

5G AAU 中的通道相位测量方法

德州仪器公司 (TI) 现场应用工程师 Fanlong Li

摘 要

相对于 4G 的性能提升，容量的提升是 5G 主要的目的之一。5G 通过增加天线数目，结合软件算法比如 3D MIMO 分时对准某一终端来完成容量的提升。通俗的讲，5G AAU 的基带侧通过控制多天线的相位/幅度，使得每个天线的信号经过空中传播，最终到达终端（手机）的相位一样，直接完成最大的矢量叠加。所以，通道相位的计算成为了 5G AAU 中的一个核心。随着 TI 的多通道的 Transceiver 比如 AFE76XX, AFE77XX 等在 5G AAU 中的广泛运用，我们发现越来越多的客户对相位的测量不甚了解，从而给器件的运用带来了阻挠。基于此目的，本文会通过简单的模型抽象，简述 TX 相位 RX 相位的测量方法，希望对器件的推广或者器件中的一些关键功能比如 DSA 相位校准提供帮助。

Key words: 5G AAU 相位测量 TI Transceiver

目 录

1 引言.....	2
2 5G AAU 中 TX 通道相位测量方法	2
3 5G AAU 中 RX 通道测试方法.....	3
4 参考文献.....	5

图

Figure 1 TX 通道示波器相位测试系统框图.....	2
Figure 2 TX 通道示波器相位测试结果.....	3
Figure 3 TX 通道相位 矢网测试系统框图	3
Figure 4 RX 通道相位测试方法.....	4
Figure 5 RX 通道相位测试一个实例.....	5

1 引言

3D MIMO 技术是 5G 中的一个关键技术。这一关键技术的核心是多通道相位的计算和校准。因此了解和掌握 AAU 中通道相位的测试/计算方法显得尤为重要。本文将通过简单的模型来说清楚通道相位的测量方法。

2 5G AAU 中 TX 通道相位测量方法

无论多少个天线，对其中一个天线的测量方法，总能适应到所有的天线上。TX 的相位测量方法有两种：

- 示波器测量方法。
- 矢量测试方法。

下面先介绍示波器测试方法。参考如下图 1 的测试框图是基于 TI 的全球第一代单芯片 4T4R transceiver 的测量系统。

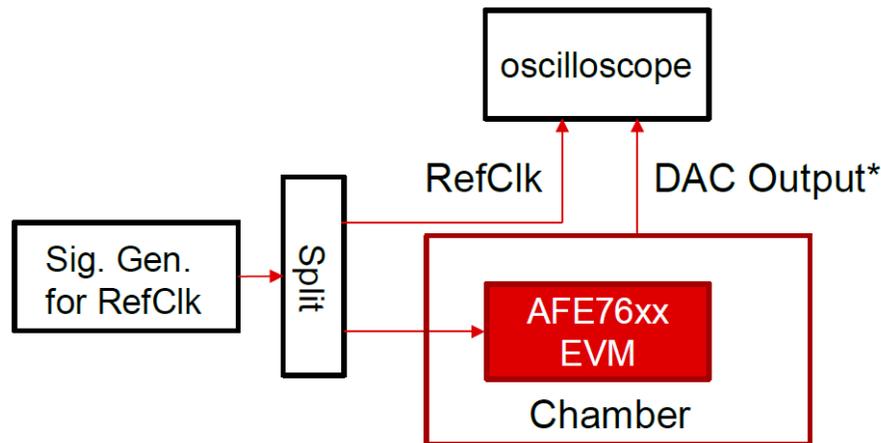


Figure 1 TX 通道示波器相位测试系统框图

这里需要强调一个观点:在 5G AAU 中,在天线校准中[1],所提到的相位的测量/计算都是关心通道的相对相位而不关注每个通道的绝对值,所以本文所提到的相位的测量方法更多的是关注测量通道的相对相位。图 1 中的测量系统就是测试所有通道相对于外面信号源的参考的变化量。参考图 1,功分器(Splitter)将信号一分为二,其中一个信号直接输入示波器作为参考信号,另外一个信号作为 AFE76XX 的参考时钟,AFE76XX 内部有片上 PLL 输出 AFE76XX TX 的 DAC 所需要的工作时钟,同时 76XX 的所有 TX 可以设置 NCO 内部发送单音。一个测试实例是信号源输出 368.64M,选取 DAC 的输出频率是参考频率的整数倍防止频差产生的误差,DAC 输出为 2211.84M。下图 2 是一个通道测试的实际输出[2]:

- 统一选取参考信号 368.64M 作为参考。选取途中黄色所示的某个点固定不动。
- 然后遍历 AFE76XX 输出的所有通道,固定其中一个点(幅度)相对参考的偏移时间,结合频率转换为度数。这里需要说明的是 AFE76XX 的不同通道输出的幅度差异会导致测量的误差,所以,尽可能选取输出信号自身的过零点来减小误差。
- 此外,该方法也可以很好的测试同一个通道相位的温度特性。

