

LM4140,LMP7702,LMP7704

Application Note 1559 Practical RTD Interface Solutions



Literature Number: ZHCA271

实际的RTD接口 解决方案

美国国家半导体公司
应用注释1559
Chris Eckert, Ron Bax
2007年6月



1.0 用途

本应用注释致力于讨论电阻温度器件及其常用的接口。

在一种工业环境下，要求对宽频谱中存在的纵向噪声在电路接口处进行良好的共模抑制。

本文介绍了纵向平衡以及如何改善对纵向噪声的接口响应进行了简要讨论。

文中还介绍了可以提供更好的纵向平衡的电路结构以及为实现最佳性能给出的一些设计建议。

2.0 RTD回顾

2.1 RTD 说明

可以采用几种方法来制造RTD（电阻温度检测器），但最常用的方法还是依据铂金的温度特性。铂具有可预测的温度特性，可以采用很多不同的方法来对其进行控制和配置。

最常见的是采用铂线缠绕玻璃或者陶瓷和铂薄膜芯片的设计。

本文为设计者提供了多种类型的RTD设计，但是这种讨论仅局限于一些最常用的设计。

2.2 RTD标准

一种国际标准EN 60751定义了铂温度传感器的详细电气特性。该标准包含了电阻与温度、容差、曲线和温度范围的关系列表。

2.3 RTD规格

三种常见的RTD分别是PT100，PT500和PT1000。

3.0 2线、3线和4线配置

温度传感器可以采用以下几种方式来配置：

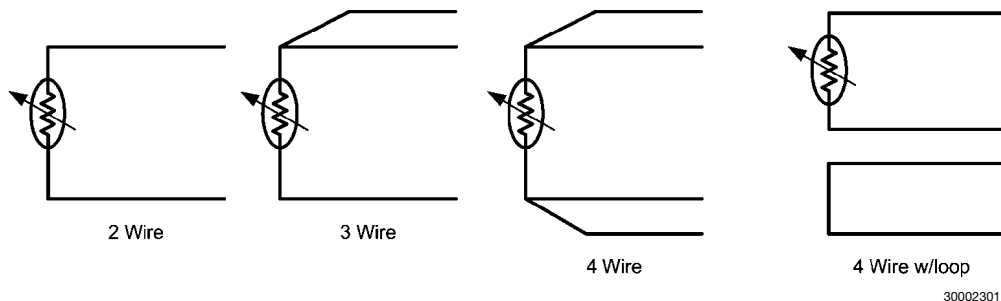


图1. 标准电路

2线制—当连接线的寄生电阻值已知且不会变化时，采用这种配置。可稍后在信号路径中通过计算来对电路实施补偿。

100，500和1000分别表示在0°C处的相应阻值。从-200°C变化至0°C的范围，它们的阻值与温度的特性可以由一个三阶多项式来描述

$$R=R_0(1+At+Bt^2+C(t-100)t^3)$$

从0°C变化至850°C的范围，器件可由一个二阶多项式来描述：

$$R=R_0(1+At+Bt^2)$$

系数为： $A = 3.9083 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ， $B = -5.775 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}$ ， $C = -4.83 \times 10^{-12} \text{ } ^\circ\text{C}^{-3}$

2.4 建议

- 对于高精度应用，请牢记这些传感器并不是严格线性的。在信息被数字化后获得精确的温度读数，上述的多项式可用于微型计算机中。
- 对于高精度应用，采用更高数值的电阻传感器，可以提高灵敏度和精度（PT100）。
- 更高阻值的传感器要求更高的单个电源电压，甚至会需要两个电源。为获得线性性能而有足够的裕量。
- 选择合适的电流驱动水平将传感器自身发热量降到最低。每种传感器的可接收电流水平和所允许的测量误差都可容易地计算得到。
- 为数据采集系统选择采样间隔时，请牢记这些传感器存在响应时间。

3线制—这种配置允许设计者来监测带有Kelvin连接的电流环路的一侧。对环路电阻的压降进行测量和补偿。为用户只提供三根线。

4线制 – 这种配置允许设计者监测在RTD两端上带有Kelvin连接的电流环路的两端。这也衍生出针对不同长度线路的其它精度测量以及补偿方法。

3.1.4 线接口

在图1所示为激励RTD的常用电路

带环路4线制 – 这种配置类似于4线，但在这里设计者可以选择如何去测量环路中的损耗。线路阻抗的测量与RTD环路无关。设计者不需依赖在RTD处的良好Kelvin连接。正因为此，可以实现更高的精度和可靠性。

