



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 109245540 B

(45)授权公告日 2020.02.04

(21)申请号 201811165970.1

H02M 7/219(2006.01)

(22)申请日 2018.10.08

H02J 7/00(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

审查员 王金金

申请公布号 CN 109245540 A

(43)申请公布日 2019.01.18

(73)专利权人 中国科学院电工研究所

地址 100190 北京市海淀区中关村北二条6号

(72)发明人 王丽芳 李树凡 郭彦杰 陶成轩

张志刚 张玉旺

(74)专利代理机构 北京科迪生专利代理有限责

任公司 11251

代理人 关玲

(51)Int.Cl.

H02M 3/335(2006.01)

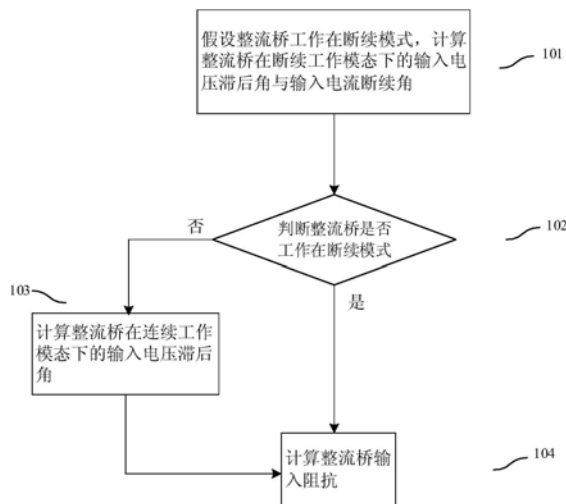
权利要求书3页 说明书4页 附图2页

(54)发明名称

带电池负载的无线充电系统整流桥输入阻抗的计算方法

(57)摘要

一种带电池负载的无线充电系统整流桥输入阻抗的计算方法,涉及一种无线充电系统整流桥。本发明计算方法包括以下步骤:步骤A:假设整流桥工作在断续模式,计算整流桥在断续工作模式下的输入电压滞后角与输入电流断续角;步骤B:根据步骤A求得的输入电流断续角,判断整流桥工作在连续模式或断续模式,若工作在连续模式,计算整流桥在连续工作模式下的输入电压滞后角;步骤C:计算整流桥输入阻抗。



1. 一种带电池负载的无线充电系统整流桥输入阻抗的计算方法,应用所述无线充电系统整流桥输入阻抗计算方法的无线充电系统包括无线能量发射线圈、无线能量接收线圈、副边串联电容、副边并联电容、整流桥输入电感、整流桥、滤波电容及电池负载;所述的无线能量发射线圈与无线能量接收线圈电磁耦合,无线能量接收线圈的输出端与副边串联电容的输入端连接,副边串联电容的输出端与副边并联电容的输入端及整流桥输入电感的输入端连接,副边并联电容的输出端与无线能量接收线圈的输出端及整流桥的输入端连接,整流桥输入电感的输出端与整流桥的输入端连接,整流桥的输出端与滤波电容的输入端连接,滤波电容的输出端与电池负载的输入端连接,

其特征在于:所述的无线充电系统整流桥断续工作模式的输入阻抗计算方法包含以下步骤:

步骤A:假设整流桥工作在断续模式,计算整流桥在断续工作模态下的输入电压滞后角 $\theta$ 与输入电流断续角 $\varphi$ ;

步骤B:根据步骤A求得的输入电流断续角 $\varphi$ ,判断整流桥工作在连续模式或断续模式,若整流桥工作在连续模式,计算整流桥在连续工作模态下的输入电压滞后角;

步骤C:计算整流桥输入阻抗。

2. 根据权利要求1所述的带电池负载的无线充电系统整流桥输入阻抗的计算方法,其特征在于:所述的步骤A中,整流桥在断续工作模态下的输入电压滞后角 $\theta$ 为副边并联电容电压的过零点与整流桥输入电压的过零点之间的相位差,整流桥在断续工作模态下的输入电流断续角 $\varphi$ 为整流桥输入电压过零点与整流桥输入电感电流的断续临界点之间的相位差;

