



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101946187 B

(45) 授权公告日 2013.06.19

(21) 申请号 200980105680.0  
 (22) 申请日 2009.02.11  
 (30) 优先权数据  
 12/033,197 2008.02.19 US  
 (85) PCT申请进入国家阶段日  
 2010.08.19  
 (86) PCT申请的申请数据  
 PCT/US2009/033710 2009.02.11  
 (87) PCT申请的公布数据  
 W02009/108494 EN 2009.09.03  
 (73) 专利权人 通用汽车环球科技运作公司  
 地址 美国密执安州  
 (72) 发明人 X·唐 X·张 Y-K·钱  
 B·J·科赫 D·R·弗里希  
 (74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司  
 72001  
 代理人 姜云霞

(56) 对比文件  
 DE 102005026597 A1, 2006.12.21, 说明书第  
 [0007] 段, 权利要求 1.  
 DE 102005026597 A1, 2006.12.21, 说明书第  
 [0007] 段, 权利要求 1.  
 US 6441586 B1, 2002.08.27, 说明书第 3 栏  
 第 49 行 - 第 11 栏第 59 行.  
 US 4396880, 1983.08.02, 说明书第 4 栏第  
 34-49 行.  
 US 6359419 B1, 2002.03.19, 说明书第 10 栏  
 第 47-57 行.

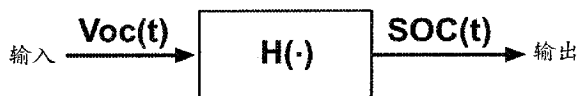
审查员 邵文

(51) Int. Cl.  
 G01R 31/36 (2006.01)  
 G01R 29/24 (2006.01)  
 G01R 19/00 (2006.01)  
 G05B 13/04 (2006.01)

权利要求书1页 说明书7页 附图13页

(54) 发明名称  
 基于模型的电池迟滞性估计

(57) 摘要  
 一种考虑电池迟滞性而估计电池荷电状态的方法包括:使用基于 Preisach 模型的算法计算电池荷电状态。



1. 一种考虑电池迟滞性而估计电池荷电状态的方法,包括:  
执行基于 Preisach 模型的算法以计算电池荷电状态;  
其中,执行所述算法包括:  
考虑所述电池的荷电状态的最小值和最大值而限定多个基本迟滞;  
在多个温度下训练多组基本迟滞特定权值以匹配于所述电池的典型性能;  
根据测得的温度,选择一组基本迟滞特定权值并将其应用于多个基本迟滞之一;和  
将与所述电池相关的数据输入应用于所述算法。
2. 如权利要求 1 所述的方法,其中,所述基本迟滞特定权值被初始化地训练。
3. 如权利要求 2 所述的方法,其中,所述训练包括:  
处理通过循环测试电池而收集的测试数据,所述循环可操作以获取边界迟滞回路和内部迟滞回路。
4. 如权利要求 1 所述的方法,其中,所述数据输入包括开路电压。
5. 如权利要求 4 所述的方法,其中,根据在所述电池处于充电或放电状态时可得的参数估计所述开路电压。
6. 如权利要求 1 所述的方法,其中,所述数据输入包括电池电压、电池电流和温度。
7. 一种考虑电池迟滞性而估计电池荷电状态的方法,包括:  
执行基于 Preisach 模型的算法以计算电池荷电状态;其中,其中,执行所述算法包括:  
限定具有所述 Preisach 模型特征的基本迟滞性曲线;  
基于训练数据而通过基本迟滞特定权值对所述基本迟滞性曲线进行加权;  
偏移所述基本迟滞性曲线,从而使所述算法的输出范围匹配于实际电池荷电状态的范围;和  
将与所述电池相关的数据输入应用于所述算法;  
其中,所述训练数据包括:  
通过循环测试电池而收集的测试数据,所述循环可操作以获取边界迟滞回路和内部迟滞回路。
8. 如权利要求 7 所述的方法,其中,所述实际电池荷电状态的范围包括:对应于充满电的电池的荷电状态的最大值和对应于完全放电的电池的荷电状态的最小值。
9. 如权利要求 7 所述的方法,其中,数据输入包括开路电压。
10. 如权利要求 9 所述的方法,其中,所述开路电压根据在所述电池处于充电或放电状态时可得的参数进行估计。
11. 如权利要求 7 所述的方法,其中,所述数据输入包括电池电压、电池电流和温度。

## 基于模型的电池迟滞性估计

### 技术领域

[0001] 本公开内容涉及用于估计电池荷电状态的电池迟滞性估计。

### 背景技术

[0002] 准确可靠估计电池荷电状态对于电力管理、能源经济和电池寿命至关重要。电池荷电状态难以直接测量。一种已知的电池荷电状态测量方法是从开路电压推断荷电状态。不过,这样的已知方法的准确性不足。基于开路电压估计荷电状态受电池迟滞性(hysteresis)的影响。电池内部的化学过程形成影响电池性能的历史依赖特性。对于任何开路电压而言,可能存在荷电状态的范围,这取决于由过去的充电和放电循环所形成的状况。基于开路电压或类似电系统性能估计电池荷电状态将得益于评估和计算历史的充电和放电循环对荷电状态影响的方法。

### 发明内容

[0003] 一种考虑电池迟滞性而估计电池的荷电状态的方法包括:使用基于 Preisach 模型的算法计算电池的荷电状态。

### 附图说明

[0004] 现在将参照附图通过示例描述一个或多个实施例,其中:

[0005] 图 1 是例示出根据本公开内容的迟滞性模型的实施例的结构图;

[0006] 图 2 是根据本公开内容的示例性已知功能的图示;

[0007] 图 3 是根据本公开内容的示例性迟滞性模型的图示;

[0008] 图 4 是根据本公开内容的示例性基本迟滞的操作的图示;

[0009] 图 5 是显示出根据本公开内容的迟滞性的示例性理想系统的操作的图示;

[0010] 图 6 显示出根据本公开内容的通过增大输入而操作的示例性系统;

[0011] 图 7 显示出根据本公开内容的通过减小输入而操作的示例性系统;

[0012] 图 8 显示出根据本公开内容的通过增大输入而操作的示例性系统;

[0013] 图 9 显示出根据本公开内容的通过减小输入而操作的示例性系统;

[0014] 图 10 显示出根据本公开内容的通过增大输入而操作的示例性系统;

[0015] 图 11 是显示出根据本公开内容的迟滞性的示例性理想系统的操作的图示;

[0016] 图 12 是根据本公开内容的具有减小放电和充电深度的始于 100% SOC 的测试数据;

[0017] 图 13 是根据本公开内容的依赖于温度的表示电池迟滞性的测试数据;

[0018] 图 14 是显示出根据本公开内容的示例性迟滞的图示;

[0019] 图 14A 是根据本公开内容的图 14 中所示的示例性迟滞正方形的图示;

[0020] 图 15 是例示出根据本公开内容的示例性荷电状态估计过程的结构图;

[0021] 图 16 是例示出根据本公开内容用于初始化图 17 中所示过程的方法的示例性实施

例的流程图；

[0022] 图 17 是例示出根据本公开内容用于将测试数据转换为迟滞权值的方法的示例性实施例的流程图；

[0023] 图 18 是例示出根据本公开内容用于初始化图 19 中所示过程的方法的示例性实施例的流程图；和

[0024] 图 19 是例示出根据本公开内容用于将操作数据转换为荷电状态估计值的方法的示例性实施例的流程图。

## 具体实施方式

[0025] 现在参见附图,其中所示仅用于例示特定示例性实施例的目的,而不是用于限制本发明,图 1 例示出根据本公开内容的迟滞性模型的示例性实施例的结构图。在此具体实施例中的输入,即开路电压 (" Voc " ),通过被表示为  $H(-)$  的迟滞性模型而进给,并生成在此具体实施例中的输出,即,荷电状态 (" SOC " )。SOC 是本领域的术语,用于描述电池中可用的储存能量水平。Voc 是当从电池终端上去除所有电路连接时电池能提供的电压测量值。不过,Voc 在操作系统中难以被测量,并可替代地可通过如下所述的能够容易测量到的系统参数进行估计。迟滞性描述了系统输出依赖于历史状态的系统性能。SOC 呈现出迟滞性下的典型性能,其中在任何时候的可用 SOC 依赖于历史的充电和放电循环。

[0026] 图 2 图示出典型函数  $f(x)$  的性状。在此函数中,  $x$  是输入,  $y$  是输出。函数  $f(x)$  描述了如下性状:对于给定的  $x$ ,  $y$  是唯一值。代表可显示出迟滞性的系统的模型不能针对给定输入提供唯一值。图 3 例示显示出迟滞性的系统。输入  $x(t)$  产生可通过模型  $H(-)$  描述的输出  $y(t)$ 。输出依赖于输入是否增大或减小,且输出还依赖于过去的循环在  $H(-)$  内的何处终止。

[0027] 用于图示迟滞性性能的广泛采用的模型是 Preisach 模型。Preisach 模型在本领域中是公知的,在此将不进行详细描述;不过,Preisach 模型的各方面大多涉及图 4-11 中所示的本公开内容。图 4 例示出对于 Preisach 模型而言的基本元素的性状,所述基本元素已知为基本迟滞 (elementary hysteron)。基本迟滞用于描述能够实现基于输入  $x(t)$  的 -1 或 1 的二元输出。始于上阈值之下任意处,  $x(t)$  的输出保持为 -1。仅当  $x(t)$  超过上阈值时,输出才会偏移到 1,其中,输出将保持为 1,直到  $x(t)$  变得小于下阈值。对于下阈值之下的任意  $x(t)$  值而言,输出已知为 -1,而对于上阈值之上的任意  $x(t)$  值而言,输出已知为 1。对于上、下阈值之间的任意  $x(t)$  值而言,输出取决于最后经过哪个阈值。

