



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102859832 A

(43) 申请公布日 2013.01.02

(21) 申请号 201180021765.8

代理人 张伟 王英

(22) 申请日 2011.03.29

(51) Int. Cl.

(30) 优先权数据

H02J 7/00 (2006.01)

61/319, 169 2010.03.30 US

13/072, 411 2011.03.25 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2012.10.30

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2011/030347 2011.03.29

(87) PCT申请的公布数据

WO2011/123448 EN 2011.10.06

(71) 申请人 马克西姆综合产品公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 J·J·洛卡斯西奥

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

72002

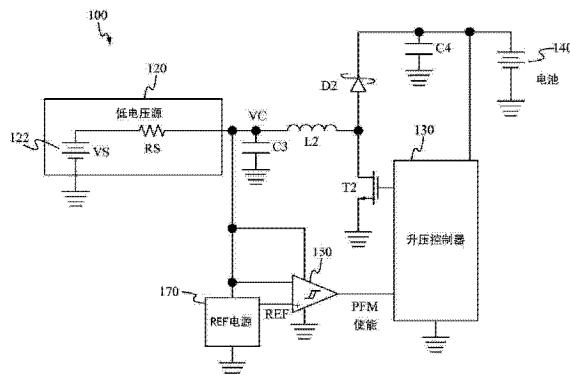
权利要求书 3 页 说明书 9 页 附图 5 页

(54) 发明名称

用于脉冲功率能量收集的新电路拓扑

(57) 摘要

能量收集电路从电压源收集能量并使用所收集的能量给储能元件充电。能量收集电路包括能量源、存储从能量源输出的能量的储能电容器、功率变换器电路、储能元件和使能电路。使能电路根据所监控的储能电容器的电容电压来导通和关断升压变换器电路。当升压变换器电路被关断时，储能电容器积累从能量源输出的能量，直到达到参考电压，此后升压变换器电路导通，这使电流能够从储能电容器流到储能元件。当储能电容器放电到最小电压电平时，升压变换器电路被关断。使能电路和参考电压电源都由能量源供电。



1. 一种电路，包括：
  - a. 储能元件；
  - b. 能量源；
  - c. 储能电容器，其耦合到所述能量源并被配置成存储从所述能量源输出的能量；
  - d. 功率变换器电路，其耦合在所述储能电容器与所述储能元件之间，其中所述功率变换器电路将所述储能电容器所存储的储能电容器电压变换给所述储能元件充电的电压；以及
  - e. 使能电路，其耦合在所述能量源与所述功率变换器电路之间，其中所述使能电路对所述功率变换器电路进行脉冲调制以每当所述储能电容器电压达到参考电压时使能从所述储能电容器到所述储能元件的突发能量传输，此外其中所述使能电路由所述能量源供电。
2. 如权利要求 1 所述的电路，其中所述使能电路被配置成将所述储能电容器电压与所述参考电压进行比较，并且如果所述电容器电压大于或等于所述参考电压，则所述使能电路将使能信号输出到所述功率变换器电路，且如果所述电容器电压小于所述参考电压，则所述使能电路将禁止信号输出到所述功率变换器电路。
3. 如权利要求 2 所述的电路，其中所述功率变换器电路被配置成当被所述使能信号导通时使能从所述储能电容器到所述储能元件的突发能量传输并当被所述禁止信号关断时禁止能量传输。
4. 如权利要求 2 所述的电路，其中当所述功率变换器电路被禁止时，在所述能量源上没有由负载引起的功率消耗。
5. 如权利要求 2 所述的电路，其中当所述功率变换器电路被禁止时，所述能量源上的仅有的功率消耗是由寄生消耗引起的。
6. 如权利要求 1 所述的电路，其中所述储能元件具有储能元件电压，且所述能量源产生处于源电压的功率，此外其中，所述源电压小于所述储能元件电压。
7. 如权利要求 1 所述的电路，其中所述能量源产生在大约 2uW 到大约 200uW 的范围内的功率。
8. 如权利要求 7 所述的电路，其中所述能量源产生在大约 0.4V 和大约 0.8V 之间的电压。
9. 如权利要求 1 所述的电路，其中所述功率变换器电路包括电压升高变换器。
10. 如权利要求 1 所述的电路，其中所述功率变换器电路包括电压降低变换器。
11. 如权利要求 1 所述的电路，其中所述储能元件包括电池。
12. 如权利要求 1 所述的电路，其中所述储能元件包括超级电容器。
13. 如权利要求 1 所述的电路，其中当所述功率变换器电路导通时，所述功率变换器电路由所述储能元件供电。
14. 如权利要求 1 所述的电路，其中所述功率变换器电路包括变换器控制器电路和耦合到所述变换器控制器电路的晶体管，所述晶体管被配置成使能和禁止在所述储能电容器与所述储能元件之间的电流流动，且所述变换器控制器电路被配置成导通和关断所述晶体管。
15. 如权利要求 1 所述的电路，还包括耦合到所述使能电路并被配置成向所述使能电

路提供所述参考电压的参考电压电源,其中所述参考电压电源由所述能量源供电。

16. 如权利要求 1 所述的电路,其中所述能量源包括 DC 功率源。

17. 如权利要求 1 所述的电路,其中所述能量源包括 AC 功率源。

18. 如权利要求 17 所述的电路,还包括耦合在所述 AC 功率源与所述储能电容器之间的整流电路。

19. 如权利要求 1 所述的电路,其中所述使能电路具有正反馈。

20. 一种电路,包括:

a. 储能元件;

b. 能量源;

c. 储能电容器,其耦合到所述能量源并被配置成存储从所述能量源输出的能量;

d. 功率变换器电路,其耦合在所述储能电容器与所述储能元件之间,其中所述功率变换器在被使能信号导通时使能从所述储能电容器到所述储能元件的能量传输并在被禁止信号关断时禁止能量传输;以及

e. 使能电路,其耦合在所述能量源与所述功率变换器电路之间,其中所述使能电路由所述能量源供电,此外其中所述使能电路将储能电容器电压与参考电压进行比较,并且如果所述电容器电压大于或等于所述参考电压,则所述使能电路将所述使能信号输出到所述功率变换器电路,以及如果所述电容器电压小于所述参考电压,则所述使能电路将所述禁止信号输出到所述功率变换器电路。

21. 如权利要求 20 所述的电路,其中当所述功率变换器电路被禁止时,在所述能量源上没有由负载引起的功率消耗。

22. 如权利要求 20 所述的电路,其中当所述功率变换器电路被禁止时,所述能量源上的仅有的功率消耗是由寄生消耗引起的。

23. 如权利要求 20 所述的电路,其中所述储能元件具有储能元件电压,且所述能量源产生处于源电压的功率,此外其中,所述源电压小于所述储能元件电压。

24. 如权利要求 20 所述的电路,其中所述能量源产生在大约 2uW 到大约 200uW 的范围内的功率。

25. 如权利要求 24 所述的电路,其中所述能量源产生在大约 0.4V 与大约 0.8V 之间的电压。

26. 如权利要求 20 所述的电路,其中所述功率变换器电路包括电压升高变换器。

27. 如权利要求 20 所述的电路,其中所述功率变换器电路包括电压降低变换器。

28. 如权利要求 20 所述的电路,其中所述储能元件包括电池。

29. 如权利要求 20 所述的电路,其中所述储能元件包括超级电容器。

30. 如权利要求 20 所述的电路,其中当所述功率变换器电路导通时,所述功率变换器电路由所述储能元件供电。

31. 如权利要求 20 所述的电路,其中所述功率变换器电路包括变换器控制器电路和耦合到所述变换器控制器电路的晶体管,所述晶体管被配置成使能和禁止在所述储能电容器与所述储能元件之间的电流流动,且所述变换器控制器电路被配置成导通和关断所述晶体管。