通过公式(1)计算整流桥在断续工作模态下的输入电压滞后角 $\theta$ 与输入电流断续角 $\varphi$ :

$$\begin{cases} (\pi - \varphi) \sin(\varphi + \theta) = \cos(\varphi + \theta) + \cos \theta \\ \left[ \frac{U_0}{(\omega M I_p)^2} = \sin^2(\varphi + \theta) \left[ 1 + \frac{a'^2 + b'^2}{(a^2 + b^2)} + 2 \sqrt{\frac{a'^2 + b'^2}{a^2 + b^2}} \sin(\arctan \frac{a'}{b'} - \arctan \frac{a}{b}) \right] \right] \end{cases} \quad (1)$$

其中,

$$a = -\frac{1}{2} \sin \theta + \frac{1}{2} \sin(2\varphi + \theta) - (\pi - \varphi) \cos \theta - 2 \sin \varphi \cos(\varphi + \theta) + 2(1 + \cos \varphi) \sin(\varphi + \theta)$$

$$b = \frac{1}{2} \cos \theta - \frac{1}{2} \cos(2\varphi + \theta) + (\pi - \varphi) \sin \theta + 2(\varphi - \pi + \sin \varphi) \sin(\varphi + \theta) + 2(1 + \cos \varphi) \cos(\varphi + \theta)$$

$$a' = \varphi \sin \theta - \frac{1}{2} \cos(2\varphi + \theta) + \frac{1}{2} \cos \theta - 2 \sin \varphi \sin(\varphi + \theta)$$

$$b' = \varphi \cos \theta - \frac{1}{2} \sin(2\varphi + \theta) + \frac{1}{2} \sin \theta + 2(1 + \cos \varphi) \sin(\varphi + \theta)$$

式中, $\theta$ 为输入电压滞后角, $\varphi$ 为输入电流断续角, $U_0$ 为电池电压, $\omega$ 为系统工作角频率, $M$ 为收发线圈之间的互感值, $I_p$ 为发射线圈电流的幅值, $a$ 为整流桥输入电感电流基波分量的余弦分量中关于输入电压滞后角 $\theta$ 及输入电流断续角 $\varphi$ 的函数, $b$ 为整流桥输入电感电流基波分量的正弦分量中关于输入电压滞后角 $\theta$ 及输入电流断续角 $\varphi$ 的函数, $a'$ 为整流桥输入电压基波分量的余弦分量中关于输入电压滞后角 $\theta$ 及输入电流断续角 $\varphi$ 的函数, $b'$ 为整流

桥输入电压基波分量的正弦分量中关于输入电压滞后角 $\theta$ 及输入电流断续角 $\varphi$ 的函数。

3. 根据权利要求1所述的带电池负载的无线充电系统整流桥输入阻抗的计算方法,其特征在于:所述的步骤B中,判断整流桥工作在连续模式或断续模式的方法为:

若输入电流断续角 $\varphi > 0$ ,则整流桥工作在断续模式;若输入电流断续角 $\varphi \leq 0$ ,则整流桥工作在连续模式。

4. 根据权利要求1所述的带电池负载的无线充电系统整流桥输入阻抗的计算方法,其特征在于:所述的步骤B中,整流桥工作在连续模式时,输入电压滞后角 $\theta$ 通过下列关系式计算:

$$\frac{U_o}{(\omega M I_p)^2} = \frac{4 \cos^2 \theta}{\pi^2} \left\{ 1 + \frac{64 \cos^2 \theta}{\pi^4 \left[ \cos^2 \theta \left( \frac{8}{\pi^2} - 1 \right)^2 + \sin^2 \theta \right]} + \frac{16 \cos \theta}{\pi^2 \sqrt{\cos^2 \theta \left( \frac{8}{\pi^2} - 1 \right)^2 + \sin^2 \theta}} \sin \left( -\arctan \frac{\left( \frac{8}{\pi^2} - 1 \right)}{\tan \theta} \right) \right\} \quad (2)$$

其中, $\theta$ 为输入电压滞后角, $U_o$ 为电池电压, $\omega$ 为系统工作角频率, $M$ 为收发线圈之间的互感值, $I_p$ 为发射线圈电流的幅值。

5. 根据权利要求1所述的带电池负载的无线充电系统整流桥输入阻抗的计算方法,其特征在于:所述的步骤C中,若整流桥工作在断续模式,整流桥输入阻抗通过下列关系式计算:

$$R_r = \omega L_s \sqrt{\frac{a'^2 + b'^2}{a^2 + b^2}} \cos \left( \arctan \frac{a'}{b'} - \arctan \frac{a}{b} \right) \quad (3)$$

$$X_r = \omega L_s \sqrt{\frac{a'^2 + b'^2}{a^2 + b^2}} \sin \left( \arctan \frac{a'}{b'} - \arctan \frac{a}{b} \right) \quad (4)$$

