



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107148718 B

(45)授权公告日 2020.07.17

(21)申请号 201580055363.8

(72)发明人 细谷达也

(22)申请日 2015.08.28

(74)专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司 11021

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 107148718 A

代理人 李逸雪

(43)申请公布日 2017.09.08

(51)Int.Cl.

(30)优先权数据

H02J 50/12(2016.01)

2014-232861 2014.11.17 JP

H02J 7/02(2016.01)

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

H02J 50/70(2016.01)

2017.04.12

H02J 50/50(2016.01)

H02J 50/40(2016.01)

(86)PCT国际申请的申请数据

(56)对比文件

PCT/JP2015/074329 2015.08.28

JP 2013038634 A, 2013.02.21,

(87)PCT国际申请的公布数据

W02016/080045 JA 2016.05.26

US 2011101790 A1, 2011.05.05,

US 2014306654 A1, 2014.10.16,

(73)专利权人 株式会社村田制作所

审查员 曹卫琴

地址 日本京都府

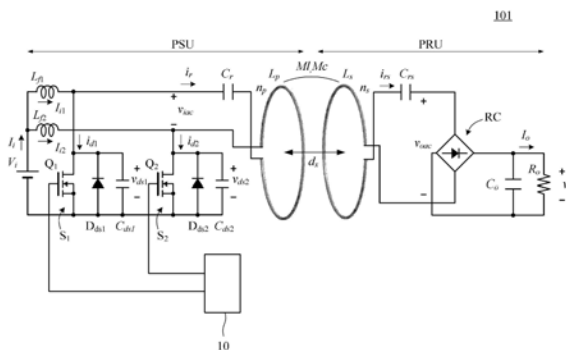
权利要求书3页 说明书17页 附图19页

(54)发明名称

无线供电系统

(57)摘要

当将输电侧谐振机构的谐振频率表示为  $f_{ra}$ 、将第一开关电路(S1)和第二开关电路(S2)的开关频率表示为  $f_s$ 、将在输电侧谐振机构包括第一开关电路(S1)或第二开关电路(S2)的电容器的谐振频率表示为  $f_{rb}$  时,存在  $f_{ra} < f_s \leq f_{rb}$  的关系。此外,使得从第一开关电路(S1)和第二开关电路(S2)中的一方的开关电路的两端起不包括该一方的开关电路的电容而将另一方的开关电路短路并通过所述输电侧谐振机构对负载侧进行观察的第一阻抗( $Z_a$ )为感性阻抗,且从一方的开关电路的两端起包括该一方的开关电路的电容而将另一方的开关电路短路并通过输电侧谐振机构对负载侧进行观察的第二阻抗( $Z_b$ )为感性阻抗。



1. 一种无线供电系统,由具备输电线圈的输电装置和具备受电线圈的受电装置构成,并从所述输电装置向所述受电装置供给电力,其中,

所述输电装置具备:输电侧谐振电容器,与所述输电线圈一同构成输电侧谐振机构;第一输电侧交流电流产生电路,与所述输电侧谐振机构的一方电连接;第二输电侧交流电流产生电路,与所述输电侧谐振机构的另一方电连接;以及开关控制电路,

所述第一输电侧交流电流产生电路具备:第一开关电路,由开关元件、二极管以及电容器的并联连接电路等效地构成;以及第一电感器,具有利用输入直流电压生成与流过所述输电侧谐振机构的交流电流相比能相对视作直流电流的电流源的电感,

所述第二输电侧交流电流产生电路具备:第二开关电路,由开关元件、二极管以及电容器的并联连接电路等效地构成;以及第二电感器,具有利用输入直流电压生成与流过所述输电侧谐振机构的交流电流相比能相对视作直流电流的电流源的电感,

所述开关控制电路通过使所述第一开关电路的开关元件和所述第二开关电路的开关元件交替地开启/关闭,从而从所述第一输电侧交流电压产生电路和所述第二输电侧交流电压产生电路对输电线圈产生交流电流,

所述受电装置具备:受电侧谐振电容器,与所述受电线圈一同构成受电侧谐振机构;以及受电侧整流电路,与所述受电线圈连接,并对在该受电线圈产生的交流电流进行整流,

由所述输电侧谐振机构决定的第一谐振频率比所述第一开关电路和所述第二开关电路的开关频率低,

在所述输电侧谐振机构包括所述第一开关电路或所述第二开关电路的电容器而决定的第二谐振频率比所述开关频率高,

所述开关控制电路以从所述第一开关电路和所述第二开关电路中的一方的开关电路的两端起在不包括该一方的开关电路的电容而将另一方的开关电路短路的状态下通过所述输电侧谐振机构对负载侧进行观察的第一阻抗为感性阻抗的开关频率,使第一开关电路和第二开关电路的开关元件进行开关,且以从所述第一开关电路和所述第二开关电路中的一方的开关电路的两端起在包括该一方的开关电路的电容而将另一方的开关电路短路的状态下通过所述输电侧谐振机构对负载侧进行观察的第二阻抗为感性阻抗的开关频率,使第一开关电路和第二开关电路的开关元件进行开关,从而使所述第一开关电路和所述第二开关电路的两端电压分别为每隔半周期的半波的正弦波状的波形,

由在所述输电线圈与受电线圈之间等效地形成的互感或互容构成等效的电磁场共振耦合电路,从而所述输电侧谐振机构与所述受电侧谐振机构进行共振。

2. 一种无线供电系统,由具备输电线圈的输电装置和具备受电线圈的受电装置构成,并从所述输电装置向所述受电装置供给电力,其中,

所述输电装置具备:输电侧谐振电容器,与所述输电线圈一同构成输电侧谐振机构;第一输电侧交流电流产生电路,与所述输电侧谐振机构电连接;以及开关控制电路,

所述第一输电侧交流电流产生电路具备:第一开关电路,由开关元件、二极管以及电容器的并联连接电路等效地构成;以及第一电感器,具有利用输入直流电压生成与流过所述输电侧谐振机构的交流电流相比能相对视作直流电流的电流源的电感,

所述开关控制电路通过对所述第一开关电路的开关元件进行开启/关闭,从而从所述输电侧交流电压产生电路对输电线圈产生交流电流,

所述受电装置具备:受电侧谐振电容器,与所述受电线圈一同构成受电侧谐振机构;以及受电侧整流电路,与所述受电线圈连接,并对在该受电线圈产生的交流电流进行整流,

由所述输电侧谐振机构决定的第一谐振频率比所述第一开关电路的开关频率低,

在所述输电侧谐振机构包括所述第一开关电路的电容器而决定的第二谐振频率比所述开关频率高,

所述开关控制电路以从所述第一开关电路的两端起不包括该第一开关电路的电容而通过所述输电侧谐振机构对负载侧进行观察的第一阻抗为感性阻抗的开关频率进行开关,且以从所述第一开关电路的两端起包括该第一开关电路的电容而通过所述谐振机构对负载侧进行观察的第二阻抗为感性阻抗的开关频率进行开关,从而使所述第一开关电路的两端电压为每隔半周期的半波的正弦波状的波形,

由在所述输电线圈与所述受电线圈之间等效地形成的互感或互电容构成电磁场共振耦合电路,从而所述输电侧谐振机构与所述受电侧谐振机构进行共振。

3. 根据权利要求1所述的无线供电系统,其中,

所述输电侧谐振机构具备:开关控制电路,在由于所述输电线圈而使所述第一开关电路或所述第二开关电路的两端电压成为0V附近之后,所述第一开关电路或所述第二开关电路导通。

4. 根据权利要求2所述的无线供电系统,其中,

所述输电侧谐振机构具备:开关控制电路,在由于所述输电线圈而使所述第一开关电路的两端电压成为0V附近之后,所述第一开关电路导通。

5. 根据权利要求3或4所述的无线供电系统,其中,

所述第二谐振频率设定为与所述开关频率大致相等。

6. 根据权利要求3或4所述的无线供电系统,其中,

所述第一谐振频率 $f_{ra}$ 和第二谐振频率 $f_{rb}$ 设定为,相对于所述开关频率 $f_s$ 大致为 $(f_{ra} + f_s) / 2 = f_s$ 。

7. 根据权利要求1至4中的任一项所述的无线供电系统,其中,

在所述输电侧交流电压产生电路与所述输电侧谐振机构之间具备包括电感器要素和电容器要素的滤波器。

8. 根据权利要求1至4中的任一项所述的无线供电系统,其中,

在受电侧谐振机构与所述整流电路之间具备包括电感器要素和电容器要素的滤波器。

9. 根据权利要求1至4中的任一项所述的无线供电系统,其中,

所述受电装置具备:输出信息发送电路,检测与所述受电装置侧整流电路的输出相关的输出信息并将所述输出信息传输到所述输电装置,

所述输电装置具备:输出信息接收电路,接收所述输出信息;以及供电电力控制电路,根据所述输出信息对所述输电侧交流电压产生电路进行控制,从而控制供电电力。

10. 根据权利要求9所述的无线供电系统,其中,

所述输出信息发送电路是通过无线通信来发送所述输出信息的电路,所述输出信息接收电路是通过无线通信来接收所述输出信息的电路。

11. 根据权利要求9所述的无线供电系统,其中,

所述输出信息发送电路是将电信号变换为光信号而发送所述输出信息的电路,所述输

出信息接收电路是将光信号变换为电信号而接收所述输出信息的电路。

12. 根据权利要求1至4中的任一项所述的无线供电系统,其中,

所述开关控制电路通过使所述开关频率变化的频率调制PFM控制而对从所述输电装置向所述受电装置供电的电力进行控制。

13. 根据权利要求1至4中的任一项所述的无线供电系统,其中,

所述开关控制电路通过以恒定的开关频率来控制时间比的PWM控制而对从所述输电装置向所述受电装置供电的电力进行控制。

14. 根据权利要求1至4中的任一项所述的无线供电系统,其中,

所述受电侧整流电路是具备开关元件的同步整流电路。

15. 根据权利要求14所述的无线供电系统,其中,

所述受电装置具备:动作频率控制电路,对所述同步整流电路的动作频率进行控制。

16. 根据权利要求1至4中的任一项所述的无线供电系统,其中,

所述受电装置具备对该受电装置侧的电路进行控制的受电装置侧控制电路,该受电装置侧控制电路通过所述受电装置受电的电力进行动作。

17. 根据权利要求1至4中的任一项所述的无线供电系统,其中,

所述受电侧整流电路从所述受电侧整流电路的输出部接受电力而作为所述输电侧交流电压产生电路发挥作用,所述输电侧交流电压产生电路从输出部接受电力而作为所述受电侧整流电路发挥作用。

18. 根据权利要求1至4中的任一项所述的无线供电系统,其中,

所述输电线圈和所述受电线圈是空心的线圈。

19. 根据权利要求1至4中的任一项所述的无线供电系统,其中,

所述互感是通过形成在所述输电线圈与所述受电线圈之间的磁场共振耦合产生的等效的励磁电感。

20. 根据权利要求1至4中的任一项所述的无线供电系统,其中,

所述输电侧谐振机构或所述受电侧谐振机构包括电感器,该电感器是所述输电线圈或所述受电线圈的电感成分中的不参与耦合的漏电感成分。

21. 根据权利要求1至4中的任一项所述的无线供电系统,其中,

具备单个或多个共振装置,所述共振装置具备谐振机构,并与所述输电装置和所述受电装置一同构成电磁场共振耦合电路。

## 无线供电系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及由具备输电线圈的输电装置和具备受电线圈的受电装置构成的无线供电系统。

### 背景技术

[0002] 以无线供电的实用化为目标,正在积极进行降低系统整体的电力损耗的研发。特别是,被称为“直流共振(DC-Resonance)”的供电系统是利用直流引起电磁场的共振而对电和电磁场的能量进行变换的系统。像这样,通过对谐振机构断续地提供直流电,从而制造共振场,并使输电谐振机构与受电谐振机构相互作用而进行共振。在直流共振方式的无线供电系统中,与对谐振器提供高频磁场的现有方式不同,能够简化电力供电的过程,从而降低电力损耗。

[0003] 例如,在专利文献1示出了用直流电压引起电磁场共振而以无线进行供电的系统。在专利文献1的无线供电系统中,输电侧、受电侧均具备谐振机构,在谐振机构流过谐振电流。此外,使开关元件进行开启/关闭动作而在谐振机构流过交流电流,从而能够使开关元件进行ZVS(零电压开关)动作。进而,在双管式推拉形式的情况下,在开启期间、关闭期间这两个期间均能够用直流电向谐振机构流过交流电流而从输电侧向受电侧供给电力。

[0004] 在先技术文献

[0005] 专利文献

[0006] 专利文献1:国际公开2013/133028号

### 发明内容

[0007] 发明要解决的课题

[0008] 近年来,随着电子设备的小型轻量化,对开关电源电路的高效化的市场需求进一步提高。一般来说,开关控制的高精度化对于开关电源电路的高效化而言是重要的。但是,关于用于在像动作频率为MHz频带那样的被称为高频功率电子学的技术领域中得到高电力变换效率的高度的开关控制技术,基本不清楚。例如,关于在应用了E级逆变器的无线供电系统中如何对系统进行设计才能够降低开关元件中的导通损耗、开关损耗,并且能够在抑制开关元件的发热的同时引起电磁场的共振而对电和电磁场的能量进行变换,从而提高系统中的电力变换效率的技术,至今基本不清楚。特别是,在应用了E级逆变器的无线供电系统中,能够仅由单管的FET构成系统,具有能够达成简单的小型轻量化这样的有用性。此外,在应用了推拉式E级逆变器的无线供电系统中,使双管的FET交替地开启/关闭,这些双管的FET的接地电位能够连接到同电位的接地,具有FET的驱动容易的有用性。另一方面,在应用了E级逆变器的无线供电系统中,作为谐振机构的要素而导入与开关元件等效地并联连接的电容器,因此用于得到高电力变换效率的无线供电系统的设计的难度高。这是因为,由谐振机构决定的谐振频率会根据开关元件的开启/关闭而离散地变化。更具体地,是因为会形成在开启期间和关闭期间具有不同的谐振频率的谐振机构。在从输电装置向受电装置跨空

间供给电力的无线供电技术中,高效化、小型化、轻量化的要求高,开发用于得到高能量变换效率、高电力变换效率的系统设计技术是能够有助于科学技术的发展、产业的成长的重要的技术。

[0009] 本发明的目的在于,提供一种应用了E级逆变器的无线供电系统,其中,利用直流引起电磁场的共振,从而对电和电磁场的能量进行变换,并使输电谐振机构与受电谐振机构相互作用而共振,且使得能够在开关元件中可靠地进行能够降低导通损耗、开关损耗的最佳的ZVS动作,从而进一步提高电力变换效率。

[0010] 用于解决课题的技术方案

[0011] 本发明的无线供电系统像以下那样构成。

[0012] (1)一种无线供电系统,由具备输电线圈的输电装置和具备受电线圈的受电装置构成,并从所述输电装置向所述受电装置供给电力,所述无线供电系统的特征在于,

[0013] 所述输电装置具备:输电侧谐振电容器,与所述输电线圈一同构成输电侧谐振机构;第一输电侧交流电流产生电路,与所述输电侧谐振机构的一方电连接;第二输电侧交流电流产生电路,与所述输电侧谐振机构的另一方电连接;以及开关控制电路,

[0014] 所述第一输电侧交流电流产生电路具备:第一开关电路,由开关元件、二极管以及电容器的并联连接电路等效地构成;以及第一电感器,具有利用输入直流电压生成与流过所述输电侧谐振机构的交流电流相比能相对视作直流电流的电流源的电感,

[0015] 所述第二输电侧交流电流产生电路具备:第二开关电路,由开关元件、二极管以及电容器的并联连接电路等效地构成;以及第二电感器,具有利用输入直流电压生成与流过所述输电侧谐振机构的交流电流相比能相对视作直流电流的电流源的电感,

[0016] 所述开关控制电路通过使所述第一开关电路的开关元件和所述第二开关电路的开关元件交替地开启/关闭,从而从所述第一输电侧交流电压产生电路和所述第二输电侧交流电压产生电路对输电线圈产生交流电流,

[0017] 所述受电装置具备:受电侧谐振电容器,与所述受电线圈一同构成受电侧谐振机构;以及受电侧整流电路,与所述受电线圈连接,并对在该受电线圈产生的交流电流进行整流,

[0018] 由所述输电侧谐振机构决定的第一谐振频率比所述第一开关电路和所述第二开关电路的开关频率低,

[0019] 在所述输电侧谐振机构包括所述第一开关电路或所述第二开关电路的电容器而决定的第二谐振频率比所述开关频率高,

[0020] 所述开关控制电路以从所述第一开关电路和所述第二开关电路中的一方的开关电路的两端起在不包括该一方的开关电路的电容而将另一方的开关电路短路的状态下通过所述输电侧谐振机构对负载侧进行观察的第一阻抗为感性阻抗的开关频率使第一开关电路和第二开关电路的开关元件进行开关,且以从所述第一开关电路和所述第二开关电路中的一方的开关电路的两端起在包括该一方的开关电路的电容而将另一方的开关电路短路的状态下通过所述输电侧谐振机构对负载侧进行观察的第二阻抗为感性阻抗的开关频率使第一开关电路和第二开关电路的开关元件进行开关,从而使所述第一开关电路和所述第二开关电路的两端电压分别为每隔半周期的半波的正弦波状的波形,

