[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
F16F 15/02 (2006.01)
G05D 19/02 (2006.01)

[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 01134307.9

[45] 授权公告日 2006 年 8 月 23 日

[11] 授权公告号 CN 1271354C

[22] 申请日 2001.10.26 [21] 申请号 01134307.9

[30] 优先权

[32] 2000.10.26 [33] DE [31] 10053237.3

[71] 专利权人 海德堡印刷机械股份公司

地址 联邦德国海德堡

[72] 发明人 马蒂亚斯·内尔

审查员 周晓军

[74] 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

代理人 曾 立

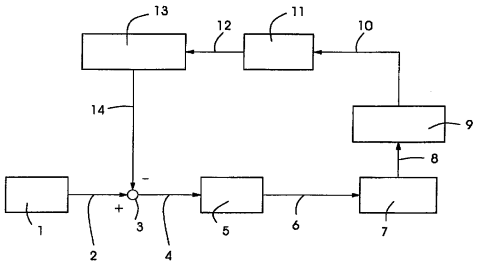
权利要求书 3 页 说明书 26 页 附图 1 页

[54] 发明名称

补偿机器中的机械振动的方法

[57] 摘要

本发明提出了一种借助至少一个直接或间接地作用于机器上的促动器来补偿在机器轴上的机械振动的方法，所述振动具有可由多个离散频率成分近似表示的频谱，其特征是，机械振动的离散频率成分的至少一个与其它频率成分无关地通过促动器如此叠加上至少一个基本简谐的且具有某个振幅和相位的同频率力矩，使得机器轴振幅在该频率下减小。



1.一种借助至少一个直接或间接地作用于机器轴上的促动器（11）来补偿机器轴上的机械振动（2）的方法，所述振动具有可由多个离散频率成分近似表示的频谱，其中，至少一个离散频率成分在至少一个确定时刻的振幅和相位通过测量从所述频谱中确定，该机械振动（2）的所述至少一个离散频率成分被促动器（11）与其它频率成分无关地如此叠加上至少一个基本简谐的、具有确定振幅和相位的、相同频率的力矩（14），使得机器轴在该频率下的振动幅度被减小，其特征在于，在一个闭合的自适应调节回路中计算所述基本简谐的补偿力矩（14）的至少一对振幅和相位，其中，基于至少两次在用不同补偿参数的不同时刻测量所述离散频率成分来对为计算所需的过程参数在调节期间进行适时修正。

2.如权利要求 1 所述的补偿机械振动（2）的方法，其特征在于，基本简谐的力矩（14）具有基本上与时间无关的频率。

3.如权利要求 1 或 2 所述的补偿机械振动（2）的方法，其特征在于，基本简谐的力矩（14）的频率与机器速度成固定不变的比例 r，其中 r 是实数。

4.如权利要求 1 所述的补偿机械振动（2）的方法，其特征在于，用于补偿的基本上简谐的力矩（14）的振幅和相位与机器速度无关。

5.如权利要求 1 所述的补偿机械振动（2）的方法，其特征在于，用于补偿的简谐力矩（14）的振幅和相位是机器速度的函数。

6.如权利要求 1 所述的补偿机械振动（2）的方法，其特征在于，通过测量机器轴的机械振动（2）频谱的相应频率成分的振幅

和相位或一个由一个或多个机器轴的所述信号计算出的信号的振幅和相位，确定进行补偿的简谐力矩（14）的振幅或相位。

7. 如权利要求 1 所述的补偿机械振动（2）的方法，其特征在于，通过测量机器轴的机械振动（2）频谱的相应频率成分的振幅和相位以及一个由一个或多个机器轴的所述信号计算出的信号的振幅和相位，确定进行补偿的简谐力矩（14）的振幅或相位。

8. 如权利要求 1 所述的补偿机械振动（2）的方法，其特征在于，为计算相应的且基本上简谐的力矩（14）的幅度和相位所需的过程参数至少部分地根据对机器轴的机械振动（2）的相应频率成分的振幅和相位的测量来确定。

9. 如权利要求 1 所述的补偿机械振动（2）的方法，其特征在于，基本简谐的力矩（14）的频率是根据机器的固有频率确定的。

10. 如权利要求 1 所述的补偿机械振动（2）的方法，其特征在于，基本简谐的力矩（14）的频率是根据机器速度确定的。

11. 如权利要求 1 所述的补偿机械振动（2）的方法，其特征在于，所述机器轴是印刷装置或印刷机中的机器轴。

12. 如权利要求 1 所述的补偿机械振动（2）的方法，其特征在于，所述机械振动是转动振动。

13. 如权利要求 6 或 7 所述的补偿机械振动（2）的方法，其特征在于，该由一个或多个机器轴的所述信号计算出的信号是一个或多个机器轴的差动信号。

14. 一种具有至少一个借助一促动器（11）控制的机器轴和一个记录机器轴的机械振动（2）的测量装置（5）的印刷装置，所述振动具有可由多个离散频率成分近似表示的频谱，其中，该促动器（11）适合于给机械振动（2）如此叠加上至少一个具有所述离散

