

[19]中华人民共和国国家知识产权局

[51]Int. Cl⁷

[12] 发明专利申请公开说明书

H04J 3/14
H04J 3/02 H04J 14/02
G02B 6/293 G02B 6/36
H04L 12/46 H04L 1/22

[21] 申请号 97181713.8

[43]公开日 2000年2月23日

[11]公开号 CN 1245604A

[22]申请日 1997.12.4 [21]申请号 97181713.8

[30]优先权

[32]1996.12.6 [33]US [31]60/032,120

[86]国际申请 PCT/US97/23155 1997.12.4

[87]国际公布 WO98/25365 英 1998.6.11

[85]进入国家阶段日期 1999.8.6

[71]申请人 科尔科迪亚技术股份有限公司

地址 美国新泽西州

[72]发明人 张继昆 G·N·埃林纳斯

J·K·加默兰 M·Z·伊克巴尔

M·R·坎达卡尔

[74]专利代理机构 上海专利商标事务所

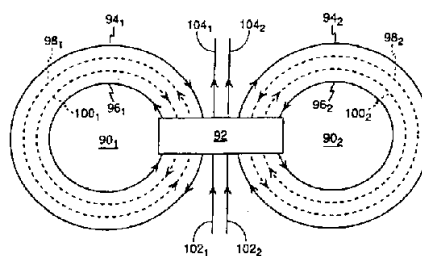
代理人 孙敬国

权利要求书 6 页 说明书 24 页 附图页数 13 页

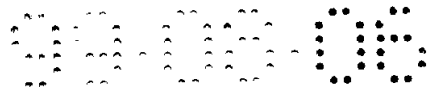
[54]发明名称 多波长光通信网络可抗毁的环间交叉连接

[57]摘要

一种用于多环、多信道通信网络,尤其是用于波分复用(WDM)光网络的交叉连接(92)。每个互连环(94和100)利用冗余相反旋转环(96和98)或相反旋转环的超容量进行自愈。由于自愈环(90)间的互连不需要将工作光纤连到保护光纤或类似的备份光纤,故能降低互连的复杂性。对于几种重要结构,互连可分解成一个或两个3×3互连。有助于将广义无阻塞3×3互连做成4个2×2接线器,这是光接线器的基本组成部件。一种新颖算法用来通过这种3×3连增加新的路径。当增加另一对插入(102)/分出(104)线路时,互连可分解成1或2个4×4互连。这种结构在连接插入(102)/分出(104)线路的用户节点和附于环上的用户节点之间提供全连通性。



ISSN 1008-4274



权 利 要 求 书

1. 一种至少在两个自愈通信环间的交叉连接, 其特征在于, 每个所述环至少包含在各自第一方向中传播的第一数据环信道和与所述第一数据环信道基本平行并在与所述各自第一方向相反的各自第二方向中传播的第二数据环信道, 所述交叉连接包含交换单元, 所述交换单元将所述第一通信环的所述第一数据环信道互连到所述第二通信环的所述第一数据环信道, 但不互连到所述第一和第二通信环的所述第二数据环信道两者中的任一个。

2. 如权利要求 1 所述的交叉连接, 其特征在于, 其中, 所有所述数据环信道包含光纤, 所述交换单元是光交换单元。

3. 如权利要求 1、2 所述的交叉连接, 其特征在于, 所述数据环信道载送波分复用光信号, 所述光交换单元可在所述波分复用光信号间选择波长。

4. 如权利要求 3 所述的交叉连接, 其特征在于, 其中, 所述光交换单元是 3×3 转换构件。

5. 如权利要求 4 所述的交叉连接, 其特征在于, 其中, 所述光交换单元是 4×4 交换单元。

6. 如权利要求 1 所述的交叉连接, 其特征在于, 可进一步包含第二交换单元, 该第二转接元件将所述第一通信环的所述第二数据环信道互连到所述第二通信环的所述第二数据环信道, 但不互连到所述第一和第二通信环的所述第一数据环信道两者的任一个。

7. 如权利要求 1 所述的交叉连接, 其特征在于, 其中, 所述交叉本身并不互连所述第一和第二通信环的所述第二数据信道。

8. 一种两个通信环间的交叉连接, 其特征在于, 每个环至少包含第一数据路径和第二数据路径, 两路径绕所述每个环在相反的方向中传播, 所述交叉连接包含:

第一接线器, 从所述两通信环中所述第一数据通路接收输入并将输出加给所述第一数据通路, 另外在所述两通信环外从第三数据路径接收输入并将输出加给第四数据路径。

9. 如权利要求 8 所述的交叉连接, 其特征在于, 可进一步包含:



第二接线器，从所述两通信环中所述第二数据路径接收输入并将输出加给所述第二数据路径，另外在所述两通信环外从第五数据路径接收输入并将输出加给第六数据路径。

10. 如权利要求 8 所述的交叉连接，其特征在于，其中，所述接线器是 3×3 接线器。

11. 如权利要求 9 所述的交叉连接，其特征在于，其中，所述接线器是 3×3 接线器。

12. 如权利要求 8 所述的交叉连接，其特征在于，其中，所述接线器是 4×4 接线器。

13. 如权利要求 8 所述的交叉连接，其特征在于，其中，所述接线器是 4×4 接线器。

14. 如权利要求 9 所述的交叉连接，其特征在于，其中，所述第一和第二路径载送相同数据，由此形成路径保护环。

15. 如权利要求 14 所述的交叉连接，其特征在于，其中，所述第一和第二路径包含第一和第二光纤，所述两接线器是光接线器，所述第一和第二光纤通常载关分别具有第一组和第二组不同波长载波的光信号，而且进一步包含各发送节点中的检测装置，用于检测所述第一和第二光纤之一的故障，结果将所述第一和第二组载波两者都发送到所述第一和第二光纤的另一光纤。

16. 如权利要求 8 所述的交叉连接，其特征在于，其中，所述每个环进一步包含绕所述各环在相反方向中传播的第五数据路径和第六数据路径，分别用作所述第一和第二数据路径的保护数据路径，所述第五和第六数据路径在两个所述环间不互连。

17. 如权利要求 8 所述的交叉连接，其特征在于，其中，所述第一数据路径是工作数据路径，所述第二数据路径是保护数据路径，所述第二数据路径不直接互连。

18. 如权利要求 8 所述的交叉连接，其特征在于，其中，每个所述通信环载送 W 个波分复用光信号，所述第一和第二接线器包含光接线器，有选择地转接所述多路复用光信号的任一信号。

19. 如权利要求 8 所述的交叉连接，其特征在于，其中，每一所述数据路径包含光纤，所述接线器是光接线器。



20. 一种 K 个通信环间的交叉连接, 其特征在于, K 大于 2, 每个环至少包含绕该环在相反方向中传播的第一数据路径和第二数据路径, 所述交叉连接包含:

接收来自所述 K 个通信环路中所述第一数据路径的输入和向所述第一数据路径输出的第一 $L \times L$ 接线器, 所述 $L \times L$ 接线器附加接收来自第三数据路径的输入并向第四数据路径输出, 其中, L 至少等于 $K + 1$.

21. 如权利要求 20 所述的交叉连接, 进一步包含:

第二 $L \times L$ 接线器, 接收来自所述 K 个通信环路中所述第二数据路径的输入, 向所述第二数据路径输出, 并附加接收来自第五数据路径的输入和向第六数据路径输出.

22. 一种通信网络, 其特征在于, 包含:

第一和第二自愈单向环, 各单向环包含工作光纤,
保护光纤, 和

绕所述单向环分布的多个节点, 所述多个节点包括接线器—自动保护倒换的线路交换装置, 所述接线器连接所述工作光纤对所述工作光纤来的信号进行插入和分出, 所述线路交换装置配置在所述接线器的任一侧, 有选择地连接所述工作和保护光纤;

第一接线器, 连接在所述第一和第二自愈环的所述工作光纤之间并连接到插入线路和分出线路, 此外, 所述第一和第二自愈环的所述保护光纤不会由另一接线器连接在一起.

23. 如权利要求 22 所述的通信网络, 其特征在于, 其中所述第一接线器是 3×3 接线器.

24. 如权利要求 22 所述的通信网络, 其特征在于, 其中所述第一接线器是 4×4 接线器.

25. 如权利要求 22 所述的通信网络, 其特征在于, 其中, 所述自愈环载送波分复用信号, 所述接线器是多波长光接线器.

26. 一种通信网络, 其特征在于, 包含:

第一和第二自愈双向环, 各双向环包含
第一光纤,
第二光纤, 以及



多个节点和发送接收装置，所述多个节点绕所述双向环分布，包括两个分别连接所述第一和第二光纤的接线器，所述两个接线器对来自所述第一和第二光纤的信号进行插入和分出，所述发送接收装置通过所述接线器连接所述第一和第二光纤；

第一接线器，把所述第一和第二自愈环的两条所述第一光纤连接到所述插入线路和第一分出线路；

第二接线器，把所述第一和第二自愈环的两条所述第二光纤连接到所述第二插入线路和第二分出线路。

27. 如权利要求 26 所述的通信网络，其特征在于，其中所述接线器是 3×3 接线器。

28. 如权利要求 27 所述的通信网络，其特征在于，其中所述接线器是 4×4 接线器。

29. 如权利要求 26 所述的通信网络，其特征在于，其中，所述自愈环载送波分复用信号，所述两个接线器是多波长光接线器。

30. 一种自愈环网络，其特征在于，包含：

第一和第二环，每个所述环包含

至少一对相反旋转的通信路径和

对各所述环某点出现的故障进行自愈的自愈装置；

所述第一和第二环间的交叉连接，用于连接所述至少一对相反旋转的通信路径的至少一条，在所述环间传送信号，当检测所述故障并进行自愈时所述交叉连接在所述自愈装置工作期间维持状态不变。

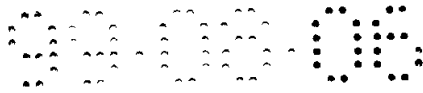
31. 如权利要求 30 所述的环网络，其特征在于，可进一步包含控制器，使所述交叉连接的操作与所述自愈装置无关。

32. 如权利要求 30 所述的环网络，其特征在于，其中，所述通信路径包含光纤，所述交叉是光交叉连接。

33. 如权利要求 32 所述的环网络，其特征在于，其中，所述光交叉连接包含 3×3 接线器。

34. 如权利要求 32 所述的环网络，其特征在于，其中所述交叉连接包含 4×4 光接线器。

35. 如权利要求 32 所述的环网络，其特征在于，可进一步包含与所述光交叉



连接相连的至少一对插入/分出光纤。

36. 一种控制互连自愈通信环的方法，其特征在于，每个所述环包含至少一对相反传播的通信路径，所述环通过交叉连接互连到各所述环的至少一条通信路径，所述方法包含：

对至少一个所述通信环中的至少一个故障进行自愈，由此，所述故障不会中止所述至少一个通信环的工作；

通过所述交叉连接有选择地连接所述通信环间的所述通信路径，所述选择性连接和所述自愈是相互独立进行的。

37. 如权利要求 36 所述的方法，其特征在于，其中所述自愈步骤不影响所述选择性连接步骤施加的所述交叉连接的状态。

38. 如权利要求 36 所述的方法，其特征在于，其中，所述通信路径包含光纤。

40. 一种 3×3 接线器，其特征在于，包含：
第一 2×2 接线器，接收所述 3×3 接线器的第一和第二输入线路；

第二 2×2 接线器，接收所述 3×3 接线器第三输入线路和所述第一 2×2 接线器的第一输出；

第三 2×2 接线器，接收所述第一 2×2 接线器的第二输出和所述第二 2×2 接线器的第一输出；

第四 2×2 接线器，接收所述第三 2×2 接线器的第一输出和所述第二 2×2 接线器的第二输出；

其中，所述 3×3 接线器的第一输出线路连接到所述第三 2×2 接线器的第二输出，所述 3×3 接线器的第二和第三输出线路连接到所述第四 2×2 接线器的输出。

41. 如权利要求 41 所述的 3×3 接线器，其特征在于，其特征在于，所述所述 2×2 接线器是光接线器。

42. 如权利要求 41 所述的 3×3 接线器，其特征在于，其中，所述光接线器是波长选择接线器。

43. 如权利要求 40 所述的 3×3 接线器，其特征在于，进一步包含控制装置，将每个所述 2×2 接线器控制到两个 2×2 转接状态之一，组合所述 2×2 转接状态使所述 4 个 2×2 接线器构成 3×3 转接状态，所述控制装置包括一种算法，其中 12 个所述 3×3 转接状态安排在六角柱的顶点上，所述控制装置仅选择对应



于所述六角柱边的状态转移。

44. 如权利要求 43 所述的 3×3 接线器，其特征在于，其中，所述六角柱包括两个侧向延伸的六角面，两六角面沿轴向排列；

所述 12 个 3×3 转接状态包括通过所述 3×3 接线器产生等效连接的状态对；

每个所述状态对安排在所述六角柱的两顶点，所述两顶点在不同的六角面上并在所述侧向上相对置。

45. 如权利要求 44 所述的 3×3 接线器，其特征在于，所述 12 个 3×3 状态是表 5 中的那些状态，并安排在图 7 的六角柱中。

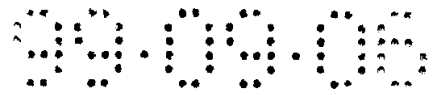
46. 一种控制 4 个 2×2 接线器互连以构成广义无阻塞 3×3 接线器的方法，其特征在于，包含下列步骤：

选择所述 4 个 2×2 接线器的 12 个状态组合，所述 12 个组合的状态对表示等效 3×3 转接状态；

将所述 12 个组合分配给六角柱的顶点；

选择对应于所述六角柱边的所述 4 个 2×2 接线器的状态转移。

47. 如权利要求 46 所述的方法，其特征在于，其中所述 12 个组合按表 5 选择，并安排在图 27 的六角柱上。



说 明 书

多波长光通信网络可抗毁的环间交叉连接

本发明背景

本发明一般涉及多波长光通信网络，尤其是多波长光网络。具体而言，本发明涉及多环间的交叉连接，这种交叉连接的环设计成故障自愈。

采用光纤作为通信网络的传输媒体已渐渐改变着网络的基础结构。原先，光纤只是用来替代一般在铜电缆上进行输送的电子链路。用先前会在电缆链路上发送的电信号调制该发送端的激光，而在接收机端用光检测器将信号恢复为它原来的电信号形式。也即，光纤的应用并不影响网络的基础结构。还有，光纤原先用于长距离传输，但它对局域网络的应用变得越来越明显。

已加有光链路的网络结构可称为多级网络。在本地接入和传输区(LATA: Local Access and Transport Area)的级别上，每个中心局一般通过具有适合该链路容量的电子链路与几个相邻局连接。这种结构早在八十年代就设计成用硬件构成并用窄带和当时可得到的低速电子线路驱动。

现有网络设计时居主导地位的话音业务数字化为 DS0 信道，每信道为 64kb/s (kilobits per second)。24 路 DS0 被复用为一 1.544Mb/s DS1 信道，如果需要的话，28 路 DS1 可在另一级复用为 44.736Mb/s 的 DS3 信道。这些速率不是准确的倍数关系，并且按需要一些比特可插入传输流中。另外，每个链路有它自己的时钟。结果产生异步网络，其中高层次复用信号需要复杂的去复用以便提取信号或替换另一低层次信号。

由于光纤的本征带宽几乎不受限制，故它改变了均衡状态。在光纤网络中，基本上由终端设备确定带宽，而且链路的费用与终端的相比是较低的。结果，在美国提出了一种新的标准，并得得到广泛的采用。该标准称为“同步光网络(SONET)”。一种最相关的结构——同步数字系列(SDH)相继在欧洲出现。其基本结构块称为“级 1 同步传送信号(STS-1)”，具有 51.84Mb/s 的速率。其传输分为具有帧速率 125 μ s 的帧来进行。帧进一步分为 810 个 8 比特的字节，其中许多是开销。在工作在相同比特速率的 OC-1 光信道上传输 STS-1 帧。可采用上面倍乘关系的更高速率。这些是 STS-N 信号，通过对 N STS-1 信号作简单交错构



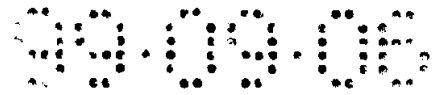
成。目前工作在 2488.32Mb/s 的 OC-48 光纤链路代表最先进的系统，被普遍应用。最大信号速率基本上是由连于光纤终端的电子设备和光电设备而不是光纤本身确定的。SONET 是同步信号，取用各个字节或低层次信道比异步信号更容易。

