

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H02H 7/085 (2006.01)

H02H 6/00 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200580012169.8

[45] 授权公告日 2009年10月14日

[11] 授权公告号 CN 100550559C

[22] 申请日 2005.2.1

[21] 申请号 200580012169.8

[30] 优先权

[32] 2004.2.2 [33] FI [31] 20040155

[86] 国际申请 PCT/FI2005/000067 2005.2.1

[87] 国际公布 WO2005/074090 英 2005.8.11

[85] 进入国家阶段日期 2006.10.8

[73] 专利权人 ABB 有限公司

地址 芬兰赫尔辛基

[72] 发明人 J·奎瓦莱宁 P·厄斯特贝克

[56] 参考文献

US5644510A 1997.7.1

CN85102463A 1987.2.4

US6563685B2 2003.5.13

WO01/24340A1 2001.4.5

审查员 韩蓓蓓

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 李静岚 陈景峻

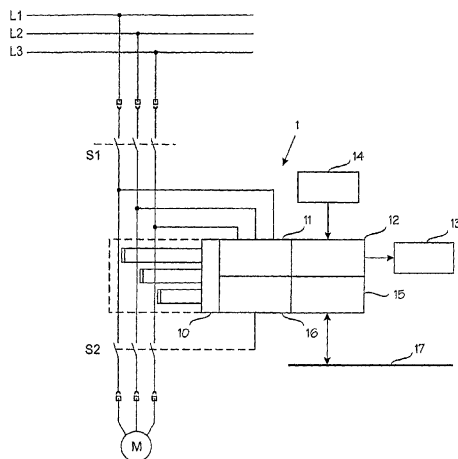
权利要求书4页 说明书8页 附图2页

[54] 发明名称

热过负荷保护设备和方法

[57] 摘要

一种用于电气设备，特别是电动机(M)的热过负荷保护(1)，它测量(10)提供给电气设备(M)的负荷电流，并根据测量到的负荷电流计算(16)电气设备上的热负荷，并且当热负荷达到给定的阈值时断开(S2)电流源(L1、L2、L3)。该保护设备包括采用X位，优选地X=32的定点运算的处理器系统，其中，通过方程式计算跳开时间，该方程式和其操作数一起被编程到微处理器系统中，被构成为使得结果或临时结果永远不会超过X位值。



1、一种用于电气设备的热过负荷保护的装置，该装置包括：
 用于测量提供给电气设备的至少一个负荷电流的装置，
 用于根据所述至少一个负荷电流计算电气设备上的热负荷的装置，

用于当热负荷达到给定的阈值等级时断开电流源的装置，以及
 采用 X 比特的定点运算的处理器系统，其中 $X = 32$ ，该处理器系统包括用于将测量到的电流按比例换算成 0 到 Y 范围内的单位值的装置，其中 Y 是一个数字，表示额定电流的 $(Y/100)\%$ ，并且该处理器系统包括用于根据下列方程式计算跳开时间的装置，所述方程式为：

$$\tau = R * C * \ln(a)$$

$$a = 1 - \left(\frac{\Theta_{trip} - \Theta}{i^2 - \Theta} \right)$$

其中操作数包括：

Θ_{trip} = 用于热负荷的跳开等级

Θ = 计算得到的热负荷

τ = 到 Θ 达到跳开等级 Θ_{trip} 时的估计时间

R = 电气设备的冷却因数

C = 跳开级别因数

i = 测量到的电流

a = 中间结果

由此所述方程式和所述操作数被编程到结构化的处理器系统中，从而使得所述跳开时间的计算的结果或中间结果在计算过程中不会超过 X 比特值。

2、如权利要求 1 中所述的装置，其特征在于，使用下面的所述操作数的值中的一个或多个：

$\Theta = 0$ 到 200%，对应于 0 到 2.4 的数值范围；

R = 在 1 到 10 范围内的电气设备的冷却因数。

3、如权利要求 1 或 2 中所述的装置，其特征在于，与其操作数一起被构成为使得所述跳开时间的计算的结果或中间结果不超过 32 比特值的数学方程式为：

$$a=1*e10_SCALING-(\Theta_{trip}-\Theta)*e10_SCALING/(i2/PUCOMP-\Theta)$$

$$t=(R*C*(\log(a)*SCALING-(LN_e10*SCALING)))/-SCALING$$

其中操作数包括:

e10_SCALING 是函数 e^{10} 的比例因数;

LN_e10 表示函数 $\ln(e^{10})$;

i2 = 按比例换算成单位值的测量到的电流;