32. 如权利要求 20 所述的电路,还包括耦合到所述使能电路并被配置成向所述使能电

路提供所述参考电压的参考电压电源,其中所述参考电压电源由所述能量源供电。

33. 如权利要求 20 所述的电路,其中所述能量源包括 DC 功率源。
34. 如权利要求 20 所述的电路,其中所述能量源包括 AC 功率源。
35. 如权利要求 34 所述的电路,还包括耦合在所述 AC 功率源与所述储能电容器之间的整流电路。
36. 如权利要求 20 所述的电路,其中所述使能电路具有正反馈。
37. 一种电路,包括:
  - a. 储能元件;
  - b. 能量源;
  - c. 储能电容器,其耦合到所述能量源并被配置成存储从所述能量源输出的能量;
  - d. 功率变换器电路,其耦合在所述储能电容器与所述储能元件之间,其中所述功率变换器在被使能信号导通时使能从所述储能电容器到所述储能元件的能量传输并在被禁止信号关断时禁止能量传输;以及
  - e. 使能电路,其耦合在所述能量源与所述功率变换器电路之间,其中所述使能电路由所述能量源供电,此外其中所述使能电路将储能电容器电压与参考电压进行比较,并且如果所述电容器电压大于或等于所述参考电压,则所述使能电路将所述使能信号输出到所述功率变换器电路;以及
  - f. 禁止电路,其耦合在所述能量源与所述功率变换器电路之间,其中只有当所述功率变换器电路被使能时,所述禁止电路才由所述储能元件供电,此外其中所述禁止电路将所述储能电容器电压与所述参考电压进行比较,并且如果所述电容器电压小于所述参考电压,则所述禁止电路将所述禁止信号输出到所述功率变换器电路。

## 用于脉冲功率能量收集的新电路拓扑

[0001] 相关申请

[0002] 本申请要求同一发明人于2010年3月30日提交的标题为“NEW CIRCUIT TOPOLOGY FOR PULSED POWER ENERGY HARVESTING”的美国临时申请(序列号为61/319,169)的优先权。通过引用将序列号为61/319,169的该美国临时申请的全文并入本申请中。

### 技术领域

[0003] 本发明涉及能量收集领域。更具体地，本发明涉及低功率能量收集以为储能设备充电的领域。

### 背景技术

[0004] 能量收集电路可用于从能量源收集能量并使用所收集的能量给电池充电。存在常规的能量收集电路，其被配置成如果能量源电压与电池电压相同或高于电池电压则以非常低的功率水平收集能量。还存在已知的能量收集结构，其用于在收集源电压比输出(电池)电压低8到20倍时以低至大约50uW的水平收集能量。当前需要以几微瓦或小于几微瓦(例如大约2uW)进行能量收集，并且有向下的倾向。较小尺寸的能量源以低电压电平产生低功率水平。这样的能量源的例子是产生大约2uW和大约0.5V的小太阳能电池。问题在于如何收集处于比电池电压小得多的电压电平处的能量，并以有效的手段在那些功率水平处将所收集的电压升高到电池电压。

[0005] 图1A示出了被配置成从低电压的低功率源收集能量以给电池充电的常规能量收集电路的概念示意图。能量收集电路10包括低电压源20、储能电容器C1、电感器L1、晶体管T1、二极管D1、电容器C2、升压控制器电路30、电池40、比较器50、电阻器R1和电阻器R2。升压控制器电路30、晶体管T1、电感器L1、二极管D1和电容器C2形成升压变换器电路。低电压源20是低电平功率源，在概念上被表示为电压源22。在示例性应用中，低电压源20在0.5V处产生2uW。低电压源20还具有在概念上被表示为电阻器RS的源阻抗。如本文使用的，所提及的“源电压”指的是电压源22两端的电压VS。晶体管T1起使电流能够从储能电容器C1流到电感器L1并接着流到电池40的开关的作用，该结构一般被称为升压变换器。当晶体管T1导通时，等于VC的电压施加在电感器L1上，以允许能量存储在电感器L1中。当晶体管T1导通时，二极管D1被反向偏压，从而阻断电池40的电压，且不允许电流从电池40流出。当晶体管T1被关断时，电感器L1中的所储存的能量流经二极管D1并将能量输送到电池40中。电容器C2与电池40并联，并用于降低电池40在开关频率处的阻抗，并因此将来自于二极管D1的能量的脉冲过滤出来。

[0006] 升压控制器电路30提供控制信号作为到晶体管T1的栅电压，从而导通和关断晶体管T1。升压控制器电路30向晶体管T1的栅极提供脉冲宽度调制(PWM)信号，从而对输送到电池40的能量的数量进行调节。在使用这种类型的升压控制器的图1A的示例性能量收集电路中，占空比是固定的，且升压控制器的输出借助于脉冲频率调制(PFM)输入来调节。PFM信号在电压窗口内调节该输出，电压窗口由比较器50中的迟滞的量和参考(REF)输入

来设定。在其它例子中，PWM 输出的占空比由升压控制器电路 30 内部的电路来控制，升压控制器电路 30 内部的电路根据与内部参考比较的输出电压来改变占空比。在图 1A 的例子中，通过比较器 50 所提供的 PFM 使能信号来导通和关断升压控制器电路 30。比较器 50 的第一输入耦合到电池 40 的输出。比较器 50 的第二输入耦合到参考电压。当电池电压大于参考电压时，比较器 50 的输出变低，且这被设置为在完全充电的电池电压处。由于内置在比较器 50 内的迟滞，比较器 50 的输出不变高，直到电池电压减小到小于参考电压的最小电压电平。对于电池充电而言，如果电池 40 处于调节电压 (regulation voltage) 处，则将没有必要进行收集，这是因为电池已经被充过电了。

[0007] 能量收集电路 10 使用脉冲频率调制 (PFM) 来收集由低电压源 20 产生的低功率水平。这通过使用比较器 50 监控电池 40 两端的升高的输出电压来实现。然而，仅在输出处于其期望的调节电平处时，这种类型的变换器才能实现低功率操作，且这是当电池被完全充电时。为了给电池 40 充电，图 1A 的升压变换器消耗太多的功率，且不能在 2uW 水平处实现收集。每当电池 40 低于由电阻器 R1、R2 和参考电压 (REF) 确定的预设电压电平 (完全充电) 时，比较器 50 的输出保持高，从而允许升压控制器 30 连续地运行。对于低于调节电平并需要充电的电池，图 1A 的升压控制器 30 试图输送比在低电压源 20 处可用的能量更多的能量，从而将向下拉低电压 VC。因为升压控制器 30 需要来自电池 40 的供电电流来执行其功能，且如果等于 VC 的电压太低而不允许足够的能量被替换，升压变换器将从电池移除比它将输送到电池中的能量更多的能量。

