



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114845462 B

(45) 授权公告日 2024. 04. 12

(21) 申请号 202210378951.7

H05K 7/02 (2006.01)

(22) 申请日 2022.04.12

H05K 7/20 (2006.01)

H02M 1/00 (2007.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 114845462 A

(43) 申请公布日 2022.08.02

(73) 专利权人 东南大学

地址 210096 江苏省南京市玄武区新街口
街道四牌楼2号

(72) 发明人 肖华锋 周林伟

(74) 专利代理机构 北京同辉知识产权代理事务
所(普通合伙) 11357

专利代理师 沈利芳

(56) 对比文件

CN 102237187 A, 2011.11.09

CN 102446620 A, 2012.05.09

CN 103137305 A, 2013.06.05

CN 104901551 A, 2015.09.09

CN 108417935 A, 2018.08.17

CN 206962703 U, 2018.02.02

审查员 姚日英

(51) Int. Cl.

H05K 1/02 (2006.01)

H05K 1/18 (2006.01)

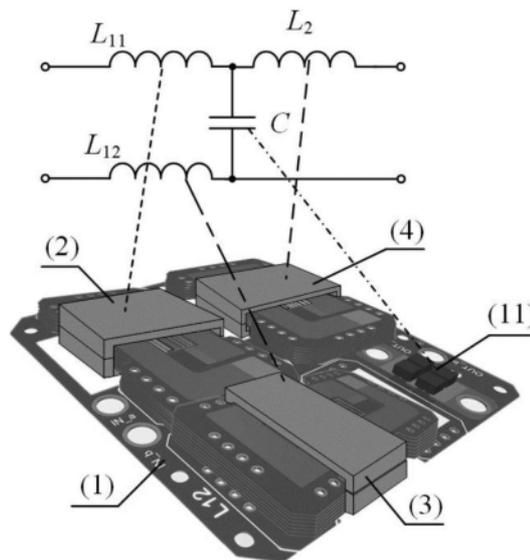
权利要求书2页 说明书5页 附图4页

(54) 发明名称

一种平面集成LCL交流滤波器

(57) 摘要

本发明公开了一种平面集成LCL交流滤波器,属于单相逆变器高功率密度设计的技术领域,包括一种单片PCB绕组单元的制作方法、PCB绕组的构成方式以及平面LCL交流滤波器组装方式。应用本发明技术方案的单片PCB绕组单元,可实现电感绕组均使用单片PCB绕组单元构成,减少了电感绕组构成种类,降低了PCB平面电感安装复杂性和多种类PCB绕组板制作成本。本发明可以满足逆变器并网标准,提高LCL交流滤波器功率密度,降低制作成本,并具备结构新颖、散热效果好等优势。



1. 一种平面集成LCL交流滤波器,包括LCL滤波器主体(1),其特征在于:还包括第一平面电感(2)、第二平面电感(3)、第三平面电感(4)、构成第一平面电感(2)的第一对平面E型磁芯(5)和第一PCB线圈绕组(6);构成第二平面电感(3)的第二对平面E型磁芯(7)和第二PCB线圈绕组(8);构成第三平面电感(4)的第三对平面E型磁芯(9)和第三PCB线圈绕组(10)、贴片陶瓷电容(11)和PCB主板骨架(12),其中,PCB线圈绕组和主板骨架位于平面E型磁芯窗口中,且各个PCB线圈绕组位于PCB主板骨架(12)上方,此外,所述贴片陶瓷电容(11)布局在PCB主板骨架(12)上,所述LCL滤波器主体(1)中的各单元在PCB主板骨架(12)上进行连接;

构成所述第一平面电感(2)的第一PCB线圈绕组(6)与所述PCB主板骨架(12)中的固定孔连接后套在第一对平面E型磁芯(5)中,构成所述第二平面电感(3)的第二PCB线圈绕组(8)与所述PCB主板骨架(12)中的固定孔连接后套在第二对平面E型磁芯(7)中,构成所述第三平面电感(4)的第三PCB线圈绕组(10)与所述PCB主板骨架(12)中的固定孔连接后套在第三对平面E型磁芯(9)中;

