



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1722592 B

(45) 授权公告日 2015.06.24

(21) 申请号 200510077553.8

US 2003/155898 A1, 2003.08.21,

(22) 申请日 2005.06.17

US 6628106 B1, 2003.09.30,

(30) 优先权数据

审查员 张海春

10/890,491 2004.07.13 US

(73) 专利权人 马维尔国际贸易有限公司

地址 巴巴多斯圣米伽勒

(72) 发明人 何润生 迟智培

(74) 专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司

公司 11245

代理人 赵蓉民

(51) Int. Cl.

H02M 3/28(2006.01)

(56) 对比文件

US 6362608 B1, 2002.03.26,

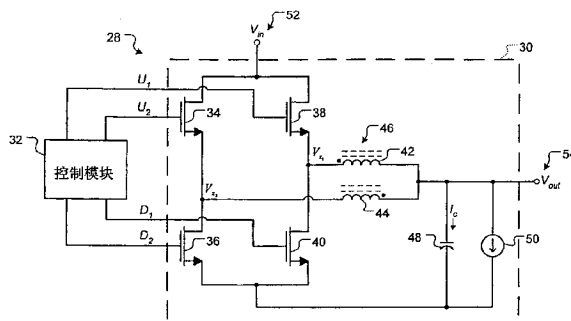
权利要求书2页 说明书7页 附图7页

(54) 发明名称

用于 DC/DC 转换器的闭环数字控制系统

(57) 摘要

一种用于 DC/DC 转换器的闭环控制系统包括 DC/DC 转换器,其接收第一 DC 电压,并产生第二 DC 电压。所述 DC/DC 转换器包括第一和第二电感。控制模块接收所述第二 DC 电压,并向所述第一和第二电感的充电或放电过程中的一个过程产生至少一个控制信号。所述控制模块具有第一和第二模式。在所述第一模式期间,所述控制模块交替地使所述第一和第二电感中的一个电感进行充电,并使所述第一和第二电感中的另一个电感进行放电。在所述第二模式期间,所述控制模块使所述两个电感即第一和第二电感进行充电过程或放电。当所述 DC/DC 转换器中出现瞬变状态时,所述控制模块启动所述第二模式。瞬变状态是基于所述第二 DC 电压和 DC/DC 转换器内流经输出电容的电流之一。



1. 一种用于 DC/DC 转换器的闭环控制系统,包括:

DC/DC 转换器,其接收第一 DC 电压,并产生第二 DC 电压,其中所述 DC/DC 转换器包括第一和第二电感;和

控制模块,其与所述 DC/DC 转换器相连,接收所述第二 DC 电压,并向所述第一和第二电感的充电或放电过程中的一个过程产生至少一个控制信号,

其中:

所述 DC/DC 转换器包括第一、第二、第三和第四开关,

所述第一和第三开关的第二端子分别与所述第二和第四开关的第一端子相连,

所述第一开关的第一端子与所述第三开关的第一端子相连,

所述第二开关的第二端子与所述第四开关的第二端子相连,

所述第一电感的 first 端与所述第三开关的第二端子和所述第四开关的第一端子相连,

所述第二电感的 first 端与所述第一开关的第二端子和所述第二开关的第一端子相连,

并且

所述第一电感的第二端与所述第二电感的第二端相连,

其中所述控制模块具有第一和第二模式,其中在所述第一模式期间,通过接通所述第一开关和第二开关或接通所述第三开关和第四开关,所述控制模块交替地使所述第一和第二电感中的一个电感进行充电,并且通过关断所述第一开关和第二开关或关断所述第三开关和第四开关,所述控制模块交替地使所述第一和第二电感中的另一个电感进行放电,而且其中在所述第二模式期间,所述控制模块通过同时接通所述第一开关、第二开关、第三开关和第四开关中的每个而使所述两个电感即第一和第二电感进行充电,并且

其中当所述 DC/DC 转换器中出现瞬变状态时,所述控制模块启动所述第二模式,而且其中当所述第二 DC 电压是大于第一预定电压或小于第二预定电压中的一种情形时,所述控制模块检测出所述瞬变状态。

2. 如权利要求 1 所述的闭环控制系统,其中,在所述第二模式期间,当所述第二 DC 电压既小于所述第一预定电压又大于所述第二预定电压时,所述控制模块启动所述第一模式。

3. 如权利要求 1 所述的闭环控制系统,其中当所述第二 DC 电压大于所述第一预定电压时,所述控制模块使所述第一和第二电感都进行放电。

4. 如权利要求 1 所述的闭环控制系统,其中当所述第二 DC 电压小于所述第二预定电压时,所述控制模块使所述第一和第二电感都进行充电。

5. 如权利要求 1 所述的闭环控制系统,其中所述 DC/DC 转换器包括一个输出电容,而且其中当通过所述输出电容的电流是大于第一预定电流或小于第二预定电流中的一种情形时,所述控制模块检测出所述瞬变状态。

6. 如权利要求 5 所述的闭环控制系统,其中,在所述第二模式期间,当所述电流既小于所述第一预定电流又大于所述第二预定电流时,所述控制模块启动所述第一模式。

7. 如权利要求 5 所述的闭环控制系统,其中当所述电流小于所述第二预定电流时,所述控制模块使所述第一和第二电感都进行充电。

8. 如权利要求 5 所述的闭环控制系统,其中当所述电流大于所述第一预定电流时,所述控制模块使所述第一和第二电感都进行放电。

9. 如权利要求 5 所述的闭环控制系统,其中所述控制模块基于所述第二 DC 电压的变化

速率来确定所述电流,而且其中当所述变化速率大于预定的变化速率时,所述电流是大于所述第一预定电流或小于所述第二预定电流中的一种情形。

10. 如权利要求 5 所述的闭环控制系统,其中所述控制模块基于所述第二 DC 电压在预定时间段内的平均值来确定所述电流。

11. 如权利要求 1 所述的闭环控制系统,其中,在所述第二模式期间,所述控制模块在预定时间段之后启动所述第一模式。

12. 如权利要求 1 所述的闭环控制系统,其中所述 DC/DC 转换器包括一个输出电容,而且其中当所述控制模块使所述第一和第二电感都进行放电时,所述输出电容放电。

13. 如权利要求 1 所述的闭环控制系统,其中所述 DC/DC 转换器包括一个输出电容,而且其中当所述控制模块使所述第一和第二电感都进行充电时,所述输出电容充电。