SCALING 是精确比例, 其值取决于所需的精确度;

PUCOMP 是每单位补偿。

4、如权利要求 3 中所述的设备, 其特征在于, 使用下面的所述操作数的值中的一个或多个:

e10_SCALING = 22026;

LN_e10 = 10;

i2 = 按比例换算成 0 到 65000 范围内的单位值的测量到的电流, 对应于额定电流的 0 到 650%;

SCALING = 10000;

PUCOMP = 10000。

5、如权利要求 1 所述的设备, 其特征在于, 该设备包括存储器, 在该存储器中存储有查找表, 该查找表包括用于参数 a 的一组值的函数 $\ln(a)$ 的值, 并且所述计算跳开时间的装置被设置成在方程式的计算过程期间从查找表中取出对应于参数 a 的值。

6、如权利要求 1 所述的设备, 其特征在于, C 是乘以一常数 29.5 的跳开级别因数 t_6 , 或者 C 是通过公式 $(1/k)*T_e*(I_a/I_n)^2$ 来计算, 其中, I_a = 起动电流, I_n = 额定电流, T_e = 允许的起动时间, 以及 $k = 1.22$ 。

7、一种用于电气设备的热过负荷保护的方法, 该方法包括:

测量提供给电气设备的至少一个负荷电流,

根据所述至少一个负荷电流计算电气设备上的热负荷, 以及

当热负荷达到给定的阈值等级时中断供给电气设备的电流源,

将测量到的电流按比例换算成 0 到 Y 范围内的单位值, 其中 Y 是一个数字, 表示额定电流的 $(Y/100)\%$,

根据下列方程式, 利用采用定点运算的 X 比特、其中 $X = 32$ 的处理器系统来计算跳开时间, 所述方程式为:

$$\tau = R * C * \ln(a)$$

$$a = 1 - \left(\frac{\Theta_{trip} - \Theta}{i^2 - \Theta} \right)$$

其中操作数包括:

Θ_{trip} = 用于热负荷的跳开等级

Θ = 计算得到的热负荷

τ = 到 Θ 达到跳开等级 Θ_{trip} 时的估计时间

R = 电气设备的冷却因数

C = 跳开级别因数

i = 测量到的电流

a = 中间结果

由此所述方程式和所述操作数被构成为使得所述跳开时间的计算的结果或中间结果不会超过 X 比特值。

8、如权利要求 7 中所述的方法，其特征在于，使用下面的所述操作数的值中的一个或多个：

Θ = 计算得到的热负荷 0 到 200%，对应于 0 到 2.4 的数值范围；

R = 在 1 到 10 范围内的电气设备的冷却因数。

9、如权利要求 7 或 8 中所述的方法，其特征在于，与其操作数一起被构成为使得所述跳开时间的计算的结果或中间结果不超过 32 比特值的数学方程式为：

$$a = 1 * e^{10_SCALING - (\Theta_{trip} - \Theta) * e^{10_SCALING} / (i^2 / PUCOMP - \Theta)}$$

$$\tau = (R * C * (\log(a) * SCALING - (\ln_{e10} * SCALING))) / -SCALING$$

其中操作数包括：

$e^{10_SCALING}$ 是函数 e^{10} 的比例因数；

\ln_{e10} 表示函数 $\ln(e^{10})$ ；

i^2 = 按比例换算成单位值的测量到的电流；

SCALING 是精确比例，其值取决于所需的精确度；

PUCOMP 是每单位补偿。

10、如权利要求 9 中所述的方法，其特征在于，使用下面的所述操作数的值中的一个或多个：

$e^{10_SCALING} = 22026$ ；

$\ln_{e10} = 10$ ；

i_2 = 按比例换算成 0 到 65000 范围内的单位值的测量到的电流，
对应于额定电流的 0 到 650%；

SCALING = 10000；

PUCOMP = 10000。

11、如权利要求 7 所述的方法，其特征在于，
存储查找表，该查找表包括用于参数 a 的一组值的函数 $\ln(a)$ 的
值，和

在计算过程期间从查找表中取出对应于参数 a 的值。

12、如权利要求 7 所述的方法，其特征在于， C 是乘以一常数 29.5
的跳开级别因数 t_c ，或者 C 是通过公式 $(1/k) * T_e * (I_a / I_n)^2$ 来计算，其
中， I_a = 起动电流， I_n = 额定电流， T_e = 允许的起动时间，以及 $k =$
1.22。

