



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112259349 B

(45) 授权公告日 2022.04.05

(21) 申请号 202011099117.1

审查员 胡晓英

(22) 申请日 2020.10.14

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 112259349 A

(43) 申请公布日 2021.01.22

(73) 专利权人 浙江大学

地址 310058 浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号

(72) 发明人 钟文兴 李佳婧 徐德鸿

(74) 专利代理机构 杭州求是专利事务所有限公司

33200

代理人 万尾甜 韩介梅

(51) Int. Cl.

H01F 38/14 (2006.01)

H02J 50/12 (2016.01)

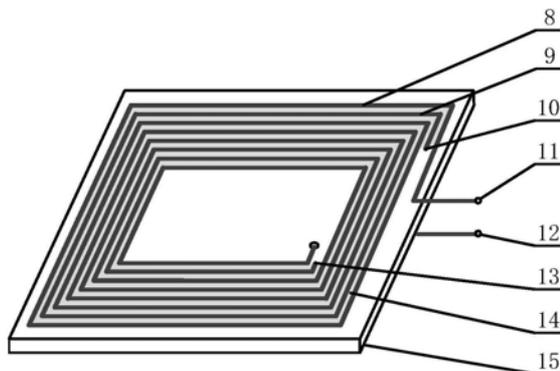
权利要求书1页 说明书4页 附图4页

(54) 发明名称

一种无线电能传输系统自谐振线圈

(57) 摘要

本发明公开了一种无线电能传输系统自谐振线圈,该自谐振线圈由并绕的内线圈和外线圈组成,利用内外线圈之间的分布寄生电容来代替一般无线电能传输系统中使用的一系列电容器进行电抗补偿,从而在所需频率上可以进行谐振,达到提升系统功率传输能力和效率的目的。本发明通过自谐振线圈的设置可以使无线电能传输电抗补偿不再需要外接一系列电容器,对减小无线电能传输系统的体积、改善系统耐压、提高系统功率密度和集成化发展具有重要意义。



1. 一种无线电能传输系统自谐振线圈,其特征在于,所述自谐振线圈无需外接电容器即能实现电抗补偿,包括并列绕制的内线圈和外线圈,具体为将内线圈导线、外线圈导线并列进行绕制获得内、外线圈导线分匝交替排列的双线圈,内线圈导线构成内线圈、外线圈导线构成外线圈,所述自谐振线圈还包括绝缘基板,所述双线圈设于所述绝缘基板上并固定,其中内线圈导线、外线圈导线均具有绝缘层,所述自谐振线圈的两个接线端子为内线圈的内圈端部及外线圈外圈端部,或者为外线圈的内圈端部及内线圈的外圈端部,内圈端部在引出时应穿过绝缘基板从下方引出,另外两个端部进行绝缘处理不引出;内线圈与外线圈中电流方向相同,所述的自谐振线圈能作为发射线圈和/或接收线圈。

2. 根据权利要求1所述的无线电能传输系统自谐振线圈,其特征在于,作为发射边线圈时,所述自谐振线圈的两个接线端子与外部前级逆变电路交流输出端相接;作为接收边线圈时,自谐振线圈的两个接线端子与外部后级整流电路交流输入端相接。

