



1. 一种功率转换器,包括:

第一功率开关,其具有第一栅极、第一漏极和第一源极;

第二功率开关,其具有第二栅极、第二漏极和第二源极,所述第二漏极在内部节点处耦合到所述第一源极;

控制器,其具有:

第一输入端,其被配置为接收表示由所述第一功率开关和所述第二功率开关调节的交流电源即AC电源的第一电压;

第二输入端,其被配置为接收表示所述第一漏极和所述第二源极两端的输出电压的第二电压;

接通时间控制电路,其被配置为确定第一接通时间并且基于所述第一接通时间、所述第一电压和所述第二电压确定第二接通时间;以及

选择电路,所述选择电路被配置为在所述第一电压为负时分配所述第一接通时间以控制所述第一栅极并分配所述第二接通时间以控制所述第二栅极,并且所述选择电路被配置为在所述第一电压为正时分配所述第二接通时间以控制所述第一栅极并分配所述第一接通时间以控制所述第二栅极。

2. 根据权利要求1所述的功率转换器,其中所述第一功率开关包括第一氮化镓晶体管即第一GaN晶体管,并且所述第二功率开关包括第二GaN晶体管。

3. 根据权利要求1所述的功率转换器,其中所述第一功率开关包括第一场效应晶体管即第一FET,并且所述第二功率开关包括第二FET。

4. 根据权利要求1所述的功率转换器,其中所述接通时间控制电路被配置为基于以下比率产生标称第二接通时间:所述第一电压的绝对值与所述第一接通时间之间的乘积除以所述第一电压的所述绝对值与所述第二电压之间的差值的比率。

5. 根据权利要求4所述的功率转换器,其中:

所述选择电路被配置为基于所述第一电压将所述第一功率开关或所述第二功率开关中的任一个指定为有源开关;并且

所述接通时间控制电路被配置为:

基于所述有源开关的漏极-源极电压即VDS确定预定偏移时间;以及

基于所述标称第二接通时间和所述预定偏移时间确定所述第二接通时间。

6. 根据权利要求5所述的功率转换器,其中当所述有源开关的所述VDS大于预定阈值时,所述预定偏移时间为正。

7. 根据权利要求6所述的功率转换器,其中当所述有源开关的所述VDS小于预定阈值且大于零时,所述预定偏移时间为零。

8. 根据权利要求6所述的功率转换器,其中当所述有源开关的所述VDS为负时,所述预定偏移时间为负。

9. 一种控制器,包括:

第一输入端,其被配置为接收表示由第一开关和第二开关调节的交流电源即AC电源的第一电压;

第二输入端,其被配置为接收表示所述第一开关的第一漏极和所述第二开关的第二源极之间的输出电压的第二电压;

接通时间控制电路,其被配置为基于有源接通时间、所述第一电压和所述第二电压确定续流接通时间;以及

选择电路,其被配置为:

在所述第一电压为负时,分配所述有源接通时间以控制所述第一开关的第一栅极,并且分配所述续流接通时间以控制所述第二开关的第二栅极,并且

在所述第一电压为正时,分配所述续流接通时间以控制所述第一栅极,并且分配所述有源接通时间以控制所述第二栅极。

10. 根据权利要求9所述的控制器,其中所述第一开关包括第一氮化镓晶体管即第一GaN晶体管,并且所述第二开关包括第二GaN晶体管。

11. 根据权利要求9所述的控制器,其中所述第一开关包括第一场效应晶体管即第一FET,并且所述第二开关包括第二FET。

12. 根据权利要求9所述的控制器,其中所述接通时间控制电路被配置为基于所述第一电压的绝对值与所述有源接通时间之间的乘积产生标称续流接通时间。

13. 根据权利要求12所述的控制器,其中所述接通时间控制电路被配置为进一步基于所述第一电压的所述绝对值与所述第二电压之间的差值产生标称续流接通时间。

14. 根据权利要求13所述的控制器,其中所述接通时间控制电路被配置为进一步基于所述乘积与所述差值的比率产生标称续流接通时间。

15. 根据权利要求14所述的控制器,其中:

所述选择电路被配置为基于所述第一电压将所述第一开关或所述第二开关中的任一个指定为有源开关;并且

所述接通时间控制电路被配置为:

基于所述有源开关的漏极-源极电压即VDS确定预定偏移时间;以及

基于所述标称续流接通时间和所述预定偏移时间确定所述续流接通时间。

16. 根据权利要求15所述的控制器,其中当所述有源开关的所述VDS大于预定阈值时,所述预定偏移时间为正。

17. 根据权利要求15所述的控制器,其中当所述有源开关的所述VDS小于预定阈值且大于零时,所述预定偏移时间为零。

18. 根据权利要求15所述的控制器,其中当所述有源开关的所述VDS为负时,所述预定偏移时间为负。

19. 一种功率转换器,包括:

第一功率开关,其具有第一栅极、第一漏极和第一源极;

第二功率开关,其具有第二栅极、第二漏极和第二源极,所述第二漏极在内部节点处耦合到所述第一源极;

控制器,其被配置为:

接收表示由所述第一功率开关和所述第二功率开关调节的交流电源即AC电源的第一电压;

接收表示所述第一漏极和所述第二源极两端的输出电压的第二电压;

当所述第一电压为正时,将所述第一功率开关指定为续流开关,并且将所述第二功率开关指定为有源开关;

当所述第一电压为负时,将所述第二功率开关指定为所述续流开关,并且将所述第一功率开关指定为所述有源开关;

接收表示所述有源开关的漏极-源极电压即VDS的第三电压;

基于有源接通时间、所述第一电压、所述第二电压和所述第三电压确定续流接通时间;以及

选择所述有源接通时间来控制所述有源开关,并且选择所述续流接通时间来控制所述续流开关。

20. 根据权利要求19所述的功率转换器,其中所述第一功率开关包括第一氮化镓晶体管即第一GaN晶体管,并且所述第二功率开关包括第二GaN晶体管。

21. 根据权利要求19所述的功率转换器,其中所述第一功率开关包括第一场效应晶体管即第一FET,并且所述第二功率开关包括第二FET。

22. 根据权利要求19所述的功率转换器,其中所述控制器被配置为基于所述第一电压的绝对值与所述有源接通时间之间的乘积产生标称续流接通时间。

23. 根据权利要求19所述的功率转换器,其中所述控制器被配置为基于所述第一电压的绝对值与所述第二电压之间的差值产生标称续流接通时间。

24. 根据权利要求19所述的功率转换器,其中所述控制器被配置为基于以下比率产生标称续流接通时间:所述第一电压的绝对值与所述有源接通时间之间的乘积除以所述第一电压的所述绝对值与所述第二电压之间的差值的比率。

25. 根据权利要求24所述的功率转换器,其中所述控制器被配置为:

基于所述第三电压确定预定偏移时间;以及

基于所述标称续流接通时间和所述预定偏移时间确定所述续流接通时间。

26. 根据权利要求25所述的功率转换器,其中当所述第三电压大于预定阈值时,所述预定偏移时间为正。

27. 根据权利要求25所述的功率转换器,其中当所述第三电压小于预定阈值且大于零时,所述预定偏移时间为零。

28. 根据权利要求25所述的功率转换器,其中当所述第三电压为负时,所述预定偏移时间为负。

29. 一种控制器,包括:

第一输入端,其被配置为接收表示由第一功率开关和第二功率开关调节的交流电源即AC电源的第一电压,其中所述第一功率开关包括第一栅极、第一漏极和第一源极,并且所述第二功率开关包括第二栅极、耦合到所述第一源极的第二漏极以及第二源极;

第二输入端,其被配置为接收表示所述第一漏极和所述第二源极两端的输出电压的第二电压;

第一输出端,其被配置为传递有源驱动信号;以及

第二输出端,其被配置为传递续流驱动信号,

其中所述控制器被配置为:

当所述第一电压为正时,将所述第一功率开关指定为续流开关,并且将所述第二功率开关指定为有源开关;

当所述第一电压为负时,将所述第二功率开关指定为所述续流开关,并且将所述第一

功率开关指定为所述有源开关；

采样表示所述有源开关的漏极-源极电压即VDS的第三电压；

基于有源接通时间、所述第一电压、所述第二电压和所述第三电压确定续流接通时间；

产生基于所述有源接通时间并且用于控制所述有源开关的所述有源驱动信号；以及

产生基于所述续流接通时间并且用于控制所述续流开关的所述续流驱动信号。

30. 根据权利要求29所述的控制器，其中所述第一功率开关包括第一氮化镓晶体管即第一GaN晶体管，并且所述第二功率开关包括第二GaN晶体管。

31. 根据权利要求29所述的控制器，其中所述第一功率开关包括第一场效应晶体管即第一FET，并且所述第二功率开关包括第二FET。

32. 根据权利要求29所述的控制器，其中所述控制器被配置为基于所述第一电压的绝对值与所述有源接通时间之间的乘积产生标称续流接通时间。

33. 根据权利要求29所述的控制器，其中所述控制器被配置为基于所述第一电压的绝对值与所述第二电压之间的差值产生标称续流接通时间。

34. 根据权利要求29所述的控制器，其中所述控制器被配置为基于以下比率产生标称续流接通时间：所述第一电压的绝对值与所述有源接通时间之间的乘积除以所述第一电压的所述绝对值与所述第二电压之间的差值的比率。

35. 根据权利要求34所述的控制器，其中所述控制器被配置为：

基于所述第三电压确定预定偏移时间；以及

基于所述标称续流接通时间和所述预定偏移时间确定所述续流接通时间。

36. 根据权利要求35所述的控制器，其中当所述第三电压大于预定阈值时，所述预定偏移时间为正。

37. 根据权利要求35所述的控制器，其中当所述第三电压小于预定阈值且大于零时，所述预定偏移时间为零。

38. 根据权利要求35所述的控制器，其中当所述第三电压为负时，所述预定偏移时间为负。

## 用于零电压切换的装置和方法

[0001] 本申请是国际申请日为2014年12月19日、进入国家阶段日为2016年06月20日的名称为“用于零电压切换的装置和方法”的中国专利申请201480070081.0 (PCT/US2014/071482)的分案申请。

### 背景技术

[0002] 功率因数校正即PFC转换器常用作前端级,其后跟被调控的DC-DC转换器,用PFC级转换AC输入功率以提供DC输出电压。无桥PFC转换器省略输入整流桥并为许多消费品提供成本效率和高效的功率供应方案,例如服务器和电信功率设备、机顶盒、电视机以及显示器。使用过渡模式切换工作的图腾柱型PFC电路提供针对高效率的可能性,其中一个开关作为有源(active)开关操作,其用二极管或MOSFET返回电路形成初级电流通路,而第二图腾柱开关作为续流(freewheeling)开关或同步开关操作,并且有源开关和续流开关的作用随着输入电压在正极性和负极性之间切换而改变。然而高效率的可能性被有源器件的非零切换降低,当器件电压大于零时有源开关操作导致切换损耗,并且当器件电压为负时切换有源器件出现额外的传导损耗。氮化镓(GaN)图腾柱器件提供关于高频切换速度、低开态电阻(RDS(on))和低反向恢复电荷的某些效益,其可用于改善PFC效率。然而,基于硅的MOSFET器件类型更常见,并且期望改善的控制技术和图腾柱PFC系统用于改善的效率,而不需要与使用GaN器件相关的附加成本和过程复杂性。

### 发明内容

[0003] 在描述的示例中,提供控制技术和电路用于无桥图腾柱功率因数校正转换器以促进有源开关零电压切换,其中标称的续流开关接通时间根据每个切换周期中伏特乘以秒的平衡关系确定,并且基于有源开关两端的电压有选择地调整或偏移以用于下个切换周期。在某些实施例中,如果有源开关电压高于阈值,则续流开关接通时间增加,以及如果有源开关电压为负,则续流开关接通时间在下个切换周期减小。以这种方式,本公开的控制装置和方法促进围绕零电压切换操作的调节,并且可通过有选择地延迟有源开关的接通直到负的有源开关电压返回零来促进零电流切换。AC输入电压极性在某些实施例中被感测并用于指定有源开关和续流开关,并用于操作在每个AC输入半周期中所包括的任何返回电路开关。某些实施例基于感测单相有源开关电压为交错的多相PFC转换器提供有选择性的续流开关接通时间调整。

