(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 118215649 A
(43)申请公布日 2024.06.18

(21)申请号 202280074935.7
(22)申请日 2022.11.10
(30)优先权数据
21208763.9 2021.11.17 EP
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2024.05.10
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/EP2022/081455 2022.11.10
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2023/088773 EN 2023.05.25
(71)申请人 赢创运营有限公司
地址 德国
(72)发明人 K·约维奇 R·沃肯斯
(74)专利代理机构 中国贸促会专利商标事务所有限公司 11038
专利代理师 宓霞
(51)Int.Cl.
C07C 69/24(2006.01)
C07C 69/26(2006.01)
H01B 3/20(2006.01)
H01L 23/34(2006.01)

权利要求书1页 说明书9页

(54)发明名称

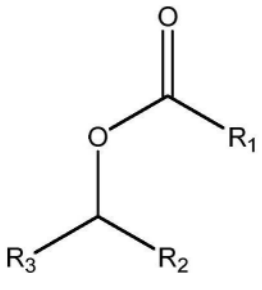
具有改进的低温性能的包含低粘度单酯的介电流体组合物

(57)摘要

本发明涉及式(I)的支化单酯,以及涉及旨在用作电气设备系统的冷却流体的介电流体组合物,其包含至少一种这些式(I)的支化单酯。本发明还涉及通过使用根据本发明的介电流体组合物冷却电气设备系统的方法。

CN 118215649 A

1.一种支化单酯A),其中所述支化单酯A)具有式(I)



(I)

其中R_1是具有3至13个碳原子的直链烷基残基,

其中各R_2和R_3是具有5个碳原子的直链烷基残基。

2.根据权利要求1的支化单酯A),其中R_1是具有5至11个碳原子的直链烷基残基。

3.根据权利要求1或2的支化单酯A),其中所述支化单酯A)选自月桂酸6-十一烷基酯、己酸6-十一烷基酯、辛酸6-十一烷基酯或其混合物。

4.一种介电流体组合物,其中所述介电流体组合物包含如权利要求1至3任一项中限定的支化单酯A)或其混合物。

5.根据权利要求4的介电流体组合物,其中所述介电流体组合物进一步包含选自多元醇酯、饱和烃、二羧酸酯、碳酸酯、醚、醇或其混合物的基础流体B)。

6.根据权利要求4或5的介电流体组合物,其中所述介电流体组合物包含选自消泡剂、密封相容剂、抗氧化剂、黄色金属钝化剂、防锈剂、静电放电抑制剂、破乳剂、染料或其混合物的添加剂C)。

7.根据权利要求4至6任一项的介电流体组合物,其中所述介电流体组合物包含基于介电流体组合物的总重量计2至100重量%的支化单酯A)、0至98重量%的基础流体B)和0至5重量%的添加剂C)。

8.根据权利要求4至7任一项的介电流体组合物,其中基于介电流体组合物的总重量计,A)至C)的量合计为90重量%,更优选95重量%,再更优选100重量%。

9.一种通过使用如权利要求4至8任一项中所述的介电流体组合物冷却电气设备系统的方法,其优选通过直接液体浸没式冷却。

具有改进的低温性能的包含低粘度单酯的介电流体组合物

技术领域

[0001] 本发明涉及式(I)的支化单酯,以及涉及旨在用作电气设备系统的冷却流体的介电流体组合物,其包含至少一种这些式(I)的支化单酯。本发明还涉及通过使用根据本发明的介电流体组合物冷却电气设备系统的方法。

背景技术

[0002] 近年来,能源短缺和环境问题对技术进步产生了巨大影响。在汽车工业中,碳足迹的减少已经成为高度优先事项,并且对以可再生能源作为燃料的零排放车辆,如纯电动车辆(EV)、混合动力电动车辆(HEV)和燃料电池电动车辆的需求已经逐渐变得更加显著,并且预期在未来20年将急剧增加。在具有高比能量密度的电池中提供并存储用于这些车辆的能量。各种电池类型可供EV和HEV使用,如锂镍锰钴氧化物、磷酸铁锂、锂钴氧化物、锂镍钴铝氧化物、锂锰氧化物和钠离子电池。

[0003] 为了提高电动车辆的性能,需要具有高电流放电的大型电池。由于尺寸和功率输出,这些大型电池在高电流水平下的快速充电和放电循环过程中生成大量热。因此,电池必须通过冷却或散热来进行热管理以避免电池故障并提高电池的寿命。

