



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103595374 B

(45)授权公告日 2017.07.25

(21)申请号 201310337333.9

(22)申请日 2013.08.05

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 103595374 A

(43)申请公布日 2014.02.19

(30)优先权数据  
10-2012-0088640 2012.08.13 KR

(73)专利权人 快捷韩国半导体有限公司  
地址 韩国京畿道

(72)发明人 具官本 李荣植 朴英培

(74)专利代理机构 北京派特恩知识产权代理有  
限公司 11270

代理人 武晨燕 张颖玲

(51)Int.Cl.

H03K 4/00(2006.01)

H03K 17/687(2006.01)

(56)对比文件

US 3651352 A,1972.03.21,

审查员 张园

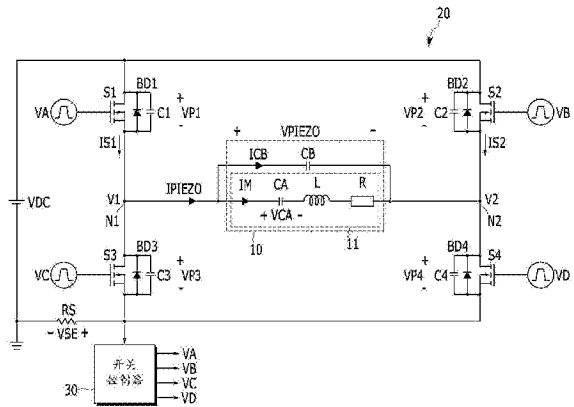
权利要求书3页 说明书11页 附图8页

(54)发明名称

压电驱动电路及压电驱动方法

(57)摘要

提供了一种压电驱动电路及其压电驱动方法。所述压电驱动电路通过使用下列器件来驱动压电电路:连接到压电电路一端的第一驱动开关和对应于所述第一驱动开关并且连接到所述压电电路另一端的第二驱动开关以及用于检测在所述压电电路中流动的电流的检测电阻器。上开关的射角和占空比被调整以减小在第二驱动开关接通的状态下在检测电阻器中产生的检测电压在第一驱动开关接通时的峰值。



1. 一种压电驱动方法,包括:

提供压电电路,所述压电电路包括第一驱动开关、第二驱动开关和检测电阻器,所述第一驱动开关连接到所述电路的一端,所述第二驱动开关对应于所述第一驱动开关并且连接到所述电路的另一端,所述检测电阻器被配置为检测在所述电路中流动的电流;

在所述第二驱动开关处于接通状态的状态下,接通所述第一驱动开关;以及

调整所述第一驱动开关的射角和占空比,以减小在所述检测电阻器中产生的检测电压在所述第一驱动开关接通时发生的在接通时刻的峰值。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述调整射角和占空比包括:

当在所述第一驱动开关接通的时刻所述检测电压的所述峰值减小到一低于预定参考电压的电压时,设置所述第一驱动开关的所述射角和占空比,

其中,所述预定参考电压是基于允许压电电路电流的峰值来确定的。

3. 根据权利要求2所述的方法,其中,所述调整射角和占空比包括:当所述检测电压在所述第一驱动开关的接通时刻的峰值等于或高于所述预定参考电压并且当前保持电压低于上次保持电压时,发生第一操作,在第一操作中,将当前保持电压存储为上次保持电压,并增大所述射角,其中所述当前保持电压为所述检测电压在所述接通时刻的峰值,所述上次保持电压为所述检测电压在所述第一驱动开关的上次接通时刻的峰值。

4. 根据权利要求3所述的方法,其中,当作为所述检测电压的峰值的当前保持电压等于或高于所述预定参考电压时,所述第一操作被重复执行。

5. 根据权利要求2所述的方法,其中,所述调整射角和占空比包括:当所述检测电压在所述第一驱动开关的接通时刻的峰值等于或高于所述预定参考电压并且当前保持电压等于或高于上次保持电压时,发生第二操作,在第二操作中,减小所述射角,并增大所述占空比,其中所述当前保持电压为所述检测电压在所述接通时刻的峰值,所述上次保持电压为所述检测电压在所述第一驱动开关的上次接通时刻的峰值。

6. 根据权利要求5所述的方法,其中,所述调整射角和占空比包括:

将当前保持电压存储为上次保持电压,并将在所述第一驱动开关的接通时刻的基于减小的射角和增大的占空比的当前保持电压与所述预定参考电压相比较。

7. 根据权利要求6所述的方法,其中,所述调整射角和占空比进一步包括:当基于上述比较的结果当前保持电压等于或高于所述预定参考电压并且低于上次保持电压时,发生第三操作,在第三操作中,将当前保持电压存储为上次保持电压,并增大所述射角。

8. 根据权利要求7所述的方法,其中,所述调整射角和占空比包括:

将当前保持电压与上次保持电压彼此相比较;以及,

当在所述第一驱动开关的接通时刻的基于所述增大的射角的当前保持电压等于或者高于所述预定参考电压时,基于上述比较的结果重复执行所述第二操作或所述第三操作。

9. 根据权利要求6所述的方法,其中,所述调整射角和占空比进一步包括:当基于上述比较的结果所述当前保持电压等于或高于所述预定参考电压并且等于或高于所述上次保持电压时,发生第四操作,在第四操作中,增大所述占空比,将当前保持电压存储为上次保持电压,并且将在所述第一驱动开关的接通时刻的基于所述增大的占空比的当前保持电压与所述预定参考电压相比较。

10. 根据权利要求9所述的方法,其中,当在第四操作中当前保持电压等于或高于所述

预定参考电压并且等于或高于上次保持电压时,所述第四操作被重复执行。

11. 根据权利要求6所述的方法,其中,所述调整射角和占空比进一步包括:当当前保持电压等于或高于所述预定参考电压并且低于上次保持电压时,将当前保持电压存储为上次保持电压,并且减小所述射角。

12. 根据权利要求11所述的方法,其中,所述调整射角和占空比进一步包括:

检测并保持检测电压在所述第一驱动开关的接通时刻的基于所述减小的射角的峰值,以产生一当前保持电压;

将该当前保持电压与所述预定参考电压相比较;以及

当该当前保持电压等于或高于所述预定参考电压时,将该当前保持电压与上次保持电压相比较。

13. 根据权利要求12所述的方法,其中,当该当前保持电压等于或高于所述预定参考电压并且低于上次保持电压时,所述调整射角和占空比进一步包括:

再次所述减小所述射角;

检测并保持所述检测电压在所述第一驱动开关的接通时刻的基于所述减小的射角的峰值,以产生一当前保持电压;

将该当前保持电压与所述预定参考电压相比较;以及

当该当前保持电压等于或高于所述预定参考电压时,将该当前保持电压与上次保持电压相比较。

14. 根据权利要求12所述的方法,其中,所述调整射角和占空比进一步包括:当该当前保持电压等于或高于所述预定参考电压并且等于或高于上次保持电压时,增大所述射角和所述占空比,并且将该当前保持电压存储为上次保持电压。

15. 根据权利要求14所述的方法,其中,所述调整射角和占空比进一步包括:当在所述第一驱动开关的接通时刻的基于所述增大的射角和所述增大的占空比的当前保持电压等于或高于所述预定参考电压时,将当前保持电压与上次保持电压相比较。

16. 根据权利要求15所述的方法,其中,所述调整射角和占空比进一步包括:当当前保持电压低于上次保持电压时,将当前保持电压存储为上次保持电压,并且增大所述射角。

17. 根据权利要求16所述的方法,其中,所述调整射角和占空比进一步包括:当当前保持电压等于或高于上次保持电压时,再次增大所述占空比,并且将当前保持电压存储为上次保持电压。

18. 根据权利要求17所述的方法,其中,当在所述第一驱动开关的接通时刻的按照所述增大的占空比的当前保持电压等于或高于所述预定参考电压时,所述调整射角和占空比进一步包括:

将当前保持电压和上次保持电压相比较;以及

当基于比较结果当前保持电压低于上次保持电压时,将当前保持电压存储为上次保持电压,并且增大所述射角。

19. 根据权利要求17所述的方法,其中,当在所述第一驱动开关的接通时刻的按照所述增大的占空比的当前保持电压等于或高于所述预定参考电压时,所述调整射角和占空比进一步包括:

将当前保持电压与上次保持电压相比较;以及

当基于上述比较的结果当前保持电压等于或高于上次保持电压时,再次增大所述占空比,并且将当前保持电压存储为上次保持电压。

20. 一种压电电路的驱动电路,所述压电电路连接在第一节点和第二节点之间,所述驱动电路包括:

全桥电路,其包括连接到至少所述第一节点的第一开关和第三开关以及连接到至少所述第二节点的第二开关和第四开关;以及

检测电阻器,其连接在所述全桥电路和预定电压之间,并且被配置为检测流向所述压电电路的电流,

其中,所述驱动电路的所述第一开关和所述第二开关中的至少一个被配置为第一驱动开关,并且所述第三开关和所述第四开关中的至少一个被配置为第二驱动开关,

其中,所述第一驱动开关被配置为在所述第二驱动开关处于接通状态时接通,并且所述第一驱动开关的射角和占空比被配置为被调整以减小在所述检测电阻器中产生的检测电压在所述第一驱动开关接通时的峰值,

其中,当所述第一开关是所述第一驱动开关时,所述第四开关是所述第二驱动开关,并且

当所述第二开关是所述第一驱动开关时,所述第三开关是所述第二驱动开关。

21. 根据权利要求20所述的驱动电路,其中所述压电电路进一步包括:连接在所述第一节点和所述第二节点之间的外部电感器。

## 压电驱动电路及压电驱动方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于驱动压电电路的压电驱动电路以及一种用于驱动压电电路的方法。

### 背景技术

[0002] 压电电路可以将电能转换为机械能,或者将机械能转换为电能。为了驱动所述压电电路,需要用到全桥驱动电路。

[0003] 压电电路包括电容器,当全桥驱动电路的开关元件执行开关操作时,所述压电电路的供电电压的方向会发生变化。无论何时所述压电电路的供电电压方向发生变化,都产生给所述压电电路的电容器充电的峰值电流。

