



[12] 发明专利申请公开说明书

[11] CN 86 1 04790 A

[43] 公开日 1987年3月4日

[21] 申请号 86 1 04790

[22] 申请日 86.7.15

[30] 优先权

[32] 85.7.16 [33] 美国 [31] 755,513

[71] 申请人 西屋电气公司

地址 美国宾夕法尼亚州15222

[72] 发明人 阿维利诺·朱安·冈萨利茨

弗兰克林·约瑟夫·穆尔费

弗兰克林·蒂莫希·埃麦里 彼里·

阿兰·维亚特 威廉姆·吉尼·克拉格

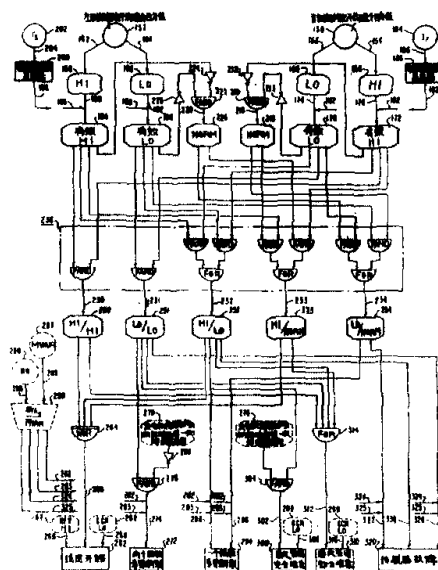
[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利
代理部

代理人 冯庚璋

[54] 发明名称 发电机定子绕组的诊断系统

[57] 摘要

一种用于发电机绕组的诊断系统, 绕组中有引导冷却气体的第一和第二通道。冷却气体的出口温度被测定并转换成规格化的值, 此值可以是“高”、“低”或“正常”。可以利用两个温度读数的“高”、“低”或“正常”之预定组合, 产生许多可能的各种非正常状态的指示。



1. 用于诊断一台发电机绕组系统状态的诊断装置，其发电机内有许多内部带有第一和第二组通风管的线棒，冷却气体就流过这些通风管道；该诊断装置包括对从选定的一些线棒中第一和第二组通风管道引出的冷却气体温度进行监测的设备，并提供相应的第一和第二温度指示信号；该装置的特征为：由一台诊断计算机将上述第一和第二温度指示信号作为输入而接收；此计算机又产生相应的第一和第二规格化的温度指示信号，以确定上述规格化的温度信号是否偏离正常范围以外；该计算机还产生在上述范围内和范围外的规格化的信号的预定组合；这样，上述诊断计算机就可根据上述组合给出被监测线棒之预计的可能发生的非正常状态的指示，并向操作人员发出非正常状态的信号指示。

2. 根据权利要求1的装置，其进一步的特征为：上述第一和第二规格化的温度信号是高、低或正常，这取决于它们是否高于、低于正常范围或在正常范围内；上述预定的组合包括有高/高、低/低、高/低、高/正常和低/正常组合。

3. 根据权利要求1的装置，其进一步的特征为：上述绕组系统包括了许多相带，每个相带都装了上述监测设备。

4. 根据权利要求3的装置，其进一步特征为：仅在每相带的一个线棒上装有上述的监测设备。

5. 根据权利要求1的装置，其进一步的特征为：一个射频监测器对上述绕组系统中的电弧的存在进行监测，并提供一个相应的输出信号指示；一个发电机状态监测器，对由于上述绕组系统的过热产生

的在冷却气中出现的颗粒物进行检测，并提供一个相应的输出信号指示；诊断计算机也对上述射频监测器和发电机状态监测器的输出信号以及上述预定的组合信号作出附加的应答，产生一些具体的预计的非正常状态的指示。

6. 根据权利要求 1 的装置，其进一步的特征为：具有用于确定发电机运行中的负荷水平并产生一个相应输出信号指示的设备；而上述诊断计算机能附加响应上述运行中的负荷水平以及预定的组合，以产生一些具体的预计的非正常状态的指示。

7. 根据权利要求 1 的装置，其进一步的特征为：上述预计的非正常状态之一指示在上述绕组系统中的一个导线断线。

8. 根据权利要求 1 的装置，其进一步的特征为：上述监测设备包括有第一和第二温度监测器，以及用来分别将冷却气体从第一和第二组通风管道引到第一和第二监测器的第一和第二气体导管；预计的非正常状态之一能指示上述气体导管之一已破损。

9. 根据权利要求 8 的装置，其进一步的特征为：上述预计的非正常状态之一能指示上述两根气体导管有破损。

10. 根据权利要求 1 的装置，其进一步的特征为：上述预计的非正常状态之一能指示上述第一和第二组通风管道完全阻塞。

11. 根据权利要求 1 的装置，其进一步的特征为：上述预计的非正常状态之一能指示上述第一和/或第二通风管部分阻塞。

12. 根据权利要求 1 的装置，其进一步的特征为：上述预计的非正常状态之一能指示上述监测设备的故障。

发电机定子绕组的诊断系统

本发明一般性地涉及到一种用于发电机的在线诊断系统，特别是气体冷却类的发电机。

现代发电设备，比如说那些由蒸汽涡轮机驱动的发电机，其定子绕组具有承载几千安培电流的能力。由于定子绕组的电阻以及通风损耗，这种装置会产生非常大量的热，因此必须提供一个冷却系统，以防止在正常运行时由于发热可能导致的发电机过热。

冷却系统的一种型式，是利用发电机外壳中以及转子和定子结构中冷却气体（诸如氢气）的流动将产生的热量带走。在一种典型设计中，由许多叠片组成的发电机定子铁心，具有均匀分布的沿整个铁心长度延伸的轴向槽。每槽的深度足以容纳两个上下布置的分别绕制的线圈元件边（即线棒），每个线圈元件边被认为是“半匝”。冷却气体在线圈元件边里面通过，所以定义为气体内冷型冷却方式。

在一种气体内冷型设计中，在每半匝线圈中装了两组分开的矩形截面的通风管，以容纳冷却气体。设置了许多温度传感器，以获得由所选定的半匝线圈中的通风管出来的气体的温度读数。一般来说，对于多相发电机，绕组每一相带用一对温度传感器。

温度传感器的输出被监测；这样，任何非正常的指示或读数将表示传感所监测的那一相带中的某一线圈或一些线圈可能存在的问题。将温度读数规格化而不是比较每一原始的温度输出，更为方便。这就是说，在发电机各种特定的负荷条件下，对每一传感器输出的读数都

建立一个校正系数。对于正常运行，每一传感器的输出信号将转换成规格化的平均温升（等于100%）的百分值（PAR）。如果PAR超过了某一限额，例如105%，即给操作人员发出一个报警信号，表示已经超过了限额。

尽管这种装置为操作人员提供了一个可能存在问题的指示，但并没有详细说明是什么问题，也不能考虑为可能是其中某一个温度传感器失效。

因此，本发明的主要目的是提供一种有很大改进的诊断系统，用于上面叙述过的那种类型的发电机。在这种诊断系统中，对包括传感器工作失常在内的各种特定的状态失常情况，都会向操作人员作出分类说明，这样，使操作人员得以采取正确措施。

考虑到这一目的，本发明具备对发电机的绕组系统的状态进行诊断的诊断装置；发电机有许多内部带有第一和第二组通风管道的线棒，冷却气体就流经这些通风管道。该诊断装置包括对从选定的一些线棒中的第一和第二组通风管道中引出的冷却气体的温度进行监测的设备，并提供相应的第一和第二温度指示信号。此诊断装置的特征为：由一台诊断计算机将上述第一和第二温度指示信号作为输入而接收，此计算机又产生相应的第一和第二规格化的温度指示信号，以确定上述规格化的温度指示信号是否偏离正常范围；该计算机还产生在上述范围内和范围外的规格化的信号的预定的组合；这样，诊断计算机就可根据上述的组合给出被监测线棒之预计的可能发生的非正常状态的指示，并向操作人员发出非正常状态的信号指示。

参考附图，并用实例对本发明的较佳实施方案进行说明如下，其中：

图 1 是一个发电机的简化截面图。

图 2 是一个表示在发电机定子的一个槽中安排的两个“半匝”线圈的截面图。

图 3 是一个视图，表示两个“半匝”线圈的端部电气接头以及通风管和温度检测器。

图 4 用来表示图 1 的发电机的各相带及温度检测器的布置。

图 5 是一个表示发电机绕组电气接线的图。

图 6 A 和 6 B 是表示温度读数的测取和将这些读数传送至诊断装置的方框图。

图 7 和图 8 是用来说明本发明可能采用的一种专家系统的结点图。

图 9 A 和 9 B 用来说明可以用在这种专家系统中的典型函数。

图 10 是一个表示本发明工作的流程图。

图 1 中的发电机 10 包括一个转子 12，它由具有许多槽的定子 14 所包围，定子的槽用以容纳定子绕组或线圈。图中简单地示出一些线棒，特别是半匝线圈 16；同时，每半匝线圈与装在定子另外槽中的另外半匝线圈在电气上相连。

如图 1 所示，冷却气体（例如氢气）在截面图的左手端处进入与每个线棒 16 相联系的通风管系统 20。该冷却气体将运行中所产生的热量带走，并在截面图右手端线棒 16 处，从通风管系统 20 出来，在此，由一个轴流空压风扇装置 22 压入热交换器 24 中。加热了气体再一次被冷却并经导管 26 送入到通风管系统的入口，导管 26 其中的一根如图所示。虽然此图未加标明，氢气实际上也流经转

