



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107636933 B

(45)授权公告日 2020.06.26

(21)申请号 201680029707.2

(51)Int.Cl.

(22)申请日 2016.05.11

H02J 50/12(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 107636933 A

(56)对比文件

(43)申请公布日 2018.01.26

- WO 2015040650 A1, 2015.03.26,
- WO 2012101905 A1, 2012.08.02,
- JP 2013055835 A, 2013.03.21,
- JP 2012014093 A, 2012.01.19,
- JP 2013070590 A, 2013.04.18,
- JP 2014030288 A, 2014.02.13,
- US 2015084429 A1, 2015.03.26,
- CN 104022578 A, 2014.09.03,
- CN 103975503 A, 2014.08.06,
- CN 104145402 A, 2014.11.12,
- CN 102122847 A, 2011.07.13,
- WO 2014125675 A1, 2014.08.21,

(30)优先权数据  
2015-105330 2015.05.25 JP

(85)PCT国际申请进入国家阶段日  
2017.11.22

(86)PCT国际申请的申请数据  
PCT/JP2016/063948 2016.05.11

(87)PCT国际申请的公布数据  
W02016/190095 JA 2016.12.01

(73)专利权人 株式会社村田制作所  
地址 日本京都府

审查员 魏仁然

(72)发明人 细谷达也

(74)专利代理机构 中科专利商标代理有限责任  
公司 11021

代理人 李逸雪

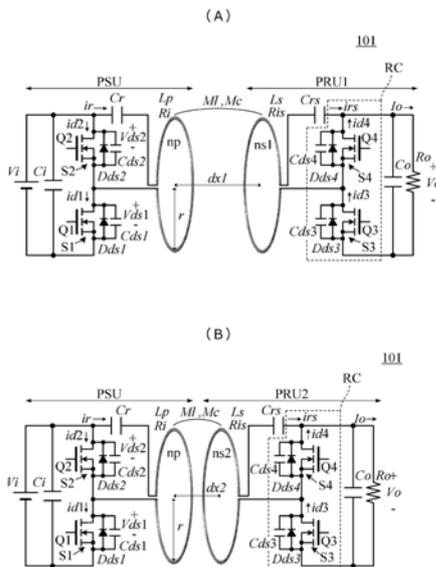
权利要求书4页 说明书15页 附图15页

(54)发明名称

无线供电系统

(57)摘要

受电整流电路(RC)相对于受电谐振机构例如串联地构成。第一受电装置(PRU1)具有等效电阻值小的负载,作为直流输出电压相对于直流输入电压的比的电压增益的频率特性为双峰性,第二受电装置(PRU2)具有等效电阻值大的负载,电压增益的频率特性为单峰性。在第一受电装置(PRU1)中,通过受电线圈(ns1)与输电线圈(np)的耦合系数的设定,利用第一受电装置(PRU1)中的电压增益成为极大的一方的频率与工作频率的位置关系来确定电压增益,在第二受电装置(PRU2)中,电压增益成为极大的频率确定在工作频率的附近,并通过受电线圈(ns2)与输电线圈(np)的耦合系数的设定来确定电压增益。



[续页]

CN 107636933 B

[接上页]

(56)对比文件

Jun-Han Choi et al..Resonant  
Regulating Rectifiers (3R) Operating for  
6.78 MHz Resonant Wireless Power Transfer

(RWPT).《IEEE Journal of Solid-State  
Circuits》.2013,第48卷(第12期),

刘礼白.UHF RFID无源标签的芯片供电机  
理.《移动通信》.2014,(第2期),

1. 一种无线供电系统,具备:  
输电装置,具备输电线圈;以及  
多个受电装置,分别具备受电线圈,  
所述输电装置具有:  
输电谐振电容器,与所述输电线圈一起构成输电谐振机构;以及  
输电交流电压产生电路,以给定的工作频率驱动与所述输电线圈电连接的开关元件,  
从而向所述输电谐振机构断续地提供直流输入电压,使所述输电线圈产生交流电压,  
所述多个受电装置分别具有:  
受电谐振电容器,与所述受电线圈一起构成受电谐振机构;以及  
受电整流电路,与所述受电线圈连接,将所述交流电压整流为直流输出电压,  
所述输电谐振机构和所述受电谐振机构各自具有的电场能以及磁场能相互作用而形成电磁场共振场,

在所述输电线圈与所述受电线圈之间,通过基于互感的磁场耦合以及基于互电容的电场耦合而构成电磁场共振耦合,

从所述输电装置通过无线向所述受电装置供给电力,

所述无线供电系统的特征在于,

所述受电整流电路相对于所述受电谐振机构串联地构成,并构成为对负载供给所述受电谐振机构的磁场能,

所述多个受电装置包括:

第一受电装置,具有等效电阻值为第一等效电阻值的负载,所述第一受电装置中的、作为所述直流输出电压相对于所述直流输入电压的比的电压增益的频率特性成为具有两个极大值的双峰性;以及

第二受电装置,具有等效电阻值为大于所述第一等效电阻值的第二等效电阻值的负载,所述第二受电装置中的、作为所述直流输出电压相对于所述直流输入电压的比的电压增益的频率特性成为单峰性,

在所述第一受电装置中,通过所述第一受电装置的受电线圈与所述输电线圈的耦合系数的设定,利用所述第一受电装置中的所述两个极大值中的高频率侧的极大值的频率与所述工作频率的位置关系来确定所述第一受电装置中的电压增益,

在所述第二受电装置中,确定为所述第二受电装置中的电压增益成为极大的频率与所述工作频率一致,通过所述第二受电装置的受电线圈与所述输电线圈的耦合系数的设定来确定所述第二受电装置中的电压增益。

2. 一种无线供电系统,具备:

输电装置,具备输电线圈;以及

多个受电装置,分别具备受电线圈,

所述输电装置具有:

输电谐振电容器,与所述输电线圈一起构成输电谐振机构;以及

输电交流电压产生电路,以给定的工作频率驱动与所述输电线圈电连接的开关元件,从而向所述输电谐振机构断续地提供直流输入电压,使所述输电线圈产生交流电压,

所述多个受电装置分别具有:

受电谐振电容器,与所述受电线圈一起构成受电谐振机构;以及  
受电整流电路,与所述受电线圈连接,将所述交流电压整流为直流输出电压,

所述输电谐振机构和所述受电谐振机构各自具有的电场能以及磁场能相互作用而形成电磁场共振场,

在所述输电线圈与所述受电线圈之间,通过基于互感的磁场耦合以及基于互电容的电场耦合而构成电磁场共振耦合,

从所述输电装置通过无线向所述受电装置供给电力,

所述无线供电系统的特征在于,

所述受电整流电路相对于所述受电谐振机构并联地构成,并构成为对负载供给所述受电谐振机构的电场能,

所述多个受电装置包括:

第三受电装置,具有等效电阻值为第三等效电阻值的负载,所述第三受电装置中的、作为所述直流输出电压相对于所述直流输入电压的比的电压增益的频率特性成为具有两个极大值的双峰性;以及

第四受电装置,具有等效电阻值为小于所述第三等效电阻值的第四等效电阻值的负载,所述第四受电装置中的、作为所述直流输出电压相对于所述直流输入电压的比的电压增益的频率特性成为单峰性,

在所述第三受电装置中,通过所述第三受电装置的受电线圈与所述输电线圈的耦合系数的设定,利用所述第三受电装置中的所述两个极大值中的高频率侧的极大值的频率与所述工作频率的位置关系来确定所述第三受电装置中的电压增益,

在所述第四受电装置中,通过所述第四受电装置的受电线圈与所述输电线圈的耦合系数的设定,利用所述第四受电装置中的电压增益成为极大的频率与所述工作频率的位置关系来确定所述第四受电装置中的电压增益。

3. 一种无线供电系统,具备:

输电装置,具备输电线圈;以及

多个受电装置,分别具备受电线圈,

所述输电装置具有:

输电谐振电容器,与所述输电线圈一起构成输电谐振机构;以及

输电交流电压产生电路,以给定的工作频率驱动与所述输电线圈电连接的开关元件,从而向所述输电谐振机构断续地提供直流输入电压,使所述输电线圈产生交流电压,

所述多个受电装置分别具有:

受电谐振电容器,与所述受电线圈一起构成受电谐振机构;以及

受电整流电路,与所述受电线圈连接,将所述交流电压整流为直流输出电压,

所述输电谐振机构和所述受电谐振机构各自具有的电场能以及磁场能相互作用而形成电磁场共振场,

在所述输电线圈与所述受电线圈之间,通过基于互感的磁场耦合以及基于互电容的电场耦合而构成电磁场共振耦合,

从所述输电装置通过无线向所述受电装置供给电力,

所述无线供电系统的特征在于,

所述受电整流电路相对于所述受电谐振机构串联地构成,并构成为对负载供给所述受电谐振机构的磁场能,

所述多个受电装置包括:

第一受电装置,具有等效电阻值为第一等效电阻值的负载,所述第一受电装置中的、作为所述直流输出电压相对于所述直流输入电压的比的电压增益的频率特性成为具有两个极大值的双峰性;以及

第二受电装置,具有等效电阻值为大于所述第一等效电阻值的第二等效电阻值的负载,所述第二受电装置中的、作为所述直流输出电压相对于所述直流输入电压的比的电压增益的频率特性成为单峰性,

在所述第一受电装置中,通过所述第一受电装置的受电线圈与所述输电线圈的耦合系数的设定,确定为所述第一受电装置中的所述两个极大值中的低频率侧的极大值的频率与所述工作频率一致,通过所述第一受电装置的受电线圈与所述输电线圈的耦合系数的设定来确定所述第一受电装置中的电压增益,

在所述第二受电装置中,确定为所述第二受电装置中的电压增益成为极大的频率与所述工作频率一致,通过所述第二受电装置的受电线圈与所述输电线圈的耦合系数的设定来确定所述第二受电装置中的电压增益。

4. 一种无线供电系统,具备:

输电装置,具备输电线圈;以及

多个受电装置,分别具备受电线圈,

所述输电装置具有:

输电谐振电容器,与所述输电线圈一起构成输电谐振机构;以及

输电交流电压产生电路,以给定的工作频率驱动与所述输电线圈电连接的开关元件,从而向所述输电谐振机构断续地提供直流输入电压,使所述输电线圈产生交流电压,

所述多个受电装置分别具有:

受电谐振电容器,与所述受电线圈一起构成受电谐振机构;以及

受电整流电路,与所述受电线圈连接,将所述交流电压整流为直流输出电压,

所述输电谐振机构和所述受电谐振机构各自具有的电场能以及磁场能相互作用而形成电磁场共振场,

在所述输电线圈与所述受电线圈之间,通过基于互感的磁场耦合以及基于互电容的电场耦合而构成电磁场共振耦合,

从所述输电装置通过无线向所述受电装置供给电力,

所述无线供电系统的特征在于,

所述受电整流电路相对于所述受电谐振机构并联地构成,并构成为对负载供给所述受电谐振机构的电场能,

所述多个受电装置包括:

第三受电装置,具有等效电阻值为第三等效电阻值的负载,所述第三受电装置中的、作为所述直流输出电压相对于所述直流输入电压的比的电压增益的频率特性成为具有两个极大值的双峰性;以及

第四受电装置,具有等效电阻值为小于所述第三等效电阻值的第四等效电阻值的负

载,所述第四受电装置中的、作为所述直流输出电压相对于所述直流输入电压的比的电压增益的频率特性成为单峰性,

在所述第三受电装置中,通过所述第三受电装置的受电线圈与所述输电线圈的耦合系数的设定,确定为所述第三受电装置中的所述两个极大值中的低频率侧的极大值的频率与所述工作频率一致,通过所述第三受电装置的受电线圈与所述输电线圈的耦合系数的设定来确定所述第三受电装置中的电压增益,

在所述第四受电装置中,通过所述第四受电装置的受电线圈与所述输电线圈的耦合系数的设定,利用所述第四受电装置中的电压增益成为极大的频率与所述工作频率的位置关系来确定所述第四受电装置中的电压增益。

5. 根据权利要求1至4中的任一项所述的无线供电系统,其特征在于,所述耦合系数通过所述受电线圈相对于所述输电线圈的尺寸之差来确定。
6. 根据权利要求1至4中的任一项所述的无线供电系统,其特征在于,所述耦合系数通过所述受电线圈相对于所述输电线圈的线圈间距离来确定。

## 无线供电系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及无线供电系统,其中,输电装置与受电装置通过电磁场共振耦合进行耦合,从而通过无线对电力进行供电。

### 背景技术

[0002] 近年来,以无线供电的实用化为目标,降低系统整体的电力损失的研究开发日益活跃。特别是,在由输电谐振机构和受电谐振机构形成电磁场共振场并通过电磁场共振耦合进行无线供电的系统中,与对谐振器提供高频磁场的方式不同,能够使电力供电的过程简化而降低电力损失(参照专利文献1)。

[0003] 在先技术文献

[0004] 专利文献

[0005] 专利文献1:国际公开第2012/101905号

### 发明内容

[0006] 发明要解决的课题

[0007] 无线供电系统是从处于彼此分离的位置的输电装置向受电装置供给电力的系统,因此,例如还可以考虑一个输电装置通过无线向多个受电装置供给电力的系统。

[0008] 但是,发明人通过无线供电系统的研究开发发现,在从一个输电装置通过无线向多个受电装置供给电力的系统中,会产生如下的问题。

[0009] (1) 对于从输电装置观察等效电阻值不同的多个受电装置,受电电压(负载供给电压)会按每个受电装置而变化。

[0010] (2) 在受电电压按每个受电装置而不同的情况下,需要在使用电压变换装置稳定化为给定电压的状态下向负载供给电源电压,因此受电装置会大型化。

[0011] (3) 混合存在受电电压低于给定值的受电装置和受电电压高于给定值的受电装置,在低于给定值的受电装置中电力变得不足,在高于给定值的受电装置中电力变得过剩。为了避免电力的不足,需要增大输电电力,输电装置会大型化。此外,若为了避免电力的过剩而白白地消耗受电电力,或者增大受电装置中的电压变换比,则需要考虑散热性等,受电装置会大型化。

