



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105453369 B

(45)授权公告日 2018.01.05

(21)申请号 201480027471.X

(72)发明人 Y.塞尔恩

(22)申请日 2014.03.14

(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 105453369 A

代理人 姜冰 姜甜

(43)申请公布日 2016.03.30

(51)Int.Cl.  
H02J 7/00(2006.01)

(30)优先权数据  
61/791677 2013.03.15 US

(56)对比文件  
US 2005/0116683 A1, 2005.06.02,  
WO 2012078055 A1, 2012.06.14,  
US 2012002446 A1, 2012.01.05,  
US 6211799 B1, 2001.04.03,  
CN 102893484 A, 2013.01.23,

(85)PCT国际申请进入国家阶段日  
2015.11.13

(86)PCT国际申请的申请数据  
PCT/US2014/027867 2014.03.14

(87)PCT国际申请的公布数据  
W02014/143764 EN 2014.09.18

审查员 刘浩

(73)专利权人 瑞典爱立信有限公司  
地址 瑞典斯德哥尔摩

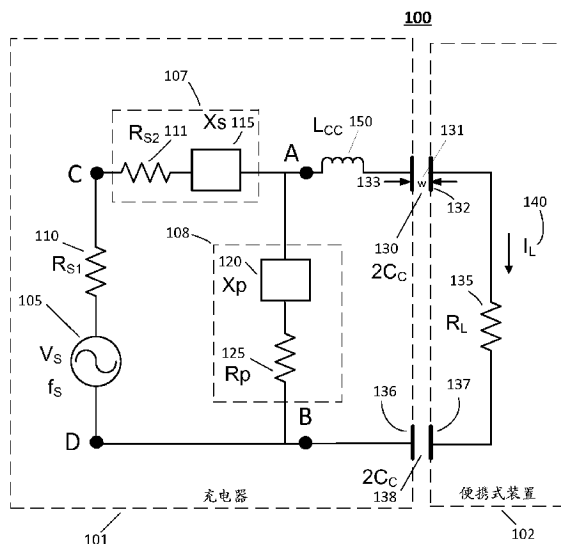
权利要求书1页 说明书8页 附图8页

(54)发明名称

经由可变耦合电容的无线功率传输

(57)摘要

经由可变耦合电容的无线功率传输。提供包括充电器和便携式装置的系统。便携式装置经由耦合电容被耦合至充电器。充电器甚至对于耦合电容中的较大变化也提供较恒定的电流至便携式装置。



1. 一种系统,包括:
  - 充电器,具有:
    - 源,所述源提供在源频率( $f_s$ )的交流电流,以及具有第一端子与第二端子以及源阻抗;
    - 第一电抗性组件,在所述第一端子和中间点之间被连接;
    - 第二电抗性组件,在所述中间点和所述第二端子之间被连接,
  - 其中,所述第一电抗性组件与所述第二电抗性组件中的一个电容器,而且所述第一电抗性组件与所述第二电抗性组件中的另一个是第一电感器,
  - 其中,所述第一电抗性组件、所述第二电抗性组件和所述源阻抗组合起来具有戴维南等效阻抗,
  - 其中,所述第一电感器和所述电容器具有与所述源频率不同的共振频率;
  - 第一板,所述第一板是具备电传导性的;
  - 第二电感器,在所述中间点和所述第一板之间被连接;以及
  - 第二板,所述第二板是具备电传导性的而且被连接至所述第二端子;以及
  - 便携式装置,具有:
    - 第三板,所述第三板面向所述第一板,其中,所述第三板是具备电传导性的,而且因此在所述第三板和所述第一板之间形成第一电容;
    - 第四板,所述第四板面向所述第二板,其中,所述第四板是具备电传导性的,而且因此在所述第二板和所述第四板之间形成第二电容;以及
    - 电负载电阻,在所述第三板和第四板之间被连接,
    - 其中,所述第一和第二电容一起具有等效串联电容,
    - 其中,所述等效串联电容具有在初始值和所述初始值的60%之间的范围内的值,
    - 其中,所述戴维南等效阻抗具有正的虚分量以及是所述负载电阻的至少三倍的量值,
    - 其中,所述第二电感器具有与所述等效串联电容的所述初始值的电抗相等的电抗。
2. 如权利要求1所述的系统,其中所述共振频率在所述源频率的5%内。
3. 如权利要求1所述的系统,其中所述充电器提供电流至所述电负载电阻,其在所述等效串联电容的所述范围上变化小于10%。
4. 如权利要求1所述的系统,其中所述便携式装置包含能量存储装置。
5. 如权利要求1所述的系统,
  - 其中,所述充电器提供电流( $I_1$ )至所述电负载电阻,
  - 其中,所述源具有源电压( $V_s$ ),
  - 其中,所述电容器具有约 $1.1 I_1 / (2\pi f_s V_s)$ 的电容( $C_s$ ),以及
  - 其中,所述第一电感器具有约 $0.94 / (4\pi^2 f_s^2 C_s)$ 的电感( $L_p$ )。

## 经由可变耦合电容的无线功率传输

### 技术领域

[0001] 本发明涉及无线功率传输。

### 背景技术

[0002] 固定的与便携式的装置之间的无线功率传输消除了功率连接器以及伴随的接触清洁、肮脏与潮湿的环境以及电击危险的问题。通常,连接器是电子系统中最不可靠的组件。

[0003] 无线功率传输已经被采用来用于给便携式的电池提供功率的装置(比如手机和电动牙刷)充电。便携式装置可以是无线集成电路卡,以及固定的装置可以是卡耦合装置(card coupling device)。备选的是,便携式装置可以是移动电话、智能电话或计算机平板,以及固定的装置可以是电池充电器。在本公开中,充电器是更广泛种类的固定的装置的代表。

[0004] 例如,由无线功率协会(Wireless Power Consortium)发展的Qi标准已经被许多公司采用,以用于电感性的无线功率传输。电感性的功率传输的一个缺点是对在充电器和便携式装置中依靠屏蔽而包含较强磁场的需要,这增加了成本。随着人紧密邻近充电器,此类屏蔽被要求,以将磁场强度限制于可容许的等级。

### 发明内容

[0005] 提供了包括充电器和便携式装置的系统。便携式装置经由耦合电容被耦合到充电器。充电器甚至对于耦合电容中的较大变化也提供较恒定的电流至便携式装置。

[0006] 充电器包括源、第一电抗性组件和第二电抗性组件。源提供在源频率( $f_s$ )的交流电流,以及具有第一端子(terminal)与第二端子以及源阻抗。第一电抗性组件在第一端子和中间点之间被连接。第二电抗性组件在中间点和第二端子之间被连接。第一电抗性组件与第二电抗性组件中的一个电容器,而且第一电抗性组件与第二电抗性组件中的另一个是第一电感器。第一电抗性组件、第二电抗性组件和源阻抗组合起来具有戴维南(Thévenin)等效阻抗。第一电感器和所述电容器具有与源频率不同的共振频率。充电器还包括第一板、第二电感器和第二板。第一板是具备电传导性的。第二电感器在中间点和第一板之间被连接。第二板是具备电传导性的而且被连接至第二端子。

[0007] 便携式装置具有第三板、第四板和电负载电阻。第三板面向第一板而且是具备电传导性的,而且因此在第三板和第一板之间形成第一电容。第四板面向第二板而且是具备电传导性的,而且因此在第二板和第四板之间形成第二电容。电负载电阻在第三板和第四板之间被连接。

