

网络应用技术

第5讲：三层交换机组网

河南中医药大学信息技术学院
《网络应用技术》课程教学组

本章教学计划

- 三层交换机的工作原理
- 三层交换机通信过程举例
- 三层交换机和路由器的区别



一、认识三层交换机

认识三层交换机

□ 为什么使用三层交换机?

- 由于应用需求或者地域管理等因素，一个园区网络通常需要划分成多个小的局域网，从而实现广播包隔离，这就使得VLAN技术在园区网建设中得以大量应用。
- 普通的二层交换机只能实现同一VLAN内部主机的互相访问，而**不同VLAN间的通信**则要通过**第三层路由功能**来完成转发。

认识三层交换机

□ 为什么使用三层交换机?

- 三层交换机又叫路由交换机，就是具有第三层路由功能的交换机；
- 三层交换机除了具有普通二层交换机的功能之外，还可以像路由器一样实现不同子网（主要指不同VLAN）之间的通信；
- 与**路由器**主要通过**软件方式**进行**路由转发**不同，三层交换机在工作中主要使用硬件芯片进行IP的路由功能，因此路由过程效率大大提高，解决了传统路由器软件路由的速度问题；
- 因此，在**实际应用中**，通常使用**路由交换机实现VLAN间的通信**。

认识三层交换机

□ 三层交换机的应用

- 在一些园区网中，会将三层交换机用在网络的核心层，用三层交换机上的千兆接口或百兆接口连接不同的子网或VLAN，从而实现不同VLAN（子网）之间的高速转发。
- 三层交换机虽然同时具有二层交换和三层路由的特性，但是三层交换机在安全、协议支持等方面与路由器还是存在很大区别的。在结构上，三层交换机更接近于二层交换机，只是针对三层路由进行了专门设计。之所以称为“路由交换机”而不称为“交换路由器”，原因就在于此。

认识三层交换机

□ 三层交换机的工作原理

■ 三张表

- ▶ 三层交换机通过**维护**三张表，来完成报文的转发过程。
 - 一张“**MAC地址表**”
 - 一张“**IP路由表**”
 - 一张包括“目的主机IP地址、目的主机MAC地址、接口号、VLAN ID”信息在内的“**三层硬件转发表**”
- ▶ 这三张表，**构成了三层交换机转发体系的基础**

认识三层交换机

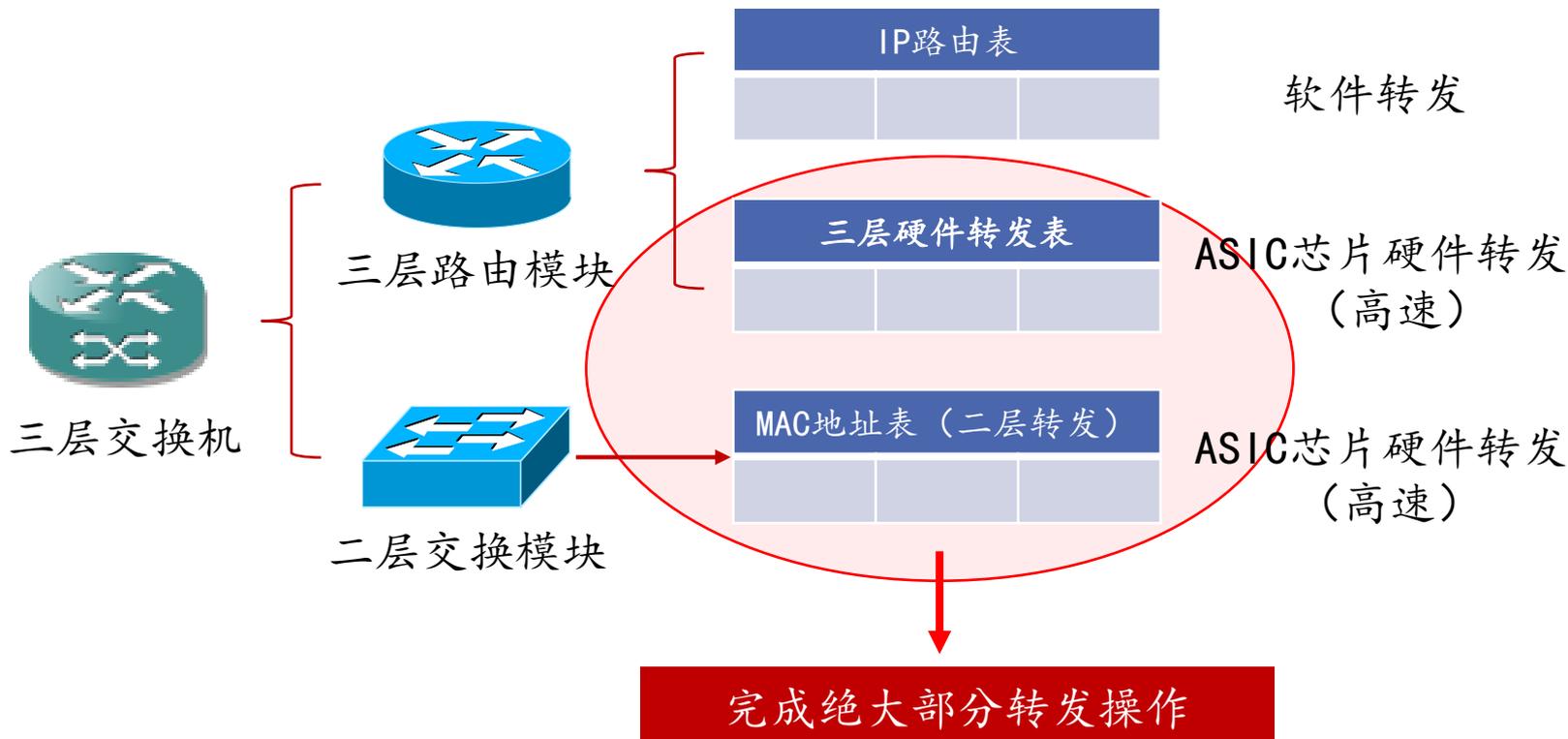
□ 三层交换机的工作原理

■ 三层交换机通常采用软、硬结合的转发体系。

- ▶ **硬**：三层交换机在自己的**ASIC**（Application Specific Integrated Circuit，专用集成电路）硬件芯片中同时存储了用于二层转发的**MAC地址表**以及用于IP转发的**三层转发表**，用来完成二、三层的转发功能。
- ▶ **软**：在内存中存储一些软件表项，包括软件**路由表**和**ARP表**，由CPU调用，并根据软件表项的信息来配置ASIC中的三层硬件转发表，即三层硬件转发表项中的信息，来源于CPU维护的软件。
- ▶ **所以**，三层交换机的**绝大部分**转发操作都是通过ASIC中的二、三层硬件表项来完成的，即实现**硬件转发**，因此转发效率相比路由器更高。（路由器的路由功能主要依靠软件进行）

认识三层交换机

三层交换机的工作原理

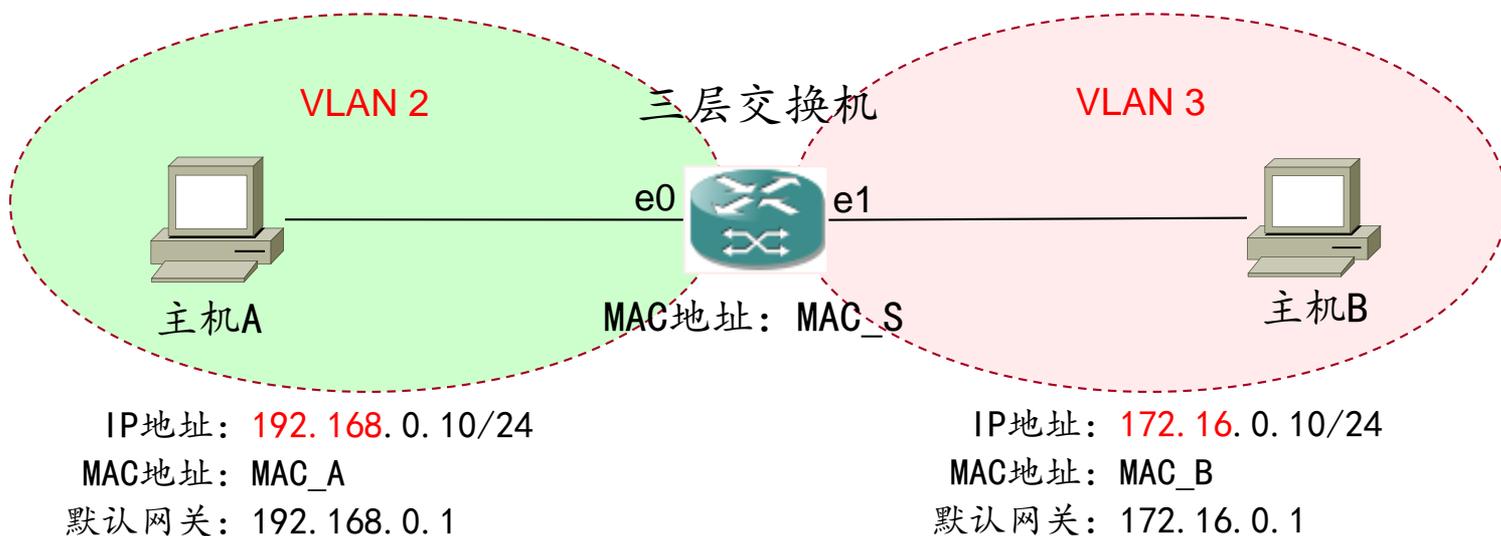


认识三层交换机

三层交换机的工作原理

■ 三层交换机的工作原理可以概括为“一次路由，多次交换”

▶ 以下图为例（具体过程见下页）



认识三层交换机

□ “一次路由，多次交换”（结合上页图例）

- **首次数据包**的路由处理：当三层交换机**首次**接收到某个数据流（例如主机A访问B）的数据包时，它会像路由器一样，通过查找自己的IP路由表，确定数据包的转发路径，并获取下一跳的MAC地址。然后，重新封装数据包，将源MAC地址改为三层交换机的MAC地址（MAC_S），将目的MAC地址改为下一跳的MAC地址。转发出去。
- **构建三层硬件转发表**：在转发第1个数据包的过程中，三层交换机会将主机A和主机B的信息（包括IP地址、MAC地址、接口号、VLAN ID）添加在自己的三层硬件转发表中；
- **后续数据包**的快速交换：从数据流的**第二个数据包**开始，三层交换机会利用之前建立的三层硬件转发表进行**快速转发**。由于直接在硬件中完成转发，不再查看IP路由表，这种方式大大提高了数据包的转发效率，降低了网络延迟。
- 这就是“一次路由，多次交换”的含义。

认识三层交换机

□ 三层交换机实现VLAN间通信的配置

■ VLAN的“默认网关”：交换机虚拟接口

- ▶ 交换机虚拟接口（Switch Virtual Interface，简称SVI），多用于路由交换机（三层），是一种三层逻辑接口，通常用于表示VLAN接口（**注意，不是属于某个VLAN的接口**），只不过它是虚拟的，用于连接整个VLAN。
- ▶ 一个SVI对应一个VLAN，一个VLAN仅可以有一个SVI。当需要在VLAN之间进行路由通信，就需要起用交换机上相关VLAN的SVI接口。

认识三层交换机

□ 三层交换机实现VLAN间通信的配置

■ VLAN的“默认网关”：交换机虚拟接口

- ▶ 三层交换机的一个重要应用，就是实现VLAN之间的通信。如果要实现VLAN（例如VLAN2、VLAN3）之间的通信，则**首先**需要在三层交换机上创建相应的VLAN（即VLAN2、VLAN3），并为每个VLAN的**SVI接口**分配**IP地址**等信息。然后就可以将一个VLAN的SVI作为该VLAN内各PC的**默认网关**，从而实现VLAN间互访。
- ▶ 要注意的是，这是三层交换机的路由功能，所以此时必须在三层交换机上启用路由功能（例如使用ip routing命令）。

认识三层交换机

三层交换机实现VLAN间通信的配置

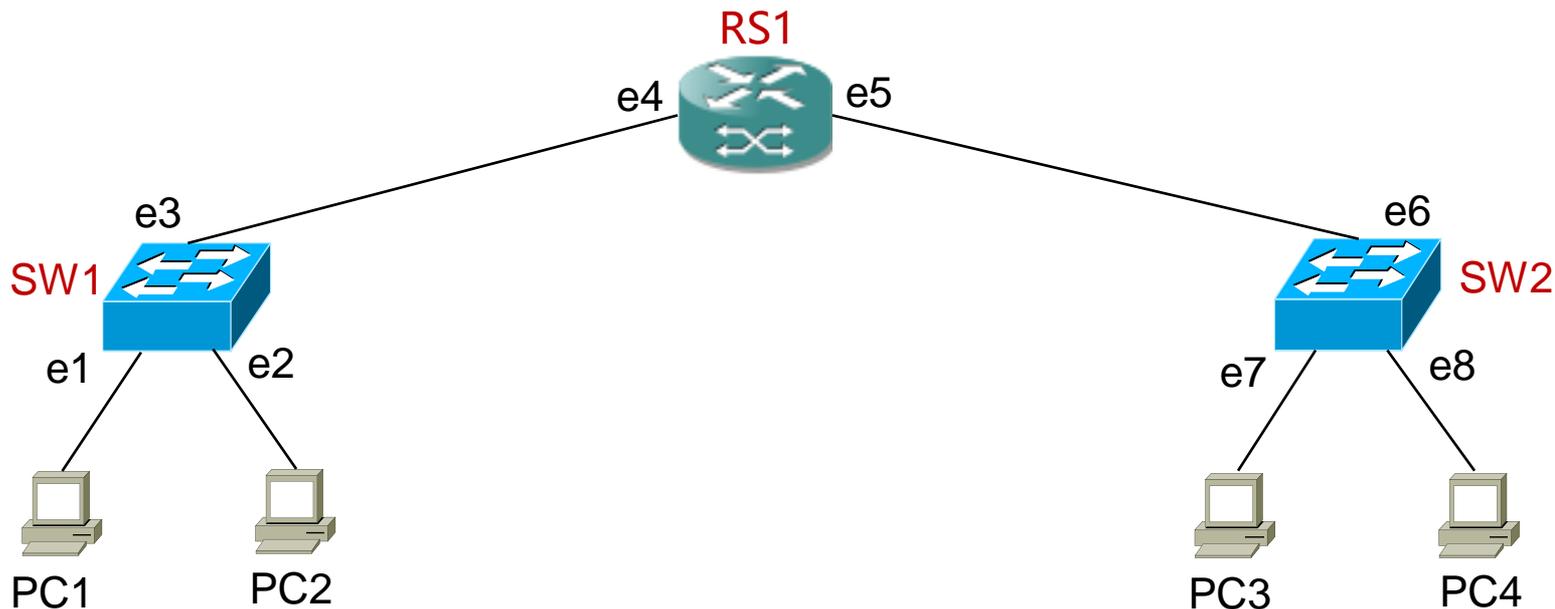
■ 交换机虚拟接口

- **举例：**配置VLAN 2的SVI接口地址
- 在三层交换机上创建VLAN 2以后，进入VLAN 2接口操作模式，然后给VLAN 2的SVI接口配置IP地址，其IP地址为192.168.0.254，子网掩码为255.255.255.0

```
[SW1]vlan 2 //创建VLAN 2
[SW1-vlan2]quit
[SW1]interface vlan 2 //创建并进入VLAN 2的SVI接口
[SW1-Vlanif2]ip address 192.168.0.254 255.255.255.0 //配置该SVI接口的IP
```

二、三层交换机通信实例分析

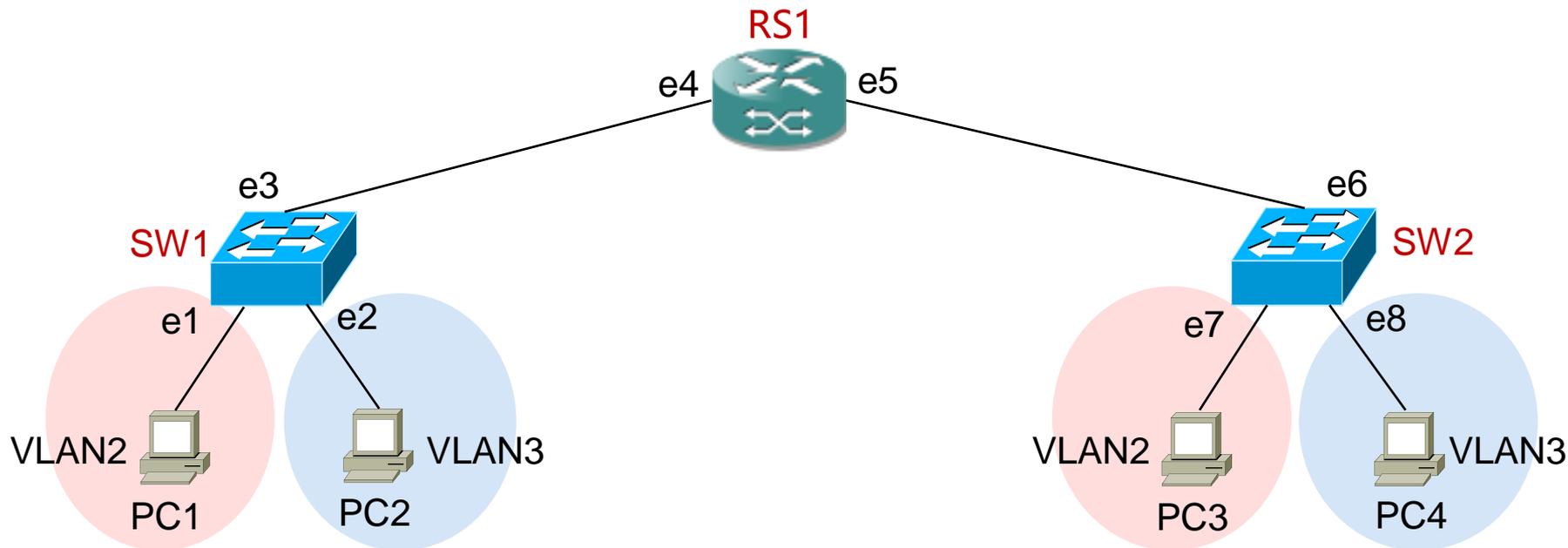
三层交换机通信实例分析——网络基本说明（1）



说明1：拓扑描述

RS1是三层交换机，SW1和SW2是二层交换机，
PC1~PC4是用户主机；
e1~e8是各设备之间连接的接口。

三层交换机通信实例分析——网络基本说明 (2)

