

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H03F 3/34 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200480030180.2

[45] 授权公告日 2009 年 9 月 16 日

[11] 授权公告号 CN 100542016C

[22] 申请日 2004.10.6

[21] 申请号 200480030180.2

[30] 优先权

[32] 2003.10.15 [33] EP [31] 03103807.8

[86] 国际申请 PCT/IB2004/051986 2004.10.6

[87] 国际公布 WO2005/039044 英 2005.4.28

[85] 进入国家阶段日期 2006.4.14

[73] 专利权人 NXP 股份有限公司

地址 荷兰艾恩德霍芬

[72] 发明人 拉奇德·厄勒·瓦法奥伊

[56] 参考文献

EP0387951A 1990.9.19

US2001038301A 2001.11.8

US4728815A 1988.3.1

CN1383262A 2002.12.4

US5654629A 1997.8.5

US2002180490A1 2002.12.5

审查员 崔 哲

[74] 专利代理机构 北京天昊联合知识产权代理有限公司

代理人 陈 源 张天舒

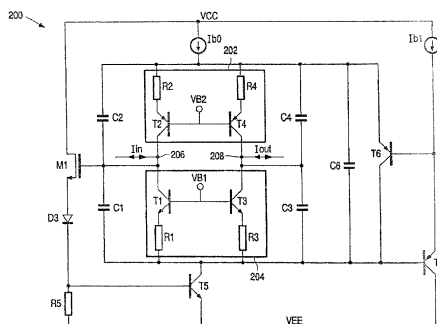
权利要求书 2 页 说明书 6 页 附图 6 页

[54] 发明名称

用于放大双极性信号的电子电路

[57] 摘要

本发明涉及一种电子电路，用于放大双极性对称电流信号。该电子电路具有一对互补电流镜。根据双极性电流信号的极性，该对互补电流镜中的一个运行，同时另一电流镜处于关断状态。这样就避免了向输入信号中加入偏置电流，从而充分降低了噪声。



1、一种电子电路，用于放大双极性电流信号 (I_{in})，所述电子电路包括一对互补电流镜 (202, 204)，所述一对互补电流镜在输入端 (206) 和输出端 (208) 互相连接，其中当施加正电流信号时，所述一对互补电流镜的第一互补电流镜 (204) 运行，并且其中当在输入端上施加负电流信号时，所述一对互补电流镜的第二互补电流镜 (202) 运行，

所述电子电路还包括旁路电容 ($C1, C2, C3, C4$)，所述旁路电容耦合到所述第一和第二互补电流镜。

2、如权利要求 1 所述的电子电路，其中所述第一互补电流镜是 NPN 电流镜，所述第二互补电流镜是 PNP 电流镜。

3、如权利要求 1 或 2 所述的电子电路，还包括用于所述第一和第二互补电流镜中每一个的负反馈电阻对 ($R1, R2; R3, R4$)。

4、如权利要求 1 或 2 所述的电子电路，还包括反馈晶体管 ($M1$)，该反馈晶体管的控制端耦合到所述输入端。

5、如权利要求 4 所述的电子电路，所述反馈晶体管是 NMOS 型晶体管。

6、如权利要求 4 所述的电子电路，所述反馈晶体管是 NPN 型晶体管。

7、如权利要求 1 或 2 所述的电子电路，还包括耦合到所述输入端的电阻 (210)，用于提供双极性电压信号输入端。

8、一种超声装置，包括：

超声接收器 (214)，用于提供超声双极性电流信号，

一对互补电流镜，所述一对互补电流镜在第一端子和第二端子互相连接，所述第一端子耦合到用于接收所述超声双极性电流信号的所述超声接收器，

其中在所述超声双极性电流信号的正摆幅期间，所述一对互补电流镜的第一互补电流镜运行，而所述一对互补电流镜的第二互补电流镜关断，并且其中在所述超声双极性电流信号的负摆幅期间，所述第

