



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111434187 A

(43)申请公布日 2020.07.17

(21)申请号 201880078988.X

(22)申请日 2018.12.04

(30)优先权数据

1720231.8 2017.12.05 GB

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2020.06.05

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/GB2018/053506 2018.12.04

(87)PCT国际申请的公布数据

WO2019/110975 EN 2019.06.13

(71)申请人 爱德华兹有限公司

地址 英国西萨塞克斯郡

(72)发明人 L.M. 菲利普

(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

代理人 董均华 王丽辉

(51)Int.Cl.

H05B 3/42(2006.01)

G23C 16/44(2006.01)

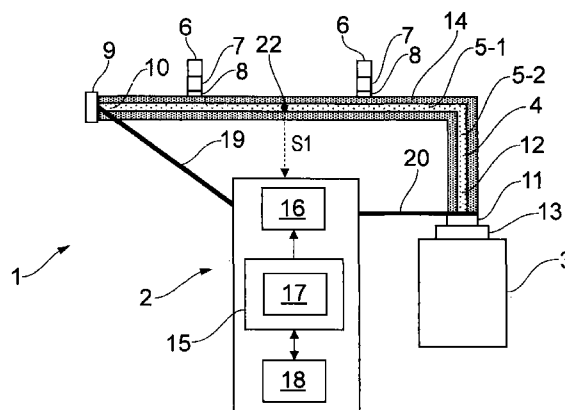
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

热管理方法和设备

(57)摘要

本公开涉及热管理系统(2),所述热管理系统(2)被配置为加热由金属构成的导管(4)。热管理系统(2)包括发电机(16),用于以高频率生成交流电流。提供第一和第二电连接件(19、20),用于将发电机(16)连接到导管(4)。在使用中,发电机(16)以高频率将交流电流输出到第一和第二电连接件(19、20),交流电流被引入到导管(4)中,并且导致导管(4)的直接加热。本公开还涉及包括热管理系统(2)的排放系统(1),并且涉及加热导管(4)的相关方法。



1. 热管理系统(2),用于加热由金属构成的导管(4),所述热管理系统包括:
发电机(16),用于以高频率生成交流电流;以及
第一和第二电连接件(19、20),用于将所述发电机(16)连接到所述导管(4);
其中,在使用中,所述发电机(16)以高频率将交流电流输出到所述第一和第二电连接件(19、20),所述交流电流被引入到所述导管(4)中,并且导致所述导管(4)的直接加热。
2. 根据权利要求1所述的热管理系统(2),其中,所述发电机(16)被配置为以大于或等于100赫兹(Hz)的频率输出交流电流。
3. 根据权利要求1所述的热管理系统(2),其中,所述发电机(16)被配置为以大于或等于1千赫兹(kHz)的频率输出交流电流。
4. 根据权利要求1所述的热管理系统(2),其中,所述发电机(16)被配置为以大于或等于10千赫兹(kHz)的频率输出交流电流。
5. 根据权利要求1所述的热管理系统(2),其中,所述发电机(16)被配置为以大于或等于100千赫兹(kHz)的频率输出交流电流。
6. 根据前述权利要求中任一项所述的热管理系统(2),其中,所述发电机(16)是可重新配置的,用于以不同频率输出交流电流。
7. 根据前述权利要求中任一项所述的热管理系统(2),其中,所述发电机(16)被配置为输出具有小于或等于以下中的一个的大小的交流电流:50安培或20安培。
8. 根据前述权利要求中任一项所述的热管理系统(2),其中,在使用中,所述导管(4)中的电压小于或等于60伏特,或小于或等于48伏特。
9. 根据前述权利要求中任一项所述的热管理系统(2),其中,所述第一和第二电连接件(19、20)每个包括缆线,所述缆线包括多股单独绝缘的电线。
10. 根据前述权利要求中任一项所述的热管理系统(2),包括故障检测模块,用于识别电阻何时超过预定阈值或在预定操作范围之外。
11. 排放系统(1),包括根据前述权利要求中任一项所述的热管理系统和至少一个导管(4),所述第一和第二电连接件连接到所述至少一个导管。
12. 根据权利要求11所述的排放系统(1),其中,所述至少一个导管(4)被电隔离。
13. 根据权利要求12所述的排放系统(1),其中,所述至少一个导管(4)由一个或多个支撑件(6)支撑,所述一个或多个支撑件(6)每个包括电绝缘体,用于使所述导管(4)电隔离。
14. 根据权利要求11、12或13中任一项所述的排放系统(1),包括被设置在所述至少一个导管(4)的相应端部处的第一和第二联接件(9、11),所述第一和第二联接件(9、11)每个包括电绝缘联接件。
15. 根据权利要求11至14中任一项所述的排放系统,其中,所述至少一个导管(4)由不锈钢构成。
16. 根据权利要求11至14中任一项所述的排放系统,其中,所述至少一个导管(4)由磁性材料构成。
17. 加热由金属构成的导管的方法,所述方法包括:
使用发电机(15),以将交流电流引入到所述导管(4),所述交流电流以高频率被直接引入到所述导管中,以由焦耳作用加热所述导管(4)。
18. 根据权利要求17所述的方法,其中,所述交流电流处于大于或等于100赫兹(Hz)的