[0004] 在本背景部分披露的以上信息仅用于增强对本发明背景的理解,因此所述信息可能包含没有构成本国本领域普通技术人员已知的现有技术的信息。

### 发明内容

[0005] 本发明致力于提供具有减小峰值电流的优势的压电驱动电路以及压电驱动方法。

[0006] 本发明的示范性实施例提供了一种压电驱动方法,所述方法包括:提供压电电路,所述压电电路包括第一驱动开关、第二驱动开关和检测电阻器,所述第一驱动开关连接到所述电路的一端,所述第二驱动开关对应于第一驱动开关并且连接到所述电路的另一端,所述检测电阻器被配置为检测在所述电路中流动的电流。

[0007] 所述压电驱动方法可包括:在所述第二驱动开关处于接通状态的状态下,接通第一驱动开关;并调整第一驱动开关的射角和占空比,以减小在所述检测电阻器中产生的检测电压在所述第一驱动开关接通时发生的在接通时刻的峰值。

[0008] 所述调整射角和占空比包括:当所述检测电压在所述第一驱动开关的接通时刻的峰值等于或高于所述参考电压并且当前保持电压低于上次保持电压时,发生第一操作,在第一操作中,将当前保持电压存储为上次保持电压,并且增大所述射角,其中所述当前保持电压为所述检测电压在所述接通时刻的峰值,所述上次保持电压为所述检测电压在所述第一驱动开关的上次接通时刻的峰值。当作为检测电压的峰值的当前保持电压等于或高于参考电压时,第一操作被重复执行。

[0009] 所述调整射角和占空比包括:当所述检测电压在所述第一驱动开关的接通时刻的峰值等于或高于所述参考电压并且当前保持电压等于或高于上次保持电压时,发生第二操作,在第二操作中,减小射角并且增大占空比,其中所述当前保持电压为所述检测电压在所述接通时刻的峰值,所述上次保持电压为所述检测电压在所述第一驱动开关的上次接通时刻的峰值。

[0010] 所述调整射角和占空比包括:将当前保持电压存储为上次保持电压,并将在第一驱动开关的接通时刻的基于减小的射角和增大的占空比的当前保持电压与参考电压相比较。

[0011] 所述调整射角和占空比可进一步包括:当基于上述比较的结果当前保持电压等于或高于所述参考电压并且低于上次保持电压时,发生第三操作,在第三操作中,将当前保持电压存储为上次保持电压,并增大射角。

[0012] 所述调整射角和占空比可包括:将当前保持电压与上次保持电压彼此相比较;以及,当在第一驱动开关的接通时刻的基于所述增大的射角的当前保持电压等于或者高于参考电压时,基于上述比较的结果重复执行第二操作或第三操作。

[0013] 所述调整射角和占空比进一步包括:当基于上述比较的结果所述当前保持电压等于或高于所述参考电压并且等于或高于所述上次保持电压时,发生第四操作,在第四操作中,增大占空比,将当前保持电压存储为上次保持电压,并且将在第一驱动开关的接通时刻的基于所述增大的占空比的当前保持电压与参考电压相比较。

[0014] 当在第四操作中当前保持电压等于或高于参考电压并且等于或高于上次保持电压时,所述第四操作被重复执行。

[0015] 所述调整射角和占空比进一步包括:当当前保持电压等于或高于参考电压并且低于上次保持电压时,将当前保持电压存储为上次保持电压,并且减小射角。

[0016] 所述调整射角和占空比进一步包括:检测并保持检测电压在所述第一驱动开关的接通时刻的基于所述减小的射角的峰值,以产生一当前保持电压;将该当前保持电压与参考电压相比较;以及当该当前保持电压等于或高于参考电压时,将该当前保持电压与上次保持电压相比较。

[0017] 当该当前保持电压等于或高于参考电压并且低于上次保持电压时,所述调整射角和占空比进一步包括:再次减小射角;检测并保持检测电压在第一驱动开关的接通时刻的基于所述减小的射角的峰值,以产生一当前保持电压;将该当前保持电压与参考电压相比较;当该当前保持电压等于或高于参考电压时,将该当前保持电压与上次保持电压相比较。

[0018] 所述调整射角和占空比进一步包括:当该当前保持电压等于或高于参考电压并且等于或高于上次保持电压时,增大射角和占空比,并且将该当前保持电压存储为上次保持电压。

[0019] 所述调整射角和占空比进一步包括:当在第一驱动开关的接通时刻的基于增大的射角和增大的占空比的当前保持电压等于或高于参考电压时,将当前保持电压与上次保持电压相比较。

[0020] 所述调整射角和占空比进一步包括:当当前保持电压低于上次保持电压时,将当前保持电压存储为上次保持电压,并且增大射角。

[0021] 所述调整射角和占空比进一步包括:当当前保持电压等于或高于上次保持电压时,再次增大占空比,并且将当前保持电压存储为上次保持电压。

[0022] 当在第一驱动开关的接通时刻的按照所述增大的占空比的当前保持电压等于或高于参考电压时,所述调整射角和占空比进一步包括:将当前保持电压和上次保持电压相比较;并且当基于上述比较的结果当前保持电压低于上次保持电压时,将当前保持电压存储为上次保持电压,并且增大射角。

[0023] 当在第一驱动开关的接通时刻的按照所述增大的占空比的当前保持电压等于或高于参考电压时,所述调整射角和占空比进一步包括:将当前保持电压与上次保持电压相比较;以及当基于上述比较的结果当前保持电压等于或高于上次保持电压时,再次增大占

空比,并且将当前保持电压存储为上次保持电压。

[0024] 根据本发明实施例的驱动电路驱动连接在第一节点和第二节点之间的压电电路。所述驱动电路可包括:全桥电路,其包括连接到至少所述第一节点的第一开关和第三开关以及连接到至少所述第二节点的第二开关和第四开关;以及检测电阻器,其连接在全桥电路和预定电压之间并且被配置为检测流向所述压电电路的电流。

[0025] 所述驱动电路的所述第一开关和所述第二开关中的至少一个被配置为第一驱动开关,并且所述第三开关和所述第四开关中的至少一个被配置为第二驱动开关。所述第一驱动开关被配置为在第二驱动开关处于接通状态时接通,并且第一驱动开关的射角和占空比被配置为被调整以减小在所述检测电阻器中产生的检测电压在第一驱动开关接通时的峰值。当第一开关是第一驱动开关时,第四开关是第二驱动开关,当第二开关是第一驱动开关时,第三开关是第二驱动开关。所述压电电路进一步包括连接在所述第一节点和所述第二节点之间的外部电感器。

[0026] 根据本发明的实施例,提供了能够减小峰值电流的压电驱动电路和压电驱动方法。

## 附图说明

[0027] 图1是示出根据本发明实施例的压电驱动电路的视图。

[0028] 图2是示出根据本发明实施例的压电驱动电路的控制电压、开关电流和开关两端电压的波形图。

[0029] 图3是示出根据本发明实施例的用于调整射角和占空比的方法的流程图。

[0030] 图4是示出根据本发明实施例的检测电压峰值和上开关两端电压的波形图。

[0031] 图5是示出根据本发明另一实施例的用于调整射角和占空比的方法的流程图。

[0032] 图6是示出根据本发明另一实施例的应用于进一步包括外部电感器的压电电路的压电驱动电路的视图。

[0033] 图7是示出根据本发明另一实施例的压电驱动电路的控制电压、开关电流和开关两端电压的波形图。

## 具体实施方式

[0034] 在下面的详细描述中,只有本发明的某些示范性实施例被简单地通过附图显示和描述。本领域的技术人员将会了解,所描述的实施例可能以各种不同的方式被修改,全部都不脱离本发明的精神和范围。因此,附图和描述在本质上被当做是说明性的而不是限制性的。整个说明书中,同样的参考数字指代同样的元件。

[0035] 在整个说明书以及后面的权利要求中,当描述到元件“连接”到另一元件上时,该元件可能是“直接连接”到该另一元件,或者通过第三元件“电连接”到该另一元件。另外,除非明确地被相反描述,单词“包括”和“包括”将被理解为意味着包含所述元件但不排除任何其它元件。

[0036] 在下文中,将参照附图来描述根据本发明实施例的压电驱动电路和压电驱动方法。当压电驱动电路的开关的切换接近于零电压切换(ZVS)时,峰值电流被减小。在本发明实施例的描述中,接近于ZVS的切换操作被称为准ZVS(QZVS)。QZVS指的是与常规半ZVS和部

分ZVS相比改进了的ZVS。

[0037] 图1是示出根据本发明实施例的压电电路的视图。

[0038] 连接到压电驱动电路20的压电电路10是包括串联谐振电路11的普通压电电路,所述串联谐振电路包括第一电感器L、第一电容器CA、电阻器R和第二电容器CB。

[0039] 以图1中的等效电路图示说明的压电电路仅仅是一个例子。也就是说,根据本发明实施例的压电驱动电路20不受限于图1所示的压电电路10,也可以应用于以不同的等效电路实现的压电电路。

[0040] 压电驱动电路20以包括四个驱动开关S1到S4的全桥电路实现。体二极管BD1到BD4和寄生电容器C1到C4分别并联在四个驱动开关S1到S4的两个电极之间。压电驱动电路20连接到直流(DC)电压(VDC)和地。

[0041] 在下文中,四个驱动开关S1到S4将分别被称为第一开关S1到第四开关S4。在第一开关S1到第四开关S4中,连接到VDC的开关将被称为上开关,连接到地的开关将被称为下开关。例如,第一开关S1和第二开关S2是上开关,第三开关S3和第四开关S4是下开关。

[0042] 根据本发明实施例的第一开关S1到第四开关S4可以用N沟道型MOSFET实现。第一开关S1到第四开关S4中的每一个的第一电极是漏极,其第二电极是源极,其控制电极是栅极。

