

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G01K 1/00 (2006.01)

G06F 19/00 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200680046543.0

[43] 公开日 2009年10月7日

[11] 公开号 CN 101553716A

[22] 申请日 2006.10.11

[21] 申请号 200680046543.0

[30] 优先权

[32] 2005.10.11 [33] US [31] 60/725,983

[32] 2006.10.11 [33] US [31] 11/548,283

[86] 国际申请 PCT/US2006/040090 2006.10.11

[87] 国际公布 WO2007/044905 英 2007.4.19

[85] 进入国家阶段日期 2008.6.11

[71] 申请人 艾科嘉公司

地址 美国加利福尼亚州

[72] 发明人 肯特·科纳罕 克雷格·兰伯特

索林·A·斯帕诺科

[74] 专利代理机构 北京安信方达知识产权代理有限公司

代理人 王漪 郑霞

权利要求书5页 说明书17页 附图9页

[54] 发明名称

热预测管理模型

[57] 摘要

以热的形式将供给它们的功率充分消耗的电气组件 [601 - 8, 601 - 11, 601 - 15]，将改变温度以响应于自身发热、向它们周围环境的热传递、以及从一个组件向其他组件传递的热。公开了一种用于使用热模型计算组件(多个组件)的温度的方法 [图 7A - 7B]。在一种实施方式中，每个组件的功率消耗被控制以限定所述组件的温度 [图 7A 中的步骤 E]。在一种实施方式中，组件的温度是通过改变其他组件的功率消耗而被调整的 [图 7B 中的步骤 K]。在一些实施方式中，组件的功率消耗是通过调整它的性能而被调整的 [图 7A 中的步骤 F]。在另外的实施方式中，通过选择一个或多个程序用于所调整的执行来调整功耗 [图 7B 中的步骤 J]。

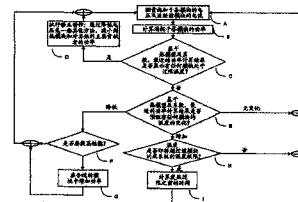


图 7A

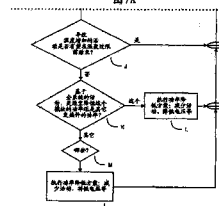


图 7B

1. 一种用于确定多个电气组件中的任意组件的温度的方法，其中所述电气组件以热的形式充分消耗所有其接收的功率，所述方法包括以下步骤：

(a) 监控功率源，其中所述功率源独立地向每个所述电气组件提供功率，由此获得用于每个所述电气组件的功率参数值；

(b) 计算每个所述电气组件消耗的所述功率；

(c) 使用热模型和预定的系数，为每个所述电气组件计算温度参数值；
和

(d) 通过将所述电气组件的所计算出的所述温度参数值与所述电气组件的先前存储的温度值相结合，计算每个电气组件的即时温度。

2. 如权利要求 1 所述的方法，其中为所述多个电气组件中的某一个电气组件计算温度参数值的所述步骤包括以下步骤：

(a) 计算自发热参数值；

(b) 减去代表热损失的参数值； 和

(c) 加上代表在所述某一个电气组件与每个其余的电气组件间的净热传递的参数值。

3. 如权利要求 1 所述的方法，其中所述先前存储的温度值是通过监控一个或更多温度传感器而获得的。

4. 如权利要求 1 所述的方法，进一步包括传送温度参数数据给主机。

5. 一种用于控制多个电气组件中的任意组件的温度的方法，其中所述电气组件以热的形式充分消耗所有其接收的功率，所述方法包括以下步骤：

(a) 监控功率源，其中所述功率源独立地向每个所述电气组件提供功率，由此获得用于每个所述电气组件的功率参数值；

- (b) 计算每个所述电气组件消耗的所述功率;
- (c) 使用热模型和预定的系数, 为每个所述电气组件计算温度参数值;
- (d) 通过将所述电气组件的所计算出的所述温度参数值与所述电气组件的先前存储的温度值相结合, 计算每个电气组件的即时温度;
- (e) 将所述每个电气组件的即时温度与相应的预定值比较; 和
- (f) 降低其中所计算出的所述温度超过预定值的任意一个或更多所述电气组件的功率消耗。

6. 如权利要求 5 所述的方法, 其中为所述多个电气组件中的某一个电气组件计算所述温度参数值的所述步骤包含以下步骤:

- (a) 计算自发热参数值;
- (b) 减去代表热损失的参数值; 和
- (c) 加上代表在所述某一个电气组件与每个其余的电气组件间的净热传递的参数值。

7. 如权利要求 5 所述的方法, 进一步包括传送温度参数数据给主机。

8. 如权利要求 5 所述的方法, 其中降低给定电气组件的功率消耗的所述步骤包括降低施加于所述电气组件上的电压。

9. 如权利要求 5 所述的方法, 其中降低给定电气组件的功率消耗的所述步骤包括降低所述电气组件的时钟频率。

10. 如权利要求 9 所述的方法, 进一步包括降低提供给所述电气组件的功率。

11. 如权利要求 5 所述的方法, 其中降低给定电气组件的功率消耗的所述步骤包括降低所述电气组件的性能。

12. 如权利要求 5 所述的方法, 其中降低给定电气组件的功率消耗的所述步骤包括控制冷却装置。

13. 如权利要求 5 所述的方法, 其中降低第一电气组件的所述功率消耗的步骤包括降低第二电气组件的所述功率消耗, 因此减少从所述第二电

气组件到所述第一电气组件的所述净热传递。

14. 如权利要求 5 所述的方法，其中至少一个所述电气组件包括用于执行一个或更多程序的微处理器。

15. 如权利要求 14 所述的方法，其中降低电气组件的功率消耗的所述步骤包括：根据一种规则选择一个或更多将被暂停、由所述微处理器执行的程序。

16. 如权利要求 15 所述的方法，其中所述规则包括选择将被暂停的程序，其中所述程序的优先级比正在被所述微处理器执行的任何其他即时程序的优先级较低。

17. 如权利要求 14 所述的方法，其中降低电气组件的功率消耗的所述步骤包括：根据一种规则选择一个或更多程序，用于对所述微处理器执行所述程序有效的的时间减少。

18. 如权利要求 17 所述的方法，其中所述规则包括选择用于对所述微处理器执行所述程序有效的的时间减少的程序，其中所述程序的优先级比正在被所述微处理器执行的任何其他即时程序的优先级较低。

19. 如权利要求 5 所述的方法，其中所述先前存储的温度值是通过监控一个或更多温度传感器而获得的。

20. 一种用于控制多个电气组件中的任意组件的温度的方法，其中所述电气组件以热的形式充分消耗所有其接收的功率，所述方法包括以下步骤：

(a) 监控功率源，其中所述功率源独立地向每个所述电气组件提供功率，由此获得用于每个所述电气组件的功率参数值；

(b) 计算每个所述电气组件消耗的所述功率；

(c) 使用热模型和预定的系数，为每个所述电气组件计算温度参数值；

(d) 通过将所述电气组件的所计算出的所述温度参数值与所述电气组件的先前存储的温度值相结合，计算每个电气组件的即时温度；

(e) 将所述每个电气组件的即时温度与相应的预定值比较；和

(f)降低其中所计算出的所述温度超过预定值的任意一个或更多所述电气组件的功率消耗。

21. 如权利要求 20 所述的方法, 其中为所述多个电气组件中的某一个电气组件计算所述温度参数值的所述步骤, 包含以下步骤:

(a) 计算自发热参数值;

(b) 减去代表热损失的参数值; 和

(c) 加上代表在所述某一个电气组件与每个其余的电气组件间的净热传递的参数值。

22. 如权利要求 20 所述的方法, 进一步包括传送温度参数数据给主机。

23. 如权利要求 20 所述的方法, 其中降低给定电气组件的功率消耗的所述步骤包括降低施加于所述电气组件上的电压。

24. 如权利要求 20 所述的方法, 其中降低给定电气组件的功率消耗的所述步骤包括降低所述电气组件的时钟频率。

25. 如权利要求 24 所述的方法, 进一步包括降低提供给所述电气组件的功率。

26. 如权利要求 20 所述的方法, 其中降低给定电气组件的功率消耗的所述步骤包括降低所述电气组件的性能。

27. 如权利要求 20 所述的方法, 其中降低给定电气组件的功率消耗的所述步骤包括控制冷却装置。

28. 如权利要求 20 所述的方法, 其中降低第一电气组件的所述功率消耗的步骤包括降低第二电气组件的所述功率消耗, 因此减少从所述第二电气组件到所述第一电气组件的所述净热传递。

29. 如权利要求 20 所述的方法, 其中至少一个所述电气组件包括用于执行一个或更多程序的微处理器。

30. 如权利要求 29 所述的方法, 其中降低电气组件的功率消耗的所述步骤包括: 根据一种规则选择一个或更多将被暂停、由所述微处理器执

行的程序。

31. 如权利要求 30 所述的方法，其中所述规则包括选择将被暂停的程序，其中所述程序的优先级比在被所述微处理器执行的任何其他即时程序的优先级较低。

32. 如权利要求 29 所述的方法，其中降低电气组件的功率消耗的所述步骤包括：据一种规则选择一个或更多程序，用于对所述微处理器执行所述程序有效的时间减少。

33. 如权利要求 32 所述的方法，其中所述的规则包括：选择用于对所述微处理器执行所述程序有效的时间减少的程序，其中所述程序的优先级比正在被所述微处理器执行的任何其他即时程序的优先级较低。

34. 如权利要求 20 所述的方法，其中所述先前存储的温度值是通过监控温度传感器而获得的。

热预测管理模型

相关申请的交叉引用

本申请要求于 2005 年 10 月 11 日提交的美国临时申请号 60/725,983 的优先权,所述美国临时申请在此并入作为参考。

本申请涉及 Kent Kernahan 于 2002 年 11 月 14 日提交的题目为“Switching Power Converter”的美国专利申请序列号 10/295,514, 于 2005 年 5 月 5 日发布的、题目为“Method For Computing An Amount Of Energy Taken From A Battery”的现美国专利号 6,891,355, 其在此全文并入作为参考。

