

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H04J 14/02 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 01816230.4

[45] 授权公告日 2006 年 11 月 29 日

[11] 授权公告号 CN 1287541C

[22] 申请日 2001.7.26 [21] 申请号 01816230.4

[30] 优先权

[32] 2000. 7. 29 [33] GB [31] 0018604.9

[32] 2000. 9. 13 [33] GB [31] 0022605.0

[86] 国际申请 PCT/GB2001/003399 2001.7.26

[87] 国际公布 WO2002/011336 英 2002.2.7

[85] 进入国家阶段日期 2003.3.25

[71] 专利权人 马科尼英国知识产权有限公司

地址 英国考文垂

[72] 发明人 R·库斯 N·伍德

审查员 张春伟

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 程天正 王忠忠

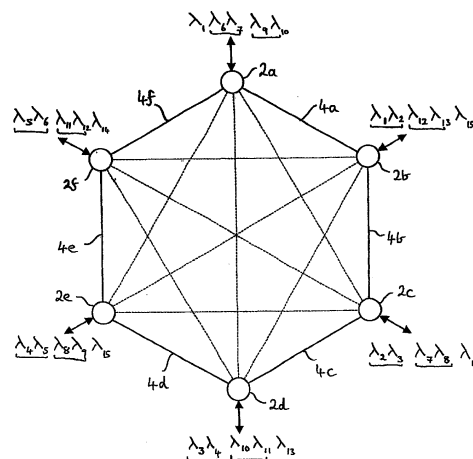
权利要求书 1 页 说明书 7 页 附图 3 页

[54] 发明名称

波分复用(WDM)光网络

[57] 摘要

一种波分复用(WDM)光网络包括一种连接多个节点(2a-2f)的光纤链路(4a-4f)的环形结构以及在环内每个节点(2a-2f)处串联的插入滤波器(8)和分出(10)滤波器。将一个或多个所说的滤波器(8, 10)配置成可以插入或分出 WDM 光信号中的至少两个选中的邻接波长信道(λ_N , λ_M), 而允许 WDM 信号中的其余信道基本上不受衰减地通过。通过选择每个节点的波长信道来使得在每个节点处的邻接波长信道的数目实现最大化。



1. 一种 WDM 光网络, 包括: 以环形结构通过光波导装置 (4a-4f) 串联在一起的多个节点 (2a-2f); 以及在环内串联的每个节点处的插入和分出光滤波器 (8, 10), 其中节点对之间的光信号的路由依赖于分配给每个节点对的各自的波长信道, 该光网络的特征在于, 将一个或多个所说的滤波器 (8, 10) 安排成向环中插入/从环中分出 WDM 光信号中的至少两个选中的邻接波长信道 (λ_n, λ_m), 而允许 WDM 信号中的其余信道基本上不受衰减地通过, 并且其中通过为每个节点对互连分配各自的波长信道来使得在每个节点处的邻接波长信道的数目实现最大化。

2. 根据权利要求 1 的 WDM 光网络, 其中环是无源的并且不包含对通过环的 WDM 光信号进行光放大的光放大装置。

3. 根据权利要求 1 的 WDM 光网络, 其中该网络为全网状并且每个节点 (2a-2f) 都包含插入和分出滤波器 (8, 10), 以此来使得每个节点都可与每个其它节点通过各自的一个波长信道 ($\lambda_1-\lambda_{15}$) 连接。