3. 根据权利要求1所述的无线电能传输系统自谐振线圈,其特征在于,线圈导线为任意材料、形态和粗细规格的带绝缘层的导线。

4. 根据权利要求1所述的无线电能传输系统自谐振线圈,其特征在于,所述自谐振线圈为任意形状的线圈。

5. 根据权利要求1所述的无线电能传输系统自谐振线圈,其特征在于,所述的绕制采用密绕方式,即内线圈导线、外线圈导线交替紧密排列。

6. 根据权利要求1所述的无线电能传输系统自谐振线圈,其特征在于,所述的自谐振线圈为空芯或具有磁芯。

一种无线电能传输系统自谐振线圈

技术领域

[0001] 本发明涉及无线电能传输技术,尤其涉及一种无线电能传输系统自谐振线圈的结构。

背景技术

[0002] 在未来越来越多的领域,无线电能传输技术势必要取代传统有线方式传能。无线电能传输有磁谐振耦合、电场耦合、微波、激光和超声波等耦合方式,其中,磁谐振耦合是目前的主要耦合方式。对于磁谐振耦合无线电能传输技术,发射端和接收端线圈都需要进行谐振以同时补偿发射端和接收端的电抗。普通无线电能传输线圈的自谐振频率往往很高,直接利用线圈自身高频杂散电容进行谐振的系统稳定性和可控性很不理想,因此传统的补偿方式常常需要线圈外接一系列电容器形成LC谐振器进行谐振。然而外界串联的电容器常常占据很大一部分的体积,使无线电能传输系统的工作场合受到空间的限制,影响到系统的功率密度。因此,本发明提供一种自谐振线圈结构,能够增大线圈自身寄生电容到外接电容器的电容值,从而用线圈自身寄生电容替代外接电容器,能够减小无线电能传输系统的体积,很好地弥补外接电容器的缺陷,并且顺应了集成化发展趋势,具有广阔的应用前景。

发明内容

[0003] 本发明提供一种无线电能传输系统自谐振线圈结构,该线圈不需要外接电容器进行电抗补偿,目的是克服磁谐振耦合无线充电系统中使用外接电容器进行电抗补偿存在的缺点。

[0004] 本发明所采用的技术方案如下:

[0005] 一种无线电能传输系统自谐振线圈,所述自谐振线圈无需外接电容器即可实现电抗补偿,包括并列绕制的内线圈和外线圈,具体为将内线圈导线、外线圈导线并列进行绕制获得内、外线圈导线分匝交替排列的双线圈,内线圈导线构成内线圈、外线圈导线构成外线圈,其中内线圈导线、外线圈导线均具有绝缘层,所述自谐振线圈的两个接线端子为内线圈的内圈端部及外线圈外圈端部,或者为外线圈的内圈端部及内线圈的外圈端部。

[0006] 进一步的,所述自谐振线圈还包括绝缘基板,所述双线圈设于所述绝缘基板上并固定。绝缘基板给线圈提供物理支撑和电气绝缘。

[0007] 进一步的,作为发射边线圈时,所述自谐振线圈的两个接线端子与外部前级逆变电路交流输出端相接;作为接收边线圈时,自谐振线圈的两个接线端子与外部后级整流电路交流输入端相接。当发射边、接收边均采用自谐振线圈时,要求发射边线圈和接收边线圈自谐振频率相同,并且与发射边的逆变电路、接收边的整流电路开关频率相同。

[0008] 进一步的,线圈导线为任意材料、形态和粗细规格的带绝缘层的导线。

[0009] 进一步的,所述自谐振线圈为任意形状的线圈。

[0010] 进一步的,所述的自谐振线圈可以为空芯或含有磁芯的线圈。

[0011] 进一步的,所述内外线圈间距包括任意尺寸的间距,间距减小时自谐振线圈的分

布寄生电容会增大,自谐振频率会减小,间距增大时自谐振线圈的绝缘性能会增强。但最优的绕制采用密绕方式,即内线圈导线、外线圈导线交替紧密排列。

[0012] 具体绕制时可以使用粘合剂,且内、外线圈之间的介质可以为绝缘层、空气、粘合剂,介质的不同会影响到自谐振线圈分布寄生电容的大小和损耗的大小。

[0013] 本发明的有益效果是:

[0014] 本发明的自谐振线圈不需要使用外接一系列电容器对线圈电抗进行补偿,通过设计线圈自身寄生电容电感,即可将线圈自身的谐振频率控制在无线充电系统需要的频率上,与外接补偿电容器具有同样补偿电抗的作用,能够提高系统功率传输能力和效率。相对于使用一系列外接电容器的补偿方法,本发明能够减小无线电能传输系统的体积,能够改善系统耐压,有益于提高系统功率密度和集成化发展。

[0015] 本说明书所描述的自谐振线圈结构的细节在随附图式和以下描述中予以阐述。其特征、方面和优点将从所述描述、所述图式和权利要求书变得显而易见。应注意,以下诸图的相对尺寸可未按比例绘制。