[0021] 由在所述输电线圈与受电线圈之间等效地形成的互感或互容构成等效的电磁场

共振耦合电路,从而所述输电侧谐振机构与所述受电侧谐振机构进行共振。

[0022] 通过上述的结构,达到如下的效果。

[0023] (a) 构成等效的电磁场共振耦合电路,输电装置侧谐振机构与受电装置侧谐振机构进行共振,能够从输电装置向受电装置跨空间输送电力,且利用直流电压引起电磁场共振而供给电力,进而能够在开关元件中进行ZVS(零电压开关)动作,从而能够大幅降低开关损耗。能够谋求无线供电系统的高效化、小型轻量化、高可靠性化。

[0024] (b) 在输电线圈与受电线圈之间引起电磁场共振而跨空间进行输电,因此能够进行电力效率比利用了电磁感应方式的供电高的供电。此外,不仅利用磁场共振耦合进行供电,还利用电场共振耦合进行供电,从而与仅利用磁场共振耦合的情况相比,能够以更高的电力效率供给电力。

[0025] (c) 使用双管的开关元件互补地进行开关动作,因此流过谐振机构的谐振电流波形中的高频电流成分少,能够降低不需要的辐射噪声。

[0026] (2) 一种无线供电系统,由具备输电线圈的输电装置和具备受电线圈的受电装置构成,并从所述输电装置向所述受电装置供给电力,所述无线供电系统的特征在于,

[0027] 所述输电装置具备:输电侧谐振电容器,与所述输电线圈一同构成输电侧谐振机构;第一输电侧交流电流产生电路,与所述输电侧谐振机构电连接;以及开关控制电路,

[0028] 所述第一输电侧交流电流产生电路具备:第一开关电路,由开关元件、二极管以及电容器的并联连接电路等效地构成;以及第一电感器,具有利用输入直流电压生成与流过所述输电侧谐振机构的交流电流相比能相对视作直流电流的电流源的电感,

[0029] 所述开关控制电路通过对所述第一开关电路的开关元件进行开启/关闭,从而从所述输电侧交流电压产生电路对输电线圈产生交流电流,

[0030] 所述受电装置具备:受电侧谐振电容器,与所述受电线圈一同构成受电侧谐振机构;以及受电侧整流电路,与所述受电线圈连接,并对在该受电线圈产生的交流电流进行整流,

[0031] 由所述输电侧谐振机构决定的第一谐振频率比所述第一开关电路的开关频率低,

[0032] 在所述输电侧谐振机构包括所述第一开关电路的电容器而决定的第二谐振频率比所述开关频率高,

[0033] 所述开关控制电路以从所述第一开关电路的两端起不包括该一方的开关电路的电容而通过所述输电侧谐振机构对负载侧进行观察的第一阻抗为感性阻抗的开关频率进行开关,且以从所述第一开关电路的两端起包括该一方的开关电路的电容而通过所述谐振机构对负载侧进行观察的第二阻抗为感性阻抗的开关频率进行开关,从而使所述第一开关电路的两端电压为每隔半周期的半波的正弦波状的波形,

[0034] 由在所述输电线圈与所述受电线圈之间等效地形成的互感或互容构成电磁场共振耦合电路,从而所述输电侧谐振机构与所述受电侧谐振机构进行共振。

[0035] 通过上述的结构,开关元件成为单管式,能够简化输电装置和受电装置。

[0036] (3) 优选地,在上述(1)中,所述输电侧谐振机构具备:开关控制电路,在由于所述输电线圈而使所述第一开关电路或所述第二开关电路的两端电压成为0V附近之后,所述第一开关电路或所述第二开关电路导通。由此,通过进行ZVS动作,从而能够大幅降低开关元件中的开关损耗,能够提高无线供电系统的电力效率。

[0037] (4) 优选地,在上述(2)中,所述输电侧谐振机构具备:开关控制电路,在由于所述输电线圈而使所述第一开关电路的两端电压成为0V附近之后,所述第一开关电路导通。由此,通过进行ZVS动作,从而能够大幅降低开关元件中的开关损耗,能够提高无线供电系统的电力效率。

[0038] (5) 优选地,在上述(3)、(4)中,所述第二谐振频率 $f_{rb}$ 设定为与所述开关频率 $f_s$ 大致相等。由此,以 $dv_{ds}/dt=0$ 且 $v_{ds}=0$  ( $v_{ds}$ :漏极-源极间电压)进行断开而实现ZVS动作,并且以最小的电流进行断开,因此能够大幅降低开关损耗。

[0039] (6) 优选地,在上述(3)、(4)中,所述第一谐振频率 $f_{ra}$ 和 $f_{rb}$ 设定为相对于所述开关频率 $f_s$ 大致为 $(f_{ra}+f_{rb})/2=f_s$ 。由此,以 $dv_{ds}/dt=0$ 且 $v_{ds}=0$ 进行断开而实现ZVS动作,并且以最小的电流进行断开,从而能够大幅降低开关损耗。

[0040] (7) 优选地,在所述输电侧交流电压产生电路与所述输电侧谐振机构之间具备包括电感器要素和电容器要素的滤波器。由此,能够降低从输电侧谐振机构发射的不需要的辐射,从而降低EMI(电磁干扰噪声),谋求与其它电子设备等的EMC(电磁兼容性)。

[0041] (8) 优选地,在受电侧谐振机构与所述整流电路之间具备包括电感器要素和电容器要素的滤波器。由此,能够降低从受电侧谐振机构发射的不需要的辐射,从而降低EMI(电磁干扰噪声),谋求与其它电子设备等的EMC(电磁兼容性)。

[0042] (9) 优选地,所述受电装置具备:输出信息发送电路,检测与所述受电装置侧整流电路的输出相关的输出信息并将所述输出信息传输到所述输电装置,所述输电装置具备:输出信息接收电路,接收所述输出信息;以及供电电力控制电路,根据所述输出信息对所述输电侧交流电压产生电路进行控制,从而控制供电电力。由此,能够通过输电侧对开关动作进行控制来调整供电电力,能够适当地使电子设备动作。

[0043] (10) 优选地,所述输出信息发送电路是通过无线通信来发送所述输出信息的电路,所述输出信息接收电路是通过无线通信来接收所述输出信息的电路。由此,输电装置能够以电绝缘状态调整输出电力。

[0044] (11) 优选地,所述输出信息发送电路是将电信号变换为光信号而发送所述输出信息的电路,所述输出信息接收电路是将光信号变换为电信号而接收所述输出信息的电路。由此,输电装置能够以电绝缘状态调整输出电力。

[0045] (12) 例如,所述开关控制电路通过使所述开关频率变化的频率调制PFM(Pulse Frequency Modulation:脉冲频率调制)控制来控制从所述输电装置向所述受电装置供电的电力。由此,能够控制供电电力,并能够调整输出电力。

[0046] (13) 例如,所述开关控制电路通过以恒定的开关频率控制时间比的PWM(Pulse Width Modulation:脉冲宽度调制)控制来控制从所述输电装置向所述受电装置供电的电力。由此,能够控制供电电力,并能够调整输出电力。此外,通过使用恒定的开关频率,从而能够限定利用频带,EMC对策也变得容易。此外,控制输出的控制性也提高。

[0047] (14) 优选地,所述受电侧整流电路是具备开关元件的同步整流电路。由此,能够通过受电侧同步整流电路来降低整流损耗。能够将供电系统小型化。

[0048] (15) 优选地,所述受电装置具备:动作频率控制电路,对所述同步整流电路的动作频率进行控制。由此,通过对受电侧的同步整流电路的动作频率进行控制,从而能够在受电侧进行供给电力的调整,而不是在输电侧。



[0049] (16) 优选地,所述受电装置具备对该受电装置侧的电路进行控制的受电装置侧控制电路,该受电装置侧控制电路通过所述受电装置受电的电力进行动作。由此,能够在受电侧通过受电的电力使控制电路动作。此外,无需在受电侧具备电源,能够谋求装置的小型轻量化。

[0050] (17) 优选地,所述受电侧整流电路从所述受电侧整流电路的输出部接受电力而作为所述输电侧交流电压产生电路发挥作用,所述输电侧交流电压产生电路从输出部接受电力而作为所述受电侧整流电路发挥作用。由此,能够进行双向的供电,从而能够从受电侧向输电侧进行供电,或者将受电侧作为中继点,将受电的电力进一步向其它地方进行输电。此外,也能够用作中继系统,通过准备多个本装置进行中继,从而能够进行远程的供电。

[0051] (18) 优选地,所述输电线圈和所述受电线圈是空心的线圈。由此,即使在输电线圈与受电线圈之间由电感器构成的情况下,也能够通过形成利用了电磁共振现象的电磁场耦合而高效地以无线进行电力输电。此外,不需要磁芯,能够延长供电距离。

[0052] (19) 优选地,所述互感是通过形成在所述输电线圈与所述受电线圈之间的磁场共振耦合产生的等效的励磁电感。由此,不需要励磁电感器的部件,能够谋求输电装置和受电装置的小型轻量化。

[0053] (20) 优选地,所述输电侧谐振机构或所述受电侧谐振机构包括电感器,该电感器是所述输电线圈或所述受电线圈的电感成分中的不参与耦合的漏电感成分。由此,不需要谐振电感器的部件,能够谋求供电系统装置的小型轻量化。

[0054] (21) 优选地,具备单个或多个共振装置,所述共振装置具备谐振机构,并与所述输电装置和所述受电装置一同构成电磁场共振耦合电路。由此,通过设置多个谐振器,从而形成包括多个谐振器的电磁场共振耦合,并通过在空间上适当地设置谐振器,从而能够向远离的给定的场所进行电力供给。此外,能够以高电力效率进行远程的供电。

[0055] 发明效果

[0056] 根据本发明,

[0057] (a) 构成等效的电磁场共振耦合电路,输电装置侧谐振机构与受电装置侧谐振机构进行共振,能够从输电装置向受电装置跨空间输送电力,且利用直流电压引起电磁场共振而供给电力,进而能够在开关元件中进行ZVS(零电压开关)动作,从而能够大幅降低开关损耗。能够谋求无线供电系统的高效化、小型轻量化、高可靠性化。

[0058] (b) 在输电线圈与受电线圈之间引起电磁场共振而跨空间进行输电,因此能够进行电力效率比利用电磁感应方式的供电高的供电。此外,不仅利用磁场共振耦合进行供电,还利用电场共振耦合进行供电,从而与仅利用磁场共振耦合的情况相比,能够以更高的电力效率供给电力。

## 附图说明

[0059] 图1是第一实施方式的无线供电系统101的电路图。

[0060] 图2是图1所示的无线供电系统101的各部分的电压电流波形图。

[0061] 图3(A)是由图1所示的电磁场共振耦合电路90和谐振电容器 $C_r$ 、 $C_{rs}$ 构成的包含等效的电磁场共振耦合的复谐振电路的电路图。图3(B)是其等效电路图。

[0062] 图4是图1所示的无线供电系统101的仿真电路。

- [0063] 图5是图4各部分的电流电压波形图。
- [0064] 图6(A)是示出第一阻抗 $Z_a$ 的等效电路图,图6(B)是示出第二阻抗 $Z_b$ 的等效电路图。
- [0065] 图7(A)、图7(B)、图7(C)是开关频率 $f_s$ 以及谐振频率 $f_{ra}$ 、 $f_{rb}$ 的各条件下的电压电流的波形图。
- [0066] 图8(A)、图8(B)、图8(C)是与第二实施方式所示的单管E级的输电装置的特性进行对比的图。
- [0067] 图9是第二实施方式的无线供电系统102的电路图。
- [0068] 图10是图9所示的无线供电系统102的仿真电路。
- [0069] 图11是图10各部分的电流电压波形图。
- [0070] 图12是第三实施方式涉及的无线供电系统的各部分的电压电流波形图。
- [0071] 图13是第四实施方式涉及的无线供电系统104的电路图。
- [0072] 图14是第五实施方式的无线供电系统105的电路图。
- [0073] 图15是第六实施方式的无线供电系统106的电路图。
- [0074] 图16是第七实施方式的无线供电系统107的电路图。
- [0075] 图17是第八实施方式的无线供电系统108的电路图。
- [0076] 图18是第九实施方式的无线供电系统109的电路图。
- [0077] 图19是第十实施方式的无线供电系统110的电路图。
- [0078] 图20是第十一实施方式的无线供电系统111的电路图。
- [0079] 图21是第十二实施方式的无线供电系统112的电路图。
- [0080] 图22是第十三实施方式的无线供电系统113的电路图。
- [0081] 图23是第十四实施方式的无线供电系统114的电路图。
- [0082] 图24是第十五实施方式的无线供电系统115的电路图。
- [0083] 图25是第十六实施方式的无线供电系统116的电路图。
- [0084] 图26是第十七实施方式的无线供电系统117的电路图。

## 具体实施方式

- [0085] 《第一实施方式》
- [0086] 图1是第一实施方式的无线供电系统101的电路图。
- [0087] 无线供电系统101由电力输电装置PSU和电力受电装置PRU构成。
- [0088] 该无线供电系统101是如下的系统,即,由具备输电线圈 $n_p$ 的输电装置PSU和具备受电线圈 $n_s$ 的受电装置PRU构成,在电力输电装置PSU的输入部具备输入电源 $V_i$ ,向电力受电装置PRU的负载 $R_o$ 供给稳定的直流的能量。
- [0089] 输电装置PSU具备:由输电线圈 $n_p$ 和输电侧谐振电容器 $C_r$ 构成的输电侧谐振机构;与该输电侧谐振机构的一方电连接的第一输电侧交流电流产生电路;与输电侧谐振机构的另一方电连接的第二输电侧交流电流产生电路;以及开关控制电路10。
- [0090] 第一输电侧交流电流产生电路具备:等效地由开关元件 $Q_1$ 、二极管 $D_{ds1}$ 以及电容器 $C_{ds1}$ 的并联连接电路构成的第一开关电路 $S_1$ ;以及具有利用输入直流电压生成与流过输电侧谐振机构的交流电流相比可相对视作直流电流的电流源的电感的第一电感器 $L_{f1}$ 。

[0091] 第二输电侧交流电流产生电路具备:等效地由开关元件Q2、二极管Dds2以及电容器Cds2的并联连接电路构成的第二开关电路S2;以及具有利用输入直流电压生成与流过输电侧谐振机构的交流电流相比可相对视作直流电流的电流源的电感的第二电感器Lf2。

[0092] 开关控制电路10使第一开关电路S1的开关元件Q1和第二开关电路S2的开关元件Q2交替地开启/关闭,从而从第一输电侧交流电压产生电路和第二输电侧交流电压产生电路产生交流电压。

[0093] 受电装置PRU具备:由受电线圈ns和受电侧谐振电容器Crs构成的受电侧谐振机构;以及与受电线圈ns连接,并对在受电线圈ns产生的交流电流进行整流的受电侧整流电路RC。

[0094] 开关元件Q1、Q2使用耐压为60V且额定最大电流为6A的MOSFET,二极管电桥使用耐压为60V的肖特基势垒二极管。谐振电容器Cr、Crs、Cds1、Cds2使用高频特性优异的中高压陶瓷电容器。将大电容层叠陶瓷电容器和薄膜电容器进行并联连接而用作在输电侧与输入电源并联连接的电容器以及在受电侧对输出电压进行平滑的电容器Co。

[0095] 在本实施方式的无线供电系统101中,开关元件Q1、Q2是MOSFET等具有寄生输出电容、寄生二极管的开关元件,利用该寄生输出电容、寄生二极管构成开关电路S1、S2。

[0096] 由输电线圈np和输电侧谐振电容器Cr构成的输电侧谐振机构的第一谐振频率fra比第一开关电路S1和第二开关电路S2的开关频率fs低。此外,在上述输电侧谐振机构包括了第一开关电路S1或第二开关电路S2的电容器Cds1、Cds2的第二谐振频率frb比开关频率fs高。因此,存在 $fra < fs \leq frb$ 这样的关系。

[0097] 开关控制电路10以从第一开关电路S1和第二开关电路S2中的一方的开关电路的两端不包括该一方的开关电路的电容而将另一方的开关电路短路并通过输电侧谐振机构对负载侧进行观察的第一阻抗Za为感性阻抗的开关频率对第一开关元件Q1和第二开关元件Q2进行开关,且以从第一开关电路S1和第二开关电路S2中的一方的开关电路的两端包括该一方的开关电路的电容而将另一方的开关电路短路并通过输电侧谐振机构对负载侧进行观察的第二阻抗Zb为感性阻抗的开关频率对第一开关元件Q1和第二开关元件Q2进行开关,从而使第一开关电路S1和第二开关电路S2的两端电压为每隔半周期的半波的正弦波状的波形。

[0098] 这样,由在输电线圈np与受电线圈ns之间等效地形成的互感M1和互容Mc构成等效的电磁场共振耦合电路,从而输电侧谐振机构与受电侧谐振机构进行共振。

[0099] 图2是图1所示的无线供电系统101的各部分的电压电流波形图。该例子是在推拉式E级无线供电系统中成为最佳ZVS动作的基本的开关动作波形。

[0100] 以下,参照图1、图2示出开关周期中的各状态下的动作。

[0101] 将开关元件Q1、Q2的栅极-源极间电压表示为vgs1、vgs2,将漏极-源极间电压表示为vds1、vds2。此外,将流过谐振电容器Cr、Crs的谐振电流表示为ir、irs。如以下所示,由谐振电容器Cr和输电线圈np构成的LC串联谐振电路的两端电压viac是接近正弦波的波形。