二互补电流镜运行，而所述第一互补电流镜关断；

其中所述第一和第二互补电流镜与旁路电容(C1, C2, C3, C4)耦合。

用于放大双极性信号的电子电路

本发明涉及低噪声信号放大的领域，更具体而言，不限制双极性电流信号，尤其是对称信号的放大。

用于信号放大的电流镜电路的使用在现有技术中是已知的。WO00/31604 揭示了一种电流镜电路，其中将跨导级产生的电流分配给第一和第二半导体元件，使得保持输入电压接近于参考电压。这样显著减小了输入阻抗，从而获得大的带宽。然而，输入阻抗取决于半导体元件的电流放大系数，而该电流放大系数取决于输入电流。

WO02/19050 揭示了一种电流镜电路，其中带宽对输入电流的依赖减小了。图 1 示出了这种电流镜电路。

图 1 示出了电流镜级 14 的一个实施例。该电流镜电路包括电流输入端 14A、电流输出端 14B 和公共端 14C。输入端 14A 连接到光电二极管 A，该光电二极管在这里表示为信号电流源 S_{ph} 和寄生电容 C_{ph} 的形式。输出端 14B 连接到负载 Z_{i2} 。

第一可控半导体元件 T1 布置在电流输入端 14A 和公共端 14C 之间。第二可控半导体元件 T2 布置在电流输出端 14B 和公共端 14C 之间。半导体元件 T1、T2 经由负反馈电阻 R2、R3 连接到公共端。可控半导体元件 T1、T2 具有互相连接的控制电极 T1A、T2A，该控制电极还耦合到偏置电压源 V_{BIAS} ，该偏置电压源用于以参考电压偏置所述控制电极。

该电路还包括跨导级 12，该跨导级具有耦合到电流输入端 14A 的输入 12A 和耦合到公共端 14C 的输出 12B。

该电路的特征在于，互相连接的控制电极 T1A、T2A 经由第三可控半导体元件 T3 耦合到公共端，并且其特征还在于偏置电压源 V_{BIAS} 经由第三可控半导体元件 T3 的控制电极 T3A 耦合到这些控制电极

T1A、T2A。该互相连接的控制电极 T1A、T2A 还连接到电流源 SI。

在所示的实施例中，跨导级 12 包括第五可控半导体元件 T5，该第五可控半导体元件布置在跨导级的输出 12B 和地 GND 之间。第五可控半导体元件 T5 的控制电极耦合到另一可控半导体元件 M0 和电阻阻抗 R1 串联的公共端 12D。电流源 SI 用于偏置第三和第五可控半导体元件 T3 和 T5。

图 1 所示电路的运行如下所述。如果光电二极管向电流镜的输入端 14A 提供电流 I_{ph} ，跨导级 12 将从电流镜的公共端 14C 提取电流 I_c ，使得经由输入端 14A 的电流 I_{i1} 等于光电二极管 A 提供的电流 I_{ph} 。

由 T1 和 T2 形成的电流镜的运行使得由第二可控半导体元件 T2 传送电流 I_{O1} 。这两个电流的比为 $I_{O1}: I_{i1} = P$ ，P 为可控半导体元件 T1、T2 的面积比。同时，可控半导体元件 T1、T2 的控制电极 T1A、T2A 分别传导电流 I_{b1} 、 I_{b2} ，使得 $I_{i1} = \alpha I_{b1}$ 且 $I_{O1} = \alpha I_{b2}$ 。

由于第三可控半导体元件 T3 由电流源进行偏置，所以信号电流 $I_{b1} + I_{b2}$ 将基本上从公共端 12B 经由半导体元件 T3 的主电流路径传导。因此这些信号电流 I_{b1} 、 I_{b2} 对由跨导级 12 提取的电流 I_c 基本上没有贡献。因此电流 I_c 为 $I_{i1}(1+P)$ 。如果跨导级的放大率为 g_m ，那么输入电阻总计为 $(1+P)/g_m$ ，该输入电阻与可控半导体元件 T1、T2 的电流放大率没有关系，其中 $1:P$ 是半导体元件和/或电容阻抗的面积比。

图 1 的现有技术电流镜电路的缺点在于，如果输入信号是双极性或者如果该电路与电源交流耦合，则信号路径中需要偏置电流 I_{ph} 。这样输入信号中会增加大量噪声，从而降低电流镜电路的性能。

