



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106105001 B

(45)授权公告日 2019.07.09

(21)申请号 201580014387.9

(22)申请日 2015.03.10

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 106105001 A

(43)申请公布日 2016.11.09

(30)优先权数据  
61/953,270 2014.03.14 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日  
2016.09.14

(86)PCT国际申请的申请数据  
PCT/US2015/019579 2015.03.10

(87)PCT国际申请的公布数据  
W02015/138378 EN 2015.09.17

(73)专利权人 北极砂技术有限公司  
地址 美国马萨诸塞州

(72)发明人 艾晨·洛 格雷戈里·什塞辛斯基  
大卫·朱利亚诺

(74)专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227

代理人 陈炜

(51)Int.Cl.  
H02M 3/07(2006.01)

(56)对比文件  
US 2011204959 A1,2011.08.25,  
US 8503203 B1,2013.08.06,  
US 2012170334 A1,2012.07.05,  
US 2013069614 A1,2013.03.21,  
CN 101552552 A,2009.10.07,  
US 8120934 B2,2012.02.21,

审查员 刘中芳

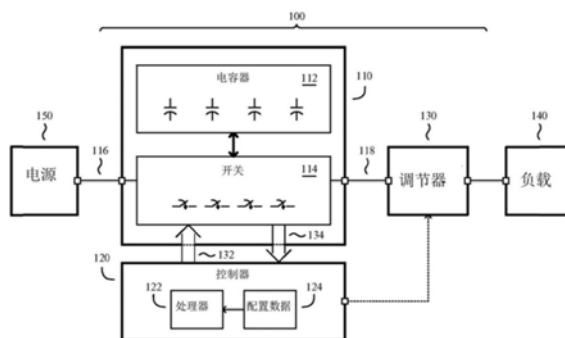
权利要求书3页 说明书11页 附图12页

(54)发明名称

电荷平衡的电荷泵控制

(57)摘要

用于耦合到电容器以形成电荷泵电路的装置,该装置包括第一和第二组开关元件以及控制器电路。第一组中的开关耦合电容器的端子,以允许它们之间的电荷转移。第二组中的开关将至少一些电容器的端子耦合到高电压或低电压端子。控制器通过状态序列使开关循环,每个状态定义开关元件的对应配置。其中至少三个状态定义不同配置,从而允许第一电容器和第二电容器之间或者第一电容器和其中一个端子之间的电荷转移。所配置的状态循环导致两个端子之间的电压转换。



1. 一种用于耦合到电容器以形成电荷泵电路的装置,所述装置包括:第一组开关元件、第二组开关元件,以及控制器电路,其中所述第一组开关元件包括被配置为耦合电容器元件的端子以允许电容器之间的电荷转移的开关元件,其中第二组开关元件包括被配置为将至少一些电容器元件的端子耦合到第一端子的开关元件,其中第一端子选自包括高电压端子和低电压端子组合的组中,其中控制器电路耦合到开关元件,并被配置为通过状态序列循环开关元件,其中每个状态定义所述开关元件的对应配置,其中至少三个状态定义开关元件的允许一对元件之间的电荷转移的不同配置,其中这对元件选自包括第一电容器和第二电容器,以及第一电容器和所述第一端子组成的组中,并且其中所配置的状态循环提供高电压端子和低电压端子之间的电压转换。

2. 如权利要求1所述的装置,还包括用于将开关元件耦合到电容器的端子。

3. 如权利要求1所述的装置,还包括所述电容器,其中,当所述电容器耦合到开关元件时,所述电容器定义电荷泵电路。

4. 如权利要求1所述的装置,还包括集成电路,其中至少部分所述电荷泵电路和至少部分所述控制器电路形成在单个集成电路中。

5. 如权利要求1所述的装置,还包括调节器电路,其中所述调节器电路耦合到所述电荷泵电路的高电压端子和低电压端子当中至少一个。

6. 如权利要求5所述的装置,其中所述调节器电路被配置为在所述电荷泵电路的低电压端子处提供电流负载。

7. 如权利要求5所述的装置,其中所述调节器电路被配置为在所述电荷泵电路的低电压端子处作为电流源操作。

8. 如权利要求5所述的装置,其中所述调节器电路被配置为在所述电荷泵电路的高电压端子处提供电流负载。

9. 如权利要求5所述的装置,其中所述调节器电路被配置为在所述电荷泵电路的高电压端子处作为电流源操作。

10. 如权利要求5所述的装置,其中所述调节器电路被配置为使脉动电流在所述调节器电路和所述电荷泵电路之间通过。

11. 如权利要求10所述的装置,其中电荷泵在具有第一部分和第二部分的脉冲循环中操作,其中所述脉动的电流包括在第一部分期间的第一恒定电流和在第二部分期间的第二恒定电流,其中所述第一恒定电流在量值上大于所述第二恒定电流。

12. 如权利要求1所述的装置,还包括调节器电路,其中所述调节器电路被配置为控制在所述调节器电路和所述电荷泵电路之间通过的平均电流。

13. 如权利要求12中任何一项所述的装置,其中所述调节器电路是开关模式功率转换器。

14. 如权利要求12中任何一项所述的装置,其中所述调节器电路是降压转换器。

15. 如权利要求1所述的装置,其中所述控制器电路被配置为维持电荷泵循环时间的部分的对应持续时间的每个状态,其中所述状态的持续时间选择为通过每个循环的状态序列,维持每个所述电容器的平衡的充电和放电。

16. 如权利要求1所述的装置,其中所述控制器电路被配置为选择所述状态的持续时间,以减少在状态过渡时所述电容器之间电荷的重新分配。

17. 如权利要求1所述的装置,其中,当耦合到所述电容器元件的端子时,所述开关元件定义所述电荷泵电路。

18. 如权利要求17所述的装置,其中所述电荷泵电路包括多相电荷泵。

19. 如权利要求17所述的装置,其中所述电荷泵电路包括单相电荷泵。

20. 如权利要求17所述的装置,其中所述电荷泵电路包括级联倍增器。

21. 如权利要求1所述的装置,其中所述控制器电路被配置为从第一和第二组开关元件中的至少一个中,接收传感器信号,并至少部分地基于所述传感器信号,自适应地通过所述状态序列调整所述开关元件的循环。

22. 如权利要求1所述的装置,还包括第一调节器电路和第二调节器电路,其中所述第一调节器电路耦合到所述电荷泵电路的高电压端子,并且其中所述第二调节器电路耦合到所述电荷泵电路的低电压端子。

23. 如权利要求22所述的装置,其中所述控制器电路被配置为从第一和第二组开关元件中的至少一个,接收传感器信号,并至少部分地基于所述传感器信号,自适应地通过状态序列的循环调整所述开关元件。

24. 如权利要求1所述的装置,还包括调节器电路,其中,所述调节器电路耦合到所述电荷泵电路的高电压端子,其中,所述调节器电路是磁过滤器。

25. 如权利要求1所述的装置,还包括调节器电路,其中,所述调节器电路耦合到所述电荷泵电路的低电压端子,其中,所述调节器电路是磁过滤器。

26. 如权利要求17所述的装置,其中所述电荷泵电路包括多级电荷泵。

27. 一种用于操作电荷泵的方法,其中来自第一组开关元件的开关元件被配置为耦合电容器元件的端子,以允许所述电容器之间的电荷转移,并且其中来自第二组开关元件的开关元件被配置为将电容器元件的端子耦合到选自包括高电压端子和低电压端子组成的组中的第一端子,所述方法包括引起所述高电压端子和所述低电压端子之间的电压转换,其中引起电压转换包括通过状态序列循环所述开关元件状态序列,每个状态定义所述开关元件的对应配置,至少三个状态定义所述开关元件的允许一对元件之间的电荷转移的不同配置,其中这对元件选自包括第一电容器和第二电容器,以及第一电容器和所述第一端子组成的组中。

28. 如权利要求27所述的方法,还包括维持调节器电路和所述电荷泵电路之间通过的平均电流。

29. 如权利要求27所述的方法,还包括调节所述第一端子处的电流,由此维持调节器电路和所述电荷泵电路之间通过的平均电流。

30. 如权利要求27所述的方法,其中通过状态序列循环所述开关元件包括维持电荷泵循环时间的部分的对应持续时间的每个状态。

31. 如权利要求30所述的方法,其中所述状态的持续时间被选择为通过所述每个循环的状态序列,维持每个电容器的平衡的充电和放电。

32. 如权利要求27所述的方法,还包括控制调节器电路和所述电荷泵电路之间的平均电流。

33. 如权利要求27所述的方法,还包括将调节器电路耦合到所述第一端子。

34. 如权利要求33所述的方法,还包括使所述调节器电路在所述电荷泵电路的低电压

端子处提供电流负载。

35. 如权利要求33所述的方法,还包括使所述调节器电路在所述电荷泵电路的高电压端子处提供电流负载。

36. 如权利要求33所述的方法,还包括使所述调节器电路在所述电荷泵电路的低电压端子处作为电流源操作。

37. 如权利要求33所述的方法,还包括使所述调节器电路在所述电荷泵电路的高电压端子处作为电流源操作。

38. 如权利要求33所述的方法,还包括使脉动电流在所述调节器电路和所述电荷泵电路之间通过。

39. 如权利要求27所述的方法,还包括将来自第一和第二组开关元件的开关元件耦合到所述电容器元件的端子。

40. 如权利要求39所述的方法,其中耦合所述开关元件包括形成多相电荷泵。

41. 如权利要求39所述的方法,其中耦合所述开关元件包括形成单相电荷泵。

42. 如权利要求39所述的方法,其中耦合所述开关元件包括形成多级电荷泵。

43. 如权利要求39所述的方法,其中耦合所述开关元件包括形成级联倍增器。

44. 如权利要求29所述的方法,还包括选择所述调节器电路为开关模式功率转换器。

45. 如权利要求29所述的方法,还包括选择所述调节器电路为降压转换器。

46. 如权利要求27所述的方法,还包括从所述第一和第二组开关元件中的至少一个中,接收传感器信号,并至少部分地基于所述传感器信号,自适应地通过所述状态序列调整所述开关元件的循环。

47. 如权利要求27所述的方法,还包括将第一调节器耦合到所述高电压端子,并且将第二调节器耦合到所述低电压端子。

48. 如权利要求27所述的方法,还包括将调节器耦合到所述高电压端子并且选择所述调节器为磁过滤器。

49. 如权利要求27所述的方法,还包括将调节器耦合到所述低电压端子并且选择所述调节器为磁过滤器。

50. 如权利要求27所述的方法,还包括控制第一和第二组开关元件中至少一个,并至少部分地基于从所述第一和第二组开关元件中的至少一个接收到的传感器信号,自适应地通过所述状态序列调整所述开关元件的循环。