4. 根据权利要求 1 到 3 中的任意一个权利要求的 WDM 光网络, 其中单个波长信道定义相应一对节点之间的一个连接。

5. 根据权利要求 1 到 3 中的任意一个权利要求的 WDM 光网络, 其中每个滤波器或者插入或分出单个波长信道, 或者插入或分出两个邻接的波长信道。

6. 根据权利要求 1 到 3 中的任意一个权利要求的 WDM 光网络, 其中光波导装置 (4a-4f) 包括光纤。

7. 根据权利要求 1 到 3 中的任意一个权利要求的 WDM 光网络, 其中插入和分出滤波器包括一个电介质滤波器堆。

8. 根据权利要求 1 到 3 中的任意一个权利要求的 WDM 光网络, 其中插入和分出滤波器包括一个谐振腔。

9. 根据权利要求 1 到 3 中的任意一个权利要求的 WDM 光网络, 其中插入和分出滤波器包括一个光纤布拉格光栅。

波分复用 (WDM) 光网络

本发明涉及一种波分复用 (WDM) 光网络, 并且特别是, 尽管并不专用于此, 涉及一种无源环形结构 WDM 网络以及在这种网络中使用的插入和分出光滤波器。

正如所知道的那样, 一个 WDM 光网络包括通过典型为光纤的光波导装置互连起来的多个节点。在每个节点处, 可对一个或多个选中的波长信道进行插入或分出, 以此来在节点间提供基于波长信道的 WDM 光信号的路由。典型地, 单个唯一的波长信道分配给两节点之间的一个给定的连接, 尽管我们知道为同一个连接使用多于一个的波长信道能增加传输容量。

一种通常称为环形结构的网络拓扑是这样一种网络拓扑: 其中节点在一个完整回路 (unbroken loop) 或环形结构中由光纤以点对点串联方式连接起来。在每个节点处, 一个或多个插入或分出滤波器在环内以串联的方式连接起来, 并且每个都插入或分出 WDM 信号中的单个选中的波长信道。一个插入滤波器允许在节点处将给定的波长信道引入 (插入) 环, 同时允许其余的波长信道基本上不受衰减地通过; 而一个分出滤波器则允许在节点处从环中去除掉 (分出) 给定的波长信道, 同时允许其余的波长信道基本上不受衰减地通过。

对于每个到环的双工连接, 都在节点处提供一个插入-分出滤波器模块, 该模块包含各自的插入和分出滤波器。

WDM 网络结构可以包含一种全网状结构, 在这种结构中就波长连接而言, 每个节点都是与每个其他节点可连接的, 或者 WDM 网络结构可以包含一种中心网络, 在这种网络中, 一个被称做中心的节点与每个其它节点连接在一起, 也就是说不与多于一个的其它节点共享单个波长信道。

光环型网络可以分为以下两种, 一种是无源的并且在环内或在节点处不包含光放大, 另一种是非无源的并且在结构内包含光放大装置 (典型的为掺铒光纤放大器 EDFA 或拉曼光放大器) 来对光信号进行放大以补偿光信号在网络内的损耗。前者典型的环长为几十公里, 通常用于局域网的一部分, 并且被称做城域网。

发明人已经注意到，无源城域光环型网络的一个特殊的局限性在于，每个插入-分出滤波器模块的通过（有时被称做插入或直达）损耗是限制网络内节点数目的主要因素。滤波器模块的通过损耗是通过和围绕该环的波长信道所经历的损耗。因为所有的插入-分出滤波器模块都在环内串联在一起，所以直达损耗（express loss）会快速地消耗掉网络的链路损耗预算，这特别是由于两节点间的单个双工连接需要两个插入-分出滤波器模块，也就是说总共需要四个光滤波器。例如，对于灵敏度为-28dBm 的接收机和工作在+5dBm 的发射机，链路损耗预算为33dBm。对于一个全网状六节点网络，它要求15个波长连接（即15个WDM信道），为实现双工通信每个波长连接要求有两个插入-分出滤波器模块，即一共要求有30个滤波器模块。即使每个滤波器模块的通过损耗为1dBm（也就是每个插入或分出滤波器的通过损耗为0.5dBm），而且更典型的情况是目前已知的最好滤波器模块的损耗是接近1.5dBm，沿环完全绕行一周的损耗也会是30dBm，这就只给光纤损耗留下了很小的链路损耗预算并且会导致环的周长很受限制。

