



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 118235544 A

(43) 申请公布日 2024. 06. 21

(21) 申请号 202280074631.0

(22) 申请日 2022.06.20

(30) 优先权数据

2021-183592 2021.11.10 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2024.05.09

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2022/024577 2022.06.20

(87) PCT国际申请的公布数据

W02023/084829 JA 2023.05.19

(71) 申请人 株式会社村田制作所

地址 日本

(72) 发明人 岸宣孝 高田政明 市原聪

(74) 专利代理机构 北京林达刘知识产权代理事

务所(普通合伙) 11277

专利代理师 刘新宇 严美善

(51) Int.Cl.

H10N 30/80 (2023.01)

B06B 1/06 (2006.01)

H10N 30/20 (2023.01)

H10N 30/853 (2023.01)

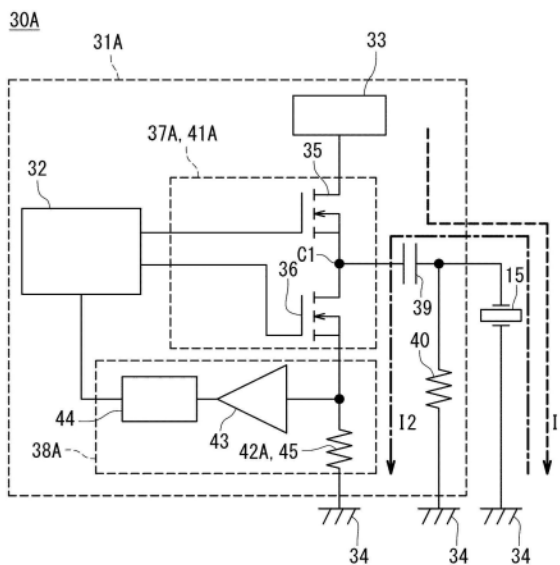
权利要求书3页 说明书20页 附图14页

(54) 发明名称

激振电路、振动装置以及车辆

(57) 摘要

激振电路(31A~31E)具备:输出电路(37A、37B),其包括连接于直流电源(33、33A)的第一开关(35)及第二开关(36)的串联电路,在第一开关(35)与第二开关(36)的连接点(C1)连接压电元件(15);电流检测电路(38A、38E),其对流过第一开关(35)的电流和流过第二开关(36)的电流中的至少一方进行检测,并输出表示基于所检测出的电流的值的检测信号;以及控制电路(32),其具有搜索模式,在该搜索模式下,为了从输出电路(37A、37B)对压电元件(15)施加规定频率的电压,执行以与规定频率对应的开关动作频率互补地切换第一开关(35)与第二开关(36)的接通和断开的开关动作处理,并基于从电流检测电路(38A、38E)输出的检测信号所表示的值,来确定通过压电元件(15)而振动的振动器(17)的共振频率。



1. 一种激振电路,具备:

输出电路,其包括连接于直流电源的第一开关及第二开关的串联电路,在所述第一开关与所述第二开关的连接点连接压电元件;

电流检测电路,其对流过所述第一开关的电流和流过所述第二开关的电流中的至少一方进行检测,并输出表示基于所检测出的电流的值的检测信号;以及

控制电路,其具有搜索模式,在该搜索模式下,为了从所述输出电路对所述压电元件施加规定频率的电压,执行以与所述规定频率对应的开关动作频率互补地切换所述第一开关与所述第二开关的接通和断开的开关动作处理,并基于从所述电流检测电路输出的所述检测信号所表示的值,来确定包括所述压电元件和通过所述压电元件而振动的物体的振动器的共振频率。

2. 根据权利要求1所述的激振电路,其中,

所述电流检测电路具备:

电流电压转换电路,其对流过所述第一开关的电流和流过所述第二开关的电流中的至少一方进行检测,基于所检测出的电流来输出检测电压;以及

低通滤波器,其对来自所述电流电压转换电路的检测电压进行平滑化并输出被平滑化后的检测电压。

3. 根据权利要求2所述的激振电路,其中,

所述电流检测电路还包括模拟/数字转换电路,所述模拟/数字转换电路接收来自所述低通滤波器的被平滑化后的检测电压,并将表示来自所述低通滤波器的被平滑化后的检测电压的数字信号作为所述检测信号输出到所述控制电路。

4. 根据权利要求2或3所述的激振电路,其中,

所述电流电压转换电路具有:

第一电流电压转换元件,其将流过所述第一开关的电流转换为电压并输出;

第二电流电压转换元件,其将流过所述第二开关的电流转换为电压并输出;以及

运算电路,其基于从所述第一电流电压转换元件输出的电压和从所述第二电流电压转换元件输出的电压,将表示流过所述第一开关的电流与流过所述第二开关的电流的差或和的电压作为所述检测电压输出到所述低通滤波器。

5. 根据权利要求1至4中的任一项所述的激振电路,其中,

还具备极性反转电路,所述极性反转电路使在所述第一开关接通且所述第二开关断开的情况下的施加于所述压电元件的电压与在所述第一开关断开且所述第二开关接通的情况下的施加于所述压电元件的电压之间极性反转。

6. 根据权利要求5所述的激振电路,其中,

所述极性反转电路包括电容器,所述电容器连接在所述第一开关同所述第二开关的连接点与所述压电元件之间。

7. 根据权利要求5所述的激振电路,其中,

所述直流电源输出正电压,

所述极性反转电路包括输出负电压的负电源电路,所述负电源电路连接于所述输出电路的所述串联电路的与所述直流电源相反的一侧。

8. 根据权利要求1至7中的任一项所述的激振电路,其中,

所述电流检测电路还包括相位差检测电路,所述相位差检测电路检测流过所述第二开关的电流与施加到所述压电元件的电压的相位差,

所述控制电路基于所检测出的所述相位差来调整所述开关动作频率。

9. 根据权利要求1至8中的任一项所述的激振电路,其中,

在所述搜索模式下,使所述开关动作频率在第一频率范围内变化,并且获取相对于所述第一频率范围内的所述开关动作频率的变化而言的所述检测信号的值的最大变化,基于所述第一频率范围内的使所述检测信号的值的最大频率来确定所述振动器的共振频率,

所述控制电路还具有驱动模式,在所述驱动模式下,重复进行以下动作:使所述开关动作频率在包含所述振动器的共振频率且比所述第一频率范围窄的第二频率范围内变化,并且获取相对于所述第二频率范围内的所述开关动作频率的变化而言的所述检测信号的值的最大变化,基于所述第二频率范围内的使所述检测信号的值的最大频率来更新所述振动器的共振频率。

10. 根据权利要求9所述的激振电路,其中,

所述控制电路基于所述第一频率范围所包含的频率来变更所述电流检测电路的增益。

11. 根据权利要求9或10所述的激振电路,其中,

所述第一频率范围包含所述振动器的所述共振频率的 $1/(2n+1)$ 倍或 $(2n+1)$ 倍的频率,所述第二频率范围包含作为所述第二频率范围内的使所述检测信号的值的最大的频率的、所述振动器的共振频率,

其中, $n$ 是正整数。

12. 根据权利要求9或10所述的激振电路,其中,

所述第一频率范围包含所述振动器的共振频率,所述第二频率范围包含作为所述第二频率范围内的使所述检测信号的值的最大的频率的、所述振动器的共振频率的 $1/(2n+1)$ 倍或 $(2n+1)$ 倍的频率,

其中, $n$ 是正整数。

13. 根据权利要求1至12中的任一项所述的激振电路,其中,

所述压电元件具有第一端和第二端,

所述压电元件的第一端连接于所述第一开关与所述第二开关的连接点,

所述压电元件的第二端连接于具有比所述直流电源的输出端的电位低的电位的基准电位。

14. 根据权利要求1至12中的任一项所述的激振电路,其中,

所述输出电路还包括与所述第一开关及所述第二开关的串联电路并联地连接于所述直流电源的第三开关及第四开关的串联电路,

所述压电元件连接于所述第三开关同所述第四开关的连接点与所述第一开关同所述第二开关的连接点之间,

所述第一开关的与所述第二开关相反的一侧的端同所述第三开关的与所述第四开关相反的一侧的端相互连接,

所述第二开关的与所述第一开关相反的一侧的端同所述第四开关的与所述第三开关相反的一侧的端相互连接,

在所述开关动作处理中,以所述开关动作频率互补地切换所述第一开关及所述第四开

关的组与所述第二开关及所述第三开关的组的接通和断开。

15. 一种振动装置, 具备:

根据权利要求1至14中的任一项所述的激振电路;

所述压电元件; 以及

具有透光性的保护罩, 其通过所述压电元件而振动。

16. 一种车辆, 具备:

根据权利要求15所述的振动装置; 以及

摄像装置, 其对透过所述保护罩的光进行检测。

## 激振电路、振动装置以及车辆

### 技术领域

[0001] 本公开涉及一种激振电路、振动装置以及车辆。

### 背景技术

[0002] 以往,研究了以下一种技术:对压电元件施加具有频率成分的驱动信号来使其振动,通过该振动使透镜振动,从而使透镜清洁。例如,在专利文献1中公开了一种用于使透镜清洁的超声波清洁系统,在该超声波清洁系统中,向超声波振动器提供振动驱动信号,驱动器集成电路基于表示流过振动器的驱动电流的电流探测信号来控制驱动信号的频率。

[0003] 现有技术文献

[0004] 专利文献

[0005] 专利文献1:美国专利第10401618号

### 发明内容

[0006] 发明要解决的问题

[0007] 如果使用专利文献1所公开的技术,则设置于规定的装置的压电元件当以共振频率被驱动则能够使装置以规定的振动模式振动。但是,当控制电路以单极性驱动压电元件以检测具有规定的频率的信号即驱动电流的大小,则有可能助长压电元件的迁移(migration)而导致故障。

[0008] 本公开的目的在于提供一种能够降低压电元件发生迁移的可能性并且能够检测流过压电元件的电流的大小的激振电路、振动装置以及车辆。

[0009] 用于解决问题的方案

[0010] 本公开所涉及的激振电路具备:输出电路,其包括连接于直流电源的第一开关及第二开关的串联电路,在第一开关与第二开关的连接点连接压电元件;电流检测电路,其对流过第一开关的电流和流过第二开关的电流中的至少一方进行检测,并输出表示基于所检测出的电流的值的检测信号;以及控制电路,其具有搜索模式,在该搜索模式下,为了从输出电路对压电元件施加规定频率的电压,执行以与规定频率对应的开关动作频率互补地切换第一开关与第二开关的接通和断开的开关动作处理,并基于从电流检测电路输出的检测信号所表示的值,来确定包括压电元件和通过压电元件而振动的物体的振动器的共振频率。

[0011] 本公开所涉及的振动装置具备:激振电路;压电元件;以及具有透光性的保护罩,其通过压电元件而振动。

[0012] 本公开所涉及的车辆具备:振动装置;以及摄像装置,其对透过保护罩的光进行检测。

[0013] 发明的效果

[0014] 根据本公开,能够提供一种能够降低压电元件发生迁移的可能性并且能够检测流过压电元件的电流的大小的激振电路、振动装置以及车辆。

## 附图说明

- [0015] 图1是第一实施方式所涉及的振动装置的立体图。
- [0016] 图2是第一实施方式所涉及的摄像单元的结构概要的截面图。
- [0017] 图3是第一实施方式所涉及的振动电路概要性的电路图。
- [0018] 图4是示出对压电元件施加的驱动信号的频率与阻抗的关系的曲线图。
- [0019] 图5是示出激振电路的各元件的输入输出信号的时序图。
- [0020] 图6A是示出对压电元件施加的具有规定的共振频率的驱动信号的随时间变化以及以该频率驱动压电元件时的保护罩的位移量的随时间变化的曲线图。
- [0021] 图6B是示出对压电元件施加的具有规定的共振频率的驱动信号的随时间变化以及以该频率的1/3倍的频率驱动压电元件时的保护罩的位移量的随时间变化的曲线图。
- [0022] 图7A是控制电路的用于判定共振频率的基于第一扫频方法的控制的一例。
- [0023] 图7B是控制电路的用于判定共振频率的基于第二扫频方法的控制的一例。
- [0024] 图7C是控制电路的用于判定共振频率的基于第三扫频方法的控制的一例。
- [0025] 图8是示出与共振频率附近的开关动作频率相对的压电元件的阻抗以及对压电元件施加的电压与流过压电元件的电流之间的相位差的曲线图。
- [0026] 图9是示出第一实施方式所涉及的激振电路的变形例概要性的电路图。
- [0027] 图10是用于说明由第一实施方式所涉及的激振电路的控制电路进行的振动处理的流程图。
- [0028] 图11是示出第一实施方式所涉及的激振电路的低通滤波器的一例概要性的电路图。
- [0029] 图12是示出第一实施方式所涉及的激振电路的变形例概要性的电路图。
- [0030] 图13是第二实施方式所涉及的振动电路概要性的电路图。
- [0031] 图14是第三实施方式所涉及的振动电路概要性的电路图。

## 具体实施方式

[0032] 下面,参照附图来说明本公开所涉及的第一实施方式、第二实施方式以及第三实施方式。但是,下面要说明的结构只不过是本公开的一例,本公开并不限于下述的实施方式,即使是这些实施方式以外的实施方式,只要在不脱离本公开所涉及的技术思想的范围内,就能够根据设计等进行各种变更。

[0033] (第一实施方式)

[0034] 1-1. 结构例

[0035] 本公开的第一实施方式所涉及的激振电路具备:输出电路,其包括连接于直流电源的第一开关及第二开关的串联电路,在第一开关与第二开关的连接点连接压电元件;电流检测电路,其对流过第一开关的电流和流过第二开关的电流中的至少一方进行检测,并输出表示所检测出的电流的检测信号;以及控制电路,其能够控制第一开关和第二开关的开关动作频率,该控制电路具有搜索模式,在该搜索模式下,执行互补地切换第一开关与第二开关的接通/断开的开关动作处理,来对压电元件施加具有开关动作频率的电压,并基于从电流检测电路输出的检测信号所表示的电流,来确定包括压电元件和通过压电元件而振动的物体的振动器的共振频率。通过像这样构成,激振电路的控制电路能够控制用于执行

开关动作处理的开关动作频率,从而控制对压电元件施加的电压的频率。即使在该频率下流过压电元件的平均电流或对压电元件施加的平均电压为零,控制电路也能够检测流过压电元件的电流的大小,因此能够确定振动器的共振频率。因而,激振电路能够降低被施加电压的压电元件发生迁移的可能性并且能够检测流过压电元件的电流。另外,激振电路能够基于所检测出的电流的大小来控制用于执行开关动作频率的开关动作频率。

#### [0036] 1-1-1. 振动装置

[0037] 图1是本公开的第一实施方式所涉及的振动装置10的立体图。第一实施方式所涉及的振动装置10具备保护罩11、振动体13、压电元件15以及后述的激振电路31A。振动体13包括第一筒状体13a、弹簧部13b、第二筒状体13c以及振动板13d。振动装置10以及具备振动装置10的摄像单元100(详细情况后述)是通过后述的本实施方式所涉及的激振电路31A而振动的装置的一例,并不限于此。另外,压电元件15使规定的物体振动。该物体包括保护罩11和振动体13。另外,包括保护罩11、振动体13以及压电元件15的构造体对于压电元件15的振动而言具有后述的规定的共振频率。下面,将该构造体称为振动器17。

[0038] 保护罩11使规定的波长的光透过。规定的波长例如是由摄像单元100的摄像装置20(参照图2)检测的波长。规定的波长并不限于可见光区域的波长,也可以是不可见光区域的波长。

[0039] 保护罩11被圆筒状的第一筒状体13a的端部支承。具体地说,保护罩11的背面被第一筒状体13a支承。

[0040] 保护罩11为半球状的圆丘状。从振动装置10的高度方向观察,保护罩11为圆形。此外,保护罩11的形状不限于圆形。从振动装置10的高度方向观察到的保护罩11的形状也可以为多边形或椭圆形等。保护罩11不限于半球状的圆丘状。例如,保护罩11也可以具有将圆筒与半球相连而得到的形状、或者比半球小的曲面形状。保护罩11也可以是平板。保护罩11也可以具有作为透镜等光学元件的功能。