[0043] 然而,根据本发明实施例的第一到第四开关不限于MOSFET,也可以用BJT或IGBT代替MOSFET来实现。

[0044] 压电电路10的一端连接到第一开关S1的源极和第三开关S3的漏极之间的节点N1,压电电路10的另一端连接到第二开关S2的源极和第四开关S4的漏极之间的节点N2。

[0045] 在压电电路10中,第一电容器CA、第一电感器L和电阻器R串联连接在节点N1和节点N2之间。串联连接的第一电容器CA、第一电感器L和电阻器R组成串联谐振电路。第二电容器CB连接在节点N1和节点N2之间,并且与串联谐振电路并联连接。

[0046] 电流 $I_M$ 是流向串联谐振电路的电流,电流 $I_{CB}$ 是流向第二电容器CB的电流,压电电流 $I_{PIEZO}$ 是流向压电电路10的电流,是电流 $I_M$ 和电流 $I_{CB}$ 的和。

[0047] 详细地,第一电容器CA的一端连接到节点N1。第一电感器L的一端连接到第一电容器CA的另一端。电阻器R的一端连接到第一电感器L的另一端,电阻器R的另一端连接到节点N2。

[0048] 第一开关S1和第二开关S2的漏极连接到电压VDC,第三开关S3和第四开关S4的源极连接到地。

[0049] 第一控制电压VA被提供到第一开关S1的栅极,第二控制电压VB被提供到第二开关S2的栅极。第三控制电压VC被提供到第三开关S3的栅极,第四控制电压VD被提供到第四开关S4的栅极。

[0050] 第一开关S1到第四开关S4的两端电压分别被称为第一开关电压VP1到第四开关电压VP4。

[0051] 为了检测压电电流,可以在压电驱动电路20和直流电压VDC之间或者压电驱动电路20和地之间连接检测电阻器RS。例如,如图1所示,检测电阻器RS连接在第三开关S3和第四开关S4的源极和地之间,压电电流 $I_{PIEZO}$ 通过检测电阻器RS流向地。

[0052] 通过在检测电阻器RS中流动的电流而产生的检测电压VSE用于确定位于上侧的第



一开关S1和第二开关S2的射角和占空比。

[0053] 所述射角指的是从下开关S3或S4接通时刻到上开关S1或S2接通时刻的转换角度。例如,所述射角指的是从第四开关S4(或第三开关S3)接通开始时刻到第一开关S1(或第二开关S2)接通开始时刻的转换角度。占空比指的是开关周期中第一开关S1和第二开关S2接通的接通时间。

[0054] 例如,第四开关S4的接通时刻T3和第一开关S1的接通时刻T4之间的差或者第三开关S3的接通时刻T6和第二开关S2的接通时刻T7之间的差就对应于射角。

[0055] 第一开关S1和第二开关S2(上开关)接通时刻的峰值电流,根据其与ZVS的接近程度而改变。如果远离ZVS,接通时相应开关的两端电压具有高电平,所以峰值电流在ZVS的情况下是最小的,远离ZVS时峰值电流增大。

[0056] 开关的峰值电流反映在压电电流IPIEZO的峰值上。然后,检测电压VSE也具有根据压电电流IPIEZO的峰值的峰值电压。在本发明实施例中,在检测到峰值电压时,朝减小峰值电压的方向调整第一开关S1和第二开关S2的射角和占空比。

[0057] 详细地,示于图1的开关控制器30接收检测电压VSE,并调整射角和占空比中的至少一个,以使检测电压VSE的峰值降低。

[0058] 根据射角的增大或减小,压电电流IPIEZO的峰值可能也会降低或升高。例如,在第四开关接通之后,当第一开关S1的两端电压VP1以正弦波的方式降低时,第一开关S1应该在最低电压处转变,以最小化峰值电流(接近ZVS的QZVS)。开关控制器30可以调整射角,以在正弦波的方式降低的开关两端电压的最低点使相应开关接通。

[0059] 另外,随着占空比增大,电感器L中储存的能量增加。当开关关断之后,需要充足的能量来使寄生电容器和电容器CB放电。因此,占空比增大对ZVS是有利的。

[0060] 例如,当电感器L中储存的能量减少时,较少的能量用于使寄生电容器和电容器CB放电。然后,按照正弦波的方式减小的电压VP1的最低点和零电压之间的差增加。因此,当第一开关S1接通时,峰值电流增加。

[0061] 在本发明实施例中,开关控制器30调整占空比以控制以正弦波的方式减小的开关两端电压的最低点,使得所述最低点就是允许范围内的最低值,并且开关控制器30调整射角,使得开关在最低点接通。

[0062] 在下文中,将会参照图2来描述压电驱动电路20的操作。

[0063] 图2是示出根据本发明实施例的压电驱动电路的控制电压、开关电流和开关两端电压的波形图。

[0064] 电压VP2的正弦波在T1是最低的,根据按T1设置的第二开关S2的射角,第二控制电压VB在T1变为高电平,以接通第二开关S2(QZVS)。由于第二开关S2接通,已经增大的第四开关电压VP4在T1与电压VDC有相同的电平。

[0065] 在历经预置占空比的T2,第二控制电压VB变为低电平,第二开关S2关断。

[0066] 在T1,第三控制电压VC具有高电平,第三开关S3处于接通状态,所以在T1到T2期间电压VDC连接到压电电路10,并且第二开关电流IS2在T1产生峰值。在T1到T2期间,第二开关电流IS2增加。在T1到T2期间,第一开关S1和第四开关S4处于关断状态,所以第一开关电压VP1和第四开关电压VP4等于电压VDC,第二开关S2和第三开关S3处于接通状态,所以第二开关电压VP2和第三开关电压VP3等于零电压。

[0067] 在第二开关S2在T2关断之后,电容器C4通过电感器电流IM放电,以减小第四开关电压VP4。当从T2开始减小的第四开关电压VP4到达零电压时,或者在稍晚的T3,第四控制电压VD变为高电平,第四开关S4接通。

[0068] 在T3,第三控制电压VC变为低电平,第三开关S3关断。实际上,第三控制电压VC在从T3开始的预定死区时间之前变为低电平,以关断第三开关S3。

[0069] 从第三开关S3关断时,电容器C1开始放电,电容器C3充电,所以第一开关电压VP1从T3开始减小,第三开关电压VP3开始增大。

[0070] 以正弦波的方式减小的第一开关电压VP1在T4达到(正弦波中的)最低电压。根据按T4设置的第一开关S1的射角,第一控制电压VA在T4变为高电平,以接通开关S1(QZVS)。然后,在历经预置占空比的T5,第一控制电压VA变为低电平,第一开关S1关断。

[0071] 在T4,由于第一开关S1接通,已经增大的第三开关电压VP3与电压VDC有相同的电平。

[0072] 在T4,第四开关S4处于接通状态,所以在T4到T5期间电压VDC连接到压电电路10,第一开关电流IS1在T4产生峰值。

[0073] 在T5,第一控制电压VA变为低电平,第一开关S1关断。在T4到T5期间,第一开关电流IS1增加。在T4到T5期间,第二开关S2和第三开关S3处于关断状态,所以第二开关电压VP2和第三开关电压VP3等于电压VDC,第一开关S1和第四开关S4处于接通状态,所以第一开关电压VP1和第四开关电压VP4等于零电压。

[0074] 在T5,电容器C3放电以减小第三开关电压VP3。在已经减小的第三开关电压VP3达到零电压时,或者在稍晚的T6,第三开关S3接通。电容器C1从T5开始充电以增大第一开关电压VP1。

[0075] 在T6,第三开关电压VP3减小至零电压,所以在T6,第三控制电压VC变为高电平,第三开关S3接通。

[0076] 在T6,第四控制电压VD变为低电平,第四开关S4关断。事实上,在从T6开始的预设死区时间之前,第四控制电压VD变为低电平,以关断第四开关S4。

[0077] 在T6,电容器C2开始放电,以减小第二开关电压VP2,电容器C4开始充电,以增大第四开关电压VP4。

[0078] 以正弦波的方式减小的第二开关电压VP2在T7达到(正弦波中的)最低电压。然后,第二控制电压VB变为高电平,以接通第二开关S2(QZVS)。由于第二开关S2接通,已经增大的第四开关电压VP4在T7与电压VDC有相同的电平。

[0079] 此后,从T1到T7的操作被重复执行,所以略去其详细描述。

[0080] 在图2中,T3到T4的时段是第一开关S1的射角,随着射角减小,T4靠近T3,随着射角增大,T4远离T3。T4到T5的时段是根据第一开关S1的占空比确定的。

[0081] 同样地,T6到T7的时段是第二开关S2的射角,随着射角减小,T7靠近T6,随着射角增大,T7远离T6。T7到T8的时段是根据第二开关S2的占空比确定的。

[0082] 在下文中,将参照图3来描述根据本发明实施例的用于调整射角和占空比的方法。

[0083] 图3是示出根据本发明实施例的用于调整射角和占空比的方法的流程图。

[0084] 首先,设置初始占空比D0、初始射角N0、单位占空比Dstep和单位射角Nstep(S100)。

[0085] 通过使用检测电压VSE来检测峰值电流并保持峰值电流(S110)。这里,保持电压被称作上次保持电压VS0。

[0086] 将射角N增大单位射角Nstep(S120)。在步骤S120后,检测并保持根据增大的射角N产生的检测电压VSE的峰值(S130),以产生当前保持电压VS1。

[0087] 在步骤S140中,将当前保持电压VS1与参考电压Vref相比较,以检查当前保持电压VS1是否低于参考电压Vref。参考电压Vref可能根据设计而改变,并根据允许峰值电流来确定。如图2所示,允许峰值电流设置为在第一开关S1和第二开关S2进行准零电压切换(QZVS)并且第三和第四开关S3和S4进行零电压切换(ZVS)的条件下产生的峰值电流。这里,QZVS指的是,当开关两端电压以正弦波的方式减小时开关在最低电压接通的切换操作。

