

LMV791

Application Note 1516 Pspice Universal Test Circuits



Literature Number: ZHCA250

Pspice通用测试电路

美国国家半导体公司
应用注释1516
Souflane Bendaoud
2007年11月



毫无疑问, SPICE模型在过去数年里已经得到了广泛应用。当集成电路制造商致力于为他们的客户提供精确的模型时, 实际上却是由系统设计工程师在引导这种精确度的趋势和SPICE宏模型发展的创新。

许多集成电路公司宣传和夸耀他们的模型是最好的或能够提供革命性的特性, 但是他们往往不能提供某种电路, 使用户或其客户来验证宏模型的准确性。运算放大器的宏模型可能是最急需的, 当模型足够准确时会很有帮助, 但它们也会造成严重的问题, 尤其当不够专业的人在使用时。

许多系统设计工程师在将运算放大器用于更为复杂的电路之前, 需要花时间亲自测试其宏模型。遗憾的是, 有时使用不够精确的模型产生的结果会误导设计者和用户, 使其认为放大器是失效的, 此时问题的实质在于模型本身或者在于错误地设置了SPICE测试环境。实际上, 所有的模型都不尽相同, 而一些模型可能在某些特定的设定环境中不工作; 所以本文重点不在研究运算放大器宏模型的缺点, 而是介绍一系列电路帮助用户测试任意运算放大器的模型, 在某种程度上是用于运算放大器宏模型的通用测试电路。

应该测试哪些参数?

宏模型的差别在于复杂程度的不同。与数据表很相似, 模型应仿真那些适合应用的运算放大器中与应用有关的参数。例如, 如果采用轨到轨输出运算放大器, 用户能够测试并验证输出饱和电压与负载电流之间的变化关系。同样, 低噪声放大器的模型至少可以仿真众多模型参数中的电压噪声参数。

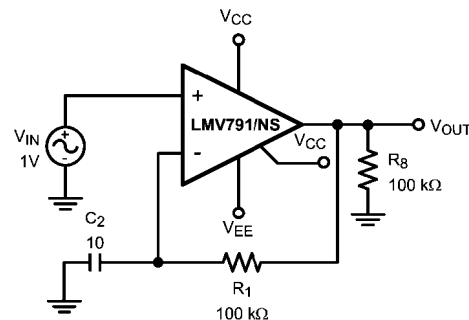
尽管存在差异, 放大器宏模型之间仍有大量的共同点; 这些参数通常是工程师们最为关心的且常用作仿真的起点。以下是这些参数的列表并同时提供相应的测试电路和仿真结果。

开环增益和相位裕度

开环增益与频率的关系是工程师评估放大器宏模型性能中的首个测试。这个测试的重要性在于它体现了直流增益, -3dB 频率, 单位增益带宽和相位裕度。图1为测试电路。RC网络确保输出被偏置在合适的直流电压(在本例中为轨电压中点)。在较高频率上, 电容将反相输入端对地短路, 因而使运算放大器处于开环状态。选择容量足够大的电容以提供一个早期滚降($f=1/2\pi R_1 C_2$), 所以即使测试出运算放大器有一个很低频的主极点, 仿真仍显示出平滑的瞬态特性和具有每十倍频程 20dB 的滚降率。

当测试开环增益和相位时, 用户应选择一个能超出放大器单位增益带宽的频率上限。

当采用轨到轨输出模型时, 测试电路应使用与数据表中给出的相同负载数值, 这一点非常重要, 否则结果将不能反映实际放大器的性能。在分析直流增益($A_{OL}=G_M R_L$)时这点显得特别突出。



