



TELEDYNE e2v | Semiconductors
Everywhere you look™

摘要

无线技术在过去的20年里快速从3G发展到4G，现在已到了5G的时代。有一个技术问题一直贯穿这一发展的过程，即高频器件的自动校准测试。

RF ATE和现场测试系统面临的最困难的挑战是校准、可重复性和测试结果的关联度。未来的无线技术的发展需要5G NR

器件。Teledyne e2v的四通道多输入端口ADC利用非并行片上高频交叉点开关输入电路技术，使用户可在RF ATE和/或现场测试环境中使用自动校准和测量技术。

Teledyne e2v的[EV12AQ605](#)和[EV10AQ190](#)（采用交叉点开关输入电路技术的12位和10位四通道ADC）使RF ATE和现场测试设备的开发可以集中于单通道和多端口5G NR设备的自动校准测试和测量。

两代之间的问题

5G是通信行业的第五代蜂窝网络技术标准，从2019年开始在世界范围应用。5G是现在大多数手机使用的4G网络的继任者，带宽更大，下载速度高达10 Gbit/s。由于带宽的增加，现在的4G手机将无法使用新的网络，这种新的网络需要支持5G的无线设备。另一方面，5G也需要兼容诸如带宽等所有的4G网络需求。因此，为了保证广泛的服务，5G网络将工作在三种频段：低频段、中频段和高频段。

低频段5G（也称作次1 GHz）使用和4G(600-700 MHz)相似的频率范围，可支持稍高于4G的下载速度(30-250 Mbit/s)。

中频段5G（也称作次6 GHz）的频率范围是2.5-3.7 GHz（下载速度是100-900 Mbit/s）。这一服务将在2020年覆盖大多数的大城市区域。

高频段5G（也称作毫米波）使用26、28或39 GHz的频率。上述的5G频段都在2020年经过测试，而新的中频段（次6 GHz）预计在将来的几个月或几年内实现（当前有超过50个5G NR中频段在世界范围内使用）。

2018年，一个5G的行业联合标准（第三代合作工程（3GPP））定义了使用5G NR(5G新无线电)软件的系统。5G最终将支持大约每平方千米1M个设备，而现在的4G支持大约每平方千米100K个器件。当然，5G无线设备将兼容4G LTE功能，因为新的5G网络将使用现有的4G网络初步实现手机的连接。关键是，未来的5G器件不仅需满足不断发展的5G性能需求，还需兼容之前的2G/3G/4G/5G(GSM/EDGE/CDMA/UMTS/WCDMA/LTE/LTE-A/LTE-SCDMA/LTE等)。

因此，未来的5G NR ATE系统需使用一种可靠的、可重复的方式在较宽的频率范围测试器件的性能，这种方式需支持自动校准和测量以确保结果相互关联并减少测试误差。

误差带来的麻烦

参数化RF ATE测量环境中DUT（测试的器件）外部的不确定度/误差需要采用能准确并可可靠测量DUT/产品性能的测量方法以提高测量的精确度。测试并量化测量的不确定度是获得理想测量结果的关键。



一般来说，测量结果的准确度通常是值得怀疑的，因为所有的测量都受物理和电气环境的影响，并受到使用的源/测试器件/仪器的限制。因而，测量的值永远不会等于测试的DUT/性能的真实值。测量值和真实性能值之间的差别叫做误差。依据误差的来源（DUT外部），这些误差可被大致地分为随机误差和系统误差。随机误差是随机的，它们来源于测试设备和测试环境的不可预测的时间或空间变化。通常难以追踪和量化随机误差如何影响DUT的测量结果。随机误差主要由RF ATE环境的变化引起，如温度变化、连接变化、仪器噪声和失真，也包含连接和线缆的误差。