[0012] 本发明的目的在于,提供一种无线供电系统,解决上述的大型化的课题,并且将无线电力传输效率维持得高,同时在从一个输电装置通过无线向多个受电装置供给电力的情况下,对各受电装置的负载供给稳定的电压。

[0013] 用于解决课题的技术方案

[0014] (1) 本发明的无线供电系统具备:

[0015] 输电装置,具备输电线圈;以及

[0016] 多个受电装置,分别具备受电线圈,

[0017] 所述输电装置具有:

- [0018] 输电谐振电容器,与所述输电线圈一起构成输电谐振机构;以及
- [0019] 输电交流电压产生电路,以给定的工作频率驱动与所述输电线圈电连接的开关元件,从而向所述输电谐振机构断续地提供直流输入电压,使所述输电线圈产生交流电压,
- [0020] 所述多个受电装置分别具有:
- [0021] 受电谐振电容器,与所述受电线圈一起构成受电谐振机构;以及
- [0022] 受电整流电路,与所述受电线圈连接,将所述交流电压整流为直流输出电压,
- [0023] 所述输电谐振机构和所述受电谐振机构各自具有的电场能以及磁场能相互作用而形成电磁场共振场,
- [0024] 在所述输电线圈与所述受电线圈之间,通过基于互感的磁场耦合以及基于互电容的电场耦合而构成电磁场共振耦合,
- [0025] 从所述输电装置通过无线向所述受电装置供给电力,
- [0026] 所述无线供电系统的特征在于,
- [0027] 所述受电整流电路相对于所述受电谐振机构串联地构成,并构成为对负载供给所述受电谐振机构的磁场能,
- [0028] 所述多个受电装置包括:
- [0029] 第一受电装置,具有第一等效电阻值的负载,作为所述直流输出电压相对于所述直流输入电压的比的电压增益的频率特性成为具有两个极大值的双峰性;以及
- [0030] 第二受电装置,具有等效电阻值大于所述第一等效电阻值的第二等效电阻值的负载,所述电压增益的频率特性成为单峰性,
- [0031] 在所述第一受电装置中,通过所述第一受电装置的受电线圈与所述输电线圈的耦合系数的设定,利用所述第一受电装置中的所述两个极大值中的高频率侧的极大值的频率与所述工作频率的位置关系来确定所述电压增益,
- [0032] 在所述第二受电装置中,确定为所述电压增益成为极大的频率与所述工作频率一致,通过所述第二受电装置的受电线圈与所述输电线圈的耦合系数的设定来确定所述第二受电装置中的所述电压增益。
- [0033] 通过上述结构,在受电装置的受电整流电路相对于受电谐振机构串联地构成,并构成为对负载供给受电线圈的磁能的情况下,无线电力传输效率提高,并且对各受电装置的负载可供给稳定的电压。
- [0034] (2) 本发明的无线供电系统具备:
- [0035] 输电装置,具备输电线圈;以及
- [0036] 多个受电装置,分别具备受电线圈,
- [0037] 所述输电装置具有:
- [0038] 输电谐振电容器,与所述输电线圈一起构成输电谐振机构;以及
- [0039] 输电交流电压产生电路,以给定的工作频率驱动与所述输电线圈电连接的开关元件,从而向所述输电谐振机构断续地提供直流输入电压,使所述输电线圈产生交流电压,
- [0040] 所述多个受电装置分别具有:
- [0041] 受电谐振电容器,与所述受电线圈一起构成受电谐振机构;以及
- [0042] 受电整流电路,与所述受电线圈连接,将所述交流电压整流为直流输出电压,
- [0043] 所述输电谐振机构和所述受电谐振机构各自具有的电场能以及磁场能相互作用

而形成电磁场共振场，

[0044] 在所述输电线圈与所述受电线圈之间，通过基于互感的磁场耦合以及基于互电容的电场耦合而构成电磁场共振耦合，

[0045] 从所述输电装置通过无线向所述受电装置供给电力，

[0046] 所述无线供电系统的特征在于，

[0047] 所述受电整流电路相对于所述受电谐振机构并联地构成，并构成为对负载供给所述受电谐振机构的电场能，

[0048] 所述多个受电装置包括：

[0049] 第三受电装置，具有第三等效电阻值的负载，作为所述直流输出电压相对于所述直流输入电压的比的电压增益的频率特性成为具有两个极大值的双峰性；以及

[0050] 第四受电装置，具有等效电阻值小于所述第三等效电阻值的第四等效电阻值的负载，所述电压增益的频率特性成为单峰性，

[0051] 在所述第三受电装置中，通过所述第三受电装置的受电线圈与所述输电线圈的耦合系数的设定，利用所述第三受电装置中的所述两个极大值中的高频率侧的极大值的频率与所述工作频率的位置关系来确定所述电压增益，

[0052] 在所述第四受电装置中，通过所述第四受电装置的受电线圈与所述输电线圈的耦合系数的设定，利用所述受电装置中的所述电压增益成为极大的频率与所述工作频率的位置关系来确定所述电压增益。

[0053] 通过上述结构，在受电装置的受电整流电路相对于受电谐振机构并联地构成，并且构成为对负载供给受电线圈的电能的情况下，无线电力传输效率提高，并且对各受电装置的负载可供给稳定的电压。

[0054] (3) 本发明的无线供电系统具备：

[0055] 输电装置，具备输电线圈；以及

[0056] 多个受电装置，分别具备受电线圈，

[0057] 所述输电装置具有：

[0058] 输电谐振电容器，与所述输电线圈一起构成输电谐振机构；以及

[0059] 输电交流电压产生电路，以给定的工作频率驱动与所述输电线圈电连接的开关元件，从而向所述输电谐振机构断续地提供直流输入电压，使所述输电线圈产生交流电压，

[0060] 所述多个受电装置分别具有：

[0061] 受电谐振电容器，与所述受电线圈一起构成受电谐振机构；以及

[0062] 受电整流电路，与所述受电线圈连接，将所述交流电压整流为直流输出电压，

[0063] 所述输电谐振机构和所述受电谐振机构各自具有的电场能以及磁场能相互作用而形成电磁场共振场，

[0064] 在所述输电线圈与所述受电线圈之间，通过基于互感的磁场耦合以及基于互电容的电场耦合而构成电磁场共振耦合，

[0065] 从所述输电装置通过无线向所述受电装置供给电力，

[0066] 所述无线供电系统的特征在于，

[0067] 所述受电整流电路相对于所述受电谐振机构串联地构成，并构成为对负载供给所述受电谐振机构的磁场能，

[0068] 所述多个受电装置包括：

[0069] 第一受电装置，具有第一等效电阻值的负载，作为所述直流输出电压相对于所述直流输入电压的比的电压增益的频率特性成为具有两个极大值的双峰性；以及

[0070] 第二受电装置，具有等效电阻值大于所述第一等效电阻值的第二等效电阻值的负载，所述电压增益的频率特性成为单峰性，

[0071] 在所述第一受电装置中，通过所述第一受电装置的受电线圈与所述输电线圈的耦合系数的设定，确定为所述第一受电装置中的所述两个极大值中的低频率侧的极大值的频率与所述工作频率一致，通过所述第一受电装置的受电线圈与所述输电线圈的耦合系数的设定来确定所述第一受电装置中的所述电压增益，

[0072] 在所述第二受电装置中，确定为所述电压增益成为极大的频率与所述工作频率一致，通过所述第二受电装置的受电线圈与所述输电线圈的耦合系数的设定来确定所述第二受电装置中的所述电压增益。

[0073] 通过上述结构，在受电装置的受电整流电路相对于受电谐振机构并联地构成，并且构成为对负载供给受电线圈的电能的情况下，无线电力传输效率提高，并且对各受电装置的负载可供给稳定的电压。

[0074] (4) 本发明的无线供电系统具备：

[0075] 输电装置，具备输电线圈；以及

[0076] 多个受电装置，分别具备受电线圈，

[0077] 所述输电装置具有：

[0078] 输电谐振电容器，与所述输电线圈一起构成输电谐振机构；以及

[0079] 输电交流电压产生电路，以给定的工作频率驱动与所述输电线圈电连接的开关元件，从而向所述输电谐振机构断续地提供直流输入电压，使所述输电线圈产生交流电压，

[0080] 所述多个受电装置分别具有：

[0081] 受电谐振电容器，与所述受电线圈一起构成受电谐振机构；以及

[0082] 受电整流电路，与所述受电线圈连接，将所述交流电压整流为直流输出电压，

[0083] 所述输电谐振机构和所述受电谐振机构各自具有的电场能以及磁场能相互作用而形成电磁场共振场，

[0084] 在所述输电线圈与所述受电线圈之间，通过基于互感的磁场耦合以及基于互电容的电场耦合而构成电磁场共振耦合，

[0085] 从所述输电装置通过无线向所述受电装置供给电力，

[0086] 所述无线供电系统的特征在于，

[0087] 所述受电整流电路相对于所述受电谐振机构并联地构成，并构成为对负载供给所述受电谐振机构的电场能，

[0088] 所述多个受电装置包括：

[0089] 第三受电装置，具有第三等效电阻值的负载，作为所述直流输出电压相对于所述直流输入电压的比的电压增益的频率特性成为具有两个极大值的双峰性；以及

[0090] 第四受电装置，具有等效电阻值小于所述第三等效电阻值的第四等效电阻值的负载，所述电压增益的频率特性成为单峰性，

[0091] 在所述第三受电装置中，通过所述第三受电装置的受电线圈与所述输电线圈的耦

合系数的设定,确定为所述第三受电装置中的所述两个极大值中的低频率侧的极大值的频率与所述工作频率一致,通过所述第三受电装置的受电线圈与所述输电线圈的耦合系数的设定来确定所述第三受电装置中的所述电压增益,

[0092] 在所述第四受电装置中,通过所述第四受电装置的受电线圈与所述输电线圈的耦合系数的设定,利用所述受电装置中的所述电压增益成为极大的频率与所述工作频率的位置关系来确定所述电压增益。

[0093] 通过上述结构,在受电装置的受电整流电路相对于受电谐振机构并联地构成,并且构成为对负载供给受电线圈的电能的情况下,无线电力传输效率提高,并且对各受电装置的负载可供给稳定的电压。

[0094] (5) 优选地,在上述(1)至(4)中的任一项中,所述耦合系数通过所述受电线圈相对于所述输电线圈的尺寸或形状之差来确定。由此,能够按每个受电装置容易地设定输电线圈与受电线圈的耦合系数。

[0095] (6) 优选地,在上述(1)~(4)的任一项中,所述耦合系数通过所述受电线圈相对于所述输电线圈的线圈间距离来确定。由此,能够按每个受电装置容易地设定输电线圈与受电线圈的耦合系数。

[0096] 发明效果

[0097] 根据本发明,可解决上述的大型化的课题,并且可将无线电力传输效率维持得高,同时在从一个输电装置通过无线向多个受电装置供给电力的情况下,对各受电装置的负载可供给稳定的电压。

## 附图说明

[0098] 图1(A)、图1(B)是第一实施方式涉及的无线供电系统101的电路图。

[0099] 图2(A)是由电磁场共振耦合电路90和谐振电容器 $C_r$ 、 $C_{rs}$ 构成的包含等效的电磁场共振耦合的多谐振电路的电路图。图2(B)是该多谐振电路的等效电路图。

[0100] 图3是对图1(A)、图1(B)所示的无线供电系统101的能量变换动作示出的各部分的电压电流波形图。

[0101] 图4是用于说明作为直流输出电压相对于直流输入电压的比的电压增益的频率特性根据负载的等效电阻值的不同而如何变化的等效电路图。

[0102] 图5(A)、图5(B)、图5(C)是示出基于多谐振的谐振特性的概略图。

[0103] 图6是示出负载 $R_o$ 的等效电阻值 $=1\Omega$ (小的值)时的电压增益的频率特性的图。

[0104] 图7是示出负载 $R_o$ 的等效电阻值 $=100\Omega$ (大的值)时的电压增益的频率特性的图。

[0105] 图8(A)、图8(B)是第二实施方式涉及的无线供电系统102的电路图。

[0106] 图9(A)、图9(B)、图9(C)是第三实施方式的无线供电系统103的电路图。

[0107] 图10是在第四实施方式涉及的无线供电系统中由电磁场共振耦合电路和谐振电容器 $C_r$ 、 $C_{rs}$ 构成的包含等效的电磁场共振耦合的谐振电路的电路图。

[0108] 图11(A)、图11(B)是在第五实施方式涉及的无线供电系统中的受电线圈的电感 $L_s$ 和电容 $C_{rs}$ 的串联谐振电路连接了LC滤波器电路的例子。

[0109] 图12(A)、图12(B)、图12(C)是第六实施方式涉及的无线供电系统106的电路图。

[0110] 图13(A)是由电磁场共振耦合电路90和谐振电容器 $C_p$ 、 $C_s$ 构成的包含等效的电磁

场共振耦合的多谐振电路的电路图。图13(B)是该多谐振电路的等效电路图。

[0111] 图14是用于说明作为直流输出电压相对于直流输入电压的比的电压增益的频率特性根据负载的等效电阻值的不同而如何变化的等效电路图。

[0112] 图15是示出负载 $R_o$ 的等效电阻值 $=100\ \Omega$  (大的值)时的电压增益的频率特性的图。

[0113] 图16是示出负载 $R_o$ 的等效电阻值 $=1\ \Omega$  (小的值)时的电压增益的频率特性的图。

[0114] 图17是第七实施方式涉及的无线供电系统中的电磁场共振耦合电路部分的电路图。

[0115] 图18是第八实施方式涉及的无线供电系统中的电磁场共振耦合电路部分的电路图。

[0116] 图19(A)、图19(B)是在第九实施方式涉及的无线供电系统中的受电线圈的电感 $L_s$ 和电容 $C_{rs}$ 的并联谐振电路连接了LC滤波器电路的例子。