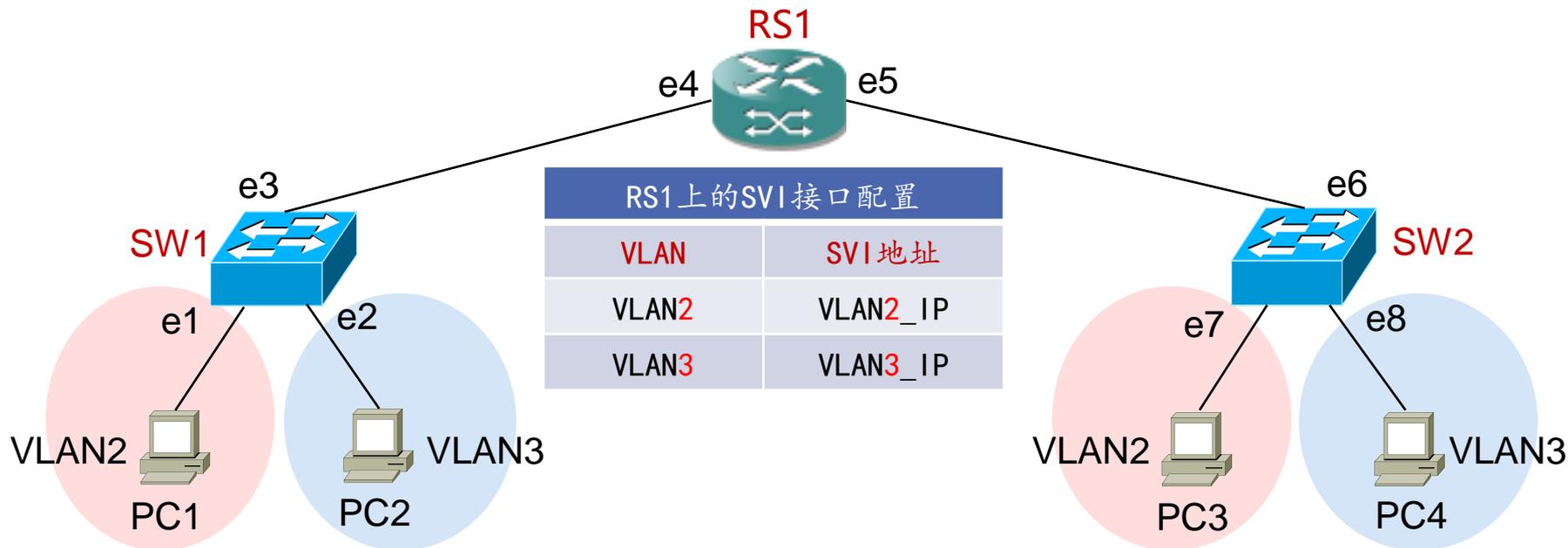


说明2：二层交换机的配置

SW1和SW2上都创建了VLAN2和VLAN3；

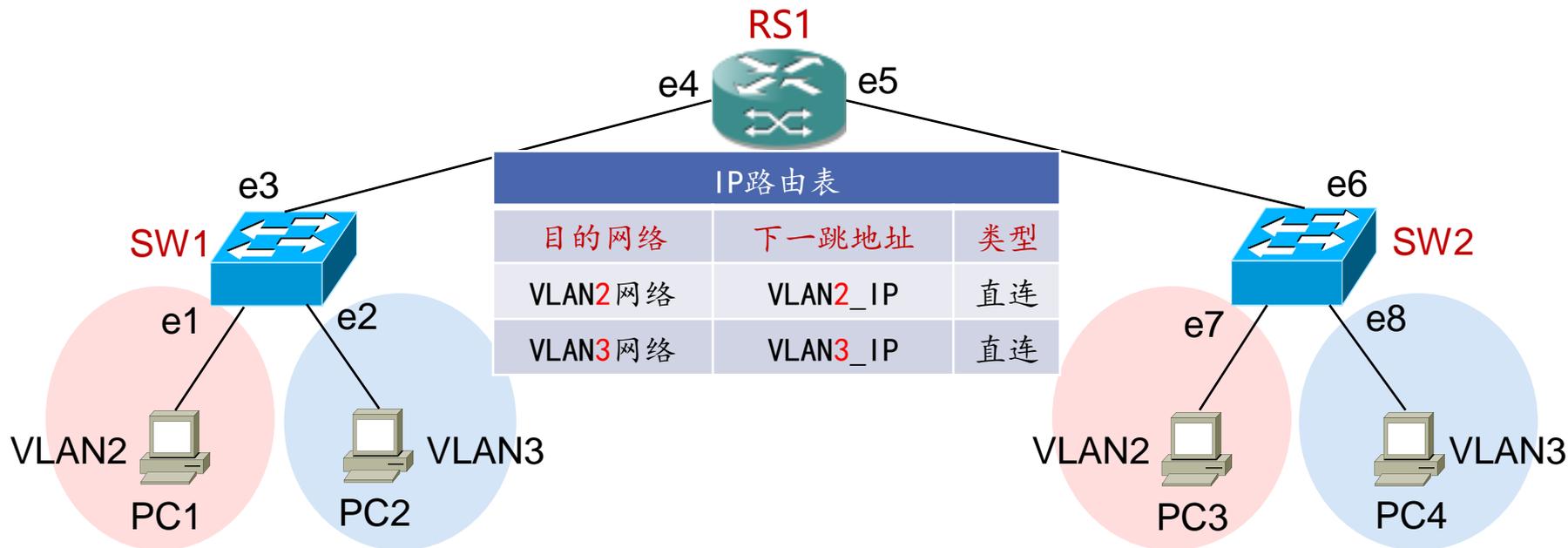
e1和e2是Access接口，属于VLAN2。e7和e8是Access接口，属于VLAN3。

三层交换机通信实例分析——网络基本说明 (3)

**说明3：在三层交换机上配置SVI**

在RS1中创建VLAN2和VLAN3，并配置了VLAN2和VLAN3的接口地址（即SVI地址），分别设为VLAN2_IP，VLAN3_IP；

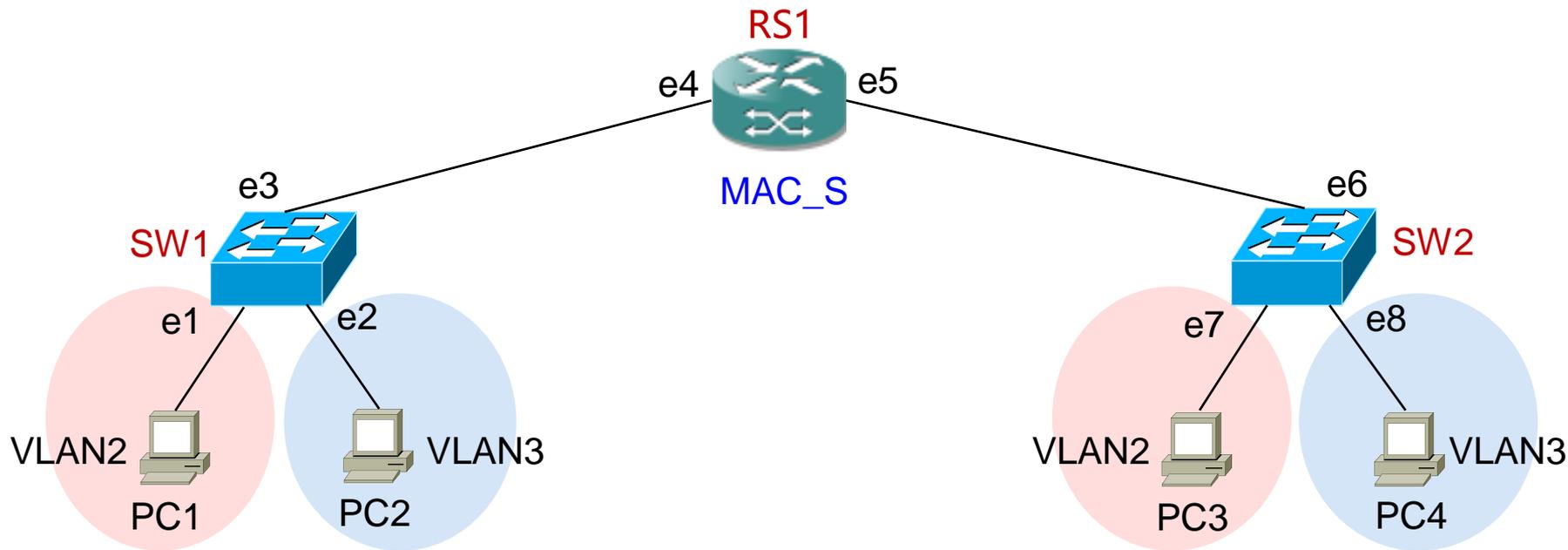
三层交换机通信实例分析——网络基本说明（4）



说明4：三层交换机上形成IP路由表

由于RS1中创建了VLAN2和VLAN3的SVI地址，所以RS1中的IP路由表（软件路由表）里有相应的直连路由；

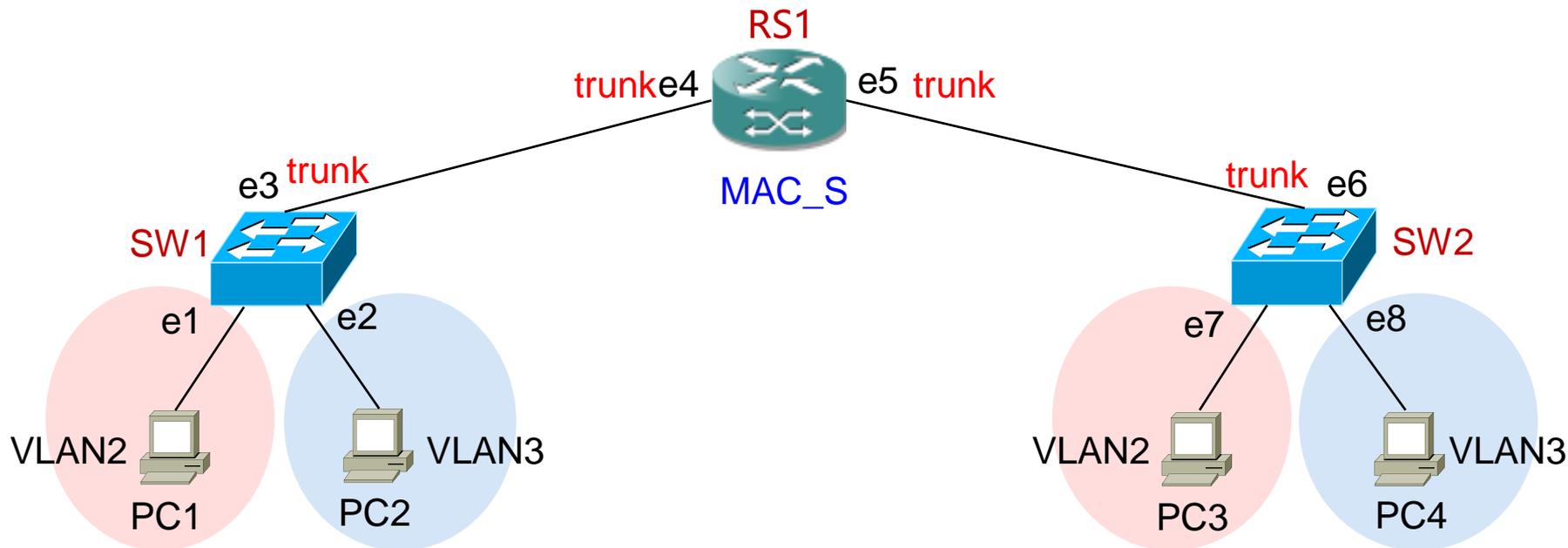
三层交换机通信实例分析——网络基本说明 (5)



说明5：三层交换机的MAC地址

注意：三层交换机上各接口、各VLAN接口通常是**共享一个MAC地址**的，此处设为MAC_S。即VLAN2 SVI接口的MAC地址与VLAN3 SVI接口的MAC地址都是MAC_S。

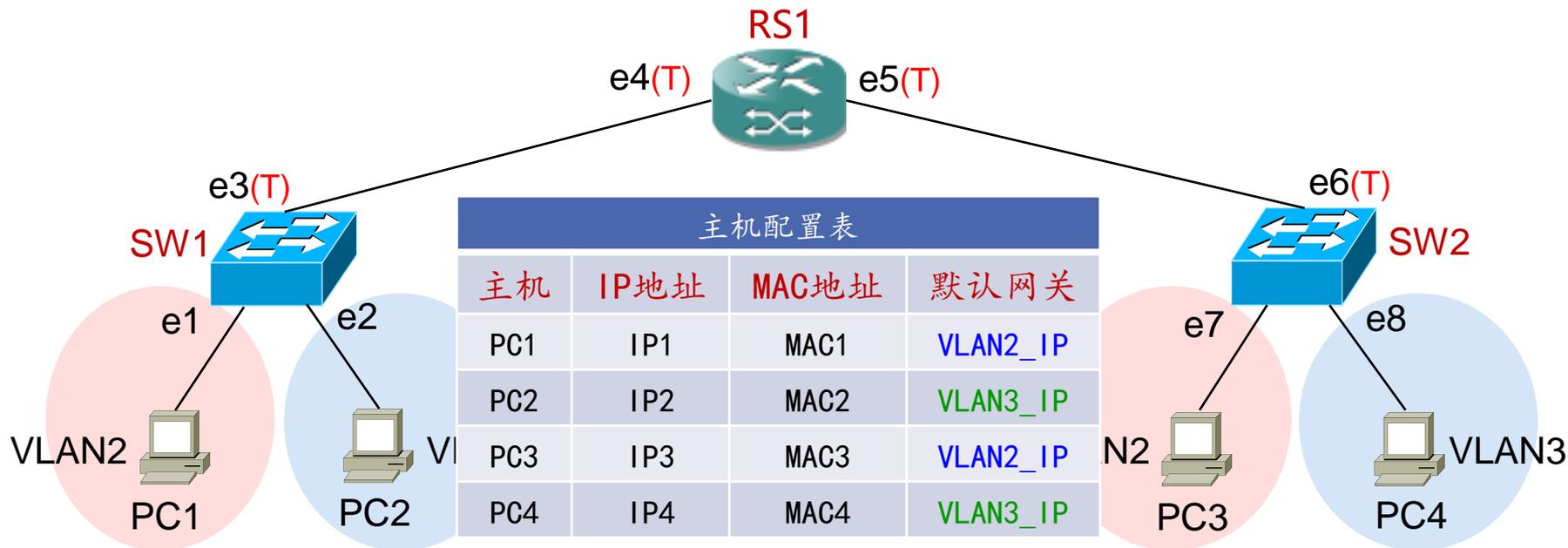
三层交换机通信实例分析——网络基本说明 (6)



说明6: 交换机互连接口配置成Trunk类型

对于SW1与RS1之间的链路，由于其既要传输VLAN2的数据帧，也要传输VLAN3的数据帧，所以此处将其设置为Trunk链路，即e3接口和e4接口要设置为Trunk类型（PVID=1），并允许VLAN2和VLAN3的数据帧通过；SW2和RS1之间的链路同理。

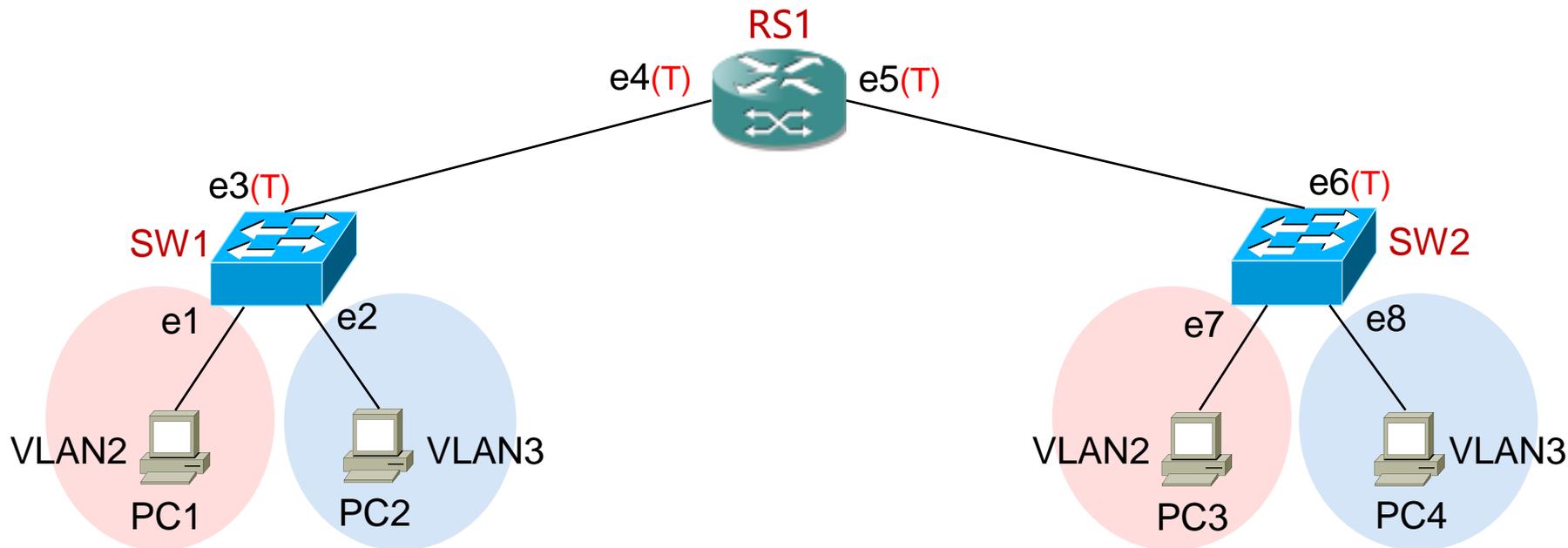
三层交换机通信实例分析——网络基本说明 (7)



说明7：用户主机配置IP地址

见“主机配置表”，注意，VLAN2和VLAN3使用的是不同网段，例如，VLAN2使用的IP地址段为192.168.0.0/24，VLAN3使用的IP地址段为172.16.0.0/24。

三层交换机通信实例分析——网络基本说明 (8)

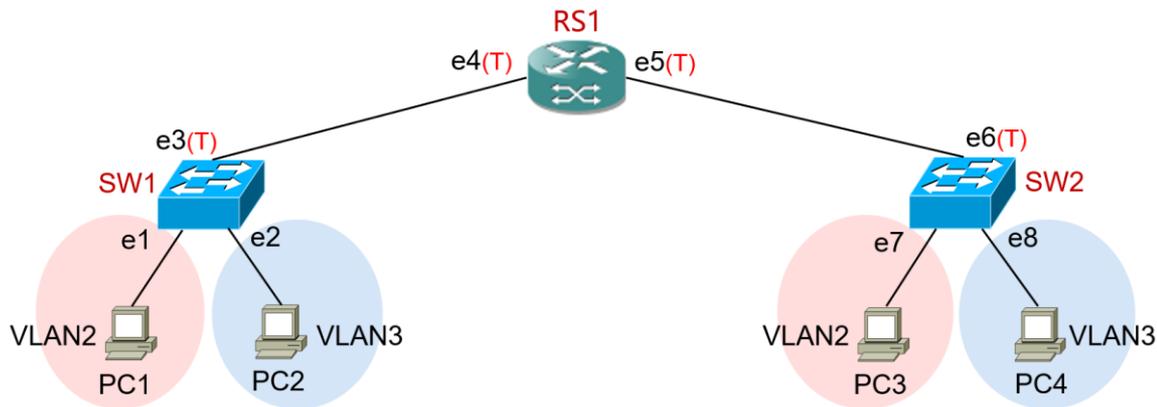


说明8: 本案例中，需要通过三层交换机实现：

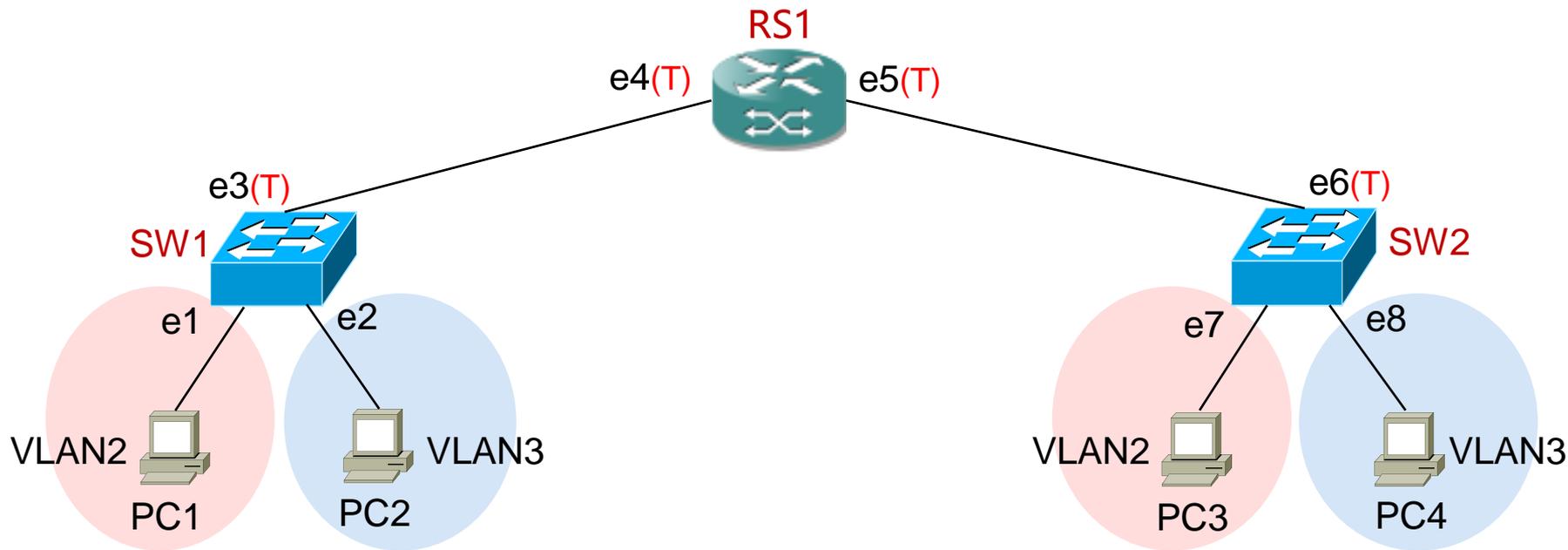
- 不同交换机中，不同VLAN内主机通信，例如PC1访问PC4
- 不同交换机中，同一VLAN内部主机通信，例如PC1访问PC3（都属于VLAN2）；
- 同交换机中，不同VLAN主机之间通信，例如PC1访问PC2；

