



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108418314 A

(43)申请公布日 2018.08.17

(21)申请号 201810061003.4

H01F 38/14(2006.01)

(22)申请日 2012.08.06

H02J 50/80(2016.01)

(30) 优先权数据

H02J 50/70(2016.01)

61/515,324 2011.08.04 US

H02J 50/90(2016.01)

(62)分案原申请数据

H02J 7/02(2016.01)

201280048893.6 2012.08.06

B60L 11/18(2006.01)

(71)申请人 韦特里西提公司

地址 美国马萨诸塞州

(72)发明人 A·卡拉里斯 M·P·凯斯勒

K · L · 霍尔 N · A · 帕洛

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

72002

代理人 戴开良 王英

(51) Int.Cl.

H02J 50/12(2016.01)

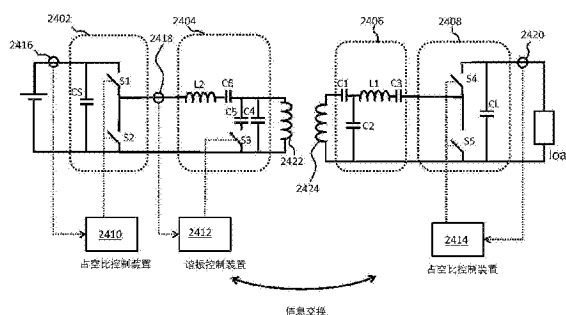
权利要求书2页 说明书39页 附图42页

(54)发明名称

可调谐无线电源架构

(57)摘要

本文涉及可调谐无线电源架构,说明的是用于无线功率传递的改进的配置。调整无线能量传递系统的部件的参数,以控制传送到在设备的负载的功率。控制源放大器的功率输出,以在设备的整流器上保持基本上50%的占空比。



1. 一种用于在电源与负载之间传递能量的无线能量传递系统,包括:
源谐振器线圈;
设备谐振器线圈,所述设备谐振器线圈感性地耦合到所述源谐振器线圈;
可调谐开关放大器,由所述电源驱动并通过源阻抗匹配网络驱动所述源谐振器线圈,所述开关放大器具有电子可控的开关元件;
可调谐开关整流器,所述可调谐开关整流器驱动所述负载并通过设备阻抗匹配网络从所述设备谐振器线圈接收能量,所述开关整流器具有电子可控开关元件;
源放大器控制装置,所述源放大器控制装置被配置为控制所述放大器的所述开关元件的开关特性以调节从电源提取的功率;以及
整流器控制装置,所述整流器控制装置被配置为控制所述整流器的所述开关元件的开关特性以调节提供给所述负载的输出的特性,所述整流器控制装置可通信地耦合到所述源放大器控制装置;
其中,所述放大器控制向所述放大器的所述开关元件提供实质上固定的开关频率。
2. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述放大器具有半桥拓扑结构,并且所述源放大器控制装置被配置为控制所述放大器的所述开关元件的开关占空比。
3. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述放大器具有全桥拓扑结构,并且所述源放大器控制装置被配置为控制所述放大器的所述开关元件的相位。
4. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述整流器具有半桥拓扑结构,并且所述整流器控制装置被配置为控制所述整流器的所述开关元件的开关占空比。
5. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述整流器具有全桥拓扑结构,并且所述整流器控制装置被配置为控制所述整流器的所述开关元件的开关相位。
6. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述整流器控制装置被配置为控制提供给所述负载的电压。
7. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述整流器控制装置被配置为控制提供给所述负载的电流。
8. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述整流器控制装置被配置为控制提供给所述负载的功率。
9. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述源放大器控制装置调节从所述电源提取的功率,从而使得从所述电源到所述负载的功率传输的效率最优化。
10. 根据权利要求4所述的系统,其中,所述源放大器控制装置调节从所述电源提取的所述功率,从而在所述整流器的开关元件上基本上保持50%的占空比。
11. 根据权利要求5所述的系统,其中,所述源放大器控制装置调节从所述电源提取的所述功率,从而在所述整流器的所述开关元件基本上保持50%的相移。
12. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述放大器控制被配置为控制所述放大器的所述开关元件的所述开关特性的至少一个停滞时间以基本上保持零电压开关。
13. 根据权利要求12所述系统,其中,响应于所述放大器的输出电压和输出电流的测量结果来控制所述至少一个停滞时间。
14. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述整流器控制装置被配置为控制所述整流器的所述开关元件的所述开关特性的至少一个停滞时间以基本上保持零电压开关。

15. 根据权利要求14所述的系统,其中,响应于所述整流器的输出电压和输出电流的测量来控制所述至少一个停滞时间。

16. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述源阻抗匹配网络包括至少一个可调谐元件。

17. 根据权利要求16所述的系统,其中,所述至少一个可调谐元件是可调整电容器。

18. 根据权利要求17所述的系统,其中,调整所述电容器以保持所述源谐振频率。

19. 根据权利要求17所述的系统,其中,调整所述电容器从而以将功率从所述电源传输到所述源谐振器线圈的改进的效率来调节从所述电源提取的功率。

20. 根据权利要求17所述的系统,其中,调整所述电容器以调节从所述电源提取的功率,同时在所述放大器的所述开关元件上基本上保持50%的占空比或相移。

21. 一种用于在无线能量传递系统中控制到负载的能量的方法,所述方法包括:

为源提供放大器,所述放大器的开关元件具有可调谐占空比;

为设备提供整流器,所述整流器的开关元件具有可调谐占空比,所述整流器可通信地耦合到所述源的所述放大器;

调整所述整流器的所述占空比以满足对所述整流器的所述输出的功率要求;以及

调整所述放大器的所述占空比以在所述整流器的所述开关元件上获得基本上50%的占空比。

22. 根据权利要求21所述的方法,其中,所述整流器向所述放大器传送一个或多个操作特性。

23. 根据权利要求21所述的方法,其中,所述整流器调整所述占空比以对所述整流器的所述输出提供恒定电压。

24. 根据权利要求21所述的方法,其中,所述整流器调整所述占空比以在所述整流器的所述输出提供恒定电流。

可调谐无线电源架构

[0001] 本申请是申请号为201280048893.6 (PCT/US2012/049777), 申请日为 2012年8月6日, 发明名称为“可调谐无线电源架构”的中国专利申请的 分案申请。

[0002] 相关申请的交叉参考

[0003] 本申请要求于2011年8月4日提交的美国临时专利申请61/515,324的 优先权。

技术领域

[0004] 本公开内容涉及无线能量传递, 用以完成这种传递的方法、系统和装 置, 以及应用。

背景技术

[0005] 可以使用各种公知的辐射或远场和非辐射或近场技术来无线地传递能 量或功率, 例如在共同拥有的于2010年5月6日公布为US 2010/010909445 的题为“Wireless Energy Transfer System”的美国专利申请12/613,686, 于 2010年12月9日公布为2010/0308939的题为“Integrated Resonator-Shield Structure”的美国专利申请12/860,375, 于2012年3月15日公布为 2012/0062345的题为“Low Resistance Electrical Conductor”的美国专利申 请13/222,915, 题为“Multi-Resonator Wireless Energy Transfer for Lighting” 的美国专利申请13/283,811中详细说明书的, 通过引用的方式合并了其内容。现有技术的无线能量传递系统受到各种因素的限制, 包括对用户安全性、低能量传递效率和 对能量供应(power supply)与接收器部件的限制性物理 邻近/对准容限的顾虑。

[0006] 无线能量传递中一个具体的挑战是谐振器结构和电源的控制与调谐, 从而向负载传送受控的电源。在无线能量传递系统中, 源和设备可以移动 或改变位置。随着系统元件的相对定位改变, 无线能量传递的特性也改变。在源与设备之间的耦合可以改变, 例如减小了能量传递的效率。无线能量 传递特性中的变化可以改变传送给负载的功率, 或者导致传送给在设备的 负载的功率的不想要的波动。需要用于具有可调谐部件的可调谐无线 能量 传递系统的方法和设计, 从而保持到设备的负载的有效且恒定的能量传送 而无论系统部件的定位、耦合、定向等的变化如何。

发明内容

[0007] 在多个实施例中, 多个系统和过程使用耦合的谐振器提供无线能量传 递。在某些实施例中, 无线能量传递系统可以要求或得益于验证和认证无 线能量的源和接收器的能力。这些实施例的特征是普遍性的, 并可以应用 于范围广泛的谐振器, 而不管本文所述的具体实例如何。

[0008] 在实施例中, 磁谐振器可以包括电感器和电容器的某些组合。诸如电 容器、电感器、电阻器、开关等的另外的电路元件可以插入到磁谐振器与 电源之间、和/或磁谐振器与 功率负载之间。在本公开内容中, 包括谐振器 的高Q感应回路的导电线圈可以称为电感器 和/或感性负载。当其无线耦合 (通过互感) 到其他系统或外来对象时, 感性负载还可以指

代电感器。在本公开内容中,除了感性负载以外的电路元件也可以称为是阻抗匹配网络或IMN的部件。应当理解,被称为是阻抗匹配网络的部件的所有、某些元件可以是或者都不是磁谐振器的部件。哪些元件是谐振器的一部分,而哪些与谐振器分离将取决于特定磁谐振器和无线能量传递系统设计。

[0009] 除非另有指明,本公开内容可互换地使用术语无线能量传递、无线功率传递、无线功率传输等。本领域技术人员应当理解,本申请中所述的范围广泛的无线系统设计和功能可以支持各种系统架构。

[0010] 在本文所述的无线能量传递系统中,可以在至少两个谐振器之间无线地交换功率。谐振器可以提供、接收、保持、传递和分配能量。无线功率的源可以称为源或电源,无线功率的接收方可以称为设备、接收器和功率负载。谐振器可以是源、设备或同时是二者,或者可以以受控的方式从一个功能改变为另一个。不具有与电源或噬能器(power drain)的有线连接的、被配置为保持或分配能量的谐振器可以称为转发器。

[0011] 本发明的无线能量传递系统的谐振器能够在与谐振器自身尺寸相比较大的距离上传递功率。就是说,如果谐振器尺寸以能够包围谐振器结构的最小球体的半径来表征,那么本发明的无线能量传递系统就可以通过大于谐振器的特征尺寸的距离传递功率。系统能够在谐振器之间交换能量,其中,谐振器具有不同的特征尺寸,并且其中,谐振器的感性元件具有不同尺寸、不同形状,由不同材料构成等。

[0012] 借助说明可以在彼此分离的谐振对象之间传递能量而可以将本发明的无线能量传递系统描述为具有耦合区域、通电区或体积,所述谐振对象可以彼此相距可变的距离且可以相对于彼此移动。在某些实施例中,能量传递所通过的区域或提及可以称为有效场区域或提及。另外,无线能量传递系统可以包括多于两个谐振器,它们的每一个可以耦合到电源、功率负载,或者耦合到电源和功率负载二者,或者不耦合到电源或功率负载的任意一个。

[0013] 无线提供的能量可以用于对电气或电子设备进行供电,对电池进行再充电或对储能单元进行充电。可以同时为多个设备充电或供电,或者到多个设备的功率传送可以串行化,以使得一个或多个设备在一段时间期间中接收功率,此后功率传送可以切换到其他设备。在多个实施例中,多个设备可以同时、或以时分复用的方式、或以频分复用的方式、或以空分复用的方式、或以方向复用的方式、或以时分、频分、空分和方向复用的任何组合,与一个或多个其他设备共享来自一个或多个源的功率。多个设备可以彼此共享功率,至少一个设备连续地、间断地、周期性地、偶尔地、或暂时地重构,以作为无线电源而进行操作。本领域普通技术人员应当理解,存在适用于本文所述的技术和应用的对设备进行供电和/或充电的各种方式。

[0014] 本公开内容参考了特定单个电路部件和诸如电容器、电感器、电阻器、二极管、变压器、开关等之类的元件;作为网络、拓扑结构、电路等的这些元件的组合;和具有内在特性的对象,例如具有遍及整个对象而分布(或局部分布的,与完全集总的相反)的电容或电感的“自谐振”对象。本领域普通技术人员应当理解,在电路或网络内调整和控制可变部件可以调整该电路或网络的性能,这些调整可以总体上描述为调谐、调整、匹配、校正等。可以单独使用,或者除了调整诸如电感器和电容器、或电感器和电容器的组合的可调谐部件以外还使用调谐或调整无线功率传递系统的工作点的其他方法。本领域技术人员应当理

解,本公开内容中所述的特定拓扑 结构可以以各种其他方式来实施。

[0015] 除非另有定义,本文使用的所有技术和科学术语具有与本公开内容所 属领域普通技术人员通常所理解的相同的含义。在与本文通过引用提及或 合并的公开、专利申请、专利及其他参考存在矛盾的情况下,包括定义的 本说明书是占支配地位的。

[0016] 在不脱离本公开内容的范围的情况下,可以单独或组合使用上述的任 何特征。本文公开的系统和方法的其他特征、目的和优点依据以下的详细 说明和附图将是显而易见的。

附图说明

[0017] 图1无线能量传递配置的系统框图。

[0018] 图2A-2F是简单谐振器结构的示例性结构和示意图。

[0019] 图3是具有单端放大器的无线源的框图。

[0020] 图4是具有差分放大器的无线源的框图。

[0021] 图5A和5B是感测电路的框图。

[0022] 图6A、6B和6C是无线源的框图。

[0023] 图7是示出占空比对放大器的参数的影响的曲线图。

[0024] 图8是具有开关放大器的无线电源的简化电路图。

[0025] 图9示出了无线电源的参数变化的影响的曲线图。

[0026] 图10示出了无线电源的参数变化的影响的曲线图。

[0027] 图11A、11B和11C是示出无线电源的参数变化的影响的曲线图。

[0028] 图12示出了无线电源的参数变化的影响的曲线图。

[0029] 图13是无线能量传递系统的简化电路图,该无线能量传递系统包括具 有开关放 大器的无线电源和无线功率设备。

[0030] 图14示出了无线电源的参数变化的影响的曲线图。

[0031] 图15是示出由于在磁性材料的砖之间的不规则间隔而引起的可能的不 均匀磁场 分布的谐振器的图。

[0032] 图16是具有在磁性材料块中平铺布置的谐振器,其可以减小磁性材料 块中的热 点。

[0033] 图17A是具有包括较小的单块砖的磁性材料块的谐振器,图17B和17C 是具有用于 热管理的附加导热材料条的谐振器。

[0034] 图18是具有带内和带外通信信道的无线能量传递系统的框图。

[0035] 图19A和图19B是可以用于使用带外通信信道来验证能量传递信道的 步骤。

[0036] 图20A和图20B是无线能量传递系统电子器件的框图。

[0037] 图21A和图21B是具有可调谐电子器件的无线能量传递系统的框图。

[0038] 图22A和图22B是具有可调谐电子器件的无线能量传递系统的简化示 意图,图22C 是开关元件的具体实施例。

[0039] 图23A-23D是示出放大器的操作的图。

[0040] 图24是可调谐无线能量传递系统的实施例的框图。

[0041] 图25是可调谐无线能量传递系统的实施例的示意图。

[0042] 图26是具有平衡的阻抗匹配网络的源的实施例的示意图。

具体实施方式

[0043] 如上所述,本公开内容涉及使用耦合的电磁谐振器的无线能量传递。但这种能量传递不限于电磁谐振器,并且本文所述的无线能量传递系统更为普遍,且可以使用范围广泛的谐振器和谐振对象来实施。

[0044] 本领域技术人员应当理解,对于基于谐振器的功率传递的重要考虑包括谐振器效率和谐振器耦合。例如在2010年9月23日公布为US 20100237709的题为“RESONATOR ARRAYS FOR WIRELESS ENERGY TRANSFER”的美国专利申请12/789,611,和2010年7月22日公布为US 20100181843的题为“WIRELESS ENERGY TRANSFER FOR REFRIGERATOR APPLICATION”的美国专利申请12/722,050中提供此类问题的广泛讨论,例如耦合模式理论(CMT)、耦合系数和因子、品质因子(也称为Q因子)和阻抗匹配,并由此通过引用整体并入本文中,如同在本文中充分地阐述一样。

[0045] 谐振器可以定义为能够以至少两个不同形式储存能量的谐振结构,并且其中储存的能量在两种形式之间振荡。谐振结构具有特定振荡模式,具有谐振(模态)频率 f 和谐振(模态)场。角谐振频率 ω 可以定义为 $\omega = 2\pi f$,谐振周期 T 可以定义为 $T = 1/f = 2\pi/\omega$,谐振波长 λ 可以定义为 $\lambda = c/f$,其中, c 是相关场波(对于电磁谐振器是光)的速度。在缺少损耗机制、耦合机制或者外部能量提供或耗用机制的情况下,由谐振器储存的能量的总量 W 会保持固定,但能量的形式将在由谐振器支持的两种形式之间进行振荡,其中,在一种形式最小时另一种形式最大,反之亦然。

[0046] 例如,可以构造谐振器以使得储存的两种形式的能量是磁能和电能。此外,可以构造谐振器,以使得由电场存储的电能主要限制在结构内,而由磁场存储的磁能主要在围绕谐振器的区域中。换句话说,总电能和磁能会相等,但它们的定位不同。使用这种结构,在至少两个结构之间的能量交换可以由至少两个谐振器的谐振磁近场来调节。这些类型的谐振器可以称为磁谐振器。

[0047] 用于无线功率传输系统的谐振器的重要参数是谐振器的品质因子或Q因子或 Q ,其表征了能量衰减并与谐振器的能量损耗成反比。其可以定义为 $Q = \omega * W/P$,其中, P 是在稳态的时间平均功耗。就是说,具有高 Q 的谐振器具有相对低的本征损耗,可以在相对长的时间中存储能量。由于谐振器以其本征衰减率 2Γ 损失能量,其 Q ,也称为其本征 Q ,由 $Q = \omega * W/2\Gamma$ 给出。品质因子还表示振荡周期 T 的数量,它是谐振器中能量以因子 $e^{-2\pi}$ 衰减所花费的。注意,谐振器的品质因子或本征品质因子或 Q 是仅起因于本征损耗机制的。连接到或耦合到发电机 g 或负载 l 的谐振器的 Q 可以称为“有载品质因子”或“有载 Q ”。存在并非旨在作为能量传递系统的部件的外部对象的情况下,谐振器的 Q 可以称为“扰动品质因子”或“扰动 Q ”。

[0048] 通过其近场的任意部分而耦合的谐振器可以相互作用并交换能量。如果谐振器以基本上相同的谐振频率工作,这个能量传递的效率就会显著提高。示例性但非限制性的,设想具有 Q_s 的源谐振器和具有 Q_d 的设备谐振器。高 Q 无线能量传递系统可以利用高 Q 的谐振器。每一个谐振器的 Q 都可以为高。谐振器 Q 的几何平均 $\sqrt{Q_s Q_d}$ 也可以或作为替代为高。

[0049] 耦合因子 k 是在 $1 \leq |k| \leq 1$ 之间的数,它在源和设备谐振器放置在子波长 距离上时,可以与源和设备谐振器的谐振频率无关(或几乎无关)。相反,耦合因子 k 可以主要由源与设备谐振器之间的相对几何形状和距离来确定,其中考虑了调节其耦合的场的物理衰减定律。用于MT中的耦合系数 $\kappa = k\sqrt{\omega_s\omega_d}/2$ 可以是谐振频率以及谐振器结构的其他特性的强函数。在利用 谐振器的近场的无线能量传递的应用中,希望使得谐振器的尺寸比谐振波 长小得多,以便减小由于辐射的功率损耗。在某些实施例中,高Q谐振器 是子波长结构。在某些电磁实施例中,高Q谐振器结构设计为具有高于 100kHz的谐振频率。在其他实施例中,谐振频率可以小于1GHz。

[0050] 在示例性实施例中,由这些子波长谐振器辐射到远场中的功率可以通过降低谐振器的谐振频率和系统的工作频率来进一步减小。在其他实施例中,可以通过为远场布置两个或多个谐振器以在远场中相消干涉来减小远 场辐射。

[0051] 在无线能量传递系统中,谐振器可以用作无线能量源、无线能量捕获 设备、转发器或其组合。在实施例中,谐振器可以在传递能量、接收能量 或中继转发能量之间交替。在无线能量传递系统中,一个或多个磁谐振器 可以耦合到能量源,被通电以产生振荡磁近场。在振荡磁近场内的其他谐 振器可以捕获这些场,并将能量转换为电能,其可以用于为负载供电或充 电,从而实现了有用能量的无线传递。

[0052] 有用能量交换中的所谓的“有用”能量是必须传送到设备以便以可接 受的速率为其供电或充电的能量或功率。对应于有用能量交换的传递效率 可以是系统或应用相关的。例如,传递几千瓦功率的高功率车辆充电应用 需要至少80%有效,以便提供有用的功率量,导致有用能量交换,其足以 在不使传递系统的各个部件显著发热的情况下,为车辆电池充电。在某些 消费电子应用中,有用能量交换可以包括大于10%或任何其他量的任何能量传递效率,其可接受以保持充电电池“完成”并长时期运行。在移植医 学设备应用中,有用能量交换可以是不伤害病人但延长电池寿命,或唤醒 传感器或监视器或激励器的任何交换。在这种应用中,100mW或更小的功 率是有用的。在分布式感测应用中,毫瓦的功率传递可以是有用的,并且 传递效率可以比1%低很多。

[0053] 在供电或充电应用中用于无线能量传递的有用能量交换可以有效、极 为有效或足够有效,只要浪费能量程度、热耗散及相关场强在可允许的限 度内,并以相关因素适当地平衡,例如成本、重量、尺寸等。

[0054] 谐振器可以称为源谐振器、设备谐振器、第一谐振器、第二谐振器、转发器谐振器等、实现方式可以包括三个(3个)或更多个谐振器。例如,单一源谐振器可以将能量传递到多个设备谐振器或多个设备。能量可以从 第一设备传递到第二设备,随后从第二设备到第三设备,等等。多个源可 以将能量传递到单个设备、或连接到单个设备谐振器的多个设备、或者连 接到多个设备谐振器的多个设备。谐振器可以交替地或同时充当源、设备, 和/或它们可以用于将功率从在一个位置的源中继转发到在另一个位置的设 备。中间电磁谐振器可以用于延长无线能量传递系统的距离范围,和/或产 生集中的磁近场区域。多个谐振器可以以菊花链形式连接在一起,通过延 长的距离与范围广泛的源和设备交换能量。例如,源谐振器可以经由几个 转发器谐振器向设备谐振器传递功率。来自源的能量可以传递到第一转发 器谐振器,第一转发器谐振器可以将功率传递到第二转发器谐振器,第二 到第三,等等,直到最终的转发器谐振器将其能量传递给设备谐振器。在 这点上,可以通过增

加转发器谐振器来扩展和/或调整无线能量传递的范围 或距离。可以在多个源之间划分高功率级,传递到多个设备并在远端位置 重组。

[0055] 可以使用耦合模式理论模型、电路模型、电磁场模型等来设计谐振器。谐振器可以被设计为具有可调谐特征尺寸。谐振器可以被设计为处理不同 功率级。在示例性实施例中,高功率谐振器可以比较低功率谐振器需要更 大的导体和更高额定电流或电压部件。

[0056] 图1示出了无线能量传递系统的示例性结构和布置的图。无线能量传递系统可以包括至少一个源谐振器(R1) 104(可任选地R6,112),耦合 到能量源102及可任选的传感器和控制单元108。能量源可以是能够被转换 为电能的任何类型的能量源,电能可以用于驱动源谐振器104。能量源可以 是电池、太阳能板、电力干线、风力或水力涡轮机、电磁谐振器、发电机 等。由谐振器将用于驱动磁谐振器的电能转换为振荡磁场。振荡磁场可以 由其他谐振器捕获,它们可以是设备谐振器(R2) 106、(R3) 116,其可任 选地耦合到能量耗用装置110。振荡场可任选地耦合到转发器谐振器(R4、R5),其被配置为扩展或调整无线能量传递区域。设备谐振器可以捕获在源 谐振器、转发器谐振器及其他设备谐振器附近的磁场,并将它们转换为电 能,其可以由能量耗用装置使用。能量耗用装置110可以是电、电子、机械或化学设备等,被配置为接收电能。转发器谐振器可以捕获在源、设备 和转发器谐振器附近的磁场,并可以将能量传送到其他谐振器。

[0057] 无线能量传递系统可以包括耦合到能量源102的单个源谐振器104和 耦合到能量耗用装置110的单个设备谐振器106。在实施例中,无线能量传递系统可以包括耦合到一个或多个能量源的多个源谐振器,并可以包括耦 合到一个或多个能量耗用装置的多个设备谐振器。

[0058] 在实施例中,可以在源谐振器104与设备谐振器106之间直接传递能 量。在其他实施例中,能量可以从一个或多个源谐振器104、112经由任意 数量的中间谐振器传递到一个或多个设备谐振器106、116,中间谐振器可 以是设备谐振器、源谐振器、转发器谐振器等。能量可以经由网络或谐振 器114的装置来传递,其可以包括子网络118、120,以诸如令牌环、网格、ad hoc等的拓扑结构的任意组合来布置。

[0059] 在实施例中,无线能量传递系统可以包括集中感测和控制系统108。在 实施例中,可以由控制处理器监控并调整谐振器、能量源、能量耗用装置、网络拓扑结构、操作参数等的参数,以满足系统的特定操作参数。中央控 制处理器可以调整系统的单个部件的参数,以优化总能量传递效率,优化 传递的功率量等。其他实施例可以设计为具有基本上分布式的感测和控制 系统。感测和控制可以包含在每一个谐振器或谐振器组、能量源、能量耗 用装置等中,可以被配置为调整组中单个部件的参数,以使得传送的功率 最大或最小,使得该组中的能量传递效率最大等。

[0060] 在实施例中,无线能量传递系统的部件可以具有到诸如设备、源、转 发器、功率源、谐振器等之类的其他部件的无线或有线数据通信链路,并 可以发送或接收数据,其可以用于实现分布式或集中式感测和控制。无线 通信信道可以与无线能量传递信道分离,或者它可以是相同的。在一个实 施例中,用于功率交换的谐振器也可以用于交换信息。在某些情况下,可 以通过调制在源或设备电路中的部件,并以端口参数或其他监控设备感测 该变化来交换信息。谐振器可以通过调谐、变化、改变、抖动等谐振器参 数来彼此用信号通知,谐振器参数例如是谐振器阻抗,其可以影响系统中 其他谐振器的反射阻抗。本文所述

的系统和方法可以实现无线功率传输系统中谐振器之间功率和通信信号的同时传输,或者可以实现使用与无线能量传递过程中相同的磁场在不同时间期间中或以不同频率的功率和通信信号的传输。在其他实施例中,可以以单独的无线通信信道来实现无线通信,例如WiFi、蓝牙、红外、NFC等。

[0061] 在实施例中,无线能量传递系统可以包括多个谐振器,总系统性能可以借助系统中多个元件的控制来改进。例如,具有较低功率要求的设备可以将其谐振频率从具有较高功率要求的向设备供电的高功率源的谐振频率调离。对于另一个实例,需要较少功率的设备可以调整其整流器电路,以使得它们从源抽取较少的功率。以这些方式,低和高功率设备都可以安全地操作,或者从单个高功率源充电。另外,充电区中的多个设备可以找到它们可用的功率,其按照任意各种消耗控制算法进行了调节,例如,先到先得、尽力而为、保证功率等。功率消耗算法本质上可以是分级的,给与某些用户或某类设备优先级,或者它可以通过同等地共享源中可获得的功率来支持任意数量的用户。可以借助本公开内容所述的任何复用技术来共享功率。

[0062] 在实施例中,可以使用形状、结构和配置的组合来实现或实施电磁谐振器。电磁谐振器可以包括感性元件、分布式电感、或具有总电感 L 的电感组合,和容性元件、分布式电容或具有总电容 C 的电容的组合。电磁谐振器的最小电路模型包括电容、电感和电阻,在图2F中示出。谐振器可以包括感性元件238和容性元件240。在提供初始能量的情况下,例如存储在电容器240中的电场能量,系统将随着电容器放电,将能量传递到存储在电感器138中的磁场能量,电感器又将能量传递回存储在电容器240中的电场能量而振荡。在这些电磁谐振器中的本征损耗包括由于感性和容性元件中的电阻和辐射损耗引起的损耗,由图2F中的电阻 R 242表示。

[0063] 图2A示出了示例性磁谐振器结构的简化图。磁谐振器可以包括导体回路,充当在导体回路末端的感性元件202和容性元件204。电磁谐振器的电感器202和电容器204可以是体电路元件,或者电感和电容可以是分布式的,并可以由导体在结构中的构成、成形或定位的方式而产生。

[0064] 例如,可以通过成形导体以包围表面区域来获得电感器202,如图2A所示。此类谐振器可以称为容性加载的回路电感器。注意,我们可以使用术语“回路”或“线圈”来总体上指示导电结构(导线、管、带等),包围任意形状和尺寸的表面,具有任意数量的弯曲。在图2A中,包围的表面区域是圆形,但表面可以是任意各种其他形状和尺寸,并可以设计为实现特定系统性能规范。在实施例中,可以使用电感器元件、分布式电感、网络、阵列、电感器和电感的串联和并联组合等来实现电感。电感可以是固定的或者可变的,并可以用于改变阻抗匹配以及谐振频率操作条件。

[0065] 存在各种方式来获得实现谐振器结构的期望谐振频率所需的电容。可以如图2A所示地形成并使用电容器板204,或者电容可以是分布式的,并可以在多回路导体的相邻绕组之间实现。可以使用电容器元件、分布式电容、网络、阵列、电容的串联和并联组合等来实现电容。电容可以是固定的或者可变的,并可以用于改变阻抗匹配以及谐振频率操作条件。

[0066] 用于磁谐振器中的感性元件可以包含多于一个回路,并可以向内或向外或向上或向下或在方向的某些组合上盘旋。通常,磁谐振器可以具有各种形状、尺寸和数量的弯

曲,它们可以由各种导电材料组成。例如,导体 210 可以是导线、绞合线、带、管、由导电墨水、涂料、凝胶体等形成的迹线,或者由印刷在电路板上的单条或多条迹线形成的迹线。图 2B 中示出了构成导电回路的底板 208 上的迹线图案的示例性实施例。

[0067] 在实施例中,可以使用任何尺寸、形状、厚度等的磁性材料或由具有范围广泛的渗透性和损耗值的材料来形成感性元件。这些磁性材料可以是实体块,它们可以包围中空得体积,它们可以由平铺和/或堆叠在一起的许多更小的磁性材料砖构成,它们可以与由高导电材料制成的导电薄片或外壳集成。可以使导体缠绕在磁性材料周围以产生磁场。这些导体可以围绕结构的一个或多于一个轴缠绕。多个导体可以围绕磁性材料缠绕,并联或串联或经由开关组合,以构成特别调整的近场图案和/或定向结构的偶极矩。包括磁性材料的谐振器的实例在图 2C、2D、2E 中示出。在图 2D 中,谐振器包括导体 224 的回路,缠绕在磁性材料 222 的磁芯周围,产生了具有平行于导体 224 的回路轴的磁偶极矩 228 的结构。取决于如何驱动导体,谐振器可以包括导体 216、212 的多个回路,围绕磁性材料 214 在正交方向上缠绕,构成具有在多于一个方向上定向的磁偶极矩 218、220 的谐振器,如图 2C 所示。

[0068] 电磁谐振器可以具有由其物理特性确定的特征、固有特性或谐振频率。这个谐振频率是由谐振器储存的能量在由谐振器的电场储存的能量 W_E ($W_E = q^2/2C$, 其中, q 是电容器 C 上的电荷) 与由磁场储存的能量 W_B ($W_B = Li^2/2$, 其中, i 是通过电感器 L 的电流) 之间振荡的频率。在其交换能量的频率可以称为谐振器的特征频率、固有频率或谐振频率,由 ω 给出,

[0069]
$$\omega = 2\pi f = \sqrt{\frac{1}{LC}}。$$

[0070] 可以通过调谐谐振器的电感 L 和/或电容 C 来改变谐振器的谐振频率。在一个实施例中,系统参数动态可调整或可调谐,以实现尽可能接近于最优化操作条件。但基于以上论述,即使在某些系统参数不可变或部件不能动态调整时也可以实现足够有效的能量交换。

[0071] 在实施例中,谐振器可以包括感性元件,耦合到布置在电容器网络中的多于一个电容器和电路元件。在实施例中,电容器和电路元件的耦合网络可以用于定义谐振器的多于一个的谐振频率。在实施例中,谐振器可以在多于一个频率谐振或部分地谐振。

