



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104011969 B

(45)授权公告日 2017.09.22

(21)申请号 201280061720.8

(72)发明人 E·G·奥廷格

(22)申请日 2012.12.13

(74)专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司 11245

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104011969 A

代理人 赵蓉民

(43)申请公布日 2014.08.27

(51)Int.Cl.

(30)优先权数据

13/324,540 2011.12.13 US

H02J 5/00(2016.01)

H02J 7/02(2016.01)

H01F 38/14(2006.01)

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2014.06.13

(56)对比文件

CN 101965671 A, 2011.02.02,

US 2009/0174263 A1, 2009.07.09,

CN 101971453 A, 2011.02.09,

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2012/069497 2012.12.13

(87)PCT国际申请的公布数据

W02013/090565 EN 2013.06.20

审查员 张巍

(73)专利权人 德克萨斯仪器股份有限公司

地址 美国德克萨斯州

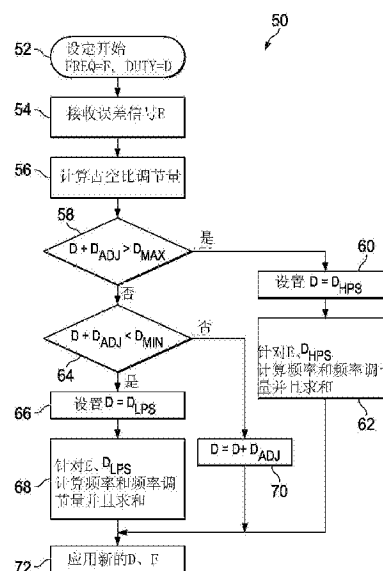
权利要求书3页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

无线电源系统和方法

(57)摘要

无线电源系统(10)具有发送器(12),该发送器(12)具有发送电路(15),该发送电路(15)具有电感器(L1),该电感器(L1)产生磁场以向用于对负载(38)供电和/或对电池充电的接收器(30)供电。发送器驱动控制器(16)提供开关控制信号以驱动发送电路。开关控制信号的频率和/或占空比被控制以响应于来自接收器的、指示期望功率和负载接收的实际功率之间的变化的控制误差信号将通过电感器(L1)提供的功率调节到期望功率。所述驱动控制器(16)调节所述占空比以达到期望功率,除非所述占空比的调节导致占空比在预定占空比范围之外。如果所述占空比的调节导致占空比在预定占空比范围之外,则所述控制器将占空比设定到预设占空比并且调节频率以达到期望功率。



1. 一种无线电源系统,所述无线电源系统包括:

发送电路,其包括电感器,所述电感器经配置以产生磁场从而向接收器提供功率;以及
驱动控制器,其提供开关控制信号以驱动所述发送电路,所述驱动控制器经配置以响应于来自所述接收器的控制信号而调节所述开关控制信号的频率和/或占空比以将由所述发送电路产生并且通过所述电感器提供到所述接收器的功率调节到期望功率,所述驱动控制器调节所述占空比以实现所述期望功率,除非所述占空比的调节导致所述占空比在预定占空比范围之外,并且如果所述占空比的所述调节导致所述占空比在所述预定占空比范围之外则调节所述频率以实现所述期望功率,

其中如果所述占空比的所述调节导致所述占空比大于预定最大占空比,则所述驱动控制器将所述占空比设定为小于所述预定最大占空比的占空比高预设设定并且所述驱动控制器计算频率的变化并且将频率的变化求和以调节控制误差并且调节所述占空比的设定,并且将这个和添加到当前频率以确定并且设定针对所述开关控制信号的新频率。

2. 根据权利要求1所述的系统,其中,如果所述占空比的所述调节导致所述占空比在预定占空比范围之外,则所述驱动控制器将所述占空比设定为预设占空比。

3. 根据权利要求1所述的系统,所述系统还包括:

接收器;以及

负载,其耦接到所述接收器,使得到所述接收器的功率被提供以对所述负载供电和/或对与所述负载关联的电池充电。

4. 根据权利要求3所述的系统,其中,控制误差是提供所述期望功率和由所述负载接收的实际功率之间的差异的指示的控制误差信号。

5. 根据权利要求3所述的系统,其中,所述负载是移动电池可充电装置,并且开关转换器的至少一部分驻留在充电板内。

6. 一种无线电源系统,所述无线电源系统包括:

