



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106575873 B

(45)授权公告日 2019.12.13

(21)申请号 201580037579.1

(22)申请日 2015.05.29

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 106575873 A

(43)申请公布日 2017.04.19

(30)优先权数据
14/330,569 2014.07.14 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2017.01.09

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2015/033263 2015.05.29

(87)PCT国际申请的公布数据
W02016/010636 EN 2016.01.21

(73)专利权人 高通股份有限公司
地址 美国加利福尼亚州

(72)发明人 R·H·戴维斯

(74)专利代理机构 北京市金杜律师事务所
11256

代理人 王茂华

(51)Int.Cl.
B60L 53/12(2019.01)
B60L 53/30(2019.01)
H01F 38/14(2006.01)
H02J 5/00(2016.01)
H02J 7/02(2016.01)
H04B 5/00(2006.01)

(56)对比文件
WO 2013142840 A1,2013.09.26,
US 2010201316 A1,2010.08.12,
US 2013038282 A1,2013.02.14,
US 2014054975 A1,2014.02.27,

审查员 陈新红

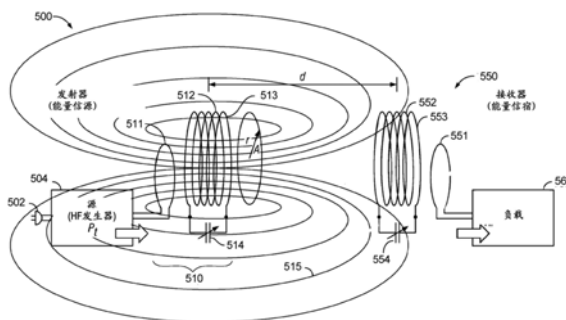
权利要求书6页 说明书22页 附图22页

(54)发明名称

用于改进的无线高Q谐振功率传送的可调节耦合的方法和装置

(57)摘要

在本文中描述了用于无线感应式功率传送的方法和装置。一个实施方式可以包括一种用于无线感应式功率传送的装置。该装置包括初级谐振器，其被配置为将功率无线地传送到次级谐振器，该次级谐振器被耦合到无线功率接收器的负载。该装置包括耦合电路，其被配置为将能量从供电源耦合到初级谐振器。该装置包括控制器，其被配置为经由耦合电路使供电源和初级谐振器之间的第一耦合量的调节与次级谐振器和无线功率接收器的负载之间的第二耦合量的调节相协调。该耦合电路包括第一耦合回路，其包括多个段，每个段被配置为选择性地被电连接到供电源，第一耦合回路与初级谐振器电隔离。



1. 一种用于无线感应式功率传送的装置,包括:

初级谐振器,被配置为向次级谐振器无线地传送功率,所述次级谐振器被耦合到无线功率接收器的负载;

耦合电路,被配置为将能量从供电源耦合到所述初级谐振器;

控制器,被配置为:

从所述无线功率接收器接收以下项中的至少一项的指示:功率吞吐量,或被递送到所述负载的功率的效率;

至少部分地基于所述指示,协调所述供电源与所述初级谐振器之间经由所述耦合电路的第一耦合量的调节和所述次级谐振器与所述负载之间经由所述无线功率接收器的第二耦合电路的第二耦合量的调节两者;

传感器,所述传感器被配置为测量所述供电源与所述初级谐振器之间的功率吞吐量的至少一个参数,

其中所述控制器被配置为在使所述第一耦合量的所述调节与所述第二耦合量的所述调节相协调时:

从所述传感器接收功率吞吐量的所述至少一个参数的第一指示,并且从所述无线功率接收器接收所述次级谐振器与所述负载之间的功率吞吐量的至少一个参数的第一指示;

调节所述第一耦合量并且指令所述无线功率接收器调节所述第二耦合量;

从所述传感器接收功率吞吐量的所述至少一个参数的第二指示,并且从所述无线功率接收器接收功率吞吐量的所述至少一个参数的第二指示;以及

至少部分地基于来自所述传感器和所述无线功率接收器中的每一个的所述第一指示和所述第二指示的比较,确定是否调节所述第一耦合量以及是否指令所述无线功率接收器调节所述第二耦合量。

2. 根据权利要求1所述的装置,其中所述第一耦合量的经协调的所述调节改变所述初级谐振器的工作质量因子并且增加以下项中的至少一项:由所述耦合电路呈现给所述供电源的功率因子,或被递送给所述负载的功率量,或被递送给所述负载的功率的效率,或其任何组合。

3. 根据权利要求1所述的装置,其中:

所述耦合电路包括第一耦合回路,所述第一耦合回路包括多个段,所述多个段中的每个段被配置为选择性地被电连接到所述供电源,所述第一耦合回路是与所述初级谐振器电隔离的;并且

所述控制器被配置为通过选择性地将所述多个段的至少子集连接到所述第一耦合回路来调节所述第一耦合量。

4. 根据权利要求3所述的装置,其中所述多个段中的相邻段的截面面积从所述第一耦合回路的第一段增加到最后一段。

5. 根据权利要求3所述的装置,其中所述控制器被配置为通过调节以下项中的至少一项来调节所述第一耦合量:

所述第一耦合回路和所述初级谐振器之间的耦合的系数;或者

所述第一耦合回路和所述初级谐振器之间的互感与所述第一耦合回路的漏电感的比率,或其组合。

6. 根据权利要求1所述的装置,其中:

所述耦合电路包括开关,所述开关被配置为选择性地将所述供电源连接到以下项中的任一项:

多个位置中的一个位置,所述多个位置中的每个位置被连接到所述初级谐振器的多个串联连接的电容器中的对应一个电容器;或者

在所述初级谐振器的电感器上的多个位置中的一个位置;以及

所述控制器被配置为通过选择性地将所述供电源连接到所述多个位置中的一个位置来调节所述第一耦合量。

7. 根据权利要求1所述的装置,所述第一耦合量的所述调节与所述第二耦合量的所述调节的所述协调至少部分地基于所述控制器向所述无线功率接收器发射对所述无线功率接收器做出指令以调节所述第二耦合量的消息。

8. 根据权利要求1所述的装置,其中所述初级谐振器被配置为在第一频率处谐振,并且所述控制器被配置为在将所述初级谐振器的谐振维持在所述第一频率处的同时,调节所述供电源与所述初级谐振器之间的所述第一耦合量。

9. 根据权利要求1所述的装置,其中所述控制器被配置为将所述第一耦合量调节为基本上等于所述初级谐振器与所述次级谐振器之间的耦合量。

10. 根据权利要求8所述的装置,其中所述控制器被配置为在将所述次级谐振器的谐振维持在所述第一频率处的同时,协调所述次级谐振器与所述无线功率接收器的所述负载之间的第二耦合量的调节。

11. 根据权利要求1所述的装置,其中所述控制器被配置为与在所述无线功率接收器处的第二控制器协调以提供所述第一耦合量和所述第二耦合量的同时调节。

12. 一种用于无线感应式功率传送的方法,包括:

从无线功率发射器的初级谐振器向被耦合到无线功率接收器的负载的次级谐振器无线地传送功率;

从所述无线功率接收器接收以下项中的至少一项的指示:功率吞吐量,或被递送到所述负载的功率的效率;

至少部分地基于所述指示,协调供电源与所述初级谐振器之间经由耦合电路的第一耦合量的调节和所述次级谐振器与所述负载之间经由所述无线功率接收器的第二耦合电路的第二耦合量的调节两者;

根据所述协调,调节所述第一耦合量;

测量所述供电源与所述初级谐振器之间的功率吞吐量的至少一个参数;

其中在使所述第一耦合量的所述调节与所述第二耦合量的所述调节相协调时:

接收所述供电源与所述初级谐振器之间的功率吞吐量的所述至少一个参数的第一指示以及所述次级谐振器与所述负载之间的功率吞吐量的至少一个参数的第一指示;

调节所述第一耦合量并且指令所述无线功率接收器调节所述第二耦合量;

接收所述供电源与所述初级谐振器之间的功率吞吐量的所述至少一个参数的第二指示以及所述次级谐振器与所述负载之间的功率吞吐量的所述至少一个参数的第二指示;以及

至少部分地基于所述供电源与所述初级谐振器之间的功率吞吐量的所述第一指示和

所述第二指示与所述次级谐振器与所述负载之间的功率吞吐量的所述第一指示和所述第二指示的比较,确定是否调节所述第一耦合量以及是否指令所述无线功率接收器调节所述第二耦合量。

13. 根据权利要求12所述的方法,其中所述第一耦合量的经协调的所述调节改变所述初级谐振器的工作质量因子并且增加以下项中的至少一项:由所述耦合电路呈现给所述供电源的功率因子,或递送给所述负载的功率量,或递送给所述负载的功率的效率,或其任何组合。

14. 根据权利要求12所述的方法,包括通过选择性地将第一耦合回路的多个可电连接的段的至少子集连接到所述供电源来调节所述第一耦合量,其中所述第一耦合回路是与所述初级谐振器电隔离的。

15. 根据权利要求14所述的方法,其中所述多个段中的相邻段的截面面积从所述第一耦合回路的第一段增加到最后一段。

16. 根据权利要求14所述的方法,其中调节所述第一耦合量包括调节以下项中的至少一项:

所述第一耦合回路和所述初级谐振器之间的耦合的系数;或

所述第一耦合回路和所述初级谐振器之间的互感与所述第一耦合回路的漏电感的比率,或其组合。

17. 根据权利要求12所述的方法,包括通过选择性地将所述供电源连接到以下项中的任一项来调节所述第一耦合量:

多个位置中的一个位置,所述多个位置中的每个位置连接到所述初级谐振器的多个串联连接的电容器中的对应一个电容器;或

在所述初级谐振器的电感器上的多个位置中的一个位置。

18. 根据权利要求12所述的方法,所述第一耦合量的所述调节与所述第二耦合量的所述调节的所述协调至少部分地基于向所述无线功率接收器发射的指令所述无线功率接收器调节所述第二耦合量的消息。

19. 根据权利要求12所述的方法,其中所述初级谐振器被配置为在第一频率处谐振,其中调节所述第一耦合量包括在将所述初级谐振器的谐振维持在第一频率处的同时,调节所述第一耦合量。

20. 根据权利要求12所述的方法,包括调节所述第一耦合量以基本上等于所述初级谐振器与所述次级谐振器之间的耦合量。

21. 一种用于感应地接收无线功率的装置,包括:

次级谐振器,被配置为从无线功率发射器的初级谐振器无线地接收功率;

第二耦合电路,被配置为将能量从次级谐振器耦合到负载;

通信电路,被配置为向所述无线功率发射器发送以下项中的至少一项的指示:功率吞吐量,或被递送到所述负载的功率的效率;

控制器,被配置为至少部分地基于所述指示,协调所述次级谐振器与所述负载之间经由所述第二耦合电路的第二耦合量的调节和供电源与所述初级谐振器之间经由所述无线功率发射器的第一耦合电路的第一耦合量的调节两者;以及

传感器,所述传感器被配置为测量从所述次级谐振器到所述负载的功率吞吐量的至少

一个参数,其中所述控制器被配置为在使所述第二耦合量的所述调节与所述第一耦合量的所述调节相协调时:

从所述传感器接收功率吞吐量的所述至少一个参数的第一指示,并且从所述无线功率发射器接收所述电源与所述初级谐振器之间的功率吞吐量的至少一个参数的第一指示;

调节所述第二耦合量并且指令所述无线功率发射器调节所述第一耦合量;

从所述传感器接收功率吞吐量的所述至少一个参数的第二指示,并且从所述无线功率发射器接收功率吞吐量的所述至少一个参数的第二指示;以及

至少部分地基于来自所述传感器和所述无线功率发射器中的每一个的所述第一指示和所述第二指示的比较,确定是否调节所述第二耦合量以及是否指令所述无线功率发射器调节所述第一耦合量。

22. 权利要求21所述的装置,其中所述第二耦合量的经协调的所述调节改变所述次级谐振器的工作质量因子并且增加以下项中的至少一项:被呈现给所述电源的功率因子,或被递送给所述负载的功率量,或被递送给所述负载的功率的效率,或其任何组合。

23. 根据权利要求21所述的装置,其中:

所述第二耦合电路包括第二耦合回路,所述第二耦合回路包括多个段,所述多个段的每个段被配置为选择性地被电连接到所述负载,所述第二耦合回路是与所述次级谐振器电隔离的;以及

所述控制器被配置为通过选择性地所述多个段的至少子集连接到所述第二耦合回路来调节所述第二耦合量。

24. 根据权利要求23所述的装置,其中所述多个段中的相邻段的截面面积从所述第二耦合回路的第一段增加到最后一段。

25. 根据权利要求23所述的装置,其中所述控制器被配置为通过调节以下项中的至少一项来调节所述第二耦合量:

所述第二耦合回路和所述负载之间的耦合的系数;或者

所述第二耦合回路和所述负载之间的互感与所述第二耦合回路的漏电感的比率,或其组合。

26. 根据权利要求21所述的装置,其中:

所述第二耦合电路包括开关,所述开关被配置为选择性地所述负载连接到以下项中的任一项:

多个位置中的一个位置,所述多个位置中的每一个位置被连接到跨所述次级谐振器所连接的多个串联连接的电容器中的对应一个电容器;或

在所述次级谐振器的电感器上的多个位置中的一个位置;以及

所述控制器被配置为通过选择性地所述负载连接到所述多个位置中的一个位置来调节所述第二耦合量。

27. 根据权利要求21所述的装置,其中所述第二耦合量的所述调节至少部分地基于所述控制器从所述无线功率发射器接收对所述控制器做出指令以调节所述第二耦合量的消息。

28. 根据权利要求21所述的装置,其中所述次级谐振器被配置为在第一频率处谐振,并且所述控制器被配置为在将所述次级谐振器的谐振维持在所述第一频率处的同时,调节所

述次级谐振器与所述负载之间的所述第二耦合量。

29. 根据权利要求21所述的装置,其中所述控制器被配置为将所述第二耦合量调节为基本上等于所述初级谐振器与所述次级谐振器之间的耦合量。

30. 一种用于感应地无线地接收功率的方法,包括:

从无线功率发射器的初级谐振器无线地接收功率;

向所述无线功率发射器发送以下项中的至少一项的指示:功率吞吐量,或被递送到负载的功率的效率;

至少部分地基于所述指示,协调次级谐振器与所述负载之间经由第二耦合电路的第二耦合量的调节和供电源与所述初级谐振器之间经由所述无线功率发射器的第一耦合电路的第一耦合量的调节两者;

根据所述协调,调节所述第二耦合量;

测量从次级谐振器到所述负载的功率吞吐量的至少一个参数;

其中在使所述第二耦合量的所述调节与所述第一耦合量的所述调节相协调时:

从传感器接收功率吞吐量的所述至少一个参数的第一指示以及从无线功率发射器接收所述供电源与所述初级谐振器之间的功率吞吐量的至少一个参数的第一指示;

调节所述第二耦合量并且指令所述无线功率发射器调节所述第一耦合量;

从所述传感器接收功率吞吐量的所述至少一个参数的第二指示以及从所述无线功率发射器接收功率吞吐量的所述至少一个参数的第二指示;以及

至少部分地基于来自所述传感器和所述无线功率发射器中的每一个的所述第一指示和所述第二指示的比较,确定是否调节所述第二耦合量以及是否指令所述无线功率发射器调节所述第一耦合量。

31. 权利要求30所述的方法,其中所述第二耦合量的经协调的所述调节改变所述次级谐振器的工作质量因子并且增加以下项中的至少一项:被呈现给所述供电源的功率因子,或被递送给所述负载的功率量,或被递送给所述负载的功率的效率,或其任何组合。

32. 根据权利要求30所述的方法,包括通过选择性地将第二耦合回路的多个可电连接的段的至少子集连接到所述负载来调节所述第二耦合量,其中所述第二耦合回路是与所述次级谐振器电隔离的。

33. 根据权利要求32所述的方法,其中所述多个段中的相邻段的截面面积从所述第二耦合回路的第一段增加到最后一段。

34. 根据权利要求32所述的方法,其中调节所述第二耦合量包括调节以下项中的至少一项:

所述次级谐振器和所述第二耦合回路之间的耦合的系数;或者

所述次级谐振器和所述第二耦合回路之间的互感与所述第二耦合回路的漏电感的比率,或其组合。

35. 根据权利要求32所述的方法,包括通过选择性地将所述负载连接到以下项中的任一项来调节所述第二耦合量:

多个位置中的一个位置,所述多个位置中的每一个位置被连接到所述次级谐振器的多个串联连接的电容器中的对应一个电容器;或者

在所述次级谐振器的电感器上的多个位置中的一个位置。

36. 根据权利要求30所述的方法,其中所述第二耦合量的所述调节与所述第一耦合量的所述调节的所述协调至少部分地基于从所述无线功率发射器发射的指令所述无线功率接收器调节所述第二耦合量的消息。

37. 根据权利要求30所述的方法,其中所述次级谐振器被配置为在第一频率处谐振,其中调节所述第二耦合量包括在将所述次级谐振器的谐振维持在第一频率处的同时,调节所述第二耦合量。

38. 根据权利要求30所述的方法,包括将所述第二耦合量调节为基本上等于所述初级谐振器与所述次级谐振器之间的耦合量。

用于改进的无线高Q谐振功率传送给的可调节耦合的方法和装置

技术领域

[0001] 所描述的技术大体涉及无线功率。更特别地,本公开涉及用于改进的无线高Q谐振功率传送给的可调节耦合的方法和装置。

背景技术

[0002] 现代便携式电子设备已经变得更有能力,包括更高性能的电池电源而同时消耗更低的功率。由于这一增强的能力和始终开启的可用性,消费者已经开始依赖于便携式电子设备(例如,电话和计算机)用于各种各样的任务。由于消费者习惯于设备持续的可用性,因而期望相关联的电池是无线地可充电的。感应式无线功率传送给已经成为用于提供无线功率的优选方案。类似地,作为用以抵抗上升的空气污染程度和矿物燃料枯竭的方案,电池供电的电动车正变得更流行。推进电动车的市场渗透的一个障碍是例行地将沉重的电力电缆连接到车辆的要求。通过感应式功率传送给的无线充电是用于固定充电的优选方案以及用于边走边充电的仅有方案。感应式功率传送给通过使功率发射器和功率接收器中耦合的电感器谐振而得到改善。另外,高度谐振的电感器能够在较长距离上耦合功率并且更高效地这样做。因此,用于对于经改进的无线高度谐振感应式功率传送给的可调节的耦合的方法和装置是期望的。

发明内容

[0003] 提供了一种用于无线感应功率传送给的装置。该装置包括初级谐振器,其被配置为将功率无线地传送给到次级谐振器,该次级谐振器耦合到无线功率接收器的负载。该装置包括耦合电路,其被配置为将能量从供电源耦合到初级谐振器。该装置包括控制器,其被配置为经由耦合电路使供电源与初级谐振器之间的第一耦合量的调节和次级谐振器与无线功率接收器的负载之间的第二耦合量的调节相协调。

[0004] 提供了一种用于无线感应功率传送给的方法。该方法包括从无线功率发射器的初级谐振器向被耦合到无线功率接收器的负载的次级谐振器无线地传送给功率。该方法包括经由耦合电路调节供电源与初级谐振器之间的第一耦合量,该耦合电路被配置为将能量从供电源耦合到初级谐振器,其中该调节第一耦合量被使得与次级谐振器和负载之间的第二耦合量的调节相协调。

[0005] 提供了一种用于无线感应功率传送给的装置。该装置包括用于生成无线场的部件,其被配置为向用于无线地接收功率的部件无线地传送给功率,用于无线地接收功率的部件被耦合到无线功率接收器的负载。该装置包括用于将能量从供电源耦合到用于生成无线场的部件的部件。该装置包括用于经由用于耦合能量的部件使供电源和用于生成无线场的部件之间的第一耦合量的调节与用于无线地接收功率的部件和无线功率接收器的负载之间的第二耦合量的调节相协调的部件。

[0006] 提供了一种用于感应地接收无线功率的装置。该装置包括次级谐振器,其被配置

为从无线功率发射器的初级谐振器无线地接收功率。该装置包括耦合电路,其被配置为将能量从次级谐振器耦合到负载。该装置包括控制器,其被配置为经由耦合电路使次级谐振器和负载之间的第二耦合量的调节与供电源和无线功率发射器的初级谐振器之间的第一耦合量的调节相协调。

[0007] 提供了一种用于感应地无线地接收功率的方法。该方法包括从无线功率发射器的初级谐振器无线地接收功率。该方法包括经由耦合电路调节次级谐振器与负载之间的第二耦合量,该耦合电路被配置为耦合来自次级谐振器和负载的能量,其中该调节第二耦合量被使得与供电源和初级谐振器之间的第一耦合量的调节相协调。

[0008] 提供了一种用于感应地接收无线功率的装置。该装置包括用于从用于生成无线功率发射器的无线场的部件接收功率的部件。该装置包括用于将能量从用于接收功率的装置耦合到负载的部件。该装置包括用于经由用于耦合能量的部件使用于接收功率的部件和负载之间的第二耦合量的调节与供电源和用于生成无线功率发射器的无线场的部件之间的第一耦合量的调节相协调的部件。

