

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日

2017年8月3日 (03.08.2017)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号

WO 2017/128706 A1

(51) 国际专利分类号:

G01R 33/035 (2006.01) H01L 39/24 (2006.01)

海市长宁区长宁路 865 号, Shanghai 200050 (CN)。
王永良 (WANG, Yongliang); 中国上海市长宁区长
宁路 865 号, Shanghai 200050 (CN)。伍俊 (WU,
Jun); 中国上海市长宁区长宁路 865 号, Shanghai
200050 (CN)。谢晓明 (XIE, Xiaoming); 中国上海
市长宁区长宁路 865 号, Shanghai 200050 (CN)。

(21) 国际申请号:

PCT/CN2016/096327

(22) 国际申请日:

2016 年 8 月 23 日 (23.08.2016)

中文

(25) 申请语言:

中文

(26) 公布语言:

中文

(30) 优先权:

201610066331.4 2016 年 1 月 29 日 (29.01.2016) CN

(74) 代理人: 上海光华专利事务所 (J.Z.M.C. PATENT
AND TRADEMARK LAW OFFICE); 中国上海市杨
浦区国定路 335 号 5022 室余明伟, Shanghai 200433
(CN)。(71) 申请人: 中国科学院上海微系统与信息技术研究
所 (SHANGHAI INSTITUTE OF MICROSYSTEM
AND INFORMATION TECHNOLOGY, CHINESE
ACADEMY OF SCIENCES) [CN/CN]; 中国上海市长
宁区长宁路 865 号, Shanghai 200050 (CN)。(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保
护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG,
BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR,
CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB,
GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS,
JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU,
LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,
NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA,
RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST,(72) 发明人: 荣亮亮 (RONG, Liangliang); 中国上海市长
宁区长宁路 865 号, Shanghai 200050 (CN)。张懿
(ZHANG, Yi); 中国上海市长宁区长宁路 865 号,
Shanghai 200050 (CN)。蒋坤 (JIANG, Kun); 中国上

[见续页]

(54) Title: READOUT CIRCUIT AND METHOD FOR DIRECT-READING FLUX MODULATION

(54) 发明名称: 一种直读式磁通调制读出电路及方法

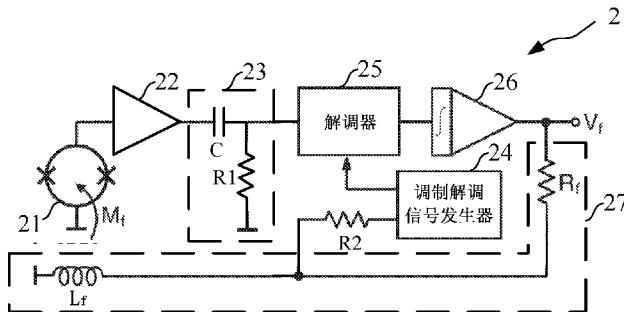


图 2

24 MODULATION/DEMODULATION SIGNAL GENERATOR
25 DEMODULATOR

(57) **Abstract:** A readout circuit (2) for direct-reading flux modulation comprises a SQUID (21); a pre-amplifier (22) configured to amplify an output signal of the SQUID (21); a high-pass filter (23) configured to filter out a direct current component and low-frequency noise; a modulation/demodulation signal generator (24); a demodulator (25) configured to demodulate an output signal of the high-pass filter (23); an integrator (26) configured to integrate and generate a response voltage signal; and a feedback module (27) configured to feed back the response voltage signal to the SQUID (21). Also provided is a readout method for direct-reading flux modulation. In the method, modulation is used to enable an operating point of the SQUID (21) to jump between two operating points having opposite variation trends, and a tested signal is amplified, high-pass filtered, demodulated, integrated, and then fed back to the SQUID (21), so as to lock the operating point. The circuit (2) of the present invention realizes separation of low-frequency noise and output direct current bias of the pre-amplifier (22) by using the high-pass filter (23); avoids decrease in the SQUID flux-voltage conversion coefficient due to load effect; does not generate higher harmonic distortion on a SQUID flux-voltage curve; avoids thermal noise issues of transformers; and boasts a simplified circuit structure and higher practicability.