背景

期望既知道电子系统所有元件的温度,又知道温度的变化率以及当目前的功率条件继续时元件将达到的最终温度。例如,考虑一个电路板,所述电路板包括 CPU、RAM 和硬盘驱动器。这些元件中的每一个在操作时都产生热,且此热量分别影响它们中的每一个。自每个元件辐射或传导的热能够影响其他组件。如果不期望的情况看来有可能出现,则期望电子地确定每个组件产生的热量,以准许提前应对。

发明内容

根据本发明,确定了被传送到耗能元件的功率。根据热力学第二定律,传送到那些元件上的功率最终将作为热被消散。本发明提供了一种控制元件中的热消散的系统。

附图说明

图 1 是一种热力学系统的电的表示, 所述热力学系统包括 CPU、RAM 和磁盘驱动器。

图 2A-2D 表明了以电压表示的温度, 所述温度作为提供给图 1 所示的模块的功率的函数。

图 3 是代表适用于最终温度分析的通用热力学系统的热电路 (thermal circuit)。

图 4 是代表适用于热力学温度分析的通用热力学系统的热电路。

图 5 是表示特定热力学系统的热电路, 所述特定热力学系统包括 3 个功耗节点、2 个温度传感器和用于组件的热质量 (thermal mass)。

图 6 是代表图 5 中显示的系统 500 的模块图。

图 7 是表示本发明一种实施方式的操作的流程图。

图 8 是图 6 中显示的 PTMC 601 的实施方式的功能模块图。

具体实施方式

传送到计算机中的任何系统的大部分功率最终将作为热被消散。输入功率中的相对较小的部分被转换为信号或噪声, 通过显示器、电缆、射频发射器等从系统中传导或辐射出去。从热的角度考察计算机或其他的电子系统中的不同元件之间的相互关系, 那些元件中的每一个, 诸如 CPU、RAM、和磁盘驱动器, 将其自身与某种热质量相联系, 所述热质量由电子设备本身和电路板的一部分、以及其直接连接的相关组件组成。每个组件还具有热阻, 所述热阻与流向每个其他组件和电子系统外壳的热量相关联。通过计算由耦合元件之间的热量的各个路径和元件消耗的功率, 可列出一组联立方程式, 以预测电子系统中每个元件的温度。任何分立元件的温度通过方程中的项被描述, 所述项为该元件消耗的功率、该元件与其他元件间热流动的阻抗、以及该元件与它的环境间热流动的阻抗。例如, 用以计算包含 CPU、RAM 和磁盘驱动器的计算机系统中 CPU 温度的方程式

的一种形式为 $APC+BPR+CPD=TC$ ，其中 A、B 和 C 是常量，且 PC、PR 和 PD 分别代表 CPU、RAM 和磁盘驱动器消耗的功率，且 TC 是所述 CPU 的温度。通过为每个元件拟一个方程式，其中所述常量（上述 A、B 和 C）代表热阻，并继而将联立方程式系统转换为矩阵形式，可见对于所述电子系统中存在的任何数目的元件，最终的系数矩阵将是方矩阵。如果其他元件被添加，例如图形控制器，则仍将有如未知温度同样多的方程式要被求解，且所述矩阵将是确定的。在一种实施方式中提供了冷却装置，例如风扇、热管、珀尔帖连接（a Peltier junction）设备、以及类似物，其中所述冷却装置与给定元件相关联。设计者确定所述元件的热阻为所述冷却装置的利用系数的函数。根据所述冷却装置的使用和预定的热阻参数来调整计算中使用的元件的热阻的值。就本说明的目的，热阻表示对从一个元件到其他元件的热流的阻抗。

通过添加更多细节给所述的热模型，例如每个元件的热质量，有可能不仅估算出最终的或稳态的温度，而且估算出作为时间的函数的响应于功率消耗变化的温度。所述热质量是材料比热与该材料质量的乘积。热质量也称热量容量（caloric capacity）或热容量（heat capacity）。元件热质量的数值可以由该元件的制造商提供，或由系统设计者通过实验观察提供。与单功率转换电路一起，使用单环境温度传感器，有可能确定那些元件的温度、那些元件温度的变化率以及它们将达到的最终温度，其中所述的单功率转换电路有能力同时驱动多个功率轨（power rail）并测量每个功率轨中的功率流，所述的单环境温度传感器感测含有 CPU、RAM 和磁盘驱动器的产品的壳外（outside case）温度。提供这些信息给操作系统，以准许甚精细的热量管理。例如，如果多个应用软件试图同时执行，在磁盘驱动器和 RAM 间来回的数据交换可能导致磁盘驱动器非常高的功率消耗。如果为该磁盘驱动器设立的功率消耗极限被超过，或预测将如此，则所述操作系统能够控制向磁盘驱动器存取应用程序，以减少驱动器活动并降低计算机内部的温度，而不必降低计算机性能。类似地，如果发现 CPU 过热，则可以应用用于它的冷却策略，或它的使用可以被减少。如果确定 RAM 是正在接近它的最大允许温度的元件，也有可以应用的策略。通过提供每个元件目前温度和预测温度的估算值给操作系统，可以采取主动措施以避免

高热情况。例如，众所周知地，基于半导体的设备，特别是基于半导体的数字设备，需要较高操作电压以在较高温度下操作于相同速度。相应地，通过拥有关于目前温度和预测温度的实时信息，电压轨可以被功率转换电路管理，以产生与所需性能一致的最低可能电压。

在一种实施方式中，提供了一种功率转换与管理集成电路，该电路将电能例如从一个或更多电池转换至多个输出电源轨，所述多个电源轨提供不同的电压和不同的功率。所述的功率转换与管理集成电路也测量从电池中汲取的功率和供应给其他元件的功率，估算电池剩余的寿命，并在剩余功率的不同阈值处控制负载的关闭。另外，所述的功率信息能够与产品的矩阵模型结合而使用，所述的产品是包含此功率转换与管理集成电路，以测量并报告以及管理所有元件的热特性。例如，通过知晓系统中每个元件的热极限和热质量，就可能确定元件还有多快即将超过温度极限，以及如果对于应用是适宜的，确定降低该元件的功率，或降低供应给其他元件的功率，以避免它们有助于封装内部的发热，从而允许所述元件运行得更快且更长久。

所述 CPU 可以用来做出关于系统操作将根据热预测如何被调整的决定。磁盘驱动器的控制是一实例。现代操作系统利用 CPU 内部的几层高速缓冲存储器和 CPU 外部的其他存储器，以最小化磁盘驱动器的活动，并执行其它功能。更特别地，如果有多个应用软件同时运行，则他们竞争系统资源，且所述操作系统将那些应用程序来回传递 (page) 给硬盘驱动器。许多资源要求的同时出现可以导致磁盘驱动器活动的惊人增加。如果操作系统从热管理系统处收到关于磁盘驱动器以当前速度继续运行一段所考虑的时间就将违反该磁盘驱动器的温度极限的信息，则所述操作系统可以改变待决任务的优先级，那么磁盘就被较低频次地访问。例如，低优先级的任务可以被稍低频次地服务。可选地，所述操作系统可以暂停 (suspend) 某些应用程序，直至温度有所降低或高优先级的活动有所平息。这允许所述操作系统以有计划的、逐步的方式控制热负载的减少，直至仅剩的活动是基本的 OS 例行程序为止。如果所述计算机正运行于热环境中，且确定了热极限将被超过，那么控制系统可以减少 CPU 活动以减缓该机器的总体

性能。从用户观点来看，这在 CPU 温度逼近热极限时，提供了一种适度的性能减缓。

传统的设计方法使用温度测量，所述温度测量在对硬件元件、应用软件和周围温度的组合测试期间进行，以估算系统为生存而必须被设计的最坏情形的热条件。本领域技术人员应认识到测试适当的排列数以确信地预测真正最坏情形条件的难度，故在系统说明书中，经常提供一个额外的温度余量。与传统方法相比，目前的实施方式允许设计一个更窄的热限制范围，产生更小的产品，并提供用户选择温度极限的可能。例如，在一些产品中，工业标准允许 60℃ 的表面温度，但一些用户可能宁愿通过选择性地降低系统中一些元件的性能，以指示产品降低其表面温度。因此，用户将可以选择不同于系统设计者所选择的热极限。

在产品设计时，所有不同元件的热质量和元件对外界之间的热阻是已知的。那些数据是产品机械设计的自然 (physical) 结果。然而所未知的是在不同操作环境中将被消耗的功率。例如，如果产品的总体温度非常冷，半导体器件可以制成为在冷环境下汲取较小的功率，并可以被操作于较低的电压。类似地，RAM 器件在低温下消耗的功率可以低于高温操作时消耗的功率，高温操作时需要更高的电压以正常运行，且操作于相同的性能水平时，高温操作要消耗更多功率。因计算机制造商从不同制造商处购买组件，且一些 RAM 更加高效，故功率使用测量是重要的。低功率下的存取时间与净带宽是可实现的。相应地，当制造商安装更高效的 RAM 时，通过测量由方程式得出的功率，所述更高效的 RAM 将被测出消耗较小的功率，并因此在产生高热结果前，所述更高效的 RAM 将可以操作于较高活动级别，且根据本发明的热管理系统可以用于动态地使系统适应。

根据本发明，在一种实施方式中，热管理是由功率转换电路执行的。这可以通过使用一种系统的部分得以实现，所述的系统在 2005 年 5 月 10 日授予 Kent Kernahan 的共同转让的美国专利 6,891,355 中公开，其通过引用被全文并入。本发明使用了在上述引用的 '355 专利中公开的系统的 3 个主要模块的特征利用。一个模块是数据获取系统，该系统测量输出电压和输出电压变化率，并继而提供该信息给调节引擎 (regulation engine)。关于

电压和时间信息及其具有的实际组件的模型，所述调节引擎实时使用微积分算法（calculus）来控制输出电压，估算传输给输出电路的负荷量，并以该信息调节电压、电流、斜波信号（ramp），以及处理超负荷情形。

