



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108352724 B

(45) 授权公告日 2021.10.29

(21) 申请号 201680065481.1

(73) 专利权人 皇家飞利浦有限公司

(22) 申请日 2016.11.01

地址 荷兰艾恩德霍芬

(65) 同一申请的已公布的文献号

(72) 发明人 N·F·茹瓦 K·J·卢洛福斯

申请公布号 CN 108352724 A

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司  
72002

(43) 申请公布日 2018.07.31

代理人 李光颖 王英

(30) 优先权数据

(51) Int.CI.

15193672.1 2015.11.09 EP

H02J 50/12 (2006.01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

H02J 50/80 (2006.01)

2018.05.09

(56) 对比文件

(86) PCT国际申请的申请数据

CN 101483356 A, 2009.07.15

PCT/EP2016/076278 2016.11.01

WO 2014083015 A1, 2014.06.05

(87) PCT国际申请的公布数据

审查员 秦媛倩

W02017/080865 EN 2017.05.18

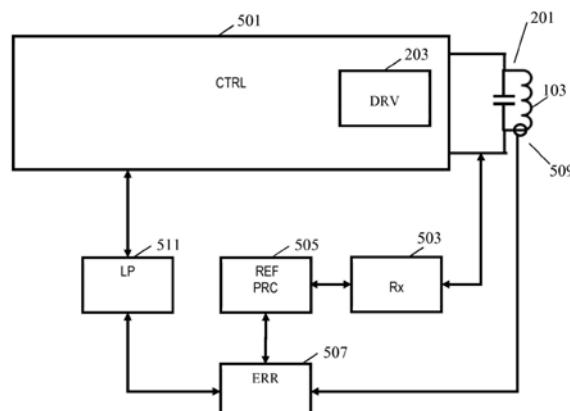
权利要求书2页 说明书18页 附图7页

(54) 发明名称

无线感应功率传输

(57) 摘要

将功率感应地传输到功率接收器(105)的功率发射器(101)包括包含发射器线圈(103)的谐振电路(201)。驱动器(203)生成用于谐振电路(201)的驱动信号并且数据接收器(513)在通信时间间隔期间接收到功率接收器(105)被负载调制到功率传输信号上的消息。误差单元(507)确定线圈电流误差，并且控制回路(511)响应于线圈电流误差而控制通过发射器线圈(103)的电流，控制回路(511)在通信时间间隔期间是活动的。相对于减小的控制范围外部的线圈电流误差指示，控制回路的回路响应针对减小的控制范围中的线圈电流误差被衰减，其中，减小的控制范围包括零线圈电流误差。



1. 一种用于向功率接收器(105)感应地传输功率的功率发射器(101),所述功率发射器(101)包括:

谐振电路(201),其包括发射器线圈(103),所述发射器线圈用于生成功率传输信号,所述功率传输信号用于向所述功率接收器(105)无线地传输功率;

驱动器(203),其用于生成用于所述谐振电路(201)的驱动信号,所述驱动信号具有驱动频率;

误差单元(507),其被布置为确定线圈电流误差指示,所述线圈电流误差指示针对所述发射器线圈(103)的测量电流与针对所述发射器线圈(103)的目标电流之间的差异;

接收器(503),其用于在通信时间间隔期间接收通过所述功率接收器(105)被负载调制到所述功率传输信号上的消息;以及

控制回路(511),其被布置为响应于所述线圈电流误差指示而控制通过所述发射器线圈(103)的电流,所述控制回路(511)被布置为在通信时间间隔期间是活动的;并且

其中,至少在通信时间间隔期间,相对于减小的控制范围外部的线圈电流误差指示,所述控制回路的回路响应针对所述减小的控制范围中的线圈电流误差指示被衰减,所述减小的控制范围包括对应于零线圈电流误差的线圈电流误差指示值。

2. 根据权利要求1所述的功率发射器,其中,针对所述减小的控制范围中的线圈电流误差指示,所述控制回路的回路增益和更新率中的至少一个实质上为零。

3. 根据权利要求1所述的功率发射器,包括适配器(901),所述适配器被布置为控制所述控制回路以在通信时间间隔的外部比在所述通信时间间隔期间具有更强的回路响应。

4. 根据权利要求3所述的功率发射器,其中,所述适配器(901)被布置为相比于在通信时间间隔期间对在所述通信时间间隔的外部的所述线圈电流误差指示的至少一些值应用更高的回路增益和更高的回路更新率中的至少一个。

5. 根据权利要求3所述的功率发射器,还包括通信计时器(501),所述通信计时器被布置为响应于所述接收器检测到针对来自所述功率接收器的消息的预定前导模式而确定通信时间间隔的开始。

6. 根据权利要求3所述的功率发射器,还包括通信计时器(501),所述通信计时器被布置为将至少一些通信时间间隔确定为周期性重复的时间间隔。

7. 根据权利要求3所述的功率发射器,其中,所述适配器(901)被布置为减小在所述通信时间间隔的外部的所述减小的控制范围的大小。

8. 根据权利要求3所述的功率发射器,其中,所述适配器(901)被布置为控制所述控制回路在通信时间间隔期间采用非对称回路响应并且在所述通信时间间隔的外部采用对称回路响应,对称回路响应针对具有相同绝对值和相反符号的线圈电流误差提供相同的绝对回路响应,并且针对至少一些线圈电流误差的非对称回路响应针对具有相同绝对值和相反符号的线圈电流误差提供不同的绝对回路响应。

9. 根据权利要求8所述的功率发射器,其中,所述非对称回路响应被布置为不允许通过所述发射器线圈(103)的所述电流的增加。

10. 根据权利要求1所述的功率发射器,其中,所述控制回路的绝对反馈增益和更新率中的至少一个是所述线圈电流误差指示的绝对值的单调递增函数。

11. 根据权利要求1所述的功率发射器,其中,所述控制回路被布置为支持具有不同回

路响应的多个模式,所述模式包括减小的控制模式,在所述减小的控制模式中,所述回路响应相对于针对其他模式的回路响应被衰减,并且所述模式还包括适配器,所述适配器被布置为响应于所述线圈电流误差指示而在所述模式之间切换所述控制回路,所述适配器被布置为响应于所述线圈电流误差指示在所述减小的控制范围内的确定而切换到所述减小的控制模式。

12.根据权利要求1所述的功率发射器,其中,所述控制回路被布置为响应于从所述功率接收器接收的功率控制消息而确定所述目标电流。

13.根据权利要求1所述的功率发射器,其中,所述控制回路被布置为通过控制所述驱动信号的占空比、驱动频率和电压幅度中的至少一个来控制所述电流。

14.一种无线功率传输系统,包括根据权利要求1所述的功率发射器(101),以及功率接收器(105)。

15.一种用于使功率发射器(101)向功率接收器(105)感应地传输功率的操作的方法,所述功率发射器(101)包括谐振电路(201),所述谐振电路包括发射器线圈(103),所述发射器线圈用于生成功率传输信号,所述功率传输信号用于向所述功率接收器(105)无线地传输功率;所述方法包括:

生成用于所述谐振电路(201)的驱动信号,所述驱动信号具有驱动频率;

确定线圈电流误差指示,所述线圈电流误差指示指示针对所述发射器线圈(103)的测量电流与针对所述发射器线圈(103)的目标电流之间的差异;

在通信时间间隔期间接收通过所述功率接收器(105)被负载调制到所述功率传输信号上的消息;并且

控制回路(511)响应于所述线圈电流误差指示而控制通过所述发射器线圈(103)的电流,所述控制回路(511)在通信时间间隔期间是活动的;

其中,至少在通信时间间隔期间,相对于减小的控制范围外部的线圈电流误差指示,所述控制回路的回路响应针对所述减小的控制范围中的线圈电流误差指示被衰减,所述减小的控制范围包括对应于零线圈电流误差的线圈电流误差指示值。

## 无线感应功率传输

### 技术领域

[0001] 本发明涉及感应功率传输，并且具体但非排他地涉及使用与用于无线功率传输的Qi规范兼容的元件来提供感应功率传输的功率发射器。

### 背景技术

[0002] 大多数当今的系统需要专用电接触以便从外部电源供电。然而，这往往是不切实际的，并且需要用户物理地插入连接器或以其他方式建立物理电接触。通常，功率要求也显著不同，并且目前大多数设备都设置有其自己的专用电源，导致典型用户具有大量不同的电源，其中每个电源专用于特定设备。尽管使用内部电池可以避免在使用期间与电源进行有线连接的需要，但是这仅提供了部分解决方案，因为电池需要充电（或更换）。电池的使用也可能大大增加设备的重量和潜在的成本和尺寸。

[0003] 为了提供显著改进的用户体验，已经提出了使用无线电源，其中，功率从功率发射器设备中的发射器线圈被感应地传输到个体设备中的接收器线圈。

[0004] 经由磁感应的功率传输是公知的概念，主要应用于在初级发射线圈与次级接收线圈之间具有紧密耦合的变压器中。通过分离这两个设备之间的初级发射器线圈和次级接收器线圈，基于松散耦合的变压器的原理，这些线圈之间的无线功率传输成为可能。

[0005] 这样的布置允许设备的无线功率传输，而不需要进行任何线缆或物理电连接。事实上，其可以简单地允许将设备放置在发射器线圈附近或顶部，以便被再充电或从外部供电。例如，功率发射器设备可以被布置有水平表面，在所述水平表面上能够简单地放置设备以便供电。

[0006] 此外，这样的无线功率传输布置可以有利地被设计成使得功率发射器设备能够与一系列功率接收器设备一起使用。具体地，已经定义了被称为Qi规范的无线功率传输方法，并且目前正在进一步开发。该方法允许满足Qi规范的功率发射器设备与也满足Qi规范的功率接收器设备一起使用，而这些设备不必来自相同的制造商或者必须彼此专用。Qi标准还包括用于允许操作适于特定功率接收器设备的一些功能（例如，取决于特定的功率损耗）。

[0007] Qi规范是由Wireless Power Consortium开发的，并且能够例如在其网站<http://www.wirelesspowerconsortium.com/index.html>上找到，其中，具体地，能够找到定义的规范文档。

[0008] 许多无线功率传输系统（诸如，例如Qi）支持从功率接收器到功率发射器的通信，从而使得功率接收器能够向功率发射器提供信息，这可以允许其适于特定的功率接收器或者由功率接收器所经历的特定条件。

[0009] 在许多系统中，这样的通信是通过对功率传输信号的负载调制来进行的。具体地，通过功率接收器执行负载调制来实现通信，其中，通过功率接收器施加到次级接收器线圈的负载被改变以提供对功率信号的调制。所产生的电特性变化（例如，发射器电感器的电流变化）能够由功率发射器来检测和解码（解调）。

[0010] 因此，在物理层，从功率接收器到功率发射器的通信信道使用功率信号作为数据

载体。所述功率接收器调制能够通过发射器电流或电压的幅度和/或相位的变化来检测的负载。

[0011] 例如能够在Qi无线功率规范(1.0版)第1部分的第6章中找到在Qi中应用负载调制的更多信息。

[0012] 根据Qi v1.1规范而构造的无线功率发射器以所谓的感应方案来操作。在这种模式下,功率传输发生在以相对高的效率紧密耦合(耦合因子通常高于0.3)时。如果希望接收器具有更大距离(“Z距离”)或者更多的定位自由度,则功率传输典型地发生在具有松散耦合(耦合因子通常低于0.3)的所谓谐振方案或模式中。在谐振模式下,功率发射器和功率接收器的功率传输谐振电路的谐振频率应该匹配以实现最大效率。此外,通常希望驱动频率和发射器谐振频率相同,因为这可以减小它们之间的互调效应。

[0013] 在WO2014/083015A1中提供了使用负载调制通信技术的无线功率传输系统的范例。

[0014] 在诸如Qi规范的许多功率传输方法中,功率发射器被布置成响应于其从功率接收器接收的控制数据来调节通过功率发射器线圈的电流。因此,如果功率接收器请求更多的功率则电流增加,并且如果请求更少的功率则电流减小。