[0072] 在实施例中,无线功率源可以包括耦合到电源的至少一个谐振器线圈,其可以是开关放大器,例如 D 类放大器或 E 类放大器或其组合。在此情况下,谐振器实际上是电源的功率负载。在实施例中,无线功率设备可以包括至少一个谐振器线圈,耦合到功率负载,其可以是开关整流器,例如 D 类整流器或 E 类整流器或其组合。在此情况下,谐振器线圈实际上是用于功率负载的电源,负载的阻抗还直接相关于负载从谐振器线圈的工作一排除率。在电源与功率负载之间功率传输效率会受到功率源的输出阻抗与负载的输入阻抗的匹配密切程度的影响。当负载的输入阻抗等于电源的内部阻抗的共轭复数时,可以以尽可能大的效率将功率传送给负载。设计电源或功率负载阻抗以获得最大功率传输效率常常称为“阻抗匹配”,也可以称为优化系统中的有用一损失功率的比率。阻抗匹配可以通过增加诸如电容器、电感器、变压器、开关、电阻器等元件的网络或组来执行,以在电源和功率负载之间形成阻抗匹配网络。在实施例中,元件定位中的机械调整和改变可以用于实现阻抗匹配。对于变化的负载,阻抗匹配网络可以包括可变部件,其动态可调谐以确保即使在动态环境和操作状况下,在电源端朝向负载的阻抗与电源的特征阻抗也基本上保持为彼

此的共轭复数。

[0073] 在实施例中,阻抗匹配可以通过调谐电源的驱动信号的占空比和/或相位和/或频率,或者通过调谐电源内的物理部件,例如电容器来完成。这个调谐机构是有利的,因为它可以在不使用可调谐阻抗匹配网络的情况下,或借助简化的可调谐阻抗匹配网络,例如具有更少可调谐部件的网络,允许在电源与负载之间的阻抗匹配。在实施例中,调谐到电源的驱动信号的占空比和/或频率和/或相位可以产生动态阻抗匹配系统,具有扩展的调谐范围或精度,具有更高的功率、电压和/或电流性能、具有更快的电子控制,具有更少的外部部件等。

[0074] 在某些无线能量传递系统中,诸如电感的谐振器参数会受到环境条件的影响,例如周围对象、温度、方向、其他谐振器的数量和位置等。在谐振器的操作参数中的变化可以改变某些系统参数,例如在无线能量传递中传递功率的效率。例如,位于谐振器附件的高导电性材料可以偏移谐振器的谐振频率,并使其与其他谐振对象去谐。在某些实施例中,使用了谐振器反馈机构,它通过改变电抗元件(例如感性元件或容性元件)来校正其频率。为了实现可接受的匹配条件,至少某些系统参数需要动态可调整或可调谐。所有系统参数都可以动态可调整或可调谐,以实现大致上最优化 的操作条件。然而,即使所有或部分系统参数不可变,也可以实现足够有效的能量交换。在某些实例中,至少某些设备可以不是动态可调整的。在某些实例中,至少某些源可以不是动态可调整的。在某些实例中,至少某些中间谐振器可以不是动态可调整的。在某些实例中,可以没有任何系统参数是动态可调整的。

[0075] 在某些实施例中,部件的参数中的变化可以通过选择部件来缓和,该部件的特性是当受到操作环境或工作点中的差异时,以互补的 (complimentary) 或相反的方式或方向改变。在实施例中,系统可以借助诸如电容器的部件来设计,其取决于温度、功率电平、频率等具有相反的相关性或参数变动。在某些实施例中,部件值作为温度的函数可以存储在系统微控制器中的查找表中,来自温度传感器的读数可以用于系统控制反馈回路中,以调整其他参数来补偿温度引起的部件值变化。

[0076] 在某些实施例中,部件参数值中的变化可以借助包括可调谐部件的主动调谐电路来补偿。监控部件和系统的操作环境和工作点的电路可以集成到设计中。监控电路可以提供主动补偿部件参数中变化所必需的信号。例如,温度读数可以用于计算系统电容中期望的变化,或用于指示以前测量的系统电容值,通过接入其他电容器或调谐电容器,以在温度范围上保持期望的电容而允许补偿。在实施例中,可以调整RF放大器开关波形,以补偿系统中的部件值或负载变化。在某些实施例中,部件参数中的变化可以借助主动冷却、加热、主动环境调节等来补偿。

[0077] 参数测量电路可以测量或监控系统中特定功率、电压和电流、信号,处理器或控制电路可以基于这些测量结果来调整特定设定或操作参数。另外,可以获得整个系统中电压和电流信号的量值和相位、功率信号的量值,以测量或监控系统性能。本公开内容通篇中提及的测量信号可以是端口参数信号以及电压信号、电流信号、功率信号、温度信号等的任意组合。可以使用模拟或数字技术来测量这些参数,可以对其采样和处理,可以使用公知的模拟和数字处理技术对其进行数字化或转换。在实施例中,某些测量的预设值可以加载到系统控制器或存储单元中,并用于多个反馈和控制回路中。在实施例中,测量的、

监控的和/或预设的信号的任何组合可以用于反馈电路或系统中,以控制谐振器和/或系统的操作。

[0078] 调整算法可以用于调整磁谐振器的频率、 Q 和/或阻抗。算法可以作为输入得到参考信号,其相关于与系统的期望工作点的偏差度,并可以输出与该偏差有关的校正或控制信号,其控制系统的可变或可调谐要素,以将系统带回期望工作点或多个期望工作点。在谐振器在无线功率传输系统中交换功率,或者它们在系统操作过程中从电路切断时,可以获得用于磁谐振器的参考信号。对系统的校正可以连续地、周期性地、基于跨过阈值、数字式地、使用模拟方法来应用或执行。

[0079] 在实施例中,有损外部材料和对象可以通过吸收无线功率传输系统的谐振器的磁和/或电能量,而引入潜在的效率降低。在多个实施例中通过定位谐振器,以使得有损外部材料和对象的影响最小,并通过设置结构场成形元件(例如,导电结构、板和片,磁性材料结构、板和片,它们的组合)以使得其影响最小来减轻这些影响。

[0080] 减小有损材料对谐振器的影响的一个方式是使用高电导率材料、磁性材料或其组合来成形谐振器场,以使得它们避开有损对象。在示例性实施例中,高电导率材料和磁性材料的分层结构可以调整、成形、指向、重定向等谐振器的电磁场,以使得它们通过使场偏斜来避开它们附近的有损耗对象。图2D示出了谐振器的顶视图,具有在磁性材料下面的导体薄片226,其可以用于调整谐振器的场,以使得它们避开在导体薄片226下面的有损对象。良导体层或薄片226可以包括任何高电导率材料,例如铜、银、铝,按照对于给定应用是最适当的。在某些实施例中,良导体的层或薄片比导体在谐振器工作频率的集肤深度更厚。导体薄片可以优选地大于谐振器的尺寸,延伸超过谐振器的物理范围。

[0081] 在传输的功率量对闯入有效场体积中的人或动物带来安全危害的环境和系统中,在系统中可以包括安全措施。在功率级需要特殊化的安全措施的实施例中,谐振器的包装、结构、材料等可以设计为提供与磁谐振器中导电回路的间隔或“防范”区。为了提供进一步的保护,在外壳内可以设置高 Q 谐振器和功率与控制电路,其将高电压或电流限制在外壳内,保护谐振器和电气部件免于气候、湿度、沙尘、灰尘及其他外部因素,以及冲击、振动、刮擦、爆炸及其他类型的机械震动。这种外壳关注了例如热耗散的多个因素,以便为电气部件和谐振器保持可接受的操作温度范围。在实施例中,外壳可以有无损材料构造,例如复合材料、塑料、木头、混凝土等,并可以用于提供从有损对象到谐振器部件的最小距离。从可以包括金属对象、盐水、油等的有损对象或环境的最小间隔距离可以改进无线能量传递的效率。在实施例中,“防范”区可以用于增大谐振器或谐振器的系统的扰动 Q 。在实施例两种,最小间隔距离可以提供更可靠或更恒定的谐振器操作参数。

[0082] 在实施例中,谐振器及其各自的传感器和控制电路可以与其他电子和控制系统及子系统具有多个集成程度。在某些实施例中,功率和控制电路与设备谐振器是完全分离的模块或外壳,具有与现有系统最小程度的集成,提供功率输出和控制及诊断接口、在某些实施例中,设备被配置为在外壳中的腔内容纳谐振器和电路部件,或集成到设备的机壳或外壳中。

[0083] 示例性谐振器电路

[0084] 图3和4示出了高级框图,示出了用于无线能量传递系统的示例性源的发电、监控和控制部件。图3是源的框图,包括半桥开关功率放大器及某些相关测量、调谐和控制电

路。图4是源的框图,包括全桥开关功率放大器及某些相关测量、调谐和控制电路。

[0085] 图3中所示的半桥系统拓扑结构可以包括处理单元,其执行控制算法 328。执行控制算法328的处理单元可以是微控制器、专用集成电路、现场可编程门阵列、处理器、数字信号处理器等。处理单元可以是单个设备,或者它可以是设备的网络。控制算法可以运行在处理单元的任何部分上。算法可以为特定应用定制,并可以包括模拟和数字电路和信号的组合。主算法可以测量并调整电压信号和电平、电流信号和电平、信号相位、数字计数设定等。

[0086] 系统可以包括可任选的源/设备和/或源/其他谐振器通信控制器332,其耦合到无线通信电路312。可任选的源/设备和/或源/其他谐振器通信控制器 332可以是与执行主控制算法相同的处理单元的部件,可以是微控制器302 内的部件或电路,可以在无线功率传输模块的外部,它可以与用于有线供电或电池供电的应用中的通信控制器基本上类似,但调整适应以包括某些新的或不同的功能,来增强或支持无线功率传输。

[0087] 系统可以包括PWM发生器306,耦合到至少两个晶体管门驱动器334,并可以由控制算法控制。两个晶体管门驱动器334可以直接或经由门驱动变压器耦合到两个功率晶体管336,其通过阻抗匹配网络部件342驱动源谐振器线圈344。功率晶体管336可以与可调整DC电源304耦合并由它供电,可调整DC电源304可以由可变总线电压Vbus控制。Vbus控制器可以由控制算法328控制,并可以是微控制器302或其他集成电路的部件或集成到其中。Vbus控制器326可以控制可调整DC电源304的电压输出,其可以用于控制放大器的功率输出和传送到谐振器线圈344的功率。

[0088] 系统可以包括感测和测量电路,包括信号滤波和缓冲电路318、320,其可以在信号输入到处理器和/或诸如模数转换器(ADC) 314、316的转换器之前,成形、修改、滤波、处理、缓冲等信号。处理器和诸如ADC 314、316的转换器可以集成到微控制器302中,或者可以是分离电路,其可以耦合到处理核心330。基于测量的信号,控制算法328可以产生、限制、启动、结束、控制、调整、或修改PWM发生器306、通信控制器332、Vbus控制 326、源阻抗匹配控制器338、滤波器/缓冲元件318、320、转换器314、316、谐振器线圈344中的任意一个的操作,并可以是微控制器302的部件或集成到其中,或者是分离的电路。阻抗匹配网络342和谐振器线圈344可以包括电可控、可变或可调谐部件,例如电容器、开关、电感器等,如本文所述的,这些部件可以具有按照从源阻抗匹配控制器338接收的信号调整的其部件值或工作点。可以调谐部件以调整谐振器的操作和特性,包括传送给谐振器的功率,和谐振器传送的功率,谐振器的谐振频率,谐振器的阻抗。谐振器的Q,及任何其他耦合的系统等。谐振器可以是本文所述的任何类型或结构的谐振器,包括容性加载回路谐振器、包括磁性材料的平面谐振器,或其任意组合。

[0089] 图4中所示的全桥系统拓扑结构可以包括处理单元,其执行主控制算法328。执行控制算法328的处理单元可以是微控制器、专用集成电路、现场可编程门阵列、处理器、数字信号处理器等。系统可以包括源/设备和/或源/其他谐振器通信控制器332,其耦合到无线通信电路312。源/设备和/或源/其他谐振器通信控制器332可以是与执行主控制算法相同的处理单元的部件,可以是微控制器302内的部件或电路,可以在无线功率传输模块的外部,它可以与用于有线供电或电池供电的应用中的通信控制器基本上类似,但调整适应以包括某些新的或不同的功能,来增强或支持无线功率传输。

[0090] 系统可以包括PWM发生器410,具有至少两个输出,耦合到至少四个晶体管门驱动器334,并可以由在主控制算法中产生的信号控制。四个晶体管门驱动器334可以直接或经由门驱动变压器耦合到四个功率晶体管336,其通过阻抗匹配网络部件342驱动源谐振器线圈344。功率晶体管336可以与可调整DC电源304耦合并由它供电,可调整DC电源304可以由Vbus控制器306控制,其可以由主控制算法控制。Vbus控制器306可以控制可调整DC电源304的电压输出,其可以用于控制放大器的功率输出和传送到谐振器线圈344的功率。

[0091] 系统可以包括感测和测量电路,包括信号滤波和缓冲电路318、320,和差动/单端转换电路402、404,其可以在信号输入到处理器和/或诸如模数转换器(ADC)314、316的转换器之前,成形、修改、滤波、处理、缓冲等信号。处理器和诸如ADC314、316的转换器可以集成到微控制器302中,或者可以是分离电路,其可以耦合到处理核心330。

[0092] 基于测量的信号,主控制算法可以产生、限制、启动、结束、控制、调整、或修改PWM发生器410、通信控制器332、Vbus控制器326、源阻抗匹配控制器338、滤波器/缓冲元件318、320、差动/单端转换电路402、404、转换器314、316、谐振器线圈344中的任意一个的操作,并可以是微控制器302的部件或集成到其中,或者是分离的电路。

[0093] 阻抗匹配网络342和谐振器线圈344可以包括电可控、可变或可调谐部件,例如电容器、开关、电感器等,如本文所述的,这些部件可以具有按照从源阻抗匹配控制器338接收的信号调整的其部件值或工作点。可以调谐部件以实现谐振器的操作和特性的调谐,包括传送给谐振器的功率,和谐振器传送的功率,谐振器的谐振频率,谐振器的阻抗。谐振器的Q,及任何其他耦合的系统等。谐振器可以是本文所述的任何类型或结构的谐振器,包括容性加载回路谐振器、包括磁性材料的平面谐振器,或其任意组合。

[0094] 阻抗匹配网络可以包括固定值部件,例如电容器、多功能起和如本文所述的部件网络。部分阻抗匹配网络A、B和C可以包括电感器、电容器、变压器和这些部件的串联和并联组合,如本文所述的。在某些实施例中,部分阻抗匹配网络A、B和C可以为空(短路)。在某些实施例中,部分B包括电感器和电容器的串联组合,部分C为空。

[0095] 全桥拓扑结构可以允许使用与等效半桥放大器相同的DC总线电压以较高输出功率电平操作。图3的半桥示例性拓扑结构可以提供单端驱动信号,而图4的示例性全桥拓扑结构可以向源谐振器308提供差动驱动。阻抗匹配拓扑结构和部件及谐振器结构对于两个系统可以不同,如本文所述的。

[0096] 图3和4中所示的示例性系统可以进一步包括故障检测电路340,其可以用于触发源放大器中的微控制器的关机,或者改变或中断放大器的操作。这个保护电路可以包括高速比较器,用以监控放大器返回电流,来自DC电源304的放大器总线电压(Vbus)、横跨源谐振器308和/或可任选的调谐板的电压,或者任何其他电压或电流信号,其可以导致对系统中部件的损害,或者可以产生非期望的操作条件。优选实施例可以取决于与不同应用相关的潜在非期望操作模式。在异性实施例中,可以不实现保护电路或不板上组装电路。在某些实施例中,系统和部件保护可以实现为部分主控制算法及其他系统监控和控制电路。在实施例中,专用故障电路340可以包括输出(未示出),耦合到主控制算法328,其可以触发系统关机,输出功率的减小(例如Vbus的减小)、对PWM发生器的变化、操作频率中的变化、对调谐元件的变化,或者任何其他合理操作,其由控制算法328实现以调整工作点模式,改进系统性能和/或提供保护。

[0097] 如本文所述的,无线功率传递系统中的源可以使用阻抗匹配网络342 的输入阻抗的测量,作为对主控制算法一部分的系统控制回路的误差或控制信号来驱动源谐振器线圈344。在示例性实施例中,三个参数的任意组合 中的变化可以用于调谐无线功率源,以补偿环境条件中的变化,耦合中的 变化,设备功率要求中的变化,模块、电路、部件或子系统性能中的变化, 系统中源、设备或转发器数量的增大或减小,用户发起的改变等。在示例性实施例中,对放大器占空比、诸如可变电容器和电感器的可变电气部件 的部件值、和DC总线电压的变化可以用于改变无线源的工作点或工作范围,并改进某些系统操作值。用于不同应用的控制算法的具体细节可以取决于期望系统性能和状态而改变。

[0098] 诸如本文所述并在图3和4中示出的阻抗测量电路可以使用双通道同时采样ADC来实现,这些ADC可以集成到为了控制器芯片中,或者可以是分离电路的部件。在到源谐振器阻抗匹配网络和/或源谐振器的输入的电压和电流信号的同时采样可以产生电流和电压信号的相位和量值信息,并可以使用公知的信号处理技术来处理,以产生复数阻抗参数。在某些实施例中,仅监控电压信号或仅监控电流信号就足够了。

[0099] 本文所述的阻抗测量可以使用直接采样方法,其比某些其他公知的采样方法相对简单。在实施例中,测量电压和电流信号可以在输入到ADC之前由滤波/缓冲电路调节、滤波和按比例缩放。在实施例中,滤波/缓冲电路 可以调整以工作在多个信号电平和频率,可以响应于控制信号,由主控制 算法等手动、电子地、自动地调整诸如滤波器形状和宽度的电路参数。在图3、4和5中示出了滤波/缓冲电路的示例性实施例。

[0100] 图5示出了示例性电路部件更详细的视图,其可以用于滤波/缓冲电路中。在实施例中,取决于用于系统设计中的ADC类型,单端放大器拓扑结构可以通过消除对用以从差动转换到单端信号格式的硬件的需要,来减小 用于表征系统、子系统、模块和/或部件性能的模拟信号测量路径的复杂性。在其他实现方式中,差动信号格式可以是优选的。图5中所示的实现方式是示例性的,不应解释为是实现本文所述功能的唯一可能的方式。相反,应理解,模拟信号路径可以使用具有不同输入要求的部件,并因此可以具有不同信号路径架构。

[0101] 在单端和差动放大器拓扑结构中,到驱动谐振器线圈344的阻抗匹配网络342的输入电流可以通过测量横跨电容器324的电压,或者经由某些类型的电流传感器来获得。对于图3中的示例性单端放大器拓扑结构,可以在来自阻抗匹配网络342的接地返回路径上感测电流。对于图4中所示的示例性差动功率放大器,到驱动谐振器线圈344的阻抗匹配网络342的输入电流可以使用横跨电容器324端子的差动放大器,或者经由某些类型的电流传感器来测量。在图4的差动拓扑结构中,在源功率放大器的负输出端可以复制电容器324。

[0102] 在两个拓扑结构中,获得了表示到源谐振器和阻抗匹配网络的输入电压和电流的单端信号后,可以对信号进行滤波502,以获得期望部分的信号波形。在实施例中,可以对信号滤波以获得信号的基波分量。在实施例中,执行的滤波的类型,例如低通、带通、陷波等,以及使用的滤波器电路拓扑结构,例如椭圆、切比雪夫、巴特沃斯等,可以取决于系统的特定要求。在某些实施例中无需滤波。

[0103] 电压和电流信号可以由可任选的放大器504来放大。可任选的放大器504可以是固定的或可变的。可以响应于控制信号等,手动、电子地、自动地控制放大器的增益。响应

于控制算法,可以由主控制算法在反馈回路中 调整放大器的增益等。在实施例中,对于放大器的所需性能规格可以取决于信号强度和期望测量精度,并且对于不同应用情形和控制算法可以不同。

[0104] 测量的模拟信号可以具有增加到它们的DC偏移506,需要它将信号带 入ADC的输入电压范围中,其对于某些系统可以是0到0.33V。在某些系 统中,取决于所有的特定ADC的规格,可以无需这个阶段。

[0105] 如上所述,在发电机与功率负载之间的功率传输的效率会受到发电机的输出阻抗与负载输入阻抗的匹配的密切程度的影响。在如图6A所示的示 例性系统中,当负载604的输入阻抗等于发电机或功率放大器602的内部 阻抗的共轭复数时,可以以尽可能大的效率将功率传送给负载。设计发电 机或负载阻抗以获得高和/或最大功率传输效率可以称为“阻抗匹配”。阻抗 匹配可以通过插入诸如电容器、电阻器、电感器、变压器、开关等的元件的适当网络或组来执行,以在图6B中所示的发电机602和功率负载604之 间形成阻抗匹配网络606。在其他实施例中,元件定位中的机械调整和改变 可以用于实现阻抗匹配。如上针对变化负载所述的,阻抗匹配网络606可 以包括可变部件,其动态可调整以确保即使在动态环境和操作状况下,在 发电机端朝向负载的阻抗与发电机的特征阻抗也基本上保持为彼此的共轭 复数。在实施例中,动态阻抗匹配可以通过调谐发电机的驱动信号的占空比和/或相位和/或频率,或者通过调谐发电机内的物理部件,例如电容器来 完成,如图6C所示。这个调谐机构是有利的,因为它可以在不使用可调谐 阻抗匹配网络的情况下,或借助简化的可调谐阻抗匹配网络606,例如具有 更少可调谐部件的网络,允许在发电机608与负载之间的阻抗匹配。在实 施例中,调谐到发电机的驱动信号的占空比和/或频率和/或相位可以产生动 态阻抗匹配系统,具有扩展的调谐范围或精度,具有更高的功率、电压和/ 或电流性能、具有更快的电子控制,具有更少的外部部件等。下述的阻抗 匹配方法、架构、算法、协议、电路、测量、控制等在发电机驱动高Q磁 谐振器的系统中,或者在如本文所述的高Q无线功率传输系统中是有用的。在无线功率传递系统中,发电机可以是驱动谐振器的功率放大器,有时称 为源谐振器,它可以是到功率放大器的负载。在无线功率应用中,优选地控制在功率放大器与谐振器负载之间阻抗匹配,以控制从功率放大器到谐 振器的功率传送的效率。可以通过调谐或调整驱动谐振器的功率放大器的 驱动信号的占空比和/或相位和/或频率来完成或部分完成阻抗匹配。

[0106] 开关放大器的效率

[0107] 当在放大器的开关元件上几乎没有耗散功率时,开关放大器,例如D、E、F类放大器等,或其任意组合,以最大的效率向负载传送功率。可以通 过设计系统,以使得在横跨开关元件的电压和通过开关元件的电流的任意 一个或二者几乎为0时,进行最临界的开关操作(即那些最有可能导致开 关损耗的)来实现这个操作条件。这些条件可以分别称为零电压开关(ZVS) 和零电流开关(ZCS)条件。当放大器工作在ZVS和/或ZCS时,横跨开关 元件的电压或者通过开关元件的电流为零,从而在开关中没有耗散功率。由于开关放大器可以将DC(或极低频率AC)功率转换为特定频率或频率 范围的AC功率,可以将滤波器引入到负载之前,以避免不想要的谐波到达 负载并在那里耗散,其中,谐波是由开关过程所产生的。在实施例中,开 关放大器可以设计为当连接到具有品质因子(比如 $Q>5$)和特定阻抗 $z_o^* = R_o + jX_o$ 的谐振负载时,其导致同时的ZVS和ZCS,以最大的功率转换 效率运行。我们

将 $z_o = R_o - jX_o$ 定义为放大器的特征阻抗,以使得实现最大功率传输效率等价于将谐振负载阻抗匹配到放大器的特征阻抗。

[0108] 在开关放大器中,开关元件的开关频率 f_{switch} ,其中 $f_{\text{switch}} = \omega / 2\pi$,和开关元件导通状态持续时间的占空比 dc 对于放大器的所有开关元件都相同。在本说明书中,我们将使用术语“D类”来表示D类和DE类放大器,就是说,具有 $dc \leq 50\%$ 的开关放大器。

[0109] 放大器的特征阻抗的值可以取决于操作频率、放大器拓扑结构和开关元件的开关顺序。在某些实施例中,开关放大器可以是半桥拓扑结构,在某些实施例中是全桥拓扑结构。在某些实施例中,开关放大器可以是D类,在某些实施例中是E类。在任一以上实施例中,假定电桥的元件对称,开关放大器的特征阻抗具有形式

$$[0110] \quad R_o = F_R(dc) / \omega C_a, X_o = F_X(dc) / \omega C_a, \quad (1)$$

[0111] 其中, dc 是开关元件的导通状态的占空比,函数 $F_R(dc)$ 和 $F_X(dc)$ 在图7中绘出(都是针对D类和E类的), ω 是开关元件开关的频率, $C_a = n_a C_{\text{switch}}$,其中, C_{switch} 是横跨每一个开关的电容,包括晶体管输出电容和还有可能是与开关并联设置的外部电容器,而对于全桥 $n_a = 1$,对于半桥 $n_a = 2$ 。对于D类,还可以写出分析表达式

$$[0112] \quad F_R(dc) = \sin^2 u / \pi, F_X(dc) = (u - \sin u \cos u) / \pi, \quad (2)$$

[0113] 其中, $u = \pi(1 - 2dc)$,指示D类放大器的特征阻抗级随着占空比 dc 向50%增大而减小。对于具有 $dc = 50\%$ 的D类放大器操作,只有在开关元件实际上没有输出电容($C_a = 0$),并且负载实际上谐振($X_o = 0$),而 R_o 可以是任意的情况下,实现ZVS和ZCS才是可能的。

[0114] 阻抗匹配网络

[0115] 在应用中,受驱动负载可以具有与它所连接的外部驱动电路的特征阻抗极为不同的阻抗。而且,受驱动负载可以不是谐振网络。阻抗匹配网络(IMN)是电路网络,如图6B所示,其可以连接在负载之前,以便调节在由IMN电路和负载组成的网络的输入所见到的阻抗。IMN电路通常可以通过产生接近于驱动频率的谐振来实现这个调节。由于这个IMN电路达到了使得从发电机到负载的功率传输效率最大所需的所有条件(谐振和阻抗匹配对于开关放大器的ZVS和ZCS),在实施例中,可以在驱动电路与负载之间使用IMN电路。

[0116] 对于图6B所示的布置,使得由阻抗匹配网络(IMN)电路和负载组成的网络(自此一起表示为IMN+负载)的输入阻抗为 $Z_1 = R_1(\omega) + jX_1(\omega)$ 。这个网络到具有特征阻抗 $z_o = R_o - jX_o$ 的外部电路的阻抗匹配条件于是就为 $R_1(\omega) = R_o, X_1(\omega) = X_o$ 。

[0117] 用于可变负载的可调谐阻抗匹配的方法

[0118] 在负载可变的实施例中,在负载与诸如线性或开关功率放大器的外部驱动电路之间的阻抗匹配可以通过使用IMN电路中的可调整/调谐部件来实现,可以调整其以将变化的负载与外部电路的固定特征阻抗 Z_o 匹配(图6B)。为了匹配阻抗的实部和虚部,在IMN电路需要两个可调谐/可变元件。

[0119] 在实施例中,负载可以是感性的(例如谐振器线圈),具有阻抗 $R + j\omega L$,所以IMN电路中两个可调谐要素可以是两个可调谐电容网络,或一个可调谐电容网络和一个可调谐互感网络。

[0120] 在负载可变的实施例中,在负载与诸如线性或开关功率放大器的驱动电路之间的阻抗匹配可以通过使用放大器电路中的可调整/调谐部件或参数来实现,可以调整其以将放大器的特征阻抗 Z_o 与变化的(由于负载变化)网络输入阻抗相匹配,网络由IMN电路和

负载组成 (IMN+负载), 其中, IMN电路也是可调谐的 (图6C)。为了匹配阻抗的实部和虚部, 放大器和 IMN电路中需要总共两个可调谐/可变元件或参数。公开的阻抗匹配方法可以减小IMN电路中所需的可调谐/可变元件的数量, 或者甚至完全无需IMN 电路中的可调谐/可变元件。在某些实例中, 可以使用功率放大器中的一个 可调谐要素与IMN电路中的一个可调谐要素。在某些实例中, 可以使用功率放大器中的两个可调谐要素, 而不使用IMN电路中的可调谐要素。

[0121] 在实施例中, 功率放大器中的可调谐要素或参数可以是施加到晶体管、开关、二极管等的驱动信号频率、振幅、相位、波形、占空比等。

[0122] 在实施例中, 具有可调谐特征阻抗的功率放大器可以是D、E、F类可调谐开关放大器或者其任何组合。合并等式 (1) 与 (2), 用于该网络的阻抗匹配条件为:

[0123] $R_I(\omega) = F_R(dc) / \omega C_a, X_I(\omega) = F_X(dc) / \omega C_a, \quad (3)$

[0124] 在可调谐开关放大器的某些实例中, 一个可调谐要素可以是电容 C_a , 其可以通过调谐与开关元件并联设置的外部电容器来调谐。

[0125] 在可调谐开关放大器的某些实例中, 一个可调谐要素可以是放大器的 开关元件的导通状态的占空比 dc 。借助脉宽调制 (PWM) 来调整占空比 dc 已经用于开关放大器中, 来实现输出功率控制。在本说明书中, 我们公开了PWM还可以用于实现阻抗匹配, 即用于满足等式 (3), 从而使得放大器 效率最大。

[0126] 在可调谐开关放大器的某些实例中, 一个可调谐要素可以是开关频率, 它也可以是IMN+负载网络的驱动频率, 并可以设计为基本上接近于IMN+ 负载网络的谐振频率。调谐开关频率可以改变放大器的特征阻抗和IMN+ 负载网络的阻抗。可以与一个或多个可调谐参数一起适当地调谐放大器的 开关频率, 以便满足等式 (3)。

[0127] 为了动态阻抗匹配而调谐放大器的占空比和/或驱动频率的益处在于可以电子地、迅速地、在宽范围上调谐这些参数。相反, 例如, 能够承受大 电压并具有足够大的可调谐范围和品质因子的可调谐电容器是昂贵的、缓慢的或者对于必要的部件规格是无法得到的。

[0128] 用于可变负载的可调谐阻抗匹配的方法的实例

[0129] 在图8中示出了简化电路图, 其示出了D类功率放大器802、阻抗匹配网络804和感性负载806的电路级结构。电路图示出了系统的基本部件, 具有开关放大器804, 包括电源810、开关元件808和电容器。将包括电感器和电容器的阻抗匹配网络804和负载806建模为电感器和电阻器。

[0130] 本发明性的调谐方案的示例性实施例包括半桥D类放大器, 工作在开关频率 f , 并经由IMN驱动低损耗感性元件 $R+j\omega L$, 如图8所示。

[0131] 在某些实施例中, L' 可调谐。可以由电感器上的可变分接点或者通过将 可调谐电容器与电感器串联或并联连接来调谐 L' 。在某些实施例中, C_a 可调谐。对于半桥拓扑结构, 可以通过改变一个或两个电容器 C_{switch} 来调谐 C_a , 因为仅是这些电容器的并联总和与放大器操作有关系。对于全桥拓扑结构, 可以通过改变任意一个、两个、三个或全部电容器 C_{switch} 来调谐 C_a , 因为它们组合 (与电桥的两个半桥相关的两个并联总和的串联总和) 与放大器操作有关系。

[0132] 在可调谐阻抗匹配的某些实施例中, IMN的两个部件可调谐。在某些 实施例中, L'

和 C_2 可调谐。于是,图9示出了作为感性元件的变化的 R 和 L 的函数,实现阻抗匹配所需的两个可调谐部件的值,及放大器的输出功率(在给定DC总线电压)的相关变化,其中 $f=250\text{kHz}$, $dc=40\%$, $C_a=640\text{pF}$, $C_1=10\text{nF}$ 。由于IMN一直调整到放大器的固定特征阻抗,随着感性元件变化,输出功率一直恒定。

[0133] 在可调谐阻抗匹配的某些实施例中,开关放大器的要素也可调谐。在某些实施例中,可以连同IMN电容器 C_2 一起调谐电容 C_a 。于是,图10示出了作为感性元件的变化的 R 和 L 的函数,实现阻抗匹配所需的两个可调谐部件的值,及放大器的输出功率(在给定DC总线电压)的相关变化,其中 $f=250\text{kHz}$, $dc=40\%$, $C_1=10\text{nF}$, $\omega L'=1000\Omega$ 。从图10可以推断出,响应于 L 中的变化主要需要调谐 C_2 ,且随着 R 增大,输出功率减小。

[0134] 在可调谐阻抗匹配的某些实施例中,可以连同IMN电容器 C_2 一起调谐占空比 dc 。于是,图11示出了作为感性元件的变化的 R 和 L 的函数,实现阻抗匹配所需的两个可调谐参数的值,及放大器的输出功率(在给定DC总线电压)的相关变化,其中 $f=250\text{kHz}$, $C_a=640\text{pF}$, $C_1=10\text{nF}$, $\omega L'=1000\Omega$ 。从图11可以推断出,响应于 L 中的变化主要需要调谐 C_2 ,且随着 R 增大,输出功率减小。

[0135] 在可调谐阻抗匹配的某些实施例中,可以连同IMN电感器 L' 一起调谐电容 C_a 。于是,图11A示出了作为感性元件的变化的 R 的函数,实现阻抗匹配所需的两个可调谐部件的值,及放大器的输出功率(在给定DC总线电压)的相关变化,其中 $f=250\text{kHz}$, $dc=40\%$, $C_1=10\text{nF}$, $C_2=7.5\text{nF}$ 。从图11A可以推断出,随着 R 增大,输出功率减小。