本发明就是要努力去提供一种WDM环形结构，该结构至少能部分地缓解已知网络的局限性。

根据本发明，提供了一种WDM光网络，这种光网络包括：以环形结构通过光波导装置串联在一起的多个节点；以及在环内串联在一起的每个节点处的插入和分出光滤波器，其中节点对之间的光信号的路由依赖于分配给每个节点对的各自的波长信道，并且这种光网络的特征在于，将一个或多个所说的滤波器配置成向环中插入/从环中分出WDM光信号中的至少两个选中的邻接波长信道，而允许WDM信号中的其余信道基本上不受衰减地通过，并且其中通过为每个节点对互连分配各自的波长信道来使得在每个节点处的邻接波长信道的数目实现最大化。

以这种方式选择波长信道连接可以使所需的插入和分出光滤波器的数目最小，由此使与滤波器相关的通过损耗最小，并使得对于一个给定的链路损耗预算可以连接进来更多数目的节点。

优选地，将滤波器的通带（或阻带，这依赖于滤波器是用做传输设备还是反射设备）选得足够宽来使得可以对至少两个选中的邻接波长信道进行插入或分出。通过对这种滤波器的精心设计，其通过损耗可以与能够插入/分出单一波长的已知滤波器的通过损耗一样低，并且这使得对于一个给定的链路损耗预算，节点的数目和/或节点间的距离将会得

到增加。

优选地，这种环形结构是无源的并且不包含用于对通过环的 WDM 光信号进行光放大的光放大装置。可替换地，该环可以包含用于对通过环的 WDM 光信号进行光放大的光放大装置。

优选地，网络是全网状结构并且每个节点都包含插入和分出滤波器，这样每个节点都可以与每个其它节点通过各自的波长信道连接起来。在一种优选的结构中，单个波长信道定义了相应一对节点之间的连接，尽管通过使用多于一个波长信道来定义相应一对节点之间的连接可以增加传输容量。有利地，每个滤波器或者插入或分出单个波长信道，或者插入或分出两个邻接的波长信道。

有利地，插入和分出滤波器包含一个电介质滤波器堆。可替换地，它们可以包含一个谐振腔或一个光纤布拉格光栅。优选地，每个滤波器的插入损耗为 0.5dBm 或更小。优选地，每个滤波器的品质因数为 0.7 或更大。

为了使本发明得到更好的理解，现在将仅参考附图通过例子来描述根据本发明的波分复用光网络，在附图中：

图 1 是根据本发明的光环型 WDM 网络的示意图。

图 2 是图 1 中的插入-分出滤波器模块的示意图；并且

图 3 是展示一种方法的流程图，通过这种方法来将波长信道分配给根据本发明的 WDM 网络的每个节点处的插入-分出滤波器模块。

参照图 1，它给出了一个根据本发明的全网状双工光纤波分复用（WDM）网络的示意图。该网络包含六个节点 2a-2f，这些节点以一种完整回路或环结构由光纤 4a-4f 按照点对点串联方式相互连接在一起。在该结构中，所展示的绕环一周的典型总路径长度，也就是光纤 4a-4f 的组合长度，为 40 公里的等级，给出与光纤相关的损耗为 10dBm 的等级。

在环内有多个插入-分出滤波器模块 6，对于图 1 中所示的网络是 3 个，这些模块位于每个节点处并串联在一起。图 2 中给出了一个这样的插入-分出滤波器模块 6。

每个插入-分出滤波器模块 6 包含一个单独的插入光滤波器 8 和一个单独的分出滤波器 10，它们中的每一个都是在环内串联在一起的。通过对每个插入滤波器 8 进行配置来使得一个或多个选中的波长信道 $\lambda_{N,M}$ 插入到环中，而允许其余的波长信道基本上不受衰减地通过。通过对每