## 电荷平衡的电荷泵控制

[0001] 相关申请

[0002] 本申请要求2014年3月14日优先权日期的美国临时申请61/953,270的权益,该申请的内容通过引用被结合于此。

### 技术领域

[0003] 本发明涉及对电荷泵的控制,以平衡电荷。

### 背景技术

[0004] 于2012年11月8日公开并且通过引用被结合于此的专利出版物WO 2012/151466描述了也被称为开关电容器转换器的电荷泵的构造,其中源和/或负载包括调节/调节器电路。在一些例子中,负载可以有效地包括电流源和/或负载,而不是在称为电荷泵的“绝热”操作的例子中给出恒定电压。调节/调节器电路,诸如开关模式功率转换器,表现为电流负载/源。因此,电流负载/源和调节/调节器电路对于本公开内容的目的是可以互换的。

[0005] 虽然,与纯粹的或基本基于电压的负载(和/或源)相比而言,基于电流的负载(和/或源)的使用可以提高效率,但是内部能量损失会保留,例如,由于电荷在电荷泵中的再分配。

### 发明内容

[0006] 对于电荷泵使用基于电流的负载(和/或源)的一个效果是可以存在其中与基于电压的负载和/或源一起使用的常规开关定时导致跨电容器的电荷不平衡的情况,这会导致效率的损失,例如,由于在电荷泵中的配置之间切换之后立即接着的电荷重新分配。

[0007] 在一方面,一般而言,提高使用绝热电荷转移的电荷泵的效率的做法使用三个或更多个状态,每个状态对应于将电容器彼此耦合的开关和/或电荷泵的输入和输出端子的配置。通过引入多于两个状态的适当序列,其中电荷在电容器之间来回转移,并且选择那些状态在电荷泵的每个操作循环中被占用的持续时间,出入每个电容器的电荷转移在操作循环期间被平衡,由此避免或大大减少在状态过渡的电荷重新分配及其关联的导致低效的电力损耗。

[0008] 在一方面,本发明特征在于耦合到电容器以形成电荷泵电路的装置。这种装置包括第一组和第二组开关元件以及控制器电路。第一组开关元件包括被配置为耦合电容器元件的端子以允许电容器之间的电荷转移的开关元件。第二组开关元件包括被配置为将至少一些电容器元件的端子耦合到第一端子的开关元件,其中第一端子可以是高电压端子或低电压端子。控制器电路耦合到开关元件,并被配置为通过状态序列循环开关元件。每个状态定义开关元件的对应配置。其中至少三个状态定义开关元件的允许一对元件之间的电荷转移的不同配置。这对元件或者是一对电容器,或者是电容器和端子。所配置的状态循环提供高电压端子和低电压端子之间的电压转换。

[0009] 在一些实施例中,存在用于将开关元件耦合到电容器的端子。

[0010] 其它实施例包括电容器自身。在这些实施例中,当电容器耦合到开关元件时,电容器定义电荷泵电路。

[0011] 一些实施例包括集成电路。在这些实施例中,至少部分该电荷泵电路和至少部分该控制器电路形成在单个集成电路中。

[0012] 在实施例中还有包括调节器电路的实施例。在这些实施例中,调节器电路耦合到电荷泵电路的高电压端子和低电压端子当中至少一个。在这些实施例中的一些当中,调节器电路被配置为在电荷泵电路的低电压端子处提供电流负载。在其它情况下,调节器电路被配置为在电荷泵电路的低电压端子处作为电流源操作。在还有其它情况下,调节器电路被配置为在电荷泵电路的高电压端子处提供电流负载,或者在电荷泵电路的高电压端子处作为电流源操作,或者使脉动电流在调节器电路和电荷泵电路之间通过。在后一种情况下,电荷泵在脉冲循环中操作,该脉冲循环具有期间脉动电流的量值是第一恒定电流的第一部分和期间脉动电流的量值大于第二恒定电流的第二部分。在许多情况下,第二恒定电流基本上为零甚至等于零。通常,第一恒定电流基本上大于第二恒定电流。

[0013] 在一些实施例中,调节器电路被配置为控制在调节器电路和电荷泵电路之间通过的平均电流。

[0014] 在那些以调节器为特征的实施例中,可以使用很多调节器类型。这些包括是开关模式功率转换器,或降压转换器,或甚至磁过滤器的调节器。

[0015] 在一些实施例中,控制器被配置为维持电荷泵循环时间的部分的对应持续时间的每个状态。这些状态的持续时间被选择为通过每个循环的状态序列,维持每个电容器的平衡的充电和放电。

[0016] 在其它实施例中,控制器被配置为选择状态的持续时间,以减少在状态过渡时电容器之间电荷的重新分配。

[0017] 当耦合到电容器元件的端子时,开关元件定义各种电荷泵电路中任意一种。例子包括多相电荷泵、单相电荷泵、多级电荷泵和级联倍增器。

[0018] 在实施例中还有那些实施例,其中控制器被配置为从第一和第二组开关元件中的至少一个,接收传感器信号,并至少部分地基于传感器信号,自适应地通过状态序列调整开关元件的循环。

[0019] 在一些实施例中,有两个调节器电路。一个调节器电路耦合到电荷泵电路的高电压端子。与此同时,第二个调节器电路耦合到电荷泵电路的低电压端子。第一或第二调节器可以是磁过滤器。在这些实施例中存在那些实施例,其中控制器被配置为从第一和第二组开关元件中的至少一个,接收传感器信号,并至少部分地基于传感器信号,自适应地通过状态序列的循环调整开关元件。

[0020] 在另一方面,本发明的特征在于操作电荷泵的方法,其中来自第一组开关元件的开关元件被配置为耦合电容器元件的端子,以允许电容器之间的电荷转移,并且其中来自第二组开关元件的开关元件被配置为将电容器元件的端子耦合到高电压端子或低电压端子。这种方法包括引起高电压端子和低电压端子之间的电压转换。引起这种电压转换包括通过状态序列循环开关元件通过状态序列。每个状态定义开关元件的对应配置。其中至少三个状态定义开关元件的允许一对元件之间的电荷转移的不同配置,从而允许一对元件之间的电荷转移。这对元件是或者一对电容器或者一个电容器和其中一个端子。

[0021] 本发明的一些实践包括维持在调节器电路和电荷泵电路之间通过的平均电流。其它实践包括调节在第一端子处的电流,由此维持在调节器电路和电荷泵电路之间通过的平均电流。

[0022] 在其它实践中,通过状态序列循环开关元件包括维持电荷泵循环时间的部分的对应持续时间的每个状态。这还可以包括状态的持续时间被选择为通过每个循环的状态序列维持每个电容器的平衡的充电和放电。

[0023] 本发明的一些实践包括控制调节器电路和电荷泵电路之间的平均电流。

[0024] 其它实践包括将调节器电路耦合到第一端子。在这些实践中存在这样的实践,包括使调节器电路在电荷泵电路的低电压端子提供电流负载,使调节器电路在电荷泵电路的高电压端子提供电流负载,使调节器电路在电荷泵电路的低电压端子作为电流源操作,使调节器电路在电荷泵电路的高电压端子作为电流源操作,以及使脉动电流在调节器电路和电荷泵电路之间通过。

[0025] 一些实践包括将来自第一和第二组开关元件的开关元件耦合到电容器元件的端子。这会导致形成多相电荷泵、单相电荷泵、多级电荷泵,或级联倍增器。

[0026] 涉及调节器的那些实践包括选择调节器的类型。这可以包括选择调节器是开关模式功率转换器,选择调节器是降压转换器,或选择调节器是磁过滤器。

[0027] 一些实践还包括从第一和第二组开关元件中至少一个中,接收传感器信号,并至少部分地基于传感器信号,自适应地通过状态序列调整开关元件的循环。

[0028] 一些实践涉及两个调节器的使用。这些实践还包括将第一调节器耦合到高电压端子,并且将第二调节器耦合到低电压端子。其中一个调节器可以是磁过滤器,而另一个是转换器。在这些实践中存在那些实践,还包括控制第一和第二组开关元件中至少一个,并至少部分地基于从所述第一和第二组开关元件中至少一个接收到的传感器信号,自适应地通过状态序列调整开关元件的循环。

[0029] 从以下描述并从权利要求书,本发明的其它特征和优点是显而易见的。

## 附图说明

[0030] 图1是具有电压源和电流负载的单相5:1电荷泵的示意图。

[0031] 图2A-2B是开关配置分别处于状态1和2的图1电路的示意图。

[0032] 图3A-3C分别是处于状态1a、1b和2的图1电路的示意图。

[0033] 图3D是示出在电荷泵操作期间,跨图3A-3C中每个电容器的电压的一组波形。

[0034] 图4A-4C分别是处于状态1a、1b和2的可选定义的图1电路的示意图。

[0035] 图4D是示出在电荷泵操作期间,跨图4A-4C中每个电容器的电压的一组波形。

[0036] 图5是具有电压源和电流负载的单相6:1电荷泵的示意图。

[0037] 图6A-6D分别是处于状态1a、1b、2a和2b的图5电路的示意图。

[0038] 图7是具有电压源和电流负载的两相5:1电荷泵的示意图。

[0039] 图8A-8B分别是处于状态1a和1b的图7电路的示意图。

[0040] 图9是具有电压源和电流负载的两相3:1串联-并联电荷泵的示意图。

[0041] 图10A-10D分别是处于状态1a、1b、2a和2b的图9电路的示意图。

[0042] 图11A-11B分别是处于状态1a和1b的图7电路的示意图,具有电流偏斜。

[0043] 图12-14是功率转换器的框图。

### 具体实施方式

[0044] 第一示例电荷泵110在图1中示出,以说明在这种电荷泵操作中电荷不平衡的来源。电荷泵110是级联倍增器,被配置为额定提供5:1(即, $M=5$ )的电压逐级下降,使得输出电压 $V_{OUT}$ (伏)是输入电压 $V_{IN}$ (伏)的五分之一。四个电容器(标记为 $C_1$ 至 $C_4$ )与每个电容器的两个端子上的开关(标记为 $S_1$ 至 $S_9$ )一起使用,以存储输入电压 $V_{IN}$ 的一小部分并将电荷从一个电容器转移到下一个。最靠近 $V_{IN}$ 和 $V_{OUT}$ 端子的电容器分别被标记为 $C_1$ 和 $C_4$ ,并且在下文被称为“外部”电容器,而标记为 $C_2$ 和 $C_3$ 的其余电容器在下文中被称为“内部”电容器。作为进一步的记号,在电容器 $C_k$ 上的电压和电荷分别被表示为 $V_k$ 和 $Q_k$ 。除非另有说明,否则电容器被理想地视为具有完全相同的电容 $C$ (法拉)。

[0045] 通过控制一组开关( $S_1$ 至 $S_9$ )操作电荷泵110,使得电荷在电容器之间以及端子和电容器之间通过。电荷泵110的开关的控制可以被表示为通过状态序列的循环,其中每个状态与这组开关的特定配置(即,每个开关开路(不导通)和闭路(导通)配置的特定设置)关联。

[0046] 图1中所示的电荷泵110的一种操作模式使用两个状态的循环。在状态1中,标记为“1”的开关(即, $S_1$ 、 $S_3$ 、 $S_5$ 、 $S_7$ 、 $S_8$ )关闭并且标记为“2”的开关(即, $S_2$ 、 $S_4$ 、 $S_6$ 、 $S_9$ )打开。在状态2中,标记为“1”的开关打开,并且标记为“2”的开关关闭。开关的这些配置以如下表格形式示出(“1”指示开关关闭并且“0”指示开关打开):