[0004] 此外,电池的性能与温度有关。根据它们的类型,电池仅在特定温度范围内表现最佳。因此,适当的热管理允许优化电池性能。

[0005] 介电流体是指旨在用于低电压至高电压应用(例如计算机、变压器、电容器、高压电缆、开关设备)并且其功能是提供电绝缘、抑制电晕和电弧放电并在这样的电气应用中充当冷却剂以携带热和散热的流体。介电流体包括例如矿物油基流体、天然酯基流体和合成酯基流体,如多元醇酯。

[0006] 矿物油基介电流体已经广泛使用很长时间,因为它们满足上述标准中的一些。但是,纯矿物油未能如此高效地散热,并且仍然需要研究具有更好的热管理性质的更好介电流体。

[0007] 此外,环境意识的增加导致对所谓绿色技术的兴趣日益增长,尤其是在汽车工业中。因此,理想的介电流体还应该是可生物降解的、无毒的和可再生的。矿物油基介电流体的生物降解性差,毒性相对较大并且没有可再生来源。

[0008] 美国专利第5,949,017号公开了含有包含高油酸油组合物的电绝缘流体作为矿物油基介电流体的替代物的电力变压器。但是,与矿物油相比,这些介电流体表现出高粘度,这对于散热是不利的。

[0009] WO2013159761A1公开了包括用来自植物油的部分不饱和脂肪酸酯化的多元醇的酯的组合物,及其作为变压器的冷却和绝缘流体的用途。所用的酯是表现出大约30mm^2/s的KV40和大约-50℃的倾点的多支化酯。

[0010] WO2015/174992、US2013/085090或EP3012316公开了支化单酯和包含其的润滑油组合物。这些文献没有涉及在冷却电气设备系统中的性能。

[0011] EP2908317和EP3138893公开了适用于介电流体组合物的介电流体组合物,其中酯

组合物包含醇与支链羧酸的酯。这两个文献都教导了使用包含支链羧酸和多元醇的酯的酯组合物。

[0012] GB2525281A涉及适用于电气设备(例如变压器)的酯介电流体组合物。所述酯衍生自(a)一种或多种选自C_2和C_3多元醇如甘油或乙二醇的醇,和(b)一种或多种C_4至C_{14}羧酸的反应,其中所述酸的至少一种是支链酸(例如2-乙基己酸)。还存在一种或多种添加剂,如抗氧化剂、金属钝化剂或倾点下降剂。该介电流体组合物具有大约16mm^2/s的KV40和大约-60℃的倾点。

[0013] 介电流体的低粘度是极其重要的参数,因为其允许通过更有效的循环实现更高效的散热,并因此更好地冷却电气装置。因此,介电流体的粘度测量性质在散热中起到至关重要的作用。

[0014] 因此,本发明旨在提供在电气设备系统,如电池、电动机、电力变压器、电容器、充液(fluid-filled)传输线、充液电力电缆、计算机、数据中心和电力电子器件的冷却中具有优异性能的新型介电流体组合物。该新型介电流体组合物应该不仅具有良好的电性质和热性质,还具有低粘度、无腐蚀性并具有低可燃性,同时保持优异的低温性能。

发明内容

[0015] 发明概述

[0016] 在充分研究之后,本发明的发明人意外地发现,包含如本发明中定义的式(I)的支化单酯的介电流体组合物可用作电池和其它电气设备的传热流体以极大改进电气装置的冷却性能,特别是在低温下。挑战在于在仍然保持介电流体组合物的优异低温性质的同时兼具改进的散热性能。

[0017] 实际上,开发一种具有这些性质的介电流体组合物表现出巨大的优势,因为不需要另外的倾点下降剂。

[0018] 根据第一个方面,本发明涉及如权利要求1及其从属权利要求中定义的式(I)的支化单酯。

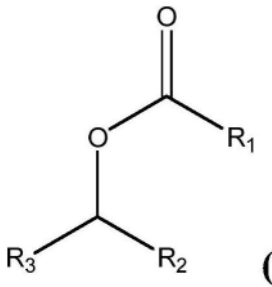
[0019] 根据第二个方面,本发明涉及包含根据本发明的式(I)的单酯的介电流体组合物。