### 附图说明

[0004] 图1为无桥图腾柱功率因数校正即PFC转换器的原理图,其具有使用可调整的续流开关接通时间控制的自适应零电压切换控制。

[0005] 图2为另外的无桥图腾柱功率因数校正PFC转换器实施例的原理图,其使用MOSFET晶体管用于半周期线路整流。

[0006] 图3为图1的PFC转换器中的电流流动原理图,其中用正的AC输入操作,有源下部开

关接通和上部续流开关断开。

[0007] 图4为图1的PFC转换器中的电流流动原理图,其中用正的AC输入操作,有源下部开关断开和上部续流开关接通。

[0008] 图5为图1的PFC转换器中的电流流动原理图,其中用负的AC输入操作,有源上部开关接通和下部续流开关断开。

[0009] 图6为图1的PFC转换器中的电流流动原理图,其中用负的AC输入操作,有源上部开关断开和下部续流开关接通。

[0010] 图7为图1的无桥PFC转换器控制器中实施的过程的流程图,其用于自适应零电压切换。

[0011] 图8为图1用于正AC输入半周期的具有PFC转换器的恒定有源开关接通时间控制的过渡模式操作的波形图。

[0012] 图9为图1的PFC转换器中自适应零电压切换控制的波形图,用于从不充分的负的续流电流调整到有源开关的零电压切换。

[0013] 图10为图1的PFC转换器中自适应零电压切换控制的波形图,用于从过度的负的续流电流调整到零电压切换。

[0014] 图11为一种转换器控制集成电路实施例的简化原理图,其用于操作图1的无桥PFC转换器。

[0015] 图12为图11的转换器控制集成电路实施例进一步细节的详细原理图。

[0016] 图13为图1的转换器的自适应零电压切换控制中用于不同的续流开关接通情况的延迟时间调整的波形图。

[0017] 图14为一种交错的无桥图腾柱零电压切换PFC控制器实施例的原理图。

[0018] 图15为另外的转换器控制集成电路实施例的简化原理图,其用于操作图14的交错的PFC转换器。

## 具体实施方式

[0019] 图1示出无桥图腾柱功率因数校正即PFC转换器或转换系统2,其从AC源4接收单相AC输入功率并提供DC输出V<sub>o</sub>。以为负载6提供功率。系统2包括控制器8,控制器8在提供第一和第二切换控制信号10和12以操作上部第一切换电路SW1和第二切换电路SW2时,使用选择性的续流开关接通时间调整实施自适应零电压切换控制,其中上部第一切换电路SW1包括晶体管Q1以及体二极管D1和漏极-源极电容C1,以及第二切换电路SW2包括晶体管Q2、体二极管D2和电容C2。晶体管Q1和Q2连接在图腾柱电路中,其中Q1耦合于正的DC输出终端或节点5a (VDC+) 和第一内部节点3 (VDSHL) 之间,以及其中第二晶体管Q2耦合于节点3和第二(负的)DC输出节点5b之间。电感器L耦合于第一AC输入节点4a和内部节点3之间,以及返回电路被提供为包括第一二极管D3和第二二极管D4,其中第一二极管D3具有耦合于第二AC输入节点4b的阳极和耦合于第一DC输出节点5a的阴极,第二二极管D4具有耦合于下部DC输出节点5b (VDC-) 的阳极和耦合于第二AC输入节点4b的阴极。

[0020] 图2示出无桥图腾柱PFC转换器系统2的另外实施例,其中返回电路包括晶体管QAC1和QAC2,其分别替换图1的二极管D3和D4,其中返回电路晶体管组件QAC1和QAC2分别根据来自图2实施例中的控制器8的切换控制信号14和16操作。在至少一个示例中,根据较高

频率切换控制信号10和12操作图腾柱开关Q1和Q2,其中通过AC输入功率的每半个周期交替的切换控制信号12和14来操作图2实施例中的返回电路晶体管QAC1和QAC2。任何适当形式的图腾柱开关Q1和Q2能用在各种实施例中。在至少一个示例中,使用氮化镓(GaN)N沟道MOSFET晶体管,尽管其他实施例可能使用基于硅的MOSFET晶体管用于图腾柱开关Q1和Q2。而且,其提供的返回电路开关QAC1和QAC2可为任何适当形式的半导体开关,例如图2中所示的基于硅的N沟道MOSFET晶体管。另外,控制器8提供有源的高栅极控制信号10( $V_{g1}$ )到Q1的栅极以及提供栅极控制信号12( $V_{g2}$ )到Q2的栅极,并提供交替的栅极控制信号14和16( $V_{g\_ac1}$ 和 $V_{g\_ac2}$ )以操作图2中返回电路的开关QAC1和QAC2。

[0021] 如图1和2所示,控制器8接收各种测量值或反馈信号,包括连接图腾柱开关Q1和Q2的中间节点3处的电压 $V_{DSHL}$ ,以及代表节点5a处电压的正电压信号 $V_{DC+}$ 和代表5b处电压的负电压信号 $V_{DC-}$ ,以及表明由源4提供的节点或终端4a和4b两端的AC电压的一个或更多个反馈信号。以这种方式,控制器8能通过Q1和Q2的切换操作调节输出节点5a和5b处的输出电容C0两端的DC输出电压 $V_o$ ,并且也能查明用于智能切换控制的Q1两端和Q2两端的漏极-源极电压,以促进如下进一步所述的零电压切换。另外,控制器8使用AC输入电压反馈以确定输入极性,以便根据输入电压极性,在每半个AC输入周期中,选择性切换任何所包括的返回电路晶体管QAC1和QAC2(例如下面的图2和图14)以及指定图腾柱开关Q1和Q2中给定的一个作为有源开关或主开关,并指定另外一个作为续流开关或同步开关。

[0022] 又参考图3-6,控制器8在正的AC输入周期期间(例如当输入节点4a和4b两端的电压为正时)指定下部图腾柱开关Q2作为有源开关并指定上部图腾柱开关Q1作为续流开关,并在负AC输入极性期间指定上部开关Q1作为有源开关并指定下部开关Q2作为续流开关。图3-6示出针对图1中示出的返回电路包括二极管D3和D4的情况的不同的图腾柱切换条件以及在正的和负的AC输入周期情形时的相应的电流流动路径。相似的切换条件和流动路径将在返回电路中使用晶体管的实施例(例如图2和14)中被发现。

[0023] 图3示出示例电流路径18(图中虚线所示),其中在AC输入源4为正极性的半个周期期间,图腾柱开关Q1断开和Q2接通,其中指定Q2作为有源开关,以及其中Q1为续流开关。在这种情况下,电感器电流 $I_L$ 从第一AC输入节点4a流过电感器L到第一内部节点3(例如图中从左至右),以及随后通过被致动的有源晶体管Q2到第二DC输出节点5b。电流继续沿着所示路径18流动通过下部返回电路二极管D4,并随后到达第二AC输入节点或终端4b。图3的有源开关Q2处于接通或传导状态的操作使通过电感器L的电流 $I_L$ 增大。其后跟图4中所示的切换状态,也用于正的AC输入电压。在图4中,续流图腾柱开关Q1接通,并且下部有源开关Q2断开,在这种情况下,电流从电感器L流到内部节点3,以及随后通过续流开关Q1流到上部或第一DC输出节点5a。此电流流动给输出电容器C0充电并且从下部或第二DC输出节点5b通过返回电路二极管D4回到负的AC输入终端4b,如图4中所示。

[0024] 图5和6示出在负的AC输入半周期期间的PFC电路操作,其中指定Q1为有源开关,以及指定Q2为续流开关。在Q1接通和Q2断开的情况下,图5中的电流流动,沿着路径18从第二AC输入节点4b通过上部返回电路二极管D3,回到有源开关Q1,并且建立从第一内部节点3通过电感器L至左边,以回到第一AC输入节点4a的反向电流 $I_L$ 。在图6中,上部有源开关Q1断开,并且续流开关Q2接通,导致电流从AC输入源4流出第二AC输入节点4b通过二极管D3和输出电容器C0,通过续流晶体管Q2和电感器L回到第一AC输入节点4a。



[0025] 又参考图7,在一个实施例中的控制器8在连续传导模式(CCM)和非连续传导模式(DCM)之间的分界处实施过渡模式(TM)操作,尽管不是所有可能的实施例的严格要求。图7中示出用于控制无桥图腾柱功率因数校正转换器(例如上面图1-6的转换器2)的方法或过程20,其中所示控制器8可使用任何适当的逻辑电路、可编程的或已编程的处理器元件、模拟电路和/或其结合实施,从而在各种实施例中实施所示过程20。另外,在某些实施例中(例如下面图11、12和15),控制器8可为单独的功率转换器控制集成电路。在操作中,控制器8至少部分地基于节点4a和4b处的AC输入电压极性检测正的和负的AC输入半周期,并且指定图腾柱切换电路SW1或SW2中的一个作为在给定的AC输入半周期期间的有源开关,并且指定另一个开关电路作为在该半周期期间的续流开关。在至少一个示例中,控制器8在负的AC输入半周期期间指定SW1(例如Q1)作为有源开关,并且指定SW2(例如Q2)作为续流开关,以及在正的AC输入半周期期间指定SW2作为有源开关并且指定SW1作为续流开关。

[0026] 控制器8在一系列的切换周期中操作,在此期间指定的有源开关接通然后断开,随后续流开关接通然后断开。在某些实施例中,控制器8提供第一和第二切换控制信号10和12以实施这些脉冲,并且可提供死区时间控制,以便开关Q1和Q2两者不同时接通,其中某些预定义的或可调整的死区时间定义在断开一个开关和接通另一个开关之间的非零延迟,以避免DC输出总线造成短路。另外,在至少一个示例中,控制器8在根据闭合回路输出电压反馈控制确定的时间 $T_a$ 期间使用指定的有源开关的恒定接通时间(COT)切换,其中在每个切换周期根据确定的伏特乘以秒的关系指定的续流开关在续流开关接通时间 $T_b$ 期间接通。其他实施例是可能的,其中,控制器8使用其他脉冲宽度调制切换技术(例如占空比控制)交替地切换指定的有源开关和指定的续流开关。

[0027] 图7中的方法20示出切换周期的一个示例,其中示出的所述过程流程在随后的切换周期中重复。在22处,开始于续流开关接通,控制器8等待计算的续流开关接通时间( $T_b$ )到期并断开续流开关。在24处,控制器8然后在指定的续流开关断开后等待预决定的(或以其他方式计算的)第二死区时间 $T_{d2}$ ,并且然后在给定的切换周期期间(此处描述为当前周期“n”)采样或以其他方式感测指定的有源开关两端的电压 $V_{ds}$ 。另外,如图1中所示,控制器8接收输入信号 $DC+$ 、 $V_{DSSL}$ 和 $V_{DC-}$ ,并且对跨过Q1的漏极-源极电压( $V_{DC+}-V_{DSSL}$ )采样,以及对跨过Q2的漏极-源极电压( $V_{DSSL}-V_{DC-}$ )采样。控制器8也在26处对输入电压 $V_{ac}$ 采样,并且根据AC输入极性在28处指定有源开关和续流开关。

[0028] 在图7中的30处,控制器8至少部分地根据输出电压控制回路确定有源开关接通时间 $T_a$ 。其他实施例是可能的,其中任何适当的控制技术被控制器8使用以确定或以其他方式计算有源开关的接通时间 $T_a$ ,例如电流控制回路和开环回路操作。在30处确定的有源开关接通时间然后用在电流切换周期中(例如在下面所述的46处)用于在电流切换周期n中操作指定的有源开关。

[0029] 在图7中的32处,控制器8至少部分地基于伏特乘以秒的平衡关系,使用在给定的切换周期n期间的有源开关接通时间 $T_a$ 计算在电流切换周期n期间的标称的续流开关接通时间 $T_{b\_n}$ 。在一个实施例中,控制器8在32处计算在给定的切换周期n期间的标称的续流开关接通时间 $T_{b\_n}$ ,根据 $T_{b\_n} = (|V_{ac}| \times T_a) / (V_o - |V_{ac}|)$ ,其为第一和第二AC输入节点4a和4b之间电压的绝对值( $|V_{ac}|$ )与给定的切换周期中的有源开关接通时间 $T_a$ 的乘积除以输出电压绝对值 $|V_{ac}|$ 和转换器输出电压 $V_o$ 的差值。

[0030] 在图7中的34-42处,控制器8至少部分地基于采样的有源开关电压,有选择地偏移或调整在给定的切换周期 $n$ 期间的标称的续流开关接通时间 $T_{b\_n}$ 。在至少一个示例中,控制器8使用在24处采样的跨过指定的有源开关的漏极-源极电压 $V_{ds}$ ,以实施有选择的偏移或调整以提供在随后的切换周期“ $n+1$ ”期间的计算的续流开关接通时间 $T_{b\_n+1}$ 。在图7中的34处,控制器8确定采样的有源开关电压 $V_{ds}$ 是否超过正的阈值 $TH$ 。如果是(在34处为是),为了提供在下个切换周期 $n+1$ 期间的计算的续流开关的接通时间 $T_{b\_n+1}$ ,控制器8通过将第一预决定的偏移时间 $\Delta t_1$ 增加到32处所确定的标称的续流开关接通时间 $T_{b\_n}$ ,来偏移在电流切换周期 $n$ 期间的标称的续流开关接通时间 $T_{b\_n}$ 。

