



## (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107026576 B

(45)授权公告日 2019.07.09

(21)申请号 201610835716.2

(22)申请日 2010.12.21

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 107026576 A

(43)申请公布日 2017.08.08

(30)优先权数据  
12/661,578 2010.03.19 US

(62)分案原申请数据  
201080065534.2 2010.12.21

(73)专利权人 德州仪器公司  
地址 美国得克萨斯州

(72)发明人 瓦迪姆·V·伊万诺夫

(74)专利代理机构 北京律盟知识产权代理有限公司 11287

代理人 林斯凯

(51)Int.Cl.  
H02M 7/02(2006.01)  
H02N 2/18(2006.01)  
H02J 7/32(2006.01)

(56)对比文件  
US 2010060231 A1,2010.03.11,  
CN 1733513 A,2006.02.15,  
US 2004263127 A1,2004.12.30,  
审查员 黄勇

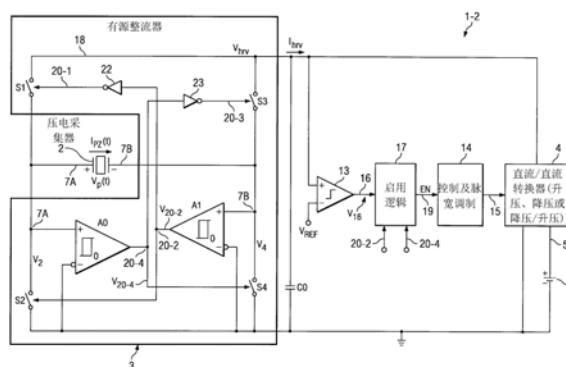
权利要求书2页 说明书8页 附图5页

### (54)发明名称

功率转换器

### (57)摘要

本发明涉及一种功率转换器。一种用于将采集的振动能量有效地传送到电池(6)的系统(1-2),其包括产生AC输出电压( $V_P(t)$ )和电流( $I_{PZ}(t)$ )的压电采集器(2)以及用以产生给电容(C0)充电的采集DC电压( $V_{hrv}$ )和电流( $I_{hrv}$ )的有源整流器(3)。当所述整流器的控制其开关(S1到S4)的比较器(A0、A1)检测到所述AC输出电流( $I_{PZ}(t)$ )的方向反转时,启用电路(17)致使DC/DC转换器(4)被启用,进而使所述电容放电到所述转换器中。当所述DC电压超出阈值( $V_{REF}$ )时,另一比较器(13)致使所述启用电路(17)停用所述转换器(4),进而致使所述电容被再充电。



1. 一种用于从耦合到振动源的压电能量采集系统接收能量的功率转换器,其包括:

(a) 有源整流器,其接收表示从所述振动源采集的能量的输出电压和输出电流,所述输出电压和所述输出电流由压电采集器产生,并且包括串联耦合在采集器输出导体与第一参考电压之间的第一和第二开关、串联耦合在所述采集器输出导体与所述第一参考电压之间的第三和第四开关、用于控制所述第三和第四开关的第一比较器以及用于控制所述第一和第二开关的第二比较器,所述压电采集器的第一端子耦合到所述第一和第二开关与所述第一比较器的第一输入之间的结,且所述压电采集器的第二端子耦合到所述第三和第四开关与所述第二比较器的第一输入之间的结,其中所述第一和第二比较器控制所述输出电流的整流以给耦合在所述采集器输出导体与所述第一参考电压之间的电容充电,且其中所述第一和第二比较器还产生指示所述输出电流的方向反转的输出信号;

(b) DC/DC转换器,其具有耦合到所述采集器输出导体的第一输入、耦合到所述第一参考电压的第二输入以及用于向电池供应电流的输出,所述DC/DC转换器包括耦合到所述采集器输出导体的电感器、耦合到所述电感器的第五开关以及耦合到所述电感器的整流装置;

(c) 第三比较器,其用于将所述采集器输出导体上的电压与第二参考电压进行比较以确定何时停止所述电容放电到所述电感器中;及

(d) 启用电路,其分别耦合到所述第一和第二比较器的输出,用于起始所述电容放电到所述电感器中且致使所述第五开关响应于每一次方向反转进行切换操作以引导所述电感器中的电流进入所述电池中,以便实质上消除用于给所述压电采集器的所述电容再充电的电力的浪费,其中所述启用电路作为状态机来操作,所述状态机具有:第一状态,其中由所述启用电路产生的启用信号处于逻辑“1”电平以启用所述DC/DC转换器;及第二状态,其中所述启用信号处于逻辑“0”电平以停用所述DC/DC转换器,其中所述启用电路响应于所述第三比较器的输出从“1”电平变化到“0”电平而从所述第一状态切换到所述第二状态,且其中所述启用电路响应于所述第一比较器的所述输出从“1”电平变化到“0”电平或所述第二比较器的所述输出从“1”电平变化到“0”电平而从所述第二状态切换到所述第一状态。

2. 根据权利要求1所述的功率转换器,其包括耦合在所述启用电路的输出与所述第五开关的控制端子之间的脉宽调制电路。

3. 根据权利要求1所述的功率转换器,其中所述第一和第二比较器中的每一者具有耦合到所述第一参考电压的第二输入。

4. 根据权利要求1所述的功率转换器,其中所述第二参考电压大于所述第一参考电压。

5. 根据权利要求1所述的功率转换器,其中所述振动源的频率小于约2kHz。

6. 根据权利要求2所述的功率转换器,其中所述脉宽调制电路致使所述第五开关以多个兆赫的频率进行切换。

7. 根据权利要求6所述的功率转换器,其中当所述启用电路的所述输出处于“1”电平时,所述脉宽调制电路致使所述第五开关以多个兆赫的频率进行切换,且其中当所述启用电路的所述输出处于“0”电平时,所述脉宽调制电路保持所述第五开关断开。

8. 根据权利要求7所述的功率转换器,其中所述DC/DC转换器在小于约100微秒的时间间隔期间被启用。

9. 根据权利要求1所述的功率转换器,其中所述整流装置为同步整流器。

10. 根据权利要求1所述的功率转换器,其中所述DC/DC转换器包括升压转换器、降压转换器或降压-升压转换器。

11. 根据权利要求1所述的功率转换器,其中当所述输出电流在第一方向上流动时,所述第一比较器响应于所述输出电流的量值降到预定低值以下而从“1”状态切换到“0”状态,且其中当所述输出电流在第二方向上流动时,所述第二比较器响应于所述输出电流的量值降到所述预定低值以下而从“1”状态切换到“0”状态。

12. 一种用于将采集的振动能量有效地传送给能量存储装置的功率转换器,其包括:

(a) 有源整流器,其可耦合到AC输出电压和AC输出电流用于整流所述AC输出电压和AC输出电流以产生采集的DC输出电压和采集的DC输出电流;

(b) DC/DC转换器,其用于将所述采集的DC输出电流传导到电容中以给所述电容充电直到所述采集的DC输出电压达到所述AC输出电流的方向反转所处的电平为止;

(c) 比较器,其用于检测所述方向反转;