[0020] 本发明的第三个方面是通过使用根据本发明的介电流体组合物冷却电气设备系统的方法。

[0021] 发明详述

[0022] 根据本发明的支化单酯

[0023] 本发明涉及支化单酯A),其中所述支化单酯A)具有式(I)

[0024] 

(I)

[0025] 其中R_1是具有3至13个碳原子的直链烷基残基,

[0026] 其中各R_2和R_3是具有5个碳原子的直链烷基残基。

[0027] 优选地,R_1是具有5至11个碳原子,更优选具有5至7个碳原子的直链烷基残基。

[0028] 根据本发明,烷基残基R_2和R_3都是具有5个碳原子的直链烷基残基。

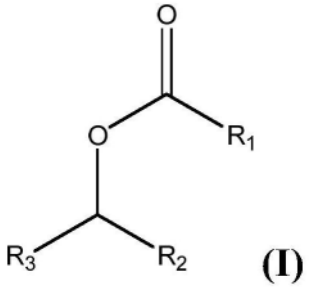
[0029] 根据本发明的一个优选实施方案,支化单酯A)选自月桂酸6-十一烷基酯、己酸6-十一烷基酯、辛酸6-十一烷基酯或其混合物。

[0030] 在本发明中,单酯A)可以如例如EP2155754B1中所述通过醇与酸的酯化反应制备。

[0031] 优选地,醇可以根据专利申请WO2020/104429A1中公开的方法制备。这种方法有利地具有低CO_2足迹。

[0032] 根据本发明的介电流体组合物

[0033] 本发明还涉及一种介电流体组合物,其包含至少一种支化单酯A),其中所述支化单酯A)具有式(I)

[0034] 

(I)

[0035] 其中R_1是具有3至13个碳原子的直链烷基残基,

[0036] 其中各R_2和R_3是具有5个碳原子的直链烷基残基。

[0037] 在本发明中,本文所用的术语“至少”还指“一种或多种”或“一种支化单酯A)或其混合物”。

[0038] 上文对于本发明的支化单酯A)指出的所有特性和优选项适用于介电流体组合物。

[0039] 根据本发明的一个优选实施方案,该介电流体组合物包含选自月桂酸6-十一烷基酯、己酸6-十一烷基酯、辛酸6-十一烷基酯或其混合物,更优选选自己酸6-十一烷基酯、辛酸6-十一烷基酯或其混合物的支化单酯A)。

[0040] 如下面的实验部分中所示,本发明的介电流体组合物具有出色的电性质和传热性质,具有低可燃性并且无腐蚀性。它们还具有优异的低温性能。根据本发明的介电流体组合物的另一个优点是它们的低粘度,这允许通过更有效的循环(特别是由于更高效的泵送)实现更高效的散热,并因此更好地冷却电气装置。

[0041] 根据本发明,优选的是,该介电流体组合物具有根据ASTM D445的$2mm^2/s$至$12mm^2/s$的在40℃下的运动粘度和根据ASTM D93的大于110℃,更优选大于140℃的闪点。

[0042] 根据本发明,优选的是,该介电流体组合物具有根据ASTM D5950的低于-70℃,更优选根据ASTM D5950的低于-75℃的倾点。

[0043] 根据一个优选实施方案,本发明的介电流体组合物具有在40℃和1013hPa(1atm)压力下低于90的普朗特数。更优选地,在40℃和1013hPa(1atm)压力下低于60,再更优选低于55。

[0044] 在本发明中,根据下式计算普朗特数(Pr)。普朗特数是将流体的粘度与热导率相关联的无量纲量(参见Bastian E.Rapp,Microfluidics:Modelling,Mechanics and Mathematics,2017)。普朗特数如下给出:

[0045] $Pr=\theta/\alpha=$动量扩散率/热扩散率$=(\mu/\rho)/(k/(c_p\rho))=c_p\mu/k$

[0046] 其中

[0047] θ:动量扩散率(运动粘度)θ=μ/ρ;SI单位:m^2/s

[0048] α:热扩散率;SI单位:m^2/s

[0049] μ:动态粘度;SI单位:Pa·s=N·s/m^2

[0050] k:热导率;SI单位:W/(m·K)

[0051] c_p:比热;SI单位:J/(kg·K)