[0041] 第一筒状体13a形成为具有一端和另一端的筒状。第一筒状体13a在一端支承着保护罩11。例如,保护罩11与第一筒状体13a相接合。保护罩11与第一筒状体13a的接合方法没有特别限制。作为接合方法的例子,例如能够列举出利用粘接剂进行的粘接、熔接、嵌合、压入。

[0042] 在第一实施方式中,第一筒状体13a在一端具有凸缘13aa。凸缘13aa是从第一筒状体13a的一端向外侧延伸的板状的构件。凸缘13aa形成为圆环板状。第一筒状体13a通过凸缘13aa来增加与保护罩11的接触面积,从而稳定地支承保护罩11。

[0043] 第一筒状体13a的另一端被弹性变形的弹簧部13b支承。换言之,第一筒状体13a在与保护罩11侧相反的一侧被弹簧部13b支承。

[0044] 第一筒状体13a由在内部设置有贯通孔的中空构件构成。贯通孔沿振动装置10的高度方向设置,在第一筒状体13a的一端和另一端设置有贯通孔的开口。第一筒状体13a例如具有圆筒形状。从振动装置10的高度方向观察,第一筒状体13a的外形以及贯通孔的开口形成为圆形。

[0045] 此外,第一筒状体13a的形状不限于圆筒形状。例如,第一筒状体13a的形状也可以是多边形的筒状或椭圆形的筒状等。

[0046] 第一筒状体13a的材料例如可以是金属或合成树脂等。另外,第一筒状体13a的材

料可以是能够进行成型和/或切削的陶瓷或玻璃等。关于这一点,弹簧部13b、第二筒状体13c以及振动板13d也是同样的。

[0047] 弹簧部13b以能够使第一筒状体13a相对于第二筒状体13c位移的方式支承该第一筒状体13a。弹簧部13b是圆环状的板簧。弹簧部13b的内周部分对第一筒状体13a的另一端进行支承。弹簧部13b的外周部分被第二筒状体13c支承。从振动装置10的高度方向观察,弹簧部13b的外周形状和内周形状是圆形。

[0048] 此外,弹簧部13b的外周形状和内周形状不限于圆形形状。从振动装置10的高度方向观察,弹簧部13b的外周形状和内周形状也可以是多边形或椭圆形。

[0049] 第二筒状体13c是具有一端和另一端的圆筒形状。第二筒状体13c的一端对弹簧部13b的外周部分进行支承。

[0050] 在第二筒状体13c的另一端配置有振动板13d。

[0051] 此外,第二筒状体13c不限于圆筒形状。例如,第二筒状体13c也可以是多边形的筒状或椭圆形的筒状等。

[0052] 振动板13d配置于第二筒状体13c的另一端,沿振动装置10的高度方向振动。具体地说,振动板13d配置于第二筒状体13c的另一端、即底面。

[0053] 压电元件15设置于振动板13d的底面(下表面)。通过压电元件15振动,振动板13d振动,从而使第二筒状体13c沿振动装置10的高度方向振动。例如,压电元件15通过被施加电压而振动。

[0054] 压电元件15是圆环形的板状。从振动装置10的高度方向观察,压电元件15的外周形状和内周形状是圆形。此外,压电元件15的外周形状和内周形状不限于圆形。从振动装置10的高度方向观察到的压电元件15的外周形状和内周形状例如也可以是多边形或椭圆形等。

[0055] 压电元件15具有压电体和电极。作为压电体的材料,例如能够列举出钛酸钡( $\text{BaTiO}_3$ )、锆钛酸铅( $\text{PZT}:\text{PbTiO}_3 \cdot \text{PbZrO}_3$ )、钛酸铅( $\text{PbTiO}_3$ )、偏铌酸铅( $\text{PbNb}_2\text{O}_6$ )、钛酸铋( $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ )( $\text{K},\text{Na})\text{NbO}_3$ 等适当的压电陶瓷、或者 $\text{LiTaO}_3$ 、 $\text{LiNbO}_3$ 等适当的压电单晶体等。电极例如也可以是Ni电极。电极也可以是通过溅射法形成的由Ag或Au等的金属薄膜构成的电极。除了溅射法以外,也能够通过镀覆、蒸镀来形成电极。

[0056] 振动板13d是圆环形的板状。振动板13d对第二筒状体13c的底面进行支承。

[0057] 保护罩11、第一筒状体13a、弹簧部13b以及第二筒状体13c构成为:保护罩11的共振频率比弹簧部13b的共振频率大。具体地说,通过决定上述的保护罩11、第一筒状体13a、弹簧部13b以及第二筒状体13c的材料及尺寸,来使保护罩11的共振频率比弹簧部13b的共振频率大。

[0058] 第一筒状体13a、弹簧部13b、第二筒状体13c以及振动板13d一体地形成。此外,第一筒状体13a、弹簧部13b、第二筒状体13c以及振动板13d也可以分体地形成,也可以由不同构件形成。

[0059] 如上所述,振动装置10具备激振电路31A,该激振电路31A对压电元件15施加用于产生振动的驱动信号。激振电路31A例如经由供电导体来与压电元件15连接。压电元件15基于来自激振电路31A的驱动信号而沿振动装置10的高度方向振动。通过压电元件15振动,振动板13d沿振动装置10的高度方向振动,振动板13d使第二筒状体13c沿振动装置10的高度

方向振动。通过第二筒状体13c振动,能够经由弹簧部13b向第一筒状体13a传递压电元件15的振动。在振动装置10中,通过使第一筒状体13a振动,保护罩11振动,附着于保护罩11的雨滴等异物被去除。

[0060] 激振电路31A对压电元件15施加驱动信号,使得第一筒状体13a和第二筒状体13c以相反相位沿振动装置10的高度方向振动。激振电路31A能够通过向压电元件15施加的驱动信号来以第一筒状体13a和第二筒状体13c以相反相位沿振动装置10的高度方向振动的模式以外的振动模式使振动装置10进行振动。

[0061] 图2是本实施方式所涉及的摄像单元100的结构概要截面图。图2是将图1的振动装置10以穿过从振动装置10的高度方向观察时的振动装置10的中心的平面进行截断而得到的截面图。摄像单元100是例如被安装在车辆的前方或后方来拍摄被摄像物的单元。此外,摄像单元100不限于被安装于车辆,也可以被安装于船舶、飞机等其它装置。

[0062] 摄像单元100包括振动装置10和摄像装置20。摄像装置20收容在振动装置10内。摄像装置20例如具备CMOS和CCD等摄像元件。摄像装置20能够基于透过保护罩11的光来形成图像。摄像单元100还具备基座构件21、主体构件22以及支承构件23。主体构件22是圆形的板状。基座构件21位于主体构件22的上表面的中央。摄像装置20被固定在基座构件21上。支承构件23从主体构件22的外周部向上方延伸。振动装置10被支承构件23支承。摄像单元100也可以在保护罩11与摄像装置20之间具备一个以上的透镜等光学构件。

[0063] 在将摄像单元100安装于车辆等并在室外使用的情况下,有时在覆盖摄像装置20的保护罩11上附着雨滴、泥、灰尘等异物,另外,保护罩11有时发生冻结。振动装置10能够产生用于去除附着于保护罩11的雨滴等异物的振动或用于消除冻结的振动。

[0064] 1-1-2. 振动电路

[0065] 图3是本实施方式所涉及的包括激振电路31A和压电元件15的振动电路30A的概要性的电路图。激振电路31A具备控制电路32、直流电源33、包括第一开关35及第二开关36的串联电路的输出电路37A、电流检测电路38A、电容器39以及电阻40。

[0066] 控制电路32对第一开关35和第二开关36的开关动作频率进行控制。控制电路32包括通过执行程序来实现规定的功能的如CPU或MPU那样的通用处理器。控制电路32构成为能够与存储装置进行通信,通过调用并执行该存储装置中保存的运算程序等,来实现第一开关35和第二开关36的开关动作处理等控制电路32等中的各种处理。控制电路32不限于硬件资源与软件协作来实现规定的功能的方式,也可以是被专门设计为实现规定的功能的硬件电路。即,关于控制电路32,除了利用CPU、MPU以外还能够利用GPU、FPGA、DSP、ASIC等各种处理器来实现。这样的控制电路32例如能够利用作为半导体集成电路的信号处理电路来构成。

[0067] 直流电源33具有与基准电位34之间产生规定的电压的输出端。直流电源33例如是电池,输出端可以是电池的+极。此外,直流电源33也可以是能够与基准电位34组合来对压电元件15施加规定的电压的已知的装置。

[0068] 基准电位34例如也可以是地,也可以是与电池的-极连接的本地地(body earth)。

[0069] 输出电路37A与直流电源33连接。如图3所示,在本实施方式中,输出电路37A经由后述的电流电压转换电路42A来与基准电位34连接。如上所述,输出电路37A包括连接于直流电源33的第一开关35及第二开关36的串联电路。在本说明书中,第一开关35及第二开关

36的串联电路也被称为“第一支路41A”。输出电路37A的第一支路41A的第一开关35与第二开关36之间的连接点C1经由电容器39来与压电元件15连接。

[0070] 第一开关35例如是金属氧化物半导体场效应晶体管(MOSFET),但并不限于此。第一开关35具备一端(例如源极)和另一端(例如漏极)。第一开关35的一端与直流电源33连接。第一开关35的另一端与第二开关36连接。另外,第一开关35的另一端经由电容器39来与压电元件15连接。控制电路32与第一开关35的控制端(例如栅极)连接,能够如上述那样对第一开关35的接通/断开进行切换。即,控制电路32通过对第一开关35的接通/断开进行切换,能够将第一开关35控制为使连接于第一开关35的直流电源33与压电元件15之间的电路电导通/电断开。

[0071] 与第一开关35同样地,第二开关36例如是MOSFET,但并不限于此。第二开关36具有一端(例如源极)和另一端(例如漏极)。第二开关36的一端与第一开关35的另一端连接。即,第二开关36的一端与第一开关35的另一端同样地经由电容器39来与压电元件15连接。第二开关36的另一端经由电流电压转换电路42A的电流电压转换元件45来与基准电位34连接。控制电路32与第二开关36的控制端(例如栅极)连接,能够如上述那样对第二开关36的接通/断开进行切换。即,控制电路32通过对第二开关36的接通/断开进行切换,能够将第二开关36控制为使连接于第二开关36的压电元件15与基准电位34之间的电路电导通/电断开。

[0072] 电流检测电路38A能够对流过第一开关35的电流和流过第二开关36的电流中的至少一方进行检测,并将表示所检测出的电流的大小的检测信号输出到控制电路32。本实施方式所涉及的电流检测电路38A具备电流电压转换电路42A、低通滤波器43以及模拟/数字转换电路(AD转换电路)44。

[0073] 电流电压转换电路42A具有电流电压转换元件45。电流电压转换元件45能够将流过电流电压转换元件45的电流转换为与流过电流电压转换元件45的电流的大小相应的电压。电流电压转换元件45例如能够被设置为将流过第一开关35的电流或流过第二开关36的电流作为电压来检测。在本实施方式中,电流电压转换元件45连接在第二开关36与基准电位34之间。电流电压转换元件45能够检测从压电元件15经由第二开关36流向基准电位34的电流。电流电压转换电路42A也可以构成为:具有两个电流电压转换元件,两个电流电压转换元件中的一方检测流过第一开关35的电流,两个电流电压转换元件中的另一方检测流过第二开关36的电流。在本实施方式中,电流电压转换元件45是具有规定的电阻值的电阻(分流电阻)。电流电压转换元件45不限于分流电阻,也可以是霍尔元件。在该情况下,电流电压转换元件45也可以配置在第二开关36的附近,使得检测由流过第二开关36的电流引起的磁场。这样,电流电压转换元件45也可以是能够将电流转换为电压的已知的元件。

[0074] 低通滤波器43是用于去除具有比截止频率高的频率成分的信号 of 的滤波器电路。在本实施方式中,低通滤波器43连接于电流电压转换元件45与第二开关36之间的连接点。低通滤波器43将从电流电压转换电路42A输入的电压进行平滑化后输出到AD转换电路45。

[0075] AD转换电路44是将由低通滤波器43进行平滑化后的电压(模拟信号)转换为能够向控制电路32输入的数字信号的电路。AD转换电路44将数字信号作为检测信号输出到控制电路32。电流检测电路38A也可以构成为不具备AD转换电路44,而是将由低通滤波器43进行平滑化后的电压作为检测信号输出到控制电路32。

[0076] 本实施方式所涉及的电流检测电路38A将基于流过第二开关36的电流的大小而生

成的作为数字信号的检测信号输出到控制电路32,但不限于此。例如,电流检测电路38A也可以构成为仅具备电流电压转换电路42A和低通滤波器43,将作为模拟信号而非数字信号的检测信号输出到控制电路32。

[0077] 如上所述,压电元件15具有压电体和电极。压电元件15具有一端和另一端,一端与电容器39连接,另一端与基准电位34连接。具体地说,压电元件15的一端侧的电极与电容器39连接,压电元件15的另一端侧的电极与基准电位34连接。

[0078] 电容器39在后述的第一状态下,能够基于由直流电源33施加的电压来蓄积电荷。电容器39在后述的第二状态下,能够将所蓄积电荷经由第二开关36向基准电位34释放。由此,激振电路31A通过由控制电路32控制第一开关35和第二开关36的开关动作处理,能够如后述那样使电流 $I_1$ 和电流 $I_2$ 在振动电路30A中流通。这样,电容器39作为使在第一状态下施加于压电元件15的电压与在第二状态下施加于压电元件15的电压之间极性反转的极性反转电路发挥功能。

[0079] 电阻40连接在压电元件15同电容器39的连接点与基准电位34之间。当由控制电路32进行的开关动作处理结束时,压电元件15的一端侧经由电阻40来与基准电位34连接,因此压电元件15的一端侧与另一端侧成为等电位。

[0080] 1-2.动作例

[0081] 参照图3来说明第一实施方式所涉及的激振电路31A的动作例。如上所述,图3示出包括激振电路31A和压电元件15的振动电路30A。

[0082] 第一实施方式所涉及的激振电路31A的控制电路32执行以开关动作频率来互补地切换第一开关35与第二开关36的开关动作处理。即,控制电路32控制第一开关35和第二开关36,使得成为在第一开关35接通时第二开关36断开的状态(适当地称为“第一状态”)。另外,控制电路32控制第一开关35和第二开关36,使得成为在第一开关35断开时第二开关36接通的状态(适当地称为“第二状态”)。控制电路32通过互补地切换第一开关35与第二开关36,基于来自直流电源33的规定电压来将具有与开关动作频率相应的频率的电压(例如矩形波电压)作为驱动信号施加于压电元件15。

[0083] 在第一状态下,在振动电路30A内经由第一开关35流通电流 $I_1$ 。电流 $I_1$ 在图3中用虚线的箭头示出。如图3所示,电流 $I_1$ 从直流电源33经由第一开关35流向压电元件15。因而,对压电元件15施加以激振电路31A侧为高电位的电压。

[0084] 在振动电路30A中,当在第一状态下对压电元件15施加电压时,在介于输出电路37A与压电元件15之间的电容器39中,在输出电路37A侧蓄积正电荷,在基准电位34侧蓄积负电荷。当控制电路32使输出电路37A从第一状态变化为第二状态时,电容器39和压电元件15将该电荷释放。关于该电荷的释放,在第二状态下,该电荷作为电流 $I_2$ 而在振动电路30A内经由第二开关36流通。电流 $I_2$ 在图3中用单点划线的箭头来示出。如图3所示,电流 $I_2$ 从压电元件15经由第二开关流向基准电位34。另外,在电容器39中,在输出电路37A侧蓄积负电荷,在压电元件15侧蓄积正电荷。因而,对压电元件15施加以激振电路31A侧为低电位的电压。

[0085] 这样,控制电路32通过使第一开关35和第二开关36进行开关动作,能够以规定的频率对压电元件15施加极性反转的电压。因而,本实施方式所涉及的振动电路30A能够降低在压电元件15中发生离子迁移的可能性。

