



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200410057574.9

[43] 公开日 2005年3月30日

[11] 公开号 CN 1601929A

[22] 申请日 2004.8.20

[21] 申请号 200410057574.9

[30] 优先权

[32] 2003.9.24 [33] JP [31] 331032/2003

[71] 申请人 夏普株式会社

地址 日本大阪府

[72] 发明人 伊藤弘朗 横川成一 松井高生

[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

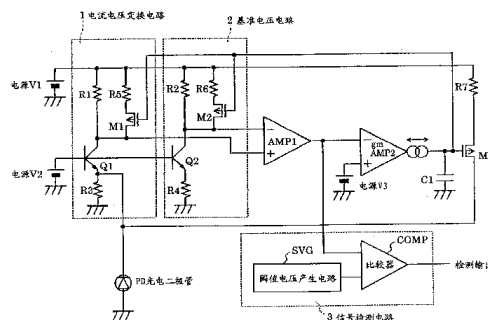
代理人 马莹 邵亚丽

权利要求书2页 说明书9页 附图4页

[54] 发明名称 光空间通信用接收电路

[57] 摘要

本发明提供一种光空间通信用接收电路，放大电路(AMP1)，放大把检测输入光的光电二极管(PD)的光电流变换为电压的电流电压变换电路(1)的输出电压和偏置电压的差，gm-放大器(AMP2)通过根据放大电路的输出电压和基准电压(V3)的差的电流对电容(C1)充放电。在光电二极管中流过电容的两端电压控制的漏极电流，使场效应晶体管(M3)不受在光电二极管中流过放大电路的输出电压的直流光电流的影响而变动。电流电压变换电阻(R1)上并联连接的场效应晶体管(M1)的栅极与场效应晶体管的栅极成为同电位，直流光电流变大时电阻值下降且电流电压变换电阻值下降，散粒噪声引起的噪音电压减小。由此，防止光电二极管产生的散粒噪声引起的误动作。



1.一种光空间通信用接收电路,具备:光电二极管(PD),检测输入光;电流电压变换电路(1),将该光电二极管(PD)的光电流变换为电压;以及
5 第一放大电路(AMP1),放大该电流电压变换电路(1)的输出电压;其中,还具备:

为使所述第一放大电路(AMP1)的输出电压不受直流光造成的所述光电二极管(PD)中流过的直流光电流和所述第一放大电路(AMP1)的偏移的影响而变动,而在所述光电二极管(PD)中流过消除这些影响的校正电流
10 的电路;以及

根据所述校正电流的值,控制所述电流电压变换电路(1)的变换增益的电路。

2.如权利要求1所述的光空间通信用接收电路,其具备:

包含将所述第一放大电路(AMP1)的输出电压和基准电压进行比较的
15 比较器(COMP)的信号检测电路(3)。

3.如权利要求1或权利要求2所述的光空间通信用接收电路,其中,使所述电流电压变换电路(1)的变换电阻值根据所述校正电流的值而变化。

4.如权利要求3所述的光空间通信用接收电路,其中,
20 与所述电流电压变换电路(1)的变换电阻(R1)并联连接其栅极电压根据所述校正电流而变化的第一场效应晶体管(M1)。

5.如权利要求3所述的光空间通信用接收电路,其中,
与所述电流电压变换电路(1)的变换电阻(R1)并联连接其栅极电压根据所述校正电流而变化的第一场效应晶体管(M1)和电阻(R5)的串联电
25 路。

6.如权利要求4所述的光空间通信用接收电路,其具备在所述光电二极管(PD)中流过所述校正电流的第二场效应晶体管(M3),

所述第一场效应晶体管(M1)的栅极和第一场效应晶体管(M3)的栅极形成同电位。

7.如权利要求6所述的光空间通信用接收电路,其中,
30 将电阻(R7)串联连接到所述第一场效应晶体管(M3)的源极。

8.如权利要求6所述的光空间通信用接收电路,其具备:

第二放大电路(AMP2),输入输出与所述第一放大电路(AMP1)的输出电压和基准电压之差对应的电流;以及

5 电容(C1),通过第二放大电路(AMP2)的输入输出电流进行充放电,并向所述第一场效应晶体管(M1)以及第二场效应晶体管(M3)提供栅极电位。

9.如权利要求1所述的光空间通信用接收电路,其具备:

第二放大电路(AMP2),比较所述第一放大电路(AMP1)的输出电压和第一基准电压,并输入输出与其差对应的电流;

10 电容(C1),通过该第二放大电路(AMP2)的输入输出电流充放电;

第一场效应晶体管(M1)和电阻(R5)的串联电路,并联连接在所述电流电压变换电路(1)的变换电阻(R1)上;以及

第二场效应晶体管(M3)和电阻(R7)的串联电路,使由所述电容(C1)的两端电压控制的漏极电流流过所述光电二极管(PD);

