



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104682580 B

(45)授权公告日 2016. 11. 02

(21)申请号 201510130441.8

H02J 50/12(2016.01)

(22)申请日 2015.03.24

B60L 11/18(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

审查员 陈雪

申请公布号 CN 104682580 A

(43)申请公布日 2015.06.03

(73)专利权人 哈尔滨工业大学

地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区西
大直街92号

(72)发明人 宋凯 朱春波 张剑韬 郭尧

魏国 逯仁贵

(74)专利代理机构 哈尔滨市松花江专利商标事

务所 23109

代理人 张利明

(51)Int. Cl.

H02J 5/00(2016.01)

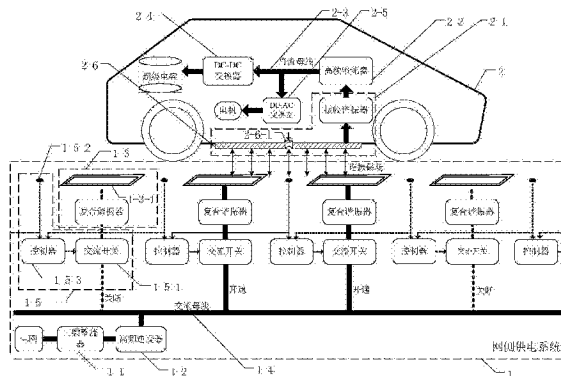
权利要求书3页 说明书9页 附图6页

(54)发明名称

基于多级复合谐振结构并联的电动汽车动态无线供电系统及采用该系统实现的供电方法

(57)摘要

基于多级复合谐振结构并联的电动汽车动态无线供电系统及采用该系统实现的供电方法,属于无线电能传输领域。解决了现有道路式电动汽车动态无线供电技术中长距离供电耦合机构互感不均匀、以及对过路行人产生电磁辐射的问题。该系统包括网侧供电系统和电动车侧受电系统;网侧供电系统用于给电动车侧受电系统无线供电;电网输出电能通过工频整流器送至高频逆变器, n级复合谐振电路并联在高频逆变器输出的交流母线上;交流开关设置在各级复合谐振电路干路上,磁传感器设在相邻两个发射绕组中心处或设在各发射绕组的几何中心处,接收谐振电路上设有接收绕组,接收绕组上设磁道钉,磁道钉安装在接收绕组几何中心位置。主要对电动汽车进行无线电能传输。



1. 基于多级复合谐振结构并联的电动汽车动态无线供电系统,其特征在于,它包括网侧供电系统(1)和电动车侧受电系统(2);

网侧供电系统(1)用于给电动车侧受电系统(2)无线供电;

网侧供电系统(1)包括工频整流器(1-1)、高频逆变器(1-2)、n级复合谐振电路(1-3)和位置检测及控制电路(1-5);

电网输出的电能通过工频整流器(1-1)送至高频逆变器(1-2),n级复合谐振电路(1-3)并联在高频逆变器(1-2)输出的交流母线(1-4)上;n为大于或等于2的正整数;每级复合谐振电路(1-3)的结构完全相同,

位置检测及控制电路(1-5)采用控制器(1-5-3)、磁传感器(1-5-2)、交流开关(1-5-1)实现,交流开关(1-5-1)设置在各级复合谐振电路(1-3)干路上,磁传感器(1-5-2)设置在相邻两个发射绕组(1-3-1)中心处或设置在各发射绕组(1-3-1)的几何中心处,

位置检测及控制电路(1-5)中的控制器(1-5-3)根据磁传感器(1-3-2)的位置检测结果发送控制信号给交流开关(1-5-1),

各级复合谐振电路(1-3)上的发射绕组(1-3-1)与电动车侧受电系统(2)之间用于产生谐振磁场,

电动车侧受电系统(2)包括接收谐振电路(2-1)、高频整流器(2-2)、直流母线(2-3)、DC-DC变换器(2-4)、DC-AC变换器(2-5);

接收谐振电路(2-1)上设有接收绕组(2-1-1),接收绕组(2-1-1)上设置磁道钉(2-6-1),磁道钉(2-6-1)安装在接收绕组(2-1-1)几何中心位置,

接收绕组(2-1-1)用于提取发射绕组(1-3-1)发出的磁能量,将该磁能量转换成以交流电流形式存在的电能量,并通过接收谐振电路(2-1)送至高频整流器(2-2),高频整流器(2-2)将交流电整流成直流,

DC-DC变换器(2-4)和DC-AC变换器(2-5)通过直流母线(2-3)并联在高频整流器(2-2)的输出端,

DC-AC变换器(2-5)用于给电机供电,DC-DC变换器(2-4)用于给超级电容组或电池组供电,

发射绕组(1-3-1)和接收绕组(2-1-1)的尺寸设定为:

$$\begin{cases} w = 2r \\ r < d < 2r \\ 4r \leq l < 4r + d \end{cases} \quad (1) ,$$

式中,w为接收绕组宽度,l为接收绕组长度,r为发射绕组内切圆半径,d为相邻的两个发射绕组的边界距离。

2. 根据权利要求1所述的基于多级复合谐振结构并联的电动汽车动态无线供电系统,其特征在于,发射绕组(1-3-1)为方形,且是由利兹线绕制而成的多匝线圈,且发射绕组(1-3-1)上没有磁芯。

3. 根据权利要求1所述的基于多级复合谐振结构并联的电动汽车动态无线供电系统,其特征在于,所述的磁传感器(1-3-2)为高灵敏度三轴磁传感器。

4. 根据权利要求1所述的基于多级复合谐振结构并联的电动汽车动态无线供电系统,其特征在于,磁道钉(2-6-1)为永磁体。

5. 根据权利要求1所述的基于多级复合谐振结构并联的电动汽车动态无线供电系统, 其特征在于, 所述的复合谐振电路(1-3)包括发射绕组(1-3-1)、补偿电感 L_1 , 第一电阻 R_1 、第二电阻 R_2 、第一补偿电容 C_1 和第二补偿电容 C_2 ;

发射绕组(1-3-1)的一端与第二电阻 R_2 的一端连接, 第二电阻 R_2 的另一端与第二补偿电容 C_2 的一端连接, 第二补偿电容 C_2 的另一端同时与第一电阻 R_1 的一端和第一补偿电容 C_1 的一端连接, 第一电阻 R_1 的另一端与补偿电感 L_1 的一端连接, 补偿电感 L_1 的另一端与交流开关(1-5-1)的一端连接, 交流开关(1-5-1)的另一端连接交流母线(1-4), 交流开关(1-5-1)的第三端用于接收控制信号,

发射绕组(1-3-1)的另一端与第一补偿电容 C_1 的另一端连接后接入交流母线(1-4)上, 所述各级复合谐振电路(1-3)谐振频率 f_k 与高频逆变器(1-2)软开关工作点频率 f_0 相同, 同时满足如下公式:

$$2\pi f_k L_1 - \frac{1}{2\pi f_k C_1} = 0 \quad (2),$$

$$2\pi f_k L_2 - \frac{1}{2\pi f_k C_2} - \frac{1}{2\pi f_k C_1} = 0 \quad (3),$$

其中, L_2 表示发射绕组的电感值。

6. 根据权利要求5所述的基于多级复合谐振结构并联的电动汽车动态无线供电系统, 其特征在于, 补偿电感 L_1 由单根利兹线绕制而成, 且第一电阻 R_1 为补偿电感 L_1 的内阻, 第二电阻 R_2 为发射绕组(1-3-1)的内阻。