[0028] 图 4 例示出 Preisach 模型的单一的基本迟滞。大多数 Preisach 模型包括被加在一起的多个基本迟滞,其中,根据输入是否增大或减小,多个阈值先后作用以描述出交替性状。在这样的 Preisach 模型中,基本迟滞用作二进制开关,从而当达到对应于每个基本迟滞的单个阈值时影响输出。图 5 例示出这种 Preisach 模型  $H(-)$  的示例,其为具有适合权值 (weight) 和偏移 (shifting) 的多个基本迟滞的总和。权值是每个基本迟滞的 -1 或 1 的输入对于输出总体变动的贡献量度 (measure)。在这种情况下,  $y(t)$  从 0 移动到 1;假定所有基本迟滞对于输出  $y(t)$  具有相同的贡献,则影响变化 1 的 10 个基本迟滞的权值为 0.05。偏移是为了达到所希望的输出最小值和最大值而必须增加到标准基本迟滞输出的大小的量度。在这种情况下,无偏移的加权的迟滞组将产生 -0.5 至 0.5 的输出;因此,在这种

情况下需要 0.5 的偏移。H(-) 根据输入  $x(t)$  是增大或减小而描述输出  $y(t)$  的性状。在 H(-) 的增大部分, 当  $y(t)$  等于零时, 可以说 H(-) 的所有基本迟滞均关闭 (switch off)。随着  $x(t)$  开始增大,  $y(t)$  在零处保持平坦, 直到  $x(t)$  达到第一阈值。随着  $x(t)$  继续增大,  $y(t)$  继续逐步增大, 直到  $y(t)$  最终达到其峰值 1。当  $y(t)$  等于 1 时, 可以说 H(-) 的所有基本迟滞均开启 (switch on)。随着  $x(t)$  经历逆向过程, 已经增大的  $x(t)$  的值开始减小, 发生相反的性状, 其中, 单个基本迟滞保持开启, 直到达到其单个的阈值。随着  $x(t)$  减小,  $y(t)$  随着单个基本迟滞关闭而逐步减小, 直到  $y(t)$  达到零。用于 H(-) 中的基本迟滞的数量可增大, 以更流畅地描述受到迟滞性影响的具体系统的性状。此外, 应注意, 图示曲线的形状显示出理想系统的典型行为样式, 而在实际系统中, 曲线将很可能采取其它形状以通过有差别地使各基本迟滞加权而指示非理想系统性能。

[0029] 另一图线用于基于记忆曲线描述 Preisach 模型 H(-) 的操作。示例性记忆曲线的操作例示在图 6-10 中。轴线  $\alpha$  描述增大的  $x(t)$  值, 轴线  $\beta$  描述减小的  $x(t)$  值。参见图 6, 被称为 Preisach 面 20 的三角形表示在其上限定有基本迟滞 10 的区域。可在任何时候计算出输出  $y(t)$ , 其为在整个 Preisach 面 20 上具有适合权值和偏移的基本迟滞的总和。从左下至右上的斜线 40 表示  $\alpha = \beta$  的线。  $x(t)$  的变化由可滑动地固定到  $\alpha = \beta$  的线 40 的点 30 表示。在此再参见图 5, 小的  $x(t)$  值存在于  $y(t) = 0$  且所有基本迟滞 10 关闭之处。参见图 6, 这样的小的  $x(t)$  数值将由在  $\alpha = \beta$  线 40 上的左手下方极值上的  $\alpha = \beta$  线 40 上的点 30 呈现。对于  $x(t)$  的任何增大, 在  $\alpha = \beta$  的线 40 上的点 30 的高度处构建延伸穿过 Preisach 面 20 的水平线 50。随着  $x(t)$  增大, 点 30 在  $\alpha = \beta$  的线 40 上向上向右移动, 水平线 50 相应向上移动, 且处于水平线 50 之下的任何基本迟滞 10 均开启。用于描述 Preisach 模型 H(-) 的操作的示例性方法限定: 区域 60, 其在现有技术中有时被称为  $A^+$ , 其包含开启的基本迟滞 (在图 6 中以 "+" 表示); 和另一区域 65, 在现有技术中有时被称为  $A^-$ , 其包含关闭的基本迟滞 (在图 6 中以 "-" 表示), 这两种区域加在一起以包括整个 Preisach 面 20。随着  $x(t)$  继续增大,  $\alpha = \beta$  的线 40 上的点 30 将继续向上向右移动, 水平线 50 之下的区域 60 将增大, 且不可避免地, 更多基本迟滞将开启, 由此增多  $A^+$  并减少  $A^-$ 。使用图 6 作为计算  $y(t)$  的示例, 其为在整个 Preisach 面 20 上基本迟滞 10 的总和并实现图 5 中的示例性权值和偏移从而反映出输出  $y(t)$  的 1 和 0 的最大值和最小值, 图 6 图示出的系统具有十个中六个基本迟滞开启 (每个具有输出 1) 和十个中四个基本迟滞关闭 (每个具有输出 -1)。因此, 图 6 中示例性状态下的  $y(t)$  的值将为  $(6 \times 1 + 4 \times (-1)) \times 0.05 + 0.5 = 0.6$ , 其中, 1 为六个开启的基本迟滞的输出, -1 为四个关闭的基本迟滞的输出, 0.05 为所有十个基本迟滞的权值, 0.5 是偏移。

[0030] 图 7 例示出随着  $x(t)$  减小的逆向过程。应注意的, 此示例性实施例假定图 6 中所示状况被实现而使得点 30 移动到  $\alpha = \beta$  的线 40 的最右手上侧, 由此使得区域 60 增大并变得与 Preisach 面 20 重合。对于  $x(t)$  的任何减小, 在  $\alpha = \beta$  的线 40 上的点 30 将在  $\alpha = \beta$  的线 40 上向下向左移动。对于  $x(t)$  的任何减小, 在点 30 处构建穿过 Preisach 面 20 的竖直线 70。随着  $x(t)$  减小, 线 70 将向左移动, Preisach 面 20 的在线 70 右方的任何部分从区域 60 中被减去并被加到区域 65。在线 70 右方的任何基本迟滞 10 对应于减小的  $y(t)$  值, 开启的基本迟滞 10 和关闭的基本迟滞 10 与  $y(t)$  值的如前所述的关系继续有效。由于图 7 图示出的系统具有十个基本迟滞中七个开启的基本迟滞 (具有输出 1) 和十个基

本迟滞中三个关闭的基本迟滞（具有输出 -1），因而对于图 7 中的示例状态况而言， $y(t)$  的值将为  $(7 \times 1 + 3 \times (-1)) \times 0.05 + 0.5 = 0.7$ 。随着  $x(t)$  继续减小，竖直线 70 将继续向左移动，直到区域 60 减小至零，所有基本迟滞 10 将处于区域 60 之外。

[0031] 在前述的图 5-7 中所示状况下， $x(t)$  的值始于一个极值并完全移动到另一极值。图 5 中的合成的记忆曲线形成从左下向右上弯曲的增大线和从右上向左下弯曲的减小线。图 6-7 中的对应的记忆曲线首先显示出水平线 50，然后显示出从 Preisach 面 20 的一侧扫到另一侧以增大或减小区域 60 或总的  $A^+$  的竖直线 70。不过， $x(t)$  不需要从一个极值移动到另一极值，记忆曲线用于通过  $x(t)$  的部分变动而量化迟滞状态。图 8-10 例示出区域 60 和 65 通过  $x(t)$  的部分变动采取的形式并例示出由于所述部分变动所致的基本迟滞状态。图 8 图示出  $x(t)$  从初始的小值增大至某值 A。如图 6 中所示，水平线 50 随  $\alpha = \beta$  的线 40 上的点 30 而向上移动，从而在 Preisach 面 20 上限定包含各基本迟滞的区域 60（阴影部分），由此描述出随  $A^+$  增多和  $A^-$  减少的  $y(t)$  的值。图 8 中的区域 60 包括在水平线 50 之下的所有 Preisach 面 20。图 9 图示出  $x(t)$  随后从值 A 减小至某值 B。竖直线 70 形成，且随着竖直线 70 向左移动，描述  $A^+$  的区域 60 尺寸减小而失去在竖直线 70 右方的 Preisach 面 20 的任何部分。由于  $x(t)$  仅减小至值 B，因而保持在 B 处点 30 左方的区域保持为区域 60 的部分。图 10 图示出  $x(t)$  随后从值 B 增大至某值 C。水平线 50 形成，而随着水平线 50 向上移动，Preisach 面 20 上的描述  $A^+$  的区域 60 尺寸增大。由于值 C 小于值 A，因而限定区域 60 的边界的线 80 形成台阶。如前所述，开启的基本迟滞 10 和关闭的基本迟滞 10 与由  $A^+$  和  $A^-$  描述的  $y(t)$  值的关系继续有效。

[0032] 显示出经历  $x(t)$  部分变动的迟滞性的系统可依照  $H(-)$  以及得到的  $y(t)$  值而显示。图 11 例示的示例性系统经历的  $x(t)$  的部分变动类似于图 8-10 中所示步骤。如前所述，模型中的基本迟滞的数量可改变，以加上或减少由  $y(t)$  计算的解。图 11 以更多的基本迟滞替代图 8-10 的示例中作为模型的十个分立的基本迟滞，使得得到的  $H(-)$  曲线呈现为连续状态。在图 11 中，可见  $x(t)$  始于某一小值并增大至某值 A。输出  $y(t)$  值如图 5 中的前述示例中的  $y(t)$  那样运行，其首先缓慢增大并然后逐渐向上倾斜。不过，不同于图 5 中所示  $H(-)$  曲线的是，在此示例性实施例中的  $x(t)$  在值 A 处停止增大并开始减小至某值 B。虚线 90 图示出假使  $x(t)$  增大至其极值时  $H(-)$  原本将会遵从的边界状况。而实际上， $H(-)$  在其逆向点处模仿图 5 中的  $H(-)$ ， $y(t)$  初始首先缓慢减小并然后逐渐向下倾斜。随着  $x(t)$  达到值 B， $x(t)$  停止减小并开始增大至某值 C。 $H(-)$  再次模仿前述样式， $y(t)$  在达到至值 C 的过程中首先缓慢增大且斜率逐渐增大。以这种方式，Preisach 模型可用于估计显示出迟滞性能的系统性能。