频率成分的至少一个频率并且与其它频率成分无关的、具有确定振幅和相位的、基本简谐的力矩（14），使得机器轴在该频率下的振动幅度被减小，其特征在于，为了确定机械振动（2）频谱的多个离散频率成分的振幅和相位，该印刷装置具有一个滤波器（7）或一个相关器（7），还包括一个计算单元（9），用于在一个闭合的自适应调节回路中计算所述基本简谐的补偿力矩（14）的至少一对振幅和相位并且用于基于至少两次在用不同补偿参数的不同时刻测量所述离散频率成分来对为计算所需的过程参数在调节期间进行适时修正。

15.一种印刷机组，其特征在于，该印刷机组具有至少一个如权利要求 14 所述的印刷装置。

16.一种印刷机，其特征在于，所述印刷机具有至少一个如权利要求 15 所述的印刷机组。

补偿机器中的机械振动的方法

技术领域

本发明涉及借助至少一个直接或间接地作用于机器轴上的促动器来补偿在机器轴上且尤其是印刷装置或印刷机轴上的机械振动、尤其是转动振动的方法，所述振动具有可由多个离散频率成分近似表示的频谱。

此外，本发明涉及具有至少一个借助促动器驱动的机器轴和一个记录机器轴机械振动的测量装置的印刷装置。

背景技术

机械振动不仅指机器轴的一个或多个坐标的周期变化如转动振动、振动摆动等，也指多个周期变化的叠加或重叠。在下面，所选用的术语“机器轴”表示数学意义上的转动轴线，它尤其可以是机器的任何一根轴、轴线、主轴、辊、滚筒等。此外，术语“机器轴”也包括虚拟转轴，即由一个或多个转轴的坐标值计算而得的信号，尤其是两个真正机器轴的坐标之间的差。

在具有至少一个机器轴的速度和位置调节器的机器中，不平衡或其它结构情况在被调节的轴上产生交变的力矩。被调节轴的频率与其转速成比例的那些振动，以与被调节轴和引起力矩的轴之间的转换比相关的方式被叠加起来，这就是说，存在一个固定的机械结构。此外，还可能叠加上与被调节轴速度无关的转动固定频率的冲击。在这两种情况下，机械振动频谱包含了被干扰调节轴的位置、速度和加速度的离散频率，它们在下文中不管其来源如何均被称为“干扰”。如果机器轴以常速转动，则干扰导致了额定速度偏差及

转动额定角度偏差，这些偏差是不能完全排除的，而只可以在运行中很费事地减小到充分可行的程度。

尤其是在印刷设备中，在单张纸印刷机或轮转印刷机中，调节轴速的以及由此得到的转动额定位置的精度对产品质量有着决定性的影响。与送纸滚筒被调节轴的转动频率成整数频率比关系的干扰一般被被忽略不计，因为它们在图版印刷及文字印刷中是一样的。与此相反，所有其它频率是干扰，因为它们可能导致所谓的重影，换句话说，前后纸张交错印刷。

如果单张纸印刷机由多个分开驱动的机械解耦的部件如印刷机、印刷机组等构成，则两个前后送纸滚筒即两个被调节轴之间的角度差的波动，在印刷机部分之间传送纸张时，将直接作为周围配线精度的波动而引人注意。在这种情况下，希望纸张之间具有相同的递纸角度，但这样的角度总是受到非整数阶波动的影响。

在印刷机中，已经知道了各种不同的抑制机械振动、尤其是转动振动的方法和装置。

从EP0592850B1中知道了一种减小印刷机机械振动的方法和装置。它具有至少一个操作器件和一个振动记录器件，它们也能够设置在一条调节回路中。一个印刷机的印刷材料输送系统中减弱有损于印刷质量的机械振动着眼于补偿不同步的即非周期性地随着转动部分的转动而出现的振动。

DE4412945A1 公开了一种抑制印刷机机械振动的方法和装置，它也可以实现整数阶振动的补偿。控制操作器件的数据的确定或是通过在印刷机试运行中的计算或是通过测量而实现的。

DE19914627A1 公开了一种补偿印刷机中的转动振动的方法和装置，它是这样设计的，即确定印刷机的至少一个固有振型，并且

在固有振型的振幅至少一个不为零的地点上均施加一个反力矩，以补偿形成固有振型振动的力矩。

DE19749134A1 也构成了现有技术，其中公开了一种主动式振动阻尼装置和鉴别主动式振动阻尼装置中的传递函数的方法。一个调节器同步地从主动式振动阻尼装置的余振探测器中读出余振信号，并输入到一个预定的输入扫描脉冲计数器。在作为时间序列对每个频率读取余振信号后，对每个时间序列进行 FFT（快速傅里叶变换）计算，以便获得原始正弦波的频率成分。对每个所含频率成分的组合结果进行快速傅里叶反变换计算，以便推算出作为传递函数的冲击响应。