本发明提供了一种电子电路，用于放大双极性电流信号。该电子电路具有一对互补电流镜。该对电流镜在电子电路的输入端和输出端相互连接。当将双极性电流信号施加到输入端时，该对互补电流镜中的一个运行，同时另一个处于截止状态。例如，在双极性电流信号的正信号摆幅期间，该对互补电流镜中的第一电流镜运行，同时另一个

电流镜关断；同样，当双极性电流信号的负信号摆幅出现时，所述运行的电流镜转变到关断状态，同时另一个电流镜变成运行。

本发明的一个具体优点是，所述电子电路可用于双极性、对称电流信号，而不需要在输入端加入任何 DC 偏置电流。因而本发明的电子电路具有低噪声特性，此特性使本发明尤其适合应用于医疗仪器、移动电话和诸如数字音频广播(DAB)、数字视频广播(DVB)的数字广播系统这些领域中。

根据本发明的一个优选实施例，将旁路电容耦合到电流镜。当输入端上施加的双极性电流信号的极性改变时，依靠旁路电容可以避免信号失真。旁路电容还有利于提高电路反馈环的稳定性。另一个优点是，依靠上述旁路电容，该电子电路的带宽变得与输入端上施加的双极性电流信号无关。旁路电容优选具有几个 pF 量级的小电容值。

根据本发明的另一优选实施例，该对互补电流镜中的每一个与一对负反馈电阻耦合。依靠该对负反馈电阻，提高了高电流时的匹配，同时减少了高电流时的散粒噪声。尤其当该对负反馈电阻与相应电流镜的基极-发射极电容串联连接时，还提高了反馈环的稳定性。

根据本发明的另一优选实施例，所述电子电路的输入端与提供反馈环的反馈晶体管的控制端耦合。该反馈晶体管优选使用 NMOS 型晶体管；也可以使用 NPN 型反馈晶体管。

根据本发明的另一优选实施例，通过与输入端连接的电阻将双极性电流信号施加到所述电子电路。由于输入端连接到虚地，所以在所述电子电路的输入端，耦合到输入端的所述电阻将双极性电流信号转换为双极性电流信号。

本发明的一个具体优点是，可以实现这样一种电子电路，如果输入端没有施加输入信号，低频噪声基本为零。这使得该电子电路可应用于零断续频率(IF, intermittent frequency)或者低 IF 接收器，例如移动电话、DAB、DVB 和医疗系统。所述电子电路还可用于放大由无源 MOS 混频器提供的电流。

下文中将通过参考附图对本发明做更加详细的描述，其中：

图 1 是现有技术电流镜电路的电路图;

图 2 是本发明的电子电路的一个优选实施例的电路图;

图 3 说明了在正信号摆幅期间, 图 2 所示电子电路的运行;

图 4 说明了在负信号摆幅期间, 图 2 所示电子电路的运行;

图 5 示出了用于放大双极性电压信号的电子电路的一个优选实施例;

图 6 是电子电路的超声应用的框图。

图 2 示出了具有 PNP 电流镜 202 和互补 NPN 电流镜 204 的电子电路 200。

PNP 电流镜 202 具有 PNP 晶体管 T2 和 T4 以及负反馈电阻 R2 和 R4。同样, NPN 电流镜 204 具有晶体管 T1 和 T3 以及负反馈电阻 R1 和 R3。

晶体管 T1 和 T2 的发射极连接到输入端 206, 晶体管 T3 和 T4 的集电极连接到输出端 208。

另外, 旁路电容 C1、C2、C3 和 C4 耦合到 PNP 电流镜 202 和 NPN 电流镜 204。

反馈晶体管 M1、晶体管 T5、晶体管 T6、晶体管 T7 和电容 C6 组成反馈环。电子电路 200 还具有偏置电流源 Ib0 和 Ib1。注意, 这些电流源都不处于信号路径上, 从而避免将这些偏置电流源之一的噪声添加到在输入端 206 施加的输入信号中。

旁路电容 C1、C2、C3 和 C4 的益处是当输入端 206 的输入信号 I_{in} 的极性改变时可以避免信号失真。这些旁路电容还提高了反馈环的稳定性, 并使电子电路 200 的带宽与输入信号 I_{in} 无关。