## 具体实施方式

[0117] 《第一实施方式》

[0118] 在第一实施方式中,对如下的无线供电系统进行例示,其中,受电整流电路相对于受电谐振机构串联地构成,并构成为对负载供给受电线圈的磁能。

[0119] 图1(A)、图1(B)是第一实施方式涉及的无线供电系统101的电路图。无线供电系统101包括输电装置PSU、第一受电装置PRU1以及第二受电装置PRU2。在图1(A)、图1(B)中,单独地表示了一个受电装置PRU1或PRU2与一个输电装置PSU的对,但是也可以同时存在包括两个受电装置PRU1、PRU2的多个受电装置和一个输电装置PSU。这对于后面示出的其它实施方式也是同样的。

[0120] 无线供电系统101是如下的系统,即,在输电装置PSU的输入部具备输入电源 $V_i$ ,向第一受电装置PRU1、第二受电装置PRU2的负载 $R_o$ 供电稳定的直流电压。在图1(A)中,输电装置PSU的输电线圈 $n_p$ 与第一受电装置PRU1的受电线圈 $n_{s1}$ 的距离为 $dx_1$ ,在图1(B)中,输电装置PSU的输电线圈 $n_p$ 与第二受电装置PRU2的受电线圈 $n_{s2}$ 的距离为 $dx_2$ 。

[0121] 输电装置PSU具备输电谐振机构和与该输电谐振机构电连接的输电交流电流产生电路,输电谐振机构由输电线圈 $n_p$ 和输电谐振电容器 $C_r$ 构成。

[0122] 输电交流电流产生电路具备第一开关电路S1和第二开关电路S2,第一开关电路S1等效地由开关元件Q1、二极管 $D_{ds1}$ 以及电容器 $C_{ds1}$ 的并联连接电路构成,第二开关电路S2等效地由开关元件Q2、二极管 $D_{ds2}$ 以及电容器 $C_{ds2}$ 的并联连接电路构成。

[0123] 此外,输电装置PSU具备对开关元件Q1、Q2进行控制的图外的开关控制电路。开关控制电路通过使第一开关电路S1的开关元件Q1以及第二开关电路S2的开关元件Q2交替地接通/断开,从而使得从输电交流电压产生电路产生交流电压。

[0124] 在本实施方式的无线供电系统101中,开关元件Q1、Q2是MOSFET等具有寄生输出电容、寄生二极管的开关元件,并利用该寄生输出电容、寄生二极管构成开关电路S1、S2。

[0125] 上述开关控制电路通过使第一开关元件Q1以及第二开关元件Q2以给定的工作频率进行开关,从而对输电谐振机构断续地提供直流电压,使输电谐振机构产生谐振电流。由此,使第一开关电路S1以及第二开关电路S2的两端电压为每半个周期的半波的正弦波状的

波形。例如,使其以作为国际ISM(Industrial,Scientific and Medical,工业、科学和医疗)频段的6.78MHz、13.56MHz进行开关动作。

[0126] 在该例子中,输电交流电压产生电路构成了具备两个开关电路S1、S2的半桥电路。

[0127] 受电装置PRU1、PRU2具备包括受电线圈ns1、ns2以及受电谐振电容器Crs的受电谐振机构、与受电线圈ns1、ns2连接并对在受电线圈ns1、ns2产生的交流电流进行整流的受电整流电路RC以及平滑用电容器Co。

[0128] 开关电路S3由开关元件Q3、二极管Dds3以及电容器Cds3的并联连接电路构成。同样地,开关电路S4由开关元件Q4、二极管Dds4以及电容器Cds4的并联连接电路构成。

[0129] 此外,受电装置PRU1、PRU2具备对开关元件Q3、Q4进行控制的图外的开关控制电路。该开关控制电路检测流过受电线圈ns1、ns2的电流,与其极性反转同步地使开关元件Q3、Q4交替地接通、断开。由此,流过受电谐振机构的谐振电流与电流流过的方向的变化同步地被整流,从而电流被供给到负载。

[0130] 图3是对图1(A)、图1(B)所示的无线供电系统101的能量变换动作示出的各部分的电压电流波形图。该例子是开关元件进行最佳零电压开关(optimum ZVS,最佳ZVS)动作的情况下的开关动作波形。

[0131] 在本动作中,输电装置PSU的动作状态,能够按每个等效电路划分为接通期间、断开期间、两个换流期间这4个状态。用电压Vgs1、Vgs2表示开关元件Q1、Q2的栅极-源极电压,用电压Vds1、Vds2表示漏极-源极电压。包含电磁场耦合的多谐振电路的共振频率fr设计得比6.78MHz、13.56MHz稍低,电抗设为足够小的电感性。开关元件Q1、Q2隔着双方断开的短的死区时间td交替地进行接通/断开动作。在两个开关元件Q1、Q2断开的死区时间td中,使用谐振电流ir的延时电流对两个开关元件Q1、Q2的电容器(寄生电容)Cds1、Cds2进行充放电而进行换流。关于ZVS动作,在换流期间tc之后,在寄生二极管的导通期间ta中开启(turn on)开关元件Q1、Q2,从而实现。接下来示出一个开关周期中的各状态下的能量变换动作。

[0132] (1) 状态1时刻t1~t2

[0133] 在输电侧,在状态1中,开关元件Q1明显导通。例如,在开关元件Q1为GaN FET的情况下,在开关元件Q1的两端提供反方向的电压-Vds1,从而在栅极-漏极间提供电压(Vgd1)。开关元件Q1成为将阈值电压作为偏移电压的反向导通模式,像反并联二极管那样动作。开关元件Q1的两端的等效的二极管Dds1导通,在该期间中,通过开启开关元件Q1,从而进行ZVS动作。在输电线圈np流过谐振电流ir,电容器Cr被充电。

[0134] 在受电侧,二极管Dds3或Dds4导通,在受电线圈ns1、ns2流过谐振电流irs。在二极管Dds3导通时,电容器Crs放电,在受电线圈ns1、ns2感应的电压与电容器Crs的两端电压相加,对负载Ro供给电压(电力)。在二极管Dds4导通时,电容器Crs被充电。对负载Ro施加电容器Co的电压而供给电力。若开关元件Q1关闭(turn off),则成为状态2。

[0135] (2) 状态2时刻t2~t3

[0136] 通过原来流过输电线圈np的谐振电流ir,开关元件Q1的两端电容器Cds1被充电,开关元件Q2的两端电容器Cds2被放电。若电压Vds1变为电压Vi、电压Vds2变为0V,则成为状态3。

[0137] (3) 状态3时刻t3~t4

[0138] 在输电侧,在状态3中,开关元件Q2导通。例如,在开关元件Q2为GaN FET的情况下,

在开关元件Q2的两端提供反方向的电压 $-V_{ds2}$ ,在栅极-漏极间提供电压( $V_{gd2}$ )。开关元件Q2成为将阈值电压作为偏移电压的反向导通模式,像反并联二极管那样动作。开关元件Q2的两端的等效的二极管Dds2导通,在该期间中,通过开启开关元件Q2,从而进行ZVS动作。在输电线圈np流过谐振电流 $i_r$ ,电容器Cr被放电。

[0139] 在受电侧,二极管Dds3或Dds4导通,在受电线圈ns1、ns2流过谐振电流 $i_{rs}$ 。在二极管Dds3导通时,电容器Crs放电,在受电线圈ns1、ns2感应的电压与电容器Crs的两端电压相加,对负载Ro供给电力。在二极管Dds4导通时,电容器Crs被充电。对负载Ro施加电容器Co的电压而供给电力。若开关元件Q2关闭,则成为状态4。

[0140] (4) 状态4时刻 $t_4 \sim t_1$

[0141] 通过原来流过输电线圈np的谐振电流 $i_r$ ,开关元件Q1的两端电容器Cds1被放电,开关元件Q2的两端电容器Cds2被充电。若电压 $V_{ds1}$ 变为0V、电压 $V_{ds2}$ 变为电压 $V_i$ ,则再次成为状态1。以后,周期性地重复状态1~4。

[0142] 在受电电路中,二极管Dds3或Dds4导通,向正向流过电流。在周期性的稳态动作中,电流 $i_r$ 、 $i_{rs}$ 的波形由于共振现象而成为大致正弦波。

[0143] 这样,由在输电线圈np与受电线圈ns1、ns2之间等效地形成的互感M1以及互电容Mc构成等效的电磁场共振耦合电路,输电谐振机构与受电谐振机构共振,形成电磁场共振场。

[0144] 图2(A)是由电磁场共振耦合电路90和谐振电容器Cr、Crs构成的包含等效的电磁场共振耦合的多谐振电路的电路图。图2(B)是其等效电路图。在此,电感Lp是输电线圈np的电感,电感Ls是受电线圈ns1(、ns2)的电感,电感Lm是通过输电线圈np与受电线圈ns1(、ns2)的磁场共振耦合来传输电力的等效的互感。电容Cm是通过输电线圈np与受电线圈ns1(、ns2)的电场共振耦合来传输电力的等效的互电容。此外,电容Cp是输电线圈np的寄生分量,电容Cs、Cs1是受电线圈ns1(、ns2)的寄生分量。

[0145] 通过共振现象,向电磁场共振耦合电路的输入电流 $i_{ac\ in}(t)$ 能够将谐振电流的振幅设为 $I_{ac}$ 而近似地用下式表示。

$$[0146] \quad i_{ac\ in}(t) = I_{ac} \sin(\omega_s t)$$

[0147] 其中,  $\omega_s = 2\pi/T_s$

[0148] 在端子1-1'间提供正弦波电流 $i_{ac\ in}(t)$ 。虽然在端子1-1'间要流入包含各频率分量的电流,但是通过电磁场共振耦合电路,阻抗变大的高次的频率分量的电流波形被切断,通过进行共振动作,从而仅流过主要为开关频率分量的共振电流波形,能够高效地传输电力。

[0149] 图4是用于说明作为直流输出电压相对于直流输入电压的比的电压增益的频率特性根据负载的等效电阻值的不同而如何变化的等效电路图。

[0150] 若设输电交流电压产生电路ALT的阻抗为小到能够忽略的程度的阻抗,则构成基于谐振电容器Cr以及电感器 $\{(L_p - L_m) + L_m\}$ 的第一谐振电路。此外,若负载的等效电阻值小,则构成基于谐振电容器Crs以及电感器 $\{(L_s - L_m) + L_m\}$ 的第二谐振电路。

[0151] 像这样,存在两个谐振电路,并经由互感Lm进行耦合,因此构成复合谐振电路,产生偶模和奇模的谐振模式。

[0152] 在此,若将输电线圈的电感和受电线圈的电感均用L表示,并将谐振电容器Cr、Crs

均用C表示,则产生以下两个谐振频率 $f1'$ 、 $f1''$ 。

$$[0153] \quad f1' = 1 / (2 \pi \sqrt{(L+Lm)C})$$

$$[0154] \quad f1'' = 1 / (2 \pi \sqrt{(L-Lm)C})$$

[0155] 此外,关于基于输电线圈 $n_p$ 与受电线圈 $n_{s1}$ (、 $n_{s2}$ )的耦合的互感 $L_m$ ,若用 $k$ 表示耦合系数,则存在如下关系,即,

$$[0156] \quad L_m = k \sqrt{(L_p \cdot L_s)}。$$

[0157] 图5(A)、图5(B)、图5(C)是示出上述多谐振的谐振特性的概略图。横轴均为频率,纵轴均为作为直流输出电压相对于直流输入电压的比的电压增益。图5(A)是互感 $L_m \approx 0$ 时,成为单峰性。图5(C)是互感 $L_m$ 大时的特性,成为双峰性。图5(B)是互感 $L_m$ 为中等程度时的特性,大致为单峰性。

[0158] 在图4所示的负载的等效电阻值大时,不产生多谐振,因此成为在上述第一谐振电路的谐振频率处谐振的单峰性。

[0159] 因此,在负载的等效电阻值小且耦合系数(耦合度) $k$ 大时,作为直流输出电压相对于直流输入电压的比的电压增益成为双峰性,在负载的等效电阻值大时,或者在耦合系数(耦合度) $k$ 小时,电压增益成为单峰性。

[0160] 图6、图7是示出使输电线圈 $n_p$ 与受电线圈 $n_s$ 的耦合系数变化时的电压增益的频率特性的图。图6是负载 $R_o$ 的等效电阻值 $=1 \Omega$ (小的值)时的特性,图7是负载 $R_o$ 的等效电阻值 $=100 \Omega$ (大的值)时的特性。均使耦合系数 $k$ 从0.01到0.65为止进行5阶段的变化。

[0161] 像本实施方式这样,在受电整流电路相对于受电谐振机构串联地构成的无线供电系统中,在负载的等效电阻值小时,如图6所表示的那样,产生上述的复合谐振,电压增益的频率特性有时成为双峰性。

[0162] 因此,对于负载的等效电阻值小的受电装置,

[0163] (1) 在受电电力小的情况下,通过减小耦合度(例如, $k=0.65 \rightarrow 0.1$ ),从而使共振频率接近工作频率6.78MHz。由此,增大受电电力。

[0164] (2) 在使得不接收需要以上的受电电力的情况下,通过增大耦合度(例如, $k=0.1 \rightarrow 0.65$ ),从而使共振频率远离工作频率。由此,减小受电电力。