此外，EP0425352B1 公开了一种主动减弱振动的装置，这些振动的能量集中在具有一个基础简谐频率和该基础频率的简谐部分中。该被用于减弱机器部件振动的装置包括振动记录仪、至少一个促动器和一个计算单元。振动记录仪以振幅和相位形式记录下在某个机器部件上的振动特性的电信号，该促动器在机器部件上作用一个抑制振动的力矩。该计算单元与振动记录仪和促动器相连。借助于基准信号同步检测出每个振动记录仪的输出信号，该基准信号包含了相应于能量集中的不同频率。为此，每个输出信号在足够放大后针对由合成器产生的频率接受抽样调查和模拟数字转换。抽样经历了同步解调处理，这一处理包括一个乘法和和通过低通滤波器的滤波，并对于所有滤波后所剩下频率进行。利用与相位不变的基础频率的线性关系，获得了基准信号。计算单元如此对机械振动能量集中于其中的每个频率进行回归匹配算法，使得每个促动器都获得一个专属于它的特有信号，该信号包含了各频率作用的总和。

DE19614300A1 公开了一种用于卷取设备或平面材料卷放装置

中的卷冲击补偿的辊或卷轴的非均匀同心性影响的自调节补偿方法。在这里，辊的转动速度因辊径或卷径变化而改变。通过至少频率全是整数阶的一个转动简谐简谐振动的正弦函数近似地计算拉力实际值，其自变数是辊转角，其中这个正弦函数是通过正交关联方法或通过傅里叶简谐调和分析得到的，并且构成对于由非均匀同心性形成的正弦信号的振幅和相位的估算值。将由估算值算出的附加力矩加在辊的力矩额定值上。

确定特别是用于印刷机的适当补偿数据是目前补偿方法和补偿装置的一个问题，这使其很难得到广泛应用。如果采用补偿数据存储器，则在目前常用的补偿程式中，事先需要计算或抽样测量适当补偿数据。经验证明这两种方法困难、费时费钱。整体说来，在典型的印刷机补偿程式中，考虑的是由多个频率构成的振动。由此一来，只能很困难地进行根据机械动态、调节、干扰等的差动补偿匹配。尤其是对于随时间急剧变化的振型或对于变化的机械动态的匹配是很难实现的。

在计算振动时，由于一些假定是简化甚至是错误的，因而存在形成系统误差的危险。这样做意味着，只是对于可发现的振动的计算是可以补偿的。此外，常见用于确定振动的抽样，暗藏着由其它干扰引起的测量误差的危险。在使用确定机器固有振型的方法的场合，必需一个机器的机器特殊数据。

发明内容

本发明的目的是减小一个机器的至少一个以尽可能不变的速度转动的轴或虚拟机器轴上的不希望有的也被称为干扰的振动。

根据本发明，提出了一种借助至少一个直接或间接地作用于机器轴上的促动器来补偿机器轴上、尤其是印刷装置或印刷机中的机

器轴上的机械振动、尤其是转动振动的方法，所述振动具有可由多个离散频率成分近似表示的频谱，其中，至少一个离散频率成分在至少一个确定时刻的振幅和相位通过测量从所述频谱中确定，该机械振动的所述至少一个离散频率成分被促动器与其它频率成分无关地如此叠加上至少一个基本简谐的、具有确定振幅和相位的、相同频率的力矩，使得机器轴在该频率下的振动幅度被减小，其中，在一个闭合的自适应调节回路中计算所述基本简谐的补偿力矩的至少一对振幅和相位，其中，基于至少两次在用不同补偿参数的不同时刻测量所述离散频率成分来对为计算所需的过程参数在调节期间进行适时修正。

根据本发明，还提出了一种具有至少一个借助一促动器控制的机器轴和一个记录机器轴的机械振动的测量装置的印刷装置，所述振动具有可由多个离散频率成分近似表示的频谱，其中，该促动器适合于给机械振动如此叠加上至少一个具有所述离散频率成分的至少一个频率并且与其它频率成分无关的、具有确定振幅和相位的、基本简谐的力矩，使得机器轴在该频率下的振动幅度被减小，其中，为了确定机械振动频谱的多个离散频率成分的振幅和相位，该印刷装置具有一个滤波器或一个相关器，还包括一个计算单元，用于在一个闭合的自适应调节回路中计算所述基本简谐的补偿力矩的至少一对振幅和相位并且用于基于至少两次在用不同补偿参数的不同时刻测量所述离散频率成分来对为计算所需的过程参数在调节期间进行适时修正。