附图说明

[0016] 图1为根据本发明的所有示范性实施例的无线电能传输系统的功能结构框图。

[0017] 图2为本发明自谐振线圈的结构示意图。

[0018] 图3为本发明自谐振线圈的示范性实施例一实物图。

[0019] 图4为本发明自谐振线圈的示范性实施例二实物图。

[0020] 图5为本发明自谐振线圈的电路模型示意图。

[0021] 图6为采用图4线圈结构的自谐振线圈测量特性曲线及数据。

[0022] 图7为采用图4线圈结构的无线电能传输系统波形仿真图。

[0023] 图8为采用图4线圈结构的无线电能传输系统波形实际测量图。

具体实施方式

[0024] 下文结合附加图式而阐述的描述为对本发明的示范性实施例的描述,且不表示可实践本发明的仅有实施例。贯穿此描述而使用的术语“示范性”意谓“充当实例、例子或说明”,且未必应被认作相对于其它示范性实施例优选或有利。详细描述包含特定细节以便提供对本发明的示范性实施例的透彻理解。

[0025] 图1为根据本发明的所有示范性实施例的无线电能传输系统的功能结构框图。功率发射器包含直流电源1、逆变器2和发射线圈3。直流电源1为系统输入直流电,直流电通过逆变器2变成所需频率的交流电,加在发射线圈3(自谐振线圈)两端,使得功率发射器产生高频交变磁场。由于发射端线圈采用自谐振线圈,该系统无需补偿网络即可抵消功率发射器中的无功功率。功率接收器包含接收线圈5、整流器6和负载7。发射线圈3产生的高频交变磁场经过气隙媒介4发送到接收线圈5。由于接收端线圈采用自谐振线圈,该系统无需补偿网络即可抵消功率接收器中的无功功率。接收线圈5因发射线圈3产生的高频交变磁场而产生高频交流电,高频交流电通过整流器6变成直流电,并输入电能到负载7上,从而完成电能的无线传输。

[0026] 发射线圈3和接收线圈5可配置为包含空芯或实芯,例如铁氧体磁芯。含有铁氧体

磁芯的线圈可更好地将能量从功率发射器传输至功率接收器。

[0027] 图2为本发明自谐振线圈的结构示意图,即图1发射线圈3和接收线圈5结构的具体示范性实施例。本发明自谐振线圈由外线圈8、内线圈9、匝间介质14和绝缘基板15组成,利用线圈8和线圈9之间的分布寄生电容及电感可以控制线圈自身谐振频率从而达到等同于外接电容器进行电抗补偿的作用。外线圈8和内线圈9之间含有匝间介质14,使用的匝间介质材料不同,介电常数和损耗角等参数不同,会使自谐振线圈的寄生电容、自谐振频率和损耗不同。由于外线圈8和内线圈9应产生相同方向的磁场来进行能量传输,其电流方向应相同,因此自谐振线圈与外部电路的连接端口有两种组成方式:外线圈外圈端子11和内线圈内圈端子12,或者外线圈内圈端子13和内线圈外圈端子10。图2所示为端子11、12构成端口的示范性实施例,11、12端子对应导线引出接至外电路,10、13端子则进行绝缘处理不引出(图2中为避免内线圈内圈端子12引出时导线与线圈其他各匝导线之间因距离太近而导致击穿,故内圈端子12穿过绝缘基板从下方引出)。发射端自谐振线圈的接线端子11、12与逆变器2交流输出端相连,接收端自谐振线圈的接线端子11、12与整流器6交流输入端相连。

[0028] 图3为本发明自谐振线圈的示范性实施例一实物图。该实施例由单丝丝包利兹线绕制,线圈形状为矩形,外尺寸为40cm*40cm,内尺寸为16cm*16cm,基板15采用环氧板,匝间介质14采用氰基丙烯酸酯。

[0029] 图4为本发明自谐振线圈的示范性实施例二实物图。该实施例由单丝丝包利兹线绕制,线圈形状为圆形,外径为40cm,内径为16cm,基板15采用亚克力板,匝间介质14采用氰基丙烯酸酯。

[0030] 图5为本发明自谐振线圈的电路模型示意图。其中, L_A 为外线圈8的自感, L_B 为内线圈9的自感, M_{AB} 为内外线圈之间的互感, C_{AB1} 、 C_{AB2} 为内外线圈之间的电容,利用线圈内部电容电感进行自谐振。对应于图2自谐振线圈,a端子为端子11、b端子为端子12,总电流从a端流入/出,从b端流出/入。一般地,两紧密并绕的线圈各自形状规格通常相似,因此可以认为两线圈参数基本一致,即 $L_A \approx L_B$, $C_{AB1} \approx C_{AB2}$,同时 $i_A \approx i_B$, $i = i_A + i_B \approx 2i_A$ 。

