

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101506639 B

(45) 授权公告日 2013. 04. 10

(21) 申请号 200780030926. 3

G05B 13/00 (2006. 01)

(22) 申请日 2007. 07. 26

(56) 对比文件

(30) 优先权数据

0616590. 6 2006. 08. 21 GB

0618211. 7 2006. 09. 15 GB

EP 0897110 A2, 1999. 02. 17, 说明书第
17-24 段, 43 段及 70-94 段及附图 1, 2, 7, 13-14.
US 5511431 A, 1996. 04. 30, 全文.

(85) PCT 申请进入国家阶段日

2009. 02. 20

审查员 张瑞

(86) PCT 申请的申请数据

PCT/IB2007/002143 2007. 07. 26

(87) PCT 申请的公布数据

W02008/023226 EN 2008. 02. 28

(73) 专利权人 伊利诺斯工具制品有限公司

地址 美国伊利诺伊州

(72) 发明人 本·杰普森 保罗·海福德

(74) 专利代理机构 上海脱颖律师事务所 31259

代理人 脱颖

(51) Int. Cl.

G01N 3/02 (2006. 01)

G01N 3/62 (2006. 01)

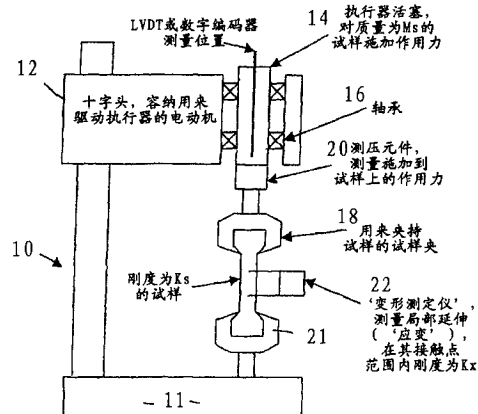
权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 2 页

(54) 发明名称

操作材料测试仪以测试试样的方法以及测试仪

(57) 摘要

本发明涉及一种操作材料测试仪以测试试样的方法, 该测试仪包括用来对试样施加作用力的电控执行器。该方法包括: 输入单个可调节的参数值, 从参数值计算出所有必需的反馈控制增益, 并且随后执行对试样的测试。



1. 一种操作材料测试仪以测试试样的方法,所述测试仪包括用来对试样施加作用力的电控执行器,所述方法包括:输入一个并且唯一一个可调节的参数值,其中所述一个并且唯一一个可调节的参数值涉及所述试样的刚度,从所述一个并且唯一一个可调节的参数值计算出所有必需的反馈控制增益,并且随后执行对所述试样的测试,其中,所述执行器是线性电动机装置。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述参数值是经由用户接口手动输入的,其中所述方法还包括估计所述测试仪的谐振频率和阻尼因数,设置速度反馈,通过包括速度反馈效应来计算修改后的阻尼因数,设置被控制的可变反馈,以及根据所述测试仪要执行的测试类型来设置反馈控制增益。

3. 根据权利要求1或2所述的方法,包括:通过比较执行器的加速度的估计值和预先设定的阈值来检测试样特性的突然变化,并且将所述反馈控制增益设定成预定值。

4. 根据权利要求3所述的方法,所述加速度的估计来自测量执行器位移的数字编码器的信号的数值微分。

5. 一种材料测试仪,包括:用于夹持被测试样的夹具、用于控制所述夹具移动的执行器、以及控制系统,所述控制系统包括用于控制所述执行器的参数的反馈控制装置,其中,所述控制系统包括用来从一个并且唯一一个可调节的参数值设定所述反馈控制装置的初始增益的装置,其中所述一个并且唯一一个可调节的参数值涉及所述试样的刚度,并且其中,所述执行器是线性电动机装置。