(d) 启用电路,其用于响应于所述检测而启用所述DC/DC转换器以致使所述电容响应于所述方向反转而放电到所述DC/DC转换器的电感器中;及

(e) 停用电路,其用于响应于所述采集的DC输出电压与参考电压的比较而停用所述DC/DC转换器,其中所述采集的DC输出电压小于所述参考电压,

其中用于检测反转的所述比较器包括用于比较采集器所生成的电压与参考电压以确定何时停止所述电容对电感器放电的比较器。

## 功率转换器

[0001] 本申请是申请日为2010年3月19日,发明名称为“用于从压电振动采集器提取最大电力的转换器及方法”,申请号为201080065534.2的发明专利申请的分案申请。

### 技术领域

[0002] 本发明大体上涉及电力从压电振动采集器到DC/DC转换器的有效传送,且更特定来说,涉及一种用于从压电采集器有效地接收大量的电力的经改进DC/DC转换器电路。

### 背景技术

[0003] 近来,已开发出需要极低量的操作电流的各种极低功率的集成电路(通常称为“纳米功率”集成电路),其可由借助于微能量采集装置从周围的太阳能、振动能源、热能源及/或生物能源搜集或采集的非常少量的电力来供电。所采集的电力接着通常被存储在电池或超级电容器中。(如本文中所使用的术语“纳米功率”意在涵盖汲取小于约1微安的DC电流的电路及/或电路组件。)

[0004] 图1A展示能量采集系统1-1,其包括常规的压电采集器2、有源整流器电路3及用于给电池或超级电容器6及/或负载(未图示)充电的DC/DC转换器4,所述DC/DC转换器4包括开关控制及PWM(脉宽调制)电路9。整流器电路3包括四个开关S1到S4、两个比较器A0和A1以及两个反相器22和23。有源整流器电路3在导体18上产生采集电压 $V_{hrv}$ ,所述采集电压 $V_{hrv}$ 被施加到DC/DC转换器4的开关控制和PWM电路9的输入。DC/DC转换器4产生输出电压和输出电流,其由导体5供应到电池6。比较器A1的(+)输入控制开关S1和S2的控制端子,且比较器A0的(+)输入控制开关S3和S4的控制端子。如图1B中所指示,可将采集器2模型化为正弦电流源、内部电容 $C_{PIEZO}$ 及内部电阻 $R_{PIEZO}$ 的并联连接。

[0005] 任选的滤波电容器C0可连接在导体18与接地之间。压电能量采集器总有输出电容 $C_{PIEZO}$ ,其不一定比C0小,这要视所使用的采集器的牌子或种类而定。通常,图1A中的DC/DC转换器4的将能量从导体18传送到电池6的效率是80%到90%。

[0006] 参考图2,波形表示跨越压电采集器2的实际电压 $V_P(t)$ 。 $+V_{hrv}$ 和 $-V_{hrv}$ 为DC/DC转换器的阈值电压,其可由最大功率点跟踪(MPPT)电路(未图示)来确定。对于小于 $+V_{hrv}$ 的 $V_{hrv}$ 值来说,DC/DC转换器4处于不转换 $V_{hrv}$ 的“关闭”状态,且振动能量由于采集器输出电容 $C_{PIEZO}$ 的再充电而被浪费。

[0007] 对于介于 $+V_{hrv}$ 和 $-V_{hrv}$ 之间的采集器输出电压 $V_P(t)$ 值来说,由压电采集器2产生的能量被电容 $C_{PIEZO}$ 的充电和放电浪费。(注意,电容器C0连接到整流器3的输出并因此不被压电采集器2充电和放电。)所述能量在图2中所展示的 $V_P(t)$ 波形的转变B的时间 $t_0$ 与 $t_2$ 之间的时间间隔期间被损耗。在有源整流器3的输入处的电压电平 $+V_{hrv}$ 和 $-V_{hrv}$ 期间,振动能量给 $C_{PIEZO}$ 再充电,但是所述能量无法被DC/DC转换器4收集并因此被浪费。具有图1A中所展示的结构压电采集器能够实际上收集从压电采集器2可得的能量的不到1/3。参看由E·李菲佛(E.Lefeuvre)、A·巴戴尔(A.Badel)、C·理查德(C.Richard)、L·贝蒂(L.Petit)及D·纪尧玛(D.Guyomar)所著的文章“用于单机系统的几台由振动供电的压电发电机之间的比

较(A Comparison Between Several Vibration-Powered Piezo Electric Generators for Stand-Alone Systems)”(2005年,科学指导-传感器与致动器(Science Direct, Sensors and Actuators)A 126(d006)405-416,可在www.sciencedirect.com网站上找到);尤其参看图6和7。

[0008] 在能量可进入采集器输出电容 $C_{PIEZO}$ 和滤波器电容 $C_0$ 之前,跨越压电采集器2的电压 $V_P(t)$ 应达到DC/DC转换器4的输入阈值 $+V_{hrv}$ 。在当前振动半循环结束及下一个振动半循环开始时,包括 $C_{PIEZO}$ 在内的总采集器输出电容必须被再充电达到 $-V_{hrv}$ 。此再充电能量(即,随后提到的 $CV^2$ 能量)是由机械振动源及接收所述振动的压电采集器2供应的,但所述再充电能量在每个振动循环中都被浪费。

[0009] 一般来说,为了最大化从压电采集器2到DC/DC转换器4中的能量传送,压电采集器2的等效输出阻抗应该与DC/DC转换器4的输入阻抗匹配。DC/DC转换器4的输入阻抗等于

[0010]  $Z_{IN} \sim V_{hrv} / I_{L0(average)}$ ,

[0011] 其中 $I_{L0(average)}$ 为通过DC/DC转换器4的电感器 $L_0$ 的平均电流。这意味着 $V_{hrv}$ 的振幅应与振动振幅成比例,且因此无法通过选择较小 $V_{hrv}$ 而使来自收集的能量的浪费量最小化(因为所浪费的能量的量 $CV^2/2$ 是与跨越电容的电压的平方成比例的)。

[0012] 为了避免在将其总输出电容 $C_{PIEZO}$ 从 $+V_{hrv}$ 切换到 $-V_{hrv}$ 时必须浪费来自压电采集器2的 $CV^2$ 能量,可使用一项已知技术来增加从压电采集器所收集的能量的量。此项技术是跨越压电采集器2连接开关并且简单地使其在图2中的时间 $t_0$ 处短路直到电压 $V_P(t)$ 穿过零为止。此项与耗散可收集的能量相违背的技术可改进电池6的充电量,因为来自压电采集器2的所浪费的能量的量降低了1/2。这避免了需要浪费 $CV^2$ 能量来给 $C_{PIEZO}$ 再充电。另外,使用与前述开关串联的大型电感器可进一步增强从压电采集器到电池的电力传送的效率。