频率。

19. 根据权利要求17所述的方法,其中,所述交流电流处于大于或等于1千赫兹(kHz)的频率。

20. 根据权利要求17所述的方法,其中,所述交流电流处于大于或等于10千赫兹(kHz)的频率。

21. 根据权利要求17所述的方法,其中,所述交流电流处于大于或等于100千赫兹(kHz)的频率。

22. 根据权利要求17至21中任一项所述的方法,其中,所述交流电流具有小于或等于以下中的一个的大小:50安培或20安培。

23. 根据权利要求17至22中任一项所述的方法,其中,所述导管中的电压小于或等于60伏特,或小于或等于48伏特。

24. 根据权利要求17至23中任一项所述的方法,包括:根据所述导管(4)的一个或多个参数,修改所述交流电流的频率。

25. 根据权利要求17至24中任一项所述的方法,包括:监测所述导管(4)的电阻,以检测故障。

26. 根据权利要求25所述的方法,包括:当所述电阻超过预定阈值或在预定操作范围之外时,检测故障。

27. 非瞬态计算机可读介质,具有被存储在其中的指令集合,当被执行时,所述指令导致处理器执行根据权利要求19至26中任一项所述的方法。

热管理方法和设备

技术领域

[0001] 本公开涉及热管理方法和设备。特别地,但不排他地,本公开涉及用于导管的热管理系统、包括热管理系统的排放系统以及加热导管的方法。

背景技术

[0002] 图1中示出了包括已知热管理系统(TMS)102的排放系统101。TMS 102是可操作的,以控制导管104的温度,所述导管104用于传送过程气体,用于工业过程。例如,可提供排放系统101,以运输从化学气相沉积(CVD)过程排放的沉积气体和相关联的粉末。TMS 102包括控制器115和多个电阻加热器垫123。控制器115被配置为将电流供应到电阻加热器垫123中的每个。电阻加热器垫123从彼此分隔,并且沿着导管104的长度被设置。电阻加热器垫123可每个在长度上为一(1)米,所以对于在长度上为十(10)米的导管104,可为必要的是,提供十(10)个所述电阻加热器垫123。如果导管104具有复杂几何形状,例如,包括一个或多个弯曲部或阀,则可为必要的是,提供附加的电阻加热器垫123。在使用中,电阻加热器垫123被加热,并且导管104通过热传导被加热。然而,从电阻加热器垫123到导管104的热传递可为不良的,特别是在为不良热导体的不锈钢上。电阻加热器垫123可难以安装,特别是如果导管104具有复杂几何形状。此外,来自电阻加热器垫123的热传递取决于到导管104上的装配质量,这取决于操作者。电阻加热器垫123也可易于受到故障和缺陷。

[0003] 本发明试图克服或改善与现有技术系统相关联的问题中的至少一些。

发明内容

[0004] 本发明的方面涉及热管理系统、包括热管理系统的排放系统、加热导管的方法以及非瞬态计算机可读介质,如所附权利要求中要求的。

[0005] 根据本发明的方面,提供有热管理系统,用于加热由金属构成的导管,热管理系统包括:

发电机,用于以高频率生成交流电流;以及

第一和第二电连接件,用于将发电机连接到导管;

其中,在使用中,发电机以高频率将交流电流输出到第一和第二电连接件,交流电流被引入到导管中,并且导致导管的直接加热。在使用中,交流电流被直接引入到导管中。交流电流的供应导致由焦耳作用直接加热导管。因此,热量在导管的芯中生成。通过加热导管本身(而不是定位抵靠其外表面的电阻加热器垫),可改进热传递。通过以高频率供应交流电流,增加了导体的有效电阻。因此,可存在有到导管中的更大功率耗散(也被称为I²R损耗),至少在某些实施例中,与现有技术系统相比,这可导致加热增加。至少在某些实施例中,交流电流的大小低于对于提供等同加热所要求的直流电流。