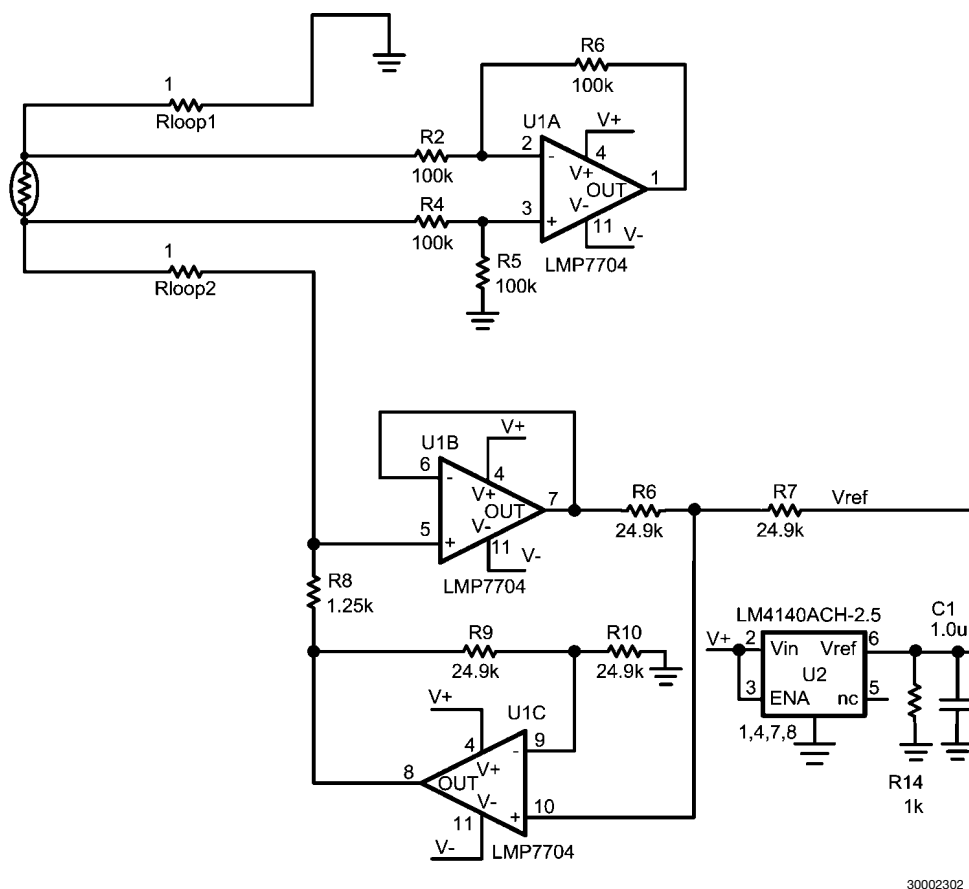


图2.

采用恒流驱动器，容易控制RTD的自身发热。灵敏度更高的RTD（更高阻抗）要求采用更低的电流驱动器，以实现良好的精确性和最小的自身发热。

LM4140是一款高精度、低噪声电压基准源。

LMP7704是一款四通道高精度CMOS输入，RRIO宽幅电源范围的放大器。

3.1.1 电路理论

3.1.1.1 电流源

在图1中，U1B和U1C组成自举电流源，其中

$$I = \frac{V_{ref}}{R8}$$

因为U1C引脚5的输入阻抗非常高，流经R6的电流大约等于R7中的电流。

$$V_{IN}U1C = \frac{V_{ref} - V_{OUT}U1B}{2} + V_{OUT}U1B \therefore V_{IN}U1C = \frac{V_{ref} + V_{OUT}U1B}{2}$$

$$V_{OUT}U1C = 2 \left[\frac{V_{ref} + V_{OUT}U1B}{2} \right] = V_{ref} + V_{OUT}U1B$$

$$V_{OUT}U1B = V_{IN}U1B$$

$$VR8 = V_{OUT}U1C - V_{IN}U1B$$

$$VR8 = V_{ref} + V_{OUT}U1B - V_{IN}U1B$$

$$\therefore$$

$$VR9 = V_{ref} \text{ (No matter what } V_{IN}U1B \text{ is)}$$

3.1.1.2 差分接收放大器

U1A是一款Kelvin连接的差分放大器，例如，因为差分放大器的高输入阻抗的缘故，连接到线对而不会携带激励电流。实际上，少量电流还是会流入这些输入端，当设定电流时应将它们考虑在内。

