



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111492568 A

(43)申请公布日 2020.08.04

(21)申请号 201880082619.8

(74)专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司 11021

(22)申请日 2018.12.20

代理人 倪斌

(30)优先权数据

62/609,441 2017.12.22 US

(51)Int.Cl.

H02M 3/335(2006.01)

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2020.06.19

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2018/070003 2018.12.20

(87)PCT国际申请的公布数据

WO2019/126831 EN 2019.06.27

(71)申请人 株式会社村田制作所

地址 日本京都府

(72)发明人 纳纳·卡卡拉什维利

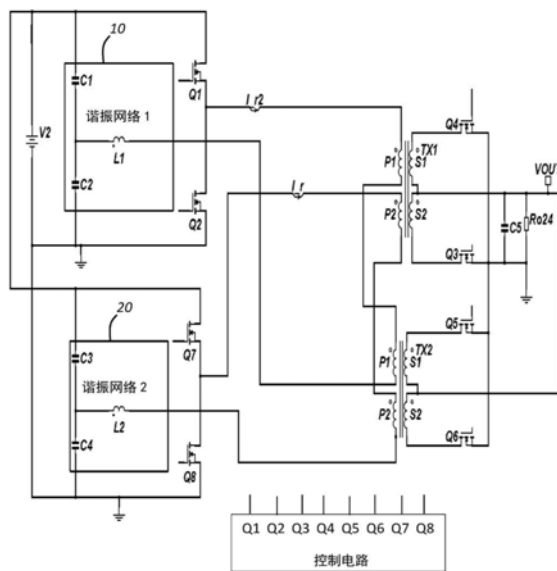
权利要求书3页 说明书5页 附图4页

(54)发明名称

交错式LLC谐振变换器

(57)摘要

一种LLC变换器,包括:多个谐振电路,所述多个谐振电路均包括连接到DC输入电压的多个电容器;开关电路,包括连接到所述DC输入电压的多个开关;多个变压器,均包括多个初级绕组和多个次级绕组;以及,多个同步整流器,均连接到所述多个次级绕组中的一个次级绕组。所述多个变压器中的每一个变压器的多个初级绕组包括第一初级绕组和第二初级绕组。串联连接的第一初级绕组连接到所述多个谐振电路中的第一谐振电路,并且串联连接的第二初级绕组直接连接到所述多个谐振电路中的第二谐振电路。来自所述多个次级绕组中的每一个次级绕组的电流相等或实质上相等。



1. 一种根据DC输入电压来输出DC输出电压的LLC变换器,所述LLC变换器包括:
多个谐振电路,均包括连接到所述DC输入电压的多个电容器;
开关电路,包括连接到所述DC输入电压的多个开关;
多个变压器,均包括多个初级绕组和多个次级绕组;以及
多个同步整流器,均连接到所述多个次级绕组中的一个次级绕组;其中,
所述多个变压器中的每一个变压器的多个初级绕组包括第一初级绕组和第二初级绕组,
所述多个变压器中的每一个变压器的第一初级绕组串联连接,
所述多个变压器中的每一个变压器的第二初级绕组串联连接,
串联连接的所述第一初级绕组连接到所述多个谐振电路中的第一谐振电路,
串联连接的所述第二初级绕组直接连接到所述多个谐振电路中的第二谐振电路,
来自所述多个谐振电路中的所述第一谐振电路的第一电流流入串联连接的所述第一初级绕组,
来自所述多个谐振电路中的所述第二谐振电路的第二电流流入串联连接的所述第二初级绕组,并且
来自所述多个次级绕组中的每一个次级绕组的电流相等或实质上相等。
2. 根据权利要求1所述的LLC变换器,其中,所述第二电流相对于所述第一电流相移 90° 。
3. 根据权利要求1所述的LLC变换器,其中,所述第二电流相对于所述第一电流相移 180° 。
4. 根据权利要求1所述的LLC变换器,其中:
所述多个谐振电路均包括:
所述多个电容器中的串联连接的第一电容器和第二电容器;以及
连接到所述第一电容器和所述第二电容器之间的节点的电感器。
5. 根据权利要求4所述的LLC变换器,其中:
所述第一谐振电路的第一电感器与串联连接的所述第一初级绕组串联连接,并且
所述第二谐振电路的第二电感器与串联连接的所述第二初级绕组串联连接。
6. 根据权利要求1所述的LLC变换器,其中,所述多个变压器中的每一个变压器的第一初级绕组中的匝数相等。
7. 根据权利要求1所述的LLC变换器,其中,所述多个变压器中的每一个变压器的第二初级绕组中的匝数相等。
8. 根据权利要求1所述的LLC变换器,还包括控制电路,所述控制电路驱动所述多个开关和所述多个同步整流器导通和断开。
9. 根据权利要求1所述的LLC变换器,其中,所述多个变压器中的每一个变压器中的磁通量彼此部分抵消,使得只有足以提供给负载的能量未被抵消。
10. 一种根据DC输入电压来输出DC输出电压的LLC变换器,所述LLC变换器包括:
第一谐振电路和第二谐振电路,连接到所述DC输入电压;
第一开关电路,包括:
第一开关,包括连接到所述第一谐振电路并且连接到所述DC输入电压的第一端;以及