[0013] 因此,有一个未满足的需要:一种用于从压电能量采集器提取最大量的电力的经改进电路和方法。

[0014] 还有一个未满足的需要:一种避免在现有压电能量采集系统中浪费大量电力的压电能量采集系统的经改进实施方案。

[0015] 还有一个未满足的需要:一种用于在不使用额外开关及/或电感器的情况下增加压电能量采集系统的效率的电路和方法的经改进实施方案。

## 发明内容

[0016] 本发明的一个目的是提供一种避免在现有压电能量采集系统中浪费大量电力的压电能量采集系统的经改进实施方案。

[0017] 本发明的另一目的是提供一种用于在不使用额外开关及/或电感器的情况下增加压电能量采集系统的效率的电路和方法的经改进实施方案。

[0018] 简要地描述,且根据一个实施例,本发明提供一种用于将采集的振动能量有效地传送到电池(6)的系统(1-2)。所述系统包括产生AC输出电压( $V_P(t)$ )及电流( $I_{PZ}(t)$ )的压电采集器(2)及用以产生给电容( $C_0$ )充电的采集DC电压( $V_{hrv}$ )及电流( $I_{hrv}$ )的有源整流器(3)。当整流器的控制整流器的开关( $S_1$ 到 $S_4$ )的比较器( $A_0$ 、 $A_1$ )检测到AC输出电流( $I_{PZ}(t)$ )的方向反转时,启用电路(17)致使DC/DC转换器(4)被启用,进而使电容放电到转换器中。当DC电压超出阈值( $V_{REF}$ )时,另一比较器(13)致使启用电路(17)停用转换器(4),进而致使电容被

再充电。

[0019] 在一个实施例中,本发明提供一种耦合到振动源的压电能量采集系统(1-2)。压电能量采集系统(1-2)包括用于产生表示从振动源所采集的能量的输出电压( $V_P(t)$ )及输出电流( $I_{PZ}(t)$ )的压电采集器(2)。有源整流器(3)包括串联耦合在采集器输出导体(18)与第一参考电压(GND)之间的第一(S1)及第二(S2)开关以及串联耦合在采集器输出导体(18)与第一参考电压(GND)之间的第三(S3)及第四(S4)开关。第一比较器(A0)控制第三(S3)和第四(S4)开关,且第二比较器(A1)控制第一(S1)和第二(S2)开关。压电采集器(2)的第一端子(7A)耦合到第一(S1)及第二(S2)开关与第一(A0)比较器的第一输入(+)之间的结,且压电采集器(2)的第二端子(7B)耦合到第三(S3)及第四(S4)开关与第二(A1)比较器的第一输入(+)之间的结。第一(A0)及第二(A1)比较器控制采集器输出电流( $I_{PZ}(t)$ )的整流以给耦合在采集器输出导体(18)与第一参考电压(GND)之间的电容(C0)充电。第一(A0)及第二(A1)比较器还产生输出信号(20-4、20-2),其指示压电采集器(2)的输出电流( $I_{PZ}(t)$ )的方向反转。DC/DC转换器(4)具有耦合到采集器输出导体(18)的第一输入、耦合到第一参考电压(GND)的第二输入及用于向电池(6)供应电流的输出(5)。DC/DC转换器(4)包括耦合到采集器输出导体(18)的电感器(L0)、耦合到电感器(L0)的第五开关(S0)及耦合到电感器(L0)的整流装置(D)。第三比较器(13)将采集器输出导体(18)上的电压( $V_{hrv}$ )与第二参考电压( $V_{REF}$ )进行比较以确定何时停止电容(C0)放电到电感器(L0)中。启用电路(17)分别耦合到第一(A0)和第二(A1)比较器的输出(20-4、20-2),用于起始电容(C0)放电到电感器(L0)中且致使第五开关(S0)响应于每一次方向反转进行切换操作以引导电感器(L0)中的电流进入电池(6)中,以便大体上消除用于给压电采集器(2)的电容( $C_{PIEZO}$ )再充电的 $CV^2$ 能量的浪费。启用电路(17)作为状态机(图5)来操作,其具有:第一状态(A),其中由启用电路(17)产生的启用信号(EN)处于逻辑“1”电平以启用DC/DC转换器(4);及第二状态(B),其中启用信号(EN)处于逻辑“0”电平以停用DC/DC转换器(4)。启用逻辑电路(17)响应于第三比较器(13)的输出( $V_{16}$ )从“1”电平变化到“0”电平而从第一状态(A)切换到第二状态(B)。启用逻辑电路(17)响应于第一比较器(A0)的输出( $V_{20-4}$ )从“1”电平变化到“0”电平或第二比较器(A1)的输出( $V_{20-2}$ )从“1”电平变化到“0”电平而从第二状态(B)切换到第一状态(A)。在描述的实施例中,整流装置(D)为同步整流器。DC/DC转换器(4)可为升压转换器、降压转换器或降压-升压转换器。

[0020] 在一个实施例中,PWM(脉宽调制)电路(14)耦合在启用电路(17)的输出(EN)与第五开关(S0)的控制端子之间。在一个实施例中,第一(A0)及第二(A1)比较器中的每一者具有耦合到第一参考电压(GND)的第二输入(-)。在一个实施例中,当启用电路(17)的输出(EN)处于“1”电平时,PWM电路(14)致使第五开关(S0)以若干兆赫的频率进行切换,且当启用电路(17)的输出(EN)处于“0”电平时,PWM电路(14)还保持第五开关(S0)断开。在描述的实施例中,DC/DC转换器(4)被启用达小于约100微秒的时间间隔( $t_1$ 到 $t_0$ 或 $t_3$ 到 $t_2$ )。

[0021] 在描述的实施例中,当输出电流( $I_{PZ}(t)$ )在第一方向上流动时,第一比较器(A0)响应于输出电流( $I_{PZ}(t)$ )的量值降到预定低值以下而从“1”状态切换到“0”状态,且其中当输出电流( $I_{PZ}(t)$ )在第二方向上流动时,第二比较器(A1)响应于输出电流( $I_{PZ}(t)$ )的量值降到预定低值以下而从“1”状态切换到“0”状态。

[0022] 在一个实施例中,本发明提供一种用于将采集的振动能量有效地传送到电池(6)

的方法,其包括:将所述振动能量耦合到压电采集器(2),进而致使压电采集器(2)产生AC输出电压( $V_P(t)$ )及AC输出电流( $I_{PZ}(t)$ ),这两者共同构成采集的振动能量;将AC输出电压( $V_P(t)$ )及AC输出电流( $I_{PZ}(t)$ )耦合到有源整流器(3)且对AC输出电压( $V_P(t)$ )及AC输出电流( $I_{PZ}(t)$ )进行整流以产生采集的DC输出电压( $V_{hrv}$ )及采集的DC输出电流( $I_{hrv}$ );将采集的DC输出电流( $I_{hrv}$ )传导到电容(C0)中以给电容(C0)充电,直到采集的DC输出电压( $V_{hrv}$ )达到AC输出电流( $I_{PZ}(t)$ )的方向反转所处的电平为止;借助于有源整流器(3)中的比较器(A0、A1)检测方向反转;响应于所述检测而启用DC/DC转换器(4)以致使电容(C0)响应于每一次方向反转而放电到DC/DC转换器(4)的电感器(L0)中;响应于采集的DC输出电压( $V_{hrv}$ )与参考电压( $V_{REF}$ )的比较而停用DC/DC转换器(4)以停止电容(C0)放电并致使给其再充电,其中采集的DC输出电压( $V_{hrv}$ )小于参考电压( $V_{REF}$ );以及通过操作DC/DC转换器(4)的开关(S0)而启用DC/DC转换器(4)以致使电感器(L0)中的所得电流流进电池(6)中,所述启用包括通过操作状态机(17,图5)而产生启用信号(EN),所述状态机具有:第一状态(A),其中启用信号(EN)处于逻辑“1”电平以启用DC/DC转换器(4);以及第二状态(B),其中启用信号(EN)处于逻辑“0”电平以停用DC/DC转换器(4),其中状态机(17)响应于由执行所述比较的比较器(13)所产生的输出( $V_{16}$ )从“1”电平变化到“0”电平而从第一状态(A)切换到第二状态(B),且其中启用逻辑电路(17)响应于方向反转的检测而从第二状态(B)切换到第一状态(A)。