[0008] 第一和第二电容一起而具有等效串联电容。等效串联电容具有在初始值和初始值的60%之间的范围内的值。戴维南等效阻抗具有正的虚分量以及是负载电阻的至少三倍的量值。第二电感器具有与等效串联电容的初始值的电抗近似相等的电抗。

[0009] 充电器提供电流至电负载电阻,其在等效串联电容的范围上变化小于约10%。

[0010] 被通信的数据可以包括关于便携式装置存在和充电启动的信息。其它数据可以包括便携式装置中电池的充电状态、对充电器的关于何时减少或关闭充电电流的指示。

### 附图说明

[0011] 图1是一电路的示意图,该电路采用经由可变耦合电容的无线功率传输。

[0012] 图2是图1的电路的特定实施例中的电路的示意图。

[0013] 图3是图2的子电路的示意图。

[0014] 图4是一电路的示意图,该电路是图3的子电路的戴维南等效。

[0015] 图5是一电路的示意图,该电路是图2的电路的戴维南等效。

[0016] 图6A、6B和7是图5的电路的各种阻抗的相位复矢量(phasor)表示。

[0017] 图8是输出电流 $I_L$ 相对图3的电路的耦合电容 $C_s$ 的曲线图。

[0018] 图9是一系统的示意图,该系统包括充电器和便携式装置,其具有对应的形成电容性耦合的金属板。

[0019] 图10是另一个系统的示意图,该系统包括充电器和便携式装置,其具有对应的形成电容性耦合的金属板。

[0020] 图11是系统一实施例的物理表示的图,该系统包括充电器和便携式装置,其具有对应的形成电容性耦合的金属板。

[0021] 图12是依照本公开对于电路的示范设计列出值的表。

### 具体实施方式

[0022] 本公开提出电容性充电接口,由此充电器具有一对绝缘的具备传导性的板,在本文中也称为充电器板。具有与充电器板的布局相对应的布局的一对绝缘的具备传导性的板的便携式装置被相对充电器板放置,形成连接充电器至便携式装置的两个耦合电容器。这些耦合电容器的电容可以由于便携式装置的在充电器上的不准确放置和表面污染而变化。本公开描述一种充电接口,其提供较不受耦合电容变化影响的功率传输。

[0023] 当每一对充电器板被相等振幅、相反相位电压所驱动时,外部场的相当大的抵消被影响。通过用接地的环(ring)包围所述数对板,电场被进一步地屏蔽和衰减。本文示出随着这两个电容器的每一个中的较小电容如此被形成,相当大的功率流可以被得到。

[0024] 电容性耦合的一个挑战是维持功率流,即使在充电器和/或便携式装置的表面具有污垢层时。此类层将加宽板之间的空隙和减小电容。本公开提出一种电路,其提供大体上恒定的电流,而不管耦合电容中的宽变化。

[0025] 使用充电器中的振幅调制和便携式装置中的负载调制,双向通信能够在固定的和便携式装置之间实现。类似地,其它调制方案可以被实现。被通信的数据可以包括关于便携式装置存在和充电启动的信息。其它数据可以包括便携式装置中电池的充电状态、对充电器的关于何时减少或关闭充电电流的指示。

[0026] 图1是电路100的示意图,该电路采用经由可变耦合电容的无线功率传输。电功率从充电器101传输至便携式装置102。便携式装置102可以是例如手机或便携式计算装置,以及充电器101可以是电池充电器。

[0027] 来自源频率 $f_s$ 的AC功率源105(具有内部电阻 $R_{s1}$  110、第一端子C和第二端子D)

的直流电 (DC) 功率对便携式装置102和它的负载(如由负载电阻 $R_L$  135表示的)是可用的。

[0028] 在一典型的实施例中,  $R_L$  135表示能量存储装置(例如, 能够被再充电的电池)以及整流器、电压或电流调节器的负载电阻。电流 $I_L$  140被提供给 $R_L$  135。

[0029] 源电压 $V_s$ 被应用于串联共振电路, 该串联共振电路包括在第一端子C和中间点A之间被连接的串联电抗性组件107。并联电抗性组件108在中间点A和端子D之间被连接。在一个实施例中, 电抗性组件107是电容器, 以及电抗性组件108是电感器。在一备选实施例中, 电抗性组件107是电感器, 以及电抗性组件108是电容器。电容器和电感器形成串联共振电路, 其具有从源频率 $f_s$ 故意地偏移高达5%的共振频率, 导致 $V_s$ 振幅的近似三到十倍范围内的端子A和B之间的电压。

[0030] 源电压 $V_s$ 被示出为正弦波生成器, 但是它也可以表示非正弦曲线源的输出的基频分量, 比如方波。

[0031] 电抗性组件可以具有损耗。电抗性组件107具有电抗 $X_s$  115和电阻 $R_{s2}$  111。电抗性组件108具有电抗 $X_p$  120和电阻 $R_p$  125。

[0032] 充电器101具有具备电传导性的板131和板136。电感器 $L_{cc}$  150在中间点A和板131之间被连接。板136连接至点B和D。

[0033] 便携式装置102具有面向板131的板132。板132是具备电传导性的且因此在板132和板131之间形成电容 $C_c$  130。便携式装置102还具有面向板136的板137。板137是具备电传导性的且因此在板136和板137之间形成电容 $C_c$  138。

[0034] 理想的是, 板131和板132相对于彼此完美地对准, 而且类似地, 板136和板137完美地对准。实际上, 一定程度的未对准可能发生。在板131和132之间的具有宽度“w”的空隙133可以包括绝缘封装材料、空气和污染物的变化组合。类似的空隙在板136和137之间存在。

[0035] 充电器101因此经由电容 $C_c$  130和电容 $C_c$  138电容性地耦合至便携式装置102。电容130和138一起而具有等效串联电容 $C_c$ 。对于板131和132相对于板136和137完美地对准而且没有污染物增加空隙133的宽度的情形,  $C_c$ 具有最大初始值, 例如10 pF。实际上, 未对准和表面污染物可将 $C_c$ 减少至更低的值, 例如它的初始值的60%, 例如6 pF。

[0036] 电容性电抗由公式 $X=1/(2\pi fC)$ 给出。

[0037] 图2是图1电路的一特定实施例中电路200的示意图, 其中电容130和138由单个可变电容 $C_c$  237来表示。在这个实施例中, 电抗性组件107是电容器 $C_s$  215, 以及电抗性组件108是电感器250。

[0038] 组件107的损耗电阻 $R_{s2}$  111已经与源电阻 $R_{s1}$  110被合在一起, 而且一起由它们的总和(电阻 $R_s$  212)来表示。电感器250具有电感 $L_p$  220和电阻 $R_p$  125。

[0039] 通常,  $C_c$ 237具有小的电容(在几个皮法拉的范围中)以及从而具有大的负虚阻抗。电感器 $L_{cc}$  150与 $C_c$ 237串联。电感器 $L_{cc}$  150具有正虚阻抗, 其在量值上与 $C_c$  237的阻抗类似。 $C_c$  237和 $L_{cc}$  150的串联组合具有比单独的 $C_c$ 237的阻抗量值要小得多的阻抗量值。 $L_{cc}$  150的值被选择以提供与 $C_c$ 237的电抗初始值近似相等的电抗,  $C_c$ 237的电抗初始值又等于电容130和138的等效串联电容的电抗的初始值。