15 所述第一放大电路(AMP1)放大所述电流电压变换电路(1)的输出电压和偏置电压的差,

所述第一场效应晶体管(M1)的栅极和所述第二场效应晶体管(M3)的栅极为同电位。

10.如权利要求9所述的光空间通信用接收电路,其中,

20 作为供给所述偏置电压的偏置电路,使用与所述电流电压变换电路(1)相同电路结构的基准电压电路(2)。

光空间通信用接收电路

5 技术领域

本发明涉及在接收光元件中使用了光电二极管的光空间通信用接收电路，特别涉及防止了由光电二极管产生的散粒噪声引起的误操作的光空间通信用接收电路。

10 背景技术

在接收并识别从发送电路射出，经由空间传播而来微弱的光信号的光空间通信用接收电路中，使用光电二极管作为接收光元件的情况下，防止由散粒噪声引起的误操作很重要。

光电二极管中流过电流*i*时，光电二极管的PN结产生的散粒噪声，可以用 $\sqrt{2 \times q \times i \times \Delta f}$ 表示。即，所述的散粒噪声与电流值的平方根成比例增加。另外，在上式中，*q*表示净电荷， Δf 表示频带。

在黑暗条件下接收信号时，即没有直流光的状态下，光电二极管中不流过电流，所以光电二极管的PN结产生的散粒噪声为零。

但是，在没有散粒噪声的状态下接收信号时，在灵敏度最好的状态下设定信号检测电路的阈值电压值时（参照图4的左图），明亮的环境条件的情况下（有直流光的时候），光电二极管中流过直流电流并产生所述的散粒噪声。该散粒噪声与信号同时被放大，由于被导入信号检测电路，在信号检测电路中，检测信号和噪声的两方面，引起误操作（参照图4的右图）。

为了不引起该误操作，有必要在黑暗状态下灵敏度差的方向上设定信号检测电路的阈值电压值。但是，如果这样设定阈值电压，则灵敏度全面下降。

为了防止这样的灵敏度的下降，设计有如图2那样的电路。在图2中，光电二极管PD产生的电流，成为构成电流电压变换电路11中的基极接地电路的NPN晶体管Q1的集电极电流，由电流电压变换电阻R1变换为电压。之后，由电容C1和电阻R4构成的AC耦合电路（=微分电路）取出AC分量，由放大电路AMP1放大。之后，进而由电容C2和电阻R6构成的AC耦合电路（=微分电路）取出AC分量。然后，由比较器COMP比较取出了的

所述 AC 分量和阈值电压产生电路 SVG 的阈值电压，检测叠加在输入光中的光信号。

在有直流光的环境下使用该现有电路时，光电二极管 PD 中流过直流电流，由于该电流在电阻 R1 上产生电压下降。然后，该电压下降超过二极管 D1 的正向电压时，光电二极管 PD 产生的电流分流给电阻 R1 和电阻 R2。由此，电流电压变换电阻值下降至大致电阻 R1 和电阻 R2 的并联电阻值，变换增益下降。由此，可以使光电二极管 PD 产生的散粒噪声引起的噪声电压减小，防止信号检测电路 12 将噪声误认为信号这样的误操作。

但是，在图 2 所示的现有电路中，有以下这样的课题。

晶体管 Q1 的集电极电压根据由于直流光而在光电二极管 PD 中流过的直流电流的值而变动，所以如果晶体管 Q1 的集电极电压直接耦合在放大电路 AMP1 中，则晶体管 Q1 的集电极电压的直流分量增益加倍。放大电路 AMP1 的增益，通常为了提高信号检测灵敏度而设定为 200 倍左右。因此，如果晶体管 Q1 的集电极电压的直流分量变动 0.7V，则放大电路 AMP1 的输出达到 $0.7 \times 200 = 140V$ 。这样，有必要设定放大电路 AMP1 的动作电源电压在此以上，但不实用。在实用上，必须以几 V 左右的动作电源电压使之动作。由此，为了输入放大电路 AMP1，有必要将晶体管 Q1 的集电极电压的直流分量截止，只使 AC 分量通过。由此，在放大电路 AMP1 的前级中必需由电容 C1 和电阻 R4 构成的 AC 耦合电路。

而且，放大电路 AMP1 中一定存在偏移，除此之外，因电阻 R4、R5 的相对精度等，放大电路 AMP1 的输出有偏差。例如，如果放大电路 AMP1 的输入有 1mV 的偏移，则放大电路 AMP1 的输出成为 0.2V（增益 = 200 倍）。如果放大电路 AMP1 和信号检测电路 12 的比较器 COMP 直接连接，则检测灵敏度只偏差该偏移电压分量。为了防止这种连接，在放大电路 AMP1 的输出和比较器 COMP 之间，必需由电容 C2 和电阻 R6 构成的另一个 AC 耦合电路。

这样，图 2 的现有电路中，从电流电压变换器 11 至比较器 COMP 必需两个 AC 耦合电路。但是，这样，有两个 AC 耦合电路的情况下，如图 2 所示，信号脉冲被两次微分，所以有在信号结束时刻信号电压上升的特性。换言之，存在尽管信号结束，却好像有信号那样动作，信号检测电路 12 的比较器 COMP 输出不是信号的误信号的问题。

