

中华人民共和国通信行业标准

YD/T 2019.3—2017

基于公用电信网的宽带客户网络 设备测试方法 第3部分：通用介质的有线联网设备

Test method for equipments in broadband customer network based on
telecommunication network—

Part 3: Unified high-speed wire-line based home networking device

2017-04-12 发布

2017-07-01 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

目 次

前言.....	III
1 范围.....	1
2 缩略语.....	1
3 测试环境和工具要求.....	2
3.1 通用要求.....	2
3.2 衰减器、滤波器和适配器.....	2
3.3 噪声仿真.....	4
3.4 频谱分析仪.....	5
4 测试配置.....	6
4.1 陷波模板.....	6
4.2 流量配置.....	6
5 功能测试.....	7
5.1 VLAN 测试.....	7
5.2 IGMP 测试.....	8
5.3 广播功能测试.....	9
5.4 IPv6 测试.....	9
5.5 IPv6 MLD 测试.....	10
6 基本速率测试.....	10
6.1 不同衰减情况下 SISO 的 UDP 点到点单向吞吐量测试.....	10
6.2 不同衰减情况下 SISO 的 TCP 点到点单向吞吐量测试.....	12
6.3 不同衰减不同噪声情况下 SISO 的 UDP 点到点单向吞吐量测试.....	12
6.4 不同衰减不同噪声情况下 SISO 的 TCP 点到点单向吞吐量测试.....	14
6.5 无噪声情况下 SISO 的 UDP 双向吞吐量测试.....	14
6.6 无噪声情况下 SISO 的 TCP 双向吞吐量测试.....	15
6.7 有背景流情况下 SISO 的 UDP 双向吞吐量测试.....	16
6.8 有背景流情况下 SISO 的 TCP 双向吞吐量测试.....	16
6.9 不同衰减情况下 MIMO 的 UDP 点到点单向吞吐量测试.....	17
6.10 不同衰减情况下 MIMO 的 TCP 点到点吞吐量测试.....	18
6.11 不同衰减不同噪声情况下 MIMO 的 UDP 点到点吞吐量测试.....	18
6.12 不同衰减不同噪声情况下 MIMO 的 TCP 点到点吞吐量测试.....	20
6.13 无噪声情况下 MIMO 的 UDP 双向吞吐量测试.....	20
6.14 无噪声情况下 MIMO 的 TCP 双向吞吐量测试.....	21
6.15 有背景流情况下 MIMO 的 UDP 双向吞吐量测试.....	22

6.16	有背景流情况下 MIMO 的 TCP 双向吞吐量测试	22
7	邻居网络测试	23
7.1	邻居网络条件下的速率测试 (SISO)	23
7.2	邻居网络条件下的准入测试 (SISO)	28
7.3	邻居网络条件下的速率测试 (MIMO)	29
7.4	邻居网络条件下的准入测试 (MIMO)	34
8	PSD 测试	35
8.1	SISO PSD 测试	35
8.2	MIMO PSD 测试	36
9	抗噪声测试	38
9.1	SISO/MIMO 抗脉冲噪声测试	38
9.2	抗脉冲噪声开关能力测试	39
10	性能测试	40
10.1	时延测试	40
10.2	突发流量测试	40
10.3	长期稳定性测试	41
10.4	单向吞吐量测试	41
10.5	双向吞吐量测试	42
11	多节点性能测试	42
11.1	SISO UDP 性能测试	42
11.2	SISO TCP 性能测试	44
11.3	MIMO UDP 性能测试	44
11.4	MIMO TCP 性能测试	45
	参考文献	47

前 言

YD/T 2019《基于公用电信网的宽带客户网络设备测试方法》分为以下几个部分：

- 第1部分：网关；
- 第2部分：企业用宽带客户网关；
- 第3部分：通用介质的有线联网设备。

本部分是 YD/T 2019 的第3部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本部分由中国通信标准化协会提出并归口。

本部分起草单位：中国信息通信研究院、中国电信集团公司、武汉烽火科技集团有限公司。

本部分主要起草人：程 强、李俊玮、王 波、王志军。

基于公用电信网的宽带客户网络设备测试方法

第 3 部分：通用介质的有线联网设备

1 范围

本部分规定了通用介质有线联网设备的功能测试、基本速率测试、邻居网络测试、PSD 测试、抗噪声测试、性能测试、多节点性能测试等。

本部分适用于公用电信网环境下的通用介质有线联网设备，专用电信网的设备也可参照使用。

2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

AC	交流	Alternating Current
AWGN	加性高斯白噪声	Additive white Gaussian noise
BNC	BNC 连接器	Bayonet Neill-Concelman connector
BW	带宽	Bandwidth
CRC	循环冗余校验码	Cyclical Redundancy Check
DSCP	差分服务代码点	Differentiated Services Code Point
DUT	被测设备	Device Under Test
EMI	电磁干扰	Electro Magnetic Interference
FM	调频	Frequency Modulation
IGMP	互联网组管理协议	Internet Group Management Protocol
IP	互联网协议	Internet Protocol
IPv4	互联网协议第四版	Internet Protocol version 4
IPv6	互联网协议第六版	Internet Protocol version 6
L	火线（相线）	Live Wire
MAC	媒质接入控制	Medium Access Control
MLD	组播侦听发现	Multicast Listener Discover
MIMO	多入多出	Multiple-Input Multiple-Output
MODEM	调制解调器	Modulator-Demodulator
MTU	多租户单元	Multi-tenant Unit

N	中性线	Neutral Wire
NN	邻居网络	Neighbouring Network
PE	保护地线	Protection Earth
PLC	电力线通信	Powerline Communications
PLR	丢包率	Packet Loss Rate
PSD	功率谱密度	Power Spectral Density
RBW	分辨率带宽	Resolution Band Width
RF	射频	Radio Frequency
RMS	均方根	Root Mean Square
SISO	单入单出	Single-Input Single-Output
TCP	传输控制协议	Transmission Control Protocol
UDP	用户数据报协议	User Datagram Protocol
VBW	视频带宽	Video Band Width
VLAN	虚拟局域网	Virtual Local Area Network

3 测试环境和工具要求

3.1 通用要求

本部分所使用的测试工具应覆盖 1MHz~100MHz 的频率范围。
如未特别说明，本部分所使用的衰减器、同轴电缆、分配器和合路器的特征阻抗均为 50Ω。

3.2 衰减器、滤波器和适配器

3.2.1 可变衰减器

可变衰减器是用于降低输入信号功率的无源设备。可变衰减器性能应满足如下要求：
——衰减范围：8 dB ~100dB，步长为 1dB；
——频率响应：± 1.0 dB（1MHz ~ 100MHz）。

3.2.2 分配器

本部分中分配器为 1:2 的等分功率分配器，也称为 3dB 功分器。

3.2.3 滤波器

滤波器是用于将 AC 供电中的无用信号移除的无源设备。本部分中的滤波器通常使用插头插在交流供电端，同时提供一个插座用于提供“干净”的交流电用于本测试。

3.2.4 PLC 同轴适配器

PLC 同轴适配器用于连接电力线到同轴电缆，通常也提供 AC 滤波的功能。

3.2.5 通用 PLC 分离器

通用 PLC 分离器是将在电力线上传输的信号转换到三个同轴电缆（分别对应于火线 L、中性线 N 和保护地线 PE）中的设备。该设备的原理如图 1 所示。

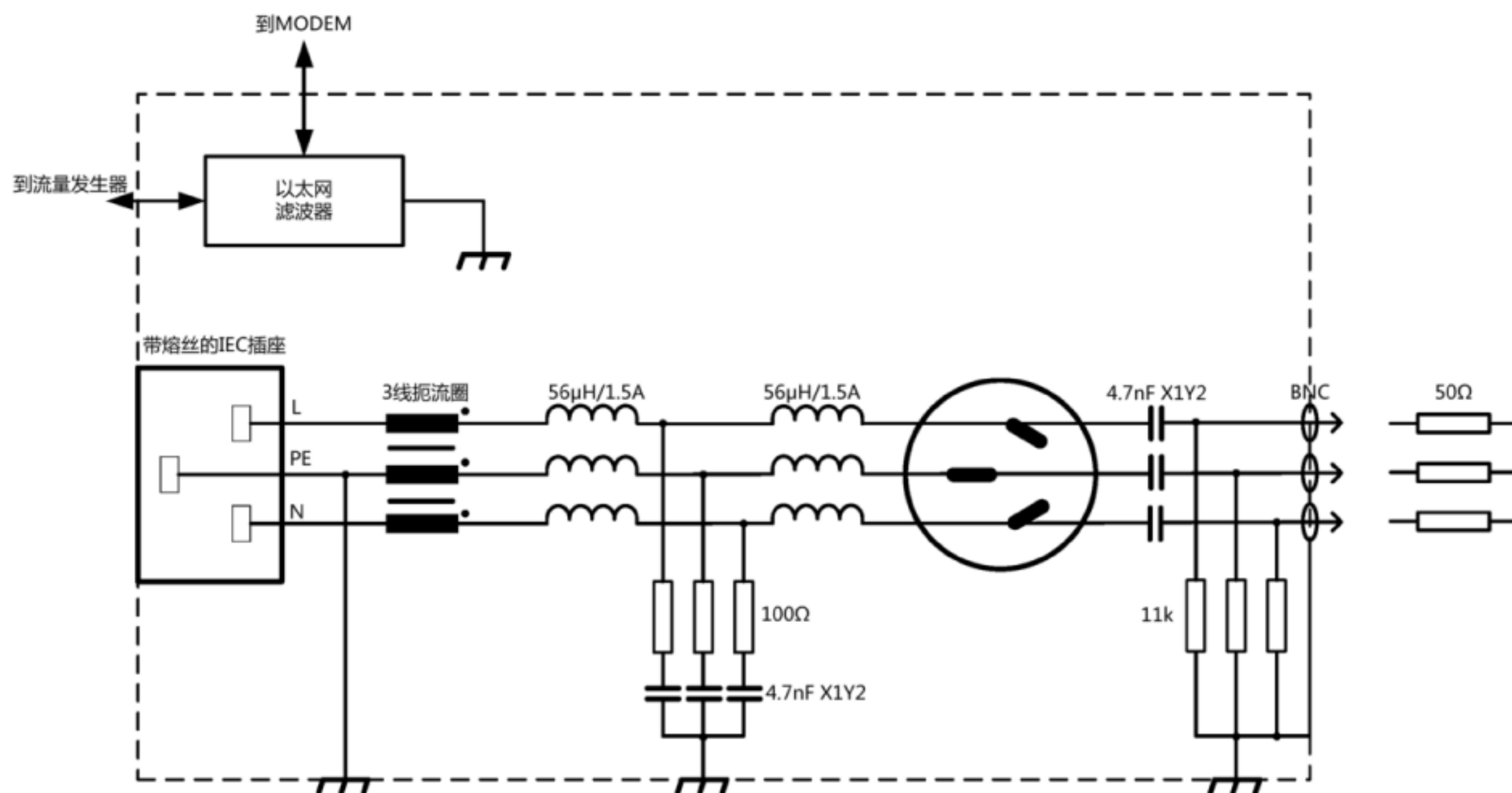


图 1 PLC 信号分离器原理

测试中在使用该分离器前，需要对其幅频特性进行校准。

3.2.6 信号组合器

本部分中的信号组合器是用于将产生的噪声信号注入到传输正常信号的同轴电缆中的设备。

图 2 给出了该设备实现的一个例子。图 2 中，端口 A 和端口 B 连接在线路中，端口 C 连接到噪声源。每个端口之间存在 6dB 的衰减。

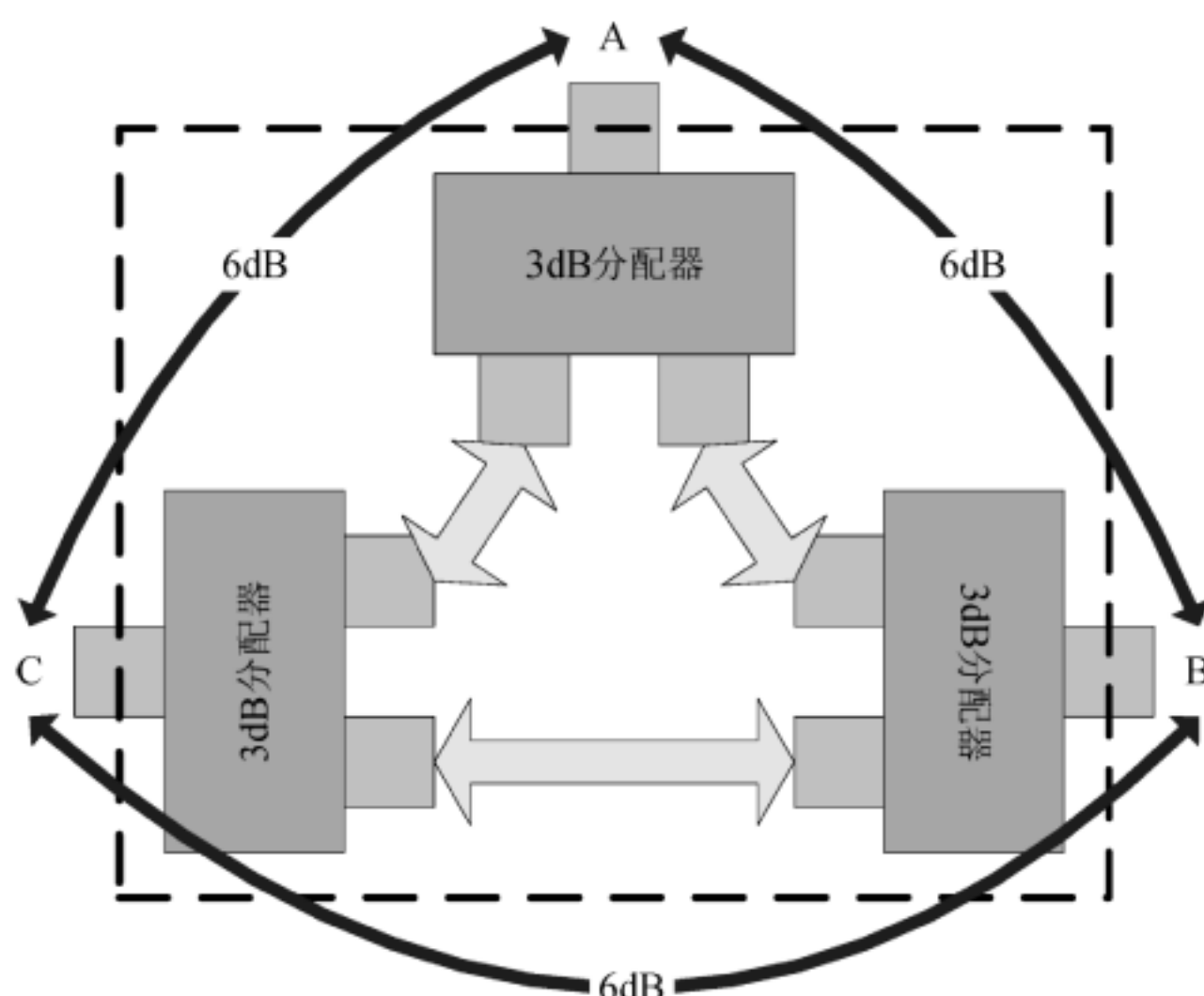


图 2 PLC 信号组合器示意

3.3 噪声仿真

3.3.1 概述

噪声仿真仪应能够仿真表 1 中的噪声类型。

表 1 噪声类型

噪声	名称	描述
N1	白噪声	加性高斯白噪声，要求见 3.3.2
N2	窄带噪声	调频广播噪声，要求见 3.3.3
N3	非周期平稳噪声	突发性脉冲噪声，要求见 3.3.4
N4	周期平稳噪声	同步突发噪声，要求见 3.3.5

3.3.2 Noise 1 (N1): 加性高斯白噪声

加性高斯白噪声的特性:

- 幅度: -100dBm/Hz ;
- 频带: $2\text{MHz}\sim 100\text{MHz}$ 。

3.3.3 Noise 2 (N2): 窄带噪声

窄带噪声的特性如图 3 所示，具体要求如下:

- 信号: 正弦信号;
- 中心频率: 20MHz ;
- 幅度: 0.5Vpp ;
- FM 调制带宽: 100kHz 。

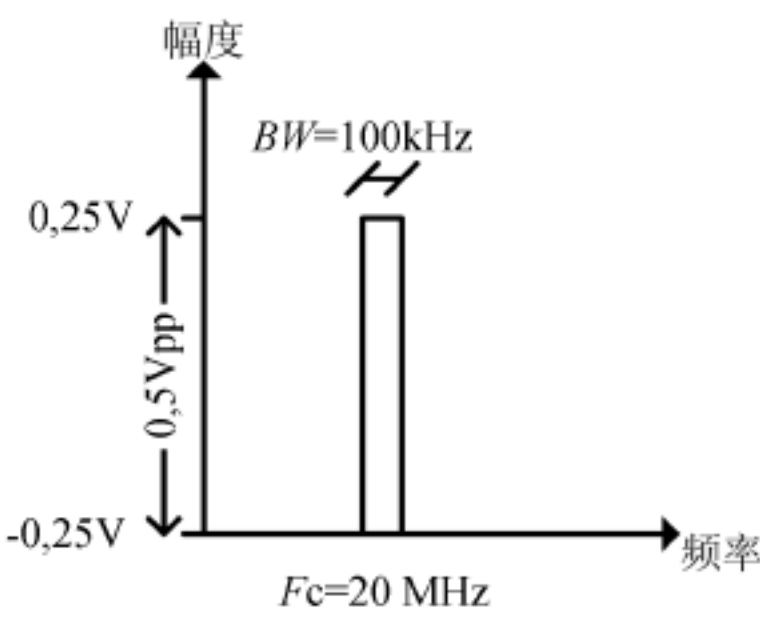


图 3 窄带噪声

3.3.4 Noise 3 (N3): 非周期稳态噪声

非周期稳态噪声特性如图 4 所示，具体要求如下:

- 信号: 锯齿波;
- 频率: 100kHz ;
- 幅度: 0.5Vpp ;
- 突发持续时间: 10 个锯齿波周期;
- 突发周期: 3ms 。

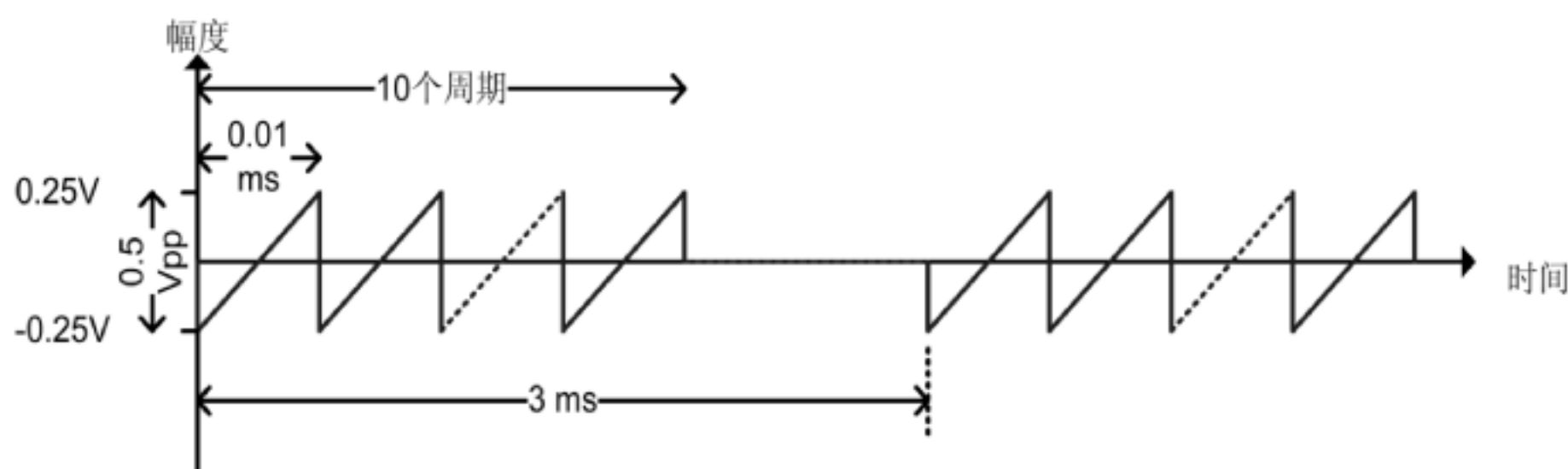


图 4 非周期稳态噪声

3.3.5 Noise 4 (N4): 周期稳态噪声

周期稳态噪声的特性如图 5 所示，具体要求如下：

- 信号：锯齿波；
- 频率：100kHz；
- 幅度：0.5Vpp；
- 突发持续时间：10 个锯齿波周期；
- 突发周期：0.5 个 AC 周期，即在 50Hz 交流电下为 10ms。

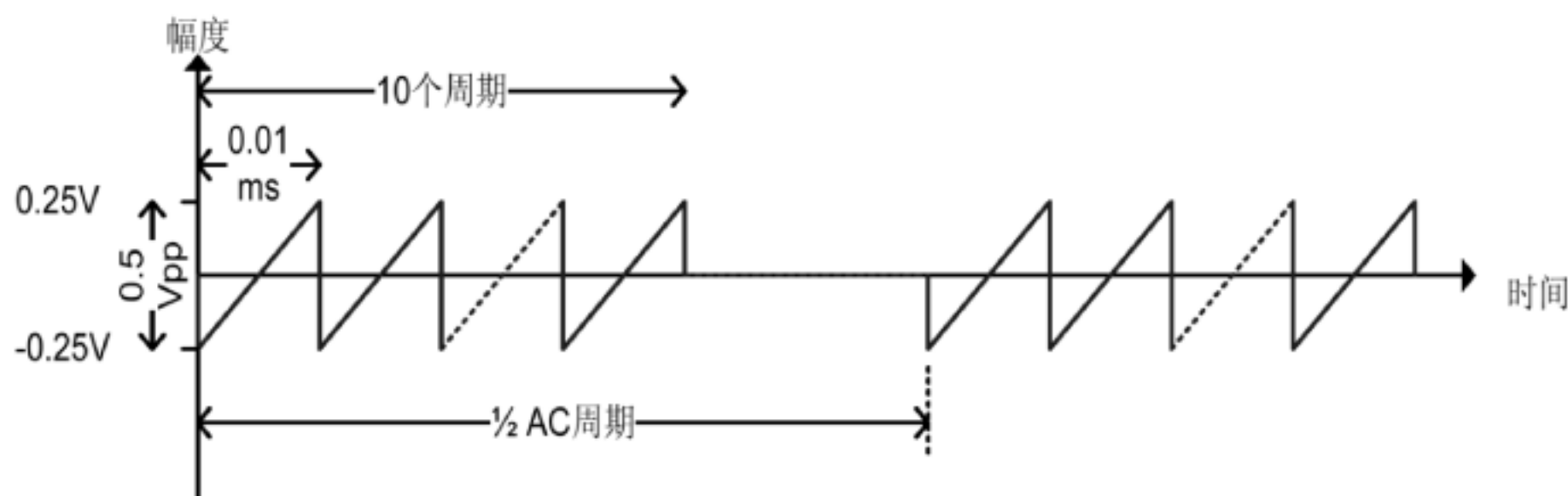


图 5 周期稳态噪声

3.4 频谱分析仪

用于 PSD 测试的频谱分析仪应满足表 2 和表 3 的指标要求。

表 2 频谱分析仪的配置 ($f < 30\text{MHz}$)

参数	值	单位
起始频率	1	MHz
终止频率	30	MHz
分辨率带宽 (RBW) ^a	9	kHz
视频带宽 (VBW)	100	kHz
RF 衰减	40	dB
检测器类型	RMS	-
扫描时间	5	s

^a 根据 CISPR 16-1，对于 EMI 测量，分辨率带宽定义为-6 dB 带宽

表 3 频谱分析仪的配置（ $f > 30\text{MHz}$ ）

参数	值	单位
起始频率	30	MHz
终止频率	200	MHz
分辨率带宽 (RBW) ^a	120	kHz
视频带宽 (VBW)	1	MHz
RF 衰减	40	dB
检测器类型	RMS	-
扫描时间	5	s
^a 根据 CISPR 16-1，对于 EMI 测量分辨率带宽定义为-6 dB 带宽		

4 测试配置

4.1 陷波模板

被测设备应根据表 4 配置发送 PSD 的陷波模板。

表 4 国际业余无线电频段

频率起始(kHz)	频率截至(kHz)
1 800	2 000
3 500	4 000
7 000	7 300
10 100	10 150
14 000	14 350
18 068	18 168
21 000	21 450
24 890	24 990
28 000	29 700
50 000	54 000

4.2 流量配置

流量模板定义见表 5 和表 6。

表 5 UDP 流量配置模板

流量模板	3A	3B	3C
包长（字节）	1500	512	64

表 6 TCP 流量配置模板

流量模板	4A	4B	4C
包长（字节）	1500	512	64

5 功能测试

5.1 VLAN 测试

5.1.1 测试目的

验证 VLAN 报文转发功能。

5.1.2 测试配置

测试配置如图 6 所示。

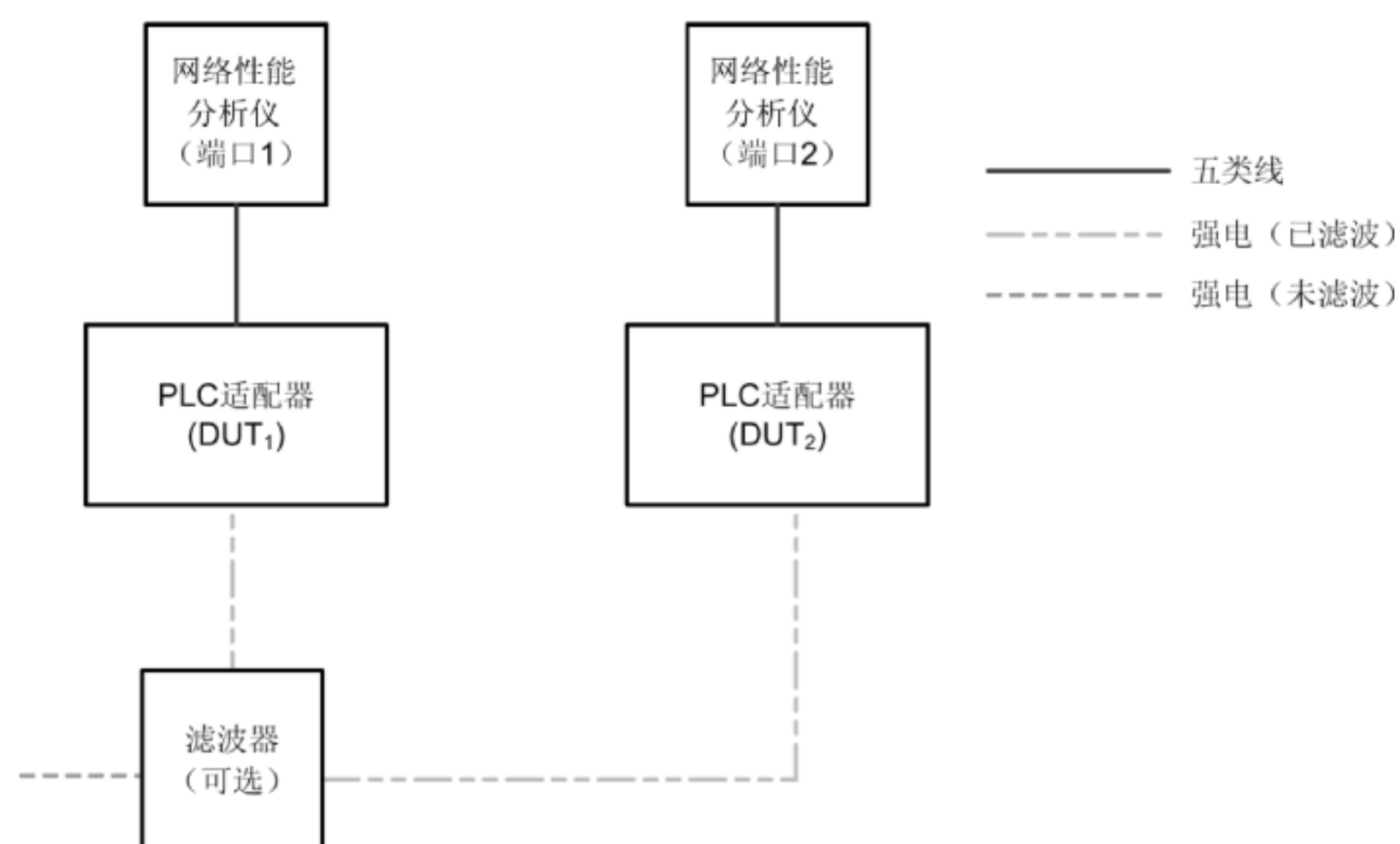


图 6 VLAN 测试配置

5.1.3 测试步骤

- 1) DUT 上电启动正常；
- 2) 用直连网线将 DUT1 用户侧以太网接口与网络性能分析仪端口 1 连接；
- 3) 用直连网线将 DUT2 用户侧以太网接口与网络性能分析仪端口 2 连接；
- 4) 网络性能分析仪的端口 1 配置 100 条 VLAN 标记的数据流，使这 100 条数据流的 VLAN ID 从 1 开始递增至 100；
- 5) 端口 1 的数据开始传送；
- 6) 端口 2 的抓包分析来自端口 1 的数据包。

5.1.4 预期结果

步骤 6) 中在网络性能分析仪的端口 2 应收到 100 条 VLAN ID 不同的数据流。

5.2 IGMP 测试

5.2.1 测试目的

验证桥接模式下的 IGMP 嗅探功能。

5.2.2 测试配置

测试配置如图 7 所示。

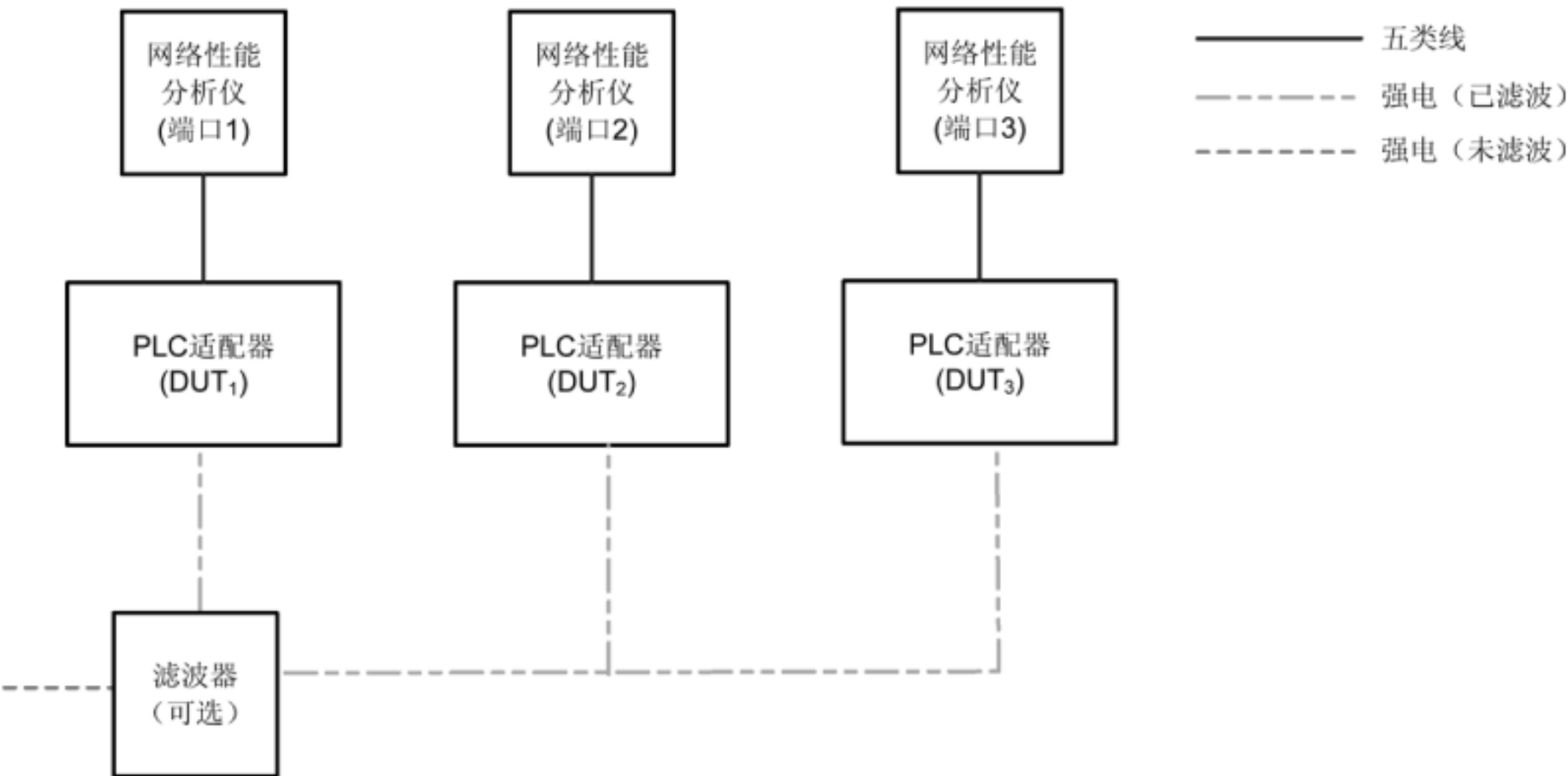


图 7 IGMP 测试配置

5.2.3 测试步骤

- 1) DUT 上电启动正常；
- 2) 用直连网线将 DUT1 用户侧以太网接口与网络性能分析仪端口 1 口连接；
- 3) 用直连网线将 DUT2 用户侧以太网接口与网络性能分析仪端口 2 口连接；
- 4) 用直连网线将 DUT3 用户侧以太网接口与网络性能分析仪端口 3 口连接；
- 5) 网络性能分析仪的端口 1 模拟两个组播源，分别发送目的地址为 224.1.2.3 和 234.1.2.3 的组播流量；
- 6) 网络性能分析仪的端口 2 发起 IGMP V1 加入请求，加入 224.1.2.3 组播组，观察测试仪的 IGMP 协议仿真端口接收到的数据流；
- 7) 网络性能分析仪的端口 2 和端口 3 同时发起 IGMP 加入请求，分别加入 224.1.2.3 和 234.1.2.3 两个组播组，观察测试仪的 IGMP 协议仿真端口接收到的数据流；
- 8) 更改步骤 6) 中的 IGMP 版本为 IGMP V2，重复步骤 6) 到步骤 7) ；
- 9) 更改步骤 6) 中的 IGMP 版本为 IGMP V3，重复步骤 6) 到步骤 7) 。

5.2.4 预期结果

- 1) 步骤 6) 中端口 2 能接收到组播数据流，而端口 3 不能接收到；
- 2) 步骤 7) 中端口 2 和端口 3 均能接收到组播数据流，且分别来自两个不同的组播源。

5.3 广播功能测试

5.3.1 测试目的

验证设备能够对广播包进行转发。

5.3.2 测试配置

测试配置如图 6 所示。

5.3.3 测试步骤

- 1) DUT 上电启动正常；
- 2) 用直连网线将 DUT1 用户侧以太网接口与网络性能分析仪 端口 1 口连接；
- 3) 用直连网线将 DUT2 用户侧以太网接口与网络性能分析仪 端口 2 口连接；
- 4) 对网络性能分析仪的端口 1 进行设置：报文长度随机，目的 MAC 地址为广播地址，速率为系统线速；
- 5) 网络性能分析仪端口 1 开始发送数据；
- 6) 查看网络性能分析仪端口 2 数据接收情况。

5.3.4 预期结果

步骤 6) 中端口 2 应能接收到端口 1 传送过来的广播包。

5.4 IPv6 测试

5.4.1 测试目的

验证设备支持 IPv6 报文透传的功能。

5.4.2 测试配置

测试配置如图 6 所示。

5.4.3 测试步骤

- 1) DUT 上电启动正常；
- 2) 用直连网线将 DUT1 用户侧以太网接口与网络性能分析仪 端口 1 口连接；
- 3) 用直连网线将 DUT2 用户侧以太网接口与网络性能分析仪 端口 2 口连接；
- 4) 网络性能分析仪的端口 1 配置 IPv6 的数据流；
- 5) 端口 1 的数据流开始传送；
- 6) 在端口 2 抓包分析来自端口 1 的数据包。

5.4.4 预期结果

步骤 6) 端口 2 应正确收到 IPv6 的数据流。

5.5 IPv6 MLD 测试

5.5.1 测试目的

验证设备桥接模式下的 MLD 嗅探功能。

5.5.2 测试配置

测试配置如图 7 所示。

5.5.3 测试步骤

- 1) DUT 上电启动正常；
- 2) 用直连网线将 DUT1 用户侧以太网接口与网络性能分析仪 端口 1 口连接；
- 3) 用直连网线将 DUT2 用户侧以太网接口与网络性能分析仪 端口 2 口连接；
- 4) 用直连网线将 DUT3 用户侧以太网接口与网络性能分析仪端口 3 口连接；
- 5) 网络性能分析仪的端口 1 模拟两个组播源，分别发送目的地址为 ff1e::1 和 ff1e::2 的组播流量；
- 6) 网络性能分析仪的端口 2 发起 MLD V1 加入请求，加入 ff1e::1 组播组，观察测试仪的 MLD 协议仿真端口接收到的数据流；
- 7) 网络性能分析仪的端口 2 和端口 3 同时发起 MLD 加入请求，分别加入 ff1e::1 和 ff1e::2 两个组播组，观察测试仪的 MLD 协议仿真端口接收到的数据流；
- 8) 更改步骤 6) 中的 MLD 版本为 MLD V2，重复步骤 6) 到步骤 7)。