[0015] 为了提供合适的动态特性,通常通过涉及来自功率接收器的消息的外部回路来实施控制。该外部回路响应于来自功率接收器的消息而设置针对发射线圈电流的参考电流水平。功率发射器然后实施内部回路,内部回路控制通过发射器线圈的测量电流以匹配由外部回路设定的参考电流。

[0016] 通过控制以下中的一项或多项来具体调节电流:功率信号的操作频率(针对功率发射器的谐振电路的驱动信号的驱动频率)、发射器的驱动器级的干线电压(并且因此驱动信号的电压幅度)以及功率信号/驱动信号的占空比。

[0017] 然而,期望保持发射线圈电流恒定以便控制功率传输和使用负载调制之间有固有的矛盾。实际上,电流回路的目的可以被认为是当发生负载变化时保持发射线圈电流恒定,而负载调制基于检测由负载变化引起的发射线圈电流变化。在诸如Qi的系统中,该冲突通过采用时分方法来解决。具体而言,控制回路仅在短时间段内是活动的,其余时间可用于通过负载调制进行通信。具体而言,控制回路仅针对从功率接收器接收到每个消息(通常具有250msec的间隔)之后大约10msec是活动的。

[0018] 但是,在一些情形下,这种方法可能是欠佳的。具体地,时间分割可能导致欠佳和潜在的慢速功率传输控制。这在一些情形下可能导致不适当的功率设置,其能够导致无线功率传输系统的欠佳或不可接受的性能。其也可能使通信复杂化,因为这限于功率控制不活动的时间。

[0019] 改进的功率传输方法因此将是有利的。具体地,允许改进的操作、改进的功率传输、增加的灵活性、便利的实施、便利的操作、改进的通信、改进的功率控制和/或改进的性能的方法将是有利的。

## 发明内容

[0020] 因此,本发明寻求优选地单独地或以任何组合减轻、缓解或消除上述缺点中的一个或多个。

[0021] 根据本发明的方面，提供了一种用于向功率接收器感应地传输功率的功率发射器，所述功率发射器包括：谐振电路，其包括发射器线圈，所述发射器线圈用于生成用于向功率接收器无线传输功率的功率传输信号；驱动器，其生成用于谐振电路的驱动信号，驱动信号具有驱动频率；误差单元，器被布置成确定线圈电流误差指示，所述线圈电流误差指示指示所述发射器线圈的测量电流与所述发射器线圈的目标电流之间的差异；接收器，器用于在通信时间间隔期间接收通过功率接收器被负载调制到功率传输信号上的消息；以及控制回路，其被布置成响应于所述线圈电流误差指示而控制通过所述发射器线圈的电流，所述控制回路被布置成在通信时间间隔期间是活动的；并且其中，至少在通信时间间隔期间，相对于减小的控制范围之外的线圈电流误差指示，控制回路的回路响应针对减小的控制范围中的线圈电流误差指示被衰减，所述减小的控制范围包括对应于零线圈电流误差的线圈电流误差指示值。

[0022] 本发明可以在许多无线功率传输系统中提供改进的性能。其可以提供功率控制和负载调制通信的改进的折中和共存/合作。具体而言，其可以在许多实施例中启用或改进同时有功功率控制和负载调制通信。这可能会导致改进的通信和/或改进的功率控制。

[0023] 本发明尤其可以在许多实施例中允许改进的反应并降低对功率接收器的快速负载变化的整体敏感度。功率控制的反应时间可以大大改进，并且通常可以实现更稳定的控制。这可以在使用负载调制仍然允许甚至改进通信的同时实现。

[0024] 本发明可以具体而言允许以谐振模式操作的无线功率传输系统的改进性能。实际上，发明人已经认识到，尽管常规时分功率控制和负载调制通常可以导致在感应机制/模式下操作的系统的可接受性能，但是起在许多情形下对于在谐振模式下操作的系统可能是有问题的。具体而言，发明人已经认识到，对于在谐振模式下的系统，能够发生线圈电流的快速和大的变化，并且这可能潜在地导致功率接收器的错误操作，或者甚至是潜在的故障。

[0025] 在描述的方法中的这些问题和争端通常可以通过应用修改的回路控制来减轻，所述修改的回路控制允许用于控制发射线圈电流的功率控制回路与通过负载调制的通信同时活动。因此，不是执行通信或功率控制(即不是在时间中分开这些)，所描述的方法可以促进或使两者能够同时共存。具体地，本发明可以提供一种方法，其中，许多实施例中的控制回路允许线圈电流的较小变化的存在，其可以用于解调负载调制，同时能够快速且高效地适应于并补偿较大和/或更快的负载变化。

[0026] 因此，在方法中，在可以从功率接收器接收消息的通信时间间隔期间，控制回路可以是活动的，即，功率发射器可以同时操作控制回路并接收负载调制消息。当活动时，控制回路被布置成对线圈电流误差指示的至少一些值修改控制/改变通过发射器线圈的电流。

[0027] 回路响应的衰减具体可以是反馈强度、回路灵敏度和/或回路响应强度的衰减。

[0028] 具体而言，相对于线圈电流误差指示不在减小的控制范围内时，针对在减小的控制范围内的线圈电流误差指示，回路响应可通过反馈/回路增益和/或回路的更新率降低而衰减。减小的控制范围可以围绕零线圈电流误差对称，但不必如此。

[0029] 通信时间间隔可以是功率发射器被布置成能够从功率接收器接收负载调制消息的时间间隔。在一些情形下，通信时间间隔可以是功率接收器实际发送消息的时间间隔。然而，在一些情形下，功率接收器可以不在通信时间间隔中发送任何消息。例如，功率发射器可以适配以能够以周期性重复的通信时间间隔接收通信，但是这些功率发射器中仅一些可

以由功率接收器用于实际发送消息。通信时间间隔可以比来自功率接收器的消息的消息持续时间长。事实上,在一些实施例中,通信时间间隔可以从一个消息到下一个消息,即,功率发射器可以被布置成连续地处于通信时间间隔中。在这样的实施例中,控制回路能够总是使用衰减的回路响应,即,相对于间隔之外的值,针对减小的控制范围内的线圈电流误差指示的值,回路响应可以总是被衰减。

[0030] 控制回路可以是嵌套回路的部分,并且可以具体地是设置针对发射器线圈的目标电流的外部控制回路内的内部控制回路。

[0031] 线圈电流误差指示具体地可以是线圈电流误差或线圈电流的单调递增函数。线圈电流误差指示具体地可以是发射器线圈的测量电流的单调递增函数与发射器线圈的目标电流的单调递增函数之间的差异的单调递增函数。

[0032] 根据本发明的任选特征,针对减小的控制范围中的线圈电流误差指示,控制回路的回路增益和更新率中的至少一个基本为零。

[0033] 这可以在许多实施例中提供特别有利的操作和/或实施方式。具体而言,其可以通过不对由于负载调制的电流变化引入衰减的控制回路改进解调性能。在许多实施例中其还可以允许低复杂度的实施方式。

[0034] 根据本发明的任选特征,功率发射器包括适配器,所述适配器被布置成控制控制回路以在通信时间间隔之外比通信时间间隔期间具有更强的回路响应,对称回路响应为相同的绝对值和相反符号的线圈电流误差提供相同的绝对回路响应,并且针对至少一些线圈电流误差的非对称回路响应为相同绝对值和相反符号的线圈电流误差提供不同的绝对回路响应。

[0035] 这可以提供改进的性能,并且尤其可以在许多情形下提供改进的功率控制,同时允许高效的负载调制通信。该方法可以具体地允许在非通信时间间隔期间的改进的功率控制,其可以例如允许线圈电流的完全优化。在通信时间间隔期间,可以应用较弱的控制(例如较慢和/或允许较高的误差水平),其可以提供较不优化的功率控制,但可以允许通信性能。

[0036] 根据本发明的任选特征,适配器被布置成相比于在通信时间间隔期间针对通信时间间隔之外的线圈电流误差指示的至少一些值应用更高的回路增益和更高的回路更新率中的至少一个。

[0037] 这可以提供改进的性能,并且尤其可以在许多情况下提供改进的功率控制,同时允许高效的负载调制通信。

[0038] 根据本发明的任选特征,功率发射器还包括通信计时器,所述通信计时器被设置成响应于接收器检测到来自功率接收器的消息的预定前导模式而确定通信时间间隔的开始。

[0039] 这可以提供一种特别高效的方法。例如,在许多实施例中,前导可以是当应用更强的回路响应时(与个体比特值的检测相反)能够以足够高的概率检测到的扩展模式。因此,可以优化功率控制,直到检测到功率接收器实际上正在发送消息。如果检测到这种情况,则通过检测前导,功率发射器可以切换到对于减小的控制范围内的线圈电流误差指示具有衰减的回路响应的较弱的控制响应。因此,在通信时间间隔期间,功率发射器可以解调个体比特,同时允许功率控制是活动的,例如,以便对大的负载变化作出反应。

[0040] 根据本发明的任选特征,功率发射器还包括通信计时器,所述通信计时器被布置成将至少一些通信时间间隔确定为周期性重复的时间间隔。

[0041] 这可以在许多实施例中提供特别高效的方法。

[0042] 根据本发明的任选特征,适配器被布置成减小在通信时间间隔外部的减小的控制范围的赤赤。

[0043] 这可以改进通信时间间隔以外的控制性能,并且可以特别地减少允许存在的线圈电流误差。具体地,当在通信时间间隔之外时,减小的控制范围可以减小到零。

[0044] 根据本发明的任选特征,适配器被布置成控制控制回路在通信时间间隔期间采用非对称回路响应并且在通信时间间隔外采用对称回路响应。

[0045] 这可以在许多情形下提供改进的性能,并且尤其可以通过减小功率控制的影响来提供改进的负载调制,同时例如确保一些功率控制仍然存在,以解决导致功率传输功率过高的情形。

[0046] 因此,回路响应当在通信时间间隔内时相对于线圈电流误差(指示)可以是非对称的,但是在通信时间间隔外是对称的。具体地,适配器可以被布置成切换到在通信时间间隔期间相对于线圈电流误差指示非对称的回路响应。

[0047] 根据本发明的任选特征,非对称响应被布置为不允许通过发射器线圈的电流的增加。

[0048] 这可以在许多情形下提供改进的性能,并且尤其可以通过减少功率控制的影响来提供改进的负载调制,同时确保功率控制仍然存在以解决导致功率传输的功率过高的情形。

[0049] 响应于仅针对指示线圈电流高于目标值的线圈电流误差指示的线圈电流误差指示,非对称响应可以被布置为改变占空比和电压幅度中的至少一个。

[0050] 根据本发明的任选特征,控制回路的绝对反馈增益和更新率中的至少一个是线圈电流误差指示的绝对值的单调递增函数。

[0051] 这可以提供改进的性能,并且尤其是功率控制。其可以允许针对较高的变化的改进的补偿,同时允许较小的负载变化得到较少的补偿,从而便于导致这种变化的负载调制的检测。

[0052] 在一些实施例中,控制回路的绝对反馈增益和更新率中的至少一个可以仅在通信时间间隔期间是绝对线圈电流误差指示的单调递增函数。然而,在许多实施例中,控制回路的反馈增益和更新率中的至少一个可以是在通信时间间隔期间和通信时间间隔之外两者的线圈电流误差指示的单调递增函数。

[0053] 根据本发明的任选特征,控制回路被布置成支持具有不同回路响应的多个模式,所述模式包括减小的控制模式,其中,回路响应相对于其他模式的回路响应被衰减,并且所述模式还包括适配器,所述适配器被布置成响应于所述线圈电流误差指示而在所述模式之间切换所述控制回路,所述适配器被布置成响应于所述线圈电流误差指示在所述减小的控制范围内的确定而切换到减小的模式。

[0054] 这可以提供特别高效的操作和/或实施方式。

[0055] 根据本发明的任选特征,控制回路被布置成响应于从功率接收器接收的功率控制消息二确定目标电流。

[0056] 这可以允许使用例如具有由功率接收器提供的反馈的较慢的外部回路进行高效的嵌套功率控制,而在功率发射器中实施的较快的内部回路可以允许对例如负载变化进行快速适配。