热过负荷保护设备和方法

技术领域

本发明涉及用于保护电气设备特别是电动机不受过热影响的热过负荷保护。

背景技术

电动机被应用在驱动各种移动部件的多种应用中。电动机通常具有用于调整并监控电动机的操作（例如转速）的相关控制单元。

电动机可以临时工作在过负荷条件下，但如果随着这种负荷条件的不断持续导致电动机变得过热，就可能导致损坏该电机。由于过热导致损坏定子线圈的绝缘是最严重的情况。

公知的有多种用于保护电动机不受热过负荷影响的解决方案。一种公知的解决方案是基于电机电流的 1..3 相测量，以及通过使用 RC 等效电路来模拟电机的受热。最熟悉并最常用的技术实现方式是直接耦合双金属继电器（热继电器），或经由变流器将双金属继电器耦合到主电路上。

一种公知的解决方案是在电机内部设置或与电机连接热保险开关，该开关在达到给定的温度限定后跳开，并中断流过电动机的电流。更先进的方案是一种电子单元，该电子单元利用温度传感器来测量电动机的温度，并触发电机的断开。这种可供选择的方式直接取决于用各种传感器所进行的温度检测。问题是正确地放置传感器有一定困难。这种保护的反应相对较慢。

在数值保护中，数据要被处理成数值模式，即，数字模式。用 A/D 转换器将模拟的测量数据转换成数字形式。实际的测量和保护功能是通过微处理器来实现的。热过负荷保护装置测量电机或要保护的其它对象（例如电缆或变压器）的相电流（负荷电流）的均方根（rms）值，并计算取决于温度的工作时间。该热工作时间可以与标准 IEC 60255-8 相一致：

$$t = \tau \ln \frac{I^2 - I_p^2}{I^2 - I_b^2}$$

其中，

t = 工作时间

τ = 时间常数

I_p = 过负荷前的负荷电流

I = 负荷电流

I_b = 工作电流（最大的容许持续电流）

热时间常数 τ 是由要保护的对象达到温度 θ 所需要的时间来确定的，温度 θ 是要保护的对象被提供有恒定电流时的稳态温度 θ_s 的给定部分（例如，63%）。工作电流 I_p 是最大的容许持续电流，其也对应于最高的容许温度，即，稳态温度 θ_s 。该最高的容许温度是跳开电平。可供选择的，可以由相电流来计算要保护的对象上的热负荷相对于满（100%）热负荷的相对值。当相对热负荷达到 100% 的值时进行跳开。

因此，数字热保护装置常与大量的计算联系在一起，而这些大量的计算需要有效的处理器以及快速且昂贵的外围电路，如存储器。现有技术中的解决方案采用了还具有内置数学处理器的有效的处理器、浮点部件（FPU）或用于在确定的时间内执行实时计算的对应部件。也已经采用了模拟浮点数字部件具有库函数的有效的处理器。还存在利用专用集成电路 ASIC 电路实现算法的实现方式，从而在后面不能改编程程序。因此，不能对这种专用电路进行改变，但是如果改变操作的话就需要新的电路。还存在如下的实现方式，其中，依次地测量/计算电流、计算预热、重复测量等。这种实现方式不能确保进行完全地实时保护（非连续测量），但能够采用效率稍差的处理器。

发明内容

因此，本发明的目的是提供一种用于对电气设备进行热保护的方法，以及一种用于实现该方法的设备，使得与保护有关的计算能够被减少，并且处理器和外围电路的技术需求能够被降低。利用由独立权利要求中记载的内容表征的方法和系统实现了本发明的目的。在从属权利要求中描述了本发明的优选实施例。

在本发明中，如果电机在当前的负荷电流下持续操作，则还实时

地计算由热过负荷所导致产生的跳开时间。可以将该信息通知给操作员，这样，该操作员在该电机以及该电机内可能有关的处理停止之前就会注意到可能出现的该时间来进行任何维护或补救工作。

根据本发明，将用于计算跳开时间的数学方程式或算法及其操作数编程，使其适用于采用定点运算的 X 位，优选地 $X = 32$ 的处理器系统，从而使得当在处理器系统中运行该程序时结果或临时结果永远不会超出 X 位值。

优选地，将测量到的电流按比例换算成 0 到 Y 范围内的单位值，其中 Y 表示额定电流的 $Y/100\%$ ，优选地 $Y = 65000$ ，从而该计算与实际电流范围无关。

