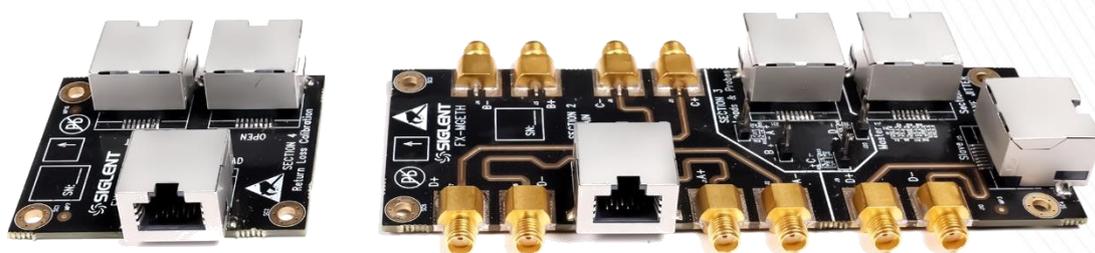


2.5/ 5/ 10G BASE-T 以太网

电气一致性测试

用户手册

CN01A



目录

1	引言	6
2	测试项目和引用标准	7
2.1	测试项目	7
2.1.1	2.5G BASE-T 测试项目	7
2.1.2	5G BASE-T 测试项目	9
2.1.3	10G BASE-T 测试项目	10
2.2	引用标准	12
3	测试设备	14
3.1	设备需求	14
3.2	FX-MGETH 装箱清单	15
3.3	测试夹具介绍	16
3.3.1	以太网测试夹具板	16
3.3.2	校准夹具板	17
4	一致性测试软件介绍	18
4.1	测试项配置	19
4.2	结果查看	30
4.3	报告生成设置	31
5	测试环境连接	33
5.1	使用示波器测试的测试环境	33
5.2	使用频谱分析仪的测试环境	34
5.3	使用矢量网络分析仪的测试环境	35
5.4	发射机非线性失真的测试环境	38
5.5	从抖动测试的测试环境	41
6	2.5G BASE-T 一致性测试	42
6.1	最大输出跌落测试	42
6.1.1	测试简介	42
6.1.2	测试步骤	42
6.1.3	计算方法和通过标准	42
6.1.4	测试结果参考	43
6.2	发射机定时抖动-主模式测试	44
6.2.1	测试简介	44

6.2.2	测试步骤	44
6.2.3	计算方法和通过标准	44
6.2.4	测试结果参考	45
6.3	发射机时钟频率	45
6.3.1	测试简介	45
6.3.2	测试步骤	45
6.3.3	计算方法和通过标准	46
6.3.4	测试结果参考	46
6.4	发射机线性度	47
6.4.1	测试简介	47
6.4.2	测试步骤	47
6.4.3	计算方法和通过标准	48
6.4.4	测试结果参考	48
6.5	发射机非线性失真	50
6.5.1	测试简介	50
6.5.2	测试步骤	51
6.5.3	计算方法和通过标准	52
6.5.4	测试结果参考	52
6.6	功率谱密度	54
6.6.1	测试简介	54
6.6.2	测试步骤	55
6.6.3	计算方法和通过标准	56
6.6.4	测试结果参考	58
6.7	功率电平	58
6.7.1	测试简介	58
6.7.2	测试步骤	58
6.7.3	计算方法和通过标准	59
6.7.4	测试结果参考	60
6.8	MDI 回波损耗	60
6.8.1	测试简介	60
6.8.2	测试步骤	61
6.8.3	计算方法和通过标准	61
6.8.4	测试结果参考	61
6.9	发射机定时抖动-从模式测试	62
6.9.1	测试简介	62
6.9.2	测试步骤	62

6.9.3	计算方法和通过标准	63
6.9.4	测试结果参考	63
7	5G BASE-T 一致性测试	64
7.1	最大输出跌落测试	64
7.1.1	测试简介	64
7.1.2	测试步骤	64
7.1.3	计算方法和通过标准	64
7.1.4	测试结果参考	65
7.2	发射机定时抖动-主模式测试	66
7.2.1	测试简介	66
7.2.2	测试步骤	66
7.2.3	计算方法和通过标准	66
7.2.4	测试结果参考	67
7.3	发射机时钟频率	67
7.3.1	测试简介	67
7.3.2	测试步骤	67
7.3.3	计算方法和通过标准	68
7.3.4	测试结果参考	68
7.4	发射机线性度	69
7.4.1	测试简介	69
7.4.2	测试步骤	69
7.4.3	计算方法和通过标准	70
7.4.4	测试结果参考	70
7.5	功率谱密度	72
7.5.1	测试简介	72
7.5.2	测试步骤	72
7.5.3	计算方法和通过标准	73
7.5.4	测试结果参考	74
7.6	功率电平	74
7.6.1	测试简介	74
7.6.2	测试步骤	75
7.6.3	计算方法和通过标准	76
7.6.4	测试结果参考	76
7.7	MDI 回波损耗	77
7.7.1	测试简介	77
7.7.2	测试步骤	77

7.7.3	计算方法和通过标准	77
7.7.4	测试结果参考	77
7.8	发射机定时抖动-从模式测试	78
7.8.1	测试简介	78
7.8.2	测试步骤	78
7.8.3	计算方法和通过标准	79
7.8.4	测试结果参考	79
8	10GBASE-T 一致性测试	80
8.1	最大输出跌落测试	80
8.1.1	测试简介	80
8.1.2	测试步骤	80
8.1.3	计算方法和通过标准	80
8.1.4	测试结果参考	81
8.2	发射机定时抖动-主模式测试	82
8.2.1	测试简介	82
8.2.2	测试步骤	82
8.2.3	计算方法和通过标准	82
8.2.4	测试结果参考	83
8.3	发射机时钟频率	83
8.3.1	测试简介	83
8.3.2	测试步骤	83
8.3.3	计算方法和通过标准	84
8.3.4	测试结果参考	84
8.4	发射机线性度	85
8.4.1	测试简介	85
8.4.2	测试步骤	85
8.4.3	计算方法和通过标准	86
8.4.4	测试结果参考	86
8.5	功率谱密度	88
8.5.1	测试简介	88
8.5.2	测试步骤	88
8.5.3	计算方法和通过标准	89
8.5.4	测试结果参考	91
8.6	功率电平	91
8.6.1	测试简介	91
8.6.2	测试步骤	91

8.6.3	计算方法和通过标准	92
8.6.4	测试结果参考	93
8.7	MDI 回波损耗	93
8.7.1	测试简介	93
8.7.2	测试步骤	94
8.7.3	计算方法和通过标准	94
8.7.4	测试结果参考	94
8.8	发射机定时抖动-从模式测试	95
8.8.1	测试简介	95
8.8.2	测试步骤	95
8.8.3	计算方法和通过标准	96
8.8.4	测试结果参考	96

1 引言

鼎阳科技目前可提供 2.5/ 5/ 10G Base-T 标准的电气一致性测试方案来验证以太网接口的电气性能。以太网一致性测试所需设备包括高性能示波器、矢量网络分析仪、波形发生器、频谱分析仪、标准测试夹具、巴伦（选件）、功分器、探头、线缆。本用户手册介绍了 2.5/ 5/ 10G Base-T 以太网一致性测试的测试夹具、测试方法和测试环境。

鼎阳科技推出的 2.5/ 5/ 10G Base-T 电气一致性分析方案，包括：

- 用户可以执行单项或多项测试；
- 向用户展示如何将示波器和被测设备连接；
- 为每个测试项目自动设置示波器；
- 显示已执行测试的每个项目的详细信息和通过标准；
- 可创建 HTML、XML 或 PDF 测试报告。

2 测试项目和引用标准

2.1 测试项目

2.1.1 2.5G BASE-T 测试项目

2.5G BASE-T 以太网电气一致性测试一般包含以下项目：

- 最大输出跌落
 - 正向最大输出跌落
 - 负向最大输出跌落
- 发射机定时抖动-主模式
- 发送时钟频率
- 发射机线性度
 - 双音信号 1
 - 双音信号 2
 - 双音信号 3
 - 双音信号 4
 - 双音信号 5
- 发射机非线性失真
 - 双音信号 1
 - 双音信号 2
 - 双音信号 3
 - 双音信号 4
 - 双音信号 5
- 功率测试
 - 功率谱密度
 - 功率电平
- MDI 回波损耗
- 发射机定时抖动-从模式

IEEE802.3 规范对各项测试波形有明确要求。要求 DUT 根据被测项目提供对应的波形以供测试。发包工具就是让 DUT 根据要求发出特定测试包的软件。

对于各类主流的网卡芯片，可以通过修改相关寄存器或使用芯片厂提供的发包工具控制发包，发包工具可控制 DUT 发出对应的波形以进行测试。IEEE802.3 规定，设置 2.5G BASE-T 芯片寄存器可令 DUT 进入 7 种不同的测试模式，分别对应不同的一致性测试项，如图 2-1 所示，其中测试模式 4，有关双音信号的寄存器配置如图 2-2 所示。

Table 126-13—MDIO management register settings for test modes

1.132.15	1.132.14	1.132.13	Mode
0	0	0	Normal operation.
0	0	1	Test mode 1—Setting of MASTER transmitter required by SLAVE for transmit jitter test in SLAVE mode.
0	1	0	Test mode 2—Transmit jitter test in MASTER mode.
0	1	1	Test mode 3—Transmit jitter test in SLAVE mode.
1	0	0	Test mode 4—Transmit distortion test.
1	0	1	Test mode 5—Normal operation with no power backoff. This is for the PSD mask and power level test.
1	1	0	Test mode 6—Transmitter droop test mode.
1	1	1	Test mode 7—Pseudo-random test mode for BER Monitor.

图 2-1 2.5/ 5G BASE-T 测试模式设置

Table 126-14—MDIO management register settings for transmit frequencies in Test mode 4

1.132.12	1.132.11	1.132.10	Output waveform frequencies in MHz
			Two tone frequency pairs
0	0	0	Reserved
0	1	1	Reserved
1	1	1	Reserved
0	0	1	$S \times (400/1024) \times 47, S \times (400/1024) \times 53$
0	1	0	$S \times (400/1024) \times 101, S \times (400/1024) \times 103$
1	0	0	$S \times (400/1024) \times 179, S \times (400/1024) \times 181$
1	0	1	$S \times (400/1024) \times 277, S \times (400/1024) \times 281$
1	1	0	$S \times (400/1024) \times 397, S \times (400/1024) \times 401$

图 2-2 2.5/ 5G BASE-T 双音信号设置

测试模式和测试项目的对应关系如下：

- 测试模式 1: 发射机定时抖动-从模式 (主 PHY);
- 测试模式 2: 发射机定时抖动-主模式、发射机时钟频率;
- 测试模式 3: 发射机定时抖动-从模式 (从 PHY);
- 测试模式 4: 发射机线性度、发射机非线性失真;
- 测试模式 5: 功率谱密度、功率电平、MDI 回波损耗;
- 测试模式 6: 最大输出跌落。

2.1.2 5G BASE-T 测试项目

5G BASE-T 以太网电气一致性测试一般包含以下项目:

- 最大输出跌落
 - 正向最大输出跌落
 - 负向最大输出跌落
- 发射机定时抖动-主模式
- 发送时钟频率
- 发射机线性度
 - 双音信号 1
 - 双音信号 2
 - 双音信号 3
 - 双音信号 4
 - 双音信号 5
- 功率测试
 - 功率谱密度
 - 功率电平
- MDI 回波损耗
- 发射机定时抖动-从模式

IEEE802.3 规范对各项测试波形有明确要求。要求 DUT 根据被测项目提供对应的波形以供测试。发包工具就是让 DUT 根据要求发出特定测试包的软件。

对于各类主流的网卡芯片, 可以通过修改相关寄存器或使用芯片厂提供的发包工具控制发包, 发包

工具可控制 DUT 发出对应的波形以进行测试。IEEE802.3 规定，设置 5GBASE-T 芯片寄存器可令 DUT 进入 7 种不同的测试模式，分别对应不同的一致性测试项，如图 2-1 所示，其中测试模式 4，有关双音信号的寄存器配置如图 2-2 所示。

测试模式和测试项目的对应关系如下：

- 测试模式 1：发射机定时抖动-从模式（主 PHY）；
- 测试模式 2：发射机定时抖动-主模式、发射机时钟频率；
- 测试模式 3：发射机定时抖动-从模式（从 PHY）；
- 测试模式 4：发射机线性度；
- 测试模式 5：功率谱密度、功率电平、MDI 回波损耗；
- 测试模式 6：最大输出跌落。

2.1.3 10G BASE-T 测试项目

10G BASE-T 以太网电气一致性测试一般包含以下项目：

- 最大输出跌落
 - 正向最大输出跌落
 - 负向最大输出跌落
- 发射机定时抖动-主模式
- 发送时钟频率
- 发射机线性度
 - 双音信号 1
 - 双音信号 2
 - 双音信号 3
 - 双音信号 4
 - 双音信号 5
- 功率测试
 - 功率谱密度
 - 功率电平
- MDI 回波损耗
- 发射机定时抖动-从模式

IEEE802.3 规范对各项测试波形有明确要求。要求 DUT 根据被测项目提供对应的波形以供测试。发包工具就是让 DUT 根据要求发出特定测试包的软件。

对于各类主流的网卡芯片，可以通过修改相关寄存器或使用芯片厂提供的发包工具控制发包，发包工具可控制 DUT 发出对应的波形以进行测试。IEEE802.3 规定，设置 10G BASE-T 芯片寄存器可令 DUT 进入 7 种不同的测试模式，分别对应不同的一致性测试项，如图 2-3 所示，其中测试模式 4，有关双音信号的寄存器配置如图 2-4 所示。

Table 55-12—MDIO management register settings for test modes

1.132.15	1.132.14	1.132.13	Mode
0	0	0	Normal operation.
0	0	1	Test mode 1—Setting of MASTER transmitter required by SLAVE for transmit jitter test in SLAVE mode.
0	1	0	Test mode 2—Transmit jitter test in MASTER mode.
0	1	1	Test mode 3—Transmit jitter test in SLAVE mode (if loop timing is supported).
1	0	0	Test mode 4—Transmit distortion test.
1	0	1	Test mode 5—Normal operation with no power backoff. This is for the PSD mask and power level test.
1	1	0	Test mode 6—Transmitter droop test mode.
1	1	1	Test mode 7—Pseudo random test mode for BER Monitor.

图 2-3 10G BASE-T 测试模式设置

Table 55-13—MDIO management register settings for transmit frequencies in Test mode 4

1.132.12	1.132.11	1.132.10	Output waveform frequencies in MHz
			Two tone frequency pairs
0	0	0	Reserved
0	1	1	Reserved
1	1	1	Reserved
0	0	1	$(800/1024) \times 47, (800/1024) \times 53$
0	1	0	$(800/1024) \times 101, (800/1024) \times 103$
1	0	0	$(800/1024) \times 179, (800/1024) \times 181$
1	0	1	$(800/1024) \times 277, (800/1024) \times 281$
1	1	0	$(800/1024) \times 397, (800/1024) \times 401$

图 2-4 10GBASE-T 双音信号设置

测试模式和测试项目的对应关系如下：

- 测试模式 1：发射机定时抖动-从模式（主 PHY）；
- 测试模式 2：发射机定时抖动-主模式、发射机时钟频率；
- 测试模式 3：发射机定时抖动-从模式（从 PHY）；
- 测试模式 4：发射机线性度；
- 测试模式 5：功率谱密度、功率电平、MDI 回波损耗；
- 测试模式 6：最大输出跌落。

2.2 引用标准

鼎阳科技推出的 2.5/ 5/ 10G Base-T 以太网电气一致性测试方案，遵循《IEEE802.3-2018, Subclause 55、Subclause 125》标准，表 2-1 详述了各个测试项目所参考的标准。

更多的 IEEE802.3 标准信息请查询网站：www.ieee802.org。

表 2-1 2.5/ 5/ 10G Base-T 测试参考标准

参考标准	测试模式	测试项目	测试描述
IEEE 802.3-2018, Subclause 126.5.3.1	测试模式 6	Maximum Output Droop	2.5G BASE-T, 最大输出跌落
IEEE 802.3-2018, Subclause 126.5.3.3	测试模式 2	Transmitter Timing Jitter-Master	2.5G BASE-T, 发射机定时抖动-主模式
IEEE 802.3-2018, Subclause 126.5.3.5	测试模式 2	Transmitter Clock Frequency	2.5G BASE-T, 发射机时钟频率
IEEE 802.3-2018, Subclause 126.5.3.2	测试模式 4	Transmitter Linearity	2.5G BASE-T, 发射机线性度
IEEE 802.3-2018, Subclause 126.5.3.2	测试模式 4	Transmitter Nonlinear Distortion	2.5G BASE-T, 发射机非线性失真
IEEE 802.3-2018, Subclause 126.5.3.4	测试模式 5	PSD (Power Spectral Density)、Power Level	2.5G BASE-T, 功率谱密度、功率电平
IEEE 802.3-2018, Subclause 126.8.2.2	测试模式 5	MDI Return Loss	2.5G BASE-T, MDI 回波损耗
IEEE 802.3-2018, Subclause 126.5.3.3	测试模式 1 测试模式 3	Transmitter Timing Jitter-Slave	2.5G BASE-T, 发射机定时抖动-从模式
IEEE 802.3-2018, Subclause 126.5.3.1	测试模式 6	Maximum Output Droop	5G BASE-T, 最大输出跌落

IEEE 802.3-2018, Subclause 126.5.3.3	测试模式 2	Transmitter Timing Jitter- Master	5G BASE-T, 发射机定时抖动-主模式
IEEE 802.3-2018, Subclause 126.5.3.5	测试模式 2	Transmitter Clock Frequency	5G BASE-T, 发射机时钟频率
IEEE 802.3-2018, Subclause 126.5.3.2	测试模式 4	Transmitter Linearity	5G BASE-T, 发射机线性度
IEEE 802.3-2018, Subclause 126.5.3.4	测试模式 5	PSD (Power Spectral Density)、Power Level	5G BASE-T, 功率谱密度、 功率电平
IEEE 802.3-2018, Subclause 126.8.2.2	测试模式 5	MDI Return Loss	5G BASE-T, MDI 回波损耗
IEEE 802.3-2018, Subclause 126.5.3.3	测试模式 1 测试模式 3	Transmitter Timing Jitter- Slave	5G BASE-T, 发射机定时抖动-从模式
IEEE 802.3-2018, Subclause 55.5.3.1	测试模式 6	Maximum Output Droop	10G BASE-T, 最大输出跌落
IEEE 802.3-2018, Subclause 55.5.3.3	测试模式 2	Transmitter Timing Jitter- Master	10G BASE-T, 发射机定时 抖动-主模式
IEEE 802.3-2018, Subclause 55.5.3.5	测试模式 2	Transmitter Clock Frequency	10G BASE-T, 发射机时钟 频率
IEEE 802.3-2018, Subclause 55.5.3.2	测试模式 4	Transmitter Linearity	10G BASE-T, 发射机线性度
IEEE 802.3-2018, Subclause 55.5.3.4	测试模式 5	PSD (Power Spectral Density)、Power Level	10G BASE-T, 功率谱密度、 功率电平
IEEE 802.3-2018, Subclause 55.8.2.1	测试模式 5	MDI Return Loss	10G BASE-T, MDI 回波损耗
IEEE 802.3-2018, Subclause 55.5.3.3	测试模式 1 测试模式 3	Transmitter Timing Jitter- Slave	10GBASE-T, 发射机定时抖动-从模式

3 测试设备

3.1 设备需求

2.5/ 5/ 10G Base-T 以太网电气一致性分析需要用到下述的设备：

- 示波器 (SDS7000A)：带宽 ≥ 4 GHz，并开通 2.5/ 5/ 10GBase-T 一致性分析选件（选件为：SDS7000A-CT-2.5/ 5/ 10GBASE-T）。
- 测试夹具套件 (FX-MGETH)：FX-MGETH 为 2.5/ 5/ 10G Base-T 以太网电气一致性测试夹具套件，在被测试设备 (DUT) 进入测试状态后提供物理连接和测试点。
- 有源差分探头或者 SMA 线缆：
- 有源差分探头 (如 SAP5000D)：带宽大于 4 GHz，用于探测信号；
- SMA 线缆：连接示波器和测试夹具，用于探测信号。
- 频谱分析仪：用于功率谱密度、功率电平、发射机线性度、发射机非线性失真测试。
- 网络分析仪：用于 MDI 回波损耗测试。
- 任意波形发生器：双通道任意波形发生器，输出的正弦波频率要求大于 45 MHz 以上即可，用于 2.5G BASE-T 的发射机非线性失真测试。
- USB 连接线：用于连接示波器的 USB Host 接口和网络分析仪或频谱分析仪的 USB Device 接口，以实现示波器对网络分析仪、频谱分析仪的控制和获取测试数据。
- 巴伦器 (选配)：阻抗比为 2:1 的巴伦器用来实现差分 100 Ω 阻抗到单端 50 Ω 阻抗变换。频谱分析仪和网络分析仪使用巴伦器对被测试设备进行一致性测试。
- 功分器：在 2.5G BASE-T 的发射机非线性失真测试中，需要功分器将干扰源的信号连接到 DUT 中，再通过功分器将 DUT 信号连接到示波器或者频谱分析仪中进行测试。

3.2 FX-MGETH 装箱清单

FX-MGETH 物品放置在黑色手提箱内部，装箱清单上列明的物品都已经交付，为确保您的权益，请您在签收后 48 小时内核对箱内物品与清单是否一致。如发现物品缺失、遗漏或损坏，请及时联系鼎阳客户服务中心或全国经销商，我们将第一时间为您处理。如未在时效内反馈遗漏、损坏情况，鼎阳科技后续将无法再次受理您的售后需求，敬请谅解。

表 3-1 装箱清单

物品名称	数量
用户手册	1
以太网测试夹具板	1
校准夹具板	1
50 Ω 端接器 (SMA)	8
SMA 线缆 (长度: 300 mm)	4
SMA 线缆(长度: 300 mm, 高性能相位匹配线缆, 蓝色)	2
BNC-SMA 转接头	6
以太网网线 (长度: 150 mm)	2
功分器	2
巴伦器 (选配)	1

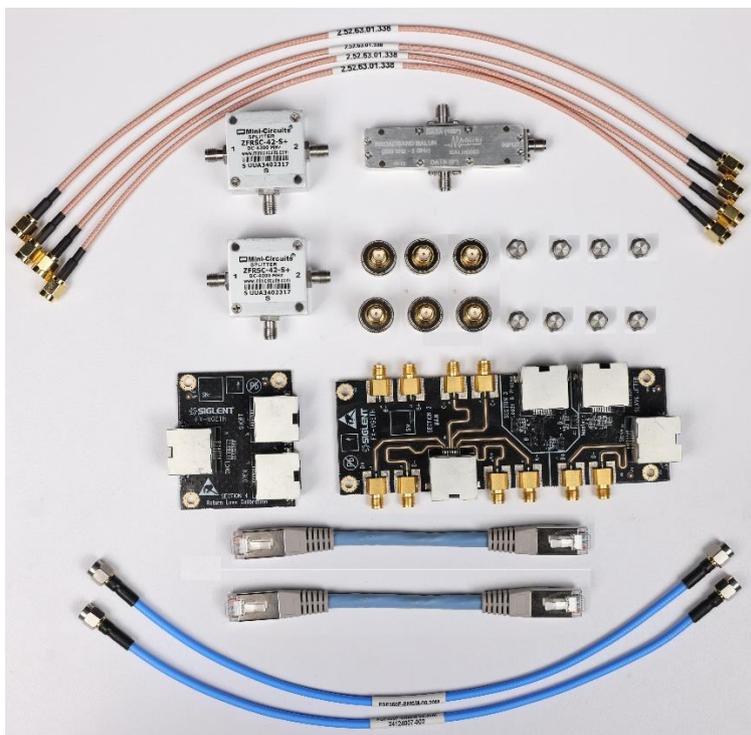


图 3-1 FX-MGETH 测试夹具套件包含的装箱物品

3.3 测试夹具介绍

3.3.1 以太网测试夹具板

FX-MGETH 以太网测试夹具套件是配合 SDS7000A 的 2.5/ 5/ 10G 以太网电气一致性测试功能而推出。以太网测试夹具板是 FX-MGETH 套件的一个核心模块，测试夹具板包含 3 个区域，每个区域有不同的功能，在夹具板上均有清晰的描述，以方便测试者使用。

以太网测试夹具板，如图 3-2 所示。

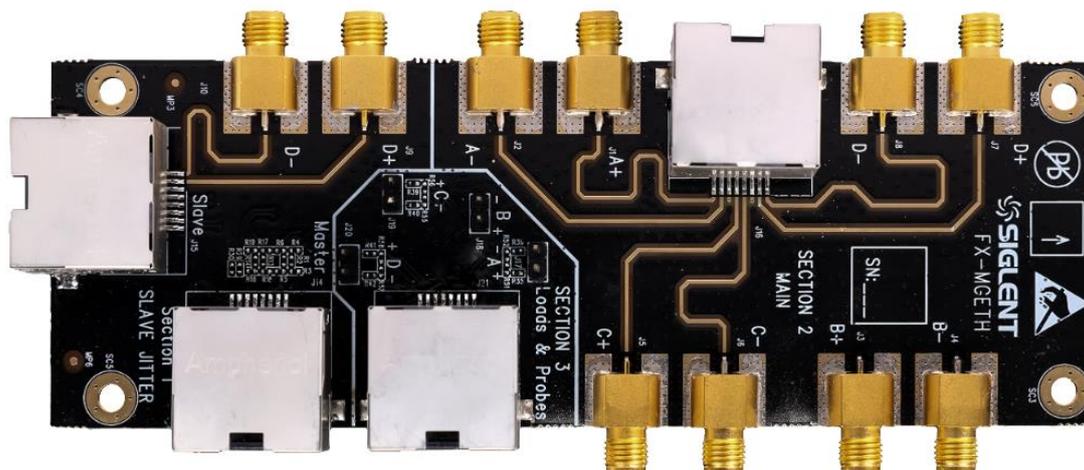


图 3-2 以太网测试夹具板

以太网测试夹具板的各个功能区域介绍如下：

- 区域 1：支持使用 SMA 线缆对 2.5/ 5/ 10G 以太网电气一致性测试中的发射机定时抖动（从模式）项目进行测试。
- 区域 2：支持使用 SMA 线缆对 2.5/ 5/ 10G 以太网电气一致性测试中的大部分项目进行测试。
- 区域 3：支持使用有源差分探头对 2.5/ 5/ 10G 以太网电气一致性测试中的大部分项目进行测试。

3.3.2 校准夹具板

校准夹具板如图 3-3 所示。

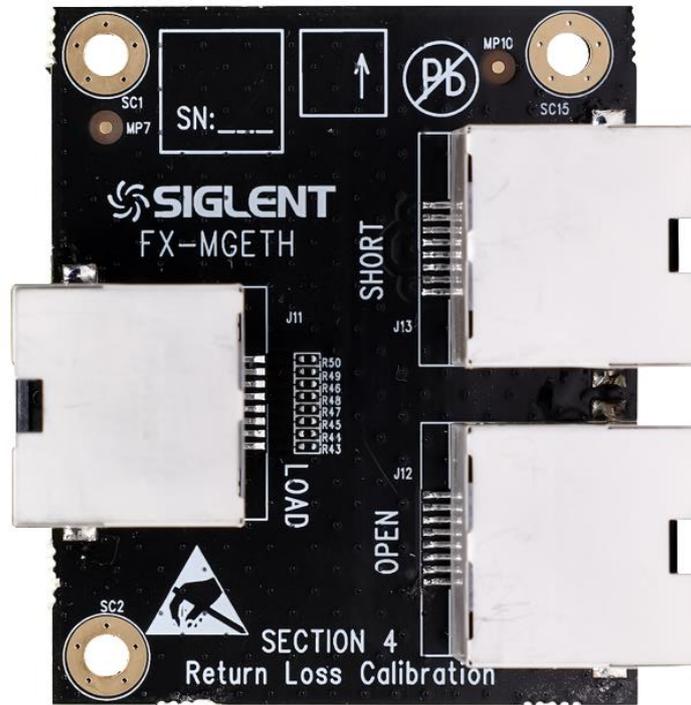


图 3-3 时钟同步夹具

校准夹具板标注为区域 4（即 SECTION 4），在使用 VNA 仪器对被测设备测试 MDI 回拨损耗之前，需要用到校准夹具板对 VNA 进行开路、短路、负载校准，校准后可以对被测设备进行 MDI 回波损耗测试。

4 一致性测试软件介绍

鼎阳科技的以太网一致性分析软件是依据 IEEE802.3-2018 规范而推出的解决方案，该分析软件可控制示波器自动完成测试，图形化操作指导简化了测量过程，可灵活配置测试项目，测试报告记录了整个测量结果，包括测试数值及测试波形的截图。

SDS7000A 提供 2.5/ 5/ 10G Base-T 一致性测试功能，按照 **分析** -> **一致性测试** -> **协议类型** 选择 **2.5/5/10G Base-T**，点击 **ON**，即可打开一致性测试功能，如图 4-1 所示。一致性测试功能分为三大部分：**测试项配置**、**结果查看**、**报告生成设置**。



图 4-1 启动 2.5/ 5/ 10G BASE-T 一致性分析软件

4.1 测试项配置

点击 **测试项配置** 会弹出具体的测试配置窗口，如图 4-2 所示，根据测试流程分为：设置、测试项选择、配置、连接、启动测试、结果六个步骤。

➤ 设置：

- ◆ 提供 **配置** 的 **调出**、**上一次**、**保存** 三个功能。
- ◆ 提供 **速率选择** 的 **2.5G Base-T**、**5G Base-T**、**10G Base-T** 三个选项。

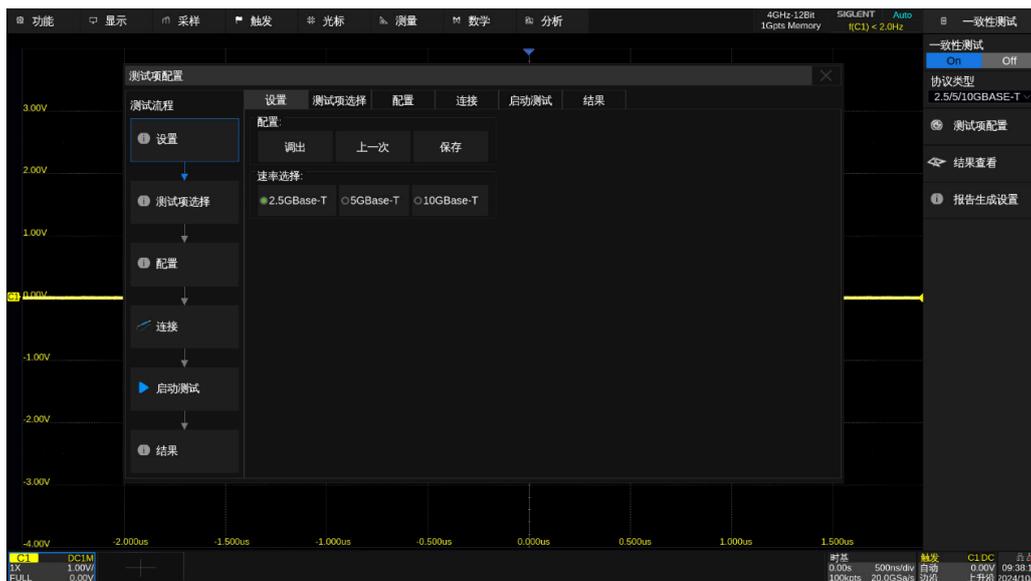


图 4-2 测试配置窗口

➤ 测试项选择：在本栏目中选择需要测试的项目，如图 4-3 所示。



图 4-3 测试项选择窗口

- **配置**: 测试项选择中所选的测试项目在本栏目会高亮提示, 点击即可对相应的测试项进行配置, 可设置示波器测量的信源、探头类型、被测试的信号对等, 如图 4-4 所示。

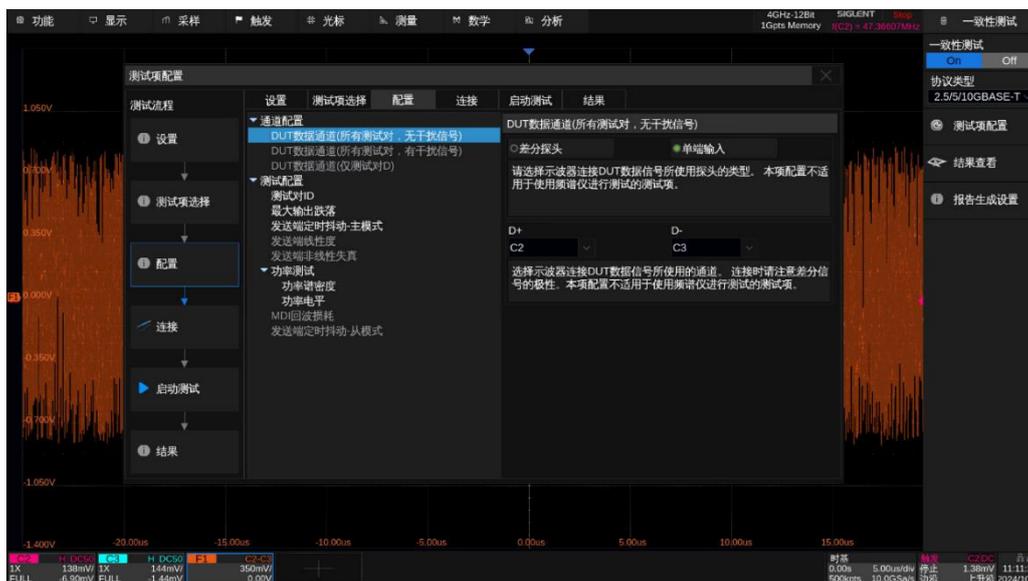


图 4-4 配置窗口

如图 4-4 所示, 点击 **DUT 数据通道 (所有测试对, 无干扰信号)** 后, 将展开可测试的所有信号对且无需引入干扰信号的测试项的通道设置窗口, 可进行的设置有:

- ◆ 探头类型选择 (差分探头/单端输入): 用于设置示波器连接待测信号所使用的探头类型;
- ◆ 通道选择 (C1/C2/C3/C4): 用于设置示波器连接待测信号使用的通道。

如图 4-5 所示, 点击 **DUT 数据通道 (所有测试对, 有干扰信号)** 后, 将展开可测试所有信号对且需要引入干扰信号的测试项的通道设置窗口, 可进行的设置有:

- ◆ 通道选择 (C1/C2/C3/C4): 用于设置示波器连接待测信号使用的通道。

【注】: 仅 2.5G BASE-T 的非线性失真测试项需要进行此项配置, 且探头类型只有单端输入。



图 4-5 DUT 数据通道（所有测试对，有干扰信号）配置界面

如图 4-6 所示，点击 **DUT 数据通道（仅测试对 D）** 后，将展开测试信号对 D 的测试项的通道设置窗口，可进行的设置有：

- ◆ 通道选择（C1/C2/C3/C4）：用于设置示波器连接待测信号使用的通道。

【注】：仅发射机定时抖动-从模式测试项需要进行此项配置，且探头类型只有单端输入。

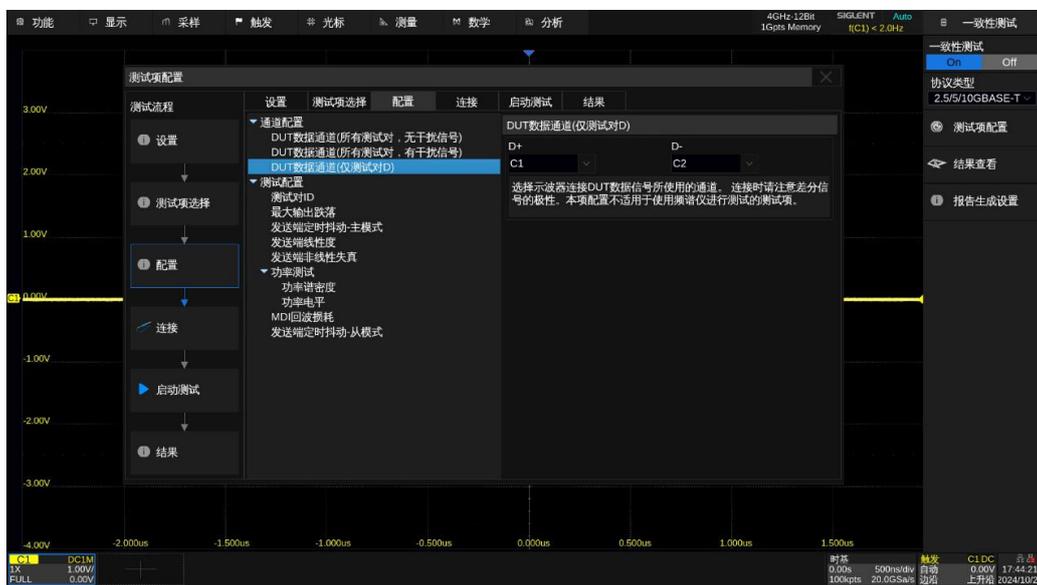


图 4-6 DUT 数据通道（仅测试对 D）配置界面

如图 4-7 所示，点击 **测试对 ID** 后，将展开测试对 ID 的配置窗口，用于设置本次所测试的双绞线 ID，可进行的设置有：

- ◆ 测试对 ID (Pair A/ Pair B/ Pair C/ Pair D/ Pair All)：用于记录当前被测的双绞线序号。

【注】：发射机定时抖动-从模式只需要测试 Pair D。

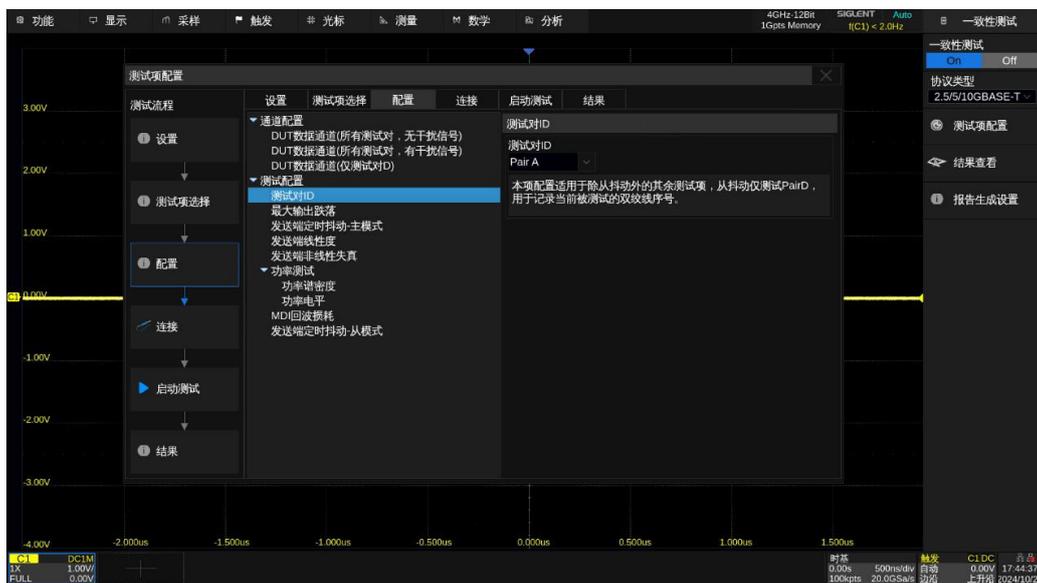


图 4-7 测试对 ID 配置界面

如图 4-8 所示，点击 **最大输出跌落** 后，将展开针对最大输出跌落测试的配置窗口，可进行的设置有：

- ◆ 平均次数 (1/ 4/ 16/ 32/ 64/ 128/ 256/ 512)：用于设置测试波形的平均次数，平均次数越多，测试波形和结果越稳定。

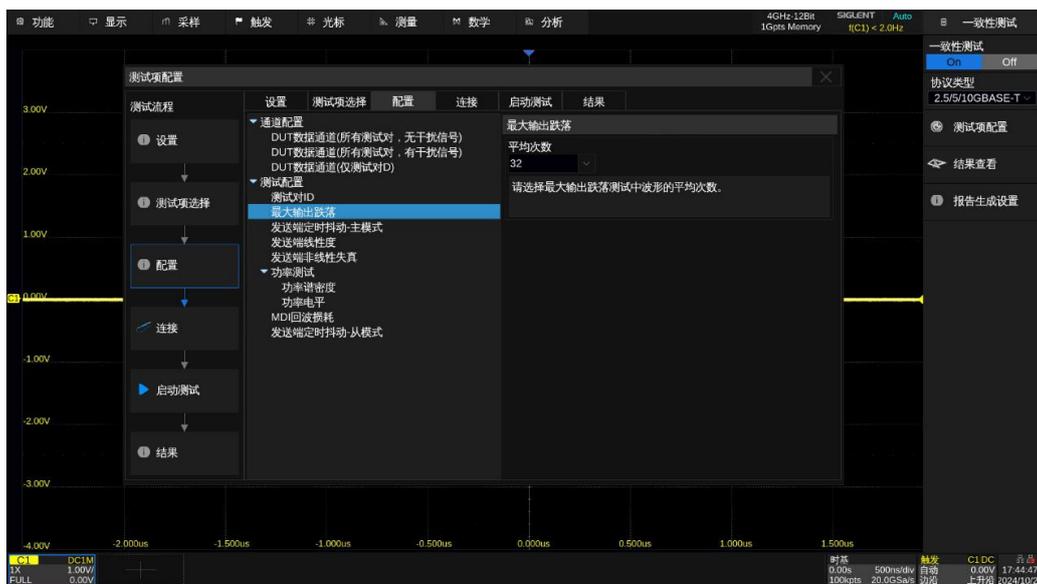


图 4-8 最大输出跌落配置界面

如图 4-9 所示，点击 **发射机定时抖动-主模式** 后，将展开针对发射机定时抖动-主模式测试项的配置窗口，可进行的设置有：

- ◆ 抖动类型 (TIE /周期)：用于设置计算的抖动类型。
- ◆ 带通滤波器 (False / True)：用于选择是否在计算抖动前对波形进行滤波处理，一般情况下，滤波后的抖动结果会更加理想。其中 2.5G BASE-T 所使用的带通滤波器中心频率为 50 MHz，带宽为 2 MHz；5G BASE-T 所使用的带通滤波器中心频率为 100 MHz，带宽为 2 MHz；10G BASE-T 所使用的带通滤波器中心频率为 200 MHz，带宽为 2 MHz



图 4-9 发射机定时抖动-主模式配置界面

如图 4-10 所示，点击 **发射机线性度** 后，将展开针对发射机线性度测试项的配置窗口，可进行的设置有：

- ◆ 测试设备选择 (示波器/频谱仪)：用于选择进行发射机线性度测试所使用的测试仪器。
- ◆ 平均次数 (1/ 10/ 20/ 30/ 40/ 50)：用于设置测试结果的平均次数，平均次数越多，结果越稳定。
- ◆ 测试连接：用于检测频谱仪的连接状态，连接成功后会显示设备名称。
- ◆ 巴伦补偿 (On / Off)：用于选择是否对巴伦的插入损耗进行补偿。
- ◆ 设置：点击后进入巴伦补偿界面，如图 4-11 所示，可以添加/修改/删除不同频率下的插损，最多能够添加 50 个点。因为巴伦自带插入损耗和回波损耗，会影响测试结果，所以需要对这些损耗做补偿。

【注】：测试连接、巴伦补偿、设置仅在测试仪器选择频谱仪时生效，且设置需要在巴伦补偿打开后才能生效。

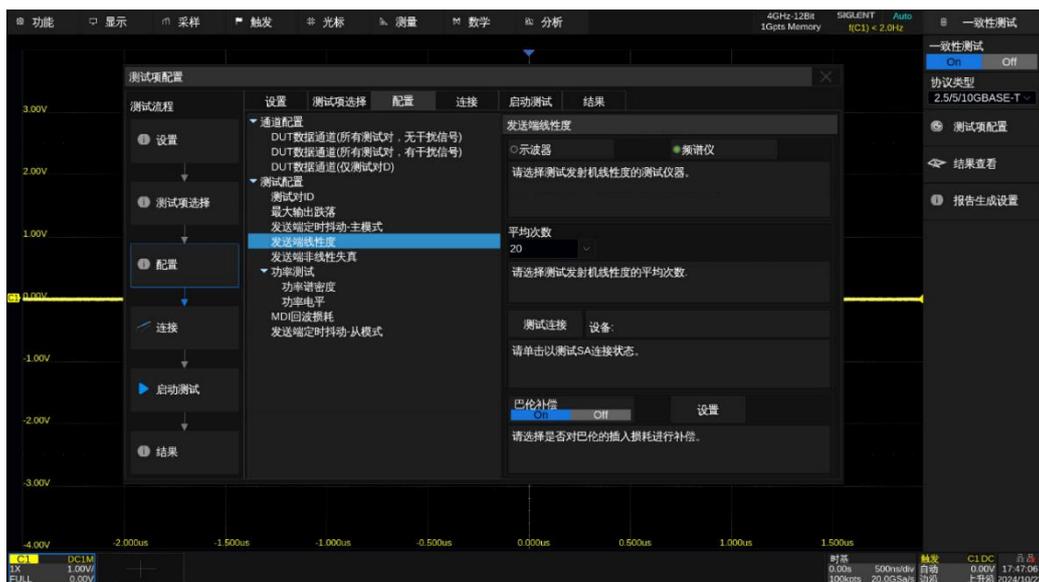


图 4-10 发射机线性度配置界面

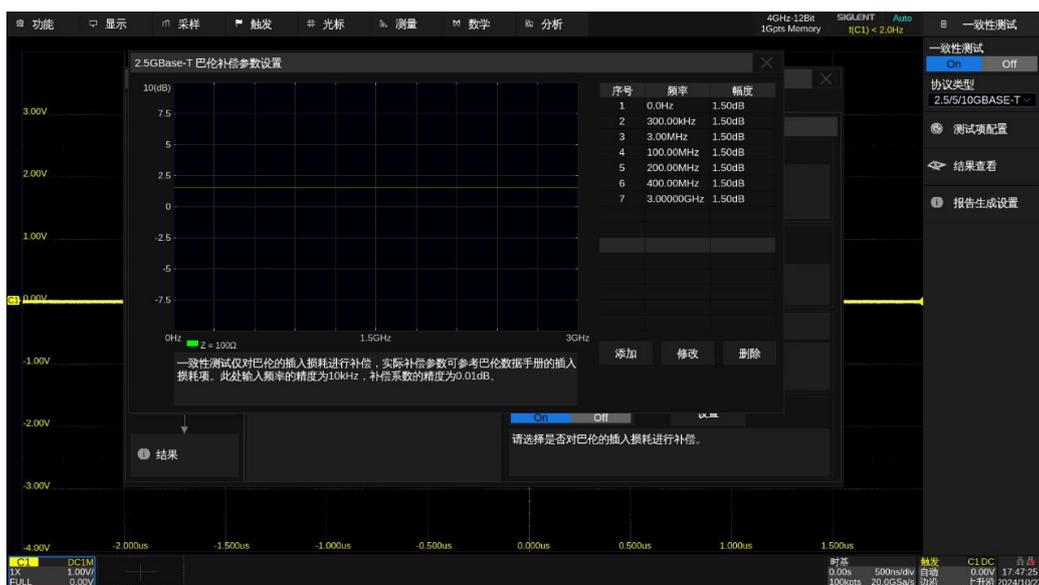


图 4-11 巴伦补偿配置界面

如图 4-12 所示, 点击 **发射机非线性失真** 后, 将展开针对发射机非线性失真测试项的配置窗口, 可进行的设置有:

- ◆ 测试设备选择 (示波器/频谱仪): 用于选择进行发射机非线性失真测试所使用的测试仪器。
- ◆ 平均次数 (1/ 10/ 20/ 30/ 40/ 50): 用于设置测试结果的平均次数, 平均次数越多, 结果越稳定。
- ◆ 测试连接: 用于检测任意波形发生器的连接状态, 连接成功后会显示设备名称。

- ◆ 测试连接：用于检测频谱仪的连接状态，连接成功后会显示设备名称。
- ◆ 巴伦补偿 (On/ Off)：用于选择是否对巴伦的插入损耗进行补偿。
- ◆ 设置：点击后进入巴伦补偿界面，如图 4-11 所示，可以添加/修改/删除不同频率下的插损，最多能够添加 50 个点。

【注 1】：仅 2.5G BASE-T 存在此项配置。

【注 2】：测试连接（频谱仪）、巴伦补偿、设置仅在测试仪器选择频谱仪时生效，且设置需要在巴伦补偿打开后才能生效。



图 4-12 发射机非线性失真配置界面

如图 4-13 所示，点击 **功率谱密度** 后，将展开针对功率谱密度测试项的配置窗口，可进行的设置有：

- ◆ 测试设备选择 (示波器/频谱仪)：用于选择进行功率谱密度测试所使用的测试仪器。
- ◆ 平均次数 (1/ 10/ 20/ 30/ 40/ 50/ 100)：用于设置测试结果的平均次数，平均次数越多，结果越稳定。
- ◆ 测试连接：用于检测频谱仪的连接状态，连接成功后会显示设备名称。
- ◆ 巴伦补偿 (On/ Off)：用于选择是否对巴伦的插入损耗进行补偿。
- ◆ 设置：点击后进入巴伦补偿界面，如图 4-11 所示，可以添加/修改/删除不同频率下的插损，最多能够添加 50 个点。

【注】：测试连接、巴伦补偿、设置仅在测试仪器选择频谱仪时生效，且设置需要在巴伦补偿打开后才能生效。

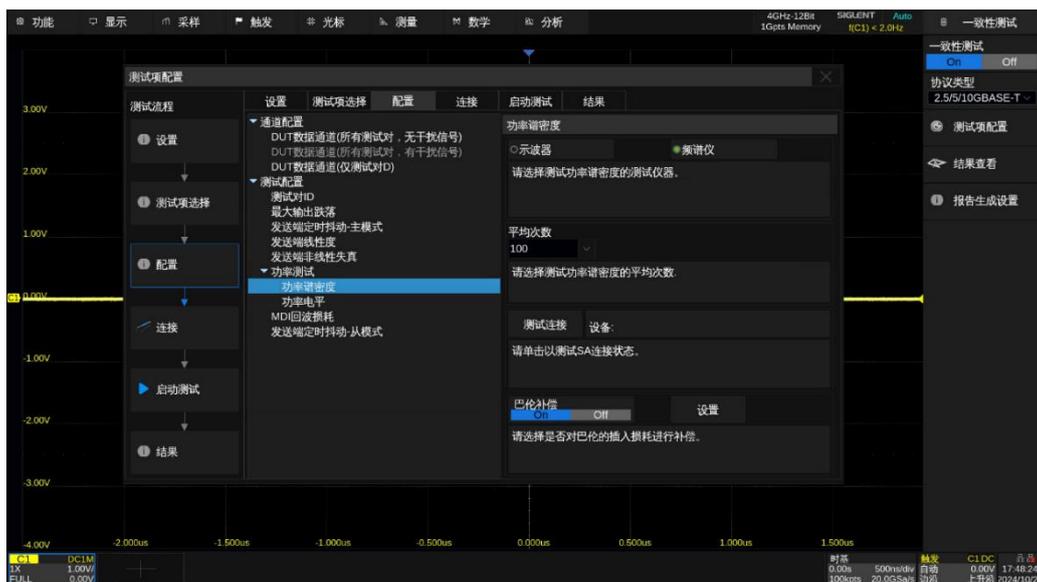


图 4-13 功率谱密度配置界面

如图 4-14 所示，点击 **功率电平** 后，将展开针对功率电平测试项的配置窗口，可进行的设置有：

- ◆ 测试设备选择（示波器/频谱仪）：用于选择进行功率电平测试所使用的测试仪器。
- ◆ 平均次数（1/ 10/ 20/ 30/ 40/ 50）：用于设置测试结果的平均次数，平均次数越多，结果越稳定。
- ◆ 测试连接：用于检测频谱仪的连接状态，连接成功后会显示设备名称。
- ◆ 巴伦补偿（On/ Off）：用于选择是否对巴伦的插入损耗进行补偿。
- ◆ 设置：点击后进入巴伦补偿界面，如图 4-11 所示，可以添加/修改/删除不同频率下的插损，最多能够添加 50 个点。

【注】：测试连接、巴伦补偿、设置仅在测试仪器选择频谱仪时生效，且设置需要在巴伦补偿打开后才能生效。

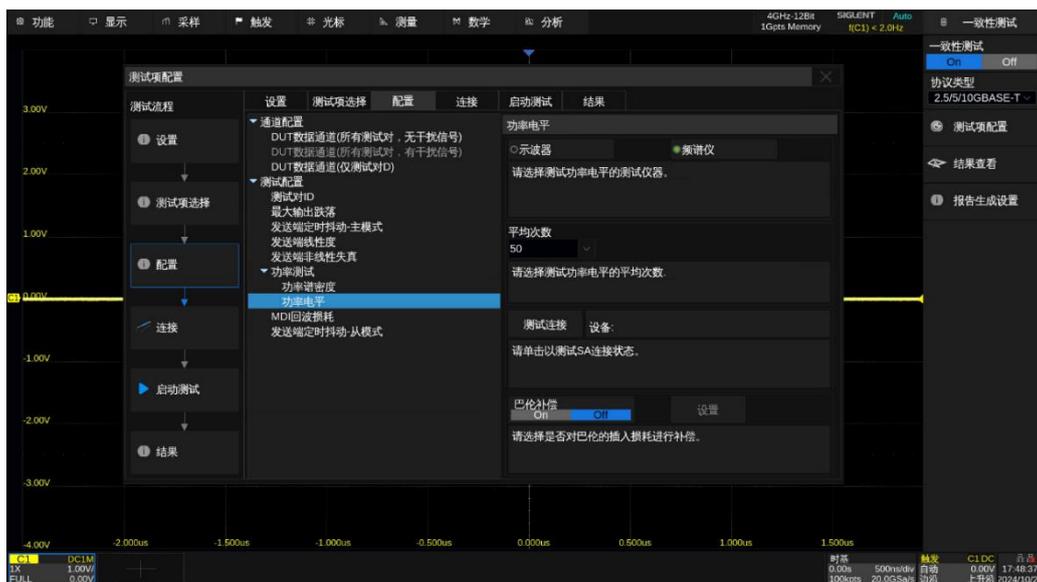


图 4-14 功率电平配置界面

如图 4-15 所示，点击 **MDI 回波损耗** 后，将展开针对 MDI 回波损耗测试项的配置窗口，可进行的设置有：

- ◆ 测试连接：用于检测 VNA 的连接状态，连接成功后会显示设备名称。
- ◆ VNA 端口选择 (Port1/ Port2/ Port3/ Port4)：用于选择 VNA 测量回波损耗的物理端口，会根据所使用的 VNA 机型，动态改变可供选择的端口数量。
- ◆ VNA 校准：点击 **开路** / **短路** / **负载** 后，可进行相应的校准。

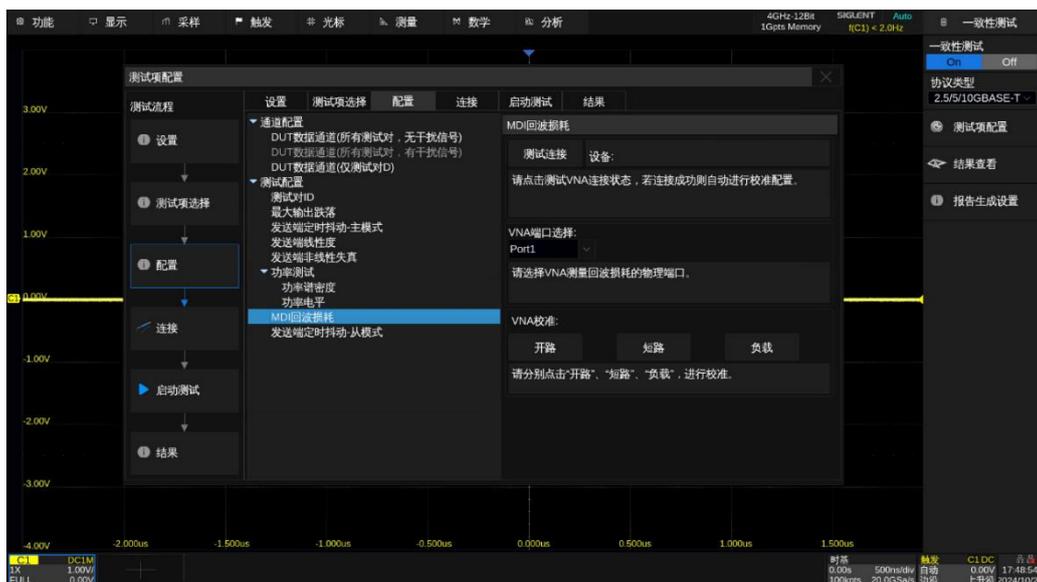


图 4-15 MDI 回波损耗配置界面

如图 4-16 所示，点击 **发射机定时抖动-从模式** 后，将展开针对发射机定时抖动-从模式的配置窗口，可进行的设置有：

- ◆ 抖动类型 (TIE /周期)：用于设置计算的抖动类型。
- ◆ 带通滤波器 (False/ True)：用于选择是否在计算抖动前对波形进行滤波处理，一般情况下，滤波后的抖动结果会更加理想。其中 2.5G BASE-T 所使用的带通滤波器中心频率为 200 MHz，带宽为 2 MHz；5G BASE-T 所使用的带通滤波器中心频率为 100 MHz，带宽为 2 MHz，10G BASE-T 所使用的带通滤波器中心频率为 50 MHz，带宽为 2 MHz。

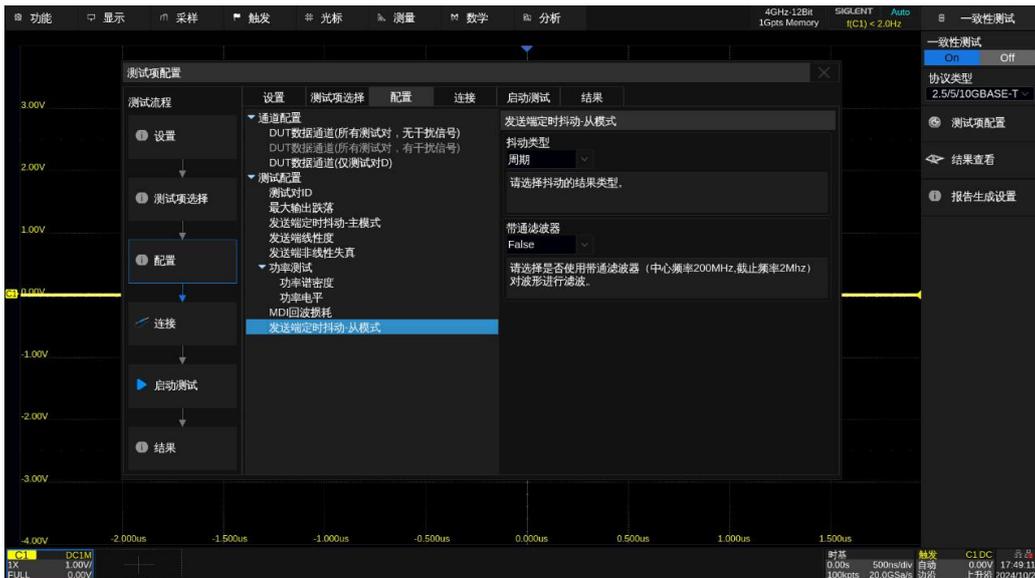


图 4-16 发射机定时抖动-从模式配置界面

- **连接：**本栏目显示测试接线图与测试步骤，如图 4-17 所示，若一次性选择了多个测试项目，只会显示第一个待测项的信息，其他测试项，如果接线图不一样会在上一个测试项结束后有单独的页面弹窗提示。

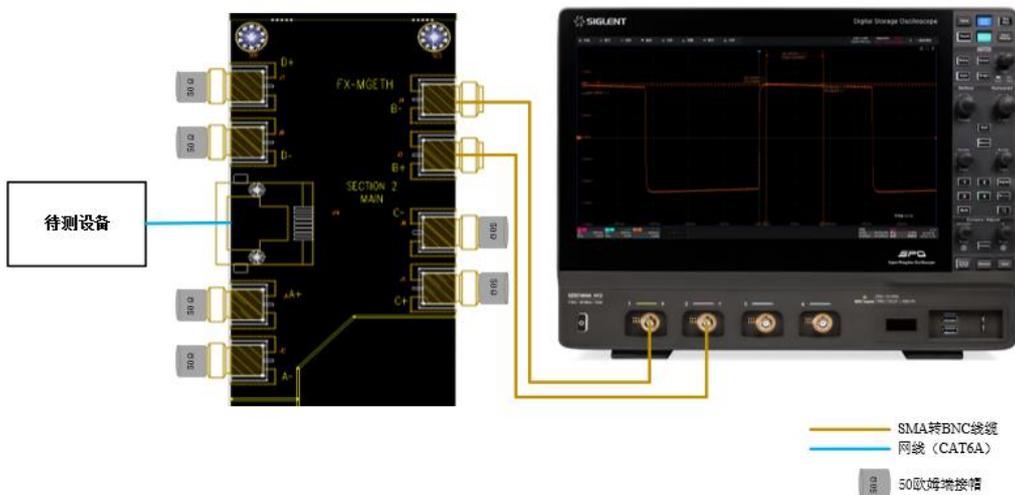


图 4-17 连接窗口显示的接线图

- **启动测试:** 启动测试窗口如**错误!未找到引用源。**所示, 测试失败时, 支持 **继续** 和 **中止** 两种选择。点击右下角的 **启动测试** , 在弹出的窗口中检查连接的准确性后可开始本轮测试。



图 4-18 启动测试窗口

在接下来的测试过程中, 按照弹窗提示完成测试即可, 测试项全部完成后会弹出测试结果。

若一轮测试中选择了多个测试项目, 进行到下一个项目时会有弹窗提示该项目的接线方式, 接线完成后点击弹窗中的 **启动测试** 即可继续测试。

4.2 结果查看

点击 **结果查看** ，查看对应的测试结果。

测试结果窗口的上半部分是测试项目，概要提供各个测试项目的结果，以及官方要求的参考门限值，如图 4-19 所示。

测试结果窗口的下半部分是对应的细节图，在测试结果窗口的上半部分点击感兴趣的项目，下半部分即可显示对应的细节，点击图片可以查看测试波形的细节，如图 4-20 所示。



图 4-19 测试项目列表

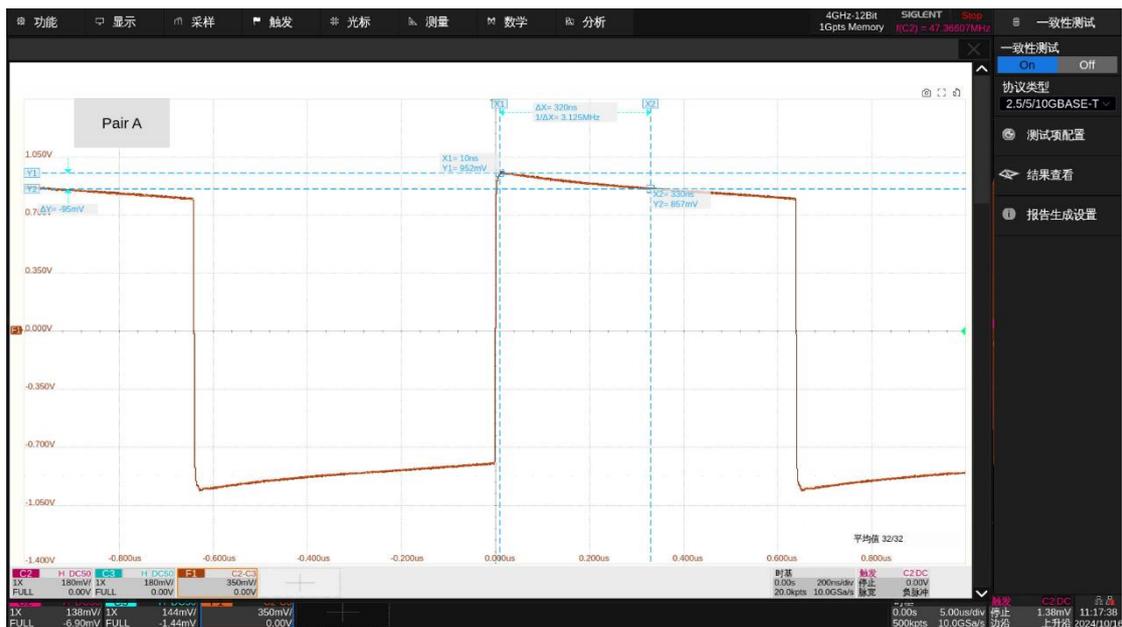


图 4-20 波形细节图

4.3 报告生成设置

点击 **报告生成设置**，填入有关的测试信息，选择报告类型；**预览报告** 可以提前查看生成报告的效果；**文件管理** 中选择保存的路径，点击 **保存** 即可保存测试结果，如图 4-21 所示。

