

# ADC08D1500,ADC08D1520,ADC08D1520QML, LMX2531

*Application Note 1558 Clocking High-Speed A/D Converters*



Literature Number: ZHCA270

# 高速A/D转换器的时钟设计

美国国家半导体公司  
应用注释 1558  
James Catt  
2007年1月



极高速ADC (>1GSPS) 需要低抖动的采样时钟，目的是为了维持一定的信噪比 (SNR)。这些8位和10位转换器最优情况时的底噪是由量化噪声决定的。对于一个N位ADC对一个满幅正弦波进行采样时，关于SNR (dB) 的著名表达式为：SNR=6.02N+1.76。这设定了8位ADC在最佳情况的底噪水平为-49.9 dBc。例如采样时钟上的抖动、ADC本身的孔径抖动 (aperture jitter)、ADC量化器中非线性导致的杂散分量、和其他例如热噪声等内部噪声，这些因素都会降低底噪水平。在本文中，我们关注根据PLL/VCO的特性来优化采样时钟的策略。也就是说，通过最小化时钟抖动，进而将总的集成相位噪声降到最低。

采样时钟的均方根 (RMS) 抖动和ADC固有的RMS孔径抖动的平方根之和等于总的有效抖动值。总的RMS抖动为：

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma_{\text{Clk}}^2 + \sigma_{\text{aperture}}^2}$$

由于总的抖动造成的SNR为：

$$\text{SNR}_{\text{dB}} = 20 \cdot \log \left( \frac{1}{2\pi f_{\text{in}} \sigma_T} \right) = 20 \cdot \log \left( \frac{1}{2\pi f_{\text{in}} \sqrt{\sigma_{\text{Clk}}^2 + \sigma_{\text{aperture}}^2}} \right)$$

在给定目标SNR和ADC孔径抖动的情况下，得到最大可允许的时钟抖动为：

$$\sigma_{\text{Clk}} = \sqrt{\frac{1}{(2\pi f_{\text{in}})^2 \cdot 10^{\frac{\text{SNR}}{10}}} - \sigma_{\text{aperture}}^2}$$

美国国家半导体公司的8位、1.5 GSPS转换器ADC08D1500所具有的孔径抖动规格为400飞秒 (fs.)。使用该值以及748 MHz (f<sub>IN</sub>)的最大输入频率，表1列出了为达到总抖动决定的目标SNR所允许的具体采样时钟抖动值。

表1. 抖动SNR和可允许的时钟抖动以及总的SNR

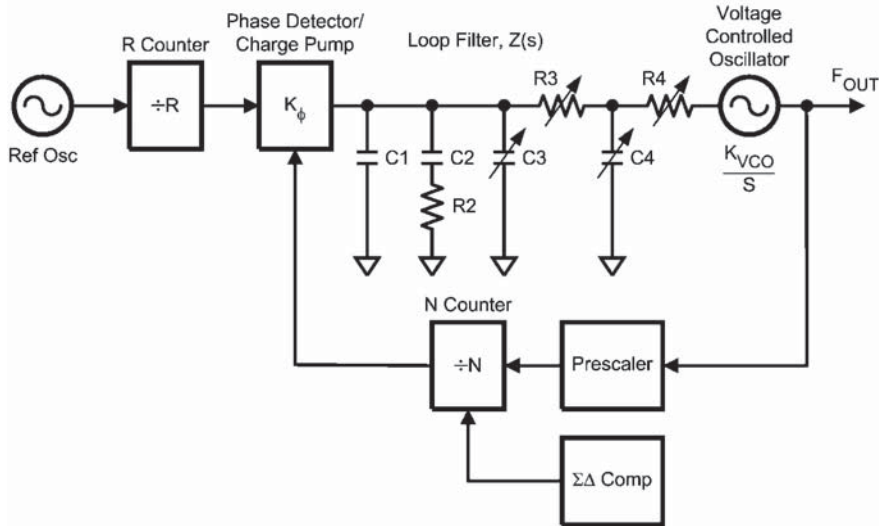
目标抖动 SNR (dB) (孔径抖动和时钟抖动)	可允许的时钟抖动(fs.)	由于量化噪声和抖动决定的总的SNR (dB)
		$\text{SNR} = 10 \log \left( \frac{1}{\frac{1}{10^{\frac{\text{SNR}_J}{10}}} + \frac{1}{10^{\frac{\text{SNR}_Q}{10}}}} \right)$
54	142	48.5
53	259	48.2
52	354	47.8
51	447	47.4
50	541	46.9
49	640	46.4
48	747	45.8
47	862	45.2
46	989	44.5

表中第三列为8位ADC由于量化噪声和抖动造成的组合SNR值，使用49.9 dB的量化噪声SNR。

为达到接近49.9 dB的总的SNR所允许的抖动值（第二列），很难将其保持在一个合理的成本水平。然而，使用

美国国家半导体公司的LMX2531LQ1500E频率综合器，以及高品质的晶体振荡器就可以将RMS时钟抖动保持在500 fs以下。LMX2531LQ1500E如图1所示。

电路框图



30002105

图1. LMX2531LQ1500E电路框图

在该例中，我们使用LMX2531LQ1500E来产生固定的1.5 GHz采样时钟，可以用来驱动美国国家半导体的任何一款GSPS ADC。因为ADC的时钟是固定的，我们可以设计环路滤波器来实现优化的相位噪声性能，得到最佳的抖动性能。图1中每个功能模块都会产生某种类型的噪声。下表列出它们的噪声传输函数的低频和高频近似。

表2. 噪声传输函数，T(f)

噪声源	低频传输函数的近似	高频传输函数的近似
基准振荡器	N/R	G(s)
R 除法器	N	G(s)
N 除法器	N	G(s)
相位检测器	N/Kφ	G(s)

资料来源：Dean Banerjee, *PLL Performance: Simulation and Design*, 4th Edition, Dogear Publishing, Indianapolis, 2006.