第二开关,包括连接到所述第一谐振电路的第一端;
第二开关电路,包括:
第三开关,包括连接到所述第二谐振电路并且连接到所述DC输入电压的第一端;以及
第四开关,包括连接到所述第二谐振电路的第一端;
第一变压器和第二变压器,均包括第一初级绕组和第二初级绕组;以及
整流电路,连接到所述第一变压器和所述第二变压器并且连接到所述DC输出电压;其中,

所述第一开关的第二端和所述第二开关的第二端彼此连接并且连接到所述第一变压器的第一初级绕组,

所述第三开关的第二端和所述第四开关的第二端彼此连接并且连接到所述第一变压器的第二初级绕组,

所述第一变压器和所述第二变压器的第一初级绕组串联连接,
所述第一变压器和所述第二变压器的第二初级绕组串联连接,
所述第二变压器的第一初级绕组连接到所述第一谐振电路,并且
所述第二变压器的第二初级绕组连接到所述第二谐振电路。

11. 根据权利要求10所述的LLC变换器,其中:

所述第一谐振电路和所述第二谐振电路中的每一个均包括:

串联连接的第一电容器和第二电容器;以及

连接到所述第一电容器和所述第二电容器之间的节点的电感器;

所述第一谐振电路的电感器连接到所述第二变压器的第一初级绕组,并且

所述第二谐振电路的电感器连接到所述第二变压器的第二初级绕组。

12. 根据权利要求10所述的LLC变换器,其中,来自所述第一变压器和所述第二变压器的第一次级绕组和第二次级绕组的电流相等或实质上相等。

13. 根据权利要求10所述的LLC变换器,其中,所述第一变压器的第一初级绕组与所述第二变压器的第一初级绕组的匝数比为1:1。

14. 根据权利要求10所述的LLC变换器,其中,所述第一变压器的第二初级绕组与所述第二变压器的第二初级绕组的匝数比为1:1。

15. 根据权利要求10所述的LLC变换器,还包括控制电路,所述控制电路将驱动信号提供给所述整流电路并且提供给所述第一开关电路和所述第二开关电路。

16. 根据权利要求10所述的LLC变换器,其中:

所述整流电路包括第一同步整流器、第二同步整流器、第三同步整流器和第四同步整流器,并且

所述第一同步整流器、所述第二同步整流器、所述第三同步整流器和所述第四同步整流器中的每一个都连接到所述第一变压器和所述第二变压器中的一个。

17. 根据权利要求16所述的LLC变换器,其中,所述第一同步整流器、所述第二同步整流器、所述第三同步整流器和所述第四同步整流器在零电流处被接通和关断。

18. 根据权利要求10所述的LLC变换器,其中,所述第一变压器中的磁通量和所述第二变压器中的磁通量彼此部分抵消,使得只有足以提供给负载的能量未被抵消。

19. 根据权利要求10所述的LLC变换器,其中,所述第一谐振电路和所述第二谐振电路

中的电流相移 90° 。

20. 根据权利要求10所述的LLC变换器, 其中, 所述第一谐振电路和所述第二谐振电路中的电流相移 180° 。

交错式LLC谐振变换器

技术领域

[0001] 本发明涉及谐振变换器。更具体地,本发明涉及具有多个变压器和多个整流器的交错式LLC谐振变换器。

背景技术

[0002] 对于大功率、大电流应用,使用以 90° 或 180° 相移驱动交错式LLC谐振变换器来减少提供给输出电容器的输出电流中的纹波是已知的。但是,变压器的寄生电感的不匹配会导致不对称的输出电流,降低了交错式LLC谐振变换器的效率。

[0003] 美国专利申请公开号2012/0275197A1公开了一种交错式LLC谐振变换器,其试图解决变压器中的失配的寄生电感。然而,这种交错式LLC谐振变换器的缺点在于,集成变压器的工作条件与已知的非交错式LLC谐振变换器电路相同,因为必须将集成变压器设计为存储大量能量。这么大的能量容量需要大的磁芯体积,这导致变压器的磁中的高传导损耗。来自同步整流器(其通常是金属氧化物半导体场效应晶体管(MOSFET))的损耗很高,因为已知的交错式LLC谐振变换器在某些负载和输入电压条件下在低于其谐振频率的频率处操作,并且因为在电流不为零时(即在非零电流开关(非ZCS)条件下)将功率MOSFET或同步整流MOSFET关断。当已知的交错式LLC谐振变换器在低于其谐振频率的频率处操作时,这些损耗会降低变换器的效率。

发明内容

[0004] 为了克服上述问题,本发明优选实施例提供了一种交错式LLC谐振变换器,它们均实现了输入电流纹波减小、磁通消除和增加的功率密度。因为相同的初级电流在每一个变压器的初级绕组中流动,因此每一个变压器的次级绕组中的输出电流相等,并且利用ZCS来关断次级同步整流器。

[0005] 根据本发明优选实施例的交错式LLC谐振变换器显著降低了次级同步整流器中的损耗,并且在变压器的次级绕组之中提供了相等的电流分布。输入电流纹波减小允许变压器的体积显著减小,其允许更高的密度。即使不减小输出电流纹波,也可以实现功率密度的增加。由于变压器体积的减小而引起的功率密度的增加大于由于输出电容器的纹波电流减小或抵消而引起的功率密度的增加。由于磁通量的抵消引起的功率密度的增加大于由于输出电容器的纹波电流的减小或抵消引起的功率密度的增加。尤其是在低于谐振频率操作的情况下,实现了更高的效率。因为集成变压器中的磁通量抵消,所以在高输出电流应用中减小了变压器的体积,实现了次级绕组中的传导损耗的减小和每一个变压器中的磁芯损耗的减小。