负反馈电阻 R1、R2、R3 和 R4 中的每一个与各自电流镜的基极-发射极电容串联连接, 从而这些负反馈电阻进一步提高了反馈环的稳定性。这些负反馈电阻还提高了高电流时的匹配, 并且减少了高电流时的散粒噪声。另外的有益效果是增加了电子电路 200 的 DC 输出阻抗。

电子电路 200 的 DC 增益如下:

如果在输入端 206 施加的输入电流 I_{in} 低, 则为 T1 (T2)面积和 T3 (T4) 面积的比,

如果输入电流 I_{in} 高, 则为 R1 (R2)面积和 R3 (R4)面积的比。

电子电路 200 的高频增益如下:

如果输入电流 I_{in} 低, 则为 C1 (C2)面积和 C3 (C4)面积的比,

如果输入电流 I_{in} 高, 则为 R1(R2)面积和 R3 (R4)面积的比。

图 3 说明了当在输入端 206 上施加的输入电流 I_{in} 具有正信号摆幅时电子电路 200 的运行。在这种情况下, T2(T4)的发射极电压经由 VB1、T1、R1、T7、T6、R2 和 R4 被设定为等于 VB2 的电压。晶体管 T2 和 T4 关断。因此 PNP 电流镜 202 处于关断状态,同时 NPN 电流镜 204 处于运行状态。

图 4 说明了当加到输入端 206 上的输入电流 I_{in} 具有负信号摆幅时电子电路 200 的运行。在这种情况下, T1 (T3)的发射极电压经由 VB2、T2、R2、T6、T7、R1 和 R3 被设定为等于 VB1 的电压。晶体管 T1 和 T3 关断。因此 NPN 电流镜 204 处于关断状态,而 PNP 电流镜 202 处于运行状态。

图 2、3 和 4 所示的电子电路 200 适合于放大双极性电流信号,尤其是放大对称电流信号。通过对双极性电压信号 U_{in} 进行电压-电流转换,也可以放大双极性电压信号 U_{in} 。

如图 5 所示,通过将电阻 210 耦合到输入端 206 实现电压-电流转换。由于输入端 206 连接到虚地,从而实现电压-电流转换。电子电路 200 的其它操作保持不变。

虽然图 5 所示的反馈晶体管 M1 是 NMOS 型晶体管,也可以使用 NPN 型晶体管作为反馈晶体管。这样可以进一步增加电子电路 200 的带宽,并减少高频时的热噪声。

低频时的输入噪声主要由电流镜的散粒噪声和负反馈电阻的热噪声支配。

高频时的噪声主要由热噪声支配,该热噪声经由输入电容转换为电流噪声:

$$i_{HF}^2(f)=4kTR_{eq}(C_{inT}\omega)^2A^2/Hz$$

R_{eq} 是等效噪声电阻。 C_{inT} 是等效输入电容。

图 6 示出了医疗超声装置 212 的电子电路的一个应用。超声装置具有超声传感器 214，用于接收超声信号。超声传感器 214 输出双极性电流信号，该电流信号代表所接收的超声信号。耦合到超声传感器 214 的输出的电子电路 200 放大该双极性电流信号。

电子电路 200 将放大的信号提供给图像处理模块 216，该图像处理模块基于电子电路 200 传送的放大信号产生图像数据。图像处理模块 216 耦合到显示器 218，以便为用户产生图像输出。

参考标号列表：

- 200 电子电路
- 202 PNP 电流镜
- 204 NPN 电流镜
- 206 输入端
- 208 输出端
- 210 电阻
- 212 超声装置
- 214 超声传感器
- 216 图像处理模块
- 218 显示器