[0136] 在可调谐阻抗匹配的某些实施例中,可以连同IMN电感器 L' 一起调谐占空比 dc 。于是,图11B示出了作为感性元件的变化的 R 的函数,实现阻抗匹配所需的两个可调谐参数的值,及放大器的输出功率(在给定DC总线电压)的相关变化,其中作为感性元件的变化的 R 的函数, $f=250\text{kHz}$, $C_a=640\text{pF}$, $C_1=10\text{nF}$, $C_2=7.5\text{nF}$ 。从图11B可以推断出,且随着 R 增大,输出功率减小。

[0137] 在可调谐阻抗匹配的某些实施例中,仅是开关放大器的要素可调谐,IMN中没有要素可调谐。在某些实施例中,可以连同电容 C_a 一起调谐占空比 dc 。于是,图11C示出了作为感性元件的变化的 R 的函数,实现阻抗匹配所需的两个可调谐参数的值,及放大器的输出功率(在给定DC总线电压)的相关变化,其中 $f=250\text{kHz}$, $C_1=10\text{nF}$, $C_2=7.5\text{nF}$, $\omega L'=1000\Omega$ 。从图11C可以推断出,输出功率是 R 的非单调函数。当 L 中的变化(及因此的谐振频率)适度时,这些实施例能够实现动态阻抗匹配。

[0138] 在某些实施例中,如较之前解释的,在 L 变化很大时,可以通过改变外部频率 f 的驱动频率(例如开关放大器的开关频率),以使得其跟随谐振器的变化谐振频率来实现与IMN中的固定要素的动态阻抗匹配。使用开关频率 f 和开关占空比 dc 作为两个可变参数,无需任何可变部件,随着 R 和 L 变化,可以实现完全阻抗匹配。于是,图12示出了作为感性元件的变化的 R 和 L 的函数,实现阻抗匹配所需的两个可调谐参数的值,及放大器的输出功率(在给定DC总线电压)的相关变化,其中 $C_a=640\text{pF}$, $C_1=10\text{nF}$, $C_2=7.5\text{nF}$, $L'=637\mu\text{H}$ 。从图12可以推断出,响应于 L 中的变化主要需要调谐频率 f ,如较早解释的。

[0139] 用于无线功率传输的系统的可调谐阻抗匹配

[0140] 在无线功率传递的应用中,低损耗感性元件可以是源谐振器的线圈,源谐振器耦合到一个或多个设备谐振器或其他谐振器,例如转发器谐振器。感性元件的阻抗 $R+j\omega L$ 可

以包括其他谐振器在源谐振器的线圈上的反射阻抗。由于源谐振器附近的外部扰动和/或其他谐振器或部件的热漂移,感性元件的R和L可以发生变化。由于设备与其他谐振器相对于源的相对运动,在无线功率传输系统的正常使用过程中也会发生感性元件的R和L的变化。这些设备与其他谐振器相对于源的相对运动,或者其他源的相对运动或位置可以导致改变设备到源的耦合(及因此改变反射阻抗)。而且,由于其他耦合谐振器内的变化,例如其负载的功率抽取的变化,在无线功率传输系统的正常使用过程中也会发生感性元件的R和L的变化。迄今为止公开的所有方法和实施例同样适用于这个情况,以便实现这个感性元件到驱动它的外部电路的动态阻抗匹配。

[0141] 为了说明当前公开的用于无线功率传输系统的动态阻抗匹配方法,考虑源谐振器包括低损耗源线圈,其感性地耦合到驱动电阻负载的设备谐振器的设备线圈。

[0142] 在某些实施例中,可以在源电路实现动态阻抗匹配。在某些实施例中,也可以在设备电路实现动态阻抗匹配。当获得完全阻抗匹配时(在源和设备),源感性元件的有效电阻(即源线圈的电阻 R_s 加上来自设备的反射阻抗)是 $R = R_s \sqrt{1 + U_{sd}^2}$ 。(类似地,设备感性元件的有效电阻是 $R_d \sqrt{1 + U_{sd}^2}$,其中, R_d 是设备线圈的电阻)。起因于运动的在线圈之间的互感的动态变化导致的 $U_{sd} = \omega M_{sd} / \sqrt{R_s R_d}$ 的动态变化。因此,当同时动态调谐源和设备时,从源电路侧将互感的变化视为源感性元件电阻R中的变化。注意,在此类变化中,谐振器的谐振频率基本上不改变,因为L可以不变化。因此,为动态阻抗匹配而提出的所有方法和实例可以用于无线功率传输系统的源电路。

[0143] 应当注意,由于电阻R表示源线圈和设备线圈到源线圈的反射阻抗,在图9-12中,随着由于增大U而R增大,相关无线功率传输效率增大。在某些实施例中,在由设备电路驱动的负载处可以需要大致恒定的功率。为了实现恒定的传输到设备的功率级,所需的源电路的输出功率需要随着U增大而减小。如果借助调谐某些放大器参数实现了动态阻抗匹配,放大器的输出功率就可以相应地改变。在某些实施例中,输出功率的自动变化优选为随R单调减小,以使得其匹配恒定设备功率要求。在通过调整发电机的DC驱动电压来达到输出功率级的实施例中,使用可调谐参数的阻抗匹配组合意味着仅借助DC驱动电压的适度调整就可以在设备的功率负载保持恒定的功率,其中,可调谐参数的阻抗匹配组合导致输出功率vs.R的单调减小。在调整输出功率级的“旋钮”是开关放大器或者阻抗匹配网络内的部件的占空比dc或相位的实施例中,使用可调谐参数的阻抗匹配集合意味着仅借助这个功率“旋钮(knob)”的适度调整就可以在设备的功率负载保持恒定的功率,其中,可调谐参数的阻抗匹配组合导致输出功率vs.R的单调减小。

[0144] 在图9-12的实例中,如果 $R_s = 0.19 \Omega$,那么范围 $R = 0.2 - 2 \Omega$ 就大致对应于 $U_{sd} = 0.3 - 10.5$ 。对于这些值,在图14中,我们以虚线示出了当源和设备都动态阻抗匹配时,在负载保持恒定功率级所需的输出功率(按DC电压平方进行标准化)。在实线与虚线之间的相似趋势解释了具有输出功率的这个变化的一组可调谐参数是优选的原因。

[0145] 在某些实施例中,可以在源电路实现动态阻抗匹配,而在设备电路可以不实现或仅部分实现阻抗匹配。随着在源与设备线圈之间的互感变化,设备到源的变化的反射阻抗可以导致源感性元件的有效电阻R和有效电感L的变化。迄今为止提出的用于动态阻抗匹配的方法可适用,并可以用于无线功率传输系统的可调谐源电路。

[0146] 例如,考虑图14的电路,其中, $f=250\text{kHz}$, $C_a=640\text{pF}$, $R_s=0.19\ \Omega$, $L_s=100\mu\text{H}$, $C_{1s}=10\text{nF}$, $\omega L'_s=1000\ \Omega$, $R_d=0.3\ \Omega$, $L_d=40\mu\text{H}$, $C_{1d}=87.5\text{nF}$, $C_{2d}=13\text{nF}$, $\omega L'_d=400\ \Omega$, $Z_1=50\ \Omega$, 其中,s和d分别表示源和设备谐振器,系统在 $U_{sd}=3$ 匹配。调谐开关放大器的占空比dc和电容器 C_{2s} 可以用于的动态阻抗匹配源,因为非可调谐设备相对于源移动,改变了在源与设备之间的互感M。在图14中,我们示出了调谐参数的所需值,连同放大器的每个DC电压的输出功率。虚线再次指示放大器的输出功率,需要它以使在负载的功率是恒定值。

[0147] 在某些实施例中,对于在源与一个或多个设备之间的无线功率传输的系统,调谐源驱动电路的驱动频率f仍可以用于实现在源的动态阻抗匹配。如较早解释的,这个方法实现了源的完全动态阻抗匹配,即使当源电感 L_s 中存在变化,从而源谐振频率也变化的情况下。对于从源到设备的有效功率传输,必须调谐设备谐振频率以跟随匹配的驱动和源谐振频率的变化。当源或设备谐振器的谐振频率中存在变化时,调谐设备电容(例如,在图13的实施例中, C_{1d} 或 C_{2d})是必需的。实际上,在具有多个源和设备的无线功率传递系统中,调谐驱动频率减轻了对仅调谐一个源一对象谐振频率的需要,但剩余的所有对象需要调谐其谐振频率以匹配驱动频率的机制(例如可调谐电容)。

[0148] 谐振器热管理

[0149] 在无线能量传递系统中,在无效传递过程中的一部分能量损耗作为热量耗散。能量可以在谐振器部件自身中耗散。例如甚至是高Q导体和部件也具有某些损耗或电阻,这些导体和部件在电流和/或电磁场流过它们时会变热。能量可以在谐振器周围的材料和对象中耗散。例如,消耗在谐振器周围或附近的不良导体或电介质中的涡流可以加热这些对象。除了影响这些对象的材料特性以外,这个热量可以通过传导、辐射或对流过程传递到谐振器部件。任何这些发热效应都可以影响谐振器Q、阻抗、频率等,并因此影响无线能量传递系统的性能。

[0150] 在包括磁性材料的块或磁芯的谐振器中,由于感应的涡流所产生的磁滞损耗和电阻损耗,在磁性材料中可以产生热量。两个效应都取决于在材料中的磁通量密度,都可以产生相当大量的热,尤其是在磁通量密度或涡流集中或局部化的区域中。除了磁通量密度,振荡磁场的频率、磁性材料成分和损耗、磁性材料的环境或操作温度都可以影响磁滞和电阻损耗如何加热材料。

[0151] 在实施例中,可以为特定操作功率级和环境选择诸如材料类型、块的尺寸等的磁性材料的特性及磁场参数,以使得磁性材料的发热最小。在某些实施例中,磁性材料的块中的变化、裂纹或缺陷可以增大无线功率传输应用中磁性材料的损耗和发热。

[0152] 对于具有缺陷的,或者由布置在较大单元中的较小尺寸的磁性材料的砖和片组成的磁性块,块中的损耗可以不均匀,并可以在磁性材料的相邻砖或片之间存在不均匀性或相对窄的间隙的区域中集中。例如,如果不规则间隙存在于材料的磁性块中,那么通过材料的多个磁通量路径的有效磁阻就基本上是不规则的,磁场可以在磁阻最低的块的部分中更为集中。在某些情况下,有效磁阻在砖或片之间的间隙最窄或缺陷的密度最低的位置会最低。因为磁性材料引导磁场,磁通量密度在块上不是基本上均匀的,而是在提供相对较低磁阻的区域中集中。磁场在磁性材料块内的不规则集中是不希望出现的,因为它们可以导致材料中不均匀的损耗和热耗散。

[0153] 例如,考虑包括导体1506的磁谐振器,导体缠绕在磁性材料的块周围,磁性材料

块由接合的磁性材料的两个单块砖1502、1504组成,以使得它们 构成接缝1508,其垂直于导体1506回路的轴,如图15所示。磁性材料砖 1502与1504之间的接缝1508中不规则的间隙可以迫使谐振器中的磁场 1512 (由虚磁场线示意性地表示) 集中在磁性材料的横截面的子区域1510 中。由于磁场会跟随最小磁阻的路径,包括在两片磁性材料之间的气隙的 路径就可以在磁性材料片接触或具有更小气隙的点,产生比横穿磁性材料 的宽度的路径实际上更高磁阻的路径。磁通量密度因此优选流过磁性材料 的相对小的相交区域,导致在该小区域1510中磁通量的高浓度。

[0154] 在许多感兴趣的磁性材料中,较多的不均匀通量密度分布较高的总损 耗。此外,较多的不均匀通量密度分布可以导致材料饱和,并使得磁通量 集中的区域的局部发热。局部发热可以改变磁性材料的特性,在某些情况 下加剧了损耗。例如,在某些材料的相关操作状况中,磁滞损耗和电阻损 耗随温度增大。如果加热材料增大了材料损耗,导致更多的发热,材料温 度就可以连续增大,如果不采取纠正操作甚至会失控。在某些实例中,温 度可以达到100℃或更高,并可以使得磁性材料的特性和无线功率传递的性 能降级。在某些实例中,磁性材料会受损,或者周围的电子部件、包装和/ 或外壳会由于过热而受损。

[0155] 在实施例中,在磁性材料块的砖或片之间的变化或不规则可以通过匹 配、抛光、研磨等砖或片的边缘,以确保在磁性材料砖之间的紧配合来实 现,其提供了通过磁性材料 块的整个横截面的基本上更均匀的磁阻。在实 施例中,磁性材料块可以需要用于在砖之间 提供压力的模块,以确保将砖 压紧在一起,不存在间隙。在实施例中,在砖之间可以使用粘 合剂,以确 保它们保持紧密接触。

[0156] 在实施例中,可以通过在磁性材料的相邻砖之间增加仔细考虑的间隙 来减小磁性材料的相邻砖的不规则间隔。在实施例中,仔细考虑的间隙可 以用作隔离物,以确保在 磁性材料砖或片之间均匀或规则的分割。仔细考 虑的柔性材料的间隙也可以减小由于砖 移动或振动的间隔中的不规则。在 实施例中,磁性材料的相邻砖的边缘可以用电绝缘体捆 扎、浸泡、涂层等, 以避免涡流流过减小的块横截面区域,从而降低材料中的涡流损耗。在 实 施例中,分离器可以集成到谐振器包装中。隔离物可以提供1mm或更小的 间隔。

[0157] 在实施例中,可以选择在砖之间的隔离物的机械特性,以便改进总体 结构对机械 效应的耐受性,例如起因于固有效应(例如磁致伸缩\热膨胀等), 以及外部冲击和振动的 在砖的尺寸和/或形状中的变化。例如,隔离物可以 具有期望量的机械弹性,容纳单块砖的 膨胀和/或收缩,并可以在砖受到机 械振动时有助于减小砖上的应力,从而有助于减小磁 性材料中的裂纹及其 他缺陷的出现。

[0158] 在实施例中,优选地排列包括磁性材料块的单块砖,以使得在砖之间 垂直于谐振 器的偶极矩的接缝或间隙的数量最少。在实施例中,优选地排 列和定向磁性材料砖,以使得 在砖之间垂直于由包括谐振器的导体回路形 成的轴的间隙最小。

[0159] 例如,考虑图16中所示的谐振器结构。该谐振器包括导体1604,缠绕 在磁性材料 周围,其包括6个分离的单块砖1602,排列在3乘2阵列中。砖的这个排列导致在一个方向上 横穿磁性材料块时的两条砖接缝1606、1608,及在垂直方向上横穿磁性材料块时的唯一一 条砖接缝1610。在实 施例中,优选地围绕磁性材料块缠绕导体线1604,以使得谐振器的偶 极矩垂 直于数量最少的砖接缝。发明人观察到在平行于谐振器的偶极矩的接缝 1606、 1608周围引起了相对少的热量。垂直于谐振器的偶极矩的接缝和间 隙也可以称为临界接

缝或临界接缝区。但是还希望使得平行于谐振器的偶极矩的间隙(例如1606、1608)电绝缘,以便减小涡流损耗。在由这种平行间隙分割的砖之间的不均匀接触可以导致流过窄接触点的涡流,在此类点引起大的损耗。

[0160] 在实施例中,间隔中的不规则可以借助临界接缝区的适当冷却来容许,以避免磁性材料受热时材料特性的局部降级。将磁性材料的温度保持在临界温度以下可以避免由足够高的温度引起的失控效应。借助临界接缝区的适当冷却,不管起因于砖之间的不规则间隔、裂纹或间隙的附加损耗或加热效应如何,无线能量传递性能都是令人满意的。

[0161] 用以避免磁性材料局部过热的谐振器结构的有效散热造成了几个难题。通常用于散热器和热传导的金属材料可以与由谐振器用于无线能量传递的磁场接触,并影响系统的性能。应设计它们的位置、尺寸、方向、和使用,以便在存在这些散热材料时,不过低于谐振器的扰动Q。另外,由于诸如铁氧体的磁性材料的相对交差的导热性,在散热器与磁性材料之间会需要相对大的接触区,以提供适当的冷却,这会需要接近于磁谐振器放置大量的有损材料。

[0162] 在实施例中,谐振器的适当冷却可以借助有策略地放置导热材料,以对无线能量传递性能的影响最小来实现。在实施例中,导热材料条可以放置在导体线的回路之间,并与磁性材料块热接触。

[0163] 图17中示出了具有导热材料条的谐振器的一个示例性实施例。图17A示出了没有传导条的谐振器结构,具有磁性材料块,包括构成间隙或接缝的磁性材料的小砖。导热条1708材料可以放置在导体1702的回路之间,与磁性材料块1704热接触,如图17B和17C所示。为了使得条对谐振器参数的影响最小,在某些实施例中,优选地平行于导体回路或垂直于谐振器的偶极矩布置条。可以设置导体的条,以覆盖砖之间尽可能大的或尽可能多的接缝或间隙,尤其是垂直于谐振器的偶极矩的砖之间的接缝。

[0164] 在实施例中,导热材料可以包括铜、铝、黄铜、热环氧树脂、糊剂、衬垫等,并且可以是导热率至少为谐振器的磁性材料的导热率(对于某些商用铁氧体材料为 $\sim 5\text{W}/(\text{K}\cdot\text{m})$ 的任何材料)。在导热材料还导电的实施例中,材料可以需要电绝缘体的层或涂层,以避免与谐振器的磁性材料短路导体回路短接或直接电接触。

[0165] 在实施例中,导热材料条可以用于将热从谐振器结构传导到结构或介质,其可以安全地耗散热量。在实施例中,导热材料条可以连接到散热器,例如位于导体条上的大平板,其可以使用到环境的被动或强制对流、辐射或传导来耗散热能。在实施例中,系统可以包括在谐振器结构外部或内部的任意数量的主动冷却系统,其可以从导热条耗散热能,并可以包括液体冷却系统、压缩空气系统等。例如,导热条可以中空或包括用于冷却剂的通道,可以将冷却剂泵送或加压通过通道来冷却磁性材料。在实施例中,由电的良导体(例如铜、银、铝等)构成的场偏转器可以作为部分散热装置而加倍。将导热和导电条增加到磁性材料与场偏转器之间的空间可以对扰动Q具有边际效应,因为在该空间中的电磁场通常由于场偏转器的存在而受抑制。这种传导条可以热连接到磁性材料和场偏转器,以使得在不同条中的温度分布更均匀。

[0166] 在实施例中,导热条间隔开,以允许至少一个导体回路缠绕在磁性材料周围。在实施例中,导热材料条可以仅位于磁性材料的间隙或接缝处。在其他实施例中,可以定位条以基本上在其整个长度上都接触磁性材料。可以分布条以匹配磁性材料内的通量密度。

在谐振器正常操作下的磁性材料的区域可以具有较高的磁通量密度,可以与导热条具有较高密度的接触。例如在图17A所示的实施例中,朝向磁性材料块的中心可以观察到磁性材料中最高的磁通量密度,较低密度可以朝向在谐振器的偶极矩的方向上的块末端。

[0167] 为了示出如何使用导热条来帮助减小磁性材料中的总体温度,以及在潜在热点的温度,发明人执行了类似于与17C所示的谐振器结构的有限元模拟。模拟结构,操作在235kHz的频率并包括EPCOS N95磁性材料块,尺寸为30cm x 30cm x 5mm,由每一条都传送10A的峰值电流的10匝绞合线激发(从结构的对称面对称设置在15mm、40mm、55mm、90mm和105mm处),并且借助三条3x 3/4x 1'的铝(合金6063)中空方管(壁厚1/8")热连接到50cm x 50cm x 4mm的场偏转器,其中心轴设置在距结构的对称面的-75mm、0mm和+75处。由于场偏转器和中空管尔德导电扰动Q为1400(相比于没有中空管的相同结构的1710)。在防护物和管中耗散的功率计算为35.6W,而在磁性材料中耗散的功率为58.3W。假定由空气对流和辐射冷却结构,且环境温度为24℃,结构中的最大温度为85℃(在大约中空管之间一半处的磁性材料中的点),而在接触中空管的磁性材料部分中的温度为约68℃。借助比较,对于40W峰值的相同激发电流,没有导热中空管的相同谐振器耗散62.0W,磁性材料中的最大温度发现为111℃。

[0168] 如果我们在一部分磁性材料中引入缺陷,其与管良好热接触,传导条的优点就更为明显。在磁性材料中心,并垂直于偶极矩定向的10cm长和0.5mm间隔的气隙将磁性材料中耗散的功率增加到69.9W(相对于以前论述的高度集中在间隙附近的无缺陷实例增加了11.6W),但传导条管确保了磁性材料中的最大温度仅相对适度地增加了11℃到达96℃。相反,没有传导管的相同缺陷导致在缺陷附近的最大温度为161℃。除了对流和辐射以外的其他冷却解决方案,例如以大热质量热连接传导管体或者主动冷却它们,可以在相同电流电平为该谐振器产生甚至更低的操作温度。

[0169] 在实施例中,材料的导热条可以设置在最有可能出现裂纹的区域,其可以导致磁性材料中不规则的间隙。这种区域可以是材料上的高应力或应变区,或者来自谐振器包装的支撑或支持较差的区域。有策略地设置导热条可以确保尽管裂纹或不规则间隙出现在磁性材料中,但磁性材料的温度也保持在其临界温度以下。临界温度可以定义为磁性材料的居里温度,或者谐振器的特性降级超过期望性能参数的任何温度。

[0170] 在实施例中,散热结构可以为磁性材料提供机械支撑。在实施例中,散热结构可以设计为具有期望的机械弹性量(例如,通过使用环氧树脂、热衬垫等,其具有适合的机械特性以热连接结构的不同元件),以便为谐振器提供对其元件的固有尺寸的变化(由于热膨胀、磁致伸缩等)以及外部冲击和主动的更大的容许量,并避免了裂纹及其他缺陷的形成。

[0171] 在谐振器包括围绕磁性材料垂直缠绕的绕组的实施例中,可以调整传导材料条以在由两个垂直的相邻回路组定界的区域内得到与磁性材料的热接触。在实施例中,条可以包含适当的缺口,以配合在至少一个正交绕组的导体周围,同时在至少一点与磁性材料热接触。在实施例中,磁性材料可以与放置在相邻回路之间的多个导热块热接触。导热块又可以借助热的良导体和/或散热器彼此热连接。

[0172] 在本说明书通篇中,尽管将术语材料的导热条用作材料形状的示例性范例,但本领域技术人员应理解,在不脱离本发明的精神的情况下,可以替换为任何形状和轮廓。方

形、卵形、条形、圆点形、细长形等都在本发明的精神内。

[0173] 无线能量传递系统中的通信

[0174] 无线能量传递系统可以要求验证步骤,以确保在指定谐振器之间传递能量。例如,在无线能量传递系统中,源谐振器、设备谐振器和转发器谐振器无需为了交换能量而彼此物理接触,但取决于系统中谐振器的尺寸和数量,这些谐振器可以借助厘米或米的距离彼此分离。在某些配置中,多个谐振器能够产生或接收功率,但仅这些谐振器中的两个或某些是指定谐振器。

[0175] 在无线能量传递系统中谐振器之间的信息的通信可以用于指定谐振器。可以使用带内或带外通信或通信信道来实现谐振器之间信息的通信。如果用于交换功率的至少一部分磁谐振器也用于交换信息,且信息交换的载波频率接近于用于功率交换的谐振频率,我们就将该通信称为带内的。在磁谐振器之间的任何其他类型的通信称为带外的。带外通信信道可以使用天线和信号传输协议,其与能量传递谐振器和磁场不同。带外通信信道可以使用或基于蓝牙、WiFi、Zigbee、NFC技术等。

[0176] 在谐振器之间的通信可以用于协调无线能量传递,或调整无线能量传递系统的参数,识别并认证可用功率源和设备,优化效率、功率传送等,追踪并记账能量优先选择、使用等,以及监控系统性能、电池状况、车辆良好状况、外部对象,也称为外来对象等。在使用带内和带外通信信道时,用于指定和验证用于能量传递的谐振器的方法可以不同,因为使用带外技术交换通信信号所通过距离会大大超过交换功率信号所通过的距离。此外,带外通信信号的带宽会大于带内通信信号。通信范围和性能中的这个差异可以影响无线能量传递系统的协调。例如,使用带外通信可以处理的谐振器的数量可以非常大,通信谐振器相距可以比它们可以有效交换能量的距离远得多。

[0177] 在某些实施例中,所有信号传输和通信都可以使用带内通信信道来执行,信号可以在用于能量传递的场上调制。在其他实施例中,带内通信可以使用与用于能量传递的频谱基本上相同的频谱,但在进行通信的同时不传递实质能量。如果分离的或多个验证步骤存在问题,仅使用带内通信信道是优选的,因为通信的范围可以局限于与功率交换相同的范围,或者因为信息作为功率信号自身上的调制而到达。但在某些实施例中,更希望得到分离的带外通信信道。例如,带外通信信道实现起来更便宜,并可以支持更高的数据率。带外通信信道可以支持更远距离的通信,允许谐振器发现和功率系统测绘。可以操作带外通信信道而无论功率传递是否进行,并可以在不发生功率传递的中断情况下进行。

[0178] 图18中示出了无线能量系统的示例性实施例。这个示例性实施例包括两个设备谐振器1802、1816,每一个都分别具有带外通信模块1804、1818,和两个源谐振器1806、1810,每一个都分别具有其自己的带外通信模块1808、1812。系统可以使用带外通信信道来调整并协调能量传递。通信信道可以用于发现或找到附近的谐振器,发起功率传递,并传递操作参数的调整,例如单个谐振器的功率输出、阻抗、频率等。

[0179] 在某些情形下,设备谐振器可以与一个源不准确地通信,但从另一个源谐振器接收能量。例如,设想设备1802发送带外通信信号,从源请求功率。源1810可以响应并开始向设备1802提供功率。设想设备1816也发送带外通信信号,从源请求功率,源1806响应并开始向设备1816提供功率。因为设备1802靠近源1806,设备1802就有可能从源1806接收其某些或大部分功率。如果由设备1802接收的功率电平变得过高,设备1802就可以向源1810

发送带外通信信号,以减小其向设备1802发送的功率。但设备 1802仍会接收到过多的功率,因为其从源1806接收功率,但没有向源1806 传送控制信号。

[0180] 因此,能量传递信道与通信信道的分离可以在无线能量传递系统中产生性能、控制、安全性、保密性、可靠性等问题。在实施例中,对于无线 能量传递系统中的谐振器有必要识别/指定并验证与它交换功率的任何或全 部谐振器。本领域技术人员应当理解,图18中所示的实例仅是一个实例, 存在无线功率传输系统的许多配置和布置,其可以得益于明确的或隐含的 能量传递验证步骤。

[0181] 在实施例中,通过提供附加的验证步骤可以避免潜在的性能、控制、安全性、保密性、可靠性等问题,验证步骤确保了由一对谐振器使用的能 量传递信道和通信信道与同一对谐振器相关联。

[0182] 在实施例中,验证步骤可以包括通过无线能量传递信道的某些附加的 信息交换或信号传输。包括使用能量传递信道或能量传递信道的场通信或 信息交换的验证步骤可以用于验证带外通信信道在正在或将要交换能量的 相同两个谐振器之间交换信息。

[0183] 在具有带外通信信道的实施例中,验证步骤可以是隐含的或明确的。在某些实施例中,验证可以是隐含的。在实施例中,可以响应于带外信息 交换,通过监控并将能量传递信道的状况与期望状况或参数相比较来隐含 地验证能量传递信道。例如,在建立了带外通信后,设备可以请求无线源 增大其发送的功率量。同时可以监控无线能量传递信道和谐振器的参数。在设备处观察到的所传功率的增大可以用于推断带外通信信道和能量传递 信道正确地连接到指定谐振器。

[0184] 在实施例中,隐含验证步骤可以包括监控用于无线能量传递的无线能 量传递的任意数量的参数,或谐振器和部件的参数。在实施例中,作为带 外通信交换的结果,可以监控谐振器的电流、电压、阻抗、频率、效率、温度及其驱动电路等,并与期望值、趋势、变化等相比较。

[0185] 在实施例中,作为通信交换的结果,谐振器可以存储测量参数和对这 些参数的期望值、趋势和/或变化的表。谐振器可以存储通信和观察到的参 数变化的历史,其可以用于验证能量传递信道。在某些情况下,起因于通 信交换的单一非期望参数变化可以不足以结论性地确定带外信道被不正确 地配对。在某些实施例中,可以在几个或许多通信交换中扫描或监控参数 变化的历史以执行验证。

[0186] 在图19A中示出了示例性算法,示出了可以用于使用带外通信隐含地 验证无线能量传递系统中能量传递信道的系列步骤。在第一步骤1902中, 建立在源与设备之间的带外通信信道。在下一步骤1904中,源和设备可以 交换信息,其有关于调整无线能量传递的参数或用于无线能量传递的部件 的参数。带外通信信道上的信息交换可以是用于系统控制和调整能量传递 的正常操作中的正常交换。在某些系统中,带外通信信道可以是加密的, 避免窃听、假冒等。在下一个步骤1906中,源和设备或仅是源或仅是设备 可以监控并保持追踪无线能量传递的参数的任何变化,或者用于能量传递 的部件中参数的任何变化。作为任何到外通信交换的结果,追踪的变化可 以与对参数的期望变化相比较。当参数中一个或许多观察到的变化与参数 中期望变化不对应时,可以认为是确认失败。

[0187] 在无线能量传递系统的某些实施例中,验证可以是明确的。在实施例 中,源或设备可以改变、抖动、调制等无线能量传递的参数,或者用于无 线能量传递的谐振器的参数,

以通过能量传递信道向源或设备传送或提供可验证信号。明确的验证可以包括变化、改变、调制等无线能量传递的某些参数或用于能量传递的谐振器或部件的参数,用于明确地验证目的,并可以不与优化、调谐或调整能量传递相关联。

[0188] 出于与另一个无线能量谐振器或部件信号传输或通信的目的,变化、改变、调制等无线能量传递的某些参数或用于能量传递的谐振器或部件的参数也可以称为带内通信。在实施例,带内通信信道可以实现为无线能量传递谐振器和部件的一部分。信息可以通过变化谐振器的参数从一个谐振器发送到另一个。诸如电感、阻抗、电阻等的参数可以由一个谐振器抖动或变化。这些变化可以影响在信号传输谐振器周围的其他谐振器的阻抗、电阻、或电感。变化可以将自身显现为可以检测或解码到消息中的谐振器的电压、电流等的相应抖动。在实施例,带内通信可以包括改变、变化、调制等用于能量传递的磁场的功率级、振幅、相位、方向、频率等。

[0189] 在一个实施例,可以在建立了带外通信信道后执行明确的带内验证。使用带外通信信道,源和设备可以交换关于功率传递性能和带内信号传输性能的信息。随后可以启动在源与设备之间的无线能量传递。源或设备可以使用带内通信信道请求或质询其他源或设备进行信号传输,以验证在带外通信信道与能量传递信道之间的连接。当在带内通信信道观察到在带外通信信道中建立了约定的信号传输时,就验证了信道。

[0190] 在实施例,验证可以仅在能量交换协议的特定或预定时间期间中执行,例如在能量传递启动期间。在其他实施例,明确的验证步骤可以在无线能量传递系统的正常操作过程中周期性地执行。当无线功率传递的效率或特性变化时,可以触发验证步骤,其可以以信号通知物理定向变化。在实施例,通信控制器可以保留能量传递特性的历史,并发起传递的验证,包括在观察到特性中的变化时使用谐振器以信号通知。可以按照谐振器或谐振器部件、及功率和控制电路的能量传递的效率、阻抗、电压、电流等中的变化,来观察能量传递特性中的变化。

[0191] 本领域技术人员会意识到,能够发送消息的信号传输和通信信道可以以任意数量的加密、认证和保密算法来保护。在实施例,可以加密带外通信,安全的通信信道可以用于发送随机序列,用于使用带内信道的验证。在实施例,带内通信信道可以由任何公知的安全性和加密协议和算法来加密、随机化或保护。安全性和加密算法可以用于认证和验证在谐振器之间的兼容性,并可以使用公钥基础设施(PKI)和次要通信信道进行授权和认证。

[0192] 在源与设备之间的能量传递系统的实施例,设备可以验证能量传递信道,以确保它从期望或假定的源接收能量。源可以验证能量传递信道,以确保将能量传递到期望或假定的源。在某些实施例,验证可以是双向的,源和设备都可以在一个步骤或协议操作中验证它们的能量传递信道。在实施例,可以存在多于两个谐振器,并可以存在转发器谐振器。在多个谐振器的实施例,通信和控制可以集中在一个或几个谐振器中,或者通信和控制可以分布在网络中的许多、大多数或全部谐振器中。在实施例,通信和/或控制可以由一个或多个半导体芯片或微控制器来实现,其可以耦合到其他无线能量传递部件。

[0193] 在图19B中示出了示例性算法,示出了可以用于使用带外通信明确地验证无线能量传递系统中能量传递信道的系列步骤。在第一步骤1908中,建立在源与设备之间的带外通信信道。在下一步骤1910中,源和设备可以协调或约定可以通过无线能量传递信道发送