[0040] 对于给定的频率 $f_s$ 、 $R_s$  212、 $R_p$  125和 $R_L$  135, 存在 $C_s$  215和 $L_p$  220的某个组合, 对于该组合, 较恒定的电流将被提供给负载 $R_L$  135, 尽管 $C_c$  237在值的宽范围上的改

变。

[0041] 通常对于电路,戴维南定理(Thévenin's Theorem)认为电路任何邻接的子段(contiguous subsection)(所述邻接的子段由正好两个端子连接至该电路的其余部分)能够由戴维南等效电路来表示。戴维南等效电路包括与戴维南等效阻抗串联的电压源。通过将所述电路子段从所述其余电路隔离并且测量或演算开路电压(例如,在电路200中,在端子A和B之间),戴维南等效电压被确定。通过归零(zeroing)所有电压和电流源的值、短路电压源并开路电流源以及测量或演算在以上提到的两个端子之间的阻抗,戴维南等效阻抗被确定。

[0042] 图3是子电路300的示意图,该子电路包括图2中在端子A和B的左边的所有组件。

[0043] 图4是电路400的示意图,该电路是子电路300的戴维南等效。 $V_{TH}$  405表示在端子A和B之间的开路电压。网络410配置有 $R_s$  212、 $C_s$  215、 $R_p$  125和 $L_p$  220,以及表示在子电路300中当AC功率源105由短路电路代替时,在端子A和B之间被观察到的阻抗。

[0044] 现提供电路分析演算。从分压器等式(voltage divider equation)来演算戴维南等效电压源 $V_{TH}$  405的值。戴维南等效阻抗是如在电路400中连接的 $R_s$  212、 $C_s$  215、 $R_p$  125和 $L_p$  220的组合阻抗,而且戴维南等效电压(即,端子A和B之间的电压)跨电感器250而取得,该电感器250包括 $L_p$  220和 $R_p$  125(在子电路300中)。

$$[0045] \quad V_{TH} = V_S (R_P + jX_P) / [(R_P + R_S) + j(X_P - X_S)] \quad (\text{等式1})$$

[0046] 乘以分母的复共轭,

$$[0047] \quad V_{TH} = \frac{V_S [R_P (R_P + R_S) + X_P (X_P - X_S) + j[X_P (R_P + R_S) - R_P (X_P - X_S)]]}{(R_P + R_S)^2 + (X_P - X_S)^2} \quad (\text{等式2})$$

[0048] 对于典型的情形,其中源电阻和损耗电阻具有比电抗低得多的值,使得 $R_s \ll X_s$ 和 $R_p \ll X_p$ , $V_{TH}$ 近似是

$$[0049] \quad V_{TH} \approx \frac{V_S [X_P (X_P - X_S) + j[X_P (R_P + R_S) - R_P (X_P - X_S)]]}{(R_P + R_S)^2 + (X_P - X_S)^2} \quad (\text{等式3})$$

[0050] 戴维南等效源阻抗 $Z_{TH}$ 由以下等式给出

$$[0051] \quad Z_{TH} = \frac{(R_S - jX_S)(R_P + jX_P)}{R_P + R_S + j(X_P - X_S)} \quad (\text{等式4})$$

$$[0052] \quad = \frac{R_S R_P + X_S X_P + j(R_S X_P - R_P X_S)}{R_P + R_S + j(X_P - X_S)} \quad (\text{等式4A})$$

$$[0053] \quad \approx \frac{R_S R_P (R_P + R_S) + R_S X_P^2 + R_P X_S^2 + j[R_S^2 X_P - R_P^2 X_S - X_S X_P^2 + X_S^2 X_P]}{(R_P + R_S)^2 + (X_P - X_S)^2} \quad (\text{等式4B})$$

[0054] 采用以上近似,即 $R_s \ll X_s$ 和 $R_p \ll X_p$ , $Z_{TH}$ 的实部近似是

$$[0055] \quad \text{Re}[Z_{TH}] \approx \frac{R_S X_P^2 + R_P X_S^2}{(R_P + R_S)^2 + (X_P - X_S)^2} \quad (\text{等式5})$$

[0056] 比较起来, $Z_{TH}$ 的虚部近似是

$$[0057] \quad \text{Im}[Z_{TH}] \approx \frac{X_S X_P (X_S - X_P)}{(R_P + R_S)^2 + (X_P - X_S)^2} \quad (\text{等式6})$$

[0058] 图5是电路500的示意图,该电路是电路200的戴维南等效。为形成电路500,电路200在端子A和B左边的部分已由来自等式3的戴维南等效电压源 $V_{TH}$  505来代替,而且网络410中的组件已由复阻抗 $Z_{TH}$  510来代替,该复阻抗 $Z_{TH}$  510的实和虚分量分别由等式5和等式6给出。 $L_{cc}$  150, $C_c$  237和 $R_L$  135在电路500中被恢复,而且戴维南定理假设 $I_L$  140与电路100和200中的相同。

[0059] 在 $V_{TH}$  505和 $R_L$  135之间,我们定义总系统阻抗 $Z_{sys}$ ,其包括 $Z_{TH}$ 、 $L_{cc}$  150的阻抗以及 $C_c$  237的阻抗的总和。 $Z_{sys}$ 由下式给出

$$[0060] \quad Z_{sys} = V_{TH} / \{ \text{Re}[Z_{TH}] + j \{ \text{Im}[Z_{TH}] + 2\pi f_s L_{cc} - 1/(2\pi f_s C_c) \} \} \quad (\text{等式7})$$

[0061] 图6A是对于 $C_c$  237被设为最大的10皮法拉(pF)的情形,在电路500中除 $R_L$  135以外的所有阻抗的相位复矢量图。由相位复矢量 $Z_{sys}$  600表示的总阻抗 $Z_{sys}$ ,是相位复矢量 $Z_{TH}$  610、相位复矢量 $Z_{L_{cc}}$  630以及相位复矢量 $Z_{C_c}$  620的总和,其中 $Z_{TH}$  610是戴维南等效源阻抗的相位复矢量表示, $Z_{L_{cc}}$  630是 $L_{cc}$  150的阻抗的相位复矢量表示,以及 $Z_{C_c}$  620是 $C_c$  237的阻抗的相位复矢量表示。通过为 $L_{cc}$  150的阻抗选择与 $C_c$  237的最大耦合电容的值在量值上类似的值, $Z_{L_{cc}}$  630抵消 $Z_{C_c}$  620。结果, $Z_{sys}$  600与 $Z_{TH}$  610在长度上非常类似。

[0062] 图6B是与图6A的相位复矢量图类似的、但是是对于5.5 pF的 $C_c$  237的最小耦合电容的相位复矢量图。 $Z_{C_c}$  620具有对应增加的长度,以及 $Z_{sys}$  (如由相位复矢量 $Z_{sys}$  605表示的)从而被顺时针旋转越过实轴且具有负的虚分量。但是, $Z_{sys}$  605的长度 $|Z_{sys}|$ 保持了与 $Z_{sys}$  600的长度大约相同,而且两者都在长度上与 $|Z_{TH}|$ 类似。这说明尽管 $C_c$  237的电容从10 pF到5.5 pF的减小,系统阻抗 $Z_{sys}$ 的量值没有增加,而且长度 $|Z_{sys}| \approx |Z_{TH}|$ 。

