(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国 际 局

(43) 国际公布日
2022 年 3 月 31 日 (31.03.2022)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2022/062327 A1

(51) 国际专利分类号:
H02M 7/5387 (2007.01) *H02M 7/5395* (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2021/080447

(22) 国际申请日: 2021 年 3 月 12 日 (12.03.2021)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202011039876.9 2020年9月28日 (28.09.2020) CN

(71) 申请人: 青岛理工大学 (QINGDAO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国山东省青岛市市北区抚顺路11号, Shandong 266033 (CN)。

(72) 发明人: 张民 (ZHANG, Min); 中国山东省青岛市市北区抚顺路11号, Shandong 266033 (CN)。 李海滨 (LI, Haibin); 中国山东省青岛市市北区抚顺路11号, Shandong 266033 (CN)。 韦正怡 (WEI, Zhengyi); 中国山东省青岛市市北区抚顺路11号, Shandong 266033 (CN)。 周明珠 (ZHOU, Mingzhu); 中国山东省青岛市市北区抚顺路11号, Shandong 266033 (CN)。 陈光 (CHEN, Guang); 中国山东省青岛市市北区抚顺路11号, Shandong 266033 (CN)。 李恺 (LI, Kai); 中国山东省青岛市市北区抚顺路11号, Shandong 266033 (CN)。 郝杨阳 (HAO, Yangyang); 中国山东省青岛市市北区抚顺路11号, Shandong 266033 (CN)。 曹益畅 (CAO, Yichang); 中国山东省青岛市市北区抚顺路11号, Shandong 266033 (CN)。 王凤莲 (WANG, Fenglian); 中国山东省青岛市市北区抚顺路11号, Shandong 266033 (CN)。

(74) 代理人: 北京高沃律师事务所 (BEIJING GAOWO LAW FIRM); 中国北京市海淀区彩和坊路11号6层602室, Beijing 100080 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明，要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国 (除另有指明，要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ,

(54) **Title:** IMPROVED SWITCHED-COUPLED-INDUCTOR QUASI-Z-SOURCE INVERTER

(54) 发明名称: 一种改进型开关耦合电感准Z源逆变器

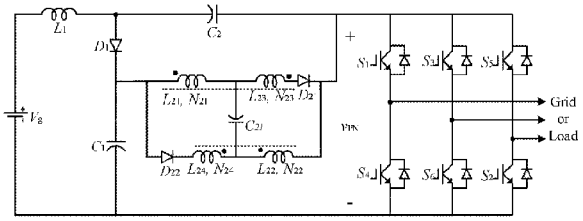


图 1

(57) **Abstract:** Provided is an improved switched-coupled-inductor quasi-Z-source inverter, the main body structure thereof comprising a DC power supply (V_g), a first inductor (L_1), a first capacitor (C_1), a first diode (D_1), a second diode (D_{21}), a third diode (D_{22}), a second capacitor (C_2), a third capacitor (C_{21}), a first winding (N_{21}), a second winding (N_{22}), a third winding (N_{23}), a fourth winding (N_{24}), and six power switching tubes (S_1 – S_6). The second diode (D_{21}), third diode (D_{22}), third capacitor (C_{21}), first winding (N_{21}), second winding (N_{22}), third winding (N_{23}), and fourth winding (N_{24} form a boost unit, and the six power switching tubes (S_1 – S_6 are series-connected in twos to form a three-phase bridge arm of the inverter; the first winding (N_{21}), second winding (N_{22}), third winding (N_{23}), and fourth winding (N_{24}) are coupled in twos and all are coupled in the same direction; the unique manner of connection among the four coupled inductor ends having the same name effectively reduce the current stress on the winding, reducing wear and tear, and furthermore, reducing the resonance problem of the converter circuit, and has a high output efficiency.

WO 2022/062327 A1

[见续页]

NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(57) 摘要: 一种改进型开关耦合电感准Z源逆变器，其主体结构包括直流电源（V_g）、第一电感（L_1）、第一电容（C_1）、第一二极管（D_1）、第二二极管（D_{21}）、第三二极管（D_{22}）、第二电容（C_2）、第三电容（C_{21}）、第一绕组（N_{21}）、第二绕组（N_{22}）、第三绕组（N_{23}）、第四绕组（N_{24}）和六个功率开关管（S_1-S_6）。其中第二二极管（D_{21}）、第三二极管（D_{22}）、第三电容（C_{21}）、第一绕组（N_{21}）、第二绕组（N_{22}）、第三绕组（N_{23}）和第四绕组（N_{24}）组成升压单元，六个功率开关管（S_1-S_6）两两串联组成逆变器的三相桥臂；第一绕组（N_{21}）、第二绕组（N_{22}）、第三绕组（N_{23}）和第四绕组（N_{24}）两两耦合且均为同向耦合，四个耦合电感同名端之间独特的连接方式能够有效的降低绕组的电流应力，减少损耗，并且可以减少变换器电路出现的谐振问题，输出效率高。

一种改进型开关耦合电感准Z源逆变器

本申请要求于2020年09月28日提交中国专利局、申请号为202011039876.9、发明名称为“一种改进型开关耦合电感准Z源逆变器”的中国专利申请的优先权，其全部内容通过引用结合在本申请中。