20203901

图1. 开环增益和相位的测试电路

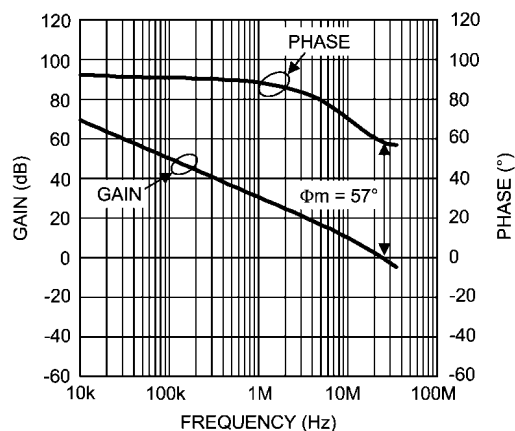


图2. 仿真的开环增益和相位

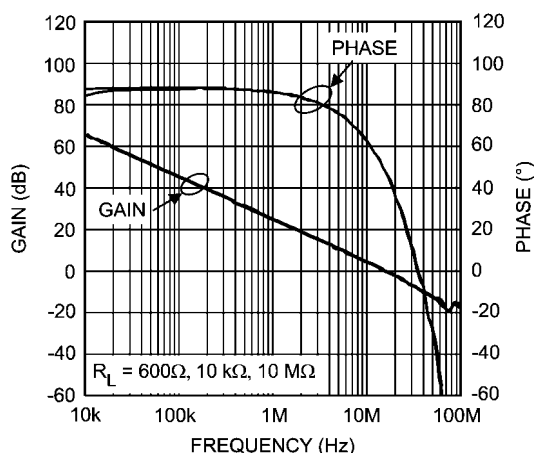


图3. 测试的开环增益和相位

压摆率

定义放大器速度并经常用于建模的另一个参数是压摆率。压摆率通常由尾电流和补偿电容的比值来决定 (I/C)。

因为我们已知关系式 $I \cdot dt = C \cdot dv$ ，可以简单地采用图4所示的电路对输出取微分来得到压摆率。在Pspice的探针屏幕中使用插入命令，在输出电压探针前增加字母“d”。

为了确保这个测试电路正常工作，输入阶跃函数必须有足够大的幅度，使得可明显观察到压摆率的限制影响。当运行压摆率仿真时，请确保输入信号的上升和下降时间要短于预计的放大器压摆率。这么做的原因是确保放大器压摆率对测试结果的主导影响。另一方面，根据运放的速度选择输入信号的频率。过于高速的输入信号会带来收敛问题。