发明内容

本发明解决了这样的现有的问题，其目的在于提供一种光空间通信用接收电路，该电路不使用引起图3那样的问题的AC耦合电路，可以用其它结构控制，以便使放大电路AMP1的输出不受直流光电流或放大电路AMP1自身的偏移的影响而变动，而且，可以防止光电二极管PD产生的散粒噪声引起的误动作。

本发明的光空间通信用接收电路为了达成所述的目的，而具备：光电二极管，检测输入光；电流电压变换电路，把该光电二极管的光电流变换为电压；以及第一放大电路，放大该电流电压变换电路的输出电压；其中，所述第一放大电路的输出电压，为了不受由于直流光而在所述光电二极管中流过直流光电流以及所述第一放大电路的偏移的影响而变动，而具备：在所述光电二极管中流过消除该影响的校正电流的电路、和根据所述校正电流的值控制所述电流电压变换电路的变换增益的电路。

本发明的其它光空间通信用接收电路为了达成所述目的，而具备：光电二极管，检测输入光；电流电压变换电路，把该光电二极管的光电流变换为电压；第一放大电路，放大该电流电压变换电路的输出电压；以及信号检测电路，包含比较该第一增幅电路的输出电压和基准电压的比较器；其中，所述第一放大电路的输出电压，为了不受由于直流光而在所述光电二极管中流过直流光电流以及所述第一放大电路的偏移的影响而变动，而具备：在所述光电二极管中流过消除该影响的校正电流的电路、和根据所述校正电流的值控制所述电流电压变换电路的变换增益的电路。

而且本发明的其它的光空间通信用接收电路为了达成所述目的，而具备：光电二极管，检测输入光；电流电压变换电路，把该光电二极管的光电流变换为电压；第一放大电路，放大该电流电压变换电路的输出电压和偏置电压的差；第二放大电路，比较第一放大电路的输出电压和第一基准电压，输入输出根据其差的电流；电容，通过该第二放大电路的输入输出电流充放电；串联电路，串联与所述电流电压变换电路的变换电阻并联连接的第一场效应晶体管 and 电阻；以及串联电路，串联在所述光电二极管中流过由所述电容的两端电压控制的漏极电流的第二场效应晶体管和电阻；所述第一场效应晶体管的栅极和所述第二场效应晶体管的栅极设为同电压。

本发明的光空间通信用接收电路，为使第一放大电路的输出电压不受由于直流光而在光电二极管中流过的直流光电流以及第一放大电路的偏移的影响而变动，由于消除该影响的校正电流流过光电二极管，尽管是直流光电流以及偏移，第一放大电路的输出电压也大致一定，不需要以往必需的 AC 耦合电路。而且，这样，校正电流在光电二极管中流过时，流过作为校正电流的用于抵消光电二极管中流过的直流光电流的电流，由于不在电流电压变换电路中流过，所以与电流电压变换电阻并联连接二极管的现有的电流电压变换电路的结构中，不能切换电流电压变换电路的增益。

因此本发明中，通过根据校正电流的值控制电流电压变换电路的变换增益，光电二极管中流过的直流光电流超过某一值时，电流电压变换电路的变换增益下降。其结果，按照本发明的光空间通信用接收电路，引起如图 3 那样的问题的 AC 耦合电路成为不需要，而且，可以防止光电二极管产生的散粒噪声引起的误操作。

根据以下所示的记载，应该充分明白了本发明的其它目的、特征、以及优点。而且，应该可以通过参照附图的接下来的说明明白本发明的有利点。

附图说明

图 1 是本发明的一实施例的光空间通信用接收电路的电路图。

图 2 是现有的光空间通信用接收电路的电路图。

图 3 是用于说明现有的光空间通信用接收电路的问题点的波形图。

图 4 是用于说明光电二极管产生的散粒噪声的波形图。

具体实施方式

基于附图说明本发明的一实施方式。如图 1 所示，本实施方式的光空间通信用接收电路光空间通信用接收电路具备：光电二极管 PD，检测输入光；电流电压变换电路 1，把光电二极管 PD 的光电流变换为电压；基准电压电路 2；第一放大电路 AMP1，放大电流电压变换电路 1 的输出电压和基准电压电路 2 的输出电压的差；第二放大电路（gm-放大器）AMP2，比较第一放大电路 AMP1 的输出电压和基准电压（电源 V3），输出根据其差的电流；电容 C1，通过第二放大电路 AMP2 的输入输出电流充放电；场效应晶体管（以下称作 MOS 晶体管）M3，在光电二极管 PD 中流过由电容 C1 两端电压控制的漏极

电流；电阻 R7，与 MOS 晶体管 M3 串联连接；信号检测电路 3，包含比较
第一放大电路 AMP1 的输出电压和阈值电压产生电路 SVG 的阈值电压并生成
检测输出的比较器 COMP。这里，MOS 晶体管 M3 是如下类型：如栅极电压
上升则漏极源极间的电阻值增大；如栅极电压下降则漏极源极间的电阻值减
5 小。