的信号传输协议、方法、方案等。为了避免窃听,并提供保密性,加密带外通信信道,源和设备可以遵循任意数量的公知加密认证协议。在赋予了加密协议能力的系统中,验证码可以包括质询-应答型交换,其可以提供增加的保密性和认证能力级别。例如,设备可以质询源,以使用共用秘密加密密钥或私钥加密它经由带外通信信道发送到源的随机验证码。随后可以通过带内通信信道信号传输 1912 在带外通信信道中发送的验证码。在赋予了加密协议能力的源和设备的情况下,在带内通信信道中信号传输的验证码可以由发送方用可逆加密函数加密或修改,允许接收方进一步认证发送方,并验证带内通信信道与关联于带外通信信道的相同源或设备连接。

[0194] 在验证失败的情况下,无线能量传递系统可以尝试重复确认过程。在某些实施例中,系统可以通过交换用于使用带内通信信道信号传输的另一个验证序列来尝试重新确认无线能量传递信道。在某些实施例中,在尝试验证带内通信信道失败后,系统可以变化或改变用于验证带内通信信道的信息的序列或类型。系统可以变化带内通信验证码的信号传输类型、协议、长度、复杂性等。

[0195] 在某些实施例中,基于带内通信信道以及因此的能量传递信道的验证失败,系统可以调整带内通信信道中信号传输的功率级、调制强度、调制频率等。例如,基于设备对源的验证失败,系统可以尝试以更高的能量传递级来执行验证。系统可以增大源的功率输出,产生更强的磁场。在另一个实例中,基于设备对源的验证失败,向设备传送验证码的源通过改变其源谐振器的阻抗,可以增大或者甚至倍增源谐振器用于信号传输的阻抗中的变化量。

[0196] 在实施例中,基于能量传递信道的验证失败,系统可以尝试探查、找到或发现使用带外通信信道的其他可能的源或设备。在实施例中,带外通信信道可以用于找到用于无线能量传递的其他可能的候选。在某些实施例中,系统可以改变或调整带外通信信道的输出功率或范围,以帮助使得失败的配对达到最小程度。

[0197] 可以功率调制带外通信信道以具有几个模式,长距离模式用以检测源,短距离模式或低功率模式用以确保与在附近的另一个设备或源进行通信。在实施例中,带外通信信道可以与用于每一个应用的无线信道的范围相匹配。在能量传递信道的验证失败后,可以缓慢增大带外通信信道的输出功率,以找到用于无线能量传递的其他可能的源或设备。如上所述,带外通信信道可以呈现出干扰和阻塞,其可以不同于能量传递信道的干扰和阻塞,需要更高功率级进行带外通信的源和设备可以足够接近,以允许无线能量传递。

[0198] 在某些实施例中,可以使用屏蔽或定位来定向、布置、聚焦等带外通信信道,以便仅在有限区域中(即在车辆的情况下)有效,以确保它只能与足够近的邻近、位置和方位的另一个源或设备建立通信以进行能量传递。

[0199] 在实施例中,系统可以使用一个或多个信息的补充源来建立带外通信信道或验证带内能量传递信道。例如,在初始建立带外通信信道的过程中,可以将源或设备的位置与无线源或设备的公知的或图上的位置或位置数据库相比较,以确定能量传递最有可能成功的对。可以用来自一个或多个GPS接收机的GPS数据、来自定位传感器、惯性导航系统的数据等来补充带外通信信道发现。

[0200] 可调谐无线功率传输系统架构

[0201] 图20A中示出了用于无线功率传输系统中源单元的系统图的一个实施例。这个实

施例中的DC/DC转换器可以用于允许至少一个源参数的调节,例如开关放大器的DC总线电压,及因此的放大器输出功率。图20B中示出了用于无线功率传输系统中设备单元的系统图的一个实施例。这个实施例中的DC/DC转换器可以用于允许至少一个设备参数的调节,例如在DC/DC转换器输出的DC负载电压,或者在整流器的输入见到的阻抗。在本说明书中,我们将示范可以不使用DC/DC转换器,而仅使用可控(可调谐)开关放大器和整流器来调节源和设备单元中相同的参数,及实现系统的满调谐,如图21A和21B所示。由于系统中的每一个功率系统级(例如DC/DC转换器)通常伴随着某些效率成本,消除级可以消除这些级的能量损耗。因此,不使用DC/DC转换器的无线功率传输系统实施例可以相对于使用DC/DC转换器的系统具有改进的系统效率。

[0202] 可调谐开关转换器

[0203] 开关放大器和整流器可以具有D或E类的半桥或全桥拓扑结构。对于一个说明性实施例,我们考虑D类的半桥拓扑结构,其中,转换器的DC侧(放大器或整流器)的电压可以大致恒定,并可以通过使用适当尺寸的DC滤波并联电容器来实现,转换器的AC侧上的电流可以大致为正弦曲线,并可以通过使用适当尺寸的滤波串联电感器来实现,以滤除由开关转换器产生的高次电流谐波。图22A和22B中示出了示例性放大器和示例性整流器的拓扑结构。尽管在此可以研究特定示例性拓扑结构,但应当理解,在以本说明书的通用原理设计的无线功率传输的系统中可以使用任何拓扑结构。例如,具有DC滤波串联电感器和AC滤波并联电容器的全桥转换器可以设计为提供正弦曲线形AC电压和恒定的DC电流。

[0204] 如果具有并联电容的开关在非零电压导通,或者如果具有串联电感的开关在非零电流断开,开关转换器在通过开关传导过程中和在开关情况下会遭受损耗。

[0205] 整流器

[0206] 整流器常常使用二极管作为开关,其可以具有小并联电容。由于二极管可以认为是自通断的,在图22B的拓扑结构中,它们通常可以在接近零的电压自导通,并在接近零的电流断开,这样它们不会遭受开关损耗。但由于二极管电压降落,它们会遭受到大传导损耗。因此,MOSFET或者任何类型的有源开关,包括但不限于,晶体管、场效应晶体管(FET)、IGBT等,优选地可以用作开关,并可以与输入电流波形同步,且被配置为以与二极管类似地方式工作,但仅遭受到小得多的传导损耗,这是由于MOSFET的小导通电阻。用MOSFET代替二极管产生了有时称为同步整流器的架构。MOSFET可以具有并联输出电容和并联反向体二极管。在某些实施例中,外接电容和/或二极管可以与整流器桥的每一个MOSFET并联连接。外接二极管可以是肖特基二极管。MOSFET桥的有效电容 C_r 可以定义为当开关导通时从输入向桥方向的电容。由于在导通过程中开关与输入串联,AC输入整流器阻抗的实部越小,由于开关的导通电阻的对效率的影响就越大。在某些实施例中,可以选择导通电阻基本上小于输入阻抗的期望实部的MOSFET。

[0207] 在某些实施例中,MOSFET可以在与二极管通断基本上相同的时间点通断,以使得并联电容可以在导通时放电(即零电压)(所谓的零电压开关ZVS条件),并使得并联二极管不导通。相反,电流流过MOSFET自身。因此,整流器可以以最小的损耗、MOSFET的导通电阻的小导通损耗工作。对于图22B的拓扑结构,在图23A中示出了相应的电压、电流和开关波形,其中,可以见到它们对于周期的两半部是对称的,在两个开关都断开时存在停滞时间(dead time)。在这个工作模式中,上开关的停滞时间相位 ϕ_o 、导通占空比D、整流器的输

入复数阻抗 Z_r 及DC输出电压 V_{DC} 与输入正弦 电流的振幅 I_{AC} 的比 Z_{IO} ,可以仅取决于DC负载电阻 R_l 和有效电容 C_r 。对于图22B的半桥实施例, Z_{IO} 比、停滞时间相位和整流器的复数输入阻抗 Z_r 由以下公式给出:

$$\begin{aligned}
 [0208] \quad Z_{IO} &\equiv \frac{V_{DC}}{I_{AC}} = \frac{2R_l}{2\pi + \omega C_r R_l} \\
 [0209] \quad \phi_0 &= \cos^{-1} \frac{2\pi - \omega C_r R_l}{2\pi + \omega C_r R_l}, D_o = 0.5 - \frac{\phi_0}{2\pi} \\
 [0210] \quad Z_r &= \frac{\sin^2 \phi_0 + j(\sin \phi_0 \cos \phi_0 - \phi_0)}{\pi \omega C_r}
 \end{aligned} \tag{1}$$

[0211] 在某些实施例中,可以在工作过程中由微控制器或设备单元内的其他 处理器部件借助 C_r 和DC负载电阻 R_l 的实时测量的知识,实时计算并调整 适当的停滞时间相位。可以动态调整工作过程中的MOSFET整流器,以使得可以保持ZVS,并联二极管不导通(或者仅最小地导通),所以在改变负载的同时可以优化其效率。在某些实施例中,可以监控满输入电压波形,可以调整停滞时间相位,以基本上保持ZVS和通过并联二极管的最小导通 或不导通。

[0212] 应当注意,在整流器的这个实施例的这个模式中,开关也可以在另零 电流断开(所谓的零电流开关ZCS条件)。这是因为二极管开关可以自断开,我们可以设计MOSFET来模仿二极管操作。由于二极管和MOSFET可以实质上不具有串联电感,在断开保持ZCS可以不重要。因此,在某些实施例中,可以设计MOSFET整流器,以使得MOSFET可以不在ZCS时刻断开,而是在稍后的时间断开。这个设计可以不损害以ZVS带通MOSFET,这仅仅调整相关的停滞时间就是切实可行的,在期间两个开关都断开。图23B 示出了对于在偏离ZCS时刻的时间仅有一个(下)开关断开的实施例的电压、电流和开关波形。图23C示出了对于两个(下和上)开关都从ZCS移动相同的相位的实施例的波形,以使得波形仍在周期的两个半部对称。图 23C示出了对于两个开关都从ZCS移位,但移动了不同相位的实施例的波形。图23B和23D对于周期的两个半部不对称。因此,在对于半桥整流器的下和上MOSFET的开关顺序的以上实施例中,可以独立地调谐断开时间(从ZCS延迟)。于是,随着调谐这些,即使DC负载电阻 R_l 可以是固定 或可变的,也可以调整整流器的输入复数阻抗 Z_r 。可以基本上不牺牲效率 的情况下进行这些调整,因为可以不失去ZCS,并且并联二极管几乎从不 导通或最小地导通。以上工作模式实施例的每一个即使对于相同DC负载阻抗都可以给予不同AC输入阻抗。这样,可以按照期望输出电压或功率调整 或按照AC输入阻抗的随后的实部来选择工作模式,以使得MOSFET的导 通电阻对于效率的影响最小。

[0213] 在图23B所示的工作模式中,可以将上开关的导通占空比 D 独立地调 谐到零与 D_o 之间的值。这个半桥整流器实施例的电特性由对于 Z_{IO} 、 ϕ_{ON} 和 Z_r 的公式给出:

[0214]

$$Z_{IO} \equiv \frac{V_{DC}}{I_{AC}} = \frac{1}{\pi} R_l \sin^2(\pi D)$$

$$\phi_{ON} = \cos^{-1}[\omega C_r Z_{IO} - \cos(2\pi D)], \phi_1 = \pi - 2\pi D, \phi_2 = \cos^{-1}(\omega C_r Z_{IO} - 1)$$

$$Z_r = \frac{2}{\pi^2} R_l \sin^4(\pi D) + j \frac{\pi + (\sin \phi_2 \cos \phi_2 - \phi_2) + (\sin \phi_1 \cos \phi_1 - \phi_1) - (\sin \phi_{ON} \cos \phi_{ON} - \phi_{ON})}{2\pi \omega C_r}$$

(2)

[0215] 注意, 由于 $\phi_{ON}=0$, 于是 $\phi_1=\phi_2-\pi=\phi_o$, 且 $D=D_o$, 给出了以前整流器实施例的结果, 其中, 不独立于DC负载调谐占空比, 并保持了ZCS。

[0216] 在某些实施例中, 在工作过程中可以由微控制器或设备单元内的其他处理器部件借助 C_r 和DC负载电阻的实时测量的知识、和/或一个或多个期望系统性能特性的知识, 例如占空比 D 、比 Z_{IO} 和/或整流器阻抗的实部等实时计算并调整适当的相位 ϕ_{ON} 、 ϕ_1 和 ϕ_2 。在这种实施例中, 在工作过程中可以动态地调整可调谐MOSFET整流器, 以使得可以保持ZCS, 并且并联二极管几乎从不导通或最小地导通, 从而优化了其效率, 同时负载可以变化, 并可以调节期望的输出电压或功率或输入阻抗级别。在某些实施例中, 可以监控满输入电压波形并可以调整相位 ϕ_{ON} 、 ϕ_1 、 ϕ_2 , 以基本上保持ZVS, 很少或不通过并联二极管导通。

[0217] 对于图23C和23D的工作模式可以得出类似的结论。同样, 通过调谐从ZCS的一个或两个相移可以调整整流器的输入阻抗、输出电压和功率级。

[0218] 在某些实施例中, 整流器可以具有全桥拓扑结构。为了在不损害全桥中的效率的情况下, 实现相同的占空比调谐, 在某些实施例中, 桥的左侧和右侧可以以图23C中所示的开关波形工作, 但相移了半个周期, 在某些实施例中, 以图23A中所示的开关波形工作, 但相移了小于半个周期的某些值。

[0219] 放大器

[0220] 在图22A中的整流器的一个实施例中, MOSFET可以用作开关。MOSFET可以具有并联输出电容和并联反向体二极管。在某些实施例中, 外界电容和/或二极管可以并联连接到放大器桥的每一个MOSFET。在某些实施例中, 外界二极管可以是肖特基二极管。MOSFET桥的有效电容 C_a 可以定义为当没有开关导通时从放大器输出所见到的电容。由于在导通过程中开关可以与输出串联, AC阻抗的实部越小, 由于开关的导通电阻的对效率的影响就越大。在某些实施例中, 可以选择导通电阻基本上小于输出阻抗的期望实部的MOSFET。由于MOSFET放大器和整流器的图22A、22B的拓扑结构相同, 可以通过时间逆转相应整流器的波形来分析放大器的可能的不同工作模式。

[0221] 在某些实施例中, 对于半桥的低和高开关, 可以使用开关序列, 其在周期的两个半部之间对称。在这种实施例中, 如果在放大器的输出连接了值 Z_r^* 的复数阻抗, 其中 Z_r 在等式(1)中给出, 那么放大器的DC输入阻抗 R_a 就可以等于等式(1)中的相应 R_l , 上开关的导通占空比可以是等式(1)中给出的 D_o , 电压和电流波形可以是图23A中的那些的时间逆转, 指示实现了同时的ZVS和ZCS。如果在放大器的输出连接了对于任何 R_l 等式(1)都不能给

出的值的复数阻抗,那么就不能同时实现ZVS和ZCS。对于感性的一组复数阻抗,可以实现ZVS,从而可以保持高效率,波形可以是图23C中的那些的时间逆转。同样注意,ZCS条件对于放大器的开关效率可以不是至关重要的,因为MOSFET可以不具有实质性的串联电感。当伴随这ZVS,在开关导通期间的ZCS可以主要意味着同样由零导数的电压实现ZVS条件,从而在时序方面允许对实现ZVS时刻的改进的容限。就是说,允许某些时间范围,在其中足够接近ZVS。在这些实施例中,对称开关序列和占空比D可以由在放大器输出的AC复数阻抗、在导通时刻实现ZVS和通过并联二极管很少导通或不导通的要求来唯一地确定。因此,给定固定的DC输入电压,在不牺牲某些效率的情况下,将功率级独立地调整到期望量会是不可能的。

[0222] 在某些实施例中,可以在工作过程中由微控制器或源单元内的其他处理器部件借助 C_a 和AC输出阻抗的实时测量的知识,实时确定(即计算,使用查表知道等)并调整适当的占空比D和停滞时间。可以动态调整工作过程中的MOSFET放大器,以使得可以保持ZVS,并联二极管不导通或者仅最小地导通,允许在改变负载的同时可以优化其效率。在某些实施例中,可以监控满输入电压波形,可以调整开关序列,以基本上保持ZVS和通过并联二极管的很小的导通或不导通。

[0223] 在某些实施例中,对于半桥的低和高开关,可以使用开关序列,其在周期的两个半部之间不对称。就是说,MOSFET的导通时间可以出现在ZVS或其附近,以保持足够的效率,但上MOSFET的断开时间可调谐。这个方案提供了独立的调谐旋钮,借助它可以调整放大器的功率。如果在放大器的输出连接了值 Z_r^* 的复数阻抗,其中 Z_r 在等式(2)中给出,那么放大器的DC输入阻抗 R_a 就可以等于等式(2)中的相应 R_1 ,上开关的导通占空比可以是等式(2)中给出的D,电压和电流波形可以是图23B中的那些的时间逆转,指示在两个导通时刻实现了ZVS,在一个导通时刻实现了ZCS。如果在放大器的输出连接了对于任何D和 R_1 等式(2)都不能给出的值的复数阻抗,那么在任意时间都不能实现ZCS。对于感性的一组复数阻抗,可以实现ZVS,从而可以保持高效率,波形可以是图23D中的那些的时间逆转形式。

[0224] 在某些实施例中,可以在工作过程中由微控制器或源单元内的其他处理器部件借助 C_a 和AC输出阻抗的实时测量中至少一个的知识,和一个或多个期望系统性能特性的知识,例如占空比D、比 Z_{i0} 和/或DC输入阻抗等,实时确定并调整适当的占空比D和停滞时间。可以动态调整工作过程中的可调谐MOSFET放大器,以使得可以保持ZVS,并联二极管几乎从不导通或者可以最小地导通,从而在改变输出阻抗的同时可以优化其效率,并可以调节期望的功率级。在某些实施例中,可以监控满输入电压波形,可以调整开关序列,以基本上保持ZVS和通过并联二极管的很小的导通或不导通。

[0225] 在某些实施例中,放大器具有全桥拓扑结构。为了在不损害全桥中的效率的情况下实现相同的占空比,桥的左侧和右侧可以以图23C中所示的开关波形工作,但时间逆转并相移了半个周期,或者以图23A中所示的开关波形工作,但时间逆转并相移了小于半个周期的某些值。

[0226] 从以上可得出结论:可以设计开关放大器和开关整流器,以使得在调谐独立占空比“旋钮”以调整转换器的某些特性的同时,保持高效率。这个旋钮或可调整参数可以显示为能够在无线功率传输系统中提供调谐任务,否则就要使用DC/DC转换器来实现。

[0227] 可调谐无线功率传输系统

[0228] 作为示例性实施例,考虑无线功率传输系统WPT的情形,其可以不变化(R_s 、 L_s 、 R_d 、 L_d 和 M_{sd} 可以不改变)负载可以具有恒定电阻 R_l 。图22A和22B示出了这个示例性实施例。对于这个固定的总体系统,在源和设备单元中不需要可调谐要素来优化端到端效率。相反,为了优化系统的效率,如前公开的,可以设计设备的阻抗匹配网络 IMN_d ,以使得在工作频率 $f = \omega / 2\pi$,从设备线圈向负载看时,整流器的输入阻抗 Z_r 可以变换为 $R_d(\sqrt{1+U^2} + 1)$,或者等价地,在 IMN_d 的输入向负载看时的,在减去了设备线圈($R_d + j\omega L_d$)后,变换为 $R_d\sqrt{1+U^2} - j\omega L_d$ 。对源线圈的反射阻抗可以是 $R_s(\sqrt{1+U^2} - 1)$,或者等价地,在加上了源线圈阻抗($R_s + j\omega L_s$)后,在源线圈的端子的 $R_s\sqrt{1+U^2} + j\omega L_s$ 。因此可以设计源的阻抗匹配网络,以使得在工作频率,这个阻抗可以变换为适当的阻抗 Z_s ,以至于放大器以最小损耗(例如以ZVS和ZCS)操作,并输出期望的功率量。当实现了以上阻抗级别时,我们可以说系统在阻抗匹配条件下进行操作。

[0229] 以上阻抗级别可以实现良好的WPT效率。可以借助可调谐放大器调整功率级,可调谐放大器可以用于通过调谐其占空比(放弃ZCS)来修改其输出功率。以此方式,整个WPT系统的阻抗级别可以不改变(可以保持系统的阻抗匹配),从而可以保持良好的总体效率。在某些实施例中,可调谐整流器可以用于通过调谐其占空比(放弃ZCS)及因此的其输入阻抗来修改其输出功率。以此方式,可以改变WPT系统的阻抗级别,但在某些情况下,对于效率基本上没有影响。

[0230] 作为另一个实例,考虑如下WPT系统的情形:设备单元中的负载具有恒定电阻 R_l ,但线圈参数(R_s 、 L_s 、 R_d 、 L_d 和 M_{sd})由于其相对位置的变化或变化的外部扰动而可以改变。为了保持最大WPT效率,需要在源和设备的阻抗级别可调谐,以便当从设备线圈向负载看时可以得到阻抗 $R_d(\sqrt{1+U^2} + 1)$,并可以在放大器输出得到提供ZVS和ZCS的阻抗。由于这两个阻抗中的每一个都可以是复数,并可以具有实部和虚部,在某些实施例中,两个可调谐“旋钮”(否则称为部件、参数、量、值等)可以用于设备,两个用于源单元中。在某些实施例中,如上所述,用于源单元中的两个旋钮可以提供随系统变化而针对ZVS和ZCS进行调谐的能力,其可以是放大器的占空比和 IMN_s 内一个可调谐部件的值,例如,可调谐电容器的值。类似的,在某些实施例中,用于设备单元中的两个旋钮可以提供随系统变化而针对 $R_d(\sqrt{1+U^2} + 1)$ 进行调谐的能力,其可以是整流器的占空比和 IMN_d 内一个可调谐部件的值,例如,可调谐电容器的值。可调谐放大器可以用于通过减小其占空比(放弃ZCS)来减小其输出功率。以此方式,整个WPT系统的阻抗级别可以不改变,从而保持了良好的总体效率。在设备保持实际阻抗 $R_d(\sqrt{1+U^2} + 1)$ 可以意味着需要保持设备谐振。类似地,为源放大器保持ZVS和ZCS可以意味着需要保持源谐振,否则放大器的输出阻抗就会得到不能将足够的功率传送给它的值,并且或者是容性的,以致于不能实现ZVS,或者是极感性的,以致于很大程度上失去ZCS,MOSFET的导通电阻可以与输出阻抗的实部相当,从而导致起因于导通损耗的效率中的下降。此类实施例中的可调谐IMN的目的因此可以是保持谐振器的谐振频率与操作频率足够接近。

[0231] 在某些实施例中,如果仅是线圈之间的耦合,即 M_{sd} ,实质上可以变化,就无需可调谐IMN以足够的效率向负载提供足够的功率。可以设计固定IMN以使得可以在所希望的耦合操作范围上向负载发送期望量的功率,同时可调谐整流器可以用于通过调整其输入阻抗来改进效率,可调谐放大器可以用于充分实现ZVS,且很少或者没有二极管导通,以及如有需要的附加调整功率级。

[0232] 在另一个示例性实施例中,现在考虑如下WPT系统的情形:线圈参数和耦合可以不改变(R_s 、 L_s 、 R_d 、 L_d 和 M_{sd} 可以不改变),但负载可以要求变化的功率量,并且可以需要在恒定的电压。在某些实施例中,这个负载可以是电池的电池充电电路、LED灯等。对于这个情形,可以在设备单元中的整流器之后使用DC/DC转换器,以将输出电压调节到期望电平,如图20B所示。在本说明书中,我们建议可以不需要这个DC/DC转换器。考虑可以最初将系统设计在最大负载功率级,以便在整个WPT系统中实现阻抗匹配,优化WPT效率,并使得在负载见到正确的输出DC电压。在某些实施例中,可以在源单元使用可调谐放大器,以使得随着负载要求的功率减小,可调谐放大器的输出功率也可以减小相同的量(借助减小其占空比和失去ZCS),这个减小可以导致DC负载电压和阻抗匹配程度保持基本相同,因为耦合谐振器的系统基本上是线性的。在某些实施例中,可调谐整流器可以用于保持在负载的期望输出DC电压电平,同时可以减小负载功率要求。在这个实施例中,由于失去最优化阻抗匹配,且源放大器的功率输出仅按照其输出阻抗的变化而改变,WPT系统的效率会受到影响,但效率对于某些应用是足够的。

[0233] 在另一个示例性实施例中,以上类型的负载可以用于WPT系统中,随着线圈之间的耦合可以改变,并且外部扰动可以影响系统,系统也可以改变(R_s 、 L_s 、 R_d 、 L_d 和 M_{sd} 可以改变)。需要保持在系统中的期望操作目标是四个:(1)用于负载的指定操作的DC负载电压,(2、3)匹配从设备线圈向负载看所见到的阻抗级 $R_d(\sqrt{1+U^2}+1)$ (实部和虚部),以便使得WPT效率最大,和(4)在源的谐振,以使得在放大器输出的阻抗(基本上是其实部与虚部的比率)可以在适当的级别,以允许向它(及因此的设备负载)传送足够的功率,并避免容性或极感性阻抗,其会导致放大器效率减小。

[0234] 为了保持这四个系统目标,通常在系统中会需要四个可调谐旋钮。在提出的实施例中,四个旋钮可以是源放大器的可调谐占空比,设备整流器的可调谐占空比,IMN_s中的可调谐元件(例如电容器),和IMN_d中的可调谐元件(例如电容器)。在某些实施例中,可以调谐所有四个旋钮以同时实现全部四个期望。在某些实施例中,每一个旋钮可以以一个期望为目标,由于所有旋钮针对其单独的目标调谐,系统可以会合到总期望条件。在一个此类实施例中,可以调谐整流器的占空比,以保持在负载的期望DC输出电压,可以调谐IMN_s中的可调谐元件,以保持源谐振,可以调谐放大器的占空比以及IMN_d中的可调谐元件,以保持在设备的阻抗匹配条件。可以实现这个最后的步骤,因为调整功率级调整了整流器的AC输入阻抗(由于非线性负载连接到其输出),且可调谐IMN_d元件可以调整设备的谐振。在另一个实施例中,可以调谐放大器的占空比,以针对恒定DC负载电压进行调整,同样可以调谐IMN_s中的可调谐元件,以保持源谐振,可以调谐整流器的占空比以及IMN_d中的可调谐元件,以保持在设备的阻抗匹配条件。

[0235] 在某些实施例中,如果设备谐振器的谐振基本上不改变(通常因为设备线圈的电

感基本上不由于扰动而改变),可以无需IMN_a中的可调谐元件 来实现在期望DC电压及以足够高的效率传送给负载的期望功率。在某些此类实施例中,可以调谐IMN_s的可调谐元件,以基本上保持源谐振,可以调谐整流器的占空比,以保持DC负载电压,可以调谐放大器的占空比,以使 得总传输效率最大。在某些实施例中,放大器和整流器的占空比的角色可以互换。在某些实施例中,代替使得效率最大,可以调谐一个占空比旋钮,以实现在整流器输入的特定AC阻抗级。

[0236] 在某些实施例中,如果仅是线圈之间的耦合,即 M_{sd} ,实质上可以变化,在源和设备就都无需可调谐IMN以足够的效率在所需的电压电平向负载提供所要求的功率。在某些实施例中,可以调谐整流器的占空比,以保持DC 负载电压,可以调谐放大器的占空比,以使得总传输效率最大。在某些实施例中,放大器和整流器的占空比的角色可以互换。在某些实施例中,代替使得效率最大,可以调谐一个占空比旋钮,以实现在整流器输入的特定 AC阻抗级。

[0237] 在某些实施例中,可以在放大器调谐的附加的旋钮是开关(以及因此 的操作)频率。调谐频率可以提供功率调整。在具有高Q谐振器的WPT 的某些实施例中,其中在谐振器之间需要接近的谐振,调谐频率可以用于 调整功率,只要所有设备单元可以包括可调谐IMN,以使得可以调整它们的谐振频率与操作频率基本上匹配。

[0238] 在某些实施例中,可用的附加的可调谐旋钮可以是源和设备的IMN中的附加的可调谐要素。

[0239] 在典型的电池供电设备中,充电电路可以在电池前面,以便在每一个 充电周期上以特定的充电特征图为电池充电。在实施例中,本说明书的WPT 系统实施例调节设备单元的输出能力可以允许设备单元到电池的直接连接,无需附加的充电电路,或者如果仍需要附加的充电电路,它可以较小,较便宜,并可以包括更少的部件。即,在实施例中,WPT系统自身可以是 电池的电池充电电路,其执行所有电池管理,例如监控电池状态(例如电压或温度),并在充电周期的不同部分要求不同的功率量。诸如用于Li离子 或NiMH电池的典型的充电特征图可以包括由充电电路提供的恒定电流或 恒定电压的时间间隔。在本说明书中已经展示了它,在某些实施例中,WPT 系统可以通过调谐至少一个系统旋钮保持在整流器输出的DC负载电压。在某些实施例中,这个旋钮可以是可调谐整流器的占空比。在直接连接到电 池时,电池常常自动将输出电压设定为其自身内部瞬时电压。因此,在某些实施例中,可以调谐系统调谐旋钮,以保持在整流器输出的DC负载电流(代替电压)。在某些实施例中,这个调谐旋钮同样可以是可调谐整流器的 占空比。在某些实施例中,WPT系统通过调谐至少一个系统旋钮,实现了 任何期望的充电特征图,包括恒定电流或恒定电压的间隔。在某些实施例中,这个调谐旋钮可以是可调谐整流器的占空比。

[0240] 在WPT系统的实施例中,导致其调谐的系统控制可以取决于参数列表 的测量。在源单元中,可以测量DC电压和电流,以确定到源放大器的输入 功率和DC阻抗。源DC功率、电压和/或电流的测量可以用于调谐放大器 的占空比,以便调节输入到源单元的功率、电压和/或电流。同样在源单元 中,可以测量AC电压和/或电流,以确定源放大器的输出功率和/或AC阻 抗。如之前解释的,AC阻抗的测量可以用于调谐放大器MOSFET的开关 时间,以便实现ZVS,并且电流几乎从不通过并联二极管,而是通过 MOSFET。AC阻抗的测量也可以用于调谐源阻抗匹配网络中的一个或多个 可调谐要素的值,以便保持源谐振和/或为了将AC阻抗

修改为允许来自放大器的期望输出功率,但具有更佳的放大器效率的值。在设备单元中,可以测量DC电压和/或电流,以确定设备整流器传送到负载的输出功率和瞬时DC负载阻抗。设备DC功率、电压和/或电流的测量可以用于调谐整流器的占空比,以便调节从设备单元输出到负载的功率、电压和/或电流。同样在设备单元中,可以测量AC电压和/或电流,以确定到设备整流器的输入功率和/或AC输入阻抗。如稍早解释的,DC阻抗的测量和与输入AC电流波形的同步可以用于调谐MOSFET的开关时间,以便实现ZVS,并且电流几乎从不通过并联二极管,而是通过MOSFET。

[0241] 在某些实施例中,模拟滤波器可以用于对感测的AC源和/或设备电压波形进行滤波。在某些实施例中,滤波器可以包括单放大器双二阶(SAB)高Q低通或带通滤波器。

[0242] 在某些实施例中,可以使用电流感测变压器来测量AC源和/或设备电流。在某些实施例中,如果阻抗匹配网络包括串联连接到放大器和/或整流器的AC侧的电感器,就可以通过借助增加一个或多个次级线匝将这个电感器修改为变压器来测量AC电流。在某些实施例中,模拟滤波器可以用于对感测的电流波形滤波。在某些实施例中,滤波器可以包括单放大器双二阶(SAB)高Q低通或带通滤波器。

[0243] 在可调谐整流器的实施例中,可以使用模拟电路、数字电路、微控制器或其任意组合来实现整流器MOSFET的开关波形与输入到整流器的AC电流的同步。在某些实施例中,可以感测、滤波AC电流,并可以输入到比较器,以产生同步信号。在某些实施例中,比较器可以在微控制器内部。整流器MOSFET的开关波形需要相对于同步信号延迟。在某些实施例中,可以用分立的模拟或数字部件或在微控制器内部来实现延迟。在某些实施例中,可以使用模拟和数字逻辑电路或在微控制器内部产生整流器MOSFET的可变占空比(或相移)的开关波形。

[0244] 在WPT系统的实施例中,导致其调谐的系统控制可也需要在处理单元中运行算法,处理单元可以在源单元、设备单元或二者中。算法可以利用一个或多个测量的系统参数,并可以确定对系统的可调谐参数的必要修改。算法可以是一个全局算法,接受所有测量的参数,并传递所有必要的调谐。算法可以是多个算法的总和,它们串行或并行运行,导致整体收敛。在这种多个算法的实施例中,某些算法可以在源单元中运行,某些可以在设备单元中运行。

[0245] 在WPY系统的实施例中,运行在WPT系统的一个单元中的控制算法可以需要关于在WPT系统的不同单元测量的参数的信息。这种信息可以由通信信道在不同单元中传送。在某些实施例中,信息传递的通信信道可以与能量传递的相同。在这种带内通信的实施例中,信息传送单元的至少一个参数或部件需要可调谐,以便可以实现对信息接收单元的操作的可测量的改变。可调谐参数或部件可以是单元的转换器中的占空比,或者是单元的IMN中的可调谐要素等。在某些实施例中,信息传递的通信信道可以是与能量传递不同的信道。在这种带外通信的实施例中,可以使用运行在与WPT运行频率不同的任何频率的通信的任何标准方法和平台。