[0008] 该能量收集电路 10 的缺点是，为了收集在低电压处的几微瓦的能量，与输送回到电池的能量的数量比较，必须消耗来自电池的更少的能量以操作升压控制器 30。即便假设可以克服供电电流问题，图 1A 的能量收集电路也还存在其它问题。为了收集在 2uW 水平处的低功率，升压控制器 30 需要具有与从低电压源 20 可得到的平均电流相等的平均电感器 L1 的电流。实现这个低电流的一种方式是使电感器 L1 变得非常大，这对大部分应用而言是不合乎要求的。使平均电感器电流变得非常低的另一方式是使变换器以非常低的占空比操作，但这将升压变换器限制到一个功率水平并增加了供电电流。在示例性应用中，低电压源 20 在 0.5V 处产生 2uW，且电池 40 具有 4V 的充电电压。为了在 0.5V 处收集 2uW，从 4V 电池到升压控制器 30 的供电电流需要为大约 100nA，晶体管 T1 的漏极 - 源极电容需要为大约 0.1pF，且电感器 L1 的阻抗需要为大约 40mH。升压变换器的典型供电电流在 10uA 到 100uA 的范围内，所以收集低于 40uW 的能量是不切实际的。

[0009] 比较器 50 监控电池 40 的输出，且如果电池电压大于参考电压，则 PFM 使能信号为低且升压变换器电路关断。即使升压变换器电路关断，比较器 50 仍然需要功率来操作和执行比较功能。虽然能量收集电路 10 提供用于周期性地导通和关断升压变换器电路的脉冲调制装置，但是这个架构对给电池 40 充电而言是无效的。使用能量收集电路 10，如果电池 40 需要被充电，例如所监控的电池输出小于参考电压，则升压控制器电路 30 将总是导通，且升压变换器电路将总是消耗比它可输送到电池 40 的功率更多的功率。低电压源 20 不产生足够的功率来连续给升压变换器电路供电。升压变换器电路将只导通并在进行收集时向下拉低电压 VC，并接着消耗比能够从低电压源 20 输送的功率更多的来自电池 40 的功率。

[0010] 图 1A 中采用的 PFM 类型的方法对导通和关断升压变换器电路是有用的，但能量收集电路不适用于给电池充电。相反，能量收集电路 10 中使用的 PFM 类型的方法对消耗来自

电池的能量并向负载提供能量脉冲更加有用。例如,图 1A 的能量收集电路适合于使用电池代替低电压源 20,并使用需要仅仅几微瓦的功率输送的负载来代替电池 40。在这种结构中,升压变换器电路可以只输送几微瓦,并且升压变换器电路在不被需要时关闭。虽然图 1A 所描述的能量收集电路对向负载提供能量突发是有用的,但是图 1A 所描述的能量收集电路没有为电池充电提供有效手段。

[0011] 图 1B 示出了被配置成收集来自功率源的能量以给电池充电的常规能量收集电路的概念示意图。能量收集电路 80 包括功率源 24、储能电容器 C5、电感器 L3、二极管 D3、电容器 C7、变换器控制器电路 60、电池 42、电容器 C6、电阻器 R3-R10 和使能电路 70。变换器控制器电路 60、电感器 L3、二极管 D3、电容器 C6 和电容器 C7 形成变换器电路。来自太阳能电池功率源 24 的能量存储在电容器 C5 中。变换器控制器电路 60 具有与图 1A 的升压控制器电路 30 和晶体管 T1 类似的功能,以使能或禁止从电容器 C5 流到电感器 L3 和从电感器 L3 流到电池 42 的电流。变换器控制器电路 60 由使能电路 70 使能和禁止,使能电路 70 包括比较器 72、比较器 74 和二极管 D4。参考电压被输入到比较器 72 和 74 中的每一个。电容器 C5 的电压由比较器 72 监控并与参考电压比较。一旦电容器电压达到参考电压,比较器 72 就将使能信号输出到变换器控制器电路 60。这启动了电容器 C5 的放电以给电池 42 充电。一旦电容器 C5 被放电到预定的最低电压电平,比较器 72 就将禁止信号输出到变换器控制器电路 60,接着该变换器控制器电路 60 被关断,从而停止电容器 C5 的放电。

[0012] 比较器 74 监控电池电压,并当电池电压达到上限时禁止变换器控制器电路 60 和当电池电压降低到预定电平之下时使能变换器控制器电路 60。具有迟滞的双比较器控制该变换器控制器电路 60 的关闭并且还控制两个不同充电速率的选择,例如快速充电和涓流充电。在快速充电期间,变换器控制器电路 60 作为电流源操作,将电感器能量从电感器 L3 转发到电池 42,而不检查电池电压。当能量收集电路 80 对放电的电池 42 充电时,该能量收集电路 80 施加全部快速充电电流,直到电池电压达到其上限。变换器控制器电路 60 接着被禁止,直到电池电压降低到下一最低限制,此后变换器控制器电路 60 被使能以进行涓流充电。涓流充电继续,直到电池电压达到其上限,此后变换器控制器电路 60 被禁止,或直到电池电压达到其下限,此后变换器控制器电路 60 被使能以再次进行快速充电。

[0013] 如图 1B 所示,从电池 42 给使能电路 70 提供电压 V+。此外,电阻分压器 R9、R10 耦合到电池 42。因此,当变换器控制器电路 60 被关断时或当能量收集电路 80 未连接到太阳能电池功率源 24 时,使能电路 70 和电阻分压器 R9、R10 充当电池上的负载。虽然能量收集电路 80 可以被配置为在这些条件期间进行最小电池放电,但是能量收集电路 80 对需要能量收集电路 80 在被禁止时将零负载施加到电池的那些应用是无效的。

## 发明内容

[0014] 能量收集电路的实施例涉及从电压源收集能量并使用所收集的能量给储能元件充电。在一些实施例中,能量收集电路涉及从非常低的功率水平的、非常低的电压源收集能量。能量收集电路包括能量源、存储从能量源输出的能量的储能电容器、功率变换器电路、储能元件和使能电路。在一些实施例中,功率变换器电路是电压升高变换器,例如升压变换器。在其它实施例中,功率变换器电路是电压降低变换器。使能电路根据所监控的储能电容器的电容电压来导通和关断功率变换器电路。当功率变换器电路被关断时,储能电容器

积累从能量源输出的能量,直到达到参考电压。当功率变换器电路被关断时,没有来自能量收集电路的负载从储能元件汲取电流。一旦储能电容器电压达到参考电压,功率变换器电路就导通,从而使得电流能够从储能电容器流到储能元件。在一些实施例中,储能元件电压比能量源电压和储能电容器电压大。功率变换器电路通过从储能电容器接收的能量脉冲实现储能元件的充电。当储能电容器放电到最小电压电平时,功率变换器电路关断。储能电容器由从能量源输出的能量再次充电。使能电路和参考电压电源都由能量源供电。

[0015] 在一方面,电路包括储能元件;能量源;耦合到能量源并配置成存储从能量源输出的能量的储能电容器;耦合在储能电容器与储能元件之间的功率变换器电路,其中功率变换器电路将储能电容器所存储的储能电容器电压转换成给储能元件充电的电压;以及耦合在能量源与功率变换器电路之间的使能电路,其中使能电路对功率变换器电路进行脉冲调制以每当储能电容器电压达到参考电压时实现从储能电容器到储能元件的突发能量传输,此外其中使能电路由能量源供电。