由于单根电缆或单个设备故障会影响大量通信，故增加光纤容量引起对光网络的可靠性和自抗毁性的担忧。电缆断裂很经常而且几乎不可避免，不管是因人为或天气原因，中心局火灾或其它灾害引起的设备故障总的来说是不可避免的。因此，探索若干更能抗毁的网络结构。具有高抗毁性的一种结构是自愈合。这种结构的几种类型在“Fiber Network Service Survivability” (Artech House, 1992) 一文第 123-207 页中由 Wu 进行了描述。这种自愈环功能减轻了网络灾害，但它的构成必须简单，高速且高度可靠。这种自愈应当是，通过它的环拓扑结构和简单快速保护转接方案对简单的光缆断裂或设备故障能全自动并 100% 恢复工作能力。许多自愈环结构具有这样的优点，即能复原网枢等单个节点的故障，能复原电缆断裂。

图 1 示出单向自愈光纤环 10 的范例。这是自愈环网络的一种类型，这里引入作为讨论的基础。对不同结构自愈环的更完整的讨论将在下文进行。图 1 中，节点 12 的数量，这里图示为 4 个节点 A、B、C、D，在环布局中它们通过 2 条光纤 14、16 互连。也即，一条光纤 14 构成信号绕反时针方向传播的环，而另一条光纤 16 构成信号绕顺时针方向传播的环。每个节点 12 可以是中心局，本地网中的远端配线点，或其它高通信业务量节点。重要的是，每个节点 12 在两点连接各光纤 14、16，一点用于接收，另一点用于发送。第一光纤 14 是工作光纤，在该特定结构中传送所有通信业务。第二光纤 16 用虚线表示，是保护光纤。正常工作时，作为自动保护倒换 (APS) 它不工作，但作为路径保护 (PP)，它传输通常分配给工作光纤 14 的一些或全部通信业务。保护光纤 16 在与工作光纤 14 相反方向中绕环 10 传播它传送的任何信号，很显然，选择光纤 14、16 哪一路在顺时针方向中传播并不重要。

环中的节点数 M 可变，但一般在 4 到 10 的范围内。在无需保护光纤或多跳传输的网络结构中可容纳数量较少的节点。这种差异是由于 M 节点的环网需要 W 个波长用于环中所有网形连接，这里，对于 M 是奇数

$$W = (M^2 - 1) / 8$$



而，对于 M 是偶数

$$W = ((M+1)^2 - 1) / 8$$

节点数量较多引入节点不需要的高过剩通信业务通过各节点。

假定工作和保护光纤 14、16 实际上沿同一地理路径位于同一位置，以致施工事故、天灾等引起的电缆断裂可能影响两者。又假定光纤 14、16 路由选择得使各节点间部分基本上沿不同路径延伸，以致电缆断裂一般只影响双环中一个部节点间部分。虽然此图示出一种纯环状环，但应当理解这些环也可建立在即使是应用已有点对点光纤，而形成更曲折形状的已有网形网络中。也应看到这些环无需在节点间铺设新光纤，可扩大或缩小到环中不同节点组。

如图 2 所示，最普通的光纤故障是如出现在节点 C 和 D 间并假定切割工作光纤 14 的部分 14' 和保护光纤 16 的对应部分 16' 两者引起的电缆断裂 20。在自动保护倒换 (APS) 情况下，与各节点相连的该 APS 设备能检测这种故障并能激活与夹在两端的 C 和 D 节点 12 相连的保护开关 22、24，在工作光纤和保护光纤 14、16 间传输信号。同样的保护开关配置在 C 和 D 节点 12 的另一侧以及任何类型的其它节点 12 的两侧。反时针旋转的保护光纤 16 在功能上替代工作光纤 14 的断开部分 14'，并恢复所有节点 12 间的网络连续性。

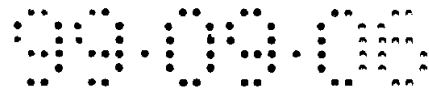
自愈网络也能防护如中心局或交换中心的火灾或失电等的任一节点 12 的故障。虽然发往或来自那节点的通信一般会丢失，但工作节点间的通信仍可继续。对于 APS 自愈网络，包括故障节点的两节点中的 APS 设备把工作光纤来的通信导向反时针旋转的保护光纤，于是避开了故障节点。

除了失去始发自或终接于故障节点的通信业务外，这种自愈能完全防护电缆断裂和节点故障。

图 1 和 2 的自愈结构或其它有关自愈环，在两条光纤 14、16 及节点 12 引入带宽损失。然而，光纤费用对整个系统设计，特别是考虑并行光纤时，变得较低。同样，SONET 结构允许低费用生产可用于节点 12 的设备，特别是分插复用器，可对环上 SONET 信号分出或插入低层话路。结果，信号的过剩量和冗余处理不再是那么昂贵。

现在，概括地来描述自愈环的一些较重要的结构。下文具体描述的本发明的几个实施例将结合这些不同的结构。

单向环使用两光纤，一工作光纤和一保护光纤。它们称为单向是因为所有



工作通信业务绕双环在一个方向中进行的。有两种主要类型的单向环，自动保护倒换 (APS) 和路径保护 (PP)。

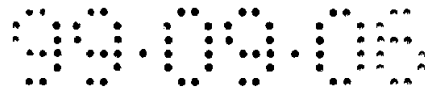
已经参照图 1 和图 2 描述了一种回送环 APS，该结构称为折叠 U-SHR 结构或 (U-SHR/APS)。请注意 APS 对应于“线路交换”，即在不同线路上实际重选路由。

通过在称为路径保护 SHR (U-SHR/PP) 或专用保护环中进行低速路径保护也能在单向环中获得自愈。这种形式的路径保护一般基于信号双馈 (1+1) 的概念，其中，每节点的两发送机在相反方向中传播的两光纤发送相同的信号。反向传播的信号在链路切断时提供网络抗毁性。正常工作时，在每节点的一接收机选收工作光纤的信号，但在工作光纤切断那发送时，该接收机能选收保护光纤的信号。实际中，该接收机选收两输入信号中的强者。

双向环可使用两路或四路光纤。它们称为双向是因为工作通信业务可绕环在任一方向中运行。发送节点受通知选择它应当在哪个方向中向接收节点发送信号。虽然一般最短距离最佳，但有时如要求平均分配负载时，将选择较长的路径。

四光纤双向环称为 B-SHR/4 或分享保护环，它包含两工作光纤和两保护光纤。各工作光纤用来载送一半总通信量。为了从链路故障中恢复工作，B-SHR/4 使用如 APS 线路保护倒换，完成回送功能，以避免电缆切断或节点故障。这种结构在每个局中需要 1:1 单向低速电子保护开关。用这样的单向电子保护开关，当修复故障线路时信号无需倒换。

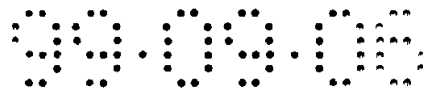
两光纤双向环，称为 B-SHR/2，采用两光纤，两者指定为工作光纤。通信业务一般在两相反传播光纤之间均等分配，各光纤仅以它的一半总容量进行工作。各光纤的另一半容量留作保护反向传播的光纤。在链路故障情况下，不管是由于光纤断裂或节点设备故障，发送机结合时隙交换从一线路转接到另一线路，自动重新引导通信业力以装填在反向传播的空时隙，从而避开故障。虽然 APS 通常上述过程不进行的涉及线路保护倒换，但这种重新引导类似于自动保护倒换。对于下文结合本发明要加以讨论的波分复用，其两组信号是波长复用而不是时间复用。所有工作路径的带宽应当占用 50% 以下的整个环带宽，从而对单一传输线路故障所有工作路径恢复。虽然这种减小带宽似乎是浪费，但增加系统容量的费用应当与更复杂的控制和管理的费用相比。高速通信网络的另一最新发展涉及波分复用 (WDM)。如前面所提到的那样，光纤有极宽的带宽，远远



大于可将光数据信号加给光纤的可用电子频率的要求。因此，早就认识到多电子数据信号能调制一些激光发射机，它们有 W 个分开的发射波长 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_w$ ，且不同激光的输出加到单一光纤。在接收端，不同光信号能以光技术分开，然后进行电检测。各路调制和检测速率表现为那路的电数据速率，而不是综合的光数据速率。通常 WDM 的路数 W 受到限制，大规模的网络约限定为 8 到 32。

虽然起初认为 WDM 只是用作容量倍增器，但已经有如 Brackett 等人在“规模可变多波长多跳光网络：对研究全光网络的建议 (A Scalable Multiwavelength Multihop Optical Network: A Proposal for Research on All-Optical Networks)”(Journal of Lightwave Technology, vol. 11, 1993, no. 5/6, pp. 736-753) 一文中提出更高级的 WDM 结构。如果以波长区分的光信号能通过某节点或其它交换点按照它们各自的光波长(或频率)传输而无需将这些信号变换为电子形式，则这些先进结构的优点更显著。也就是说，单光纤上输入到交换点的光信号能够按照它们的光波长转接到不同的输出方向上，而信号始终停留在光范畴内。这种光交换的进一步的优点是转接与不同 WDM 信道的信号形式无关。例如，一个或多个光波长可专用于模拟电缆电视信号，而其它光波长可专用于数字 SONET 信号。电视信道的格式当然是完全不同于 SONET 信道的。而且 WDM 接线器按照光载波波长工作，能很好同等地转接电视和 SONET 信号而与它们的格式无关。即使在 SONET 网络范围内，WDM 接线器转接 SONET 信道也与它们的比特率无关，也即，与 OC 层次无关。就是说，在一个网络中容纳多个 OC 层次。而且，该 OC 层次对光交换不是关键的。不同速率信道共用的终端节点需工作在最高光信道速率。然而，仅接收或发送低速率信号的节点只需工作在低速率。因此，低成本低容量的终端能连接含有高容量终端的网络。

波分复用具有许多优点，不需要倍增网络容量，无需铺设附加光纤。但它与 SONET 的结合和可抗毁环仍然需要。Elrefraie 等人在“具有全光保护路径的自愈 WDM 环网络 (Self-healing WDM ring networks with all-optical protection path)” (Optical Fiber Conference '92, paper Th13, pp. 255, 256) 一文和在“多波长可抗毁环网络结构 (Multiwavelength Survivable Ring Network Architectures)” (Proceedings of the International Communication Conference, Geneva, Paper 48, 7 pp.) 一文中提出了一种自愈环。Wu 在“ibid., pp. 189-195”中提出了一种 WDM 自愈环，但这种结构应用狭窄，



极普通，并且在采用的 WDM 接线器元件方面没什么优点。

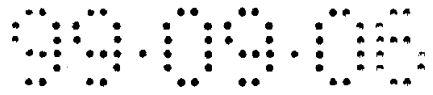
我们观察到 WDM 技术很适合环结构。图 3 表明一种 2×2 多波长接线器 26 的基本结构。它通过两个端口连接到光纤 27 的接收端和发射端，并假定它通过其它类同接线器在环结构中进行连接。多波长接线器 26 能选择一个或多个光波长信道作为插入和分出。也即，接线器 26 能选择环光纤 27 中 W 个 WDM 信道中的一个(或可能的话，多个)，将该信道载送的信号从光纤 27 移走并替换另一相同光波长信号到环光纤 27。这种接线器称为波长可选插入/分出接线器。该插入和分出信号经分出和插入光纤 28、29 传输到节点网络 30 并从其输出，节点网络 30 可以是电子网络的多路复用器/多路分用器或可以是另一网络单元。

对于自动保护倒换(接线器)(APS)自愈环，环光纤 27 是工作光纤。位于接线器 26 两侧的 APS 线路交换设备有选择地将工作光纤连到保护光纤，该光纤不通过相同接线器到节点网络 30。对于路径保护(PP)自愈环，工作和保护光纤两者有自己的接线器 26，且节点网络 30 中附加电路确定哪路光纤用于特定的信号。

所说明的多波长接线器 26 是 2×2 交叉连接接线器，对 W 个光波长的每个设定两个状态。在直通状态下，环光纤 27 上载送的那个波长的信号仍留在环光纤 27 上。但在交叉状态下，从环光纤 27 接收到的一个或多个光波长的光信号被转接到分出光纤 28，并从插入光纤 29 接收其它同样光波长的数据信号并发送到环光纤 27。

至少有三种技术构成多波长接线器 26。

第一种技术涉及混合机械激励光 WDM 接线器，如 Iqbal 等人在“多波长可重排光网络的高性能光接线器(High Performance Optical Switches For Multiwavelength Rearrangeable Optical Networks)”(Government Microelectronic Circuits Application Conference(GOMAC) '94, San Diego, CA, November 1994, 3 pp)一文中有所揭示。这种 4 波长 2×2 接线器包括级连的多层薄膜干涉滤波器(cascaded multilayer thin-film interference filters)和分立的 2×2 交叉-直通、继电器激励的光接线器，用光多路复用器和多路分用器连接到外部。这种混合、基于光纤的 WDM 接线器将输入波长多路分用到不同的 2×2 光接线器，由机械激励进行光交换的信号在输出端重新组合。继电器激励的光接线器是机械接线器，其中，连接两输入的光纤通过机械移动与不同的



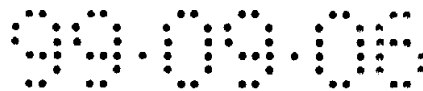
输出光纤对齐。虽然这种技术概念上相对而言并不复杂，但它的亚秒级转接速度适用于许多预想的结构，它呈现出机械构件的安全可靠性，并从 JDS Fitel 可得到商品。

第二种技术涉及声光可调滤波器 (AOTF)，一般制作在 LiNbO_3 基板中，其中，所选光频率与叉指式电极上施加的 RF 频率相关，该电极制作在压电 LiNbO_3 基板中的光波导上，使所选信号改变它的极化状态，因而可利用极化耦合器进行转接。这样的 AOTFs 由 Cheung 等人在美国专利 5,002,349 中有描述。

第三种技术涉及液晶接线器，如 Patel 等人在美国专利 5,414,540 和 5,414,541 中及在“液晶和基于栅格的多波长交叉连接接线器 (Liquid Crystal and Grating-Based Multiple-Wavelength Cross-Connect Switch) (IEEE Photonics Technology Letters, vol. 7, 1995, pp. 514-516)”一文中描述了这种接线器。利用波长分散层和分段的液晶极化旋转层，能在不同的方向中转接不同的 WDM 信道。

虽然能够将光信号进一步传播到节点网络 30，但如图 4 所示，目前仍设定节点网络 30 是围绕电子接线器 31 形成的。光多路分用器 32 接收分出光纤 28 的 W 个 WDM 信号并按照它们的波长 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_w$ 将它们分进各个光路径。光检测器阵列 33 将光信号变换为电信号输入到接线器 31。同样在输出侧，激光器阵列 34 受接线器 31 的电输出控制，发射波长 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_w$ 的受调光信号。光多路复用器 35 将该 W 个 WDM 信号组合到插入光纤 29。接线器 31 有附加的电输入输出线路 36, 37，如接到局域环形网。这些附加输入输出线路 36, 37 可称为分出/插入线路。

出于某些原因，接线器 31 的插入/分出端口是有用的。在一种应用中它们可提供到外部用户的链路，不管是单个用户还是与该接线器 31 连接的局域网 (LAN) 相连的用户。插入/分出口可提供网关，用于互连不同的 LAN，这些 LAN 的设计用于比在光纤 28, 29 间转接的通信业务量低的低密度通信业务。在仅要求低带宽连接的情况下，该插入/分出端口还可提供单波长连接到其它网络的链路。在第二种应用中，插入/分出端口可为环间通信业务提供监测点以便本地控制器在环间传递通信业务前能对其进行检查。在第三种应用中，该插入/分出端口在环间提供波长交换点。也即，如果第一环的光数据信号要求传输到第二环，但光波长不同，则该信号能在该接线器分出，利用全光装置或光电装置变换为



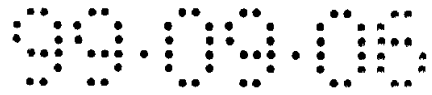
不同的波长，并且通过在同一接线器的插入再次插入网络。在图 4 所示的电子接线器 31 的情况下，这种波长变换是通过在光检测器阵列 33 和激光器阵列 34 中将相同数据信号分配给不同的波长来完成的。最后，插入/分出口提供本机地接线器控制端口用于接收或注入信令信息。