(57) 摘要:

[见续页]



SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,
VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) **指定国** (除另有指明, 要求每一种可提供的地区
保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ,
NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚
(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT,
BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR,

HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO,
PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ,
CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE,
SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

一种直读式磁通调制读出电路(2), 其包括: SQUID 器件(21); 对 SQUID 器件(21)输出信号放大的前置放大器(22); 滤除直流量和低频噪声的高通滤波器(23); 调制解调信号发生器(24); 对高通滤波器(23)的输出信号解调的解调器(25); 积分并产生响应电压信号的积分器(26); 将响应电压信号后反馈至 SQUID 器件(21)的反馈模块(27); 还提供了一种直读式磁通调制读出方法, 其通过调制使 SQUID 器件(21)的工作点在两个工作点之间跳跃, 两个工作点的变化趋势相反, 被测信号经过放大、高通滤波、解调、积分后反馈回 SQUID 器件(21), 以此锁定工作点。该电路(2)通过高通滤波器(23)实现了对前置放大器(22)低频噪声和输出直流偏置的隔离; SQUID 磁通-电压转换系数不会因负载效应而降低; 不会对 SQUID 磁通电压曲线产生高次谐波失真; 避免了变压器的热噪声问题; 电路结构更简单, 实用性更强。

一种直读式磁通调制读出电路及方法

技术领域

本发明涉及磁传感器技术领域，特别是涉及一种直读式磁通调制读出电路及方法。

背景技术

超导量子干涉器件（Superconducting Quantum Interference Device, SQUID）是一种灵敏度极高的磁敏感器件，可构建超导磁传感器。广泛应用于生物磁场、地球磁场异常、极低场核磁共振及地球物理勘探等微弱磁场探测应用领域，其探测灵敏度已经达到飞特（ 10^{-15} 特斯拉）量级。SQUID 磁传感器是极限探测、科学研究中心重要的磁传感器设备，具有很高的科研和应用价值。

实际应用时，SQUID 多工作于低频段（小于 10Hz），低频噪声性能是决定应用效果的重要性能指标。前置放大器的低频噪声和 SQUID 芯片的临界电流涨落等是 SQUID 磁传感器低频噪声的主要噪声来源，严重制约了 SQUID 在低频磁测领域的应用（尤其是生物磁探测和地球物理勘探应用）。针对该问题，目前国际上已经有专利针对 SQUID 磁传感器的低频噪声抑制提出了解决方案：

现有技术中公开了一种基于磁通调制技术降低磁传感器低频噪声的方法，该方法通过在传感器中加入较高频率的调制磁通，将被测低频信号调制到高频处（一般 100kHz 左右），从而避开前置放大器的低频噪声段，实现低频噪声抑制；同时，该方法也可以对临界电流涨落引入的同相低频噪声的有效抑制（尤其是对高温 SQUID）。为了实现良好的阻抗匹配，以降低前置放大器噪声，这里在 SQUID 和前置放大器中间引入了变压器。如图 1 所示为实现该方法的磁通调制电路 1，包括 SQUID 器件 11、变压器 12、前置放大器 13、解调器 14、积分器 15、调制解调信号发生器 16、反馈电阻 Rf、反馈线圈 Lf 以及电阻。SQUID 器件 11 通过电阻与变压器 12 的原边相连接，变压器 12 的副边输出接入到前置放大器 13，前置放大器 13 的输出接入解调器 14 中进行解调，解调后的输出接入积分器 15 积分后通过反馈电阻 Rf 和反馈线圈 Lf 将该磁通反馈回 SQUID 器件 11 中，从而保证 SQUID 磁通工作点不变化，调制磁通的信号由调制解调信号发生器 16 产生，经过电阻衰减后同样送入反馈线圈 Lf，对 SQUID 的磁通工作点进行调制，同时，调制解调信号发生器 16 也产生同步的解调信号送入解调器 14 中。变压器 12 的引入产生了三个负面影响：（1）SQUID 输出电压信号幅度降低（变压器源边负载）；（2）SQUID 输出信号的高频谐波成分被滤除，导致工作点处的 $\partial V / \partial \Phi$ 变小；（3）变压器本身存在热噪声，因此，磁通调制读出电路的噪声并不比直读式读出电路好（尤其是

对于大 β_c 的 SQUID 芯片），此外，变压器 12 的引入也导致电路结构更复杂，实用性下降。

发明内容

鉴于以上所述现有技术的缺点，本发明的目的在于提供一种直读式磁通调制读出电路及方法，用于解决现有技术中变压器的引入带来的热噪声、信号幅度降低、工作点处的 $\partial V/\partial \Phi$ 变小等问题。