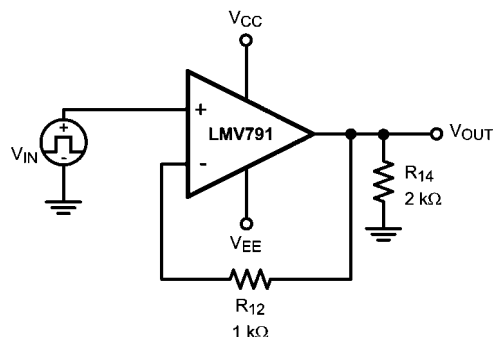


图4. 压摆率的测试电路

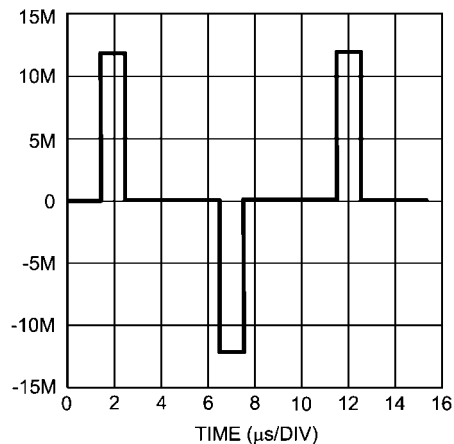


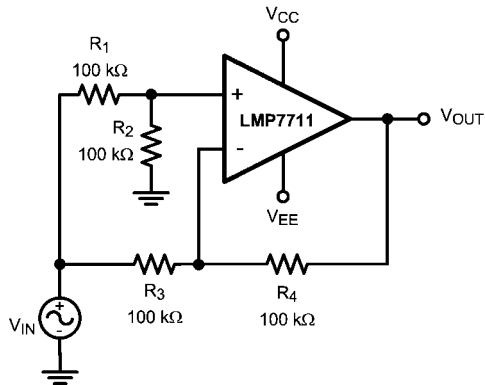
图5. 压摆率的仿真结果

共模抑制比CMRR和电源抑制比PSRR

并不总是对这两种参数建模,但仍然同样重要。CMRR和PSRR很容易在模型中实现,因为通常它们由简单的RC网络,电阻分压器和压控电压源组成。

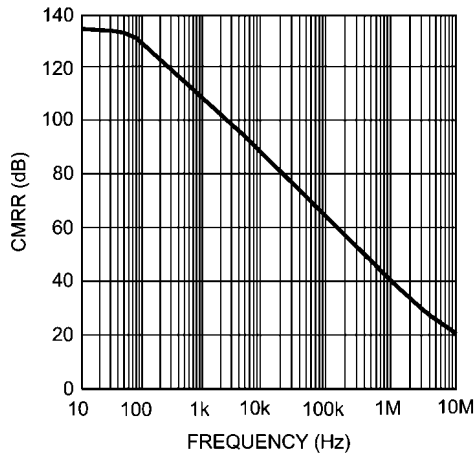
在非反相结构中,因为输入信号与非反相输入的调制作用,所以CMRR显得尤其重要。同时PSRR的重要性体现在电压源容易受到其它干扰的应用中,或者对于直流PSRR参数,其重要性体现在电源会产生明显变化的应用中。