状态	开关								
	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$	$S_6$	$S_7$	$S_8$	$S_9$
状态 1	1	0	1	0	1	0	1	1	0
状态 2	0	1	0	1	0	1	0	0	1

[0048] 注意,在实践当中,可能需要附加的状态,其中所有或足够多组开关打开,使得电荷不在电容器之间来或通过,而不影响电荷泵110的整体功能,例如,在“先开后合接点”做法中,以避免真正瞬时切换的必要性。但是,为了下面对理想行为的分析,这种附加状态一般不考虑,因为这些附加状态不涉及电荷的转移并且不会影响分析的结果。

[0049] 电荷泵110的完整循环具有两个状态的序列,状态1后面跟着状态2。第一相节点 $P_1$ 与电容器 $C_1$ 、 $C_3$ 的负端子耦合,并且第二相节点 $P_2$ 与电容器 $C_2$ 、 $C_4$ 的负端子耦合。第一相节点 $P_1$ 的电压在地和输出电压 $V_{OUT}$ 之间交替,并且第二相节点 $P_2$ 的电压与第一相节点 $P_1$ 为异相。

[0050] 在稳态操作中,电容器 $C_1$ 至 $C_4$ 具有跨其端子的额定电压,该额定电压是额定输出电压的倍数:

$$[0051] \quad V_1^{(nom)} = 4 * V_{OUT}^{(nom)} = (4/5) * V_{IN}$$

$$[0052] \quad V_2^{(nom)} = 3 * V_{OUT}^{(nom)} = (3/5) * V_{IN}$$

$$[0053] \quad V_3^{(nom)} = 2 * V_{OUT}^{(nom)} = (2/5) * V_{IN}$$

$$[0054] \quad V_4^{(nom)} = 1 * V_{OUT}^{(nom)} = (1/5) * V_{IN}$$



[0055] 例如,当输入电压 $V_{IN}$ 等于25.0(伏)时,跨电容器 $C_1$ - $C_4$ 的额定电压分别是20.0、15.0、10.0和5.0(伏),并且额定输出电压 $V_{OUT}$ 是5.0(伏)。在电荷泵110的操作的相继状态循环期间,跨电容器的实际电压围绕这些额定值变化(即,电压表现出“波纹”),表示为:

$$[0056] \quad V_k = V_k^{(nom)} + v_k$$

[0057] 在这个例子中,电荷泵110的输出端子被视为耦合到电流负载,具有电流 $I_{OUT}$ 。在一些例子中,这个电流被假定是恒定的。更一般而言,如下面进一步讨论的,该电流可以以恒定的平均值 $\bar{I}_{OUT} = D * I_{OUT}^{(peak)}$ 脉动,其中 $D$ 是脉动的电流负载的占空比(零和一之间的分数);这是降压转换器的行为的良好表示。一般而言,电流负载开关的频率是电荷泵110开关的频率的多倍(例如,2倍、3倍、10倍、100倍)。在一些例子中,该电流在每个状态期间可以是恒定的,但在每个状态期间具有不同的值。此外,状态过渡时刻优选地选择发生在输出电流占空比循环的零电流部分期间,由此减少对于非理想(例如,晶体管)开关的切换损耗。但是,为了这个第一例的讨论,仅考虑恒定电流情况。

[0058] 参考图2A-2B,图1中电荷泵110的等效电路分别针对状态1和状态2示出。一般而言,在状态1中,能量从 $V_{IN}$ 端子转移到外部电容器 $C_1$ ,在内部电容器 $C_2$ 、 $C_3$ 之间,以及从外部电容器 $C_4$ 转移到 $V_{OUT}$ 端子。在状态2中,能量在电容器之间转移并转移到在 $V_{OUT}$ 端子的负载。

[0059] 在状态1期间,外部电容器 $C_1$ 、 $C_4$ 携带 $0.4 * I_{OUT}$ 的电流,同时内部电容器 $C_2$ 、 $C_3$ 各自携带 $0.2 * I_{OUT}$ 的电流,这是通过外部电容器 $C_1$ 、 $C_4$ 的电流的一半。因此,如果状态1具有状态持续时间 $t_1$ ,则外部电容器 $C_1$ 、 $C_4$ 上的电荷变化,表示为 $\Delta Q_{k,j}$ ,是在状态 $j$ 期间电容器 $C_k$ 上的电荷变化,满足

$$[0060] \quad +\Delta Q_{1,1} = -\Delta Q_{4,1} = t_1 * 0.4 * \bar{I}_{OUT}$$

[0061] 同时在状态1期间内部电容器 $C_2$ 、 $C_3$ 上的电荷变化满足

$$[0062] \quad -\Delta Q_{2,1} = +\Delta Q_{3,1} = t_1 * 0.2 * \bar{I}_{OUT} \bullet$$

[0063] 应当指出,内部电容器 $C_2$ 、 $C_3$ 串联连接,同时外部电容器 $C_1$ 、 $C_4$ 是在其相应路径上的唯一元件,从而使电流相应地由串联电容器的数量划分。

[0064] 在状态2期间,每个电容器携带 $0.5 * I_{OUT}$ 的电流。内部电容器 $C_2$ 、 $C_3$ 在任一状态下总是与另一个电容器串联连接,同时外部电容器 $C_1$ 、 $C_4$ 仅在状态2期间具有类似的串联连接。通过每个电容器的电流流向极性根据需从一个状态到下一个状态来回变化,以给电容器充电和放电,并且维持跨电容器的恒定平均电压。

[0065] 如果电荷泵110对于 $t_1 = t_2 = 0.5 * T_{SW}$ ,以50%的占空比被控制,其中 $T_{SW}$ 是切换循环的总持续时间,则每个电容器 $C_k$ 上跨两个状态的每个循环的净电荷, $\Delta Q_k = \Delta Q_{k,1} + \Delta Q_{k,2}$ ,不为零。这样做的一个后果是电容器上的净电荷和平均电压可能在相继的循环上漂移,和/或可能在每次状态过渡处,造成电荷的相当大的重新分配,这两者都不是期望的。

[0066] 图1中所示的电荷泵110的备选三态控制使用标记为“1a”、“1b”和“2”的状态。这些状态下开关的配置以如下表格形式示出:

状态	开关								
	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$	$S_6$	$S_7$	$S_8$	$S_9$
[0067] 状态 1a	1	0	0	0	1	0	1	1	0
状态 1b	0	0	1	0	0	0	1	1	0
状态 2	0	1	0	1	0	1	0	0	1

[0068] 在这些状态中每一个状态的等效电路分别在图3A-3C中示出。应当指出,在状态1a中,  $0.5 \cdot I_{OUT}$  的电流通过每个电容器  $C_1$ 、 $C_4$  (具有相反的电压极性), 在状态1b中,  $1.0 \cdot I_{OUT}$  的电流通过电容器  $C_2$ 、 $C_3$ , 而在状态2中,  $0.5 \cdot I_{OUT}$  的电流通过所有四个电容器。为平衡每个循环中总的电荷变化的状态持续时间  $t_{1a}$ 、 $t_{1b}$ 、 $t_2$  的合适选择必须满足方程组:

$$[0069] \quad \Delta Q_1 = 0 = +0.5t_{1a} - 0.5t_2$$

$$[0070] \quad \Delta Q_2 = 0 = -1.0t_{1b} + 0.5t_2$$

$$[0071] \quad \Delta Q_3 = 0 = +1.0t_{1b} - 0.5t_2$$

$$[0072] \quad \Delta Q_4 = 0 = -0.5t_{1a} + 0.5t_2$$

$$[0073] \quad T_{SW} = +1.0t_{1a} + 1.0t_{1b} + 1.0t_2$$

[0074] 其中, 该方程组满足:

$$[0075] \quad t_{1a} = 0.4 \cdot T_{SW}$$

$$[0076] \quad t_{1b} = 0.2 \cdot T_{SW}$$

$$[0077] \quad t_2 = 0.4 \cdot T_{SW}$$

[0078] 假设以上状态持续时间, 图3D示出了当电荷泵110具有等于25.0伏的输入电压  $V_{IN}$  时, 跨图3A-3C中电容器  $C_1$ - $C_4$  的电压  $V_1$ - $V_4$ 。这产生具有大约5.0伏的平均电压的输出电压  $V_{OUT}$ , 如图3D中所示。

[0079] 另一种控制图1的电荷泵110的三态做法使用不同的状态序列, 分别具有图4A-4C中所示的开关配置和对应等效电路。在三个状态下开关的配置以表格形式示为:

状态	开关								
	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$	$S_6$	$S_7$	$S_8$	$S_9$
[0080] 状态 1a	1	0	1	0	1	0	1	1	0
状态 1b	0	0	1	0	0	0	1	1	0
状态 2	0	1	0	1	0	1	0	0	1

$$t_{1a} = 0.5 \cdot T_{SW}$$

[0081] 如上面给出的适用于这种状态定义的分析产生满足  $t_{1b} = 0.1 \cdot T_{SW}$  的电荷平衡方

$$t_2 = 0.4 \cdot T_{SW}$$

程的状态持续时间。

[0082] 假设以上状态持续时间, 图4D示出了当电荷泵110具有等于25.0伏的输入电压  $V_{IN}$  时, 跨图4A-4C中电容器  $C_1$ - $C_4$  的电压  $V_1$ - $V_4$ 。这产生具有大约5.0伏的平均电压的输出电压

$V_{OUT}$ ,如图3D中所示。应当指出,图4D中的波形形状与图3D中的不同。

[0083] 通过电容器的RMS(根均方)电流的总和的考虑显示,这些状态定义产生比前面描述的三态配置(图3A-3C)更低的值。在电荷泵110的非理想实现中,其中包括与电容器串联的电阻之内的电阻造成功率损耗,较低的RMS电流与较小的功率损耗关联。因此,这些状态配置可以是优选的。

[0084] 应当指出,不同的状态序列仍然会在重复的循环上导致电荷平衡。例如,利用与上面确定的相同的状态持续时间,状态序列1a-1b-2-1a-1b-2.....可以用序列1b-1a-2-1b-1a-2...代替。

[0085] 其它状态定义和定时也遵循上面概述的方法。例如,针对 $M=5$ 的情况的两种附加方法在下面以表格形式示出:

状态	开关									持续时间
	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$	$S_6$	$S_7$	$S_8$	$S_9$	
状态 1a	0	0	1	0	1	0	1	1	0	$0.3 * T_{SW}$
状态 1b	1	0	1	0	0	0	1	1	0	$0.3 * T_{SW}$
状态 2	0	1	0	1	0	1	0	0	1	$0.4 * T_{SW}$

[0087] 和

状态	开关									持续时间
	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$	$S_6$	$S_7$	$S_8$	$S_9$	
状态 1a	1	0	0	0	0	0	1	X	0	$0.2 * T_{SW}$
状态 1b	0	0	0	0	1	0	X	1	0	$0.2 * T_{SW}$
状态 1c	0	0	1	0	0	0	1	1	0	$0.2 * T_{SW}$
状态 2	0	1	0	1	0	1	0	0	1	$0.4 * T_{SW}$