附图说明

[0009] 图1图示了在其中可以观察到集肤效应的示例性电感线圈线。

[0010] 图2图示了电谐振器的示例性模型。

[0011] 图3图示了作为示例性物理谐振器的模型的铃。

[0012] 图4图示了对于示例性谐振器的频率响应曲线。

[0013] 图5是根据示例性实施方式的无线功率传送系统的功能框图。

[0014] 图6示出了根据示例性实施方式的对于无线谐振感应充电的近场、过渡和远场区域的示图。

[0015] 图7是具有比从扬声器所发射的声音的波长更小的尺寸的房间中的扬声器的示图。

[0016] 图8是具有比从扬声器所发射的声音的波长更大的尺寸的房间中的扬声器的示图。

[0017] 图9图示了根据示例性实施方式的在测量无线功率吞吐量时初级谐振器和次级谐振器的多个位置。

[0018] 图10图示了根据示例性实施方式的对于高负载Q初级到次级谐振器功率传送设置的功率吞吐量对频率。

[0019] 图11图示了根据示例性实施方式的对于低负载Q初级到次级谐振器功率传送设置的功率吞吐量对频率。

[0020] 图12A至图12F图示了根据示例性实施方式的对于在松散耦合时图9的初级谐振器与次级谐振器之间的数个不同的分隔的中心频率处的功率吞吐量。

[0021] 图13A至图13F图示了根据示例性实施方式的在松散耦合时跨图9的初级谐振器与次级谐振器之间的分隔的频率带宽的功率吞吐量。

[0022] 图14A至图14D图示了根据示例性实施方式的在紧密耦合时跨图9的初级谐振器与次级谐振器之间的分隔的频率带宽的功率吞吐量。

[0023] 图15是根据示例性实施方式的具有初级和次级侧耦合调节能力的无线功率传送

系统的功能框图。

[0024] 图16是根据示例性实施方式的利用可变电阻性耦合的图15的耦合电路的一部分的示意图。

[0025] 图17是根据示例性实施方式的利用可变电抗性耦合的图15的耦合电路的一部分的示意图。

[0026] 图18是根据示例性实施方式的利用抽头电感器耦合的图15的耦合电路的一部分的示意图。

[0027] 图19是根据示例性实施方式的利用抽头电容器耦合的图15的耦合电路的一部分的示意图。

[0028] 图20是根据示例性实施方式的利用物理可调节耦合的图15的耦合电路的一部分的示意图。

[0029] 图21是根据示例性实施方式的利用抽头耦合回路的图15的耦合电路的一部分的示意图。

[0030] 图22是根据示例性实施方式的利用具有几何分级回路大小的抽头耦合回路的图15的耦合电路的一部分的示意图。

[0031] 图23是根据示例性实施方式的在初级谐振器上对准的车辆的示图。

[0032] 图24示出了根据示例性实施方式的用于无线感应功率传送的方法的流程图。

[0033] 图25是根据示例性实施方式的用于无线感应功率传送的装置的功能框图。

[0034] 图26示出了根据示例性实施方式的用于感应地无线地接收功率的方法的流程图。

[0035] 图27是根据示例性实施方式的用于感应地接收无线功率的装置的功能框图。

[0036] 附图中说明的各种特征可能未按比例绘制。因此,为了清晰的目的,各种特征的尺寸可能被任意扩大或减小。另外,附图中的一些附图可能未描绘给定系统、方法或设备的所有部件。最后,相同附图标记可以用于贯穿说明书和附图表示相同特征。

具体实施方式

[0037] 下文结合附图阐述的详细描述旨在作为本发明的某些实施方式的描述并且不旨在表示可以实践本发明的仅有实施方式。贯穿本发明使用的术语“示例性”意指“用作示例、实例或图示”并且不应当必然地被解释为对其他示例性实施方式优选的或有利的。详细描述包括用于提供所公开的实施方式的透彻理解的目的的特定细节。在一些实例中,以框图形式示出了一些设备。

[0038] 无线功率传送可以指代在不使用物理电导体的情况下(例如,功率可以通过自由空间传送),将与电场、磁场、电磁场或其他方式关联的任何形式的能量从发射器传送到接收器。由“发射天线”或“初级谐振器”输出到无线场(例如,磁场或电磁场)的功率可以由“接收天线”或“次级谐振器”接收、捕获或耦合以实现功率传送。

[0039] 使用高度谐振的或高“质量因子”(即, Q)的谐振器使得被注入初级线圈中的能量能够再循环并且建立远超过以非谐振初级线圈所可能的磁场。类似地,高 Q 次级谐振器可以比低 Q 次级谐振器捕获更多磁场并且将其转换为有用的功率。然而,在以下情形已经经受困难:将能量高效地耦合到初级谐振器、在初级谐振器与次级谐振器之间高效地耦合能量、从次级谐振器当中高效地耦合出能量而与此同时维持并且稳定系统的高操作 Q 。

[0040] 本申请描述了响应于在其上功率将被传送的距离的变化以及响应于负载的变化(这两者均可以改变系统的最佳操作点)可以如何实现系统的元件之间(例如,在电源与初级谐振器之间、在初级谐振器与次级谐振器之间以及在次级谐振器与负载之间)的耦合的协调的调节。例如,随着距离和 Q 增加,最佳操作点变得越来越临界并且在不以协调方式调节初级谐振器与次级谐振器二者处的耦合的情况下难以稳定。首先, Q 的讨论如下。

[0041] Q 是被用于许多工程目的的无单位量,包括但不限于部件的质量、谐振器(例如,电气、机械或物理的)的能量存储能力和电路的频率选择性。 Q 是特定电路的期望质量与不期望质量的比率。更特别地, Q 是特定谐振系统中的存储能量(例如,好东西)与耗散能量(例如,坏东西)的比率。 Q 还可以被定义为电感器或电容器的电抗(例如,好东西)与有效电阻(例如,坏东西)的比率。

[0042] 物理谐振器的示例可以包括哨子、弦乐器、摆动的钟摆和门铃。例如,在哨子中,当空气流过开口并且气压或气流开始振荡时,产生声音。音调的频率由哨子的大小和形状确定。喇叭是物理谐振器的另一示例,其中阀使空气路径改变以在不同的频率产生音符。同样地,弦乐器使用机械振动产生声音。与当弹拨时产生较高的音符的较短的弦相比较,较长的弦当弹拨时产生低音符。钟摆提供物理谐振器的又一示例。钟摆由挂在自由来回摆动的长杆上的重量组成。与弦类似,较长的杆给钟摆提供振荡的较长的周期或较低的频率。当钟摆重量被位移到其上升的一侧时,其向重量给予势能。当重量朝向中心摆动回时,势能被转化为动能。当钟摆重量通过中心到另一侧摆动时,动能被转化回势能。因此,随着钟摆摆动,其在势能与动能之前来回地连续地转换能量。从更熟悉的物理谐振器,我们的讨论可以过渡到电谐振器。在电路中,电感器和电容器被用于控制振荡而不是如在上文所提到的物理谐振器中的气柱、弦或钟摆。根据电磁感应的理论,导线中的电流感生导线周围的磁场,并且切割穿过导线的磁场感生电线中的电流。电感器是存储磁场中能量的导线的线圈。电感器对抗流过其的电流的改变。出于该原因,通过电感器的电流波形滞后于电压波形后面 90° (例如, $1/4$ 周期)。具有导线的更多匝数或更大的匝的电感器具有更大电感。实际上,常常将导线绕在含铁的磁心材料周围,其集中磁通量线并且增加针对给定横截面和匝数的电感。完美的电感器在没有损耗的情况下存储磁场中的能量。然而,现实世界电感器中的导线具有电阻。另外,如果电感器包括含铁的磁心材料,则在磁心内存在与涡电流和滞后作用相关联的附加损耗。通常地,在功率电路中使用的电感器展现相比于归因于操作频率处的电阻的损耗而言大至少100倍的感抗。换句话说,对于实际系统,空载或固有 Q 大于100。电感器中的损耗的问题在无线功率的讨论中变得重要。

[0043] 电容器包括由绝缘体分离的平行导电板。电容器存储板之间的电场中的能量。在电感器对抗流过其的电流的改变的情况下,电容器对抗在其导电板上外加的电压的改变。出于该原因,通过电容器的电流波形领先电压波形 90° (例如, $1/4$ 周期)。较大的板以及板之间的较近的间隔增加电容。另外,板之间的绝缘体或电介质可以通过允许板针对给定的板截面和分离存储更多电荷来增加电容。电容器具有归因于板的电阻以及耗散电场的一部分的介电材料的损耗。在实际的无线功率电路中,电感器中的损耗通常主导电容器中的损耗。因此,电感器一般地定义电路的性能。如果电感器中导线的直流(DC)电阻 r_{dc} 代表损耗,那么使用沉重的纯铜导线可以最小化损耗。然而,在较高的频率处,跨距离的电感耦合是实际的情况下,被称为“集肤效应”的现象变得重要。可以在“The Influence of Frequency upon

the Self-Inductance of Coils” (1906年8月), Bulletin of the Bureau of Standards, 第2卷, 275-296, 1906, 科学论文37中找到导线中高频损耗的细节。

[0044] 图1图示了在其中可以观察集肤效应的示例性电感器线圈线100。导线100中的交流电根据“右手定则”与交流电成直角在导线内和周围产生交变磁场106。该磁场106进而再根据“右手定则”与磁场成直角在导线中感生涡电流108。这些涡电流108对抗导线的中间 I_{center} 的电流的流动, 这迫使电流在导线的表面 I_{skin} 附近流动。集肤效应迫使高频电流仅在导线的外表面附近流动, 其降低导线100的有效截面 (例如, 灰色阴影区) 并且因此增加了电阻。在其处电流密度下降到最大值 (例如, 在导体的表面处的值) 的近似37%的导体的表面下面的深度被称为“集肤深度”104。由于这一集肤效应, 超过98%的电流将在自导体的表面的集肤深度的4倍的深度内流动。集肤效应随着增加的频率而增加。例如, 在100kHz处 (例如, 通常被用于高功率电动车充电的频率), 对于铜导线的集肤深度是近似0.2mm。因此, 在100kHz, 几乎所有电流将在大规格导线的外部0.8mm中流动。这大大增加了导线的电阻。出于该原因, r_{ac} 在谐振计算中并不是有用的。因此, 在实际中, 高功率无线功率传送应用利用利兹线, 其中许多较小规格的绝缘线平行缠绕并且从绑束的内部到外部编织使得每个导线具有与每个其他导线内部上的长度的相同部分, 这最小化集肤深度损耗。图2图示了电谐振器200的示例性模型。可以在无线电仪器和测量 (美国商业部, 国家标准局, 通告C74) 中找到针对L-C谐振器的广泛背景和设计信息。

[0045] 当电感器202被连接到电容器204时, 形成电谐振器200。该L-C谐振器200常常被称为“储能电路 (tank circuit)”, 因为其存储能量。一旦能量被引入L-C谐振器200中, 在电感器202的磁场中逐步建立能量, 同时耗散电容器204的电场, 然后周期反转并且磁场瓦解, 这使得能量在电容器204的电场中逐步建立。在谐振处, 电感器202的感抗 (X_L) 和电容器204的容抗 (X_C) 在幅度方面相等并且在相移方面相反。这是在谐振处的L-C谐振器操作的特殊特征, 其使得谐振器中的电压和电流相互同相。该谐振动作与如先前所描述的钟摆类似。然而, 取代钟摆的势能和动能的交替, 电谐振器使电感器的磁场和电容器的电场中的能量存储交替。与钟摆一样, 在初始能量被注入谐振器中之后, L-C谐振器中的来回的能量流动可以继续很长时间。在钟摆示例中, 最终使重量放慢的损耗是空气阻力。在实际的L-C谐振器中, 最大的损耗在电感器导线的AC电阻 (r_{ac}) 中, 其在图2中可以由电阻206模拟。L-C谐振器200的模型还可以包括用以解释归因于远场电磁 (EM) 波传播的辐射损耗的电阻208 ($r_{radiation}$) 以及用以解释负载的电阻210 (r_L)。然而, 如下文将更详细地解释的, 对于谐振感应式功率传送应用, 与 r_{ac} 相比较, $r_{radiation}$ 是极其小的, 并且因此对于本讨论而言, 其可以被忽略。由于当前讨论聚焦于部件Q, 因而对于本讨论而言, 还可以忽略负载电阻210 (r_L)。

[0046] 由于部件的质量对于谐振电路200的操作而言是非常重要的, 因而使用度量Q。部件Q被定义为电感器202 (X_L) 或电容器204 (X_C) 的电抗与 r_{ac} 的比率 (其中 r_{ac} 是针对其而测量或计算Q的部件的AC电阻)。如先前所述, 感抗或容抗是“好东西”, 因为其对存储在谐振器200中的能量有贡献, 同时 r_{ac} 是“坏东西”, 因为其对如谐振器部件中的热量的能量损失有贡献。可以根据以下等式1和等式2计算部件Q。

[0047] 等式1: $Q_L = X_L / r_{ac}$ 电感器的部件 Q_L 。

[0048] 等式2: $Q_C = X_C / r_{ac}$ 电容器的部件 Q_C 。

[0049] 在无线功率传送中使用的电感器的典型的部件Q值可以在针对最高质量电感器的

近似100与500之间,同时电容器通常具有数千到数万的部件Q值。

[0050] 可以根据下面的等式3计算电感器的电抗,其中f是以赫兹(Hz)为单位的操作频率,L是以亨利(H)为单位的电感器的电感,并且希腊字母 Ω (ω)是以弧度每秒为单位的角频率(例如, $2\pi f$)。

[0051] 等式3: $X_L = 2\pi fL = \omega L$ 电感器的电抗

[0052] 通过重新整理等式1,可以根据等式4利用所测量或所计算的线圈电感 X_L 计算电动车充电垫中的线圈的AC电阻(r_{ac})。

[0053] 等式4: $r_{ac} = X_L/Q_L$ 电感器的AC电阻

[0054] 因此,在一个示例中,其中具有7匝的1米直径线圈,58 μ H的电感,当不存在车辆时500的Q,以及当存在车辆但不在80kHz的频率处驱动充电时300的Q,在不存在车辆时的电感器的AC电阻将是 $r_{ac} = 2\pi * 80,000 * 0.000058 / 500 = 58m\Omega$ 。

[0055] 谐振器(例如,谐振器200)的能量存储能力也被称为Q。该Q单是谐振器的固有或空载Q。相比之下,谐振器还具有加载的Q,其是当其被加载时谐振器的能量存储能力。

[0056] 为了有用,必须从谐振器提取一些能量。在由钟摆驱动的时钟的情况下,从钟摆提取能量以驱动齿轮来使时钟表面上的指针转动。在无线功率传送的情况下,提取功率以对电池充电或操作设备或车辆。如果必须从谐振器提取能量,则能量必须首先被注入谐振器中。对于钟摆驱动的时钟而言,分离的落锤系统被用于通过对钟摆给予“推送”以保持其摆动来将能量注入钟摆中。以此方式,存储在落锤系统中的势能被传送到钟摆中的动能中。对于无线功率系统而言,源(例如,电网供电或经由其他电源(诸如电池))将能量耦合到谐振器中。通过相应地将能量注入谐振器中并且从谐振器当中提取能量两者,加载谐振器的振荡,犹如谐振器具有附加损耗。这有效地降低Q。这被称为加载的或操作Q。

[0057] 为了帮助预想空载Q与加载Q的概念,与门铃的类比可以是有用的。图3图示了作为示例性物理谐振器的模型的铃300。铃300是物理谐振器,其将能量存储在机械振动中。该振动使得铃300的口弯曲。铃300与铃舌302的初始撞击将能量给予到铃300中,这使得铃300弯曲,在其静止的圆形304与椭圆形306之间振动。这是所存储的势能的形式,与存储在振荡弹簧中的势能类似。随着铃口的形状来回地振荡,该势能以声波的形式随时间释放。铃舌302的尖锐撞击在没有进一步的加载的情况下将能量给予到铃300中,这允许高Q机械谐振器通过驱动力无阻碍地振荡。这与无线功率传送系统的能量源与初级谐振器之间的非常松散耦合类似,其允许初级谐振器通过驱动力基本上空载地振荡。铃300周围的空气通过抵抗震动的运动加载铃300。空气与耦合到次级谐振器以提取能量的负载类似。在被撞击之后铃300振铃的时间是其加载Q的度量,因为大部分能量以声波的形式被释放。相比之下,如果铃300被放置在真空中并且测量铃300停止振铃所花费的时间,则该测量结果将揭示铃300的空载Q,因为仅有的能量损失对于谐振器将是固有的,这由铃300的弯曲引起的加热造成。

[0058] 计算谐振器的加载Q遵循与空载Q相同的逻辑。此外,其是所存储的能量与所耗散的能量之比。由于谐振器上的负载是耗散因素,因而其可以被表示为与谐振器200的其他部件串联的电阻 r_L (r_L),如在图2中所示。因此,通过将部件损耗电阻(r_{ac})添加到负载电阻(r_L) (忽略极其小的辐射损耗 $r_{radiation}$),加载Q(Q_{LOADED})可以根据如下面等式5中所示的电抗与电阻的比率而确定。

[0059] 等式5: $Q_{LOADED} = X_L / (r_{ac} + r_L)$ 谐振器的加载Q

[0060] 在实际中 $r_L \gg r_{ac}$, 因为振荡器自身中的损耗通过设计被最小化并且加载必要地大以将有用的功率传进或出电路。因此, 等式5可以被简化为以下等式6的近似。

[0061] 等式6: $Q_{LOADED} = X_L / r_L$ 谐振器的近似加载Q

[0062] 到目前为止关于Q的以上讨论是基于其将能量耗散在谐振器中花费的时间。然而, 谐振器还具有在其上可以使振荡器振荡的带宽或频率范围的特性。带宽与能量耗散的速率紧密相关。快速地耗散能量的谐振器具有宽带宽, 同时维持较长振荡的振荡器具有窄带宽。为了方便起见, 带宽一般地被定义为在其上振荡在超过峰响应值的一半处发生的频率范围。为了便于可视化, 图4图示了对于示例性谐振器的频率响应曲线400。峰值响应被指定为“中心频率”(例如, ω_c 或 f_c)。例如, 确定谐振器的带宽找到峰谐振值。在最临界耦合或次临界耦合的情况下, 单峰值响应在中心频率处发生。现在, 降低频率直到响应是峰值的一半。该值是下截止频率(f_{lower} 或 ω_{lower})。然后, 再次在中心频率处开始, 增加频率直到响应再次是峰值的一半。该值是上截止频率(f_{upper} 或 ω_{upper})。上截止频率与下截止频率之间的差是带宽, 如下面等式7和等式8所示, 其中字母德尔塔(Δ)代表两个值之间的差。

[0063] 等式7: 带宽 = $f_{upper} - f_{lower} = \Delta f$

[0064] 等式8: 带宽 = $\omega_{upper} - \omega_{lower} = \Delta \omega$

[0065] 可以通过将带宽表达为中心频率 f_c 或 ω_c 的一部分从等式移除频率的单位。事实证明, 谐振器的带宽与其Q成反比例, 其引起针对下面等式9和等式10中所示的Q的备选表达, 其中 ω_c 是中心角频率并且 f_c 是中心频率。

[0066] 等式9: $\Delta \omega = \omega_c / Q$ or $\Delta f = f_c / Q$

[0067] 等式10: $Q = \omega_c / \Delta \omega$ or $Q = f_c / \Delta f$

[0068] 以下是两个示例性谐振器的示例带宽计算。在第一示例中, 假设具有中心频率 $f_c = 100\text{Hz}$ 和 $Q = 25$ 、 $\Delta f = f_c / Q = 100\text{Hz} / 25 = 4\text{Hz}$ 的谐振器。 $f_{upper} = 102\text{Hz}$, 并且 $f_{lower} = 98\text{Hz}$ 。在第二示例中, 再次假设具有 $f_c = 100\text{Hz}$ 的中心频率但是具有 $Q = 5$ 、 $\Delta f = f_c / Q = 100\text{Hz} / 5 = 20\text{Hz}$ 的谐振器。 $f_{upper} = 110\text{Hz}$, 并且 $f_{lower} = 90\text{Hz}$ 。可以看出, 较低的Q(例如, 5)相对较高的Q(例如, 25)加宽了响应。然而, 所有其他因子是相等的, 较低Q的电路将比较高Q的电路具有更低的峰响应(例如, 在中心频率处的响应的幅度)。这应当是有道理的, 因为Q本质上是存储能量与耗散能量的比率。较高的Q意味着更多存储能量, 其转变为在谐振时较高的峰响应。

[0069] 另外, 希腊字母伽玛(Γ)一般地被用于谐振带宽(例如, 一半的带宽)或截止频率(例如, f_{upper} 和 f_{lower})与中心频率(f_c)的偏差。因此, 可以根据以下等式11表达谐振带宽 Γ 。

[0070] 等式11: $\Gamma = \Delta f / 2 = \Delta \omega / 2$

[0071] 组合等式11与以上的等式9, 代替 $\Delta \omega$ 和 Δf , 可以根据等式12依据Q表达谐振带宽 Γ , 并且可以根据以下等式13依据谐振带宽 Γ 表达重新整理的Q。

[0072] 等式12: $\Gamma = \omega_c / 2Q = f_c / 2Q$

[0073] 等式13: $Q = \omega_c / 2\Gamma = f_c / 2\Gamma$

[0074] 如上, Γ 可以被表达为其中频率从等式消失的分数带宽, 如由以下等式14所示。

[0075] 等式14: $Q = 1 / 2\Gamma$

[0076] 为了在距离上无线地传送功率, 需要两个谐振器; 一个充当将电功率源转换为磁场的初级谐振器, 并且另一个充当从磁场吸收功率并且将其转换为电功率的次级谐振器。