5.5.4 预期结果

- 1) 步骤 6) 中端口 2 能接收到组播数据流，而端口 3 不能接收到；
- 2) 步骤 7) 中端口 2 和端口 3 均能接收到组播数据流，且分别来自两个不同的组播源。

6 基本速率测试

6.1 不同衰减情况下 SISO 的 UDP 点到点单向吞吐量测试

6.1.1 测试目的

测试在 SISO 环境下加上衰减后的 UDP 吞吐量。

6.1.2 测试配置

测试配置如图 8 所示。

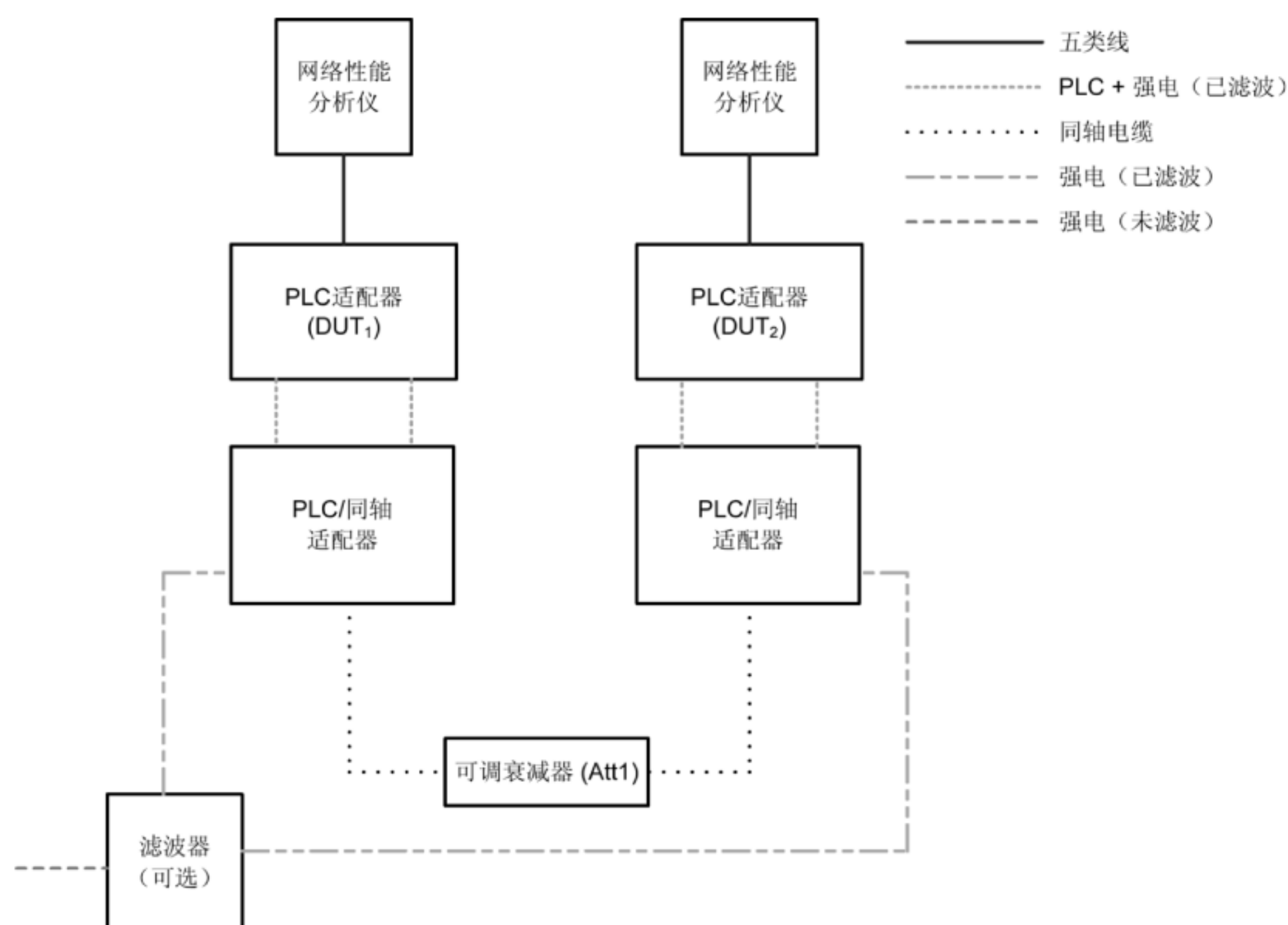


图 8 测试配置

6.1.3 测试步骤

- 1) 将 DUT1 上电，并验证 DUT1 完成了网络的创建；
- 2) 将 DUT2 上电，并验证 DUT2 注册到了步骤 1) 中创建的网络；
- 3) 将网络协议分析仪分别连接 DUT1 和 DUT2；
- 4) 将可调衰减 Att1 设置到 8dB；
- 5) 以 10 Mbit/s 的速率从 DUT1 向 DUT2 发送单向流量，连续发送 1min 以便完成信道估计；
- 6) 配置网络性能分析仪以信道最大带宽发送 1500 字节帧长的 UDP 流量；
- 7) 测试从 DUT1 到 DUT2 的吞吐量，连续发流时间为 10s；
- 8) 将 Att1 设置到 20dB,重复步骤 5) 到步骤 7)；
- 9) 将 Att1 设置到 50dB,重复步骤 5) 到步骤 7)；
- 10) 将 Att1 设置到 70dB,重复步骤 5) 到步骤 7)；
- 11) 分别使用 512 字节和 64 字节的帧长，重复步骤 4) 到步骤 10)；
- 12) 将 DUT1 和 DUT2 互换收发后，重复步骤 4) 到步骤 11)。

6.1.4 预期结果

分别记录不同衰减、不同帧长对应的吞吐量。

6.2 不同衰减情况下 SISO 的 TCP 点到点单向吞吐量测试

6.2.1 测试目的

测试在 SISO 环境下加上衰减后的 TCP 吞吐量。

6.2.2 测试配置

见 7.1.2。

6.2.3 测试步骤

- 1) 将 DUT1 上电, 并验证 DUT1 完成了网络的创建;
- 2) 将 DUT2 上电, 并验证 DUT2 注册到了步骤 1) 中创建的网络;
- 3) 将网络协议分析仪分别连接 DUT1 和 DUT2;
- 4) 将可调衰减 Att1 设置到 8dB;
- 5) 以 10 Mbit/s 的速率从 DUT1 向 DUT2 发送单向流量, 连续发送 1 分钟以便完成信道估计;
- 6) 配置网络性能分析仪以信道最大带宽发送 1500 字节帧长的 TCP 流量;
- 7) 测试从 DUT1 到 DUT2 的信道吞吐量, 连续发流时间为 10s;
- 8) 将 Att1 设置到 20dB, 重复步骤 5) 到步骤 7);
- 9) 将 Att1 设置到 50dB, 重复步骤 5) 到步骤 7);
- 10) 将 Att1 设置到 70dB, 重复步骤 5) 到步骤 7);
- 11) 分别使用 512 字节和 64 字节的帧长, 重复步骤 4) 到步骤 10);
- 12) 将 DUT1 和 DUT2 互换收发后, 重复步骤 4) 到步骤 11)。

6.2.4 预期结果

分别记录不同衰减不同帧长对应的吞吐量。

6.3 不同衰减不同噪声情况下 SISO 的 UDP 点到点单向吞吐量测试

6.3.1 测试目的

测试在 SISO 环境下加上衰减和噪声后的 UDP 吞吐量。

6.3.2 测试配置

测试配置如图 9 所示。

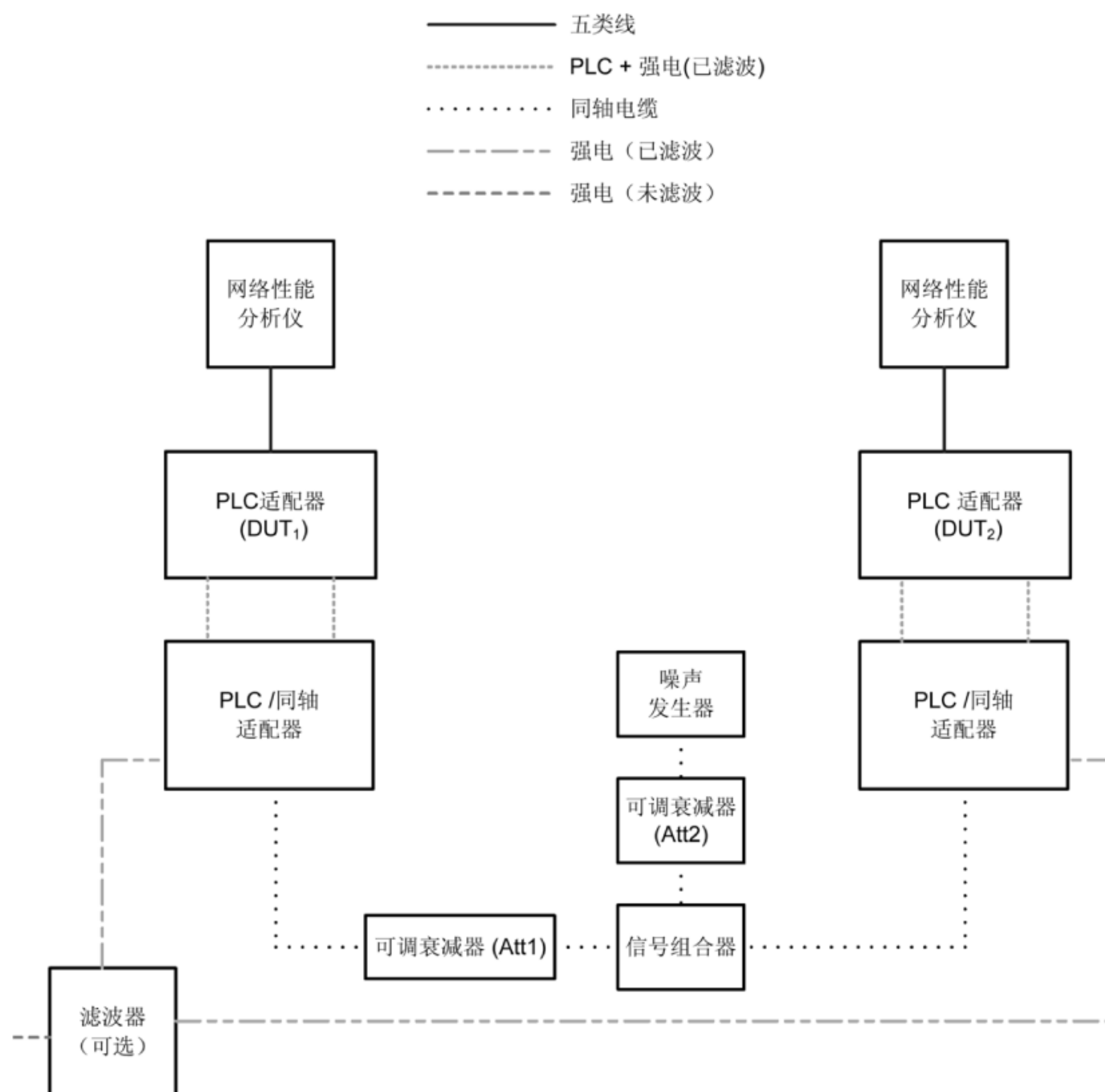


图9 测试配置

6.3.3 测试步骤

- 1) 将 DUT1 上电，并验证 DUT1 完成了网络的创建；
- 2) 将 DUT2 上电，并验证 DUT2 注册到了步骤 1) 中创建的网络；
- 3) 将网络协议分析仪分别连接 DUT1 和 DUT2；
- 4) 生成噪声 N1；
- 5) 将可调衰减器 Att1 设置为 20dB，可调衰减器 Att2 设置为 0dB；
- 6) 以 10 Mbit/s 的速率从 DUT1 向 DUT2 发送单向流量，连续发送 1min 以便完成信道估计；
- 7) 配置网络性能分析仪以信道最大带宽发送 1500 字节帧长的 UDP 流量；
- 8) 测试从 DUT1 到 DUT2 的信道吞吐量，连续发流时间为 10s；
- 9) 将 Att1 设置为 50dB，Att2 设置为 0dB，重复步骤 6) 到步骤 8)；
- 10) 将 Att1 设置为 70dB，Att2 设置为 20dB，重复步骤 6) 到步骤 8)；
- 11) 分别使用 512 字节和 64 字节的帧长，重复步骤 5) 到步骤 10)；

12) 叠加噪声 N2, N3 和 N4 后, 重复步骤 5) 到步骤 11)。

6.3.4 预期结果

分别记录不同衰减、不同噪声、不同帧长对应的吞吐量。

6.4 不同衰减不同噪声情况下 SISO 的 TCP 点到点单向吞吐量测试

6.4.1 测试目的

测试在 SISO 环境下加上衰减和噪声后的 TCP 吞吐量。

6.4.2 测试配置

见 6.3.2。

6.4.3 测试步骤

- 1) 将 DUT1 上电, 并验证 DUT1 完成了网络的创建;
- 2) 将 DUT2 上电, 并验证 DUT2 注册到了步骤 1) 中创建的网络;
- 3) 将网络协议分析仪分别连接 DUT1 和 DUT2;
- 4) 生成噪声 N1;
- 5) 将可调衰减器 Att1 设置为 20dB, 可调衰减器 Att2 设置为 0dB;
- 6) 以 10 Mbit/s 的速率从 DUT1 向 DUT2 发送单向流量, 连续发送 1min 以便完成信道估计;
- 7) 配置网络性能分析仪以信道最大带宽发送 1500 字节帧长的 TCP 流量;
- 8) 测试从 DUT1 到 DUT2 的信道吞吐量, 连续发流时间为 10s;
- 9) 将 Att1 设置为 50dB, Att2 设置为 0dB, 重复步骤 6) 到步骤 8);
- 10) 将 Att1 设置为 70dB, Att2 设置 2 为 20dB, 重复步骤 6) 到步骤 8);
- 11) 分别使用 512 字节和 64 字节的帧长, 重复步骤 5) 到步骤 10);
- 12) 叠加噪声 N2, N3 和 N4 后, 重复步骤 5) 到步骤 11)。

6.4.4 预期结果

分别记录不同衰减、不同噪声、不同帧长对应的吞吐量。

6.5 无噪声情况下 SISO 的 UDP 双向吞吐量测试

6.5.1 测试目的

测试在 SISO 环境下加上衰减后的 UDP 双向吞吐量。

6.5.2 测试配置

见 6.1.2。

6.5.3 测试步骤

- 1) 将 DUT1 上电, 并验证 DUT1 完成了网络的创建;
- 2) 将 DUT2 上电, 并验证 DUT2 注册到了步骤 1) 中创建的网络;

- 3) 将网络协议分析仪分别连接 DUT1 和 DUT2;
- 4) 将可调衰减器 Att1 设置为 8dB;
- 5) 以 10 Mbit/s 的速率在 DUT1 和 DUT2 间互发流量, 连续发送 1min 以便完成信道估计;
- 6) 配置网络性能分析仪以信道最大带宽发送 1500 字节帧长的 UDP 流量;
- 7) 测试从 DUT1 到 DUT2 和从 DUT2 到 DUT1 的信道吞吐量, 连续发流时间为 10s;
- 8) 将 Att1 设置为 20dB, 重复步骤 5) 到步骤 7);
- 9) 将 Att1 设置为 50dB, 重复步骤 5) 到步骤 7);
- 10) 将 Att1 设置为 70dB, 重复步骤 5) 到步骤 7);
- 11) 分别使用 512 字节和 64 字节的帧长, 重复步骤 5) 到步骤 10);

6.5.4 预期结果

分别记录不同衰减不同噪声不同帧长对应的各方向吞吐量。

6.6 无噪声情况下 SISO 的 TCP 双向吞吐量测试

6.6.1 测试目的

测试在 SISO 环境下加上衰减后的 TCP 双向吞吐量。

6.6.2 测试配置

见 6.1.2。

6.6.3 测试步骤

- 1) 将 DUT1 上电, 并验证 DUT1 完成了网络的创建;
- 2) 将 DUT2 上电, 并验证 DUT2 注册到了步骤 1) 中创建的网络;
- 3) 将网络协议分析仪分别连接 DUT1 和 DUT2;
- 4) 将可调衰减器 Att1 设置为 8dB;
- 5) 以 10 Mbit/s 的速率在 DUT1 和 DUT2 间互发流量, 连续发送 1min 以便完成信道估计;
- 6) 配置网络性能分析仪以信道最大带宽发送 1500 字节帧长的 TCP 流量;
- 7) 测试从 DUT1 到 DUT2 和从 DUT2 到 DUT1 的信道吞吐量, 连续发流时间为 10s;
- 8) 将 Att1 设置为 20dB, 重复步骤 5) 到步骤 7);
- 9) 将 Att1 设置为 50dB, 重复步骤 5) 到步骤 7);
- 10) 将 Att1 设置为 70dB, 重复步骤 5) 到步骤 7);
- 11) 分别使用 512 字节和 64 字节的帧长, 重复步骤 5) 到步骤 10);

6.6.4 预期结果

分别记录不同衰减、不同噪声、不同帧长对应的各方向吞吐量。

6.7 有背景流情况下 SISO 的 UDP 双向吞吐量测试

6.7.1 测试目的

测试在 SISO 环境下加上背景流后的 UDP 双向吞吐量。

6.7.2 测试配置

见 6.1.2。

6.7.3 测试步骤

- 1) 将 DUT1 上电，并验证 DUT1 完成了网络的创建；
- 2) 将 DUT2 上电，并验证 DUT2 注册到了步骤 1) 中创建的网络；
- 3) 将网络协议分析仪分别连接 DUT1 和 DUT2；
- 4) 将可调衰减器 Att1 设置为 40dB；
- 5) 以 10 Mbit/s 的速率在 DUT1 和 DUT2 间互发流量，连续发送 1min 以便完成信道估计；
- 6) 以 1500 字节帧长双向发送 10Mbit/s 的 UDP 背景流；
- 7) 配置网络性能分析仪，测试从 DUT1 到 DUT2 和从 DUT2 到 DUT1 的 UDP 吞吐量，测试时间 10s；
- 8) 将背景流改为 20Mbit/s，重复步骤 5) 和步骤 7)；
- 9) 分别使用 512 字节和 64 字节的帧长，重复步骤 5) 到步骤 8)；

6.7.4 预期结果

分别记录不同背景流不同帧长对应的各方向吞吐量。

6.8 有背景流情况下 SISO 的 TCP 双向吞吐量测试

6.8.1 测试目的

测试在 SISO 环境下加上背景流后的 TCP 双向吞吐量。

6.8.2 测试配置

见 6.1.2。

6.8.3 测试步骤

- 1) 将 DUT1 上电，并验证 DUT1 完成了网络的创建；
- 2) 将 DUT2 上电，并验证 DUT2 注册到了步骤 1) 中创建的网络；
- 3) 将网络协议分析仪分别连接 DUT1 和 DUT2；
- 4) 将可调衰减器 Att1 设置为 40dB；
- 5) 以 10 Mbit/s 的速率在 DUT1 和 DUT2 间互发流量，连续发送 1min 以便完成信道估计；
- 6) 以 1500 字节帧长双向发送 10Mbit/s 的 TCP 背景流；
- 7) 配置网络性能分析仪测试从 DUT1 到 DUT2 和从 DUT2 到 DUT1 的 TCP 吞吐量，测试时间 10s；
- 8) 将背景流改为 20Mbit/s，重复步骤 5) 和步骤 7)；