3.2 建议

- 本电路可容纳一个电阻传感器，其范围从大约80Ω至1.1k，在单个5V电源电压下工作。
- 更高的阻抗范围要求有更高的电源电压VCC。
- 任何等于或低于80Ω的电阻都需要一个负电源，以精确地提供接近0.0Vdc的输出。
- 在RTD的长线环路上出现显著的纵向电压时，本电路将无法工作。在这种环境下，可采用平衡电路。
- 采用电阻网络以保持与对方线对上的相似阻值作紧密匹配。
- 关于该运算放大器的Spice模型在www.national.com上提供。采用SPICE仿真程序，可以选定合适的电阻值。

4.0 纵向平衡

一旦传感器与电子电路接口分离超过1米左右，且环境中包含共模噪声时，考虑平衡性是很重要的。如果线路经过较好的平衡，且接收器是差分型，则它们可以抑制共模噪声。

4.1 理解平衡

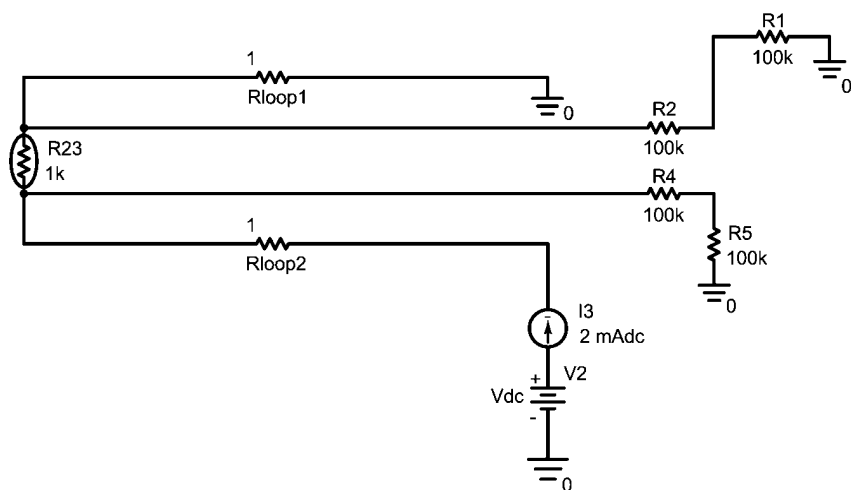
关注电缆线路平衡的一种简单方法是检查每个导线对地的阻抗值。从直流电路开始是一个好的起点。

当确定线对的平衡时，会发现每条线的对地等效阻抗。在这种情况下，我们仅观察直流电路，所以观察每条线对地的等效直流阻抗就足够了；在一侧上R1对地，在另一侧上是R2对地。

$$BAL_{dB} = 20 * \log \left[\frac{R1 - R2}{R1 + R2} \right]$$

这种熟悉的总和与差值公式是比较两种阻值（R1和R2）的好办法。结果是电阻值非常接近时，以dB为单位的平衡有较大数值，可以随意将总和放在顶部，将差值放在底部；如此仅改变了结果的符号。指导思想就是获得一个较大数值。