用于本发明的所述'355 专利中的第三模块是系统模块。该系统模块包含 8051 型微控制器、RAM、和 ROM，运行程序并执行总体管理诸如功率管理，以及响应于收到命令或响应于外界情况的测量而开关其它元件。实例包括不足以运行特定输出的电池寿命、过低而不能运行特定通道的电压、各种故障情况、过电流限制、或诸如可能致使所述系统模块关闭其他元件的监控器超时的错误情况。另外，所述系统模块也从所述调节引擎获取原始信息，并转化所述原始信息以执行任务。一个典型的任务是电池充电算法或最新的电池充电算法，在电池充电算法中，调节稳恒电流一段时间并继而调节稳恒电压，在最新的电池充电算法中，电压变化率用于确定充电速率，以提供一个恒定的充电速率。使用'355 专利的信息与特征，连同所述产品的诸如估算的或测量的即时温度的热特征的矩阵一起，温度变化速率以及对最终或稳态温度的预测是可以确定的。系统模块在高层与操作系统相互作用，并报告此信息以实现这些元件的热参数的管理。例如，在一种实施方式中，所述热管理系统报告温度信息给操作系统，且如果温度预计在预编程的时间段内超过极限或预计超过极限达一段预编程的时间，则该热管理系统被程序化为自主卸载负载以便保护产品。在一种实施方式中，所述功率/热管理电路在磁盘驱动器的控制线上维持一个等待命令，以使该磁盘驱动器只要在预计要超过它的操作温度极限时就看上去繁忙，从而降低系统性能。可选地，CPU 可以被指定在一个或更多周期内什么都不做。在一种实施方式中，所述功率/热管理电路提供信息给外部主机。该主机指令对所述功率/热管理电路采取行动。

系统详细说明

虽然本发明可应用于计算机系统之外的其他系统，但为了本发明的说明目的，描述了包括作为主要产热者的磁盘驱动器（DISK）和 CPU、RAM 的系统。这样的系统在图 1 中从电气观点表明。考察图 1，以电气形式表

示的 CPU 显示于标有参考字符 101 的虚线框中。类似地,所述系统的 RAM 部分被标注为 102 的虚线框显示,且所述 DISK 部分被标有 103 的虚线框表明。所述 CPU、RAM 和 DISK 的组合系统被电气地表现于由参考字符 104 指明的框中。

热力学系统可以通过在元件间设置等效物而建模为电气网络。在用于精确的且局部化的动态热管理的热 RC 建模和控制-理论技术中,Skadron 等人将在热学量与电学量之间常用的等效量列成表格,如表 1 中所示。

表 1

热学量	单位	电学量	单位
P, 热流, 功率	W	I, 电流	A
T, 温差	°K	V, 电压	V
R_{th} , 热阻或 θ	°K/W	R, 电阻	Ω
用于热质量、容量的 C_{th} 或 C	J/°K	C, 电容	F
$\tau_{th} = R_{th} \cdot C_{th}$, 热 RC 常量	s	$\tau = R \cdot C$	s

用表 1 中显示的热-电关系,可以建构模拟热力学系统工况的电路。这样的电路显示于图 1,代表了膝上型或掌上型计算机中的一些主要的子系统。由参考字符 101-1 指示的独立电流源 I_{CPU} 、由参考字符 102-1 指示的独立电流源 I_{RAM} 、和由参考字符 103-1 指示的独立电流源 I_{DISK} 分别代表着在模块 CPU、RAM 和磁盘驱动器的每个中产生的热功率。电容器 C_{CPU} 、 C_{RAM} 和 C_{DISK} 是所述模块的热质量的类似物。在图 1 的实例中,CPU 具有 RAM 的热质量的两倍以及磁盘驱动器的热质量的十分之一。所述磁盘驱动器因此将比其他模块发热和冷却得更慢。电阻器 R_C 、 R_R 和 R_D 是到周围环境的热通道。

除了由电流项 I_C 、 I_R 、和 I_D 的自发热,以及通过阻抗到环境的冷却或加热外,每个模块传输热能给周围较冷的模块,并从较热的模块吸收热。模块间的热传递被表示为 (i) 由参考字符 105、106 和 107 指示的压控电

流源，所述电流源的输出电流是其控制输入端的电压差（两个模块间的电压差）的函数，和（ii）在那些模块间输送电流的电阻器 R3、R4 和 R5。这就是热流等效物，所述热流的大小和方向取决于模块间的温度差。压控电流源 105、106 和 107 用于使自发热项与涉及到其它模块的热传递的项隔离。即，模块中消耗的功率直接加热该模块，并间接加热周围的模块。所述电阻器代表模块间的热阻。

电路 104 包括 3 个串连的压控电流源，将跨接在所述模块上的电压电气地相加。因为所述电路中的电压对应于被建模的系统中的温度，所以电压 VCPU、VRAM、和 VDISK 代表所述 CPU、RAM、和磁盘驱动器的温度，且 VSYSTEM 是整个系统的温度。

参考图 2A-2D，电压 VCPU、VRAM、和 VDISK 显示为功率首先分别施加于所述 3 个模块、然后再组合施加于所述 3 个模块。本例中，1 伏特电压对应于所述系统的最大允许温度。

图 2A 中，自时间 0 处开始，CPU 是唯一被供电的模块。它的相对小的热质量导致了当供电时相对迅速的温度升高，且类似地当断电时迅捷地冷却。虽然其它模块没有被供电，但它们从所述 CPU 吸收一些热。这通过当仅有所述 CPU 正在运行时，在图 2B 和 2C 中它们各自的曲线上呈现的非零电压而被显示。

类似地，当所述其它模块被单独供电时，它们的温度迅速上升，且未活动的模块吸收热并显示一个小的温升。例如，图 2B 中，当仅有 RAM 被供电大约 30 秒时，它的温度迅速升高，并传递热给其他模块。磁盘驱动器具有大得多的热质量，故所述磁盘驱动器看起来比其它模块加热更慢。

图 2A、2B、2C 和 2D 表明了通过控制产热组件的操作，系统如何被维持运转并处于可接受的热极限内。例如，在大约 70 秒时间点处，所述 RAM 和 CPU 同时接通电源，通过运行于比单独通电时更低的功率，分享热预算。当功率在 80 秒时间点被施加于磁盘驱动器时，给 RAM 的功率被降低，以适应磁盘驱动器即将产生的热。假设控制分配给每个模块的功率的算法被提供了所有相关的系数，那么如果 RAM 的功率轨上的电压可以被逐渐地降低，则通过以与磁盘驱动器的温度升高速率相同的速率降低所

述电压，最佳的系统性能就可以被实现。在 90 秒处，磁盘驱动器开始消耗更多功率（以更快的每分钟转数（rpm）旋转、每秒读写更多数据等），故 CPU 的功率被降低。如前，此种降低可以被逐渐地实施以维持性能的最高水平。

使用热性能的电模拟，可能确定每个产热元件的温度变化率。下面的典型方程式描述了图 1 中表明的系统，该系统包括作为产热元件的 CPU、RAM 和 DISK。尤其为了确定作为时间的函数的 CPU 温度的变化率，如下的公式是可适用的：

$$\frac{dV_{\text{CPU}}}{dt} = \frac{I_c}{C_c} - \frac{V_{\text{CPU}}}{R_c * C_c} + \frac{V_{\text{RAM}} - V_{\text{CPU}}}{R3 * C_c} + \frac{V_{\text{DISK}} - V_{\text{CPU}}}{R5 * C_c} \quad (1)$$

类似地，RAM 的温度变化率可以被表示为：

$$\frac{dV_{\text{RAM}}}{dt} = \frac{I_R}{C_R} - \frac{V_{\text{RAM}}}{R_R * C_R} + \frac{V_{\text{CPU}} - V_{\text{RAM}}}{R3 * C_R} + \frac{V_{\text{DISK}} - V_{\text{RAM}}}{R4 * C_R} \quad (2)$$

以相似的方式，与系统其他元件结合关于时间的磁盘的温度变化率可以表示为：

$$\frac{dV_{\text{DISK}}}{dt} = \frac{I_D}{C_D} - \frac{V_{\text{DISK}}}{R_D * C_D} + \frac{V_{\text{CPU}} - V_{\text{DISK}}}{R5 * C_D} + \frac{V_{\text{RAM}} - V_{\text{DISK}}}{R4 * C_D} \quad (3)$$

在上述每个方程式中，第一项代表元件的自身发热，且第二项代表热的减少，其是向周围空气以及电路板或机壳的热损失的函数。第三项及后续各项代表来自于其他元件的热增加。可以理解，需要额外的方程式来确定任何加入系统的新热源的温度变化率，且向每个方程式加入新项，以代表从所述新源向其他每个元件的热贡献。

如从上述公式中可以理解的，对于整个系统的温度变化率是对于各个方程式的计算的每个结果的总和：

$$\frac{dV_{\text{SYS}}}{dt} = \frac{dV_{\text{CPU}}}{dt} + \frac{dV_{\text{RAM}}}{dt} + \frac{dV_{\text{DISK}}}{dt} \quad (4)$$

为了达到热平衡，每个组件必须向环境传递热。图 1 中的系统的三个元件中的每个的关系由以下方程式 5、6 和 7 指示：

$$I_c - \frac{V_{\text{RAM}} - V_{\text{CPU}}}{R3} - \frac{V_{\text{DISK}} - V_{\text{CPU}}}{R5} = \frac{V_{\text{CPU}}}{R_c} \quad (5)$$

$$I_R \cdot \frac{V_{CPU} - V_{RAM}}{R3} - \frac{V_{DISK} - V_{RAM}}{R4} = \frac{V_{RAM}}{R_R} \quad (6)$$

$$I_D \cdot \frac{V_{CPU} - V_{DISK}}{R5} - \frac{V_{RAM} - V_{DISK}}{R4} = \frac{V_{DISK}}{R_D} \quad (7)$$

在前面的描述中，所述系统包括 CPU、RAM 和 DISK，然而目前的实施方式可应用于包含多个热源的系统中，在多个热源之间，对于一个源有充分的热耦合，以影响另一个源的温度。

图 3 是典型通用系统 300 的示意图，所述的系统 300 包括由 N_1 、 N_2 、 N_3 ... N_m 指示的 ‘m’ 个热消散源，以及由参考符号 S_1 、 S_2 ... S_K 指示的 ‘k’ 个温度传感器。系统元件之间的热阻由电阻符号 R1 至 R15 指示。如图 3 中所显示，在每对热耦合的功率消耗源 N_i 的成员间有热阻，每个功率源 N_i 与每个温度传感器 S_1 、 S_2 、... S_K 间有热阻，且从每个源 N_i 到周围空气节点 A 有热阻，所述空气节点 A 的温度在图中用 TA 标记。热阻也存在于每对温度传感器 S_1 、 S_2 、... S_K 的成员之间，以及每个温度传感器与紧邻于参考字符 TA 的周围节点 A 之间。被提供到热消散源 N_1 、 N_2 和 N_3 之内的功率分别用 P_1 、 P_2 和 P_3 表示，以箭头指示功率输入。