[0086] 在对压电元件15施加驱动信号(例如具有规定的频率的矩形波电压)的情况下,压电元件15的阻抗根据驱动信号的频率而变化。例如,图4是示出对压电元件15施加的驱动信号的频率与阻抗的关系的曲线图。如图4所示,压电元件15具有阻抗局部地减少的多个频率。该频率与振动器17的共振频率对应。在本实施方式所涉及的振动装置10中,共振频率例如存在于约31kHz(箭头A部)、约110kHz(箭头B部)、约550kHz(箭头C部)。压电元件15当被施加与这些共振频率中的任一个共振频率对应的频率的电压(驱动信号)时,以按每个频率而不同的振动模式使保护罩11进行振动。例如,在被施加具有约31kHz的频率的电压时,压电元件15以第一去除模式经由振动体13使保护罩11进行振动,该第一去除模式是使保护罩11整体地振动的振动模式。第一去除模式是能够使附着于保护罩11的液滴等异物雾化来将其去除的振动模式。另外,在被施加了具有约110kHz的频率的电压时,压电元件15以第二去除模式经由振动体13使保护罩11进行振动,该第二去除模式是使保护罩11的中心部与周缘部相比更大幅地振动的振动模式。第二去除模式下的振动是与保护罩11的共振频率对应的振动。另外,在被施加了具有约550kHz的频率的电压时,压电元件15以解冻模式经由振动体13使保护罩11进行振动,该解冻模式是保护罩11容易升温的振动模式。约550kHz附近的振动与约110kHz的振动相比,以节点数多的高阶的振动模式使保护罩11进行振动。在解冻模式下,由于压电元件15的阻抗小,因此大功率被施加于压电元件15,从而能够使保护罩11迅速地升温。上述的共振频率是一例,能够根据振动装置10的形状和材质等而变更。压电元件15也可以构成为对保护罩11施加除上述振动模式以外的振动。

[0087] 如图4所示,当被施加与共振频率对应的频率的电压时,压电元件15的阻抗局部最小。因而,控制电路32通过检测流过压电元件15的电流值,能够判定对压电元件15施加的电压的频率是否为共振频率。

[0088] 图5是示出向激振电路31A的各元件输入的信号或从各元件输出的信号(例如电流值、电压值)的时序图。图5的横轴是时间。图5示出信号DT1、信号DT2、电流 $I_R$ 、输入电压 $V_{AD}$ 。信号DT1是用于由控制电路32控制第一开关35的接通/断开的信号的一例。信号DT2是用于由控制电路32控制第二开关36的接通/断开的信号的一例。第一开关35和第二开关36在信号DT1和信号DT2为高电平的情况下接通(即,第一开关35将直流电源33与压电元件15电连接,第二开关36将压电元件15与基准电位34电连接)。第一开关35和第二开关36在信号DT1和信号DT2为低电平的情况下断开(即,第一开关35将直流电源33与压电元件15电断开,第二开关36将压电元件15与基准电位34电断开)。电流 $I_R$ 表示流过电流电压转换元件45的电流。电流 $I_R$ 与基于电流电压转换电路42A而输入到低通滤波器43的电压对应。输入电压 $V_{AD}$ 表示从低通滤波器43输入到AD转换电路44的被平滑化后的电压。如图5所示,在本实施方式中, $V_{AD}$ 是具有直流成分的信号。

[0089] 在图5中,记载了电流 $I_R$ 的多个波形。用实线示出的电流 $I_R$ 是在第一开关35和第二开关36的开关动作频率与振动器17的共振频率对应的情况下(即共振时)流过电流电压转换元件45的电流的波形的一例。用虚线示出的电流 $I_R$ 是在第一开关35和第二开关36的开关动作频率不与振动器17的共振频率对应的情况下(即非共振时)流过电流电压转换元件45的电流的波形的一例。如在图5中所明确的那样,共振时的电流比非共振时的电流大。

[0090] 同样地,在图5中,记载了输入电压 $V_{AD}$ 的多个波形。用实线示出的输入电压 $V_{AD}$ 是在共振时从低通滤波器43输出并被输入到AD转换电路44的电压的波形的一例。用虚线示出的

输入电压 $V_{AD}$ 是在非共振时从低通滤波器43输出并被输入到AD转换电路44的电压的波形的一例。如在图5中所明确的那样,共振时的输入电压比非共振时的输入电压大。

[0091] 这样,被输入到AD转换电路44的信号(电压)的值在共振时比在非共振时大。因而,从AD转换电路44输入到控制电路32的检测信号的值同样地在共振时比在非共振时大。因此,控制电路32能够基于从AD转换电路44输入的检测信号,来判定第一开关35和第二开关36的开关动作频率、即对压电元件15输入的驱动信号的频率是否为共振频率。例如,控制电路32以两个以上的开关动作频率来获取在以特定的开关动作频率使各开关35、36进行动作时从AD转换电路44输入的检测信号的值。然后,控制电路32能够将不同的开关动作频率下的检测信号的值进行比较,来判定为与值大的一方的检测信号对应的开关动作频率更接近共振频率。因而,控制电路32能够以规定的频率范围的多个开关动作频率使各开关35、36进行开关动作,当对与多个开关动作频率对应的多个检测信号的值进行比较时,判定在该规定的频率范围内最接近共振频率的开关动作频率。

[0092] 此外,信号DT1和信号DT2的周期在共振时与非共振时不同,但为了简便,在图5中,即使是不同的周期也以横向宽度一致的方式示出了信号波形。因而,电流 $I_R$ 流通的期间实际上在共振时与非共振时不同。

[0093] 这样,控制电路32能够将基于开关动作处理而流过电流电压转换电路42A的电流电压转换元件45的电流作为直流成分来获取。因而,与检测流过压电元件15的电流的情况不同,控制电路32不需要将电流检测的采样频率设定为与振动器17的共振频率相比足够高,因此能够实现电流电压转换电路42A的低成本化。而且,控制电路32通过对电流进行检测,能够计算压电元件15的阻抗,从而能够判定振动器17的共振频率。

[0094] 如上所述,控制电路32能够基于通过控制开关动作频率使对压电元件15施加的电压的频率变化而从电流检测电路38A输入的检测信号的值,来判定振动器17的共振频率。例如,控制电路32能够使用多个方法来判定振动器17的共振频率。本实施方式所涉及的激振电路31A具有第一扫频方法、第二扫频方法以及第三扫频方法这三个扫频方法(各自的详细情况在后面叙述)。第一扫频方法、第二扫频方法以及第三扫频方法的用于判定振动器17的共振频率的开关动作频率的变更方法不同。控制电路32具有在第一扫频方法至第三扫频方法中的各个方法中执行的多个程序。在本实施方式中,多个程序包括搜索模式和驱动模式。

[0095] 在搜索模式下,控制电路32使开关动作频率在规定的频率范围(下面,称为“第一频率范围”)内变化,并判定共振频率。下面,将控制电路32为了判定共振频率而使开关动作频率在任意的频率范围内以规定的增加幅度(或减少幅度)变化的处理也称为“扫频”。如上所述,控制电路32能够将使从AD转换电路44输出的检测信号的值最大的开关动作频率判定为共振频率。因而,在第一频率范围内包含共振频率的情况下,控制电路32能够判定共振频率。在第一频率范围内的上限频率时从AD转换电路44输出的检测信号的值最大的情况下,该开关动作频率有可能不是共振频率。因而,在这样的情况下,控制电路32也可以以包含更高的频率的方式变更第一频率范围,使开关动作频率在该范围内变化,并再次判定共振频率。在第一频率范围内的下限频率时从AD转换电路44输出的检测信号的值最大的情况下也同样,控制电路32也可以以包含更低的频率的方式变更第一频率范围,并再次判定共振频率。控制电路32也可以在判定为使所输出的该检测信号的值局部最大的开关动作频率有多个的情况下再次执行扫频。

[0096] 控制电路32当通过搜索模式判定了共振频率时,能够通过以该频率进行开关动作来以与该频率对应的规定的振动模式(例如,第一去除模式、第二去除模式或解冻模式)使保护罩11振动。但是,共振频率可能由于各种因素而变动。例如,共振频率可能与保护罩11的温度变化相应地发生变动。另外,共振频率可能在保护罩11附着有异物的情况下发生变动。因而,本实施方式所涉及的激振电路31A构成为在驱动模式下应对该频率的变化。

[0097] 在驱动模式下,控制电路32使开关动作频率在比第一频率范围窄的规定的频率范围(下面,称为“第二频率范围”)内变化,并判定共振频率。控制电路32在从搜索模式转移到驱动模式时,以使在搜索模式下判定出的共振频率为中心的方式设定第二频率范围,使开关动作频率在第二频率范围内变化。控制电路32使开关动作频率在第二频率范围内进行扫频,判定使从AD转换电路44输出的检测信号的值最大的开关动作频率,并将所判定出的开关动作频率判定为振动器17的当前的共振频率。当判定出振动器17的当前的共振频率时,控制电路32将被设定为第二频率范围的中心的频率变更为该当前的共振频率,来更新第二频率范围。控制电路32在更新后的第二频率范围内再次使开关动作频率进行扫频,来重复进行上述的第二频率范围的更新。通过以这样的驱动模式进行动作,即使振动器17的共振频率发生变化,控制电路32也能够使开关动作频率追随共振频率。

[0098] 在使压电元件15振动的情况下,有时在从低频侧向高频侧变化的情况下的振动器17的共振频率与在从高频侧向低频侧变化的情况下的振动器17的共振频率不一致。因而,本实施方式所涉及的激振电路31A的控制电路32构成为:在使用搜索模式或驱动模式来判定共振频率时,能够通过多种方法使开关动作频率进行扫频。在本实施方式中,如上所述,控制电路32具有第一扫频方法、第二扫频方法以及第三扫频方法。在第一扫频方法中,控制电路32使开关动作频率从低频侧向高频侧变化(下面,也称为“上行方向的扫频”)。在第二扫频方法中,控制电路32使开关动作频率从低频侧向高频侧变化,进而从高频侧向低频侧变化(下面,也称为“上行方向和下行方向的扫频”)。在第三扫频方法中,控制电路32使开关动作频率从高频侧向低频侧变化(下面,也称为“下行方向的扫频”)。

[0099] 本实施方式所涉及的激振电路31A构成为:通过使第一开关35和第二开关36的开关动作频率与振动器17的共振频率一致,来使保护罩11以规定的振动模式进行动作。与此相关地,即使在以相对于共振频率具有规定的比例的开关动作频率使第一开关35和第二开关36进行了动作的情况下,阻抗也局部最小。在此,具有规定的比例的频率是指共振频率的 $1/(2n+1)$ 倍的频率( $n$ 为正整数)。

[0100] 图6A是示出对压电元件15施加的具有作为一个共振频率的附近频率的31.5kHz的频率的驱动信号(电压)的随时间变化以及以该频率驱动压电元件15时的保护罩11的位移量的随时间变化的曲线图。在图6A中,波形S1表示驱动信号的随时间变化,波形D1表示位移量的随时间变化。例如通过利用激光多普勒仪测定保护罩11的位移,来得到保护罩11的位移量,图6A的波形D1表示将测定出的位移量转换为电压而得到的电压值的随时间变化。图6A所示的曲线图的横轴是时间,纵轴是电压。

[0101] 图6B是示出对压电元件15施加的具有31.5kHz的 $1/3$ 倍的频率即10.5kHz的频率的驱动信号的随时间变化以及以该频率驱动压电元件15时的保护罩11的位移量的随时间变化的曲线图。在图6B中,波形S2表示驱动信号的随时间变化,波形D2表示位移量的随时间变化。图6B所示的曲线图的横轴是时间,纵轴是电压。

[0102] 如根据图6A和图6B可知的那样,即使驱动信号的频率为共振频率的 $1/3$ 倍,保护罩11的位移的频率(即,保护罩11的振动的频率)也与共振频率等同。另外,如根据图6A和图6B可知的那样,以共振频率的 $1/3$ 倍的频率驱动压电元件15的情况下的位移量的最大值与以共振频率驱动压电元件15的情况下的位移量的最大值相比约为 $1/3$ 倍。上述的关系在使驱动信号的频率为共振频率的 $1/(2n+1)$ 倍( $n$ 为正整数)的情况下成立。即,在驱动信号的频率为共振频率的 $1/(2n+1)$ 倍的情况下,保护罩11的位移量的最大值与以共振频率驱动压电元件15的情况下的位移量的最大值相比为约 $1/(2n+1)$ 倍。通过利用这样的基于驱动信号的频率的位移量的变化,本实施方式所涉及的振动装置10能够得到各种效果。

[0103] 例如,控制电路32在搜索模式下,能够在包含与共振频率的 $1/3$ 倍相当的频率的第一频率范围内使开关动作频率进行扫频,来判定与共振频率对应的频率。控制电路32将被判定为与共振频率对应的开关动作频率的3倍的频率判定为共振频率,以使该3倍的频率为中心的方式规定第二频率范围并执行驱动模式。由此,控制电路32能够抑制压电元件15的温度上升,并且能够降低在该判定时需要的消耗功率。另外,控制电路32通过降低电流值,能够抑制在执行搜索模式时发生的振动,从而能够抑制由起因于该振动的异物等的状态变化引起的共振频率的变动。

[0104] 如上述那样的关系在共振频率与其 $2n+1$ 倍的频率( $n$ 为正整数)之间也成立。例如,当控制电路32对压电元件15施加具有共振频率的3倍的频率的驱动信号时,与图6A的情况同样地,保护罩11的位移量的随时间变化具有与共振频率对应的频率。另外,保护罩11的位移量的最大值与施加了具有共振频率的驱动信号的情况下的位移量的最大值相比为约 $1/3$ 倍。因而,控制电路32也可以将用于切换第一开关35和第二开关36的接通/断开的开关动作频率设定为共振频率的 $(2n+1)$ 倍来进行动作,以抑制压电元件15的温度上升。

[0105] 控制电路32将共振频率的变化与阻抗的变化进行组合来判断在保护罩11是否附着有异物。振动器17的共振频率在温度变高时降低。同样地,压电元件15的最小阻抗(阻抗的局部最小值)在温度变高时降低。与此相对地,在保护罩11附着有异物(例如水)的情况下,当水附着量变多时振动器17的共振频率降低。另外,当水附着量变多时压电元件15的最小阻抗的变化率上升。这样,控制电路32通过参照温度的变化和最小阻抗的变化,能够判断在保护罩11是否附着有异物。此外,例如能够通过能够设置于振动装置10的温度传感器来获取温度的变化。控制电路32也可以在异物附着之前如上述那样在搜索模式下以共振频率的 $1/(2n+1)$ 倍( $n$ 为正整数)的频率驱动压电元件15,当判断为附着有异物时,切换为驱动模式来以共振频率驱动压电元件15。控制电路32通过像这样驱动压电元件15,能够降低振动装置10的消耗功率。

[0106] 图7A示出控制电路32的用于判定共振频率的基于第一扫频方法的控制的一例。图7B示出控制电路32的用于判定共振频率的基于第二扫频方法的控制的一例。图7C示出控制电路32的用于判定共振频率的基于第三扫频方法的控制的一例。

[0107] 图7A示出使用了第一扫频方法的、由控制电路32进行的搜索模式和驱动模式的处理的一例。在本实施例中,控制电路32以包含共振频率的大致 $1/3$ 倍的频率的方式设定第一频率范围,并执行搜索模式。在图7A中,第一频率范围用 $f_{search1}$ 示出。控制电路32使开关动作频率向上行方向进行扫频,当在第一频率范围内判定出使电流最大的频率 $fr_u$ 时,将频率 $fr_u$ 的值设为3倍来计算 $f_{drive_u}$ 。如图7A所示,控制电路32以期间 $t_{search1}$ 执行扫频。

[0108] 控制电路32以使计算出的 $f_{drive_u}$ 为中心的方式设定第二频率范围,并执行驱动模式。在图7A中,第二频率范围用 $f_{drive1}$ 示出。控制电路32在第二频率范围内使开关动作频率向上行方向进行扫频,判定使电流值最大的频率并将 $f_{drive_u}$ 更新为该频率。如图7A所示,控制电路32以期间 $t_{sweep1}$ 执行第二频率范围的扫频。而且,控制电路32在每次执行扫频时更新第二频率范围,并再次以期间 $t_{sweep1}$ 执行更新后的第二频率范围内的扫频。期间 $t_{drive1}$ 表示以驱动模式驱动压电元件15的期间。通过像这样进行动作,控制电路32能够一边追随变动的共振频率一边以更准确的频率使保护罩11振动。控制电路32例如也可以当将驱动模式下的压电元件15的驱动执行了如用期间 $t_{drive1}$ 表示的规定的期间时,再次切换为搜索模式下的压电元件的驱动。另外,控制电路32例如也可以当基于温度的变化和阻抗的变化而判断为消除了异物的附着时,从驱动模式下的驱动切换为搜索模式下的驱动。控制电路32也可以不从驱动模式切换为搜索模式,而是使压电元件的驱动停止。关于后述的第二扫频方法、第三扫频方法也是同样的。