7. 根据权利要求1所述的基于多级复合谐振结构并联的电动汽车动态无线供电系统实现的无线供电方法, 其特征在于, 该方法的具体实现过程为:

步骤一: 将网侧供电系统(1)中发射绕组(1-3-1)和磁传感器(1-5-2)安装在地下, 且铺设在地下距离路面0cm至30cm处, 网侧供电系统(1)中其余部件安装在地上, 电动车侧受电系统(2)设置在电动车上;

步骤二: 设定高频逆变器(1-2)软开关工作点频率为 f_0 、各级复合谐振电路(1-3)的谐振频率 f_k , 且满足 $f_k = f_0$, 设定磁传感器(1-3-2)的敏感边界 R ,

$$R \geq \frac{d+r}{2} \quad (4),$$

步骤三: 磁传感器(1-3-2)通过检测磁道钉(2-6-1)在电动车行驶方向上产生的磁场强度变化, 从而实时获得电动车的位置,

位置检测及控制电路(1-5)中的控制器(1-5-3)根据磁传感器(1-3-2)的位置检测结果发送控制信号给交流开关(1-5-1), 交流开关(1-5-1)控制复合谐振电路(1-3)的开通, 且每次只开通接收绕组(2-1-1)正下方的两级复合谐振电路(1-3), 其余复合谐振电路(1-3)处于关闭状态,

在电动车行驶过程中: 接收绕组(2-1-1)随电动车移动, 接收绕组(2-1-1)接收到的能量通过DC-AC变换器(2-5)直接驱动电机;

当电动车进入停靠点时: 接收绕组(2-1-1)接收到的能量通过DC-DC变换器(2-4)为车载的超级电容组或电池组充电, 从而实现对电动车无线电能的传输。

8. 根据权利要求7所述的基于多级复合谐振结构并联的电动汽车动态无线供电系统实

现的无线供电方法,其特征在于,接收谐振电路(2-1)的谐振频率 f_s 等于高频逆变器(1-2)软开关工作点频率为 f_0 。

基于多级复合谐振结构并联的电动汽车动态无线供电系统及 采用该系统实现的供电方法

技术领域

[0001] 本发明属于无线电能传输领域。

背景技术

[0002] 由于节约能源,对环境污染小,电动汽车受到了世界各国的大力推广。工业生产中,电机驱动固定场地移动设备已被大量使用,如AGV无人搬运车、隧道电缆巡检机器人、有轨交通、工厂自动化生产线等。这类设备往往需要内置电池组或外接电缆供电,影响了其使用的连续性和灵活性。因此,充电问题成为阻碍新能源汽车发展的最大瓶颈。

[0003] 传统的插拔充电方式由于受到接口的限制只能同一时间为一台电动车充电。而且充电器输出高电压,会引起一系列安全问题。无线充电技术可以很好的解决上述问题,用户只需将车开到指定充电区域,便可自动进行充电,该技术称为静态无线充电技术。对于可移动执行机构而言,无线充电没有外露的连接线,彻底避免漏电、跑电等安全隐患,可大幅增加其续航能力和移动灵活性。然而,传统的静态无线充电存在着续航里程短、充电时间长、充电频繁、电池组体积重量大、成本高昂等问题。特别是对于电动巴士一类的公交车辆,其连续续航能力格外重要。在这样的背景下,动态无线充电技术应运而生,它以非接触的方式为行驶中的电动车实时地提供能量供给。电动车可少量搭载甚至无需搭载电池组,其续航里程得到延长,同时电能补给更加安全、便捷。

[0004] 现有的电动汽车动态无线供电技术,意在解决电动汽车动态无线供电时存在的电能传输连续性问题。动态无线供电装置主要包括固定的地面设施和安装在电动汽车上的能量接收及转换系统,主要考核指标包括:无线能量传输距离、效率、功率、路面横向侧移距离等。因而,开发大功率、高效率、低电磁辐射、成本适中的动态无线供电系统,成为国外各大研究机构当前的主要研究内容。如新西兰奥克兰大学使用长导轨式线圈来解决车辆运动过程中能量通道切换带来的问题,但该方法存在发射线圈结构与接收端线圈的互感量小,这就导致传输距离小、传输效率低等问题。韩国科学技术院在线圈中加入经过优化设计的磁芯结构,较奥克兰大学的解决方案提升了传输效率和传输距离,但是增加磁芯后存在设备成本高,不适合大规模应用的缺点。美国橡树岭实验室采用的是多分体线圈连续铺设的方案,其地面发射装置采用多单体线圈串接共同构成一个串联谐振腔并使用单一逆变源的拓扑结构,但传输功率和效率在车辆行驶过程中受发射和接收线圈相对位置影响呈现为不均匀,在两发射线圈中间位置功率和效率极低。

[0005] 特别是,现有技术存在电磁辐射的显著缺点,目前的解决办法只能通过采取一些有限的电磁屏蔽措施,如在车底盘安装磁芯或铝板,以削弱车内人体的电磁辐射。但是在公路上铺设大功率长导轨对行驶的电动汽车进行无线供电时,当行人过马路从通电的大功率导轨上经过,将遭受强电磁照射影响,对人体安全构成严重威胁。根据国际非电离辐射防护委员会(The International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, ICNIRP)制定的标准,在100kHz电流密度公众暴露限值为200mA/m²,其值过高可能对人体神

经系统功能造成影响;比吸收率(Specific Absorption Rate, SAR)限值为2W/kg,功率密度限值为10W/m²,二者值过高将导致人体局部组织过热。因此,有必要提供一种改进的方法和装置来解决上述技术问题。

发明内容

[0006] 本发明是为了解决现有道路式电动汽车动态无线供电技术中长距离供电耦合机构互感不均匀、以及对过路行人产生电磁辐射的问题,本发明提供了一种基于多级复合谐振结构并联的电动汽车动态无线供电系统及采用该系统实现的供电方法。

[0007] 基于多级复合谐振结构并联的电动汽车动态无线供电系统,它包括网侧供电系统和电动车侧受电系统;

[0008] 网侧供电系统用于给电动车侧受电系统无线供电;

[0009] 网侧供电系统包括工频整流器、高频逆变器、n级复合谐振电路和位置检测及控制电路;

[0010] 电网输出的电能通过工频整流器送至高频逆变器,n级复合谐振电路并联在高频逆变器输出的交流母线上;n为大于或等于2的正整数;每级复合谐振电路的结构完全相同,

[0011] 位置检测及控制电路采用控制器、磁传感器、交流开关实现,交流开关设置在各级复合谐振电路干路上,磁传感器设置在相邻两个发射绕组中心处或设置在各发射绕组的几何中心处,

[0012] 位置检测及控制电路中的控制器根据磁传感器的位置检测结果发送控制信号给交流开关,

[0013] 各级复合谐振电路上的发射绕组与电动车侧受电系统之间用于产生谐振磁场,

[0014] 电动车侧受电系统包括接收谐振电路、高频整流器、直流母线、DC-DC变换器、DC-AC变换器;