[0089] 其中X指示开关可以或者打开或者关闭。

[0090] 上面针对图1的 $M=5$ 电路给出的多态做法可以被直接扩展到M的其它奇数值。一般而言,在状态1a中,电容器 $C_1$ 与电容器 $C_{M-1}$ 并联,并且当 $M \geq 5$ 时通过 $C_{M-3}$ 和 $C_{M-2}$ 与 $C_2$ 和 $C_3$ 的串联连接并联。状态1b具有通过 $C_{M-3}$ 和 $C_{M-2}$ 与 $C_2$ 和 $C_3$ 的串联的并联连接,并且状态2具有通过 $C_{M-2}$ 和 $C_{M-1}$ 与串联的 $C_1$ 和 $C_2$ 的并联连接。用于一般奇数M的状态持续时间的闭合形式可以被表示为

[0091]  $t_{1a} = (M+5) / (4M) * T_{SW}$

[0092]  $t_{1b} = (M-3) / (4M) * T_{SW}$

[0093]  $t_2 = (M-1) / (2M) * T_{SW}$

[0094] 类似的做法可以应用到其中M是偶数的情况。参考图5,6:1 (M=6) 级联倍增器类型的电荷泵110被示出,其包括标记为S<sub>1</sub>至S<sub>10</sub>的十个开关和标记为C<sub>1</sub>至C<sub>5</sub>的五个电容器。在四个状态1a、1b、2a和2b中每一种当中用于开关的配置在下表中示出。在这些状态中每一个当中的等效电路分别在于图6A-6D中示出。

状态	开关									
	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>	S <sub>8</sub>	S <sub>9</sub>	S <sub>10</sub>
[0095] 状态 1a	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0
状态 1b	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0
状态 2a	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1
状态 2b	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1

[0096] 应用上述分析类型,通过状态的循环实现电荷转移的平衡的状态持续时间产生:

[0097]  $t_{1a} = 1/3 * T_{SW}$

[0098]  $t_{1b} = 1/6 * T_{SW}$

[0099]  $t_{2a} = 1/3 * T_{SW}$

[0100]  $t_{2b} = 1/6 * T_{SW}$

[0101] 就像对于M是奇数的情况,用于任意M是偶数的一般解决方案产生解决方案:

[0102]  $t_{1a} = (M-2) / (2M) * T_{SW}$

[0103]  $t_{1b} = 1/M * T_{SW}$

[0104]  $t_{2a} = (M-2) / (2M) * T_{SW}$

[0105]  $t_{2b} = 1/M * T_{SW}$

[0106] 上述做法也可适用于多相电荷泵。例如,图7示出了两相M=5级联倍增器类型电荷泵110,其包括标记为S<sub>1a</sub>至S<sub>7b</sub>的十四开关和标记为C<sub>1a</sub>至C<sub>4b</sub>的八个电容器。在一种可能的四态(其中状态标记为1a、1b、2a、2b)做法中用于开关的配置在下表中示出:

状态	开关													
	S <sub>1a</sub>	S <sub>1b</sub>	S <sub>2a</sub>	S <sub>2b</sub>	S <sub>3a</sub>	S <sub>3b</sub>	S <sub>4a</sub>	S <sub>4b</sub>	S <sub>5a</sub>	S <sub>5b</sub>	S <sub>6a</sub>	S <sub>6b</sub>	S <sub>7a</sub>	S <sub>7b</sub>
[0107] 状态 1a	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0
状态 1b	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0
状态 2a	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1
状态 2b	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1

[0108] 图8A-8B分别示出了用于状态1a和1b的等效电路。用于状态2a和2b的电路是等同的(即,电路的“a”和“b”元件互换)。针对四个状态中每一个,对这个电路应用的电荷平衡约

束产生 $0.25 \cdot T_{SW}$ 的状态持续时间,如下所示:

$$[0109] \quad t_{1a} = t_{2a} = 0.25 \cdot T_{SW}$$

$$[0110] \quad t_{1b} = t_{2b} = 0.25 \cdot T_{SW}$$

[0111] 应当指出,在这个例子中,在电流为 $0.4 \cdot I_{OUT}$ 时,在状态1b和2b期间来自 $V_{IN}$ 端子的输入电流为零,并且在状态1a和2a期间非零,如预期的那样产生 $0.2 \cdot \bar{I}_{OUT} = \bar{I}_{OUT}/M$ 的平均输入电流。

[0112] 参考图7,两个部分的并联布置如图1所示;每个部分的定时为异相 $90^\circ$ ,使得一个部分具有状态1a的开关配置,而另一个部分具有状态1b的开关配置,等等。应当指出,在这个并联布置中,平均输入电流在每个操作循环中是 $0.2 \cdot \bar{I}_{OUT} = \bar{I}_{OUT}/M$ 。

[0113] 上述做法可适用于广泛的电荷泵拓扑。作为进一步的例子,图9示出了 $M=3$ 两相串-并联电荷泵110,其包括标记为 $S_{1a}$ 至 $S_{7b}$ 的十四个开关和标记为 $C_{1a}$ 至 $C_{2b}$ 的四个电容器。在四个状态下开关的配置以表格形式示为:

状态	开关													
	$S_{1a}$	$S_{1b}$	$S_{2a}$	$S_{2b}$	$S_{3a}$	$S_{3b}$	$S_{4a}$	$S_{4b}$	$S_{5a}$	$S_{5b}$	$S_{6a}$	$S_{6b}$	$S_{7a}$	$S_{7b}$
状态 1a	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0
状态 1b	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1
状态 2a	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0
状态 2b	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0

[0115] 用于四个状态的等效电路在图10A-10D中示出。电荷平衡是针对每个状态,利用状态持续时间 $0.25 \cdot T_{SW}$ 实现的,从而在每个状态从 $V_{IN}$ 产生平均输入电流和 $(1/3) \cdot \bar{I}_{OUT}$ 的循环。

[0116] 在上面的分析中,平均电流 $\bar{I}_{OUT,j}$ 被假设为在所有状态持续时间期间是相同的,因此,电荷转移与 $t_j \cdot \bar{I}_{OUT}$ 成比例。在备选做法中,平均输出电流可被控制成对不同的状态不同,使得在状态j的电荷转移与 $t_j \cdot \bar{I}_{OUT,j}$ 成比例,其中状态持续时间 $t_j$ 和平均电流 $\bar{I}_{OUT,j}$ 都是根据约束方程确定的。在一些例子中,状态持续时间还可以出于其它考虑而进一步(完全或部分地)受限,例如,为了避免可能造成EMI(电磁干扰)的短状态持续时间。其中输出电流的这种可变和周期性控制可以有效的例子是当串联或并联地驱动一个或多个LED(发光二极管)时,其中电流的变化不会明显地导致光输出的可察觉的变化。

[0117] 以上描述的做法可以应用到图7的两相 $M=5$ 级联倍增器类型电荷泵110。一种可能的四态(其中状态标记为1a、1b、2a、2b)做法具有如图11A-11B中所示的分别用于状态1a和1b的等效电路。用于状态2a和2b的电路是等同的(即,互换电路的“a”和“b”元件)。在四个状态下的开关的配置以表格形式示为:

状态	开关													
	$S_{1a}$	$S_{1b}$	$S_{2a}$	$S_{2b}$	$S_{3a}$	$S_{3b}$	$S_{4a}$	$S_{4b}$	$S_{5a}$	$S_{5b}$	$S_{6a}$	$S_{6b}$	$S_{7a}$	$S_{7b}$
[0118] 状态 1a	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0
状态 1b	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0
状态 2a	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1
状态 2b	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1

[0119] 针对四个状态中每一个状态具有 $0.25 \cdot T_{SW}$ 的状态持续时间,变得有必要在每个状态下,对输出负载应用电流偏斜 $I_{SKEW}$ ,以实现在四个状态的循环上的电荷平衡。在这个例子中,在状态1a和2a期间 $0.2 \cdot I_{OUT}$ 的负电流偏斜,以及在状态1b和2b期间 $0.2 \cdot I_{OUT}$ 的正电流偏斜,将实现所有电容器在一个循环上的电荷平衡,其中跨四个状态的每个循环的平均输出电流为 $I_{OUT}$ 。换句话说,在状态1a和2a期间的输出负载电流是 $0.8 \cdot I_{OUT}$ 并且在状态1b和2b期间输出负载电流是 $1.2 \cdot I_{OUT}$ 。所施加的电流偏斜的量值在所有四个状态下是相同的,但是电流偏斜的极性从一个状态到下一个,在正和负之间来回变化。对于利用这种四态做法和 $0.25 \cdot T_{SW}$ 的状态持续时间的两相电荷泵,用于任意M的一般解决方案产生以下针对所应用电流歪斜 $I_{SKEW}$ 的量值的解决方案:

$$[0120] \quad I_{SKEW} = \left| \frac{4-M}{M} \right| I_{OUT}$$

[0121] 应当理解,上面的描述集中在对具有理想的开关、理想的电流、电压源和无电阻电路路径的理想化电路的分析。在实践中,例如开关是用晶体管来实现的,晶体管一般表现出内部电阻和电容特性。输出电流负载可以利用电感器来实现,使得在被建模为恒定电流的占空比的部分期间,由于能量从电荷泵转移到电感器,因此电流实际上波动。物理电容器可能具有稍微不同的电容,并且因此对电荷平衡的理想分析可能不完全正确。不过,上面给出的做法可适用于该做法的非理想实现,或者精确地,或者考虑到电路的非理想本质,例如,确定状态持续时间以实现实际而不是理想电路中的电荷平衡,例如,利用数值电路模拟技术。

[0122] 于是根据上述一种或多种做法控制的电荷泵的实现可能使用控制器,该控制器器被配置为遵循该状态序列并相应地设置该开关。参考图12,功率转换器100的例子包括耦合到控制器120的电荷泵110,该控制器120在路径132上提供控制信号并且在路径134上接收传感器信号。电荷泵110包括电容器112和开关114。端子116(例如,高电压端子)将电荷泵110耦合到电源150,例如,耦合到电压源(例如,在25伏)。另一个端子118将电荷泵110耦合到第一调节器电路130,第一调节器电路130被耦合到负载140。控制器120包括利用配置数据124(和/或处理器指令)配置的可编程处理器122,可编程处理器122在控制器上120赋予功能。

[0123] 在一些例子中,控制器120还控制第一调节器电路130,例如,以维持用于电荷泵110和第一调节器电路130二者的共同的底层时钟速率(例如,以电荷泵110的循环频率的2倍、4倍、10倍、100倍等等切换第一调节器电路130)。在一些实施中,控制器120整体或部分地集成在包括至少一些开关114(例如,晶体管)的集成设备中。