该讨论根据变压器效应,以及初级谐振器是信源并且次级谐振器是功率传送的信宿。做出该区分是重要的,因为对于变压器效应的工程公式准确地描述了无线功率传送的操作。相比之下,对于无线电波传播的公式不仅在无线功率传送的情境中是不准确的,而且其对于现有的配置是未定义的。关于图5跟随简短说明。

[0077] 图5是根据示例性实施方式的无线功率传送系统500的功能框图。系统500从源502(例如,AC插头)接收功率。频率发生器504用于将能量耦合到发射器510。发射器510包括耦合电路511(例如,感应或耦合回路作为一个示例,其感应地耦合到初级谐振器512但是与初级谐振器512电或电位隔离)。初级谐振器512包括数目N线圈回路513(例如,电感器);每个回路具有半径 r_A 。电容器514(此处被示出为可变电容器)可以与线圈回路513串联定位,形成谐振回路,如结合图2先前所描述的。在实施方式中,电容器是与线圈回路513全部分离的结构。然而,在某些实施方式中,形成线圈回路513的导线的自电容可以形成电容器514。频率发生器504可以被调谐为在初级谐振器512的谐振频率处输出信号。如先前所描述的,初级谐振器512的很多输出不辐射电磁能量而是初级谐振器512的近场中的磁场515,在此意义上,初级谐振器512是非辐射的。

[0078] 接收器550包括次级谐振器552,其被放置在远离初级谐振器512的距离“d”处。次级谐振器552可以包括回路线圈(例如,电感器553和电容器554,其耦合到第二电感耦合回路551)。耦合电路551的输出可以进一步在整流器中进行整流和/或被提供给负载560。所示的耦合电路551是一个类型的耦合电路的示例,其被配置为感应地耦合到次级谐振器522但与次级谐振器522电或电位隔离的耦合回路。能量可以通过电场耦合或者磁场耦合传送,但在本文中主要地描述磁场耦合为实施方式。磁场耦合可以是优选的,因为磁场515中的外加对象具有与“空”空间相同的磁特性。

[0079] 当使两个谐振器512和552靠近在一起时,来自初级谐振器512中的电感器513的磁通量515径直穿过次级谐振器552中的电感器553。在第一电感器513(例如,初级谐振器)中流动的电流次级电感器553(例如,次级谐振器)中感生电压,使得电流在次级谐振器553中流动。该电路可以遵循两个电感器之间的变压器效应。两个电感器513/553被耦合到由具有0与1之间的值的耦合系数k所指示的程度。该耦合系数是来自径直穿过次级谐振器552的次级谐振器512的磁通量的度量。在没有来自初级谐振器512的磁通量径直穿过次级谐振器552的情况下, $k=0$ 。在所有来自初级谐振器512的磁通量径直穿过次级谐振器552的情况下, $k=1$ 。耦合系数k的值除了别的之外尤其取决于电感器513/553中的匝的物理大小和数目、电感器513/553之间的距离“d”和电感器513/553的构建中的铁和/或其他铁磁材料的使用。

[0080] 两个电感器513/553具有以亨利(H)表达的互感M,其是两个电感器513/553之间的耦合的度量,并且可以根据以下等式15确定,其中L1和L2分别是第一513(例如,初级)和第二553(例如,次级)电感器的电感。

[0081] 等式15: $M=k\sqrt{L_1L_2}$

[0082] 电感的一部分(不是相互的)表示由第一电感器513所生成的不径直穿过第二电感器553的磁通量,并且被称为漏电感。高质量功率变压器中的漏电感可以总计仅总电感的百分之几。在这样的情况下,耦合系数k将是非常接近1。在无线功率传送的情况下,漏电感可以超过互感。在这样的情况下,耦合系数k可以是小于0.5。非常松散耦合的初级振荡器和次

级振荡器(例如,在存在初级振荡器与次级振荡器之间的大的距离的情况下)可以具有小于0.1的耦合系数。由于耦合系数 k 指示一个振荡器可以影响另一个振荡器的程度,因而其可以被用于确定振荡器上的负载因数,其进而确定谐振器的加载 Q 。该逻辑遵循以上加载因子的计算。根据以下等式16,对于 $k < 0.5$ 而言,取代负载(r_L), k 可以被用于表示谐振器中的耗散因子。

[0083] 等式16: $Q_{\text{LOADED}} = X_L / r_L \approx X_L / k$ 变压器耦合谐振器的加载 Q

[0084] 当然,现实世界的工程分析是更复杂的,包括耦合到初级谐振器中的能量的计算、从初级谐振器耦合到次级谐振器的能量的计算以及从次级谐振器耦合到负载的能量的计算,但是通常以上原理仍然适用。

[0085] 在实际的无线功率传送的距离和频率处,磁场支配。术语近场和远场被用于描述场被转换为波的区域。存在定义近场与远场之间的界限的数个定义。然而,以下是最保守的。图6示出了根据示例性实施方式的对于无线谐振感应充电的近场、过渡和远场区域的示图600。电抗性近场602存在于其中磁场主导的体积中,例如,在 $\lambda/2\pi$ 的距离内,其中 λ 是磁场的波长。当图5的线圈513中的电流在正半周期上流动,磁场在一个方向上建立。当电流在负半周期上反转时,磁场瓦解并且将能量驱动回到线圈513中。磁场然后在相反方向上建立。对于每个周期而言,在电流与磁场之间交换能量。因此,在100kHz处操作的无线功率传送系统的电抗性近场将包括充电垫的477米内的体积。对于在6MHz处操作的充电垫而言,8米内的体积将是电抗性近场。

[0086] 当无线功率传送初级线圈比波长小得多时,几乎所有能量保持包含在围绕初级线圈的振荡磁场中。在“近场”区602中,不存在电磁波,因为简直不存在用于其的空间。在由 $\lambda/2\pi$ 与 $2D^2/\lambda$ 之间的距初级线圈513的距离所定义的过渡区604中,其中 D 是谐振器的最大尺寸并且 λ 是波长,磁场能量中的一些磁场能量耦合到电场并且产生EM波。随着磁场建立和瓦解时,在由初级线圈513中的电流驱动的情况下,磁场中的能量中的一些能量不转换回电流。当磁场瓦解时,磁通量线移动,其在围绕线圈514的空间中生成电场。这些移动的电场进而生成磁场,这使得能量在远离源行进电磁波中来回地耦合。在辐射远场606中,在距初级线圈513大于 $2D^2/\lambda$ 的距离处,纯磁场已经衰减并且不再支配电场。在该距离朝外处,EM波很好地建立并且包含未返回到线圈的大部分能量。

[0087] 为了更好地理解近场与远场之间的差异,声类比可以是有帮助的,其中能量源在与电抗性近场类似的受限制体积对与远场类似的无限制体积中。图7是房间704中的扬声器702的示图700,房间704具有比从扬声器702所发射的声音的波长更小的尺寸。如在图7中所示,房间704的尺寸小于由扬声器702所发射的声音的波长 λ 。密封房间704,使得没有空气可以逃逸或进入。扬声器702被定位在房间704内。密封扬声器箱,使得没有空气可以进入或逃逸。在这样的情况下,扬声器纸盆充当活塞。当纸盆移动出去时,整个房间704中的气压增加,同时扬声器箱中的气压减小。当锥体移动进入时,整个房间704中的气压减小,同时扬声器箱中的气压增加。这是因为压力改变在锥体开始移动返回之前传播到房间704的边界。由于声音信号的波长比房间704长,整个房间704中的气压基本上同时改变。因此,不产生波,因为房间并不足够大以同时包含声波的低压部分和高压部分。

[0088] 图8是房间804中的扬声器702的示图800,房间804具有比从扬声器702所发射的声音的波长更大的尺寸。如在图8中所示,房间802的尺寸比声音信号的波长 λ 大得多。密封房

间804和扬声器箱,如结合图7上文所描述的。现在,当扬声器纸盆移动出去时,紧接在纸盆的前面的气压增加。由于房间804比单个波长 λ 大得多,因而纸盆改变方向并且开始在增加的压力可以传播到房间的剩余部分之前向内移动返回。这表现为紧接在纸盆前面的降低的压力。由于对于气压改变而言传播到房间804的边缘花费比扬声器纸盆运动的一个周期更长,更远离扬声器纸盆的气压无法跟上纸盆做出的改变,这使得压力波远离扬声器纸盆传播。在房间804中的任何点处,压力建立压力峰,衰减到中性、建立负峰并且然后衰减回到中性。如果跟踪压力峰,其将表现为以声速(例如,近似1英尺每秒)远离扬声器移动的波。

[0089] 因此,对于非常接近于扬声器纸盆的前面的观察者而言,气压将看起来跟随纸盆的运动。这与电抗性近场类似。相反地,更远离扬声器纸盆,压力改变看起来在以声速传播的波中移动。这与远场类似,但是在电磁波的情况下,波以光速(近似地比声音快一百万倍)传播。

[0090] 相对于扰动力的频率(例如,波长)定义近场和远场(例如,图7和图8的声音示例中的扬声器纸盆和由图5的初级振荡器512所生成的磁场515)。例如,来自卧室中的超低音响的声音可以完全在近场中,同时来自高频扬声器的声音可以在离高频扬声器几厘米内的远场中。

[0091] L-C谐振器的空载Q通常由电感器绕组中的电阻性损耗支配。术语固有Q包括电感器绕组中的电阻性损耗以及辐射损耗二者。辐射损耗是电磁(EM)波的不期望的泄漏,其也被称为天线效应。辐射损耗可以被表示为与 r_{ac} 串联的另一电阻器208($R_{radiation}$),如先前在图2中所示的。然而, $R_{radiation}$ 不应当与经由磁场耦合传送的能量混淆,因为辐射描述波现象而用于功率传送的耦合仅是交变磁场。辐射损耗 $R_{radiation}$ 可以根据以下等式17计算,其中N是线圈中的匝数,S是线圈的表面积(例如,对于基本上圆形线圈而言,等于 $\pi \times \text{半径}^2$),并且 λ 是发射波的波长(例如,光速除以频率)。

[0092] 等式17: $R_{radiation} = (177 * N * S / \lambda^2)^2$

[0093] 例如,利用与在先前示例中相同的初级谐振器线圈,其具有7个圆匝、1米的直径并且在80kHz的频率处驱动, $S = \pi (\text{直径}/2)^2 = \pi (1\text{m}/2)^2 = 0.785\text{m}^2$, $\lambda = 300,000,000 / f = 300,000,000 / 80,000 = 3,750\text{m}$ 并且 $R_{radiation} = ((177 * 7 * 0.785) / 3,750)^2 = 4.79\text{n}\Omega$ ($10^{-9}\Omega$)。

[0094] 以上示例示出天线效率针对示例性感应功率初级线圈是近似0.000000016%。出于该原因,感应功率线圈制造非常差的天线。由于线圈必须符合发射标准,操作频率和磁性配置被选择并且被设计为甚至进一步地抑制该少量的辐射。

[0095] 关于将功率无线地传送到接收器的发射器的高Q相对低Q配置的性能,以下演示可以是说明性的。图9图示了根据示例性实施方式的当测量无线功率吞吐量时初级谐振器和次级谐振器的多个位置。图9包括频谱分析器902,其具有内置跟踪发生器。该跟踪发生器可以生成扫过频带的恒定幅度信号。频谱分析器902通过将接收器(例如,谐振器906)扫过频带来测量信号。频谱分析器902可以以设定到分析器显示器的中心的操作频率显示幅度vs.频率。开始频率和停止频率以及扫描可以在跟踪发生器与频谱分析器902之间同步。网络分析器是具有信号源和用以根据频率测量电气网络的分析器的类似仪器。频谱分析器902还可以包括网络分析器。该演示被配置如下。跟踪发生器的输出922被耦合到第一谐振器904,第一谐振器904包括连接到高质量电容器(未示出)的印刷电路线圈。与第一谐振器相同的第二谐振器906被耦合到频谱分析器的输入924。第一谐振器904和第二谐振器906各自被调

谐到相同中心频率并且具有198的所测量的固有或空载Q。对于该试验而言,第一谐振器904和第二谐振器906包括各自具有4匝直径6英寸的导线的线圈。

[0096] 测试了两个配置,其仅耦合不同。例如,从源(例如,跟踪发生器)到初级谐振器的耦合被设定到对于高Q测试是非常松散的,并且对于低Q测试是非常紧密的。图10和图11分别示出了用于确定加载Q的高Q和低Q测试的功率吞吐量对频率。

[0097] 图10图示了根据示例性实施方式的对于高负载Q初级到次级谐振器功率传送设置的功率吞吐量对频率。如所示,如由数字“1”所指的频率(f_c)在6.78MHz,如由数字“2”所指的下截止频率(f_{lower}) 在6.74MHz,并且如由数字“3”所指的上截止频率(f_{upper}) 在6.81MHz。下面在表1中概述这些结果。

[0098] 图11图示了根据示例性实施方式的对于低负载Q初级到次级谐振器功率传送设置的功率吞吐量对频率。如所示,如由数字“1”所指的频率(f_c) 在6.12MHz,如由数字“2”所指的下截止频率(f_{lower}) 在6.93MHz,并且如由数字“3”所指的上截止频率(f_{upper}) 在8.16MHz。下面在表1中也概述这些结果。

[0099] 下面在表1中概述松散(例如,高Q)和紧密(例如,低Q)耦合的所测量的响应。松散耦合导致高加载Q,同时紧密耦合导致低得多的加载Q值。

[0100]	松散耦合	紧密耦合
峰频率(ω_c) (Hz)	6.78MHz	6.93MHz
截止下(Hz)	6.74MHz	6.12MHz
截止上(Hz)	6.81MHz	8.16MHz
等式10:计算的 Q_{LOADED}	97	3.4

[0101] 表1

[0102] 功率吞吐量的演示在三个阶段中实施。在三个阶段中的每个阶段中,谐振器904/906开始远离定位并且针对多个连续的测量中的每个测量更相互靠近移动,位置由如在图9中所示的虚线910、912、914、916、918和920的至少子集表示。更靠近屏幕的顶部的响应表示较高的吞吐量。更靠近屏幕的底部的响应表示较低的吞吐量。第一阶段图示了高Q配置的测试,其中频率在峰谐振频率(ω_c 或 f_c)处保持恒定。第二阶段图示了高Q配置的测试,其中频率扫过特定带宽。第三阶段图示了低Q配置的测试,其中频率扫过特定带宽。

[0103] 图12A至图12F图示了根据示例性实施方式的对于当松散耦合时图9的初级谐振器与次级谐振器之间的数个不同的分离的、中心频率处的功率吞吐量。如由图12A所示,在第一阶段中,当第一谐振器和第二谐振器保持近似地隔开30厘米(对应于图9中的位置910)时,响应在屏幕的中间附近,示出良好的吞吐量。在图12B处,其中第一谐振器和第二谐振器被调节为近似地隔开25cm(对应于图9的位置912),响应上升,这指示与图12A的30cm分离相比而言更好的吞吐量。在图12C处,第一谐振器和第二谐振器近似地隔开20cm(对应于图9的位置914),并且分别与图12A和图12B的30cm或者25cm分隔相比较,响应下降。在图12D处,第一谐振器和第二谐振器被调节为近似地10cm的分隔(对应于图9的位置916),并且响应再一次下降。类似地,在图12E和12F中,第一谐振器和第二谐振器分别被调节为近似地5cm和0cm的分隔(对应于图9的位置918和920)。如所示,当第一谐振器和第二谐振器被调节更靠近在一起时,响应继续下降。

[0104] 将第一谐振器和第二谐振器保持在更近的分隔处应当给予更好的耦合。图13A至

图13F描述了为何峰谐振频率(ω_c 和 f_c)处的响应随着谐振器相互更靠近地移动而恶化。在图13A至图13F中的每一个中,针对如在图9中所示的第一谐振器与第二谐振器之间的上文所提到的分隔中的每一个,频率扫过带宽。

[0105] 图13A至图13F图示了根据示例性实施方式的当松散耦合时针对图9的初级谐振器与次级谐振器之间的分隔跨频率带宽的功率吞吐量。除当频率扫过对应于如上文结合图10所描述的所测量的 f_{upper} 和 f_{lower} 的频率带宽时测量功率吞吐量之外,对于图13A至图13F的第一谐振器与第二谐振器之间的分隔可以分别对应于对于图12A至图12F的第一谐振器与第二谐振器之间的分隔。在图13A至图13F中的每一个中,通过响应曲线中的点示出中心频率(f_c)。在图13A中,响应是好的,其示出单峰。在图13B中,随着初级谐振器与次级谐振器之间的距离减小,响应如预期地增加。在图13C中,响应基本上分为中心频率(f_c)的任一侧的两个峰。这使得吞吐量在侧峰处增加,但是在中心频率(f_c)处减小。随着第一谐振器和第二谐振器越来越靠近地移动在一起,如图13D至图13F中的每一个中所示,响应峰继续与中心频率(f_c)越来越远地分离,在图13F操作频率处的吞吐量继续下降几乎到零。该状况常常与中心频率(f_c)中的偏移混淆。然而,如在图13A至图13F中所示,中心频率并不显著地偏移。相反,最大功率吞吐量分为两个峰。分为两个峰的峰值吞吐量指示第一谐振器与第二谐振器之间的过耦合的状况。如在图13A至图13F中所示,分离的幅度(例如,分离峰之间的频率差)取决于过耦合的程度。而且,过耦合期间在分割峰之一处操作可以要求驱动高度电抗性负载,其可以产生高循环电流、高损耗和低效操作。

[0106] 图14A至图14D图示了根据示例性实施方式的当紧密耦合时针对图9的初级谐振器与次级谐振器之间的分隔跨频率带宽的功率吞吐量。第一到第四屏幕分别示出了近似地15cm、10cm、5cm和0cm并且分别对应于图9的位置914、916、918和920的分隔距离处的低Q布置。图14A至图14D示出了当频率扫过对应于如上文结合图11所描述的所测量的 f_{upper} 和 f_{lower} 的频率带宽时所测量的功率吞吐量,以及中心频率(f_c)由相应地响应曲线上的点指示。如所示,较低的Q配置在第一谐振器与第二谐振器之间的更远的分隔处不提供与高Q配置一样高的吞吐量。在图14A中,响应在屏幕的中间附近。在图14B中,响应比图14A的响应更强,在屏幕的顶部处。在图14C中,响应仍然是相对强的,响应开始分离。在图14D中,响应已经进一步分离。然而,操作频率(f_c)处的吞吐量仍然是相对高的。因此,图14C和图14D(以及图13C到图13F)示出了其中第一谐振器和第二谐振器在过耦合的状况中传送的无线功率传送。

[0107] 从以上说明,看起来很直观的是,简单地将操作频率重新调谐到分离响应的峰之一。然而,当操作频率被重新调节时,峰往往随着调节移动,因为重新调节改变了操作条件。将操作频率重新调谐到峰之一将导致控制系统随着电路条件改变(例如,当电池充电或负载改变时,或当甚至第一谐振器与第二谐振器之间的分隔距离上很小改变发生时)而追赶频率周围的峰。另外,过耦合期间在分割峰之一处操作要求高度电抗性负载。电抗性负载产生高循环电流,其引起不将功率递送到负载的损耗,这引起低效操作。出于该原因,尽可能接近单位功率因子(例如,如接近中心频率 f_c)运行系统以便消除电抗性负载是期望的。事实证明,仅在真实谐振点处操作能够提供接近单位一的功率因子。调节源与第一谐振器之间、第一谐振器与第二谐振器之间以及第二谐振器与负载之间的耦合允许具有临界耦合(例如,在峰开始分离之前的最大耦合点)的真实谐振点处的操作。在临界耦合处,负载通过

耦合谐振器的变压器效应适当地反映到源,功率因子几乎是单位一,并且系统是稳定的,因为在功率吞吐量带宽中仅存在一个峰。

[0108] 从图10至图14D的先前讨论中,可以看出高Q操作在大分隔距离处提供比低Q操作更高的吞吐量,但是在较小的分隔距离处执行低效得多。因此,高Q操作仅在相对大的谐振器分隔距离的窄范围上是有用的。另外,在高Q操作的情况下,谐振是脆弱的并且容易受距离、对齐、频率、加载条件或附近对象的改变而扰乱。相比之下,低Q操作提供宽并且稳定的操作,针对谐振器线圈直径的一半与0之间的分隔距离提供比高Q操作更高的吞吐量和谐振稳定性。

[0109] 如在以上演示中所示,尽可能高效地将能量从电源耦合到负载的目标并不是与看起来一样简单。较紧密的耦合使在近谐振器分隔距离处更高效并且稳定,但是必须与较大的分隔的效果相反。较松散的耦合在较远的分隔处起作用,但是在较近的分隔处非常迅速地失效。

[0110] 关于用于可充电设备的感应式谐振无线充电的系统,系统可以分解为四个变量1)从电源耦合到初级谐振器,2)第一谐振器与第二谐振器之间的空气耦合,3)从次级谐振器耦合到负载,4)负载。空气耦合和负载不在系统的控制下。例如,待充电的设备(例如,车辆)可以移动或电池可以逐渐地充电到全容量,这其中的每一个可以改变负载。因此,电源与初级谐振器之间的耦合以及次级谐振器与负载之间的耦合可以由系统控制,并且是用于为最大效率而调节系统的操作的关键控制点。

