

## 使用P2102A探头和ZNL6 VNA进行2端口阻抗测量

By Benjamin Dannan and Steven Sandler, Picotest.com

高速印刷电路板（PCB）设计需要精心设计的供电网络（PDN），以支持当今的FPGA和定制混合信号ASIC。PDN包含重要的阻抗信息，可以告诉设计人员系统如何对动态电流做出反应以及PCB布局的影响。如果我们将PDN视为稳压器模块（VRM）和负载（ASIC）之间的传输线，那么良好的PDN设计的起点就是VRM。

如今，VRM需要给使用多口千兆以太网，PCIe和DDR存储器接口的多个VDD内核供电，以支持FPGA和/或定制ASIC。话虽这么说，但有关VRM输出阻抗的信息一般是不会提供的，而且提供时也不一定准确。此外，对于任何设计工程师而言，在多个VRM或多拓扑DC-DC稳压器上测量超低阻抗都是一项挑战。

2端口并联-直通阻抗测量是在微欧和毫欧范围内测量VRM输出阻抗的黄金标准[1]。但是，并非总是可以通过同轴连接器连接PCB或被测器件（DUT）进行这些测量。因此，当设计人员使用矢量网络分析仪（VNA）进行这些类型的测量时，连接DUT的方法需要注意细节，以确保电感和各种误差最小化，从而可以进行精确的测量。为了充分利用您的VNA，您需要使用正确的探头和附件以确保您的特定测量的准确。使用P2102A这样的可调型探头，您可以快速表征多个VRM，以确保稳定性，甚至可以在初始PDN设计期间检查模型是否准确。

Picotest P2102A 2端口PDN传输线探头是一种可调型探针，其尖端的电感非常低，可降低在密集PCB上的空间限制导致的测试难度，同时无需焊接同轴器件，添加其他同轴连接器或其他必要的测试点用于阻抗测量。当要评估的传输线路数量很多且耗时，或者PCB迭代可用于为每个测试点进行测试时，此功能特别有用。重复测量得以简化，因为连接只需将尖端与现有的输出电容器焊盘接触即可。该可调型探头带有4个探针尖，可以在PCB上的各种SMD封装（例如1206、0805、0603或0402）上进行测量。P2102A探针尖具有1X，2X，5X和10X衰减。这使用户可以灵活地在宽范围的电压范围内进行测量。例如，2X探头可以测量6Vrms，而无需DC隔离器。这样是衰减阻抗底噪增加的幅度。简而言之，这2端口P2102A探头最适合于VRM，电源平面和去耦测量。另一个好处是，您可以在评估PDN的同时使用非侵入式稳定性测量（NISM）来评估电源的稳定性[2]

# Application Note

## 2-Port Impedance Measurement

本文档的目的是向设计和测试工程师展示如何设置ZNL VNA并将其与Picotest P2102A可调型探头配合使用的过程，以高效，快速地准确测量任何VRM或电源通路的阻抗。这还将向您展示如何使用此探头作为快速的GO / NO-GO测试仪。在本应用笔记中，将按照图1所示的过程对两个DUT进行测量。

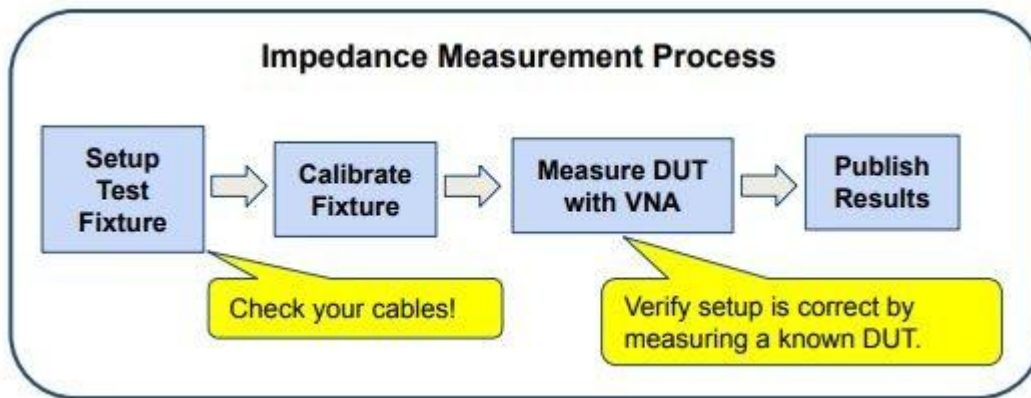


Fig. 1 - 阻抗测量过程.

# Application Note

## 2-Port Impedance Measurement

### 1.0 测试设备清单

Description	Model	QTY
Vector Network Analyzer	Rohde & Schwarz ZNL6 [3]	1
2-port PDN Transmission Line Probe Kit	Picotest P2102A-2X [4]	1
Common Mode Transformer	Picotest J2102B-N [5]	1
Picotest PDN Cable®, BNC-BNC, 0.25 meter	BNCJ/BNCJ-250 [6]	1
SMA Female to N Male Adapter	Pasternack PE9081 [7]	2
BNC Female to N Male Adapter	Pasternack PE9002 [8]	2
3D Probe Positioner	Rohde & Schwarz RT-ZAP [9]	1
VRM Demo Boards (Flat and Varying Impedance)	LM20143B [10]	1
VRM - Infineon PS5401 Eval (DUT)	EVAL_PS5401-INT [11]	1
DC Power Supply and Electronic Load	Rohde & Schwarz NGL202 [12]	
Calibration Board/Substrate	Included in Picotest P2102A kit	1



**Fig. 2 - Picotest PDN cables, J2102B ground isolator, calibration substrate, P2102A probe, P2102A probe tips, and probe holder for measurement.**