系统误差是可重复的误差，一般可以被修正，但无法全部消除。系统误差仅可被减小到某个程度。校准的概念通常指估算RF ATE测试环境中的系统误差并修正。为了成功修正系统误差，通常需要校准的标准或参考的器件。这个标准或参考器件应该能以较高的精确度代表或复现某个测量流程。校准流程一般是用测量系统测量/测试这个标准/参考器件，并将测量结果存储为原始数据。通过比较这个标准/参考器件的原始测量数据和已知的数值，可计算出系统误差。这个误差的值随后被用于修正测量结果。不幸的是，对于5G NR ATE测试设备，包括DIB（设备接口板）、探针卡、线缆和连接等，标准/参考器件有各种各样的高频率和测试条件，这使得问题变得非常复杂。另一种校准的方法是定义一个参考平面。这个参考平面是通过估算并修正测试系统环境的系统误差得出。不幸的是，随机误差无法通过参考平面环境修正。当前RF/5G NR ATE和现场测试系统环境迫切需要一种使用自动/校准和测量技术为每个DUT创建一个参考平面的解决方案。

独立器件的自动校准和测试测量

为RF ATE环境中的每个DIB（设备接口板）/DUT创建一个参考平面需要定义一个校准流程（图1a和1b）。校准通常使用一套标准。理想状态下，这个标准采用一个“金标准器件”DIB/DUT，与通常的DIB/DUT测量（步骤2）相比，其累计误差只有不到一半或四分之一（步骤1）。如果可得出这一误差（步骤1），则可认为标准的累计测量方法足以满足实际的DIB/DUT测试（步骤2）。一直维持RF ATE环境中不同的频率、噪声和电压条件下最小的“金标准/参考器件”测量误差是一件非常困难、耗时和昂贵的工作。



图1a 简化框图：使用金标准参考的手动参考平面校准



图1b 简化框图：DIB/DUT的自动测量

当然，器件的互联和变化也会显著影响创建标准的参考平面和DIB/DUT的校准（包括多设备接口板（DIB）异常、DIB/DUT接触/器件变化、线缆/连接器阻抗、源/测量仪器变化等）。考虑到上述的内容，5G NR设备的校准流程需使用一套标准的手动的测试方法创建参考平面（引入大的随机误差），然后采用自动测试方法去除系统误差源。

图2表示一个通用的6脚（表面贴装封装）的5G NR低噪声放大器（LNA）产品/DUT（不连接外围器件）。这个LNA的测试样本需在RF ATE环境下测试，这个环境需要在测试之前校准，以确定参考平面。典型的用于LNA的RF ATE测试包括：



- 工作频率范围（有超过50个5G NR网络频带）
- 增益/插入损耗
- 频率范围的增益平坦度
- 噪声图
- 输入/输出回波损耗
- 输入 IP3
- 输出 IP3

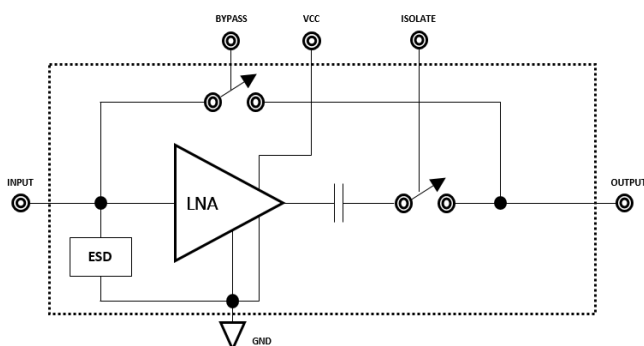


图2 通用6脚5G NR LNA DUT（不连接外围器件）

除了测试这种LNA设备，实际的RF ATE环境还需拥有测试其它类型的5G NR类型设备（耦合器、衰减器、滤波器、VGA等）的能力。因此，还需考虑多端口测试的情况。

图3表示相同的通用6脚（表面贴装封装）5G NR低噪声放大器（LNA）产品/DUT，但是带有正常工作所需的外部器件。这些器件尽可能近地安装在DIB上。实际上，由于高频激励，图3的测量和校准比图2复杂得多。DUT和DIB之间的异常包括：

- 衰减器不匹配和损耗误差（需要阻抗匹配和改变DUT输入/输出电平）
- 输入和输出之间的电感性能变化
- 控制线和门驱动之间的相互作用的变化
- 接地环路
- 线缆/连接阻抗
- 每个测试模块的测试系统连接的阻抗变化

