

网 络 工 程

本 科 实 验 报 告

实验名称：生成树协议（STP）配置

| | | | |
|---------|---------|---------|--------------|
| 学 员 姓 名 | 程景愉 | 学 号 | 202302723005 |
| 培 养 类 型 | 无军籍 | 年 级 | 2023 |
| 专 业 | 网络工程 | 所 属 学 院 | 计算机学院 |
| 指 导 教 员 | 张军 | 职 称 | 工程师 |
| 实 验 室 | 306-707 | 实 验 时 间 | 2025.09.19 |

《本科实验报告》填写说明

实验报告内容编排应符合以下要求：

- (1) 采用 A4 (21cm×29.7cm) 白色复印纸，单面黑字。上下左右各侧的页边距均为 3cm；缺省文档网格：字号为小 4 号，中文为宋体，英文和阿拉伯数字为 Times New Roman，每页 30 行，每行 36 字；页脚距边界为 2.5cm，页码置于页脚、居中，采用小 5 号阿拉伯数字从 1 开始连续编排，封面不编页码。
- (2) 报告正文最多可设四级标题，字体均为黑体，第一级标题字号为 4 号，其余各级标题为小 4 号；标题序号第一级用“一”、“二”……，第二级用“(一)”、“(二)”……，第三级用“1.”、“2.”……，第四级用“(1)”、“(2)”……，分别按序连续编排。
- (3) 正文插图、表格中的文字字号均为 5 号。

目录

| | |
|-------------------------|----|
| 1 实验目的 | 5 |
| 2 实验原理 | 5 |
| 2.1 STP 概述 | 5 |
| 2.2 STP 工作原理 | 5 |
| 2.2.1 基本概念 | 5 |
| 2.2.2 STP 算法的步骤 | 6 |
| 2.3 BPDU 保护 | 9 |
| 3 实验环境 | 9 |
| 3.1 实验背景 | 9 |
| 3.2 实验设备 | 9 |
| 4 实验步骤及结果 | 10 |
| 4.1 实验拓扑 | 10 |
| 4.2 按照拓扑图接线 | 10 |
| 4.3 配置 PC | 10 |
| 4.4 配置 STP | 11 |
| 4.4.1 配置 STP 工作模式 | 11 |
| 4.4.2 配置根桥和备份根桥设备 | 11 |
| 4.4.3 配置端口路径开销 | 11 |
| 4.4.4 使能 STP 破除环路 | 11 |
| 4.5 实验结果验证 | 12 |
| 4.5.1 查看各交换机端口状态 | 12 |
| 4.5.2 查看网络连通性 | 13 |
| 4.5.3 实验评测 | 13 |
| 5 实验总结 | 14 |
| 参考文献 | 15 |

图目录

| | |
|------------------------------------|----|
| 图 1 原始有环拓扑 | 6 |
| 图 2 链路成本示例 | 7 |
| 图 3 对端 BID 最小 | 7 |
| 图 4 对端 PID 最小 | 8 |
| 图 5 最终形成的链路拓扑（绿色粗线为连通的链路） | 9 |
| 图 6 实验拓扑图 | 10 |
| 图 7 接线图 | 10 |
| 图 8 配置 STP 工作模式 | 11 |
| 图 9 配置根桥 LSW1 | 11 |
| 图 10 配置备份根桥 LSW4 | 11 |
| 图 11 配置端口路径开销 | 11 |
| 图 12 配置 LSW3 的 g0/0/1 口路径开销 | 11 |
| 图 13 配置 LSW3 边缘端口 | 11 |
| 图 14 配置 LSW3 边缘端口并启用 BPDU 保护 | 12 |
| 图 15 全局使能 STP | 12 |

| | |
|----------------------------------|----|
| 图 16 查看 LSW1 的 STP 状态 | 12 |
| 图 17 查看 LSW2 的 g0/0/1 端口状态 | 12 |
| 图 18 查看 LSW3 | 12 |
| 图 19 查看 LSW4 | 13 |
| 图 20 查看网络连通性 | 13 |
| 图 21 阻断后的拓扑 | 14 |

