

电源对射频 DAC (DAC38RF83) 相位噪声影响分析

德州仪器公司 (TI) 现场应用工程师 Fanlong Li

摘 要

实现对射频信号直接进行数模转换的高速 DAC (RF sampling DAC) 已经广泛的运用到无线通信系统中, 其中典型的代表是 TI 的 DAC38RF83, 其内部集成了可支持高达 9G 的采样时钟。采样时钟的性能是决定射频 DAC 性能的核心因素, 所以分析哪些因素对采样时钟性能的影响显得尤为重要。本文分析了电源对射频 DAC 采样时钟及其射频指标的影响, 最终通过理论结合实际分析给出了对电源的量化需求。

Key words: 射频直接采样 DAC (RFDAC) 供电电源 相位噪声

目录

1 引言.....	2
2 问题的描述.....	2
3 问题的定位及其结论.....	3
4 问题的理论分析.....	4
5 结论.....	5
6 参考文献	5

图

Figure 1 TI DAC38RF83 架构框图	2
Figure 2 左图为输入参考, 右图为输出相位噪声异常图	2
Figure 3 异常时候的相位噪声和对应的 EVM	3
Figure 3 RFDAC38RF83 中和 PLL 相关的三个电源.....	3
Figure 4 更换了 VCO 的电源后测试到的相位噪声.....	4
Figure 5 更换了 VCO 的电源后测试到 EVM 为 1.25%	4
Figure 6 PLL 的典型框图.....	4
Figure 7 PLL 的传输函数: 左边是除 VCO 外所有噪声传递函数, 右图是 VCO 噪声传递函数	5

1 引言

数/模转换器 (DAC) 是无线产品中的核心器件, 它的架构和性能对无线产品如 RRU 中 TX 链路的架构和性能有着决定性的影响。随着 DAC 技术的发展, 能完成对射频信号直接转换的 DAC 已经完全成熟并广泛运用到无线通信系统中。本文将以 TI 的高性能双通道射频直接采样 DAC(DAC38RF83)为例来分析时钟供电电源对片上时钟及射频性能的影响, 最终通过理论结合实际给出电源的量化需求, 实现对射频采样 DAC 的运用设计提供最直接的指导。

2 问题的描述

TI 的高性能双通道射频采样 DAC (DAC38RF83) 内部集成了 PLL, 最高可以支持 9G 的采样钟, 其原理框图如下, 该 PLL 可以支持 GSM/LET 制式。在使用中, 用户只需要提供一个低频的时钟例如 368.64M/245.76M 作为 PLL 的参考时钟, 经过 PLL 后输出最高 9G 作为 DAC 内部工作时钟。

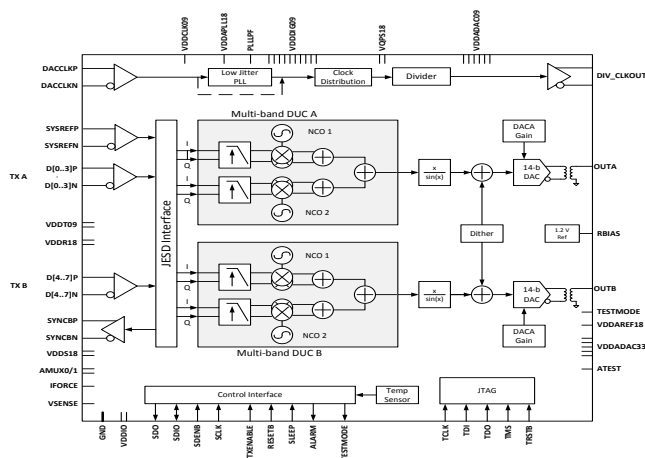


Figure 1 TI DAC38RF83 架构框图

在一个设计中，我们采用了从 LMK04828 输出的 245.76M 时钟作为参考，通过设置 PLL 完成 36 倍频后输出 8847.36M 时钟，同时将环路滤波器的带宽设置为 200KHz。测试了 2605M 的相位噪声如下图所示。

