

华为SX7系列交换机

ERPS（G.8032）技术白皮书

文档版本 01

发布日期 2015-05-04

版权所有 © 华为技术有限公司 2015。 保留一切权利。

非经本公司书面许可，任何单位和个人不得擅自摘抄、复制本文档内容的部分或全部，并不得以任何形式传播。

商标声明



和其他华为商标均为华为技术有限公司的商标。

本文档提及的其他所有商标或注册商标，由各自的所有人拥有。

注意

您购买的产品、服务或特性等应受华为公司商业合同和条款的约束，本文档中描述的全部或部分产品、服务或特性可能不在您的购买或使用范围之内。除非合同另有约定，华为公司对本文档内容不做任何明示或暗示的声明或保证。

由于产品版本升级或其他原因，本文档内容会不定期进行更新。除非另有约定，本文档仅作为使用指导，本文档中的所有陈述、信息和建议不构成任何明示或暗示的担保。

华为技术有限公司

地址： 深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼 邮编： 518129

网址： <http://enterprise.huawei.com>

目 录

1 特性简介	1-1
1.1 技术背景	1-1
1.2 技术优势	1-1
2 原理描述	1
2.1 基本概念	1
2.2 ERPS 协议报文	2
2.2.1 ERPS 报文类型	2
2.2.2 子环 ERPS 报文传输方式	2
2.3 ERPS 基本原理	4
2.3.1 链路故障切换	4
2.3.2 链路恢复机制	5
2.3.3 强制切换和手工切换	5
2.3.4 ERPS 多实例	6
3 应用场景	8
3.1 单环组网	8
3.2 多环组网	9
3.3 快速检测联动组网	10
4 华为产品实现特色	12
4.1 ERPS 保护倒换时间	12
4.2 ERPS 协议优化机制	12
4.3 华为产品实现特色	13
4.3.1 交换机 ERPS 快刷机制	13
4.3.2 专有 ENP 芯片满足单播业务收敛性能	13
5 参考标准和协议	14

ERPS (G. 8032) 技术白皮书

摘要：ERPS (G. 8032) 是 ITU-T 定义的一种二层环路保护协议标准，标准号为 ITU-T G. 8032/Y1344。ERPS 通过有选择性地阻塞网络冗余链路，防止网络形成广播风暴和 MAC 地址表不稳定等现象，从而有效保证用户通信质量。此外，ERPS 吸取了 STP/RSTP/MSTP 等传统环网保护技术的优点，优化了检测机制，可具有电信级的收敛性能（50ms）。

关键词：ERPS、G. 8032、FDB

缩略语：

英文缩写	英文全称	中文全称
ERPS	Ethernet Ring Protection Switching	以太网环路保护技术
STP	Spanning Tree Protocol	生成树协议
RSTP	Rapid Spanning Tree Protocol	快速生成树协议
MSTP	Multiple Spanning Tree Protocol	多实例生成树协议
RRPP	Rapid Ring Protection Protocol	快速环网保护协议
SEP	Smart Ethernet Protection	智能以太保护协议
ENP	Ethernet Network Processor	以太网络处理器
RPL	Ring Protection Link	环保护链路
FDB	Filtering Database	过滤数据库
CFM	Connectivity Fault Management	连接故障管理（802.1ag）
BPDU	Bridge Protocol Data Unit	BPDU 报文
MAC	Media Access Control	MAC 地址

1 特性简介

1.1 技术背景

在以太网中，为了进行链路备份，提高网络可靠性，通常会使用冗余链路。由于冗余链路会在网络上产生环路，可能会引起广播风暴以及 MAC 地址表不稳定等现象，从而影响用户通信质量，甚至导致通信中断。

为了解决网络中的环路问题，一般采用 STP/RSTP/MSTP 等破环协议。STP 是由 IEEE 提出的一种标准协议，可满足网络可靠性要求，但收敛速度慢。虽然 IEEE 在后续 RSTP/MSTP 协议中进行了改进，链路故障收敛时间仍然在秒级。

为了提升网络发生故障后的收敛性能，华为先后提出了 RRPP、SEP 等环网协议，可满足电信级网络收敛要求（50ms）。但是 RRPP、SEP 属于厂商私有协议，要求环上节点必须是华为网络设备，不适用于多厂商混合组网场景。

在这种情况下，需要一种通用的标准环网协议，满足电信级的收敛性能，ERPS 应运而生。ERPS 是 ITU-T 定义的一种二层破环协议标准，标准号为 ITU-T G. 8032/Y1344，因此又称为 G. 8032。ERPS 收敛速度快，通过有选择性地阻塞网络冗余链路，防止网络形成广播风暴和 MAC 地址表不稳定等现象，从而有效保证用户通信质量。

1.2 技术优势

ERPS 技术和 STP/RSTP/MSTP、RRPP、SEP 等其他二层环路协议比较，具有以下优势：

- 收敛速度快
ERPS 吸取了 STP/RSTP/MSTP 等环网保护技术的优点，优化了检测机制，收敛速度更快。例如，广播报文可以达到 50ms 电信级收敛要求。
- 具备良好的兼容性
ERPS 是 ITU-T 发布的标准二层环路协议，如果环网内制造商的设备都支持该协议，则可以实现互通。
- 华为专有芯片满足电信级可靠性要求
华为交换机借助 ENP 芯片，在链路故障情况下，不仅广播报文可以满足电信级收敛要求，单播报文也可以满足 50ms 的电信级收敛要求。