为实现上述目的及其他相关目的，本发明提供一种直读式磁通调制读出电路，所述直读式磁通调制读出电路至少包括：

SQUID 器件，用于检测被测磁通信号并转化为相应的电信号输出；

前置放大器，与所述 SQUID 器件相连，对所述 SQUID 器件输出的电信号进行放大；

高通滤波器，与所述前置放大器相连，用于滤除所述前置放大器输出的直流量和低频噪声；

调制解调信号发生器，用于产生磁通调制信号和磁通解调信号；

解调器，与所述高通滤波器及所述调制解调信号发生器相连，根据所述磁通解调信号对所述高通滤波器的输出信号进行解调；

积分器，与所述解调器相连，对所述解调器的输出信号进行积分，并输出与所述被测磁通信号成比例的响应电压信号；

反馈模块，与所述积分器及所述调制解调信号发生器相连，将所述响应电压信号通过所述磁通调制信号调制后反馈至所述 SQUID 器件，以此锁定工作点。

优选地，所述高通滤波器包括连接于所述前置放大器和所述解调器之间的电容，以及一端连接于所述电容输出端、另一端接地的电阻。

优选地，所述反馈模块包括反馈电阻及反馈线圈；所述反馈电阻的一端连接所述积分器的输出端，另一端连接所述反馈线圈；所述反馈线圈的另一端接地，所述反馈电阻及所述反馈线圈之间连接所述磁通调制信号。

更优选地，所述磁通调制信号为占空比为 50% 的方波信号。

为实现上述目的及其他相关目的，本发明提供一种上述直读式磁通调制读出电路的读出方法，所述直读式磁通调制读出方法至少包括：

通过磁通调制信号将 SQUID 器件的工作点设定在第一工作点及第二工作点之间跳跃，所述第一工作点及所述第二工作点的变化趋势相反，将检测到的被测磁通信号转化为相应的电信号，对该电信号放大后进行高通滤波以滤除低频噪声，并隔离直流量，然后经解调、积分

后反馈回所述 SQUID 器件，形成 SQUID 磁通锁定环路以此锁定工作点。

优选地，所述第一工作点与所述第二工作点相差半个周期。

如上所述，本发明的直读式磁通调制读出电路及方法，具有以下有益效果：

1、SQUID 器件与读出电路直接连接实现了磁通调制，噪声抑制更优越；调制频率选择更宽，有利于信噪比提升；克服了传统磁通调制电路变压器的负载效应，SQUID 磁通电压曲线无衰减。

2、在前置放大器输出后引入高通滤波器，保证信号通过的同时，隔离了前置放大器的输出偏置电压和低频噪声。

3、避免了变压器的使用，可选择的磁通调制频率范围更宽，针对低频信号的采集，可以采用更低的调制频率，避免切换暂态效应对磁通调制的影响；避免变压器存在的热噪声问题。

4、SQUID 器件与前置放大器匹配，克服了传统磁通调制电路中 SQUID 与变压器匹配存在的带宽限制问题，高次谐波分量无损失，SQUID 磁通-电压曲线失真更小。

附图说明

图 1 显示为现有技术中的磁通调制电路的结构示意图。

图 2 显示为本发明的直读式磁通调制读出电路的结构示意图。

图 3 显示为典型 SQUID 磁通-电压传输特性曲线示意图。

图 4 显示为本发明的直读式磁通调制读出方法的原理示意图。

元件标号说明

1	磁通调制电路
11	SQUID 器件
12	变压器
13	前置放大器
14	解调器
15	积分器
16	调制解调信号发生器
2	直读式磁通调制读出电路
21	SQUID 器件
22	前置放大器

23	高通滤波器
24	调制解调信号发生器
25	解调器
26	积分器
27	反馈模块

具体实施方式

以下通过特定的具体实例说明本发明的实施方式，本领域技术人员可由本说明书所揭露的内容轻易地了解本发明的其他优点与功效。本发明还可以通过另外不同的具体实施方式加以实施或应用，本说明书中的各项细节也可以基于不同观点与应用，在没有背离本发明的精神下进行各种修饰或改变。

请参阅图 2~图 4。需要说明的是，本实施例中所提供的图示仅以示意方式说明本发明的基本构想，遂图式中仅显示与本发明中有关的组件而非按照实际实施时的组件数目、形状及尺寸绘制，其实际实施时各组件的型态、数量及比例可为一种随意的改变，且其组件布局型态也可能更为复杂。

如图 2 所示，本发明提供一种直读式磁通调制读出电路 2，所述直读式磁通调制读出电路 2 至少包括：

SQUID 器件 21、前置放大器 22、高通滤波器 23、调制解调信号发生器 24、解调器 25、积分器 26、反馈模块 27。

如图 2 所示，所述 SQUID 器件用于检测被测磁通信号并转化为相应的电信号输出。

具体地，所述 SQUID 器件由两个超导约瑟夫森结并联构成的一个超导环，在约瑟夫森结的两端引出端子，加载一定的偏置电流，SQUID 器件两端的电压将具有随其感应磁场发生变化的特性，典型的 SQUID 磁通-电压传输特性曲线如图 3 所示。所述 SQUID 器件的一端接地，另一端连接所述前置放大器 22 的输入端，将检测到的被测磁通信号转化为相应的电信号后输出到所述前置放大器 22。