如果将该分析用于图2和图3的电路，平衡将不再存在。电路表示为在一侧上的高阻抗电流源和另一侧上的接地端。



30002306

图3. 图2电路的等效平衡电路

因为对地阻抗差别很大，携流的环路将共模噪声转换至电压测量环路中的差分噪声。BAL=0.0

这个噪声将会出现在接收器的差分输入端上，并进入采样系统中。通过增加少许器件，可以实现较好的平衡。

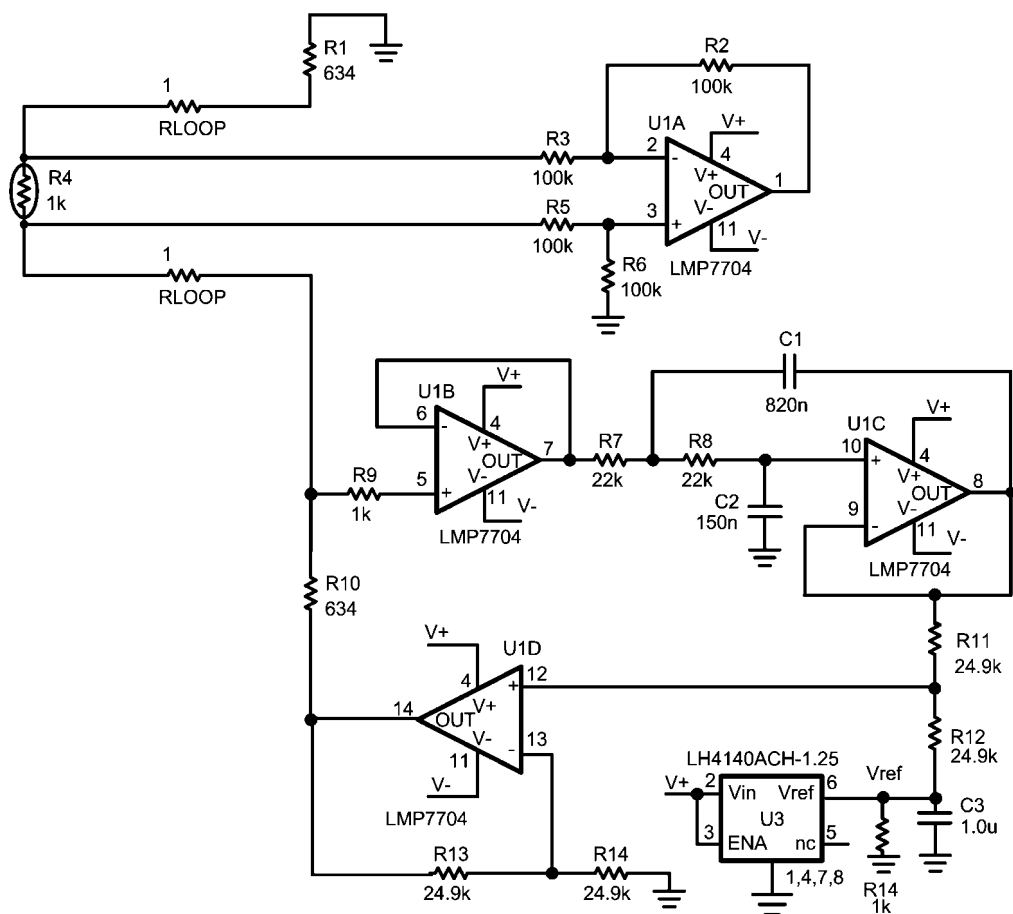
5.0 平衡的2线和4线接口

在图4中，增添一个 634Ω 的电阻（R1）和低通滤波器（U1C、R7、R8、C1和C2）可以改善输入平衡。电压基准被减半，R10也被减半（ 634Ω ），将环路中的电压摆幅保持在直流10V电压范围内。直流电路不受影响。

回到环路电流电路，可以看到共模电压在一端通过一个 634Ω 接地，并在另一端通过 634Ω 的电阻接至U1D的输出端。U1D的输出端看上去就像在U1C低通滤波器的截止频率内的良好交流接地。选择Salen Key低通滤波器F3 db来衰减60Hz，120Hz和180Hz的频率。在这些频率处可以保持极好的共模抑制（CMR）。这些是在工业环境中的常见纵向噪声源。

若需在更高频率下的共模抑制，应采用较高频率的运算放大器。

在直流工作时，电路表现为一个高阻抗电流源。参见图5。



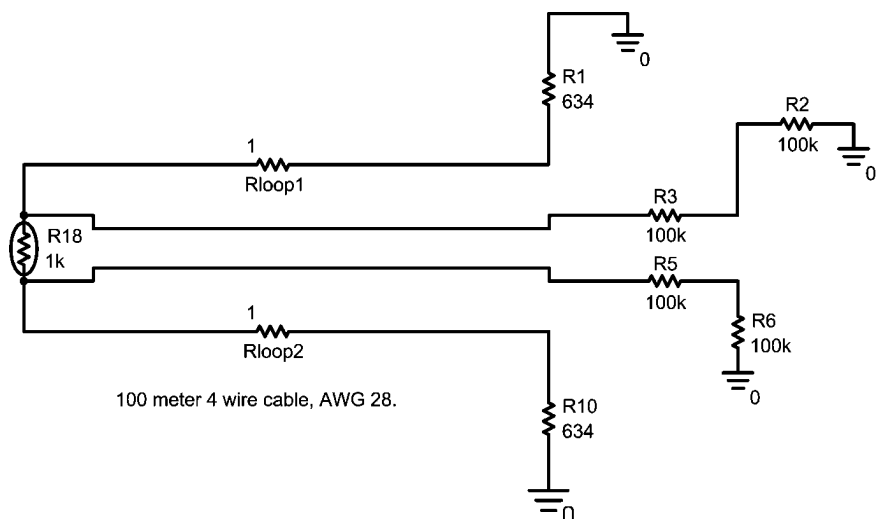
30002307

图4.