所述第一PCB线圈绕组(6)、所述第二PCB线圈绕组(8)和所述第三PCB线圈绕组(10)由多片单一结构的单片PCB绕组单元(13)构成,所述单片PCB绕组单元(13)为两层铜层布局结构,且每层中只布局一圈线圈,两层线圈之间通过多过孔连接,所述单片PCB绕组单元(13)电流输入端与电流输出端在垂直空间上的位置对称布局;

所述第一平面电感(2)在平面空间布局上位于第二平面电感(3)上方,所述第三平面电感(4)在平面空间布局上位于第一平面电感(2)右侧,所述贴片陶瓷电容(11)位于PCB主板骨架(12)的右下方,所述第一平面电感(2)的电流输入端与所述PCB主板骨架(12)的逆变器侧端口正输入端相连接,所述第一平面电感(2)的电流输出端与所述第三平面电感(4)的电流输入端和所述贴片陶瓷电容(11)的电流输入端相连接,所述第三平面电感(4)的电流输出端与电网正端口相连接,所述贴片陶瓷电容(11)的电流输出端与所述第二平面电感(3)的电流输入端和电网负端口相连接,所述第二平面电感(3)的电流输出端与所述PCB主板骨架(12)的逆变器侧端口负输入端相连接。

2. 根据权利要求1所述的平面集成LCL交流滤波器,其特征在于:两片所述单片PCB绕组单元(13)之间贴合,上层单片PCB绕组单元(13)的电流输出端与下层单片PCB绕组单元(13)的电流输入端通过贴片焊盘直接连接。

3. 根据权利要求1所述的平面集成LCL交流滤波器,其特征在于:所述单片PCB绕组单元(13)两两之间放置耐高温、耐高压的超薄绝缘层进行板间绝缘隔离。

4. 根据权利要求1所述的平面集成LCL交流滤波器,其特征在于:所述第一对平面E型磁芯(5)、所述第二对平面E型磁芯(7)、所述第三对平面E型磁芯(9)和所述PCB主板骨架(12)构成了LCL滤波器主体(1)的整体外形框架结构,无其他骨架结构阻碍散热,平面E型磁芯的平面结构散热面积大且可与散热器直接贴合以进一步辅助散热。

5. 根据权利要求1所述的平面集成LCL交流滤波器,其特征在于:所述LCL滤波器主体(1)采用的滤波电容为可靠性高、体积小的贴片陶瓷电容(11)。

6. 根据权利要求1所述的平面集成LCL交流滤波器,其特征在于:所述PCB主板骨架(12)集成在磁芯内部有效利用了多余的磁芯窗口面积,并有效利用了主功率板的反面元件高度。

7. 根据权利要求1所述的平面集成LCL交流滤波器,其特征在于:所述PCB主板骨架(12)中的螺孔结构(14)可实现LCL滤波器主体(1)悬空布局或固定安装。

一种平面集成LCL交流滤波器

技术领域

[0001] 本发明属于交流滤波器领域,具体涉及一种平面集成LCL交流滤波器。

背景技术

[0002] 逆变器作为新能源发电不可或缺的一部分,其小型化、模块化、低成本等要求越来越受到关注。近年来,对单相高功率密度逆变器的研究主要集中在三个方面:逆变器电路拓扑的改进、逆变器控制策略的改进和新型功率半导体器件在逆变器中的运用。宽禁带器件应用技术和软开关技术可使逆变器开关频率得到提高,降低了对输出滤波电感值的要求,使滤波器体积进一步减小成为可能,有助于逆变器功率密度的进一步提高。

