



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102882286 B

(45) 授权公告日 2015. 05. 20

(21) 申请号 201210358473. X

(22) 申请日 2012. 09. 25

(73) 专利权人 重庆大学

地址 400044 重庆市沙坪坝区沙正街 174 号

(72) 发明人 苏玉刚 唐春森 王智慧 戴欣
孙跃

(74) 专利代理机构 重庆市前沿专利事务所(普通合伙) 50211

代理人 郭云

(51) Int. Cl.

H02J 17/00(2006. 01)

H02M 3/28(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 102290873 A, 2011. 12. 21,

WO 2004/038920 A3, 2004. 05. 06, 全文.

Gurhan Alper Kendir et al.. An Optimal

Design Methodology for Inductive Power Link with Class-E Amplifier. 《IEEE TRANCTIONS ON CIRCUITS AND SYSTEMS》. 2005, 第 52 卷(第 5 期), 857-866.

苏玉刚等. 电场耦合无线电能传输新技术. 《新型工业化》. 2011, 第 1 卷(第 5 期), 79-84.

审查员 徐东星

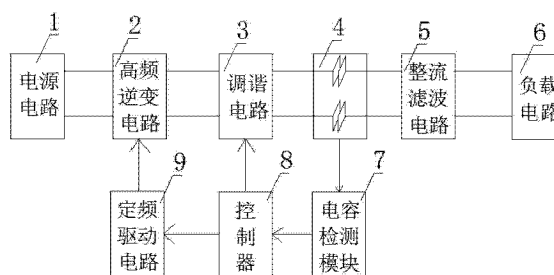
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

一种基于电场耦合的无线电能传输系统

(57) 摘要

本发明公开一种基于电场耦合的无线电能传输系统,包括电源电路、高频逆变电路、调谐电路、电场耦合极板、整流滤波电路以及负载电路,其特征在于:还包括耦合电容检测模块、控制器以及定频驱动电路,调谐电路中设置有电容补偿阵列,控制器通过耦合电容检测模块检测电场耦合极板的参数控制电容补偿阵列的补偿值,控制器还输出定频控制信号,经定频驱动电路后驱动高频逆变电路工作。其显著效果是:基于电场耦合并采用 E 类放大器,提高了系统的传输能力和传输效率,通过设置耦合电容检测模块对系统的电场耦合极板进行实时检测,可以实现电容补偿值的有效控制,从而保证系统维持在软开关状态,提高系统功率传输的稳定性和可靠性。



1. 一种基于电场耦合的无线电能传输系统,包括电源电路 (1)、高频逆变电路 (2)、调谐电路 (3)、电场耦合极板 (4)、整流滤波电路 (5) 以及负载电路 (6),其特征在于:还包括耦合电容检测模块 (7)、控制器 (8) 以及定频驱动电路 (9),所述调谐电路 (3) 中设置有电容补偿阵列,耦合电容检测模块 (7) 用于检测电场耦合极板 (4) 的参数,控制器 (8) 接收耦合电容检测模块 (7) 所检测的参数并控制所述调谐电路 (3) 中电容补偿阵列的补偿值,控制器 (8) 还用于输出定频控制信号,该定频控制信号经定频驱动电路 (9) 后驱动所述高频逆变电路 (2) 工作;

由于电场耦合极板 (4) 容易发生移位,并且在不同电场耦合极板 (4) 距离的应用场合下,通过耦合电容检测模块 (7) 实时检测电场耦合极板 (4) 的参数,一旦发生变化,利用控制器 (8) 计算出耦合电容的变化值,通过控制电容补偿阵列进行补偿,从而调整调谐电路 (3) 中的谐振参数,改善电场耦合极板 (4) 的耦合性能,让基于电场耦合的无线电能传输系统在定频率定占空比的情况下始终维持在稳定的软开关工作状态,提高基于电场耦合的无线电能传输系统的性能;

所述电场耦合极板 (4) 由两对发射板和接收板组成,每对发射板和接收板的板面相互平行且正对,所述耦合电容检测模块 (7) 为红外检测模块,该耦合电容检测模块 (7) 所检测的参数为发射板和接收板之间的距离;