发送电路,其包括电感器,所述电感器经配置以产生磁场从而向接收器提供功率;以及
驱动控制器,其提供开关控制信号以驱动所述发送电路,所述驱动控制器经配置以响应于来自所述接收器的控制信号而调节所述开关控制信号的频率和/或占空比以将由所述发送电路产生并且通过所述电感器提供到所述接收器的功率调节到期望功率,所述驱动控制器调节所述占空比以实现所述期望功率,除非所述占空比的调节导致所述占空比在预定占空比范围之外,并且如果所述占空比的所述调节导致所述占空比在所述预定占空比范围之外则调节所述频率以实现所述期望功率,其中,如果所述占空比的所述调节导致所述占空比小于预定最小占空比,则所述驱动控制器将所述占空比设定为大于所述预定最小占空比的占空比低预设设定,以允许随后调节中的所述占空比的调节余量并且所述驱动控制器计算频率的变化并且将频率的变化求和以调节控制误差并且调节所述占空比的设定,并且将这个和添加到当前频率以确定并且设定针对所述开关控制信号的新频率。

7. 一种无线电源系统,所述无线电源系统包括:

接收器;

负载,其耦接到所述接收器,使得到所述接收器的功率被提供以对所述负载供电和/或对与所述负载关联的电池充电;以及

发送器,所述发送器包括:

发送电路,其包括电感器,所述电感器经配置以产生磁场从而向所述接收器提供功率;
以及

驱动控制器,其提供开关控制信号以驱动所述发送电路,所述驱动控制器经配置以响应于来自所述接收器的控制误差信号而调节所述开关控制信号的频率和/或占空比以将由所述发送电路产生并且通过所述电感器提供到所述接收器的功率调节到期望功率,所述控制误差信号提供所述期望功率和由所述负载接收的实际功率之间的差异的指示,所述驱动控制器调节所述占空比以实现所述期望功率,除非所述占空比的调节导致所述占空比在预定占空比范围之外,并且如果所述占空比的所述调节导致所述占空比在所述预定占空比范围之外则所述控制器将所述占空比设定成预设占空比并且调节频率以实现所述期望功率,

其中如果所述占空比的所述调节导致所述占空比大于预定最大占空比,则所述驱动控制器将所述占空比设定为小于所述预定最大占空比的占空比高预设设定并且所述驱动控制器计算频率的变化并且将频率的变化求和以调节控制误差并且调节所述占空比的设定,并且将这个和加到当前频率以确定并且设定针对所述开关控制信号的新频率。

8. 根据权利要求7所述的系统,其中,所述负载是移动电池可充电装置,并且所述发送器的至少一部分驻留在充电板内。

9. 一种无线电源系统,所述无线电源系统包括:

接收器;

负载,其耦接到所述接收器,使得到所述接收器的功率被提供以对所述负载供电和/或对与所述负载关联的电池充电;以及

发送器,所述发送器包括:

发送电路,其包括电感器,所述电感器经配置以产生磁场从而向所述接收器提供功率;
以及

驱动控制器,其提供开关控制信号以驱动所述发送电路,所述驱动控制器经配置以响应于来自所述接收器的控制误差信号而调节所述开关控制信号的频率和/或占空比以将由所述发送电路产生并且通过所述电感器提供到所述接收器的功率调节到期望功率,所述控制误差信号提供所述期望功率和由所述负载接收的实际功率之间的差异的指示,所述驱动控制器调节所述占空比以实现所述期望功率,除非所述占空比的调节导致所述占空比在预定占空比范围之外,并且如果所述占空比的所述调节导致所述占空比在所述预定占空比范围之外则所述控制器将所述占空比设定成预设占空比并且调节频率以实现所述期望功率,

其中如果所述占空比的所述调节导致所述占空比小于预定最小占空比,则所述驱动控制器将所述占空比设定为大于所述预定最小占空比的占空比低预设设定并且所述驱动控制器计算频率的变化并且将频率的变化求和以调节所述控制误差并且调节所述占空比的设定,并且将这个和加到当前频率以确定并且设定针对所述开关控制信号的新频率。

10. 一种用于提供无线电力的方法,所述方法包括:

设定驱动发送电路的开关控制信号的初始频率和占空比,所述发送电路包括电感器,所述电感器经配置以产生磁场从而向接收器提供功率;

接收来自所述接收器的控制误差信号,其提供期望功率和接收到的实际功率之间的差异的指示;