# Application Note

## 2-Port Impedance Measurement

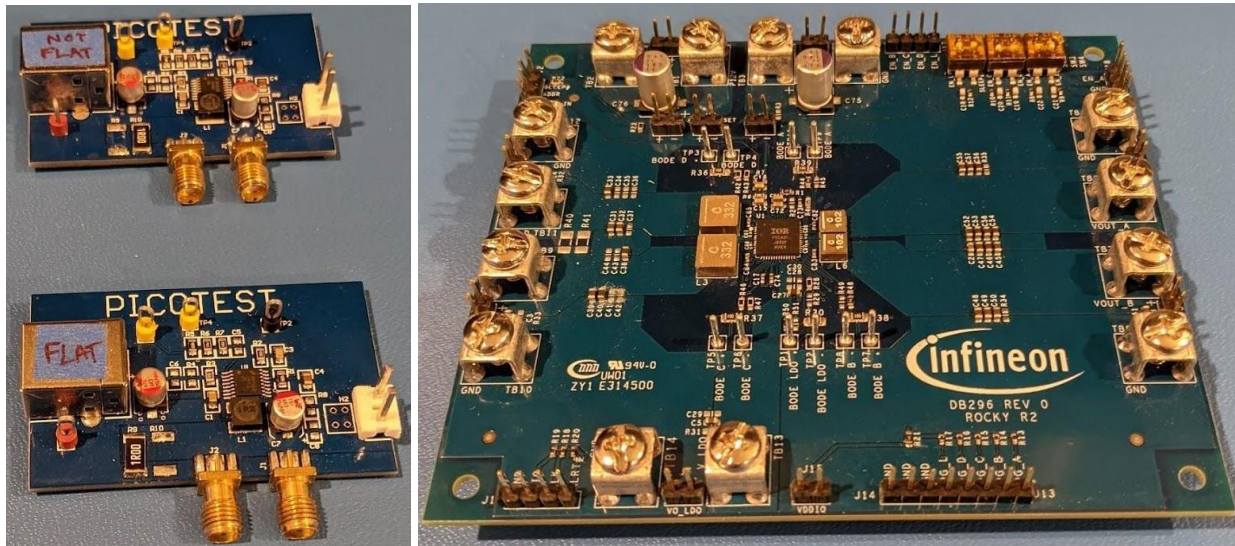


Fig. 3 - Picotest LM20143 DUTs (left) and Infineon PS5401 Eval DUT (right).

注意：在本文档中，Picotest LM20143测试板可能被称为Flat DUT和非平面（NF）DUT。

### 2.0 测量设置

P2102A-2X探头的尖端包含50Ω串联电阻（ $R_s$ ），可以在ZNL6偏移嵌入菜单中进行设置/说明。图4和5提供了DUT如何通过ZNL6连接到2端口P2102A探头的图示。

对于其他P2102A-#X探头型号，请按照以下ZNL系列VNA中的定义设置 $R_s$ ：

P2102A-1X -  $R_s = 0\Omega$

P2102A-5X -  $R_s = 200\Omega$

P2102A-10X -  $R_s = 450\Omega$

## Application Note

### 2-Port Impedance Measurement

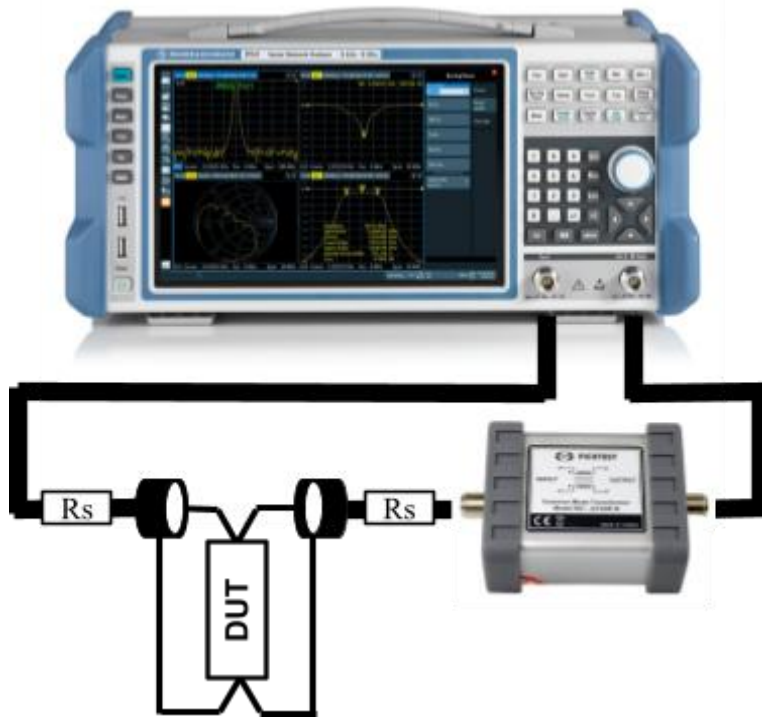


Fig. 4 - 2-port Shunt-Thru with series resistance impedance measurement setup using ZNL and Picotest ground isolator J2102B.

许多2端口探头用户已经拥有一个微型探针台，但是，设置摄像机，显微镜，校准等的耗时比有时简单的VRM阻抗甚至稳定性测量有时耗费要大得多。这就是P2102A可调型探头在测试中优势的地方，如图5所示。