技术领域

本发明属于DC-AC变换设备技术领域，涉及一种改进型开关耦合电感准Z源逆变器（MSCL qZSI）。

背景技术

21世纪以来，随着能源危机及环境污染问题越来越严峻，可再生清洁能源的快速发展成为世界各国能源发展的重点。太阳能、风能、水能、核能等可再生清洁能源得到广泛应用，以太阳能为基础的光伏系统因其无污染、无噪音、开发资源丰富等优势受到世界各国的普遍关注，被定为未来最有发展前景的新能源技术，现今已被广泛应用工业生产、国民经济的各个领域。其中电压源逆变器作为应用最为成熟的一种变流器，在不间断电源、交流电机调速、新能源发电等领域中均得到广泛应用。作为功率调节系统(PCS)，逆变器在太阳能发电系统中扮演着至关重要的角色。传统单级式光伏发电系统使用DC/AC逆变器直接将光伏电池所输出的能量传递至电网。该方式虽能取得较高转换效率，但同时存在很大缺陷:一是需要较高的输入电压，必须将多个光伏模块串联，这将极大增加系统成本及故障率并导致在非理想条件下功率损失严重；二是实际工作时，为跟踪光伏电池最大功率点电压，需要使逆变器直流母线电压在较大范围内波动，这导致逆变器设计时额外增加其功率容量。可在单级发电系统的基础上，利用级联DC-DC电路的两级控制结构来解决上述问题。光伏模块与逆变器之间加入一个具有最大功率点跟踪功能的DC/DC电路，可通过该DC电路升压从而减少光伏模块的串联个数并得到恒定的直流链电压，实现逆变器并网工作时的独立控制及光伏电池最大功率点跟踪，但同时也存在一些缺点：一是加入DC-DC变换器导致整个系统效率下降；二是增加系统

中硬件电路数量，降低系统工作的可靠性，增加其维护费用。为了解决增益和效率低的问题，F.Z.Peng 教授在 2002 年提出了一种新型单级升降压逆变器——Z-源逆变器(Z-Source Inverter(ZSI))，Z 型源逆变器(ZSI)可以升压和降低单级逆变器的电压，在光伏发电并网系统中使用时具有某些优势。单芯片光伏模块容量的发展促进了微逆变器并网系统的快速发展，高压增益 ZSI 非常适合此类应用场景，然而实验研究发现，传统的 ZSI 也存在一些不足：一是受限于自身拓扑结构，其电压增益较低；二是其输入侧电流呈断续状态；三是储能电容两端所承受的电压较大；四是存在启动冲击电流、共模噪声的问题等等。为了解决这些问题，广大学者对传统 ZSI 进行了一系列的改进，其中最为经典的改进电路就是准 Z-源逆变器(qZSI)电路，准 Z 源逆变器(qZSI)用于光伏发电并网系统，可以实现光伏模块的最大功率点跟踪(MPPT)，并方便逆变器的电网连接。qZSI 的连续输入电流有助于光伏模块的 MPPT，而直流母线的“低”电压过冲则有助于开关的类型选择和改善逆变器的电磁环境(EMI)，但是 qZSI 的较低的直流链路升压能力要求大量的光伏模块串联连接以达到并网电压水平，这导致光伏模块系统的高成本和故障率，在 qZSI 框架中，嵌入特定的升压单元会导致新的高压增益 qZSI，这样的逆变器可以实现通过调整耦合电感的匝数比 n 和直通占空比 D 可以达到所需的并网电压电平，它可以保持连续的输入电流和较低的直流母线电压过冲，并增加逆变器的升压能力，但升压单元中组件的电流应力较高，增加了组件选择的难度和成本。因此，强调在 qZSI 中嵌入改进的 boost 单元。Hafiz Furqan Ahmed,HonnyongCha 等人提出了 SCL qZSI，其中自举电容器和对称的并联结构用于在较小的直通占空比 D 下提高升压能力，对称的并联结构可降低组件的电流应力，此外，在耦合电感器中增加的第三绕组 N23 提高了逆变器的升压能力，然而，在非直通状态下绕组中的铜损降低了效率。SaeedSharifi and Mohammad Monfared 提出的 mSSCL qZSI 通过使用自举电容器和开关耦合电感单元在小 D 处实现了高电压增益，然而，在直通和非直通状态期间，开关耦合电感器的第三绕组 N23 具有较高的电流应力，高电流应力导致耦合电感的高铜损，进而降低逆变器效率。因此，寻求一种结构简单、转换效率较高、低电流应力的绕组、适应于高升压场合的逆变电路已经成为光伏发

电系统中挑战性工作课题。

发明内容

基于此，有必要提供一种改进型开关耦合电感准Z源逆变器(MSCL qZSI)，提供连续的输入电流和低直流母线电压尖峰。

为实现上述目的，本发明提供了如下方案:

