

目 录

第 1 章 MSTP配置	1-1
1.1 MSTP介绍	1-1
1.1.1 MSTP域.....	1-1
1.1.2 端口角色	1-2
1.1.3 MSTP流量分担的实现.....	1-2
1.2 MSTP配置	1-3
1.3 MSTP举例	1-7
1.4 MSTP排错帮助	1-12
第 2 章 ERPS配置	2-1
2.1 ERPS介绍.....	2-1
2.1.1 ERPS术语	2-1
2.1.2 ERPS功能介绍	2-2
2.1.3 ERPS应用场景	2-6
2.2 ERPS配置.....	2-6
2.3 ERPS举例.....	2-8
2.4 ERPS排错帮助	2-14

第1章 MSTP配置

1.1 MSTP介绍

MSTP 是基于 STP 和 RSTP 的一种新的生成树协议。它运行在一个 Bridged-LAN 里的所有网桥上，负责为这个 Bridged-LAN（包括运行 MSTP、RSTP 和 STP 的网桥）计算出一个简单连通的树形活动拓扑(CIST)，为每个 MST 域（MSTP 域）计算出若干个各自独立的多重生成树实例(MSTI)。它应用 RSTP 的快速收敛特性，允许多个具有相同拓扑的 VLAN 映射到一个生成树实例上，而这个生成树拓扑同其它生成树实例相互独立。这种机制一方面用多重生成树实例为映射到它的 VLAN 的数据流量提供了独立的发送路径，实现不同实例间 VLAN 数据流量的负载分担；另一方面，若干个 VLAN 共享同一个拓扑实例（MSTI），同每个 VLAN 对应一个生成树（PVST）的实现方法相比，大大减少了每个网桥需要维持的生成树实例的数量，节约了 CPU 资源，降低了非业务带宽占用。

1.1.1 MSTP域

由于多个 VLAN 可以映射到一个单一的生成树实例，IEEE 802.1s 委员会提出了 MST 域的概念，用来解决如何判断某个 VLAN 映射到哪个生成树实例的问题。

一个 MSTP 域由一个或若干个具有相同 MCID（MST Configuration Identification）的网桥和将网桥互连起来的局域网（域中的某个网桥是该局域网的指定桥，并且该局域网连接的网桥不是运行 STP 的网桥）组成。域中每个网桥维持相同的 MSTIs。

每个域中的网桥具有下述三个属性：

- ☞ 一个包含数字和字母的配置名字（Configuration Name）
- ☞ 一个配置修正级别（Revision Level）
- ☞ 网桥中 VLAN 向生成树实例映射的配置摘要（Configuration Digest）

以上三部分属性组成域的 MCID，只有这三部分属性完全相同，即 MCID 相同的网桥才被 MSTP 认为属于同一个 MST 域。

在整个 Bridged-LAN 的 CIST 中，MSTP 将 MST 域当做一个网桥对待，如下图所示：

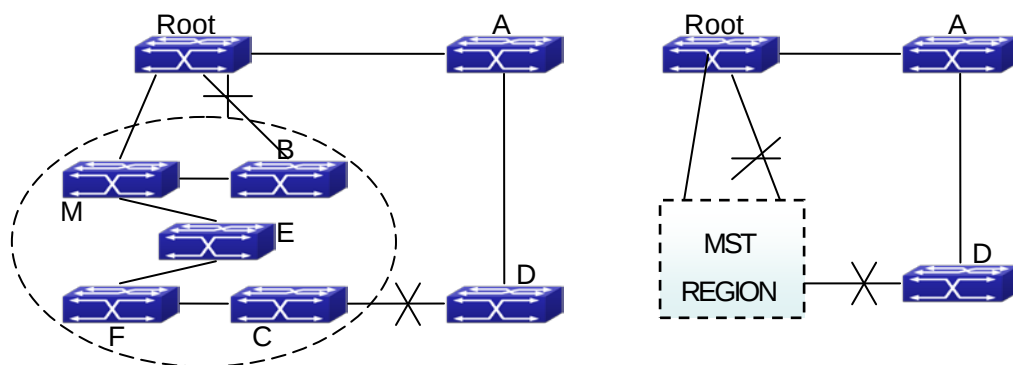


图 1-1 CIST 与 MST 域理解

对上图中的网络，如果网络中的网桥运行 STP 或 RSTP，应当 block（阻塞）网桥 M 和网桥 B 之间的一个端口。但是，如果图中虚线区域部分中的网桥运行 MSTP 并被配置在一个 MST 域中，由于 MSTP 将该域当做一个网桥对待，将会 block 网桥 B 上与根桥（Root）间的端口；同样，MSTP 会 block 网桥 D 上的某个端口。

1.1.1.1 MST域内操作

在一个域内，IST 将域中所有的网桥连接起来。IST 在运行过程中，选出 CIST Regional Root 为它的根网桥，该网桥到 CIST Root 的路径代价和 BridgeID 最小。如果网络中只有一个域，该网桥就是整个网络的 CIST Root；如果 CIST Root 在该域外，则域边缘的某个网桥被选择为 CIST Regional Root。域中 CIST Regional Root 上的根端口是域中所有 MSTIs 的 Master Port。

当一个 MSTP 网桥初始化时，它发送 BPDU，声称自己是 CIST Regional Root，将到 CIST Root 和 CIST Regional Root 的路径代码设为 0。该网桥同时初始化所有 MSTIs，声称自己是所有 MSTIs 的根。如果该网桥收到更优的 CIST/MSTI 根信息（较小的路径代价，BridgeID 等），它就不再认为自己是 CIST 或相应 MSTI 的根。

在一个域中，只有 IST 发送和接收 BPDU。BPDU 中带有各个 MSTI 的信息。因为 MST BPDU 中包含了所有生成树实例的信息，大大减少了为支持多个生成树而需要处理的 BPDU 数量。

MST 域中的所有实例公用相同的协议定时器，但各个实例有各自独立的与拓扑相关的参数，如 Regional Root，根路径代价等。

1.1.1.2 MST域间操作

当网络中存在多个 MST 域或 802.1D 网桥（运行 STP 的网桥）时，MSTP 通过 CST 维持域间或域同 802.1D 网桥间的连接。IST 将域中的网桥连接起来，作为一个虚拟的网桥同相邻的域或 802.1D 网桥连接。

MSTI 的作用范围仅局限于它所在的 MST 域中。一个域中的某个 MST 实例同其它域中的任何 MST 实例无关。域中的网桥通过边缘端口收到另外一个域发送来的 MST BPDU，它只处理数据中 CIST 的相关信息；而将其中的 MSTI 信息丢弃。

1.1.2 端口角色

MSTP 网桥为每一个运行 MSTP 的端口对应于每一个生成树分配一个端口角色。

- ☞ CIST 的端口角色有：Root Port，Designated Port，Alternate Port 和 Backup Port。
- ☞ 每个 MSTI 的端口角色除了上述角色外，还增加了一个新的角色：Master Port。

CIST 和每个 MSTI 的 Root Port，Designated Port，Alternate Port 和 Backup Port 等角色的指定同 RSTP 对应的角色指定相同。

1.1.3 MSTP流量分担的实现

在一个 MST 域中，通过将 VLAN 映射到不同的生成树实例，形成不同的拓扑。各个拓

拓扑实例（包括 IST 和 MSTIs）间相互独立，可以在网桥中配置每个实例各自对应的参数（如网桥优先级（Bridge Priority）、端口代价（Port Cost）等），为网桥和端口指定相应的角色，从而形成拓扑实例中 VLAN 数据流量对应的各自路径，实现 VLAN 流量的分担。具体配置可参考下面 MSTP 举例部分。

1.2 MSTP配置

MSTP 配置任务序列如下：

1. 启动 MSTP 并设置运行模式
2. 配置实例参数
3. 配置 MSTP 域参数
4. 配置 MSTP 的时间参数
5. 配置 MSTP 的快速迁移特性
6. 配置 MSTP 的格式
7. 配置端口的 spanning-tree 属性
8. 配置 MSTP 的认证字窥探属性
9. 配置 MSTP 的拓扑改变 FLUSH 模式