[0006] 根据本发明优选实施例,基于DC输入电压来输出DC输出电压的LLC变换器包括:多个谐振电路,均包括连接到所述DC输入电压的多个电容器;开关电路,包括连接到所述DC输入电压的多个开关;多个变压器,均包括多个初级绕组和多个次级绕组;以及,多个同步整流器,均连接到所述多个次级绕组中的一个次级绕组。所述多个变压器中的每一个变压器

的多个初级绕组包括第一初级绕组和第二初级绕组。所述多个变压器中的每一个变压器的第一初级绕组串联连接。所述多个变压器中的每一个变压器的第二初级绕组串联连接。串联连接的所述第一初级绕组连接到所述多个谐振电路中的第一谐振电路。串联连接的所述第二初级绕组直接连接到所述多个谐振电路中的第二谐振电路。来自所述多个谐振电路中的第一谐振电路的第一电流流入串联连接的第一初级绕组。来自所述多个谐振电路中的第二谐振电路的第二电流流入串联连接的第二初级绕组。来自所述多个次级绕组中的每一个次级绕组的电流相等或实质上相等。

[0007] 第二电流优选地相对于第一电流相移 90° 或 180° 。

[0008] 优选地,所述多个谐振电路均包括:多个电容器中串联连接的第一电容器和第二电容器;以及,连接到第一电容器和第二电容器之间的节点的电感器。优选地,第一谐振电路的第一电感器与串联连接的第一初级绕组串联连接,并且,第二谐振电路的第二电感器与串联连接的第二初级绕组串联连接。

[0009] 所述多个变压器中的每一个变压器的第一初级绕组中的匝数优选地相等。所述多个变压器中的每一个变压器的第二初级绕组中的匝数优选地相等。所述LLC变换器还优选地包括控制电路,该控制电路驱动所述多个开关和所述多个同步整流器导通和断开。所述多个变压器中的每一个变压器中的磁通量优选地彼此部分抵消,使得只有足以提供给负载的能量未被抵消。

[0010] 根据本发明优选实施例,基于DC输入电压来输出DC输出电压的LLC变换器包括:第一谐振电路和第二谐振电路,连接到所述DC输入电压;第一开关电路,包括:第一开关,包括连接到所述第一谐振电路并且连接到所述DC输入电压的第一端;以及,第二开关,包括连接到所述第一谐振电路的第一端;第二开关电路,包括:第三开关,包括连接到所述第二谐振电路并且连接到所述DC输入电压的第一端;以及,第四开关,包括连接到所述第二谐振电路的第一端;第一变压器和第二变压器,均包括第一初级绕组和第二初级绕组;以及,整流电路,连接到所述第一变压器和所述第二变压器并且连接到所述DC输出电压。所述第一开关的第二端和所述第二开关的第二端彼此连接并且连接到所述第一变压器的第一初级绕组。所述第三开关的第二端和所述第四开关的第二端彼此连接并且连接到所述第一变压器的第二初级绕组,所述第一变压器和所述第二变压器的第一初级绕组串联连接,所述第一变压器和所述第二变压器的第二初级绕组串联连接。所述第二变压器的第一初级绕组连接到第一谐振电路。所述第二变压器的第二初级绕组连接到第二谐振电路。

[0011] 优选地,所述第一谐振电路和第二谐振电路中的每一个包括:串联连接的第一电容器和第二电容器;以及,连接到所述第一电容器和第二电容器之间的节点的电感器;所述第一谐振电路的电感器连接到所述第二变压器的第一初级绕组;并且所述第二谐振电路的电感器连接到所述第二变压器的第二初级绕组。来自所述第一变压器和所述第二变压器的第一次级绕组和第二次级绕组的电流优选地相等或实质上相等。所述第一变压器的第一初级绕组与所述第二变压器的第一初级绕组的匝数比优选为1:1。所述第一变压器的第二初级绕组与所述第二变压器的第二初级绕组的匝数比优选为1:1。所述LLC变换器还优选地包括控制电路,该控制电路将驱动信号提供给所述整流电路并且提供给所述第一开关电路和所述第二开关电路。

[0012] 优选地,所述整流电路包括第一同步整流器、第二同步整流器、第三同步整流器和

第四同步整流器,并且所述第一同步整流器、所述第二同步整流器、所述第三同步整流器和所述第四同步整流器中的每一个连接到所述第一变压器和所述第二变压器中的一个。所述第一同步整流器、所述第二同步整流器、所述第三同步整流器和所述第四同步整流器优选在零电流处被接通和关断。

[0013] 优选地,所述第一变压器中的磁通量和所述第二变压器中的磁通量彼此部分抵消,使得只有足以提供给负载的能量未被抵消。所述第一谐振电路和所述第二谐振电路中的电流优选地相移 90° 或 180° 。