[0023] 在一个实施例中,所述启用包括当启用信号(EN)处于“1”电平时,操作PWM(脉宽调制)电路(14)以致使连接到DC/DC转换器(4)中的电感器(L0)的开关(S0)以若干兆赫的频率进行切换,且其中当启用信号(EN)处于“0”电平时,PWM电路(14)保持开关(S0)断开。

[0024] 在一个实施例中,所述方法提供一种用于将采集的振动能量有效地传送到电池(6)的系统(1-2),其包括:用于接收振动能量并产生AC输出电压( $V_P(t)$ )和AC输出电流( $I_{PZ}(t)$ )的压电采集器构件(2),其中所述AC输出电压( $V_P(t)$ )和AC输出电流( $I_{PZ}(t)$ )共同构成采集的振动能量;用于将AC输出电压( $V_P(t)$ )和AC输出电流( $I_{PZ}(t)$ )耦合到有源整流器构件(3)以用于对AC输出电压( $V_P(t)$ )和AC输出电流( $I_{PZ}(t)$ )进行整流以产生采集的DC输出电压( $V_{hrv}$ )和采集的DC输出电流( $I_{hrv}$ )的构件(18);用于将采集的DC输出电流( $I_{hrv}$ )传导到电容(C0)中以给电容(C0)充电直到采集的DC输出电压( $V_{hrv}$ )达到AC输出电流( $I_{PZ}(t)$ )的方向反转所处的电平为止的构件(18);用于检测方向反转的构件(A0、A1);用于响应于所述检测而启用DC/DC转换器(4)以致使电容(C0)响应于每一次方向反转而放电到DC/DC转换器(4)的电感器(L0)中的构件(17);以及用于响应于采集的DC输出电压( $V_{hrv}$ )与参考电压( $V_{REF}$ )的比较而停用DC/DC转换器(4)的构件(13、17),其中采集的DC输出电压( $V_{hrv}$ )小于参考电压( $V_{REF}$ )。

## 附图说明

[0025] 参考附图描述实例实施例,其中:

[0026] 图1A为包含压电采集器及经布置以给电池充电的DC/DC转换器的现有技术能量采集系统的示意图。

[0027] 图1B展示图1A中的压电采集器2的模型。

[0028] 图2为在解释图1A的能量采集系统中的能量浪费时为有用的曲线图。

[0029] 图3A为本发明的压电能量采集器系统的示意图。

- [0030] 图3B为图3A中的DC/DC转换器4的一个基本实施方案的示意图。
- [0031] 图3C为图3A中的DC/DC转换器4的另一个基本实施方案的示意图。
- [0032] 图4为在解释图3的压电能量采集器系统的操作时为有用的曲线图。
- [0033] 图5为用于图3A的框17中的启用逻辑的状态图。

### 具体实施方式

[0034] 图3A展示能量采集系统1-2,其包括常规压电采集器2、有源整流器电路3、比较器13、启用逻辑电路17、开关控制及PWM(脉宽调制)电路14以及用于给电池或超级电容器6及/或负载(未图示)充电的DC/DC转换器4。如在现有技术图1B中所指示,可将压电采集器2模型化为正弦电流源、内部电容 $C_{PIEZO}$ 及内部电阻 $R_{PIEZO}$ 的并联连接。整流器电路3包括四个开关S1到S4、两个比较器A0和A1以及两个反相器22和23。压电采集器2接收机械振动能量或类似的能量并将其转换为跨越压电采集器2的采集AC电压 $V_P(t)$ 及在其端子7A和7B中的采集AC电流 $I_{PZ}(t)$ 。滤波电容器C0可连接在导体18与接地(即, $V_{SS}$ )之间。

[0035] 在有源整流器3中,开关S1的第一端子连接到导体18,在导体18上产生有源整流器的输出 $V_{hrv}$ 。开关S1的第二端子通过压电采集器2的(+)端子7A连接到开关S2的第一端子,开关S2的第二端子连接到接地。类似地,开关S3的第一端子连接到导体18。开关S3的第二端子通过压电采集器2的(-)端子7B连接到开关S4的第一端子,开关S4的第二端子连接到接地。反相器22使其输出20-1连接到开关S1的控制端子。反相器22的输入通过导体20-2连接到开关S2的控制端子及比较器A1的输出,比较器A1使其反相输入连接到接地。比较器A1的非反相输入连接到压电采集器端子7B。反相器23使其输出通过导体20-3连接到开关S3的控制端子。反相器23的输入通过导体20-4连接到开关S4的控制端子和比较器A0的输出。比较器A0的反相输入连接到接地,且其非反相输入连接到压电采集器端子7A。因此,有源整流器3的开关控制电路包括比较器A0和A1及反相器22和23。

[0036] 有源整流器3的输出导体18连接到DC/DC转换器4的高侧电压输入端子,DC/DC转换器4的输出5连接到电池6。DC/DC转换器4的低侧电压输入连接到接地。导体18还连接到比较器电路13的(+)输入。有源整流器3在导体18中产生采集的DC输出电流 $I_{hrv}$ 且在导体18上产生采集的DC输出电压 $V_{hrv}$ 。比较器电路13的(-)输入连接到参考电压 $V_{REF}$ ,其可为零或某其它电压。DC/DC转换器4可为如图3B中所展示的升压转换器、如图3C中所展示的降压转换器或降压/升压转换器(未图示)。DC/DC转换器4的目前优选实施例为升压转换器,但预期将来的实施方案将包括降压-升压转换器。

[0037] 图3B展示升压转换器4-1的简化示意图,其中导体18连接到电感器L0的一个端子,电感器L0的另一端子通过导体12连接到开关S0的一个端子和由二极管D表示的同步整流器电路的阳极。电感器L0通常具有10到40微亨的电感。二极管D的阳极通过导体5连接到电池6。开关S0的另一端子连接到接地。开关S0的控制端子连接到图3A中的控制及PWM电路14的输出15。