1 实验目的

本实验旨在使学生掌握生成树协议（STP）的基本概念和配置方法，通过实际操作学习如何在网络设备上配置 STP，理解其防止环路、优化网络拓扑的功能，并培养分析和解决网络问题的能力。通过实验，学生将深入理解 STP 在现代网络中的应用，提升实践技能，为未来的网络工程职业生涯和专业认证考试打下坚实的基础。

2 实验原理

2.1 STP 概述

生成树协议（Spanning Tree Protocol，简称 STP）是一种工作在 OSI 模型第二层（数据链路层）的通信协议，其基本应用是防止交换机冗余链路产生的环路，确保以太网中无环路的逻辑拓扑结构，从而避免广播风暴和大量占用交换机资源的问题。

2.2 STP 工作原理

2.2.1 基本概念

STP 通过选举一个根交换机（Root Switch）来确定生成树，其他交换机通过计算到根交换机的最短路径来决定端口的状态，从而实现网络中的环路消除。以下是一些基本概念的解释：

- 网桥（Bridge）：STP 在 IEEE 标准中提出被提出时，是施用于网桥上的。网桥是一种网络设备，用于连接两个或多个局域网段，能够根据数据帧的目的 MAC 地址来转发数据帧。在 STP 中，网桥负责维护网络的拓扑结构，防止环路的产生。交换机是一种高级的网桥。
- 根桥（Root Bridge）：根桥是 STP 网络中的逻辑中心，负责周期性发送配置 BPDU（桥协议数据单元），以维持生成树的稳定性。根桥的选举基于桥 ID（BID），即桥优先级和桥 MAC 地址的组合，BID 最小的设备会被选举为根桥。
- 桥 ID（BID, Bridge ID）：桥 ID 由两部分组成：桥优先级和桥 MAC 地址。桥优先级是一个 2 字节的数值，其取值范围是 0 到 61440，缺省值通常为 32768，步长为 4096。桥 MAC 地址是网桥的硬件地址。在 STP 网络中，桥 ID 最小的设备会被选举为根桥。
- 端口 ID（PID, Port ID）：端口 ID 由端口优先级和端口编号组成，用于标识每个接口，在选举指定端口（Designated Port）时使用。端口优先级范围是 0 到 240，缺省情况下为 128。
- BPDU：Bridge Protocol Data Unit，交换机之间用于交换信息的数据帧。
- 根端口（Root Port）：根端口是指非根桥上用于连接到根桥的最优路径的端口。每个非根桥只有一个根端口，这个端口提供了到达根桥的最低路径开销。根端口负责将 BPDU（桥协议数据单元）从非根桥传递到根桥。如果一个非根桥有多个端口连接到根桥，那么根据路径开销、BID（桥 ID）、PID（端口 ID）等参数，选择其中的一个作为根端口。
- 指定端口（Designated Port）：指定端口是每个网段上用于转发 BPDU 和用户数据的端口。在每个网段上，只有一个端口可以是指定端口，它负责向所连接的网段转发 BPDU。通常情况下，根桥上的所有端口都是指定端口，因为根桥是 STP 网络的逻辑中心。
- 备用端口（Alternate Port/Backup Port）：备用端口是指那些既不是根端口也不是指定端口的端口。这些端口在 STP 中被阻塞，不参与数据的转发，但它们仍然会接收 BPDU，以便于在网络拓扑发生变化时，可以快速转变为根端口或指定端口，从而提供链路的备份。