14. 如权利要求 1 所述的闭环控制系统,其中所述 DC/DC 转换器包括:
电容,所述电容的第一端与所述第一和第二电感的第二端相连,所述电容的第二端与所述第二和第四开关的第二端子相连。

15. 如权利要求 14 所述的闭环控制系统,其中所述控制模块产生第一、第二、第三和第四控制信号,以分别与所述第一、第二、第三和第四开关的控制端子相连。

16. 如权利要求 15 所述的闭环控制系统,其中所述控制模块确使所述第三和第四控制信号让所述第一电感进行充电,且确使所述第一和第二控制信号让所述第二电感进行充电。

17. 如权利要求 14 所述的闭环控制系统,其中所述第一 DC 电压被输入到所述第一和第三开关的所述第一端子。

18. 如权利要求 14 所述的闭环控制系统,其中所述第二 DC 电压参考所述电容的所述第一端。

19. 如权利要求 14 所述的闭环控制系统,其中所述 DC/DC 转换器包括电流源,而且其中所述电流源的第一端与所述第一和第二电感的第二端、以及所述电容的第一端相连,而所述电流源的第二端与所述第二和第四开关的第二端子、以及所述电容的第二端相连。

用于 DC/DC 转换器的闭环数字控制系统

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请涉及名称为“Low Loss DC/DC converter”、于 2003 年 7 月 15 日递交的、申请号为 10/621,058 的美国专利申请、名称为“Digital Low Dropout Regulator”、于 2004 年 1 月 8 日递交的、申请号为 10/754,187 的美国专利申请、和名称为“Voltage Regulator”、于 2004 年 3 月 26 日递交的、申请号为 10/810,452 的美国专利申请,其中申请号为 10/754,187 的专利申请是 2003 年 10 月 24 日递交的、申请号为 10/693,787 的美国专利申请的部分延续。以上申请的公开内容以整体在此引入作为参考。

技术领域

[0003] 本发明涉及 DC/DC 转换器,更具体地,涉及用于 DC/DC 转换器的数字控制系统。

背景技术

[0004] DC/DC 转换器是电子器件,其利用变流和 / 或整流将第一电平的 DC 电压转换成第二电平的 DC 电压。例如,DC/DC 转换器可以升 DC 电压、降 DC 电压,或者既能够升也能够降 DC 电压。DC/DC 转换器通常包括一个或多个电感器。电感器是基于磁场工作的电路元件。磁场源是运动的电荷、或电流。如果电流随着时间变化,感应的磁场也随着时间变化。时变磁场在导体中感应出电压,这些导体通过磁场被连接起来。

[0005] 参考图 1A,DC/DC 转换器 10 包括电感器 12。DC/DC 转换器 10 中的电感器 12 通常与至少一个开关和至少一个电容器相连。例如,开关可以是晶体管,电容器可以是输出电容器,该输出电容器滤波 DC/DC 转换器 10 的输出电压。控制模块可以与开关相连以控制电感器 12 何时充电或放电。例如,当开关接通时,输入电流可以流经开关和电感器 12 到达电容器,同时建立电感器 12 的磁场。当开关断开时,电感器 12 阻止电流的下降,并向电容器提供电流。

[0006] 现在参考图 1B 和图 1C,一个或多个导体分别构成耦合的电感器电路 14 和 16。在图 1B 中,第一和第二导体穿过相同的磁心且相互耦合,其耦合系数大约等于 1。在图 1C 中,单个导体两次或多次穿过磁心,其互相耦合的耦合系数大约等于 1。本领域的普通技术人员能够理解的是,仍然可以利用其它的电感器电路。在图 1B 和 1C 中,耦合电感器电路 14 和 16 分别实施在 DC/DC 转换器 18 和 20 中。使用耦合电感器电路 14 和 16 的 DC/DC 转换器 18 和 20 具有小电压脉动和高效率的快速响应。

[0007] DC/DC 转换器中的控制模块产生控制信号以接通或断开开关,并调节电感器充电和放电的速率。控制信号通常具有固定的频率和占空因数以获取预定的输出电压。然而,如果控制模块使控制信号保持在固定的频率和占空因数,那么控制模块就不能适应性地改变电路状态。

发明内容

[0008] 根据本发明的一种用于 DC/DC 转换器的闭环控制系统包括 DC/DC 转换器,其接收

第一 DC 电压,并产生第二 DC 电压。所述 DC/DC 转换器包括第一和第二电感。一个控制模块与所述 DC/DC 转换器相连,接收所述第二 DC 电压,并产生至少一个控制信号,以充电或放电所述第一和第二电感。所述控制模块具有第一和第二模式。在所述第一模式期间,所述控制模块交替地使所述第一和第二电感中的一个电感进行充电,并使所述第一和第二电感中的另一个电感进行放电。在所述第二模式期间,所述控制模块使所述两个电感即第一和第二电感进行充电或放电。

[0009] 在其它的特征中,当所述 DC/DC 转换器中出现瞬变状态时,所述控制模块启动所述第二模式。当所述第二 DC 电压是大于第一预定电压或小于第二预定电压中的一种情形时,所述控制模块就检测出瞬变状态。在所述第二模式期间,当所述第二 DC 电压既小于所述第一预定电压又大于所述第二预定电压时,所述控制模块启动所述第一模式。当所述第二 DC 电压大于所述第一预定电压时,所述控制模块使所述第一和第二电感都进行放电。当所述第二 DC 电压小于所述第二预定电压时,所述控制模块使所述第一和第二电感都进行充电。

[0010] 在本发明另外的其它特征中,所述 DC/DC 转换器包括输出电容。当通过所述输出电容的电流是大于第一预定电流或小于第二预定电流中的一种情形时,所述控制模块就检测出瞬变状态。在所述第二模式期间,当所述电流既小于所述第一预定电流又大于所述第二预定电流时,所述控制模块启动所述第一模式。当所述电流小于所述第二预定电流时,所述控制模块使所述第一和第二电感都进行充电。当所述电流大于所述第一预定电流时,所述控制模块使所述第一和第二电感都进行放电。所述控制模块基于所述第二 DC 电压的变化速率来确定所述电流。当所述的变化速率大于预定的变化速率时,所述电流是大于所述第一预定电流或小于所述第二预定电流中的一种情形。所述控制模块基于所述第二 DC 电压在预定时间段内的平均值来确定所述电流。

[0011] 在另外其它的特征中,在所述第二模式期间,所述控制模块在预定时间段后启动所述第一模式。所述 DC/DC 转换器包括输出电容。当所述控制模块使所述第一和第二电感都进行放电时,所述输出电容放电。所述 DC/DC 转换器包括输出电容。当所述控制模块使所述第一和第二电感都进行充电时,所述输出电容充电。