[0246] 在WPT系统的实施例中,可调谐MOSFET放大器和整流器的对称可以允许WPT系统的单元的角色互换。即,源单元可以作为设备运行,设备单元可以作为源运行。系统因此可以允许功率的双向流动。这个特点出于在系统的控制及其应用方面的几个原因而是有用的。当设备单元中的负载是电池自身时更有利于双向操作。于是,系统能够在不进行任

何拓扑结构修改的情况下反向运行。

[0247] 在系统控制的某些实施例中,某些通信协议可以周期性地,但在极短的时间量中调节系统执行以下算法:WPT系统中除了作为源单元运行的一个以外的所有单元作为设备运行,以使得作为源单元运行的单元可以执行测量(并有可能借助通信接收关于在其他单元执行的测量的信息),并调谐自身;所有单元依次作为这个调谐单元,以使得当调谐了所有单元时,系统就达到其最优化调谐状态。在其他实施例中,不同算法变化可以需要在短时间量中,单元从其在功率传输过程中正常具有的角色改变角色。

[0248] 在应用的实施例中,单元双向运行的能力允许正常时作为由特定源供电的设备而运行的这个单元在其他时间作为源运行,为不同设备供电。示例性地,笔记本电脑可以包括WPT单元,其通常作为由内置的桌子中的源单元供电的设备运行,但在其他时间(例如在旅行中),它可以作为源运行,为移动电话、智能电话、耳机、数码相机等内的设备单元供电。

[0249] WPT系统中高效率可调谐转换器的逻辑结构和配置的以上说明可以扩展到具有多个单元的系统,例如,多个源和/或多个设备,有可能时多个转发器单元。在这种实施例中,每一个设备单元中的可调谐整流器可以调谐其占空比,以针对固定DC电压或固定DC电流或在负载输出的任何期望的电池充电特征图而进行调整。在某些实施例中,每一个源单元中的可调谐放大器都可以调谐其占空比,以调整其输出功率。这个功率调整可以使得总系统效率得到优化。在某些实施例中,可调谐要素存在于某些或全部系统单元的IMN中,附加的调谐旋钮可以允许更复杂的系统控制,其最终目标是系统效率的优化,受到所需DC负载电压、负载功率要求、最大源功率传送能力等的约束。通常,不同的设备可以对于从一个或多个源单元输出的功率的增大或减小会存在冲突的利害关系。在某些实施例中,可以调整从源单元输出的功率,以满足来自所有设备的最大功率要求,直到可能的最大输出功率级。于是,在需要较少功率的设备中,如果调谐它们接近于谐振,就会存在大量循环,并从而耗散的功率。在某些实施例中,一个或多个可调谐要素存在于设备的IMN中,在具有多个设备的WPT系统中,可以调谐需要较少功率的设备中的这一个或多个可调谐要素,以减小设备中耗散的功率,同时保持期望的输出功率、电压或电流。

[0250] 示例性系统实施例

[0251] 图24示出了根据本发明的无线能量传递系统的示例性框图。图24中的系统包括无线能量源,其向至少一个无线能量捕获设备传递能量。系统包括可调谐源元件和可调谐设备元件,能够调整系统的能量传递。能量传导的调整可以用于控制传递到设备的能量的量。调整可以用于控制在不同负载条件和相对源的不同设备位置/方向下传送给负载的功率。能量传递的调整可以用于通过减少起因于存储或流过系统元件的过多能量的系统元件中浪费或耗散的能量,来确保有效地传递能量。

[0252] 系统的源可以包括可调谐开关放大器和可调谐阻抗匹配网络。源的可调谐元件可以用于调整源的功率输出,源的效率和源谐振器的谐振频率。在示例性实施例中,可调谐开关放大器2402连接到能量源,例如象DC电压源。能量源的DC电压可以借助开关放大器2402变换为开关或振荡电压,并用于通过阻抗网络2404驱动源谐振器线圈2422。开关放大器可以具有可调整或可调谐开关频率。在某些实施例中,开关放大器的频率可以用于调整放大器的功率输出。在源的谐振频率以下或以上驱动源谐振器可以用于改变放大器的

功率输出。在示例性实施例中,在放大器的正常运行过程中,开关放大器优选地具有基本上固定的或恒定的开关频率。放大器的开关频率优选地与系统频率匹配,或者可以基本上等于源谐振器的谐振频率。在这个实施例中,源的功率控制优选地通过调整放大器的占空比或放大器的相移来控制。

[0253] 可以调谐源2404的阻抗匹配网络,以提供放大器的有效运行。阻抗匹配网络可以包括可调谐部件,用以提供在放大器与源的谐振器之间的阻抗匹配,以便有效地能量传递。阻抗匹配网络还可以包括可调谐部件,用以提供源的谐振频率的控制和调整。由于谐振器的参数受环境干扰,因为设备运行、设备移动中的变化而改变等,可调谐部件可以用于将源的谐振频率基本上保持在系统频率。

[0254] 可以借助源中的反馈或控制回路来控制源的可调谐元件。可以基于源电压、电流、温度、场强等的测量参数,借助反馈或控制回路来控制源的 可调谐元件。可以使用与系统的设备交换的信息,借助反馈或控制回路来控制源的 可调谐元件。

[0255] 例如在图24所示的示例性实施例中,源可以包括放大器控制装置2410,其在到放大器的输入进行DC电压和DC电流的一个或多个测量。在放大器的输入2416测量输入电压和电流可以确定到源的功率输入,并可以推断源的功率输出。放大器控制可以调整放大器2402的开关元件的占空比或相移,以调整放大器的功率输入或输出。放大器控制可以通信地耦合到设备,并可以基于传送到设备的功率或设备请求的功率来调整放大器的占空比或相移。

[0256] 在系统中,作为传送到设备或设备要求的功率量的变化的结果,放大器的占空比或相移需要周期性或不断地调整。设备要求的功率可以由于在源谐振器线圈2422与设备谐振器线圈2424之间的耦合的变化、设备的移动、其他设备的功率抽取等而改变。例如,如果设备远离源,在源谐振器线圈与设备谐振器线圈之间的耦合就会减小。由于距离远,传送到设备谐振器线圈2424的功率就会减小。为了保持传送到设备的指定功率,放大器控制可以增大放大器的开关元件的占空比,以在源谐振器线圈的输出传送更多的功率。

[0257] 在图24所示的示例性实施例中,源可以包括阻抗匹配控制装置2412,其在放大器2402的输出进行AC电压和AC电流2418的一个或多个测量。通过测量在放大器输出的波形特性,放大器控制装置2410可以调整放大器2402的开关元件,以在放大器2402的开关元件实现零电压开关。波形特性的测量可以由阻抗匹配控制用于确定源的谐振频率。可以调整IMN的元件,使谐振频率基本上达到放大器的开关频率。波形特性的测量可以由阻抗匹配控制用于确定阻抗匹配网络的 可调谐要素的值,其以改进的放大器效率 将放大器的功率输入或输出调整到期望程度。

[0258] 在实施例中,放大器控制和阻抗匹配控制在物理上可以是相同的控制器,或者可以是分离的电路或块。本领域技术人员应当理解,存在各种能够实现具有本文所述功能的控制块。在实施例中,可以使用模拟电路来实现控制,其实现比较器、传感器等。在实施例中可以以数字硬件来实现控制,例如FPGA、微控制器、ASIC等。

[0259] 系统的设备可以包括阻抗匹配网络2406和可调谐整流器2408。在谐振器线圈上感应的振荡电压可以通过阻抗匹配网络2406传递,并在整流器的输出2408被整流为基本上DC电压和电流,以便为负载供电,例如电池、电子设备等。整流器可以是受控零电压开关整流器,具有开关元件的可调谐占空比或相移,并可以用于控制传送到设备负载的输出电

压或输出电流。

[0260] 可以借助设备中的反馈回路来控制开关整流器的可调谐元件。整流器控制装置2414可以在进行设备的电压和电流的一个或多个测量,并调整整流器的开关元件的占空比或相移。在实施例中,整流器控制装置可以测量在整流器2420输出的DC电压和电流。在实施例中,可以控制和/或调整整流器的开关元件的占空比和/或相移,以在负载或整流器2420输出实现恒定电压。在实施例中,可以控制和/或调整整流器的开关源极的占空比和/或相移,以在负载或整流器2420输出实现基本恒定的电流。

[0261] 在无线能量传递系统中,由于负载参数的变化,在负载或整流器2420的输出的电压和/或电流需要周期性的或者甚至连续的调整。在实施例中,负载的功率要求可以周期性地或连续地改变。在负载是电池的示例性实施例中,功率要求可以随着电池的电荷状态改变而连续改变。当电池放电时,电池在其初始充电周期中会需要恒定电流,但随着电池被充电,电流要求会降低。在系统中,整流器控制装置2414可以调整整流器的开关元件的占空比和/或相移,以向负载提供所需的电压和/或电流。

[0262] 在系统中,作为从源接收的功率量变化的结果,整流器的占空比和/或相移需要周期性或不断的调整。由于源输出较少的功率,源谐振器线圈2422与设备谐振器线圈2424之间耦合的变化、设备的移动、系统中其他设备的状况或功率抽取等,传送到设备谐振器线圈2424的功率可以改变。例如,如果设备远离源,在源谐振器线圈与设备谐振器线圈之间的耦合就会减小。由于距离远,传送到设备谐振器线圈2424的功率就会减小。为了不管传送到设备谐振器线圈的功率的变化,也要保持在负载的电压、电流或功率输出,整流器控制装置可以增大整流器的开关元件的占空比,以允许更大百分比的在设备谐振器线圈捕获的功率流到负载。

[0263] 在实施例中,整流器控制装置可通信地耦合到系统的源。在实施例中,整流器控制装置可以基于在整流器输出的电压和电流,或者整流器的操作参数,向源发送信号通知增大或减小其功率输出。如果整流器在其最大运行范围以外或附近,不能增大其占空比或相移来满足负载的功率要求,设备就可以向源发信号通知输出更多的功率。在实施例中,当整流器接近50%占空比或接近40%占空比或更少的情况下,整流器控制装置可以向源发信号通知输出更多的功率。在实施例中,整流器可以向源发信号通知减小其输出功率。在实施例中,当整流器以40%或更低的占空比,或者30%或更低的占空比运行时,设备接收的功率就会比它满足负载功率要求所需的更多。在实施例中,设备和源谐振器线圈中附加的循环功率可以导致能量传递效率的降低。在实施例中,设备整流器控制装置可以向源发信号通知减小源功率输出,以匹配在负载的功率要求。

[0264] 在实施例中,系统可以调整在源的功率输出,以使得在设备的整流器能够以基本上50%的占空比或40%到50%之间的占空比运行,以满足在设备的负载的功率要求。在整流器在接近50%的占空比运行可以允许整流器更有效,并减小了由于源或设备谐振器线圈和部件中的附加循环电流的损耗。在实施例中,设备可以周期性地向源发信号通知调整源的功率输出。在实施例中,设备可以周期性地向源发信号通知识别其功率要求,并允许源确定最适当的功率输出功率。

[0265] 在某些实施例中,设备可以包括去谐能力。在实施例中,如果设备接收了过多的功率,或者多于其需要的功率,设备可以将其谐振频率从源的谐振频率去谐离开,以减小

传递到设备的功率。在某些系统中,设备可以首先尝试向源传送其功率要求,并等待源减小其功率输出。但如果在指定时间期间后,源功率输出没有减小,设备就可以去谐其谐振频率以减小其捕获的能量。设备可以通过调整其阻抗匹配网络中的一个或多个部件来去谐其谐振频率。在实施例中,可以基于测量的负载功率要求和满足负载功率要求所需的整流器的参数来执行功率要求到源的回馈和设备谐振频率的去谐。如果整流器运行在小于30%的占空比,并满足负载的功率要求,整流器控制装置就可以去谐设备,或者向源通信以减小其功率输出。

[0266] 图25以系统元件的更详细表示显示了系统实施例。源可以包括开关放大器2402和阻抗匹配网络2404。放大器可以是开关半桥放大器,具有两个开关元件S1和S2。开关元件可以是任意数量类型的开关,包括场效应晶体管(FET)、BJT、机电开关等。开关可以以固定频率周期性地导通和断开,将DC输入电压和电流变为在放大器输出的振荡电压和电流。开关元件S1和S2的开关频率和占空比可以由放大器控制装置2410控制。本领域技术人员会意识到,放大器可以包括四个或更多个开关元件,并可以包括全桥拓扑结构。

[0267] 阻抗匹配网络2404可以包括串联的电感器L2和电容器C6、C5、C4的网络和与源谐振器线圈2422的并联配置。阻抗匹配网络的元件的拓扑结构可以针对系统的运行要求而设计并调整。网络可以设计为减小横跨某些系统中电容器的电流或峰值电压。在其他系统中,网络可以设计为使得网络中的部件数量最少。

[0268] 在实施例中,阻抗匹配网络2404可以包括一个或多个可调谐部件。在实施例中,网络2404可以包括可调谐电容器C5、C4,与谐振器线圈2422并联。可调谐电容可以包括一个或多个电容器组,其可以使用一个或多个电子可控开关与电路连接或断开连接。例如如图25中,可以通过使用电子可控开关S3连接或断开连接电容器C5来调整并联电容。电容中的变化可以用于调谐源的谐振频率,以校正对源的谐振频率的任何扰动或改变。在实施例中,电容调谐可以用于将源的谐振频率基本上保持在系统的固定频率。在实施例中,电容调谐可以用于以改进的放大器效率调节放大器的功率输入或输出。

[0269] 阻抗匹配网络可以具有其他可调谐元件,例如电感器、其他电容器、电阻器等。可以用例如如图25中电容器C5中的开关元件来调整元件。开关元件可以由阻抗匹配控制2412电子控制,其可以通过为电路连接或去除一个或多个电容器来改变电容。

[0270] 设备的阻抗匹配网络2406可以包括电容器和电感器的网络,其设定设备的谐振频率,并将谐振器线圈2424与整流器2408阻抗匹配。整流器2408可以包括至少一个有源开关元件。一个或多个开关元件S4、S5可以与在整流器的输入的振荡电压同步,并可以导通和断开,将振荡电压和电流基本上整流为在整流器输出的DC电压和电流。开关优选地是电子受控开关,例如由整流器控制装置2414控制的晶体管。整流器控制装置2414可以控制开关特性,例如,开关的占空比,以控制在整流器输出的输出电压或电流。在实施例中,整流器可以包括一个或多个滤波器,以平滑或减小输出电压的输出波纹。滤波器可以是一个或多个电容器,或者任意数量的其他无源和有源滤波拓扑结构。

[0271] 在实施例中,放大器拓扑结构和整流器拓扑结构可以基于图26中所示的全桥设计。在源的全桥拓扑结构中,放大器2402可以包括着手四个开关元件S1、S2、S3、S4。在全桥拓扑结构中,阻抗匹配网络2404优选地围绕谐振器选取2422对称。阻抗匹配网络的元件可以在放大器的两个输出上完全相同。例如,电感器L2可以复制到两个输出作为示例性网络

中的L2a 和L2b。对称阻抗匹配网络可以包括可调谐部件,例如电容器组,其可以切入和切出电路。在实施例中,可开关电容器组也可以是对称的,例如C5a 和C5b,并使用围绕电路中心点的对称开关S5、S6来通断。

[0272] 具有可调谐源放大器和可调谐设备整流器的示例性系统实施例对于到 移动或可移动设备的无线能量传递或者对于具有多于一个设备的系统具有 重要的优势。在具有多于一个设备的实施例中,具有固定或恒定开关和输出频率的源允许多于一个设备同时接收功率。为了保持源的谐振频率的源 阻抗匹配网络的调谐是必要的,因为设备移动并改变了在源谐振器线圈上 的负载和扰动。

[0273] 尽管结合某些优选实施例说明了本发明,但本领域普通技术人员应当 理解其他的实施例,它们也旨在属于本公开内容的范围内,其应在法律所 允许的最宽泛的含义上来加以解释。