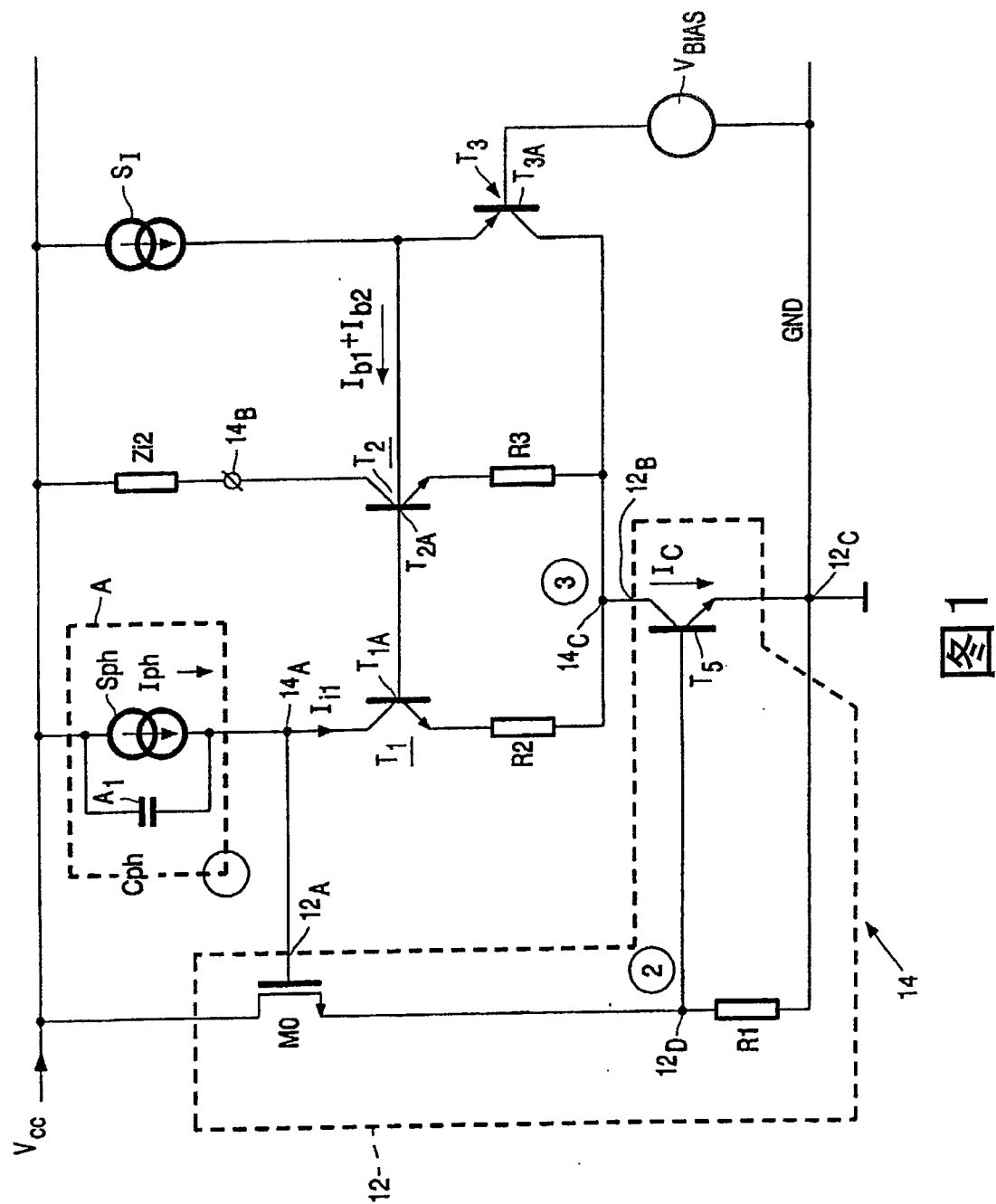