调节所述开关控制信号的所述占空比以实现所述期望功率,除非所述占空比的调节导

致所述占空比在预定占空比范围之外；

如果所述占空比的所述调节导致所述占空比在所述预定占空比范围之外，则调节所述开关控制信号的所述频率以实现所述期望功率；

如果所述占空比的所述调节导致所述占空比在预定占空比范围之外，则将所述占空比设定为预设占空比；以及

计算频率的变化并且将频率的变化求和以调节所述控制误差信号并且调节所述占空比的设定，并且将这个和加到当前频率以确定并且设定针对所述开关控制信号的新频率。

11. 根据权利要求10所述的方法，还包括：如果所述占空比的所述调节导致所述占空比大于预定最大占空比，则将所述占空比设定为小于所述预定最大占空比的占空比高预设设定。

12. 根据权利要求10所述的方法，还包括：如果所述占空比的所述调节导致所述占空比小于预定最小占空比，则将所述占空比设定为大于所述预定最小占空比的占空比低预设设定。

无线电源系统和方法

技术领域

[0001] 本申请总体上涉及通信电子装置,更具体地,涉及无线电源/电力系统和方法。

背景技术

[0002] 目前存在对在商业、商务、个人、消费者和其他应用中使用的便携式或者移动装置供电的需求。这些装置的示例包括蜂窝电话、个人数字助理(PDA)、笔记本电脑、移动电子邮件装置、音乐播放器、收音机、致密盘/光盘播放器、视频游戏控制机、数码相机、电动刮胡刀、电动牙刷甚至电动车辆。大多数这些装置包括可充电内置电池,在装置自身可被使用之前,需要用外部电源或者充电器给内置电池充电。最近,关注提供用于对一个或者几个移动装置、电池和/或电子装置供电或者充电的通用无线方法。这些“无线电源”方法可总体上被划分成传导和电感方法。传导方法使用来自充电器和/或电源到移动装置的电流流动以通过匹配装置背面和衬垫上的接触件来提供电力和接收电力,而不“插入”装置。电感方法利用充电器和/或电源中的线圈或者导线以在表面附近创建磁场。位于表面附近的嵌入到装置或者电池中或者上面的接收器中的线圈或者导线可感测该磁场。来自充电器和/或电源的电力在没有任何有线连接的情况下通过之间的空气或者其它介质可传递到接收器。

[0003] 最近,发起了称为“无线电源联盟”(WPC)的组织,其是为了创建针对电感充电的通用无线充电标准规范形成的商务联盟。在遵循WPC标准规范的无线电源系统中,接收器被充电,向正在给接收器提供充电功率的发送器传递“控制误差”信号。该“控制误差”信号提供正在接收的功率和接收器期望的功率之间的不同的指示。发送器对误差信号产生比例-积分-微分(PID)响应并且更新PWM输出以向接收器提供期望的功率。以传统通过频率调制或者占空比调制的两种方式的一种已经实现输出的更新。频率调制可应用于谐振系统,其中通过调整驱动信号的频率可控制功率。频率离谐振峰越远,传递的功率越低。占空比调制以固定频率(通常接近谐振)工作并且通过改变开/关时间比来控制输出。

[0004] 频率模式控制和占空比模式控制均具有它们自己的缺陷和优势。频率模式控制的缺点是频率输出的分辨率可能被限制。通过调整每个时期中系统时钟周期的数量可以设定频率。随着操作频率增大,调整的分辨率降低。调整的粗略度可能不够准确,不足以满足系统要求。第二,在联盟限定的规范中,电源电压可以被约束以满足结果输出功率的要求。这限制驱动器和驱动器拓扑的选择。除了规范之外的其它因素也限制操作频率。

[0005] 占空比控制相比频率模式控制可以具有更高输出分辨率的优点。然而,对于很多系统,在系统改变操作模式或者彻底停止工作之前存在占空比可被设定的下限,诸如连续和非连续操作模式的过度。为了最大化可能的输出范围,占空比系统通常接近谐振运行,这可能导致对于甚至低占空比的大功率。与占空比的下限组合,这可容易地使得系统不能够传送低功率负载。另一个问题是由于制造公差、或者环境改变,发送器的谐振可能移位。如果操作点过于远离谐振频率,则高功率水平可能变得难以得到。