[0052] ρ:密度;SI单位:kg/m^3

[0053] 如以下实验部分中所示,本发明的发明人已经意外地发现,根据本发明的单酯及其相应的根据本发明的介电流体组合物都具有小的普朗特数。这证实根据本发明的介电流体组合物具有高热导率和低粘度,这有利于电气装置中的热管理。

[0054] 特别地,已经有利地观察到,根据本发明的介电流体组合物都具有高热导率值。这意味着本发明的介电流体能够与电气装置高效交换热量。实际上,热导率越高,传热能力越好。

[0055] 根据本发明的一个优选实施方案,介电流体组合物进一步包含选自多元醇酯、饱和烃、二羧酸酯、碳酸酯、醚、醇或其混合物的基础流体组分B)。优选地,组分B)是甘油三己酸酯、API第IV类合成油(优选聚α烯烃)、API第III类矿物油或其混合物。在本发明上下文中,组分B)是不同于支化单酯A)的基础流体。因此,优选地,该介电流体组合物包含根据本发明的支化单酯A)作为第一基础流体,和上述组分B)作为第二基础流体。

[0056] 优选地,基于介电流体组合物的总重量计,支化单酯A)和基础流体B)的量合计为至少90重量%,更优选合计为至少95重量%。

[0057] 优选地,该介电流体组合物可以包含选自消泡剂、密封相容剂、抗氧化剂、黄色金属钝化剂、防锈剂、静电放电抑制剂、破乳剂、染料或其混合物的添加剂C)。添加剂化合物C)对应于热管理流体中使用的典型添加剂,并且尤其详细描述在T.Mang,W.Dresel(编者):"Lubricants and Lubrication"(润滑剂与润滑),Wiley-VCH,Weinheim 2001;R.M.Mortier,S.T.Orszulik(编者):"Chemistry and Technology of Lubricants"(润滑剂的化学与技术)中。优选地,合适的黄色金属钝化剂选自咪唑啉(imidazonine)、咪唑、噻唑、噻二唑、三唑、甲苯基三唑、吡啶(pyradine)、喹啉、吗啉或其混合物。

[0058] 优选地,合适的防锈剂选自磺酸盐、羧酸盐、烷基胺、胺羧酸盐、胺硼酸盐、磷酸盐或其混合物。

[0059] 优选地,合适的静电放电抑制剂选自酯季铵盐、咪唑鎓季铵盐、烷氧基烷基季铵盐、三烷基单甲基季铵盐、单烷基三甲基季铵盐、二酰胺基胺季铵盐、苄基季铵盐、乙氧基化醚胺、醚二胺、脂肪醇乙氧基化物、醚胺氧化物、醚胺季铵盐或其混合物。

[0060] 优选地,合适的破乳剂选自聚烷氧基化酚、聚烷氧基化多元醇、聚烷氧基化多胺或其混合物。

[0061] 优选地,合适的消泡剂选自硅酮油、氟硅酮油、氟烷基醚、聚丙烯酸酯或其混合物。

[0062] 优选地,密封相容剂选自己二酸酯、癸二酸酯、新戊基多元醇酯、环丁砜。

[0063] 优选地,合适的抗氧化剂包括酚基抗氧化剂和胺基抗氧化剂。

[0064] 在一个优选实施方案中,酚基抗氧化剂选自十八烷基-3-(3,5-二叔丁基-4-羟基苯基)丙酸酯;4,4'-亚甲基双(2,6-二叔丁基苯酚);4,4'-双(2,6-二叔丁基苯酚);4,4'-双

(2-甲基-6-叔丁基苯酚);2,2'-亚甲基双(4-乙基-6-叔丁基苯酚);2,2'-亚甲基双(4-甲基-6-叔丁基苯酚);4,4'-丁叉基双(3-甲基-6-叔丁基苯酚);4,4'-异丙叉基双(2,6-二叔丁基苯酚);2,2'-亚甲基双(4-甲基-6-壬基苯酚);2,2'-异丁叉基双(4,6-二甲基苯酚);2,2'-亚甲基双(4-甲基-6-环己基苯酚);2,6-二叔丁基-4-甲基苯酚;2,6-二叔丁基-4-乙基苯酚;2,4-二甲基-6-叔丁基苯酚;2,6-二叔戊基-对甲苯酚;2,6-二叔丁基-4-(N,N'-二甲基氨基甲基苯酚);4,4'-硫代双(2-甲基-6-叔丁基苯酚);4,4'-硫代双(3-甲基-6-叔丁基苯酚);2,2'-硫代双(4-甲基-6-叔丁基苯酚);双(3-甲基-4-羟基-5-叔丁基苄基)硫醚;双(3,5-二叔丁基-4-羟基苄基)硫醚;正辛基-3-(4-羟基-3,5-二叔丁基苯基)丙酸酯;正十八烷基-3-(4-羟基-3,5-二叔丁基苯基)丙酸酯;2,2'-硫代[二乙基-双-3-(3,5-二叔丁基-4-羟基苯基)丙酸酯]或其混合物。再更优选的酚基抗氧化剂是双酚基抗氧化剂和含酯基团的酚基抗氧化剂。