根据本发明，还提出了一种印刷机组，其中，该印刷机组具有至少一个上述的印刷装置。

根据本发明，还提出了一种印刷机，其中，所述印刷机具有至

少一个前述的印刷装置或印刷机组。

以机械振动形式存在于一个机器轴上的干扰近似地具有一个可由多个离散频率成分表示的频谱。通常，所出现的频率是离散的且几乎不变，但它们取决于机器速度，从而具有固定阶数或者与之无关。如上所述，在印刷机中一般不存在恰好等于转动频率或是其几倍的冲击干扰，但它们也可以通过本发明的方法得到消除。这也适用于虚拟机器轴，即适用于利用一个相关性（最好是线性）由一个或多个真正轴的位置、速度或加速度，特别是由两个真正轴的坐标差算出的信号。

本发明的借助至少一个直接或间接地作用于其上的促动器来补偿在机器轴上且尤其是印刷机轴上的机械振动或一个扰动，尤其是具有一个通过一些离散频率部分近似表示的频谱的转动振动的方法的特点是，这些机械振动的离散频率被分别补偿。在此，所涉及的既可以是固定频率，也可以是固定阶即那些与轴转动频率的比例关系固定不变的频率。对于机械振动的各离散频率成分如此通过直接或间接作用于机器轴上的促动器与其它频率成分无关地叠加上至少一个基本上是简谐的且具有确定振幅和相位的同频率力矩，使得对于该频率来说，机器轴的振幅或振动被减小了。换句话说，实现了这样的补偿，即对于每个要补偿的频谱频率成分，分别将一个根据相位和振幅确定的、基本简谐的、且具有确定相位和振幅的同频力矩即正弦力矩或余弦力矩与驱动力矩如此叠加，使得具有该离散频率的机器轴振动成分被减弱了。在此，可以通过任何一个促动器且尤其是本来就有的一个直接或间接作用于机器轴上的电动机来施加补偿力矩。

本发明的方法也可以实现与机器轴转动频率不呈整数比关系

的频率的补偿（非同步振动），方式是，它们被作为相对于一个与机器轴转动频率呈固定比例关系的频率而言的同步振动被处理。当干扰由通过传动装置相连的机器部分引起的时候，固定比例一般是分数有理数，即有理数中的一个数。

本发明的方法和本发明的印刷装置具有一系列优点。

由于本方法分别补偿某个确定的离散频率成分，所以，对于某个频率来说，只需要在至少一个时刻测量机器轴机械振动的振幅和相位。这样一来，其它频率或机械振动的随机干扰实际上不影响本方法。通过对于在时间进程中对一个离散频率的测量结果的叠代，确定了机械振动离散频率成分的各实际振幅和相位，从而得以实现匹配于各实际情况的近似实时的补偿。

本发明方法通过分别对具有给定振幅和相位的并由圆频率为 $n\times\omega$ 的简谐振动表示的非简谐周期振动实行补偿，其中 n 是自然数，可以简单地对于由关系式 $\omega=2\pi/T$ 得到的指配圆频率 ω 的非简谐周期振动补偿，其中 T 表示振动周期。本发明的方法也能将那些用于补偿的不同频率成分在从促动器到补偿轴的过程中的放大和相位移考虑进来。迄今为止的使用一般储存在存储器中的非简谐补偿力矩工作的补偿方法，都很难顾及传递与机械动态之间的相关关系，因为在存储器中存储的曲线中，谐波的相位和振幅已经基于基波而确定。与此相反，各频率成分的相位和振幅的确定是灵活的。本发明方法消除了对现有补偿方法的各种限制并由此使补偿在实践上更为简单。

此外，本发明的方法也可不计算机器轴机械振动。这样防止了在假定简化或假定出现错误时的系统误差的危险，省略了专家对机器建立大范围的数学模型或进行计算的成本。

本发明方法的另一个优点在于，不仅可用在非定常即机器状态随时间进程变化的振动、机械以及同步和不同步的振动，而且也可用在频率为常数的振动。对于那些由处于频谱中边缘的高阶频率或由调制引起的振动的并与机器频率有复杂关系的一些频率成分，也可以用本发明的方法进行补偿。

原则上说，可以通过本发明的方法补偿任意多的或所需多的不同频率成分，因为在这些补偿之间没有相互影响。例如，只需从机械振动中知道或测量到那些起主导作用的、以振幅和相位为自变量表示的最大干扰频率成分或阶，以对频率成分或阶进行补偿。这样的集中于对干扰最大的频率的补偿，就使得能够低成本地获得明显改善。因为可以用与机器速度相关的方式来补偿不同阶或频率成分，从而可以有利地总是例如补偿所有接近机器或机器部件的共振频率的那些振动频率成分。