所述高频逆变电路 (2) 为 E 类放大电路,由电容 C1、电感 L1 以及开关管 Q1 组成,其中,电容 C1 的正极端与电感 L1 的一端相连,电感 L1 的另一端接电源电路 (1) 的正极输出端,电容 C1 的负极端接电源电路 (1) 的负极输出端,电容 C1 的两端还作为高频逆变电路 (2) 的输出端并与所述调谐电路 (3) 的输入端连接,所述开关管 Q1 并接在电容 C1 的两端上,开关管 Q1 的控制端作为高频逆变电路 (2) 的控制端与所述定频驱动电路 (9) 的输出端相连;

所述调谐电路 (3) 中设置有电感 L2、电感 L3、以及电容 C2,其中电感 L2 的一端作为调谐电路 (3) 的一个输入端,电感 L2 的另一端连接在电容 C2 的正极端,电容 C2 的正极端还与电感 L3 的一端连接,电感 L3 的另一端作为调谐电路 (3) 的一个输出端,调谐电路 (3) 的另一输入端和另一输出端均为电容 C2 的负极端,所述电容补偿阵列并接在调谐电路 (3) 的两个输出端之间;

所述电容补偿阵列设置在 A、B 两个接线端之间,由电容 C31、电容 C32、电容 C33、电容 C34 以及开关 K1、开关 K2、开关 K3 和开关 K4 组成,其中:

开关 K1 和电容 C31 依次串接在 A、B 两个接线端之间作为第一支路;

开关 K2 和电容 C32 依次串接在 A、B 两个接线端之间作为第二支路;

电容 C33、开关 K4 以及电容 C34 依次串接在 A、B 两个接线端之间作为第三支路;

开关 K3 的一端连接在电容 C33 和开关 K4 的公共端上,开关 K3 的另一端连接在开关 K2 和电容 C32 的公共端上;

开关 K1、开关 K2、开关 K3 以及开关 K4 分别接受控制器 (8) 的控制。

2. 根据权利要求 1 所述的一种基于电场耦合的无线电能传输系统,其特征在于:所述电容 C31、电容 C32、电容 C33、电容 C34 的电容值相同。

一种基于电场耦合的无线电能传输系统

技术领域

[0001] 本发明涉及到无线电能传输技术,具体地说,是一种基于电场耦合的无线电能传输系统。

背景技术

[0002] 随着科技的进步,人们对于电源质量要求越来越高,要求其具有便携,安全,高效,环保等特点,而以摆脱电缆线束缚为初衷的无线电能传输技术使这一愿望在电能的使用上成为可能。所谓无线电能传输技术(Wireless Power Transmission Technique)是指综合利用现代电力电子能量变换技术、电路理论、微电子技术和现代控制等技术,实现电能从电源(电网或电池)通过软介质(如电场、磁场、微波、激光等)以非电气接触模式传递给用电设备,或用电设备通过软介质将能量回馈电源。

[0003] 目前,无线电能传输技术的研究主要集中在以下几种:电磁感应,磁共振,微波,激光等。从目前国内外的研究看来,感应耦合电能传输(ICPT, Inductive Coupled Power Transfer)技术的应用最为广泛。但是在 ICPT 技术中,电磁干扰问题和金属障碍物能量传输阻断问题一直是影响 ICPT 技术更进一步发展的关键问题。于是在能量的无线传输中,人们又开始将目光转向一种新型的无线电能传输技术,即电场耦合电能传输(ECPT, Electrical-field coupled power transfer)技术。它相对于目前广泛应用的 ICPT 技术而言,在能量的传输过程中采用电场耦合的电能传输方式,以铝、铜等金属薄板替代 ICPT 系统中以高频李兹线和磁芯组成的耦合机构,可以显著减小系统体积和重量,提高了耦合机构的柔韧性,降低电磁屏蔽的难度,并能克服金属障碍物对能量的阻断,且不会导致周围导体产生涡流发热。

[0004] 现有技术中,中国专利 200420102336.0 公开了一种使用电场耦合变压器构成的直流变换器,该文献将电场耦合技术应用于直流变换器中,解决了电感耦合技术的部分缺陷。欧洲专利国际申请号:PCT/IB2003/005523,国际公布号为:WO 2004/038920(06.05.2004Gazette 2004/19)公开一种容性耦合的电源,该专利将 E 类放大器利用于电场耦合当中,当负载阻值变化的时候,其检测回路电流用于控制开关管的频率与占空比,到达控制目的。