2 原理描述

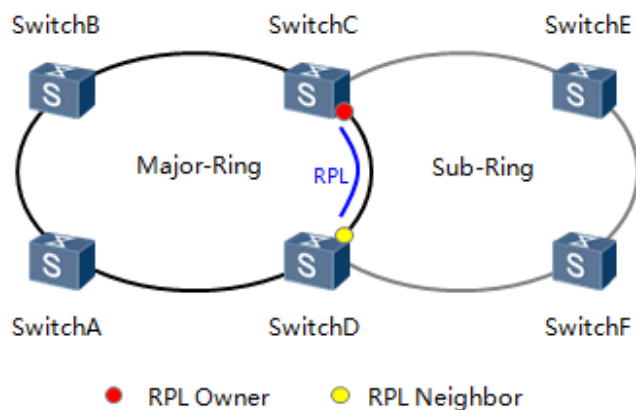
2.1 基本概念

ERPS 是应用于以太网链路层的破坏协议，目前支持 v1 和 v2 两个版本，v2 版本完全兼容 v1 版本，并在 v1 版本的基础上增加了子环等功能的支持。

ERPS 协议以 ERPS 环为基本单位，通过阻塞 RPL Owner 端口，使得环内设备端口的状态在 Forwarding 和 Discarding 之间切换，达到消除环路的目的。

如图 2-1 所示，网络中部署 ERPS 协议，下面结合该图介绍 ERPS 的基本概念。

图2-1 ERPS 基本概念示意图



- ERPS 环

ERPS 环是 ERPS 协议的基本单位，由一组配置了相同的控制 VLAN 且互连的网络设备构成。ERPS 环分为主环和子环，主环是封闭的环，子环是非封闭的环。

主环和子环的属性由用户指定。如图 2-1 所示，SwitchA-B-C-D 组成的环是主环，SwitchC-E-F-D 组成的环是子环。

ERPS 子环只有 ERPSv2 版本支持，ERPSv1 版本不支持。
- 节点

加入 ERPS 环的网络设备称之为节点，每个节点最多两个端口加入同一个 ERPS 环中。图 2-1 中的 SwitchA~SwitchD 即为 ERPS 主环的节点。

- 端口角色

ERPS 协议中规定的端口角色主要有 RPL owner 端口、RPL Neighbour 端口和普通端口三种类型，其中 RPL Neighbour 端口类型只有 ERPSv2 版本支持。

 - RPL owner 端口：

一个 ERPS 环只有一个 RPL owner 端口，由用户配置指定。ERPS 协议通过阻塞 RPL owner 端口的转发状态，来防止链路产生环路。

RPL owner 端口所在的链路即为环保护链路 RPL (Ring Protection Link)。
 - RPL Neighbour 端口

RPL Neighbour 端口指的是与 RPL owner 端口直接相连的节点端口。正常情况下，RPL owner 端口和 RPL Neighbour 端口都会被阻塞，以防止环路产生；当 ERPS 环网出现故障时，RPL owner 端口和 RPL Neighbour 端口都会被放开。

引入 RPL Neighbour 端口角色可以减少 RPL Neighbour 端口所在节点刷新 FDB (Filtering Database) 表项的次数。FDB 数据库是指 MAC、ARP 等转发表项。
 - 普通端口

在 ERPS 环中，除 RPL owner 和 RPL Neighbour 以外的端口都是普通端口。普通端口负责监测自己直连的链路状态，并把链路状态变化及时通知其他节点端口。
- 端口状态

在 ERPS 环中，启动 ERPS 协议的端口状态具有两种：

 - Forwarding: 该状态端口既转发数据流量，又接收、发送和转发 ERPS 协议报文。
 - Discarding: 该状态端口仅能发送、接收 ERPS 协议报文。
- 控制 VLAN 和数据 VLAN
 - 控制 VLAN: 每个 ERPS 环必须配置控制 VLAN。控制 VLAN 用来传递 ERPS 协议报文，不同 ERPS 环不能使用相同的控制 VLAN。
 - 数据 VLAN: 与控制 VLAN 相对，数据 VLAN 用来在环网中传递数据报文。

2.2 ERPS 协议报文

2.2.1 ERPS 报文类型

ERPS 协议报文包含环路状态信息，通过在环网上传递 ERPS 协议报文，实现各节点端口状态信息的互通。ERPS 协议定义了以下报文类型：

- FS 报文 (Forced Switch): 链路强制切换时，发出该报文通知环上其他节点。
- Event 报文: 在多环场景下，主环上相交节点感知子环拓扑变化时，发送 Event 报文通知主环上其他节点，进行 FDB 表项刷新。
- SF 报文 (Signal Failed): 链路故障时，发送该报文通知环上其他节点。
- MS 报文 (Manual Switch): 手工切换时，发出该报文通知环上其他节点。
- NR 报文 (No Request): 链路故障恢复时，发送该报文通知环上其他节点。

2.2.2 子环 ERPS 报文传输方式

在单环组网时，RPL Owner 端口会同时阻塞 ERPS 协议报文和数据报文转发。在相交环组

网中，主环 RPL Owner 端口阻塞报文机制和单环相同；对于子环 ERPS 报文传输机制则有不同，具有虚通道和非虚通道两种方式。

- 虚通道方式 (Virtual-Channel)