[0111] 对于每个空气耦合因子和负载条件而言,可以存在导致系统的临界耦合和最高效率的功率传送的可调节耦合的组合。期望当空气耦合或者负载改变时从电源到初级谐振器以及从次级谐振器到负载的耦合二者被调节,因为仅改变初级侧耦合或次级侧耦合可能不足以将系统调谐到用于产生临界耦合的最佳操作点,这是由于电源与初级谐振器之间的耦合以及次级谐振器与负载之间的耦合两者都影响空气耦合。

[0112] 在一些实施方式中,电源和/或负载阻抗的变化可以是可调节的耦合的一部分。此外,改变电源呈现给初级谐振器的阻抗或负载呈现给次级谐振器的阻抗的方法可以是有用的。然而,这些方法往往在调节的范围或分辨率方面受限。因此,源/负载阻抗的变化可能不足以覆盖期望的操作条件。在一些低Q实施方式中,可以通过调节电源对初级谐振器的驱动来补偿加载或空气耦合中的变化,这可能是甚至比上文所描述的源阻抗的调节更受限的。因此,在一些高Q操作实施方式中,存在调节电源与初级谐振器之间以及次级谐振器与负载之间的耦合的需要,以便实现从端到端的临界耦合。因此,在一些实施方式中(诸如下面图15中所图示的一个),实际的高Q无线功率传送系统可以协调对电源与初级谐振器之间的耦合以及次级谐振器与负载之间的耦合的调节。

[0113] 图15是根据示例性实施方式的具有初级和次级侧耦合调节能力的无线功率传送系统1500的功能框图。系统1500可以包括初级、充电或发射器侧1502和次级、可充电或接收侧1504。发射器侧1502可以包括连接到耦合电路1508的电源1506,耦合电路1508可以耦合到初级谐振器1516。发射器侧1502可以进一步包括控制器电路1514,其连接到耦合电路1508、传感器电路1514和通信电路1512中的每一个。传感器电路1514(例如,电流传感器、电压传感器、功率传感器、负载传感器、电压或电流相位传感器)可以被配置为测量耦合到初级谐振器1516的功率吞吐量的至少一个参数。接收器侧1504可以包括耦合到耦合电路1528

的次级谐振器1518,耦合电路1528被连接到整流器电路1530和控制器电路1524。整流器电路1530可以连接到负载1532(例如,可充电车辆内的电池或其他充电电路)。控制器电路1524可以附加地连接到传感器电路1522和通信电路1526,通信电路1526可以被配置为经由通信信道1520与发射器侧1502的通信电路1512通信。传感器电路1522可以被配置为测量从次级谐振器1518耦合的功率吞吐量的至少一个参数。

[0114] 根据一些实施方式,电源1506与初级谐振器1516之间的耦合电路1508以及次级谐振器1518与整流器电路1530和负载1532之间的耦合电路1528可以同时调节,特别是在初级谐振器1516和次级谐振器1518具有类似配置的情况下。调节可以经由通信信道1520在发射器侧1502的控制器电路1510与接收器侧1504的控制器电路1524之间被协调。传感器电路1514和1522可以分别感测发射器侧1502和接收器侧1504处的条件,并且将关于所感测的条件的信息传递给至少相应的控制器电路1510和1524。

[0115] 在一些实施方式中,在发射器侧1502是主控制器(例如,直接地控制初级侧耦合的协调调节并且间接地控制次级侧耦合的调节),发射器侧控制器电路1510可以从传感器电路1514接收第一输入来确定耦合到初级谐振器1516的功率的参数。这样的参数可以包括但不限于电压、电流、实际功率(瓦特)、无功功率(伏安)、电压与电流之间的相位角、感测部件(例如,电阻器、电容器、电感器等)上的电压降、来自电流变压器的电流或功率的任何其他度量。同样地,接收器侧控制器电路1524可以从传感器电路1522接收第一输入来确定从次级谐振器1518耦合的功率的参数。这样的参数可以包括但不限于电压、电流、实际功率(瓦特)、无功功率(伏安)、电压与电流之间的相位角、感测部件(例如,电阻器、电容器或电感器等)上的电压降、来自电流变压器的电流或功率的任何其他度量。

[0116] 控制器电路1510可以指令通信电路1512经由无线通信信道1520(或使用由初级谐振器所生成的磁场经由带内信道来通信)向通信电路1526发送通信以请求由接收器侧1504的传感器电路1522所感测的功率参数的指示。在备选方案中,控制器电路1524可以自主地指令通信电路1526通过通信信道1520将由传感器电路1522所感测的功率参数的指示发射给通信电路1512。一旦接收到指示,则可以将指示从通信电路1512转发给控制器电路1510。控制器电路1510可以然后根据上文所描述的来自传感器电路1514和1522的指示基于功率吞吐量,确定耦合电路1508是应当被增加(加紧)还是减小(放松)。控制器电路1510可以直接控制发射器侧1502的耦合电路1508。控制器电路1510还可以通过将通信电路1512配置为通过通信信道1520向通信电路1526发射指令控制器电路1524在特定方向上调节耦合电路1528的一个或多个消息来间接地控制接收器侧1504的耦合电路1528。

[0117] 在连续的控制周期中,控制器电路1510可以以上文所描述的方式通过通信电路1512经由通信电路1526从传感器电路1514和从传感器电路1522接收第二指示集。控制器电路1510可以然后利用先前指示集以及当前指示集确定功率吞吐量是否得到改善或降级。使用标准控制回路技术,控制器电路1510可以重复来自传感器电路1522和1514的指示的接收以及耦合电路1518和1528的调节,以调节到并且然后维持最佳操作点。

[0118] 示例性控制回路技术可以包括比例、积分、比例-微分(PD)、比例-积分(PI)、比例-积分-微分(PID)控制、迟滞、死区、阻尼、设定点斜升、前馈、增益调度、积分禁止、积分边界、模糊逻辑或任何其他回路控制技术或优化。在一些实施方式中,无线功率传送控制可以进一步与负载控制和/或电源控制相协调。由于系统中的任何地方的步骤改变,这样的协调可

以避免系统的降级。该协调可以通过上文所提到的技术触发控制回路的优化以更好地处理系统参数或操作的改变。

[0119] 在一些备选实施方式中,在接收器侧1504控制初级和次级侧耦合的协调调节的情况下,控制器电路1510、传感器电路1514和通信电路1512的上文所描述的动作可以相应地与控制器电路1524、传感器电路1522和通信电路1526的那些动作交换,并且反之亦然。

[0120] 当初级谐振器和次级谐振器的大小和配置是相似的时,以上实施方式是有利的。实施方式简单、快速并且要求最少数目的通信。如果初级谐振器和次级谐振器的大小和配置不相似,则以下实施方式可以是有利的。

[0121] 在发射器侧1502控制初级和次级侧耦合的协调调节的情况下,发射器侧控制器电路1510可以从传感器电路1514接收第一输入来确定耦合到初级谐振器1516的功率的参数。接收器侧控制器电路1524可以同样地从传感器电路1522接收第一输入来确定从次级谐振器1518耦合的功率的参数。例如,控制器电路1510可以将通信电路1512配置为经由无线通信信道1520请求控制器电路1524将通信电路1526配置为向通信电路1512发送从次级谐振器1518耦合的功率的参数的指示。在一些备选实施方式中,控制器1524可以自主地将通信电路1526配置为通过通信信道1520向通信电路1512发送将要被转发给控制器电路1510的指示。控制器电路1510可以然后确定耦合电路1508是应当被增加(加紧)还是减小(放松)。在这样的实施方式中,控制器电路1510可以直接命令发射器侧1502上的耦合电路1508。

[0122] 控制器电路1510可以然后以上文所描述的方式从传感器电路1514和传感器电路1522中的每一个接收第二输入集(例如,所感测的功率传送的参数的指示)。控制器电路1510可以根据第一和第二输入集(例如,所感测的功率传送的参数的指示)确定功率传送是否得到改善或降级。如先前所描述的,控制器1510可以通过经由通信信道1520发送命令或消息用于控制器电路1524调节接收器侧1504上的耦合电路1528来间接地控制接收器侧1504的耦合电路1528。

[0123] 控制器电路1510可以附加地以上文所描述的方式从传感器电路1514和传感器电路1522二者接收第三输入集(例如,所感测的功率传送的参数的指示)。控制器电路1510可以利用第二和第三输入集确定功率传送是否得到改善或降级。使用标准控制回路技术,控制器电路1510可以控制耦合电路1508和耦合电路1528来实现并且维持最佳操作点。

[0124] 在一些备选实施方式中,在接收器侧1504控制初级和次级侧耦合的协调调节的情况下,控制器电路1510、传感器电路1514和通信电路1512的上文所描述的动作可以分别与控制器电路1524、传感器电路1522和通信电路1526的那些动作交换,并且反之亦然。耦合电路1508和耦合电路1528可以包括任何数目的物理布置之一,如下文将结合图16至图23更详细描述。

[0125] 图16是根据示例性实施方式的利用可变电阻性耦合的图15的耦合电路的一部分的示意图。为了简单起见,对于图16至图23中的每一个的以下讨论假定在初级和次级两侧使用相同类型的耦合电路实施方式并且对初级和次级侧做出调节。用于提供电源与初级谐振器之间以及次级谐振器与负载之间的可调节的耦合的一些实施方式利用将源或负载与相应的谐振器分离的可变电阻器。例如,耦合电路1600图示了初级或发射器侧耦合电路和次级或接收器侧耦合电路。初级或发射器侧可以包括连接到初级谐振器的可调节的电阻器1602,初级谐振器至少包括连接到电容器1614的电感器1612。次级或接收器侧可以包括连

接到次级谐振器的可调节的电阻器1604,次级谐振器至少包括连接到电容器1654的电感器1652。将可变电阻器1602和可变电阻器1604调节到低电阻值允许源和负载分别降低无线功率传送系统的操作 Q 。这在初级谐振器和次级谐振器紧密接近的情况下可以是有利的。将可变电阻器1602和1604调节到高电阻值分别隔离初级谐振器和次级谐振器,并且允许较高的 Q 值处的操作。这在谐振器离得很远的情况下可以是有利的。然而,使用电阻器的主要缺点在于,功率在电阻器中耗散,其导致降低的效率。

[0126] 图17是根据示例性实施方式的利用可变电抗性耦合的图15的耦合电路的一部分的示意图。耦合电路1700图示了与图16中所示的类似的初级或发射器侧耦合电路和次级或接收器侧耦合电路。然而,比图16中所示的方案(其中可调节的电阻器1602和1604被用作可调节的耦合的情况下)更高效的方案是分别以可变电抗性部件(例如,电感器或电容器)1702和1704替换可调节的电阻器1602和1604。电抗性部件的电抗的幅度可以在操作的频率处等于可调节的电阻器1602和1604的电阻的幅度。初级或发射器侧可以包括连接到初级谐振器的可调节的电抗性部件(例如,电感器或电容器)1602,初级谐振器至少包括连接到电容器1714的电感器1712。次级或接收器侧可以包括连接到次级谐振器的可调节的电抗性部件(例如,电感器或电容器)1704,次级谐振器至少包括连接到电容器1754的电感器1752。然而,使电感器或电容器变化可能是困难的。电感器的抽头之间或多个电容器之间的切换可以在这样的实施方式中提供步进式可变电抗。电抗性元件的其他更复杂的网络可以被用于提供可调节的耦合功能以及阻抗匹配和谐波滤波。然而,使这样的多功能网络可变可能要求增加的复杂性和成本以及降低的效率。

[0127] 图18是根据示例性实施方式的利用抽头电感器耦合的图15的耦合电路的一部分的示意图。在一些实施方式中,提供可调节的耦合的另一方式是选择谐振器的电感器上的多个抽头之一。这样的实施方式利用了已经是谐振器的一部分的电抗性元件。例如,耦合电路1800图示了初级或发射器侧耦合电路和次级或接收器侧耦合电路。初级或发射器侧可以包括连接到可调节的电容器1814的电感器1812。电源的第一端子可以被连接到电感器1812的一个端子,同时电源的第二端子可以被配置为经由开关1816被连接到沿着电感器1812上的不同的位置布置的多个抽头之一。次级或接收器侧可以同样地包括连接到可调节的电容器1854的电感器1852。负载(或次级侧耦合与负载之间的某个中间电路或模块)的第一端子可以被连接到电感器1852的一个端子,同时负载(或次级侧耦合与负载之间的某个中间电路或模块)的第二端子可以被配置为经由开关1856被连接到沿着电感器1852上的不同的位置布置的多个抽头之一。使用电感器1812和1852上的高抽头允许源和负载降低系统的操作 Q 用于紧密谐振器操作。使用电感器1812和1852上的低抽头隔离谐振器并且允许较高 Q 处的操作用于较大距离操作。该实施方式可以提供高效率,然而,抽头到谐振器中改变了谐振频率,这要求可变电容器调节谐振(例如,维持谐振器的谐振频率恒定)。而且,该方法要求高压、低损耗开关,因为其将切换谐振器中的每个谐振器中的循环电流。

[0128] 图19是根据示例性实施方式的利用抽头电容器耦合的图15的耦合电路的一部分的示意图。耦合电路1900图示了初级或发射器侧耦合电路和次级或接收器侧耦合电路。初级或发射器侧可以包括电感器1912,其连接到可调节的电容器1914和串联连接的多个抽头电容器1918、1920、1922(例如,串联连接的电容器)。电源的第一端子可以被连接到电感器1912的一个端子,同时电源的第二端子可以被配置为经由开关1916被连接到布置在抽头电

容器1918、1920、1922之间的多个抽头之一。次级或接收器侧可以同样地包括电感器1952，其被连接到可调节的电容器1954和串联连接的多个抽头电容器1918、1920、1922。负载(或次级侧耦合与负载之间的某个中间电路或模块)的第一端子可以被连接到电感器1952的一个端子，同时负载(或次级侧耦合与负载之间的某个中间电路或模块)的第二端子可以被配置为经由开关1956被连接到布置在抽头电容器1958、1960、1962之间的多个抽头之一。使用堆叠电容器上的高抽头允许源和负载降低系统的操作Q用于紧密谐振器操作。使用堆叠电容器上的低抽头隔离谐振器并且允许较高Q处的操作用于较大距离操作。该实施方式可以提供高效率。然而，抽头到谐振器中改变了谐振频率，这要求可变电容器调节谐振。另外，可以承受在高Q谐振器中找到的高电压并且提供所要求的大电容值的可变电容器可能是非常昂贵的。而且，由于电容器是串联的，该实施方式要求比与电感器1912/1952谐振所要求的可调节的电容器1914/1954相比更大值的电容器的串联堆叠。该实施方式还要求高电压、低损耗开关，因为其将切换谐振器中的循环电流。

[0129] 图20是根据示例性实施方式的利用物理可调节耦合的图15的耦合电路的一部分的示意图。取代利用对谐振器的直接连接，一些实施方式利用用于分别将功率耦合进和出初级谐振器和次级谐振器的电感耦合回路。这样的实施方式可以直接对应于图5和图16中所示的装置。耦合电路2000可以包括初级或发射器侧和次级或接收器侧。初级或发射器侧可以包括谐振器，其包括与电容器2014串联连接的电感器2012。发射器侧可以附加地包括耦合回路2016，其被配置为物理地被移动更靠近或更远离包括电感器2012和电容器2014的谐振器。次级或接收器侧可以包括谐振器，其包括与电容器2054串联连接的电感器2052。接收器侧可以附加地包括耦合回路2056，其被配置为物理地被移动更靠近或更远离包括电感器2052和电容器2054的谐振器。耦合回路2016/2056可以或可以不自身谐振。在简单系统中，电感耦合回路2016/2056是非谐振的，并且仅较大的L-C谐振器是谐振的。在超高Q系统的情况下，可以使电感耦合回路2016/2056谐振用于分别步进到谐振器中的超高压以及自谐振器中的超高压步降。

[0130] 在一些实施方式中，电感耦合回路2016被直接连接到初级侧的电源，同时电感耦合回路2056被直接连接到次级侧的负载。因此，在电感耦合回路以及谐振器之间不存在电位连接。电感耦合回路2016和2056被定位在相应的谐振器附近，使得在耦合回路与相应谐振器之间共享磁通量。由于电感耦合回路2016和2056和谐振器相互电位隔离，工程师自由地在不管除由共享磁通量外的耦合或阻抗匹配的情况下对每一个进行优化。例如，电感器2012/2052和电容器2014/2054的电抗值的比率可以被选择用于最佳磁场生成或接收，同时电感耦合回路2016/2056可以分别被设计用于对源和负载的最好阻抗匹配。电感耦合回路2016和谐振器(例如，电感器2012组合电容器2014)形成变压器，因此对于匹配谐振器和源或负载的不相似的阻抗，变压器的匝数比可以是有利的。

[0131] 为了在高Q无线功率传送系统中是有用的，电感耦合回路2016/2056以及相应谐振器之间的耦合必须是可调节的。提供可调节的耦合的一个方式是简单地移动耦合回路2016/2056更靠近或更远离其相应谐振器。另一备选方案是转动耦合回路2016/2056使得其截面位于不平行于谐振器的截面的平面中来降低耦合。这样的备选方案通过降低关于磁通量如由相应谐振器“看到”的耦合回路2016/2056的有效截面来降低耦合。然而，该方案要求机械零件(诸如电机和传送带)移动回路以及软线和间隙以来回地移动耦合回路2016/2056

或旋转耦合回路2016/2056。耦合回路的其他物理调节实施方式可以涉及移动铁氧体材料来调节耦合回路及谐振器之间的耦合。

[0132] 图21是根据示例性实施方式的利用抽头耦合回路的图15的耦合电路的一部分的示意图。这样的实施方式也可以直接对应于图5和图15中所示的装置。用于可调节的耦合的方法可以利用抽头耦合回路布置。实施方式2100包括抽头耦合回路2116,其在包括电感器2112和电容器2114的相关联的谐振器上叠加或向下延伸但与其电隔离。在一些实施方式中,谐振器不具有其他物理连接。为了调节抽头耦合回路2116与谐振器之间共享的磁通量,开关2114可以被配置为将抽头耦合的一个端子连接在沿着耦合回路2116的匝上的不同的位置所连接的多个抽头之一处。在一些实施方式中,耦合回路2116的每匝可以具有基本上相互相同的横截面积。开关2114选择抽头耦合回路2116的多个匝(例如,段),多个匝被配置为被连接(例如,回路、匝或段是可电连接的)到抽头耦合回路2116的端子。端子是用于与初级(例如,发射器)侧的电源连接的输入或与次级(例如,接收器)侧的负载连接的输出。抽头耦合回路2116可以通过针对更多或更少的匝数(例如,段)选择开关2114的位置而被配置用于与谐振器更紧密或更松散的耦合。更多的匝(例如,段)提供更紧密的耦合和更低的变压器匝数比。更少的匝(例如,段)提供更松散的耦合和更高的变压器匝数比。对于初级与次级之间的宽分隔而言,单匝(例如,段)可以被选择用于松散耦合和超高Q操作。对于小分隔而言,多匝(例如,段)可以被选择更紧密的耦合和更低的Q操作来避免系统的过耦合。

[0133] 抽头耦合回路2116对谐振器2112/2114的谐振频率具有最小的影响,这是由于在两者之间不存在直接的电连接。由于耦合仅由共享磁通量造成,因而这避免了当改变耦合时对重新调谐谐振器2112/2114的要求。抽头耦合回路2116不像谐振器那样承载高循环电流,而是相反仅承载从源耦合到谐振器2112/2114或从谐振器2112/2114耦合到负载的电流。另外,当在谐振操作时,抽头耦合回路2116中的电抗性电流非常小,仅留下进行有用功的真实电流。类似地,由于在抽头耦合回路2116而不是直接在谐振器2112/2114处执行所有切换,因而在高电压高电流谐振器绕组中不存在切换。这样的实施方式的另一优点在于,抽头耦合回路2116与谐振器2112/2114之间的变压器效应和切换到最佳耦合导致与其他上文所提到的耦合实施方式相比较而言由端子处的电源或负载看到的阻抗的小得多的可变范围。如此,利用谐振时的操作,负载(同相电压和电流)的阻抗将通过负载与次级谐振器之间的耦合、通过空气耦合、通过来自初级谐振器的耦合以非常接近真实负载的阻抗被反映并且呈现给电源。接近单位一的功率因子处的这样的操作具有以下优点:操作高效、对部件低的操作压力(除谐振器自身中的那些之外)、对调谐谐振器没有要求以及简单的低电压低电流切换。

[0134] 图22是根据示例性实施方式的利用具有几何分级回路大小的抽头耦合回路的图15的耦合电路的一部分的示意图。上文结合图21所描述的抽头耦合回路2116具有近似地相同大小的匝。然而,可以通过利用以几何分级大小布置的不同大小的匝(例如,段)的耦合回路2216来实现较宽范围的耦合选择,如图22中所示。耦合回路2216的第一回路或段将具有小横截面积或大小。第二回路或段(当选择两匝时)将具有比第一回路或段的横截面积更大的横截面积(例如,在一些实施方式中,近似地双倍于第一回路的大小)。第三回路或段可以再次具有比第二回路或段更大的横截面积(例如,在一些实施方式中,双倍于第二回路的大小)。然而,截面或大小的比例可以是提供对于调节耦合所期望的改变的任何比率。因此,多