在知道传递函数的情况下，也可远离被补偿轴进行至少一个补偿力矩的供应。通常，本方法对于由诸如从未被调节的机器到已被调节机器的过渡或选择不同调节参数或调节器而引起的机械动态变化机器都是适用的。

通过本发明的方法或本发明的印刷装置，可以显著提高产品质量，因为在从一个转动到一个同样过程的另一个转动的过程中，速度与位置能以与机器轴转角相关的方式获得改善。比起通常方法，本发明的方法能够以大大增高的重复精度来定位机械脱联的单张纸印刷机的分离点。

有利的是，基本简谐的力矩具有基本上与时间无关的频率。

有利的是，基本简谐的力矩的频率与机器速度成固定不变的比例 r，其中 r 是实数。

有利的是，用于补偿的基本上简谐的力矩的振幅和相位与机器速度无关。

有利的是，用于补偿的简谐力矩的振幅和相位是机器速度的函数。

有利的是，通过测量机器轴的机械振动频谱的相应频率成分的振幅和相位和/或一个由一个或多个机器轴的所述信号计算出的信号、特别是一个或多个机器轴的差动信号，确定进行补偿的简谐力矩的振幅或相位。

有利的是，为计算相应的且基本上简谐的力矩的幅度和相位所需的过程参数至少部分地根据对机器轴的机械振动的相应频率成分的振幅和相位的测量来确定。

有利的是，基本简谐的力矩的频率是根据机器的固有频率确定的。

有利的是，基本简谐的力矩的频率是根据机器速度确定的。

附图说明

结合以下附图和其说明来描述本发明的有利实施例和其它优点。

图 1 表示在一个干扰作用下对于一个固定补偿频率 ω_s 的补偿原理。

具体实施方式

结合图1和后续实施例来具体描述本发明印刷机和本发明方法的工作步骤。不失一般性，说明了对于具有一确定的圆频率 ω_s 或机器频率阶数 r 的机器轴的机械振动或干扰的补偿，其中 r 是实数。因为对于具有一确定的圆频率 ω_s 的机械振动或干扰的补偿是以与其它圆周频率或阶数无关的方式进行的，即所谓的叠加原理，所以

本方法尤其是可以对任意多的不同的圆频率 ω_{si} 或阶数 r_i 进行补偿，其中 i 是自然数，而且既可同时也可顺序地使用本方法。这样一来就实现了，即使当不均匀力矩作用于其上时，机器轴也能以常速度转动。

以下，将补偿其振动或干扰的真正的或虚拟的机器轴称为补偿轴。如果要补偿常数阶 r，则前提条件是，补偿轴不出现偏离平均圆频率 ω_s 很高的波动 $\delta\omega_s(t)$，这意味着，它以比较均匀的速度转动。这例如可以通过调节该轴或与补偿轴相连的另一机器轴的速度或角度来实现。这样的情况尤其是出现在印刷设备中。

这样的限制是必要的，因为一般说来，在补偿与机器轴之间的工作过程和为测量所需的滤波器传递具有不同放大和相位移的一般不同频率。如果频率波动 $\delta\omega_s(t)$ 太高，则这将导致不仅要在补偿轴上有干扰的情况下调制要补偿的阶 r，而且在测量滤通信号时，增强了这种波动，这对完全补偿是不利的。为了进一步提高补偿质量，可以在采用本发明方法或本发明印刷机的情况下，补偿轴的速度波动本身也得到进一步抑制。在印刷设备中，例如可以补偿第一设备阶，以改善对于引起干扰的非同步阶的补偿。

图 1 表示补偿频率 ω_s 的补偿原理。在这里，补偿频率可以是固定的，即 $\omega_s=2\pi f_s=$ 常数，或者它是固定补偿阶，即 $d\varphi_S(t)/d(t)=rd\varphi_M(t)/d(t)=\omega_s+\delta\omega_s(t)$，其中，$\varphi_S(t)$ 表示干扰相位角，r 表示干扰阶。即在一定 情况下假定的干扰轴和补偿轴之间的传递比，φ_M 表示补偿轴角度。用 $\delta\omega_s(t)$ 表示圆频率与干扰平均圆频率之差。如果补偿轴速度恒定，例如因为所有出现的干扰完全得到补偿，则 $\omega_s(t)=r\varphi_M(t)$。在速度波动小时出现的这两种情况的信号差对固定阶的补偿几乎没有不利。因此，主要结合对具有固

定补偿频率 ω_s 的干扰来说明本发明方法的工作方式。但在实施中，在上述两种情况之间出现了差异，这是因为在补偿固定频率时，所有振动都与时间有关，而在补偿固定阶时，所有振动与角度有关。