[0003] 传统绕线式电感器由漆包线圈、磁芯和骨架三部分组成。尽管开关频率的提高可减小电感值,但是电感线圈通流能力有限,需要足够粗的漆包线或者多股线并联,绕制困难;同时,线圈间绕制紧密度差异会影响电感值,也会对外部电路造成电磁干扰。此外,基于骨架结构限制,电感只能直插在主板上,成为逆变器高度进一步减小的阻碍。近年来,磁性元件逐渐向扁平化发展,应用于高频变换器的平面变压器克服了传统变压器的集肤效应和绕制困难的不足,得到了发展和应用。

[0004] PCB板通过绝缘基板材料直接绝缘,单块板压合度高,铜层厚度小于集肤深度,有效改善了集肤效应和寄生效应,进而减小了电感损耗,逆变器整体效率得到提高。铜层印制技术可实现线圈形状和圈数定制,无需线圈绕制,工艺一致性高,不存在绕制紧密度导致电感值差异问题。平面磁芯具有更大表面积,散热面积更大,可与外部环境更好的进行热交换,具有更优的散热性能。

[0005] 为了实现逆变器功率密度的进一步提高,结合PCB绕组和平面磁芯优点以实现更小的滤波器体积、更优的散热性能、更高的逆变器空间利用率和效率将十分重要。

发明内容:

[0006] 为解决上述技术问题,本发明提供一种平面集成LCL交流滤波器,该LCL交流滤波器具有功率密度高,可靠性高以及结构简单新颖等特点。

[0007] 为达到上述目的,本发明所述的一种平面集成LCL交流滤波器包括LCL滤波器主体,还包括第一平面电感、第二平面电感、第三平面电感、构成第一平面电感的第一对平面E型磁芯和第一PCB线圈绕组;构成第二平面电感的第二对平面E型磁芯和第二PCB线圈绕组;构成第三平面电感的第三对平面E型磁芯和第三PCB线圈绕组、贴片陶瓷电容和PCB主板骨架,其中,PCB线圈绕组和主板骨架位于平面E型磁芯窗口中,且各个PCB线圈绕组位于PCB主板骨架上方,此外,贴片陶瓷电容布局在PCB主板骨架上,LCL滤波器主体中的各单元在PCB主板骨架上进行连接,使本发明能集成在逆变器主功率板上,便于逆变器结构的整体集成。

[0008] 构成所述第一平面电感的第一PCB线圈绕组与所述PCB主板骨架中的固定孔连接后套在第一对平面E型磁芯中,构成所述第二平面电感的第二PCB线圈绕组与所述PCB主板骨架中的固定孔连接后套在第二对平面E型磁芯中,构成所述第三平面电感的第三PCB线圈

绕组与所述PCB主板骨架中的固定孔连接后套在第三对平面E型磁芯中。

[0009] 所述的第一PCB线圈绕组、第二PCB线圈绕组和第三PCB线圈绕组由多片单一结构的单片PCB绕组单元构成,所述单片PCB绕组单元为两层铜层布局结构,且每层中只布局一圈线圈,两层线圈之间通过多过孔连接,所述单片PCB绕组单元电流输入端与电流输出端在垂直空间上的位置对称。

[0010] 所述的两片单片PCB绕组单元之间贴合,上层单片PCB绕组单元的电流输出端与下层单片PCB绕组单元的电流输入端通过贴片焊盘直接连接。

[0011] 所述的单片PCB绕组单元两两之间布局耐高温耐高压超薄绝缘层进行板间绝缘隔离。

[0012] 所述的第一平面电感在平面空间布局上位于第二平面电感上方,所述第三平面电感在平面空间布局上位于第一平面电感右侧,所述贴片陶瓷电容位于PCB主板骨架的右下方,所述第一平面电感的电流输入端与所述PCB主板骨架的逆变器侧端口正输入端相连接,所述第一平面电感的电流输出端与所述第三平面电感的电流输入端和所述贴片陶瓷电容的电流输入端相连接,所述第三平面电感的电流输出端与所述电网正端口相连接,所述贴片陶瓷电容的电流输出端与所述第二平面电感的电流输入端和电网负端口相连接,所述第二平面电感的电流输出端与所述PCB主板骨架的逆变器侧端口负输入端相连接。