控制器 38 控制接线器 31 的转接状态，并可在 WDM 信道之一上接收网络控制信息。对于 SONET 网络，SONET 成帧和其它功能可并入接线器 31 和控制器 38 中。图 4 所示的 ADM 接线器系统仅连接自愈环的一路光纤。对于 APS 环，由于该 APS 设备提供对保护光纤的接入，故只要求连接工作光纤的一种连接，但对于路径保护环，两光纤都需要接入。

上述类型的 ADM 可用于绕环分布的简单节点，而对于构成大而复杂的整个网络是不够的。因此，强烈要求通过使用至少一个环间节点连接多个环来增加可接入的节点数。如上文所述，环总是根据已经存在的局间中继线形成的，中继线总线总体类似于一个网。因此，环互连一般建立在具有连接到至少 4 个其它局的中继线的中心局。结果，环间节点必须连接到两分开的环并执行中心局预期的插入/分出功能。

如图 5 网络图所示，两自愈环 10_1 、 10_2 通过环间节点 40 互连。每个环 10_1 、 10_2 包括各自的工作光纤 14_1 、 14_2 和各自的保护光纤 16_1 、 16_2 。具体而言，环间节点 40 连接到输入光纤 14_{1-IN} 、 14_{2-IN} 、 16_{1-IN} 、 16_{2-IN} 并连接到输出光纤 14_{1-OUT} 、 14_{2-OUT} 、 16_{1-OUT} 、 16_{2-OUT} 。环间节点 40 还连接到两对 42_1 、 42_2 插入/分出光纤，分别包含插入光纤 42_{1-IN} 、 42_{2-IN} 和分出光纤 42_{1-OUT} 、 42_{2-OUT} 。假定插入/分出光纤最终连接到不同类型的传输线，例如，通过接线器连到回路网。两对 42_1 、 42_2 插入/分出光纤允许环间节点 40 独立地插入/分出两环 10_1 、 10_2 上的信号，只要同一波长不分出到同一环两次，就会与波长争用无关。由于插入/分出光纤 42_1 、 42_2 一般在不使用波分复用的传统交换局或网枢选择路由，故插入/分出光纤 42_1 、 42_2 通常是 W 条这种光纤的光纤束，其中， W 是 WDM 波长的数量，并且根据光交换元件的类型可能需要未图示的多路复用器或多路分用器。下面的描述和说明只是偶尔涉及环光纤与插入/分出光纤间的区别。

如图 6 大致所示，环间节点 40 可描绘成 6×6 接线器。在 WDM 网络中， W 个波长必须分开转接以便 6×6 接线器在某种意义上重复 W 次。多数当前展示的设计中， W 不大于 8。在 WDM 网络中，目前上述情况并非不典型，因为先有的节点



结构两环 10_1 , 10_2 中的光纤 14_1 , 14_2 , 16_1 , 16_2 各载送 W 个 WDM 信号, 而插入/分出光纤 42_{1-IN} , 42_{2-IN} , 42_{1-OUT} , 42_{2-OUT} 分别只载送一路光信号, 若要获得全插入/分出能力, 分别要组成具有 W 条插入/分出光纤的光纤束。

如果交换用先前描述的机械激励光接线器来完成, 则每 W 重 WDM 信号必须多路分用成 W 路光信号, 这些光信号在分开的光纤上引向 6×6 接线器不同的波长面, 且这些面的输出多路复用成一路光 WDM 输出信号。如果交换是由电子完成的, 如目前现有技术那样, 则除了需要同样规格的 6×6 电子接线器外还需要附加的光源和检测器。

这种接线器的缺点是结构复杂。其最简明的构成是每个波长面需要在输入侧有 6 个 1×6 接线器互连到输出侧的 6 个 6×1 接线器。这种结构可用多路复用器、多路分用器和机械激励的光接线器来构成, 但需要大量的构件, 例如, 对于 8 个光波长需要 96 个 1×6 或 6×1 的接线器。而且最好删除多路复用器、多路分用器和并行重复。与此同时, 多波长交换能减少交换元件和不需要波长多路复用器和多路分用器。

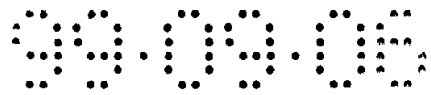
已知光(光子)接线器能有选择地将不同波长的信号转接到不同的输出端口。如图 3 所示, 这些接线器通常建立在 1×2 或 2×2 交换单元的基础上, 且大的接线器由小的交换单元构成。因此, 对于连接两个 SONET 环所需的 6×6 光子接线器而言, 需要颇大数量的这种交换单元。这种光子交换单元遇到了制造上的麻烦, 而且商业上还未获得将大量交换单元集成到单片基板上的商品。

因此, 迫切要求简化可在两自愈环间使用的光子接线器的结构。

本发明概述

本发明的一个方面可概括为两个或多个自愈光网络环间的互连, 其中, 因连接环的自愈结构而能简化互连。特别是, 因为接至互连的众多输入中的一些打算用作备份而不打算用作有选择的互连, 故通过删除即使在连接网络的任一个中出现故障情况下也不需要互连的输入和输出, 就能降低互连的复杂性。为 2 光纤和 4 光纤、单向和双向自愈环提供了交互连接的形式。

本发明的另一方面表明多个自愈环间的互连与多个环的自愈功能无关。因此, 当分离的装置在一个或另一个环中进行故障自愈时, 交叉连接的互连状态可保持不变。



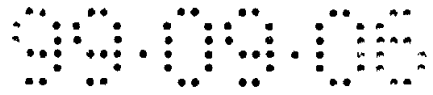
在两个自愈环间和对于其它应用的许多重要互连都可用至少一个 3x3 互连来实现。这样的 3x3 互连的优点是可用 4 个 2x2 互连来构成，成为广义无阻塞。对于在互连的插入/分出线路上可能出现的波长争用可通过将其扩大为 4x4 互连而加以消除。

这里提供一种算法，用于通过组成广义无阻塞的 3x3 互连的 4 个 2x2 接线器将转接状态分配给新路径。这种算法辨明 4 个 2x2 接线器的两种状态组合能与 3x3 互连从互连端口看的每个状态相关。还辨明完全连接的互连状态只可有 3 种重组，两种接线器状态组合之一提供可允许的转移。

附图概述

参照下面附图描述本发明：

- 图 1 为已有技术自愈通信环的网络图；
- 图 2 为表明能如何重组图 1 的环以免电缆切断毁坏通信的网络图；
- 图 3 为与通信环相连的已有技术插入/分出多路复用器的网络图；
- 图 4 为与光插入/分出多路复用器相结合的电子交换系统图；
- 图 5 为连接两自愈多波长环、特别是使用路径保护的环的节点网络图；
- 图 6 为考虑到图 5 和图 21 互连节点的最低要求的接线器的概示图；
- 图 7 为采用 3×3 接线器的图 5 网络所用简化环间交叉连接网络图；
- 图 8 为与图 7 类同的但采用 4×4 接线器的环间交叉连接网络图；
- 图 9 为带有自动保护倒换(APS)互连的两单向自愈环的网络图；
- 图 10 为图 9 网络采用 3×3 接线器的简化交叉连接网络图，当用 2×2 接线器构成时，为广义无阻塞；
- 图 11 为类同于图 10 但采用 4×4 接线器的简化交叉连接网络图；
- 图 12 为各采用 4 光纤的两互连双向自愈环(B-SHR/4)的网络图；
- 图 13 为采用 3×3 接线器的图 12 网络所用简化交叉连接网络图；
- 图 14 为类同于图 13 但采用 4×4 接线器的简化交叉连接网络图；
- 图 15 为各采用 2 光纤的两互连双向自愈环(B-SHR/2)的网络图；
- 图 16 为说明图 15B-SHR/2 网络的 SONET 时隙互换的简化网络图；
- 图 17 为图 19 网络中使用的 SONET 帧的定时图；
- 图 18 为说明图 15 B-SHR/2 网络的 WDM 波长互换的简化网络图；



- 图 19 为采用 3×3 接线器的图 15 网络所用简化交叉连接网络图；
图 20 为类同于图 19 但采用 4×4 接线器的简化交叉连接网络图；
图 21 为带有路径保护的 3 个互连单向自愈环的网络图；
图 22 为图 18 网络用的简化交叉连接网络图；
图 23 为带有路径保护 K 个互连单向自愈环的通用情况简化交叉连接网络图；
图 24 是 2×2 接线器的简化图；
图 25 为广义无阻塞 4×4 接线器的简化图；
图 26 为采用 2×2 接线器特别适用于多波长接线器的 3×3 广义无阻塞接线器简化图；
图 27 为图 26 3×3 接线器的独特转接用算法的示图。

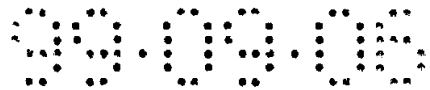
描述本发明

本发明辨明自愈环间的交叉连接需要的交叉连接点比第一次检验该交叉点连接的端口数所表明的少。其它发明特征可从此新结构中导出。

我们观察到并非图 6 接线器的所有功能都要连接图 5 中自愈环 10_1 、 10_2 ，这是由于工作和保护光纤间进行连接受到约束。虽然到目前为止对图 5 和图 6 的描述大部分非常一般，但图 5 的互连网将假定是以两单向路径保护自愈环 10_1 、 10_2 (U-SHR/2-PP)为基础的。

图 7 显示一种双环 U-SHR/2-PP 网络，即一种单向、双光纤、路径保护的自愈网络。环间节点 50 连接两通信环 52_1 、 52_2 。每个通信环 52_1 、 52_2 包含各自的工作光纤 54_1 、 54_2 和各自的保护光纤 56_1 、 56_2 。在该结构中，每个环的工作或保护光纤 54_1 、 56_1 或 54_2 、 56_2 通常传递绕行方向相反的完全相同的信号。请注意为方便起见，附图已交换了两环之间工作和保护光纤的内外位置。其它接入节点 12 沿各自的环 52_1 、 52_2 连接。节点 50 的 6×6 交换功能能用两个 3×3 接线器 60、62 完成。第一 3×3 接线器 60 有两个输入端和两个输出端连接到两环 52_1 、 52_2 的工作光纤 54_1 、 54_2 ，而第二个 3×3 接线器 62 以同样方式连接到两环 52_1 、 52_2 的保护光纤 56_1 、 56_2 。每个 3×3 接线器 60、62 还有一输入端接收各自的插入光纤 64、66 和一输出端发送到各自的分出光纤 68、70。

对于采用路径保护(PP)的自愈网络，由于工作光纤和保护光纤已经载送相等的信息，故不需要互连。具体而言，每个数据发送机在(1+1)保护方案中将



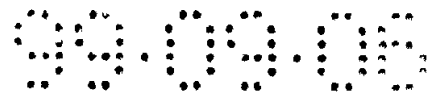
相同信号加给两组相关的工作和保护光纤。

图 7 PP 网络的一个 3×3 接线器 60 可视为工作交叉连接，而另一 3×3 接线器 62 为保护交叉连接。为了抗毁性，交叉连接控制器 72 需将两 3×3 接线器 60、62 同步设置到共同的转接状态，以便信号在两组工作光纤 54_1 、 54_2 和保护光纤 56_1 、 56_2 中流经相等的路径。因此，若在任一工作光纤 54_1 、 54_2 中发生故障，则保护光纤 56_1 、 56_2 已作好特定的互连并载送各内部/环间节点处接收机接收所需的信号，以致交叉连接控制器 72 在响应环故障时无需重设 3×3 接线器 60、62。该交叉连接控制器 72 只是在小时量级期间上响应业务负荷曲线中长时间变化而重设 3×3 接线器 60、62。当然，一旦已检测到环故障，通信业务能重新安排，然而该重新安排发生在该故障已成功地解决之后。该交叉连接控制器 72 接收来自未图示的网络控制器的重组命令，这些命令能按照控制协议在插入/分出线 42_1 、 42_2 上被接收，该协议是本发明外的事。两个 3×3 接线器 60、62 的共同状态配置大多包含共用交叉连接控制器 72，即另一备份设计中的单点故障源。然而，通过双重配置两接线器 60、62 可排除图 6 单一 6×6 交叉连接中内在的单点故障。

对于图 7 简化 PP 交叉连接 50，一网络中不工作的工作或保护光纤不会将数据加给另一网络上对应的光纤。结果，这种 PP 设计可允许每一环到整个网络任何地方的故障与故障发生位置有关。相反，按照下文的讨论，APS 网络可允许各故障与该故障位置无关。

通过用图 7 中两 3×3 接线器 60、62 构成图 6 的 6×6 交叉连接可获得简化，但要付出失去某些功能的代价。虽有两对插入/分出线 64、66、68、70，但只有一对光纤 64、68 用于工作光纤 54_1 、 54_2 。结果是，在任何时间只有给定波长的单一信号可从两环 52_1 、 52_2 的组合分出和该波长的单一信号可插入到该组合。对互连环通信业务(环间通信业务)没有限制。在环间接入节点 50 通过插入/分出线 64、66、68、70 接入网络时，这种限制只会加给对用户的通信业务。与不同环 52_1 、 52_2 连接的两用户 12 不能对环间接入节点 50 分出同样的波长，该节点 50 的用户不可能用同样的波长建立与不同环 52_1 、 52_2 用户的连接。这种限制对环间接入节点 50 的收发通信业务可能产生某种附加阻塞。

若要在环间接入节点 50 插入或分出的相同波长的两信号之间避免干扰，需实现多环间控制器控制下的双环控制算法，解决这种两环 52_1 、 52_2 间的波长争

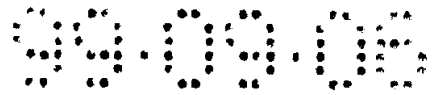


用。这种主控算法试图对环 52_1 、 52_2 的一个或另一个重新分配波长，避免这种中插入/分出争用。

如图 8 网络图所示，采用稍加简化的 PP 交叉连接 74，该连接包括两 4×4 接线器 76、78，每个接线器具有一对各自的插入线 64_1 、 64_2 或 66_1 、 66_2 和一对各自的分出线 68_1 、 68_2 或 70_1 、 70_2 ，这样可解决环间节点 84 对插入/分出信号的波长阻塞问题。在硬件要求方面， 4×4 接线器虽比 3×3 接线器高，但由于两环 52_1 、 52_2 在它们之间无需调整哪个在环间节点 74 以特定波长分出或插入信号，故硬件的复杂赢得了网络控制算法方面的大大简化。两插入线 64_1 、 66_1 和两分出线 68_1 、 70_1 可专用于第一环 52_1 ，而另两插入线 64_2 、 66_2 和另两分出线 68_2 、 70_2 可专用于另一环 52_2 。硬件复杂性的增加不会减轻环间阻塞问题和与其关联的达到跨越多环的波长进行分配的控制问题，但能解决从位于同一环中节点 12 到达环间节点 74 的环内阻塞问题。如果环间节点 74 和环 52_1 、 52_2 之一内的另一节点 12 间存在路径，则管理算法无需考虑环 52_1 、 52_2 的另一环中存在的波长分配是什么。

图 9 所示另一自愈环网络是带有自动保护倒换 (U-SHR/2-APS) 的两光纤单向自愈环。交叉连接 84 连接两环 52_1 、 52_2 ，两环 52_1 、 52_2 分别包含工作光纤 54_1 、 54_2 和保护光纤 56_1 、 56_2 。正常工作时，只有两环 52_1 、 52_2 中工作光纤 54_1 、 54_2 载送数据以便数据按图示顺时针单向传送。对于采用自动保护倒换 (APS) 的自愈网络，APS 设备与环 52_1 、 52_2 的每个节点 12 相连，包括当发生故障时，使各环 52_1 、 52_2 中工作光纤 54_1 、 54_2 与相关保护光纤 56_1 、 56_2 互连的环间节点 50。传统的 APS 设备从 SONET 开销检测电缆断裂或节点故障，此后，在工作和保护光纤之间能形成图 2 所示的链路 22、24。对所有波长进行链接，从而不需要波长选择 APS 接线器。对于多波长环，可采用另一些 APS 形式，如检测工作光纤的光功率。如果一环 52_1 、有一断裂 20，则 APS 设备迅速形成链路 22、24，使数据重选路由到保护光纤 56_1 ，从而避开断裂 20。只有连接到各自插入/分出端口的单一插入线 80 和单一分出线路 82，在两 APS 环 52_1 、 52_2 之间与交叉连接 84 连接，从而这种简化再次带来限制在两环上同时插入或分出相同波长的约束。