[0057] 根据本发明的任选特征,控制回路被布置成通过控制驱动信号的占空比、驱动频率和电压幅度中的至少一个来控制电流。

[0058] 这可以提供特别有吸引力的性能,并且可以特别地允许在谐振模式下支持无线功率传输的实施方式,并且尤其是在谐振模式下的操作,其中,驱动频率被链接/锁定到功率发射器和/或功率接收器的功率传输谐振电路的谐振频率。

[0059] 根据本发明的方面,提供了一种包括功率发射器和功率接收器的无线功率传输系统;其中,所述功率发射器包括:谐振电路,其包括用于生成用于向所述功率接收器无线地传输功率的功率传输信号的发射器线圈;驱动器,其生成用于谐振电路的驱动信号,所述驱动信号具有驱动频率;误差单元,其被布置成确定线圈电流误差指示,所述线圈电流误差指示指示所述发射器线圈的测量电流与所述发射器线圈的目标电流之间的差异;接收器,其用于在通信时间间隔期间接收通过功率接收器被负载调制到功率传输信号上的消息;以及控制回路,其被布置成响应于所述线圈电流误差指示而控制通过所述发射器线圈的电流,所述控制回路被布置成在通信时间间隔期间是活动的;并且其中,至少在通信时间间隔期间,相对于减小的控制范围之外的线圈电流误差指示,控制回路的回路响应针对减小的控制范围内的线圈电流误差指示被衰减,所述减小的控制范围包括对应于零线圈电流误差的线圈电流误差指示值。

[0060] 根据本发明的一个方面,提供了一种用于功率发射器将功率感应地传输到功率接收器的操作的方法,所述功率发射器包括谐振电路,所述谐振电路包括用于生成用于将功率无线地传输到功率接收器的功率传输信号的发射器线圈;所述方法包括:生成用于谐振电路的驱动信号,所述驱动信号具有驱动频率;确定线圈电流误差指示,所述线圈电流误差指示指示所述发射器线圈的测量电流与所述发射器线圈的目标电流之间的差异;在通信时间间隔期间接收通过功率接收器被负载调制到功率传输信号上的消息;并且控制回路响应于所述线圈电流误差指示而控制通过所述发射器线圈的电流,所述控制回路在通信时间间隔期间是活动的;其中,至少在通信时间间隔期间,相对于减小的控制范围外的线圈电流误差指示,控制回路的回路响应针对减小的控制范围内的线圈电流误差指示被衰减,所述减小的控制范围包括对应于零线圈电流误差的线圈电流误差指示值。

[0061] 参考下文描述的(一个或多个)实施例,本发明的这些和其他方面、特征和优点将显而易见并得到阐述。

## 附图说明

[0062] 将参考附图仅通过范例描述本发明的实施例,其中:

[0063] 图1图示了根据本发明的一些实施例的功率传输系统的元件的范例;

[0064] 图2图示了根据本发明的一些实施例的功率传输系统的元件的范例;

[0065] 图3图示了根据本发明的一些实施例的用于功率发射器的半桥逆变器的元件的范例;

[0066] 图4图示了根据本发明的一些实施例的用于功率发射器的全桥逆变器的元件的范

例；

[0067] 图5图示了根据本发明的一些实施例的功率发射器的元件的范例；

[0068] 图6图示了根据本发明的一些实施例的用于功率发射器的内部功率控制回路的元件的范例；

[0069] 图7图示了用于不同功率接收器负载的发射器线圈电流的范例；

[0070] 图8图示了根据本发明的一些实施例的用于功率发射器的内部功率控制回路的回路响应的范例；

[0071] 图9图示了根据本发明的一些实施例的功率发射器的元件的范例；

[0072] 图10图示了根据本发明的一些实施例的用于功率发射器的内部功率控制回路的回路响应的范例；并且

[0073] 图11图示了根据本发明的一些实施例的用于功率发射器的内部功率控制回路的回路响应的范例。

## 具体实施方式

[0074] 以下描述集中于适用于利用诸如从Qi规范已知的功率传输方法的无线功率传输系统的本发明的实施例。然而，将意识到，本发明不限于此应用，而是可以应用于许多其他无线功率传输系统。

[0075] 图1图示了根据本发明的一些实施例的功率传输系统的范例。所述功率传输系统包括功率发射器101，功率发射器101包括(或者被耦合到)发射器线圈/电感器103。所述系统还包括功率接收器105，功率接收器105包括(或者被耦合到)接收器线圈/电感器107。

[0076] 该系统提供从功率发射器101到接收器105的无线感应功率传输。具体地，功率发射器101生成无线感应功率传输信号(也被称为功率传输信号，功率传输信号或感应功率传输信号)，其通过发射器线圈103作为磁通量传播。功率传输信号通常可以具有约70kHz至约150kHz之间的频率，并且常常用于一般在95kHz至115kHz范围内的Qi兼容系统。发射器线圈103和接收器线圈107被松散耦合，并且因此接收器线圈107拾取来自功率发射器101的功率传输信号(的至少部分)。因此，经由从发射器线圈103到接收器线圈107的无线感应耦合，将功率从功率发射器101传输到功率接收器105。术语功率传输信号主要用于指代发射器线圈103和接收器线圈107之间的感应信号/磁场(磁通量信号)，但将意识到，等同地，其也可以被考虑并用作被提供给发射器线圈103或者由接收器线圈107拾取的电信号的参考。

[0077] 所述系统被布置为传输实质的功率水平，并且具体地，在许多实施例中，所述功率发射器可以支持超过500mW、1W、5W或50W的功率水平。例如，针对Qi对应的应用，对于低功率应用，功率传输通常可以在1W-5W功率范围内，而对于高功率应用(例如，厨房应用)，功率传输通常超过100W并高达1000W以上。

[0078] 图2更详细图示了图1的系统的具体范例的系统架构。在该范例中，功率发射器101的输出电路包括谐振储能回路或谐振电路201，其包括发射器线圈103(在图2中，为了清楚起见，发射器线圈103被示出为在谐振电路201外部，但是被认为是其部分)。功率发射器101的谐振电路201也将被称为发射器谐振电路201。谐振电路201通常可以是串联谐振电路或并联谐振电路，并且可以特别由并联(或串联)耦合到发射器线圈103的谐振电容器组成。通过从生成具有合适驱动频率(通常在20kHz-200kHz频率范围内)的驱动信号的驱动器203来

驱动所述输出谐振电路,来生成功率传输信号。

[0079] 类似地,功率接收器105的输入电路包括谐振电路或谐振储能回路205,其包括接收器电感器107(在图2中,为了清楚起见,接收器电感器107被示出在谐振电路205外部,但被认为是其一部分)。功率接收器105的谐振电路205也将被称为接收器谐振电路205或接收器谐振电路。接收器谐振电路205通常可以是串联或并联谐振电路,并且可以特别由并联(或串联)耦合到接收器电感器107的谐振电容器组成。接收器谐振电路205被耦合到功率转换器207,功率转换器207将接收到的功率传输信号(即,由接收器谐振电路205提供的感生的信号)转换为被提供给外部负载209的功率(通常通过执行AC/DC转换,如本领域技术人员所公知的)。

[0080] 负载例如可以是电池,并且功率供应可以是为了给电池充电。作为另一范例,负载可以是单独的设备,并且功率供应可以是为了给该设备供电。

[0081] 在所述系统中,发射器谐振电路201的谐振电路201不是固定的谐振电路,而是被控制为跟随驱动频率的可变谐振电路。具体地,可以使用一种方法来适配谐振电路201的有效谐振频率。在该方法中,谐振电路201的至少一个(谐振)分量的动态状态变化可以在一小部分周期中暂时减慢(包括可能完全停止)。

[0082] 图2的驱动器203生成变化(以及通常是AC)电压驱动信号,其被应用于谐振电路(并且因此被应用于谐振电容器(在图2中未示出)和发射器线圈103)。在一些实施例中,发射器谐振电路201可以是串联谐振电路,并且电压驱动信号可以跨电容器和电感器来施加。在一些实施例中,驱动器203可以被直接地(或间接地)耦合到发射线圈103,并且电压驱动信号可以被提供给发射线圈103。

[0083] 因此,在所述系统中,驱动器203生成驱动信号,所述驱动信号被馈送到发射器谐振电路201/发射线圈103,使发射线圈103生成向功率接收器105提供功率的功率传输信号。生成驱动信号是为了获得被称为驱动频率的给定频率,即,所述驱动频率是驱动信号的频率。

[0084] 驱动器203生成被馈送到发射器线圈103的电流和电压。驱动器203通常是逆变器形式的驱动电路,其从DC电压生成交变信号。驱动器203的输出通常是通过适当切换开关桥的开关来生成驱动信号的开关桥。图3示出了半桥开关桥/逆变器。开关S1和S2受到控制,从而其不会被同时关闭。交替地,S1关闭而S2打开,并且S2关闭而S1打开。所述开关以期望的频率被打开和关闭,由此在输出部处生成交变信号。通常,逆变器的输出经由谐振电容器被连接到发射器线圈。图4示出了全桥开关桥/逆变器。开关S1和S2受到控制,从而其不会被同时关闭。开关S3和S4受到控制,从而其不会被同时关闭。交替地,开关S1和S4关闭,而S2和S3打开,并且然后S2和S3关闭,而S1和S4打开,由此在输出部处创建方波信号。所述开关以期望的频率被打开和关闭。

[0085] 以上描述对应于左侧和右侧桥 $180^{\circ}$ 异相并提供最大输出功率或最大占空比的情况。然而,在其他情况下,半桥可能会部分异相,导致S2和S4两者或S1和S3两者同时关闭。在这种状态下,电桥电压将为零,并且因此该方法可用于从最大值减小输出功率或占空比。

[0086] 驱动器203因此生成具有给定驱动频率的驱动信号,并将该信号施加到发射器谐振电路201。发射器谐振电路201由电感性阻抗和电容性阻抗形成。

[0087] 图5更详细地图示了功率发射器101的元件。在范例中,功率发射器101包括功率传

输控制器501,功率传输控制器501包括用于执行和控制到功率接收器105的功率传输的功能,如技术人员将知道的。功率传输控制器501可以具体包括根据Qi规范操作功率传输的所需或期望的功能,除了本文所描述的差异和变化之外。

[0088] 功率传输控制器501具体耦合到发射器谐振电路201并且包括驱动器203。

[0089] 在所描述的功率传输系统中,功率接收器105被布置成使用负载调制与功率发射器101通信。因此,功率发射器101包括解调器503形式的负载调制接收器,所述负载调制接收器被布置成从功率接收器105接收数据消息。具体地,解调器503被配置为解调功率传输信号的负载调制以确定从功率接收器105发送的对应的数据。负载调制接收器/解调器503因此被布置为解调功率接收器对功率传输信号的负载调制。

[0090] 在物理层面上,通过使用无线功率传输信号作为通信载波来实施从功率接收器105到功率发射器101的通信信道。功率接收器105通过调制接收器线圈107的负载来发送数据消息。

[0091] 在图1的布置中,功率接收器105对无线功率传输信号进行负载调制。功率接收器105例如可以通过连接和断开与接收线圈107并联耦合的电容器来实现这一点,从而改变谐振,并且由此改变功率接收器105的负载特性。这些改变导致功率信号在功率发射器侧的对应变化,并且特别是发射器线圈103的电流和电压的变化。这些变化直接或间接地由功率发射器101检测,并且用于解调来自功率接收器105的负载调制数据。

[0092] 例如可以通过驱动信号电流/电压的幅度和/或相位的改变,通过发射器线圈103的电流/电压的改变和/或谐振电路的电流/电压的改变来检测负载调制。作为另一范例,负载调制可以通过驱动器203(特别是逆变器/开关桥)的电源的电流的变化来检测。

[0093] 功率接收器105可以相应地将数据负载调制到功率信号上,功率发射器101然后可以对其进行解调。所述方法例如可以对应于在Volume I:Low Power,Part 1:Interface Definition,Version 1.0,2010年7月上的“System description,Wireless power Transfer”一文中针对Qi所描述的,其可以经由<http://www.wirelesspowerconsortium.com/downloads/wireless-power-specification-part-1.html>获得,也被称为Qi无线功率规范,特别是第6章:通信接口(或者在规范的后续版本中)。