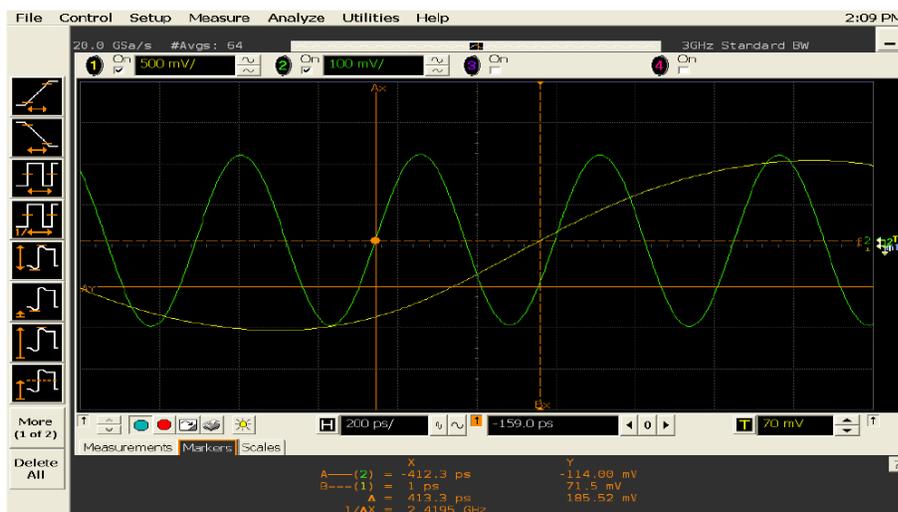


Figure 2 TX 通道示波器相位测试结果

另外一种测试方法矢网测试方法。参考如下图 3 所示，矢网测试方法是被测器件的两个通道直接输入矢网，然后设置矢网相对同一个端口参考，从而直接计算出两个端口的相位差。该测试方法只关注相位信息，所以测试较为准确，更值得推荐。

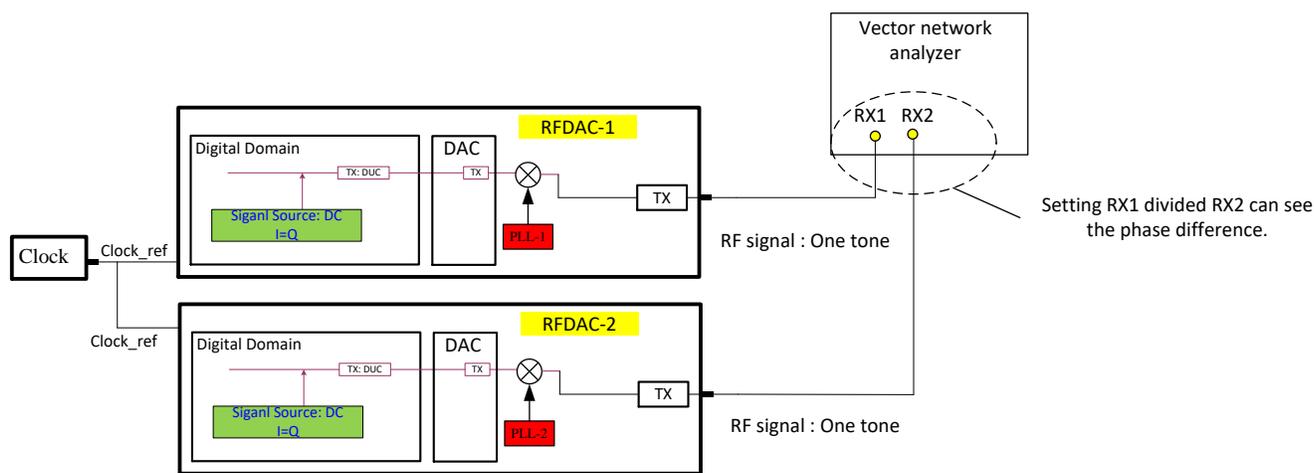


Figure 3 TX 通道相位 矢网测试系统框图

3 5G AAU 中 RX 通道测试方法

同 TX 不同，RX 只能通过采数方法来计算出通道的相位值。测试的系统框图参考下图 4。测试的设置为：

- 整个系统保持同步，信号源的 10M 输出需要和被测器件保持同步。防止由于不同步导致的相位抖动给测量带来误差。
- 被测器件中的 NCO 要能精准设置为采样率的倍数关系，防止 NCO 的产生的频差导致的相位误差。例如，假设 ADC 的采样率为 2949.12M。NCO 的设置为 $N \cdot 2949.12M / 2^{32}$ ，需要保证 N 是整数。
- 需要将信号源的输入到 RX 端的频率和 NCO 的设置完全相同，这样通过 NCO 下变频后不会产生频差导致测量的误差。