[0031] 此时有:

$$u_{ab} = j \left(\omega L_A - \frac{1}{\omega C_{AB1}} \right) i_A + j \omega M_{AB} i_B$$

$$[0032] \quad \approx j \omega (L_A + M_{AB}) i_A - \frac{1}{\omega C_{AB1}} i_A$$

$$\approx \left(j \omega \frac{L_A + M_{AB}}{2} - j \frac{1}{2 \omega C_{AB1}} \right) i$$

[0033] 故ab端口等效阻抗为:

$$[0034] \quad Z_{ab} = \frac{u_{AB}}{i} = j \omega \frac{L_A + M_{AB}}{2} - j \frac{1}{2 \omega C_{AB1}}$$

[0035] 由上式可知,串联等效电感和电容为:

$$[0036] \quad L = \frac{L_A + M_{AB}}{2}$$

$$[0037] \quad C = 2C_{AB1}$$

[0038] 对应谐振频率为：

$$[0039] \quad f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

[0040] 可以看出图2自谐振线圈结构可以等效为电感电容串联,可以利用线圈自身电感电容进行自谐振,因而可以替代SS-WPT系统中普通线圈和外接补偿电容方案。图6为采用图4线圈结构的自谐振线圈测量特性曲线及数据。利用阻抗分析仪等仪器可以对自谐振线圈的阻抗特性进行测量和分析,测量结果如图6,该自谐振线圈谐振频率 $f=125.3\text{kHz}$,等效串联电阻为 $R=9.12\text{ohm}$,等效电感 $L=327.2\text{uH}$,等效串联电容 $C=4.95\text{nF}$ 。其中等效串联电阻反映了线圈的损耗大小。测量结果表明,该自谐振线圈能够实现自谐振,且谐振频率等参数满足要求。图7为采用图4线圈结构的无线电能传输系统波形仿真图。在此实施例中,线圈参数与实际线圈4测量值一致,逆变器2为有源逆变器,整流器6为无源整流器,负载7为电阻负载,发射与接收线圈相距20cm进行电能传输,直流电源1输入直流电压为150V。图中 U_1 为发射线圈3两端电压, I_1 为流经发射线圈3的电流, U_2 为接收线圈5两端电压, I_2 为流经接收线圈5的电流, V_0 为负载7两端电压。

[0041] 图8为采用图4线圈结构的无线电能传输系统波形实际测量图。在此实施例中,逆变器2为有源逆变器,整流器6为无源整流器,负载7为电阻负载,发射与接收线圈相距20cm进行电能传输,直流电源1输入直流电压为150V。图中通道1为发射线圈3两端电压,通道2为流经发射线圈3的电流,通道3为接收线圈5两端电压,通道4为流经接收线圈5的电流。从仿真和实验波形图可以看出,无线电能传输系统的功率通过自谐振线圈能够有效地进行传输。表1为不同输入直流电压时仿真和实验效率测量数据,由表可知,通过此实施例进行无线电能传输,能达到70%左右的传输效率,具有应用价值。

[0042] 在不脱离本发明的精神或范围的情况下,上述实施例的各种修改将易于显而易见,且本文所界定的一般结构可应用于其它实施例。因此,本发明不限于本文所展示的实施例,而应符合与本文所揭示的结构和新颖特征一致的最广范围。

[0043] 表1仿真和实验效率测量数据

U_{in}/V	$\eta_{simulate}/\%$	$\eta_{test}/\%$
50	72.0	71.5
100	71.8	71.5
150	68.7	71.6
200	68.9	71.4

[0044]