在图 1 中，示意地以调节回路的形式表示了固定频率 ω_s 补偿原理是如何在存在一个激发干扰的情况下进行的。从干扰源 1 开始，振幅为 a_0 且相位为 α 的干扰或机械振动 2 与一个测量值相应地作用在总计位置 3 上。通过测量装置 5 记录下信号 4，测量装置 5 的测量信号 6 在经过滤波器 7 或相关器（Korrelator）7 后产生振幅为 c_0 和相位为 γ 的测量信号 8。不失一般性地假定，测量装置 5 具有 1 的传递函数。如果传递函数不等于 1，则即便在测量装置 5 之后还可以对扰动大大地调制。这个测量信号 8 起到了计算单元 9 的输入的作用。计算单元 9 的输出是对于振幅为 b_0 和相位为 β 的调节值 10 的控制信号，它被送往促动器 11。从促动器 11 出来的信号 12 产生一个力矩，该力矩在过程 13 的影响下，作为振幅为 $K_p b_0$ 和相位为 $\beta+\varphi_p$ 的简谐力矩 14 以便对总计位置 3 上的干扰 2 进行补偿。此力矩基本上是简谐的。

图 1 的研究起点是不补偿地出现在补偿轴上的正弦干扰 a(t)，干扰的起因对这里的研究并不重要。在固定频率场合，其形式为 $a(t)= a_0\sin(\omega_s t+\alpha)$，$a_0$ 表示干扰振幅，α 表示其相位。在固定阶的情况下，干扰呈 $a(\varphi_M(t))= a_0\sin(r\varphi_M(t)+\alpha)$ 的形式，其中 $\varphi_M(t)$ 表示补偿轴角度，它与时间有关，t 表示时间。干扰阶由 r 表示，换句话说，它是干扰频率与机器轴转动频率之比。

作用于补偿轴的干扰可以由补偿轴上的传感器信号算出。此外，选择哪种确切的传感器形式是不重要的，只要传感器测量出轴的角度、速度或加速度就行。尤其是，反正要装在轴上来调节机器

的转速计可被用于测量。实施补偿的基础可以是补偿轴的加速度、速度或角度。只要补偿其中一个信号，则另一些也得到补偿。最好根据传感器来选择信号。在采用转速计时，例如角度或速度是有利的，因为它们可以比较无干扰地得到确定。传感器信号可以通过积分或在一定场合下通过差动而相应地相互转换。

从振幅为 c_0 和相位为 γ 的所获信号，可立即确定振幅为 b_0 和相位为 β 的简谐振动或基本简谐振动以进行补偿。简谐这不仅可以在频率范围内进行，也可以在时间范围内进行。在频率范围内，例如通过快速傅里叶变换法（FFT）对于一个短的时间间隔直接算出对于圆频率 ω_s 的振幅 c_0 和相位 γ。在这种简单情况下，$a_0=c_0$，$\alpha=\gamma$。在时间范围内，当机械振动是具有某个频谱的一般振动时，首先通过窄带带通滤波器分离出圆频率为 ω_s 的简谐振动，并且例如可以根据所形成信号的过零点来确定相位 γ。振幅 c_0 例如可以根据所测的简谐振动信号的最大值和最小值来确定，或者通过对同向振动的平均值乘以 $\pi/2$ 来确定。

作为对于过滤和随后借助于极值及过零点方法来确定由滤波器所选出的振动的振幅和相位的替换方式，可以借助相关法且尤其是正交相关法来进行振动参数（振幅与相位）的确定。正交相关性具有种种好处，因为例如相关参数 T_{korr} 就是这样一个参数，利用该参数能以小步长，特别以等于多倍周期的步长在高测量精度和短测量时间之间进行选择。这就能首先通过采用小相关时间而快速地减小较大振动，然后在长相关时间内消除这些振动。正交相关性作用非常类似于使用合适的带通滤波器的测量方法的作用。尤其是随着一个频率测量阶或测量频率的间隔增大，阻尼将超比例地加强。

带通滤波器的滤波目的是，尽可能小地衰减要测量的频率和尽

可能地大地衰减所有其它频率。随着滤波器带宽减小，容易更好地实现这个目的，但是在此相应于一个时间间隔的激发振动时间就增大，在该时间间隔之后，在滤波器输入端的一个振动改变后，滤波器输出信号误差就不再超过选定值如 1%。这是由原理所决定的，因为输入信号改变相应于高频率，它们通过小的带宽时被强烈阻尼。激发振动时间限制了从测量开始到第一补偿步骤的时间间隔，从而限制了补偿调节器的最短扫描时间。

如果要尽可能快速地补偿振动，则需要适当短的激发振动时间和较大的滤波器带宽。从而，滤波器输出信号还含有其它频率，它们作为干扰与测量频率的振幅和相位的确定结果叠加。在几乎所有的振动频率周期间隔内对所获得测量值取平均值，就可以明显地降低一个频率对测量频率的干扰作用。在此不能在所算得的测量频率的振幅和相位上，而必须在测量频率振动的复数表示中，即在其实数部分和虚数部分（二者相互正交）上进行取平均值滤波器测量补偿频率所需的总时间由激发振动时间和衰减周期时间组成。在正交相关性测量中，这个时间可能短于利用窄带滤波器且精确性相近的测量时间，因为衰减周期时间近似地相应于补偿调节器的最短可达到的扫描时间。