[0005] 文献:Gurhan Alper Kendir, Wentai Liu, Mohanasankar Sivaprakasam, Mark S. Humayun. An Optimal Design Methodology for Inductive Power Link With Class-E Amplifier[J]. IEEE TRANSACTIONS ON CIRCUITS AND SYSTEMS. VOL. 52, NO. 5, MAY 2005 对于 E 类放大器在磁场耦合方式的工作原理及控制方法也进行了相关论述。

[0006] 而在现有的 ECPT 系统应用中,由于其耦合极板通常是一个分离结构,在工作过程中,不同的耦合状态下传输距离可能发生改变,使得系统结构参数发生变化,从而导致系统功率传输能力和传输效率下降,甚至系统会处于不稳定的工作状态。综合分析现有的专利与文献,结果表明该关键技术问题尚无较好的解决方案。

发明内容

[0007] 为了解决上述问题,本发明提出一种基于电场耦合的无线电能传输系统,考虑了耦合极板位移变化问题并且提高了系统的传输能量和传输效率。

[0008] 为达到上述目的,本发明的所采用的技术方案如下:

[0009] 一种基于电场耦合的无线电能传输系统,包括电源电路、高频逆变电路、调谐电路、电场耦合极板、整流滤波电路以及负载电路,其关键在于:还包括耦合电容检测模块、控制器以及定频驱动电路,所述调谐电路中设置有电容补偿阵列,耦合电容检测模块用于检测电场耦合极板的参数,控制器接收耦合电容检测模块所检测的参数并控制所述调谐电路中电容补偿阵列的补偿值,控制器还用于输出定频控制信号,该定频控制信号经定频驱动电路后驱动所述高频逆变电路工作。

[0010] 电源电路可以是交流市电经过整流后得到的直流电源,也可以是直接接入稳定直流电源。电源电路提供的直流电经过高频逆变电路转换得到高频交流电,高频交流电经过谐振电路进行调谐,最后加载到电场耦合极板上,通过电场耦合极板产生交互电场,在交互电场作用下产生位移电流“流过”极板实现能量传输,通过整流滤波电路进行整流和滤波,最后向负载电路提供稳定的功率输出。

[0011] 在调谐电路中设置有电容补偿阵列,由于电场耦合极板容易发生移位,并且在不同耦合极板距离的应用场合下,通过耦合电容检测模块实时检测电场耦合极板的参数,一旦发生变化,利用控制器可以计算出耦合电容的变化值,通过控制电容补偿阵列进行补偿,从而调整调谐电路中的谐振参数,改善电场耦合极板的耦合性能,让系统在定频率定占空比的情况下始终维持在稳定的软开关工作状态,提高了系统性能。

[0012] 作为进一步描述,所述电场耦合极板由两对发射板和接收板组成,每对发射板和接收板的板面相互平行且正对,所述耦合电容检测模块为红外检测模块,该耦合电容检测模块所检测的参数为发射板和接收板之间的距离。

[0013] 由于电场耦合极板的等效电容与极板的面积和极板之间的距离均有关,相对面积的改变存在很多不确定性,因此利用机械结构对发射板和接收板的运行轨迹进行限制,使其相互平行并正对,极板之间只会存在距离的改变,通过红外技术即可方便的检测发射板和接收板之间的距离变化情况,从而为控制器提供电容补偿的参考量,实现电容补偿阵列的有效控制。

[0014] 再进一步描述,所述高频逆变电路为E类放大电路,主要由电容C1、电感L1以及开关管Q1组成,其中,电容C1的正极端与电感L1的一端相连,电感L1的另一端接电源电路的正极输出端,电容C1的负极端接电源电路的负极输出端,电容C1的两端还作为高频逆变电路的输出端并与所述调谐电路的输入端连接,所述开关管Q1并接在电容C1的两端上,开关管Q1的控制端作为高频逆变电路的控制端组与所述定频驱动电路的输出端相连。

[0015] 所述调谐电路中设置有电感L2、电感L3、以及电容C2,其中电感L2的一端作为调谐电路的一个输入端,电感L2的另一端连接在电容C2的正极端,电容C2的正极端上还与电感L3的一端连接,电感L3的另一端作为调谐电路的一个输出端,调谐电路的另一输入端和另一输出端均为电容C2的负极端,所述电容补偿阵列并接在调谐电路的两个输出端之间。

