



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102124419 B

(45) 授权公告日 2014. 03. 05

(21) 申请号 200980131595. 1

(22) 申请日 2009. 06. 29

(30) 优先权数据

12/192, 366 2008. 08. 15 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2011. 02. 14

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2009/048993 2009. 06. 29

(87) PCT国际申请的公布数据

W02010/019322 EN 2010. 02. 18

(73) 专利权人 西门子能源公司

地址 美国佛罗里达州

专利权人 阿肯色州电力电子国际有限公司

(72) 发明人 D. J. 米切尔 A. A. 库尔卡尼

R. 苏布拉马尼安 E. R. 勒施

R. 维茨 R. 舒普巴赫 J. R. 弗拉利

A. B. 罗斯特特 B. 麦菲尔森

B. 维斯特恩

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

代理人 王岳 卢江

(51) Int. Cl.

G05D 23/22(2006. 01)

G01K 7/13(2006. 01)

G08C 15/06(2006. 01)

(56) 对比文件

US 5277495 A, 1994. 01. 11,

US 2005/0174255 A1, 2005. 08. 11,

US 2004/0105484 A1, 2004. 06. 03,

US 2008/0007983 A1, 2008. 01. 10,

EP 0478896 A1, 1992. 04. 08,

审查员 姚千燕

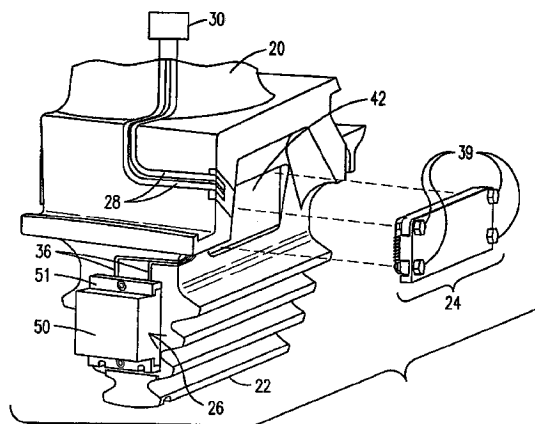
权利要求书3页 说明书13页 附图11页

(54) 发明名称

用于测量高温环境中的温度的无线遥测电路结构

(57) 摘要

一种电路, 固定到发动机的运动部件以用于感测和处理部件的温度。所述电路生成表示由热电偶(110)感测的温度、且由放大器(112)放大的信号。具有温度敏感电容器(C8)的方波振荡器(113)响应于电路的局部温度的变化而改变其频率。斩波器(114, J27)把所述放大器的输出转换成交流信号。斩波器由方波振荡器门控并且第二输入耦合到放大器的输出。因而, 斩波器具有输出信号, 所述输出信号具有表示局部温度的频率以及表示热电偶温度的振幅, 由此组合的信号表示部件的真实温度。



1. 包括遥测系统的内燃式发动机,该遥测系统包括电路结构,所述电路结构固定到所述发动机的运动部件且被设置用于处理关于所述运动部件的温度所感测的信息,所述电路结构适于所述发动机的高温环境且包括:

热电偶,被设置在所述运动部件上用于感测其温度并且提供表示所感测的温度的信号;

放大器,具有耦合到所述热电偶的输出的输入并且被设置用于对表示由所述热电偶感测的温度的信号进行放大;

方波振荡器,被设置用于生成方波信号,所述方波信号具有指示所述电路结构的局部温度的频率;

斩波器,被设置用于把所述放大器的输出信号转换成交流信号,所述斩波器具有耦合到所述方波振荡器的输出的第一门控输入以及耦合到所述放大器的输出的第二输入,所述斩波器具有提供信号的输出,所述信号具有表示所述电路的局部温度的频率以及表示由所述热电偶感测的温度的振幅。

2. 如权利要求 1 所述的内燃式发动机,其中所述方波振荡器包括具有随温度可变的电容的反馈耦合电容器,由此所述电路结构的局部温度的提高造成所述耦合电容器的电容的下降从而造成所述方波振荡器的所述输出信号的频率的可预测提高。

3. 如权利要求 1 所述的内燃式发动机,其中所述方波振荡器包括差动放大器,所述差动放大器具有耦合在所述差动放大器的输入和输出之间的 RC 反馈网络并且具有耦合在所述 RC 反馈网络和所述差动放大器的所述输出之间的电容器,其中所述电容器具有温度敏感电介质使得其电容响应于温度的改变而成比例地改变,从而响应于温度的改变而改变所述方波信号的频率。

4. 如权利要求 3 所述的内燃式发动机,其中所述电容器的电介质被分类为 X7R。

5. 如权利要求 1 所述的内燃式发动机,进一步包括用于把所述感测的信息发送到在所述发动机外部的接收机的、包括电压受控振荡器的结构,所述电压受控振荡器具有被设置用于从所述斩波器接收所述交流信号的输入以及用于产生表示由所述热电偶感测的温度的无线电频率信号,所述无线电频率信号耦合到天线以发送到远离所述发动机的接收机。

6. 如权利要求 5 所述的内燃式发动机,进一步包括用于缓冲所述无线电频率信号的耦合在所述电压受控振荡器和所述天线之间的缓冲器。

7. 如权利要求 5 所述的内燃式发动机,其中所述电压受控振荡器包括用于设置参考载波频率的 Colpitts 振荡器。

8. 如权利要求 7 所述的内燃式发动机,其中所述 Colpitts 振荡器包括与电路节点处的一对串联耦合的电容器并联的电感线圈。

9. 如权利要求 8 所述的内燃式发动机,其中所述电感线圈包括在支承所述电路的印刷电路板上直接形成的导线线圈。

10. 如权利要求 7 所述的内燃式发动机,其中所述 Colpitts 振荡器包括作为变容二极管以反向偏置配置且与所述电路节点和地电位之间的所述电容器之一并联耦合的氮化镓(GaN) LED 二极管。

11. 如权利要求 1 所述的内燃式发动机,进一步包括用于给电路结构提供直流功率的交流功率调节电路,所述交流功率调节电路包括整流二极管阵列、滤波电容器和温度补偿

电压调整器,每个温度补偿电压调整器包括:

第一晶体管,与所述滤波电容器并联耦合并且具有通过一对电阻器耦合到地电位的源极端子且具有耦合到所述对电阻器之间的接点的栅极端子,所述对电阻器中的第一电阻器具有零电阻系数、耦合在所述源极端子和所述接点之间而所述对电阻器中的第二电阻器具有正电阻系数、耦合在所述接点和地电位之间,由此所述第一晶体管和所述对电阻器充当恒流源;

第二晶体管,与所述交流功率调节电路的正输出串联耦合并且具有耦合到所述对电阻器之间的接点的栅极端子,由此所述第二晶体管的所述栅极端子上的偏置电压根据温度改变而偏移,从而使所述第二晶体管两端的电压降在温度改变的范围内恒定。

12. 如权利要求 11 所述的内燃式发动机,其中在所述交流功率调节电路中所述对电阻器中的所述第一电阻器包括氮化钽。

13. 如权利要求 11 所述的内燃式发动机,其中在所述交流功率调节电路中所述对电阻器中的所述第二电阻器包括铂。

14. 如权利要求 11 所述的内燃式发动机,其中在所述交流功率调节电路中所述对电阻器中的所述第一电阻器具有负电阻系数且包括碳化硅。

15. 如权利要求 11 所述的内燃式发动机,其中在所述交流功率调节电路中所述对电阻器中的所述第二电阻器具有零电阻系数且包括氮化钽。

16. 包括遥测系统的内燃式发动机,该遥测系统包括电路结构,所述电路结构固定到所述发动机的运动部件且被设置用于处理关于所述运动部件的温度所感测的信息且用于把所述感测的信息发送到在所述发动机外部的接收机,所述电路结构适于所述发动机的高温环境且包括:

热电偶,被设置在所述运动部件上用于感测其温度并且提供表示所感测的温度的信号;

放大器,具有耦合到所述热电偶的输出的输入并且被设置用于对表示由所述热电偶感测的温度的信号进行放大;

方波振荡器,被设置用于生成方波信号且包括反馈耦合电容器,所述方波信号具有指示所述电路结构的局部温度的频率,所述反馈耦合电容器具有随温度可变的电容,由此所述电路结构的温度的提高造成所述耦合电容器的电容的下降从而造成所述方波信号的频率的可预测提高;

斩波器,被设置用于把所述放大器的输出信号转换成交流信号,所述斩波器具有耦合到所述方波振荡器的输出的第一门控输入以及耦合到所述放大器的输出的第二输入,所述斩波器具有提供信号的输出,所述信号具有表示所述电路结构的局部温度的频率以及表示由所述热电偶感测的温度的振幅;以及

电压受控振荡器,具有被设置用于从所述斩波器接收所述交流信号的输入以及用于产生表示由所述热电偶感测的温度的无线频率信号,所述无线频率信号耦合到天线以发送到远离所述发动机的接收机。

17. 如权利要求 16 所述的内燃式发动机,其中所述方波振荡器包括差动放大器,所述差动放大器具有耦合在所述差动放大器的输入和输出之间的 RC 反馈网络并且具有耦合在所述 RC 反馈网络和所述差动放大器的所述输出之间的电容器,其中所述电容器具有温度

敏感电介质使得其电容响应于温度的改变而成比例地改变,从而响应于温度的改变而改变所述方波信号的频率。

18. 如权利要求 17 所述的内燃式发动机,其中所述电容器的电介质被分类为 X7R。

19. 如权利要求 16 所述的内燃式发动机,其中所述电压受控振荡器包括用于设置参考载波频率的 Colpitts 振荡器,所述振荡器包括与电路节点处的一对串联耦合的电容器并联的且包括在支承所述电路的印刷电路板上直接形成的导线线圈的电感线圈。

20. 如权利要求 19 所述的内燃式发动机,其中所述 Colpitts 振荡器包括作为变容二极管以反向偏置配置且与所述电路节点和地电位之间的所述电容器之一并联耦合的氮化镓(GaN) LED 二极管。

用于测量高温环境中的温度的无线遥测电路结构

[0001] 关于联邦政府资助研发的声明

[0002] 对本发明的研发部分得到由国家标准和技术研究所颁发的合同号 70NANB4H3042 的支持。因而,美国政府可以具有本发明的某些权利。

技术领域

[0003] 本发明一般地涉及用于测量部件温度的无线遥测电子电路并且特别地涉及能够在超过 300°C 的高温环境中操作且能够承受高达至少 1000g's 的力的电子电路。

背景技术

[0004] 在操作的燃气涡轮发动机内部的温度极其高,往往处于超过 450°C 的水平。当期望监视涡轮机的部件(诸如涡轮机叶片)的内部温度或者监视在操作期间施加于此类部件上的应力时,要求特殊的感测、放大和发送电路。针对这个问题的有效解决方案是使用无线遥测,诸如在公开的题为 SMART COMPONENT FOR USE IN AN OPERATING ENVIRONMENT 的美国专利申请公开号 US 2005/0198967 A1、或者题为 INSTRUMENTED COMPONENT FOR COMBUSTION TURBINE ENGINE 的美国申请号 11/936,936 以及题为 INSTRUMENTED COMPONENT FOR WIRELESS TELEMETRY 的申请号 11/521,193 中揭示的无线遥测。

[0005] 在这些上面引用的专利申请中,揭示了使用无线遥测的一般概念。本专利申请应对在实施这种技术中遇到的具体问题。

[0006] 可以承受高温的无线遥测电路板和其上的部件可以实现在诸如在内燃式燃气涡轮发动机中经历的那些之类的高温环境中从固定和运动部件中提取数据。电子电路提供了在涡轮发动机(诸如工业燃气涡轮机、航空发动机以及在石油与天然气工业中使用的涡轮机)的操作期间实时监视部件状况的可能性。知道涡轮机中的部件的状态提供许多益处,包括基于内部发动机参数来优化涡轮机操作以及实现基于状况的维护。通过使用监视设备,可以实现先进涡轮发动机的操作成本的显著降低。对涡轮机部件仪表化的当前实践涉及把传感器安装到部件、把引线铺到路由器并且把大捆引线在涡轮机之外长距离地带到监视位置。该过程是缓慢的、劳动密集型的、昂贵的,并且要求修改涡轮机的许多部件以便允许包括所有引线。