[0109] 图7B示出使用了第二扫频方法的、由控制电路32进行的搜索模式和驱动模式的处理的一例。在本实施例中,控制电路32以包含与共振频率对应的频率的方式设定第一频率范围,并执行搜索模式。在图7B中,第一频率范围用 $f_{search2}$ 示出。控制电路32使开关动作频率向上行方向进行扫频,当在第一频率范围内判定出使电流最大的频率 $f_{r_u}$ 时,基于频率 $f_{r_u}$ 来决定 $f_{drive_u}$ 。控制电路32以使所决定的 $f_{drive_u}$ 为中心的方式设定上行方向的第二频率范围。另外,控制电路32使开关动作频率向下行方向进行扫频,当在第一频率范围内判定出使电流最大的频率 $f_{r_d}$ 时,基于频率 $f_{r_d}$ 来决定 $f_{drive_d}$ 。控制电路32以使所决定的 $f_{drive_d}$ 为中心的方式设定下行方向的第二频率范围。如图7B所示,控制电路32分别以期间 $t_{search2}$ 来执行上行方向的扫频和下行方向的扫频。此外,上行方向的期间 $t_{search2}$ 的长度与下行方向的期间 $t_{search2}$ 的长度既可以相同,也可以不同。

[0110] 控制电路32当设定了上行方向和下行方向的第二频率范围时,执行驱动模式。控制电路32针对上行方向和下行方向中的各个方向,在各第二频率范围内使开关动作频率进行扫频,判定使电流值最大的频率,并将 $f_{drive_u}$ 和 $f_{drive_d}$ 更新为各频率。如图7B所示,控制电路32分别以期间 $t_{sweep2}$ 来执行第二频率范围的上行方向的扫频和下行方向的扫频。而且,控制电路32在每次执行上行方向的扫频或下行方向的扫频时更新各自的第二频率范围,并再次以期间 $t_{sweep2}$ 执行更新后的第二频率范围内的扫频。期间 $t_{drive2}$ 表示以驱动模式驱动压电元件15的期间。通过像这样进行动作,控制电路32对于向上行方向的扫频和向下行方向的扫频,分别能够一边追随变动的共振频率一边以更准确的频率使保护罩11振动。

[0111] 图7C示出使用了第三扫频方法的、由控制电路32进行的搜索模式和驱动模式的处理的一例。在本实施例中,控制电路32以包含与共振频率对应的频率的方式设定第一频率范围,并执行搜索模式。在图7C中,第一频率范围用 $f_{search3}$ 示出。控制电路32使开关动作频率向下行方向进行扫频,当在第一频率范围内判定出使电流最大的频率 $f_{r_d}$ 时,基于频率 $f_{r_d}$ 来决定 $f_{drive_d}$ 。如图7C所示,控制电路32以期间 $t_{search3}$ 来执行扫频。

[0112] 控制电路32以使所决定的 $f_{drive_d}$ 为中心的方式设定第二频率范围,并执行驱动模式。在图7C中,第二频率范围用 $f_{drive3}$ 示出。控制电路32在第二频率范围内使开关动作频率向下行方向进行扫频,判定使电流值最大的频率,并将 $f_{drive_d}$ 更新为该频率。如图7C

所示,控制电路32以期间 $t_{\text{sweep}3}$ 执行第二频率范围的扫频。而且,控制电路32在每次执行扫频时更新第二频率范围,并再次以期间 $t_{\text{sweep}3}$ 执行更新后的第二频率范围内的扫频。期间 $t_{\text{drive}3}$ 表示以驱动模式驱动压电元件15的期间。通过像这样进行动作,控制电路32能够一边追随变动的共振频率一边以更准确的频率使保护罩11振动。

[0113] 控制电路32例如能够将上述的第一扫频方法用于第一去除模式。另外,控制电路32能够将上述的第二扫频方法用于第二去除模式。另外,控制电路32能够将上述的第三扫频方法用于解冻模式。用于各振动模式的扫频方法不限于上述方法,控制电路32也可以任意的组合使压电元件15振动。另外,在上述的第一扫频方法中,控制电路32在搜索模式下使用共振频率的 $1/3$ 的频率来驱动压电元件15,在驱动模式下使用共振频率来驱动压电元件15,但不限于此。另外,在上述的第二扫频方法和第三扫频方法中,控制电路32在搜索模式和驱动模式下使用共振频率来驱动压电元件15,但不限于此。例如,控制电路32也可以通过第一扫频方法至第三扫频方法中的至少一种扫频方法,在搜索模式和驱动模式下使用共振频率来驱动压电元件15。另外,控制电路32也可以通过第一扫频方法至第三扫频方法中的至少一种扫频方法,在搜索模式下使用共振频率的 $1/(2n+1)$ 倍的频率来驱动压电元件15,在驱动模式下使用共振频率来驱动压电元件15。另外,控制电路32也可以通过第一扫频方法至第三扫频方法中的至少一种扫频方法,在搜索模式下使用共振频率来驱动压电元件15,在驱动模式下使用共振频率的 $1/(2n+1)$ 倍的频率来驱动压电元件15。另外,控制电路32也可以通过第一扫频方法至第三扫频方法中的至少一种扫频方法,在搜索模式和驱动模式下使用共振频率的 $1/(2n+1)$ 倍的频率来驱动压电元件15。

[0114] 图8是示出与某个共振频率附近的开关动作频率相对的压电元件15的阻抗以及对压电元件15施加的电压与流过压电元件15的电流之间的相位差的曲线图。如图8所示,当开关动作频率在共振频率附近变化时,阻抗发生变化。如上所述,阻抗局部最小的频率相当于共振频率。另外,如图8所示,当开关动作频率在共振频率附近变化时,对压电元件15施加的电压与流过压电元件的电流的相位差发生变化。在控制电路32以共振频率使第一开关35和第二开关36进行开关动作的情况下,该相位差为零。因而,通过将激振电路31A构成为检测该相位差,能够更准确地判定与共振频率对应的开关动作频率。

[0115] 图9是第一实施方式所涉及的激振电路31A的变形例。图9示出振动电路30B。振动电路30B具备激振电路31B和压电元件15。激振电路31B相对于激振电路31A而言还具备相位比较器46。激振电路31B构成为能够利用相位比较器46来比较如上所述的对压电元件15施加的电压与流过压电元件的电流的相位差。

[0116] 相位比较器46例如是乘法器。相位比较器46能够探测基于流过电流电压转换元件45的电流的电压。关于相位比较器46所利用的与电流有关的相位,是在第二开关36接通时流过电流电压转换元件45的电流。另外,控制电路32能够向相位比较器46输出使第一开关35和第二开关36进行开关动作时的控制信号。因而,相位比较器46能够基于该控制信号的相位,来比较对压电元件15施加的电压的相位与流过压电元件的电流的相位。相位比较器46例如能够构成为:将用于驱动第二开关36的控制信号的相位与基于流过电流电压转换元件45的电流的电压的相位进行比较,在相位存在差异时,向控制电路32输出规定的信号(例如电压)。相位比较器46也可以在控制信号的相位与基于流过电流电压转换元件45的电流的电压的相位相比超前的情况下向控制电路32输出具有正值的电压,在控制信号的相位与

基于流过电流电压转换元件45的电流的电压的相位相比滞后的情况下向控制电路32输出具有负值的电压。通过像这样构成,控制电路32能够基于从相位比较器46输出的信号来检测压电元件15中的电流与电压有无相位差。另外,控制电路32能够检测相对于电压而言电流的相位是超前还是滞后。如根据图9可知的那样,在开关动作频率为共振频率附近的情况下,对压电元件15施加的电压与流过的压电元件15的电流之间的相位的超前或滞后是根据开关动作频率比共振频率高还是低来决定的。因而,控制电路32能够基于相位差来判定需要将开关动作频率向高频侧和低频侧中的哪一侧变更以使开关动作频率与共振频率一致。控制电路32基于由相位比较器46检测到的相位差来控制开关动作频率,由此能够更适当地使开关动作频率与振动器17的共振频率一致。相位比较器46也可以与上述相反地,在控制信号的相位与基于流过电流电压转换元件45的电流的电压的相位相比超前的情况下向控制电路32输出具有负值的电压,在控制信号的相位与基于流过电流电压转换元件45的电流的电压的相位相比滞后的情况下向控制电路32输出具有正值的电压。

[0117] 接着,基于流程图来说明由控制电路32进行的振动装置10的振动处理。图10是用于说明由本实施方式所涉及的激振电路31A的控制电路32进行的振动装置10的振动处理的流程图。在该振动处理中,控制电路32在包含共振频率的1/3的频率的第一频率范围内执行搜索模式来驱动压电元件15。然后,控制电路32当判断为在保护罩11附着有异物时,判定当前的共振频率,在包含当前的共振频率的第二频率范围内执行驱动模式来驱动压电元件15。

[0118] 首先,控制电路32计算对压电元件15进行驱动的振动模式的共振频率的1/3倍的频率(S10)。当计算出1/3倍的频率时,控制电路32设定包含该频率的第一频率范围(S11)。当设定了第一频率范围时,控制电路32以搜索模式在第一频率范围内驱动压电元件15,并判定当前的共振频率(S12)。即,控制电路32使第一开关35和第二开关36的开关动作频率在第一频率范围内进行扫频,基于由电流检测电路38A检测出的电流的大小来判定当前的共振频率。

[0119] 控制电路32基于如上述那样例如根据检测出的电流的大小而计算出的阻抗等,来判定在保护罩11是否附着有异物(S13)。控制电路32当判定为没有附着异物时(S13:“否”),再次执行步骤S12,再次判定当前的共振频率。控制电路32当判定为附着有异物时(S13:“是”),设定以该时间点的当前的共振频率为中心的第二频率范围(S14)。当设定了第二频率范围时,控制电路32以驱动模式在第二频率范围内驱动压电元件15,并判定当前的共振频率(S15)。即,控制电路32使第一开关35和第二开关36的开关动作频率在第二频率范围内进行扫频,基于由电流检测电路38A检测出的电流的大小来判定当前的共振频率。

[0120] 与步骤S13同样地,控制电路32基于例如根据检测出的电流的大小而计算出的阻抗等,来确认附着于保护罩11的异物是否残留(S16)。当判定为异物残留于保护罩11时(S16:“否”),控制电路32再次执行步骤S14,来设定以在步骤S15中判定出的当前的共振频率为中心的第二频率范围。即,控制电路32将第二频率范围更新为以当前的共振频率为中心的范围。然后,控制电路32以驱动模式驱动压电元件15,直到消除异物的附着为止。当判断为消除了异物的附着(即,不再存在附着于保护罩11的异物)时(S16:“是”),控制电路32停止压电元件15的驱动(S17)。通过这样,控制电路32能够去除附着于保护罩11的异物。另外,控制电路32能够减少在去除异物时所需的电力。

[0121] 如图8所示,与各振动模式对应的各共振频率下的压电元件15的阻抗值根据频率而不同。因而,在根据各共振频率使第一开关35和第二开关36进行开关动作时流过压电元件15的电流值按每个频率而不同。因此,电流检测电路38A需要构成为与使流过电流电压转换元件45的电流最大(即,压电元件15的阻抗值最低)的振动模式对应。

[0122] 图11是示出构成为能够切换放大率的低通滤波器43的一例的概要性的电路图。低通滤波器43能够变更针对所输入的电压的放大率,因此即使流过电流电压转换元件45的电流的大小不同,也能够判定共振频率。

[0123] 低通滤波器43具有运算放大器50、可变电阻51、电阻52以及电容器53。运算放大器50的反相输入端子经由可变电阻51来与输入端(即,电流电压转换元件45的与基准电位侧不同的端) $V_{in}$ 连接,非反相输入端子与基准电位连接,输出端子与输出端(即,向AD转换电路44输出的端) $V_{out}$ 连接。可变电阻51配置在输入端 $V_{in}$ 与运算放大器50的反相输入端子之间。电阻52被配置为将运算放大器的反相输入端子与输出端子经由电阻52连接。电容器53以将运算放大器50的反相输入端子与输出端子经由电容器53连接的方式与电阻52并联地配置。通过变更可变电阻51的电阻值,低通滤波器43能够变更针对从输入端 $V_{in}$ 输入的电压的放大率(即,增益),因此即使流过电流电压转换元件45的电流的大小不同,也能够判定共振频率。频率控制电路32例如能够基于使压电元件15振动的振动模式来变更放大率。另外,控制电路32也可以基于在搜索模式下驱动压电元件15的第一频率范围所包含的频率来变更放大率。激振电路31B通过具备具有这样的结构的低通滤波器43,能够在峰值电流不同的多个振动模式下高精度地进行该峰值电流的检测。

[0124] 图12是第一实施方式所涉及的激振电路31A的变形例。图12示出振动电路30C的结构。振动电路30C具备激振电路31C和压电元件15。激振电路31C相对于激振电路31A而言,具备直流电源33A和负电源电路33B来代替直流电源33。另外,激振电路31C相对于激振电路31A而言不具备电容器39。负电源电路33B代替激振电路31A中的电容器39作为极性反转电路发挥功能。

[0125] 在本实施例中,直流电源33A代替激振电路31A中的直流电源33来与第一开关35连接。直流电源33A输出正电压。负电源电路33B连接于输出电路37A的串联电路的与直流电源33A相反的一侧。具体地说,负电源电路33B代替振动电路30A中的基准电位34而经由电流电压转换电路42A来与第二开关36连接。负电源电路33B输出负电压。即,以基准电位34的电位为基准,负电源电路33B具有相对于直流电源33A极性反转的电位。例如,在基准电位34的电位为零且直流电源33A的电位为 $+V_p$ 的情况下,负电源电路33B的电位也可以为 $-V_p$ 。直流电源33A和负电源电路33B分别也可以是能够与基准电位组合来对压电元件15施加规定的电压的已知的装置。

[0126] 通过像这样构成,当控制电路32执行第一开关35和第二开关36的开关动作处理时,能够在第一状态与第二状态下对压电元件15施加极性反转的电压。例如,在基准电位34的电位为零、直流电源33A的电位为 $+V_p$ 、负电源电路33B的电位为 $-V_p$ 的情况下,控制电路32在第一状态下能够对压电元件15施加 $+V_p$ 的正电压,在第二状态下能够对压电元件15施加 $-V_p$ 的负电压。在该情况下,控制电路32能够通过开关动作处理来对压电元件15施加平均为零的电压。通过对压电元件15施加极性反转的电压,振动电路30C与振动电路30A同样地,能够降低在压电元件15中发生离子迁移的可能性。

[0127] (第二实施方式)

[0128] 2-1. 结构例

[0129] 对本公开的第二实施方式所涉及的振动装置进行说明。此外,在第二实施方式中,主要对与第一实施方式的不同点进行说明。在第二实施方式中,对与第一实施方式相同或等同的结构标注相同的附图标记来进行说明。另外,在第二实施方式中,省略与第一实施方式重复的记载。

[0130] 图13是本公开的第二实施方式所涉及的包括激振电路31D和压电元件15的振动电路30D的概要性的电路图。振动电路30D的激振电路31D具有输出电路37B来代替激振电路31A的输出电路37A,该输出电路37B还包括连接于直流电源33的第三开关60及第四开关61的串联电路。在本说明书中,第三开关60及第四开关61的串联电路也被称为“第二支路41B”。第二支路41B与第一支路41A并联地连接于直流电源33与基准电位34之间。如图13所示,在本实施方式中,第二支路41B经由电流电压转换电路42A的电流电压转换元件45来与基准电位34连接。作为替代或者作为追加,第二支路41B也可以经由电流电压转换电路42A的电流电压转换元件45来与直流电源33连接。如根据图13可知的那样,与第一实施方式所涉及的振动电路30A不同,振动电路30D的压电元件15没有与基准电位34连接,取而代之地,压电元件15连接于第二支路41B的第三开关60与第四开关61之间的连接点C2。因而,压电元件15连接于第一开关35同第二开关36的连接点C1与第三开关60同第四开关61的连接点C2之间。此外,第二实施方式所涉及的振动电路30D也可以不具备第一实施方式所涉及的振动电路30A所具备的电容器39。