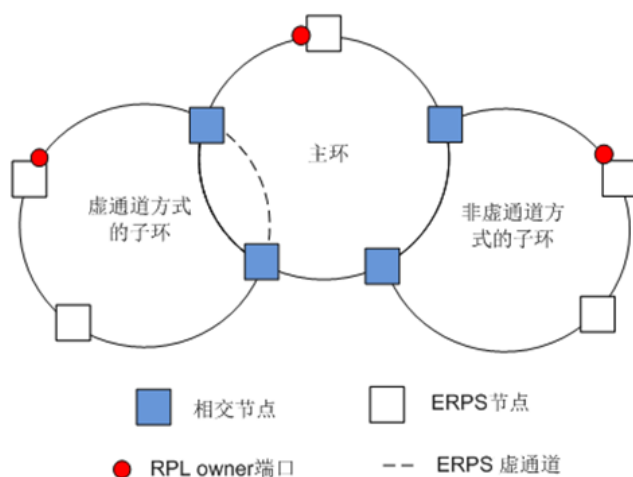
在虚通道方式中，子环的 ERPS 报文会通过相交节点在主环内运行，即相交节点不终结子环的协议报文。子环的阻塞端口会同时阻塞 ERPS 协议报文和数据报文。

- 非虚通道方式 (Non-Virtual-Channel)

在非虚通道方式中，子环的 ERPS 协议报文会在相交节点上终结。子环的阻塞端口仅阻塞数据流量，不阻塞子环的 ERPS 协议报文。

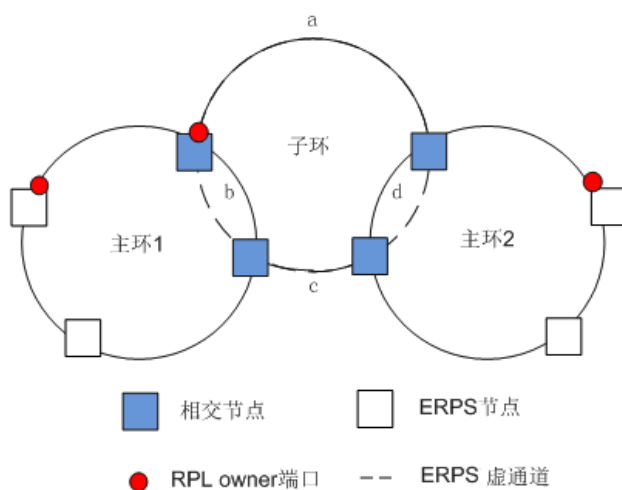
如图 2-2 所示，一个主环分别和两个子环相交，其中左边子环的 ERPS 报文传输方式为虚通道方式，右边子环的 ERPS 报文传输方式为非虚通道方式。在多环场景下，如果子环链路发生故障，当子环完成链路切换后，相交节点会在主环内发送 Event 报文，通告子环的网络拓扑变化情况；其他主环节点收到 Event 报文后，会刷新自己的 FDB 表项。

图2-2 虚通道和非虚通道组网示意图



虚通道方式一般用于子环链路不连续的场景。如 2-3 所示，链路 b 和链路 d 分别属于主环 1 和主环 2，只有链路 a 和链路 c 属于子环。由于链路 a 和链路 c 是独立的两条链路，无法感知到对方的链路变化，所以需要采用虚通道来传输 ERPS 报文。

图2-3 虚通道特殊应用组网示意图



对于虚通道模式，由于子环的 ERPS 协议报文会进入主环传输，主环的拓扑变换会影响到子环协议报文的传输；此外，需要在主环上为子环预留控制 VLAN 等资源，故在实际组网中一般推荐非虚通道模式。缺省情况下，子环 ERPS 报文传输方式为非虚通道方式。

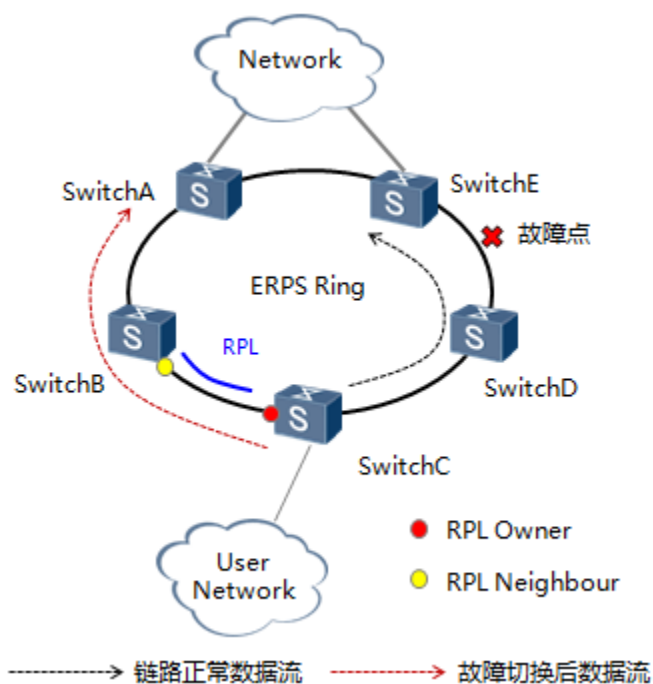
2.3 ERPS 基本原理

ERPS 是一种专用于以太网链路层的标准环网协议，以 ERPS 环为基本单位。本章主要以示例的形式，介绍 ERPS 的实现原理，包括链路故障切换、链路恢复机制、强制切换和手工切换、ERPS 多实例等内容。