配置了生成树协议的交换机的端口状态及其作用：

- 阻塞(blocking)：该端口是非指定端口，不参与帧转发。此类端口接收 BPDU 帧来确定根桥交换机的位置和根 ID，以及最终的活动 STP 拓扑中每个交换机端口扮演的端口角色；
- 倾听(listening)：STP 根据交换机迄今收到的 BPDU 帧，确定该端口可参与帧转发。此时，该交换机端口不仅会接收 BPDU 帧，它还会发送自己的 BPDU 帧，通知邻接交换机此交换机端口正准备参与活动拓扑；
- 学习(learning)：端口准备参与帧转发，并开始填充 MAC 地址表；
- 转发(forwarding)：该端口是活动拓扑的一部分，它会转发帧，也会发送网络工程课程设计实验报告和接收 BPDU 帧；
- 禁用(disabled)：该第 2 层端口不参与生成树，不会转发帧。当管理性关闭交换机端口时，端口即进入禁用状态。

其中，对于状态的转换有如下情况：

- 从初始化(交换机启动)到阻塞状态(blocking)
- 从阻塞状态(blocking)到监听(listening)或失效状态(disabled)
- 从监听状态(listening)到学习(learning)或失效状态(disabled)
- 从学习状态(listening)到转发(forwarding)或失效状态(disabled)
- 从转发状态(forwarding)到失效状态(disabled)

2.2.2 STP 算法的步骤

生成树算法有三个步骤，下面以图 1 为例，说明 STP 的工作原理。

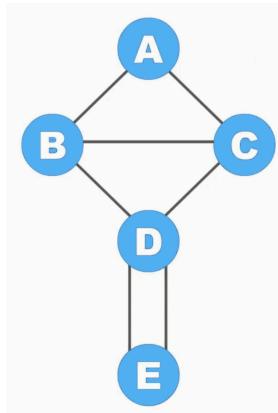


图 1 原始有环拓扑

1. 选举根交换机

拓扑中，BID 最小者当选。

- BID 的比较方法：
 - 优先级取值越小，则网桥 ID 则越小。
 - 若优先级相同，则比较 MAC 地址，从 MAC 地址的左侧开始依次比较，数值小的，则网桥 ID 就越小。
 - 如 A-MAC 前四位是 00-01，B 的前四位是 00-05，那么 A 的 BID 更小，A 当选根交换机。

2. 选举根端口

在每一个非根交换机上选出一个根端口 RP (Root Port)，这个 RP 只能有一个。根端口用于接受根交换机发来的 BPDU，也用来转发普通流量。

- 根端口 RP 的选举:
 - 首先, 保证 BPDU 接收端口到根交换机的路径成本最小。链路带宽对应的成本值见下表¹:

| 端口速率 | IEEE 802.1t 标准的路径开销 | 华为计算方法的路径开销 |
|----------|---------------------|-------------|
| 100Mbps | 200 000 | 200 |
| 1000Mbps | 20 000 | 20 |
| 10Gbps | 2 000 | 2 |
| 40Gbps | 500 | 1 |

表 1 链路带宽的成本

例如，一系列千兆网口组成的路径，每经过一个设备的成本就是 4。成本最小的网口就是根端口。

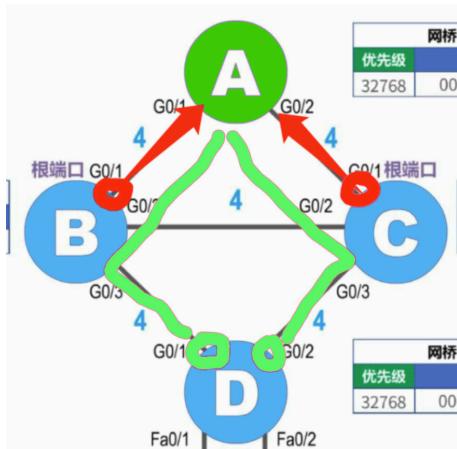


图 2 链路成本示例

如图 2, A 是根交换机, 从 B、C 的 G0/1 口到 A 的成本值均为 4, 所以它们都被选为根端口。但是 D 的 G0/1 与 G0/2 口成本值都是 $4+4=8$, 成本值相同, 则还需要进行网桥 ID 的比较。

