



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111654120 A

(43)申请公布日 2020.09.11

(21)申请号 202010412622.0

H02J 50/50(2016.01)

(22)申请日 2020.05.15

(71)申请人 中国电力科学研究院有限公司

地址 100192 北京市海淀区清河小营东路
15号

申请人 国家电网有限公司

国网山东省电力公司电力科学研究
院

(72)发明人 江炳蔚 吴晓康 魏斌 徐翀

于杰 黄晓华

(74)专利代理机构 北京工信联合知识产权代理
有限公司 11266

代理人 姜丽楼

(51)Int.Cl.

H02J 50/20(2016.01)

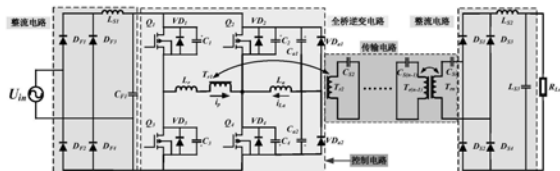
权利要求书1页 说明书6页 附图1页

(54)发明名称

一种基于超材料的无线输电系统

(57)摘要

本发明公开了一种基于超材料的无线输电系统,所述系统包括:发射单元、中继单元和接收单元;所述发射单元包括电源电路、发射整流电路、滤波电路、逆变电路、发射补偿电路、发射控制电路和发射圈;所述中继单元包括中继线圈和中继补偿电路;所述接收单元包括接收线圈、接收整流电路、接收补偿电路、接收控制电路和电网负载。本发明技术方案,实现了以无线的方式向远方输电。



1. 一种基于超材料的无线输电系统,所述系统包括:发射单元、中继单元和接收单元;所述发射单元包括电源电路、发射整流电路、滤波电路、逆变电路、发射补偿电路、发射控制电路和发射圈;所述中继单元包括中继线圈和中继补偿电路;所述接收单元包括接收线圈、接收整流电路、接收补偿电路、接收控制电路和电网负载;

所述发射单元的电源电路将电网中的交流电输入所述发射整流电路,通过所述发射整流电路将所述交流电转化为直流电,所述发射整流电路输出的直流电通过滤波电路输入所述逆变电路;

通过所述逆变电路在所述发射控制电路的控制下通过发射补偿电路将输入的所述直流电转化为高频交流电到发射圈;通过发射圈将高频交流电发送到中继线圈和中继补偿电路;

通过中继线圈和中继补偿电路磁耦合对发射圈进行补偿,使发射圈与接收线圈相互匹配;所述中继线圈为多个并且相邻的中继线圈两两耦合;

中继线圈将高频交流电发送至接收线圈和接收补偿电路;

所述接收线圈和接收补偿电路将接收的中继线圈发送的高频交流电输入至接收整流电路,通过接收整流电路将整流后的直流电发送到电网负载;

所述接收控制电路用于控制接收整流电路的开关管。

2. 根据权利要求1所述的系统,所述逆变电路包括辅助网络,所述辅助网络包括电感 L_a 、第一电容 C_{a1} 、第二电容 C_{a2} 、第一辅助二极管 VD_{a1} 、第二辅助二极管 VD_{a2} ;所述第一辅助二极管 VD_{a1} 和所述第二辅助二极管 VD_{a2} 串联;所述第一电容 C_{a1} 连接于第一辅助二极管 VD_{a1} 两端;所述第二电容 C_{a2} 连接于第二辅助二极管 VD_{a2} 两端;所述第一电容 C_{a1} 和所述第二电容 C_{a2} 串联;所述电感 L_a 第一端与所述第一电容 C_{a1} 和所述第二电容 C_{a2} 之间的连接线路相连接,所述电感 L_a 第二端与所述第一辅助二极管 VD_{a1} 和所述第二辅助二极管 VD_{a2} 之间的连接线路相连接;所述电感 L_a 第三端与所述逆变电路的B点相连接。