[0015] 接收谐振电路上设有接收绕组,接收绕组上设置磁道钉,磁道钉安装在接收绕组几何中心位置,

[0016] 接收绕组用于提取发射绕组发出的磁能量,将该磁能量转换成以交流电流形式存在的电能量,并通过接收谐振电路送至高频整流器,高频整流器将交流电整流成直流,

[0017] DC-DC变换器和DC-AC变换器通过直流母线并联在高频整流器的输出端,

[0018] DC-AC变换器用于给电机供电,DC-DC变换器用于给超级电容组或电池组供电,

[0019] 发射绕组和接收绕组的尺寸设定为:

$$[0020] \quad \begin{cases} w = 2r \\ r < d < 2r \\ 4r \leq l < 4r + d \end{cases} \quad (1) ,$$

[0021] 式中,w为接收绕组宽度,l为接收绕组长度,r为发射绕组内切圆半径,d为相邻的两个发射绕组的边界距离。

[0022] 发射绕组为方形,且是由利兹线绕制而成的多匝线圈,且发射绕组上没有磁芯。

[0023] 所述的磁传感器为高灵敏度三轴磁传感器。

[0024] 磁道钉为永磁体。

[0025] 所述的复合谐振电路包括发射绕组、补偿电感L₁,第一电阻R₁、第二电阻R₂、第一补

偿电容 C_1 和第二补偿电容 C_2 ;

[0026] 发射绕组的一端与第二电阻 R_2 的一端连接,第二电阻 R_2 的另一端与第二补偿电容 C_2 的一端连接,第二补偿电容 C_2 的另一端同时与第一电阻 R_1 的一端和第一补偿电容 C_1 的一端连接,第一电阻 R_1 的另一端与补偿电感 L_1 的一端连接,补偿电感 L_1 的另一端与交流开关的一端连接,交流开关的另一端连接交流母线,交流开关的第三端用于接收控制信号,

[0027] 发射绕组的另一端与第一补偿电容 C_1 的另一端连接后接入交流母线上,所述各级复合谐振电路谐振频率 f_k 与高频逆变器软开关工作点频率 f_0 相同,同时满足如下公式:

$$[0028] \quad 2\pi f_k L_1 - \frac{1}{2\pi f_k C_1} = 0 \quad (2),$$

$$[0029] \quad 2\pi f_k L_2 - \frac{1}{2\pi f_k C_2} - \frac{1}{2\pi f_k C_1} = 0 \quad (3),$$

[0030] 其中, L_2 表示发射绕组的电感值。

[0031] 补偿电感 L_1 由单根利兹线绕制而成,且第一电阻 R_1 为补偿电感 L_1 的内阻,第二电阻 R_2 为发射绕组的内阻。

[0032] 根据基于多级复合谐振结构并联的电动汽车动态无线供电系统实现的无线供电方法,该方法的具体实现过程为:

[0033] 步骤一:将网侧供电系统中发射绕组和磁传感器安装在地下,且铺设在地下距离路面0cm至30cm处,网侧供电系统中其余部件安装在地上,电动车侧受电系统设置在电动车上;

[0034] 步骤二:设定高频逆变器软开关工作点频率为 f_0 、各级复合谐振电路的谐振频率 f_k ,且满足 $f_k = f_0$,设定磁传感器的敏感边界 R ,

$$[0035] \quad R \geq \frac{d+r}{2} \quad (4),$$

[0036] 步骤三:磁传感器通过检测磁道钉在电动车行驶方向上产生的磁场强度变化,从而实时获得电动车的位置,

[0037] 位置检测及控制电路中的控制器根据磁传感器的位置检测结果发送控制信号给交流开关,交流开关控制复合谐振电路的开通,且每次只开通接收绕组正下方的两级复合谐振电路,其余复合谐振电路处于关闭状态,

[0038] 在电动车行驶过程中:接收绕组随电动车移动,接收绕组接收到的能量通过DC-AC变换器直接驱动车载交流电机;

[0039] 当电动车进入停靠点时:接收绕组接收到的能量通过DC-DC变换器为车载给超级电容组或电池组充电,从而实现对电动车无线电能的传输。

[0040] 接收谐振电路的谐振频率 f_s 等于高频逆变器软开关工作点频率为 f_0 。

[0041] 基于多级复合谐振结构并联的特性,在发射/接收绕组间形成均衡磁场,避免电动汽车行驶中电能传输效率变化的问题,保证供电的稳定性和高效性。

[0042] 1、首先,虽然多级复合谐振结构是现有技术,但将电路结构参数完全相同的多级复合谐振电路通过交流母线并行连接在同一高频大功率逆变器上是新颖的,这是产生均衡磁场的必要条件之一。因为将两组复合谐振结构并联在同一高频逆变器上,在相邻两发射

绕组上会产生频率、幅度、相位完全相同的恒流源,这样相邻两发射绕组叠加后的磁场为均衡场强。

[0043] 其次,保证均衡磁场的第二个必要条件,还与发射和接收绕组的尺寸、以及多组发射绕组之间的间距有关,因此通过公式(1)实现,

[0044] 2、在复合谐振电路干路上安装开关,利用磁传感器检测磁场强度对电动汽车进行快速精确定位,并控制相应复合谐振结构通断。

[0045] 要重点保护在复合谐振电路干路上安装交流开关,因为现有的技术大都采用在发射绕组上直接安装开关,或控制逆变器的通断技术。而本发明开关安装的方式是新颖的,它的作用在于起到阻抗变换和自适应阻抗匹配的作用,这样不仅解决了能量通道切换电流冲击的问题,还可有效地避免了对过路行人的电磁辐射。

[0046] 3、本发明所提出多级复合谐振电路并联在同一高频逆变器上,要本发明保护和重点强调只用一个大功率逆变器。

[0047] 4、因为现有电动汽车动态供电技术大都使用磁芯,而本发明发射绕组上无需使用磁芯,大幅度降低了建设成本,

[0048] 5、电动车侧受电系统上DC-DC变换器和DC-AC变换器通过直流母线并联在高频整流器的输出端,可实现一种对电池/电机双负载的无线供电。而现有技术无法实现对电池和电机双负载的供电。

[0049] 6、多级复合谐振电路中的补偿电感 L_1 、第一补偿电容 C_1 、第二补偿电容 C_2 、以及发射绕组满足如下公式:

$$[0050] \quad 2\pi f_k L_1 - \frac{1}{2\pi f_k C_1} = 0 \quad (2),$$

$$[0051] \quad 2\pi f_k L_2 - \frac{1}{2\pi f_k C_2} - \frac{1}{2\pi f_k C_1} = 0 \quad (3),$$

[0052] 起到谐振的作用,因为在谐振状态下,能量传输的效率最高。

[0053] 7、要保护在接收绕组上安装磁道钉,在发射端安装三轴磁传感器对电动汽车进行快速精确定位的方法。定位的作用,是为了控制交流开关的开启和通断。

[0054] 本发明的显著效果如下:一方面,基于多级复合谐振结构并联的特性,在发射/接收绕组间形成均衡磁场,避免了电动汽车行驶中电能传输效率变化的问题,保证供电的稳定性和高效性,接收端接收功率可达20千瓦,电能传输效率可稳定在80%以上;同时,在复合谐振电路干路上安装开关,利用磁传感器检测磁场强度对电动汽车进行快速精确定位,并控制相应复合谐振结构通断,不仅解决了能量通道切换电流冲击的问题,还有效地避免了对过路行人的电磁辐射,电磁辐射只存在电动车底部,不会对过路行人造成电磁辐射。