如图 2 所示，所述前置放大器 22 与所述 SQUID 器件相连，对所述 SQUID 器件 21 输出的电信号进行放大。

具体地，所述前置放大器 22 为高输入阻抗，SQUID 磁通-电压转换系数不会因负载效应而降低，同时所述前置放大器 22 的带宽较宽，不会对 SQUID 磁通-电压曲线产生高次谐波失真。

如图 2 所示，所述高通滤波器 23 与所述前置放大器 22 相连，用于滤除所述前置放大器 22 输出的直流量和低频噪声。

具体地，所述高通滤波器 23 的具体结构不限，任意能实现高通滤波功能的电路结构均包括在内。在本实施例中，所述高通滤波器 23 包括电容 C 和第一电阻 R1，所述电容 C 连接于所述前置放大器 22 的输出端和所述解调器 25 的输入端之间；所述第一电阻 R1 的一端连接于所述电容 C 和所述解调器 25 之间、另一端接地。

如图 2 所示，所述调制解调信号发生器 24 用于产生磁通调制信号和磁通解调信号。

具体地，所述调制解调信号发生器 24 分别产生磁通调制信号及与之所述磁通调制信号对应的磁通解调信号。在本实施例中，所述磁通调制信号为占空比为 50% 的方波信号，以此使工作点在第一工作点及第二工作点之间跳变，其中第一工作点及第二工作点的变化趋势相反。

如图 2 所示，所述解调器 25 与所述高通滤波器 23 及所述调制解调信号发生器 24 相连，根据所述磁通解调信号 24 对所述高通滤波器 23 的输出信号进行解调。

如图 2 所示，所述积分器 26 与所述解调器 25 相连，对所述解调器 25 的输出信号进行积分，并输出与所述被测磁通信号成比例的响应电压信号 Vf。

如图 2 所示，所述反馈模块 27 与所述积分器 26 及所述调制解调信号发生器 24 相连，将所述响应电压信号 Vf 通过所述磁通调制信号调制后反馈至所述 SQUID 器件 21，以此锁定工作点。

具体地，所述反馈模块 27 包括反馈电阻 Rf 及反馈线圈 Lf，所述反馈电阻 Rf 的一端连接所述积分器 26 的输出端，另一端连接所述反馈线圈 Lf，所述反馈线圈 Lf 的另一端接地，所述反馈电阻 Rf 及所述反馈线圈 Lf 之间连接所述磁通调制信号。所述响应电压信号 Vf 及所述磁通调制信号分别通过所述反馈电阻 Rf 及第二电阻 R2 产生反馈电流，反馈电流通过所述反馈线圈 Lf 与所述 SQUID 器件 21 产生互感 Mf，所述互感 Mf 抵消所述被测磁通信号，使得整个负反馈回路稳定，工作点被锁定。

如图 2~图 4 所示，上述直读式磁通调制读出电路 2 的工作原理如下：

通过磁通调制信号将 SQUID 器件的工作点设定在第一工作点及第二工作点之间跳跃，所述第一工作点及所述第二工作点的变化趋势相反，将检测到的被测磁通信号转化为相应的电信号，对该电信号放大后进行高通滤波以滤除低频噪声，并隔离直流量，然后经解调、积分后反馈回所述 SQUID 器件，形成 SQUID 磁通锁定环路以此锁定工作点。

具体地，如图 4 所示，所述磁通调制信号为占空比为 50% 的方波信号，其高电平与低电

平的幅值相反，受所述磁通调制信号的调制，所述 SQUID 器件的工作点在第一工作点 W+及第二工作点 W-这两个工作点之间跳跃。将 SQUID 器件 21 检测到的被测磁通信号转化为相应的电信号，所述前置放大器 22 对该电信号放大。然后通过所述高通滤波器 23 将所述前置放大器 22 输出信号中的低频噪声滤除，并隔离直流量。然后经所述解调器 25 对所述高通滤波器 23 输出的信号进行解调。再藉由所述积分器 26 对所述解调器 25 输出的信号进行积分。通过反馈模块 27 将信号反馈回所述 SQUID 器件 21，形成 SQUID 磁通锁定环路以此锁定工作点。当所述直读式磁通调制读出电路 2 处于锁定状态下时，被测磁通信号的微小变化会导致 SQUID 工作点发生微小的变动，图 4 所示，而当 SQUID 分别工作于两个不同的工作点（第一工作点 W+及第二工作点 W-）时，且这两个工作点的变化趋势相反时，这种微小的变动正好相互抵消。在本实施例中，所述第一工作点 W+的变化趋势向上，所述第二工作点 W-的变化趋势向下。为了确保所述第一工作点 W+及所述第二工作点 W-变化的斜率相同，所述第一工作点 W+与所述第二工作点 W-在 SQUID 磁通-电压特性曲线上相差半个周期；更具体地，在本实施例中，所述第一工作点 W+及所述第二工作点 W-位于波峰和波谷的中间点。