[0031] 在46处,控制器8随后在确定的时间 $T_a$ 期间接通指定的有源开关,并且在图7中的48和22处提供续流切换控制信号,以在下个切换周期 $n+1$ 在计算的续流开关接通时间 $T_{b\_n+1}$ 期间致动指定的续流开关。控制器8随后在一系列连续的切换周期中重复过程20。另外,如上所述,控制器8能有选择地在有源开关和续流开关接通时间之间插入死区时间,例如断开指定的有源开关和接通指定的续流开关之间的第一死区时间 $T_{d1}$ ,以及断开续流开关和接通有源开关之间的第二死区时间 $T_{d2}$ 。

[0032] 如果有源开关的漏极-源极电压没有超过正的阈值 $TH$ (在图7中34处为否),控制器在38处确定有源开关电压 $V_{ds}$ 是否为负(也就是, $V_{ds} < 0$ )。如果否(在38处为否),理想的零电压切换条件已经达到或接近,因为指定的有源开关的电压在0和阈值 $TH$ 之间。相应地,控制器8在40处将续流开关接通时间 $T_{b\_n+1}$ 调到32处计算的标称值,并且此值随后在48和22处使用,用于在下个切换周期“ $n+1$ ”中操作续流开关。如果相反有源开关的 $V_{ds}$ 为负(在38处为是),随后控制器在42处在另一方向中,通过从标称的续流开关接通时间 $T_{b\_n}$ 中减去第二预决定的偏移时间 $\Delta t_2$ 有选择地偏移续流开关接通时间,以提供在下个切换周期 $n+1$ 期间的计算的续流开关接通时间 $T_{b\_n+1}$ 。

[0033] 在某些实施中,第一和第二偏移时间 $\Delta t_1$ 和 $\Delta t_2$ 可以相同,但是这些在其他实施例中可以不同。此外,在某些实施例中,控制器8可有选择地修改偏移时间 $\Delta t_1$ 和 $\Delta t_2$ 中的一个或两个,例如,如果图7中所示的导致特定阈值数量的连续切换周期总是在相同的方向需要偏移的控制操作的条件达到,在此种情况下,控制器8可有选择地增大相应的偏移时间 $\Delta t_1$ 或 $\Delta t_2$ 。另外,在其他可能的实施例中,可以基于集成电路控制器8的用户输入和/或基于一个或更多个控制条件修改和变更阈值 $TH$ ,一个或更多个控制条件为例如特定阈值数量的连续切换周期总是在相同的方向需要偏移,在此种情况下,阈值 $TH$ 可以有选择地减小。

[0034] 计算的标称的续流开关接通时间的有选择的偏移,如图7中34-42处的示例所示,有利地提供闭合回路机制用于控制有源开关电压,因此有源开关的切换损失和传导损失都被减轻或最小化。在至少一个示例中,在36处有选择地延长续流开关接通时间(例如当采样的有源开关电压 $V_{ds}$ 为正时)解决了在开关接通时指定的有源开关相应的漏极-源极电容没有通过负的电流流动完全放电的情形。相应地,过程20的此方面减轻或避免有源开关的切换损失。相反地,如果有源开关在相应的电感器电流 $I_L$ 反向太多之后接通,开关将遭受由于有源开关体二极管的反向偏置引起的传导损失。例如,在42处对计算的标称的续流开关接通时间的有选择的减去驱动切换操作以在电流反向变得显著之前更快地致动有源开关,因此减轻这样的传导损失。相应地,在操作中,有选择的续流开关接通时间概念通过朝向用于有源开关的理想的零电压、零电流切换条件的驱动操作来调节切换。另外,有源开关和续流

开关的指定将依赖于AC输入的电压极性而改变,因此图7的控制技术有效地控制零电压切换并且为图腾柱电路的开关Q1和Q2两者都减轻传导和切换损失。在这种情况下,无桥图腾柱PFC转换器2的有效操作被促进,而不增加系统成本或复杂性。

[0035] 相应地,这些技术提供可靠的控制方案以实现零电压或接近零电压切换。某些实施例也有优势地使用伏特乘以秒的平衡以设定续流开关标称的接通时间值,其基于所感测的 $V_{ds}$ 适应性地改变以调节系统操作朝向零电压切换。因此,PFC系统2的高功率因数操作能通过本公开的智能自适应切换控制部分的应用被促进。而且,所公开的技术不需要复杂的高速电流感测电路以实现有源开关的零或接近零电流切换。另外,如下结合图14所讨论的,控制概念关于单相的和交错的(例如多相)PFC体系结构都是可适用的,其中通过在接通点处或接近接通点处感测PFC有源开关 $V_{ds}$ ,续流开关的负电流被控制和减小,续流开关接通时间 $T_{b\_n+1}$ 在下个切换周期被调整。而且,为了实施用于多相图腾柱PFC系统的续流开关的接通时间调整,联系图14和15下面所述的实施通过只感测一个单相的有源开关电压操作。此外,因为该方法涉及适应系统变化的被调节的配置,所公开的技术和控制装置不依赖于电源电路参数变化而操作。此外,尽管上面结合过渡模式操作示出和描述,本公开的概念可结合连续传导模式(CCM)和/或非连续传导模式(DCM)或其他形式的脉冲宽度调制切换操作应用。而且,本公开的概念不限于使用恒定接通时间(COT)的切换,并且能结合单相或多相无桥图腾柱PFC转换器2的其他形式的脉冲宽度调制控制被应用。

[0036] 又参考图8-10,图8示出在正的AC输入半周期期间具有恒定有源开关接通时间控制的PFC转换器2的过渡模式操作的波形图50。在至少一个示例中,绝对值的AC输入电压波形52( $|V_{ac}| \cdot K$ )一般正弦曲线地通过所示正半周期,相应的AC输入电流54也一样,电感器电流 $I_L$ 如曲线56所示。图8进一步示出有选择的有源开关致动(例如如图1中的Q2在正的AC输入半周期期间是有效的),栅极-源极切换信号曲线57表示在恒定接通时间 $T_a$ 期间有源开关Q2的栅极-源极电压 $V_{gs}$ ,以及通过栅极-源极电压波形58有选择地致动续流开关(本示例中的Q1)。此外,如图8所示,续流开关接通时间 $T_b$ 随AC输入正半周期的进程而改变,一般地基于等式 $T_{b\_n} = (|V_{ac}| \times T_a) / (V_o - |V_{ac}|)$ 中的伏特乘以秒的关系,与AC输入电压52的绝对值成比例,其中本示例中的有源开关接通时间 $T_a$ 一般是恒定的。

[0037] 图9提供三个示例切换周期“n”、“n+1”和“n+2”更详细的波形图60,包括有源开关漏极-源极电压曲线59。如图9所示,图1的PFC转换器2中的适应性零电压切换控制调整来自所示第一周期“n”中不充分的负的续流电流的操作,其引起在第二所示周期“n+1”中的调整,导致在第三周期“n+2”中被调节的零或接近零电压切换的情况。此外,如图9所示,在有源开关脉冲57的末尾之后的第一死区时间延迟时间 $T_{d1}$ 之后启动续流脉冲58,以及在转换器控制器8的控制下断开续流开关之后的第二死区时间延迟 $T_{d2}$ 之后启动有源开关脉冲57以开始新的切换周期(例如在上图7中的46处)。在至少一个示例中,电感器电流 $I_L$  56在第一个周期过渡到零以下(也就是,负的),并且在续流开关接通时间 $T_{b\_n}$ 中没有任何调整,启动随后的有源开关脉冲57,而有源开关在59a处具有高于所示非零的正阈值电平 $T_H$ 的正的漏极-源极电压。

[0038] 在这种情况下,负的电流不足以使有源开关的主漏极-源极电容完全地放电用于期望的零电压切换操作。相应地,控制器8对有源开关电压采样(例如在图7中的24处),随后续流开关断开,以及确定有源开关漏极-源极电压(在图9中的59a处)超过阈值 $T_H$ (在图7中

34处为是)。相应地,控制器8将偏移值 $\Delta t_1$ 加到标称的续流开关接通时间以提供在下一个周期“n+1”期间的续流开关接通时间(在图7中的36处的 $T_{b\_n+1}=T_{b\_n}+\Delta t_1$ )。如图9所示,这导致续流开关接通时间在下一个周期中延长,导致在59b处的下个采样中被采样的有源开关漏极-源极电压减小。在至少一个示例中,在59b处的开关电压仍然稍微地超过阈值 $T_H$ ,如图9所示,并且控制器8相应地将偏移值 $\Delta t_1$ 加到随后计算的标称的续流开关接通时间以提供在下一个周期“n+2”期间的续流开关接通时间,其在图9中的59c处进一步将有源开关电压减小至近似为0,其为期望的操作条件。相应地,对超过阈值的测量的有源开关电压的有选择的添加的偏移或调整操作有优势地驱动控制朝向期望的零电压切换条件,如图9所示。

[0039] 图10示出PFC转换器2中的适应性零电压切换控制以将来自过量的负的续流电流调整到零电压切换操作。如果有源开关接通而负的电压存在于漏极-源极连接之间,过多负的电流将增加传导损失。为了与此对抗,图7的过程20对有源开关漏极-源极电压采样并在图10的第一所示周期“n”中确定其为负。此外,在图10的59d处,这种情况导致有源开关接通,而由于负的电流先于切换,所以电压为负,足够提供跨过指定的有源开关的漏极-源极电容的反向充电。控制器8检测此条件(在图7中34处为否和38处为是),以及为了提供在随后的周期“n+1”期间的计算的续流开关接通时间,相应地从32处确定的标称的续流开关接通时间减去 $\Delta t_2$ ,如图7中42处的 $T_{b\_n+1}=T_{b\_n}-\Delta t_2$ 。

[0040] 如图10中的59e处所示,这导致在随后的周期“n+1”中采样的有源开关的漏极-源极电压更接近零。对于此循环,控制器8又确定有源开关漏极-源极电压为负,以及相应地在下一个周期“n+2”期间通过减去 $\Delta t_2$ 来减小标称的续流开关接通时间,从而驱动有源开关的漏极-源极电压近似地为零,如图10中的59f处所示。此外,控制器8的示例实施例有优势地延迟接通有源开关,直到有源开关的漏极-源极电压大于或等于零(例如图7中的44处),通过如图10中所表明的在切换周期“n+1”和“n+2”期间在新周期起始的正的或零开关 $V_{ds}$ 电压示出。此操作提供除了零电压切换以外的促进零电流切换的附加利益,其进而促进电磁干扰(EMI)减小并使有源FET的传导损失最小化。相应地,图7的控制方法20和控制器8的操作有优势地调节切换操作以将来自任一方向的操作移动到最佳的零电压切换条件。以这种方式,传导损失和切换损失两者都独立于系统组件参数和其他操作条件以动态的方式被减轻,从而促进高效率操作,其中伏特乘以秒的标称的续流开关接通时间确定(图7中的32)促进系统2的单位功率因数操作。

[0041] 现参考图11和12,其示出用于操作图1的无桥PFC转换器的控制器8的集成电路实施例,包括用于提供栅极控制电压 $V_{g1}$ 和 $V_{g2}$ (图1的第一和第二切换控制信号10和12)的驱动器电路80a和80b,以分别地操作图腾柱开关Q1和Q2。控制器8进一步包括用于感测或对跨过Q1(例如图1中 $V_{DC+}$ 和 $V_{DSSL}$ 之间)的漏极-源极电压采样的零电压切换(ZVS)检测电路81a以及用于对跨过Q2(例如 $V_{DSSL}$ 和 $V_{DC-}$ 之间)的电压采样的ZVS检测电路81b。AC检测电路82使用AC输入电压( $V_{ac+}$ ,  $V_{ac-}$ )的输入而提供极性检测信号82a到选择电路85用于AC正的和负的周期检测以及有源/主开关和续流开关的确定。指定的或确定的有源开关 $V_{ds}$ 的活跃性在每个切换周期中通过ZVS电路81检测,以及其结果( $V_{sd}$ 大于、等于、或小于0)被用于有选择地修改在下一个周期期间的预测的续流开关接通时间 $T_b$ ,其中根据电压控制回路确定有源开关接通时间以及使用上述伏特乘以秒的平衡确定标称的续流开关的接通时间。而且,集成电路控制器8包括死区时间控制电路88,其可在某些实施例中为死区时间 $T_{d1}$ 和/或 $T_{d2}$ 连