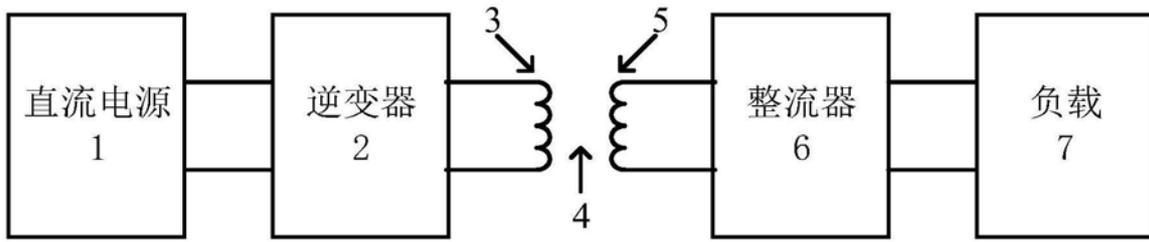


图1

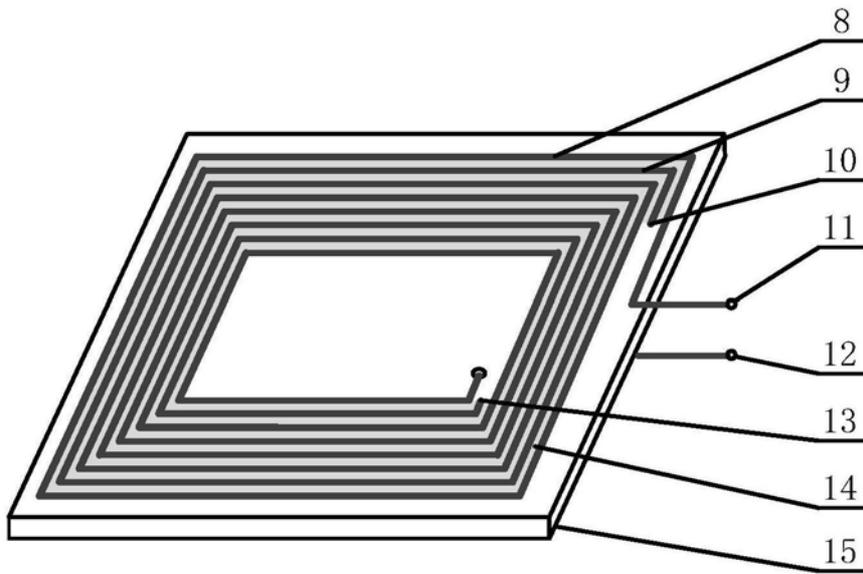


图2