6. 根据权利要求5所述的测试仪,包括用来手动地输入所述一个并且唯一一个可调节的参数值的用户接口。

7. 根据权利要求5所述的测试仪,包括:用来监视所述执行器加速度的装置、以及在所述被监视的加速度超出预先设定的阈值时将所述反馈控制增益设定为预定值的装置。

8. 根据权利要求5或6或7任何一项所述的测试仪,其中,所述控制系统还包括:估计所述测试仪的谐振频率和阻尼因数的装置,设置速度反馈的装置,通过包括速度反馈效应来计算修改后的阻尼因数的装置,设置被控制的可变反馈的装置,以及根据所述测试仪要执行的测试类型来设置反馈控制增益的装置。

操作材料测试仪以测试试样的方法以及测试仪

[0001] 材料测试仪的调谐

[0002] 本发明涉及一种材料测试仪,尤其涉及一种用于调谐该测试仪的方法和装置。

[0003] 许多制造厂商都生产用于测试材料试样或组分的物理特性的材料测试仪(有时也被称为结构测试仪)。在测试中,必须控制特定的被测变量,并且还必须尽可能接近地遵循指定的取值轨迹(trajecory)。一些典型的变量包括:

[0004] ●位置(有时也被称为位移或延伸)

[0005] ●负载(施加于试样的力)

[0006] ●应变(针对试样的局部的位移或延伸)

[0007] 这些仪器中采用的执行器技术的示例包括:

[0008] ●自身电动机驱动的螺旋传动机构(精确控制,但是速度受限制)

[0009] ●水压致动器(响应更快,但更为复杂)

[0010] ●电磁振动器(响应非常快,但静态负载能力受限制)

[0011] ●线性三相电动机(响应快,好的负载能力,需要大量电能和快速控制器)

[0012] 在所有的仪器中,使用反馈控制以使得指定变量和当前被测值之间的误差最少。大多数控制器具有多个反馈增益,例如PID控制器中的'P'、'I'、'D'。还存在为进一步提高稳定性和响应而设定的其它控制参数,例如速度反馈、超前-滞后补偿或信号滤波。一般地,当仪器测试新试样时,所有这些参数都需要被再次调谐,因为该试样的加入实质上改变了系统的动态。一般地,仪器中的执行器越是动态,就越需要小心地调谐控制参数。

[0013] 控制参数的数目以及试样的可测量特性与期望的控制参数值之间缺乏简单的物理关系都经常造成调谐过程过于复杂,而使得仪器操作者难以完成该调谐过程。取而代之的是,通常由受过培训的控制工程师基于自身经验和经验指南(empirical guideline)调谐控制参数。由于使用该仪器的用户在培训技术方法是昂贵并且耗时的。

[0014] 长期以来已经认识到上述问题,并且已经开发出可降低对于手动调谐需求的“自动调谐(autotuning)”算法。一种方法是将控制工程师所使用的经验指南自动化,举例来说,“最大增益、最小积分”技术的自动化。如此得到的控制参数可正常地工作,但是仍存在如下几个缺点:

[0015] ●该处理对使用者来说是个“黑箱”,该使用者在调谐处理中并不了解仪器在做什么,并且没有用来核实该处理是否成功的简单方法。

[0016] ●在控制参数值和接受测试的试样之间,仍不存在可利用的物理关系。

[0017] ●如果出于参考或设定的目的将控制设定进行保存,则使用者必须知道并记录许多相关的控制参数。

[0018] 考虑到材料(或结构)测试仪的调谐工艺的上述情况,如果对特定试样的调谐仅涉及一个参数,则对于该仪器的用户和制造商而言无疑是巨大的改进。如果该参数是可由仪器使用者独立地测量出来的、接受测试的试样的物理特性,则会取得更大的改进。这正是本发明所要求保护的,即只需要测量试样的刚度(stiffness)即可调谐材料测试仪中的所有必需的反馈控制增益。