[0007] 为了实现从这种传感器系统提取数据的优点,可能要求把数据发送机(transmitter)放置在热部件的最冷区域上。这可能导致需要将诸如在涡轮发动机的流道中的叶片根部处在超过 300°C 的温度下运行的无线遥测系统。使用硅或绝缘体上硅(silicon-on-insulator, SOI)有源部件的目前工艺水平的电路不能够在此类高温下操作。这种无线遥测电路板将要求能够在超过 300°C 的温度下操作的封装、板、路线(run)、无源设备、有源设备以及连接。

发明内容

[0008] 本发明涉及在用于内燃式发动机的遥测系统中的一种电路结构,固定到所述发动

机的运动部件且被设置用于处理关于所述运动部件的温度所感测的信息,所述电路结构适于所述发动机的高温环境且包括:热电偶,被设置在所述运动部件上用于感测其温度并且提供表示所感测的温度的信号;放大器,具有耦合到所述热电偶的输出的输入并且被设置用于对表示由所述热电偶感测的温度的信号进行放大;方波振荡器,被设置用于生成方波信号,所述方波信号具有指示所述电路结构的局部温度的频率;斩波器,被设置用于把所述放大器的输出信号转换成交流信号,所述斩波器具有耦合到所述方波振荡器的输出的第一门控输入以及耦合到所述放大器的输出的第二输入,所述斩波器具有提供信号的输出,所述信号具有表示所述电路的局部温度的频率以及表示由所述热电偶感测的温度的振幅。

附图说明

[0009] 鉴于附图,在以下的描述中解释本发明,所述附图示出:

[0010] 图 1 是示出包括遥测电路板的电子器件的附着的示例性涡轮机叶片的部分透视图。

[0011] 图 2 是示出图 1 的发送机组件的元件的分解透视图。

[0012] 图 3 是示出包含在图 2 的发送机组件外壳中的高温电子器件封装(electronics package)内的元件的分解图。

[0013] 图 4A 示出用于在组装操作期间固定电路板的转移板(transfer plate)的平面图和侧视图。

[0014] 图 4B 示出待与图 4A 的转移板一起用于在组装操作期间把部件固定在适当位置的对准板的平面图。

[0015] 图 5A、5B 和 5C 是使用图 4A 和 4B 的转移板和对准板的组装过程的透视图。

[0016] 图 6A 和 6B 是在半导体技术中通常使用的导线接合技术的视图。

[0017] 图 7 是示出典型导线接合的 g 力分析的透视图。

[0018] 图 8 示出在模拟 g 力应力下的导线接合的各种状况。

[0019] 图 9A 是示出对本文使用的放大器电路偏置(bias)的独特电路的示例性示意图。

[0020] 图 9B 是示出在变化的温度下图 9A 的放大器的 AC 输出电压相对于偏置电压的图表。

[0021] 图 10 是应变计电路的框图。

[0022] 图 11 是热电偶(thermocouple)电路的框图。

[0023] 图 12 是用于放大应变计输出信号的电路的示意图。

[0024] 图 13 是用于放大热电偶输出和把发送机的局部(local)温度嵌入到放大的输出信号中的电路的示意图。

[0025] 图 14 是功率调节电路的示意图。

[0026] 图 15 是包括 Colpitts (科耳皮兹)振荡器的 FM 发送机的示意图。

[0027] 图 16 是代表性热电偶的图示。

[0028] 图 17 是示出在室温下热电偶电路的方波发生器的输出的波形图。

[0029] 图 18 是示出在升高温度下热电偶电路的方波发生器的输出的波形图。

[0030] 图 19 是示出随着温度增加时热电偶的输出电压的波形图。

[0031] 图 20 是示出斩波器的输出的波形图,所述斩波器的输出是热电偶和方波发生器

的组合输出。

具体实施方式

[0032] 本文公开的实施例实现了通过使用电子电路经由无线遥测从具有从环境到大于 300°C 变化且包括高达至少 450°C 的温度在内的温度的燃气涡轮机的区域发送数据。封装和电路的所有元件因此要由能够在大于 300°C 的温度下操作的材料制作。目前工艺水平的高温电子系统被设计成使得控制逻辑电路放置在冷得足以使用基于硅的电子器件或者能够在高达最大 300°C 的升高温度下操作的高温绝缘体上硅 (HTSOI) 技术的位置处。在这种目前工艺水平的系统中, 控制信号从相对低温的区域经由导线发送到位于处在大于 300°C 下的热区域中的功率放大模块。功率放大模块是一种如下电路: 其将采用针对高温使用设计的半导体, 诸如宽带隙 (band gap) 半导体材料, 包括 SiC, AlN, GaN, AlGaIn, GaAs, GaP, InP, AlGaAs, AlGaP, AlInGaP 和 GaAsAlN 或者其它可以在大于约 300°C 的温度下使用的具备耐高温能力的半导体材料。这种设计策略对于在诸如燃气轮机叶片之类的旋转热断面部件上采用仪表装置是无用的, 因为整个发送机电子电路必须位于涡轮机叶片上并因而在超过 300°C 的温度下操作。本文揭示了新的电子电路, 其在大于 300°C 且包括高达至少 450°C 的温度在内的温度下实现传感器信号采集和无线发送二者。

[0033] 所揭示的电子电路和封装因此由能够在高温下操作的材料制作, 例如具备耐高温能力的环氧树脂或陶瓷材料, 诸如氧化铝、氧化锆、碳化硅、氮化硅、氮化铝等。导体由可以承受高温而不熔化的金属制作, 例如银或金。有源和无源电气部件必须基于该板将操作于其中的温度环境和电气要求进行选择。可以采用高温无源部件, 诸如基于诸如钽、钒、铌、镧、多层陶瓷电容器 (诸如 NP0、COG 和 X7R) 之类的系统的厚膜电阻器。如果市场上买不到合适的电感器, 则具备耐高温能力的电感器可能需要直接沉积到支承电子电路的 PC 板上。有源部件, 即晶体管、二极管等, 可以由能够在高温下操作的半导体材料 (诸如上面列举的那些) 制作。部件和电子电路之间的连接同样可以以管芯附着、导线接合或者任何其它适当的方法的形式由高温金属 (诸如金或铝) 制成。在其中超过单片高温接合材料的限制的情况下, 可以使用合金成分来执行附着。为了降低这些设备在附着期间所暴露于的温度, 共晶合金成分可以用于附着, 接着是热处理以把附着成分改变为具有较高熔化温度的附着成分。该板上的所有材料必须被选择成使得暴露于所需的操作温度不会导致使该板性能降级的化学相互作用或成分 / 结构变化。依据本公开, 使用当前买得到或处于研发的高温无源和有源电子材料的类型, 设计了能够从热电偶或应变计传感器发送信号的完整电路。

[0034] 参考图 1, 本发明的实施例允许从在具有超过 300°C 的温度的环境中操作的旋转部件 (诸如具有位于叶片根部 22 上的某些电子部件的涡轮发动机叶片 20) 发送传感器数据。就本文的公开而言, 没有附加限定条件的术语 “高温” 将指代任何操作环境, 诸如燃式涡轮机的各部分内具有超过 300°C 的最大操作温度的操作环境。

[0035] 本发明的实施例提供在仪表化有遥测系统的燃式涡轮机中使用的部件, 所述遥测系统可以包括一个或多个传感器、连接传感器与至少一个遥测发送机电路的引线 (lead line)、至少一个发送天线、电源以及至少一个接收天线。图 1 示出涡轮机叶片 20、无线遥测发送机组件 24 以及旋转天线组件 26。当邻近叶片根部 22 安装遥测发送机组件 24 时, 引线或连接器 28 可以从一个或多个传感器 (诸如传感器 30) 延伸到遥测发送机组件 24。引线

28 可以把电子数据信号从传感器 30 路由到遥测发送机组件 24, 在遥测发送机组件 24 中信号由形成在包含在图 2 所示的电子器件封装 34 内的电路板上的遥测发送机电路处理。引线或电气连接器 36 可以被沉积用于把电子数据信号从遥测发送机电路路由到旋转天线组件 26。

[0036] 图 2 示出可以包含高温电路板且形成遥测发送机组件 24 的部件的高温电子器件封装 34。电子器件封装 34 的主体可以由具有低热膨胀系数的合金(诸如 Kovar[®] 品牌合金、Fe-Ni-Co 合金)制作。Kovar[®] 合金的热膨胀系数根据确切成分而从大约 $4.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 变化到 $6.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。通常用于高温涡轮机部件(诸如涡轮机叶片 20)的 Ni 基合金具有在大约 $15.9\text{--}16.4 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 的范围中的热膨胀系数。电子器件封装 34 可以稳固地固定在适当位置同时允许电子器件封装 34 和涡轮机叶片 20 之间的相对运动, 如下面针对图 2 所描述的。这种相对运动可能由在环境空气温度和通常邻近叶片根部 22 所经历的大于 300°C 的操作温度之间的大量热循环期间随着时间而发生的其不同热膨胀率引起。

[0037] 如图 2 最佳所示的遥测发送机组件 24 可以包括安装支架 37 和盖子或盖板 38, 其中电子器件封装 34 定位在其间。多个连接针(pin)40 实现在包含在封装 34 内的电子电路板(诸如在其上制作有无线遥测电路的电子电路板)和各种外部设备(诸如来自传感器的引线、感应线圈组件或数据发送天线)之间的连接。安装支架 37、盖板 38 以及把它们连接在一起的定位螺丝 39 (示于图 1 中)可以由与涡轮机叶片 20 相同的材料制作。这确保在涡轮机叶片 20 和安装支架 37 之间没有热膨胀差别。因而, 在热瞬态期间在安装支架 37 或涡轮机叶片 20 中没有生成应力。

[0038] 电子器件封装 34 的热膨胀系数可以与安装支架 37 的热膨胀系数不同。当这些部件存在于其内的操作系统处于高温时, 包括其中包含的任何电路板的由 Kovar[®] 合金形成的电子器件封装 34 将比安装支架 37 膨胀得小, 这可能导致由系统中的振动能量造成的损坏。为了把电子器件封装 34 固定在安装支架 37 内以适应支架 37 和电子器件封装 34 之间的尺寸变化差异, 可以在电子器件封装 34 和安装支架 37 的内表面之间放置一层陶瓷纤维机织物 41。织物 41 可以由合适的陶瓷纤维制作, 包括诸如碳化硅、氮化硅或氧化铝之类的纤维。例如, 由 3M 制造的一些 Nextel[™] 基于氧化铝的织物可以用于织物 41。

[0039] 其中电子器件封装 34 和陶瓷纤维机织物 41 与安装支架 37 和盖板 38 一起组装以形成遥测发送机组件 24, 安装支架 37 可以通过合适的附着手段诸如螺栓连接、焊接、铜焊或者经由瞬态液相接合而附着到涡轮机叶片 20。图 1 示出可以邻近叶片根部 22 研磨或以其它方式形成于涡轮机叶片 20 内用于容纳组件 24 的凹口或扁平口袋 42。

[0040] 盖板 38 可以形成有与 G 力方向垂直定向的凸缘 44, 以给盖板增加结构支承, 这对抗在旋转涡轮机叶片 20 正在全速操作时发生的 g 负荷力(load force)。这使定位螺丝 39 免于承载经由 g 力施加到盖板 38 的负荷, 并且允许它们制得足够小使得遥测发送机组件 24 装配在相对小的凹口 42 中且不干扰任何相邻的部件。如果要求定位螺丝 39 承载由 G 力施加的负荷, 则它们所需的大小将太大而不能装配在可用的空间中。

[0041] 图 1 示出旋转天线组件 26 可以固定到根部 22 的端面或颈部。组件 26 可以是具有与用于涡轮机热气路部件(诸如包括其根部 22 的涡轮机叶片 20)的 Ni 基合金的那些热膨胀系数不同的热膨胀系数的电子组件。可以保护一个或多个旋转天线组件 26 以在涡轮机叶片 20 以声速或接近声速旋转期间不受风阻(windage)。在实施例, 风阻保护材料对