[0102] 在本无线供电系统中,在一个开关周期Ts中存在以下两个动作状态。

[0103] (a) 状态1 ( $t_1 \leq t < t_2$ )

[0104] 状态1是开关元件Q1开启且开关元件Q2关闭的期间。当开关元件Q1导通时,流过第二电感器Lf2的电流Ii2流过电容器Cds2和输电线圈np,在由谐振电容器Cr和输电线圈np构

成的LC串联谐振电路(输电侧谐振机构)中流过正弦波状的谐振电流 $i_r$ 。开关元件Q2的漏极-源极间电压 $v_{ds2}$ 从0V呈正弦波状上升,并在Q2刚要导通之前逐渐下降。此外,在该期间中,在第一电感器L<sub>f1</sub>中从 $V_i$ 流过电流 $I_{i1}$ 而积蓄磁能量。当开关元件Q1断开时,成为状态2。

[0105] (b) 状态2 ( $t_2 \leq t < t_1$ )

[0106] 状态2是开关元件Q1关闭且开关元件Q2开启的期间。当开关元件Q2导通时,流过第一电感器L<sub>f1</sub>的电流 $I_{i1}$ 流过电容器C<sub>ds1</sub>和谐振电容器C<sub>r</sub>,电流 $i_r$ 为正弦波状的波形。开关元件Q1的漏极-源极间电压 $v_{ds1}$ 从0V呈正弦波状上升,并在开关元件Q1刚要导通之前逐渐下降。此外,在该期间中,在第二电感器L<sub>f2</sub>中从 $V_i$ 流过电流 $I_{i2}$ 而积蓄磁能量。当开关元件Q2断开时,成为状态1。

[0107] 以后,周期性地重复状态1、状态2。

[0108] 像这样,在开关元件Q1、Q2都刚要导通之前,成为 $v_{ds}=0$ ,从而寄生二极管D<sub>ds</sub>导通,因此实现ZVS动作。此外,在开关元件Q1、Q2刚要导通之前(图2中用虚线的圆围起来的定时)接近 $dv_{ds}/dt=0$ ,成为 $v_{ds}=0$ ,从而达成ZVS动作,在断开时,达成接近ZCS(Zero Current Switching:零电流开关)的动作。将这样的动作称为最佳ZVS动作。在最佳ZVS动作中,开关损耗最小,能够提高系统中的电力效率。

[0109] 作为基于开关控制的供电电力的控制,能够采用几种方式。其一为频率控制PFM(Pulse Frequency Modulation:脉冲频率调制)。利用复谐振电路的合成阻抗根据频率而变化的情况使开关频率变化,从而能够使共振电流的振幅变化而对供电电力进行控制,并能够供给与电子设备的要求相应的电力而使其适当地进行动作。

[0110] 此外,另一种开关控制是以恒定的开关频率控制时间比的PWM(Pulse Width Modulation:脉冲宽度调制)。通过控制开关元件的时间比,从而能够控制供电电力,并能够调整输出电力。此外,通过使用恒定的开关频率,从而能够限定利用频带,EMC对策也变得容易。此外,控制输出的控制性也提高。

[0111] 另外,通过对受电装置PRU侧的同步整流电路的动作频率进行控制,从而能够在受电装置PRU侧对受电电力进行调整,而不是输电装置PSU侧。对于输电装置PSU侧的动作频率,同步地使同步整流电路动作,从而能够得到更大的电力。另一方面,对于输电装置PSU侧的动作频率,通过偏离同步而使同步整流电路动作,从而能够抑制受电电力而处理小的电力。

[0112] 图3(A)是图1所示的由电磁场共振耦合电路和谐振电容器C<sub>r</sub>、C<sub>rs</sub>构成的包含等效的电磁场共振耦合的复谐振电路的电路图。图3(B)是其等效电路图。在此,互感L<sub>m</sub>表示为通过输电线圈 $n_p$ 与受电线圈 $n_s$ 的磁场共振耦合来传输电力的等效的电感器,互电容C<sub>m</sub>表示为通过输电线圈 $n_p$ 与受电线圈 $n_s$ 的电场共振耦合来传输电力的等效的电容器。

[0113] 根据共振现象,关于对电磁场共振耦合电路的输入电流 $i_{ac\ in}(t)$ ,能够将共振电流的振幅设为 $I_{ac}$ ,并能够近似地用下式表示。

$$[0114] \quad i_{ac\ in}(t) = I_{ac} \sin(\omega_s t)$$

[0115] 其中,  $\omega_s = 2\pi/T_s$

[0116] 在端子1-1'之间提供正弦波电流 $i_{ac\ in}(t)$ 。包含各频率分量的电流欲流入到端子1-1'之间,但是阻抗增大的高阶的频率分量的电流波形被电磁场共振耦合电路所截止,通过进行共振动作,从而主要只流过开关频率分量的共振电流波形,能够高效率地传输电

力。

[0117] 接着,通过仿真示出上述谐振频率 $f_{ra}$ 、 $f_{rb}$ 以及开关频率 $f_s$ 的设定与ZVS动作的关系。

[0118] 图4是图1所示的无线供电系统101的仿真电路。此外,图5是图4各部分的电流电压波形图。

[0119] 谐振电流 $i_r$ 成为正弦波状,且,开关元件Q1和Q2的两端电压 $v_{ds1}$ 、 $v_{ds2}$ 成为每隔半周期的半波的正弦波状的波形,从而实现ZVS动作。

[0120] 如上所述,输电侧谐振机构的谐振频率 $f_{ra}$ 比第一开关电路S1和第二开关电路S2的开关频率 $f_s$ 低,在输电侧谐振机构包括第一开关电路或第二开关电路的电容器的第二谐振频率 $f_{rb}$ 设定得比开关频率 $f_s$ 高,从而设为 $f_{ra} < f_s \leq f_{rb}$ 。具体地,例如,

$$[0121] \quad f_{ra} = 1 / \sqrt{L_p C_r}$$

$$[0122] \quad f_{rb} = 1 / 2 \pi \sqrt{(L_p C_r C_{ds} / (C_r + C_{ds}))}$$

[0123] 因此,当将开关频率设为 $f_s = 6.78\text{MHz}$ 时,调整电容器 $C_r$ 、 $C_{ds}$ 的值,使得例如 $f_{ra} = 4\text{MHz}$ 且 $f_{rb} = 7\text{MHz}$ 等。其中,在此设为 $C_{ds1} = C_{ds2} = C_{ds}$ 。

[0124] 此外,调整为,从一方的开关电路的两端起不包括该一方的开关电路的电容而将另一方的所述开关电路短路并通过谐振机构对负载侧进行观察的第一阻抗 $Z_a$ 、以及从一方的开关电路的两端起不包括该一方的开关电路的电容而将另一方的所述开关电路短路并通过谐振机构对负载侧进行观察的第二阻抗 $Z_b$ 为感性阻抗。由此,开关元件Q1和Q2的两端电压 $v_{ds1}$ 、 $v_{ds2}$ 成为每隔半周期的半波的正弦波状的波形,从而实现ZVS(零电压开关)动作。

[0125] 图6(A)是示出上述第一阻抗 $Z_a$ 的等效电路图,图6(B)是示出上述第二阻抗 $Z_b$ 的等效电路图。其中, $k$ 是输电线圈 $n_p$ 与受电线圈 $n_s$ 的耦合系数, $R_i$ 是输电侧谐振机构的电阻成分, $R_{is}$ 是受电侧谐振机构的电阻成分。 $R_{ac}$ 是交流负载电阻。

[0126] 在此,将开关频率设为 $f_s = 6.78\text{MHz}$ ,对于

[0127] (A)  $f_{ra} = 4\text{MHz}$ 、 $f_{rb} = 9.5\text{MHz}$ 、 $C_{ds1} = 1.14\text{nF}$ 、 $C_{ds2} = 1.14\text{nF}$ 、 $C_r = 5.2\text{nF}$

[0128] (B)  $f_{ra} = 4\text{MHz}$ 、 $f_{rb} = 6.78\text{MHz}$ 、 $C_{ds1} = 2.84\text{nF}$ 、 $C_{ds2} = 2.84\text{nF}$ 、 $C_r = 5.2\text{nF}$

[0129] (C)  $f_{ra} = 6.78\text{MHz}$ 、 $f_{rb} = 8.7\text{MHz}$ 、 $C_{ds1} = 2.84\text{nF}$ 、 $C_{ds2} = 2.84\text{nF}$ 、 $C_r = 1.835\text{nF}$ 的各条件,将动作波形示于图7(A)、图7(B)、图7(C)。图7(A)是上述条件(A)下的波形,图7(B)是上述条件(B)下的波形,图7(C)是上述条件(C)下的波形。

[0130] 条件(A)、(B)、(C)中的条件(C)不满足本发明的条件。在条件(C)下,开关元件Q1和Q2的两端电压 $v_{ds1}$ 、 $v_{ds2}$ 不是每隔半周期的半波的正弦波状的波形,未实现ZVS(零电压开关)动作。与条件(A)、(B)相比,在条件(C)下谐振电流 $i_r$ 的振幅最大,引起的电磁场共振大。但是,因为未实现ZVS动作,所以开关元件的发热大,系统的电力效率、可靠性大幅下降。

[0131] 另一方面,上述条件(A)、(B)满足本发明的条件 $f_{ra} < f_s \leq f_{rb}$ 。根据图7(A)、图7(B)可知,开关元件Q1和Q2的两端电压 $v_{ds1}$ 、 $v_{ds2}$ 为每隔半周期的半波的正弦波状的波形,从而实现ZVS(零电压开关)动作。

[0132] 此外,在像本实施方式那样的双管式的推拉式结构中,两个开关元件Q1、Q2中的一方始终为关闭状态,因此等效电路始终与图6(B)所示的状态的等效电路相等。当以该状态

下的第二谐振频率 $f_{rb}$ 附近的开关频率进行开关动作时,能够在达成ZVS动作的同时引起共振,能够达成更接近最佳的ZVS动作。由此,能够得到高能量变换效率和高电力变换效率。即,相当于图7(B)的动作。

[0133] 根据谐振现象的原理,谐振频率与开关频率越接近,越能够增大供电电力。具体地,在双管式的推拉式结构中,能够用 $|f_{ra}-f_s|$ 的大小来控制供电电力。 $|f_{rb}-f_s|$ 越小,越能够增大供电电力。此外,在满足本发明的条件 $f_{ra}<f_s\leq f_{rb}$ 的范围内, $|f_{rb}-f_{ra}|$ 的值越小,越能够增大供电电力。

[0134] 图8(A)、图8(B)、图8(C)是与第二实施方式所示的单管E级的输电装置的特性进行对比的图。图8(A)示出输入电压对输出电力的特性,图8(B)示出电力变换效率对输入电压的关系,图8(C)示出输出电阻对输出电力的特性。

[0135] 在图8(A)、图8(B)中,将负载电阻设为 $R_o=20\Omega$ ,并使输入电源 $V_i$ 的电压从1V变化至13V。根据图8(A),在 $V_i=5V、10V、13V$ 的情况下,在本实施方式(推拉式E级)中分别为 $P_o=6.18W、24.6W、40.5W$ ,在单管E级中分别为 $P_o=1.68W、7.23W、12.8W$ 。通过设为推拉式结构,从而在 $V_i=5V、10V、13V$ 的情况下分别得到单管E级的3.67倍、3.41倍、3.17倍的输出电力。在实验中,设为 $V_i=5V$ ,并使用推拉式E级,从而可得到接近单管E级的4倍的输出电力。此外,根据图8(B),在 $V_i$ 小于6V的情况下,推拉式E级的电力效率更高。

[0136] 在图8(C)中,设为 $V_i=10V$ ,并使电阻 $R_o$ 从 $15\Omega$ 变化至 $40\Omega$ 。当设为 $R_o=20\Omega$ 时,在推拉式E级中, $v_{iac}$ 的绝对值的平均值、输出电力分别为 $19.9V、P_o=24.6W$ ,在单管E级中分别为 $9.99V、P_o=6.21W$ ,在设为推拉式E级的情况下, $v_{iac}$ 的绝对值的平均值为大致2倍,输出电力为大致4倍。

[0137] 根据第一实施方式,达到如下的效果。

[0138] (1)能够利用直流电压引起电磁场共振而跨空间进行输电,且能够在第一开关元件和第二开关元件中达成ZVS动作,并能够降低开关元件中的电力损耗。能够得到无线供电系统的高效化、小型轻量化、高可靠性。

[0139] (2)双管推拉式E级的结构与单管E级的结构相比,能够得到大约4倍的电力。

[0140] (3)能够构成对远离的场所进行供电的供电系统。能够非常简单地构成,并能够谋求供电系统装置的小型轻量化。

[0141] (4)能够利用在输电与受电的谐振机构之间引起的电磁场共振现象进行电力效率比利用电磁感应方式的供电高的、远程的供电。

[0142] (5)不仅利用形成在输电线圈与受电线圈之间的磁场共振耦合进行供电,还利用电场共振耦合进行供电,从而能够以比仅利用磁场共振耦合的情况高的电力效率供给电力。

[0143] (6)能够将输电线圈和受电线圈的电感成分中的不参与耦合的漏电感用作构成输电侧谐振机构或受电侧谐振机构的电感器。不需要谐振电感器的部件,能够将供电系统装置小型轻量化。

[0144] (7)输电线圈 $n_p$ 和受电线圈 $n_s$ 分别通过电场共振来形成电容器,能够用作谐振电容器。不需要电容器的部件,从而能够小型轻量化。

[0145] (8)能够对输出进行检测并使用反馈电路对输电侧传递信息,能够对输电侧交流电压产生电路进行控制而调整供电电力,能够使电子设备适当地动作。

[0146] (9) 通过将输电线圈和受电线圈做成为空芯,从而没有线圈的铁损,即使是高频率也能够高效地以无线进行电力输电。

[0147] 《第二实施方式》

[0148] 图9是第二实施方式的无线供电系统102的电路图。

[0149] 无线供电系统101由电力输电装置PSU和电力受电装置PRU构成。

[0150] 在第一实施方式中将输电装置PSU设为双管E级推拉形式,该第二实施方式的输电装置PSU设为单管E级的开关电源形式。

[0151] 输电装置PSU具备:由输电线圈 $n_p$ 和输电侧谐振电容器 $C_r$ 构成的输电侧谐振机构;与该输电侧谐振机构的一方电连接的第一输电侧交流电流产生电路;与输电侧谐振机构的另一方电连接的第二输电侧交流电流产生电路;以及开关控制电路10。

[0152] 第一输电侧交流电流产生电路具备:等效地由开关元件Q1、二极管 $D_{ds1}$ 以及电容器 $C_{ds1}$ 的并联连接电路构成的第一开关电路S1;以及具有利用输入直流电压来生成与流过输电侧谐振机构的交流电流相比能相对视作直流电流的电流源的电感的第一电感器 $L_{f1}$ 。

[0153] 图10是图9所示的无线供电系统102的仿真电路。此外,图11是图10各部分的电流电压波形图。

[0154] 谐振电流 $i_r$ 为正弦波状,且开关元件Q1的两端电压 $v_{ds1}$ 为每隔半周期的半波的正弦波状的波形,实现ZVS动作。

[0155] 如上所述,输电侧谐振机构的第一谐振频率 $f_{ra}$ 比第一开关电路S1的开关频率 $f_s$ 低,在输电侧谐振机构包括第一开关电路S1的电容器的第二谐振频率 $f_{rb}$ 设定得比开关频率 $f_s$ 高,从而设为 $f_{ra} < f_s \leq f_{rb}$ 。具体地,例如,

$$[0156] \quad f_{ra} = 1 / \sqrt{L_p C_r}$$

$$[0157] \quad f_{rb} = 1 / 2 \pi \sqrt{L_p C_r C_{ds1} / (C_r + C_{ds1})}$$

[0158] 因此,当将开关频率设为 $f_s = 6.78\text{MHz}$ 时,调整电容器 $C_r$ 、 $C_{ds1}$ 的值,使得例如 $f_{ra} = 4\text{MHz}$ 且 $f_{rb} = 10\text{MHz}$ 等。

[0159] 此外,调整为,从第一开关电路S1的两端起不包括第一开关电路S1的电容而通过输电侧谐振机构对负载侧进行观察的第一阻抗 $Z_a$ 、以及从第一开关电路S1的两端起不包括第一开关电路S1的电容而通过输电侧谐振机构对负载侧进行观察的第二阻抗 $Z_b$ 为感性性阻抗。由此,开关元件Q1和Q2的两端电压 $v_{ds1}$ 、 $v_{ds2}$ 成为每隔半周期的半波的正弦波状的波形,从而实现ZVS(零电压开关)动作。

[0160] 示出上述阻抗 $Z_a$ 、 $Z_b$ 的等效电路图如第一实施方式中图6所示。

[0161] 在此,将开关频率设为 $f_s = 6.78\text{MHz}$ ,对于

[0162] (A)  $f_{ra} = 4\text{MHz}$ 、 $f_{rb} = 9.5\text{MHz}$ 、 $C_{ds1} = 1.14\text{nF}$ 、 $C_r = 5.2\text{nF}$

[0163] (B)  $f_{ra} = 4\text{MHz}$ 、 $f_{rb} = 6.78\text{MHz}$ 、 $C_{ds1} = 2.84\text{nF}$ 、 $C_r = 5.2\text{nF}$

[0164] (C)  $f_{ra} = 6.78\text{MHz}$ 、 $f_{rb} = 8.7\text{MHz}$ 、 $C_{ds1} = 2.84\text{nF}$ 、 $C_r = 1.835\text{nF}$ 的各情况,将动作波形示于图11。