[0016] 使能电路可以被配置成比较储能电容器电压与参考电压,并且如果电容器电压大于或等于参考电压则将使能信号输出到功率变换器电路,且如果电容器电压小于参考电压则将禁止信号输出到功率变换器电路。功率变换器电路可以被配置成当被使能信号导通时使能从储能电容器到储能元件的突发能量传输并当被禁止信号关断时禁止能量传输。当功率变换器电路被禁止时,在能量源上没有由负载引起的功率损耗。当功率变换器电路被禁止时,能量源上的仅有功率消耗是由寄生消耗引起的。储能元件具有储能元件电压,且能量源产生在源电压处的功率,在一些实施例中,源电压小于储能元件电压。在示例性应用中,能量源产生在大约 2uW 到大约 200uW 的范围内的功率,且能量源产生在大约 0.4V 和大约 0.8V 之间的电压。功率变换器电路可以是电压升高变换器或电压降低变换器。储能元件可以是电池或超级电容器。当功率变换器电路导通时,功率变换器电路由储能元件供电。功率变换器电路可以包括变换器控制器电路和耦合到变换器控制器电路的晶体管,晶体管被配置成使能和禁止在储能电容器与储能元件之间的电流流动,且变换器控制器电路被配置成导通和关断晶体管。电路还可以包括耦合到使能电路并配置成向使能电路提供参考电压的参考电压电源,其中参考电压电源由能量源供电。能量源可以是 DC 功率源或 AC 功率源。如果能量源是 AC 功率源,则电路还可以包括耦合在 AC 功率源与储能电容器之间的整流电路。使能电路可以具有正反馈。

[0017] 在另一方面,电路包括储能元件;能量源;耦合到能量源并配置成存储从能量源输出的能量的储能电容器;耦合在储能电容器与储能元件之间的功率变换器电路,其中功率变换器在被使能信号导通时使能从储能电容器到储能元件的能量传输并在被禁止信号关断时禁止能量传输;以及耦合在能量源与功率变换器电路之间的使能电路,其中使能电路由能量源供电,此外其中使能电路比较储能电容器电压与参考电压,并且如果电容器电压大于或等于参考电压则将使能信号输出到功率变换器电路,以及如果电容器电压小于参考电压则将禁止信号输出到功率变换器电路。

[0018] 在又一方面,电路包括储能元件;能量源;耦合到能量源并配置成存储从能量源输出的能量的储能电容器;耦合在储能电容器与储能元件之间的功率变换器电路,其中功率变换器在被使能信号导通时使能从储能电容器到储能元件的能量传输并在被禁止信号关断时禁止能量传输;以及耦合在能量源与功率变换器电路之间的使能电路,其中使能电

路由能量源供电,此外其中使能电路比较储能电容器电压与参考电压,并且如果电容器电压大于或等于参考电压则将使能信号输出到功率变换器电路;以及耦合在能量源与功率变换器电路之间的禁止电路,其中只有当功率变换器电路被使能时,禁止电路才由储能元件供电,此外其中禁止电路比较储能电容器电压与参考电压,并且如果电容器电压小于参考电压则将禁止信号输出到功率变换器电路。

## 附图说明

[0019] 图 1A 示出了被配置成从低电压的低功率源收集能量以给电池充电的常规能量收集电路的概念示意图。

[0020] 图 1B 示出了被配置成从低电压的低功率源收集能量以给电池充电的另一常规能量收集电路的概念示意图。

[0021] 图 2 示出了根据一个实施例的能量收集的概念示意图。

[0022] 图 3 示出了根据另一实施例的能量收集的概念示意图。

[0023] 图 4 示出了图 2 中的储能电容器 C3 的示例性电容器电压函数。

[0024] 参照若干幅附图描述能量收集电路的实施例。在适当的地方,相同的附图标记将用于表示相同或相似的元件。

## 具体实施方式

[0025] 本申请的实施例涉及能量收集电路。本领域的普通技术人员将认识到,能量收集电路的下面的详细描述仅仅是例证性的,并且能量收集电路的下面的详细描述绝不是要以任何方式进行限制。受益于本公开的技术人员将容易地想到能量收集电路的其它实施例。

[0026] 现在将详细参考如在附图中所示的能量收集电路的实现方式。相同的参考指示符将在全部附图和下面的详细描述中用来指示相同或相似的部分。为了清楚起见,没有示出和描述本文所述的实现方式的所有常规特征。当然,应该意识到:在任何这样的实际实现方式的开发中,必须做出实现方式特有的很多决定,以便实现开发者的特定目标,例如遵守与应用和商业有关的约束;以及这些特定的目标将因实现方式的不同和开发者的不同而变化。而且,应该认识到,这样的开发努力可能是复杂和耗时的,但是对于受益于本公开的领域中的普通技术人员而言,这样的开发努力只不过是承担工程的日常事务。

[0027] 能量收集电路的实施例涉及从电压源收集能量并使用所收集的能量给储能元件充电。能量收集电路包括能量源、存储从能量源输出的能量的储能电容器、功率变换器电路、储能元件和使能电路。在一些实施例中,功率变换器电路是电压升高变换器,例如升压变换器。在其它实施例中,功率变换器电路是电压降低变换器。下面就包括升压变换器电路的能量收集电路来描述能量收集电路的实施例。应该理解,所描述的原理可以应用于可选类型的电压升高变换器,例如降压-升压变换器,或电压降低变换器。在一些实施例中,能量收集电路涉及从非常低的功率水平的非常低的电压源收集能量。在示例性应用中,低电压源输出在大约 2uW 到大约 200uW 的范围内的功率和在大约 0.4V 到大约 0.8V 的范围内的电压。

[0028] 能量收集电路对收集时间段进行脉冲调制以实现将能量集中到可管理的功率突发中,以便于给储能元件充电。能量源所产生的能量由储能电容器使用低电流来存储。一

且电容器电压达到预定的参考电压，升压变换器电路就导通，从而使储能电容器放电并给储能元件充电。升压变换器电路将电容器电压升高到大于储能元件电压的电平。一旦储能电容器被放电到预定的最小电压电平，升压变换器电路就被关断。使能电路耦合到低电压源并由低电压源所提供的低电流供电。使能电路还耦合到储能电容器以比较储能电容器电压与参考电压。参考电压由参考电压电源提供。使能电路和参考电压电源都由能量源供电。如果储能电容器电压大于或等于参考电压，则使能信号从使能电路发送到升压变换器电路。使能信号导通升压变换器电路。如果储能电容器电压小于参考电压，则禁止信号从使能电路发送到升压变换器电路。禁止信号关断升压变换器电路。在升压变换器电路关断时，除了寄生消耗以外，在储能元件上没有其它功率消耗。换言之，当升压变换器电路关断时，没有来自能量收集电路的负载从储能元件汲取电流。升压变换器电路在被禁止时不从储能元件汲取功率。当升压变换器电路被使能时，升压变换器电路由储能元件供电。