【注意】：保存成 HTML 格式时，会生成一个文件夹与 HTML 文件，如需拷贝，需要把两者都拷走，并且两者放置在同一路径下。

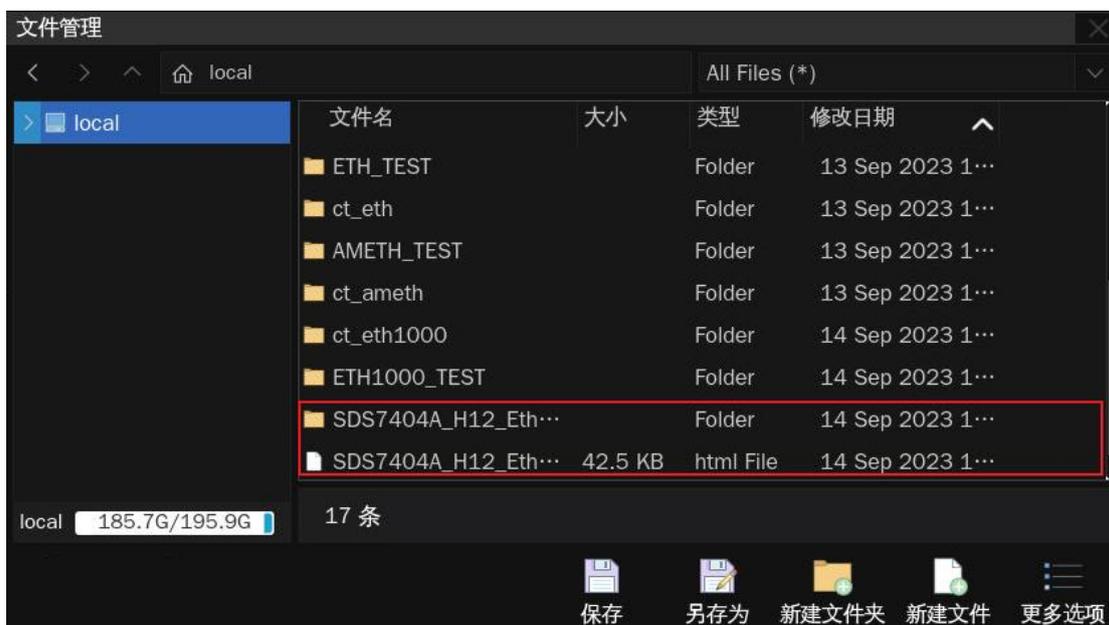


图 4-21 生成报告设置

测试报告包括所有测试结果的摘要表，其中具有到详细信息页面的超链接，详细信息页面包括一个相关测试的屏幕截图，如图 4-22 所示。

2.5/5/10GBase-T Compliance Test Report

Overall Result: **Pass**

Operator:	
Test Date:	2024-10-16 10:26:08
Device:	
Temperature:	
Remarks:	
Oscilloscope Name:	DCET4054A H12
Oscilloscope Serial Number:	DCET0003230606
Oscilloscope Scope ID:	a709-227e-5861-2e75a
Oscilloscope Firmware Version:	04.1.0.0.1.0.0_0e00
Test Result:	Total: 6 Pass, 0 Alert, 0 Tested, 0 Fail, 0

Summary

Result	Test name	Value	Value(Min)	Value(Max)	Margin	Pass Limit
Pass	2.5GBase-T Maximum Output Droop POG	0.75%	0.75%	0.75%	44.20%	Value <= 17.50%
Pass	2.5GBase-T Maximum Output Droop NEG	0.72%	0.72%	0.72%	44.47%	Value <= 17.50%
Pass	2.5GBase-T Transmitter Timing Jitter Master	337fs	10.998348ns	20.000761ns	37.13%	Value <= 33.000ps
Pass	2.5GBase-T Transmitter Timing Clock Frequency	26.03ppm	200.01MHz	200.01MHz	23.97%	10.00ppm <= Value <= 50.00ppm
Pass	2.5GBase-T POG					Overall = Pass
Pass	2.5GBase-T Power Level	1.789dBm	1.789dBm	1.789dBm	15.46%	1.000dBm <= Value <= 3.000dBm

Details

2.5GBase-T Maximum Output Droop POG				
Current	0.74%	0.75%	0.69%	0.31%
Mean	0.7407%	0.7547%	0.6600%	0.3073%
Min	0.74%	0.75%	0.69%	0.31%
Max	0.74%	0.75%	0.69%	0.31%
Pk-Pk	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Stddev	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Count	1	1	1	1
Average Num	12	12	12	12
Pass Limit	Value <= 17.50%			
Margin	44.34%	44.20%	44.64%	46.82%
Test Pair	BI DA	BI DB	BI DC	BI DD
Result	Pass	Pass	Pass	Pass

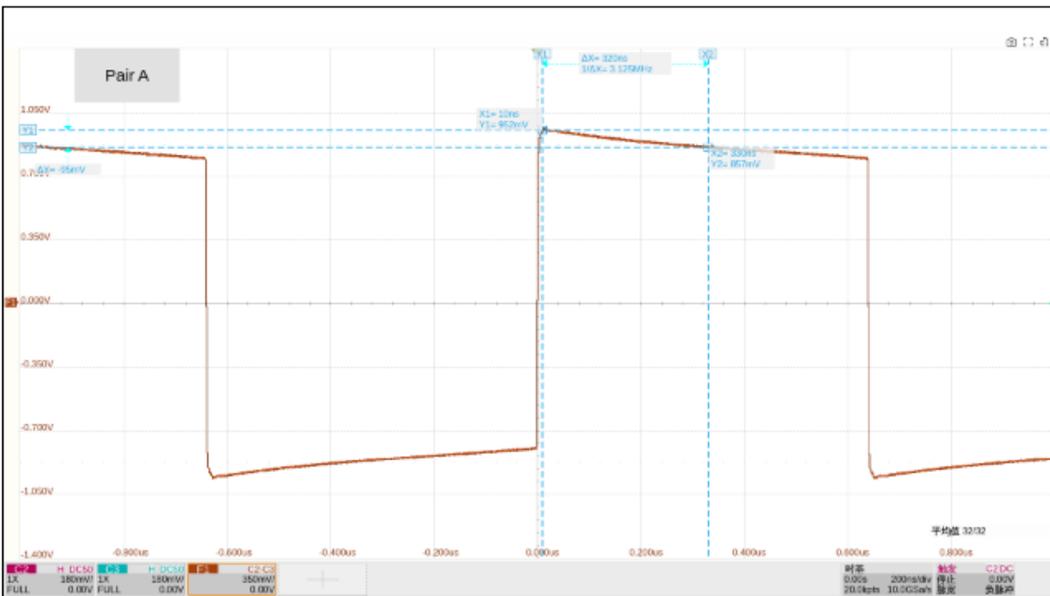


图 4-22 测试报告

5 测试环境连接

针对不同的测试项以及不同的配置，测试环境可分为使用示波器测试、使用频谱分析仪测试、使用矢量网络分析仪测试、发射机非线性失真测试、从抖动测试五种情况。2.5G、5G、10G 三种速率的测试项相似，接下来的介绍不做区分。

5.1 使用示波器测试的测试环境

最大输出跌落、发射机定时抖动-主模式、发射机时钟频率、发射机线性度（使用示波器测试）、功率谱密度（使用示波器测试）、功率电平（使用示波器测试），测试环境相同，使用到测试夹具的区域②或者区域③。DUT 需要输出相应测试项所对应测试模式的波形。FX-MGETH 测试夹具支持使用有源差分探头或者 SMA 线缆探测信号，连接如下：

- 有源差分探头：使用有源差分探头的连接方式如图 5-1 所示，连接步骤为：
 - 1) 短网线的一端连接到测试夹具区域③的连接器 J21，另一端连接到 DUT；
 - 2) 根据 DUT 被测试的信号对（DA、DB、DC、DD），有源差分探头的探测点连接到对应的测试点（J17、J18、J19、J20），另一端连接到示波器的一个输入通道。

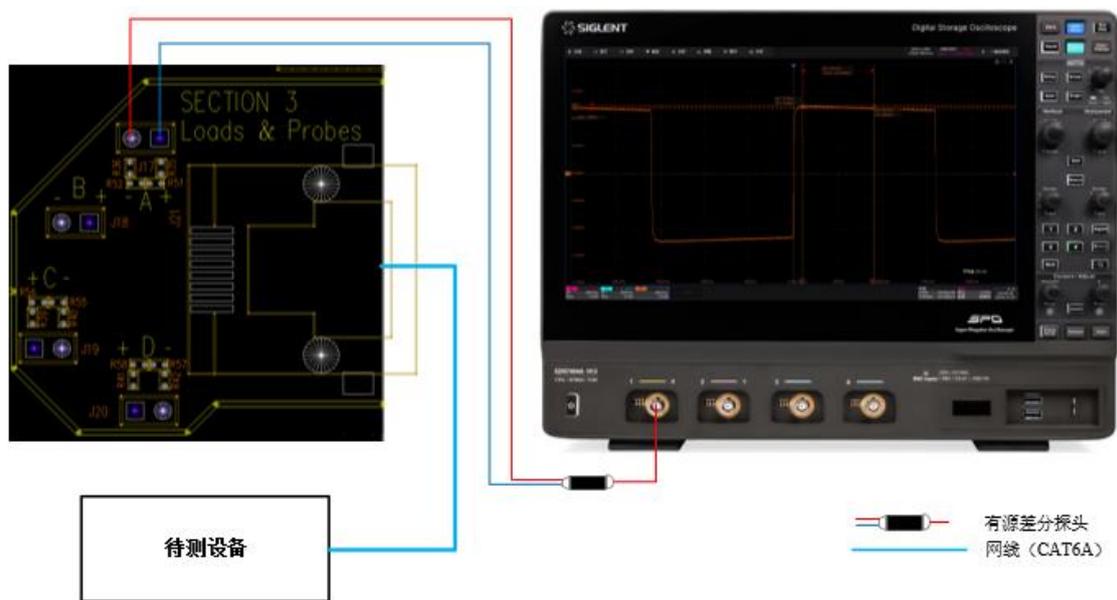


图 5-1 有源差分探头连接方式

- SMA 线缆：使用 SMA 线缆的连接方式如图 5-2 所示，连接步骤为：
 - 1) 短网线的一端连接到测试夹具区域②的连接器 J16，另一端连接到 DUT；

- 2) 根据 DUT 被测试的信号对, 两根等长 SMA 线缆的一端分别连接到对应的测试点, 为: DA (J1、J2)、DB (J3、J4)、DC (J5、J6) DD (J7、J8); 两根 SMA 线缆的另一端连接到示波器的两个输入通道;
- 3) 未被测试的信号, 安装 50 Ω 端接匹配器。

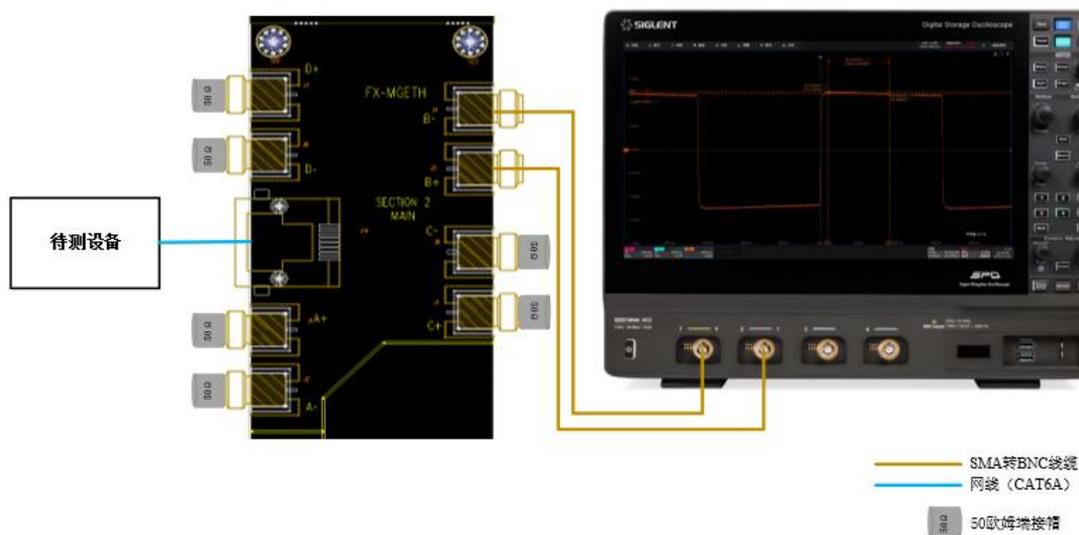


图 5-2 单端输入连接方式

5.2 使用频谱分析仪的测试环境

发射机线性度、功率谱密度、功率电平, 在选择使用频谱分析仪进行测试时, 测试环境相同, 使用到测试夹具的区域②和巴伦。DUT 需要输出相应测试项所对应测试模式的波形。连接如下:

连接方式如图 5-3 所示, 连接步骤为:

- 1) 短网线的一端连接到测试夹具区域②的连接器 J16, 另一端连接到 DUT;
- 2) 根据 DUT 被测试的信号对, 两根等长 SMA 线缆的一端分别连接到对应的测试点, 为: DA (J1、J2)、DB (J3、J4)、DC (J5、J6) DD (J7、J8); 两根 SMA 线缆的另一端连接到巴伦的输入, 巴伦的输出连接到频谱分析仪的一个输入通道;
- 3) 用一根 USB 线缆, 分别连接到示波器的 USB Host 接口和频谱分析仪的 USB Device 接口;
- 4) 未被测试的信号, 安装 50 Ω 端接匹配器。

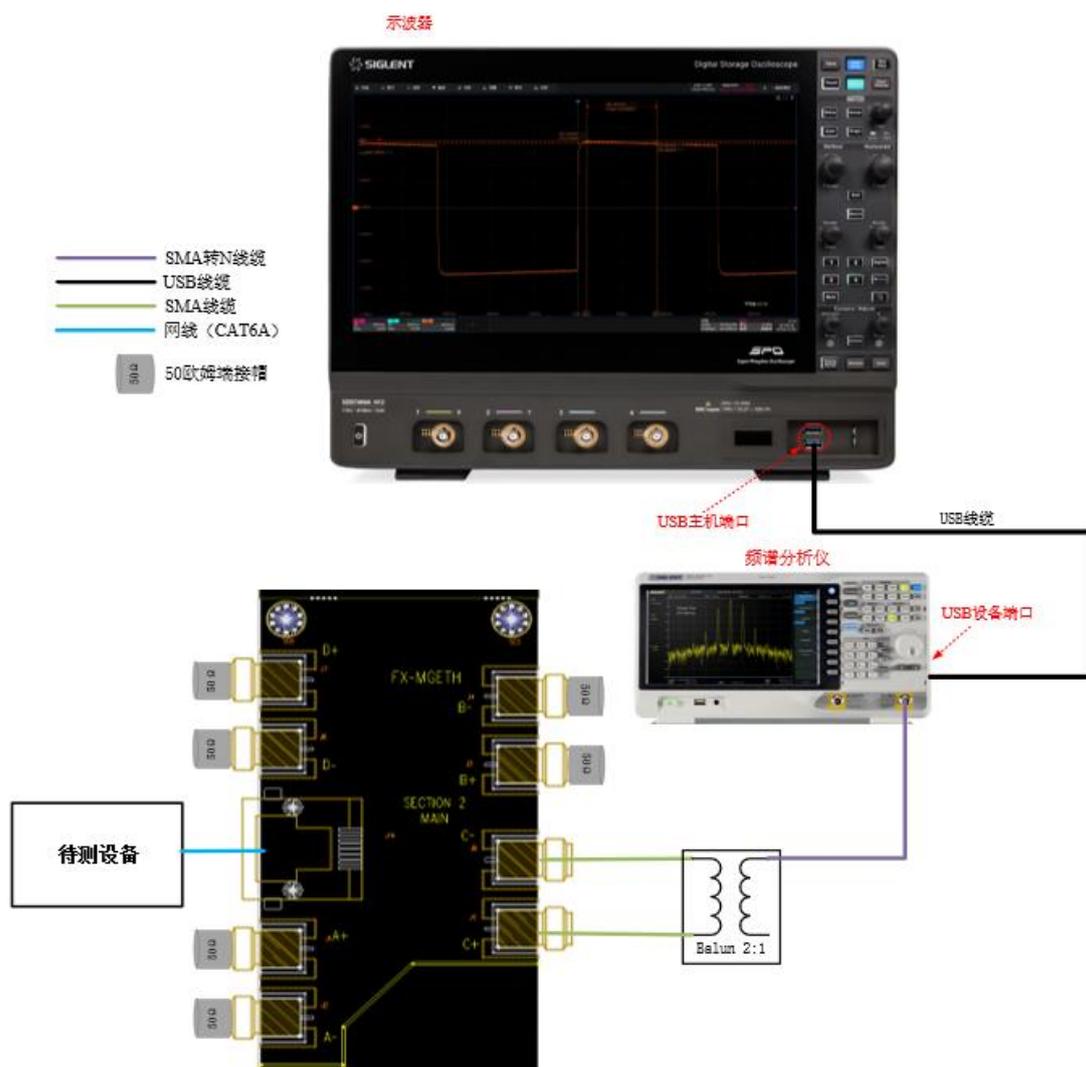


图 5-3 使用频谱分析仪的连接方式

5.3 使用矢量网络分析仪的测试环境

进行 MDI 回波损耗测试时，需要使用到矢量网络分析仪，使用到测试夹具的区域②和校准件。DUT 需要输出测试模式 5 的波形。另外进行 MDI 回波损耗测试前需要对矢量网络分析仪进行校准。校准和测试的连接方式如下：

- 校准的连接方式如图 5-4 所示，连接步骤为：
 - 1) 两根等长的 SMA 线缆，一端分别和巴伦输入端相连，另外一端分别连接到测试夹具区域②的对应的测试点，为：DA (J1、J2)、DB (J3、J4)、DC (J5、J6) DD (J7、J8)；
 - 2) 用一根 SMA 线缆，一端连接 **配置** -> **回波损耗** 中的“VNA 端口选择”所对应的 VNA 端口，另外一端连接到巴伦输出端；
 - 3) 测试夹具区域②未被测试的信号，使用 50Ω 匹配器连接到对应的 SMA 座子上；

- 4) 用一根 USB 线缆，分别连接到示波器的 USB Host 接口和 VNA 的 USB Device 接口；
- 5) 取一根短网线，一端连接到测试夹具区域②的连接器 J16，另外一端接到校准件上的 J12，做 Open 校准；
- 6) 点击测试项选择中的回波损耗。在配置中，在回波损耗选项下点击测试连接，示波器连接 VNA 成功后会有连接成功提示，返回 VNA 的型号并自动设置 VNA 的校准配置（自动设置仅支持鼎阳 VNA）；
- 7) 点击 **配置** 中的 **回波损耗** -> **开路**，执行 Open 校准；
- 8) 对于 Short 和 Load 的校准，更改短网线连接后分别点击 **配置** 中的 **回波损耗** -> **短路**、**负载进行校准**。

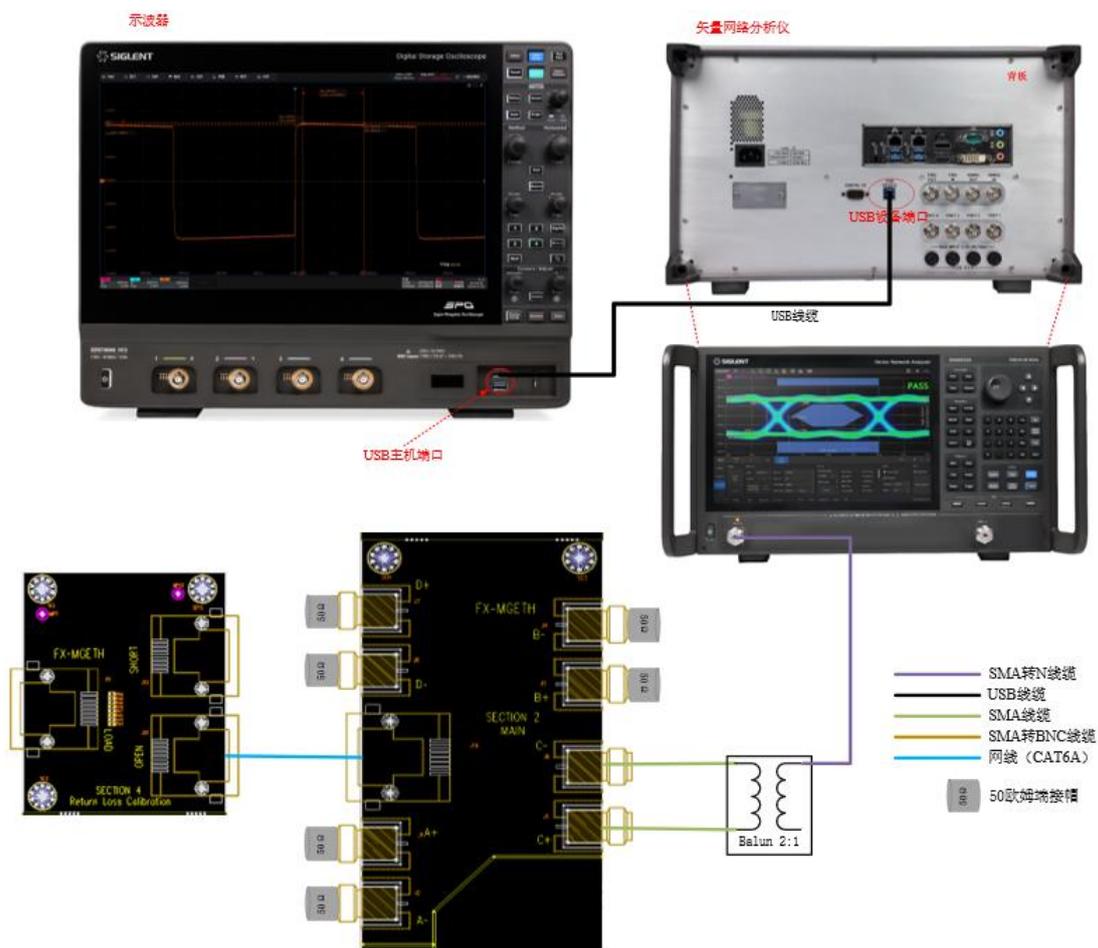


图 5-4 MDI 回波损耗校准接线方式

- 测试的连接方式如图 5-5 所示，连接步骤为：
 - 1) 两根等长的 SMA 线缆，一端分别和巴伦输入端相连，另外一端分别连接到测试夹具区域②的

- 对应的测试点，为：DA (J1、J2)、DB (J3、J4)、DC (J5、J6) DD (J7、J8)；
- 2) 用一根 SMA 线缆，一端连接 **配置** -> **回波损耗** 中的“VNA 端口选择”所对应的 VNA 端口，另外一端连接到巴伦输出端；
 - 3) 测试夹具区域②未被测试的信号，使用 50Ω 匹配器连接到对应的 SMA 座子上；
 - 4) 用一根 USB 线缆，分别连接到示波器的 USB Host 接口和 VNA 的 USB Device 接口；
 - 5) 取一根短网线，一端连接到测试夹具区域②的连接器 J16，另外一端接到 DUT；
 - 6) 配置 DUT 进入测试模式 5；
 - 7) 点击示波器启动测试中的启动测试，出现弹窗后点击 **启动测试**，示波器获取 VNA 测试到的 S11 数据，绘制曲线，判断测试是否通过。

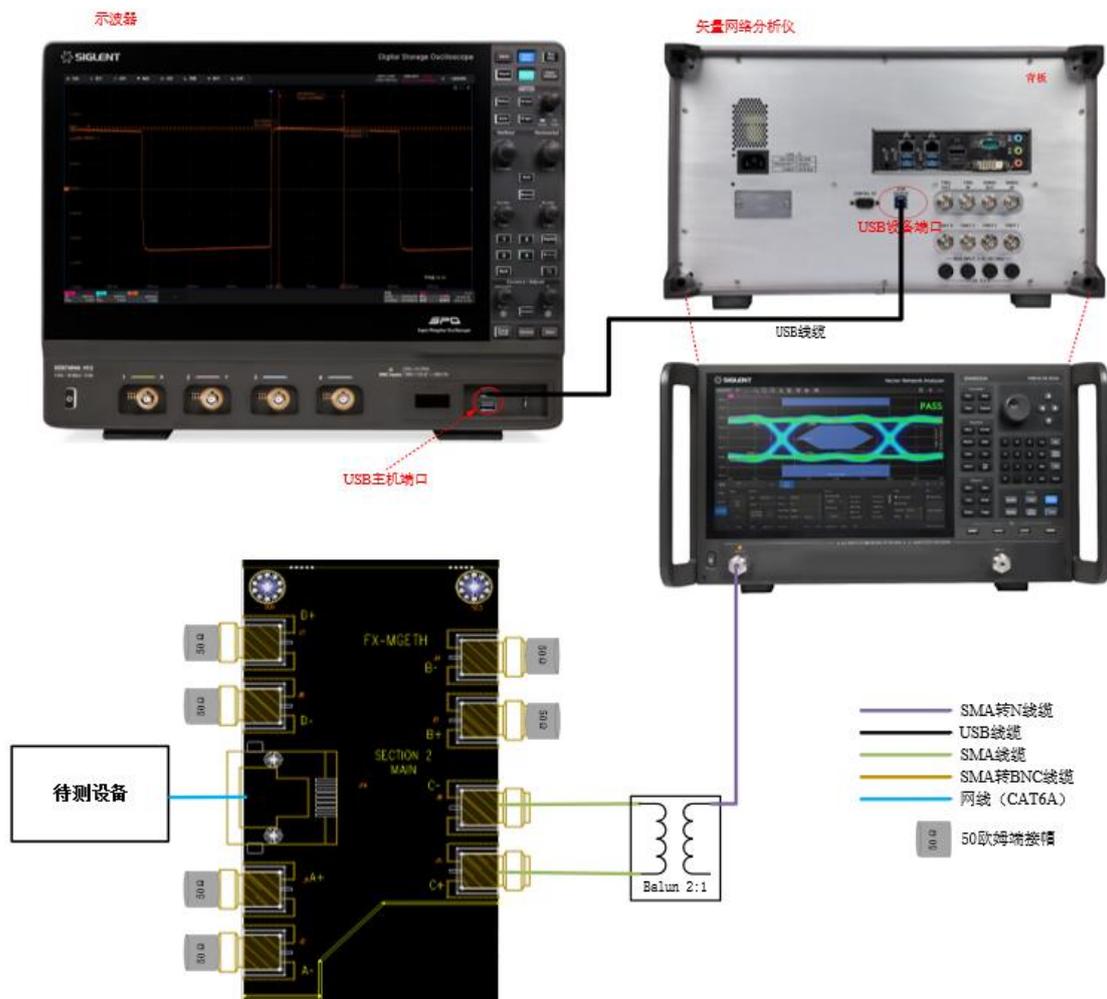


图 5-5 MDI 回波损耗测试接线方式

5.4 发射机非线性失真的测试环境

仅 2.5G BASE-T 需要进行发射机非线性失真测试。发射机非线性失真测试，需要选择使用示波器或频谱分析仪进行测试，但都需要使用任意波形发生器以及功分器，使用到测试夹具的区域②。DUT 需要输出测试模式 4 的波形。连接方式如下：

- 使用示波器进行测试的连接方式如图 5-6 所示，连接步骤为：
 - 1) 短网线的一端连接到测试夹具区域②的连接器 J16，另一端连接到 DUT；
 - 2) 根据 DUT 被测试的信号对，两根等长 SMA 线缆的一端分别连接到对应的测试点，为：DA (J1、J2)、DB (J3、J4)、DC (J5、J6) DD (J7、J8)；两根 SMA 线缆的另一端分别连接到功分器的 S 端口；
 - 3) 用两根等长 SMA 线缆，一端分别连接到信号源的两个输出通道，另一端分别连接到功分器的 1 端口；
 - 4) 再用两根等长 SMA 线缆，一端分别连接到示波器的两个输入通道，另一端分别连接到功分器的 2 端口；
 - 5) 用一根 Type A-Type B 的 USB 线缆，分别连接到示波器的 USB Host 接口和信号源的 USB Device 接口；
 - 6) 未被测试的信号，安装 50 Ω 端接匹配器。

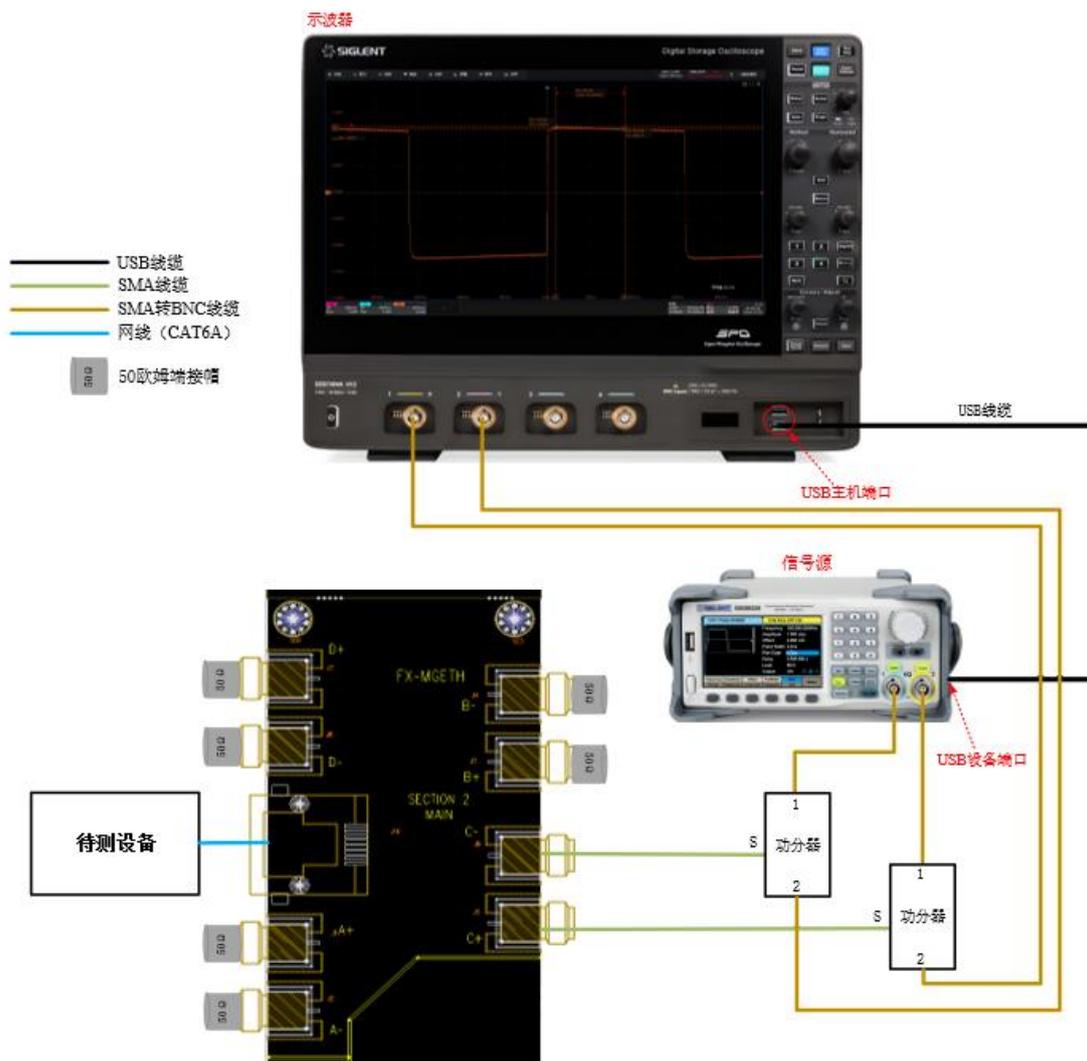


图 5-6 使用示波器进行非线性失真测试

● 使用频谱分析仪的连接方式如图 5-7 所示，连接步骤为：

- 1) 短网线的一端连接到测试夹具区域②的连接器 J16，另一端连接到 DUT；
- 2) 根据 DUT 被测试的信号对，两根等长 SMA 线缆的一端分别连接到对应的测试点，为：DA (J1、J2)、DB (J3、J4)、DC (J5、J6) DD (J7、J8)；
- 3) 用一根 SMA 线缆，一端连接到巴伦的输出端，另一端连接到功分器的 S 端口；
- 4) 用一根 SMA 线缆，一端连接到信号源的一个输出通道，另一端连接到功分器的 1 端口；
- 5) 再用一根 SMA 线缆，一端连接到频谱分析仪的一个输入通道，另一端连接到功分器的 2 端口；
- 6) 用一根 Type A-Type B 的 USB 线缆，分别连接到示波器的 USB Host 接口和信号源的 USB Device 接口；
- 7) 用一根 Type A-Type B 的 USB 线缆，分别连接到示波器的 USB Host 接口和频谱分析仪的 USB

Device 接口;