[0063] 在一优选的实施例中,戴维南等效阻抗 $Z_{TH}$ 具有正的虚分量以及是负载电阻 $R_L$  135的至少三倍的量值。

[0064] 图7是相位复矢量图,其示出 $Z_{sys}$ 当由于 $C_c$  237减少的值而从 $Z_{sys}$  600顺时针旋转时 $Z_{sys}$ 的端子点的轨迹740,直到 $C_c$  237在 $Z_{sys}$  605的位置达到设计最小值,。

[0065] 戴维南电流源值 $I_{TH}$ 可以通过由等式4除等式1来演算,

$$[0066] \quad I_{TH} = V_{TH} / Z_{TH} = V_s / (R_s - jX_s) \quad (\text{等式8})$$

[0067] 典型的是 $R_s \ll X_s$ 。因此, $|I_{TH}|$ 的量值近似是

$$[0068] \quad |I_{TH}| \approx V_s / X_s = V_s / (2\pi f_s C_s) \quad (\text{等式9})$$

[0069] 对于条件 $R_L \ll |Z_{TH}|$ 而且 $L_{cc}$  150和 $C_c$  237的电抗近似地彼此抵消,电流 $|I_{TH}|$ 近似于负载电流 $I_L$  140。

[0070] 对于特定的负载电流 $I_L$ 和源频率 $f_s$ 的设计目标,组件 $C_s$  215、 $L_p$  220和 $L_{cc}$  150能够依据以下公式被选取

$$[0071] \quad C_s \approx 1.1 I_L / (2\pi f_s V_s), \quad (\text{等式10})$$

[0072] 其中,因子1.1某种程度上补偿由于负载电阻 $R_L$ 不可忽略的值而引起的负载电流的减小,以及

$$[0073] \quad L_p \approx 0.94 / (4\pi^2 f_s^2 C_s), \quad (\text{等式11})$$

[0074] 其中因子0.94增加 $C_s$ 和 $L_p$  220的共振频率约3%(相对于源频率 $f_s$ ),以获得正的 $Z_{TH}$ 的虚分量和以获得提供较恒定负载电流的 $C_c$ 的范围,如在图7中所示。对于等效串联电容 $C_c$ 的初始值 $C_{c(initial)}$ 和所有负载电流, $L_{cc}$ 在近似地设为下式时将抵消 $C_c$ 的电抗的大部分

$$[0075] \quad L_{cc} \approx 1 / (4 \pi^2 f_s^2 C_{c(initial)}), \quad (\text{等式12})$$

[0076] 但是,调节 $L_{cc}$ 至稍微更高的或更低的值可以是有益的,以偏斜(skew)满足或超过期望负载电流的电容的范围。

[0077] 本文公开的技术的特征是电抗性组件107和108的串联共振LC电路所担负(afford)的电压的增加,允许较小的由 $C_c$  237表示的耦合电容来传导较大的负载电流。为了说明,对于13.56 MHz的源频率 $f_s$ ,减小的5.5 pF等效串联等效电容具有2.1 k 欧姆电抗。5伏均方根(rms)电压源将驱动小于2.5 mA经过200 欧姆负载,或约1.25毫瓦。当前提出的电路驱动约50 mA经过负载,或约500毫瓦。

[0078] 图12是依照本公开对于电路的示范设计列出值的表,即表1。

[0079] 表1示出对于具有5欧姆源电阻的5伏rms源电压 $V_s$ 、200欧姆的负载电阻 $R_L$ 、13.56 MHz的源频率 $f_s$ 、10 pF的标称串联等效电容 $C_c$  237和50 mA的期望负载电流 $I_L$ 的设计示例。电容器 $C_s$  215依据等式10被选择为130 pF,而且电感器250的电感 $L_p$  220依据等式11被选择为1.0微亨( $\mu H$ )。商业上可得到的电感器(比如TDK MLF1005G1R0KT)在13 MHz区域中显示出70的Q,因此表1指定保守的50的Q。

[0080] 电感器 $L_{cc}$  150被设为12  $\mu H$ ,比将从等式12所演算的小约10%。它的Q不是关键的,因为它的小损耗电阻与负载串联。适合的商业上可得到的电感器示例是Delevan 5022R-123J。

[0081] 表1的右列把以上演算的参数的演算值列表。演算示出耦合电容能够被减少到低至5.8 pF,低于10 pF标称串联等效电容的42%的减小,然而负载电流被维持而且没有减少到低于50 mA。表1的右列还示出49.8 伏rms的或者是5伏rms源电压 $V_s$ 的约十倍的戴维南等效源电压 $V_{TH}$ 。戴维南等效阻抗量值 $|Z_{TH}|$ 是882欧姆,多于200欧姆的负载阻抗 $R_L$ 的四倍,这有助于解释为什么在负载电阻和串联等效电容的范围上电流保持较恒定。

[0082] 串联等效电容 $C_c$  237可以被认为是耦合电容。图8是输出电流 $I_L$ 对于图3电路的耦合电容 $C_c$ 的曲线图,而且示出在耦合电容的宽范围上负载电流 $I_L$ 的恒定性。实曲线800示出,对于由线830指示的在5.8 pF与10.4 pF之间的范围上耦合电容的变化,负载电流在50 mA与56 mA之间变化。曲线810示出对于150欧姆的负载电阻,负载电流 $I_L$ 变化较小,以及曲线820示出对于300欧姆的负载电阻,负载电流 $I_L$ 变化较小。

[0083] 回顾充电器101包括AC功率源105、电抗性组件107以及电抗性组件108。AC功率源105提供在源频率( $f_s$ )的交流电流,以及具有端子(C)与端子(D)以及源阻抗 $R_{s1}$  110。电抗性组件107在端子(C)和中间点(A)之间被连接。电抗性组件108在中间点(A)和端子(D)之间被连接。电抗性组件107与电抗性组件108中的一个电抗性组件107与电抗性组件108中的另一个是第一电感器。电抗性组件107、电抗性组件108和源阻抗 $R_{s1}$  110组合起来具有戴维南等效阻抗。第一电感器和所述电容器具有与源频率不同的共振频率。充电

器101还包括板131、第二电感器150和板136。板131是具备电传导性的。电感器150在中间点(A)与板131之间被连接。板136是具备电传导性的而且被连接至端子(D)。

[0084] 便携式装置102具有板132、板137和电负载电阻 $R_L$  135。板132面向板131,而且是具备电传导性的,以及因此在板132与板131之间形成电容130。板137面向所述板136,而且是具备电传导性的,以及因此在板136与板137之间形成电容138。电负载电阻 $R_L$  135在板132和第四板137之间被连接。

[0085] 电容130和138一起具有等效串联电容 $C_c$  237,其可以在初始值和初始值的60%之间的范围上变化。戴维南等效阻抗具有正的虚分量以及是电负载电阻 $R_L$  135的至少三倍的量值。电感器150具有与 $C_c$  237的初始值的电抗近似相等的电抗。

[0086] 图9是系统900的示意图,该系统包括无线充电器901和便携式装置910,其具有对应的形成电容性耦合的金属板。充电器901是图2单端(single-ended)电路的平衡的推-拉(balanced push-pull)实施例,其获得充电器901与便携式装置910之间的电流隔离,以用于至负载 $R_L$  920的电功率的无线耦合。

[0087] 在充电器901中,图2的AC功率源105由5伏DC功率源930、振荡器940(即,晶体控制的方波振荡器)以及推-拉缓冲器(push-pull buffer)950和954来实现。缓冲器954反转振荡器940的输出的相位,而且缓冲器950和954以低的输出阻抗 $R_s$  951和 $R_s$  955为特征,例如5欧姆。