同最大死区时间 $T_{d\_max}$ 的外部控制提供输入。控制器8进一步包括控制电路89,其具有向伏特乘以秒的电路84提供标称的有源开关接通时间延迟 $D_a$ 的反馈和补偿电路83,以及附加地向选择电路85提供接通时间 $T_a$ 作为可切换的输入,用于提供给对应于指定的有源开关的驱动器电路80。而且,控制电路89包括偏移或调整电路86,其从伏特乘以秒的平衡电路84接收标称的续流开关的接通时间延迟 $D_b$ ,以及有选择地向选择电路85提供标称的或已调整的计算的续流开关接通时间 $T_b$ 作为输入,用于提供给对应于指定的续流开关的驱动器电路80。

[0042] 图12示出一个可能的实施例的进一步的细节,其中控制电路89包括反馈、补偿和平衡电路83、84,以及向栅极信号矩阵选择电路85提供有源开关和续流开关接通时间 $T_a$ 和 $T_b$ 的偏移和死区时间电路86、88。矩阵电路85向脉冲电路87提供输入,脉冲电路87可操作用于:向驱动器电路80提供有源切换脉冲信号以在当前周期期间的有源开关接通时间 $T_a$ 致动指定的有源开关;以及向驱动器电路80提供续流切换脉冲信号以在下个切换周期期间的计算的续流开关接通时间 $T_{b\_n+1}$ 致动相应的指定的续流开关,以便促进如上所述的指定的有源开关的零电压切换。

[0043] 又参考图13,波形图90示出用于三个不同情况的实例1,实例2和实例3的图腾柱PFC转换器2中的控制器8的进一步操作。对于上部开关 $Q_1$ 为指定的有源开关(例如在所示示例中,负极性的AC半周期条件)的情况,相应的驱动器电路80a和相应的零电压切换检测电路81a向主控制电路89提供包括有源开关电压 $V_{ds}$ 的接通情况信息。图13中的实例1示出有源开关在 $V_{ds}$ 为正电压时接通,在此情况下驱动器电路81a发送 $1\mu s$ 的单脉冲到控制电路89(编码的切换信息在图13中示出)。脉冲的上升沿与栅极的接通沿同步,因此控制电路89识别出上部开关 $Q_1$ 接通而没有插入附加的延迟,并且该边沿用于在至少一个示例中启动新的切换周期。当在实例2中的 $Q_1$ 的接通指令的上升沿处检测到负电压,驱动器电路80a保持低的栅极输出,直到检测到 $V_{ds} > 0$ 。栅极输出脉冲随后被死区时间延迟 $T_{d2}$ 偏移并与栅极指令比较。以同样的方式,一个单脉冲在栅极输出的接通沿处生成,例如在250ns处。当达到如实例3中所示的期望的或最佳的接通条件,切换接通,其中 $V_{ds} = 0$ ,上部驱动器电路80a在 $1\mu s$ 周期内向控制电路89提供3个250ns脉冲,如图13所示。基于顶部驱动器切换情况信息,本实施例中的控制电路89对于实例1或实例2分别地将预置时间(例如10ns)增加到续流接通时间或从续流接通时间减去预置时间,以及对于实例3,不需要续流开关接通时间的调整。

[0044] 又参考图14和15,本公开的概念可用于控制交错的无桥图腾柱零电压切换PFC控制器的实施例。图14示出具有包括含有 $Q_1$ 和 $Q_2$ 的上述电路的两个图腾柱电路,并且包括也连接在VDC+和VDC-的节点5a和5b之间的图腾柱开关 $Q_3$ 和 $Q_4$ 的第二图腾柱电路的2相系统2a。而且,本实施例使用如上与图2相联系所述的MOSFET返回电路晶体管QAC1和QAC2,尽管二极管可以代之用于其他实施例,如上述图1所示。交替的多相图腾柱PFC电路,例如图14中的系统2a,其对于高功率应用(例如300瓦特或更多)特别地有优势。和上述单相的实施例一样,多相系统2a通过具有相应的驱动器输出信号的控制器8操作(例如图15),以向图腾柱电路开关 $Q_1$ - $Q_4$ 提供栅极控制信号 $V_{g1}$ - $V_{g4}$ ,并且提供补偿和输出电压感测输入(Comp和 $V_o$ \_感测输入,例如图15)用于确定有源开关的接通时间 $T_a$ ,用于电压调节或PFC转换器2a的其他闭合回路控制。逻辑电路89a基于在之前的切换周期中检测的切换周期使栅极信号 $Q_1$ 和 $Q_2$ 以及 $Q_3$ 和 $Q_4$ 偏移180度。多相交错的控制可通过使用相同的控制方案实施。而且,图15的示例包括接收最小和最大频率控制输入(例如 $f_{min}$ 和 $f_{max}$ )的频率控制电路100,以及实施

如上所述用于控制驱动器电路80的多种功能的逻辑电路89a。

[0045] 此外,在此示例中,需要仅单相的有源开关电压(例如Q1和Q2的 $V_{ds}$ )以实施如上所述的有选择的续流开关接通时间的调整或偏移概念,如果所检测或感测的有源开关的漏极-源极电压超过阈值 $T_H$ ,控制器8在给定的切换周期期间对所有相有选择地执行确定的标称的续流开关接通时间的加法的偏移或调整,或者如果有源开关的漏极-源极电压为负,控制器8对所有相有选择地执行减法调整。例如,第一和第二图腾柱电路的切换周期可以彼此之间非同相(例如在一个示例中被相移 $180^\circ$ ),其中基于对单个的图腾柱电路的有源开关的漏极-源极电压的测量,控制器8由此对相应图腾柱电路有选择地偏移续流开关的接通时间。此外,所示图14的PFC转换器2a也可包括提供所示切换电路的电流信号或CT1值和/或CT2值的电流变换器,所述电流信号或CT1值和/或CT2值可被控制器8用于逐周期的电流限制和/或过流保护,尽管在某些实施例中电流变换器CT可以被省略。