[0131] 与第一开关35同样地,第三开关60例如是MOSFET,但不限于于此。第三开关60具有一端(源极)和另一端(漏极)。第三开关60的一端与直流电源33连接。另外,第三开关60的一端与第一开关35的一端连接。第三开关60的另一端与第四开关61的一端连接。另外,第三开关60的另一端与压电元件15的同连接于第一支路41A的一端相反侧的一端。控制电路32与第三开关60的控制端连接,能够对第三开关60的接通/断开进行切换。控制电路32通过对第三开关60的接通/断开进行切换,能够将第三开关60控制为使连接于第三开关60的直流电源33与压电元件之间的电路电导通/电断开。

[0132] 与第一开关35同样地,第四开关61例如是MOSFET,但不限于于此。第四开关61具有一端(源极)和另一端(漏极)。第四开关61的一端与第三开关60的另一端连接。即,与第三开关的另一端同样地,第四开关61的一端与压电元件15连接。第四开关61的另一端经由电流电压转换电路42A的电流电压转换元件45来与基准电位34连接。控制电路32与第四开关61的控制端连接,能够对第四开关61的接通/断开进行切换。控制电路32通过对第四开关61的接通/断开进行切换,能够将第四开关61控制为使连接于第四开关61的压电元件15与基准电位34之间的电路电导通/电断开。

[0133] 2-2. 动作例

[0134] 参照图13对第二实施方式所涉及的激振电路31D的动作例进行说明。如上所述,图13示出包括激振电路31D和压电元件15的振动电路30D。

[0135] 第二实施方式所涉及的激振电路31D的控制电路32进行控制,使得除了互补地切换第一开关35与第二开关36以外,还互补地切换第三开关60与第四开关61。即,控制电路32进行控制,使得以使第三开关60与第二开关36同步、第四开关61与第一开关35同步的方式

切换各开关35、36、60、61的接通/断开。控制电路32控制第一开关35至第四开关61,使得成为在第一开关35和第三开关接通的情况下第二开关36和第四开关61断开的状态(适当地称为“第三状态”)。另外,控制电路32控制第一开关35至第四开关61,使得成为在第一开关35和第三开关60断开的情况下第二开关36和第四开关61接通的状态(适当地称为“第四状态”)。控制电路32通过使各开关35、36、60、61在第三状态与第四状态之间切换,能够使对压电元件15施加的电压的极性反转。

[0136] 控制电路32像这样进行动作,由此电流检测电路38A在第三状态下能够检测从直流电源33通过第一开关35、压电元件15以及第四开关61流向基准电位34的电流。另外,电流检测电路38A在第四状态下能够检测从直流电源33通过第三开关60、压电元件15以及第二开关36流向基准电位34的电流。在第一实施方式所涉及的振动电路30A中,电流检测电路38A仅在第二状态下检测电流。但是,在第二实施方式所涉及的振动电路30D中,电流检测电路38A在第三状态和第四状态下分别检测电流。即,与第一实施方式所涉及的检测第二状态下的流过电流电压转换元件45的电流的电流检测电路38A不同,第二实施方式所涉及的电流检测电路38A检测第三状态和第四状态中的各状态下的流过电流电压转换元件45的电流。因而,经由低通滤波器43而从AD转换电路44输出到控制电路32的值实质上基于将流过第二开关36和第四开关61的电流相加而得到的电流。因此,激振电路31D能够提高从AD转换电路44向控制电路32输入的信号的S/N比。

[0137] (第三实施方式)

[0138] 3-1. 结构例

[0139] 对本公开的第三实施方式所涉及的振动装置进行说明。此外,在第三实施方式中,主要说明与第一实施方式的不同点。在第三实施方式中,对与第一实施方式相同或等同的结构标注相同的附图标记来进行说明。另外,在第三实施方式中,省略与第一实施方式重复的记载。

[0140] 图14是本公开的第三实施方式所涉及的包括激振电路31E和压电元件15的振动电路30E的概要性的电路图。第三实施方式所涉及的激振电路31E具备电流电压转换电路42E来代替电流电压转换电路42A。激振电路31E的电流电压转换电路42E在第二开关36与基准电位34之间包括电流电压转换元件45A,在直流电源33与第一开关35之间包括电流电压转换元件45B。电流电压转换元件45A对应于第一实施方式的电流电压转换元件45。在本实施方式中,与电流电压转换元件45同样地,电流电压转换元件45A、45B是具有规定的电阻值的电阻(分流电阻),但不限于于此,也可以是霍尔元件等能够将电流转换为电压的已知的元件。

[0141] 电流电压转换电路42E在第二开关36同电流电压转换元件45A之间的连接点与低通滤波器43之间具有差分电路70。电流电压转换元件45B与第一开关35之间的连接点连接于差分电路70。

[0142] 差分电路70例如是以放大率为1倍的方式构成的差动放大电路,但不限于于此,能够使用已知的电路。电流电压转换元件45A将经由第二开关36流过电流电压转换元件45A的电流转换为与流过电流电压转换元件45A的电流的大小相应的电压。另外,电流电压转换元件45B将经由第一开关35流过电流电压转换元件45B的电流转换为与流过电流电压转换元件45B的电流的大小相应的电压。差分电路70将表示从电流电压转换元件45A输入的电压与

从电流电压转换元件45B输入的电压之差的电压作为检测电压来输出到低通滤波器43。

[0143] 电流电压转换元件45A相对于压电元件15配置在低电位侧(低侧),电流电压转换元件45B相对于压电元件15配置在高电位侧(高侧)。如果考虑图14以及电流的方向,则由各电流电压转换元件45A、45B转换得到的电压的极性相反。

[0144] 因而,当差分电路70获取到这些电压的差时,在第一状态下能够检测流过电流电压转换元件45B的电流。

[0145] 在第三实施方式所涉及的振动电路30E中,电流检测电路38E在第一状态和第二状态下分别检测电流。即,与检测第二状态下的流过电流电压转换元件45的电流的电流检测电路38A不同,第三实施方式所涉及的电流检测电路38E检测第一状态和第二状态中的各状态下的流过电流电压转换元件45A、45B的电流。因而,当差分电路70获取到基于流过各电流电压转换元件45A、45B的电流的电压值的差时,从AD转换电路44输出到控制电路32的值实质上基于将流过第一开关35和第二开关36的电流相加而得到的值。这样,激振电路31E获取各电压值的差,因此能够抵消流过该元件45A、45B的共模噪声,并且能够提高从AD转换电路44向控制电路32输入的信号的S/N比。

[0146] 本实施方式所涉及的激振电路31E的电流检测电路38E利用差分电路70来获取由电流电压转换元件45A和电流电压转换元件45B转换得到的电压的差,但不限于此。例如,在电流电压转换元件45A、45B各自使用霍尔元件的情况下,电流检测电路38E也可以具备将由各霍尔元件得到的电压相加的运算电路,来代替差分电路70。

[0147] (实施方式的总结)

[0148] 如以上那样说明的本实施方式所涉及的激振电路、振动装置以及车辆也可以如下那样构成。

[0149] (方式1) 激振电路具备:输出电路,其包括连接于直流电源的第一开关及第二开关的串联电路,在第一开关与第二开关的连接点连接压电元件;电流检测电路,其对流过第一开关的电流和流过第二开关的电流中的至少一方进行检测,并输出表示基于所检测出的电流的值的检测信号;以及控制电路,其具有搜索模式,在该搜索模式下,为了从输出电路对压电元件施加规定频率的电压,执行以与规定频率对应的开关动作频率互补地切换第一开关与第二开关的接通和断开的开关动作处理,并基于从电流检测电路输出的检测信号所表示的值,来确定包括压电元件和通过压电元件而振动的物体的振动器的共振频率。

[0150] (方式2) 方式1的激振电路也可以是,电流检测电路具备:电流电压转换电路,其对流过第一开关的电流和流过第二开关的电流中的至少一方进行检测,基于所检测出的电流来输出检测电压;以及低通滤波器,其对来自电流电压转换电路的检测电压进行平滑化并输出被平滑化后的检测电压。

[0151] (方式3) 方式2的激振电路也可以是,电流检测电路还包括模拟/数字转换电路,该模拟/数字转换电路接收来自低通滤波器的被平滑化后的检测电压,并将表示来自低通滤波器的被平滑化后的检测电压的数字信号作为检测信号输出到控制电路。

[0152] (方式4) 方式2或方式3的激振电路也可以是,电流电压转换电路具有:第一电流电压转换元件,其将流过第一开关的电流转换为电压并输出;第二电流电压转换元件,其将流过第二开关的电流转换为电压并输出;以及运算电路,其基于从第一电流电压转换元件输出的电压和从第二电流电压转换元件输出的电压,将表示流过第一开关的电流与流过第二

开关的电流的差或和的电压作为检测电压输出到低通滤波器。

[0153] (方式5) 方式1至方式4中的任一方式的激振电路也可以是, 还具备极性反转电路, 该极性反转电路使在第一开关接通且第二开关断开的情况下的施加于压电元件的电压与在第一开关断开且第二开关接通的情况下的施加于压电元件的电压之间极性反转。

[0154] (方式6) 方式5的激振电路也可以是, 极性反转电路包括电容器, 该电容器连接在第一开关同第二开关的连接点与压电元件之间。

[0155] (方式7) 方式5的激振电路也可以是, 直流电源输出正电压, 极性反转电路包括输出负电压的负电源电路, 该负电源电路连接于输出电路的串联电路的与直流电源相反的一侧。

[0156] (方式8) 方式1至方式7中的任一方式的激振电路也可以是, 电流检测电路还包括相位差检测电路, 该相位差检测电路检测流过第二开关的电流与施加到压电元件的电压的相位差, 控制电路基于所检测出的相位差来调整开关动作频率。

[0157] (方式9) 方式1至方式8中的任一方式的激振电路也可以是, 在搜索模式下, 使开关动作频率在第一频率范围内变化, 并且获取相对于第一频率范围内的开关动作频率的变化而言的检测信号的值的变化的, 基于第一频率范围内的使检测信号的值最大的频率来确定振动器的共振频率, 控制电路还具有驱动模式, 在驱动模式下, 重复进行以下动作: 使开关动作频率在包含振动器的共振频率且比第一频率范围窄的第二频率范围内变化, 并且获取相对于第二频率范围内的开关动作频率的变化而言的检测信号的值的变化的, 基于第二频率范围内的使检测信号的值最大的频率来更新振动器的共振频率。

[0158] (方式10) 方式9的激振电路也可以是, 控制电路基于第一频率范围所包含的频率来变更电流检测电路的增益。

[0159] (方式11) 方式9或方式10的激振电路也可以是, 第一频率范围包含振动器的共振频率的 $1/(2n+1)$ 倍或 $(2n+1)$ 倍的频率, 第二频率范围包含作为第二频率范围内的使检测信号的值最大的频率的、振动器的共振频率。在此,  $n$ 是正整数。

[0160] (方式12) 方式9或方式10的激振电路也可以是, 第一频率范围包含振动器的共振频率, 第二频率范围包含作为第二频率范围内的使检测信号的值最大的频率的、振动器的共振频率的 $1/(2n+1)$ 倍或 $(2n+1)$ 倍的频率。在此,  $n$ 是正整数。

[0161] (方式13) 方式1至方式12中的任一方式的激振电路也可以是, 压电元件具有第一端和第二端, 压电元件的第一端连接于第一开关与第二开关的连接点, 压电元件的第二端连接于具有比直流电源的输出端的电位低的电位的基准电位。

[0162] (方式14) 方式1至方式12中的任一方式的激振电路也可以是, 输出电路还包括与第一开关及第二开关的串联电路并联地连接于直流电源的第三开关及第四开关的串联电路, 压电元件连接于第三开关同第四开关的连接点与第一开关同第二开关的连接点之间, 第一开关的与第二开关相反的一侧的端同第三开关的与第四开关相反的一侧的端相互连接, 第二开关的与第一开关相反的一侧的端同第四开关的与第三开关相反的一侧的端相互连接, 在开关动作处理中, 以开关动作频率互补地切换第一开关及第四开关的组与第二开关及第三开关的组的接通和断开。

[0163] (方式15) 振动装置具备: 方式1至方式14中的任一方式的激振电路; 压电元件; 以及具有透光性的保护罩, 其通过压电元件而振动。

[0164] (方式16) 车辆具备:方式15的振动装置;以及摄像装置,其对透过保护罩的光进行检测。

[0165] 本公开所记载的激振电路、振动装置以及车辆能够通过硬件资源例如处理器、存储器与软件资源(计算机程序)的协作等来实现。

[0166] 产业上的可利用性

[0167] 根据本公开,能够提供能够降低在压电元件中发生迁移的可能性,并且能够检测流过压电元件的电流的大小的激振电路、振动装置以及车辆,因此能够在这种工业领域中理想地利用。

[0168] 附图标记说明

[0169] 10:振动装置;11:保护罩;13:振动体;15:压电元件;17:振动器;20:摄像装置;30A、30B、30C、30D、30E:振动电路;31A、31B、31C、31D、31E:激振电路;32:控制电路;33、33A:直流电源;33B:负电源电路;34:基准电位;35:第一开关;36:第二开关;37A、37B:输出电路;38A、38E:电流检测电路;39:电容器;40:电阻;42A、42E:电流电压转换电路;43:低通滤波器;44:模拟/数字转换电路;45、45A、45B:电流电压转换元件;60:第三开关;61:第四开关;70:差分电路;C1、C2:连接点。