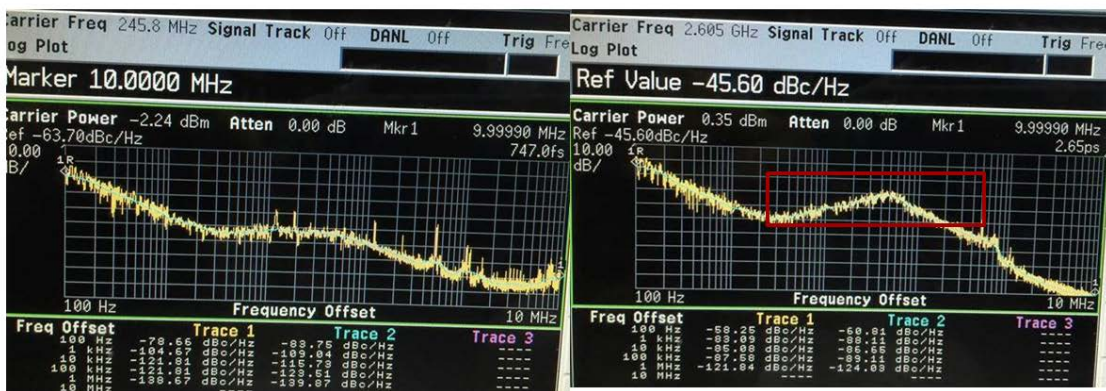


Figure 2 左图为输入参考，右图为输出相位噪声异常图

上图中左边的图是 245.76M 输入参考，右边图是经过 NCO 移频后的单音 2605MHz 输出，用以表征内部 PLL 的性能。在正常情况下，按照 PLL 的基本理论，在环路带宽内 PLL 的输出和输入的相位噪声按照 $20\log(F_{in}/F_{out})$ 倍数

关系恶化，那么整个输出近端<200K 的主要噪声应该是参考的输入噪声加上 20.5dB。通过下表格可以明显看出 10K 到 100K 之间近端相位噪声明显恶化，其大小不满足 $20\log(F_{in}/F_{out})$ 的计算。

Input reference clock		Output clock		Delta number
Offset	Phase noise(dBc/Hz)	Offset	Phase noise (dBc/Hz)	Pout-Pin(dB)
100Hz	-78	100Hz	-58	20
1kHz	-104	1kHz	-83	21
10kHz	-121	10kHz	-85	36
100kHz	-121	100kHz	-87	34

Table 1 PLL 的输出和输入相位噪声恶化对比

近端的相位噪声的恶化尤其是 10K~100K 之间的恶化将严重影响信号带内质量，通过相位噪声的拟合和实际测试得到可以计算 EVM 恶化到 6%，不能满足系统 1.5%的要求。

100HZ	1KHZ	10KHZ	100KHZ	1MHZ	Jitter1	Jitter2	Jitter3	Jitter4	Jitter total	EVM
-58	-83	-85	-87	-121	-31.454163	-44.3434	-36.3434	-30.47	0.001883	6.14

Figure 3 异常时候的相位噪声和对应的 EVM

3 问题的定位及其结论

由于相位噪声的恶化集中在低频 100KHz 附近，在排除配置问题后怀疑是电源相关问题。和 PLL 相关的电源一共有三个如下表格所示：

TXENABLE	K6	I	Transmit enable active high input. Internal pull-down. To enable analog output data transmission, pull the CMOS TXENABLE pin to high. To disable analog output, pull CMOS TXENABLE pin to low. The DAC output is forced to midscale.
VDDA1	F11, J11	I	Analog 1V supply voltage.
VDDA18	G11, H11	I	Analog 1.8V supply voltage. (1.8 V)
VDDPLL1	D8, E8	I	Analog 1V supply for PLL.
VDDAPLL18	B9, B10	I	PLL analog supply voltage. (1.8 V)
VDDAVCO18	D9, E9	I	Analog supply voltage for VCO (1.8 V)
VDDCLK1	G9, H9	I	Internal clock buffer supply voltage (1 V) It is recommended to isolate this supply from VDDDIG1 and VDDA1.

Figure 4 RFDAC38RF83 中和 PLL 相关的三个电源

通过外接电源对比实验，我们发现仅仅更换给 VCO 供电的 1.8V 电源会对相位噪声上的鼓包有明显改善，实际测试如下图所示，可以看到近端的相位噪声有了明显的优化并符合 $20\log(f_{out}/f_{in})$ 计算。