在图6和图9中的测试电路使用户可以仿真这两种参数。如果对它们进行准确建模,极点和零点的位置应与数据表中的参数图表相一致。



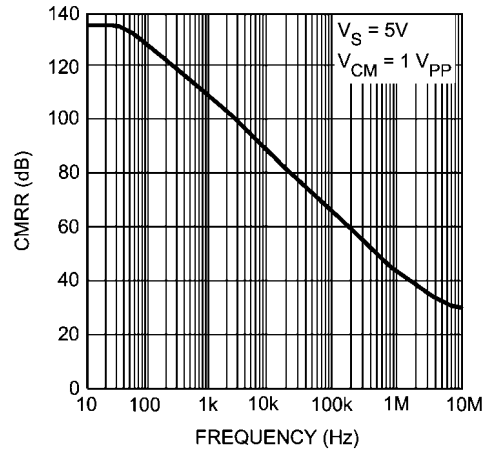
20203906

图6. CMRR的测试电路



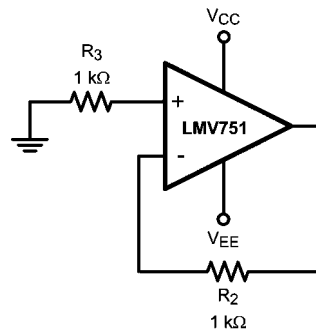
20203907

图7. 仿真的CMRR响应与频率的关系



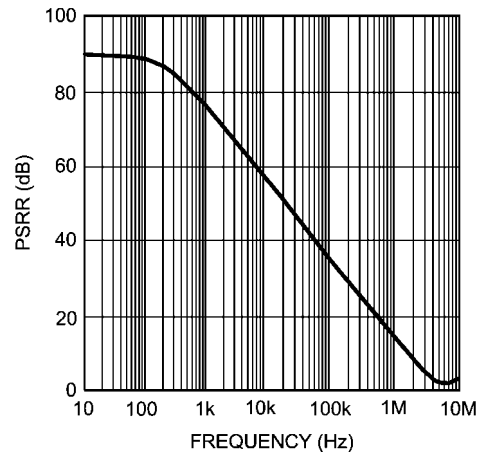
20203929

图8. 实测的CMRR响应与频率的关系



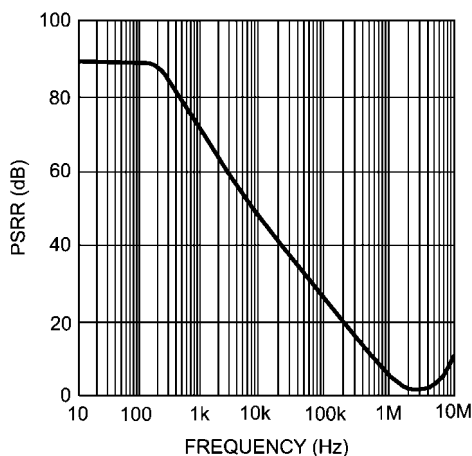
20203908

图9. PSRR的测试电路



20203909

图10. 仿真的PSRR响应与频率的关系



20203930

图11. 实测的PSRR响应与频率的关系

闭环输出阻抗

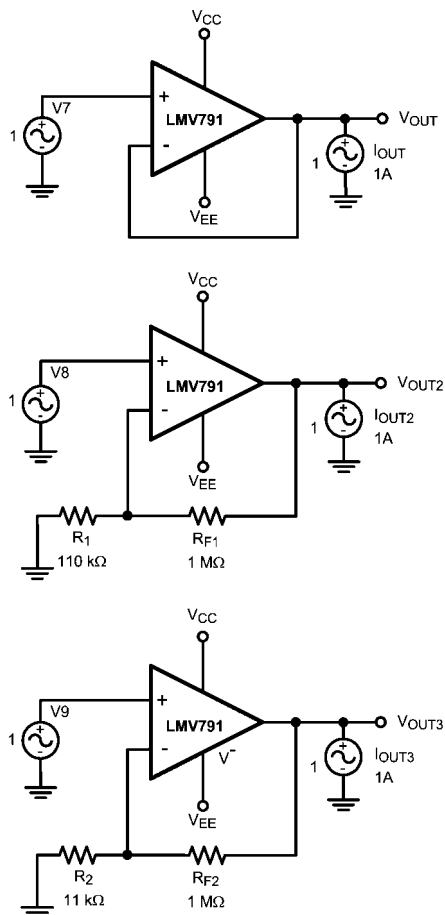
通常在数据表中会遗漏这个参数，但在某些情况下是需要而且是必须的。

进行正确建模时，输出阻抗有助于在不同的容性负载情况下获得更加精准的建立时间的特性。

为了保持稳定而考虑补偿方案，我们也需要输出阻抗来计算合适的元件数值。

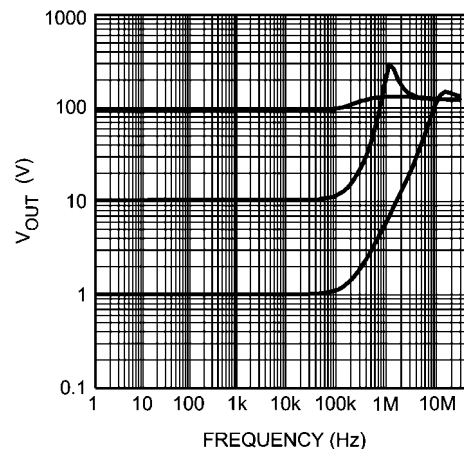
图12的测试电路提供给用户在三种不同增益的情况下输出阻抗与频率的变化关系，三种增益分别是1，10和100。输出电压与电流（在放大器输出端处的1A电流源）的比率等于输出阻抗。

图12为LMV791的闭环输出阻抗。在较高频率（该处曲线平滑）的阻抗约为100欧姆。请确保在双对数坐标上观察曲线。



20203910

图12. 增益为1，10和100时输出阻抗的测试电路



20203911

图13. 仿真的闭环输出阻抗

电压噪声和电流噪声

如果说创建放大器宏模型的工作有所进展的话，这里讨论的就是其中之一。如今的一些模型允许用户对带闪烁噪声分量的电压噪声和电流噪声以极高的精确性来进行仿真。在宏模型中的模型噪声不需要占用更多的计算或仿真时间，但是这也是一件有些困难的任务，至少

要推算出正确的公式，使得电压噪声密度曲线也能够模拟有 $1/f$ 转折频率的数据表图。通过在双对数坐标上的电压跟随器（带0V的电压源）的输出，可容易地测试电压噪声密度。为了仿真电流噪声密度，采用相同的电路，其中将100k欧姆的电阻与非反相端串联。在输出屏幕上，请确保将结果除以选择的电阻值，当前情况为100k欧姆。