[0013] 所述的第一对平面E型磁芯、第二对平面E型磁芯、第三对平面E型磁芯和所述PCB主板骨架构成了LCL滤波器主体的整体外形框架结构,无其他骨架结构阻碍散热,平面E型磁芯的平面结构散热面积大且可与散热器直接贴合以进一步辅助散热,且各元件之间留有实现风冷的缝隙,可实现多种散热方案。

[0014] 所述的LCL滤波器主体采用的滤波电容为可靠性高、体积小的贴片陶瓷电容。

[0015] 所述的PCB主板骨架集成在磁芯内部有效利用了多余的磁芯窗口面积,并有效利用了主功率板的反面元件高度,可进一步提高逆变器整体功率密度。

[0016] 所述的PCB主板骨架中的螺孔结构可实现LCL滤波器主体悬空布局或固定安装。

[0017] 本发明的有益效果:

[0018] 本发明所述的一种平面集成LCL交流滤波器通过采用均为平面结构的PCB平面绕组和平面E型磁芯实现了LCL滤波器平面高功率密度集成,所述单片PCB绕组单元的设计简化了安装复杂性并降低了制作成本,整体LCL滤波器性能可满足逆变器并网标准,并具备结构新颖和散热效果好等优势。

附图说明

[0019] 图1为本发明结构示意图;

[0020] 图2为本发明单片PCB绕组单元和详细结构示意图;

[0021] 图3为本发明的正视图;

[0022] 图4为本发明的俯视图;

[0023] 图5为本发明逆变器侧电感电流纹波验证;

[0024] 图6为本发明进网电流总谐波失真率验证;

[0025] 图7为本发明的温升验证;

[0026] 图8为本发明的LCL滤波器的尺寸数据表;

[0027] 附图标记:1-LCL滤波器主体;2-第一平面电感;3-第二平面电感;4-第三平面电感;5-第一对平面E型磁芯;6-第一PCB线圈绕组;7-第二对平面E型磁芯;8-第二PCB线圈绕组;9-第三对平面E型磁芯;10-第三PCB线圈绕组;11-贴片陶瓷电容;12-PCB主板骨架;13-单片PCB绕组单元;14-螺孔结构。

具体实施方式

[0028] 为了使本领域技术人员更好地理解本发明,从而对本发明要求保护的范围做出更清楚地限定,下面就本发明的某些具体实施例对本发明进行详细描述。需要说明的是,以下仅是本发明构思的某些具体实施方式,其中对于相关结构的具体的直接的描述仅是为方便理解本发明,各具体特征并不当然、直接地限定本发明的实施范围。

[0029] 在附图中示出了根据本发明公开实施例的结构示意图。这些图并非是按比例绘制的,其中为了清楚表达的目的,放大了某些细节,并且可能省略了某些细节。图中所示出的各种区域、层的形状及它们之间的相对大小、位置关系仅是示例性的,实际中可能由于制造公差或技术限制而有所偏差,并且本领域技术人员根据实际所需可以另外设计具有不同形状、大小、相对位置的区域/层。

[0030] 参阅附图中图1和图2,本发明所述的一种平面集成LCL交流滤波器包括LCL滤波器主体1,还包括第一平面电感2、第二平面电感3、第三平面电感4、构成第一平面电感2的第一对平面E型磁芯5和第一PCB线圈绕组6;构成第二平面电感3的第二对平面E型磁芯7和第二PCB线圈绕组8;构成第三平面电感4的第三对平面E型磁芯9和第三PCB线圈绕组10、贴片陶瓷电容11和PCB主板骨架12,其中,PCB线圈绕组和主板骨架位于平面E型磁芯窗口中,且各个PCB线圈绕组位于PCB主板骨架12上方。此外,贴片陶瓷电容布局在PCB主板骨架12上,LCL滤波器主体中的各单元在PCB主板骨架12上进行连接,使本发明能集成在逆变器主功率板上,便于逆变器结构的整体集成。构成第一平面电感2的第一PCB线圈绕组6与PCB主板骨架12中的固定孔连接后套在第一对平面E型磁芯5中,构成第二平面电感3的第二PCB线圈绕组8与PCB主板骨架中的固定孔连接后套在第二对平面E型磁芯7中,构成第三平面电感4的第三PCB线圈绕组10与PCB主板骨架12中的固定孔连接后套在第三对平面E型磁芯9中。