[0012] 在本发明另外的其它特征中,所述 DC/DC 转换器包括第一、第二、第三和第四开关。所述第一和第三开关的第二端子分别与所述第二和第四开关的第一端子相连。所述第一和第三开关的第一端子连在一起。所述第二和第四开关的第二端子连在一起。所述第一电感的第一端与所述第三开关的第二端子和所述第四开关的第一端子相连。所述第二电感的第一端与所述第一开关的第二端子和所述第二开关的第一端子相连。所述第一和第二电感的第二端连在一起。电容的第一端与所述第一和第二电感的第二端相连,其第二端与所述第二和第四开关的第二端子相连。

[0013] 在另外的其它特征中,所述第一、第二、第三和第四开关包括晶体管。所述控制模块产生第一、第二、第三和第四控制信号,其分别与所述第一、第二、第三和第四开关的控制端子相连。所述控制模块使所述第三和第四控制信号让所述第一电感进行充电,且使所述第一和第二控制信号让所述第二电感进行充电。所述第一 DC 电压被输入到所述第一和第三开关的第一端子。所述第二 DC 电压参考所述电容的第一端。所述 DC/DC 转换器包括一个电流源。所述电流源的第一端与所述第一和第二电感的第二端、以及所述电容的第

一端相连,而所述电流源的第二端与所述第二和第四开关的第二端子、以及所述电容的第二端相连。

[0014] 通过下面提供的详细描述,本发明其它的应用领域会变得清晰。应该理解的是,详细描述和特定的实例虽然表示了本发明的优选实施例,但是仅为阐释的目的,并不是想限制本发明的范围。

附图说明

[0015] 通过详细的描述和附图,将会更加全面地理解本发明,其中:

[0016] 图 1A 是根据现有技术实施在实例性 DC/DC 转换器中的电感器的功能框图和电路图;

[0017] 图 1B 是根据现有技术实施在实例性 DC/DC 转换器中的具有两个导体的耦合电感器电路的功能框图和电路图;

[0018] 图 1C 是根据现有技术实施在实例性 DC/DC 转换器中的具有一个导体的耦合电感器电路的功能框图和电路图;

[0019] 图 2 是根据本发明实施成开环控制系统的、具有控制模块的耦合电感器 DC/DC 转换器的功能框图和电路图;

[0020] 图 3 的时间图示出了由图 2 的控制模块产生的控制信号波形,其可以交替地对第一和第二电感器进行充电和放电;

[0021] 图 4 是一种用于 DC/DC 转换器的闭环控制系统的功能框图;

[0022] 图 5 的曲线示出了图 4 的 DC/DC 转换器的输出电压,该输出电压是时间的函数;

[0023] 图 6 的时间图示出了由图 4 的控制模块产生的控制信号波形,其在第一和第二电感器的充电曲线上有重叠;

[0024] 图 7 是图 4 的闭环 DC/DC 控制系统的电路图;

[0025] 图 8 的流程图示出了图 4 和图 7 的控制模块执行的步骤,其包括在预定的时间段内对第一和第二电感器启动同相操作;

[0026] 图 9 的流程图示出了图 4 和图 7 的控制模块执行的步骤,其包括当一个变量在预定范围之外时,对第一和第二电感器启动同相操作。

具体实施方式

[0027] 下面对优选实施例的描述仅仅是示例性的,并不是要限制本发明、其应用或用途。为清楚起见,附图中相同的附图标记用来表示相同的元件。本文所用的术语模块指的是专用集成电路 (ASIC)、电子电路、执行一个或多个软件或固件程序的处理器 (共享处理器、专用处理器或处理器组) 和存储器、组合逻辑电路、和 / 或其它可以提供上述功能的合适部件。

[0028] 现参考图 2,用于 DC/DC 转换器 30 的开环控制系统 28 包括控制模块 32。DC/DC 转换器 30 分别包括第一、第二、第三和第四晶体管 34、36、38、40。第一和第三晶体管 34 和 38 的源极 (或第二端子) 分别与第二和第四晶体管 36 和 40 的漏极 (或第一端子) 相连。第一和第三晶体管 34 和 38 的漏极连在一起,而第二和第四晶体管 36 和 40 的源极连在一起。

[0029] 第一和第二电感器 42 和 44 形成耦合电感器电路 46。第一电感器 42 的第一端与

第三晶体管 38 的源极和第四晶体管 40 的漏极相连。第二电感器 44 的第一端与第一晶体管 34 的源极和第二晶体管 36 的漏极相连。第一和第二电感器 42 和 44 的第二端连在一起。电容器 48 的第一端与第一和第二电感器 42 和 44 的第二端相连。

[0030] 电容器 48 的第二端与第二和第四晶体管 36 和 40 的源极相连。电流源 50 的第一端与电容器 48 的第一端、及第一和第二电感器 42 和 44 的第二端相连。电流源 50 的第二端与第二和第四晶体管 36 和 40 的源极、及电容器 48 的第二端相连。DC/DC 转换器 30 的输入 DC 电压 52 (V_{in}) 与第一和第三晶体管 34 和 38 的漏极相连。DC/DC 转换器的输出 DC 电压 54 (V_{out}) 参考第一和第二电感器 42 和 44 的第二端、电容器 48 的第一端和电流源 50 的第一端。

[0031] 控制模块 32 产生第一、第二、第三和第四控制信号 U_2 、 D_2 、 U_1 和 D_1 ，其分别与第一、第二、第三和第四晶体管 34、36、38 和 40 的栅极（或控制端子）相连。控制模块 32 通过将第三和第四控制信号 U_1 和 D_1 设为高（或低）来使第一电感器 42 充电，通过将第三和第四控制信号 U_1 和 D_1 设为低（或高）来使第一电感器 42 放电。

[0032] 控制模块 32 通过将第一和第二控制信号 U_2 和 D_2 设为高（或低）来使第二电感器 44 充电，通过将第一和第二控制信号 U_2 和 D_2 设为低（或高）来使第二电感器 44 放电。根据控制信号的频率和占空因数，DC/DC 转换器 30 将输入 DC 电压 52 转换成输出 DC 电压 54，输出 DC 电压 54 处于不同于输入 DC 电压 52 的电平。