下面的方程式 8 是一个通用方程，该方程表明了其中最终温度已经确定的静态情形。方程式 8 代表用于节点 N_i 的能量守恒原理。 P_i 是消耗于 N_i 上的功率，第二个项组代表由于 N_i - N_j 热耦合的贡献，第三个项组表示 N_i 至所有传感器 S_j 的耦合，且最后一项是与 TA 的直接交互作用。

$$i=1, m : P_i + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m \theta_{NiNj}^{-1} (T_{Nj} - T_{Ni}) + \sum_{j=1}^k \theta_{NiSj}^{-1} (T_{Sj} - T_{Ni}) + \theta_{NiA}^{-1} (T_A - T_{Ni}) = 0 \quad (8)$$

方程式 8 以及后续方程式中用到的符号如下。下标 N_x 指第 X 号功率消耗源，下标 S_x 指第 X 号温度传感器，以及下标 A 指周围空气。 T_x 是第 X 号元件的温度，且元件 A 和 B 之间的热阻用 θ_{AB} 指示。

方程式 9 用来表明用于温度传感器 S_i 的相同的原理，其中第一项的集合是 N_j 到 S_i 的交互作用，而最后项的集合是表示传感器到传感器的交互作用。

$$i=\overline{1,k} \sum_{j=1}^m \theta_{N_j S_i}^{-1} (T_{N_j} - T_{S_i}) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^k \theta_{S_i S_j}^{-1} (T_{S_j} - T_{S_i}) + \theta_{S_i A}^{-1} (T_A - T_{S_i}) = 0 \quad (9)$$

图 4 表明一种热电路，所述热电路代表适合于热动力温度分析的通用热力学系统，其包括热质量。在图 4 中，每个节点具有它自己的热容量， C_{N_i} 和 C_{S_j} 。热容量项也可以被认为是上面描述的热质量。

在图 4 中，节点 N_i 具有带有参考字符 P_i 的紧邻的箭头，以代表接收热量的节点。节点 S_j 是一个温度传感器节点，且一个第三节点以 C_L 指示。参考图 4 可以理解，有从每个节点延伸至温度 T_A 处的周围空气的热阻。同样，从每个节点到外界有热阻。类似地，热阻数据 $\theta_{S_i S_j}$ 代表传感器 S_i 和 S_j 之间的热阻。被参考符号 C_{N_i} 指示的电容代表象征节点 N_i 的热质量的电气电容器。同样如图 4 显示，是由参考字符 C_{C_L} 指示的节点 C_L 的热质量。

图 4 中表明的电路，可以通过使用下面的方程式 10、11 和 12 以表现其特征：

$$i=\overline{1,m} : P_i(t) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m \theta_{N_i N_j}^{-1} (T_{N_j} - T_{N_i}) + \sum_{j=1}^k \theta_{N_i S_j}^{-1} (T_{S_j} - T_{N_i}) + \sum_{j=1}^p \theta_{C_L N_i}^{-1} (T_{C_L} - T_{N_i}) \\ + \theta_{N_i A}^{-1} (T_A - T_{N_i}) - C_{N_i} \frac{dT_{N_i}}{dt} = 0 \quad (10)$$

$$i=\overline{1,k} : \sum_{j=1}^m \theta_{N_j S_i}^{-1} (T_{N_j} - T_{S_i}) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^k \theta_{S_i S_j}^{-1} (T_{S_j} - T_{S_i}) + \sum_{j=1}^p \theta_{C_j S_i}^{-1} (T_{C_j} - T_{S_i}) \\ + \theta_{S_i A}^{-1} (T_A - T_{S_i}) - C_{S_i} \frac{dT_{S_i}}{dt} = 0 \quad (11)$$

$$i=\overline{1,p} : \sum_{j=1}^m \theta_{N_j C_i}^{-1} (T_{N_j} - T_{C_i}) + \sum_{j=1}^k \theta_{S_j C_i}^{-1} (T_{S_j} - T_{C_i}) \\ + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^p \theta_{C_i C_j}^{-1} (T_{C_j} - T_{C_i}) - C_{C_i} \frac{dT_{C_i}}{dt} = 0 \quad (12)$$

在以上符号中，“m”代表功率（发热）源的数量，“k”代表温度传感器的数量，且“p”代表热容量节点的数量。

方程式 (10) 代表应用于功率消耗节点 N_i 的能量守恒定律, 该方程式类似于方程式 (8), 有如下区别: $P_i(t)$ 是时间的函数, 第四个项组是与 C_L 型热质量的交互作用, 且最后一项代表由于自身热质量 C_{N_i} 的贡献。相似地, 方程式 (11) 与方程式 (9) 类似, 但具有表示与 C_j 热质量的交互作用的额外第三个项组, 且最后一项涉及所述元件的热质量。方程式 (12) 与方程式 (11) 类似, 但用于热质量 C_L 而不是传感器 S_j 。

形式 (10、11、12) 中的方程式总数为 $m+k+p$, 未知量总数为 $m+p+1$ (N_i 、 C_L 和 TA 处的未知温度)。如果没有误差正在影响从传感器 S_j 读取的温度, 则仅需一个传感器 ($k=1$)。然而, 现实中的温度受误差影响。同样, 系统可能存在结合不紧固的区域, 故可能需要在多于一个点测量温度。当一些热阻值未知时, 可能也需要多于一个的传感器。

图 5 是一种热电路, 所述热电路代表一种典型的热力学系统 500, 所述系统 500 包括以节点 N_1 指示的 CPU, 以节点 N_2 指示的存储器和以节点 N_3 指示的磁盘驱动器。在系统 500 中, 假设 N_1 处的 CPU 定位于相对靠近存储器节点 N_2 , 而磁盘驱动器 (N_3) 定位于距所述处理器和所述存储器有一些距离处。考虑到相对距离, 作出某些假设并解释如下。为了系统 500 中的热管理, 由 S_1 和 S_2 指示的温度传感器安置于所述电路板上接近节点 N_1 、 N_2 和 N_3 的位置。如前所述, 系统元件间的热阻被用带下标的希腊字母 θ 表明, 且进入节点的功率被带有指明相应节点的下标的 P 指示。

另外, 对于传感器 S_1 热传感器的热容量用 CS_1 指示, 并且对于传感器 S_2 用 CS_2 指示。类似地, C_{C_1} 指示磁盘驱动器 (N_3) 关于电路板的热容量, 所述磁盘驱动器被装配于所述电路板上。如前, 电阻器被利用以表示节点、传感器元件以及热质量间的热阻。例如, 由 $\theta_{N_1 S_1}$ 指示的电阻器表示节点 N_1 与温度传感器 S_1 间的热阻。类似地, 传感器 S_1 和传感器 S_2 间的热阻用电阻器 $\theta_{S_1 S_2}$ 指示。节点 N_2 和热质量 C_1 间的热阻用 $\theta_{N_2 C_1}$ 指出。节点 N_3 和热质量 C_1 间的热阻用参考字符 $\theta_{N_3 C_1}$ 指出。

图 6 是图 5 中描绘的系统 500 的模块图表示, 且进一步包括被连接于节点 N_1 、 N_2 和 N_3 的功率/热管理电路 (PTMC) 601。PTMC 601 通过输入导线 (lead) 603 接收输入功率 P_I , 并分别地提供功率 P_1 、 P_2 和 P_3 给节点

N_1 、 N_2 和 N_3 。为了说明的方便，电路 500 中的元件间的热交互作用集中于图 6 中的模块 602 内。总线 604 被用于在 PTMC 601 与 CPU 间传送数据。所述 CPU 发送命令给 PTMC 601 以控制功率/热引擎，且 PTMC 601 发送热测量结果、极限值、功率数据以及估算的、测得的、或预测的温度值给 CPU。在 PTMC 601 和 CPU 间传送的数据包括热容量、温度和热阻。下面一组方程式可以用于表现系统 500 动态运行的特征：

$$P_1(t) + \theta_{N1N2}^{-1}(T_{N2} - T_{N1}) + \theta_{N1S1}^{-1}(T_{S1} - T_{N1}) - C_{N1} \frac{dT_{N1}}{dt} = 0 \quad (13)$$

$$P_2(t) + \theta_{N1N2}^{-1}(T_{N1} - T_{N2}) + \theta_{N2S1}^{-1}(T_{S1} - T_{N2}) + \theta_{N2C1}^{-1}(T_{C1} - T_{N2}) - C_{N2} \frac{dT_{N2}}{dt} = 0 \quad (14)$$

$$P_3(t) + \theta_{N3S2}^{-1}(T_{S2} - T_{N3}) + \theta_{N3C1}^{-1}(T_{C1} - T_{N3}) - C_{N3} \frac{dT_{N3}}{dt} = 0 \quad (15)$$

$$\theta_{N1S1}^{-1}(T_{N1} - T_{S1}) + \theta_{N2S1}^{-1}(T_{N2} - T_{S1}) + \theta_{S1S2}^{-1}(T_{S2} - T_{S1}) + \theta_{S1A}^{-1}(T_A - T_{S1}) - C_{S1} \frac{dT_{S1}}{dt} = 0 \quad (16)$$

$$\theta_{N3S2}^{-1}(T_{N3} - T_{S2}) + \theta_{S1S2}^{-1}(T_{S1} - T_{S2}) + \theta_{S2A}^{-1}(T_A - T_{S2}) - C_{S2} \frac{dT_{S2}}{dt} = 0 \quad (17)$$

$$\theta_{N2C1}^{-1}(T_{N2} - T_{C1}) + \theta_{N3C1}^{-1}(T_{N3} - T_{C1}) - C_{C1} \frac{dT_{C1}}{dt} = 0 \quad (18)$$

方程式 13 定义了关于节点 N_1 的热关系，方程式 14 描述节点 N_2 ，以及方程式 15 描述节点 N_3 。方程式 16 描述传感器 S_1 的热关系，以及方程式 17 类似地处理传感器 S_2 的所述关系，所有所述关系都涉及系统 500 的剩余部分。最后，方程式 18 处理热容量 C_1 。