[0031] 进一步的,所述的第一PCB线圈绕组6、第二PCB线圈绕组8和第三PCB线圈绕组10由多片单一结构的单片PCB绕组单元13构成,单片PCB绕组单元13为两层铜层布局结构,且每层中只布局一圈线圈,两层线圈之间通过多过孔连接,单片PCB绕组单元13电流输入端与电流输出端在垂直空间上的位置对称。两片单片PCB绕组单元13之间贴合,上层单片PCB绕组单元13的电流输出端与下层单片PCB绕组单元13的电流输入端通过贴片焊盘直接连接,且单片PCB绕组单元13两两之间布局耐高温耐高压超薄绝缘层进行板间绝缘隔离。

[0032] 进一步的,所述的第一平面电感2在平面空间布局上位于第二平面电感3上方,第三平面电感4平面在空间布局上位于第一平面电感2右侧,贴片陶瓷电容11位于PCB主板骨架12的右下方,第一平面电感2的电流输入端与PCB主板骨架12的逆变器侧端口正输入端相连接,第一平面电感2的电流输出端与第三平面电感4的电流输入端和贴片陶瓷电容11的电流输入端相连接,第三平面电感4的电流输出端与电网正端口相连接,贴片陶瓷电容11的电流输出端与第二平面电感3的电流输入端和电网负端口相连接,第二平面电感3的电流输出端与PCB主板骨架12的逆变器侧端口负输入端相连接。

[0033] 进一步的,所述的第一对平面E型磁芯5、第二对平面E型磁芯7、第三对平面E型磁芯9和PCB主板骨架12构成了LCL滤波器1主体的整体外形框架结构,无其他骨架结构阻碍散热,平面E型磁芯的平面结构散热面积大且可与散热器直接贴合以进一步辅助散热,且各元件之间留有实现风冷的缝隙,可实现多种散热方案。此外,LCL滤波器1主体采用的滤波电容为可靠性高、体积小的贴片陶瓷电容11。结构安装上,PCB主板骨架12集成在磁芯内部有效利用了多余的磁芯窗口面积,并有效利用了主功率板的反面元件高度,可进一步提高逆变器整体功率密度,且PCB主板骨架12中的螺孔结构14可实现LCL滤波器1主体悬空布局或固定安装。

[0034] 为验证本发明的可行性,基于2kW/100kHz的非隔离并网全桥逆变器进行了平面集成LCL交流滤波器硬件结构设计,硬件设计实物图如图3和图4所示。

[0035] 根据电路参数首先设计LCL滤波器中的电感值和电容值,电感电流纹波比约束了逆变器侧电感值($L_{11}+L_{12}$)不低于160 μ H;滤波器中电感($L_{11}+L_2$)上总压降不超过10%的电网电压,约束了电感 $L_{11}+L_2$ 的值不大于7.7mH;进网电流功率因数不小于0.95约束了滤波器中电容最大值不大于6.6 μ F,因此根据设计约束与Simulink仿真效果确定LCL滤波器中参数如表1所示。

[0036] 表1

	名称	参数值
	L ₁₁	90 μ H
[0037]	L ₁₂	90 μ H
	L ₂	90 μ H
	C	6.6 μ F

[0038] 根据设计出的电感值,进行平面电感实物设计,首先,考虑磁芯材料:选择飞磁公司具有高磁导率、高电阻率和耐高温的3C95铁氧体磁芯材料,3C95铁氧体磁芯的饱和磁通相对磁粉芯磁芯较小,因此采用开气隙的方法限制磁芯饱和,选择的磁芯结构为E38_8_25。