1.启动 MSTP 并设置运行模式

命令	解释
全局配置模式和端口配置模式	
spanning-tree no spanning-tree	启动和关闭 MSTP 协议。
全局配置模式	
spanning-tree mode {mstp stp rstp} no spanning-tree mode	设置 MSTP 的运行模式。
端口配置模式	
spanning-tree mcheck	强制端口迁移到 MSTP 模式下运行。

2.配置实例参数

命令	解释
全局配置模式	
spanning-tree mst <instance-id> priority <bridge-priority> no spanning-tree mst <instance-id> priority	设置交换机在指定实例的网桥优先级。
spanning-tree priority <bridge-priority> no spanning-tree priority	设置交换机的网桥优先级。

端口配置模式	
spanning-tree mst <instance-id> cost <cost> no spanning-tree mst <instance-id> cost	设置当前端口在指定实例的端口路径代价。
spanning-tree mst <instance-id> port-priority <port-priority> no spanning-tree mst <instance-id> port-priority	设置当前端口在指定实例的端口优先级。
spanning-tree mst <instance-id> rootguard no spanning-tree mst <instance-id> rootguard	设置当前端口在指定实例下是否进行根防护，设置根防护的端口不能转为根端口。
spanning-tree rootguard no spanning-tree rootguard	设置当前端口在实例 0 下是否进行根防护，设置根防护的端口不能转为根端口。
spanning-tree [mst <instance-id>] loopguard no spanning-tree [mst <instance-id>] loopguard	配置 spanning-tree 的指定实例上启动 loopguard 功能，本命令的 no 操作恢复为不在该实例下启动该功能。

3.配置 MSTP 域参数

命令	解释
全局配置模式	
spanning-tree mst configuration no spanning-tree mst configuration	进入 MSTP 域配置模式；本命令的 no 操作为恢复交换机的 MSTP 域参数的缺省值。
MSTP 域配置模式	
show	显示当前运行系统的信息。
instance <instance-id> vlan <vlan-list> no instance <instance-id> [vlan <vlan-list>]	创建 Instance 及配置 VLAN 与 Instance 的映射关系。
name <name> no name	配置 MSTP 域的名字。
revision-level <level> no revision-level	配置 MSTP 域的修正级别数值。
abort	退出 MSTP 域配置模式回到全局配置模式，不保存当前对 MSTP 域的配置。

exit	退出 MSTP 域配置模式回到全局配置模式，并保存当前对 MSTP 域的配置。
no	取消一个命令或设置初始值。

4.配置 MSTP 的时间参数

命令	解释
全局配置模式	
spanning-tree forward-time <time> no spanning-tree forward-time	设置交换机转发延时的时间值。
spanning-tree hello-time <time> no spanning-tree hello-time	设置交换机发送 BPDU 报文的 Hello 时间值。
spanning-tree maxage <time> no spanning-tree maxage	设置交换机 BPDU 信息的最大老化时间值。
spanning-tree max-hop <hop-count> no spanning-tree max-hop	设置 BPDU 支持在 MSTP 域中传输的最大跳数。

5.配置 MSTP 的快速迁移特性

命令	解释
端口配置模式	
spanning-tree link-type p2p {auto force-true force-false} no spanning-tree link-type	设置端口的链路类型。
spanning-tree portfast [bpdufilter bpduguard] [recovery <30-3600>] no spanning-tree portfast	设置和取消端口为边缘端口，参数 bpdufilter 和 bpduguard 以及无参数分别表示收到 BPDU 丢弃、收到 BPDU 关闭端口和收到 BPDU 转为非边缘端口。

6.配置 MSTP 的格式

命令	解释
端口配置模式	
spanning-tree format standard spanning-tree format privacy spanning-tree format auto no spanning-tree format	设置端口的格式，standard 格式为遵守 IEEE 标准的格式，privacy 为私有的格式，auto 格式通过自动识别对端的格式决定自己的格式，是默认的格式。在收到对端的格式前使用默认的格式。

7. 配置端口的 spanning-tree 属性

命令	解释
端口配置模式	
spanning-tree cost <cost> no spanning-tree cost	设置端口路径代价。
spanning-tree port-priority <port-priority> no spanning-tree port-priority	设置端口的优先级。
spanning-tree rootguard no spanning-tree rootguard	设置端口为根端口。
全局配置模式	
spanning-tree transmit-hold-count <tx-hold-count-value> no spanning-tree transmit-hold-count	设置端口的最大发送速率。

8. 配置 MSTP 的认证字窥探属性

命令	解释
端口配置模式	
spanning-tree digest-snooping no spanning-tree digest-snooping	设置端口上使用对端的认证字，由于个别厂商使用不同于标准的密钥，为了与其在域内互通，在端口上配置了 digest-snooping 命令后，我们在收到对方报文后记录对方的认证字并使用记录的认证字发给对端，以解决与其在域内互通的要求。

9. 配置 MSTP 的拓扑改变 FLUSH 模式

命令	解释
全局配置模式	

spanning-tree tcflush {enable disable protect} no spanning-tree tcflush	设置传播拓扑改变消息时进行 FLUSH 的模式，协议要求是每次拓扑改变都 FLUSH，但在实际环境中，可能不需要也不希望有过多的刷新造成流量不稳定，因此允许根据实际环境设置不同的处理方式，disable 表示不因拓扑改变而刷新,protect 表示每 10 秒最多进行一次刷新，以避免拓扑改变攻击造成的过多刷新。全局的配置作用于所有没有单独配置的端口。本命令的 NO 形式恢复为缺省的 enable 模式，即按协议要求每次刷新。
端口配置模式	
spanning-tree tcflush {enable disable protect} no spanning-tree tcflush	上述命令的端口模式，端口上配置了刷新模式的，不受全局模式的影响。本命令的 NO 形式取消端口上模式的配置，即恢复为默认的使用全局的刷新模式。

1.3 MSTP举例

MSTP 典型应用案例如下：

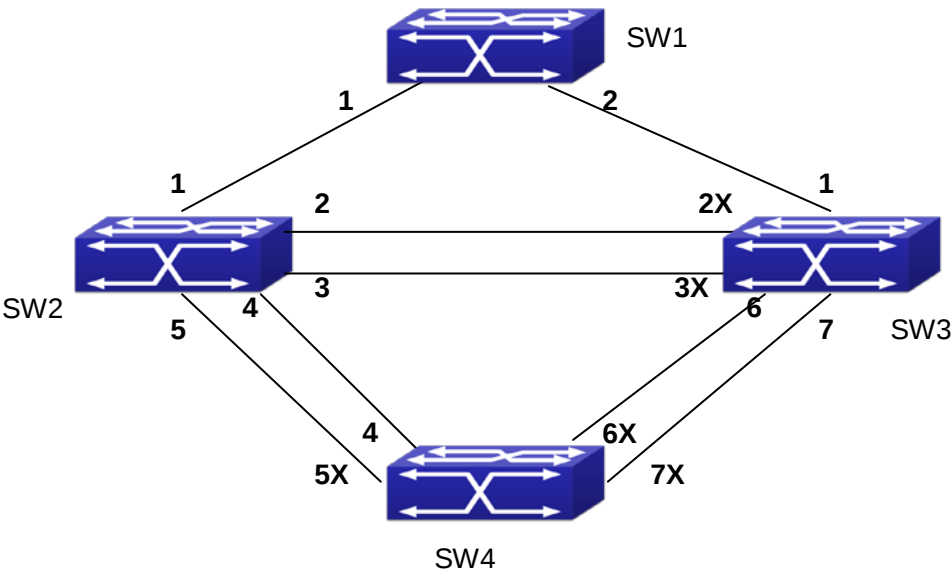


图 1-2 MSTP 典型配置举例

上图中，SW1-SW4 之间的连线如图所示，运行 MSTP 协议。缺省条件下，各交换机

运行在 MSTP 模式下，它们的网桥优先级、端口优先级、端口路径代价都为缺省值（都相等）。各交换机的缺省配置如下：

网桥名称		SW1	SW2	SW3	SW4
网桥 MAC 地址		...00-00-01	...00-00-02	...00-00-03	...00-00-04
网桥优先级		32768	32768	32768	32768
端口 优 先 级	端口 1	128	128	128	
	端口 2	128	128	128	
	端口 3		128	128	
	端口 4		128		128
	端口 5		128		128
	端口 6			128	128
	端口 7			128	128
端口 路 径 代 价	端口 1	200000	200000	200000	
	端口 2	200000	200000	200000	
	端口 3		200000	200000	
	端口 4		200000		200000
	端口 5		200000		200000
	端口 6			200000	200000
	端口 7			200000	200000