分析1：不同VLAN主机之间的通信

PC1 ping PC4



三层交换机通信实例分析——PC1 ping PC4

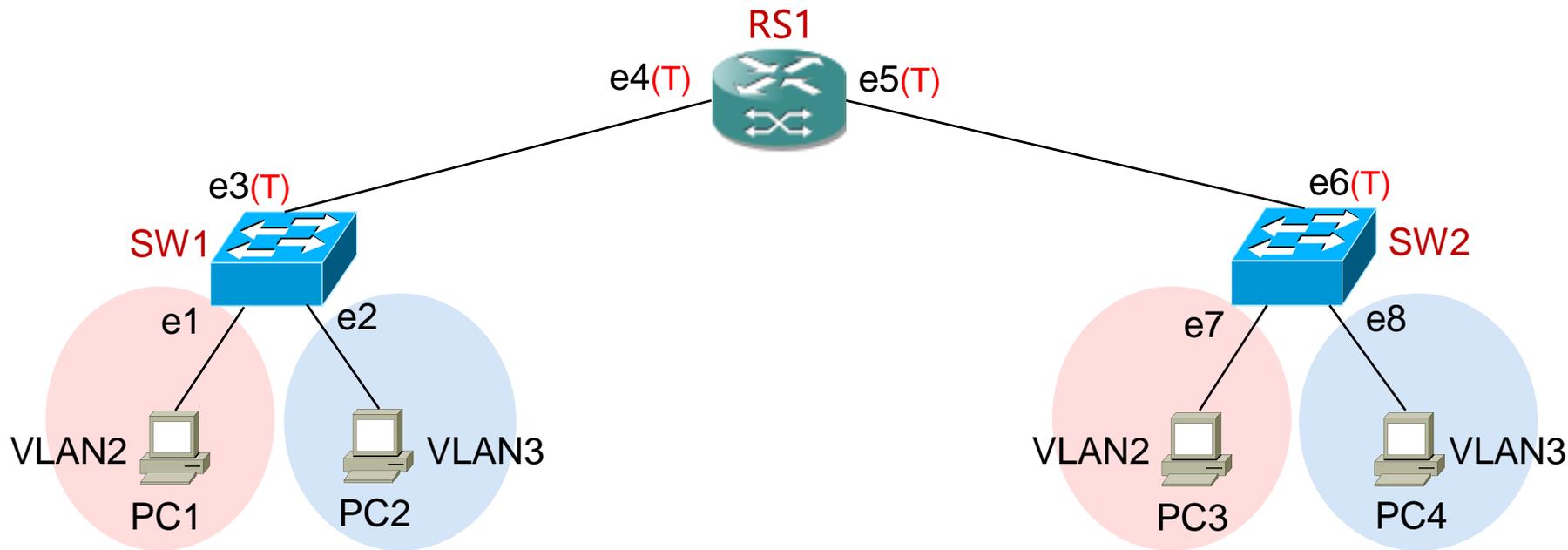


特别说明

PC1是首次访问PC4!

首先分析“首报文”从PC1到达PC4的情况

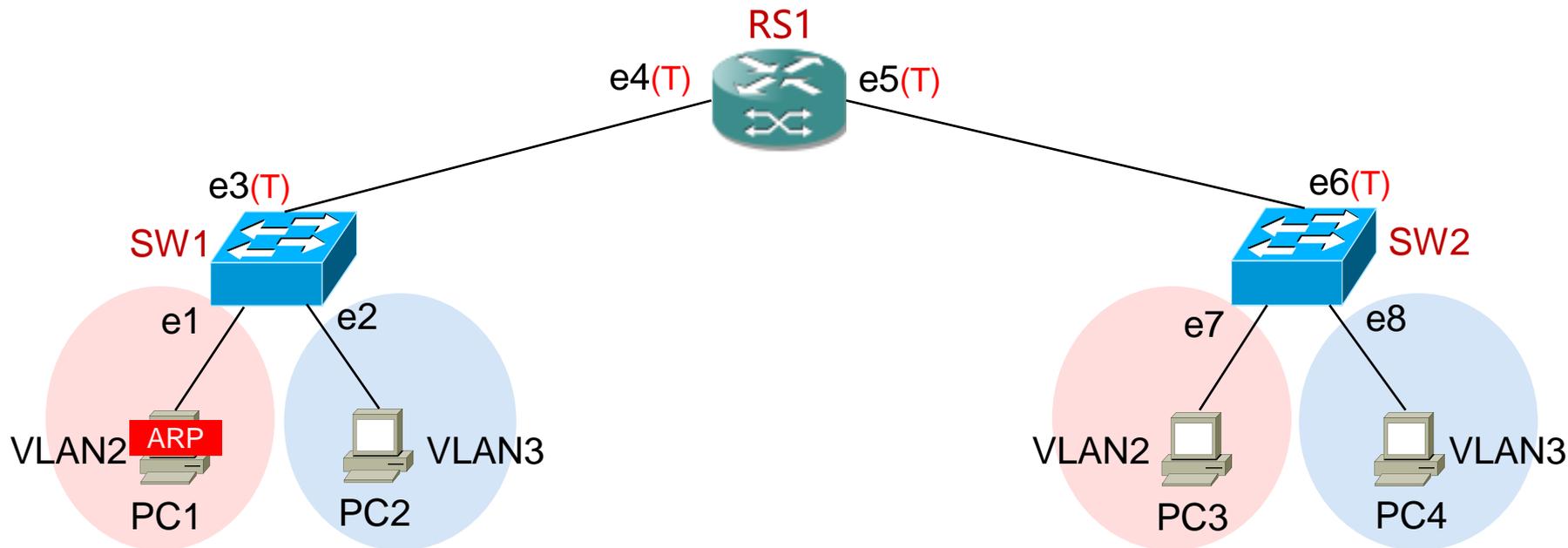
三层交换机通信实例分析——PC1 ping PC4 (1)



步骤1：PC1获取默认网关的MAC地址（1）——基本说明

PC1发现目的IP（即IP4）与自己不在同一网段，于是要先将数据包发给自己的默认网关（即三层交换机上VLAN2的SVI接口）。假设，PC1此时不知道默认网关的MAC地址，必须先通过ARP协议获取到默认网关的MAC地址。

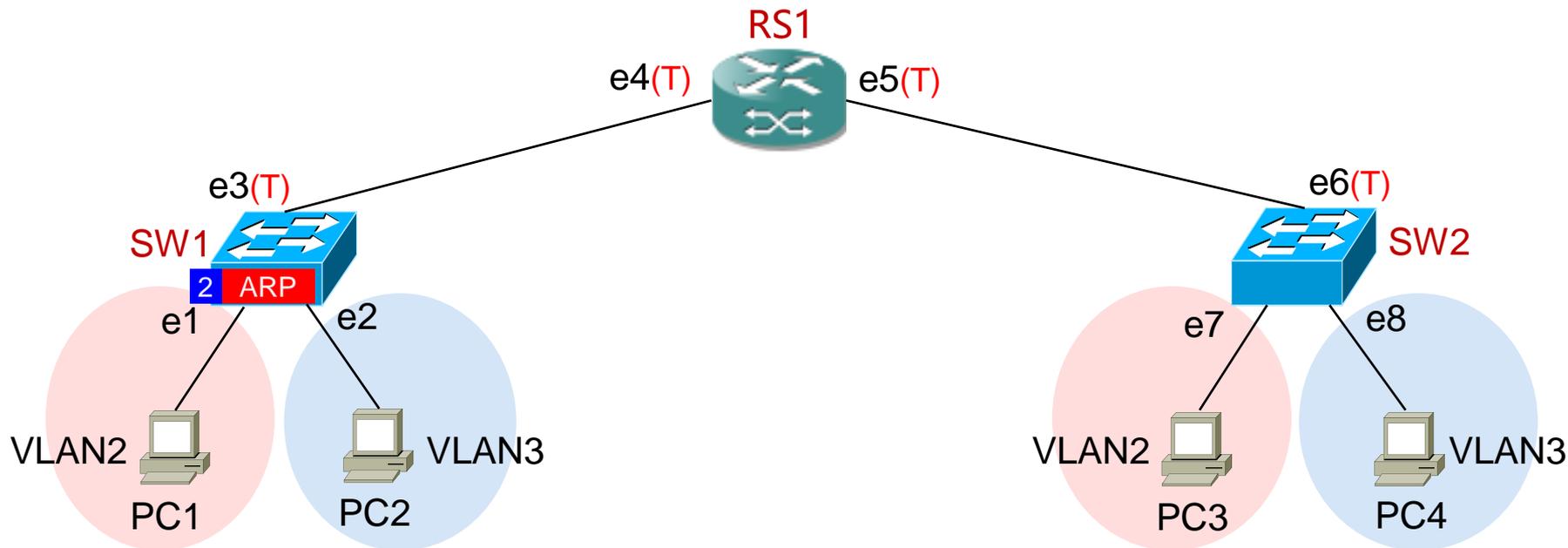
三层交换机通信实例分析——PC1 ping PC4 (2)



步骤1: PC1获取默认网关的MAC地址 (2) —— PC1发出ARP请求报文

于是, PC1发出ARP请求报文(广播报文), 在封装报文时, 源MAC是MAC1, 目的MAC是ff-ff-ff-ff-ff-ff。

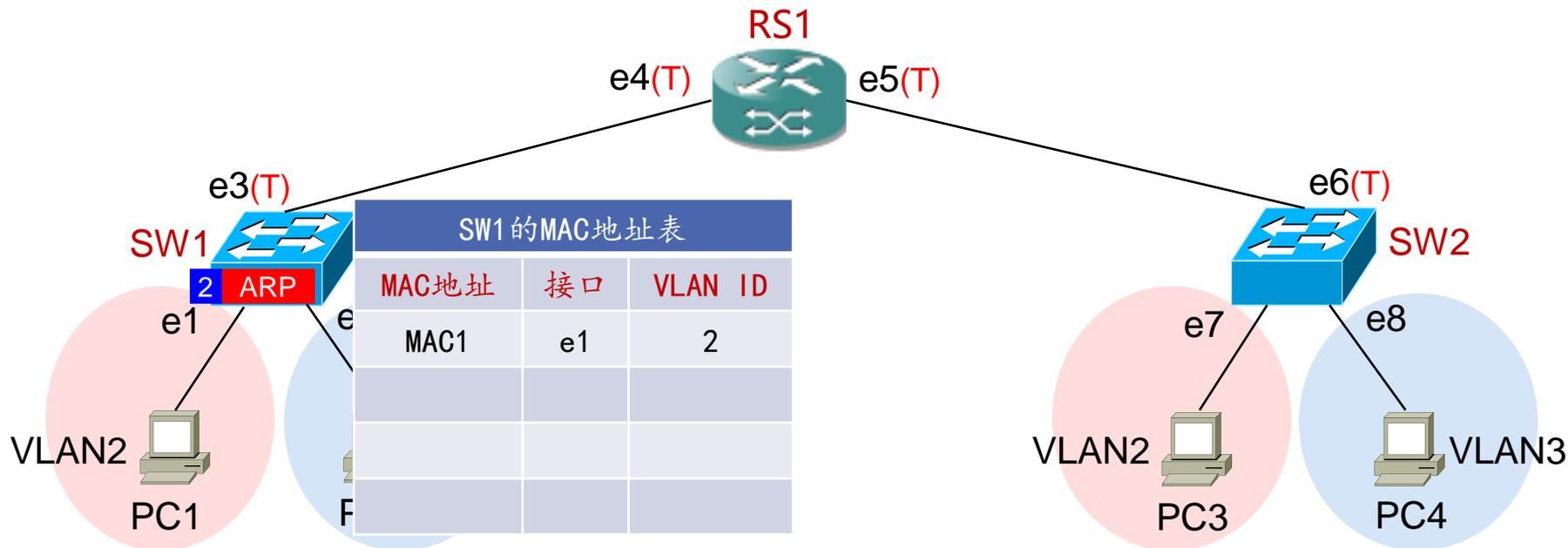
三层交换机通信实例分析——PC1 ping PC4 (3)



步骤1：PC1获取默认网关的MAC地址 (3) ——SW1的处理1：添加VLAN标签

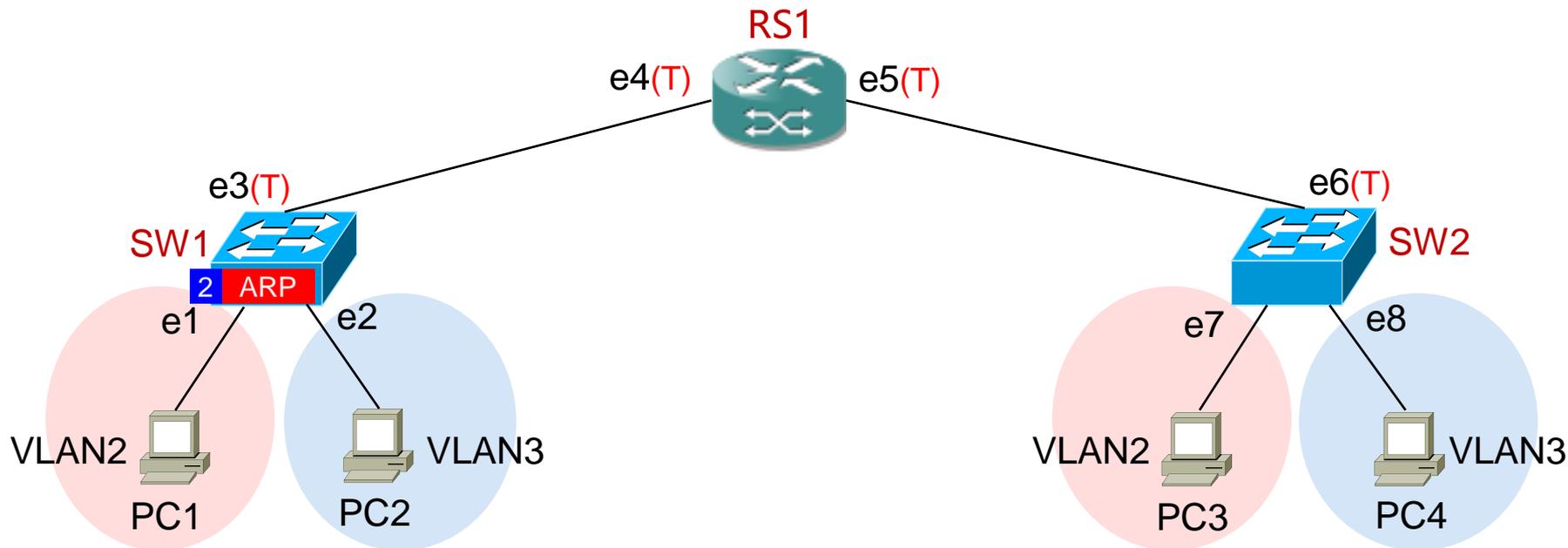
交换机SW1的e1接口（access接口）收到ARP报文，添加VLAN标签，由于e1属于VLAN2，所以此处帧头中添加VLAN2的标签。

三层交换机通信实例分析——PC1 ping PC4 (4)



步骤1：PC1获取默认网关的MAC地址（4）——SW1的处理2：添加MAC地址表记录
SW1根据ARP报文的源MAC地址，在自己的MAC地址表中添加主机PC1的相关记录。

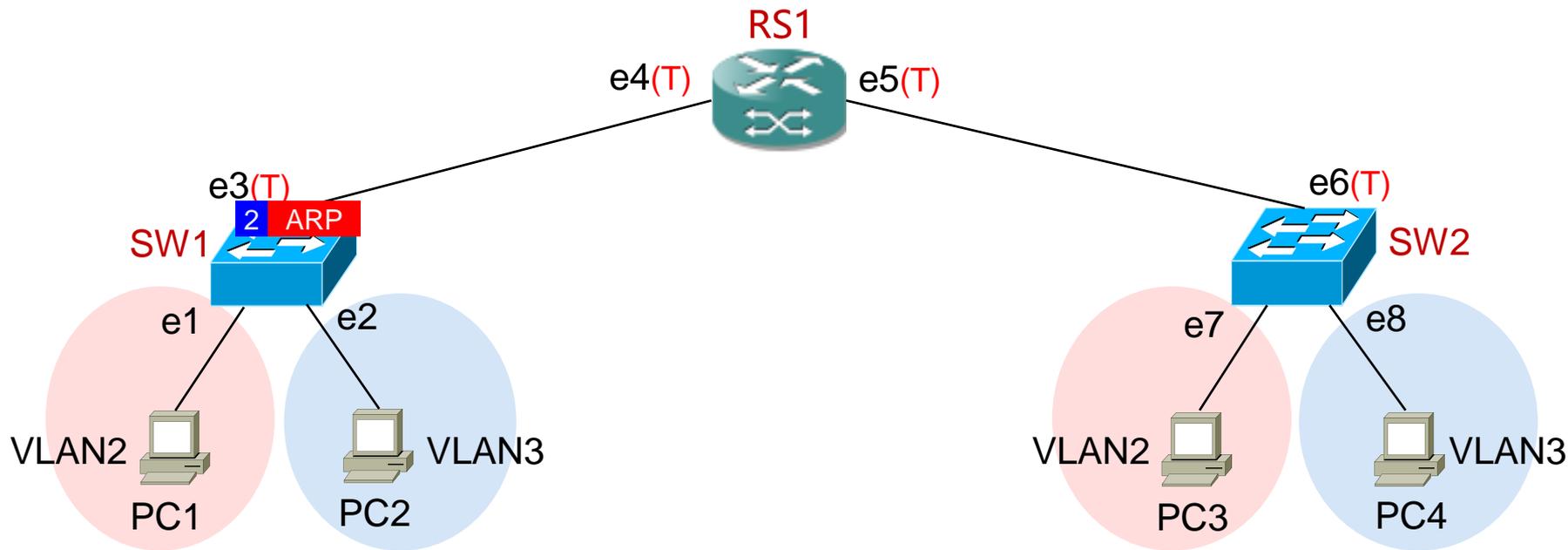
三层交换机通信实例分析——PC1 ping PC4 (5)



步骤1: PC1获取默认网关的MAC地址 (5) ——SW1的处理3: 转发数据帧到e3接口

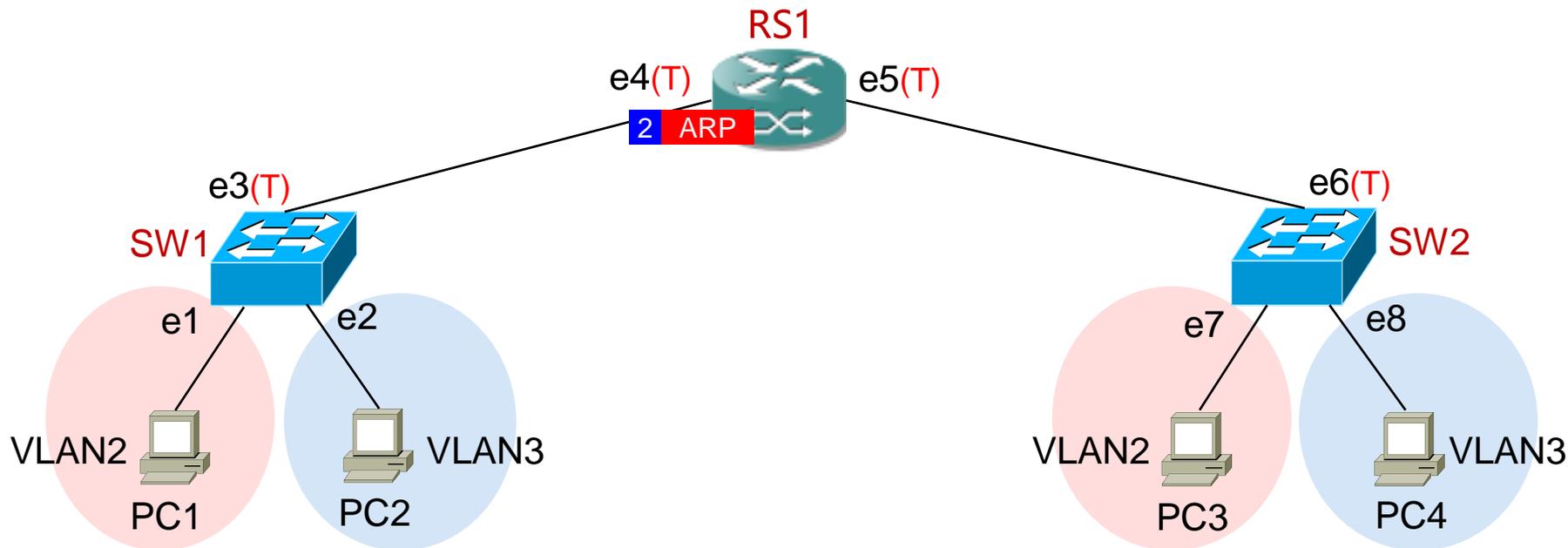
由于ARP报文的目的MAC是广播地址, 所以SW1会把该报文转发到SW1上所以属于VLAN2的接口, 由于e3接口是trunk类型, 所以该ARP报文也会转发到e3接口 (在交换机内部);