[0065] 胺基抗氧化剂包括例如单烷基二苯胺,如单辛基二苯胺、单壬基二苯胺;二烷基二苯胺,如4,4'-二丁基二苯胺、4,4'-二戊基二苯胺、4,4'-二己基二苯胺、4,4'-二庚基二苯胺、4,4'-二辛基二苯胺、4,4'-二壬基二苯胺;多烷基二苯胺,如四丁基二苯胺、四己基二苯胺、四辛基二苯胺、四壬基二苯胺;萘胺,具体为α-萘胺、苯基-α-萘胺和其它烷基取代的苯基-α-萘胺,如丁基苯基-α-萘胺、戊基苯基-α-萘胺、己基苯基-α-萘胺、庚基苯基-α-萘胺、辛基苯基-α-萘胺、壬基苯基-α-萘胺。其中,从其抗氧化效果的角度看,二苯胺比萘胺优选。

[0066] 优选地,基于介电流体组合物的总重量计,该介电流体组合物包含2至100重量%的支化单酯A)、0至98重量%的组分B)和0至5重量%的添加剂C)。更优选地,基于介电流体组合物的总重量计,5至100重量%的支化单酯A)、0至95重量%的组分B)和0至5重量%的添加剂C)。

[0067] 根据一个优选实施方案,基于介电流体组合物的总重量计,A)至C)的量合计为至少90重量%,更优选合计为至少95重量%,再更优选合计为100重量%。

[0068] 根据另一优选实施方案,本发明的介电流体组合物由式(I)的支化单酯A)组成,并且上文对于介电流体组合物指出的所有特性和优选项适用于这一优选实施方案。

[0069] 优选地,包含至少一种式(I)的单酯A)的本发明的介电流体组合物是可生物降解的。

[0070] 根据另一优选实施方案,包含至少一种式(I)的支化单酯A)的本发明的介电流体组合物是无卤素的,这意味着该介电流体组合物不包含任何含卤素组分。

[0071] 优选地,该介电流体组合物用具有低碳足迹的可持续技术生产并且是无卤素的。

[0072] 根据本发明的冷却电气设备系统的方法

[0073] 根据本发明的另一个方面,本发明还涉及一种通过使用如上文定义的介电流体组合物冷却电气设备系统的方法。

[0074] 优选地,电气设备系统选自电池、电动机、电力变压器、电容器、充液传输线、充液电力电缆、计算机、数据服务器和电力电子器件。

[0075] 优选地,根据本发明的冷却电气设备系统的方法是直接液体浸没式冷却,其中通过使液体与热组件直接接触循环而从该系统中除去热量。

具体实施方式

[0076] 实验部分

[0077] 下面参考实施例和对比例进一步详细说明本发明,而无意限制本发明的范围。

[0078] 缩写

[0079]	Cp@40℃	根据ASTM D7896-14在40℃下测得的比热容
[0080]	DPT	对苯二甲酸二异戊酯
[0081]	Elect.Cond.	根据ASTM D2624在25℃下测量电导率
[0082]	FHE	C12/14脂肪醇己酸酯
[0083]	FP	根据ASTM D93的闪点
[0084]	GHE	甘油三己酸酯
[0085]	KV40	根据ASTM D445在40℃下的运动粘度
[0086]	OptiCool-A Fluid	包含1-癸烯和1-十二碳烯的氢化二聚产物的PAO超低粘度介电传热流体,由DSI Venture公司商业化
[0087]	PAO 2	KV40为5.10mm^2/s的聚α烯烃
[0088]	PN40	在40℃和1013hPa(1atm)下的普朗特数
[0089]	PP	根据ASTM D5950的倾点
[0090]	ULE	月桂酸6-十一烷基酯
[0091]	UHE	己酸6-十一烷基酯
[0092]	UOE	辛酸6-十一烷基酯
[0093]	Yubase 3	KV40为11.80mm^2/s的加氢处理的轻质链烷烃基础油
[0094]	Yubase 4	KV40为19.20mm^2/s的加氢处理的重质链烷烃基础油
[0095]	λ@40℃	根据ASTM D7896-14在40℃下的热导率