个段的相邻段的横截面积可以从耦合回路2116的第一段增加到最后一段。由于抽头耦合回路2216与谐振器(在图22中未示出)之间的耦合的机制是磁通量的共享,因而不同大小的匝或段捕获不同的磁通量。两个相同大小的匝或段捕获两倍于一匝或段的磁通量。两倍于第一个的大小的匝或段捕获两倍磁通量。通过选择不同数目的匝或段和不同的大小的比率,可以实现各种各样的耦合因子。对于步骤的更精细分辨率而言,开关(例如,开关2214和2218)可以被定位为使匝的部分(例如,段)断开或短路。开关2314和2318可以独立地被设定为连接或断开较大和较小的匝或匝的部分的不同组合。利用该方法必须注意,通过使用解耦扼流圈以避免开关的控制线耦合到磁场。在几何抽头耦合回路2216的操作中,最小的匝(回路或段)将虑及具有松散耦合的超高Q操作和高变压器比来适应谐振器之间的非常大的分隔。选择更多和更大的匝或段加紧了耦合并且降低了针对较低Q和较近的谐振器分隔距离的变压器比。

[0135] 本文所描述的技术和方法给无线功率传送系统设计者提供数个备选方案,其提供各种各样的操作同时维持高效率、简单并且直接的电路设计和具有对部件的低压力的高Q操作。电源与初级谐振器之间以及次级谐振器与负载之间的耦合的协调调节允许功率在长距离上高效地传送,同时还适应较近的谐振器分隔距离和/或适应负载中的变化。

[0136] 图23是根据示例性实施方式的在初级谐振器上方对准的车辆2302的示图。无线功率传送系统2300使得在车辆2302被停放在发射器2304附近时能够对车辆2302进行充电。虽然发射器2304被示出了与底垫2308空间上分离,但是本申请并不做这样的限制并且发射器2304可以定位在任何其他位置,包括基本上与底垫2308相同位置处。示出了用于车辆2302被停放在初级谐振器2306上的空间,初级谐振器2306可以对应于例如图5的初级谐振器512。初级谐振器2306可以被定位在底垫2308内。在一些实施方式中,发射器2304可以被连接到电力主干网2310。发射器2304可以被配置为通过电连接2312向定位在底垫2308内的初级谐振器2306提供交流电(AC)。如结合图15先前所描述的,车辆2302可以包括电池2314、次级谐振器2316和天线2318(例如,作为通信模块或电路的一部分),其各自连接到接收器2320。

[0137] 在一些实施方式中,次级谐振器2316可以在次级谐振器2316被定位在由初级谐振器2306所产生的无线(例如,磁性)场中时接收功率。在一些实施方式中,次级谐振器2316可以对应于图5的次级谐振器552。无线场(未示出)对应于其中由初级谐振器2306输出的磁能可以由次级谐振器2316捕获的区域。在一些情况下,无线场可以对应于初级谐振器2306的“近场”。可以由图23中所示的系统实现如上文参考图15至图22所描述的耦合的协调调节。在这种情况下,一千瓦或数千瓦量级的功率可以被传送用于对车辆2302的电池2314进行充电。另外,可以在用于无线地提供功率以用于对便携式电子设备供电或充电的系统中实现如上文参考图15至图22所描述的耦合的协调调节,如上文所描述的。例如,这样的系统可以包括单设备或多设备充电垫,其对定位在充电区域内(诸如在垫上或定位在房间或其他区域内)的一个或多个便携式设备无线地充电。在这种情况下,可以以~1瓦特到50-60瓦特的量级将功率传送到便携式电子设备。

[0138] 图24示出了根据示例性实施方式的用于无线感应功率传送的方法2400的流程图。该方法可以以框2402开始,其包括将功率从无线功率发射器的初级谐振器无线地传送到次级谐振器,次级谐振器耦合到无线功率接收器的负载。例如,如结合至少图5和图15先前所

描述的,可以在初级谐振器512/1516与次级谐振器552/1518之间发射无线功率。

[0139] 该方法2400可以然后进行到框2404,其包括经由耦合电路调节供电源与初级谐振器之间的第一耦合量,该耦合电路被配置为将能量从供电源耦合到初级谐振器,其中该调节第一耦合量被与次级谐振器和负载之间的第二耦合量的调节协调。例如,如结合至少图5和图15先前所描述的,控制器电路1510可以经由耦合电路511/1508将电源504/1506和初级谐振器512/1516之间的耦合的调节与次级谐振器552/1518和负载560/1532之间的耦合的调节进行协调。

[0140] 图25是根据示例性实施方式的用于无线感应功率传送的装置2500的功能框图。装置2500包括用于关于至少图5、图15、图24所讨论的各种动作的部件2502、部件2504和部件2506。装置2500包括用于生成无线场的部件2502,其被配置为将功率无线地传送到用于无线地接收功率的部件。用于无线地接收功率的部件可以被耦合到无线功率接收器的负载。在实施方式中,部件2502可以被配置为执行上文关于图24的框2402所讨论的功能中的一个或多个。在各种实施方式中,可以通过初级谐振器512/1516(图5/图15)实现部件2502。

[0141] 装置2500进一步包括部件2504,其用于将能量从供电源耦合到用于生成无线场的部件2502。在实施方式中,部件2504可以被配置为执行上文关于图24的框2402所讨论的功能中的一个或多个。在各种实施方式中,可以通过耦合电路511/1508(图5/图15)实现部件2504。

[0142] 装置2500进一步包括用于经由用于耦合能量的部件2504将供电源和用于生成无线场的部件2502之间的第一耦合量的调节与用于无线地接收功率的部件和无线功率接收器的负载之间的第二耦合量的调节相协调的部件2506。在实施方式中,部件2506可以被配置为执行上文关于图24的框2404所讨论的功能中的一个或多个。在各种实施方式中,可以通过至少控制器电路1510(图15)实现部件2506。

[0143] 图26示出了根据示例性实施方式的用于感应地无线地接收功率的方法2600的流程图。方法2600可以以框2602开始,其包括从无线功率发射器的初级谐振器无线地接收功率。例如,如结合至少图5和图15先前所描述的,可以通过次级谐振器552/1518从初级谐振器512/1516接收无线功率。

[0144] 方法2600可以然后进行到框2604,其包括经由耦合电路调节次级谐振器与负载之间的第二耦合量,该耦合电路被配置为耦合来自次级谐振器和负载的能量,其中该调节第二耦合量被与供电源和初级谐振器之间的第一耦合量的调节协调。例如,该操作可以如结合图15先前所描述的执行。

[0145] 图27是根据示例性实施方式的用于感应地接收无线功率的装置2700的功能框图。装置2700包括用于关于至少图5、图15、图26所讨论的各种动作的部件2702、部件2704和部件2706。装置2700包括部件2702,其用于从用于生成无线功率发射器2500的无线场的部件2502接收功率。在实施方式中,部件2702可以被配置为执行上文关于图26的框2602所讨论的功能中的一个或多个。在各种实施方式中,可以通过次级谐振器552/1518(图5/图15)实现部件2702。

[0146] 装置2700进一步包括部件2704,其用于将能量从用于接收功率的部件2702耦合到负载。在实施方式中,部件2704可以被配置为执行上文关于图26的框2602所讨论的功能中的一个或多个。在各种实施方式中,可以通过耦合电路551/1528(图5/图15)实现部件2704。

[0147] 装置2700进一步包括用于经由用于耦合能量的部件2704将用于接收功率的部件2702和负载之间的第二耦合量的调节与供电源和用于生成无线功率发射器2600的无线场的部件2602之间的第一耦合量的调节进行协调的部件2706。在实施方式中,部件2706可以被配置为执行上文关于图26的框2604所讨论的功能中的一个或多个。在各种实施方式中,可以通过至少控制器电路1524(图15)实现部件2706。

[0148] 可以通过能够执行操作的任何适合的装置(诸如各种硬件和/或(多个)软件部件、电路和/或(多个)模块)执行上文所描述的方法的各种操作。一般地,可以通过执行操作的对应的功能部件执行附图中所图示的任何操作。

[0149] 可以使用各种不同的技术和技术中的任一个表示信息和信号。例如,可以通过电压、电流、电磁波、磁场或粒子、光场或粒子、或其任何组合来表示可以贯穿以上描述引用的数据、指令、命令、信息、信号、比特、符号和芯片。

[0150] 结合本文所公开的实施方式所描述的各种说明性逻辑块、模块、电路和算法步骤可以被实施为电子硬件、计算机软件或两者的组合。为了清楚地说明硬件和软件的这一可互换性,上文已经一般地根据其功能描述了各种说明性部件、块、模块、电路和步骤。这样的功能是否被实施为硬件或软件取决于施加在总体系统上的特定应用和设计约束。可以以针对每个特定应用的不同方式实施所描述的功能,但是这样的实施方式不应当被解释为使得脱离本发明的实施方式的范围。

[0151] 可以利用被设计为执行本文所描述的功能的通用处理器、数字信号处理器(DSP)、专用集成电路(ASIC)、现场可编程门阵列(FPGA)或其他可编程逻辑器件、分立门或晶体管逻辑、分立硬件部件或其任何组合实施或执行结合本文所公开的实施方式所描述的各种说明性框、模块和电路。通用处理器可以是微处理器,但是在备选方案中,处理器可以是任何常规处理器、控制器、微控制器或状态机。处理器还可以被实施为计算设备的组合,例如DSP和微处理器、多个微处理器、一个或多个微处理器结合DSP核或任何其它这样的配置的组合。

[0152] 可以以硬件、以由硬件处理器执行的软件模块或以两者的组合直接实施结合本文所公开的实施方式所描述的方法或算法的步骤和功能。如果以软件实现,则功能可以被存储在有形非暂态计算机可读介质上或作为一个或多个指令或代码在其上发射。软件模块可以驻留在随机存取存储器(RAM)、闪速存储器、只读存储器(ROM)、电可编程ROM(EPROM)、电可擦可编程ROM(EEPROM)、寄存器、硬盘、可移除磁盘、CD ROM或本领域已知的任何其他形式的存储介质。存储介质被耦合到处理器,使得处理器可以从存储介质读取信息并且将信息写入到存储介质。在备选方案中,存储介质可以集成到处理器。如本文所使用的磁盘和光盘包括压缩光盘(CD)、激光盘、光盘、数字通用光盘(DVD)、软盘和蓝光光盘,其中磁盘通常磁性再现数据,而光盘利用激光光学地再现数据。以上组合还应当被包括在计算机可读媒体的范围内。处理器和存储介质可以驻留在ASIC中。ASIC可以驻留在用户终端中。在备选方案中,硬件处理器和存储介质可以作为分立部件驻留在用户终端中。

[0153] 出于概述本公开的目的,在本文中已经描述了本发明的某些方面、优点和新颖特征。应理解到,可以不必根据本发明的任何特定实施方式实现所有这样的优点。因此,在不实现如在本文中教导或提出的其他优点的情况下,可以实现或优化如在本文中所教导的一个优点或优点组的方式实现或执行本发明。

[0154] 上文所描述的实施方式的各种修改将是明显的,并且在不脱离本发明的精神或范围的情况下,本文所定义的一般原理可以适于其他实施方式。因此,本发明并不旨在限于本文所示的实施方式,而是将符合与本所公开的原理和新颖特征一致的最宽的范围。