[0033] 现参考图 3，第三和第四控制信号 U_1 和 D_1 （标为 62）及第一和第二控制信号 U_2 和 D_2 （标为 64）的信号波形所示为方波波形。控制模块 32 将第一、第二、第三和第四控制信号 U_2 、 D_2 、 U_1 和 D_1 的信号波形保持在预定的频率和占空因数，以使 DC/DC 转换器 30 产生所需的电压。第三和第四控制信号 U_1 和 D_1 的信号波形 62 与第一和第二控制信号 U_2 和 D_2 的信号波形 64 是互补的（或是 180 度的异相）。因此，当第一电感器 42 充电时，第二电感器 44 放电。同理，当第一电感器 42 放电时，第二电感器 44 充电。

[0034] 图 2 的开环控制系统 28 的优点是 DC/DC 转换器 30 具有高效率 and 产生小的电压脉动。DC/DC 转换器 30 也具有相对快速的响应，使得电容器 48 的尺寸更小。另外，控制模块 32 将第一、第二、第三和第四控制信号 U_2 、 D_2 、 U_1 和 D_1 的信号波形保持在固定的频率和占空因数。因此，在正常工作期间，开环控制系统 28 不需要额外的控制。

[0035] 但是，优点是，允许第三和第四控制信号 U_1 和 D_1 、及第一和第二控制信号 U_2 和 D_2 的信号波形的相位在一段受控的时间内重叠。例如，允许在受控时间内控制信号的同相操作可以在 DC/DC 转换器 30 中减小有效电感器的尺寸，并产生更快速的响应。这使得电容器 48 的尺寸可以更小。然而，如果控制信号的同相操作持续的时间太长，就可能会有太大的电流在第一和第二电感器 42 和 44 中进行充电，这会不利地影响 DC/DC 转换器的性能。因此，有必要确定在何种情况下启动控制信号的同相操作以及该同相操作持续多长时间。

[0036] 现参考图 4，所示为根据本发明的一种用于 DC/DC 转换器 30 的闭环控制系统 72。控制模块 32 的输入端接收 DC/DC 转换器 30 的输出 DC 电压 54。控制模块 32 也可选地接收分别来自第一和第二电感器 42 和 44 的电压信号 V_{x1} 和 V_{x2} 。例如，控制信号 32 可以分别基于电压信号 V_{x1} 和 V_{x2} 进行电流估计，以检测第一和第二电感器 42 和 44 的平衡。

[0037] 在正常工作期间，控制模块 32 确保第三和第四控制信号 U_1 和 D_1 的信号波形的相位与第一和第二控制信号 U_2 和 D_2 的信号波形的相位互补。当基于输出 DC 电压 54 在 DC/

DC 转换器 30 中检测到大电压或电流瞬变时,控制模块 32 就启动控制信号的同相操作。

[0038] 在一个实例性实施例中,当输出 DC 电压 54 的值在预定的范围之外时,控制模块 32 启动控制信号的同相操作。例如,当输出 DC 电压 54 的值大于第一预定电压时,控制模块 32 将控制信号的信号波形设为低(或高)。这使得第一和第二电感器 42 和 44 都进行放电。当输出 DC 电压 54 的值小于第二预定电压时,控制模块 32 将控制信号的信号波形设为高(或低)。这使得第一和第二电感器 42 和 44 都进行充电。

[0039] 当输出 DC 电压 54 的值回到预定范围之内时,控制模块 32 可以返回到控制信号的互补操作。替代地,控制模块 32 可以在预定的时间段后返回到控制信号的互补操作。在一个实例性实施例中,预定的时间段是一个或多个电路状态的函数,例如 DC/DC 转换器 30 内的电流或电压大小。

[0040] 如果输出 DC 电压 54 在预定的范围内,流经电容器 48 的电流 I_c 可能仍然太高或太低。因此,在另一个实例性实施例中,当流经电容器 48 的电流值在预定范围之外时,控制模块 32 就启动控制信号的同相操作。例如,当流经电容器 48 的电流大于第一预定电流时,控制模块 32 将控制信号的信号波形设为低(或高)。这使得第一和第二电感器 42 和 44 都放电。

[0041] 当流经电容器 48 的电流小于第二预定电流时,控制模块 32 将控制信号的信号波形设为高(或低)。这使得第一和第二电感器 42 和 44 都充电。如在电压阈值的情形那样,当流经电容器 48 的电流回到预定范围之内时,控制模块 32 可返回到控制信号的互补操作。替代地,控制模块 32 可以在预定的时间段之后返回到控制信号的互补操作。

[0042] 现参考图 5,控制模块 32 基于输出 DC 电压 $54V_{out}$ 来估计流经电容器 48 的电流 I_c 。流经电容器 48 的电流与输出 DC 电压 54 的变化速率成比例。因此,控制模块 32 计算出时间 T_{cross} 的长短,输出 DC 电压 54(标为 80) 花费时间 T_{cross} 从第一预定电压 (V_{L2} 或 V_{L1}) 增大到减小到第二预定电压 (V_{L1} 或 V_{L2})。在图 5 所示的实例性实施例中,输出 DC 电压 54 从第一预定电压 (V_{L1}) (标为 82) 减小到第二预定电压 (V_{L2}) (标为 84)。

[0043] 随着 T_{cross} 值的减小, V_{out} 的斜率增大,这对应着流经电容器 48 的电流的增大。同理,随着 T_{cross} 值的增大, V_{out} 的斜率减小,这对应着流经电容器 48 的电流的减小。因此,将 T_{cross} 与预定的时间段比较,控制模块 32 确定出流经电容器 48 的电流何时在预定范围之外。替代地,控制模块 32 可以基于在预定时间段内 V_{out} 的平均值,估计流经电容器 48 的电流。

[0044] 现参考图 6,第三和第四控制信号 U_1 和 D_1 的信号波形的相位(标为 92),与第一和第二控制信号 U_2 和 D_2 的信号波形的相位(标为 94) 在受控的时间段 $T_{overlap}$ 内重叠。时间段 $T_{overlap}$ 表示出控制模块 32 何时保持控制信号的同相操作。在时间段 $T_{overlap}$ 前后,控制模块 32 保持控制信号的互补操作。

[0045] 现参考图 7,进一步详细示出了控制模块 32 和 DC/DC 转换器 30。用与图 2 中相同的附图数字来标识元件。控制模块 32 包括电压比较模块 102 和控制信号发生器 104。控制模块 32 也可选地包括电流检测模块 106。电压比较模块 102 的第一输入端接收来自 DC/DC 转换器 30 的输出电压 54。电压比较模块 102 的第二输入端接收预定电压。电压比较模块 102 比较输出 DC 电压 54 和预定电压,以确定何时输出 DC 电压 54 大于或小于预定电压。