下面是对求解上述方程组中遇到的三种情况的讨论：

a) 未知数与方程式数量相同, 例如, 未知数为 TN_1 、 TN_2 、 TN_3 、 TC_1 、 θS_1A 和 TA 。如果, 例如热传导由于可变的空气流而是可变的, 则 θS_1A 可能是未知的。在此情形下, 所述方程式系统可以被如所示般求解。

b) 未知数多于方程式: 在此情形下, 基于系统的物理性质而增加方程式, 例如未知数为 TN_1 、 TN_2 、 TN_3 、 TC_1 、 θS_1A 、 θS_2A 和 TA 。在此情形下, 人们可推出另一个方程式。例如, 如果两个热阻本质上是相似的(比如根据同一空气流), 则该两个热阻的比率可以被确定为常量。

c) 方程式多于未知数: 例如如果 θS_1A 和 θS_2A 是已知的, 则系统是过度约束的。求解方程式 1 至 6, 将得到非零的结果, 为了方便, 这里用 ε_1 、 ε_2 、 ε_3 、 ε_4 、 ε_5 和 ε_6 表示。上述方程式系统可以在最小均方方法的意义中被求解; 最小化 $\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_4^2 + \varepsilon_5^2 + \varepsilon_6^2$ 就最小化误差。上述 6 个方程式被利用以确定每个节点处的温度, 所述温度既是节点处被元件消耗的功率的函数, 也是该节点正在从邻近节点接收的热量的函数。

PTMC 601 的运行如下。PTMC 601 在某测量时间 t 测量、估算或计算注入每个节点 N_1 、 N_2 和 N_3 的功率, 测量温度 TS_1 和 TS_2 , 然后基于热信息和其它提供给系统设计者的或其已知的数据, 求解方程组。所得的解提供了关注位置处的温度。通过以接连的步骤测量, 升高或降低的温度变化将被识别, 且该信息用于确定例如在元件内的热可能变得超限之前的时间。这在下面关于联系图 7 所提供的操作的描述中被更详细地描述。预测数据然后被发送给系统控制器, 如果有合适动作的话, 所述系统控制器利用该数据确定关于系统操作而将采取的合适动作。

在一些实施方式中, 所述系统控制器是有限状态机 (FSM), 所述系统控制器用于基于对温度的预测值来最优化系统目标。所述系统控制器能够起作用以使在组件温度极限内的系统性能最大化, 以及采取图 7 中流程图所表明的积极步骤。

在不同位置求解用于温度 T 的方程组、以及提供预测数据给系统控制器的前述步骤可以由操作系统执行, 而不是由 PTMC 执行, 其中所述操作系统与包括操作设备 N_1 、 N_2 和 N_3 的系统相关联。

图 7 是表明本发明一种实施方式的操作的流程图。参考图 7，在步骤 A 中，测量施加于系统各模块的电压和流经所述各模块的电流。然后在步骤 B 中，计算每个模块消耗的功率，且在步骤 C 中，基于热模型和系数，确认最近一次计算是否显示有任何模块处于过限温度。如果确定温度过限，那么在步骤 D 中采取修正动作。根据其它模块中的系统配置，此动作可以降低给处于过限温度的模块的功率，且也降低给为处于过限温度的模块贡献热的其他模块的功率。热贡献的减少可以通过许多途径实现，诸如降低模块的活动级别或降低电压。步骤 D 之后，程序返回步骤 A。

如果步骤 C 确定没有模块已经达到过限温度，那么在步骤 E 中检查新的计算结果，以了解是否有任何模块的温度变化被预测。如果这个检查的结果是没有变化，那么程序返回步骤 A，并继续检查每个模块。然而，如果任何模块的温度有降低，那么通过施加更多功率给该模块而提高系统性能就是可能的。步骤 F 确定提高性能是否是所希望的。如果回答为是，步骤 G 被执行以增加功率给适当的模块。如果不希望提高性能，那么系统返回步骤 A。如果在步骤 E 中确定最近的功率计算预测有任何模块温度的增加，那么在步骤 H 中对照模块的和系统的温度极限检测所述温度。如果没有极限将被超过，则系统返回步骤 A。如果在步骤 H 中，有温度被预测要超过极限，则在步骤 I 中，计算时间直到超过所述极限为止，且程序于步骤 J 继续。

在步骤 J 中，对照在步骤 I 中计算的超过温度极限的时间估算，检测导致温度极限被超过的活动的持续时间。如果所述活动将在温度超过极限的估算时间前终止，则程序返回步骤 A。如果所述活动在温度极限被超过前不终止，则程序以步骤 K 继续。

在步骤 K 中，基于全系统的活动做出决定：是更适宜降低被施加于很可能过热的模块上的功率，还是降低给其他热产生物体的功率。如果确定所述很可能超过允许温度的模块就是那个功率应被降低的模块，那么在步骤 L 中执行功率的降低。这将通过减少所述模块的活动或如果允许而降低该模块的电压来实现。在步骤 L 中功率降低之后，程序返回步骤 A。如果在步骤 K 中，做出其他模块的功率应被降低的决定，则在步骤 M 中做出哪

个模块的功率应被降低的决定。在步骤 M 中功率降低的模块被选定后，将在步骤 N 中执行功率降低方案，以减少被选定模块的活动，或降低供给该模块的电压。接着步骤 N 中的动作，系统返回步骤 A 中的起始点，并继续检查系统。

图 8 是图 6 中表明的 PTMC 601 的一种实施方式的功能模块图。在功能上，PTMC 601 中的动作大致可被分为 601-1 指示的算法功能和 601-2 指示的控制部分功能。基于所使用的算法，算法部分 601-1 中完成的计算的结果可能导致改变由活动控制模块 601-3 所指示的活动、或者改变在模块 601-4 中施加于被控单元（CPU、RAM 和 DISK）的电压的决定。如果活动控制是所期望的，则通过线路 601-5 提供信号以控制 DISK，或通过线路 601-6 提供信号以控制 RAM，或通过线路 601-7 提供信号以控制 CPU 的活动。取决于系统设计者的选择，所述控制信号可以对处于控制下的一个或更多设备起作用。供选择地，模块 601-1 中的选定的算法可以指明施加于 CPU、RAM 或 DISK 的电压中的改变、或活动变化和电压变化的组合。如图 8 中所反映的，对 CPU 的电压控制通过 CPU 电源模块 601-8 施加，所述电源模块 601-8 通过线路 601-9 向 CPU 提供功率。CPU 电源模块 601-8 通过线路 601-10 从电压控制模块 601-4 接收控制信号。类似地，关于改变 RAM 功率的决定可以使用通过 601-12 给 RAM 供电的 RAM 电源模块 601-11 而实现，所述的 RAM 电源模块 601-11 通过 601-13 接收控制信号。最后，如果要改变磁盘驱动器(N3)的功率，电源电压(power voltage)控制模块 601-4 通过导线 601-14 发送信号给 DISK 电源控制模块 601-15，所述 DISK 电源控制模块 601-15 的输出通过导线 601-16 提供工作电压给 DISK。

当然应当理解，PTMC 601 可以用各种其他方式在功能上实现，且图 8 中的表示法仅仅是可以用于实践本发明的一种实施方式。

预备 (extra) 专利权利的保留、冲突解决、以及术语解释

本公开合法公布后，本专利申请的所有者不反对其他人对包含于此的文本和图表材料的复制，只要这种复制是为了理解发明的本公开并从而促

进实用技术与科学的有限目的。然而所有者并未放弃与所公开材料合法地相关联的其他任何的权利，包括但不限于，在这里所提供的任何计算机程序列表或技术成果或其它成果中的著作权、以及与这里提供的设计术语或技术成果相关联的商标或商业外观权利、以及包含于此的或另外可由此推导出的其他可保护的主体。

如果任何公开通过引用结合于此，且这样的所结合的公开部分地或全部地与本公开冲突，则就冲突的范围、和/或更广的公开、和/或更广的术语定义，由本公开支配。如果所结合的公开部分或全部地相互冲突，则就冲突的范围，由日期在后的公开支配。

除非在此另外明确声明，通常的术语在它们表达的各自的上下文中具有它们相应的通常的意义，且通常的技术术语在相应的技术中以及在它们表达于此的各自的上下文中，具有它们相应的规范意义。

给出了通用概念及特殊实施方式的上述公开，通过所附权利要求，可界定寻求保护的范。已发布的权利要求并非用于将申请人的权利限于公开的权利要求内，但并未以一个或更多进一步的申请的方式限制于字面声明的主题，所述一个或更多进一步的申请包括那些依美国专利法 35 § 120 和/或美国专利法 35 § 251 提交的申请。