个分出滤波器 10 进行配置以使得一个或多个选中的波长信道 $\lambda_{n, m}$ 从环中分出，而允许其余的波长信道基本上不受衰减的通过。

光滤波器 8, 10 都包含一个薄膜电介质滤波器堆、谐振腔或光纤布拉格光栅，它具有一个传输通带，通过对传输通带进行选择使得一个或多个选中的 WDM 光信号的波长信道能通过而反射其它的波长信道。典型地，每个滤波器具有的通过（插入或直达）损耗，也就是与它所反射的波长信道相关的损耗，大约为 0.5dBm，每个滤波器具有的传输损耗，也就是与插入或分出每个选中的波长信道相关的损耗，为 1.5dBm。光滤波器 8, 10 的一个重要的特征是它们的品质因数 (FOM)，也就是对于 -3dBm 传输的通带波长与对于 -25dBm 传输的通带波长的比，因为这提供了一种就波长信道而言的滤波器的选择性的测量。每个滤波器的通带需要足够宽以允许选中的波长信道或多个波长信道能够基本上不受衰减的通过，并且也要具有充分的选择性以使得能基本上反射其它的信道来确保它们能基本上不受衰减的通过。例如，对于间隔为 100MHz 的波长信道来说，FOM 典型地需要为 0.7 或更大。

再一次参照图 1，可以注意到在每个节点 2a-2f 处由每个插入和分出滤波器 8, 10 插入或分出的波长信道由 λ_1 到 λ_{15} 指示。这样就可以观察到在所展示的结构中，就波长信道而言，节点 2a 通过波长信道 λ_1 与节点 2b 相连，并且分别通过 λ_7 、 λ_{10} 、 λ_9 和 λ_6 与节点 2c 到 2f 相连。出于展示的目的，图 1 中的波长信道连接用虚线来表示，并且将会看到这些并不意味着在这些节点之间通过光纤来实现物理连接。从图 1 中将会看到网络是全网状的，这是因为每个节点 2a-2f 都可以通过一个各自的波长信道 λ_1 - λ_{15} 来实现与每个其它节点的连接。

本发明的网络结构的一个重要的特征是将波长信道分配给每个连接的方式。参照图 1，可以注意到对波长信道的分配是使用在图 3 的流程图中展示的算法来实现的，通过这种算法来使在每个节点处的邻接波长信道连接的数目最大化。例如，在节点 2a 处有邻接信道 $\lambda_{6,7}$ 和 $\lambda_{9,10}$ ；在节点 2b 处有邻接信道 $\lambda_{1,2}$ 和 $\lambda_{12,13}$ ；在节点 2c 处有邻接信道 $\lambda_{2,3}$ 和 $\lambda_{7,8}$ ；在节点 2d 处有邻接信道 $\lambda_{3,4}$ 和 $\lambda_{10,11}$ ；在节点 2e 处有邻接信道 $\lambda_{4,5}$ 和 $\lambda_{8,9}$ ；在节点 2f 处有邻接信道 $\lambda_{5,6}$ 和 $\lambda_{11,12}$ 。对于这些邻接波长信道中的每个邻接波长信道，都提供有一个单独的插入-分出滤波器模块，正如上面所述，在滤波器模块中的每个插入和分出滤波器都具有

足够宽的通带来插入/分出邻接信道。这样，对于图 1 中展示的网络，总共需要 18 个插入-分出滤波器模块 6：6 个单波长信道滤波器模块，12 个双波长信道滤波器模块。与已知的网络结构相比，在那些已知的网络体系结构中，每个插入-分出滤波器模块插入/分出单个的波长信道，总共需要 30 个滤波器模块。如上面所述，通过对插入和分出光滤波器进行精心的设计，可以使它们的通过损耗基本上与对单个波长信道进行插入/分出操作的滤波器的通过损耗相同，并因此插入和分出滤波器的数目的减少就环内的通过（直达）损耗而言提供了一个显著的优势。尽管很可能对于滤波器选中的波长来说，滤波器将具有较大的传输损耗，但损耗的这一增加与环内通过（直达）路径的损耗的减小相比，就小得很多了。