如前所述，随着在DUT中增加了信号链中的多个器件，校准的问题也会更复杂。随着变量的增加，校准和自动测试误差呈指数级增加。

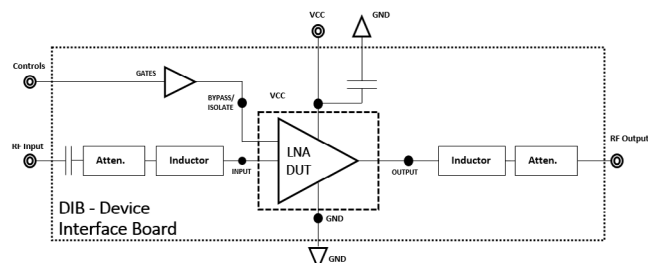
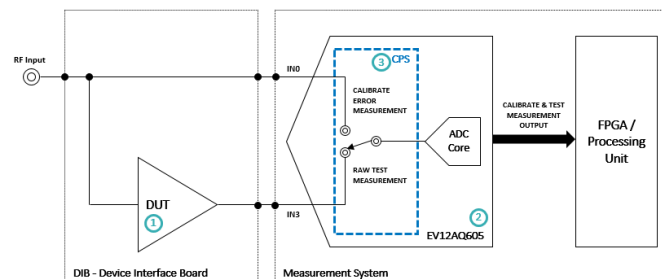


图3 通用6脚5G NR LNA DUT/DIB（连接外围器件）

因此，未来5G NR ATE系统和现场电信测试设备需要具有在宽频率范围和不同测试条件下可靠、可重复、相关联（考虑到前面所述的误差）测试的能力。它也需要一种自动校准技术，不依靠手动校准依据标准创建参考平面。图4表示一个简化/概念性的自动校准5G NR RF ATE测量系统的框图，可用于任何DIB/DUT，无论是单端口还是多端口，是否有外围器件。



- ① Device Under Test or Gold/Standard Unit
- ② EV12AQ605 Analog-to-Digital Converter
- ③ CrossPoint Switch integrated in EV12AQ605

图4 概念框图：自动校准5G NR RF ATE测量/测试系统

为了保证RF ATE系统准确、可靠性、可重复的测试，测试工程师必须填补昂贵的测量仪器的面板上的高质量连接器和DIB/DUT的接口之间的空白。DUT的电气接口（探针卡或封装适配接口卡）通常集成在DIB内部，却很少与相同类型的高质量连接器匹配。源端（到DUT）和接收端/测量设备（来自DUT）之间大量的线缆/连接器以及DIB会引入大量的随机误差和系统误差。



为了补偿这些误差，简化的RF ATE测试配置（图4）允许DUT端口的自动校准和测量，无需手动校准技术为每个独立的DIB/DUT创建参考平面。图4简单地通过直接测量测试配置误差并在最终的DUT测量值中纠正这些误差（原始测试测量值 - 校准误差测量值 = 最终DUT测量值）使校准/测试测量的流程实现自动化。具体实现方法是，首先，内部交叉点开关（CPS）会自动切换到“校准误差测量”模式，从而允许ADC测量RF吞吐量，这包含以下的误差：

- 直接RF天线/源噪声和失真
- DUT的输入回波损耗/衰减器误差
- 电源误差
- 接地误差
- 辅助源/驱动问题（如上述的控制端口的例子）
- 连接器和线缆误差/变化

这个测量结果被存储为校准误差测量值。随后CPS自动切换至“原始测试测量”模式，ADC对DUT（连接所需的外围器件）进行同样的测量，数据被存储为原始测试测量值。这两个测量值经过软件的处理，得出自动校准/修正的最终测试测量结果。内部的CPS允许RF ATE工程师通过一系列的测试自动重配置DIB/DUT，无需手动干预和重校准。类似地，如果DIB/DUT包含多个器件，可通过四通道ADC和四输入交叉点开关（CPS）实现多个端口的测量和自动校准/修正，随后将详细介绍这一点。