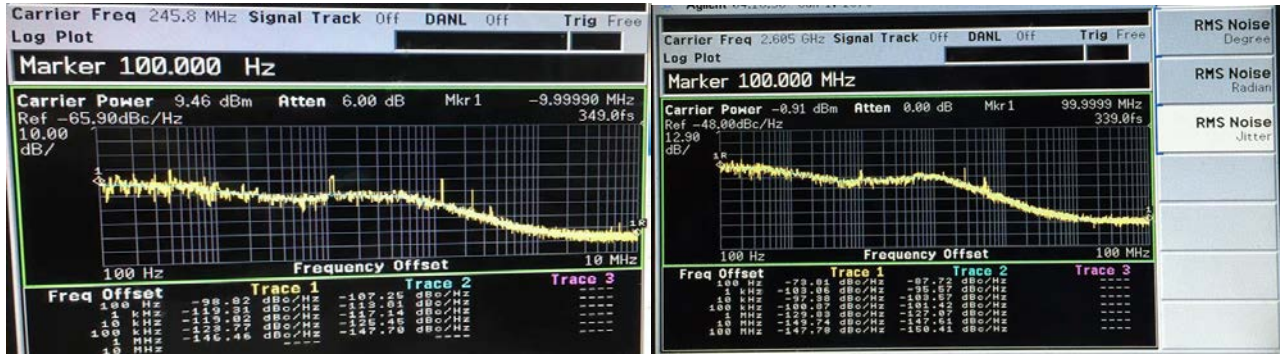


Figure 5 更换了 VCO 的电源后测试到的相位噪声

100HZ	1KHZ	10KHZ	100KHZ	1MHZ	Jitter1	Jitter2	Jitter3	Jitter4	Jitter total	EVM
-73.8	-103	-97	-100	-129	-47.262657	-59.4946	-48.7035	-43.46	7.84E-05	1.25

Figure 6 更换了 VCO 的电源后测试到 EVM 为 1.25%

通过电源的细化排除测试，最终定位到由于 RFDAC 内部 PLL 给 VCO 供电的电源噪声导致了近端 PLL 的恶化。

4 问题的理论分析

下面借助一些通用的 PLL 理论知识来分析为什么 VCO 的电源影响如此之大。

PLL Basic Structure

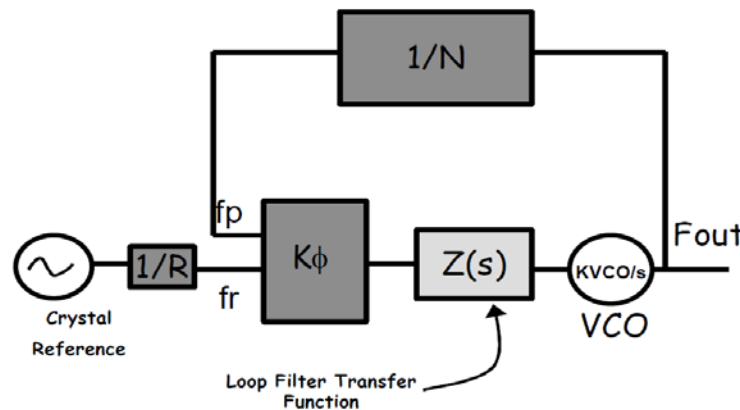


Figure 7 PLL 的典型框图

上图是一个 PLL 的典型框图，PLL 中各噪声的传递函数进行如下图所示：

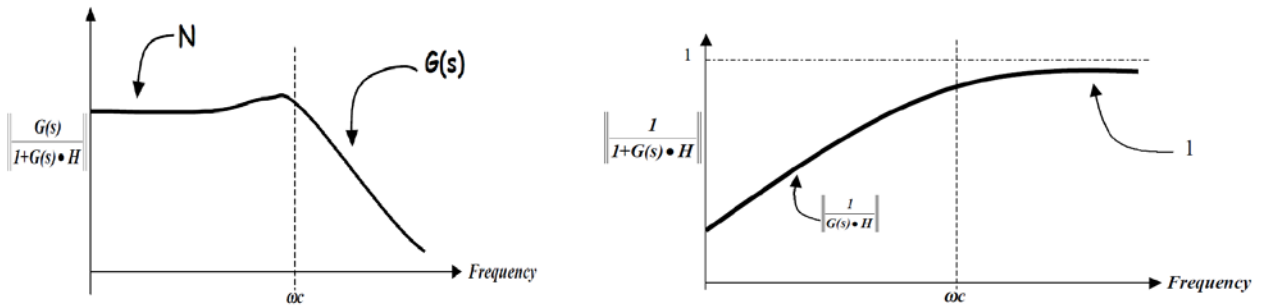


Figure 8 PLL 的传输函数：左边是除 VCO 外 PLL 电路噪声传递函数，右图是 VCO 噪声传递函数

上图中 ω_c 表示的是环路滤波器的带宽，在本案例中环路滤波器带宽为 200KHz。从上图可以看到 PLL 的所有噪声中仅 VCO 中的噪声表现为高通特性，而其他噪声都表现为低通特性。这里需要结合两方面的因素来考虑：