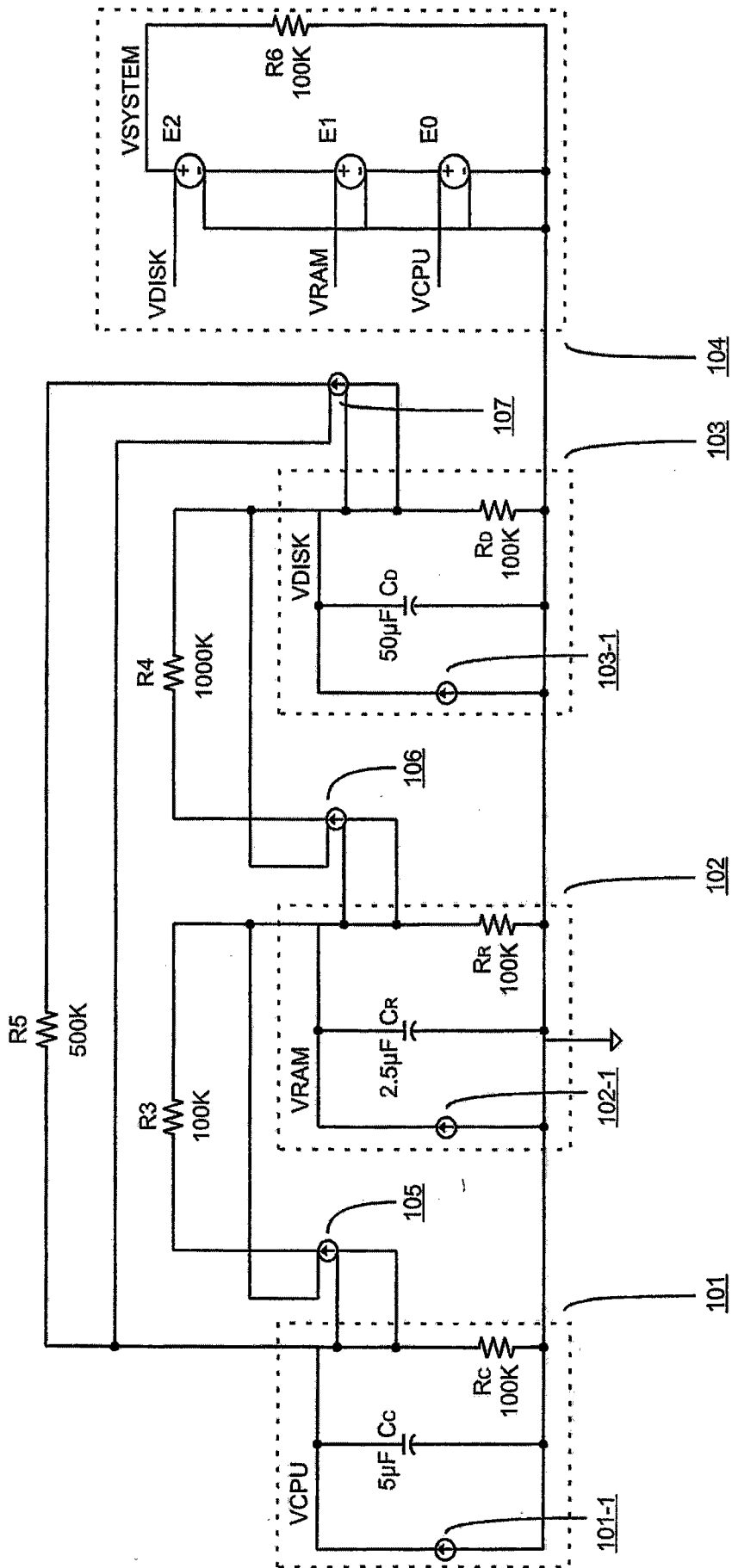


图1

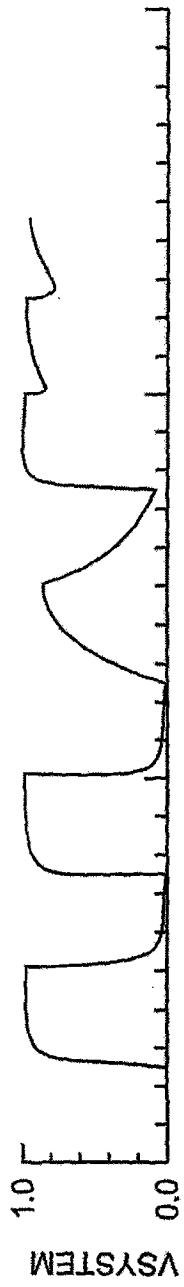


图 2D

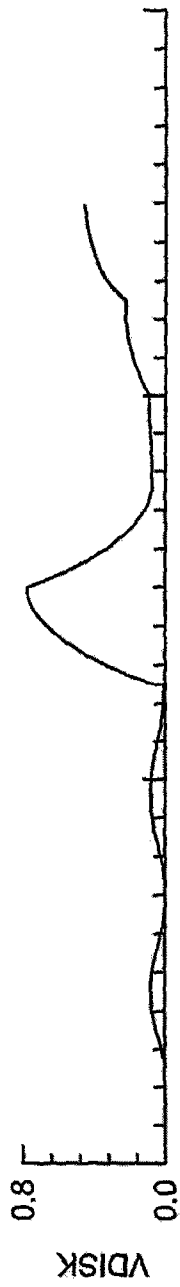


图 2C

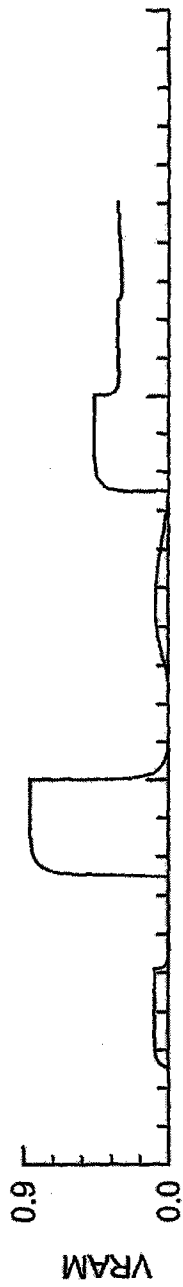


图 2B

