



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101316053 B

(45) 授权公告日 2011.05.11

(21) 申请号 200810064667.2

书第 [0023]-[0027], [0034] 段、附图 1-2.

(22) 申请日 2008.06.04

审查员 董妍

(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 朱春波 刘凯 于春来 逯仁贵
任立涛 赵小坤

(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 徐爱萍

(51) Int. Cl.

H02J 17/00 (2006.01)

(56) 对比文件

JP 特开平 11-187582 A, 1999.07.09, 说明

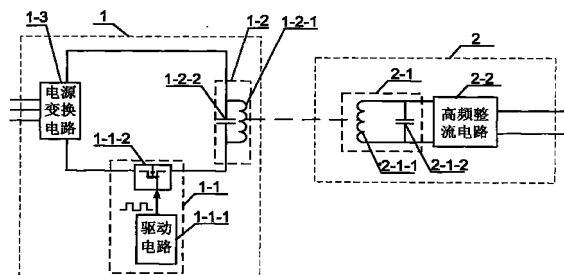
权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 1 页

(54) 发明名称

磁耦合谐振式无线能量传输装置

(57) 摘要

磁耦合谐振式无线能量传输装置, 本发明涉及无线能量传输领域, 它解决了现有存在不能障碍传输或传输距离短的优点。它由能量发射源和能量接收器组成; 利用这两个具有相同的特定谐振频率的电磁系统, 在相距一定的距离时, 由于谐振频率相同而产生谐振, 进行能量传递。能量发射源由磁场谐振激发及驱动电路和谐振发射电路组成; 谐振发射电路由谐振发射线圈和谐振发射电容组成, 能量接收器由谐振接收电路和高频整流电路组成; 谐振接收电路由谐振接收线圈和谐振接收电容组成, 由谐振发射线圈产生磁场, 谐振接收线圈与该磁场具有相同振荡频率而产生磁共振, 谐振接收线圈中的能量不断聚集, 后经高频整流电路即可供给负载。它具有传输距离远、无阻碍的优点。



1. 磁耦合谐振式无线能量传输装置,它由能量发射源(1)和能量接收器(2)组成;
所述的能量发射源(1)由磁场谐振激发及驱动电路(1-1)和谐振发射电路(1-2)组成;

磁场谐振激发及驱动电路(1-1)由驱动电路(1-1-1)和驱动开关管(1-1-2)组成,驱动电路(1-1-1)产生与设定的谐振发射频率相同或为谐振发射频率的 $1/n$ 的驱动信号,驱动开关管(1-1-2)接收驱动信号;驱动开关管(1-1-2)的开关频率与谐振发射频率相同或为谐振发射频率的 $1/n$,用于将电源的能量补充给谐振发射电路(1-2),其中的 n 为正整数;

谐振发射电路(1-2)由谐振发射线圈(1-2-1)和谐振发射电容(1-2-2)组成,谐振发射线圈(1-2-1)与谐振发射电容(1-2-2)构成谐振系统,能量分别在谐振发射线圈(1-2-1)与谐振发射电容(1-2-2)以磁场和电场形式交换;在谐振发射线圈(1-2-1)中产生与设定的谐振发射频率相同的谐振电流;谐振发射线圈(1-2-1)中的谐振电流形成在能量传输范围内的交变磁场;

其特征在于所述的能量接收器(2)由谐振接收电路(2-1)和高频整流电路(2-2)组成;

谐振接收电路(2-1)用于接收谐振发射电路(1-2)传输过来的磁场能量;谐振接收电路(2-1)由谐振接收线圈(2-1-1)和谐振接收电容(2-1-2)组成,谐振接收线圈(2-1-1)和谐振接收电容(2-1-2)用于设定谐振接收频率,设定的谐振接收频率与设定的谐振发射频率相同;

