

可调光分路器/耦合器的实现技术及其应用

肖石林 曾庆济 刘华 王建新 蒋铭 肖鹏程 黄俊 刘继民

(上海交通大学宽带光网技术研究开发中心 200030)

摘要 介绍了可调光分路器/耦合器的实现技术及典型应用。通过具体实施方案论述了可变透射率/反射率膜片技术和可变光纤耦合长度技术等可以用来实现可调光分路或可调光耦合;讨论了可调光分路器/耦合器在光通信系统及器件制作中的应用。

关键词 光通信 光器件 光分路器 光耦合器 可调光分路器/耦合器

中图分类号 TN 253 **文献标识码** A

1 引言

光器件是光通信系统的基本组成部分,光器件技术的发展状况决定了光通信技术的发展水平,反过来,光通信技术的发展需求也推动了光器件技术的进步。光分路器(及光耦合器)和光衰减器、光开关、光滤波器等光器件一样,是光传输系统中应用非常广泛的光学部件之一。对于有些光器件如光衰减器、光滤波器相对应的可调器件——可调光衰减器、可调光滤波器的研究比较多,而且已经有了多种类的产品。而与光分路器/耦合器相对应的可调光分路器/耦合器,虽然也有一些应用技术见诸报道^[1-2],但总的来说对其研究非常少。本文对几种可能实现可调光分路或光耦合的技术及其在光通信系统等方面的可能应用方式进行了探讨。

2 可调光分路器的实现技术

2.1 可变透/反射率膜片可调分光技术

如图1(a)所示,输入光经透射/反射膜片后分为透射光输出和反射光输出。膜片在由入射光、透射光和反射光构成的平面上,沿着Z方向是可移动的。我们可以设计和制作特殊的透射/反射膜片,使其透射率和反射率沿某一特定方向按需要的规律变化。比如使光膜片沿Z方向,在一个确定的长度范围内,反射率由1(100%)到0(0%)线性变化,相应地透射率由0(0%)到1(100%)线性变化,示意图如图1(b)。这样,通过移动膜片,将得到强度对应变化的透射光和反射光,从而实现了可调光分路输出。

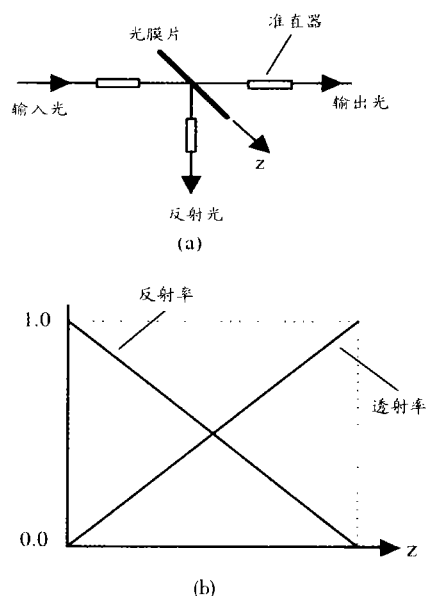


图1 可变透/反射率膜片可调光分路器

2.2 可变光纤耦合长度可调分光技术

理论上,两平行直光纤(光波导)相互紧靠时,在其中传输的光波的基模场会相互渗透和交叠,即出现光耦合现象。如图2(a)所示,假定两根光纤(纤芯)各有一段被腐蚀或磨掉了几微米,并紧靠在一起实现了光耦合,当一侧的一根光纤有光信号输入时,另一侧的两根光纤都可能输出光信号。比如由1#光纤输入光功率为 P_m 的光信号时,经 L 长度的有效耦合传输后,根据光耦合理论,两输出端口光功率 P_{1out} 和 P_{2out} 的大小分别为:

$$P_{1out} = P_m \left\{ \cos^2 \sqrt{(KL)^2 + (\delta L)^2} + \frac{(\delta L)^2}{(KL)^2 + (\delta L)^2} \sin^2 \sqrt{(KL)^2 + (\delta L)^2} \right\} \quad (1)$$

$$P_{2out} = P_m \left\{ (KL)^2 \left[\frac{\sin \sqrt{(KL)^2 + (\delta L)^2}}{\sqrt{(KL)^2 + (\delta L)^2}} \right]^2 \right\} \quad (2)$$