- 8) 未被测试的信号，安装 50 Ω 端接匹配器。

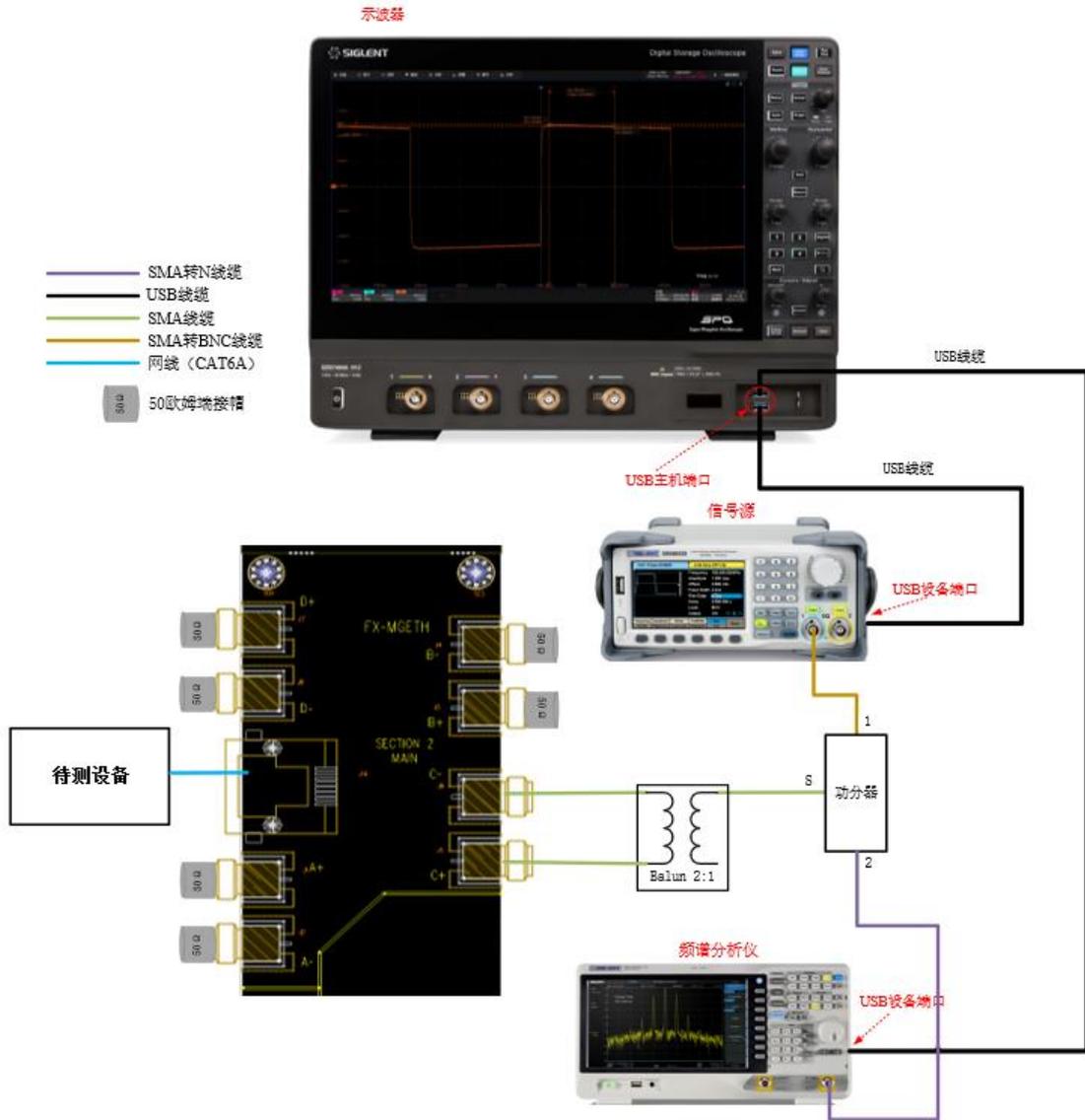


图 5-7 使用频谱分析仪进行非线性失真测试

5.5 从抖动测试的测试环境

发射机定时抖动-从模式仅需测试 Pair D，使用到测试夹具的区域①，需要用到两块设备，一块作为 DUT，配置为测试模式 3（从 PHY），一块作为 Link Partner，配置为测试模式 1（主 PHY）。连接如下：

连接方式如图 5-8 所示，连接步骤为：

- 1) 配置 DUT（从 PHY）进入测试模式 3，配置 Link Partner（主 PHY）进入测试模式 1；
- 2) 使用两根短网线，其中一根短网线用于连接 DUT（从 PHY）和测试夹具区域①的连接器 J15，另一根短网线用于连接 Link Partner（主 PHY）和测试夹具区域①的连接器 J14；
- 3) 发射机定时抖动（从模式） 仅需测试 Pair D，两根等长 SMA 线缆的一端分别连接测试夹具区域①的 J9、J10，另一端分别连接到示波器的两个输入端口。

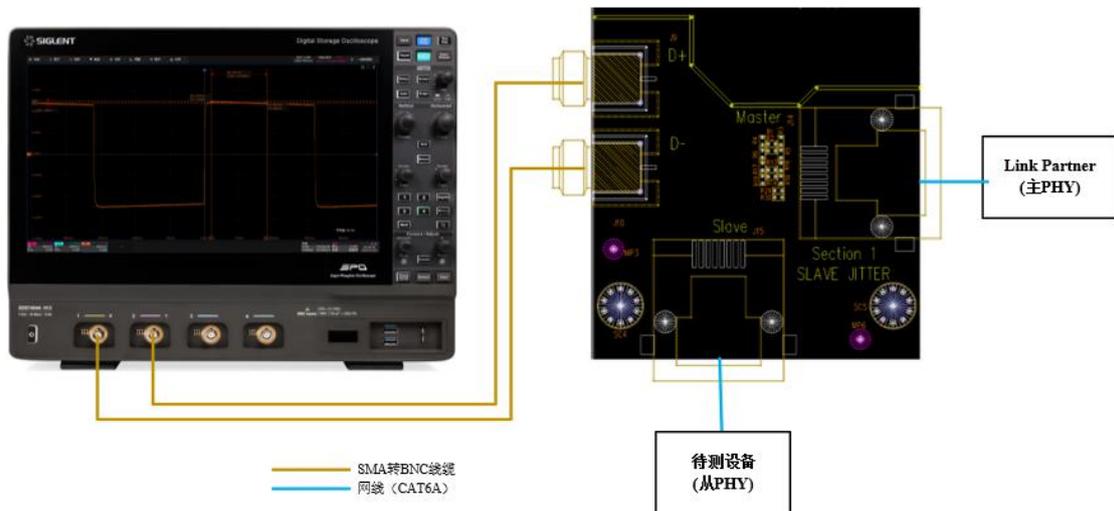


图 5-8 从抖动连接方式

6 2.5G BASE-T 一致性测试

6.1 最大输出跌落测试

6.1.1 测试简介

测试的参考标准：IEEE 802.3-2018，Subclause 126.5.3.1。

最大输出跌落测试用于验证 DUT 输出信号的衰减速度是否符合标准所规定的值。测试时，需要将待测设备配置于测试模式 6，此时待测设备将发送连续 128 个+16 电平和连续 128 个-16 电平符号所组成的周期信号，即理想情况下周期为 1.28 us 的方波信号。

6.1.2 测试步骤

1. 在设置中，速率选择 **2.5G BASE-T**。
2. 进行测试项选择，**测试项选择** > **最大输出跌落**。
3. 在 **配置** 中设置使用的探头类型、信源、测试对 ID (Pair A/B/C/D/All) 和平均次数。
4. 在连接中检查测试环境搭建的准确性，具体测试连接方式见 5.1。
5. 点击 **启动测试**，系统会弹出测试提示界面，并自动设置示波器的通道、触发等相关配置。
6. 等待示波器正确捕获待测信号后，在测试提示界面点击启动测试以开始测试。开始测试后，如果示波器没有捕获到正确的波形来执行测试，应用程序将会回到测试提示界面，以提示您检查测试环境的准确性。
7. 在测试过程中，示波器将自动完成所有配置，输出测试结果。

6.1.3 计算方法和通过标准

根据 IEEE802.3 标准，最大输出跌落需要计算正向最大输出跌落和负向最大输出跌落。

计算正向最大输出跌落时，以信号上升沿过零点处为参考位置，记录其后 10 ns 位置处的电压值为 V_{10} ，记录其后 330 ns 处的电压值为 V_{330} 。

计算负向最大输出跌落时，以信号下降沿过零点处为参考位置，记录其后 10 ns 位置处的电压值为 V_{10} ，记录其后 330 ns 处的电压值为 V_{330} 。

正向最大输出跌落和负向最大输出的跌落的计算公式和通过标准相同，为：

$$\text{Droop} = \frac{(V_{10} - V_{330})}{V_{10}} < 17.5\%$$

6.1.4 测试结果参考

正向最大输出跌落结果示例如图 6-1 所示

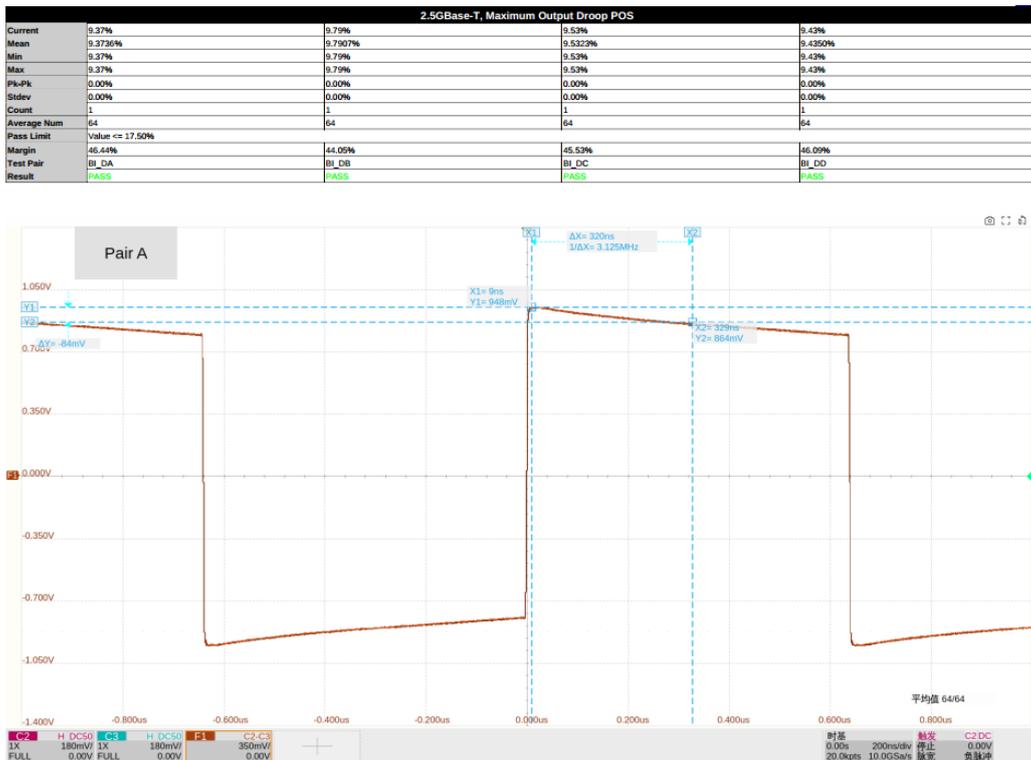


图 6-1 正向最大输出跌落结果示例

负向最大输出跌落结果示例如图 6-2 所示。

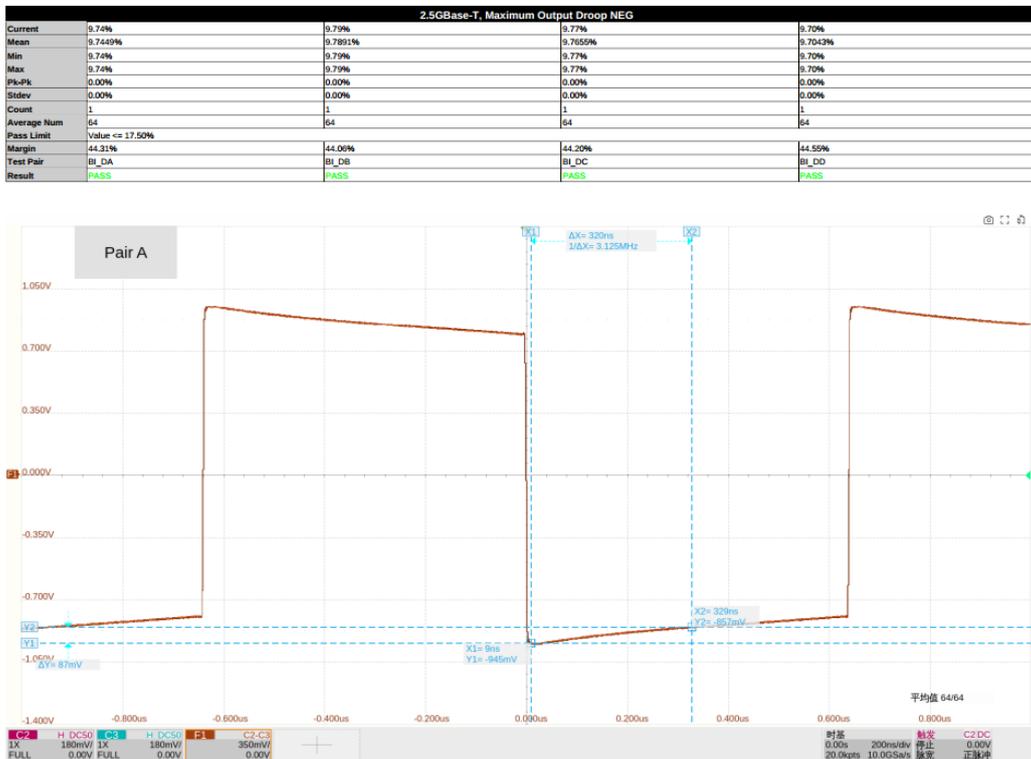


图 6-2 负向最大输出跌落结果示例

6.2 发射机定时抖动-主模式测试

6.2.1 测试简介

测试的参考标准：IEEE 802.3-2018, Subclause 126.5.3.3。

发射机定时抖动-主模式测试用于验证 DUT 输出信号的抖动是否符合标准所规定的值，以验证信号质量。测试时，需要将待测设备配置于测试模式 2，此时待测设备将发送连续 2 个+16 电平和连续 2 个-16 电平符号所组成的周期信号，即理想情况下周期为 20 ns 的方波信号。

6.2.2 测试步骤

1. 在设置中，速率选择 **2.5G BASE-T**。
2. 进行测试项选择，**测试项选择** > **发射机定时抖动-主模式**。
3. 在配置中设置使用的探头类型、信源、测试对 ID (Pair A/B/C/D/All)、抖动类型和带通滤波器。
4. 在连接中检查测试环境搭建的准确性，具体测试连接方式见 5.1。
5. 点击 **启动测试**，系统会弹出测试提示界面，并自动设置示波器的通道、触发等相关配置。
6. 等待示波器正确捕获待测信号后，在测试提示界面点击启动测试以开始测试。开始测试后，如果示波器没有捕获到正确的波形来执行测试，应用程序将会回到测试提示界面，以提示您检查测试环境的准确性。
7. 在测试过程中，示波器将自动完成所有配置，输出测试结果。

6.2.3 计算方法和通过标准

根据 IEEE802.3 标准，发射机定时抖动-主模式所计算的抖动类型为周期抖动，样本量需要达到 $4\text{ms} \pm 10\%$ 的波形长度，即 200000 ± 20000 个周期，同时在计算前需要对波形使用一个 50 MHz 中心频率 2 MHz 带宽的带通滤波器进行滤波。

实际上，在鼎阳一致性测试软件上，用户可以选择抖动类型（周期抖动/TIE），也可以选择是否使用带通滤波器对波形进行滤波。一般情况下，使用带通滤波器后，抖动结果会更加理想。

计算时，示波器会采集 $4\text{ms} \pm 10\%$ 长度的波形，并计算每个符号位的周期/TIE，最后计算所有样本的均方根，以此判断抖动测试是否通过。

均方根的计算公式和通过标准为：

$$\text{RMS} = \sqrt{\left(\frac{\sum[(T - T_{avg})^2]}{\text{Sample Size}} \right)} < 10\text{ps}$$

6.2.4 测试结果参考

发射机定时抖动-主模式结果示例如图 6-3 所示。

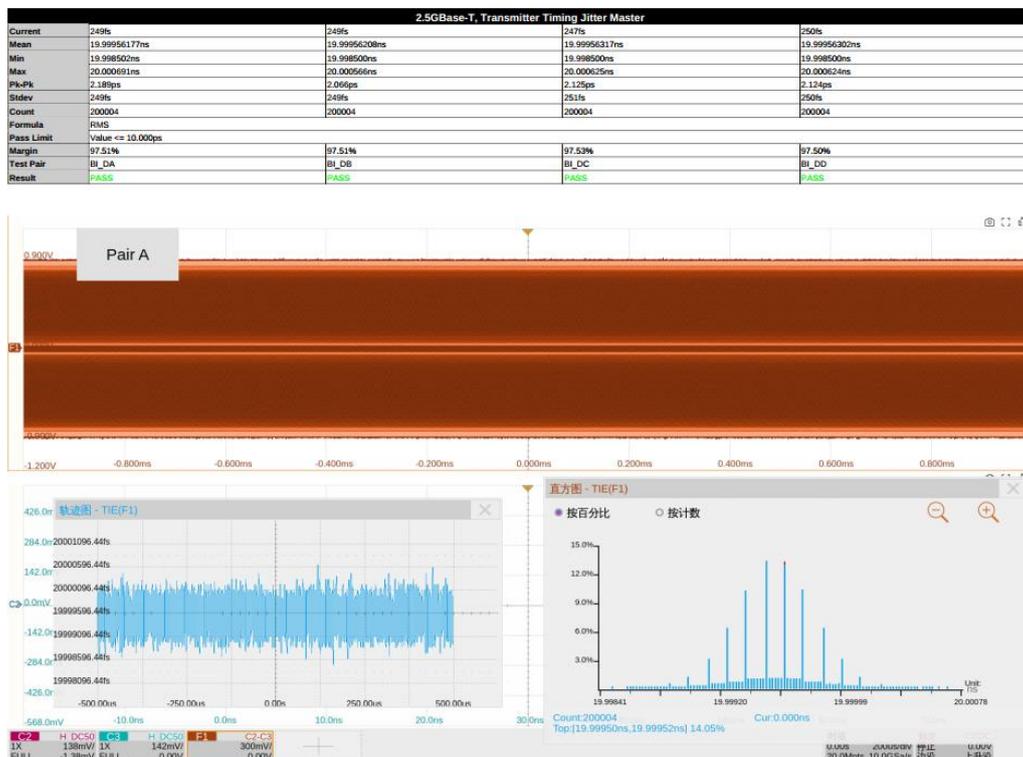


图 6-3 发射机定时抖动-主模式结果示例

6.3 发射机时钟频率

6.3.1 测试简介

测试的参考标准：IEEE 802.3-2018, Subclause 126.5.3.5。

发射机时钟频率测试用于验证 DUT 的时钟频率是否符合标准所规定的值，以验证信号质量。测试时，需要将待测设备配置于测试模式 2，此时待测设备将发送连续 2 个+16 电平和连续 2 个-16 电平符号所组成的周期信号，即理想情况下周期为 20 ns 的方波信号。

6.3.2 测试步骤

1. 在设置中，速率选择 **2.5G BASE-T**。
2. 进行测试项选择，**测试项选择** > **发射机时钟频率**。
3. 在配置中设置使用的探头类型、信源、测试对 ID (Pair A/B/C/D/All)。
4. 在连接中检查测试环境搭建的准确性，具体测试连接方式见 5.1。

5. 点击 **启动测试** ，系统会弹出测试提示界面，并自动设置示波器的通道、触发等相关配置。
6. 等待示波器正确捕获待测信号后，在测试提示界面点击启动测试以开始测试。开始测试后，如果示波器没有捕获到正确的波形来执行测试，应用程序将会回到测试提示界面，以提示您检查测试环境的准确性。
7. 在测试过程中，示波器将自动完成所有配置，输出测试结果。

6.3.3 计算方法和通过标准

IEEE802.3 标准中并没有对本项测试的样本量做要求，故实际测试时参考发射机定时抖动-主模式测试的样本量进行采集计算，也就是采集 $4\text{ms} \pm 10\%$ 的波形长度，即 200000 ± 20000 个周期。

计算时，示波器会计算测试模式 2 波形的每个周期长度，并除以 4 得到时钟频率，要求时钟频率的通过标准为： $200\text{MHz} \pm 50\text{ppm}$ 。

6.3.4 测试结果参考

发射机时钟频率结果示例如图 6-4 所示。

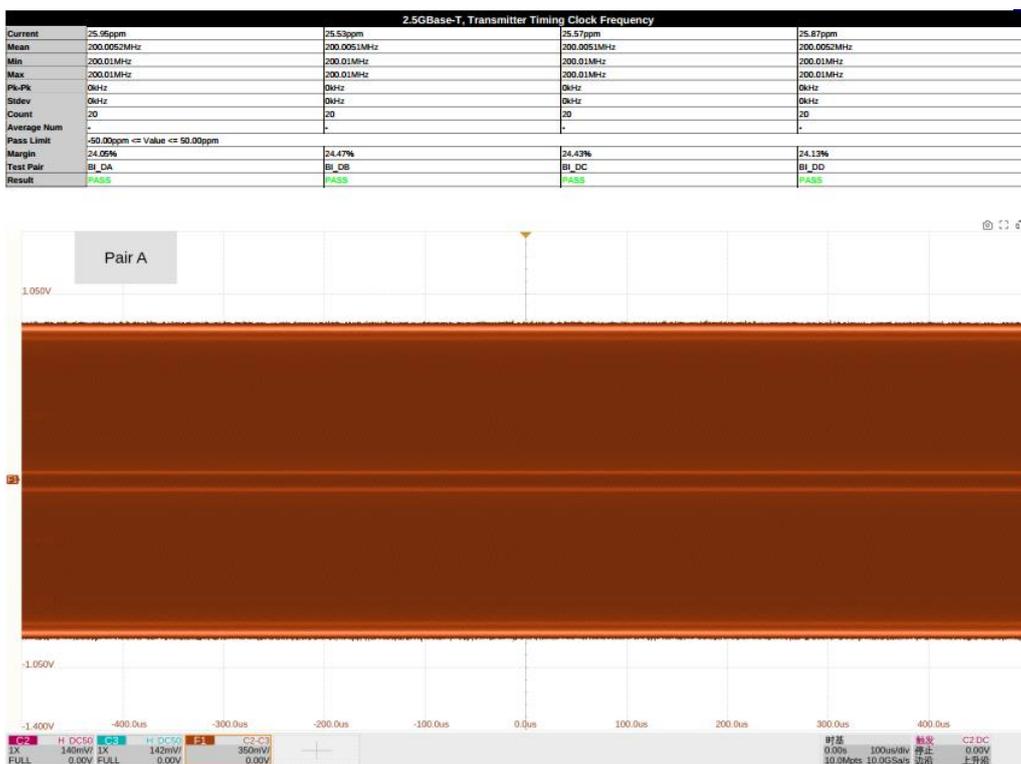


图 6-4 发射机时钟频率结果示例

6.4 发射机线性度

6.4.1 测试简介

测试的参考标准：IEEE 802.3-2018, Subclause 126.5.3.2。

发射机线性度测试用于验证 DUT 输出信号的无杂散动态范围(SFDR)是否符合标准所规定的值。测试时，需要将待测设备配置于测试模式 4，测试模式 4 还可以细分为 5 种模式，即发送五组不同频率的双音信号。

6.4.2 测试步骤

6.4.2.1 使用示波器测试

1. 在 **设置** 中，速率选择 **2.5G BASE-T**。
2. 进行测试项选择，**测试项选择** > **发射机线性度**。
3. 在 **配置** 中设置使用的探头类型、信源、测试对 ID (Pair A/B/C/D/All)、测试仪器 (选择示波器)、平均次数。
4. 在 **连接** 中检查测试环境搭建的准确性，具体测试连接方式见 5.1。
5. 点击 **启动测试**，系统会弹出测试提示界面，并自动完成示波器的通道、触发等相关配置。
6. 等待示波器正确捕获待测信号后，在测试提示界面点击 **启动测试** 以开始测试。开始测试后，如果示波器没有捕获到正确的波形来执行测试，应用程序将会回到测试提示界面，以提示您检查测试环境的准确性。
7. 在测试过程中，示波器将自动完成所有配置，输出测试结果。

6.4.2.2 使用频谱仪进行测试

1. 在 **设置** 中，速率选择 **2.5G BASE-T**。
2. 进行测试项选择，**测试项选择** > **发射机线性度**。
3. 在 **配置** 中设置测试对 ID (Pair A/B/C/D/All)、测试仪器 (选择频谱仪)、平均次数、巴伦补偿 (On/Off) 等。
4. 在 **配置** 中点击测试连接以确认频谱仪是否与示波器连接，连接成功会显示所用频谱仪型号，如需进行巴伦补偿，请点击设置进入巴伦补偿界面，设置相关参数。
5. 在连接中检查测试环境搭建的准确性，具体测试连接方式见 5.2。
6. 点击 **启动测试**，系统会弹出测试提示界面，并自动完成示波器和频谱仪的相关配置。

7. 确定频谱仪采集到待测信号后，在示波器测试提示界面点击 **启动测试** 以开始测试。开始测试后，如果示波器长时间未获取到频谱仪返回数据，应用程序将会回到测试提示界面，以提示您检查测试环境的准确性。
8. 在测试过程中，频谱仪将对待测信号进行测试，并将结果回传示波器。示波器将接受到的数据处理后，输出测试结果。

6.4.3 计算方法和通过标准

根据 IEEE802.3 标准，发射机线性度测试需要分别对五组双音信号进行测试，五组双音信号的频率和通过标准如下表所示。

双音信号	频率 (MHz)	通过标准(dBc)
Dual Tone 1	9.1796 & 10.3515	SFDR ≥ 54.5
Dual Tone 2	19.7265 & 20.11725	SFDR ≥ 54.5
Dual Tone 3	34.961 & 35.3515	SFDR ≥ 54.5
Dual Tone 4	54.1015 & 54.88281	SFDR ≥ 53.67
Dual Tone 5	77.539 & 78.32031	SFDR ≥ 50.581

使用示波器计算时，示波器会通过 FFT 算法计算得到双音信号幅度谱；使用频谱分析仪时，示波器会直接读取频谱分析仪测得的幅度谱信息。

计算幅度谱时的基础设置是：

- 起始频率：0.3 MHz；
- 结束频率：100 MHz；
- 分辨率带宽：30 kHz。

获取幅度谱后，示波器会记录双音信号频率所对应两个频点的幅值，并选取其中的最大值，记作最大峰值：Highest Peak。接下来，示波器会记录双音信号谐波项和交调项所对应频点的幅值，并选取其中的最大值，记作第三大峰值：Third Highest Peak。最后无杂散动态范围的计算公式为：

$$\text{SFDR} = \text{Highest Peak} - \text{Third Highest Peak}$$

6.4.4 测试结果参考

五组双音信号的发射机线性度测试结果示例分别如下五图所示。

2.5GBase-T, Linearity Tone-1				
Current	54.741dBm	55.819dBm	55.388dBm	55.172dBm
Mean	54.74138dBm	55.81879dBm	55.38792dBm	55.17241dBm
Min	54.741dBm	55.819dBm	55.388dBm	55.172dBm
Max	54.741dBm	55.819dBm	55.388dBm	55.172dBm
Pk-Pk	0mdBm	0mdBm	0mdBm	0mdBm
Stdev	0mdBm	0mdBm	0mdBm	0mdBm
Count	50	50	50	50
Average Num	-	-	-	-
Pass Limit	Value >= 46.500dBm	-	-	-
Margin	17.72%	20.04%	19.11%	18.65%
Test Pair	BI_DA	BI_DB	BI_DC	BI_DD
Result	PASS	PASS	PASS	PASS

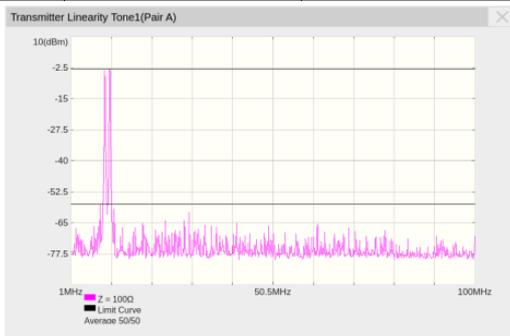


图 6-5 Tone1 发射机线性度结果示例

2.5GBase-T, Linearity Tone-2				
Current	59.483dBm	58.836dBm	59.052dBm	58.836dBm
Mean	59.48276dBm	58.83621dBm	59.05172dBm	58.83621dBm
Min	59.483dBm	58.836dBm	59.052dBm	58.836dBm
Max	59.483dBm	58.836dBm	59.052dBm	58.836dBm
Pk-Pk	0mdBm	0mdBm	0mdBm	0mdBm
Stdev	0mdBm	0mdBm	0mdBm	0mdBm
Count	50	50	50	50
Average Num	-	-	-	-
Pass Limit	Value >= 46.500dBm	-	-	-
Margin	27.92%	26.53%	26.99%	26.53%
Test Pair	BI_DA	BI_DB	BI_DC	BI_DD
Result	PASS	PASS	PASS	PASS

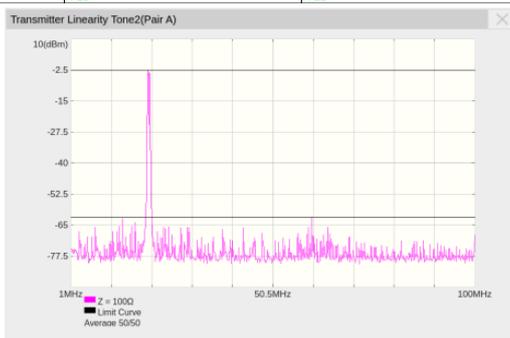


图 6-6 Tone2 发射机线性度结果示例

2.5GBase-T, Linearity Tone-3				
Current	61.422dBm	61.422dBm	61.638dBm	61.853dBm
Mean	61.42241dBm	61.42241dBm	61.63792dBm	61.85344dBm
Min	61.422dBm	61.422dBm	61.638dBm	61.853dBm
Max	61.422dBm	61.422dBm	61.638dBm	61.853dBm
Pk-Pk	0mdBm	0mdBm	0mdBm	0mdBm
Stdev	0mdBm	0mdBm	0mdBm	0mdBm
Count	50	50	50	50
Average Num	-	-	-	-
Pass Limit	Value >= 46.500dBm	-	-	-
Margin	32.09%	32.09%	32.55%	33.02%
Test Pair	BI_DA	BI_DB	BI_DC	BI_DD
Result	PASS	PASS	PASS	PASS

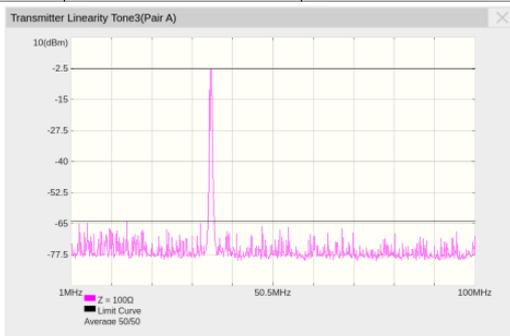


图 6-7 Tone3 发射机线性度结果示例

2.5GBase-T, Linearity Tone-4				
Current	58.621dBm	58.621dBm	59.267dBm	58.190dBm
Mean	58.62069dBm	58.62069dBm	59.26724dBm	58.18965dBm
Min	58.621dBm	58.621dBm	59.267dBm	58.190dBm
Max	58.621dBm	58.621dBm	59.267dBm	58.190dBm
Pk-Pk	0m dBm	0m dBm	0m dBm	0m dBm
Stdev	0m dBm	0m dBm	0m dBm	0m dBm
Count	50	50	50	50
Average Num	-	-	-	-
Pass Limit	Value >= 45.670dBm			
Margin	28.36%	28.36%	29.77%	27.41%
Test Pair	BI_DA	BI_DB	BI_DC	BI_DD
Result	PASS	PASS	PASS	PASS

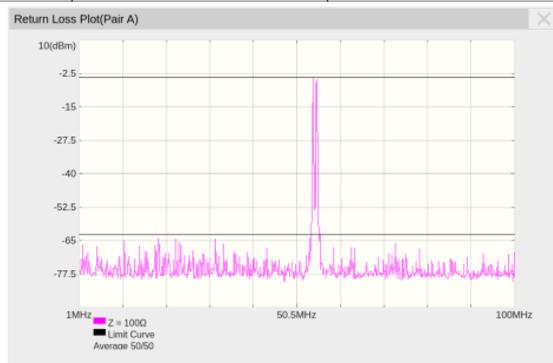


图 6-8 Tone4 发射机线性度结果示例

2.5GBase-T, Linearity Tone-5				
Current	56.034dBm	56.250dBm	56.681dBm	56.034dBm
Mean	56.03448dBm	56.25000dBm	56.68103dBm	56.03448dBm
Min	56.034dBm	56.250dBm	56.681dBm	56.034dBm
Max	56.034dBm	56.250dBm	56.681dBm	56.034dBm
Pk-Pk	0m dBm	0m dBm	0m dBm	0m dBm
Stdev	0m dBm	0m dBm	0m dBm	0m dBm
Count	50	50	50	50
Average Num	-	-	-	-
Pass Limit	Value >= 42.580dBm			
Margin	31.60%	32.10%	33.12%	31.60%
Test Pair	BI_DA	BI_DB	BI_DC	BI_DD
Result	PASS	PASS	PASS	PASS