两个谐振线圈组成系统的场的模式为 $F(r, t)$, $F(r, t) \approx a_1(t)F_1(r) + a_2(t)F_2(r)$,其中 $F_1(r)$ 和 $F_2(r)$ 分别为谐振发射线圈(1-2-1)和谐振接收线圈(2-1-1)的本征模式, $a_1(t)$ 和 $a_2(t)$ 分别是对应的场强;当 $\omega_1 = \omega_2 = \omega$ 和 $a_2(0) = 0$ 时,则

$$\begin{cases} a_1(t) = [a_1(0) \cos(kt)]e^{j\omega t} \\ a_2(t) = [a_1(0) \sin(kt)]e^{j\omega t} \end{cases}$$

其中 $a_1(0)$ 和 $a_2(0)$ 分别为两个谐振状态的初始值; ω_1 是谐振发射线圈(1-2-1)的特征频率, ω_2 是谐振接收线圈(2-1-1)的特征频率, ω 是线圈的特征频率;设定耦合系数远大于谐振体的损耗速率,则两谐振线圈之间能量的相互传递周期为 π/k ;

高频整流电路(2-2),将谐振接收电路(2-1)所接收的磁场能量转化为电能输出;

设定的谐振接收频率和设定的谐振发射频率范围在 $0.05\text{MHz} \sim 50\text{MHz}$ 之间。

2. 根据权利要求1所述的磁耦合谐振式无线能量传输装置,其特征在于能量发射源(1)增加了电源变换电路(1-3),电源变换电路(1-3)用于将交流电转换为直流电并传输给磁场谐振激发及驱动电路(1-1)和谐振发射电路(1-2)。

3. 根据权利要求1所述的磁耦合谐振式无线能量传输装置,其特征在于谐振发射电路(1-2)中的谐振发射线圈(1-2-1)和谐振发射电容(1-2-2)采用串联或并联连接。

4. 根据权利要求1所述的磁耦合谐振式无线能量传输装置,其特征在于谐振接收电路(2-1)中的谐振接收线圈(2-1-1)和谐振接收电容(2-1-2)采用串联或并联连接。

5. 根据权利要求1所述的磁耦合谐振式无线能量传输装置,其特征在于磁耦合谐振式无线能量传输装置中有多个能量接收器(2)。

磁耦合谐振式无线能量传输装置

技术领域

[0001] 本发明涉及无线能量传输领域。

[0002] 背景技术

[0003] 当前几乎所有的用电设备都必须使用有形介质（如：使用金属导线、电线电缆）作为主要连接才能进行电力传输或能量的传输，即使是短距离电力传输（比如计算机、电视、台灯等），也必须经过电源线连接以及铺线或拉线的烦琐过程，使得需要以电力作为动力的电子、电器设备，其摆设位置受到影响。如果可以研发出更为优良的无线能量传输技术及装置，实现不受外物或周围环境影响的有效电力传输，就可以通过无线的传输方式来达到电力的传输，那么在使用这些电器设备时，必定能更加得心应手。另外，在一些特殊的应用场所，如水下作业、医用植入设备、无线网络等不方便或不能使用导线供电的场合都具有非常实际的应用价值。

[0004] 根据能量传输原理，目前，在国内外研究的无线能量传输技术主要有电磁波能量传输和感应耦合式能量传输技术。

[0005] 电磁波能量传输技术通过天线发送和接收的原理，比如使用微波进行无线能量传输，这种技术能够实现极高的传输功率，该技术存在的主要问题是能量传输路径上不能有障碍物遮挡，即能量传输无法绕过或穿过障碍物。

[0006] 感应耦合能量传输（Inductively Coupled Power Transfer 简称 ICPT）技术，是利用电磁感应原理，采用松耦合变压器或可分离式变压器实现非接触式功率传输。该技术存在的主要问题是能量传输距离受到传输原理的局限而被限制在毫米等级。