RF 辐射频率是透明的以便实现通过材料发送功率和数据。可旋转天线组件 26 的实施例可以包括图 1 所示的耐用的保护性 RF 透明盖 50, 这基本上是其内包含数据天线和感应功率部件的中空夹具。RF 透明盖 50 保护其内含物以在燃式涡轮机的操作期间不受风阻的物理效应。某些陶瓷适合于保护 RF 发送装置不受处于升高温度的元件影响。然而, 许多陶瓷和陶瓷基质复合物易于在旋转涡轮机叶片 20 在燃式涡轮机的操作期间经历的振动冲击和 G 负荷下剥落(chipping)和破裂。本发明的发明人已确定 RF 透明盖 50 可以由 RF 透明的高韧性的结构陶瓷材料制作。陶瓷基质复合物可以用于制作盖 50 以及从被称为增韧陶瓷的材料族中选择材料。诸如碳化硅、氮化硅、氧化锆和氧化铝之类的材料由于掺杂有附加元素或者由具体的处理方法产生的设计微结构而获得提高的韧性。

[0042] RF 透明、容易形成且相对廉价的一种此类材料是从一般称为氧化锆增韧氧化铝(ZTA)的陶瓷族中选择材料。从这个氧化铝材料族中选择的陶瓷材料比常规的纯氧化铝材料在强度和韧性方面高得多。这起因于通过遍及氧化铝均匀地采用精细的氧化锆颗粒而获得的应力诱导相变增韧。典型的氧化锆含量在 10% 和 20% 之间。结果, ZTA 相对于常规的纯氧化铝材料提供提高的部件寿命和性能。

[0043] 当陶瓷被受压负荷时, 设计的 ZTA 微结构是抗断裂的。然而, 如果被充分受拉负荷, 则陶瓷与传统的陶瓷材料一样将致命失效。因而, RF 透明盖 50 被设计成使得在燃式涡轮机的操作期间最小化陶瓷材料中的拉应力。这是通过设计和制作使得如下而实现的: (1) 加工 ZTA 部件的所有拐角、边缘和弯曲以消除尖锐拐角和边缘, 以便降低这些位置处的应力集中因数; 以及 (2) ZTA 部件在旋转天线安装支架 51 中的定向和装配是使得在操作期间施加到 ZTA 盒的 G 力不在附着凸缘中生成显著的弯曲应力。这是通过使凸缘定向成与 G 负荷方向平行而不是与 G 负荷方向垂直而实现的, 因此 ZTA 凸缘被受压负荷而不是受弯曲负荷。

[0044] 安装支架 51 可以被设计成使得在燃式涡轮机的操作期间由旋转天线组件 26 所经历的所有 G 负荷在朝支架 51 的上端延伸的方向上被吸收。安装支架 51 的部分并没有延伸远得足以经过其中包含的天线从而衰减 RF 发送数据信号。RF 透明盖 50 被固定在适当位置因此其内部应力场主要是压缩的并且可以使用螺纹针(未示出)通过其凸缘上的半圆形草皮(divot)来保持。

[0045] 安装支架 51 可以经由常规的手段诸如焊接、铜焊、接合、螺栓连接或螺丝接合而附着到涡轮机叶片 22 的表面。旋转天线组件 26 的实施例可以通过把期望的天线放置到包含天线的利用陶瓷灌封材料的盖 50 的中空体中进行组装。包含天线的灌封 RF 透明盖 50 然后可以滑到安装支架 51 中, 所述安装支架 51 可以先前已固定到涡轮机叶片根部 22。盖 50 可以经由安装支架 51 中插入的针和盖 50 中的草皮而固定到安装支架 51。

[0046] 现在参考图 3, 示出分解图, 其示出在图 2 的外壳 24 内包括的高温电子器件封装 34 内的元件。封装底部空腔 34A 包括从其一端延伸的电气连接针 40, 该连接器实现在封装 34 内部的电子器件和外部传感器、源及天线之间的通信。为了在高达至少 450°C 的高温下运行, 该封装必须被设计且大小被制成包含电子电路及其衬底(在下文中为 PC 板 42)。该封装必须能够承受温度和离心负荷要求并且保护衬底上的电路。因此, 封装 34 由镀金的 Kovar[®] 合金制成并且电气连接针 40 由金制成。对封装 34 的镀金防止可能在升高温度下发生的 Kovar[®] 合金的氧化。连接器 40 借助于各个绝缘套管(未示出)而与该封装绝缘。一对

针 40 耦合到与传感器 30 通信的电气连接器 28。第三针耦合到地电位,而针 4、5、6 和 7 耦合到电源(两个,每个用于正和负交流)。最后针用于把发送机输出(数据)信号耦合到天线 26。

[0047] PC 板

[0048] PC 板 42 或衬底优选地由能够在高温下操作的材料制作,诸如具备耐高温能力的环氧树脂或陶瓷材料,诸如氧化铝、氧化锆、碳化硅、氮化硅、氮化铝等。电路路线(或“印刷电路”)优选地由在高温下工作的金属(诸如银或金)制作。发明人选择一种使用氧化铝衬底来制作 PC 板 42 的一个实施例的厚膜工艺。氧化铝衬底金属化有厚膜金膏。这些衬底在高温下很好地执行并且与(下面讨论的)管芯附着工艺非常兼容。杜邦 QG150 品牌金膏被选择作为金属化。该膏包括高密度金粉末与玻璃氧化物粘合剂。PC 板可以由 10-100 密耳(mil)厚度的氧化铝形成。最终衬底包括测量为 20 mil 厚的 96%氧化铝衬底。高密度金膏被用作导电层,并且也被用作能够与其焊接和导线接合的表面。印刷能力允许 5 mil 的线分辨率。

[0049] PC 板 42 通过如上文中概述的以下工艺来组装。利用厚膜丝网印刷工艺来制备衬底。专门的丝网印刷机结合图案化的不锈钢精细筛网一起使用。金膏被印刷到氧化铝(Al_2O_3)衬底上。在印刷之后,在 150°C 下在烤箱中使该膏变干以“烤出”膏中的溶剂。接着,衬底被放置在炉子中并且在 850°C 下烧制(fire)。在这个过程期间,膏中的玻璃/氧化物粘合剂形成在烧结膏和氧化铝衬底之间的强接合。多个印刷要求多个烧制步骤。依据一个实施例,采用两个印刷/烧制循环(顶侧金属化和底侧金属化)。

[0050] 经烧制的衬底然后用切割锯被切出至适当的尺寸。顶部印刷在其上形成了电路图案,而底部印刷是由于印刷性限制而被“网格化”的金属平面。后金属平面将允许在其上执行冶金接合工艺。

[0051] 一旦 PC 板 42 完成并且部件附着到其上(在下文中描述),PC 板然后被放置到空腔 34A 中并且 12 开金线 44A、44B 被激光焊接到 PC 板和用于形成保持器(retainer)的空腔以把 PC 板固定在适当位置。把衬底机械地保持在封装中极其重要,因为高 g 力施加在封装及其内含物上。保持器可以由具有在封装的热膨胀系数的 20% 内的热膨胀系数的材料形成以便最小化其间的差异热生长。可行的是把填料材料添加到封装 34 中并且使其在 PC 板和电路部件上扩展以在操作期间帮助稳定其放置。然而,使用的任何填料必须允许部件及其连接导线在温度循环期间的任何膨胀或收缩。最后,盖子 34B 固定到空腔 34A 的顶部。依据一个实施例,Kapton® 品牌聚酰亚胺绝缘胶带用于把盖子 34B 保持在适当位置,直到其可以通过压缩被机械地固定为止。用于固定盖子 34B 的另一个实施例是把其焊接到封装空腔 34A。

[0052] 如下面将更详细描述,可以使用 PC 板 42 的两个不同电路布局图案。第一图案被设计用于感测涡轮机的选择部件的温度变化的电路,其中传感器 30 是热电偶。指示部件温度的信号被电路放大和处理,然后经由 FM 发送机发送并且经由诸如天线 26 的天线广播。这种类型的电路可以用于除了测量温度的那些传感器之外的、但其也产生直流(D/C)输出信号作为响应的传感器,诸如静应变、导电迹线或化学传感器。第二图案被设计用于感测在涡轮机的选择部件上发生的动态应变的电路,其中传感器 30 是应变计。指示在选择部件上发生的动态应变的信号被电路放大和处理,然后经由单独的 FM 发送机发送并且经由诸如

天线 26 的天线广播。这种类型的电路可以用于除了测量动态应变的那些传感器之外的、但其也产生交流(A/C) 输出信号作为响应的传感器, 诸如加速计或电磁波反射检测器。可选的实施例使用单个 FM 发送机, 所述单个 FM 发送机复用多个信号以发送到单个 FM 接收机, 所述单个 FM 接收机被配置成把接收的信号解码成两个单独的数据信号。如图 3 所示的 PC 板 42 在图示中是部分完整的并且一般表示热电偶电路。两个电路都包括作为 FM 发送机的 Colpitts 振荡器的部分储能电路的露天芯线(open air core wire)电感器线圈 L1, 这将在下面本文中进一步解释。线圈 L1 的品质因数 Q 在电路的操作温度和操作频率下可以至少为 5。溅射的金或银膏材料可以用于形成该线圈; 然而, 此类膏通常具有低 Q 值。本发明人已成功地利用金或银导线来形成电感器线圈。金属导线空气芯导体可以沿其长度被灌封(pot) 以防止在高频下电气短路。绝缘胶带可以缠绕在其中其自身交叉的灌封导线上以便防止电气短路。可选地, 金属导线可以在其交叉点处形成为桥(bridge) 以便防止电气短路。为了提高这种线圈的机械强度和稳定性, 可以在导线周围放置灌封材料, 尽管任何这种灌封材料将必然影响线圈的 Q 因数。在一个实施例中, 用陶瓷氧化铝膏悬浮液(诸如 Ceramabond® 品牌陶瓷粘结剂) 灌封的金导线提供在燃气轮机操作温度和 G 力下期望程度的结构稳定性并且提供大于 5 的 Q 因数。这种基于氧化铝的灌封也充当线圈的电气绝缘体, 因此在导线自身周围不要求单独的电气绝缘。

[0053] 管芯 / 部件附着

[0054] 为了使电子封装在高达至少 450°C 的升高温度下运行且承受大于 1000g's 的离心负荷, 要满足特殊的要求以把部件附着到 PC 板 42。在真空烤箱中执行所有接合以确保焊料的正确回流。发明人明白在被焊接的部件具有微小质量时可能遇到的主要问题。如果部件的质量很小, 则可能不能在液体合金形成珠状时打破液体合金的表面张力, 并且部件部分可能离开焊料并滑到另一个位置, 或者其可能以一角度倾斜(称作“元件竖立(tomb-stoning)”)。

[0055] 为克服这个问题, 本发明人研发了一种利用在真空烤箱的加热夹具中装配的部件对准模板和转移板的方法。转移板 60 以平面图和正视图示于图 4A 中并且一对部件对准板 61 和 62 也以平面图示于图 4B 中。图 4A 示出在组装图 3 所示的 PC 板 42 中使用的转移板 60 的平面图和端视图。该板由石墨制成并且大小被定制且被整形以容纳衬底(PC 板) 和对准板 60、61 以对准在组装操作期间要附着到 PC 板的部件。对准板 60、61 必须能够承受高温、必须与焊料不发生反应且耐焊料, 并且能够定义部件的高度精确的剪切块(cutout)。因而, 合金 316 不锈钢可以用于制作这些板。由于剪切块的小尺寸和对高精度的需要, 激光切割可以用于制作。

[0056] 下一关注是用于把部件附着到 PC 板 42 的焊料的配制。材料必须与管芯金属化部(Au 薄膜) 和衬底金属化部(Au 厚膜) 兼容。

[0057] 铜焊是一种涉及在两个浸润表面之间熔化高温填料金属的相对简单工艺, 由于以下三个主要因数而发现铜焊对本应用而言是不到最优的: (1) 大多数铜焊具有在 700°C 之上的液线温度并且要求高腐蚀性焊剂; (2) 大多数铜焊合金不是共晶的并且具有很大的塑性区域, 这可能使处理复杂化; 以及 (3) 大多数铜焊不与金表面兼容。

[0058] 发明人也发现瞬态液相(TLP)接合是不到最优的。在这个过程中, 在两个兼容表面之间使低熔点合金液化。在合金填充在贴合表面之间的间隙时, 其用来“溶解”或“滤除”兼

容金属。这个动作改变了合金的成分,从而使填料的熔点偏移,导致凝固和极高质量接合。这个过程的主要要求在于被接合的表面要厚而熔化的合金层极薄。当这个过程被应用于镀薄膜(20微米厚)和厚膜(25微米厚)衬底时,发明人发现结果与许多未通过验收要求的很大不一致性。