[0019] 这不是第一次使用“刚度”来辅助调谐材料测试仪。在美国专利 No. 5, 511, 431 中已经提出过一种“自适应”控制算法, 该方法利用了在使用中自动确定的刚度值。然而, 无论是手动地, 还是采用不涉及刚度值的“自动调谐”算法, 该算法都只对必须依经验调谐的初始值修改控制增益。因此, 刚度值是一种额外的调谐参数, 而不是其它控制参数的替代调谐参数。刚度值也不能够被使用者使用, 因此使用者不能利用刚度值来创建系统。

[0020] 另一种在材料试样的控制中刚度的应用是关于金属试样的“应力率”的确定。在这种情况下, 由关于材料和试样几何构型的已知的杨氏模量 (Young's modulus) 的软件内部计算出刚度。这种刚度应用是为了设定位置指令的变化速率, 但是并不影响已经设定了的反馈控制增益。

[0021] 本发明提供了一种方法和装置, 通过单个可调节的参数值计算控制试样位置或试样负载所需的所有反馈控制增益。

[0022] 可将单个可调节的参数值手动地输入该仪器, 或是可选地根据关于仪器和接受测试的试样的组合的单个可物理测量的参数值计算出单个可调节的参数 接受测试的试样的组合的单个可物理测量的参数值计算出单个可调节的参数值。

[0023] 作为用来执行“应变”控制的上述设置的改进, 可定义用来描述将变形测定器 (extensometer) 应用于局部试样时效果的额外的可测量参数。

[0024] 在使用中, 使用者只需向仪器输入表示将要被测试的试样的特性、单个可调节的参数值。该仪器基于输入值和其它的参数值进行计算, 并且估计该仪器对测试试样所进行的特定测试所需要的初始增益设定。随后在正常的反馈控制下执行上述测试。

[0025] 为了更加容易地理解本发明, 现在参考所附的附图来描述本发明的实施例, 其中:

[0026] 图 1 是给出了依照本发明的材料测试仪的示意图; 以及

[0027] 图 2 是给出了表示调谐处理的流程图。

[0028] 本发明是针对一种新型的、使用线性电动机作为执行器的材料测试仪进行开发的, 但是本发明通常也可应用于使用其它执行器技术的仪器, 只要该仪器使用的执行器的某些可测量的特性是已知的。

[0029] 参考图 1, 其示意出了一台材料测试仪, 该材料测试仪包括具有底座 11 和十字头 (crosshead) 12 的刚性架 10, 其中该十字头用于容纳执行器 14 的驱动组件。该执行器包括活塞及圆柱状设备, 在此情况下该圆柱状设备由线性电机构成, 而线性电动机的电枢构成了执行器的活塞。该活塞安装在轴承 16 上, 并通过一测压元件 (load cell) 20 连接到试样夹 18 上。另一个试样夹 21 连接到仪器的底座 11 上, 而接受测试的试样被夹持在试样夹 18 和 21 之间。

[0030] 以某种合适的方式监视执行器活塞的位置, 例如采用 LVDT (线性可变差分变压器) 或数字编码器, 并且以某些便利的且已知的方式监视试样, 举例来说, 使用用来测量作用于试样的作用力的测压元件 20 或者使用用来测量接受测量的试样的局部伸长的变形测定器 22。

[0031] 上述仪器能够执行任意一种针对试样进行的大量不同的测试, 并且这是通过合适的控制以驱动执行器实现的。通常, 上述控制是由使用者通过诸如键盘等某种适宜的接口系统, 将测试类型输入到仪器中以便计算机执行操作, 控制系统及数据输入装置在附图中并没有示出。