其中,

$$a = -\frac{1}{2} \sin \theta + \frac{1}{2} \sin(2\varphi + \theta) - (\pi - \varphi) \cos \theta - 2 \sin \varphi \cos(\varphi + \theta) + 2(1 + \cos \varphi) \sin(\varphi + \theta)$$

$$b = \frac{1}{2} \cos \theta - \frac{1}{2} \cos(2\varphi + \theta) + (\pi - \varphi) \sin \theta + 2(\varphi - \pi + \sin \varphi) \sin(\varphi + \theta) + 2(1 + \cos \varphi) \cos(\varphi + \theta)$$

$$a' = \varphi \sin \theta - \frac{1}{2} \cos(2\varphi + \theta) + \frac{1}{2} \cos \theta - 2 \sin \varphi \sin(\varphi + \theta)$$

$$b' = \varphi \cos \theta - \frac{1}{2} \sin(2\varphi + \theta) + \frac{1}{2} \sin \theta + 2(1 + \cos \varphi) \sin(\varphi + \theta)$$

式中, $R_r$ 为整流桥输入阻抗的实部, $X_r$ 为整流桥输入阻抗的虚部, $\theta$ 为输入电压滞后角, $\varphi$ 为输入电流断续角, $\omega$ 为系统工作角频率, $L_s$ 为整流桥输入电感的值, $a$ 为整流桥输入电感电流基波分量的余弦分量中关于输入电压滞后角 $\theta$ 及输入电流断续角 $\varphi$ 的函数, $b$ 为整流桥输入电感电流基波分量的正弦分量中关于输入电压滞后角 $\theta$ 及输入电流断续角 $\varphi$ 的函数, $a'$ 为整流桥输入电压基波分量的余弦分量中关于输入电压滞后角 $\theta$ 及输入电流断续角 $\varphi$ 的函数, $b'$ 为整流桥输入电压基波分量的正弦分量中关于输入电压滞后角 $\theta$ 及输入电流断续角 $\varphi$ 的函数。

6. 根据权利要求1所述的带电池负载的无线充电系统整流桥输入阻抗的计算方法,其特征在于:所述的步骤C中,若整流桥工作在连续模式,整流桥输入阻抗通过下列关系式计

算：

$$R_r = \frac{8\omega L_s \tan \theta}{\pi^2 \left[ \left( \frac{8}{\pi^2} - 1 \right)^2 + \tan^2 \theta \right]} \quad (5)$$

$$X_r = \frac{8\omega L_s \left( 1 - \frac{8}{\pi^2} \right)}{\pi^2 \left[ \left( \frac{8}{\pi^2} - 1 \right)^2 + \tan^2 \theta \right]} \quad (6)$$

其中,  $R_r$ 为整流桥输入阻抗的实部,  $X_r$ 为整流桥输入阻抗的虚部,  $\theta$ 为输入电压滞后角,  $L_s$ 为整流桥输入电感的值。

## 带电池负载的无线充电系统整流桥输入阻抗的计算方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种无线充电系统整流桥输入阻抗的计算方法。

### 背景技术

[0002] 无线充电系统的整流桥将副边线圈产生的高频交流电转化为直流电,并与电池负载通过滤波电容连接。在电池负载、线圈互感等参数发生大范围变化时,整流桥有可能工作在连续或断续模式,研究这两种情况下的整流桥等效输入阻抗将有利于分析无线充电系统在宽负载变化范围下的系统输出特性。发明专利CN 105471286A“同步整流电路、无线充电系统以及同步整流方法”提出了一种采用MOSFET的同步整流电路。发明专利CN206611244U“无线充电系统及汽车无线充电装置”公开了一种包含整流电路、原副边线圈、逆变电路、原副边控制器、谐振补偿网络、负载等的无线充电系统。但上述发明均未涉及整流桥的输入阻抗计算方法。发明专利CN107979298A“一种无线充电系统整流桥负载等效阻抗计算方法”提出了一种无线充电系统整流桥输入阻抗的计算方法,但该方案仅考虑了电阻负载,且未考虑整流桥工作在断续模态下的情况。因此,需要一种考虑电池负载,且涵盖连续与断续两种工作模式的整流桥输入阻抗计算方法。