三层交换机通信实例分析——PC1 ping PC4 (6)



步骤1: PC1获取默认网关的MAC地址(6) ——SW1的处理4: 从e3接口发出
由于e3接口是trunk类型, 且接口的PVID≠报文的VID, 所以, 该报文会携带VLAN2的标签,
从e5接口发出, 到达RS1的e4接口。

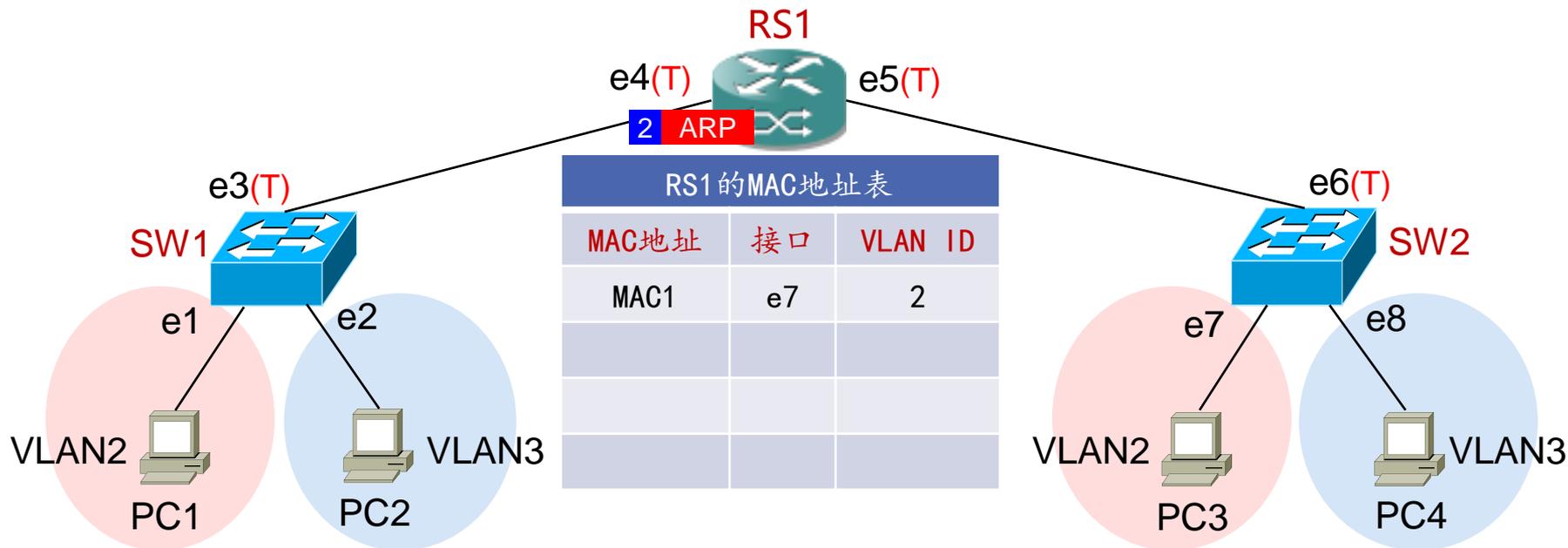
三层交换机通信实例分析——PC1 ping PC4 (7)



步骤1：PC1获取默认网关的MAC地址（7）——RS1的处理1：接收tagged帧

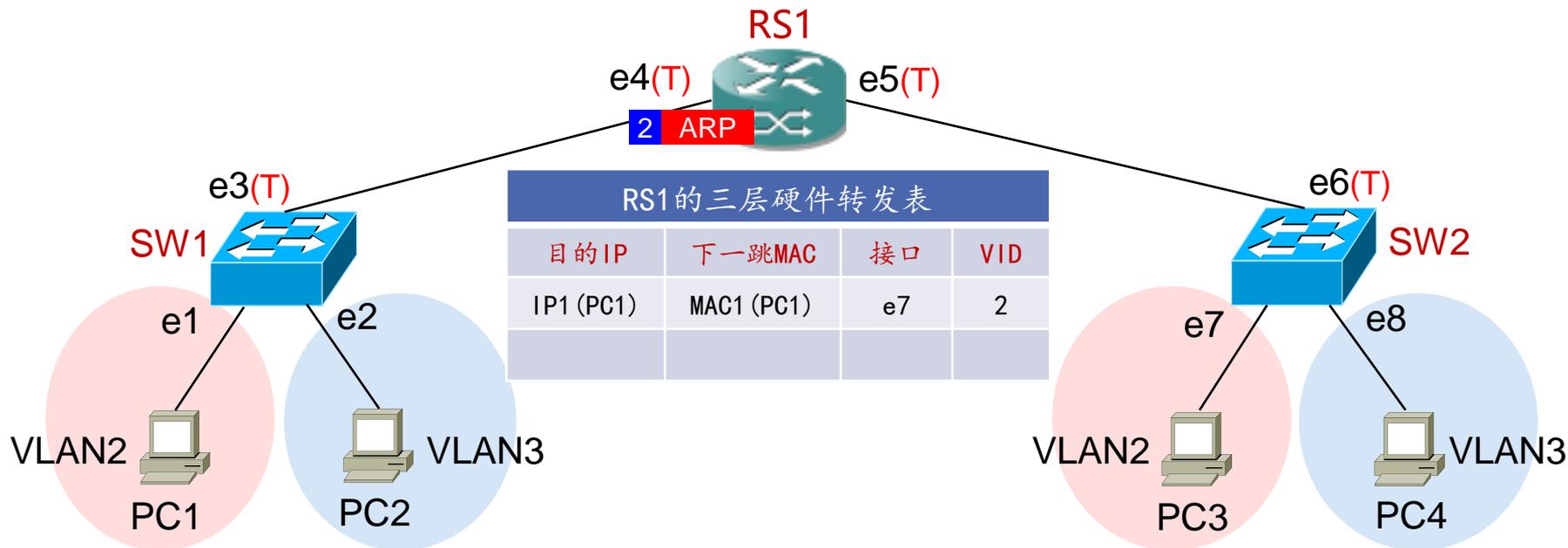
由于e7接口是trunk类型，所以会保留VLAN2的标签并接收该报文。进一步分析报文内容，发现报文中被请求的IP地址是自己的三层接口（即VLAN2的SVI接口）IP地址，RS1收下该报文，并进行下一步处理。

三层交换机通信实例分析——PC1 ping PC4 (8)



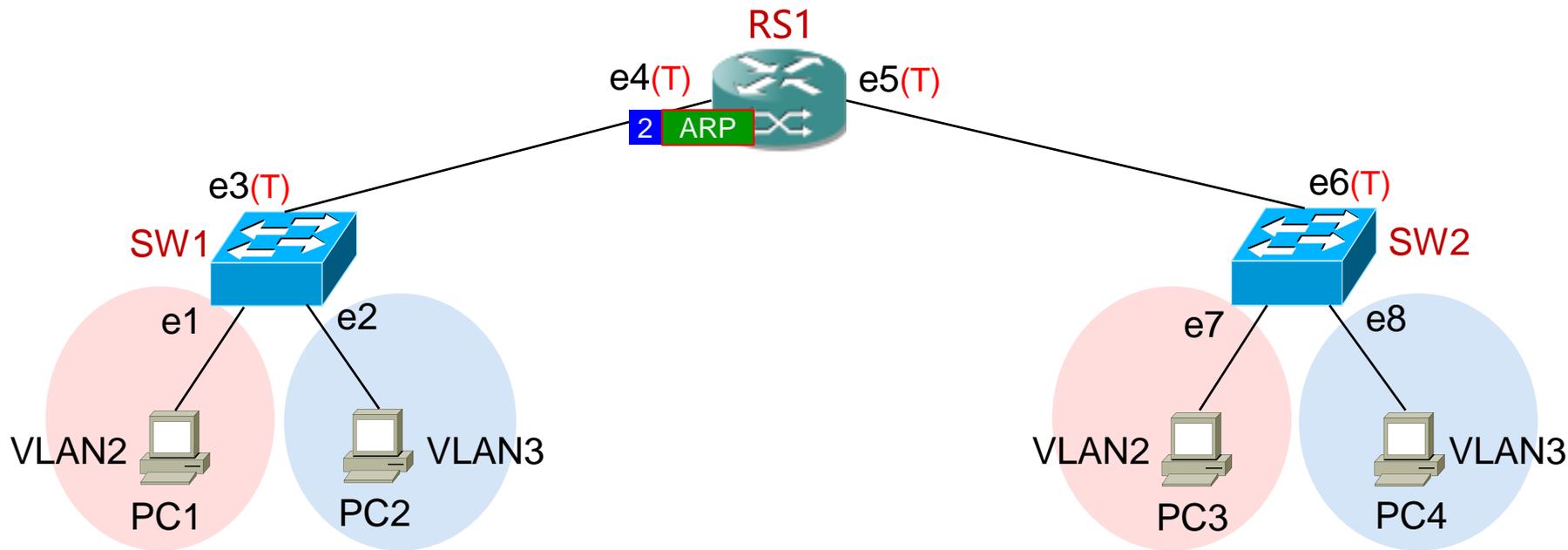
步骤1：PC1获取默认网关的MAC地址 (8) ——RS1的处理2：在MAC地址表中添加记录
 RS1根据所收到报文的来源信息，在自己的MAC地址表中，添加PC1相关记录。
 注：RS1也会在自己的ARP表中添加PC1的IP地址和MAC地址的信息。

三层交换机通信实例分析——PC1 ping PC4 (9)



步骤1: PC1获取默认网关的MAC地址 (9) ——RS1的处理3: 在三层硬件转发表中添加记录
 RS1分析ARP请求报文, 然后将PC1 (即来源) 的信息添加在交换机ASIC芯片的三层硬件转发表中, 包含: 目的IP地址 (即IP1地址)、下一跳MAC地址 (即MAC1)、接口号 (即e7)、VLAN ID (即2)。以后, 其他网段的主机想访问PC1时, RS1的ASIC芯片就会直接把包从本表指定的接口 (即e7) 转发出去 (即硬件转发), 而不必再交给CPU进行路由处理, 即查看IP路由表 (软件路由)。

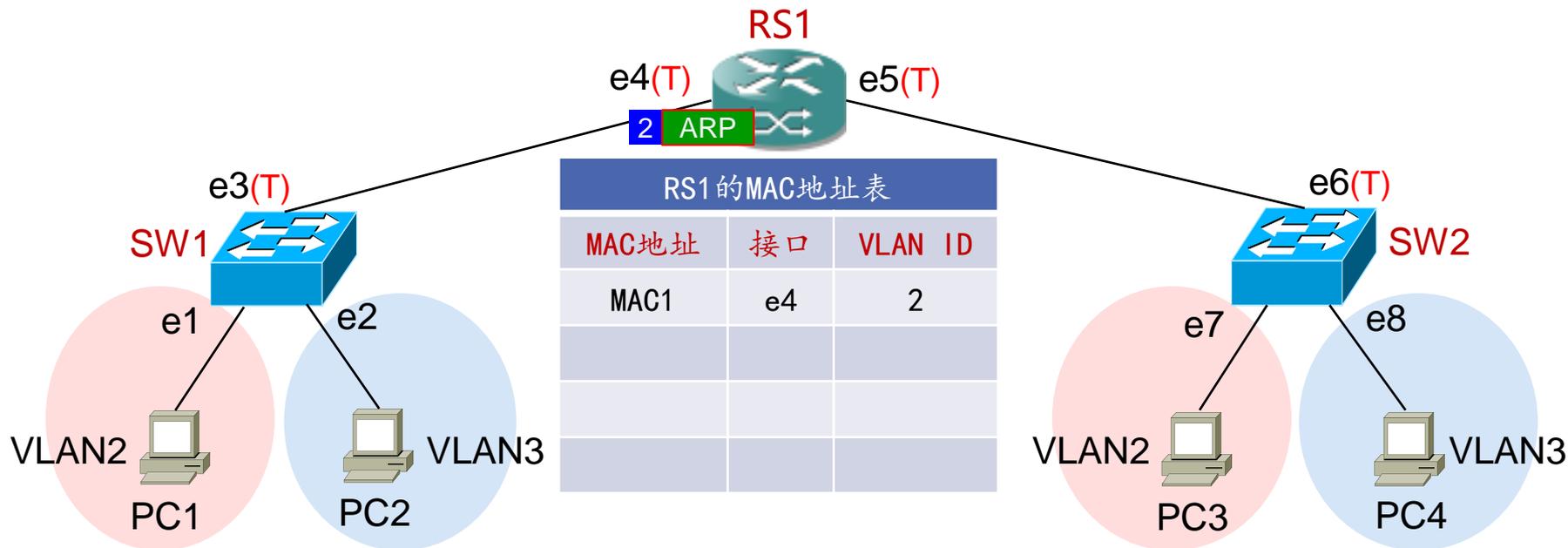
三层交换机通信实例分析——PC1 ping PC4 (10)



步骤1: PC1获取默认网关的MAC地址 (10) ——RS1的处理4: 构建ARP响应报文

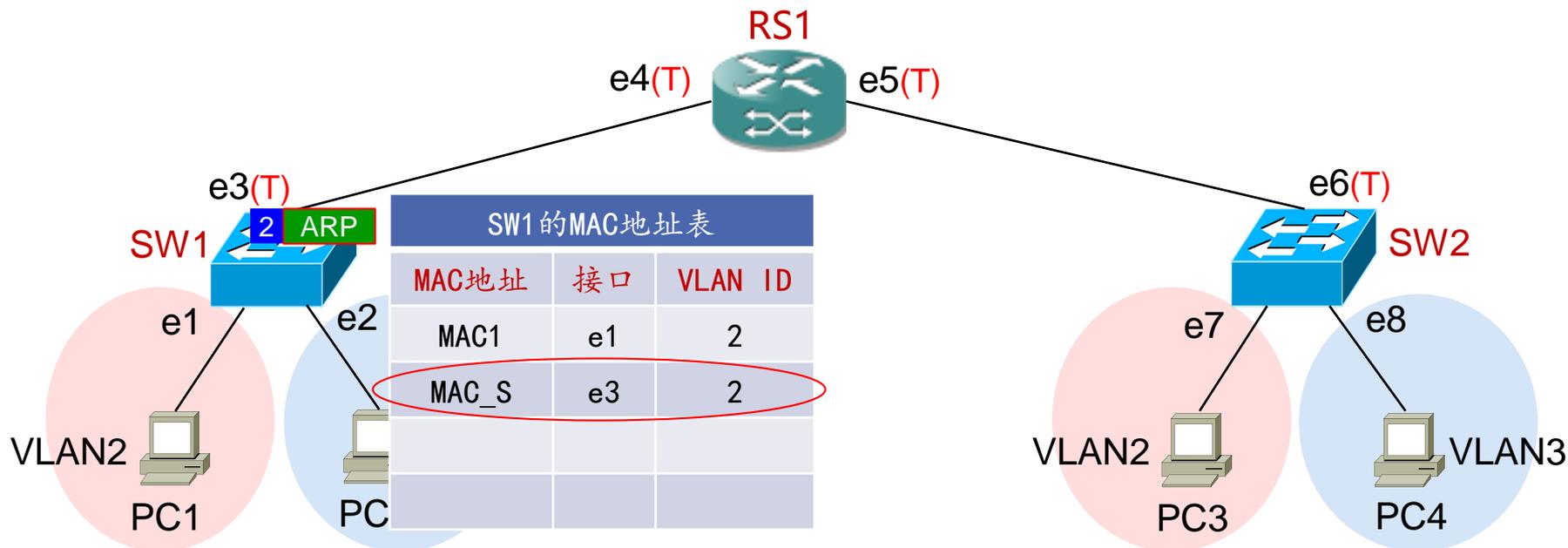
RS1收到ARP请求报文后，发现报文中被请求的IP地址是自己的三层接口（即VLAN2的SVI接口）IP地址，于是发回ARP响应报文。该报文的目的地MAC是MAC1，源MAC是MAC_S。

三层交换机通信实例分析——PC1 ping PC4 (11)



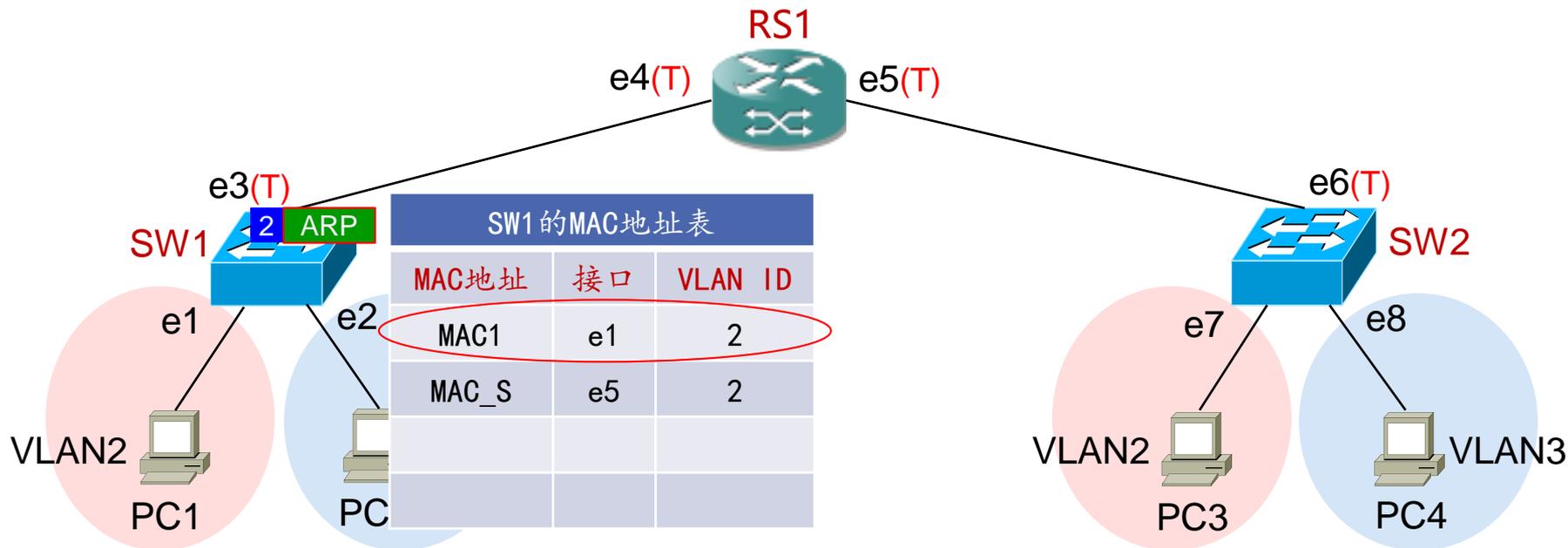
步骤1: PC1获取默认网关的MAC地址 (11) ——RS1的处理5: 从e4接口发出ARP响应报文
 RS1查看自己的MAC地址表, 发现目的MAC地址对应的是e4接口, 并且对应VLAN 2, 于是给ARP响应报文添加VLAN2标签, 从e4接口发出去。
 由于e4接口是trunk口, 所以不去掉VLAN2的标签。