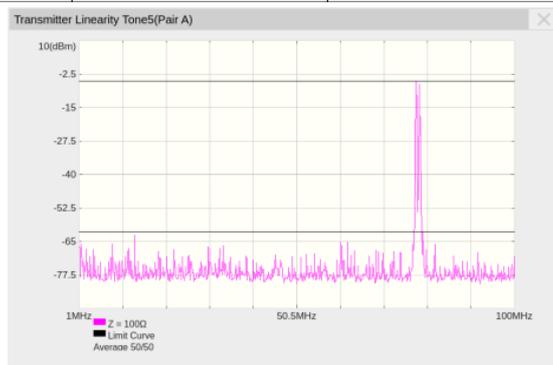


图 6-9 Tone5 发射机线性度结果示例

6.5 发射机非线性失真

6.5.1 测试简介

测试的参考标准：IEEE 802.3-2018, Subclause 126.5.3.2。

发射机非线性失真用于验证 DUT 输出信号在有信号干扰的情形下，无杂散动态范围(SFDR)是否符合标准所规定的值。测试时，需要将待测设备配置于测试模式 4，测试模式 4 还可以细分为 5 种模式，即发送五组不同频率的双音信号。另外还需要功分器将一 45 MHz 的正弦信号与之耦合，以添加干扰。

6.5.2 测试步骤

6.5.2.1 使用示波器测试

1. 在 **设置** 中，速率选择 **2.5G BASE-T**。
2. 进行测试项选择，**测试项选择** > **发射机非线性失真**。
3. 在 **配置** 中设置信源、测试对 ID (Pair A/B/C/D/All)、测试仪器 (选择示波器)、平均次数。
4. 在 **配置** 中点击信号源 **测试连接** 以确认信号源是否与示波器连接，连接成功会显示所用信号源型号。
5. 在 **连接** 中检查测试环境搭建的准确性，具体测试连接方式见 5.4。
6. 点击 **启动测试**，系统会弹出测试提示界面，并自动完成示波器的通道、触发等相关配置。
7. 等待示波器正确捕获待测信号后，在测试提示界面点击 **启动测试** 以开始测试。开始测试后，如果示波器没有捕获到正确的波形来执行测试，应用程序将会回到测试提示界面，以提示您检查测试环境的准确性。
8. 在测试过程中，示波器将自动完成所有配置以及调整信号源设置，输出测试结果。

6.5.2.2 使用频谱仪进行测试

1. 在 **设置** 中，速率选择 **2.5G BASE-T**。
2. 进行测试项选择，**测试项选择** > **发射机非线性失真**。
3. 在 **配置** 中设置测试对 ID (Pair A/B/C/D/All)、测试仪器 (选择频谱仪)、平均次数、巴伦补偿 (On/Off) 等。
4. 在 **配置** 中点击信号源 **测试连接** 以确认信号源是否与示波器连接，连接成功会显示所用信号源型号。
5. 在 **配置** 中点击频谱仪 **测试连接** 以确认频谱仪是否与示波器连接，连接成功会显示所用频谱仪型号，如需进行巴伦补偿，请点击 **设置** 进入巴伦补偿界面，设置相关参数。
6. 在 **连接** 中检查测试环境搭建的准确性，具体测试连接方式见 5.4。
7. 点击 **启动测试**，系统会弹出测试提示界面，并自动完成示波器和频谱仪的相关配置。
8. 确定频谱仪采集到待测信号后，在示波器测试提示界面点击 **启动测试** 以开始测试。开始测试后，如果示波器长时间未获取到频谱仪返回数据，应用程序将会回到测试提示界面，以提示您检查测试环境的准确性。
9. 在测试过程中，频谱仪将对待测信号进行测试，并将结果回传示波器。示波器将接受到的数据处理后，输出测试结果。

6.5.3 计算方法和通过标准

根据 IEEE802.3 标准，发射机非线性失真测试需要分别对五组双音信号进行测试，五组双音信号的频率和通过标准如下表所示。

双音信号	频率 (MHz)	通过标准(dBc)
Dual Tone 1	9.1796 & 10.3515	SFDR \geq 46.5
Dual Tone 2	19.7265 & 20.11725	SFDR \geq 46.5
Dual Tone 3	34.961 & 35.3515	SFDR \geq 46.5
Dual Tone 4	54.1015 & 54.88281	SFDR \geq 45.67
Dual Tone 5	77.539 & 78.32031	SFDR \geq 42.58

使用示波器计算时，示波器会通过 FFT 算法计算得到双音信号幅度谱；使用频谱分析仪时，示波器会直接读取频谱分析仪测得的幅度谱信息。

计算幅度谱时的基础设置是：

- 起始频率：0.3 MHz；
- 结束频率：100 MHz；
- 分辨率带宽：30 kHz。

获取幅度谱后，示波器会记录双音信号频率所对应两个频点的幅值，并选取其中的最大值，记作最大峰值：Highest Peak。接下来，示波器会记录干扰信号（45 MHz 正弦波）对应频点的幅值，记作第三大峰值：Third Highest Peak。此时示波器会自动调整任意波形发生器输出的干扰信号的幅值，使：

$$\text{Highest Peak} - \text{Third Highest Peak} = 7\text{dB}$$

调整完成后，示波器将记录此时双音信号谐波项和交调项所对应频点的幅值，并选取其中的最大值，记作第四大峰值：Fourth Highest Peak。最后无杂散动态范围的计算公式为：

$$\text{SFDR} = \text{Highest Peak} - \text{Fourth Highest Peak}$$

6.5.4 测试结果参考

五组双音信号的非线性失真测试结果示例分别如以下五图所示。

2.5GBase-T, Nonlinear Distortion Tone-1				
Current	56.765dBm	56.398dBm	56.920dBm	56.548dBm
Mean	56.76536dBm	56.39762dBm	56.92073dBm	56.54762dBm
Min	56.765dBm	56.398dBm	56.920dBm	56.548dBm
Max	56.765dBm	56.398dBm	56.920dBm	56.548dBm
Pk-Pk	0mdBm	0mdBm	0mdBm	0mdBm
Stdev	0mdBm	0mdBm	0mdBm	0mdBm
Count	20	20	20	20
Average Num	+	-	-	-
Pass Limit	Value >= 46.500dBm	-	-	-
Margin	---	---	---	---
Test Pair	BI_DA	BI_DB	BI_DC	BI_DD
Result	PASS	PASS	PASS	PASS

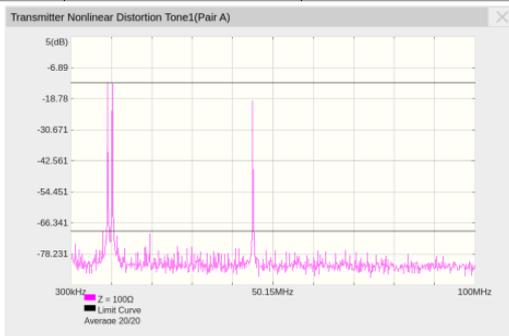


图 6-10 Tone1 非线性失真结果示例

2.5GBase-T, Nonlinear Distortion Tone-2				
Current	52.673dBm	55.313dBm	60.197dBm	54.226dBm
Mean	52.67258dBm	55.31268dBm	60.19638dBm	54.22538dBm
Min	52.673dBm	55.313dBm	60.197dBm	54.226dBm
Max	52.673dBm	55.313dBm	60.197dBm	54.226dBm
Pk-Pk	0mdBm	0mdBm	0mdBm	0mdBm
Stdev	0mdBm	0mdBm	0mdBm	0mdBm
Count	20	20	20	20
Average Num	+	-	-	-
Pass Limit	Value >= 46.500dBm	-	-	-
Margin	---	---	---	---
Test Pair	BI_DA	BI_DB	BI_DC	BI_DD
Result	PASS	PASS	PASS	PASS

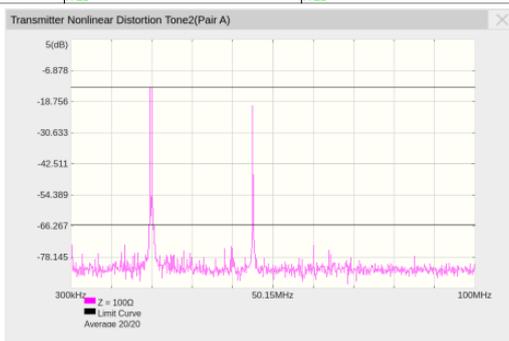


图 6-11 Tone2 非线性失真结果示例

2.5GBase-T, Nonlinear Distortion Tone-3				
Current	54.628dBm	52.762dBm	52.449dBm	60.995dBm
Mean	54.62799dBm	52.76171dBm	52.44900dBm	60.99540dBm
Min	54.628dBm	52.762dBm	52.449dBm	60.995dBm
Max	54.628dBm	52.762dBm	52.449dBm	60.995dBm
Pk-Pk	0mdBm	0mdBm	0mdBm	0mdBm
Stdev	0mdBm	0mdBm	0mdBm	0mdBm
Count	20	20	20	20
Average Num	+	-	-	-
Pass Limit	Value >= 46.500dBm	-	-	-
Margin	---	---	---	---
Test Pair	BI_DA	BI_DB	BI_DC	BI_DD
Result	PASS	PASS	PASS	PASS

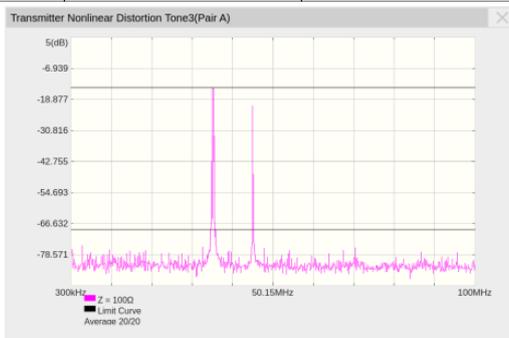


图 6-12 Tone3 非线性失真结果示例

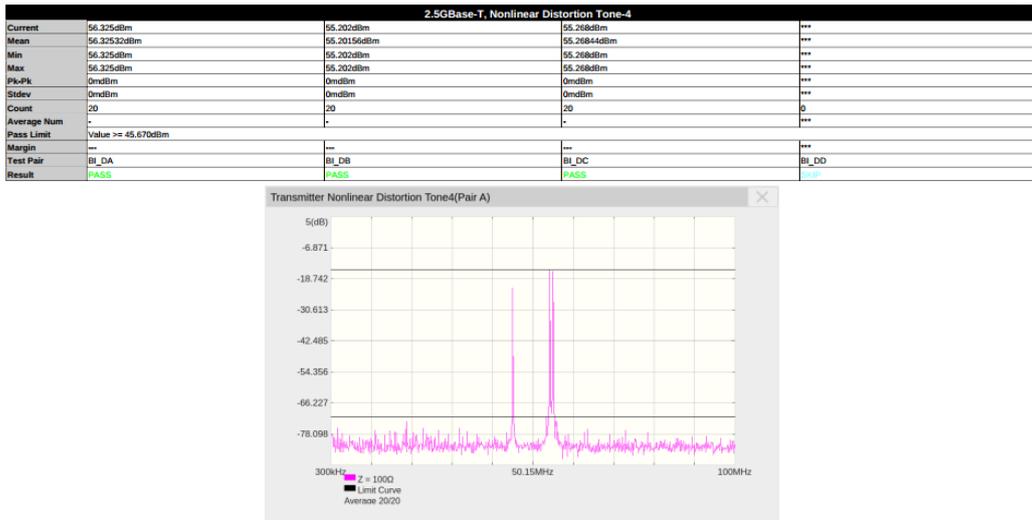


图 6-13 Tone4 非线性失真结果示例

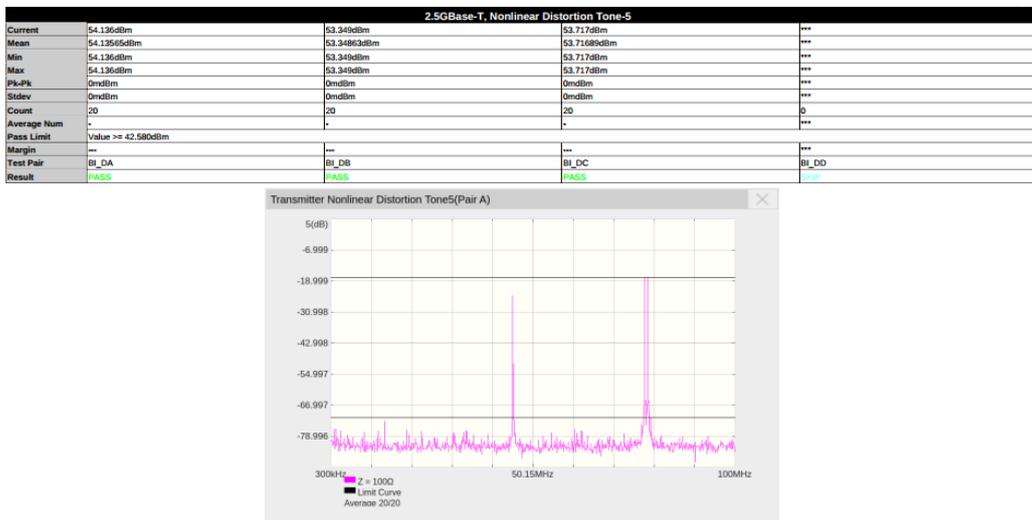


图 6-14 Tone5 非线性失真结果示例

6.6 功率谱密度

6.6.1 测试简介

测试的参考标准：IEEE 802.3-2018，Subclause 126.5.3.4。

本项测试用于验证功率谱密度是否符合标准规定。测试时，需要将待测设备配置于测试模式 5。

6.6.2 测试步骤

6.6.2.1 使用示波器测试

1. 在 **设置** 中，速率选择 **2.5G BASE-T**。
2. 进行测试项选择，**测试项选择** > **功率测试** > **功率谱密度**。
3. 在 **配置** 中设置使用的探头类型、信源、测试对 ID (Pair A/B/C/D/All)、测试仪器 (选择示波器)、平均次数。
4. 在 **连接** 中检查测试环境搭建的准确性，具体测试连接方式见 5.1。
5. 点击 **启动测试**，系统会弹出测试提示界面，并自动完成示波器的通道、触发等相关配置。
6. 等待示波器正确捕获待测信号后，在测试提示界面点击 **启动测试** 以开始测试。开始测试后，如果示波器没有捕获到正确的波形来执行测试，应用程序将会回到测试提示界面，以提示您检查测试环境的准确性。
7. 在测试过程中，示波器将自动完成所有配置，输出测试结果。

6.6.2.2 使用频谱仪进行测试

1. 在 **设置** 中，速率选择 **2.5G BASE-T**。
2. 进行测试项选择，**测试项选择** > **功率测试** > **功率谱密度**。
3. 在 **配置** 中设置测试对 ID (Pair A/B/C/D/All)、测试仪器 (选择频谱仪)、平均次数、巴伦补偿 (On/Off) 等。
4. 在 **配置** 中点击 **测试连接** 以确认频谱仪是否与示波器连接，连接成功会显示所用频谱仪型号，如需进行巴伦补偿，请点击 **设置** 进入巴伦补偿界面，设置相关参数。
5. 在 **连接** 中检查测试环境搭建的准确性，具体测试连接方式见 5.2。
6. 点击 **启动测试**，系统会弹出测试提示界面，并自动完成示波器和频谱仪的相关配置。
7. 确定频谱仪采集到待测信号后，在示波器测试提示界面点击 **启动测试** 以开始测试。开始测试后，如果示波器长时间未获取到频谱仪返回数据，应用程序将会回到测试提示界面，以提示您检查测试环境的准确性。
8. 在测试过程中，频谱仪将对待测信号进行测试，并将结果回传示波器。示波器将接受到的数据处理后，输出测试结果。

6.6.3 计算方法和通过标准

根据 IEEE802.3 标准, 2.5GBASE-T 功率谱密度的判断标准如图 6-15 所示, 其中 $S=0.25$ (10GBASE-T 速率的四分之一), Equation 55-9 指的是 10G BASE-T 功率谱密度上限, 如图 8-10 所示, 根据判断标准, 得出的功率谱密度模板如图 6-16 所示。

$$\text{PSD1}(f) \leq \begin{cases} -77.7 - 10 \times \log_{10}(S) & \text{dBm/Hz} & 0 < 2\frac{f}{S} \leq 70 \\ -77.7 - 10 \times \log_{10}S - \frac{\left(2\frac{f}{S} - 70\right)}{80} & \text{dBm/Hz} & 70 < 2\frac{f}{S} \leq 150 \\ -78.7 - 10 \times \log_{10}S - \frac{\left(2\frac{f}{S} - 150\right)}{58} & \text{dBm/Hz} & 150 < 2\frac{f}{S} \leq 730 \\ -78.7 - 10 \times \log_{10}S - \frac{\left(2\frac{f}{S} - 330\right)}{40} & \text{dBm/Hz} & 730 < 2\frac{f}{S} \leq 1822 - 400 \times \log_{10}(S) \\ -116 & \text{dBm/Hz} & S \times (911 - 200 \times \log_{10}(S)) < f \leq 3000 \end{cases}$$

$$\text{UpperPSD}(f) \leq \max(\text{PSD1}(f), (\text{Equation 55-9}) - 6 \text{ dB}) \quad (126-9)$$

and

$$\text{Lower PSD}(f) \geq \begin{cases} -82.2 - 10 \times \log_{10}(S) & \text{dBm/Hz} & 5 < 2\frac{f}{S} \leq 50 \\ -82.2 - 10 \times \log_{10}S - \frac{\left(2\frac{f}{S} - 50\right)}{50} & \text{dBm/Hz} & 50 < 2\frac{f}{S} \leq 200 \\ -85.2 - 10 \times \log_{10}S - \frac{\left(2\frac{f}{S} - 200\right)}{25} & \text{dBm/Hz} & 200 < 2\frac{f}{S} \leq 400 \end{cases} \quad (126-10)$$

where

f is in MHz

图 6-15 2.5/5G BASE-T 功率谱密度判断标准

$$\text{Upper PSD } (f) \leq \begin{cases} -78.5 \text{ dBm/Hz} & 0 < f \leq 70 \\ -78.5 - \left(\frac{f-70}{80}\right) \text{ dBm/Hz} & 70 < f \leq 150 \\ -79.5 - \left(\frac{f-150}{58}\right) \text{ dBm/Hz} & 150 < f \leq 730 \\ -79.5 - \left(\frac{f-330}{40}\right) \text{ dBm/Hz} & 730 < f \leq 1790 \\ -116 \text{ dBm/Hz} & 1790 < f \leq 3000 \end{cases} \quad (55-9)$$

$$\text{Lower PSD } (f) \geq \begin{cases} -83 \text{ dBm/Hz} & 5 \leq f \leq 50 \\ -83 - \left(\frac{f-50}{50}\right) \text{ dBm/Hz} & 50 < f \leq 200 \\ -86 - \left(\frac{f-200}{25}\right) \text{ dBm/Hz} & 200 < f \leq 400 \end{cases} \quad (55-10)$$

Figure 23 Equations for PSD Masks applicable to 10GBase-T DUT

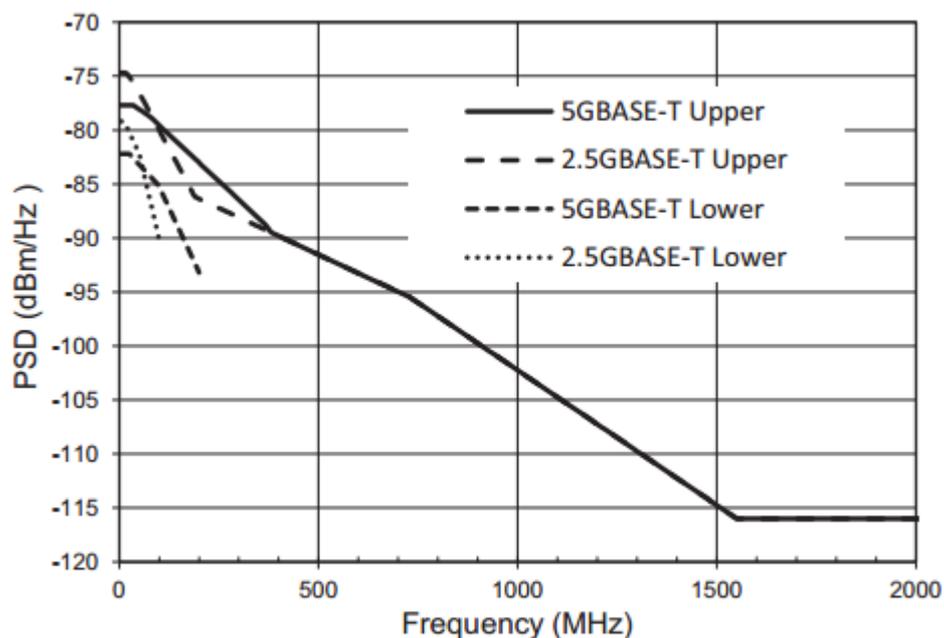


Figure 126-36—Transmitter power spectral density mask

图 6-16 2.5/5G BASE-T 功率谱密度模板

使用示波器计算时，示波器会通过 FFT 算法计算得到待测信号幅度谱；使用频谱分析仪时，示波器会直接读取频谱分析仪测得的幅度谱信息。

计算幅度谱时的基础设置是：

- 起始频率：3 MHz；

- 结束频率：3 GHz；
- 分辨率带宽：300 kHz。

获取幅度谱后，示波器会根据分辨率带宽对其归一化得到功率谱密度，最后与功率谱密度模板比较输出结果。

6.6.4 测试结果参考

功率谱密度的结果示例如图 6-17 所示

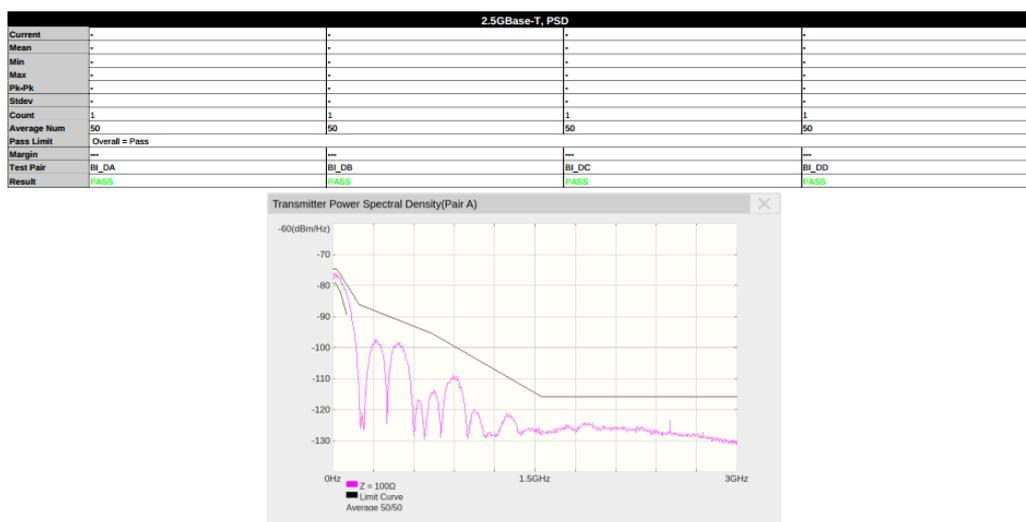


图 6-17 功率谱密度测试结果示例

6.7 功率电平

6.7.1 测试简介

测试的参考标准：IEEE 802.3-2018，Subclause 126.5.3.4。

本项测试用于验证功率电平是否符合标准规定。测试时，需要将待测设备配置于测试模式 5。

6.7.2 测试步骤

6.7.2.1 使用示波器测试

1. 在 **设置** 中，速率选择 **2.5GBASE-T** 。
2. 进行测试项选择， **测试项选择** > **功率测试** > **功率电平** 。
3. 在 **配置** 中设置使用的探头类型、信源、测试对 ID (Pair A/B/C/D/All)、测试仪器 (选择示

波器)、平均次数。

4. 在 **连接** 中检查测试环境搭建的准确性，具体测试连接方式见 5.1。
5. 点击 **启动测试**，系统会弹出测试提示界面，并自动完成示波器的通道、触发等相关配置。
6. 等待示波器正确捕获待测信号后，在测试提示界面点击 **启动测试** 以开始测试。开始测试后，如果示波器没有捕获到正确的波形来执行测试，应用程序将会回到测试提示界面，以提示您检查测试环境的准确性。
7. 在测试过程中，示波器将自动完成所有配置，输出测试结果。

6.7.2.2 使用频谱仪进行测试

1. 在 **设置** 中，速率选择 **2.5GBASE-T**。
2. 进行测试项选择，**测试项选择** > **功率测试** > **功率电平**。
3. 在 **配置** 中设置测试对 ID (Pair A/B/C/D/All)、测试仪器 (选择频谱仪)、平均次数、巴伦补偿 (On/Off) 等。
4. 在 **配置** 中点击 **测试连接** 以确认频谱仪是否与示波器连接，连接成功会显示所用频谱仪型号，如需进行巴伦补偿，请点击 **设置** 进入巴伦补偿界面，设置相关参数。
5. 在 **连接** 中检查测试环境搭建的准确性，具体测试连接方式见 5.2。
6. 点击 **启动测试**，系统会弹出测试提示界面，并自动完成示波器和频谱仪的相关配置。
7. 确定频谱仪采集到待测信号后，在示波器测试提示界面点击 **启动测试** 以开始测试。开始测试后，如果示波器长时间未获取到频谱仪返回数据，应用程序将会回到测试提示界面，以提示您检查测试环境的准确性。
8. 在测试过程中，频谱仪将对待测信号进行测试，并将结果回传示波器。示波器将接受到的数据处理后，输出测试结果。

6.7.3 计算方法和通过标准

根据 IEEE802.3 标准，我们计算 3 MHz 到 400 MHz 范围内的功率电平，要求结果在 1 dBm 到 3 dBm 之间。

使用示波器计算时，示波器会通过 FFT 算法计算得到待测信号幅度谱；使用频谱分析仪时，示波器会直接读取频谱分析仪测得的幅度谱信息。

计算幅度谱时的基础设置是：

- 起始频率：3 MHz；

- 结束频率：400 MHz；
- 分辨率带宽：300 kHz。

获取幅度谱后，示波器会根据幅度谱计算 3 MHz 到 400 MHz 之间带宽的功率，最后将功率转换为功率电平。

6.7.4 测试结果参考

功率电平测试结果如图 6-18 所示。

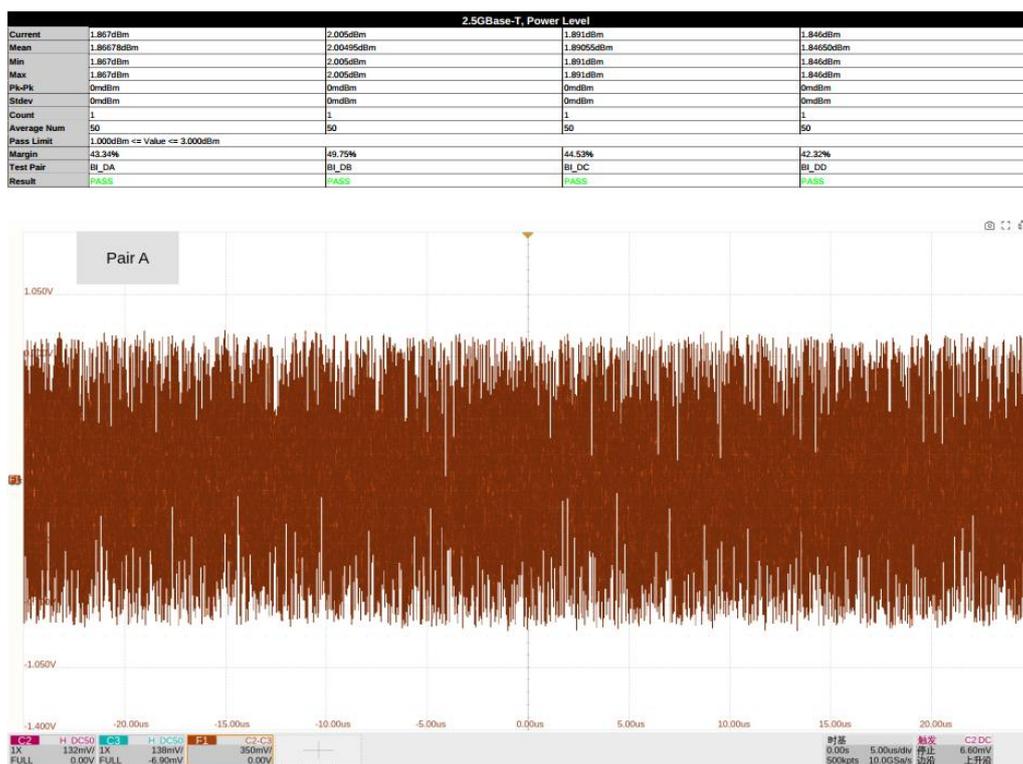


图 6-18 功率电平测试结果示例

6.8 MDI 回波损耗

6.8.1 测试简介

测试的参考标准：IEEE 802.3-2018，Subclause 126.8.2.2。

MDI 回波损耗测试用于验证 DUT 接口的回波损耗是否符合标准所规定的值。测试时，需要将待测设备配置于测试模式 5。

6.8.2 测试步骤

1. 在 **设置** 中，速率选择 **2.5G BASE-T**。
2. 进行测试项选择，**测试项选择** > **MDI 回波损耗**。
3. 在 **配置** 中设置使用的 VNA 端口，并确认 VNA 连接成功。
4. 在 **配置** 中分别点击 **开路**、**短路**、**负载** 以对 VNA 进行校准，点击后会弹出校准提示界面，请按照提示检查校准环境搭建的准确性，确认准确后点击 **启动校准** 开始校准，校准的接线方式可见 5.3。
5. 确认校准成功后，在 **连接** 中检查测试环境搭建的准确性，具体测试连接方式见 5.3。
6. 点击 **启动测试**，系统会弹出测试提示界面，并自动完成示波器和 VNA 的相关配置。
7. 确定 VNA 采集到待测信号后，在测试提示界面点击 **启动测试**。
8. VNA 测试结束后，示波器会读取 VNA 结果并输出。

6.8.3 计算方法和通过标准

本项测试通过 VNA 进行测试，示波器回读数据，并与标准对比输出结果。

根据 IEEE802.3 标准，回波损耗通过标准如图 6-19 所示。

$$\text{Return loss} \geq \begin{cases} 16 & 1 \leq f \leq 40 \quad (\text{dB}) \\ 16 - 10\log_{10}(f/40) & 40 < f \leq f_{\max} \quad (\text{dB}) \end{cases} \quad (126-38)$$

where

f is in MHz
 f_{\max} is 125 MHz for 2.5GBASE-T and 250 MHz for 5GBASE-T

图 6-19 MDI 回波损耗通过标准

6.8.4 测试结果参考

MDI 回波损耗测试结果示例如图 6-19、图 6-20 所示。

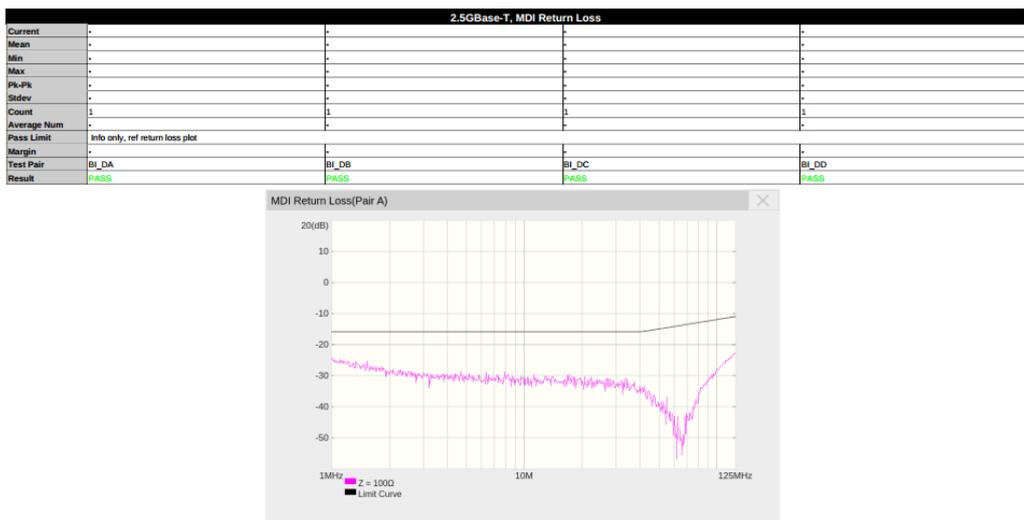


图 6-20 MDI 回波损耗结果示例

6.9 发射机定时抖动-从模式测试

6.9.1 测试简介

测试的参考标准：IEEE 802.3-2018, Subclause 126.5.3.3。

发射机定时抖动-从模式测试用于验证 DUT 输出信号的抖动是否符合标准所规定的值，以验证信号质量。测试时，需要将待测设备配置于测试模式 3（从模式），Link Partner 配置于测试模式 1（主模式），此时待测设备将发送连续 2 个+16 电平和连续 2 个-16 电平符号所组成的周期信号，即理想情况下周期为 20 ns 的方波信号。