[0029] 能量收集电路结构的优点在于：可以从低至使能电路的供电电流的任何功率水平的低电压源收集能量。在示例性应用中，在 50nA 的供电电流和 500mV 的供电电压下使用使能电路会具有收集低至 25nW 的能量的能力。当升压变换器电路被使能时，升压变换器电路由储能元件供电。升压变换器电路的供电电流只需要小于升压变换器电路的输出电流，以便当升压变换器电路导通时使得能量的有效脉冲能够从储能电容器输送到储能元件。

[0030] 图 2 示出了根据一个实施例的能量收集的概念示意图。能量收集电路从低电压源收集能量以给例如电池等储能元件充电。在一些实施例中，低电压源是太阳能电池。在其它实施例中，低电压源是任何其它常规低电压源，包括但不限于热发电机 (TEG)。能量收集电路被配置成对将所收集的能量到电池的传输进行脉冲调制。能量收集电路 100 包括低电压源 120、储能电容器 C3、电感器 L2、晶体管 T2、二极管 D2、电容器 C4、升压控制器电路 130、电池 140、使能电路 150 和参考电压电源 170。低电压源 120 是在概念上被表示为具有电压 VS 的电压源 122 的低电平功率源。低电压源 120 还具有在概念上被表示为电阻器 RS 的源阻抗。如本文使用的，提及的“源电压”指的是电压源 122 两端的电压 VS。在示例性应用中，源电压是大约 0.5V，且低电压源 120 在 0.5V 处产生 2uW。电压源一般被称为低电压，这时收集电路，例如图 2 的升压变换器电路不能直接利用该低电压源操作而是需要消耗电池或在所需的电压电平内的其它源的功率。低电平功率源是输送比运行电压变换器(例如图 2 的升压变换器电路)所花费的功率小的功率的源，该低电平功率源不向负载输送任何功率。

[0031] 升压控制器电路 130、晶体管 T2、电感器 L2、二极管 D2 和电容器 C4 形成用于将存储在电容器 C3 中的电压升高到大于电池电压的电压电平的升压变换器电路。晶体管 T2 起使得电流能够从储能电容器 C3 流到电感器 L2 并接着流到电池 140 的开关的作用，该结构一般被称为升压变换器。当晶体管 T2 导通时，等于 VC 的电压施加在电感器 L2 上，从而允许将能量存储在电感器 L2 中。当晶体管 T2 导通时，二极管 D2 被反向偏压，从而阻断电池 140 的电压，且不允许电流从电池 140 流出。当晶体管 T2 被关断时，电感器 L2 中的所存储的能量流经二极管 D2 并将能量输送到电池 140 中。电容器 C4 与电池 140 并联，并且电容器 C4 用于减小电池 140 在开关频率处的阻抗，并因此将来自二极管 D2 的能量的脉冲过滤出来。晶体管 T2 由升压控制器 130 导通和关断。

[0032] 利用 PFM 使能信号来导通和关断升压控制器 130。PFM 使能信号由使能电路 150 输出。在一些实施例中，使能电路 150 是迟滞比较器。比较器 150 的正输入耦合到电容器

C3。比较器 150 的负输入耦合到参考电压电源 170 以接收参考电压作为输入。比较器 150 比较电容器 C3 的电压与参考电压。当电容器 C3 上的电压大于或等于参考电压时, 比较器 150 的 PFM 使能信号输出变高(使能)。当电容器 C3 上的电压低于预定的最小电压电平时, PFM 使能信号变低(禁止)。由于内置在比较器 150 内的迟滞, 比较器 150 输出的 PFM 使能信号不会变低, 直到电池电压减小到最小电压电平。在示例性应用中, 参考电压是大约 0.5V, 而最小电压电平是大约 0.3V。指示该比较器 150 的输出的电压电平仅仅是示例性的, 可以使用可选的电压电平。

[0033] 对于在以下系统中正确地工作且同时在被禁止时不汲取任何电流的升压变换器电路而言, 即该系统具有连接到升压变换器电路的供电输入的电池, 要求升压变换器电路的使能输入具有禁止升压变换器电路中的任何部件的 CMOS 施密特触发输入级。如果升压变换器电路上的使能管脚的输入是除了高或低以外的任何电平, 则它将使电池放电。如果使能电路(比较器 150)在其切换点处具有低增益, 则存在使能电路的输出部分地导通的可能性。未完全导通或未完全关断的任何输出状态将使升压变换器电路输入汲取功率并因此使电池放电。当使能电路具有有时称为正反馈的非常高的增益或迟滞时, 则在其输入处没有任何将允许其输出处于除了高或低以外的任何电平处的电压电平。

[0034] 从低电压源 120 而不是从电池 140 向比较器 150 和参考电压电源 170 供电。比较器 150 和参考电压电源 170 不由电池 140 供电, 这是因为如果它连接到电池 140 且电压 VC 在一段长时间内保持小于参考电压电平并因此没有能量收集, 那么比较器 150 和参考电压电源 170 将移除电池 140 内的一些或所有存储的能量。如果比较器 150 和参考电压电源 170 连接到低电压源 120, 如在能量收集电路 100 中的情况一样, 则在无能量收集的这些相同的条件下, 这个结构允许电池 140 保持在其当前的存储水平而不是被负载放电。当升压变换器电路被关断时, 在电池 140 上除了寄生消耗以外没有其它功率消耗。换言之, 当升压变换器电路被关断时, 没有来自能量收集电路 100 的负载从电池 140 汲取电流。升压变换器电路在被禁止时不从电池 140 汲取功率。当升压变换器电路被使能时, 升压变换器电路由电池 140 供电。

[0035] 比较器 150 和参考电压电源 170 的供电电流必须足够低以允许电容器 C3 的充电。为了确定比较器 150 和参考电压电源 170 的可允许的供电电流, 比较器 150 和参考电压电源 170 所消耗的功率必须小于期望收集值, 其中比较器 150 和参考电压电源 170 所消耗的功率等于供电电流与电压 VC 的乘积。在 0.5V、2uW 的能量收集的例子中, 如果比较器 150 和参考电压电源 170 连接到低电压源 120, 则比较器 150 和参考电压电源 170 需要具有小于 4uA 的供电电流。

[0036] 在可选结构中, 比较器 150 和参考电压电源 170 可以由可输送比主功率源低的功率的辅助低电压源供电, 但主功率源比辅助功率源处在低得多的电压处。具有两个输入功率源的可选结构的例子的情况如下: 主功率源电压在大约 0.025V 到大约 0.05V 的范围内, 而辅助功率源电压在大约 0.4V 到大约 0.8V 的范围内。

[0037] 在图 3 所示的另一可选结构中, 除了比较器 150' 的输出只用于使能升压控制器电路 130' 而不禁止升压控制器电路 130' 以外, 比较器 150' 与比较器 150(图 2)相同。在这个可选结构中, 使用单独的比较器 160 来禁止升压控制器电路 130'。禁止比较器 160 由电池 140 供电, 这是因为该禁止比较器 160 可在升压控制器电路 130' 关断时被关断, 并因此

当收集源不存在时不会消耗电池 140。在一些实施例中,来自比较器 150' 的使能输入和来自比较器 160 的禁止输入被连接到升压控制器电路 130' 内部的锁存器的置位输入和复位输入。

[0038] 虽然将使能电路描述为比较器,但是可以想到其它结构。通常,使能电路由低电压源供电,但是使能电路具有在可接受的某个公差范围内的可管理的切换电平,并且使能电路输出使能信号。

