

# LMH6550,LMH6551,LMH6552

*Application Note 1719 Noise Figure Analysis Fully Differential Amplifier*



Literature Number: ZHCA329

# 采用噪声系数分析全差分放大器

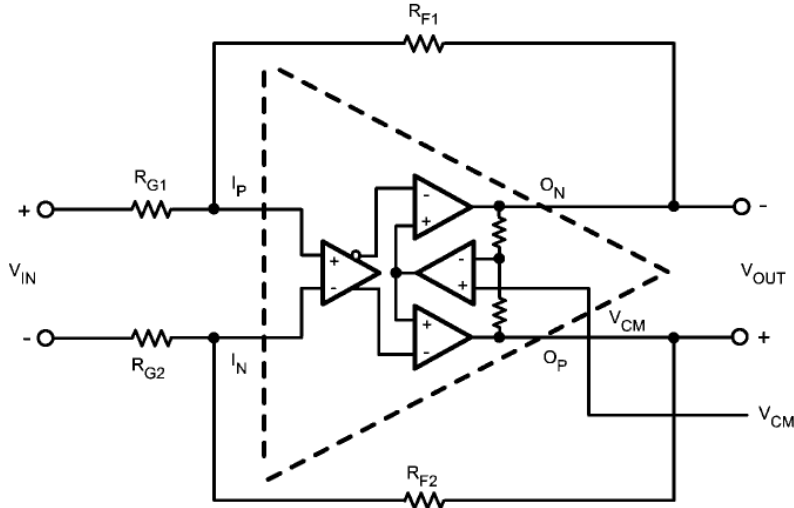
美国国家半导体公司  
应用注释1719  
Robert Malone, Mike Ewer  
2007年9月



全差分反馈放大器（FDA），如美国国家半导体的LMH6550，LMH6551和全新发布的LMH6552，都可用来为宽带差分信号提供平衡的低失真放大和电平移位功能。

FDA的简化概念图如图1所示，其中两个正向路径将差分

信号的两个互补等分进行放大。由 $V_{CM}$ 控制的单独共模反馈电路控制了输入端，设定了与输入共模无关的输出共模电压，以及强制 $O_N$ 和 $O_P$ 输出幅度相同，相位相反。