子 1 2 和定子铁心 1 4 中的通路。

本装置除了采用许多温度检测器外，还包括了两个另外的传感器：一个射频监测器（R F M）3 0 以及一个发电机状态监测器（G C M）3 2。电弧通常是与定子绝缘或导线故障有关的一种症候，它可以使发电机造成极严重的损坏。作为上述故障的后果，在金属表面间可能出现小的间隙，这就是发生电弧的根源。通过 R F M 3 0 可以检测到由电弧发出的射频信号，R F M 3 0 的输出信号可以用来作为诊断过程中的一个输入量。这种传感器正如 G C M 3 2，已是商品化产品，它包含一个离子室，用以检测发电机的冷却氢气中由于发热产生的颗粒物，由气体导管 3 5 将冷却氢气送到 G C M，并从气体导管 3 6 返回到发电机。发电机内的任何有机材料，如绝缘，热到一定程度时就开始热分解，此时就会有高密度的微小颗粒产生。从 G C M 发出的表示出现上述情况的信号，也可以在诊断系统中用作为一个输入信号。

图 2 示出两个线棒，即定子铁心 1 4 的槽 4 2 中下层线棒 4 0 和上层线棒 4 1。每个线棒由许多彼此绝缘的导体 4 4 组成。这些导体也叫作匝线。每个线棒的匝线还要包上各自的绝缘层 4 8 和 4 9，绝缘层 4 8 和 4 9 用适形垫 5 0 分开，各绕组借助槽楔 5 4 和波纹弹簧板 5 5 在槽内固定。

匝线 4 4 置于通风管组的两侧，通风管组引导氢气流动冷却线棒。下层线棒 4 0 包括两个通风管组 6 0 和 6 1，每个管组由许多矩形截面的通风管子 6 2 组成。同样，上层线棒 4 1 也包括通风管组 6 4 和 6 5，它们也是由许多矩形截面通风管子 6 2 组成。

图 3 示出两个线棒以半匝线圈 7 0 和 7 1 形式位于定子的氢气排

出端的情况。线棒 70 的匝线被引入各自的导线组 74 并借助于钎焊并头套 76 与线棒 71 的导体组 75 在电气上连接。

在先有技术装置以及本发明中，仅对每相带的一个线棒的出氢进行监测。如图 3 所示，实现的办法是：将右边通风管组 82 r 的一个矩形截面通风管子 80 r 的端头封住，并经过开口 83 r 将气流转引入第一室 84 r，然后借助气管或挠性导管 86 r 引入第二室 85 r。

温度传感器 90 r 置于小室 85 r 中，90 r 可以是电阻——温度监测器 (RTD)。一种熟知的监测器，其电阻值的变化正好是通过它的冷却气体的温度的函数。从第二室 85 r 出来的气体，又进入发电机的内部环境使其冷却并重复循环。

左边的通风管组装有同样的设备，部件的参考编号与右边的那些部件编号相同，然而带有字母符号 l。

图 4 是一个从线棒 (图中以小方块表示) 的端部看去的一台三相发电机的定子绕组的简化图。对于三相发电机，有六个相带 $\varnothing A$ 、 $\varnothing A'$ ； $\varnothing B$ 、 $\varnothing B'$ ；和 $\varnothing C$ 、 $\varnothing C'$ 。RTD 1 和 2 监测相带 $\varnothing A$ 中的一个线棒，RTD 3 和 4 监测相带 $\varnothing B$ 中的一个线棒，RTD 5 和 6 监测相带 $\varnothing C$ ，RTD 7 和 8 监测相带 $\varnothing A'$ ，RTD 9 和 10 监测相带 $\varnothing B'$ ，RTD 11 和 12 监测相带 $\varnothing C'$ 。有六个相带的典型发电机绕组的等值电路图如图 5 所示。在图 5 中，六个相带中的每一个都具有 12 个独立的绕组，这里所说的每个绕组由半匝线圈所组成。

图 6 A 和 6 B 示出把 RTD 数据提供给一台诊断计算机，从而可以检测出早期状态失常的两个方法。在图 6 A 中，和图 3 一样，

R T D 1 至 1 2 是在发电机内部，导线从这些检测器引出并与一个接线盒 1 0 0 相接。各个接线端子被连接到一个扫描和转换电路 1 0 2，该电路周期地对每个电阻进行扫描，并将它转换成相应的温度指示 T_1 至 $T_{1,2}$ 。将这些温度指示输出至一个就地数据中心 1 0 4，数据中心不仅周期地汇集温度指示，而且汇集来自发电厂其他传感器的输入信号，包括 R F M 和 G C M 的输出信号。在这一点上，R T D 可以被看作一个温度传感器的检测部分，该检测部分应该包括扫描和转换电路 1 0 2 中的一部分电子线路。

图 6 A 的实施方案中，数据中心 1 0 4 运行中周期性地将汇集的信息传送到远方站，远方站中装有一台进行所需诊断工作的诊断计算机 1 0 6；该机将有关可能的非正常状态预兆信息提供给显示装置 1 0 8；显示可以是单一或多重组合的，包括数字显示，如信息打印，还包括彩色图表、对话式彩色图表等。

图 6 B 与图 6 A 类似，只是诊断计算机 1 0 6 与其监测的发电机处于同一发电厂中。

在较佳实施方案中所采用的故障诊断计算机 1 0 6，通过执行一个专家系统计算机程序来控制故障诊断过程，该程序应用知识的模拟和推理过程作出通常由有经验的专家才能确定的结论。知识模拟的一种通用的形式是以 I F ... T H E N 规则的形式表示的；在实施本发明时可能采用的一个这样的系统是 P D S（过程诊断系统），在 1 9 8 3 年 8 月 8 日—1 2 日举行的第八届国际人工智能联合会的科研报告集中描述了这种系统，见 1 5 8—1 6 3 页。在该系统中（同样在其它专家系统中），基本上对于每个规则都有一个前提或根据（I F 部分），也有一个推论或假说（T H E N 部分），它可以作为

其它规则的根据。如图7所画出的，根据120通过规则124连至合乎逻辑的假说122，根据和假说组成了系统的结点。数字126表示结点120的一个支持规则；就是说，对该规则来讲，结点120是一个假说。规则124是一个受结点120支持的规则，也就是说，对该规则来讲，结点120是一个根据。同样，规则124对结点122来说也是一个支持规则。在系统中，举例来说，结点可以采取根据、假说、故障、传感器和存储结点等形式，存储结点能够贮存从其它结点输入的数值，并能对这些值执行某些预定的数学运算。在附图中，假说（或根据）结点是八角形的；非正常状态出现在故障结点中，以矩形表示；传感器结点是圆形的，而存储结点是梯形的。

与每个结点相关连的是一个可靠性测度 M_B ，即表明该结点（假说）是真实的；还有一个误差测度 M_D ，表明了该假说不真实的概率。这两个因数的取值范围是从0到1，二者之差 $M_B - M_D$ 产生了一个确定系数或置信系数 C_F ，其值在-1到+1之间变化，正数代表该假说真实的置信度，负数代表该假说不真实的置信度；在0附近的数值表示不确定性。

在有关诊断的领域中，专家（或专家们）建立起各种各样的规则和关系，将它们贮存在计算机的存储器里并用于诊断过程。这里也利用了专家对规则的充分性的相信程度。这个相信程度反映出专家对于根据的存在是怎样对假说进行证实所作出的判断；对此给出一个数值表示，称之为充分性系数 S_F ，其值在-1到+1之间变化。 S_F 的正值表示：根据的存在意味着假说是真实的； S_F 的负值表示：根据的存在意味着假说是不真实的。

PDS另外还利用了专家对规则的必要性的相信程度，它说明根据的存在在多大程度上对于假说的真实性是必要的。对于这个必要性也给出一个数值表示，称之为必要性系数 N_F ，其值在-1到+1之间变化。 N_F 的正值表明：根据的缺乏意味着假说是不真实的； N_F 的负值表明：根据的缺乏意味着假说是真实的。

图8示出了另一种常用的方案。图中有多个规则128至130，它们把根据结点132至135与一个故障结点138相连。环节140表示根据的组合方式：a)逻辑和的方式，也就是说，以根据134“或”135存在的方式组合；或b)逻辑乘的方式，也就是说，以根据134“与”135存在的方式进行组合。

置信度通向在被诊断的系统中可能出现的一个合乎逻辑的故障，它以重复循环的方式从根据到假说进行传送。在循环开始时，将每个结点的 CF 、 MB 和 MD 值置零（只有传感器结点例外，该结点的 MB 和相应的 CF 值假定为+1）。

如果根据的 CF 为正值，则利用规则的充分性来传送置信度；如果根据的 CF 为负值，则利用规则的必要性传送置信度；如果 CF 为零，什么事情也不做。

基本上说，若根据的 CF 为正而且 S_F 为正、则假说的 MB 就增大；若 S_F 为负，则假说的 MD 就会增大。

相反地，若根据的 CF 为负，而 N_F 为正，则假说的 MD 会增大；若 N_F 为负，假说的 MB 将会增大。举例来说，对于图7所示的单一规则的情形，如果 MB 和 MD 是该规则的假说的可靠性和误差， CF 是对该规则的根据的置信度， S_F 和 N_F 是该规则的充分性和必要性，则有：

若 $C F > 0$ 并且 $S F > 0$:

$$M B = C F \times S F \quad (1)$$

$M D$ 不变

若 $C F > 0$ 并且 $S F < 0$:

$$M D = C F \times (- S F) \quad (2)$$

$M B$ 不变

若 $C F < 0$ 并且 $N F > 0$:

$$M D = (- C F) \times N F \quad (3)$$

$M B$ 不变

若 $C F < 0$ 并且 $N F < 0$:

$$M B = C F \times N F \quad (4)$$

$M D$ 不变

对于图 8 所示的多规则情形，顺序检查每个规则，并按照下列方法对每个规则进行计算，就可得出最后的数值。下列各式中， $M B$ 旧和 $M D$ 旧是每次计算前该规则的假说（故障）的可靠性和误差； $C F$ 是该规则的根据的置信度； $S F$ 和 $N F$ 是该规则的充分性和必要性；而 $M B$ 新和 $M D$ 新是每次计算后该规则的假设（故障）的可靠性和误差：