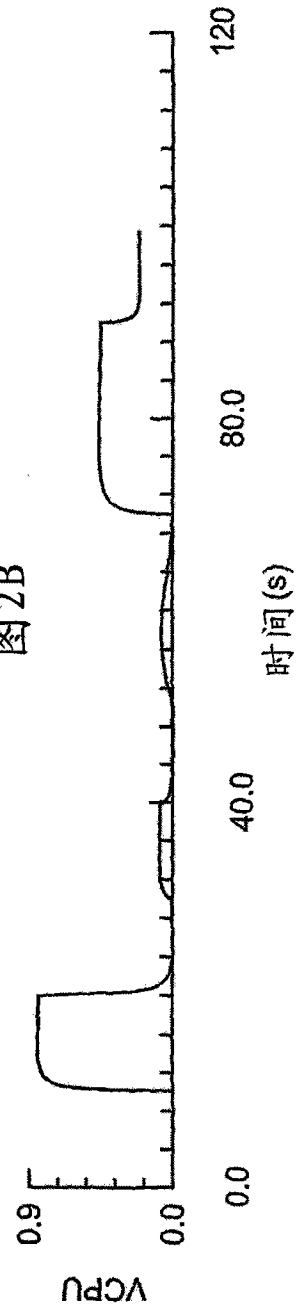


图 2A

300

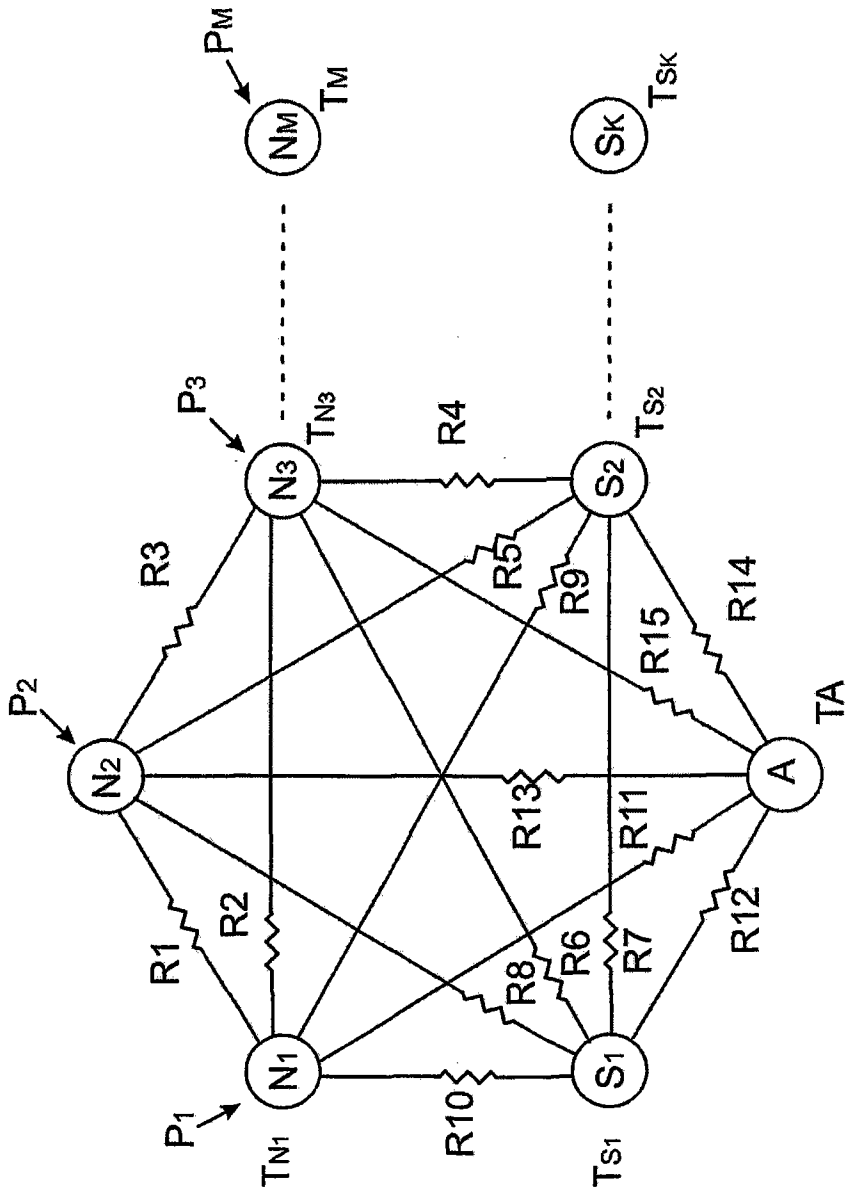


图3

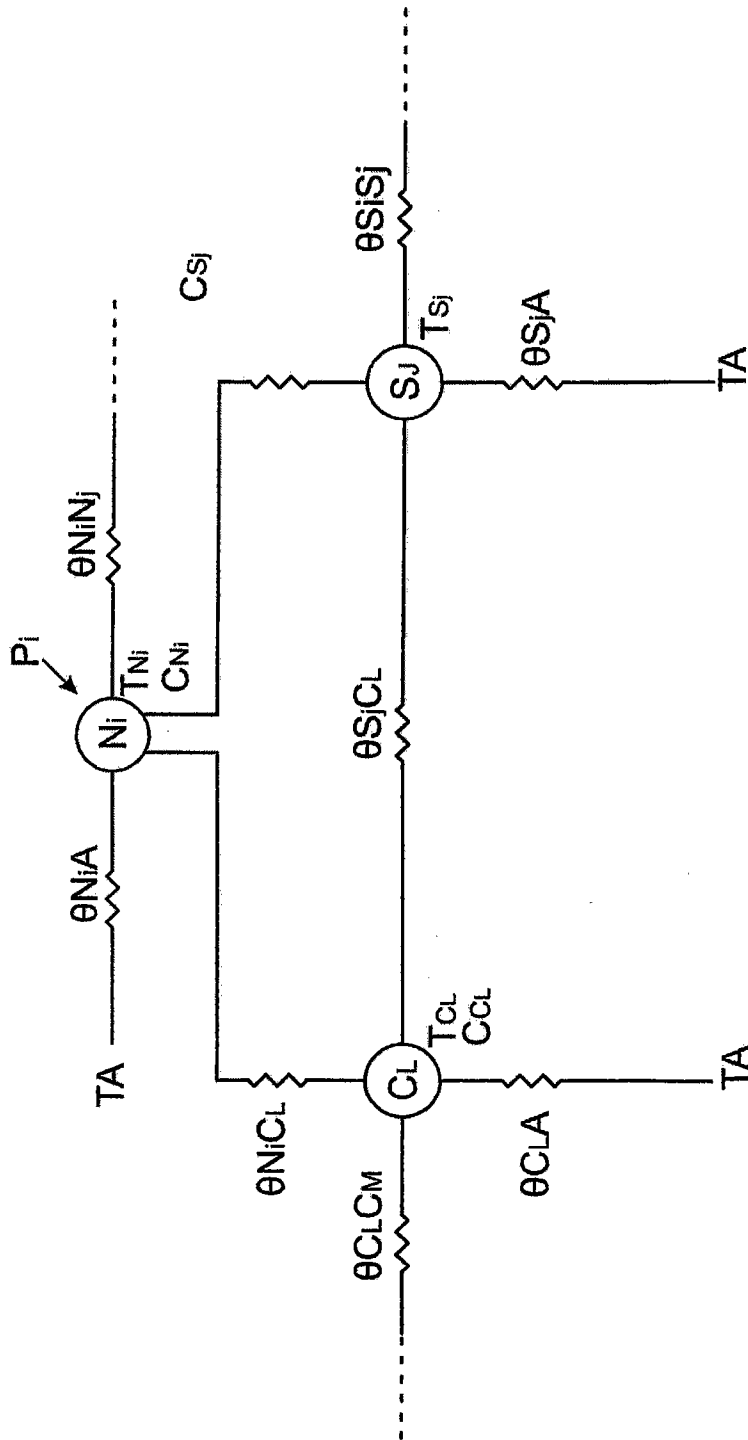


图 4

500

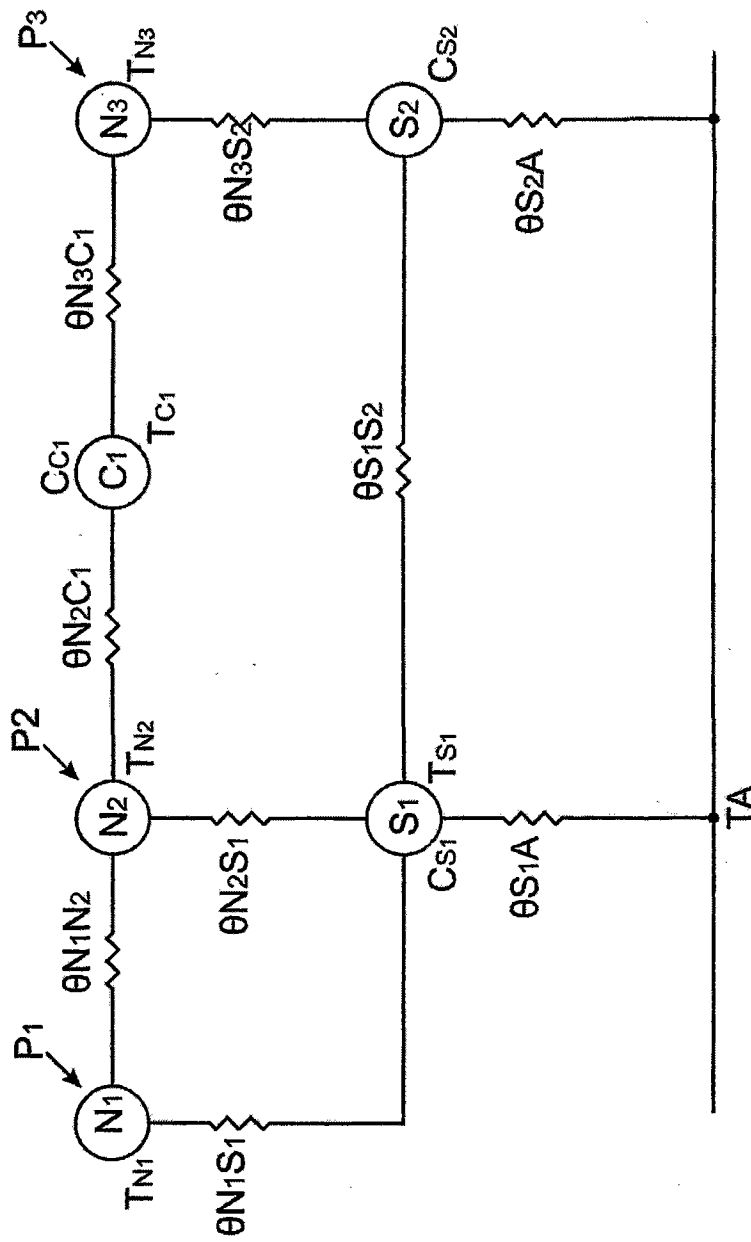