# Application Note

## 2-Port Impedance Measurement

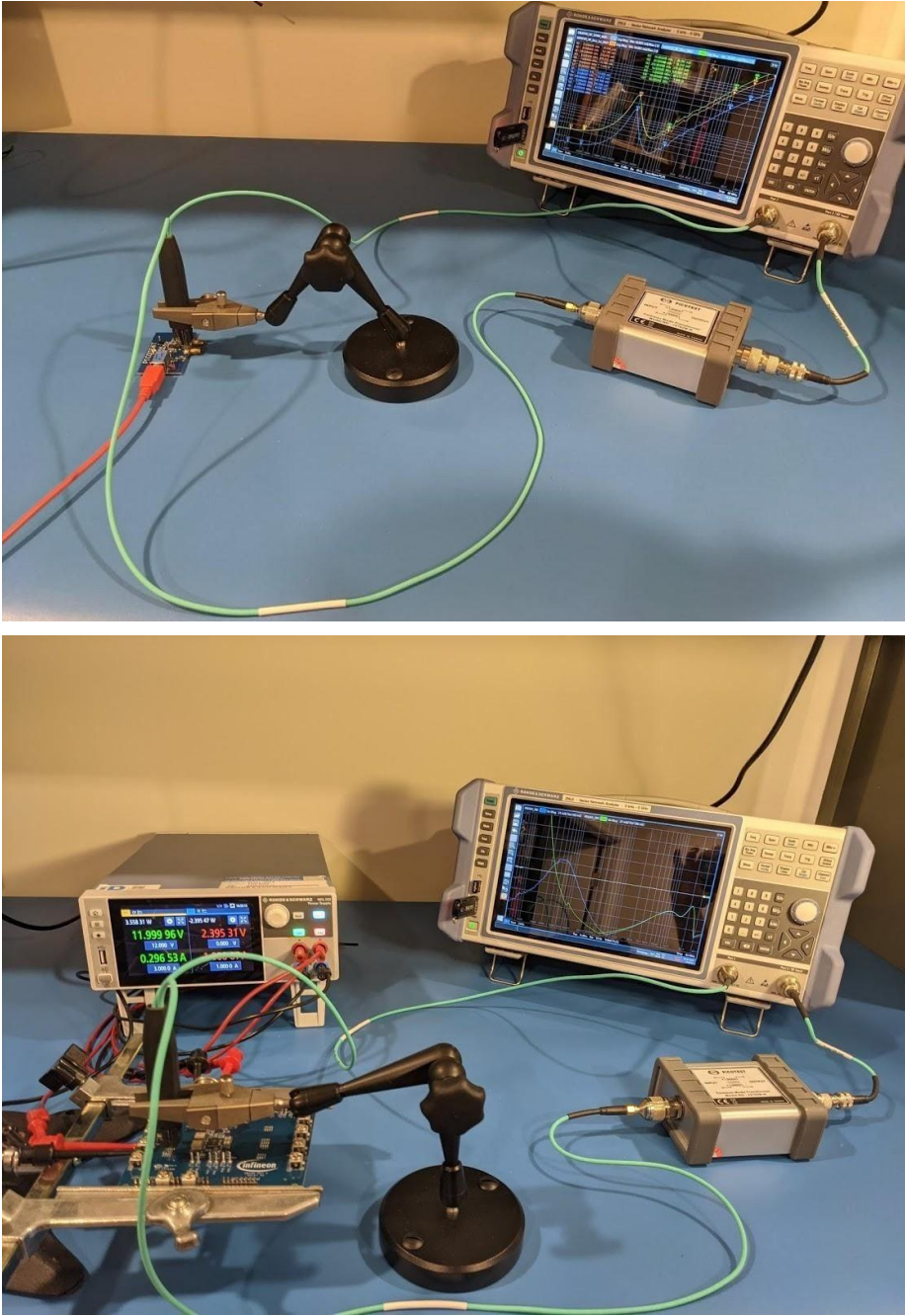


Fig. 5 - Measurement Setup after Calibration with DUTs.

## Application Note

### 2-Port Impedance Measurement

并联-直通测量配置中的自身的地，在低频时遭受接地环路误差的影响。流经连接到通道2接地的电缆屏蔽层的电流会引入测量误差，当测量非常低的阻抗值时，该误差在低于几MHz的频率下会变得很明显。为了减少低频时的接地环路误差，请使用接地隔离器或共模变压器（例如J2102B）或有源隔离设备（例如J2113A [13]）。

在进行任何测量之前，要确保使用正确的校准方法对配置设置进行了校准。ZNL系列VNA具有多个校准选项，如ZNL用户手册的表9-7中所示。正确的校准至关重要，因为它可以校正接触电阻，尖端电感，耦合和热电偶效应。Picotest的建议是对ZNL使用直通-开路-短路-负载（TOSM）校准方法。通过要求进行图12所示的七个标准测量，可以确保使用12项误差校正模型的高精度。本文稍后将说明其重要性的示例。此外，为了确保一致的接触电阻，最佳精度和可重复性，可以在校准和测量过程中使用探头支架。ZNL上还有其他可用的校准选项，例如“传输归一化（Trans Norm）”，它是一种直通校准方法，可以选择包括一个隔离误差校准组件。

图6和7提供了每个DUT上探针尖端位置的图示。对于图6，在测量之前先取下0603电容器（C42），然后如图所示使用0603探针头。但是，无需移除电容器即可进行此测量。为了识别起见，探头的外壳在顶端或信号侧有一个凹口，而平整光滑的一面是“接地”侧，以免造成混淆。

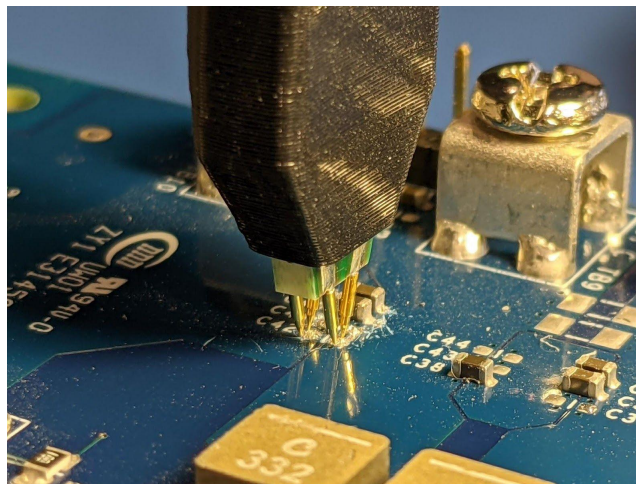


Fig. 6 - Probe location on DUT - Infineon PS5401 Eval at C42.