在缺省情况下，MSTP 会自动建立起一个以 SW1 为根网桥的拓扑（用蓝线标记），标记“x”的端口状态为 Discarding，其它端口状态为 Forwarding。

配置更改：

步骤一：配置端口到 vlan 的映射关系：

- ☞ 在交换机 SW2，SW3，SW4 上创建 vlan 20，30，40，50；
- ☞ 在交换机 SW2，SW3，SW4 配置端口 1-7 模式为 trunk。

步骤二：配置交换机 SW2，SW3，SW4 在同一个 MSTP 域内：

- ☞ 配置交换机 SW2，SW3，SW4 域名都为 mstp；
- ☞ 在交换机 SW2，SW3，SW4 上将 vlan 20 和 vlan 30 映射到实例 3 上；将 vlan 40 和 vlan 50 映射到实例 4 上。

步骤三：配置交换机 SW3 为实例 3 的根网桥；配置 SW4 交换机为实例 4 的根网桥：

- ☞ 在交换机 SW3 上配置实例 3 对应的网桥优先级为 0；
- ☞ 在交换机 SW4 上配置实例 4 对应的网桥优先级为 0。

配置步骤如下：

交换机SW2：

```
SW2(config)#vlan 20
SW2(Config-Vlan20)#exit
SW2(config)#vlan 30
SW2(Config-Vlan30)#exit
SW2(config)#vlan 40
SW2(Config-Vlan40)#exit
SW2(config)#vlan 50
SW2(Config-Vlan50)#exit
SW2(config)#spanning-tree mst configuration
SW2(Config-Mstp-Region)#name mstp
SW2(Config-Mstp-Region)#instance 3 vlan 20;30
SW2(Config-Mstp-Region)#instance 4 vlan 40;50
SW2(Config-Mstp-Region)#exit
SW2(config)#interface ethernet 1/1-7
SW2(Config-If-Port-Range)#switchport mode trunk
SW2(Config-If-Port-Range)#exit
SW2(config)#spanning-tree
```

交换机SW3:

```
SW3(config)#vlan 20
SW3(Config-Vlan20)#exit
SW3(config)#vlan 30
SW3(Config-Vlan30)#exit
SW3(config)#vlan 40
SW3(Config-Vlan40)#exit
SW3(config)#vlan 50
SW3(Config-Vlan50)#exit
SW3(config)#spanning-tree mst configuration
SW3(Config-Mstp-Region)#name mstp
SW3(Config-Mstp-Region)#instance 3 vlan 20;30
SW3(Config-Mstp-Region)#instance 4 vlan 40;50
SW3(Config-Mstp-Region)#exit
SW3(config)#interface ethernet 1/1-7
SW3(Config-If-Port-Range)#switchport mode trunk
SW3(Config-If-Port-Range)#exit
SW3(config)#spanning-tree
SW3(config)#spanning-tree mst 3 priority 0
```

交换机SW4:

```
SW4(config)#vlan 20
SW4(Config-Vlan20)#exit
SW4(config)#vlan 30
SW4(Config-Vlan30)#exit
SW4(config)#vlan 40
SW4(Config-Vlan40)#exit
SW4(config)#vlan 50
SW4(Config-Vlan50)#exit
SW4(config)#spanning-tree mst configuration
SW4(Config-Mstp-Region)#name mstp
SW4(Config-Mstp-Region)#instance 3 vlan 20;30
SW4(Config-Mstp-Region)#instance 4 vlan 40;50
SW4(Config-Mstp-Region)#exit
SW4(config)#interface ethernet 1/1-7
SW4(Config-If-Port-Range)#switchport mode trunk
SW4(Config-If-Port-Range)#exit
SW4(config)#spanning-tree
SW4(config)#spanning-tree mst 4 priority 0
```

在上述配置之后，整个网络的实例 CIST（实例 0）以 SW1 为根网桥，在 SW2，SW3，SW4 所在的 MSTP 域内，实例 0 的域根（region root）是 SW2，实例 3 的域根是 SW3；实例 4 的域根是 SW4。vlan 20 和 vlan 30 的流量沿着实例 3 的拓扑发送；vlan 40 和 vlan 50 的流量沿着实例 4 的拓扑的发送；其它 vlan 的流量沿实例 0 的拓扑发送。交换机 SW2 上的端口 1 是实例 3 和实例 4 的 Master Port。

MSTP 计算结果包括三个拓扑，实例 0，实例 3 和实例 4，分别如下所示（均用蓝线标记，标记“x”的端口状态为 Discarding，其它端口状态为 Forwarding。由于实例 3 和 4 只在 MSTP 域内有效，图中相关部分只显示其在 MSTP 域内的拓扑。