[0059] 发明人发现利用纯金的固态扩散过程对本应用而言是有用的。在这个过程中,没有利用液态金属。作为代替,金的快速自扩散属性用于产生两个纯金表面之间的很高质量接合。虽然可以不用填料材料来执行固态扩散,但是它通常要求很高压力以把面对表面压缩在一起从而获得合适的接触面积。代替这种压力,发明人选择金填料材料来填充接合表面之间的间隙。研究了金箔和粉末两者,其中粉末证明是更好的选项,原因在于其既填充间隙又在加热时由于烧结而形成固体同质层的能力。烧结是一种利用扩散把两个小颗粒一起联接为固体基质的过程。这一般是在升高温度下执行的以提高扩散速率。虽然可以用金粉末来执行固态扩散过程,但是还发现金膏更容易用于本应用中。可以通过许多方法(包括滴涂(dispensing)、冲压和丝网印刷)来涂敷膏。金膏和金粉末之间的主要差别在于膏具有:有机载体(诸如聚合物、萘品醇或乙二醇醚),其充当转移介质使得可以容易地涂敷粉末;以及表面活性剂,其用来分离粉末直到期望接合为止。

[0060] 选择许多金厚膜膏进行使用。虽然膏具有将不提供与纯金层的粘接的其它添加剂(基于氧化物的粘结剂和玻璃粉),但是它们与氧化铝衬底和厚膜金金属化部兼容。另外,这些膏容易获得,包含小高纯金粉末,并且被设计用于容易的涂敷。虽然许多金膏已证明兼容,但是表现最佳的选项发现是杜邦QG 150,其是具有可获得最高金成分的膏。这是用于金属化衬底的相同膏,并因而与整个系统非常兼容。在这个过程中,用少量的QG 150金膏把管芯和部件放置在金金属化的衬底上。然后把组件放置在400℃的烤箱中达12小时。在这个时间期间,在邻近的金颗粒之间以及在颗粒和接合表面之间发生金-金扩散。所得到的接合很强且能够承受远远超过500℃的温度。另外,该过程是简单的、快速的、可重复的,并且可以对很小的部件执行。

[0061] 现在参考图5A,5B和5C,示出用于在电路板上对准和组装部件的转移板的透视图。首先,衬底或PC板42放置在转移板60的空腔中。接着,对准板61、62放置在衬底上。然后把部件附着金膏放置在对准板的开口中并且然后把部件放置在对准板61、62的开口中进行组装操作。转移板60连同衬底、对准板、金膏和部件一起夹在加热的石墨板65之间,如图5C所示。接着把组件放置在400℃的烤箱中达12小时。在这个时间期间,发生金-金扩散,并且管芯和部件在大于500℃的温度下以高剪切强度保持附着。由正确地对准管芯和部件的取放机器使得该过程可重复。

[0062] 导线接合

[0063] 导线接合是在许多电子应用中使用的标准方法;然而,发明人不知道把它们用于使它们经受这种高剪切力(即g负荷)同时处于高温的环境中。现在参考图6A和6B,示出通常用于半导体领域中的导线接合技术。图6A示出接合导线的每端的脚部和跟部,而图6B示出术语“环路高度(loop height)”和“接合长度”。图7是示出典型导线接合的g力分析的透视图,其中从四个不同方向施加g力。首先,在标记为X和-X方向的横跨导线接合的相对方向上(即在平行于导线的方向上)存在两个可能力,然后在标记为Z和-Z方向的进入导线接合的相对方向上(即在垂直于导线的方向上)存在两个可能力。图8示出导线接合的

图示,示出导线在这些各个方向上的模拟 g 力应力下的变形。用于连接集成电路与 PC 板的互连技术对任何电子系统而言是关键部件。

[0064] 在高 g 力下,正常预期导线接合将偏离其原始位置达一定程度。本发明人意外发现可以在本发明的高温和高 g 环境中利用金线接合。发现,在 X 方向上使导线接合负荷(图 8 中的负荷集 2)导致导线中最小的总应力。使用了 0.7 和 1.0 mil 直径的金线接合。已表明,这两个直径的导线接合将是结构稳定的,如果它们被定向为与离心负荷平行,最大环路高度不大于 17.4 mil 并且最大接合长度(从接合焊盘到接合焊盘)保持在 35 mil 之下的话。这些结果对于大于 1000 g 's 的负荷而言是可接受的,并且事实上经测试对在 10000 g 's 之上的负荷而言是可接受的。导线属性、环路高度、接合长度和温度全都影响导线接合的最大可承受 G 负荷。

[0065] 电子器件

[0066] 现在参考图 9A,示出示例性示意图,其示出对本文使用的放大器电路偏置的独特电路。偏置电路的功能是把 JFET 放置到正确的操作区中。对于 JFET,操作的位置可以在其中 JFET 相当于小电阻器的欧姆区域内或者在其中 JFET 相当于电压受控电流源的饱和区域内的各点。不同偏置点导致不同的 JFET 行为;甚至相同区域内的不同点。当在 25°C 到 500°C 的温度范围上操作 JFET 时,许多 JFET 特性发生变化。本文具体感兴趣的是设备将在高温下比在低温下展现更小增益的事实。另一个重要变化是 JFET 性能随温度的特性,这是 JFET 阈值电压随温度的提高而向下(更负)偏移,这在图 9B 的图示中被例证。

[0067] 结构上,图 9A 中示出的放大器电路包括分压器网络,包括串联耦合在正电压源 $V(+)$ 和负电压源 $V(-)$ 之间的 RB_1 和 RB_2 。连接 RB_1 与 RB_2 的电路节点 1000 耦合到输入电容器 C_1 的一侧并耦合到 JFET $Q1$ 的栅极端子。 C_1 的另一侧耦合到输入端子 $V(in)$ 。JFET $Q1$ 的源极端子耦合到地电位,而其漏极端子耦合到负载电阻器 RD 的一侧。电阻器 RD 的另一侧耦合到正电压源 $V(+)$ 。 $Q1$ 的漏极端子也通过另一个电容器 C_2 耦合到输出端子 $V(out)$ 。

[0068] 图 9B 示出在变化的温度下图 9A 的放大器的 AC 输出电压相对于偏置电压的变化电平。即,节点 1000 上的电压电平被绘制在图 9B 的水平轴上,而所得到的输出电压 $V(out)$ 被绘制在垂直轴上。曲线 1001 表示在 25°C 的温度下的输出电压;曲线 1002 表示在 100°C 下的输出电压;曲线 1003 表示在 200°C 的温度下的输出电压;曲线 1004 表示在 300°C 的温度下的输出电压;曲线 1005 表示在 400°C 的温度下的输出电压;而曲线 1006 表示在 500°C 的温度下的输出电压。

[0069] 在 JFET 共源交流放大器(例如图 9A)中,存在导致最高交流电压增益的窄偏置电压范围。因而,如可以从该图中看到的,存在随温度而降低的增益,其导致较低的最大交流输出电压。此外,表明其中发生最大峰峰值输出电压的偏置点向左偏移(随温度的提高,更负的直流栅极偏置电压)。理想的偏置电路将跟踪该峰值从而提供最优的性能。因此,期望的是随温度变化而适配偏置直流电压。

[0070] 电阻器 RB_1 和 RB_2 把栅极的直流操作点设置为共源放大器(图 9A)的源电压 (V_{gs}),这是与图 9B 的水平轴上绘制的电压相同的电压。例如,在 25°C 下峰值交流电压输出的偏置点是在 $V_{gs} = -1.7v$ 处。电阻器 RD 是 JFET 漏极电阻器,其帮助确定放大器的电压增益。在(25°C 到 450°C 的)温度漂移(temperature excursion)上偏置该电路时必须说

明的两个特性是：由电阻器 RB_1 和 RB_2 设置的偏置点，这应当跟踪峰值输出电压的电压结果；以及电路的增益应当随着温度的提高而提高。如果采取上面两个措施，则设备的输出特性将在感兴趣的温度范围内保持基本恒定。这可以通过把电阻器 RB_1 设计为具有正的温度系数(PTC)同时电阻器 RB_2 具有零电阻温度系数(ZTC)而实现。第二方法是也给电阻器 RD 提供 PTC 以便随着温度提高而提高放大器增益(导致高温下的增益等于低温下的增益)。

[0071] 电阻温度系数可以以若干方式来实施。

[0072] 它们可以潜在地使用表面贴装热敏电阻器来施加或者它们可以用固定到电路板的不同材料来制作。存在许多可用的拥有各种电阻温度系数(TCR)的厚膜膏。依据一个实施例，电阻器 RB_1 和 RD 由 TaN 厚膜形成，而电阻器 RB_2 由铂厚膜形成。

[0073] 现在参考图 10，示出应变计电路的框图。指示置于所测量涡轮机部件上的应变量的信号由应变计 101 产生。这个信号然后由差动放大器 102 感测并且耦合到 AC 放大器 103 以用于进一步放大。放大的应变计信号然后施加到电压受控振荡器 104 的输入，所述电压受控振荡器 104 产生其频率表示置于所测量涡轮机部件上的应变的振荡信号。这个振荡信号然后由缓冲器 105 缓冲并且传递给天线 26 以发送到调谐到载波频率的常规调谐器(未示出)。

[0074] 现在参考图 11，示出热电偶电路的框图。指示所测量涡轮机部件的温度的信号由热电偶 110 检测，该信号传递到差动放大器 111。差动放大器 111 的输出传递到 DC 放大器 112。DC 放大器 112 的输出和方波振荡器 113 (或方波发生器)的输出耦合到“斩波器”114 的输入。斩波器 114 的输出耦合到电压受控振荡器 115 的输入，所述电压受控振荡器 115 产生其频率和振幅表示在所测量涡轮机部件上感测的温度的振荡信号。这个振荡信号然后由缓冲器 116 缓冲并且传递给天线 26 以发送到调谐到载波频率的常规调谐器(未示出)。在这两种类型的电路都用在相同的涡轮机上的情况下，载波频率将是不同的以便避免两个信号之间的混淆。

[0075] 现在参考图 12，示出用于放大应变计输出信号的电路 101、102 和 103 的示意图。要求传统无线遥测电路设计的修改以便通过在超过 450°C 的温度下可使用的可用电气设备的更有限选择来电气实现所需的任务。应变计信号调节(激发和放大)电路是仅使用一种类型的晶体管(具有高温金属化部的 JFET)设计的。不能使得金属接合焊盘(即金)直接连接到半导体材料，而是必须利用粘接层，诸如钨，且也许还添加扩散阻挡层(diffusion barrier)。这些金属包括管芯的“金属堆”，即高温金属化部。

[0076] 结构上，存在包括耦合在正电压源 Vdc (+)和地电位之间的应变计和电阻器 R7 的分压器网络。电路节点 1100 是电阻器 R7 和应变计之间的连接点，并且也通过电容器 C4 耦合到 JFET 晶体管 J1 的栅极端子。晶体管 J1 由一对电阻器 RB_1 和 RB_2 偏置，该对电阻器 RB_1 和 RB_2 以与上面参考图 9A 描述的方式联接在这个晶体管的栅极端子。晶体管 J1 是包括晶体管 J2 的差动放大器的半部。晶体管 J1 的漏极端子通过电阻器 R1 耦合到正电压 Vdc (+)，而晶体管 J2 的漏极端子通过电阻器 R2 耦合到相同的 Vdc (+)。晶体管 J1 和 J2 的源极端子被耦合在一起并且耦合到另一个晶体管 J3 的漏极端子，该晶体管 J3 包括耦合到地电位的栅极端子和通过另一个电阻器 R3 也耦合到地电位的其源极端子。晶体管 J2 的栅极端子也耦合到地电位。因此，晶体管 J1 的栅极端子上的任何变化将在其漏极端子处

被放大并且通过电容器 C1 耦合到又一个晶体管 J4 的栅极端子,该晶体管 J4 是包括晶体管 J5 和 J6 的又三个放大级(交流放大器 103)的第一级,其中在端子 Vout 处提供放大器的输出。

[0077] 置于被测量的部件(该部件包括应变计)上的应变的变化改变应变计电阻器的电阻,从而改变晶体管 J1 的栅极端子处的电压。这改变横跨电阻器 R1 的晶体管 J1 的输出,其由晶体管 J4、J5 和 J6 耦合到后继的放大级。图 13 中示出的所有电阻器,除了电阻器 RB_2 (其具有 ZTC)之外,具有很低(接近零,微正)的电阻温度系数。此外,所有 JFET 晶体管用高温金属化部制成,如上文中所描述的。