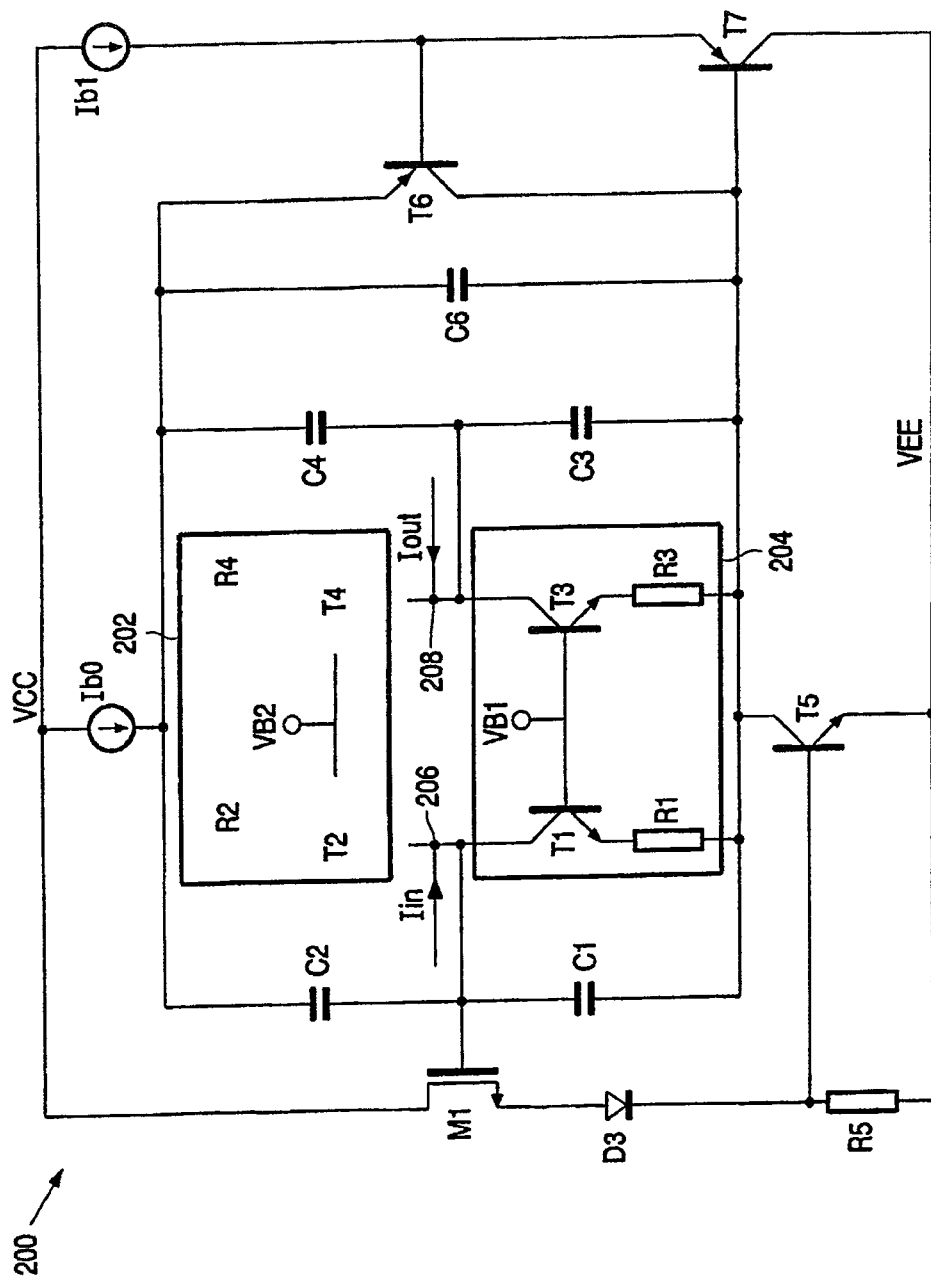