[0032] 正像先前所解释的,将仪器的执行器与具备给定刚度的接受测试的试样相连接,产生了一个应用到与刚度相联系的运动质量的作用力的模型的动态系统。试样的运动质量和刚度的连接,产生了一个具有特定自然频率的谐振机械系统。刚度的作用依赖于系统的其它可测量的特性,举例来说,液压执行仪中油柱的刚度。更进一步的,对于谐振的控制是对该控制系统的最主要的挑战,因为在系统中很少出现自然阻尼并且上述自然阻尼的缺乏是阻碍使用线性电动机作为执行器的难题之一。如果关于可能出现的反馈量的控制参数选择不当,则对该谐振系统采用反馈控制将导致出现不稳定的系统。另外,控制器加上执行器的响应限制了可以有效控制的可用频率范围。控制器加上执行器的响应还构成了复杂的函数。

[0033] 意识到这些问题,已经设计出一种对于位置或负载控制的算法,其中使用者需要进行设定的唯一参数就是负载线刚度 K_s ,负载线刚度 K_s 被定义为当对试样应用负载时测得的负载变化除以测得的位置变化。试样刚度 K_x 是一种更精确的局部刚度的值,并且试样刚度 K_x 用于在采用变形测量仪执行应变控制时精确地调谐增益。 K_x 被定义为在变形测量仪的接触点范围内测得的负载变化除以测得的位移变化。如果 K_x 未知,对于大多数的试样和对于应变控制调谐而言仅需要调谐一个参数的装置来说, $K_s = K_x$ 的设定都是一种很好的第一近似。

[0034] 正如先前所述,已经针对以三相线性电动机作为执行器的仪器进行了周密的设计和实施。控制输出是供给电流放大器的电压。电流放大器产生与该电压成比例的电流和与该电流成比例的电动机驱动力。下表给出了该调谐算法的相关参数。对于给定试样,只需要调节刚度值。

[0035]

参数名称	单位	说明	来源
K_s	N/m	负载线刚度 (与框架 和固定设备并行的试样的测得刚度)	使用自动程序估计或由使用者输入
K_x	N/m	试样刚度 (对在“变形 测量仪”范围内的部分试样的测得刚度)	使用自动程序估计或由使用者输入。如果未知,设定 $K_x = K_s$ 。
M_s	kg	运动质量	工厂设定
C_{min_K}	s	单位刚度下的最小预期试样阻尼	工厂设定
C_m	N	发动机常数,发动机 可产生的最大作用力	工厂设定
C_b	$m^{-1}s$	发动机的阻尼参数, 使得 $C_b * C_m$ 为阻尼系数	工厂设定
T_{delay}	s	反馈控制回路的延迟	工厂设定
PM_vel	rad	目标相位裕量,速度 反馈	工厂设定
GM_vel	n/a	目标增益裕量,速度 反馈	工厂设定
PM	rad	目标相位裕量,被控 制变量反馈 (位置、负载 或应变)	工厂设定
GM	n/a	目标增益裕量,被控 制变量反馈 (位置、负载 或应变)	工厂设定

[0036] 试样的刚度 (称为“负载线刚度”,“ K_s ”)是被自动地估计出来或是由使用者输入的。执行器中的运动质量及其它任何相关的刚度 / 柔量 (compliance) 都是可以从仪器说明书中得知的,因此可以估计出自然 (“谐振”) 频率。可以从其它已知的执行器特性和估计出的材料阻尼中估计出与自然频率相关的“阻尼因数”。

[0037] 使用“速度反馈”来增加系统的阻尼,使得谐振的负面作用被尽可能地降低了。速度反馈试图尽可能接近地模拟“粘滞性”阻尼,但其作用却与使用PID控制器中的D项类似。速度信号是从数字编码器估计出来的。速度反馈增益的值 (“ K_v ”)被选定为达到设计的

“相位和增益裕量”的最大值（都是在经典控制理论中常用的概念），前提是了解控制器 / 执行器中的谐振和延迟。考虑到附加的速度反馈来计算新的修正后的阻尼因数。

[0038] 使用已知的谐振和修正后的阻尼因数计算被控制的变量（位置、负载或应变）的成比例的反馈增益（“ K_p ”）。 K_p 被选定为达到谐振频率上下的指定“相位裕量”的最大值。