$$V_{OUT} = V_{IN} \frac{R_F}{R_G}$$

Where

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

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

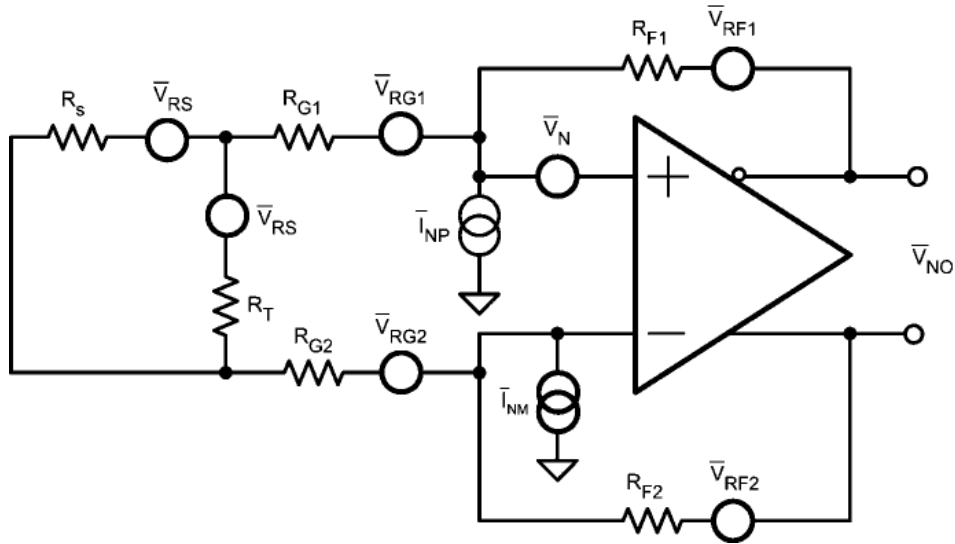
30038201

图 1. 全差分放大器的简化概念框图

LMH6552 FDA是一款1.5 GHz的器件，其采用了美国国家半导体专有的差分电流反馈（CFB）结构，可在不牺牲带宽的条件下，工作增益大于单位增益，并具有特别的增益平坦度。工作在450 MHz，满足0.1 dB单位增益平坦度的这个器件是大量的宽带Nyquist应用的理想选择，适合驱动一系列8至14位高速ADC，包括美国国家半导体的千兆采样速率的8位ADC系列和ADC14DS105。

设计FDA以驱动ADC时，要求确保FDA不会降低ADC

的信噪失真比（SINAD）性能。这种分析的关键是确定并优化FDA的噪声性能。本文后面会说明如何计算FDA输出噪声频谱密度和噪声系数，以及在整体系统的噪声分析中综合考虑。由于在较高增益处具有较差的噪声性能，约束了传统的电压反馈（VFB）FDA只能工作在低增益的应用中。本文将阐述LMH6552 CFB结构可以突破这种限制，相对于备选的VFB器件方案，其具有更优异的噪声性能和增益带宽优势。



30038202

图 2. 全差分放大器的噪声模型

## 全差分放大器的输出噪声计算

通用FDA的噪声模型如图2所示。 $I_{NP}$ 和 $I_{NM}$ 分别是FDA正负输入端的输入参考噪声电流。 $V_N$ 是其输入参考噪声电压。模型中还包括反馈中与阻性元件有关的噪声源和源终接网络。

总体输出参考噪声密度 $V_{NO}$ 是对模型中每个源的输出参考噪声求和并取平方根 (rss) 计算得到, 单位是 $nV/\sqrt{Hz}$ 。因为我们主要关心FDA内部的噪声对于系统整体噪声性能的影响, 将计算 $V_{NO}$ 的等式分为两部分: 第一部分是源自FDA的输入参考噪声 $V_{NOFDA}$ , 第二部分是由于阻性反馈网络的热噪声 $V_{NOFB}$ 。

$$\overline{V_{NO}} = \sqrt{\overline{V_{NOFDA}}^2 + \overline{V_{NOFB}}^2}$$

在大多数差分信号传输应用中, CMRR和平衡误差是关键因素。选择 $R_{F1}=R_{F2}=R_F$ 和 $R_{G1}=R_{G2}=R_G$ 以平衡差分反馈网络, 所以正负反馈因子都是匹配和对称的。用戴维南等效内阻替换 $R_s$ 和 $R_T$ ,  $R_{STH}=R_s||R_T$ , FDA和反馈网络输出噪声密度为:

$$\overline{V_{NOFDA}}^2 = \overline{V_N}^2 \left( \frac{R_F + R_{G_{EQ}}}{R_{G_{EQ}}} \right)^2 + \overline{I_{NP}}^2 R_F^2 + \overline{I_{NM}}^2 R_F^2 \quad (1)$$

$$\overline{V_{NOFB}}^2 = 4kT(2R_F) + 4kT(2R_G) \left( \frac{R_F}{R_{G_{EQ}}} \right)^2 + 4kTR_s(R_{STH}) \left( \frac{R_F}{R_{G_{EQ}}} \right)^2$$

$$R_{G_{EQ}} = R_G + \frac{R_s || R_T}{2} \quad (2)$$

外部电阻噪声的影响由差分反馈拓扑 (等式1) 决定, 与选择CFB或VFB的FDA无关。然而, FDA结构的选择在很大程度上会影响总体输出噪声密度。

在VFB FDA中, 差分输入阻抗非常高 (通常达到几百 $K\Omega$ 至几 $M\Omega$ 范围), FDA内部的噪声源在输入端则表现为电压。

再者, 输入参考噪声电流将会非常之小, 处于几个 $pA/\sqrt{Hz}$ 的量级, 仅当 $R_F$ 较大时才会对整体输出噪声有较大贡献, 而通常情况并非如此。注意 $V_N$ 输入的增益项只是等效反馈系数 $\beta_{EQ}$ 的倒数, 并与差分放大器的闭环增益 $G$ 有关:

$$G = \frac{R_F}{R_{G_{EQ}}} = \frac{1}{\beta_{EQ}} - 1.$$

忽略 $I_{NP}$ 和 $I_{NM}$ , 该式改写为:

$$\overline{V_{NOFDA}}^2 \cong \overline{V_N}^2 (G + 1)^2$$

换句话说, 在高增益下工作的VFB FDA必然会伴随其输出噪声密度按比例增加, 当FDA是系统中重要的噪声源时, 这会造成总体噪声性能的下降。

当考虑CFB FDA, 如LMH6552时会出现差别很大的结果。这里提到的差分输入级主要是电流控制电流源, 其具有理想的零差分输入阻抗。因为放大器内部产生的噪声源会在输入端表现为电流而不是电压, 将输入噪声电流 $I_{NP}$ 和 $I_{NM}$ 乘以反馈电阻的平方, 得到总体FDA输出噪声。

$$\overline{V_{NOFDA}}^2 \cong \left( \overline{I_{NP}}^2 + \overline{I_{NM}}^2 \right) R_F^2$$

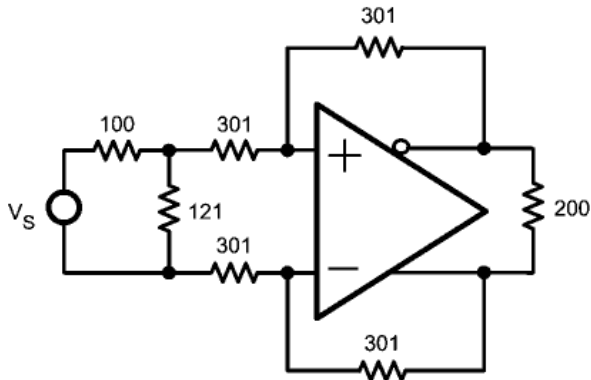
与VFB FDA不同，CFB FDA的输出噪声取决于 $R_F$ 值而不是放大器的增益。因此，通过减少 $R_G$ 来增加增益而不会降低多少电路的噪声性能。这是一个非常重要的结果，重点说明了在差分信号应用中采用CFB FDA代替VFB FDA的关键优势。

## 全差分放大器的噪声系数计算

在许多高速系统中，噪声性能通常可用系统噪声系数来描述，等于系统输入端的信噪比除以其输出端的信噪比，并取底数为10的对数（ $10 \log$ ）。噪声系数是当噪声在链路中传播时在给定信号上会添加多少噪声的量度。对于放大器而言，可很方便地表示为输出噪声密度对源噪声密度的比率，如下式所示。

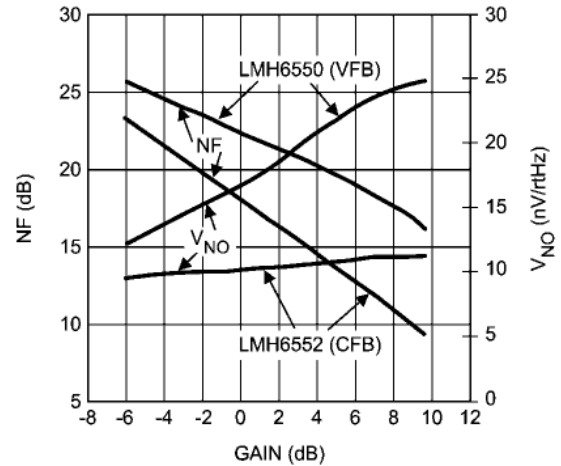
$$NF = 10 \log \left( \frac{\overline{V_{NO}}^2}{4kTR_s G^2 D_T^2} \right); \quad D_T = \frac{R_T}{R_s + R_T}$$