[0046] 电压比较模块 102 将结果输出到控制信号发生器 104。可选的电流检测模块 106 的输入端接收分别来自第一和第二电感器 42 和 44 的电压信号 V_{x1} 和 V_{x2} 。电流检测模块 106

计算 V_{x1} 和 V_{x2} 的差, 并将该差值传送到控制信号发生器 104。根据来自电压比较模块 102 和 / 或电流检测模块 106 的控制信号值, 控制信号发生器 104 产生第一、第二、第三和第四控制信号 U_2 、 D_2 、 U_1 和 D_1 。控制信号发生器 104 将第一、第二、第三和第四控制信号 U_2 、 D_2 、 U_1 和 D_1 分别传送到 DC/DC 转换器 30 中第一、第二、第三和第四晶体管 34、36、38、和 40 的栅极。

[0047] 现参考图 8, 第一闭环控制算法在步骤 114 开始。在步骤 116, 控制过程读取来自 DC/DC 转换器 30 的输出 DC 电压 54 的值。在步骤 118, 控制过程确定输出 DC 电压 54 是否大于第一预定电压加上阈值 (V_{thr})。如果为真, 控制过程进行到步骤 120。如果为假, 控制过程进行到步骤 122。在步骤 120, 通过将控制信号的信号波形设为低 (或高), 控制过程启动控制信号的同相操作。在步骤 124, 控制过程重置定时器。在步骤 126, 控制过程确定定时器是否到期。如果为假, 控制过程循环到步骤 126。如果为真, 控制过程进行到步骤 128。

[0048] 在步骤 128, 控制模块 32 返回到控制信号的互补操作, 控制过程结束。在步骤 122, 控制过程确定输出 DC 电压 54 是否小于第二预定电压减去阈值。例如, 步骤 118 和 122 中的阈值可以是相等的, 以及 / 或者第一和第二预定电压是相等的。如果为真, 控制过程进行到步骤 130。如果为假, 控制过程进行到步骤 132。在步骤 130, 通过将控制信号的信号波形设为高 (或低), 控制模块 32 启动控制信号的同相操作, 且控制过程进行到步骤 124。

[0049] 在步骤 132, 控制模块 32 估计流经 DC/DC 转换器 30 中的电容器 48 的电流。在步骤 134, 控制过程确定流经电容器 48 的电流是否大于第一预定电流 (I_{thr})。如果为真, 控制过程进行到步骤 120。如果为假, 控制过程进行到步骤 136。在步骤 136, 控制过程确定流经电容器 48 的电流是否小于第二预定电流 ($-I_{thr}$)。例如, 第二预定电流可以在量值上等于第一预定电流, 而具有相反的极性。如果为真, 控制过程进行到步骤 130。如果为假, 控制过程结束。

[0050] 现参考图 9, 第二闭环控制算法在步骤 144 开始。在步骤 146, 控制过程读取来自 DC/DC 转换器 30 的输出 DC 电压 54 的值。在步骤 148, 控制过程确定输出 DC 电压 54 是否大于第一预定电压加阈值。如果为真, 控制过程进行到步骤 150。如果为假, 控制过程进行到步骤 152。在步骤 150, 通过将控制信号的信号波形设为低 (或高), 控制模块 32 启动控制信号的同相操作。在步骤 154, 控制过程确定输出 DC 电压 54 是否小于第一预定电压加阈值。如果为假, 控制过程循环到步骤 154。如果为真, 控制过程进行到步骤 156。在步骤 156, 控制模块 32 返回到控制信号的互补操作, 且控制过程结束。

[0051] 在步骤 152, 控制过程确定输出 DC 电压 54 是否小于第二预定电压减阈值。例如, 步骤 148 和 152 中的阈值可以是相等的, 以及 / 或者第一和第二预定电压可以是相等的。如果为真, 控制过程进行到步骤 158。如果为假, 控制过程进行到步骤 160。在步骤 158, 通过将控制信号的信号波形设为高 (或低), 控制模块 32 启动控制信号的同相操作。在步骤 162, 控制过程确定输出 DC 电压 54 是否大于第二预定电压减阈值。如果为假, 控制过程循环到步骤 162。如果为真, 控制过程进行到步骤 156。在步骤 160, 控制模块 32 估计流经 DC/DC 转换器 30 中电容器 48 的电流。

[0052] 在步骤 164, 控制过程确定流经电容器 48 的电流是否大于第一预定电流。如果为真, 控制过程进行到步骤 166。如果为假, 控制过程进行到步骤 168。在步骤 166, 通过将控制信号的信号波形设为低 (或高), 控制模块 32 启动控制信号的同相操作。在步骤 170, 控制过程确定流经电容器 48 的电流是否小于第一预定电流。如果为假, 控制过程循环到步骤

170。如果为真,控制过程进行到步骤 156。

[0053] 在步骤 168,控制过程确定流经电容器 48 的电流是否小于第二预定电流。例如,第二预定电流可以在量值上等于第一预定电流,而具有相反的极性。如果为假,控制过程结束。如果为真,控制过程进行到步骤 172。在步骤 172,通过将控制信号的信号波形设为高(或低),控制模块 32 启动控制信号的同相操作。在步骤 174,控制过程确定流经电容器 48 的电流是否大于第二预定电流。如果为假,控制过程循环到步骤 174。如果为真,控制过程进行到步骤 156。

[0054] 本发明使得可以对耦合电感器 DC/DC 转换器 30 进行闭环数字控制。然而,本发明的方法也可用来控制类似性质的其它电子电路。通过使用输出电压反馈路径,控制模块 32 能够检测 DC/DC 转换器 30 电路中的大电压或电流瞬变。因此,减轻了以前对控制信号不变的互补操作的限制。这使得,与使用开环控制系统的 DC/DC 转换器相比,DC/DC 转换器 30 获得更快的响应并可以使用更小的输出电容器 48。

[0055] 通过以上描述,本领域普通技术人员现在可以领会到本发明的广泛原理可以实施成各种形式。因此,虽然结合本发明的特定实例来描述本发明,本发明的真正范围不应该被如此限制,因为通过研究附图、说明书和权利要求,其它的改动对于普通技术人员而言是显而易见的。