如上所述，本发明的直读式磁通调制读出电路及方法，具有以下有益效果：

1、SQUID 器件与读出电路直接连接实现了磁通调制，噪声抑制更优越；调制频率选择更宽，有利于信噪比提升；克服了传统磁通调制电路变压器的负载效应，SQUID 磁通电压曲线无衰减。

2、在前置放大器输出后引入高通滤波器，保证信号通过的同时，隔离了前置放大器的输出偏置电压和低频噪声。

3、避免了变压器的使用，可选择的磁通调制频率范围更宽，针对低频信号的采集，可以采用更低的调制频率，避免切换暂态效应对磁通调制的影响；避免变压器存在的热噪声问题。

4、SQUID 器件与前置放大器匹配，克服了传统磁通调制电路中 SQUID 与变压器匹配存在的带宽限制问题，高次谐波分量无损失，SQUID 磁通-电压曲线失真更小。

综上所述，本发明提供一种直读式磁通调制读出电路，包括：检测被测磁通信号的 SQUID 器件；对 SQUID 器件的输出信号进行放大的前置放大器；滤除直流量和低频噪声的高通滤波器；产生磁通调制信号和磁通解调信号的调制解调信号发生器；根据磁通解调信号对高通滤波器的输出信号进行解调的解调器；对解调器的输出信号进行积分，产生响应电压信号的积分器；以及将响应电压信号通过磁通调制信号调制后反馈至 SQUID 器件的反馈模块。通过磁通调制信号将 SQUID 器件的工作点设定在第一工作点及第二工作点之间跳跃，所述第一工作点及所述第二工作点的变化趋势相反，将检测到的被测磁通信号转化为相应的电信号，对该

电信号放大后进行高通滤波以滤除低频噪声，并隔离直流量，然后经解调、积分后反馈回所述 SQUID 器件，形成 SQUID 磁通锁定环路以此锁定工作点。本发明的直读式磁通调制读出电路及方法通过高通滤波器实现了对前置放大器低频噪声和输出直流偏置的隔离。并且通过调整器件参数，可以实现 SQUID 和前置放大器的噪声和阻抗的良好匹配。本发明的直读式磁通调制读出电路及方法相较于传统磁通调制电路及方法避开了变压器的使用，实现磁通调制对低频噪声的抑制。由于前置放大器为高输入阻抗，SQUID 磁通-电压转换系数不会因负载效应而降低；前置放大器带宽较宽，不会对 SQUID 磁通电压曲线产生高次谐波失真；同时也避免了变压器的热噪声问题。总体而言，本发明的直读式磁通调制读出电路及方法完全解决了传统磁通调制电路中变压器引入的负面因素，同时电路结构更简单，实用性更强。所以，本发明有效克服了现有技术中的种种缺点而具高度产业利用价值。

上述实施例仅例示性说明本发明的原理及其功效，而非用于限制本发明。任何熟悉此技术的人士皆可在不违背本发明的精神及范畴下，对上述实施例进行修饰或改变。因此，举凡所属技术领域中具有通常知识者在未脱离本发明所揭示的精神与技术思想下所完成的一切等效修饰或改变，仍应由本发明的权利要求所涵盖。