5G NR ATE DUT自动校准和测试测量

图5和图6描述了使用Teledyne e2v的四通道、多输入端口并集成了非并行片上高频交叉点开关（CPS）的ADC的5G NR ATE自动校准和测试测量系统的自动化解决方案。Teledyne e2v的EV12AQ605和EV10AQ190（12位和10位四通道集成交叉点开关的ADC）使得5G NR ATE和现场测试设备可针对单个通道（图5、6和7）和多端口5G NR设备（如下一节所示）进行自动校准测量测试。

CPS有四种不同的模式（可通过SPI控制自动使能）：

- 1通道模式IN0输入：四通道ADC交织成最高采样率6.4 Gsps(4 x 1.6 Gsps)
- 1通道模式IN3输入：同上
- 2通道模式IN0输入连接到ADC A和B, IN3连接到ADC C和D，每通道最高采样率3.2 Gsps(2 x 1.6 Gsps)
- 4通道模式IN0-IN3输入分别连接到ADC A, B, C, D，每通道最高采样率1.6 Gsps

另外，EV12AQ605的扩展输入带宽超过6 GHz(EFPBW)，允许C波段(4-8 GHz)的信号直接采样，无需通过下变频器将信号变换到基带（直接RF采样）。

图5是自动校准测量的简化框图。CPS设置成1通道（IN0输入）模式，ADC(A, B, C, D)测量DIB/DUT的RF吞吐端口，而断开DIB/DUT的RF输出端（也由CPS实现）。这种“校准误差测量”采样DIB/DUT（输入）的联合误差：

- 直接RF天线/源噪声和失真
- 到DUT的输入回波损耗/衰减器/滤波器误差
- 电源和接地的误差
- 来自DUT的输入/回波损耗/接触误差
- DUT所需的DIB包含的辅助源/驱动/器件问题
- 连接器和线缆误差/变化等

这些ADC的测量结果被存储为“校准误差测量值”。

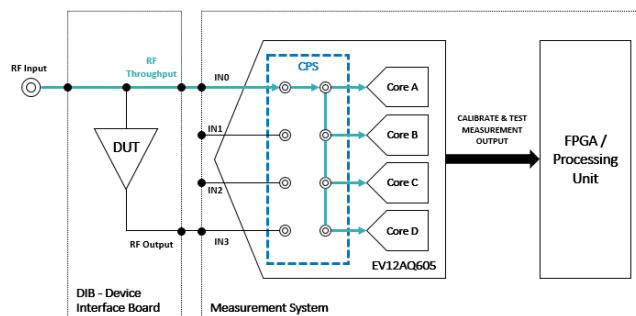


图5 简化框图：自动校准误差测量

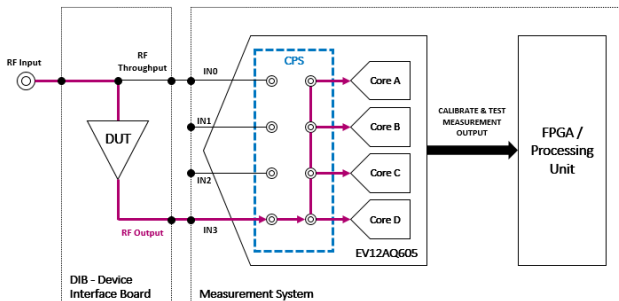


图6 简化框图：自动校准原始测试测量

图6是原始测试测量的简化框图。在获得校准误差测量值之后，CPS切换到1通道（IN3输入）模式，ADC(A, B, C, D)测量DIB/DUT的RF输出端口，而断开DIB/DUT的RF吞吐端口（由CPS实现）。这种“原始测试测量”采样DIB/DUT（输入）/DUT（输出）的联合性能和误差，如：