[0016] 为了提高系统的能量传输效率,高频逆变电路不再采用普通的桥式逆变电路,而

是选择 E 类放大器逆变,同时结合相应的调谐电路进行控制,采用定频定占空比的信号驱动开关管 Q1。

[0017] 根据具体的应用场景,所述电容补偿阵列设置在 A、B 两个接线端之间,主要由电容 C31、电容 C32、电容 C33、电容 C34 以及开关 K1、开关 K2、开关 K3 和开关 K4 组成,其中:

[0018] 开关 K1 和电容 C31 依次串接 A、B 两个接线端之间作为第一支路;

[0019] 开关 K2 和电容 C32 依次串接 A、B 两个接线端之间作为第二支路;

[0020] 电容 C33、开关 K4 以及电容 C34 依次串接 A、B 两个接线端之间作为第三支路;

[0021] 开关 K3 的一端连接在电容 C33 和开关 K4 的公共端上,开关 K3 的另一端连接在开关 K2 和电容 C32 的公共端上;

[0022] 开关 K1、开关 K2、开关 K3 以及开关 K4 分别接受控制器的控制。

[0023] 在参数配置过程中,所述电容 C31、电容 C32、电容 C33、电容 C34 的电容值相同,具体的取值根据补偿电容大小数量级上的最小值进行确定。

[0024] 本发明的显著效果是:采用电场耦合实现能量传输,可以大大减小了感应耦合技术中的电磁干扰问题,采用 E 类放大器进行逆变和固定参数优化和调谐阻抗控制方法,提高了系统的传输能力和传输效率,通过设置耦合电容检测模块对系统的电场耦合极板进行实时检测,一旦电场耦合极板的参数发生变化,利用控制器控制电容补偿阵列对系统的等效电容值进行补偿,通过对电容补偿阵列连接关系的合理设计,可以实现调谐电路的有效控制,从而保证系统维持在稳定状态,提高系统耦合极板距离在一定范围内变化的功率传输稳定性。

附图说明

[0025] 图 1 是本发明的电路原理框图;

[0026] 图 2 是图 1 中高频逆变电路 2 的电路原理图;

[0027] 图 3 是图 1 中调谐电路 3 的电路原理图;

[0028] 图 4 是图 3 中电容补偿阵列的电路原理图;

[0029] 图 5 是本发明的等效电路图。

具体实施方式

[0030] 下面结合附图对本发明的具体实施方式以及工作原理作进一步详细说明。

[0031] 如图 1 所示,一种基于电场耦合的无线电能传输系统,包括电源电路 1、高频逆变电路 2、调谐电路 3、电场耦合极板 4、整流滤波电路 5、负载电路 6、耦合电容检测模块 7、控制器 8 以及定频驱动电路 9,电源电路 1 提供的直流电经过高频逆变电路 2 转换得到高频交流电,高频交流电经过调谐电路 3 进行调谐,最后加载到电场耦合极板 4 上,通过电场耦合极板 4 产生交互电场,在交互电场作用下产生位移电流“流过”极板实现能量传输,通过整流滤波电路 5 进行整流和滤波,最后向负载电路 6 提供稳定的功率输出。

[0032] 如图 2 所示,所述高频逆变电路 2 为 E 类放大电路,主要由电容 C1、电感 L1 以及开关管 Q1 组成,其中,电容 C1 的正极端与电感 L1 的一端相连,电感 L1 的另一端接电源电路 1 的正极输出端,电容 C1 的负极端接电源电路 1 的负极输出端,电容 C1 的两端还作为高频逆变电路 2 的输出端并与所述调谐电路 3 的输入端连接,所述开关管 Q1 并接在电容 C1 的

两端上,开关管 Q1 的控制端作为高频逆变电路 2 的控制端组与所述定频驱动电路 9 的输出端相连。

[0033] 如图 3 所示,所述调谐电路 3 中设置有电感 L2、电感 L3、以及电容 C2,其中电感 L2 的一端作为调谐电路 3 的一个输入端,电感 L2 的另一端连接在电容 C2 的正极端,电容 C2 的正极端上还与电感 L3 的一端连接,电感 L3 的另一端作为调谐电路 3 的一个输出端,调谐电路 3 的另一输入端和另一输出端均为电容 C2 的负极端,所述电容补偿阵列并接在调谐电路 3 的两个输出端之间。