另外因为主 PHY 和从 PHY 的连接方式，从抖动仅测试 Pair D。

6.9.2 测试步骤

1. 在 **设置** 中，速率选择 **2.5G BASE-T**。
2. 进行测试项选择，**测试项选择** > **发射机定时抖动-从模式**。
3. 在 **配置** 中设置使用的信源、抖动类型和带通滤波器。
4. 在 **连接** 中检查测试环境搭建的准确性，具体测试连接方式见 5.5。
5. 点击 **启动测试**，系统会弹出测试提示界面，并自动设置示波器的通道、触发等相关配置。
6. 等待示波器正确捕获待测信号后，在测试提示界面点击 **启动测试** 以开始测试。开始测试后，如果示波器没有捕获到正确的波形来执行测试，应用程序将会回到测试提示界面，以提示您检查测试环境的准确性。

7. 在测试过程中，示波器将自动完成所有配置，输出测试结果。

6.9.3 计算方法和通过标准

根据 IEEE802.3 标准,发射机定时抖动-从模式所计算的抖动类型为周期抖动,样本量需要达到 4ms $\pm 10\%$ 的波形长度,即 200000 ± 20000 个周期,同时在计算前需要对波形使用一个 50 MHz 中心频率 2 MHz 带宽的带通滤波器进行滤波。

实际上,在鼎阳一致性测试软件上,用户可以选择抖动类型(周期抖动/TIE),也可以选择是否使用带通滤波器对波形进行滤波。一般情况下,使用带通滤波器后,抖动结果会更加理想。

计算时,示波器会采集 4ms $\pm 10\%$ 长度的波形,并计算每个符号位的周期/TIE,最后计算所有样本的均方根,以此判断抖动测试是否通过。

均方根的计算公式和通过标准为:

$$RMS = \sqrt{\left(\frac{\sum[(T - T_{avg})^2]}{Sample\ Size} \right)} < 10ps$$

6.9.4 测试结果参考

发射机定时抖动-从模式测试结果示例如图 6-21 所示。

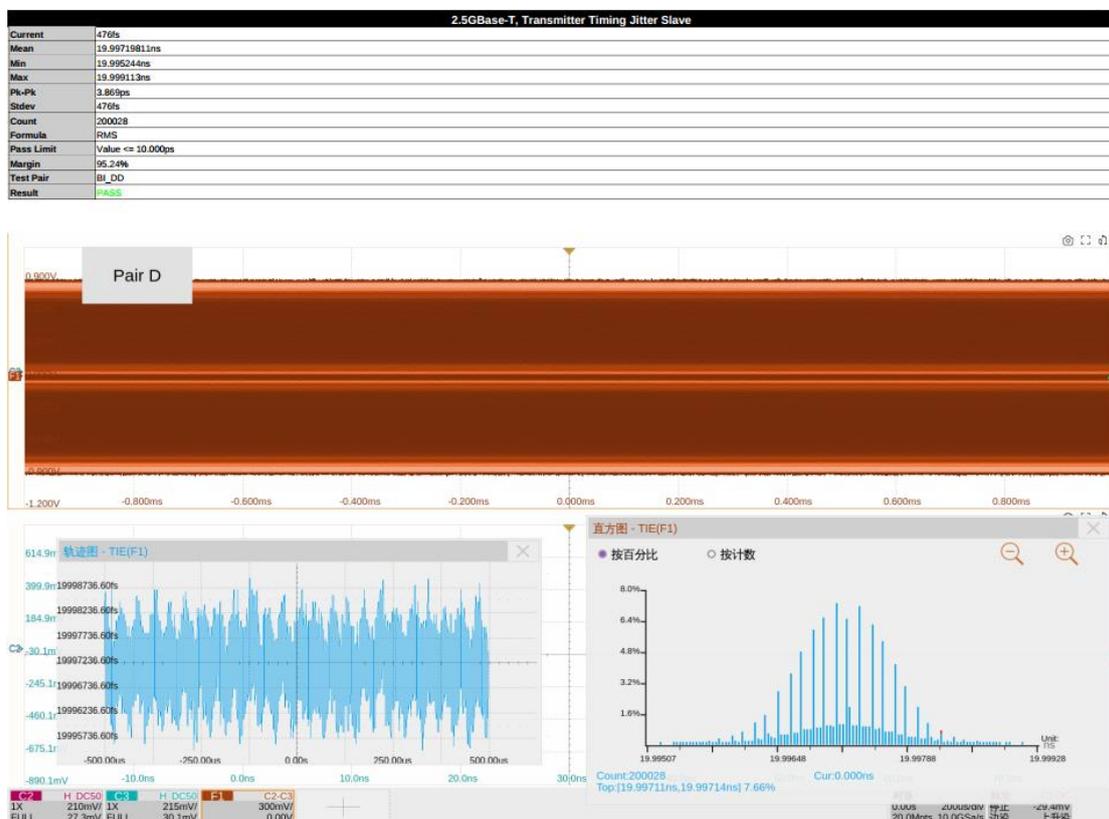


图 6-21 发射机定时抖动-从模式结果示例

7 5G BASE-T 一致性测试

7.1 最大输出跌落测试

7.1.1 测试简介

测试的参考标准：IEEE 802.3-2018，Subclause 126.5.3.1。

最大输出跌落测试用于验证 DUT 输出信号的衰减速度是否符合标准所规定的值。测试时，需要将待测设备配置于测试模式 6，此时待测设备将发送连续 128 个+16 电平和连续 128 个-16 电平符号所组成的周期信号，即理想情况下周期为 0.64 us 的方波信号。

7.1.2 测试步骤

1. 在 **设置** 中，速率选择 **5G BASE-T**。
2. 进行测试项选择，**测试项选择** > **最大输出跌落**。
3. 在 **配置** 中设置使用的探头类型、信源、测试对 ID (Pair A/B/C/D/All) 和平均次数。
4. 在 **连接** 中检查测试环境搭建的准确性，具体测试连接方式见 5.1。
5. 点击 **启动测试**，系统会弹出测试提示界面，并自动设置示波器的通道、触发等相关配置。
6. 等待示波器正确捕获待测信号后，在测试提示界面点击 **启动测试** 以开始测试。开始测试后，如果示波器没有捕获到正确的波形来执行测试，应用程序将会回到测试提示界面，以提示您检查测试环境的准确性。
7. 在测试过程中，示波器将自动完成所有配置，输出测试结果。

7.1.3 计算方法和通过标准

根据 IEEE802.3 标准，最大输出跌落需要计算正向最大输出跌落和负向最大输出跌落。

计算正向最大输出跌落时，以信号上升沿过零点处为参考位置，记录其后 10 ns 位置处的电压值为 V_{10} ，记录其后 170 ns 处的电压值为 V_{170} 。

计算负向最大输出跌落时，以信号下降沿过零点处为参考位置，记录其后 10 ns 位置处的电压值为 V_{10} ，记录其后 170 ns 处的电压值为 V_{170} 。

正向最大输出跌落和负向最大输出的跌落的计算公式和通过标准相同，为：

$$\text{Droop} = \frac{(V_{10} - V_{170})}{V_{10}} < 12.5\%$$

7.1.4 测试结果参考

正向最大输出跌落结果示例如图 7-1 所示。

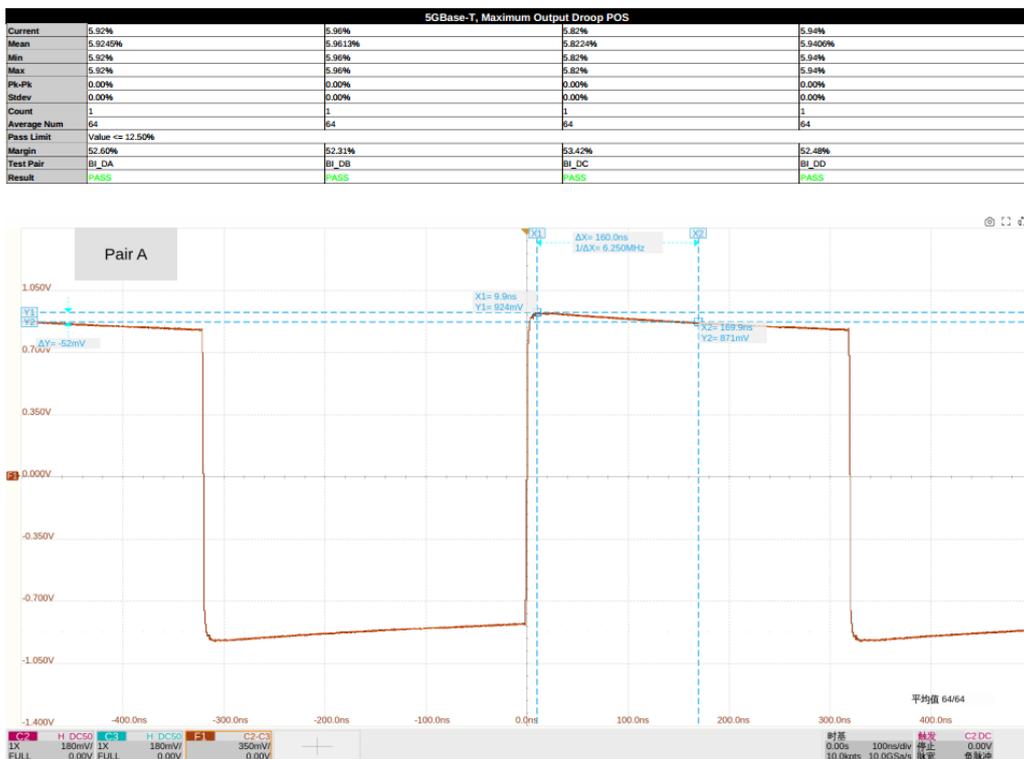


图 7-1 正向最大输出跌落结果示例

负向最大输出跌落结果示例如图 7-2 所示。

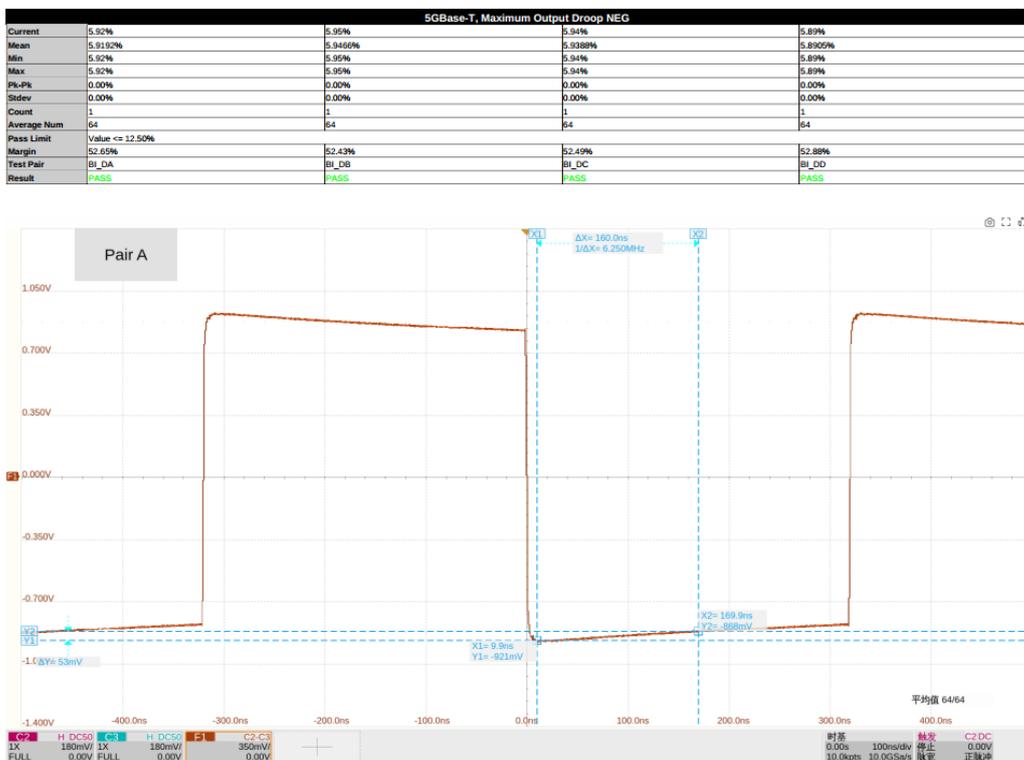


图 7-2 负向最大输出跌落结果示例

7.2 发射机定时抖动-主模式测试

7.2.1 测试简介

测试的参考标准：IEEE 802.3-2018, Subclause 126.5.3.3。

发射机定时抖动-主模式测试用于验证 DUT 输出信号的抖动是否符合标准所规定的值，以验证信号质量。测试时，需要将待测设备配置于测试模式 2，此时待测设备将发送连续 2 个+16 电平和连续 2 个-16 电平符号所组成的周期信号，即理想情况下周期为 10 ns 的方波信号。

7.2.2 测试步骤

1. 在 **设置** 中，速率选择 **5G BASE-T**。
2. 进行测试项选择，**测试项选择** > **发射机定时抖动-主模式**。
3. 在 **配置** 中设置使用的探头类型、信源、测试对 ID (Pair A/B/C/D/All)、抖动类型和带通滤波器。
4. 在 **连接** 中检查测试环境搭建的准确性，具体测试连接方式见 5.1。
5. 点击 **启动测试**，系统会弹出测试提示界面，并自动设置示波器的通道、触发等相关配置。
6. 等待示波器正确捕获待测信号后，在测试提示界面点击 **启动测试** 以开始测试。开始测试后，如果示波器没有捕获到正确的波形来执行测试，应用程序将会回到测试提示界面，以提示您检查测试环境的准确性。
7. 在测试过程中，示波器将自动完成所有配置，输出测试结果。

7.2.3 计算方法和通过标准

根据 IEEE802.3 标准，发射机定时抖动-主模式所计算的抖动类型为周期抖动，样本量需要达到 2ms \pm 10%的波形长度，即 200000 \pm 20000 个周期，同时在计算前需要对波形使用一个 100 MHz 中心频率 2 MHz 带宽的带通滤波器进行滤波。

实际上，在鼎阳一致性测试软件上，用户可以选择抖动类型（周期抖动/TIE），也可以选择是否使用带通滤波器对波形进行滤波。一般情况下，使用带通滤波器后，抖动结果会更加理想。

计算时，示波器会采集 2 ms \pm 10%长度的波形，并计算每个符号位的周期/TIE，最后计算所有样本的均方根，以此判断抖动测试是否通过。

均方根的计算公式和通过标准为：

$$RMS = \sqrt{\left(\frac{\sum[(T - T_{avg})^2]}{Sample\ Size}\right)} < 7.2ps$$

7.2.4 测试结果参考

发射机定时抖动-主模式结果示例如图 7-3 所示。

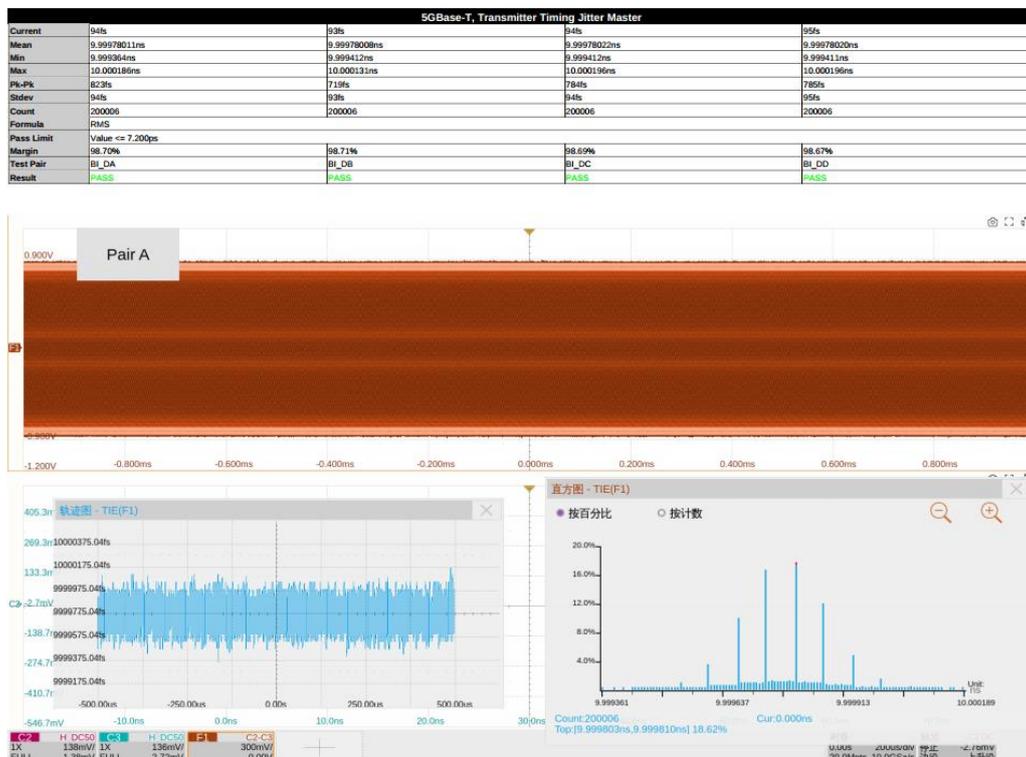


图 7-3 发射机定时抖动-主模式结果示例

7.3 发射机时钟频率

7.3.1 测试简介

测试的参考标准：IEEE 802.3-2018，Subclause 126.5.3.5。

发射机时钟频率测试用于验证 DUT 的时钟频率是否符合标准所规定的值，以验证信号质量。测试时，需要将待测设备配置于测试模式 2，此时待测设备将发送连续 2 个+16 电平和连续 2 个-16 电平符号所组成的周期信号，即理想情况下周期为 10 ns 的方波信号。

7.3.2 测试步骤

1. 在 **设置** 中，速率选择 **5G BASE-T**。
2. 进行测试项选择，**测试项选择** > **发射机时钟频率**。
3. 在 **配置** 中设置使用的探头类型、信源、测试对 ID (Pair A/B/C/D/All)。
4. 在 **连接** 中检查测试环境搭建的准确性，具体测试连接方式见 5.1。

5. 点击 **启动测试** ，系统会弹出测试提示界面，并自动设置示波器的通道、触发等相关配置。
6. 等待示波器正确捕获待测信号后，在测试提示界面点击 **启动测试** 以开始测试。开始测试后，如果示波器没有捕获到正确的波形来执行测试，应用程序将会回到测试提示界面，以提示您检查测试环境的准确性。
7. 在测试过程中，示波器将自动完成所有配置，输出测试结果。

7.3.3 计算方法和通过标准

IEEE802.3 标准中并没有对本项测试的样本量做要求，故实际测试时参考发射机定时抖动-主模式测试的样本量进行采集计算，也就是采集 $2\text{ms} \pm 10\%$ 的波形长度，即 200000 ± 20000 个周期。

计算时，示波器会计算测试模式 2 波形的每个周期长度，并除以 4 得到时钟频率，要求时钟频率的通过标准为： $400\text{MHz} \pm 50\text{ppm}$ 。

7.3.4 测试结果参考

发射机时钟频率结果示例如图 7-4 所示。

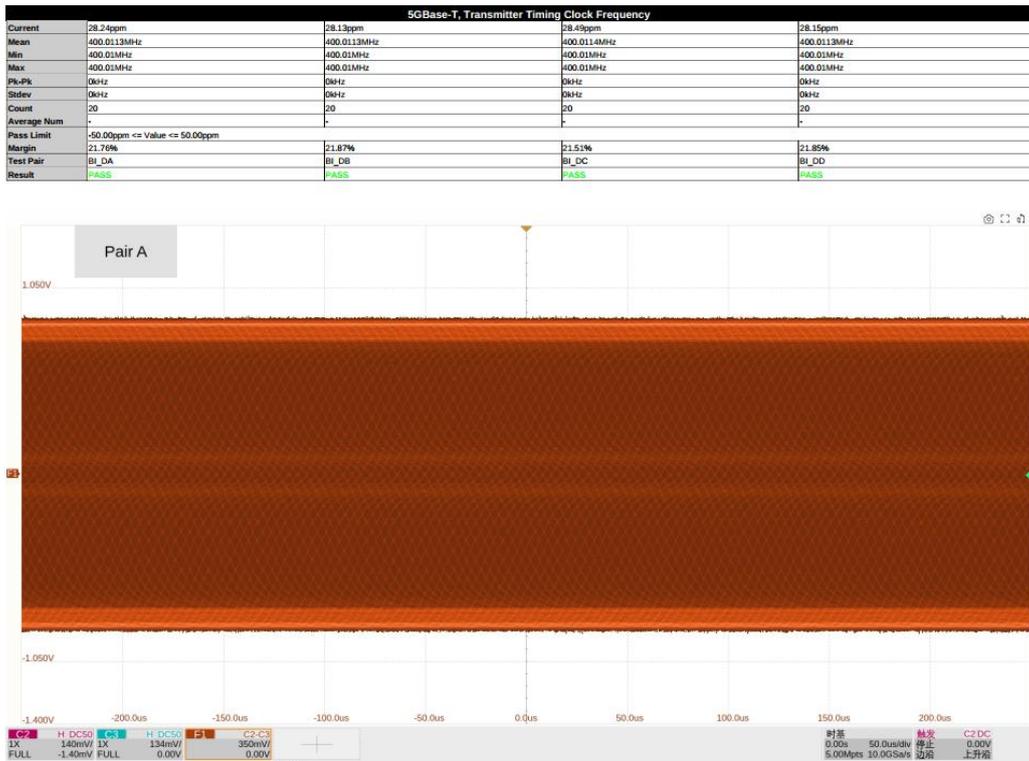


图 7-4 发射机时钟频率结果示例

7.4 发射机线性度

7.4.1 测试简介

测试的参考标准：IEEE 802.3-2018, Subclause 126.5.3.2。

发射机线性度用于验证 DUT 输出信号的无杂散动态范围(SFDR)是否符合标准所规定的值。测试时，需要将待测设备配置于测试模式 4，测试模式 4 还可以细分为 5 种模式，即发送五组不同频率的双音信号。

7.4.2 测试步骤

7.4.2.1 使用示波器测试

1. 在 **设置** 中，速率选择 **5G BASE-T**。
2. 进行测试项选择，**测试项选择** > **发射机线性度**。
3. 在 **配置** 中设置使用的探头类型、信源、测试对 ID (Pair A/B/C/D/All)、测试仪器 (选择示波器)、平均次数。
4. 在 **连接** 中检查测试环境搭建的准确性，具体测试连接方式见 5.1。
5. 点击 **启动测试**，系统会弹出测试提示界面，并自动完成示波器的通道、触发等相关配置。
6. 等待示波器正确捕获待测信号后，在测试提示界面点击 **启动测试** 以开始测试。开始测试后，如果示波器没有捕获到正确的波形来执行测试，应用程序将会回到测试提示界面，以提示您检查测试环境的准确性。
7. 在测试过程中，示波器将自动完成所有配置，输出测试结果。

7.4.2.2 使用频谱仪进行测试

1. 在 **设置** 中，速率选择 **5G BASE-T**。
2. 进行测试项选择，**测试项选择** > **发射机线性度**。
3. 在 **配置** 中设置测试对 ID (Pair A/B/C/D/All)、测试仪器 (选择频谱仪)、平均次数、巴伦补偿 (On/Off) 等。
4. 在 **配置** 中点击 **测试连接** 以确认频谱仪是否与示波器连接，连接成功会显示所用频谱仪型号，如需进行巴伦补偿，请点击 **设置** 进入巴伦补偿界面，设置相关参数。
5. 在 **连接** 中检查测试环境搭建的准确性，具体测试连接方式见 5.2。
6. 点击 **启动测试**，系统会弹出测试提示界面，并自动完成示波器和频谱仪的相关配置。

7. 确定频谱仪采集到待测信号后，在示波器测试提示界面点击 **启动测试** 以开始测试。开始测试后，如果示波器长时间未获取到频谱仪返回数据，应用程序将会回到测试提示界面，以提示您检查测试环境的准确性。
8. 在测试过程中，频谱仪将对待测信号进行测试，并将结果回传示波器。示波器将接受到的数据处理后，输出测试结果。

7.4.3 计算方法和通过标准

根据 IEEE802.3 标准，发射机线性度测试需要分别对五组双音信号进行测试，五组双音信号的频率和通过标准如下表所示。

双音信号	频率 (MHz)	通过标准(dBc)
Dual Tone 1	18.359 & 20.703	SFDR ≥ 54.5
Dual Tone 2	39.453 & 40.2343	SFDR ≥ 54.5
Dual Tone 3	69.922 & 70.703	SFDR ≥ 51.47
Dual Tone 4	108.203 & 109.7656	SFDR ≥ 47.649
Dual Tone 5	155.078 & 156.6406	SFDR ≥ 44.561

使用示波器计算时，示波器会通过 FFT 算法计算得到双音信号幅度谱；使用频谱分析仪时，示波器会直接读取频谱分析仪测得的幅度谱信息。

计算幅度谱时的基础设置是：

- 起始频率：0.3 MHz；
- 结束频率：200 MHz；
- 分辨率带宽：30 kHz。

获取幅度谱后，示波器会记录双音信号频率所对应两个频点的幅值，并选取其中的最大值，记作最大峰值：Highest Peak。接下来，示波器会记录双音信号谐波项和交调项所对应频点的幅值，并选取其中的最大值，记作第三大峰值：Third Highest Peak。最后无杂散动态范围的计算公式为：

$$\text{SFDR} = \text{Highest Peak} - \text{Third Highest Peak}$$

7.4.4 测试结果参考

五组双音信号的发射机线性度测试结果示例分别如下五图所示。

5GBase-T, Linearity Tone-1				
Current	58.190dBm	58.621dBm	58.621dBm	59.052dBm
Mean	58.1895dBm	58.6209dBm	58.6209dBm	59.0517dBm
Min	58.190dBm	58.621dBm	58.621dBm	59.052dBm
Max	58.190dBm	58.621dBm	58.621dBm	59.052dBm
Pk-Pk	0mdBm	0mdBm	0mdBm	0mdBm
Stddev	0mdBm	0mdBm	0mdBm	0mdBm
Count	50	50	50	50
Average Num	-	-	-	-
Pass Limit	Value >= 54.500dBm	-	-	-
Margin	6.77%	7.56%	7.56%	8.35%
Test Pair	BI_DA	BI_DB	BI_DC	BI_DD
Result	PASS	PASS	PASS	PASS

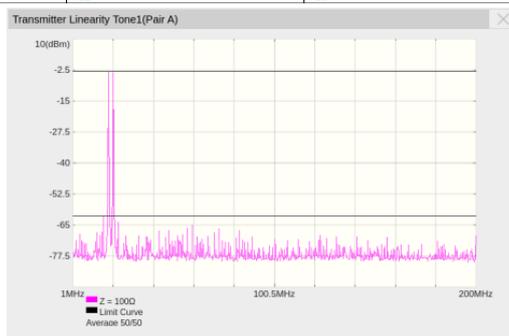


图 7-5 Tone1 发射机线性度结果示例

5GBase-T, Linearity Tone-2				
Current	57.543dBm	57.328dBm	56.897dBm	57.328dBm
Mean	57.5431dBm	57.3279dBm	56.8965dBm	57.3279dBm
Min	57.543dBm	57.328dBm	56.897dBm	57.328dBm
Max	57.543dBm	57.328dBm	56.897dBm	57.328dBm
Pk-Pk	0mdBm	0mdBm	0mdBm	0mdBm
Stddev	0mdBm	0mdBm	0mdBm	0mdBm
Count	50	50	50	50
Average Num	-	-	-	-
Pass Limit	Value >= 54.500dBm	-	-	-
Margin	5.59%	5.19%	4.42%	5.19%
Test Pair	BI_DA	BI_DB	BI_DC	BI_DD
Result	PASS	PASS	PASS	PASS

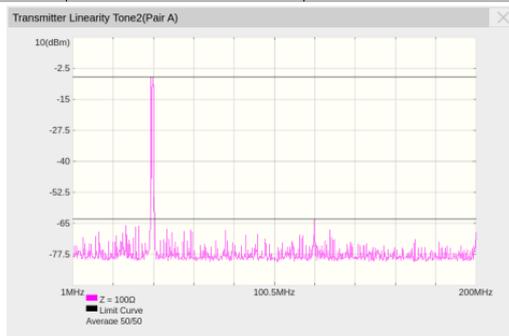


图 7-6 Tone2 发射机线性度结果示例

5GBase-T, Linearity Tone-3				
Current	61.207dBm	61.422dBm	61.422dBm	61.207dBm
Mean	61.2068dBm	61.4224dBm	61.4224dBm	61.2068dBm
Min	61.207dBm	61.422dBm	61.422dBm	61.207dBm
Max	61.207dBm	61.422dBm	61.422dBm	61.207dBm
Pk-Pk	0mdBm	0mdBm	0mdBm	0mdBm
Stddev	0mdBm	0mdBm	0mdBm	0mdBm
Count	50	50	50	50
Average Num	-	-	-	-
Pass Limit	Value >= 51.470dBm	-	-	-
Margin	18.92%	18.34%	18.34%	18.92%
Test Pair	BI_DA	BI_DB	BI_DC	BI_DD
Result	PASS	PASS	PASS	PASS

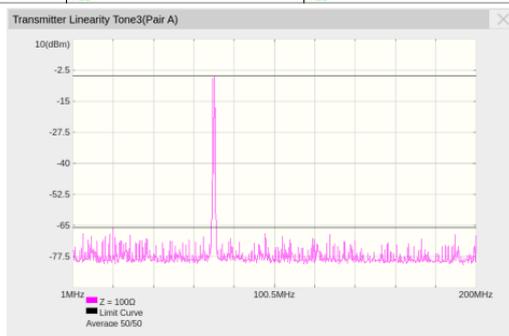


图 7-7 Tone3 发射机线性度结果示例

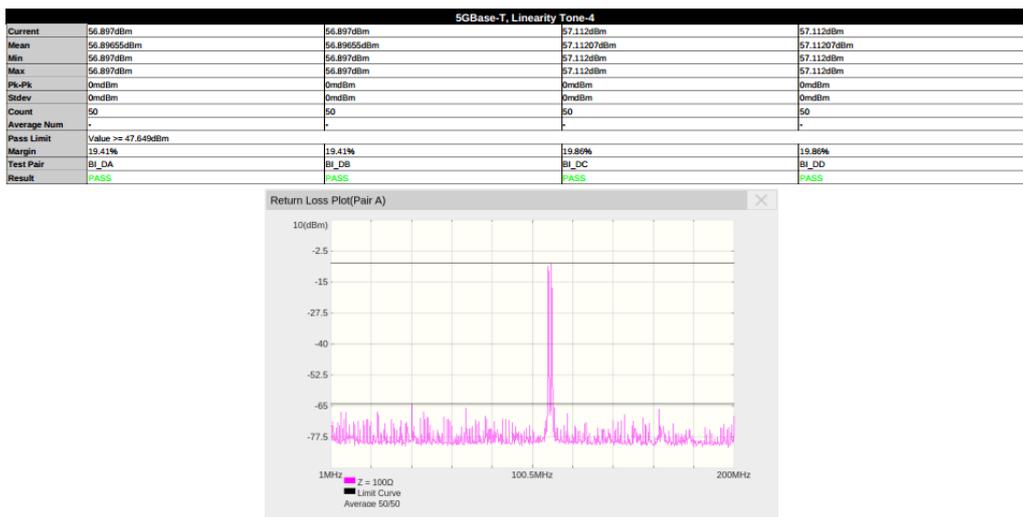


图 7-8 Tone4 发射机线性度结果示例

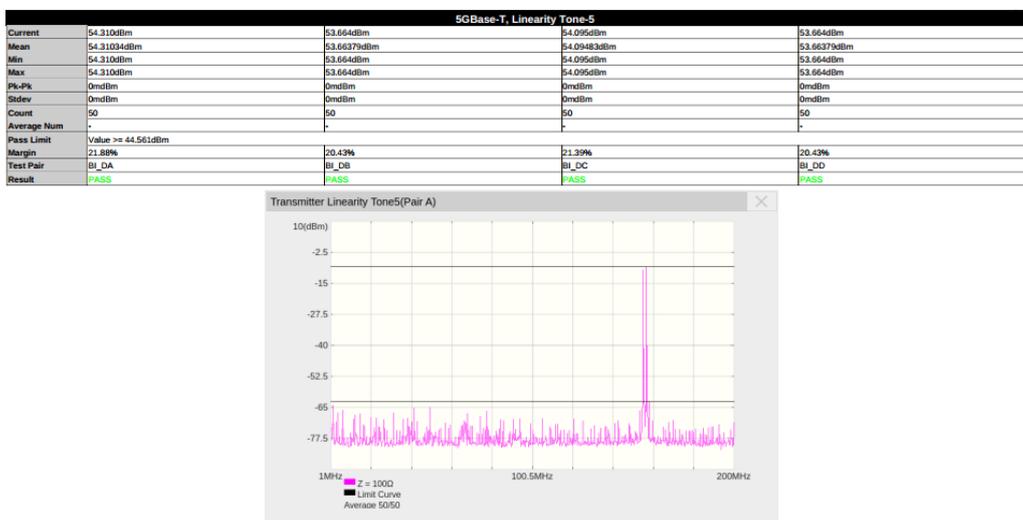


图 7-9 Tone5 发射机线性度结果示例

7.5 功率谱密度

7.5.1 测试简介

测试的参考标准：IEEE 802.3-2018，Subclause 126.5.3.4。

本项测试用于验证功率谱密度是否符合标准规定。测试时，需要将待测设备配置于测试模式 5。

7.5.2 测试步骤

7.5.2.1 使用示波器测试

1. 在 **设置** 中，速率选择 **5G BASE-T** 。

2. 进行测试项选择， **测试项选择** > **功率测试** > **功率谱密度** 。
3. 在 **配置** 中设置使用的探头类型、信源、测试对 ID (Pair A/B/C/D/All)、测试仪器 (选择示波器)、平均次数。
4. 在 **连接** 中检查测试环境搭建的准确性，具体测试连接方式见 5.1。
5. 点击 **启动测试** ，系统会弹出测试提示界面，并自动完成示波器的通道、触发等相关配置。
6. 等待示波器正确捕获待测信号后，在测试提示界面点击 **启动测试** 以开始测试。开始测试后，如果示波器没有捕获到正确的波形来执行测试，应用程序将会回到测试提示界面，以提示您检查测试环境的准确性。
7. 在测试过程中，示波器将自动完成所有配置，输出测试结果。