[0165] 另一方面,在等效电阻值大时,如图7所示,不产生复合谐振,电压增益的频率特性具有成为单峰性的倾向。

[0166] 因此,对于负载的等效电阻值大的受电装置,

[0167] (3) 在受电电力小的情况下,通过增大耦合度(例如, $k=0.2 \rightarrow 0.65$ ),从而增大电压增益,增大受电电力。

[0168] (4) 在使得不接收需要以上的受电电力的情况下,通过减小耦合度(例如, $k=0.65 \rightarrow 0.2$ ),从而减小电压增益,减小受电电力。

[0169] 图1(A)所示的第一受电装置PRU1的负载的等效电阻值小到第一受电装置PRU1与输电装置PSU进行耦合的状态下的电压增益的频率特性成为双峰性的程度。此外,图1(B)所示的第二受电装置PRU2的负载的等效电阻值大到第二受电装置PRU2与输电装置PSU进行耦合的状态下的电压增益的频率特性成为单峰性的程度。

[0170] 因此,第一受电装置PRU1通过受电线圈 $n_{s1}$ 与输电线圈 $n_p$ 的耦合系数的设定,利用电压增益成为极大的一方的频率(在图6所示的例子中,电压增益成为极大的两个频率中的

高的一方的频率)与工作频率的位置关系来确定电压增益。第二受电装置PRU2将电压增益成为极大的频率确定在工作频率的附近,通过耦合系数的设定来确定电压增益。

[0171] 上述耦合系数通过受电线圈ns1、ns2相对于输电线圈np的线圈间距离dx1、dx2来确定。在图1(A)、图1(B)所示的例子中,线圈间距离dx1大于线圈间距离dx2,因此第一受电装置的受电线圈ns1与输电线圈np的耦合系数小于第二受电装置的受电线圈ns2与输电线圈np的耦合系数。

[0172] 像这样,即使受电线圈的大小恒定,也能够通过受电线圈与输电线圈的距离按每个受电装置设定耦合系数。

[0173] 在以上所示的例子中,具有等效电阻值小的负载的第一受电装置利用图6的双峰性峰中的高频率侧的峰(根据耦合系数的变动,峰频率相对大地位移的一侧的峰)的频率根据耦合系数而位移的特性来确定电压增益,具有等效电阻值大的负载的第二受电装置利用图7的单峰性峰的值(电压增益)根据耦合系数而变化的特性来确定电压增益。除该例子以外,还可以使得具有等效电阻值小的负载的第一受电装置利用图6的双峰性峰中的低频率侧的峰(根据耦合系数的变动,峰频率不是相对大地位移的一侧的峰)的值根据耦合系数而变化的特性来确定电压增益。

[0174] 《第二实施方式》

[0175] 在第二实施方式中,对输电线圈与受电线圈的耦合系数的其它设定构造进行例示。

[0176] 图8(A)、图8(B)是第二实施方式涉及的无线供电系统102的电路图。无线供电系统102包括输电装置PSU、第一受电装置PRU1以及第二受电装置PRU2。

[0177] 第一受电装置PRU1的受电线圈ns1的半径r1与输电线圈np的半径r之差小于第二受电装置PRU2的受电线圈ns2的半径r2与输电线圈np的半径r之差。一般来说,进行耦合的两个线圈彼此的直径之差越大,则线圈彼此的耦合系数越小。在本实施方式中,输电装置PSU的输电线圈np与第一受电装置PRU1、第二受电装置PRU2的受电线圈ns1、ns2之间的距离dx相同。其它结构如第一实施方式所示。

[0178] 像本实施方式这样,受电线圈与输电线圈的耦合系数可以通过受电线圈相对于输电线圈的大小之差来确定。由此,即使输电线圈与受电线圈的距离恒定,也能够容易地按每个受电装置设定耦合系数。

[0179] 《第三实施方式》

[0180] 在第三实施方式中,示出输电线圈和受电线圈的形式与第一实施方式、第二实施方式不同的例子。

[0181] 图9(A)、图9(B)、图9(C)是第三实施方式的无线供电系统103的电路图。在该例子中,在输电线圈np和受电线圈ns1、ns2使用螺旋状的线圈,并分别在中央进行供电。因此,输电装置侧的螺旋线圈具有等效电感 $L_p$ 以及等效电容 $C_r$ ,构成了谐振电路。同样地,受电装置侧的螺旋线圈具有电感 $L_s$ 以及电容 $C_{rs}$ ,构成了谐振电路。而且,这两个螺旋状线圈的卷绕轴大致对齐(大致同轴),从而在输电线圈np与受电线圈ns1、ns2之间形成了电磁场共振耦合电路。其它结构与第一实施方式所示的相同。

[0182] 像这样,在输电谐振机构和受电谐振机构中,相互交换电场能和磁场能。

[0183] 图9(A)所示的第一受电装置PRU1的受电线圈ns1的半径r1与输电线圈np的半径r

之差,大于图9 (B) 所示的第二受电装置PRU2的受电线圈 $ns_2$ 的半径 $r_2$ 与输电线圈 $np$ 的半径 $r$ 之差。此外,图9 (C) 所示的第一受电装置PRU1的受电线圈 $ns_1$ 与输电线圈 $np$ 的线圈间距离,大于图9 (B) 所示的第二受电装置PRU2的受电线圈 $ns_2$ 与输电线圈 $np$ 的线圈间距离。

[0184] 像这样,在输电线圈以及受电线圈为螺旋状的线圈的情况下,也能够通过线圈的尺寸之差或者线圈间距离来确定受电线圈与输电线圈的耦合系数。

[0185] 《第四实施方式》

[0186] 在第四实施方式中,示出受电谐振机构的其它例子。

[0187] 图10是在第四实施方式涉及的无线供电系统中由电磁场共振耦合电路90和谐振电容器 $C_r$ 、 $C_{rs}$ 构成的包含等效的电磁场共振耦合的谐振电路的电路图。在第一实施方式~第三实施方式中,受电线圈具备作为寄生分量的电容器 $C_s$ ,但是如图10所示,电容器 $C_s$ 等不是必需的。只要受电线圈的电感 $L_s$ 与电容 $C_{rs}$ 串联连接而构成串联谐振电路即可。

[0188] 《第五实施方式》

[0189] 在第五实施方式中,示出在串联谐振电路与受电整流电路之间具备滤波器电路的例子。

[0190] 图11 (A) 是在受电线圈的电感 $L_s$ 与电容 $C_{rs}$ 的串联谐振电路连接了LC滤波器电路的例子。图11 (B) 是在图11 (A) 的结构的基础上进一步与受电线圈并联地包括电容 $C_{rs1}$ 的情况下的电路图。均在端子2-2' 间连接受电整流电路。LC滤波器电路是使工作频率通过并且阻断比工作频率高次的高次谐波分量的低通滤波器或带通滤波器。

[0191] 像这样,通过在受电装置的串联谐振电路与受电整流电路之间具备LC滤波器电路,从而能够降低流过受电谐振机构的电流波形的高次谐波分量,能够降低EMI (电磁干扰) 噪声。由此,能够提高与其它电子设备的EMC (电磁兼容性)。例如,能够抑制与无线通信设备等的干扰。此外,能够通过滤波器来变换谐振机构的阻抗。即,能够谋求阻抗匹配。由此,能够供给适合于负载的电流和电压。

[0192] 《第六实施方式》

[0193] 在第六实施方式中,对如下的无线供电系统进行例示,即,受电整流电路相对于受电谐振机构并联地构成,并构成为对负载供给受电线圈的电能。

[0194] 图12 (A)、图12 (B)、图12 (C) 是第六实施方式涉及的无线供电系统106的电路图。无线供电系统106包括输电装置PSU、第三受电装置PRU3以及第四受电装置PRU4。

[0195] 无线供电系统106是如下的系统,即,在输电装置PSU的输入部具备输入电源 $V_i$ ,向第三受电装置PRU3、第四受电装置PRU4的负载 $R_o$ 供电稳定的直流电压。

[0196] 输电装置PSU的结构与第一~第五的各实施方式所示的相同。

[0197] 受电装置PRU3、PRU4具备包括受电线圈 $ns_3$ 、 $ns_4$ 以及受电谐振电容器 $C_s$ 的受电谐振机构、与受电线圈 $ns_3$ 、 $ns_4$ 连接并且对在受电线圈 $ns_3$ 、 $ns_4$ 产生的交流电流进行整流的基于二极管 $D_{ds3}$ 的受电整流电路以及平滑用电容器 $C_o$ 。

[0198] 图13 (A) 是由电磁场共振耦合电路90和谐振电容器 $C_r$ 构成的包括等效的电磁场共振耦合的多谐振电路的电路图。图13 (B) 是其等效电路图。在此,电感 $L_p$ 是输电线圈 $np$ 的电感,电感 $L_s$ 是受电线圈 $ns_3$  (、 $ns_4$ ) 的电感,电感 $L_m$ 是通过输电线圈 $np$ 与受电线圈 $ns_3$  (、 $ns_4$ ) 的磁场共振耦合来传输电力的等效的互感。电容 $C_m$ 是通过输电线圈 $np$ 与受电线圈 $ns_3$  (、 $ns_4$ ) 的电场共振耦合来传输电力的等效的互电容。此外,电容 $C_p$ 是输电线圈 $np$ 的寄生分量,

电容 $C_s$ 、 $C_{s1}$ 是受电线圈 $n_{s3}$ 、 $n_{s4}$ 的寄生分量。

[0199] 如第一实施方式所示,在端子1-1'间提供正弦波电流 $i_{ac\ in}(t)$ 。虽然在端子1-1'间要流入包含各频率分量的电流,但是通过电磁场共振耦合电路,阻抗变大的高次的频率分量的电流波形被切断,通过进行共振动作,从而仅流过主要为开关频率分量的共振电流,能够高效地传输电力。

[0200] 图14是用于说明作为直流输出电压相对于直流输入电压的比的电压增益的频率特性根据负载的等效电阻值的不同而如何变化的等效电路图。

[0201] 构成基于谐振电容器 $C_p$ 以及电感器 $\{(L_p-L_m)+L_m\}$ 的第一谐振电路。此外,若负载的等效电阻值大,则构成基于谐振电容器 $C_s$ 以及电感器 $\{(L_s-L_m)+L_m\}$ 的第二谐振电路。

[0202] 像这样,存在两个谐振电路,并经由互感 $L_m$ 进行耦合,因此构成复合谐振电路,产生偶模和奇模的谐振模式。

[0203] 在此,若将输电线圈的电感和受电线圈的电感均用 $L$ 表示,并将谐振电容器 $C_p$ 、 $C_s$ 均用 $C$ 表示,则产生以下两个谐振频率。

$$[0204] \quad f_1' = 1 / (2 \pi \sqrt{(L+L_m)C})$$

$$[0205] \quad f_1'' = 1 / (2 \pi \sqrt{(L-L_m)C})$$

[0206] 此外,关于基于输电线圈 $n_p$ 与受电线圈 $n_{s3}$ 、 $n_{s4}$ 的耦合的互感 $L_m$ ,若用 $k$ 表示耦合系数,则存在如下关系,即,

$$[0207] \quad L_m = k \sqrt{(L_p \cdot L_s)}。$$

[0208] 因此,与在第一实施方式中图5(A)、图5(B)、图5(C)所示的例子同样地,电压增益的频率特性根据互感 $L_m$ 而成为单峰性或双峰性。此外,在图14所示的负载的等效电阻值小时,不产生多谐振,因此成为在上述第一谐振电路的谐振频率处谐振的单峰性。

[0209] 因此,在负载的等效电阻值大且耦合系数(耦合度) $k$ 大时,作为直流输出电压相对于直流输入电压的比的电压增益成为双峰性,在负载的等效电阻值小时,或者在耦合系数(耦合度) $k$ 小时,电压增益成为单峰性。

[0210] 图15、图16是示出使输电线圈 $n_p$ 与受电线圈 $n_s$ 的耦合系数变化时的电压增益的频率特性的图。图15是负载 $R_o$ 的等效电阻值=100 $\Omega$ (大的值)时的特性,图16是负载 $R_o$ 的等效电阻值=1 $\Omega$ (小的值)时的特性。均使耦合系数 $k$ 从0.01到0.65为止进行5阶段的变化。

[0211] 像本实施方式这样,在受电整流电路相对于受电谐振机构并联地构成的无线供电系统中,在负载的等效电阻值大时,如图15所表示的那样,产生上述的复合谐振,电压增益的频率特性有时成为双峰性。

[0212] 因此,对于负载的等效电阻值大的受电装置,

[0213] (1) 在受电电力小的情况下,通过减小耦合度(例如, $k=0.65 \rightarrow 0.2$ ),从而使共振频率接近工作频率6.78MHz。由此,增大受电电力。

[0214] (2) 在使得不接收需要以上的受电电力的情况下,通过增大耦合度(例如, $k=0.2 \rightarrow 0.65$ ),从而使共振频率远离工作频率。由此,减小受电电力。

[0215] 另一方面,在等效电阻值小时,如图16所表示的那样,不产生复合谐振,电压增益的频率特性成为单峰性。

[0216] 因此,对于负载的等效电阻值小的受电装置,

[0217] (3) 在受电电力小的情况下,通过减小耦合度(例如, $k=0.65 \rightarrow 0.2$ ),从而增大电压增益,增大受电电力。

[0218] (4) 在使得不接收需要以上的受电电力的情况下,通过增大耦合度(例如, $k=0.2 \rightarrow 0.65$ ),从而减小电压增益,减小受电电力。

[0219] 图12(A)所示的受电装置PRU3的负载的等效电阻值大到受电装置PRU3与输电装置PSU进行耦合的状态下的电压增益的频率特性为双峰性的程度。此外,图12(B)、图12(C)所示的受电装置PRU4的负载的等效电阻值小到受电装置PRU4与输电装置PSU进行耦合的状态下的电压增益的频率特性为单峰性的程度。