# Application Note

## 2-Port Impedance Measurement

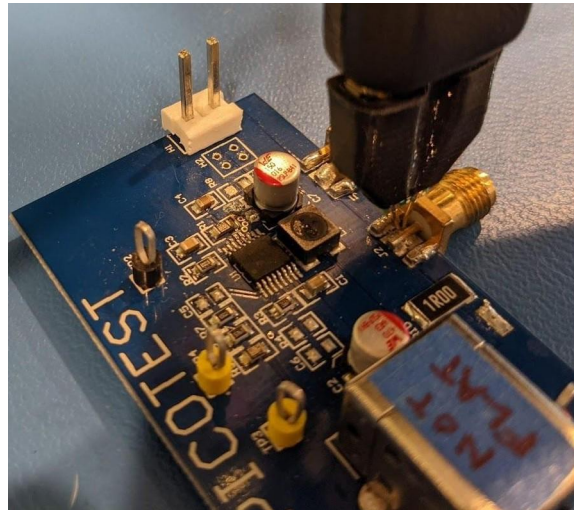


Fig. 7 - Probe location on DUT - LM20143 at J2.

### 3.0 测量结果

图8中显示的结果描述了使用P2102A探头打开和关闭LM20143 DUT.

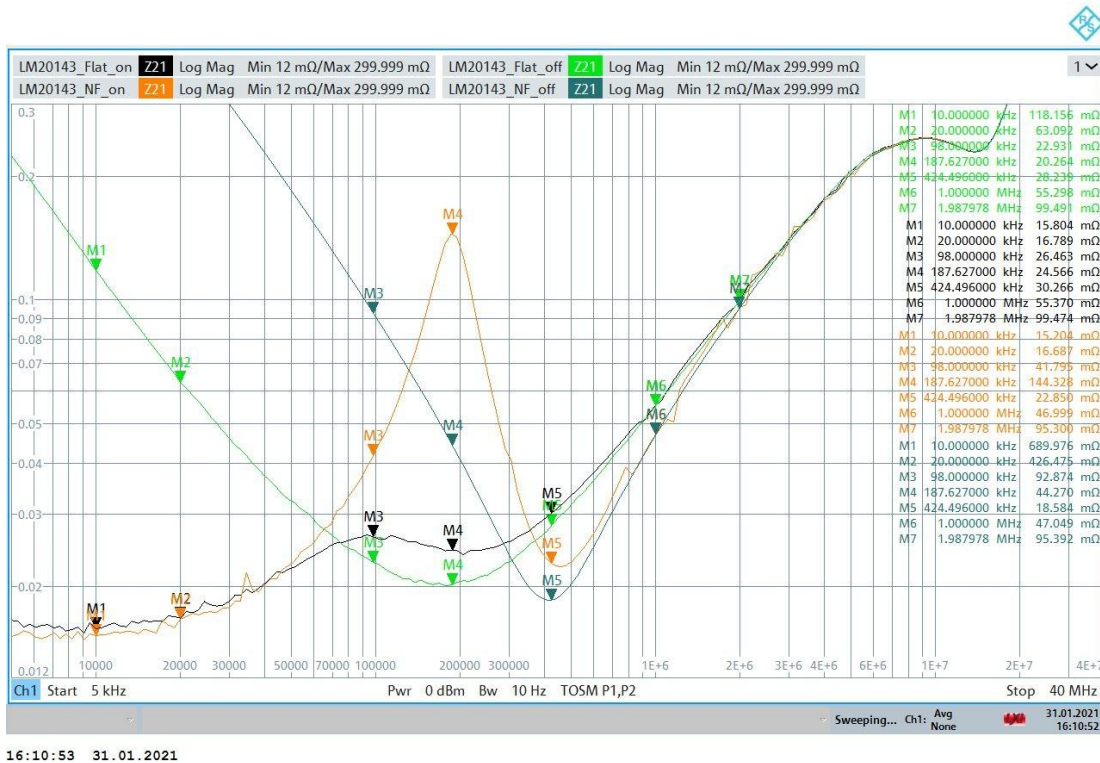
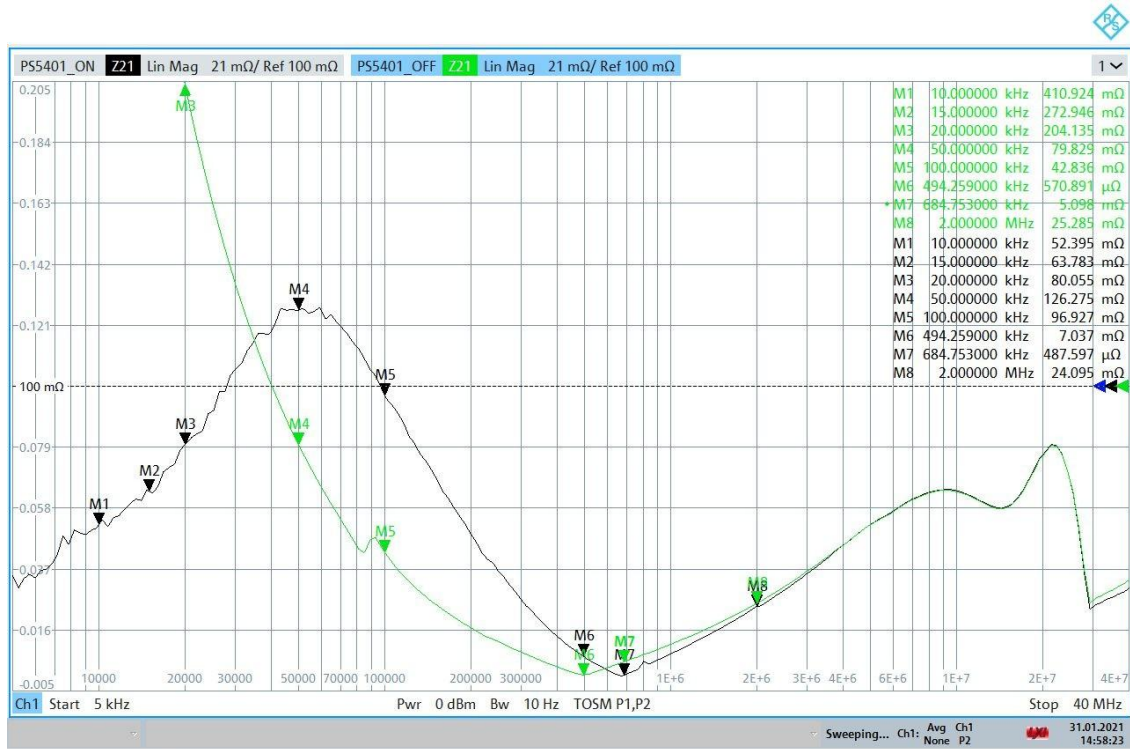