为了实现上述目的，本发明所述改进型开关耦合电感准Z源逆变器的主体结构包括直流电源、第一电感、第一电容、第一二极管、第二二极管、第三二极管、第二电容、第三电容、第一绕组、第二绕组、第三绕组、第四绕组和六个功率开关管，其中第二二极管、第三二极管、第三电容、第一绕组、第二绕组、第三绕组和第四绕组组成升压单元；第一电感的两端分别与直流电源的正极、第一二极管的阳极和第二电容的阴极相连，第一二极管的阴极分别与第一电容的阳极、第一绕组的同名端和第三二极管的阳极相连，第三二极管的阴极与第四绕组的异名端相连，第一绕组的异名端分别与第三绕组的异名端和第三电容的阴极相连，第三绕组的同名端与第二二极管的阳极相连，第三电容的阳极分别与第二绕组的同名端和第四绕组的同名端相连，第二二极管的阴极分别与第二电容的阳极和第二绕组的异名端相连，上桥壁功率开关管的漏极分别与第二电容的阳极、第二二极管的阴极和第二绕组异名端相连，下桥臂功率开关管的源极分别与直流电源的负极和第一电容的阴极相连；第一绕组、第二绕组、第三绕组和第四绕组两两耦合，其对应的匝数比为 $N_{23}/N_{21} = N_{24}/N_{22} = n$，$0<n<1$，且均为同向耦合。

可选的，六个所述功率开关管组成功率开关管组，所述功率开关管组包括所述上桥臂功率开关管和所述下桥臂功率开关管；

所述上桥臂功率开关管包括第一功率开关管、第三功率开关管和第五功率开关管；所述下桥臂功率开关管包括第二功率开关管、第四功率开关管和第六功率开关管；所述第一功率开关管、所述第三功率开关管和所述第五功率开关管的漏极连接，形成所述上桥臂功率开关管的漏极；所述第一功率开关管的源极和所述第四功率开关管的漏极连接；所述第三功率开

关管的源极和所述第六功率开关管的漏极连接;所述第五功率开关管的源极和所述第二功率开关管的漏极连接;所述第二功率开关管、所述第四功率开关管和所述第六功率开关管的源极连接,形成所述下桥臂功率开关管的源极。

与现有技术相比,本发明的有益效果是:

本发明通过控制功率开关管的导通或截止进行电路工作状态的切换,从而控制直流电源是否向耦合电感提供电路工作需要的能量,通过改变占空比的大小以及耦合电感的绕组匝数比,实现输入输出电压增益的变化,从而实现输出电压对所述直流电源的升降压控制。

本发明与现有技术相比,在实际工作中,由于开关管的导通和截止,实现了耦合电感单元不断进行充、放电的过程,从而达到高升压增益的目的;而且四个耦合电感同名端之间独特的连接方式能够有效的降低绕组的电流应力,减少损耗,并且可以减少变换器电路出现的谐振问题,输出效率高。

说明书附图

为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动性的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

图 1 为本发明的主体结构电路原理示意图。

图 2 为本发明所述功率开关管 S_1-S_6(图中标示为 S_{eq})导通时电路的工作状态示意图。

图 3 为本发明所述功率开关管 S_1-S_6 关断时电路的工作状态示意图。

图 4 为本发明实施例所述三个逆变器的升压因子 B 与直通占空比 D 关系图。

图 5 为本发明实施例所述三个逆变器的绕组电流与电压增益 G 关系图。

图 6 为本发明实施例所述三个逆变器的效率与输出功率的函数关系图。

具体实施方式

下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂，下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细的说明。

实施例：

本实施例所述 MSCL qZSI 的主体结构如图 1 所示，其中含耦合绕组的升压单元用于代替传统升压拓扑中单个独立的储能电感，利用耦合电感同时充放电的特点，在原逆变器只具有占空比 D 这一调节因子的基础上，增加匝数比这一可以调节的自由因子，通过改变耦合绕组的匝数比，从而实现高电压转换的能力，具体包括包括直流电源 V_g、第一电感 L_1、第一电容 C_1、第一二极管 D_1、第二二极管 D_{21}、第三二极管 D_{22}、第二电容 C_2、第三电容 C_{21}、第一绕组 N_{21}、第二绕组 N_{22}、第三绕组 N_{23}、第四绕组 N_{24} 和六个功率开关管 S_1-S_6，其中第二二极管 D_{21}、第三二极管 D_{22}、第三电容 C_{21}、第一绕组 N_{21}、第二绕组 N_{22}、第三绕组 N_{23} 和第四绕组 N_{24} 组成升压单元；第一电感 L_1 的两端分别与直流电源 V_g 的正极、第一二极管 D_1 的阳极和第二电容 C_2 的阴极相连，第一二极管 D_1 的阴极分别与第一电容 C_1 的阳极、第一绕组 N_{21} 的同名端和第三二极管 D_{22} 的阳极相连，第三二极管 D_{22} 的阴极与第四绕组 N_{24} 的异名端相连，第一绕组 N_{21} 的异名端分别与第三绕组 N_{23} 的异名端和第三电容 C_{21} 的阴极相连，第三绕组 N_{23} 的同名端与第二二极管 D_{21} 的阳极相连，第三电容 C_{21} 的阳极分别与第二绕组 N_{22} 的同名端和第四绕组 N_{24} 的同名端相连，第二二极管 D_{21} 的阴极分别与第二电容 C_2 的阳极和第二绕组 N_{22} 的异名端相连，上桥壁功率开关管 S_1-S_3 的漏极分别与第二电容 C_2 的阳极、第二二极管 D_{21} 的阴极和第二绕组 N_{22} 异名端相连，下桥臂功率开关管 S_4-S_6 的源极分别与直流电源 V_g 的负极和第一电容 C_1 的阴极相连；第一绕组 N_{21}、第二绕组 N_{22}、第三绕组 N_{23} 和第四绕组 N_{24} 两两耦合，其对应的匝数比为 $N_{23}/N_{21} = N_{24}/N_{22} = n$，且均为同向耦合。