[0039] 参考图 2,升压变换器电路且特别是升压控制器 130 在被使能时从电池 140 汲取功率。当升压控制器 130 导通时,升压控制器 130 使用特定数量的功率来操作。晶体管 12 具有漏极 - 源极电容,这导致每当晶体管被开关时的功率损耗。此外,在电感器 L2 和二极管 D2 中有功率消耗。因此,对于操作升压变换器电路而言,具有最小功率要求。能量收集电路 100 被配置成对在非常短的时间段内的处于高功率水平的突发形式的能量进行收集。例如,使用连接到 4V 电池的升压变换器可以收集 2uW 的功率,其中该升压变换器具有 10uA 的供电电流并在脉冲操作模式下操作。在本例中,升压变换器消耗电池的 40uW 的功率,同时将 10mW 功率输送到电池中,这是高效的。为了对 2uW 的可用输入功率到较高功率的 10mW 脉冲进行平衡,使用能量收集电路 100 的本示例使得 10mW 能够给电池充电大约 20u 秒,并接着关断大约 100m 秒。10mW 的值是从向 4V 电池输入 2.5mA 的充电电流得到的。20us 与 100ms 的时间比与 2uW 输入功率与 10mW 输出功率的比相同,从而允许所收集的平均功率为 2uW。如果升压变换器电路由电池 140 以比从电容器 C3 输送到电池 140 的功率水平低的功率水平供电,那么可以执行这种方式的脉冲收集。由于将能量作为突发从电容器 C3 传输到电池 140,因此在短突发期间由升压变换器电路消耗的所使用的功率的量可以比低电压源 122 所产生的瞬时功率大得多。在示例性应用中,低电压源 120 产生大约 2uW 的平均功率。升压变换器电路的供电功率可以比 2uW 大得多,例如是 40uW,这是因为从电容器 C3 到电池 140 的脉冲能量传输是以毫安为单位(在本例中为 2.5mA)输送的。在脉冲收集时间段期间,当升压变换器电路导通时,用于操作升压变换器电路的功率小于输送到电池的功率的量。

[0040] 在示例性实现方式中,低电压源 120 在大约 0.5V 处产生大约 2uW。电容器 C3 具有大约 10uF 的电容,电容器 C4 具有大约 0.1uF 的电容,而电感器具有大约 1uH 的阻抗。当与图 1A 的电路 10 比较时,能量收集电路 100 使用具有微亨量级的阻抗的电感器 L2,而不是如电感器 L1(图 1A)那样的具有毫亨量级的阻抗。电池 140 具有大约 4V 的电池电压,且升压控制器 130 将电容器 C3 的电压升高到大约 4.2V。应当理解,能量收集电路 100 可以被配置有具有可选值的部件。例如,低电压源 120 可以被配置成产生低至比示例性 0.5V 低得多的电平的电压,例如低至 10mV。将使能电路简单地改变为具有较低的输入参考电压。

[0041] 在操作中,当升压变换器电路被关断时,由低电压源 120 产生的能量给电容器 C3 充电。电容器 C3 的电压 VC 由比较器 150 监控,并且电容器 C3 的电压 VC 与参考电压 Vref 比较。当电容器电压 VC 小于参考电压 Vref 时,从比较器 150 输出到升压控制器 130 的 PFM 使能信号为低,且升压变换器电路被关断。一旦电容器电压 VC 大于或等于参考电压 Vref, PFM 使能信号就变高,从而导通升压变换器电路。当升压变换器电路导通时,存储在电容器 C3 中的能量从电容器 C3 放电并被升压变换器电路升高到超过电池电压的电压。升高的电压给电池 140 充电。电容器 C3 放电,直到电容器电压 VC 下降到最小电压 Vmin,在该最小电压点处 PFM 使能信号变低,从而关断升压变换器电路。在升压变换器电路被关断时,低电压

源 120 给电容器 C3 充电。

[0042] 图 4 示出了图 2 中的储能电容器 C3 的示例性电容器电压函数。电压函数的部分 162 和 166 对应于电容器 C3 的放电。一旦电容器电压 VC 达到参考电压 Vref, 电容器 C3 就开始放电, 并持续放电, 一直到电容器电压 VC 下降到被设定为有效的最小电压 Vmin。电压函数的部分 164 对应于电容器 C3 的充电。一旦电容器电压 VC 达到最小电压 Vmin, 电容器 C3 就开始充电, 并持续充电, 一直到电容器电压增加到参考电压 Vref。电容器 C3 根据不同的时间常数来充电和放电, 如部分 162 (放电) 和 164 (充电) 的不同形状的曲线所指示的那样。电容器 C3 根据由电感器 L2 和电容器 C3 的阻抗 ( $TC=ZL*C3$ ) 所确定的放电时间常数 (TC) 来放电。电容器 C3 根据由低电压源 120 的内部电阻 RS 和电容器 C3 的阻抗 ( $TC=RS*C3$ ) 确定的充电 TC 来充电。在实现方式中, 放电时间常数与充电时间常数的比被配置为数百或数千比一。充电时间常数相对大, 这是因为低电压源 120 具有比升压变换器的阻抗 ZL 大得多的阻抗 RS。放电时间常数相对低, 这是因为能量从电容器输送到电池 140 作为高能量脉冲。为了例证性目的, 图 4 所示的电压函数示出了电容器 C3 的一般充电和放电性质。然而, 曲线 162 和 166 中显示的放电时间常数和曲线 164 中显示的充电时间常数不代表比值为数百或数千比一的实现方式。仅仅是出于便利目的而以下列方式示出图 4 的曲线, 即充电和放电的完整循环可以在同一曲线上示出。

[0043] 上面的能量收集电路的实施例被描述为向储能电容器提供 DC 输入的电压源。能量收集电路可以可选地配置成包括 AC 功率源, 在这种情况下整流电路被添加在能量源与储能电容器之间。

[0044] 虽然能量收集电路被描述为收集能量来给电池充电, 但是能量收集电路也可用于给其它类型的储能元件例如超级电容器充电。通常, 可以使用任何储能元件, 只要该储能元件具有接受脉冲电荷并将这些电荷合并为累积的能量储备的能力。能量收集电路提供了手段来使用相对于储能元件的能量存储能力具有低功率水平的能量源来给储能元件充电。

[0045] 图 2 将比较器 150、升压控制器 130、晶体管 T2、电感器 L2、二极管 D2 和电容器 C4 显示为单独的部件。在一些实施例中, 比较器 150 与升压控制器 130 集成在一起。在一些实施例中, 晶体管 T2 与升压控制器 130 集成在一起。在一些实施例中, 二极管 D2 与升压控制器 130 集成在一起, 且电容器 C4 和电感器 L2 位于外部。在一些情况下, 电感器 L2 可以集成到升压控制器中, 例如其中电感器 L2 具有 1uH 的阻抗, 和 / 或电容器 C4 可以集成到升压控制器中, 例如其中电容器 C4 具有 0.1uF 的电容。通常, 可以将这些部件中的一些或全部进行集成。