[0094] 负载调制具体被用于适配功率传输,并且具体用于实施功率控制回路,所述功率控制回路基于从功率接收器105接收到的功率控制消息来连续地适配所发射的功率水平。通过负载调制来传送功率控制消息。

[0095] 如上所述,在该系统中,解调器503被布置为通过检测通过发射器线圈103的电流和/或发射线圈103上的电压的幅度和/或相位变化来解调负载调制。因此,解调器503耦合到初级谐振电路201并且被布置成测量通过发射器线圈103的线圈电流和发射器线圈103两端的电感器电压中的至少一个。

[0096] 在一些实施例中,可以间接确定线圈电流和/或电压,例如,通过测量驱动器203的逆变器的电源电流变化,或者通过测量谐振电容器等的电流或电压。然而,在特定范例中,通过直接感测线圈电流或电压来确定线圈电流/电压。

[0097] 如上所述,无线功率传输系统还操作嵌套的功率控制回路。外部回路从功率接收器105接收功率控制消息,并行进到相应地增加或减小功率传输信号的功率。

[0098] 在图5的范例中,解调器503耦合到目标处理器505,目标处理器505被布置为设置针对控制通过发射器线圈103的电流(以下简称为线圈电流)的内部控制回路的参考值。具体而言,目标处理器505被馈送来自功率接收器的功率控制消息并且相应地设置参考或目标电流。具体而言,目标处理器505可以被布置成当接收到请求增加的功率的功率控制消息时增加目标电流,并且当接收到请求降低功率的功率控制消息时减小目标电流。

[0099] 目标处理器505耦合到误差单元507,误差单元507被布置成确定线圈电流误差指示,所述线圈电流误差指示指示发射器线圈的测量电流与发射器线圈的目标电流之间的差异。

[0100] 具体而言,误差单元507包括用于从合适的传感器509接收测量值的输入部。将意识到,用于确定通过电感器或线圈的电流的不同方法是已知的,并且可以使用任何合适的方法。例如,在许多实施例中,可以使用邻近发射器线圈103的感应电流传感器。

[0101] 因此,误差单元507接收电流测量结果输入和目标电流,并且由此可以确定反映期望值(目标电流)和通过发射器线圈103的电流的电流值(测量电流)之间的误差的误差指示。因此,生成线圈电流误差指示,其指示测量电流与目标电流之间的差异。

[0102] 将意识到,可以使用针对该差异的任何合适的措施,并且实际上所使用的具体措施可以取决于个体实施例的具体偏好和要求。

[0103] 在许多实施例中,电感器电流误差指示可以被确定为目标值的单调递增函数与测量电流值的单调递增函数之间的差异的单调递增函数。

[0104] 下面的描述将集中于线圈电流误差指示被直接确定为当前测量值与目标值之间的差异的实施例,即:

[0105]  $\Delta I = I_m - I_{\text{目标}}$

[0106] 其中  $I_m$  是测量值,  $I_{\text{目标}}$  是目标值。

[0107] 将意识到,由误差单元507接收和处理的值可能不一定是表示电流的直接值,例如,安培的量度,而是其能够是反映对应电流的任何值。还将意识到,线圈电流误差指示的确定和这些值的比较可以补偿所考虑的相应值与对应的电流之间的关系中的潜在差异。

[0108] 误差单元507耦合到回路响应处理器511,回路响应处理器511可以设置(内部)电流控制回路的特性,诸如例如增益函数、更新率、滤波器特性等。回路响应处理器511被耦合到功率传输控制器501并且可以提供可以经由功率传输控制器501的功能来控制线圈电流的信号。

[0109] 在一些实施例中,线圈电流可由包括电流控制器的驱动器203直接控制,所述电流控制器调节操作以实现由来自回路响应处理器511的输出所控制的给定的线圈电流。

[0110] 然而,在许多实施例中,线圈电流可以通过控制驱动信号的占空比和电压幅度中的至少一个来控制。因此,可以通过增加驱动信号的占空比(并且具体地通过增加驱动器的桥开关的接通时间)和/或通过增大驱动信号的电压幅度(通常通过增加驱动器203的开关桥的干线电压)来增加(平均)线圈电流。相反,线圈电流可以通过减小对应的参数来减小。

[0111] 将意识到,控制回路可以包括积分功能,并且这可以例如被包括在回路响应处理器511中或者在控制器501本身中(例如通过由取决于电感器电流误差指示的相对值改变占空比)。因此,指示测量电流高于目标电流的线圈电流误差指示能够导致例如占空比或电压幅度(或实际上当其没有锁定到谐振频率时(即,通常在感应方案下操作时)的驱动频率)的

电流值的减小,而指示测量电流低于目标电流的线圈电流误差指示可以导致例如占空比或电压幅度(或驱动频率)的电流值增加。

[0112] 功率发射器101因此包括响应于线圈电流误差指示而控制通过发射器线圈103的电流的控制回路。具体而言,控制回路可以响应于线圈电流误差指示来控制驱动信号的占空比和电压幅度中的至少一个。

[0113] 控制回路可以例如由图6的等效示意图表示。注意,控制回路的一般理论、分析和原理对于本领域技术人员而言是公知的,为了简洁起见,以下描述将集中于功率发射器101的特定控制回路的操作的新颖和发明性概念。

[0114] 在图6的等效图中,线圈电流误差 $e$ 被确定为反映当前目标电流的目标值与指示当前线圈电流的反馈值之间的差异。作为该线圈电流误差 $e$ 的函数的线圈电流的变化由第一部分回路响应LR1表示。因此,该第一部分回路响应可以包括回路响应处理器511的处理、驱动器的效应、参数被改变(例如,占空比或幅度电压)之间的关系等。当前线圈电流与用于确定线圈电流的反馈值之间的关系由第二部分回路响应LR2表示。因此,第二部分回路响应LR2可以表示测量传感器的响应、A/D转换等。

[0115] 整个回路响应可以是从线圈电流误差 $e$ 到测量电流 $I_m$ (的反馈值)的开环响应,即(开路)回路响应是第一部分回路响应LR1和第二部分回路响应部分回路响应LR2的组合效应。因此,如果第一部分回路响应LR1的频率响应由 $G_1(f)$ 表示并且第二部分回路响应LR2的频率响应由 $G_2(f)$ 表示,则回路响应由下式给出:

$$[0116] G(f) = G_1(f) \cdot G_2(f).$$

[0117] 将意识到,不同的实施例中可以使用不同的电流度量。例如,在许多实施例中,可以将测量电流确定为合适时间间隔的平均或RMS电流。然而,在所描述的范例中,测量电流是针对线圈电流的峰值电流。这能够是特别有利的,因为大多数实施方式中的峰值电流可以直接测量而不需要额外的信号处理。

[0118] 在所描述的范例中,控制回路被布置成通过控制驱动信号的占空比和电压幅度中的至少一个来控制线圈电流。这可以允许有效控制线圈电流,同时仍允许功率传输在谐振模式下操作。实际上,当以谐振模式操作时,驱动频率通常被控制为与发射器谐振电路的谐振频率相同,以便减轻或消除负载调制的互调误差。因此,通过控制驱动频率来控制线圈电流通常是不可行的。而且,直接控制线圈电流通常是不切实际的,因为其倾向于需要与使用具有桥开关的逆变器对谐振电路的驱动不直接兼容的复杂功能。而且,在很多实施方式中,诸如通过减慢谐振电路的电容器或电感器的状态变化来控制发射器谐振电路的谐振频率的实施例,对线圈电流的直接控制将导致冲突。

[0119] 为了实现高效的性能,提供从功率接收器105到功率发射器101的高性能负载调制通信是重要的,并且实现低误差率是特别重要的。然而,在常规功率传输系统中,通信倾向于在某些情况下是欠佳的,从而导致增加的通信误差和欠佳功率传输性能。

[0120] 具体而言,在操作寻求补偿负载变化的控制回路的期望与通过检测由负载变化引起的变化进行通信的期望之间存在固有的冲突。具体而言,对于诸如Qi的系统,内部回路倾向于快速,而比较而言通信相对慢(具体而言,与内部控制回路的响应相比,比特持续时间相对较长)。因此,通常,与针对单个比特的负载调制相对应的负载变化将倾向于比持续时间比特快得多地被补偿,并且因此负载变化的效应的检测将是困难的。

[0121] 通常,这种冲突在诸如由仅在相对短的时间段内操作的内部电源回路解决的Qi系统中,中间时间间隔可用于通信。具体地,当从功率接收器接收到新的功率控制消息时,可以更新目标电流,并且内部功率控制回路可以在通常约10msec的时间段内被启用。这将导致线圈电流适配到新的目标值。然后停用内部功率控制,从而允许通过检测线圈电流的变化来检测任何负载变化。通常,内部功率控制回路可以在大约10msec的时间内活动并且消息之间的典型时间间隔高达250msec,这将导致负载通信调制在持续时间高达240msec的时间间隔内可用。因此,对于这样的系统,功率接收器大多数时间处于可以检测负载调制的状态。然而,这些时段会由相对较短的时间段所中断,其中,内部控制回路活动并控制线圈电流。

[0122] 已经发现这种方法在许多情况下工作良好。具体而言,已经发现当在感应方案下操作时,许多功率传输系统是高效的。然而,发明人已经意识到方法能够导致在一些情形和应用中的不利的甚至潜在不可接受的性能。具体而言,发明人已经意识到方法可能是欠佳的,并且在某些情况下潜在地不适用,尤其是对于在谐振方案下操作的无线功率传输。

[0123] 在谐振方案下,功率传输系统通常控制功率发射器以发射器谐振电路的谐振频率和驱动频率相同的方式工作。此外,频率通常可以被适配为与功率接收器105的谐振频率相同或至少接近功率接收器105的谐振频率。该适配可以例如通过使用可调谐谐振电路来实现,所述可调谐谐振电路可以被适配,直到线圈电流对于给定的功率接收器而言被最大化,其中,驱动频率适于与谐振频率相同。在一些方法中,谐振频率的适配可以通过例如在每个周期的部分内将发射器谐振电路短路的电容器来执行。将驱动频率和发射器谐振频率适配到功率接收器的谐振频率的方法的范例可以例如在在US2004/0130915A1或US 2006/0113970A1中找到。

[0124] 因此,在期望功率发射器和功率接收器的线圈之间的增加的距离(例如为了在定位中提供更多的自由度)的许多系统中,功率传输发生在松散耦合的谐振方案中,并且功率发射器和功率接收器的谐振频率匹配以便实现最大效率。然而,发明人已经认识到,当以这种方案操作时,通过初级线圈的电流的幅度强烈地取决于功率接收器负载,并且这导致时分通信和内部控制回路的常规方法出问题。

[0125] 图7图示了示出流过分别为 $1\text{k}\Omega$  (曲线701) 和 $10\Omega$  (曲线703) 的功率接收器负载的初级线圈的电流的模拟结果。在范例中,功率发射器和功率接收器的谐振频率都被设置为 $105\text{kHz}$ 并且线圈之间的耦合为0.1。

[0126] 如图7所示,当功率接收器连接其负载(例如,仅从 $1\text{k}\Omega$  的内部负载切换到也为 $10\Omega$  的外部负载(对应于电池)供电)时,线圈电流的幅度可以非常显著下降(>10dB)。由这种负载变化导致的大电流变化可以例如导致以下问题:

[0127] 当发射线圈电流的幅度下降时,功率接收器接收的功率也下降。如果这种功率下降太大,功率接收器接收到的功率将不足以保持适当的操作。在这种情况下,内部微控制器将重新初始化并且负载断开。通常,当功率接收器连接其负载时会发生此问题。在这种情况下,功率传输阶段总是直接中止。