而且，电流电压变换电路 1 由以下部件组成：构成基极接地电路的 NPN
型的晶体管 Q1、连接到其发射极的电阻 R3、连接到其集电极的电流电压变
换电阻 R1、与该电流电压变换电阻 R1 并联连接的 MOS 晶体管 M1 和电阻
R5 的串联电路。而且，MOS 晶体管 M1 的栅极与 MOS 晶体管 M3 的栅极相
10 互连接，控制使其相互成为相同电位。

进而，基准电压电路 2 由与电流电压变换电路 1 相同的电路、相同的形式
构成。换言之，由晶体管 Q1 和晶体管 Q2、与电阻 R1、R3、R5 相同的电
阻 R2、R4、R6、与 MOS 晶体管 M1 相同的 MOS 晶体管 M2 构成。

另外，电源 V1 为电流电压变换电路 1、基准电压电路 2、MOS 晶体管
15 M3 等提供动作电压，电源 V2 为晶体管 Q1、Q2 提供偏置电压。

接着，说明这样构成的本实施例的光空间通信用接收电路的动作。

在图 1 中，光电二极管 PD 中流过的电流通过晶体管 Q1 的基极接地电路
成为晶体管 Q1 的集电极电流，由电流电压变换电阻 R1 变换为电压。由放大
电路 AMP1 放大该电压和由与电流电压变换电路 1 相同的电路构成的基准电
20 压电路 2 得到的基准电压的差。放大电路 AMP1 的输出电压被输入到根据和
基准电压 V3 的差进行电流的输入输出的放大电路（gm-放大器）AMP2，同
时被输入到信号检测电路 3。在信号检测电路 3 中，由比较器 COMP 比较放
大电路 AMP1 的输出电压和阈值电压产生电路 SVG 的阈值电压，生成检测输
出。

25 另一方面，放大电路（gm-放大器）AMP2 的输入输出电流对电容 C1 进
行充放电，把由此产生的电容 C1 的端子电压作为控制电压的 MOS 晶体管
M3 的漏极电流流入光电二极管 PD。由此，如以下这样，由于外部光而在光
电二极管 PD 中产生的直流电流被消除。

30 由于直流光而在光电二极管 PD 中流过的直流电流增加时，晶体管 Q1 的
集电极电位下降，由于该集电极电位被输入到放大电路 AMP1 的正输入，所
以放大电路 AMP1 的输出下降；由于放大电路 AMP1 的输出被输入到放大电

路 (gm-放大器) AMP2 的正输入, 所以放大电路 AMP2 通过使电流从电容 C1 放电而使电容 C1 的端子电位 (M3 的栅极电位) 下降, MOS 晶体管 M3 的漏极电流增加, 消除光电二极管 PD 中流过的直流电流, 晶体管 Q1 的集电极电流减少, 集电极电位上升。相反, 光电二极管 PD 中流过的直流电流减少时, 晶体管 Q1 的集电极电位上升, 放大电路 AMP1 的输出上升, 放大电路 AMP2 通过使电流从电容 C1 放电而使电容 C1 的端子电位 (M3 的栅极电位) 上升, MOS 晶体管 M3 的漏极电流减少, 晶体管 Q1 的集电极电流只增加该部分, 其集电极电位下降。像这样, 由于在图 1 的电路中构成负反馈电路, 为了消除在光电二极管 PD 中流过的直流电流, MOS 晶体管 M3 的漏极电流一定。这里, 串联连接在 MOS 晶体管 M3 的源极的电阻 R7 用于调整 MOS 晶体管 M3 的 gm (互导)。

而且, 由于具有与 MOS 晶体管 M3 的栅极相同电位的栅极的 MOS 晶体管 M1 与电流电压变换电阻 R1 并联连接, 所以由于外部光而在光电二极管 PD 中流过的直流电流增加时, MOS 晶体管 M3 的漏极电流增加, 由于消除光电二极管 PD 中流过的直流电流, 同时 MOS 晶体管 M1 的栅极电压也下降, 所以 MOS 晶体管 M1 的源极漏极间电阻变小, 晶体管 Q1 的集电极电流被电阻 R1 和 MOS 晶体管 M1 分流, 电流电压变换电阻值变小, 电流电压变换增益下降。由此, 光电二极管 PD 产生的散粒噪声引起的电压噪声减小, 可以防止信号检测电路 3 的误动作。这里, 串联连接到 MOS 晶体管 M1 的电阻 R5, 有防止 MOS 晶体管 M1 的电阻值过于下降, 即电流电压变换增益过于下降的情况的效果。

而且, 通由与电流电压变换电路 1 相同的电路、相同的形式基准电压电路 2 产生放大电路 AMP1 的基准电压, 由于环境的变化或外来噪声等, 电流电压变换电路 1 的输出和基准电压受相同的影响, 由于以它们为输入的放大电路 AMP1 通过差动动作, 所以环境的变化或外来噪声引起的变化不表现在放大电路 AMP1 的输出中。由此, 可以进行稳定的信号检测。