[0006] 相同的电流流动通过在由所述第一和第二连接件建立的连接之间的导管。因此,温度可沿着导管的该长度至少基本一致。沿着导管位于某处的单个温度测量(例如,通过热电偶或其它温度传感器)可为足够的,以监测该部段内的温度。第一电连接件可连接在导管

的第一端部处或附近,并且第二电连接件可连接在导管的第二端部处或附近。在此布置中,导管可沿着其长度被加热。

[0007] 热管理系统可用于提供具有复杂形状(例如,包括止回阀、弯曲部等)的导管的加热。减少或消除了对于提供单独的电阻加热器垫的需要。

[0008] 发电机可包括电控制单元(ECU),用于控制所生成的交流电流的频率和/或大小。ECU可包括一个或多个处理器。

[0009] 至少在某些实施例中,被引入到导管中的交流电流具有足够高的频率,以导致电流主要在导体的外区域(通常被称为导体的“表皮”)中流动。表皮可具有的深度等于或小于导体的厚度。本文使用的术语“高频率”可被理解为指的是大于或等于100赫兹的频率。

[0010] 发电机可被配置为以大于或等于100赫兹(Hz)的频率输出交流电流。

[0011] 发电机可被配置为以大于或等于1千赫兹(kHz)的频率输出交流电流。

[0012] 发电机可被配置为以大于或等于10千赫兹(kHz)的频率输出交流电流。

[0013] 发电机可被配置为以大于或等于50千赫兹(kHz)的频率输出交流电流。

[0014] 发电机可被配置为以大于或等于100千赫兹(kHz)的频率输出交流电流。

[0015] 发电机可被配置为以小于或等于500千赫兹(kHz)的频率输出交流电流。在某些实施例中,发电机可被配置为以大于500千赫兹(kHz)的频率输出交流电流。

[0016] 发动机可为可重新配置的,用于以不同频率输出交流电流。

[0017] 发电机可被配置为输出具有小于或等于以下中的一个的大小的交流电流:50安培或20安培。

[0018] 在使用中,导管中的电压可小于或等于60伏特,或小于或等于48V。

[0019] 第一和第二电连接件可每个包括缆线,所述缆线包括多股单独绝缘的电线。例如,第一和第二电连接件可每个包括Litz电线。

[0020] 至少在某些实施例中,监测流动通过导管的电流强度将指示是否存在有故障。流动通过导管的电流的存在确保了连续性,并且因此确保的是,导管被良好加热。

[0021] 热管理系统可包括故障检测模块。故障检测模块可被配置为识别电阻何时超过预定阈值或在预定操作范围之外。故障检测模块可根据由发电机输出的电流和电压而计算电阻。如果电阻超过预定阈值,则故障检测模块可确定的是,存在有不良或故障的电连接,例如,在导管的子部段之间,和/或在第一和第二电连接件和导管之间。故障检测模块可连续地操作。可选地,故障检测模块可周期性地操作,例如,在故障检测模式下。

[0022] 第一电连接件可在导管的入口处或附近连接到导管。第二电连接件可在导管的出口处或附近连接到导管。

[0023] 第一和第二电连接件可被配置为连接到被提供在导管上的第一和第二电触点。例如,电触点可由机械紧固件紧固到导管。例如,电触点可通过焊接而永久附接到导管。

[0024] 导管可为排放导管。排放导管可适于传送过程气体,例如,来自化学气相沉积(CVD)过程的过程气体。例如,在工业过程中,排放导管可形成排放系统的部分。

[0025] 可选地,导管可为前级管线。导管可被配置为供应气体,用于工业过程。

[0026] 可选地,或此外,热管理系统可适于加热阀。例如,阀可连接到导管。热管理系统可适于加热导管和阀两者。通过示例的方式,热管理系统可适于加热存在于排放导管或前级管线上的隔离阀。