[0046] 在权利要求的范围内,在所述的实施例中的修改是可能的,并且其他实施例是可能的。

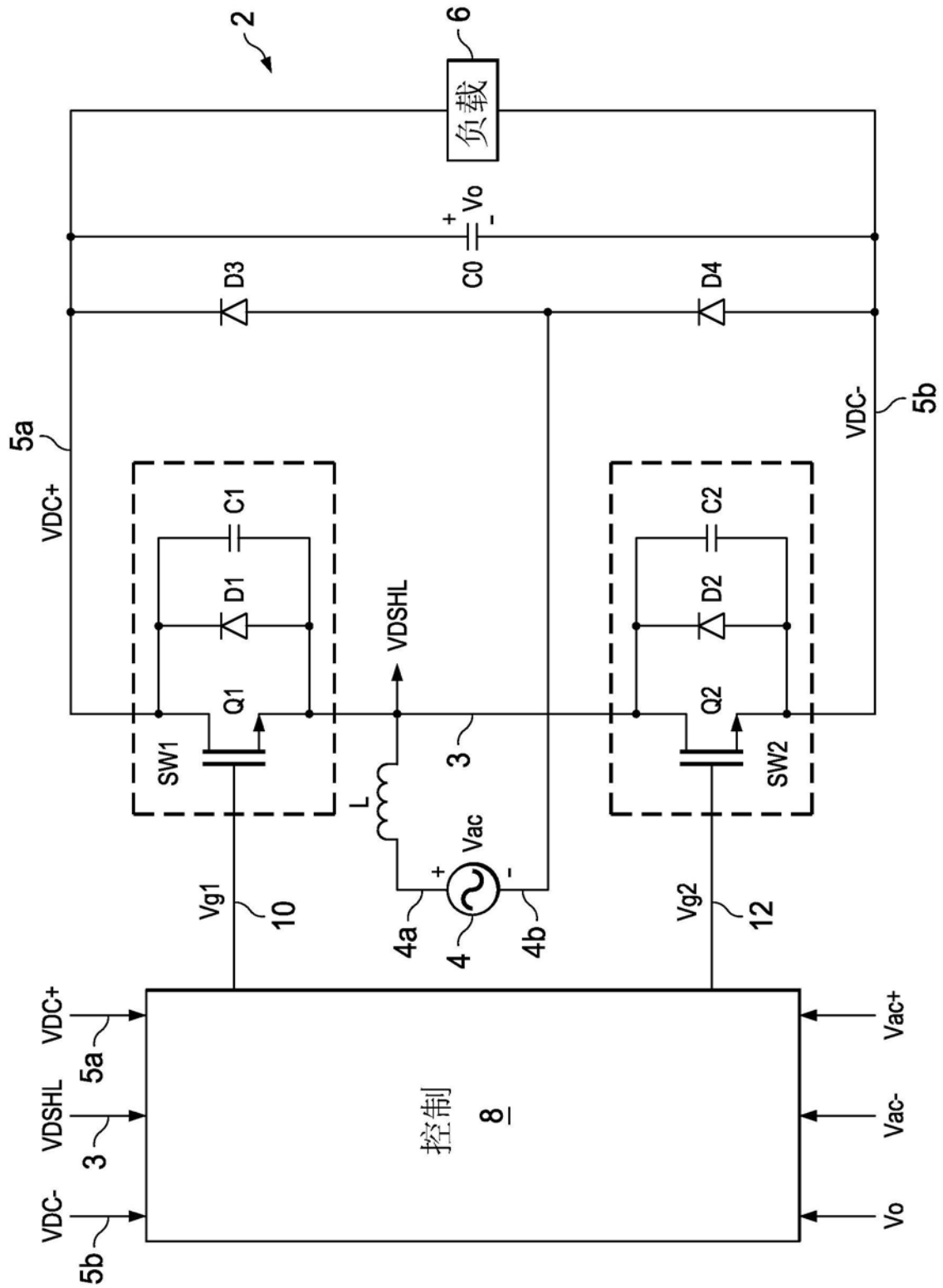


图1

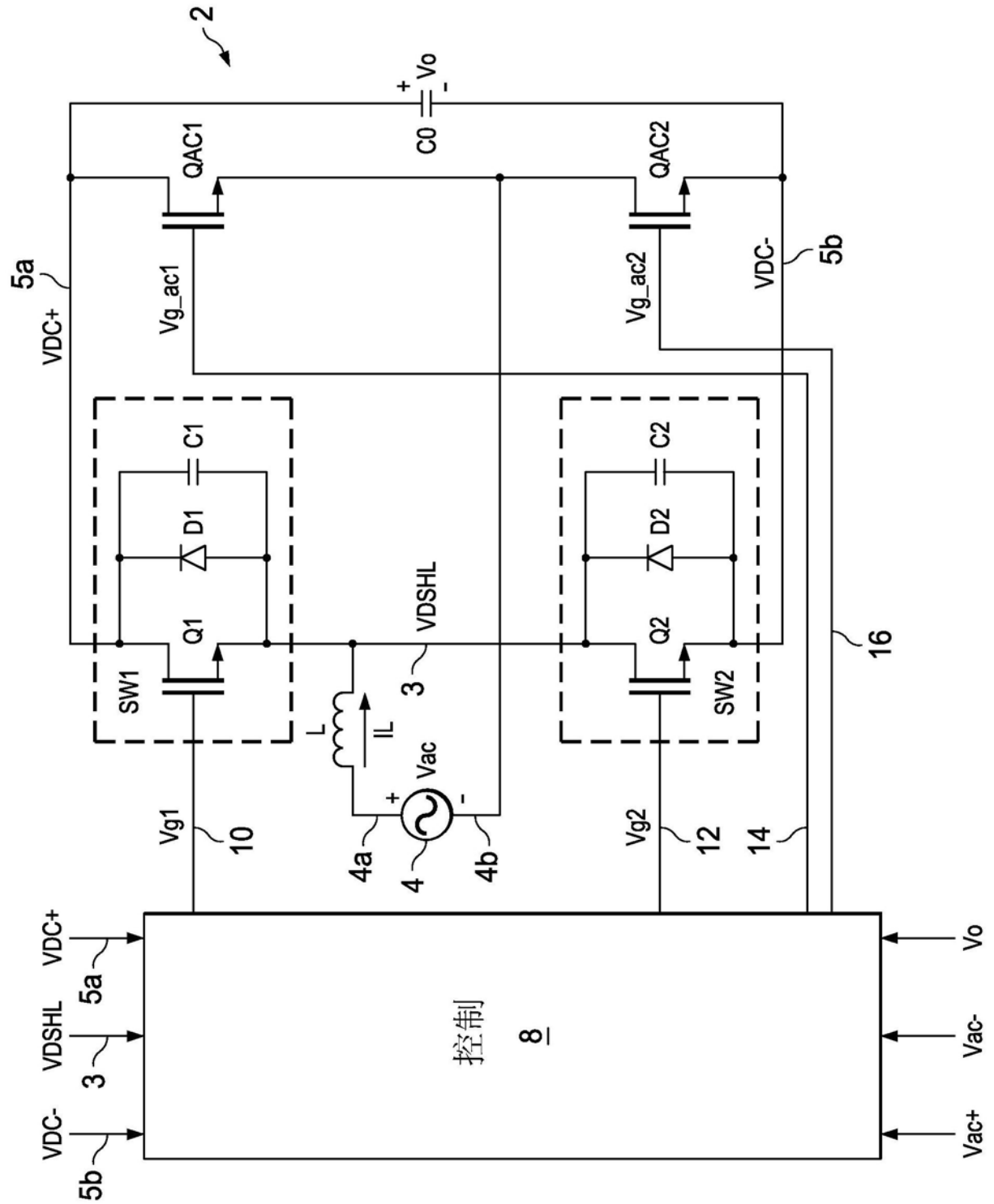


图2



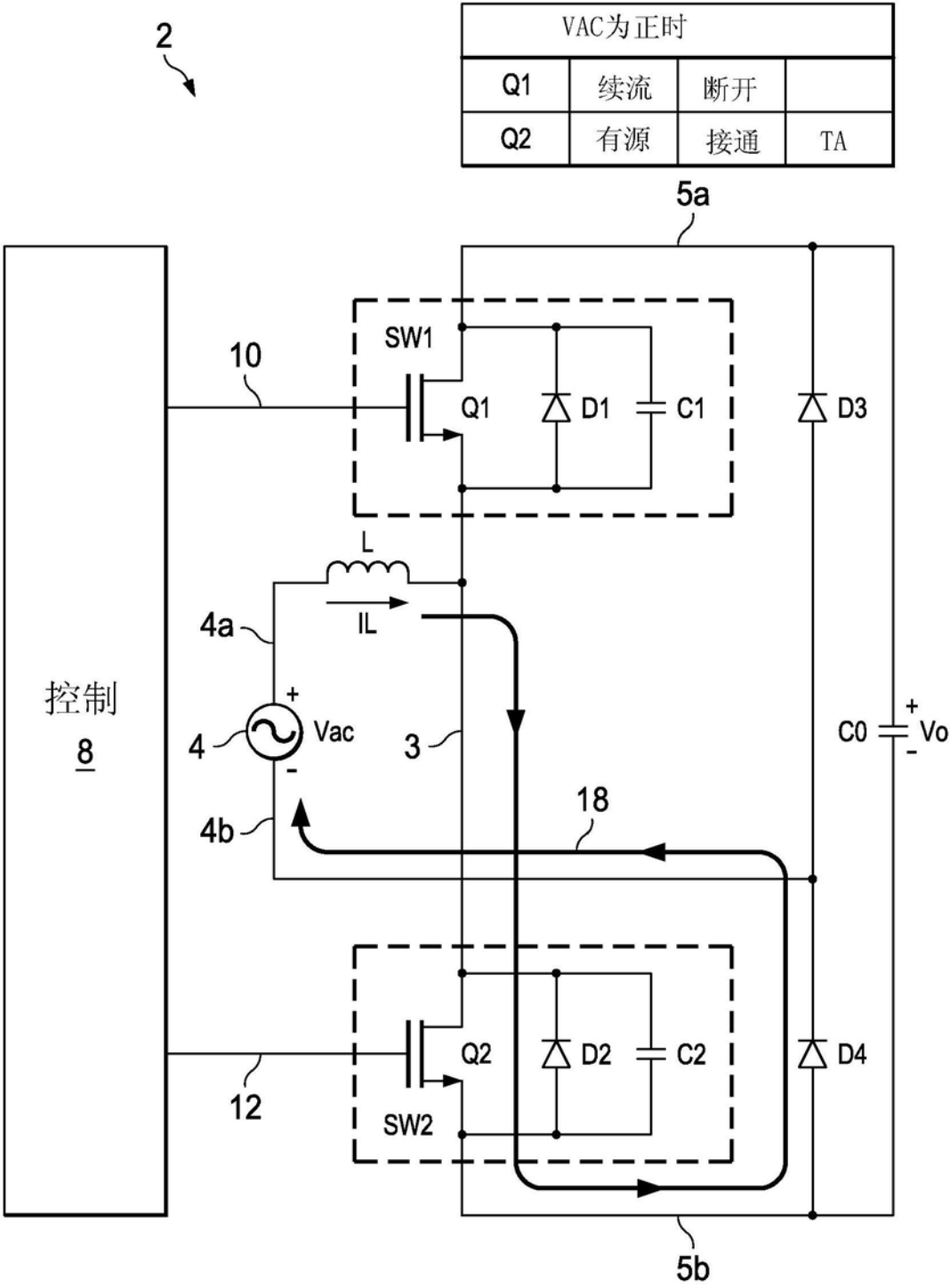


图3