[0078] 现在参考图 13,示出用于放大热电偶输出和把热电偶电路的局部温度嵌入到放大的输出信号中的电路 110、111 和 112 的示意图。以此方式,横跨热电偶的热梯度而不仅热电偶输出可以被发送,因而给出准确的温度测量。图 16 示出耦合到图 11 的框图中示出的电路(即热电偶电路 201)的热电偶 110。热电偶 110 输出被示为表示 $\Delta T^{\circ}\text{C}$ 。如在下文中将进一步示出和描述的,它是表示涡轮机的真实测量温度的热电偶电路 201 的局部温度与 $\Delta T^{\circ}\text{C}$ 之和。

[0079] 再次参考图 13,热电偶的负腿(leg)接地,而正腿连接到晶体管 J7 的栅极端子,该晶体管 J7 连同晶体管 J8 一起形成差动放大器 111。这个差动放大器由包括在晶体管 J7 的栅极端子处耦合在一起的 RB_1 和 RB_2 的分压器加上用晶体管 J9 形成的电流源偏置。如上文中所描述的,电阻器 RB_1 具有 PTC 而电阻器 RB_2 具有 ZTC 以便补偿高温环境(参见图 9A 和伴随的描述)。

[0080] 由于热电偶信号是直流或者是很低频率的交流,所以连续的放大级不能被电容性耦合。作为代替,晶体管 J10 用于源极跟随器(follower)配置中以使差动放大器的输出向下偏移至共源晶体管 J11 必须被偏置的电平。晶体管 J11 用来进一步放大该信号。晶体管 J12 和 J14 形成另一个电平偏移和放大级(直流放大器 112)。此时,热电偶的输出已被放大到适当的电平。现在,热电偶电路的局部温度必须嵌入到放大的信号中。

[0081] 晶体管 J14 和 J15 形成由晶体管 J16 形成的电流源所偏置的差动对放大器。电容器 C6 和 C7 连同电阻器 R18、R19 和 R20 一起形成 -90° 到 $+90^{\circ}$ 相移网络。这个相移网络在晶体管 J15 处连接在放大器输入的一端,而另一端耦合到放大器的输出(晶体管 J14 的漏极端子),其包括 RC 反馈网络。这种配置形成松弛型 RC 振荡器(方波振荡器 113)。电容器 C6 和 C7 是 NP0 类型电容器,并且其电容在 25°C 到 450°C 的温度漂移上不会明显地改变。NP0 电容器电介质具有负-正-零电容温度系数,其中正和负温度系数彼此消除。电容器 C8 串联耦合在 RC 反馈网络和晶体管 J14 的漏极端子处的差动放大器的输出之间。这个电容器用 X7R 电介质制成,因而其电容随温度变化而可预测地改变。X7R 是具有比 NP0 电介质更高的介电常数但具有与温度的大电容相关性(其是可预测的)的电容器电介质。这个振荡器的输出是具有由温度相关电容器 C8 确定的频率的方波;因而,热电偶电路的局部温度可以被编码成方波信号。(参见在室温下图 17 所示的振荡器 113 输出波形 210;以及图 18 所示的在升高温度下的相同振荡器输出波形 212)。晶体管 J27 用作斩波器晶体管(即斩波器 114)。来自晶体管 J13 的放大热电偶输出(图 19 中的波形 214)耦合到晶体管 J27 的漏极端子,同时方波振荡器输出耦合到相同晶体管 J27 的栅极端子。晶体管 J27 的源极提供方波输出,其振幅与热电偶 110 的温度成比例且其频率与热电偶电路的温度成比例(参见图

20 所示的波形 216)。因而,信号包含热电偶输出加上热电偶电路的温度,该信号施加到电压受控振荡器 115。

[0082] 作为热电偶 110 及其电路 113 的操作示例,假设电路 113 的温度处于 25°C 并且振荡器 113 的对应输出处于 1.62 kHz 的频率(波形 210,图 17)。此外,针对使用的特定热电偶 110 假设 12 mV 输出电压(波形 214,图 19)对应于 320°C 的 ΔT 。现在,假设电路 113 的温度处于 325°C 并且振荡器 113 的输出是 5.44 kHz (波形 212,图 18)。通过组合波形 212 和 214 与晶体管 J27,晶体管 J27 的所得到输出(即电路的输出)由波形 216 示出。因而,在热电偶的热端处测量的所得到的温度是 645°C。波形 216 的频率表示局部电路 113 的温度并且振幅表示 ΔT 。因而,本领域的技术人员可以构造与 FM 接收机(未示出)关联的电路以执行信号解码和附加操作。

[0083] 现在参考图 14,示出功率调节电路的示意图。能够整流 RF 输入电压、过滤经整流的电压且调整该电压的功率调节电路必须仅使用一种类型的晶体管和可用二极管来设计。电路对由旋转涡轮机提供的 RF 感应功率进行整流并且传送正负调整的直流电压。RF 感应发电机的细节在上面引用的共同待决的题为 INSTRUMENTED COMPONENT FOR WIRELESS TELEMETRY 的专利申请中详述。结构上,二极管 D5 到 D8 以及二极管 D9 到 D11 用作桥式整流器。端子 Vac1 和 Vac2 或 Vac3 或 Vac4 上的交流(ac)电压被全波整流成具有大纹波的直流电压。电容器 C9 到 C12 用作滤波电容器以便把纹波降低到足够低的水平。晶体管 J17 和 J21 用作恒流源,分别传送恒定电流到电阻器 R26 和 R30 中。经过恒定电阻的这个恒定电流产生恒定电压,其耦合到晶体管 J19 和 J23。这个恒定电压偏置晶体管 J19 和 J23 使得在 R25/R26 电阻器对或 R29/R30 电阻器对确定阈值之后,在晶体管的输入处的任何提高电压不会对晶体管输出的提高电压有贡献。该提高电压输入被耗散为晶体管 J19 和 J23 中的热。因而,晶体管 J17 和 J19 以及晶体管 J21 和 J23 构成低压差(LDO)电压调整器。这些调整器用晶体管 J18 和 J20 以及晶体管 J22 和 J24 来重复以改善净电压调整。然后电压分别被供应为正或负调整电压 Vdc (+) 或 Vdc (-)。

[0084] 依据一个实施例,电阻器 R26、R28、R30 和 R32 具有 PTC,而电阻器 R25、R27、R29 和 R31 具有 ZTC。如上文中讨论的,这种电阻器布置补偿在升高温度下偏置电压的变化。以此方式,电路自补偿温度变化并且使横跨晶体管 J19、J20、J23 和 J24 的电压降保持恒定。如上文中描述的,PTC 电阻器可以由铂制成而 ZTC 电阻器可以由氮化钽制成。要指出的是:在电阻器 R26、R28、R30 和 R32 用 ZTC 制成而电阻器 R25、R27、R29 和 R31 通过使用硅电阻器(诸如碳化硅)而用负温度系数(NTC)制成的情况下,电路也将同样地运行。

[0085] 现在参考图 15,示出 FM 发送机(即, VCO 104 和缓冲器 105)的示意图。为了产生频率调制的(FM)信号,可变阻抗设备通常用于把信息编码(即调制)到 RF 载波上。在低温电路中完成这项任务的常见方式是使用其电容具有与所施加电压的相关性的设备。几乎所有 pn 结二极管在被反向偏置时展现这种特性;即,施加到反向偏置二极管的变化电压影响横跨二极管的电容的变化。对于低温无线电应用而言,称作变容二极管的特殊二极管用于此目的。变容二极管是具有“超突变(hyper-abrupt)”结(即被重度掺杂以提升大调谐角度的结)的 pn 结二极管并且由硅或砷化镓制作。

[0086] 图 15 所示的电路包括 Colpitts 振荡器,其包括电感器 L1 以及两者与电感器 L1 并联耦合的、串联耦合的电容器 C13 和 C14。晶体管 J25 用作 Colpitts 振荡器中的有源设

备。振荡器的载波频率由电感器 L1 和电容器 C13 与 C14 的值确定。与电容器 C14 并联耦合的二极管 D13 用作电压可变电容器也就是变容二极管,其把交流电压调制(即编码)到载波上。该载波然后被电容性耦合到晶体管 J26 中,该晶体管 J26 用作缓冲晶体管以及功率放大器。二极管 D13 的阴极耦合到电路节点 1400 并且其阳极耦合到地电位。电容器 C13 和 C14 之间的电路接点耦合到节点 1400,其也包括到电路的输入端子 V(in)。电路的输出然后被电容性耦合到发送天线(未示出)。

[0087] 在高温应用中,典型的变容二极管不能被使用并且不用于本文感兴趣的 FM 发送机中,因为这个变容二极管的电容在升高温度下在施加的偏置电压范围内是非线性的。因此,校正信息不能从发送的信号得以恢复(等同的频率偏差不会对应于不同的调谐电压)。发现,该问题是 SiC 本身固有的并因而没有 SiC 设备将获得期望的结果。可以在高温下运行(即,在相同的升高温度下在施加的偏置电压的相同范围内具有线性电容)的 GaN 设备被探究用作变容二极管 D13。氮化镓(即 GaN)也是宽带隙半导体,其中宽带隙能量为 3.4 eV @ 300 K (而 SiC 是 2.86 eV),意味着其可以在高温(超过 600°C)下运行。当前可用的唯一市场上可买到的 GaN 二极管是蓝色或紫外 LED 的形式,其在本文感兴趣的温度漂移上产生令人满意的结果。

[0088] 虽然本文已示出和描述了本发明的各个实施例,但是将显然的是仅作为示例提供此类实施例。可以在不偏离本发明的发明的情况下做出众多变化、改变和替代。因而,本发明旨在仅由所附权利要求的精神和范围限制。