权利要求书

- 1、一种直读式磁通调制读出电路，其特征在于，所述直读式磁通调制读出电路至少包括：
- SQUID 器件，用于检测被测磁通信号并转化为相应的电信号输出；
 - 前置放大器，与所述 SQUID 器件相连，对所述 SQUID 器件输出的电信号进行放大；
 - 高通滤波器，与所述前置放大器相连，用于滤除所述前置放大器输出的直流量和低频噪声；
 - 调制解调信号发生器，用于产生磁通调制信号和磁通解调信号；
 - 解调器，与所述高通滤波器及所述调制解调信号发生器相连，根据所述磁通解调信号对所述高通滤波器的输出信号进行解调；
 - 积分器，与所述解调器相连，对所述解调器的输出信号进行积分，并输出与所述被测磁通信号成比例的响应电压信号；
 - 反馈模块，与所述积分器及所述调制解调信号发生器相连，将所述响应电压信号通过所述磁通调制信号调制后反馈至所述 SQUID 器件，以此锁定工作点。
- 2、根据权利要求 1 所述的直读式磁通调制读出电路，其特征在于：所述高通滤波器包括连接于所述前置放大器和所述解调器之间的电容，以及一端连接于所述电容输出端、另一端接地的电阻。
- 3、根据权利要求 1 所述的直读式磁通调制读出电路，其特征在于：所述反馈模块包括反馈电阻及反馈线圈；所述反馈电阻的一端连接所述积分器的输出端，另一端连接所述反馈线圈；所述反馈线圈的另一端接地，所述反馈电阻及所述反馈线圈之间连接所述磁通调制信号。
- 4、根据权利要求 1 或 3 所述的直读式磁通调制读出电路，其特征在于：所述磁通调制信号为占空比为 50% 的方波信号。
- 5、一种如权利要求 1~4 任意一项所述的直读式磁通调制读出电路的读出方法，其特征在于：所述直读式磁通调制读出方法至少包括：
- 通过磁通调制信号将 SQUID 器件的工作点设定在第一工作点及第二工作点之间跳跃，所述第一工作点及所述第二工作点的变化趋势相反，将检测到的被测磁通信号转化为相应的电信号，对该电信号放大后进行高通滤波以滤除低频噪声，并隔离直流量，然后经解调、积分后反馈回所述 SQUID 器件，形成 SQUID 磁通锁定环路以此锁定工作点。