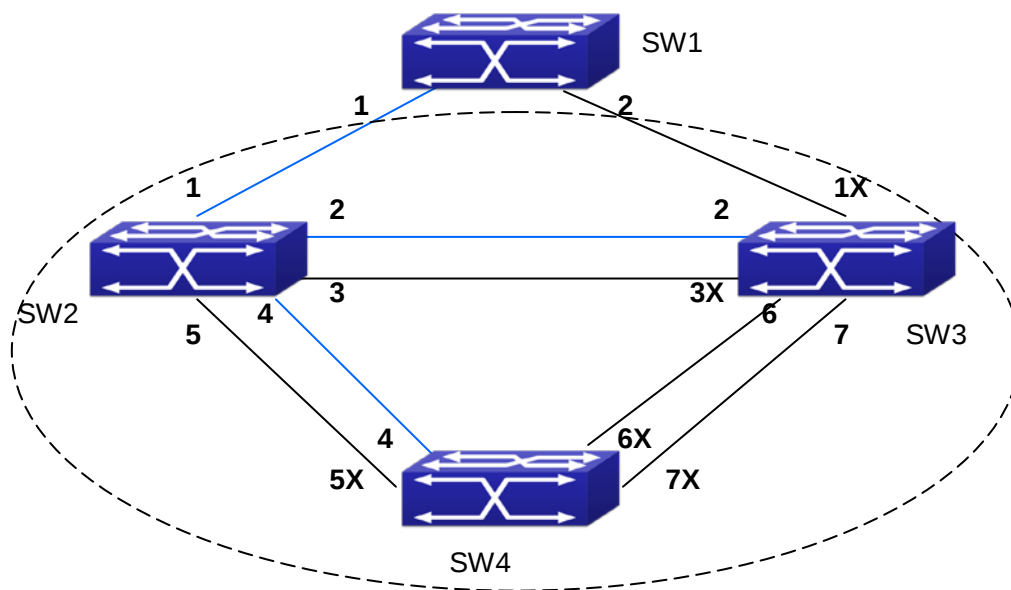


图 1-3 MSTP 变更后的实例 0 的拓扑

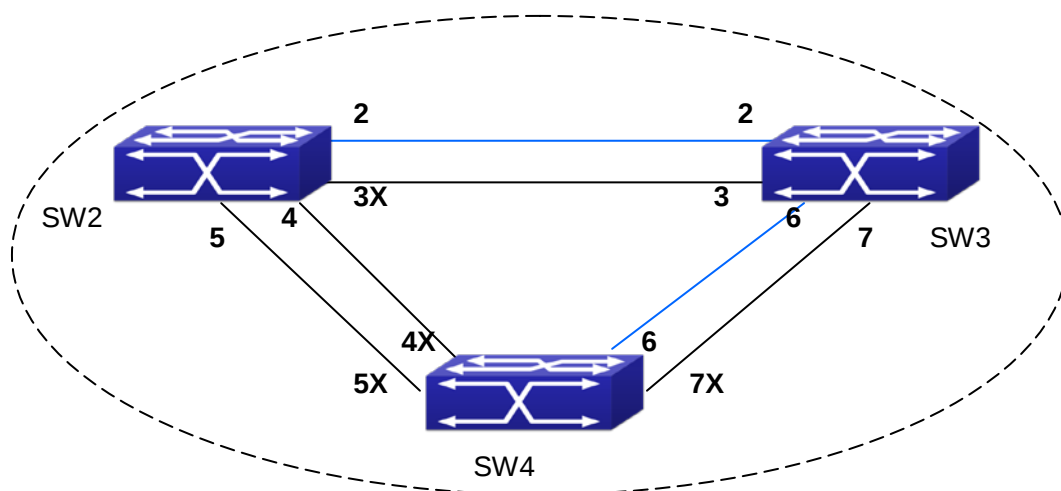


图 1-4 MSTP 变更后 MSTP 域内实例 3 的拓扑

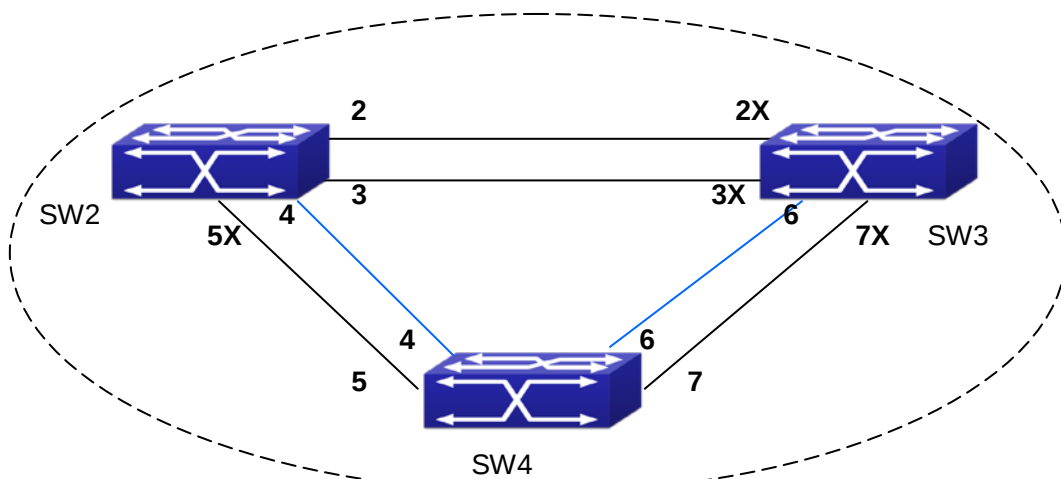


图 1-5 MSTP 变更后 MSTP 域内实例 4 的拓扑

1.4 MSTP排错帮助

- ✎ 如果要在交换机端口上运行 MSTP，首先必须在全局打开 MSTP 开关。在没有打开全局 MSTP 开关之前，打开端口的 MSTP 开关是不允许的。
- ✎ MSTP 定时器参数之间是有相关性的，错误配置可能导致交换机不能正常工作。各定时器之间的关联关系为： $2 \times (\text{Bridge_Forward_Delay} - 1.0 \text{ seconds}) \geq \text{Bridge_Max_Age}$
 $\text{Bridge_Max_Age} \geq 2 \times (\text{Bridge_Hello_Time} + 1.0 \text{ seconds})$
- ✎ 用户在修改 MSTP 参数时，应该清楚所产生的各个拓扑。除了全局的基于网桥的参数配置外，其它的是基于各个实例的配置，在配置时一定要注意配置参数对应的实例是否正确。

第2章 ERPS配置

2.1 ERPS介绍

ERPS (Ethernet Ring Protection Switching) 是 ITU-T 定义的一种二层防环协议，标准号为 ITU-T G.8032/Y1344，又称为 G.8032。G.8032 以太环网标准吸取了 EAPS、RPR、SDH、STP 等众多环网保护技术的优点，优化了检测机制，可以检测双向/单向故障，支持多环、多域的结构，在实现 50ms 倒换的同时，支持主备、负荷分担多种工作方式，成为了以太环网技术最新的成熟标准。

ERPS 是一种用于环网保护的防环协议。协议包括：环路故障时链路切换，环路恢复时的通知，以及环路恢复后的链路倒换部分，但它不包括链路故障的发现部分。故障发现可使用 802.1ag 协议定义的 CCM 功能，也可以使用物理层链路故障检测机制。选用何种检测机制都可以，总原则是它必须是灵敏的，可在较短的时间内发现链路故障，并通知给 erps 模块，erps 要求的环路故障倒换时间是：在 16 个节点，链路长度在 1200km 以内，流量中断时间不超过 50ms，这对链路故障发现和环路保护协议倒换时间要求很高。

2.1.1 ERPS术语

Ethernet ring: 以太环，由许多环节点组成的一个封闭的物理环形网络，环上的每个节点有且只有两个端口连接本环形网络。

Ring protection link: RPL，一条环网上的链路，在环网健康时，为破除环路，被环网上的节点 block 的链路，本链路不能传输数据流量。

RPL owner node: RPL 拥有节点，环网上的连接 RPL 的节点，在环网健康时，负责阻塞环网上 RPL。同时，在环网恢复时，配置为 reversion 方式时，它还会发起链路倒换。

RPL neighbour node: RPL 邻节点，环网上的连接 RPL 的另一个节点，在环网健康时，负责阻塞环网上 RPL。

Interconnection node: 交叉节点，当多个环交叉时，处于交叉位置的节点。在交叉节点，有一个或多个环可以通过交叉节点上的一个端口连接，但最多只有一个环可以通过交叉节点上的两个端口连接。通过一个端口连接的环是子环，通过两个端口连接的环是主环。

R-APS virtual channel: R-APS 虚通道，在子环通路外，两个交叉节点间使子环连通的链路，它的传输特性与子环外网络有关。

major-ring: 主环，连接交叉节点上两个端口的环。

sub-ring: 子环，通过两个交叉节点与其它网络相连的环，子环本身不是一个环形网络，只有通过交叉节点与其它环相连时才组成一个环网。

ERP instance: ERP 实例，是多个保护 vlan 的集合，在这个实例中的 vlan，它们的报文传输经过相同的环网链路，每个 vlan 只能属于一个实例。