[0055] 另一方面,相对于国外其他研究机构技术而言,本技术所提出的单一逆变器多级复合谐振结构并联的网侧供电装置,发射绕组上无需使用磁芯,按每平方米磁芯成本1万元计算,每公里便节约磁芯成本600万元,因此大幅度降低了建设成本,具有良好的经济性。

[0056] 该方法所依托的装置可实现对电池/电机双负载的无线供电,在结构上也并不复杂,便于维护和更新,与充电站和充电桩等地面设施相比,其损坏风险更低,使维护成本大大降低。所以,该技术为新能源电动车提供一种切实可行的供电方案,能够带来非常可观的

效益。

[0057] 本发明提供了一种基于多级复合谐振结构并联的电动汽车动态无线供电方法及其装置。该方法简单易行,无线传能效率高,输出功率稳定,耦合机构产生的磁场均匀,对铺设道路上过路人无电磁辐射,具有实现该方法的装置,成本低廉,系统可靠性较高。

附图说明

[0058] 图1为本发明所述的基于多级复合谐振结构并联的电动汽车动态无线供电系统的原理示意图;

[0059] 图2为本发明所述的发射/接收绕组及磁传感器敏感边界示意图;

[0060] 图3为具体实施方式七中开启的两个发射绕组与接收绕组互感曲线图;

[0061] 图4为电动汽车行驶过程中传输效率与输出功率波形图;

[0062] 图5为具体实施方式五所述的复合谐振电路的原理示意图;

[0063] 图6为开启的第一个发射绕组和开启的第二个发射绕组与接收绕组之间存在互感的原理示意图;

[0064] 图7为发射绕组和磁传感器与公路的位置关系图。

具体实施方式

[0065] 具体实施方式一:参见图1说明本实施方式,本实施方式所述的基于多级复合谐振结构并联的电动汽车动态无线供电系统,它包括网侧供电系统1和电动车侧受电系统2;

[0066] 网侧供电系统1用于给电动车侧受电系统2无线供电;

[0067] 网侧供电系统1包括工频整流器1-1、高频逆变器1-2、n级复合谐振电路1-3和位置检测及控制电路1-5;

[0068] 电网输出的电能通过工频整流器1-1送至高频逆变器1-2,n级复合谐振电路1-3并联在高频逆变器1-2输出的交流母线1-4上;n为大于或等于2的正整数;每级复合谐振电路1-3的结构完全相同,

[0069] 位置检测及控制电路1-5采用控制器1-5-3、磁传感器1-5-2、交流开关1-5-1实现,交流开关1-5-1设置在各级复合谐振电路1-3干路上,磁传感器1-5-2设置在相邻两个发射绕组1-3-1中心处或设置在各发射绕组1-3-1的几何中心处,

[0070] 位置检测及控制电路1-5中的控制器1-5-3根据磁传感器1-3-2的位置检测结果发送控制信号给交流开关1-5-1,

[0071] 各级复合谐振电路1-3上的发射绕组1-3-1与电动车侧受电系统2之间用于产生谐振磁场,

[0072] 电动车侧受电系统2包括接收谐振电路2-1、高频整流器2-2、直流母线2-3、DC-DC变换器2-4、DC-AC变换器2-5;

[0073] 接收谐振电路2-1上设有接收绕组2-1-1,接收绕组2-1-1上设置磁道钉2-6-1,磁道钉2-6-1安装在接收绕组2-1-1几何中心位置,

[0074] 接收绕组2-1-1用于提取发射绕组1-3-1发出的磁能量,将该磁能量转换成以交流电流形式存在的电能,并通过接收谐振电路2-1送至高频整流器2-2,高频整流器2-2将交流电整流成直流,

[0075] DC-DC变换器2-4和DC-AC变换器2-5通过直流母线2-3并联在高频整流器2-2的输出端，

[0076] DC-AC变换器2-5用于给电机供电，DC-DC变换器2-4用于给超级电容组或电池组供电，

[0077] 发射绕组1-3-1和接收绕组2-1-1的尺寸设定为：

$$[0078] \quad \begin{cases} w = 2r \\ r < d < 2r \\ 4r \leq l < 4r + d \end{cases} \quad (1) ,$$

[0079] 式中， w 为接收绕组宽度， l 为接收绕组长度， r 为发射绕组内切圆半径， d 为相邻的两个发射绕组的边界距离。

[0080] 本实施方式中，交流开关1-5-1设置在各级复合谐振电路1-3干路上，通过磁传感器水平轴输出变化，实现对接收绕组的精确定位；

[0081] 接收绕组2-6上设置磁道钉2-6-1，用于改变电动车移动过程中行驶方向的磁场强度变化；

[0082] DC-DC变换器2-4和DC-AC变换器2-5通过直流母线2-3并联在高频整流器2-2的输出端，DC-DC变换器2-4和DC-AC变换器2-5可实现一种对电池/电机双负载的无线供电。

[0083] 工频整流器1-1和高频逆变器1-2均可由现有技术实现，

[0084] 工频整流器1-1可由全波桥式整流电路和滤波电容组成，所述高频逆变器1-2主要由全桥逆变电路组成。

[0085] 多级复合谐振电路1-3由多个单级复合谐振电路1-3组成，每一级的电路参数(电感、电容、电阻)完全相同，设置有发射绕组，补偿电感，第一电阻、第二电阻、第一补偿电容以及第二补偿电容，具体参见图2，其关键在于：多级复合谐振电路1-3通过交流母线1-4并行连接在同一高频逆变器1-2上。所述第一电阻为发射绕组的内阻，第二电阻为补偿电感的内阻，所述第二补偿电容与补偿电感产生谐振，第一补偿电容与发射绕组产生谐振，谐振频率与高频逆变器软开关工作点频率 f_0 相同。

[0086] 复合谐振电路1-3可以由T型、 π 型补偿谐振电路实现。

[0087] 所述位置检测及控制电路1-5还可以设置成由其他压力、激光、红外传感器及控制器组成，同样可以实现对电动车位置的检测。

[0088] 具体实施方式二：参见图1说明本实施方式，本实施方式与具体实施方式一所述的基于多级复合谐振结构并联的电动汽车动态无线供电系统的区别在于，发射绕组1-3-1为方形，且是由利兹线绕制而成的多匝线圈，且发射绕组1-3-1上没有磁芯。

[0089] 具体实施方式三：参见图1说明本实施方式，本实施方式与具体实施方式一所述的基于多级复合谐振结构并联的电动汽车动态无线供电系统的区别在于，所述的磁传感器1-3-2为高灵敏度三轴磁传感器。

[0090] 具体实施方式四：参见图1说明本实施方式，本实施方式与具体实施方式一所述的基于多级复合谐振结构并联的电动汽车动态无线供电系统的区别在于，磁道钉2-6-1为永磁体。

[0091] 本实施方式，发射绕组1-3-1上无需使用磁芯，大幅度降低了建设成本。

[0092] 具体实施方式五：参见图5说明本实施方式，本实施方式与具体实施方式一所述的

基于多级复合谐振结构并联的电动汽车动态无线供电系统的区别在于,所述的复合谐振电路1-3包括发射绕组1-3-1、补偿电感 L_1 ,第一电阻 R_1 、第二电阻 R_2 、第一补偿电容 C_1 和第二补偿电容 C_2 ;