[0007] 发明内容

[0008] 本发明是为了解决现有无线能量传输技术中所存在的不能穿越中间障碍物或传输距离短的缺点，而提供一种磁耦合谐振式无线能量传输装置。

[0009] 本发明由能量发射源和能量接收器组成；

[0010] 所述的能量发射源由磁场谐振激发及驱动电路和谐振发射电路组成；

[0011] 磁场谐振激发及驱动电路由驱动电路和驱动开关管组成，驱动电路产生与设定的谐振发射频率相同或为谐振发射频率的 $1/n$ 的驱动信号，驱动开关管接收驱动信号；驱动开关管的开关频率与谐振发射频率相同或为谐振发射频率的 $1/n$ ，用于将电源的能量补充给谐振发射电路，其中的 n 为正整数；

[0012] 谐振发射电路由谐振发射线圈和谐振发射电容组成，谐振发射线圈与谐振发射电容构成谐振系统，能量分别在谐振发射线圈与谐振发射电容以磁场和电场形式交换；在谐振发射线圈中产生与设定的谐振发射频率相同的谐振电流；谐振发射线圈中的谐振电流形成在能量传输范围内的交变磁场；

[0013] 所述的能量接收器由谐振接收电路和高频整流电路组成；

[0014] 谐振接收电路用于接收谐振发射电路传输过来的磁场能量；谐振接收电路由谐振接收线圈和谐振接收电容组成，谐振接收线圈和谐振接收电容用于设定谐振接收频率，设定的谐振接收频率与设定的谐振发射频率相同；

[0015] 两个谐振线圈组成系统的场的模式为 $F(r, t)$, $F(r, t) \approx a_1(t)F_1(r) + a_2(t)F_2(r)$, 其中 $F_1(r)$ 和 $F_2(r)$ 分别为谐振发射线圈和谐振接收线圈的本征模式, $a_1(t)$ 和 $a_2(t)$ 分别是对应的场强; 当 $\omega_1 = \omega_2 = \omega$ 和 $a_2(0) = 0$ 时, 则

$$[0016] \quad \begin{cases} a_1(t) = [a_1(0) \cos(kt)]e^{j\omega t} \\ a_2(t) = [a_1(0) \sin(kt)]e^{j\omega t} \end{cases},$$

[0017] 其中 $a_1(0)$ 和 $a_2(0)$ 分别为两个谐振状态的初始值; ω_1 是谐振发射线圈 1-2-1 的特征频率, ω_2 是谐振接收线圈 2-1-1 的特征频率, ω 是线圈的特征频率; 设定耦合系数远远大于谐振体的损耗速率, 则两谐振线圈之间能量的相互传递周期为 π/k ;

[0018] 高频整流电路, 将谐振接收电路所接收的磁场能量转化为电能输出;

[0019] 设定的谐振接收频率和设定的谐振发射频率范围在 0.05MHz ~ 50MHz 之间。

[0020] 本发明使用两个具有相同的特定谐振频率的电磁系统, 在相距一定的距离时, 由于电磁耦合产生谐振, 进行能量传递。一般来说, 两个有一定距离的电磁系统, 相互之间是弱耦合, 但若两个系统的固有谐振频率相同, 则会产生强电磁谐振, 该能量发射源谐振频率好比就是一把锁, 而能量接收器的谐振频率好比就是一把钥匙, 一把钥匙开一把锁, 当能量发射源和能量接收器的谐振频率一致时, 即开启了能量传递的大门, 构成一个电磁谐振系统, 若有多个谐振体在有效范围内, 则同样可以加入该谐振系统, 如果某一端连接电源不断为该谐振系统提供能量, 而另一方消耗能量, 则实现了能量的传输, 使本发明具有其能量传输距离远的优点 (传输距离几倍于谐振发射线圈直径的长度); 而且通过实验证明了能量的传输不受传输路径中障碍物的影响的优点。