三层交换机通信实例分析——PC1 ping PC4 (12)



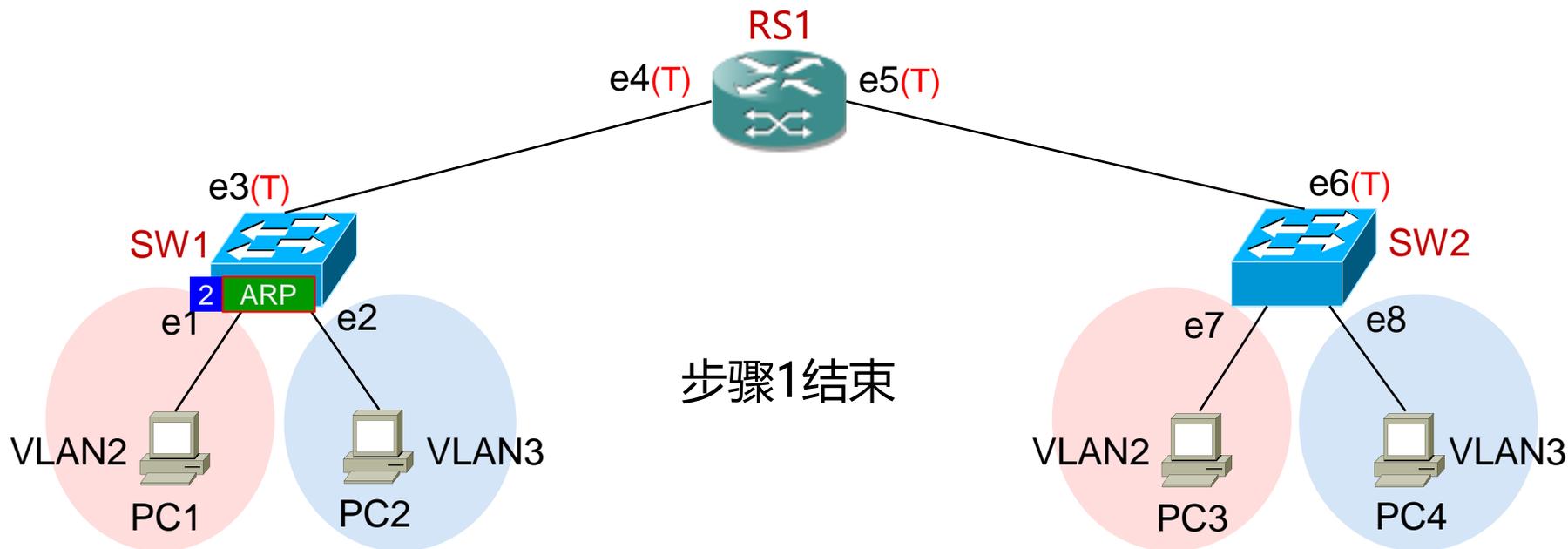
步骤1：PC1获取默认网关的MAC地址 (12) ——SW1的处理1：接收，在MAC地址表中添加记录
 SW1的e3接口收到ARP响应报文，由于e3是trunk口，所以接收时不去掉帧头中的VLAN2标签。
 SW1在自己的MAC地址表中添加默认网关的相关记录，即将RS1的MAC地址与接口的对应关系写入MAC地址表。

三层交换机通信实例分析——PC1 ping PC4 (13)



步骤1: PC1获取默认网关的MAC地址 (13) ——SW1的处理2: 转发至e1接口
 SW1查看自己的MAC地址表, 发现目的MAC地址对应的是e1接口, 于是转发至e1接口。

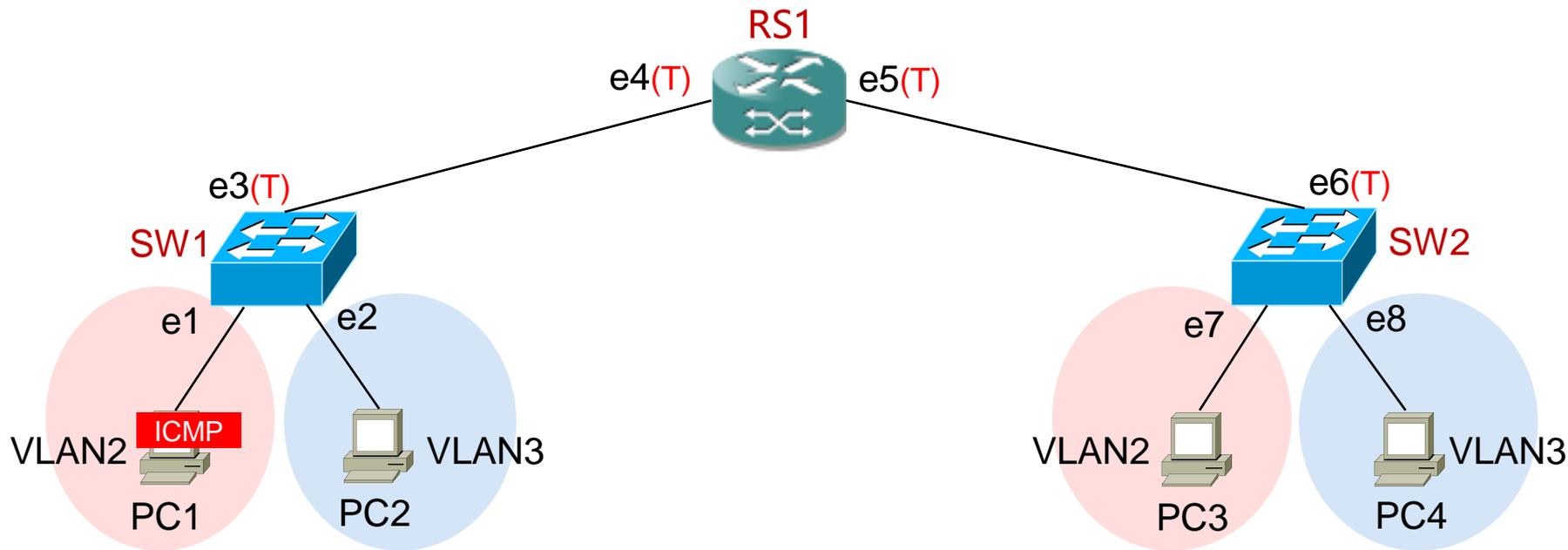
三层交换机通信实例分析——PC1 ping PC4 (14)



步骤1：PC1获取默认网关的MAC地址（14）——SW1的处理3：从e1接口发出去
由于e1是access接口，所以去掉帧头中的VLAN2标签，然后将普通帧（ARP响应报文）发送至目的主机PC1。

至此，PC1获得了默认网关（即RS1上VLAN2的SVI接口）的MAC地址。

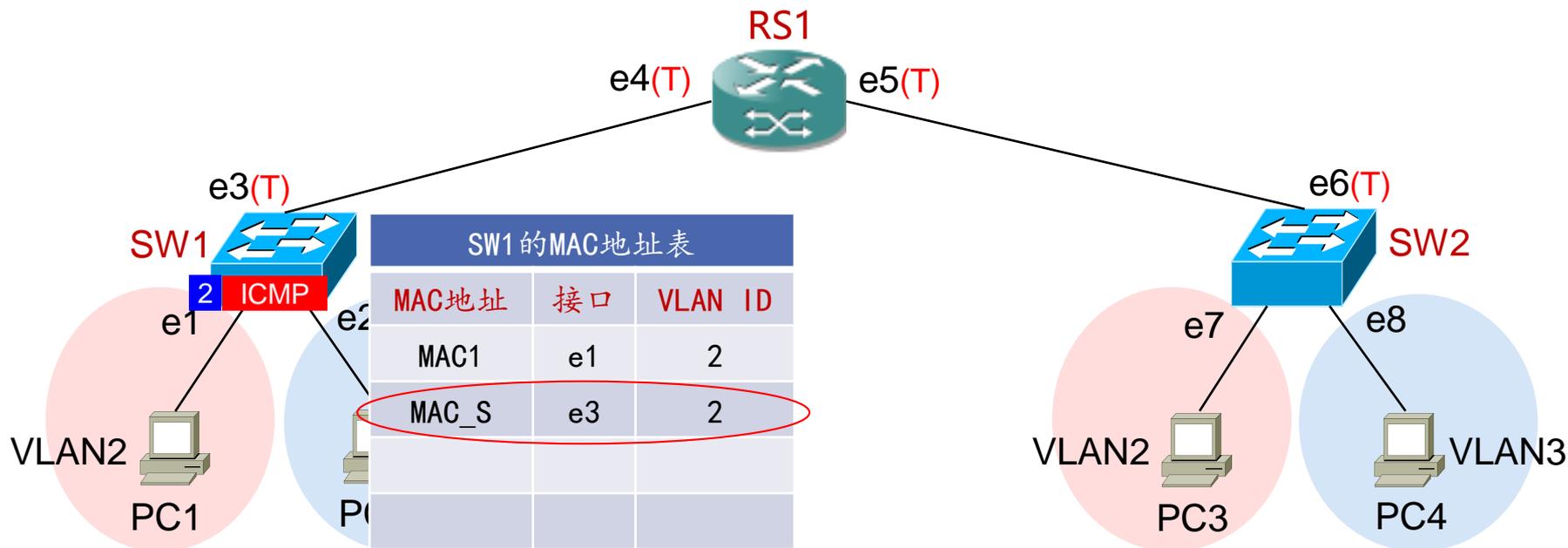
三层交换机通信实例分析——PC1 ping PC4 (15)



步骤2：PC1发送ICMP请求报文至RS1（1）——PC1封装ICMP请求报文

PC1发出ICMP请求报文，由于目的IP与自己不在同一网段，所以要先发给默认网关（即RS1的VLAN2的SVI接口）。于是在封装报文时，源MAC是MAC1，目的MAC是MAC_S。源IP是IP1，目的IP是PC2。报文先到达交换机SW1。

三层交换机通信实例分析——PC1 ping PC4 (16)

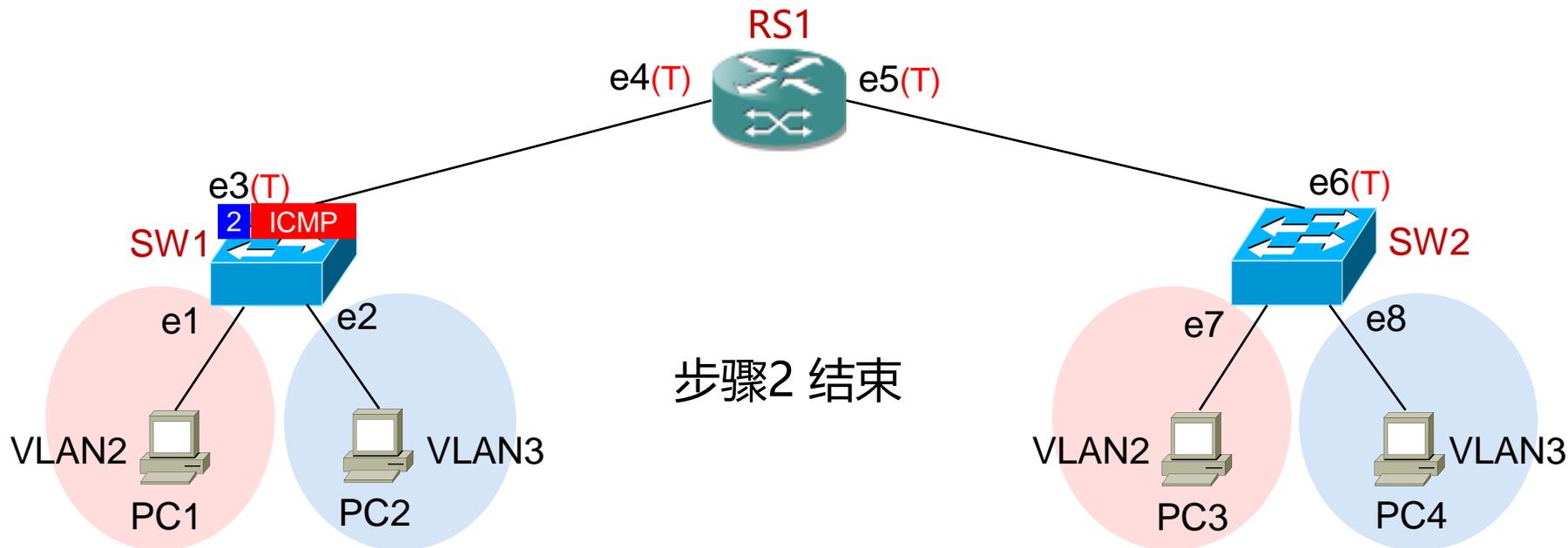


步骤2: PC1发送ICMP请求报文至RS1 (2) ——SW1处理报文: 加标签、转发

SW1的e1接口收到报文, 由于e1接口的PVID=2, 所以添加VLAN2的标签;

查找MAC地址表, 发现目的MAC (MAC_S) 对应e3接口, 并且也属于VLAN2, 于是转发至e3口;

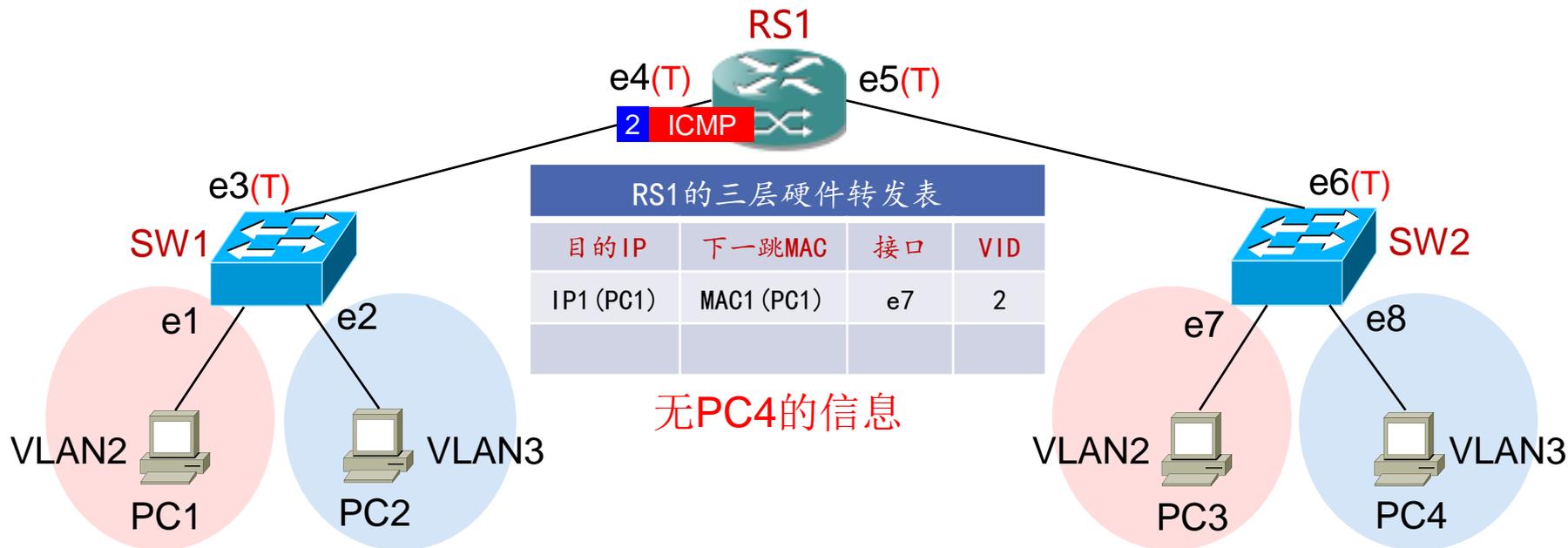
三层交换机通信实例分析——PC1 ping PC4 (16)



步骤2: PC1发送ICMP请求报文至RS1 (3) ——SW1处理报文: 从e3接口发出
由于e3是trunk接口, 并且接口PVID≠帧VID, 所以保留VLAN2标签, 发送出去。

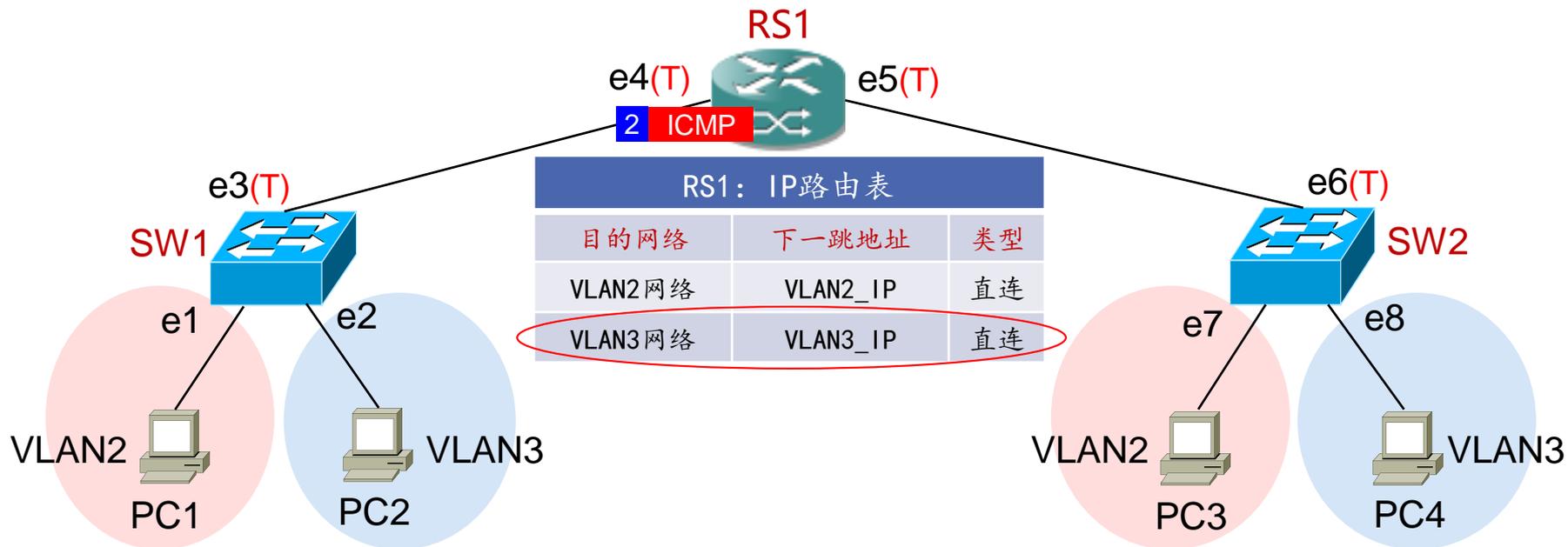
至此, PC1发出的ICMP请求报文, 到达了默认网关 (即RS1的VLAN2的SVI)

三层交换机通信实例分析——PC1 ping PC4 (17)



步骤3: RS1处理ICMP请求报文 (1) ——接收报文, 查看三层硬件转发表

RS1的e4接口收到报文, 由于e4是trunk接口, 所以保留标签接收, 并送给VLAN2的SVI接口; 由于该报文被RS1上的三层虚拟接口 (即VLAN2 的SVI接口) 接收, 所以启用三层路由模块, 首先查询三层硬件转发表, 查看转发表中是否有目的IP地址 (即PC4的IP地址) 的信息。由于是首发数据包, 所以RS1的三层硬件转发表中, 此时并没有PC4的记录信息;

