输入/输出信号计算，从而大大简化选型过程。如果信号超出输入或输出的容许范围，就会产生错误标志。

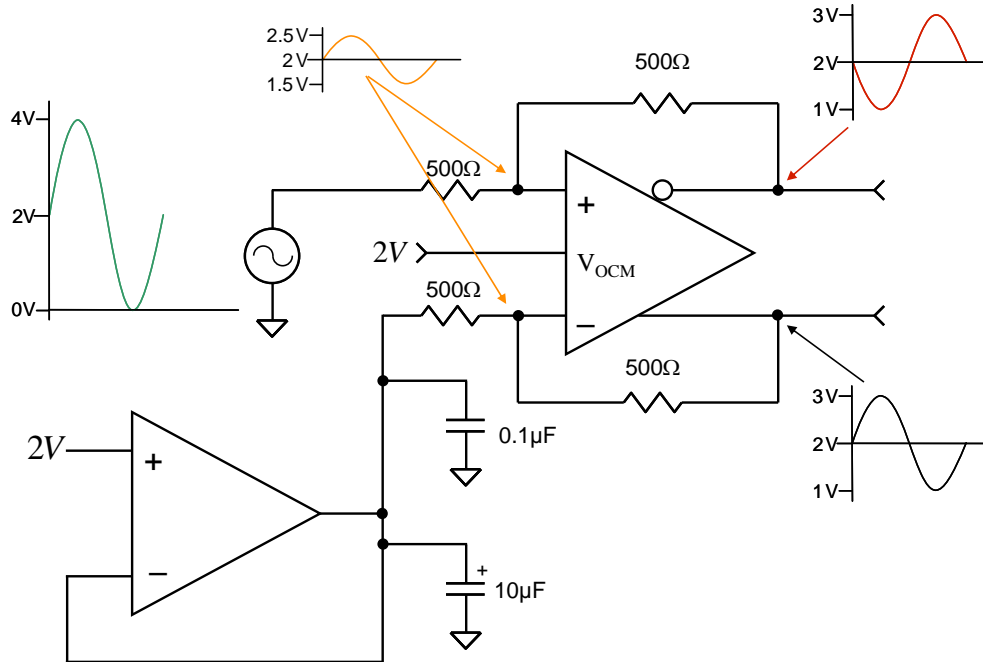


图7：采用单极性输入信号时单端差分转换器的输入/输出共模要求

### 交流耦合驱动器应用

差分驱动器的交流耦合应用相当简单。图8显示了一个典型的单端转差分交流耦合驱动器。注意：为了实现最佳失真性能，各输入端的阻抗必须平衡。输入电路的低频截止频率等于：

$$f_C = \frac{1}{2\pi R_{G1} C_C} \quad \text{公式 18}$$

所选的 $C_C$ 值应使得此频率至少比最小目标信号频率低10倍。



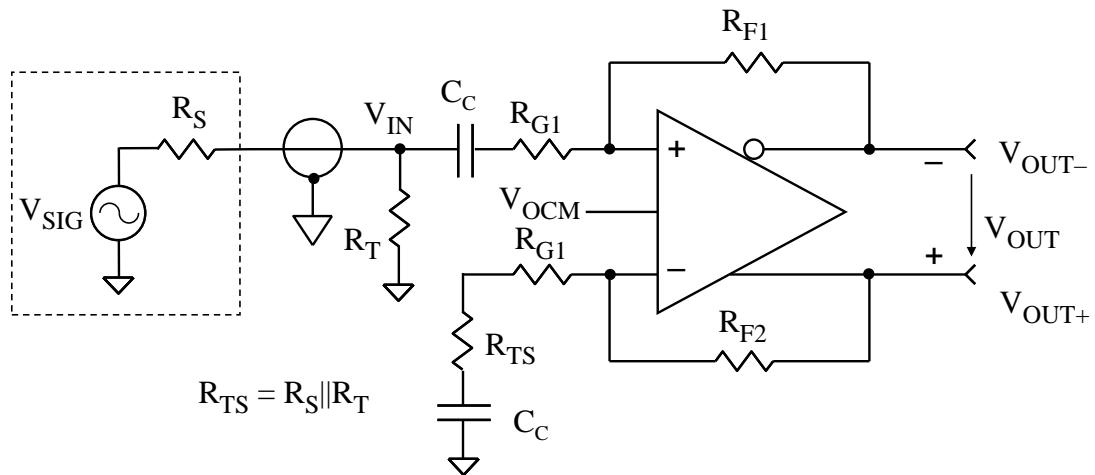


图8：典型交流耦合驱动器应用

### 参考文献

1. Hank Zumbahlen, *Basic Linear Design*, Analog Devices, 2006, ISBN: 0-915550-28-1. Also available as [Linear Circuit Design Handbook](#), Elsevier-Newnes, 2008, ISBN-10: 0750687037, ISBN-13: 978-0750687034. Chapter 2.
2. Walter G. Jung, *Op Amp Applications*, Analog Devices, 2002, ISBN 0-916550-26-5, Also available as [Op Amp Applications Handbook](#), Elsevier/Newnes, 2005, ISBN 0-7506-7844-5. Chapter 3.
3. Walt Kester, *Analog-Digital Conversion*, Analog Devices, 2004, ISBN 0-916550-27-3, Chapter 6. Also available as [The Data Conversion Handbook](#), Elsevier/Newnes, 2005, ISBN 0-7506-7841-0, Chapter 6.
4. Walt Kester, *High Speed System Applications*, Analog Devices, 2006, ISBN-10: 1-56619-909-3, ISBN-13: 978-1-56619-909-4, Chapter 2.
5. [ADIsimDiffAmp](#), an Analog Devices' on-line interactive design tool for differential amplifiers.

Copyright 2009, Analog Devices, Inc. All rights reserved. Analog Devices assumes no responsibility for customer product design or the use or application of customers' products or for any infringements of patents or rights of others which may result from Analog Devices assistance. All trademarks and logos are property of their respective holders. Information furnished by Analog Devices applications and development tools engineers is believed to be accurate and reliable, however no responsibility is assumed by Analog Devices regarding technical accuracy and topicality of the content provided in Analog Devices Tutorials.