作为一种可选的实施方式，六个所述功率开关管组成功率开关管组，所述功率开关管组包括所述上桥臂功率开关管和所述下桥臂功率开关管；所述上桥臂功率开关管包括第一功率开关管 S_1、第三功率开关管 S_3 和第五功率开关管 S_5；所述下桥臂功率开关管包括第二功率开关管 S_2、第四功率开关管 S_4 和第六功率开关管 S_6；所述第一功率开关管 S_1、所述第三功率开关管 S_3 和所述第五功率开关管 S_5 的漏极连接，形成所述上桥臂功率开关管的漏极；所述第一功率开关管 S_1 的源极和所述第四功率开关管 S_4 的漏极连接；所述第三功率开关管 S_3 的源极和所述第六功率开关管 S_6 的漏极连接；所述第五功率开关管 S_5 的源极和所述第二功率开关管 S_2 的漏极连接；所述第二功率开关管 S_2、所述第四功率开关管 S_4 和所述第六功率开关管 S_6 的源极连接，形成所述下桥臂功率开关管的源极。

本实施例采用单极性 SPWM 模式控制功率开关管的导通或关断，完成不同工作方式的切换，从而整体电路结构中减少开关损耗，提高电路的整体工作效率，开关管关断和导通时电路的不同工作状态分别如图 2 和图 3 所示：

在直通状态下，第一二极管 D_1 被反向偏置，而第二二极管 D_{21} 和第三二极管 D_{22} 导通，第一电感 L_1 由第二电容 C_2 和输入电源 V_g 充电，四个绕组 N_{21}、N_{22}、N_{23} 和 N_{24} 全部由第一电容 C_1 充电，第三电容器 C_{21} 存储来自第一电容 C_1 的能量，具体的电流环路如图 2 所示。此时，电路存在以下电压、电流关系式：

$$\begin{cases} V_{L1\text{-ON}} - V_{C2} = V_g,\ V_{N21\text{-ON}} + V_{N23\text{-ON}} = V_{C1} \\ V_{N24\text{-ON}} + V_{C21} = V_{N21\text{-ON}},\ V_{N22\text{-ON}} - V_{N23\text{-ON}} = V_{C21} \\ V_{N23\text{-ON}} = -nV_{N21\text{-ON}},\ V_{N24\text{-ON}} = -nV_{N22\text{-ON}} \end{cases}$$

$$\begin{cases} I_{C2\text{-ON}} = I_{in},\ I_{N21\text{-ON}} + I_{C21\text{-ON}} = I_{N23\text{-ON}} \\ I_{N24\text{-ON}} + I_{N21\text{-ON}} = I_{C1\text{-ON}} \end{cases}$$

在非直通状态下，第二二极管 D_{21} 和第三二极管 D_{22} 被反向偏置，第一二极管 D_1 导通，存储在第一绕组 N_{21}、第二绕组 N_{22} 和第一电感 L_1 中的能量与直流电源 V_g 相结合，为负载供电，第一电容 C_1 和第二电容 C_2 在该状态下被充电，具体的电流环路如图 3 所示，此时，电路结构存在以下的电压、电流关系：

$$\begin{cases} V_{L1\text{-OFF}} + V_{C1} = V_g,\ V_{PN} = V_{C1} + V_{C2} \\ V_{N21\text{-OFF}} - V_{C21} + V_{N22\text{-OFF}} + V_{C2} = 0 \end{cases} \qquad I_{C2\text{-OFF}} = \frac{D}{1-D} I_{C2\text{-ON}} = \frac{D}{1-D} I_{in}$$

其中，$V_{L1\text{-ON}}$，$V_{N\text{-ON}}$，$V_{L1\text{-OFF}}$，$V_{N\text{-OFF}}$分别是处于直通状态和非直通状态的磁性元件(电感器和绕组)两端的电压，V_C是电容器电压，V_{PN}是峰值直流链路电压，

将伏秒平衡理论应用于 L_1 和 N_{21}，得到:

$$\begin{cases} DV_{L1\text{-ON}} + (1-D)V_{L1\text{-OFF}} = 0 \\ DV_{N21\text{-ON}} + (1-D)V_{N21\text{-OFF}} = 0 \end{cases}$$

将安秒平衡理论应用于 C_2，得到:

$$I_{C2\text{-OFF}} = \frac{D}{1-D} I_{C2\text{-ON}} = \frac{D}{1-D} I_{in}$$

由非直通状态里的电流关系可以得到:

$$\begin{cases} I_{D1} = I_{L1} + I_{C2\text{-OFF}} = \dfrac{I_{in}}{1-D} \\ I_{C1\text{-OFF}} = I_{D1} - I_{C21\text{-OFF}} = (1 - \dfrac{1}{B}) I_{in} \\ I_{N21\text{--OFF}} = I_{N22\text{--OFF}} = I_{C21\text{--OFF}} \\ \qquad = I_O + I_{C2\text{--OFF}} = (\dfrac{1}{B} + \dfrac{D}{1-D}) I_{in} \end{cases}$$