已经发现，对于一个优化的全网状网络结构来说，每个插入-分出滤波器模块应该或者插入和分出单个的波长信道，或者插入和分出两个波长信道来使滤波器模块的总数最小。表 1 列出了对于一个拥有 3 到 9 个节点的全网状双工网络所需要的这样的滤波器模块的数目。为了进行比较，该表还包括了使用只能插入和分出单个波长信道的滤波器模块的全网状双工网络需要的滤波器模块的数目。从表中可以看出，滤波器模块总数的减少以及因此随着节点数目的增加，通过损耗也变得显著。进一步可以理解，对于一个给定的链路损耗预算和给定的每个滤波器的通过损耗，根据本发明的网络结构至少可以比已知的网络结构多至少一个节点。尽管上述网络是涉及无源环，可以理解根据本发明同样能为具有对在环内传输的 WDM 光信号进行放大的放大装置的网络提供好处。在这样一个网络中，与已知的网络相比，长度（环的周长）和/或节点的数目会增加或者放大会减少。

参照图 3，它给出了一个流程图，该流程图用于将波长信道分配给用于根据本发明的 WDM 网络的每个节点的插入/分出滤波器。这种使得在每个节点处的邻接波长信道的数目最大化的算法适用于任何一种网络结构，并且并不限于上面所述的全网状环形结构。

用于该算法的输入数据 n 、 k 以及 $c(x, y)$ 分别包括节点数、节点间双工互连的总数以及具体说明节点间所需的连接的数组。为每个连接计算得到的波长 λ 存储于计算过程中使用的数组 $w(x, y)$ 以及临时变量 a 、 b 和 c 中。数组 $c(x, y)$ 和 $w(x, y)$ 是 $n \times n$ 矩阵，其中行代

表开始节点，列代表结束节点。矩阵 $c(x, y)$ 中的零表示在节点间不需要连接，一个大于零的值，典型为 1，则代表需要一个连接。由于对于单个的节点不可能存在互连，所以对于两个数组中的 $x=y$ 的位置，即下降的对角线，所有的值都是零。对于任意一个在所有节点间具有双工连接的全网状网络，数组中其余所有的值都是 1。例如，对于图 1 中的网络，其中 $n=6$, $k=15$ ，数组 $c(x, y)$ 和 $w(x, y)$ 分别为：

$$c(x,y)=\begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{vmatrix} \quad w(x,y)=\begin{vmatrix} 0 & 1 & 7 & 10 & 9 & 6 \\ 1 & 0 & 2 & 13 & 15 & 12 \\ 7 & 2 & 0 & 3 & 8 & 14 \\ 10 & 13 & 3 & 0 & 4 & 11 \\ 9 & 15 & 8 & 4 & 0 & 5 \\ 6 & 12 & 14 & 11 & 5 & 0 \end{vmatrix}$$

从矩阵 $w(x, y)$ 可以看出，节点 2 和节点 4 之间的连接由波长信道 $w(2, 4) = w(4, 2) = 13$ 给出，而节点 2 和节点 6 之间的连接由波长信道 $w(2, 6) = w(6, 2) = 12$ 给出，依次类推。

如上面所述，该算法是用于在两个节点间分配单个的波长信道（相互连接）的。可以理解，通过将任意两个节点之间的附加连接数组 $c(x, y)$ 确定为多达波长连接的最大数，就可对该算法很容易地修改而允许任意两节点之间的多波长连接。如果一个波长已经被分配给了一个连接，那么就需要对该算法进行修改来检查这些附加连接数组。例如，如果要求在图 1 中的网络的节点 2b 和 2d 之间要具有两个波长连接，那么就要求有一个附加连接矩阵 $c_1(x, y)$ ，其中 $c_1(2, 4) = c_1(4, 2) = 1$ ，并且所有其它的值为零。