在使用滤波器的场合，当干扰频率也被测得并且其信号部分通过减去从干扰信号中计算得到的由干扰引起的误差项而被消除时，可以不再对在一个紧邻频率的场合说来是相当长的衰减时间范围取平均值，甚至也不必进行相关处理。这种工作方式也可以用于多个干扰上。同样也可以交替地消除测量频率对干扰频率的反作用。

对于本发明方法一般可以说，一个简谐振动或一个简谐力矩被如此叠加到一个作用在补偿轴上的驱动力矩上，使得 $C_0=0$。换言之，

在轴上的频率为 ω_S 的振动的振幅被清除。当对于为进行补偿而施加的振动或力矩的相位和振幅，公式 $b_0=a_0/K_P$ 和 $\beta=\alpha-\phi_p$ 成立时，就出现这种情形。这里，K_P 和 ϕ_p 分别是在从例如是电动机的额定力矩的调节量到例如用速度作为补偿基础的对于固定频率 ω_S 的补偿轴之间过程的放大倍数和相位移。应该注意，在被调节的机器中，K_P 和 ϕ_p 也与调节器的结构和参数相关，这是因为在闭合的调节环路中，过程是相关的。

用于补偿而投入的基本简谐力矩的频率 ω_s 可以以与机器固有频率或机器速度相关的方式来确定。在此，基本简谐力矩的频率与机器固有频率的比例是固定的，尤其是比例为 1 或其整数倍。

形式为 $a=a_0\sin(\varphi_{Ref}+\alpha)$ 的干扰的相位 α 和形式为 $b=b_0\sin(\varphi_{Ref}+\beta)$ 的补偿信号的相位 β 以及形式为 $c=c_0\sin(\varphi_{Ref}+\gamma)$ 的测量信号的相位 γ 是以形式为 $\sin(\varphi_{Ref})$ 的同频率基准转角信号为基准的。为了补偿一个固定频率，根据本发明的方法，基准转角由公式 $\varphi_{Ref}=\omega_s t$ 来计算，为了补偿固定阶，由公式 $\varphi_{Ref}=\varphi_M$，从补偿轴线角度算出基准转角。为补偿整数阶 r=1，2...，知道一圈转动的一个取值范围内的角度 φ_M 就行了，例如 $\varphi_{Ref}\in\{0...2\pi\}$。为了补偿非整数阶，必须对多于一圈的转动来区分取值范围。为了补偿有理数阶 $q=n/m$，这里 n 和 m 都是自然数，对于 m 圈转动来区分一个取值范围就已充分，例如 $\varphi_{Ref}\in\{0...2m\pi\}$。作为从补偿轴的角计算基准角 φ_{Ref} 的替代，根据本发明方法，经常还可以例如在一个引起扰动的轴上直接得到基准角。

在本发明方法的一个有利实施例中，根据补偿轴速度如此固定调节补偿参数 b_0、β，使得在补偿轴上的干扰尽可能好地得到补偿。这意味着，所测振幅 c_0 在干扰和借助过程传递给轴的补偿的综合作

用下尽可能地小。在最简单的场合，这可以通过对称抽样来实现，但也可以自动化实现，如通过下面所述的鉴别方法来进行。对于各种机器速度计算出优选值，并例如列于一个表中。对于表中不包含的速度来说，工作中的参数可以使用靠近它的较大和较小速度的表值并利用适当方法如线性插值或通过 Splines 函数插值而得到。这个实施例的一个特别的好处在于，在机器工作时，不再需要测量干扰并省略了费事的计算，从而本发明的方法可以用简单方式实现，并且甚至可以整装到现有调节器中。但要注意的是，本实施例尤其是可以运用在定常干扰及定常过程中，并获得所希望的结果。换句话说，干扰的振幅 a_0 或相位 α 以及过程的放大率 K_P 和相位移 φ_P 在时间进程中的变化导致了不完全补偿。但是，如果干扰和过程变化很小，即便在不完全补偿时，干扰也能被很大地减小。