若 $CF > 0$ 并且 $SF > 0$;

$$MB_{\text{新}} = MB_{\text{旧}} + (1 - MB_{\text{旧}}) \times CF \times SF \quad (5)$$

$$MD_{\text{新}} = MD_{\text{旧}}$$

若 $CF > 0$ 并且 $SF < 0$;

$$MD_{\text{新}} = MD_{\text{旧}} + (1 - MD_{\text{旧}}) \times CF \times (-SF) \quad (6)$$

$$MB_{\text{新}} = MB_{\text{旧}}$$

若 $CF < 0$ 并且 $NF > 0$;

$$MD_{\text{新}} = MD_{\text{旧}} + (1 - MD_{\text{旧}}) \times (-CF) \times NF \quad (7)$$

$$MB_{\text{新}} = MB_{\text{旧}}$$

若 $CF < 0$ 并且 $NF < 0$;

$$MB_{\text{新}} = MB_{\text{旧}} + (1 - MB_{\text{旧}}) \times CF \times NF \quad (8)$$

$$MD_{\text{新}} = MD_{\text{旧}}$$

对于一个逻辑和的结点（“或”功能），可能会利用所有的根据中提高的置信系数，即 CF 可以从 MB 的最大值中减去 MD 的最小值

来得到。如果该逻辑结点是逻辑乘的结点（“与”功能），可能会利用所有置信系数中的最小值，即从M B的最小值中减去M D的最大值来求得C F。另一种可选择的方法是，对“或”功能和“与”功能采用加权平均值。

“与”功能和“或”功能实际上并不是数字式的（1或0），这里所采用的逻辑被称为模糊逻辑。相应地，正如这里采用的，模糊逻辑“与”和“或”功能分别标示为F A N D和F O R；而加权的“与”和“或”功能则分别标示为W A N D和W O R。

这样，利用上面适用的公式，对于一个假说，就可计算出其可靠性和/或误差的测度。根据这些数值，按照关系式 $C F = M B - M D$ 就可算出假说的置信系数。

一个规则的充分性（S F）或必要性（N F）在很多场合下可以表示为一个常数。在其它场合下，充分性和/或必要性可以表示为某种另外的函数，通过对一个特定的变量评价其功能，该函数将生成一个固定数值的充分性或必要性系数。可能采用的一种通用的函数是分段线性化函数，图9 A和9 B示出了这种函数的两个例子。图中Y轴表示S F（或N F）在垂直标度上从-1到+1变化的范围。X轴水平标度表示某一变量的值，例如表示某一传感器读数或某个数学运算的结果。在图9 A中，如果变量的值在0和a之间变化，或大于f，它产生的S F值为-1；如果变量值在c和d之间变动，S F值将为+1。在a和c或者d和f之间变动的变量值所对应的S F值将在-1和+1之间变化。

图9 B代表一个分段线性化函数，图中任何大于b的变量产生的S F值为+1；任何小于-b的变量所产生的S F值为-1；而在

-b 和 +b 之间的变量值所对应的 SF 值在 -1 和 +1 之间变化。

另一种有用的规则是一个读数变换规则。当执行该规则时，对于在该规则的根据结点上的值应用一个变换函数。如果该根据结点是一个传感器，这个值就是传感器读数；如果需要的话，可通过变换执行适当的换算、定标，等等。

图 10 是一个结点图或流程图，它表明了本发明为得到各种发电机的不正常状态而采用的诊断过程，该过程基于 RTD 的读数，并按照前面叙述的专家系统来实现。图示的过程应用于两个 RTD 传感器，即任一相带的一个右传感器 (r) 和一个左传感器 (l)。不言而喻，图 10 的诊断过程将对各相带的所有成对的传感器重复进行。这个方案可能代表一个更广泛的发电机故障诊断系统的一个子系统；该故障诊断系统将检查发电机的各个部件，而不仅仅是绕组。虽然图中只示出了每相带的一对传感器，但对于所选择的其它线棒或全部线棒均可各装设一对传感器。

如上所述，PAR 值是一个规格化的值，通常按以下步骤求得：对原始的温度读数增加一个修正系数（用来补偿探测器之间的细微差别），除以所有探测器的平均温度，再乘以 100。因此，对于某一特定的负荷水平，如果一个补偿后的温度读数等于平均温度，则该 PAR 值将是 100%，而不是一个温度值。示例中采用的是 PAR 值，如果需要的话，也可以使用其它有代表性的温度值。

传感器结点 150 和 152 对图 10 的特定子系统来讲，是诊断的第一级；它们接收各自的规格化的 PAR 值（与图 3 所示的右传感器和左传感器有关），并经过计算，例如通过诊断计算机 106 或其它手段（图 6A 或 6B）进行。传感器结点 150 对规则 154 提

供支持，利用一个预定函数将 P A R—r 值变换为一个置信系统，其值高于正常范围，如结点 1 5 6 所示。该 P A R—r 值也要由规则 1 5 8 检验，将它变换为一个置信系数，其值实际上低于正常范围，如结点 1 6 0 所示。

对结点 1 5 2 的 P A R—l 读数执行同样的过程，通过规则 1 6 2 和 1 6 4 确定置信系数的高或低，如各自的结点 1 6 6 和 1 6 8 所示。

正常时，在没有任何传感器异常的情况下，对于一个高值 P A R—r 读数的置信度将传送到一个有效的高结点 1 7 2，而不被规则 1 7 0 所改变；对于一个低值 P A R—r 读数的置信度将传送到一个有效的低结点 1 7 6，而不被规则 1 7 4 所改变。然而，在 R T D 出现异常的情况下，对高值和低值读数的置信度必定会减小。

置信度的修改基本上是通过一个参数变更规则来完成的。运用这个规则可以改变另一个规则的充分性功能和/或必要性功能。如果用于获得该 P A R—r 值的特定的 R T D 出了故障，如故障结点 1 8 0 所示出的，则参数变更 (P A R A L T) 规则 1 8 2 将改变规则 1 7 0 和 1 7 4 的充分性以修改高和低 P A R 值的可靠性传送。在没有 R T D 故障的情况下，规则 1 7 0 和 1 7 4 的充分性保持不变，以便建立起有效的高值和低值读数，如结点 1 7 2 和 1 7 6 所示。

若传感器的电子设备万一出现了缓慢的特性偏移，所提供的温度指示将由此产生误差，但仍在已知的运行范围以内。然而，万一有一个 R T D 突然失效，例如被开路，则它所产生的温度指示将完全超出已知的范围。因此，检验一个有故障的 R T D，以得出在故障结点 1 8 0 所表示的异常状态，其方法之一是检查 R T D 的温度 T_r ，将 T_r 置入传感器结点 1 8 4 内，看它是否超出了正常的运行界限。利

用分段线性化的规则 186，根据温度读数来确定有故障的 RTD。

以类似的方式，高或低 PAR-1 值的可靠性，通过规则 190 和 192 传送到各自的有效高值和低值结点 194 和 196。如上所述，当用于计算 PAR-1 值的 RTD 发生故障，且由 RTD 故障结点 200 确定时，借助于在运行中产生变化的 PARALT 规则 198 可以改变规则 190 和 192 的充分性，从而改变了可靠性的传送。这个故障状态又是利用传感器结点 202 的 RTD 温度 T_1 值来确定的，结点 202 与分段线性化的规则 204 相连接。

如果 PAR 值既不高也不低，那么它一定是正常值。正常读数的存在被用于图 10 所示的诊断过程中；正常读数的确定可利用有效的高值和低值读数来完成。例如，图示的 FAND 逻辑功能 210 具有两个被“否”元件 212 和 213 否定的输入信号。通过规则 218，可以得出一个正常读数，如结点 216 所示。换句话说，根据读数不高也不低便可确定 PAR-r 的可靠性是正常的。同样，规则 220，连同 FAND 222 以及“否”功能 224 和 225 可根据 PAR-r 不高也不低确定为正常状态，如结点 226 所示。

这样，在获得了对应于右边和左边的两个 PAR 的高、低或正常值的有效假说以后，诊断装置利用了许多规则 230 到 234 包括一系列的逻辑功能 236（对每个功能都作出了适当的标志），来确定多种读数组组合的置信系数。

例如，规则 230 把两个具有高值的 PAR 的可靠性值加在一起，这个结论如同高/高结点 250 所表示。规则 231 把两个具有低值的 PAR 的可靠性值加在一起，如同低/低结点 251 所示。

如果一个 PAR 是高值的，而另一个是低值的，规则 232 将把

这种可靠性进行变换，得到高/低结点 2 5 2 的结果。以类似的方式，利用规则 2 3 3 来确定一种高/正常状态，在结点 2 5 3 示出；而规则 2 3 4 用来确定一种低/正常状态，如结点 2 5 4 所示。应该注意的是，这后三种条件 2 5 2、2 5 3 和 2 5 4 并不必须指明究竟哪一个读数（左边或右边）是高的、低的或正常的，而只是表明这种特定组合的存在。

利用在结点 2 5 0 到 2 5 4 所提供的不同组合，可以得出某些结论，与所监视的发电机相带的全部状态相对应。在发电机运行过程中，可能出现各种不正常状态；本发明的诊断装置将确定是否一种特定的状态正在发生，并把相应的结论连同某种程度的置信度一起提供给运行人员，以便在必要时可采取校正的措施。

图 1 0 通过实例（但不是仅限于此）表示出若干不正常状态，利用在结点 2 5 0 到 2 5 4 示出的组合读数，装置能够诊断出这些不正常状态。

在发电机在线运行过程中，存在着一个或多个载流导体开路的可能性。为此设置了规则 2 6 0 以得出某一匝线开路的状态异常的结论，如故障结点 2 6 2 所示。该规则利用一个加权的“或”功能 2 6 4 来考虑匝线断路的不同类型或模式。例如，参照图 3，万一整个一排匝线开路或与钎焊并头套分离，剩余的几排匝线将承担并传导开路的一排匝线的电流。因为剩余匝线传导着比在正常条件下更大的电流， $I^2 R$ 所引起的损耗就产生了更多的热量，从而导致左右两个传感器的 P A R 值都比正常时要高。这种断路类型是非常可能的；相应地，结点 2 5 0 的高/高显示被赋予高加权系数 1，输入到加权“或”功能 2 6 4 中。