[0128] 当初级电流的幅度增加时,功率接收器接收的功率也增加。如果该增加太大,它可能饱和甚至可能损坏功率接收器。

[0129] 因此,当在谐振模式下操作时,控制线圈电流特别重要。然而,利用常规方法,内部

控制回路只是相对不常活动并且占空比短。事实上,时间被分成通信时间间隔以及控制间隔,在通信时间间隔中,功率发射器可以从功率接收器接收负载调制消息,在控制间隔中,内部控制回路调节操作以提供期望的电流。然而,如果在通信时间间隔内发生显著负载阶跃,则在相当长的时间内可能无法补偿。因此,线圈电流在相当长的时间内可能非常实质上过高或过低,从而潜在地导致故障。

[0130] 然而,在图5的系统中,采用了不同的方法,其可以缓解并且通常防止这种情形发生。具体而言,在图5的系统中,功率发射器被布置成在通信时间间隔期间使(内部)控制回路活动,即,功率发射器可以在这些时间间隔期间既能够操作控制回路又能够接收负载调制。

[0131] 这是通过实施控制回路响应的功率发射器实现的,所述控制回路响应被设置为针对相对于针对较大误差的回路响应的小误差被衰减。特别地,回路响应对于在包括没有误差的情况下(即,测量电流与目标电流相同)的减小的控制范围内的线圈电流误差指示是衰减的。当线圈电流在该减小的控制范围内时,其表示目标电流与实际测量电流之间的小差异。因此,与当误差较大时相比,对于小的误差值,回路响应衰减。因此,与小误差的情况相比,响应于大误差,控制回路将更强地做出反应。

[0132] 实际上,在许多实施例中,回路可能不会对减小的控制范围内的误差做出反应(为了简洁起见,在减小的控制范围内或之外的线圈电流误差指示将被称为在减小的控制范围之内或之外的(电流)误差。更具体地,电感器电流误差指示也将简称为电流误差)。

[0133] 因此,应用分级方法,对小误差,应用通常很少的回路响应或不应用回路响应,而对于较大误差,可以应用较强的响应。因此,对小负载变化的回路响应可能不明显,而对大误差的响应非常明显。因此,该回路可以补偿大的负载变化,但不补偿小的负载变化。

[0134] 因此,实施回路响应,其可以允许由负载调制产生的小电流变化保持,从而允许它们由接收器503解调。同时,控制回路保持活动并且能够补偿任何大的电流变化,例如特别是由功率接收器处的大负载阶跃产生的那些。因此,功率发射器仍能够适应于负载变化并将线圈电流保持在足够小的范围内。

[0135] 因此,与操作控制回路或接收负载调制的常规时分方法相对,图5的功率发射器的方法通过使用允许两个功能同时执行的分级回路响应来解决这些之间的冲突。因此,方法打破了常规理解,即两种操作不兼容,并且在任何给定时间只能执行一个操作。

[0136] 将意识到,衰减的精确幅度和类型以及减小的控制范围的确切大小将取决于个体实施例的具体偏好和要求。通常可以选择参数以试图最小化控制回路对由于负载调制的电流变化的影响,同时提供由功率接收器的负载的变化引起的较大负载变化的足够强的补偿。

[0137] 在许多实施例中,通过应用控制回路的回路增益的差异和/或控制回路的更新率的差异来实施对于减小的控制范围之内和之外的误差的回路响应的差异。对于采样的控制回路,更新率可以反映样本的频率和/或来自的控制回路的输出变化的频率(并且通常这些将是相同的)。在一些实施例中,可以通过改变控制回路的频率响应来修改更新率。这可以针对连续和采样控制回路完成。例如,用于减小的控制范围中的值的回路滤波器可以具有比减小的控制范围之外的值更低的截止频率。

[0138] 例如,控制回路可以包括IIR滤波器形式的回路滤波器,由下式给出:

$$[0139] \Delta I'_n = \Delta I'_{n-1} + \alpha (\Delta I_n) \cdot \Delta I_n$$

[0140] 其中,  $\Delta I_n$  是线圈电流误差指示。在范例中, 当前线圈电流误差指示的权重  $\alpha$  因此取决于线圈电流误差指示本身。具体而言, 对于线圈电流误差指示, 权重  $\alpha$  在减小的控制范围内比如果在减小的控制范围外更低。

[0141] 例如, 对于在减小的控制范围内的线圈电流误差指示, 权重  $\alpha$  可以被设置为零, 而对于在减小的控制范围之外的线圈电流误差指示, 权重  $\alpha$  可以被设置为合适值(诸如例如 0.1, 对于许多实际应用)。结果, 回路不会响应于反映负载调制变化的小误差而更新, 而将被布置为快速适应于反映功率接收器的大负载变化的大误差。

[0142] 在谐振方案下, 可以通过控制驱动信号的占空比或电压来调节通过发射线圈的电流。驱动信号的电压幅度可以通过适配DC/AC级(逆变器开关电桥)的干线电压来具体适配。事实上, 由于希望将驱动频率设定为与功率发射器和功率接收器的谐振频率相匹配, 所以该参数通常不适用于调节电流。下面的范例聚焦于通过控制占空比来控制线圈电流, 但将意识到, 相同的原理可以应用于例如控制电压幅度。

[0143] 在许多实施例中, 回路响应可以特别地在减小的控制范围内通过对于减小的控制范围内的误差值回路增益相比减小的控制范围之外的值低而被衰减。增益可以例如通过考虑受控输出的改变与误差值之间的关系来确定。例如, 对于减小的控制范围内的误差值, 相比减小的控制范围外的值, 第一部分回路响应LP1的响应可能较低。

[0144] 具体而言, 在许多实施例中, 对于减小的控制范围内的误差值, 回路增益可以基本为零。具体地, 对于减小的控制范围中的值, 回路响应可以使得不对被控制的参数, 例如特别是驱动信号的占空比和/或电压幅度, 进行改变。

[0145] 图8中图示了可能的回路响应的具体范例。图具体说明了驱动信号的占空比和电流误差之间的关系。因此, 该图可以被认为表示第一部分回路响应LP1。第二部分回路响应LP2可以被认为是恒定的(例如, 对应于电流传感器和误差单元的恒定操作)。

[0146] 在范例中, 电流误差的可能范围分为三个区域, 分别称为区域A、B和C。区域A对应于减小的控制范围, 并且位于零电流误差附近。对于区域A中的电流误差, 即在降低的控制范围内, 部分回路的增益以及因此整个回路的增益为零。因此, 对于达到  $I_a$  的值的绝对误差值  $\Delta I = |I_m - I_{\text{目标}}|$ , 不引入对占空比进行调节。

[0147] 区域B对应于从  $I_a$  到  $I_b$  的区间中的绝对电流误差  $\Delta I = |I_m - I_{\text{目标}}|$ 。对于区域B中的误差值, 应用高于零的恒定增益, 即占空比的变化随着电流误差线性变化。

[0148] 区域C对应于大于  $I_b$  的绝对电流误差。对于区域C中的误差值, 应用了高于区域A的恒定增益的恒定增益, 即占空比的变化随着电流误差线性地变化并且以高于区域B中的值的程度变化。

[0149] 因此, 在该范例中, 控制回路可以具有不同回路响应的多个模式操作, 并且在具体范例中具有不同的回路增益值。其中一种模式是减小的控制模式(区域A中的误差), 其中, 回路响应相对于其他模式中的回路响应被衰减。在具体范例中, 对于减小的控制模式, 回路响应为零, 即, 不执行控制。

[0150] 在范例中, 回路响应处理器511被布置成基于线圈电流误差指示在不同模式之间切换。具体而言, 对于区域A中的绝对误差值, 选择对应于零增益的模式; 对于区域B中的绝对误差值, 通过应用高于零的第一增益来选择第一模式; 并且区域C中的绝对误差值, 通过

应用高于第一增益的第二增益来选择第二模式。

[0151] 因此,在所描述的范例中,应用了渐进式增益。具体而言,(绝对)增益是绝对电流误差的单调递增函数。因此,在该范例中,较高(绝对)电流误差导致施加较高(或不变)(绝对)增益,即较高(绝对)电流误差导致较强的回路响应,并因此导致更积极的回路控制和更快的控制操作。

[0152] 这种方法可能允许实际的并且在许多情形下低复杂度的实施方式。其还可以提供非常高效的操作,其中,回路的当前性能能够适于当前条件。具体而言,当功率传输很好地适于当前功耗时,不应用调节,因此允许性能优化用于检测负载调制。但是,与此同时,控制回路仍然活动,如果误差增加到给定水平( $I_a$ )以上,则控制回路开始适配占空比以减小误差。该适配可以针对相对小的变化进行优化,并且可能不过大或过快。因此,适配可以反映出提供的功率与期望的功率之间的差异仍然相对小。这可以例如在一些实施例中允许负载调制仍然被解调,尽管可能处于更高的误差率处。然而,如果发生突然的负载阶跃变化(例如由负载中的功率接收器切换引起的负载阶跃变化),则电流误差将超过 $I_b$ ,并且因此该回路将以非常强的调节在第三模式(区域C)中操作。因此,快速和大的负载变化可以被快速和高效地解决(但通常以可解码的负载调制为代价)。

[0153] 尽管上面的范例是根据不同模式之间不同的(瞬时)增益值来描述的,但应该理解,可以备选地或额外地使用例如回路的更新率来实现。例如,当电流误差在区域A中时,不会发生回路的更新,当电流误差在区域B中时,可以以相对低的频率(例如,例如,1-10msec之间更新间隔)来更新回路(以及具体地,占空比);并且当电流误差在区域C中时,可以以高频率更新回路(例如,可以每个周期更新占空比,例如对应于约10μsec的更新间隔)。将意识到,更新率可以潜在地分别对于增加和减小的功率而言是不同的。例如,在实践中已经发现,针对断电操作的区域C中的30μsec的更新率,和针对通电操作的70μs的更新率提供有利的性能。

[0154] 因此,在上面的范例中,控制回路被布置为使得甚至当控制回路活动时也可以支持负载调制。实际上,对于小负载变化的补偿被减小/衰减,使得仍然能够检测到来自负载调制的电流变化,同时为大的负载变化提供强大的调节/补偿,从而允许对例如在谐振方案下操作时可能出现的大电流阶跃有非常快速和活动的响应。

[0155] 因此,在方法中,控制回路在可以从功率接收器接收负载调制的通信时间间隔期间是活动的。因此,回路是活动的,并且可以在整个通信时间间隔期间对(至少一些)负载/电流变化进行反应。没有必要引入功率发射器在功率控制和负载调制通信之间切换的时分方法。

[0156] 实际上,控制回路能够如所描述的连续运行,并且功率接收器能够总是通过负载调制来发送消息。因此,通信时间间隔可以占用整个持续时间(或等价地,通信时间间隔可被认为具有整个功率传输过程/操作的持续时间)。

[0157] 然而,在许多实施例中,通信时间间隔可能仅占部分持续时间。具体而言,通信时间间隔可以散布有非通信时间间隔。在通信时间间隔期间,控制回路如所描述的那样是活动的,即其实施衰减回路响应的减小的控制范围。然而,在通信时间间隔之外,即在非通信时间间隔期间,可以应用其他回路响应。具体而言,如图9所示,功率发射器101可以包括回路适配器901,其被耦合到回路响应处理器511并且被布置成控制这种情况,使得控制回路

在通信时间间隔之外具有更强的回路响应,即在非通信时间间隔期间,而不是在通信时间间隔期间。

[0158] 具体而言,回路响应处理器511可以适于在非通信时间间隔期间减小或完全移除减小的控制范围。例如,在通信时间间隔期间,针对高达 $I_a$ 的绝对误差值(即,当处于减小的控制范围/区域A中时)实施“死区”(增益为零)。然而,在非通信时间间隔期间,“死区”可能仅扩展到(可能远远)小于 $I_a$ 的值。事实上,在许多实施例中,在非通信时间间隔期间不采用“死区”(即,没有减小的控制范围)。

[0159] 在非通信时间间隔期间,因此可以针对至少一些误差值应用比通信时间间隔期间更强的回路响应,并且具体而言,尤其相比于通信时间间隔期间对于较小的误差可以应用更强的回路响应。在许多实施例中,回路适配器901可以对回路进行适配以对于减小的控制范围中的至少一些误差值并且通常对于所有值具有更强的回路响应。可以通过针对在非通信时间间隔期间的至少一些误差值(通常为减小的控制范围的)增益和/或更新率比在通信时间间隔期间更高具体实现更强的回路响应。