可以理解，本发明的 WDM 网络并不限于上述的具体的实现形式，并且可以在本发明的范围内做出一些变化。例如，可以理解，许多插入和分出滤波器在其本性上就是单向的，并因此只允许 WDM 信号沿一个方向在环内绕行。在这种结构中，所有节点间的连接都是不受保护的。例如，在图 1 的网络中，互连节点 2b 和 2d 的波长信道是 λ_{13} 。在这样一个网络中，WDM 光信号只能沿顺时针方向传播，从节点 2b 传送到节点 2d 的信息要经过光纤 4b 和 4c，而从节点 2d 传送到节点 2b 的信息则要经过光纤 4d、4e、4f 和 4a。因此，如果任意一段光纤处发生中断，每个互连的一个方向就将会失去。为了提供受保护的路径，可以使用光纤双环

或双向环。

尽管已经发现，在每个节点处使用能插入/分出单个波长和能插入/分出邻接波长的插入-分出滤波器模块可以使滤波器模块的数目最小化，但是在一种替代的结构中，可以附加使用一种能插入和分出多于两个邻接波长信道的插入-分出滤波器模块。在一种这样的结构中，可以使用三种不同类型的滤波器模块，它们分别插入/分出单个、邻接对波长信道以及三个邻接波长信道。对于一个使用这些滤波器模块的六节点网络来说，总共需要 16 个滤波器模块。尽管这样一种结构减少了滤波器模块的总数，但是它需要更多不同类型的插入和分出滤波器并且相关的成本上的增加潜在地可能会在价值上超过就损耗而言的好处。

节点数目	波长连接数目	插入-分出滤波器模块数目		滤波器模块数目的减少
		使用单个波长信道滤波器的已知网络 $n(n-1)$	根据本发明的使用单个波长信道滤波器和两个邻接波长信道滤波器的网络 当 n 为奇数时，为 $(n(n-1)+2)/2$ 当 n 为偶数时，为 $n^2/2$	
3	3	6	4	2
4	6	12	8	4
5	10	20	11	9
6	15	30	18	12
7	21	42	22	20
8	28	56	32	24
9	36	72	37	35