[0093] 发射绕组1-3-1的一端与第二电阻 R_2 的一端连接,第二电阻 R_2 的另一端与第二补偿电容 C_2 的一端连接,第二补偿电容 C_2 的另一端同时与第一电阻 R_1 的一端和第一补偿电容 C_1 的一端连接,第一电阻 R_1 的另一端与补偿电感 L_1 的一端连接,补偿电感 L_1 的另一端与交流开关1-5-1的一端连接,交流开关1-5-1的另一端连接交流母线1-4,交流开关1-5-1的第三端用于接收控制信号,

[0094] 发射绕组1-3-1的另一端与第一补偿电容 C_1 的另一端连接后接入交流母线1-4上,所述各级复合谐振电路1-3谐振频率 f_k 与高频逆变器1-2软开关工作点频率 f_0 相同,同时满足如下公式:

$$[0095] \quad 2\pi f_k L_1 - \frac{1}{2\pi f_k C_1} = 0 \quad (2),$$

$$[0096] \quad 2\pi f_k L_2 - \frac{1}{2\pi f_k C_2} - \frac{1}{2\pi f_k C_1} = 0 \quad (3),$$

[0097] 其中, L_2 表示发射绕组的电感值。

[0098] 具体实施方式六:本实施方式与具体实施方式一所述的基于多级复合谐振结构并联的电动汽车动态无线供电系统的区别在于,补偿电感 L_1 由单根利兹线绕制而成,且第一电阻 R_1 为补偿电感 L_1 的内阻,第二电阻 R_2 为发射绕组1-3-1的内阻。

[0099] 具体实施方式七:本实施方式采用具体实施方式一所述的基于多级复合谐振结构并联的电动汽车动态无线供电系统实现的无线供电方法,该方法的具体实现过程为:

[0100] 步骤一:将网侧供电系统1中发射绕组1-3-1和磁传感器1-5-2安装在地下,且铺设在地下距离路面0cm至30cm处,网侧供电系统1中其余部件安装在地上,电动车侧受电系统2设置在电动车上;

[0101] 步骤二:设定高频逆变器1-2软开关工作点频率为 f_0 、各级复合谐振电路1-3的谐振频率 f_k ,且满足 $f_k = f_0$,设定磁传感器1-3-2的敏感边界 R ,

$$[0102] \quad R \geq \frac{d+r}{2} \quad (4),$$

[0103] 步骤三:磁传感器1-3-2通过检测磁道钉2-6-1在电动车行驶方向上产生的磁场强度变化,从而实时获得电动车的位置,

[0104] 位置检测及控制电路1-5中的控制器1-5-3根据磁传感器1-3-2的位置检测结果发送控制信号给交流开关1-5-1,交流开关1-5-1控制复合谐振电路1-3的开通,且每次只开通接收绕组2-1-1正下方的两级复合谐振电路1-3,其余复合谐振电路1-3处于关闭状态,

[0105] 在电动车行驶过程中:接收绕组2-1-1随电动车移动,接收绕组2-1-1接收到的能量通过DC-AC变换器2-5直接驱动车载交流电机;

[0106] 当电动车进入停靠点时:接收绕组2-1-1接收到的能量通过DC-DC变换器2-4为车载超级电容组或电池组充电,从而实现电动车无线电能的传输。

[0107] 本实施方式中,发射绕组1-3-1和磁传感器1-5-2与公路的位置关系图参见图7。

[0108] 本实施方式,在接收绕组2-6上设置磁道钉2-6-1永磁体,当接收绕组2-6随电动车移动时,可通过供电系统磁传感器水平轴输出变化检测到磁道钉在电动车行驶方向上的磁场强度变化,进而实现对电动车的精确定位

[0109] 在电动车行驶过程中,位置检测及控制电路1-5中的控制器1-5-3根据磁传感器位置检测结果发送控制信号给交流开关1-5-1,每次只开通接收绕组2-6正下方的两级复合谐振电路1-3,其余复合谐振电路1-3处于关闭状态,这样既保证了电能传输的连续性,同时又提高了传输效率。

[0110] 电动车侧受电系统2上设置一个接收谐振器2-1、高频整流器2-2,

[0111] 接收谐振器2-1上的接收绕组2-6用于提取网侧供电系统1的发射绕组1-3-1传递的磁能量,并将其转换成以交流电流形式存在的电能量,高频整流器2-2将交流电整流成直流。

[0112] 将DC-DC变换器2-4和DC-AC变换器2-5并联在高频整流器2-2输出的直流母线2-3上,当电动车行驶的时候,接收到的能量通过DC-DC变换器2-4直接驱动车载交流电机;当电动车进入停靠点时,接收到的能量通过DC-DC变换器2-4为车载超级电容组/电池组充电,因此该技术可实现对电池/电机双负载无线供电。

[0113] 因为在电动车行驶过程中,系统始终保持只有接收绕组2-6正下方的两组发射绕组1-3-1运行,双发射绕组与接收绕组之间形成均衡磁场(互感恒定),有效避免了电磁辐射出现,同时提高了系统动态无线供电的连续性和稳定性。

[0114] 通过磁传感器进行定位,利用交流开关控制相应发射绕组的开断,每次只开通接收绕组2-1-1正下方的两级复合谐振电路1-3,其余复合谐振电路1-3处于关闭状态,通过此方式避免对过路行人的电磁辐射。

[0115] 根据基尔霍夫定律,系统等效交流阻抗输出功率 P_{ac} 和传输效率 η 分别表示为:

$$[0116] \begin{cases} P_{ac} = \frac{(4\pi^2 f_0^2 C_{pk,1})^2 (M_1 + M_2)^2 R_{ac} V_1^2}{(R_s + R_{ac})^2} \\ \eta = \frac{4\pi^2 f_0^2 (M_1 + M_2)^2 R_{ac}}{(R_s + R_{ac})(2R_{pk1,2}R_s + 2R_{pk1,2}R_{ac} + 4\pi^2 f_0^2 (M_1 + M_2)^2)} \end{cases}$$

[0117] 式中, M_1 为开启的第一个发射绕组与接收绕组的互感, M_2 为开启的第二个发射绕组与接收绕组的互感,具体参见图6, V_1 为网侧供电系统高频逆变器输出电压基波有效值, R_{ac} 为电动车等效交流负载, $R_{pk1,2}$ 和 R_s 均为常数,分别表示接收绕组和发射绕组内阻。

[0118] 因为在电动车行驶过程中,系统始终保持只有接收绕组正下方的两个发射绕组运行,有效避免了电磁辐射出现,同时双发射绕组与接收绕组之间形成均衡磁场,提高了系统动态无线供电的连续性和稳定性。以下结合实例1,给出该方法实现动态无线电能传输的过程。

[0119] 实例1:如图2所示,以第k级谐振电路为例, $k=1,2,3,\dots,n-1,n$;

[0120] 当第k级的磁传感器未检测到电动车时,第k级的交流开关关断,此时第k级的发射绕组上无电流,没有向外传递能量,因而没有效率损耗和电磁辐射;

[0121] 当第k级的磁传感器检测到电动车经过时,第k级的控制器和第k-1级的控制器立即同步产生控制信号,同时开启第k级的交流开关和第k-1级的交流开关。此时第k级的发射绕组和第k-1级的发射绕组上均有电流,且大小相等,相位相同,能够同时向接收绕组传递