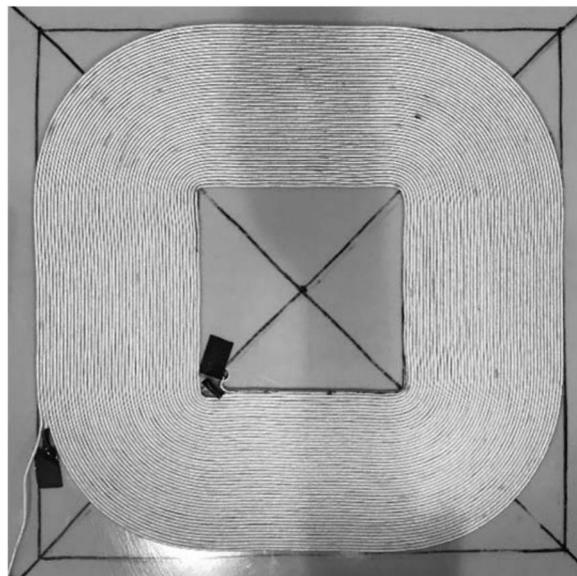


图3



图4

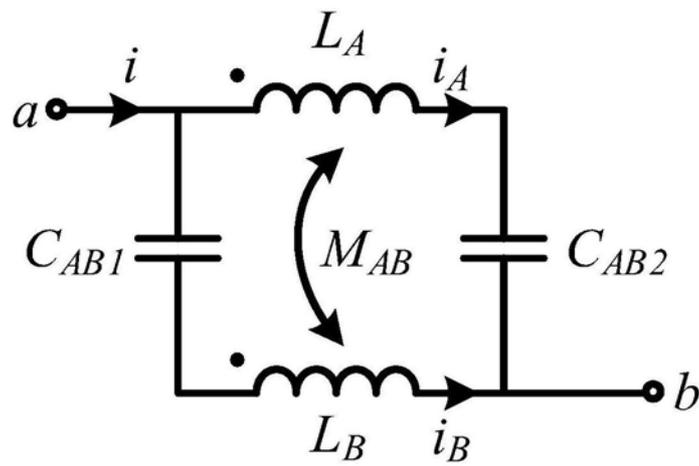


图5

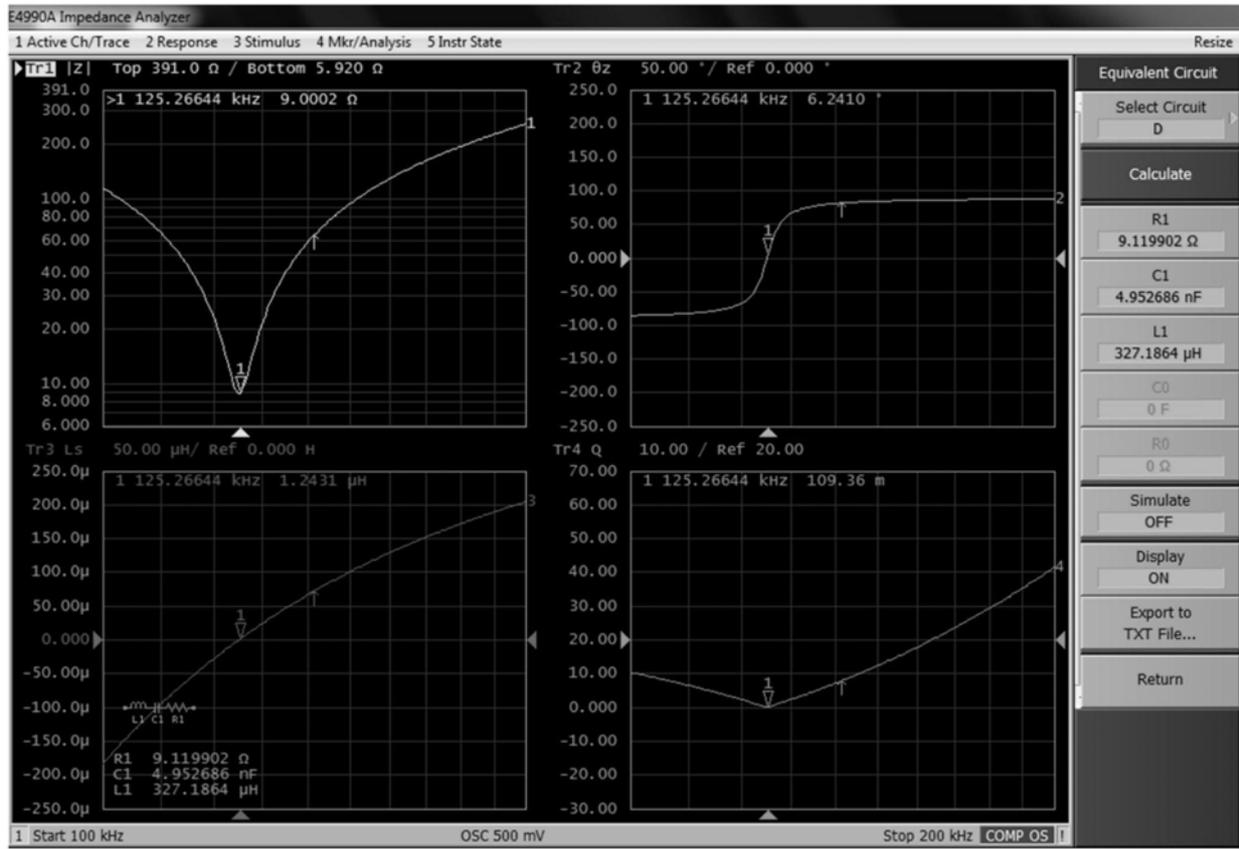