[0014] 根据以下参考附图对本发明优选实施例的详细描述,本发明的上述和其它特征、元件、特性、步骤和优点将变得更显而易见。

附图说明

[0015] 图1是根据本发明优选实施例的交错式LLC谐振变换器的电路图。

[0016] 图2A和2B示出当图1所示的变换器中的两个谐振电路中的两个电流相对于彼此偏移 90° 时的波形。

[0017] 图3示出当图1所示的变换器中的两个谐振电路中的两个电流相对于彼此偏移 180° 时的波形。

具体实施方式

[0018] 如图1所示,交错式LLC谐振变换器包括:输入电压 V_2 ;第一谐振电路10;第二谐振电路20;电源开关 Q_1 、 Q_2 、 Q_7 、 Q_8 ;变压器 TX_1 、 TX_2 ;同步整流器 Q_3 、 Q_4 、 Q_5 、 Q_6 ;输出电容器 C_5 ;代表负载的电阻器 R_{o24} ;以及,输出端 V_{out} 。第一谐振电路10包括电感器 L_1 和电容器 C_1 、 C_2 ,第二谐振电路20包括电感器 L_2 和电容器 C_3 、 C_4 。变压器 TX_1 、 TX_2 均包括两个初级绕组 P_1 、 P_2 和两个次级绕组 S_1 、 S_2 。初级绕组的匝数比 $P_1:P_2$ 为1:1,次级绕组的匝数比 $S_1:S_2$ 为1:1。变压器 TX_1 、 TX_2 的初级绕组 P_1 、 P_1 串联连接,并且变压器 TX_1 、 TX_2 的初级绕组 P_2 、 P_2 串联连接。变压器 TX_1 的次级绕组 S_1 、 S_2 串联连接并且共享连接到 V_{out} 的节点,而变压器 TX_2 的次级绕组 S_1 、 S_2 串联连接并且共享连接到 V_{out} 的节点。电源开关 Q_1 、 Q_2 串联连接在输入电压 V_2 与地之间,电源开关 Q_7 、 Q_8 串联连接在输入电压 V_2 与地之间。

[0019] 在图1的第一谐振电路10中,电容器 C_1 、 C_2 串联连接在输入电压 V_2 和地之间。电感器 L_1 经由变压器 TX_1 、 TX_2 的串联连接的初级绕组 P_1 、 P_1 连接在电容器 C_1 、 C_2 之间的节点与电源开关 Q_1 、 Q_2 之间的节点之间。电流 I_{r2} 是通过串联连接的电感器 L_1 和变压器 TX_1 、 TX_2 的初级绕组 P_1 、 P_1 的谐振电流。

[0020] 在图1的第二谐振电路20中,电容器 C_3 、 C_4 串联连接在输入电压 V_2 与地之间。电感器 L_2 经由变压器 TX_1 、 TX_2 的串联连接的次级绕组 S_1 、 S_1 连接在电容器 C_3 、 C_4 之间的节点与电源开关 Q_7 、 Q_8 之间的节点之间。电流 I_r 是通过串联连接的电感器 L_2 和变压器 TX_1 、 TX_2 的初级绕组 P_2 、 P_2 的谐振电流。

[0021] 电源开关 Q_1 、 Q_2 被包括在第一开关电路中,电源开关 Q_1 、 Q_2 串联连接。第一开关电路连接到输入电压 V_2 并且连接到第一谐振电路10。电源开关 Q_1 的第一端连接到输入电压 V_2 的正极端和电容器 C_1 的端子。电源开关 Q_1 的第二端连接到电源开关 Q_2 的第一端。电源开关 Q_2 的第二端连接地,连接到输入电压 V_2 的负极端,并且连接到电容器 C_2 的端子。电源开关

Q1、Q2之间的节点连接到第一变压器TX1的初级绕组P1。

[0022] 电源开关Q7、Q8被包括在第二开关电路中,电源开关Q7、Q8串联连接。第二开关电路连接到输入电压V2和第二谐振电路20。电源开关Q1的第一端连接到输入电压V2的正极端和电容器C3的端子。电源开关Q7的第二端连接到电源开关Q8的第一端。电源开关Q8的第二端连接到地、输入电压V2的负极端、以及电容器C4的端子。电源开关Q7、Q8之间的节点连接到第一变压器TX1的初级绕组P2。

[0023] 同步整流器Q3、Q4、Q5、Q6被包括在整流电路中。同步整流器Q4连接到变压器TX1的次级绕组S1的接地端,并且同步整流器Q3连接到变压器TX1的次级绕组S2的接地端。同步整流器Q5连接到变压器TX2的次级绕组S1的接地端,并且同步整流器Q6连接到变压器TX2的次级绕组S2的接地端。同步整流器Q3、Q4、Q5、Q6共享连接到输出电容器C5的节点。输出电容器C5连接到输出端Vout和地,并且电阻器Ro24连接到输出端Vout和地。

[0024] 控制电路驱动电源开关Q1、Q2、Q7、Q8和同步整流器Q3、Q4、Q5、Q6导通和断开。

[0025] 因为每一个变压器TX1、TX2包括两个初级绕组P1、P2,所以电流 I_{r2} 和电流 I_r 流过变压器TX1、TX2中的每一个。因为输入电流纹波的减小并且因为磁通量抵消,所以减少了变压器TX1、TX2中的变压器磁芯损耗,其利用更小的变压器体积和交错式LLC谐振变换器的功率密度提高了输出功率能力。因为相同的初级电流在变压器TX1、TX2中的每一个的初级绕组P1、P2中流动,所以两个变压器TX1、TX2将提供相同的输出电流。同步整流器Q3、Q4、Q5、Q6的输出电流是两个电流 I_{r2} 和 I_r 的叠加,其导致变压器TX1、TX2的次级绕组S1、S2的输出电流相等,并且导致利用ZCS来关断次级整流器Q3、Q4、Q5、Q6。

