



AEM

Testing
Innovation

车载以太网 线束传输性能

现场测试 解决方案

新加坡AEM公司

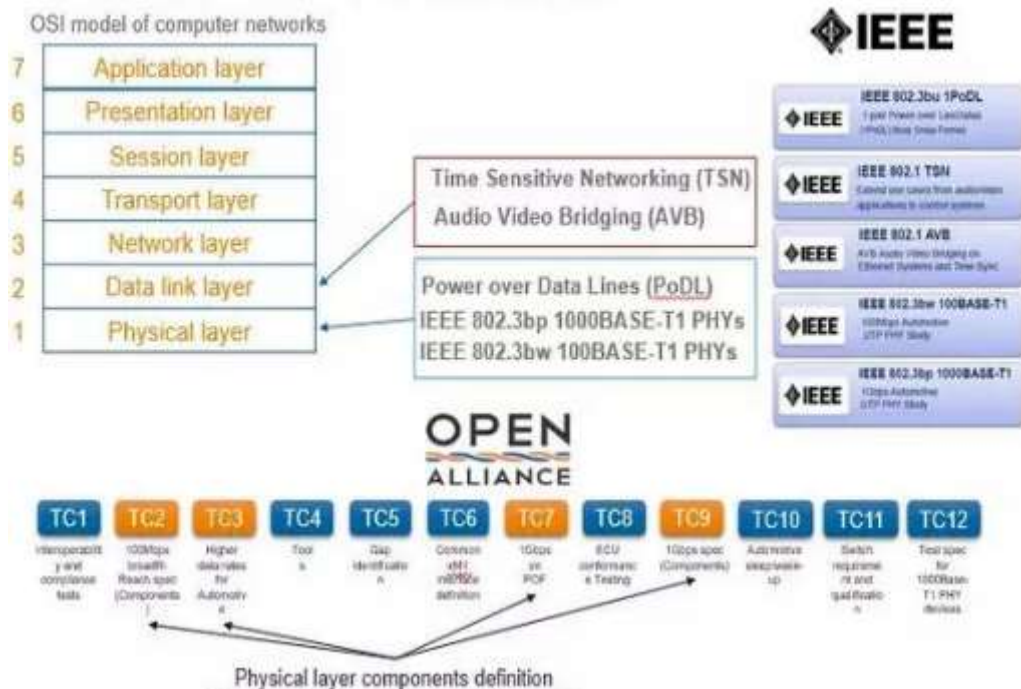
2021.7.

讨论内容

1. 什么是汽车以太网线束？
2. 为什么需要测试传输性能？
3. 谁是被测物？
4. 测试哪些参数指标？
5. 怎样测？

什么是车载以太网线束——满足OPEN的SPE线束

车载以太网技术（网络与协议）



- SPE —— Single Pair Ethernet (单线对以太网)，用于通信
- OPEN——One-Pair Ether-Net (一线对以太网)，用于汽车
- OPEN制定的标准，被IEEE采纳
 - ✓ 802.3cg — 10BASE-T1—10Mbps
 - ✓ 802.3bw — 100BASE-T1—100Mbps
 - ✓ 802.3bp — 1000BASE-T1—1Gbps
 - ✓ 802.3ch — 2.5G/5G/10GBASE-T1
- OPEN的TC2和TC9规定线束传输性能
 - ✓ TC2 <=> 802.3bw —100Mbps
 - ✓ TC9 <=> 802.3bp — 1Gbps

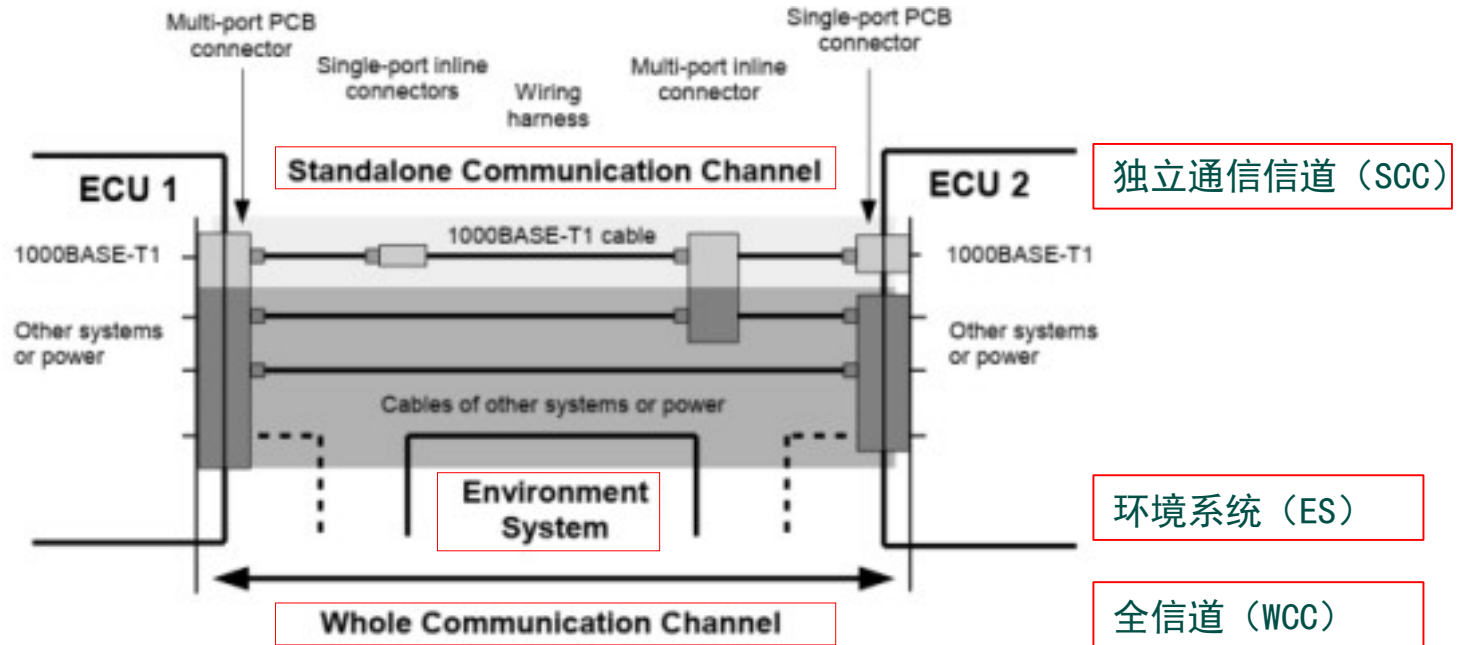
为什么需要测试传输性能1

- 不测试，就无法管理；
- 不管理，就无法改进！

为什么需要测试传输性能2

- 以太网线束属于：车内通信与控制**基础设施**
- 要求基础设施：传输速率**更快**、传输带宽**更高**、抗干扰能力**更强**
- OPEN制定：评判“快”“高”“强”的标准
- 测试后，才能知道：
 - 是否达标？
 - 孰优孰劣？
 - 一致性如何？
 - 问题出现在哪里？

被测物——独立通信信道（SCC）



- 对于连接器或线材生产厂，被测物是连接器和线材
- 对于线束工厂或主机厂，被测物是“独立通信信道（SCC）”