3. 根据权利要求1所述的系统,当所述逆变电路的第四开关管 Q_4 关断时,所述逆变电路的一次电流 i_P 和辅助网络电感电流 i_{La} 同时流入B点;当所述逆变电路的第二开关管 Q_2 关断时,所述逆变电路的一次电流 i_P 和辅助网络电感电流 i_{La} 同时流出B点;所述逆变电路的一次电流 i_P 和辅助网络电感电流 i_{La} 经过叠加后同时给所述逆变电路的滞后桥臂的第二开关管电容 C_2 和第四开关管电容 C_4 充放电;所述辅助网络实现第一开关管 Q_1 、第二开关管 Q_2 、第三开关管 Q_3 和第四开关管 Q_4 的零电压钳位。

4. 根据权利要求1所述的系统,所述逆变电路包括:第一开关管 Q_1 、第二开关管 Q_2 、第三开关管 Q_3 、第四开关管 Q_4 ;第一二级管 VD_1 、第二二级管 VD_2 、第三二级管 VD_3 、第四二级管 VD_4

所述第一开关管 Q_1 两端反并联所述第一二级管 VD_1 ;

所述第二开关管 Q_2 两端反并联所述第二二级管 VD_2 ;

所述第三开关管 Q_3 两端反并联所述第三二级管 VD_3 ;

所述第四开关管 Q_4 两端反并联所述第四二级管 VD_4 。

5. 根据权利要求1所述的系统,所述辅助网络的第二开关管 Q_2 或第四开关管 Q_4 开关时,所述辅助网络电感电流 i_{La} 为最大值。

6. 根据权利要求1所述的系统,所述逆变电路为平行布局布线。

7. 根据权利要求1所述的系统,所述发射整流电路为单相桥式不控整流电路。

一种基于超材料的无线输电系统

技术领域

[0001] 本发明涉及无线电能传输技术领域,更具体地,涉及一种基于超材料的无线输电系统。

背景技术

[0002] 近年来,随着手机、电动汽车等电子产品使用的增加,无线充电技术受到了越来越多的关注。相比传统的有线充电方式,无线充电具有便携、安全等独特优势。19世纪末,Tesla提出了无线电能传输的猜想。之后的一个多世纪,无线输电的研究从未停止过,直到2007年,美国麻省理工学院的Marin等人提出了磁耦合谐振式无线输电,在距离两米的位置上点亮了一个60瓦灯泡。这使得无线电能传输的研究重新获得了广泛的关注。

[0003] 目前,构建泛在电力物联网已经成为了电力研究的一大热门方向,电力系统越来越向智能化,绿色化方向发展。当前常见的输电的方式是架空线输电,这种输电方式需要在输电的两地之间架设长距离的输电线与若干的输电杆塔,这需要耗费大量的资金。而且,在某些环境比较恶劣的地区,例如青藏高原地区以及远离大陆的海岛上,无论是使用架空线还是电缆都很容易出现导线损坏的情况。因此,不需要导线进行电力传输的无线电能传输技术,成为解决这些地区电力传输的最好途径。但是,目前所出现的无线电能传输技术所实现的传输距离较小,一般在几十厘米,这远远不能满足无线输电的要求,

[0004] 因此,为了进一步提升传输距离与传输效率,需要提出一种无线输电系统。

发明内容

[0005] 本发明技术方案提供一种基于超材料的无线输电系统,以解决如何提升无线输电的传输效率。

[0006] 为了解决上述问题,本发明提供了一种基于超材料的无线输电系统,所述系统包括:发射单元、中继单元和接收单元;所述发射单元包括电源电路、发射整流电路、滤波电路、逆变电路、发射补偿电路、发射控制电路和发射圈;所述中继单元包括中继线圈和中继补偿电路;所述接收单元包括接收线圈、接收整流电路、接收补偿电路、接收控制电路和电网负载;

[0007] 所述发射单元的电源电路将电网中的交流电输入所述发射整流电路,通过所述发射整流电路将所述交流电转化为直流电,所述发射整流电路输出的直流电通过滤波电路输入所述逆变电路;

[0008] 通过所述逆变电路在所述发射控制电路的控制下通过发射补偿电路将输入的所述直流电转化为高频交流电到发射圈;通过发射圈将高频交流电发送到中继线圈和中继补偿电路;