[0038] 或者,DC/DC转换器4可借助于降压转换器4-2来实施,其简化示意图在图3C中展示,其中导体18连接到开关S0的一个端子。开关S0的另一端子通过导体12连接到电感器L0的一个端子和由二极管D表示的同步整流器电路的阴极。二极管D的另一端子连接到接地。电感器L0的另一端子通过导体5连接到电池6。二极管D的另一端子连接到接地。开关S0的控



制端子连接到图3A中的控制及PWM电路14的输出15。(请注意,如果 $V_{hrv}$ 可高于电池电压,那么应使用降压-升压转换器。)

[0039] 再次参考图3A,比较器电路13的输出16连接到启用逻辑电路17的一个输入。(启用逻辑电路17的电路的状态图展示于图5中,下文描述。)启用逻辑电路17的另外两个输入分别连接到比较器A1的输出20-2及比较器A0的输出20-4。启用逻辑电路17执行若干功能,包括移除/减少分别与导体16、20-2及20-4上的信号 $V_{16}$ 、 $V_{20-2}$ 及 $V_{20-4}$ 相关联的低频瞬态干扰,以及根据图5中所展示的状态图而在导体19上产生启用信号EN。

[0040] 参考图5,图3A中的启用逻辑电路17的状态图包括第一状态“A”,其中在导体19上所产生的启用信号EN处于逻辑“1”电平以启用DC/DC转换器4。启用逻辑电路17还具有第二状态“B”,其中启用信号EN处于逻辑“0”电平。当启用逻辑电路17处于状态“A”且满足条件“C”时,即,当导体16上的比较器输出 $V_{16}$ 从“1”电平变化到“0”电平时,那么逻辑电路17从其中EN为“1”的状态“A”切换到其中EN为“0”的状态“B”,从而致使DC/DC转换器4被停用。当启用逻辑电路17处于状态“B”且满足条件“D”时,即,如果比较器A1的输出 $V_{20-2}$ 从“1”电平变化到“0”电平或比较器A0的输出 $V_{20-4}$ 从“1”电平变化到“0”电平,那么启用逻辑电路17从状态“B”切换到状态“A”,从而致使DC/DC转换器4被启用。

[0041] 可通过将图5的简单状态图实施为简单状态机而容易地提供启用逻辑电路17。举例来说,可使用边缘触发式触发器和一些相关联的逻辑电路来实施状态机。

[0042] 再次参考图3A,启用逻辑电路17在导体19上产生转换器启用信号EN,导体19连接到控制及PWM电路14的输入。控制及PWM电路14执行控制DC/DC转换器开关以便确定并限制电感器L0中的电流的功能。控制及PWM电路14的输出15耦合到控制DC/DC转换器4的电感器L0中的电流流动的开关S0(在图3B或图3C中展示)的栅极。

[0043] 在操作中,图3A中的比较器A1的(+)输入上的逻辑电平控制开关S1和S2的控制端子,且比较器A0的(+)输入上的逻辑电平控制开关S3和S4的控制端子。当压电采集器电流 $I_{PZ}(t)$ 的量值达到最大值或最小值时,比较器A0和A1切换状态,且图4中的 $V_P(t)$ 波形的片段A展示当开关S1和S4闭合且另外两个开关S2和S3断开时随着 $I_{PZ}(t)$ 流经开关S1且相对较慢地给电容器C0充电时 $V_P(t)$ 如何下降。

[0044] 当 $I_{PZ}(t)$ 的方向在时间 $t_0$ 处反转时, $V_P(t)$ 波形的片段B展示电容器C0如何相对较快地放电到电感器L0中(例如,如图3B或3C中所展示)。DC/DC转换器4在时间 $t_0$ 处被启用且引导电感器电流进入输出导体5以给电池6充电。当C0放电到0伏特时,DC/DC转换器4被停用。

[0045] 类似地,当 $I_{PZ}(t)$ 的方向在充电片段C结束处的时间 $t_2$ 处反转时, $V_P(t)$ 波形的片段D展示电容器C0如何相对较快地放电到电感器L0中。DC/DC转换器4在时间 $t_2$ 处被启用且引导电感器电流进入输出导体5中以给电池6充电。当C0放电到0伏特时,DC/DC转换器4被停用。

[0046] 图3A的有源整流器3中的包括比较器A0和A1的开关控制电路确定开关S1到S4的操作以便每当在当前振动循环的正和负相位期间给C0和 $C_{PIEZO}$ 充电时压电采集器电流 $I_{PZ}(t)$ 的量值降到零时控制对采集的AC信号 $I_{PZ}(t)$ 的同步整流。比较器A0将开关S4断开并将开关S3接通(或比较器A1将开关S2断开并将开关S1接通),且分给压电采集器2的振动能量连同压电采集器2和有源整流器3继续产生的任意量的电流 $I_{hrv}$ 被传导到电感器L0并存储在电感

器L0中(例如,如在图3B或3C中)。根据DC/DC转换器4的正常操作,存储在电感器L0中的电流被引导到电池6中。如果 $V_{hrv}$ 降到 $V_{REF}$ 以下,那么比较器13致使DC/DC转换器4被停用。只要足够强的振动继续,前述过程就继续。

[0047] 启用DC/DC转换器4是允许S0按照正常的DC/DC转换操作所需而操作。停用DC/DC转换器4只是将连接到电感器L0的开关S0保持处于其断开状态。

[0048] 因此,图3A中的DC/DC转换器4是通过感测压电采集器2中的电流 $I_{PZ}(t)$ 的方向来控制,其涉及确定输出 $V_{20-2}$ 或 $V_{20-4}$ 中的任一者何时达到“0”电平。当来自压电采集器2的电压 $V_P(t)$ 达到其峰值时,压电采集器电流 $I_{PZ}(t)$ 反转方向。

[0049] 有利地,所有正由压电采集器2所产生的电流 $I_{PZ}(t)$ 都被用以给电容C0和 $C_{PIEZO}$ 再充电,且相比于现有技术图1A的采集系统而言,其基本上都没有被浪费。在其中DC/DC转换器4保持启用的短时间间隔期间(即,图3中的时间 $t_0$ 到 $t_1$ ),所有正由压电采集器2所产生的电流及基本上所有目前存储在电容器C0和 $C_{PIEZO}$ 中的电荷被快速地放电到DC/DC转换器4的电感器L0中。同时,根据DC/DC转换器4的正常操作,当DC/DC转换器4保持启用时,存储在DC/DC转换器4的电感器L0中的能量被引导到电池6中。振动频率通常低于约2kHz,且由控制及PWM电路14所确立的DC/DC转换器4的切换频率通常为若干兆赫。

[0050] 通过分析图1A及3A中所展示的压电采集系统以及图2及4中所展示的相关联波形,可容易地展示:图3A中所展示的压电采集系统1-2使压电能量采集的效率比现有技术图1A中的压电采集系统1-1增加约3倍。