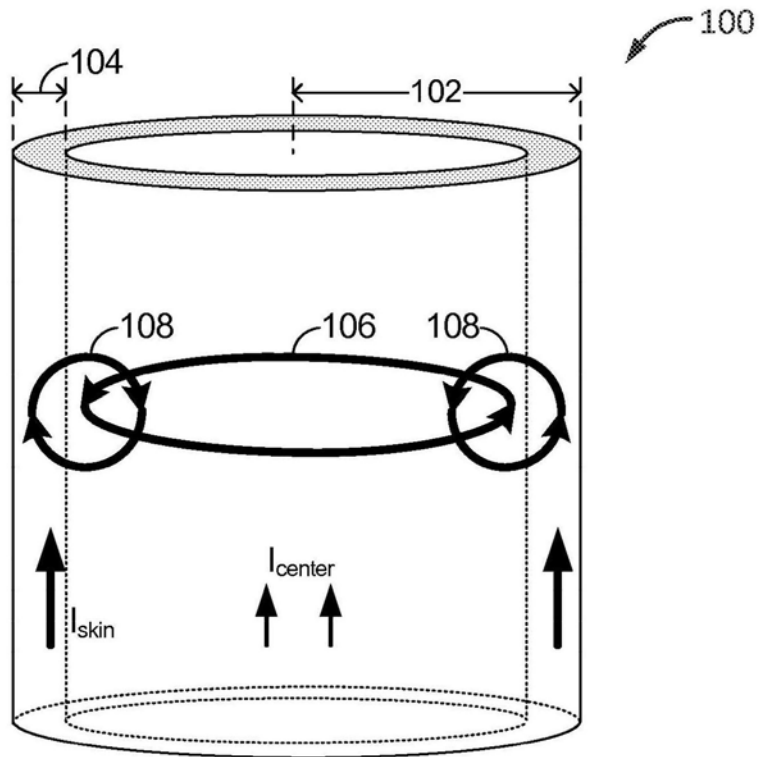


图1

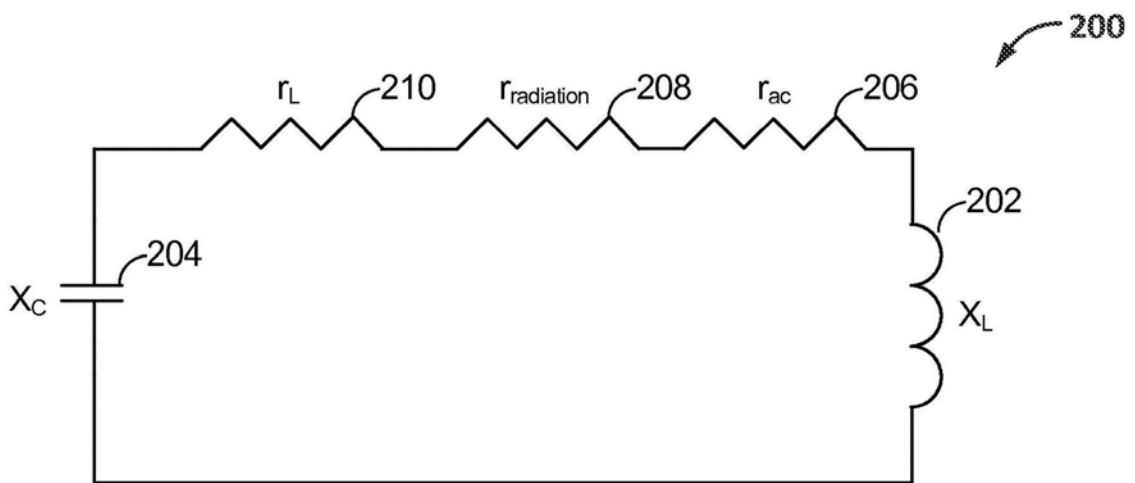


图2

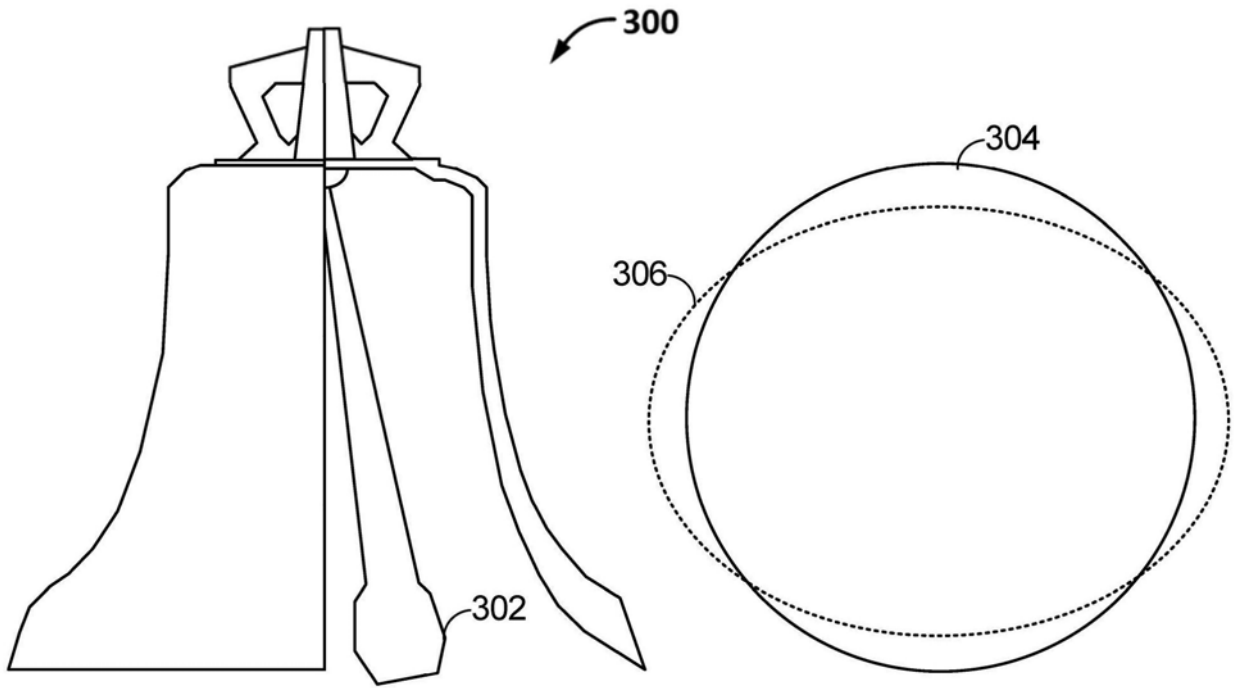


图3

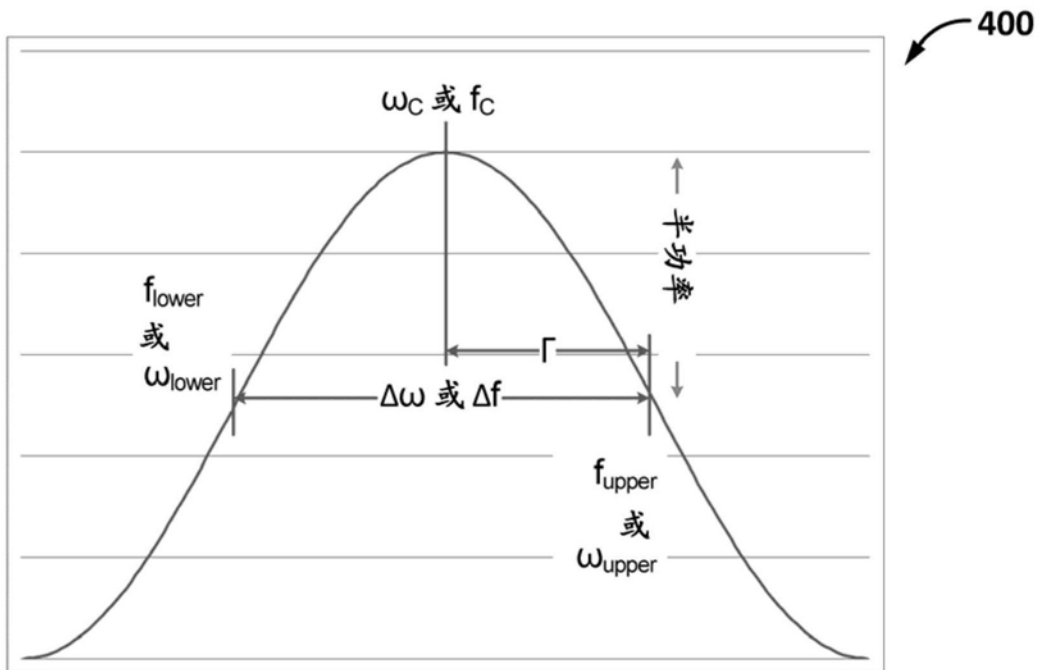


图4

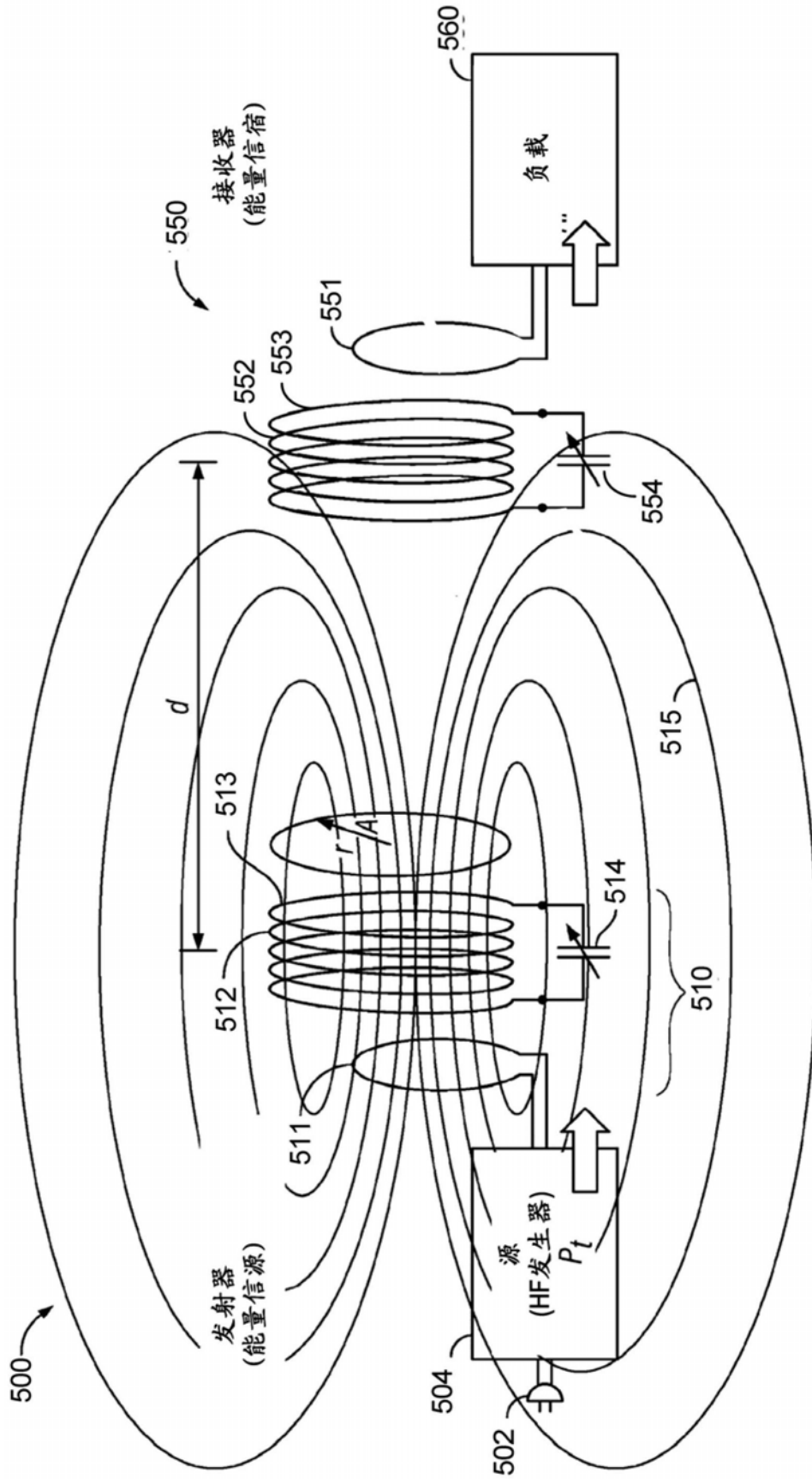


图5

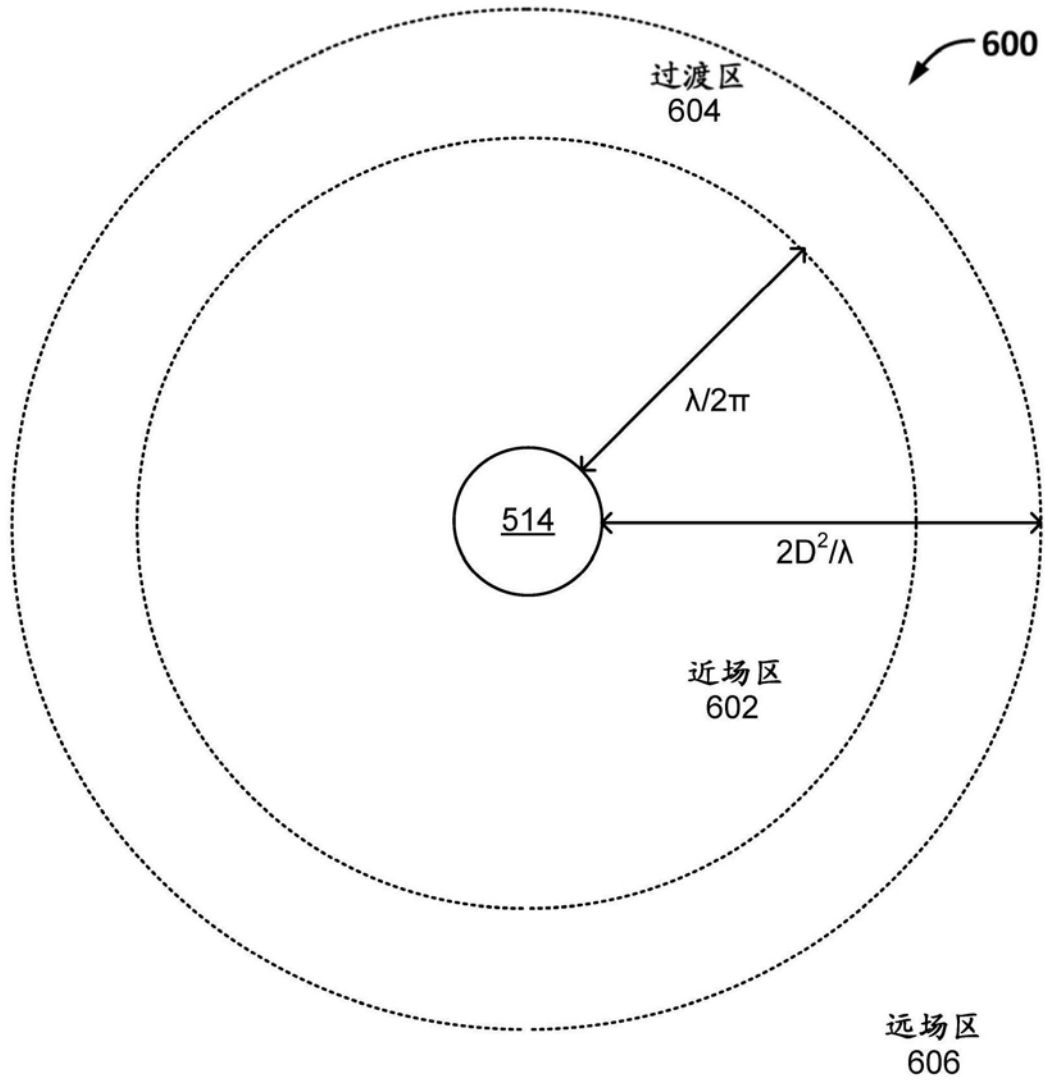


图6

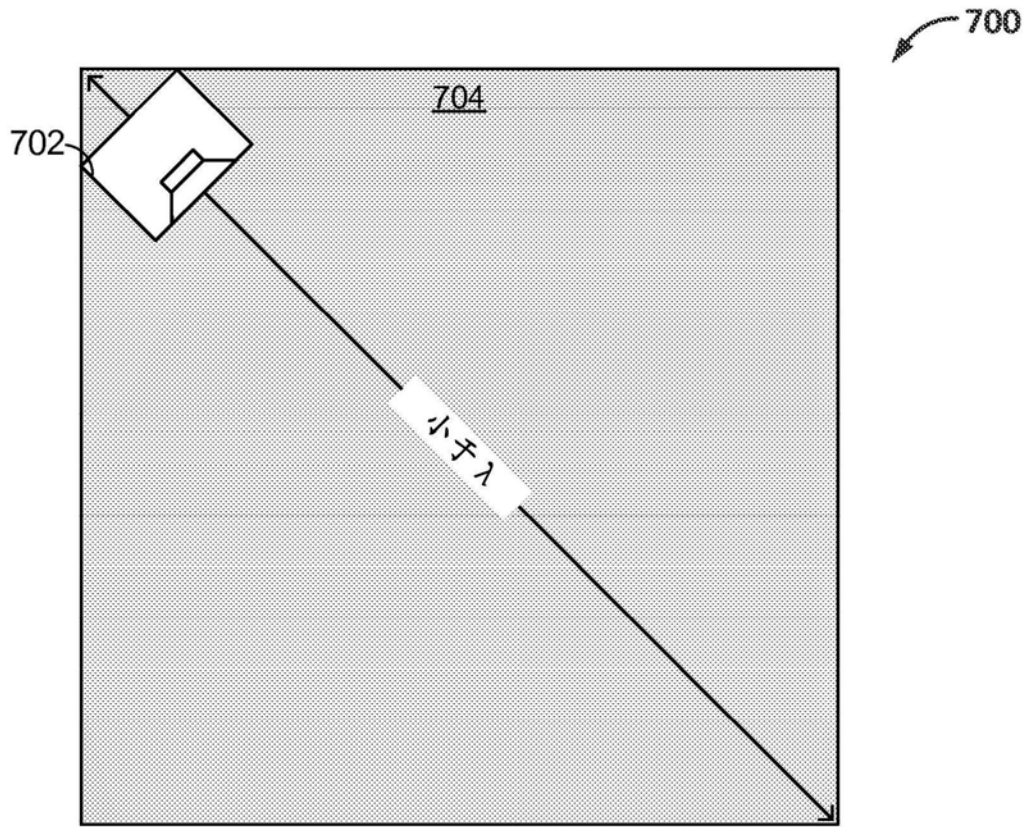


图7

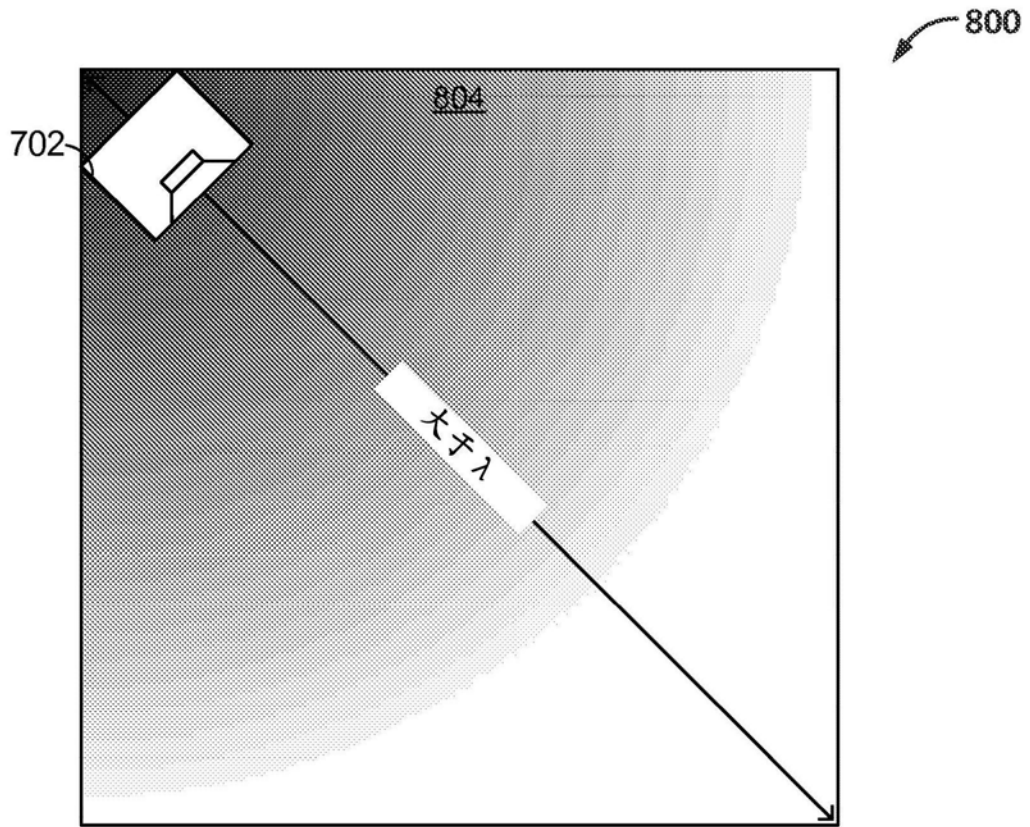


图8

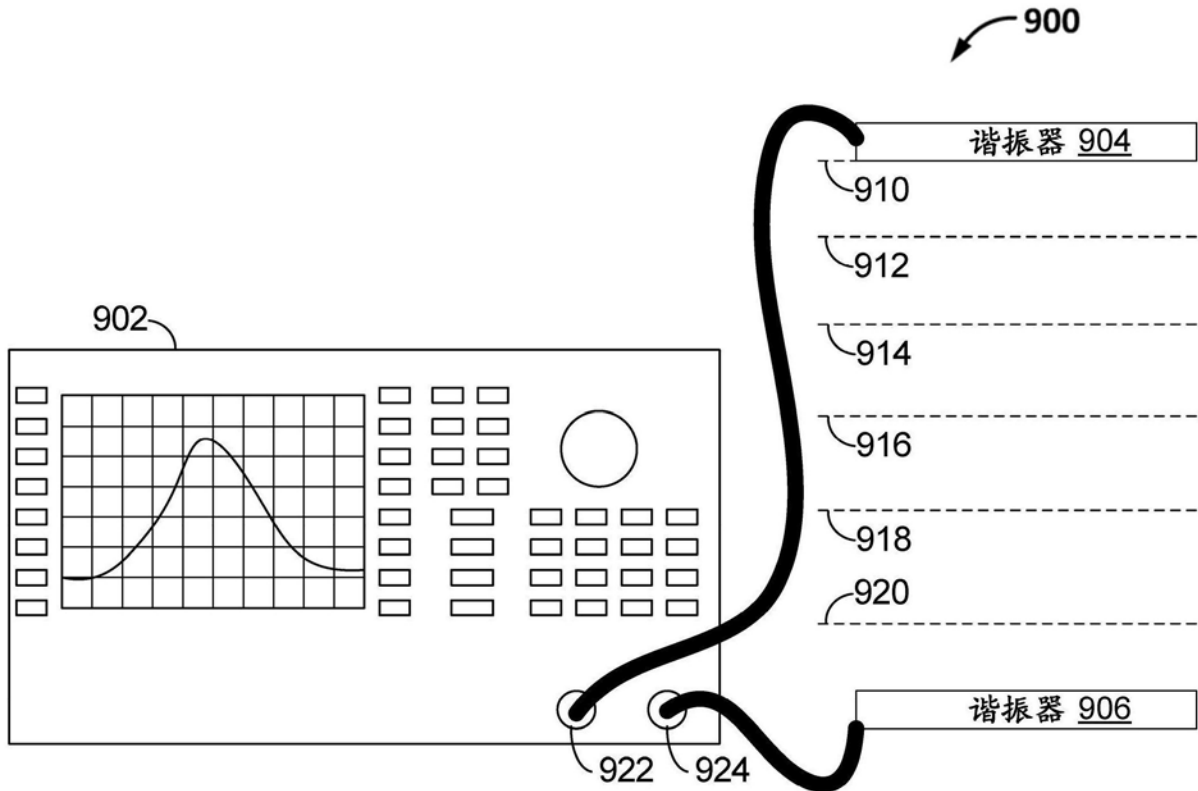


图9

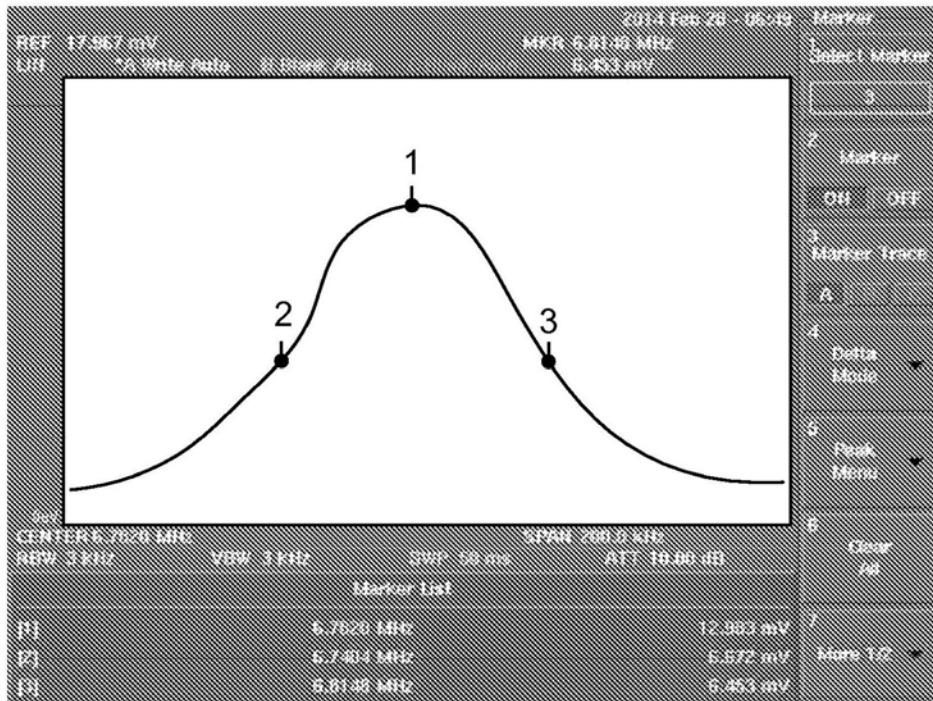


图10

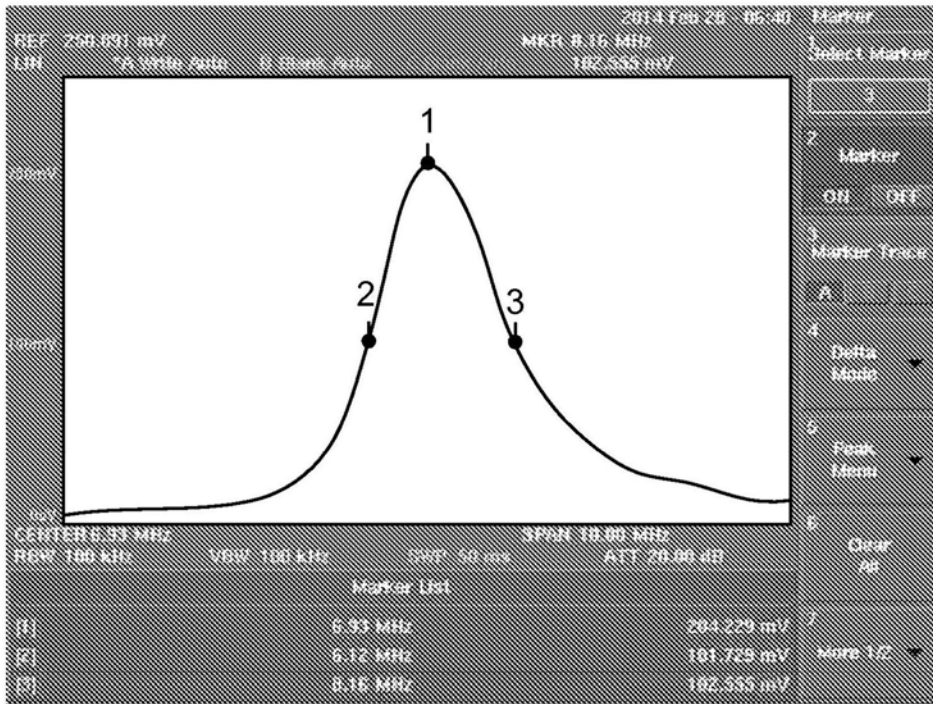


图11

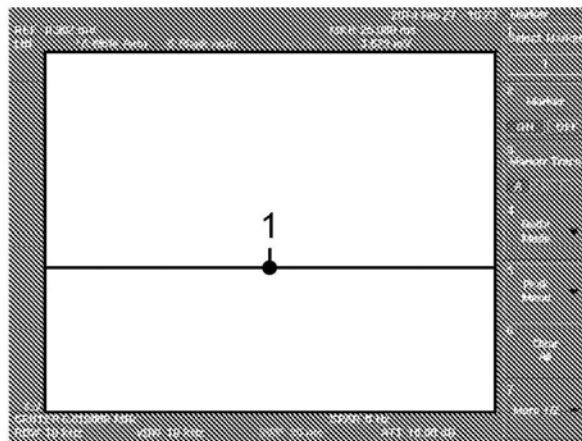


图12A

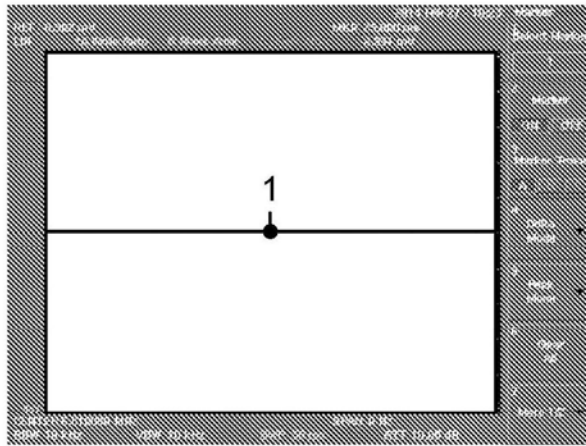


图12B

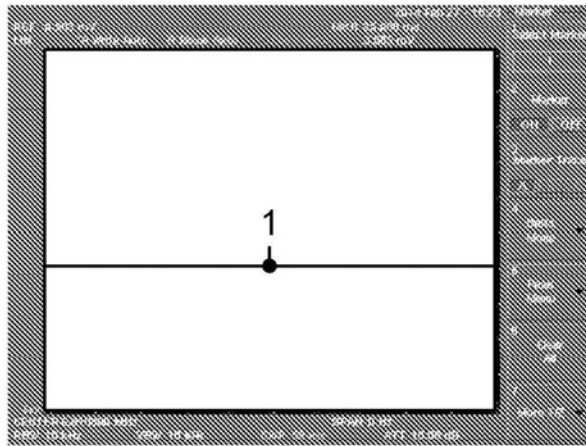