### 发明内容

[0003] 本发明的目的是克服现有技术的缺点,提出一种带电池负载的无线充电系统整流桥输入阻抗的计算方法。本发明针对无线充电系统的电池负载在宽负载范围工作状态下整流桥连续或断续模式进行判断,并根据整流桥工作模式计算其等效输入阻抗。本发明可为无线充电系统的设计提供依据,同时为无线充电系统的参数估计与控制策略提供参考,有利于实现系统的安全稳定运行。

[0004] 应用本发明带电池负载的无线充电系统整流桥输入阻抗计算方法的无线充电系统包括无线能量发射线圈、无线能量接收线圈、副边串联电容、副边并联电容、整流桥输入电感、整流桥、滤波电容及电池负载。所述的无线能量发射线圈与无线能量接收线圈电磁耦合,无线能量接收线圈的输出端与副边串联电容的输入端连接,副边串联电容的输出端与副边并联电容的输入端及整流桥输入电感的输入端连接,副边并联电容的输出端与无线能量接收线圈的输出端及整流桥的输入端连接,整流桥输入电感的输出端与整流桥的输入端连接,整流桥的输出端与滤波电容的输入端连接,滤波电容的输出端与电池负载的输入端连接。

[0005] 所述的带电池负载的无线充电系统整流桥输入阻抗的计算方法包含以下步骤:

[0006] 步骤A:假设整流桥工作在断续模式,计算整流桥在断续工作模态下的输入电压滞后角与输入电流断续角;

[0007] 步骤B:根据步骤A求得的输入电流断续角,判断整流桥工作在连续模式或断续模式,若工作在连续模式,计算整流桥在连续工作模态下的输入电压滞后角;

[0008] 步骤C:计算整流桥输入阻抗。

[0009] 所述的步骤A中,整流桥在断续工作模式下的输入电压滞后角 $\theta$ 为副边并联电容电压的过零点与整流桥输入电压的过零点之间的相位差,整流桥在断续工作模式下的输入电流断续角 $\varphi$ 为整流桥输入电压过零点与整流桥输入电感电流的断续临界点之间的相位差。

[0010] 通过公式(1)计算整流桥在断续工作模式下的输入电压滞后角 $\theta$ 与输入电流断续角 $\varphi$ :

$$[0011] \quad \begin{cases} (\pi - \varphi) \sin(\varphi + \theta) = \cos(\varphi + \theta) + \cos \theta \\ \frac{U_0}{(\omega M I_p)^2} = \sin^2(\varphi + \theta) \left[ 1 + \frac{a^2 + b'^2}{(a^2 + b^2)} + 2\sqrt{\frac{a'^2 + b'^2}{a^2 + b^2}} \sin(\arctan \frac{a'}{b'} - \arctan \frac{a}{b}) \right] \end{cases} \quad (1)$$

[0012] 其中,

$$[0013] \quad a = -\frac{1}{2} \sin \theta + \frac{1}{2} \sin(2\varphi + \theta) - (\pi - \varphi) \cos \theta - 2 \sin \varphi \cos(\varphi + \theta) + 2(1 + \cos \varphi) \sin(\varphi + \theta)$$

$$[0014] \quad b = \frac{1}{2} \cos \theta - \frac{1}{2} \cos(2\varphi + \theta) + (\pi - \varphi) \sin \theta + 2(\varphi - \pi + \sin \varphi) \sin(\varphi + \theta) + 2(1 + \cos \varphi) \cos(\varphi + \theta)$$

$$[0015] \quad a' = \varphi \sin \theta - \frac{1}{2} \cos(2\varphi + \theta) + \frac{1}{2} \cos \theta - 2 \sin \varphi \sin(\varphi + \theta)$$

$$[0016] \quad b' = \varphi \cos \theta - \frac{1}{2} \sin(2\varphi + \theta) + \frac{1}{2} \sin \theta + 2(1 + \cos \varphi) \sin(\varphi + \theta)$$