7.5.2.2 使用频谱仪进行测试

1. 在 **设置** 中，速率选择 **5G BASE-T** 。
2. 进行测试项选择， **测试项选择** > **功率测试** > **功率谱密度** 。
3. 在 **配置** 中设置测试对 ID (Pair A/B/C/D/All)、测试仪器 (选择频谱仪)、平均次数、巴伦补偿 (On/Off) 等。
4. 在 **配置** 中点击 **测试连接** 以确认频谱仪是否与示波器连接，连接成功会显示所用频谱仪型号，如需进行巴伦补偿，请点击 **设置** 进入巴伦补偿界面，设置相关参数。
5. 在 **连接** 中检查测试环境搭建的准确性，具体测试连接方式见 5.2。
6. 点击 **启动测试** ，系统会弹出测试提示界面，并自动完成示波器和频谱仪的相关配置。
7. 确定频谱仪采集到待测信号后，在示波器测试提示界面点击 **启动测试** 以开始测试。开始测试后，如果示波器长时间未获取到频谱仪返回数据，应用程序将会回到测试提示界面，以提示您检查测试环境的准确性。
8. 在测试过程中，频谱仪将对待测信号进行测试，并将结果回传示波器。示波器将接受到的数据处理后，输出测试结果。

7.5.3 计算方法和通过标准

根据 IEEE802.3 标准，5G BASE-T 功率谱密度的判断标准如图 6-15 所示，其中 $S=0.5$ (10G BASE-T 速率的二分之一)，Equation 55-9 指的是 10G BASE-T 功率谱密度上限，如图 8-10 所示，根据判断标准，得出的功率谱密度模板如图 6-16 所示。

使用示波器计算时，示波器会通过 FFT 算法计算得到双音信号幅度谱；使用频谱分析仪时，示波器

会直接读取频谱分析仪测得的幅度谱信息。

计算幅度谱时的基础设置是：

- 起始频率：3 MHz；
- 结束频率：3 GHz；
- 分辨率带宽：300 kHz。

获取幅度谱后，示波器会根据分辨率带宽对其归一化得到功率谱密度，最后与功率谱密度模板比较输出结果。

7.5.4 测试结果参考

功率谱密度的结果示例如图 7-10 所示。

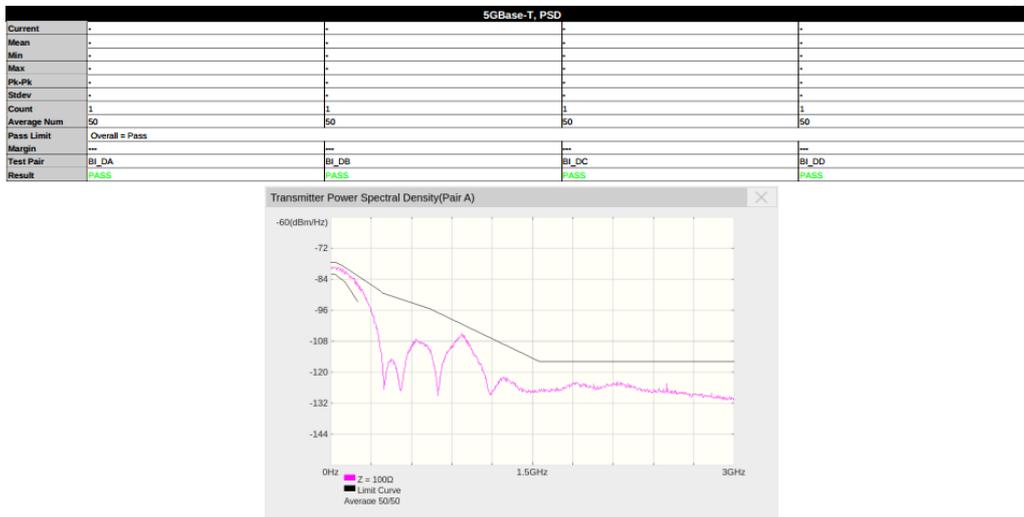


图 7-10 功率谱密度测试结果示例

7.6 功率电平

7.6.1 测试简介

测试的参考标准：IEEE 802.3-2018, Subclause 126.5.3.4。

本项测试用于验证功率电平是否符合标准规定。测试时，需要将待测设备配置于测试模式 5。

7.6.2 测试步骤

7.6.2.1 使用示波器测试

1. 在 **设置** 中，速率选择 **5G BASE-T** 。
2. 进行测试项选择，**测试项选择** > **功率测试** > **功率电平** 。
3. 在 **配置** 中设置使用的探头类型、信源、测试对 ID (Pair A/B/C/D/All)、测试仪器 (选择示波器)、平均次数。
4. 在 **连接** 中检查测试环境搭建的准确性，具体测试连接方式见 5.1。
5. 点击 **启动测试** ，系统会弹出测试提示界面，并自动完成示波器的通道、触发等相关配置。
6. 等待示波器正确捕获待测信号后，在测试提示界面点击 **启动测试** 以开始测试。开始测试后，如果示波器没有捕获到正确的波形来执行测试，应用程序将会回到测试提示界面，以提示您检查测试环境的准确性。
7. 在测试过程中，示波器将自动完成所有配置，输出测试结果。

7.6.2.2 使用频谱仪进行测试

1. 在 **设置** 中，速率选择 **5G BASE-T** 。
2. 进行测试项选择，**测试项选择** > **功率测试** > **功率电平** 。
3. 在 **配置** 中设置测试对 ID (Pair A/B/C/D/All)、测试仪器 (选择频谱仪)、平均次数、巴伦补偿 (On/Off) 等。
4. 在 **配置** 中点击 **测试连接** 以确认频谱仪是否与示波器连接，连接成功会显示所用频谱仪型号，如需进行巴伦补偿，请点击 **设置** 进入巴伦补偿界面，设置相关参数。
5. 在 **连接** 中检查测试环境搭建的准确性，具体测试连接方式见 5.2。
6. 点击 **启动测试** ，系统会弹出测试提示界面，并自动完成示波器和频谱仪的相关配置。
7. 确定频谱仪采集到待测信号后，在示波器测试提示界面点击 **启动测试** 以开始测试。开始测试后，如果示波器长时间未获取到频谱仪返回数据，应用程序将会回到测试提示界面，以提示您检查测试环境的准确性。
8. 在测试过程中，频谱仪将对待测信号进行测试，并将结果回传示波器。示波器将接受到的数据处理后，输出测试结果。

7.6.3 计算方法和通过标准

根据 IEEE802.3 标准，我们计算 3 MHz 到 400 MHz 范围内的功率电平，要求结果在 1 dBm 到 3 dBm 之间。

使用示波器计算时，示波器会通过 FFT 算法计算得到双音信号幅度谱；使用频谱分析仪时，示波器会直接读取频谱分析仪测得的幅度谱信息。

计算幅度谱时的基础设置是：

- 起始频率：3 MHz；
- 结束频率：400 MHz；
- 分辨率带宽：300 kHz。

获取幅度谱后，示波器会根据幅度谱计算 3 MHz 到 400 MHz 之间带宽的功率，最后将功率转换为功率电平。

7.6.4 测试结果参考

功率电平测试结果如图 7-11 所示。

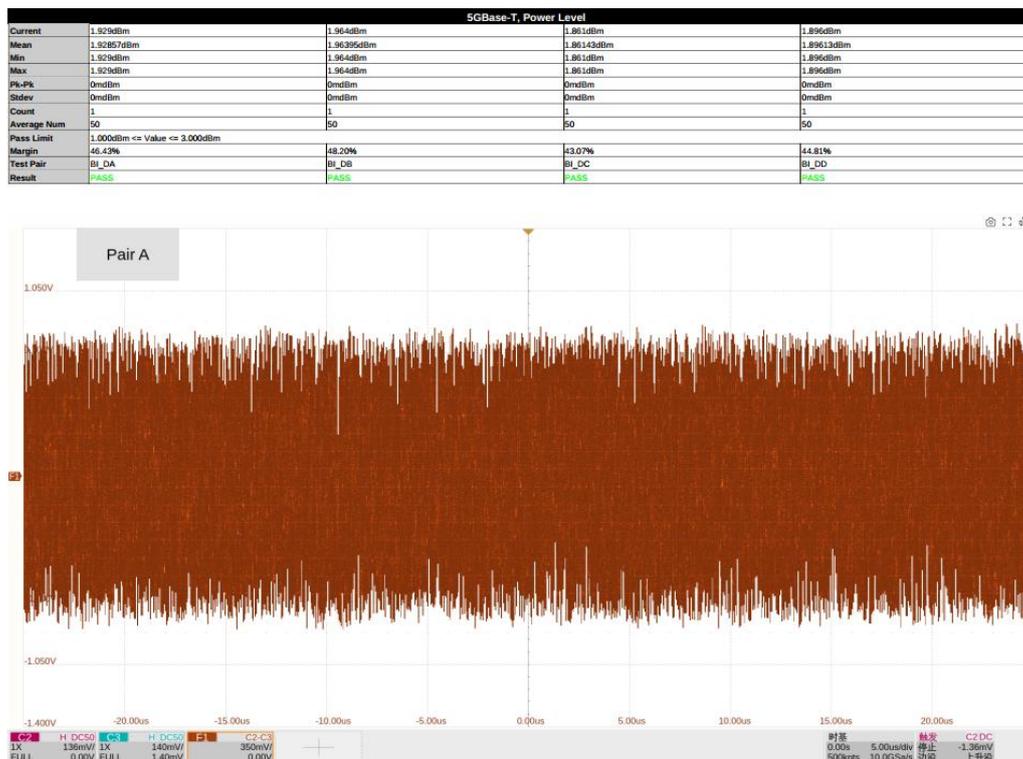


图 7-11 功率电平测试结果示例

7.7 MDI 回波损耗

7.7.1 测试简介

测试的参考标准：IEEE 802.3-2018, Subclause 126.8.2.2。

MDI 回波损耗测试用于验证 DUT 接口的回波损耗是否符合标准所规定的值。测试时，需要将待测设备配置于测试模式 5。

7.7.2 测试步骤

1. 在 **设置** 中，速率选择 **5G BASE-T**。
2. 进行测试项选择，**测试项选择** > **MDI 回波损耗**。
3. 在 **配置** 中设置使用的 VNA 端口，并确认 VNA 连接成功。
4. 在 **配置** 中分别点击 **开路**、**短路**、**负载** 以对 VNA 进行校准，点击后会弹出校准提示界面，请按照提示检查校准环境搭建的准确性，确认准确后点击 **启动校准** 开始校准，校准的接线方式可见 5.3。
5. 确认校准成功后，在 **连接** 中检查测试环境搭建的准确性，具体测试连接方式见 5.3。
6. 点击 **启动测试**，系统会弹出测试提示界面，并自动完成示波器和 VNA 的相关配置。
7. 确定 VNA 采集到待测信号后，在测试提示界面点击 **启动测试**。
8. VNA 测试结束后，示波器会读取 VNA 结果并输出。

7.7.3 计算方法和通过标准

本项测试通过 VNA 进行测试，示波器回读数据，并与标准对比输出结果。

根据 IEEE802.3 标准，回波损耗通过标准如图 6-19 所示。

7.7.4 测试结果参考

MDI 回波损耗测试结果示例如图 7-12 所示。

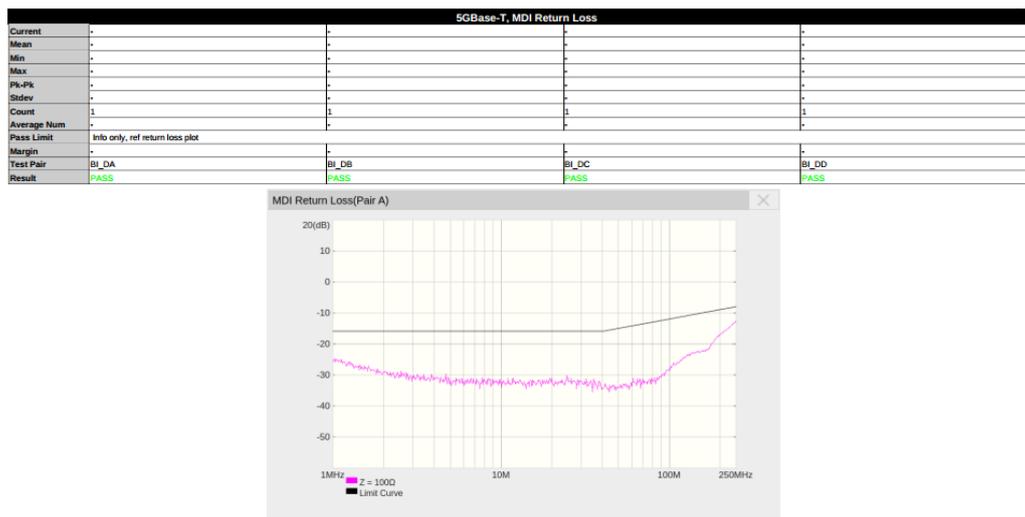


图 7-12 MDI 回波损耗结果示例

7.8 发射机定时抖动-从模式测试

7.8.1 测试简介

测试的参考标准：IEEE 802.3-2018，Subclause 126.5.3.3。

发射机定时抖动-从模式测试用于验证 DUT 输出信号的抖动是否符合标准所规定的值，以验证信号质量。测试时，需要将待测设备配置于测试模式 3（从模式），Link Partner 配置于测试模式 1(主模式)，此时待测设备将发送连续 2 个+16 电平和连续 2 个-16 电平符号所组成的周期信号，即理想情况下周期为 10 ns 的方波信号。

另外因为主 PHY 和从 PHY 的连接方式，从抖动仅测试 Pair D。

7.8.2 测试步骤

1. 在 **设置** 中，速率选择 **5G BASE-T**。
2. 进行测试项选择，**测试项选择** > **发射机定时抖动-从模式**。
3. 在 **配置** 中设置使用的信源、抖动类型和带通滤波器。
4. 在 **连接** 中检查测试环境搭建的准确性，具体测试连接方式见 5.5。
5. 点击 **启动测试**，系统会弹出测试提示界面，并自动设置示波器的通道、触发等相关配置。
6. 等待示波器正确捕获待测信号后，在测试提示界面点击 **启动测试** 以开始测试。开始测试后，如果示波器没有捕获到正确的波形来执行测试，应用程序将会回到测试提示界面，以提示您检查测试环境的准确性。

7. 在测试过程中，示波器将自动完成所有配置，输出测试结果。

7.8.3 计算方法和通过标准

根据 IEEE802.3 标准，发射机定时抖动-从模式所计算的抖动类型为周期抖动，样本量需要达到 $2\text{ms} \pm 10\%$ 的波形长度，即 200000 ± 20000 个周期，同时在计算前需要对波形使用一个 100MHz 中心频率 2MHz 带宽的带通滤波器进行滤波。

实际上，在鼎阳一致性测试软件上，用户可以选择抖动类型（周期抖动/TIE），也可以选择是否使用带通滤波器对波形进行滤波。一般情况下，使用带通滤波器后，抖动结果会更加理想。

计算时，示波器会采集 $2\text{ms} \pm 10\%$ 长度的波形，并计算每个符号位的周期/TIE，最后计算所有样本的均方根，以此判断抖动测试是否通过。

均方根的计算公式和通过标准为：

$$\text{RMS} = \sqrt{\left(\frac{\sum[(T - T_{avg})^2]}{\text{Sample Size}} \right)} < 10\text{ps}$$

7.8.4 测试结果参考

发射机定时抖动-从模式测试结果示例如图 7-13 所示。



图 7-13 发射机定时抖动-从模式结果示例

8 10GBASE-T 一致性测试

8.1 最大输出跌落测试

8.1.1 测试简介

测试的参考标准：IEEE 802.3-2018, Subclause 55.5.3.1。

最大输出跌落测试用于验证 DUT 输出信号的衰减速度是否符合标准所规定的值。测试时，需要将待测设备配置于测试模式 6，此时待测设备将发送连续 128 个+16 电平和连续 128 个-16 电平符号所组成的周期信号，即理想情况下周期为 0.32 us 的方波信号。

8.1.2 测试步骤

1. 在 **设置** 中，速率选择 **10G BASE-T**。
2. 进行测试项选择，**测试项选择** > **最大输出跌落**。
3. 在 **配置** 中设置使用的探头类型、信源、测试对 ID (Pair A/B/C/D/All) 和平均次数。
4. 在 **连接** 中检查测试环境搭建的准确性，具体测试连接方式见 5.1。
5. 点击 **启动测试**，系统会弹出测试提示界面，并自动设置示波器的通道、触发等相关配置。
6. 等待示波器正确捕获待测信号后，在测试提示界面点击 **启动测试** 以开始测试。开始测试后，如果示波器没有捕获到正确的波形来执行测试，应用程序将会回到测试提示界面，以提示您检查测试环境的准确性。
7. 在测试过程中，示波器将自动完成所有配置，输出测试结果。

8.1.3 计算方法和通过标准

根据 IEEE802.3 标准，最大输出跌落需要计算正向最大输出跌落和负向最大输出跌落。

计算正向最大输出跌落时，以信号上升沿过零点处为参考位置，记录其后 10 ns 位置处的电压值为 V_{10} ，记录其后 90 ns 处的电压值为 V_{90} 。

计算负向最大输出跌落时，以信号下降沿过零点处为参考位置，记录其后 10 ns 位置处的电压值为 V_{10} ，记录其后 90 ns 处的电压值为 V_{90} 。

正向最大输出跌落和负向最大输出的跌落的计算公式和通过标准相同，为：

$$\text{Droop} = \frac{(V_{10} - V_{90})}{V_{10}} < 10\%$$

8.1.4 测试结果参考

正向最大输出跌落结果示例如图 8-1 所示。



图 8-1 正向最大输出跌落结果示例

负向最大输出跌落结果示例如图 8-2 所示。

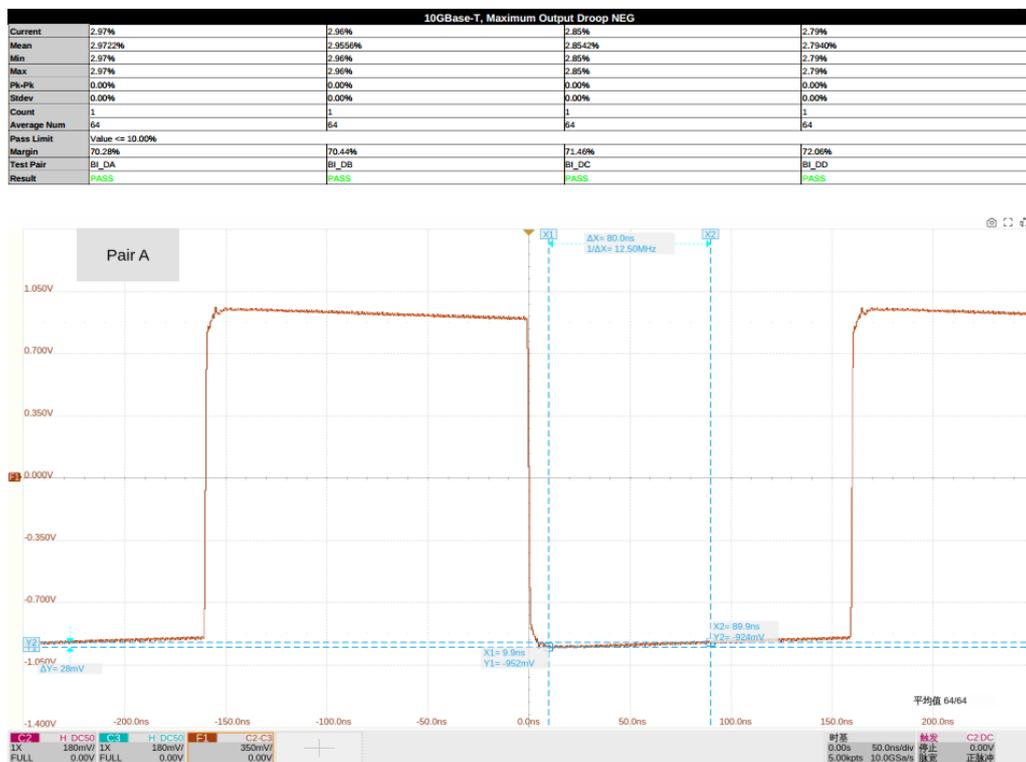


图 8-2 负向最大输出跌落结果示例

8.2 发射机定时抖动-主模式测试

8.2.1 测试简介

测试的参考标准：IEEE 802.3-2018，Subclause 55.5.3.3。

发射机定时抖动-主模式测试用于验证 DUT 输出信号的抖动是否符合标准所规定的值，以验证信号质量。测试时，需要将待测设备配置于测试模式 2，此时待测设备将发送连续 2 个+16 电平和连续 2 个-16 电平符号所组成的周期信号，即理想情况下周期为 5 ns 的方波信号。

8.2.2 测试步骤

1. 在 **设置** 中，速率选择 **10G BASE-T**。
2. 进行测试项选择，**测试项选择** > **发射机定时抖动-主模式**。
3. 在 **配置** 中设置使用的探头类型、信源、测试对 ID (Pair A/B/C/D/All)、抖动类型和带通滤波器。
4. 在 **连接** 中检查测试环境搭建的准确性，具体测试连接方式见 5.1。
5. 点击 **启动测试**，系统会弹出测试提示界面，并自动设置示波器的通道、触发等相关配置。
6. 等待示波器正确捕获待测信号后，在测试提示界面点击 **启动测试** 以开始测试。开始测试后，如果示波器没有捕获到正确的波形来执行测试，应用程序将会回到测试提示界面，以提示您检查测试环境的准确性。
7. 在测试过程中，示波器将自动完成所有配置，输出测试结果。

8.2.3 计算方法和通过标准

根据 IEEE802.3 标准，发射机定时抖动-主模式所计算的抖动类型为周期抖动，样本量需要达到 $1\text{ms} \pm 10\%$ 的波形长度，即 200000 ± 20000 个周期，同时在计算前需要对波形使用一个 200 MHz 中心频率 2 MHz 带宽的带通滤波器进行滤波。

实际上，在鼎阳一致性测试软件上，用户可以选择抖动类型（周期抖动/TIE），也可以选择是否使用带通滤波器对波形进行滤波。一般情况下，使用带通滤波器后，抖动结果会更加理想。

计算时，示波器会采集 $1\text{ms} \pm 10\%$ 长度的波形，并计算每个符号位的周期/TIE，最后计算所有样本的均方根，以此判断抖动测试是否通过。

均方根的计算公式和通过标准为：

$$\text{RMS} = \sqrt{\left(\frac{\sum[(T - T_{avg})^2]}{\text{Sample Size}} \right)} < 5.5\text{ps}$$

8.2.4 测试结果参考

发射机定时抖动-主模式结果示例如图 8-3 所示。

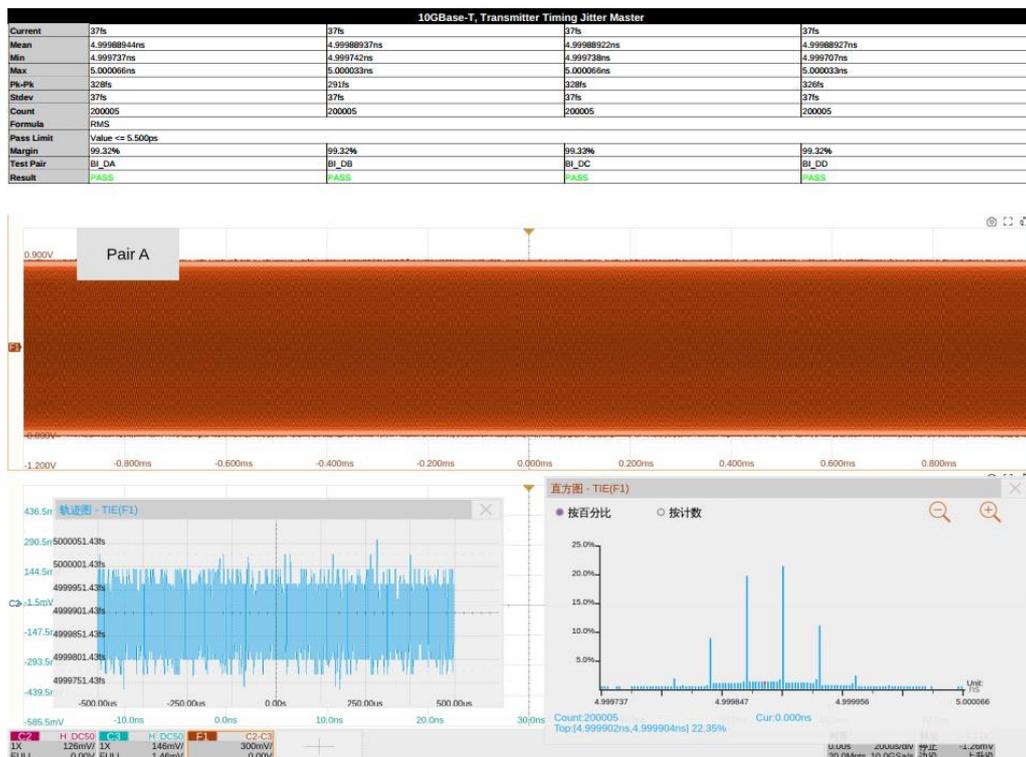


图 8-3 发射机定时抖动-主模式结果示例

8.3 发射机时钟频率

8.3.1 测试简介

测试的参考标准：IEEE 802.3-2018，Subclause 55.5.3.5。

发射机时钟频率测试用于验证 DUT 的时钟频率是否符合标准所规定的值，以验证信号质量。测试时，需要将待测设备配置于测试模式 2，此时待测设备将发送连续 2 个+16 电平和连续 2 个-16 电平符号所组成的周期信号，即理想情况下周期为 5 ns 的方波信号。

8.3.2 测试步骤

1. 在 **设置** 中，速率选择 **10G BASE-T**。
2. 进行测试项选择，**测试项选择** > **发射机时钟频率**。
3. 在 **配置** 中设置使用的探头类型、信源、测试对 ID (Pair A/B/C/D/All)。
4. 在 **连接** 中检查测试环境搭建的准确性，具体测试连接方式见 5.1。

5. 点击 **启动测试** ，系统会弹出测试提示界面，并自动设置示波器的通道、触发等相关配置。
6. 等待示波器正确捕获待测信号后，在测试提示界面点击 **启动测试** 以开始测试。开始测试后，如果示波器没有捕获到正确的波形来执行测试，应用程序将会回到测试提示界面，以提示您检查测试环境的准确性。
7. 在测试过程中，示波器将自动完成所有配置，输出测试结果。

8.3.3 计算方法和通过标准

IEEE802.3 标准中并没有对本项测试的样本量做要求，故实际测试时参考发射机定时抖动-主模式测试的样本量进行采集计算，也就是采集 $1\text{ms} \pm 10\%$ 的波形长度，即 200000 ± 20000 个周期。

计算时，示波器会计算测试模式 2 波形的每个周期长度，并除以 4 得到时钟频率，要求时钟频率的通过标准为： $800\text{MHz} \pm 50\text{ppm}$ 。

8.3.4 测试结果参考

发射机时钟频率结果示例如图 8-4 所示。

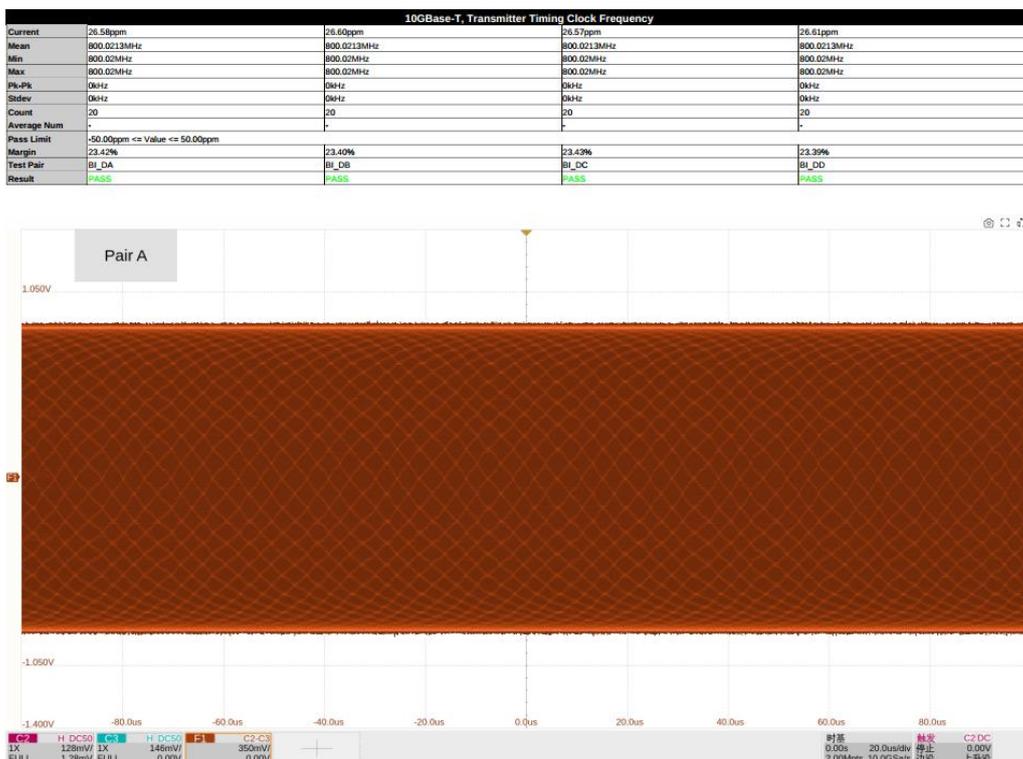


图 8-4 发射机时钟频率结果示例

8.4 发射机线性度

8.4.1 测试简介

测试的参考标准：IEEE 802.3-2018, Subclause 55.5.3.2。

发射机线性度用于验证 DUT 输出信号的无杂散动态范围(SFDR)是否符合标准所规定的值。测试时，需要将待测设备配置于测试模式 4，测试模式 4 还可以细分为 5 种模式，即发送五组不同频率的双音信号。

8.4.2 测试步骤

8.4.2.1 使用示波器测试

1. 在 **设置** 中，速率选择 **10G BASE-T** 。
2. 进行测试项选择，**测试项选择** > **发射机线性度** 。
3. 在 **配置** 中设置使用的探头类型、信源、测试对 ID (Pair A/B/C/D/All)、测试仪器 (选择示波器)、平均次数。
4. 在 **连接** 中检查测试环境搭建的准确性，具体测试连接方式见 5.1。
5. 点击 **启动测试** ，系统会弹出测试提示界面，并自动完成示波器的通道、触发等相关配置。
6. 等待示波器正确捕获待测信号后，在测试提示界面点击 **启动测试** 以开始测试。开始测试后，如果示波器没有捕获到正确的波形来执行测试，应用程序将会回到测试提示界面，以提示您检查测试环境的准确性。
7. 在测试过程中，示波器将自动完成所有配置，输出测试结果。

8.4.2.2 使用频谱仪进行测试

1. 在 **设置** 中，速率选择 **10G BASE-T** 。
2. 进行测试项选择，**测试项选择** > **发射机线性度** 。
3. 在 **配置** 中设置测试对 ID (Pair A/B/C/D/All)、测试仪器 (选择频谱仪)、平均次数、巴伦补偿 (On/Off) 等。
4. 在 **配置** 中点击 **测试连接** 以确认频谱仪是否与示波器连接，连接成功会显示所用频谱仪型号，如需进行巴伦补偿，请点击 **设置** 进入巴伦补偿界面，设置相关参数。
5. 在 **连接** 中检查测试环境搭建的准确性，具体测试连接方式见 5.2。
6. 点击 **启动测试** ，系统会弹出测试提示界面，并自动完成示波器和频谱仪的相关配置。

7. 确定频谱仪采集到待测信号后，在示波器测试提示界面点击 **启动测试** 以开始测试。开始测试后，如果示波器长时间未获取到频谱仪返回数据，应用程序将会回到测试提示界面，以提示您检查测试环境的准确性。
8. 在测试过程中，频谱仪将对待测信号进行测试，并将结果回传示波器。示波器将接受到的数据处理后，输出测试结果。

