

LMH6611

Application Note 1803 Design Considerations for a Transimpedance Amplifier



Literature Number: ZHCA351

针对跨阻放大器的设计考虑

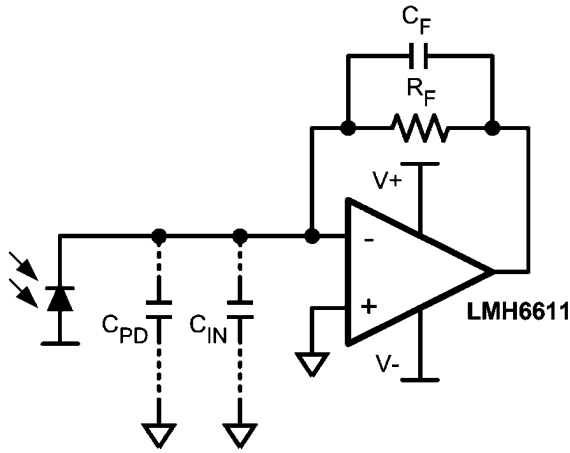
美国国家半导体公司
应用注解 1803
Maithil Pachchigar
2008年2月28日



摘要

采用电压反馈放大器 (VFA) 设计一个好的电流-电压转换器 (跨阻放大器) 富有挑战性。根据定义, 受光线照射而产生电流或电压输出的二极管为光电二极管。跨阻放大器 (TIA) 用来将这个低电流转换为一个可用的电压信号, 通常为了保证稳定工作需要跨阻放大器做补偿处理。本文阐述了使用一个345 MHz轨到轨输出的电压反馈放大器, 如美国国家半导体公司的LMH6611, 来设计一个简单的跨阻放大器。本文的主要目标是提供跨阻放大器设计的有用信息, 讨论了跨阻放大器的补偿和性能结果, 并分析了跨阻放大器的输出噪声。

带光电二极管和运算放大器内部电容, 且接成跨阻放大器形式的一个电压反馈放大器如图1所示。



30055201

图1. 具有容性元件的光电二极管的建模

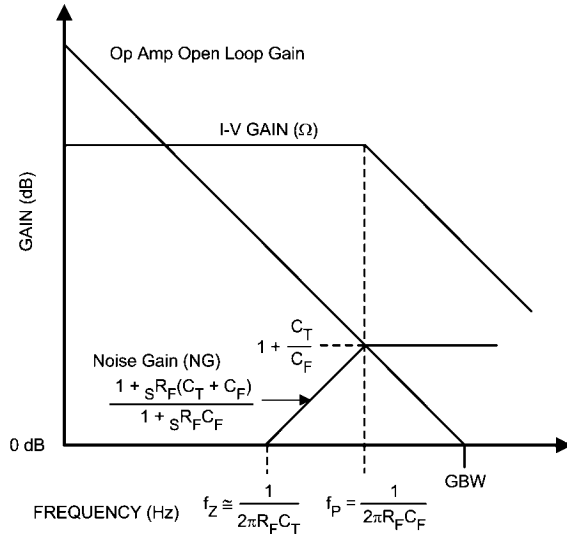
由于可使用较大增益值 (R_F) 下的低输入偏流, LMH6611可在低照度下运行。运算放大器反相端上的总电容 (C_T) 包含光电二极管电容 (C_{PD}) 和输入电容 (C_{IN})。在电路的稳定性上总电容扮演了重要的角色。这个电路的噪声增益 (NG) 取决于稳定性, 并定义为:

$$NG = \frac{1 + sR_F(C_T + C_F)}{1 + sC_F R_F} \quad (1)$$

$$\text{Where } f_z \cong \frac{1}{2\pi R_F C_T} \quad (2)$$

图2所示是噪声增益与运算放大器的开环增益 (A_{OL}) 相交的波特图。在较大的增益 (R_F) 下, C_T 和 R_F 在转移函数中

产生一个零点。在较高频率下跨阻放大器可能会表现出固有的不稳定性, 因为在环路中会有额外的相移。



30055204

图2. 噪声增益与运算放大器开环增益相交的波特图

为了维持放大器的稳定性, 在 R_F 两端跨接一个反馈电容器, 这会在噪声增益函数中的 f_p 处产生一个极点。为优化性能, 选择适当的 C_F 数值能使噪声增益斜率变得平坦, 这样噪声增益就等于运算放大器在 f_p 处的开环增益。这一噪声增益斜率的“平坦部分”超过 A_{OL} 的截止点, 结果使噪声增益得到 45° 的相位裕量 (PM)。因为噪声增益的 f_p 极点会在截止点有一个 45° 的超前相位, 其贡献了 45° 相位裕量 (假定 f_p 和 f_z 至少相距一个十倍频程)。

等式3和等式4在理论上计算了最佳 C_F 值和期望的 -3 dB 带宽。

$$C_F = \sqrt{\frac{C_T}{2\pi R_F (GBW)}} \quad (3)$$

$$f_{-3dB} = \sqrt{\frac{GBW}{2\pi C_T R_F}} \quad (4)$$

等式4表示跨阻放大器的 -3 dB 带宽与反馈电阻值成反比。因此, 如果带宽是重要的性能, 那么最好的方法是采用一个适中的跨阻增益级, 后接一个宽带电压增益级。

表1是对带有不同容值的各种光电二极管在 1 k Ω 跨阻增益 (R_F) 下测量 LMH6611 的结果。 C_F 和 f_{-3dB} 的值由等式3和等式4计算得到。

表1 跨阻放大器（图1）的补偿和性能结果

C_{PD}	C_T	C_F 计算值	C_F 使用值	F_{-3dB} 计算值	F_{-3dB} 测量值	峰值
(pf)	(pf)	(pf)	(pf)	(MHz)	(MHz)	(dB)
22	24	5.42	5.6	29.3	27.1	0.5
47	49	7.75	8	20.5	21	0.5
100	102	11.15	12	14.2	15.2	0.5
222	224	20.39	18	9.6	10.7	0.5
330	332	20.2	22	7.9	9	0.8

注意:

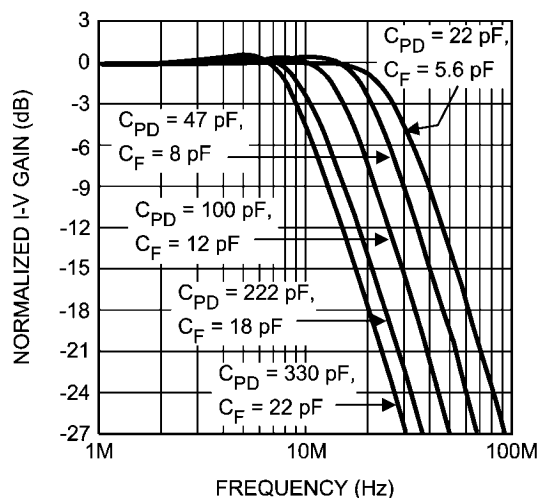
$$V_S = \pm 2.5V$$

$$GBW = 130 \text{ MHz}$$

$$C_T = C_{PD} + C_{IN}$$

$$C_{IN} = 2 \text{ pf}$$

图3是使用表1中不同光电二极管时放大器的频率响应。当全部所需的增益都设在跨阻放大器级时，信噪比将得到改善，这是因为噪声谱密度随 R_F 的平方根的增加而增大，且信号是线性增加。



30055207

图3. 使用不同光电二极管时LMH6611的频率响应

这是计算不同噪声源的基本知识。在分析跨阻放大器的输出噪声时，运算放大器噪声电压、反馈电阻热噪声、输入噪声电流和光电二极管噪声电流不会在同一频率范围都参与运算。运算放大器噪声电压会在噪声增益的零点和它的极点之间被放大。 R_F 和 C_T 的值越大，噪声增益峰值出现得越早，因此对于总输出噪声的贡献也会较大。等效总噪声电压由跨阻放大器输出的各噪声电压分量平方之和的平方根计算得出。