发明内容

[0006] 根据本发明的一方面,提供无线电源系统。该无线电源系统包括:发送电路,其包括经配置以产生磁场从而向接收器提供功率的电感器;以及驱动控制器,其提供开关控制信号以驱动发送电路。驱动控制器经配置以响应于来自接收器的控制信号调节开关控制信号的频率和/或占空比,从而将由发送电路产生并且通过电感器提供到接收器的功率调节到期望功率。所述驱动控制器调节所述占空比以实现期望功率,除非所述占空比的调节导致占空比在预定占空比范围之外。如果所述占空比的调节导致占空比在所述预定占空比范围之外,则所述驱动控制器调节频率以实现期望功率。

[0007] 根据本发明的另一个方面,提供一种无线电源系统,该无线电源系统包括:接收器,耦接到所述接收器的负载,其使得到所述接收器的功率被提供以对负载供电和/或对与所述负载关联的电池充电;以及发送器。该发送器包括发送电路,发送电路包括经配置以产生磁场从而向所述接收器提供功率的电感器;以及驱动控制器,其提供开关控制信号以驱动发送电路。驱动控制器经配置以响应于来自接收器的提供期望功率和负载接收的实际功率之间的指示的控制误差信号调节开关控制信号的频率和/或占空比,以将由发送电路产生并且通过电感器提供到接收器的功率调节到期望功率。所述驱动控制器调节所述占空比以实现期望功率,除非所述占空比的调节导致占空比在预定占空比范围之外。如果所述占空比的调节导致占空比在所述预定占空比范围之外,则所述驱动控制器将占空比设定到预设占空比并且调节频率以实现期望功率。

[0008] 根据本发明的另一个方面,提供用于提供无线电力的方法。该方法包括:设定驱动发送电路的开关控制信号的初始频率和占空比,该发送电路包括电感器,该电感器经配置以产生磁场从而向接收器提供功率;接收来自所述接收器的控制误差信号,其提供期望功率和接收到的实际功率之间的指示;以及调节所述开关控制信号的所述占空比以实现期望功率,除非占空比的调节导致占空比在预定占空比范围之外。该方法还包括:如果占空比的调节导致占空比在预定占空比范围之外,则调节所述开关控制信号的频率以实现期望功率。

附图说明

[0009] 图1例示根据本发明的一方面的无线电源系统的示意框图。

[0010] 图2例示根据本发明的一方面的用于提供无线电力的方法。

具体实施方式

[0011] 提供无线电源系统和方法,其采用混合方式调整发送电路的发送功率从而利用频率模式调节和占空比模式调节的最佳特征。发送电路可包括由开关控制信号驱动的一个或者更多个开关(例如,场效应晶体管(FET))以控制到电感器-电容器(LC)谐振储能电路的功率,其中电感器经配置以产生磁场,该磁场可向接收器提供电力。无线系统和方法尝试修改开关控制信号的占空比作为第一调节,除非占空比调节导致占空比在预定范围之外。如果接收器正在请求更多的功率并且调节后的占空比将落在预定最大值(D_{MAX})以上,则占空比被设定为占空比高预设设定(D_{HPS})(其可以处于或者低于预定的最大值)并且频率被降低以实现接收器请求的期望功率。将 D_{HPS} 设定在预定最大值以下允许进一步向上调节占空比的余量。如果接收器正在请求更少的功率并且占空比调节在预定最小值(D_{MIN})以下,则占空比

被设定为占空比低预设设定 (D_{HPS}) (其可以处于或者高于该预定最小值) 并且频率被增大以实现接收器请求的期望功率。设定 D_{LPS} 在预定最小值以下允许进一步向下调节占空比的余量。

[0012] 图1例示根据本发明的一方面的无线电源系统10。无线电源系统10包括发送器12, 其经配置以通过无线通信链路20向接收器30提供无线功率。接收器30经配置以接收无线功率并且向负载38 (例如, 移动电池可充电装置) 提供无线功率。到负载38的功率可被用于对负载供电和/或用于提供与负载38关联的可充电电池的充电。接收器30还经配置以发送通信信号, 该通信信号可以包括控制误差信号, 其指示负载期望接收的功率和负载实际接收到的功率之间的差异。发送器12然后可修改到发送电路15 (例如, 半桥或者全桥逆变器电路) 的开关控制信号的占空比和/或频率以调节发送给接收器12的功率从而达到负载38的期望接收功率。