图12C

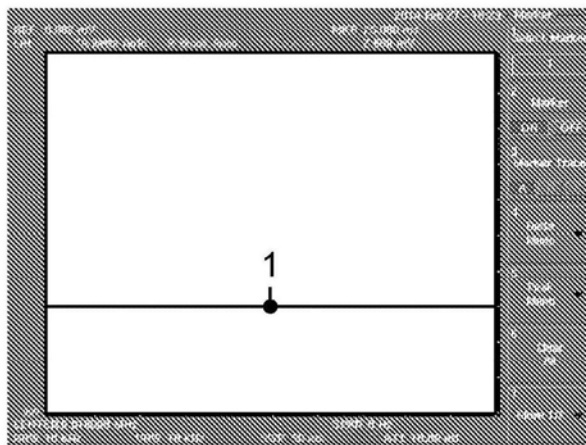


图12D

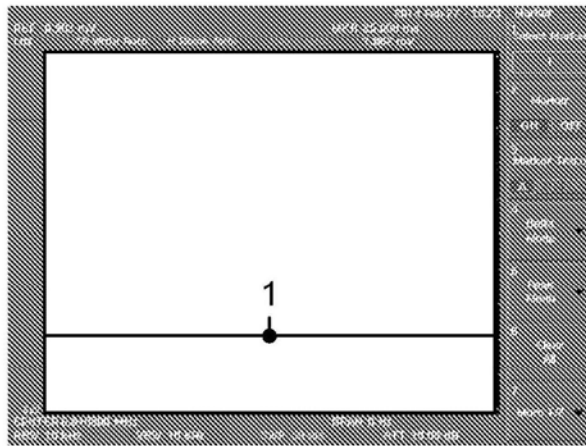


图12E

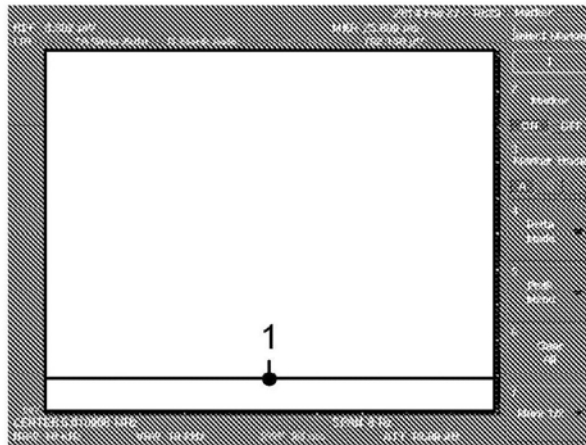


图12F

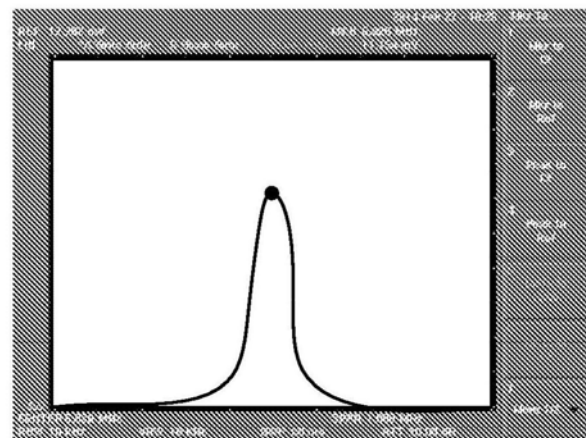


图13A

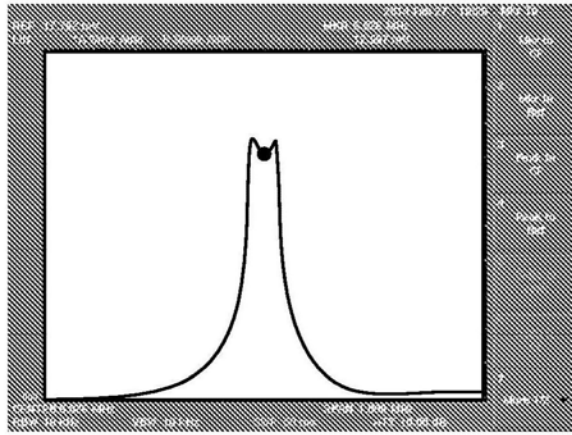


图13B

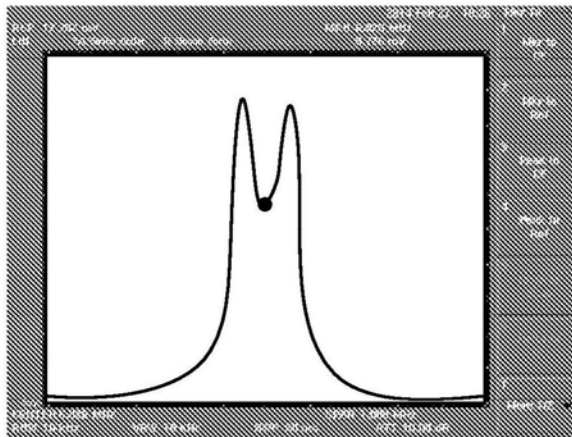


图13C

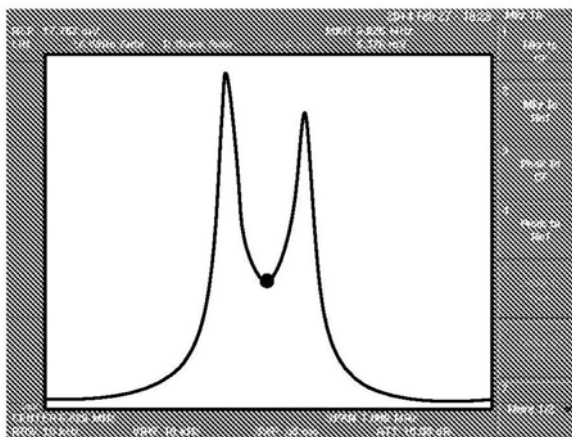


图13D

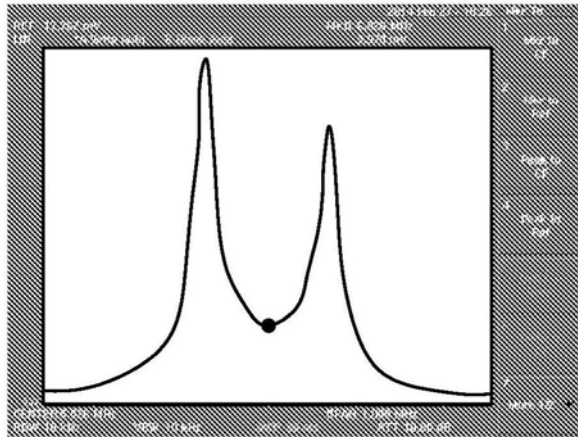


图13E

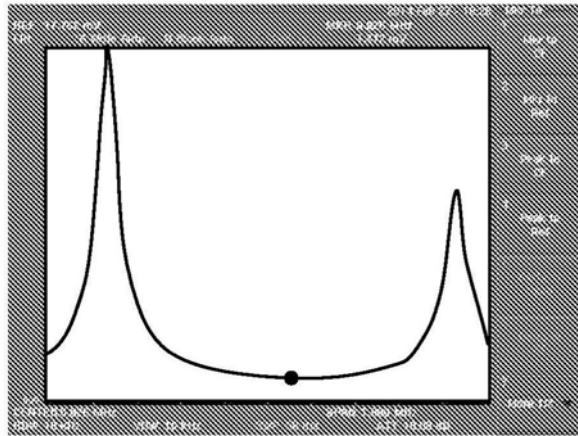


图13F

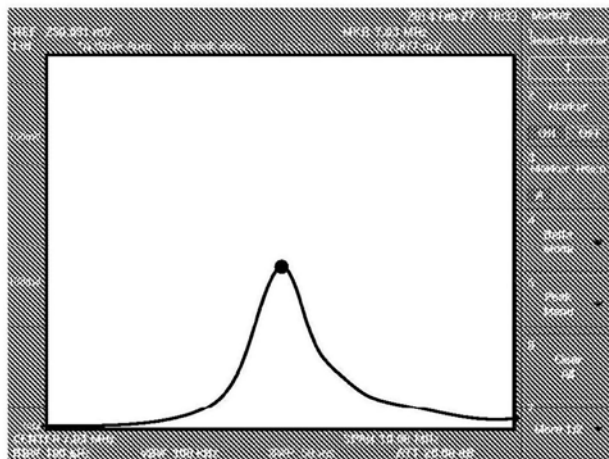


图14A

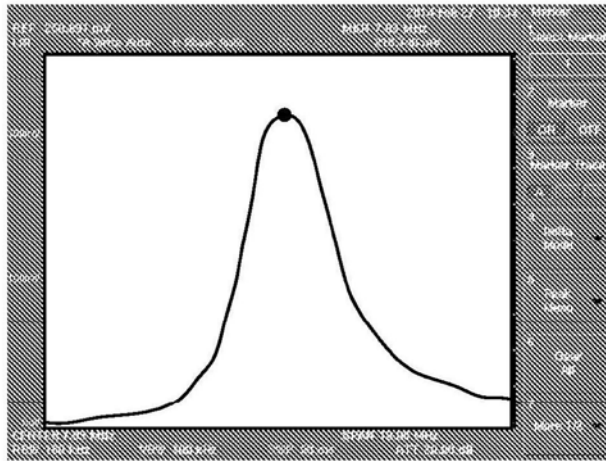


图14B

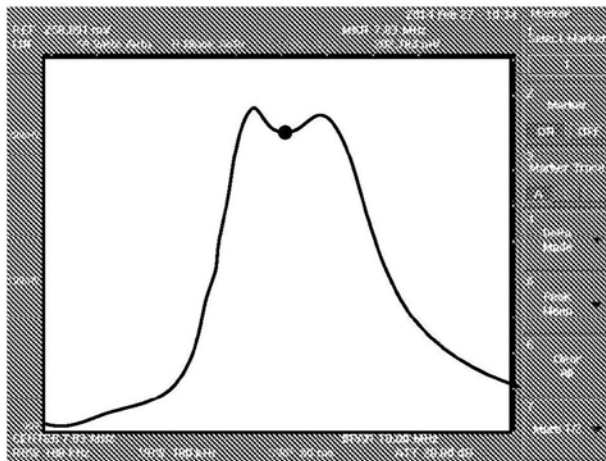


图14C

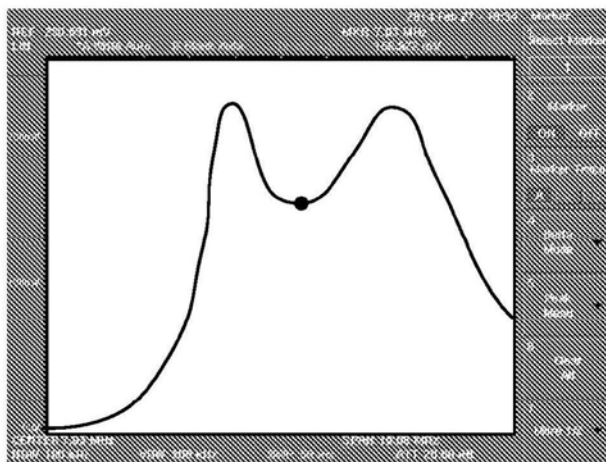