概括如下，在跨阻放大器的稳定性中总电容起了重要作用，因此选取合适的运算放大器，或在二极管上加反向偏压（虽增大一些电流和噪声）对于把 C_T 降到最小是有利的。本文亦展现了各种光电二极管配置以及实际使用的补偿方法，并证实了理论计算和实验测量结果很相符。

注释

AN-1803

注释

For more National Semiconductor product information and proven design tools, visit the following Web sites at:

Products		Design Support	
Amplifiers	www.national.com/amplifiers	WEBENCH	www.national.com/webench
Audio	www.national.com/audio	Analog University	www.national.com/AU
Clock Conditioners	www.national.com/timing	App Notes	www.national.com/appnotes
Data Converters	www.national.com/adc	Distributors	www.national.com/contacts
Displays	www.national.com/displays	Green Compliance	www.national.com/quality/green
Ethernet	www.national.com/ethernet	Packaging	www.national.com/packaging
Interface	www.national.com/interface	Quality and Reliability	www.national.com/quality
LVDS	www.national.com/lvds	Reference Designs	www.national.com/refdesigns
Power Management	www.national.com/power	Feedback	www.national.com/feedback
Switching Regulators	www.national.com/switchers		
LDOs	www.national.com/ldo		
LED Lighting	www.national.com/led		
PowerWise	www.national.com/powerwise		
Serial Digital Interface (SDI)	www.national.com/sdi		
Temperature Sensors	www.national.com/tempsensors		
Wireless (PLL/VCO)	www.national.com/wireless		

THE CONTENTS OF THIS DOCUMENT ARE PROVIDED IN CONNECTION WITH NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION ("NATIONAL") PRODUCTS. NATIONAL MAKES NO REPRESENTATIONS OR WARRANTIES WITH RESPECT TO THE ACCURACY OR COMPLETENESS OF THE CONTENTS OF THIS PUBLICATION AND RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES TO SPECIFICATIONS AND PRODUCT DESCRIPTIONS AT ANY TIME WITHOUT NOTICE. NO LICENSE, WHETHER EXPRESS, IMPLIED, ARISING BY ESTOPPEL OR OTHERWISE, TO ANY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS IS GRANTED BY THIS DOCUMENT.

TESTING AND OTHER QUALITY CONTROLS ARE USED TO THE EXTENT NATIONAL DEEMS NECESSARY TO SUPPORT NATIONAL'S PRODUCT WARRANTY. EXCEPT WHERE MANDATED BY GOVERNMENT REQUIREMENTS, TESTING OF ALL PARAMETERS OF EACH PRODUCT IS NOT NECESSARILY PERFORMED. NATIONAL ASSUMES NO LIABILITY FOR APPLICATIONS ASSISTANCE OR BUYER PRODUCT DESIGN. BUYERS ARE RESPONSIBLE FOR THEIR PRODUCTS AND APPLICATIONS USING NATIONAL COMPONENTS. PRIOR TO USING OR DISTRIBUTING ANY PRODUCTS THAT INCLUDE NATIONAL COMPONENTS, BUYERS SHOULD PROVIDE ADEQUATE DESIGN, TESTING AND OPERATING SAFEGUARDS. EXCEPT AS PROVIDED IN NATIONAL'S TERMS AND CONDITIONS OF SALE FOR SUCH PRODUCTS, NATIONAL ASSUMES NO LIABILITY WHATSOEVER, AND NATIONAL DISCLAIMS ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTY RELATING TO THE SALE AND/OR USE OF NATIONAL PRODUCTS INCLUDING LIABILITY OR WARRANTIES RELATING TO FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, MERCHANTABILITY, OR INFRINGEMENT OF ANY PATENT, COPYRIGHT OR OTHER INTELLECTUAL PROPERTY RIGHT.

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：

- 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，有理由认为其失效会造成用户严重伤害。
- 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