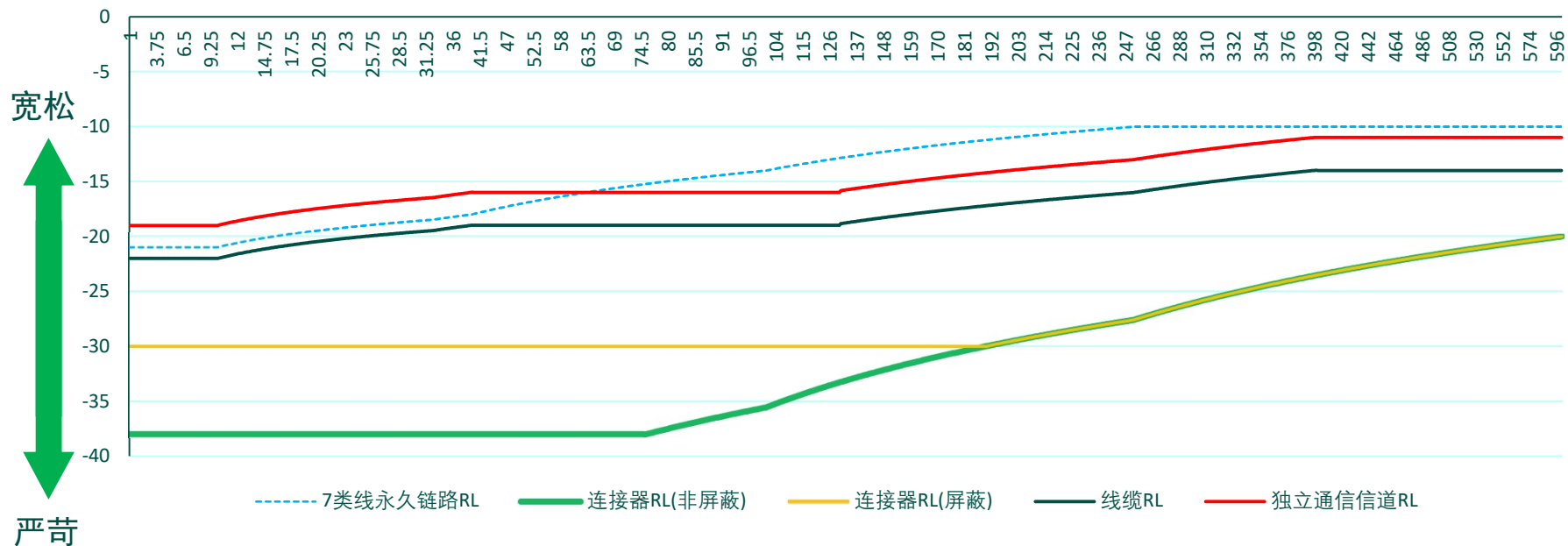
测试哪些参数指标——测试项目1

标准	以太网名称	传输速率	测试参数 频率范围	链路段长度与典型应用	缆内连接器 数量	需测试的传输参数
P802.3cg	10BASE-T1S	10 Mb/s	300 KHz - 200 MHz	15m 应用于汽车 支持PoDL	4	<ul style="list-style-type: none"> ● 插入损耗 ● 回波损耗 ● 模式转换损耗（用于非屏蔽布缆）
	10BASE-T1L	10 Mb/s	100 KHz - 20 MHz	1000m 应用于工业环境。 允许在IEC60079定义的本质安全 设备和系统中使用 支持PoDL	10	<ul style="list-style-type: none"> ● 插入损耗 ● 回波损耗 ● 综合线外近端串扰（PSANEXT） ● 综合线外远端串扰（PSAFEXT）
OPEN TC2 802.3bw-2015	100BASE-T1	100 Mb/s	1 MHz - 200 MHz	15m 应用于汽车	4	<ul style="list-style-type: none"> ● 特征阻抗 ● 插入损耗 ● 回波损耗 ● 模式转换损耗
OPEN TC9 802.3bp-2016	1000BASE-T1	1 Gb/s	1 MHz - 600 MHz	A型: 15m 优先应用于汽车	4	<ul style="list-style-type: none"> ● 时延 ● 综合线外近端串扰（PSANEXT） ● 综合线外远端衰减串扰比（PSAACRF）
				B型: 40m, 可选应用于工业、自动控制、交 通工具（飞机、火车、大客车和 重型卡车）	4	
P802.3ch	2.5G BASE-T1	2.5Gb/s	1 MHz - 4000 MHz	15m 应用于汽车	4	<ul style="list-style-type: none"> ● 特征阻抗 ● 插入损耗 ● 回波损耗 ● 时延 ● 综合线外近端串扰（PSANEXT） ● 综合线外远端衰减串扰比（PSAACRF） ● 耦合衰减（用于屏蔽布缆） ● 屏蔽有效性（用于屏蔽布缆）
	5G BASE-T1	5Gb/s				
	10G BASE-T1	10Gb/s				

测试哪些参数指标——测试项目2

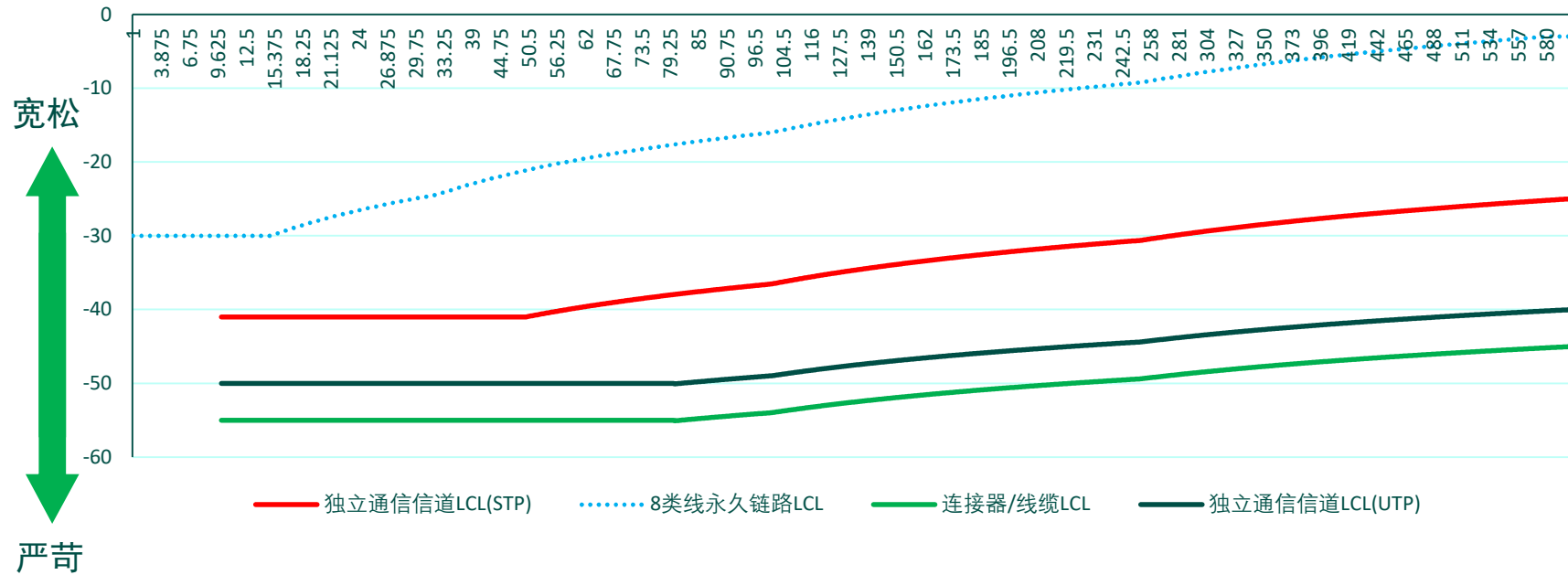
序号	测试项目	传输性能（标准限值）		
		连接器	线缆	独立通信信道SCC
1	差模特性阻抗	100±5%Ω TDR测试上升沿小于500ps		
2	传播时延	≤667ps 2MHz≤f≤600 MHz	最大长度15m: ≤6ns/m 最大长度10m: ≤9ns/m	≤94ns 2MHz≤f≤600 MHz
3	插入损耗	≤0.01√f dB 1MHz≤f≤600 MHz	最大长度15m: ≤1/15(0.0023f+0.5907√f-6*0.01√f+0.0639/√f)dB/m 1MHz≤f≤600 MHz 最大长度10m: ≤1/10(0.0023f+0.5907√f-6*0.01√f+0.0639/√f)dB/m 1MHz≤f≤600 MHz	≤(0.0023f+0.5907√f+0.0639/√f)dB/m 1MHz≤f≤600 MHz
4	回波损耗	非屏蔽系统 ≥38dB 1MHz≤f≤75 MHz ≥20-20lg(f/600) 75MHz≤f≤600 MHz 屏蔽系统 ≥30dB 1MHz≤f≤190 MHz ≥20-20lg(f/600) 190MHz≤f≤600 MHz	≥22dB 1MHz≤f<10 MHz ≥27-5lg(f) dB 10MHz≤f<40 MHz ≥19 dB 40MHz≤f<130 MHz ≥40-10lg(f) dB 130MHz≤f<400 MHz ≥14 dB 400MHz≤f<600 MHz	≥19dB 1MHz≤f<10 MHz ≥24-5lg(f) dB 10MHz≤f<40 MHz ≥16 dB 40MHz≤f<130 MHz ≥37-10lg(f) dB 130MHz≤f<400 MHz ≥11dB 400MHz≤f<600 MHz
5	纵向转换损耗 LCL	非屏蔽系统: ≥55dB 10MHz≤f≤80MHz ≥77-11.51lg(f) 80MHz≤f≤600 MHz	非屏蔽系统: ≥55dB 10MHz≤f≤80MHz ≥77-11.51lg(f) 80MHz≤f≤600 MHz 屏蔽系统: ≥50dB 10MHz≤f≤50MHz ≥81.5-18.53lg(f) 50MHz<f≤600 MHz	非屏蔽系统: ≥50dB 10MHz≤f≤80MHz ≥72-11.51lg(f) 80MHz≤f≤600 MHz
6	纵向转换传送 损耗LCTL	屏蔽系统: ≥50dB 10MHz≤f≤50MHz ≥75.2-14.83lg(f) 50MHz<f≤600 MHz	非屏蔽系统: ≥55dB 10MHz≤f≤80MHz ≥77-11.51lg(f) 80MHz≤f≤600 MHz 屏蔽系统: ≥46dB 10MHz≤f≤50MHz ≥71.2-14.83lg(f) 50MHz<f≤600 MHz	屏蔽系统: ≥41dB 10MHz≤f≤50MHz ≥66.2-14.83lg(f) 50MHz<f≤600 MHz

OPEN TC9 传输性能_回波损耗(RL)



- 相同传输带宽（600MHz）条件下
- 连接器指标最严苛，通信用网线（7类）指标最宽松
- 线束总成比线材指标宽松3dB

OPEN TC9 传输性能_纵向转换损耗 (LCL)



- 相同传输带宽 (600MHz) 条件下
- 连接器指标最严苛, 通信用网线 (8类) 指标最宽松
- 屏蔽线束 比 非屏蔽线束 指标宽松不少于9dB

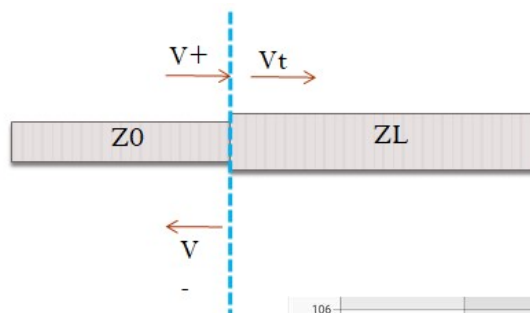
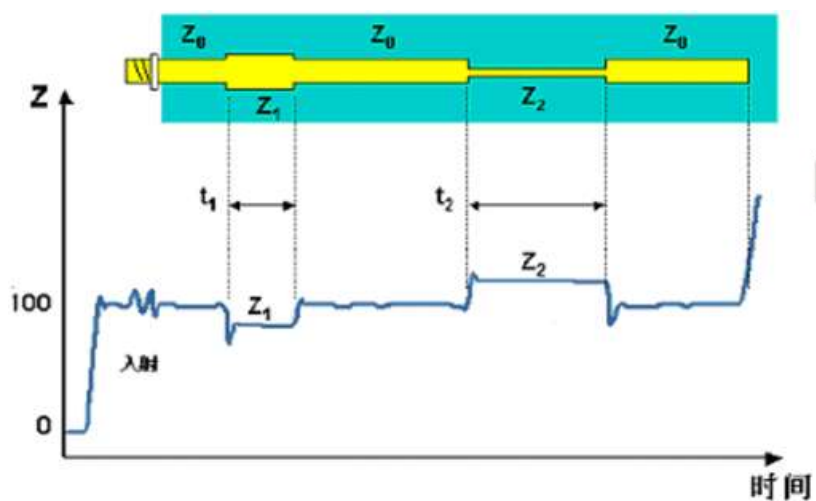
讨论内容

