

用直观方式补偿互阻抗放大器

Tony Wang, Barry Erhman

高性能线性产品

互阻抗放大器用于将低位的光电二极管电流转换为可用的电压信号。根据经验，放大器通常必须经过补偿才能正常操作。如果您查看了涉及的所有元件，就比较容易理解这一点。图 1 显示了典型的光电二极管应用。

通过检验，理想的互阻抗传输函数为：

$$V_{OUT} = -I_s \cdot Z_F = -I_s \cdot \frac{R_F}{1 + j2\pi f R_F C_F} \quad (1)$$

此方程式表明频率响应完全受反馈网络影响。但这并不能解释互阻抗放大器为什么容易振荡。图 2 更为深入地探讨了稳定性问题。光电二极管替换为理想的电流源，并且与其等效电阻 R_D 和电容 C_D 并联。运算放大器的输入电容不能忽略，而应将其作为 C_D 的一部分包括在内。

此配置的噪声增益（即非反相闭环增益）决定电路的稳定性。这是因为任何噪声信号，不管多么小，都可能触发不稳定的电路振荡起来。通过检验，传输函数可确定为：

$$A_{CL}(f) = \frac{R_F + R_D}{R_D} \cdot \frac{1 + j2\pi f \left(\frac{R_F R_D}{R_F + R_D} \right) (C_F + C_D)}{1 + j2\pi f R_F C_F}$$

$$A_{CL}(f) = \frac{R_F + R_D}{R_D} \cdot \frac{1 + j \frac{f}{f_z}}{1 + j \frac{f}{f_p}} \quad (2)$$

直流增益完全由电阻设置。与互阻抗函数一样，极点频率 f_p 也是由反馈网络设置。零频率 f_z 由 (a) 反馈和二极电容之和以及 (b) 反馈和二极管的并联电阻确定。

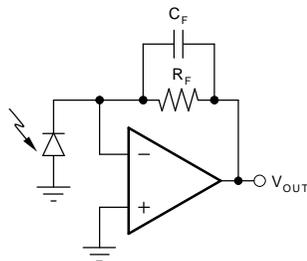


图 1. 典型的光电二极管互阻抗放大器

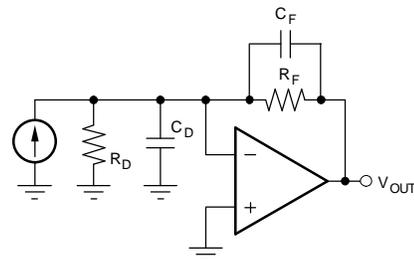


图 2. 用理想元件模拟的光电二极管

通常，反馈电阻比光电二极管的等效电阻小得多，因而使直流电阻增益的值约等于 1。并联电阻值基本上等于单独的反馈电阻值。因此， f_z 将始终低于 f_p ，如图 3。

图 4 描绘了三种闭环响应曲线与开环增益曲线相交的情况。当 f_p 在开环增益曲线之外时，稳定性将降低。对于 f_{p1} ，电路将振荡。如果 f_p 在开环增益曲线之内，则互阻抗电路绝对稳定。 f_{p2} 就是这种情况，但是获得这样的稳定性需要放弃一定的互阻抗带宽。最佳解决方案就是 f_p 在开环增益曲线上，如 f_{p3} 所示。

由于 f_p 由反馈网络确定，所以所需做的就是合理选择 C_F 。在发现噪声增益的高频渐近线由电容值单独决定之后，此进程可以大大简化：

$$A_{CL}(f \gg f_p) = \frac{C_F + C_D}{C_F} \tag{3}$$

此值应等于运算放大器在 f_p 处的开环增益。将运算放大器的增益带宽积 (GBW) 除以 f_p 就可得到开环增益。将这两个表达式设置为等式：

$$\frac{GBW}{f_p} = \frac{C_F + C_D}{C_F} \tag{4}$$

简单代入得到一个二次方程式，其唯一的正实解为：

$$C_F = \frac{1}{4\pi R_F GBW} \left[1 + \sqrt{1 + 8\pi R_F C_D GBW} \right] \tag{5}$$

一旦确定了运算放大器的最小增益带宽和光电二极管的最大电容，此简单方程式就可以选择合适的反馈电容来保证稳定性。

简化一些假设条件和执行少量代数运算之后，可以进一步获得解答：

$$f_p \approx \sqrt{\frac{GBW}{2\pi R_F C_D}} \tag{6}$$

此结果指出，对于给定的运算放大器和光电二极管，互阻抗带宽与反馈电阻的平方根成反比。因此，如果带宽是关键要求，则最佳方法可能是选择一个适中的互阻抗增益级，后面跟随一个宽带电压增益级。

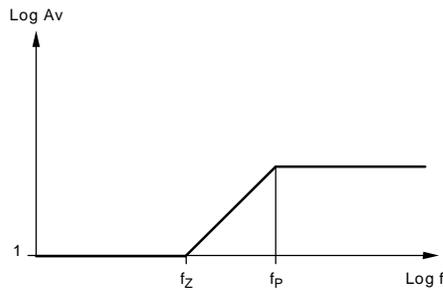


图 3. 噪音分析的波德图

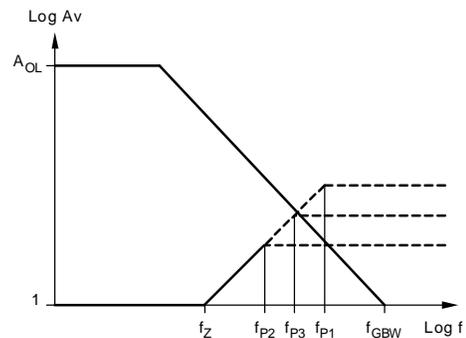


图 4. 与运算放大器开环增益相交的各种反馈响应

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 保修的范围内, 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 的数据手册或数据表, 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。

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

放大器	http://www.ti.com.cn/amplifiers
数据转换器	http://www.ti.com.cn/dataconverters
DSP	http://www.ti.com.cn/dsp
接口	http://www.ti.com.cn/interface
逻辑	http://www.ti.com.cn/logic
电源管理	http://www.ti.com.cn/power
微控制器	http://www.ti.com.cn/microcontrollers

应用

音频	http://www.ti.com.cn/audio
汽车	http://www.ti.com.cn/automotive
宽带	http://www.ti.com.cn/broadband
数字控制	http://www.ti.com.cn/control
光纤网络	http://www.ti.com.cn/opticalnetwork
安全	http://www.ti.com.cn/security
电话	http://www.ti.com.cn/telecom
视频与成像	http://www.ti.com.cn/video
无线	http://www.ti.com.cn/wireless

邮寄地址: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2006, Texas Instruments Incorporated