[0009] 通过中继线圈和中继补偿电路磁耦合对发射圈进行补偿,使发射圈与接收线圈相互匹配;所述中继线圈为多个并且相邻的中继线圈两两耦合;

[0010] 中继线圈将高频交流电发送至接收线圈和接收补偿电路;

[0011] 所述接收线圈和接收补偿电路将接收的中继线圈发送的高频交流电输入至接收整流电路,通过接收整流电路将整流后的直流电发送到电网负载;

[0012] 所述接收控制电路用于控制接收整流电路的开关管。

[0013] 优选地,所述逆变电路包括辅助网络,所述辅助网络包括电感 L_a 、第一电容 C_{a1} 、第二电容 C_{a2} 、第一辅助二极管 VD_{a1} 、第二辅助二极管 VD_{a2} ;所述第一辅助二极管 VD_{a1} 和所述第二辅助二极管 VD_{a2} 串联;所述第一电容 C_{a1} 连接于第一辅助二极管 VD_{a1} 两端;所述第二电容 C_{a2} 连接于第二辅助二极管 VD_{a2} 两端;所述第一电容 C_{a1} 和所述第二电容 C_{a2} 串联;所述电感 L_a 第一端与所述第一电容 C_{a1} 和所述第二电容 C_{a2} 之间的连接线路相连接,所述电感 L_a 第二端与所述第一辅助二极管 VD_{a1} 和所述第二辅助二极管 VD_{a2} 之间的连接线路相连接;所述电感 L_a 第三端与所述逆变电路的B点相连接。

[0014] 优选地,当所述逆变电路的第四开关管 Q_4 关断时,所述逆变电路的一次电流 i_P 和辅助网络电感电流 i_{L_a} 同时流入B点;当所述逆变电路的第二开关管 Q_2 关断时,所述逆变电路的一次电流 i_P 和辅助网络电感电流 i_{L_a} 同时流出B点;所述逆变电路的一次电流 i_P 和辅助网络电感电流 i_{L_a} 经过叠加后同时给所述逆变电路的滞后桥臂的第二开关管电容 C_2 和第四开关管电容 C_4 充放电;所述辅助网络实现第一开关管 Q_1 、第二开关管 Q_2 、第三开关管 Q_3 和第四开关管 Q_4 的零电压钳位。

[0015] 优选地,所述逆变电路包括:第一开关管 Q_1 、第二开关管 Q_2 、第三开关管 Q_3 、第四开关管 Q_4 ;第一二级管 VD_1 、第二二级管 VD_2 、第三二级管 VD_3 、第四二级管 VD_4

[0016] 所述第一开关管 Q_1 两端反并联所述第一二级管 VD_1 ;

[0017] 所述第二开关管 Q_2 两端反并联所述第二二级管 VD_2 ;

[0018] 所述第三开关管 Q_3 两端反并联所述第三二级管 VD_3 ;

[0019] 所述第四开关管 Q_4 两端反并联所述第四二级管 VD_4 。

[0020] 优选地,所述辅助网络的第二开关管 Q_2 或第四开关管 Q_4 开关时,所述辅助网络电感电流 i_{L_a} 为最大值。

[0021] 优选地,所述逆变电路为平行布局布线。

[0022] 优选地,所述发射整流电路为单相桥式不控整流电路。

[0023] 本发明技术方案改善了现有有线输电系统的不足,实现了在恶劣条件下的远距离输电,提出了基于超材料的无线输电系统,能够实现以无线的方式向远方输电。

附图说明

[0024] 通过参考下面的附图,可以更为完整地理解本发明的示例性实施方式:

[0025] 图1为根据本发明优选实施方式的无线输电系统电路拓扑图;以及

[0026] 图2为根据本发明优选实施方式的自适应型逆变电路拓扑图。

具体实施方式

[0027] 现在参考附图介绍本发明的示例性实施方式,然而,本发明可以用许多不同的形式来实施,并且不局限于此处描述的实施例,提供这些实施例是为了详尽地且完全地公开本发明,并且向所属技术领域的技术人员充分传达本发明的范围。对于表示在附图中的示例性实施方式中的术语并不是对本发明的限定。在附图中,相同的单元/元件使用相同的附