[0046] 虽然能量收集电路的实施例描述了具有升压变换器的收集电路, 但是应该理解, 所述的原理可以适用于可选类型的电压升高变换器或电压降低变换器。

[0047] 为了便于理解能量收集电路的构造和操作的原理, 已经针对包括细节的特定实施例描述了能量收集电路。在本文中, 所提及的特定实施例及其细节并不是要将所附权利要求的范围限制于此。对本领域的技术人员显而易见的是, 可以对被选择用于示例的实施例进行修改, 而不会偏离本能量收集电路的精神和范围。

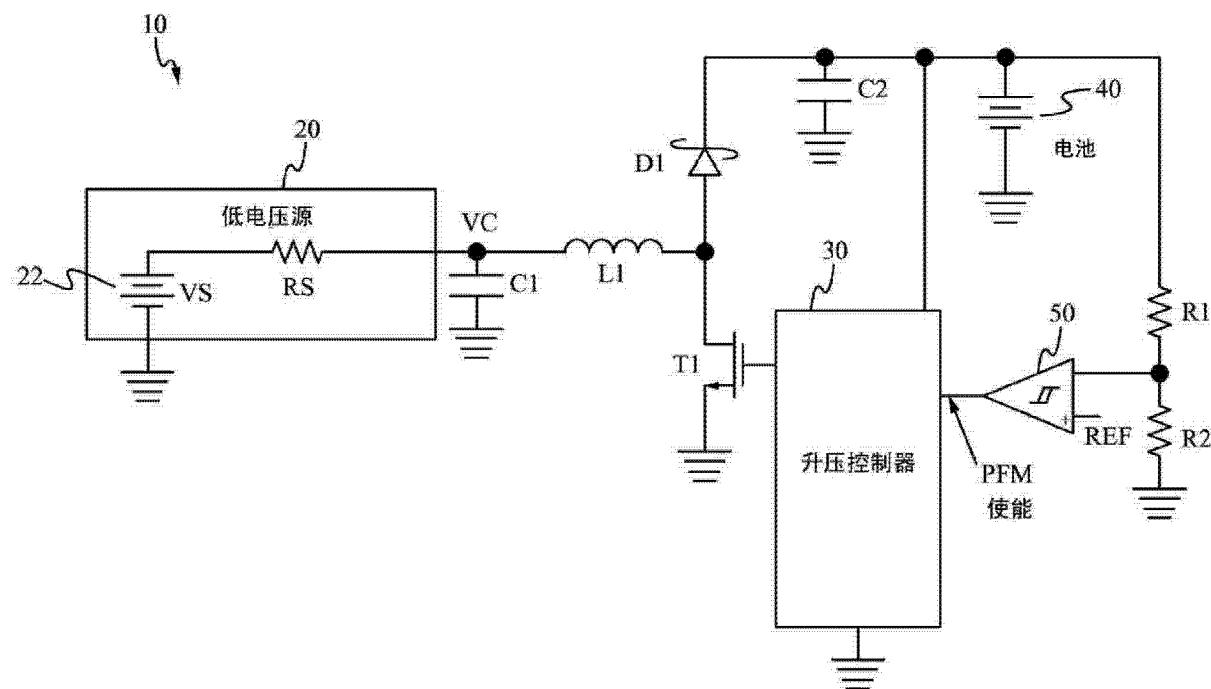


图 1A( 现有技术 )

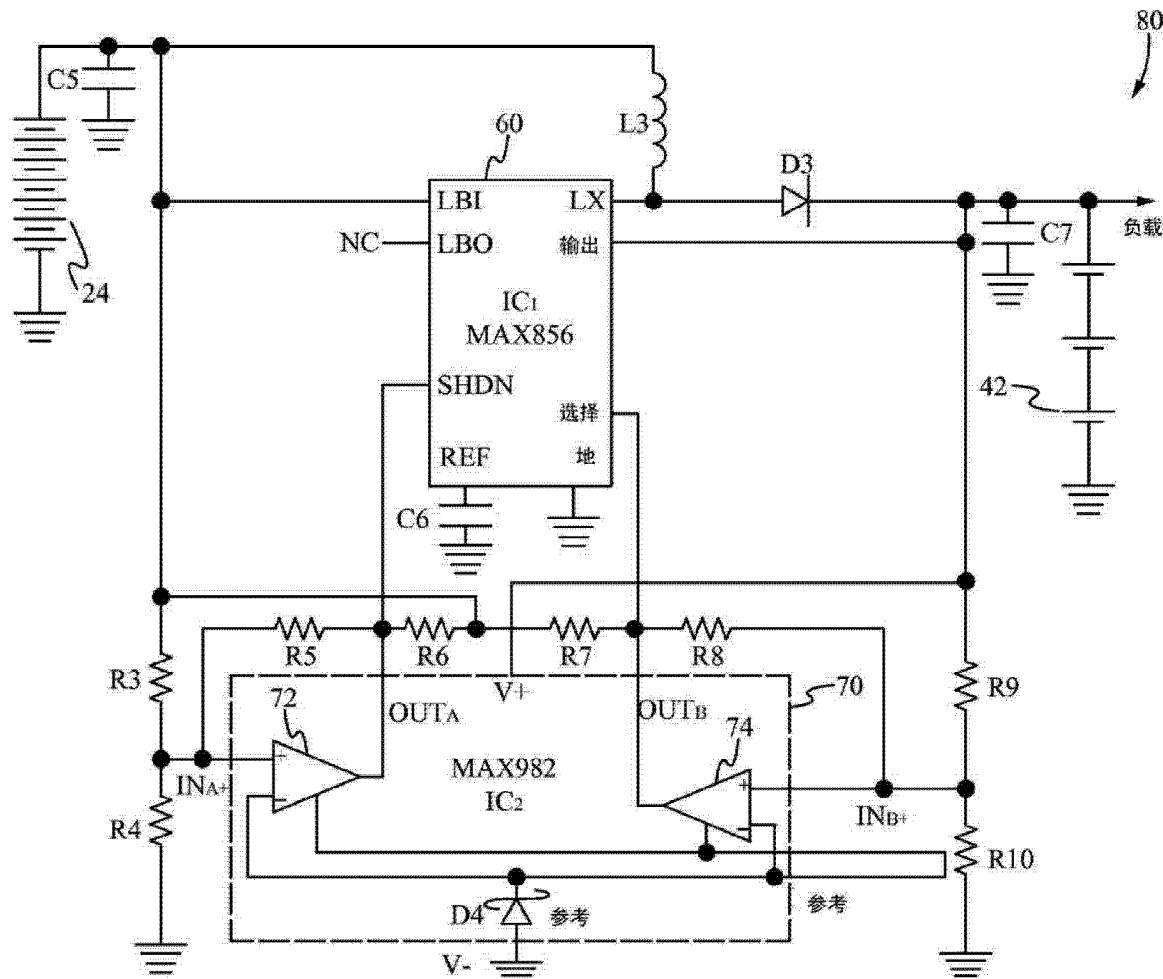


图 1B( 现有技术 )