- 什么是汽车以太网传输性能？
- 为什么需要测试传输性能？
- 谁是被测物？
- 测试哪些参数指标？
- **怎样测？**

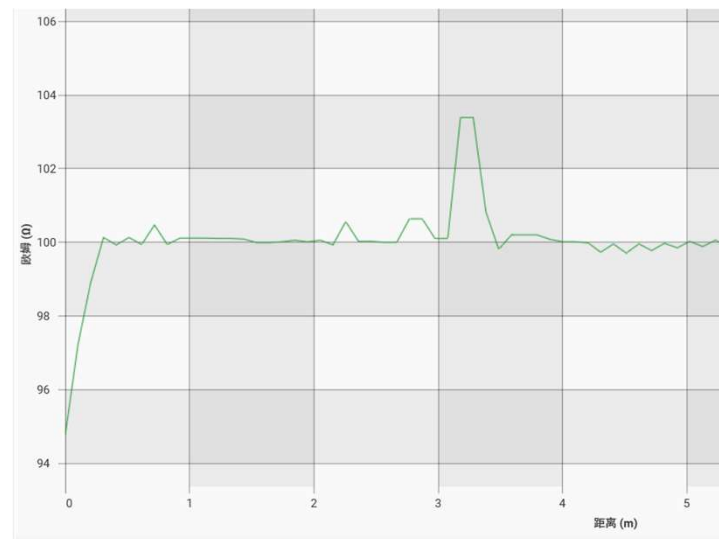
讨论内容

- 怎样测？
 - 测试原理
 - 实验室测试 与 测试设备
 - 现场测试 与 测试设备
 - 解决方案

特性阻抗 测试原理

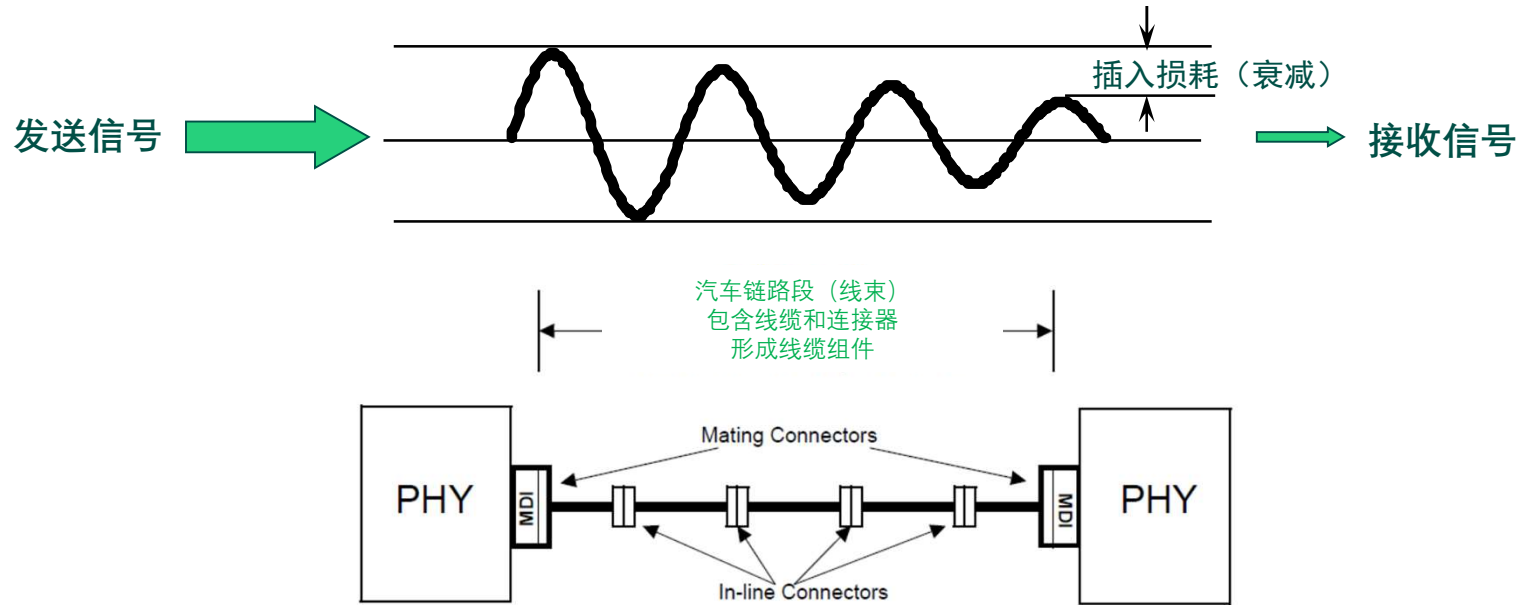


$$Z_L = Z_0 * \frac{V_+ + V_-}{V_+ - V_-}$$



- “时域反射” (TDR) 方式测试线束特征阻抗
- 向线束输入脉冲信号（不是持续正弦波）
- 信号在阻抗变化处产生反射
- 计算阻抗值，并可定位阻抗不连续点的位置

插入损耗（IL）测试原理



A型链路段：支持4个信道内连接器，长度15m。

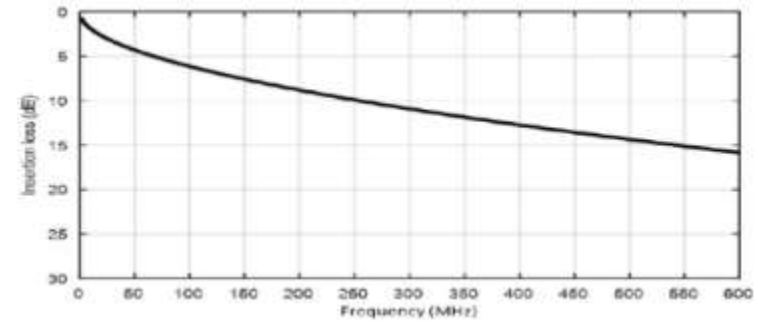
B型链路段：支持4个信道内连接器，长度40m。

OPEN TC9 SCC 插入损耗 (IL)

$$\text{InsertionLoss}(f) \leq 0.0023f + 0.5907\sqrt{f} + 0.0639/\sqrt{f} \quad \text{dB}$$

where

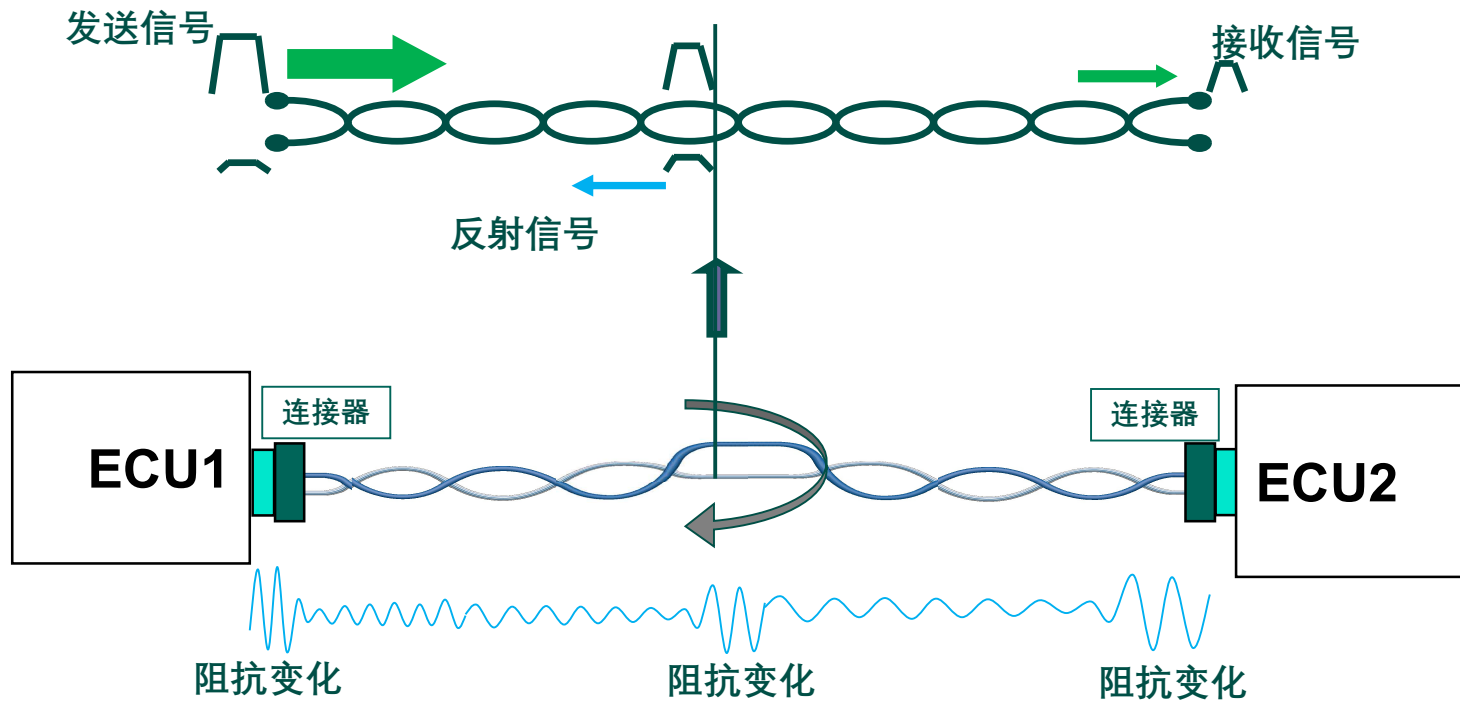
f is the frequency in MHz; $1 \leq f \leq 600$



- 插入损耗与导线长度、连接器数量相关
- 长度15m和4个连接器条件下，插入损耗是频率的函数
- 在线束一端输入测试信号
- 在线束另一端接收测试信号，即：Sdd12或Sdd21
- 计算各频点的接收信号与注入信号的比值（dB）