[0033] 测试已经显示出，电池荷电状态显示出通过充电和放电循环形成的迟滞性的性能。图 12 和 13 图示出示例性 NiMH 电池经过多次充电和放电循环所得的测试结果。图 12 展现出显示  $H(-)$  边界内部迟滞回路的一组环，而图 13 展现出显示不同温度下  $H(-)$  边界内部迟滞回路的三组环。图线显示出输出  $SOC(t)$  不是通过  $V_{oc}$  值而功能性地确定，而是， $SOC(t)$  根据电池最近是否被充电或放电并根据电池的历史状态而变化。图 12 和 13 证实，实际系统的性能如图 11 所预计的那样。

[0034] 如前所述，理想的输出  $y(t)$ （例如，如图 11 中所示）可通过将由成组的基本迟滞所描述的 Preisach 迟滞性模型  $H(-)$  应用于成组的权值和描述  $y(t)$  的偏移因子而估计，其

中偏移因子的值在  $y(t)$  的最大值与  $y(t)$  的最小值之间移动。每个迟滞状态可通过迟滞状态指数  $w$  描述。为了描述模型内的基本迟滞的状态,  $n$  维矢量  $w(t)$  可被限定以描述特定基本迟滞的状态, 使得  $w(t) = [w_1, w_2, \dots, w_k, \dots, w_n]^T$ , 其中,  $n$  等于基本迟滞的数量。这种迟滞状态的描述  $w(t)$ , 乘以由  $\mu = [\mu_1, \mu_2, \mu_k, \dots, \mu_n]^T$  限定的成组的权值 ( $\mu$  为与状态矢量  $w$  具有相同维数的权值矢量), 可用于描述理想系统的输出。如果所有权值相同, 则这种计算产生如图 11 中所示的均匀卵形样式, 其中具有在  $y(t)$  最小值处的最低值和在  $y(t)$  最大值处的最高值。

[0035] 非理想系统, 例如在图 12 和 13 中反映的系统, 不形成如图 11 中的均匀样式。考虑非理想系统的固有低效性的方法是, 将唯一权值应用于每个基本迟滞, 从而反映出低效性的变形影响。用于基本迟滞的权值是基本迟滞对整个迟滞性的贡献的量度, 并可通过基于某些实验室数据的离线训练而确定。基本迟滞的特定权值  $\mu_k$  可作为每个基本迟滞的因子, 以对于  $y(t)$  的最小值和最大值将每个基本迟滞修正以考虑实际系统低效性并修正整体迟滞设定。权值可被表示为  $n$  维的权值矢量  $\mu$ 。应注意,  $\mu$  随温度变化, 并在一些现有技术中被表示为温度  $T$  的函数, 例如  $\mu(T)$ 。用于训练目的而进行的测试在多个温度下执行, 以允许调节车辆内的温度。不过, 一旦温度值被设定且适合的  $\mu$  值被选定, 则输出  $SOC(t)$  仅基于确定基本迟滞状态  $w$  的输入  $Voc(t)$ , 而与温度无关。在车辆中, 通过温度传感器测量电池温度。根据测量到的温度, 可选择不同值的权值因子  $\mu$ , 并将其应用于基本迟滞状态。结果, 可通过  $SOC(t) = \mu^T w(t) = \mu_1 w_1 + \mu_2 w_2 + \dots + \mu_n w_n$  (其中  $T$  为矢量的转置矩阵) 而算出普通电池迟滞性的计算值 (其中输出为电池 SOC)。

[0036] 如前所述, 基本迟滞的数量决定 Preisach 模型的得到实施例产生的迟滞性曲线的解。具有极少基本迟滞的 Preisach 模型, 例如如图 5 中所示的模型, 对于诸如电池 SOC 估计系统之类的复杂系统将是不实用的。在台阶样式的一侧或另一侧上所导致的最终误差可能引起电池中 SOC 的严重误判。结果, 非常优选的是, 在 Preisach 模型中使用大量基本迟滞, 以在得到的迟滞性模型中消除台阶样式。不过, 在将前述公式用于 SOC 时, 由于基本迟滞的数量增大, 因而必须收集和列表的迟滞特定权值  $\mu_k$  的数量也增大。这些基本迟滞及其特定权值可能对车内 (on-board) 算法而言是过多的和繁重的, 并增大了在 SOC 计算中将被执行的计算的复杂度。已发现, 在一些实施例中优选的是, 限定迟滞分组 (多个迟滞), 其中, 在一组中的基本迟滞的状态值  $w_k$  通过每个被分组的迟滞平均而得。以这种方式, 迟滞内的基本迟滞状态的平均值可用作平均值。整个模型将对开启和关闭的单个基本迟滞保持敏感性, 不过曲线整体性能是通过一些被分组的迟滞进行平均而得。由于单个基本迟滞的值被平均成迟滞, 因而此具体实施例将以迟滞的数量替代基本迟滞的总数量的值  $n$ 。迟滞基于存在于每个迟滞内的基本迟滞状态而生成  $w(t)$ , 使得针对每个迟滞的  $w_k$  构成该迟滞内的所有二元迟滞状态的平均值。迟滞特定权值  $\mu_k$  然后被应用于每个迟滞, 以减小与收集和罗列  $\mu$  相关的负担从而在线更新迟滞状态。这些迟滞特定权值平均每个迟滞内包含的各基本迟滞的权值, 使得在整个迟滞内的权值影响近似化, 而不需要计算和罗列与每个基本迟滞相关的每个权值。

[0037] 迟滞在记忆曲线上的使用被例示在图 14 中。图示出包含多个基本迟滞的示例性 Preisach 面 20。区域 60 (阴影部分) 图示出 Preisach 面 20 上基本迟滞开启的地域。线 80 图示出区域 60 的边界。在所显示的示例性实施例中, 迟滞采取迟滞正方形 100 的形式。

不过,应认识到,可使用任意迟滞形状对迟滞状态数据进行平均,只要所有基本迟滞均被考虑在内即可,由此将基本迟滞状态的总和返回用于 SOC 计算。迟滞正方形 100 以均匀样式铺在 Preisach 面上,所述迟滞正方形以具有 L 行和 L 列的阵列而排列。图 14A 例示出具体迟滞正方形 100 的近视图。针对将用于 SOC 计算的此具体迟滞正方形 100 的值  $w_k$  通过算出在基本迟滞开启的区域  $A^+_{110}$  (阴影部分) 与基本迟滞关闭的区域  $A^-_{120}$  间的面积之差而确定。基于在迟滞上的区域 110 和 120 的面积计算  $w(t)$  在下文中参照图 16-19 更详细描述。针对每个迟滞正方形的  $w_k$  值然后与  $\mu_k$  相结合用于 SOC 计算。结果得到的 SOC 计算值保持有大量基本迟滞的大多数解,而同时减少了与应用  $\mu$  相关的计算、数据存储和训练的负担。

[0038] 图 15 例示出示例性的 SOC 估计过程 200,其中从电池系统收集数据并将迟滞性模型应用于这些数据以生成 SOC(t) 计算值。在此示例性实施例中,采用电池电压、电池电流和系统温度形式的输入被输送通过电池参数估计算法 210 以生成  $V_{oc}(t)$  估计值。 $V_{oc}(t)$  然后被输送进估计算法 220,其中,首先迟滞计算过程 230 限定  $w(t)$ ,其次 SOC 计算过程 240 将  $\mu$  应用于  $w(t)$  以生成 SOC(t)。通过这种方式,估计过程 200 容易地从电池系统中取得可用数据,并生成基于迟滞性模型的 SOC 估计值。

[0039] 如图 15 中所示,SOC 估计算法 220 涉及:首先基于输入  $V_{oc}(t)$  产生  $w(t)$ ,然后将权值矢量  $\mu$  应用于  $w(t)$  以生成 SOC(t)。如前所述,权值矢量  $\mu$  必须基于从实验室收集的真实电池迟滞性数据而训练,从而使用基于迟滞性的模型准确估计 SOC。在图 16-17 描述的示例性过程中,通过真实电池迟滞性数据训练权值矢量  $\mu$ 。在图 18-19 描述的过程中,权值矢量  $\mu$  一旦通过该过程训练完毕,则在所述模型内应用以执行车内 SOC 计算。

[0040] 由于迟滞性需要数据的历史应用环境以准确地确定输出,因而需要知悉开始确定  $H(-)$  性质的迟滞性数据的初始起始点。为了训练实验室收集的数据,要控制电池迟滞性始于最低点(最小 SOC = 0%)或最高点(最大 SOC = 100%)。图 16 例示出示例性过程 400,其中,实验室数据用于初始化  $w(t)$  以实现训练权值矢量  $\mu$  的目的。在步骤 410 收集包括单一  $V_{oc}$  数据点和对应的实际 SOC 测量值的实验室数据。步骤 420 确定:所收集的数据点是否指示出模型在一个边界状况(放电边界,即,从最大 SOC 减小的边界)下运行,若是,则方框 440 内的步骤用于确定针对此数据点的初始迟滞状态。如果所收集的数据点指示出模型在另一边界状况(充电边界,即,从最小 SOC 增大的边界)下运行,则方框 430 内的步骤用于确定针对此数据点的初始迟滞状态。方框 430 和方框 440 均执行反复计算,以系统地分析 i 行和 j 列的迟滞阵列并针对每个迟滞确定  $A^+$  和  $A^-$  以在步骤 450 确定  $w_k$ 。在步骤 460 选择  $\mu$  的初始值、 $\mu$  的工作估计值,并应用于步骤 470。步骤 470 应用 SOC 计算值以生成 SOC 估计值 ( $SOC_{est}$ ) 并基于  $SOC_{est}$  与实际 SOC 样本的比较而提供  $\hat{\mu}$  的初始修正。过程 400 设定用于初始化  $w(t)$  的框架并设定如图 11 中所示的  $H(-)$  图线上的第一点以设定用于此后各点分析的历史应用环境。