乘积 $GD_T$ 为从 $V_s$ 至 $V_o$ 的放大器电压增益，包括输入终端网络的信号衰减。



30038210

图 3.  $A_v=1$ 的噪声分析实例



30038211

图 4. 噪声系数和电压噪声频谱密度与增益的关系

为了突出CFB和VFB FDA之间噪声性能的差别，采用图3的应用电路来计算 $100\Omega$ 系统中应用LMH6552（CFB）和LMH6550（VFB）FDA在不同增益情况下的输出噪声频谱密度和噪声系数。保持 $R_F$ 为 $301\Omega$ ，在每个增益点调节终端阻抗 $R_T$ 以维持 $100\Omega$ 的差分终端接入。结果如图4所示。在低增益处，两个器件提供相似的噪声性能，而LMH6552在增益为-6 dB处噪声系数有大约2 dB的差距。然而，随着增益的增加，CFB FDA的噪声系数以明显较高的速率增加，在增益为9.5 dB时提高了6.5 dB。

## 结论

在电流或者电压模式FDA之间的选择取决于许多因素，最终会归结到在给定的系统规格范围内哪种放大器表现更佳。在低噪声、大宽带应用中要求FDA比单位增益更大的配置，CFB FDA能提供一流的解决方案。

## 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](http://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](mailto: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](mailto: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](mailto:ap.support@nsc.com)

**National Semiconductor**  
Japan Customer Support Center  
Fax: 81-3-5639-7507  
Email: [jpn.feedback@nsc.com](mailto: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	<a href="http://www.ti.com.cn/audio">www.ti.com.cn/audio</a>	通信与电信	<a href="http://www.ti.com.cn/telecom">www.ti.com.cn/telecom</a>
放大器和线性器件	<a href="http://www.ti.com.cn/amplifiers">www.ti.com.cn/amplifiers</a>	计算机及周边	<a href="http://www.ti.com.cn/computer">www.ti.com.cn/computer</a>
数据转换器	<a href="http://www.ti.com.cn/dataconverters">www.ti.com.cn/dataconverters</a>	消费电子	<a href="http://www.ti.com/consumer-apps">www.ti.com/consumer-apps</a>
DLP® 产品	<a href="http://www.dlp.com">www.dlp.com</a>	能源	<a href="http://www.ti.com/energy">www.ti.com/energy</a>
DSP - 数字信号处理器	<a href="http://www.ti.com.cn/dsp">www.ti.com.cn/dsp</a>	工业应用	<a href="http://www.ti.com.cn/industrial">www.ti.com.cn/industrial</a>
时钟和计时器	<a href="http://www.ti.com.cn/clockandtimers">www.ti.com.cn/clockandtimers</a>	医疗电子	<a href="http://www.ti.com.cn/medical">www.ti.com.cn/medical</a>
接口	<a href="http://www.ti.com.cn/interface">www.ti.com.cn/interface</a>	安防应用	<a href="http://www.ti.com.cn/security">www.ti.com.cn/security</a>
逻辑	<a href="http://www.ti.com.cn/logic">www.ti.com.cn/logic</a>	汽车电子	<a href="http://www.ti.com.cn/automotive">www.ti.com.cn/automotive</a>
电源管理	<a href="http://www.ti.com.cn/power">www.ti.com.cn/power</a>	视频和影像	<a href="http://www.ti.com.cn/video">www.ti.com.cn/video</a>
微控制器 (MCU)	<a href="http://www.ti.com.cn/microcontrollers">www.ti.com.cn/microcontrollers</a>		
RFID 系统	<a href="http://www.ti.com.cn/rfidsys">www.ti.com.cn/rfidsys</a>		
OMAP 机动性处理器	<a href="http://www.ti.com/omap">www.ti.com/omap</a>		
无线连通性	<a href="http://www.ti.com.cn/wirelessconnectivity">www.ti.com.cn/wirelessconnectivity</a>		
	德州仪器在线技术支持社区		<a href="http://www.deyisupport.com">www.deyisupport.com</a>

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