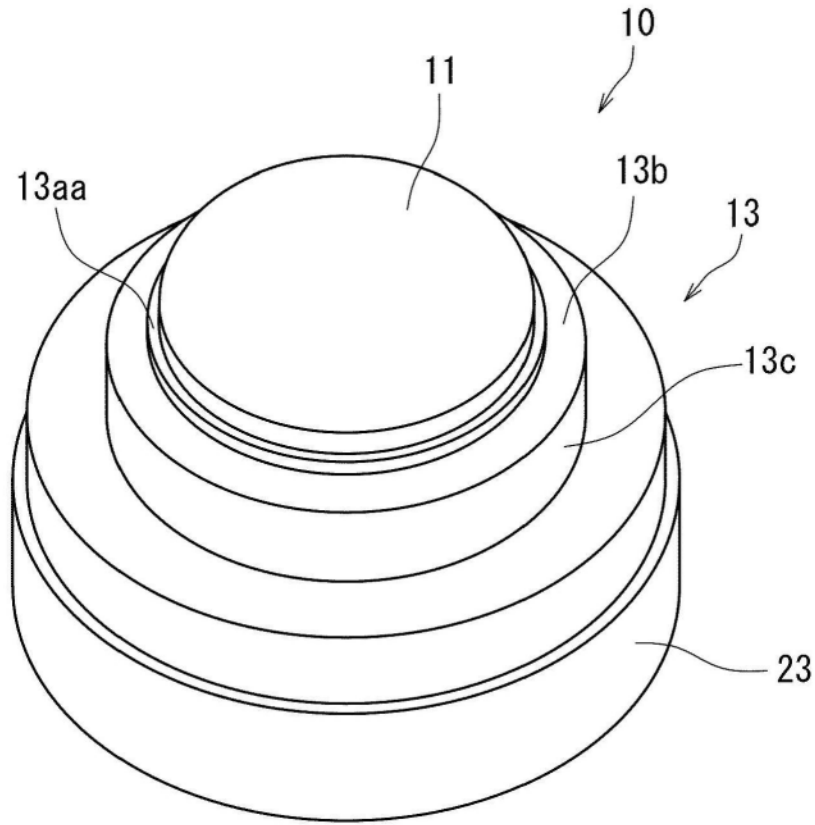


图1

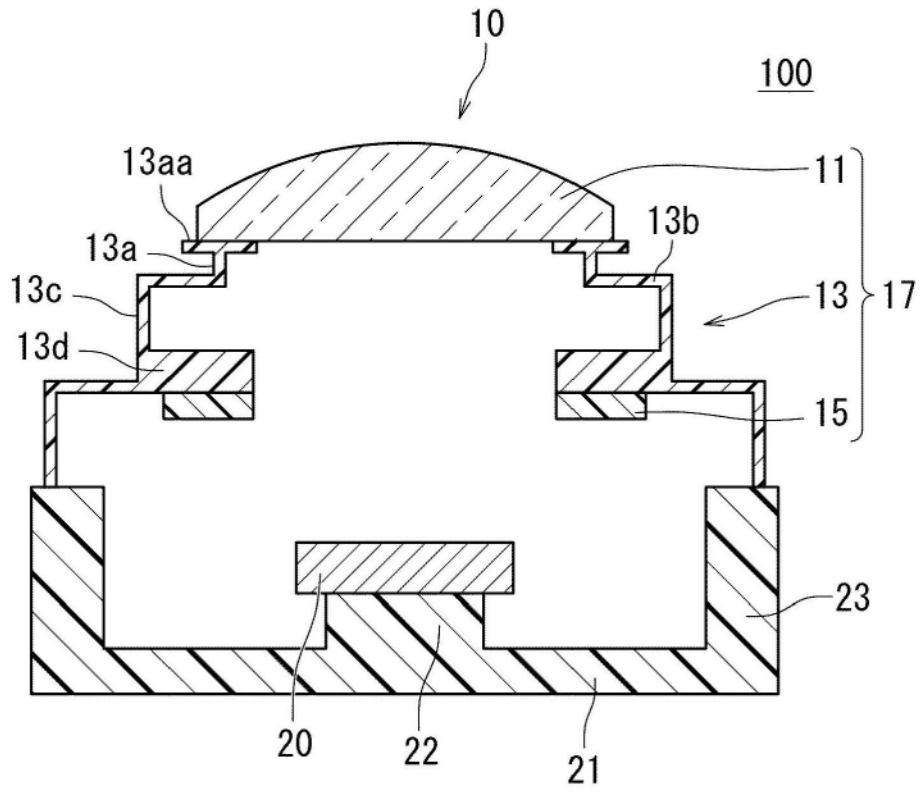


图2

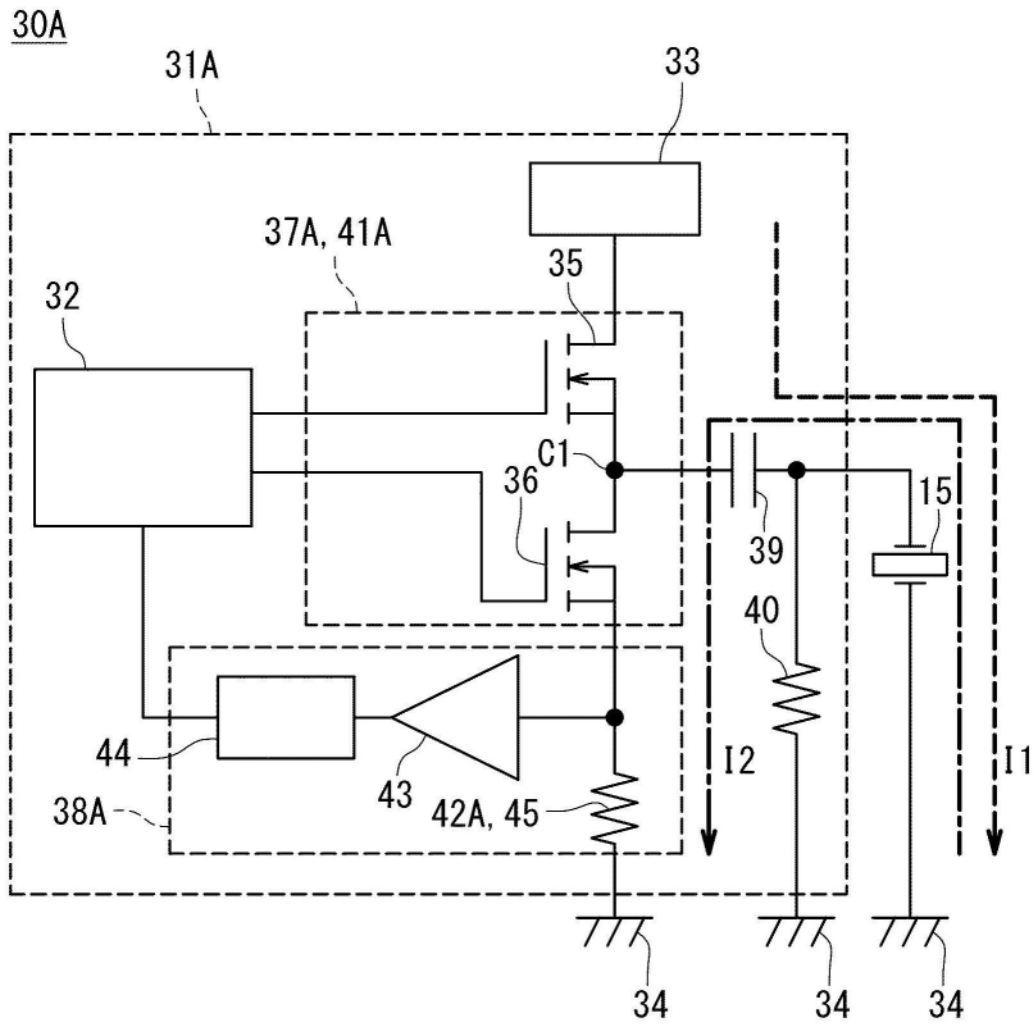


图3

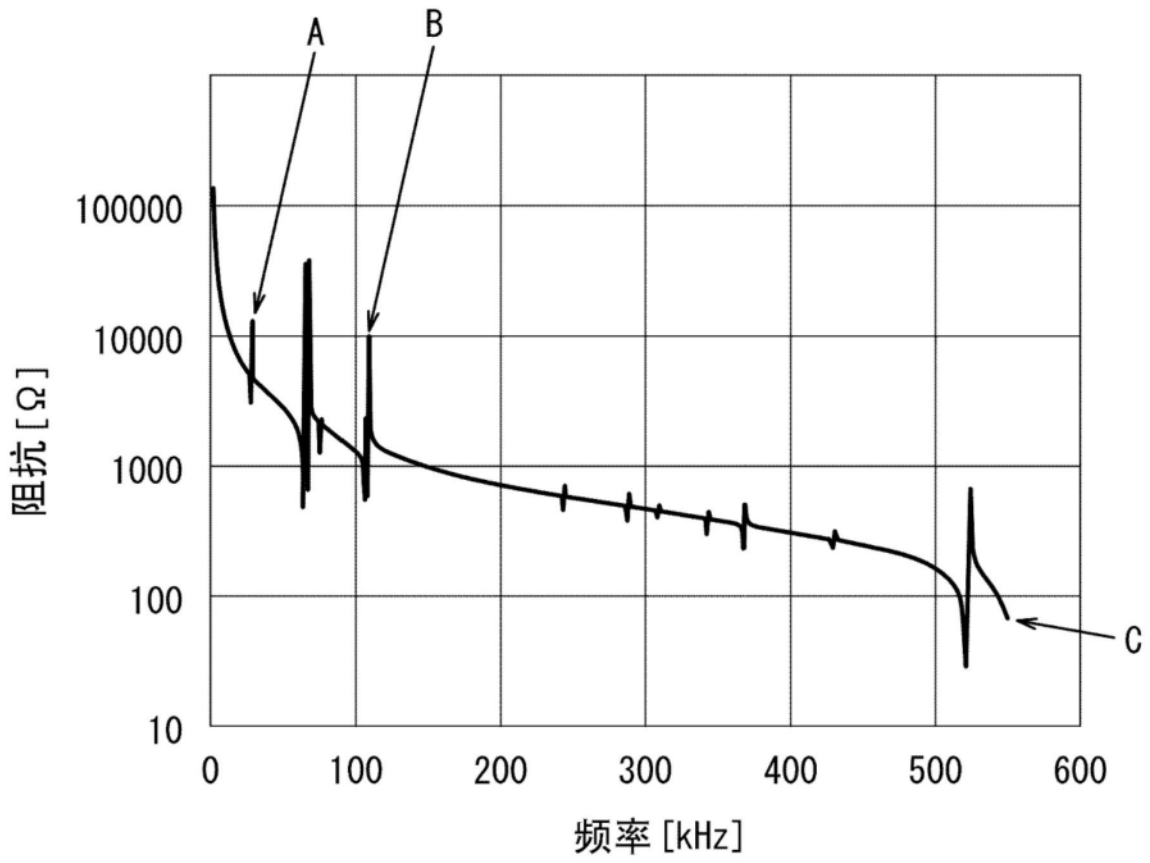


图4

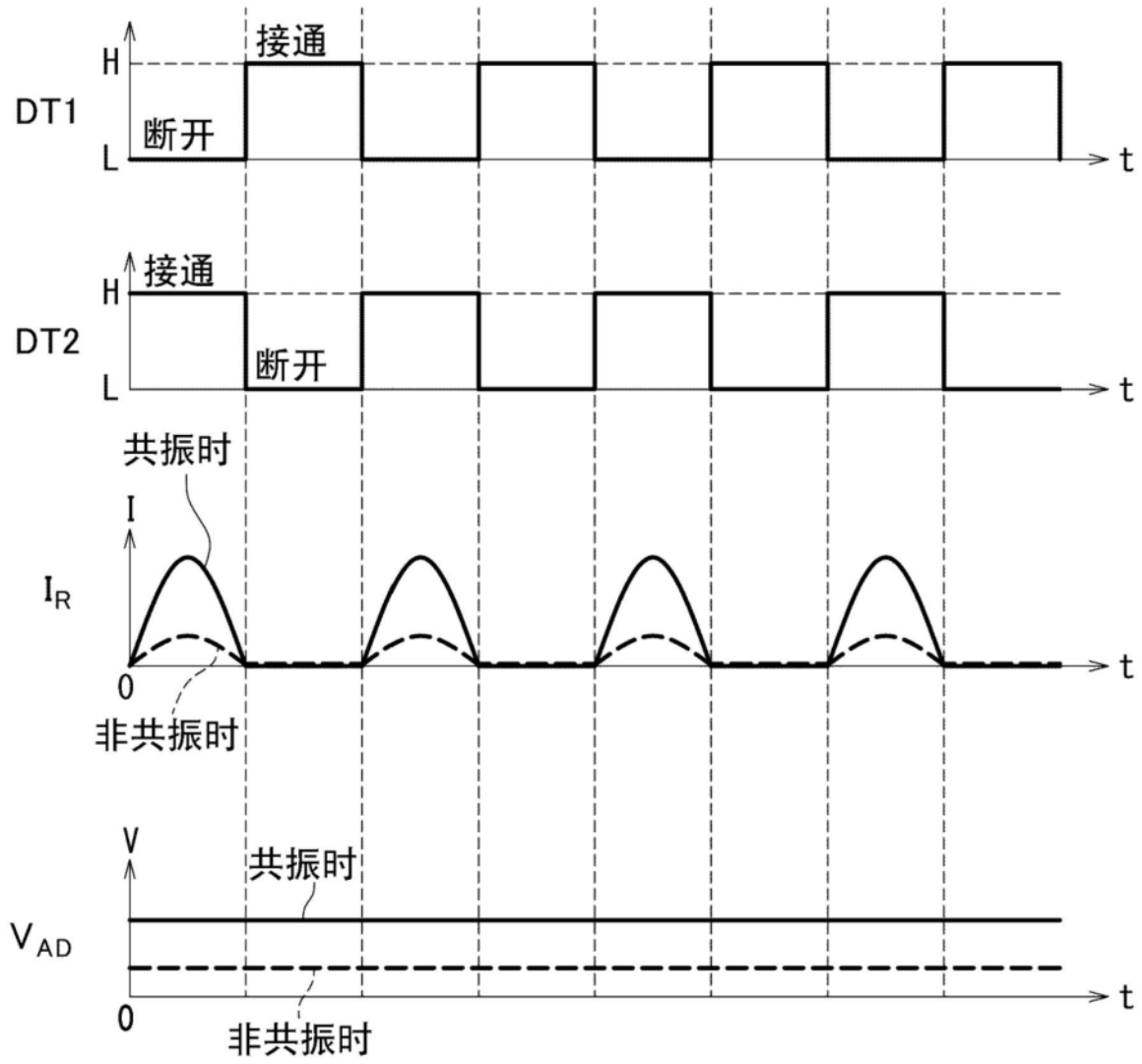


图5

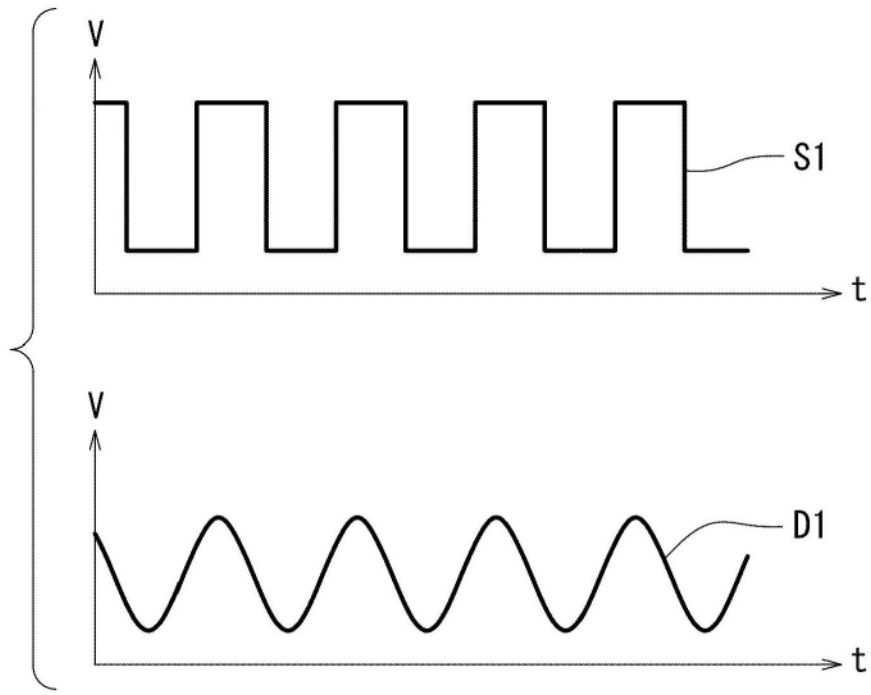