[0039] 选择的TDK公司的2.2 μ F/400V的多层贴片陶瓷电容并联实现滤波电容,该电容不存在正负极限限制,且在整个电网电压变化范围内容值稳定性好。

[0040] 根据理论计算和Ansys软件仿真分析,考虑饱和磁通和漏磁问题,单个90 μ H电感产生的峰值磁通密度 B_m 为470mT,小于所选铁氧体磁芯饱和磁通密度 B_s 的上限,磁感应强度在满足高功率密度设计前提下满足一个合适的安全裕度,且仿真结果显示需要气隙为0.6mm。

[0041] 为验证本发明具有高功率密度的优势,搭建了同规格的绕线式电感组合金属薄膜电容的LCL滤波器,并采集了市售某公司单相并网逆变器中的LCL滤波器的尺寸数据,如图8所示。

[0042] 从图8可以看出,在相同实验条件下,本发明的体积相比于绕线滤波器下降42%,高度下降48%,功率密度提高73.5%;相比于市售某品牌逆变器的LCL交流滤波器,体积下降77%,高度下降55%,功率密度提高3.4倍。

[0043] 图5和图6为本发明的实验波形图,逆变器侧电感的纹波为2.5A满足小于3%进网电流峰值(3.87A)的设计要求;进网电流的THD为1.47%满足小于单相逆变器国家并网标准(THD<5%)的要求。