图 5

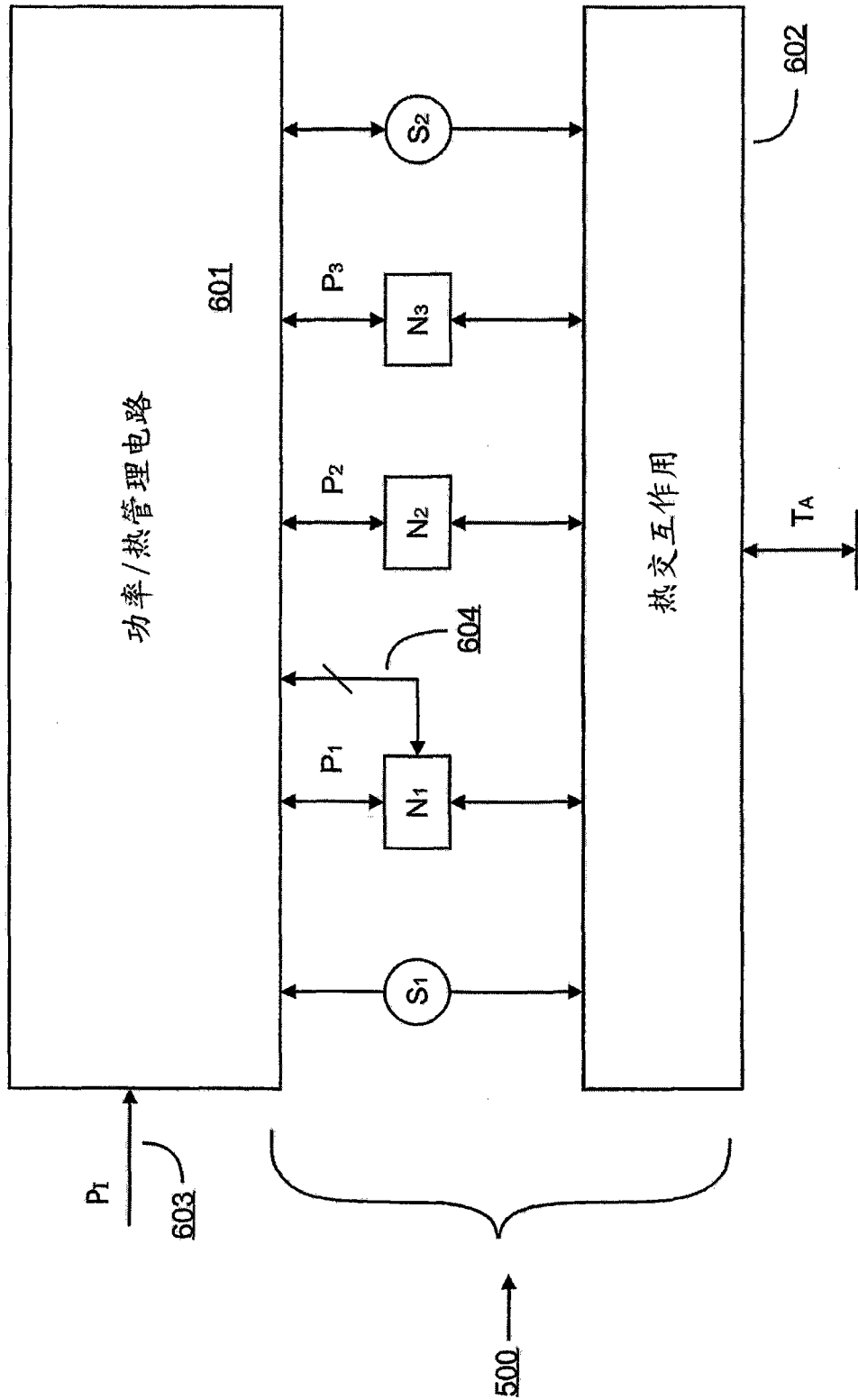


图6

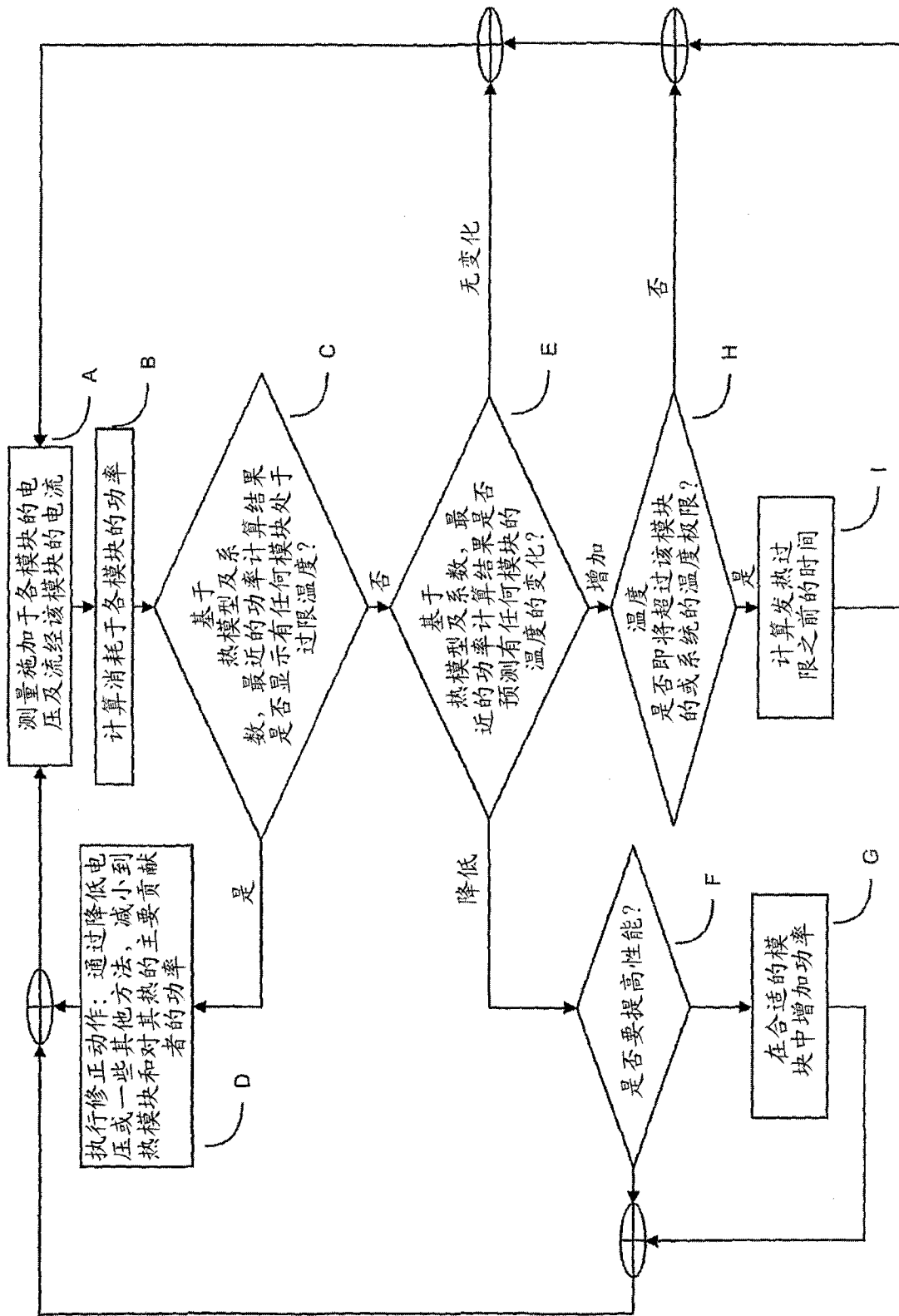


图7A

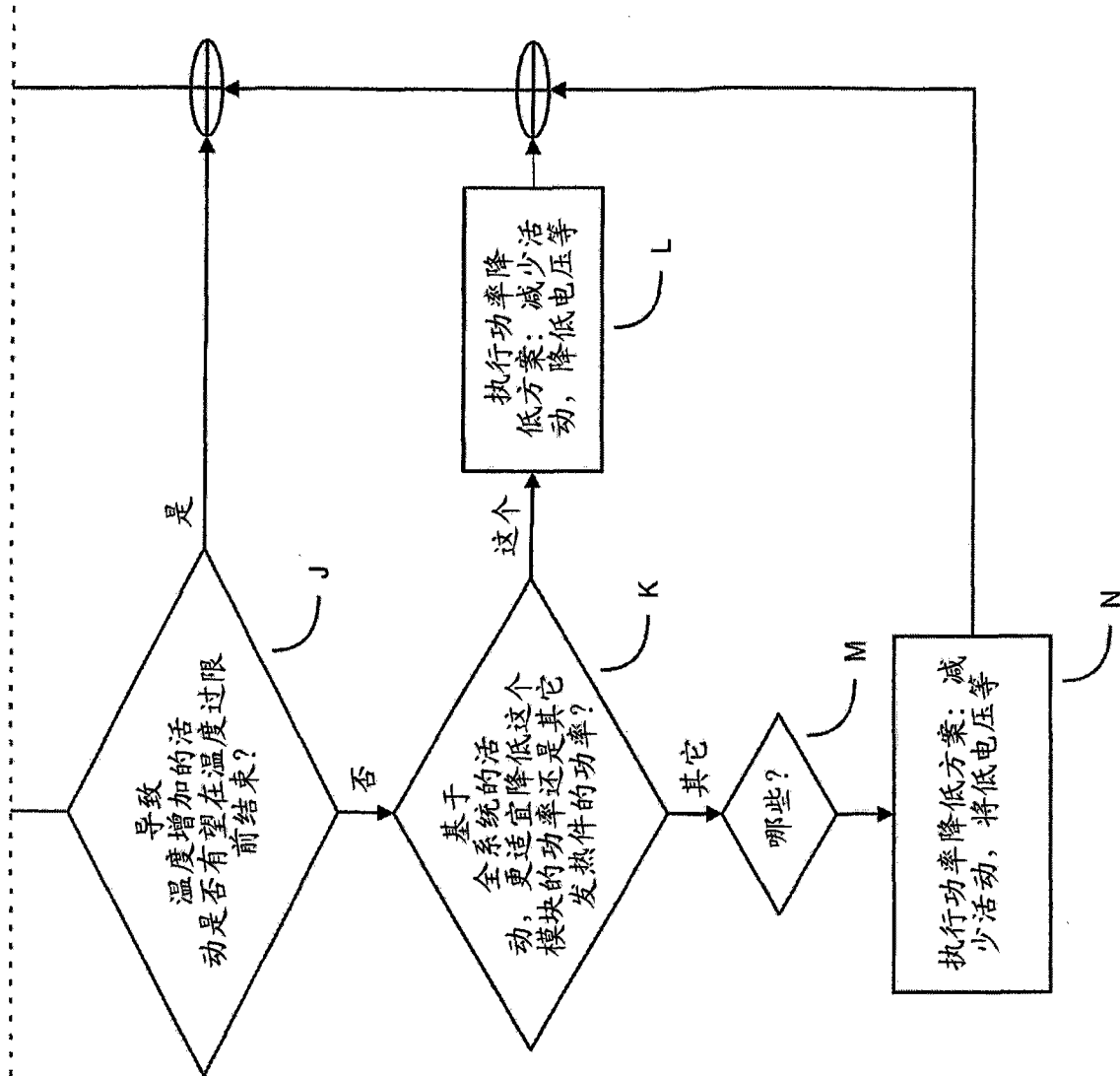


图7B

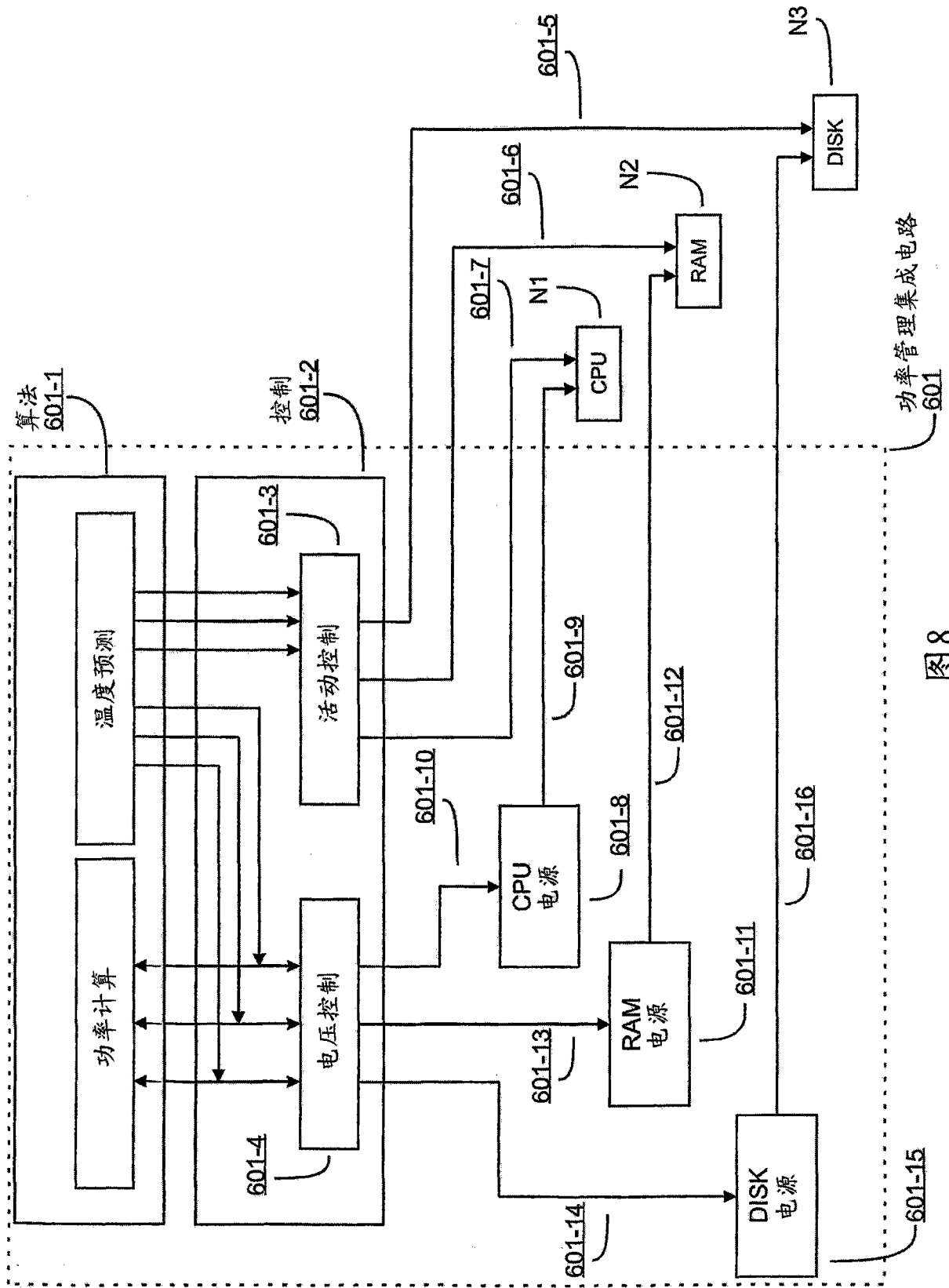


图 8