最广义地观察，这种两光纤 APS 应当是 6×6 接线器，对于 8 波长 WDM 系统需要 8 个 6×6 接线器。然而，我们观察到在任何环接入节点 12 或在交叉连接 84 仅进行桥接工作光纤断开部分，不需要倒换保护光纤 56_1 、 56_2 ，而只有自动



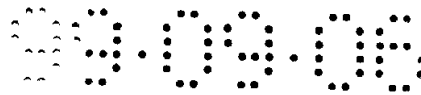
保护系统 22、42 需要保护性倒换。也即，交叉连接 84 决不会对保护光纤 56₁、56₂ 进行转接。由于可激活邻近交叉连接 84 的 APS 链路，故即使对从节点 12 交叉连接 84 路径中的线路故障也允许这种约束。因此，如图 10 网络图所示，交叉连接 84 可用一 3×3 接线器 86 完成，该接线器 86 具有来自两工作光纤 54₁、54₂ 和来自插入线路 80 的输入端，还具有至两工作光纤 54₁、54₂ 及至分出线 82 的输出端。两保护光纤 56₁、56₂ 永久性连接在 3×3 接线器 86 周围。3×3 交叉连接 86 的控制器未图示。

如图 11 中网络图所示，利用稍加简化的交叉连接 87 (包括与两插入线 80₁、80₂ 和两分出线 82₁、82₂ 相连的 4×4 接线器 88，这些插入、分出线分别连接插入和分出端口)，可消除插入/插入地线路在采用 3×3 接线器的环间交叉连接的波长争用问题。

前面图 5 和图 9 中所示互连自愈环的实施例在数据通常按给定方向绕环传播的意义上，两者都呈单向的 (虽然在 1+1 结构中，在两方向中传送相同数据)。反向旋转环仅用于保护。单向环可结构简单，但不能充分利用网络的带宽，这种带宽由节点电子带宽确定。如果单向环中两相邻节点 12 交换大量数据，在到达所需节点之前，数据在一方向中只需通过环的一小部分，而在第二方向中该数据需跨越环中所有其它节点。结果是，单向 WDM 环时的频率重复应用使总容量仅稍微增加。另一方面，在双向环中，两工作光纤绕环一周，提供两反方向传播路径，连接任何节点对。对特定的话路选择哪条工作光纤，这可取决于众多因素，但服从一条规则：应选择具有最短路径的工作光纤。

这种控制协议会使最大传输距离减半，且特别相邻节点交换的话务量大于分离节点时，可有效实现频率重复应用。

在图 12 中，画出一一种由交叉连接 92 互连两个 4 光纤双向 APS 自愈环 90₁、90₂ 的互连 WDM 网络。每个环 90₁、90₂ 包括和各自的顺时针传播工作光纤 94₁、94₂ 和各自的反时针传播工作光纤 96₁、96₂。与各工作光纤 94₁、94₂、96₁、96₂ 相连的是并行但反时针传播的保护光纤 98₁、98₂、100₁、100₂。与两环 90₁、90₂ 的节点 12 相连的未图示的自动保护接线器，当检测到光纤断裂或节点故障时，有选择地将信号从工作光纤 94₁、94₂、96₁、96₂ 之一环流至与它相连的保护光纤 98₁、98₂、100₁、100₂。也即，用线路交换治愈断裂或节点故障。交叉连接 92 包括两插入光纤 102₁、102₂ 和两分出光纤 104₁、104₂，连接各自的插入/分出口，能使



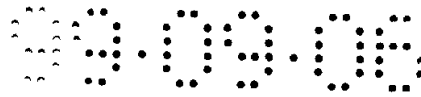
交叉连接 92 从两环 90_1 、 90_2 独立地进行插入和分出。

图示说明 WDM 的 B-SHR/4 交叉连接 92 需要波长选择 10×10 接线器。然而，如果交叉连接 92 按图 13 所示用两 3×3 接线器 106、108 构成，则几乎所有功能都能保持，每个接线器对两环 90_1 、 90_2 每一个中工作光纤 94_1 、 94_2 、 96_1 、 96_2 之一及一对插入/分出光纤 102_1 、 102_2 、 104_1 、 104_2 进行转接。正如图 9 的 APS 实施例，保护光纤 98_1 、 98_2 、 100_1 、 100_2 不直接通过交叉连接 92 转接，因而旁路 3×3 接线器 106、108。如图所示，虽然第一 3×3 接线器 106 将反时针传播光纤 96_1 、 96_2 相互转接和第二 3×3 接线器 108 将顺时针传播光纤 98_1 、 98_2 相互转接，但在两环中正、反时针方向的信号正好方便地被相互转接。未图示的控制器分开控制两 3×3 接线器 106、108 的转接状态。

图 13 中简化的环间交叉连接受到图 12 通用 10×10 接线器的两种约束。在第一环中一工作光纤传输的信号不能有选择地转接到另一环工作光纤的任一条。固定光纤连接确定哪两条光纤能相互转接。这种约束并不限定交叉连接功能，而是指第二节点始终不能使用到所需目的节点的最短路径。这可能非主要地影响少量互连环，而链中大量互连环不支持提供最短路径的 4 光纤结构。同样，各 3×3 接线器 106、108 只能分出(或插入)一个给定波长的信号。因而信道分配协议必须保证交叉连接中要分出的相同波长两话路引向不同的 3×3 接线器 106、108。

相应的无冲突结构示于图 14 画出的网络图中。稍加简化的交叉连接 92' 包括两个 4×4 接线器 106'、108'，都具有上文描述的至环 90_1 、 90_2 的连接。插入/分出线路数量加倍，以便在它的插入/分出端口 4×4 接线器 106' 接收两插入线路 102_{1-1} 、 102_{1-2} 和发送给两分出线路 104_{1-1} 、 104_{1-2} ，另一 4×4 接线器 108' 接收两插入线路 102_{2-1} 、 102_{2-2} 和发送给两分出线路 104_{2-1} 、 104_{2-2} 。由此，任一环 90_1 、 90_2 可在环间节点 92' 插入或分出信号，与另一环无关。

如图 15 所示，一种双向路径保护自愈环可另外只用两光纤构成(B-SHR/2-PP)。每个环 110_1 、 110_2 包括各自的在顺时针方向中传播的光纤 112_{1A} 、 112_{2A} 和在反时针方向中传播的并行光纤 112_{1B} 、 112_{2B} 。两环 110_1 、 110_2 由交叉连接 114 互连，该交叉连接 114 也连接到两插入光纤 102_1 、 102_2 和两分出光纤 104_1 、 104_2 。请注意，图 9 和图 15 的网络虽拓扑结构类同，但功能不同。前者是单向；后者是双向。在图 15 双向实施例中，所有环光纤 112_{1A} 、 112_{1B} 、 112_{2A} 、 112_{2B} 由于正



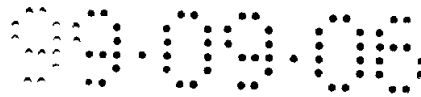
常状态下它们载送数据，故认为是工作光纤，且正常时数据不复现在反向传播的光纤上。然而，正常时各光纤工作在其容量的一半或更少，以便一半容量留作备份。

已往，由这种结构提供的路径保护是通过减少 SONET 环中容量和通过只使用一半 SONET 时隙来完成的。如图 16 网络图中所示，发送机 12_T 将 SONET 信号发送到包括反时针传播光纤 112_A 和 112_B 的 SONET 环上的接收机 12_R 。可看到发送机 12_T 和接收机 12_R 是节点 12 的部分，还能在反向中接收和发送。正常工作时，如图 17 所示，发送机 12_T 发送第一 SONET 帧 DATA1 到顺时针光纤 112_1 ，并发送第二 SONET 帧 DATA2 到反时针光纤 112_B 。然而按照图 17 帧结构所示，正常工作时，发送机 12_T 只使用一半 SONET 数据时隙 113，留下另一些空时隙 E 为空。图 17 未图示 SONET 的开销时隙。在光纤断裂 20_1 或 20_2 或介入节点的故障情况下，接收机 12_R 检测光纤 112_A 、 112_B 哪条中止接收并通知发射机 12_T 从发射机 12_T 至接收机 12_R 发送的哪一光纤 112_A 、 112_B 上出现了故障，也即，是故障 20_1 还是故障 20_2 。不言而喻，双故障 20_1 和 20_2 将隔离发射机 12_T 和接收机 12_R 。响应测定的哪一光纤出现故障，发送机 12_T 使用空时隙 E 将两 SONET 帧来的数据组合到单帧 DATD1+DATA2，并将组合后的帧 DATD1+DATA2 发送到无故障光纤。

然而，在 WDM 网络中，减少容量可更直接在波长范围内完成。如，按照图 18 网络图所示，对于 8 波长 WDM 网络，发送机 12_T 一般只发送一半 WDM 波长，如 $\lambda_1 \cdots \lambda_4$ ，到第一光纤 112_A ，而发送另 4 个波长 $\lambda_5 \cdots \lambda_8$ 到另一光纤 112_B 。然而，在故障 20_1 情况下，接收机 12_R 在给定波长的传输中检测该故障，并通知发送机 12_T 该故障位置，该位置用波长标识。发送机 12_T 作出响应，开始向可用作链路的无故障光纤 12_A 发送所有 8WDM 波长 $\lambda_1 \cdots \lambda_8$ 。这种转换可在光范畴内完成，而无需按照在 SONET 帧中交换时隙的要求对电范畴进行多路分用。

所加约束条件为：从有故障的环传递到另一环的波长可安置到一般不分配这些波长的光纤上，而且必须将这种重组通知第二环中接收机。根据比约束条件，由于载送不同波长的信号，故决无理由要将信号从一环上顺时针传播的光纤转接到另一环上反时针传播的光纤。当然，差别不涉及旋转方向而涉及载送波长的设置。

限定交换的结果，交叉连接 114 可从最明显的图 15 的 6×6 接线器 114 减少到图 19 所示的一对 3×3 接线器 116、118 — 3×3 接线器 116 连接到载送 4



波长 $\lambda_1 \cdots \lambda_4$ 的两条顺时针传播光纤 112_{1A} 、 112_{2A} 以及连接到一对插入/分出光纤 102_1 、 104_1 ，而另一 3×3 接线器 118 连接到载送另 4 个波长 $\lambda_5 \cdots \lambda_8$ 的两条反时针传播光纤 112_{1B} 、 112_{2B} 。这种简化的优点在于，虽然在故障情况下若环间节点(交叉连接) 114 可独立接入所有 8 个波长则每个 3×3 接线器 116 、 118 需要能转接所有 8 个波长，但在正常工作时 3×3 接线器 116 、 118 仅需转接 4 个波长而不是 8 个波长。该简化产生有用的制约，即两个相同波长的信号在交叉连接 114 不能插入或分出。

一未图示的与图 7 控制器 72 类同的控制器控制两个 3×3 接线器 116 、 118 的转接状态。在 WDM 网络中，两个 3×3 接线器 116 、 118 控制成同样的转接状态，尽量使给定环 110_1 、 110_2 中给定 WDM 波长的信号由任一接线器 116 、 118 同样转接，信号经过哪个接线器无关。正常工作时，在各 B-SHR/2 环 110_1 、 110_2 中，一光纤 112_{1A} 、 112_{1B} 将一半 WDM 信号载送到一 3×3 接线器 116 ，另一光纤 112_{2A} 、 112_{2B} 将另一半 WDM 信号载送到另一 3×3 接线器 118 。结果在各 3×3 接线器 116 、 118 只有一半相配的控制信号有效。然而在故障状态下，所有 WDM 波长信号载送在一光纤上并进入 3×3 接线器 116 、 118 之一，所有需要的转接状态控制信号已在那 3×3 接线器 116 、 118 可获得。

对于其它实施例，如图 20 网络所示，借助交叉连接 $114'$ 可消除交互环节点 114 的争用问题，该交叉连接 $114'$ 包括具有上文描述的至两个环 110_1 、 110_2 的连接的两个 4×4 接线器 $116'$ 、 $118'$ ，两个接线器 $116'$ 、 $118'$ 还具有附加的插入/分出线路。具体而言，第一 4×4 接线器 $116'$ 接收一对插入线路 101_{1-1} 、 102_{1-2} 并发送到一对分出线路 104_{1-1} 、 104_{1-2} 。同样，第二 4×4 接线器 $118'$ 接收一对插入线路 102_{2-1} 、 102_{2-2} 并发送到一对分出线路 104_{2-1} 、 104_{2-2} 。如果连接所有 8 路插入/分出线路的端口能适应所有 WDM 波长，则可消除环间节点 $114'$ 的波长争用问题，而且可简化自愈算法。

对不同自愈环将交叉连接 XC 和接线器 SW 的元件合计数列于表 1 中。该表以交叉连接中单对插入/分出线路为基础，导致采用 3×3 接线器。

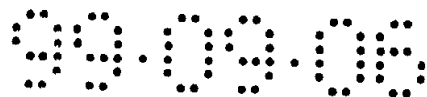
环 接线器	U	U	B	B
	SHR/2	SHR/2	SHR/2	SHR/4
	APS	PP	PP	APS
6×6 XC	1	1	1	-
10×10 XC	-	-	-	1
1×6 Sw	12W	12W	12W	-
1×10 Sw	-	-	-	20W
3×3 XC	1	2	2	2
1×3 Sw	6W	12W	12W	12W
2×2 Sw	4W	8W	8W	8W
Mux/Demux	2	4	4	4
2×2 m_λ Sw	4	8	8	8

表 1

在该表中，假定交叉连接 XC 能独立转接所有 W 个 WDM 波长，并假定简单的接线器 SW 不能区分不同的波长。这种简单接线器需要附加的多路复用器和多路分用器。然而，一个多波长接线器 m_λ Sw 假定能独立地转接不同 WDM 波长。在多波长接线器为采用不同物理波长级的机械激励型的情况下，需要多路复用器和多路分用器。

如果取用 4×4 接线器来防止环间节点的波长争用，则如下表 2 所示，部件合计数有很大的增加。

环 接线器	U	U	B	B
	SHR/2	SHR/2	SHR/2	SHR/4
	APS	PP	PP	APS
6×6 XC	1	1	1	-
10×10 XC	-	-	-	1
1×6 Sw	12W	12W	12W	-



1×10 Sw	-	-	-	20W
4×4 XC	1	2	2	2
1×4 Sw	8W	16W	16W	16W
2×2 Sw	8W	16W	16W	16W
Mux/Demux	4	8	8	8
2×2 mλSw	8	16	16	16

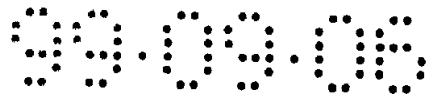
表 2

例如，不是要求用 4 个 2×2 接线器构成 3×3 广义无阻塞接线器，而是要求用 8 个 2×2 接线器构成 4×4 广义无阻塞接线器。如果接线器不是多波长，这些数乘以 WDM 波长数 W。不言而喻，附加插入/分出线路需要它们自身的发送机和接收机。

互连可抗毁环结构常应用于现有网状网络，该网络在现有主中心局具有一些大型网枢，主中心局具有在一些方向中延伸的光纤中继线。结果是，两个以上的环可通过网枢，且有利于使用单个交叉连接在三个以上环之间进行转接。将开发 3 路径保护单向自愈环(U-SHR/PP)，此开发案例将被推广为 K 个这样的环。

U-SHR/PP 结构将所有信号加给工作光纤和保护光纤两者。应用于 U-SHR/PP 环互连的概念很容易延伸到其它类型的环。

如图 21 所示，单个交叉连接 120 使三个环 122₁、122₂、122₃ 互连，每个环包括各自的工作光纤 124₁、124₂、124₃ 及各自的保护光纤 126₁、126₂、126₃。选择性连接还延伸到两个分出/插入线路群，每群包含各自的分出光纤 128₁、128₂ 和各自的插入光纤 130₁、130₂，它们一起在交叉连接 120 提供接入节点。需要两对分出、插入光纤是由于在路径保护中工作和保护光纤两者都要分出/插入。如图所示，交叉连接 120 需要 8×8 波长选择接线器。如图 22 所示，交叉连接 120 对单向路径保护环可简化为两个 4×4 接线器 132、134。有一个 4×4 接线器 132 连接所有 3 条工作光纤 124₁、124₂、124₃ 及第一对插入/分出光纤 128₁、130₁ 的两端；第二 4×4 接线器 134 连接所有 3 条保护光纤 126₁、126₂、126₃ 及第二对插入/分出光纤 128₂、130₂ 的两端。虽然为方便起见，第二环 122₂ 画作实质上包