[0034] 通过对整个系统建立模型,在耦合极板电容值与负载确定的时候,可以确定初始时刻开关管 Q1 驱动信号的频率和占空比,电感 L1,电感 L2,电感 L3 的大小以及电容 C1,电容 C2 的大小,让系统达到软开关状态。

[0035] 在调谐电路 3 中设置有电容补偿阵列,所述耦合电容检测模块 7 用于检测电场耦合极板 4 的参数,控制器 8 接收耦合电容检测模块 7 所检测的参数并控制所述调谐电路 3 中电容补偿阵列的补偿值,控制器 8 还用于输出定频控制信号,该定频控制信号经定频驱动电路 9 后驱动所述高频逆变电路 2 工作。

[0036] 通过设置电容补偿阵列,利用耦合电容检测模块 7 检测电场耦合极板 4 的参数,控制器 8 通过接收耦合电容检测模块 7 所检测的参数来控制调谐电路 3 中电容补偿阵列的补偿值,从而保证系统始终维持在谐振状态,保证最大功率传输。

[0037] 在实施过程中,所述电场耦合极板 4 由两对发射板和接收板组成,每对发射板和接收板的板面相互平行且正对,所述耦合电容检测模块 7 为红外检测模块,该耦合电容检测模块 7 所检测的参数为发射板和接收板之间的距离。

[0038] 由于电场耦合极板 4 可以近似等效为一个电容,其补偿电容值

$$\Delta C = \left\{ \frac{X_{C_s}^2}{2\pi f X_{C_s} (R_L^2 + X_{C_s}^2)} - \frac{X_{C_s'}^2}{2\pi f X_{C_s'} (R_L^2 + X_{C_s'}^2)} \right\}, \text{其中:}$$

$$[0039] \quad X_{C_s} = \frac{d}{\pi f \xi S}, X_{C_s'} = \frac{d + \Delta d}{\pi f \xi S}$$

[0040] S 为极板的相对面积, d 为初始时刻两极板间的距离, ξ 为极板间的介电常数,在材质固定,使用场景固定的情形下, ξ 为一常数,如果两极板间存在错位移动,极板之间的相对面积 S 具有很大的不确定性,难以检测,因此可以采用机械结构对极板的移动轨迹进行限定,使其只能发送水平移动,从而只有 d 发生改变,利用红外技术很容易实现距离 d 的变化检测,得出 Δd 的大小,从而控制器 8 根据上式即可实时掌握电场耦合极板 4 的变化情况,从而提供相应的电容值对系统进行补偿。

[0041] 如图 4 所示,所述电容补偿阵列设置在 A、B 两个接线端之间,主要由电容 C31、电容 C32、电容 C33、电容 C34 以及开关 K1、开关 K2、开关 K3 和开关 K4 组成,其中:

[0042] 开关 K1 和电容 C31 依次串接 A、B 两个接线端之间作为第一支路;

[0043] 开关 K2 和电容 C32 依次串接 A、B 两个接线端之间作为第二支路;

[0044] 电容 C33、开关 K4 以及电容 C34 依次串接 A、B 两个接线端之间作为第三支路;

[0045] 开关 K3 的一端连接在电容 C33 和开关 K4 的公共端上,开关 K3 的另一端连接在开

关 K2 和电容 C32 的公共端上；

[0046] 开关 K1、开关 K2、开关 K3 以及开关 K4 分别接受控制器 8 的控制。

[0047] 在参数配置过程中,所述电容 C31、电容 C32、电容 C33、电容 C34 的电容值相同。

[0048] 假设电容补偿阵列中各个电容的电容值为 $2x$, 控制器 8 控制的补偿值有以下情形：

[0049] 当开关 K4、K3 闭合, 其余开关断开, 电容补偿值为 $2/3x$

[0050] 当开关 K4 闭合, 其余开关断开, 电容补偿值为 x ；

[0051] 当开关 K1 闭合, 其余开关断开, 电容补偿值为 $2x$ ；

[0052] 当开关 K4、K3、K1 闭合, K2 断开, 电容补偿值为 $8/3x$

[0053] 当开关 K4、K1 闭合, 其余开关断开, 电容补偿值为 $3x$ ；

[0054] 当开关 K2、K1 闭合, 其余开关断开, 电容补偿值为 $4x$ ；

[0055] 当开关 K4、K2、K1 闭合, K3 断开, 电容补偿值为 $5x$ ；

[0056] 当开关 K4、K3、K2、K1 全部闭合, 电容补偿值为 $6x$ ；

[0057] 因此, 电容补偿阵列的补偿范围为 $2/3x \sim 6x$, 拥有的级数有 8 组, 补偿电容值 x 的大小则可根据电场耦合极板有效电容值的数量级具体确定。