[0044] 图7为本发明的温升实验图,热平衡后,电感磁芯最大温升为26.5 $^{\circ}$ C,电感线圈最

大温升为 40.3°C ,电容最大温升为 23.1°C ,满足损耗设计要求。

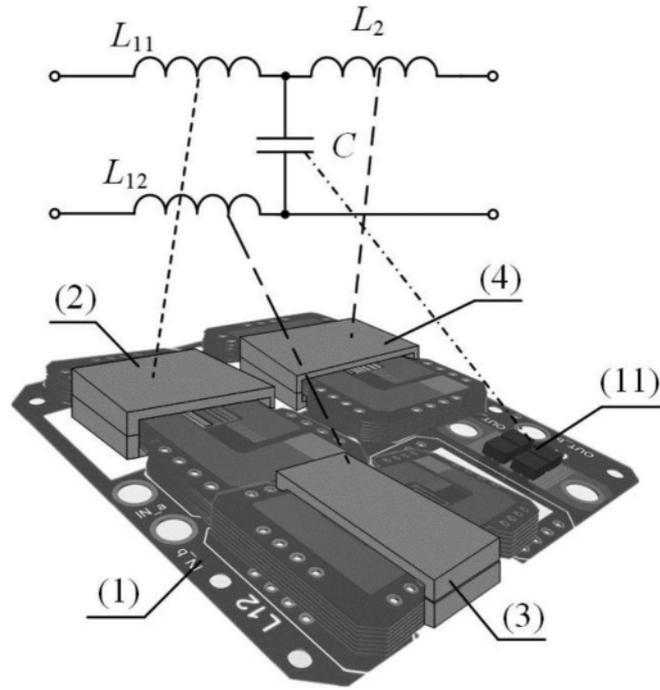


图1

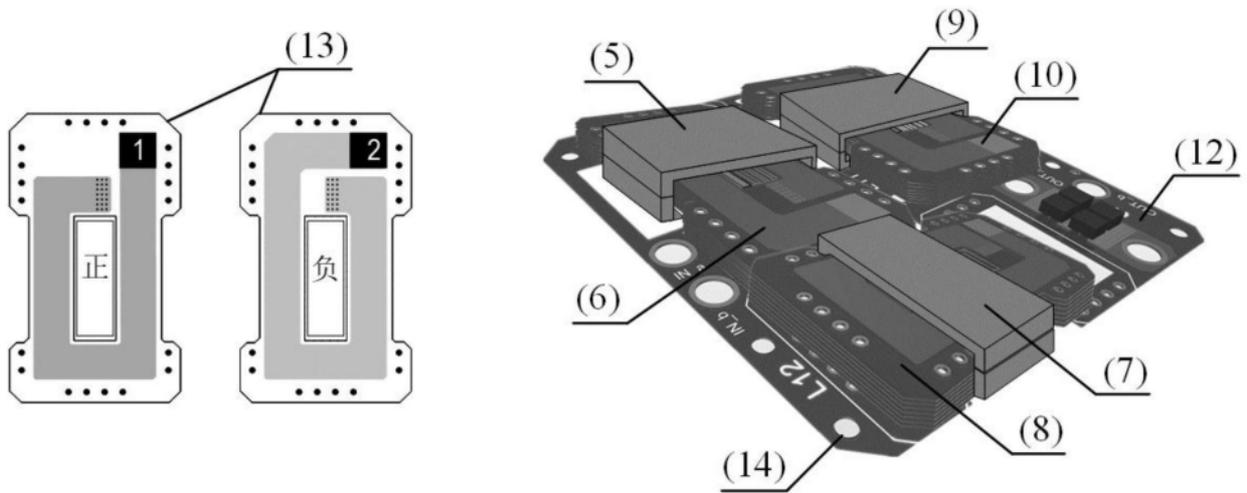


图2



图3

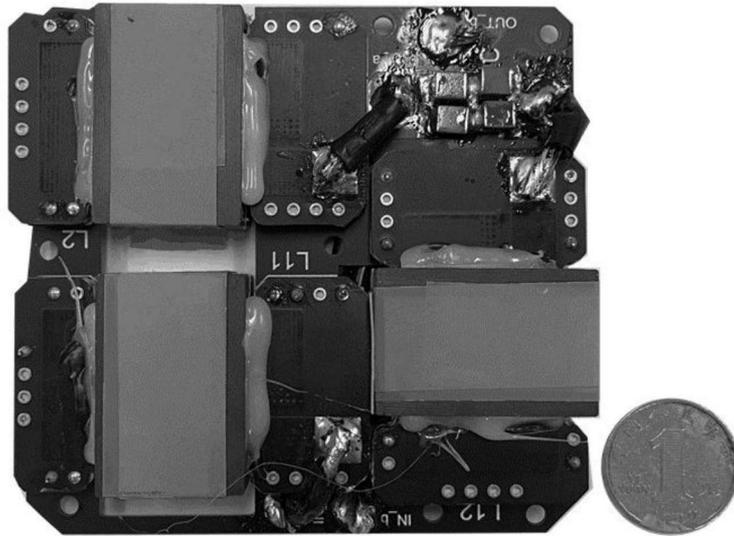


图4

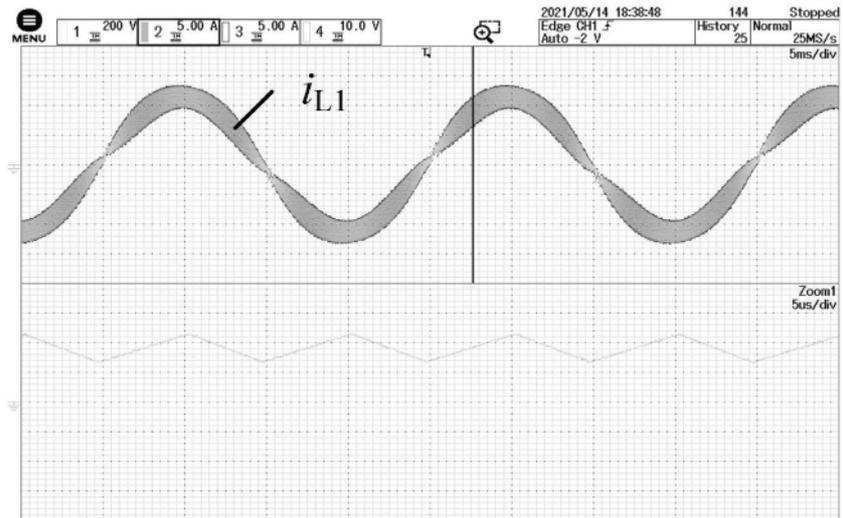


图5