[0026] 在图2A和2B中,通过第一谐振电路10的电流 I_{r2} 相对于通过第二谐振电路20的电流 I_r 偏移 90° 。电流 I_r 和 I_{r2} 的总和表示输入电流纹波消除。在图3中,通过第一谐振电路10的电流 I_{r2} 相对于通过第二谐振电路20的电流 I_r 偏移 180° 。电流 I_r 和 I_{r2} 的总和表示输入电流纹波消除。

[0027] 当电源开关Q1接通时,电流 I_{r2} 流过变压器TX1、TX2的初级绕组P1、P1、电感器L2和电容器C1、C2。电流 I_{Q5_SR} 是通过同步整流器Q5的源极至漏极电流,电流 I_{Q4_SR} 是通过同步整流器Q4的源极至漏极电流。在次级侧,为了向负载提供电流,电流 I_{Q4_SR} 流过变压器TX1的次级绕组S1,并且电流 I_{Q5_SR} 流过变压器TX2的次级绕组S1。

[0028] 电源开关Q2以与电源开关Q1互补的方式操作,因为电源开关Q2在电源开关Q1接通时断开,并且电源开关Q2在电源开关Q1关断时导通。当电源开关Q2接通时,电流 I_{r2} 以与电源开关Q1导通时相反的方向流动。

[0029] 图2B示出在非ZCS的情况下(即,当通过电源开关Q1、Q2、Q7、Q8的电流不为零时)关断电源开关Q1、Q2、Q7、Q8。图2B示出以低于谐振频率的频率切换交错式LLC变换器。然而,在ZCS的情况下(即,当通过同步整流器Q3、Q4、Q5、Q6的电流为零时)接通和关断同步整流器Q3、Q4、Q5、Q6。这些开关条件不同于已知的交错式LLC变换器的开关条件。当已知的交错式LLC变换器以低于谐振频率的频率进行切换时,电源开关和同步整流器两者都利在非ZCS的情况下进行开关。

[0030] 根据本发明优选实施例,当交错式LLC变换器以低于谐振频率的频率操作时,仅在非ZCS的情况下开关半桥功率晶体管,即硬开关,并且在ZCS的情况下开关同步整流器。

[0031] 当电源开关Q7导通时,电流 I_r 流过变压器TX1、TX2的初级绕组P2、P2,电感器L2和

电容器C3、C4。电源开关Q8以与电源开关Q7相反的方式操作，因为电源开关Q8在电源开关Q7导通时断开，并且电源开关Q8在电源开关Q7断开时导通。当电源开关Q8导通时，电流 I_r 沿与电源开关Q7导通时相反的方向流动。

[0032] 当以低于谐振频率的频率切换交错式LLC变换器时，在非ZCS的情况下关断电源开关Q8，其类似于已知的交错式LLC变换器在以低于谐振频率的频率操作时如何进行切换。

[0033] 第一谐振电路10与第二谐振电路20类似地操作，但是如图2A和2B所示以 90° 相移或如图3所示以 180° 相移进行操作。例如，如图2A和2B所示，栅极驱动电压 V_{GS_Q1} 和 V_{GS_Q7} 偏移 90° 。尽管未在图2A和2B中示出，但是用于功率晶体管Q2和功率晶体管Q8的栅极驱动电压也偏移 90° 。对于图3所示的 180° 相移，用于功率晶体管Q1和功率晶体管Q7和用于功率晶体管Q2和功率晶体管Q8的栅极驱动电压偏移 180° 。在图3中，栅极驱动电压 V_{GS_Q1} 和栅极驱动电压 V_{GS_Q8} 是相同的，并且栅极驱动电压 V_{GS_Q2} 和栅极驱动电压 V_{GS_Q7} 是相同的。

[0034] 与 90° 相移相比， 180° 相移的缺点是输出电容器C5的纹波电流大于已知的交错式LLC变换器中的输出电容器的纹波电流。图3示出没有电流流到负载 R_{o24} 时（即，当电流 I_{Q5_SR} 和 I_{Q6_SR} 都为零时）的时间段。然而，通过叠加变压器TX1和变压器TX2中的电流 I_{r2} 和 I_r 而实现的磁通量抵消却大于使用 90° 相移时所实现的磁通量抵消。

[0035] 使用 180° 相移的交错式LLC变换器相对于具有大约12V的输出电压 V_{OUT} 却具有相同的输出功率的应用，更适用于具有在大约48V至大约56V的范围中的输出电压 V_{OUT} 的具有更低的负载电流的应用。使用 90° 相移的交错式LLC变换器更适用于具有大约5V或大约12V的输出电压 V_{OUT} 且具有更高的输出负载电流的应用。

[0036] 因为在操作时两个电流 I_{r2} 和 I_r 异相，所以抵消了变压器TX1和变压器TX2中的一部分磁通量，只有足以提供给负载的能量未被抵消。图1所示的交错式LLC谐振变换器比已知的交错式LLC谐振变换器实现了更多的磁通量抵消。因为磁通量抵消，所以可以使用体积更小的磁元件。因为磁芯中的总磁通量增量更小，所以变压器磁芯损耗更小，其有助于减小变压器TX1和变压器TX2的磁体积。