9) 分别使用 512 字节和 64 字节的帧长, 重复步骤 5) 到步骤 8) 。

6.8.4 预期结果

分别记录不同背景流不同帧长对应的各方向吞吐量。

6.9 不同衰减情况下 MIMO 的 UDP 点到点单向吞吐量测试

6.9.1 测试目的

测试在 MIMO 条件下加上衰减后的 UDP 吞吐量。

6.9.2 测试配置

测试配置如图 10 所示。

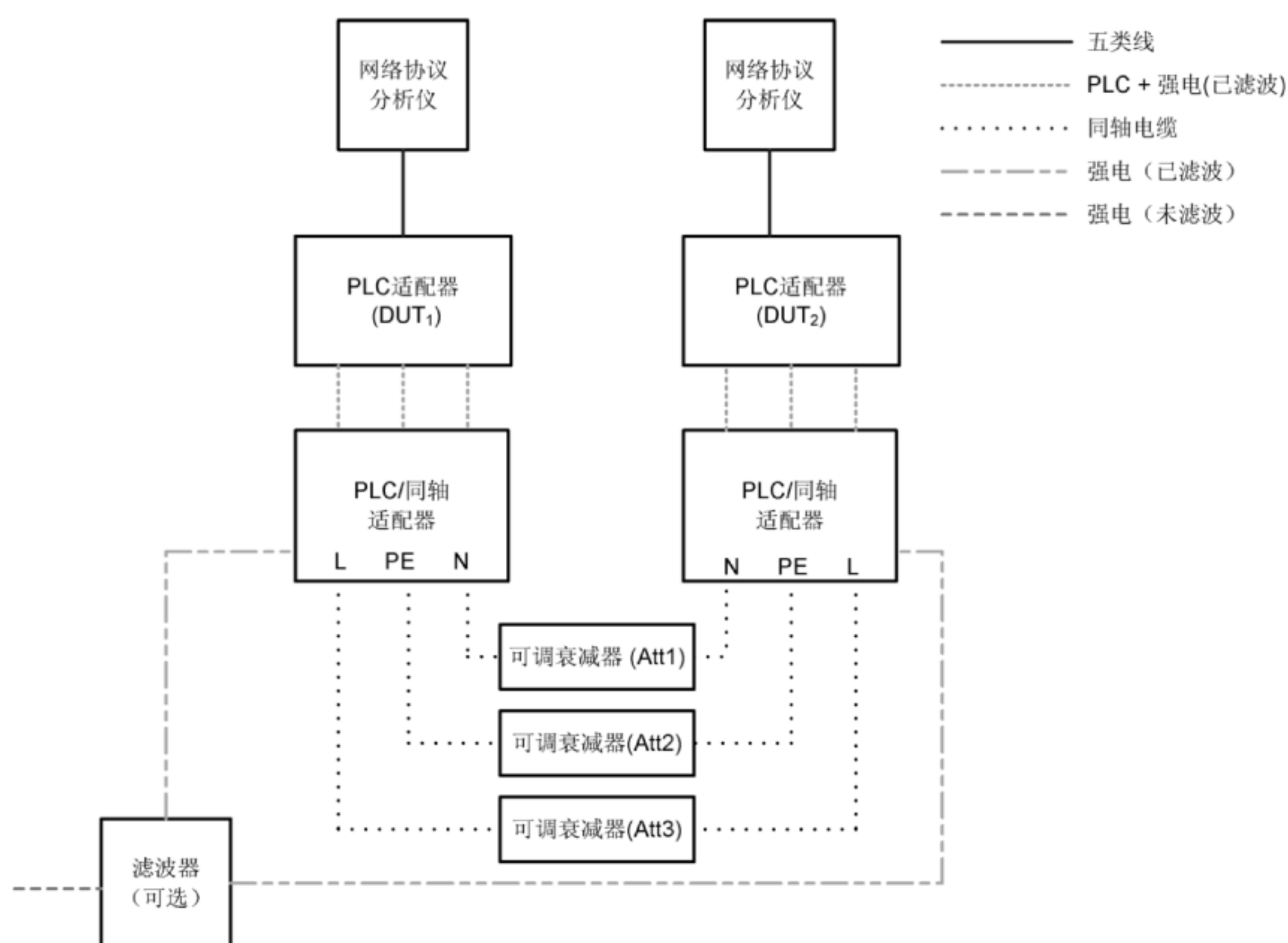


图 10 测试配置

6.9.3 测试步骤

- 1) 将 DUT1 上电, 并验证 DUT1 完成了网络的创建;
- 2) 将 DUT2 上电, 并验证 DUT2 注册到了步骤 1) 中创建的网络;
- 3) 将网络协议分析仪分别连接 DUT1 和 DUT2;
- 4) 将可调衰减 Att1、Att2、Att3 设置到 8dB;
- 5) 以 10 Mbit/s 的速率从 DUT1 向 DUT2 发送单向流量, 连续发送 1min 以便完成信道估计;
- 6) 配置网络性能分析仪以信道最大带宽发送 1500 字节帧长的 UDP 流量;

- 7) 测试从 DUT1 到 DUT2 的信道吞吐量, 连续发流时间为 10s;
- 8) 设置 Att1=Att2=Att3=20dB, 重复步骤 5) 到步骤 7);
- 9) 设置 Att1=Att2=Att3=50dB, 重复步骤 5) 到步骤 7);
- 10) 设置 Att1=Att2=Att3=70dB, 重复步骤 5) 到步骤 7);
- 11) 分别使用 512 字节和 64 字节的帧长, 重复步骤 4) 到步骤 10);
- 12) 将 DUT1 和 DUT2 互换收发后, 重复步骤 4) 到步骤 11)。

6.9.4 预期结果

分别记录不同衰减不同帧长对应的吞吐量。

6.10 不同衰减情况下 MIMO 的 TCP 点到点吞吐量测试

6.10.1 测试目的

测试在 MIMO 条件下加上衰减后的 TCP 吞吐量。

6.10.2 测试配置

见 6.9.2。

6.10.3 测试步骤

- 1) 将 DUT1 上电, 并验证 DUT1 完成了网络的创建;
- 2) 将 DUT2 上电, 并验证 DUT2 注册到了步骤 1) 中创建的网络;
- 3) 将网络协议分析仪分别连接 DUT1 和 DUT2;
- 4) 将可调衰减 Att1、Att2、Att3 设置到 8dB;
- 5) 以 10 Mbit/s 的速率从 DUT1 向 DUT2 发送单向流量, 连续发送 1min 以便完成信道估计;
- 6) 配置网络性能分析仪以信道最大带宽发送 1500 字节帧长的 TCP 流量;
- 7) 测试从 DUT1 到 DUT2 的信道吞吐量, 连续发流时间为 10s;
- 8) 设置 Att1=Att2=Att3=20dB, 重复步骤 5) 到步骤 7);
- 9) 设置 Att1=Att2=Att3=50dB, 重复步骤 5) 到步骤 7);
- 10) 设置 Att1=Att2=Att3=70dB, 重复步骤 5) 到步骤 7);
- 11) 分别使用 512 字节和 64 字节的帧长, 重复步骤 4) 到步骤 10);
- 12) 将 DUT1 和 DUT2 互换收发后, 重复步骤 4) 到步骤 11)。

6.10.4 预期结果

分别记录不同衰减不同帧长对应的吞吐量。

6.11 不同衰减不同噪声情况下 MIMO 的 UDP 点到点吞吐量测试

6.11.1 测试目的

测试在 MIMO 环境下加上衰减和噪声后的 UDP 吞吐量。

6.11.2 测试配置

测试配置如图 11 所示。

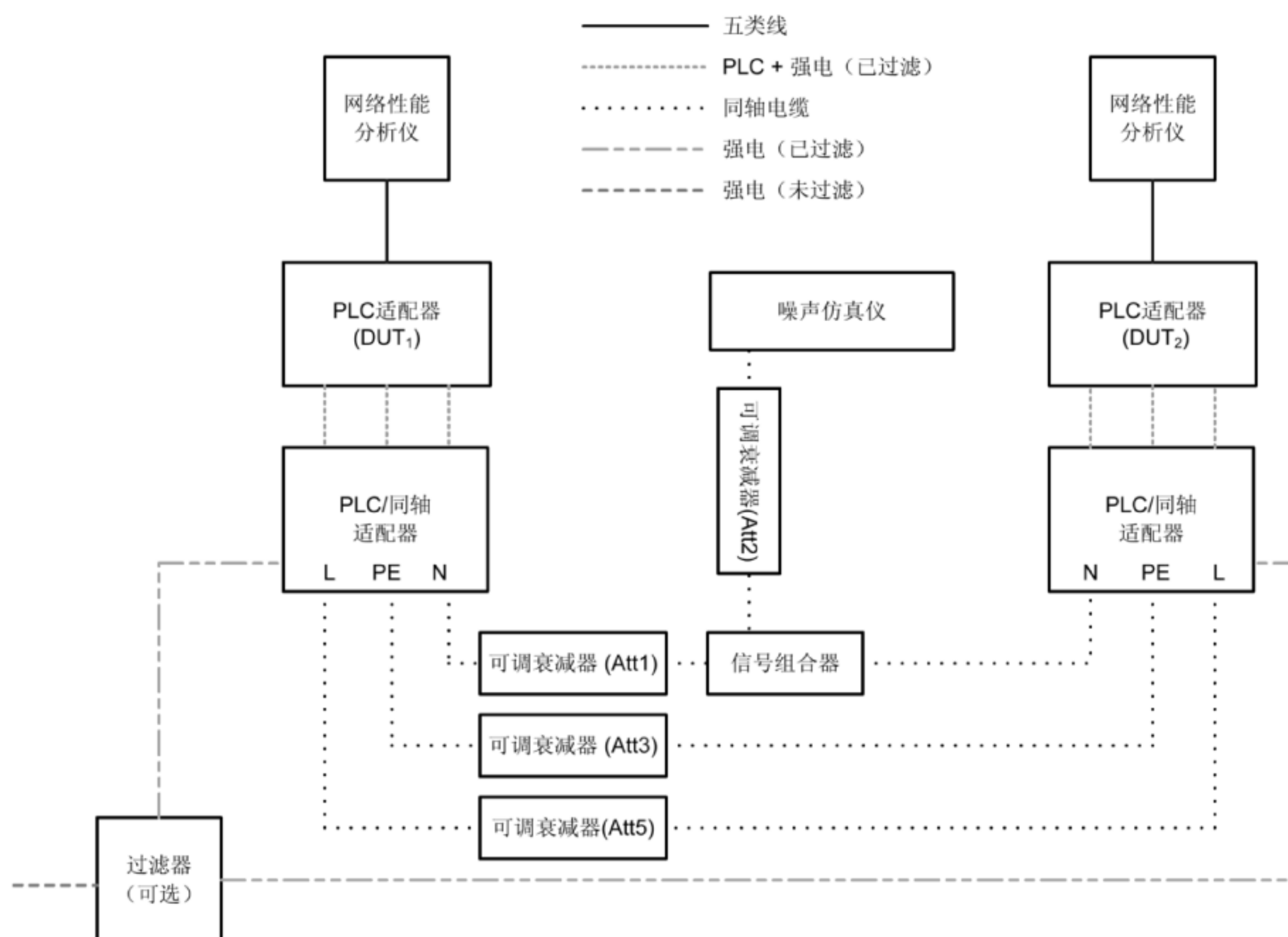


图 11 测试配置

6.11.3 测试步骤

- 1) 将 DUT1 上电，并验证 DUT1 完成了网络的创建；
- 2) 将 DUT2 上电，并验证 DUT2 注册到了步骤 1) 中创建的网络；
- 3) 将网络协议分析仪分别连接 DUT1 和 DUT2；
- 4) 生成噪声 N1；
- 5) 将可调衰减器 Att1、Att3、Att5 设置为 20dB，可调衰减器 Att2 设置为 0dB；
- 6) 以 10 Mbit/s 的速率从 DUT1 向 DUT2 发送单向流量，连续发送 1min 以便完成信道估计；
- 7) 配置网络性能分析仪以信道最大带宽发送 1500 字节帧长的 UDP 流量；
- 8) 测试从 DUT1 到 DUT2 的信道吞吐量，连续发流时间为 10s；
- 9) 设置 Att1=Att3=Att5=50dB，Att2 设置为 0dB，重复步骤 5) 到步骤 8)；
- 10) 设置 Att1=Att3=Att5=70dB，Att2 设置 2 为 20dB，重复步骤 5) 到步骤 8)；
- 11) 分别使用 512 字节和 64 字节的帧长，重复步骤 5) 到步骤 11)；
- 12) 叠加噪声 N2, N3 和 N4 后，重复步骤 5) 到步骤 12)。

6.11.4 预期结果

分别记录不同衰减、不同噪声、不同帧长对应的吞吐量。

6.12 不同衰减不同噪声情况下 MIMO 的 TCP 点到点吞吐量测试

6.12.1 测试目的

测试在 MIMO 环境下加上衰减和噪声后的 TCP 吞吐量。

6.12.2 测试配置

见 6.11.2。

6.12.3 测试步骤

- 1) 将 DUT1 上电，并验证 DUT1 完成了网络的创建；
- 2) 将 DUT2 上电，并验证 DUT2 注册到了步骤 1) 中创建的网络；
- 3) 将网络协议分析仪分别连接 DUT1 和 DUT2；
- 4) 生成噪声 N1；
- 5) 将可调衰减器 Att1、Att3、Att5 设置为 20dB，可调衰减器 Att2 设置为 0dB；
- 6) 以 10 Mbit/s 的速率从 DUT1 向 DUT2 发送单向流量，连续发送 1min 以便完成信道估计；
- 7) 配置网络性能分析仪以信道最大带宽发送 1500 字节帧长的 TCP 流量；
- 8) 测试从 DUT1 到 DUT2 的信道吞吐量，连续发流时间为 10s；
- 9) 设置 Att1=Att3=Att5=50dB，Att2 设置为 0dB，重复步骤 5) 到步骤 8)；
- 10) 设置 Att1=Att3=Att5=70dB，Att2 设置 2 为 20dB，重复步骤 5) 到步骤 8)；
- 11) 分别使用 512 字节和 64 字节的帧长，重复步骤 5) 到步骤 11)；
- 12) 叠加噪声 N2，N3 和 N4 后，重复步骤 5) 到步骤 12)。

6.12.4 预期结果

分别记录不同衰减、不同噪声、不同帧长对应的吞吐量。

6.13 无噪声情况下 MIMO 的 UDP 双向吞吐量测试

6.13.1 测试目的

测试在 MIMO 环境下加上衰减后的 UDP 双向吞吐量。

6.13.2 测试配置

见 6.9.2。

6.13.3 测试步骤

测试步骤如下：

- 1) 将 DUT1 上电，并验证 DUT1 完成了网络的创建；
- 2) 将 DUT2 上电，并验证 DUT2 注册到了步骤 1) 中创建的网络；

- 3) 将网络协议分析仪分别连接 DUT1 和 DUT2;
- 4) 将可调衰减器 Att1、Att2、Att3 设置为 8dB;
- 5) 以 10 Mbit/s 的速率在 DUT1 和 DUT2 间互发流量, 连续发送 1min 以便完成信道估计;
- 6) 配置网络性能分析仪以信道最大带宽发送 1500 字节帧长的 UDP 流量;
- 7) 测试从 DUT1 到 DUT2 和从 DUT2 到 DUT1 的信道吞吐量, 连续发流时间为 10s;
- 8) 设置 Att1=Att2=Att3=20dB, 重复步骤 5) 到步骤 7);
- 9) 设置 Att1=Att2=Att3=50dB, 重复步骤 5) 到步骤 7);
- 10) 设置 Att1=Att2=Att3=70dB, 重复步骤 5) 到步骤 7);
- 11) 分别使用 512 字节和 64 字节的帧长, 重复步骤 5) 到步骤 10)。

6.13.4 预期结果

分别记录不同衰减不同噪声不同帧长对应的各方向吞吐量。

6.14 无噪声情况下 MIMO 的 TCP 双向吞吐量测试

6.14.1 测试目的

测试在 MIMO 环境下加上衰减后的 TCP 双向吞吐量。

6.14.2 测试配置

见 6.9.2。

6.14.3 测试步骤

- 1) 将 DUT1 上电, 并验证 DUT1 完成了网络的创建;
- 2) 将 DUT2 上电, 并验证 DUT2 注册到了步骤 1) 中创建的网络;
- 3) 将网络协议分析仪分别连接 DUT1 和 DUT2;
- 4) 将可调衰减器 Att1、Att2、Att3 设置为 8dB;
- 5) 以 10 Mbit/s 的速率在 DUT1 和 DUT2 间互发流量, 连续发送 1min 以便完成信道估计;
- 6) 配置网络性能分析仪以信道最大带宽发送 1500 字节帧长的 TCP 流量;
- 7) 测试从 DUT1 到 DUT2 和从 DUT2 到 DUT1 的信道吞吐量, 连续发流时间为 10s;
- 8) 设置 Att1=Att2=Att3=20dB, 重复步骤 5) 到步骤 7);
- 9) 设置 Att1=Att2=Att3=50dB, 重复步骤 5) 到步骤 7);
- 10) 设置 Att1=Att2=Att3=70dB, 重复步骤 5) 到步骤 7);
- 11) 分别使用 512 字节和 64 字节的帧长, 重复步骤 5) 到步骤 10)。

6.14.4 预期结果

分别记录不同衰减、不同噪声、不同帧长对应的各方向吞吐量。

6.15 有背景流情况下 MIMO 的 UDP 双向吞吐量测试

6.15.1 测试目的

测试在 MIMO 环境下加上背景流后的 UDP 双向吞吐量。

6.15.2 测试配置

见 6.9.2。

6.15.3 测试步骤

- 1) 将 DUT1 上电，并验证 DUT1 完成了网络的创建；
- 2) 将 DUT2 上电，并验证 DUT2 注册到了步骤 1) 中创建的网络；
- 3) 将网络协议分析仪分别连接 DUT1 和 DUT2；
- 4) 将可调衰减器 Att1、Att2、Att3 设置为 40dB；
- 5) 以 10Mbit/s 的速率在 DUT1 和 DUT2 间互发流量，连续发送 1min 以便完成信道估计；
- 6) 以 1500 字节帧长双向发送 10Mbit/s 的 UDP 背景流；
- 7) 配置网络性能分析仪测试从 DUT1 到 DUT2 和从 DUT2 到 DUT1 的 UDP 吞吐量，测试时间 10s；
- 8) 将背景流改为 20Mbit/s，重复步骤 5) 和步骤 7)；
- 9) 分别使用 512 字节和 64 字节的帧长，重复步骤 5) 到步骤 8)。