图标记。

[0028] 除非另有说明,此处使用的术语(包括科技术语)对所属技术领域的技术人员具有通常的理解含义。另外,可以理解的是,以通常使用的词典限定的术语,应当被理解为与其相关领域的语境具有一致的含义,而不应该被理解为理想化的或过于正式的意义。

[0029] 图1为根据本发明优选实施方式的无线输电系统电路拓扑图。为了改善现有有线输电系统的不足,实现在恶劣条件下的远距离输电,本发明提出了基于超材料的无线输电系统,能够实现以无线的方式向远方输电。为了实现预期的目标,本发明实施方式主要包括了三个部分,分别是发射单元、中继单元和接收单元。其中,发射单元包括电源电路、发射整流电路、滤波电路、逆变电路、发射补偿电路、发射控制电路和发射线圈;中继单元包括中继线圈和中继补偿电路;接收单元包括接收线圈、接收整流电路、接收控制电路和电网负载。无线输电系统的电路拓扑如图1所示。

[0030] 本发明提供一种用于无线输电的系统,系统包括:发射单元、中继单元和接收单元;发射单元包括电源电路、发射整流电路、滤波电路、逆变电路、发射补偿电路、发射控制电路和发射圈;中继单元包括中继线圈和中继补偿电路;接收单元包括接收线圈、接收整流电路、接收补偿电路、接收控制电路和电网负载。

[0031] 发射单元的电源电路将电网中的交流电输入发射整流电路,通过发射整流电路将交流电转化为直流电,发射整流电路输出的直流电通过滤波电路输入逆变电路。

[0032] 通过逆变电路在发射控制电路的控制下通过发射补偿电路将输入的直流电转化为高频交流电到发射圈;通过发射圈将高频交流电发送到中继线圈和中继补偿电路。

[0033] 通过中继线圈和中继补偿电路磁耦合对发射圈进行补偿,使发射圈与接收线圈相互匹配;中继线圈为多个并且相邻的中继线圈两两耦合。

[0034] 中继线圈将高频交流电发送至接收线圈和接收补偿电路。

[0035] 接收线圈和接收补偿电路将接收的中继线圈发送的高频交流电输入至接收整流电路,通过接收整流电路将整流后的直流电发送到电网负载;

[0036] 接收控制电路用于控制接收整流电路的开关管。

[0037] 优选地,逆变电路包括辅助网络,辅助网络包括电感 L_a 、第一电容 C_{a1} 、第二电容 C_{a2} 、第一辅助二极管 VD_{a1} 、第二辅助二极管 VD_{a2} ;第一辅助二极管 VD_{a1} 和第二辅助二极管 VD_{a2} 串联;第一电容 C_{a1} 连接于第一辅助二极管 VD_{a1} 两端;第二电容 C_{a2} 连接于第二辅助二极管 VD_{a2} 两端;第一电容 C_{a1} 和第二电容 C_{a2} 串联;电感 L_a 第一端与第一电容 C_{a1} 和第二电容 C_{a2} 之间的连接线路相连接,电感 L_a 第二端与第一辅助二极管 VD_{a1} 和第二辅助二极管 VD_{a2} 之间的连接线路相连接;电感 L_a 第三端与逆变电路的B点相连接。

[0038] 优选地,当逆变电路的第四开关管 Q_4 关断时,逆变电路的一次电流 i_P 和辅助网络电感电流 i_{La} 同时流入B点;当逆变电路的第二开关管 Q_2 关断时,逆变电路的一次电流 i_P 和辅助网络电感电流 i_{La} 同时流出B点;逆变电路的一次电流 i_P 和辅助网络电感电流 i_{La} 经过叠加后同时给逆变电路的滞后桥臂的第二开关管电容 C_2 和第四开关管电容 C_4 充放电;辅助网络实现第一开关管 Q_1 、第二开关管 Q_2 、第三开关管 Q_3 和第四开关管 Q_4 的零电压钳位。