[0274] 本文提及的所有文献都通过引用在其整体上并入本文中,如同在本文 充分阐述的。

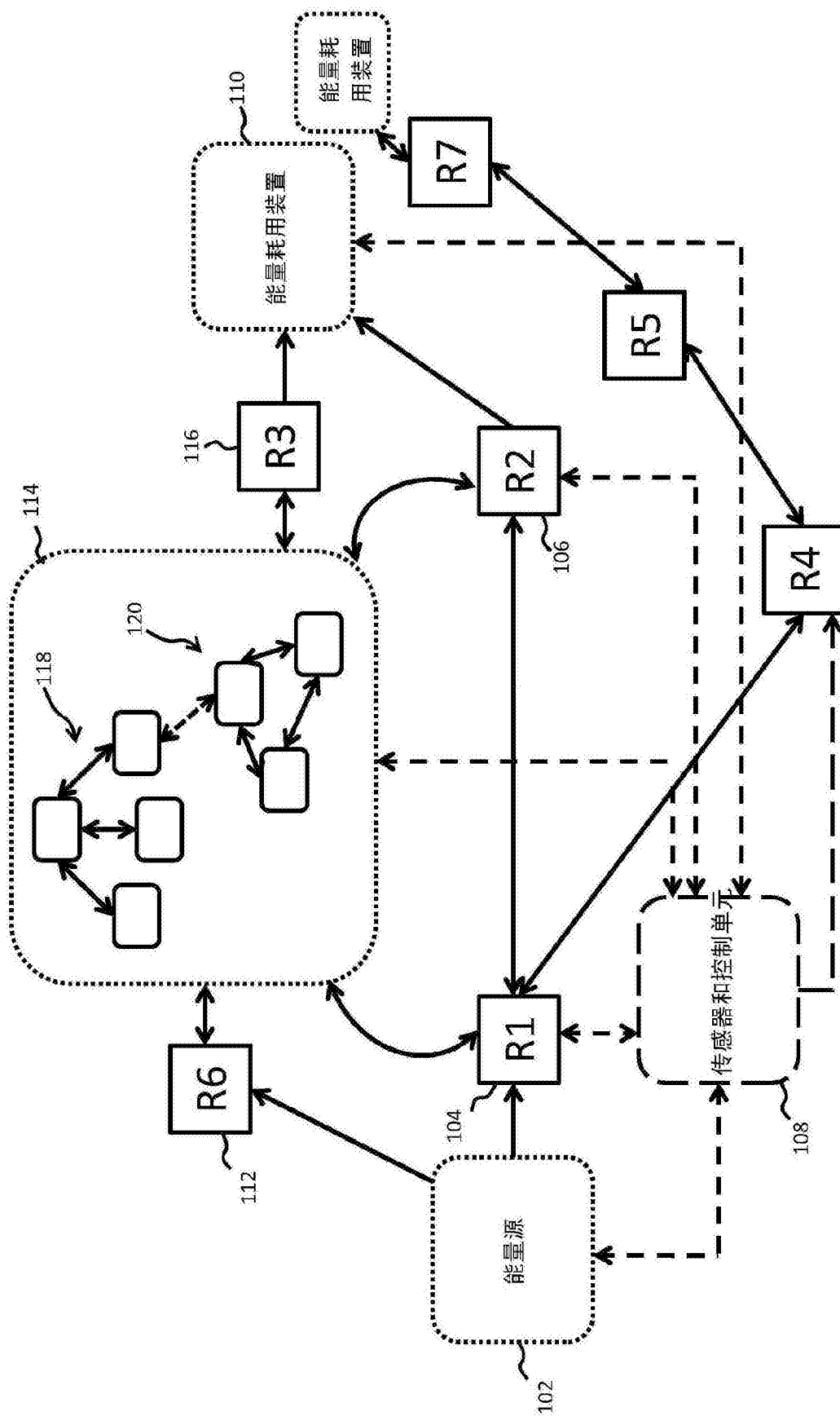


图1

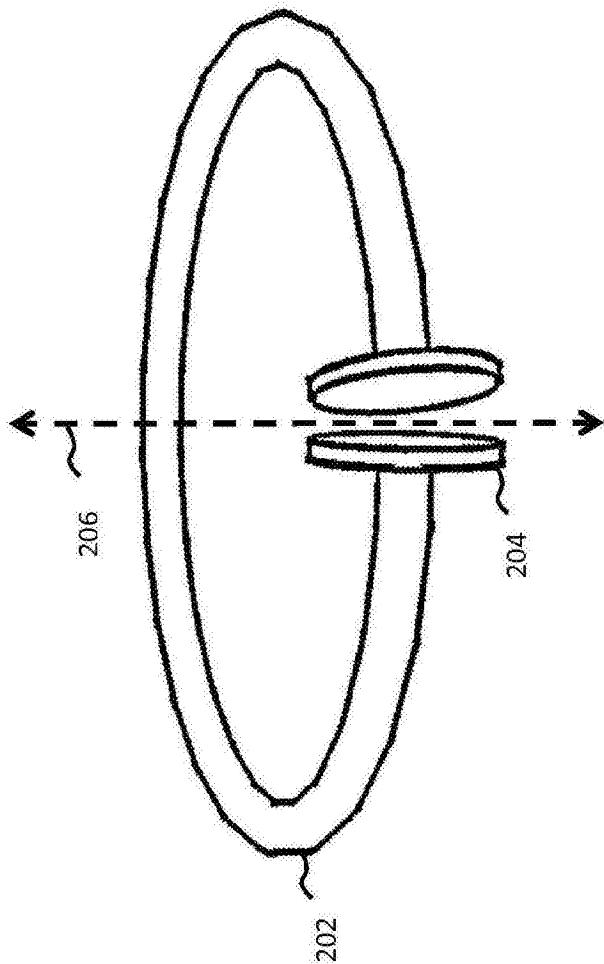


图2A

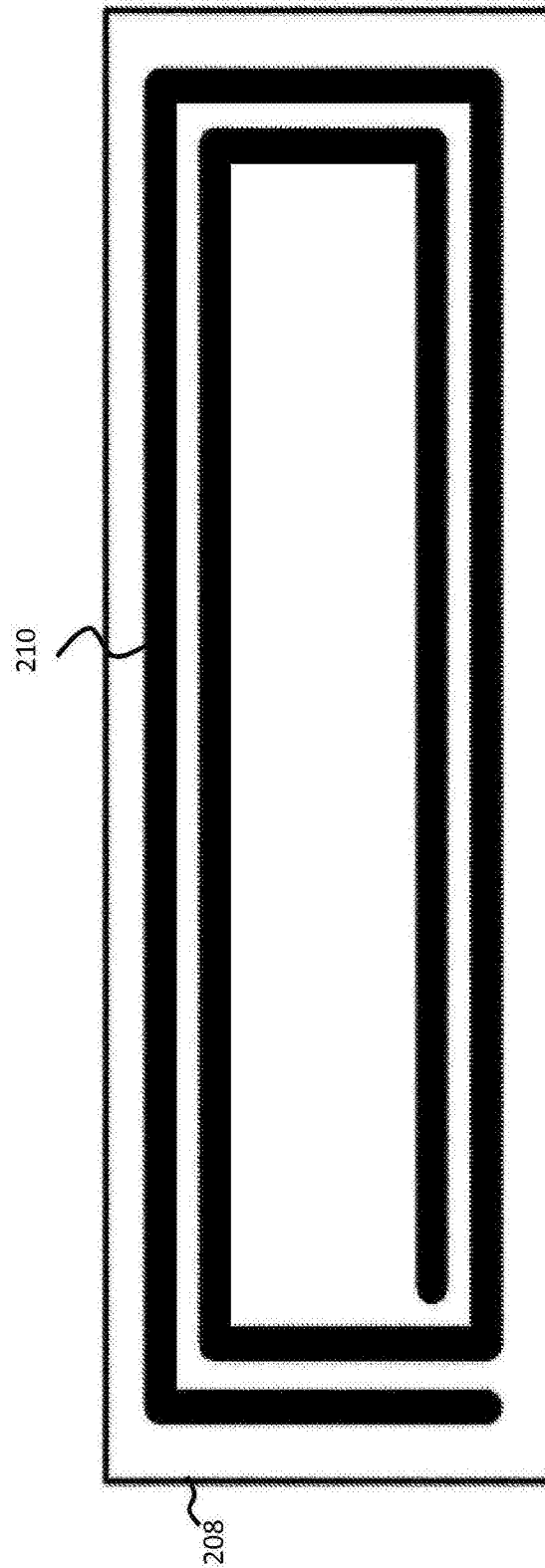


图2B

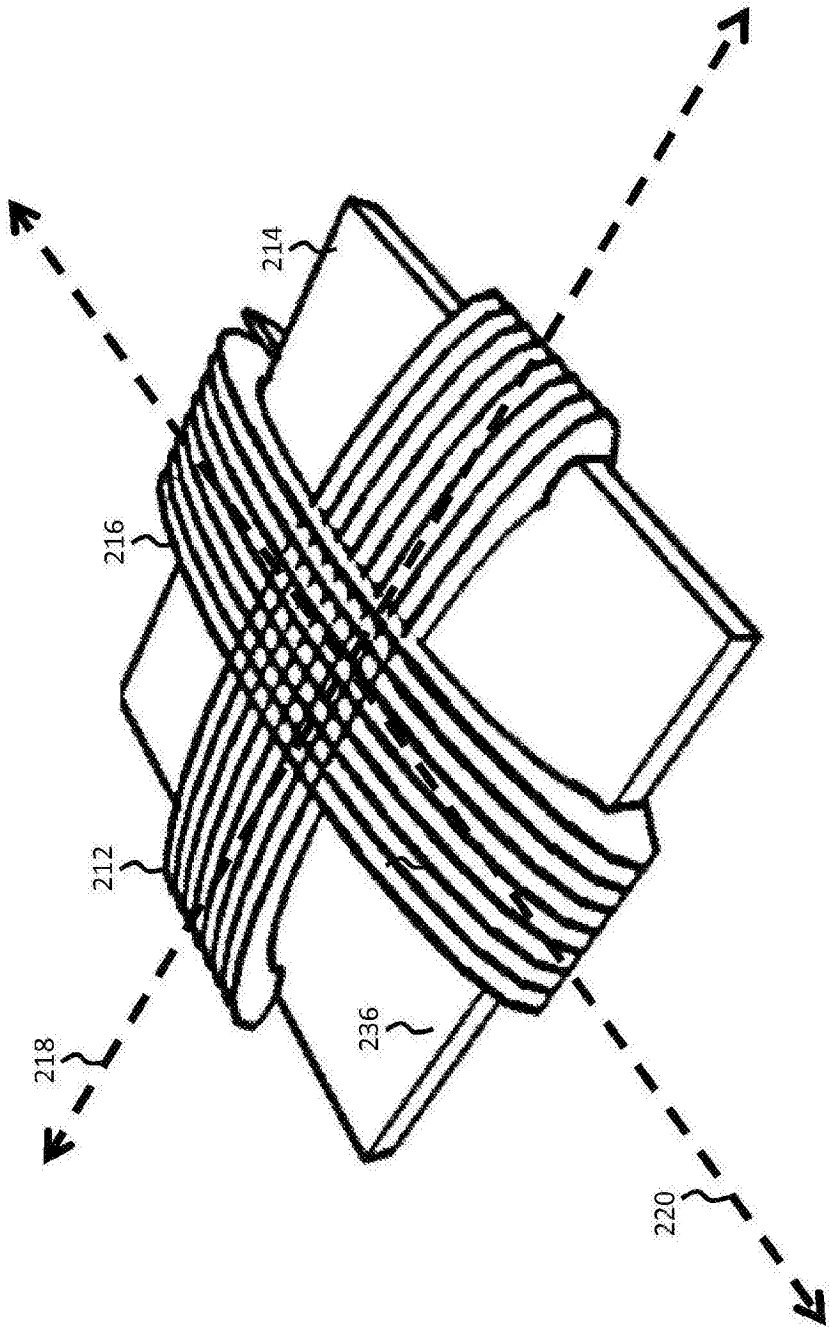


图2C

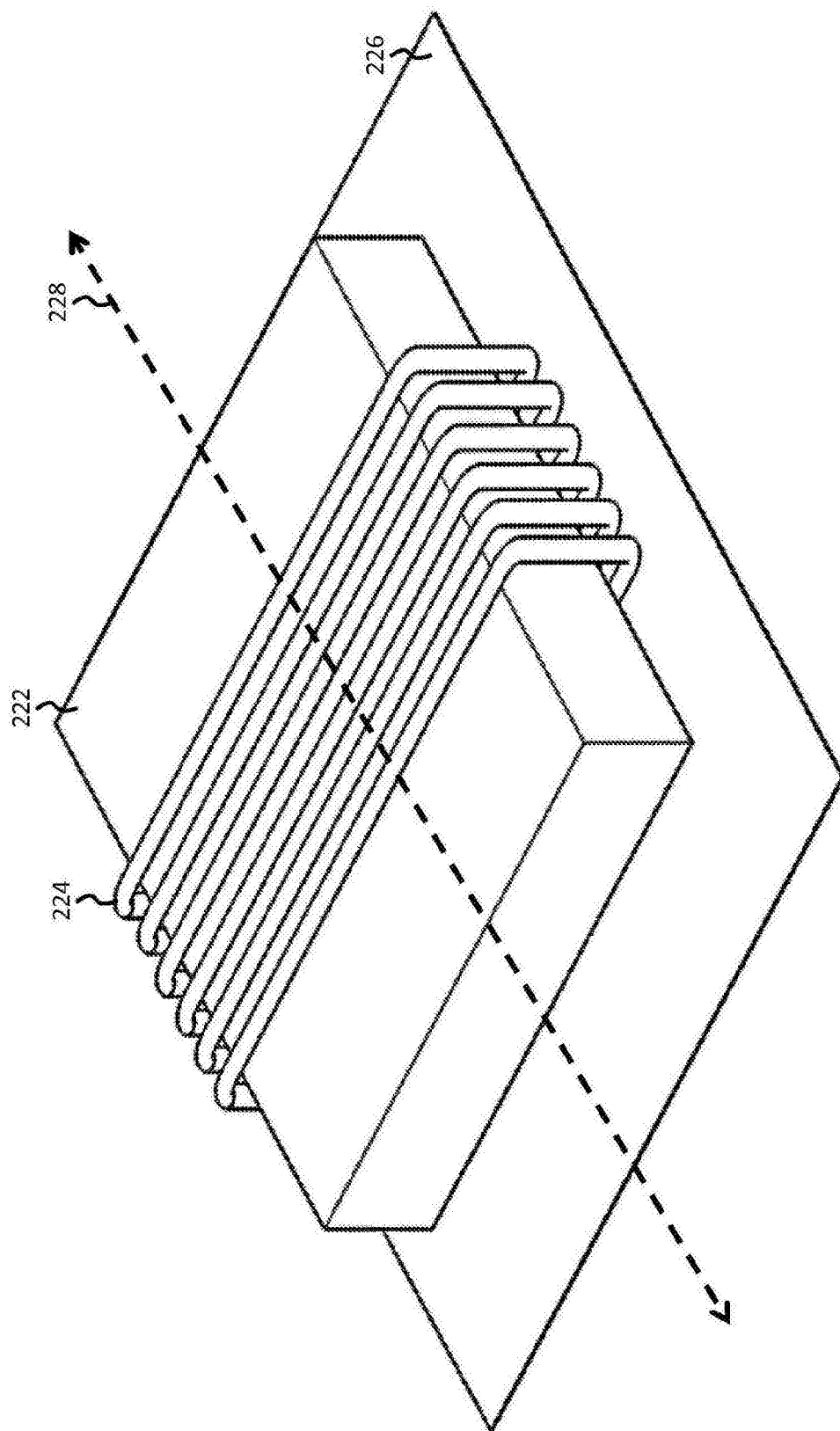


图2D

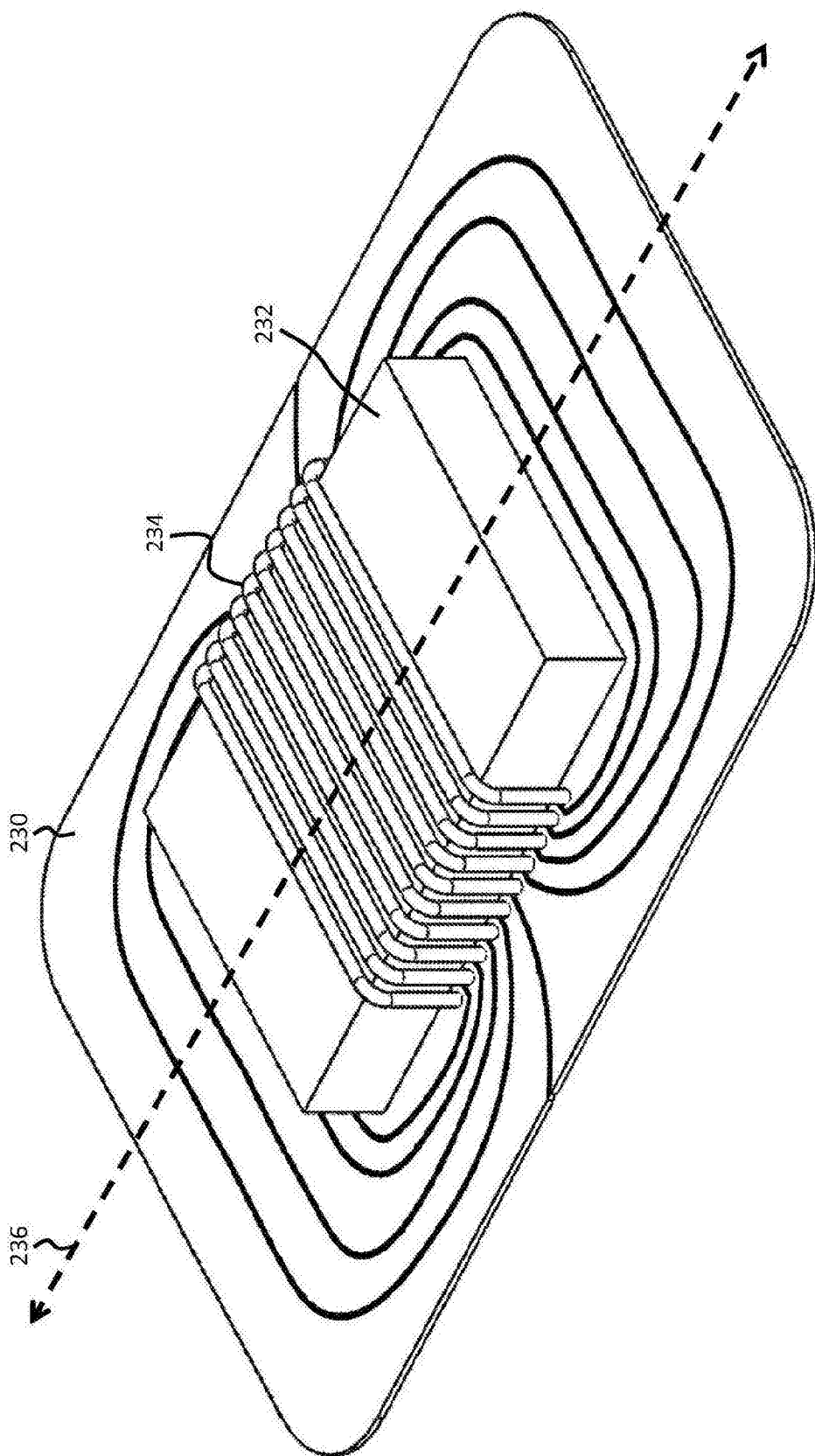


图2E

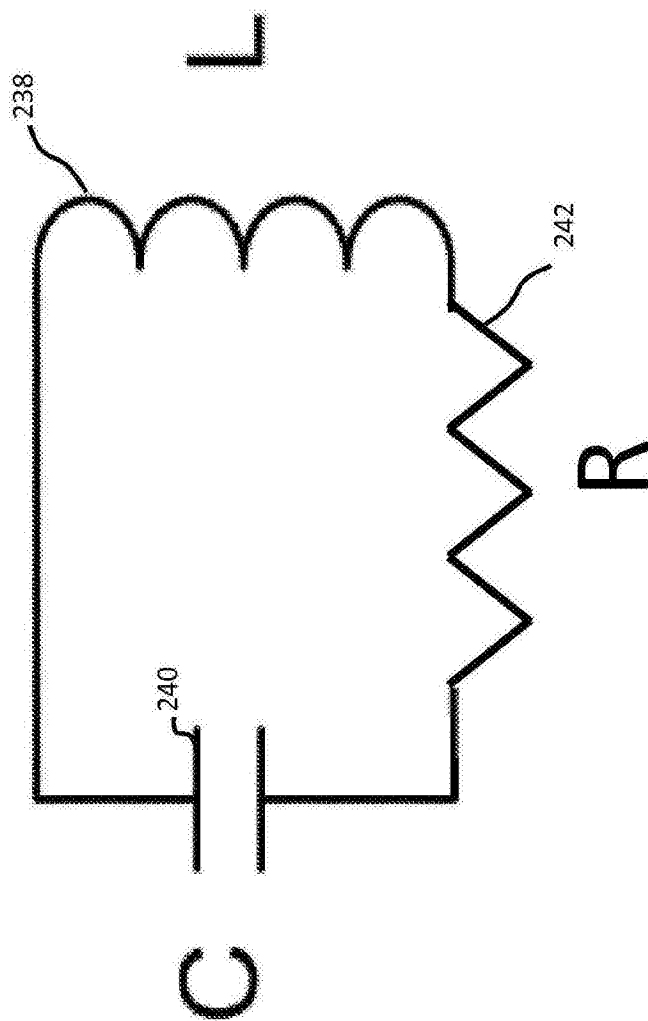


图2F

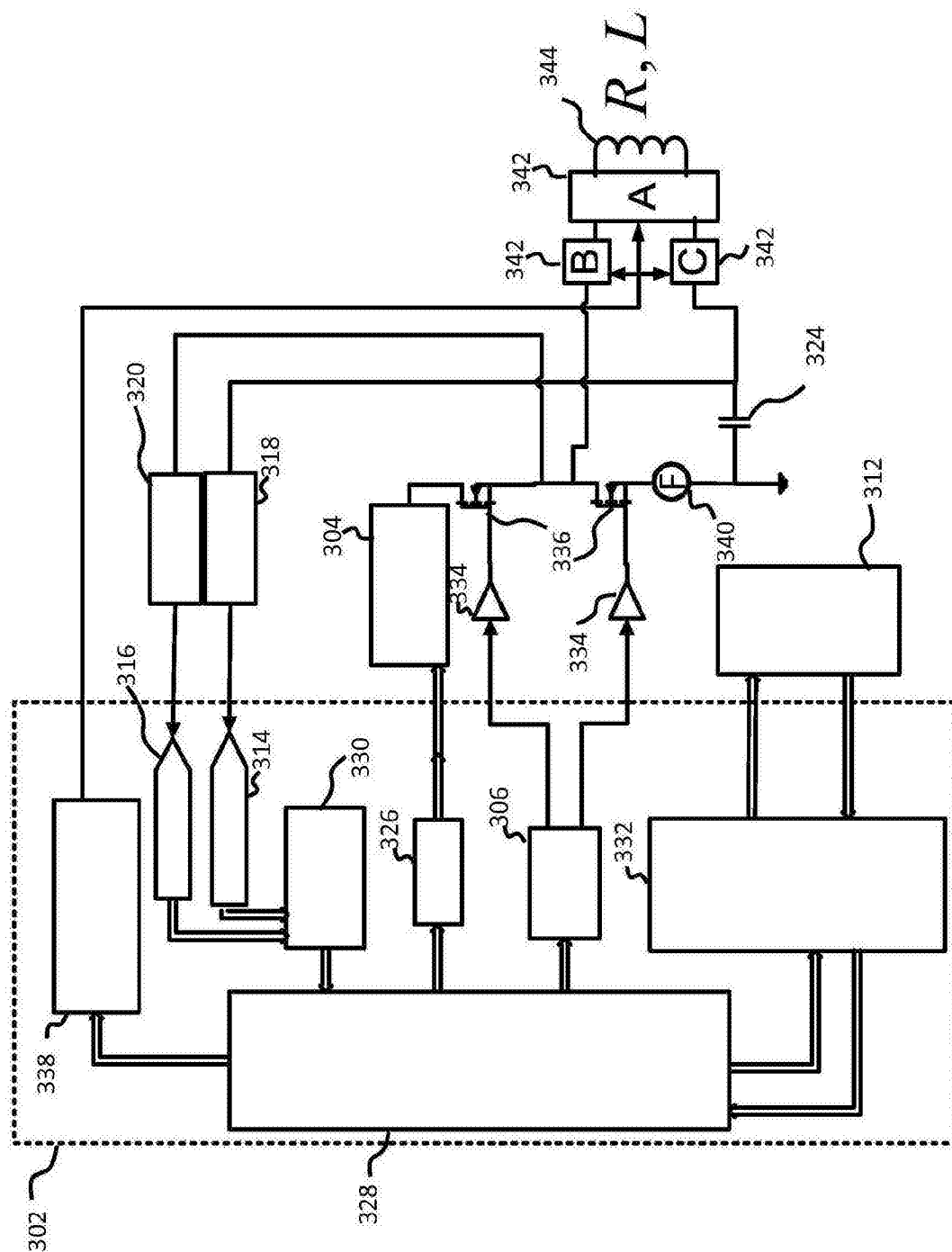


图3

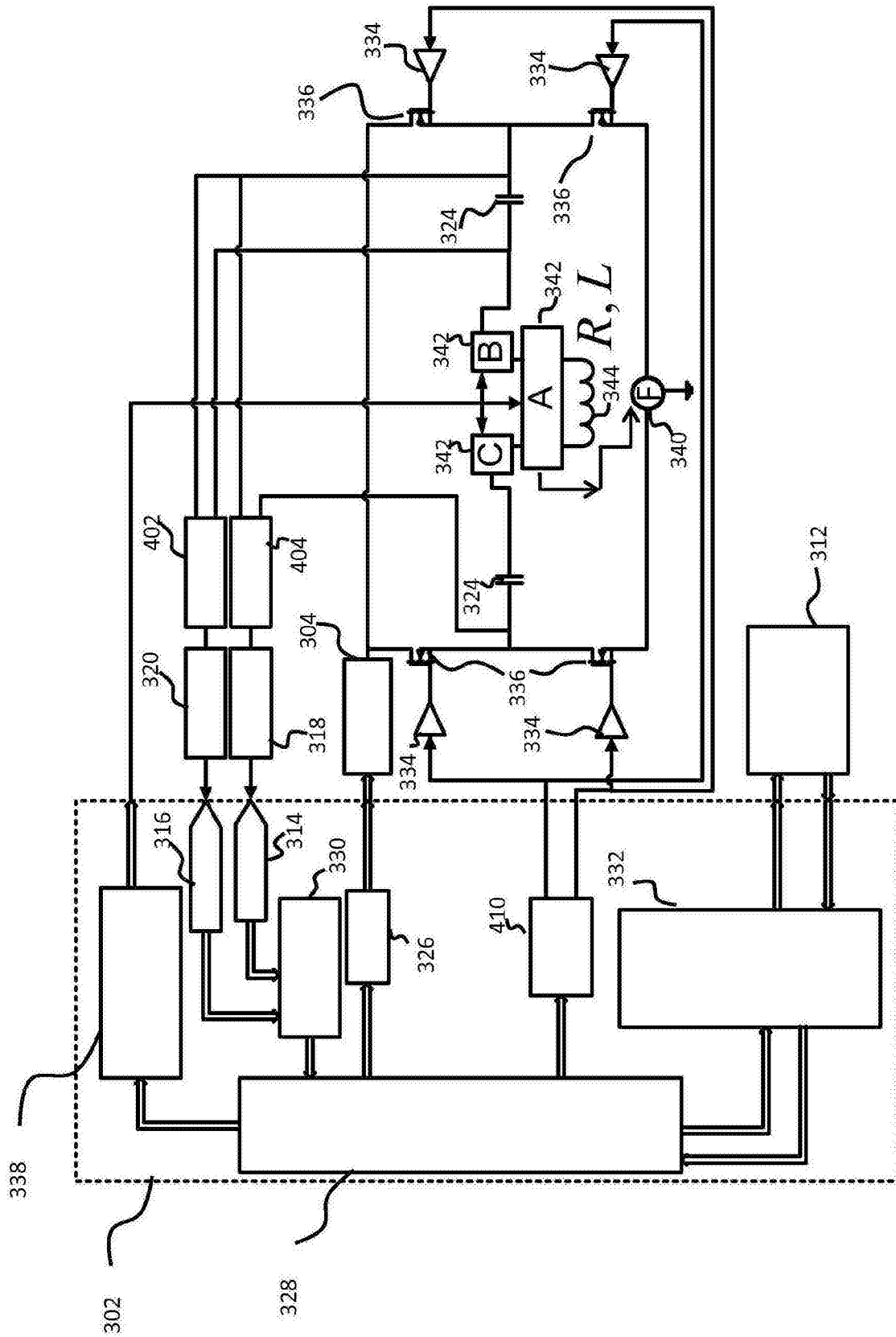


图4

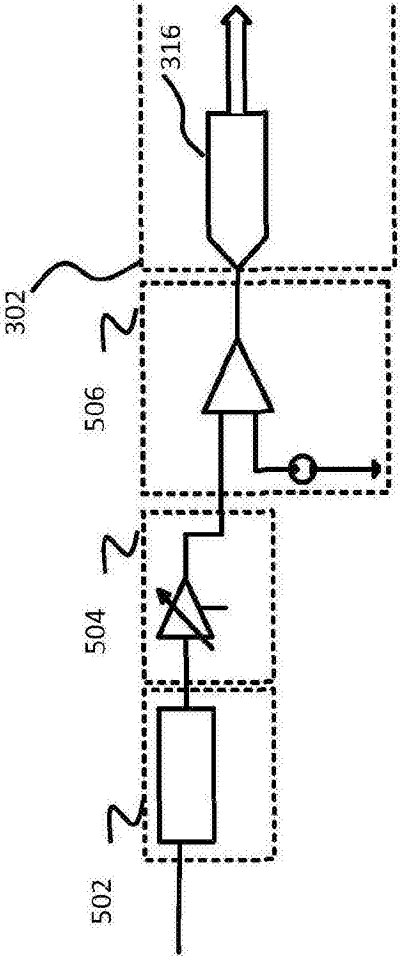


图5A

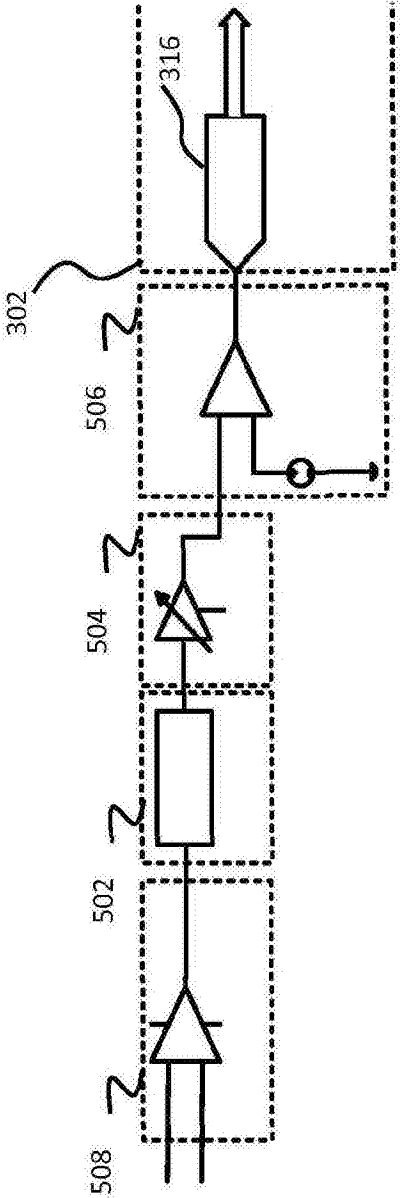


图5B

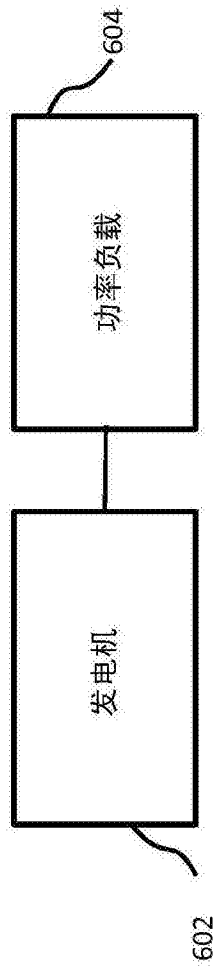


图6A

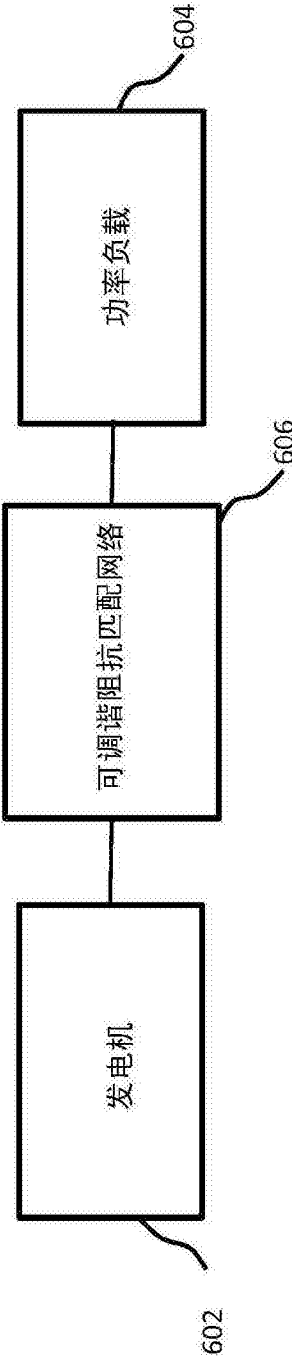


图6B

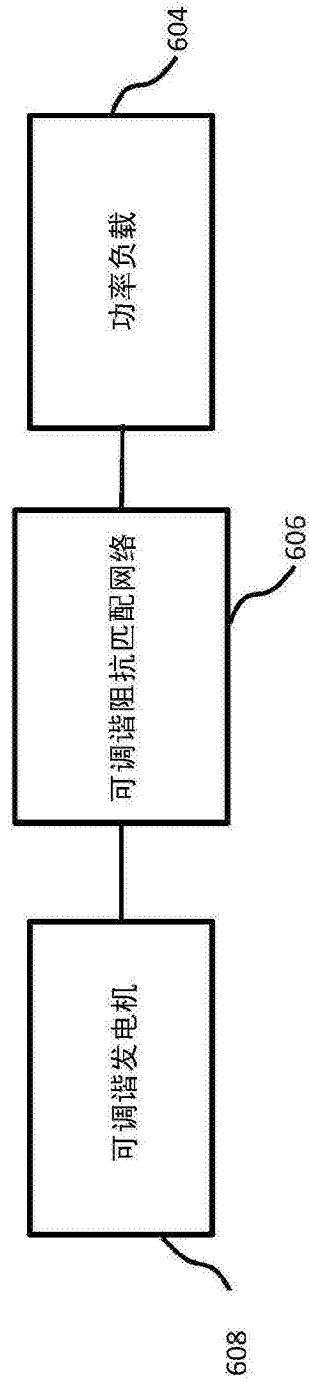


图6C

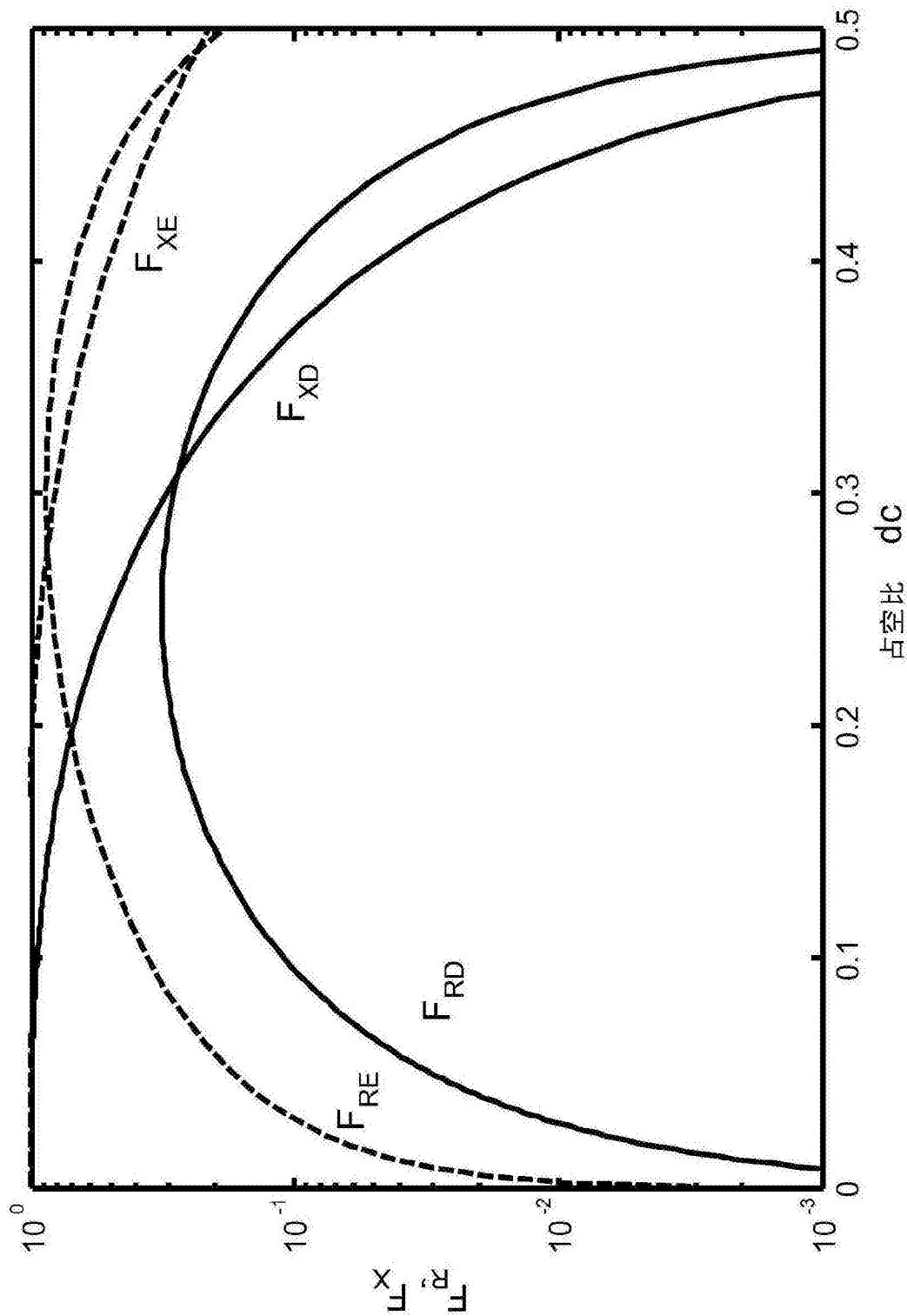