[0160] 作为特定范例,回路适配器901可以控制回路响应处理器511以在通信时间间隔期间应用图8的回路响应。此外,更新率针对区域B可以是5msec,而针对区域C可以是10μsec。然而,在非通信时间间隔期间,可以代替地应用图10的回路响应。此外,可以将所有误差值的更新率设置为50μsec。

[0161] 因此,在该范例中,回路适配器901被布置成使得减小的控制范围更小,以针对许多误差值增加回路增益,并且在处于非通信时间间隔时针对许多误差值增加更新率。所有这些因子使得回路响应更强,即针对至少一些误差值使得占空比/幅度电压的更大的响应/输出/调节。将意识到,在其他实施例中,并非所有描述的参数都必须在通信时间间隔和非通信时间间隔之间改变。例如,在一些实施例中,被改变的仅参数是减小的控制范围的大小,例如,通过区域B的增益也被用于区域A。

[0162] 在这样的实施例中,回路可以相应地被布置成以不同的机制进行操作。在第一种机制中,对于较小的误差值,回路响应被衰减,从而允许或改进负载调制。然而,在第二种机制中,采用更强的回路响应,因此可以实现改进的调节。然而,该改进的调节可以以降低的通信性能为代价并且潜在地由不能解调负载调制的功率发射器来实现。

[0163] 在许多实施例和应用中使用这种不同的机制可以提供特别高效的操作。例如,可以在通信时间间隔期间操作第一机制,其中,负载变化或其他变化不可能发生(尽管回路仍然是活动的并且因此可以在这些情况确实发生并且足够大时进行反应)。然而,调节可以在很多情况下导致线圈电流未被完全优化。例如,在图8的范例中,对于达到 $I_a$ 之前的误差不进行校正。然而,通信时间间隔可能会由改进的调节发生的非通信时间间隔中断。例如,使用图10的回路响应,控制回路可以将电流误差减小到零(或接近于此)。因此,这两种状态可以提供协同效应,在功率调节和通信性能之间进行特别有吸引力的折中。实际上,通信时间间隔常常可以相对短(通常大约5-20msec),而非通信时间间隔可能相当长(比如,通常大约100-400msec)。因此该方法可以提供非常有效的功率控制,同时仍允许在功率控制仍然活动(尽管减小)的通信时间间隔期间进行通信。

[0164] 将意识到,功率发射器可以使用任何合适的方法来确定并划分为通信时间间隔和非通信时间间隔。

[0165] 事实上,在一些实施例中,通信时间间隔的确定可以是其中已知、检测到认为很可能/能够功率接收器可以发送消息的时间间隔。然而,在其他实施例中,功率发射器可以相对任意地将例如时间帧划分成通信时间间隔和非通信时间间隔。实际上,通信时间间隔和非通信时间间隔可以分别被认为对应于功率发射器分别使用减小的控制范围回路响应和更强的回路响应的时间间隔。

[0166] 具体地,控制器501可以包括用于将通信时间间隔确定为周期性重复的时间间隔的功能。例如,控制器501可以实施250msec的周期性重复时间帧,其被划分为比如240msec的控制时间间隔(即非通信时间间隔)和10msec的通信时间间隔。因此,可以针对大部分时间执行改进的调节。这可以确保在控制时间间隔的结束处通过发射器线圈的实际电流与目标值紧密匹配。然而,在时间帧的部分内,修改调节以允许检测负载调制,同时仍提供可以补偿较大负载变化的调节。

[0167] 这样的方法可以提供低复杂度的方法,并且例如可以适用于其中可以在任何时间处发送消息、但是正确接收所有消息并不关键的应用中。将意识到,相应通信时间间隔和非通信时间间隔的持续时间可以适于个体实施例,以反映调节性能和通信性能(并且具体地,通信误差率)之间的优选折中。

[0168] 在许多实施例中,功率发射器可以被布置成将通信时间间隔确定为其中认为很可能功率接收器将或可以发送负载调制消息的时间间隔。这可以例如基于功率发射器和功率接收器两者必须符合并且包括对消息的通信的定时的限制的技术规范。

[0169] 在一些实施例中,功率发射器可以被布置成检测从功率接收器发送的消息并且响应于该检测来确定通信时间间隔。具体地,响应于接收器检测到来自功率接收器的消息的预定前导模式,控制器501可以被布置成确定通信时间间隔的开始。

[0170] 因此,在一些实施例中,功率接收器可以通过传送具有预定模式的前导来初始化消息或一系列消息。这样的模式通常包括多个数据比特上的多个转换和延伸。因此,这些前导通常以比个体比特的解调更高的概率被检测到。因此,即使正在使用非通信时间间隔的较强回路响应,消息接收器503通常也能够检测到预定的前导模式。因此,功率接收器可以在非通信时间间隔中操作(即,具有更强的回路响应),直到功率发射器检测到预定前导模式的存在。当检测到这种情况时,功率发射器可以切换到应用减小的控制范围以便允许来自功率接收器的负载调制消息的可靠解调的通信时间间隔中。功率发射器然后可以切换回非通信时间间隔,例如在预定时间段之后或者接收到完整消息时。

[0171] 在一些实施例中,回路响应处理器511可以被布置成在通信时间间隔期间采用非对称回路响应,并且在通信时间间隔之外(即在非通信时间间隔期间)采用对称回路响应。

[0172] 在对称回路响应中,作为线圈电流误差的函数的回路响应可以围绕线圈电流误差的零值对称。具体而言,回路响应(例如回路增益)的绝对值可以是线圈电流误差的对称函数,其对称性与线圈电流误差为零相对应。对称回路响应的范例在例如图8和图10图示。

[0173] 非对称回路响应可以是非对称的回路响应。具体而言,对于非对称回路,作为线圈电流误差的函数的回路响应围绕线圈电流误差的零值是非对称的。具体而言,回路响应(例如回路增益)的绝对值不是线圈电流误差的对称函数,对称对应于线圈电流误差为零。非对称回路响应的范例在例如图11中图示。

[0174] 在例如图8和10的对称响应中,绝对回路响应对于具有相同绝对值但相反符号的

线圈电流误差是相同的。在例如图11的非对称响应中，绝对回路响应对于具有相同绝对值但相反符号的至少一些线圈电流误差是不同的。

[0175] 相比于指示测量电流低于目标值的误差，对于指示测量电流高于目标值的误差，非对称回路能够具有不同的回路响应/增益。对于指示测量电流高于目标值的误差，并且对于指示测量电流低于目标值的误差，对称回路可以具有相同的回路增益。

[0176] 具体而言，在非对称回路响应中，对指示测量电流高于目标值的误差的响应可以高于对指示测量电流低于目标值的误差的响应。事实上，在后一种情况下，可能没有响应，即非对称响应可以被布置为不允许通过发射器线圈的电流的任何增加。

[0177] 例如，对称回路响应可以是图10的响应并且这可以在非通信时间间隔期间被采用。然而，在通信时间间隔期间，可以使用图11的回路响应。

[0178] 这种方法可以在某些情形下提供安全机制。例如，类似于Qi，可以在不支持通信的相对短的时间间隔期间执行有效的功率控制。然而，与常规Qi相对，控制回路在通信时间间隔期间保持活动并且被布置成使得如果发生负载阶跃而导致过电流，则控制回路可以适配。因此，尽管在通信时间间隔期间可以不采用全功率控制，但控制回路仍然活动，以提供确保电流不会变得过大的安全功能。

[0179] 将意识到，为了清楚起见，以上描述已经参照不同的功能电路、单元和处理器描述了本发明的实施例。然而，显而易见的是，在不偏离本发明的情况下，可以使用不同功能电路、单元或处理器之间的任何合适的功能分布。例如，所示出的由单独的处理器或控制器执行的功能可以由相同的处理器或控制器执行。因此，对特定功能单元或电路的引用仅被视为对用于提供所描述功能的合适手段的引用，而不是指示严格的逻辑或物理结构或组织。

[0180] 本发明可以以包括硬件、软件、固件或这些的任何组合的任何适当形式来实现。本发明可以可选地至少部分地实现为运行在一个或多个数据处理器和/或数字信号处理器上的计算机软件。本发明的实施例的元件和部件可以以任何合适的方式在物理上、功能上和逻辑上实现。事实上，功能可以以单个单元、多个单元或作为其他功能单元的一部分来实现。这样，本发明可以在单个单元中实现，或者可以在物理上和功能上分布在不同的单元、电路和处理器之间。

[0181] 尽管已经结合一些实施例描述了本发明，但是并不意图将本发明限制于这里阐述的特定形式。相反，本发明的范围仅由所附权利要求来限定。另外，尽管特征可能看起来结合特定实施例进行描述，但本领域技术人员将认识到，可以根据本发明组合所描述的实施例的各种特征。在权利要求中，术语“包括”不排除其他元件或步骤的存在。

[0182] 此外，尽管单独列出，但多个单元、元件、电路或方法步骤可以通过例如单个电路、单元或处理器实现。另外，尽管各个特征可以包含于不同的权利要求中，但是这些特征可以有利地组合，并且包含在不同的权利要求中并不意味着特征的组合是不可行的和/或有利的。另外，在一类权利要求中包含特征并不暗示对该类别的限制，而是表示特征适当地同样适用于其他权利要求类别。此外，权利要求中的特征的次序并不暗示特征必须工作的任何特定次序，并且特别地在方法权利要求中的各个步骤的次序并不暗示这些步骤必须以该次序执行。相反，这些步骤可以以任何合适的次序执行。另外，单数引用不排除多个。因此，提及“一”、“一个”、“第一”、“第二”等并不排除多个。提供权利要求中的附图标记仅仅是作为澄清范例，不应当被解释为以任何方式限制权利要求的范围。