2.3.1 链路故障切换

在环网中，为了防止出现环路，可以启动 ERPS 协议，阻塞 RPL owner 端口。如图 2-4，ERPS 首先会阻塞 RPL owner 端口，如果配置了 RPL Neighbour 端口，该端口同样会被阻塞，其他端口可以正常转发业务流量。在正常状态下，用户数据流量按照 SwitchC-D-E 方向转发。

图2-4 ERPS 链路故障切换示意图



当 SwitchD 和 SwitchE 之间的链路发生故障时，ERPS 协议启动保护倒换机制，将故障链路的两端端口阻塞，恢复 RPL 链路转发能力，保证业务流量不中断。具体处理过程如下：

- (1) SwitchD和SwitchE检测到链路故障，将故障链路上的端口阻塞，并刷新本设备的FDB表项。然后，SwitchD和SwitchE向外发送SF报文，通告本节点上的端口链路故障消息。
- (2) ERPS环路上其他网络节点收到SwitchD和SwitchE发送的SF报文后，都刷新本设备的FDB表项。
- (3) 当SwitchC设备收到该SF报文后，放开RPL owner端口，并刷新自己的FDB表项；当SwitchB设备收到ERPS报文后，放开RPL Neighbour端口，并刷新自己的FDB表项。

- (4) 最后，RPL阻塞链路放开，重新恢复数据转发能力，用户数据流量按照SwitchC-B-A方向转发。

2.3.2 链路恢复机制

当 ERPS 故障链路恢复正常后，可以通过设置 ERPS 的回切/非回切模式，决定是否重新阻塞 RPL owner 端口。

- 回切模式 (Revertive Operation)
在回切模式下，如果故障链路恢复，会重新阻塞 RPL owner 端口，阻塞链路会重新切回到 RPL 链路上。缺省情况下，ERPS 环处于回切模式。
- 非回切模式 (Non-revertive Operation)
在非回切模式下，如果故障链路恢复，阻塞链路还保持在原来的故障链路上，不会重新切回到 RPL 链路上。

ERPSv1 版本只支持回切模式，ERPSv2 版本两种模式都支持。

如图 2-4，链路故障恢复后，如果 ERPS 环配置的是回切模式，回切过程如下：

- (1) 当SwitchD和SwitchE之间的链路恢复正常后，为了防止收到过期的ERPS协议报文，分别启动Guard Timer定时器；同时SwitchD和SwitchE周期性会向外发送NR报文，通告当前链路状态。
- (2) 当SwitchC收到NR报文后，启动WTR Timer定时器。当该定时器超时时，RPL owner 端口被阻塞，同时向外发送NR报文，通告RPL链路已经阻塞。
- (3) 当SwitchD和SwitchE收到SwitchC发送的NR报文后，将自己设备上原来阻塞的端口放开，停止发送NR协议报文，并且完成FDB表项的刷新。
- (4) 其他设备收到SwitchC发送的NR报文后，也完成本身FDB表项的刷新。最后用户数据流量重新切回到链路SwitchC-D-E上进行转发。

说明

- Guard Timer 定时器可防止收到过期的 NR 报文，引起网络动荡。故障端口启动 Guard Timer 定时器后，在该定时器超时前不处理 NR 报文。
- WTR Timer (Wait to Restore) 定时器可防止链路故障恢复时，故障节点端口状态不同步引起的网络震荡。只有当 WTR Timer 定时器超时时，才会阻塞 RPL owner 端口，并通知其他网络节点进行 FDB 表项刷新。

2.3.3 强制切换和手工切换

在某些场景下，RPL 链路可能拥有更高的带宽，此时可以考虑将带宽低的链路进行阻塞，让用户流量切换到 RPL 链路上进行传输。

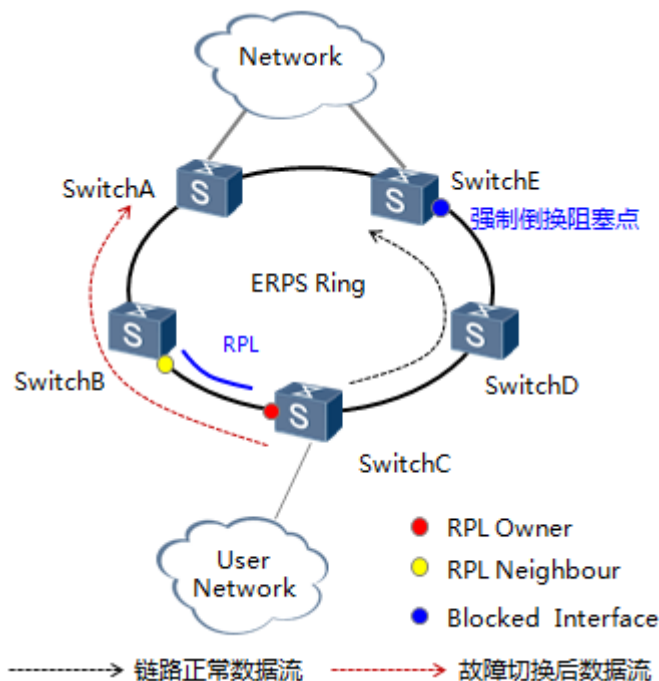
ERPS 支持通过人为的配置来干预端口的阻塞，包括强制切换和手工切换两种倒换方式。