- 对端的网桥 ID (BID) 最小。如上文所述，图 2 这种情况下 D 到 A 的无论哪条路成本都是 8，则需要继续比较双方中哪个接口的对端 BID 更小。

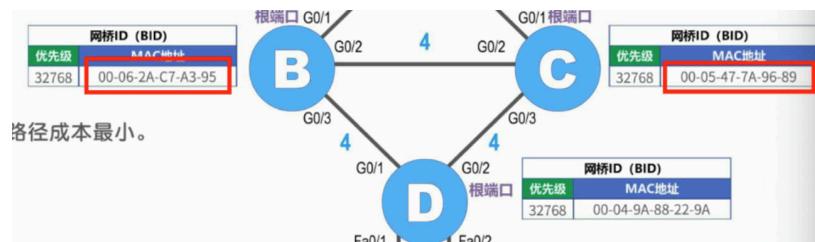


图 3 对端 BID 最小

¹摘自 IEEE 802.1d-1998 标准方法、IEEE 802.1t 标准方法和华为计算方法中规定的路径开销列表

B 是 00-06，C 是 00-05，即对端 C 的 BID 更小，所以 D 的 G0/2 被选举为了根端口。

- 对端的端口 ID (PID) 最小。在最后，如果路径成本和网桥 ID 都相同，则还要比较端口 ID 的大小。

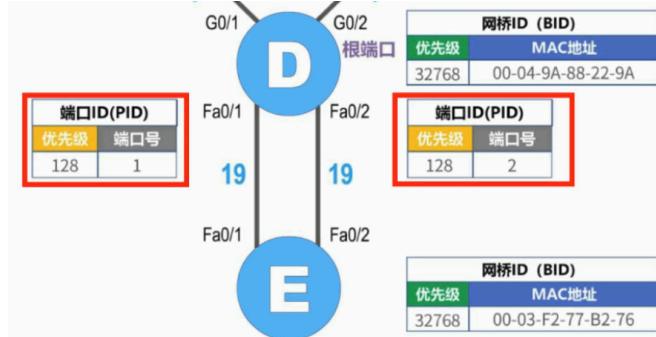


图 4 对端 PID 最小

此处的 PID 优先级都是默认值，为 128。而 Fa0/1 比 Fa0/2 小，所以 Fa0/1 被选举成为了根端口 RP。

3. 选举指定端口并阻塞备用端口 AP

每条链路的两个端口中有且仅有一个端口需要被选为指定端口 DP (Designated Port)。指定端口 DP 用于转发根交换机发来的 BPDU，也用来转发普通流量

- 指定端口的选举条件
 - 根交换机的所有端口都是指定端口 DP。
 - 根端口的对端端口一定是指定端口。如交换机 D 的 RP 是 G0/2，G0/2 的对端是 C 的 G0/3，那么，C 的 G0/3 就是指定端口。
 - BPDU 转发端口到根交换机的路径成本最小的是指定端口 DP。例如 D、E 之间的两条链路，D 到 A 的成本更低，所以在这两条链路上，DP 均在 D 交换机处。

选举完指定端口，剩余端口就成了备用端口 AP (Alternate Port)，将他们阻塞 (Block) 掉，即可在所有交换机之间形成一条无环的链路。



图 5 最终形成的链路拓扑 (绿色粗线为连通的链路)

2.3 BPDU 保护

如果有人伪造 RST BPDU 恶意攻击交换设备，当边缘端口接收到该报文时，会自动设置为非边缘端口，并重新进行生成树计算，引起网络震荡。配置 BPDU 保护功能后，如果边缘端口收到 BPDU 报文，边缘端口将会被立即关闭，防止网络中的恶意攻击。