本发明能够用效率较差的处理器和较少的存储器来进行跳开时间的计算，从而能够降低功耗、产品成本和设备的实际尺寸。计算可以用简单且可转换的代码来实现，其不需要数学处理器或数学库。但是，即使处理器采用 32 位定点运算，热负荷也可以用接近 64 位浮点数值计算的精度来进行计算。

附图说明

接下来，将参考附图结合优选实施例更详细地描述本发明，附图中：

图 1 是说明了根据本发明实施例的过负荷保护的示例性方框图，图 2 是说明了图 1 中所示设备的工作的示例性信号示意图；和图 3 是说明了图 1 中所示设备的工作的示例性流程图。

具体实施方式

图 1 中，热过负荷保护设备耦合在电动机 M 或其它要保护的电气设备与三相电源电流源 $L1$ 、 $L2$ 和 $L3$ 之间。 $S1$ 是主电源开关，例如，手动控制的， $S2$ 是通过过负荷保护设备控制并用跳开信号 $TRIP$ 控制的释放开关。过负荷保护设备 1 利用电流测量单元 10 测量电机 M 中电源电流源的每一相 $L1$ 、 $L2$ 和 $L3$ 的电流负荷，其例如基于变流器。此外，过负荷保护装置 1 可以包括用于测量相电压的测量单元 11。而且，过负荷保护设备 1 优选地包括用户界面，即，人机界面 (HMI) 12，其具有显示器 13 和键盘 14。另外，过负荷保护设备 1 可以包括连接到局域网 (例如，以太网) 的数据通信单元 15、总线 (例如，Profibus) 或其它的数据通信介质 17。

关于本发明，最主要的功能是与保护和控制单元 16 有关。过负荷保护设备 1 是由微处理器系统实现的，上面的大部分单元都是由适当的微处理器软件和外围电路如存储器电路实现的。利用数字/模拟转换器 (A/D) 将由电流和电压测量单元提供的测量值转换成数值，即数字值。根据本发明基本原理，微处理器系统采用定点运算，优选的是 32 位运算。适当的处理器类型例如是具有 32 位 RISC 指令集的通用处理器，如 ARM7/9 或 M68k 序列。

应认识到，上面描述的结构仅是用于实现本发明的热过负荷保护设备的一种例子。

过负荷保护设备 1 保护电机 M 不受过热影响，从而不受过热所带来的任何损害。该保护设备是基于根据测量到的相电流计算电机上的热负荷。接下来，将通过图 2 和 3 的例子解释该保护设备的通常工作过程。通过闭合开关 S1 和 S2，相导体 L1、L2 和 L3 连接到电机 M 上。电流测量单元 10 测量各相的电流 (图 3 中的步骤 31)，控制单元 16 通过利用定点运算根据相电流计算电机 M 上的热负荷 (步骤 32)。

尽管计算热负荷所采用的算法本身对本发明来说并不是不可缺少的，但接下来的内容包括对适用于定点运算的解决方案的描述。用于一相的数学方程式可以如下所示：

$$\Theta_k = \Delta T * \frac{i^2}{C} + \left(1 - \frac{\Delta T}{R * C}\right) * \Theta_{k-1}$$

其中

Θ = 热负荷，优选为 0 到 200%，优选地对应于 0 到 2.4 的数值范围

ΔT = 热负荷计算的间隔，优选地采用毫秒

R = 电气设备的冷却因数，优选地为 1 到 10

C = 跳开级别因数

i = 测量到的负荷电流

因数 C 优选地是跳开级别因数 t_0 ，其表示相对于电机的实际起动时间对电机设定的最长的起动时间。因数 C 例如可以是 1.7 (× 实际起动时间)。在本发明的基本实施例中，跳开级别因数 t_0 乘以一常数，优选地是 29.5，或者通过公式 $(1/k) * T_e * (I_a / I_n)^2$ 来计算，其中， I_a = 起动电流， I_n = 额定电流， T_e = 允许的起动时间，以及 k = 常数。当

希望工作时间曲线相当于跳开级别和 t_0 时间组合的曲线时，常数 $k = 1.22$ （工作时间取决于 IEC 60947-4-1 的要求）。优选地，测量到的电流被按比例换算成 0 到 Y 范围内的单位值，其中 Y 表示额定电流的 $Y/100\%$ ，优选地， $Y = 65000$ ，从而，计算就与实际的电流范围无关。

让我们来举例检验 32 位定点运算。上面描述的数学方程式或算法以及其计算热负荷的操作数都被编程，使其适用于采用 32 位定点运算的处理器系统，从而使得当在处理器系统中运行程序时，结果或临时结果永远不会超出 32 位值。