其中 $V_{N23} = V_{N24} = -nV_{N21} = -nV_{N22}$

$$V_{C1} = \frac{(1-D)(1-n)}{2} V_{PN},\ V_{C2} = \frac{1-D}{2}(1+n+\frac{2D}{1-D}) V_{PN}, V_{C21} = \frac{(1-D)(1+n)}{2} V_{PN}$$

$V_{L1\text{-ON}} = (1\text{-}D)V_{PN}$

$$V_{PN} = \frac{2}{1-n-3D+nD} V_g = \frac{\frac{2}{1-n}}{1 - \frac{3-n}{1-n} D} V_g = B \cdot V_g$$

从而得到 MSCL qZSI 的峰值直流链路升压因子 B:

$$B = \frac{V_{PN}}{V_g} = \frac{2}{1-n-3D+nD} = \frac{\frac{2}{1-n}}{1 - \frac{3-n}{1-n} D}$$

其中，B 是逆变器的峰值直流链路升压因子，D 是直通占空比($0<D<1$)，$n = N_{23}/N_{21} = N_{24}/N_{22}$是匝数比，$0<n<1$，$N_{21} = N_{22}$；现有技术中 SCL qZSI 和 mSSCL qZSI 的峰值直流链路升压因子如下:

$$B_{\text{SCL qZSI}}=\frac{2+n}{1-(3+n)D} \qquad B_{\text{mSSCL qZSI}}=\frac{\frac{2-n}{1-n}}{1-\frac{3-2n}{1-n}D}$$

如上所述的三个逆变器具有相同类型的升压因子，即 $B = k_N/1\text{-}kD$，$k > 1$，$k_N > 1$ 是与逆变器的结构相关联的系数，尽管所提出的逆变器具有四个绕组，但是为了使比较更有价值，在本实施例中基于不同逆变器中耦合电感的相同总匝数比进行比较，所以 MSCL qZSI 中的总匝数比 $N_{23}/N_{21}+N_{24}/N_{22} = 0.15+0.15 = 0.3$ 与 SCL qZSI 和 mSSCL qZSI 中的匝数比为 $n = N_{23}/N_{21} = 0.3$ 相等，在升压因子 B 与直通占空比 D 的关系图(如图 4 所示)里，MSCL qZSI 的升压因子在 mSSCL qZSI 和 SCL qZSI 的升压因子之间；

使用简单的升压控制方法，D 和 M 之间的关系为：$D = 1\text{-}M$

$$\begin{cases}\hat{v}_{ph}=\dfrac{M\cdot V_{PN}}{\sqrt{3}}=\dfrac{M\cdot B\cdot V_{\text{g}}}{\sqrt{3}}=G\cdot V_{\text{g}}\\ G=\dfrac{\hat{v}_{ph}}{V_{in}}=\dfrac{\sqrt{3}}{3}\dfrac{2M}{(3-n)M-2}\end{cases}\Rightarrow D=\frac{\frac{1-n}{2}\sqrt{3}G-1}{\frac{3-n}{2}\sqrt{3}G-1}$$

$$\Rightarrow V_{C1}=\frac{1-n}{2}\sqrt{3}GV_{\text{g}},\ V_{C2}=(\sqrt{3}G-1)V_g,\ V_{C21}=\frac{\sqrt{3}G(1+n)}{2}V_g$$

$$\Rightarrow\begin{cases}I_{N23,24,D21,D22}=\dfrac{\frac{G\sqrt{3}(4-n)}{(3-n)\sqrt{3}G-2}-1}{2(1-n)\sqrt{3}G-4}I_{in}\\ I_{N21,22}=\dfrac{(1+n)\sqrt{3}G-2}{2(1-n)\sqrt{3}G-4}I_{in},\ I_{C1}=\dfrac{2\sqrt{3}G-2}{(1-n)\sqrt{3}G-2}I_{in}\\ I_{C2}=I_{in},\ I_{C21}=\dfrac{(1-n)\sqrt{3}G}{(1-n)\sqrt{3}G-2}I_{in}\end{cases}$$

在绕组电流与电压增益 G 的关系图(如图 5 所示)里，MSCL qZSI 的绕组 N_{23} 与 N_{24} 的电流明显要比 mSSCL qZSI 和 SCL qZSI 的低，绕组 N_{21} 与 N_{22} 的电流 mSSCL qZSI 和 SCL qZSI 的差不多；三个逆变器的效率与输出功率的函数关系图如图 6 所示，MSCL qZSI 由于在绕组 N_{23} 和 N_{24} 上的电流应力较低，因此比其他两个逆变器具有更高的效率，尽管 mSSCL qZSI 具有很高的升压能力，但由于绕组 N_{23} 和 N_{24} 中的高电流应力，其效

率在三个逆变器中最低，MSCLqZSI 中耦合电感的功耗比其他两个候选的要小得多。

本实施例将 MSCL qZSI 在输入电压 100V、输出相电压有效值 120V 以及输出功率 1kW 的测试条件下进行测试，最大效率达到 92.8％，基本满足设计要求。上述分析和实验结果表明，本实施例的 MSCL qZSI 具有高电压增益和高效率的优势，它提供了连续的输入电流和低直流母线电压尖峰，可以实现光伏模块的最大功率点跟踪(MPPT)；由于耦合电感的独特设计，所提出的 MSCL qZSI 中的绕组电流应力低于 SCL qZSI 和 mSSCL qZSI，减少了绕组的功率损耗并提高了所提出的逆变器的效率。