Fig. 8 - LM20143 VRM Output Impedance results OFF and ON (TOSM calibration method).



# Application Note

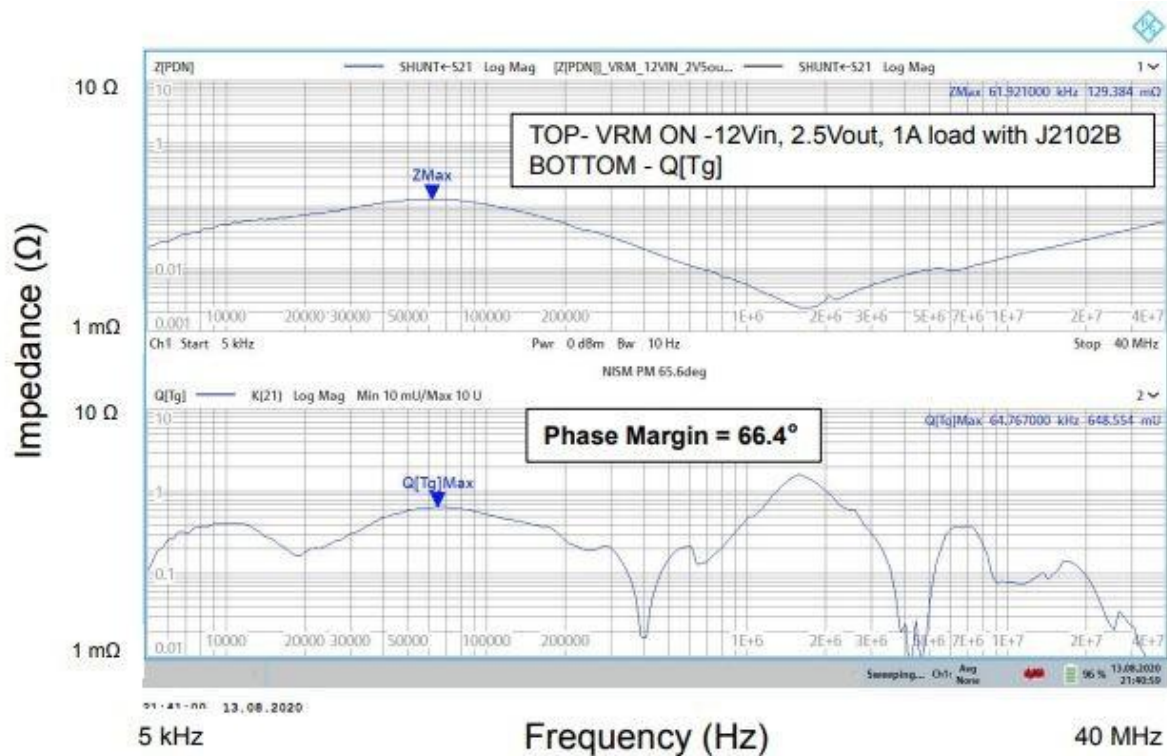
## 2-Port Impedance Measurement



14:58:25 31.01.2021

Fig. 9 - Infineon PS5401 Eval - VRM Output Impedance Results OFF and ON at C42 (TOSM calibration method).

如图9中的结果所示，使用P2102A探头可以精确地测量10mΩ以下。



**Fig. 10 - Infineon PS5401 Eval - VRM Output Impedance NISM Method on ZNL.**

使用用于ZNL6的Picotest可选NISM软件，阻抗测量可用于直接确定稳定裕度和等效相位裕度，而无需打开控制回路。对于具有许多VRM的系统而言，这可能是一个非常节省时间，提升效率的方法，从而可以使用探头快速评估每个VRM的稳定性。ZNL6的NISM示例如图10所示，英飞凌PS5401 VRM报告为66.4°，表明控制回路稳定。

### 4.0 P2102A 校准核对- ZNL

**通过串联电阻测量对并联-直通阻抗的测试装置进行校准**

接通ZNL的电源后，如图5所示，连接好校准电缆。在DUT上进行测量之前，请按照以下步骤校准测量设置。

#### 4.1 De-embedding Probe with ZNL

Step 1: Press > **Offset Embed** button

Step 2: Select > **Single Ended**

Step 3: Under Port 1 Select > **Shunt L, Serial L** network as shown by Figure 11

Step 4: Set  $L1 = 0$ ,  $R1 = 50\Omega$ ,  $L2 = 0$ ,  $R2 = 10M\Omega$ .

Note:  $10M\Omega$ , is the maximum value that can be set on the ZNL.

Step 5: Under Port 2 Select > **Shunt L, Serial L** network

Step 6: Set  $L1 = 0$ ,  $R1 = 50\Omega$ ,  $L2 = 0$ ,  $R2 = 10M\Omega$ .