[0088] 串联电容器 $C_s$  215由电容器960和962(每一个都具有加倍的电容 $2C_c$ )来实现。电感 $L_p$  220和损耗电阻 $R_p$  125如在电路200中一样在充电器901中被实现。电感器 $L_{cc}$  150由电感器980和984(每一个都具有 $1/2L_{cc}$ 的值)在充电器901中实现。

[0089] 串联等效电容 $C_c$  237由两个耦合电容905和906(每一个都具有加倍的电容 $2C_c$ )来实现。便携式装置910中的桥接整流器(bridge rectifier)915调整经由电容905和906提供的交流电流。

[0090] 图10是系统1000的示意图,该系统包括充电器1001和便携式装置910,其具有对应的形成电容性耦合的金属板。充电器1001类似于充电器901,但是具有电容性的并联电抗 $C_p$  1005和损耗电阻 $R_p$  1006。串联电抗性组件107用电感性电抗 $X_L$  1010和1011以及损耗电阻 $R_s$  1020和1021来实现。

[0091] 图11是系统1100一实施例的物理表示的图,该系统包括充电器1101和便携式装置1110,其具有对应的形成电容性耦合的金属板。充电器1101经由缆线1120和插入电源引出口(power outlet)(未示出)的插头1121而从电力干线(electrical mains)被供电。充电器1101在电绝缘表面1105上具有具备电传导性的金属板1131和1141。便携式装置1110在外部绝缘表面1115上具有具备电传导性的金属板1130和1140。便携式装置1110的其余部分没有示出。金属板1130与金属板1131紧密近邻而且对准地放置,形成如在图9和10中示出的电容器905。

[0092] 类似地,金属板1140与金属板1141紧密近邻而且对准地放置,形成电容器906。板对1130-1140和1131-1141中的一对或两对用绝缘涂层来覆盖,从而防止充电器1101与便携式装置1110的电路之间的电流连接。可选的传导性的和接地的环1150或1151屏蔽以上提到的板对,而且减少在充电器1101和便携式装置1110的附近的电场发射的量值。

[0093] 本文描述的技术是示例性的,而且不应该被解释为暗示对本公开的任何特定限制。应该理解,各种备选、组合和修改能够被本领域的技术人员想出。本公开旨在包含落入随附权利要求的范围内的所有此类备选、修改和变化。

[0094] 术语“包括(“comprises”或“comprising”)”要被解释为指定所述的特征、整体、步骤或组件的存在,但是不排除一个或更多其它的特征、整体、步骤或组件或其组的存在。术语“一(“a”和“an”)”是不定冠词,而且同样地不排除具有复数个项目的实施例。