下面是用这种方式构成并换算的计算方程式的例子

$$\begin{aligned} \text{thRes} = & ((\Delta T * (i^2 / C) + \text{ROUNDING}) / \text{MSEC}) \\ & + (((((\text{MSEC} * \text{SCALING}) - ((\Delta T * \text{SCALING}) / (R * C))) / \text{SPART1}) * \text{th}) / \text{SPART2}) \\ & + \text{thFract} \end{aligned}$$

其中，操作数的值例如如下所示

thRes = 对应于 0 到 24000 的数值范围的热负荷 0 到 200%

ROUNDING = 例如是 500

MSEC = 例如是 1000

SCALING = 例如是 10000

SPART1 = 例如是 $\text{SCALING}/10$

SPART2 = 例如是 $\text{SCALING}/100$

thFract = 前面计算的 thRes 除以常数，例如常数 = $\text{SCALING} = 10000$ 。

ROUNDING 相当于十进制的舍入。 MSEC 按比例将毫秒换算成秒。 SCALING 是精确比例。项 SPART1 和 SPART2 的乘积表示时间单位（优选为毫秒级）的比例，它们被分成两部分，以保持计算的精度。

因为比例（在该例子中，比例在 0 到 24000 的范围内）的缘故，热负荷的结果 thRes 太高了，因此它被按比例减小以表示每个所采用的单位值的热负荷，在该例子中减小到 0 到 2.4 的范围内

$$\text{⊕} = \text{thRES}/10000$$

该商值 ⊕ 作为参数 thFract 被保存起来，并在下一次的计算中被采用。对 0 到 100% 热负荷的计算精度优于热负荷的 0.1%。

图 2 的曲线图表示计算得到的热负荷 ⊕ 随时间 t 的函数。当电机 M 从冷态起动时，其开始加热。同样地，计算得到的热负荷 ⊕ 随时间

函数增加。当热负荷 Θ 增加到给定设定的报警等级 Alarm_level 时，控制单元 16 可以例如经由用户界面 12-14 或通信单元 15 给操作员发出报警（图 3 中的步骤 35 和 36）。控制单元 16 还可以持续地或在给定的等级之后计算跳开前的剩余时间（time-to-trip），并将其通知操作员（图 3 中的步骤 33 和 34）。

根据本发明的原理，通过利用采用定点整数算法，优选为 32 位的处理器来计算跳开时间 τ 。作为计算的基础而采用的数学方程式可以如下所示：

$$\tau = R * C * \ln(a)$$

$$a = 1 - \left(\frac{\Theta_{trip} - \Theta}{i^2 - \Theta} \right)$$

其中

Θ_{trip} = 用于热负荷的跳开等级

Θ = 计算得到的热负荷

τ = 到 Θ 达到跳开等级 Θ_{trip} 时的估计时间

ΔT = 热负荷计算的间隔

R = 电气设备的冷却因数

C = 跳开级别 t_0 因数

i = 测量到的电流

方程式和其操作数被编程到微处理器系统中，从而使得结果或临时结果永远不会超出 32 位值。

在本发明的优选实施例中，各算子如下所示：

Θ = 计算得到的热负荷 0 到 200%，对应于 0-2.4 的数值范围

ΔT = 采用毫秒的用于热负荷计算的间隔

R = 在 1 到 10 范围内的电气设备的冷却因数

C = 乘以一常数，优选为 29.5，或通过公式 $(1/k) * T_e * (I_a / I_n)^2$ 计算得到的跳开级别 t_0 因数，其中， I_a = 起动电流， I_n = 额定电流， T_e = 允许的起动时间，以及 k = 常数。当希望工作时间曲线相当于跳开级别和 t_0 时间组合的曲线时，常数 $k = 1.22$ （工作时间取决于 IEC 60947-4-1 的要求）。