[0165] 条件(A)、(B)、(C)中的条件(C)不满足本发明的条件。在条件(C)下,开关元件Q1的两端电压 $v_{ds1}$ 不是每隔半周期的半波的正弦波状的波形,从而未实现ZVS(零电压开关)动作。与条件(A)、(B)相比,在条件(C)下谐振电流 $i_r$ 的振幅最大,引起的电磁场共振大。但是,

未实现ZVS动作,因此开关元件的发热大,系统的电力效率、可靠性大幅下降。

[0166] 另一方面,上述条件(A)、(B)满足本发明的条件 $f_{ra} < f_s \leq f_{rb}$ 。根据图11可知,在上述条件(A)下,开关元件Q1的两端电压 $v_{ds1}$ 为每隔半周期的半波的正弦波状的波形,从而实现ZVS(零电压开关)动作。在上述条件(B)下,难说实现了完全的ZVS(零电压开关)动作,但是与上述条件(C)相比,开关元件中的开关损耗充分小,且实现了以ZVS(零电压开关)动作为准的动作。

[0167] 《第三实施方式》

[0168] 图12是第三实施方式涉及的无线供电系统的各部分的电压电流波形图。电路结构如第二实施方式所示。

[0169] 以下,参照该图12示出开关周期中的各状态下的动作。

[0170] (a) 状态1 ( $t_1 \leq t < t_2$ )

[0171] 在输电装置侧,开关元件Q1导通,流过的电流 $i_{d1}$ 从0A开始流过,并成为正电流。在输电线圈 $n_p$ 和谐振电容器 $C_r$ 、以及受电线圈 $n_s$ 和谐振电容器 $C_{rs}$ 流过谐振电流。

[0172] 在受电装置侧,谐振电流被整流,整流平滑后的电流供给到负载,并传输电力。当开关元件Q1断开时,成为状态2。

[0173] (b) 状态2 ( $t_2 \leq t < t_1$ )

[0174] 开关元件Q1的两端的电容器 $C_{ds1}$ 开始谐振,首先被充电,当超过峰电压时,进行放电。电压 $v_{ds1}$ 逐渐接近0V,当开关元件Q1导通时,状态2结束。

[0175] 以后,周期性地重复状态1、状态2。

[0176] 像这样,在开关元件Q1刚要导通之前,电压 $v_{ds1}$ 逐渐接近0V,在导通的定时,电流 $i_{d1}$ 从0A开始流过。通过开关元件Q1进行ZVS动作,从而能够大幅降低开关损耗和开关噪声。此外,因为开关电路S1的二极管 $D_{ds1}$ 不导通,所以还可降低导通损耗。其结果是,能够提高无线供电系统的电力效率。

[0177] 《第四实施方式》

[0178] 图13是第四实施方式涉及的无线供电系统104的电路图。

[0179] 无线供电系统104由电力输电装置PSU和电力受电装置PRU构成。

[0180] 在本实施方式中,在输电侧交流电压产生电路与输电侧谐振机构之间具备包括电感器要素 $L_{fp}$ 和电容器要素 $C_{fp}$ 的第一滤波器。此外,在受电侧谐振机构与整流电路之间具备包括电感器要素 $L_{fs}$ 和电容器要素 $C_{fs}$ 的第二滤波器。其它结构与第一实施方式所示的相同。

[0181] 第一滤波器、第二滤波器均作为低通滤波器发挥作用。这些低通滤波器的截止频率确定为使流过谐振机构的电流波形的高频分量降低。像这样,通过具备滤波器,从而能够降低流过谐振机构的电流波形的高频分量,并能够降低EMI(电磁干扰)噪声。由此,能够提高与其它电子设备的EMC(电磁兼容性)。例如,能够抑制与无线通信设备等的串扰。此外,能够通过滤波器来变换谐振机构的阻抗。即,能够谋求阻抗匹配。由此,能够供给适合负载的电流和电压。

[0182] 《第五实施方式》

[0183] 图14是第五实施方式的无线供电系统105的电路图。与在第一实施方式中图1所示的无线供电系统不同的是受电装置PRU侧的结构。在第五实施方式中,由受电线圈 $n_{s1}$ 、 $n_{s2}$ 、



二极管D3、D4、电容器Co构成中心抽头整流电路。输电装置PSU的结构与第一实施方式所示的相同。

[0184] 在该第五实施方式中,在受电装置PRU侧,由在受电线圈ns1、ns2产生的杂散电容或单个的电容器构成谐振电容器Crsa、Crsb(相当于图1中的Crs的电容器)。

[0185] 该无线供电系统105使用两个受电线圈ns1、ns2和两个整流二极管D3、D4,从而能够分散受电装置侧的损耗,能够减少电力损耗。此外,与电桥整流相比,整流元件的数目少。此外,在受电装置侧构成了并联谐振电路,因此与设为串联谐振电路结构的情况相比,能够增大电压增益。

[0186] 《第六实施方式》

[0187] 图15是第六实施方式的无线供电系统106的电路图。与在第五实施方式中图14所示的无线供电系统不同,在该例子中,在受电装置PRU侧具备串联谐振用的谐振电容器Crs。通过像这样在受电装置侧构成串联谐振电路,从而与构成并联谐振电路的情况相比,能够增大电流增益。

[0188] 《第七实施方式》

[0189] 图16是第七实施方式的无线供电系统107的电路图。与在第一实施方式中图1所示的无线供电系统不同的是受电装置PRU侧的结构。在第七实施方式中,在受电线圈ns通过二极管D3、D4、D7、D8、电容器Co连接有电桥整流电路。输电装置PSU的结构与第一实施方式所示的相同。

[0190] 在受电装置PRU侧,由在受电线圈ns产生的杂散电容或单个的电容器构成谐振电容器Crs(相当于图1中的Cs的电容器)。

[0191] 在该第七实施方式的无线供电系统107中,与在第六实施方式中图15所示的电流传输系统相比,能够降低整流元件的耐压。此外,因为在受电装置侧构成了并联谐振电路,所以与设为串联谐振电路结构的情况相比,能够增大电压增益。

[0192] 《第八实施方式》

[0193] 图17是第八实施方式的无线供电系统108的电路图。谐振电容器Crs的位置与在第七实施方式中图16所示的无线供电系统不同。因此,能够通过该电容器Crs以给定的谐振频率进行电磁场共振动作。

[0194] 在该第八实施方式的无线供电系统108中,通过像这样在受电装置侧构成串联谐振电路,从而与构成了并联谐振电路的情况相比,能够增大电流增益。

[0195] 《第九实施方式》

[0196] 图18是第九实施方式的无线供电系统109的电路图。在该例子中,在受电装置PRU侧设置有利用了4个开关元件Qs1、Qs2、Qs3、Qs4的电桥整流结构的同步整流电路。此外,在输电线圈np的两端等效地构成了电容器Cp,在受电线圈ns的两端等效地构成了电容器Cs。

[0197] 根据该第九实施方式,与第一实施方式~第八实施方式相比,施加在受电装置PRU侧的开关元件Qs1、Qs2、Qs3、Qs4的电压分别为一半,因此能够降低开关元件中的损耗。

[0198] 在该无线供电系统109中,与第八实施方式所示的无线供电系统相比,能够通过同步整流电路来降低整流损耗。此外,能够通过电桥结构降低整流开关元件的耐压。此外,因为是利用开关元件的整流电路,所以能够进行双向的无线供电。进而,能够使用谐振电容器Crs以给定的谐振频率进行电磁共振动作。

[0199] 《第十实施方式》

[0200] 图19是第十实施方式的无线供电系统110的电路图。在该例子中,在受电装置PRU侧设置有利用两个二极管D1、D2的整流电路。

[0201] 根据第十实施方式,与第九实施方式相比,能够简化受电装置PRU侧的结构。此外,因为整流电路是无源电路,所以不需要对整流电路进行驱动控制的电路。

[0202] 《第十一实施方式》

[0203] 图20是第十一实施方式的无线供电系统111的电路图。

[0204] 在该例子中,具备对输入电源 $V_i$ 的电压进行分压的电容器 $C_{r1}$ 、 $C_{r2}$ 以及对输出电压 $V_o$ 进行分压的电容器 $C_{rs1}$ 、 $C_{rs2}$ 。即,将第一实施方式所示的无线供电系统中的谐振电容器 $C_r$ 分割为 $C_{r1}$ 、 $C_{r2}$ ,并将谐振电容器 $C_{rs}$ 分割为 $C_{rs1}$ 、 $C_{rs2}$ 。在此,将输电线圈 $n_p$ 和受电线圈 $n_s$ 的漏电感明示为谐振电感器 $L_r$ 、 $L_{rs}$ 。在受电装置PRU设置有利用开关元件Q3、Q4的同步整流电路。

[0205] 在第十一实施方式中,流过谐振电容器的电流分流到两个电容器,因此电容器中的电力损耗分散,可降低整体的损耗,并可分散发热。此外,通过使用多个谐振电容器,从而能够任意地设定谐振频率,共振动作变得容易。

[0206] 另外,电容器 $C_{r1}$ 、 $C_{r2}$ 以及电容器 $C_{rs1}$ 、 $C_{rs2}$ 发挥保持直流电压或者切断直流电流的作用和作为串联谐振用电容器的作用这两个作用。此外,对输电线圈 $n_p$ 的两端的等效的电容器 $C_p$ 、受电线圈 $n_s$ 的两端的等效的电容器 $C_s$ 也一并进行标记。

[0207] 《第十二实施方式》

[0208] 图21是第十二实施方式的无线供电系统112的电路图。该例子是在形成电磁场共振耦合的磁路中使用了铁素体等磁性体的例子。

[0209] 在图21所示的无线供电系统112中,通过使用磁性体,从而磁耦合的程度增大,能够提高电力传输效率。此外,能够通过铁素体抑制辐射到空间的电磁波(磁通量和电通量)。

[0210] 《第十三实施方式》

[0211] 图22是第十三实施方式的无线供电系统113的电路图。该例子是在形成电磁场共振耦合的磁路中使用了铁素体等磁性体的例子。在该例子中,也通过使用磁性体来增大磁耦合的程度,能够提高电力传输效率。此外,能够通过铁素体抑制辐射到空间的电磁波(磁通量和电通量)。

[0212] 《第十四实施方式》

[0213] 图23是第十四实施方式的无线供电系统114的电路图。在该例子中,在输电装置PSU设置有两个谐振电容器 $C_{r1}$ 、 $C_{r2}$ ,在受电装置PRU设置有两个谐振电容器 $C_{rs1}$ 、 $C_{rs2}$ 。此外,在受电装置PRU侧设置有利用了4个开关元件Q3、Q4、Q7、Q8的电桥整流结构的同步整流电路。

[0214] 在该无线供电系统114中,将输电装置PSU的输电线圈 $n_p$ 和受电装置PRU的受电线圈 $n_s$ 分别做成为具有铁素体等的磁芯的线圈。因此,通过使用磁性体,从而磁耦合的程度增大,能够提高电力传输效率。此外,能够通过铁素体抑制辐射到空间的电磁波(磁通量和电通量)。

[0215] 《第十五实施方式》

[0216] 图24是第十五实施方式的无线供电系统115的电路图。

[0217] 该无线供电系统115是具备能够进行双向无线供电的多个输电/受电装置PSU/PRU1、PSU/PRU2、PSU/PRU3、PSU/PRU4的系统。

[0218] 在第一电力输电/受电装置PSU/PRU1作为输电装置发挥作用时,与其对应地形成电磁场共振耦合的第二输电/受电装置PSU/PRU2作为受电装置发挥作用。因此,从第一输电/受电装置PSU/PRU1向第二输电/受电装置PSU/PRU2传输电力。在此,第二输电/受电装置PSU/PRU2的负载 $R_o$ 具备充电电池及其充电电路。

[0219] 第三输电/受电装置PSU/PRU3与第二输电/受电装置PSU/PRU2对应,在第二输电/受电装置PSU/PRU2作为输电装置发挥作用时,第三输电/受电装置PSU/PRU3作为受电装置发挥作用。此时,在第二输电/受电装置PSU/PRU2中,所述充电电池被用作电源。而且,第三输电/受电装置PSU/PRU3的负载 $R_{o2}$ 具备充电电池及其充电电路。

[0220] 第四输电/受电装置PSU/PRU4与第三输电/受电装置PSU/PRU3对应,在第三输电/受电装置PSU/PRU3作为输电装置发挥作用时,第四输电/受电装置PSU/PRU4作为受电装置发挥作用。此时,在第三输电/受电装置PSU/PRU3中,所述充电电池被用作电源。而且,第四输电/受电装置PSU/PRU4的负载 $R_{o3}$ 是充电电池及其充电电路。

[0221] 这样,通过具备多个电力输电/受电装置,从而中途的电力输电/受电装置对电力进行中继,能够将电力传输到远方。

[0222] 另外,如果使多个受电装置侧的谐振电路的谐振频率不同且使输电装置侧构成为以与输电目的地相应的开关频率进行开关动作,则对于多个受电装置,能够对给定的受电装置选择性地传输电力。

[0223] 此外,通过根据电力输电/受电装置的电力传输方向来切换开关频率,从而能够按每个开关频率向符合目的的方向(场所)进行电力传输。即,通过进行切换开关频率等的控制,从而能够选择合适的电子设备或者向合适的方向、场所输送电力。

[0224] 《第十六实施方式》

[0225] 图25是第十六实施方式的无线供电系统116的电路图。在该例子中,在输电线圈 $n_p$ 与受电线圈 $n_{s4}$ 之间设置有多个谐振器。在图25中,由受电线圈(电感器) $n_{s1}$ 和电容器 $C_{s1}$ 构成第一中继用LC谐振电路,由受电线圈(电感器) $n_{s2}$ 和电容器 $C_{s2}$ 构成第二中继用LC谐振电路,由受电线圈(电感器) $n_{s3}$ 和电容器 $C_{s3}$ 构成第三中继用LC谐振电路。

[0226] 通过像这样设置多个谐振器,从而能够包括多个谐振器在内形成电磁场共振耦合,并通过以给定的间隔设置谐振器,从而能够向更远的场所进行电力供给。此外,能够以高电力传输效率进行远程的供电。

[0227] 《第十七实施方式》

[0228] 在第十七实施方式的无线供电系统117中,使输电装置PSU与受电装置PRU具有对称性。此外,在输电装置PSU与受电装置PRU之间具备通信功能。

[0229] 图26是第十七实施方式的无线供电系统117的电路图。

[0230] 开关控制电路20检测输出信息(向负载 $R_o$ 输出的电压、电流或电力等),并经由受电侧通信电路50向输电装置PSU侧传递反馈信息。输电侧通信电路40基于经由信号传递单元30从受电侧通信电路50接收的输出信息对输电侧交流电压产生电路(开关电路 $S_1$ 、 $S_2$ )进行控制,从而控制供电电力。开关控制电路20、受电侧通信电路50、信号传递单元30等通过受电装置PRU受电的电力(以输出电压 $V_o$ )进行动作。

[0231] 上述受电侧通信电路50是本发明涉及的“输出信息发送电路”的例子。此外,输电侧通信电路40是本发明涉及的“输出信息接收电路”的例子。

[0232] 通过像这样基于从受电装置反馈的信息对供电电力进行控制,从而能够供给适合负载的电压、电流。

[0233] 另外,输电侧通信电路40向受电侧通信电路50传递对开关元件Q1、Q2的控制定时信号。开关控制电路20与该定时信号同步地对开关元件Q3、Q4进行开关,从而进行同步整流控制。

[0234] 上述信号传递单元30使用例如无线通信电路将输出信息传递到输电装置侧。此外,上述信号传递单元30将输出信号变换为光信号进行传递,并将光信号变换为电信号(接收信号)。通过这些结构,能够进行电绝缘并在输电装置侧对供电电力进行调整。

[0235] 在本实施方式的无线供电系统117中,输电装置PSU和受电装置PRU是结构相同的电路,具有对称性,因此能够用作双向无线供电系统装置。即,受电侧整流电路(S3、S4)从输出部接受电力,并通过开关作为输电侧交流电压产生电路发挥作用,输电侧交流电压产生电路(S1、S2)从输出部接受电力,并通过开关作为受电侧整流电路发挥作用。

[0236] 由此,能够进行双向的供电,能够从受电装置PRU侧向输电装置PSU侧供给电力,或者将受电装置PRU侧作为中继点,将受电的电力进一步向其它地方进行输电。此外,还能够用作中继系统,通过准备多个本装置进行中继,从而能够进行远程的电力供电。

[0237] 符号说明

[0238] Cds1、Cds2:电容器;

[0239] Cfp、Cfs:电容器要素;

[0240] Ci:输入电容器;

[0241] Cm:互电容;

[0242] Co:电容器;

[0243] Cr:输电侧谐振电容器;

[0244] Cr1、Cr2:谐振电容器;

[0245] Crs:受电侧谐振电容器;

[0246] Crs1、Crs2:谐振电容器;

[0247] Crsa、Crsb:谐振电容器;

[0248] Cs1、Cs2、Cs3:电容器;

[0249] D1~D4:二极管;

[0250] D7、D8:二极管;

[0251] Dds:寄生二极管;

[0252] Dds1、Dds2:二极管;

[0253] Lf1:第一电感器;

[0254] Lf2:第二电感器;

[0255] Lfp、Lfs:电感器要素;

[0256] Lm:互感;