5.1 建议

- 根据RTD的阻抗范围，可能需要改变电压源。
- 对于该电压基准，必须保持V+为直流5V。
- 对于极低阻抗范围的RTD，-2 VDC的负电压轨将会与10.0VDC的正电压轨一起较好地工作以提供较高的电阻值。
- 在U1B的IN+处增添一个串联电阻，可以增强与电缆的隔离。
- 这些运算放大器的Spice模型在www.national.com网站上提供。通过SPICE仿真，可以选择合适的电阻值。

5.2 平衡4线的方案



30002308

图5. 平衡4线的等效电路

这种平衡方案要好很多。平衡数值受电阻容差的限制。

6.0 平衡3线接口

感兴趣的另一个平衡接口是可以自我调零的3线接口。用户有可能仅提供3根线来连接RTD。该电路将包含这种需求且取消环路阻抗的影响。

差分放大器会采用双通道版本的LMP7702。

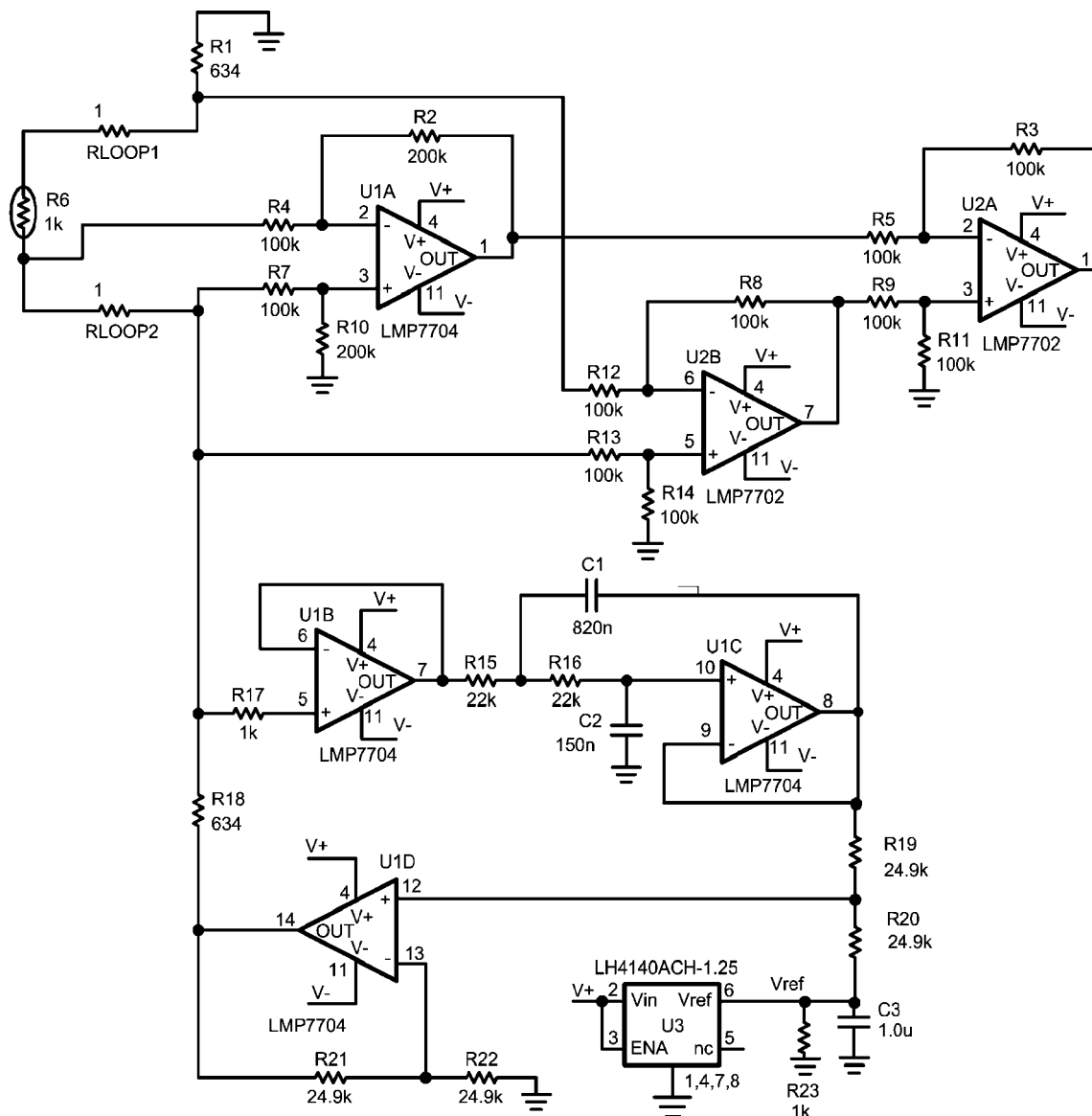
U1A测量一半电流环路上的电压降。

U2B测量RTD两端的电压降。

U2B测量RTD两端的电压降。

U2A测量两个已校正的输出之间的差值。如果模数转换器具有多个输入端，差分测量减至两个放大器，而且校正过程可以采用软件来实现。这将运算放大器的需求降低为单个四通道类型。

通过监测电流环路的一端，将压降乘以2并从RTD电压中减去该值，从而移除了环路阻抗的影响。



30002309

图6.

7.0 建议

- 将传感器的接口尽量设置得平衡一些。这样可以抑制共模噪声并减少低频滤波的需求。
- 不要将高阻IC接口直接连到电缆上。它们易于受到电缆产生的高压影响。采用ESD保护电路进行更可靠的设计。R17为U2A跟随器提供一定的保护作用。U2的输入偏置电流应设置得足够低，使得1k电阻造成的输入失调比较小。