可以通过利用正态函数的小子集，或者可以通过利用查找表来计算自然对数， $\ln(a)$ 函数。小数学函数和查找表之间的选择是根据最优

化需要和所需的确定性等级来确定的。当使用查找表时该计算的确定性为 100%。

可以用下面的形式写出自然对数 ln(a):

$$\ln(a) \cdot$$

$$\ln(c) = \ln(e^{10}) + \ln(a) \Rightarrow$$

$$\ln(c) = 10 + \ln(a)$$

其结果是，在本发明的实施例中，通过换算后的方程式来计算算子 a 和跳开时间 τ

$$a = 1 * e_{10_SCALING} - (i_{trip} - i) * e_{10_SCALING} / (i_2 / PUCOMP - i)$$

$$\tau = (R * C * (\log(a) * SCALING - (LN_e10 * SCALING))) / -SCALING$$

其中

因数 e10_SCALING (例如, 22026) 近似按比例换算为 e¹⁰ (例如, 22026.47)。

LN_e10 表示函数 ln(e¹⁰)。例如, LN_e10 = 10 表示函数 ln(e¹⁰) = 10。

i = 按比例换算成单位值的测量到的电流, 例如换算到 0 到 65000 的范围内, 对应于额定电流的 0 到 650%,

SCALING 是精确比例, 其值 (例如, 10000) 取决于所需的精确度。

PUCOMP 是每单位补偿 (例如, 10000)。

可以以更慢的速率来计算跳开时间值 τ 的估计值, 例如, 比热负荷慢 10 倍的速率。但是, 一秒钟至少应计算一次 τ 值。结果的精确度优于 +/- 1 秒。

表 1 中表示出查找表的一个例子。

```

uint32 logTab[] = {
0, 55452, 62383, 66438, 69315, 71546, 73369, 74911, 76246, 77424, 78478,
79431, 80301, 81101, 81842, 82532, 83178, 83784, 84355, 84896, 85409, 85897,
86362, 86807, 87232, 87641, 88033, 88410, 88774, 89125, 89464, 89792, 90109,
90417, 90715, 91005, 91287, 91561, 91828, 92087, 92341, 92587, 92828, 93064,
93294, 93518, 93738, 93953, 94164, 94370, 94572, 94770, 94964, 95155, 95342,
95525, 95705, 95882, 96056, 96227, 96395, 96561, 96723, 96883, 97041, 97196,
97348, 97499, 97647, 97793, 97937, 98079, 98218, 98356, 98492, 98627, 98759,
98890, 99019, 99146, 99272, 99396, 99519, 99640, 99760, 99878, 99995, 100111,
100225, 100338, 100450, 100560, 100670, 100778, 100885, 100991, 101095, 101199, 101301,
};

```

表 1

在该表中, 算子 a 的值起到 256 序列中的指数的作用。如果 a < 256, 则取出表中的第一个值, 即 0。如果 a = 256, 则取出表中的第二个值, 即 55452; 当 a = 512 时, 取出表中的第三个值, 即 62383, 等等。该

表替代了函数 $\ln(a)$ 的计算结果，在示例性的情况下，还考虑到了 SCALING 因数。

当热负荷 Θ 增加到给定的设定的跳开等级 Θ_{Trip} （优选地为电机上热负荷的 100%）时，控制单元 16 触发跳开信号 TRIP，其控制开关 S2 打开，从而电机 M 从三相电源 L1、L2 和 L3 上断开（图 3 中的步骤 37 和 38）。如果跳开之后剩余的电机热容量太低（例如，低于 60%），则保护设备 1 可以防止新的重新起动，直到电机冷却到给定的等级（重新起动禁止）或在给定的时间期间（图 3 中的步骤 39 和 40）。为了起动，信号 TRIP 再次被连接至无效状态，开关 S2 被闭合。在实施例 1 中，操作员可以将控制单元 16 控制到越级（override）状态中，其中跳开等级被加倍（越级跳开等级）。

对于本领域的技术人员很明显的是，随着技术的进步，可以用各种方式来实现本发明的基本理论。因此，本发明和其实施例并不局限于上面的例子，而是可以在权利要求的范围内进行改变。