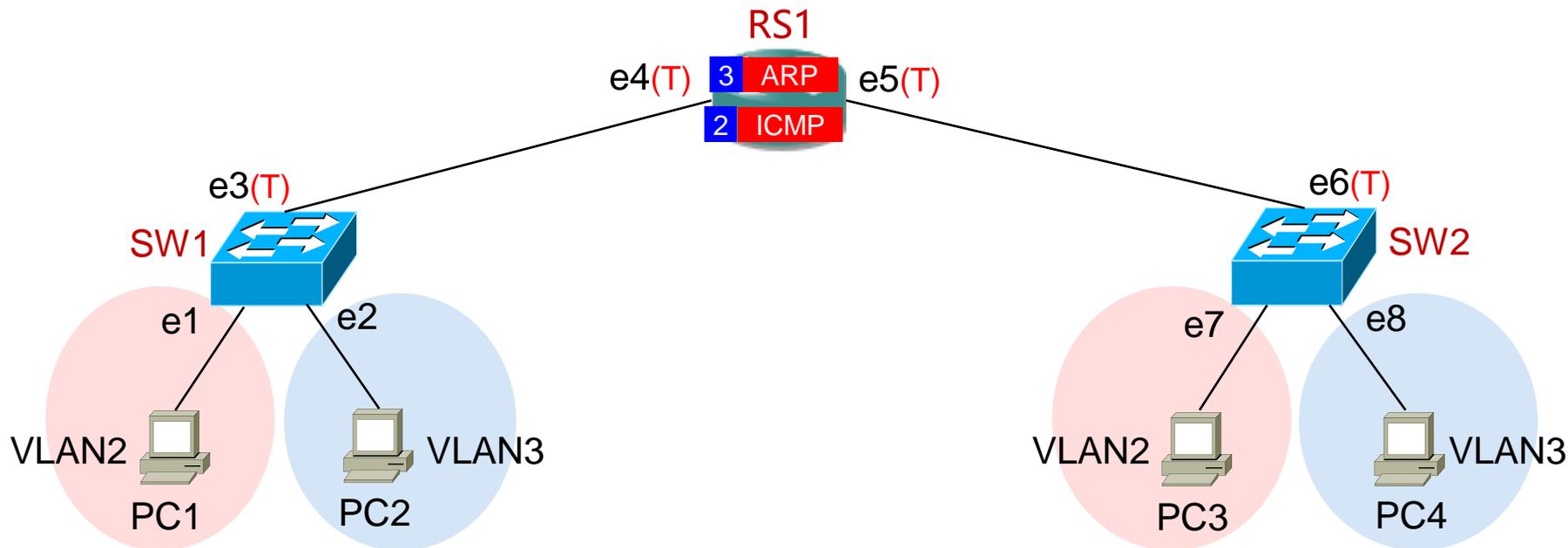


步骤3: RS1处理ICMP请求报文 (2) ——查看IP路由表 (软件路由)

由于三层硬件转发表中没有PC4的对应表项，于是CPU会根据数据包中的目的IP地址 (IP4)，进一步查看IP路由表 (软件路由表)。

在路由表中，发现匹配了一个直连网段 (即VLAN3网络)，其下一跳是VLAN3的SVI接口IP地址 (VLAN3_IP)。于是，CPU依据直连路由，将数据包转给VLAN3的SVI接口。

三层交换机通信实例分析——PC1 ping PC4 (19)

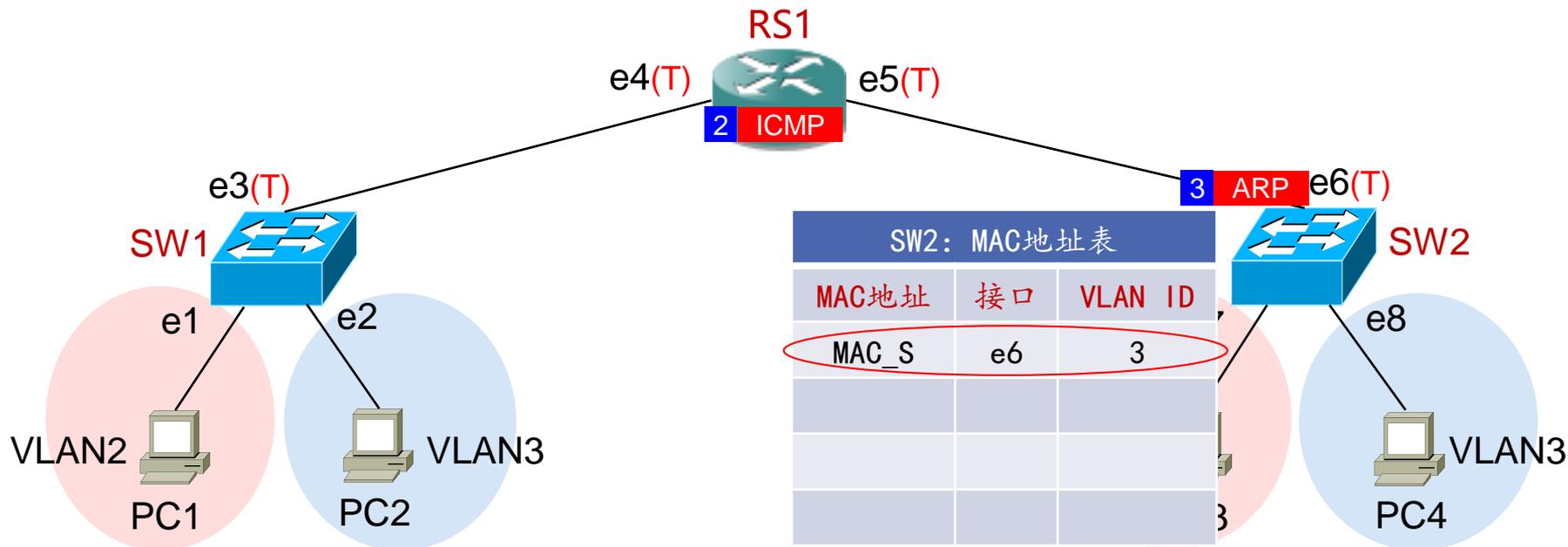


步骤3: RS1处理ICMP请求报文 (3) ——获取PC4的MAC地址: 封装ARP请求报文

接下来VLAN3的SVI接口要将ICMP请求报文直接发给PC2, 假设此时它发现自己还不知道PC4的MAC地址。于是发出ARP请求, 报文中源MAC是MAC_S, 目的MAC是全1。

注意, 此处封装报文时, 可看成是VLAN3的SVI接口封装报文, 因此要在帧头中添加VLAN3的标签, 且从e5发出时不去掉VLAN标签。

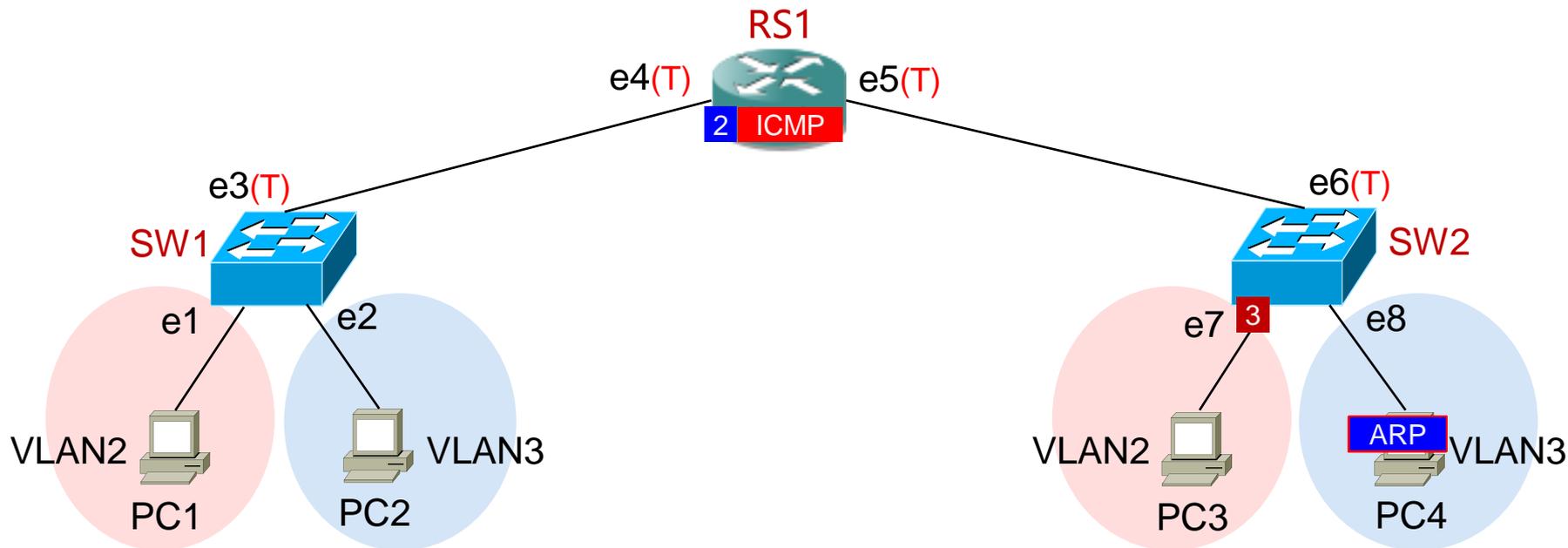
三层交换机通信实例分析——PC1 ping PC4 (20)



步骤3: RS1处理ICMP请求报文 (4) ——获取PC4的MAC地址: SW2转发ARP请求报文

- ARP请求报文到达e6, e6是trunk接口, 所以接收报文并保留标签;
- SW1在MAC地址表中添加VLAN3的SVI接口的记录;
- SW1将报文转发至所有属于VLAN3的接口 (来源接口除外), 包括e8接口;
- 由于e8是access接口, 所以从e8发出时, 去掉VLAN3标签, 然后到达PC4。

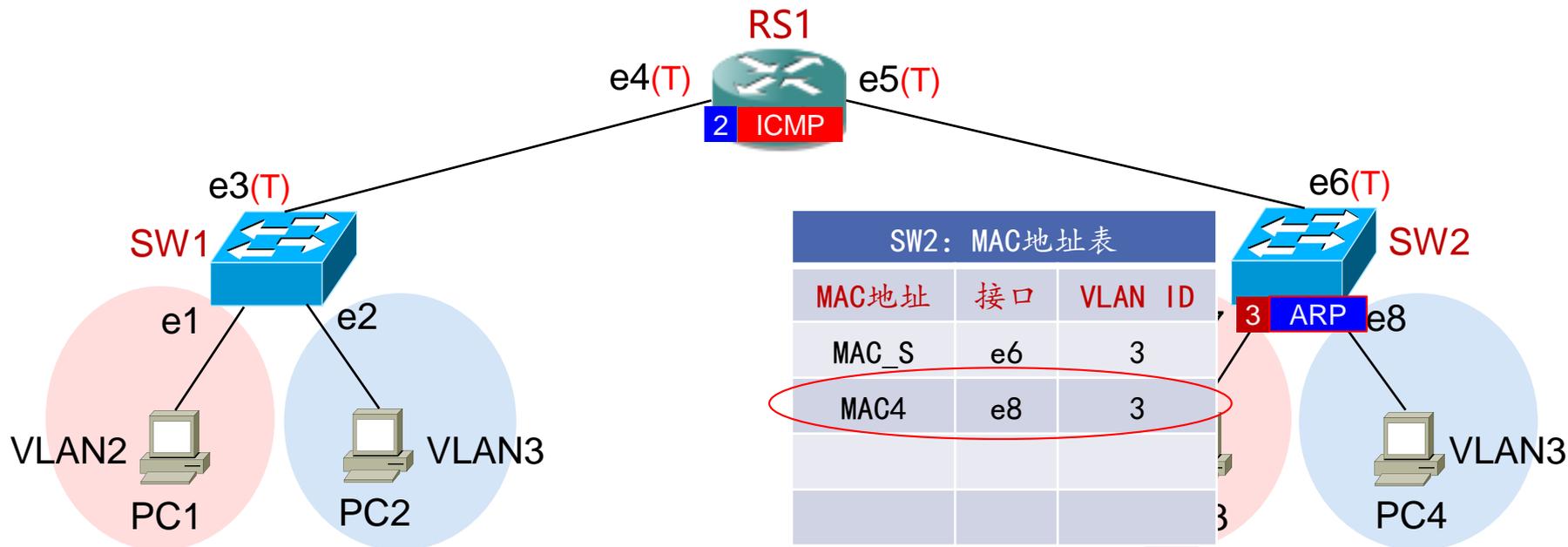
三层交换机通信实例分析——PC1 ping PC4 (21)



步骤3: RS1处理ICMP请求报文 (5) ——获取PC4的MAC地址: PC4返回ARP响应报文

- PC4返回ARP响应报文，报文中源MAC是MAC2，目的MAC是MAC_S；
- 响应报文到达e2，因为e2属于VLAN3，所以添加VLAN3标签；

三层交换机通信实例分析——PC1 ping PC4 (22)



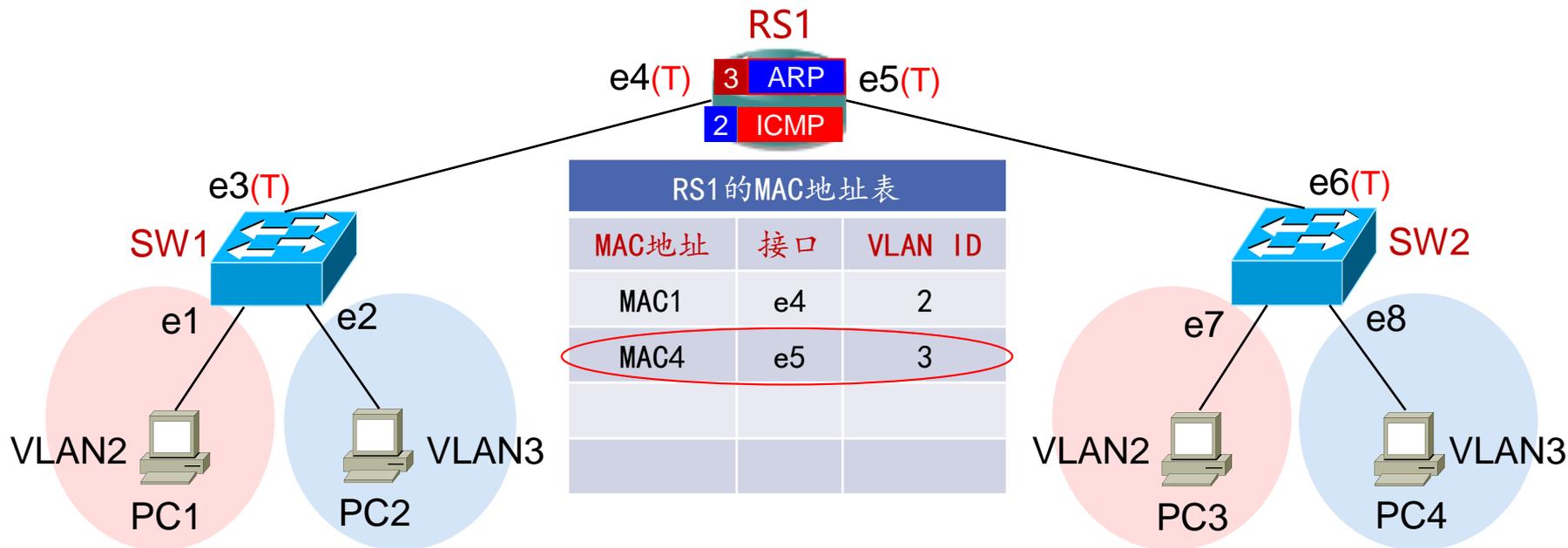
步骤3: RS1处理ICMP请求报文 (6) ——获取PC4的MAC地址: SW2转发ARP响应报文

SW2在MAC地址表中, 添加PC4的记录;

依据MAC地址表, 将报文转发至e6接口;

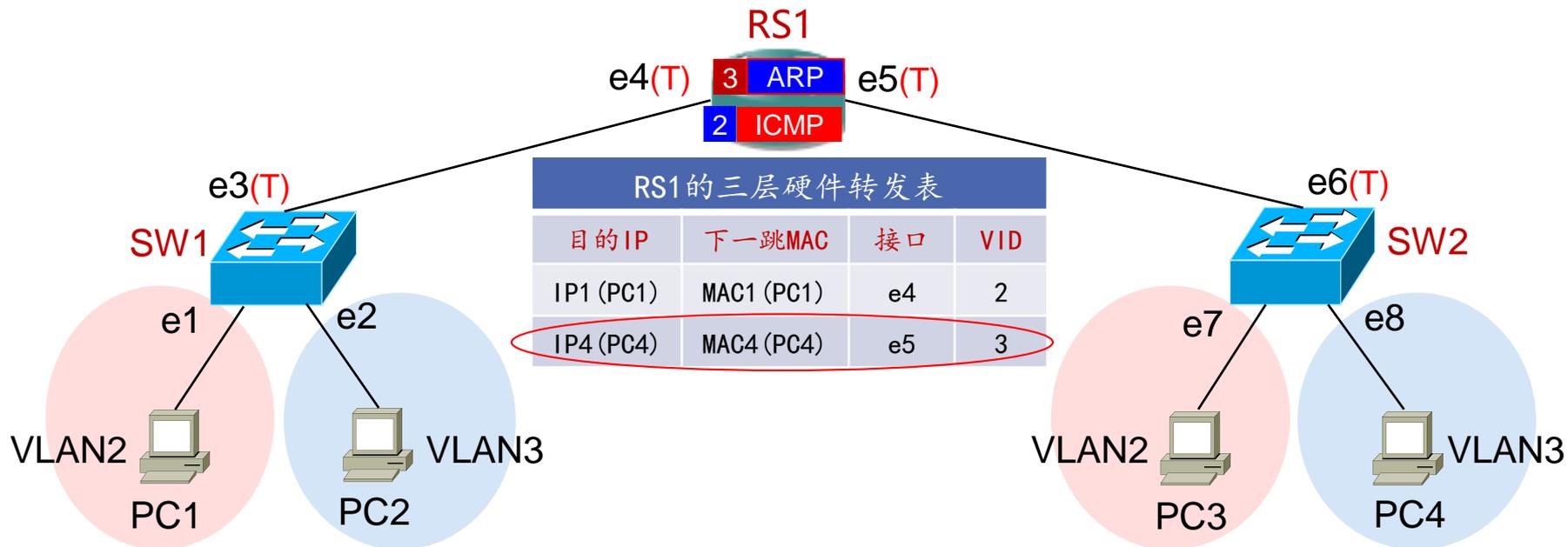
由于e6是trunk接口, 所以保留VLAN3标签发送至RS1。

三层交换机通信实例分析——PC1 ping PC4 (23)



步骤3: RS1处理ICMP请求报文 (7) ——RS1在MAC地址表中添加PC4的记录

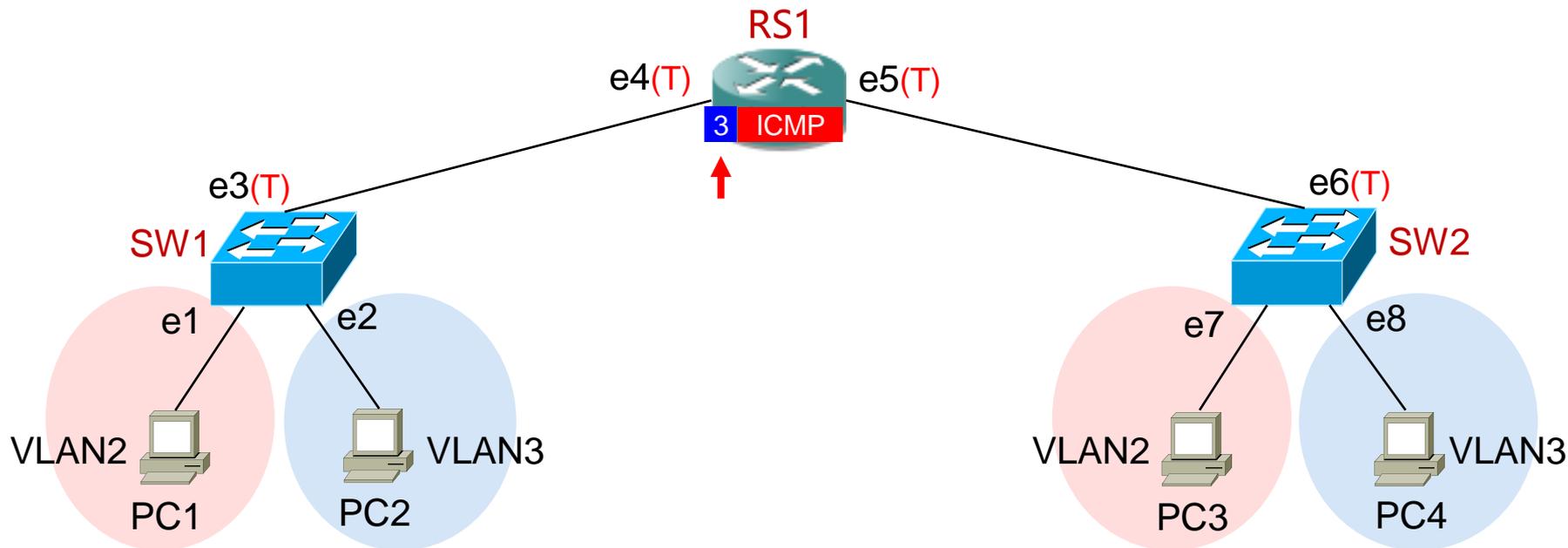
- RS1的e5接口收到PC4发来的ARP响应报文（保留VLAN3标签），获取到PC4的MAC地址，于是在自己的MAC地址表中，添加PC4的相关记录。