如果在所监视的线棒中只有一排匝线中的几根匝线开路，则电流的分布将会导致：在有开路匝线的线棒一侧，流经通风管道组的冷却气体将稍许变热，而流经另一侧通风管道组的冷却气体相对来说不受影响。匝线断路的相应结果是，一个P A R将为高值，而另一个为正常值，在结点2 5 3上的这种组合被赋予一个相当高的加权系数0. 9，输入到加权“或”功能2 6 4中。

另一种可能发生的情况是导致包围着某个通风管道组的全部匝线排都开路的可能性，以致于全部电流将由包围着另一个通风管道组的其余匝线排来承担。流经后面的通风管道组的冷却气体将产生一个高P A R读数，而另一个的P A R读数是低的，因为包围着该通风管道组的匝线并未传导电流，因而冷却气体没有变热。然而，这后一种情形的机会不象其它类型的匝线开路那样普遍，因此，在加权“或”功能2 6 4中，给定一个相对较低的加权值，例如0. 5。

如果一个线匝开路，有可能在断开处产生电弧。此外，由于线圈可能发热，也会产生可探测出的粒子物质。因此，这两个因素被用来确定一个线匝开路的不正常状态。规则2 6 6使线匝开路的不正常状态与结点2 6 7示出的高R F M读数相联系，而规则2 6 8则使线匝开路的非正常状态与结点2 6 9示出的低G C M读数相联系。对于结点2 6 7和2 6 9的高R F M读数和低G C M读数（二者都表示不正常状态）的置信度，可能在一个单独的子系统中建立起来。它使R F M和G C M的读数生效。在另一个子系统所产生的假说，在图1 0中以虚线形式表示。

再参照图3，如果8 6 r和8 6 l所在的线棒中两个挠性管都断裂了，被加热的冷却气体将不能通往各自的R T D 9 0 r和9 0 l。

在这种情况下，RTD将测得周围的环境温度；对于高负荷条件来说，周围环境要比从通风管道组发散出的气体冷一些。这种不正常状态在结点272示出，并被结点251的两个低PAR值所识别。输入到结点272的还有这样的信息：在发电机停机和重新起动后，在趋近高负荷状态的时候没有发生事故。这个信息由规则274示出，它利用了FAND功能276。结点278提供了在发电机停机和重新起动后与第一次趋近高负荷状态有关的输入信息；该事实被“否”功能280所否定。也就是说，如果在停机和重新起动后第一次接近高负荷状态，低/低条件的出现意味着一种非正常状态，它与发电机已经在高负荷下运行了一段时间是不同的。在这种情况下，低/低条件意味着两个挠性导管都可能发生了断裂。

如果系统在高负荷下运行，周围环境温度相对较低，只有在高置信度的情况下才能作出系统确实有两个挠性导管断裂的结论，以便对于两个PAR值都能够导致低/低读数的条件。如果系统没有运行在高负荷状态，对这种特定的不正常状态的置信度实际上可以被消除；这是借助于各自的参数变更规则282和283，通过简单地改变规则274的充分性和必要性来实现的。为了产生这些规则，可以利用通常装设在发电机设备上的两个传感器，一个是兆瓦(MW)传感器，另一个是无功兆伏安(MVAR)传感器。它们的读数置入各自的传感器结点286和287，通过各自的规则288和289连接到存储结点290，它的功能是计算实际的负荷指标

$$MVA_a = (MW)^2 + (MVAR)^2$$

将该指标与额定的MVA进行比较，从而得出负荷水平的指示。举例

来说，如果负荷水平指示小于60%，参数变更规则282和283将起作用，以减少规则274的充分性和必要性的值。如果负荷水平大于60%，表示高负荷情况，就不去改变规则274的充分性和必要性。

另一种不正常状态在结点294示出，它描述了两个挠性导管中只有一个断裂的情况。在这种情况下，一个RTD将提供正常的PAR值，而另一个RTD将读出周围气体的较低的温度，从而导出一个低PAR值，如同结点254所示，通过规则296连接到故障结点。与对于规则274的情形相同，如果负荷水平没有达到高指示数值，参数变更规则282和283将改变规则296的充分性和必要性。

如果在一个导线断裂的同时又发生了一个挠性导管的断裂，则一个RTD的测量将导致一个低PAR值（在高负荷下），而另一个RTD的测量将导致一个高PAR值。这种情形由规则298表示，将结点252的高/低组合与结点294所代表的一个挠性管断裂的状态相联系，这种由一个断裂的挠性管与一个断裂的导线相组合的情况据信是不大可能发生的；因此，规则298的充分性和必要性具有较低的值。当参数变更规则282和283起作用时，其值将进一步减小。

在发电机初次装配或检修过程中，经常用遮蔽带盖在通风管道端部，以防止油漆和/或碎片进入管道。如果偶然地把带子留在端部，盖住了被监测线圈的通风管道，那么，当发电机在装配或检修后第一次达到高负荷状态时，RTD将送出相当低的环境温度信号，导致两个低PAR值。这种通风管道完全堵塞的不正常状态在结点300示

出，并由规则302支持；302利用一个FAND功能304，304的输入信号一个来自结点251的低/低指示，另一个来自结点278指示，表示发电机在装配或大修以后第一次达到高负荷状态所需要的时间。这种情况预想到在通风管道的入端发生堵塞。在出端可能阻碍气流的遮蔽带，在很高的确定程度下可以因气流的压力差而移开。

在完全阻塞的条件下，线圈会发热，由此产生了可以被GCM探测出的粒子物质。因此，通风管道完全阻塞的不正常状态另外由规则306所支持；由于结点269的低GCM读数，规则306增大了对通风管道完全阻塞的置信度。

结点310的不正常状态考虑到通风管道可能不是完全堵塞，而是部分堵塞的情况。这种状态不但在装配或检修时可能存在，而且在发电机实际在线运行中，当元件和/或材料由于旋转而松散，部分地堵塞了通风管道时也可能出现。规则312利用一个FOR功能314，考虑到各种PAR值的组合，它们可能是由于不同的部分堵塞模式所产生的。例如，左右两边的通风管道组可能被部分堵塞，因而冷却气流被限制。这个被限制的气流使得冷却气体发热，导致了左右两侧的高PAR值。因此，结点250的高/高指示是被考虑的一种组合。

如果一侧另外有一个连接到扰性导管的个别的通风管道出现完全堵塞，则该侧的RTD将记录低值，因为它读的是冷气的环境温度；而另一个RTD将读出高的温度，导致结点252的高/低指示。

规则312的第三个考虑是结点253的高/正常情况；由于一个通风管道组的某些管子被部分堵塞，导致一个高PAR值，而另一

个通风管道组只有不明显的堵塞，它可能引起该侧稍高的P A R读数，但仍然在正常范围以内。

对结点251的低/低P A R值的置信度包括在F O R功能的考虑之中。一种情况可能由两个通风管道组的部分堵塞所引起，同时伴随着左右两个通风管道组连接到R T D的个别管道出现完全堵塞的情形。

在任何部分堵塞的条件下，过热会产生粒子，因此，在结点310所定义的不正常状态被一个低G C M读数269所支持，由规则316连接。

图10的例子中所表示的最后一个不正常状态是结点320的状态，它定义了传感器的故障。在这一点上，传感器被定义为这样的装置：利用它可以获得温度的读数。在图6A或6B中，传感器不仅包括R T D，而且也包括有关的扫描和转换电路，用来计算来自R T D电阻的各个温度。

当发电机运行在高负荷下，如果出现了对一个低/正常指示（结点254）的高置信度的话，这种组合可能是由于单根挠性管断裂所引起的。然而，如果发电机没有在高负荷下运行，那么就没有逻辑上的原因出现这种低/正常的组合，这时意味着一个或两个传感器可能发生了故障。这个相互关系是由规则322建立的；如果存储结点290运算的结果导致一个低于60%的负荷水平的话，规则322的充分性和必要性将由于参数变更规则324和325而增加。如果实际上负荷水平是高的，即大于60%，规则322的充分性和必要性将保持低值。

对于结点251的低/低组合的高置信度，在高负荷情况下可以

表示两个挠性导管折断或一个通风管道完全堵塞。然而，在低负荷情况下，周围环境温度并不低，因此这种低/低指示可能表示传感器的故障。这个关系由规则 3 2 8 定义；在低负荷时，与规则 3 2 2 相似，3 2 8 的充分性和必要性将随参数变更规则 3 2 4 和 3 2 5 而增加。

示例中的最后一个规则，规则 3 3 0，表明一个高/低指示与传感器故障的关系。如前所述，高/低指示可能表现出线匝开路的故障，虽然这种可能性被赋予相当小的加权值。类似地，这种高/低组合可能是一个折断的挠性导管伴随着一匝开路导线，这也具有很低的概率。相应地，高/低组合的第三种可能性将是一个传感器发生故障。

自然，传感器故障的可能性可以以任何组合方式存在，包括正常/正常组合。图 1 0 提供的三个例子是考虑最可能发生的情况。

如果显示出了传感器的故障，可以用相当容易的办法进行检查，即在端子盒 1 0 0 上人为地取出 R T D 的电阻读数。在这一点上，需假定 R T D 不是不起作用的，因为这样的状态以前已在结点 1 8 0 或 2 0 0 上显示出来。然后，电阻值可以转换为与 R T D 所测量的温度相对应的各自的等值电压。这些指示温度的电压输入到计算机中，然后算出各自的 P A R 值。如果由于手控输入温度的结果而使对控制传感器故障指示组合的高置信度消失了，那就可以认为存在着一个传感器故障，运行人员可以采取校正的措施。