[0124] 备选的功率转换器101在图13中示出,其中第二调节器电路160耦合在电源150和电荷载泵110之间,而不是如图12中那样在负载140和电荷载泵110之间。在一些例子中,控制器120控制负载140,以促进电荷载泵110内电容器112的电荷平衡。在其它例子中,控制器120控制第二调节器电路160,并且在甚至还有其它例子中,控制器120控制负载140和第二调节器电路160二者。

[0125] 还有一个备选的功率转换器102在图14中示出。这个例子是功率转换器100、101的组合。在这个实施中,存在耦合在负载140和电荷载泵110之间的第一调节器电路130;以及耦合在电源150和电荷载泵110之间的第二调节器电路160。在一些例子中,控制器120控制至少第一调节器电路130或第二调节器电路160,以维持共同的底层时钟。

[0126] 在其它例子中,第一调节器电路130或第二调节器电路160都是磁过滤器,诸如LC滤波器,而不是转换器。如果第一调节器电路130是磁过滤器,则功率转换器102的调节能力仅由第二调节器电路160实现,并且绝热操作由于第一调节器电路130充当电流负载而是部分可能的。类似地,如果第二调节器电路160是磁过滤器,则功率转换器102仅由第一调节器电路130实现,并且绝热操作由于第二调节器电路160充当电流源而是部分可能的。

[0127] 应当理解,在实践中,设备不是理想的,例如,电容器112不一定具有完全相同的电容,并且在电荷载泵110中的电路路径中和通过开关114存在非零电阻。在一些例子中,控制器120根据理想化的分析控制开关114。在其它例子中,非理想化的特性的影响在确定状态持续时间时被考虑在内,例如,通过显式电路分析(例如,模拟)或自适应地通过调整相对状态持续时间,以便基于路径134上的传感器信号,在状态循环期间实现电荷平衡。在一些例子中,控制器120是可配置的软件,例如,在设备制造好之后,允许配置具体的状态定时。在一些例子中,控制器120完全或至少部分地实施在由设备的其它电路部件指定的专用应用逻辑中。

[0128] 电荷载泵110可以利用许多不同的电荷载泵拓扑来实施,诸如梯子(Ladder)、Dickson、串-并联、Fibonacci和倍频(Doubler)。类似地,用于调节器电路130、160的合适转换器包括降压转换器、升压转换器、降压-升压转换器、非反相降压-升压转换器、Cuk转换器、SEPIC转换器、谐振转换器、多级转换器、反激式转换器、正向转换器和全桥转换器。