回波损耗 (RL) 测试原理

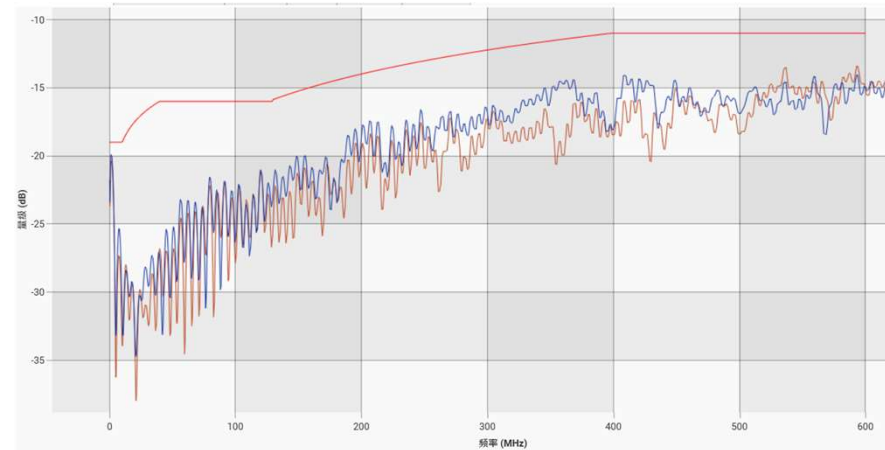
- 线束阻抗变化 (不均匀) \rightarrow 信号反射 \rightarrow 接收端信号衰减



OPEN TC9 SCC 回波损耗 (RL)

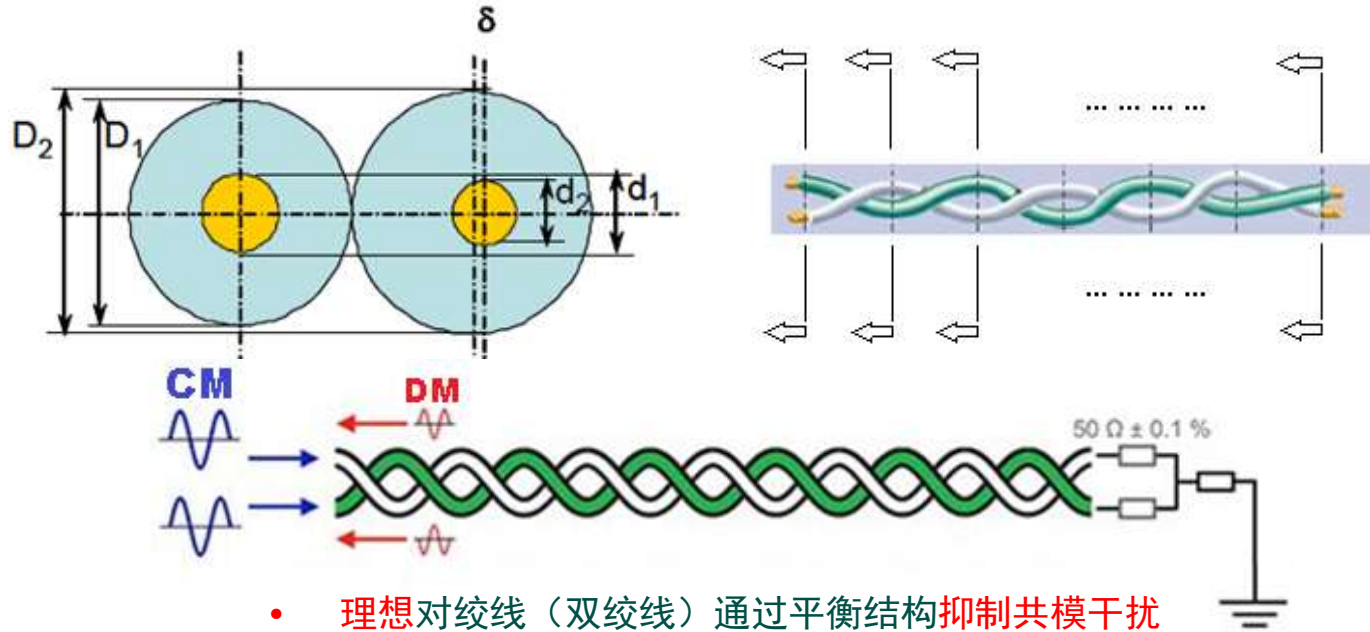
$$\text{Return Loss} \geq \begin{cases} 19 & 1 \leq f < 10 \\ 24 - 5\log_{10}f & 10 \leq f < 40 \\ 16 & 40 \leq f < 130 \\ 37 - 10\log_{10}f & 130 \leq f < 400 \\ 11 & 400 \leq f \leq 600 \end{cases} \text{ dB}$$

where
 f is the frequency in MHz; $1 \leq f \leq 600$



- 回波损耗是频率的函数
- 在线束一端输入测试信号
- 在线束**同一端**接收反射信号，即：Sdd11和Sdd22
- 计算各频点的反射信号与注入信号的比值 (dB)
- 线束**两端**分别各测一组数据

纵向转换损耗（LCL）测试原理



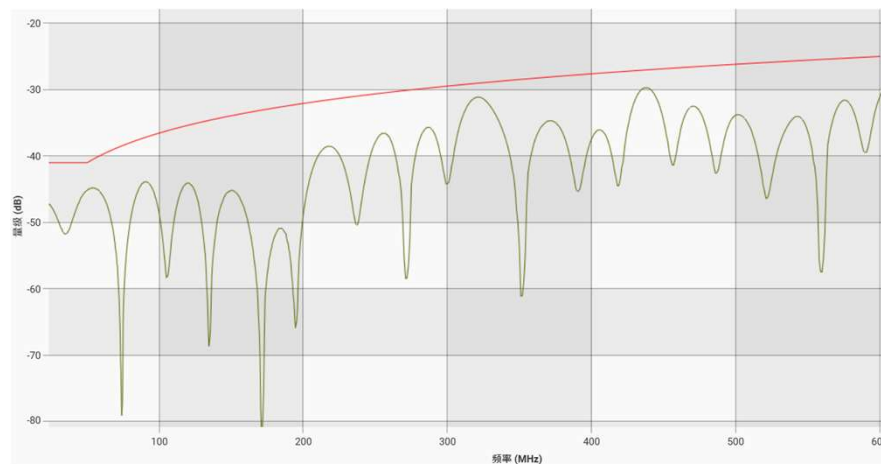
- 理想对绞线（双绞线）通过平衡结构抑制共模干扰
- 实际线对结构上存在不平衡与不对称
- 输入信号为共模，反射信号变为差模
- 接收端信噪比下降

OPEN TC9 SCC 纵向转换损耗 (LCL)

$$\text{ConversionLoss}(f) \geq \begin{cases} 50 & 10 \leq f \leq 80 \\ 72 - 11.51 \log_{10} f & 80 < f \leq 600 \end{cases} \text{ dB}$$

where

f is the frequency in MHz; $10 \leq f \leq 600$



- 纵向转换损耗(又称为: 近端不平衡衰减)是频率的函数
- 在线束一端输入共模信号
- 在线束同一端接收差模反射信号, 即: Sdc12或Sdc21
- 计算各频点的反射信号与输入信号的比值 (dB)
- 线束两端分别各测一组数据

OPEN TC9 SCC 纵向转换~~传送~~损耗 (LCTL)

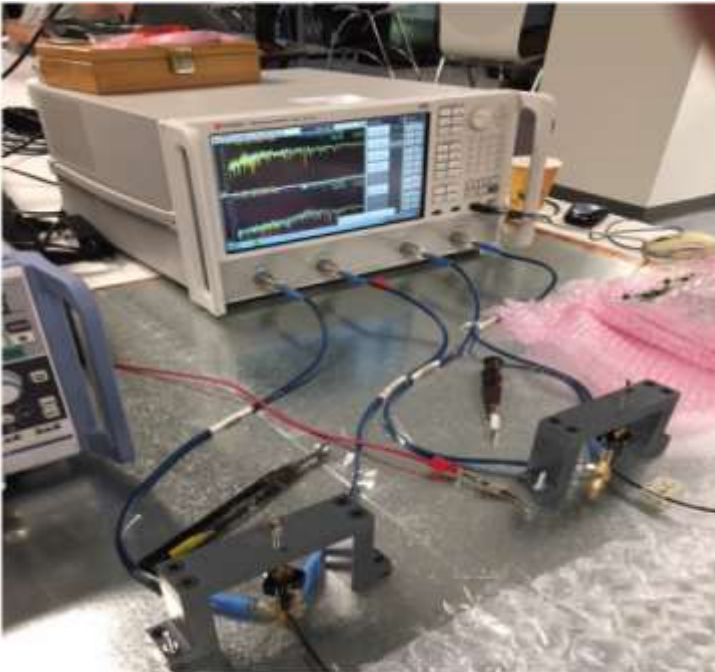


- 纵向转换~~传送~~损耗 (又称为：远端不平衡衰减)
- 在线束一端输入~~共模~~信号
- 在线束~~另一端~~接收~~差模~~反射信号，即： S_{dc12} 和 S_{dc21}
- 计算各频点的输出与输入信号的比值 (dB)
- 线束两端分别各测一组数据

“纵” “横” 捭阖

- 纵向转换（传送）损耗（LCL, LCTL）= $S_{dc} = DM/CM = (CM/DM)^{-1}$
- 横向转换（传送）损耗（TCL, TCTL）= $S_{cd} = CM/DM = (DM/CM)^{-1}$
- “纵”与“横”互为倒数， $LCL=TCL^{-1}$ 、 $LCTL=TCTL^{-1}$
- dB值相差1个负号，绝对值相等