括在第三环 122_3 的里面, 但这两环一般希望在不同地理区延伸。在任何情况下, 环的拓扑结构与本发明不发生直接关系, 且它们几乎可表现为任何拓扑结构。

可见图 22 的自愈互连环网络与图 7 的不同点在于互连 3 个环的 4×4 接线器 132、134 替代了互连两个环的 3×3 接线器 60、62。

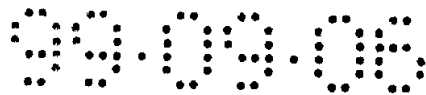
互连 4 个 U-SHR/PP 环需要 10×10 交叉连接。但这可简化为 2 个 5×5 接线器。总之, 互连 K 个 WDM U-SHR/PP 环需要 $(2K+2) \times (2K+2)$ 个交叉连接。但如图 23 所示, 这可简化为互连 K 个环的 2 个 $(K+1) \times (K+1)$ 接线器 140、142, 这些环包含各自的工作和保护光纤对 144_1 、 144_2 、…… 144_k 。第一接线器连接 K 路工作光纤和第一对插入/分出光纤 128_1 、 130_1 , 而第二接线器 142 连接 K 路保护光纤和第二对插入/分出光纤 128_2 、 130_2 。

同样的推广过程可应用于具有不同于 U-SHR/PP 布局的两个以上环之间的交叉连接。表 3 列出了上面详细讨论的 4 个网络实施例所需交叉连接类型及数目。

环类型	U	U	B	B
	SHR/2 APS	SHR/2 PP	SHR/2 PP	SHR/4 APS
双环	1 个 3×3	2 个 3×3	2 个 3×3	2 个 3×3
三环	1 个 4×4	2 个 4×4	2 个 4×4	2 个 4×4
K-环	1 个 $(K+1) \times$ $(K+1)$	2 个 $(K+1) \times$ $(K+1)$	2 个 $(K+1) \times$ $(K+1)$	2 个 $(K+1) \times$ $(K+1)$

表 3

图 21-24 所示高阶交叉连接和表 3 给出的部件合计数由于缺少插入/分出线路, 面临环间节点始发信号或终接信号的波长阻塞。这种争用可通过增大接线器 132、134 的规模为各个互连环提供一插入线路和一分出线路来消除。对于互连 3 个环, 为消除阻塞需一个或两 6×6 接线器。同样, 对于互连 K 个环需一个或两个 $2K \times 2K$ 接线器。概括表 3 内容可见, 是需要一个还是需要两个接线器取决于自愈环结构的类型。



如果在环间节点容许一些波长阻塞，那么上面提到的在两自愈 WDM 环之间交叉连接可简化为 3×3 多波长光接线器。一个 3×3 接线器可用 3 个 1×3 接线器和 3 个 3×1 接线器构成，总共 6 个接线器；但是，认为该数量过大，尤其是对于成本敏感的设计。

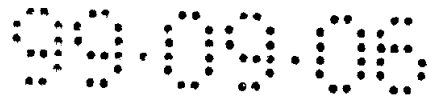
更基本的结构是 1×2 光接线器，它能将一输入转接到一般依赖于非线性交互作用的两输出之一。该结构有时可逆变形为 2×1 接线器，4 个这样的接线器可组合成一个 2×2 接线器。其它技术，如声光可调滤波器和液晶接线器等很容易构成如图 24 所示接线器 150 那样的 2×2 接线器，作为基本部件已参照图 3 进行了说明。这样的 2×2 接线器能低成本制造，实施方便，较容易得到。

如图 24 所示， 2×2 接线器 150 有两个光输入 152、154 和两个光输出 156、158。该接线器有两种状态，在直通状态下，上面光输入 152 连接到上面光输出 156，下面光输入 154 连接下面光输出 158。在交叉状态下，连接反转，结果上面光输入 152 连接下面光输出 158，下面光输入 154 连接上面光输出 156。设计良好的接线器其所选信道之间的串音是极小的。多波长接线器的优点在于转接是在光范畴内完成的，且接线器能独立且同步地转接不同波长的光信道。

高阶光接线器一般用多级 2×2 接线器来构成。例如，图 25 示出一种 4×4 光接线器，包括 8 个 2×2 接线器 150 配置成 4 级，经过图示内部连接将 4 个光输入 160 连接到 4 个光输出 162。Hinton 在“光子交换结构导论 (An Introduction to Photonic Switching Fabrics)”(Plenum, 1993, pp. 90, 91) 一文中揭示，这种网络是广义无阻塞网络，他还提供这种网络的路由算法的指南。特别是当中 4 个 2×2 接线器 150 决不会处在相同状态。再请参看 Bene' 等人的“广义无阻塞网络和一些敛集算法 (Wide-Sense non-blocking network, and some packing algorithms)” (Electronics Letters, Vol. 17, 1981, p. 697) 的论文。所谓 Bene' 网络有一个较小的 2×2 接线器级，但只提供一种可重排无阻塞接线器，也即，这种接线器使任何输入的任何组合可单独连到任何输出，但该接线器的新路径可要求重排现有路径。

图 25 的 4×4 广义无阻塞网络可用于无争用交叉连接所描述的 4×4 接线器。也可用于构成 3×3 接线器，但需要 8 个 2×2 接线器。最好是为需要较少元件的 3×3 接线器寻找一种交换网络。

如表 4 所示， 3×3 接线器有 6 个状态。对于 WDM 光接线器，有六个这种状



态用于各波长。

状 态	输 入		
	1	2	3
	输 出		
a	1	2	3
b	1	3	1
c	3	2	1
d	2	1	3
e	2	3	1
f	3	1	2

表 4

图 26 表明 3×3 接线器的广义无阻塞结构。广义无阻塞接线器是这样的接线器，该接线器在任何情况下均获得可从任一状态转移到另一状态而不会中断通过预先存在且本身不需改变的连接的业务。为实现广义无阻塞需要一种巧妙算法。这种广义无阻塞 3×3 接线器包括 4 个 2×2 接线器 164_1 、 164_2 、 164_3 、 164_4 ，配置成级联结构，用图示的内部连接将 3 个输入 166_1 、 166_2 、 166_3 连到 3 个输出 168_1 、 168_2 、 168_3 。在 WDM 网络中， 2×2 接线器 164_1 、 164_2 、 164_3 、 164_4 是全光接线器为好，最好是多波长接线器。关于图 26 中输入 166 和输出 168 的下标可用来以数字标识表 4 中的输入或输出。同样，接线器 164 的下标可用来提供下文要引述的表 5 中接线器的排序。例如，表 5 中状态“a”列出为 (0101)。第一个“零”是指第一个接线器 164、处于直通状态。在同一位置中的“1”是指它处于交叉状态。在图 19 的 3×3 接线器 116、118 的前后关系中可见，输入 166_1 、 166_2 和输出 168_2 、 168_3 连到环光纤 112_{1A} 、 112_{1B} 或 112_{2A} 、 112_{2B} ，而输入 166_3 连接插入波长多路复用器 170，输出 168_1 连到分出波长多路分用器 172。插入线路 102_1 、 102_2 是输入多路复用器 170 的 W 条光纤的束，分出线 104_1 、 104_2 是从多路分用器 172 输出的 W 条光纤的束。

可删除一个 2×2 接线器 164，但此 3×3 接线器就不是广义无阻塞的，其先

前的连接可能需要中断以对新允许的连接作重新安排，在此意义上说，该 3×3 接线器只不过是可重排无阻塞的。

现在将开发一种算法，示出如何为图 26 交换交换系统选择 2×2 接线器的 4 种状态以获得广义无阻塞 3×3 接线器状态。 3×3 接线器的广义无阻塞要求当其它两个连接发生变化或至少建立时保持一个输入至输出的连接。这种法由具有连接 4 个 2×2 接线器 164_1 、 164_2 、 164_3 、 164_4 的控制线路的控制器 170 执行。

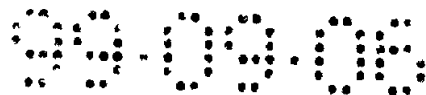
从组合数学或简单查阅表 4 可见各状态 a、b、...f 到其它状态(其中一个连接保持)只能经历 3 个可能的过渡。4 个开头 64 的每一个可设定为两种状态之一。直通状态用 0 表示，而交叉状态用 1 表示。4 个 2×2 接线器 164 作为整体可有 16 种状态组合。选择其中的 12 种，表 4 中 6 个 3×3 接线器的每一状态对应 2 种，它们标注为 A、A'、B、B'...F'，并示于表 5 中。

A	(0101)	A'	(1010)
B	(1011)	B'	(0100)
C	(1110)	C'	(0111)
D	(1101)	D'	(0010)
E	(1111)	E'	(0110)
F	(1100)	E'	(0011)

表 5

在该表中，行表示 3×3 接线器状态，两组允许的 2×2 接线器组合列在第二和第四列中。每行的一对 3×3 接线器状态表示 2×2 接线器状态的不同组合，但对给定的 3×3 接线器的输入产生相同的输出。

所需的算法可用图 27 的几何结构表示，可称为 2 级六角形或六角柱。开头状态组合 A、A'、B、B'...F' 用该六角柱的顶点(角)标注，其互补组合，如 A、A'，在不同面(六角面)的相对顶点上。允许的转移用六角柱的单边标注。例如，状态组合 A 可转移到状态组合 B'、C'、D 的任一种而不能转移到其它状态组合。任何其它转移不仅中断所建立的连接，而且断应当保持的连接。



因此，要在表 4 中任意两 3×3 状态之间转换，必须知道表 5 中预先存在的状态组合。例如、要在表 4 中状态 a、b 之间转移，必须知道表 5 中最初状态组合是 A 还是 A'，以便识别所有 4 个 2×2 接线器的布局。假定最初接线器组合是 A，那么允许的转移是到 B'，要求第四个 2×2 接线器 164_4 从交叉状态切换到直通状态，而 3 个接线器 164_1 、 164_2 、 164_3 首先分别保持直通、交叉和直通。因此，第一输入 166_1 和第一输出 168_1 之间的连接保持而不中断。虽然从状态组合 A 转换到 B 已产生输出 166 与输出 168 之间的最后所需连接，但因为过渡的路径已重组而会瞬间中断保持的连接。另一方面，如果最初接线器组合是 A'，那么算法表明是转移到接线器组合 B。我们认为表 5 提供的状态和图 27 的转移安排，虽然可能得到等效组合，但对于产生广义无阻塞转移是唯一的。

虽然是在光网络范畴中说明了上述本发明，但它的许多特征可应用于电网络。

因此，本发明为互连自愈环，特别是载送 WDM 通信的光纤环的通信网络提供一些重要改进。由于辨明通过互连的许多数据路径无需互连，故实质上减少了网络的复杂性。结果，互连规模可足够小，从而可获得简单的构件。尤其是对于两个互连环，一或两个 3×3 接线器就足够了。本发明还提供由 4 个 2×2 接线器构成的广义无阻塞 3×3 接线器。这种简单接线性可用作波长选择光交叉连接，可在不同方向中转接选择的光波长。由此，本发明提供一种可用于 WDM 通信网络的简单接线器，其中，在两自愈环间的连接无需变换到电范畴。



说明书附图

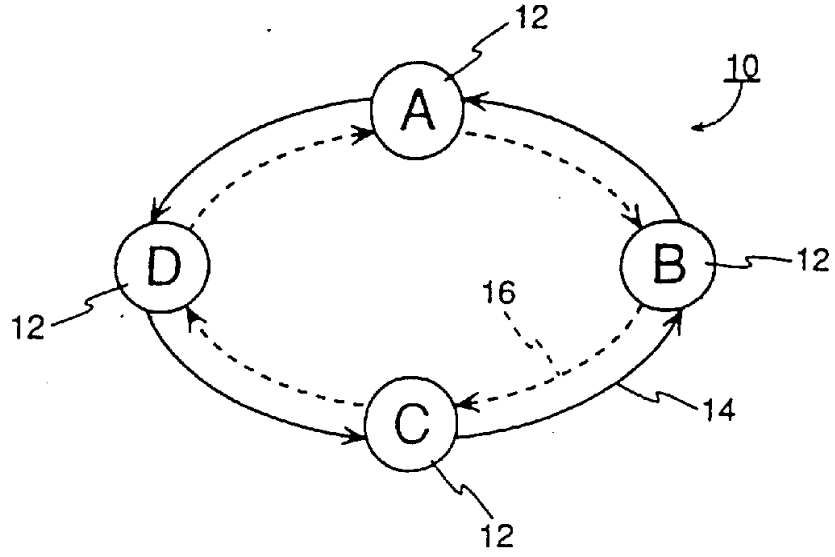


图 1
(已有技术)

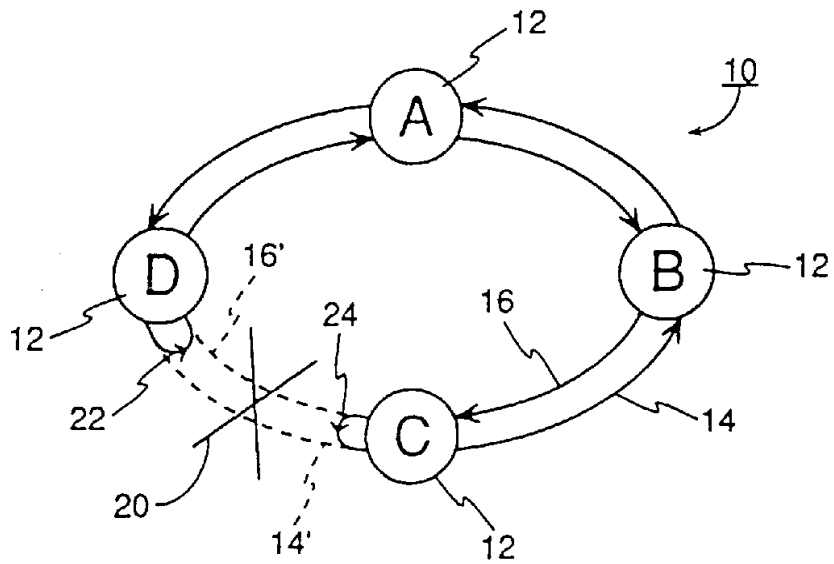


图 2
(已有技术)

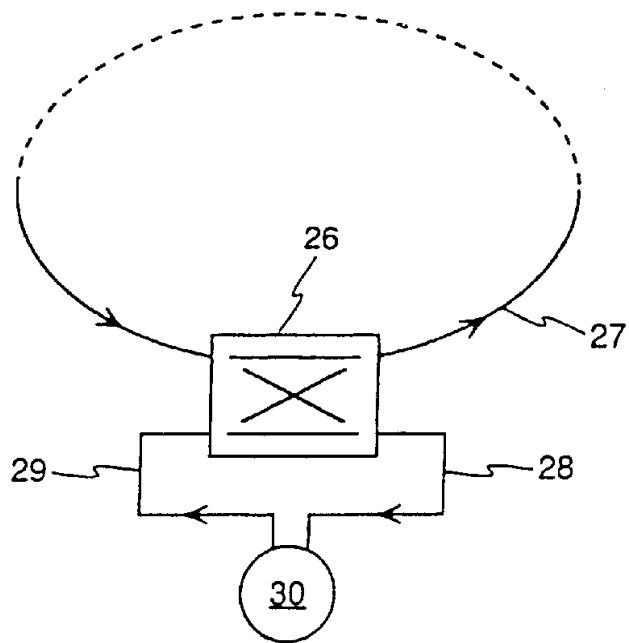


图 3
(已有技术)