[0037] 应当理解，上述描述仅仅用于说明本发明。在不脱离本发明的情况下，本领域技术人员可以设计出各种替代和修改。因此，本发明旨在包含落在所附权利要求范围内的所有这些替代、修改和变化。

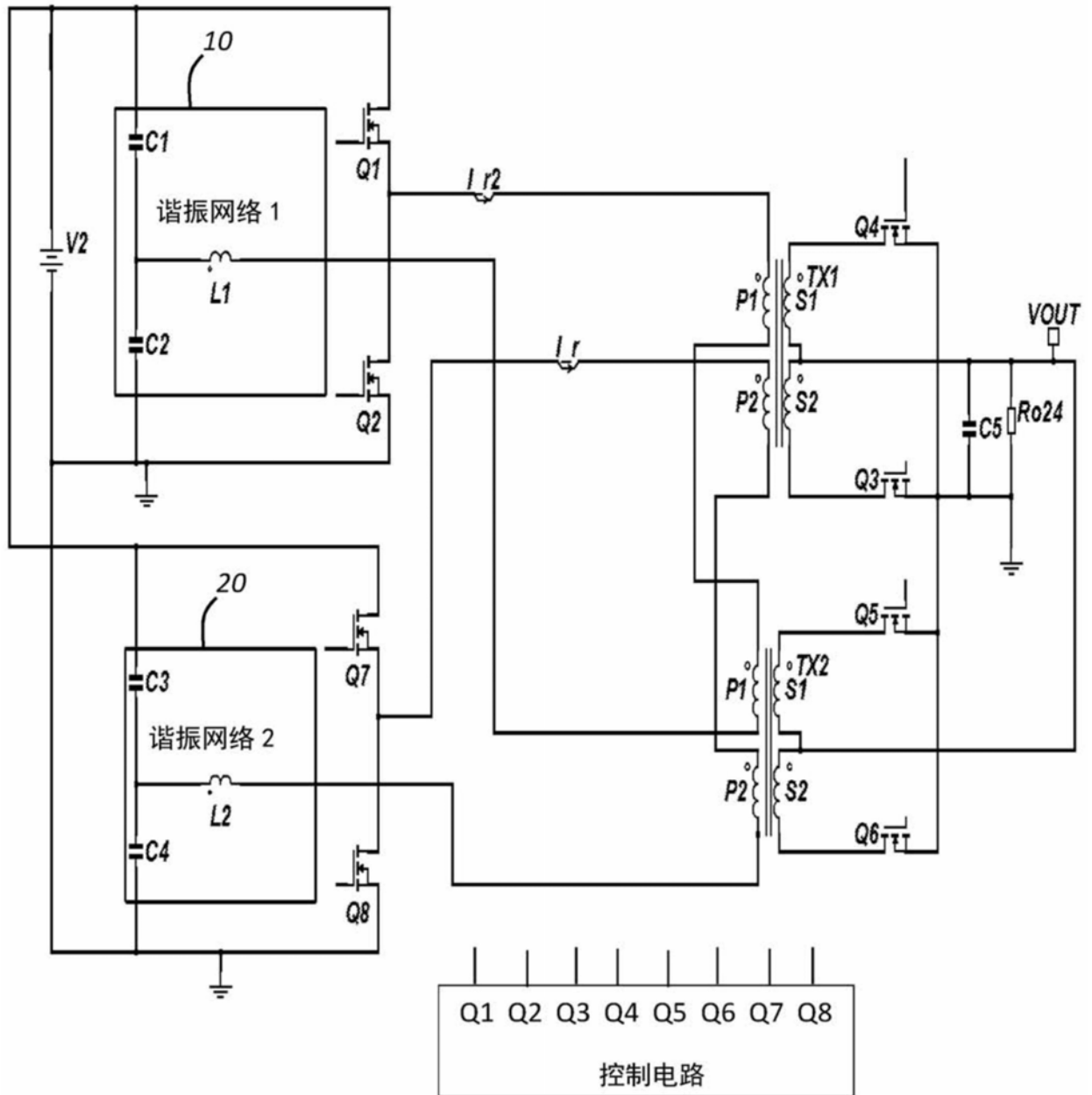


图1

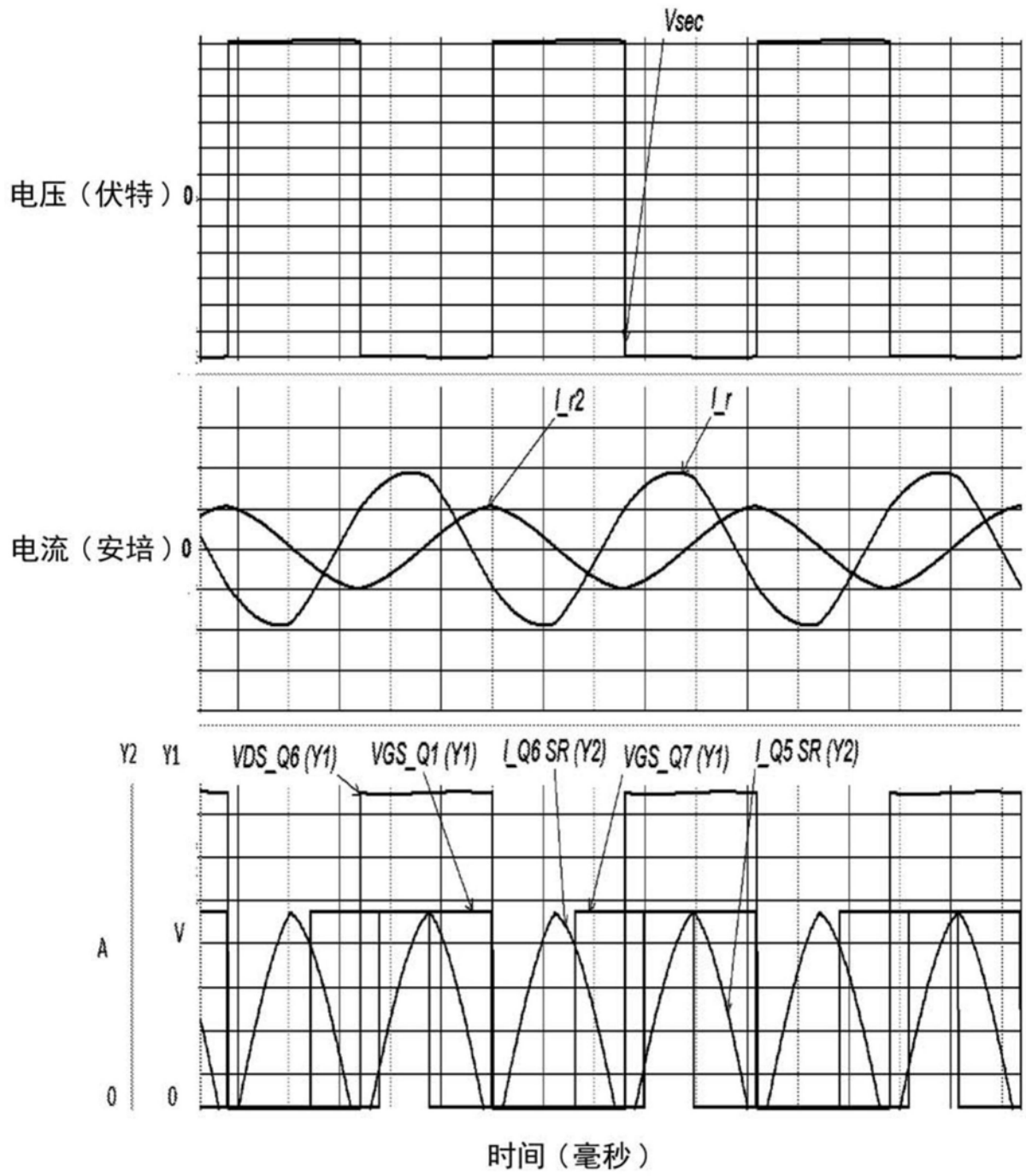


图2A