- 前面的校准误差测量中提到的误差
- 加上DUT RF输出性能

ADC的测量结果被存储为“原始测试测量值”。最终的DUT测量值由下式计算出：原始测试测量值 - 校准误差测量值 = 最终DUT测量值。

图7是同时进行校准误差测量和原始测试测量的简化框图。CPS被设置成2通道模式（IN0输出连接到A和B，IN3输出连接到C和D）。2通道模式的ADC(A, B)测量DIB/DUT的RF吞吐端口，而DIB/DUT的RF输出也被ADC(C, D)测量。利用最大3.2 Gsps的采样率，可以同时测量“校准误差测量值”和“原始测试测量值”。同样的，最终的DUT测量值可由下式计算出：原始测试测量值 - 校准误差测量值 = 最终DUT测量值。

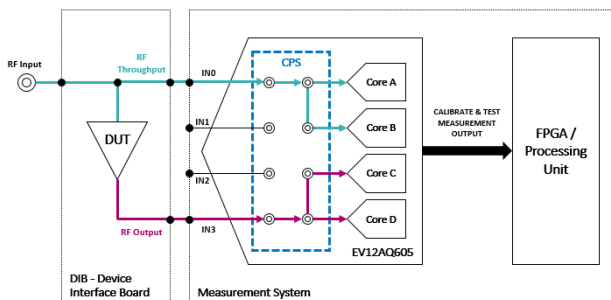


图7 简化框图：同时进行自动校准误差测量和原始测试测量

已安装的电信设备的自动校准5G NR ATE系统/现场测试

图8是同时测量多端口DIB/DUT输入/输出以完成自动校准测量和原始测试测量流程的简化框图。CPS被设置成4通道模式，每个独立采样的ADC通道最大支持1.6 Gsps的采样率。多端口DIB/DUT也可代表已安装的电信系统的测试/测量点。在4通道模式下，ADC(A, B, C, D)同时测量DIB/DUT或现场测试系统的RF吞吐端口、端口1、端口2和RF输出端口。这种配置可同时测量每个端口，数据可被用作“校准误差测量值”和/或“原始测试测量值”。最终的测试测量值可通过从原始测试测量值中减去端口校准误差得出。

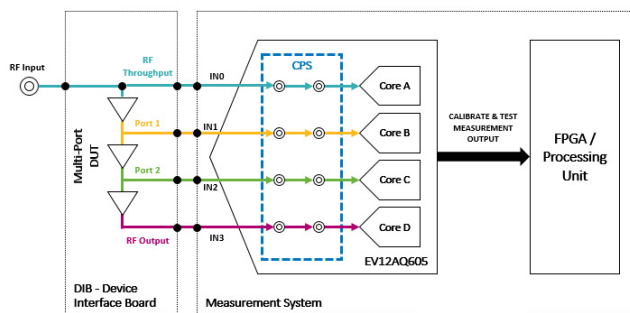


图8 简化框图：同时多端口自动校准误差测量和原始测试测量

此外，EV12AQ605包含一个“多ADC链式同步功能”，可为这种多端口测试测量带来更大的设计灵活性。4个ADC核心的链式同步功能（时钟树和数字复位）可自动调整多个ADC的采样时序/相位并重对齐，支持实时测量修正。ADC的链式同步功能使这一4通道系统可被扩展为8, 12, 16或更多通道的系统。

独特的带CPS的四通道ADC (EV12AQ605和EV10AQ190) 为5G NR ATE系统和电信设备的现场测试加入自动校准测试和测量的功能

EV12AQ605是一款四通道12位1.6 Gsps的ADC。内置的交叉点



开关(CPS)可切换多个工作模式，从而交织4个独立的核心实现更高的采样率。在4通道工作模式下，4个核心可以1.6 Gsps的采样率同相位采样4个独立的输入。在2通道工作模式下，核心可两两交织，实现每个输入端3.2 Gsps的采样率。在1通道模式下，单个输入连接到交织的4个核心，实现6.4 Gsps的采样率。这种高度的灵活性使用户可在3.2 GHz的瞬时带宽内实现RF（和IF）的数字化。EV12AQ605的扩展输入带宽超过6 GHz(EFPBW)，允许C波段（4-8 GHz）的信号直接采样，无需使用下变频器将信号转换到基带。这款ADC包含多个ADC链式同步的功能，可用于多通道系统的设计。它的封装是使用HiTCE玻璃陶瓷材料的非密封型倒装封装，可优化RF性能，支持较高的管脚密度。