- 强制切换 (Force Switch)
配置了强制切换的端口会马上被阻塞，不管环上其他链路是否存在故障等情况。
- 手工切换 (Manual Switch)
如果 ERPS 环为正常工作状态时（非保护状态），配置手工切换的端口就会阻塞，否则不阻塞。

如图 2-5 所示，当环路上各节点通信正常时，在 SwitchD-E 相连的端口上执行强制切换（手工切换类似），RPL 链路同样会被放开，具体处理过程如下：

- (1) SwitchD与SwitchE相连的端口被强制阻塞后，刷新本设备的FDB表项。然后，阻塞节点SwitchE向外发送FS报文，通知环上其他节点该链路被强制切换。
- (2) 环路上其他设备收到SwitchE发送的FS报文后，都刷新本设备的FDB表项。
- (3) 当SwitchC收到该FS报文后，放开RPL owner端口，并刷新自己的FDB表项；当SwitchB收到ERPS报文后，放开RPL Neighbour端口，并刷新自己的FDB表项。
- (4) 最后，RPL阻塞链路放开，重新恢复数据转发能力，用户数据流量按照SwitchC-B-A方向转发。

图2-5 ERPS 强制切换（手工切换）示意图



ERPS 还支持清除（Clear）操作，在强制切换（或手工切换）后重新阻塞 RPL 链路。如图 2-5，当在 SwitchE 上执行清除操作后，被强制阻塞的端口会发送 NR 报文，向环上其他节点端口通告链路状态。

- 如果 ERPS 环是回切模式，RPL owner 端口在收到 NR 报文后会启动 WTB Timer，在 WTB Timer 超时后，RPL 链路被重新阻塞，被强制阻塞的端口会被放开。若在 WTB Timer 超时前，在 SwitchC（RPL owner 端口所在设备）上执行清除操作，RPL owner 端口会马上被阻塞，被强制阻塞的端口被放开。
- 如果 ERPS 环是非回切模式，而又希望 RPL owner 端口被重新阻塞，可以在 SwitchC（RPL owner 端口所在设备）上执行清除操作，实现数据流量重新切换到正常状态下的链路上转发。

📖 说明

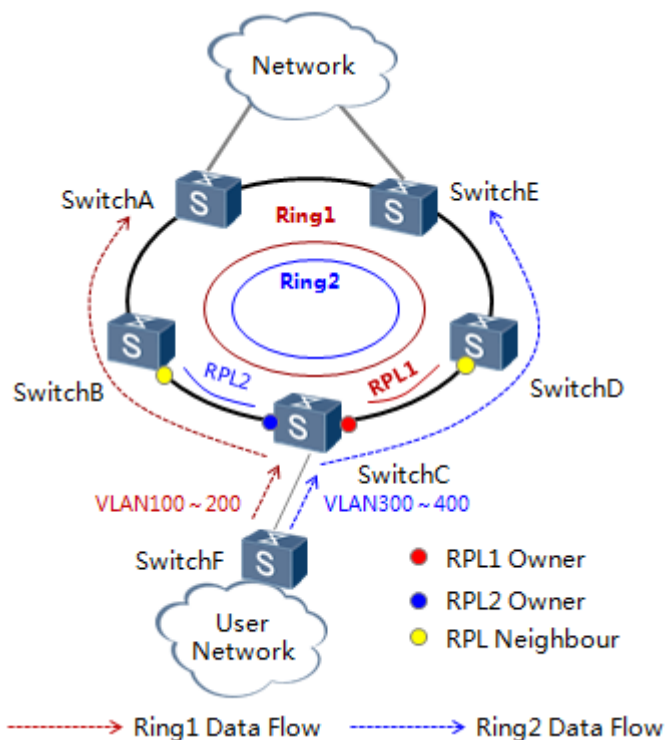
WTB Timer (Wait to Block) 定时器可以防止立即阻塞 RPL owner 端口而引起阻塞点震荡问题。RPL Owner 端口启动 WRB Timer 后，只有当 WTB Timer 定时器超时后，清除操作才起作用。

2.3.4 ERPS 多实例

在 ERPS 组网中，当 ERPS 环处于正常状态时，阻塞端口会阻止所有的业务数据通过。这样，数据流量在 ERPS 环上只能通过一条路径传输，阻塞端口另一侧的链路空闲，造成带宽浪费。

为了提高链路的利用率，ERPS 支持多实例功能。在 ERPS 多实例组网中，一个物理环路上可配置多个逻辑 ERPS 环路，每个逻辑 ERPS 环上均配置一个保护实例，每个保护实例代表一个 VLAN 范围。这样，属于不同 VLAN 的数据流量就可以通过不同的物理路径传输，从而实现流量的负载分担和链路备份，最大化的利用链路资源。