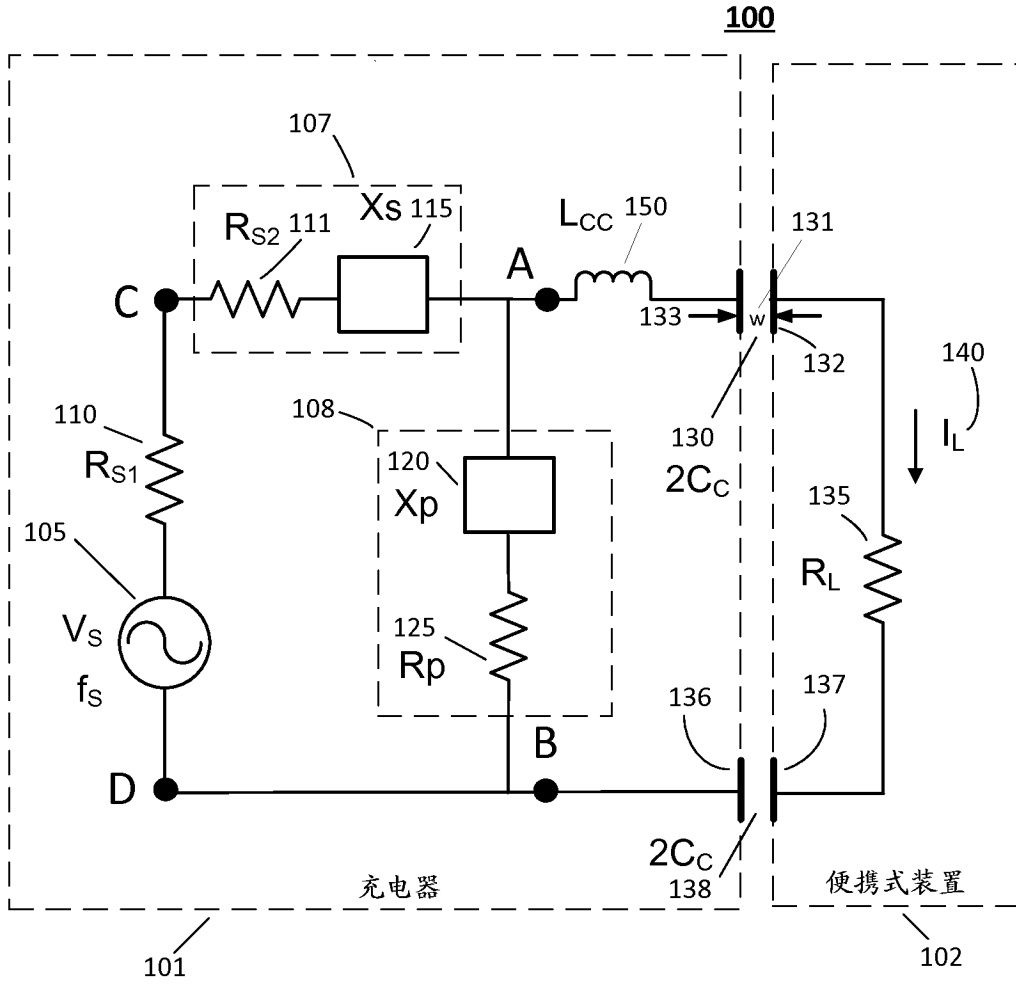


图 1

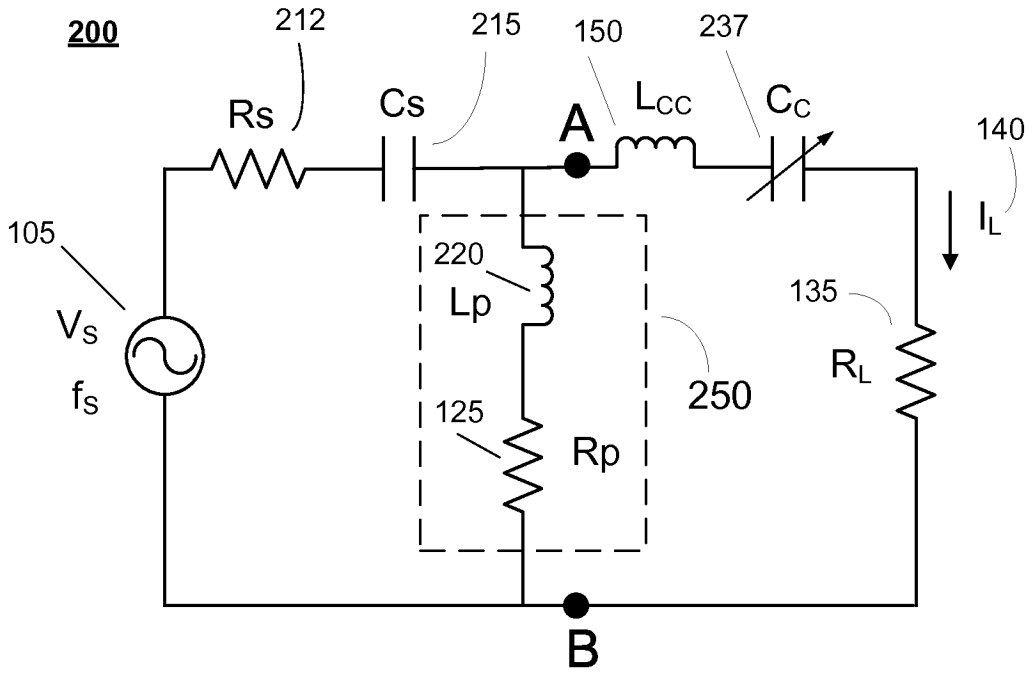


图 2

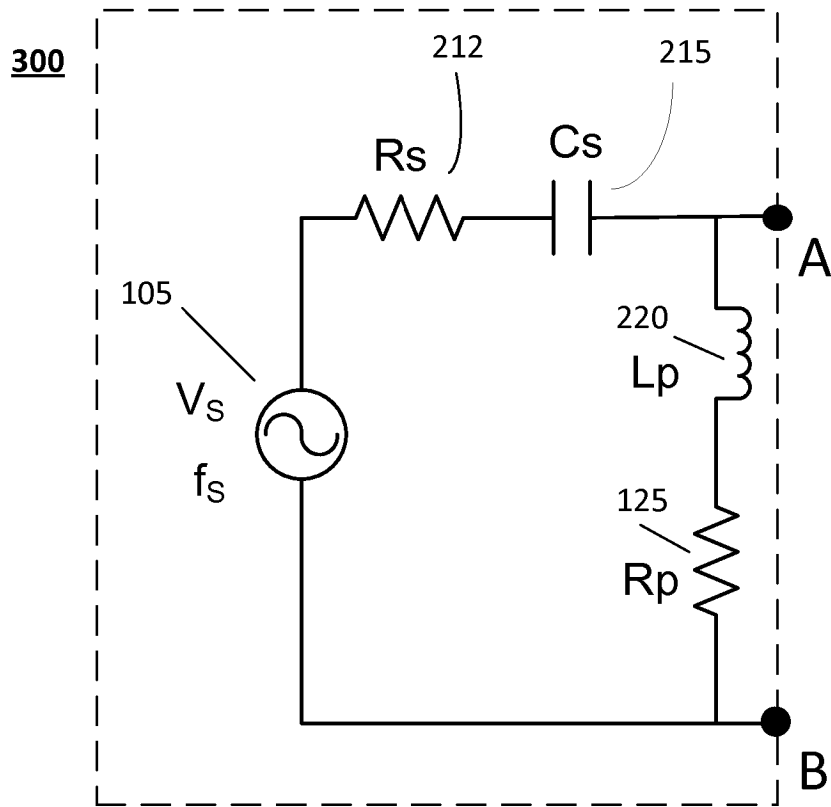


图 3

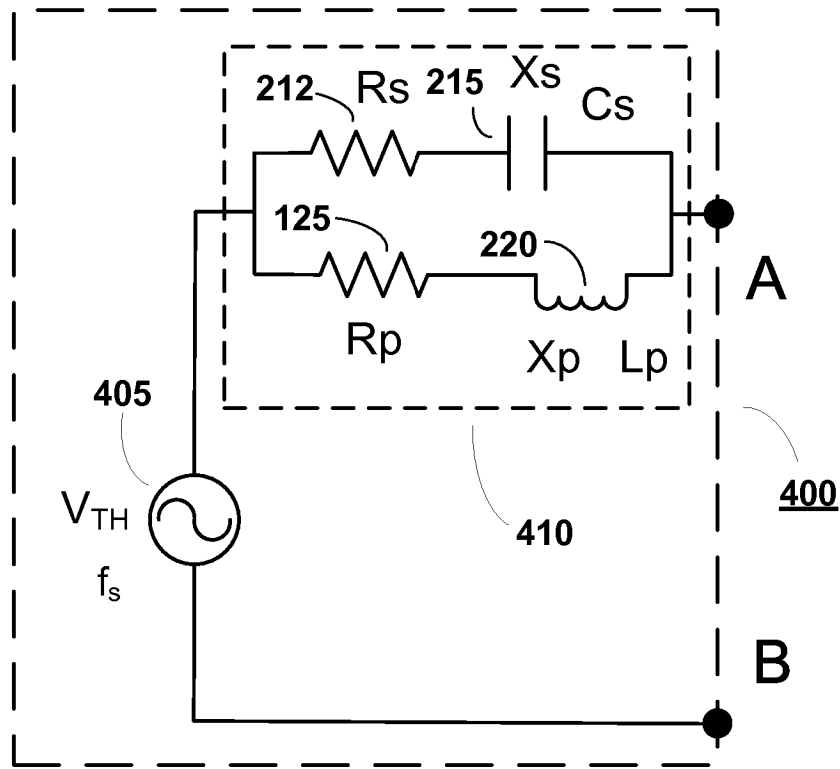


图 4

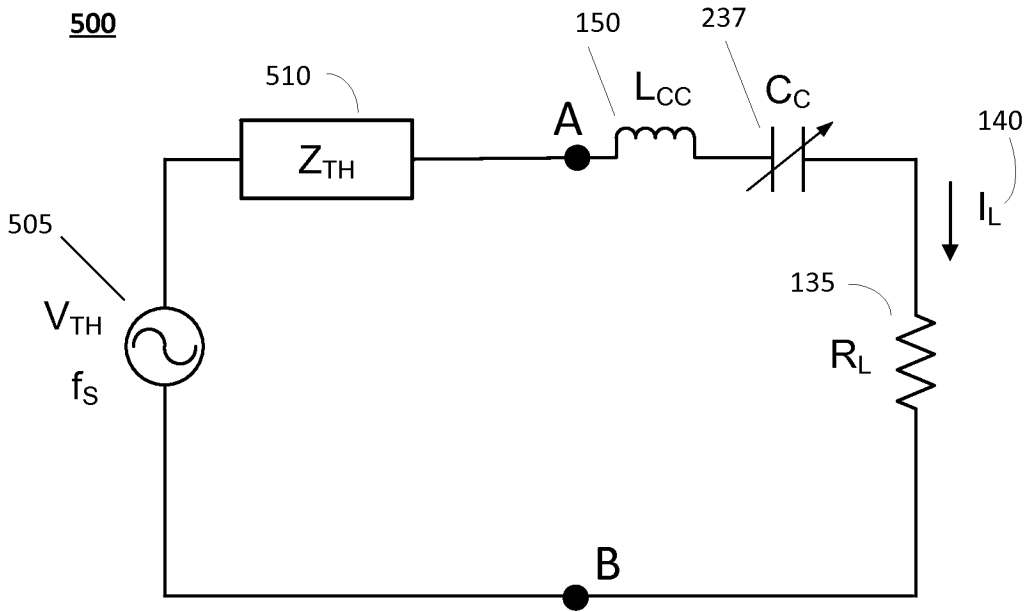


图 5

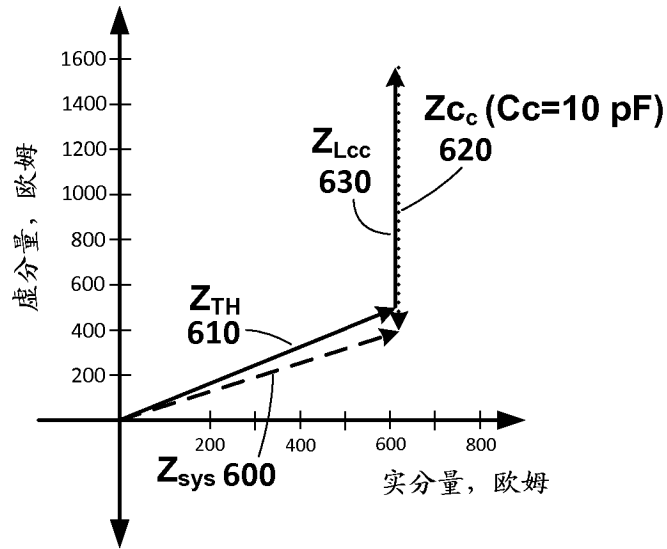


图 6A

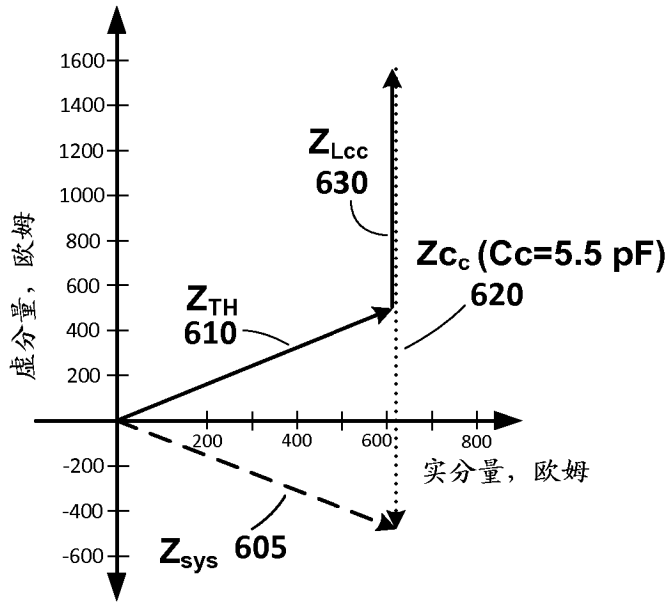


图 6B

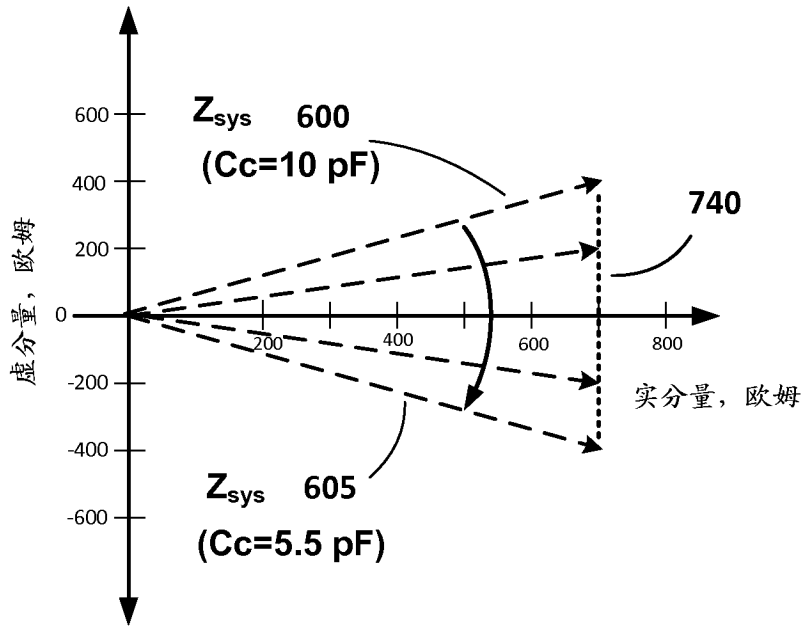


图 7

对于变化的耦合电容的负载电流的恒定性