[0051] 参考图4中的波形,视压电采集器2的电压的极性而定,通过在片段A或片段C期间经由有源整流器3的输出导体18而给电容C0和 $C_{PIEZO}$ 再充电,导体18上的采集器输出电压 $V_P(t)$ 增加,直到其达到最大值或最小值为止。此时,DC/DC转换器4被由启用逻辑电路17所产生的启用信号EN有效地启用,这在时间 $t_0$ 处开始并持续到 $V_P(t)$ 等于 $V_{REF}$ (其可为零)的时间 $t_1$ ,如果振动移位足以致使 $V_{hrv}$ 超过 $V_{REF}$ ,那么当C0和 $C_{PIEZO}$ 被完全放电到电感器L0中时发生为零的情况。随着充满电的电容C0和 $C_{PIEZO}$ 正被放电到电感器L0中,根据控制及PWM电路14的普通切换程序,存储在电感器L0中的所得电流被传送到电池6中。

[0052] 具体地说,在图4中的 $V_P(t)$ 波形的“充电片段”A期间,有源整流器3被有效地从停用的DC/DC转换器4分离。在充电片段A期间,正由压电采集器2所产生的电流 $I_{PZ}(t)$ 为电容C0和 $C_{PIEZO}$ 充电。当随着 $I_{PZ}(t)$ 的逐渐减小的量值达到零, $V_P(t)$ 的量值达到其最大值时,DC/DC转换器4响应于EN而被启用。接着,在 $V_P(t)$ 波形的“放电片段”B期间,电容C0和 $C_{PIEZO}$ 放电到电感器L0中且控制及PWM电路14操作开关S0以便引导存储在电感器L0中的电流进入电池6中。在充电片段C及放电片段D期间的操作是类似的,但却是针对 $V_P(t)$ 的相反极性。

[0053] 当压电采集器电压 $V_P(t)$ 达到峰值量值时, $I_{PZ}(t)$ 的对应 $I_{PZ}(t)$ 电流方向反转被检测为比较器A0和A1中的一者的输出的反转。DC/DC转换器4响应于所述 $I_{PZ}(t)$ 方向反转而被立即启用。

[0054] 在振动循环期间,C0和 $C_{PIEZO}$ 并联连接,且跨越C0的电压 $V_{hrv}$ 比在相同的振动半循环期间当DC/DC转换器4被停用(即,有效地从压电采集器2分离)时跨越压电采集器2的电压 $V_P(t)$ 小C0/ $C_{PIEZO}$ 倍。如果DC/DC转换器4借助于图3B中的升压转换器4-1来实施,那么 $V_{hrv}$ 被电池6的3到4伏特电压限制,所述电池6通过电感器L0有效地短接到导体18。(参看李菲佛(Lefeuvre)等人的上述参考)。

[0055] 当DC/DC转换器4被启用时,DC/DC转换器4开始将最大容许电流(由图4中的电流脉冲E和F所指示)传导到电感器L0中,直到C0和C<sub>PIEZ0</sub>被充分放电为止,且同时,根据控制及PWM电路14的输出,电感器L0中的所得电流被引导到电池6中。接着,DC/DC转换器4被立即停用或有效地从V<sub>hrv</sub>分离,直到其期间C0和C<sub>PIEZ0</sub>正被压电采集器2再充电的下一个振动半循环结束为止。C0和C<sub>PIEZ0</sub>的放电时间少于约100微秒并因此相比于通常少于约若干毫秒的振动循环的持续时间来说可以忽略不计。(C0和C<sub>PIEZ0</sub>的放电时间通常比振动循环小至少100倍(其比图4中所说明的相对更短得多))。

[0056] 以上所描述的压电能量采集系统通过提供包括用于从压电采集器提取最大电力的相关联电路的新颖DC/DC转换器结构而避免图1A中所展示的现有技术的浪费大量电力的特性。这是通过使用有源整流器来完成的,所述有源整流器检测通过压电采集器的电流的方向的反转,并且只要需要在当前振动半循环中较早地传送所有由压电采集器所产生的电荷及电流就利用所述信息来仅仅启用DC/DC转换器。这在没有使用额外开关的情况下完成。

[0057] 因此,由压电采集器2所产生的振动能量被充分利用且没有浪费的消耗发生。C0在每一振动循环中充分放电。这意味着压电采集器2的输入阻抗等于 $R_{in} \sim 1/\omega C0$ 。DC/DC转换器4的输入阻抗可通过适当选择电容C0而与压电采集器2的输出阻抗相匹配。

[0058] 本文意图涵盖具有在实例实施例的上下文中所描述的特征或步骤中的一者或一者以上的不同组合的实施例,所述实例实施例具有所有此类特征或步骤或仅其中一些。所属领域的技术人员将了解,在所主张的发明的范围内,许多其它实施例和变化也是可能的。