图2-6 ERPS 多实例组网图



如图 2-6 所示，当只配置了 ERPS Ring1 时，端口 RPL1 Owner 被阻塞，数据流量按照 SwitchC-B-A 所示的路线进行转发，而此时 SwitchC-D-E 所在的链路处于空闲状态。在 ERPS 多实例中，我们可以在 SwitchA-B-C-D-E 组成的物理环路上配置 Ring1 和 Ring2。ERPS Ring1 的阻塞端口为 RPL1 Owner，其保护实例对应的 VLAN 范围是 VLAN100~200。ERPS Ring2 的阻塞端口为 RPL2 Owner，其保护实例对应的 VLAN 范围是 VLAN300~400。两个 ERPS 环经过独立的拓扑计算后，VLAN100~200 的业务流量会按照 SwitchC-B-A 所示的路线进行转发，VLAN300~400 的业务流量会按照 SwitchC-D-E 所示的路线进行转发。通过 ERPS 多实例，实现了用户流量负载分担，提高了链路的利用率。

3 应用场景

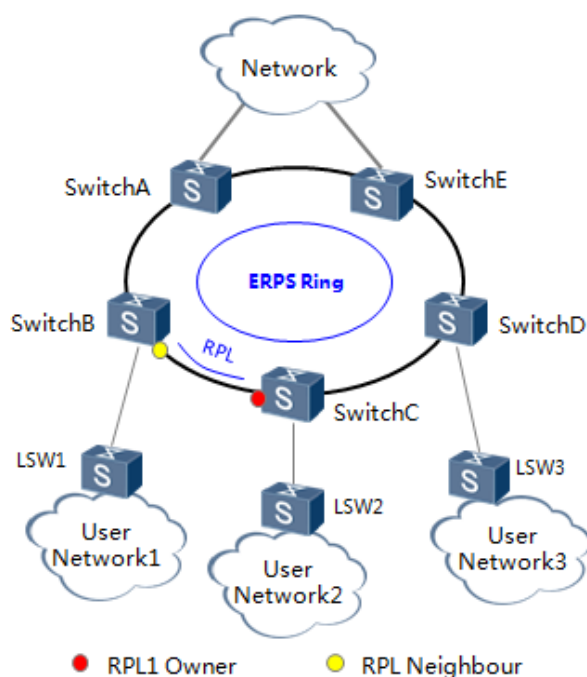
ERPS 典型应用主要有单环、多环等组网形式；另外，当 ERPS 环中存在中继传输设备时，也可部署 ERPS 和 CFM 快速检测联动组网。

3.1 单环组网

场景描述

单环是指由一组相互连接成环的交换节点组成的环形网络。

图3-1 ERPS 单环组网图



如图 3-1 所示，交换机 SwitchA-B-C-D-E 组成环网，单环双归接入上级网络；LSW1~LSW3 属于接入交换机，单归接入环网交换机，连接用户侧网络。单环和接入交换机组成二层网络，通过运行 ERPS 协议，实现链路的冗余保护倒换。

方案部署

- (1) 为防止环路产生，在SwitchA-B-C-D-E组成的环网部署ERPS破坏协议。当某台交换机或某个链路存在故障时，ERPS协议启动保护倒换机制，放开RPL链路，保证流量的快速收敛和业务不中断。
- (2) 为了提高链路的利用率，可部署ERPS多实例（图中未画出），在SwitchA-B-C-D-E环网上配置两个逻辑ERPS环路，实现用户数据流量的负载分担。
- (3) 基于网关位置不同，单环可分为二层环网和三层环网两种形式。对于二层环网，FDB表项刷新仅需考虑二层MAC表项的同步；对于三层环网，用户的网关在ERPS环网上，FDB表项刷新需要同时考虑MAC表项和ARP表项。

其他说明

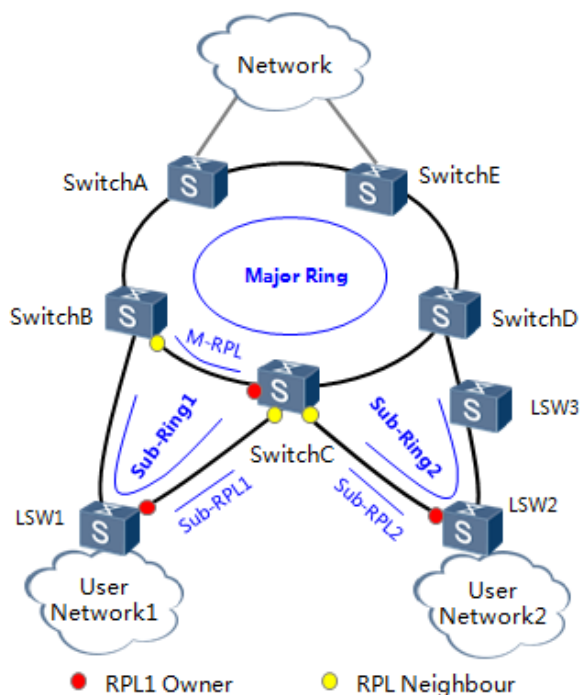
- (1) ERPSv1和ERPSv2均支持单环组网；
- (2) 环上所有节点需要配置相同的控制VLAN，用于ERPS协议传输。

3.2 多环组网

场景描述

多环是指由多个单环或开放环相交（或者相切）组成的复杂网络。

图3-2 ERPS 多环组网图



如图 3-2 所示，SwitchA-B-C-D-E 组成单环，作为主环；LSW1~LSW3 位于接入层，建立开放环 SwitchB-LSW1-SwitchC 和 SwitchC-LSW2-LSW3-SwitchD，作为子环相接入主环，这种组网方式称为多环接入。网络中主环和子环均为二层网络，通过运行 ERPS 协议，实现链路的冗余保护倒换。