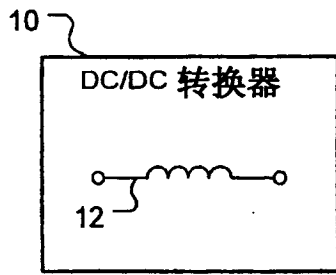


图1A
现有技术

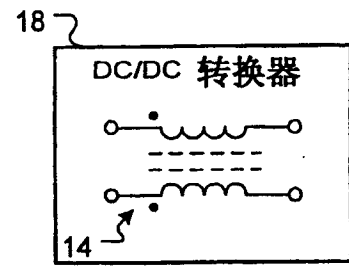


图1B
现有技术

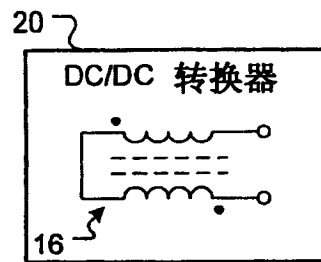


图1C
现有技术

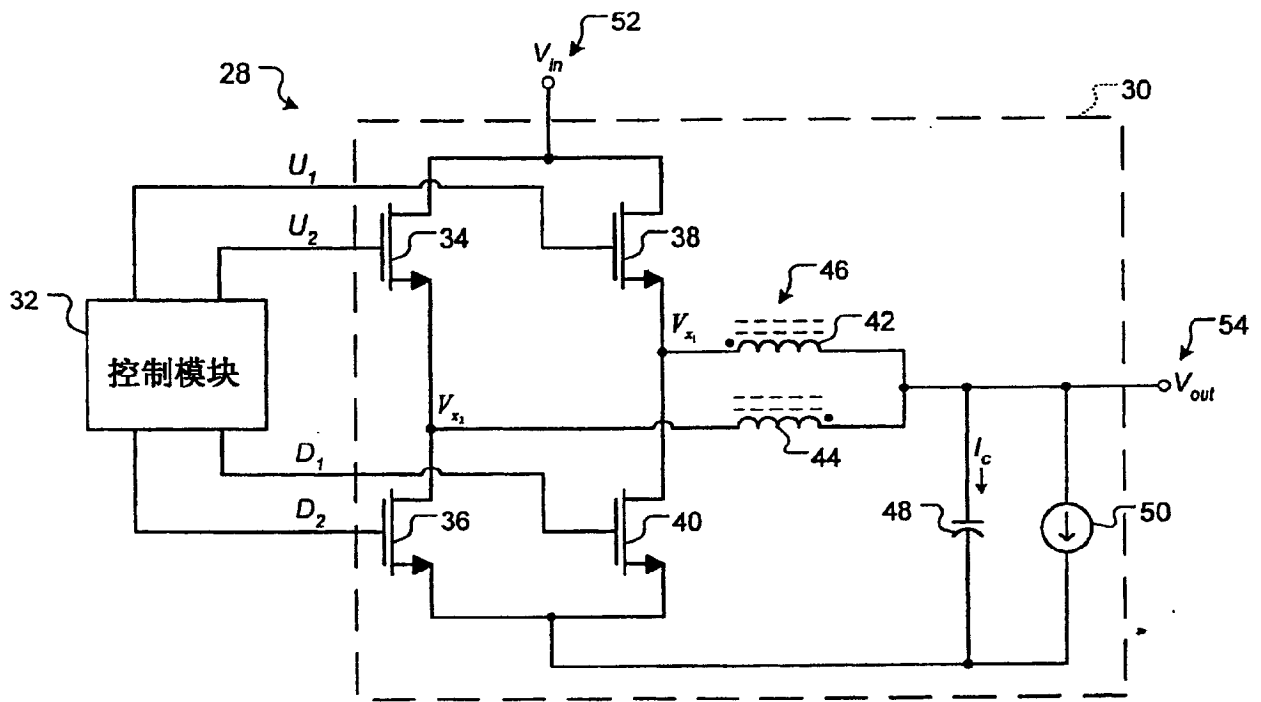


图2

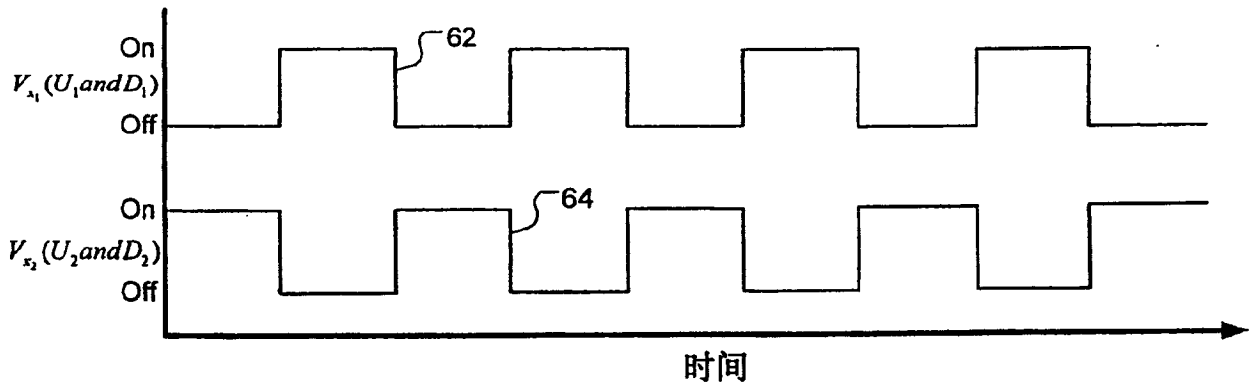


图3

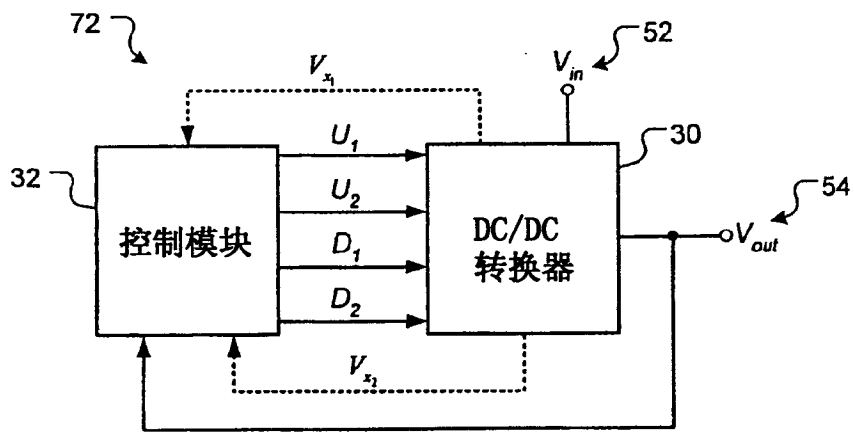


图4

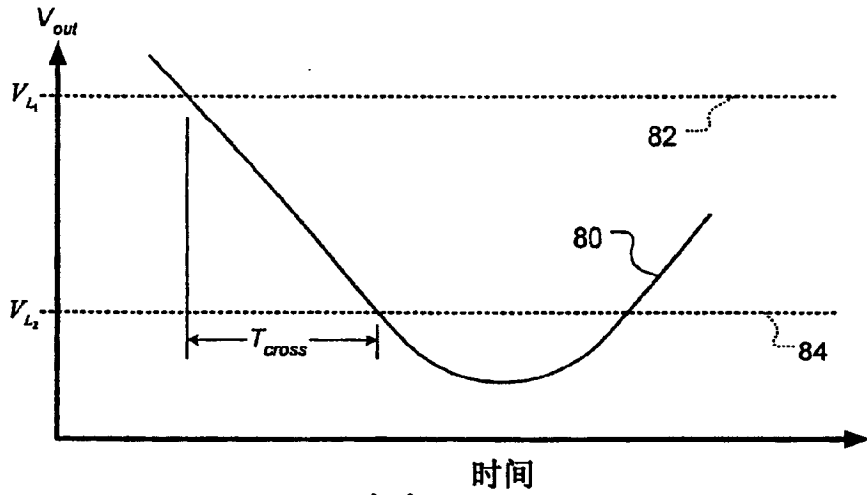


图5