[0129] 应当理解,以上描述意在说明而不是限制本发明的范围,本发明的范围由所附权利要求的范围限定。其它实施例在以下权利要求的范围之内。

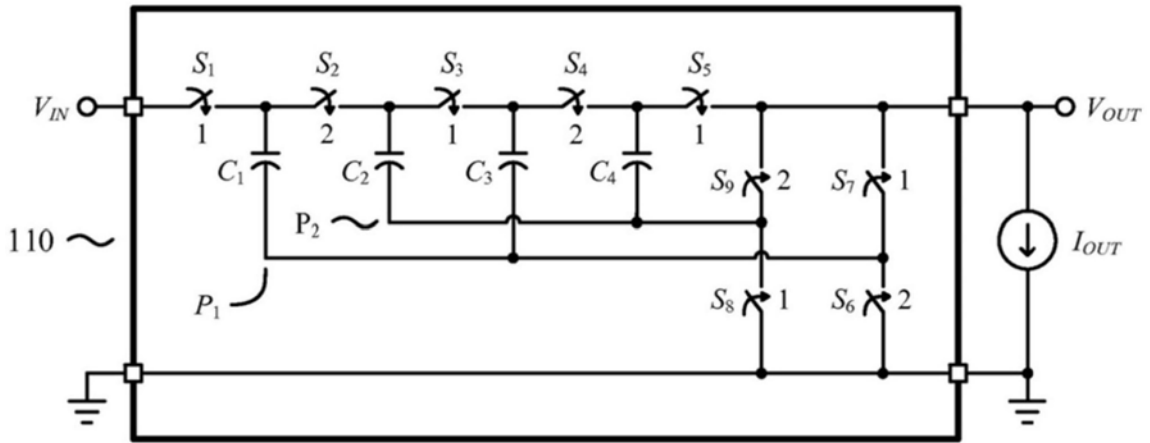


图1

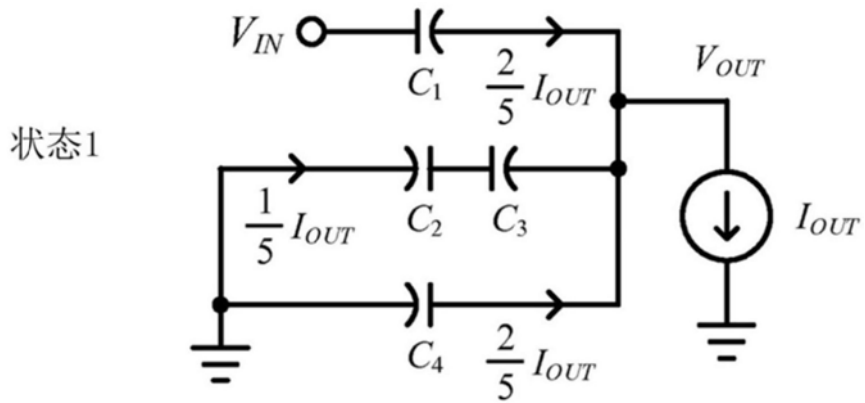


图2A

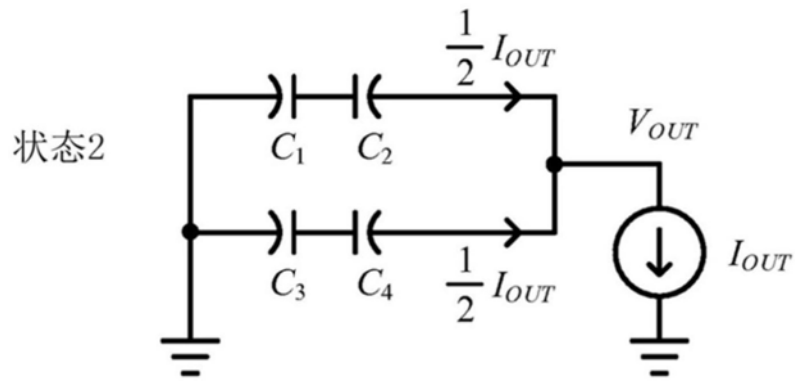


图2B



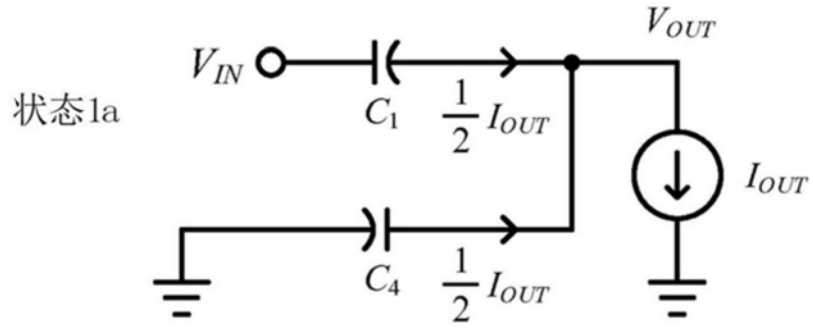


图3A

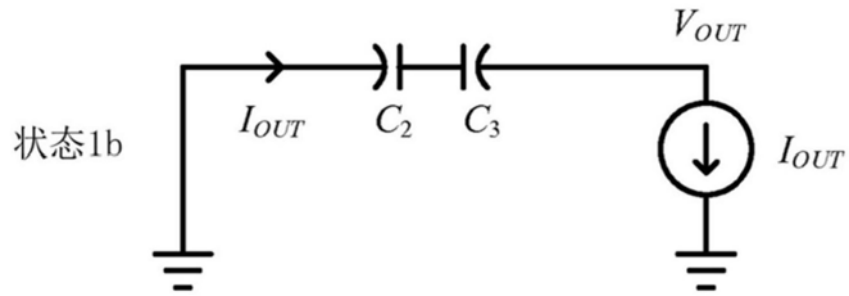


图3B

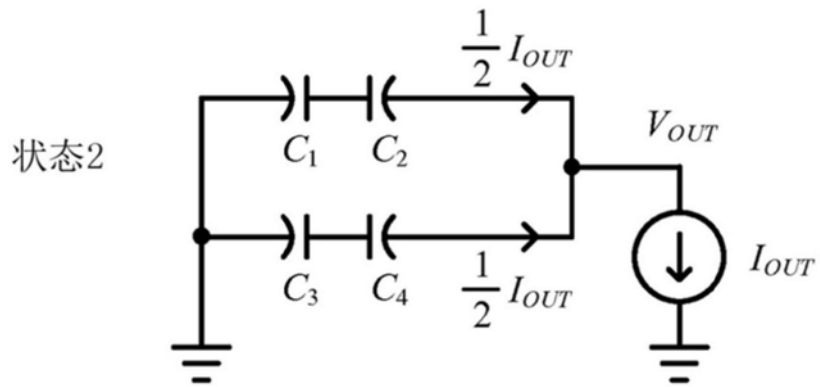


图3C

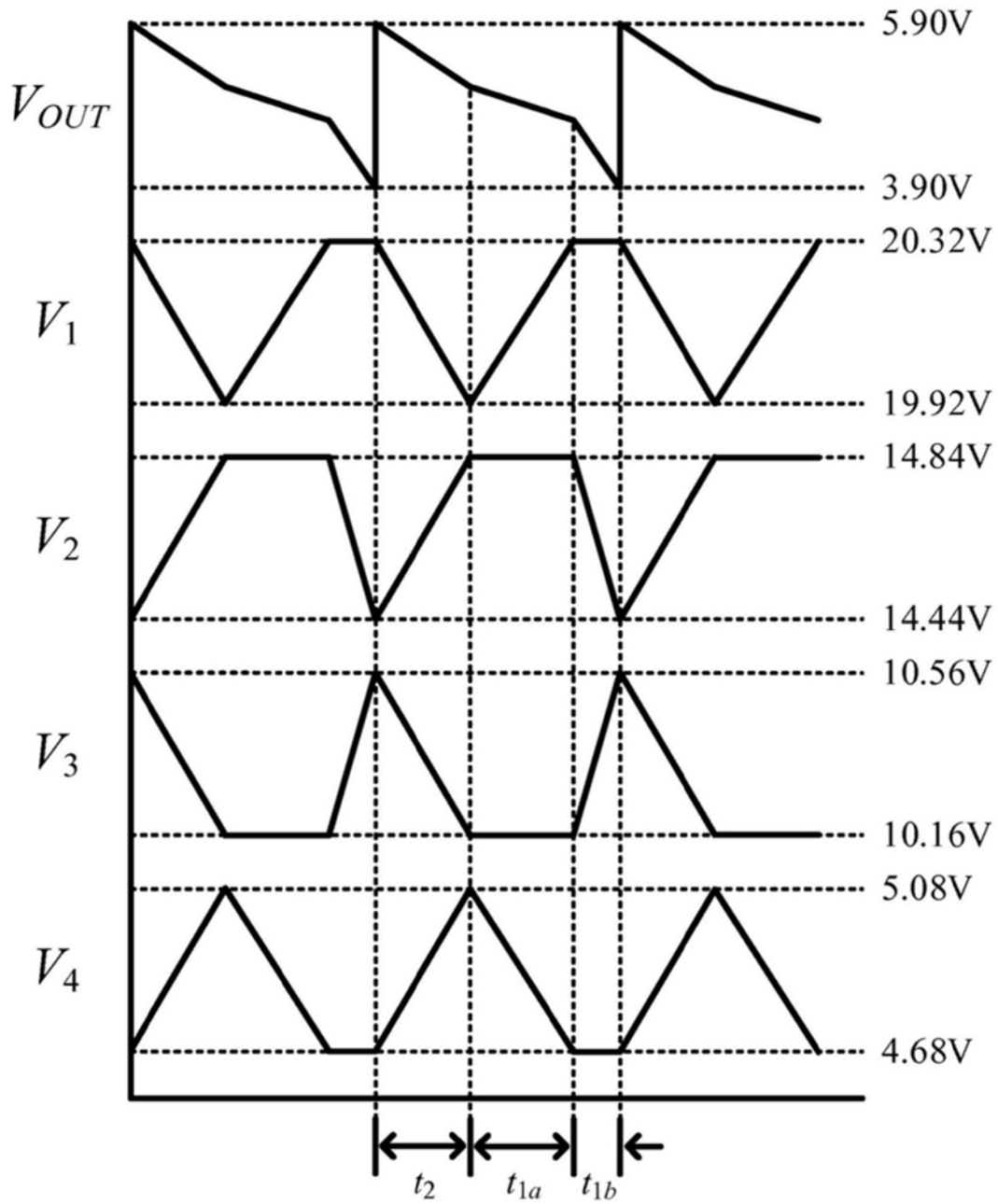


图3D

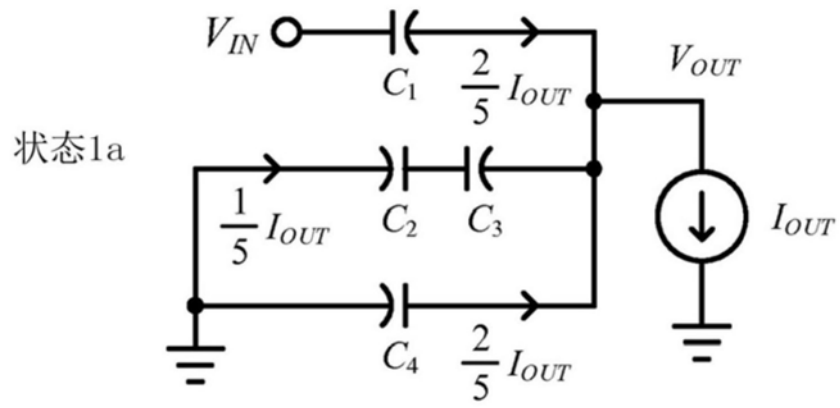


图4A

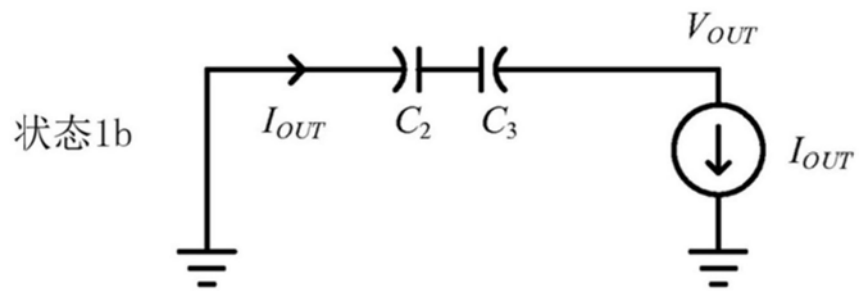