方案部署

- (1) 由SwitchA-B-C-D-E组成的封闭环为ERPS主环，SwitchB-LSW1-SwitchC和SwitchC-LSW2-LSW3-SwitchD组成的两个开放环为ERPS子环。ERPS的三个环各自都有自己的RPL owner端口。
- (2) 当环路上某台交换机或某个链路存在故障时，ERPS协议启动保护倒换机制，放开本环的RPL owner端口。对于子环链路故障，还通过相交节点将本环的拓扑变化信息通告给主环，刷新主环的FDB表项。
- (3) 为了提高链路的利用率，主环上可部署ERPS多实例，实现子环数据流量的负载分担。

其他说明

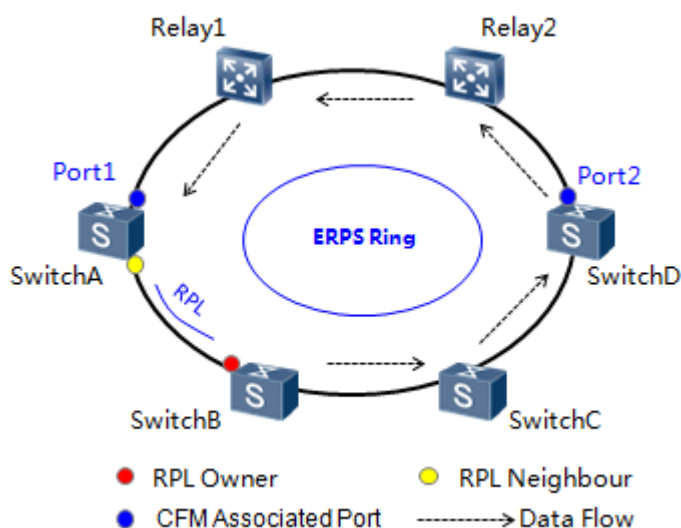
- (1) 只有ERPSv2支持多环组网，具有相交环、相切环两种组网方式；
- (2) 每个环上需要配置不同的控制VLAN，分别用于各自环路ERPS协议传输；
- (3) 子环的ERPS报文传输推荐采用非虚通道方式。

3.3 快速检测联动组网

场景描述

ERPS 环路正常情况下，RPL owner 端口以 5s 为周期向外发送 NR 报文，表示当前环链路一切正常。由于 ERPS 协议没有链路自动检测功能，当两个 ERPS 节点中间部署了中继传输设备时，当中继设备之间发生故障，ERPS 环无法快速感知链路变化；如果依赖周期性 NR 报文检测，显然网络收敛速度会变得很慢。

图3-3 ERPS 透传传输网络组网图



如图 3-3 所示，SwitchA-B-C-D 组成了一个 ERPS 环，SwitchA 和 SwitchD 通过中继传输设备 Relay1 和 Relay2 相连。当 Relay1 和 Relay2 之间的链路出现故障时，ERPS 环路无法快速感知链路状况，导致用户流量中断。

方案部署

通过部署 ERPS 和 CFM (802.1ag) 联动可以解决此问题。具体由 CFM 检测传输网络的链路连通性状况，当检测到链路故障时，通告 ERPS 网络进行流量快速切换。

- (1) 在SwitchA和SwitchD节点配置CFM功能，选取SwitchA-Port1和SwitchD-Port2作为CFM联动端口，通过CFM协议周期性检测链路连通情况。
- (2) 当传输链路Relay1-Relay2存在故障时，SwitchA和SwitchD通过联动端口检测到CFM协议状态变为Down，通知ERPS模块；然后，ERPS模块阻塞本地端口Port1和Port2，并放开RPL链路，实现链路快速切换。
- (3) 当Relay1-Relay2之间链路恢复正常后，在回切模式下，会重新阻塞RPL owner 端口，并放开阻塞的端口SwitchA-Port1和SwitchD-Port2，完成流量的回切。

其他说明

- (1) 在配置ERPS和CFM联动时，注意SwitchA-Port1和SwitchD-Port2需要加入ERPS环路中。
- (2) CFM性能依赖于CFM协议报文的发包间隔，对于具有逻辑插卡的交换机，最小可提供3.3ms发包间隔。也就是说，如果以连续三个发包周期收不到对方CFM报文作为链路故障标准，则CFM链路连通性检测最短时间为10ms。

4 华为产品实现特色

4.1 ERPS 保护倒换时间

快速保护倒换是 ERPS 的核心竞争力。对于 ERPS 环网而言，快速保护倒换的意义在于倒换时少丢包，为上层网络提供更加优质的服务。

当 ERPS 环网出现故障时，从阻塞故障端口到放开 RPL Owner 端口之间的时间，就是丢包时间，这个丢包时间用来衡量 ERPS 环网的切换性能。ERPS 保护倒换时间一般包括两部分：

- ERPS 协议处理时间
在链路或者节点故障后，ERPS 协议处理时间包括感知链路故障、发送或者转发 ERPS 报文、设置本节点另一端口状态等耗费的时间。
- FDB 表项刷新时间
FDB 表项刷新时间一般指 MAC 表项、ARP 表项等的删除和重新学习时间。