实验室测试 与 测试设备



矢量网络分析仪

简称：网分、矢分

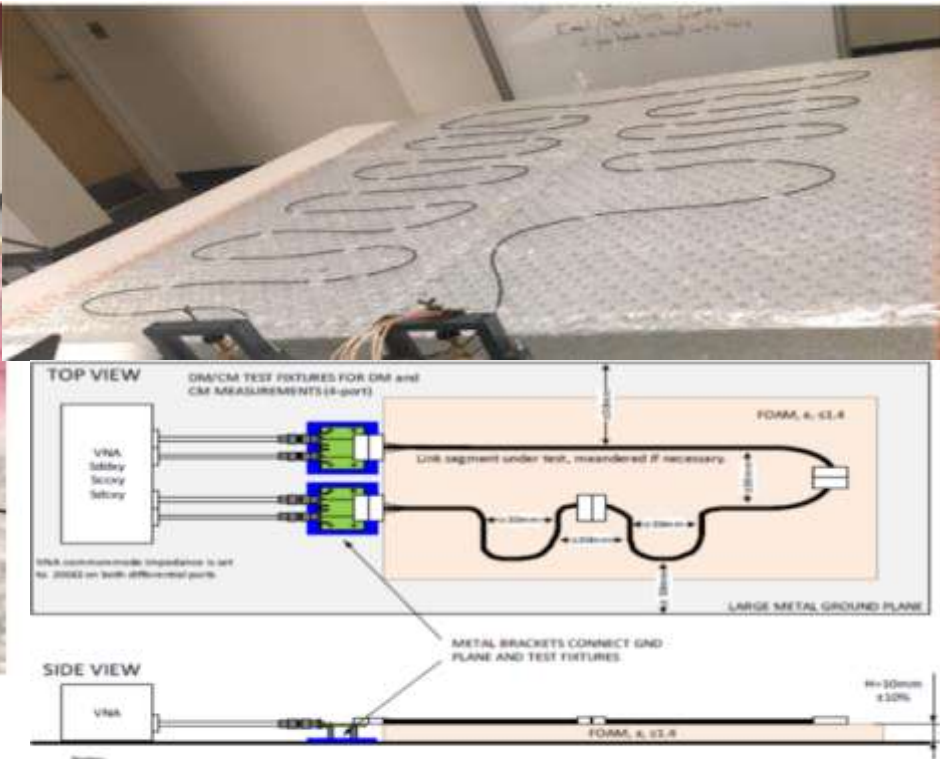


Figure 97A-1—Four-port test set-up

“测试应尽可能接近安装在车内的真实应用”

实验室能否满足？

Channel and Components Requirements for 1000BASE-T1 Link Segment Type A (UTP) v2.0

The Standalone Communication Channel and Environment System that are measured shall be manufactured as close to the real application as installed within the vehicle as possible. As usually there is a large diversity of wiring harnesses among an OEM, the DUT can be a simplified generic representation of the complete wiring harness in collaboration with the involved departments.

Channel and Components Requirements for 1000BASE-T1 Link Segment Type A (STP) v1.9

The WCC, SCC and ES that are measured shall be manufactured as close as possible to the real application as installed within the vehicle. As usually there is a large diversity of wiring harnesses among an OEM, the DUT can be a simplified generic representation of the complete wiring harness in collaboration with the involved departments. To allow comparing the electrical properties of components from different suppliers and comparing the measurement results of different test houses, Annex A.3 shows the reference communication channel.

必要但不充分的 实验室测试

- 现场测试合格 \Rightarrow 实验室测试合格（反之，不一定）
- 现场测试不合格 \Leftrightarrow 实验室测试不合格（即使合格，也无意义）

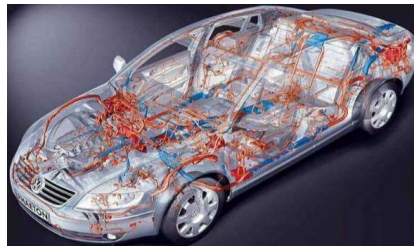
现场测试 与 测试设备



现场测试

→ 线束厂（生产线）— 电测台

→ 主机厂（车内）— 手持仪表



解决方案1

- 生产现场测试

“大象装进冰箱”——网分装进电测台

电测台

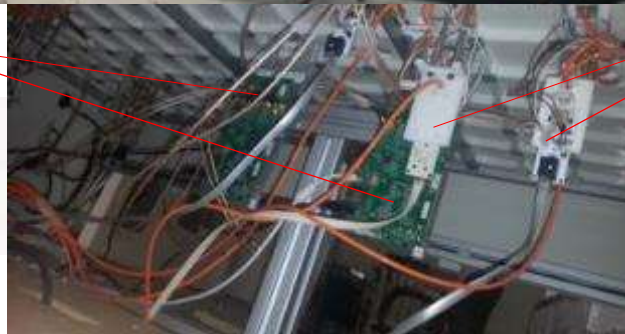
被测线束

测试结果显示

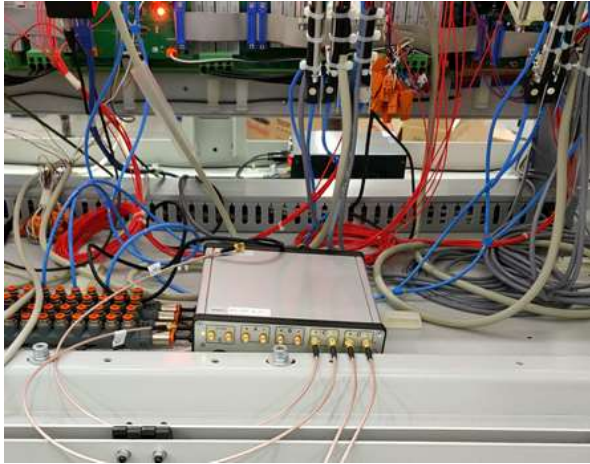


安装在测试台下的
模块化 矢量网分

高频测试接口 (holder)



模块化 多端口矢量网分



- 满足OPEN对网分的要求
- **模块化**，便于安装于电测台
- 单机**8端口**（同时测试2根SPE缆）
- 双机**16端口**（同时测试4根SPE缆）
- 多机协同，**端口数无上限**
- **成本低**
- **工效高**

OPEN对网分的要求

参数	指标
扫频起始频率fstart	300kHz
扫频停止频率fstop	1GHz
扫频类型	对数
扫频点数	1600
输出功率	最小-10dB
测量带宽	≤500Hz
端口参考阻抗（差模）	100 Ω
端口参考阻抗（共模）	25 Ω 用于连接器测试和MDI测试头 200 Ω 用于其他所有测试
数据校准	校准套件
平均功能	可以使用，但不强制
平滑功能	不使用

MMVNA-200型
模块化 矢量网分



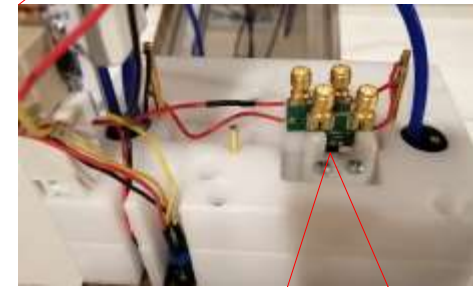
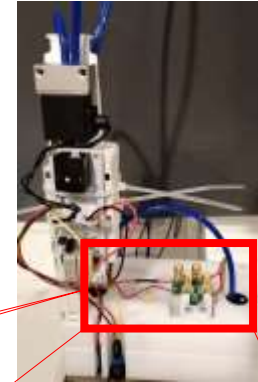
电测台高频测试接口 (holder)



两组 以太网线对



弹簧触针

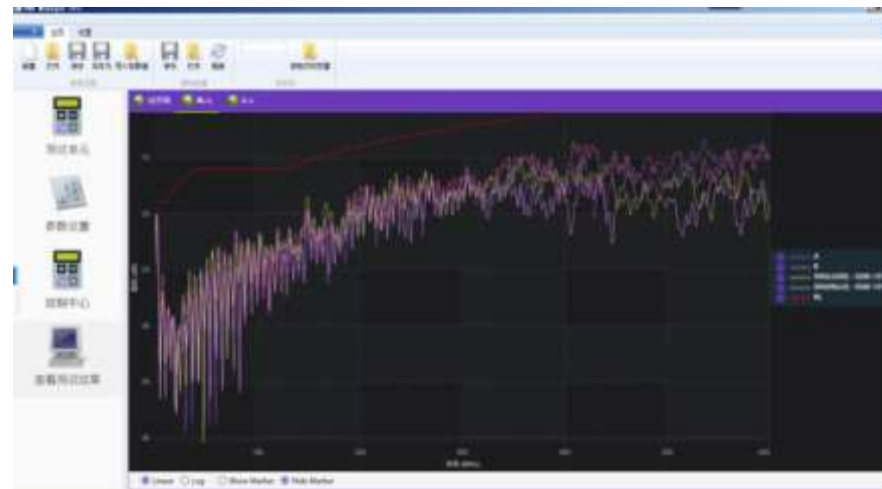


模块 (Holder) 下方的SMA接口

配套控制软件



- 支持定制
- 支持二次开发
- 面向一线操作工人使用
- 支持扫描枪和标签打印
- 后台保存数据可查阅



解决方案 2

- 车内线束 装配/维修 测试



整机线束 装配/维修 手持仪表



- 手持仪表，适合狭小现场空间内操作
- 定制测试接口
- 内置OPEN标准，评估线对传输性能
- 快速定位线对开路/短路位置

手持仪表+定制接口适配器



- 单通道H-MTD®



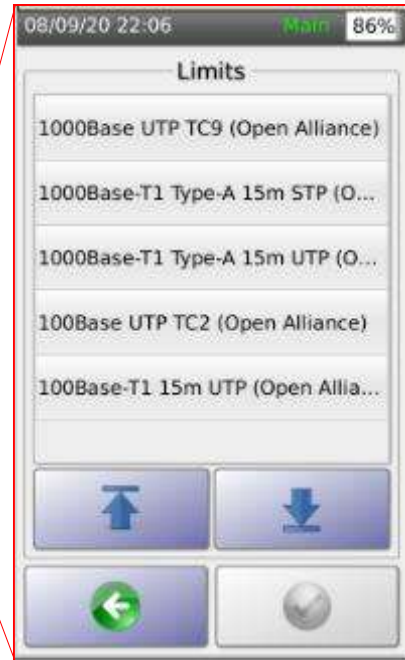
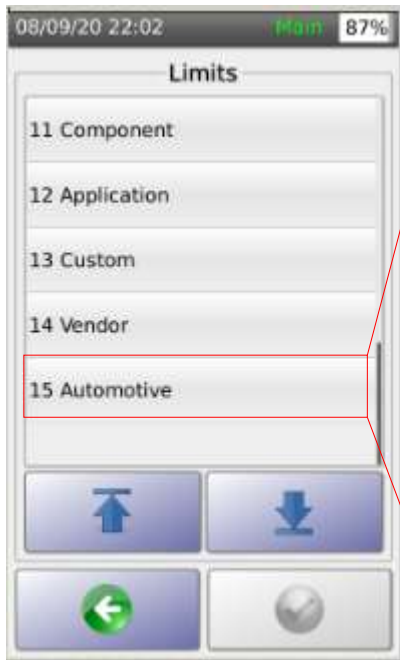
- 双通道H-MTD®