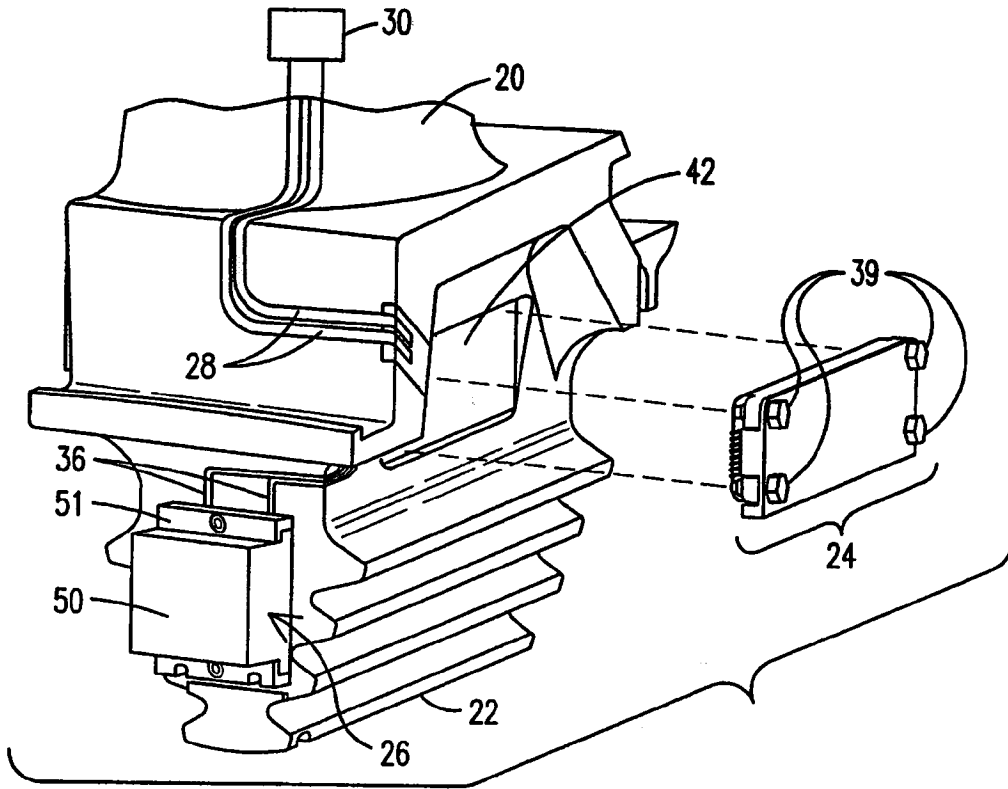


图 1

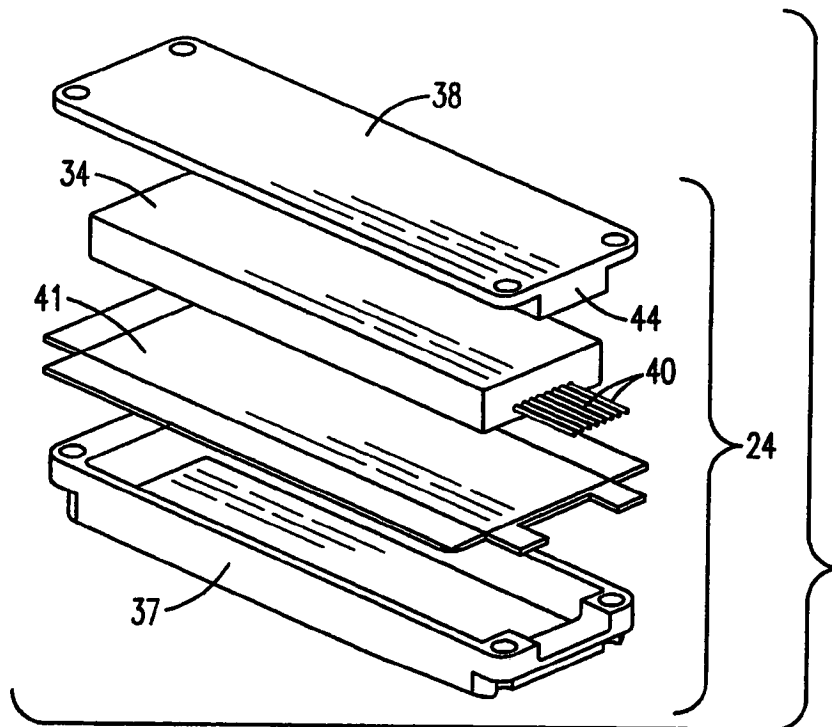


图 2

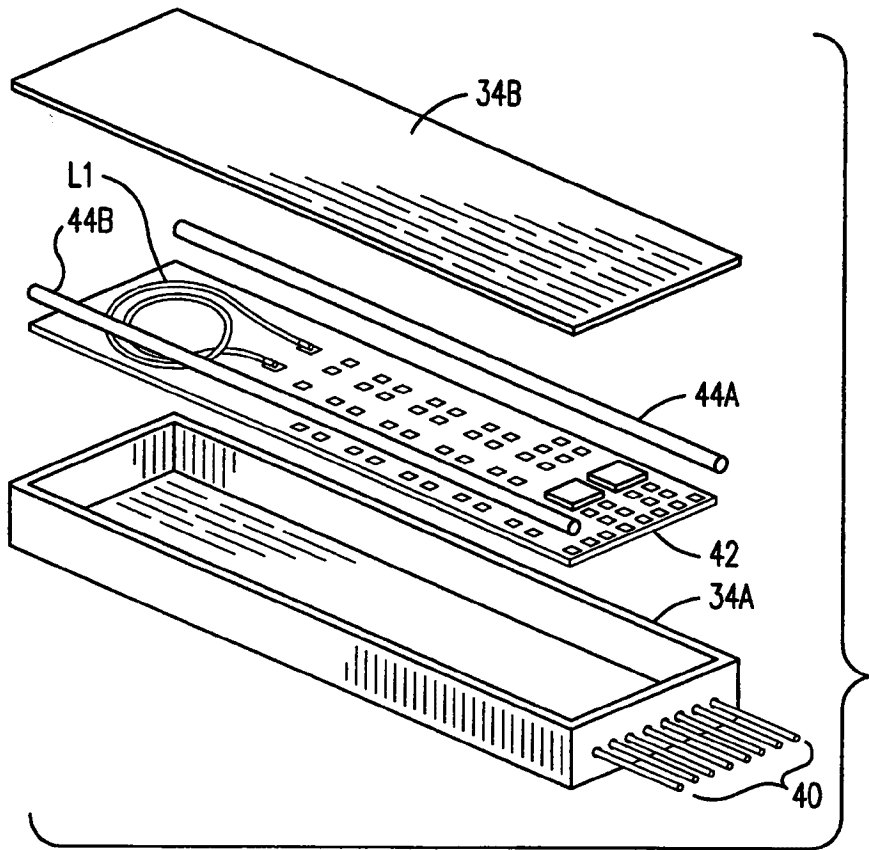


图 3

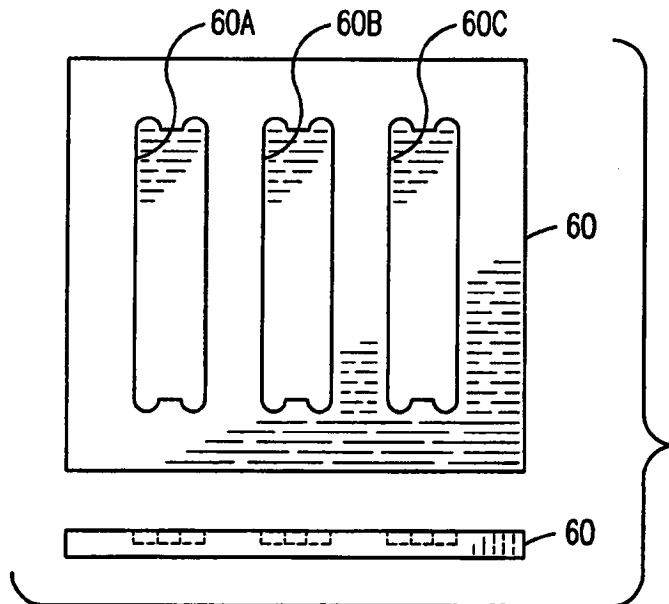


图 4A

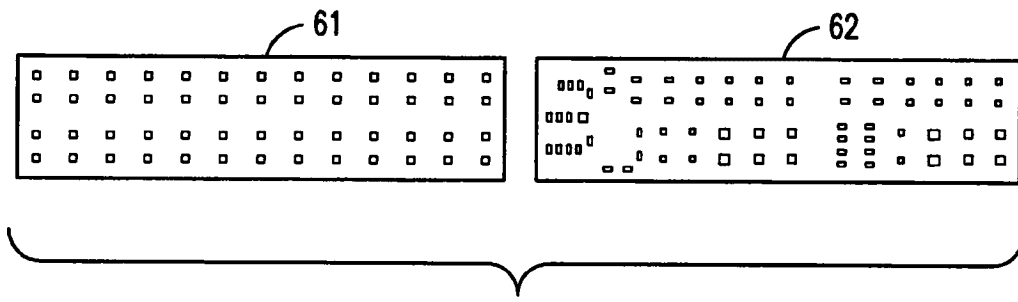


图 4B

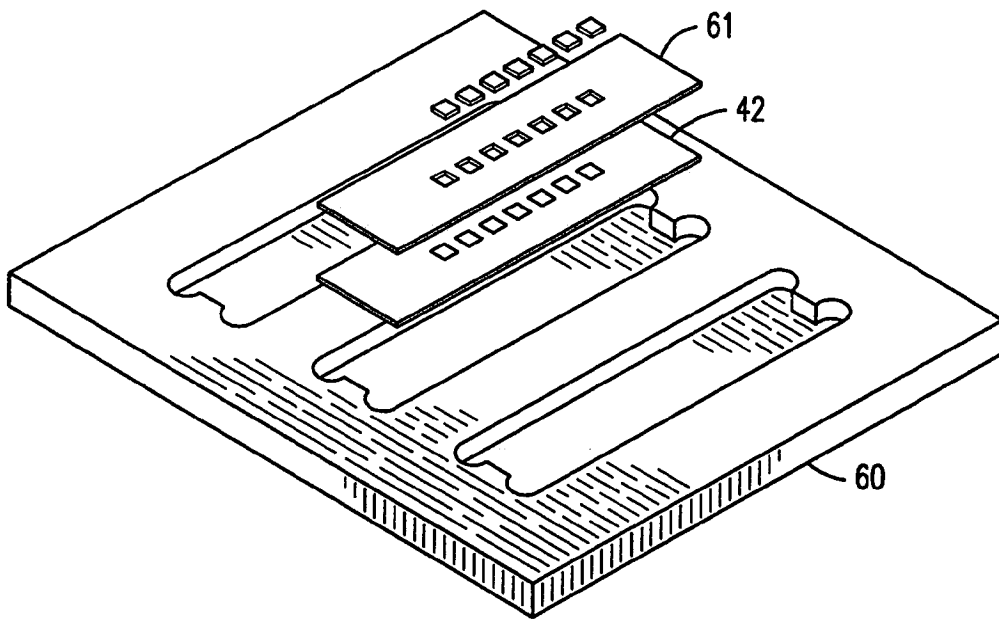


图 5A

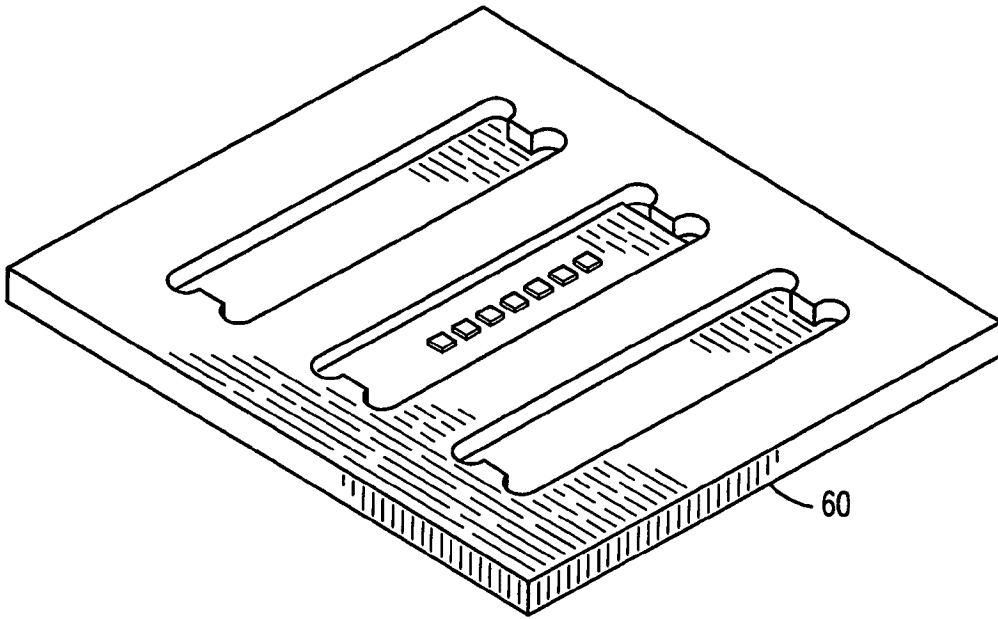


图 5B

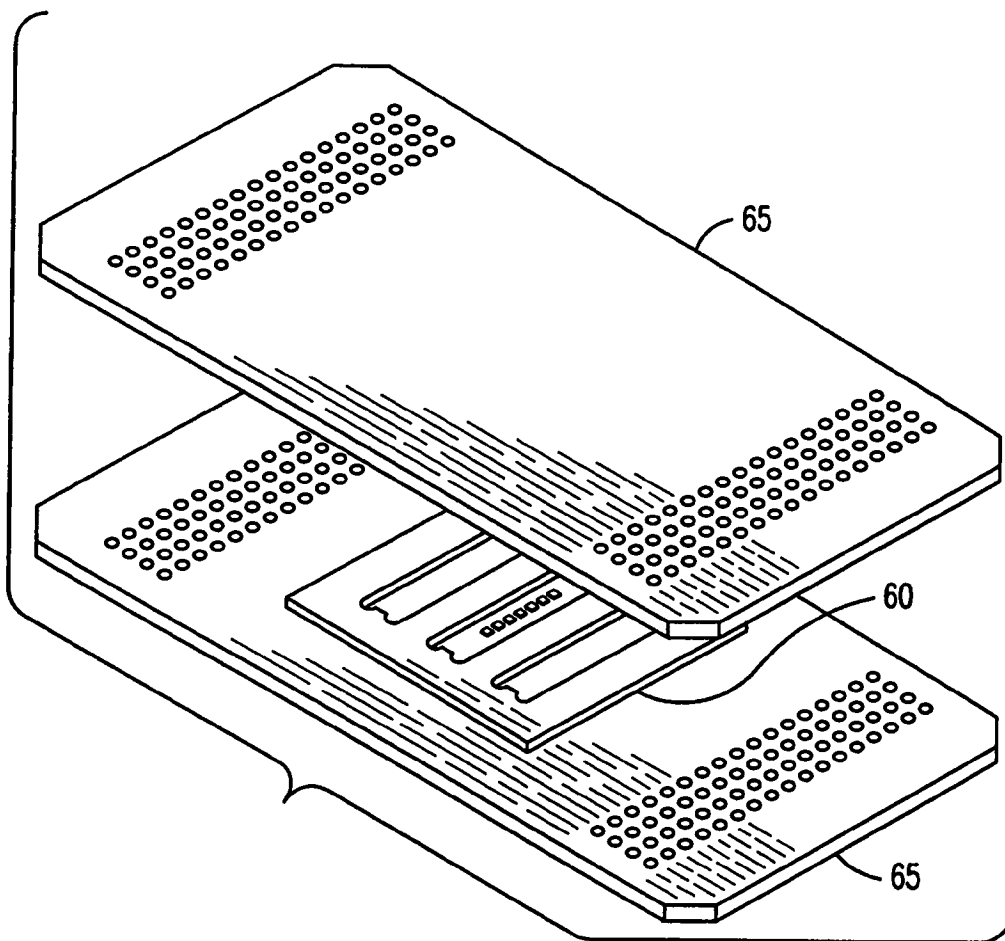


图 5C

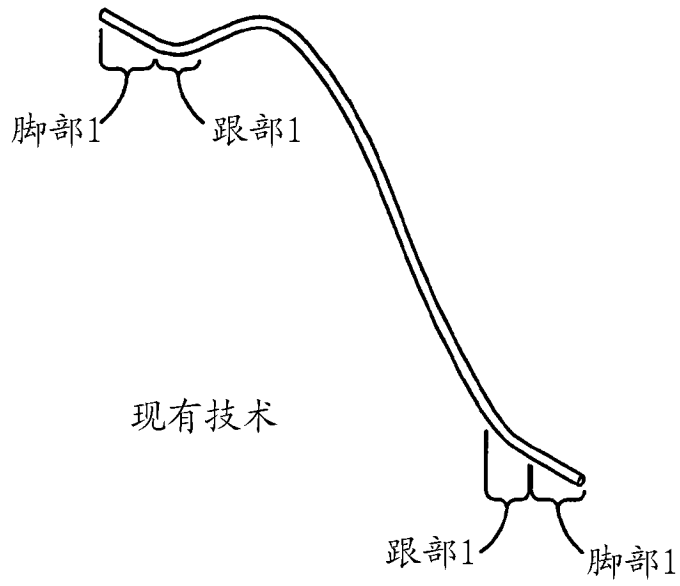
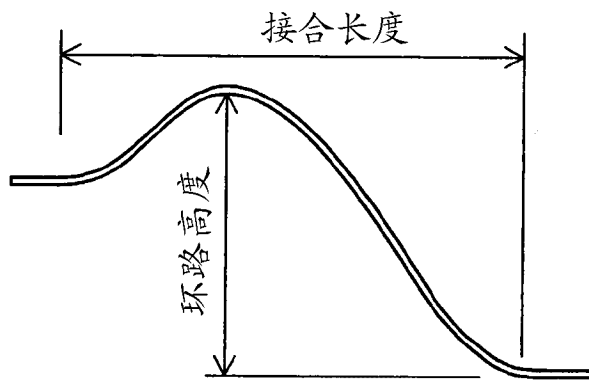