图14D

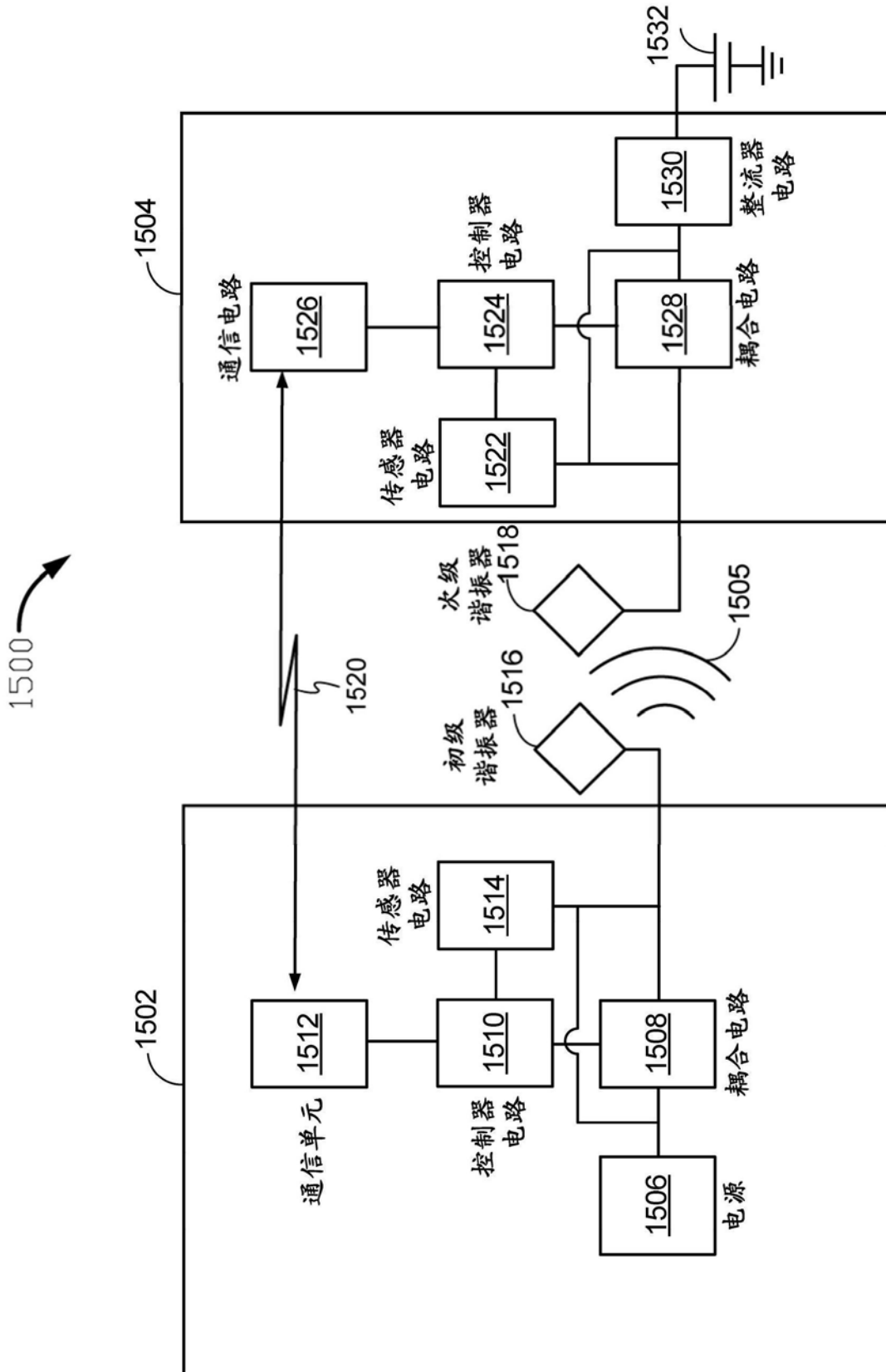


图15

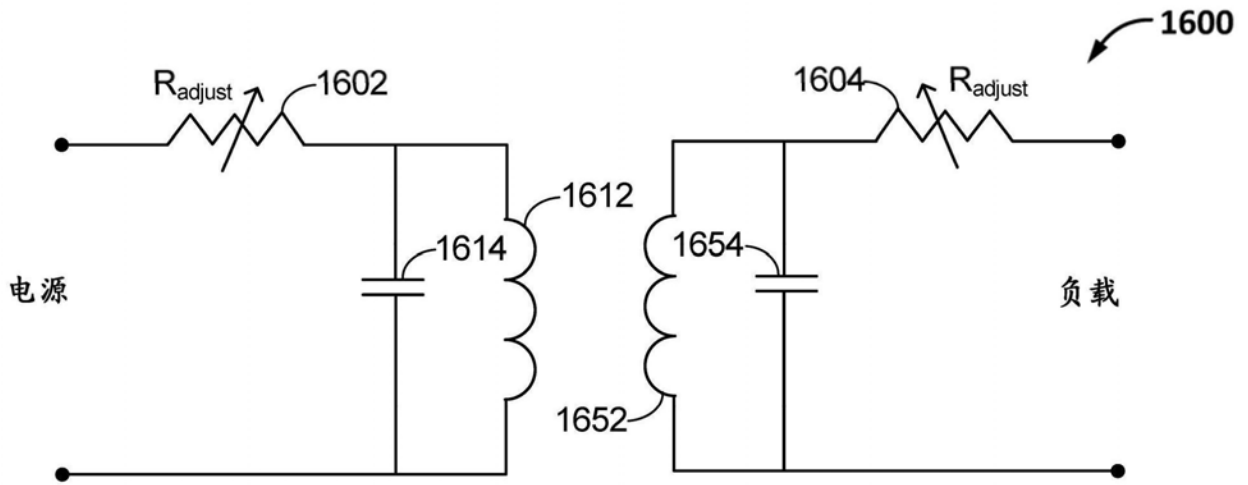


图16

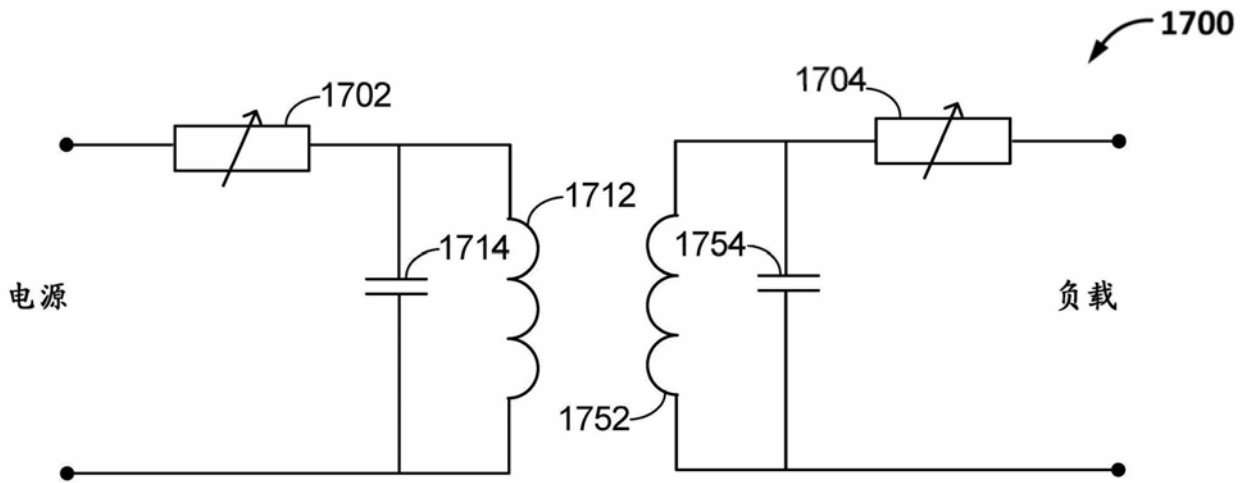


图17

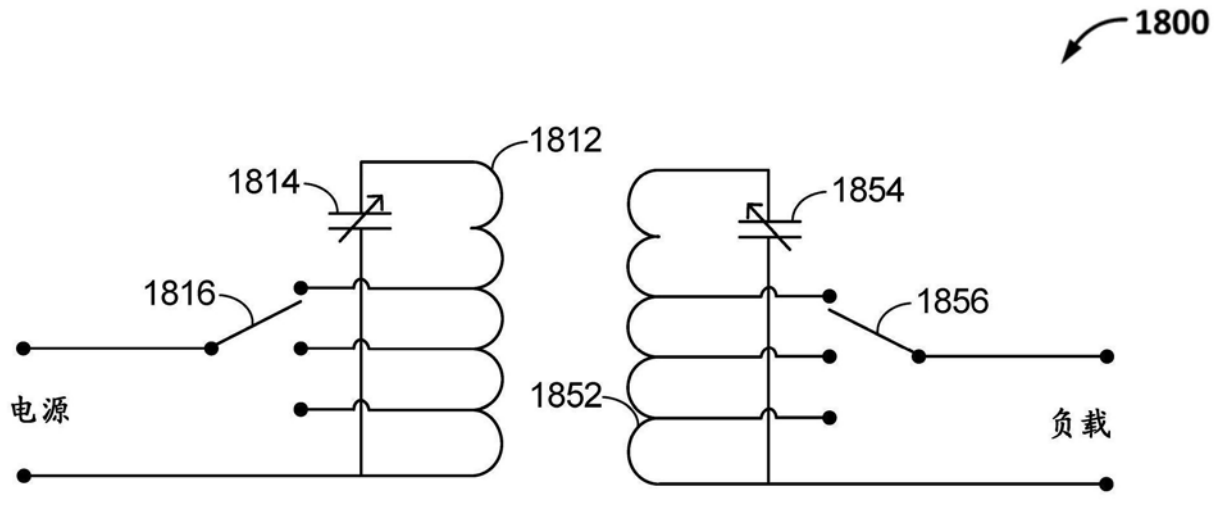


图18

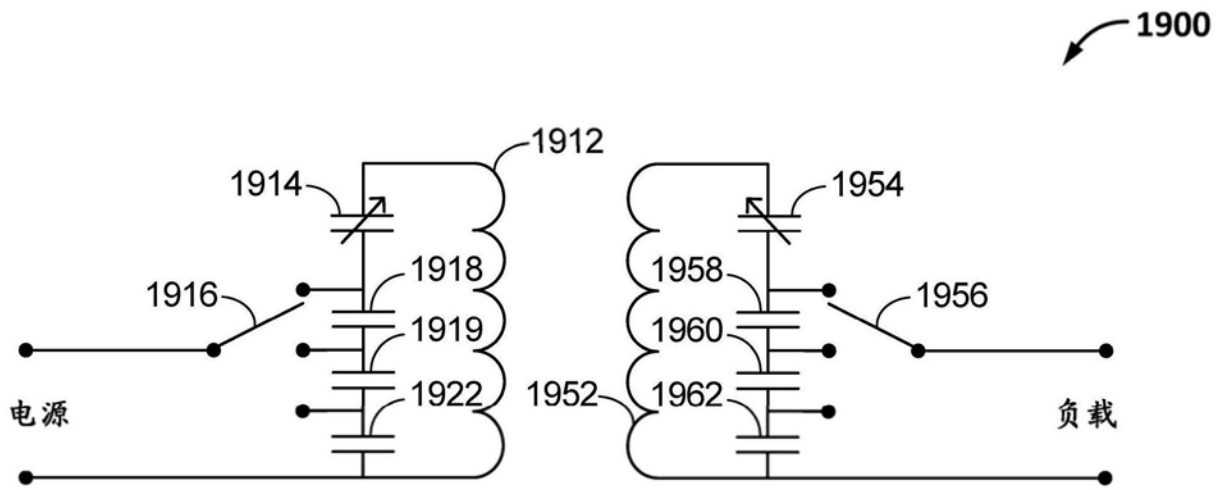


图19

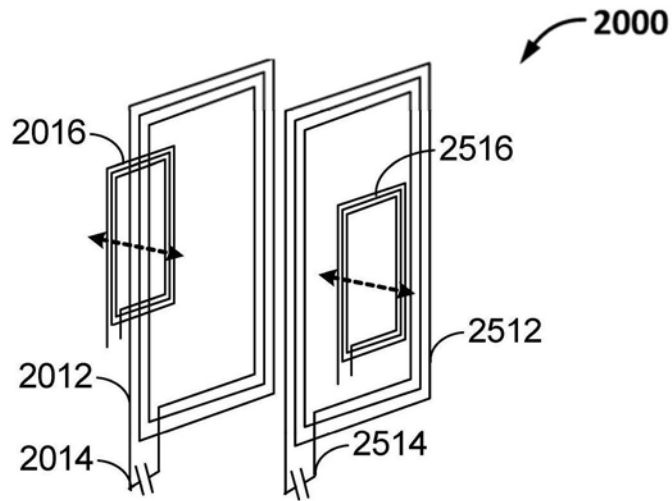


图20

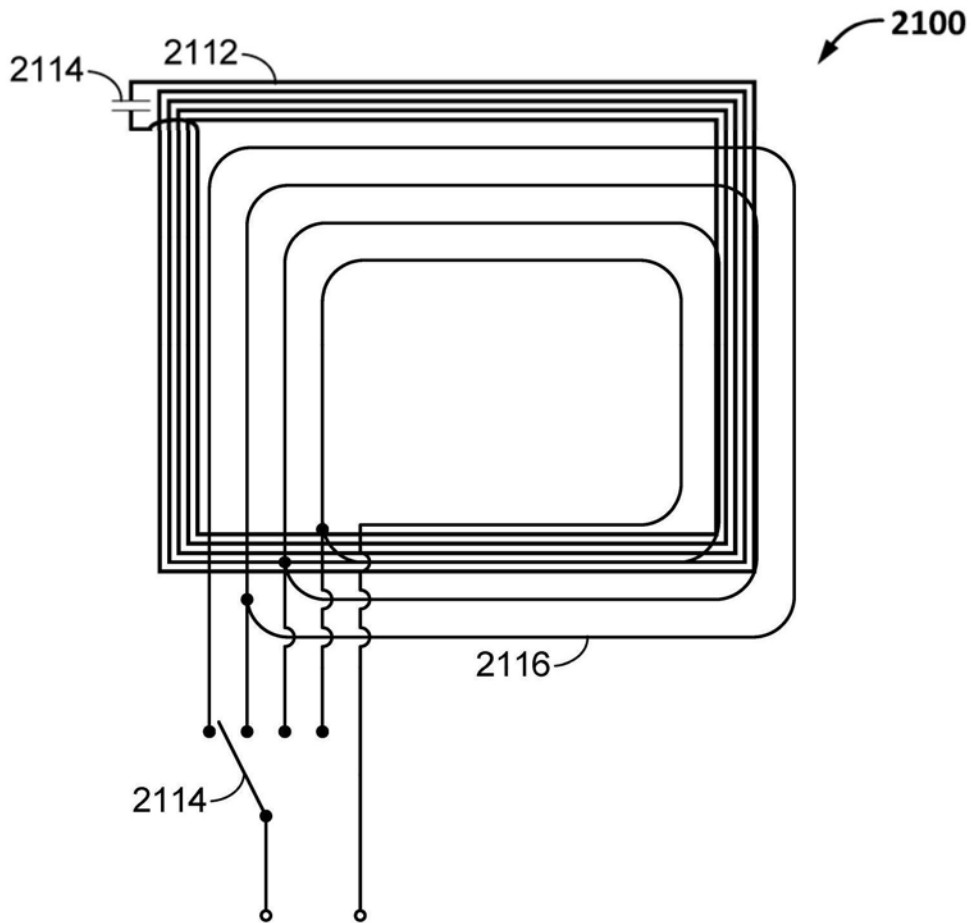


图21

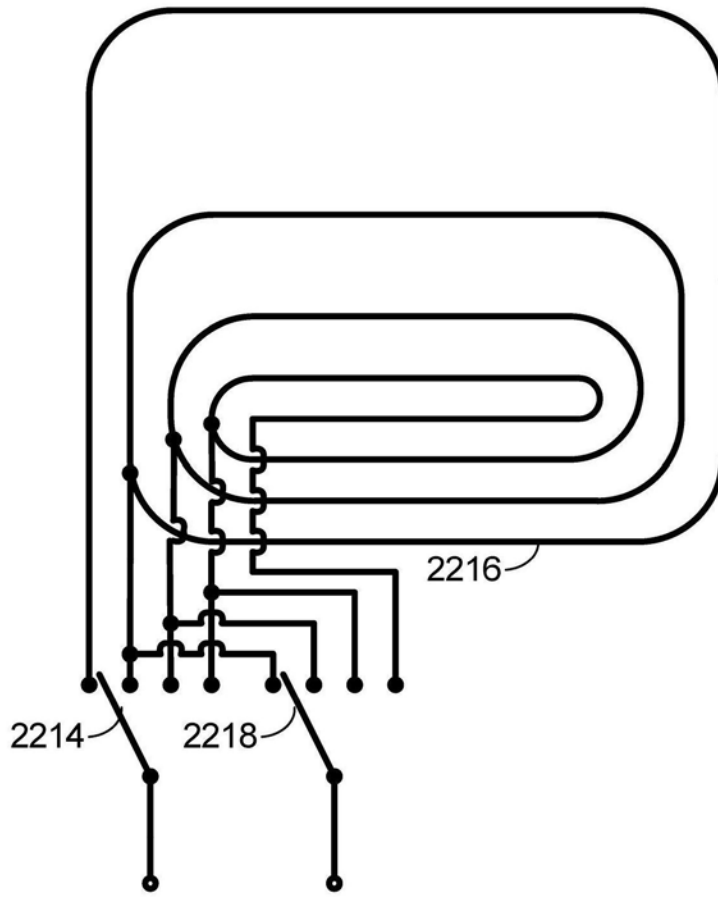


图22

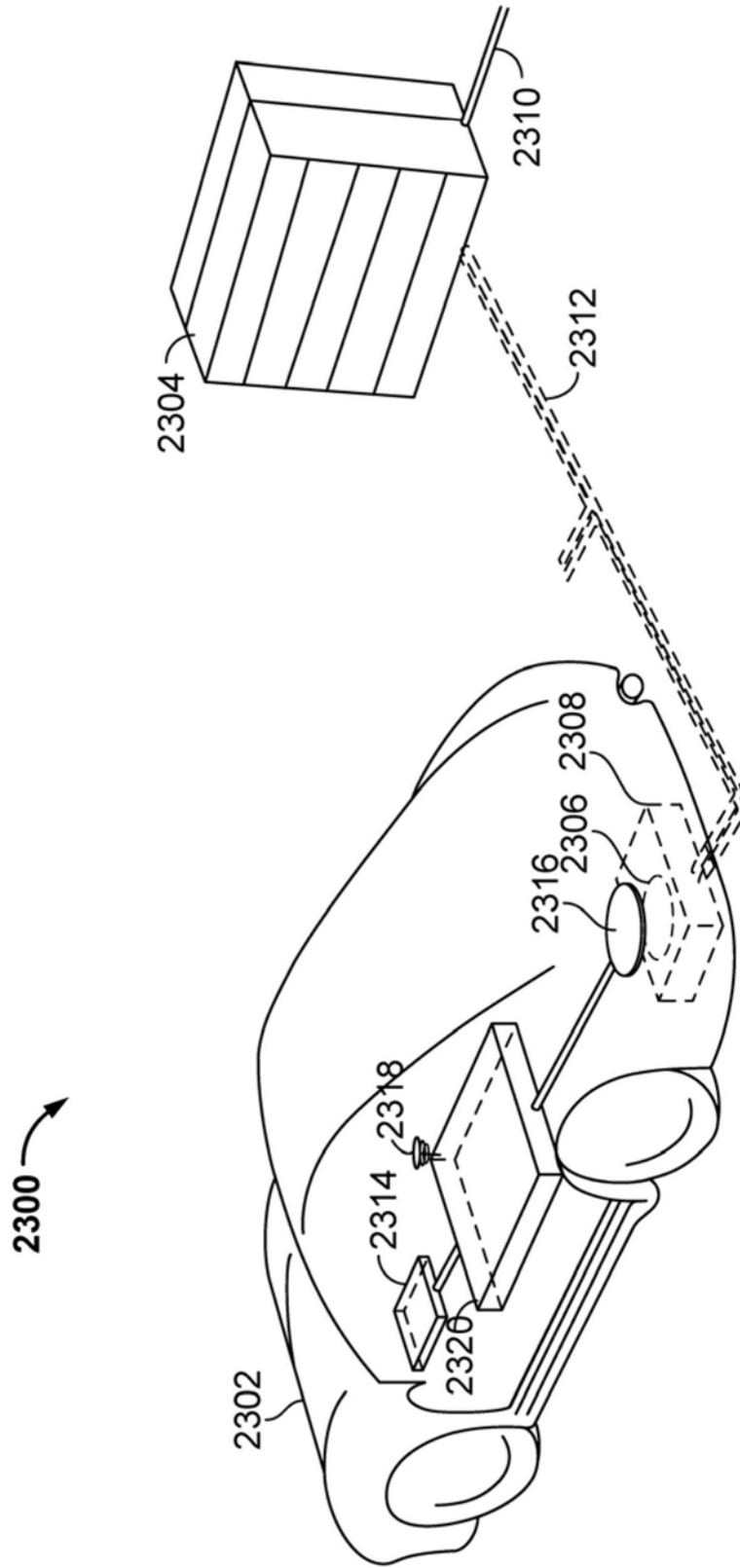


图23

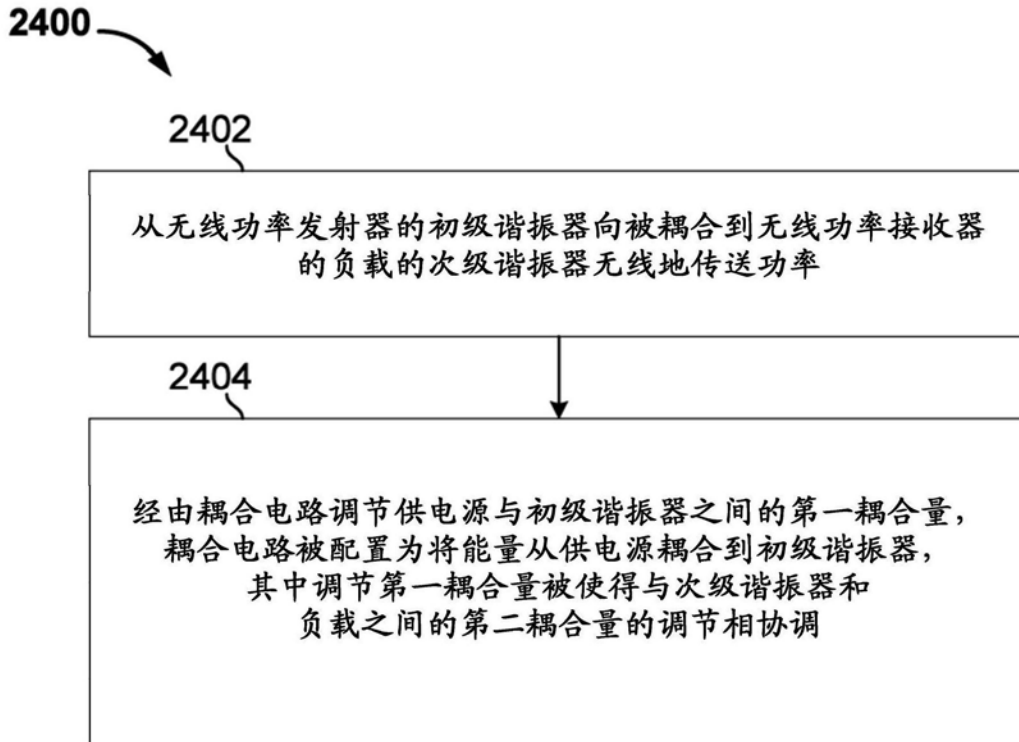


图24

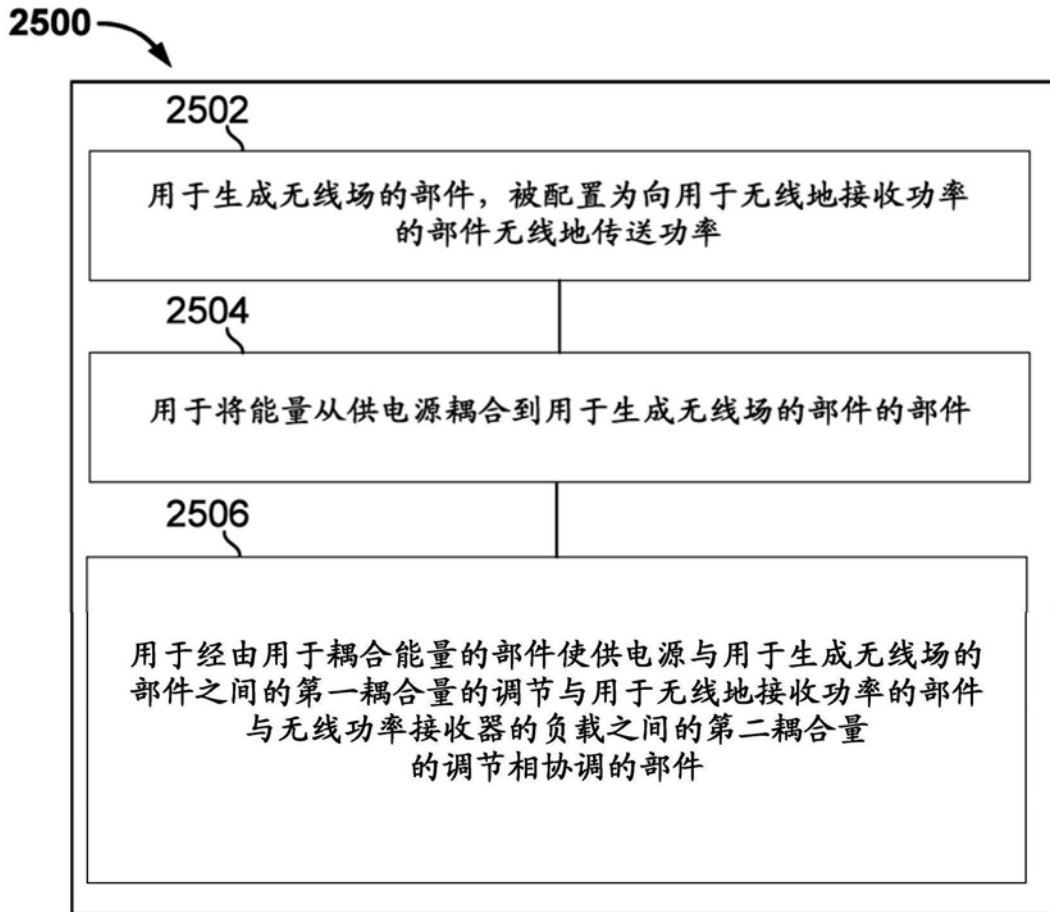


图25

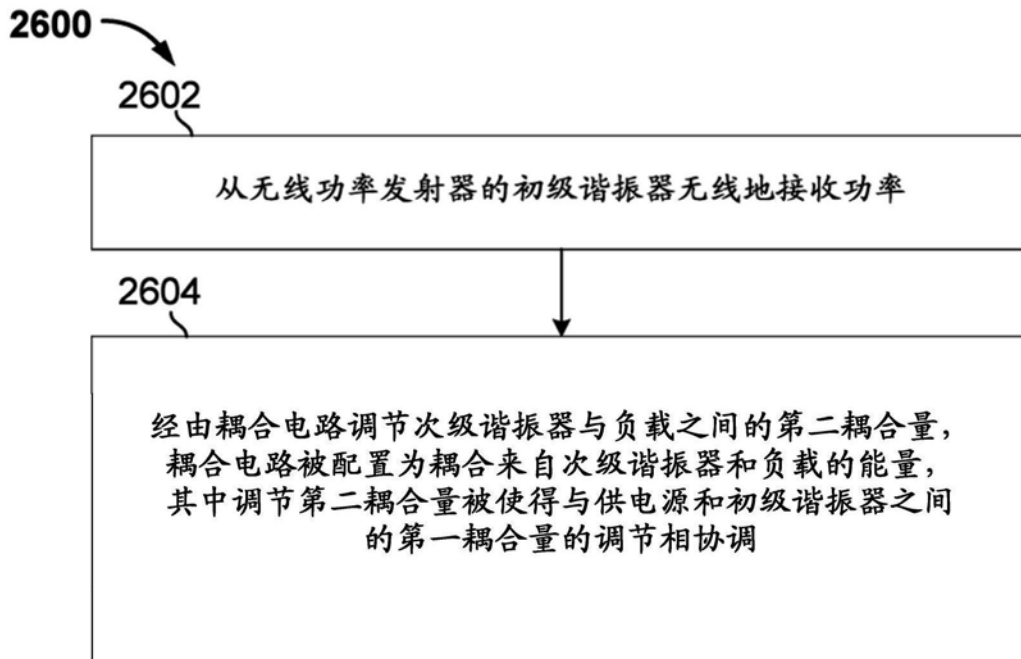


图26

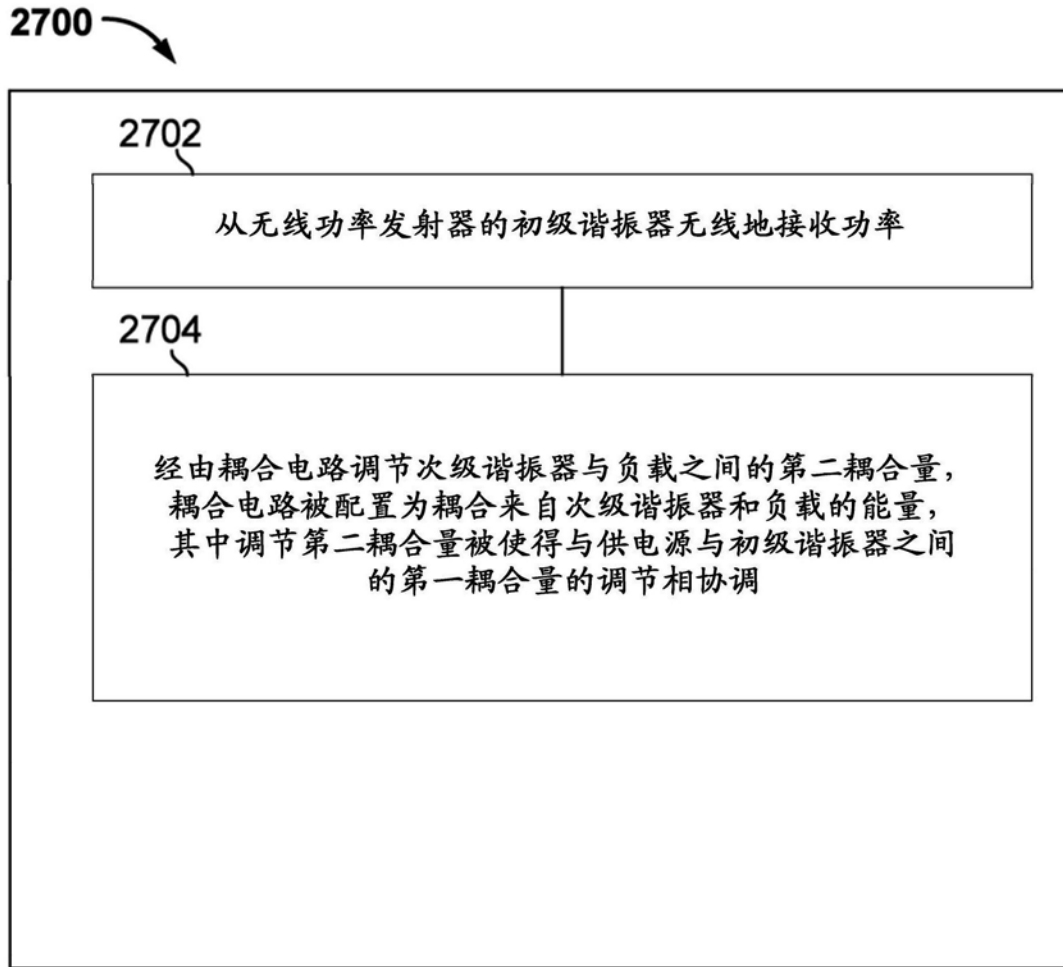


图27