- 四通道H-MTD®

- TESTPRO型 手持仪表

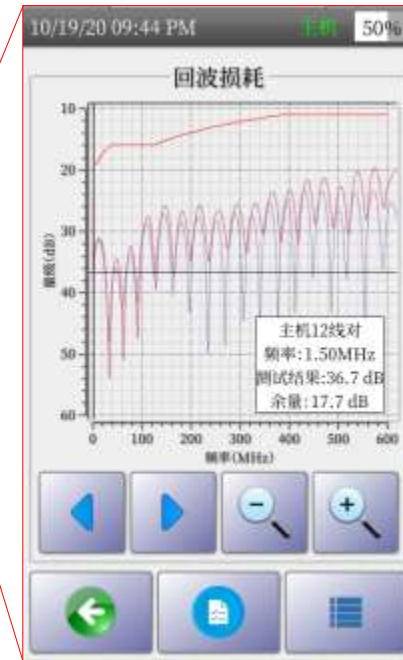
内置OPEN标准



OPEN TC2/TC9 测试标准



TC9 测试结果



典型应用1：快速测试“参考通信信道”

The WCC, SCC and ES that are measured shall be manufactured as close as possible to the real application as installed within the vehicle. As usually there is a large diversity of wiring harnesses among an OEM, the DUT can be a simplified generic representation of the complete wiring harness in collaboration with the involved departments. To allow comparing the electrical properties of components from different suppliers and comparing the measurement results of different test houses, Annex A.3 shows the reference communication channel.

来自不同供应商的组件与参考通信信道进行电气特性比对。

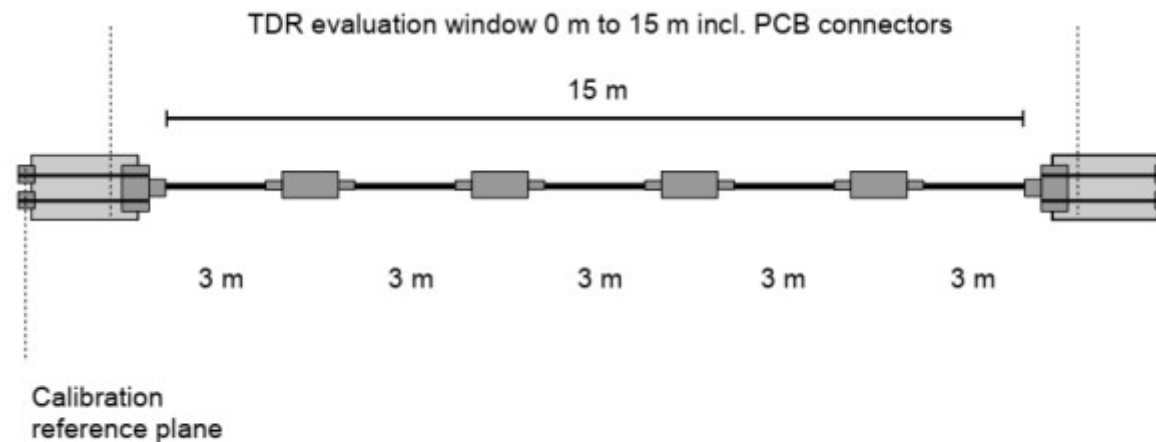


Figure A.3-1: Reference communication channel

实验室设备与手持仪表测试结果

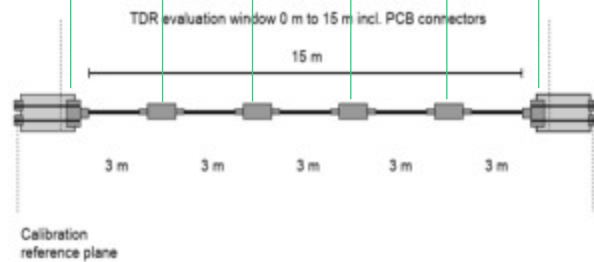
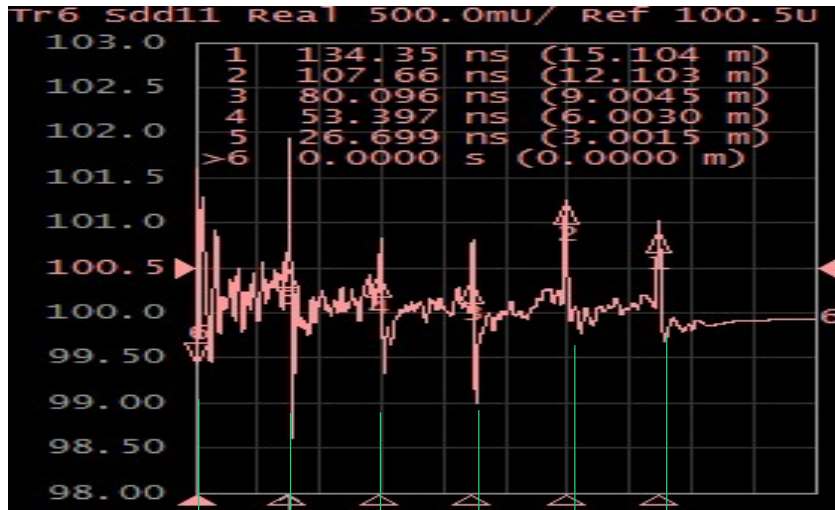


Figure A.3-1: Reference communication channel

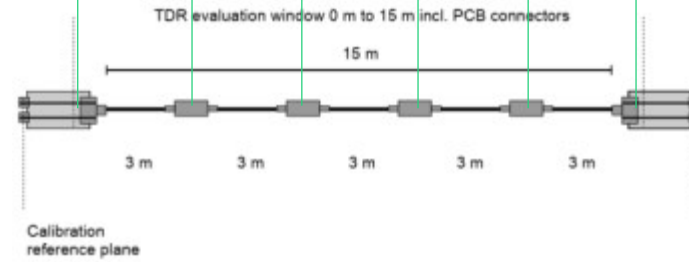
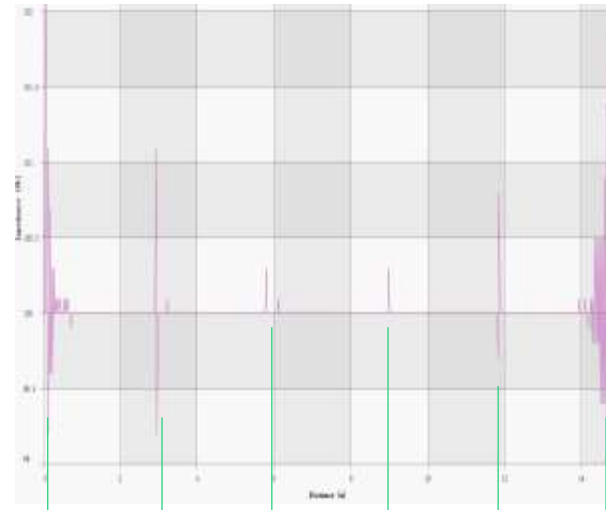
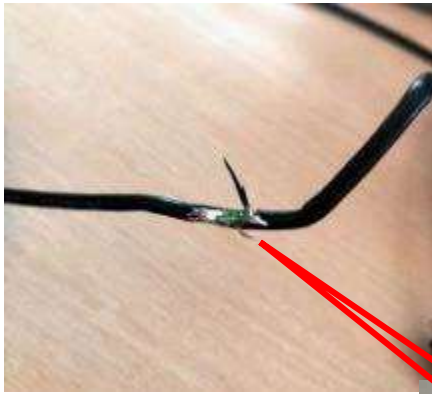