图 1



3

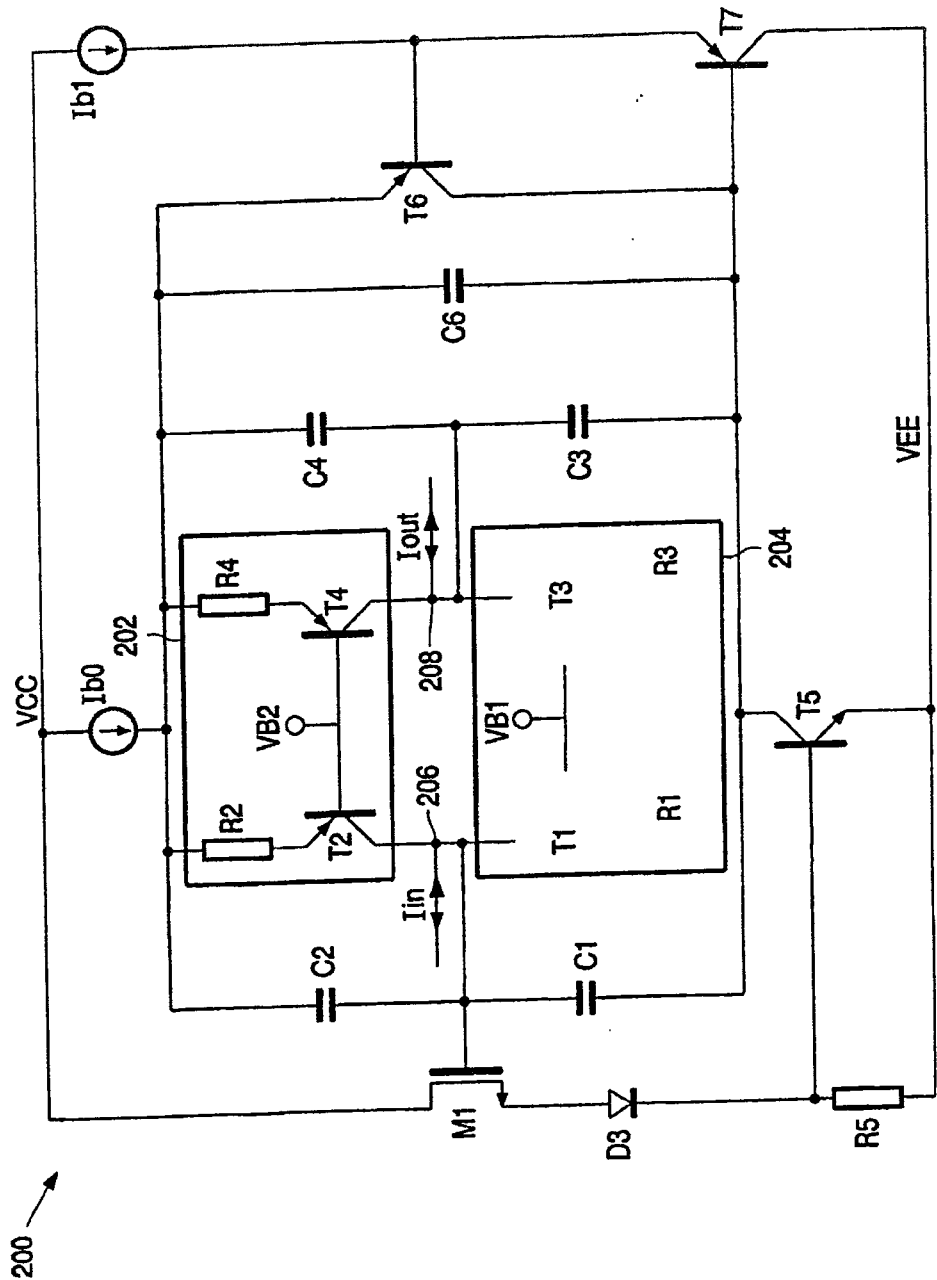


图4