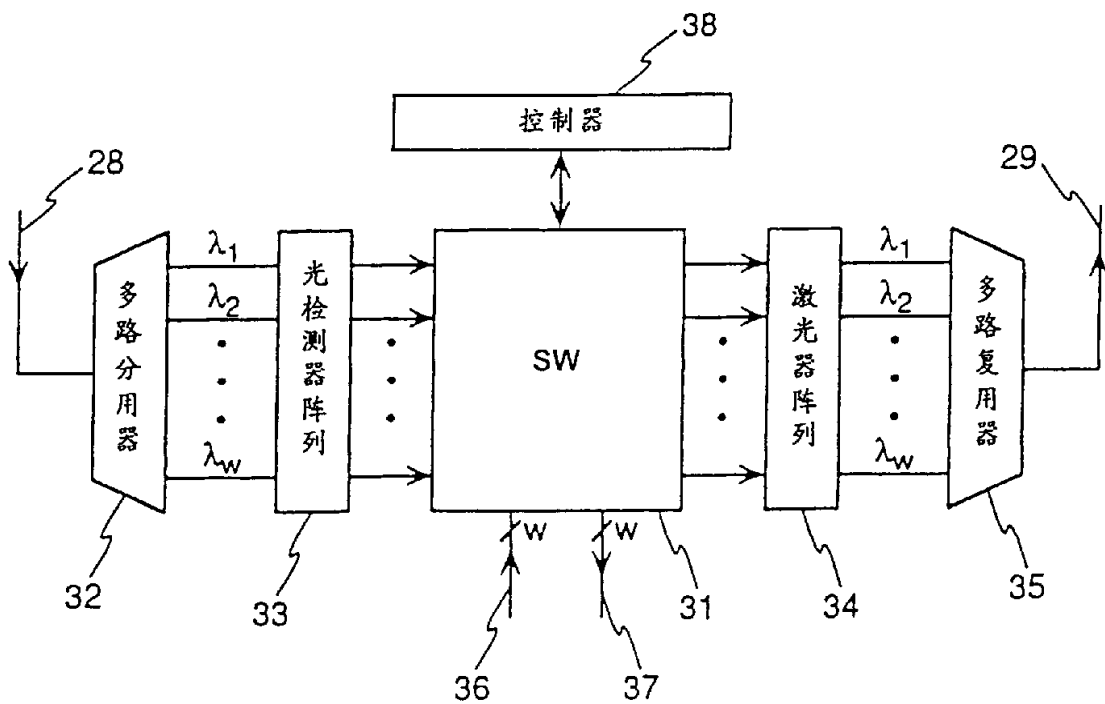


图 4

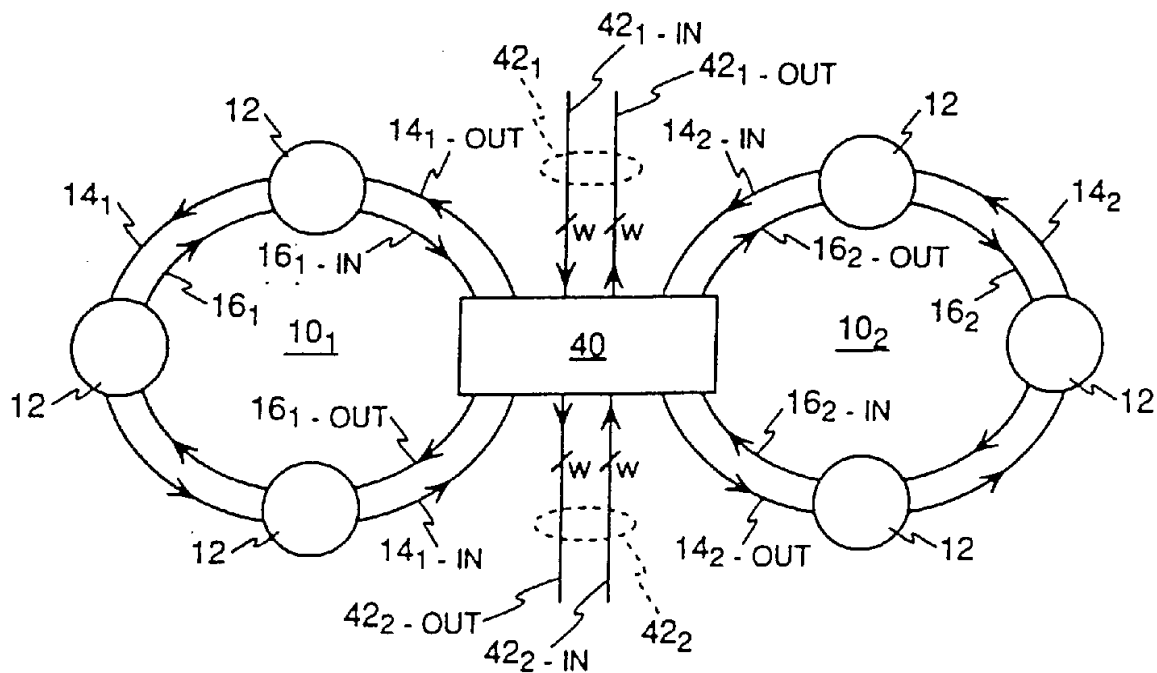


图 5

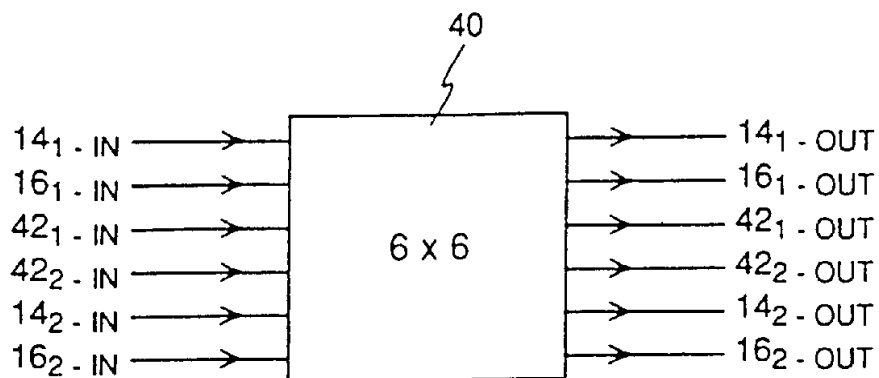


图 6

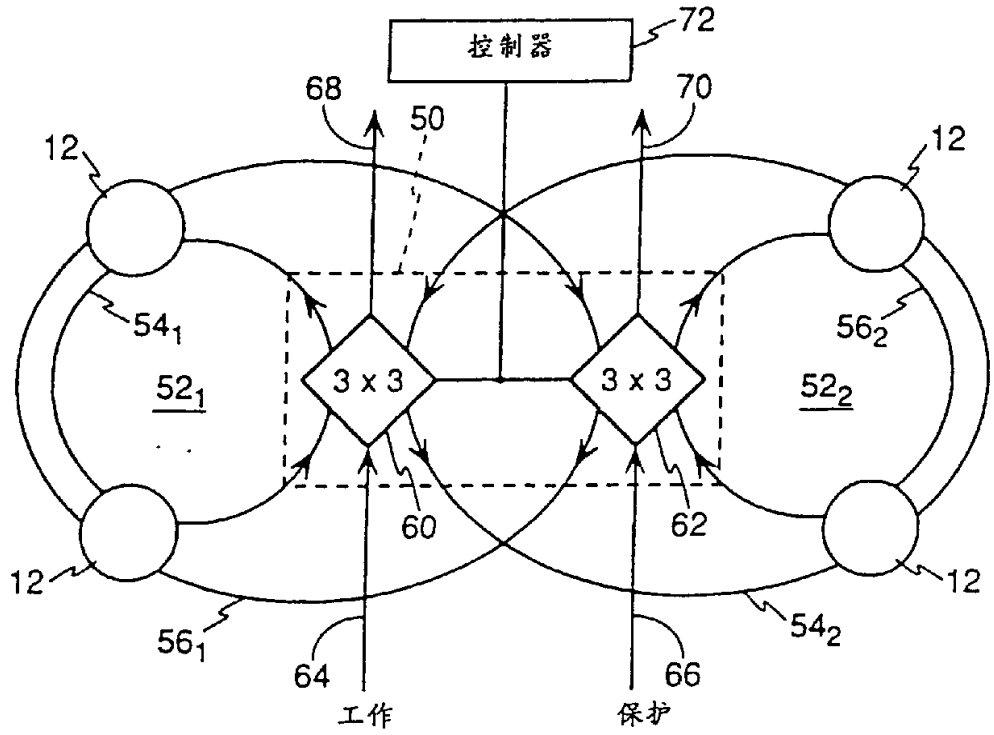


图 7

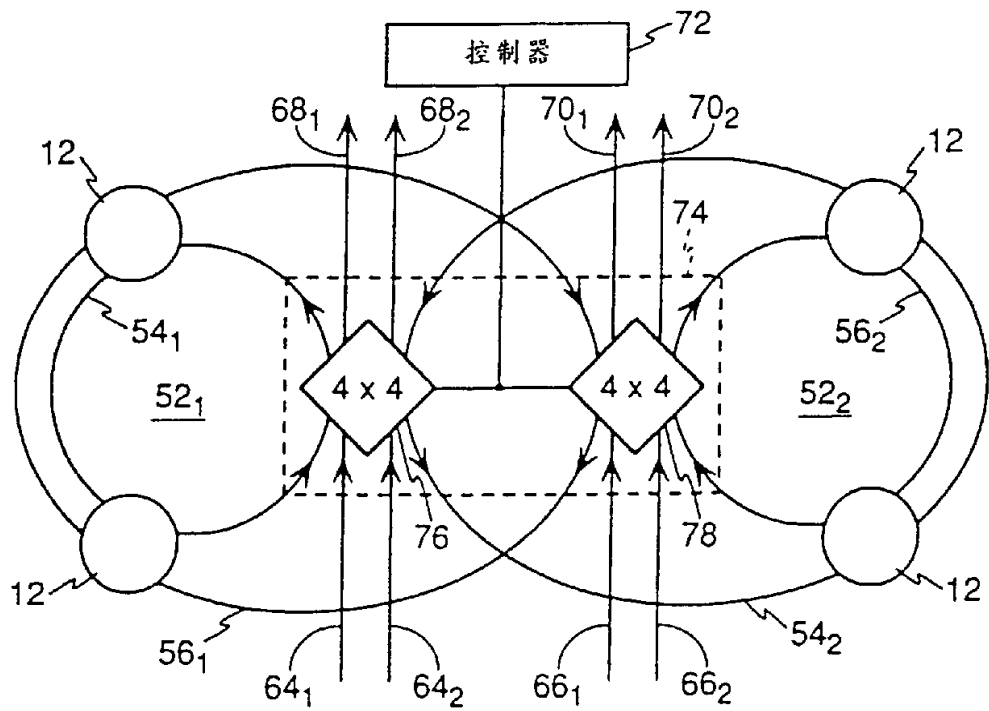


图 8

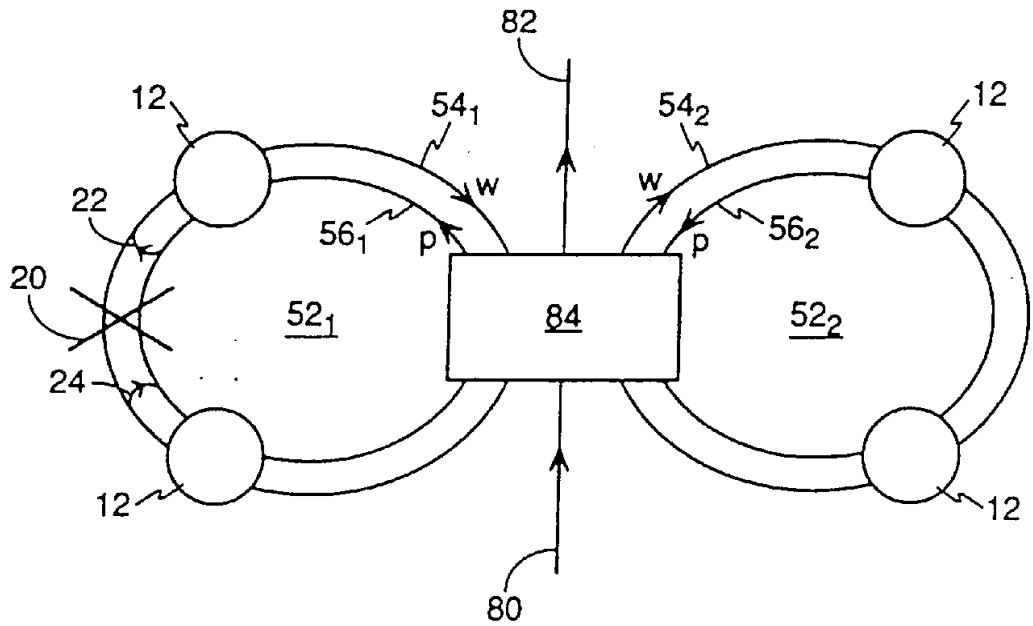


图 9

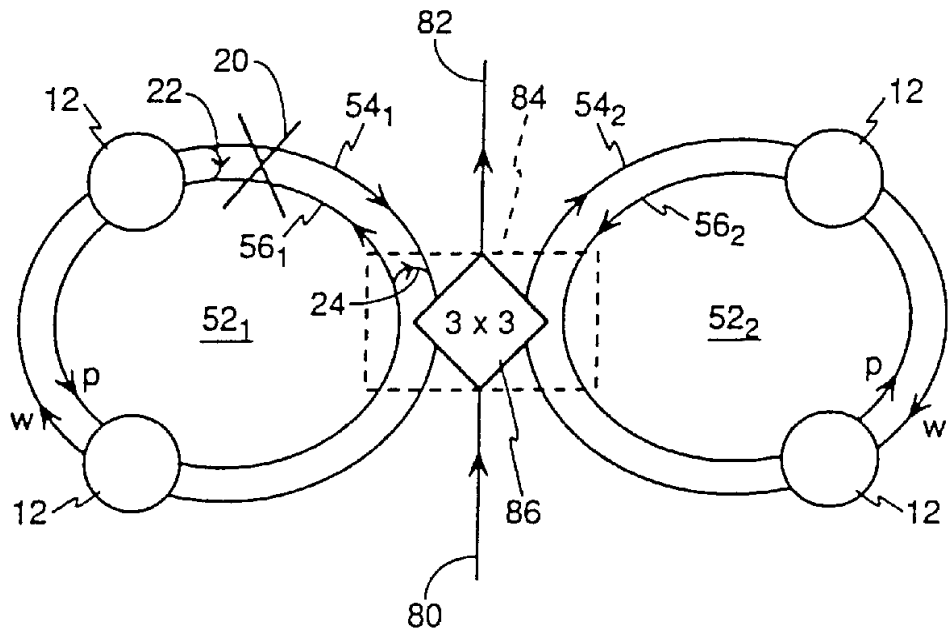


图 10