来稿日期:02-06-10

作者简介:肖石林 男,1962年生,博士,教授级高工

* 本工作得到国家自然科学基金项目(69990544)和上海市光科技专项(012261004)的资助

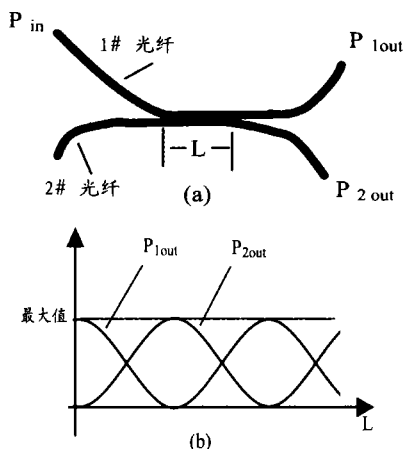


图2 可变光纤耦合长度可调光分路(耦合)器

式中 K 为模式耦合系数, δ 为两光纤基模传输常数差。如果两根光纤属于同一种类, 则有 $\delta=0$, 式(1)、(2)简化为:

$$P_{1out} = P_m \cos^2(KL) \quad (3)$$

$$P_{2out} = P_m \sin^2(KL) \quad (4)$$

由上述关系式可知: 输出端口光功率的大小与这两根光纤之间的有效耦合长度密切相关, 图 2(b) 是其关系示意图。只要能够适当调节有效耦合长度 L , 比如使一根光纤相对于另一根光纤作相对移动, 就可以使两输出端口的光功率从 0 到最大值之间变化, 即得到可调光分路(耦合)输出。

2.3 声光/电光偏转可调分光技术

一些物质具有声光、电光或磁光效应, 就是说在某些物质内部, 光波与声波或电磁场会发生相互作用而产生某种变化^[3]。如图 3(a) 所示为一个声光效应例子——布喇格衍射^[4]。电信号加到布喇格晶体的电极(换能器)上时, 会在晶体内部产生频率与电信号相同、强度与电信号强度成正比的声波信号; 当有光信号通过该布喇格晶体时, 声波信号将与光信号产生相互作用, 其结果是使通过该布喇格晶体的光信号发生频移和偏转。频移的大小与声波的频率 f_a 亦即电信号的频率 f_e 相等, 偏转的角度为 $2\theta_B$ 。 θ_B 为布喇格衍射角, 其大小由下式决定:

$$\sin \theta_B = \frac{\lambda}{2\Lambda} \quad (5)$$

式中, λ 为真空中的光波波长, Λ 为晶体中的声波波长。当偏转较小时, 式(5)近似为式(6), 即偏转的角度与电信号的频率成正比。

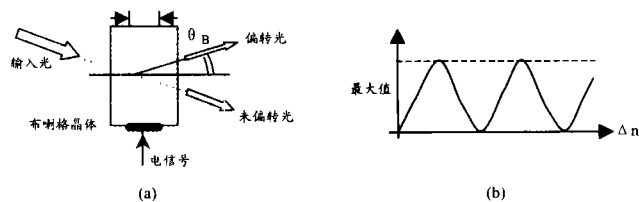


图3 声光偏转可调光分路器

$$\theta_B \propto \frac{\lambda}{2\Lambda} \propto f_a = f_e \quad (6)$$

偏转部分的光强与未偏转部分的光强度的比值称为衍射效率 η :

$$\eta = \sin^2 \frac{\phi}{2} \quad (7)$$

$$\phi = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{\Delta n \cdot L}{\cos \theta_B} \quad (8)$$