[0039] 使用已知的谐振和修正后的阻尼因数计算被控制的变量（位置、负载或应变）的积分反馈增益（“ K_i ”）。 K_i 被选定为达到谐振频率上下的指定“增益裕量”的最大值。

[0040] 最后，基于接受控制的变量，对 K_v 、 K_p 和 K_i 的值作出具体的修正。在“应变控制”的情形下，使用了第二刚度值（“ K_x ”），其中第二刚度值（“ K_x ”）需要表示所施加的作用力与接受测量的应变所产生的局部位移之间的物理关系。如果无法得到 K_x ，则 $K_x = K_s$ 的设定也能给出足够的控制性能。

[0041] 参考图 2，图 2 详细地描述了在仪器执行测试之前设定控制增益的算法所执行的处理。方框 201 表示将代表负载线刚度 K_s 的数据输入仪器，如上所述还可通过手动输入或使用附加的程序进行估计。首先，如方框 202 所示，该算法基于工厂设定的电动机的运动质量 M_s 和阻尼参数 C_m 、 C_b 、 C_{min} 估计仪器系统的谐振频率 Ω 和阻尼 ζ 。然而，如方框 203 所示，在目标相位裕量速度反馈系数 PM_{vel} 及增益裕量速度反馈系数 GM_{vel} 的基础上，计算速度反馈 K_v 以便提供可实现谐振以上（above resonance）的 PM_{vel} 的最大 K_v 。然而，如果谐振不能被控制，则 K_v 将被限制在谐振下获得想要的增益裕量。

[0042] 一旦速度反馈 K_v 已经被设定，在方框 204 中计算出修正后的阻尼因数 ζ_{kv} ，以便包括速度反馈对于系统的作用。关于此种新的阻尼因数，在方框 205 中估计出变量反馈参数 K_p 和 K_i ，以便基于目标相位和增益裕量获得实现谐振以上的目标相位裕量的最大的稳态 K_p 以及实现谐振时的增益裕量的最大 K_i 。

[0043] 一旦完成了上述步骤，基于仪器将要执行测试的类型，如方框 210 所示地设定最终反馈控制增益 K_v 、 K_p 、 K_i 。当仅仅测试应变时，系统对于柔性试样的 K_i 强制施加了下限，并且增大 K_v 来平衡 K_i 以使得更好地控制谐振。基于系统参数，通过比率 K_x/K_s 可将 K_p 和 K_i 增大到最大的乘法因数。如果遭受该乘法因数的限制，则必须按比例地减小 K_v 。

[0044] 如果测试只需要仪器的位置控制，则系统针对 K_i 设定下限以有助于柔性的试样。如果在系统中谐振被有效地控制，则需要增大 K_v 以平衡 K_i 。

[0045] 如果测试只需要负载控制，则系统将针对 K_p 设定上限以限制惯性效应造成对控制的消极作用。如果 K_p 被减少，则必须相似地减少 K_i 和 K_v 。关于柔性的试样，针对 K_i 设定下限，但如果在系统中有效地控制谐振，则需要增大 K_v 以平衡 K_i 。

[0046] 事先已知了反馈控制回路中的延迟，即 T_{delay} ，并且在方框 203 和 205 的计算中使用了 T_{delay} 。

[0047] 只要试样的特性，尤其是试样的刚度保持不变，则根据上面说明所设计的系统具备非常适合试样的反馈控制增益。事实上，由于反馈控制增益可能不再适合变化了的试样特性，因此不能保证一定能够非常快地检测出关于试样特性的突然变化。一种解决方法是连续地估计试样的刚度，这已经在前面的“自适应控制”中进行了说明。该方法具有可以连续地更新反馈控制增益的优点，但是目前所实现的设计仅是适应有限范围内刚度的初始值的变化，并且需要执行大量连续的测量以计算出新的刚度估计这会造成巨大的延迟。由于执行器的高度动态特性，对于使用线性电动机的当前实施方式而言，这尤其重要。基于对执