Revertive switch: 可逆倒换，RPL 拥有节点在得知环网故障恢复后，恢复 RPL 的阻塞状

态，使网络流量传输路径恢复到故障前的链路。

Non-revertive switch: 不可逆倒换，RPL 拥有节点在得知环网故障恢复后，不阻塞 RPL，网络流量传输路径与故障发生时一致。

2.1.2 ERPS功能介绍

2.1.2.1 故障倒换

下面以单环单条链路故障为例，说明 erps 协议的工作过程。如图 2-1 所示。

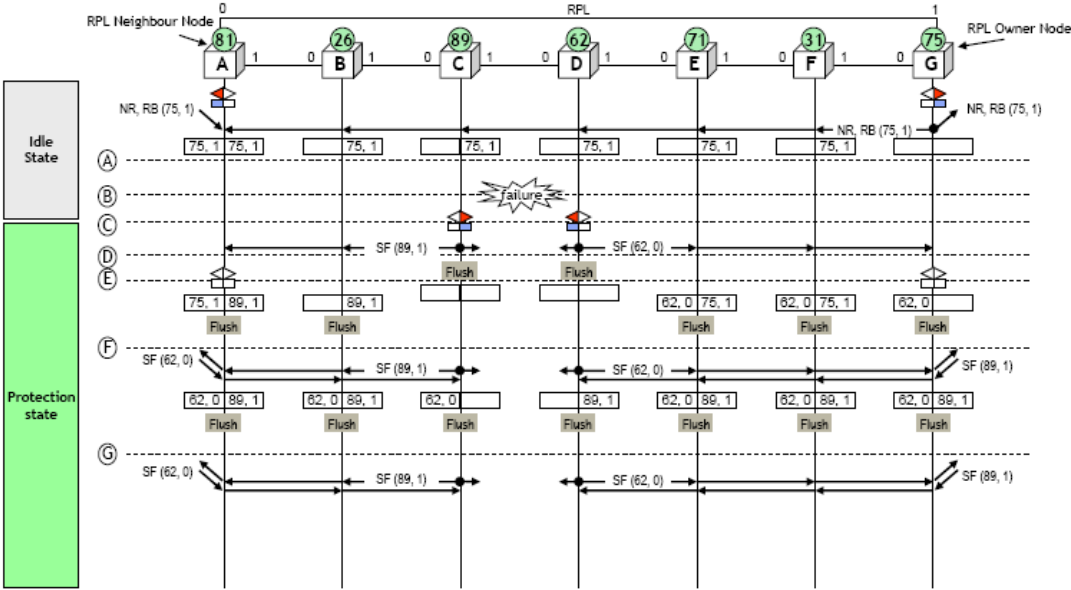


图 2-1 单链路故障

故障倒换的步骤：

- a) 环网状态正常，RPL 拥有节点 G 周期性地发送 R-APS (NR,RB) 报文，本报文说明 RPL 链路处于阻塞状态，环网健康；
- b) 节点 C 和 D 间的链路发生故障；
- c) 节点 C 和 D 检测到故障，它们分别阻塞连接故障链路的端口，执行 flush FDB；
- d) 同时，节点 C 和 D 分别通过连接到环网的端口周期性地发送故障通知报文 R-APS (SF)；
- e) 所有收到 R-APS (SF) 报文的节点执行 flush FDB，同时，RPL 拥有节点 G 和 RPL 邻节点 A 设置 RPL 连接端口为 forward，节点 G 停止发送 R-APS (NR,RB) 报文；
- f) 由于 RPL 链路解除阻塞，所有节点能收到两个 R-APS (SF) 报文（节点 C 和节点 D 发送的），在收到新的 R-APS (SF) 报文后，会再次执行 flush FDB；
- g) 链路故障消息 R-APS (SF) 在环网内一直传输；

2.1.2.2 故障恢复

当环链路的故障恢复时，环上节点有两种处理方式：一种是可逆倒换方式，即当故障链路恢复正常后，环网阻塞 RPL，恢复故障链路的转发状态，此时，数据报文的转发路径同环网前一次正常时一致。另一种是不可逆倒换方式，即当故障链路恢复正常后，此链路保持阻塞状态，数据报文继续按照当前的路径转发。

两种方式适用的环境有所不同，当阻塞 RPL 可使网络中的数据流量转发路径最优时，应使用可逆倒换方式；当网络中各链路路径代价差别不大，阻塞哪条路径对于报文转发都没有差别，为避免环路恢复导致数据流量二次中断，可采用不可逆倒换方式。

一、可逆倒换方式

下面以单环单条链路故障为例，说明可逆倒换方式的故障恢复过程。如图 2-2 所示。

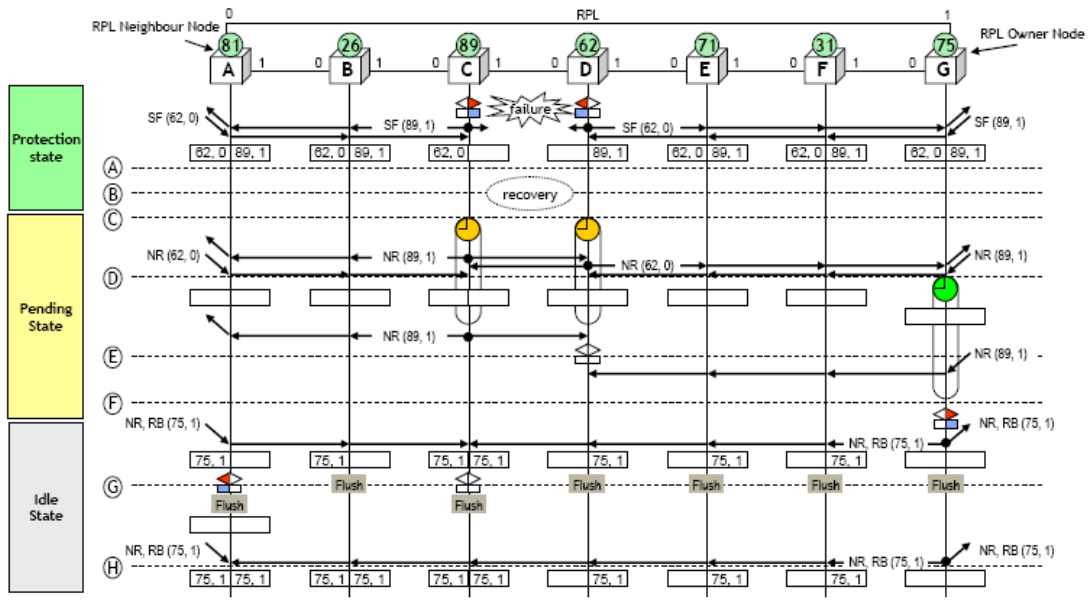


图 2-2 单链路可逆倒换方式故障恢复

可逆倒换方式故障恢复的步骤：

- a) 故障仍然存在，检测到故障的节点继续周期性地发送携带故障信息的 R-APS (SF) 报文；
- b) 链路上的故障恢复；
- c) 节点 C 和 D 检测到故障恢复，它们启动 guard 定时器，同时在环网的端口上发送故障恢复报文 R-APS (NR)；
- d) 当 RPL 拥有节点检查到 R-APS (NR) 报文，它启动 WTR 计时器，同时清除本地记录的节点故障信息；
- e) 节点 C 和 D 的定时器超时后，它们接收到对端发送的 R-APS (NR) 报文，节点 D 认为节点 C 的优先级更高，因此，它停止发送携带本地信息的 R-APS (NR) 报文并解除端口的 block；

- f) 当 RPL 拥有节点 G 的 WTR 定时器超时后，它阻塞连接 RPL 的端口，通过环网的端口发送 R-APS (NR, RB) 报文，通知其它节点 RPL 链路已阻塞，同时，节点 G 执行 flush FDB；
- g) 节点 C 收到 RPL 拥有节点发送的 R-APS (NR, RB) 报文，它解除本地端口的阻塞，同时停止发送 NR 报文。RPL 邻节点 A 收到此报文，它阻塞连接 RPL 的端口。另外，所有节点收到 R-APS (NR, RB) 报文后，执行 flush FDB。