[0021] 本发明装置另一重要特点是能量传输效率较高。它具有非辐射性, 与通信用的无线发射机有本质区别, 相反它要控制不产生电磁波发射, 以免能量消耗在空间中, 也可以理解为利用的是电磁波的近场特性。是因为发射源产生的是高频磁场, 在其周围无接收装置时, 其能量损耗主要是空气中的磁阻损耗和发射源内部电流产生的热损耗, 正常情况下这两项损耗都较低。当在其周围有接收装置时, 则发射源与接收装置产生谐振, 发射源的能量消耗主要是接收装置消耗的能量, 同时也包括上述两项损耗。发射源电路内部损耗越低, 则系统效率越高, 目前可以做到的最高效率为 60%。

[0022] 图 1 是本发明的结构示意图; 图 2 是本发明在共振时的能量传递示意图。

[0023] 具体实施方式一: 结合图 1 说明本实施方式, 本实施方式由能量发射源 1 和能量接收器 2 组成;

[0024] 所述的能量发射源 1 由磁场谐振激发及驱动电路 1-1 和谐振发射电路 1-2 组成;

[0025] 磁场谐振激发及驱动电路 1-1 由驱动电路 1-1-1 和驱动开关管 1-1-2 组成, 驱动电路 1-1-1 产生与设定的谐振发射频率相同或为谐振发射频率的 $1/n$ 的驱动信号, 驱动开关管 1-1-2 接收驱动信号; 驱动开关管 1-1-2 的开关频率与谐振发射频率相同或为谐振发射频率的 $1/n$, 用于将电源的能量补充给谐振发射电路 1-2, 其中的 n 为正整数;

[0026] 谐振发射电路 1-2 由谐振发射线圈 1-2-1 和谐振发射电容 1-2-2 组成, 谐振发射线圈 1-2-1 与谐振发射电容 1-2-2 构成谐振系统, 能量分别在谐振发射线圈 1-2-1 与谐振发射电容 1-2-2 以磁场和电场形式交换; 在谐振发射线圈 1-2-1 中产生与设定的谐振发射频率相同的谐振电流; 谐振发射线圈 1-2-1 中的谐振电流形成在能量传输范围内的交变磁场;

[0027] 所述的能量接收器 2 由谐振接收电路 2-1 和高频整流电路 2-2 组成；

[0028] 谐振接收电路 2-1 用于接收谐振发射电路 1-2 传输过来的磁场能量；谐振接收电路 2-1 由谐振接收线圈 2-1-1 和谐振接收电容 2-1-2 组成，谐振接收线圈 2-1-1 和谐振接收电容 2-1-2 用于设定谐振接收频率，设定的谐振接收频率与设定的谐振发射频率相同；

[0029] 高频整流电路 2-2，将谐振接收电路 2-1 所接收的磁场能量转化为电能输出。

[0030] 具体实施方式二：结合图 1 说明本实施方式，本实施方式与具体实施方式一不同点在于能量发射源 1 增加了电源变换电路 1-3，电源变换电路 1-3 用于将交流电转换为直流电并传输给磁场谐振激发及驱动电路 1-1 和谐振发射电路 1-2；其它组成和连接方式与具体实施方式一相同。

[0031] 具体实施方式三：结合图 1 说明本实施方式，本实施方式与具体实施方式一不同点在于谐振发射电路 1-2 中的谐振发射线圈 1-2-1 和谐振发射电容 1-2-2 采用串联或并联连接；其它组成和连接方式与具体实施方式一相同。

[0032] 谐振发射电路 1-2 的谐振频率由如下公式确定：

$$[0033] \quad f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}} \quad (4)$$

[0034] 其中 C_1 为谐振发射电容 1-2-2 的电容，如果电路中同时存在多个电容，则需要根据具体电路，根据电容的串、并联关系计算出等效电容； L_1 是谐振发射线圈 1-2-1 的电感。根据实际的能量传输需要，确定谐振发射电路 1-2 的谐振发射线圈 1-2-1 的电感 L_1 和谐振发射电容 1-2-2 的电容 C_1 ，则电路的谐振发射频率即可由式 (4) 确定，由此可以确定驱动开关管 1-1-2 的驱动信号的频率，通过对驱动开关管 1-1-2 开通和关断的控制，在谐振发射线圈 1-2-1 中产生具有需要频率的电流，此电流产生磁场。