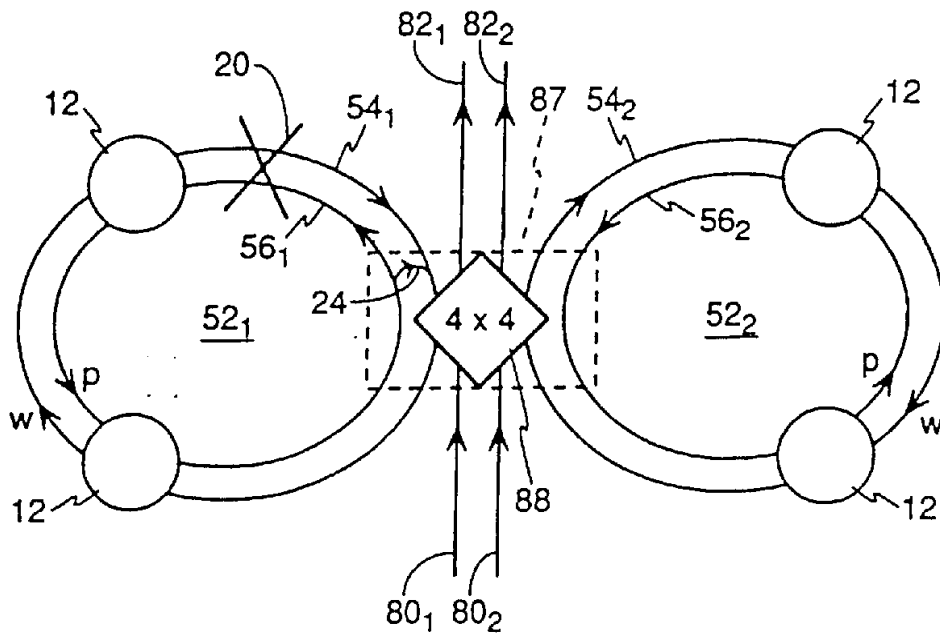


图 11

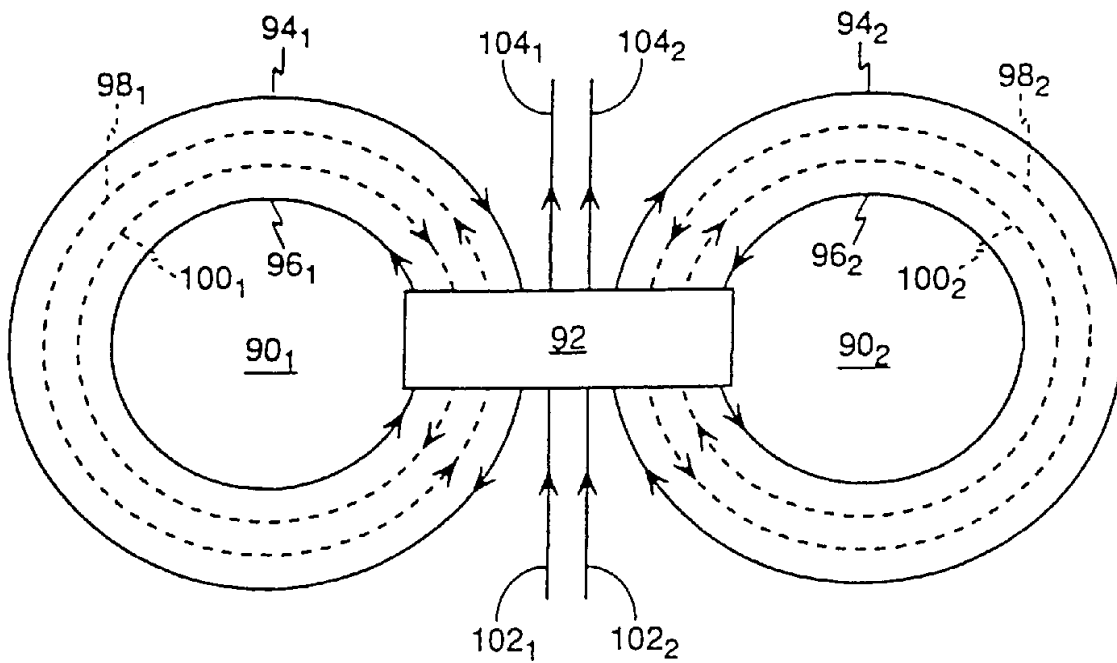


图 12

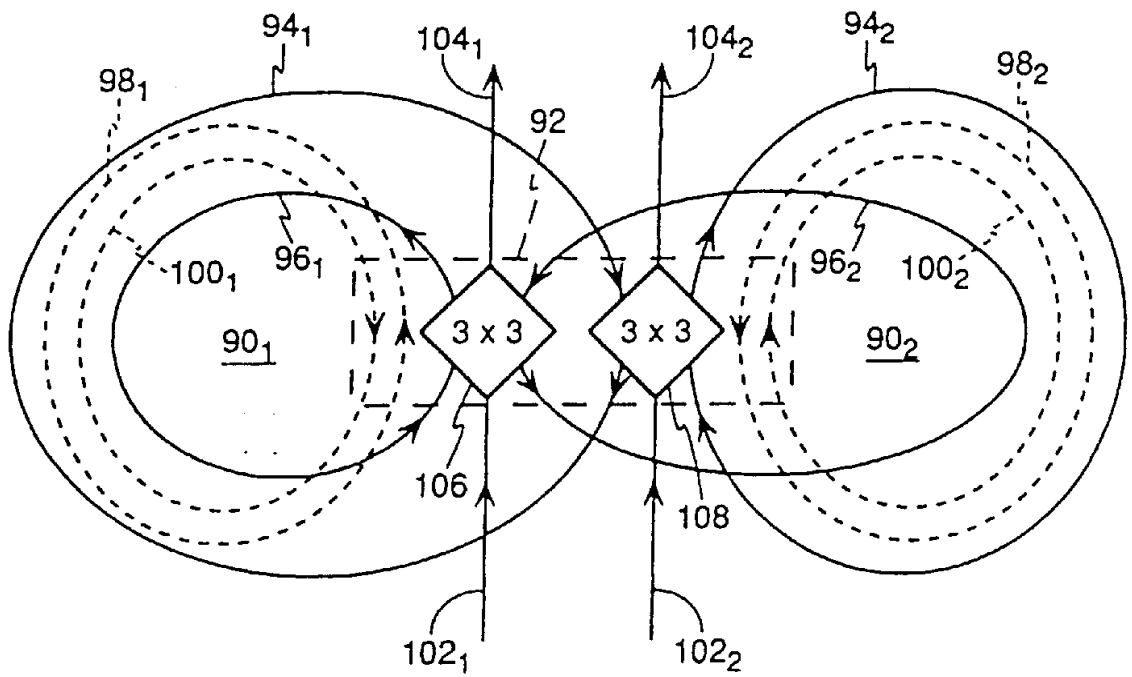


图 13

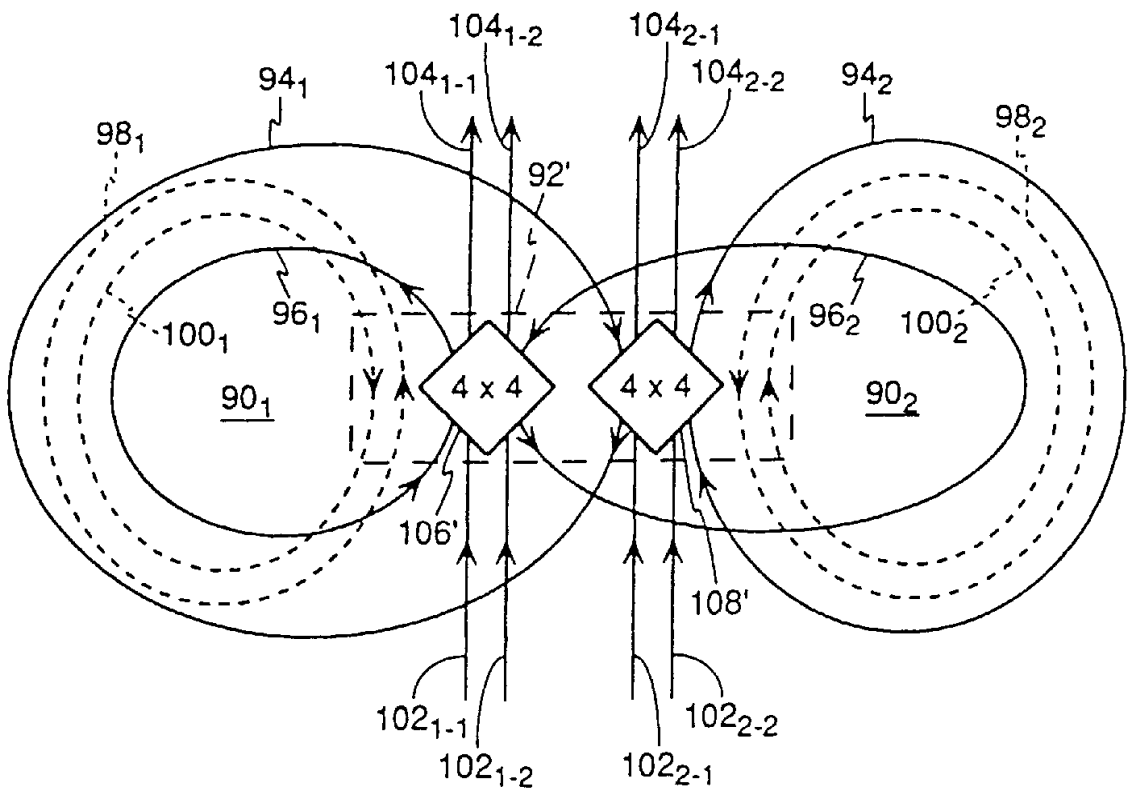


图 14

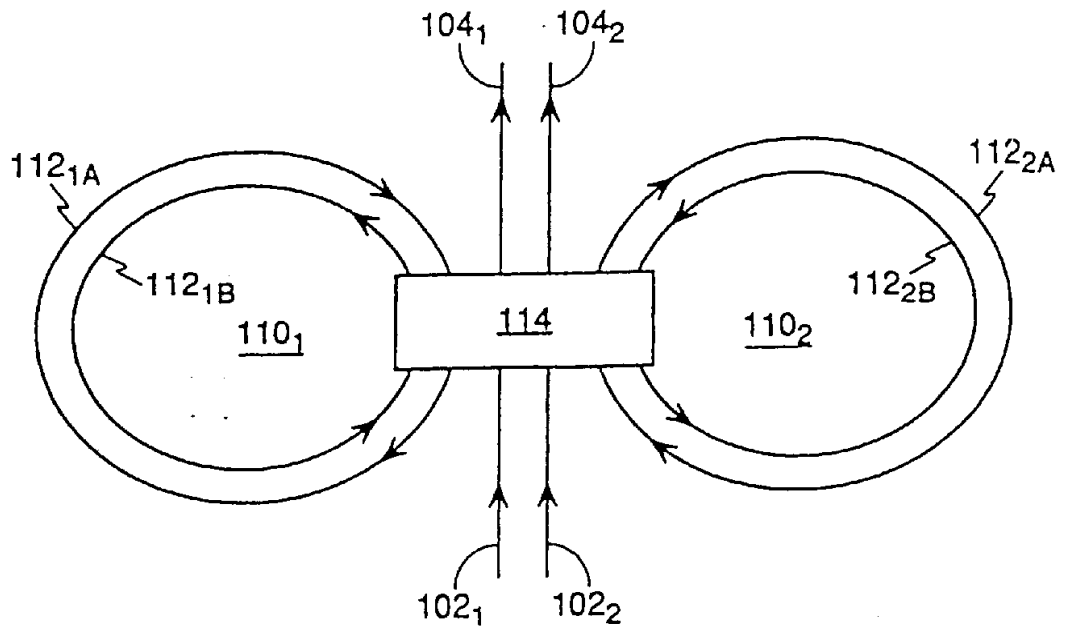


图 15

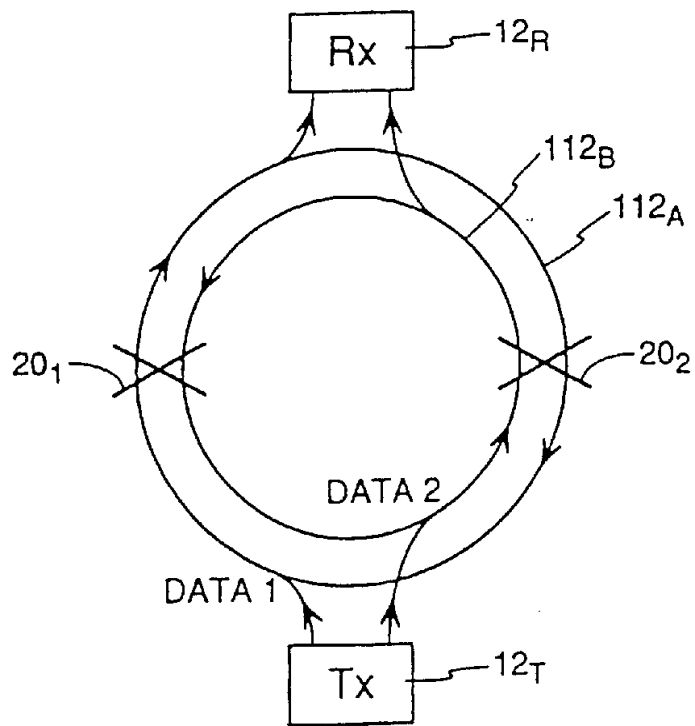


图 16

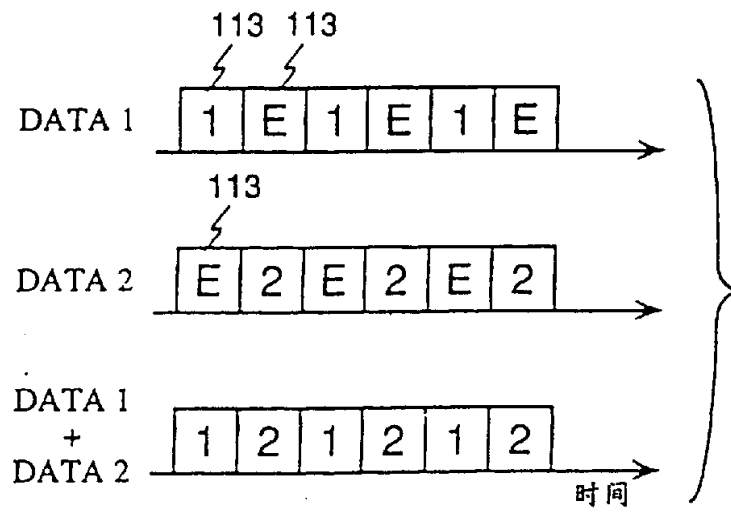
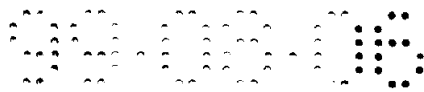