图 6A



现有技术

图 6B

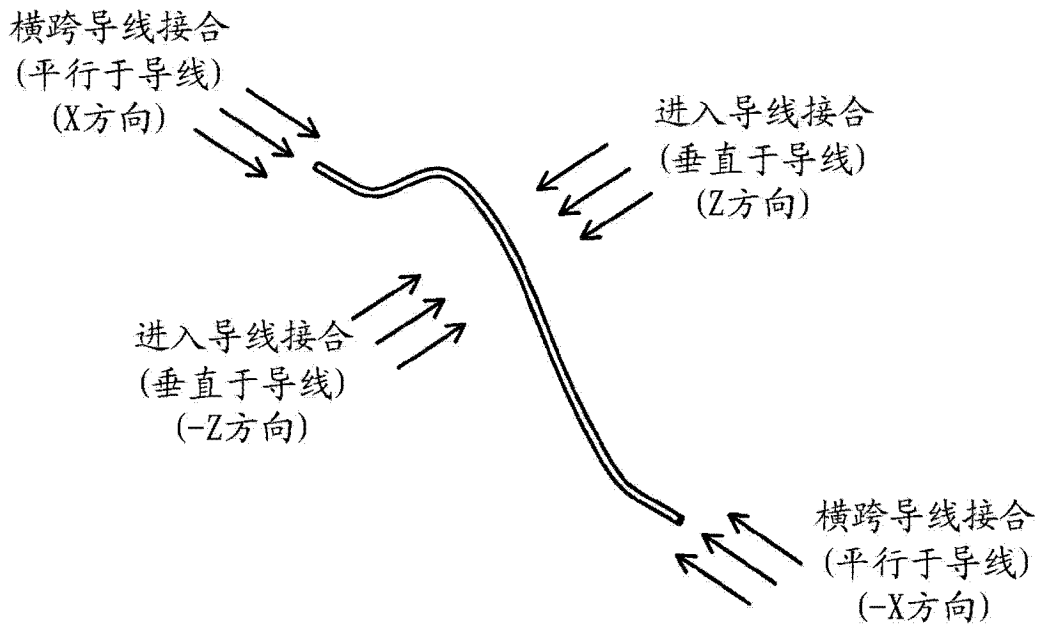


图 7

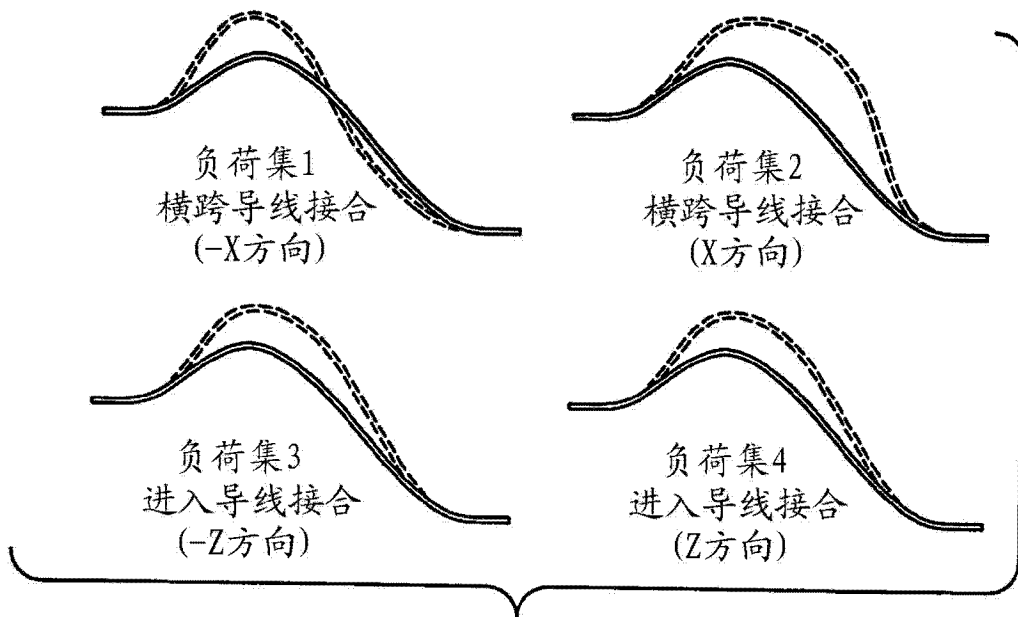


图 8

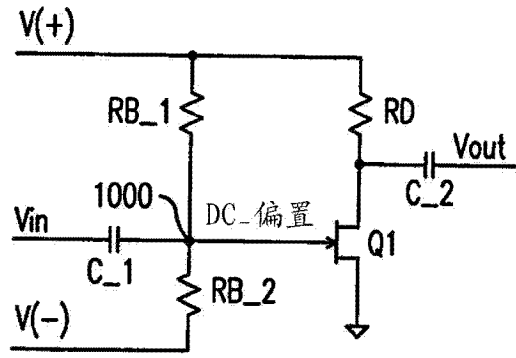


图 9A

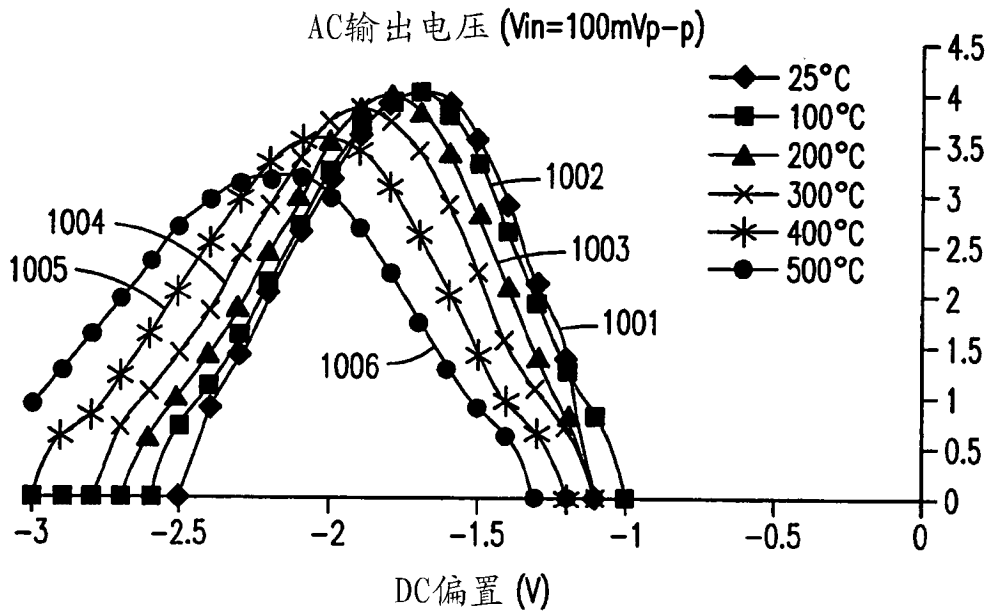


图 9B

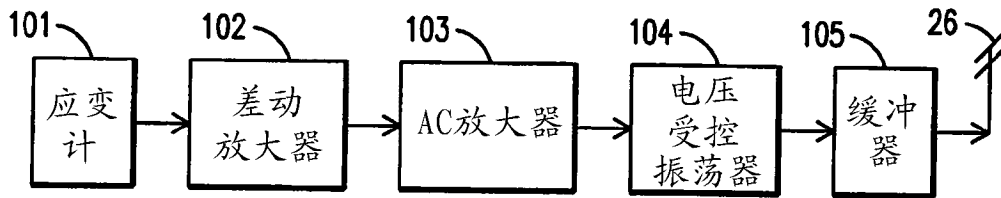


图 10

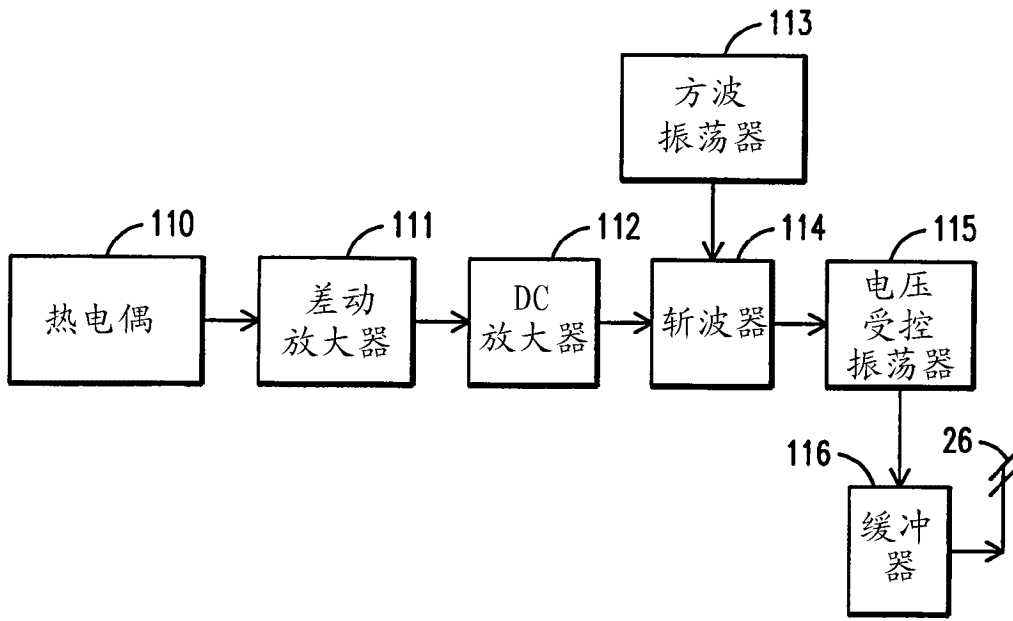


图 11

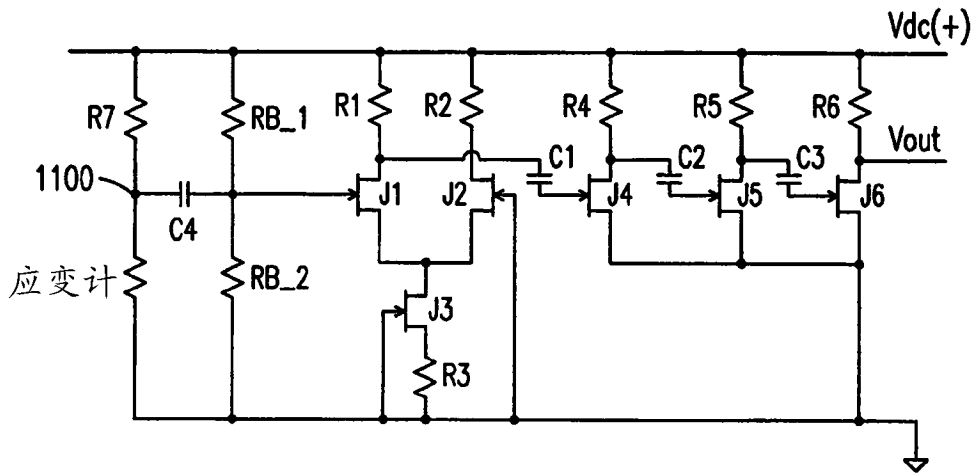


图 12