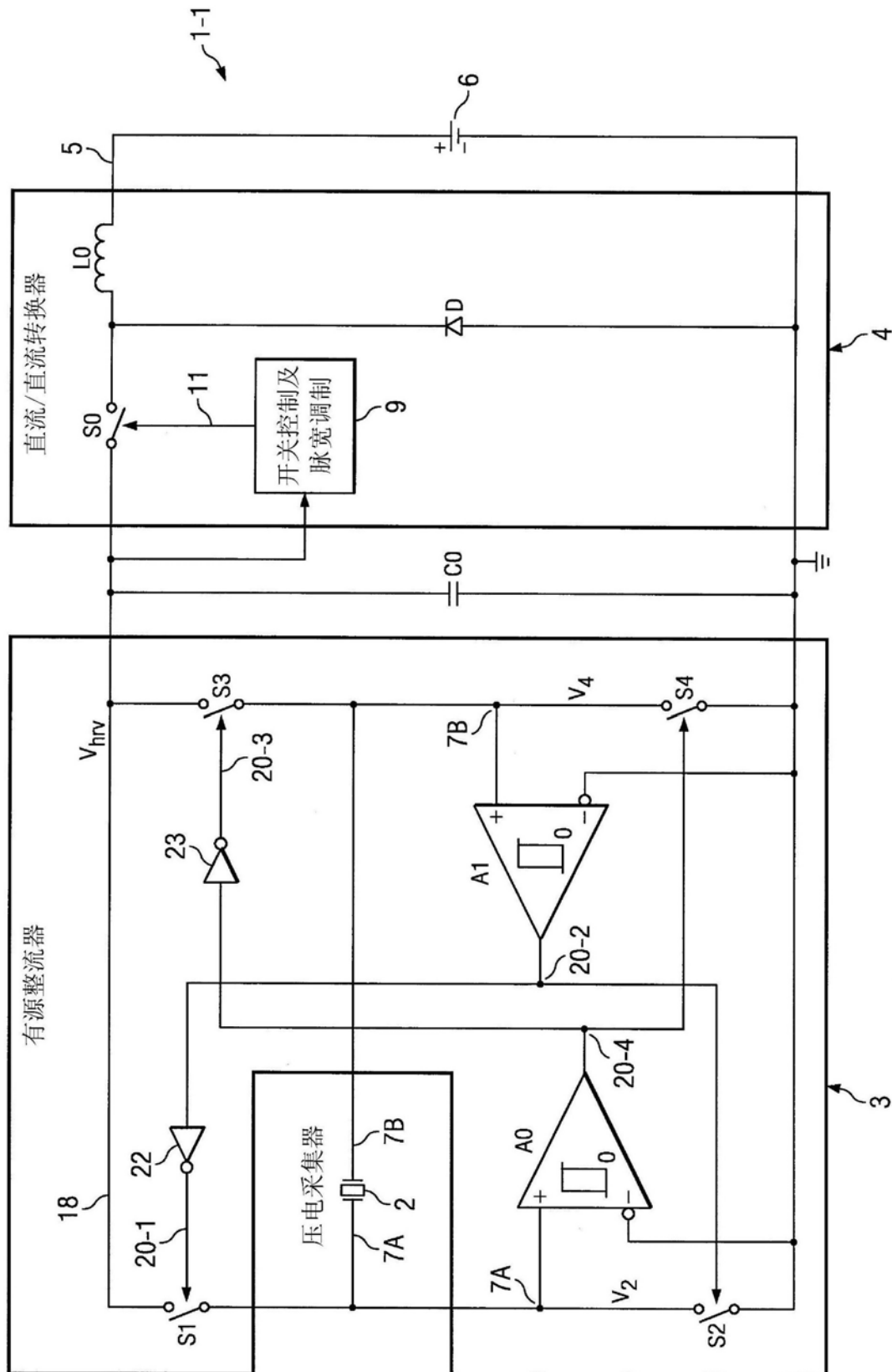


图1A  
(现有技术)

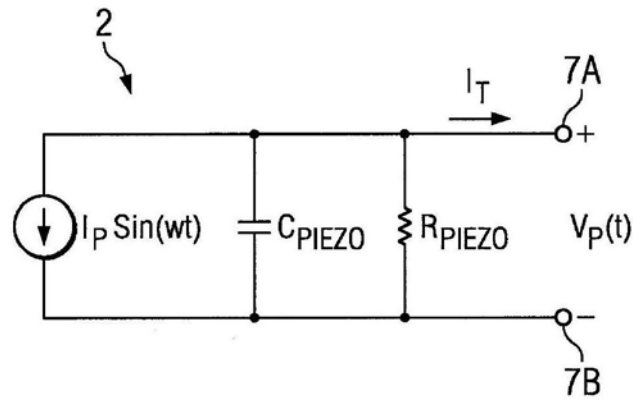


图1B

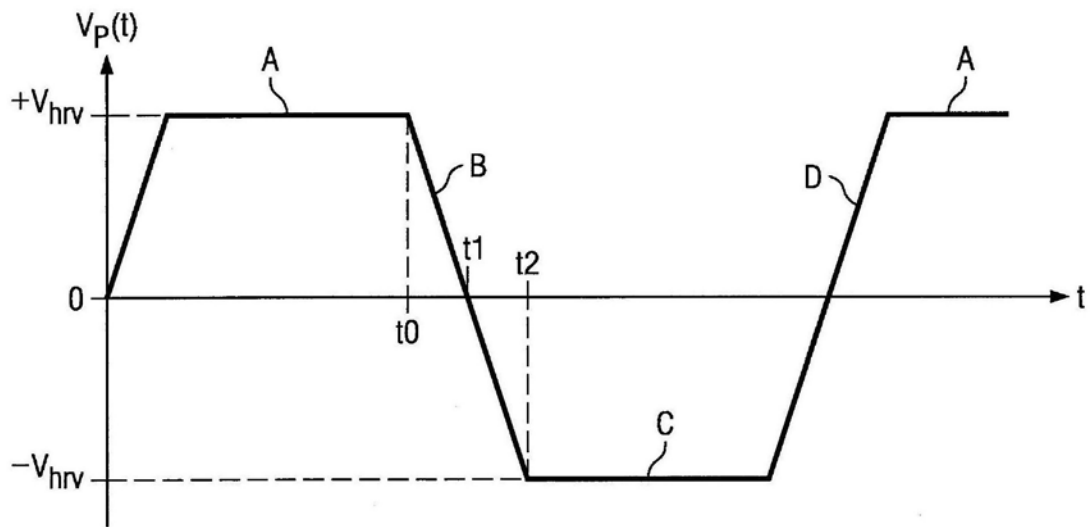
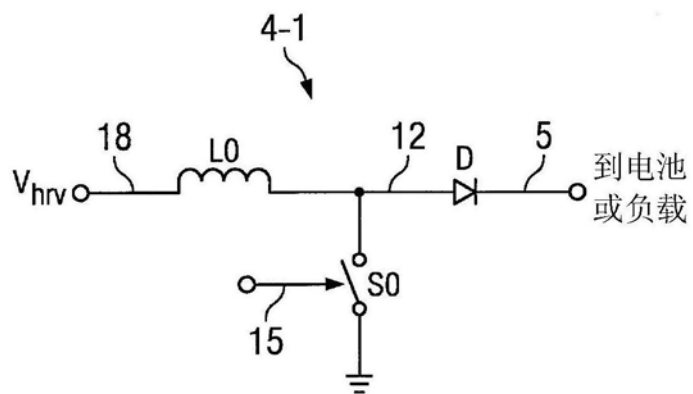
图2  
(现有技术)