6.15.4 预期结果

分别记录不同背景流、不同帧长对应的各方向吞吐量。

6.16 有背景流情况下 MIMO 的 TCP 双向吞吐量测试

6.16.1 测试目的

测试在 MIMO 环境下加上背景流后的 TCP 双向吞吐量。

6.16.2 测试配置

见 6.9.2。

6.16.3 测试步骤

- 1) 将 DUT1 上电，并验证 DUT1 完成了网络的创建；
- 2) 将 DUT2 上电，并验证 DUT2 注册到了步骤 1) 中创建的网络；
- 3) 将网络协议分析仪分别连接 DUT1 和 DUT2；
- 4) 将可调衰减器 Att1、Att2、Att3 设置为 40dB；
- 5) 以 10 Mbit/s 的速率在 DUT1 和 DUT2 间互发流量，连续发送 1min 以便完成信道估计；
- 6) 以 1500 字节帧长双向发送 10Mbit/s 的 TCP 背景流；
- 7) 配置网络性能分析仪测试从 DUT1 到 DUT2 和从 DUT2 到 DUT1 的 UDP 吞吐量，测试时间 10s；
- 8) 将背景流改为 20Mbit/s，重复步骤 5) 到步骤 7)；
- 9) 分别使用 512 字节和 64 字节的帧长，重复步骤 5) 到步骤 8)。

6.16.4 预期结果

分别记录不同背景流、不同帧长对应的各方向吞吐量。

7 邻居网络测试

7.1 邻居网络条件下的速率测试（SISO）

7.1.1 一个邻居网络内不同流量条件下 UDP 双向吞吐量测试

7.1.1.1 测试目的

测试在 SISO 模式，存在一个相同 PLC 技术的邻居网络条件下，两个节点在不同的流量下的 UDP 吞吐量。

7.1.1.2 测试配置

测试配置如图 12 所示。流量配置为 3A、3B、3C，测试设备为 DUT1、DUT2、DUT3、DUT4。衰减器 Att1、Att2、Att3、Att4 初始值设置为 15dB，Att5 初始值设置为 70dB。

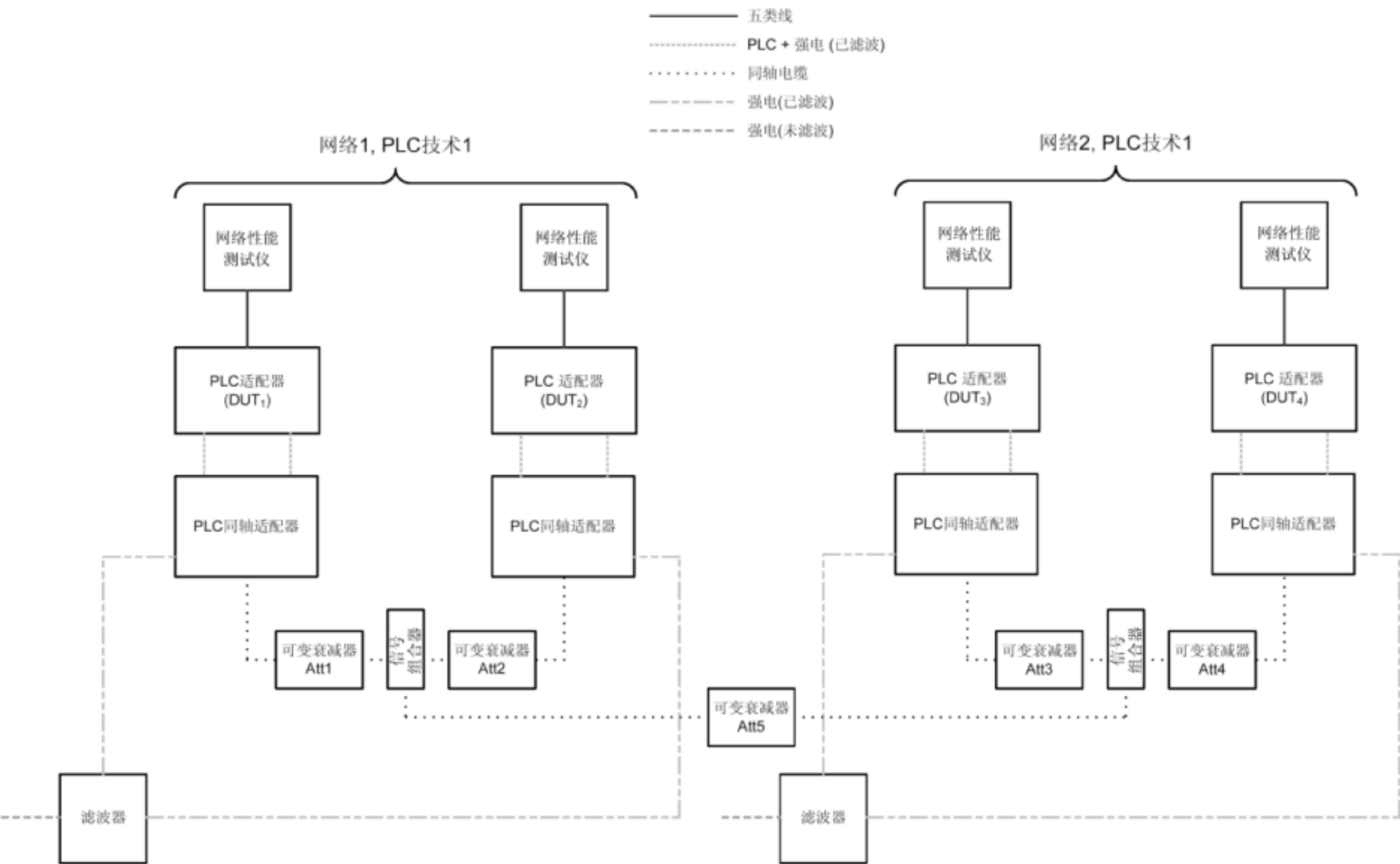


图 12 一个邻居网络 SISO 测试配置

7.1.1.3 测试步骤

- 1) 将 DUT1 上电并接入电力线，DUT1 创建 1 个网络（网络 1）；
- 2) 将 DUT2 上电并接入电力线，DUT2 注册到步骤 1) 中创建的网络；；

- 3) 将 DUT3 上电并接入电力线, DUT3 创建 1 个网络 (网络 2);
- 4) 将 DUT4 上电并接入电力线, DUT4 应注册到步骤 3) 中创建的网络;
- 5) 将一台流量分析仪连接到 DUT1 和 DUT2 上;
- 6) 将一台流量分析仪连接到 DUT3 和 DUT4 上;
- 7) 两台流量分析仪发送 1min 流量 (10Mbit/s, 单向), 用于完成信道估计;
- 8) 在两台流量分析仪上各配置一条发送速率为 10Mbit/s 的 3A 流量;
- 9) 在 DUT1 和 DUT2 之间发送配置好的流量进行测试, 测试时间为 10s, 记录吞吐量测试结果, 结果单位为 Mbit/s;
- 10) 在 DUT3 和 DUT4 之间发送配置好的流量进行测试, 测试时间为 10s, 记录吞吐量测试结果, 结果单位为 Mbit/s;
- 11) 以 20Mbit/s 为步长增大流量速率, 并重复步骤 8) 到步骤 10) 的测试, 直到流量达到链路的上限;
- 12) 将 Att5 设置为 60dB, 重复步骤 7) 到步骤 11);
- 13) 将 Att5 设置为 50dB, 重复步骤 7) 到步骤 11);
- 14) 将 Att5 设置为 30dB, 重复步骤 7) 到步骤 11);
- 15) 将 Att5 设置为 20dB, 重复步骤 7) 到步骤 11);
- 16) 将 Att5 设置为 10dB, 重复步骤 7) 到步骤 11);
- 17) 将 Att5 设置为 0dB, 重复步骤 7) 到步骤 11);
- 18) 将流量改为 3B 和 3C, 重复步骤 7) 到步骤 17);
- 19) 将 Att1、Att2、Att3、Att4 均设置为 20dB, 重复步骤 1) 到步骤 18);
- 20) 将 Att1、Att2、Att3、Att4 均设置为 25dB, 重复步骤 1) 到步骤 18);
- 21) 将 Att1、Att2、Att3、Att4 均设置为 30dB, 重复步骤 1) 到步骤 18);
- 22) 将 Att1、Att2、Att3、Att4 均设置为 35dB, 重复步骤 1) 到步骤 18)。

7.1.1.4 预期结果

记录步骤 9) 至步骤 22) 的测试结果。

7.1.2 1 个邻居网络内不同流量条件下 TCP 双向吞吐量测试

7.1.2.1 测试目的

测试在 SISO 模式, 存在一个相同 PLC 技术的邻居网络条件下, 两个节点在不同的流量下的 TCP 吞吐量。

7.1.2.2 测试配置

测试配置如图 12 所示。流量配置为 4A、4B、4C, 测试设备为 DUT1、DUT2、DUT3、DUT4。衰减器 Att1、Att2、Att3、Att4 初始值设置为 15dB, Att5 初始值设置为 70dB。

7.1.2.3 测试步骤

- 1) 将 DUT1 上电并接入电力线, DUT1 创建 1 个网络 (网络 1); ;

- 2) 将 DUT2 上电并接入电力线, DUT2 注册到步骤 1) 中创建的网络;
- 3) 将 DUT3 上电并接入电力线, DUT3 创建 1 个网络 (网络 2);
- 4) 将 DUT4 上电并接入电力线, DUT4 应注册到步骤 3) 中创建的网络;
- 5) 将一台流量分析仪连接到 DUT1 和 DUT2 上;
- 6) 将一台流量分析仪连接到 DUT3 和 DUT4 上;
- 7) 两台流量分析仪发送 1min 流量 (10Mbit/s, 单向), 用于完成信道估计;
- 8) 在两台流量分析仪上各配置一条发送速率为 10Mbit/s 的 4A 流量;
- 9) 在 DUT1 和 DUT2 之间发送配置好的流量进行测试, 测试时间为 10s, 记录吞吐量测试结果, 结果单位为 Mbit/s;
- 10) 在 DUT3 和 DUT4 之间发送配置好的流量进行测试, 测试时间为 10s, 记录吞吐量测试结果, 结果单位为 Mbit/s;
- 11) 以 20Mbit/s 为步长增大流量速率, 并重复步骤 8) 到步骤 10) 的测试, 直到流量达到链路的上限;
- 12) 将 Att5 设置为 60dB, 重复步骤 7) 到步骤 11);
- 13) 将 Att5 设置为 50dB, 重复步骤 7) 到步骤 11);
- 14) 将 Att5 设置为 30dB, 重复步骤 7) 到步骤 11);
- 15) 将 Att5 设置为 20dB, 重复步骤 7) 到步骤 11);
- 16) 将 Att5 设置为 10dB, 重复步骤 7) 到步骤 11);
- 17) 将 Att5 设置为 0dB, 重复步骤 7) 到步骤 11);
- 18) 将流量改为 4B 和 4C, 重复步骤 7) 到步骤 17);
- 19) 将 Att1、Att2、Att3、Att4 均设置为 20dB, 重复步骤 1) 到步骤 18);
- 20) 将 Att1、Att2、Att3、Att4 均设置为 25dB, 重复步骤 1) 到步骤 18);
- 21) 将 Att1、Att2、Att3、Att4 均设置为 30dB, 重复步骤 1) 到步骤 18);
- 22) 将 Att1、Att2、Att3、Att4 均设置为 35dB, 重复步骤 1) 到步骤 18)。

7.1.2.4 预期结果

记录步骤 9) 至步骤 22) 的测试结果。

7.1.3 两个邻居网络内不同流量条件下 UDP 双向吞吐量测试

7.1.3.1 测试目的

测试在 SISO 模式, 存在两个相同 PLC 技术的邻居网络条件下, 两个节点在不同流量下的 UDP 吞吐量。

7.1.3.2 测试配置

测试配置如图 13 所示。流量配置为 3A、3B、3C, 测试设备为 DUT1、DUT2、DUT3、DUT4、DUT5、DUT6。衰减器 Att1、Att2、Att3、Att4、Att5、Att6 初始值设置为 15dB, Att7、Att8、Att9 初始值设置为 25dB。

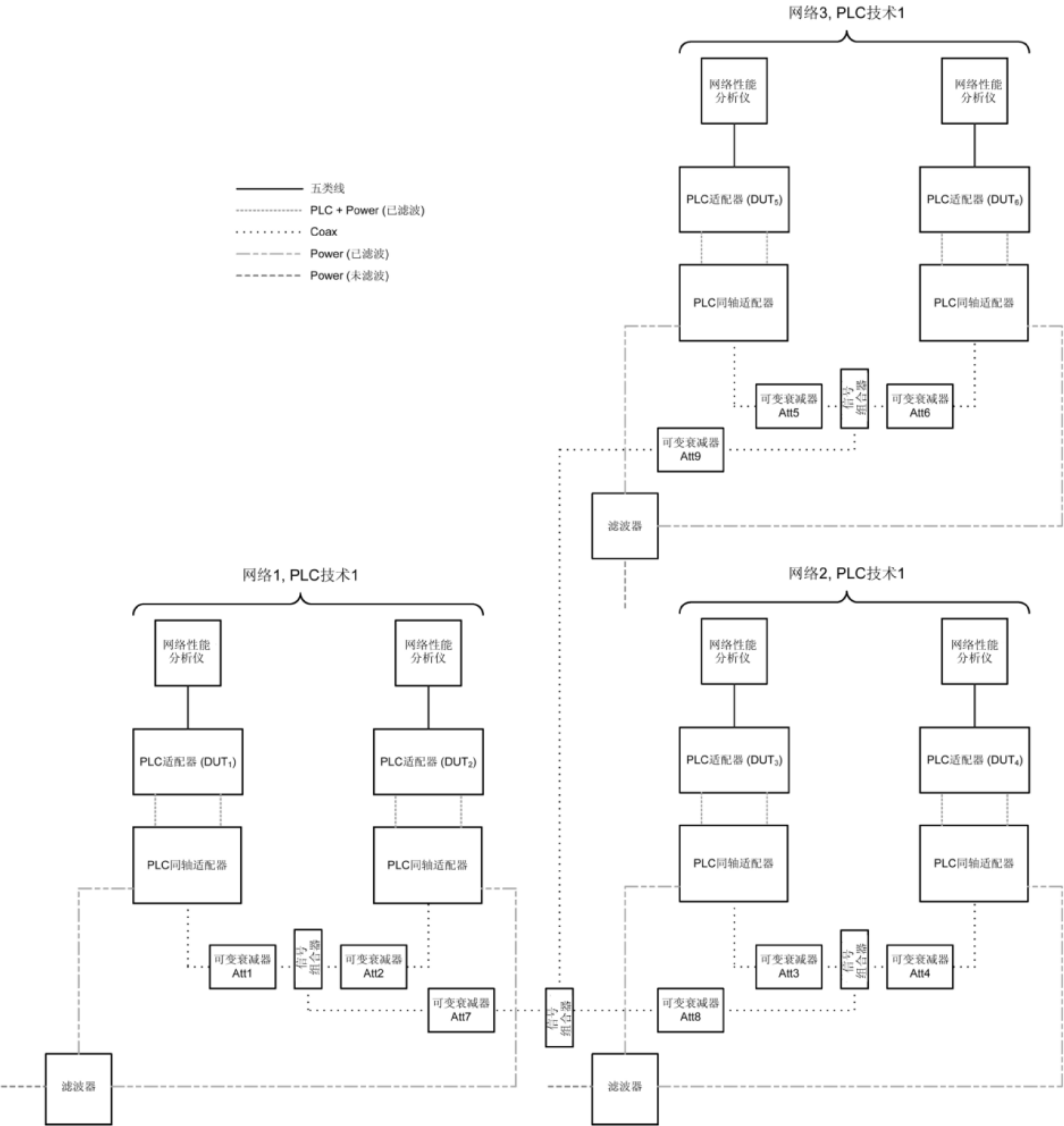


图 13 两个邻居网络 SISO 测试配置

7.1.3.3 测试步骤

- 1) 将 DUT1 上电并接入电力线，DUT1 创建 1 个网络（网络 1）；
- 2) 将 DUT2 上电并接入电力线，DUT2 注册到步骤 1) 中创建的网络；
- 3) 将 DUT3 上电并接入电力线，DUT3 创建 1 个网络（网络 2）；
- 4) 将 DUT4 上电并接入电力线，DUT4 注册到步骤 3) 中创建的网络；
- 5) 将 DUT5 上电并接入电力线，DUT5 创建 1 个网络（网络 3）；
- 6) 将 DUT6 上电并接入电力线，DUT6 注册到步骤 5) 中创建的网络；
- 7) 将一台流量分析仪连接到 DUT1 和 DUT2 上；

- 8) 将一台流量分析仪连接到 DUT3 和 DUT4 上;
- 9) 将一台流量分析仪连接到 DUT5 和 DUT6 上;
- 10) 两台流量分析仪发送 1min 流量 (10Mbit/s, 单向), 用于完成信道估计;
- 11) 在三台流量分析仪上各配置一条发送速率为 10Mbit/s 的 3A 流量;
- 12) 在 DUT1 和 DUT2 之间发送配置好的流量进行测试, 测试时间为 10s, 记录吞吐量测试结果, 结果单位为 Mbit/s;
- 13) 在 DUT3 和 DUT4 之间发送配置好的流量进行测试, 测试时间为 10s, 记录吞吐量测试结果, 结果单位为 Mbit/s;
- 14) 在 DUT5 和 DUT6 之间发送配置好的流量进行测试, 测试时间为 10s, 记录吞吐量测试结果, 结果单位为 Mbit/s;
- 15) 以 20Mbit/s 为步长增大流量速率, 并重复步骤 11) 到步骤 14) 的测试, 直到流量达到链路的上限;
- 16) 将 Att7、Att8、Att9 设置为 20dB, 重复步骤 10) 到步骤 15);
- 17) 将 Att7、Att8、Att9 设置为 15dB, 重复步骤 10) 到步骤 15);
- 18) 将 Att7、Att8、Att9 设置为 10dB, 重复步骤 10) 到步骤 15);
- 19) 将 Att7、Att8、Att9 设置为 5dB, 重复步骤 10) 到步骤 15);
- 20) 将流量改为 3B 和 3C, 重复步骤 10) 到步骤 19)。

7.1.3.4 预期结果

记录步骤 10) 至步骤 20) 的测试结果。

7.1.4 两个邻居网络不同流量条件下 TCP 双向吞吐量测试

7.1.4.1 测试目的

测试在 SISO 模式, 存在两个相同 PLC 技术的邻居网络条件下, 两个节点在不同的流量下的 TCP 吞吐量。

7.1.4.2 测试配置

测试配置如图 13 所示。流量配置为 4A、4B、4C, 测试设备为 DUT1、DUT2、DUT3、DUT4、DUT5、DUT6。衰减器 Att1、Att2、Att3、Att4、Att5、Att6 初始值设置为 15dB, Att7、Att8、Att9 初始值设置为 25dB。