6、根据权利要求 5 所述的直读式磁通调制读出方法，其特征在于：所述第一工作点与所述第二工作点相差半个周期。

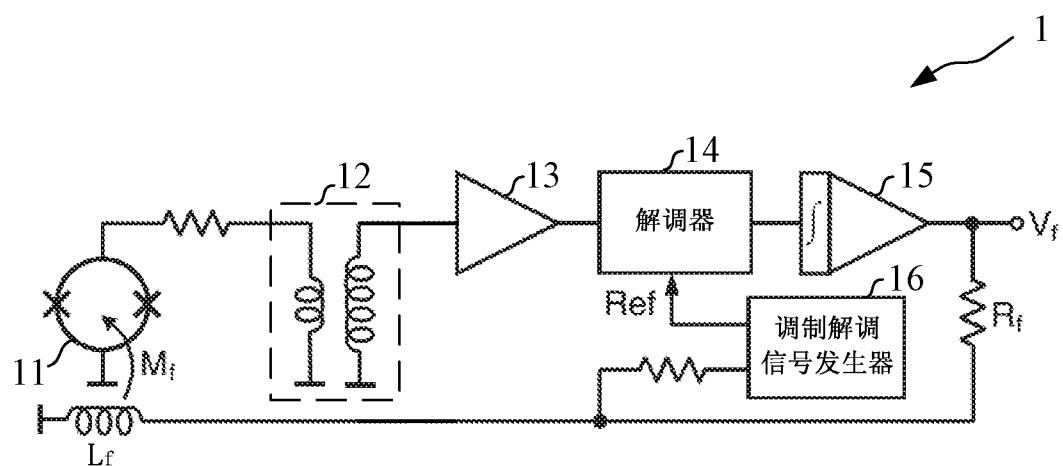


图 1

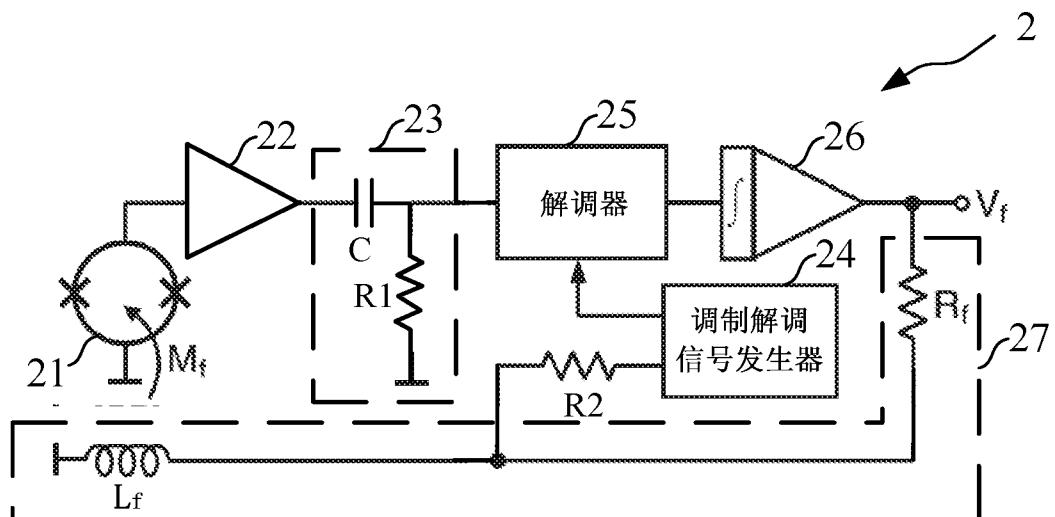


图 2

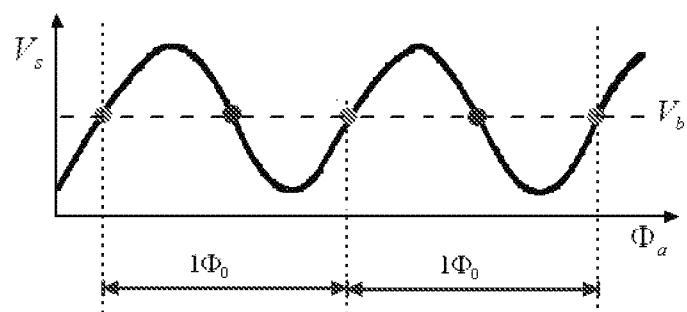


图 3

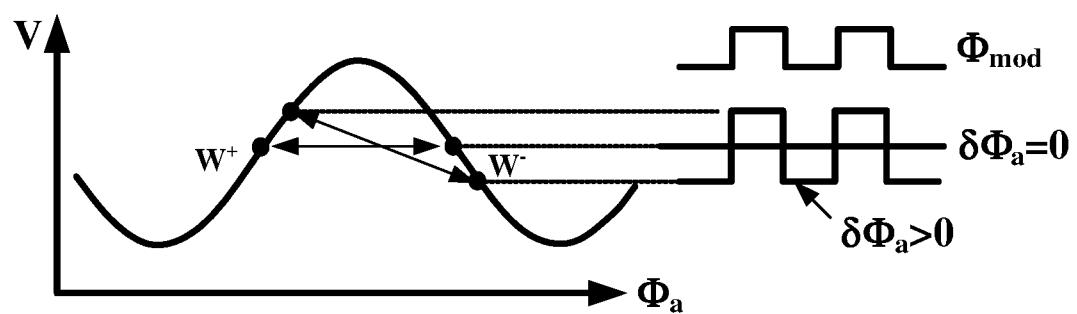


图 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2016/096327

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01R 33/035 (2006.01) i; H01L 39/24 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01R 33, H01L 39, A61B 5; CPC: G01R 33/0354, G01R 33/0356, G01R 33/0358

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS, CNTXT, CNKI, VEN: superconducting quantum interference, superconductor, SQUID, superconducting quantum interference device, magnetic sensor, magnetometer, flux, lock, loop, FLL, modulate, demodulate, read out, direct, amplifier, preamplifier, filter, high frequency, high pass, transformer, integrate, feedback

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 105676152 A (SHANGHAI INSTITUTE OF MICROSYSTEM AND INFORMATION TECHNOLOGY, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES), 15 June 2016 (15.06.2016), claims 1-6	1-6
Y	JP 04268471 A (SEIKO INSTR INC.), 24 September 1992 (24.09.1992), description, paragraphs [0002]-[0009], and figures 1 and 2	1-6
Y	US 6448767 B1 (HONEYWELL INT INC.), 10 September 2002 (10.09.2002), description, column 5, lines 46-53, and figure 1	1-6
A	CN 103389478 A (SHANGHAI INSTITUTE OF MICROSYSTEM AND INFORMATION TECHNOLOGY, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES), 13 November 2013 (13.11.2013), the whole document	1-6
A	CN 102353911 A (SHANGHAI INSTITUTE OF MICROSYSTEM AND INFORMATION TECHNOLOGY, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES), 15 February 2012 (15.02.2012), the whole document	1-6

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

- * Special categories of cited documents:
- “A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date
- “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- “T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- “X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- “Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- “&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
22 November 2016 (22.11.2016)

Date of mailing of the international search report
03 November 2016 (30.11.2016)

Name and mailing address of the ISA/CN:
State Intellectual Property Office of the P. R. China
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao
Haidian District, Beijing 100088, China
Facsimile No.: (86-10) 62019451