G(s)是正向传输函数：

$$G(s) = \frac{K_{\phi} \cdot K_{VCO} \cdot Z(s)}{s}$$

优化PLL噪声带宽意味着将下列通过PLL的每个噪声路径的积分降到最低：

$$\int_{f1}^{f2} S_N(f) \cdot |T(f)|^2 df$$

Sn(f) 表示具体的噪声源PSD， T(f) 表示噪声传输函数。使用表2中T(f)的近似可以指导我们选择PLL的参数，进而可以优化噪声性能：

- 将相位比较器的电荷泵增益 (Kf) 最大化，以将相位检测器（某种程度上）的噪声贡献降到最低。
- N除法器与R除法器噪声贡献与N2值成正比。以最大的相位检测频率为约束，选择一个相位比较器频率，为N找出可能的最小整数值。
- 选择一个低噪声基准振荡器工作在比较频率，或是比较频率的整数倍上。由于能减少基准噪声，振荡在比较频率的整数倍时可以提供额外的优势。
- 设计的环路滤波器具有大约80度的相位裕度，可以平滑响应从而抑制环路邻近带宽的压控振荡器噪声。

最终的任务是设计环路传输函数T(f) 使之易于将每个噪声源降到最低，如果不用自动工具将会变得极为困难。美国国家半导体公司的基于Web设计环境的WEBENCH®有Easy-PLL工具，可以帮助用户选择一款PLL/VCO，只要键入所需设计参数，可以选择环路器件，然后用仿真测试设计结果。

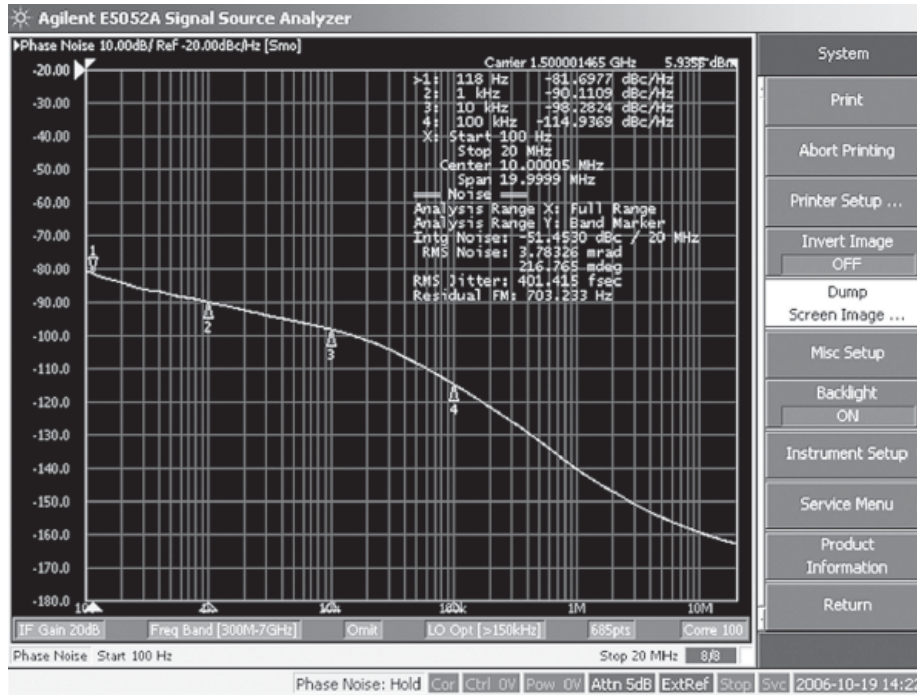
使用EasyPLL工具，选择LMX2531LQ1500E和作为基准的60 MHz的晶体振荡器，并采用下列最终的设计参数进行设计：

- F<sub>osc</sub> = 60 MHz, 相位噪声 = -158 dBc, 频偏10 kHz
- 比较频率 = 30 MHz, R = 2, N = 50
- 二阶环路滤波器, C1= 220 pF, C2 = 150 nF, R2 = 1.0 kD, C3=C4=R3=R4=0.
- 环路带宽 = 22.85 kHz
- K<sub>φ</sub> = 1.26 mA

代入这些值, 最终得到仅有401 fs抖动的时钟 (100 Hz至20 MHz的带宽)。美国国家半导体的ADC08D1500 8位、1.5 GSPS转换器的孔径抖动规格为400飞秒(fs.)。使用该值和748 MHz( $f_{IN}$ )最大输入频率, 表1列出了考虑总的抖动后为

达到目标SNR所允许的采样时钟抖动。

从表1中可以发现, 在748 MHz处的SNR近似值为47.6 dB。  
图2为时钟的单边带相位噪声图。



30002108

图2. 1.5 GHz ADC时钟的单边带相位噪声图

## 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