[0041] 一旦  $V_{oc}(t)$  和  $SOC(t)$  的初始关系通过第一数据点确定,则其它的数据点可用于开始绘出  $H(-)$  和计算  $\mu$ 。图 17 例示出示例性过程 500,通过过程 500 实验室数据与在过程 400 中获得的初始信息结合使用,以绘出对于给定系统的  $V_{oc}(t)$  与  $SOC(t)$  的关系并由此得出  $\mu$  的值。步骤 510 接收来自初始化过程 400 的输出。步骤 520 接收来自与  $V_{oc}$  相关的和对应的实际 SOC 测量值的测试数据的输入。步骤 530 和 540 评估当前输入的  $V_{oc}$  估



计值并将其与最后的 Voc 估计值比较,所述最后的 Voc 估计值在第一次反复过程 500 时为用于初始化过程 400 的第一 Voc 估计值。如果 Voc 不变,则  $w(t)$  保持不变。如果 Voc 减小,则方框 550 内的步骤执行反复步骤,以限定在用于限定  $w(t)$  的步骤 570 中所用的迟滞状态。如果 Voc 增大,则方框 560 内的步骤执行重复步骤,以限定在用于限定  $w(t)$  的步骤 570 中所用的迟滞状态。步骤 580 应用 SOC 计算值以生成  $SOC_{est}$ ,并基于  $SOC_{est}$  与实际 SOC 样本的比较提供对  $\hat{\mu}$  的修正。步骤 520 至 580 对每个可用数据点重复进行,每次重复使  $\hat{\mu}$  值更精确。一旦所有数据点评估完毕,则通过各  $\hat{\mu}$  值训练  $\mu$ ,训练过程完成。应注意,当测试数据完全获取到边界状况和边界状况内部的回路时,实验室数据将最有效地估计  $\mu$ 。

[0042] 一旦训练完毕,  $\mu$  可用于车辆中,其中所述车辆具有与生成实验室数据以训练模型的系统相似的电池构造。用于车内估计 SOC 的过程类似于用于训练模型的过程,其中,首先必须初始化第一  $w(t)$ ,然后  $\mu$  可应用于 SOC 计算中以形成 SOC 估计值。图 18 例示出初始化过程 600,其中例示出用于设定  $w(t)$  初始值的车内方法。 $w(t)$  的值可基于来自过去操作循环的  $w(t)$  值。在切断 (key-off) 循环过程中,电池可能有时合理地保持内部状态,随着时间增长,由于最后的切断事件,从而电池的内部化学状态可能变化,由此改变通过迟滞性模型描述电池的固有性能。结果,过程 600 在步骤 610 测量从最后的切断事件开始的时间  $t_{off}$ ,并收集 Voc 估计值。步骤 620 将  $t_{off}$  与一些选定的关键切断时间  $t_{reset}$  进行比较。如果  $t_{off}$  超过  $t_{reset}$ ,则在方框 630 内的步骤中  $w(t)$  被重置以指示电池迟滞性始于放电边界,类似于图 16 的方框 440 内的步骤。如果  $t_{off}$  小于  $t_{reset}$ ,则在方框 640 内的步骤使用最后的  $w(t)$  作为基线以计算更新的  $w(t)$ 。然后,步骤 650 使用  $w(t)$  计算 SOC 初始估计值。

[0043] 图 19 示出过程 700,其例示出基于 Voc(t) 输入确定 SOC(t) 估计值的车内方法。步骤 710 从初始化过程 600 接收  $w(t)$  形式的输出。步骤 720 接收 Voc(t) 和 I 的输入。步骤 730 和 740 确定电池的 Voc(t) 的状态以确定电池是否充电、放电或处于停用状态。如果 Voc(t) 保持不变,则迟滞和估计的 SOC(t) 将保持不变。如果 Voc(t) 变化,则 SOC(t) 将相应增大或减小。方框 750 和 760 内的步骤计算出对应于 Voc(t) 变化的  $w(t)$ ,结果得到的  $w(t)$  与训练后的  $\mu$  值一起用于步骤 770 中以计算 SOC(t) 估计值。步骤 780 确定是否电池继续操作和是否启动另一次对过程 700 的反复操作,以计算新的 SOC(t) 估计值。如果操作结束,则步骤 790 将  $w(t)$  的值存储在记忆位置,以在此后用于如前所述的过程 600 中。

[0044] 本公开内容已经描述了特定优选实施例以及对其的修改。在阅读和理解本申请文件的基础上,他人可以进行进一步的修改和变化。因此,本公开内容不限于作为实施本公开内容可想到的最佳模式而公开的具体实施例,而是,本公开内容将包括处于所附权利要求书范围内的所有实施例。