3 实验环境

3.1 实验背景

某公司购置了 4 台交换机，组建网络。考虑到网络的可靠性，将 4 台交换机如图 Figure 6 所示拓扑搭建。由于默认情况下，交换机之间运行 STP 后，根交换机、根端口、指定端口的选择将基于交换机的 MAC 地址的大小，因此带来了不确定性，极可能由此产生隐患。公司网络规划，需要 S1 作为主根交换机，S2 作为 S1 的备份根交换机。同时对于 S4 交换机，E0/0/1 接口应该作为根端口。对于 S2 和 S3 之间的链路，应该保证 S2 的 E0/0/3 接口作为指定端口。同时在交换机 S3 上，存在两个接口 E0/0/10、E0/0/11 连接到测试 PC，测试 PC 经常上下线网络，需要将交换机 S3 与之相连的对应端口定义为边缘端口，避免测试电脑上下线对网络产生的影响。

3.2 实验设备

| 设备名称 | 设备型号 | 设备数量 |
|------|-------------------------|------|
| 交换机 | 华为 S5735S | 4 |
| PC | 联想启天 M410 Windows 10 | 2 |

另有网线若干，控制线 1 条。

4 实验步骤及结果

4.1 实验拓扑

按实验背景，绘制拓扑图如下：

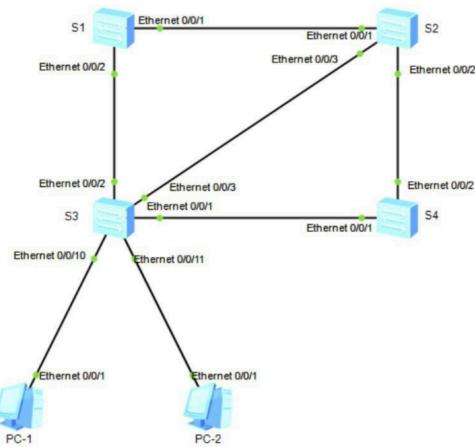


图 6 实验拓扑图

要求在配置好各个端口的路径开销值之后，运行 STP 能将图 6 中的 Blocked Port 端口阻塞。

4.2 按照拓扑图接线

按照拓扑图接线。

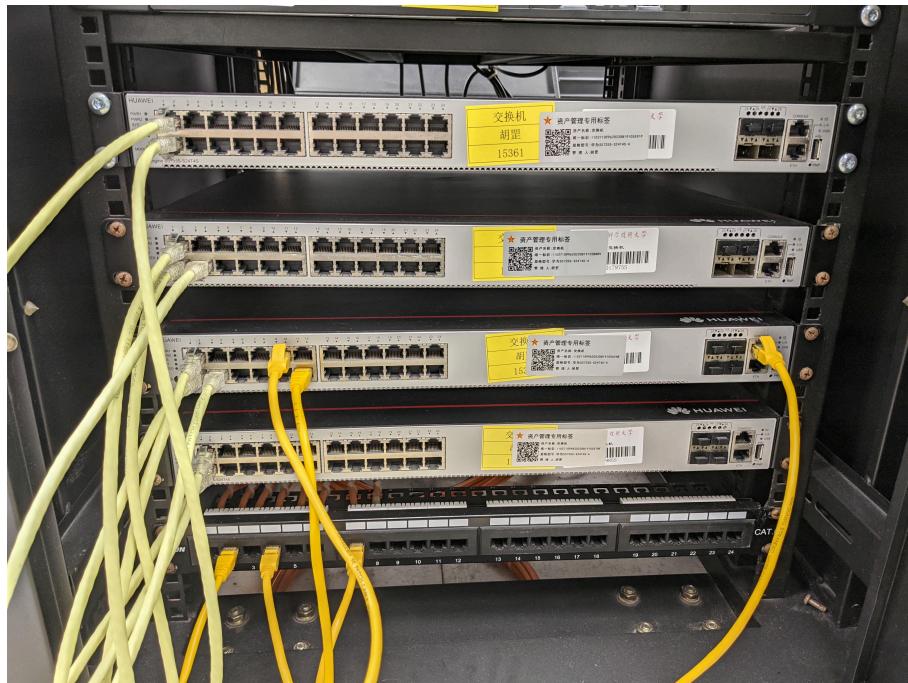


图 7 接线图

4.3 配置 PC

设置两台 PC 的 IP 地址分别为 10.130.81.211 和 10.130.81.203。

4.4 配置 STP

下列许多步骤在 LSW1、LSW2、LSW3 和 LSW4 上都有相同的操作，这里只列出 LSW2 上的操作步骤。

4.4.1 配置 STP 工作模式

配置环网中的设备生成树协议工作在 STP 模式：

```
[LSW2]stp mode stp  
Info: This operation may take a few seconds. Please wait for a moment...done.  
[LSW2]
```