ERPS 单环 50ms 倒换性能指的是 ERPS 单环保护切换断流时间最长为 50ms。

4.2 ERPS 协议优化机制

为了达到电信级的保护倒换能力（50ms），ERPS 协议在以下方面进行了优化：

- (1) ERPS 直接指定阻塞端口，减少阻塞端口计算时间
在 STP/RSTP/MSTP 等环网协议中，当发生链路或者节点故障时，都需要重新计算网络拓扑，确定阻塞端口。这样存在两个缺点：一方面，通过协商选出的阻塞端口有时并不是网络所需求的最佳阻塞点；另一方面，每次的拓扑计算不可避免耗费了大量时间，降低了网络收敛性能。
ERPS 协议优化了这部分实现，环路的阻塞端口（RPL Owner）由用户直接指定。这样，在链路故障切换时就无需额外计算阻塞端口，从而提升了网络发生故障时的收敛性能。
- (2) ERPS 在某些场景下无需刷新 FDB 表项，降低表项刷新时间
在 ERPS 协议中由于预先指定了阻塞端口，这样当环路处于稳态时，如果网络故障发生在 RPL 链路或者预先指定的阻塞端口上，可无需刷新 ERPS 其他各节点的 FDB 表项。

此外，对于已经处于保护状态的环路，如果阻塞端口所在链路上其他节点发生故障时，ERPS协议也无需刷新FDB表项。

(3) ERPS协议不再使用BPDU报文，ERPS报文可跨设备转发

对于STP/RSTP/MSTP等环网协议，使用的是BPDU MAC（0180-C200-0000~0180-C200-002F），这类报文特点是不能跨设备透传。例如，如果环路上某节点出现故障，故障通知报文需要逐个节点上送到控制面进行重新封装，再发送给下一个环路节点。

ERPS协议不再使用BPDU MAC，采用特殊的组播MAC（0119-A700-0001~0119-A700-00FF），ERPS报文可跨越设备传输。这样，当链路发生故障时，环路节点在处理收到的ERPS报文的同时，在转发面可直接转发数据报文，从而提升了整个环路对故障的响应时间。

通过上述措施，ERPS协议在收敛性能方面得到大幅改善，优于传统的STP/RSTP/MSTP等环网协议，对于广播报文可以达到50ms电信级收敛要求；对于单播报文，由于还要加上FDB的刷新时间，如果表项规模较大时，则无法达到50ms倒换性能。

4.3 华为产品实现特色

华为交换机通过新增ERPS快刷机制，并通过专门ENP芯片，不仅可以保证广播报文满足50ms的切换性能，对于单播业务，也可以满足50ms电信级收敛性能。

4.3.1 交换机ERPS快刷机制

ERPS协议在感知到网络故障后，一般先进行状态计算再进行转发面处理。如果环路发生故障后，接口down消息通知到控制面，控制面进行协议状态计算，确定阻断故障端口，再刷新本身FDB表项。这种先协议状态计算实现的保护切换，耗时会较长，不能保证ERPS的倒换性能。

为了提升ERPS协议处理性能，华为交换机产品实现了ERPS快刷机制。在ERPS快刷机制中，设备会优先进行转发面表项处理，后续再进行协议状态计算。例如，对于框式交换机，如果发生链路或者节点故障，接口板会直接阻塞故障端口，并刷新自己的FDB表项，发送ERPS协议报文通知环路上其他节点，从而以最快的速度实现链路的保护倒换；后续，框式交换机的主控板控制面再进行协议状态计算，保证环网切换的可靠性。

4.3.2 专有ENP芯片满足单播业务收敛性能

对于单播业务，ERPS收敛性能在协议处理时间的基础上，还要加上FDB表项刷新时间。例如，对于二层环路，需要加上MAC表项刷新时间；更进一步，如果环路存在用户网关节点，则还需要加上ARP表项刷新时间。

为了提升ERPS环网单播业务的倒换性能，华为交换机借助ENP芯片，对于二层和三层流量转发进行了功能增强。在ERPS触发FDB表项刷新时，华为交换机可直接把原单播流量做广播转发，不再等待FDB表项刷新完成，极大的提高了环网收敛性能。

对于二层业务流量，ENP交换机（单板）在收到刷新端口MAC表项通知时，优先将二层流量在VLAN内广播，以加快收敛性能。对于三层业务流量，ENP交换机（单板）发生环网切换时，在ARP重学习期间，可做到三层流量做广播处理，加快收敛速度。

当前华为框式交换机S12700/9700/7700的ENP单板，盒式交换机S5720HI，均可支持单播业务50ms级的收敛性能。

5 参考标准和协议

ERPS 为 ITU 标准，对应文档如下：

表5-1 ERPS 标准资料清单

标准号	文档名称	备注
ITU-T G. 8032/Y. 1344 (06/2008)	Recommendation ITU-T G. 8032/Y. 1344 defines the automatic protection switching (APS) protocol and protection switching mechanisms for ETH layer Ethernet ring topologies. Included are details pertaining to Ethernet ring protection characteristics, architectures and the ring APS protocol.	ERPSv1
ITU-T G. 8032/Y. 1344 (03/2010)	Recommendation ITU-T G. 8032/Y. 1344 defines the automatic protection switching (APS) protocol and protection switching mechanisms for ETH layer Ethernet ring topologies. Included are details pertaining to Ethernet ring protection characteristics, architectures and the ring APS (R-APS) protocol.	ERPSv2