能量。最后被开通的2个发射绕组与受电系统中的接收绕组产生磁场谐振耦合,完成能量的无线传输。

[0122] 以下结合实例2,说明如何产生均衡磁场以保证动态无线电能传输的稳定性和效率均匀性。

[0123] 实例2:接收绕组为边长20×40cm的矩形线圈,匝数为14,发射绕组为边长20×20cm的矩形线圈,匝数也为14,各发射绕组边界间距为14cm,满足公式(1)条件,接收绕组以速度2cm/ms在发射绕组正上方20cm高度移动。如图3所示,开启的双发射绕组与接收绕组总互感 M_1+M_2 在接收绕组移动过程中始终恒定在8.2 μ H,最终实现了均衡磁场。如图4所示,当电动汽车在满足式(1)结构尺寸条件的多个发射绕组正上方连续移动时,输出功率连续稳定,传输效率始终稳定在85%以上,保证了系统动态无线供电的稳定性和高效性。

[0124] 所述工频整流器1-1由全波桥式整流电路和滤波电容 C_{pf} 组成,所述高频逆变器1-2主要由全桥逆变电路组成。所述网侧供电系统1在道路上安装示意图如图6所示,所述发射绕组1-3-1和磁传感器1-5-2安装在地下,网侧供电系统1中其余部分安装在地上。

[0125] 所述接收谐振电路设置有接收绕组、磁道钉、3号补偿电容 C_s 以及3号电阻 R_s ,其关键在于:所述磁道钉安装在接收绕组几何中心位置,用于改变电动车移动过程中行驶方向的磁场强度变化。所述电阻 R_s 为接收绕组2-1-1的内阻,补偿电容 C_s 与接收绕组2-1-1产生谐振,谐振频率 f_s 与网侧高频逆变器1-2软开关工作点频率 f_0 相同,满足以下关系:

$$[0126] \quad 2\pi f_s L_s - \frac{1}{2\pi f_s C_s} = 0 \quad (6)$$

[0127] 其中, L_s 表示接收绕组的电感,

[0128] 如图1所示,因为在电动车行驶过程中,系统始终保持只有其正下方的两个发射绕组(第 $k-1$ 级发射绕组和第 k 级发射绕组)运行,有效避免了电磁辐射出现,同时双发射绕组之间形成均衡磁场,保证了能量传输的均匀性和稳定性。

[0129] 所述高频整流器2-2由全波桥式整流电路和滤波电容组成,也可由其他桥式或可控整流电路组成,实现交流电转变为直流电。

[0130] 具体实施方式八:本实施方式与具体实施方式七所述的基于多级复合谐振结构并联的电动汽车动态无线供电系统实现的无线供电方法的区别在于,接收谐振电路2-1的谐振频率 f_s 等于高频逆变器1-2软开关工作点频率为 f_0 。