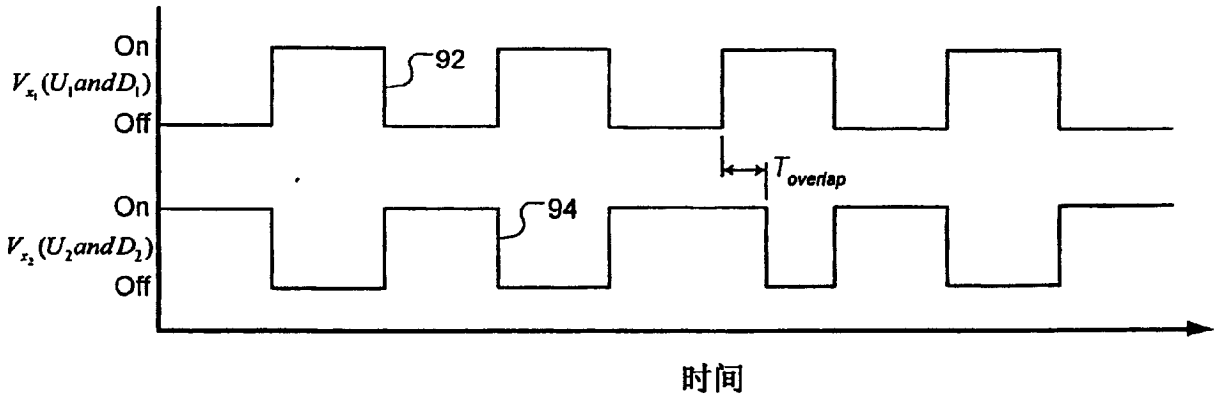


图6

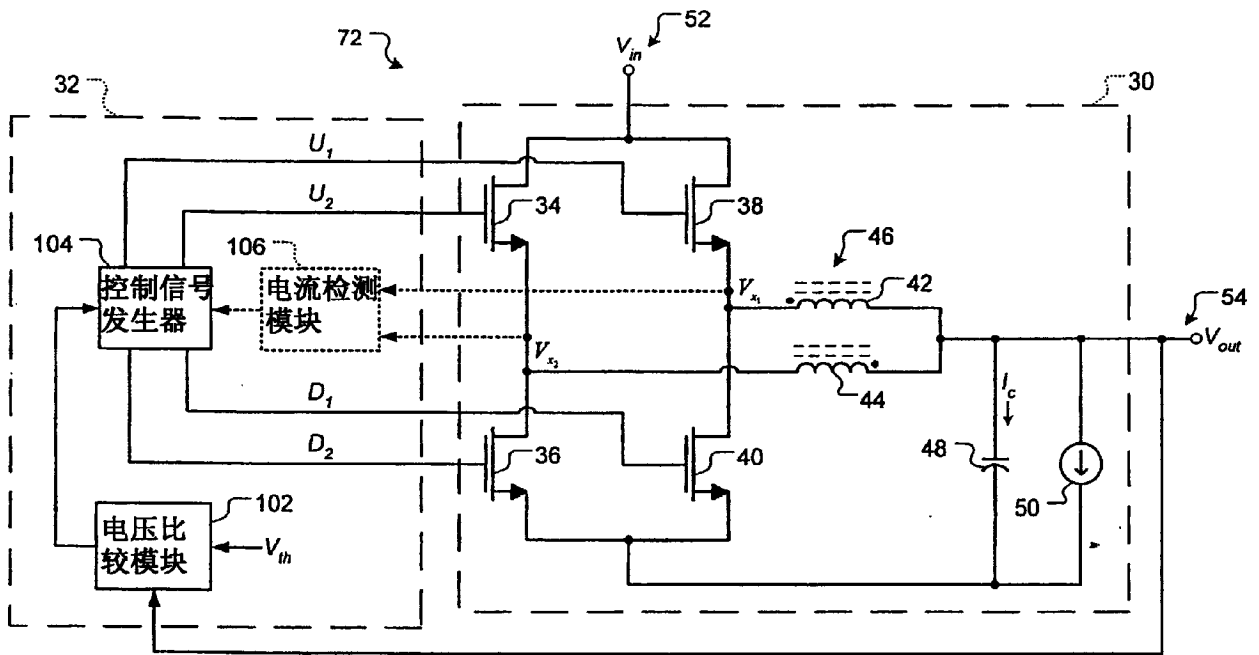


图7

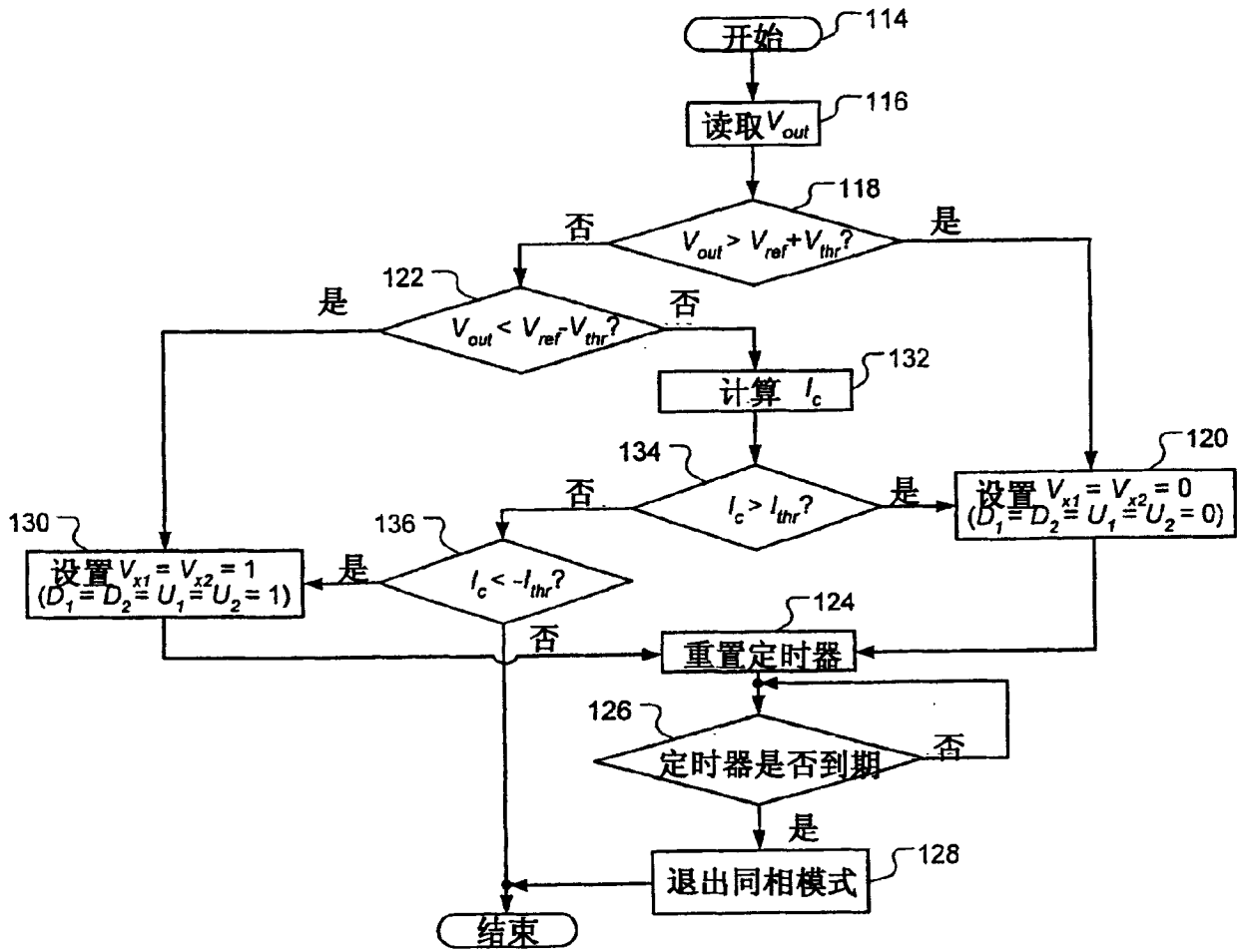


图8

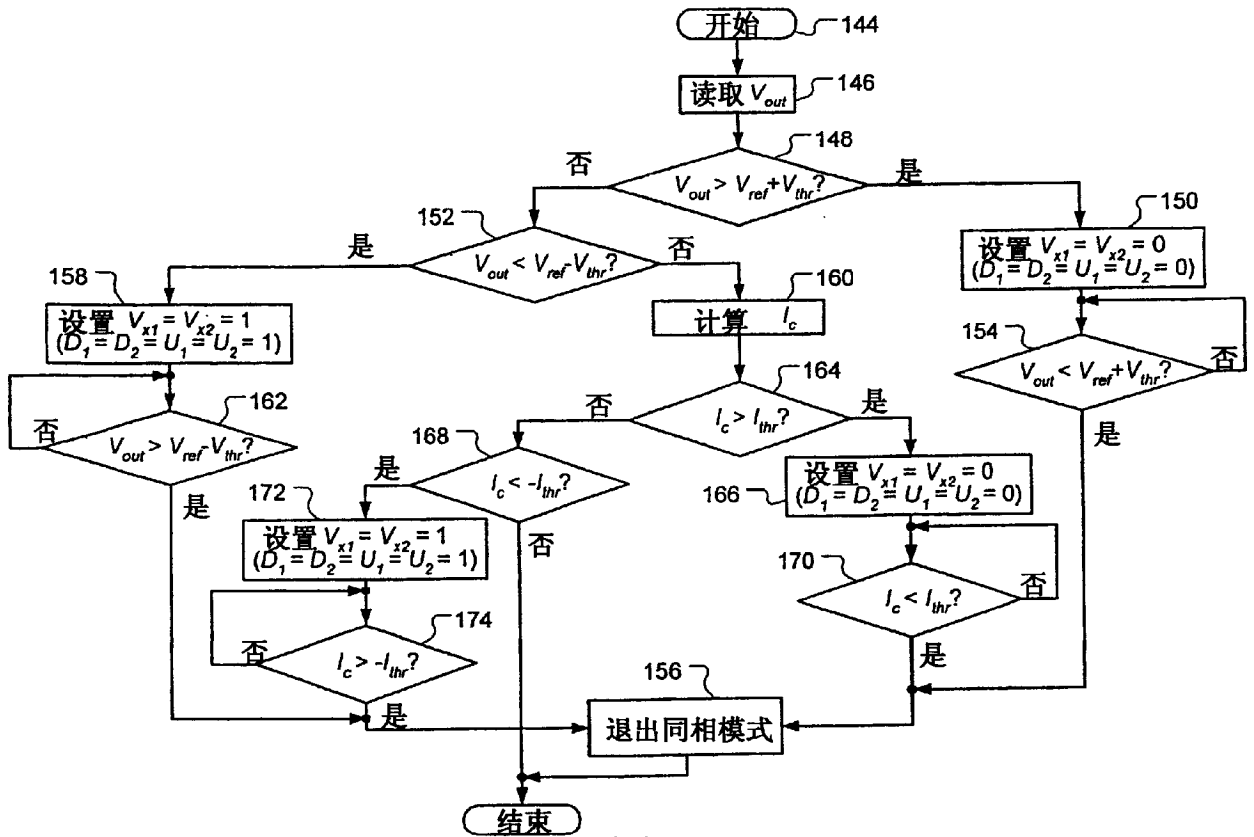


图9