采用大电阻值使得电流噪声占主导地位，因为其耦合到电阻上，因此相比于电流噪声，电压噪声和热噪声变得可以忽略。当然，存在一些例外情况，例如电流噪声很低，且需要一个更大的源电阻时。通常将噪声源作为源阻抗的函数是一个很好的做法。在PSPICE的分析设置窗口中输出电压的表征非常重要。在图14中，输出电压表征为 $V(V_{OUT})$ ，且输入电压表征为 V_{IN} ，并且选中“噪声使能”框。

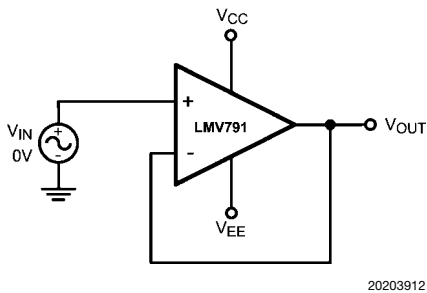


图14. 电压噪声密度的测试电路

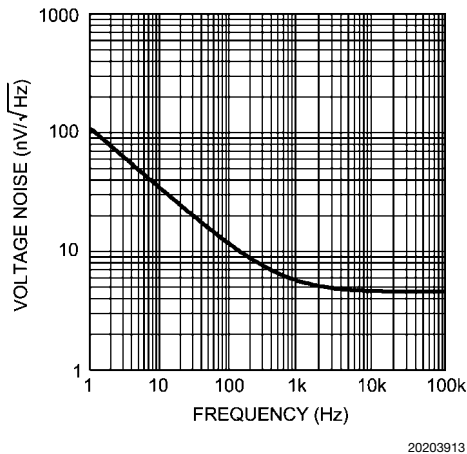


图15. 仿真的电压噪声密度

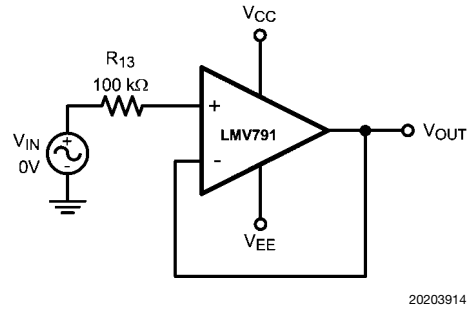


图16. 电流噪声密度的测试电路

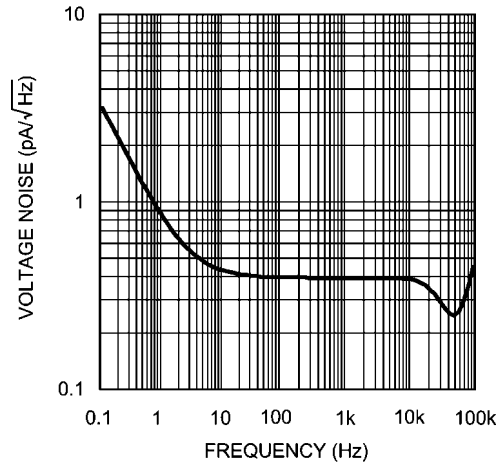
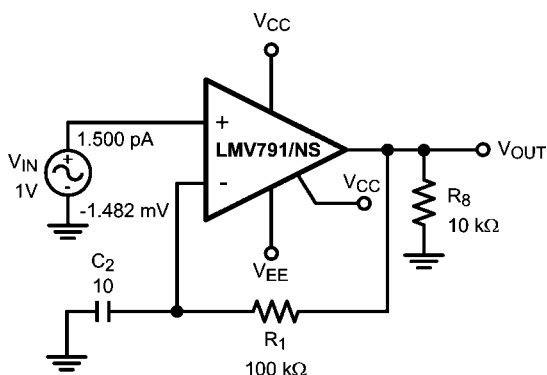