行器的加速度的估计,本发明给出了一种简单而有效的用于检测试样的显著变化的方法,。当试样的刚度突然降低(例如,试样弯曲或破裂)或是当试样的刚度突然增大时,会出现大的执行器加速度,因此产生了高频振荡。如果检测到高于预设水平的加速度,则使用对所有预期的试样都表现稳定的反馈控制增益的特殊设定。向使用者通知将会正常地引起该测试终止的变化。可通过适合执行器的加速度计提供所使用的加速度的测量。然而,在该实施方式中,加速度是通过对数字编码器信号数值微分来从该信号中推导出来的。由于数字编码信号不会受到与典型加速度计信号相关联的随机电子噪声的影响,因此上述实施方式具有延迟很小的优点,并且不需要执行进一步的滤波。

[0048] 以上关于本发明的说明是在使用一种电控的电气执行器/撞击器(ram)的基础上给出的,还可将具有或不具有加速度监视配置的电控装置应用到采用诸如螺旋驱动和液压执行器等其它执行器技术的设备中。

[0049] 从以上的说明书中,很显然的是,本发明介绍了一种使用者调谐或是对仅基于接受测试的试样的刚度的材料测试仪进行调谐的简便方法。这极大地简化了调谐处理,给使用者提供了透明度,并且减少了需要被记录的设定参数的数目。