- 寄生电容也会恶化平衡性能。将电路板布局尽可能保持对称和紧凑。
- 这个运算放大器的Spice模型也在网站 www.national.com 上提供。采用SPICE仿真，可以选择合适的电阻值。
- 采用与电流源中相同的低通滤波器，在U1D的输出端产生电源频率下良好的交流接地。除了电流源

中的低通作用之外，在电源频率下RTD每一端相同的对地阻抗都会提供良好的共模抑制性能。

8.0 测试结果

创建了上述电路的原型板，并评估了其精确性和平衡性。2线、3线和4线电路都得到了评估。原型板还装配了可调节功能，可以去除因电阻失配而产生的失调电压误差。

为了得到满意的结果，要求满足下列条件：

- 采用1V或更高的V-。这个要求是因为当测量环路阻抗上的压降时，电压非常接近于接地(GND)，实际上将GND作为V-轨电压。

- 所有的差分放大器都采用精确匹配的电阻（电阻网络），以避免由于电阻失配产生的失调。

8.1 精确性

图7所示为RTD电阻的测量和压降的计算。

实质上图中出现的直线交迭表明了测量精度基本与电路中电阻匹配一样好。

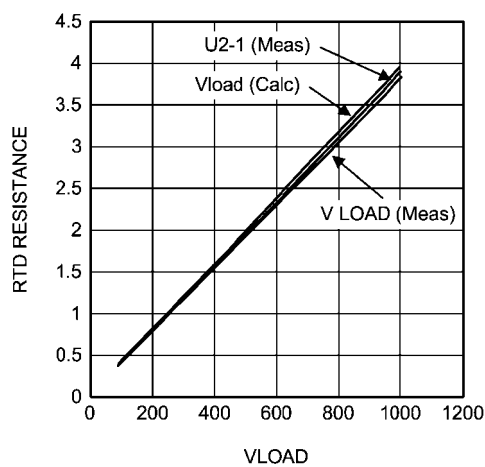


图7. 电阻与电压的变化关系

8.2 平衡性

将图6中所示的电路修改为两种线路版本以测试平衡性。

注意到在3线配置中，平衡电路是无效的。本身具有第三根线会在电缆中产生不平衡，这将难以克服。平衡电路会在该电路的二线和四线版本中表现出良好的性能。

将共模信号施加在测试电阻R6的两端。采用50Ω的信号发生器Z。将幅度和相位相同的信号施加在测试电阻的两端，U2B引脚7处的输出电压在频域中变化如图8所示。该图表示随着频率的增加，共模噪声抑制也会提高。选择滤波器特性来抑制系统的共模频率。