这样, 按照本实施例, 设置放大电路 (gm-放大器) AMP2, 比较放大电路 AMP1 的输出电压和基准电压并输入输出根据这些差的电流, 通过在光电二极管 PD 中流过由通过该输出电流充放电的电容 C1 的两端电压控制的 MOS 晶体管 M3 的漏极电流, 由于放大电路 AMP1 的输出不受外部光引起的直流电流以及放大电路 AMP1 的偏移的影响而变动, 所以不需要以往必需的

两个 AC 耦合电路。而且，与电流电压变换电阻 R1 并联连接 MOS 晶体管 M1，通过使该栅极和外部光引起的直流电流消除用的 MOS 晶体管 M3 公用，根据外部光引起的直流光电流电流电压变换电阻值下降，使外部光引起的散粒噪声引起的噪声电压减小，可以防止误动作。

- 5 本发明的第一光空间通信用接收电路具备：光电二极管，检测输入光；电流电压变换电路，把该光电二极管的光电流变换为电压；以及第一放大电路，放大该电流电压变换电路的输出电压；其中，为使所述第一放大电路的输出电压，不受由于直流光而在光电二极管中流过的直流光电流以及所述第一增幅电路的偏移的影响而变动，而具备：控制在光电二极管中流过消除该影响的校正电流的电路，和根据所述校正电流的值控制所述电流电压变换电路的变换增益的电路。

- 10 本发明的第二光空间通信用接收电路具备：光电二极管，检测输入光；电流电压变换电路，把该光电二极管的光电流变换为电压；第一放大电路，放大该电流电压变换电路的输出电压；以及信号检测电路，包含比较该第一增幅电路的输出电压和基准电压的比较器；其中，为使所述第一放大电路的输出电压，不受由于直流光而在光电二极管中流过的直流光电流以及所述第一增幅电路的偏移的影响而变动，而具备：控制在光电二极管中流过消除该影响的校正电流的电路，和根据所述校正电流的值控制所述电流电压变换电路的变换增益的电路。

- 20 本发明的第三光空间通信用接收电路，是在所述第一或第二光空间通信用接收电路中，使所述电流电压变换电路的变化电阻根据所述校正电流的值变化的结构。

- 25 本发明的第四光空间通信用接收电路，是在所述第三光空间通信用接收电路中，与所述电流电压变换电路的变换电阻并联连接栅极电压根据所述校正电流变化的第一场效应晶体管的电路。

本发明的第五光空间通信用接收电路，是在所述第三光空间通信用接收电路中，与所述电流电压变换电路的变化电阻并联连接栅极电压根据所述校正电流变化的第一场效应晶体管与电阻的串联电路的结构。

- 30 本发明的第六光空间通信用接收电路，是在所述第四或第五光空间通信用接收电路中，具备在所述光电二极管中流过所述校正电流的第二场效应晶体管，使所述第一场效应晶体管的栅极和所述第二场效应晶体管的栅极为同

电位的结构。

本发明的第七光空间通信用接收电路，是在所述第六光空间通信用接收电路中，在所述第二场效应晶体管的源极串联连接电阻的结构。

5 本发明的第八光空间通信用接收电路，是在第六或第七光空间通信用接收电路中，具备：输入输出根据所述第一放大电路的输出电压和基准电压的差的电流的第二放大电路，和通过该第二放大电路的输入输出电流充放电，并供给所述第一以及第二场效应晶体管栅极电位的电容。

10 本发明的第九光空间通信用接收电路具备：光电二极管，检测输入光；电流电压变换电路，把该光电二极管的光电流变换为电压；第一放大电路，放大该电流电压变换电路的输出电压；第二放大电路，比较该第一放大电路的输出电压和第一基准电压，输入输出根据其差的电流；电容，通过该第二放大电路的输入输出电路充放电；串联电路，串联所述电流电压变换电路的变换电阻上并联连接的第一场效应晶体管和电阻；串联电路，在所述光电二极管中流过由所述电容的两端电压控制的漏极电流的第二场效应晶体管和电
15 阻；把所述第一场效应晶体管的栅极和所述第二场效应晶体管的栅极设为同电位。

本发明的第十光空间通信用接收电路，是在所述第九光空间通信用接收电路中，作为供给所述偏置电压的偏置电路，使用与所述电流电压变换电路相同电路结构的电路。

20 本发明的光空间通信用接收电路，为使第一放大电路的输出电压不受由于直流光而在光电二极管中流过的直流光电流以及第一放大电路的偏移的影响而变动，由于光电二极管中流过消除其影响的校正电流，所以尽管是直流光电流以及偏移，第一放大电路的输出电压大致一定，不需要以往必需的 AC 耦合电路。而且，在光电二极管中这样流过校正电流时，由于将用于抵消流
25 过光电二极管的直流光电流作为校正电流流过，而不在电流电压变换电路中流过，所以在与电流电压变换电阻并联连接二极管的现有的电流电压变换电路的结构中，不能切换电流电压变换电路的增益。