图17. 仿真的电流噪声密度

输入偏置电流和输入失调电压

这些参数是最容易建模的类型。输入失调电压很容易由一个在输入端的压控电压源来实现，其值取自数据表。

通常情况下，不需要特定的测试电路来测试偏置电流或失调电压。在文章中讨论的任何电路都可使用。为了能观察失调电压和偏置电流，用户可在SPICE中激活电压和电流标签。如图18所示，其中输入偏置电流为1.5pA，输入失调电压为1.48mV。流经电压源的1.15mA电流为静态电流。



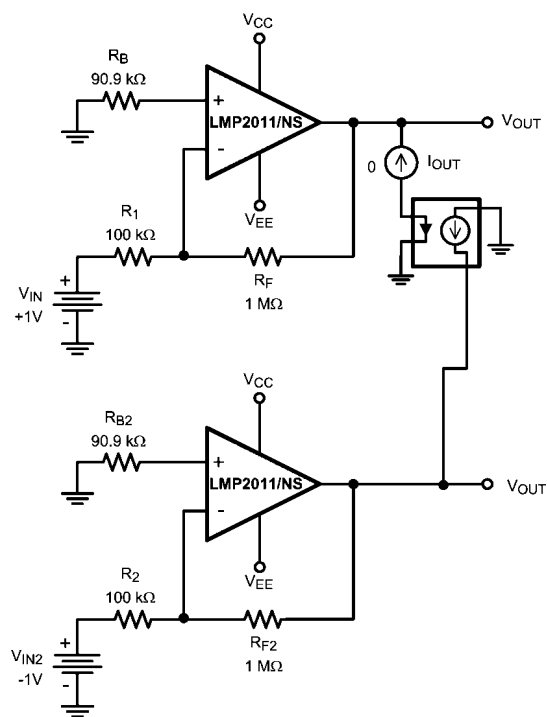
20203916

图18. 失调电压和输入偏置电流

输出饱和电压

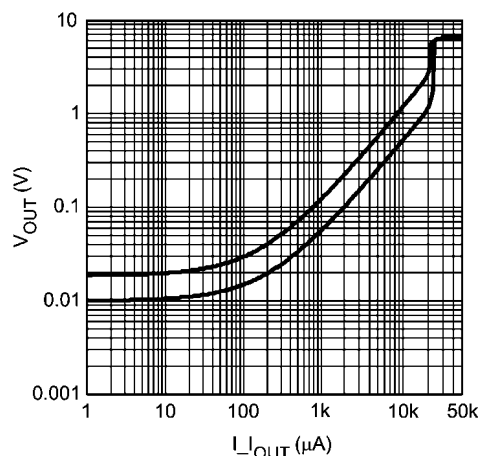
这个参数也被称之为压降。在轨到轨输出放大器模型中该参数尤为重要，因为它将输出电压摆幅表现为负载电流的函数，并能有助于系统设计师选择合适的运放，特别是当驱动大负载或设计者更关心动态范围时。

测试电路采用一种简单的直流扫描，其中包括两个具有幅度相反的不同输入电压以重现负载电流的输送和吸收。



20203917

图19. 测试输出饱和电压与负载电流关系的电路

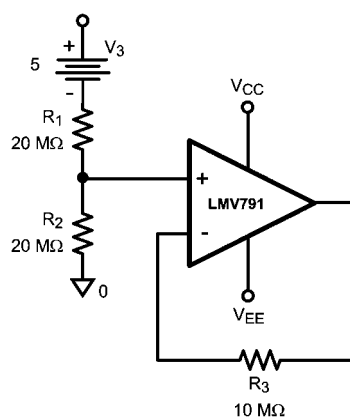


20203918

图20. 仿真的输出饱和电压

电源电流与电源电压的关系

以下的测试电路对跨越电源的电流进行扫描，并且允许用户确定在不同的电源电压条件下放大器可以吸收多少电流。这种测试对于功率敏感的应用特别有益。很容易将电源电流曲线的斜率添加到模型中。