图6A

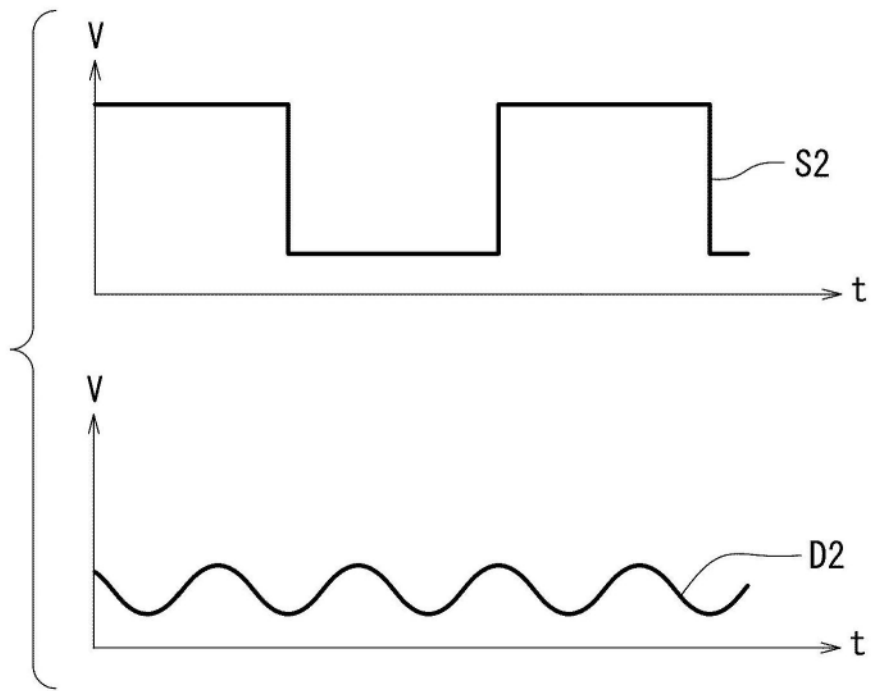


图6B

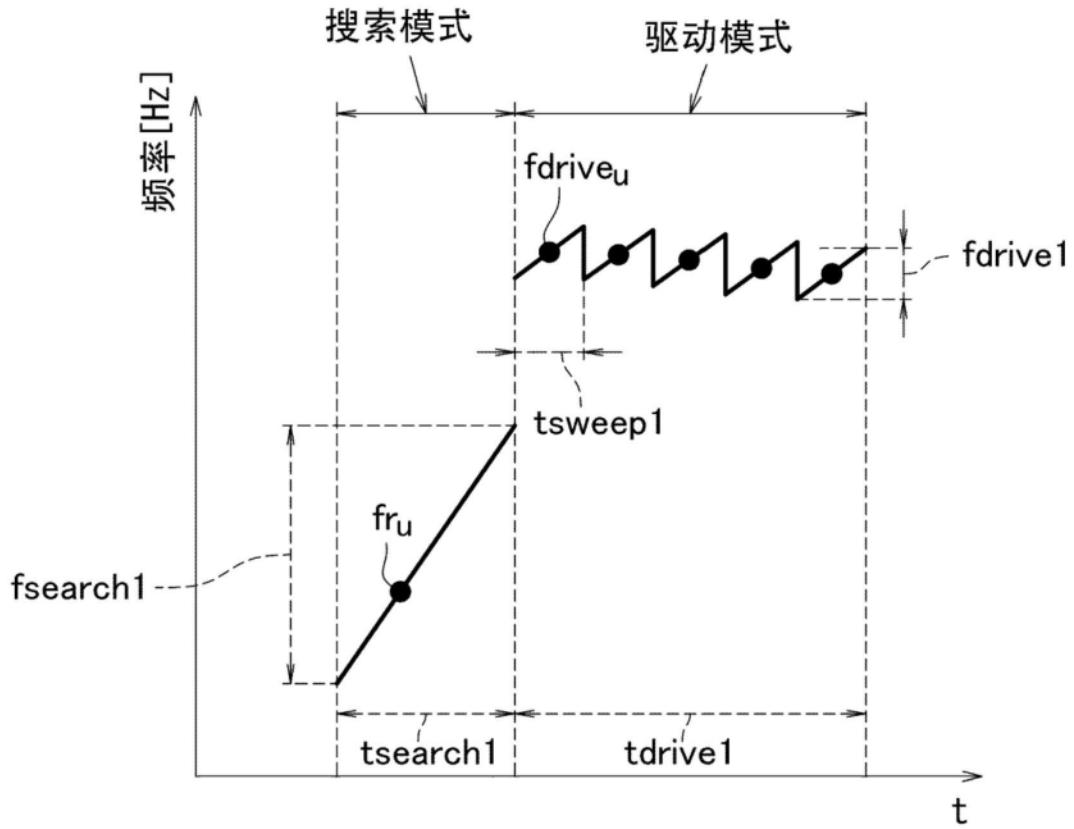


图7A

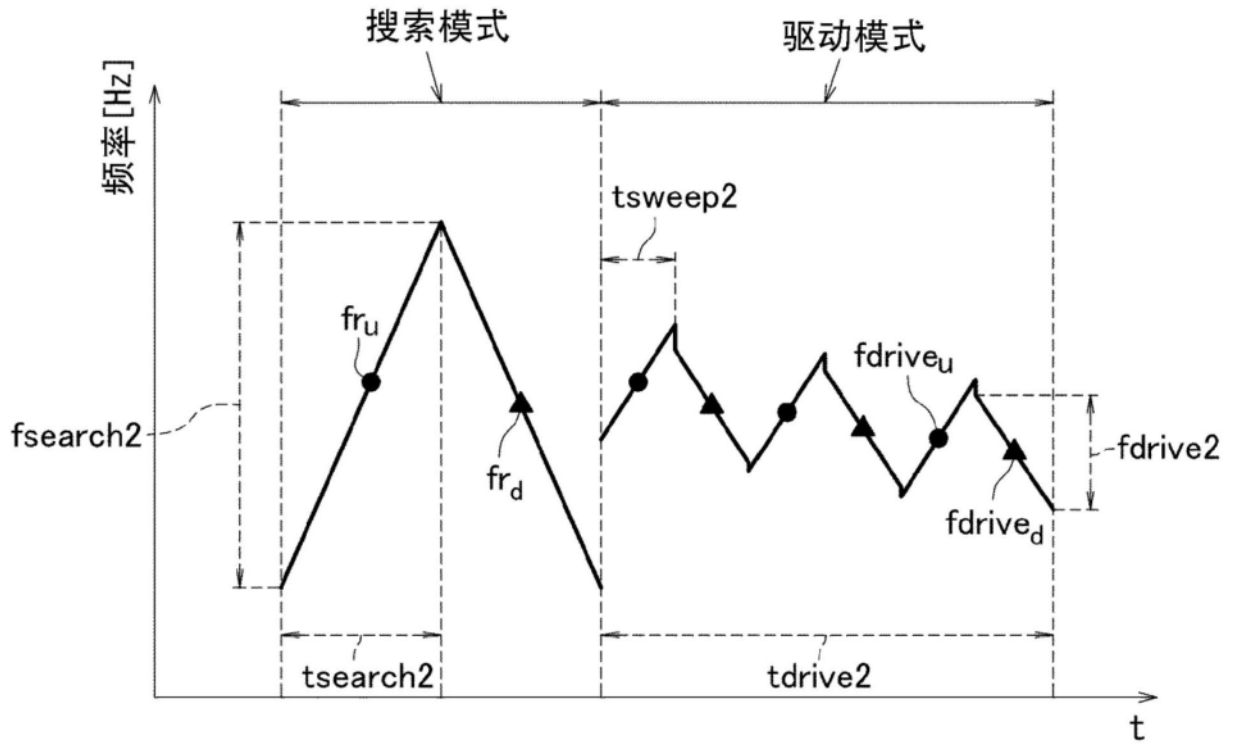


图7B

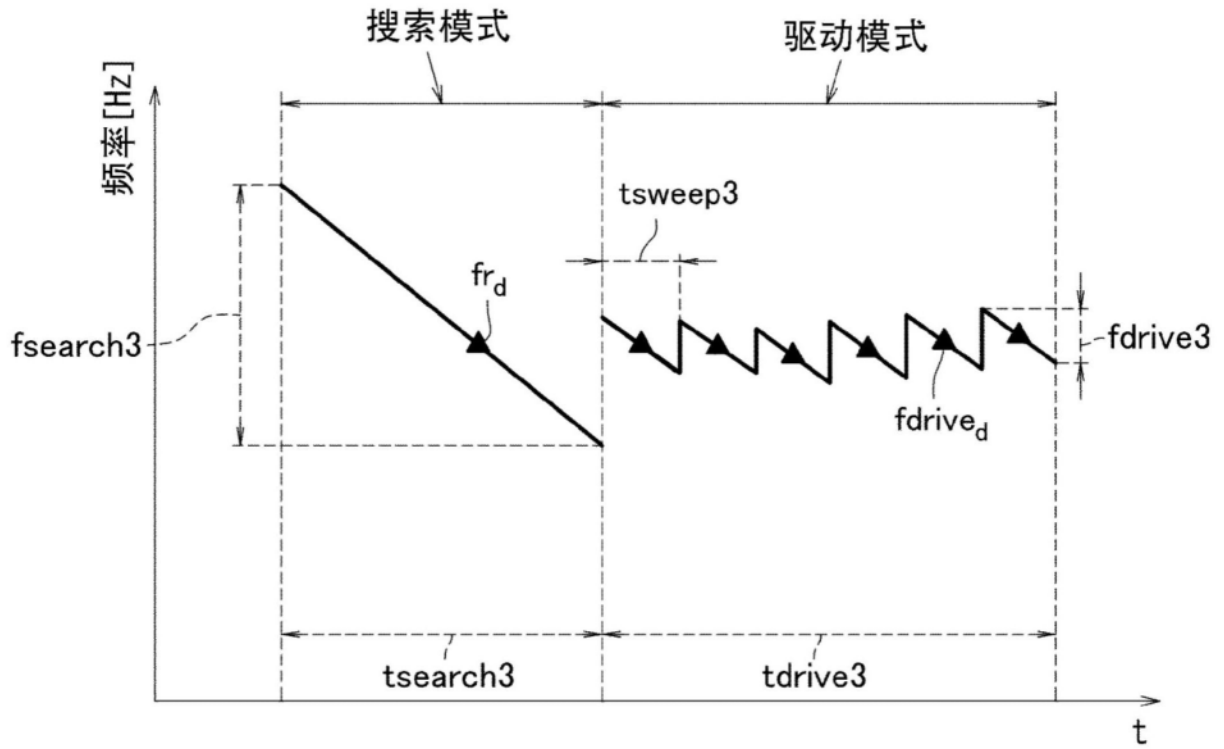


图7C

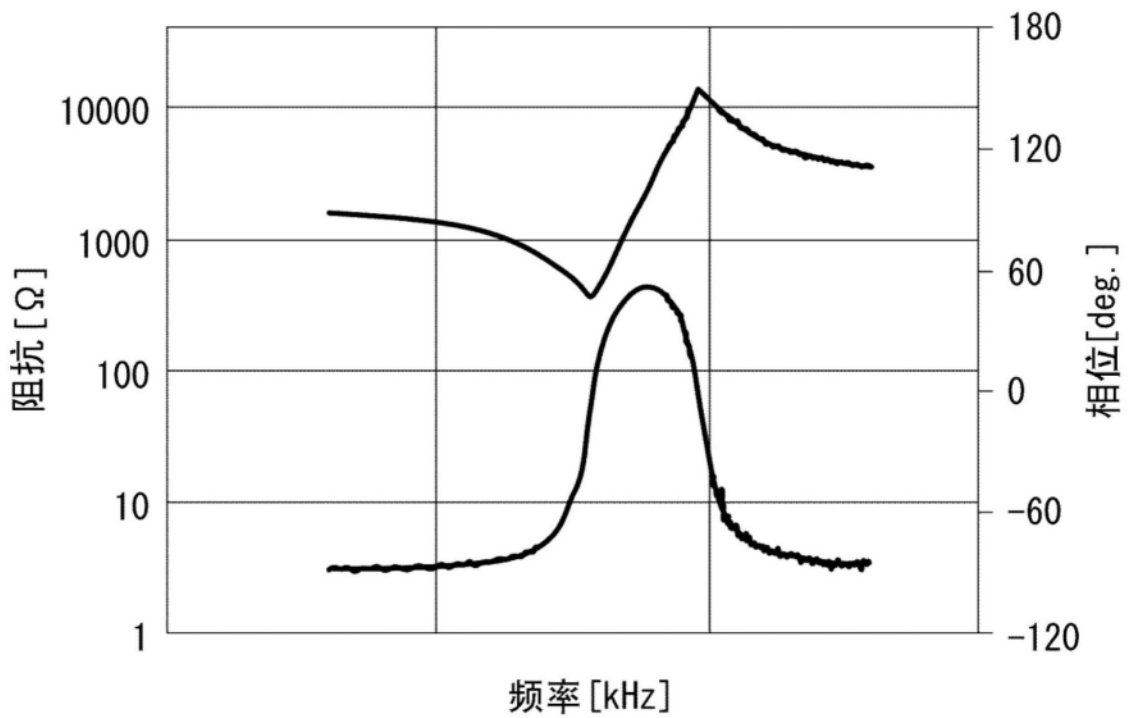


图8