[0027] 根据本发明的其它方面,提供有排放系统,所述排放系统包括如本文描述的热管理系统和至少一个导管,第一和第二电连接件连接到所述至少一个导管。

[0028] 排放系统可选地可包括至少一个阀,诸如,隔离阀。在使用中,热管理系统可至少加热导管和至少一个阀。

[0029] 至少一个导管可被电隔离。至少一个导管可由一个或多个支撑件支撑,所述一个或多个支撑件每个包括电绝缘体,用于使导管电隔离。电绝缘体可包括电绝缘涂层,诸如,特氟隆(RTM)涂层。可选地,或此外,电绝缘体可包括电绝缘构件,用于接触导管。可选地,或此外,每个支撑件可由电绝缘材料构成。

[0030] 排放系统可包括被设置在至少一个导管的相应端部处的第一和第二联接件。第一和第二联接件可被布置,以形成流体紧密密封,例如,以密封导管的入口和出口。第一和第二联接件可每个包括O形环,例如,由弹性体材料或橡胶构成的O形环。第一和第二联接件可每个包括电绝缘联接件。因此,第一和第二联接件可适于使导管电隔离。

[0031] 排放系统可包括热绝缘体,用于使导管热绝缘。例如,排放系统可包括围绕导管被设置的保温层。

[0032] 至少一个导管可由不锈钢构成。至少一个导管可由例如具有更大电阻的其它材料构成。

[0033] 至少一个导管可由磁性材料构成。例如,至少一个导管可包括磁化不锈钢。至少一个导管可由具有大于一(>1)的相对磁导率的磁性材料构成。通过由磁性材料形成至少一个导管,材料的有效电阻将增加,由此促进热力加热。至少一个导管可由铁磁材料构成。

[0034] 根据本发明的其它方面,提供有加热由金属构成的导管的方法,方法包括:

使用发电机,以将交流电流引入到导管,交流电流以高频率被直接引入到导管中,以由焦耳作用加热导管。

[0035] 交流电流可处于大于或等于100赫兹(Hz)的频率。

[0036] 交流电流可处于大于或等于1千赫兹(kHz)的频率。

[0037] 交流电流可处于大于或等于10千赫兹(kHz)的频率。

[0038] 交流电流可处于大于或等于50千赫兹(kHz)的频率。

[0039] 交流电流可处于大于或等于100千赫兹(kHz)的频率。

[0040] 交流电流可处于小于或等于500千赫兹(kHz)的频率。在某些实施例中,交流电流可处于大于500千赫兹(kHz)的频率。

[0041] 交流电流可具有小于或等于以下中的一个的大小:50安培或20安培。

[0042] 导管中的电压小于或等于60伏特,或小于或等于48伏特。

[0043] 方法可包括根据导管的一个或多个参数而修改交流电流的频率。例如,可根据以下参数中的一个或多个而修改交流电流的频率:导管的长度、导管的直径、导管的壁厚度、形成导管的材料的传导性以及由其形成导管的材料。

[0044] 方法可包括监测导管的电阻,以检测故障。方法可包括当电阻超过预定阈值或在预定操作范围之外时检测故障。可根据输出到导管的电流和电压而计算电阻。如果电阻超过预定阈值,则故障检测模块可确定的是,存在有不良或故障的电连接,例如,在导管的子部段之间,和/或在导管和一个或多个电连接件之间。方法可包括连续地监测电阻。可选地,方法可包括周期性地监测电阻,例如,在故障检测模式下。

[0045] 根据本发明的其它方面,提供有非瞬态计算机可读介质,所述非瞬态计算机可读介质具有被存储在其中的指令集合,当被执行时,所述指令导致处理器执行本文描述的方法。

[0046] 本文描述的任何控制单元或控制器可适当地包括具有一个或多个电子处理器的计算装置。系统可包括单个控制单元或电子控制器,或可选地,控制器的不同功能可被实施在或存储在不同控制单元或控制器中。如本文使用的,术语“控制器”或“控制单元”将被理解为包括单个控制单元或控制器以及共同操作的多个控制单元或控制器两者,以提供任何所述控制功能。为了配置控制器或控制单元,可提供适当指令集合,当被执行时,所述指令导致所述控制单元或计算装置实施本文指定的控制技术。指令集合可适当地被嵌入在所述一个或多个电子处理器中。可选地,可提供指令集合,作为被保存在与所述控制器相关联的一个或多个存储器上的软件,以在所述计算装置上执行。控制单元或控制器可被实施在一个或多个处理器上运行的软件中。一个或多个其它控制单元或控制器可被实施在一个或多个处理器(可选地,与第一控制器相同的一个或多个处理器)上运行的软件中。也可使用其它适当布置。