[0088] 当步骤S140中当前保持电压VS1低于参考电压Vref时,压电驱动电路的峰值电流是允许的,所以可以通过相应射角和占空比控制切换操作。将当前保持电压VS1低于参考电压Vref时的射角N和占空比D设置为上开关(S1或S2)的射角和占空比(S150)。当射角N和占空比D已被设置时,结束调整射角N和占空比D的操作。

[0089] 当步骤S140中当前保持电压VS1等于或大于参考电压Vref时,将当前保持电压VS1与上次保持电压VS0相比较(S160)。

[0090] 当根据步骤S160中的比较结果,当前保持电压VS1低于上次保持电压VS0时,将当前保持电压VS1存储为上次保持电压VS0(S170)。然后,该方法跳转到增大射角N的步骤S120。

[0091] 当根据步骤S160中的比较结果,当前保持电压VS1等于或高于上次保持电压VS0时,减小在步骤S120中增大的射角N(S180)。这里,射角N减小的度数遵循单位射角Nstep。

[0092] 然后,将占空比D增大单位占空比Dstep(S190)。然后,将当前保持电压VS1存储为上次保持电压VS0(S200)。检测并保持根据增大的占空比D产生的检测电压VSE的峰值(S210),以产生当前保持电压VS1。在步骤S220中,将当前保持电压VS1与参考电压Vref相比较,以检查当前保持电压VS1是否低于参考电压Vref。

[0093] 在步骤S220中,当当前保持电压VS1低于参考电压Vref时,设置相应的射角N和占空比D(S240)。步骤S220中,当当前保持电压VS1等于或高于参考电压Vref时,将当前保持电压VS1与上次保持电压VS0相比较(S230)。

[0094] 当根据步骤S230中的比较结果,当前保持电压VS1低于上次保持电压VS0时,将当前保持电压VS1存储为上次保持电压VS0(S170)。然后,该方法跳转到增大射角N的步骤S120。

[0095] 当根据步骤S230中的比较结果,当前保持电压VS1等于或高于上次保持电压VS0时,该方法跳转到增大占空比D的步骤S190。

[0096] 当根据本发明实施例调整射角N和占空比D时,当检测电压VSE的峰值减小到低于参考电压Vref时,设置射角N和占空比D。

[0097] 在下文中,将参考图4描述根据本发明实施例的依照图3的流程图的用于调整射角N和占空比D的方法。

[0098] 图4是示出根据本发明实施例的检测电压峰值和上开关两端电压的波形图。例如,第一开关S1的电压VP1如图4示。图4所示的检测电压VSE的峰值电压是遵循在压电电流IPIEZO波形(遵循正弦波)中呈现的峰值的电压。

[0099] 首先,根据初始射角 $N_0$ 和初始占空比 $D_0$ ,第一开关 $S_1$ 在 $TP_1$ 接通。这里,电压 $V_{P1}$ 相对于零电压是非常高的电压,所以检测电压 $V_{SE}$ 的峰值也非常高。在 $TP_1$ 检测到检测电压 $V_{SE}$ 的峰值,并保持以成为上次保持电压 $V_{S0}$  ( $S_{110}$ )。

[0100] 在射角 $N$ 增大单位射角 $N_{step}$  ( $S_{120}$ )之后,在 $TP_2$ 检测到检测电压 $V_{SE}$ 的峰值并保持,检测电压 $V_{SE}$ 在 $TP_2$ 的峰值是当前保持电压 $V_{S1}$  ( $S_{130}$ )。因为当前保持电压 $V_{S1}$ 高于参考电压 $V_{ref}$  ( $S_{140}$ ),所以将当前保持电压 $V_{S1}$ 与上次保持电压 $V_{S0}$ 相比较 ( $S_{160}$ )。因为当前保持电压 $V_{S1}$ 小于上次保持电压 $V_{S0}$ ,所以将当前保持电压 $V_{S1}$ 存储为上次保持电压 $V_{S0}$  ( $S_{170}$ ),并将射角 $N$ 再次增大单位射角 $N_{step}$  ( $S_{120}$ )。

[0101] 因为检测电压 $V_{SE}$ 在 $TP_3$ 的峰值是当前保持电压 $V_{S1}$  ( $S_{130}$ )并且高于参考电压 $V_{ref}$  ( $S_{140}$ ),所以将检测电压 $V_{SE}$ 在 $TP_3$ 的峰值与上次保持电压 $V_{S0}$ 相比较 ( $S_{160}$ )。因为当前保持电压 $V_{S1}$ 低于上次保持电压 $V_{S0}$ ,所以将当前保持电压 $V_{S1}$ 存储为上次保持电压 $V_{S0}$  ( $S_{170}$ ),并将射角 $N$ 再次增大单位射角 $N_{step}$  ( $S_{120}$ )。

[0102] 因为检测电压 $V_{SE}$ 在 $TP_4$ 时的峰值是当前保持电压 $V_{S1}$  ( $S_{130}$ )并且高于参考电压 $V_{ref}$  ( $S_{140}$ ),所以将检测电压 $V_{SE}$ 在 $TP_4$ 时的峰值与上次保持电压 $V_{S0}$ 相比较 ( $S_{160}$ )。因为当前保持电压 $V_{S1}$ 高于上次保持电压 $V_{S0}$ ,所以将射角 $N$ 减小单位射角 $N_{step}$  ( $S_{180}$ )。将占空比 $D$ 增大单位占空比 $D_{step}$  ( $S_{190}$ ),并将当前保持电压 $V_{S1}$ 存储为上次保持电压 $V_{S0}$ 。

[0103] 因为检测电压 $V_{SE}$ 在 $TP_5$ 时的峰值成为当前保持电压 $V_{S1}$  ( $S_{210}$ )并且高于参考电压 $V_{ref}$  ( $S_{220}$ ),所以将检测电压 $V_{SE}$ 在 $TP_5$ 时的峰值与上次保持电压 $V_{S0}$ 相比较 ( $S_{230}$ )。因为当前保持电压 $V_{S1}$ 低于上次保持电压 $V_{S0}$ ,所以将当前保持电压 $V_{S1}$ 存储为上次保持电压 $V_{S0}$  ( $S_{170}$ )。然后,将射角 $N$ 再次增大单位射角 $N_{step}$  ( $S_{120}$ )。

[0104] 因为检测电压 $V_{SE}$ 在 $TP_6$ 时的峰值成为当前保持电压 $V_{S1}$  ( $S_{130}$ )并且高于参考电压 $V_{ref}$  ( $S_{140}$ ),所以将检测电压 $V_{SE}$ 在 $TP_6$ 时的峰值与上次保持电压 $V_{S0}$ 相比较 ( $S_{160}$ )。因为当前保持电压 $V_{S1}$ 低于上次保持电压 $V_{S0}$ ,所以将当前保持电压 $V_{S1}$ 被存储为上次保持电压 $V_{S0}$  ( $S_{170}$ ),并将射角 $N$ 再次增大单位射角 $N_{step}$  ( $S_{120}$ )。

[0105] 因为检测电压 $V_{SE}$ 在 $TP_7$ 时的峰值成为当前保持电压 $V_{S1}$  ( $S_{130}$ )并且高于参考电压 $V_{ref}$  ( $S_{140}$ ),所以将检测电压 $V_{SE}$ 在 $TP_7$ 时的峰值与上次保持电压 $V_{S0}$ 相比较 ( $S_{160}$ )。因为当前保持电压 $V_{S1}$ 高于上次保持电压 $V_{S0}$ ,所以将射角 $N$ 减小单位射角 $N_{step}$  ( $S_{180}$ )。将占空比 $D$ 增大单位占空比 $D_{step}$  ( $S_{190}$ ),并将当前保持电压 $V_{S1}$ 存储为上次保持电压 $V_{S0}$ 。

[0106] 因为检测电压 $V_{SE}$ 在 $TP_8$ 时的峰值成为当前保持电压 $V_{S1}$  ( $S_{210}$ )并且高于参考电压 $V_{ref}$  ( $S_{220}$ ),所以将检测电压 $V_{SE}$ 在 $TP_8$ 时的峰值与上次保持电压 $V_{S0}$ 相比较 ( $S_{230}$ )。因为当前保持电压 $V_{S1}$ 低于上次保持电压 $V_{S0}$ ,所以当前保持电压 $V_{S1}$ 被存储为上次保持电压 $V_{S0}$  ( $S_{170}$ )。然后,将射角 $N$ 再次增大单位射角 $N_{step}$  ( $S_{120}$ )。

[0107] 因为检测电压 $V_{SE}$ 在 $TP_9$ 时的峰值成为当前保持电压 $V_{S1}$  ( $S_{130}$ )并且高于参考电压 $V_{ref}$  ( $S_{140}$ ),所以将检测电压 $V_{SE}$ 在 $TP_9$ 时的峰值与上次保持电压 $V_{S0}$ 相比较 ( $S_{160}$ )。因为当前保持电压 $V_{S1}$ 低于上次保持电压 $V_{S0}$ ,所以将当前保持电压 $V_{S1}$ 存储为上次保持电压 $V_{S0}$  ( $S_{170}$ ),并且将射角 $N$ 再次增大单位射角 $N_{step}$  ( $S_{120}$ )。

[0108] 因为检测电压 $V_{SE}$ 在 $TP_{10}$ 时的峰值成为当前保持电压 $V_{S1}$  ( $S_{130}$ )并且高于参考电压 $V_{ref}$  ( $S_{140}$ ),所以将检测电压 $V_{SE}$ 在 $TP_{10}$ 时的峰值与上次保持电压 $V_{S0}$ 相比较 ( $S_{160}$ )。因为当前保持电压 $V_{S1}$ 高于上次保持电压 $V_{S0}$ ,所以将射角 $N$ 减小单位射角 $N_{step}$  ( $S_{180}$ )。将占

空比D增大单位占空比Dstep (S190),并将当前保持电压VS1存储为上次保持电压VS0。

[0109] 因为检测电压VSE在TP11时的峰值成为当前保持电压VS1 (S210)并且低于参考电压Vref (S220),所以设置当前射角N和占空比D (S240)。