图6

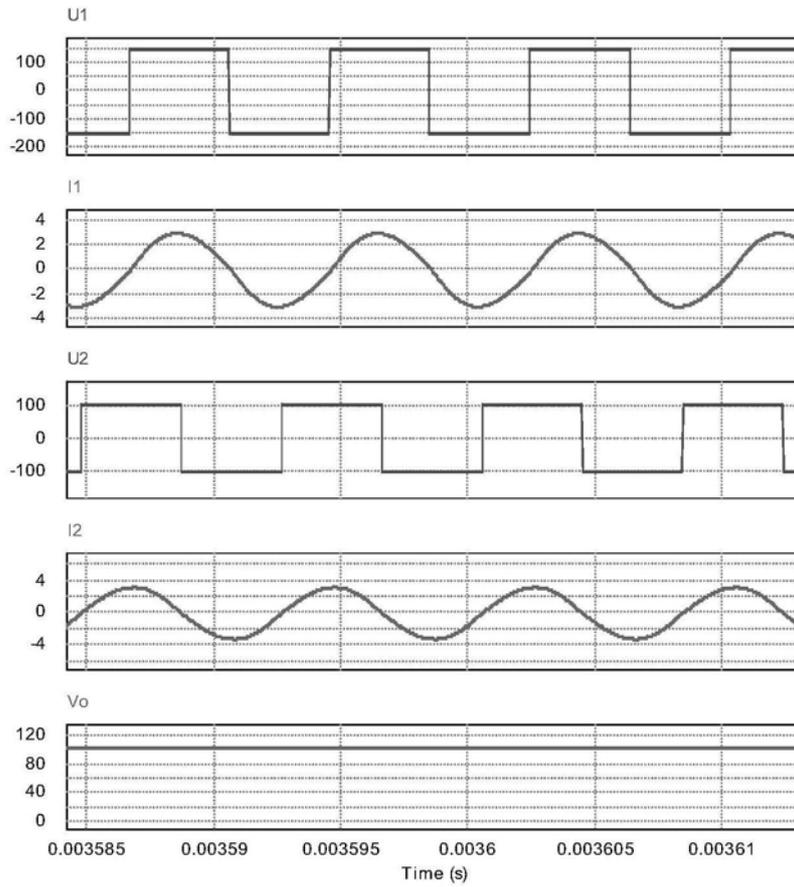


图7

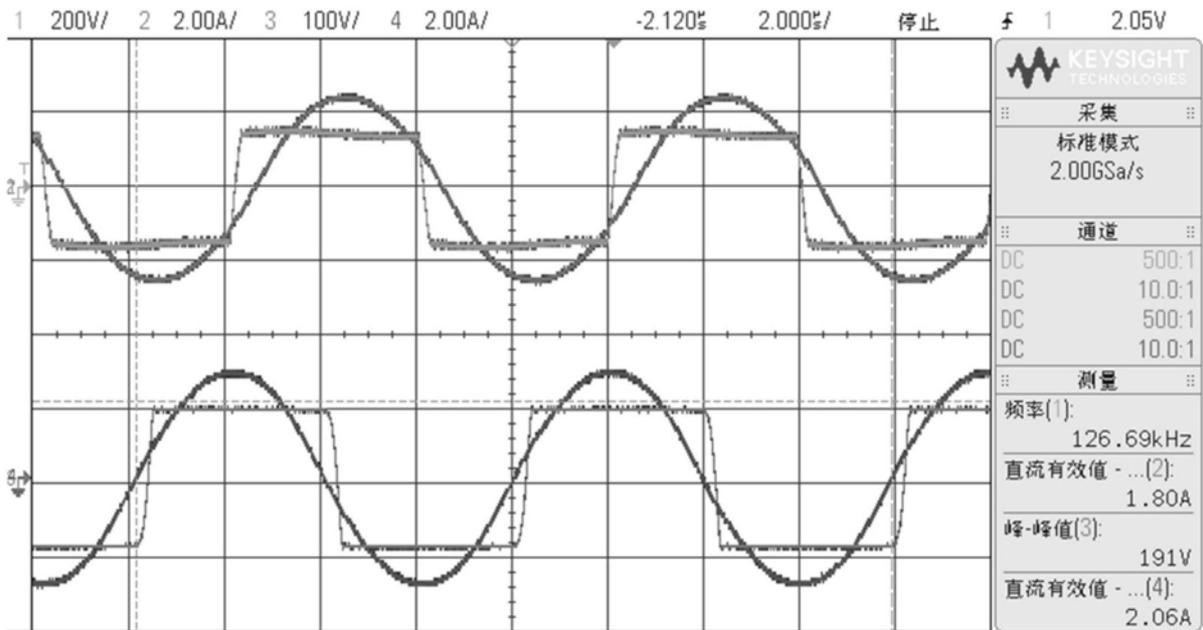


图8