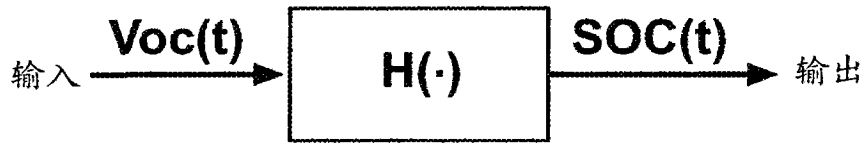


图 1

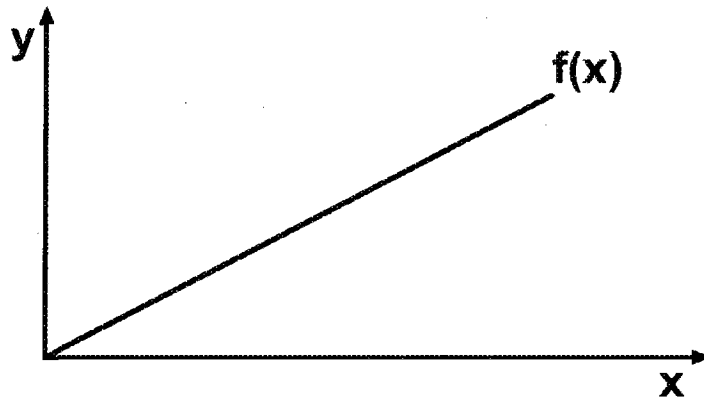


图 2

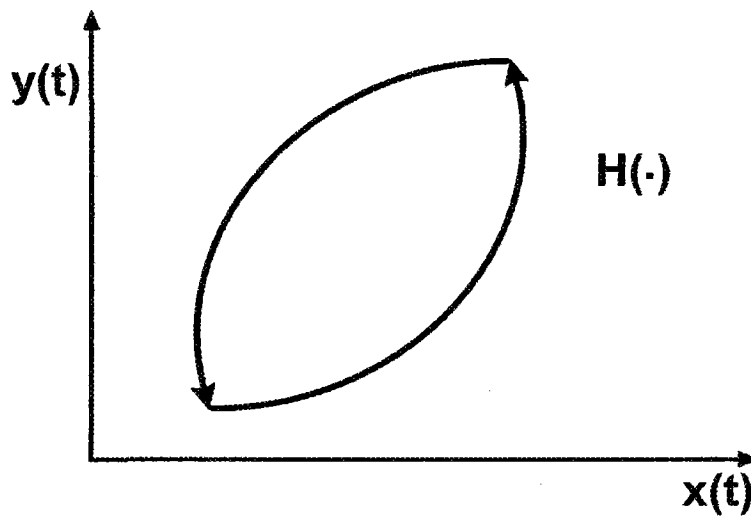


图 3

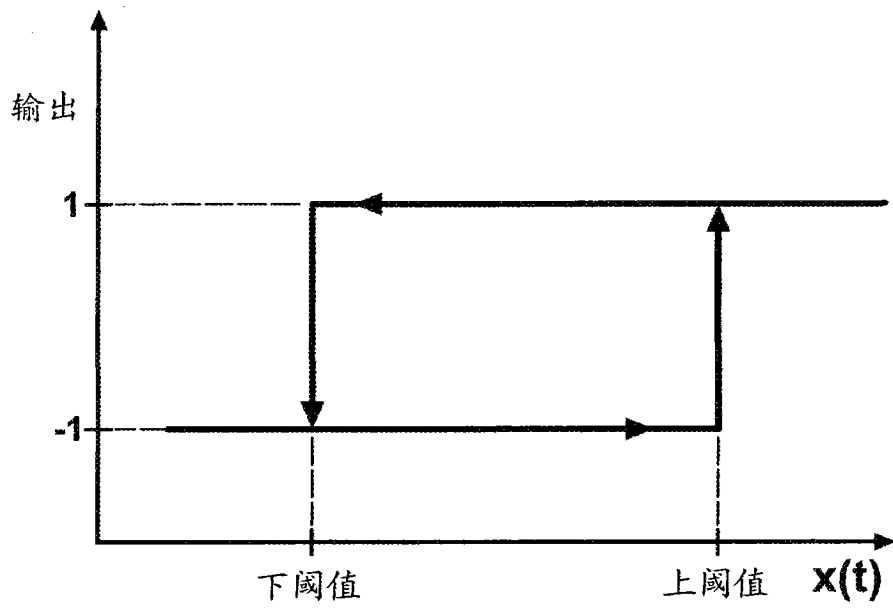


图 4

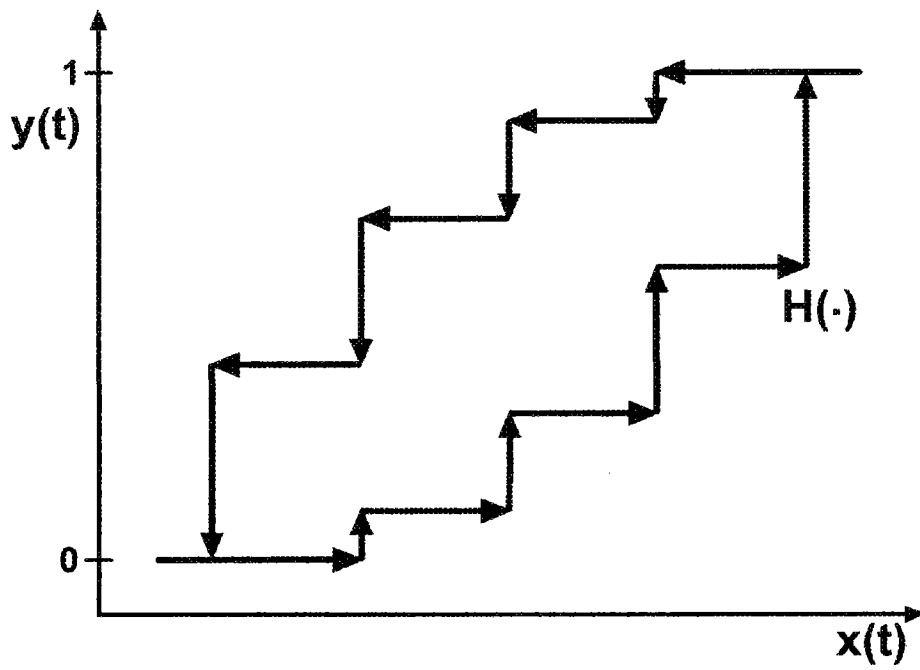


图 5