图7

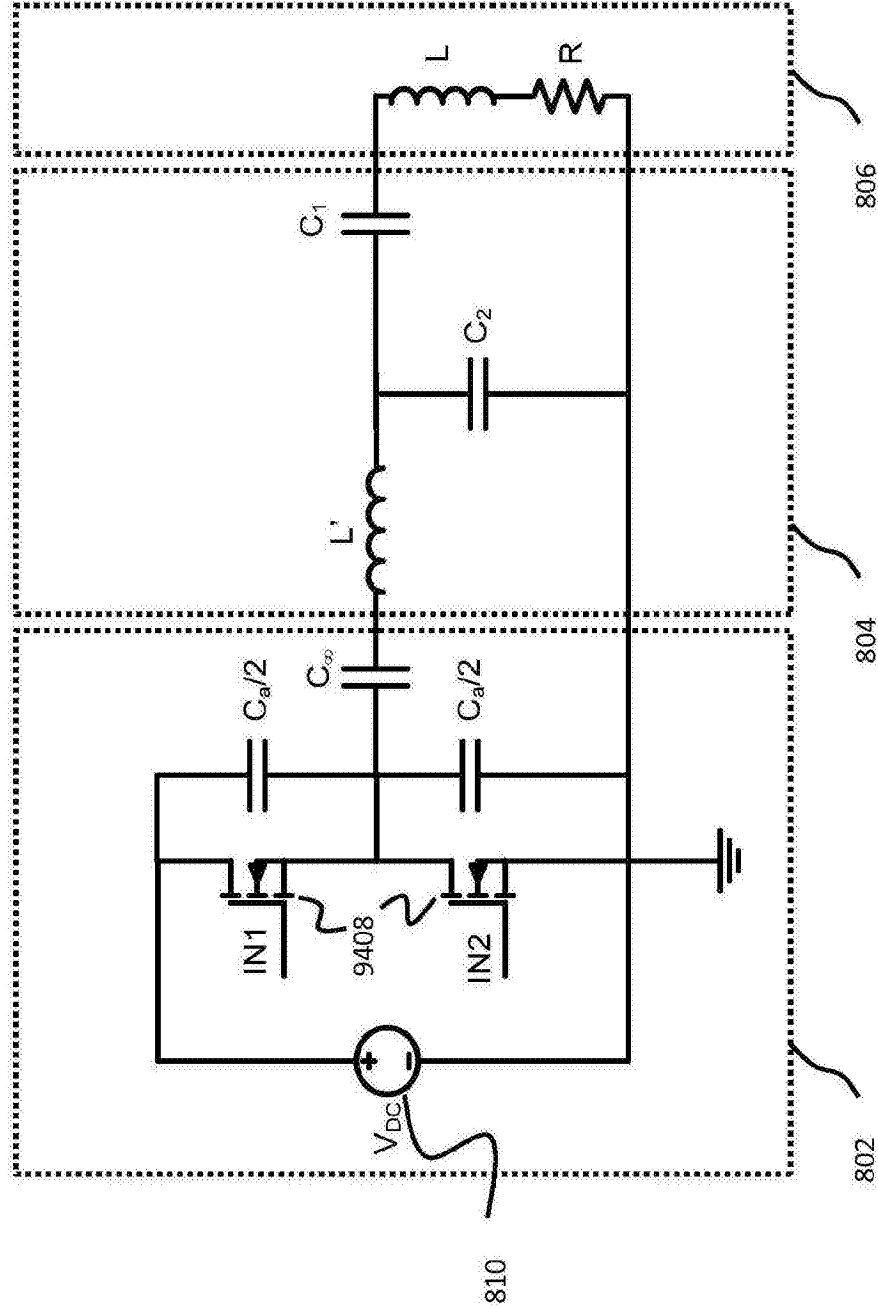


图8

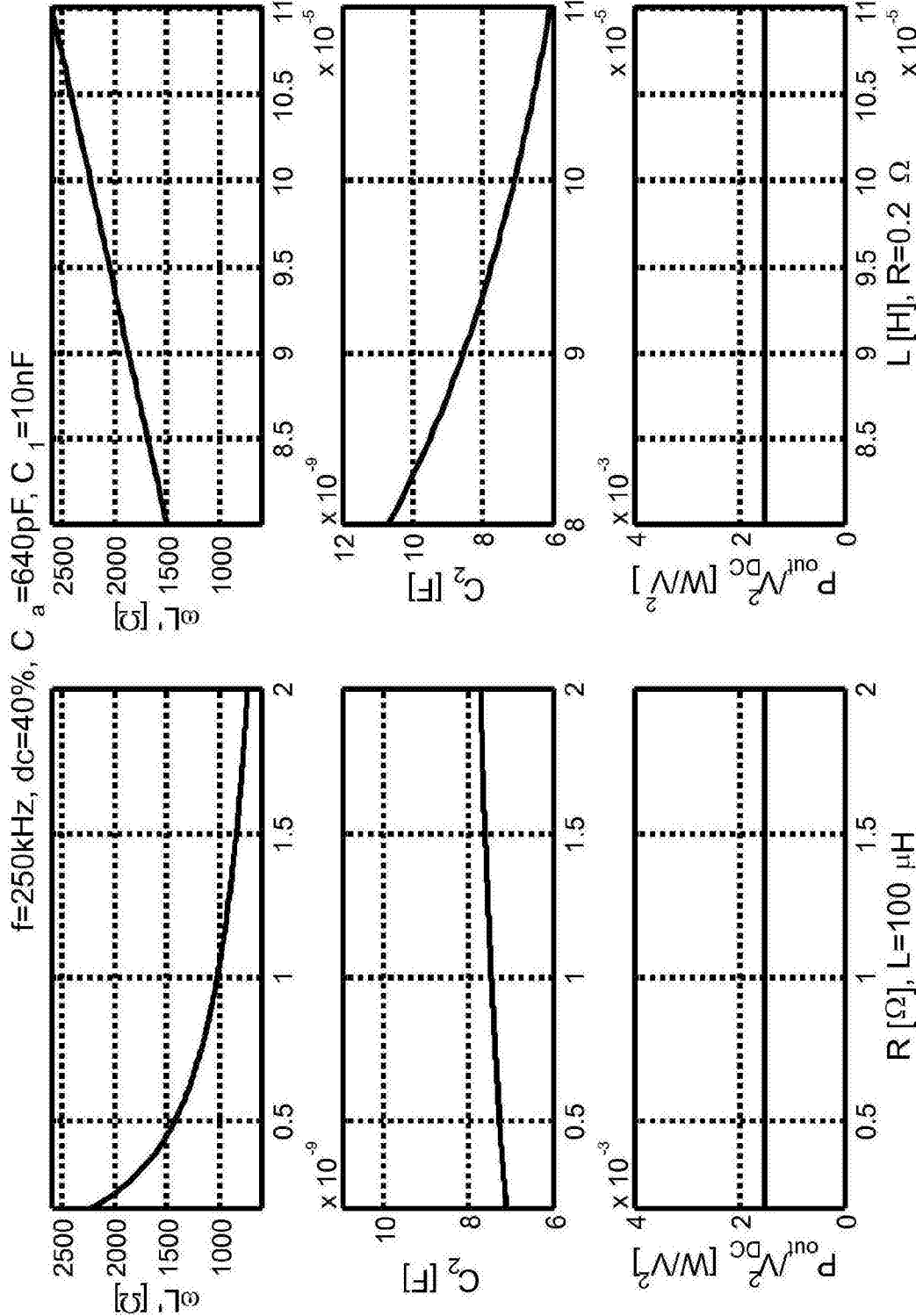


图9

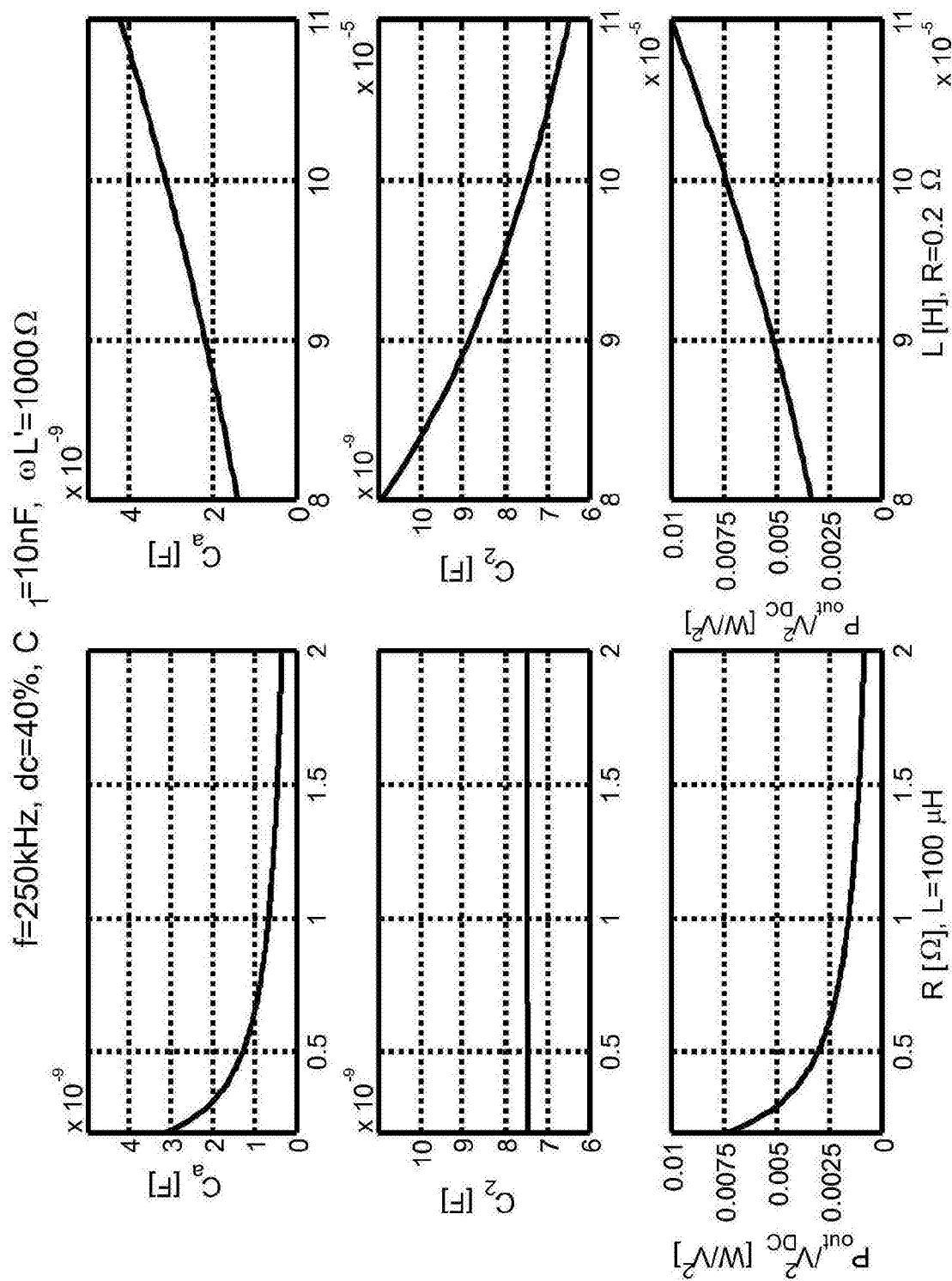


图10

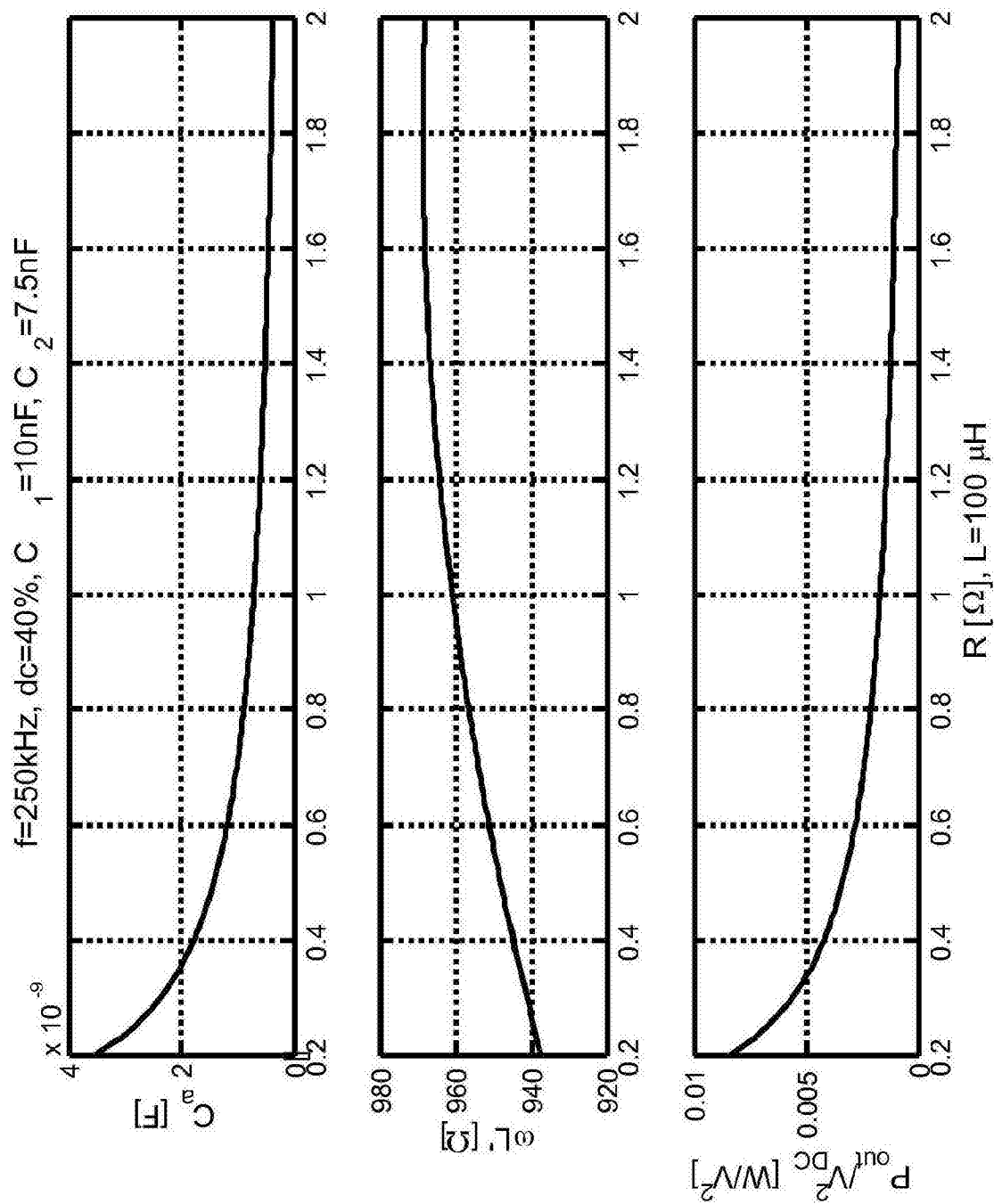


图11A

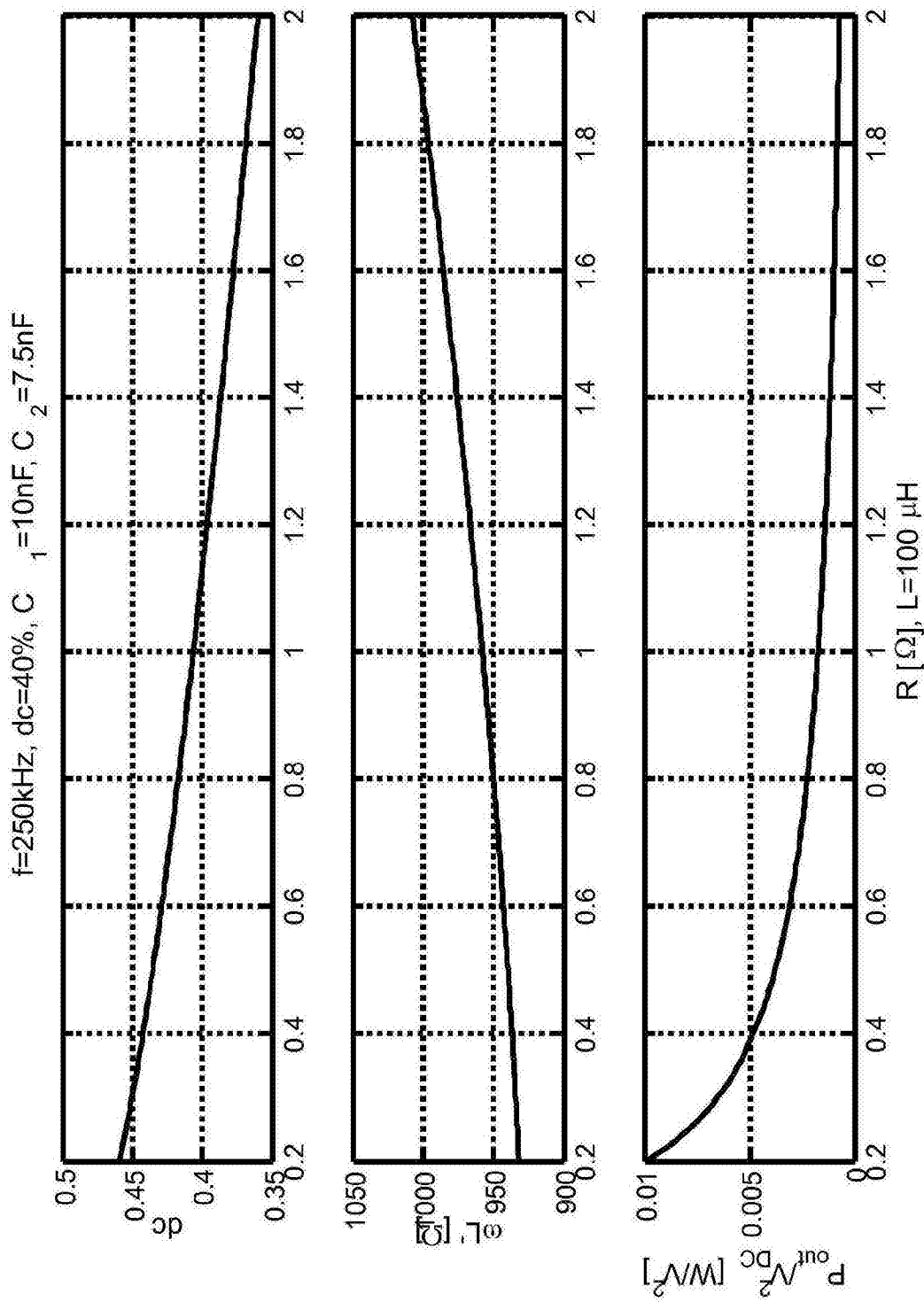


图11B

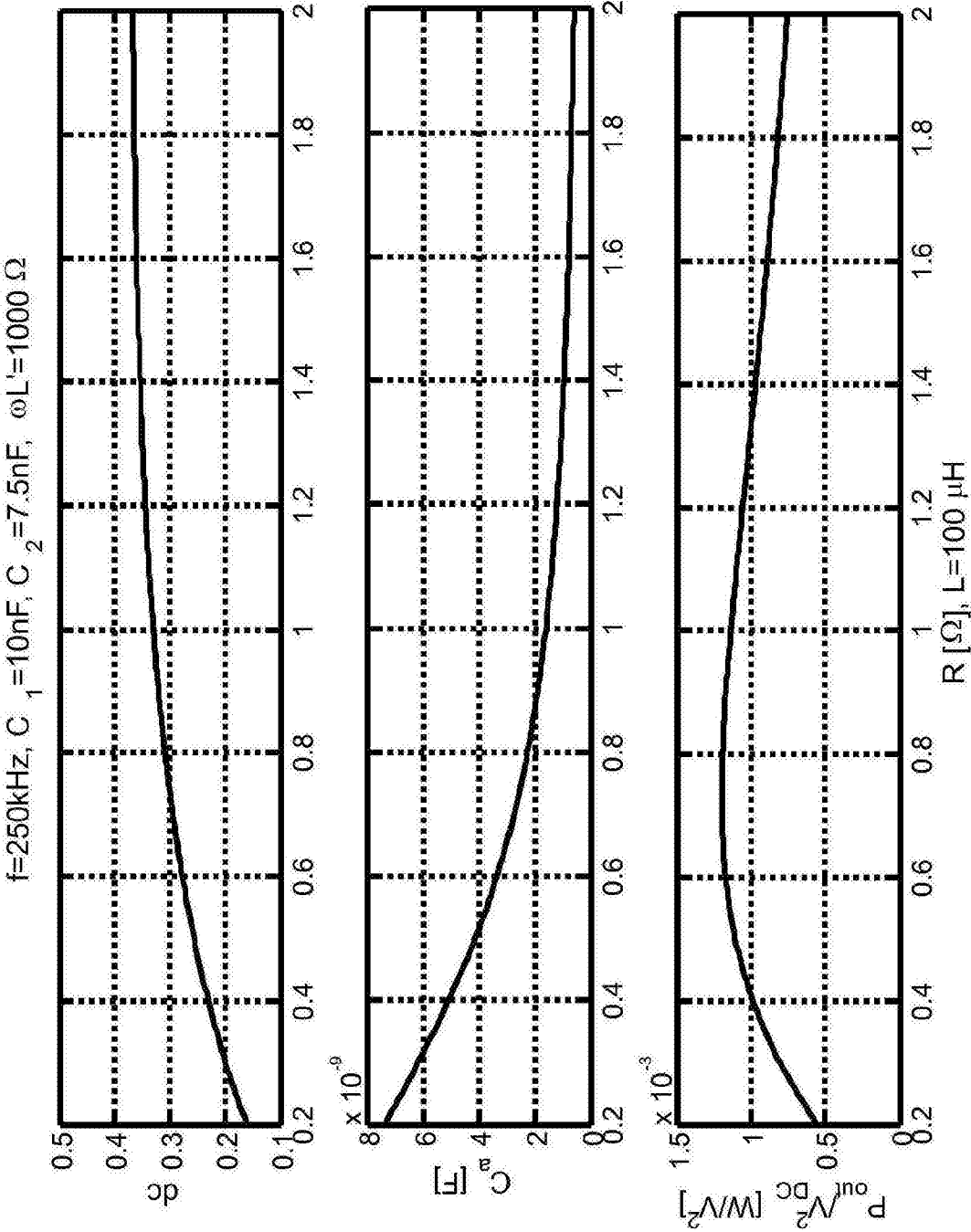


图11C

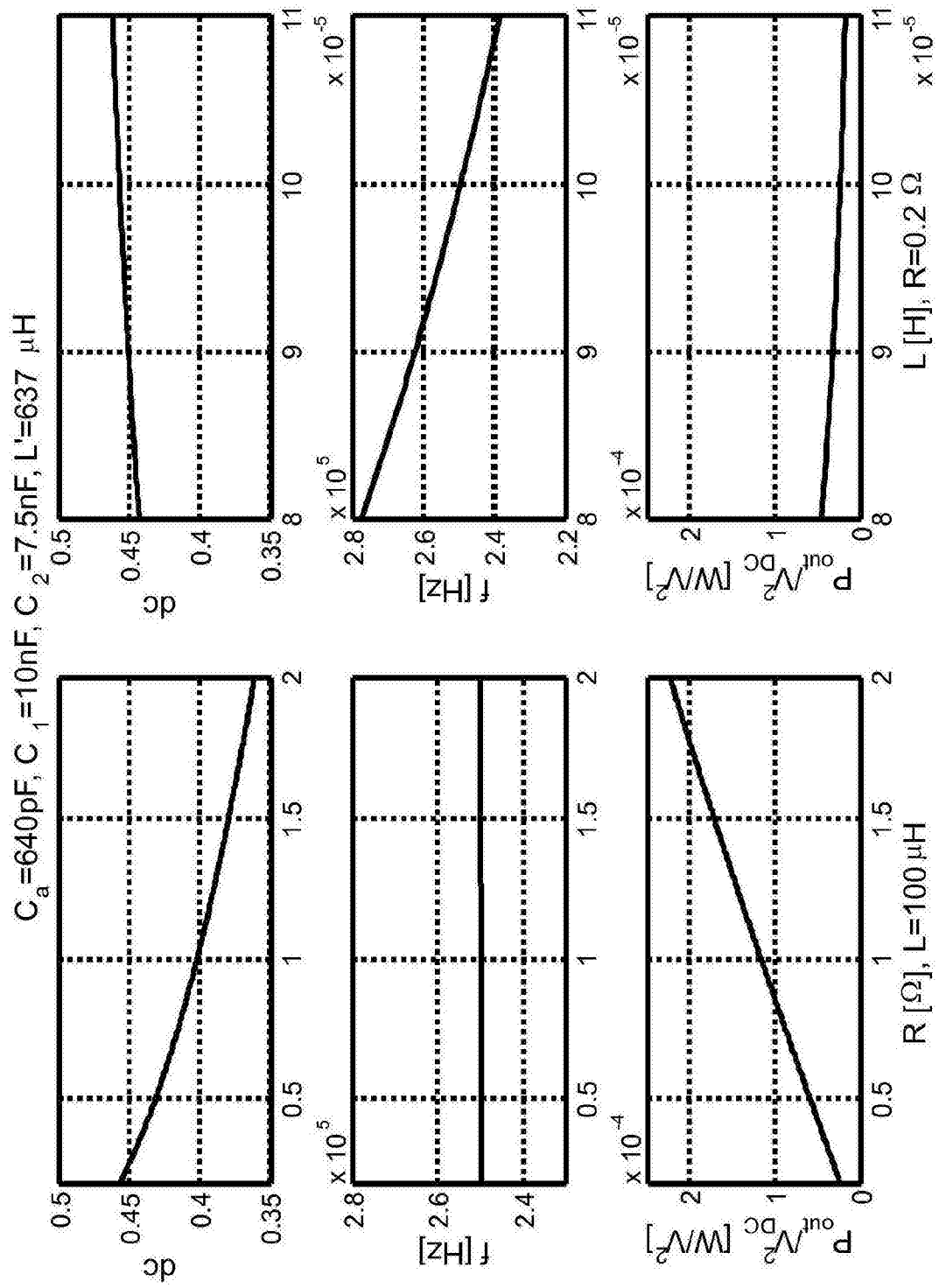


图12

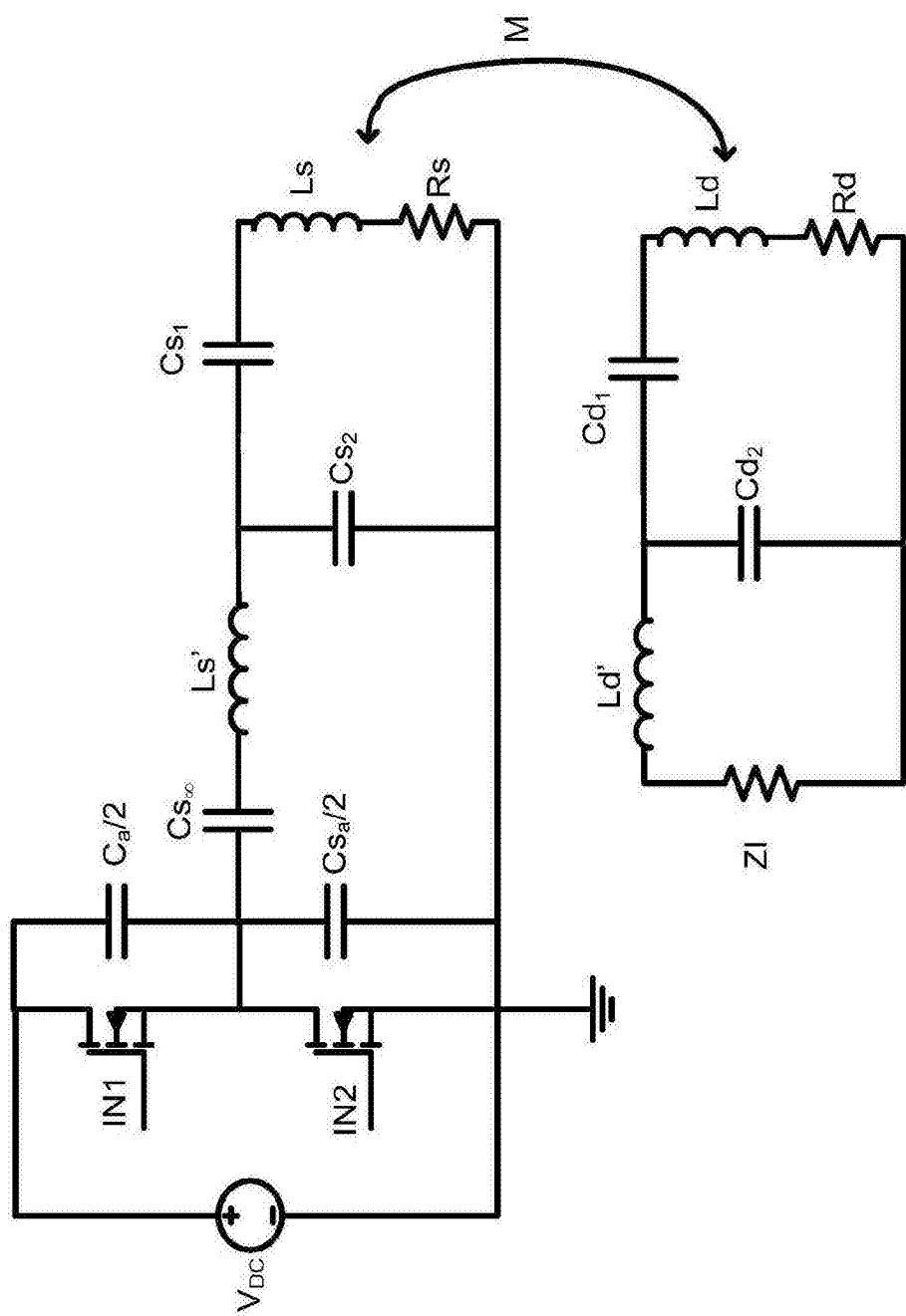


图13

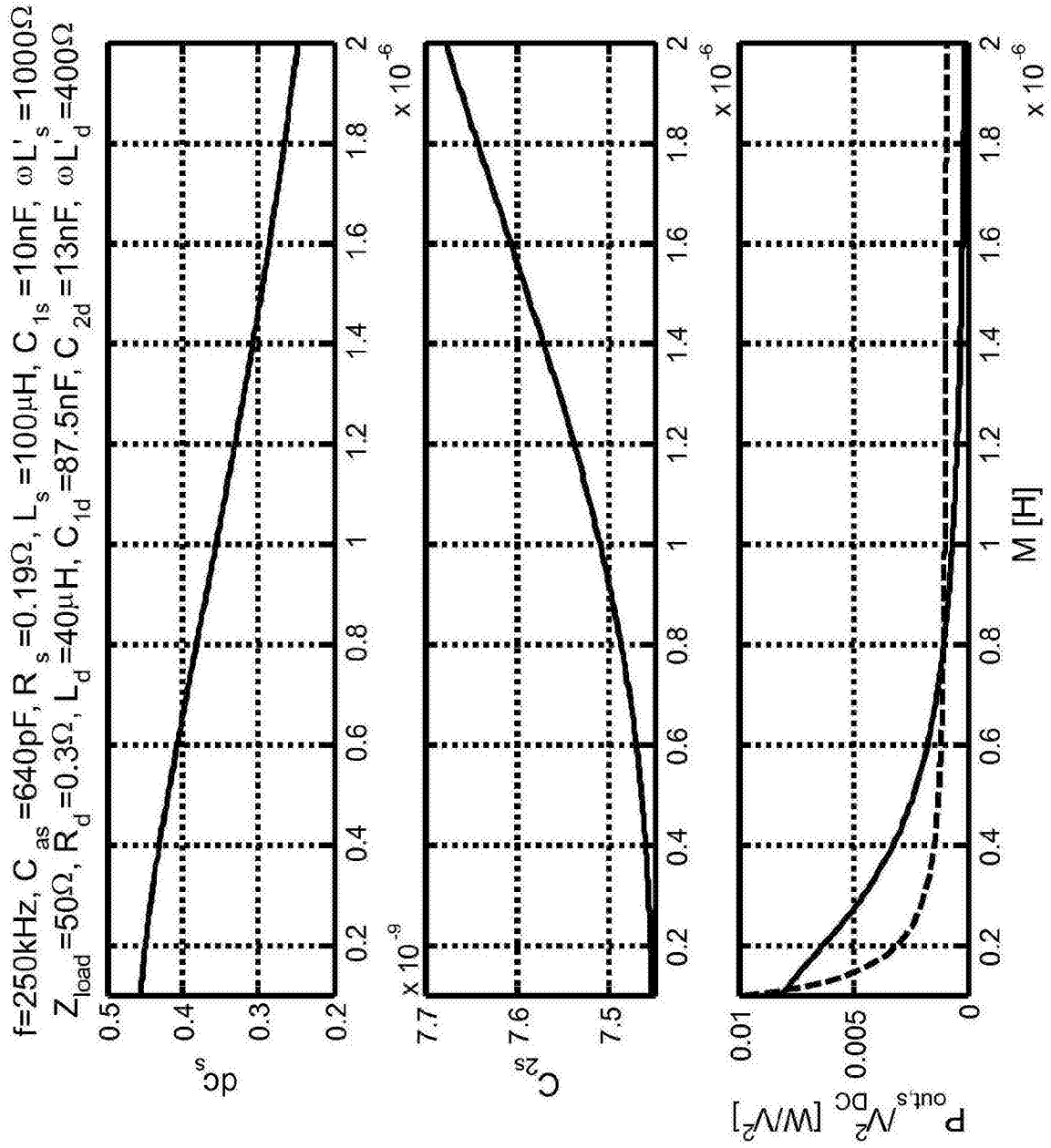


图14

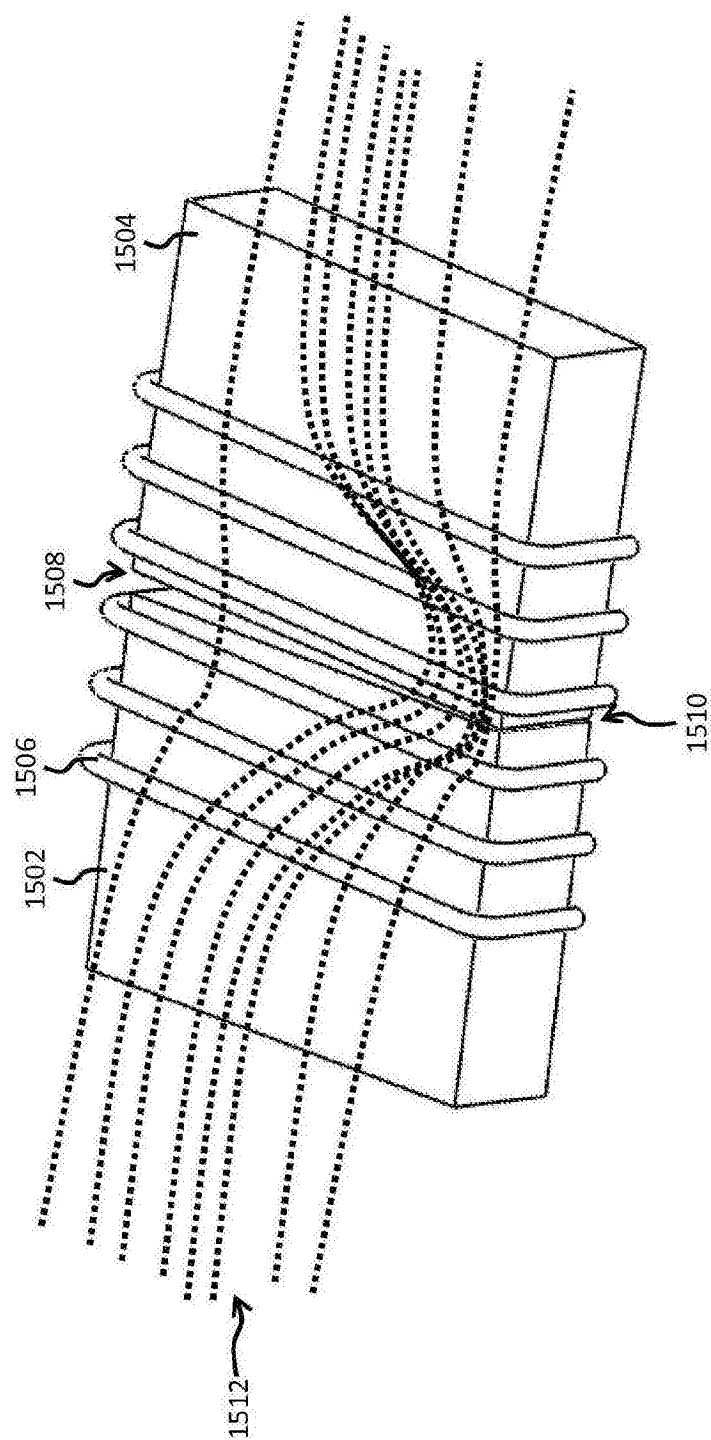


图15

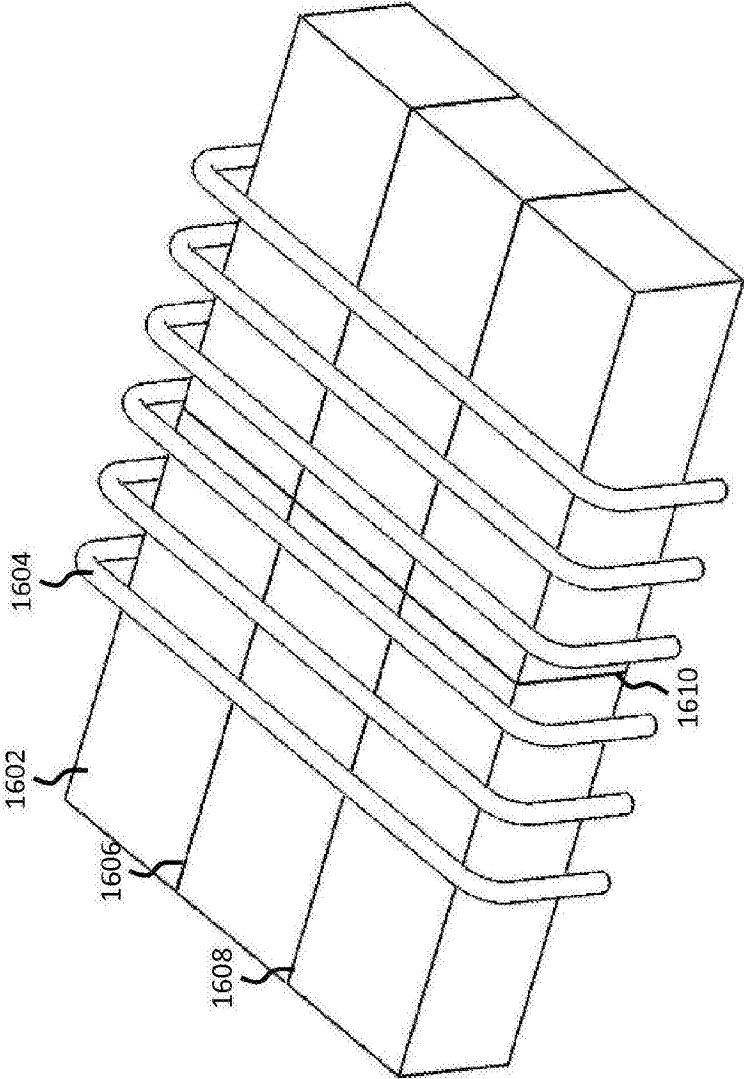


图16

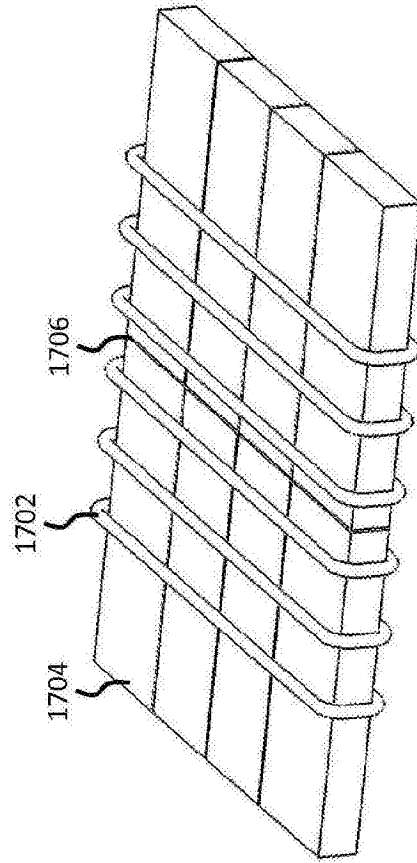


图17A

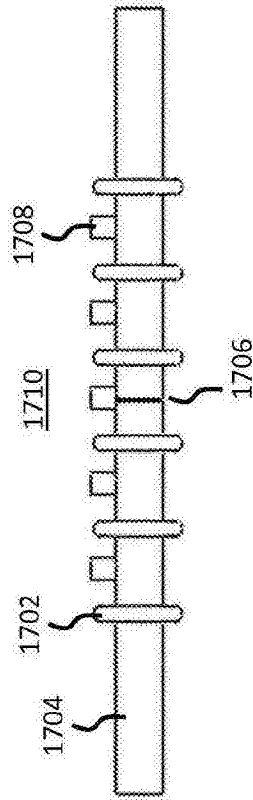


图17B

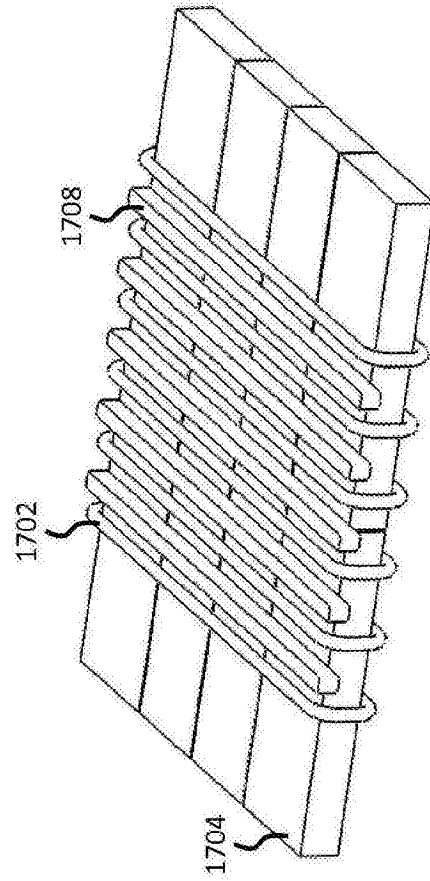


图17C

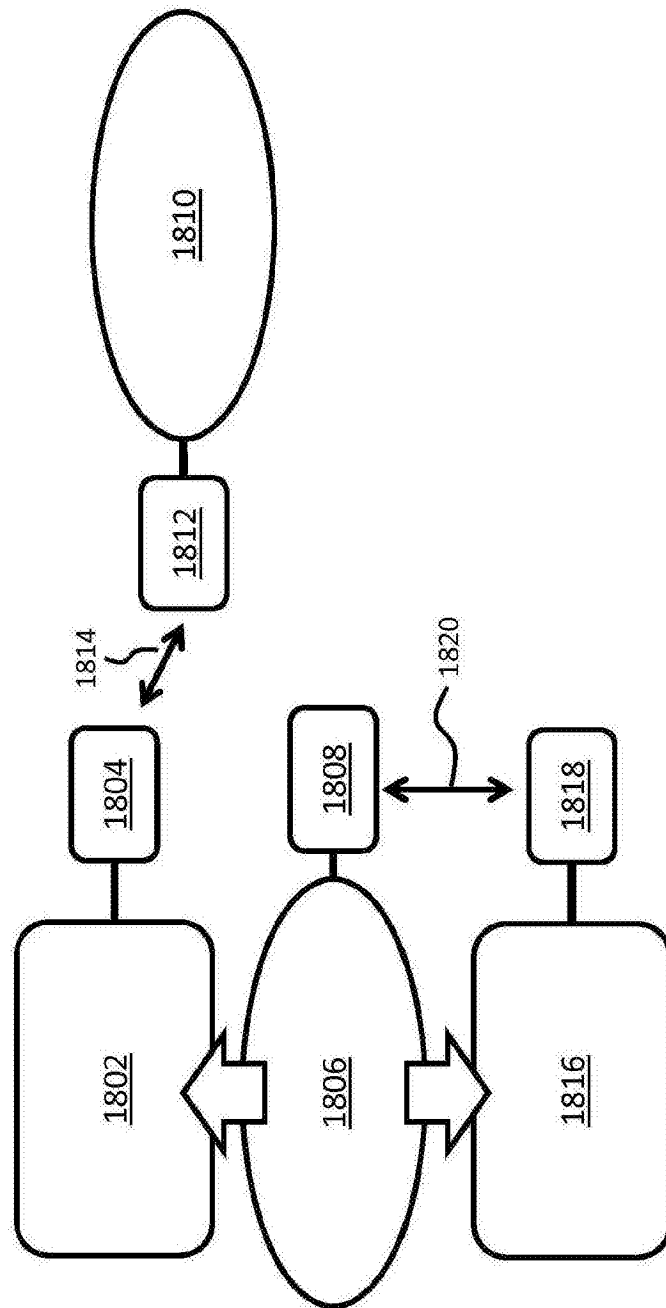


图18

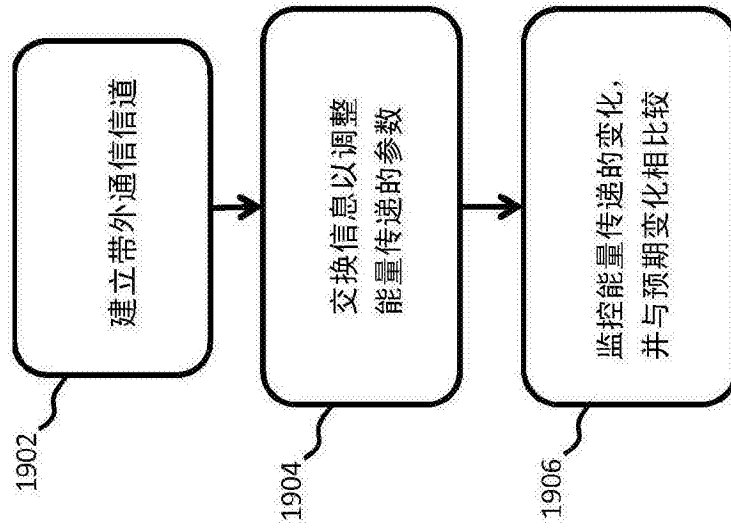