[0220] 因此,第三受电装置PRU3通过受电线圈 $ns1$ 与输电线圈 $np$ 的耦合系数的设定,利用电压增益成为极大的一方的频率(在图15所示的例子中,电压增益成为极大的两个频率中的高的一方的频率)与工作频率的位置关系来确定电压增益。第四受电装置PRU4将电压增益成为极大的频率确定在工作频率的附近,通过耦合系数的设定来确定电压增益。

[0221] 上述耦合系数通过受电线圈 $ns3$ 、 $ns4$ 相对于输电线圈 $np$ 的线圈间距离 $dx$ 、 $dx4$ 、输电线圈 $np$ 的半径 $r$ 与受电线圈 $ns4$ 的半径 $r4$ 之差来确定。

[0222] 在以上所示的例子中,具有等效电阻值大的负载的第三受电装置利用图15的双峰性峰中的高频率侧的峰(根据耦合系数的变动,峰频率相对大地位移的一侧的峰)的频率根据耦合系数而位移的特性来确定电压增益,具有等效电阻值小的负载的第四受电装置利用图16的单峰性峰的频率根据耦合系数而位移的特性来确定电压增益。处该例子以外,还可以使得具有等效电阻值大的负载的第三受电装置利用图15的双峰性峰中的低频率侧的峰(根据耦合系数的变动,峰频率不是相对大地位移的一侧的峰)的值根据耦合系数而变化的特性来确定电压增益。

[0223] 《第七实施方式》

[0224] 在第七实施方式中,示出受电谐振机构的另一个例子。

[0225] 图17是第七实施方式涉及的无线供电系统中的电磁场共振耦合电路部分的电路图。在该例子中,除了电磁场共振耦合电路90以外,具有电容器 $Cr$ 、 $Cr_s$ 、 $Cs_2$ 。通过用电子部件构成电容器 $Cr$ 、 $Cr_s$ 、 $Cs_2$ ,从而能够调整对各电容器或线圈施加的电压值。进而,例如通过用电容器 $Cr_s$ 和 $Cs_2$ 进行分压,从而能够调整从电容器 $Cs_2$ 导出的对负载的电力。

[0226] 《第八实施方式》

[0227] 在第八实施方式中,示出受电谐振机构的另一个例子。

[0228] 图18是第八实施方式涉及的无线供电系统中的电磁场共振耦合电路部分的电路图。在该例子中,在输电线圈的电感 $L_p$ 与谐振电容器 $C_p$ 之间插入了电容器 $Cr$ ,在受电线圈的电感 $L_s$ 与谐振电容器 $C_s$ 之间插入了电容器 $Cr_s$ 。通过用电子部件构成电容器 $Cr$ 、 $Cr_s$ ,从而能够调整对各电容器或线圈施加的电压值。进而,例如通过用电容器 $Cr_s$ 和 $C_s$ 进行分压,从而能够调整从电容器 $C_s$ 导出的对负载的电力。

[0229] 《第九实施方式》

[0230] 在第九实施方式中,示出在并联谐振电路与受电整流电路之间具备滤波器电路的例子。

[0231] 图19(A)是在受电线圈的电感 $L_s$ 与电容 $C_s$ 的并联谐振电路连接了LC滤波器电路的例子。图19(B)是进一步串联地包括电容 $Cr_s$ 且并联地包括电容 $Cs_2$ 的情况下的电路图。均在

端子2-2'间连接受电整流电路。LC滤波器电路是使工作频率通过且阻断比工作频率高次的高次谐波分量的低通滤波器或带通滤波器。

[0232] 像这样,通过在受电装置的串联谐振电路与受电整流电路之间具备LC滤波器电路,从而能够降低流过受电谐振机构的电流波形的高次谐波分量,能够降低EMI(电磁干扰)噪声。由此,能够提高与其它电子设备的EMC(电磁兼容性)。例如,能够抑制与无线通信设备等的干扰。此外,能够通过滤波器来变换谐振机构的阻抗。即,能够谋求阻抗匹配。由此,能够供给适合于负载的电流和电压。

[0233] 另外,虽然在以上所示的各实施方式中,说明为,在输电线圈与受电线圈之间通过基于互感的磁场耦合以及基于互电容的电场耦合来构成电磁场共振耦合,但是本发明还应用于与电场耦合相比磁场耦合为支配性且主要构成磁场耦合的情况。

[0234] 附图标记说明

[0235] ALT:输电交流电压产生电路;

[0236] Cds:寄生电容;

[0237] Cds1、Cds2:电容器;

[0238] Cds3、Cds4:电容器;

[0239] Cm:互电容;

[0240] Co:平滑用电容器;

[0241] Cp、Cs:谐振电容器;

[0242] Cr:输电谐振电容器;

[0243] Crs、Cs:受电谐振电容器;

[0244] Cs1、Cs2:电容;

[0245] Dds1、Dds2、Dds3、Dds4:二极管;

[0246] Lm:互感;

[0247] Lp:输电线圈的电感;

[0248] Ls:受电线圈的电感;

[0249] Mc:互电容;

[0250] M1:互感;

[0251] np:输电线圈;

[0252] ns、ns1、ns2、ns3、ns4:受电线圈;

[0253] PRU1:第一受电装置;

[0254] PRU2:第二受电装置;

[0255] PRU3:第三受电装置;

[0256] PRU4:第四受电装置;

[0257] PSU:输电装置;

[0258] Q1:第一开关元件;

[0259] Q2:第二开关元件;

[0260] Q3、Q4:开关元件;

[0261] RC:受电整流电路;

[0262] Ro:负载;

- [0263] S1: 第一开关电路;
- [0264] S2: 第二开关电路;
- [0265] S3、S4: 开关电路;
- [0266] 90: 电磁场共振耦合电路;
- [0267] 101、102、103、106: 无线供电系统。