[0257] np:输电线圈;

[0258] Lr:谐振电感器;

- [0259] ns:受电线圈;
- [0260] Mc:互电容;
- [0261] M1:互感;
- [0262] np:输电线圈;
- [0263] ns、ns1、ns2、ns4:受电线圈;
- [0264] PRU:电力受电装置;
- [0265] PSU:电力输电装置;
- [0266] Q1:第一开关元件;
- [0267] Q2:第二开关元件;
- [0268] Q3、Q4:开关元件;
- [0269] Qs1、Qs2、Qs3、Qs4:开关元件;
- [0270] RC:受电侧整流电路;
- [0271] Ro、Ro2、Ro3:负载;
- [0272] S1:第一开关电路;
- [0273] S2:第二开关电路;
- [0274] Vi:输入电源;
- [0275] viac:两端电压;
- [0276] Vo:输出电压;
- [0277] 10、20:开关控制电路;
- [0278] 30:信号传递单元;
- [0279] 40:输电侧通信电路;
- [0280] 50:受电侧通信电路;
- [0281] 101、102、104~117:无线供电系统。

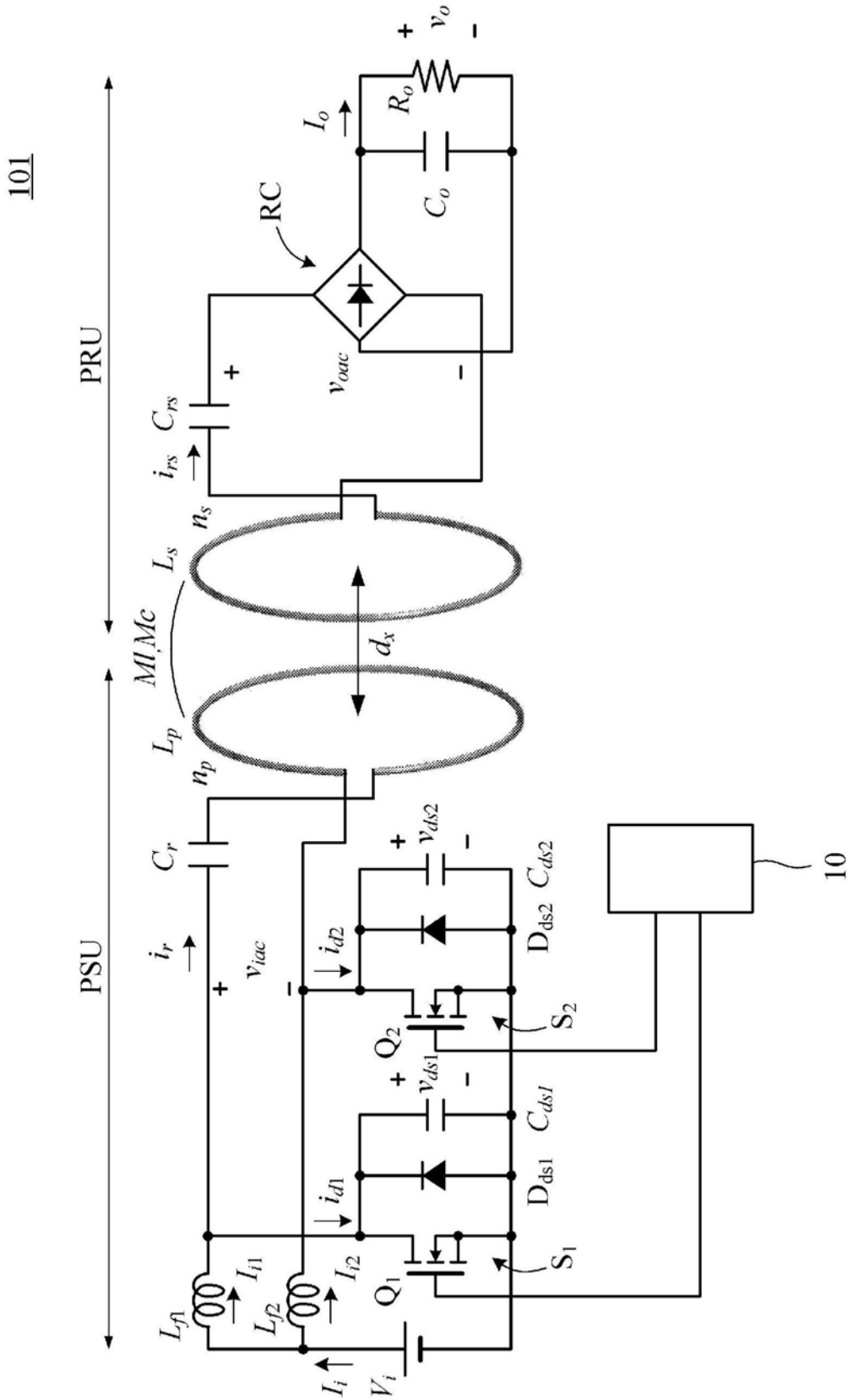


图1

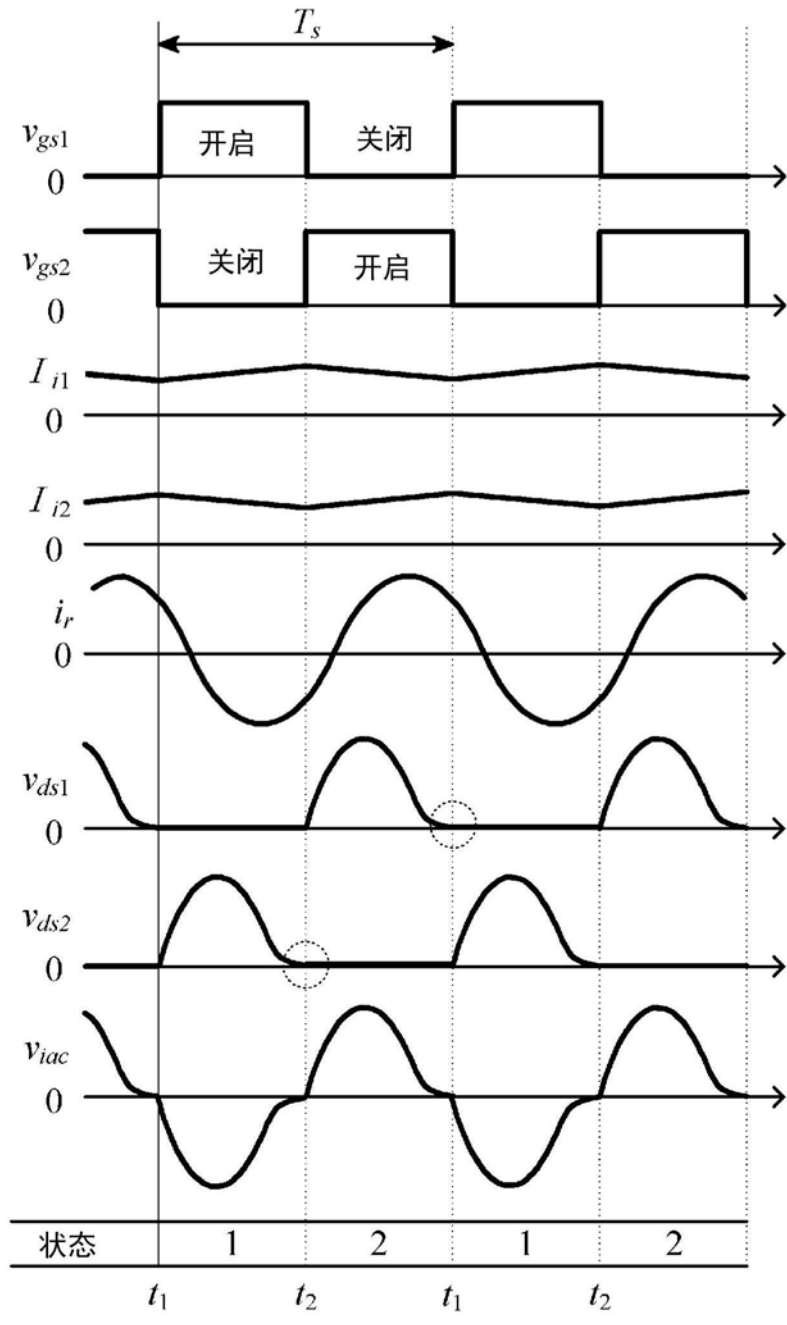


图2

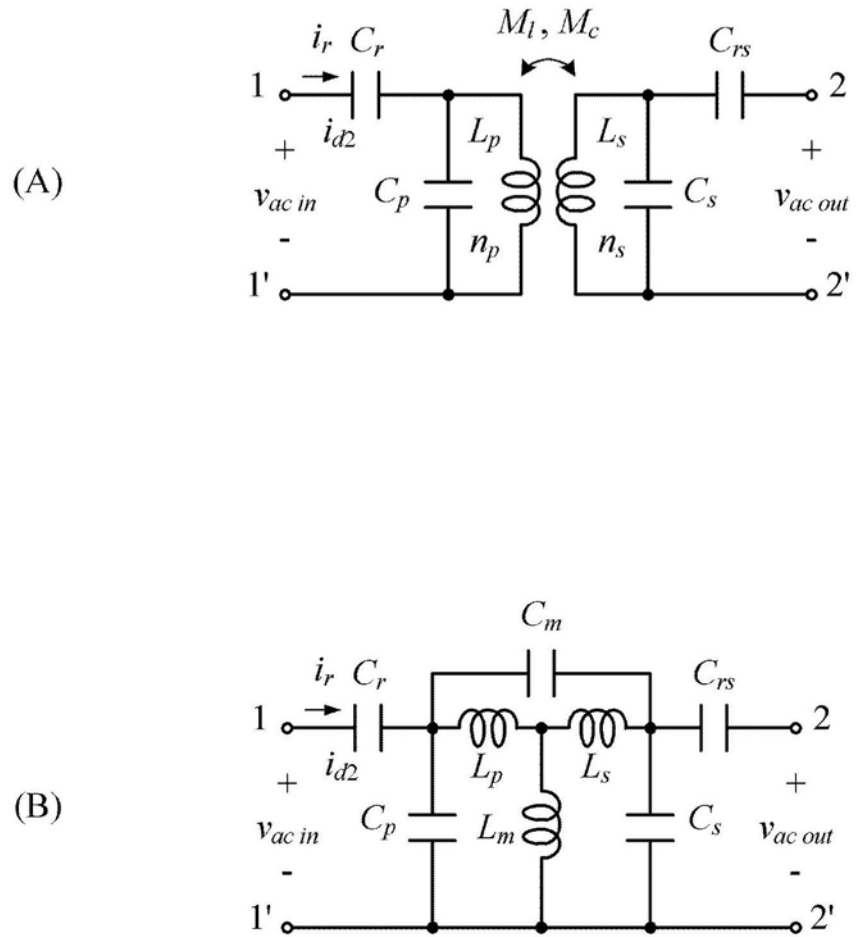


图3



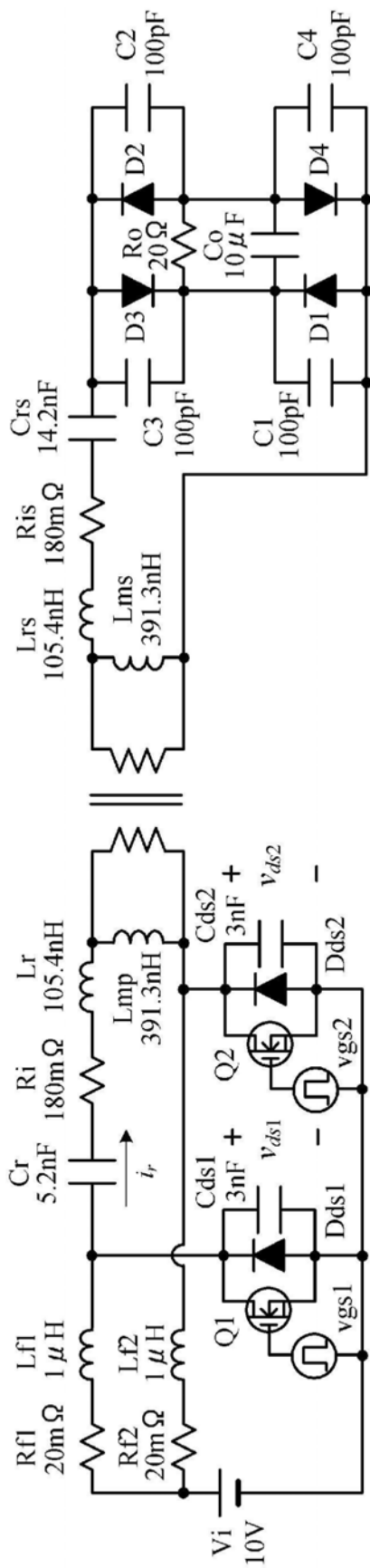


图4

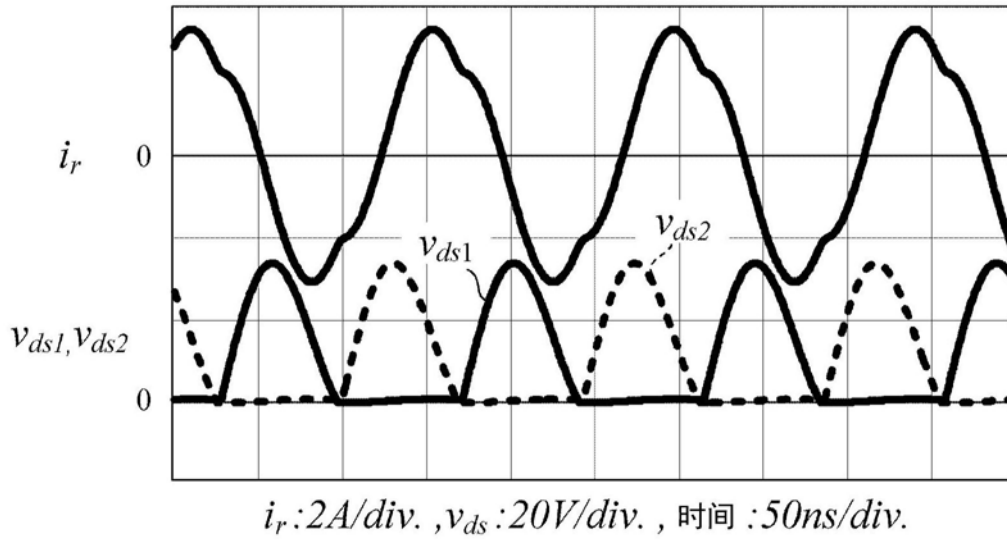


图5

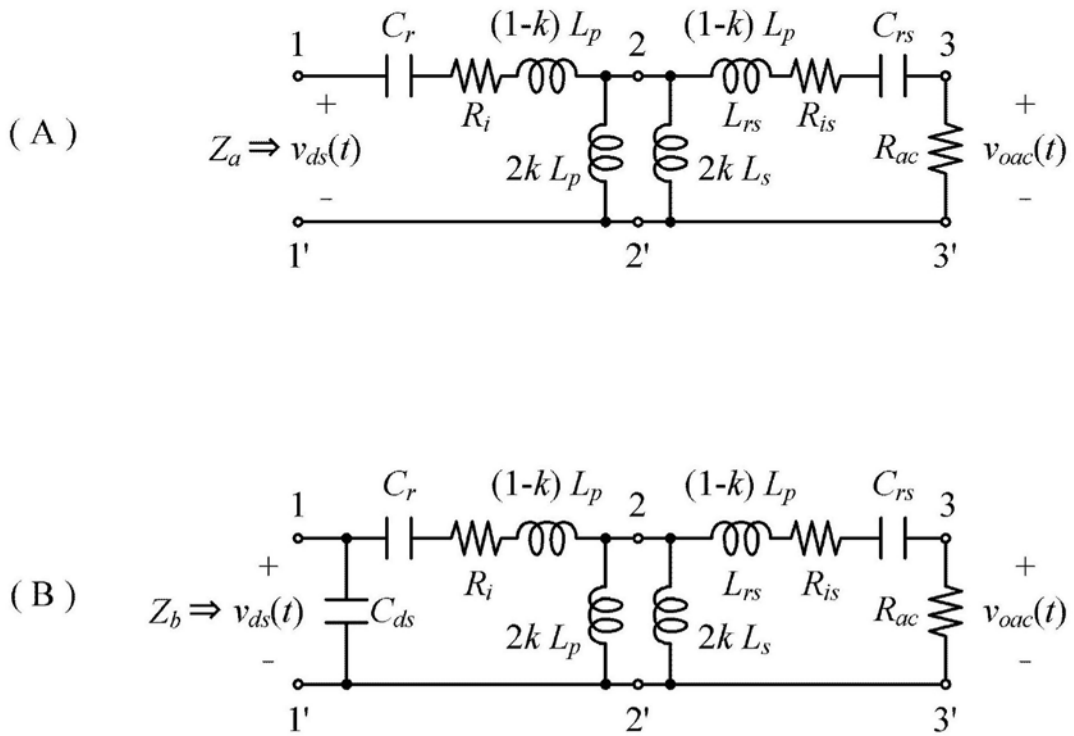


图6

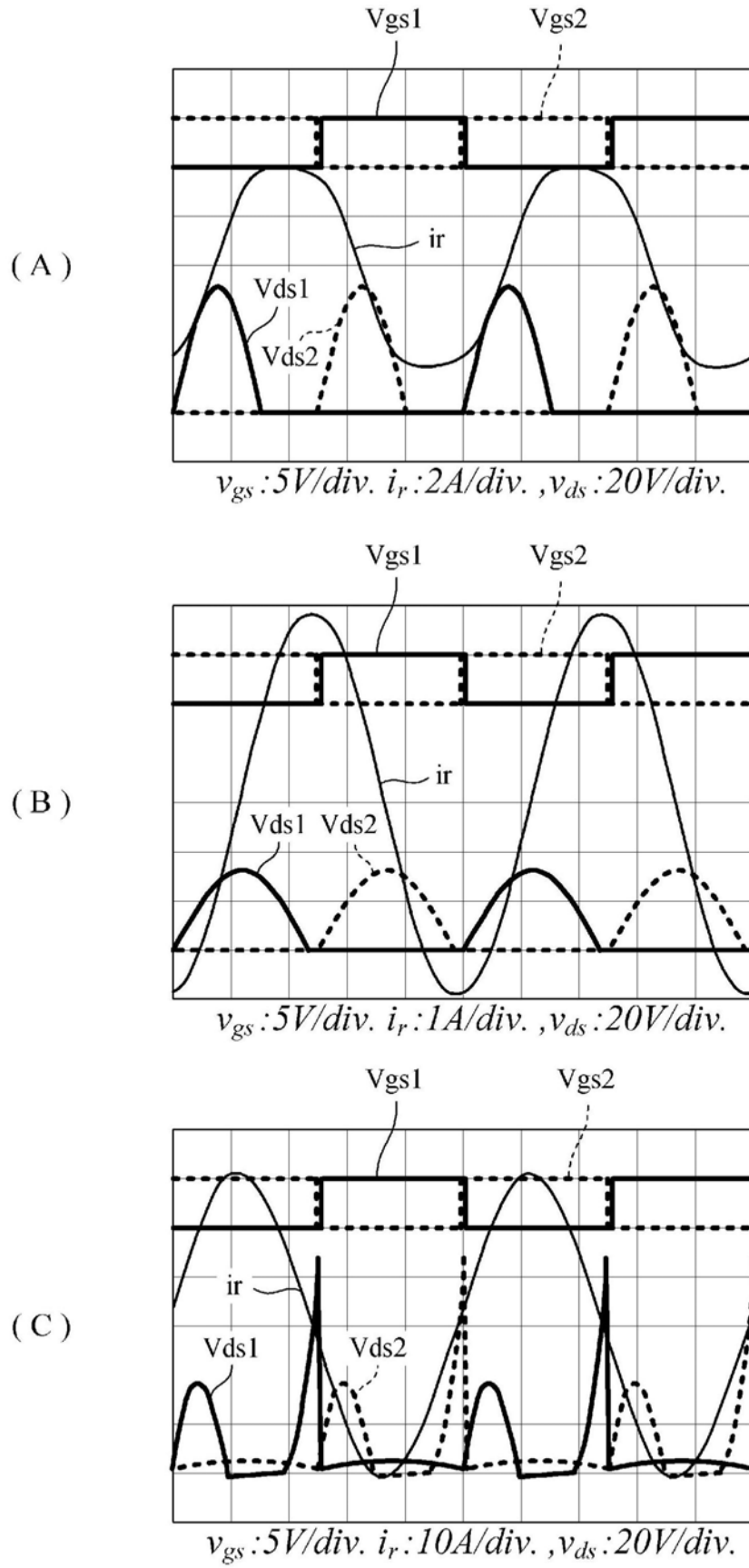


图7

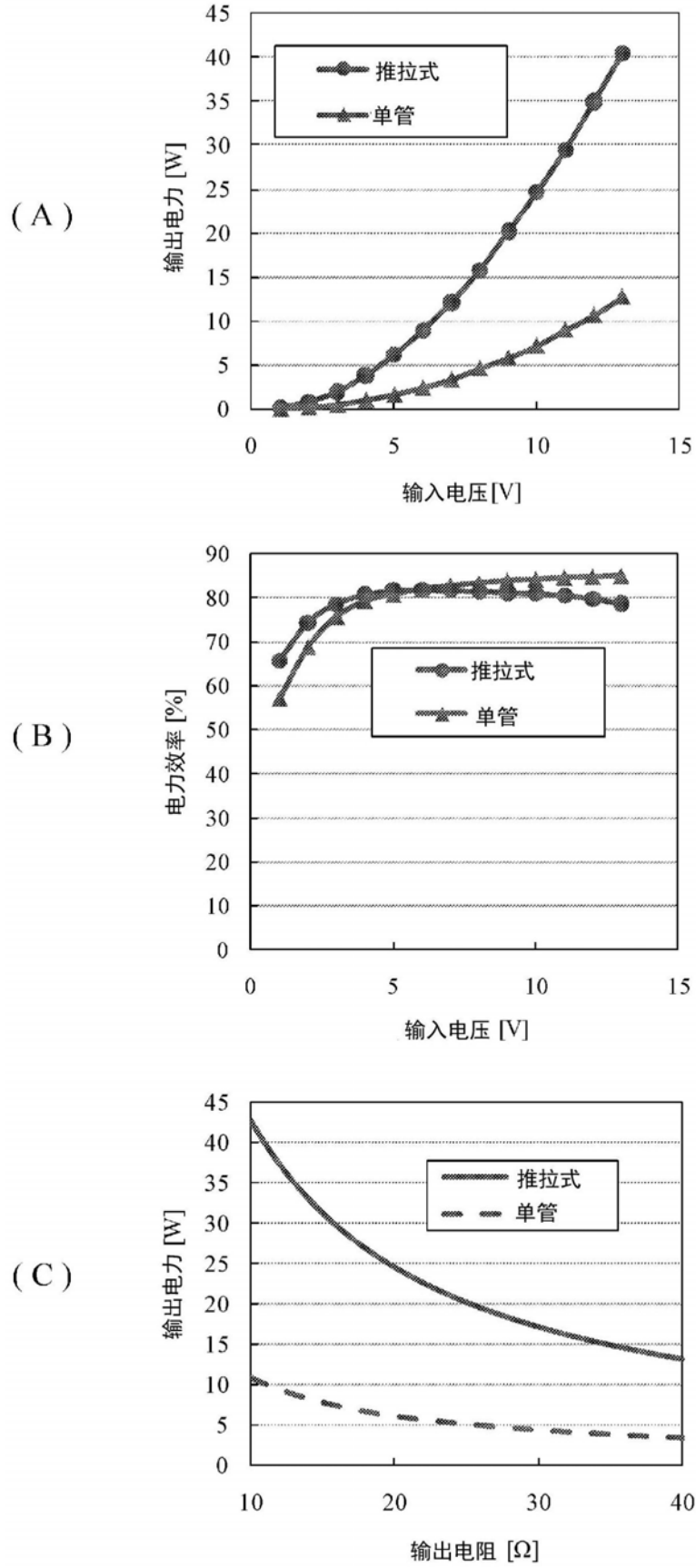