[0013] 发送器12包括AC/DC转换器, 其接收AC输入功率 (ACIN) 并且产生要被采用以驱动发送电路15的DC输入功率 (DCIN)。发送电路15包括驱动控制器14, 其控制高侧场效应晶体管 (FET) Q1和低侧FET Q2的操作。高侧FET Q1和低侧FET Q2在图1的例子中被展示为N型FET。然而, 根据本发明的一方面可以使用其它类型的晶体管。此外, 发送电路15被例示为半桥逆变器, 但是根据本发明的一方面也可以采用全桥逆变器。高侧FET Q1在位于漏端子处的DC输入电压 (D_{CIN}) 和位于源端子处的开关节点VSW之间互联。低侧FET Q2在位于漏端子处的开关节点VSW和源端子处的负电压导轨之间互联, 负电压导轨在图1的实例中展示为地。因此驱动控制器16通过在高侧FET Q1和低侧FET Q2的相反的“开”和“关”状态之间交替地切换来控制开关节点VSW处的电压电势。应理解的是高侧FET Q1和低侧FET Q2的相反的切换使得在给定时间高侧FET Q1和低侧FET Q2的仅一个可以被激活以避免DC输入电压 (D_{CIN}) 和地之间的短路。

[0014] 发送电路15还包括输出电感器L1, 其在第一端耦接到开关节点VSW, 并且耦接到两个串联耦接的电容器C1和C2的耦接端子 (CT)。串联耦接的电容器C1和C2耦接在DC输入电压 (D_{CIN}) 和地之间。响应于通过输出电感器L1传导的电流, 输出电感器L1产生磁场。当接收器30和发送器12被设置处于彼此相邻时磁场被发送到接收器的电感器L2, 以向接收器30提供无线电力。接收器30包括耦接到电感器L2的整流器32。响应于由电感器L1产生的并且由电感器L2接收的磁场, 整流器32对通过电感器L2产生的信号整流。已整流信号被提供到负载调节器34, 其在将信号提供到负载38之前调节信号。接收器控制器36控制整流器32和负载调节器34并且与它们通信。接收器控制器36可以通过电感器L2向电感器L1发送通信信号, 其被控制器16接收, 可包括控制误差信号, 该控制误差信号为期望功率和负载38接收的实际功率之间的差异的指示。

[0015] 驱动控制器16接收控制误差信号并且产生对控制误差信号的比例积分微分 (PID) 响应。PID响应被驱动控制器16采用以调节至发送电路15的开关控制信号 (PWM输出) 从而向接收器30提供期望的功率。开关控制信号在高侧FET Q1和低侧FET Q2的切换的相反的“开”和“关”状态之间交替。驱动控制器16首先尝试修改开关控制信号的占空比作为第一调节, 除非占空比调节导致占空比在预定范围之外。如上所述, 如果接收器正在请求更多的功率并且占空比调节导致占空比在预定最大值 (D_{MAX}) 以上, 则占空比被设定为占空比高预设设定 (D_{HPS}) (其可以处于或者低于该预定最大值) 并且频率被降低以实现接收器请求的期望功

率。如果接收器正在请求更少的功率并且占空比调节导致占空比在预定最小值 ($D_{\min}$) 以下, 则占空比被设定为占空比低预设设定 (D_{LPS}) (其可以处于或者高于该预定最小值) 并且频率被增大以实现接收器请求的期望功率。

[0016] 图1的示例例示单个发送器和输出电感器L1, 而应理解的是在由一个或者更多个发送器装置驱动的板上可排列多个输出电感器。进一步理解的是输出电感器L1和电容器C1和C2形成谐振储能电路, 使得当以处于或者接近谐振储能电路的谐振的频率工作时可传递更大功率。

[0017] 控制器操作的描述通过以下遵循WPC规范的示例最简单地呈现。对于遵循WPC规范的无线电力发送器, 工作频率可以被设定为110kHz到205kHz的范围。半桥拓扑在高侧可限制占空比为50%, 并且功率传递中涉及的磁可阻止20%以下的操作可靠地工作。作为初始操作点, 开关控制信号频率可被选择为具有50%的占空比的175kHz (规范)。当功率接收器请求功率改变时, 如果可能, 单独通过占空比控制进行调整。然而, 如果要求的占空比的改变将操作点推到 [20-50] 范围%以外, 则对频率和占空比两者进行调节。占空比被设定为其范围内的预设点并且进行频率调节以补偿请求的功率改变和占空比至预设点的调节。使用占空比的预设点而不是最大或者最小占空比并且使用频率控制来完成调节将系统留在对随后的控制调节仅使用占空比控制的位置。尽管理想的预设值可以是其操作范围的中点 (在本示例中35%), 但是可能难以估计适当的频率变化来补偿那么大的占空比调节。