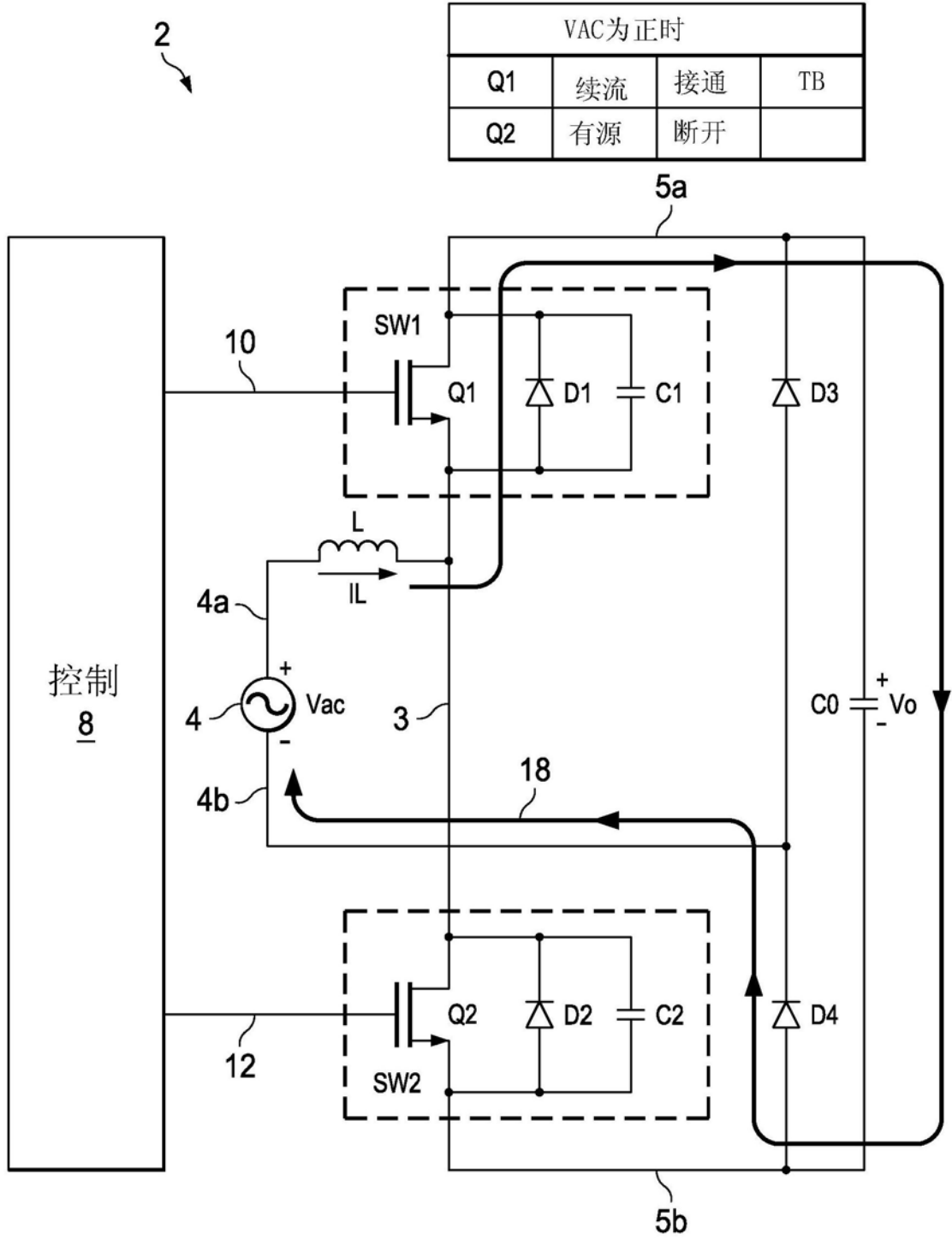


图4

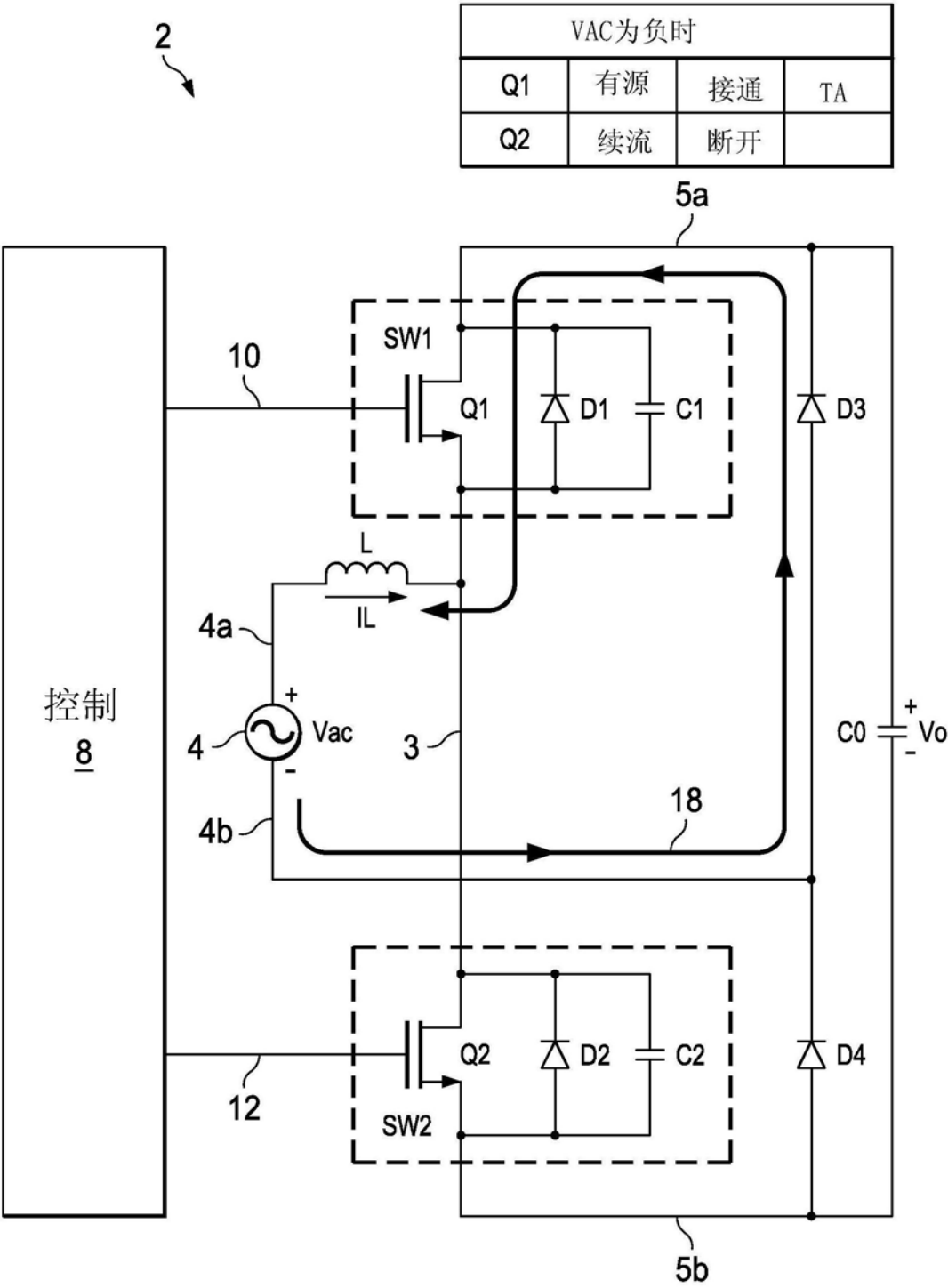


图5

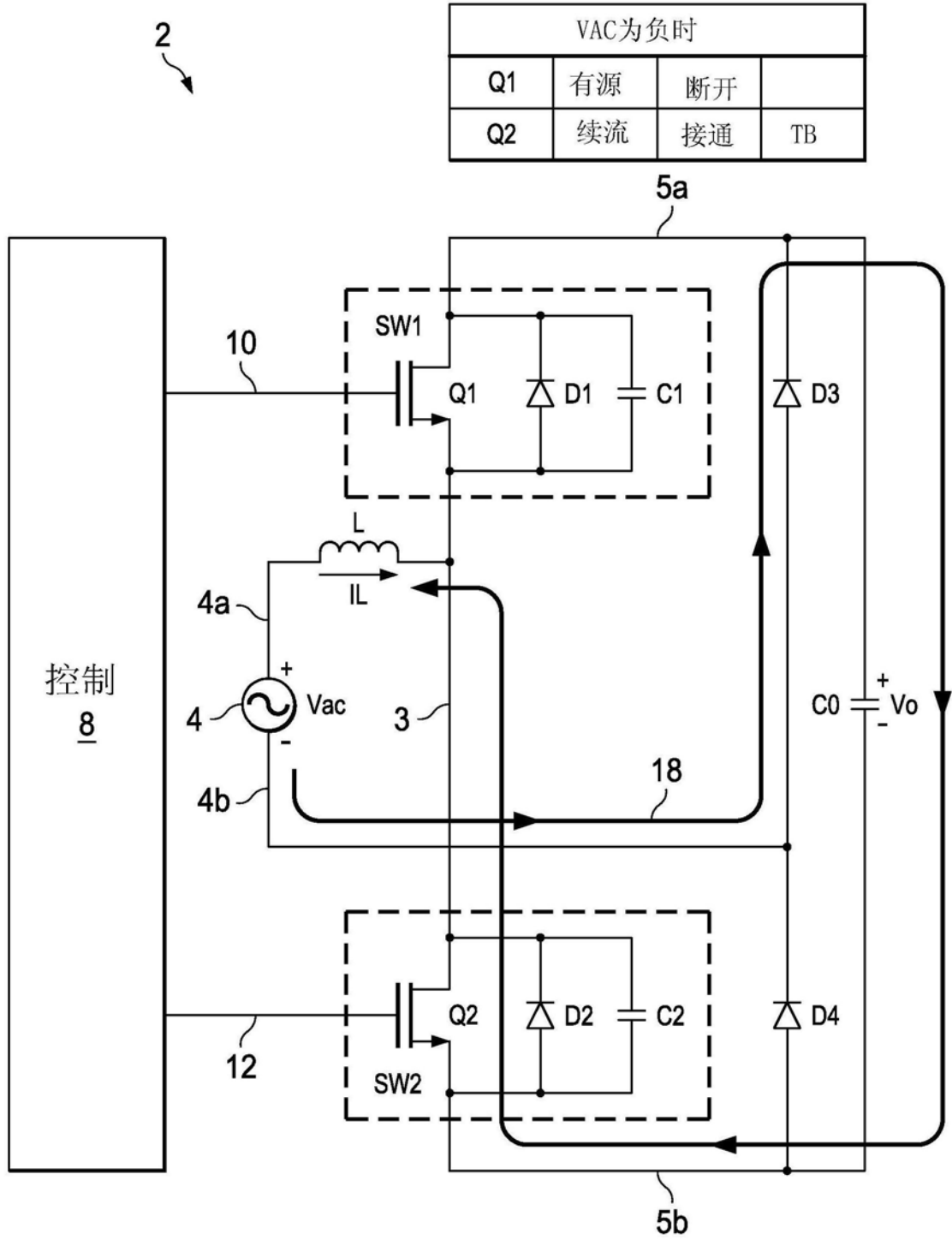


图6

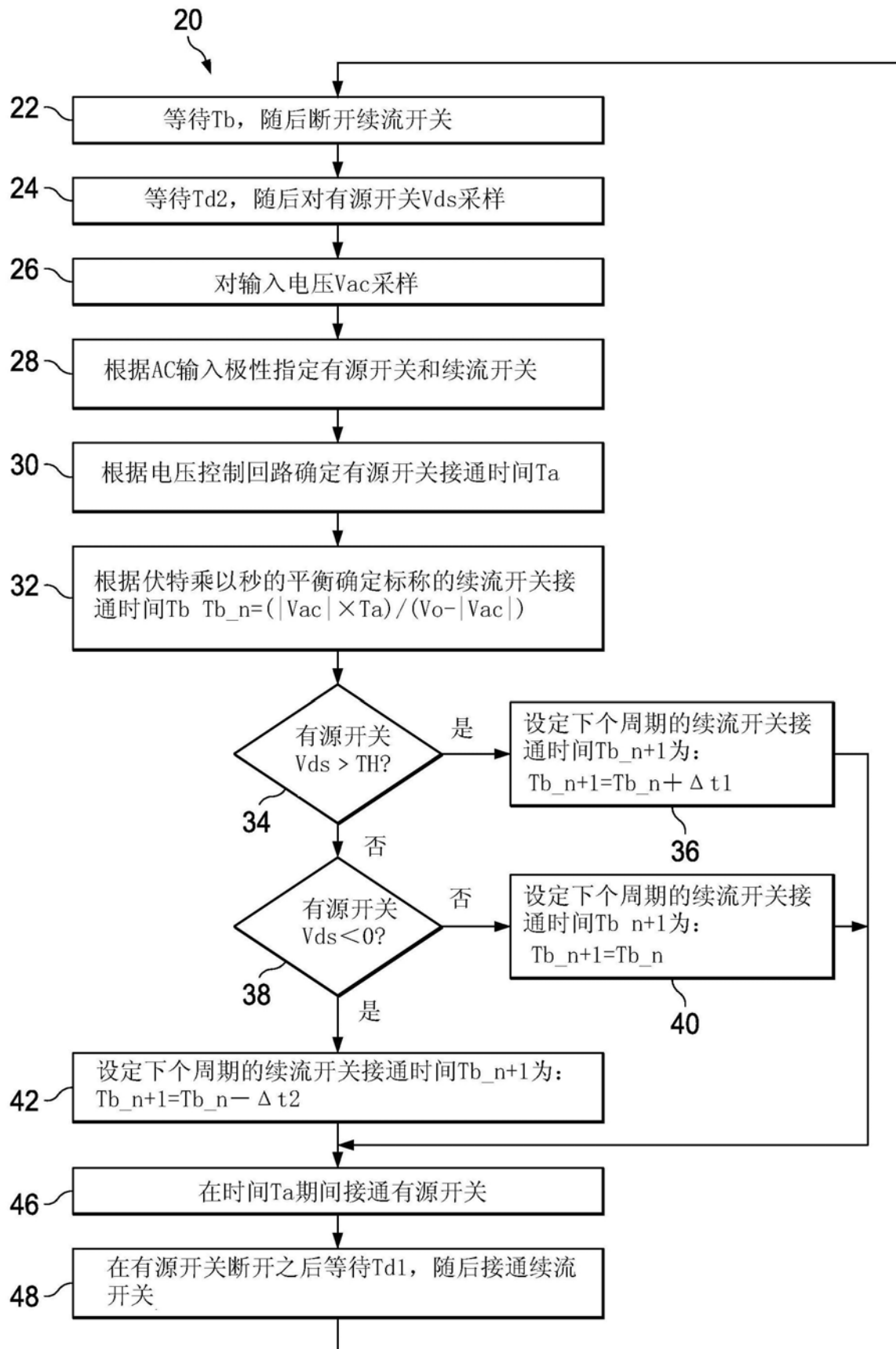


图7