图 8 配置 STP 工作模式

4.4.2 配置根桥和备份根桥设备

配置根桥设备为 LSW1，备份根桥设备为 LSW4：

```
[LSW1]stp root primary  
[LSW1]
```

图 9 配置根桥 LSW1

```
[LSW4]stp instance 0 root secondary  
[LSW4]
```

图 10 配置备份根桥 LSW4

4.4.3 配置端口路径开销

配置端口的路径开销值：

```
[LSW1]stp pathcost-standard legacy  
Info: This operation may take a few seconds. Please wait for a moment...done.  
Warning: The path cost of the current process will be set to the default value because the path cost standard is changed.
```

图 11 配置端口路径开销

特别地，LSW3 的 g0/0/1 口的路径开销值为 20000：

```
[LSW3-GigabitEthernet0/0/10]stp instance 0 cost 20000  
[LSW3-GigabitEthernet0/0/10]int g0/0/11  
[LSW3-GigabitEthernet0/0/11]stp instance 0 cost 20000  
[LSW3-GigabitEthernet0/0/11]  
Sep 22 2025 12:23:42 LSW3 %01MSTP/4/SET_PORT_FORWARDING(1)[19]:In MSTP process 0 instance 0, MSTP set port GigabitEthernet0/0/1 state as forwarding.  
Sep 22 2025 12:23:42 LSW3 %01MSTP/4/SET_PORT_FORWARDING(1)[20]:In MSTP process 0 instance 0, MSTP set port GigabitEthernet0/0/3 state as forwarding.  
Sep 22 2025 12:23:42 LSW3 DS/4/DATASYNC_CFGCHANGE:OID 1.3.6.1.4.1.2011.5.25.191.3.1 configurations have been changed. The current change number is 8, the change loop count is 0, and the maximum number of records is 4095.
```

图 12 配置 LSW3 的 g0/0/1 口路径开销

4.4.4 使能 STP 破除环路

- 将与 PC 机相连的端口设置为边缘端口：

```
[LSW3-GigabitEthernet0/0/10]stp edged-port enable  
[LSW3-GigabitEthernet0/0/10]return  
Sep 22 2025 12:25:52 LSW3 DS/4/DATASYNC_CFGCHANGE:OID 1.3.6.1.4.1.2011.5.25.191.3.1 configurations have been changed. The current change number is 9, the change loop count is 0, and the maximum number of records is 4095.
```

图 13 配置 LSW3 边缘端口

配置 LSW3 的 g0/0/1 口为边缘端口，并启用 BPDU 保护功能：

```
[LSW3]stp bpdu-protection
[LSW3]
Sep 22 2025 12:26:32 LSW3 DS/4/DATASYNC CFGCHANGE:OID 1.3.6.1.4.1.2011.5.25.191.
3.1 configurations have been changed. The current change number is 10, the chang
e loop count is 0, and the maximum number of records is 4095.
```

图 14 配置 LSW3 边缘端口并启用 BPDU 保护

- 设备全局使能 STP:

```
[LSW4]stp enable
[LSW4]
[LSW3]stp enable
[LSW3]stp enable
[LSW2]stp enable
[LSW1]
```

图 15 全局使能 STP

4.5 实验结果验证

4.5.1 查看各交换机端口状态

配置完成后，查看各个交换机的端口状态，确认生成树协议已经生效。在 LSW1 上执行 display stp brief 命令，查看端口状态和端口的保护类型，结果如下：

```
[LSW1]display stp brief
MSTID Port Role STP State Protection
  0   GigabitEthernet0/0/1   DESI FORWARDING NONE
  0   GigabitEthernet0/0/2   DESI FORWARDING NONE
```