[0035] 具体实施方式四：结合图 1 说明本实施方式，本实施方式与具体实施方式一不同点在于谐振接收电路 2-1 中的谐振接收线圈 2-1-1 和谐振接收电容 2-1-2 采用串联或并联连接；其它组成和连接方式与具体实施方式一相同。

[0036] 能量接收器 2 根据设定的谐振发射频率设计或调整谐振接收电路 2-1 的谐振接收频率。谐振接收电路 2-1 由谐振接收频率来确定谐振接收线圈 2-1-1 和谐振接收电容 2-1-2，根据实际的用电设备的需要来确定谐振接收线圈 2-1-1 的尺寸、材料和电感值，然

后根据式 $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 计算谐振接收电容 2-1-2 的电容，确保与能量发射源 1 的磁场产生谐振，从而可以实现能量的传输。谐振接收电路 2-1 所接收的能量经过整流滤波后即可提供给负载使用。

[0037] 具体实施方式五：结合图 1 说明本实施方式，本实施方式与具体实施方式一不同点在于设定的谐振接收频率和设定的谐振发射频率为 0.05MHz ~ 50MHz。其它组成和连接方式与具体实施方式一相同。

[0038] 本发明所使用的谐振频率，可以根据传输距离及传输功率等方面的需要选择不同的频率点或频率段。

[0039] 具体实施方式六：结合图 1 说明本实施方式，本实施方式与具体实施方式一不同点在于磁耦合谐振式无线能量传输装置中有多个能量接收器 2。其它组成和连接方式与具体实施方式一相同。

[0040] 具体实施方式七：结合图 1 说明本实施方式，本实施方式的实验条件为供电电源的电压为 25v 直流电，功率为 120W；设定的谐振发射频率和设定的谐振接收频率为 310kHz，谐振发射电路 1-2 和谐振接收电路 2-1 的参数相同，其中谐振发射线圈 1-2-1 和谐振接收线圈 2-1-1 的直径为 500mm，线圈导线采用的是 0.75mm^2 的多股线，匝数为 2 匝，谐振发射电容 1-2-2 和谐振接收电容 2-1-2 采用 4.4nF 薄膜电容，耐压为 630v。实验结果为最大传输功率 100w，最大效率为 60%，最大距离可达 1 米。

[0041] 本发明的原理：

[0042] 磁耦合谐振式能量传输技术，是利用两个具有相同的特定谐振频率的电磁系统，在相距一定的距离时，由于振动频率相同而产生谐振，进行能量传递。如图 1 所示，由谐振发射线圈 1-3 产生非辐射磁场，当谐振接收线圈 2-1 进入该磁场作用区域时，由于谐振接收线圈 2-1 与该磁场具有相同的振荡频率而产生磁共振，谐振接收线圈 2-1 中的能量不断聚集，电压不断升高，经过后续的能量接收及转换电路 2-2 后，即可将能量提供给负载使用。一般来说，相距一定距离的电磁系统，相互之间是弱耦合，但若两个系统的固有谐振频率相同，则会产生强电磁谐振，构成一个电磁谐振系统，若有多个谐振体在有效范围内，则同样可以加入该谐振系统，如果某一端连接电源不断为该谐振系统提供能量，而另一方消耗能量，则实现了能量的传输。之所以称其为“磁耦合谐振式”，是因为空间进行能量交换的媒介是交变磁场，而我们日常环境中的物体，包括生物体受磁场的影响很小（电场则会发生危险）。