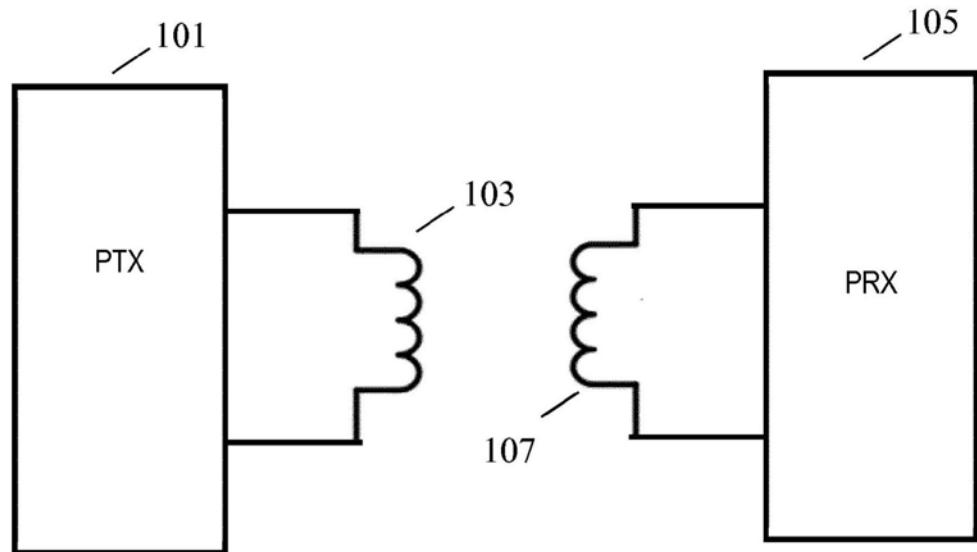


图1

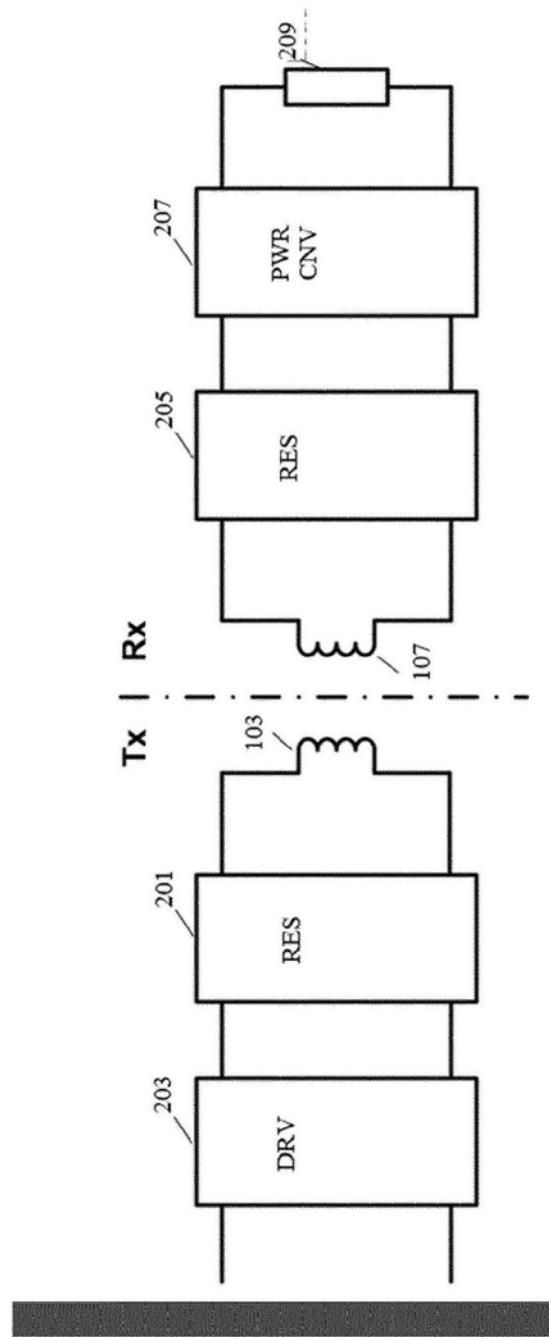


图2

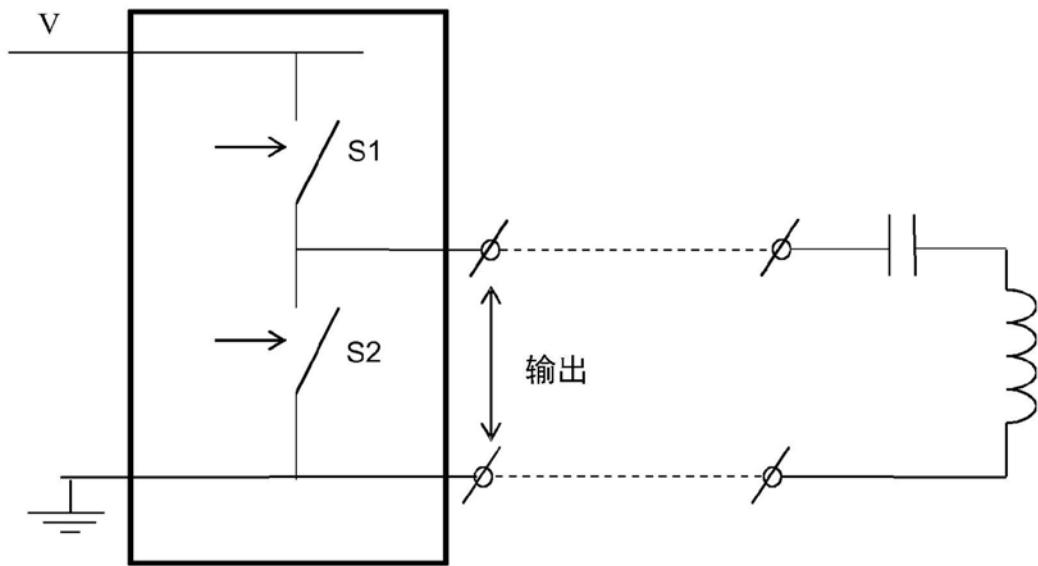


图3

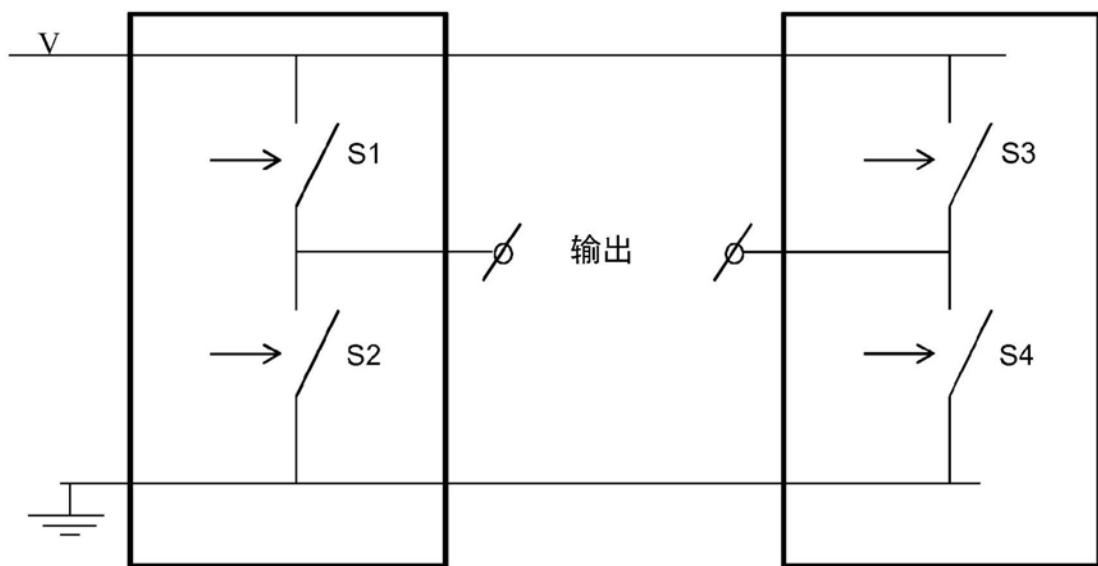


图4

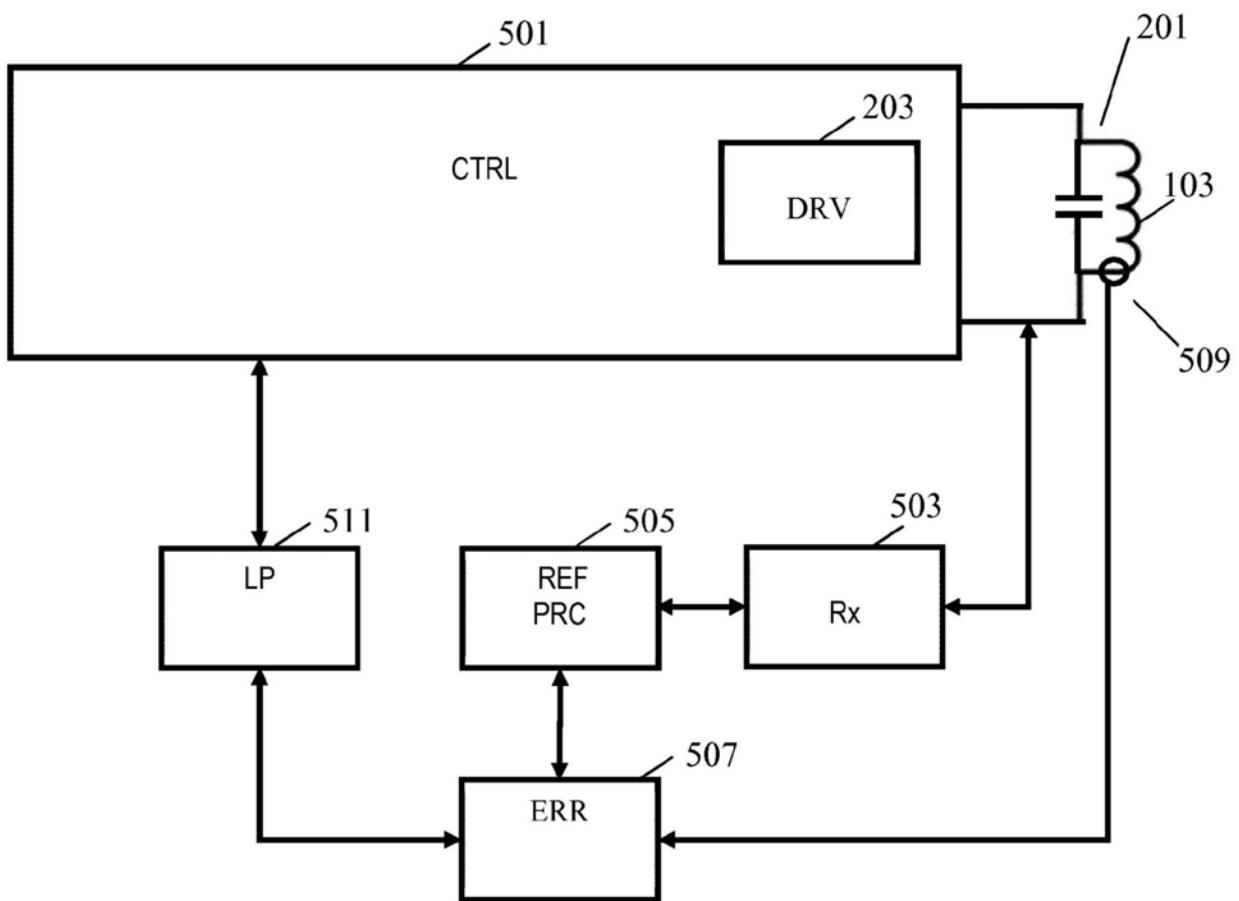


图5

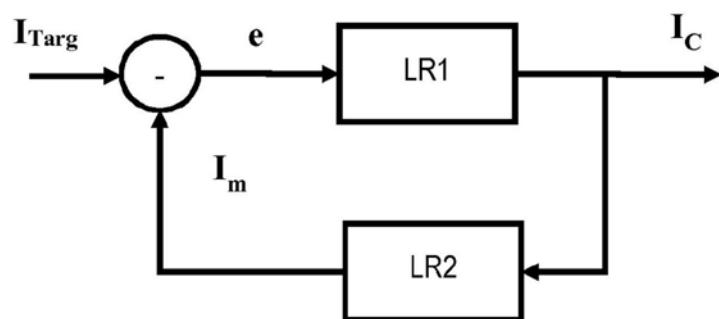