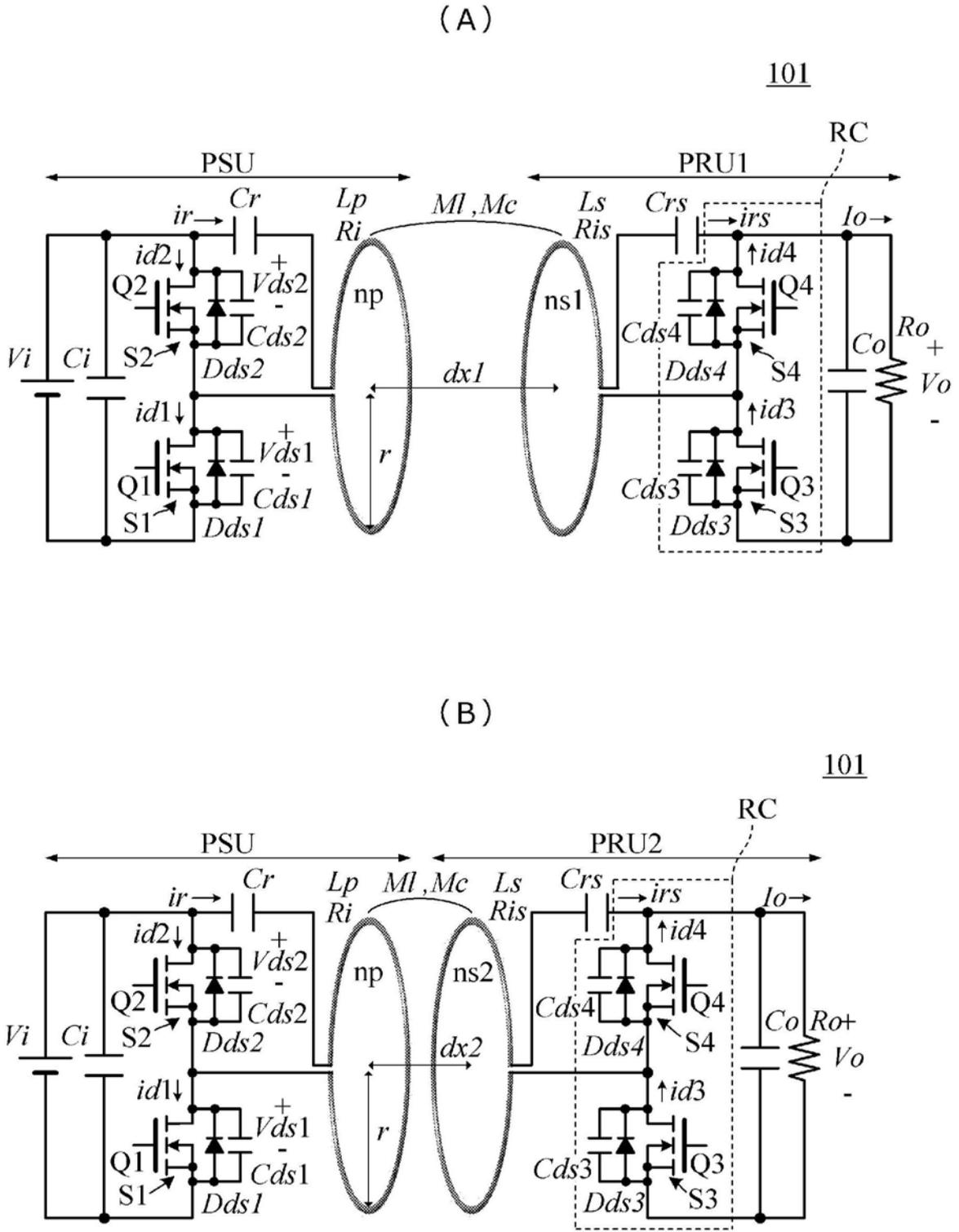


图1

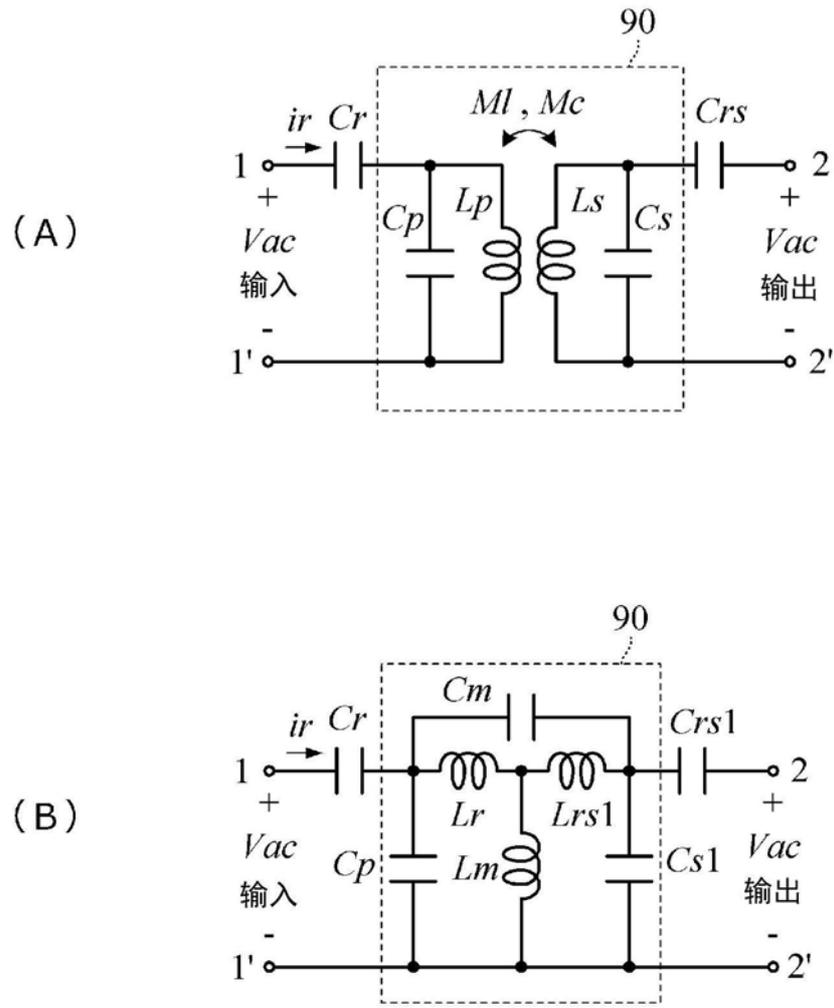


图2

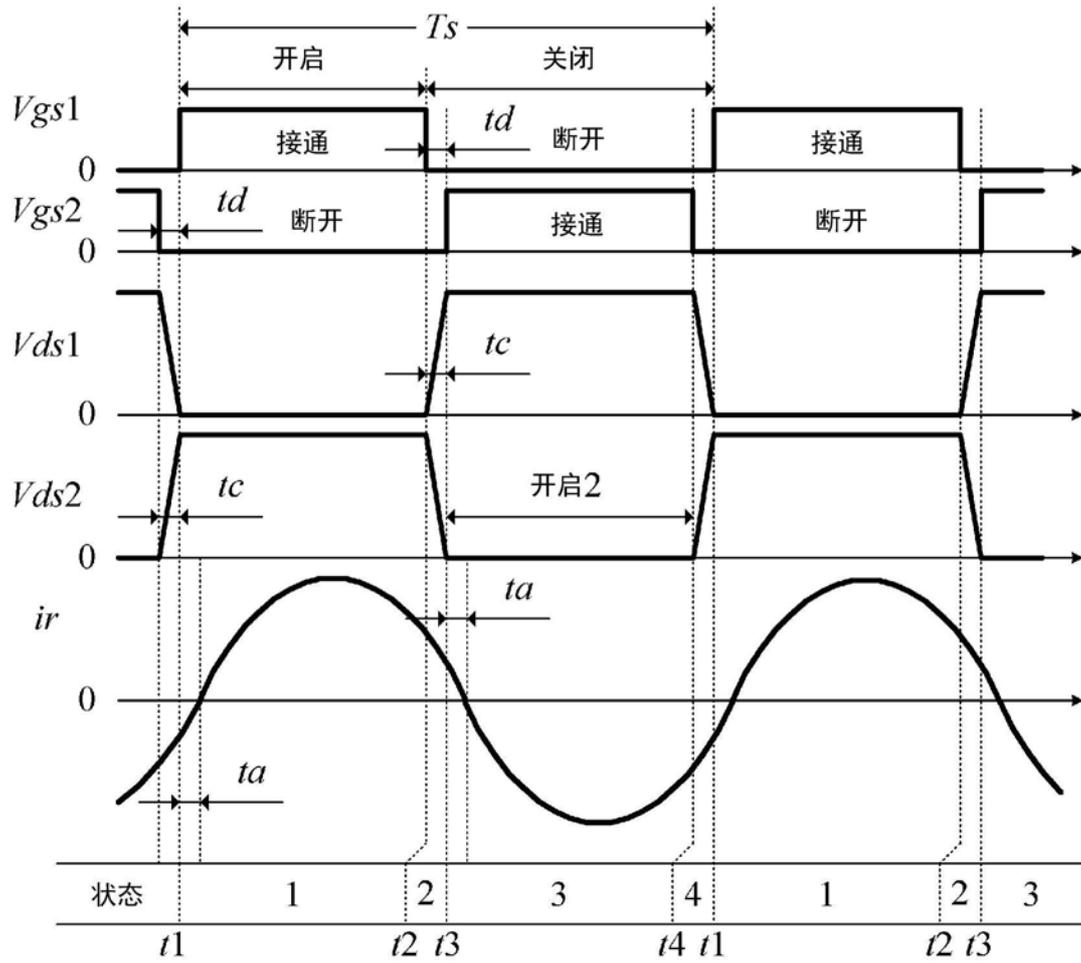


图3

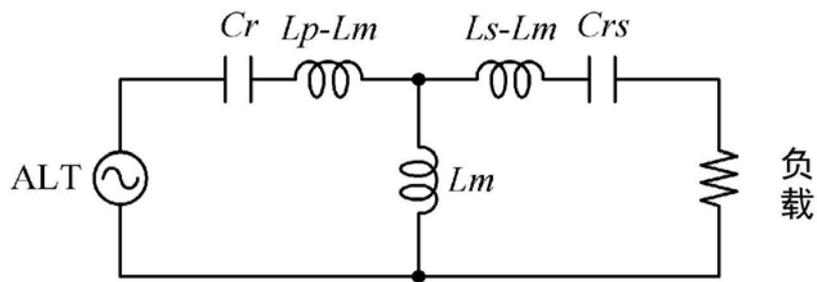


图4

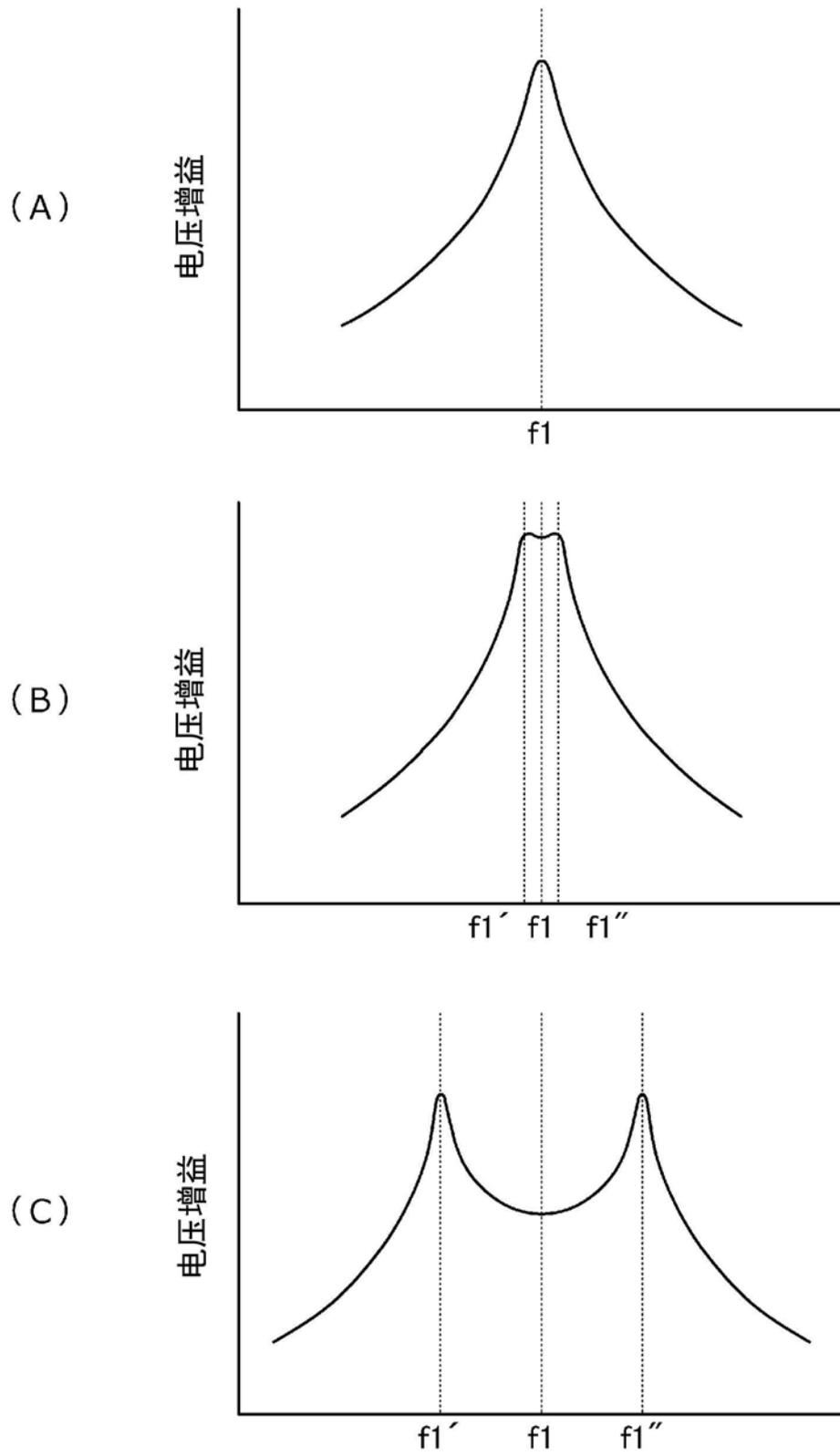


图5

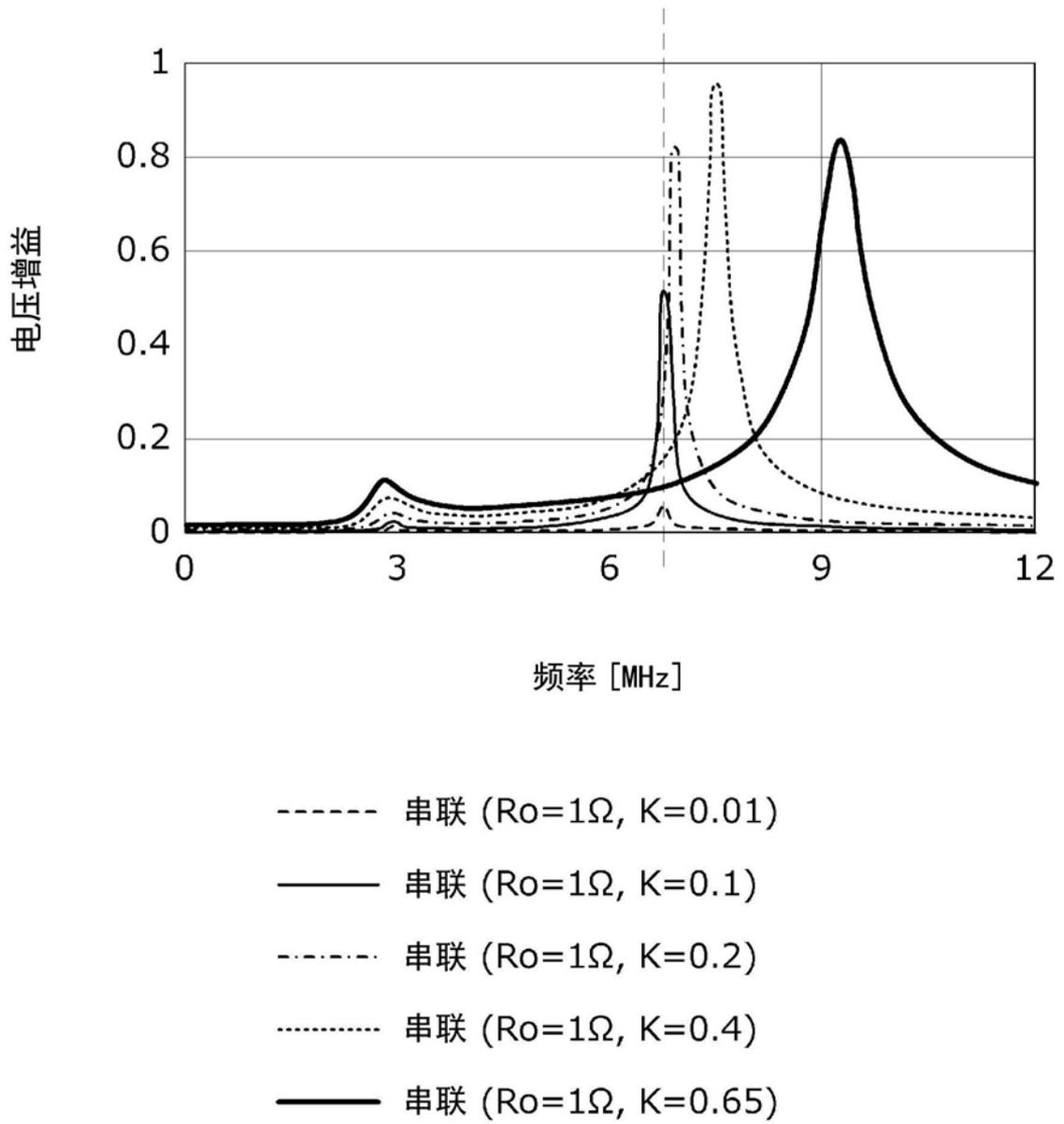
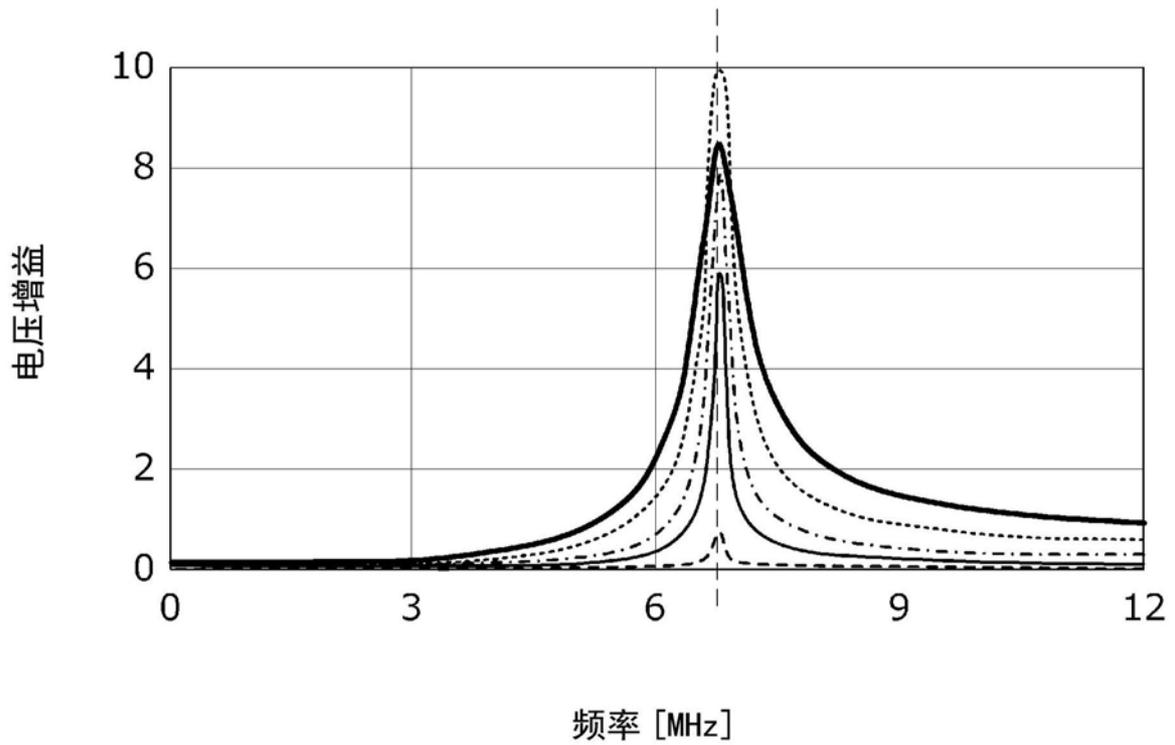