Step 7: Ensure 'Active' is checked

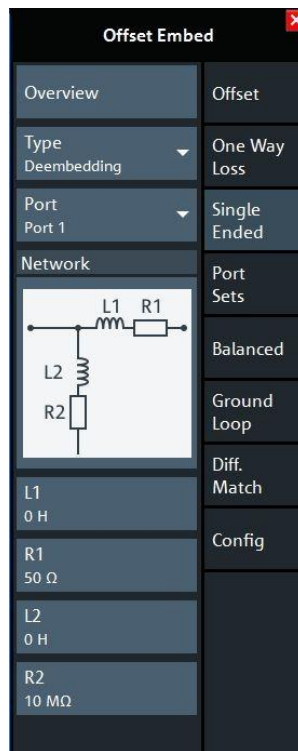


Fig. 11 - Offset Embed Menu - Shunt L, Serial L selection.

#### 4.2 TOSM Calibration Method with ZNL

Step 1: (On the ZNL6) Press > **Freq** button - *Set desired span and Power (dBm)*

Step 2: Press > **Bw Avg Power** button

Step 3: Select LSK > **Bandwidth** then *select desired Bandwidth for sweep*

Step 4: Press > **Sweep** button then *set the desired Number of Points*

\*Note: The lower the bandwidth  $\Rightarrow$  higher resolution but also the slower the calibration\*\*

Step 5: Press > **Cal** button

Step 6: Select > **Start Manual**

Step 7: *Ensure both Ports 1 & 2 are 'selected'*

Step 8: Select > **TOSM**

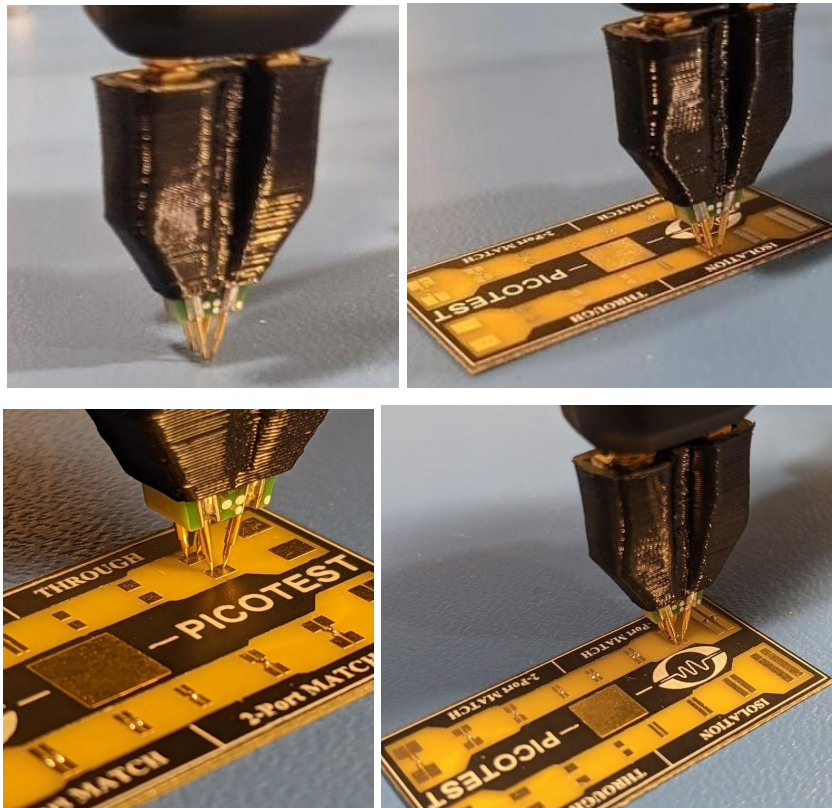
Step 9: (As applicable) *Ensure correct connectors, gender, and/or cal kit are selected for each Port*

Step 10: Select > **Start**

Step 11: Select Open then Select > **Start Cal Sweep**

Step 12: Repeat for all 7 calibration steps until 'GREEN' check marks are reflected as shown in Figure 13. Reference Figure 12 during each TOSM calibration step.

Step 13: Select > **Apply**





**Fig. 12 - P2102A 2-port Calibration Open (top left), Short and Isolation (top right), through (bottom left) and Match/Load (bottom right) with ZNL6.**



**Fig. 13 - TOSM Calibration Steps Completed.**

### 4.3 并联-直通测试DUT的检查表

将DUT连接到ZNL6进行并联-直通测量....

Step 1: (On the ZNL6) Press > **Freq** button - 设置所需的span and Power (dBm)

Step 2: Press > **Bw Avg Power** button

Step 3: Select LSK > **Bandwidth** 希望扫描的频率范围

\*Note: The lower the bandwidth  $\Rightarrow$  higher resolution but also the slower the measurement\*\*

Step 4: Press > **Sweep** button

Step 5: Select LSK > **Sweep Type** then Select > **Log Freq** radio button

Step 6: Press > **Meas** button

Step 7: Select LSK > **Z**  $\leftarrow$  **Sij** then Select > **Z**  $\leftarrow$  **S21**