[0110] 以这种方式,在本发明实施例中,检测电压VSE的峰值也就是压电电流IPIEZO的峰值被检测到,压电电路通过当检测到的峰值电流小于预定参考电流时的射角和占空比被驱动。

[0111] 参照图4描述的上述内容仅仅用作示例而不用于限制本发明。例如,在占空比D增大 (S190)后,将当前保持电压VS1与上次保持电压VS0相比较 (S230),当根据比较结果,上次保持电压VS0低于当前保持电压VS1时,再次增大占空比D (S190)。

[0112] 同样地,用于调整射角和占空比的方法也不仅限于图3,在本发明另一实施例中,可以使用不同于图3中的方法。

[0113] 在下文中,将参照图5描述根据本发明另一实施例的用于调整射角和占空比的方法。

[0114] 图5是示出根据本发明另一实施例的用于调整射角和占空比的方法的流程图。与图3所示的前述实施例相比,步骤S310到步骤S450是相同的。这两个实施例的不同之处如下:

[0115] 也就是,当在占空比D增大单位占空比Dstep之后的当前保持电压VS1低于上次保持电压VS0时,在前述实施例中,将当前保持电压VS1存储为上次保持电压VS0,并且再次增大射角N。相比之下,在本发明另一实施例中,射角N减小。

[0116] 随后,当在射角N减小之后的当前保持电压VS1高于上次保持电压VS0时,减小的射角N增大,并且占空比D增大。其后,当前保持电压VS1变为上次保持电压VS0,具有增大的射角N和增大的占空比D的检测电压VSE的峰值,被设置为当前保持电压VS1,并与参考电压Vref和上次保持电压VS0相比较。

[0117] 在步骤S460中,减小射角N。在步骤S470中,检测到具有减小的射角N的检测电压VSE的峰值并保持以产生当前保持电压VS1。

[0118] 在步骤S480中,将当前保持电压VS1与参考电压Vref相比较,以检查当前保持电压VS1是否低于参考电压Vref。当在步骤S480中,当前保持电压VS1低于参考电压Vref时,设置相应的射角N和相应的占空比D。

[0119] 当在步骤S480中,当前保持电压VS1等于或高于参考电压Vref时,将当前保持电压VS1与上次保持电压VS0相比较 (S500)。当在步骤S500中,当前保持电压VS1低于上次保持电压VS0时,将当前保持电压VS1存储为上次保持电压VS0 (S450)。该方法跳转到增大射角N的步骤S460。

[0120] 当在步骤S500中,当前保持电压VS1等于或高于上次保持电压VS0时,增大射角N (S510),并增大占空比D (S520)。然后,将当前保持电压VS1存储为上次保持电压VS0 (S450)。检测到根据增大的射角N和增大的占空比D产生的检测电压VSE的峰值并保持 (S540)以产生当前保持电压VS1。

[0121] 在步骤S550中,将当前保持电压VS1与参考电压Vref相比较,以检查当前保持电压VS1是否低于参考电压Vref。当在步骤S550中,当前保持电压VS1低于参考电压Vref时,维持相应的射角N和占空比D (S570)。

[0122] 当在步骤S550中,当前保持电压 $VS_1$ 等于或高于参考电压 $V_{ref}$ 时,将当前保持电压 $VS_1$ 与上次保持电压 $VS_0$ 相比较(S560)。

[0123] 当根据步骤S560中的比较结果,当前保持电压 $VS_1$ 低于上次保持电压 $VS_0$ 时,将当前保持电压 $VS_1$ 存储为上次保持电压 $VS_0$ (S580)。然后,该方法跳转到增大射角 $N$ 的步骤S320。

[0124] 当根据步骤S560中的比较结果,当前保持电压 $VS_1$ 等于或高于上次保持电压 $VS_0$ 时,该方法跳转到增大占空比 $D$ 的步骤S520。

[0125] 到目前为止,已经描述了调整用于驱动压电电路10的压电驱动电路的上开关的射角和占空比的方法,但是也可以调整下开关的射角和占空比。也就是,在上开关 $S_1$ 和 $S_2$ 的占空比被固定为50%的状态下,调整下开关 $S_3$ 和 $S_4$ 的射角和占空比,直到检测电压 $V_{SE}$ 的峰值减小到低于参考电压 $V_{ref}$ 。

[0126] 另外,本发明不但适用于图1所示的压电电路,而且也适用于不同的压电电路。

[0127] 图6是示出根据本发明另一实施例的应用于进一步包括外部电感器的压电电路的压电驱动电路的视图。与图1中相同的参考数字将被用于相同的元件,其详细描述将被省略。

[0128] 压电电路12进一步包括外部电感器 $L_{EXT}$ 。因为增加了外部电感器 $L_{EXT}$ ,所以可以储存足够使电容器 $C_B$ 和寄生电容器放电的能量。因此,在本发明的本实施例中,所有的开关都可以是零电压切换的。如果没有增加外部电感器 $L_{EXT}$ ,可以用漏电感。漏电感可以是电连接到压电电路和压电驱动电路的变压器的漏电感。

[0129] 将参照图7来描述本发明的使用压电电路12的另一实施例。

[0130] 图7是示出根据本发明另一实施例的压电驱动电路的控制电压、开关电流和开关两端电压的波形图。图7所示的开关两端电压是满足ZVS的条件下的电压波形。

[0131] 在 $TQ_1$ ,电压 $VP_2$ 的正弦波变为零电压,并且根据按 $TQ_1$ 设置的第二开关 $S_2$ 的射角,第二控制电压 $VB$ 在 $TQ_1$ 变为高电平,以接通第二开关 $S_2$ (ZVS)。在历经预设占空比的 $TQ_2$ ,第二控制电压 $VB$ 变为低电平,第二开关 $S_2$ 关断。

[0132] 在 $TQ_1$ ,第三控制电压 $VC$ 具有高电平,第三开关 $S_3$ 处于接通状态,所以在 $TQ_1$ 到 $TQ_2$ 期间电压 $V_{DC}$ 被连接到压电电路12,并且第二开关电流 $IS_2$ 在 $TQ_1$ 产生峰值。在 $TQ_1$ 到 $TQ_2$ 期间,第二开关电流 $IS_2$ 增大。图7所示的峰值低于图2所示的第二开关电流 $IS_2$ 的峰值。事实上,当执行完美ZVS操作时,峰值电流实质上将消失。这里,为了描述的目的,尽管是完美ZVS操作,峰值电流仍然存在。

[0133] 在第二开关 $S_2$ 在 $TQ_2$ 关断之后,电容器 $C_4$ 通过电感器电流 $I_{EXT}$ 放电,以减小第四开关电压 $VP_4$ 。在已经从 $TQ_2$ 开始减小的第四开关电压 $VP_4$ 达到零电压时或者在稍晚的 $TQ_3$ ,第四电压 $VD$ 变为高电平,并且第四开关 $S_4$ 接通。

[0134] 在 $TQ_3$ ,第三控制电压 $VC$ 变为低电平,并且第三开关 $S_3$ 关断。从第三开关 $S_3$ 关断的时候起,电容器开始 $C_1$ 放电,电容器 $C_3$ 充电,所以第一开关电压 $VP_1$ 从 $TQ_3$ 开始减小,第三开关电压 $VP_3$ 开始增大。

[0135] 已经以正弦波的方式减小的第一开关电压 $VP_1$ 在 $TQ_4$ 达到零电压。根据按 $TQ_4$ 设置的第一开关 $S_1$ 的射角,第一控制电压 $VA$ 在 $TQ_4$ 变为高电平,以接通开关 $S_1$ (ZVS)。然后,在历经预设占空比的 $TQ_5$ ,第一控制电压 $VA$ 变为低电平,并且第一开关 $S_1$ 关断。

[0136] 因为第四开关S4在TQ4处于接通状态,所以在TQ4到TQ5期间电压VDC被连接到压电电路12,第一开关电流IS1在TQ4产生峰值。第一开关电流IS1在TQ4时产生的峰值低于图2所示的TQ4处的峰值。

[0137] 在TQ5第一控制电压变为低电平并且第一开关S1关断之后,电容器C3放电,以减小第三开关电压VP3。在已经减小的第三开关电压VP3达到零电压时,或者在稍晚的TQ6,第三开关S3接通,电容器C1从TQ5开始充电,以增大第一开关电压VP1。

[0138] 在TQ6,第三开关电压VP3减小到零电压,所以在TQ6,第三控制电压VC变为高电平,并且第三开关S3接通。在TQ6,第四控制电压VD变为低电平,第四开关S4关断。

[0139] 在TQ6,电容器C2开始放电,以减小第二开关电压VP2,并且电容器C4开始充电,以增大第四开关电压VP4。

[0140] 已经以正弦波的方式减小的第二开关电压VP2在TQ7达到零电压。然后,第二控制电压VB变为高电平,以接通第二开关S2 (ZVS)。

[0141] 此后,从TQ1到TQ7的操作被重复执行,所以省略了其详细描述。

[0142] 以这种方式,在根据以上参照图3和图5描述的流程图设置射角和占空比时,实现了ZVS或者至少QZVS。

[0143] 在本发明的实施例中,已描述了基于下开关S3和S4来设置上开关S1和S2的射角和占空比,但是本发明的实施例并不仅限于此。

[0144] 详细地,在上开关S1和S2的占空比被设置为50%的状态下,可以根据以上参照图3和图5描述的流程图设置与上开关S1和S2相对应的下开关(S4相对应于S1,S3相对应于S2)的射角和占空比。然后,实现了ZVS或者至少QZVS。

[0145] 在根据本发明实施例的压电驱动电路的实例中,通过软切换减小峰值电流,可以显著减小开关损耗,相比于相关技术的压电驱动电路,具有减小输入功率的效果。也就是,驱动电路的所有开关是零电压切换 (ZVS) 的,或者上开关至少是准零电压切换 (QZVS) 的,而其它剩余的两个开关是零电压开关 (ZVS) 的,以减小开关损耗,从而降低功耗。