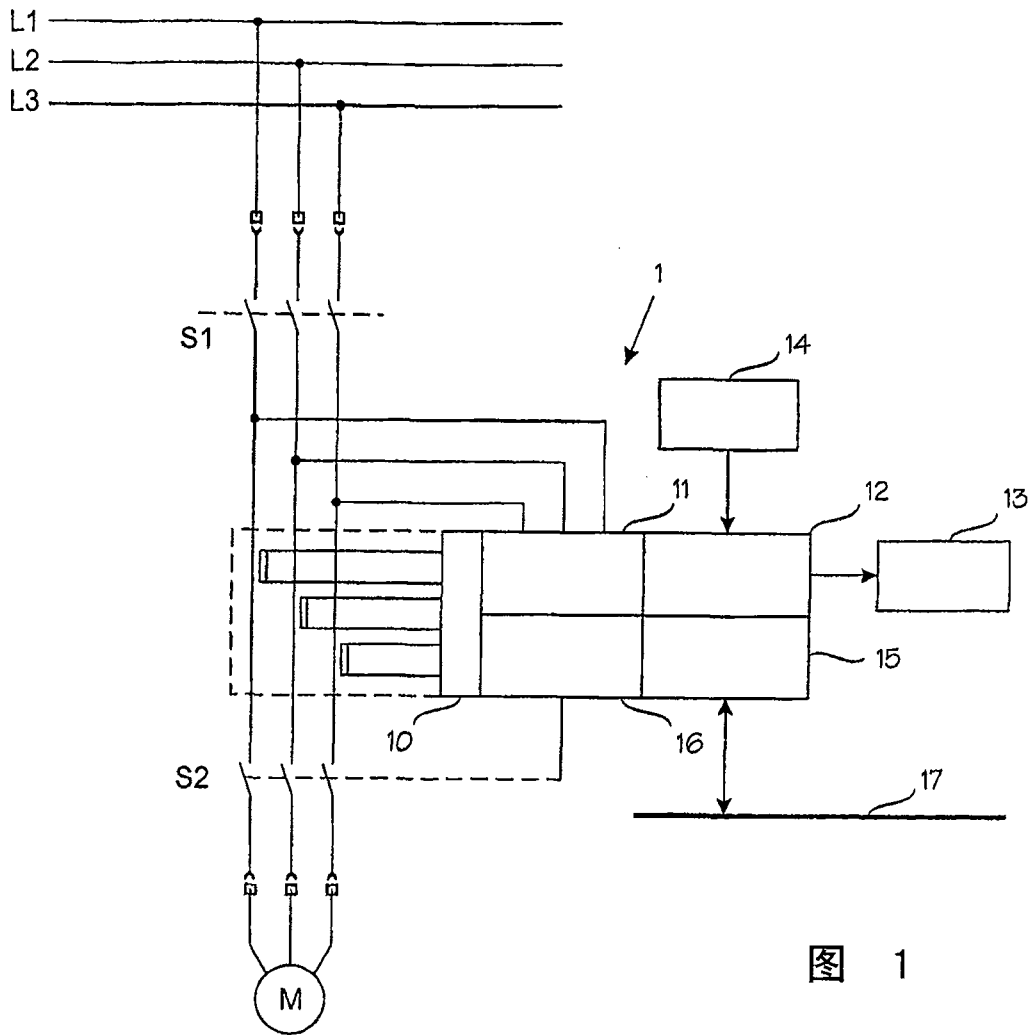


图 1

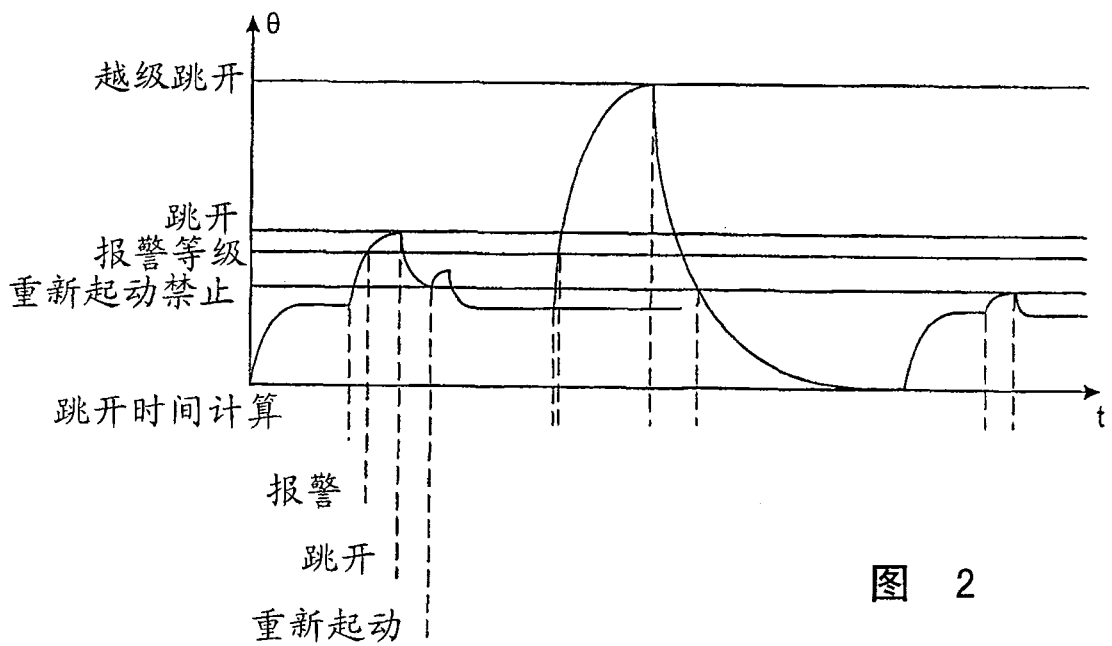