Step 8: Select > **Y- Z- Params** then Select > **Z21**

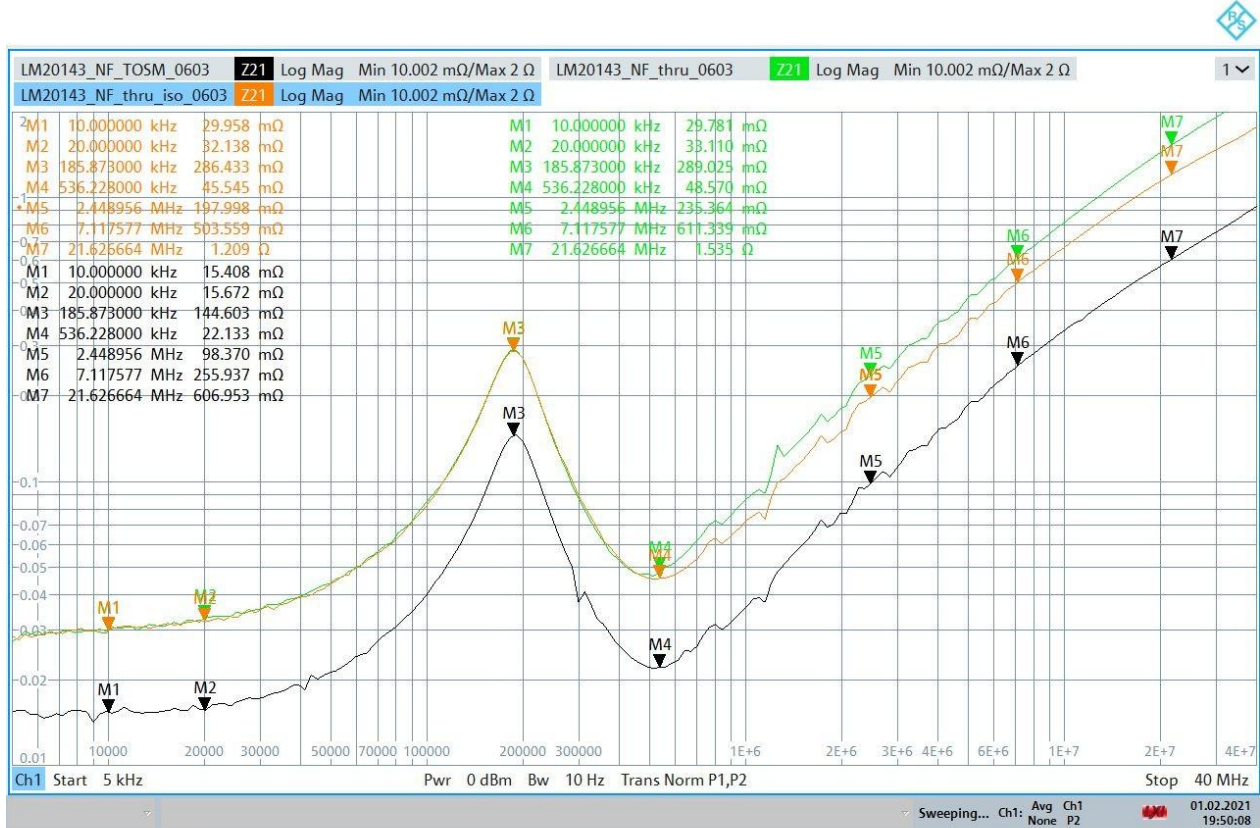
Step 9: Press > **Format** button then Select > **Lin Mag** radio button

Step 10: Press > **Cal** button then ensure 'User Cal Active' box is 'checked'

Step 11: Press > **Scale** button *if needed* Select > 'Auto Scale Diagram' or 'Continuous Auto Scale Trace' checkbox

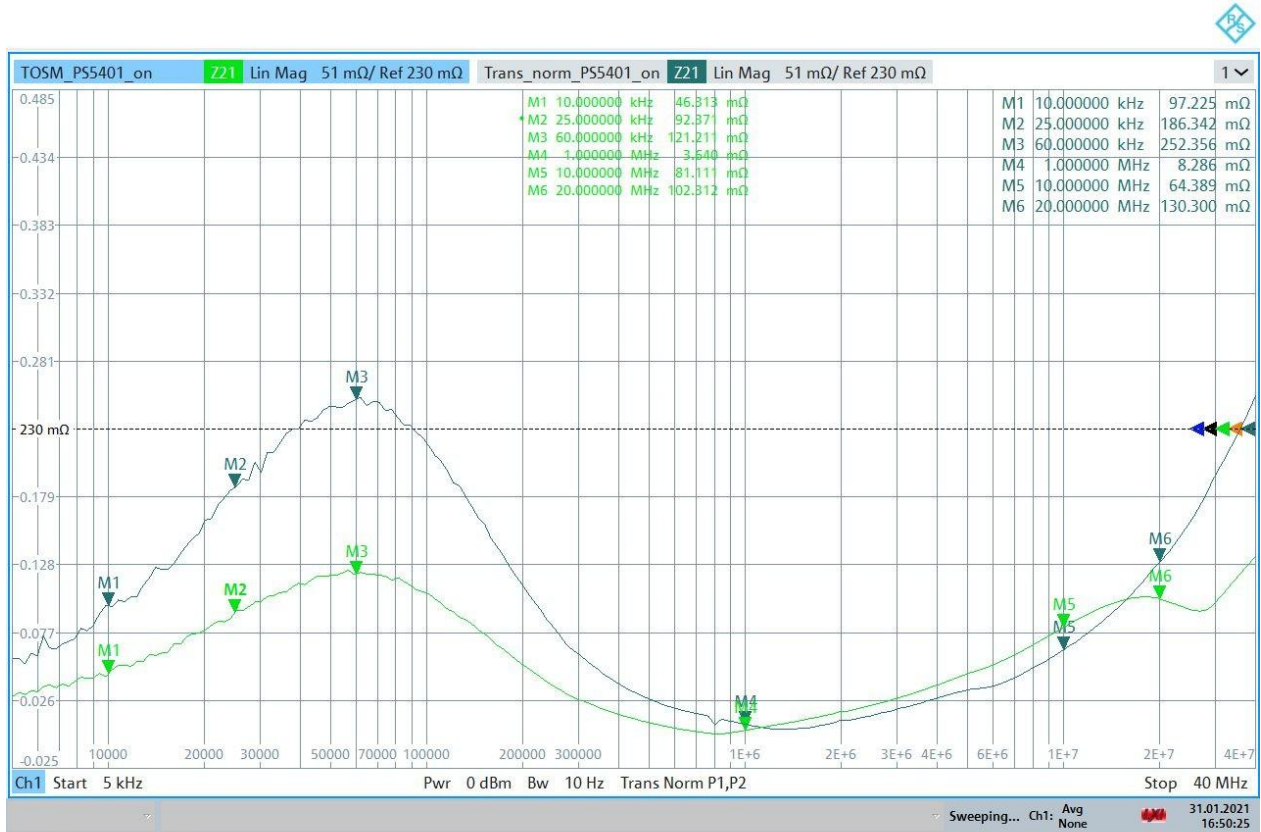
开始测试DUT的相关参数.....