图8

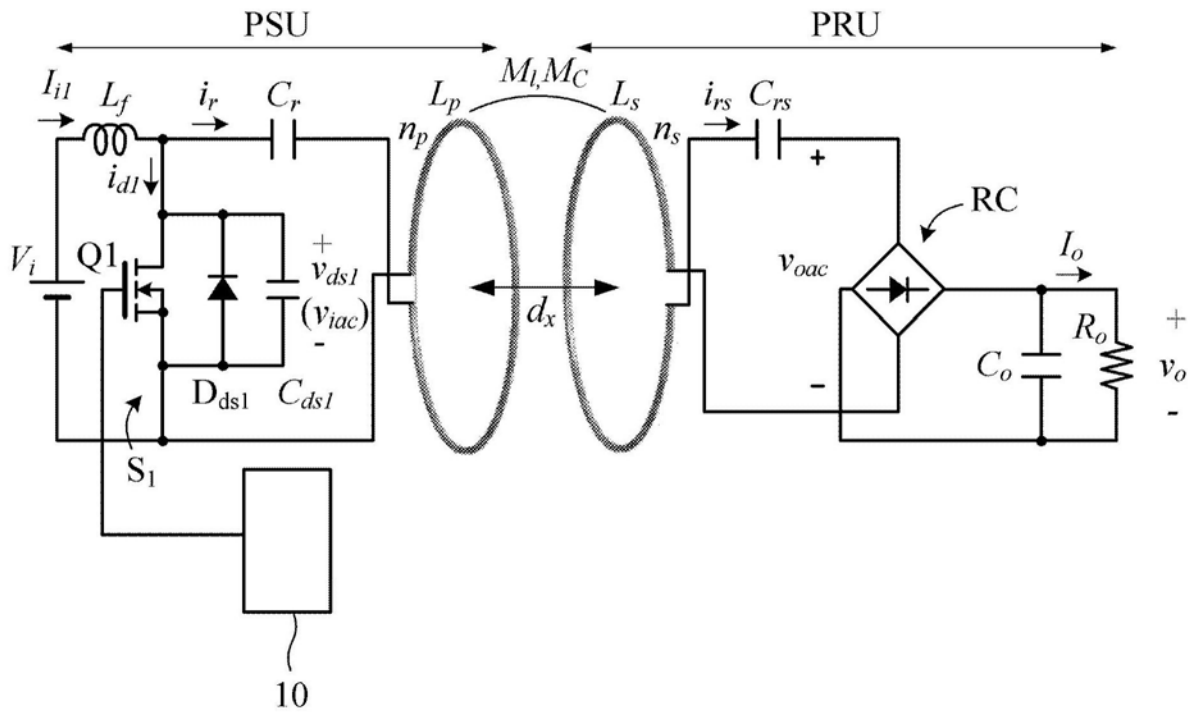


图9

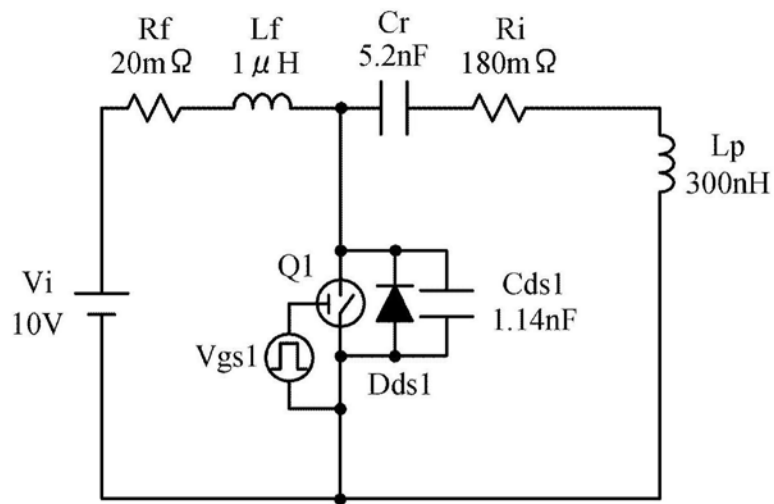


图10

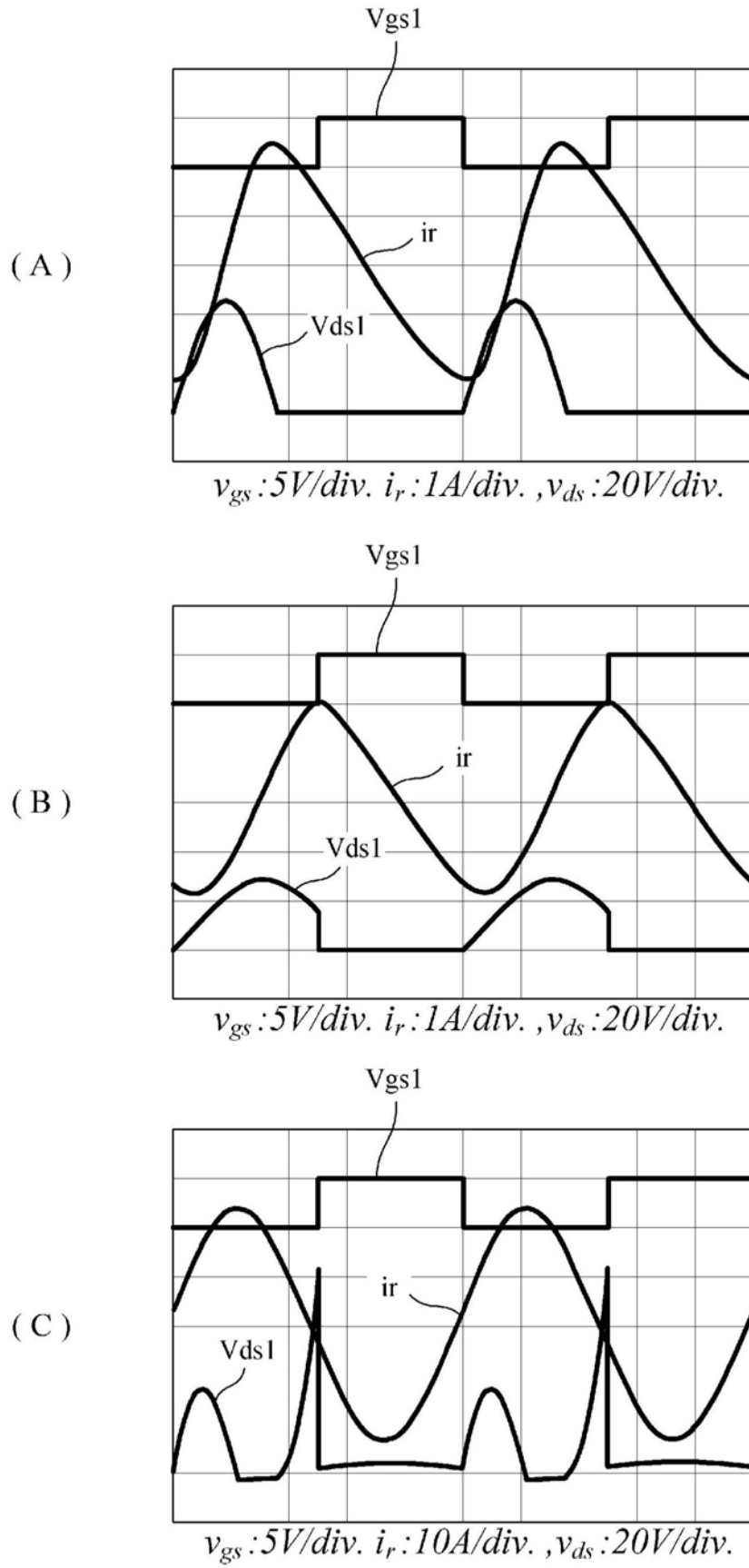


图11

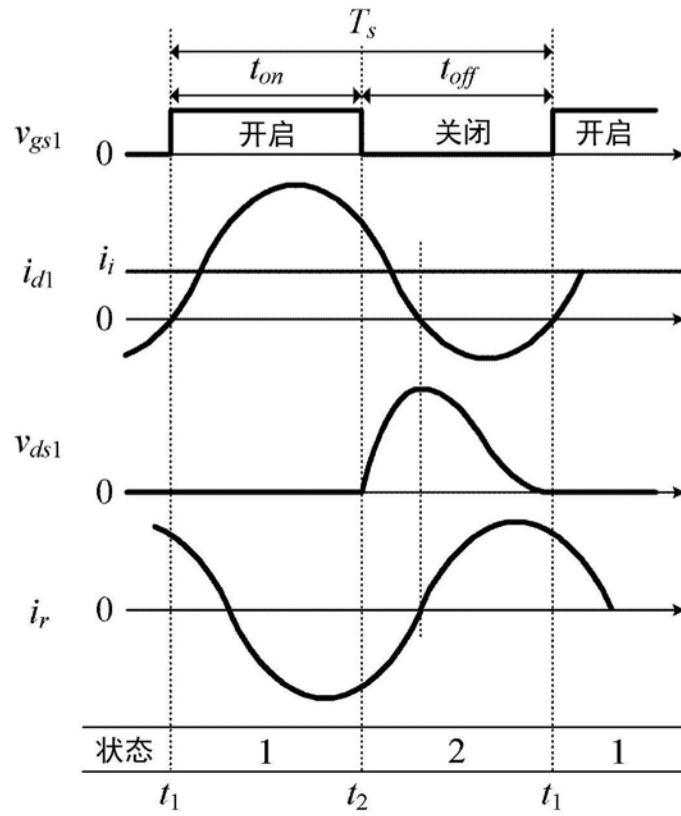


图12

104

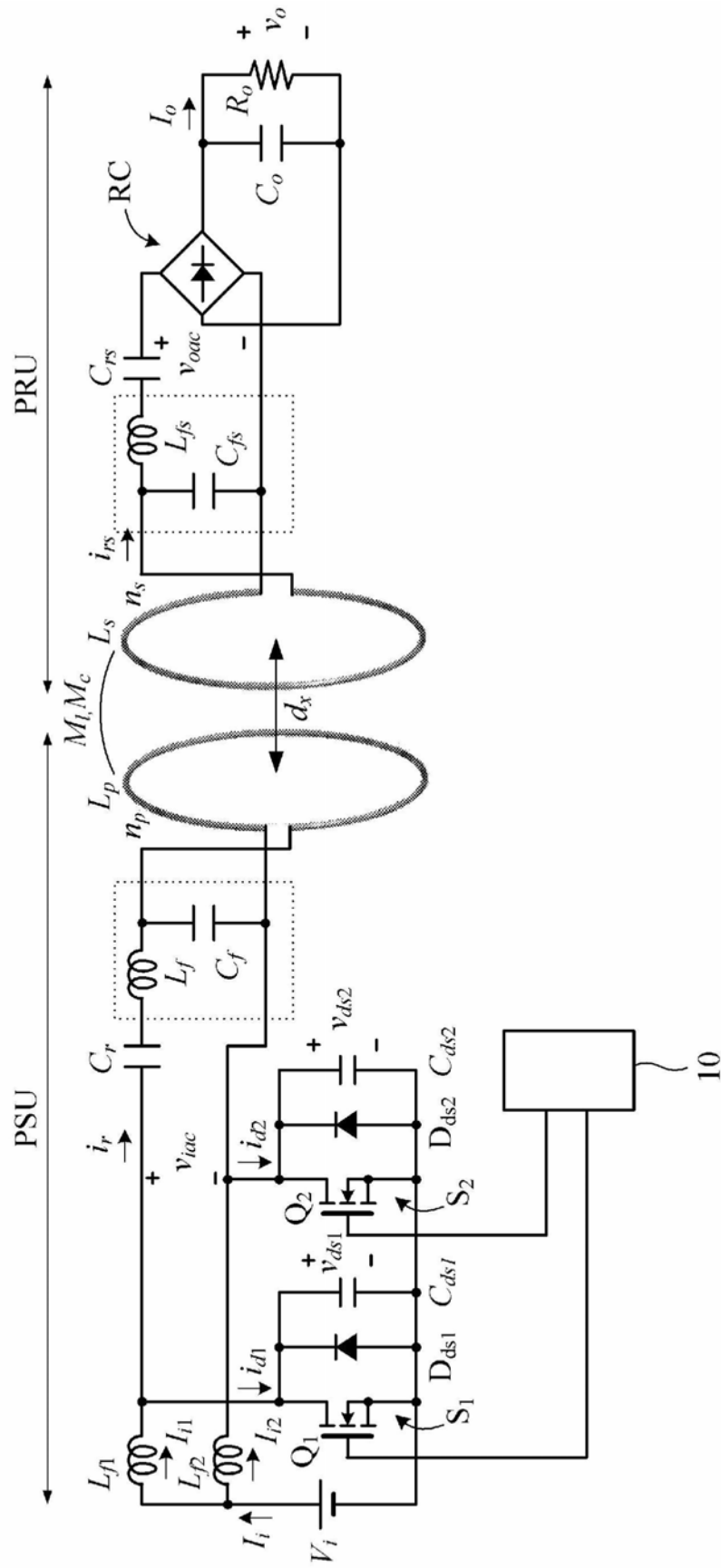


图13



105

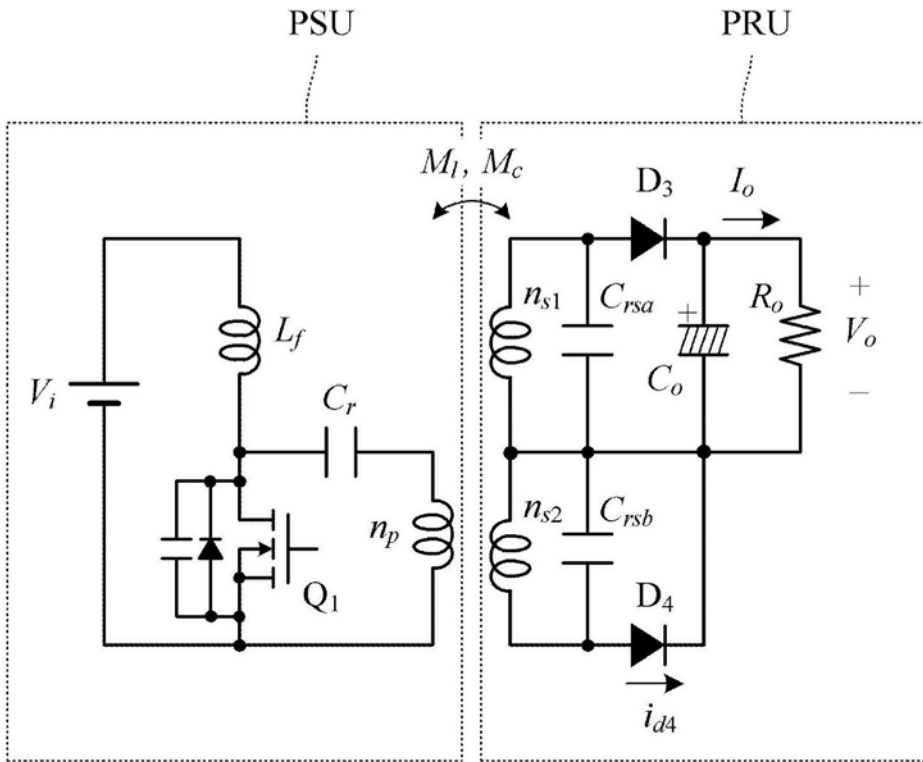


图14

106

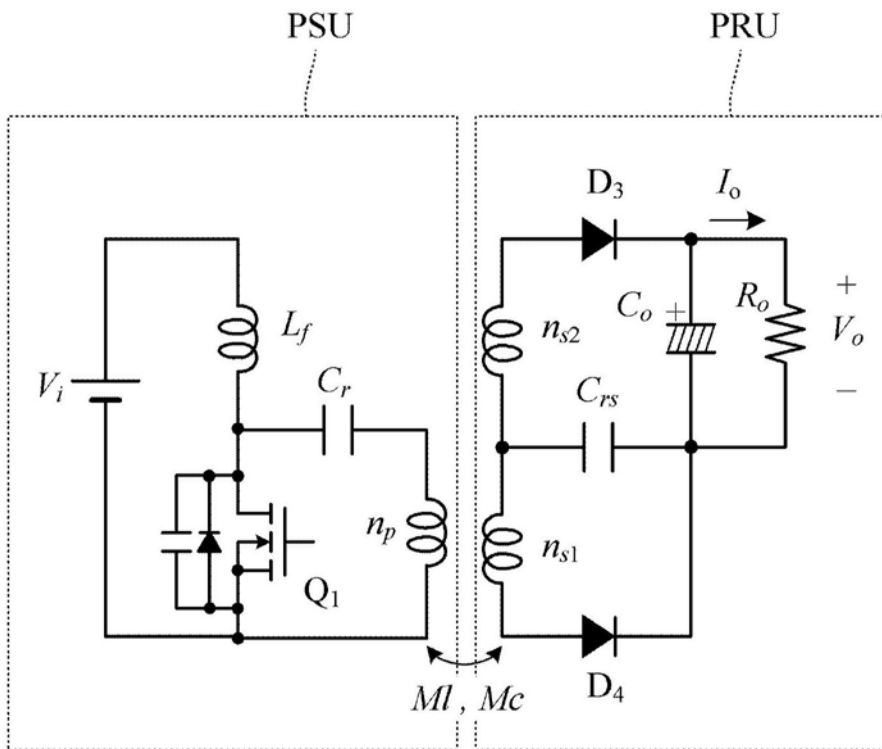


图15

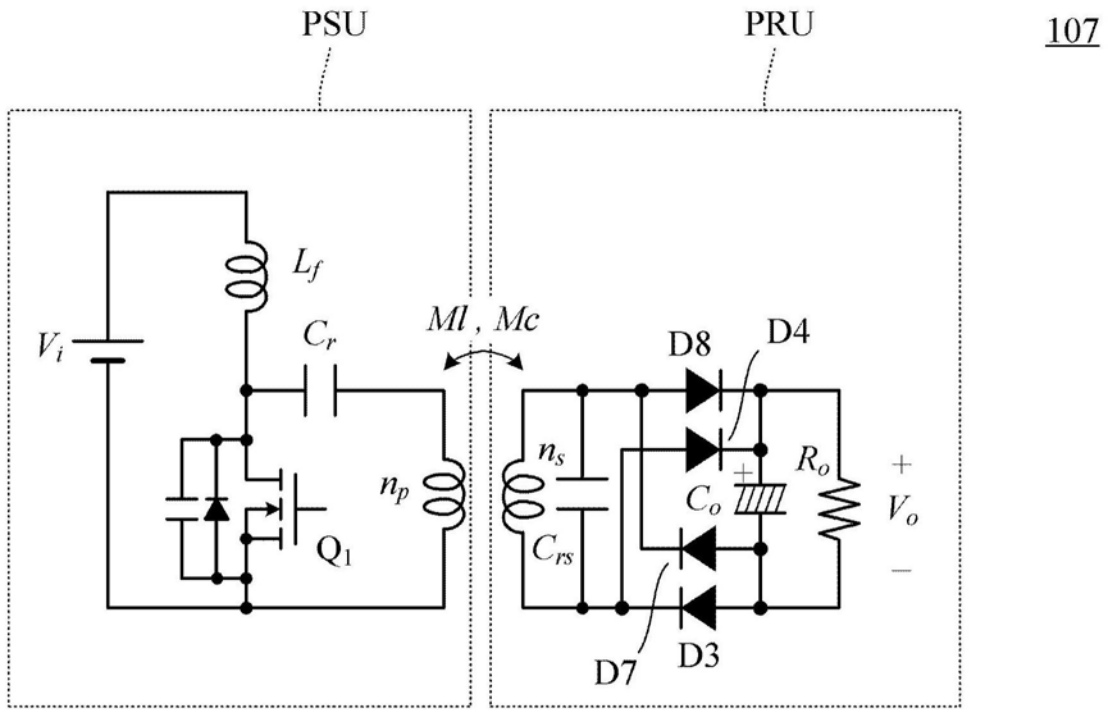


图16

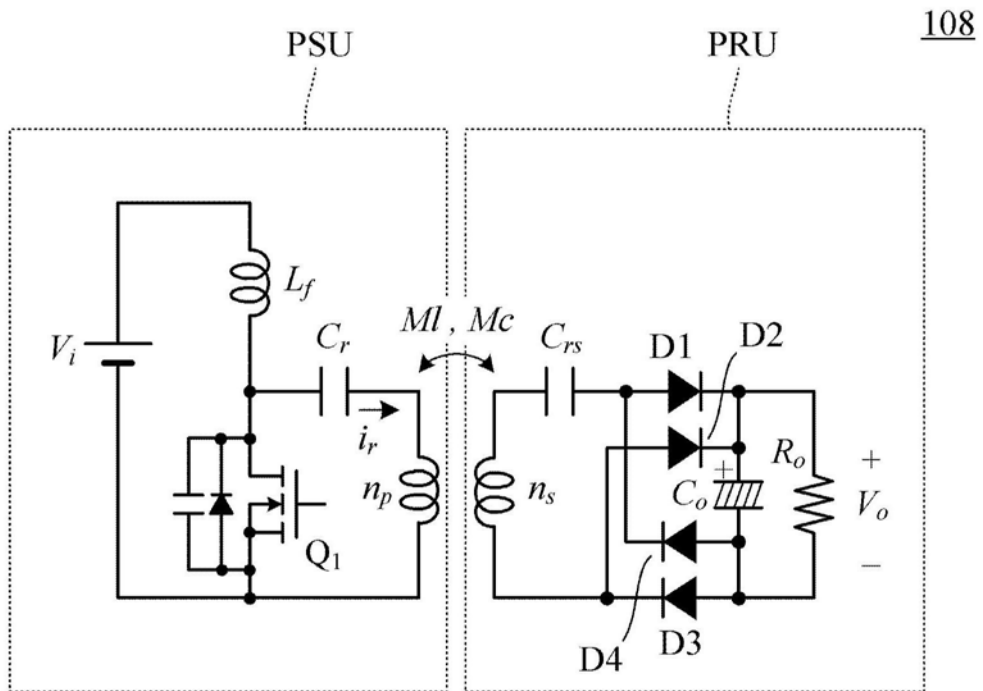