表 1. 对于采用已知网络结构的一个全网状双工网络和根据本发明的网络所需要的插入-分出滤波器模块的数目

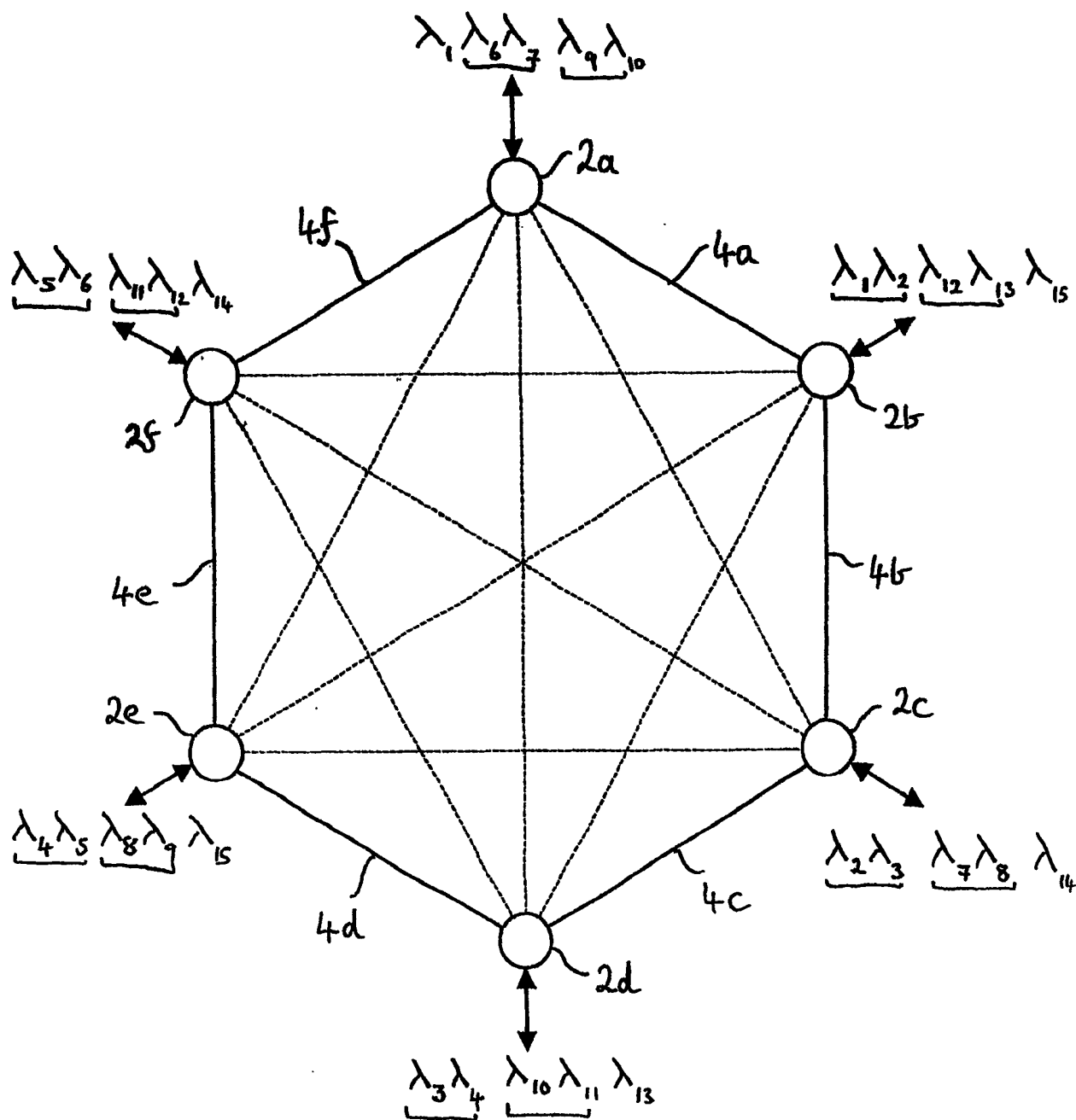