[0017] 式中, $\theta$ 为输入电压滞后角, $\varphi$ 为输入电流断续角, $U_0$ 为电池电压, $\omega$ 为系统工作角频率, $M$ 为收发线圈之间的互感值, $I_p$ 为发射线圈电流的幅值, $a$ 为整流桥输入电感电流基波分量的余弦分量中关于输入电压滞后角 $\theta$ 及输入电流断续角 $\varphi$ 的函数, $b$ 为整流桥输入电感电流基波分量的正弦分量中关于输入电压滞后角 $\theta$ 及输入电流断续角 $\varphi$ 的函数, $a'$ 为整流桥输入电压基波分量的余弦分量中关于输入电压滞后角 $\theta$ 及输入电流断续角 $\varphi$ 的函数, $b'$ 为整流桥输入电压基波分量的正弦分量中关于输入电压滞后角 $\theta$ 及输入电流断续角 $\varphi$ 的函数。

[0018] 所述的步骤A中,收发线圈之间的互感值可通过采用阻抗分析仪在系统的工作频率处测量收发线圈的自感值并计算得到,发射线圈电流的幅值 $I_p$ 可采用示波器测量得到。

[0019] 所述的步骤B中,判断整流桥工作在连续模式或断续模式的方法为:若输入电流断续角 $\varphi > 0$ ,则整流桥工作在断续模式;若输入电流断续角 $\varphi \leq 0$ ,则整流桥工作在连续模式。

[0020] 所述的步骤B中,整流桥工作在连续模式时,通过公式(2)计算输入电压滞后角 $\theta$ :

$$[0021] \quad \frac{U_0}{(\omega M I_p)^2} = \frac{4 \cos^2 \theta}{\pi^2} \left\{ 1 + \frac{64 \cos^2 \theta}{\pi^4 \left[ \cos^2 \theta \left( \frac{8}{\pi^2} - 1 \right)^2 + \sin^2 \theta \right]} + \frac{16 \cos \theta}{\pi^2 \sqrt{\cos^2 \theta \left( \frac{8}{\pi^2} - 1 \right)^2 + \sin^2 \theta}} \sin \left( -\arctan \frac{\left( \frac{8}{\pi^2} - 1 \right)}{\tan \theta} \right) \right\} \quad (2)$$

[0022] 其中, $\theta$ 为输入电压滞后角, $U_0$ 为电池电压, $\omega$ 为系统工作角频率, $M$ 为收发线圈之间的互感值, $I_p$ 为发射线圈电流的幅值。

[0023] 所述的步骤C中,若整流桥工作在断续模式,通过公式(3)计算整流桥的输入阻抗的实部,通过公式(4)计算输入阻抗的虚部:

$$[0024] \quad R_r = \omega L_s \sqrt{\frac{a'^2 + b'^2}{a^2 + b^2}} \cos(\arctan \frac{a'}{b'} - \arctan \frac{a}{b}) \quad (3)$$

$$[0025] \quad X_r = \omega L_s \sqrt{\frac{a'^2 + b'^2}{a^2 + b^2}} \sin(\arctan \frac{a'}{b'} - \arctan \frac{a}{b}) \quad (4)$$

[0026] 其中,

$$[0027] \quad a = -\frac{1}{2} \sin \theta + \frac{1}{2} \sin(2\varphi + \theta) - (\pi - \varphi) \cos \theta - 2 \sin \varphi \cos(\varphi + \theta) + 2(1 + \cos \varphi) \sin(\varphi + \theta)$$

$$[0028] \quad b = \frac{1}{2} \cos \theta - \frac{1}{2} \cos(2\varphi + \theta) + (\pi - \varphi) \sin \theta + 2(\varphi - \pi + \sin \varphi) \sin(\varphi + \theta) + 2(1 + \cos \varphi) \cos(\varphi + \theta)$$

$$[0029] \quad a' = \varphi \sin \theta - \frac{1}{2} \cos(2\varphi + \theta) + \frac{1}{2} \cos \theta - 2 \sin \varphi \sin(\varphi + \theta)$$

$$[0030] \quad b' = \varphi \cos \theta - \frac{1}{2} \sin(2\varphi + \theta) + \frac{1}{2} \sin \theta + 2(1 + \cos \varphi) \sin(\varphi + \theta)$$