[0096] 试验方法

[0097] 无偏差地根据ASTM D445在40℃下测量介电流体的运动粘度。

[0098] 根据ASTM D7896-14用热线法在40℃下测量比热容和热导率。

[0099] 根据ASTM D5950测量倾点(PP)。

[0100] 根据ASTM D93用闭杯Pensky Martin装置测量闪点。

[0101] 根据ASTM D2624在25℃下测量电导率。

[0102] 本发明的单酯与适合用作介电流体的现有技术组分的比较

[0103] 根据本发明的实施例

[0104] 根据本发明的单酯A1(ULE)的合成

[0105] 在配备搅拌棒、水分离器、回流冷凝器、滴液漏斗和内部温度计的4升蒸馏烧瓶中,将482克(2.8摩尔)6-十一烷醇与701克(3.5摩尔)月桂酸和1.75克50%次磷酸水溶液(来自Sigma Aldrich)(基于6-十一烷醇计0.4质量%的H_3PO_2)混合,在搅拌下加热至240℃。通过GC分析追踪反应过程。在沸腾开始后6小时反应结束。将该批料的一部分取出,置于相应较小的装置中,在其中水分离器已被蒸馏桥替代。在搅拌下在升高的温度下蒸馏出过量月桂酸。然后停止加热并将批料冷却至80℃。通过在27至33hPa的压力下经由滴液漏斗逐滴加入水,使该批料的进一步纯化(水蒸气蒸馏的原理)。将该混合物与2%碱性氧化铝和2%活性炭一起在100℃的温度下搅拌另外1小时。然后通过过滤将产物与活性炭和氧化铝分离。

[0106] 根据本发明的单酯A2(UHE)的合成

[0107] 对于单酯A2(UHE)的合成,将482克(2.8摩尔)6-十一烷醇与407克(3.5摩尔)己酸混合,继续如上文公开的用于合成单酯A1的相同程序。

[0108] 根据本发明的单酯A3(UOE)的合成

[0109] 对于单酯A3(UOE)的合成,将482克(2.8摩尔)6-十一烷醇与505克(3.5摩尔)辛酸混合,继续如上文公开的用于合成单酯A1的相同程序。

[0110] 对比例

[0111] 对比例1(Comp.1)对应于FHE,直链C12-C14单酯

[0112] 使用11.7千克(100摩尔)己酸、13.7克(0.11重量%,基于己酸计)原钛酸四丁酯和15.7千克(80摩尔)Lorol作为带有回流分配器、搅拌器、滴液漏斗和温度计的具有蒸馏桥的搅拌烧瓶中的初始装料,并在200℃下酯化。在反应结束时,通过在180℃和3毫巴下蒸馏除去过量酸。然后将该系统冷却至80℃并使用10重量%浓度的NaOH水溶液中和。然后在80℃的温度和20至5毫巴的压力下进行水蒸气蒸馏。然后将该混合物在这一温度下在5毫巴下干燥。将该混合物与活性炭一起在100℃的温度下搅拌。然后通过过滤将产物与活性炭分离。

[0113] 对比例2(Comp.2)对应于月桂酸甲酯(饱和脂肪酸的甲酯)。

[0114] 对比例3(Comp.3)对应于癸二酸二-2-乙基己酯,一种纯的合成二酯基料。

[0115] 对比例4(Comp.4)对应于己二酸二(异壬基)酯。

[0116] 对比例5(Comp.5)对应于来自SK Lubricants的Yubase 3,一种加氢处理的轻质链烷烃基础油。

[0117] 所有实施例和它们各自的物理性质显示在下表1中。

[0118] 结果讨论

[0119] 本发明的支化单酯(本发明实施例1、2和3)具有非常好的热导率性质与低粘度和优异的低温性能的结合。相比之下,对比例1至5没有将上述性质全部组合在一起,因此表现不那么高效。