[0043] 该发明中的一个重要优点就是传输效率高、品质因数高，众所周知，品质因数越高，能量的损耗越小，越有利于提高能量传输效率。谐振发射线圈 1-2-1 和谐振接收线圈 2-1-1 的本征模式分别为 $F_1(r)$ 和 $F_2(r)$ ，这两个谐振线圈组成系统的场的模式为 $F(r, t)$ ，运用模式耦合理论，得到 $F(r, t) \approx a_1(t)F_1(r) + a_2(t)F_2(r)$ ，其中 $a_1(t)$ 和 $a_2(t)$ 分别是对应的场强，可以通过下面的方程组确定：

$$[0044] \quad \frac{da_1}{dt} = -i(\omega_1 - i\Gamma_1)a_1 + i\kappa a_2$$

$$[0045] \quad \frac{da_2}{dt} = -i(\omega_2 - i\Gamma_2)a_2 + i\kappa a_1 \quad (1)$$

[0046] 其中 $\omega_{1,2}$ 是谐振发射线圈 1-2-1 和谐振接收线圈 2-1-1 的特征频率， $\Gamma_{1,2}$ 代表了谐振发射线圈 1-2-1 和谐振接收线圈 2-1-1 的固有损耗大小， $\Gamma_{1,2}$ 为电路中的衰减时间常数的倒数（阻尼）， $\Gamma_{1,2}$ 越大谐振体能量损耗越快； κ 是两个谐振体之间场的耦合系数， κ 越大耦合越强。

[0047] 在弱耦合情况下，只有当 ω_1 、 ω_2 很接近的时候，耦合才会影响到 a_1 和 a_2 。在耦合系数远远大于阻尼，也就是 $k \geq \Gamma_{1,2}$ 时，对方程求解得到如下结果：

$$[0048] \quad \begin{cases} a_1(t) = [a_1(0)(\cos \Omega_0 t - j \frac{\omega_2 - \omega_1}{2\Omega_0} \sin \Omega_0 t) + \frac{k}{\Omega_0} a_2(0) \sin \Omega_0 t] e^{j[(\omega_1 + \omega_2)/2]t} \\ a_2(t) = [\frac{k}{\Omega_0} a_1(0) \sin \Omega_0 t + a_2(0)(\cos \Omega_0 t - j \frac{\omega_1 - \omega_2}{2\Omega_0} \sin \Omega_0 t)] e^{j[(\omega_1 + \omega_2)/2]t} \end{cases} \quad (2)$$

[0049] 其中 $\Omega_0 = \sqrt{(\frac{\omega_1 - \omega_2}{2})^2 + k^2}$ ， $a_1(0)$ 和 $a_2(0)$ 分别为两个谐振状态的初始值（代表了

谐振线圈的能量)。

[0050] 当 $\omega_1 = \omega_2 = \omega$ 和 $a_2(0) = 0$ 时,由式(2)可得这种共振状态下两个谐振线圈中的能量随时间的变化表达式。

$$[0051] \quad \begin{cases} a_1(t) = [a_1(0) \cos(kt)]e^{j\omega t} \\ a_2(t) = [a_1(0) \sin(kt)]e^{j\omega t} \end{cases} \quad (3)$$

[0052] 由式(3)可得,谐振发射线圈 1-2-1 中的能量为 $W_1 = |a_1(t)|^2 = [a_1(0)]^2 \cos^2 kt = [a_1(0)]^2 \frac{1 + \cos 2kt}{2}$,谐振接收线圈 2-1-1 中的能量为 $W_2 = |a_2(t)|^2 = [a_1(0)]^2 \cos^2 kt = [a_1(0)]^2 \frac{1 - \cos 2kt}{2}$,具体的随时间变化关系由图 2 所示。

[0053] 由此可见,在弱耦合情况下,当耦合系数远远大于谐振体的损耗速率时,两谐振线圈之间能量的相互传递是完美的,传递周期为 π/k 。把整个能量传输系统的品质因数定义为 $\kappa/\sqrt{\Gamma_1\Gamma_2}$,品质因数越高传递效果越好。为实现能量传递,需要谐振体的品质因数非常高,因此需降低损耗 $\Gamma_{1,2}$ 。