本说明书中各个实施例采用递进的方式描述，每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处，各个实施例之间相同相似部分互相参见即可。对于实施例公开的系统而言，由于其与实施例公开的方法相对应，所以描述的比较简单，相关之处参见方法部分说明即可。

本文中应用了具体个例对本发明的原理及实施方式进行了阐述，以上实施例的说明只是用于帮助理解本发明的方法及其核心思想；同时，对于本领域的一般技术人员，依据本发明的思想，在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处。综上所述，本说明书内容不应理解为对本发明的限制。

权 利 要 求 书

1、一种改进型开关耦合电感准Z源逆变器，其特征在于主体结构包括直流电源、第一电感、第一电容、第一二极管、第二二极管、第三二极管、第二电容、第三电容、第一绕组、第二绕组、第三绕组、第四绕组和六个功率开关管，其中第二二极管、第三二极管、第三电容、第一绕组、第二绕组、第三绕组和第四绕组组成升压单元；第一电感的两端分别与直流电源的正极、第一二极管的阳极和第二电容的阴极相连，第一二极管的阴极分别与第一电容的阳极、第一绕组的同名端和第三二极管的阳极相连，第三二极管的阴极与第四绕组的异名端相连，第一绕组的异名端分别与第三绕组的异名端和第三电容的阴极相连，第三绕组的同名端与第二二极管的阳极相连，第三电容的阳极分别与第二绕组的同名端和第四绕组的同名端相连，第二二极管的阴极分别与第二电容的阳极和第二绕组的异名端相连，上桥壁功率开关管的漏极分别与第二电容的阳极、第二二极管的阴极和第二绕组异名端相连，下桥臂功率开关管的源极分别与直流电源的负极和第一电容的阴极相连；第一绕组、第二绕组、第三绕组和第四绕组两两耦合，其对应的匝数比为 $N_{23}/N_{21} = N_{24}/N_{22} = n$，$0<n<1$，且均为同向耦合。

2、根据权利要求1所述的改进型开关耦合电感准Z源逆变器，其特征在于，六个所述功率开关管组成功率开关管组，所述功率开关管组包括所述上桥臂功率开关管和所述下桥臂功率开关管；

所述上桥臂功率开关管包括第一功率开关管、第三功率开关管和第五功率开关管；所述下桥臂功率开关管包括第二功率开关管、第四功率开关管和第六功率开关管；所述第一功率开关管、所述第三功率开关管和所述第五功率开关管的漏极连接，形成所述上桥臂功率开关管的漏极；所述第一功率开关管的源极和所述第四功率开关管的漏极连接；所述第三功率开关管的源极和所述第六功率开关管的漏极连接；所述第五功率开关管的源极和所述第二功率开关管的漏极连接；所述第二功率开关管、所述第四功率开关管和所述第六功率开关管的源极连接，形成所述下桥臂功率开关管的源极。