二、不可逆倒换方式

下面以单环单条链路故障为例，说明不可逆倒换方式的故障恢复过程。如图 2-3 所示。

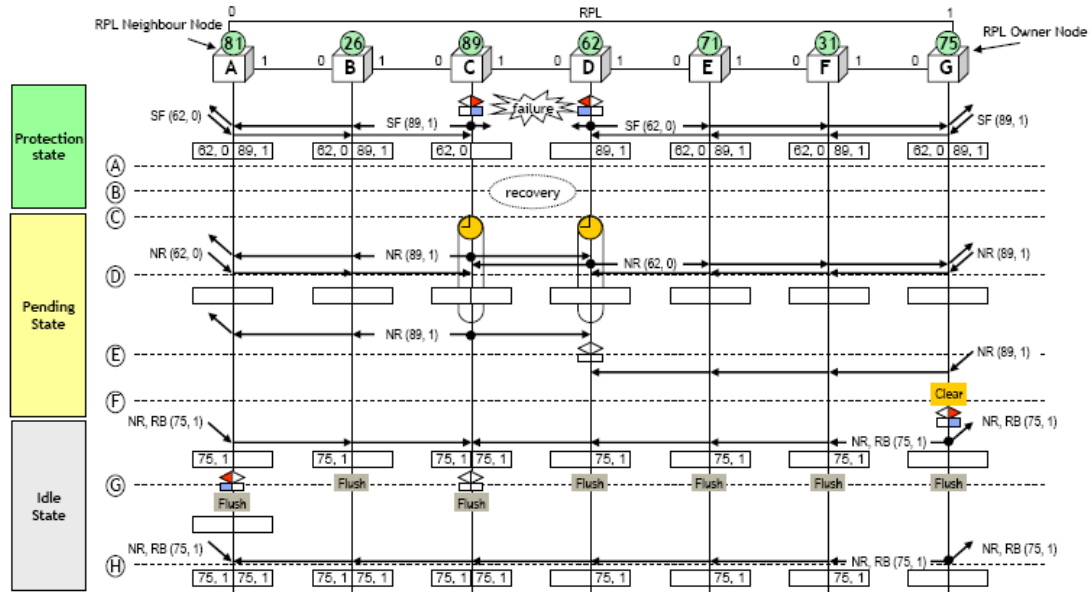


图 2-3 单链路不可逆倒换方式故障恢复

不可逆倒换方式的故障恢复步骤：

- a) 故障仍然存在，检测到故障的节点继续周期性地发送携带故障信息的 R-APS (SF) 报文；
- b) 链路上的故障恢复；
- c) 节点 C 和 D 检测到故障恢复，它们启动 guard 定时器，同时在环网的端口上发送故障恢复报文 R-APS (NR)；
- d) 当 RPL 拥有节点 G 检查到 R-APS (NR) 报文，由于 G 配置了不可逆倒换方式 (non-revertive)，它清除本地记录的节点故障信息，但不启动 WTR 计时器；
- e) 节点 C 和 D 的定时器超时后，它们接收到对端发送的 R-APS (NR) 报文，节点 D 认为节点 C 的优先级更高，因此，它停止发送 R-APS (NR) 报文，并解除本地端口的 block；
- f) 若 RPL 拥有节点 G 执行 clear 命令，它恢复为可逆倒换方式 (revertive)，它会阻塞连接 RPL 的端口，通过环网的端口发送 R-APS 报文 (NR, RB)，通知其它节点 RPL 链路已阻塞，同时，执行 flush FDB；
- g) 节点 C 收到 RPL 拥有节点发送的报文，它解除本地端口的阻塞，同时停止发送 R-APS (NR) 报文；RPL 邻节点 A 收到此报文，它阻塞连接 RPL 的端口。另外，所有节点收到报文后，执行 flush FDB。

2.1.2.3 交叉环模型

erps 协议可支持交叉环的保护倒换。交叉环模型分两种：有虚通道的交叉环模型和无虚通道的交叉环模型。

一、有虚通道的交叉环

如图 2-4，三个环网相交，其中 ring 1 是主环，它由环节点 A,B,G,H 以及四个节点间的链路组成，ring 1 在健康状态时，阻塞节点 A,B 间的链路。ring 2 是另一个主环，它由环节点 C,D,E,F 以及四个节点间的链路组成，ring 2 在健康状态时，阻塞节点 C,D 间的链路。ring 3 是一个子环，它由节点 B,C,F,G 及 B-C 和 G-F 链路组成，ring 3 在健康状态时，阻塞 B-C 链路。B-G 链路是 ring 1 和 ring 3 的交叉链路，属于 ring 1，C-F 链路是 ring 2 和 ring 3 的交叉链路，属于 ring 2。ring 1 和 ring 2 是一个闭合环网，ring 3 并不是一个环网。若将 ring 1 看成 ring 3 的交叉节点 B,G 间的链路（虚通道），ring 2 看成 ring 3 的交叉节点 C,F 间的链路（虚通道），那么 ring 3 也是一个环网。

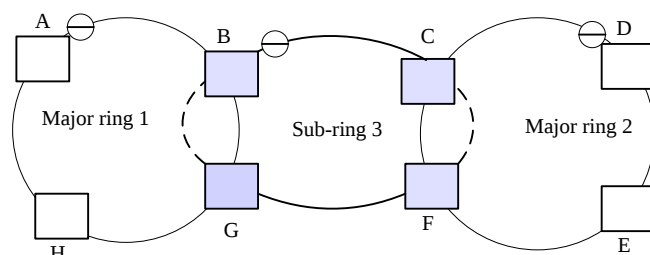


图 2-4 有虚通道的交叉环拓扑

ring 1 和 ring 2 提供的 R-APS 虚通道将 ring 3 协议报文看成是数据报文，报文传输方式与数据报文相同，ring 3 节点 B 发送和接收节点 G 发送的 ring 3 erps 协议报文，同时，节点 G 发送和接收节点 B 发送的 ring 3 erps 协议报文。为了在 ring 1 和 ring 2 中将 ring 3 的 erps 报文与本主环内的 erps 报文区分，可以对每个环的协议报文传输使用不同的 control vlan。

当子环 ring 3 有拓扑变化时，需通知环 ring 1 和 ring 2，主环上的节点执行 flush FDB，主环 ring 1 和 ring 2 的拓扑变化不会影响子环 3，另外，环 ring 1 和 ring 2 的拓扑变化也不会相互影响。

二、无虚通道的交叉环

将上面的三个相交环网换一种方式理解，建模如图 2-5。其中 ring 1 是主环，它由环节点 A,B,G,H 以及四个节点间的链路组成，ring 1 在健康状态时，阻塞 A-B 链路。ring 2 是一个子环，它由环节点 C,D,E,F 以及 C-D,D-E,E-F 链路组成，ring 2 在健康状态时，阻塞 C-D 链路。ring 3 是另一个子环，它由节点 B,C,F,G 以及 B-C,C-F,F-G 链路组成，ring 3 在健康状态时，阻塞 B-C 链路。B-G 链路是 ring 1 和 ring 3 的交叉链路，属于 ring 1，

C-F 链路是 ring 2 和 ring 3 间的交叉链路，属于 ring3。ring 1 是一个闭合的环网，ring 2 和 ring 3 不是环网。

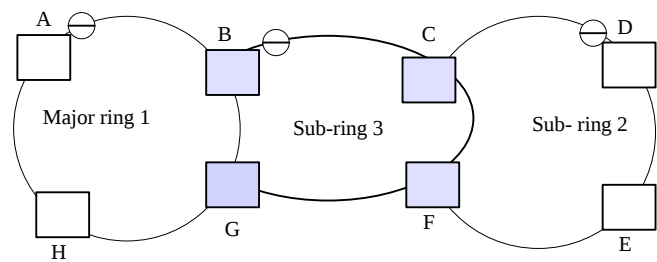


图 2-5 无虚通道的交叉环拓扑

虽然 ring 2 和 ring 3 不是环网，但这两个子环的 erps 报文也需要能传输到所有的环上节点，因此，若 B-C,C-D 间链路阻塞，阻塞链路应该也能够传输 erps 协议报文，阻塞链路的端点 B,C 和 C,D 应该也可以接收和发送 erps 协议报文。

当子环 ring 3 有拓扑变化时，需要通知主环 ring 1，主环上的节点执行 flush FDB 操作，对子环 ring 2 没有影响。当子环 ring 2 有拓扑变化时，会影响子环 ring3 和主环 ring1，环上节点需执行 flush FDB。然而，主环 ring 1 的拓扑变化不会影响子环 ring 2 和 ring 3。

2.1.3 ERPS应用场景

ERPS 用于环形组网，位于汇聚层，汇聚环可完成业务的二层汇聚，同时接入上级三层网络进行业务处理。汇聚环运行 ERPS 协议，提供汇聚环的二层冗余保护倒换功能。

2.2 ERPS配置

- ERPS 配置任务序列如下：
- 1) 创建实例，映射对应要保护的 vlan
 - 2) 创建 ERPS 环，并配置成员端口信息。其它为默认配置：支持 V2 版本、主环封闭类型、监控端口物理状态
 - 3) 配置 ERPS 环实例，并配置保护实例，端口角色，并选择性配置 ERPS 环实例名字、R-APS 等级、定时器等信息，最后配置控制 VLAN，选择端口配置成 RPL owner 和 RPL Neighbor

1. 创建 MSTP 实例

命令	解释
全局配置模式	
spanning-tree mst configuration	进入交换机的 MST 配置模式，在交换机的 MST 配置模式下，可配置交换机
no spanning-tree mst configuration	

	有关 MSTP 域的参数；本命令的 no 操作作为恢复交换机的 MSTP 域参数的缺省值
MST 配置模式	
instance <instance value > vlan <vlan-list> no instance [instance-value]	设置配置实例，映射需要保护的 vlan；本命令的 no 操作作为删除指定的实例。

2. 创建 ERPS 环，配置成员端口信息

命令	解释
全局配置模式	
erps ring <ring-name> no erps ring <ring-name>	创建 ERPS 环，并进入 ERPS 环配置模式；本命令的 no 操作作为删除指定的 erps 环。
端口配置模式	
erps-ring <ring-name> port0 erps-ring <ring-name> port1 erps-ring <ring-name> port0 erps-ring <ring-name> port1	配置一个端口的为环节点 port0 或者 port1；本命令的 no 操作作为删除端口环节点的 port0 或者 port1 属性。