[0054] 另一个重要优点就是阻碍小,本发明对无线能量传输穿透各种不同障碍物的情况进行了实验,将谐振发射线圈和谐振接收线圈置于各种障碍物两侧,测试能量传输情况,结果表明,该技术可以穿透各种非金属制品如砖墙、书本、木制品、电木板、有机玻璃板、皮革、织品等等,而且对系统的能量传输效率、功率等指标没有影响。金属制品对该系统的影响视情况而定,小于线圈直径的 或者无法构成较大涡流或回路的金属导体靠近该系统时,影响很小。

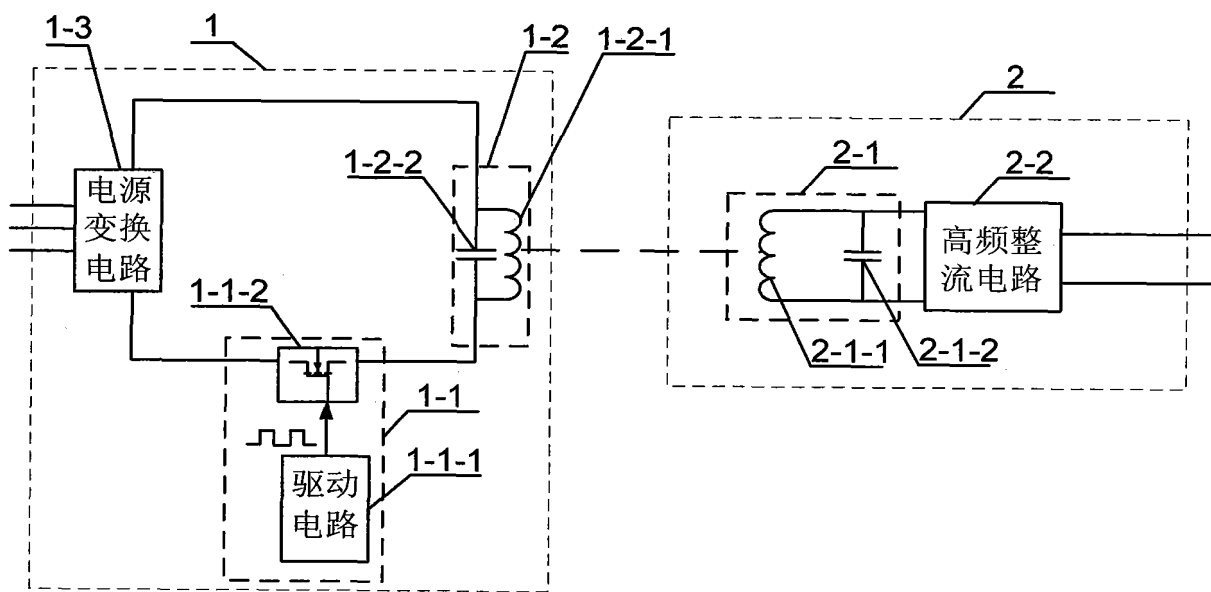


图 1

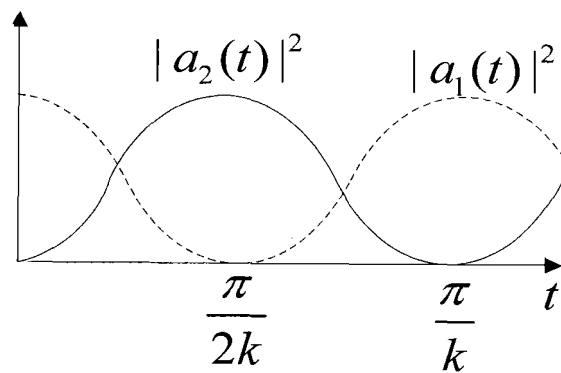


图 2