[0047] 在本申请的范围内,明确地旨在的是,在先前段落中、在权利要求中和/或在以下描述和附图以及特别地在其单独特征中阐述的各种方面、实施例、示例和可选例可单独地或以任何组合被采用。即,所有实施例和/或任何实施例的特征可以任何方式和/或组合而组合,除非此类特征不兼容。申请人保留权利,以相应地改变任何原始提交的权利要求或提交任何新的权利要求,包括修改任何原始提交的权利要求的权利,以从属于和/或并入任何其它权利要求的任何特征(虽然原始未在该方面中要求)。

附图说明

[0048] 现在将仅通过示例的方式参考所附附图而描述本发明的一个或多个实施例,其中:

图1显示了用于排放系统的现有技术热管理系统的示意表示;

图2显示了根据本发明的实施例的热管理系统的示意表示;以及

图3是显示电流和频率之间的关系的图表,以对于导管的给定部段耗散固定功率量。

具体实施方式

[0049] 现在将参考所附附图而描述根据本发明的实施例的包括热管理系统(TMS)2的排放系统1。排放系统1适于将包括可凝结固体的过程气体传送到减排装置3,所述减排装置3连接到排放系统1。例如,可提供排放系统1,以运输从化学气相沉积(CVD)过程排出的沉积气体和相关联的粉末。TMS 2被配置为控制排放系统1的温度,以确保的是,化合物保持挥发性,由此防止或抑制可部分或完全堵塞排放系统2的固体累积。将理解的是,TMS 2和排放系统1可用于其它工业过程中。

[0050] 如图2中显示的,排放系统1包括导管4。导管4呈由金属(诸如,不锈钢)构成的管道的形式。例如,导管4可包括具有40mm内部直径的DN40管。导管4可具有约1mm或在某些实施例中高达2mm的壁厚度。例如,导管4可在长度上为10米或更多,并且可遵循盘绕路径。导管4形成基本连续流体路径,用于将排放气体传送到减排装置3。导管4可包括单个长度的管。然

而,导管4通常包括以流体紧密方式连结在一起的多个子部段5-1、5-2。导管4可包括一个或多个弯曲部,以提供到减排装置3的所要求的连接。导管4沿着其长度由多个支撑件6支撑。在本实施例中,支撑件6被配置为使导管4电隔离。在本实施例中,支撑件6每个包括夹具7,所述夹具7具有电绝缘涂层8,诸如,特氟隆(RTM),用于接触导管4的外部表面。在一个变型中,电绝缘插入件(未显示)可被提供在夹具7和导管4之间。在一个变型中,支撑件6可由电绝缘材料形成。

[0051] 入口联接件9被提供在排放系统1的入口10处,并且出口联接件11被提供在排放系统1的出口12处。在本实施例中,提供出口联接件11,以将排放系统1连接到减排装置3。入口和出口联接件9、11每个包括O形环,用于与相关联的部件形成流体紧密密封。此外,根据本发明的方面,入口和出口联接件9、11是电绝缘体。入口和出口联接件9、11可由适当的电绝缘材料形成,可包括电绝缘构件。

[0052] 闸阀13被提供在排放系统1的出口12处。闸阀13是可操作的,以选择性地打开和关闭出口12。闸阀13可被加热,以减少固体的累积。保温层14围绕导管4的外部被提供,以便使导管4热绝缘。

[0053] TMS 2包括电子控制单元(ECU)15和发电机16。ECU 15包括被配置为控制发电机16的操作的至少一个处理器17。提供人机界面(HMI)18,以控制TMS 2的操作。发电机16用于以高频率生成交流电流(AC)。如本文描述的,发电机16可被配置为以大于或等于或等于100赫兹的频率生成AC。TMS 2包括第一和第二电连接件19、20,用于将发电机16连接到导管4。第一电连接件19连接在排放系统1的入口10处或附近,并且第二电连接件20连接在排放系统1的出口12处或附近。在本实施例中,第一和第二电连接件19、20每个包括缆线,所述缆线包括多股单独绝缘的电线,所述电线可扭转或编织在一起(例如,Litz电线)。

[0054] 在使用中,发电机16经由第一和第二电连接件19、20而将高频率电流注入到导管4中。交流电流到导管4中的引入由于焦耳作用而导致加热。当AC被供应到导管4时,电流密度在导体的表面附近最大,因为电流主要在导体的“表皮”中流动。因此,由于增加的电流密度,因此在表面处或附近的加热可更显著。这是由于所谓的“表皮作用”,由此电流主要在导体的“表皮”处流动。“表皮深度”(δ)由以下等式确定:

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{\omega\mu}}$$

其中: δ=表皮深度,

ρ=电阻,

ω=角速度,以及

μ=磁导率。

[0055] 随着AC的频率增加,表皮深度减小。由于表皮深度中的减小(其减小导体的有效截面),因此导体的有效电阻在更高频率的情况下增加。因此,通过增加由发电机16引入的AC的频率,可增加导管4的加热。至少在某些实施例中,以大于或等于或等于100 Hz的频率引入AC提供了导管4的充分加热。然而,发电机16可被配置为以更高频率生成AC,例如,以减小电流的大小(幅度)。

[0056] 根据本发明的方面,TMS 2在导管4内部直接生成热量。因此,TMS 2使用导管4作为加热元件,而不是使用外部加热元件而执行间接加热。现在将描述TMS 2的操作。所耗散的

功率与电流的平方应用到电阻成比例。此关系由以下等式限定：

$$P=I^2R$$

其中：P =功率(瓦特)，

I =电流(安培)，以及

R =电阻(Ω)。

[0057] 图3中显示的图表21中表示了电流和频率之间的关系，以在长度为一(1)米的DN40管中耗散280瓦特的功率。图表21显示的是，增加AC的频率允许了对于实现相同功率耗散所必要的电流的大小中的减小。通过示例的方式，在考虑500kHz的供应频率的情况下，仅需要18A的电流(相较于DC中等同的300A)。此外，电流注入涉及横跨管长度的低电压(小于48V)，这改进了安全性。发电机16可选地也可通过实施小型HF变压器而提供双重绝缘，以便使得TMS 2符合SEMI和EN61010。

[0058] 通过比较的方式，将理解的是，通过将直流电流(DC)供应到导管4的等同加热是不实用的，因为将必须使用非常大的电流。由不锈钢形成的常规DN40导管具有2.7毫欧/米的典型电阻。在考虑沿着该导管(4)的功率密度是0.2W/cm²(对于在长度上为1米的管DN40，等同于280W，如根据图3中示出的示例)的情况下，将必须供应超过300安培的电流。通过由具有更高电阻的金属形成导管(4)，可减小所要求的电流，但这将可能导致更高的成本，并且可呈现附加的挑战，诸如，与过程气体中的化合物的化学兼容性。

[0059] TMS 2可选地可包括一个或多个温度传感器22。由于沿着导管4生成基本一致的温度，因此在某些实施例中，TMS 2可包括单个温度传感器22。温度传感器22可将温度信号S1输出到ECU 15，以提供反馈。ECU 15可由此控制由发电机16供应到导管4的电流，以将导管4维持处于期望操作温度或在期望温度范围内。

[0060] 根据本发明的另一方面，TMS 2可被配置为实施故障检测模式。特别地，TMS 2可被配置为检查包括导管4的电路的完整性。可施加预定电压(V)，并且可测量电流(I)。导管4的电阻(R)可被计算，以确定是否存在有不良电连接，例如，在导管4的子部段之间，或相应地在导管4和第一和第二电连接件19、20之间。如果电阻(R)大于或等于预定阈值或在预定操作范围之外，则TMS 2可指示故障情况。

[0061] 至少在某些实施例中，本文描述的TMS 2可在其使用寿命中提供导管4的有效加热。TMS在集成系统中具有特别应用，因为不再要求对于导管4的接近，以更换TMS 2。在某些实施例中，TMS 2可被认为是免于维护的。

[0062] 本文已特别参考排放系统1而描述了TMS 2。然而，将理解的是，TMS 2可用于其中要求加热导管的其它应用中。例如，TMS 2可用于提供前级管线或阀(诸如，隔离阀)的受控加热。

[0063] 将理解的是，可对于本文描述的TMS 2进行各种改变和修改，而不从本发明的范围脱离。例如，导管4可由磁性材料制成。通过使用磁性材料(具有>1的相对磁导率)用于导管4，可增强表皮作用，由此增加导管4的有效电阻，并且促进加热。