3. 配置 ERPS 环实例

命令	解释
全局配置模式	
erps ring <ring-name> no erps ring <ring-name>	创建 ERPS 环，并进入 ERPS 环配置模式；本命令的 no 操作作为删除指定的 erps 环。
ERPS 环配置模式	
eprs-instance <instance-id> no eprs-instance <instance-id>	创建 ERPS 环上实例，并进入 ERPS 环实例配置模式；本命令的 no 操作作为删除指定的环节点实例。
description <instance-name> no description	配置 ERPS 实例的描述字符串；本命令 no 操作作为删除指定实例描述字符串
rpl {port0 port1} {owner neighbour} no rpl {port0 port1}	配置 ERPS 环实例的成员端口为 RPL owner 或 RPL neighbour；本命令 no 操作作为删除指定 owner 或者 neighbor 节点
raps-mel <level-value> no raps-mel	配置 R-APS channel 的 level，协议报文中的 MEL 字段用于检测当前报文是否能通过；本命令 no 操作作为删除 R-APS channel 的 level

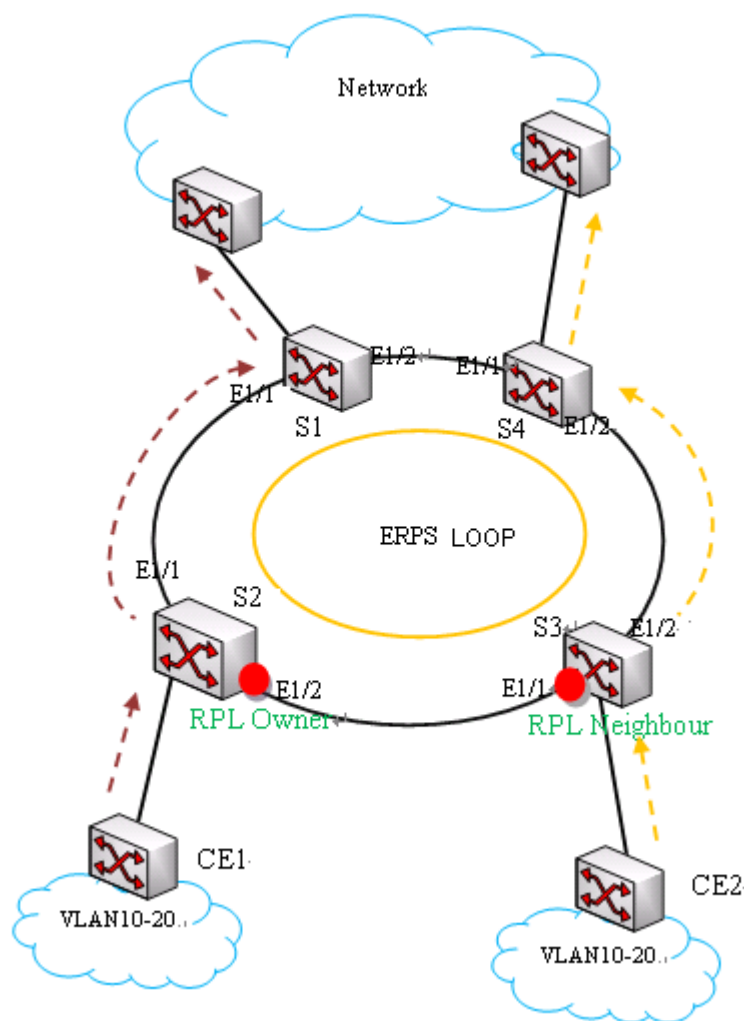
protected-instance <instance-list> no protected-instance	配置 ERPS 环实例的保护实例，本命令 no 操作为删除 ERPS 环实例的保护实例
wtr-timer <wtr-times> no wtr-timer	配置 WTR 定时器。WTR 定时器用来避免 RPL 拥有节点由于周期性（间断性）故障引起的频繁保护切换操作；本命令 no 操作为删除 wtr 定时器。
guard-timer <guard-times> no guard-timer	配置 Guard 定时器。Guard 定时器用于以太网环节点避免依据过时的 R-APS 报文作出错误处理，避免形成封闭环路；本命令 no 操作为删除 guard 定时器
holdoff -timer <holdoff-times> no holdoff -timer	配置 Holdoff 定时器。Holdoff 定时器用于以太网环节点阻塞故障上报时间；本命令 no 操作为删除 Holdoff 定时器。
control-vlan <vlan-id> no control-vlan	配置 R-APS channel 传输 R-APS 报文的控制 VLAN。在 ERPS 环实例中，该 VLAN 只用来传递 ERPS 协议报文，不用来转发用户业务报文，从而提高了 ERPS 协议的安全性；本命令 no 操作为删除 Control Vlan。

4. 显示 ERPS 的配置信息

命令	解释
全局配置模式	
show erps ring {<ring-name> brief}	显示 ERPS 环信息。
show erps instance [ring <ring-name> [instance <instance-id>]]	显示 ERPS 环实例信息。
show erps status [ring <ring-name> [instance <instance-id>]]	显示 ERPS 环实例的状态信息。
show erps statistics [ring <ring-name> [instance <instance-id>]]	显示 ERPS 环实例的统计信息。

2.3 ERPS 举例

案例 1:



如上图所示是 ERPS 的配置应用的说明图，S1~S4 组成环形网，提供二层冗余保护倒换功能。为了防止 VLAN10 ~ VLAN20 内的报文产生环路，在组成环网的设备上部署 ERPS 协议。通过 CE1 接入的用户数据转发路径为 S2-S1，通过 CE2 接入的用户数据转发路径为 S3-S4。为了实现以太网环路切换保护，可以按如下的步骤进行配置。

1. 配置思路

按照如下思路配置 ERPS 环路冗余保护：

创建 ERPS 环 major_ring1，并配置环成员端口；

配置 ERPS 环 major_ring1 上实例 1，并配置保护实例、成员端口角色、定时器和控制 VLAN。

2. 配置步骤

步骤 1 在 S1 ~ S4 上创建实例 2，映射 VLAN 2，10-20，VLAN2 用于传递协议报文，VLAN10-20 用于传递数据报文。

配置 S1。

```
S1#config
```

```
S1(config)#spanning-tree mst configuration
```

```
S1(Config-Mstp-Region) instance 2 vlan 2;10-20
```

```
S1(Config-Mstp-Region)#exit
```

```
S1(config)#interface e1/1-2
```

```
S1(Config-If-Port-Range)#switchport mode trunk
```

S2、S3、S4 配置同 S1。

步骤 2 创建 ERPS 环，并配置成员端口信息。其它为默认配置：支持 V2 版本、主环封闭类型、监控端口物理状态。

配置 S1。

```
S1(config)#erps-ring major_ring1
```

```
S1(config-erps-ring)#exit
```

```
S1(config)# interface e1/1
```

```
S1(config-if-ethernet1/1)erps-ring major_ring1 port 0
```

```
S1(config-if-ethernet1/1)interface e1/2
```

```
S1(config-if-ethernet1/2)erps-ring major_ring1 port 1
```

S2、S3、S4 配置同 S1。

步骤 3 配置 ERPS 环实例，并配置保护实例，端口角色，并选择性配置 ERPS 环实例名字、R-APS 等级、定时器等信息，最后配置控制 VLAN。将 S2 的 e1/2 端口配置为 RPL Owner，S3 的 e1/1 端口配置为 RPL Neighbour。

配置 S1。

```
S1(config)# erps-ring major_ring1
```

```
S1(config-erps-ring)#erps-instance 1
```

```
S1(config-erps-ring-inst-1)#description instance1
```

```
S1(config-erps-ring-inst-1)#raps-mel 3
```

```
S1(config-erps-ring-inst-1)#protected-instance 2
```

```
S1(config-erps-ring-inst-1)#wtr-timer 8
```

```
S1(config-erps-ring-inst-1)#guard-timer 100
```

```
S1(config-erps-ring-inst-1)#holdoff-timer 5
```

```
S1(config-erps-ring-inst-1)# control-vlan 2
```

S4 配置同 S1。

配置 S2。

```
S2(config)# erps-ring major_ring1
```

```
S2(config-erps-ring)#erps-instance 1
```

```
S2(config-erps-ring-inst-1)#description instance1
```

```
S2(config-erps-ring-inst-1)#rpl port 1 owner
```

```
S2(config-erps-ring-inst-1)#non-revertive
```

```
S2(config-erps-ring-inst-1)#raps-mel 3
```

```
S2(config-erps-ring-inst-1)#protected-instance 2
```

```
S2(config-erps-ring-inst-1)#wtr-timer 8
```

```
S2(config-erps-ring-inst-1)#guard-timer 100
```

```
S2(config-erps-ring-inst-1)#holdoff-timer 5
S2(config-erps-ring-inst-1)# control-vlan 2
```