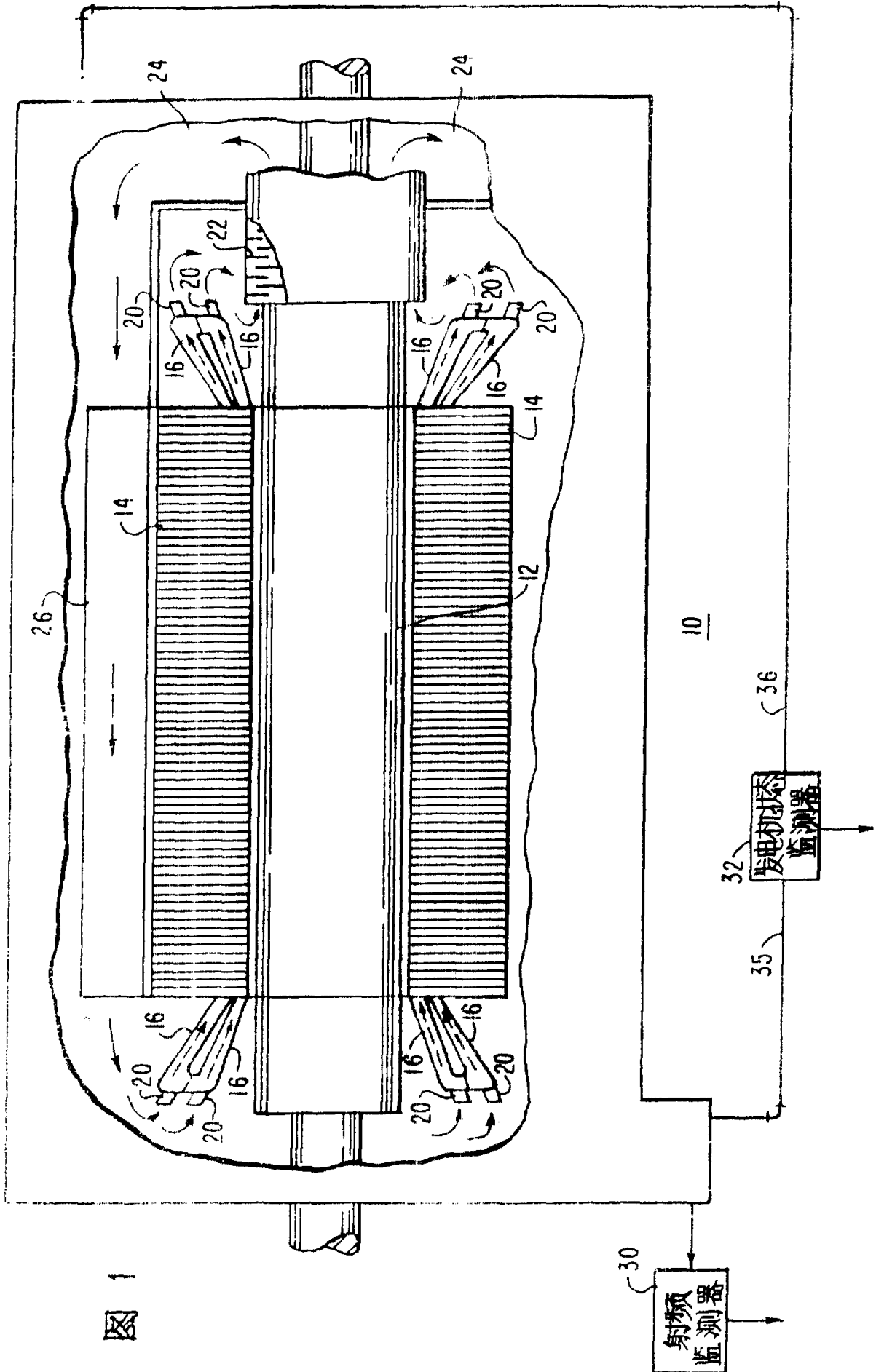
在附图中所采用的参照号的识别

符号及说明	参照号	图 号
射频监测器 (R F M)	30	1
发电机状态监测器 (G C M)	32	1
扫描和转换电路	102	6A
扫描和转换电路	102	6B
数据中心	104	6A
诊断计算机	106	6A
诊断计算机	106	6B
显示装置	108	6A
显示装置	108	6B
根据	120	7
假说	122	7
根据	132	8
根据	133	8
根据	134	8
根据	135	8
故障	138	8

右侧规格化的平均温升的百分值 (PARr)	150	10A
左侧规格化的平均温升的百分值 (PAR 1)	152	10A
高置信系数 (HI)	156	10A
低置信系数 (LO)	160	10A
高置信系数 (HI)	166	10A
低置信系数 (LO)	168	10A
有效的高值读数 (VALIDATED HI)	172	10A
有的的低值读数 (VALIDATED LO)	176	10A
电阻温度监测器故障 (DEFECT IVERTD)	180	10A
右侧电阻温度监测器温度 (Tr)	184	10A
有效的高值读数 (VALIDATED HI)	194	10A
有效的低值读数 (VALIDATED LO)	196	10A
电阻温度监测器故障 (DEFECTIVE RTD)	200	10A
左侧电阻温度监测器温度 (T ₁)	202	10A
模糊逻辑“与”功能 (FAND)	210	10A
正常读数结点 (NORM.)	216	10A

模糊逻辑“与”功能 (FAND)	222	10A
正常读数结点 (NORM)	226	10A
高/高结点 (HL/HI)	250	10B
低/低结点 (LQ/LO)	251	10B
高/低结点 (HL/LO)	252	10B
高/正常结点 (HL/NORM)	253	10B
低/正常结点 (LQ/NORM)	254	10B
线匝开路故障	262	10B
加权“或”功能 (WOR)	264	10B
高值射频监测器结点 (RFM HI)	267	10B
低值发电机状态监测器结点 (GCM LO)	269	10B
两个挠性导管断裂故障	272	10B
模糊逻辑“与”功能 (FAND)	276	10B
发电机停机和重新启动后 第一次趋近高负荷状态	278	10B
兆瓦传感器 (MW)	286	10B
无功兆伏安传感器 (MVAR)	287	10B
实际负荷与额定负荷比 $(\frac{MV Aa}{MVAR})$	290	10B

一个挠性管断裂故障	294	10B
通风管道完全堵塞故障	300	10B
模糊逻辑“与”功能(FAND)	304	10B
通风管道部分堵塞故障	310	10B
模糊逻辑“或”功能(FOR)	314	10B
传感器故障	320	10B