[0120] 对比例1和2具有与本发明实施例2和3类似的低粘度,但不具有良好的低温性能(分别为-6℃和+3℃)。

[0121] 对比例3、4和5表现出可接受的低温性能(倾点值分别为-78℃和-51℃)。但是,由于它们的高粘度,它们相应的普朗特数(其如上文解释将流体的粘度与其热导率相关联)高(PN40分别为136.5和128.7),因此比根据本发明的单酯高得多。实际上,根据本发明的支化单酯A1、A2和A3都具有低于85的普朗特数(在40℃和1013hPa(1atm)下的PN40)。

[0122] 表1:本发明的单酯与适合用作介电流体的现有技术组分的比较

[0123]

		本发明的实施例			对比例				
	单位	单酯 A1	单酯 A2	单酯 A3	Comp. 1	Comp. 2	Comp. 3	Comp. 4	Comp. 5
KV40	mm^2/s	7.2	3.4	4.4	4.8	2.4	11.6	10.9	11.8
Cp @ 40℃	kJ/kg·K	2.1	2.0	2.0	2.1	2.0	2.0	1.9	2.0
λ @ 40℃	mW/m·K	148	137	140	150	146	151	147	135
FP	℃	190	146	158	171	128	218	217	191
PP	℃	-27	-99	-96	-6	3	-78	-51	-33
Elect. Cond.	nS/m	0.04	0.02	0.06	0.01	2.50	0.10	0.20	x
PN40		85	43	52	56	28	137	129	142

[0124] x是指“未检测到电导率”

[0125] 介电流体组合物

[0126] 为了制备介电流体组合物,将下表2中列出的组分在室温下混合在一起。

[0127] 表2:根据本发明的介电流体配制剂和现有技术的介电流体配制剂(下面的量以基于配制剂的总重量计的重量%计给出)

[0128]

	本发明的实施例		对比例		
	F1	F2	Comp. F1	Comp. F2	Comp. F3
本发明的单酯 A2	10.0	85.7			
GHE		3.0			
PAO 2	90.0				100
Yubase 3		6.6			
Yubase 4		3.0	34.4		
DPT		1.7			
Comp. 1			65.6		
Opticool A				100	

[0129] 上表2中列出的介电流体配制剂的物理性质显示在下表3中。

[0130] 从下表3可以观察到,包含根据本发明的支化单酯的介电流体组合物表现出出色的低温性质以及在40℃和1013hPa(1atm)下的低普朗特数和低粘度的结合。这证实了根据本发明的介电流体组合物在电气设备系统的冷却中具有优异的性能。

[0131] 尽管对比介电流体Comp.F1具有较高闪点,但其表现出较差的低温性能(仅-9℃)、较高粘度(7.02mm^2/s的KV40)和较高普朗特数(83.0的PN40)。

[0132] 对比介电流体Comp.F2表现出较高的运动粘度(6.50mm^2/s的KV40),由于该流体在电气系统中的低效的循环和可泵送性,其与具有较低粘度的介电流体相比没有提供那么高效的散热。

[0133] 尽管对比介电流体Comp.F3具有倾点为-75℃的相当的低温性能,但其具有较高粘度和较高的普朗特数,因此并未实现包含本发明的支化单酯的本发明的热介电流体组合物的所有益处。

[0134] 本发明的介电流体组合物的热管理结果证实,包含式(I)的支化单体A)的介电流体组合物不仅表现出优异的低温性质,还表现出如通过低普朗特数证实的非常好的电气冷却性能。通过对比介电流体没有观察到优异的低温性质、低粘度和电气冷却性能的这种结合。

[0135] 表3:与现有技术的介电流体配制剂相比,根据本发明的介电流体配制剂的性质

[0136]

		本发明的实施例		对比例		
	单位	F1	F2	Comp. F1	Comp. F2	Comp. F3
KV40	cSt	4.88	4.14	7.02	6.50	5.10
Cp @ 40°C	kJ/kg·K	2.11	1.95	2.12	2.08	2.11
λ @ 40°C	mW/m·K	138.96	137.59	149.64	138.00	137.70
FP	°C	153	152	180	147	160
PP	°C	-75	-75	-9	-57	-75
Elect. Cond.	nS/m	0.16	0.10	0.02	x	x
PN40		58.2	49.3	83.0	76.3	60.9

[0137] x是指“未检测到电导率”