[0018] 鉴于上述的前述结构和功能特征, 将参照图2更好地理解特定方法。应理解并且认识到所例示的动作在其它实施方式中可以按照不同顺序和/或并行地与其它动作进行。另外, 不是要求全部例示的特征来实现方法。

[0019] 图2例示根据本发明的一方面的用于提供无线电力的方法50。该方法50开始于52, 其中无线发送器的开关控制信号的开始频率 ($FREQ=F$) 和开始占空比 ($DUTY=D$) 被设定以提供给定发送功率。在54, 来自接收器的控制误差信号 (E) 由发送器接收, 其指示耦接到接收器的负载的期望接收功率和实际接收功率之间的差。在56, 基于控制误差信号计算占空比调节量。方法接着进行到58。在58, 确定当前占空比 (D) 加上占空比调节量 (D_{ADJ}) 是否大于预定最大占空比 (D_{MAX}) (即, $D+D_{\text{ADJ}}>D_{\text{MAX}}$)。如果当前占空比 (D) 加上占空比调节量 (D_{ADJ}) 大于预定最大占空比 (D_{MAX}) (是), 则占空比被设定为占空比高预设设定 ($D=D_{\text{HPS}}$), 其处于或者低于预定最大占空比 (D_{MAX}), 并且在62频率被降低以实现接收器请求的期望功率。在62, 针对控制误差信号 (E) 以及从当前占空比到占空比高预设设定 (D_{HPS}) 的占空比的调节, 计算频率调节量并且求和。方法然后进行到72以应用新的占空比和新频率 (新 D 、 F)。

[0020] 如果当前占空比 (D) 加上占空比调节量 (D_{ADJ}) 不大于预定最大占空比 (D_{MAX}) (否), 则方法进行到64。在64, 确定当前占空比 (D) 加上占空比调节量 (D_{ADJ}) 是否小于预定最小占空比 ($D_{\min}$) (即, $D+D_{\text{ADJ}}<D_{\min}$)。如果当前占空比 (D) 加上占空比调节量 (D_{ADJ}) 小于预定最小占空比 ($D_{\min}$) (是), 则占空比 (D) 被设定为占空比低预设设定 (D_{LPS}), 其处于或者高于预定最小占空比 ($D_{\min}$), 并且在68频率被增大以实现接收器请求的期望功率。在68, 针对控制误差信号 (E) 和从当前占空比 (D) 到占空比低预设设定 (D_{LPS}) 的占空比的调节, 计算频率调节量并且求和。方法接着进行到72以应用新占空比和新频率 (新 D 、 F)。

[0021] 以下描述图1的驱动控制器操作和图2的用于提供无线电力的方法的具体示例。该示例遵循WPC规范。示例假定发送器在158kHz的初始开关控制信号频率, 以49%占空比工

作。示例假定发送器从接收器接收了Control_Error=15。采用控制误差常数 $K_p=10.0$ 、 $K_i=0.25$,使得

[0022] $PID_out = K_p * Contral_Error + K_i * Control_Error$

[0023] $= 10 * 15 + 0.25 * 15 = 153.75$ 算式1

[0024] 基于WPC规范,从PID_out到占空比或者频率调节量的比例如下:

[0025] $duty_Sv = -0.01$

[0026] $freq_Sv = 1.5 \quad 110-140 \text{ (kHz)}$

[0027] $2.0 \quad 140-160 \text{ (kHz)}$

[0028] $3.0 \quad 160-180 \text{ (kHz)}$

[0029] $5.0 \quad 180-205 \text{ (kHz)}$

[0030] 占空比控制调节量可计算如下:

[0031] $Duty_adjusted = PID_out * duty_Sv = 153.75 * 0.01 = 1.53$ 算式2

[0032] 这是针对1.53%占空比增大(其大于最大预定占空比50%)的请求。

[0033] 因此,因为调节将使得占空比大于最大占空比,所以频率控制调节量被确定以增大发送功率如下:

[0034] $Freq_adjust = PID_out * freq_Sv = 153.75 * 2.0 = 307.5$ 算式3

[0035] 因此,Control_Error=15是请求频率改变307.5Hz。除了针对ControlError(控制误差)的调节,对占空比向其范围的中心调节以允许占空比余量。在本示例中,根据限制,预设点被选择为距限制5%,或者45%。根据我们目前的49%的操作点,这是4%的附加调节量。比例因子之间的关系基于PID_out的共同性确定,使得:

[0036] $4\% / duty_Sv * freq_Sv = 4 / 0.01 * 2 = 800\text{Hz}$. 算式4

[0037] 因此总频率调节量将是 $307.5 + 800 = 1107.5\text{Hz}$,并且新操作点将是156.8925kHz和45%占空比。将我们留在误差(Error)应该被补偿的点,并且具有可用空间进行将来的占空比调节。

[0038] 在以上示例中,使用表来设定PID输出和频率之间的增益。这个分段线性表是实际的并且容易实现,然而,其是谐振曲线的粗略估计。表示更精确的测量的算式将允许限定比例因子(duty_Sv和freq_Sv)之间的更精确的关系,这近而可以允许对预设占空比值进行较大调节。作为总结,通过交织占空比调制和频率调制,获得每个方法的最佳方面,并且可以实现否则可能已经不可得的操作点。高分辨率、最大范围、环境耐受力以及硬件设计中增加的自由度全部都实现。

[0039] 本发明所属领域的技术人员将认识到在要求保护的本发明的范围内,可以对所描述的示例性实施方式进行修改,并且可能有很多其它实施方式。

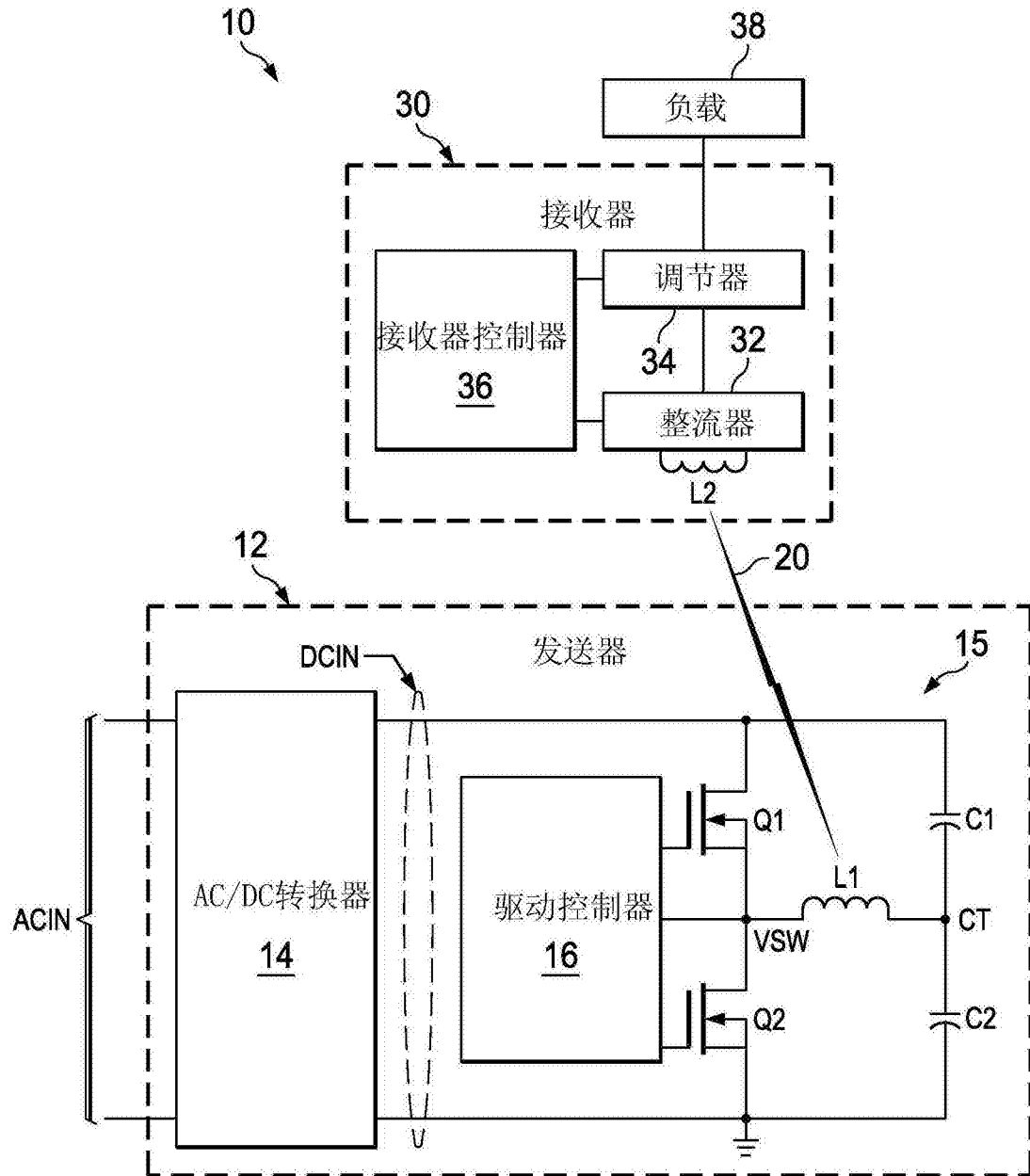


图1

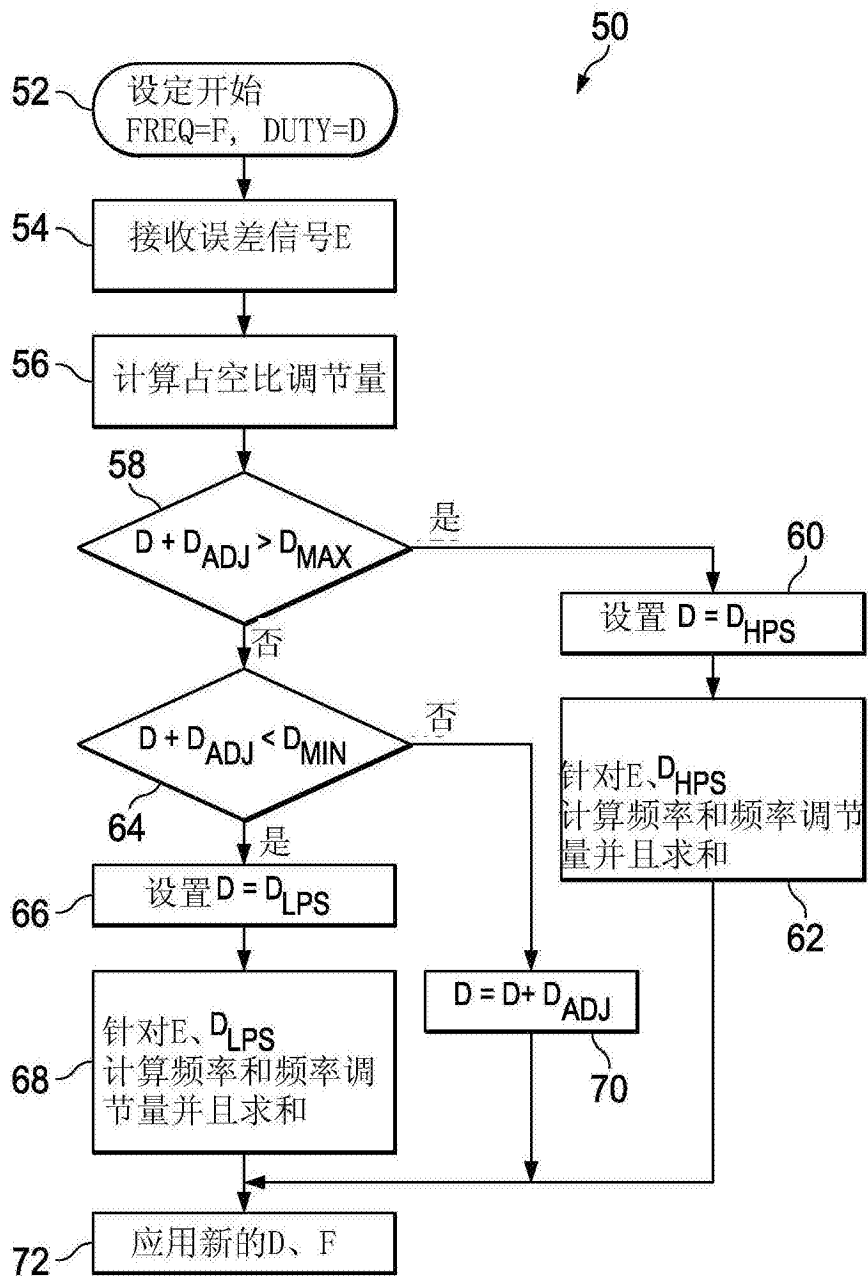


图2