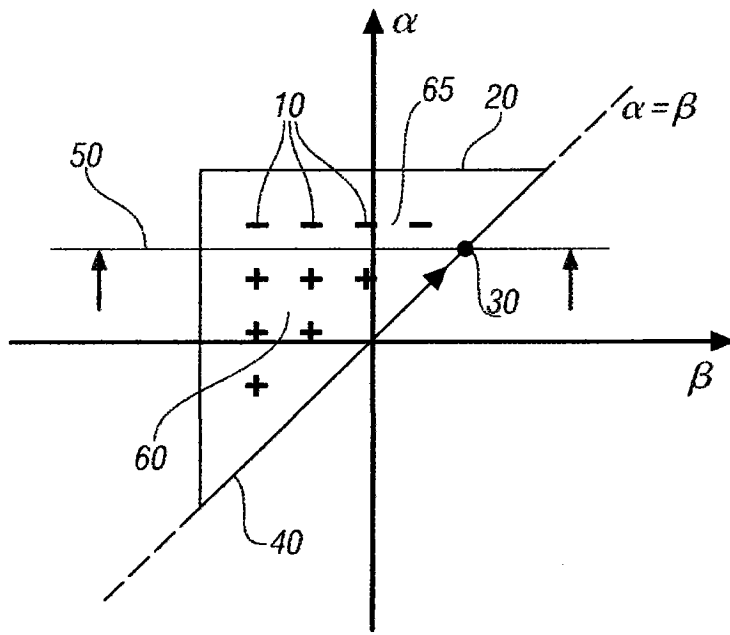


图 6

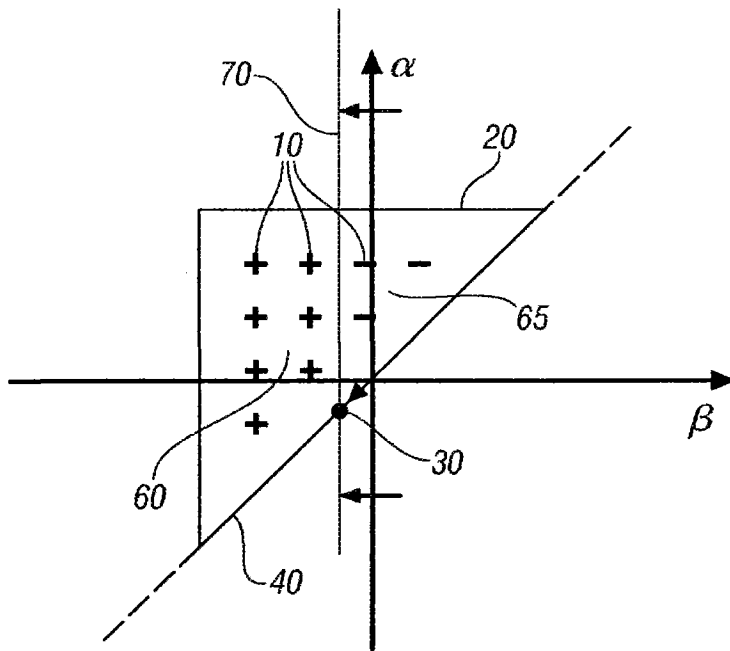


图 7

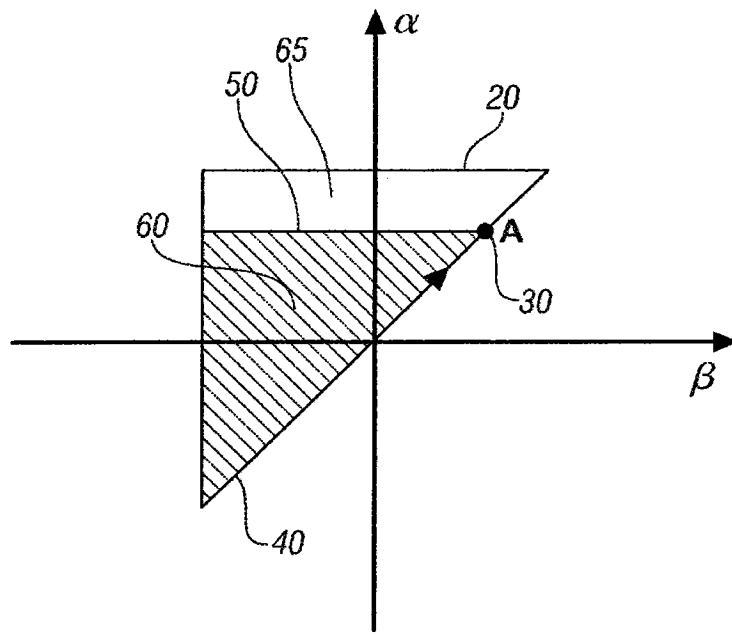


图 8

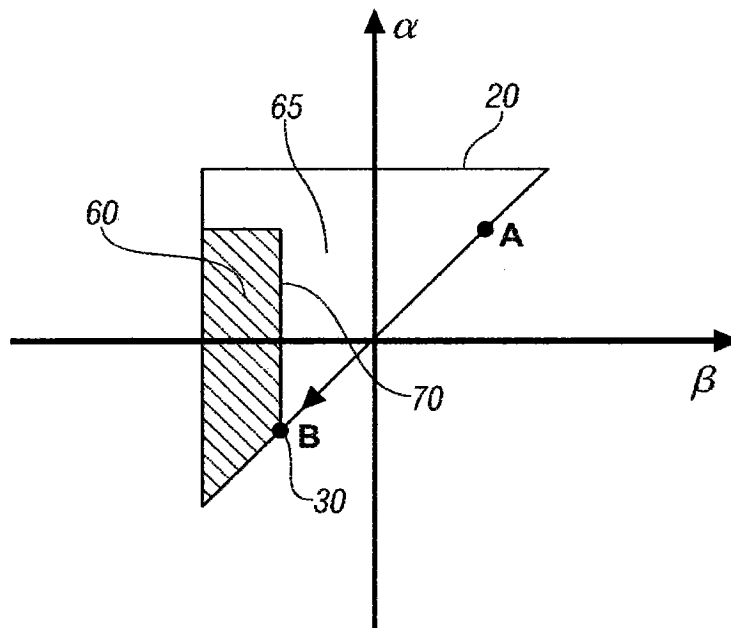


图 9

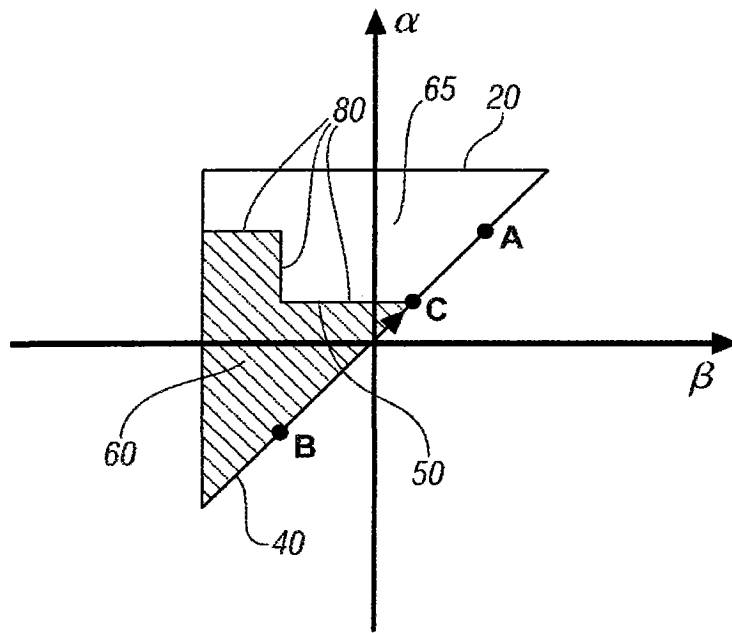


图 10