图19A

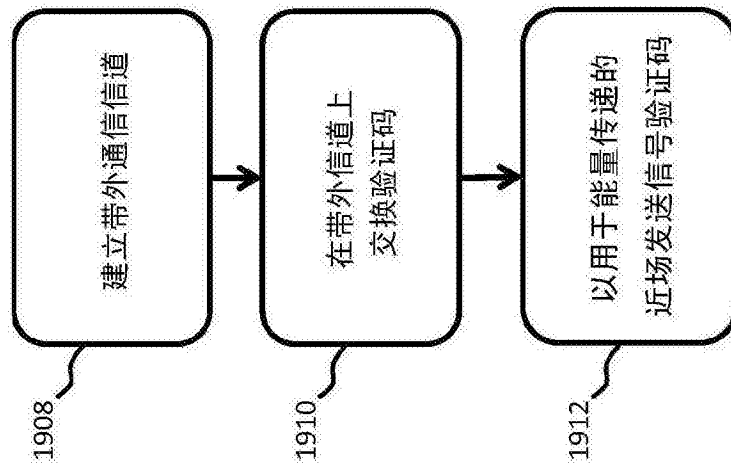


图19B

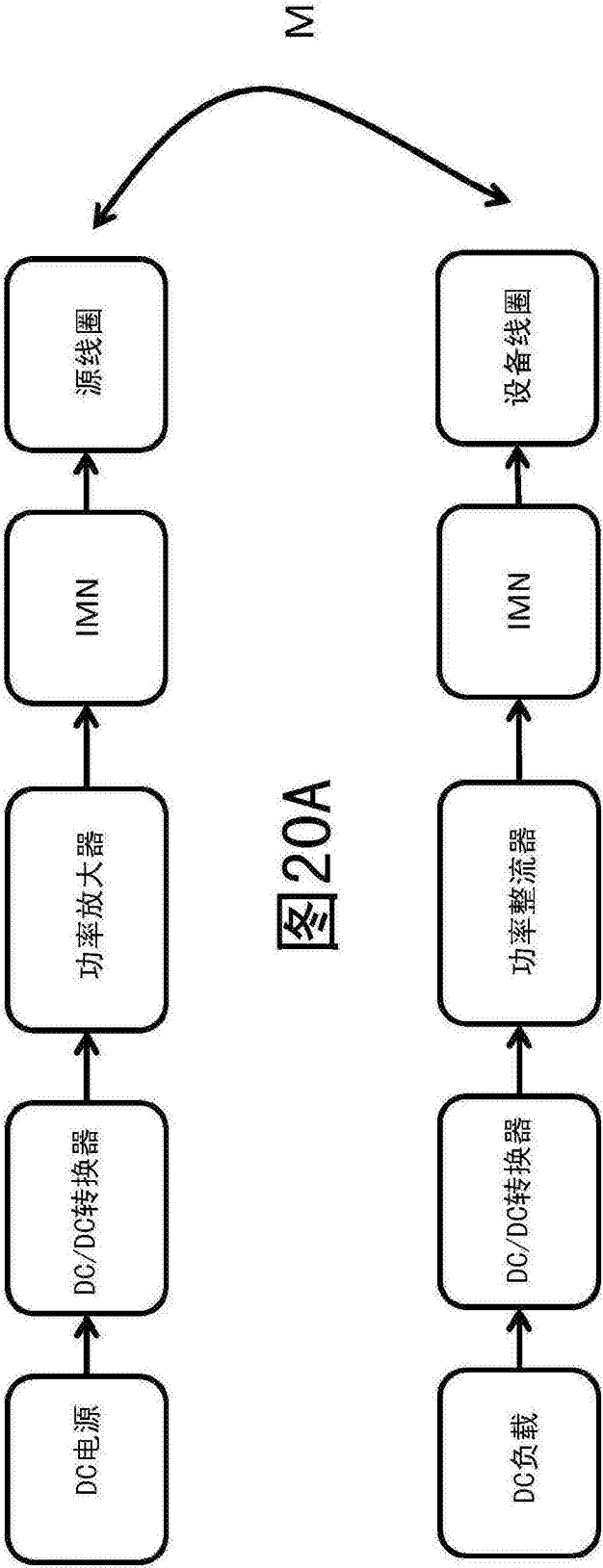


图 20A

图 20B

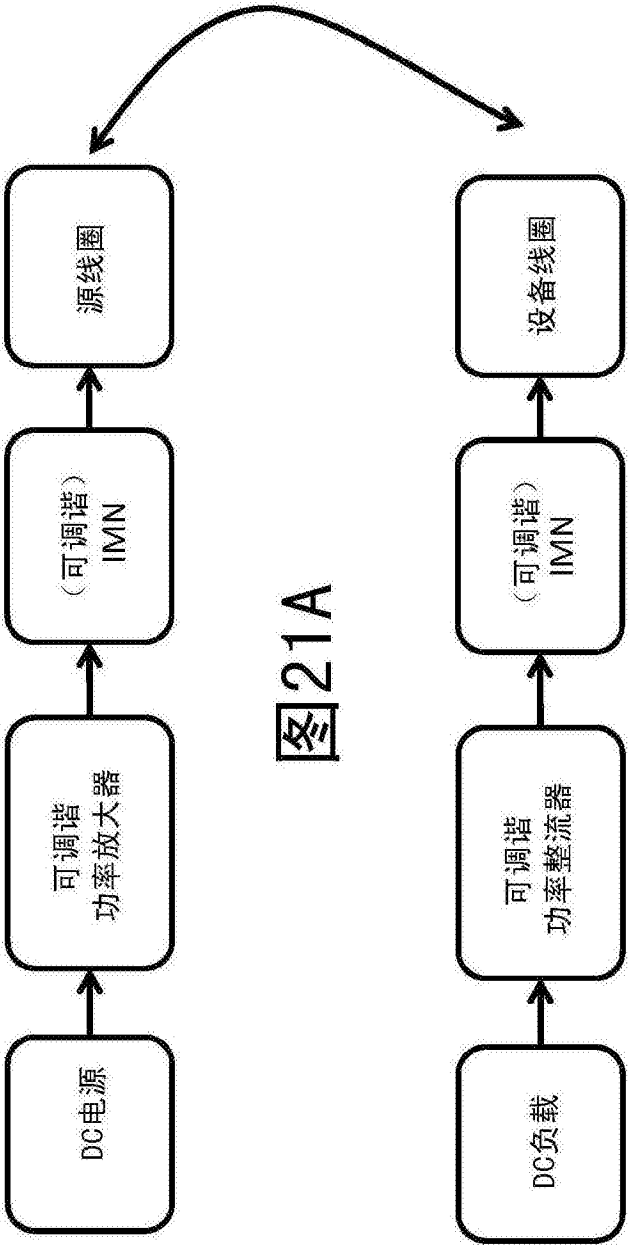


图21A

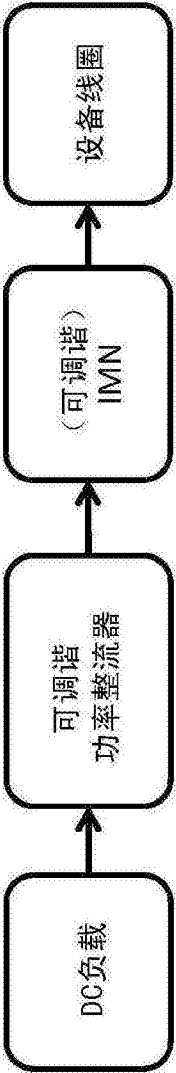


图21B

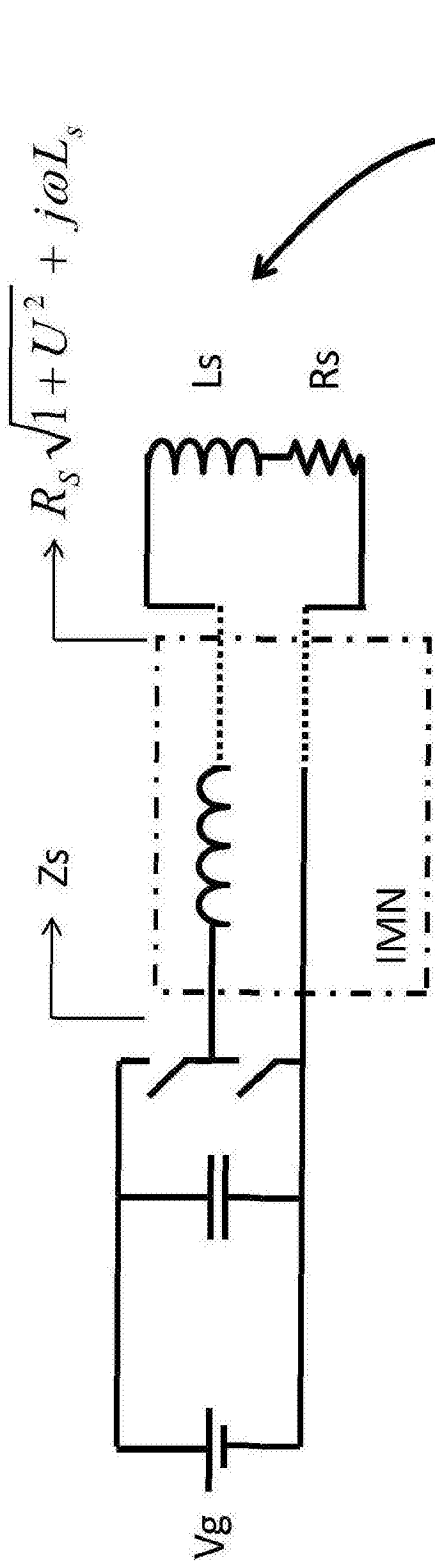


图22A

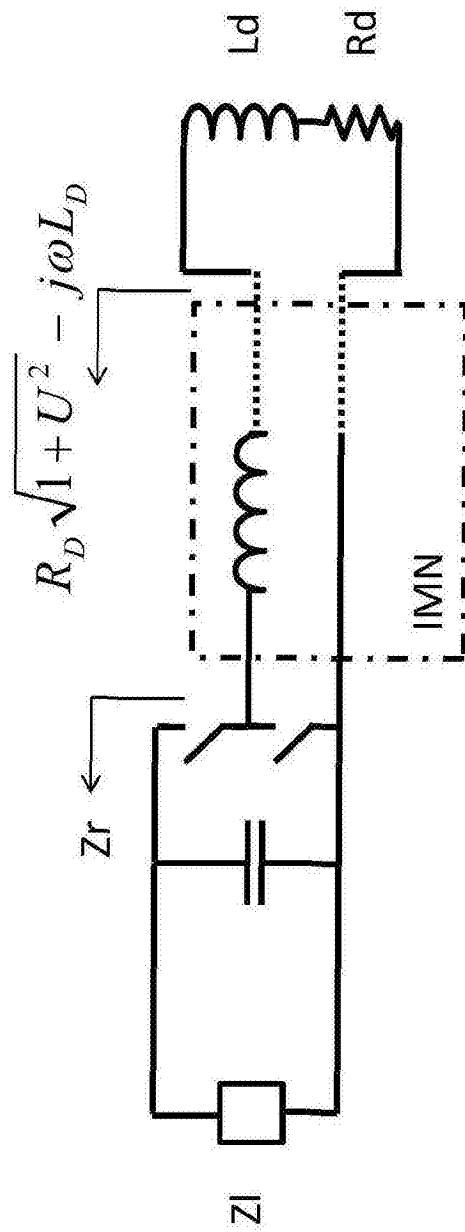
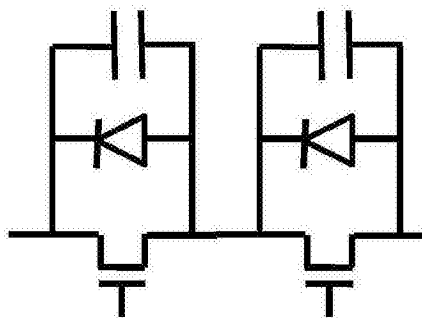


图22B



II

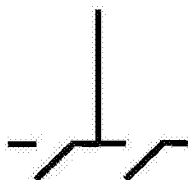


图22C

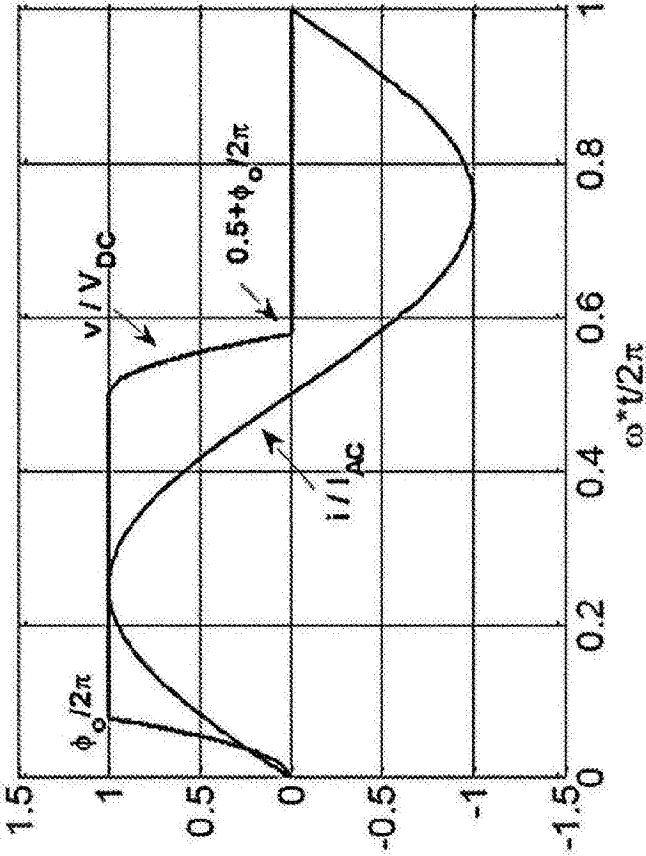


图23A

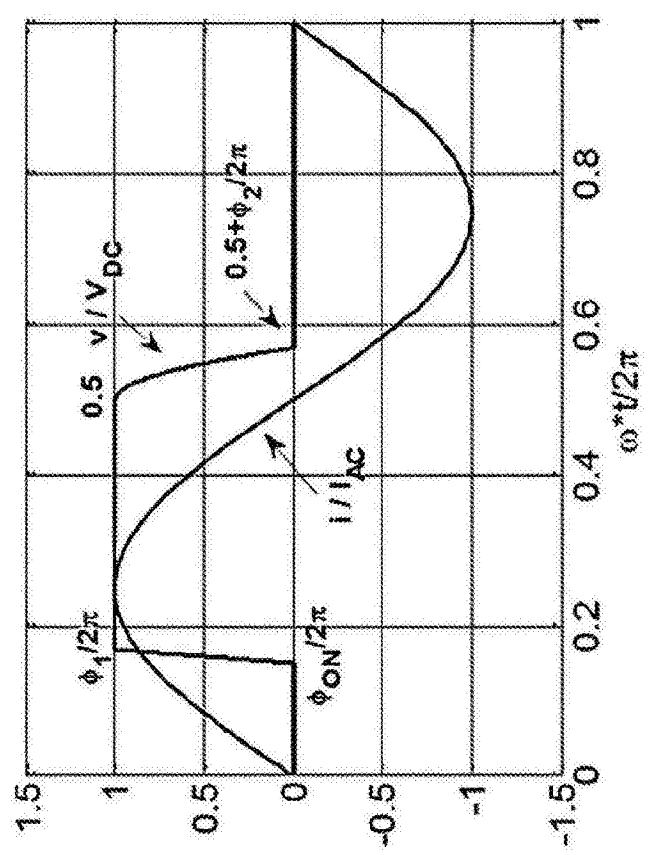


图23B

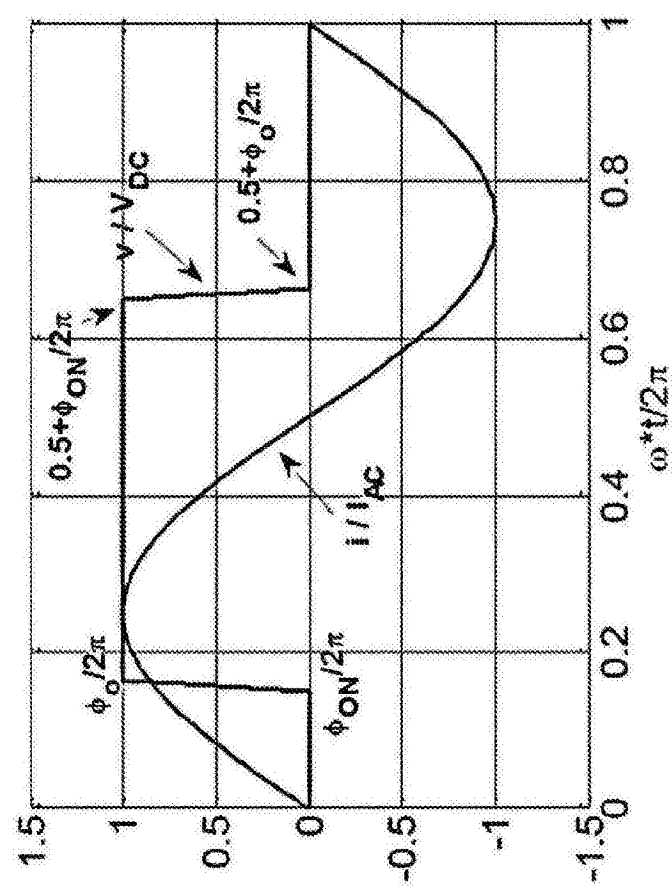


图23C

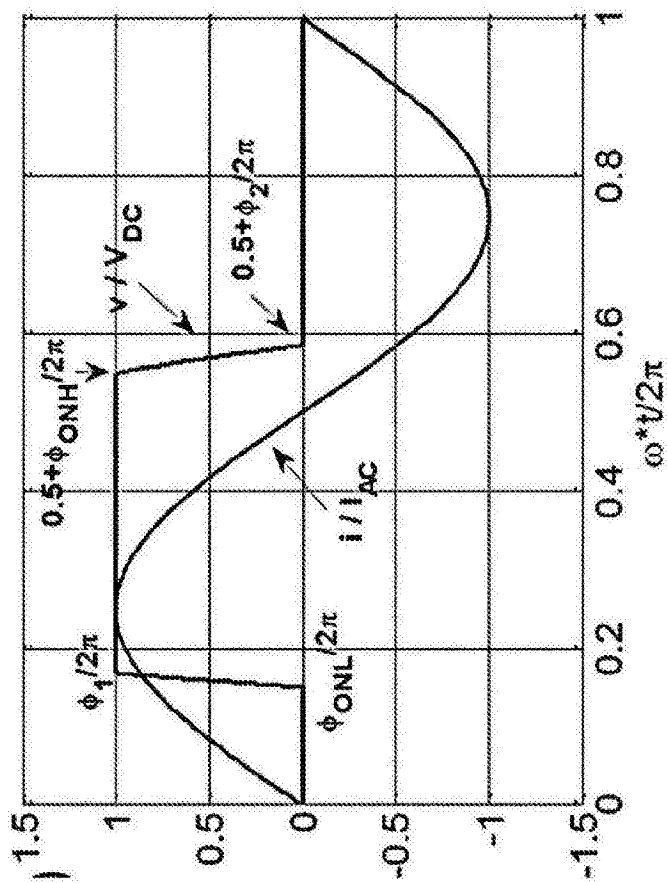


图23D

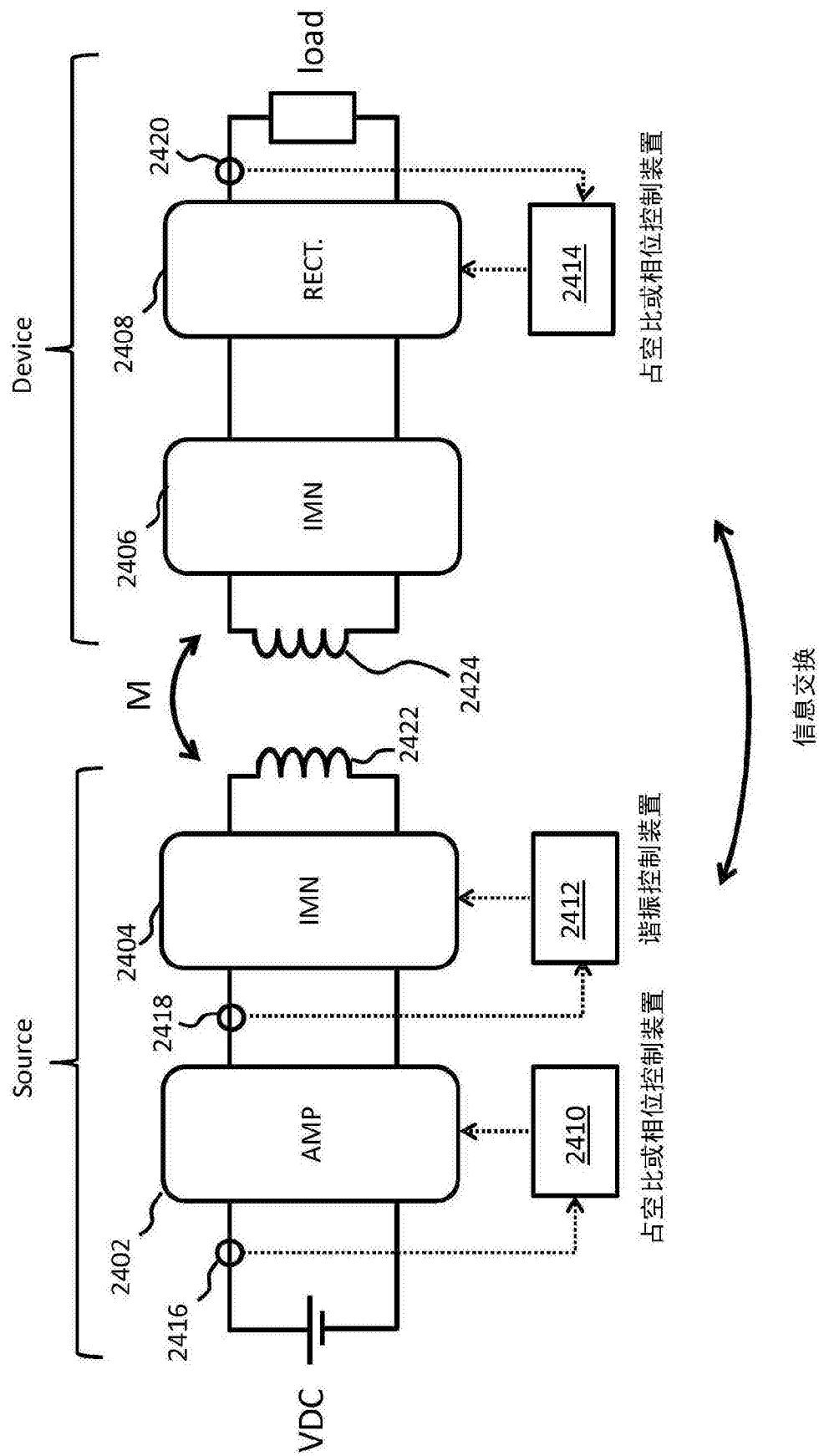


图24

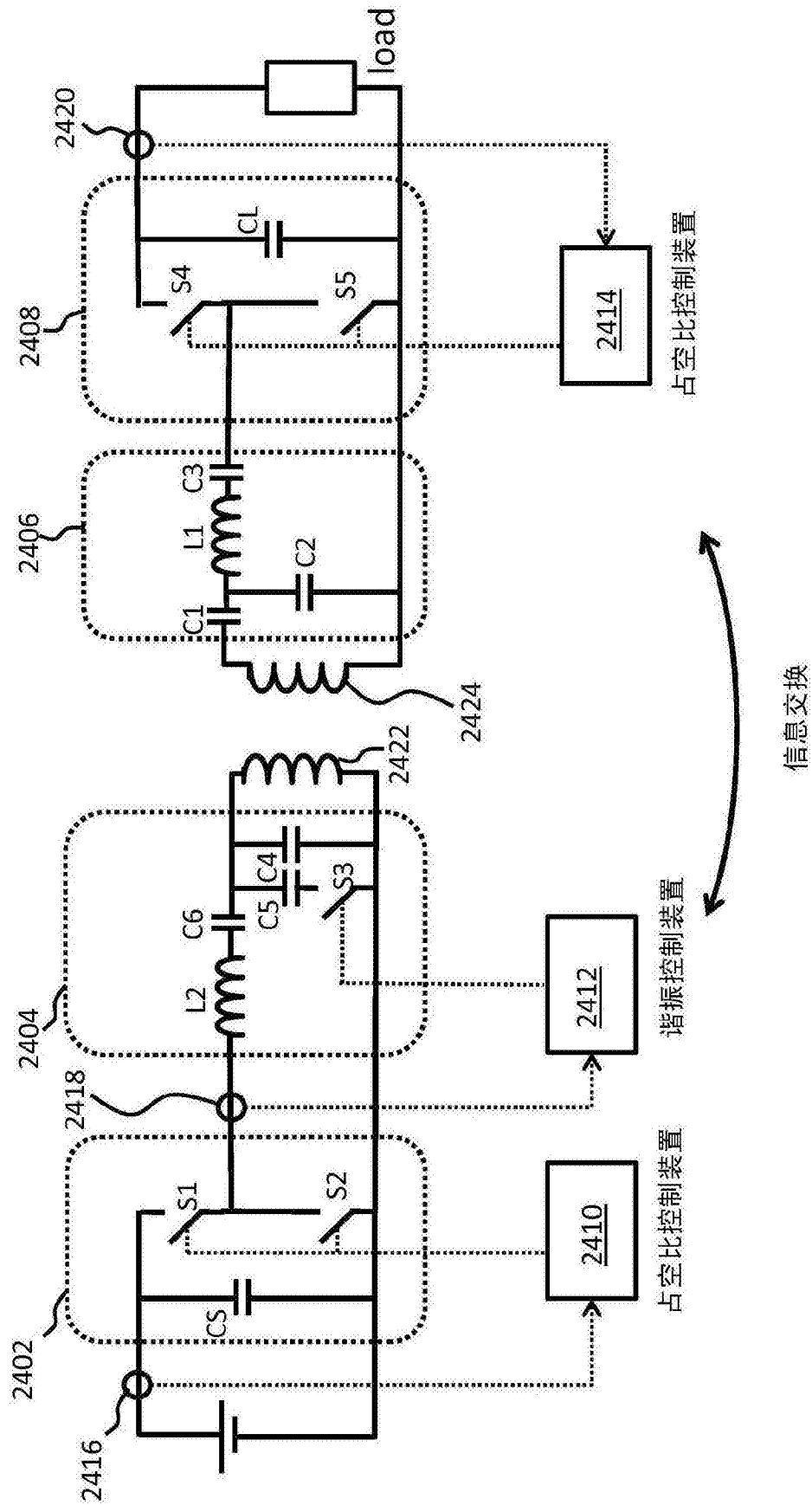


图25

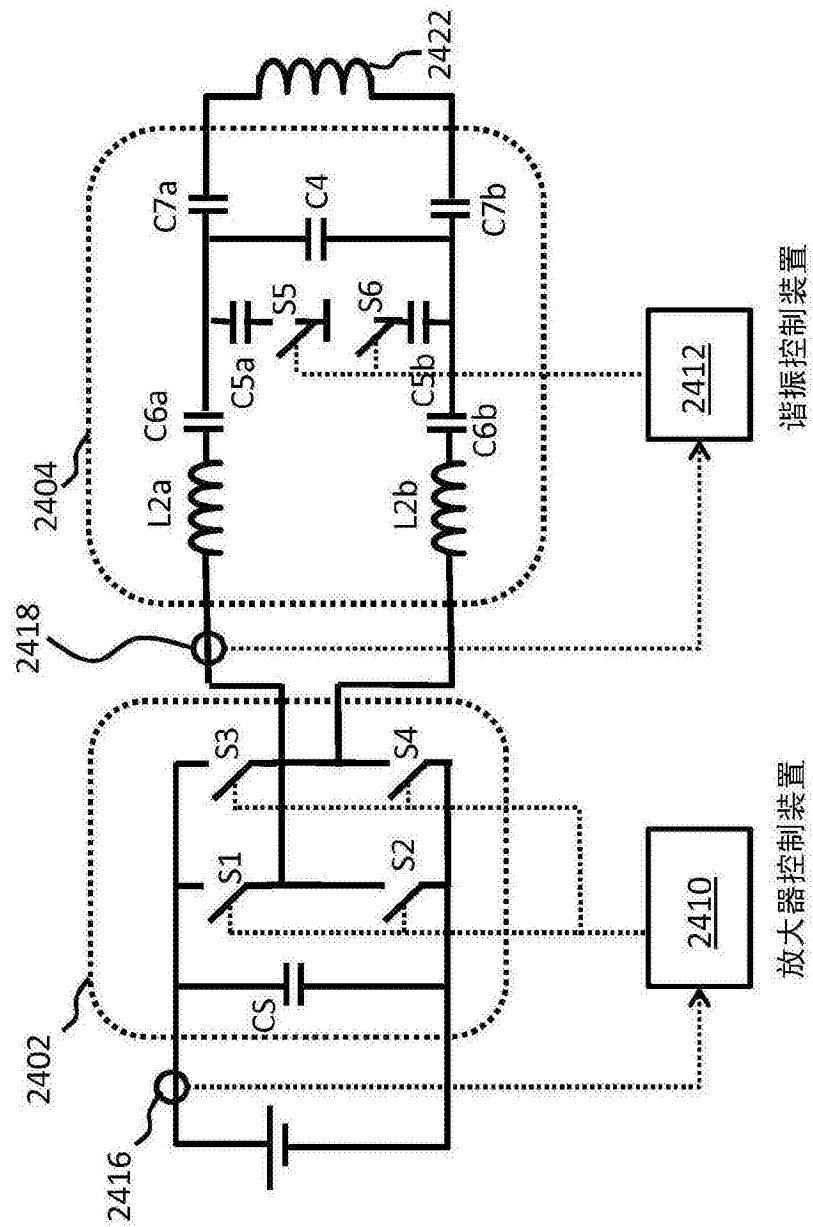


图26