图4B

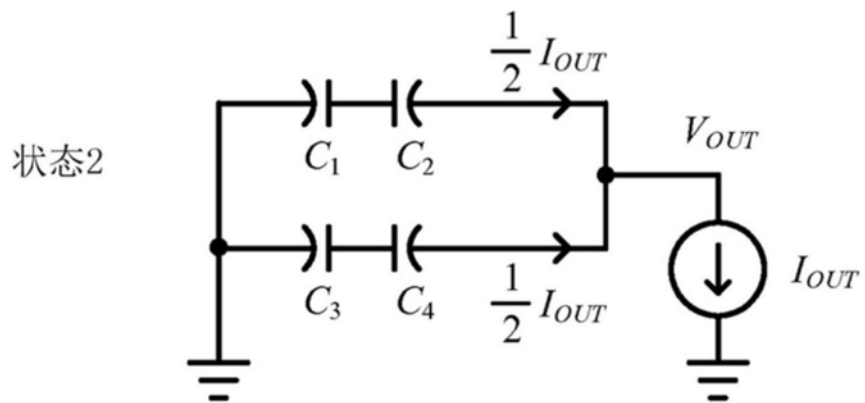


图4C

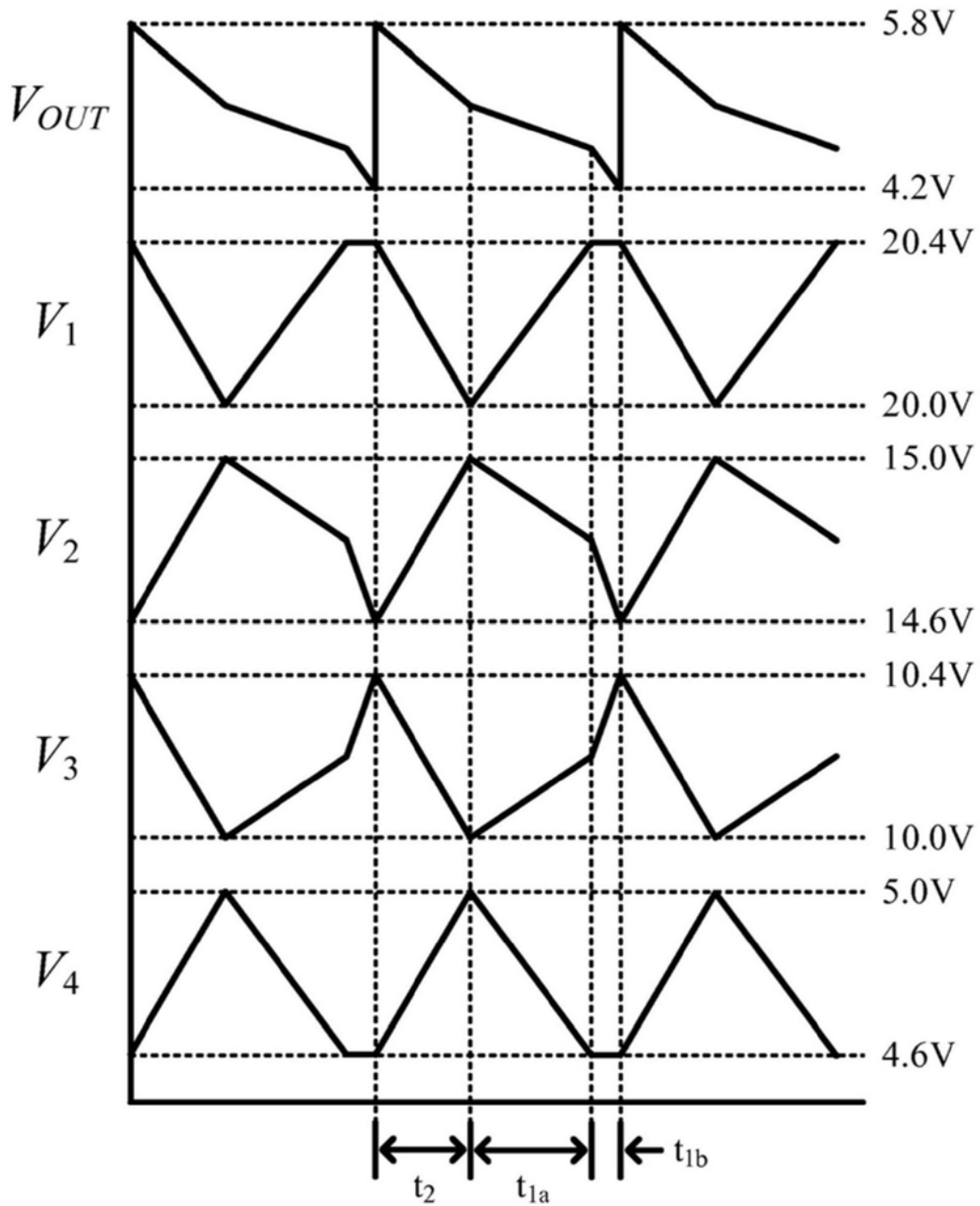


图4D

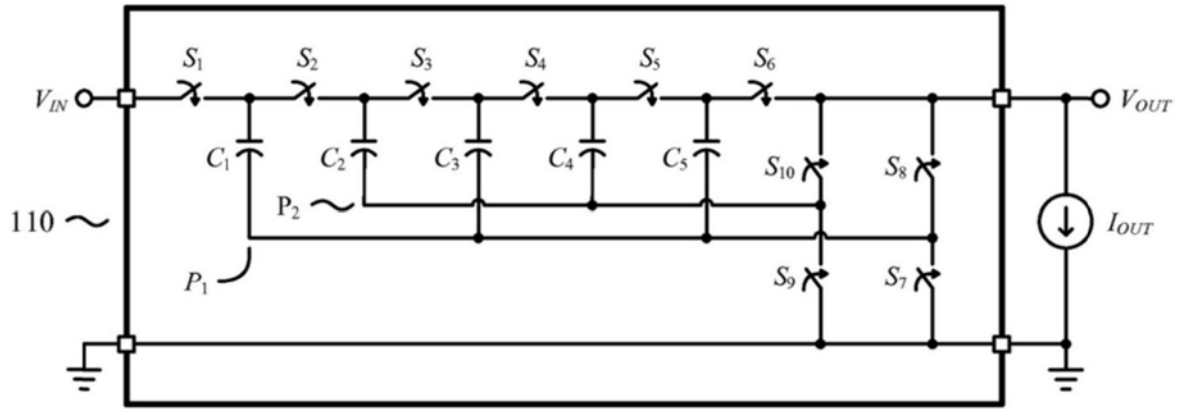


图5

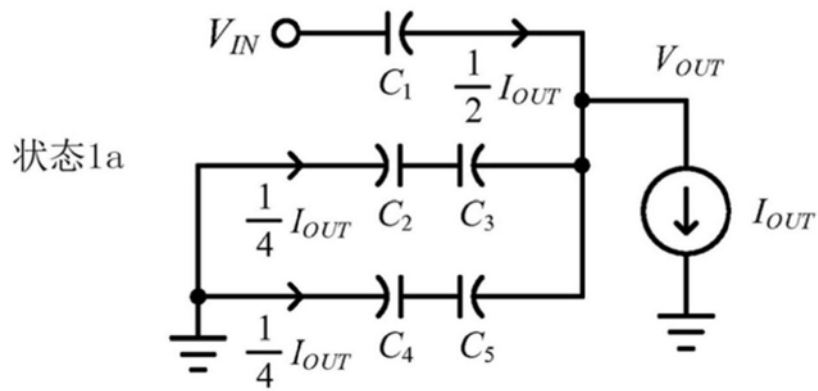


图6A

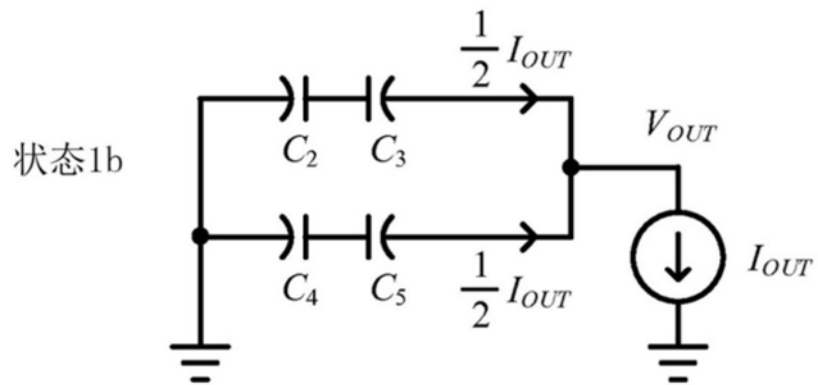


图6B

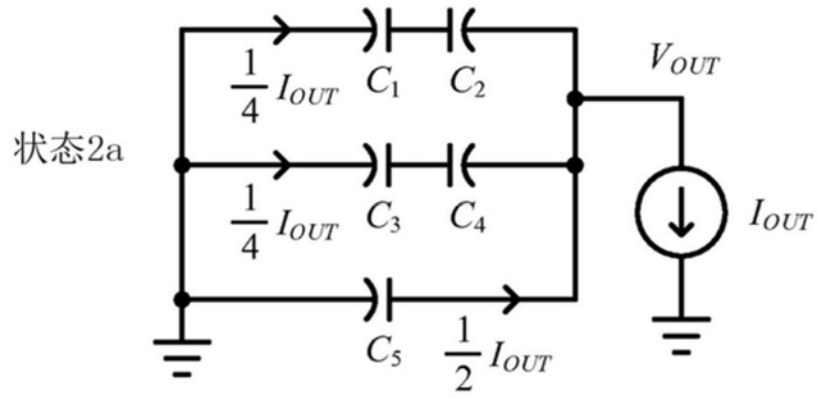


图6C

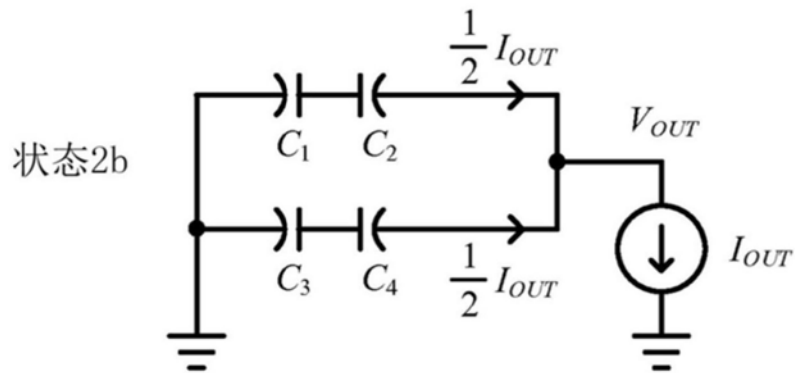


图6D

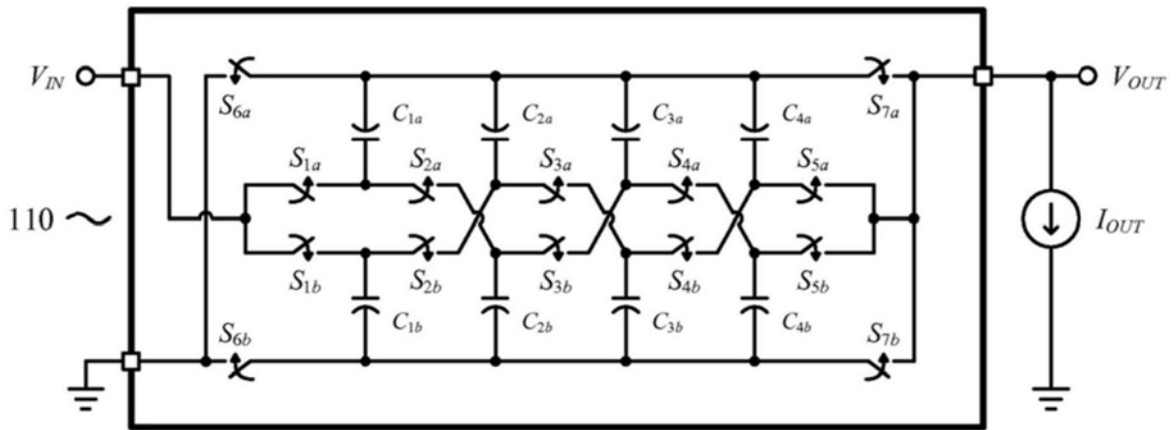


图7

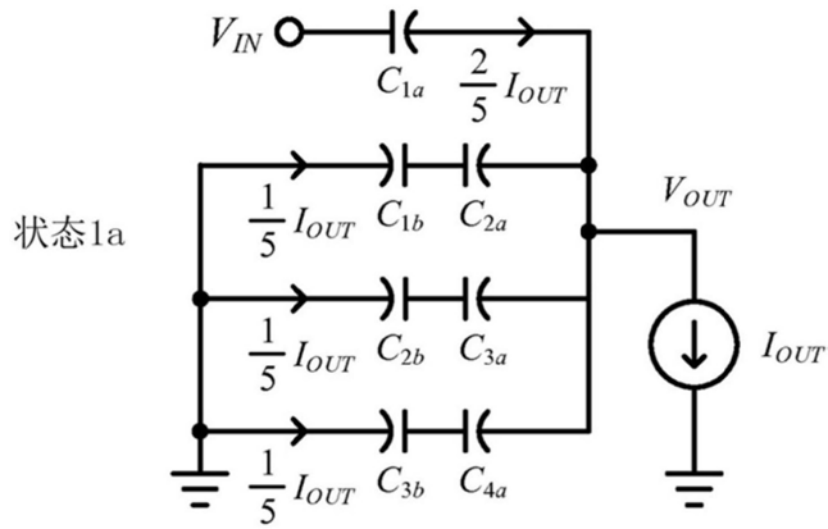


图8A

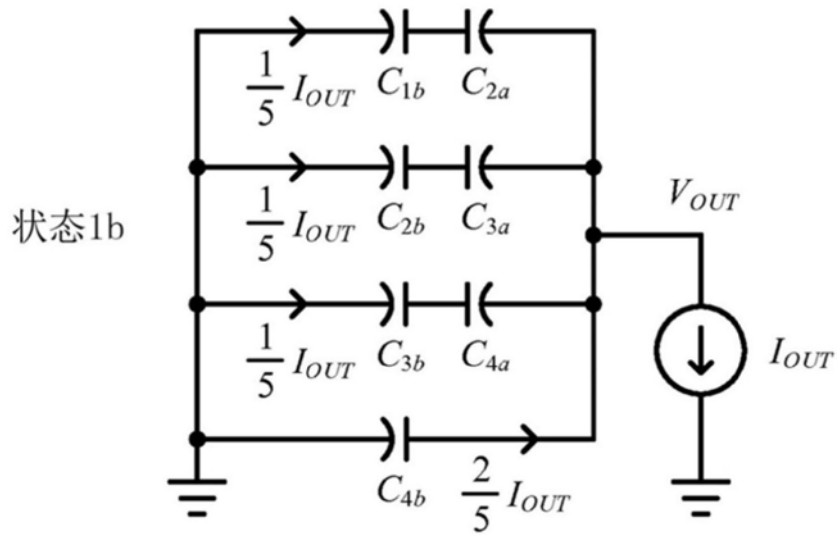