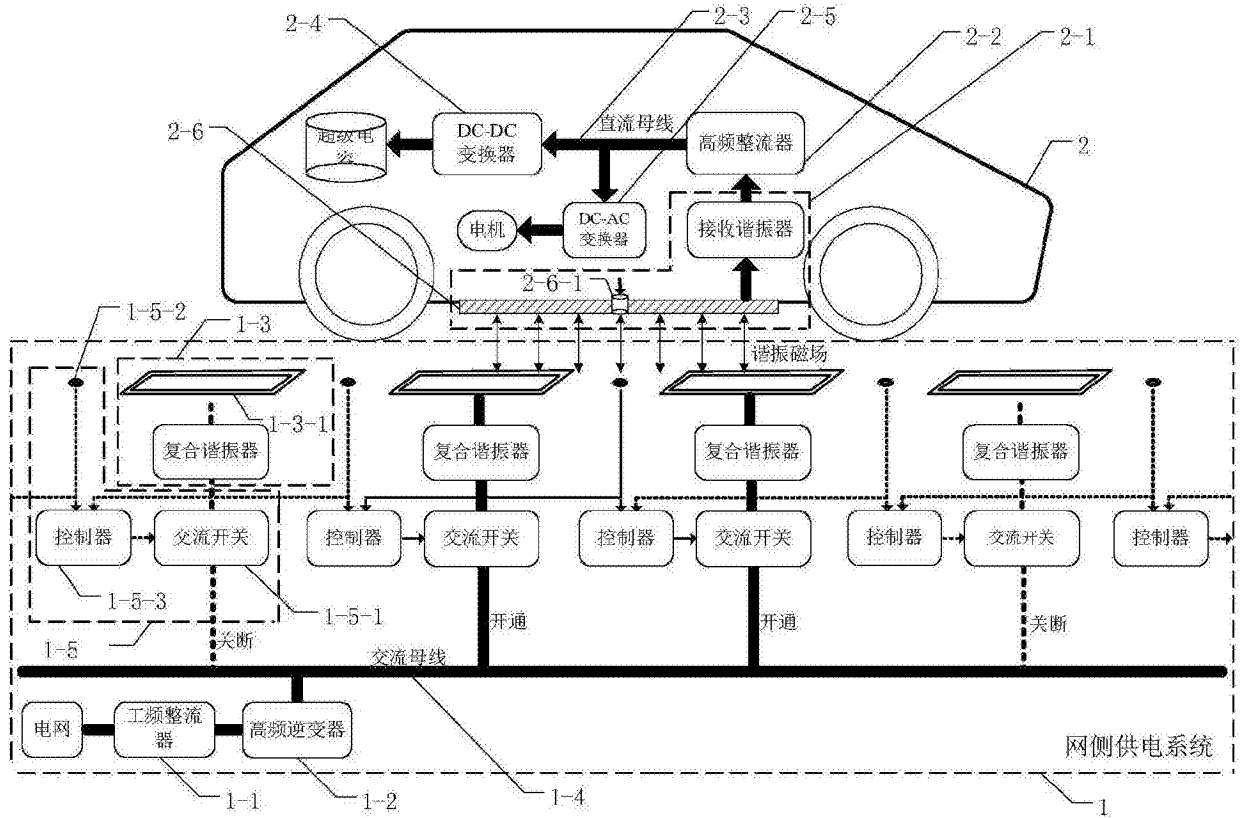


图1

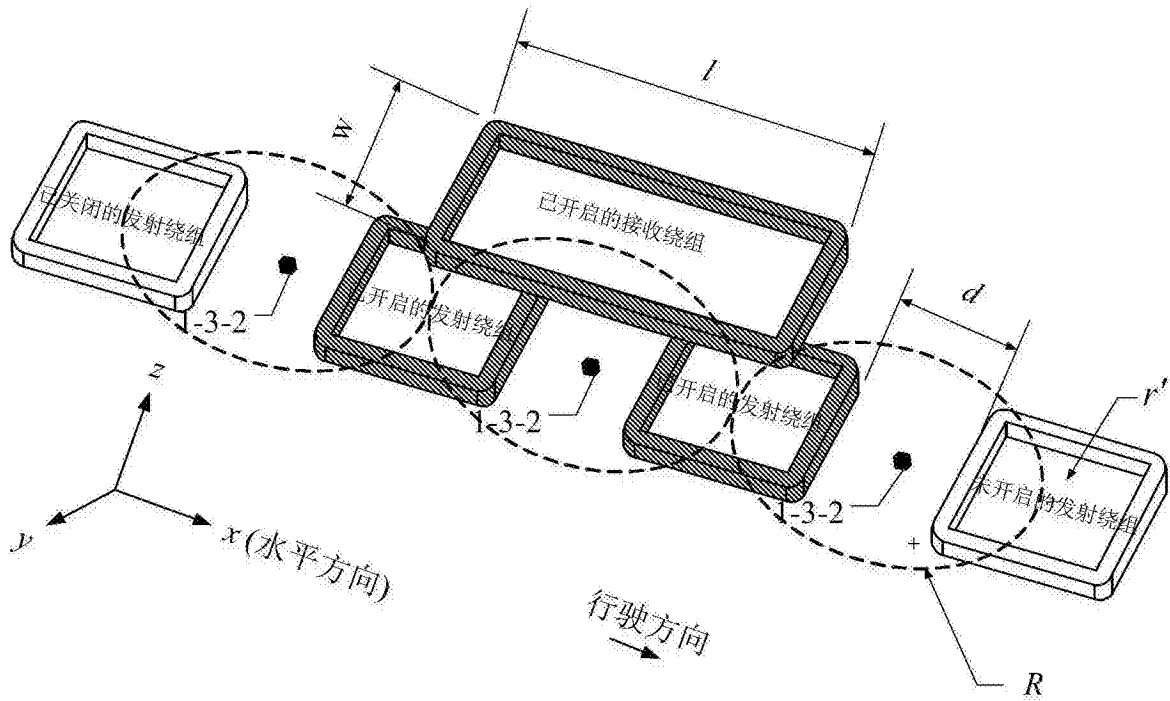


图2

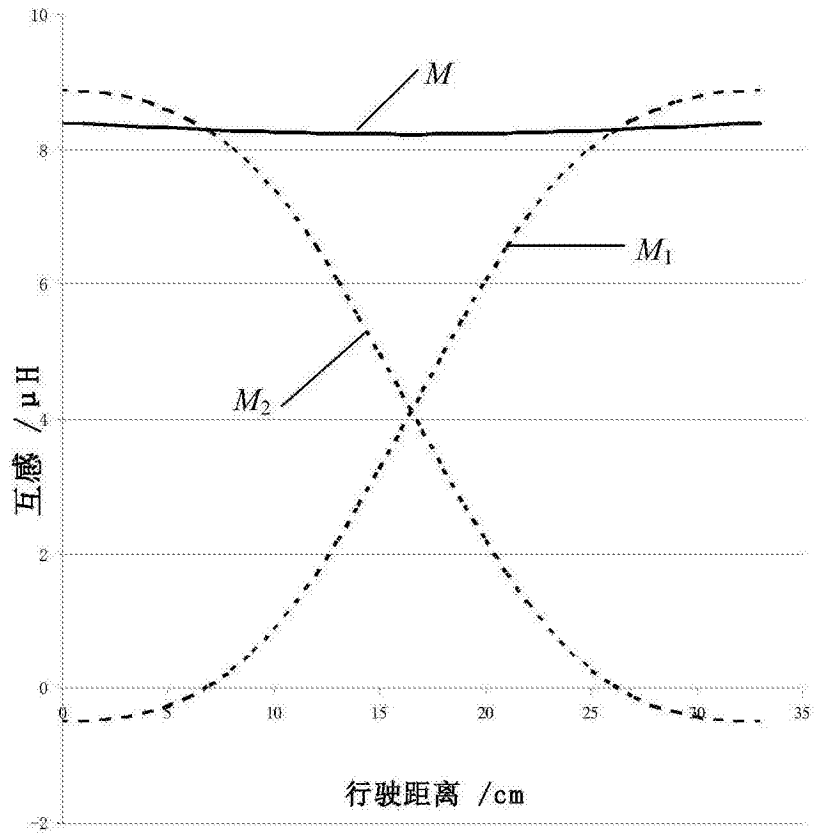


图3

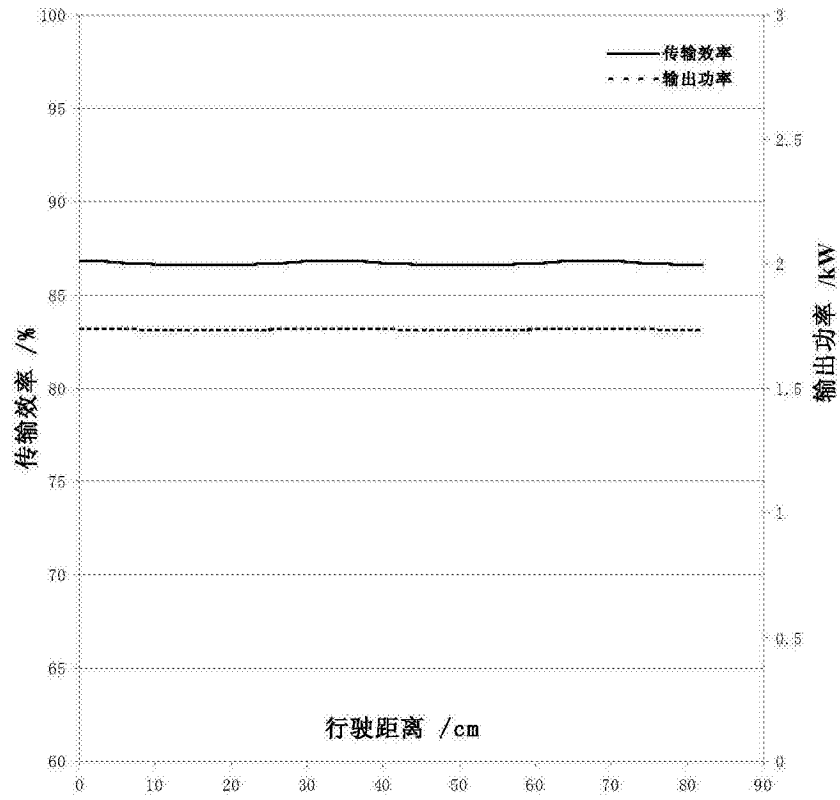