图 16 查看 LSW1 的 STP 状态

将 LSW1 配置为根桥后，与 LSW2、LSW3 相连的端口 g0/0/1 和 g0/0/2 在生成树计算中被选举为指定端口。

在 LSW2 上执行 display stp interface g0/0/1 brief 命令，查看端口 g0/0/1 状态，结果如下：

```
[LSW2]display stp brief
MSTID Port Role STP State Protection
  0   GigabitEthernet0/0/1   ROOT FORWARDING NONE
  0   GigabitEthernet0/0/2   ALTE DISCARDING NONE
  0   GigabitEthernet0/0/3   DESI FORWARDING NONE
```

图 17 查看 LSW2 的 g0/0/1 端口状态

端口 g0/0/3 在生成树选举中成为指定端口，处于 **FORWARDING** 状态。端口 g0/0/2 在生成树选举中成为 Alternate 端口，处于 **DISCARDING** 状态。端口 g0/0/1 在生成树选举中成为根端口，处于 **FORWARDING** 状态。

在 LSW3 上执行 display stp brief 命令，查看端口状态，结果如下：

```
[LSW3]display stp brief
MSTID Port Role STP State Protection
  0   GigabitEthernet0/0/1   DESI FORWARDING NONE
  0   GigabitEthernet0/0/2   ROOT FORWARDING NONE
  0   GigabitEthernet0/0/3   DESI FORWARDING NONE
  0   GigabitEthernet0/0/10  DESI FORWARDING BPDU
  0   GigabitEthernet0/0/11  DESI FORWARDING NONE
```

图 18 查看 LSW3

端口 g0/0/2 在生成树选举中成为根端口，处于 **FORWARDING** 状态。其余均为指定端口处于 **FORWARDING** 状态。此外，由于我们配置了 BPDU 保护，g0/0/10 状态的 Protection 字段显示为 **BPDU**。

在 LSW4 上执行 display stp brief 命令，查看端口状态，结果如下：

```
[LSW4]display stp brief
MSTID Port Role STP State Protection
  0  GigabitEthernet0/0/1  ROOT FORWARDING NONE
  0  GigabitEthernet0/0/2  ALTE DISCARDING NONE
```

图 19 查看 LSW4

端口 g0/0/1 在生成树选举中成为根端口，处于 **FORWARDING** 状态；端口 g0/0/2 在生成树选举中成为 **Alternate** 端口，处于 **DISCARDING** 状态；

4.5.2 查看网络连通性

在 IP 地址为 10.130.81.211 的 PC 上执行 ping 命令，查看与 IP 地址为 10.130.81.203 的 PC 的网络连通性，结果如下：