20203919

图21. 测试电源电流与电源电压的关系的电路

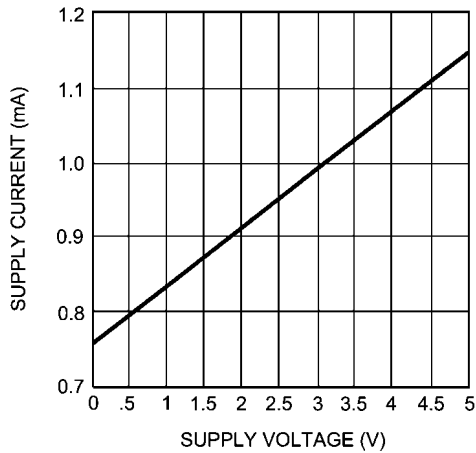


图22. 仿真的电源电流与电源电压的关系

过冲和瞬态响应

这种测试电路有两种用途：测试瞬态响应（无论是小信号或是大信号）和过冲。

过冲之所以重要是因为它可以表征放大器在有容性负载时会出现多大的振铃现象。过冲是在时域内的稳定性指标；其等价于在频域内的相应峰值。

一些宏模型采用额外的无源器件来精确地模拟过冲现象，但通常若相位裕度是精确的，这种过冲应更接近实际情况。

无需100pF电容，就可利用测试过冲的电路来检测瞬态响应。一些数据手册指出，当测试小信号瞬态时是否可将小电容用作负载，在该情况下就使用相同容量的电容。

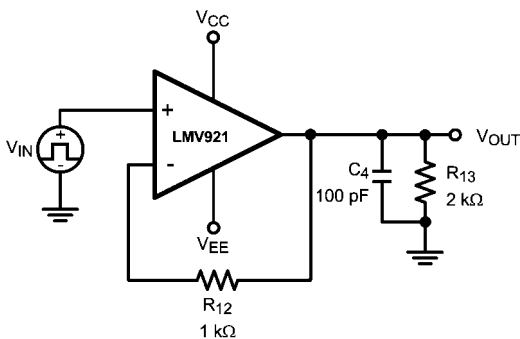


图23. 测试过冲的电路

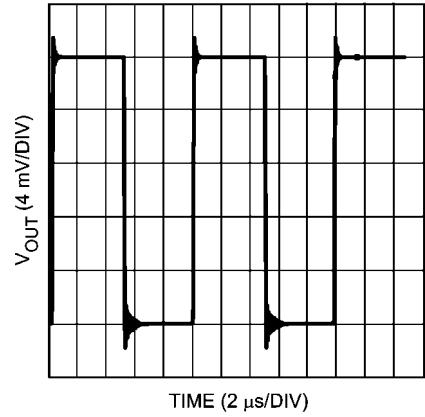


图24. 仿真的过冲

共模电压范围CMVR

这个参数之所以重要是因为用户可了解输入信号幅度与电源电压相差多大,或有多少裕量。

在图25中的首个测试电路采用一个压控电压源。在第二个测试电路,即图27中,电压扫描范围在-2.5V到2.5V之间。

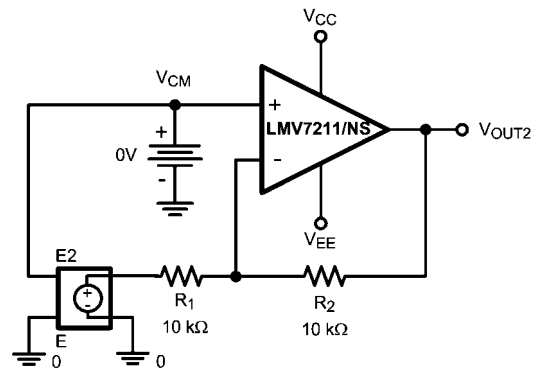


图25. CMVR测试电路

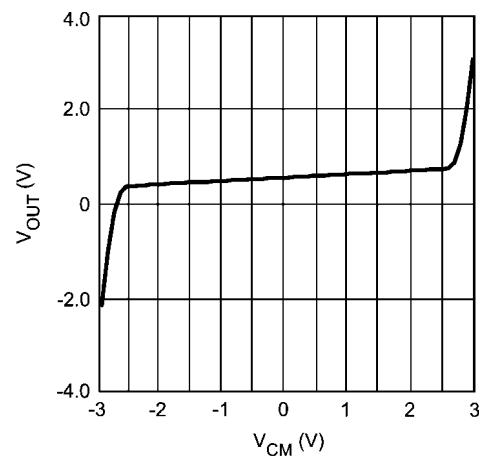
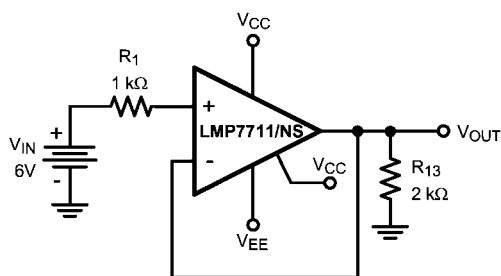
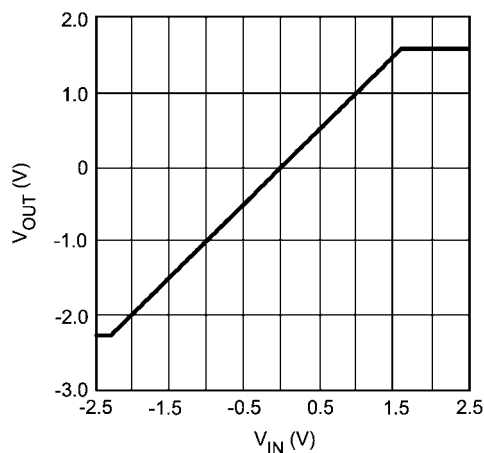


图26. 仿真的CMVR



20203925

图27. CMVR的测试电路（可选）



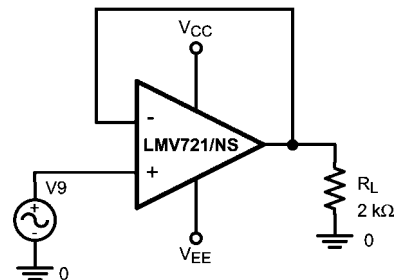
20203926

图28. 仿真的CMVR

反相