Authorized officer
HE, Xiaolan
Telephone No.: (86-10) **62085135**

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2016/096327**C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 102426343 A (SHANGHAI INSTITUTE OF MICROSYSTEM AND INFORMATION TECHNOLOGY, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES), 25 April 2012 (25.04.2012), the whole document	1-6
A	JP 2004157092 A (JAPAN SCIENCE & TECH AGENCY), 03 June 2004 (03.06.2004), the whole document	1-6
A	JP 0499980 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP.), 31 March 1992 (31.03.1992), the whole document	1-6
A	US 2003016010 A1 (HITACHI LTD.), 23 January 2003 (23.01.2003), the whole document	1-6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2016/096327

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 105676152 A	15 June 2016	None	
JP 04268471 A	24 September 1992	None	
US 6448767 B1	10 September 2002	None	
CN 103389478 A	13 November 2013	CN 103389478 B	26 August 2015
CN 102353911 A	15 February 2012	CN 102353911 B	21 August 2013
CN 102426343 A	25 April 2012	CN 102426343 B	26 March 2014
JP 2004157092 A	03 June 2004	JP 3710778 B2	26 October 2005
JP 0499980 A	31 March 1992	JP H0499980 A	31 March 1992
US 2003016010 A1	23 January 2003	US 6815949 B2	09 November 2004
		JP 4193382 B2	10 December 2008
		JP 2003035758 A	07 February 2003

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2016/096327

A. 主题的分类

G01R 33/035 (2006. 01) i; H01L 39/24 (2006. 01) i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

G01R33, H01L39, A61B5; CPC: G01R33/0354, G01R33/0356, G01R33/0358

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

CNABS, CNTXT, CNKI, VEN; 超导, 超导量子干涉, 磁传感器, 磁力计, 磁通, 锁定, 环路, 调制, 解调, 读出, 直接, 放大器, 前置放大器, 滤波器, 高频, 高频, 变压器, 积分, 反馈, superconductor, SQUID, superconducting quantum interference device, magnetic sensor, magnetometer, flux, lock, loop, FLL, modulate, demodulate, read out, direct, amplifier, preamplifier, filter, high frequency, high pass, transformer, integrate, feedback

C. 相关文件

类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 105676152 A (中国科学院上海微系统与信息技术研究所) 2016年 6月 15日 (2016 - 06 - 15) 权利要求1-6	1-6
Y	JP 04268471 A (SEIKO INSTR INC.) 1992年 9月 24日 (1992 - 09 - 24) 说明书第[0002]-[0009]段以及图1和2	1-6
Y	US 6448767 B1 (HONEYWELL INT INC.) 2002年 9月 10日 (2002 - 09 - 10) 说明书第5栏第46-53行以及图1	1-6
A	CN 103389478 A (中国科学院上海微系统与信息技术研究所) 2013年 11月 13日 (2013 - 11 - 13) 全文	1-6
A	CN 102353911 A (中国科学院上海微系统与信息技术研究所) 2012年 2月 15日 (2012 - 02 - 15) 全文	1-6

 其余文件在C栏的续页中列出。 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期 2016年 11月 22日	国际检索报告邮寄日期 2016年 11月 30日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451	受权官员 何晓兰 电话号码 (86-10)62085135

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 102426343 A (中国科学院上海微系统与信息技术研究所) 2012年 4月 25日 (2012 - 04 - 25) 全文	1-6
A	JP 2004157092 A (JAPAN SCIENCE & TECH AGENCY) 2004年 6月 3日 (2004 - 06 - 03) 全文	1-6
A	JP 0499980 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP.) 1992年 3月 31日 (1992 - 03 - 31) 全文	1-6
A	US 2003016010 A1 (HITACHI LTD.) 2003年 1月 23日 (2003 - 01 - 23) 全文	1-6

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2016/096327

检索报告引用的专利文件		公布日 (年/月/日)		同族专利		公布日 (年/月/日)	
CN	105676152	A	2016年 6月 15日	无			
JP	04268471	A	1992年 9月 24日	无			
US	6448767	B1	2002年 9月 10日	无			
CN	103389478	A	2013年 11月 13日	CN	103389478	B	2015年 8月 26日
CN	102353911	A	2012年 2月 15日	CN	102353911	B	2013年 8月 21日
CN	102426343	A	2012年 4月 25日	CN	102426343	B	2014年 3月 26日
JP	2004157092	A	2004年 6月 3日	JP	3710778	B2	2005年 10月 26日
JP	0499980	A	1992年 3月 31日	JP	H0499980	A	1992年 3月 31日
US	2003016010	A1	2003年 1月 23日	US	6815949	B2	2004年 11月 9日
				JP	4193382	B2	2008年 12月 10日
				JP	2003035758	A	2003年 2月 7日

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2009年7月)