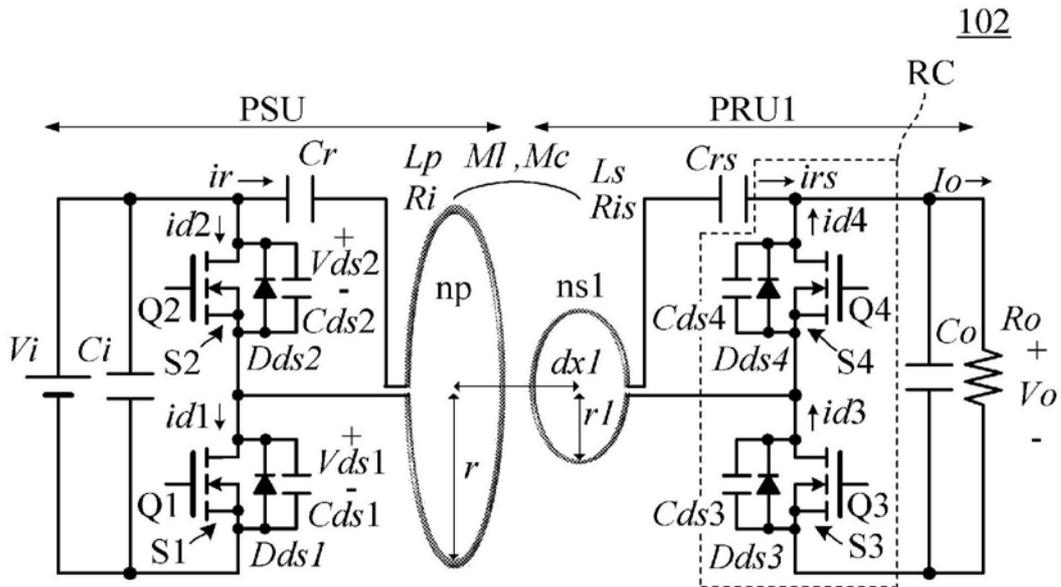
图6



- 串联 ( $R_o=100\Omega$ ,  $K=0.01$ )
- 串联 ( $R_o=100\Omega$ ,  $K=0.1$ )
- · - · - 串联 ( $R_o=100\Omega$ ,  $K=0.2$ )
- 串联 ( $R_o=100\Omega$ ,  $K=0.4$ )
- 串联 ( $R_o=100\Omega$ ,  $K=0.65$ )

图7

(A)



(B)

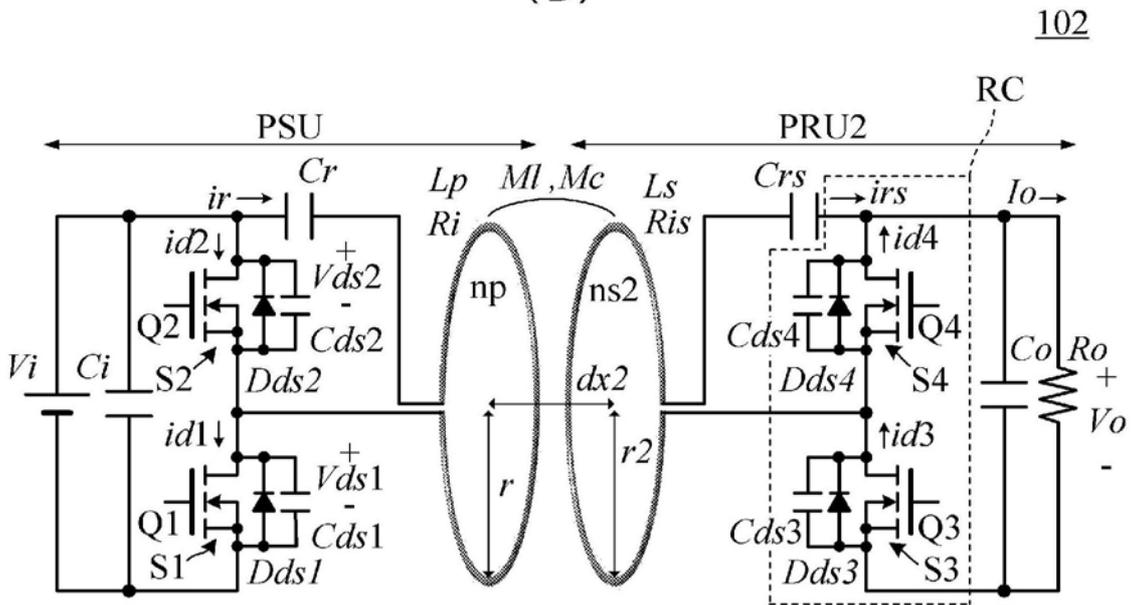


图8

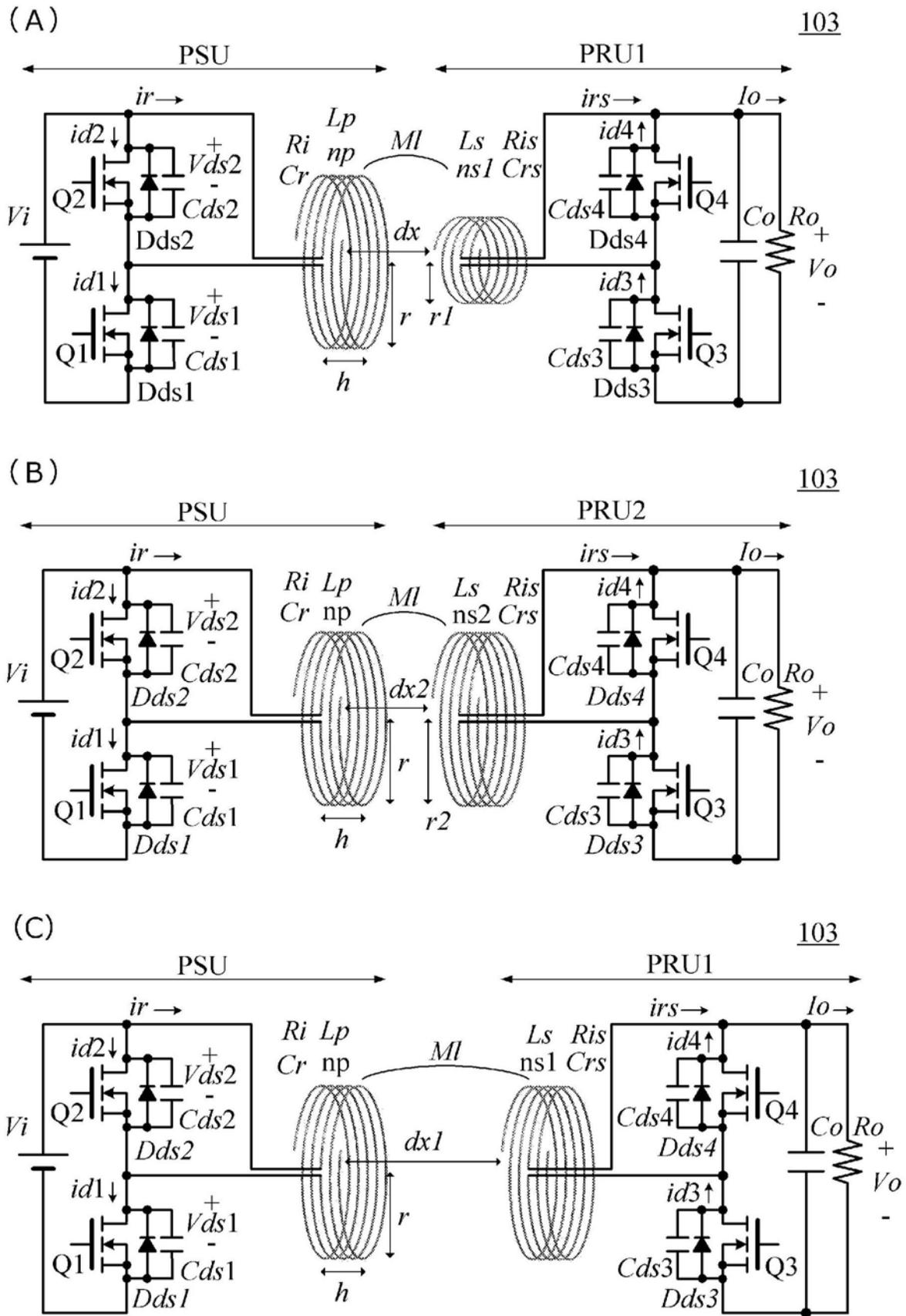


图9

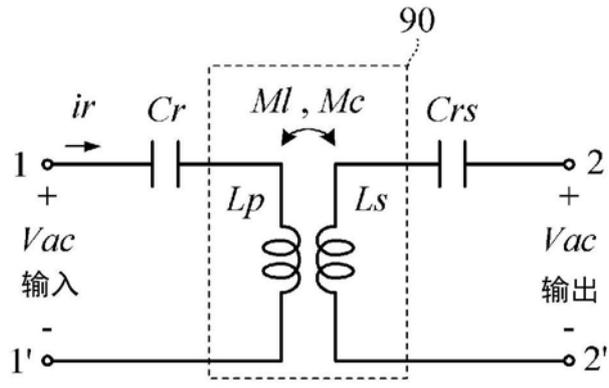


图10

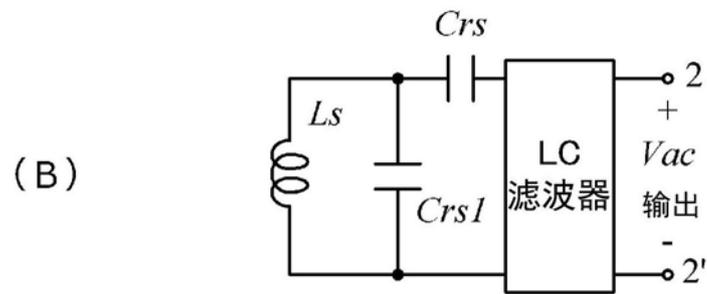
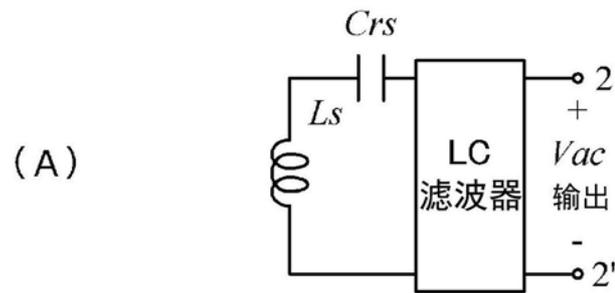