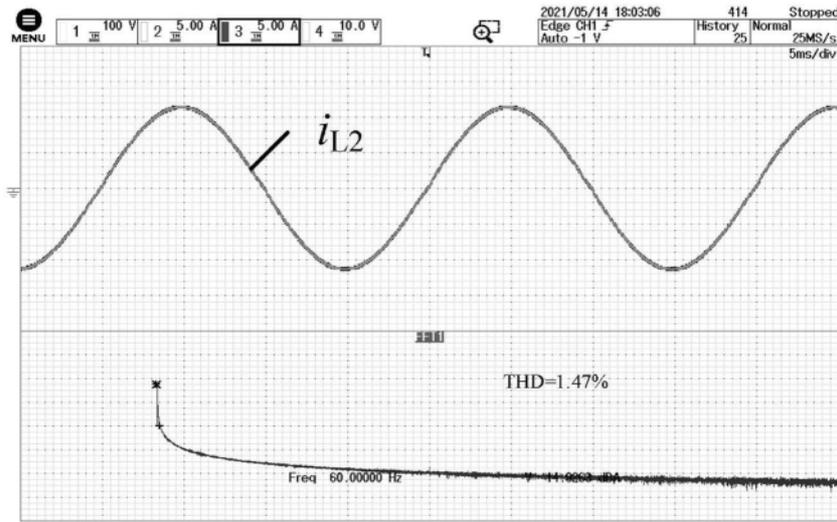


图6

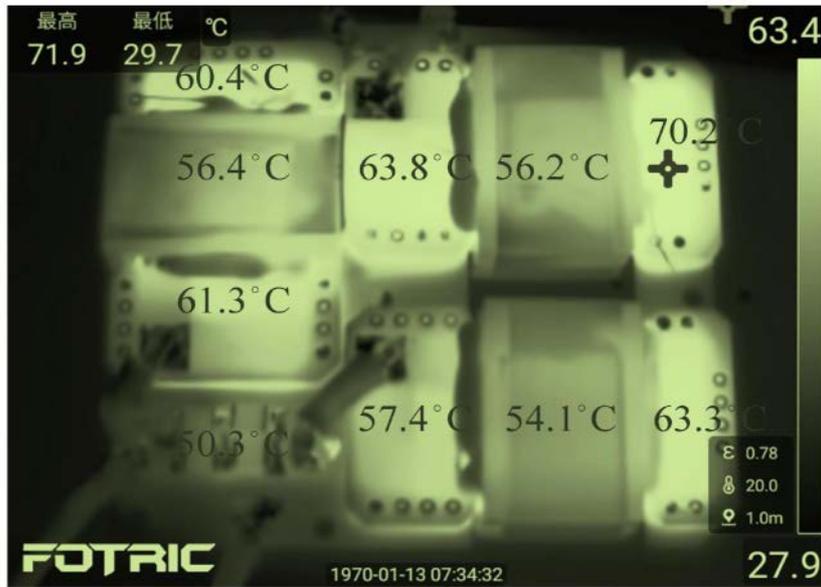


图7

滤波器	侧视图	外形参数				功率密度 W/cm ³
		长/cm	宽/cm	高/cm	体积/cm ³	
某商业逆变器用 滤波器 ($f_s=18$ kHz)		21	9.2	3.8	734.16	2.7
绕线式滤波器 ($f_s=100$ kHz)		14.8	6	3.3	293.04	6.8
PCB 型滤波器 ($f_s=100$ kHz)		10	10	1.7	170	11.8

图8