满足上述设置，参考图 4 中的相位计算过程，最终输入信号经过 NCO 下变频后将获得一个 DC 量即固定的相位值。正是因为 DC 量才无需对采数的时刻有同步要求[3]。采集到一定数量比如 4096 个点 I/Q 数据，就可以在 Excel 中利用反正切函数 $\text{Arctan}(Q/I)$ 来计算出每个点的相位。

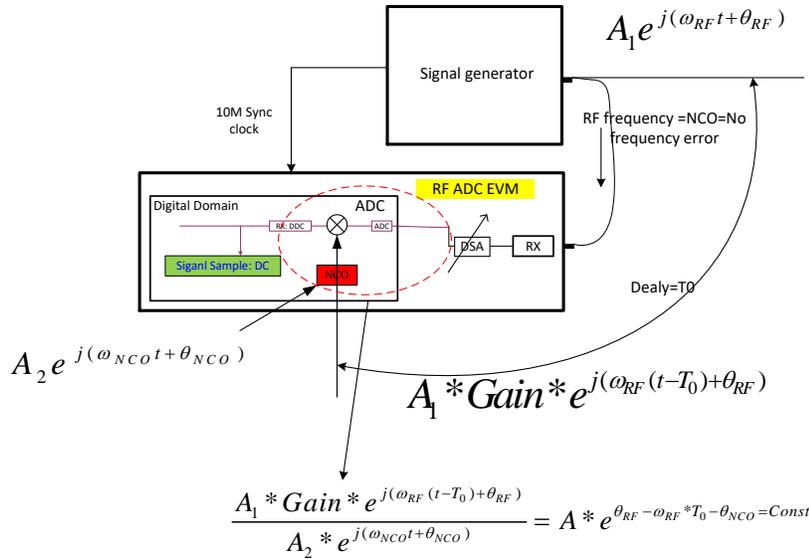


Figure 4 RX 通道相位测试方法

下图 5 给出一个实际测试的实例，该测试实例是对 TI 的第一代射频采样 ADC32RF83，测试其各个通道在不同时间的相位变化。下图中通过 Excel 表格计算出不同时间下通道 A 和 B 的相位变化，同时画出通道 A 和 B 的通道相位差值，可以看出在不同的时刻测量某个通道的相位值是波动的（芯片温度的变化），但是 A-B 的相对值是非常稳定的，说明同一个芯片内部的各个通道相位的变化的方向是一样的，这样符合预期。5GAAU 中只关注各个通道的相位是否一直性变化。

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1-A+0min	1-B+0min	2-A+3min	2-B+3min	3-A+6min	3-B+6min	4-A+11min	4-B+11min	5-A+16min	5-B+16min	1->2A-det.	1->2 Bdet.	A-B deta	2->3A-det.
-42.436	-77.6178	-41.255	-76.5455	-47.8358	-82.9811	-41.9321	-77.3188	-43.7348	-79.0331	1.18095	1.07232	-0.10863	6.58082
-42.5761	-77.628	-41.0173	-76.3007	-47.8184	-83.1441	-41.8856	-76.973	-43.805	-78.8767	1.55877	1.32722	-0.23155	6.80109
-42.6664	-77.754	-41.0784	-76.4062	-47.8706	-83.0299	-41.6959	-76.9202	-43.8273	-79.0816	1.58799	1.34774	-0.24026	6.79215
-42.4217	-77.6765	-41.2417	-76.4962	-47.8368	-83.0311	-41.7342	-77.0726	-43.6572	-78.8461	1.18002	1.18031	0.00029	6.59517
-42.4803	-77.5579	-41.18	-76.6594	-47.8253	-83.2521	-41.8302	-76.9075	-43.7661	-78.7514	1.30031	0.89846	-0.40186	6.64529
-42.6606	-77.776	-41.326	-76.869	-47.9078	-83.0569	-42.035	-77.1146	-43.7635	-79.0029	1.33456	0.90699	-0.42758	6.58183
-42.6167	-77.75	-41.3662	-76.8172	-47.6844	-83.0196	-41.6535	-76.9263	-43.5877	-78.9532	1.25047	0.93283	-0.31764	6.31818
-42.9022	-77.8398	-41.3516	-76.6971	-47.8052	-83.1441	-41.7777	-77.055	-43.7514	-78.7239	1.55053	1.1427	-0.40783	6.45353
-42.8121	-77.9108	-41.2986	-76.6125	-47.7688	-83.195	-41.9196	-76.9319	-43.8605	-79.2296	1.51345	1.29821	-0.21523	6.47018
-42.3721	-77.6194	-41.2671	-76.5655	-47.9355	-83.2392	-41.6818	-76.911	-43.9289	-79.1264	1.10505	1.05388	-0.05117	6.66843
-42.6078	-77.7993	-41.4064	-76.7519	-47.9215	-83.2006	-41.6275	-76.9919	-44.1264	-79.3055	1.20143	1.04734	-0.15409	6.5151
-42.8618	-77.8131	-41.3137	-76.7012	-47.6652	-83.1484	-41.5686	-76.742	-44.1667	-79.3698	1.54807	1.11186	-0.43621	6.35144
-42.8462	-77.8902	-41.4183	-76.7966	-47.8665	-83.2695	-41.8626	-76.9988	-44.0977	-79.1894	1.4279	1.09356	-0.33434	6.44823
-42.7682	-77.9043	-41.4967	-76.7975	-47.7486	-83.2	-41.444	-76.7464	-44.2868	-79.2442	1.27156	1.10679	-0.16477	6.25194
-42.7763	-77.8791	-41.6144	-76.8486	-47.9556	-83.2848	-41.4033	-76.6992	-44.2878	-79.3122	1.16193	1.03054	-0.13139	6.34119
-42.83	-77.6672	-41.6205	-76.6341	-47.983	-83.2443	-41.6878	-76.7868	-44.0841	-79.4668	1.20954	1.03314	-0.17639	6.36251