图4

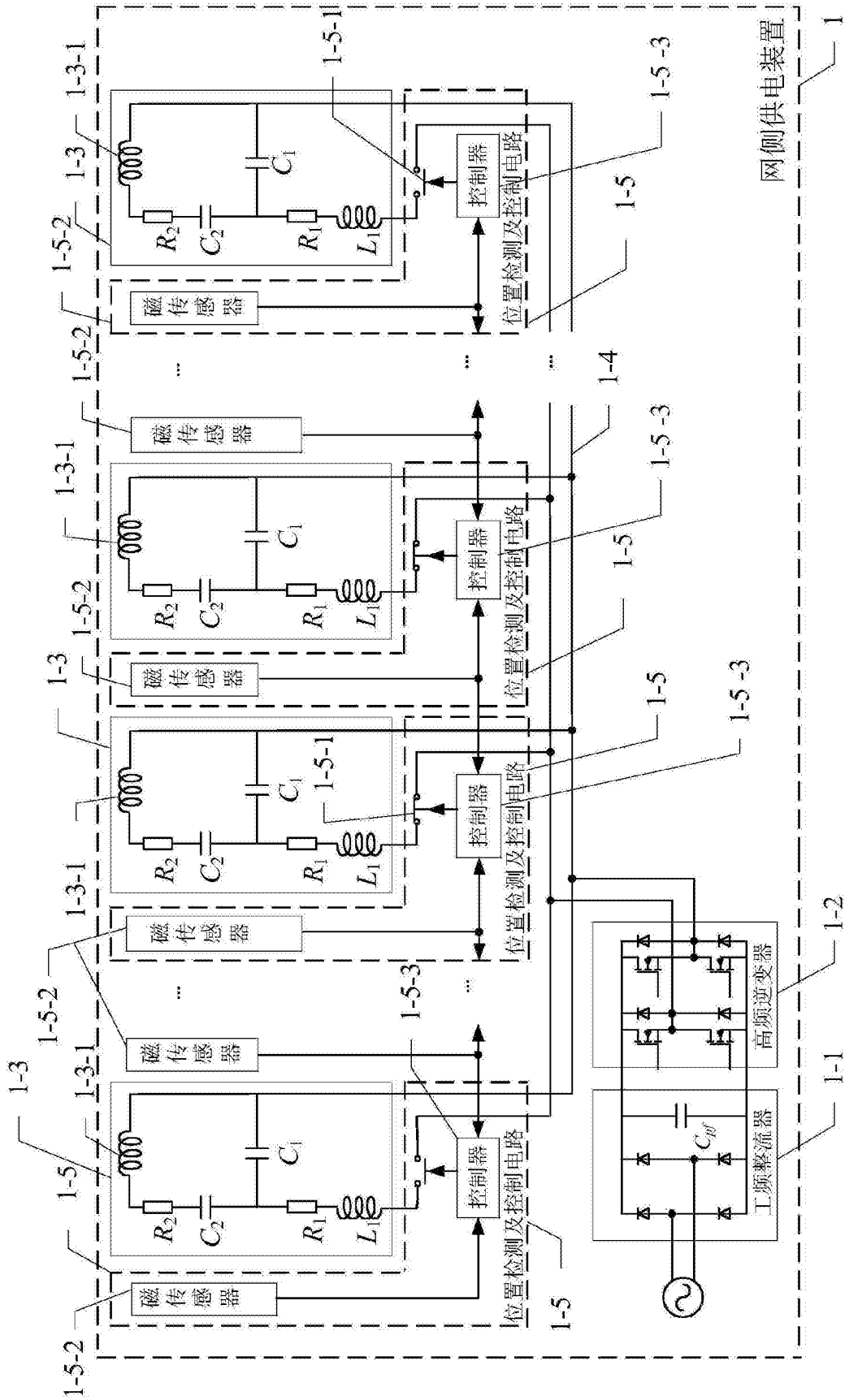


图5

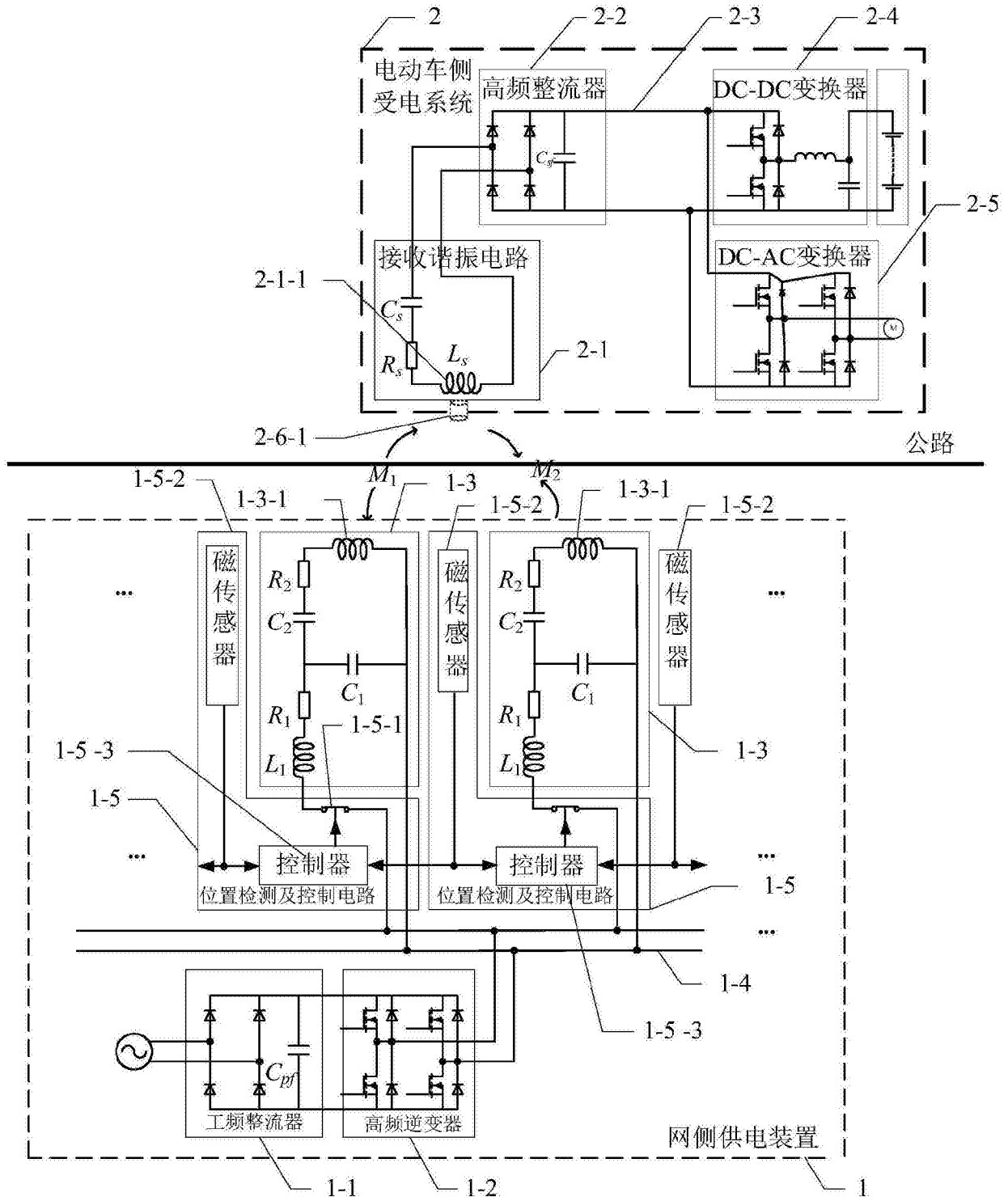


图6

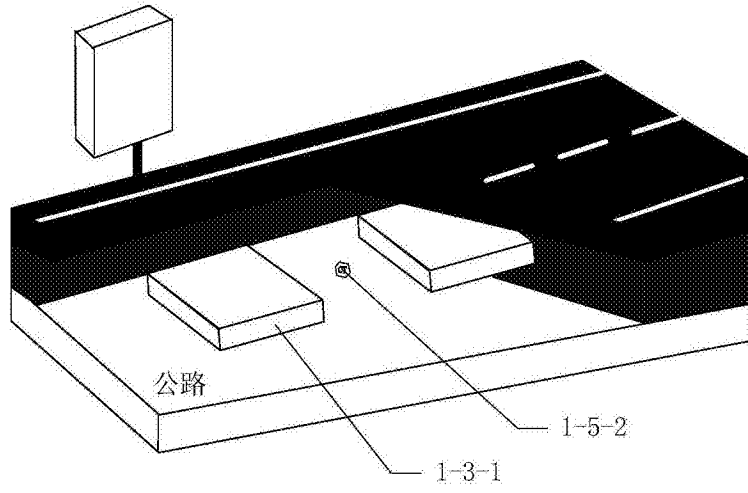


图7