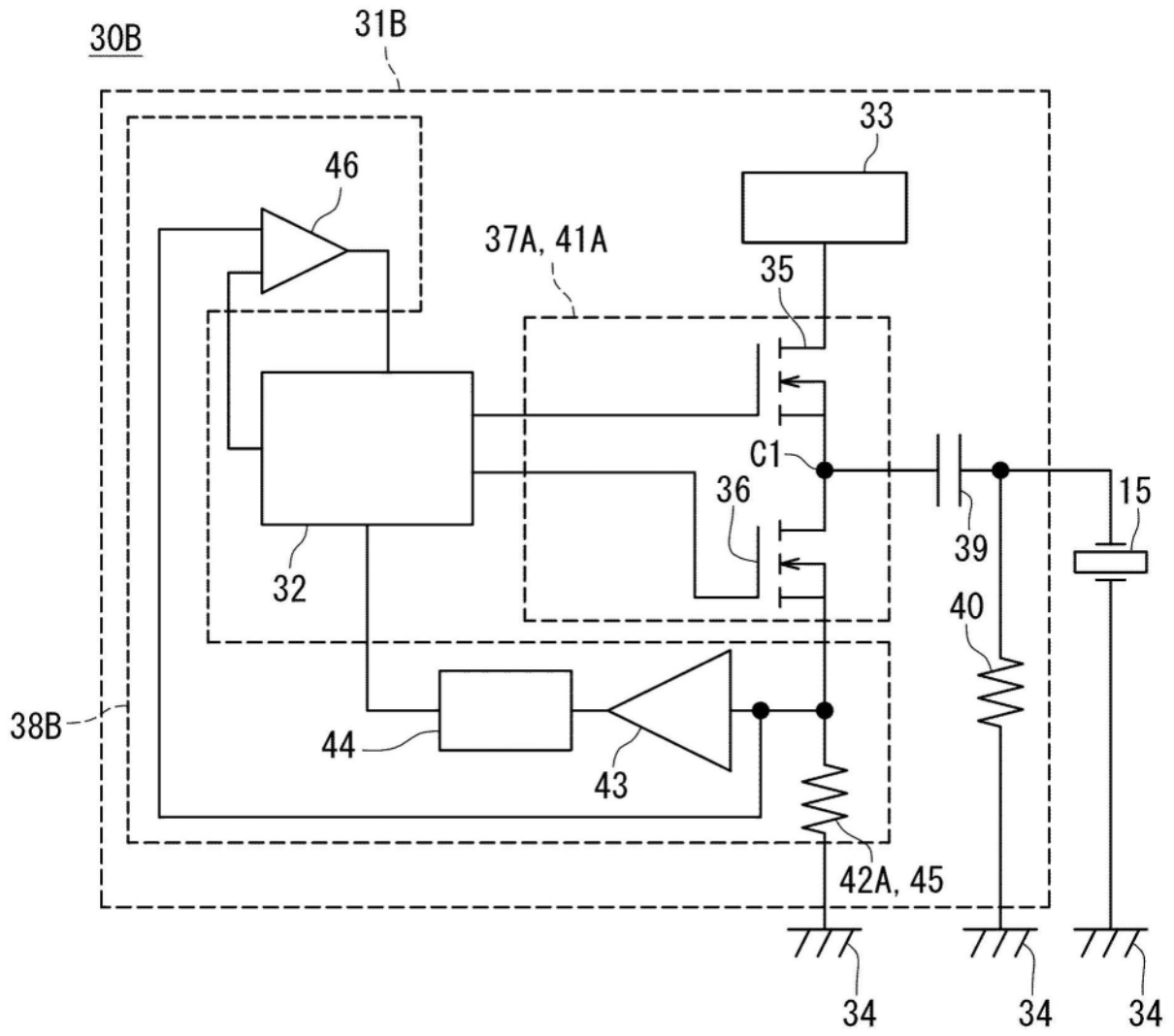


图9

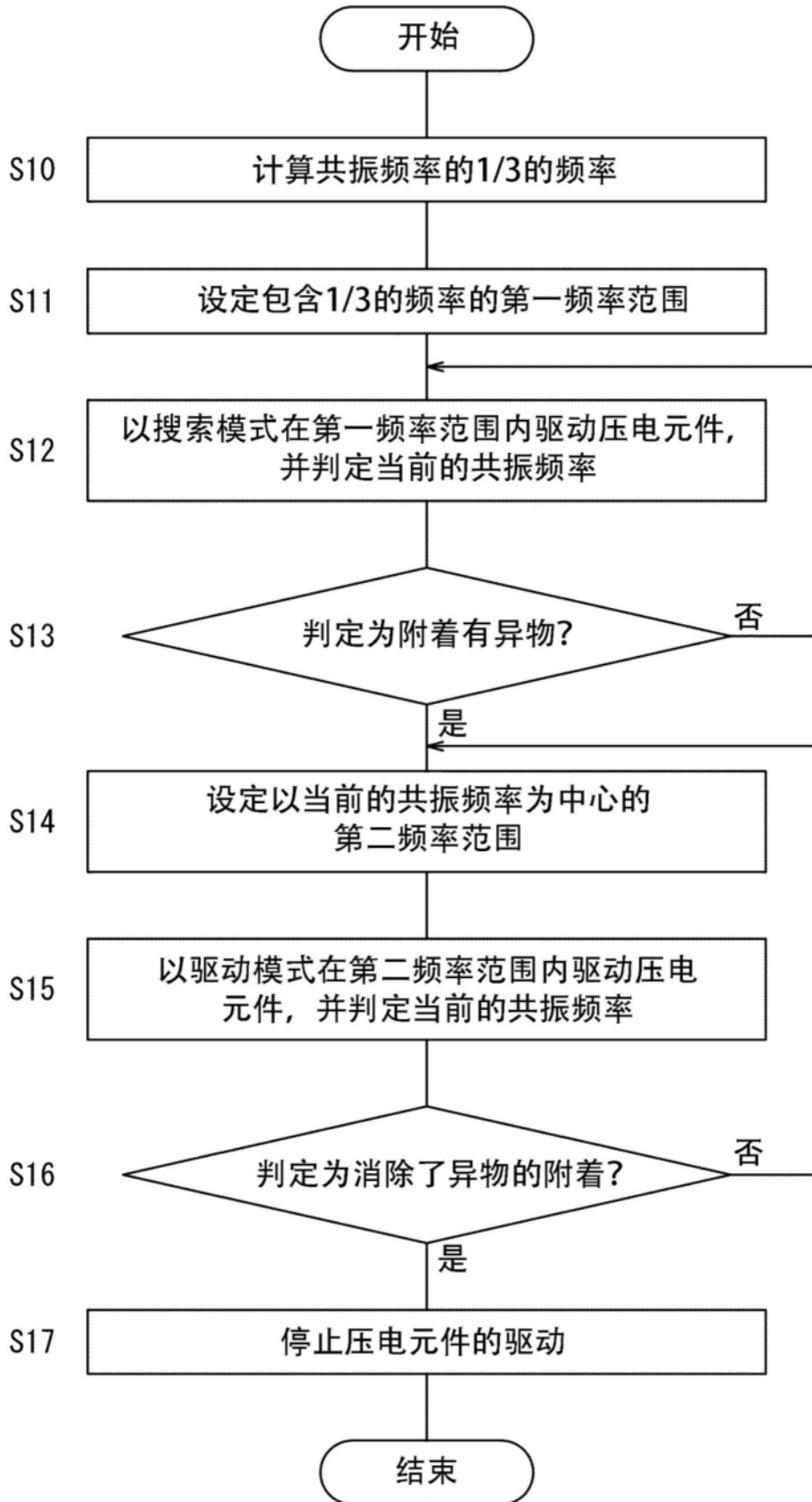


图10

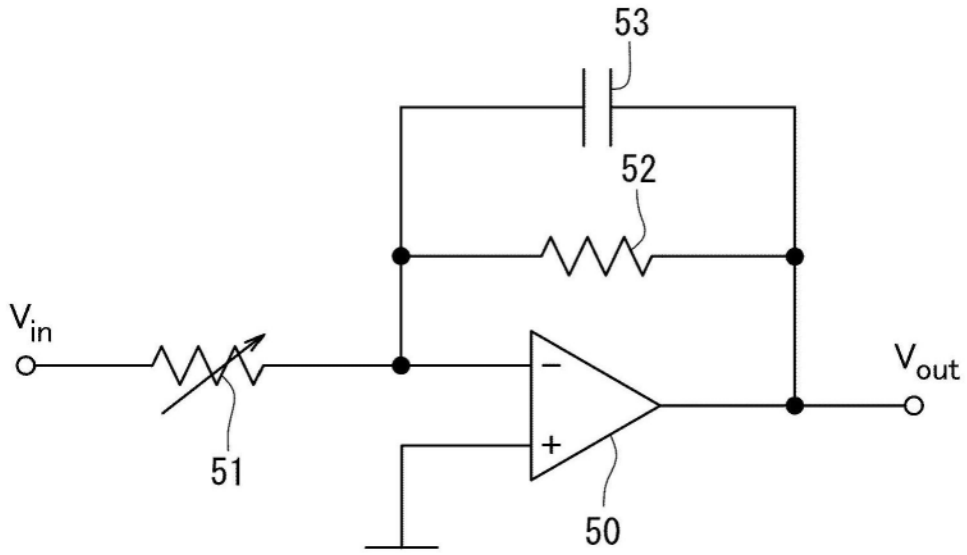


图11

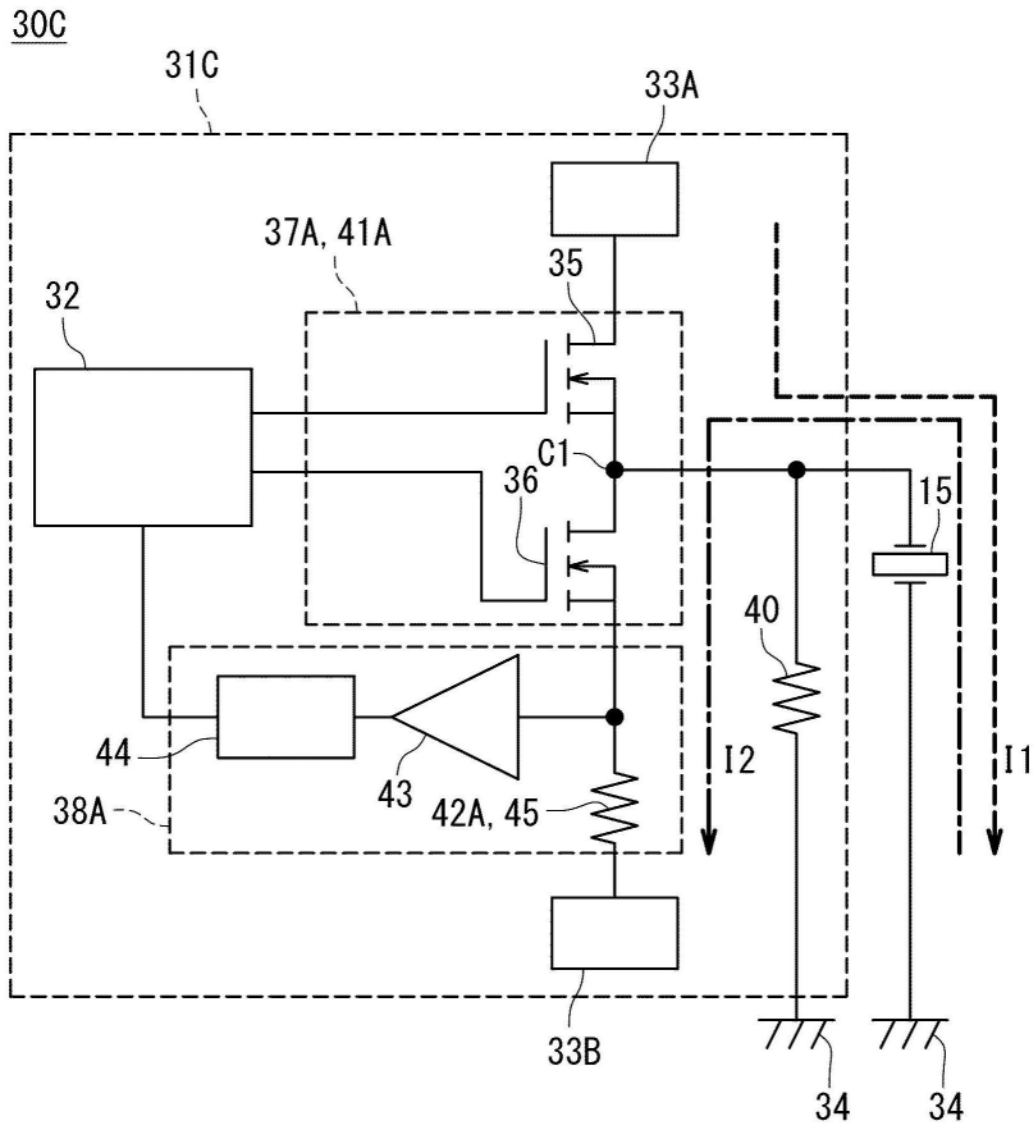


图12

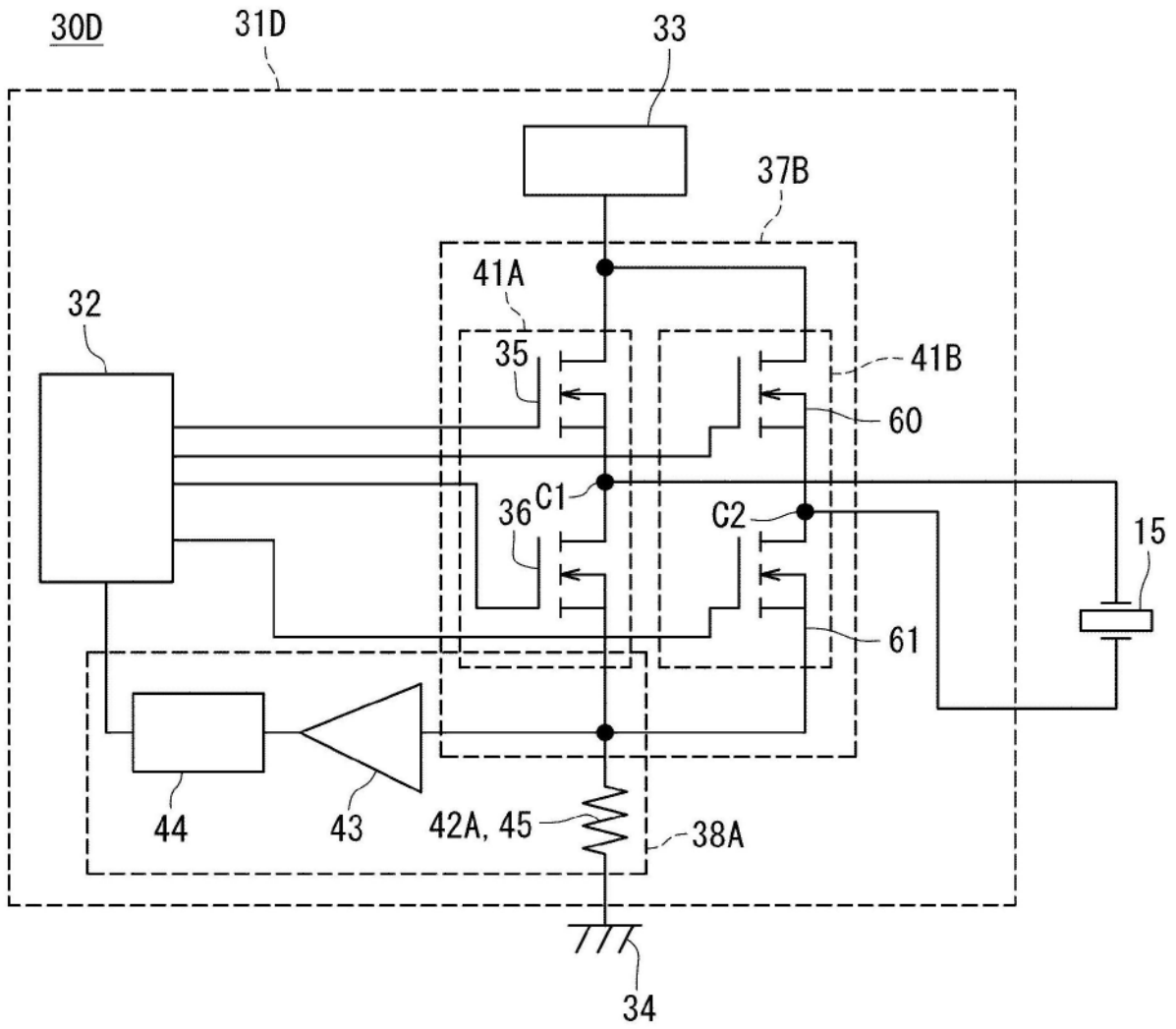


图13

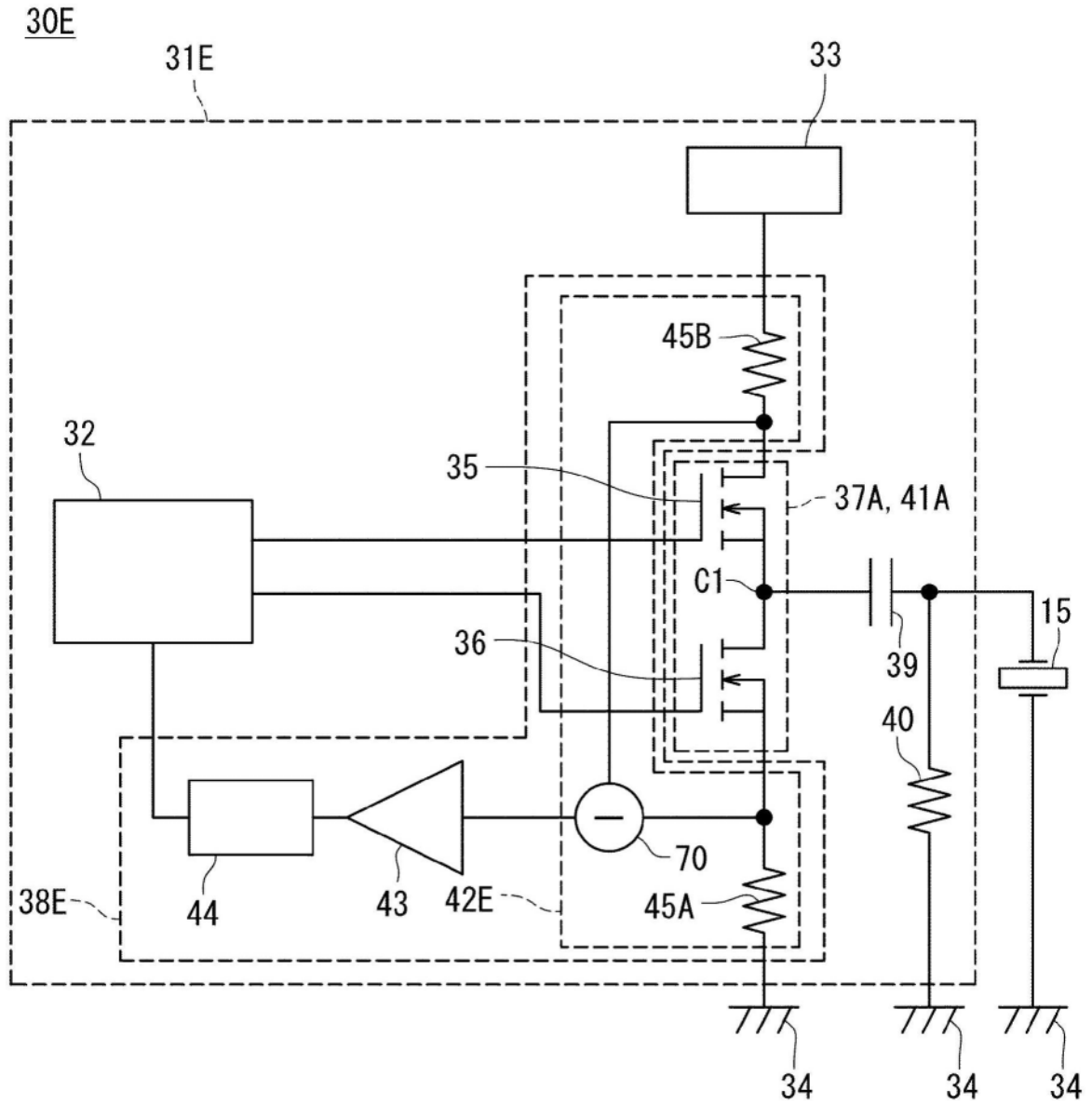


图14