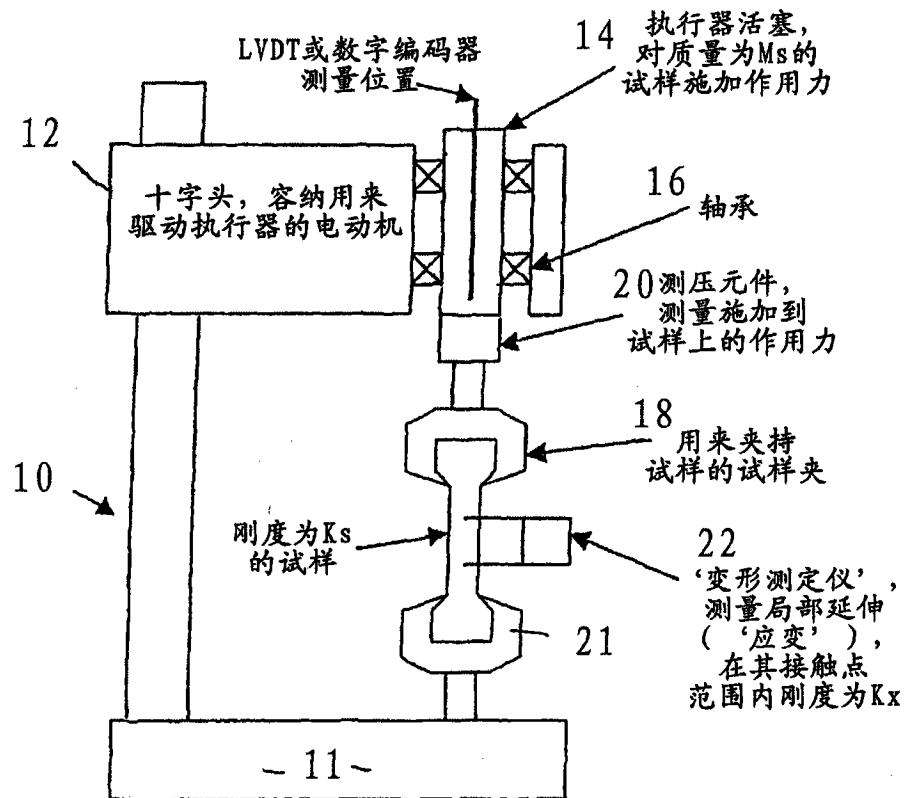


图 1

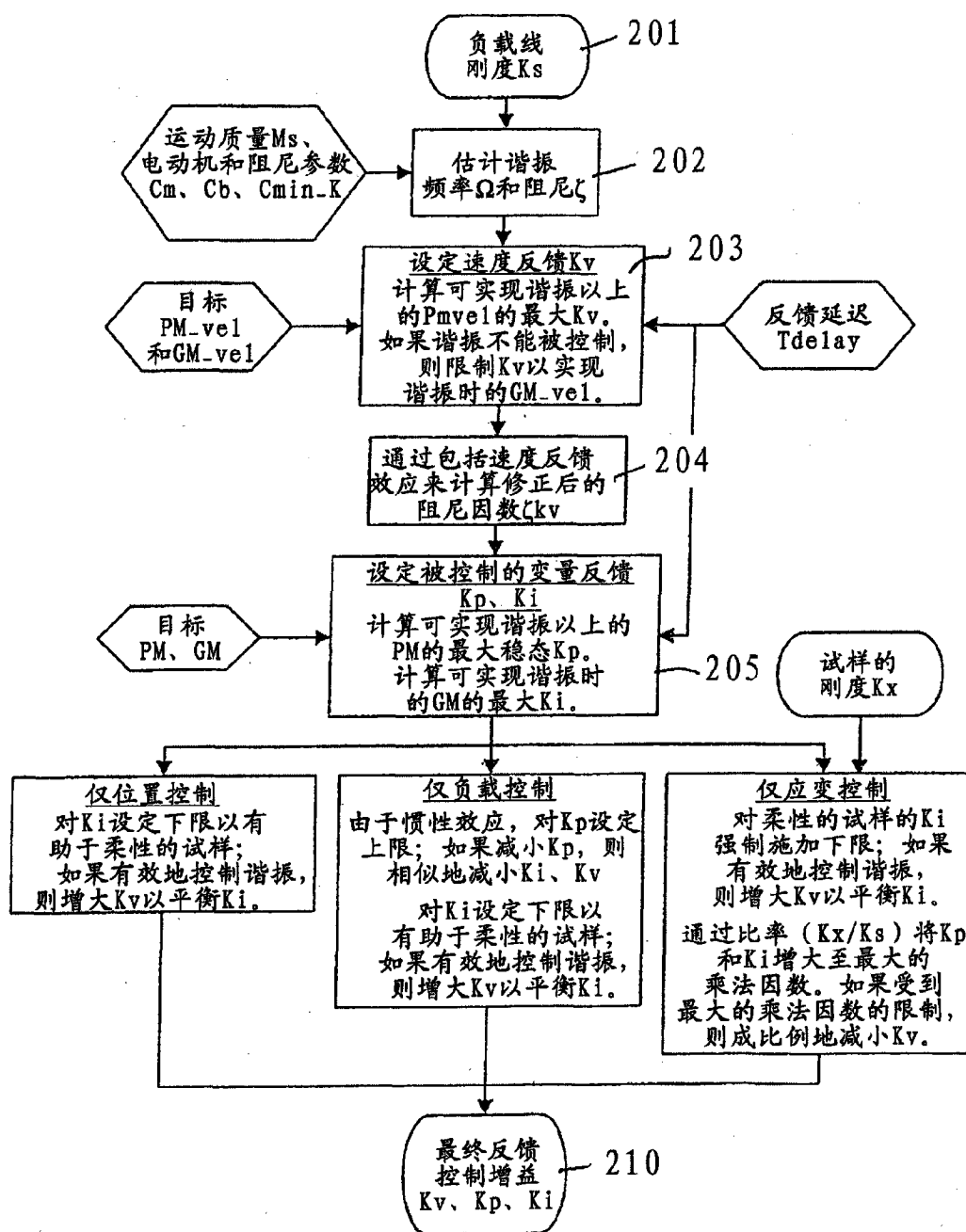


图 2