- VCO 虽然表现为高通特性，但对低频段的噪声的抑制程度和环路滤波器带宽强相关，因为任何滤波器都有过渡带，所以抑制的能力需要看过渡带的大小，如果环路带宽越大，那么近端抑制越强，所以电源的噪声可以被抑制掉。本案例中环路带宽只有 200KHz，可以看到对于近端 100K 的电源噪声过渡带很小所以对低频噪声抑制很小。
- VCO 的供电电源噪声和对噪声的抑制能力 (PSRR) 是否够高。

本案例和上述两点都有关系，环路带宽放大也可以压低相噪，但是对于时钟参考噪声的抑制能力降低，不可取。最终方案为替换成高性能的 LDO，本案中替换为 TI 高性能 3A LDO TPS7A8400，近端 PSRR 在 10K 处为 57dB，电源噪声仅为 4.4uV，测试相噪，在 10K~100K 范围优化到 -100dBc/Hz，系统 EVM 可以达到 1.25%，满足系统要求。

5 结论

通过实验结合理论的分析给出了电源对高速 ADC 中 PLL 的影响，将电源性能同射频性能进行了串联。目前无线系统对发射方向的 ACPR 有较高要求，所以一般都用环路带宽较窄的 PLL 获取较高的 ACPR。所以 PLL 的供电电源的性能显得尤为的重要，通过本文的分析，PLL 供电的所有电源的 PSRR 在 10KHz 附近需要保证在 50dB 以上，电源噪声在 10uV 以下，为射频 DAC 设计中电源的选取提供了指导，目前 TI 的一款高性能 3A LDO TPS7A8400 完全能满足该要求。

6 参考文献

1. DAC38RF3 datasheet 2016, Texas Instruments Inc.
2. PLL Performance, Simulation, and Design Ó 2001, Second Edition, Dean Banerjee.
3. TPS7A8400 datasheet 2016, Texas Instruments Inc.

重要声明

德州仪器(TI) 及其下属子公司有权根据 JESD46 最新标准, 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, 并有权根据 JESD48 最新标准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 保证其所销售的组件的性能符合产品销售时 TI 半导体产品销售条件与条款的适用规范。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。除非适用法律做出了硬性规定, 否则没有必要对每种组件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 组件或服务的组合设备、机器或流程相关的 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中 TI 信息的重要部分, 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。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任或义务。复制第三方的信息可能需要服从额外的限制条件。

在转售 TI 组件或服务时, 如果对该组件或服务参数的陈述与 TI 标明的参数相比存在差异或虚假成分, 则会失去相关 TI 组件 或服务的所有明示或暗示授权, 且这是不正当的、欺诈性商业行为。TI 对任何此类虚假陈述均不承担任何责任或义务。

客户认可并同意, 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与其产品及其应用中使用 TI 产品 相关的所有法律、法规和安全相关要求。客户声明并同意, 他们具备制定与实施安全措施所需的全部专业技术和知识, 可预见 故障的危险后果、监测故障及其后果、降低有可能造成人身伤害的故障的发生机率并采取适当的补救措施。客户将全额赔偿因 在此类安全关键应用中使用任何 TI 组件而对 TI 及其代理造成的任何损失。

在某些场合中, 为了推进安全相关应用有可能对 TI 组件进行特别的促销。TI 的目标是利用此类组件帮助客户设计和创立其特 有的可满足适用的功能安全性标准和要求的终端产品解决方案。尽管如此, 此类组件仍然服从这些条款。

TI 组件未获得用于 FDA Class III (或类似的生命攸关医疗设备) 的授权许可, 除非各方授权官员已经达成了专门管控此类使 用的特别协议。

只有那些 TI 特别注明属于军用等级或“增强型塑料”的 TI 组件才是设计或专门用于军事/航空应用或环境的。购买者认可并同 意, 对并非指定面向军事或航空航天用途的 TI 组件进行军事或航空航天方面的应用, 其风险由客户单独承担, 并且由客户独 力负责满足与此类使用相关的所有法律和法规要求。

TI 已明确指定符合 ISO/TS16949 要求的产品, 这些产品主要用于汽车。在任何情况下, 因使用非指定产品而无法达到 ISO/TS16949 要 求, TI 不承担任何责任。

	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.cn/consumer-apps
DLP® 产品	www.dlp.com	能源	www.ti.com.cn/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应用处理器	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

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2016, Texas Instruments Incorporated