[0039] 优选地,逆变电路包括:第一开关管 Q_1 、第二开关管 Q_2 、第三开关管 Q_3 、第四开关管 Q_4 ;第一二级管 VD_1 、第二二级管 VD_2 、第三二级管 VD_3 、第四二级管 VD_4

[0040] 第一开关管 Q_1 两端反并联第一二级管 VD_1 ;

- [0041] 第二开关管 Q_2 两端反并联第二二级管 VD_2 ;
- [0042] 第三开关管 Q_3 两端反并联第三二级管 VD_3 ;
- [0043] 第四开关管 Q_4 两端反并联第四二级管 VD_4 。
- [0044] 优选地,辅助网络的第二开关管 Q_2 或第四开关管 Q_4 开关时,辅助网络电感电流 i_{La} 为最大值。
- [0045] 优选地,逆变电路为平行布局布线。
- [0046] 优选地,发射整流电路为单相桥式不控整流电路。
- [0047] 本发明中,原边的发射整流电路是单相桥式不控整流电路,由四个电力二极管 D_{F1} 、 D_{F2} 、 D_{F3} 、 D_{F4} 组成,形成整流桥。电网中的交流电源接入到整流电路中,能够将交流电转化为直流电,经LC滤波电路送入逆变电路。
- [0048] 逆变电路由四个开关管IGBT, Q_1 、 Q_2 、 Q_3 、 Q_4 以及在其两端反并联的二极管 VD_1 、 VD_2 、 VD_3 、 VD_4 组成,直流电流入逆变电路后转变为交流电,流入下一级。
- [0049] 发射补偿电路采用LLC拓扑, L_r 、 T_{r1} 、 L_a 、 C_{a1} 形成串联谐振, L_r 、 T_{r1} 、 L_a 、 C_{a2} 也形成串联谐振。
- [0050] 中继补偿电路采用S型补偿拓扑, $C_{S(k)}$ 、 $F_{S(k)}$, $k \in [0, n]$ 串联谐振,发射端线圈与中继线圈1耦合,中继线圈1同时与中继线圈2耦合,中继线圈2同时与中继线圈3耦合……以此类推。
- [0051] 最后第 n 个中继线圈与接收线圈耦合,同时,接收端同样存在S型拓扑的接收补偿电路,接收部分由接收补偿电路和接收整流电路组成,接收整流电路由 D_{S1} 、 D_{S2} 、 D_{S3} 、 D_{S4} 四个电力二极管组成,与发射单元类似,也是单相不控桥式整流电路。接收整流电路之后经过滤波电路,连接至负载。
- [0052] 整个系统需要保持耦合状态,才能实现高效率的无线输电,以发射补偿电路为例, L_r 、 T_{r1} 、 L_a 、 C_{a1} 处于串联谐振状态, L_r 、 T_{r1} 、 L_a 、 C_{a2} 处于串联谐振状态,需要严格控制L、C的参数。
- [0053] 考虑到电力系统中常常会出现重载、轻载、空载等不同状况,因此,无线输电系统的逆变器必须满足宽负载范围内的零电压开关(ZVS)的要求。一般来说,无线输电系统中采用的是移相全桥逆变器,而传统的移相全桥逆变器存在滞后臂难以实现ZVS,无法满足宽负载工作范围的要求。因此对逆变电路进行进一步的修改,发明一种适合于无线输电的自适应型逆变电路,能够满足宽输出的要求。
- [0054] 现有的移相全桥逆变器中,开关管的开通和关断靠并联在开关管上的电容充放电实现。要实现零电压开通,必须满足开关管在开通之前将电容中的电荷释放至零。本发明在现有的移相桥式逆变电路中增加了辅助网络。利用辅助网络的储能与释放提高滞后臂开关时的电流大小,加速滞后臂并联电容充放电过程,实现开关管零电压钳位,并进而实现ZVS,提高滞后臂软开关能力。
- [0055] 自适应型移相全桥逆变器主电路如该拓扑相比传统移相逆变器,增加了由电感 L_a 、电容 C_{a1} 和 C_{a2} 、二极管 VD_{a1} 和 VD_{a2} 组成的辅助网络。当 Q_4 关断时,一次电流 i_P 和辅助网络电感电流 i_{La} 同时流入B点;而当 Q_2 关断时, i_P 和 i_{La} 同时流出B点,因此在开关管 Q_2 和 Q_4 开通及关断时,一次电流和辅助网络电感电流同时流出或流入节点B,两个电流是相互叠加的,这两个电流同时给滞后桥臂开关管的结电容 C_2 、 C_4 充放电,使得变换器即使工作在轻载情况下,