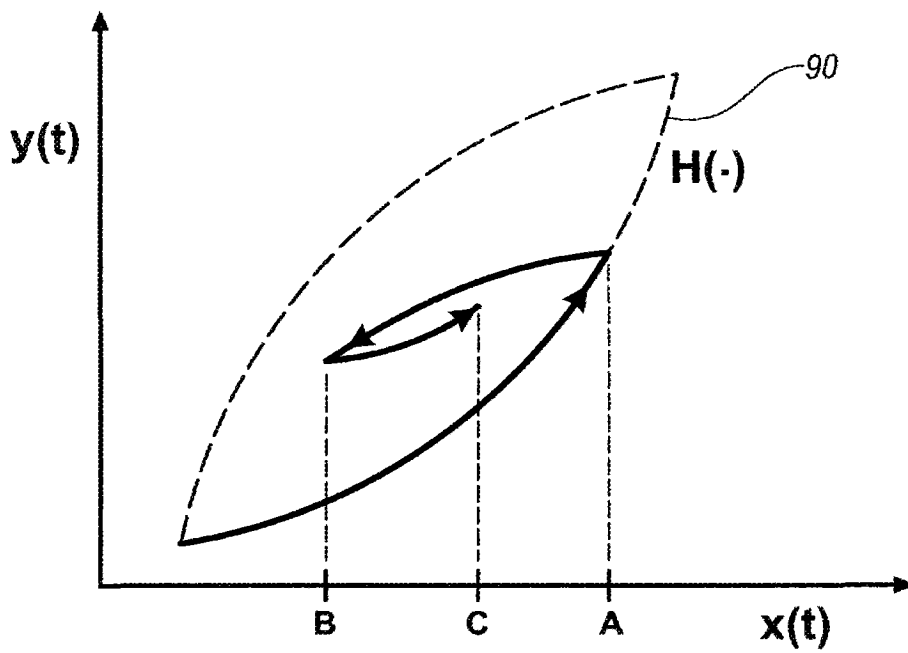


图 11

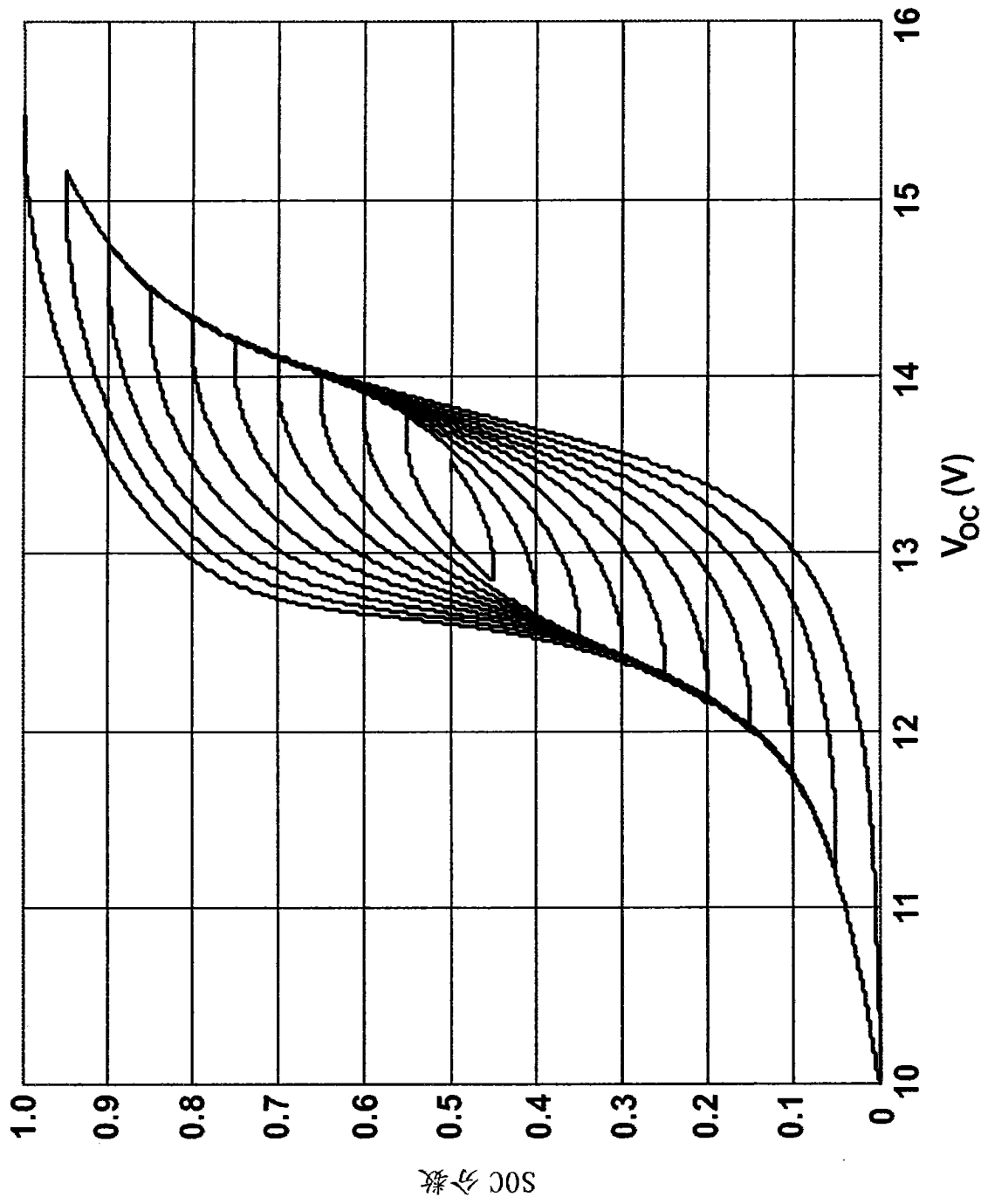


图 12

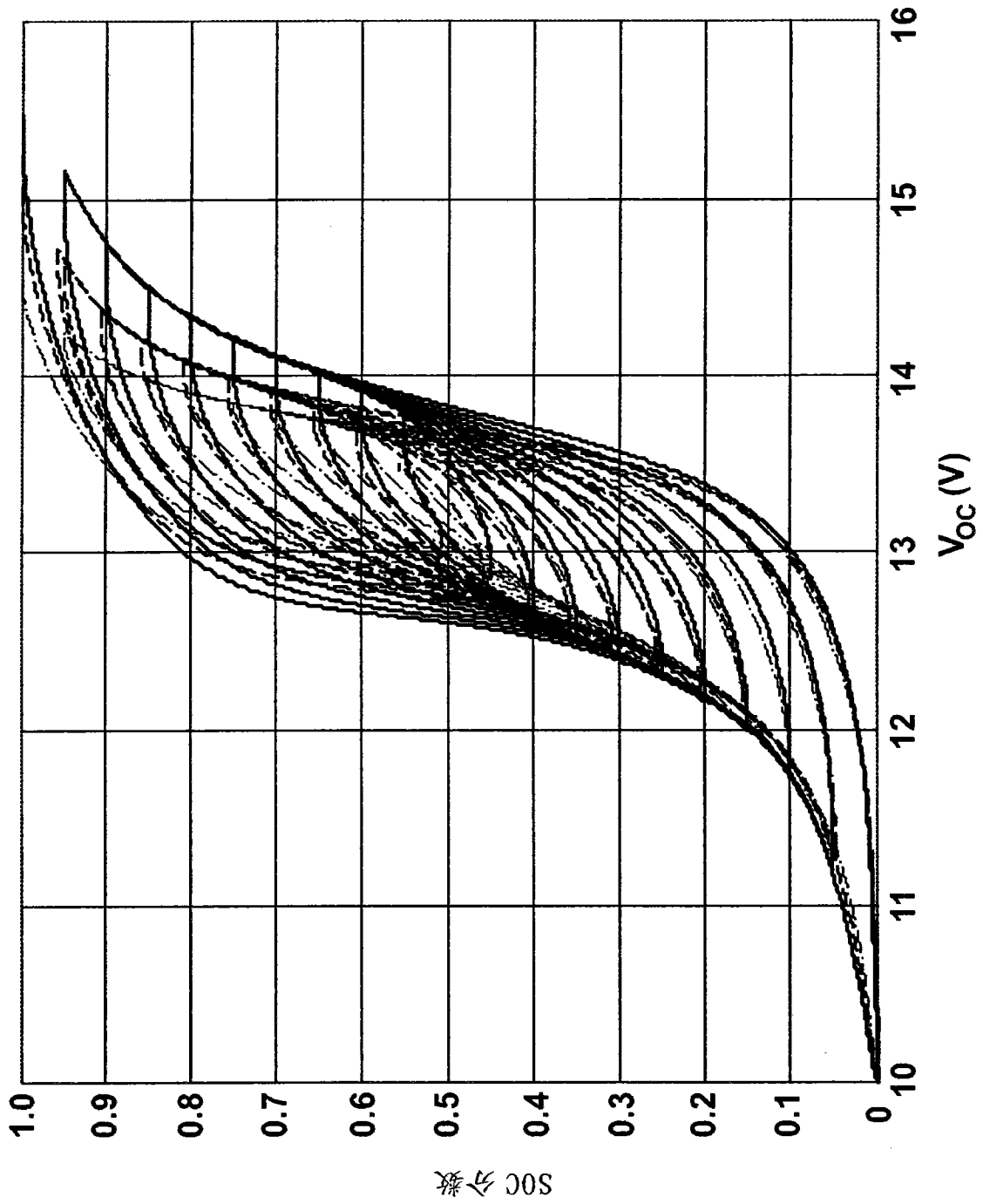


图 13



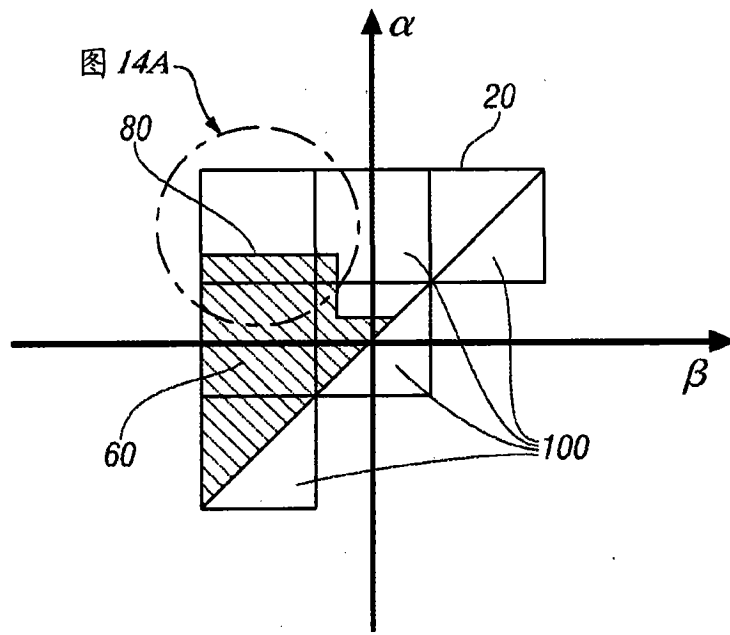


图 14

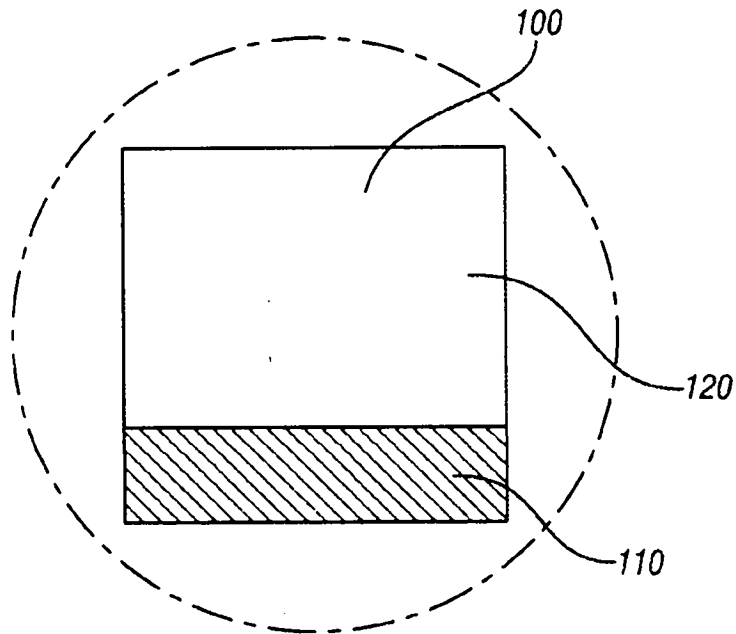


图 14A