图 1

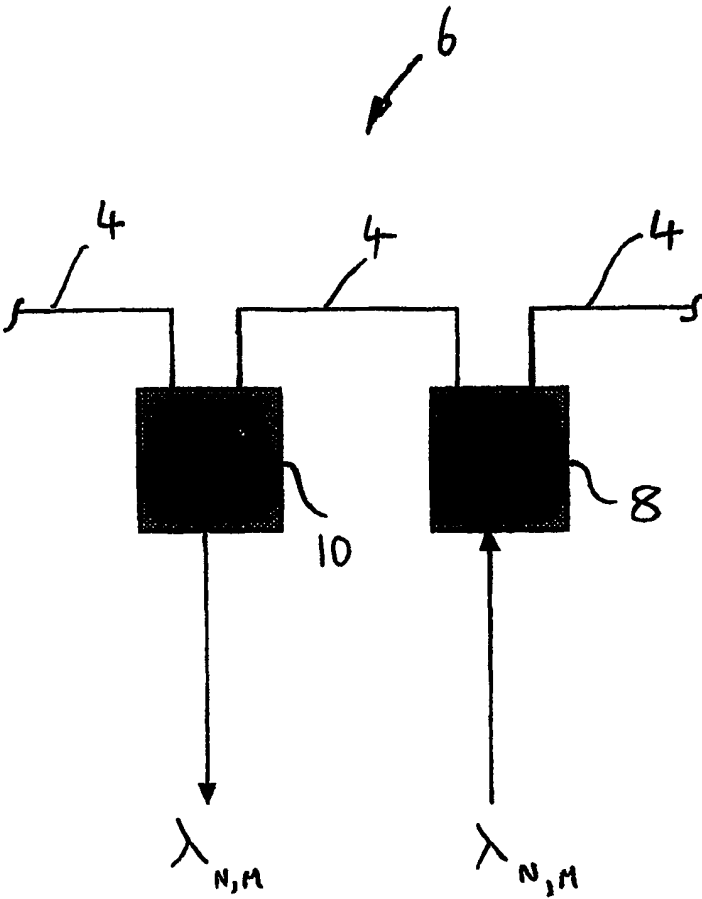


图 2

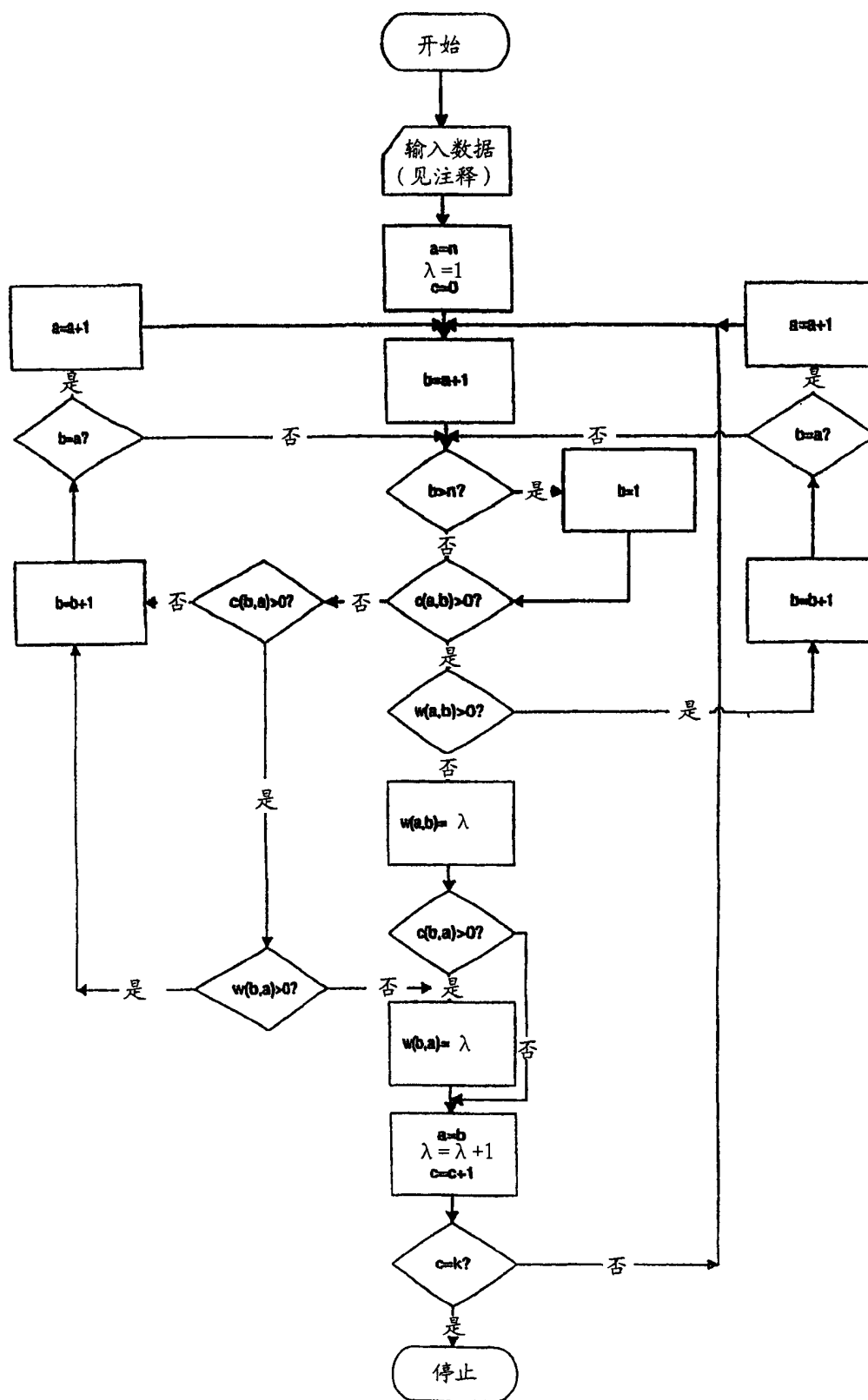


图 3