在开关管开通/关断信号到来前抽出/充满该管结电容(或并联电容)的全部电荷,从而实现零电压开通/关断。自适应型逆变电路拓扑如图2所示。

[0056] 从以上的分析中可以得出自适应型逆变器的工作原理是:

[0057] 1) 在滞后臂开关时,辅助电感电流 i_{La} 为最大值,流进或流出节点B,帮助实现滞后臂的零电压开关。

[0058] 2) 辅助网络电容和二极管不参与滞后臂开关管的开关过程,只是辅助网络电感建立辅助电感的最大电流。

[0059] 同时,在实践中还发现高频逆变器会产生不规则的尖峰,影响电能质量。经过分析得出高频逆变器产生尖峰干扰的原因如下:

[0060] 1) 快速的开关可以降低开关损耗,但是在MOSFET漏极上 du/dt 也会越高。由于电路寄生参数的存在,使得逆变器驱动波形会产生较大的尖峰干扰,进而导致在没有正常的门极触发信号时MOSFET发生误导通,从而给系统带来安全隐患。

[0061] 2) 当逆变器导通和关断电流较大时,快速的开关会导致开关管电流产生较大的 di/dt ,在线路杂散参数的作用下,产生较大的尖峰电压,给MOSFET的正常工作造成威胁。

[0062] 3) 当MOSFET不满足ZVS条件而进行开关时,其并联电容的瞬间放电也会产生较高的 di/dt ,产生电压尖峰。

[0063] 为了抑制高 du/dt 和高 di/dt 产生的尖峰干扰,可通过一系列措施消除其对系统的影响。

[0064] 1) 逆变器采用平行布局布线,降低线路杂散参数。MOSFET的漏源极电压尖峰主要是高 di/dt 在杂散电感的作用下产生的,设杂散电感为 L ,则电压尖峰的峰值为 Ldi/dt ,因此,减小杂散电感能有效降低电压尖峰。

[0065] 2) 合理设计驱动电阻。驱动电阻的大小直接影响驱动波形的上升与下降速度,进而影响MOSFET的开关速度。快速地进行MOSFET的开关,能够降低损耗,但也会增加 du/dt 和 di/dt 问题。当系统尖峰较大时,可以适当增加驱动电阻的值,延缓MOSFET的开通,对于降低系统尖峰干扰具有明显效果。但降低开关管速度也将带来开关损耗增加的问题,因此驱动电路参数的设计需要兼顾考虑以上两方面问题。系统在进行驱动电阻设计时,通过在驱动电阻支路串联二极管控制电流方向,改变驱动电路导通和关断电阻,以实现延缓开关管导通、迅速关断的目标。

[0066] 3) 阻抗匹配电路设计,降低开关关断电流。通过对逆变器输出端进行阻抗匹配电路的设计,能够影响逆变器在系统宽输出范围内的阻抗,因此可以通过改进阻抗匹配电路参数,提高逆变器等效负载值,降低逆变器输出电流的大小。

[0067] 本发明提供一种基于电磁超材料的无线输电系统、自适应型移相桥式逆变电路,具体实施采用磁耦合的方式,在发射端和接收端之间设置多个中继线圈,实现从发电侧向用电侧的供电。同时为了提升无线输电系统在不同负载情况下的传输质量,还涉及了一种新型的逆变电路,通过增加辅助网络,提升逆变的性能。为了进一步提升逆变后的电能质量,还提出了三种抑制电压、电流尖峰的方法。