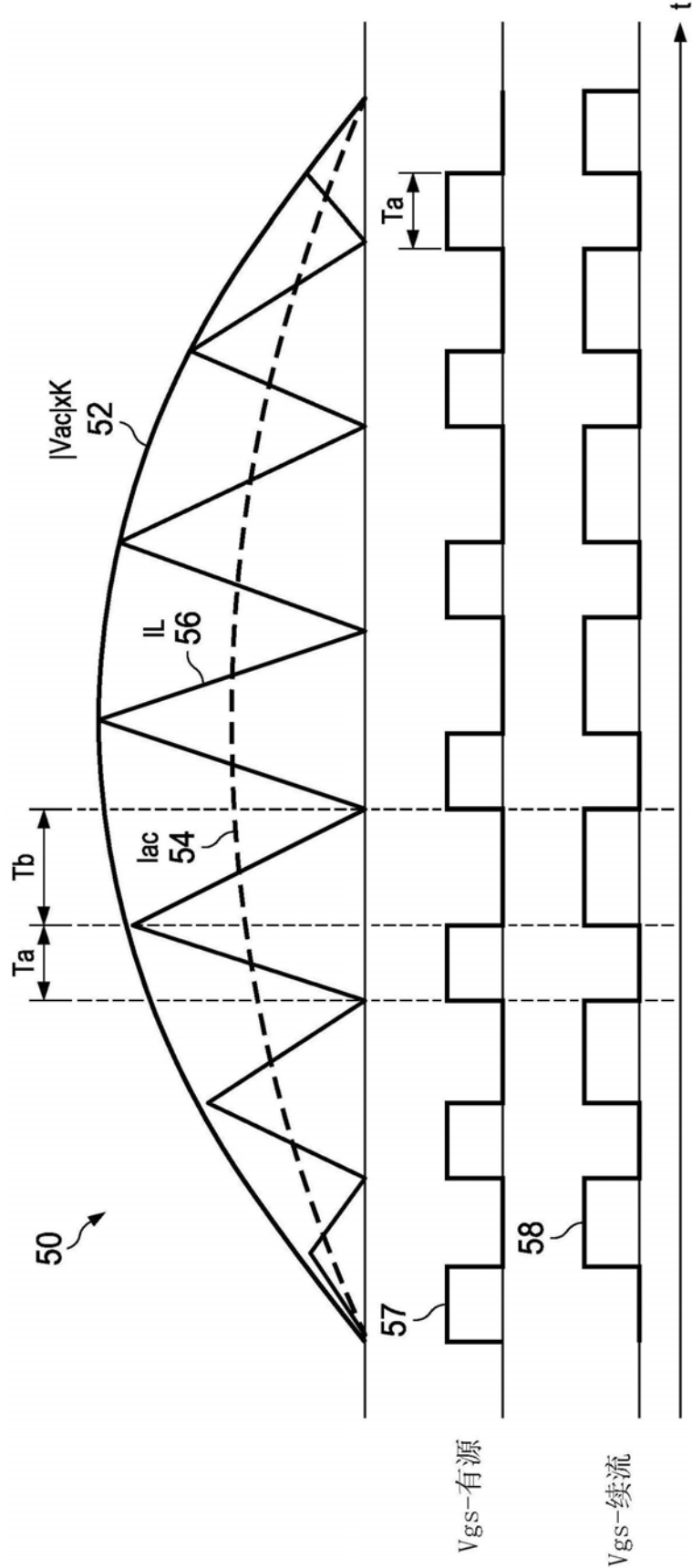


图8

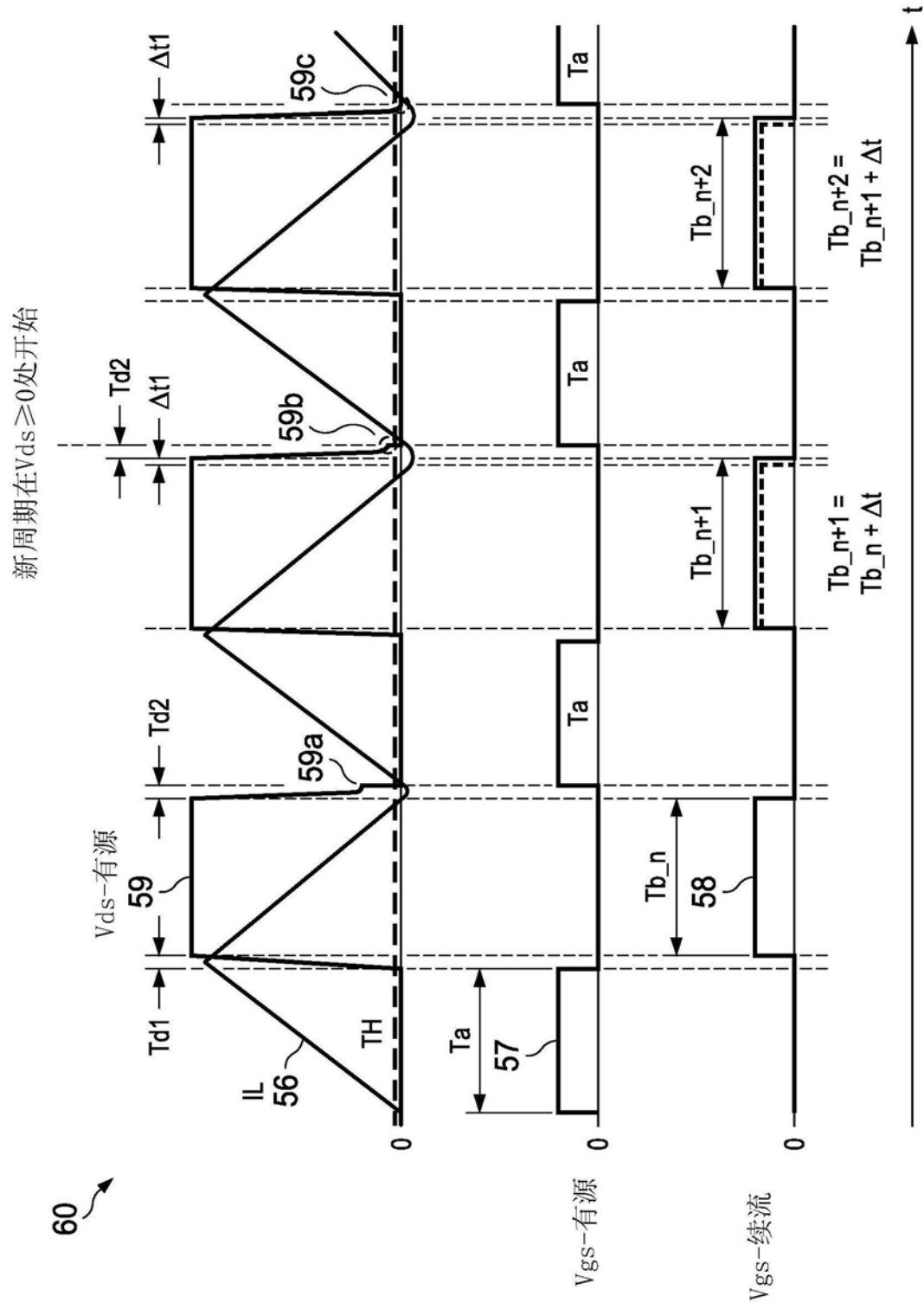


图9

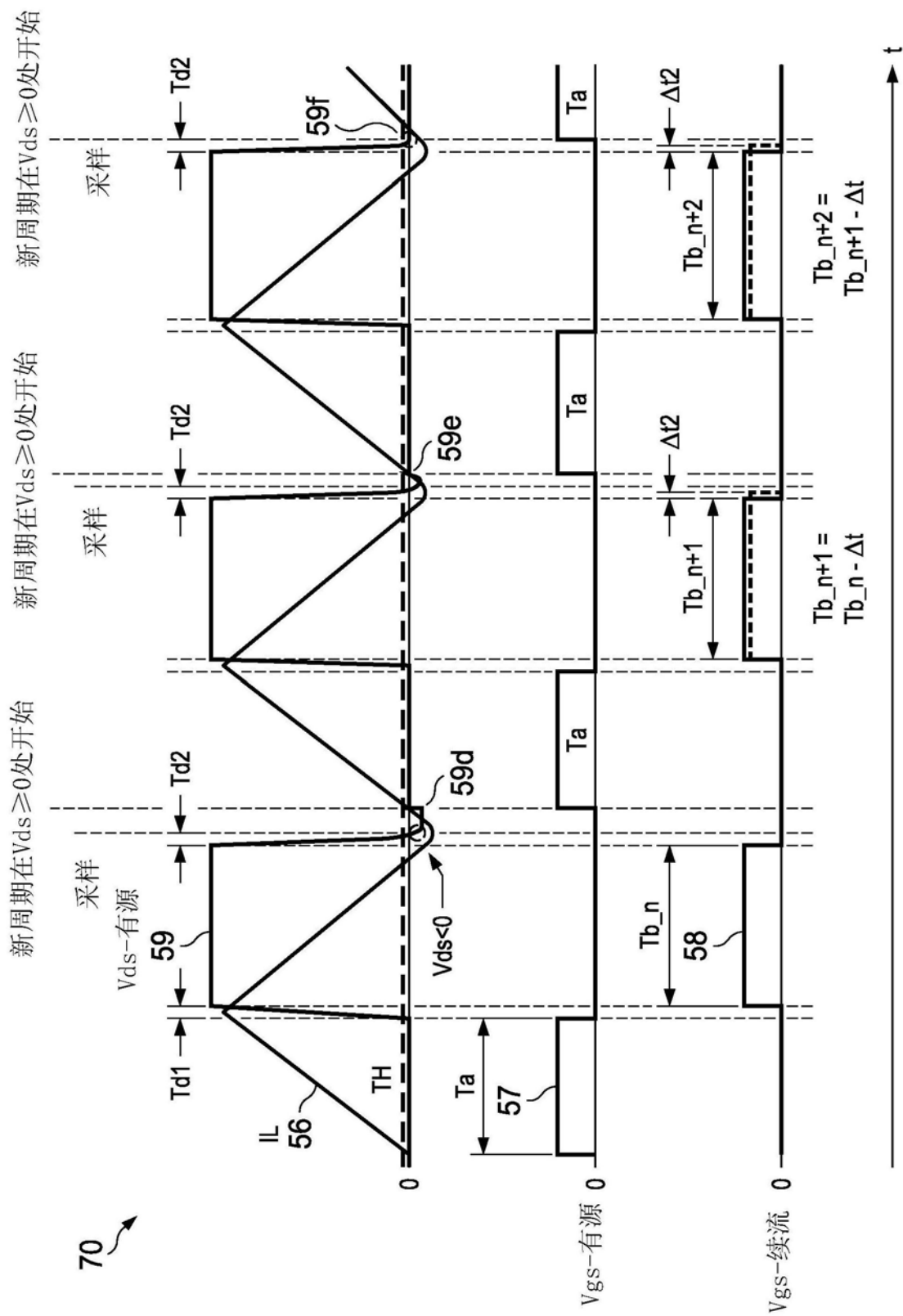


图10



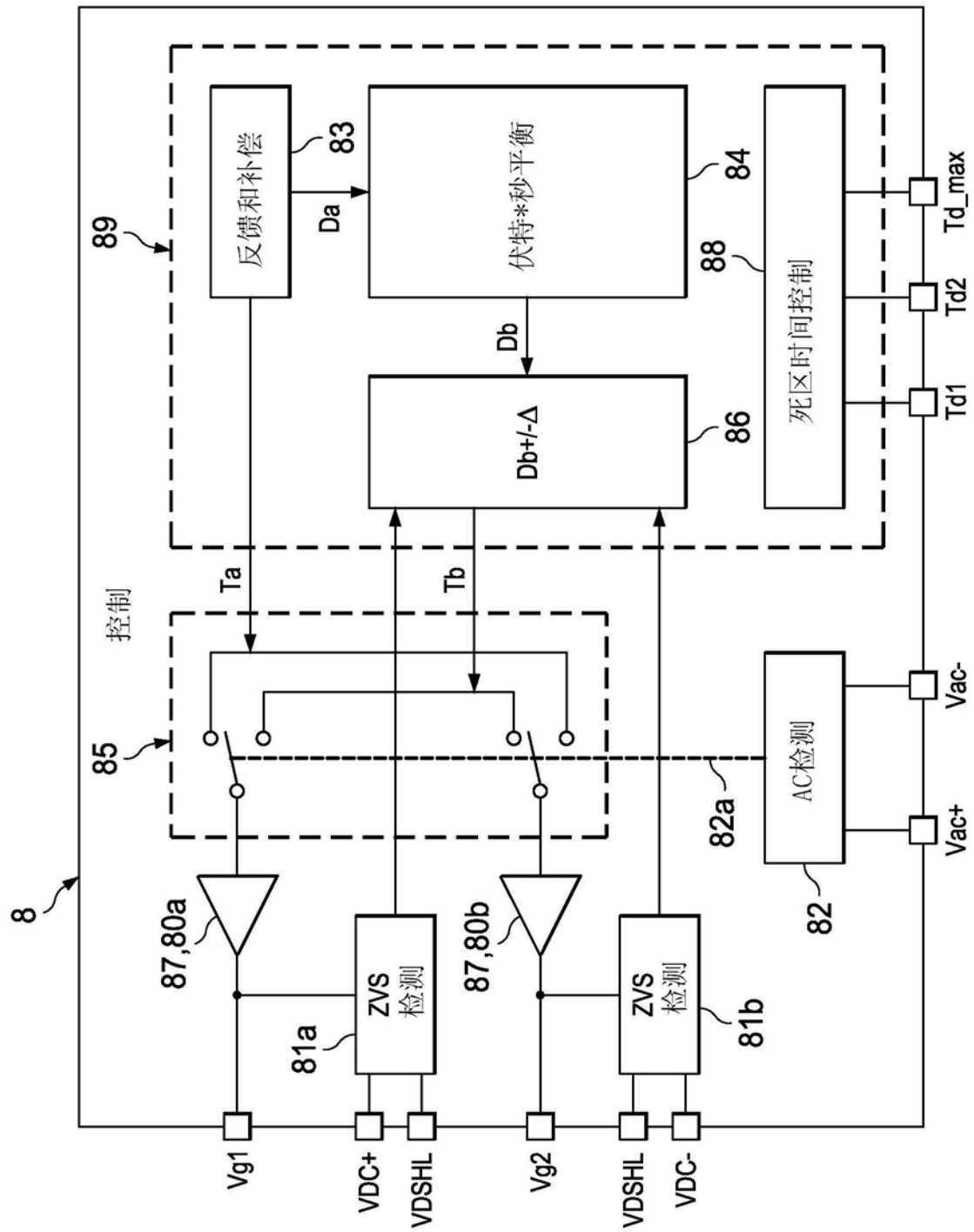


图11