通过使用TOSM校准方法而不是TRANS NORM方法甚至是带有隔离误差校准方法的TRANS NORM，可以进一步提高测量精度。TRANS NORM方法不考虑感应耦合误差。图14和图15提供了两个示例，比较了使用TOSM校准方法与TRANS NORM方法时归因于电感的测量误差。图14还显示了与带有附加隔离误差校准组件的TRANS NORM的比较。



19:50:10 01.02.2021

**Fig. 14 - LM20143 Not Flat- Measurement Results using TRANS NORM (green) vs. TRANS NORM with ISOLATION method (orange) vs. TOSM method (black) with ZNL6 and P2102A.**



16:50:26 31.01.2021

**Fig. 15 - Infineon PS5401 ON - Measurement Results using TOSM-cal method (green) vs. TRANS NORM method (blue) with ZNL6 and P2102A.**

如图14所示，在LM20143 Not Flat DUT上，使用TOSM校准测量值与TRANS NORM校准测量值相比，在185 kHz下观察到141mΩ的减小。从图15也可以看到类似的结果，与TRANS NORM方法相比，使用TOSM校准方法在60 kHz观察到121mΩ的衰减。

## 5.0 结论

使用这种2端口并联-直通阻抗测试方法是测量VRM的输出阻抗和控制环路增益（相位）稳定性的黄金标准。

P2102A探头使您能够非常简单，快速和准确地进行2端口阻抗测量，从而有助于更好地设计PDN并提供快速的GO / NO-GO测试。测量阻抗时，我们不仅可以确定VRM的稳定性，还可以确定电源分配网络的组成。我们甚至可以根据包括时域，频域乃至EMI相关

**2-Port Impedance Measurement**

数据在内的阻抗测量结果来创建VRM的高精度模型。我们可以分辨出阻抗的哪些部分基于控制环路性能，哪些部分基于印刷电路板或去耦性能。

如果要测量平面或高频阻抗，则P2104A 1端口探头[14]可能是更好的选择。

如本文档所示，要通过P2102A探头使用ZNL6 VNA进行低阻抗测量，请执行以下操作：

- 必须使用正确的（低电感）探头，高质量的电缆和共模变压器（J2102B）。
- 必须正确设置和校准，因为这对于实现高保真度测量和消除测试设置误差至关重要。
- 必须施加一致的可重复接触电阻，以施加一致的探头压力。可以使用如图所示的N2787A，ClampMan [15]等探头支架或PacketMicro的探头支架之一来完成此操作。



## 6.0 References

1. Ultra-low Impedance (20 micro ohm) Measurement using 2-Port Shunt-Through - <https://www.picotest.com/images/download/Ultra-low.pdf>
2. NISM - <https://www.picotest.com/measurements/NISM.html>
3. R&S ZNL6 Vector Network Analyzer - [https://www.rohde-schwarz.com/us/product/znl-productstartpage\\_63493-432704.html](https://www.rohde-schwarz.com/us/product/znl-productstartpage_63493-432704.html)
4. Picotest P2102A - 2 Port PDN Transmission Line Probe - [https://www.picotest.com/products\\_PDN\\_Probe.html](https://www.picotest.com/products_PDN_Probe.html)
5. Picotest J2102B-N - Common Mode Transformer - [https://www.picotest.com/products\\_J2102B.html#gsc.tab=0](https://www.picotest.com/products_J2102B.html#gsc.tab=0)
6. Picotest PDN Cable - <https://www.picotest.com/pdn-cable.html>
7. Pasternack PE9081 - SMA Female to N Male Adapter - <https://www.pasternack.com/sma-female-n-male-straight-adapter-pe9081-P.aspx>
8. Pasternack PE9002 - N Male to BNC Female Adapter - <https://www.pasternack.com/n-male-bnc-female-straight-adapter-pe9002-p.aspx>
9. Rohde & Schwarz 3D Probe Positioner - RT-ZAP - [https://www.rohde-schwarz.com/hu/products/test-and-measurement/oscilloscopes/probes/oscilloscopes-probes-accessories\\_251225.html#image391459](https://www.rohde-schwarz.com/hu/products/test-and-measurement/oscilloscopes/probes/oscilloscopes-probes-accessories_251225.html#image391459)
10. DUT - Picotest LM20143 - [https://www.picotest.com/products\\_LM20143.html](https://www.picotest.com/products_LM20143.html)
11. DUT - Infineon PS5401 Eval - [https://www.infineon.com/cms/en/product/evaluation-boards/eval\\_ps5401-int/](https://www.infineon.com/cms/en/product/evaluation-boards/eval_ps5401-int/)
12. R&S NGL202 Power Supply [https://www.rohde-schwarz.com/us/product/ngl200-productstartpage\\_63493-596117.html](https://www.rohde-schwarz.com/us/product/ngl200-productstartpage_63493-596117.html)
13. J2113A Semi-Floating Differential Amplifier - [https://www.picotest.com/products\\_J2113A.html](https://www.picotest.com/products_J2113A.html)
14. Picotest P2104A 1-Port Probe - coming 2021 to [https://www.picotest.com/products\\_PDN\\_Probe.html](https://www.picotest.com/products_PDN_Probe.html)
15. ClampMan PCB Holder and Clamping Solution - [https://www.picotest.com/products\\_clampman.html](https://www.picotest.com/products_clampman.html)