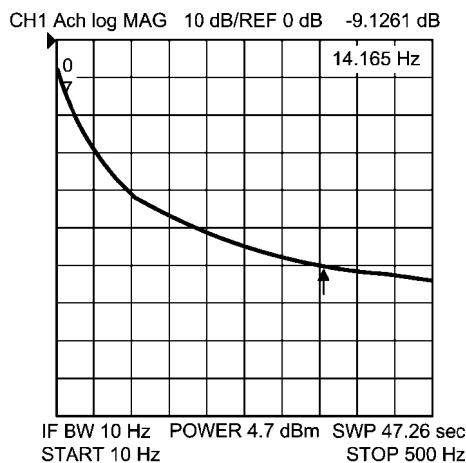


图8.

8.3 原始数据

R6 (Ω)	V1 (VDC) (Meas)	V2 (VDC) (Meas)	V1±V2 (VDC) (Calc)	I(Load) (ADC) (Calc)	I(Load) (ADC) (Meas)	U1±1 (VDC) (Meas)	U2±7 (VDC) (Meas)	U2±1 (VDC) (Meas)	Vload (VDC) (Calc)	V Load (VDC) (Meas)
100	5.441	2.939	2.502	0.003946372	0.003916	0.07920	0.4712	0.3917	0.394637224	0.3916
200.27	5.831	3.330	2.501	0.003944795	0.003913	0.07950	0.8635	0.7838	0.790024085	0.7834
299.89	6.219	3.717	2.502	0.003946372	0.003908	0.07910	1.2534	1.1732	1.183477571	1.1722
399.99	6.607	4.105	2.502	0.003946372	0.003905	0.07938	1.6430	1.5620	1.578509432	1.5609
500	6.995	4.492	2.503	0.003947950	0.003900	0.07972	2.0320	1.9520	1.973974763	1.9500
600	7.382	4.879	2.503	0.003947950	0.003896	0.07990	2.4200	2.3390	2.368769716	2.3370
700	7.769	5.265	2.504	0.003949527	0.003892	0.07930	2.8090	2.7280	2.764668770	2.7250
800	8.152	5.648	2.504	0.003949527	0.003887	0.07930	3.1940	3.1130	3.159621451	3.1090
900	8.536	6.031	2.505	0.003951104	0.003884	0.07980	3.5800	3.4990	3.555993691	3.4950
1000	8.921	6.416	2.505	0.003951104	0.003879	0.07970	3.9680	3.8860	3.951104101	3.8820

注释

注释

对于上述任何电路的使用，美国国家半导体公司不承担任何责任且不默示任何电路专利许可。美国国家半导体公司保留随时更改上述电路和规格的权利，恕不另行通知。
想了解最新的产品信息，请访问我们的网址：www.national.com。

生命支持策略

未经美国国家半导体公司的总裁和首席律师的明确书面审批，不得将美国国家半导体公司的产品作为生命支持设备或系统中的关键部件使用。特此说明：

1. 生命支持设备/系统指：(a) 打算通过外科手术移植到体内的生命支持设备或系统；(b) 支持或维持生命，依照使用说明书正确使用时，有理由认为其失效会造成用户严重伤害。
2. 关键部件是在生命支持设备或系统中，有理由认为其失效会造成生命支持设备/系统失效，或影响生命支持设备/系统的安全性或效力的任何部件。

禁用物质合规

美国国家半导体公司制造的产品和使用的包装材料符合《消费产品管理规范 (CSP-9-111C2)》以及《相关禁用物质和材料规范 (CSP-9-111S2)》的条款，不包含CSP-9-111S2限定的任何“禁用物质”。
无铅产品符合RoHS指令。



National Semiconductor
Americas Customer
Support Center
Email: new.feedback@nsc.com
Tel: 1-800-272-9959

National Semiconductor
Europe Customer Support Center
Fax: +49 (0) 180-530 85 86
Email: europe.support@nsc.com
Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208
English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171
Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

National Semiconductor
Asia Pacific Customer
Support Center
Email: ap.support@nsc.com

National Semiconductor
Japan Customer Support Center
Fax: 81-3-5639-7507
Email: jpn.feedback@nsc.com
Tel: 81-3-5639-7560