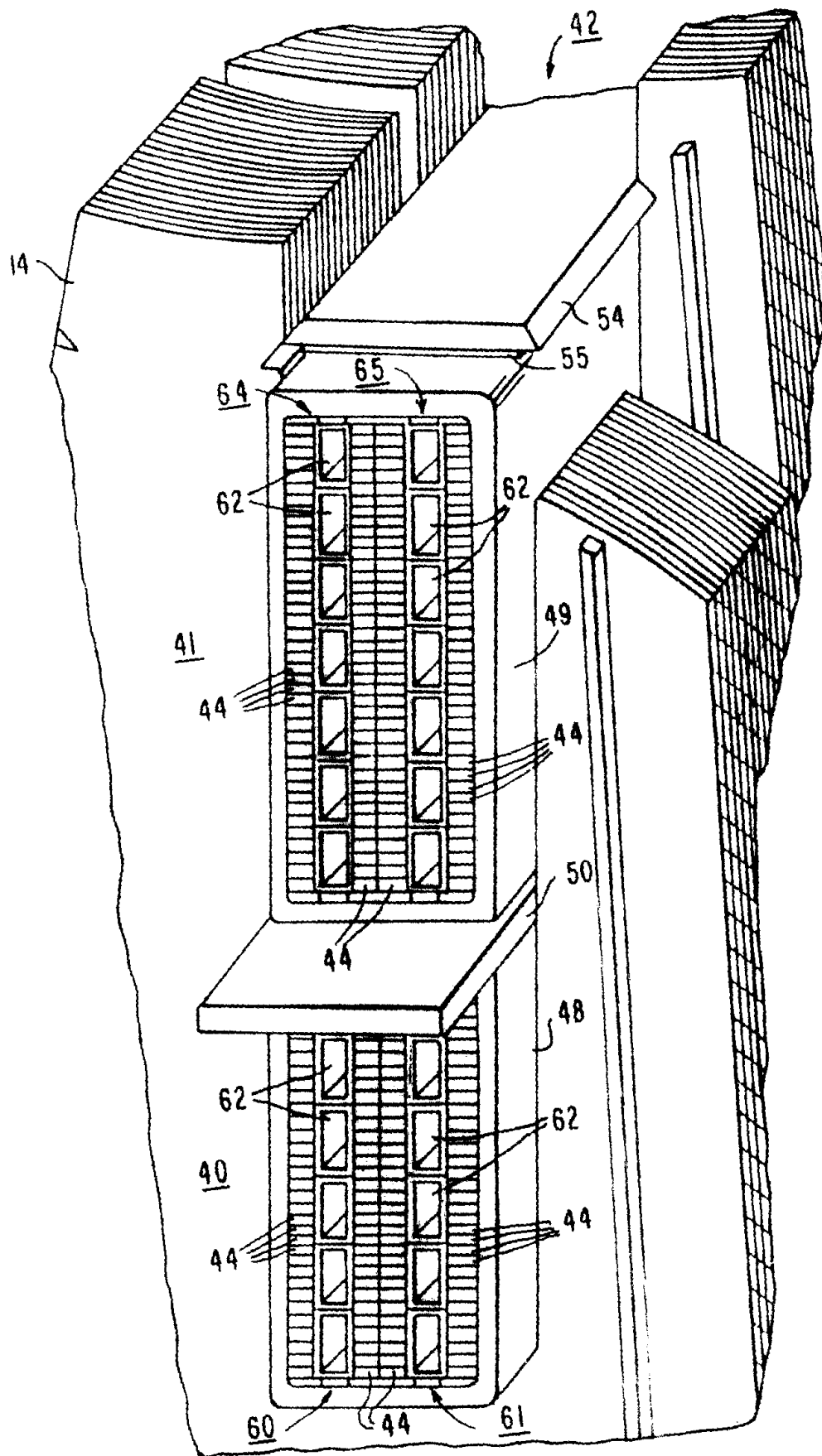


图 2

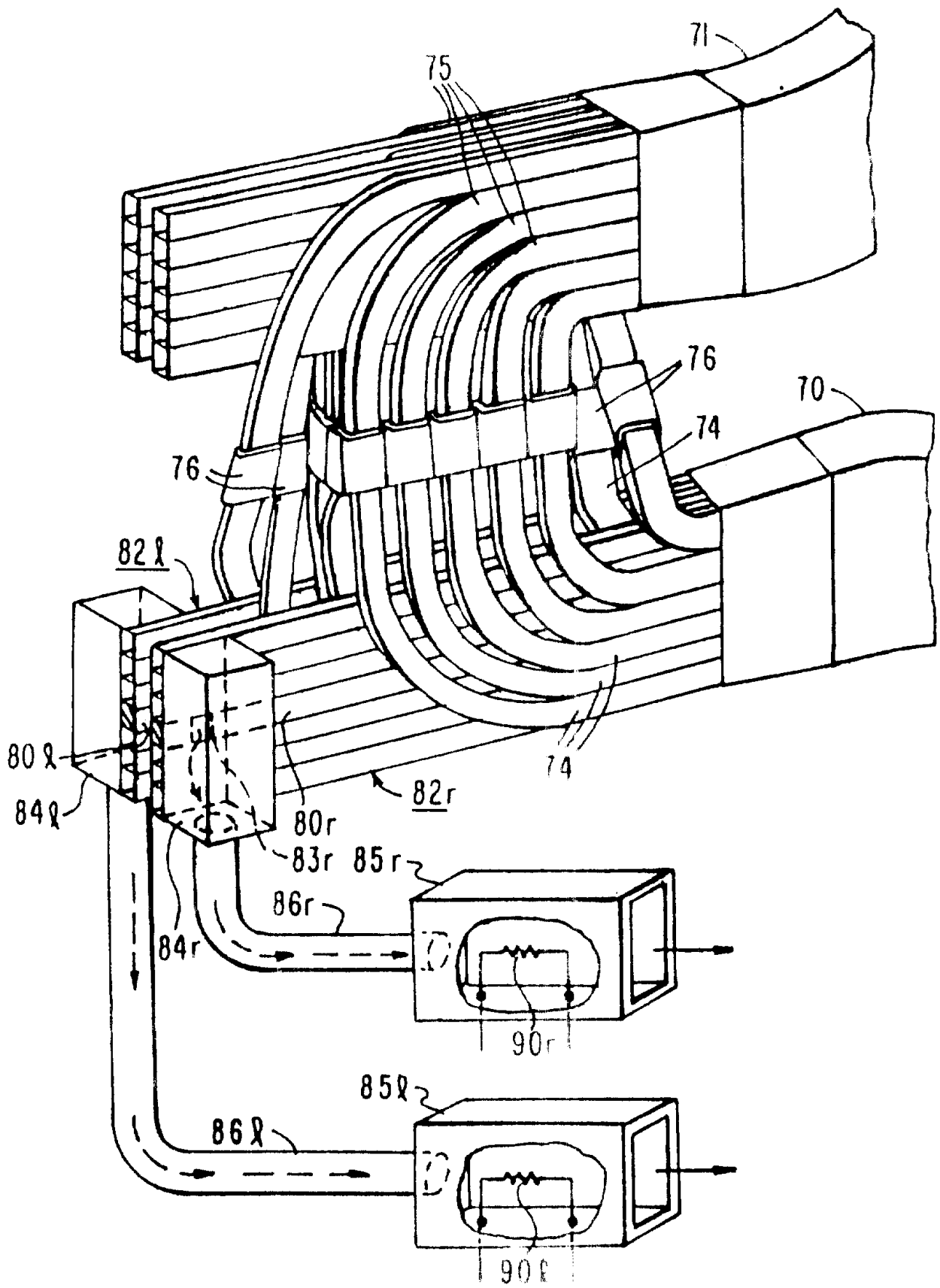


图 3

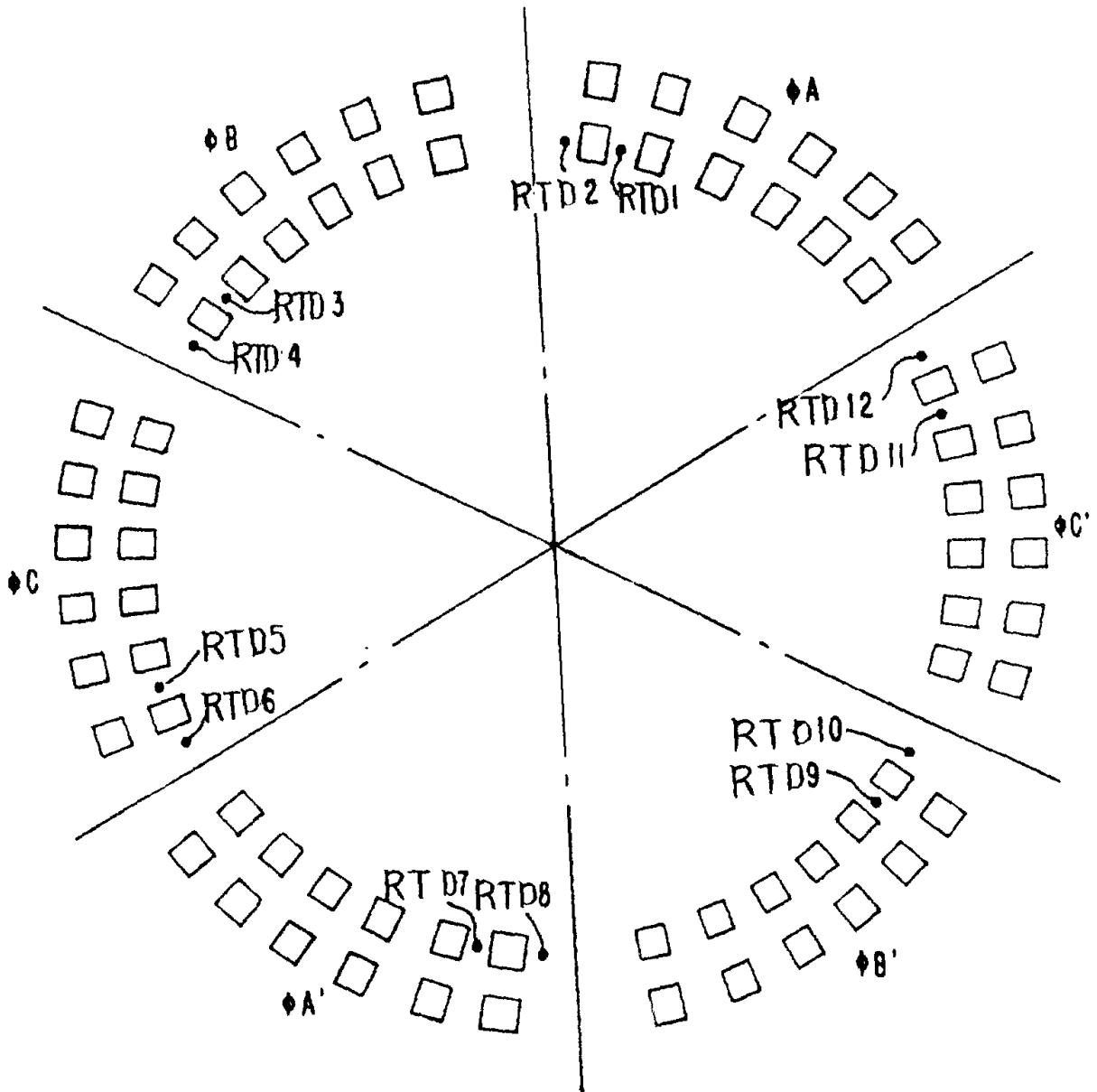