其中, L 为声波与光波的有效作用长度, Δn 为晶体中, 在声波信号作用下, 折射率的变化幅度。衍射效率 η 与 Δn 的关系曲线如图 3(b) 所示。 Δn 与声波强度 I_s 密切相关, 并有:

$$\Delta n \propto I_s^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

联系式(5)和(6)可知, 当衍射效率较低时, 偏转部分的光强与声波强度也有正比关系。而声波强度由加于晶体的电驱动功率决定。也就是说, 只要在一定范围内改变电驱动功率, 就可以得到不同的偏转光功率输出。

综合上面的分析, 如果我们以某一确定频率的电信号作为布喇格晶体的驱动源, 在对应的偏转角 θ_B 处接收偏转光, 则它与偏转角为 0 处的未偏转光构成一对可调分光输出。这种方式得到的可调光分路器有一个不足之处, 即有一路分光输出的光信号已发生了频移, 这对于幅度信号的处理不会带来问题, 但是, 如果处理的是频率信息, 则要考虑频移这个因素。利用电光或磁光效应^[5,9], 也可开发出类似的可调光分路器。

2.4 Mach-Zehnder 干涉可调分光技术

Mach-Zehnder 干涉技术^[7-9]可以用来实现可调光

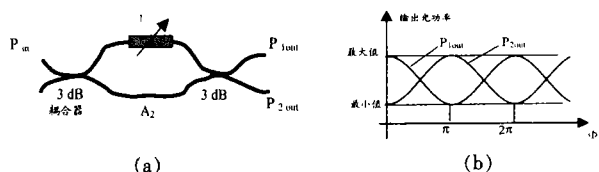


图4 Mach-Zehnder 干涉可调光分路

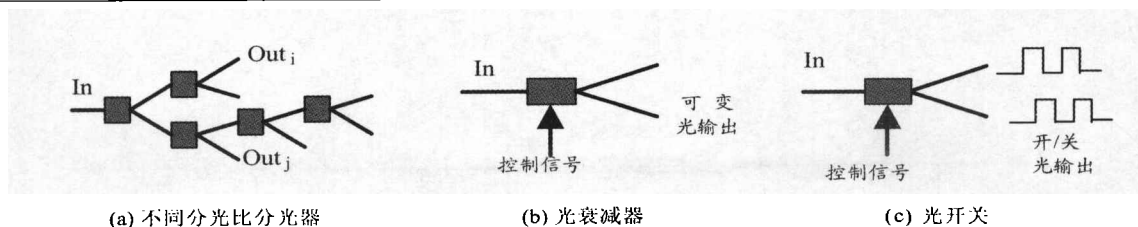


图5 可调光分路器在光网系统中的应用

分路(耦合)。如图4(a)所示,两个3dB 光纤耦合器构成一个 Mach-Zehnder 干涉结构,两3dB 光纤耦合器之间的共同部分为它的两个光纤干涉臂 A_1 和 A_2 。当一个3dB 光纤耦合器的一根光纤有光功率为 P_{in} 的光信号(相干光)输入时,另一个3dB 光纤耦合器的两输出端口均有光信号输出,其光功率 P_{1out} 和 P_{2out} 的大小分别为:

$$P_{1out} = P_{in} (1 + \alpha \cos \phi_s) / 2 \quad (10)$$

$$P_{2out} = P_{in} (1 + \alpha \sin \phi_s) / 2 \quad (11)$$

式中 α 为耦合系数, ϕ_s 是两干涉臂之间的相位差。输出光功率与相位差的关系曲线示于图4(b),两路光输出的功率,随着 ϕ_s 的不同在最大值和最小值之间交替变化。

由此可知,只要在一定范围内改变两臂之间的相位差,就可以在得到可调光分路(耦合)输出。改变相位差 ϕ_s 的办法很多,比如,我们可以将具有电致伸缩、磁致伸缩或热致伸缩效应的材料与其中的一个干涉臂紧固在一起,然后加上电场、磁场或加热使其产生伸缩变化,也即改变该干涉臂的光纤长度(光程),从而达到改变两臂之间相位差的目的。