图6

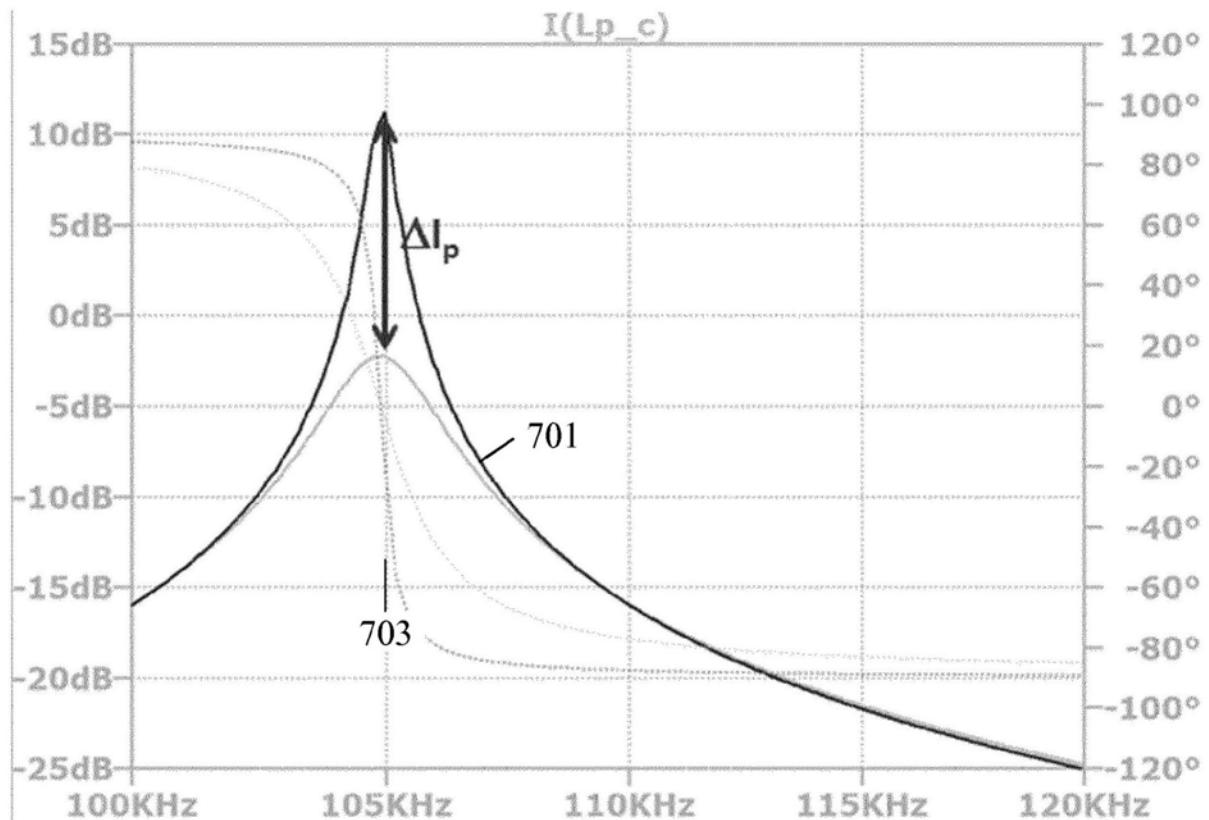


图7

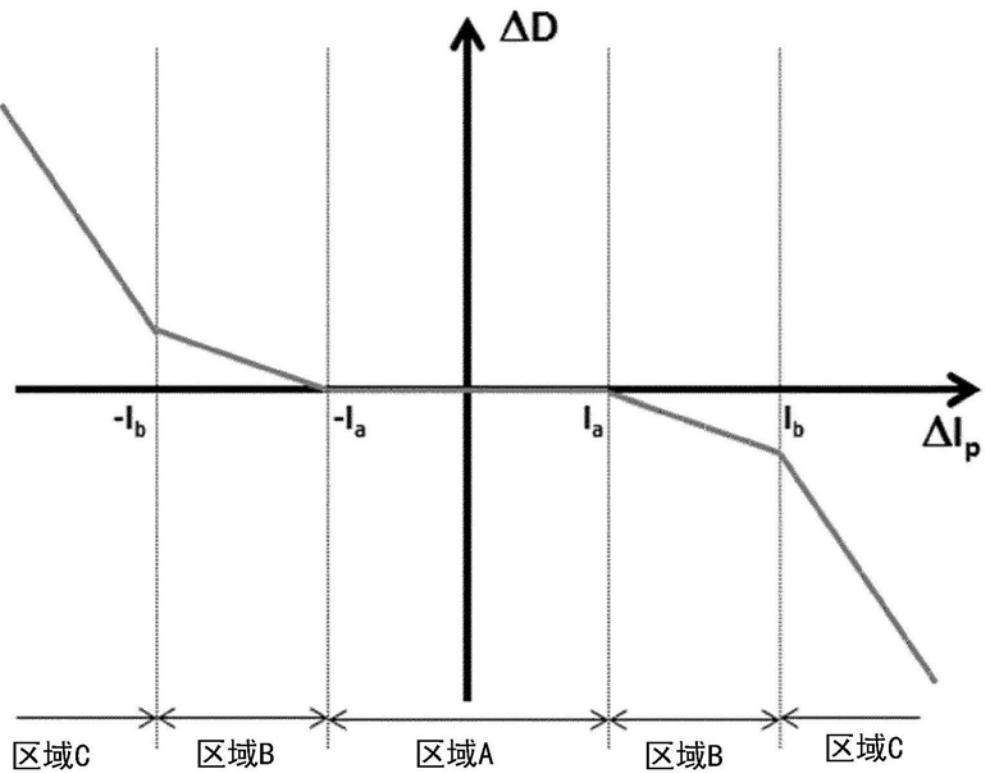


图8

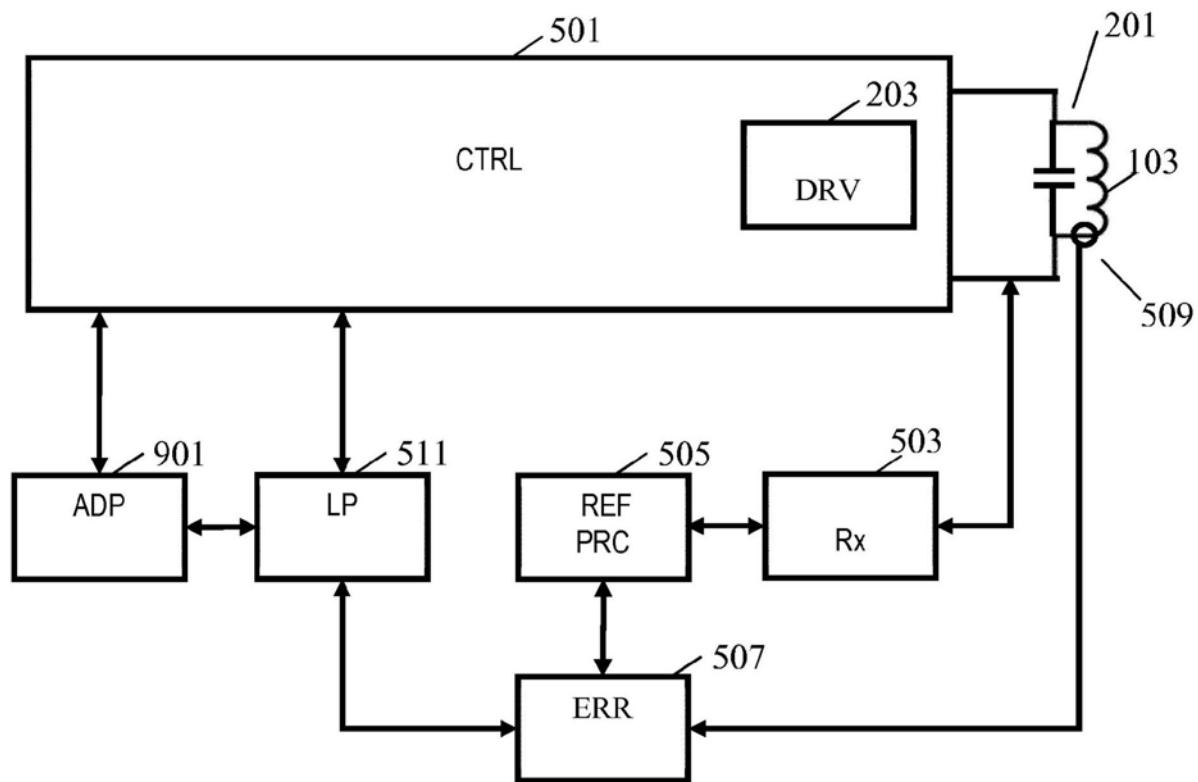


图9

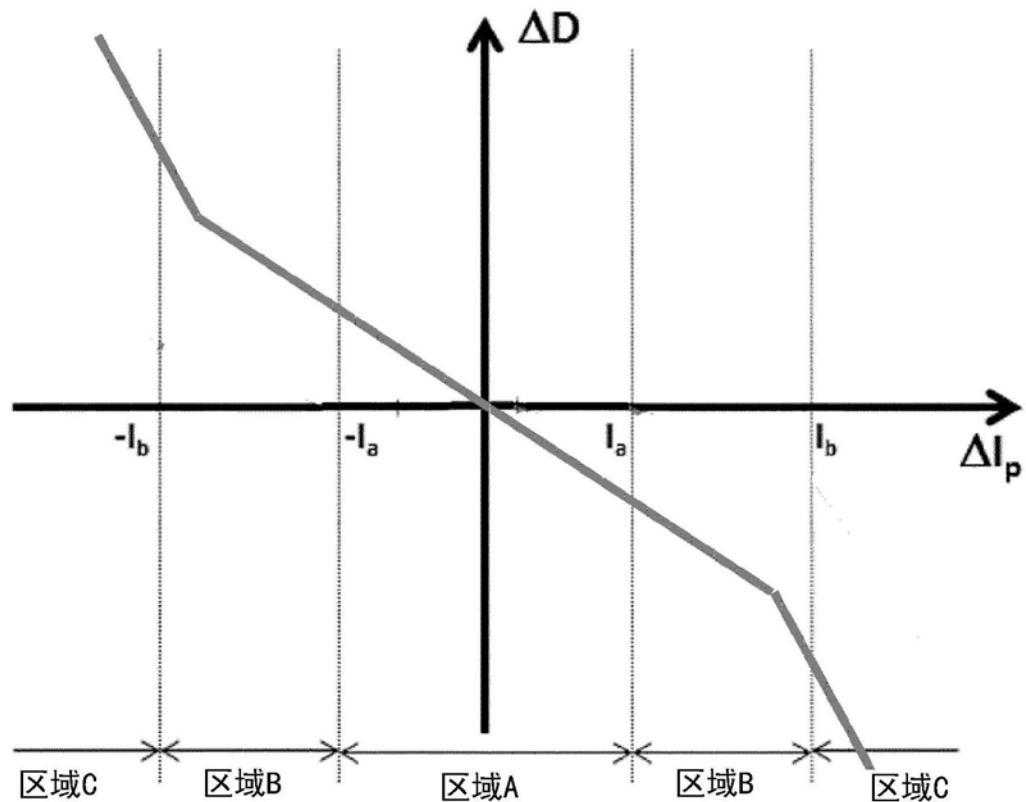


图10

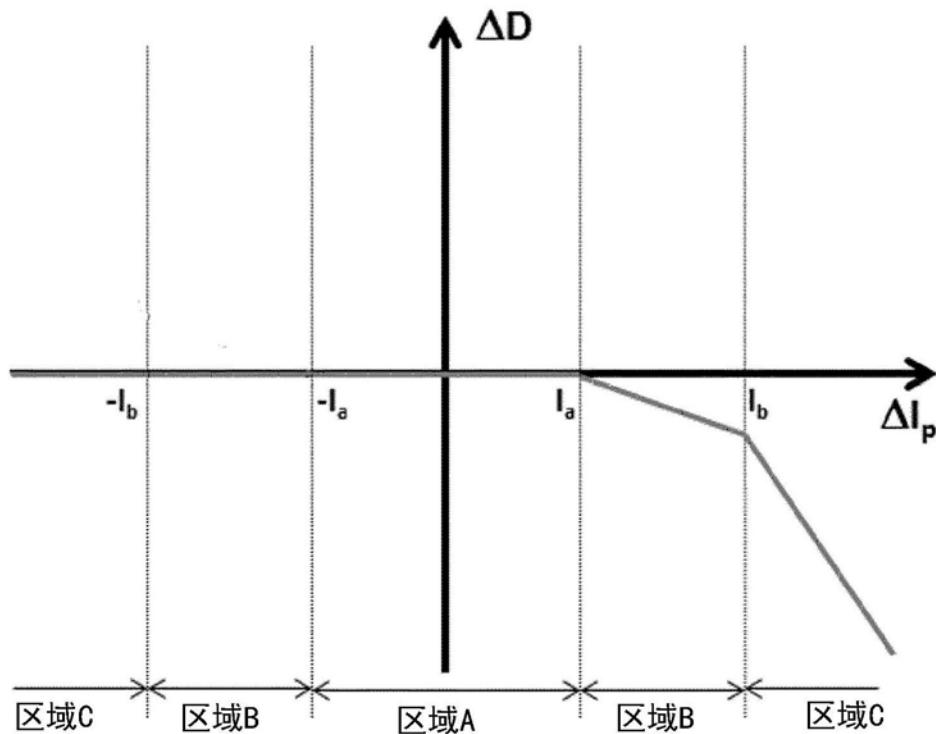


图11