7.1.4.3 测试步骤

- 1) 将 DUT1 上电并接入电力线, DUT1 创建 1 个网络 (网络 1);
- 2) 将 DUT2 上电并接入电力线, DUT2 注册到步骤 1) 中创建的网络;
- 3) 将 DUT3 上电并接入电力线, DUT3 创建 1 个网络 (网络 2);
- 4) 将 DUT4 上电并接入电力线, DUT4 注册到步骤 3) 中创建的网络;
- 5) 将 DUT5 上电并接入电力线, DUT5 创建 1 个网络 (网络 3);
- 6) 将 DUT6 上电并接入电力线, DUT6 注册到步骤 5) 中创建的网络;

- 7) 将分析仪分别连接到 DUT1~DUT6 上;
- 8) 两台流量分析仪发送 1min 流量 (10Mbit/s, 单向), 用于完成信道估计;
- 9) 在三台流量分析仪上各配置一条发送速率为 10Mbit/s 的 4A 流量;
- 10) 在 DUT1 和 DUT2 之间发送配置好的流量进行测试, 测试时间为 10s, 记录吞吐量测试结果, 结果单位为 Mbit/s;
- 11) 在 DUT3 和 DUT4 之间发送配置好的流量进行测试, 测试时间为 10s, 记录吞吐量测试结果, 结果单位为 Mbit/s;
- 12) 在 DUT5 和 DUT6 之间发送配置好的流量进行测试, 测试时间为 10s, 记录吞吐量测试结果, 结果单位为 Mbit/s;
- 13) 以 20Mbit/s 为步长增大流量速率, 并重复步骤 8) 到步骤 12) 的测试, 直到流量达到链路的上限;
- 14) 将 Att7、Att8、Att9 设置为 20dB, 重复步骤 8) 到步骤 13);
- 15) 将 Att7、Att8、Att9 设置为 15dB, 重复步骤 8) 到步骤 13);
- 16) 将 Att7、Att8、Att9 设置为 10dB, 重复步骤 8) 到步骤 13);
- 17) 将 Att7、Att8、Att9 设置为 5dB, 重复步骤 8) 到步骤 13);
- 18) 将流量改为 4B 和 4C, 重复步骤 8) 到步骤 17)。

7.1.4.4 预期结果

记录步骤 8) 至步骤 18) 的测试结果。

7.2 邻居网络条件下的准入测试 (SISO)

7.2.1 在已建立的网络中加入一个新节点

7.2.1.1 测试目的

测试在 SISO 模式, 存在一个相同 PLC 技术的邻居网络条件下, 节点加入网络的时间。

7.2.1.2 测试配置

测试配置如图 12 所示。流量配置为 3A。衰减器 Att1、Att2、Att3、Att4 初始值设置为 15dB, Att5 初始值设置为 30dB。

7.2.1.3 测试步骤

- 1) 将 DUT1 上电并接入电力线, DUT1 应创建 1 个网络 (网络 1);
- 2) 将 DUT3 上电并接入电力线, DUT3 应创建 1 个网络 (网络 2);
- 3) 将 DUT4 上电并接入电力线, DUT4 应注册到步骤 2) 中创建的网络;
- 4) 将 DUT2 上电并接入电力线, 有预期结果 1);
- 5) 将 DUT1~DUT4 与电力线断开, 重复步骤 1) 到步骤 4) 五次, 有预期结果 2)。

7.2.1.4 预期结果

- 1) DUT2 应注册到步骤 1) 中创建的网络, 记录注册所用时间;

2) 记录每一次的注册时间, 并最终计算平均注册时间。

7.3 邻居网络条件下的速率测试 (MIMO)

7.3.1 一个邻居网络内不同流量条件下 UDP 双向吞吐量测试

7.3.1.1 测试目的

测试在 MIMO 模式, 存在一个相同 PLC 技术的邻居网络条件下, 两个节点在不同的流量下的 UDP 吞吐量。

7.3.1.2 测试配置

测试配置如图 14 所示。流量配置为 3A、3B、3C, 测试设备为 DUT1、DUT2、DUT3、DUT4。衰减器 Att1 到 Att12 初始值设置为 15dB, Att13 到 Att15 初始值设置为 70dB。

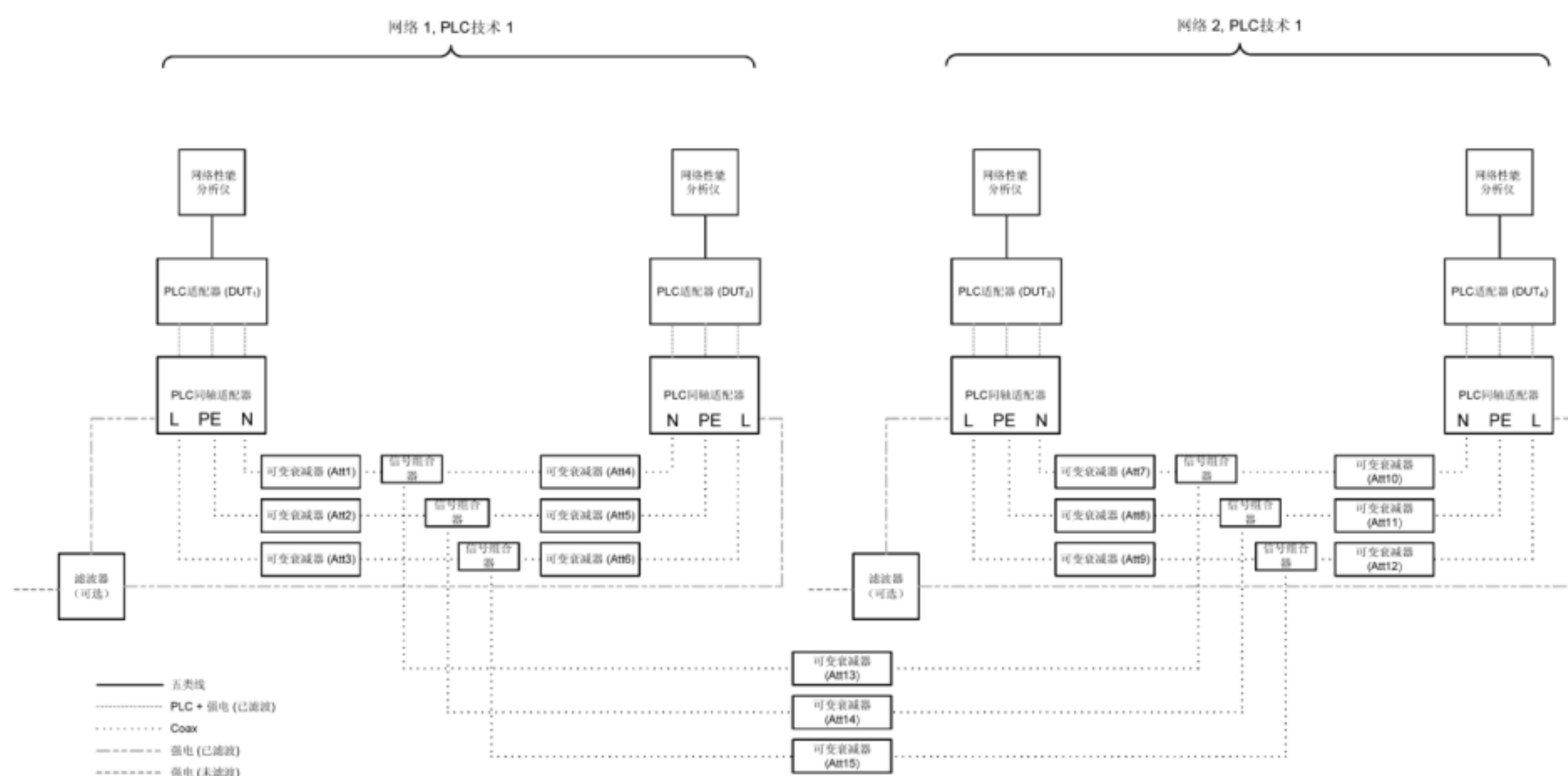


图 14 一个邻居网络 MIMO 测试配置

7.3.1.3 测试步骤

- 1) 将 DUT1 上电并接入电力线, DUT1 创建 1 个网络 (网络 1);
- 2) 将 DUT2 上电并接入电力线, DUT2 注册到步骤 1) 中创建的网络;
- 3) 将 DUT3 上电并接入电力线, DUT3 应创建 1 个网络 (网络 2);
- 4) 将 DUT4 上电并接入电力线, DUT4 应注册到步骤 3) 中创建的网络;
- 5) 将一台流量分析仪连接到 DUT1 和 DUT2 上;
- 6) 将一台流量分析仪连接到 DUT3 和 DUT4 上;
- 7) 两台流量分析仪发送 1min 流量 (10Mbit/s, 单向), 用于完成信道估计;
- 8) 在两台流量分析仪上各配置一条发送速率为 10Mbit/s 的 3A 流量;
- 9) 在 DUT1 和 DUT2 之间发送配置好的流量进行测试, 测试时间为 10s, 记录吞吐量测试结果, 结果单位为 Mbit/s;

- 10) 在 DUT3 和 DUT4 之间发送配置好的流量进行测试, 测试时间为 10s, 记录吞吐量测试结果, 结果单位为 Mbit/s;
- 11) 以 20Mbit/s 为步长增大流量速率, 并重复步骤 8) 到步骤 10) 的测试, 直到流量达到链路的上限;
- 12) 将 Att13、Att14、Att15 设置为 60dB, 重复步骤 7) 到步骤 11);
- 13) 将 Att13、Att14、Att15 设置为 50dB, 重复步骤 7) 到步骤 11);
- 14) 将 Att13、Att14、Att15 设置为 30dB, 重复步骤 7) 到步骤 11);
- 15) 将 Att13、Att14、Att15 设置为 20dB, 重复步骤 7) 到步骤 11);
- 16) 将 Att13、Att14、Att15 设置为 10dB, 重复步骤 7) 到步骤 11);
- 17) 将 Att13、Att14、Att15 设置为 0dB, 重复步骤 7) 到步骤 11);
- 18) 将流量改为 3B 和 3C, 重复步骤 7) 到步骤 17);
- 19) 将 Att1 到 Att12 均设置为 20dB, 重复步骤 1) 到步骤 18);
- 20) 将 Att1 到 Att12 均设置为 25dB, 重复步骤 1) 到步骤 18);
- 21) 将 Att1 到 Att12 均设置为 30dB, 重复步骤 1) 到步骤 18);
- 22) 将 Att1 到 Att12 均设置为 35dB, 重复步骤 1) 到步骤 18)。

7.3.1.4 预期结果

记录步骤 9) 至步骤 22) 的测试结果。

7.3.2 一个邻居网络内不同流量条件下 TCP 双向吞吐量测试

7.3.2.1 测试目的

测试在 MIMO 模式, 存在一个相同 PLC 技术的邻居网络条件下, 两个节点在不同的流量下的 TCP 吞吐量。

7.3.2.2 测试配置

测试配置如图 14 所示。流量配置为 4A、4B、4C, 测试设备为 DUT1、DUT2、DUT3、DUT4。衰减器 Att1 到 Att12 初始值设置为 15dB, Att13 到 Att15 初始值设置为 70dB。

7.3.2.3 测试步骤

- 1) 将 DUT1 上电并接入电力线, DUT1 创建 1 个网络 (网络 1);
- 2) 将 DUT2 上电并接入电力线, DUT2 注册到步骤 1) 中创建的网络;
- 3) 将 DUT3 上电并接入电力线, DUT3 创建 1 个网络 (网络 2);
- 4) 将 DUT4 上电并接入电力线, DUT4 注册到步骤 3) 中创建的网络;
- 5) 将一台流量分析仪连接到 DUT1 和 DUT2 上;
- 6) 将一台流量分析仪连接到 DUT3 和 DUT4 上;
- 7) 两台流量分析仪发送 1min 流量 (10Mbit/s, 单向), 用于完成信道估计;
- 8) 在两台流量分析仪上各配置一条发送速率为 10Mbit/s 的 4A 流量;
- 9) 在 DUT1 和 DUT2 之间发送配置好的流量进行测试, 测试时间为 10s, 记录吞吐量测试结果,

结果单位为 Mbit/s;

- 10) 在 DUT3 和 DUT4 之间发送配置好的流量进行测试, 测试时间为 10s, 记录吞吐量测试结果, 结果单位为 Mbit/s;
- 11) 以 20Mbit/s 为步长增大流量速率, 并重复步骤 8) 到步骤 10) 的测试, 直到流量达到链路的上限;
- 12) 将 Att13、Att14、Att15 设置为 60dB, 重复步骤 7) 到步骤 11);
- 13) 将 Att13、Att14、Att15 设置为 50dB, 重复步骤 7) 到步骤 11);
- 14) 将 Att13、Att14、Att15 设置为 30dB, 重复步骤 7) 到步骤 11);
- 15) 将 Att13、Att14、Att15 设置为 20dB, 重复步骤 7) 到步骤 11);
- 16) 将 Att13、Att14、Att15 设置为 10dB, 重复步骤 7) 到步骤 11);
- 17) 将 Att13、Att14、Att15 设置为 0dB, 重复步骤 7) 到步骤 11);
- 18) 将流量改为 3B 和 3C, 重复步骤 7) 到步骤 17);
- 19) 将 Att1 到 Att12 均设置为 20dB, 重复步骤 1) 到步骤 18);
- 20) 将 Att1 到 Att12 均设置为 25dB, 重复步骤 1) 到步骤 18);
- 21) 将 Att1 到 Att12 均设置为 30dB, 重复步骤 1) 到步骤 18);
- 22) 将 Att1 到 Att12 均设置为 35dB, 重复步骤 1) 到步骤 18)。

7.3.2.4 预期结果

记录步骤 9) 至步骤 22) 的测试结果。

7.3.3 两个邻居网络内不同流量条件下 UDP 双向吞吐量测试

7.3.3.1 测试目的

测试在 MIMO 模式, 存在两个相同 PLC 技术的邻居网络条件下, 两个节点在不同流量下的 UDP 吞吐量。

7.3.3.2 测试配置

测试配置如图 15 所示。流量配置为 3A、3B、3C, 测试设备为 DUT1、DUT2、DUT3、DUT4、DUT5、DUT6。衰减器 Att1 到 Att18 初始值设置为 15dB, Att19 到 Att24 初始值设置为 25dB。

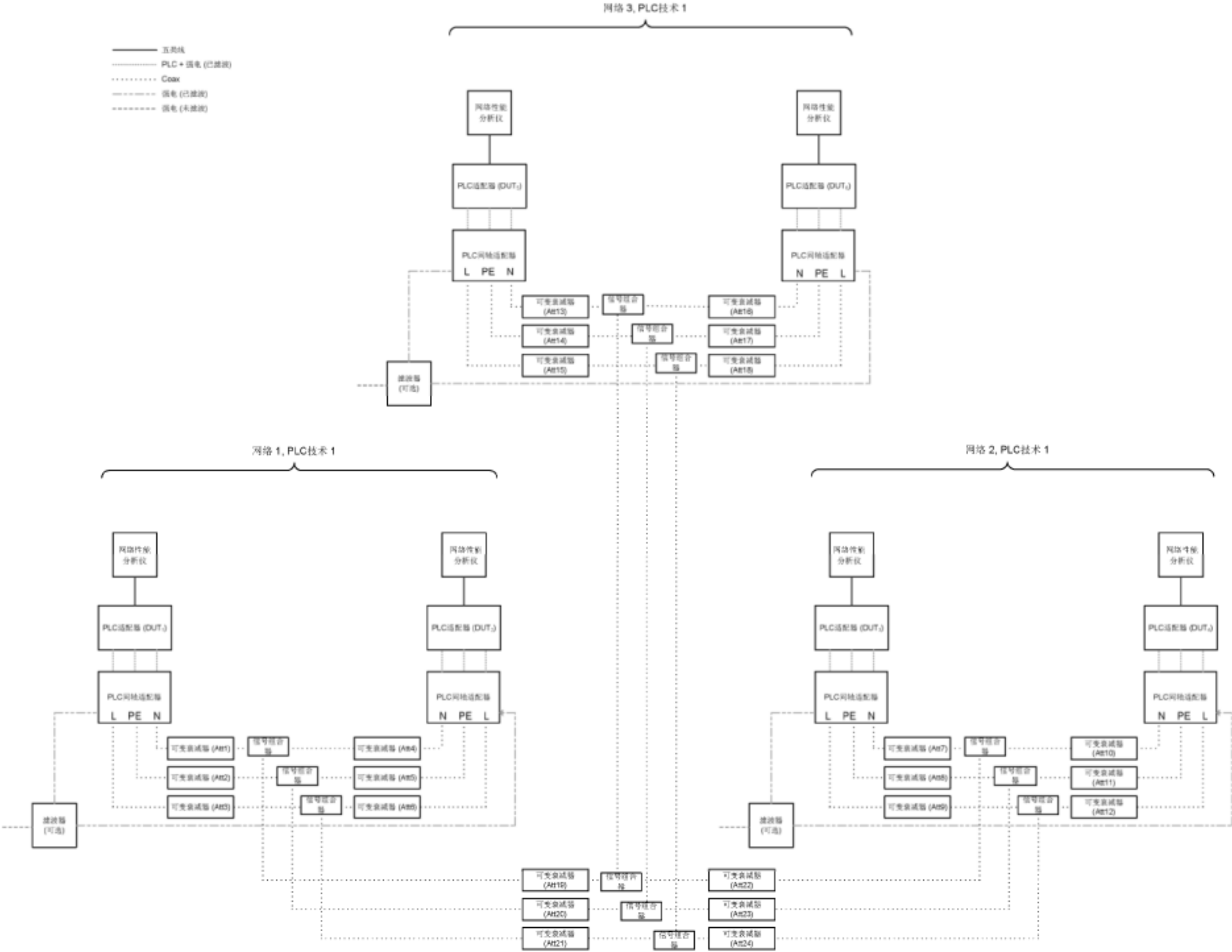


图 15 两个邻居网络 MIMO 测试配置

7.3.3.3 测试步骤

- 1) 将 DUT1 上电并接入电力线，DUT1 创建 1 个网络（网络 1）；
- 2) 将 DUT2 上电并接入电力线，DUT2 注册到步骤 1) 中创建的网络；
- 3) 将 DUT3 上电并接入电力线，DUT3 创建 1 个网络（网络 2）；
- 4) 将 DUT4 上电并接入电力线，DUT4 注册到步骤 3) 中创建的网络；
- 5) 将 DUT5 上电并接入电力线，DUT5 创建 1 个网络（网络 3）；
- 6) 将 DUT6 上电并接入电力线，DUT6 注册到步骤 5) 中创建的网络；
- 7) 将一台流量分析仪连接到 DUT1 和 DUT2 上；
- 8) 将一台流量分析仪连接到 DUT3 和 DUT4 上；
- 9) 将一台流量分析仪连接到 DUT5 和 DUT6 上；
- 10) 两台流量分析仪发送 1min 流量（10Mbit/s，单向），用于完成信道估计；
- 11) 在三台流量分析仪上各配置一条发送速率为 10Mbit/s 的 3A 流量；
- 12) 在 DUT1 和 DUT2 之间发送配置好的流量进行测试，测试时间为 10s，记录吞吐量测试结果，结果单位为 Mbit/s；