图3B

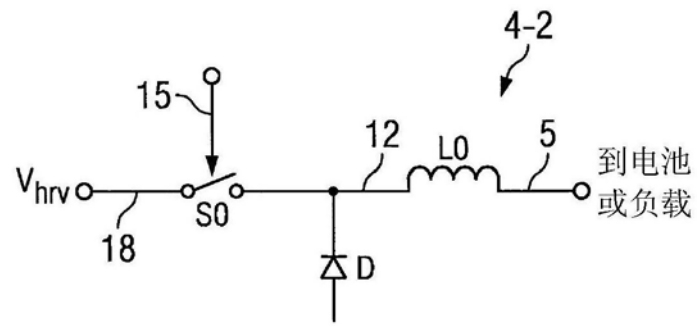


图3C

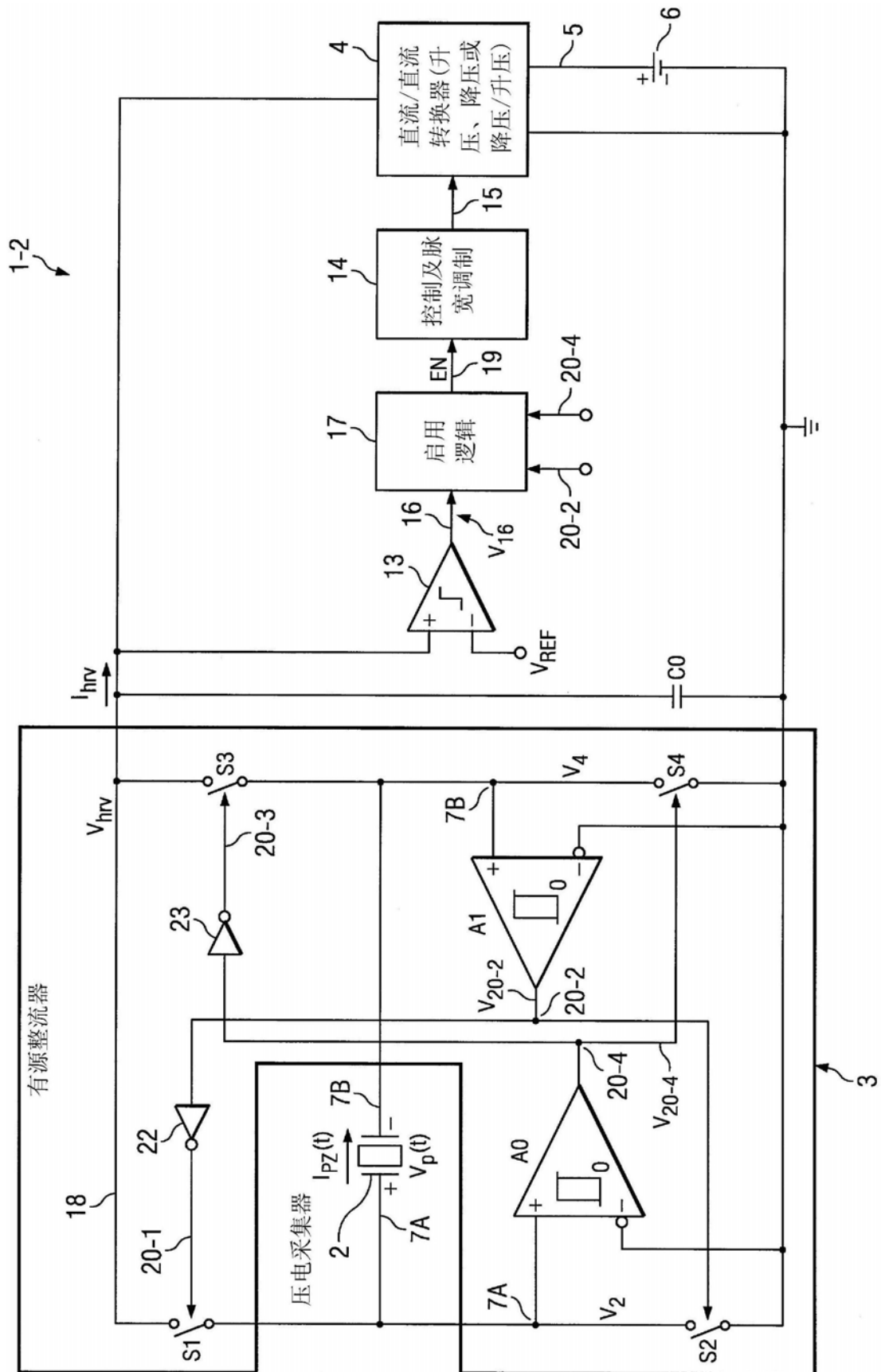


图3A

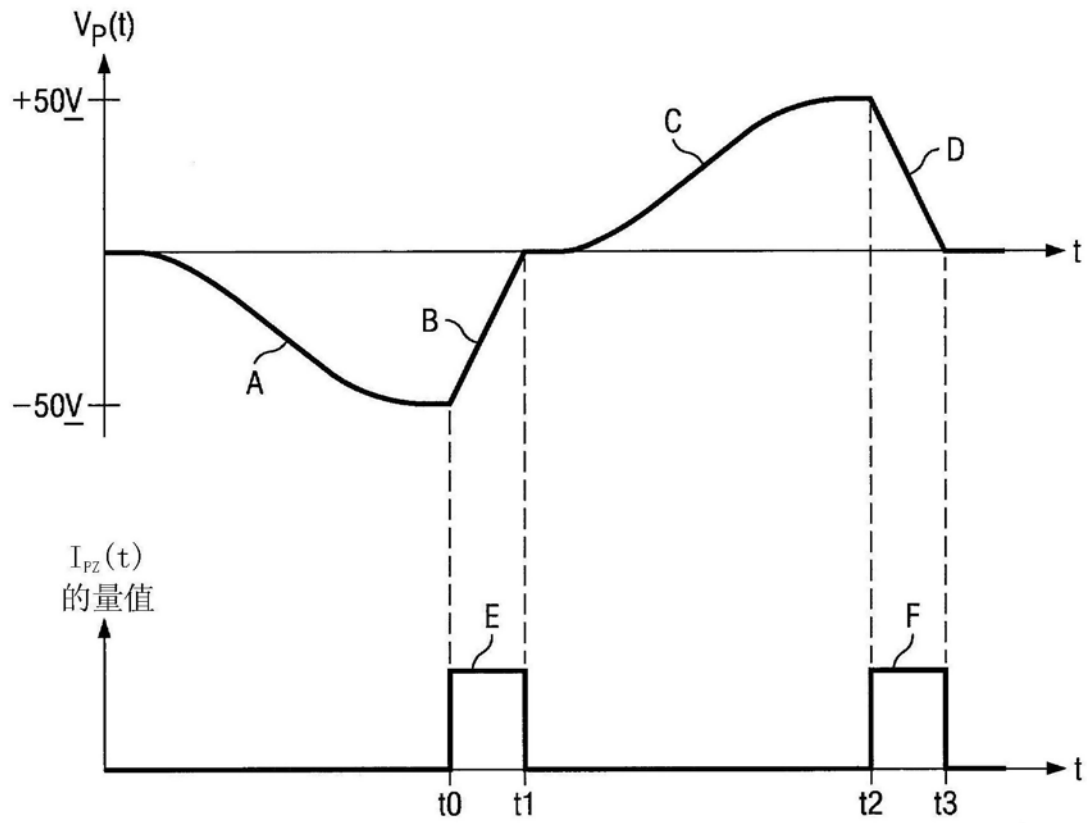


图4

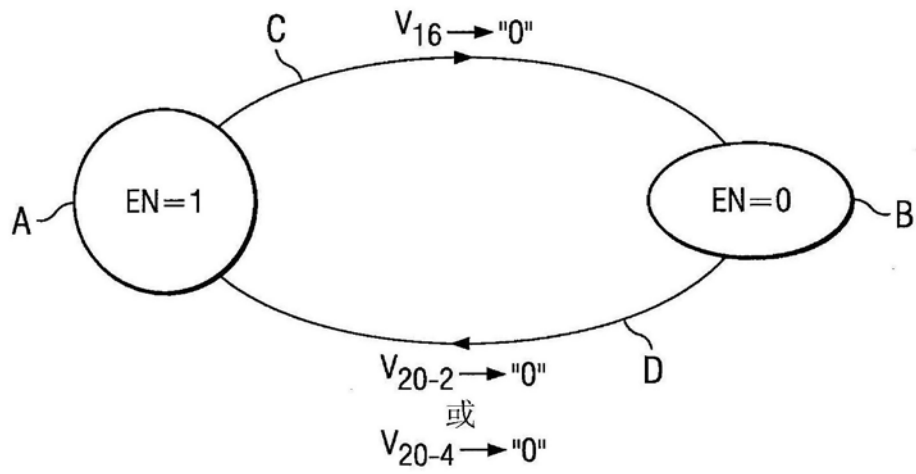


图5