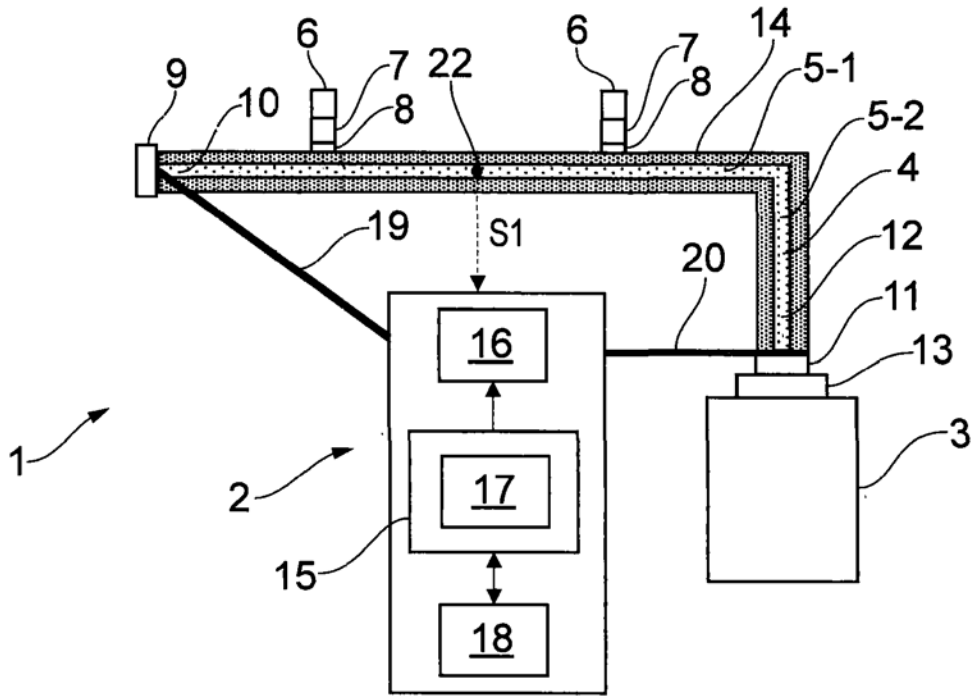


图 2

21

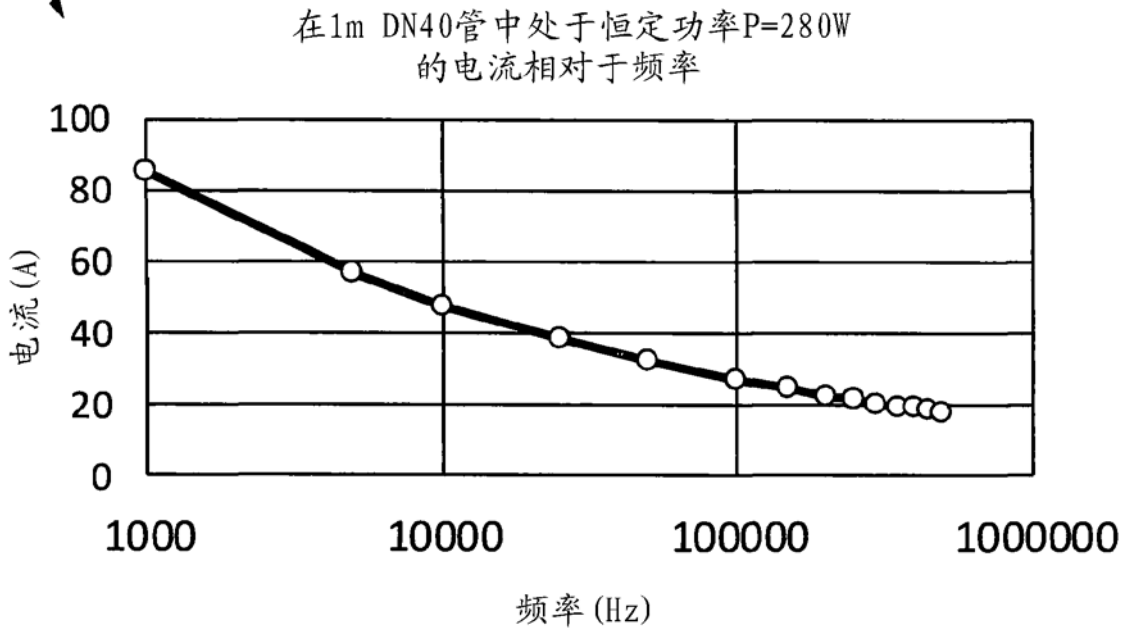


图 3