- 13) 在 DUT3 和 DUT4 之间发送配置好的流量进行测试, 测试时间为 10s, 记录吞吐量测试结果, 结果单位为 Mbit/s;
- 14) 在 DUT5 和 DUT6 之间发送配置好的流量进行测试, 测试时间为 10s, 记录吞吐量测试结果, 结果单位为 Mbit/s;
- 15) 以 20Mbit/s 为步长增大流量速率, 并重复步骤 11) 到步骤 14) 的测试, 直到流量达到链路的上限;
- 16) 将 Att19 到 Att24 设置为 20dB, 重复步骤 10) 到步骤 15);
- 17) 将 Att19 到 Att24 设置为 15dB, 重复步骤 10) 到步骤 15);
- 18) 将 Att19 到 Att24 设置为 10dB, 重复步骤 10) 到步骤 15);
- 19) 将 Att19 到 Att24 设置为 5dB, 重复步骤 10) 到步骤 15);
- 20) 将流量改为 3B 和 3C, 重复步骤 10) 到步骤 19)。

7.3.3.4 预期结果

记录步骤 10) 至步骤 20) 的测试结果。

7.3.4 两个邻居网络不同流量条件下 TCP 双向吞吐量测试

7.3.4.1 测试目的

测试在 MIMO 模式, 存在两个相同 PLC 技术的邻居网络条件下, 两个节点在不同的流量下的 TCP 吞吐量。

7.3.4.2 测试配置

测试配置如图 15 所示。流量配置为 4A、4B、4C, 测试设备为 DUT1、DUT2、DUT3、DUT4、DUT5、DUT6。衰减器 Att1 到 Att18 初始值设置为 15dB, Att19 到 Att24 初始值设置为 25dB。

7.3.4.3 测试步骤

- 1) 将 DUT1 上电并接入电力线, DUT1 创建 1 个网络 (网络 1);
- 2) 将 DUT2 上电并接入电力线, DUT2 注册到步骤 1) 中创建的网络;
- 3) 将 DUT3 上电并接入电力线, DUT3 创建 1 个网络 (网络 2);
- 4) 将 DUT4 上电并接入电力线, DUT4 注册到步骤 3) 中创建的网络;
- 5) 将 DUT5 上电并接入电力线, DUT5 创建 1 个网络 (网络 3);
- 6) 将 DUT6 上电并接入电力线, DUT6 注册到步骤 5) 中创建的网络;
- 7) 将一台流量分析仪连接到 DUT1 和 DUT2 上;
- 8) 将一台流量分析仪连接到 DUT3 和 DUT4 上;
- 9) 将一台流量分析仪连接到 DUT5 和 DUT6 上;
- 10) 两台流量分析仪发送 1min 流量 (10Mbit/s, 单向), 用于完成信道估计;
- 11) 在三台流量分析仪上各配置一条发送速率为 10Mbit/s 的 4A 流量;
- 12) 在 DUT1 和 DUT2 之间发送配置好的流量进行测试, 测试时间为 10s, 记录吞吐量测试结果, 结果单位为 Mbit/s;

- 13) 在 DUT3 和 DUT4 之间发送配置好的流量进行测试, 测试时间为 10s, 记录吞吐量测试结果, 结果单位为 Mbit/s;
- 14) 在 DUT5 和 DUT6 之间发送配置好的流量进行测试, 测试时间为 10s, 记录吞吐量测试结果, 结果单位为 Mbit/s;
- 15) 以 20Mbit/s 为步长增大流量速率, 并重复步骤 11) 到步骤 14) 的测试, 直到流量达到链路的上限;
- 16) 将 Att7、Att8、Att9 设置为 20dB, 重复步骤 10) 到步骤 15);
- 17) 将 Att7、Att8、Att9 设置为 15dB, 重复步骤 10) 到步骤 15);
- 18) 将 Att7、Att8、Att9 设置为 10dB, 重复步骤 10) 到步骤 15);
- 19) 将 Att7、Att8、Att9 设置为 5dB, 重复步骤 10) 到步骤 15);
- 20) 将流量改为 4B 和 4C, 重复步骤 10) 到步骤 19)。

7.3.4.4 预期结果

记录步骤 10) 至步骤 20) 的测试结果。

7.4 邻居网络条件下的准入测试 (MIMO)

7.4.1 在已建立的网络中加入一个新节点

7.4.1.1 测试目的

测试在 MIMO 模式, 存在一个相同 PLC 技术的邻居网络条件下, 节点加入网络的时间。

7.4.1.2 测试配置

测试配置如图 14 所示。流量配置为 3A。衰减器 Att1 到 Att12 初始值设置为 15dB, Att13 到 Att15 初始值设置为 70dB。

7.4.1.3 测试步骤

- 1) 将 DUT1 上电并接入电力线, DUT1 应创建一个网络 (网络 1);
- 2) 将 DUT3 上电并接入电力线, DUT3 应创建一个网络 (网络 2);
- 3) 将 DUT4 上电并接入电力线, 有预期结果 1);
- 4) 将 DUT2 上电并接入电力线, 有预期结果 2);
- 5) 重复步骤 1) 到步骤 4) 共 5 次。

7.4.1.4 预期结果

- 1) DUT4 应注册到步骤 2) 中创建的网络;
- 2) DUT2 应注册到步骤 1) 中创建的网络, 记录注册所用时间;
- 3) 记录每一次的注册时间, 并最终计算平均注册时间。

8 PSD 测试

8.1 SISO PSD 测试

8.1.1 100KHz~200MHz SISO PSD 测量

8.1.1.1 测试目的

测量 DUT 在 100KHz~200MHz 范围内的 PSD。

8.1.1.2 测试配置

测试配置如图 16 所示。流量配置为 3A。衰减器 Att1 初始值设置为 17dB，Att2、Att3 初始值设置为 20dB。分离器连接到线路 N，发送连续数据使发送机在至少 10%的时间内保持活动。

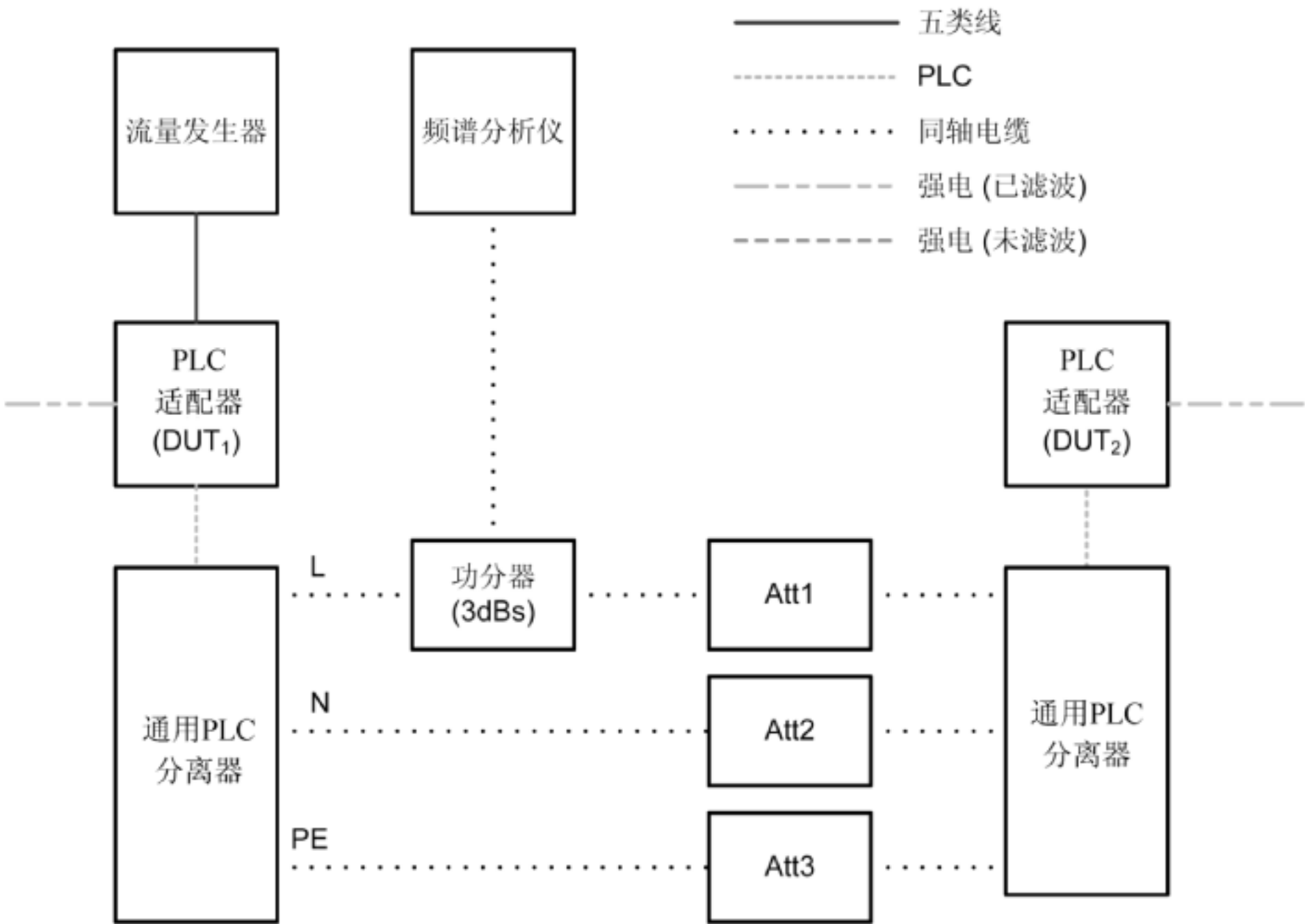


图 16 PSD 测试配置

8.1.1.3 测试步骤

- 1) 测量测试系统的频率响应、衰减和基础噪声；
- 2) 将 DUT1 上电并接入电力线，DUT1 应创建一个网络（网络 1）；
- 3) 将 DUT2 上电并接入电力线，DUT2 应加入网络 1；
- 4) 测量 100 KHz~200 MHz 的 PSD（频率步长为 5KHz），根据步骤 1) 中测出的频率响应对 PSD 进行修正；
- 5) 将分离器连接到线路 L，设置 Att1、Att3 的值为 20dB，Att2 的值为 17dB，重复步骤 1) 到步骤 4) ；
- 6) 将分离器连接到线路 PE，设置 Att1、Att3 的值为 20dB，Att2 的值为 17dB，重复步骤 1) 到步骤 4) 。

8.1.1.4 预期结果

记录步骤 4) 到步骤 6) 的测试结果。

8.1.2 频谱开槽测试

8.1.2.1 测试目的

测试配置频谱开槽的能力以及开槽的深度。

8.1.2.2 测试配置

测试配置如图 16 所示。流量配置为 3A。衰减器 Att1 初始值设置为 17dB，Att2、Att3 初始值设置为 20dB。分离器连接到线路 N，发送连续数据使发送机在至少 10%的时间内保持活动。设置频谱分析仪带宽分辨率为 10KHz，并打开“最大保持”功能。

8.1.2.3 测试步骤

- 1) 测量测试系统的频率响应、衰减和基础噪声；
- 2) 将 DUT1 上电并接入电力线，DUT1 应创建一个网络（网络 1）；
- 3) 将 DUT2 上电并接入电力线，DUT2 应加入网络 1；
- 4) 配置 DUT 屏蔽一个频段内的子载波，频段的起始频率为 3MHz 和调制解调器最大频率之间的随机值（FSTART），频段宽度为 1MHz；
- 5) 等待频谱仪扫描次数足够获取所有活动载波的频谱后，保存 $F_{\text{START}}-4\text{MHz} \sim F_{\text{START}}+4\text{MHz}$ 范围内的 PSD；
- 6) 根据步骤 1) 中测出的频率响应对 PSD 进行修正；
- 7) 取消开槽；
- 8) 等待频谱仪扫描次数足够获取所有活动载波的频谱后，保存测量到的 PSD（频率步长为 5KHz）；
- 9) 根据步骤 1) 中测出的频率响应对 PSD 进行修正；
- 10) 将分离器连接到线路 L 和线路 PE，分别重复步骤 1) 到步骤 9)。

8.1.2.4 预期结果

记录步骤 4) 到步骤 10) 的测试结果。

8.2 MIMO PSD 测试

8.2.1 100kHz~200MHz MIMO PSD 测试

8.2.1.1 测试目的

测试 DUT 在 100kHz~200MHz 范围内的 PSD。

8.2.1.2 测试配置

测试配置如图 16（PSD1）所示。流量配置为 3A。衰减器 Att1 初始值设置为 17dB，Att2、Att3 初始值设置为 20dB。分离器连接到线路 N，发送连续数据使发送机在至少 10%的时间内保持活动。

8.2.1.3 测试步骤

- 1) 测量测试系统的频率响应、衰减和基础噪声；
- 2) 将 DUT1 上电并接入电力线，DUT1 应创建一个网络（网络 1）；
- 3) 将 DUT2 上电并接入电力线，DUT2 应加入网络 1；
- 4) 测量 100 KHz~200 MHz 的 PSD（频率步长为 5KHz），根据步骤 1) 中测出的频率响应对 PSD 进行修正；
- 5) 将分离器连接到线路 L，设置 Att1、Att3 的值为 20dB，Att2 的值为 17dB，重复步骤 1) 到步骤 4)；
- 6) 将分离器连接到线路 PE，设置 Att1、Att3 的值为 20dB，Att2 的值为 17dB，重复步骤 1) 到步骤 4)。

8.2.1.4 预期结果

记录步骤 4) 至步骤 6) 的测试结果。

8.2.2 频谱开槽测试

8.2.2.1 测试目的

测试配置频谱开槽的能力以及开槽的深度。

8.2.2.2 测试配置

测试配置如图 16（PSD1）所示。流量配置为 3A。衰减器 Att1 初始值设置为 17dB，Att2、Att3 初始值设置为 20dB。分离器连接到线路 N，发送连续数据使发送机在至少 10%的时间内保持活动。设置频谱分析仪带宽分辨率为 10KHz，并打开“最大保持”功能。

8.2.2.3 测试步骤

- 1) 测量测试系统的频率响应、衰减和基础噪声；
- 2) 将 DUT1 上电并接入电力线，DUT1 创建一个网络（网络 1）；
- 3) 将 DUT2 上电并接入电力线，DUT2 加入网络 1；
- 4) 配置 DUT 屏蔽一个频段内的子载波，频段的起始频率为 3MHz 和调制解调器最大频率之间的随机值 (F_{START})，频段宽度为 1MHz；
- 5) 等待频谱仪扫描次数足够获取所有活动载波的频谱后，保存 $F_{START}-4\text{MHz} \sim F_{START}+4\text{MHz}$ 范围内的 PSD；
- 6) 根据步骤 1) 中测出的频率响应对 PSD 进行修正；
- 7) 取消开槽；
- 8) 等待频谱仪扫描次数足够获取所有活动载波的频谱后，保存测量到的 PSD（频率步长为 5KHz）；
- 9) 根据步骤 1) 中测出的频率响应对 PSD 进行修正；
- 10) 将分离器连接到线路 L 和线路 PE，分别重复步骤 1) 到步骤 9)。

8.2.2.4 预期结果

记录步骤 4) 至步骤 10) 的测试结果。

9 抗噪声测试

9.1 SISO/MIMO 抗脉冲噪声测试

9.1.1 测试目的

测试对脉冲噪声的抵抗能力。

9.1.2 测试配置

SISO DUT 测试配置如图 9 所示。MIMO DUT 测试配置如图 11 所示。由 DUT 类型决定选择哪种配置。流量配置为 3A 和 4A。

9.1.3 测试步骤

- 1) 将 DUT1 上电并接入电力线，DUT1 应创建一个网络（网络 1）；
- 2) 将 DUT2 上电并接入电力线，DUT2 应加入网络 1；
- 3) 连接流量发生器到 DUT1，连接流量分析仪到 DUT2；
- 4) 配置 Att1 衰减为 14dB。在 M2 的配置时，配置 Att3 和 Att5 为 20dB。配置 Att2 为 50dB；
- 5) 发送 1min 流量（10Mbit/s，单向）以完成信道估计；
- 6) 设置流量发生仪发送大小为 100Mbit/s 的 3A 流量；
- 7) 加入噪声 N1；
- 8) 记录丢包数量和能达到的吞吐量；
- 9) 将 Att2 设置为 45dB，重复步骤 5) 到步骤 8)；
- 10) 将 Att2 设置为 40dB，重复步骤 5) 到步骤 8)；
- 11) 将 Att2 设置为 35dB，重复步骤 5) 到步骤 8)；
- 12) 将 Att2 设置为 30dB，重复步骤 5) 到步骤 8)；
- 13) 将 Att2 设置为 25dB，重复步骤 5) 到步骤 8)；
- 14) 将 Att2 设置为 20dB，重复步骤 5) 到步骤 8)；
- 15) 将 Att2 设置为 15dB，重复步骤 5) 到步骤 8)；
- 16) 将 Att2 设置为 10dB，重复步骤 5) 到步骤 8)；
- 17) 将 Att2 设置为 5dB，重复步骤 5) 到步骤 8)；
- 18) 将 Att2 设置为 0dB，重复步骤 5) 到步骤 8)；
- 19) 将流量改为 4A，重复步骤 1) 到步骤 18)；
- 20) 将注入的噪声分别改为 N2、N3、N4，重复步骤 1) 到步骤 19)。

9.1.4 预期结果

记录步骤 8) 至步骤 20) 的测试结果。

9.2 抗脉冲噪声开关能力测试

9.2.1 测试目的

测试对脉冲噪声的抵抗能力和噪声消失时的恢复时间。

9.2.2 测试配置

SISO DUT 测试配置如图 9 所示。MIMO DUT 测试配置如图 11 所示。由 DUT 类型决定选择哪种配置。流量配置为 3A 和 4A。

9.2.3 测试步骤

- 1) 将 DUT1 上电并接入电力线，DUT1 应创建 1 个网络（网络 1）；
- 2) 将 DUT2 上电并接入电力线，DUT2 应加入网络 1；
- 3) 连接流量发生器到 DUT1，连接流量分析仪到 DUT2；
- 4) 配置 Att1 衰减为 14dB。在 M2 的配置时，配置 Att3 和 Att5 为 20dB。配置 Att2 为 50dB；
- 5) 发送 1min 流量（10Mbit/s，单向）以完成信道估计；
- 6) 设置流量发生仪发送大小为 100Mbit/s 的 3A 流量；
- 7) 每隔 120s，通过注入和消除噪声（噪声 N3）改变信道状态；
- 8) 记录每个 120s 周期内丢包数量和能达到的吞吐量，并记录从低吞吐量（有噪声）到高吞吐量（无噪声）的恢复时间；
- 9) 将 Att2 设置为 45dB，重复步骤 5) 到步骤 8)；
- 10) 将 Att2 设置为 40dB，重复步骤 5) 到步骤 8)；
- 11) 将 Att2 设置为 35dB，重复步骤 5) 到步骤 8)；
- 12) 将 Att2 设置为 30dB，重复步骤 5) 到步骤 8)；
- 13) 将 Att2 设置为 25dB，重复步骤 5) 到步骤 8)；
- 14) 将 Att2 设置为 20dB，重复步骤 5) 到步骤 8)；
- 15) 将 Att2 设置为 15dB，重复步骤 5) 到步骤 8)；
- 16) 将 Att2 设置为 10dB，重复步骤 5) 到步骤 8)；
- 17) 将 Att2 设置为 5dB，重复步骤 5) 到步骤 8)；
- 18) 将 Att2 设置为 0dB，重复步骤 5) 到步骤 8)；
- 19) 将流量改为 4A，重复步骤 1) 到步骤 18)。