图 2

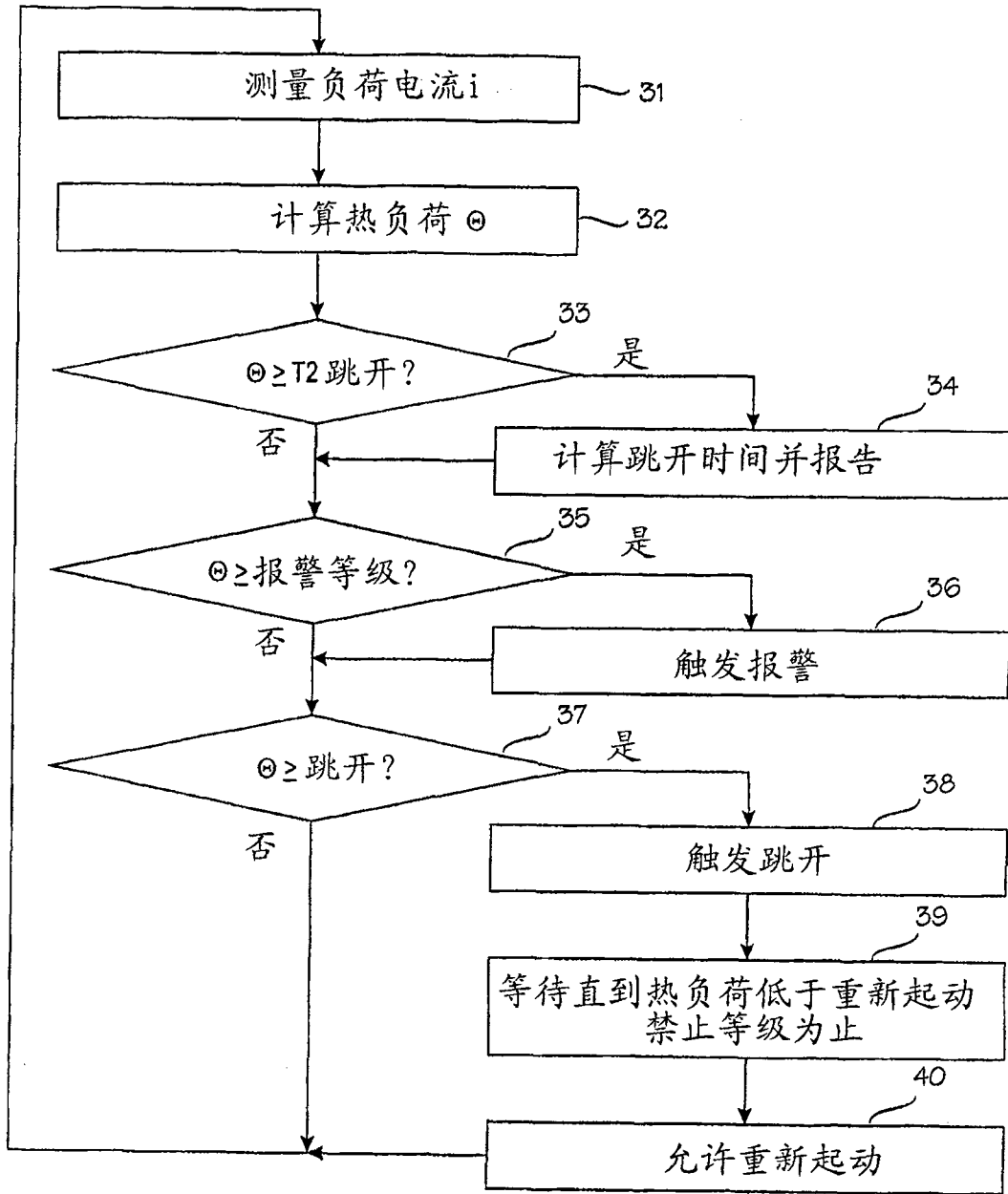


图 3