因此，在本发明中，通过根据校正电流的值来控制电流电压变换电路的变换增益，在光电二极管中流过的直流光电流超过某一值时，电流电压变换电路的变换增益下降。其结果，按照本发明的光空间通信用接收电路，不
30 需要如图 3 那样的引起问题的 AC 耦合电路，而且，可以防止光电二极管产生

的散粒噪声造成的误动作。

如上所述，本发明对使用光电二极管作为接收光元件的光空间通信用接收电路有用，特别适于在从外部光的直流光中叠加有微小的光信号的输入光只接收并识别光信号的光空间通信用接收电路中使用。

- 5 在本发明的详细说明项中完成了的具体的实施方式或实施例只是用于使本发明的技术内容明朗，不应仅限定这样的具体例来狭义地解释，在不脱离本发明的意旨的范围内，可以有各种变更实施方式。

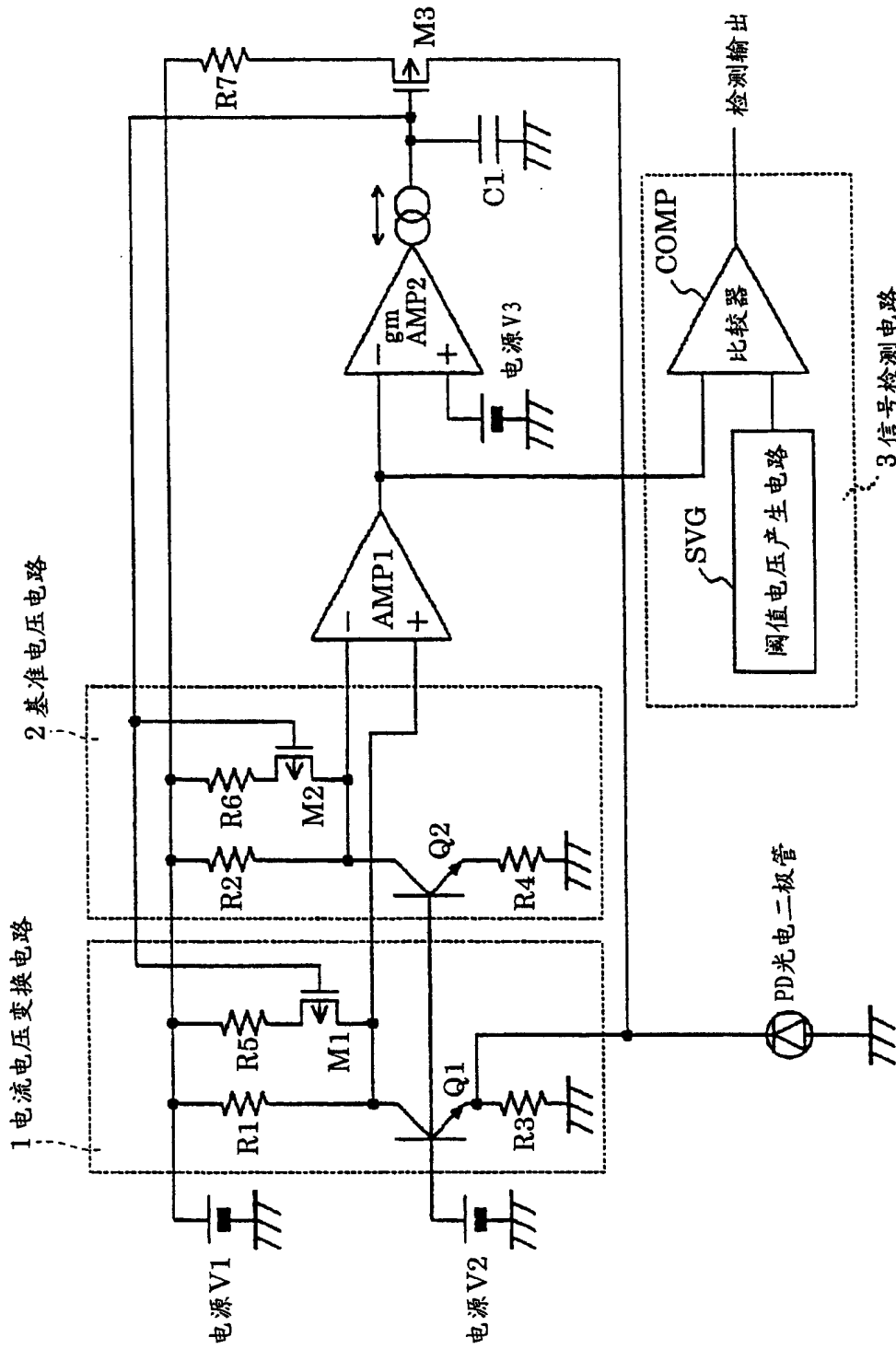


图 1

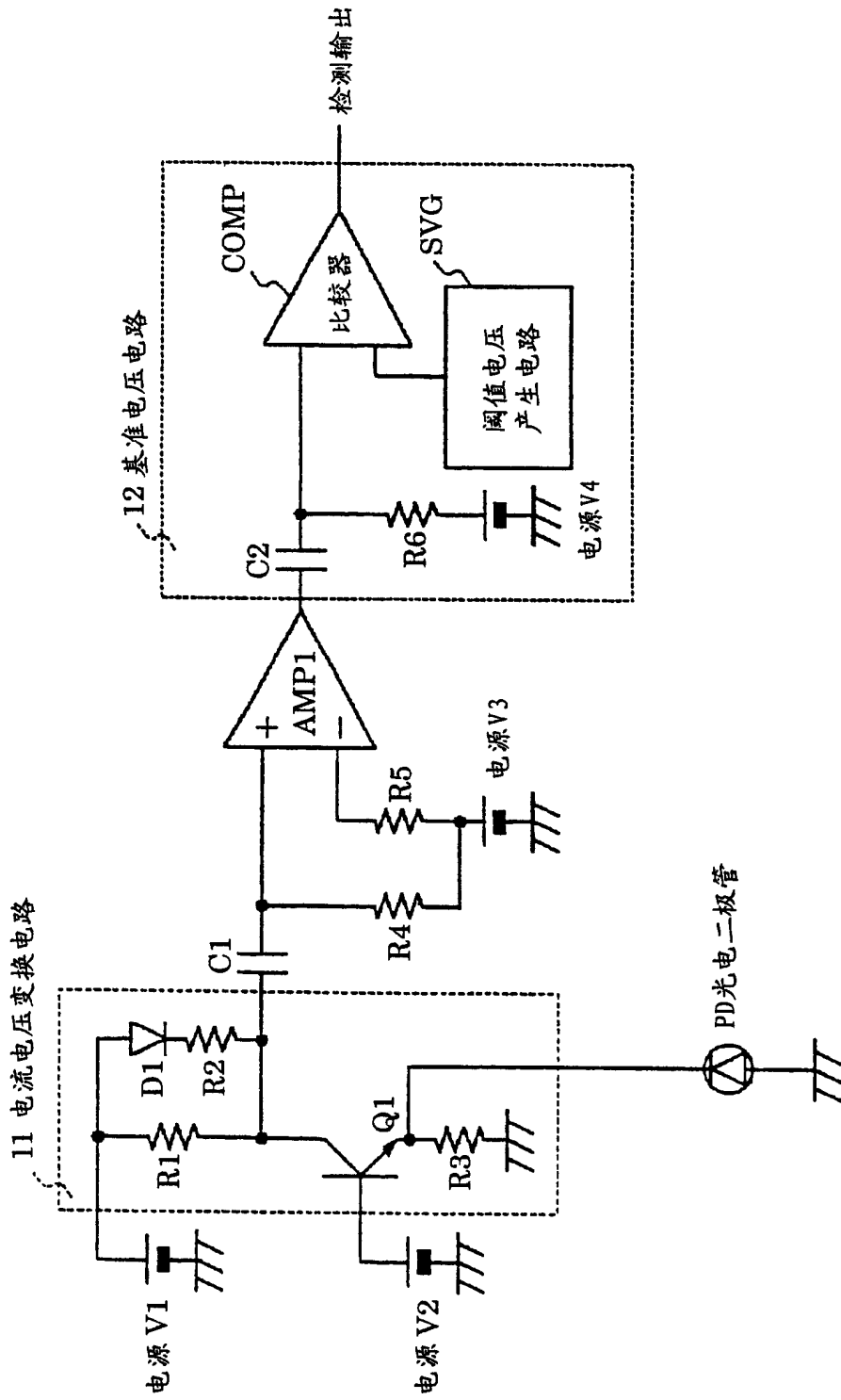


图 2

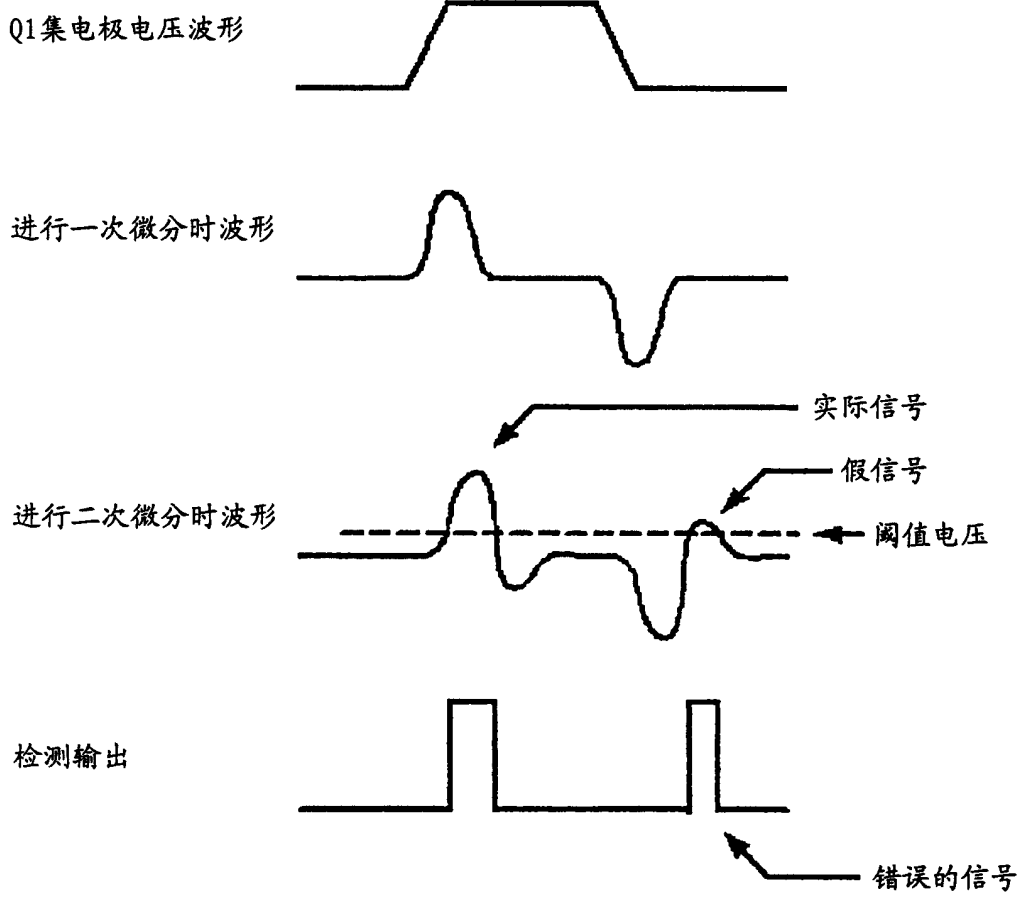


图 3

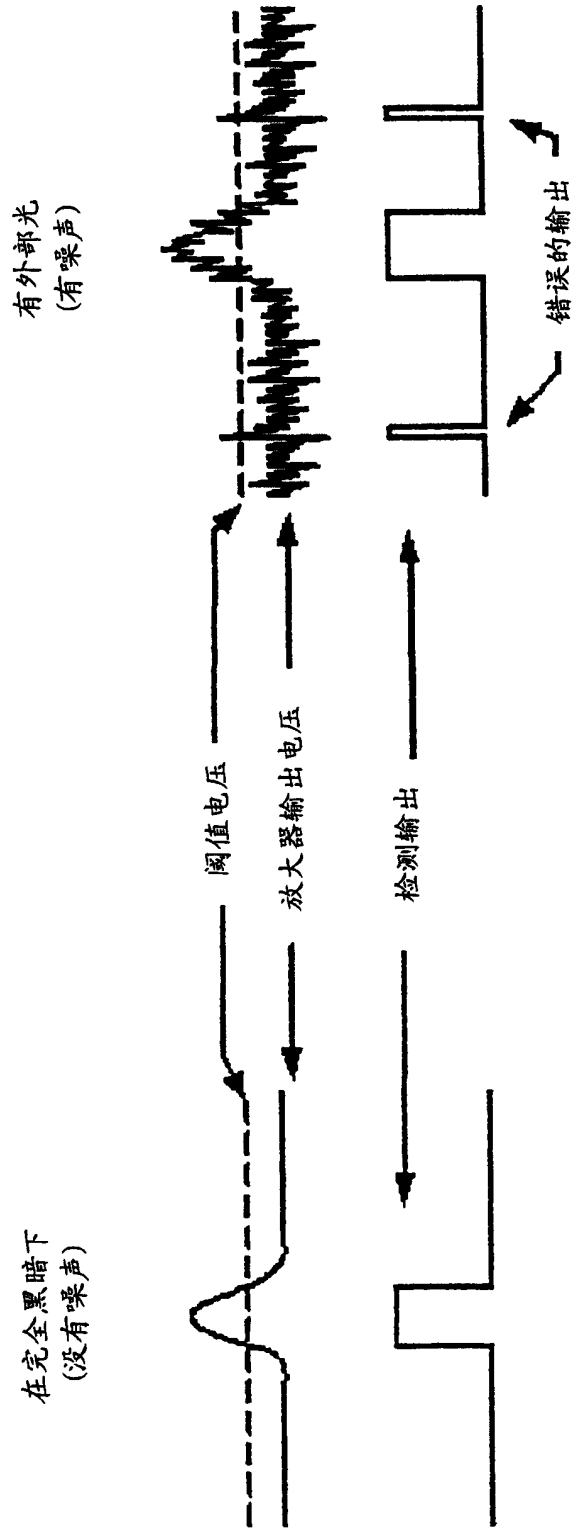


图 4