配置 S3。

```
S3(config)# erps-ring majior_ring1
S3(config-erps-ring)#erps-instance 1
S3(config-erps-ring-inst-1)#description instance1
S3(config-erps-ring-inst-1)# rp0 port 1 neighbour
S3(config-erps-ring-inst-1)#raps-mel 3
S3(config-erps-ring-inst-1)#protected-instance 2
S3(config-erps-ring-inst-1)#wtr-timer 8
S3(config-erps-ring-inst-1)#guard-timer 100
S3(config-erps-ring-inst-1)#holdoff-timer 5
S3(config-erps-ring-inst-1)# control-vlan 2
```

步骤 4 查看配置结果。上述配置成功后，以 S2 为例查看配置结果。

```
S2# show erps ring brief
```

Ring-ID	Description	Ring-topo	Port0	Port1	Version
Inst-Count					
1	majior_ring1	majior-ring	1/1	1/2	V2

```
Switch#show erps instance
ERPS Ring majior_ring1
Instance 1
Description: instance1
Protected Instance : 2          Revertive mode: revertive
RAPS MEL: 3                    R-APS-Virtual-Channel:
Control Vlan : 2
Guard Timer (csec) : 100
Holdoff Timer (seconds) : 5
WTR Timer (min) : 8
```

Port	Role	Port-Status
port0	Common	Forwarding
port1	RPL Owner	Blocked

3. 配置文件

S1 的配置文件：

```
S1#config
S1(config)#erps-ring major_ring1
S1(config)#spanning-tree mst configuration
S1(Config-Mstp-Region) instance 2 vlan 2;10-20
S1(Config-Mstp-Region)#exit
S1(config)#interface e1/1-2
S1(Config-If-Port-Range)#switchport mode trunk
S1(Config-If-Port-Range)#exit
S1(config)# interface e1/1
S1(config-if-ethernet1/1)erps-ring major_ring1 port 0
S1(config-if-ethernet1/1)interface e1/2
S1(config-if-ethernet1/2)erps-ring major_ring1 port 1
S1(config-if-ethernet1/2)exit
S1(config)#erps-ring major_ring1
S1(config-erps-ring)#erps-instance 1
S1(config-erps-ring-inst-1)#description instance1
S1(config-erps-ring-inst-1)#raps-mel 3
S1(config-erps-ring-inst-1)#protected-instance 2
S1(config-erps-ring-inst-1)#wtr-timer 8
S1(config-erps-ring-inst-1)#guard-timer 100
S1(config-erps-ring-inst-1)#holdoff-timer 5
S1(config-erps-ring-inst-1)# control-vlan 2
```

S2 的配置文件:

```
S2#config
S2(config)#erps-ring major_ring1
S2(config)#spanning-tree mst configuration
S2(Config-Mstp-Region) instance 2 vlan 2;10-20
S2(Config-Mstp-Region)#exit
S2(config)#interface e1/1-2
S2(Config-If-Port-Range)#switchport mode trunk
S2(Config-If-Port-Range)#exit
S2(config)# interface e1/1
S2(config-if-ethernet1/1)erps-ring major_ring1 port 0
S2(config-if-ethernet1/1)interface e1/2
S2(config-if-ethernet1/2)erps-ring major_ring1 port 1
S2(config-if-ethernet1/2)exit
S2(config)#erps-ring major_ring1
```

```
S2(config-erps-ring)#erps-instance 1
S2(config-erps-ring-inst-1)#description instance1
S2(config-erps-ring-inst-1)#rpl port1 owner
S2(config-erps-ring-inst-1)#non-revertive
S2(config-erps-ring-inst-1)#raps-mel 3
S2(config-erps-ring-inst-1)#protected-instance 2
S2(config-erps-ring-inst-1)#wtr-timer 8
S2(config-erps-ring-inst-1)#guard-timer 100
S2(config-erps-ring-inst-1)#holdoff-timer 5
S2(config-erps-ring-inst-1)# control-vlan 2
```

S3 的配置文件:

```
S3#config
S3(config)#erps-ring major_ring1
S3(config)#spanning-tree mst configuration
S3(Config-Mstp-Region) instance 2 vlan 2;10-20
S3(Config-Mstp-Region)#exit
S3(config)#interface e1/1-2
S3(Config-If-Port-Range)#switchport mode trunk
S3(Config-If-Port-Range)#exit
S3(config)# interface e1/1
S3(config-if-ethernet1/1)erps-ring major_ring1 port 0
S3(config-if-ethernet1/1)interface e1/2
S3(config-if-ethernet1/2)erps-ring major_ring1 port 1
S3(config-if-ethernet1/2)exit
S3(config)#erps-ring major_ring1
S3(config-erps-ring)#erps-instance 1
S3(config-erps-ring-inst-1)#description instance1
S3(config-erps-ring-inst-1)#rpl port1 neighbour
S3(config-erps-ring-inst-1)#raps-mel 3
S3(config-erps-ring-inst-1)#protected-instance 2
S3(config-erps-ring-inst-1)#wtr-timer 8
S3(config-erps-ring-inst-1)#guard-timer 100
S3(config-erps-ring-inst-1)#holdoff-timer 5
S3(config-erps-ring-inst-1)# control-vlan 2
```

S4 的配置文件:

```
S4#config
```

```
S4(config)#erps-ring major_ring1
S4(config)#spanning-tree mst configuration
S4(Config-Mstp-Region) instance 2 vlan 2;10-20
S4(Config-Mstp-Region)#exit
S4(config)#interface e1/1-2
S4(Config-If-Port-Range)#switchport mode trunk
S4(Config-If-Port-Range)#exit
S4(config)# interface e1/1
S4(config-if-ethernet1/1)erps-ring major_ring1 port 0
S4(config-if-ethernet1/1)interface e1/2
S4(config-if-ethernet1/2)erps-ring major_ring1 port 1
S4(config-if-ethernet1/2)exit
S4(config)#erps-ring major_ring1
S4(config-erps-ring)#erps-instance 1
S4(config-erps-ring-inst-1)#description instance1
S4(config-erps-ring-inst-1)#raps-mel 3
S4(config-erps-ring-inst-1)#protected-instance 2
S4(config-erps-ring-inst-1)#wtr-timer 8
S4(config-erps-ring-inst-1)#guard-timer 100
S4(config-erps-ring-inst-1)#holdoff-timer 5
S4(config-erps-ring-inst-1)# control-vlan 2
```

2.4 ERPS排错帮助

如果用户配置好的 ERPS 环无法实现以太网环路切换保护，在确保硬件、线缆等没有问题的前提下，检查可能存在的情况和建议的解决方法：

- ☞ 检查基本配置是否正确，ERPS 环路中的各个节点的配置的保护实例，control-vlan，wtr-timer，guard-timer，raps-mel 等等是否一致。
- ☞ 检查用户数据流量所在的 vlan 不要跟 control vlan 在同一个 vlan，在 ERPS 环实例中，control vlan 只用来传递 ERPS 协议报文，不用来转发用户业务报文，从而提高了 ERPS 协议的安全性。由用户保证配置唯一性。该 VLAN 在发送 R-APS 报文时作为 vlan tag。实例中所有节点的保护 VLAN 配置必须一致。
- ☞ 建议用户配置的 ERPS 节点上的端口 trunk 口，保证数据报文所在的 vlan 和 control vlan 在配置的保护实例中，ERPS 只保护处于保护实例中的各种数据和协议报文。例如：交换机启动某个协议（CFM，EFM，三层接口）导致交换机往外面发送的协议报文，这时候如果发送（协议）报文的 Vlan ID 不在保护实例中，那么拓扑中会出现环路。
- ☞ 若配置端口状态检测方式为 fastlink，则硬件需支持 fastlink 功能，即硬中断通知端

口状态变化，同时关闭交换机上 mac 软学习功能。

- ☞ 若配置为与 CFM 联动，需要硬件支持 CC 功能，且能达到 3.3ms 的 ccm 发包能力。