图 17

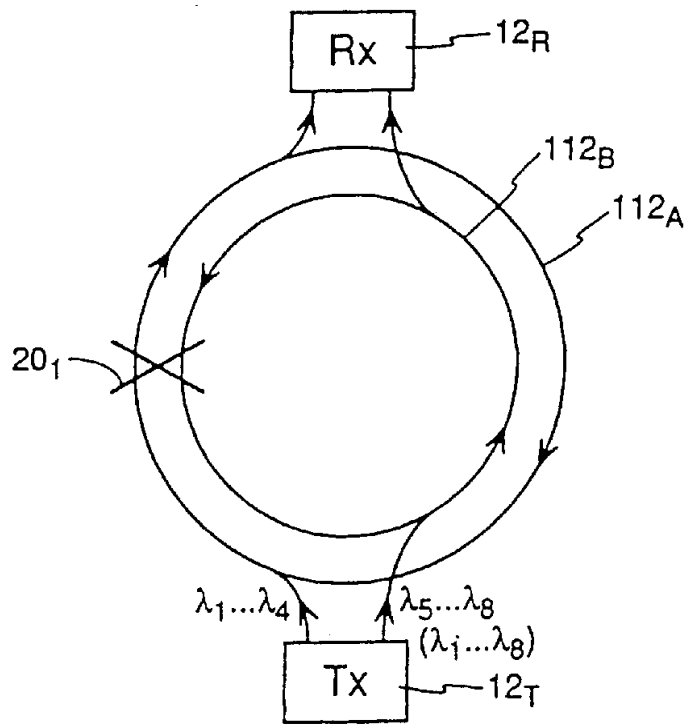


图 18

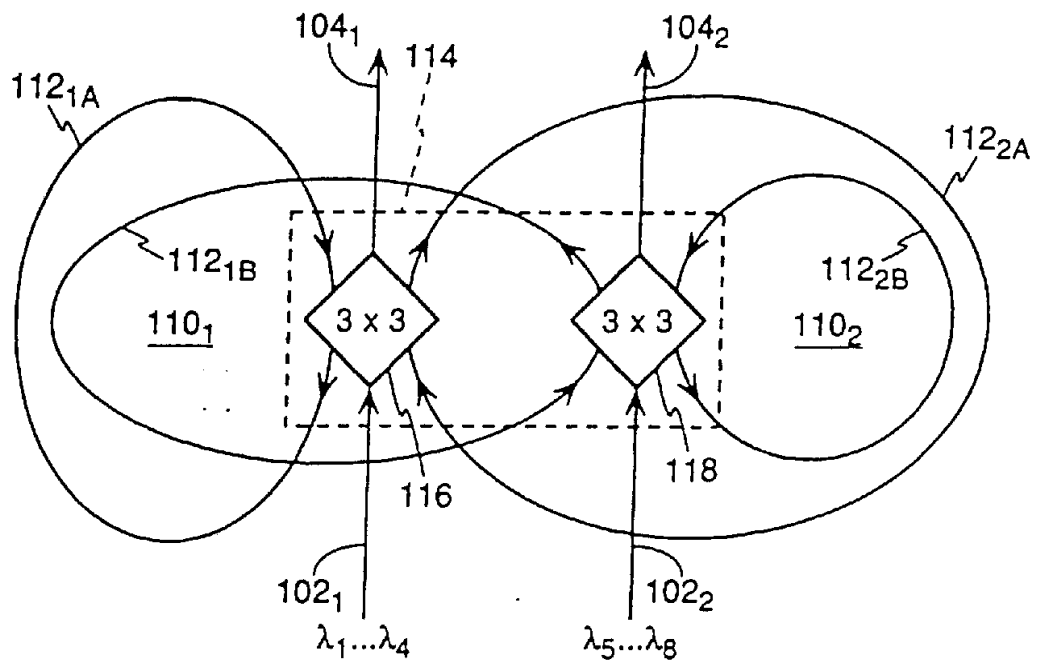


图 19

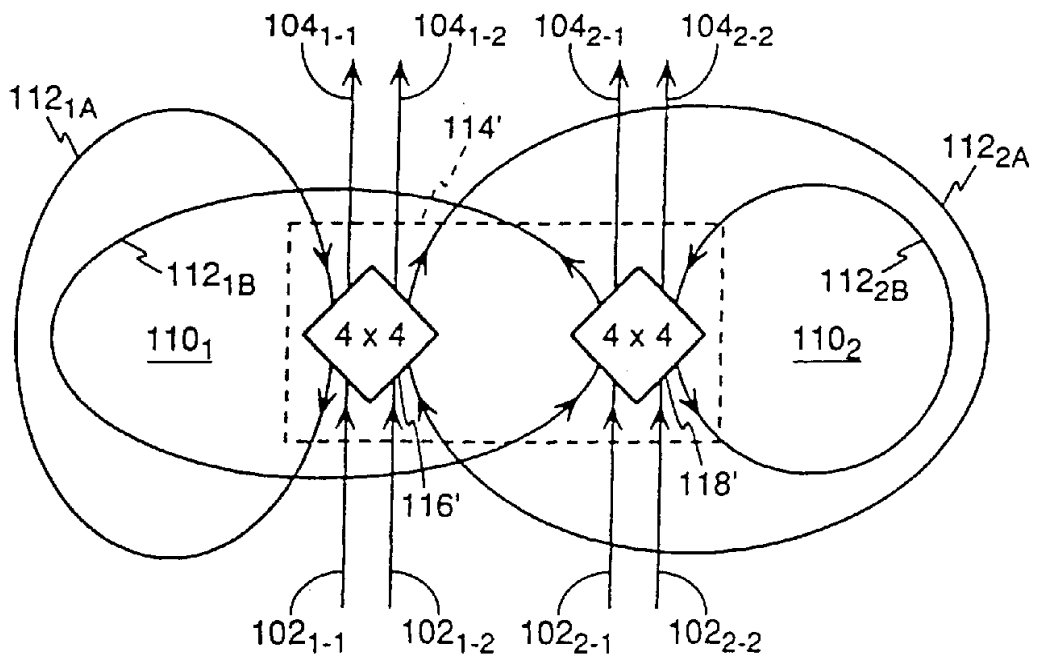


图 20

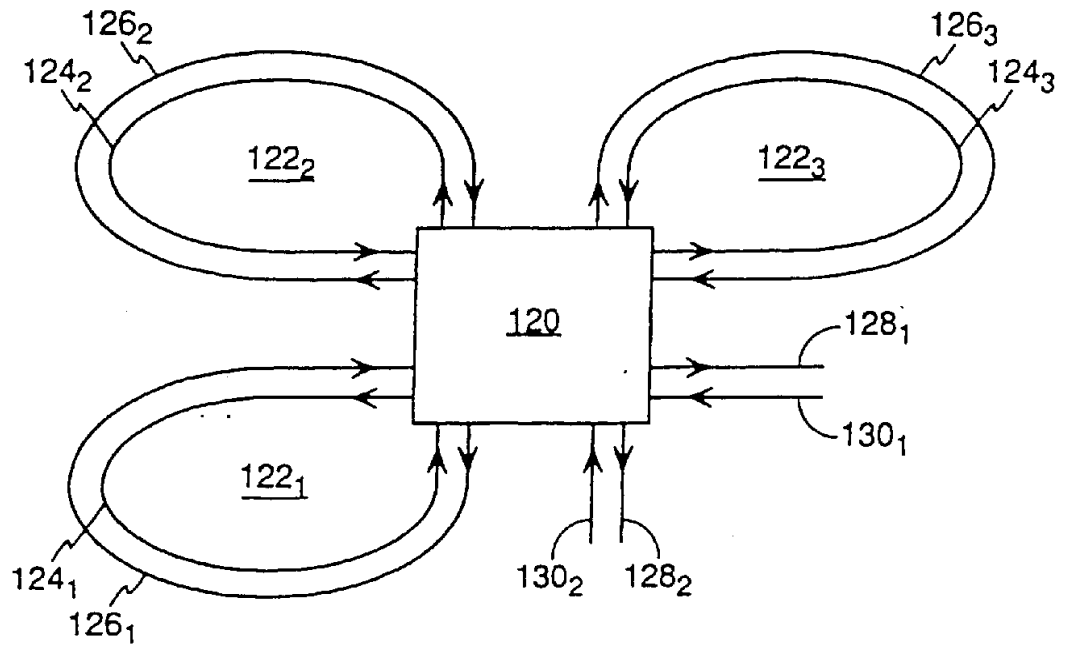


图 21

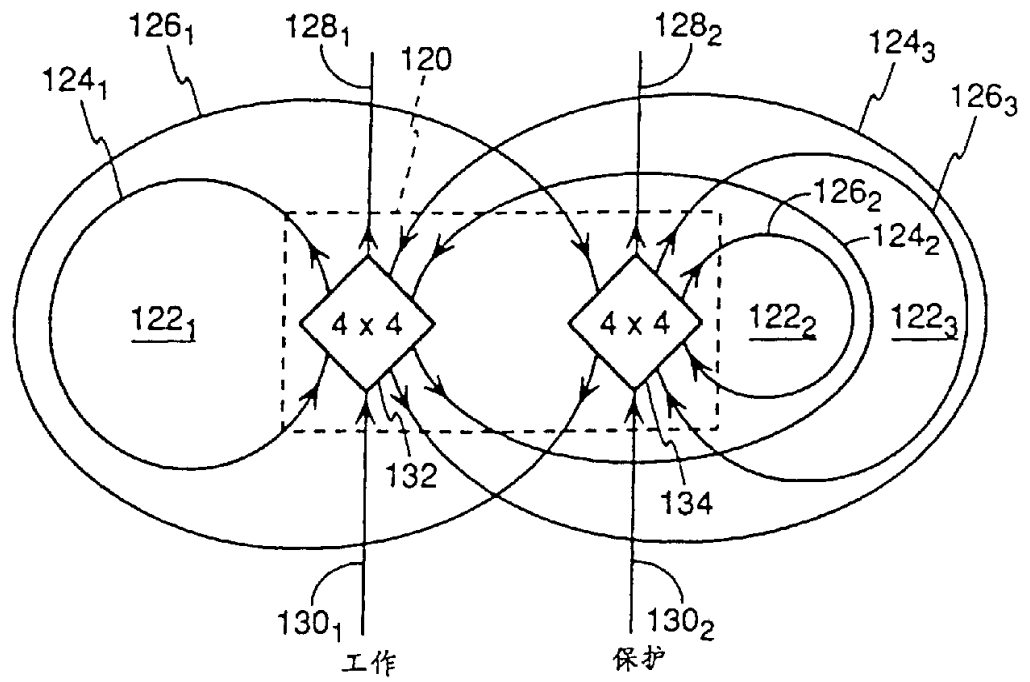


图 22

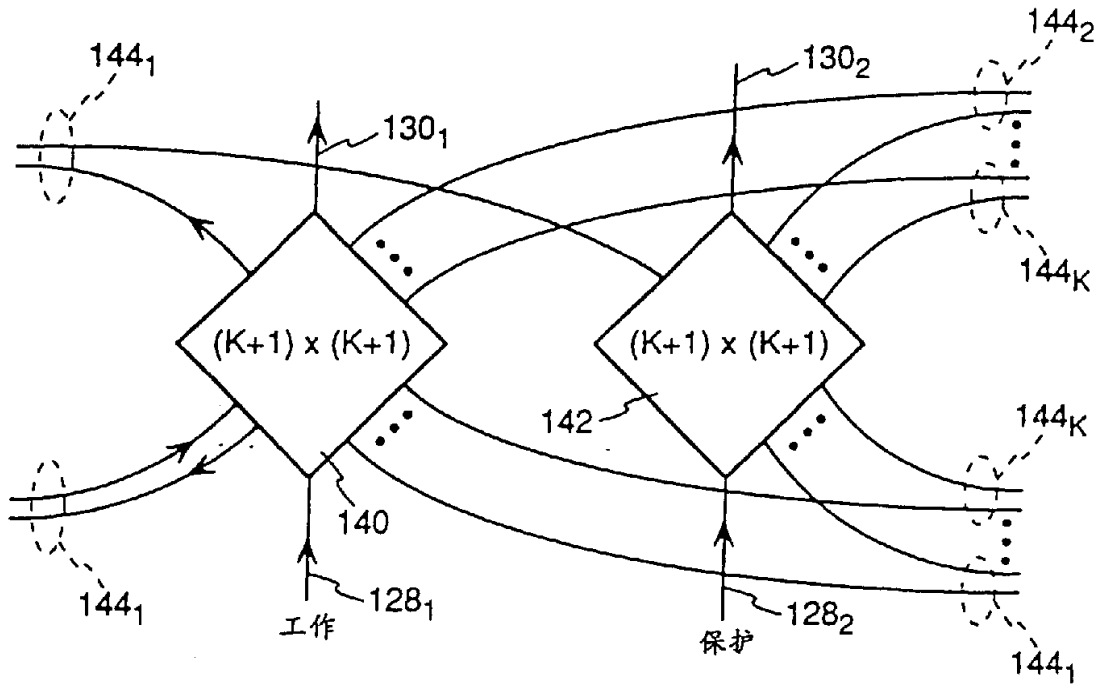
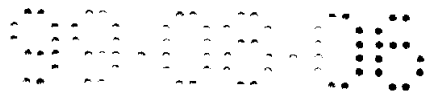


图 23

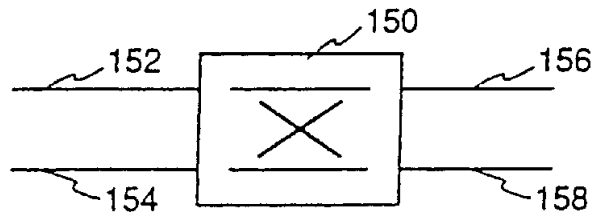


图 24
(已有技术)

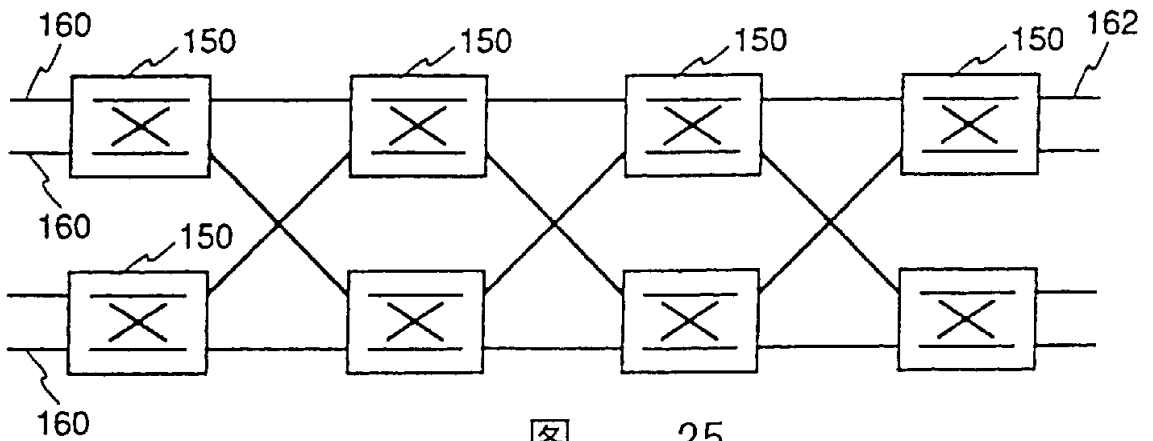


图 25
(已有技术)

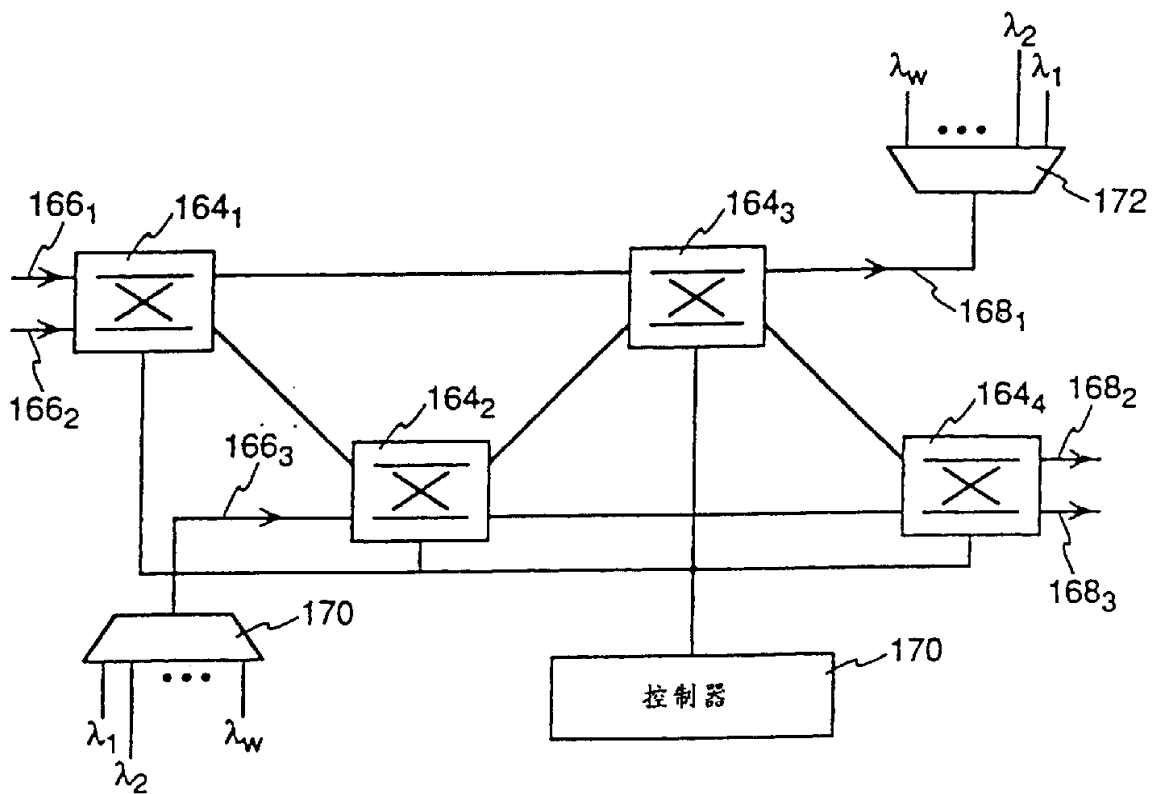


图 26

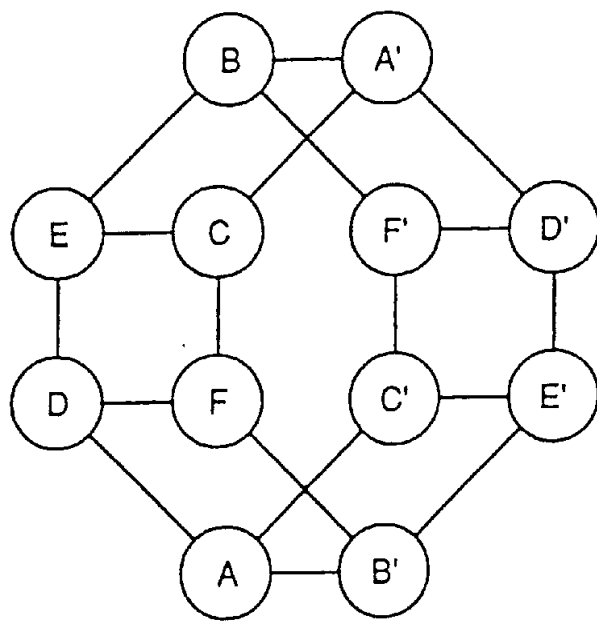


图 27