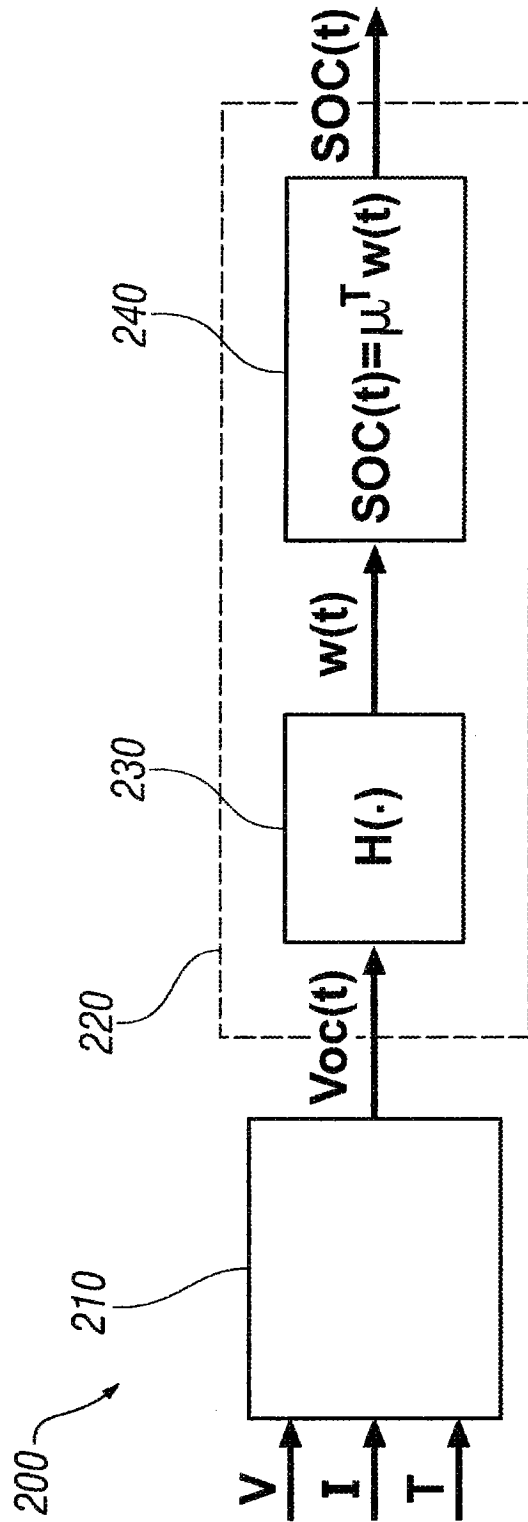


图 15

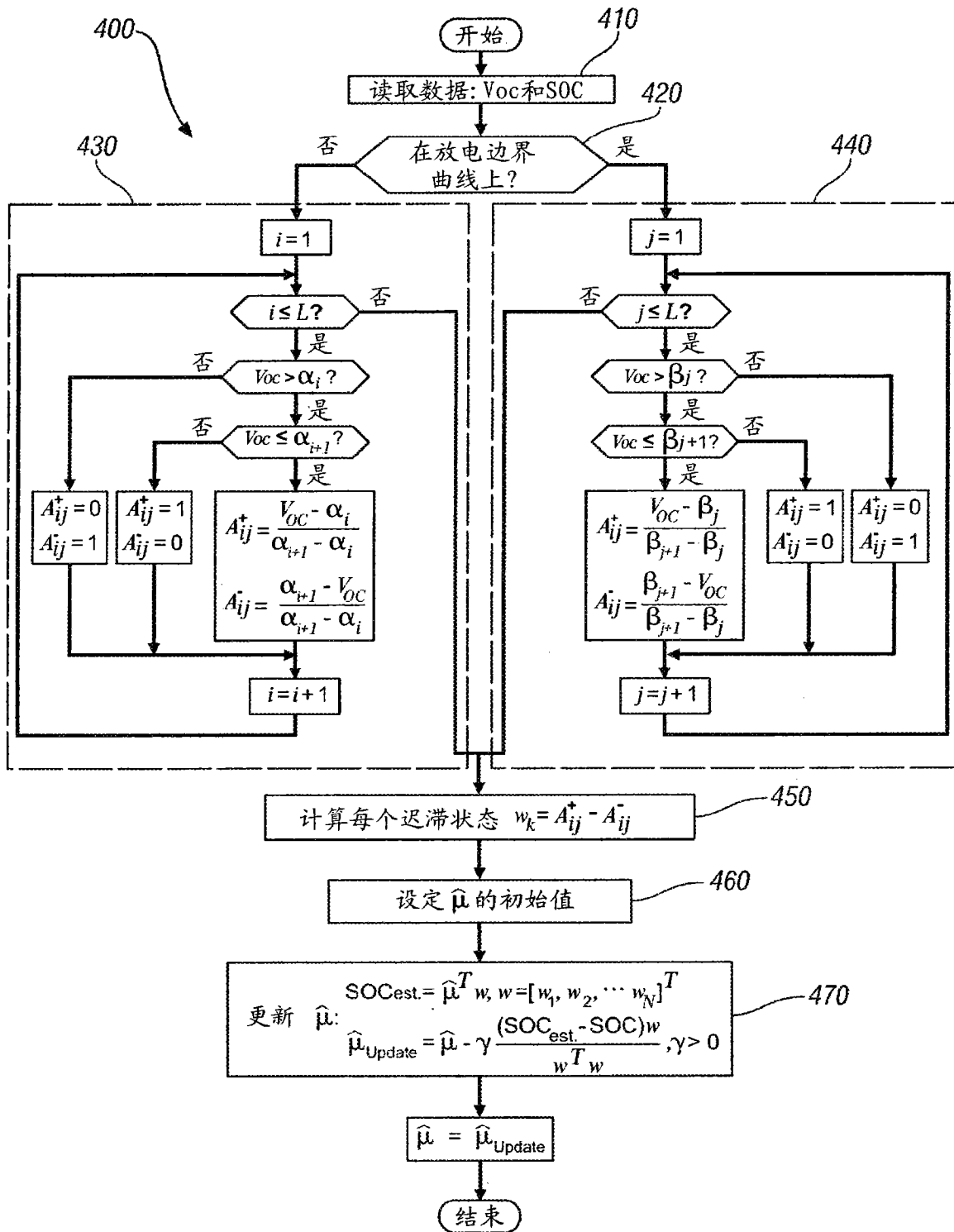


图 16

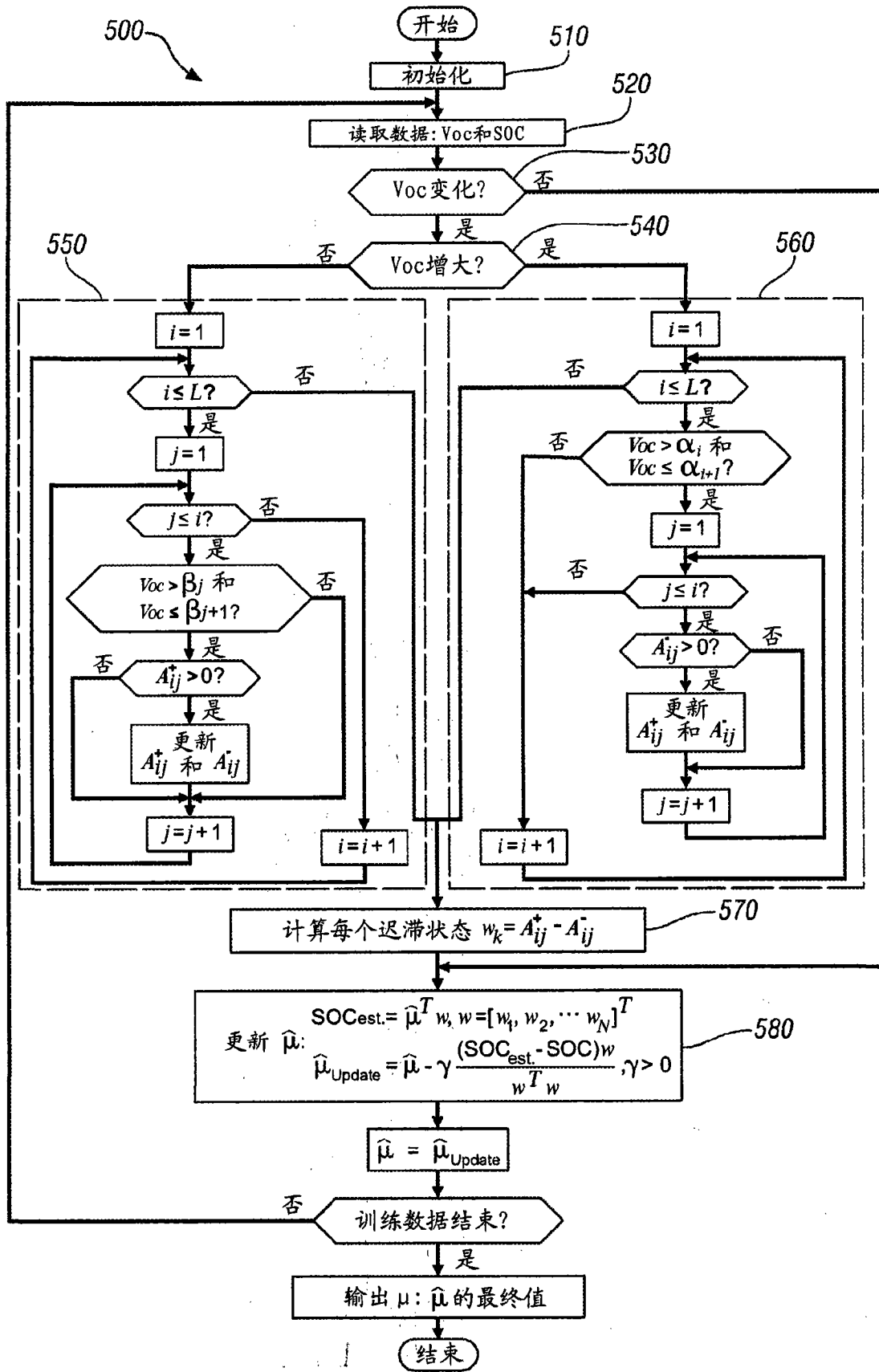


图 17

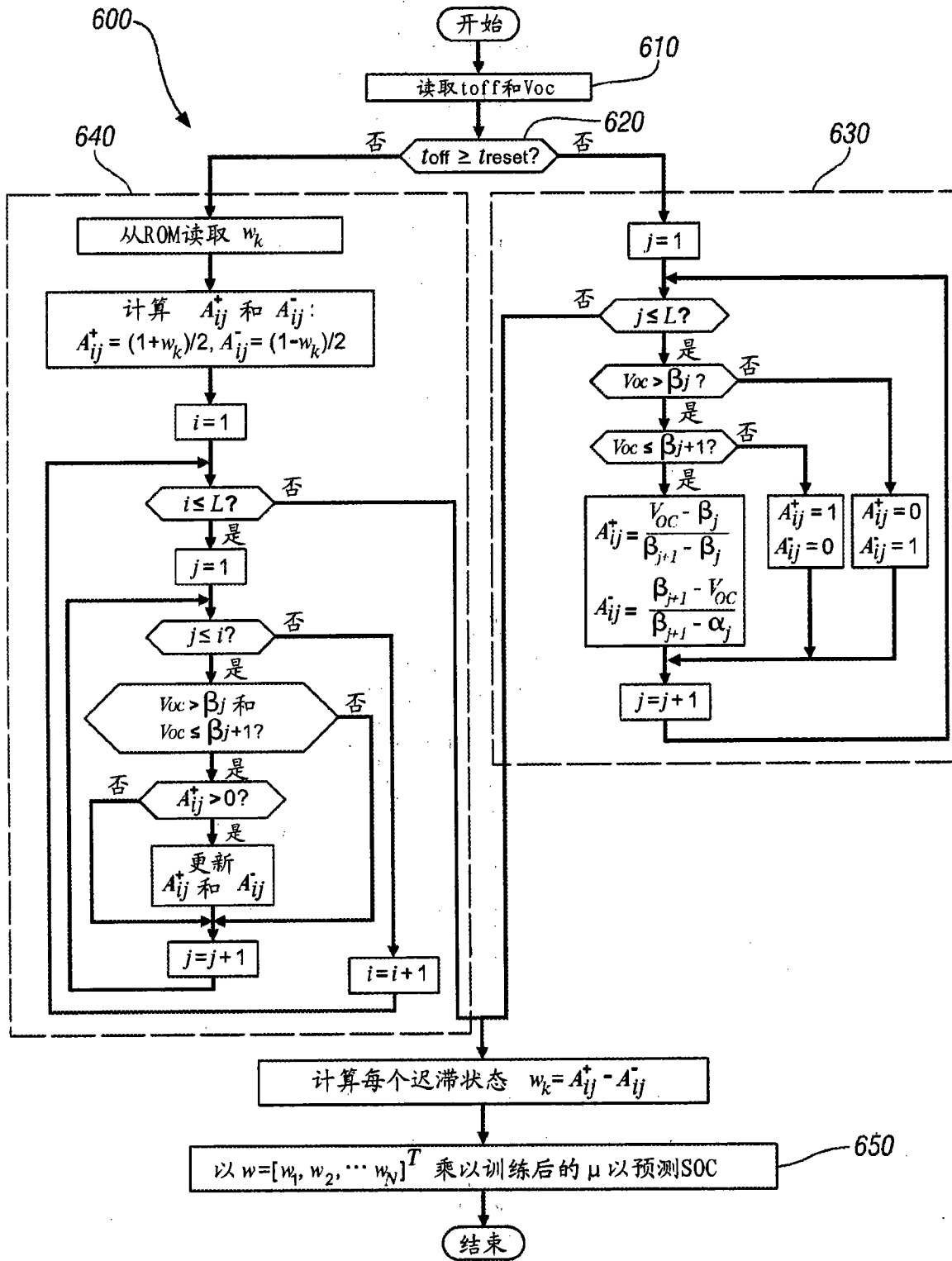


图 18

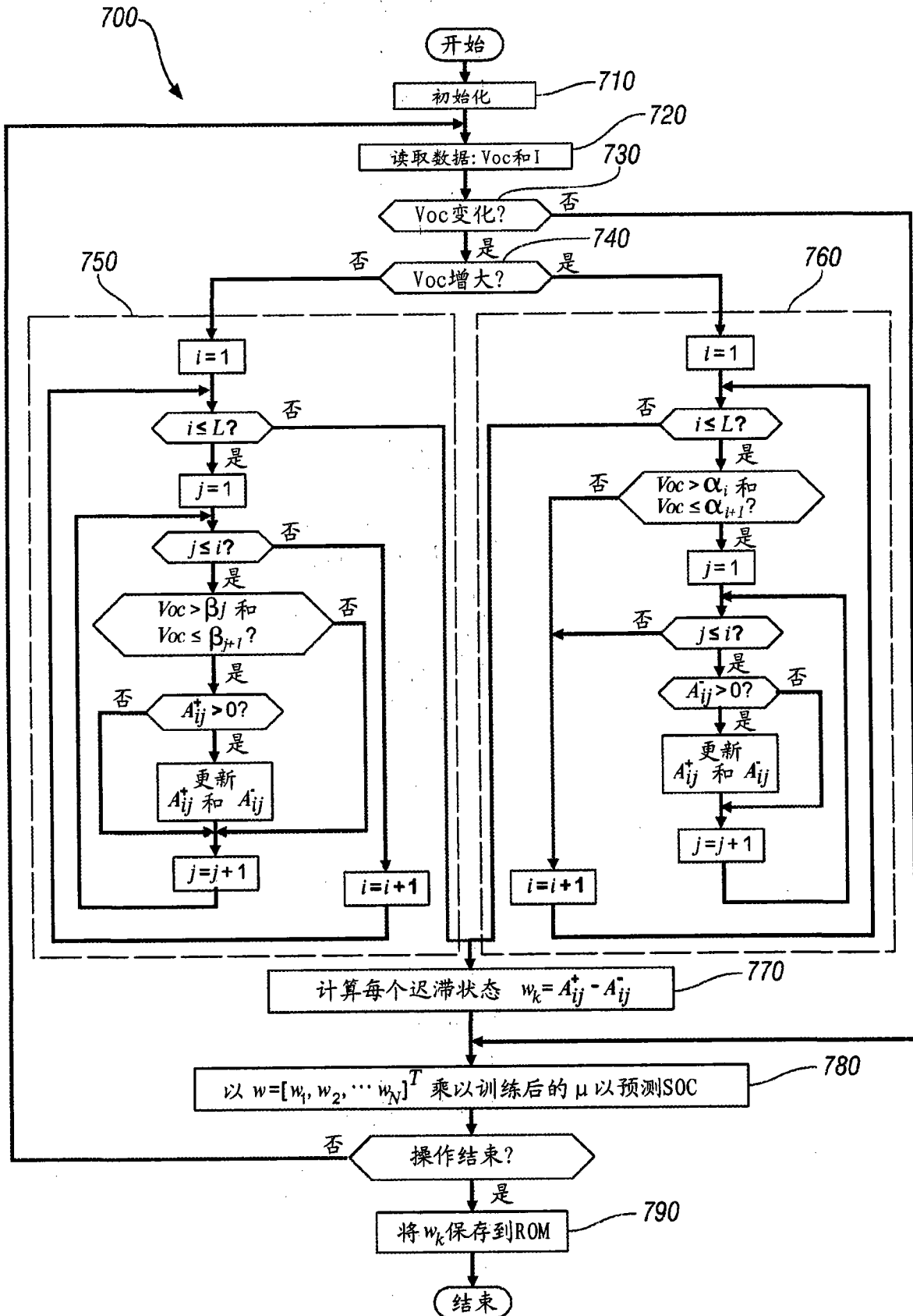


图 19