Figure A.3-1: Reference communication channel

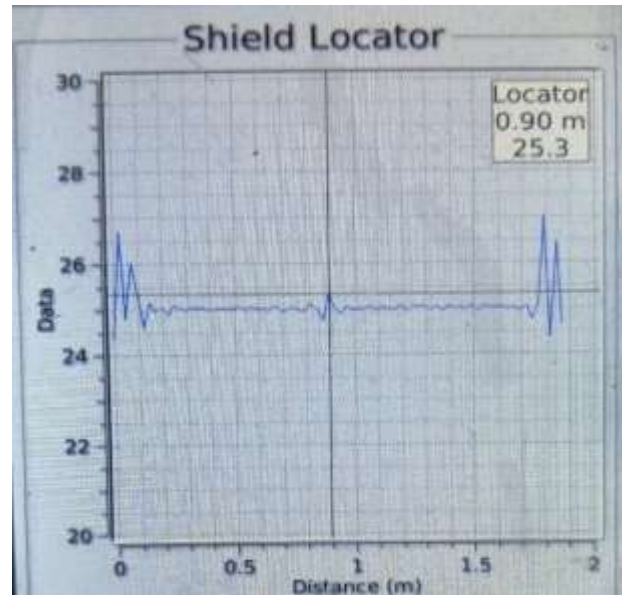
典型案例2：汽车线束故障定位



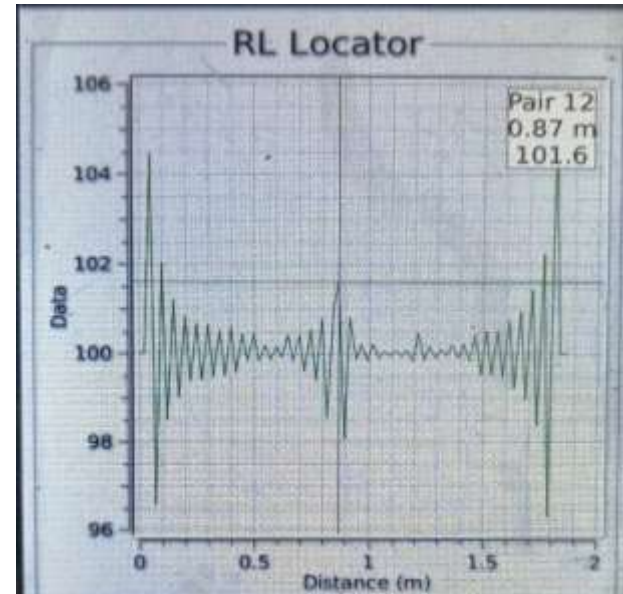
- 一根单线对链路段样品
- 样品长度约1.9m
- 约0.9m处屏蔽层有破损



测试结果



屏蔽层故障定位
在0.87~0.90m处有异常

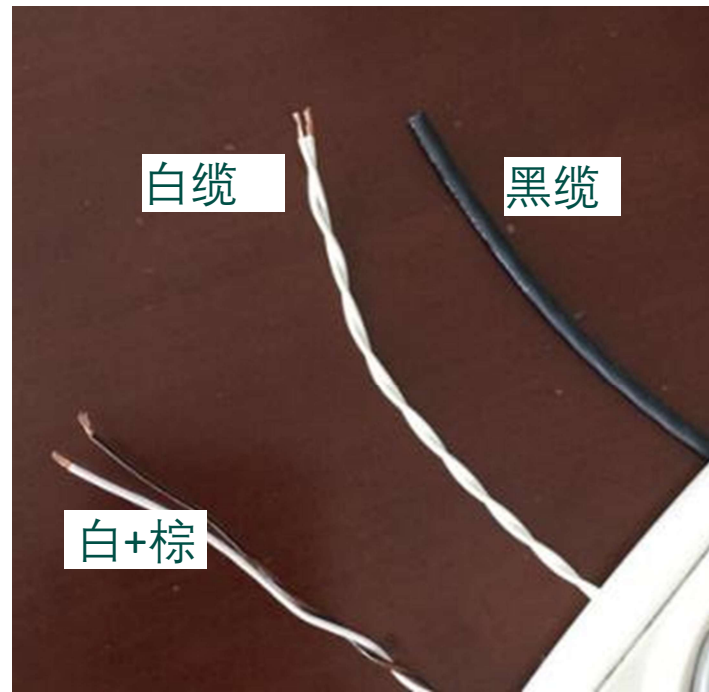


线对故障定位
因屏蔽层损坏，导致线对阻抗/回波损耗在
0.85~0.87m处有异常波动

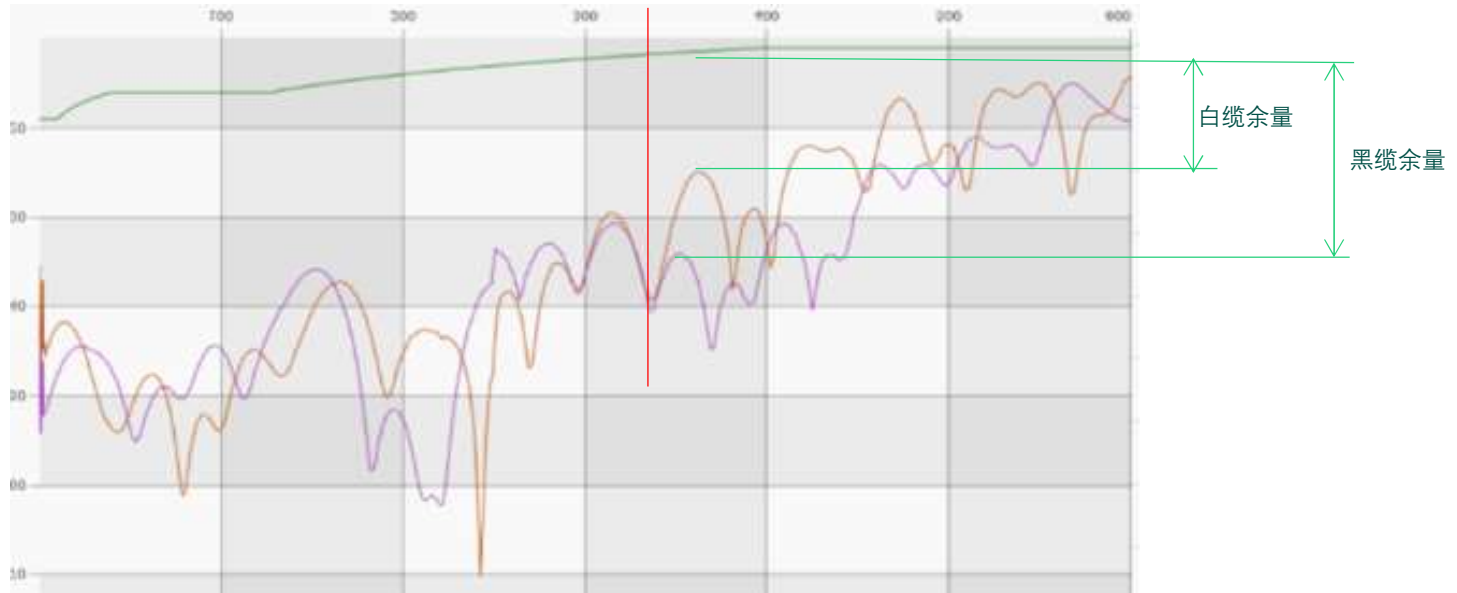
典型案例3：快速验证 线材质量



- 使用裸线测试适配器（模块）
- 支持同时连接4种样线
- 同时得到4组数据

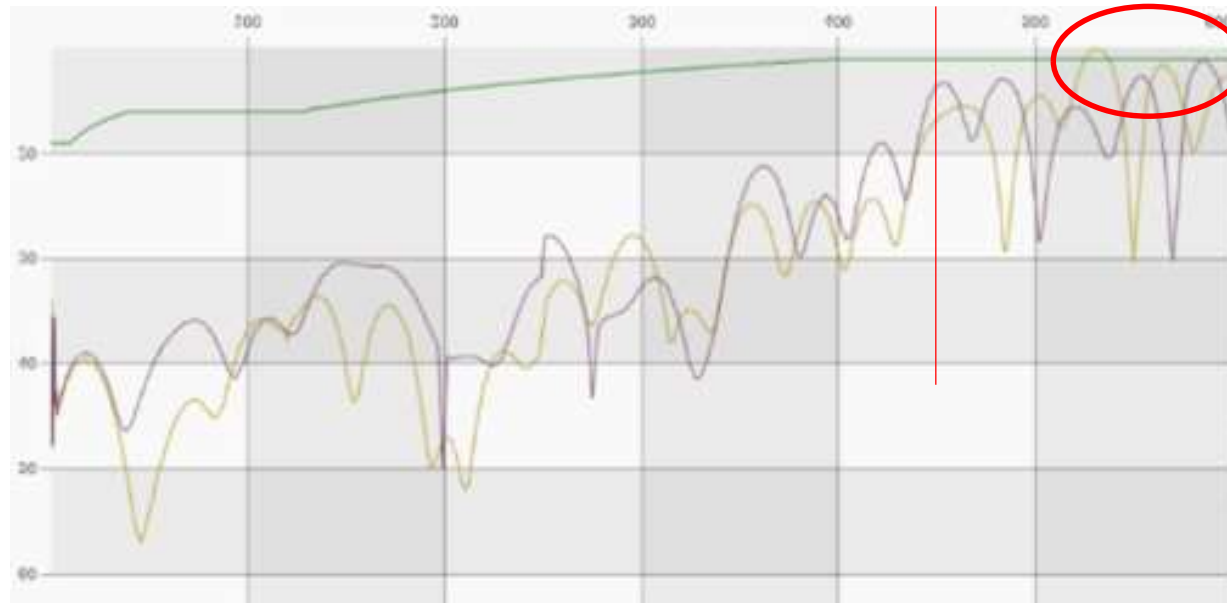


黑 与 白 回波损耗比较



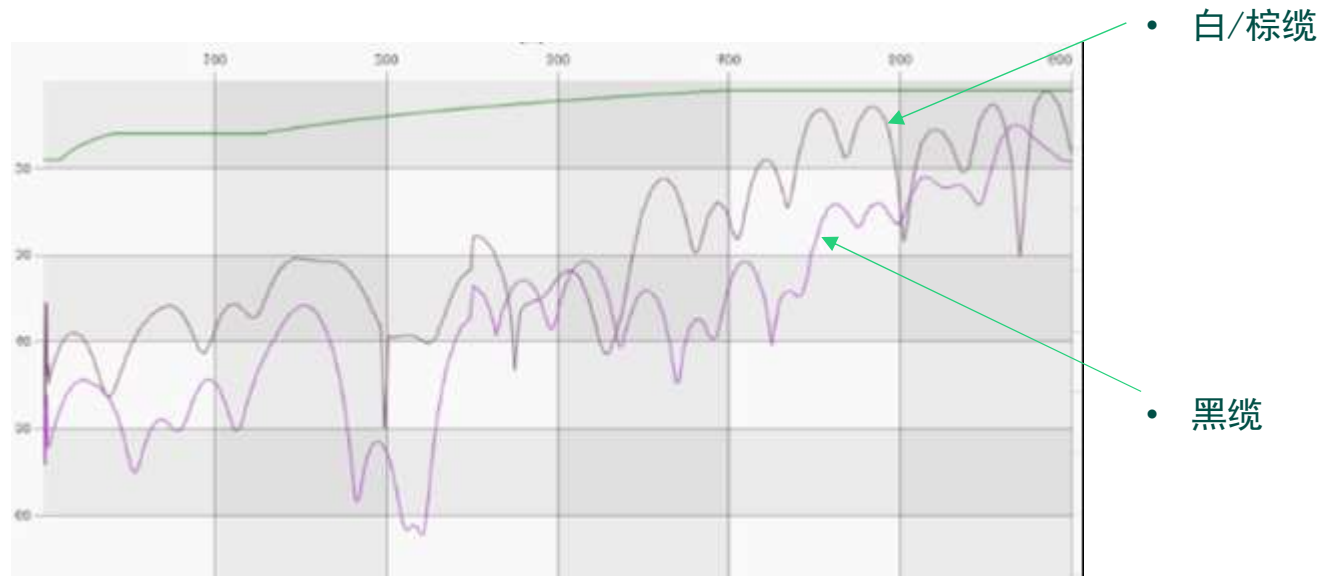
- 1MHz-600MHz，两根缆都有足够余量
- 1MHz-330MHz，两根缆性能相近
- 330MHz-600MHz，**黑缆比白缆性能更好**（余量更大）