重要声明

德州仪器(TI) 及其下属子公司有权在不事先通知的情况下, 随时对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其它更改, 并有权随时中止提供任何产品和服务。客户在下订单前应获取最新的相关信息, 并验证这些信息是否完整且是最新的。所有产品的销售都遵循在订单确认时所提供的TI 销售条款与条件。

TI 保证其所销售的硬件产品的性能符合TI 标准保修的适用规范。仅在TI 保证的范围内, 且TI 认为有必要时才会使用测试或其它质量控制技术。除非政府做出了硬性规定, 否则没有必要对每种产品的所有参数进行测试。

TI 对应用帮助或客户产品设计不承担任何义务。客户应对其使用TI 组件的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险, 客户应提供充分的设计与操作安全措施。

TI 不对任何TI 专利权、版权、屏蔽作品权或其它与使用了TI 产品或服务的组合设备、机器、流程相关的TI 知识产权中授予的直接或隐含权限作出任何保证或解释。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息, 不能构成从TI 获得使用这些产品或服务的许可、授权、或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其它知识产权方面的许可, 或是TI 的专利权或其它知识产权方面的许可。

对于TI 的产品手册或数据表, 仅在没有对内容进行任何篡改且带有相关授权、条件、限制和声明的情况下才允许进行复制。在复制信息的过程中对内容的篡改属于非法的、欺诈性商业行为。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任。

在转售TI 产品或服务时, 如果存在对产品或服务参数的虚假陈述, 则会失去相关TI 产品或服务的明示或暗示授权, 且这是非法的、欺诈性商业行为。TI 对此类虚假陈述不承担任何责任。

TI 产品未获得用于关键的安全应用中的授权, 例如生命支持应用(在该类应用中一旦TI 产品故障将预计造成重大的人员伤亡), 除非各方官员已经达成了专门管控此类使用的协议。购买者的购买行为即表示, 他们具备有关其应用安全以及规章衍生所需的所有专业技术和知识, 并且认可和同意, 尽管任何应用相关信息或支持仍可能由TI 提供, 但他们将独力负责满足在关键安全应用中使用其产品及TI 产品所需的所有法律、法规和安全相关要求。此外, 购买者必须全额赔偿因在此类关键安全应用中使用TI 产品而对TI 及其代表造成的损失。

TI 产品并非设计或专门用于军事/航空应用, 以及环境方面的产品, 除非TI 特别注明该产品属于“军用”或“增强型塑料”产品。只有TI 指定的军用产品才满足军用规格。购买者认可并同意, 对TI 未指定军用的产品进行军事方面的应用, 风险由购买者单独承担, 并且独力负责在此类相关使用中满足所有法律和法规要求。

TI 产品并非设计或专门用于汽车应用以及环境方面的产品, 除非TI 特别注明该产品符合ISO/TS 16949 要求。购买者认可并同意, 如果他们在汽车应用中使用任何未被指定的产品, TI 对未能满足应用所需要求不承担任何责任。

可访问以下URL 地址以获取有关其它TI 产品和应用解决方案的信息:

	产品		应用
数字音频	www.ti.com.cn/audio	通信与电信	www.ti.com.cn/telecom
放大器和线性器件	www.ti.com.cn/amplifiers	计算机及周边	www.ti.com.cn/computer
数据转换器	www.ti.com.cn/dataconverters	消费电子	www.ti.com/consumer-apps
DLP® 产品	www.dlp.com	能源	www.ti.com/energy
DSP - 数字信号处理器	www.ti.com.cn/dsp	工业应用	www.ti.com.cn/industrial
时钟和计时器	www.ti.com.cn/clockandtimers	医疗电子	www.ti.com.cn/medical
接口	www.ti.com.cn/interface	安防应用	www.ti.com.cn/security
逻辑	www.ti.com.cn/logic	汽车电子	www.ti.com.cn/automotive
电源管理	www.ti.com.cn/power	视频和影像	www.ti.com.cn/video
微控制器 (MCU)	www.ti.com.cn/microcontrollers		
RFID 系统	www.ti.com.cn/rfidsys		
OMAP 机动性处理器	www.ti.com/omap		
无线连通性	www.ti.com.cn/wirelessconnectivity		
	德州仪器在线技术支持社区		www.deyisupport.com

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 © 2011 德州仪器 半导体技术 (上海) 有限公司