说 明 书 附 图

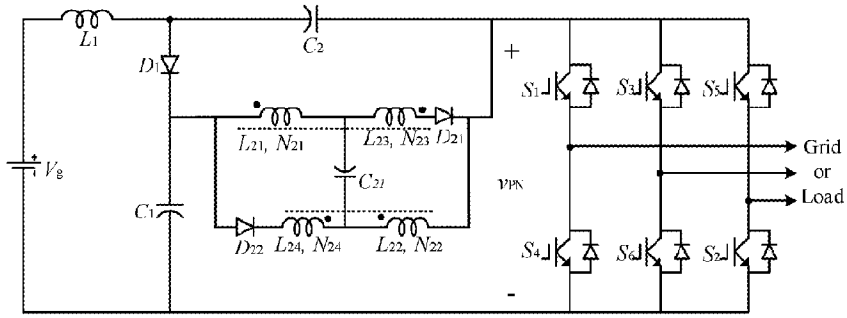


图 1

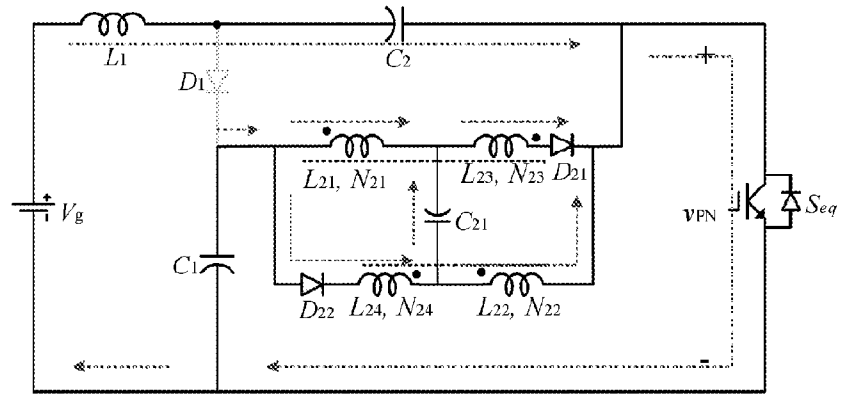


图 2

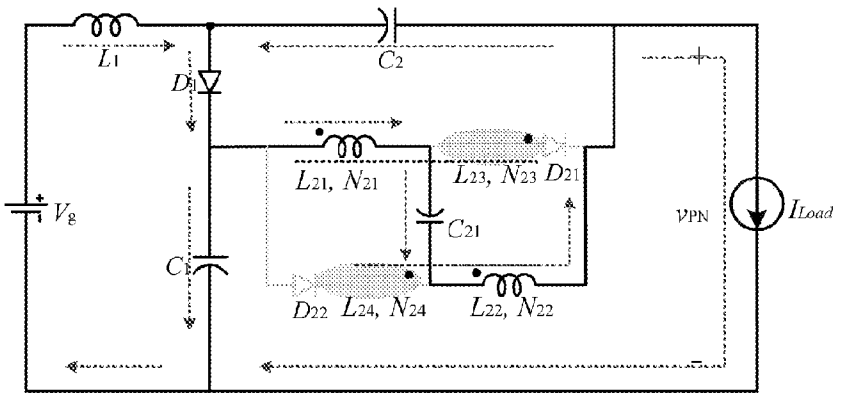


图 3

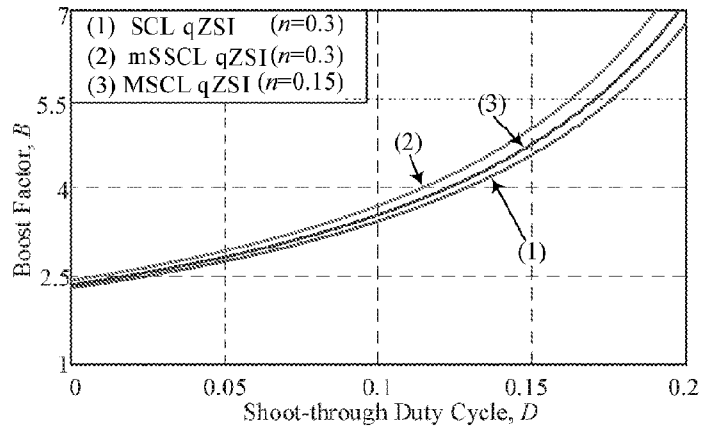

(1) SCL qZSI (n=0.3)
(2) mSSCL qZSI(n=0.3)
(3) MSCL qZSI (n=0.15)
Boost Factor, B
Shoot-through Duty Cycle, D
7
5.5
4
2.5
1
0
0.05
0.1
0.15
0.2
(1)
(2)
(3)

图 4

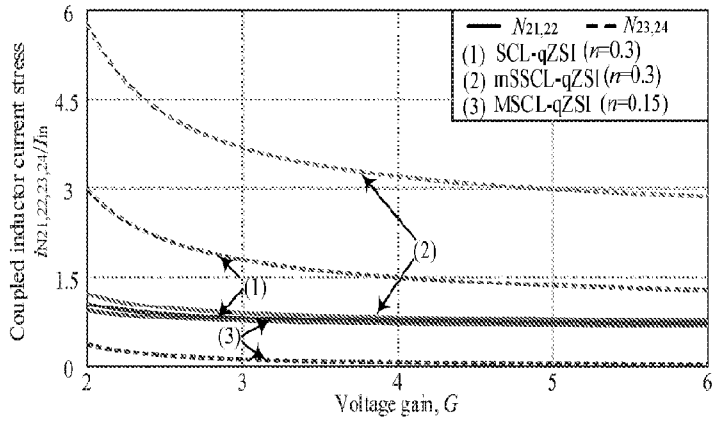

N21,22
N23,24
(1) SCL-qZSI (n=0.3)
(2) mSSCL-qZSI (n=0.3)
(3) MSCL-qZSI (n=0.15)
Coupled inductor current stress
IN21,22,23,24/Iin
Voltage gain, G
6
4.5
3
1.5
0
2
3
4
5
6
(1)
(2)
(3)

图 5

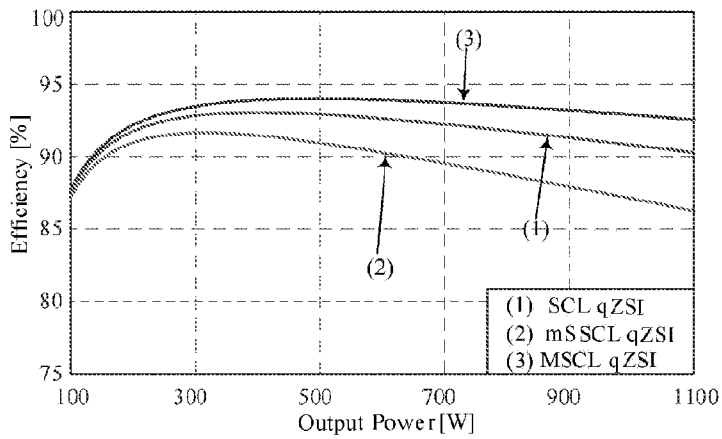

Efficiency [%]
Output Power [W]
100
95
90
85
80
75
100
300
500
700
900
1100
(1) SCL qZSI
(2) mSSCL qZSI
(3) MSCL qZSI

图 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2021/080447

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02M 7/5387(2007.01)i; H02M 7/5395(2006.01)n

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H02M7; H02M3

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS, CNTXT, CNKI, 万方: 耦合电感, 开关电感, 开关耦合电感, 青岛理工大学, 韦正怡, 李恺, 曹益畅, 周明珠, 耦合, 张民, 郝杨阳, 李海滨, 王凤莲, 陈光, 开关, 电感, 耦合, 增益, 效率, 电流应力, 谐振, 共振; VEN, USTXT, WOTXT, EPTXT, IEEE, ISI: switch+, coupl+, induct+, boost, voltage gain, efficiency, current stress, resonan+, zhang min, li haibin;