步骤3: RS1处理ICMP请求报文 (8) ——RS1在三层硬件转发表中添加PC4的记录

- RS1分析ARP响应报文的内容，获取到PC4的相关信息，然后在自己的三层硬件转发表中，添加PC4的相关记录，于是三层硬件转发表中有了第2条记录。
- 以后其他网段主机与PC4通信时，RS1的ASIC芯片会直接把数据包从本表指定的接口（即e5）转发出去（硬件转发），不必再查看IP路由表（软件路由）。

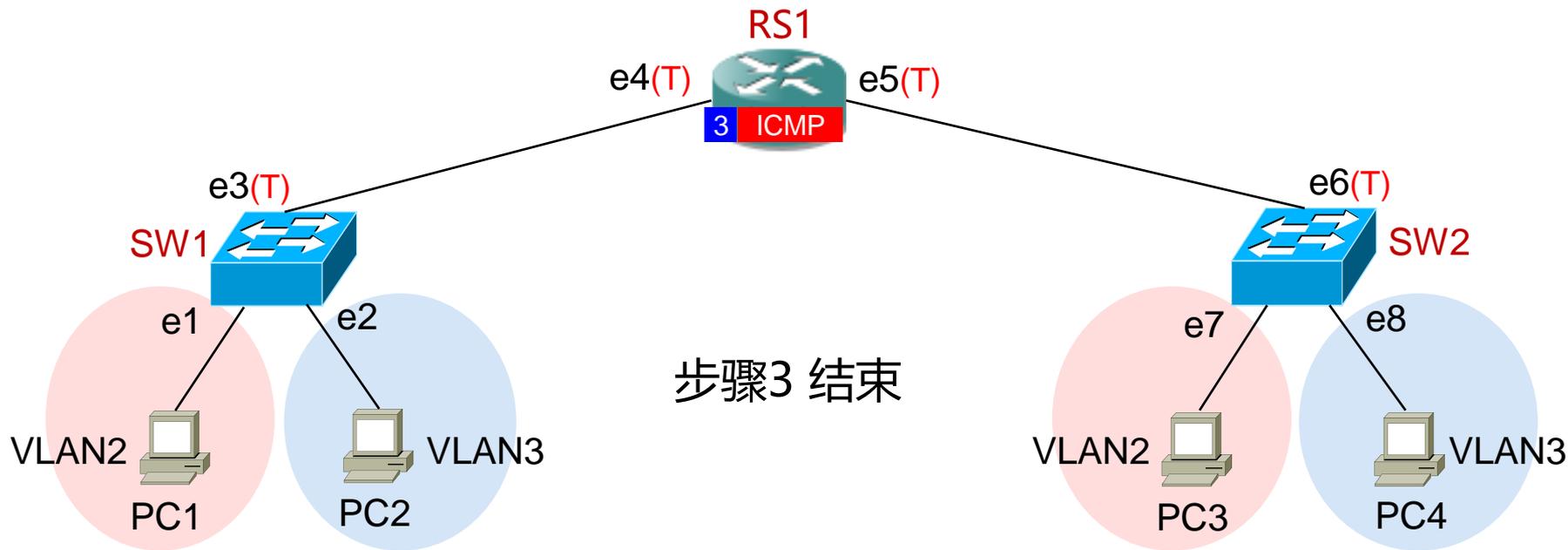
三层交换机通信实例分析——PC1 ping PC4 (25)



步骤3: RS1处理ICMP请求报文 (9) ——RS1重新封装ICMP请求报文

- 此时，RS1已经知道PC4的MAC地址，于是将PC1发来的ICMP请求报文（此时已经通过直连路由转发至VLAN3的SVI接口）重新封装。
- 在封装时，源IP（IP1）和目的IP（IP4）保持不变，MAC4为目的MAC，将VLAN3的SVI接口的MAC（即MAC_S）作为源MAC地址，并且VLAN标签变为VLAN3的标签

三层交换机通信实例分析——PC1 ping PC4 (26)

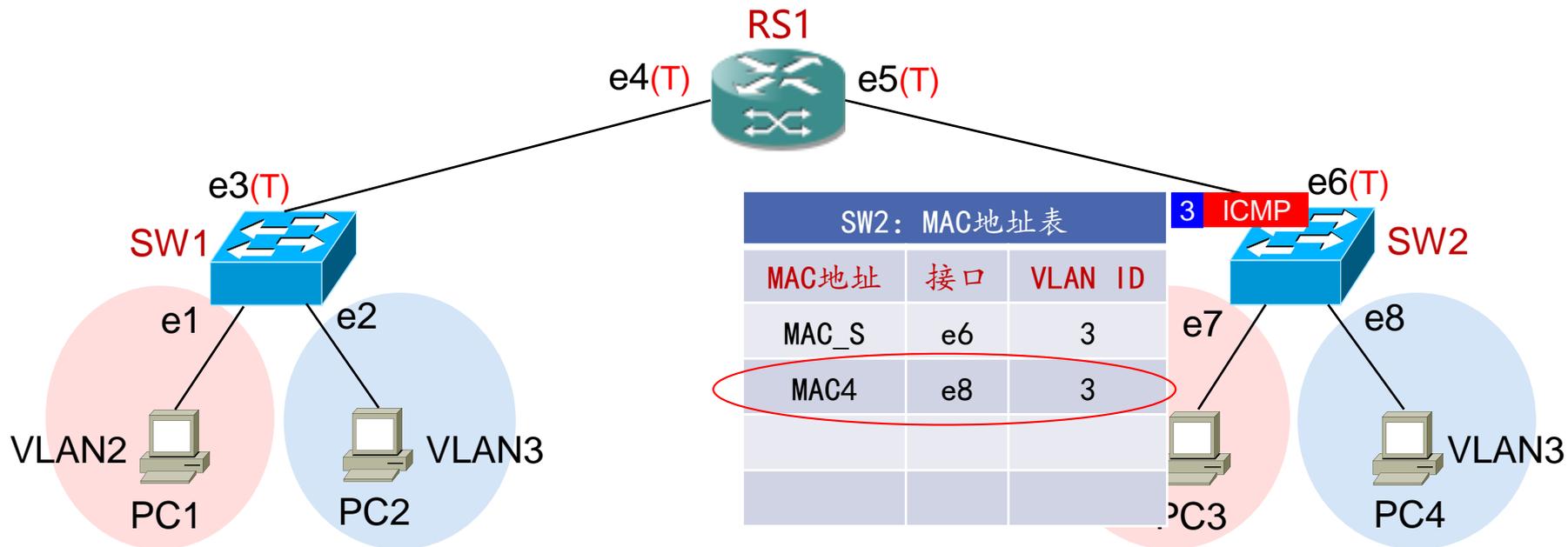


步骤3: RS1处理ICMP请求报文 (10) ——RS1转发ICMP请求报文

- RS1根据前面查看路由表得出的路由结果，将重新封装的ICMP请求报文，从e5接口发出；
- 由于e5接口是Trunk接口，所以会保留VLAN3标签然后发出，到达SW2。

至此，PC1 (VLAN2) 发出的ICMP请求报文，经过RS1的处理，到达了VLAN3

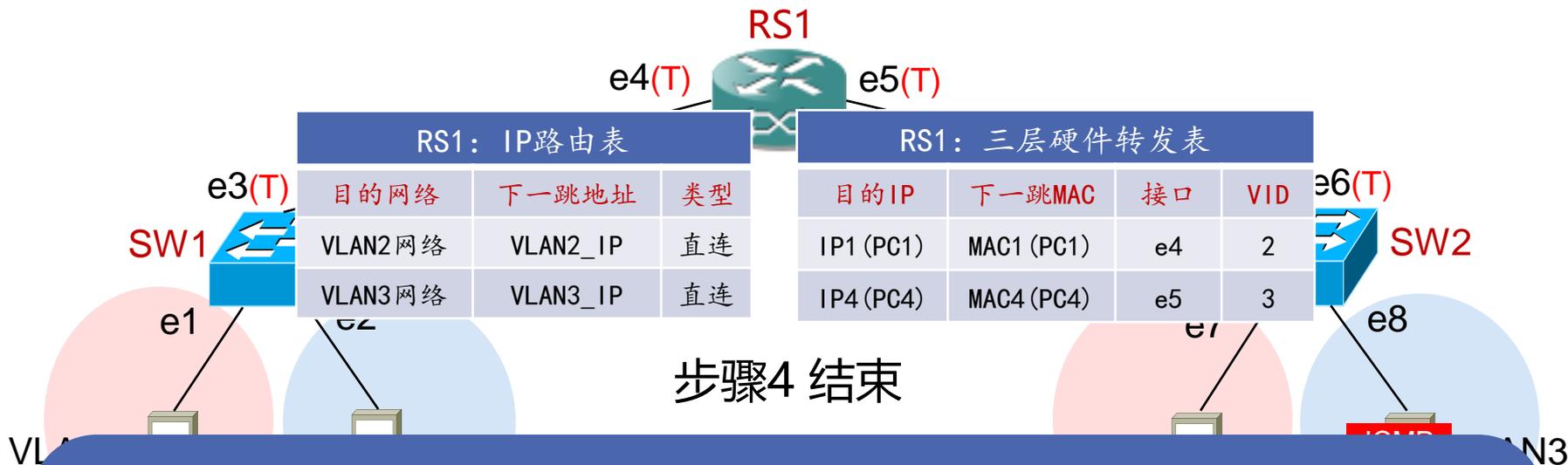
三层交换机通信实例分析——PC1 ping PC4 (27)



步骤4: SW2处理ICMP请求报文

- SW2的e6接口收到ICMP请求报文，由于e6是trunk接口，所以接收报文并保留VLAN3标签。
- SW2依据自己的MAC地址表，将ICMP请求报文转发至e8接口。
- 由于e8接口是access接口，所以会去掉VLAN3标签然后发出，最终到达PC4。

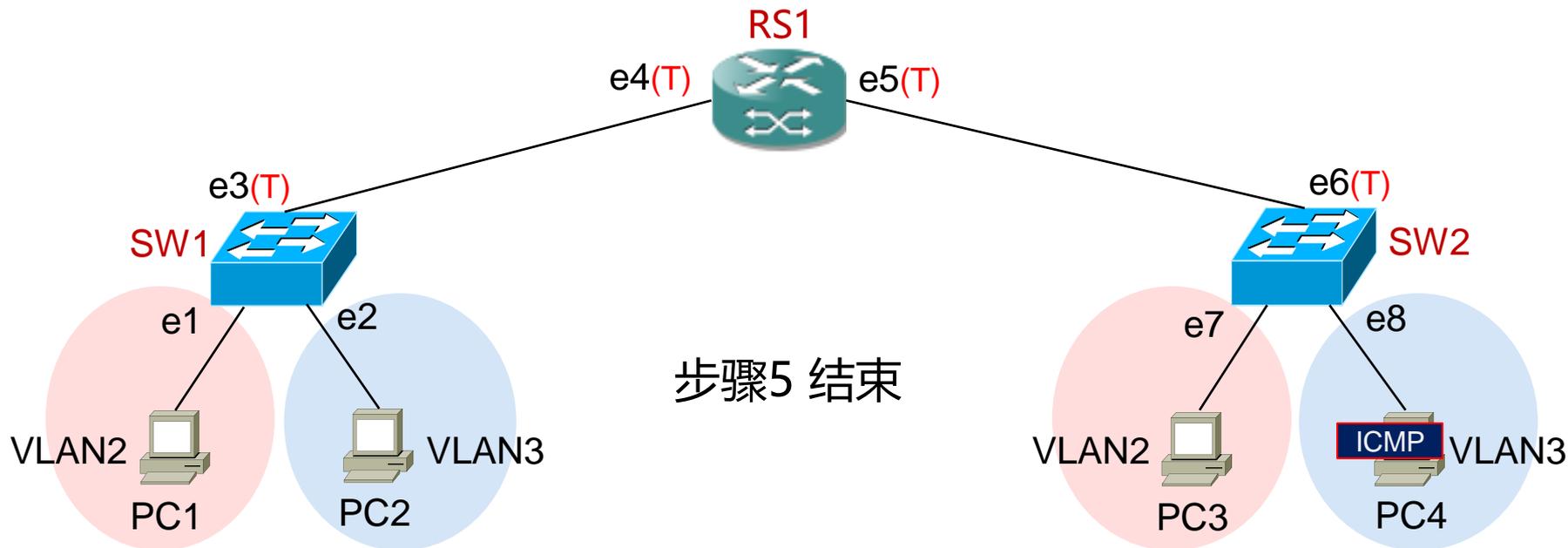
三层交换机通信实例分析—— PC1 ping PC4 (28)



至此，PC1（VLAN2）发出的ICMP请求报文，经过三层交换机RS1的转发，到达了目的主机PC4（VLAN3）。注意，由于这是首报文，所以在通过RS1时，依据IP路由表转发（软件转发）。

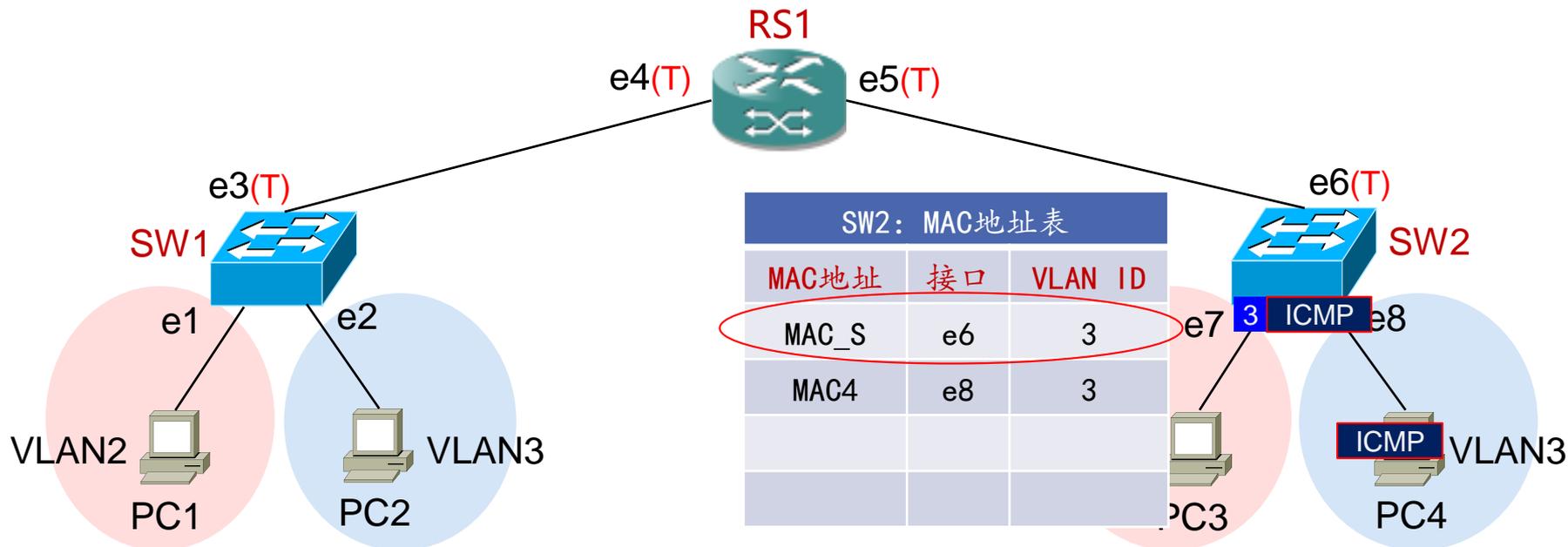
同时，RS1在转发时，也在自己的三层硬件转发表中，添加了PC1和PC4的相关记录。后续，RS1再收到发给PC1或PC4的报文，就不再查询路由表，直接通过三层硬件转发表，进行硬件转发，这就是“一次路由，多次交换”！

三层交换机通信实例分析——PC1 ping PC4 (29)

**步骤5: PC4发出ICMP响应报文**

- PC4收到PC1发来的ICMP请求报文，要向PC1发回ICMP响应报文。由于目的IP与源IP不在同一网段，所以PC4先将响应报文发给自己的默认网关，即RS1中VLAN3的SVI接口；
- PC4封装ICMP响应报文，该报文的源IP为IP4，目的IP为IP1，源MAC为MAC4，目的MAC为MAC_S。注意，此时PC4已经知道默认网关的MAC地址是MAC_S。

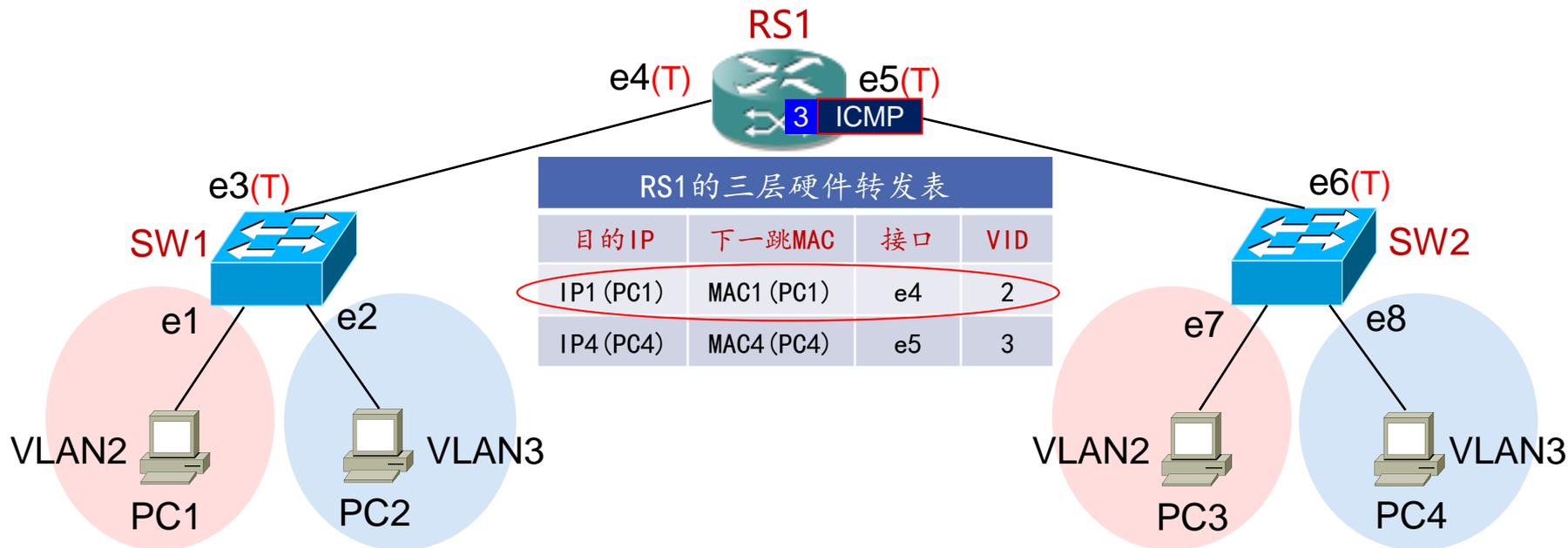
三层交换机通信实例分析—— PC1 ping PC4 (30)



步骤6: SW2处理ICMP响应报文

- ICMP响应报文发送到SW2的e8接口，被添加上VLAN3的标签；
- SW2依据MAC地址表，将ICMP响应报文转发至e6接口；
- 由于e6接口是trunk接口，所以保留VLAN3标签，发出ICMP响应报文；