8.4.3 计算方法和通过标准

根据 IEEE802.3 标准，发射机线性度测试需要分别对五组双音信号进行测试，五组双音信号的频率和通过标准如下表所示。

双音信号	频率 (MHz)	通过标准(dBc)
Dual Tone 1	36.718 & 41.406	SFDR ≥ 54.5
Dual Tone 2	78.906 & 80.469	SFDR ≥ 50.346
Dual Tone 3	139.844 & 141.406	SFDR ≥ 45.449
Dual Tone 4	216.406 & 219.531	SFDR ≥ 41.629
Dual Tone 5	310.156 & 313.281	SFDR ≥ 38.540

使用示波器计算时，示波器会通过 FFT 算法计算得到双音信号幅度谱；使用频谱分析仪时，示波器会直接读取频谱分析仪测得的幅度谱信息。

计算幅度谱时的基础设置是：

- 起始频率：0.3 MHz；
- 结束频率：400 MHz；
- 分辨率带宽：100 kHz。

获取幅度谱后，示波器会记录双音信号频率所对应两个频点的幅值，并选取其中的最大值，记作最大峰值：Highest Peak。接下来，示波器会记录双音信号谐波项和交调项所对应频点的幅值，并选取其中的最大值，记作第三大峰值：Third Highest Peak。最后无杂散动态范围的计算公式为：

$$\text{SFDR} = \text{Highest Peak} - \text{Third Highest Peak}$$

8.4.4 测试结果参考

五组双音信号的发射机线性度测试结果示例分别如下五图所示。

10GBase-T, Linearity Tone-1				
Current	61.422dBm	61.422dBm	61.422dBm	61.422dBm
Mean	61.42242dBm	61.42242dBm	61.42242dBm	61.42242dBm
Min	61.422dBm	61.422dBm	61.422dBm	61.422dBm
Max	61.422dBm	61.422dBm	61.422dBm	61.422dBm
Pk-Pk	0mdBm	0mdBm	0mdBm	0mdBm
StdDev	0mdBm	0mdBm	0mdBm	0mdBm
Count	50	50	50	50
Average Num	-	-	-	-
Pass Limit	Value >= 54.500dBm	-	-	-
Margin	12.70%	12.70%	12.70%	12.70%
Test Pair	BI_DA	BI_DB	BI_DC	BI_DD
Result	PASS	PASS	PASS	PASS

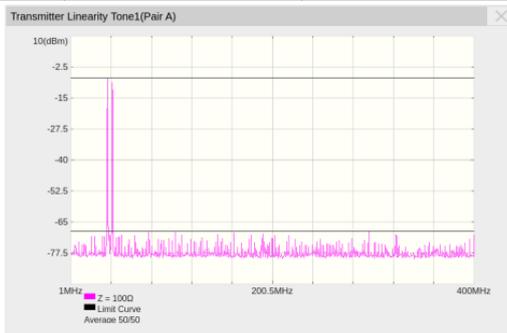


图 8-5 Tone1 发射机线性度结果示例

10GBase-T, Linearity Tone-2				
Current	59.267dBm	57.328dBm	57.543dBm	58.190dBm
Mean	59.2674dBm	57.32759dBm	57.54310dBm	58.18966dBm
Min	59.267dBm	57.328dBm	57.543dBm	58.190dBm
Max	59.267dBm	57.328dBm	57.543dBm	58.190dBm
Pk-Pk	0mdBm	0mdBm	0mdBm	0mdBm
StdDev	0mdBm	0mdBm	0mdBm	0mdBm
Count	50	50	50	50
Average Num	-	-	-	-
Pass Limit	Value >= 50.346dBm	-	-	-
Margin	17.70%	13.87%	14.20%	15.89%
Test Pair	BI_DA	BI_DB	BI_DC	BI_DD
Result	PASS	PASS	PASS	PASS

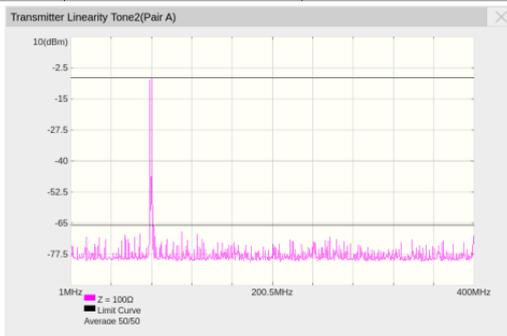


图 8-6 Tone2 发射机线性度结果示例

10GBase-T, Linearity Tone-3				
Current	55.172dBm	54.957dBm	55.388dBm	55.388dBm
Mean	55.17241dBm	54.95690dBm	55.38793dBm	55.38793dBm
Min	55.172dBm	54.957dBm	55.388dBm	55.388dBm
Max	55.172dBm	54.957dBm	55.388dBm	55.388dBm
Pk-Pk	0mdBm	0mdBm	0mdBm	0mdBm
StdDev	0mdBm	0mdBm	0mdBm	0mdBm
Count	50	50	50	50
Average Num	-	-	-	-
Pass Limit	Value >= 45.449dBm	-	-	-
Margin	21.39%	20.92%	21.87%	21.87%
Test Pair	BI_DA	BI_DB	BI_DC	BI_DD
Result	PASS	PASS	PASS	PASS

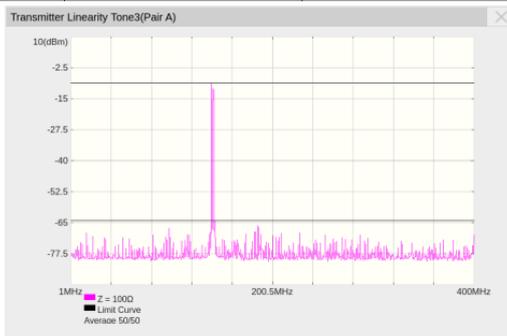


图 8-7 Tone3 发射机线性度结果示例

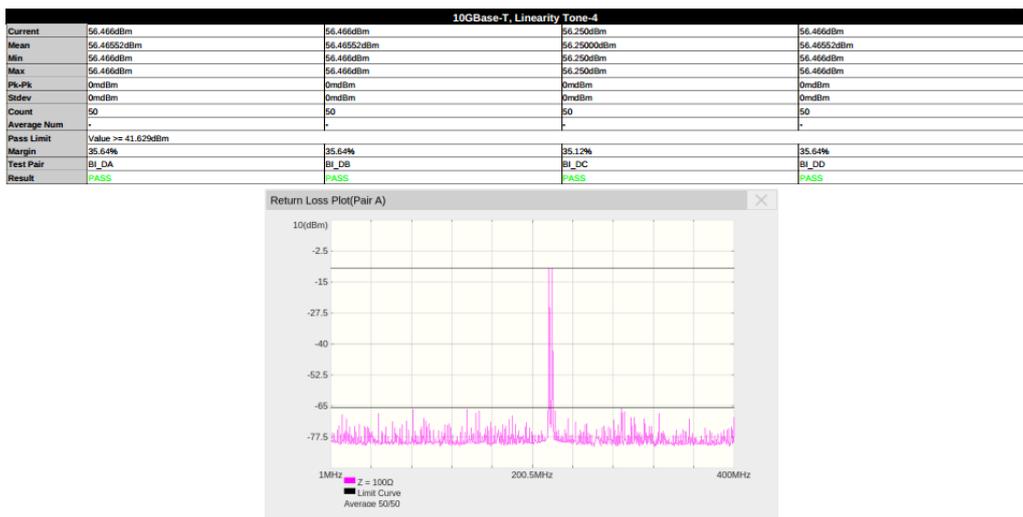


图 8-8 Tone4 发射机线性度结果示例

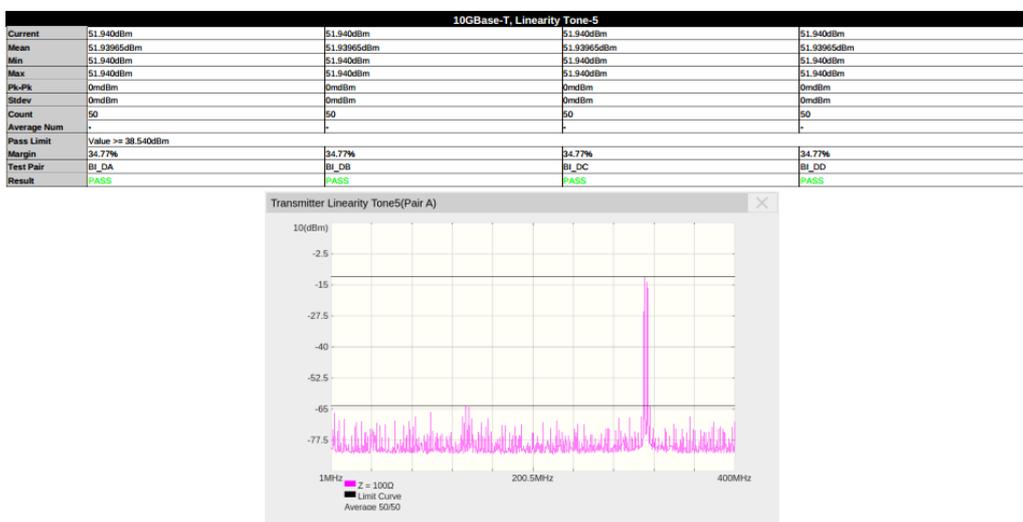


图 8-9 Tone5 发射机线性度结果示例

8.5 功率谱密度

8.5.1 测试简介

测试的参考标准：IEEE 802.3-2018, Subclause 55.5.3.4。

本项测试用于验证功率谱密度是否符合标准规定。测试时，需要将待测设备配置于测试模式 5。

8.5.2 测试步骤

8.5.2.1 使用示波器测试

1. 在 **设置** 中，速率选择 **10G BASE-T** 。

2. 进行测试项选择， **测试项选择** > **功率测试** > **功率谱密度**。
3. 在 **配置** 中设置使用的探头类型、信源、测试对 ID (Pair A/B/C/D/All)、测试仪器 (选择示波器)、平均次数。
4. 在 **连接** 中检查测试环境搭建的准确性，具体测试连接方式见 5.1。
5. 点击 **启动测试**，系统会弹出测试提示界面，并自动完成示波器的通道、触发等相关配置。
6. 等待示波器正确捕获待测信号后，在测试提示界面点击 **启动测试** 以开始测试。开始测试后，如果示波器没有捕获到正确的波形来执行测试，应用程序将会回到测试提示界面，以提示您检查测试环境的准确性。
7. 在测试过程中，示波器将自动完成所有配置，输出测试结果。

8.5.2.2 使用频谱仪进行测试

1. 在 **设置** 中，速率选择 **10G BASE-T**。
2. 进行测试项选择， **测试项选择** > **功率测试** > **功率谱密度**。
3. 在 **配置** 中设置测试对 ID (Pair A/B/C/D/All)、测试仪器 (选择频谱仪)、平均次数、巴伦补偿 (On/Off) 等。
4. 在 **配置** 中点击 **测试连接** 以确认频谱仪是否与示波器连接，连接成功会显示所用频谱仪型号，如需进行巴伦补偿，请点击 **设置** 进入巴伦补偿界面，设置相关参数。
5. 在 **连接** 中检查测试环境搭建的准确性，具体测试连接方式见 5.2。
6. 点击 **启动测试**，系统会弹出测试提示界面，并自动完成示波器和频谱仪的相关配置。
7. 确定频谱仪采集到待测信号后，在示波器测试提示界面点击 **启动测试** 以开始测试。开始测试后，如果示波器长时间未获取到频谱仪返回数据，应用程序将会回到测试提示界面，以提示您检查测试环境的准确性。
8. 在测试过程中，频谱仪将对待测信号进行测试，并将结果回传示波器。示波器将接受到的数据处理后，输出测试结果。

8.5.3 计算方法和通过标准

根据 IEEE802.3 标准，10G BASE-T 功率谱密度的判断标准如图 8-10 所示，如所示，根据判断标准，得出的功率谱密度模板如图 8-11 所示。

$$\text{Upper PSD } (f) \leq \begin{cases} -78.5 \text{ dBm/Hz} & 0 < f \leq 70 \\ -78.5 - \left(\frac{f-70}{80}\right) \text{ dBm/Hz} & 70 < f \leq 150 \\ -79.5 - \left(\frac{f-150}{58}\right) \text{ dBm/Hz} & 150 < f \leq 730 \\ -79.5 - \left(\frac{f-330}{40}\right) \text{ dBm/Hz} & 730 < f \leq 1790 \\ -116 \text{ dBm/Hz} & 1790 < f \leq 3000 \end{cases} \quad (55-9)$$

$$\text{Lower PSD } (f) \geq \begin{cases} -83 \text{ dBm/Hz} & 5 \leq f \leq 50 \\ -83 - \left(\frac{f-50}{50}\right) \text{ dBm/Hz} & 50 < f \leq 200 \\ -86 - \left(\frac{f-200}{25}\right) \text{ dBm/Hz} & 200 < f \leq 400 \end{cases} \quad (55-10)$$

Figure 23 Equations for PSD Masks applicable to 10GBase-T DUT

图 8-10 10GBASE-T 功率谱密度判断标准

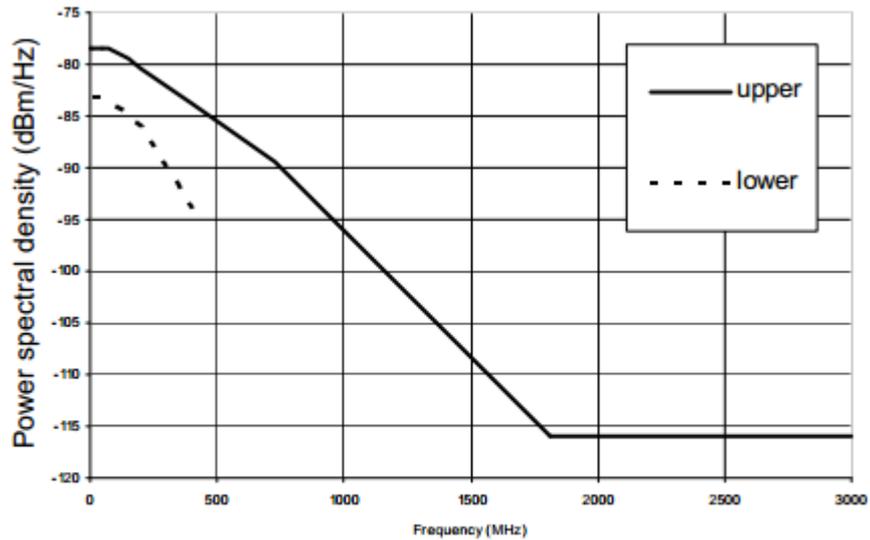


Figure 55-37—Transmitter power spectral density mask

图 8-11 10GBASE-T 功率谱密度模板

使用示波器计算时，示波器会通过 FFT 算法计算得到双音信号幅度谱；使用频谱分析仪时，示波器会直接读取频谱分析仪测得的幅度谱信息。

计算幅度谱时的基础设置是：

- 起始频率：3 MHz；
- 结束频率：3 GHz；
- 分辨率带宽：300 kHz。

获取幅度谱后，示波器会根据分辨率带宽对其归一化得到功率谱密度，最后与功率谱密度模板比较输出结果。

8.5.4 测试结果参考

功率谱密度的结果示例如图 8-12 所示。

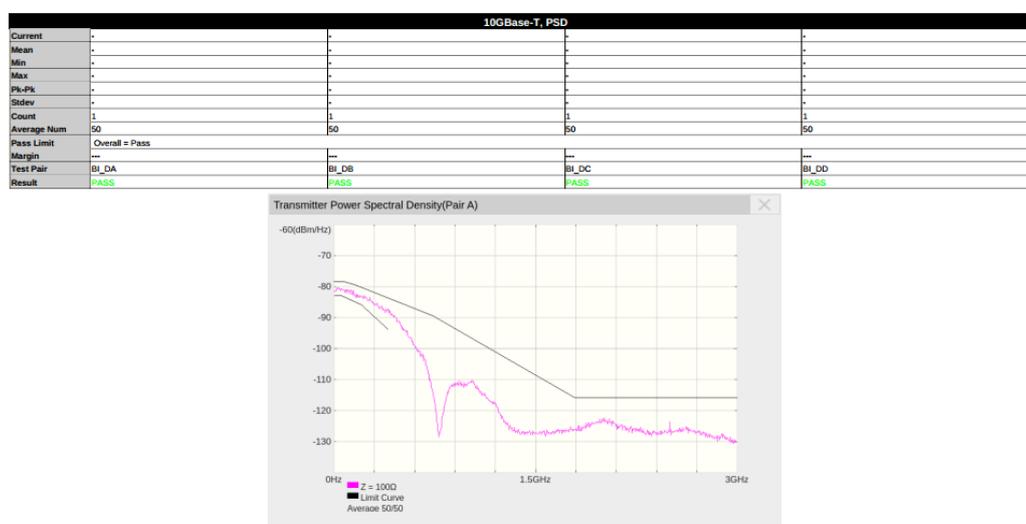


图 8-12 功率谱密度测试结果示例

8.6 功率电平

8.6.1 测试简介

测试的参考标准：IEEE 802.3-2018, Subclause 55.5.3.4。

本项测试用于验证功率电平是否符合标准规定。测试时，需要将待测设备配置于测试模式 5。

8.6.2 测试步骤

8.6.2.1 使用示波器测试

1. 在 **设置** 中，速率选择 **10G BASE-T**。
2. 进行测试项选择，**测试项选择** > **功率测试** > **功率电平**。

3. 在 **配置** 中设置使用的探头类型、信源、测试对 ID (Pair A/B/C/D/All)、测试仪器 (选择示波器)、平均次数。
4. 在 **连接** 中检查测试环境搭建的准确性, 具体测试连接方式见 5.1。
5. 点击 **启动测试**, 系统会弹出测试提示界面, 并自动完成示波器的通道、触发等相关配置。
6. 等待示波器正确捕获待测信号后, 在测试提示界面点击 **启动测试** 以开始测试。开始测试后, 如果示波器没有捕获到正确的波形来执行测试, 应用程序将会回到测试提示界面, 以提示您检查测试环境的准确性。
7. 在测试过程中, 示波器将自动完成所有配置, 输出测试结果。

8.6.2.2 使用频谱仪进行测试

1. 在 **设置** 中, 速率选择 **10G BASE-T**。
2. 进行测试项选择, **测试项选择** > **功率测试** > **功率电平**。
3. 在 **配置** 中设置测试对 ID (Pair A/B/C/D/All)、测试仪器 (选择频谱仪)、平均次数、巴伦补偿 (On/Off) 等。
4. 在 **配置** 中点击 **测试连接** 以确认频谱仪是否与示波器连接, 连接成功会显示所用频谱仪型号, 如需进行巴伦补偿, 请点击 **设置** 进入巴伦补偿界面, 设置相关参数。
5. 在 **连接** 中检查测试环境搭建的准确性, 具体测试连接方式见 5.2。
6. 点击 **启动测试**, 系统会弹出测试提示界面, 并自动完成示波器和频谱仪的相关配置。
7. 确定频谱仪采集到待测信号后, 在示波器测试提示界面点击 **启动测试** 以开始测试。开始测试后, 如果示波器长时间未获取到频谱仪返回数据, 应用程序将会回到测试提示界面, 以提示您检查测试环境的准确性。
8. 在测试过程中, 频谱仪将对待测信号进行测试, 并将结果回传示波器。示波器将接受到的数据处理后, 输出测试结果。

8.6.3 计算方法和通过标准

根据 IEEE802.3 标准, 我们计算 3 MHz 到 400 MHz 范围内的功率电平, 要求结果在 3.2 dBm 到 5.2 dBm 之间。

使用示波器计算时, 示波器会通过 FFT 算法计算得到双音信号幅度谱; 使用频谱分析仪时, 示波器会直接读取频谱分析仪测得的幅度谱信息。

计算幅度谱时的基础设置是:

- 起始频率：3 MHz；
- 结束频率：400 MHz；
- 分辨率带宽：300 kHz。

获取幅度谱后，示波器会根据幅度谱计算 3 MHz 到 400 MHz 之间带宽的功率，最后将功率转换为功率电平。

8.6.4 测试结果参考

功率电平测试结果如图 8-13 所示。

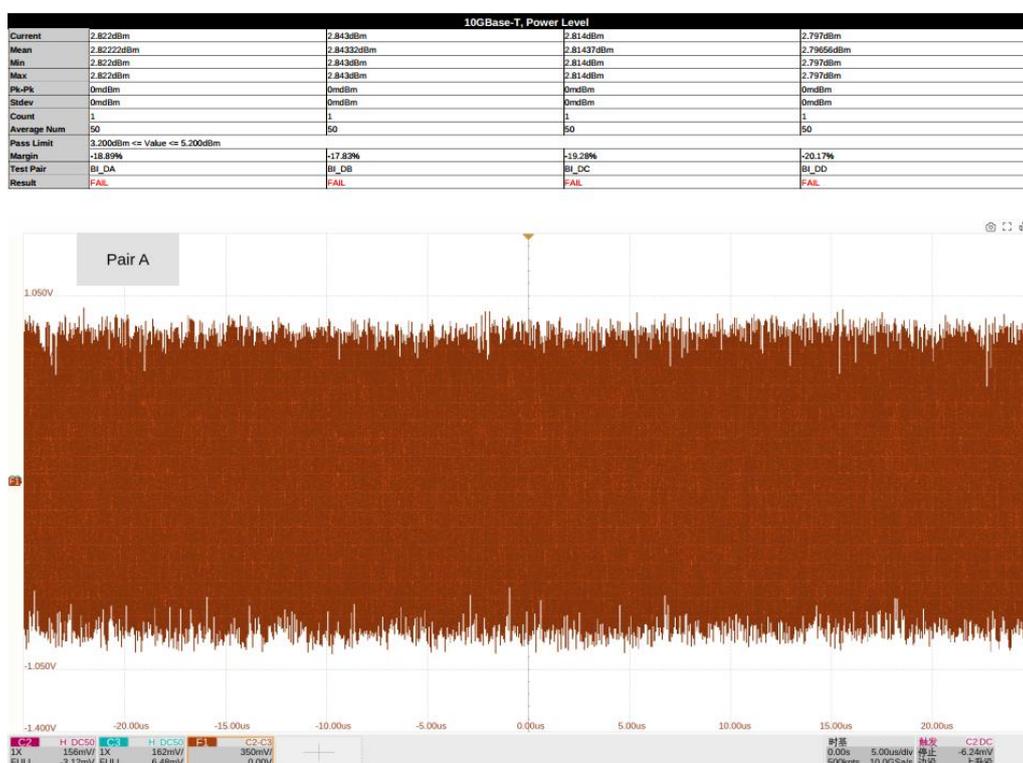


图 8-13 功率电平测试结果示例

8.7 MDI 回波损耗

8.7.1 测试简介

测试的参考标准：IEEE 802.3-2018，Subclause 55.8.2.1。

MDI 回波损耗测试用于验证 DUT 接口的回波损耗是否符合标准所规定的值。测试时，需要将待测设备配置于测试模式 5。

8.7.2 测试步骤

1. 在 **设置** 中，速率选择 **10GBASE-T**。
2. 进行测试项选择，**测试项选择** > **MDI 回波损耗**。
3. 在 **配置** 中设置使用的 VNA 端口，并确认 VNA 连接成功。
4. 在 **配置** 中分别点击 **开路**、**短路**、**负载** 以对 VNA 进行校准，点击后会弹出校准提示界面，请按照提示检查校准环境搭建的准确性，确认准确后点击 **启动校准** 开始校准，校准的接线方式可见 5.3。
5. 确认校准成功后，在 **连接** 中检查测试环境搭建的准确性，具体测试连接方式见 5.3。
6. 点击 **启动测试**，系统会弹出测试提示界面，并自动完成示波器和 VNA 的相关配置。
7. 确定 VNA 采集到待测信号后，在测试提示界面点击 **启动测试**。
8. VNA 测试结束后，示波器会读取 VNA 结果并输出。

8.7.3 计算方法和通过标准

本项测试通过 VNA 进行测试，示波器回读数据，并与标准对比输出结果。

根据 IEEE802.3 标准，回波损耗通过标准如图 8-14 所示。

$$\text{Return loss} \geq \begin{cases} 16 & 1 \leq f \leq 40 \text{ (dB)} \\ 16 - 10\log_{10}(f/40) & 40 < f \leq 400 \text{ (dB)} \\ 6 - 30\log_{10}(f/400) & 400 < f \leq 500 \text{ (dB)} \end{cases} \quad (55-54)$$

图 8-14 MDI 回波损耗通过标准

8.7.4 测试结果参考

MDI 回波损耗测试结果示例如图 8-15 所示。

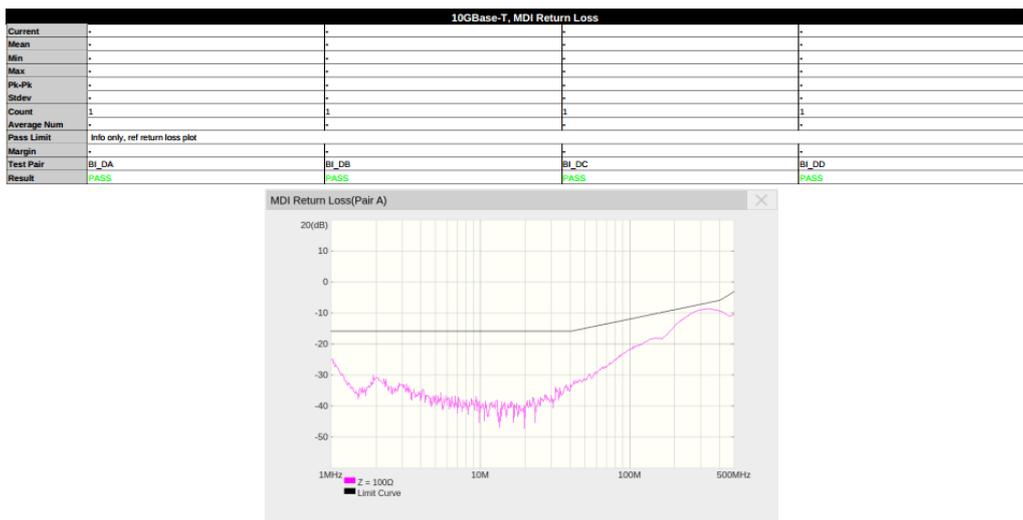


图 8-15 MDI 回波损耗结果示例

8.8 发射机定时抖动-从模式测试

8.8.1 测试简介

测试的参考标准：IEEE 802.3-2018, Subclause 55.5.3.3。

发射机定时抖动-从模式测试用于验证 DUT 输出信号的抖动是否符合标准所规定的值，以验证信号质量。测试时，需要将待测设备配置于测试模式 3（从模式），Link Partner 配置于测试模式 1（主模式），此时待测设备将发送连续 2 个+16 电平和连续 2 个-16 电平符号所组成的周期信号，即理想情况下周期为 5 ns 的方波信号。

另外因为主 PHY 和从 PHY 的连接方式，从抖动仅测试 Pair D。

8.8.2 测试步骤

1. 在 **设置** 中，速率选择 **10GBASE-T**。
2. 进行测试项选择，**测试项选择** > **发射机定时抖动-从模式**。
3. 在 **配置** 中设置使用的信源、抖动类型和带通滤波器。
4. 在 **连接** 中检查测试环境搭建的准确性，具体测试连接方式见 5.5。
5. 点击 **启动测试**，系统会弹出测试提示界面，并自动设置示波器的通道、触发等相关配置。
6. 等待示波器正确捕获待测信号后，在测试提示界面点击 **启动测试** 以开始测试。开始测试后，如果示波器没有捕获到正确的波形来执行测试，应用程序将会回到测试提示界面，以提示您检查测试环境的准确性。

7. 在测试过程中，示波器将自动完成所有配置，输出测试结果。

8.8.3 计算方法和通过标准

根据 IEEE802.3 标准,发射机定时抖动-从模式所计算的抖动类型为周期抖动,样本量需要达到 1ms $\pm 10\%$ 的波形长度,即 200000 ± 20000 个周期,同时在计算前需要对波形使用一个 200MHz 中心频率 2MHz 带宽的带通滤波器进行滤波。

实际上,在鼎阳一致性测试软件上,用户可以选择抖动类型(周期抖动/TIE),也可以选择是否使用带通滤波器对波形进行滤波。一般情况下,使用带通滤波器后,抖动结果会更加理想。

计算时,示波器会采集 1ms $\pm 10\%$ 长度的波形,并计算每个符号位的周期/TIE,最后计算所有样本的均方根,以此判断抖动测试是否通过。

均方根的计算公式和通过标准为:

$$RMS = \sqrt{\left(\frac{\sum[(T - T_{avg})^2]}{Sample\ Size}\right)} < 5.5ps$$

8.8.4 测试结果参考

发射机定时抖动-从模式测试结果示例如图 8-16 所示。

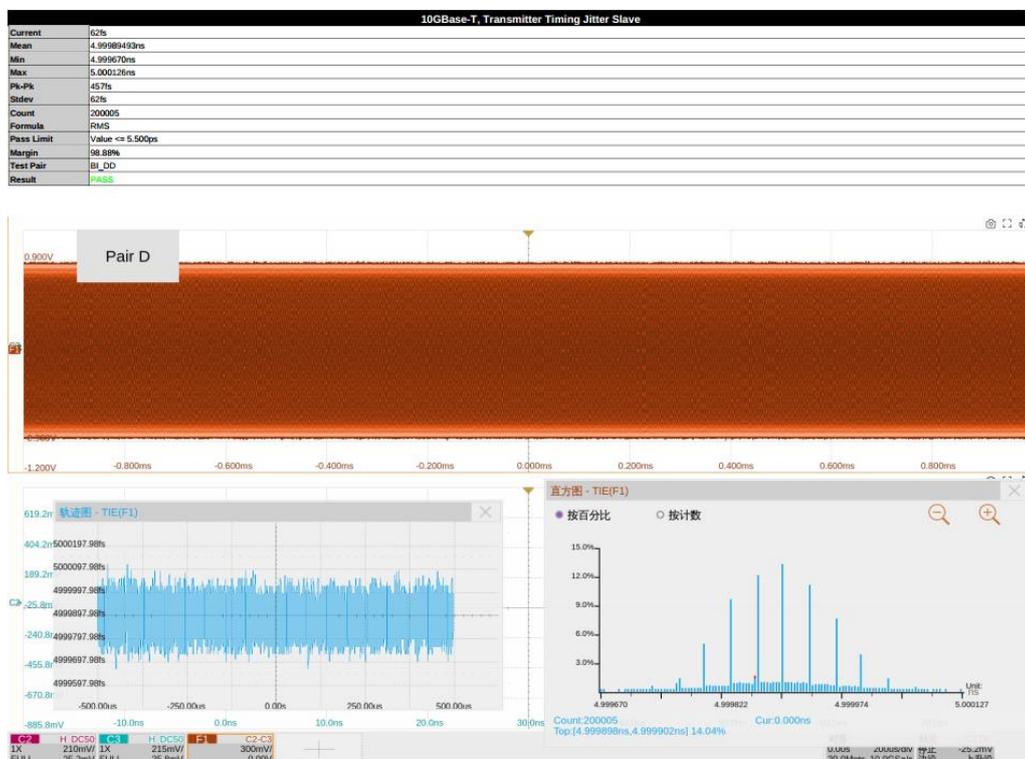


图 8-16 发射机定时抖动-从模式结果示例



关于鼎阳

鼎阳科技 (SIGLENT) 是通用电子测试测量仪器领域的行业领军企业, A 股上市公司。

2002 年, 鼎阳科技创始人开始专注于示波器研发, 2005 年成功研制出鼎阳第一款数字示波器。历经多年发展, 鼎阳产品已扩展到数字示波器、手持示波表、函数/任意波形发生器、频谱分析仪、矢量网络分析仪、射频/微波信号源、台式万用表、直流电源、电子负载等基础测试测量仪器产品, 是全球极少数能够同时研发、生产、销售数字示波器、信号发生器、频谱分析仪和矢量网络分析仪四大通用电子测试测量仪器主力产品的厂家之一, 国家重点“小巨人”企业。同时也是国内主要竞争对手中极少数同时拥有这四大主力产品并且四大主力产品全线进入高端领域的厂家。公司总部位于深圳, 在美国克利夫兰、德国奥格斯堡、日本东京成立了子公司, 在成都成立了分公司, 产品远销全球 80 多个国家和地区, SIGLENT 已经成为全球知名的测试测量仪器品牌。

联系我们

深圳市鼎阳科技股份有限公司
全国免费服务热线: 400-878-0807
网址: www.siglent.com

声明

 SIGLENT 鼎阳是深圳市鼎阳科技股份有限公司的注册商标, 事先未经过允许, 不得以任何形式或通过任何方式复制本手册中的任何内容。本资料中的信息代替原先的此前所有版本。技术数据如有变更, 恕不另行通告。

技术许可

对于本文档中描述的硬件和软件, 仅在得到许可的情况下才会提供, 并且只能根据许可进行使用或复制。