图 4

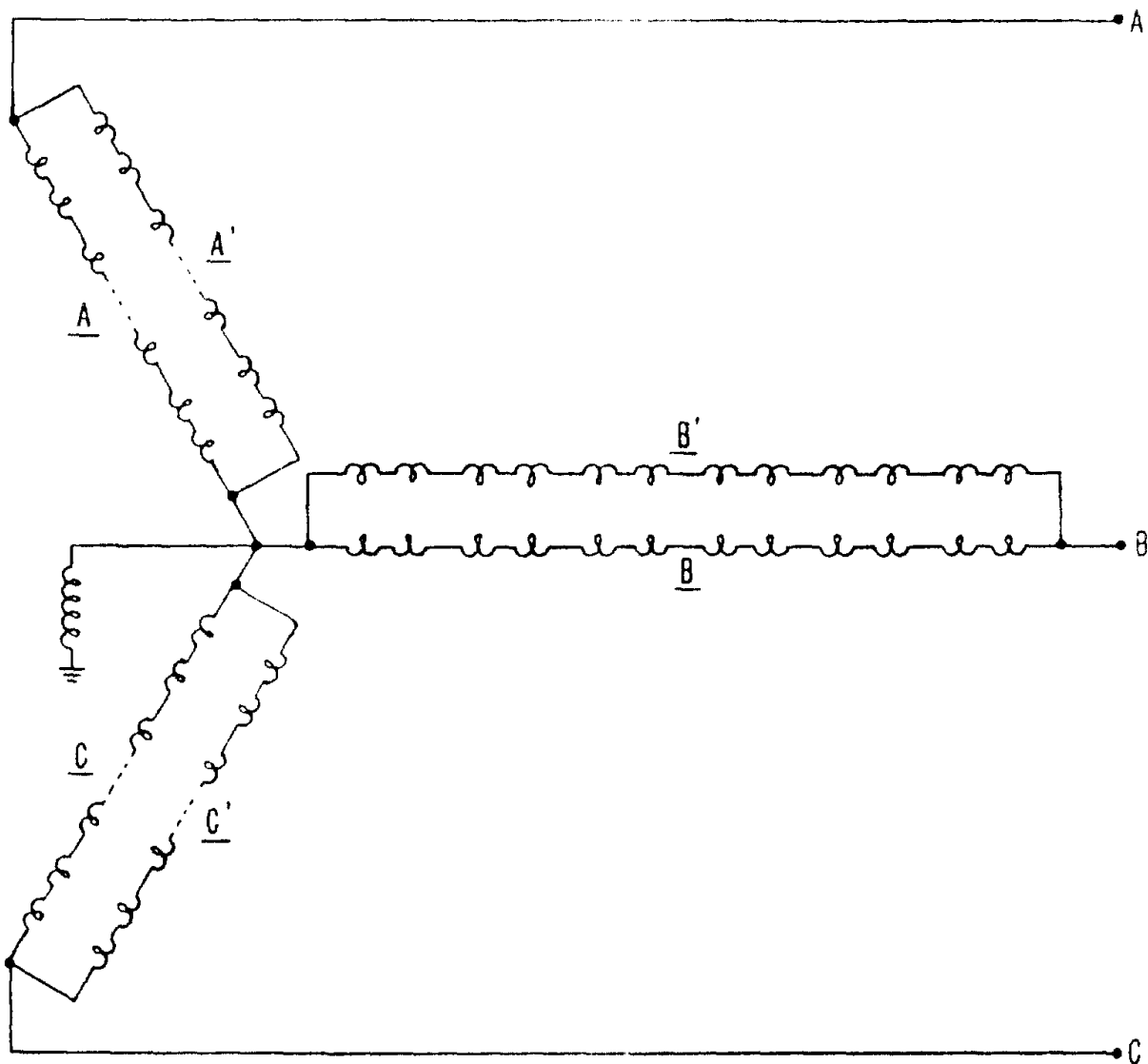
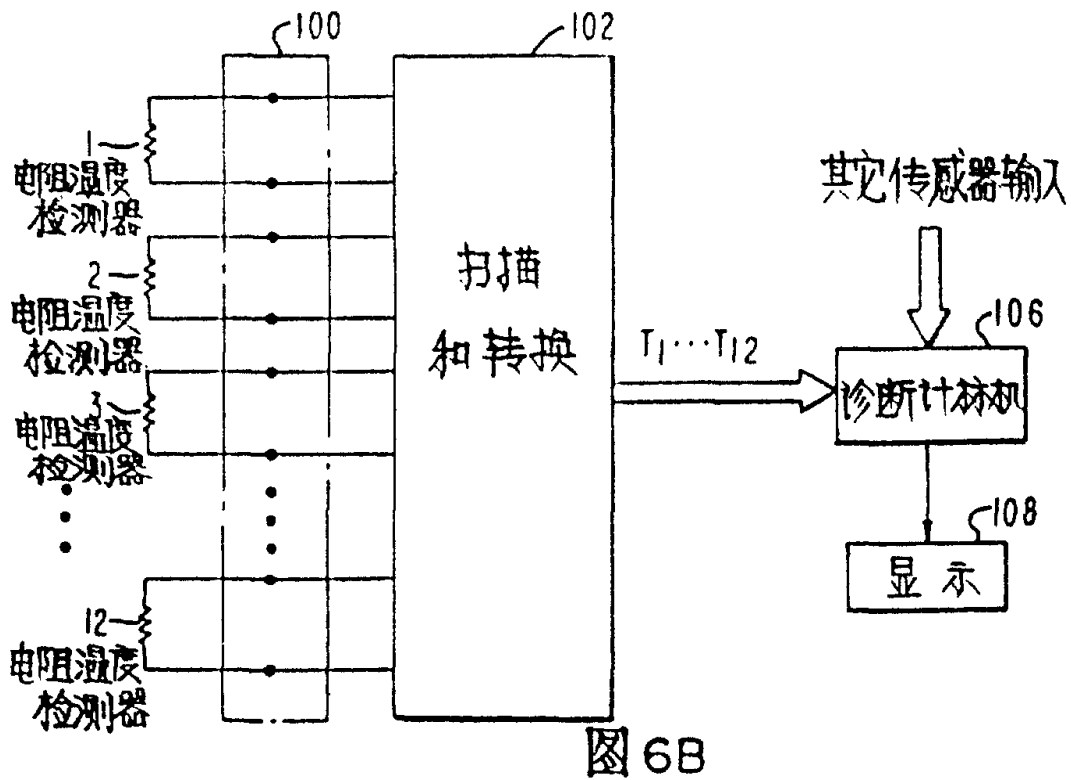
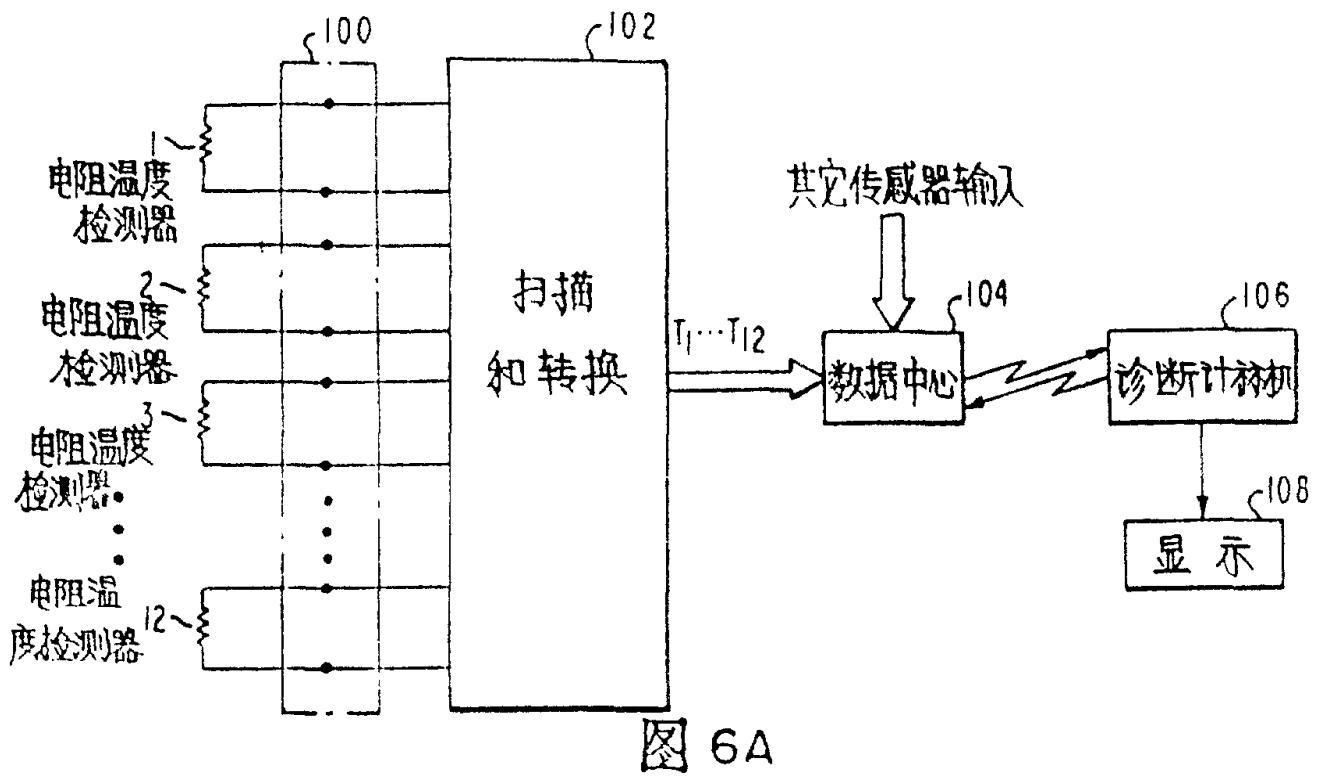