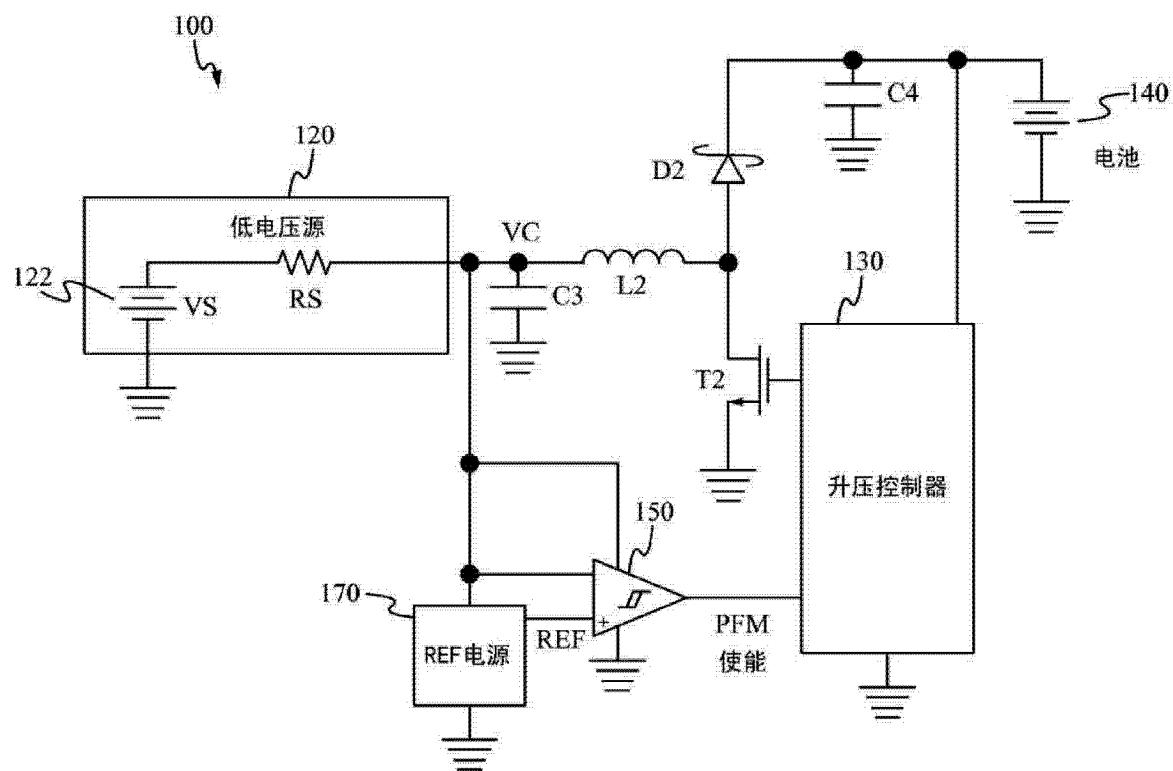


图 2

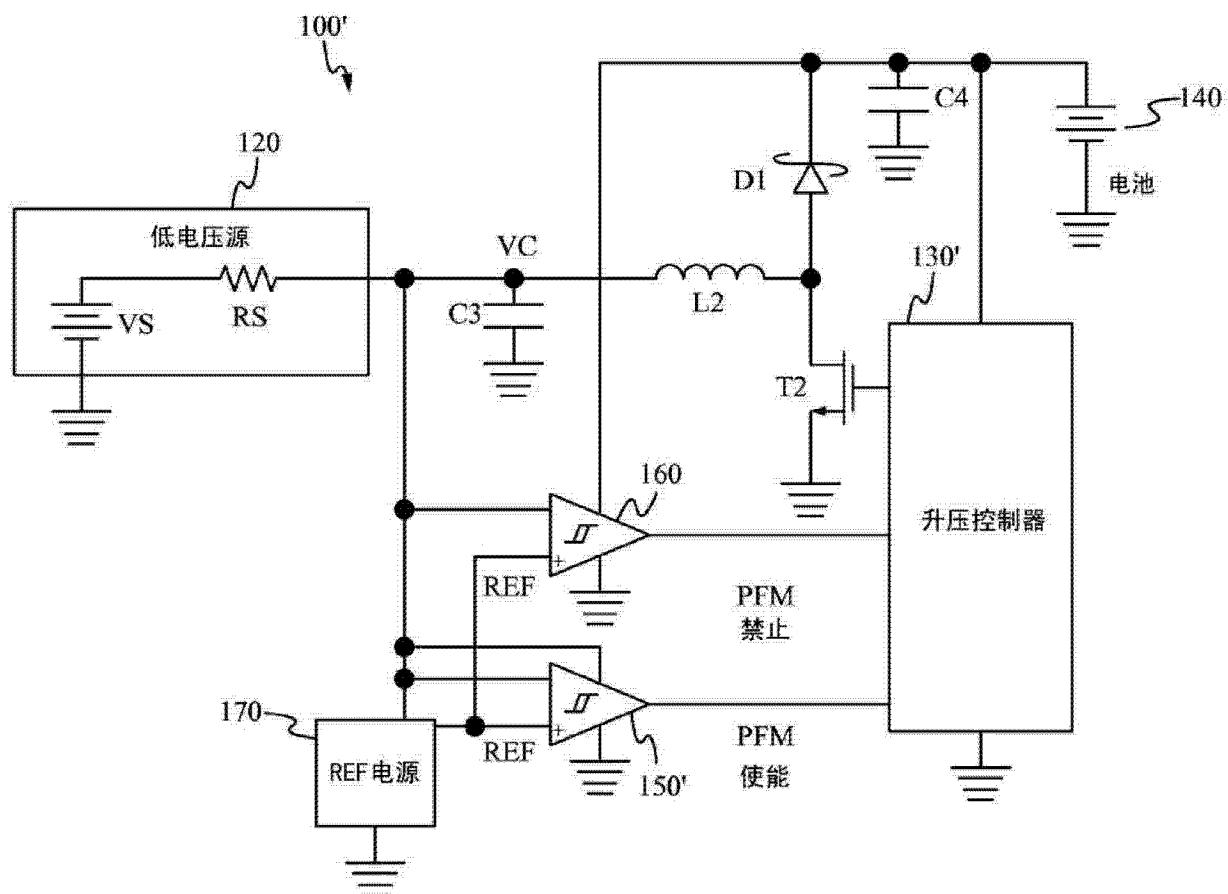


图 3

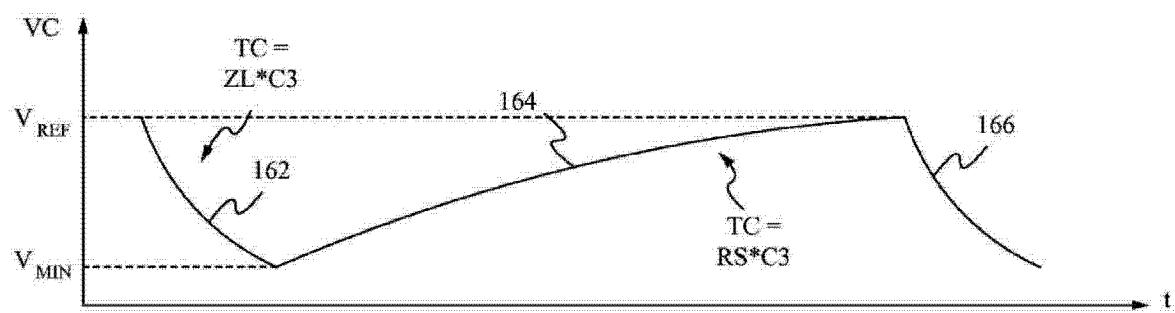


图 4