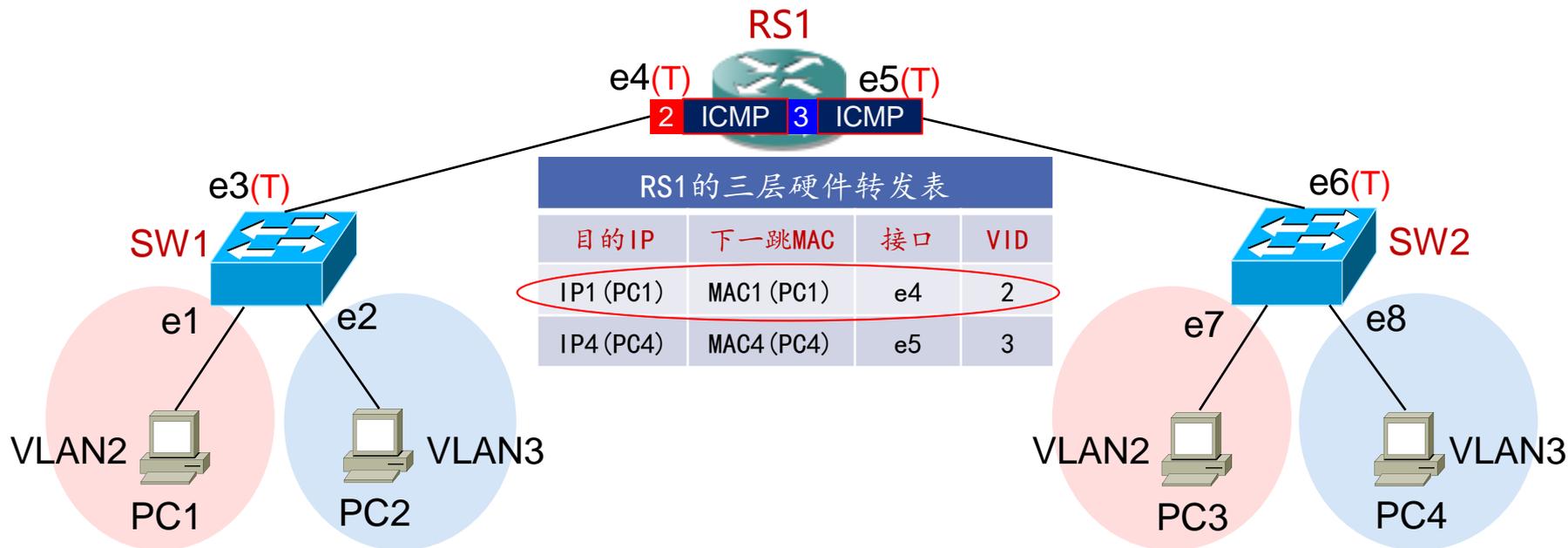
三层交换机通信实例分析——PC1 ping PC4 (31)



步骤7: RS1转发ICMP响应报文 (1) ——查看三层硬件转发表

- RS1收到ICMP响应报文，由于该报文是发给VLAN3的三层虚拟接口的，所以RS1启用三层路由模块，首先在ASIC芯片中的三层硬件转发表中查看。
- 注意**，此时三层硬件转发表中有PC1的记录，意味着RS1可以直接进行转发（硬件转发）该报文，并且在转发前要重新封装ICMP响应报文。

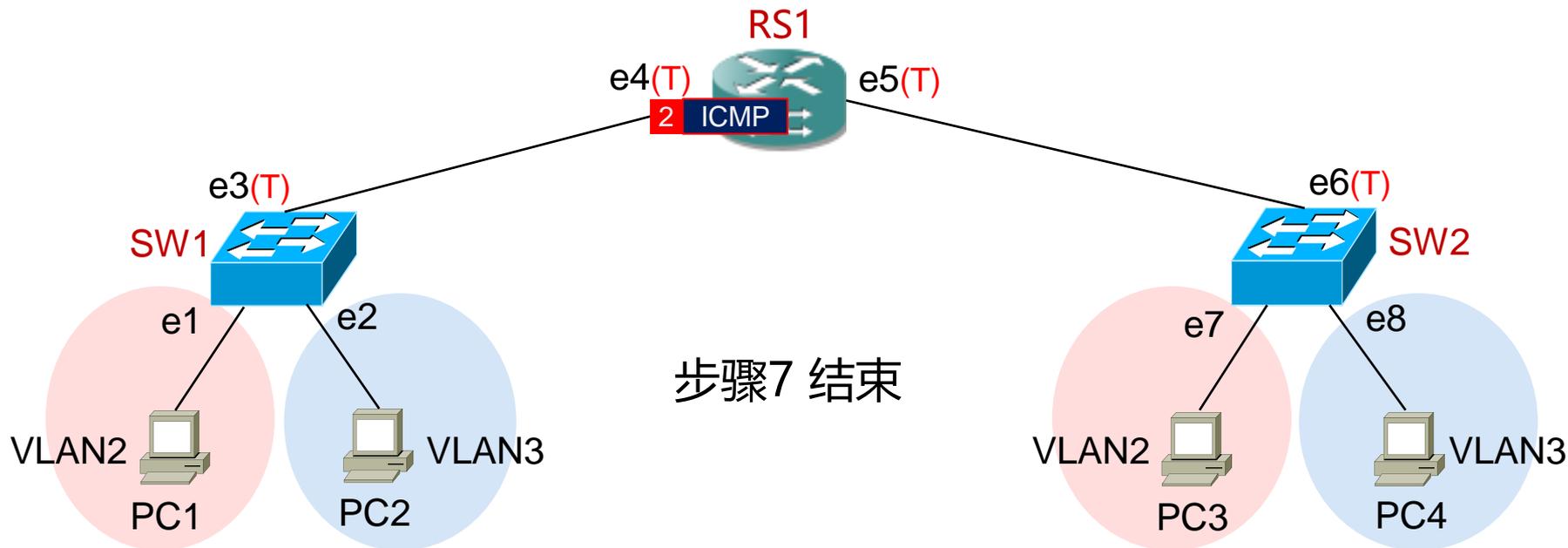
三层交换机通信实例分析——PC1 ping PC4 (32)



步骤7: RS1转发ICMP响应报文 (2) ——RS1重新封装ICMP响应报文

- RS1根据在三层硬件转发表中的查找结果，重新封装ICMP响应报文。具体为：目的IP（IP1）和源IP（IP4）保持不变，目的MAC为MAC1，源MAC为MAC_S；
- 注意：由于IP1对应的VID值=2，所以报文首部的VLAN标签变为VLAN2的标签；
- 根据三层硬件转发表，重新封装的ICMP响应报文被转发到e4接口；

三层交换机通信实例分析——PC1 ping PC4 (33)

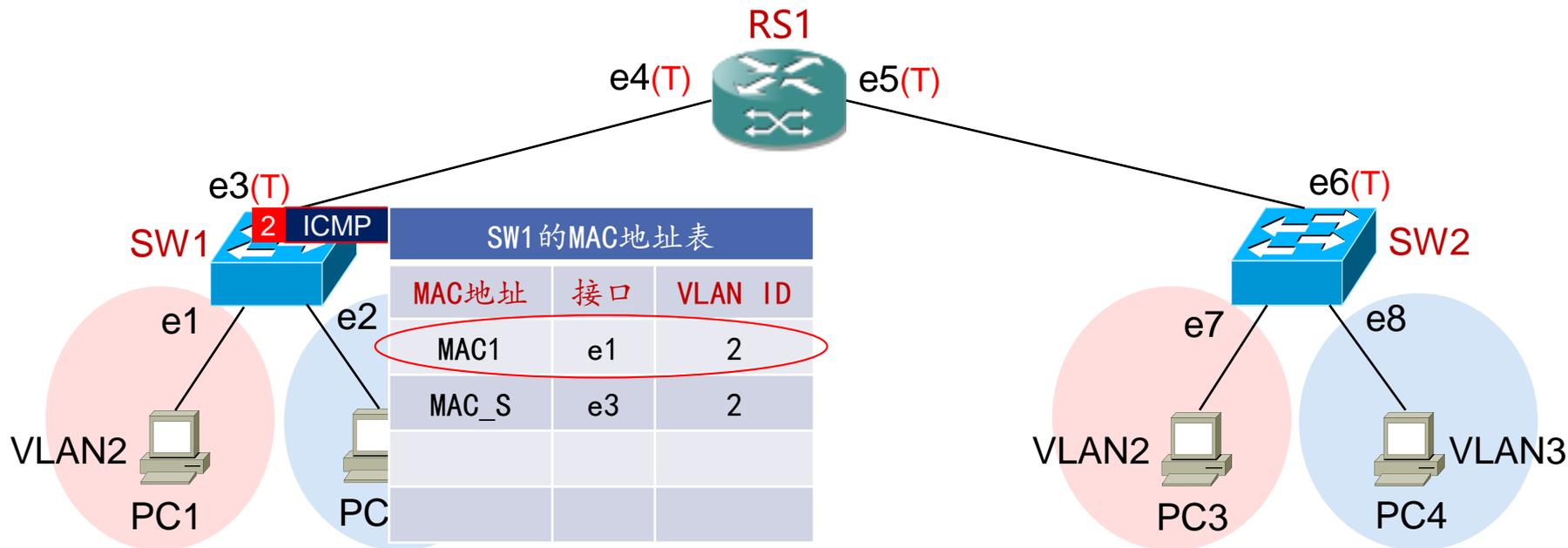


步骤7: RS1转发ICMP响应报文 (3) ——RS1发出ICMP响应报文

- 从e4接口发出，由于e4是trunk接口，且接口PVID≠帧VID，所以在发出ICMP响应报文时，保留VLAN2标签。

至此，PC4发出的ICMP响应报文，经过三层交换机的转发，从VLAN3转到VLAN2。注意，由于不是首报文，所以在通过RS1时，依据三层硬件转发表，是硬件转发。

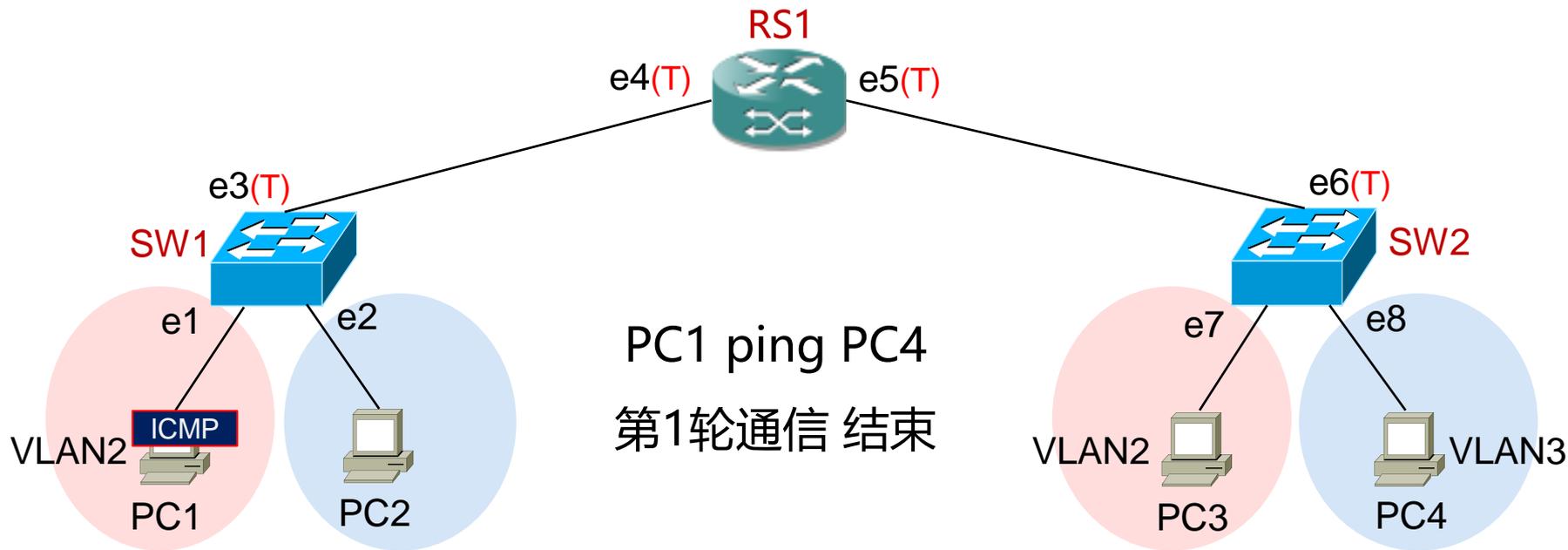
三层交换机通信实例分析——PC1 ping PC4 (34)



步骤8: SW1转发ICMP响应报文

- SW1收到ICMP响应报文，依据自己的MAC地址表，将报文转发至e1接口。
- 由于e1接口是access类型，所以去掉VLAN2标签后，将ICMP响应报文发送出去，最终到达PC1。

三层交换机通信实例分析——PC1 ping PC4 (35)

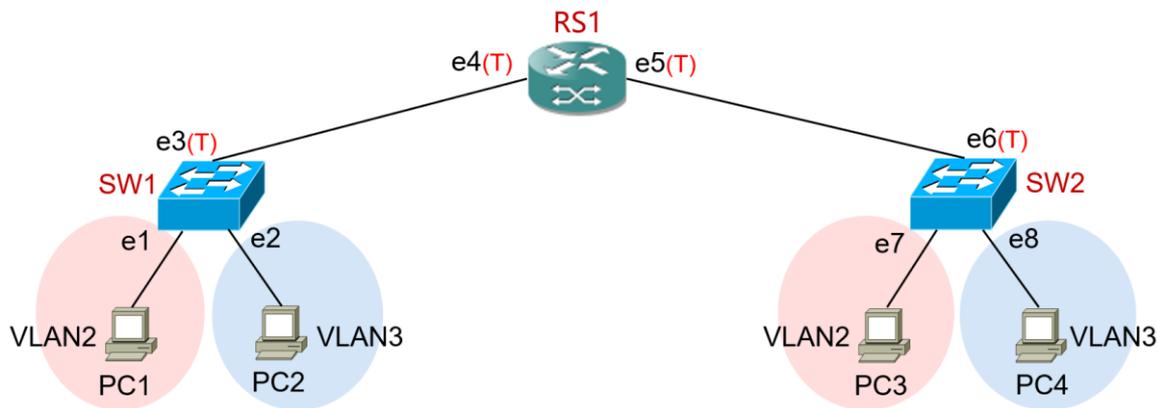


至此，PC1 ping PC4的第1轮通信结束，由于RS1中的三层硬件转发表中已经有了PC1和PC4的信息，所以后续PC1和PC4之间的访问在经过RS1时，都是依据三层硬件转发表进行硬件转发，效率更高。

分析2：同一VLAN主机之间的通信

PC1 ping PC3

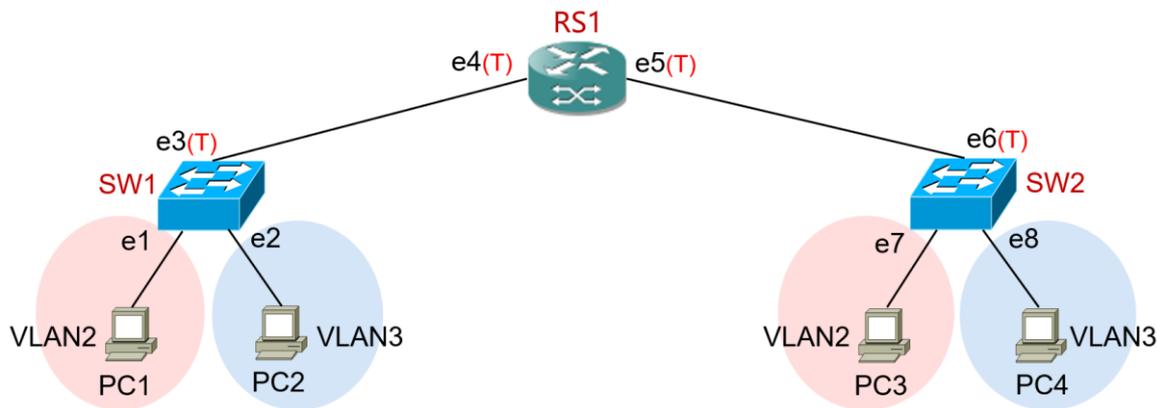
（自主分析）



分析3：同交换机中，不同VLAN主机之间通信

PC1 ping PC2

（自主分析）



三、三层交换机和路由器的主要区别

三层交换机和路由器的主要区别

1、三层功能实现机制不同

■ 路由器（软件实现）

- 路由器中的三层功能依靠所安装的网络操作系统（如思科Cisco路由器中的iOS系统，华为路由器中的VRP系统，H3C路由器中的Comware系统）。
- CPU通过调用集成在这些操作系统的路由协议中的路由表来实现路由功能。所有经过路由器的数据包都必须通过路由功能来实现转发。

三层交换机和路由器的主要区别

1、三层功能实现机制不同

■ 三层交换机（软、硬结合实现）

- ▶ 三层功能包括两个方面：一是与路由器一样，它的CPU也可以调用所安装的网络操作系统中的软件路由器功能，生成软件路由表；二是它像二层交换机一样也有专门用于数据交换的硬件——ASIC芯片，在它里面同时提供了二层交换模块（含有MAC地址表）和三层交换引擎，其中的三层交换引擎中建立有专门用于三层交换的三层硬件转发表。
- ▶ 在三层交换机中，不同网段的通信采用的是“一次路由，多次交换”机制，也就是到达某个目的主机的数据包只第一次采用路由方式（软件转发），并根据软件表项在ASIC芯片中建立三层转发表，后续相关通信就会直接通过三层转发表进行了，由于三层转发表是硬件转发，所以大大提高了转发效率。

三层交换机和路由器的主要区别

2、适用环境不同

■ 路由器

- ▶ 路由器采用的是软件路由方式（通过路由协议动态生成路由表，以适应网络拓扑变化），路由性能较为低下。而在局域网中，特别是在VLAN较多的大型局域网中，不同VLAN或不同子网中互访非常频繁，低速的路由性能很难满足实际的用户需求。
- ▶ 所以，路由器主要适用于低速、互访并不频繁的WAN网络中

三层交换机和路由器的主要区别

2、适用环境不同

■ 三层交换机

- ▶ 三层交换机是基于二层交换机功能发展而来，就是想在保留二层交换机的二层交换功能基础上再提供三层路由功能。
- ▶ 所以，三层交换机可以有許多用于连接主机及其他设备的物理接口，在局域网内为节点提供快速的二层数据交换（通过MAC地址表）。
- ▶ 同时，它又可以采用SVI接口“连接”局域网内不同VLAN，或者不同子网，并通过路由表和三层转发表实现三层路由和转发功能，而且三层交换机的三层转发功能是基于硬件芯片的，转发性能更高。
- ▶ 所以三层交换机主要用于企业内部以太网中不同VLAN、子网间的三层数据交换（一般不提供WAN接入功能）。

三层交换机和路由器的主要区别

3、多协议支持能力不同

■ 三层交换机

- ▶ 三层交换机目前仅支持IP网络层协议，所以仅可以适用于TCP/IP网络，所以才把三层交换机说成是IP交换机。

■ 路由器

- ▶ 路由器在多协议支持方面要远好于三层交换机，因为路由器主要应用于WAN中，WAN中的网络类型可能非常复杂，所以需要支持更多的网络层协议。

- **结论：尽管**路由器在三层功能功能实现效率上比三层交换机差一些，但并不是说三层交换机就可以全面取代路由器。

三层交换机和路由器的主要区别

4、路由能力不同

- 路由器可以支持更加复杂的网络路由，可以支持更大的路由表，更加复杂的路由表计算。其路由功能通过网络操作系统中的路由协议实现，更容易升级、更新。
- 三层交换机的三层转发功能主要依靠ASIC芯片，属于硬件，不容易升级、更新。

三层交换机和路由器的主要区别

5、综上所述

- 就目前来说，三层交换机和路由器各有优势，但它们的主要应用领域各不相同。
- 三层交换机主要用于企业IP局域网中不同VLAN或不同子网间的三层通信，而路由器则主要用于WAN中的网络互连。相互之间不能完全替代。
- 说明，并不是在每一个网络中，例如某企业网、校园网等，都必须同时包含路由器和三层交换机，要根据实际需求而定。

第5讲 三层交换机组网

完