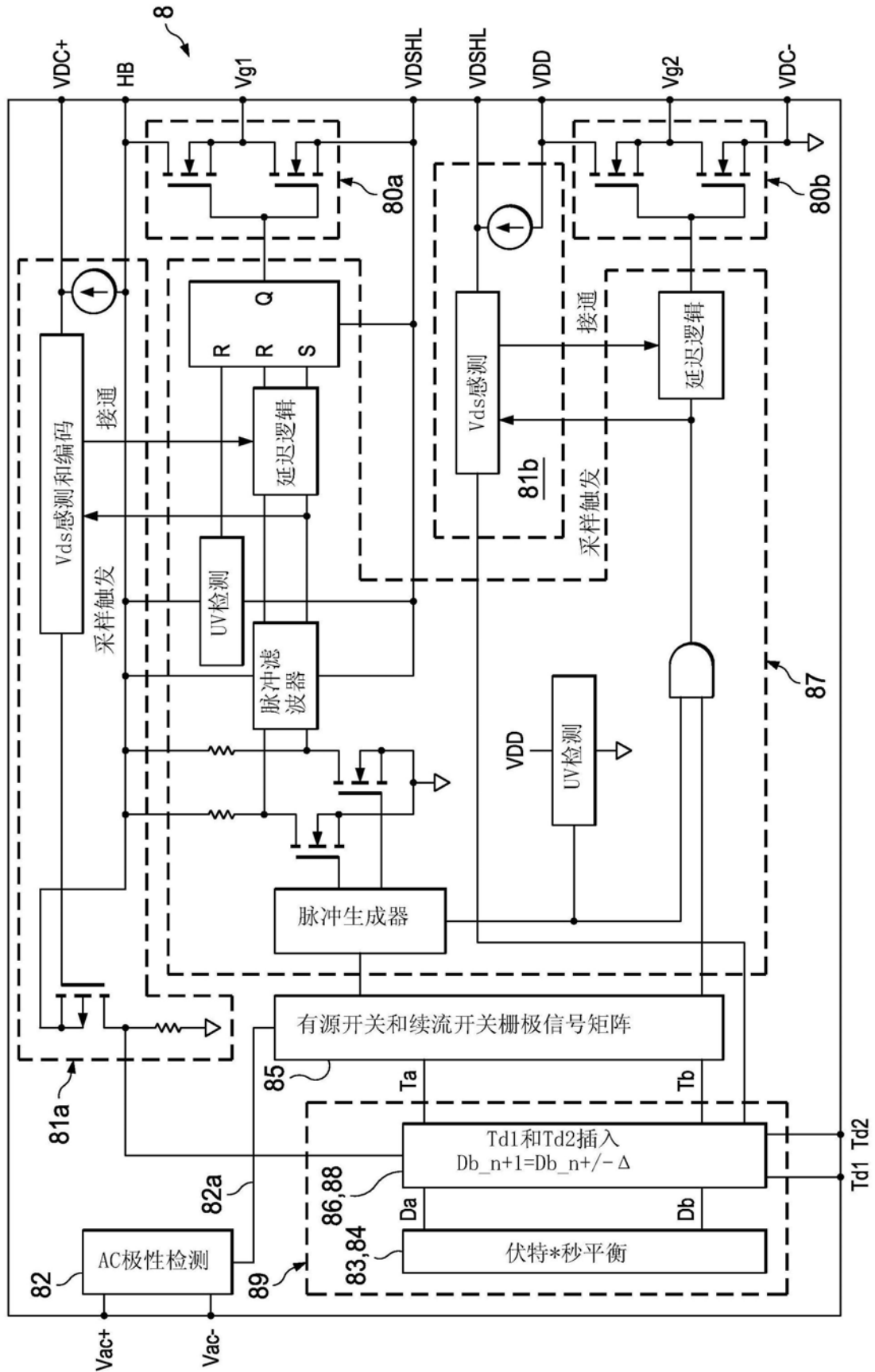


图12

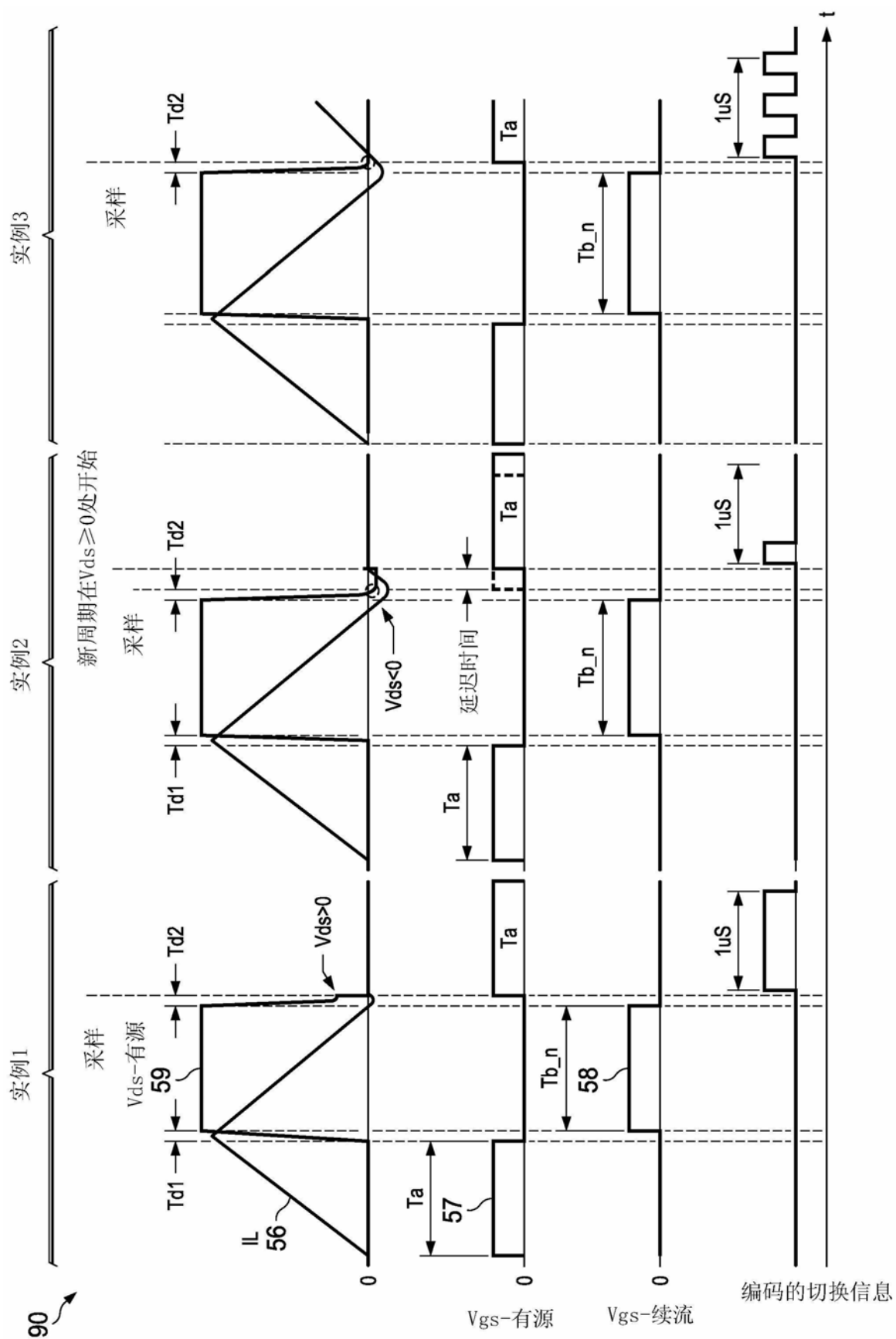


图13

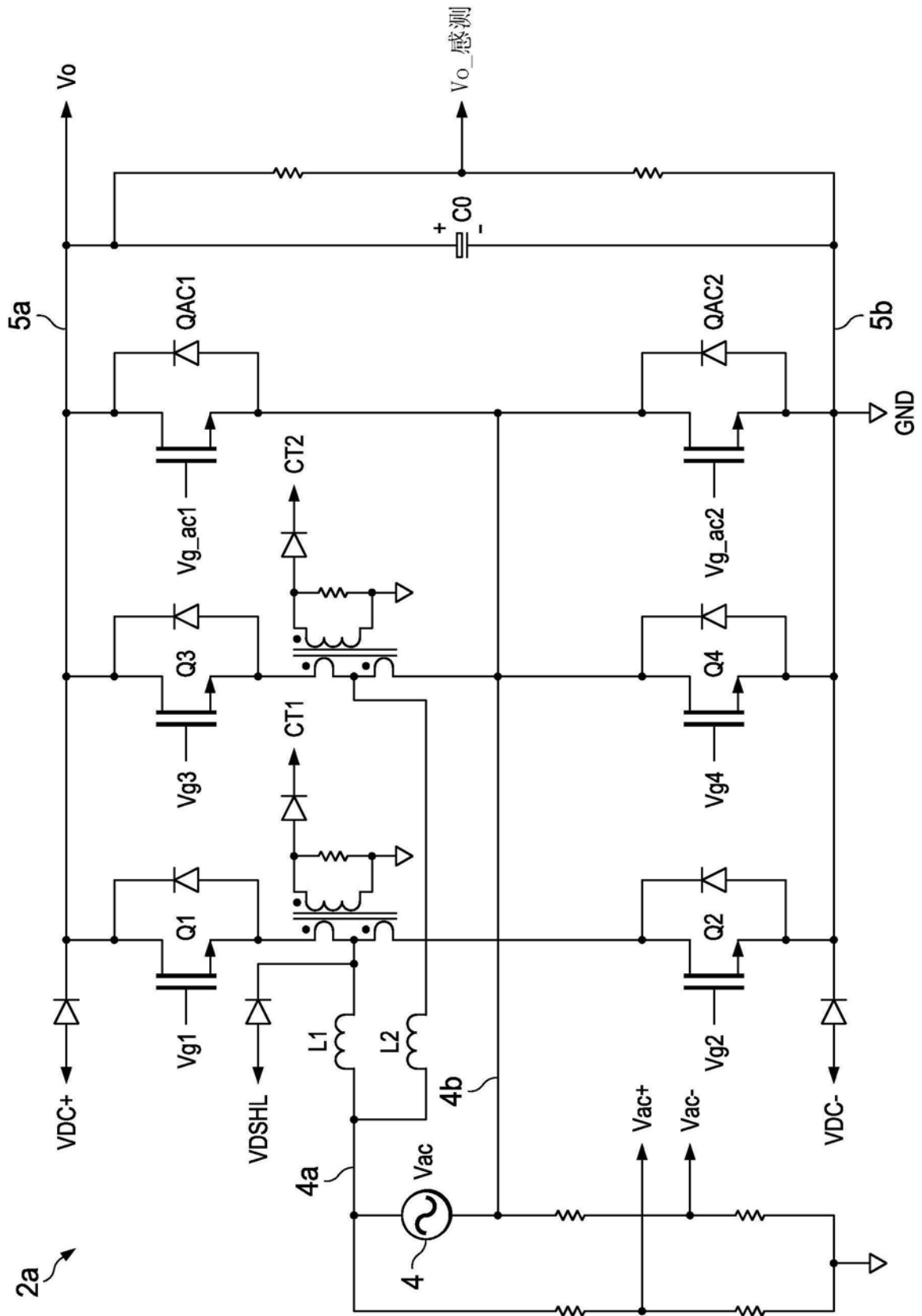


图14

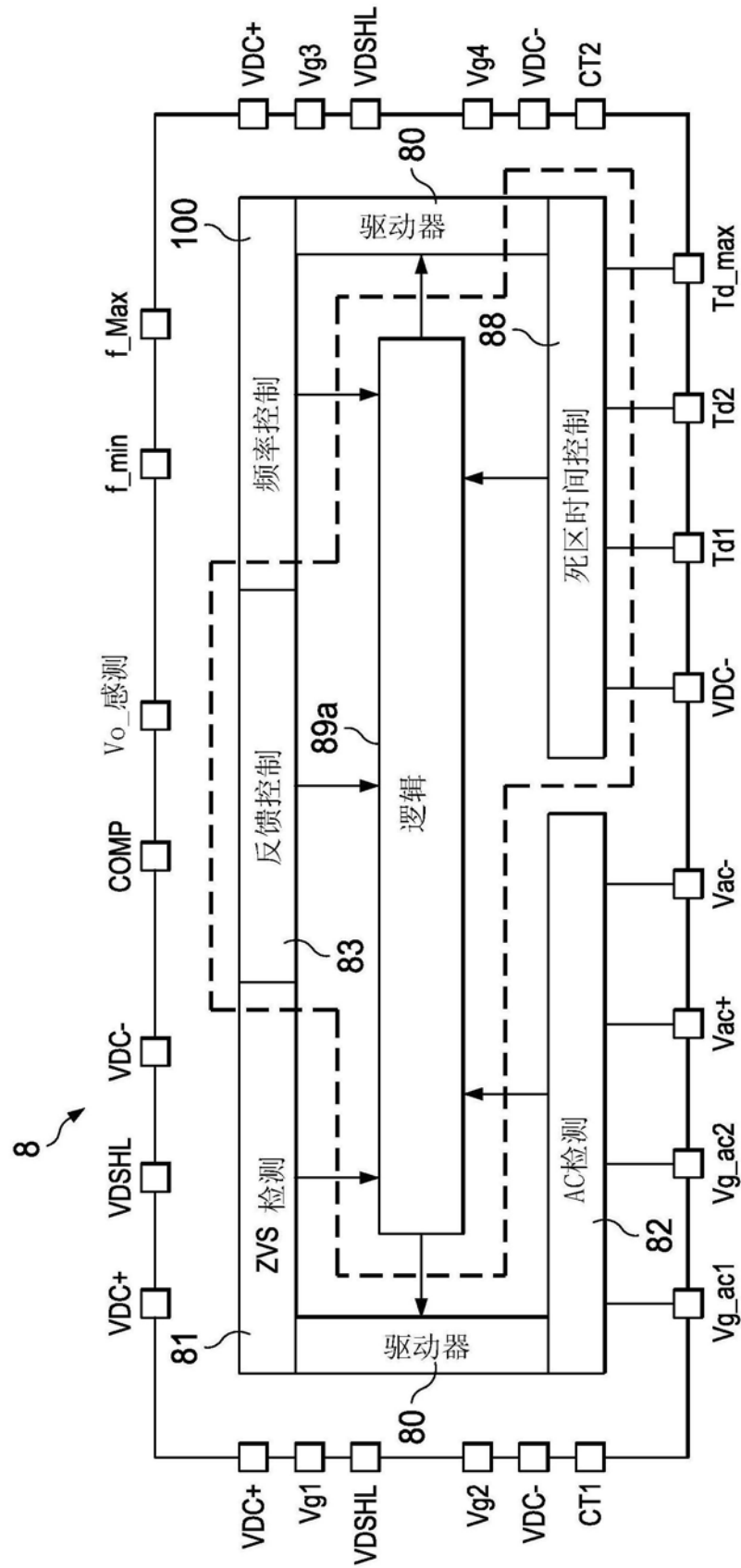


图15