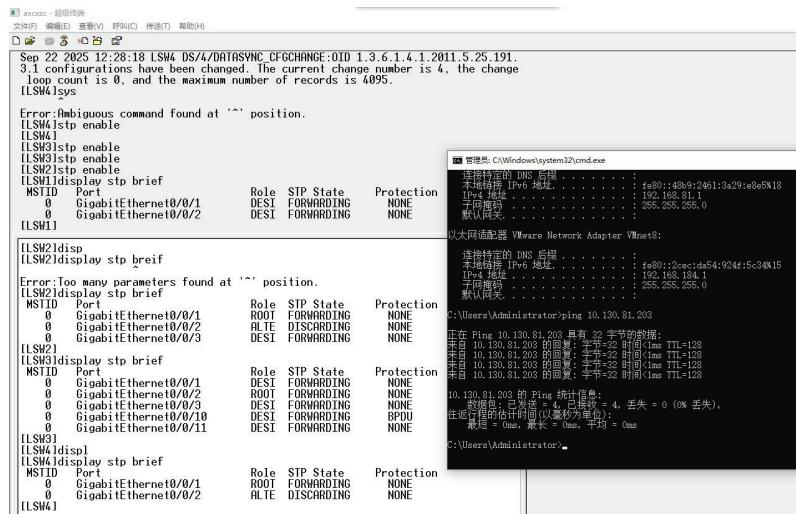


图 20 查看网络连通性

可见两台 PC 之间可以正常通信，网络连通性正常。

4.5.3 实验评测

经过教辅亲自测试，S2 与 S3 以及 S2 与 S4 之间的链路断开后，网络依然可以正常通信，各交换机 **display stp brief** 显示结果正常，说明 STP 配置成功，网络环路被成功破除。

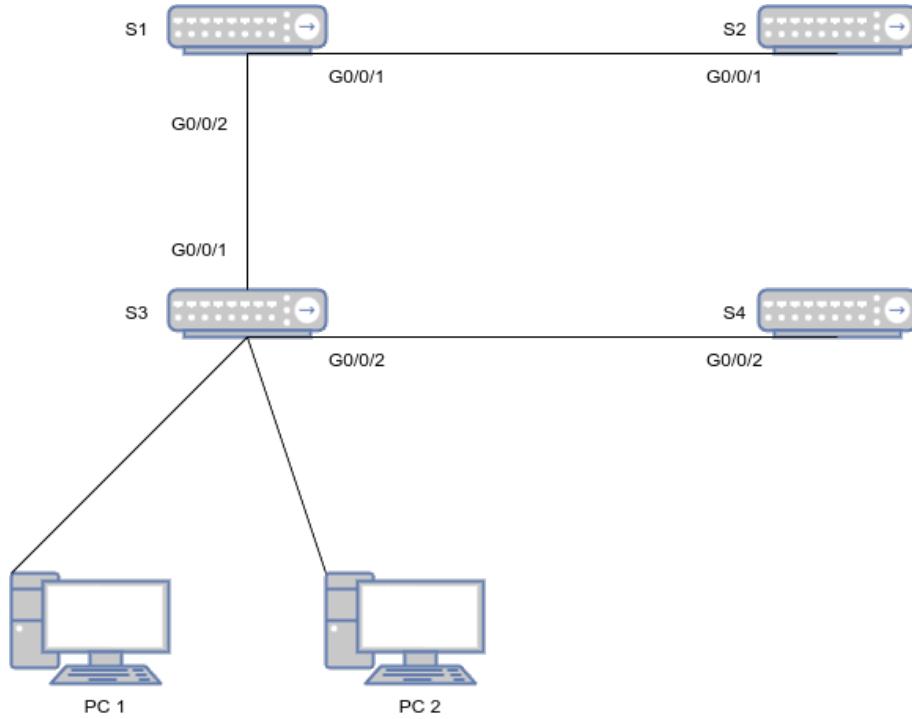


图 21 阻断后的拓扑

5 实验总结

本次实验通过配置生成树协议 (STP)，实现了对网络中的环路进行消除，保证了网络的稳定性和可靠性。通过实验，我掌握了生成树协议的基本概念和工作原理，学会了如何在网络设备上配置 STP，理解了 STP 的防止环路、优化网络拓扑的功能。实验中，我通过实际操作，深入理解了 STP 在现代网络中的应用，提升了实践技能，为未来的网络工程职业生涯和专业认证考试打下了坚实基础。

参考文献

- [1] MRSPE. STP 原理与配置[EB/OL]. (2024-11-07). <https://www.cnblogs.com/Mrspe/articles/12376505.html>.
- [2] 华为 . 华为 STP 文档 1[EB/OL]. (2024-11-07). <https://support.huawei.com/enterprise/zh/doc/EDOC1000128401/33f9bf9d>.
- [3] 华为 . 华为 RSTP 文档 2[EB/OL]. (2024-11-07). <https://support.huawei.com/enterprise/zh/doc/EDOC1000047406/8f9e150?idPath=24030814|21782164|21782167|259602657#table72246468367>.