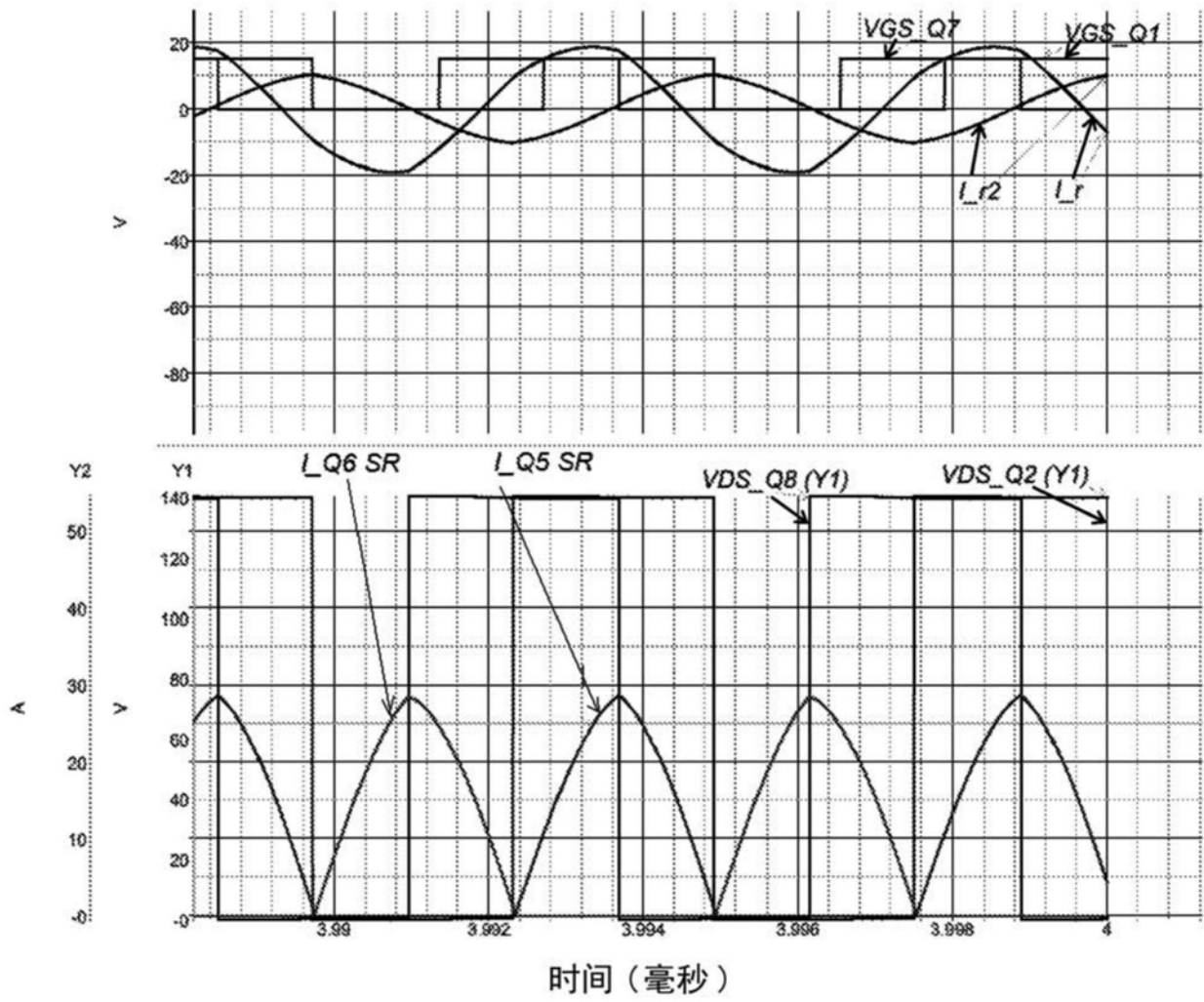


图2B

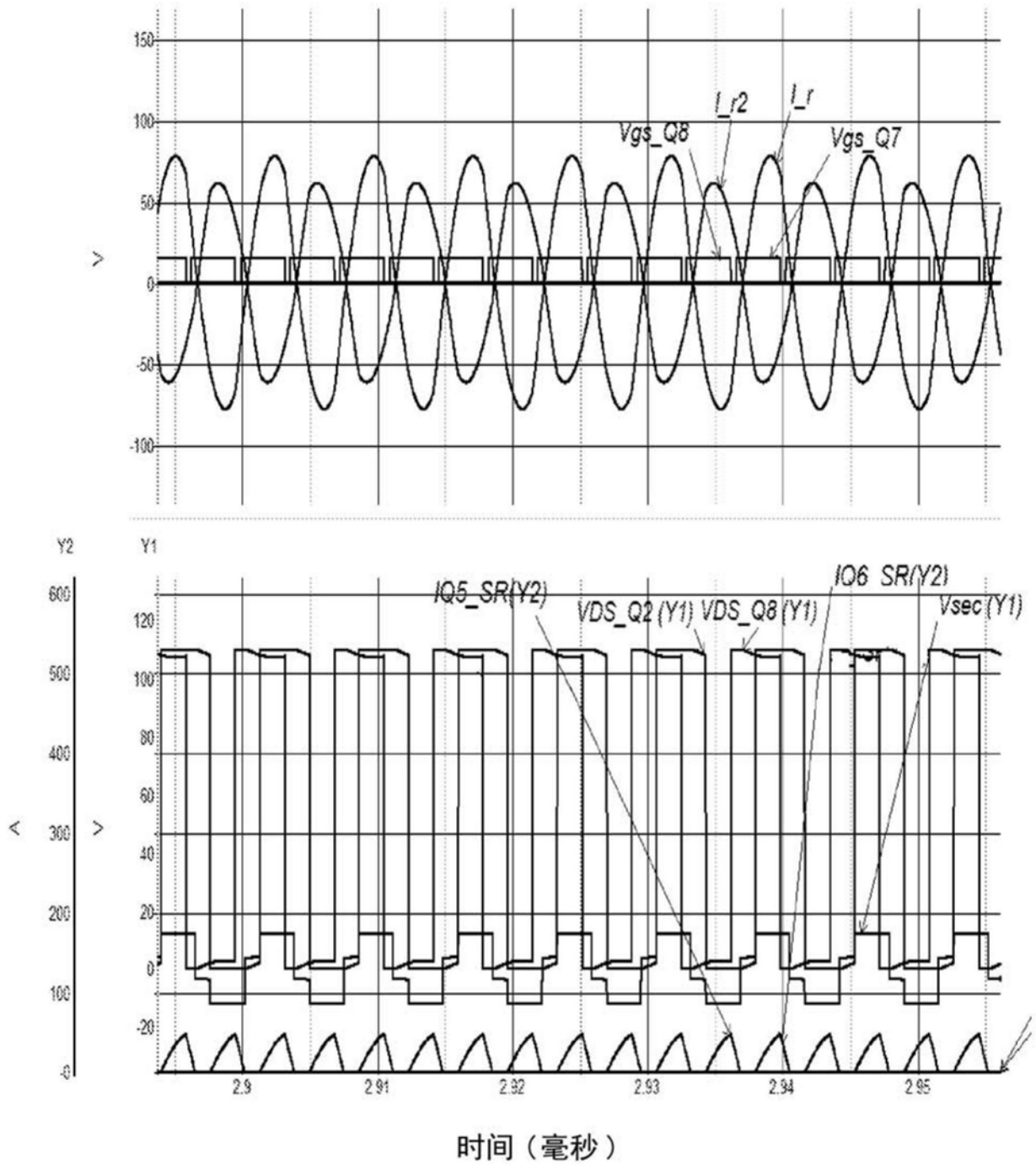


图3