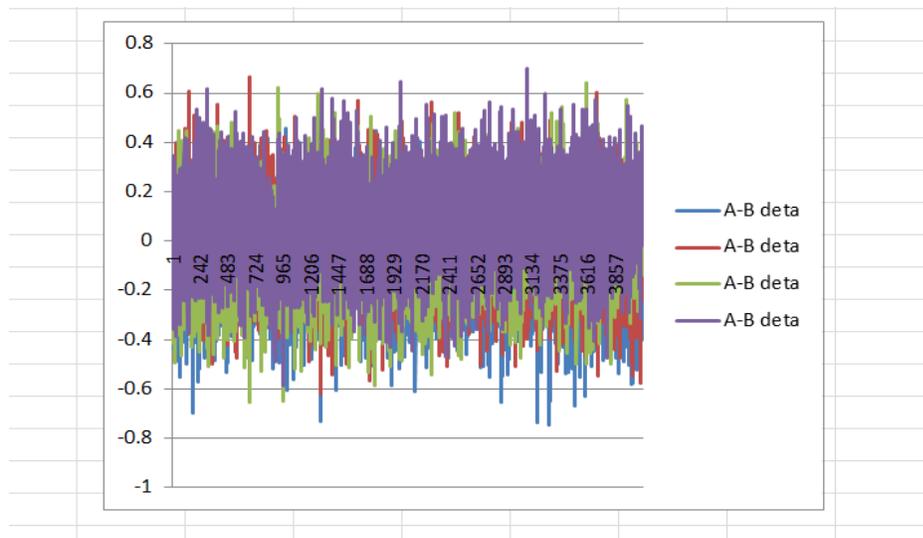


Figure 5 RX 通道相位测试一个实例

4 参考文献

1. App “无线系统中天线校准原理及 TI 器件解决方案” 2018, Texas Instruments Inc., Fanlong Li.
2. Phase change testing at DAC output, 2016, Texas Instruments Inc. Nguyen, Bao.
3. Patent No. US10, 009,123 “Phase Alignment Among Multi-transmitters” 2014, Texas Instruments Inc., Fanlong Li, Choo, Hunsoo.

重要声明和免责声明

TI 均以“原样”提供技术性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证其中不含任何瑕疵，且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、适合某特定用途或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

所述资源可供专业开发人员应用TI 产品进行设计使用。您将对以下行为独自承担全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的TI 产品；(2) 设计、验证并测试您的应用；(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保或其他要求。所述资源如有变更，恕不另行通知。TI 对您使用所述资源的授权仅限于开发资源所涉及TI 产品的相关应用。除此之外不得复制或展示所述资源，也不提供其它TI 或任何第三方的知识产权授权许可。如因使用所述资源而产生任何索赔、赔偿、成本、损失及债务等，TI 对此概不负责，并且您须赔偿由此对TI 及其代表造成的损害。

TI 所提供产品均受TI 的销售条款 (<http://www.ti.com.cn/zh-cn/legal/termsofsale.html>) 以及ti.com.cn上或随附TI产品提供的其他可适用条款的约束。TI提供所述资源并不扩展或以其他方式更改TI 针对TI 产品所发布的可适用的担保范围或担保免责声明。

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 © 2019 德州仪器半导体技术（上海）有限公司