[0068] 已经通过参考少量实施方式描述了本发明。然而,本领域技术人员所公知的,正如附带的专利权利要求所限定的,除了本发明以上公开的其他的实施例等同地落在本发明的范围内。

[0069] 通常地,在权利要求中使用的所有术语都根据他们在技术领域的通常含义被解释,除非在其中被另外明确地定义。所有的参考“一个/所述/该[装置、组件等]”都被开放地解释为所述装置、组件等中的至少一个实例,除非另外明确地说明。这里公开的任何方法的步骤都没必要以公开的准确的顺序运行,除非明确地说明。

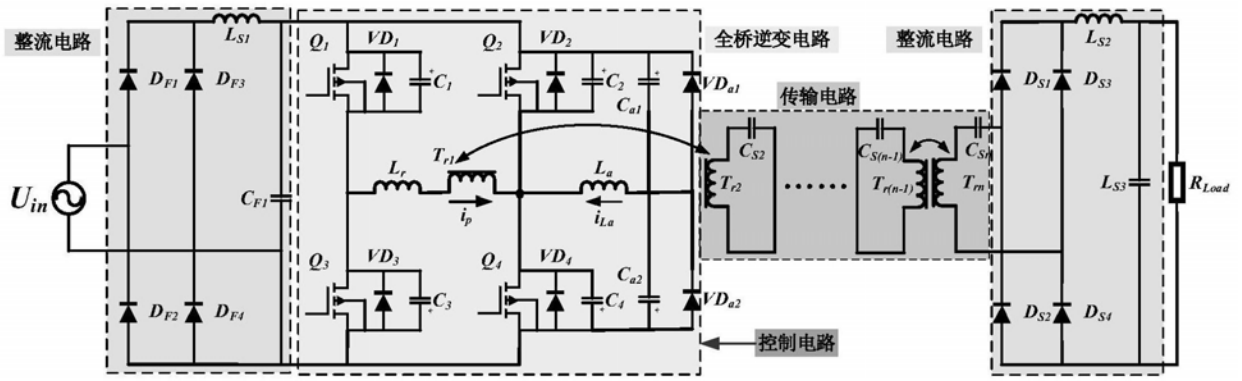


图1

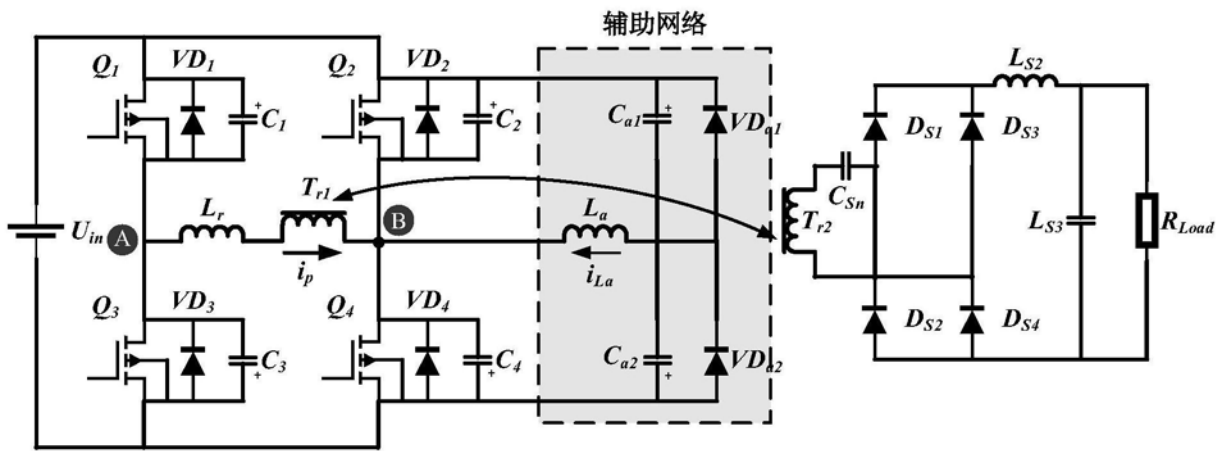


图2