图8B

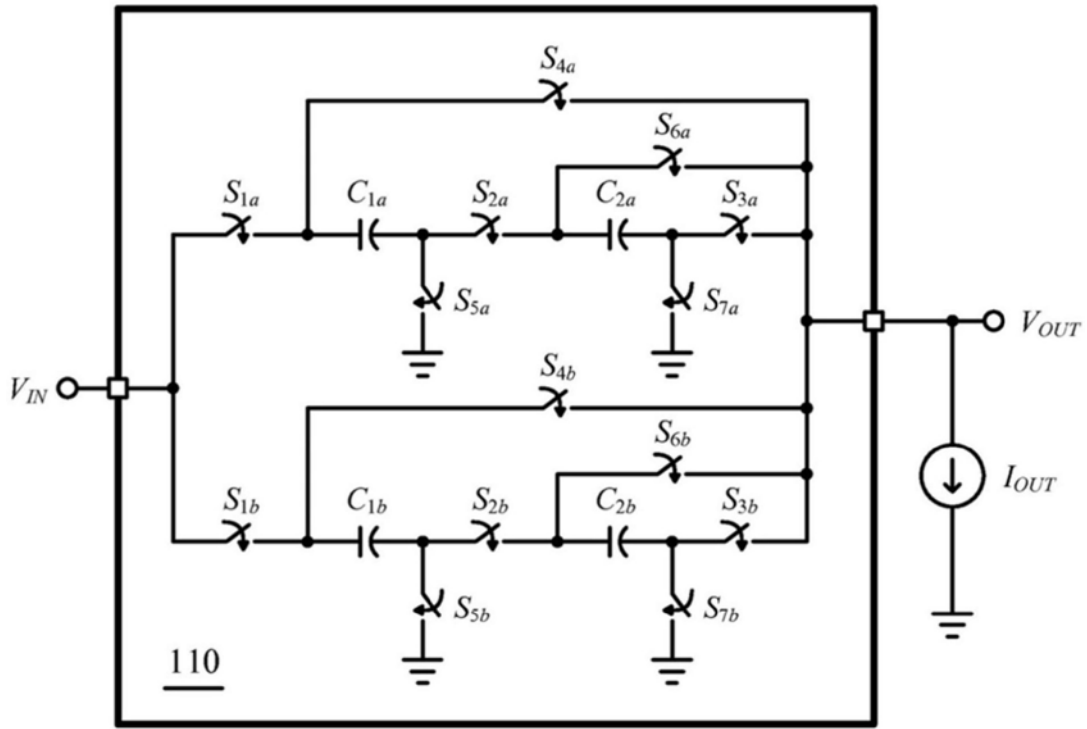


图9

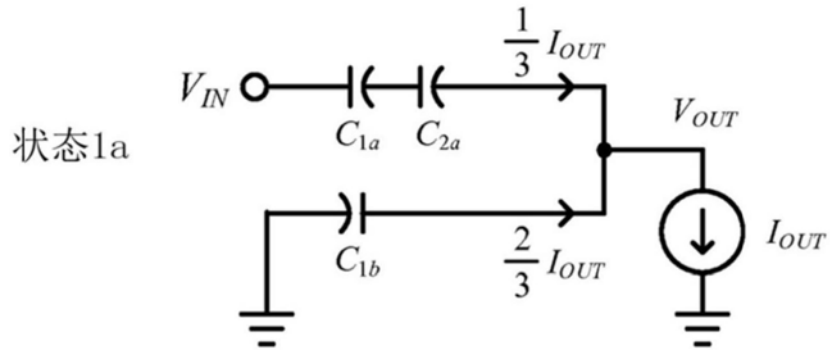


图10A

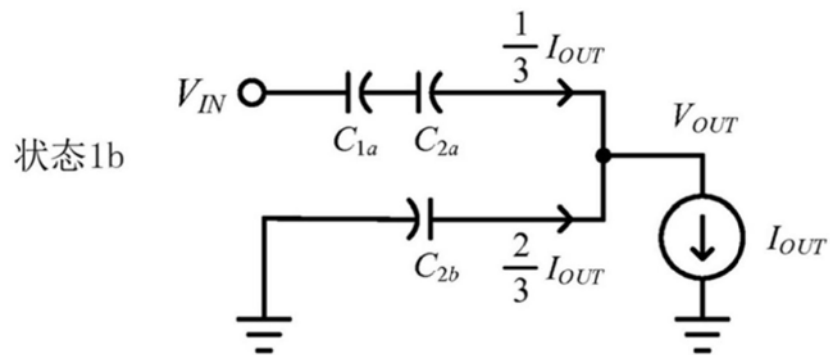


图10B



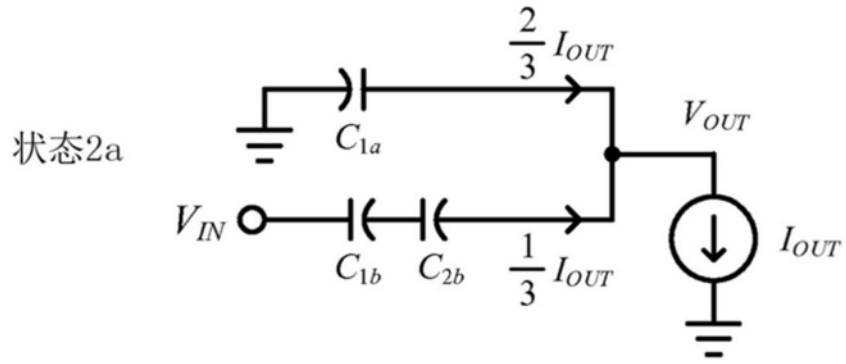


图10C

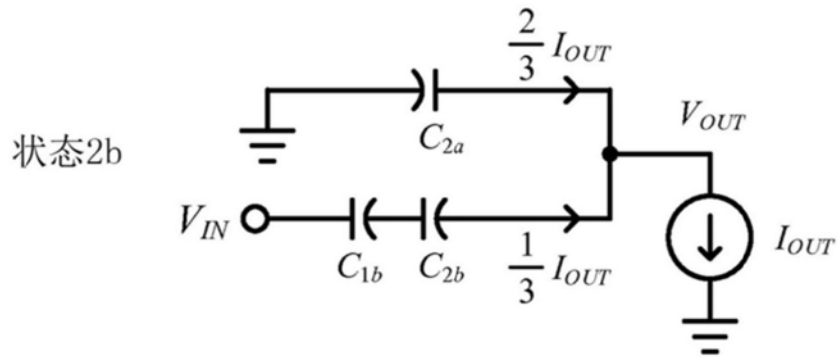


图10D

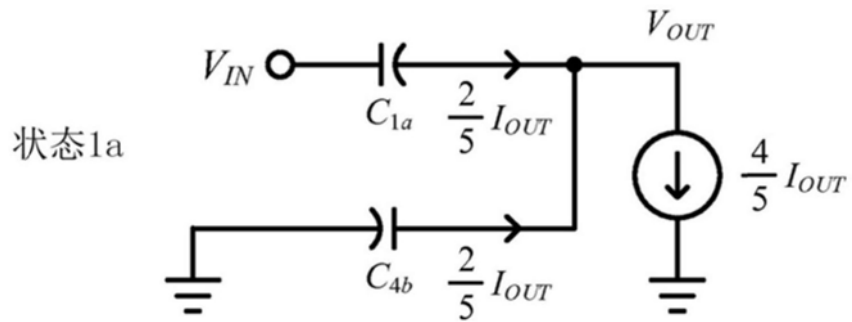


图11A

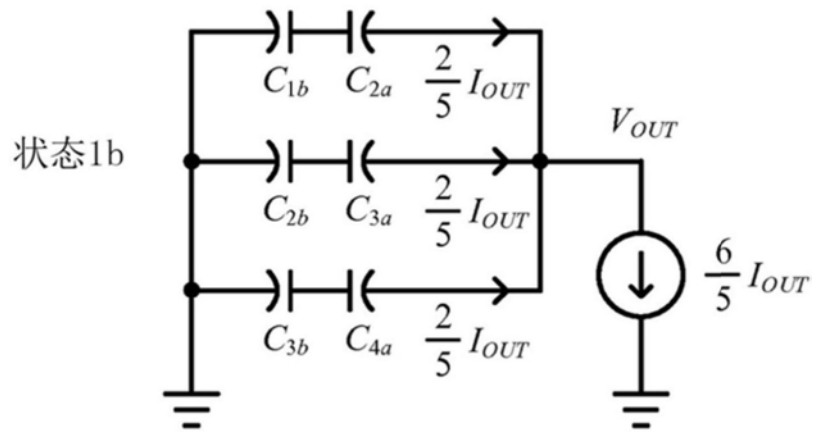


图11B

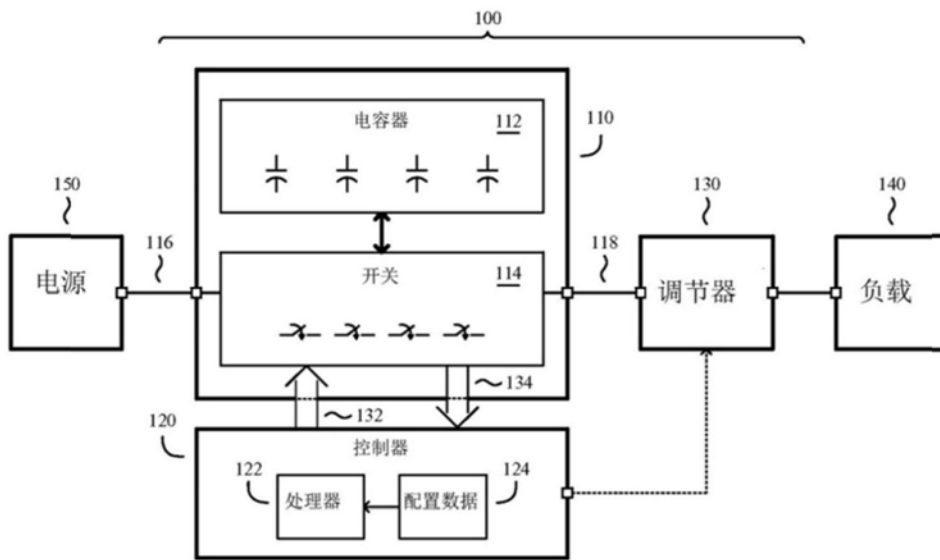


图12

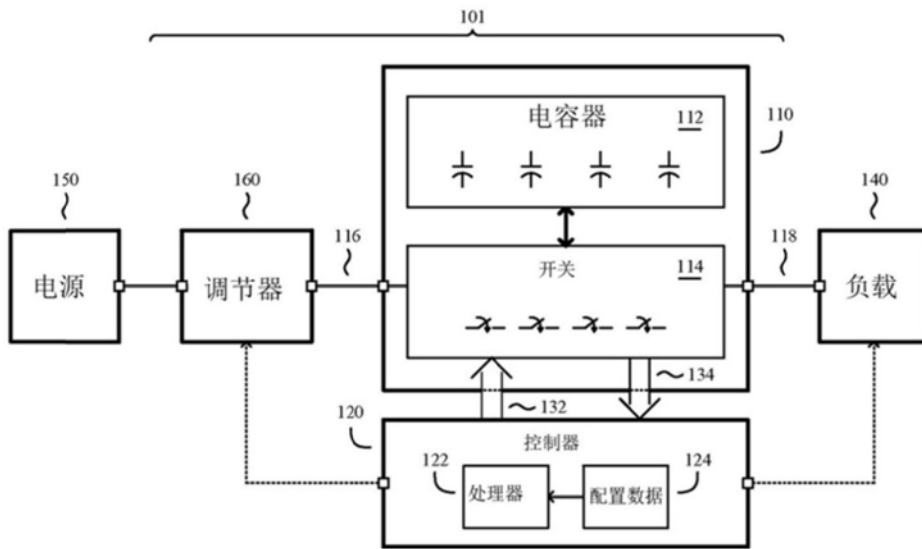


图13

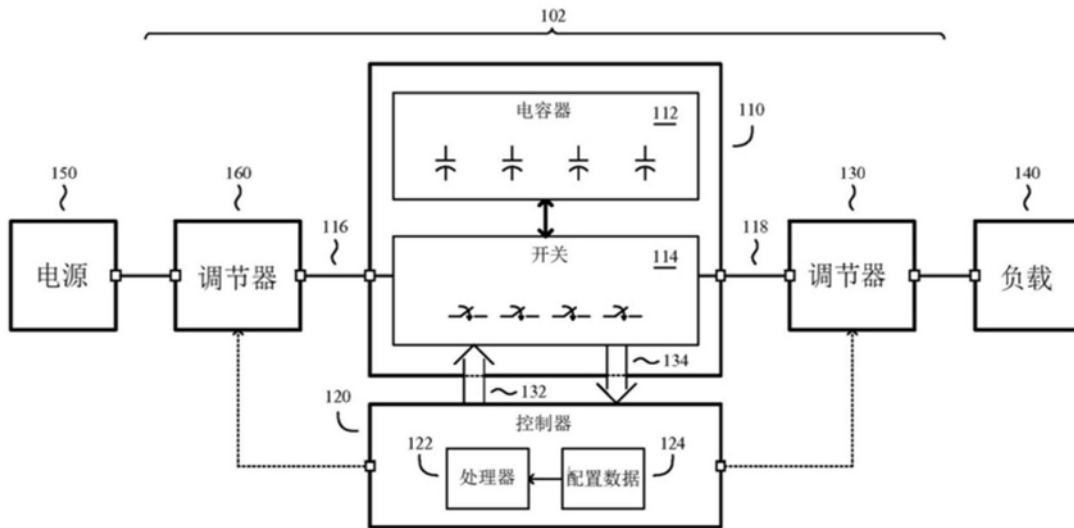


图14