[0031] 式中,  $R_r$  为整流桥输入阻抗的实部,  $X_r$  为整流桥输入阻抗的虚部,  $\theta$  为输入电压滞后角,  $\varphi$  为输入电流断续角,  $\omega$  为系统工作角频率,  $L_s$  为整流桥输入电感的值,  $a$  为整流桥输入电感电流基波分量的余弦分量中关于输入电压滞后角  $\theta$  及输入电流断续角  $\varphi$  的函数,  $b$  为整流桥输入电感电流基波分量的正弦分量中关于输入电压滞后角  $\theta$  及输入电流断续角  $\varphi$  的函数,  $a'$  为整流桥输入电压基波分量的余弦分量中关于输入电压滞后角  $\theta$  及输入电流断续角  $\varphi$  的函数,  $b'$  为整流桥输入电压基波分量的正弦分量中关于输入电压滞后角  $\theta$  及输入电流断续角  $\varphi$  的函数。

[0032] 所述的步骤C中,若整流桥工作在连续模式,通过公式(5)计算整流桥的输入阻抗的实部,通过公式(6)计算输入阻抗的虚部:

$$[0033] \quad R_r = \frac{8\omega L_s \tan \theta}{\pi^2 \left[ \left( \frac{8}{\pi^2} - 1 \right)^2 + \tan^2 \theta \right]} \quad (5)$$

$$[0034] \quad X_r = \frac{8\omega L_s \left( 1 - \frac{8}{\pi^2} \right)}{\pi^2 \left[ \left( \frac{8}{\pi^2} - 1 \right)^2 + \tan^2 \theta \right]} \quad (6)$$

[0035] 其中,  $R_r$  为整流桥输入阻抗的实部,  $X_r$  为整流桥输入阻抗的虚部,  $\theta$  为输入电压滞后角。

[0036] 与现有的技术方案相比,本发明具有以下有益效果:

[0037] 1. 本发明采用电池负载,更接近实际情况;

[0038] 2. 本发明包含了整流桥的连续工作模式与断续工作模式,实现了宽负载变化范围的整流桥等效输入阻抗的计算;

[0039] 3. 对整流桥工作在连续与断续模态下的等效输入阻抗的计算结果包含实部与虚部,描述了整流桥等效负载的感性特征,有利于无线充电系统参数的设计。

## 附图说明

[0040] 图1本发明用于带电池负载的无线充电系统整流桥输入阻抗的计算方法的流程

图；

[0041] 图2应用本发明的无线充电系统电路图；

[0042] 图3工作在断续模态下的整流桥输入输出电压、电流波形图；

[0043] 图4工作在连续模态下的整流桥输入输出电压、电流波形图。

### 具体实施方式

[0044] 以下结合附图和具体实施方式进一步说明本发明。

[0045] 图2为应用本发明的无线充电系统电路图。如图2所示， $U_d$ 为直流输入电压， $C_d$ 为直流滤波电容， $G_1-G_4$ 为逆变器开关管， $L_P$ 为逆变器输出电感， $C_{PP}$ 与 $C_{PS}$ 为原边侧补偿电容， $L_1$ 为原边线圈， $R_1$ 为原边线圈内阻， $L_2$ 为副边线圈， $R_2$ 为副边线圈内阻， $C_{SS}$ 与 $C_{SP}$ 为副边侧补偿电容， $L_S$ 为整流桥输入电感， $D_1-D_4$ 为整流桥功率二极管， $C_L$ 为整流桥输出滤波电容， $B_a$ 为待充电电池负载。直流输入电源 $U_d$ 的输出端与直流滤波电容 $C_d$ 的输入端连接，直流滤波电容 $C_d$ 的输出端与逆变器 $G_1-G_4$ 的输入端连接，逆变器 $G_1-G_4$ 的输出端与逆变器输出电感 $L_P$ 的输入端连接，逆变器输出电感 $L_P$ 的输出端与原边补偿电容 $C_{PP}$ 、 $C_{PS}$ 的输入端连接，原边串联电容 $C_{PS}$ 的输出端与原边线圈 $L_1$ 连接，原边并联电容 $C_{PP}$ 的输出端与原边线圈 $L_1$ 及逆变器 $G_1-G_4$ 输出端连接，原边线圈 $L_1$ 与副边线圈 $L_2$ 电磁耦合，副边线圈 $L_2$ 的输出端与副边串联电容 $C_{SS}$ 的输入端连接，副边串联电容 $C_{SS}$ 的输出端与副边并联电容 $C_{SP}$ 的输入端及整流桥输入电感 $L_S$ 的输入端连接，副边并联电容 $C_{SP}$ 的输出端与副边线圈 $L_2$ 的输出端及整流桥 $D_1-D_4$ 的输入端连接，整流桥输入电感 $L_S$ 的输出端与整流桥 $D_1-D_4$ 的输入端连接，整流桥 $D_1-D_4$ 的输出端与整流桥输出滤波电容 $C_L$ 的输入端连接，整流桥输出滤波电容 $C_L$ 的输出端与电池负载 $B_a$ 的输入端连接。