图 5



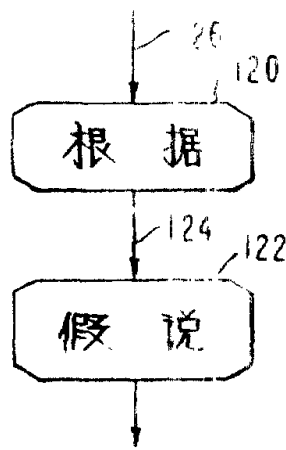


图 7

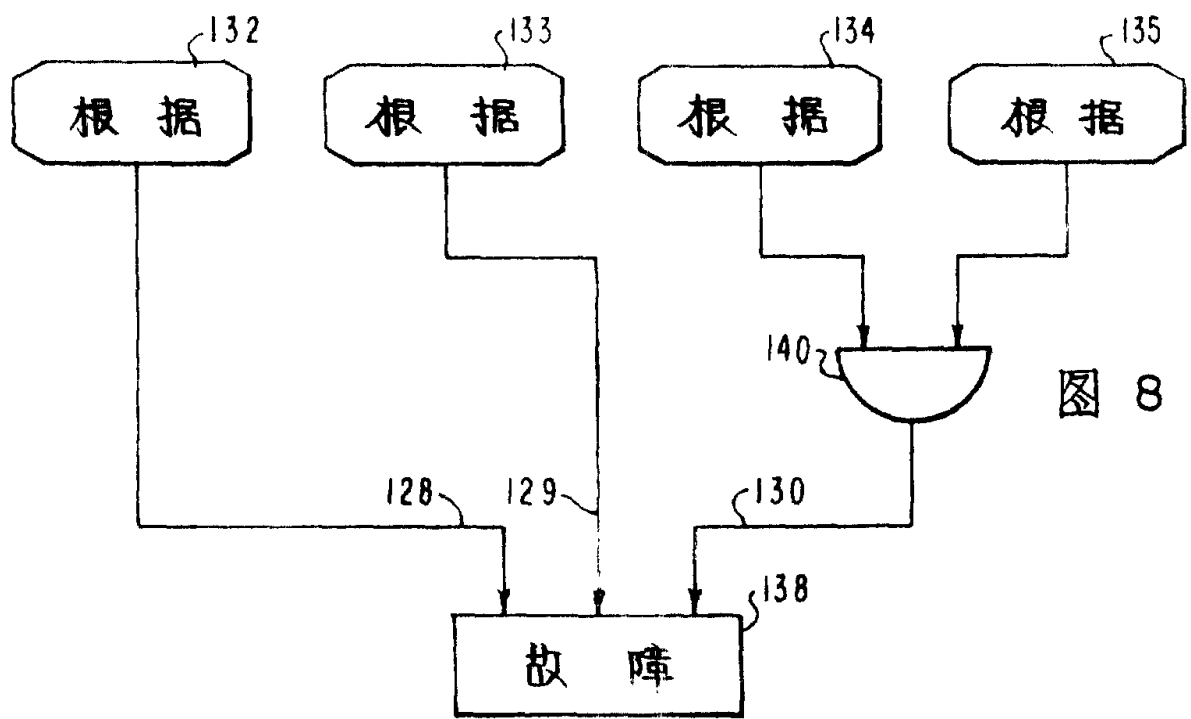


图 8

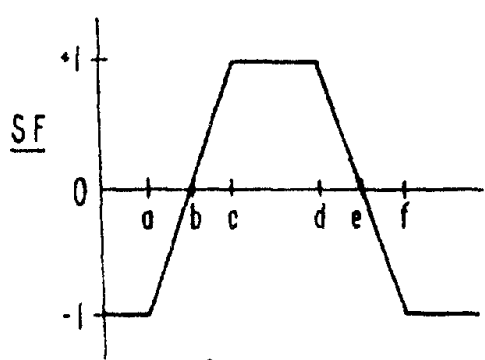


图 9A

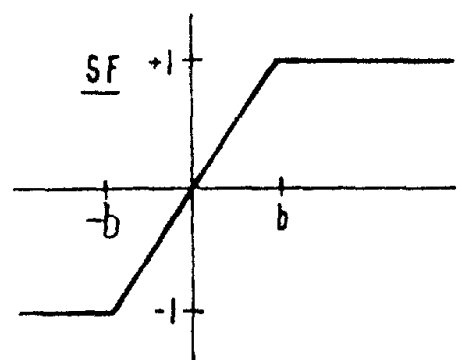


图 9B

左侧规格化平均温升百分值

右侧规格化平均温升百分值

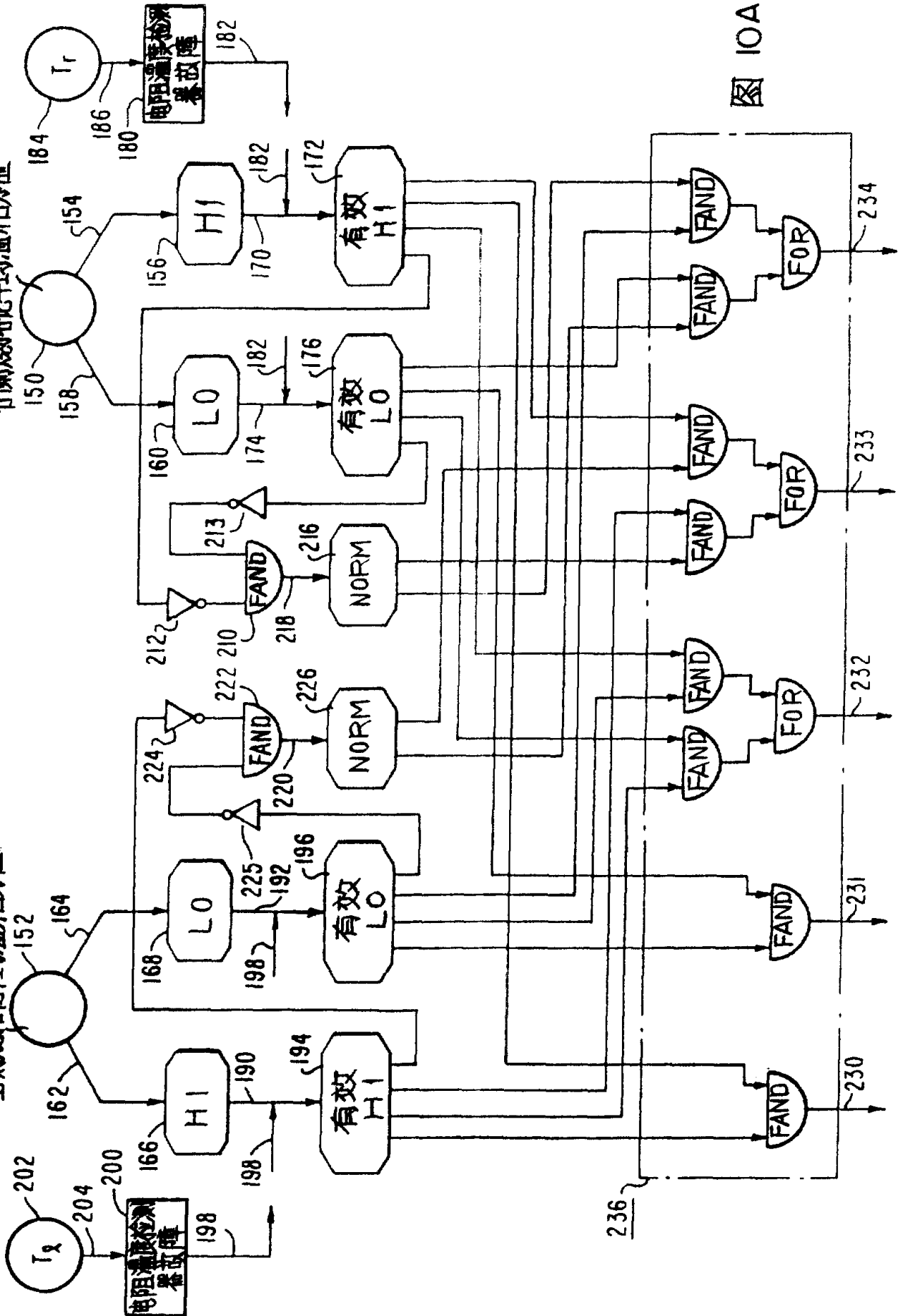
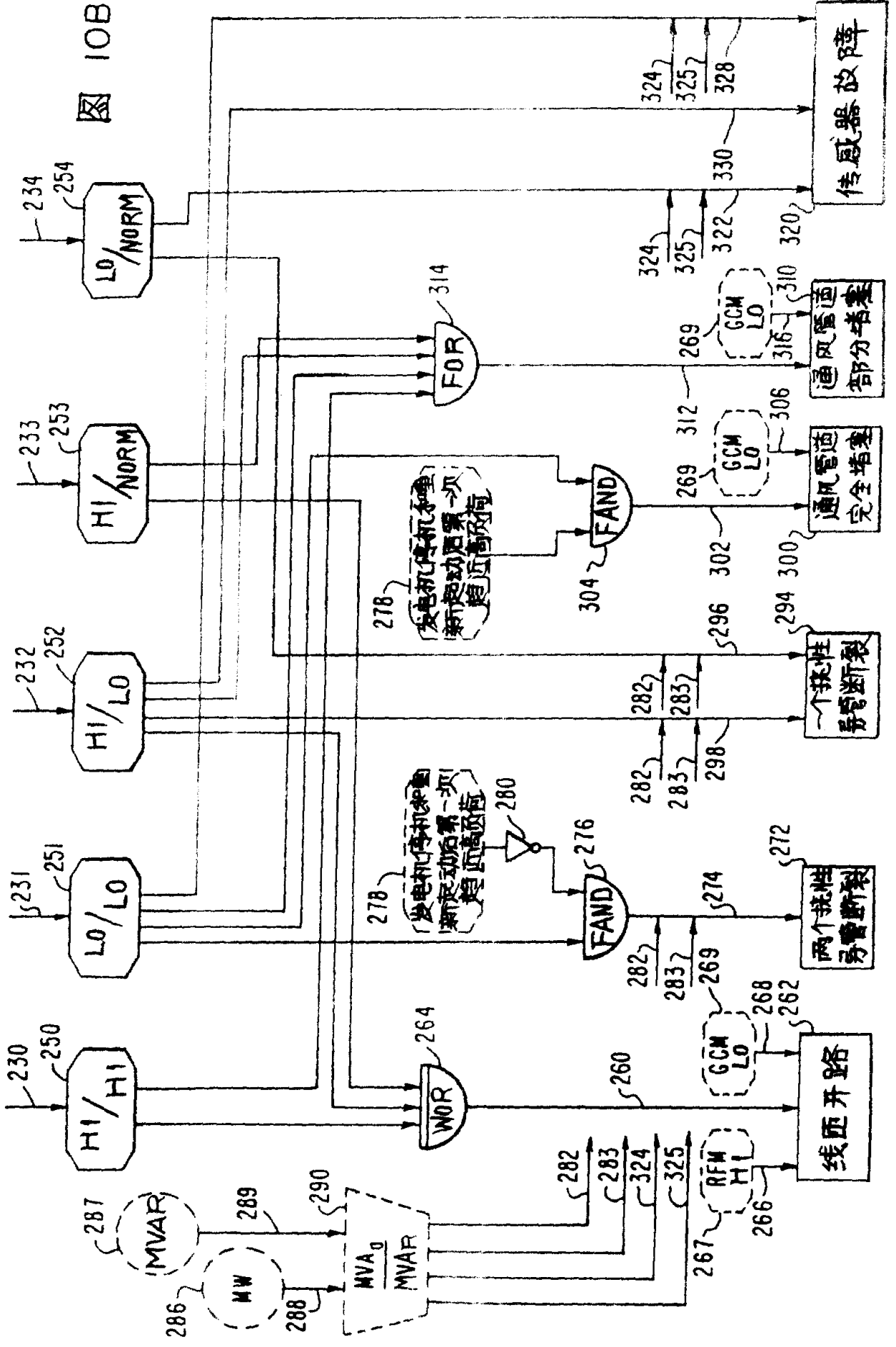


图 10A



IOB