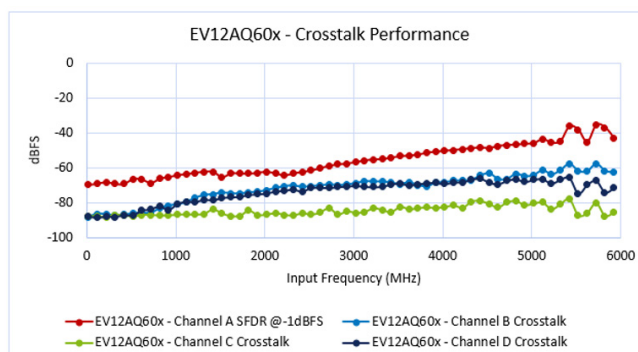


图10: EV12AQ605的串扰性能

EV10AQ190是类似的早期的10 bit的ADC版本，也集成了交叉点开关。两者的性能概述请参考下表：

	EV12AQ605	EV10AQ190
Sampling Speed	1.6 / 3.2 / 6.4 GSps	1.25 / 2.5 / 5 GSps
Channel number	4 / 2 / 1	4 / 2 / 1
Resolution	12	10
Analog input bandwidth (-3dB)	6.5 GHz (C-band)	3.2 GHz (S-band)
ENOB	8.1b @ 5.3GHz	7.7b @ 1.2GHz
Data output	ESstream 8 HSSL	LVDS DMUX 1:4
Power consumption	6.6 W	5.6 W
Temperature range	0°C to +90°C -40°C to +110°C	0°C to +90°C -40°C to +110°C
Package	CBGA323 (HiTCE) 16x16 mm	EBGA380 31x31 mm

结论

随着5G NR网络在世界范围的普及，高频器件的自动/校准高速测量是一个关键的问题。校准、可重复性和测量值的相互关联是5G NR ATE和现场测试系统面临的巨大挑战。这些问题和总体测试速度以及吞吐量直接关联，影响解决方案的效率和性能。Teledyne e2v的四通道多输入端口ADC使用非并行的片上高频交叉点开关输入电路技术，在5G NR ATE和/或现场测试环境中为器件（单个或多端口）的测试提供自动校准和测量的解决方案。■

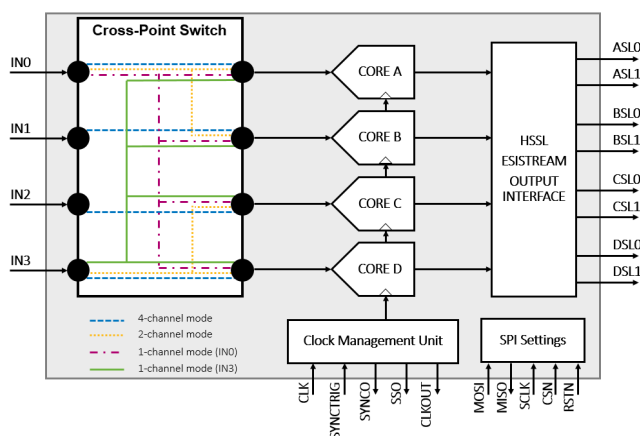


图9: EV12AQ605框图

与本文介绍的主题相关的一个重要的性能指标是通道间隔离度或串扰。大的串扰会给ADC增加额外的误差并影响结果。可以通过与其他噪声源类似的自动校准的流程修正这种误差。图10表明，EV12AQ605拥有世界领先的串扰性能，其引入的额外噪声影响不大。



更多信息，请联系：
Marc Stackler,
销售和应用工程师, APAC
半导体
Marc.Stackler@Teledyne.com



更多信息，请联系：
Yuki Chan,
营销传播经理, APAC
Yuki.Chan@Teledyne.com



TELEDYNE e2V
Everywhereyoulook™