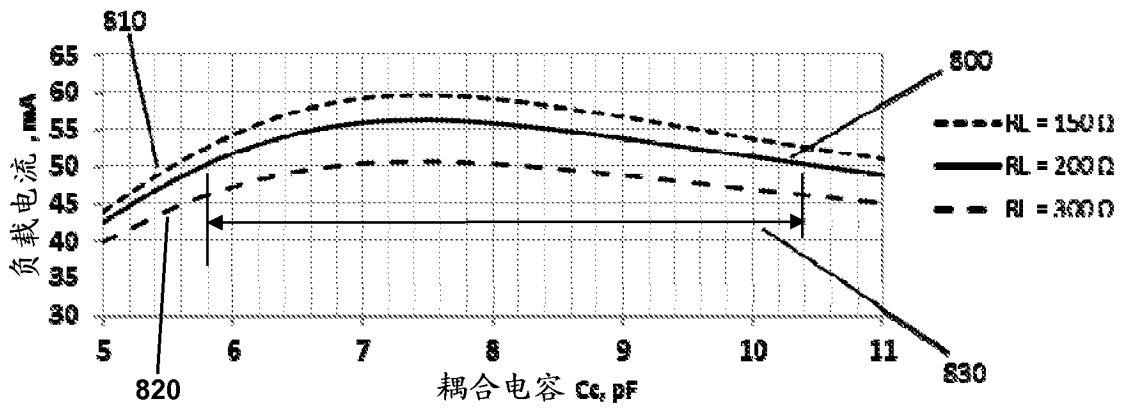


图 8

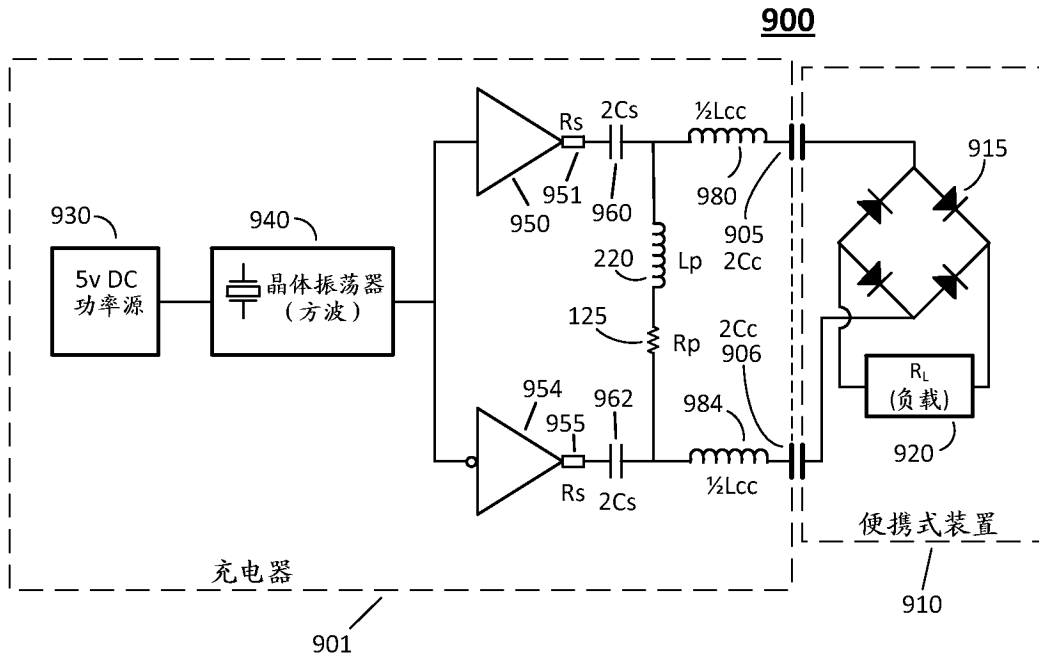


图 9

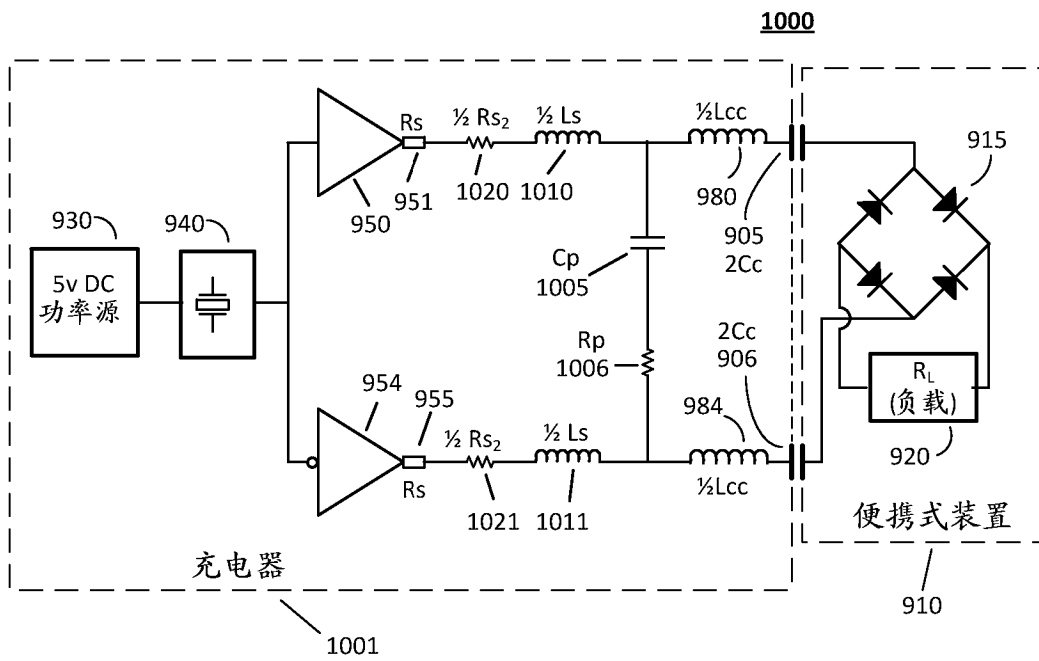


图 10

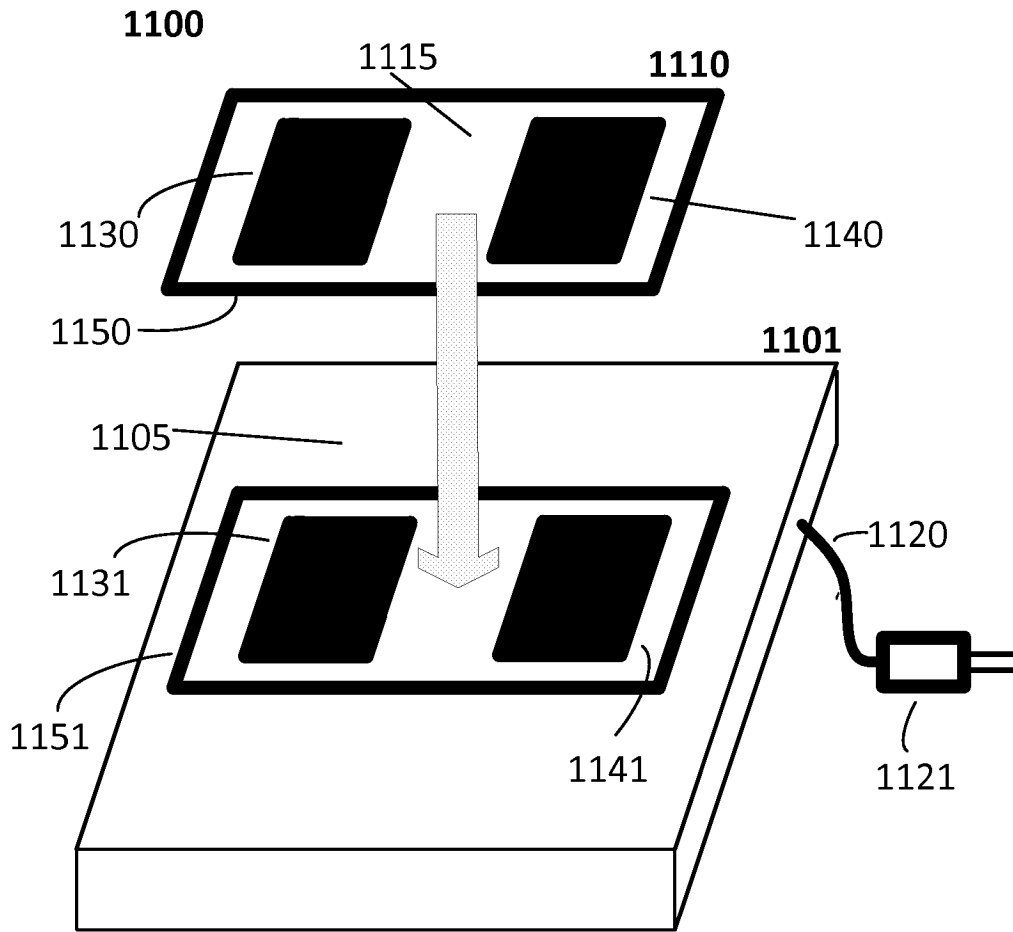


图 11

表 1. 设计示例

设计值		演算的参数	
源电压	5 V rms		
负载电流	50 mA		
源频率	13.56 MHz		
负载电阻, $R_L$	200 $\Omega$		
电容器, $C_s$	130 pF	$X_s$	90.1 $\Omega$
电感器, $L_p$	1.00 $\mu$ H	$X_p$	84.8 $\Omega$
		$X_p - X_s$	-5.3 $\Omega$
		$\lambda \equiv X_s / X_p$	1.062
		共振频率 $C_s$ & $L_p$	13.974 MHz
		从共振频率的偏移	3.05%
$L_p$ 的 Q	50	$R_p = L_p$ 的损耗电阻	1.7 $\Omega$
源电阻, $R_s$	5 $\Omega$	$R_s + R_p$	6.7 $\Omega$
电感, $L_{cc}$	12 $\mu$ H	$X_{L_{cc}}$	1022 $\Omega$
标称耦合电容, $C_c$	10 pF	标称 $X_{C_c}$	1174 $\Omega$
最小耦合电容	5.8 pF	最小 $X_{C_c}$	2024 $\Omega$
		戴维南等效源电压	49.8 V rms
		Re[Zth]	686 $\Omega$
		Im[Zth]	554 $\Omega$
		戴维南等效阻抗量值	882 $\Omega$
		标称负载电流	51 mA
		负载电流 $C_c$ (最小)	50 mA
		最大负载电流	56 mA

图 12