[0046] 基于图2所示的无线充电系统实施例，计算工作在断续模态下的整流桥等效输入阻抗，具体步骤如下：

[0047] 步骤A，通过公式(1)计算整流桥在断续工作模态下的输入电压滞后角与输入电流断续角，输入电流断续角 $\varphi$ 、输入电压滞后角 $\theta$ 如图3所示。在图3中， $u_s$ 为副边并联电容电压， $i_{LS}$ 为整流桥输入电感的电流， $u_r$ 为整流桥输入电压， $i_o$ 为负载电流。

[0048] 步骤B，根据步骤A求得的输入电流断续角 $\varphi$ ，判断整流桥工作在连续模式或断续模式：若 $\varphi > 0$ ，则整流桥工作在断续模式；若 $\varphi \leq 0$ ，则整流桥工作在连续模式。若整流桥工作在连续模式，通过公式(2)计算连续模态下的输入电压滞后角 $\theta$ ， $\theta$ 角如图4所示。在图4中， $u_s$ 为副边并联电容电压， $i_{LS}$ 为整流桥输入电感的电流， $u_r$ 为整流桥输入电压， $i_o$ 为负载电流。

[0049] 步骤C，若整流桥工作在断续模式，通过公式(3)计算整流桥的输入阻抗的实部，通过公式(4)计算输入阻抗的虚部；若整流桥工作在连续模式，通过公式(5)计算整流桥的输入阻抗的实部，通过公式(6)计算输入阻抗的虚部。