[0058] 如图 5 所示, 得出上述电路的等效模型, 电源电路 1 直接采用直流电源, 电容补偿阵列等效为 A、B 之间的电容 C3, 耦合电极板 (4) 等效为电容 C4 和电容 C5, 整流滤波电路 5 采用桥式整流, 负载电路 6 等效为电阻 R, 在设计过程中, 由于一般制造的耦合电极板 C4 与 C5 选择均在 nF 级别, 相应的电场耦合极板的电抗约在 100Ω 左右, E 类放大器的工作频率通常选择在 MHz, 此时损耗较低, 参数选择时, 电感 L1 作为高频扼流环, 电感 L3 作为谐振电感, 通过参数配置系统传输功率可达 150W 以上。

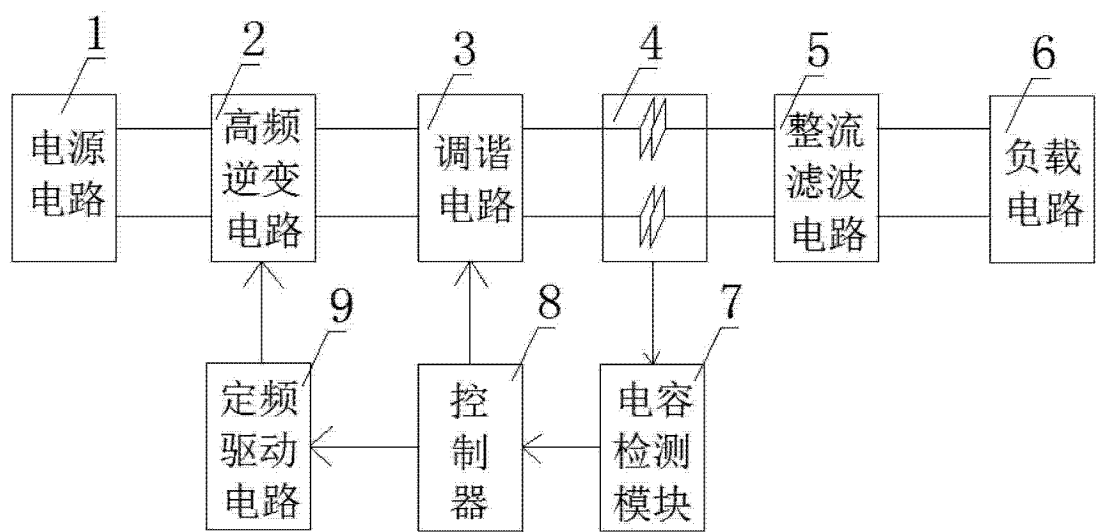


图 1

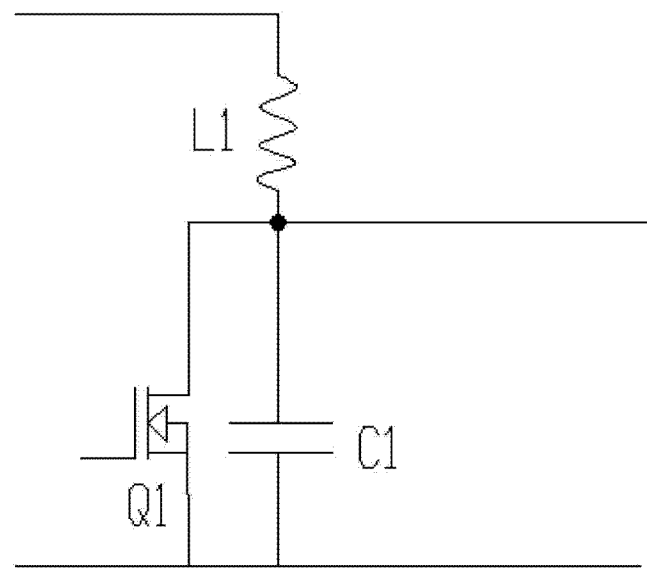


图 2

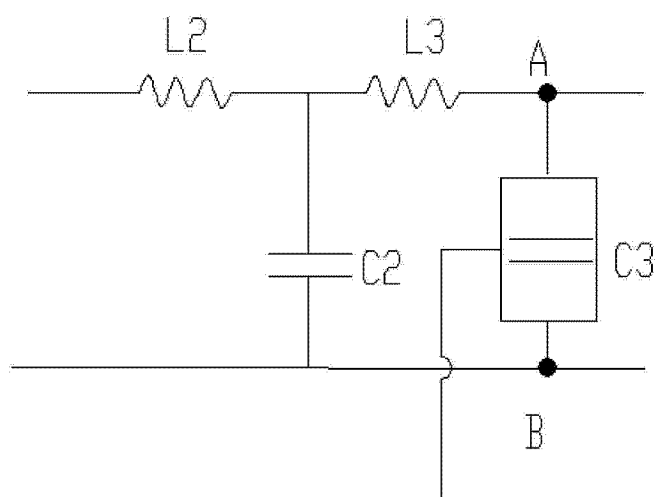


图 3

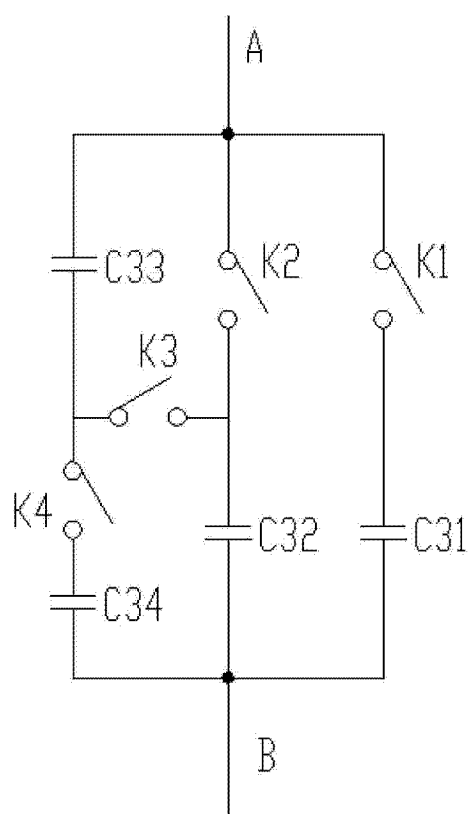


图 4

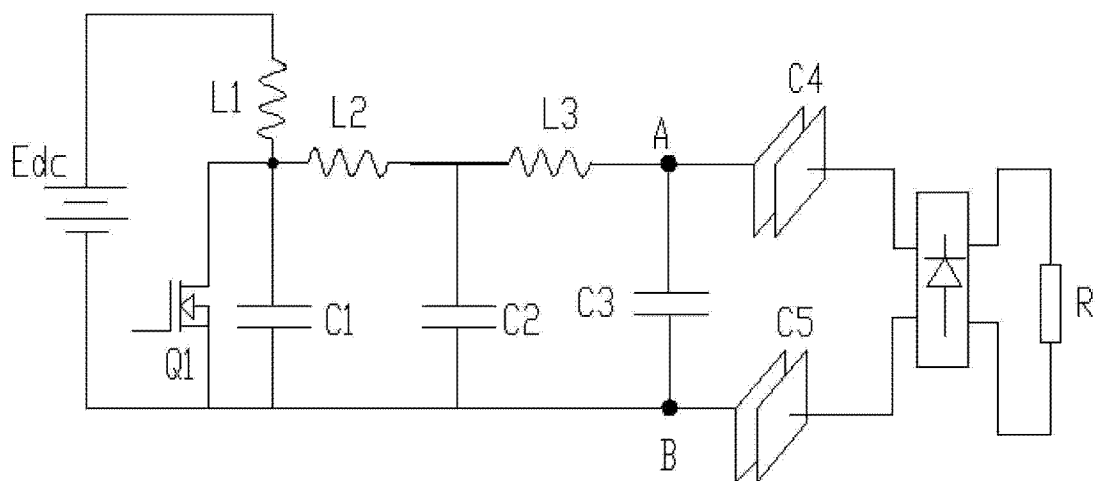


图 5