[0146] 详细地,用于确定压电电路的机械能 (例如,振动) 的电压是电容器CA两端的电压。相比于获得必需量的电容器CA两端电压所需要的输入功率,根据本发明实施例的输入功率更小。因此,相比于相关技术的压电电路,获得相同水平的机械能所需要的电能更小。

[0147] 虽然本发明是被联系到目前算是实际示范性实施例来描述的,但是应该理解的是,本发明不仅限于公开的实施例,正相反,本发明意在包含包括在附加权利要求的精神和范围之内的各种修改和等同布置。

[0148] 符号说明:

[0149] 压电电路10和12,第一电感器(L)

[0150] 外部电感器(LEXT),第一电容器(CA)

[0151] 第二电容器(CB),电阻器(R),压电驱动电路20

[0152] 体二极管(BD1-BD4),寄生电容器(C1-C4)

[0153] 第一开关到第四开关(S1-S4),串联谐振电路11

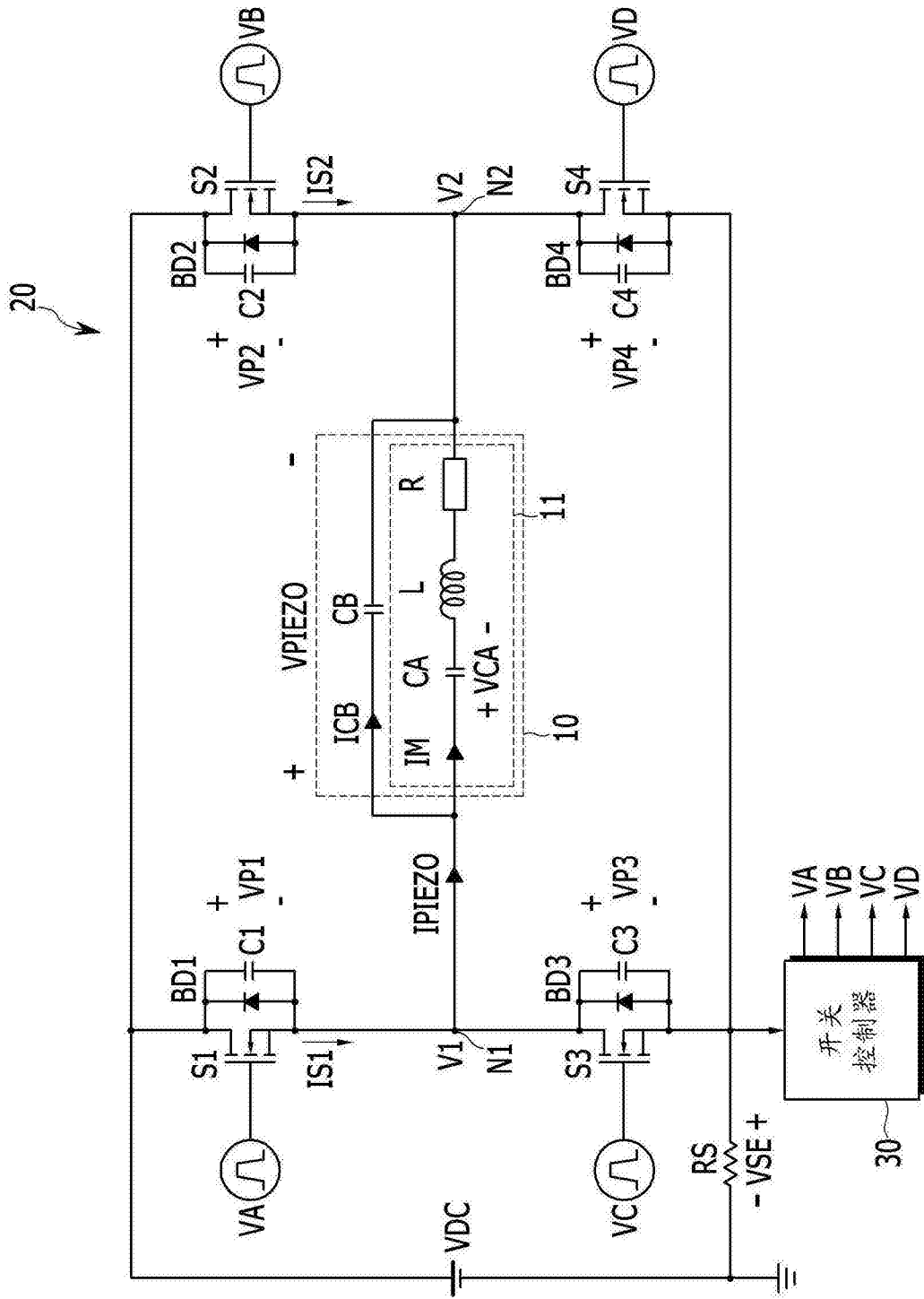


图1



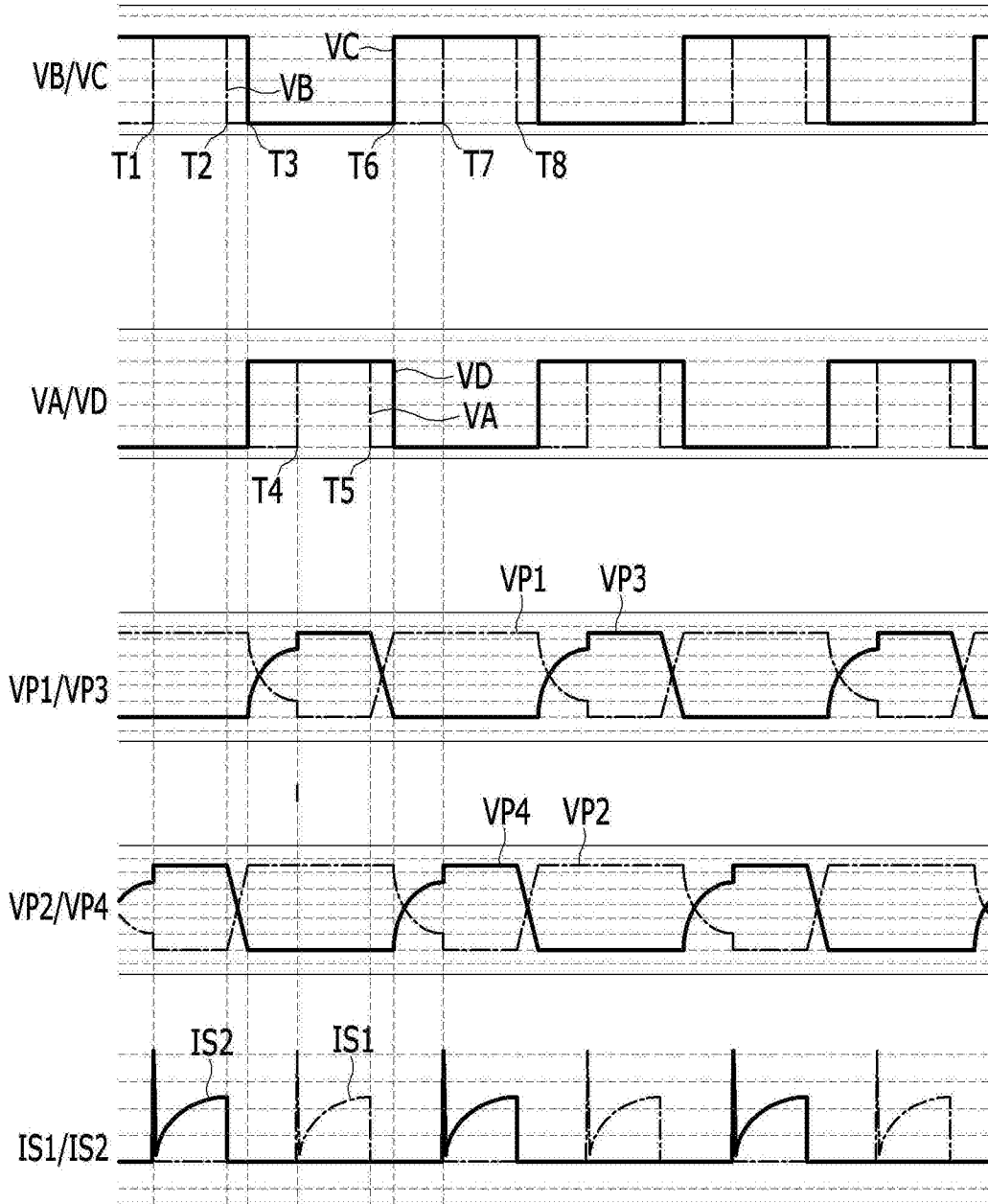


图2

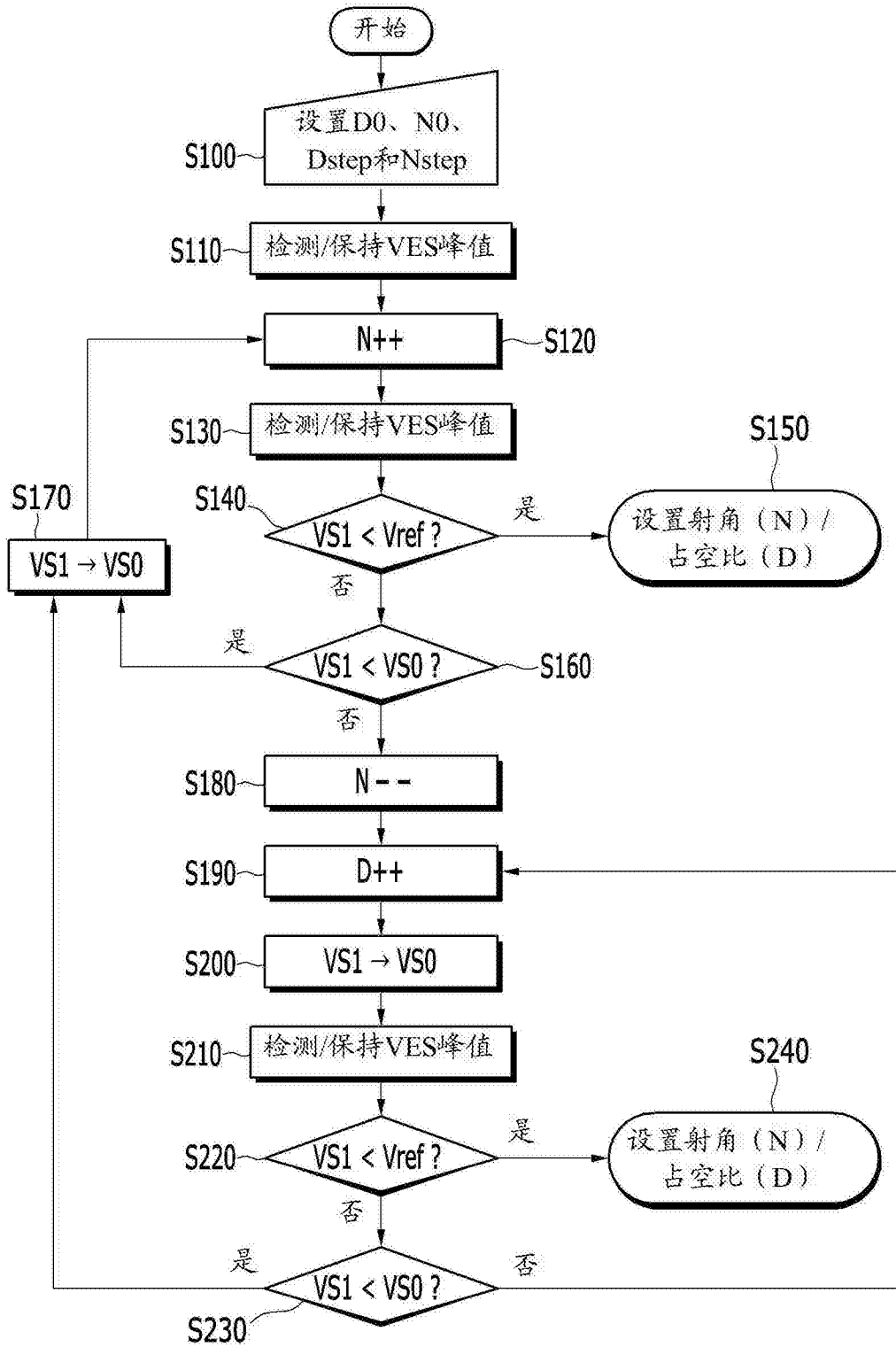