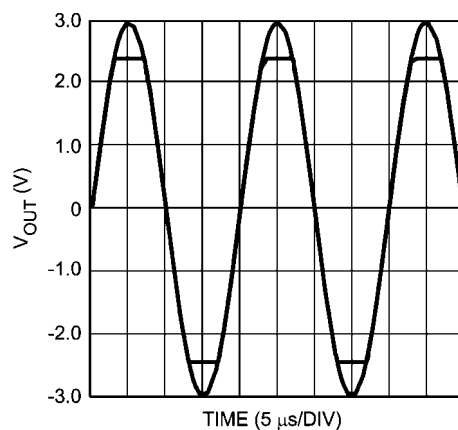
当输入信号超过输入共模电压范围时，在某些放大器中会产生反相。在反相过程中，输出会改变极性并且会造成放大器损坏，导致系统锁定。

测试电路是一个简单的电压跟随器，其正弦波输入会超出放大器的共模电压范围，在本例中为6V。图30中所示的输出波形表明类似运放的宏模型并没有表现出任何反相，它被钳制在 $\pm 2.5V$ 处。



20203927

图29. 无反相的测试电路



20203928

图30. 无反相

结论

上述的测试电路并不意味着可以替换测试平台上的器件评估。正确的理解是，由于采用了精确的宏模型，这种方法可以提供给用户一种进行更快速评估的灵活性。

这里要特别感谢美国国家半导体公司的应用小组和设计团队所提供的深刻见解。

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: nw.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 & 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/telecom
放大器和线性器件	www.ti.com.cn/computer
数据转换器	www.ti.com/consumer-apps
DLP® 产品	www.ti.com/energy
DSP - 数字信号处理器	www.ti.com.cn/industrial
时钟和计时器	www.ti.com.cn/medical
接口	www.ti.com.cn/security
逻辑	www.ti.com.cn/automotive
电源管理	www.ti.com.cn/video
微控制器 (MCU)	
RFID 系统	
OMAP 机动性处理器	
无线连通性	
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