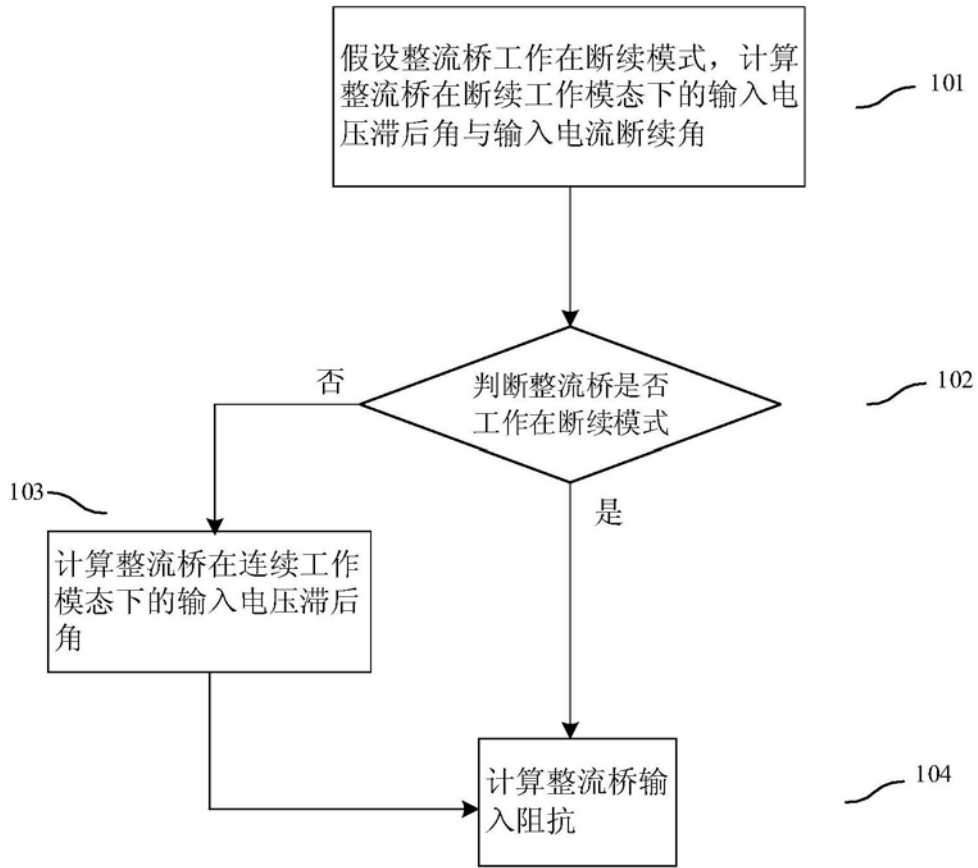


图1

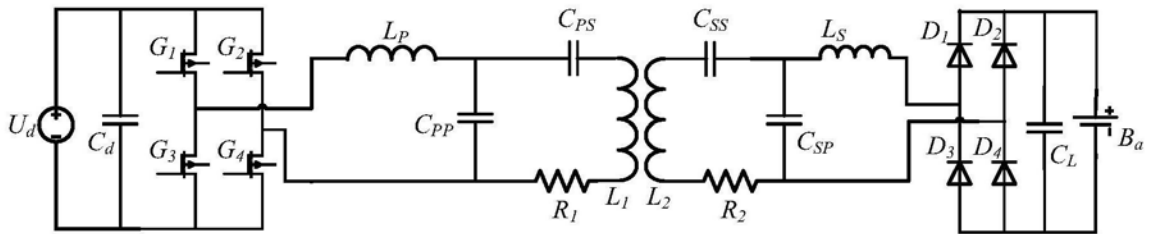


图2

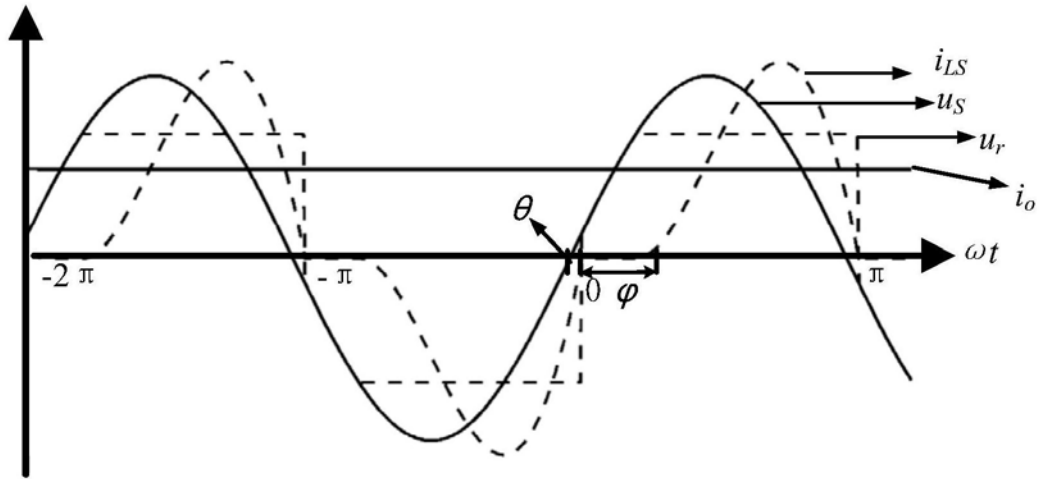


图3

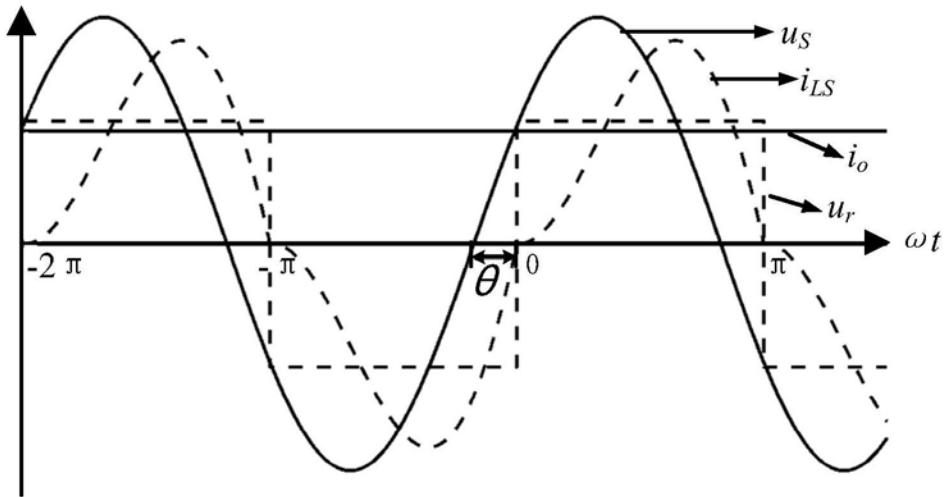


图4