图3

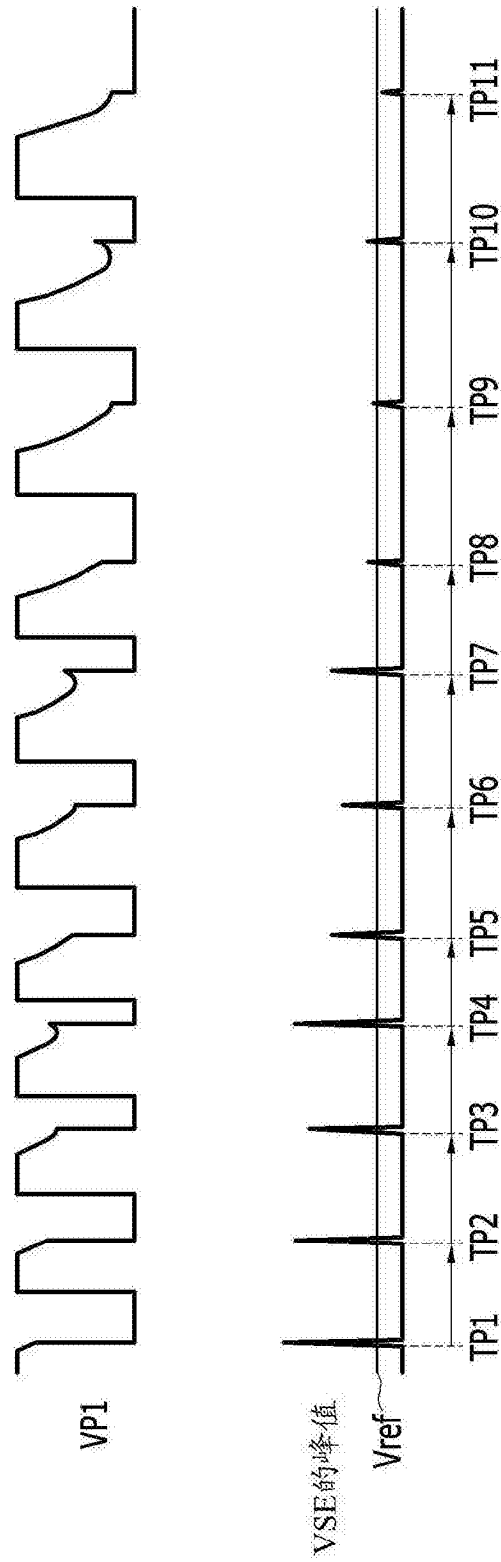


图4

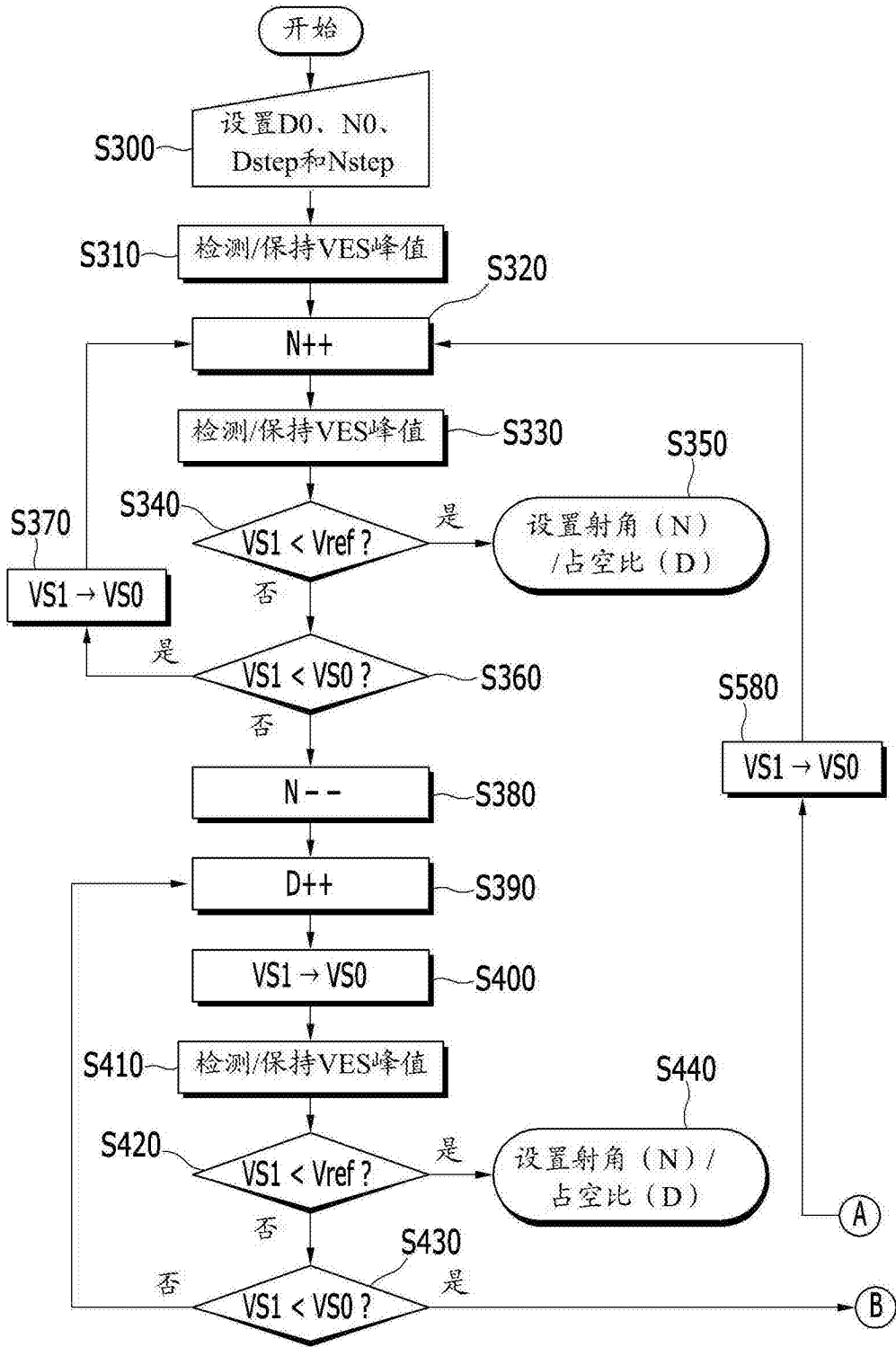


图5A

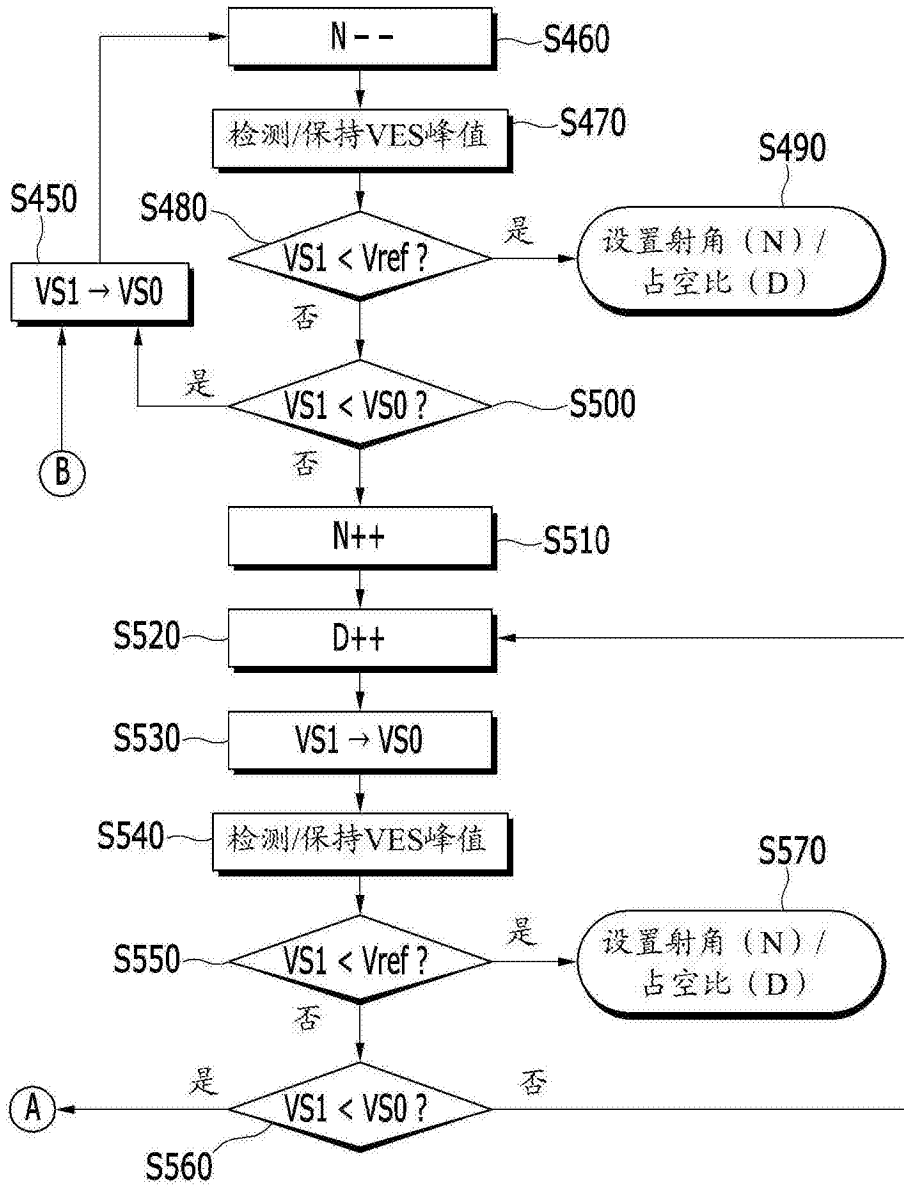


图5B

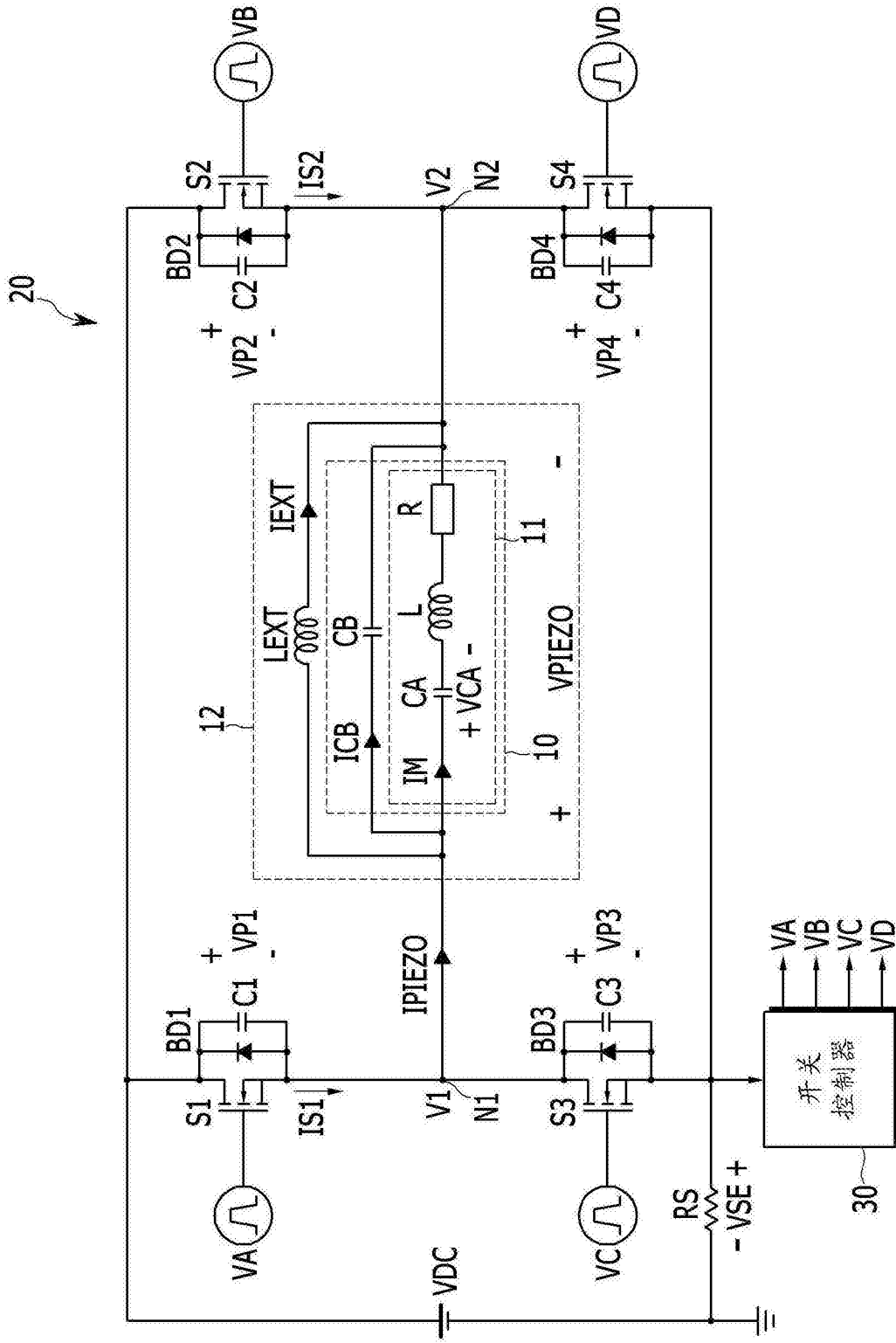


图6

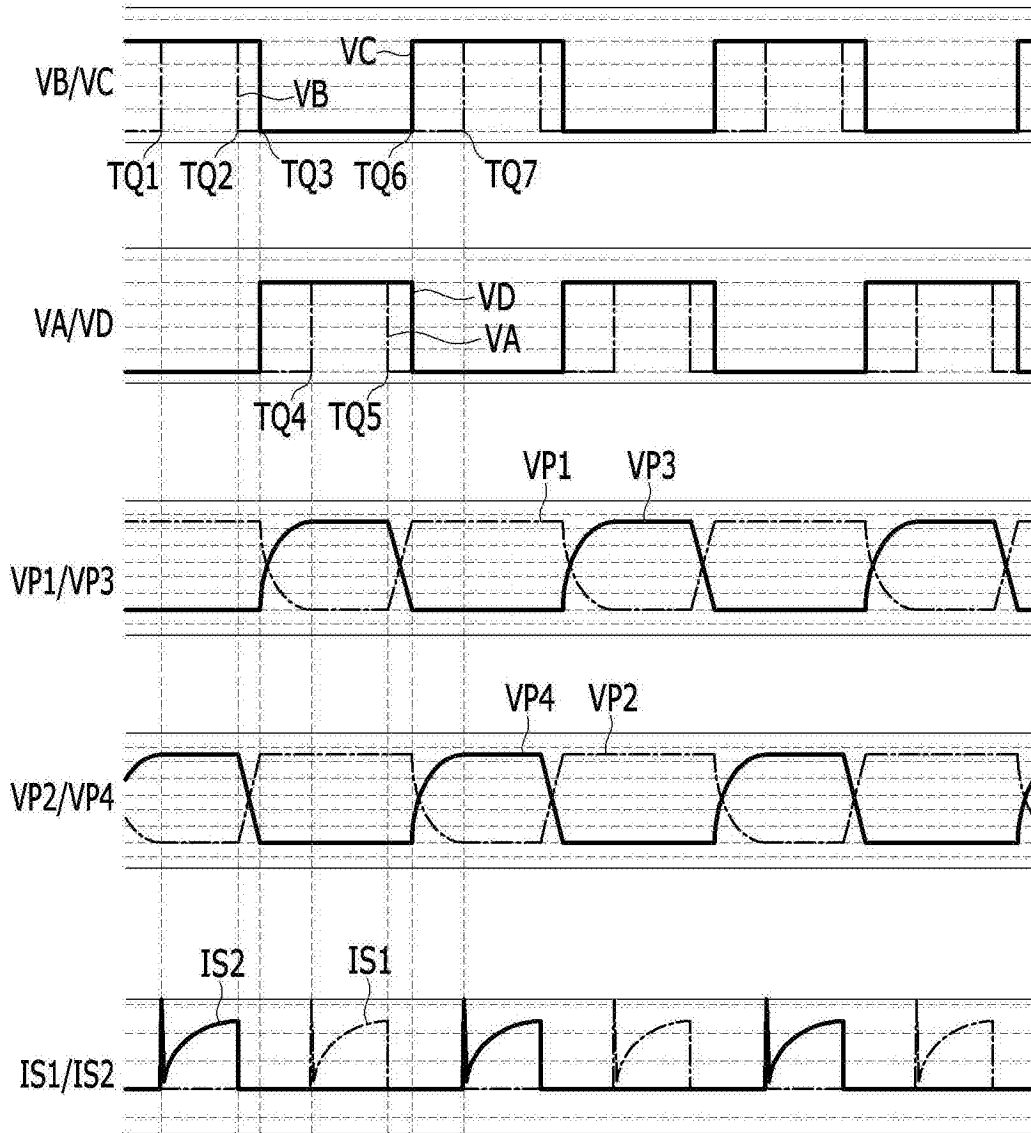


图7