3 可调光分路器/耦合器的应用

3.1 可调光分路器在光传输网络中的应用

可调光分路器最典型的应用是在各种光传输网络中作为光信号的分路器件,比如,在光纤 CATV 网络中,需要大量的分光比例不同的光分路器,如图6(a)

所示。如果有一种分光比设置简单而又低成本的可调分光器,将会给网络的建设带来极大的方便。

可调光分路器在光网络中其它应用:可以直接用作可调光衰减器,因为可调光分路器的任一输出端的光功率是可调的,即输出端对输入端的插入损耗(衰减)是可调的,如图5(b)所示。再如,可调光分路器可作为光开关使用:取特定的控制信号,使可调分路器输出端口的光功率只有0和最大值两个状态,则该可调光分路器具有了光开关的功能,如图5(c)所示。

3.2 可调光分路器在其它光器件中的应用

可调光分路器可用作其它光器件(比如可用于光放大器的可调增益均衡器、自适应光放大器等)的组成部分。以可调增益均衡器为例,IBM Zurich 研究实验室报道了有限脉冲响应(FIR)型的可调增益均衡器^[10]。如图6所示,这种均衡器主要由8个可调光耦合器和7个可调光延时器构成,可以用于掺铒光纤放大器(EDFA)的动态增益均衡。

图7是一种自适应 EDFA 原理图^[11]。该放大器由两级组成:第一级主要用于优化噪声性能,第二级优化光放大器增益。可调光分路器是这种 EDFA 中的重要部件。通过可调光分路器,第一级的泵浦光在实现第一级放大并优化噪声性能的情况下,剩余部分的泵浦光被用于第二级放大的反向泵浦。这样,在无需对放大器的结构及泵浦激光器参数进行改动的情况下就可以充分利用泵浦激光的输出功率。这种光放大器能够按照外界条件自动调整其工作状态以符合系统应用需求,同一个 EDFA 即可以作为放大小信号的前置放大器,也可以作为放大强信号的功率放大器。