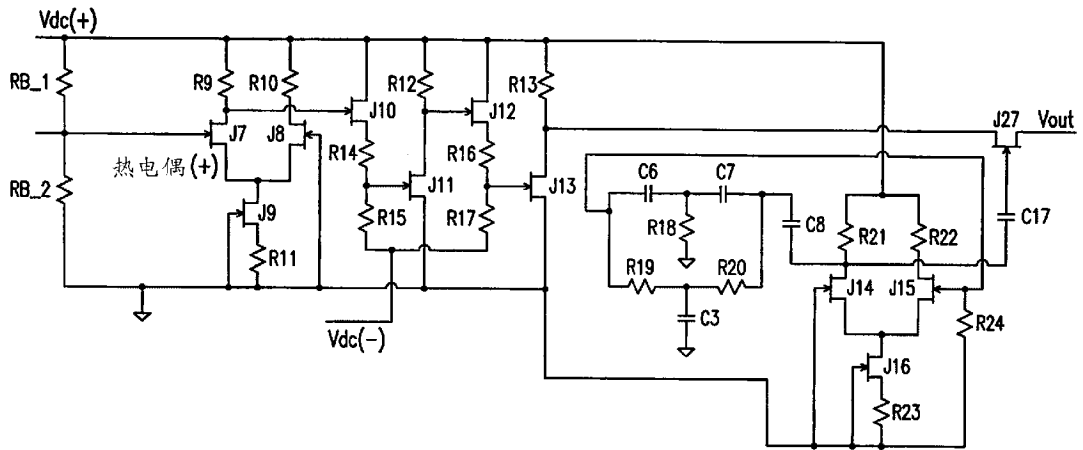


图 13

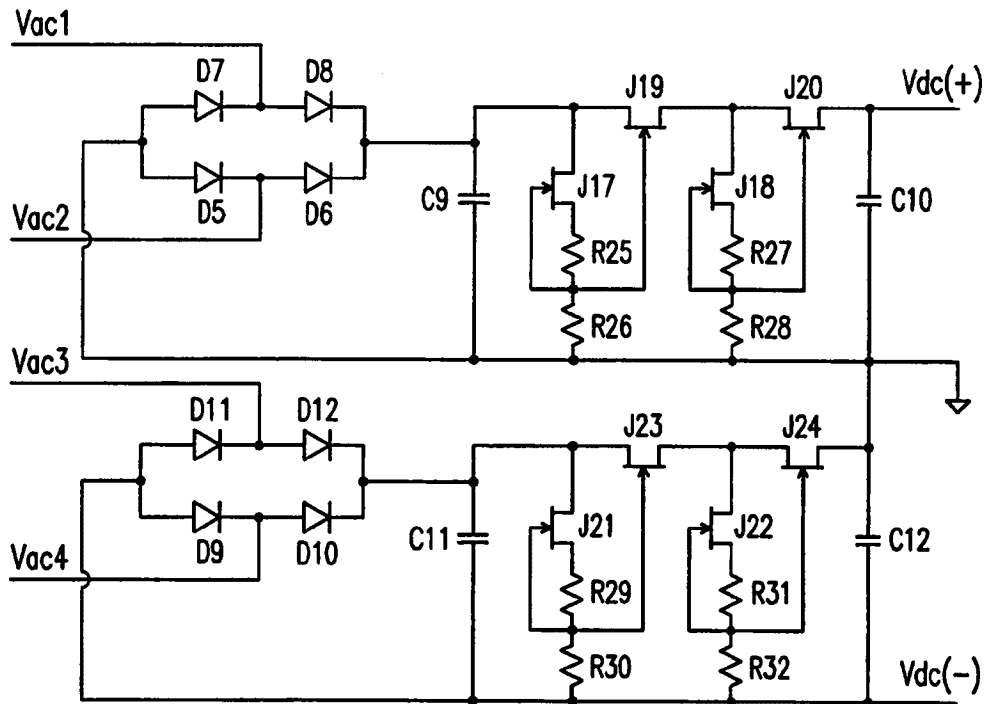


图 14

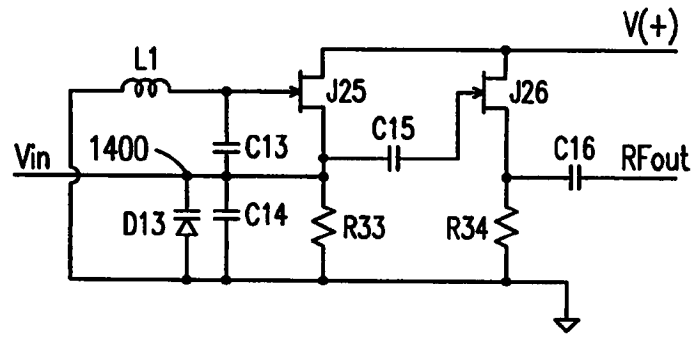


图 15

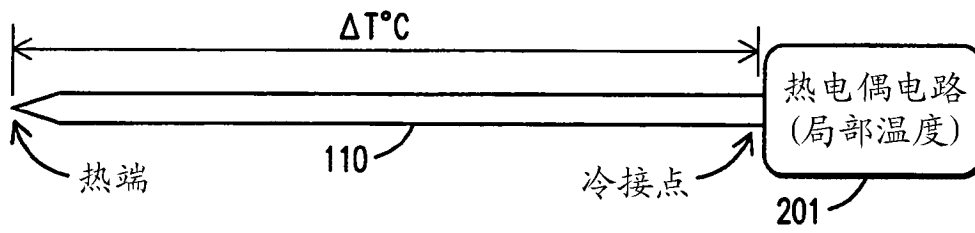


图 16

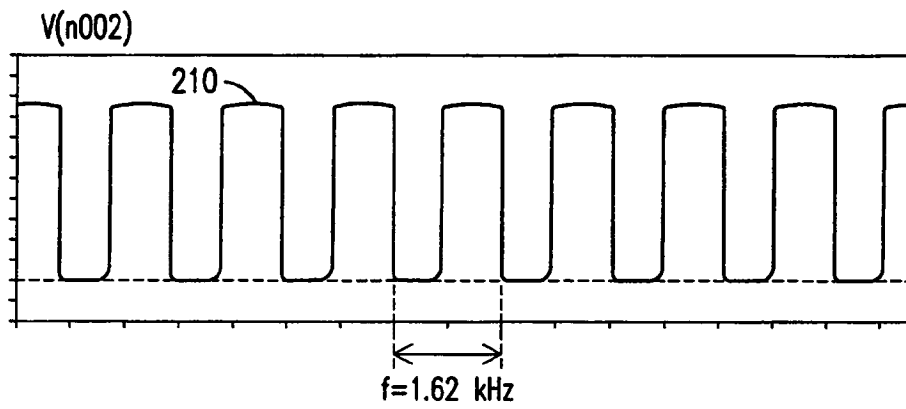


图 17

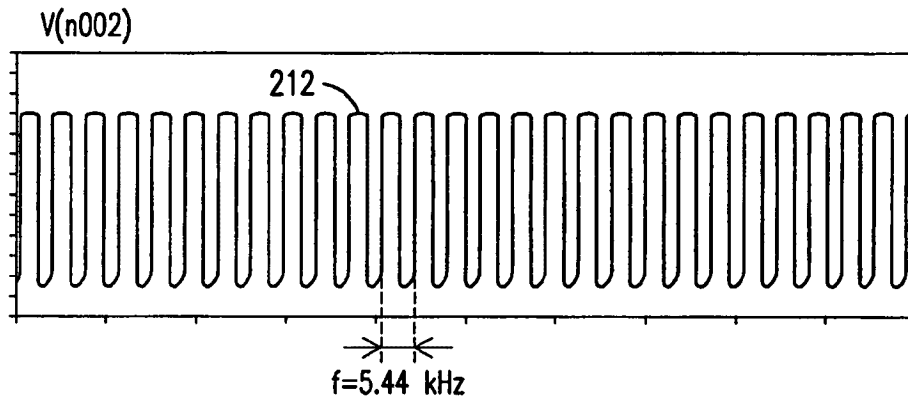


图 18

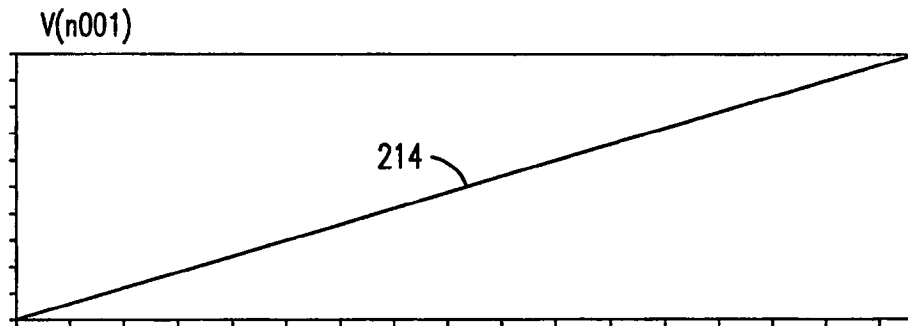


图 19

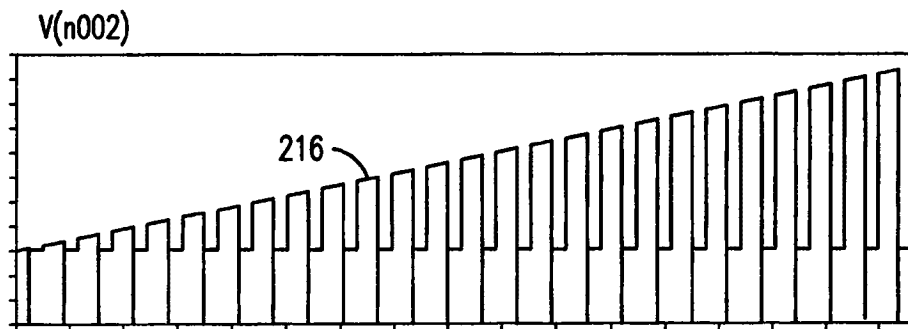


图 20