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	Min Zhang, et.al. "A Modified Switched-Coupled-Inductor quasi-Z-source Inverter" 《*IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*》, 12 October 2020 (2020-10-12), pages 2-4, and figures 5-6	1-2
PX	CN 212367153 U (QINGDAO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 15 January 2021 (2021-01-15) description, paragraphs 15-43, figures 1-6	1-2
PX	CN 112072942 A (QINGDAO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 11 December 2020 (2020-12-11) description, paragraphs 15-43, figures 1-6	1-2
A	US 2013234525 A1 (FERROTEC USA CORP.) 12 September 2013 (2013-09-12) entire document	1-2
A	CN 105119487 A (QINGDAO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 02 December 2015 (2015-12-02) entire document	1-2

☑ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
06 April 2021	**19 May 2021**
Name and mailing address of the ISA/CN **China National Intellectual Property Administration (ISA/CN)** **No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088** **China**	Authorized officer
Facsimile No. **(86-10)62019451**	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2021/080447

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 208424201 U (TIELING POWER SUPPLY COMPANY OF STATE GRID LIAONING ELECTRIC POWER COMPANY LIMITED; STATE GRID CORPORATION OF CHINA) 22 January 2019 (2019-01-22) entire document	1-2
A	CN 105406751 A (HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 16 March 2016 (2016-03-16) entire document	1-2
A	Hafiz Furqan Ahmed, et.al. "Switched-Coupled-Inductor Quasi-Z-Source Inverter" *《IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS》*, Vol. 31, No. 2, 29 February 2016 (2016-02-29), figure 1	1-2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2021/080447

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN 212367153 U	15 January 2021	None	
CN 112072942 A	11 December 2020	None	
US 2013234525 A1	12 September 2013	WO 2013134392 A1	12 September 2013
CN 105119487 A	02 December 2015	None	
CN 208424201 U	22 January 2019	None	
CN 105406751 A	16 March 2016	None	

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2021/080447

A. 主题的分类

H02M 7/5387(2007.01)i; H02M 7/5395(2006.01)n

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

H02M7; H02M3

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称，和使用的检索词（如使用））

CNABS、CNTXT,CNKI,万方:耦合电感，开关电感，开关耦合电感，青岛理工大学，韦正怡，李恺，曹益畅，周明珠，耦合，张民，郝杨阳，李海滨，王凤莲，陈光，开关，电感，耦合，增益，效率，电流应力，谐振，共振； VEN、USTXT、WOTXT、EPTXT、IEEE、ISI：switch+, coupl+, induct+, boost, voltage gain,efficiency,current stress,resonan+,zhang min, li haibin;

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
PX	Min Zhang, et.al. "A Modified Switched-Coupled-Inductor quasi-Z-source Inverter" 《IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics》, 2020年 10月 12日 (2020-10-12), 第2-4页，图5-6	1-2
PX	CN 212367153 U (青岛理工大学) 2021年 1月 15日 (2021-01-15) 说明书第15-43段，附图1-6	1-2
PX	CN 112072942 A (青岛理工大学) 2020年 12月 11日 (2020-12-11) 说明书第15-43段，附图1-6	1-2
A	US 2013234525 A1 (FERROTEC USA CORP) 2013年 9月 12日 (2013-09-12) 全文	1-2
A	CN 105119487 A (青岛理工大学) 2015年 12月 2日 (2015-12-02) 全文	1-2

☑ 其余文件在C栏的续页中列出。

☑ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型：

"A" 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

"E" 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

"L" 可能对优先权要求构成怀疑的文件，或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件（如具体说明的）

"O" 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

"P" 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

"T" 在申请日或优先权日之后公布，与申请不相抵触，但为了理解发明之理论或原理的在后文件

"X" 特别相关的文件，单独考虑该文件，认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

"Y" 特别相关的文件，当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时，要求保护的发明不具有创造性

"&" 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期	国际检索报告邮寄日期
2021年 4月 6日	2021年 5月 19日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451	受权官员 钟玲娜 电话号码 028-62967638

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2021/080447

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 208424201 U (国网辽宁省电力有限公司铁岭供电公司 国家电网有限公司) 2019年 1月 22日 (2019-01-22) 全文	1-2
A	CN 105406751 A (哈尔滨工业大学) 2016年 3月 16日 (2016-03-16) 全文	1-2
A	Hafiz Furqan Ahmed, et.al. "Switched-Coupled-Inductor Quasi-Z-Source Inverter" 《IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS》, 第31卷, 第2期, 2016年 2月 29日 (2016-02-29), 图1	1-2

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2021/080447

检索报告引用的专利文件	公布日（年/月/日）	同族专利	公布日（年/月/日）
CN 212367153 U	2021年 1月 15日	无	
CN 112072942 A	2020年 12月 11日	无	
US 2013234525 A1	2013年 9月 12日	WO 2013134392 A1	2013年 9月 12日
CN 105119487 A	2015年 12月 2日	无	
CN 208424201 U	2019年 1月 22日	无	
CN 105406751 A	2016年 3月 16日	无	