图11

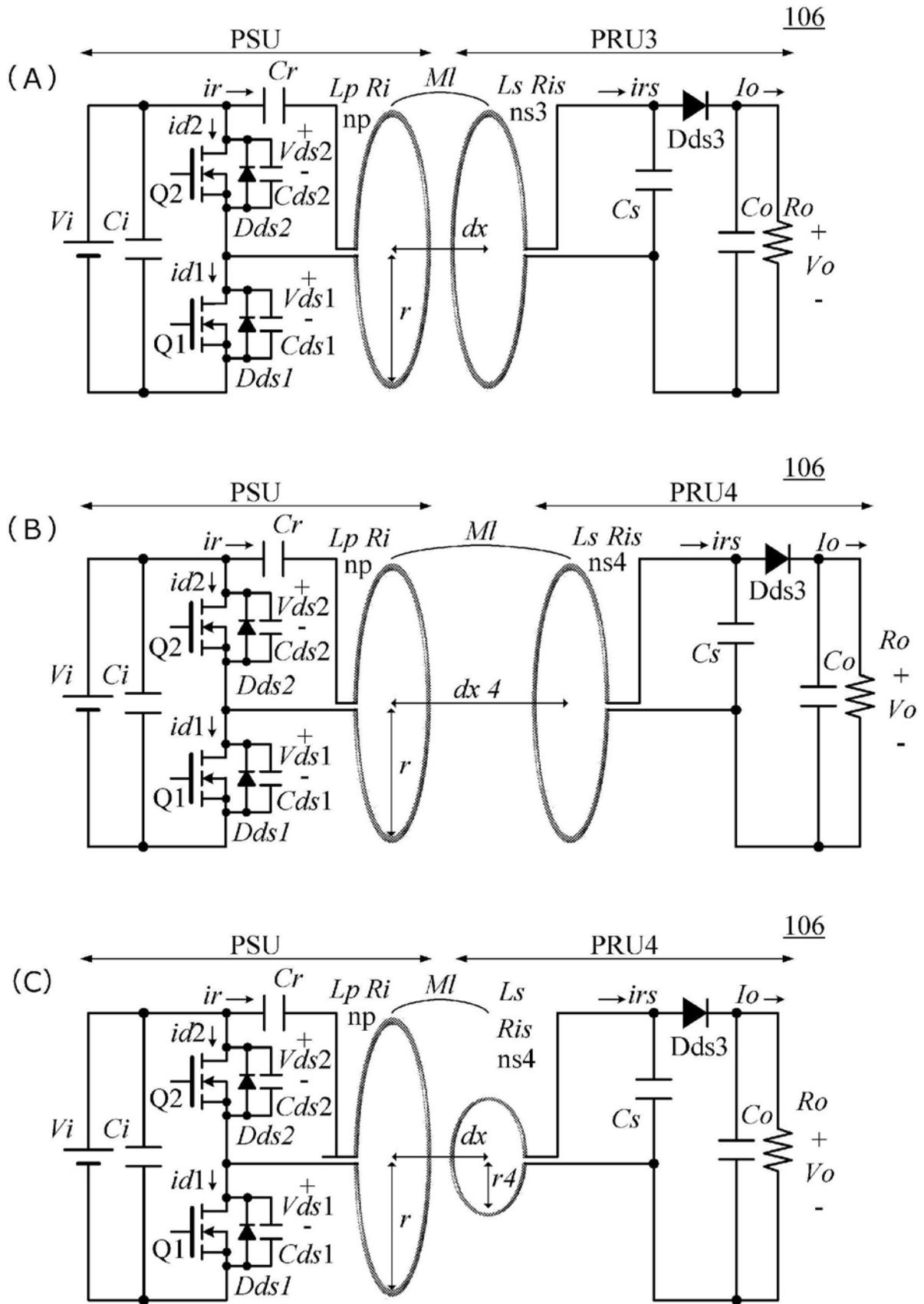


图12

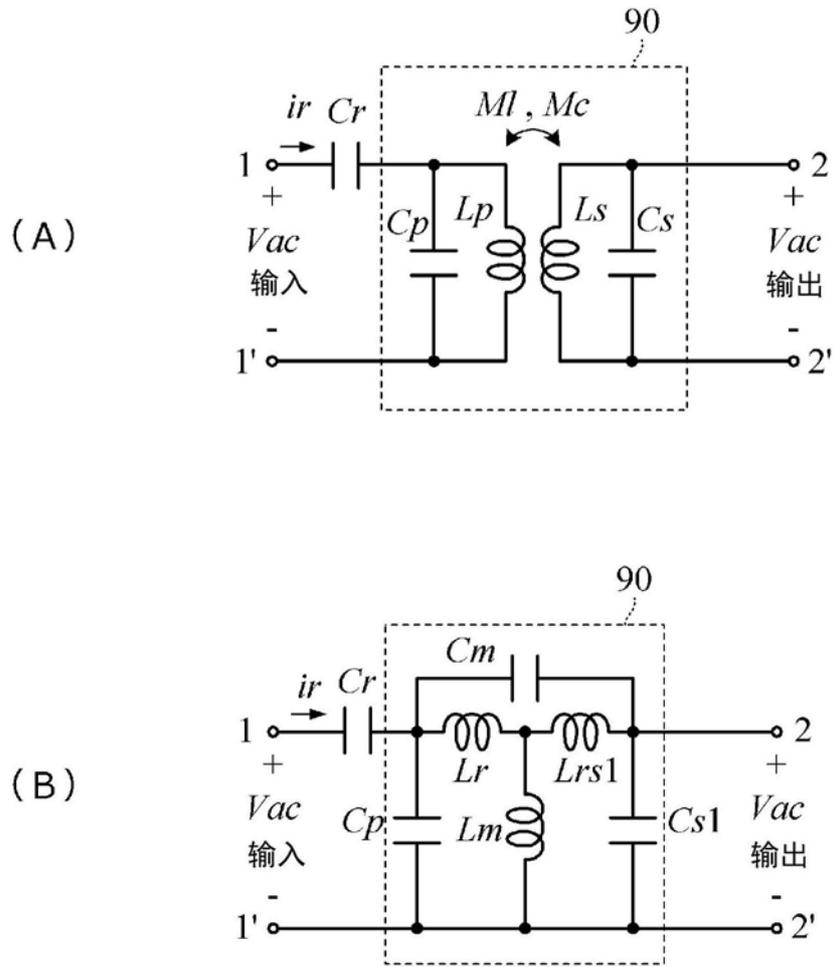


图13

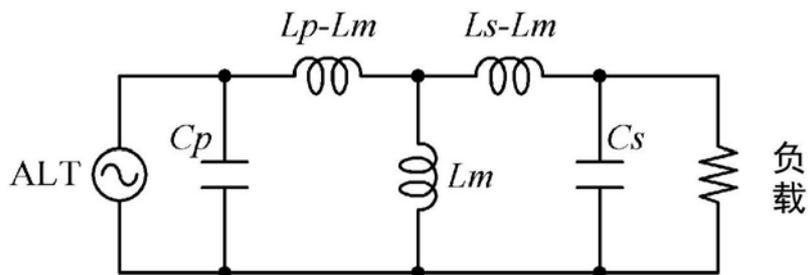


图14

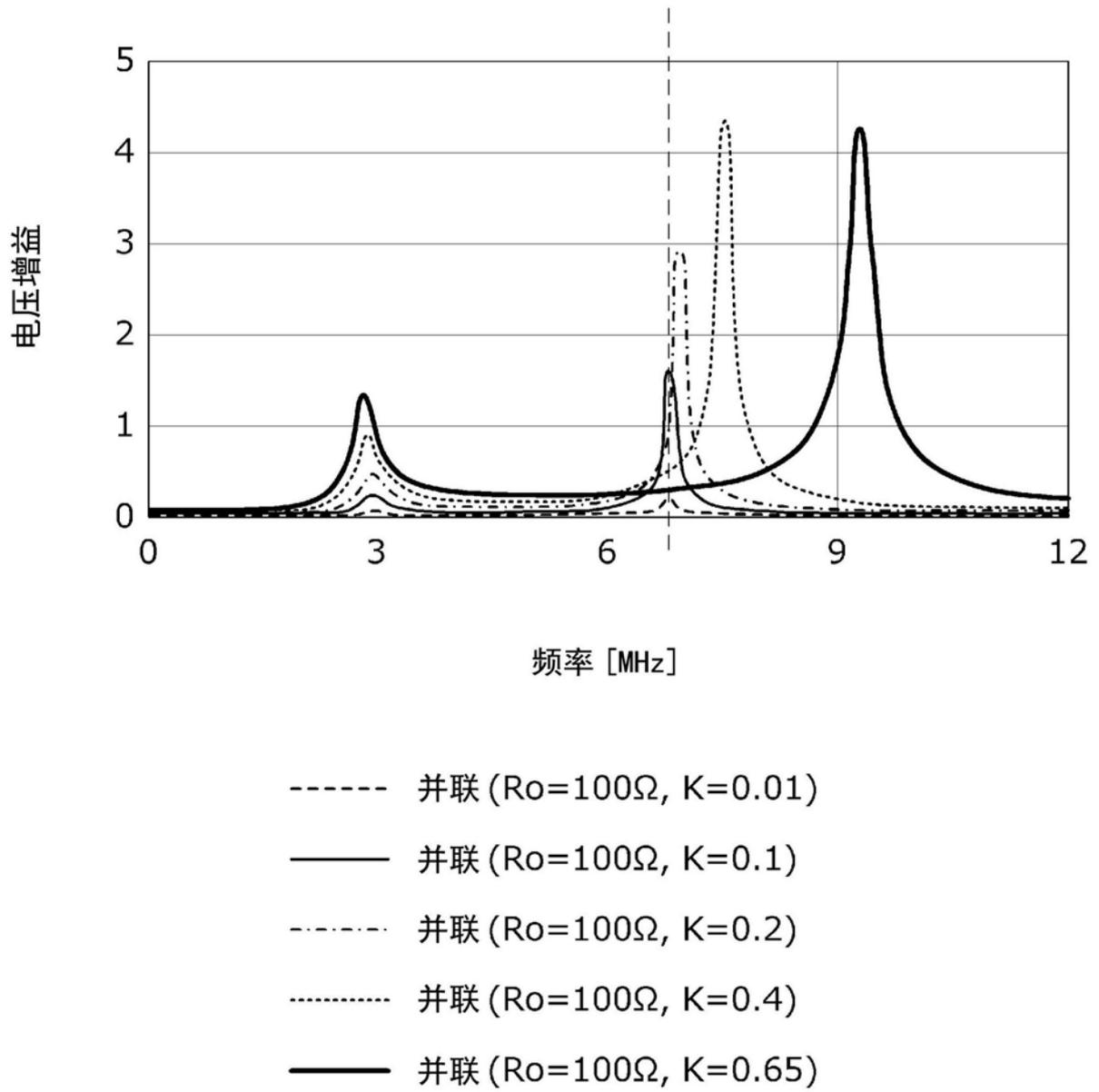
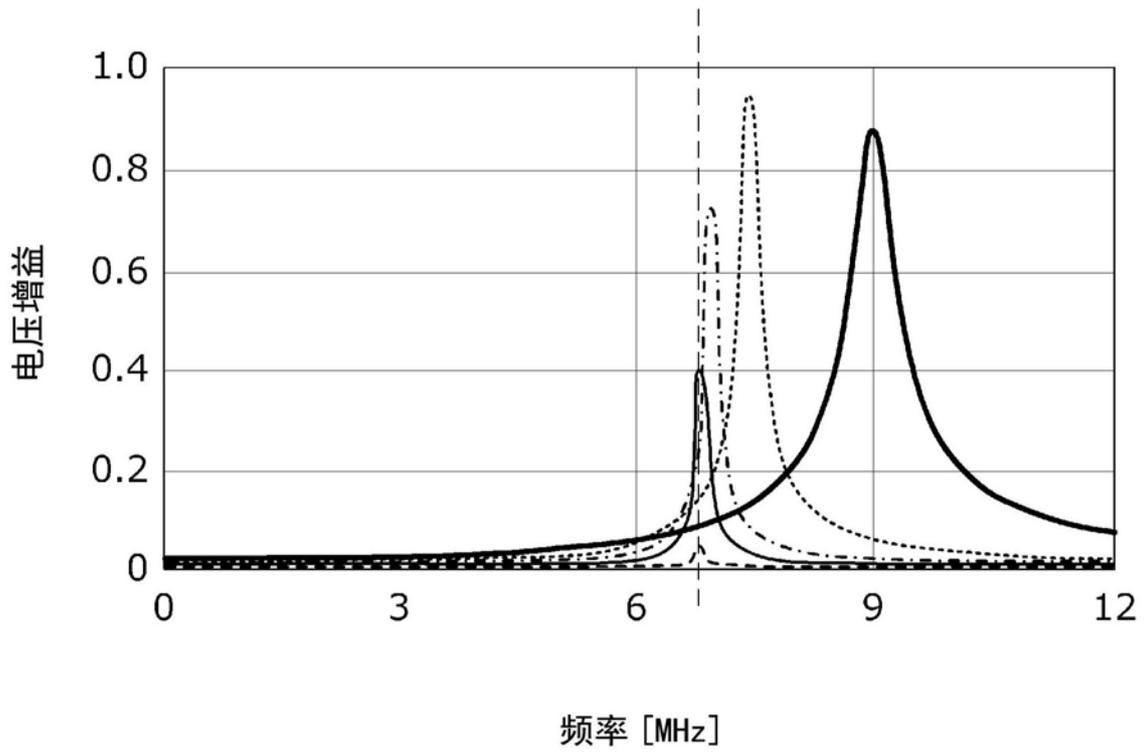


图15



- 并联 ( $R_o=1\Omega$ ,  $K=0.01$ )
- 并联 ( $R_o=1\Omega$ ,  $K=0.1$ )
- · - · - 并联 ( $R_o=1\Omega$ ,  $K=0.2$ )
- · · · · 并联 ( $R_o=1\Omega$ ,  $K=0.4$ )
- 并联 ( $R_o=1\Omega$ ,  $K=0.65$ )

图16

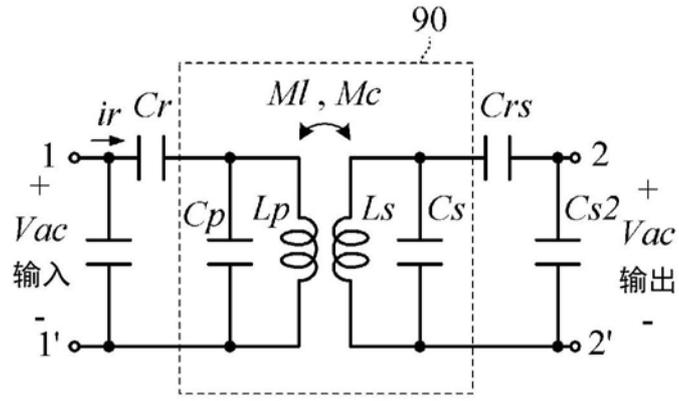


图17

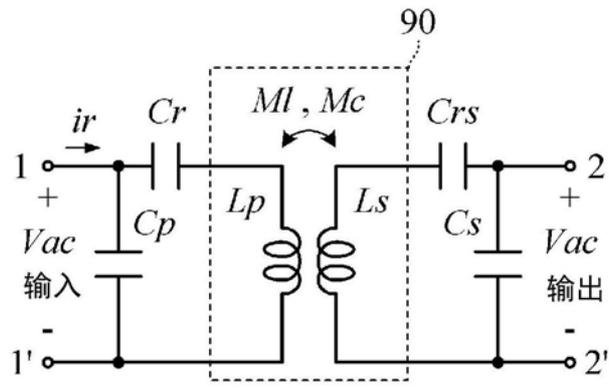


图18

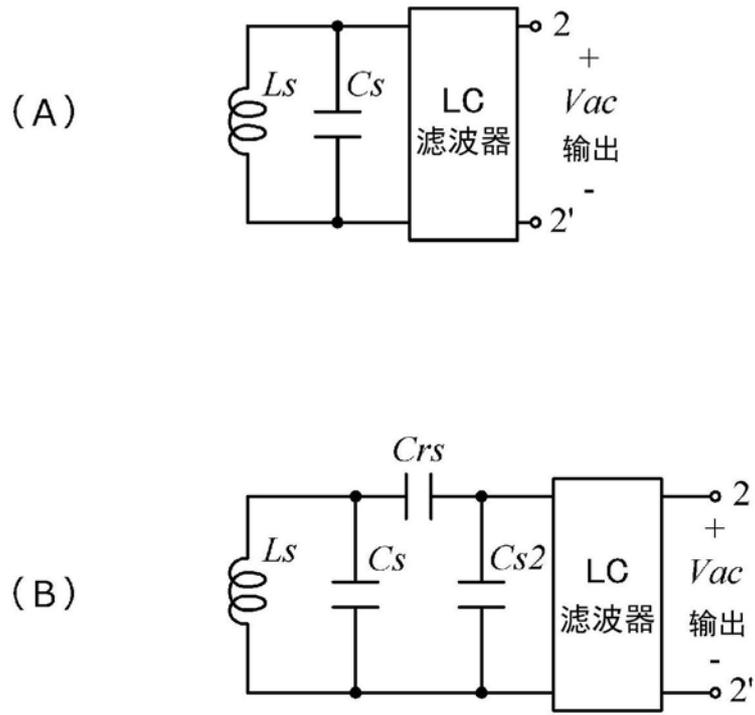


图19