两根 白+棕 回波损耗比较



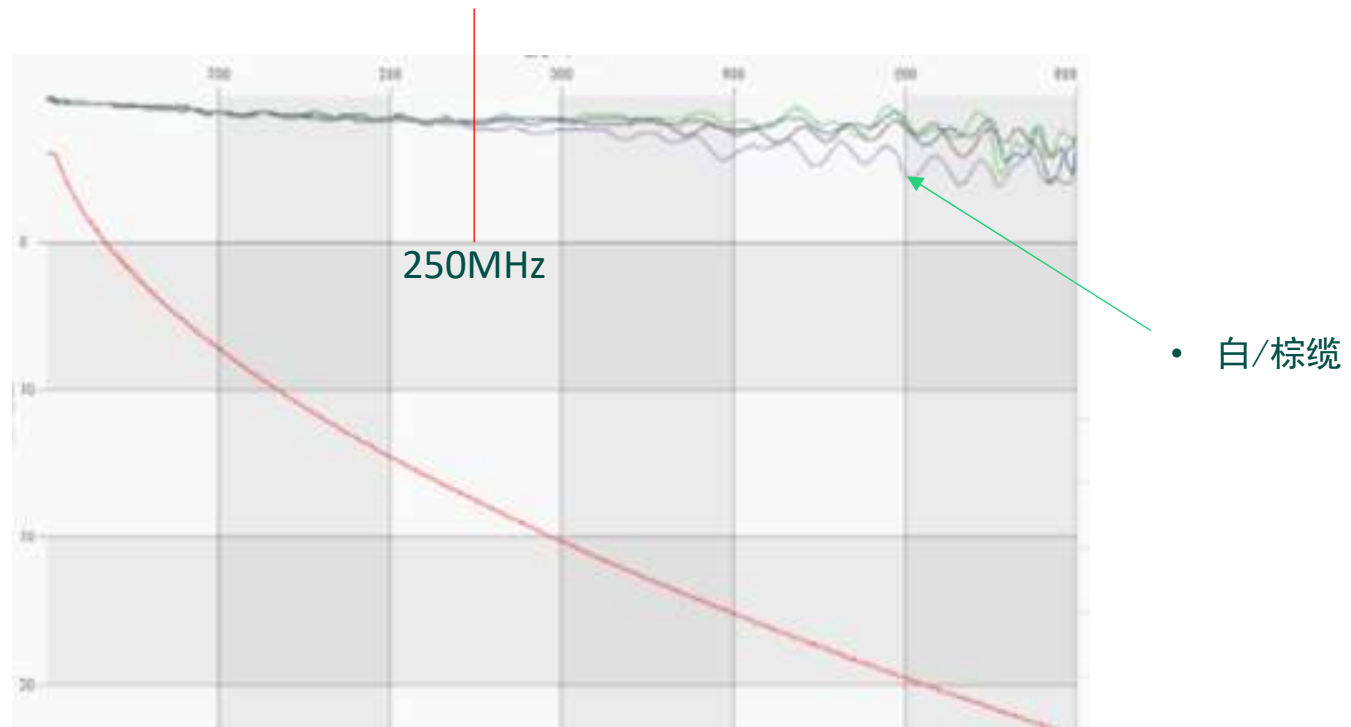
- 1MHz-600MHz, 两根缆性能相近
- 超过450MHz后, 余量均变小
- 约510MHz后, 一根缆**超标**

黑 与 白+棕 回波损耗比较



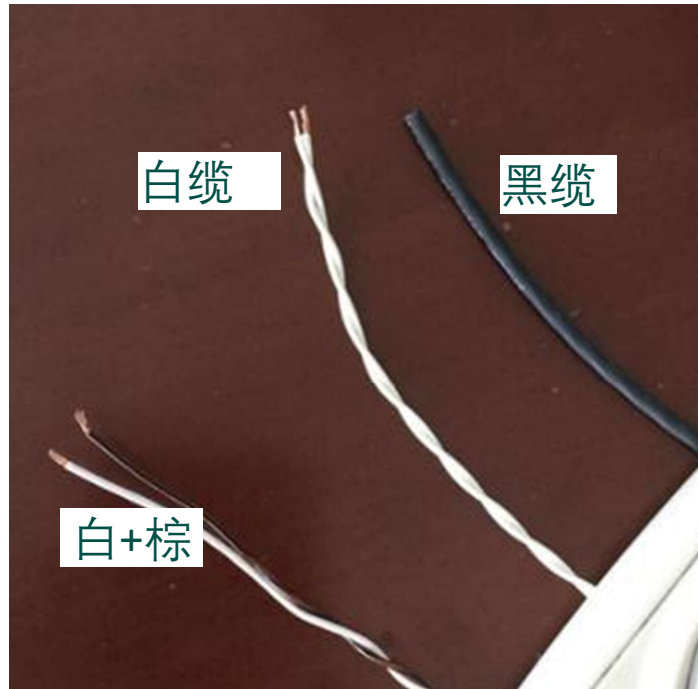
- 1MHz-600MHz, 黑缆 比 白/棕缆 有更多余量

四根缆的插入损耗比较




- 在250MHz后，能看出插入损耗的指标差异。

线材质量结论



- 黑缆性能最好
- 白缆性能居中
- 白+棕性能最差

实验室设备的用途：标定现场设备（MMVNA或TESTPRO）


 National Metrology Centre
A*STAR

National Metrology Centre (NMC)
1 Science Park Drive
Singapore 118221
Tel: (65) 6279 1900 Fax: (65) 6279 1992
www.a-star.edu.sg/nmc

NETWORK ANALYZER & MMVNA MEASUREMENT ANALYSIS

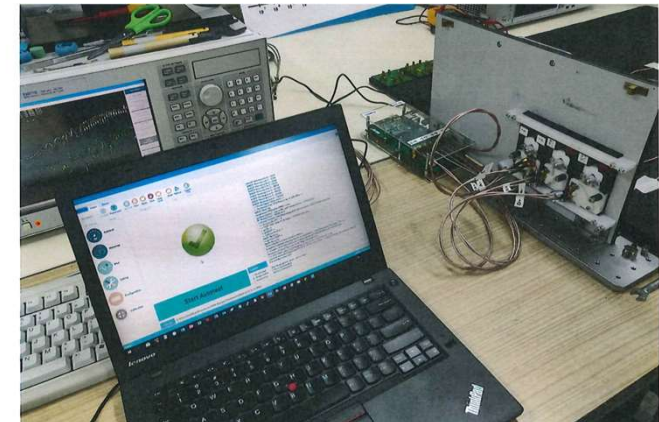
Using EMDEP Test Fixture

Abstract
Measurement Correlation for a Single Twisted Pair Automotive Cable is done between KeySight Network Analyzer and AEM MMVNA. The Test Setup uses EMDEP Test Table Fixture with two Single Twisted Pair Cables

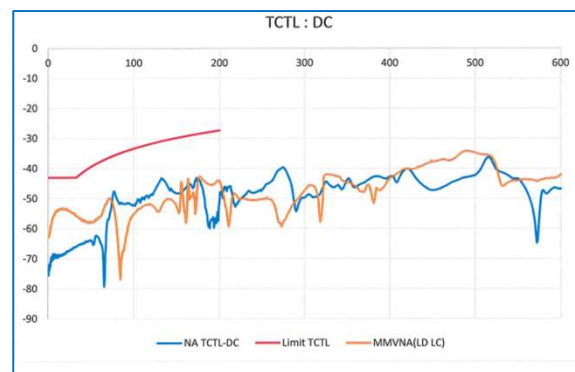
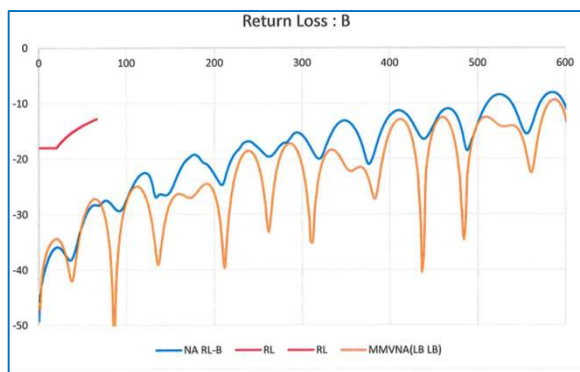
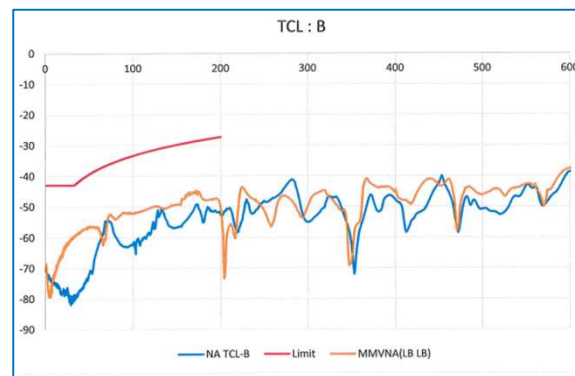
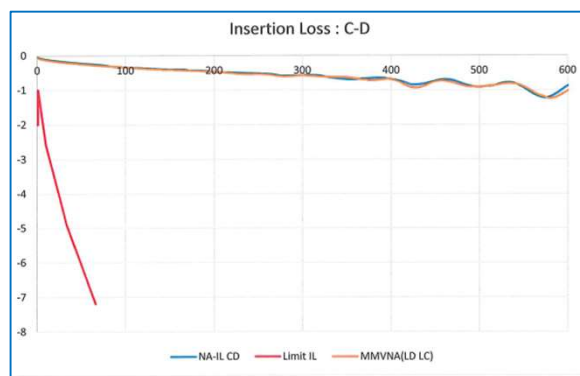
 NATIONAL METROLOGY CENTRE
1 Science Park Drive
Singapore 118221

Prepared By: Teo Ah Ban Ivan
National Metrology Centre, Singapore

Abstract
Measurement Correlation for a Single Twisted Pair Automotive Cable is done between KeySight Network Analyzer and AEM MMVNA. The Test Setup uses EMDEP Test Table Fixture with two Single Twisted Pair Cables



MMVNA 与 E5071C 比对



总结

- 不测试，就无法管理；
- 不管理，就无法改进！
- AEM提供了必要且充分的现场测试方案。

采用AEM方案的部分厂商

• APTIV •



komax

LEONI

Rosenberger



■ WEE TECH

AEM