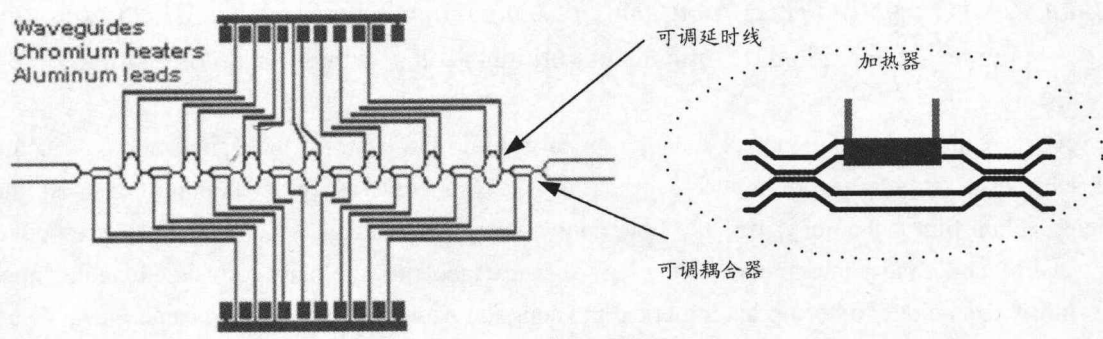


图6 动态可调增益均衡器

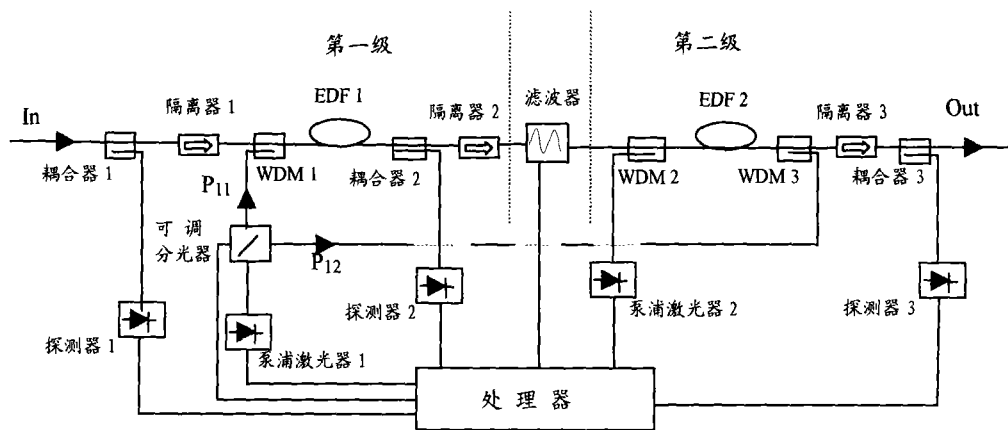


图7 一种自适应掺铒光纤放大器的原理

4 结束语

在传统的光传输系统中,光分路器/耦合器用得较多,而可调光分路器/耦合器用得较少。但随着光传输系统网络技术及器件技术的发展,可调光分路器/耦合器将会有更多更广泛的应用。本文介绍和讨论了几种可能实现可调光分路器/耦合器的技术,及可调光分路器/耦合器在光传输网络和器件等技术领域的典型应用模式。

尽管有些技术方案可能不易实施或成本太高,但这些技术设想对实际的可调光分路器/耦合器及其相关产品的研发有启发和借鉴作用。预计在不远的将来,符合各种应用需求的及不同种类的可调光分路器/耦合器,比如廉价的、设值方便的、可精密控制的、多用途的可调光分路器/耦合器将会陆续开发出来,可调光分路器/耦合器的应用技术也会得到更大的发展。

参考文献

- Hideyuki Sotobayashi, Ken-ichi Kitayama. Transfer response measurements of a programmable bipolar optical transmission filter by using the ASE noise of an EDFA, IEEE Photonics Technology Letters, 1999, 7: 871~873
- Anthony Filanowki. Optical code division multiple access networking (Motorola), <http://www.apn.ca>.
- Yariv A, Yeh P. Optical Wave in Crystals Propagation and Control of Laser Radiation, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1984.
- Chang I C. Acousto-optic Devices and Application, IEEE Trans, 1976, 2~22
- Waksberg A. Electro-optic modulators for laser. Opt. and Laser Techn., 1976.
- Ross W E. ZD Magneto-optic spatial light modulator for signal processing. Proc. SPIE, 1982, 341: 191~198
- Eric Udd, Fiber Optics Sensor, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1991
- Jackson D A, Dandridge A, Sheem S k. Measurements of small phase shifts using a single-mode diode optical fiber interferometer. Opt. Lett., 1980, 5: 139
- Sheem S k, Giallorenzi T G. Mode optical fiber power divider: encapsulated etching technique. Opt. Lett. 1979; 4: 29
- <http://www.zurich.ibm.com/index.html>.
- Xiao Shilin, Zeng Qingji, Jiang Chu, et al. Adaptive optical amplifier technology, SPIEOM'01 (Optoelectronics and Microelectronics 2001 meeting), Proc. SPIE, 2001, 4582: 133~138

Realization technology of tunable optical splitter and its applications

Xiao Shilin, Zeng Qingji, Liu Hua, Wang Jianxin, Jiang ming, Xiao Pengchen, Huang Jun, Liu Jimin
(Center for Broadband Optical Networking Tech., Shanghai Jiaotong Univ.)

Abstract Several realization techniques of tunable optical splitter and some of their applications, including some prospective schemes, are discussed in this paper. It is explained by specific examples that all the variable transmission/reflection film technology, variable fiber couple length technology, acousto-optic/electro-optic deflection technology, and Mach-Zehnder interference technology are the capable technologies to realize tunable optical splitter, and tunable splitter technology to be applied to optical transmission networks, other devices and optical measurements.

Keywords optical communication; optical components; optical splitter; optical coupler; tunable optical splitter/coupler