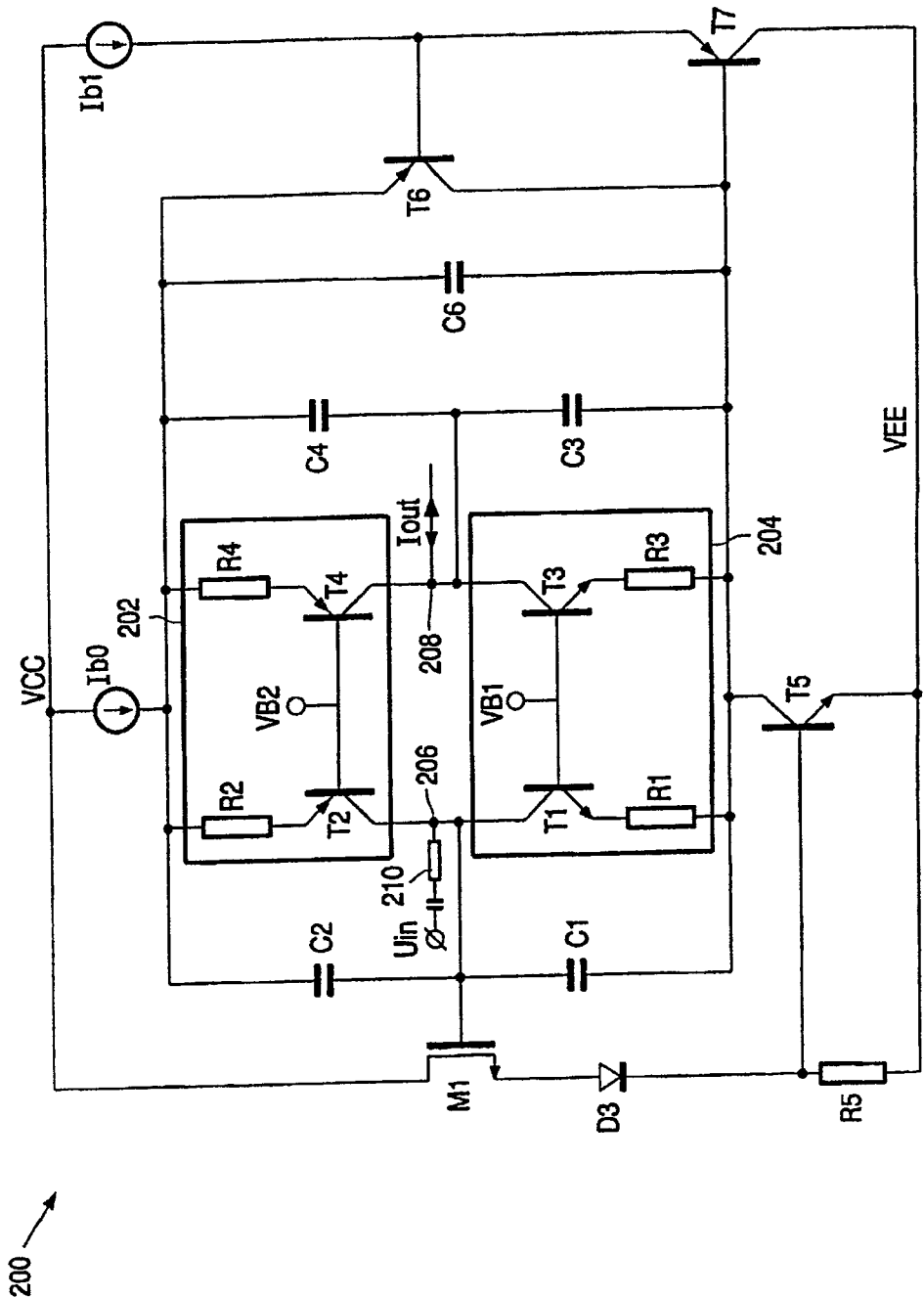


图5

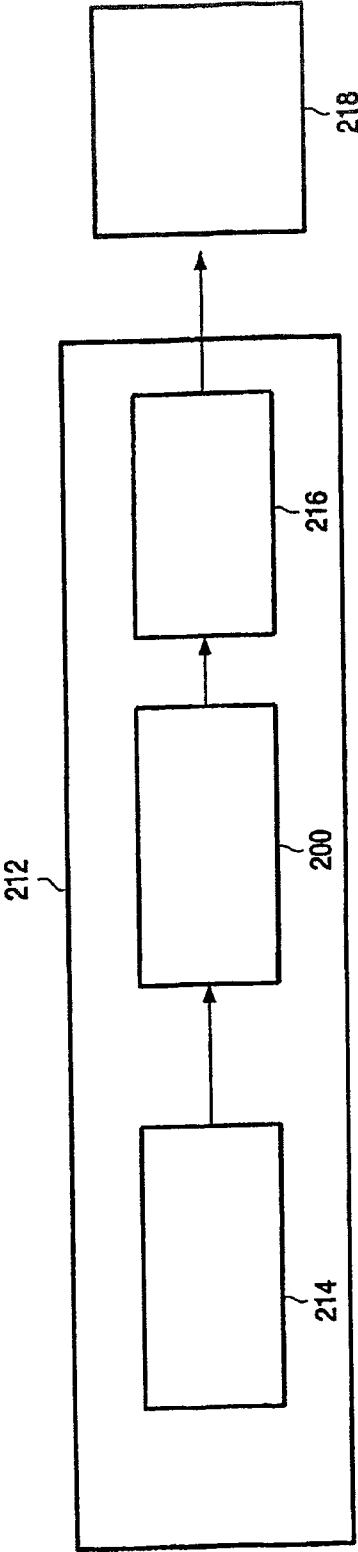


图6