9.2.4 预期结果

记录步骤 8) 至步骤 19) 的测试结果。

10 性能测试

10.1 时延测试

10.1.1 测试目的

测试网络平均时延。

10.1.2 测试配置

SISO DUT 测试配置如图 8 所示。MIMO DUT 测试配置如图 10 所示。

10.1.3 测试步骤

- 1) 上电 DUT1，验证其创建了一个网络；
- 2) 上电 DUT2，验证其注册到了步骤 1) 创建的网络中；
- 3) 配置衰减器 Att1（以及为 M1 配置 Att2 和 Att3）为 20dB 衰减值；
- 4) 连接流量发生器到 DUT1（收发器）和流量分析器到 DUT2（接收器）；
- 5) 发送流量 1min 来完成信道评估（单向 10Mbit/s）；
- 6) 设置流量发生器产生双向流量进行时延测试，每方向速率 10Mbit/s，帧长位 1514 字节，时间 1min；
- 7) 重复 4 次步骤 1) 至步骤 7)，记录步骤 6) 结果，并在测试结束时计算双向时延平均值。

10.1.4 预期结果

记录步骤 7) 时延。

10.2 突发流量测试

10.2.1 测试目的

测试处理突发流量能力。

10.2.2 测试配置

SISO DUT 测试配置如图 17 所示。MIMO DUT 测试配置如图 19 所示。

10.2.3 测试步骤

- 1) 上电 DUT1，验证其创建一个网络；
- 2) 上电 DUT2，验证其注册到了步骤 1) 创建的网络中；
- 3) 配置衰减器 Att1（以及为 M1 配置 Att2 和 Att3）为 50dB 衰减值；
- 4) 连接流量发生器到 DUT1（收发器）和流量分析器到 DUT2（接收器）；
- 5) 发送流量 1min 来完成信道评估（单向 10Mbit/s）；
- 6) 设置流量发生器发送 50Mbit/s 的流，并配置 3A 流量模板，时长为 1min；
- 7) 1min 后结束流量发送，间隔 1min 后重新开始发送流量；
- 8) 重复步骤 7)，共发送流量 5 次后，结束测试并有预期结果。

10.2.4 预期结果

记录接收的流量和丢包率，并计算平均值。

10.3 长期稳定性测试

10.3.1 测试目的

测试点到点连接的长期稳定性。

10.3.2 测试配置

SISO DUT 测试配置如图 17 所示。MIMO DUT 测试配置如图 19 所示。

10.3.3 测试步骤

- 1) 上电 DUT1，验证其创建一个网络；
- 2) 上电 DUT2，验证其注册到了步骤 1) 创建的网络中；
- 3) 配置衰减器 Att1（以及为 M1 配置 Att2 和 Att3）为 50dB 衰减值；
- 4) 连接流量发生器到 DUT1（收发器）和流量分析器到 DUT2（接收器）；
- 5) 发送流量 1min 来完成信道评估（单向 10Mbit/s）；
- 6) 设置流量发生器发送 50Mbit/s 的流，并配置 3A 流量模板，时长 8h；
- 7) 在流量分析仪上获取接收流量和丢包率，并记录结果。

10.3.4 预期结果

记录接收的流量和丢包率。

10.4 单向吞吐量测试

10.4.1 测试目的

测试设备的单向吞吐量。

10.4.2 测试配置

SISO DUT 测试配置如图 17 所示。MIMO DUT 测试配置如图 19 所示。

10.4.3 测试步骤

- 1) 上电 DUT1，验证其创建一个网络；
- 2) 上电 DUT2，验证其注册到了步骤 1) 创建的网络中；
- 3) 配置衰减器 Att1（以及为 M1 配置 Att2 和 Att3）为 50dB 衰减值；
- 4) 连接流量发生器到 DUT1（收发器）和流量分析器到 DUT2（接收器）；
- 5) 发送流量 1min 来完成信道评估（单向 10Mbit/s）；
- 6) 设置流量发生器产生流量配置，见表 7；
- 7) 对于每种帧长，记录 0%丢帧率下的最大速率。

表 7 吞吐量测试配置

帧长	64, 128, 256, 512, 1024, 1280, 1518 (字节)
发送时长	60s
帧格式	UDP
搜索算法	二分法搜索
可接受丢包率	0%
初始速率	500 Mbit/s
最小速率	10 Mbit/s
最大速率	1000 Mbit/s
解析度	1 Mbit/s

10.4.4 预期结果

记录吞吐量测试结果。

10.5 双向吞吐量测试

10.5.1 测试目的

测试设备的双向吞吐量。

10.5.2 测试配置

SISO DUT 测试配置如图 17 所示。MIMO DUT 测试配置如图 19 所示。

10.5.3 测试步骤

- 1) 上电 DUT1，验证其创建一个网络；
- 2) 上电 DUT2，验证其注册到了步骤 1) 创建的网络中；
- 3) 配置衰减器 Att1（以及为 M1 配置 Att2 和 Att3）为 50dB 衰减值；
- 4) 连接流量发生器到 DUT1（收发器）和流量分析器到 DUT2（接收器）；
- 5) 1min 内由 2 个流量发生器发送流量完成信道评估（每个方向 10Mbit/s）；
- 6) 依据表 7 设置流量发生器流量配置；
- 7) 对于每种帧长，记录 0%丢帧率下的最大速率。

10.5.4 预期结果

记录吞吐量测试结果。

11 多节点性能测试

11.1 SISO UDP 性能测试

11.1.1 测试目的

测试 4 个节点的 SISO 环境下的 UDP 性能。

11.1.2 测试配置

测试配置如图 17 所示。流量配置 3A，配置 4 个设备 DUT1~DUT4，衰减器配置为 15dB。

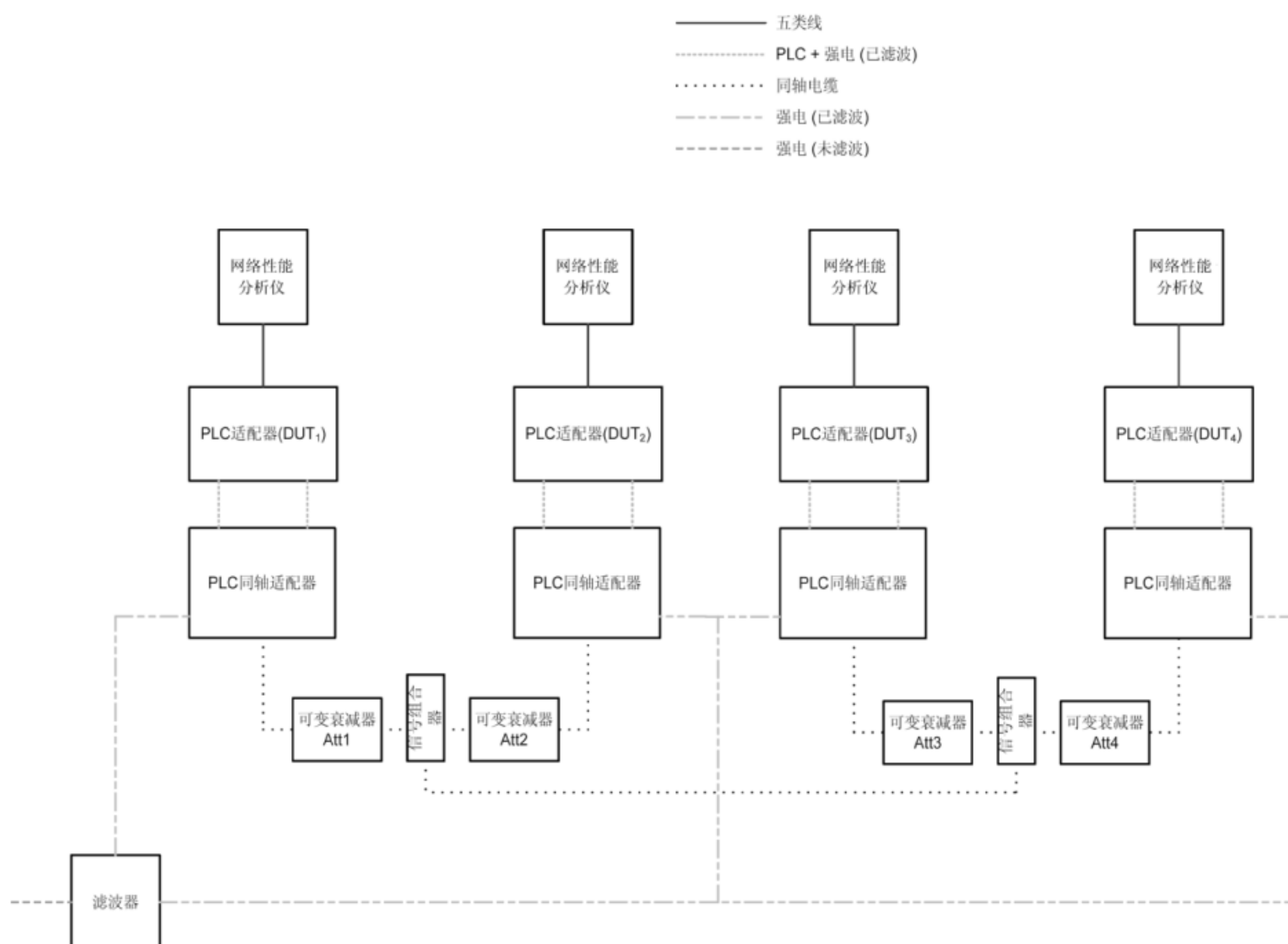


图 17 SISO 多节点传输性能测试配置

11.1.3 测试步骤

- 1) 上电 DUT1，验证其创建一个网络；
- 2) 上电 DUT2，验证其注册到了步骤 1) 创建的网络中；
- 3) 上电 DUT3，验证其注册到了步骤 1) 创建的网络中；
- 4) 上电 DUT4，验证其注册到了步骤 1) 创建的网络中；
- 5) 为每个 DUT 连接一个流量发生器/分析仪；
- 6) 所有流量发生器之间发送流量（10Mbit/s 单向）1min 以完成信道评估；
- 7) 配置流量发生器分别在 DUT1 和其他 3 个 DUT 之间（DUT1->DUT2、DUT1->DUT3 以及 DUT1->DUT4）产生 3 条 3A 流量，每条流发送速率为 25Mbit/s；
- 8) 运行流量测试 60s，并以 Mbit/s 为单位记录每条流的接收速率；
- 9) 分别设置步骤 7) 每条流速率为 50Mbit/s、75Mbit/s 和 100Mbit/s，重复步骤 7) 和 8)。

11.1.4 预期结果

记录测试结果。

11.2 SISO TCP 性能测试

11.2.1 测试目的

测试 4 个节点的 SISO 环境下的 TCP 性能。

11.2.2 测试配置

测试配置如图 17 所示。流量配置 4A，配置 4 个设备 DUT1-DUT4，衰减器配置为 15dB。

11.2.3 测试步骤

- 1) 上电 DUT1，验证其创建一个网络；
- 2) 上电 DUT2，验证其注册到了步骤 1) 创建的网络中；
- 3) 上电 DUT3，验证其注册到了步骤 1) 创建的网络中；
- 4) 上电 DUT4，验证其注册到了步骤 1) 创建的网络中；
- 5) 为每个 DUT 连接一个流量发生器/分析仪；
- 6) 所有流量发生器之间发送流量（10Mbit/s 单向）1min 以完成信道评估；
- 7) 配置流量发生器分别在 DUT1 和其他 3 个 DUT 之间（DUT1->DUT2、DUT1->DUT3 以及 DUT1->DUT4）产生 3 条 4A 流量，每条流发送速率为 25Mbit/s；
- 8) 运行流量测试 60s，并以 Mbit/s 为单位记录每条流的接收速率；
- 9) 分别设置步骤 7) 每条流速率为 50Mbit/s、75Mbit/s 和 100Mbit/s，重复步骤 7) 和 8)。

11.2.4 预期结果

记录测试结果。

11.3 MIMO UDP 性能测试

11.3.1 测试目的

测试 4 个节点的 MIMO 环境下的 UDP 性能。

11.3.2 测试配置

测试配置如图 18 所示。测试流量配置 3A，配置 4 个被测设备 DUT1-DUT4，衰减器配置为 15dB。

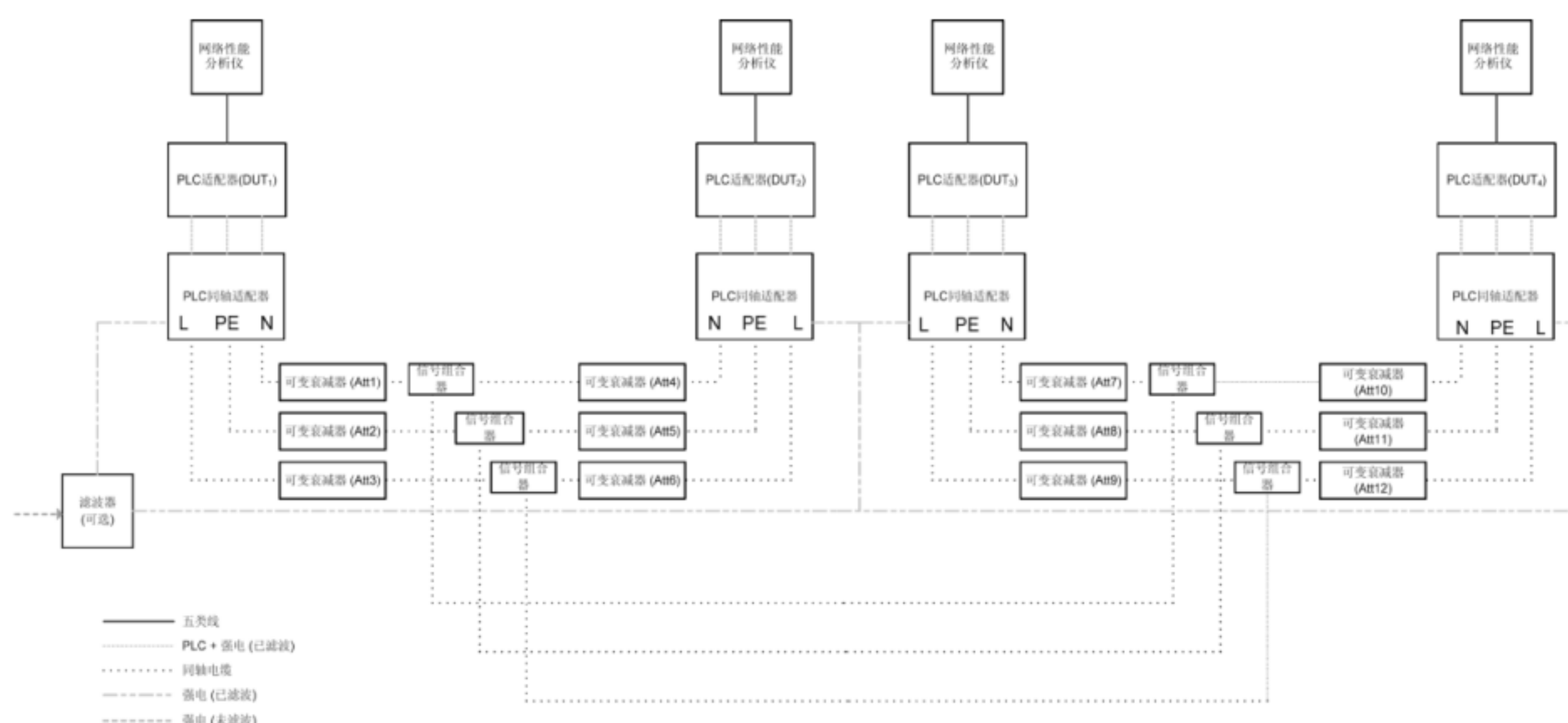


图 18 MIMO 多节点传输性能测试配置

11.3.3 测试步骤

- 1) 上电 DUT1, 验证其创建一个网络;
- 2) 上电 DUT2, 验证其注册到了步骤 1) 创建的网络中;
- 3) 上电 DUT3, 验证其注册到了步骤 1) 创建的网络中;
- 4) 上电 DUT4, 验证其注册到了步骤 1) 创建的网络中;
- 5) 为每个 DUT 连接一个流量发生器/分析仪;
- 6) 所有流量发生器之间发送流量 1min 以完成信道评估 (10Mbit/s 单向);
- 7) 配置流量发生器分别在 DUT1 和其他 3 个 DUT 之间 (DUT1->DUT2、DUT1->DUT3 以及 DUT1->DUT4) 产生 3 条 4A 流量, 每条流发送速率为 25Mbit/s;
- 8) 运行流量测试 60s, 并以 Mbit/s 为单位记录每条流的接收速率;
- 9) 分别设置步骤 7) 每条流速率为 50Mbit/s、75Mbit/s 和 100Mbit/s, 重复步骤 7) 和 8)。

11.3.4 预期结果

记录测试结果。

11.4 MIMO TCP 性能测试

11.4.1 测试目的

测试 4 个节点的 MIMO 环境下的 TCP 性能。

11.4.2 测试配置

测试配置如图 18 所示。流量配置 4A, 设备要求 DUT1、DUT2、DUT3 和 DUT4, 衰减器配置为 15dB。

11.4.3 测试步骤

- 1) 上电 DUT1, 验证其创建一个网络;
- 2) 上电 DUT2, 验证其注册到了步骤 1) 创建的网络中;
- 3) 上电 DUT3, 验证其注册到了步骤 1) 创建的网络中;
- 4) 上电 DUT4, 验证其注册到了步骤 1) 创建的网络中;
- 5) 为每个 DUT 连接一个流量发生器/分析仪;
- 6) 所有流量发生器之间发送流量 1min, 以完成信道评估 (10Mbit/s 单向);
- 7) 配置流量发生器分别在 DUT1 和其它 3 个 DUT 之间 (DUT1->DUT2、DUT1->DUT3 以及 DUT1->DUT4) 产生 3 条 4A 流量, 每条流发送速率为 25Mbit/s;
- 8) 运行流量测试 60s, 并以 Mbit/s 为单位记录每条流的接收吞吐量;
- 9) 分别设置步骤 7) 每条流速率为 50Mbit/s、75Mbit/s 和 100Mbit/s, 重复步骤 7) 和 8)。

11.4.4 预期结果

记录测试结果。

参考文献

- [1] Broadband Forum, TR-208 Performance Test Plan For In-premises Powerline Communication Systems
 - [2] IEC CISPR 16-1, Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods -- Part 1-1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus -- Measuring apparatus
-