图17

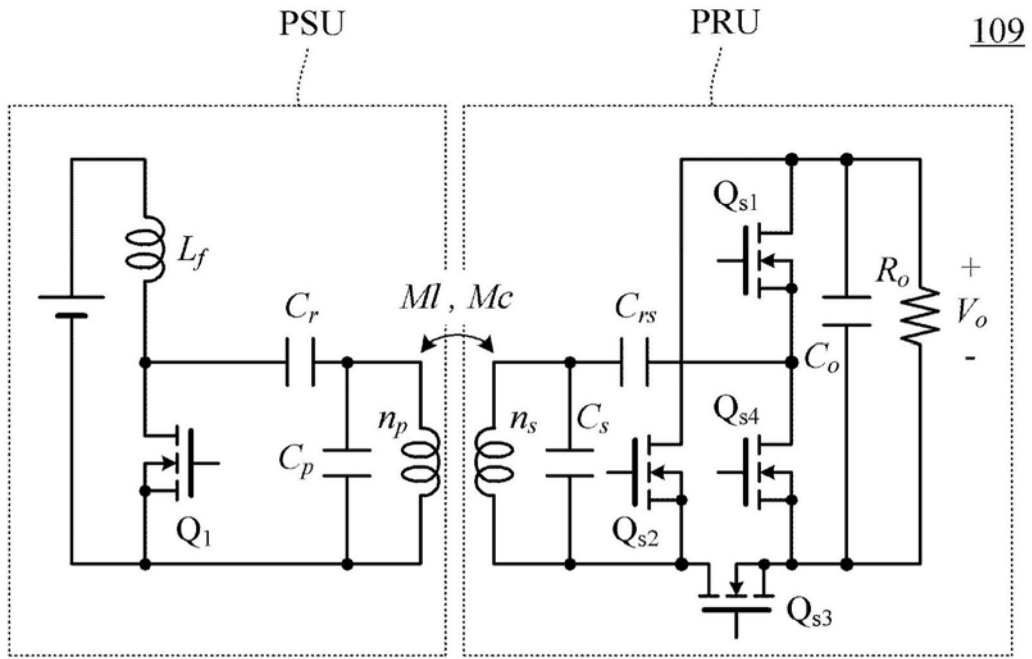


图18

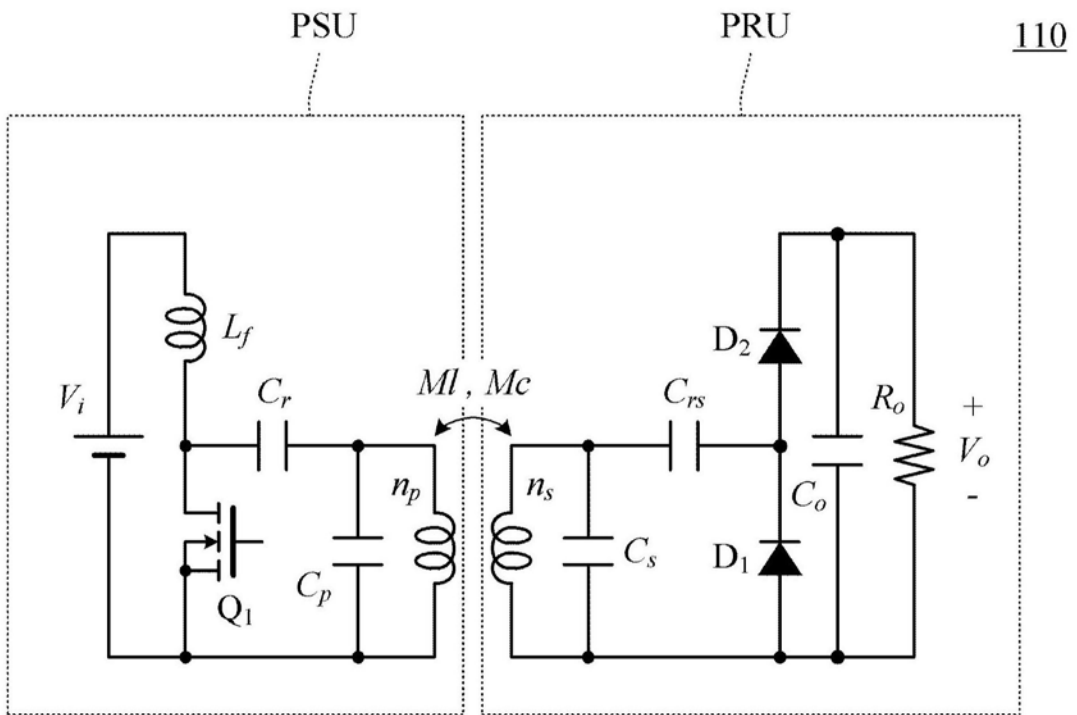


图19

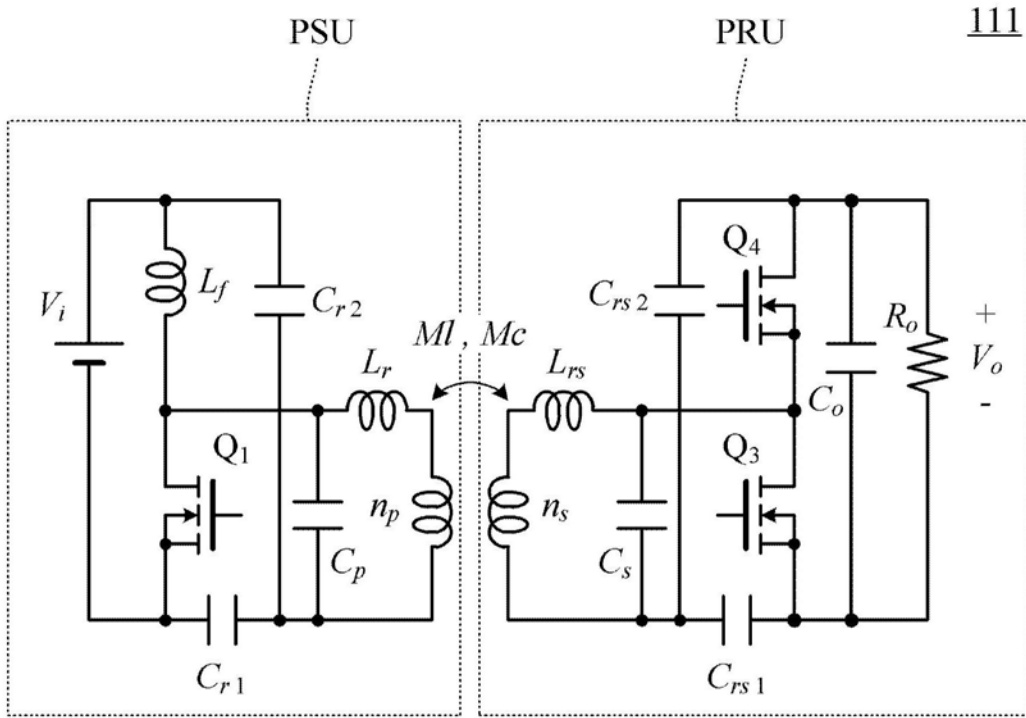


图20

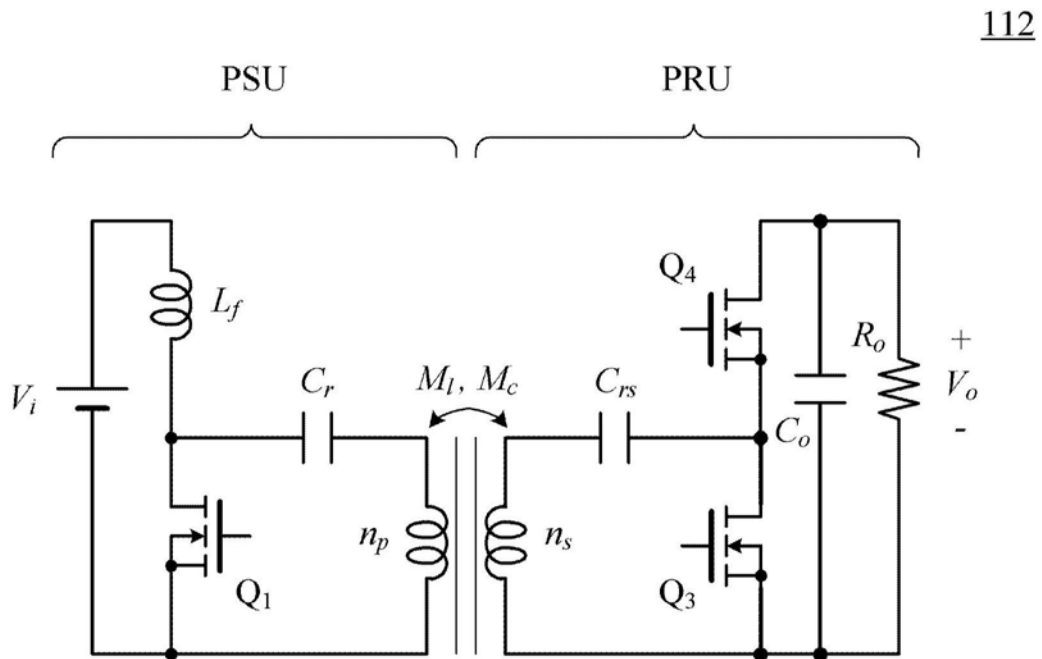


图21

113

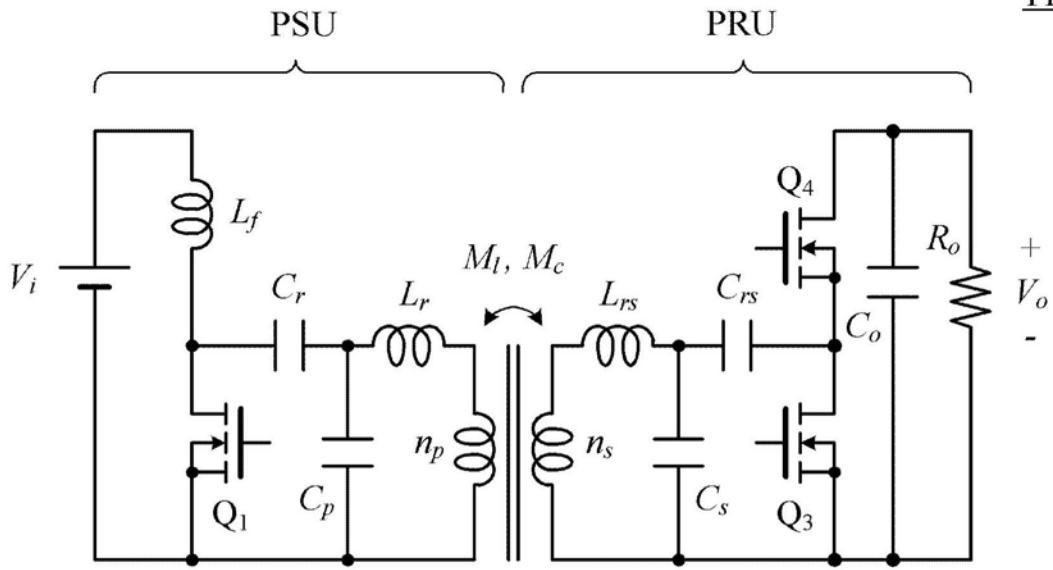


图22

114

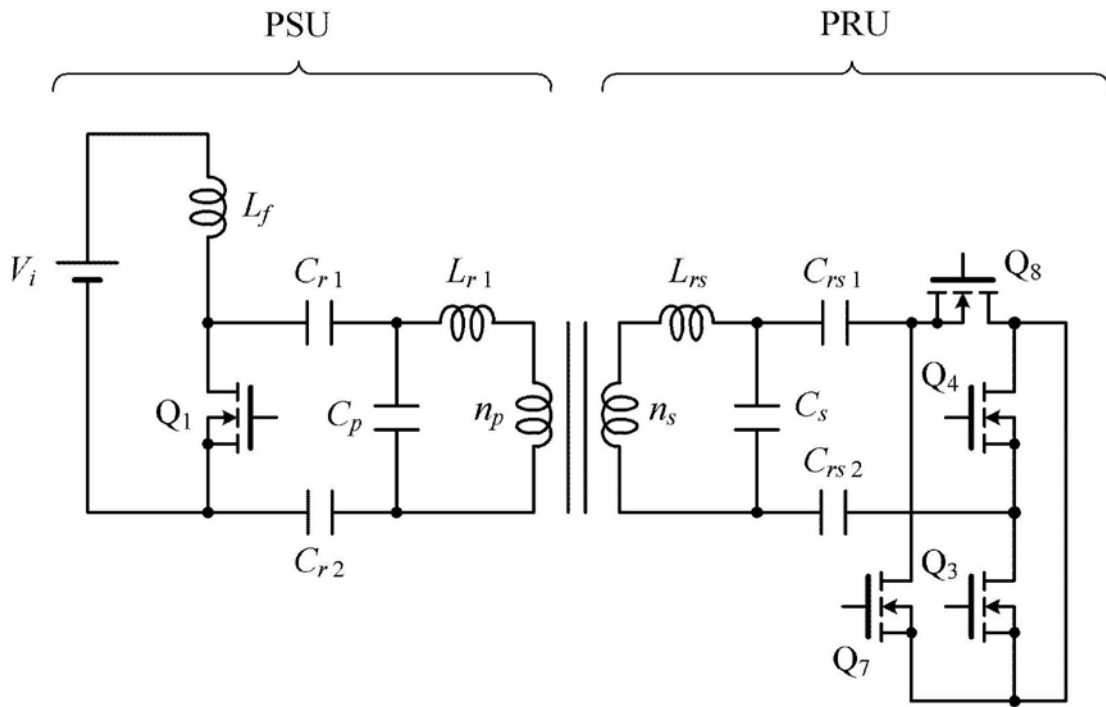


图23

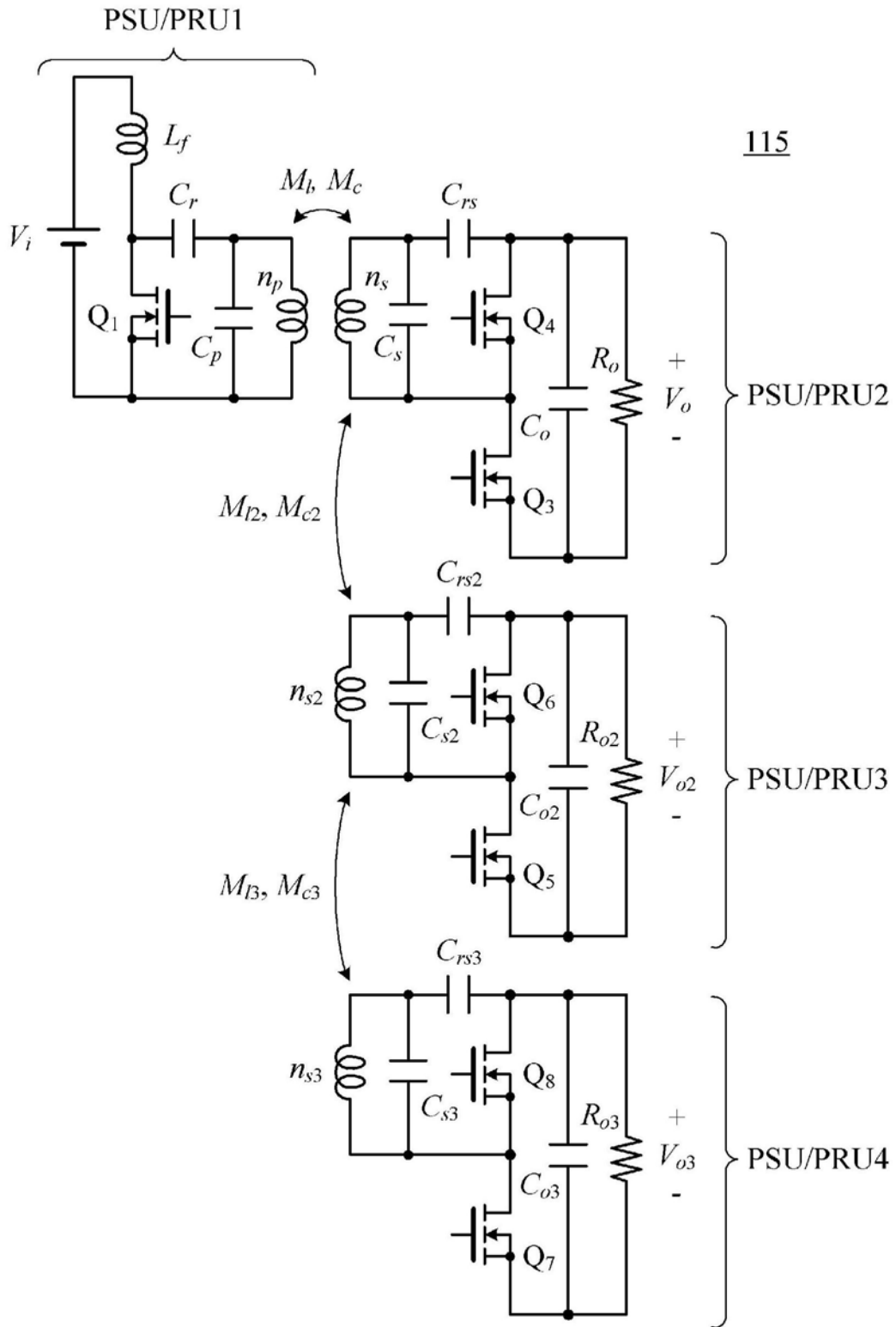


图24

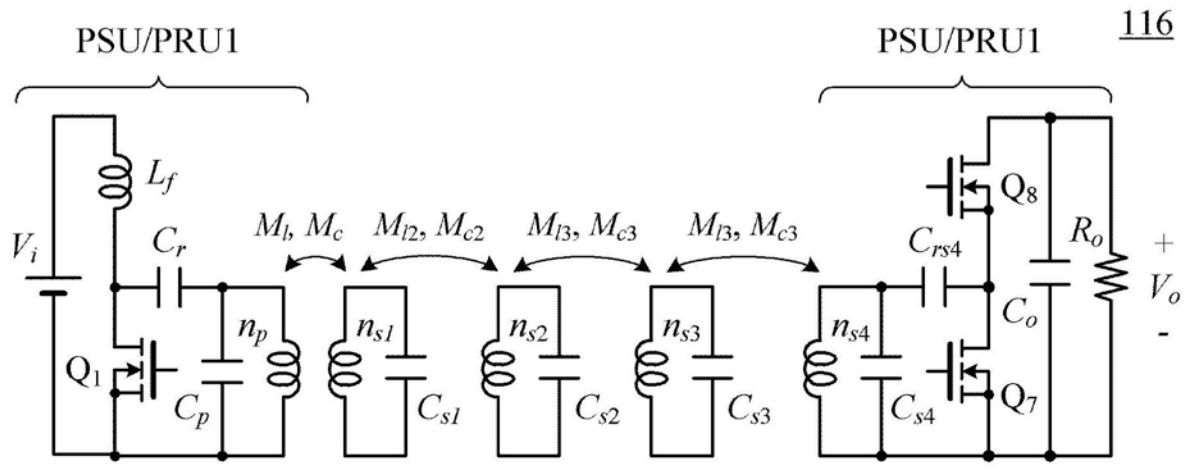


图25

117

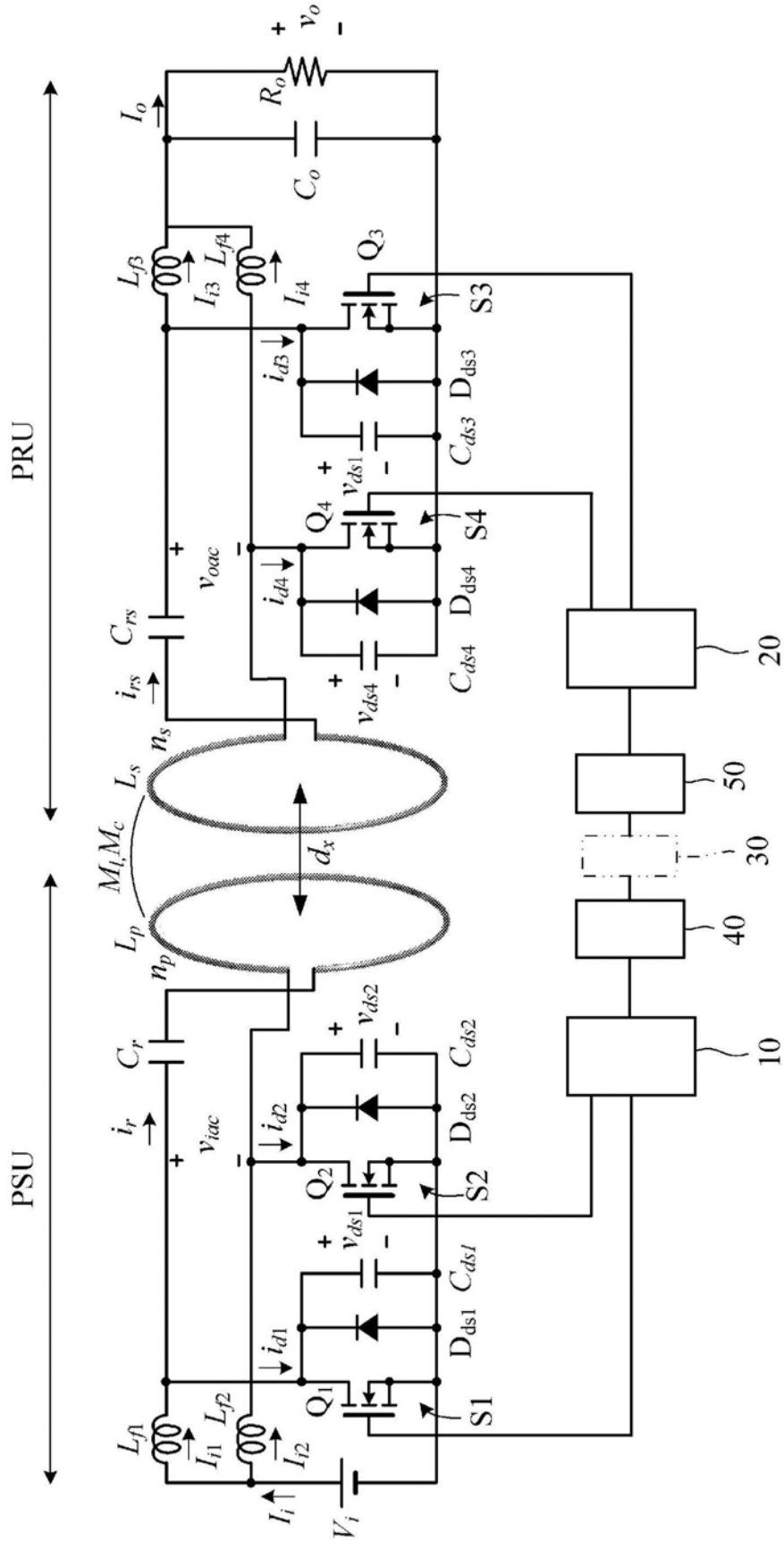


图26