在本发明方法的一个有利改进方案中，在机器工作时，首先无补偿地确定在测量中的干扰的振幅 c_0 和相位 γ，以便由此计算出最佳补偿参数 $b_0=c_0/K_G$、$\beta=\gamma-\varphi_G$。随后，利用这些补偿参数进行补偿。为了计算补偿参数，需要常数 $K_G=K_PK_F$、$\varphi_G=\varphi_P+\varphi_F$。在此，$K_P$、$K_F$ 是放大率，φ_P、φ_F 是圆频率为 ω_s 时的滤波器或过程的相位移。它们例如可以从通过在圆频率为 ω_s 时建立的数学模型而获得的被调节机器的传递函数来获得。K_G、φ_G 也可以在抽样中确定。在此，例如可以由测量所得的不补偿的振幅 c_0、相位 γ 以及在最佳补偿时抽样测得的补偿参数 b_0、β 由公式 $K_G=c_0/b_0$、$\varphi_G=\gamma-\beta$ 直接计算这些参数。另一个替代方法是将在下面说明的在抽样过程中对 K_G、φ_G 的鉴别方法。本发明这个实施例的优点是，不需要对干扰的振幅 a_0 和相位 α 做任何假定。尤其是能够补偿随时间很缓慢变化的干扰。如果干扰的相位 α 在开通机器时并不知道，这是因为干扰例如由一个具有与

补偿轴的非整数转动比且不测量其转角的轴引起，则通过这个有利的实施例可以补偿该干扰。在最佳补偿调节中，只需一个测量和调节步骤就能实现基本上完全的补偿。

在本发明的另一个有利实施例中，实现了这样的补偿调节，它由实际进行的 b_0、β 补偿和该补偿留在补偿轴上的测量振幅为 c_0、测量相位为 γ 的干扰中，算出应激发出的实现完全补偿干扰的最佳补偿参数，并以此补偿参数进行补偿。

在每次改变补偿参数 b_0、β 后，过程和滤波器需要一定时间，以便对改变做出反应。直到调节出新平衡的时间例如可以为数秒。因此，补偿调节的扫描时间，即两次调节步骤之间的时间间隔可以至少相应于调节参数变化的反应时间。如果在第一调节步骤后进行振幅 b_{01}、相位 β_1 的补偿，则在第二调节步骤中，首先测量留在补偿轴上的干扰的振幅 c_{02}、相位 γ_2，并由 b_{01}、β_1、c_{02}、γ_2 以及常数 $K_G=K_PK_F$、$\varphi_G=\varphi_P+\varphi_F$ 算出补偿的振幅 b_{02}、相位 β_2。随后，进行参数为 b_{02}、β_2 的补偿，直到下次调节步骤。新补偿参数可以例如借助于辅助量

$$c_{G2}=c_2/K_G$$

$$\gamma_{G2}=\gamma_2-\varphi_G$$

$$Z=c_{G2}\sin(\gamma_{G2})+b_1\sin(\beta_1)$$

$$N=c_{G2}\cos(\gamma_{G2})+b_1\cos(\beta_1)$$

按如下公式计算：

$$b_{02}=\sqrt{c_{G2}^2+b_{01}^2+2c_{G2}b_{01}\cos(\gamma_{G2}-\beta_1)}$$

$$\beta_2=\begin{cases}\arctan(Z/N) & \text{für} \quad N>0\\ \arctan(Z/N)+\pi & \text{für} \quad N<0\\ \pi/2 & \text{für} \quad N=0\wedge Z\geq 0\\ -\pi/2 & \text{für} \quad N=0\wedge Z<0\end{cases}$$

对本领域技术人员来说显然可知，可以简单类似地将第一、第二调节步骤之间的过程一般化地推广到第（k-1）、第 k 调节步骤之间的措施上去，其中 k 是自然数。

可以将这些量的计算解释为复数表示中的矢量相加。表示振动的矢量的模相应于振幅，其方向表示振动相位。新补偿矢量等于前一补偿的矢量与在该补偿中所测得的相对于过程输入的干扰矢量之和。由于所得的矢量可以取 0-2π 的每个角度，所以，必须有相应于坐标系的四个象限来确定 β_2 的条件。主要是根据使本发明的方法明显易懂的标准而选取这里的特别是振幅和相位的表达式，专业人员能很快明白，使用不带确定 β_2 条件的 β_2 表达式也是可以的。

对于参与的干扰、过程参数和补偿参数的复数表示的一个合逻辑的应用，可以导致表示它们之间关系的一个简单且等价的表达式。在这个复数表示中，干扰的复数振幅为 a^*、复数测量值为 c^*，复数补偿为 b^*，带滤波器和过程的复数放大率分别为 G^*_F 和 G^*_P。复数振幅是由振动参数振幅和角度形成的复数表示。复数放大率是在所考虑的振动频率下的传递函数的复数值。

过程和滤波器的复数放大率的关系为 $G^*_G = G^*_P G^*_F$。在第 k 扫描步骤中，$c^*_k = a^*_k G^*_F - b^*_{k-1} G^*_G$，在第 k+1 扫描步骤中，$c^*_{k+1} = a^*_{k+1} G^*_F - b^*_k G^*_G$。如果这两次扫描中的干扰相等，即 $a^*_k = a^*_{k+1}$，则直接由完全补偿（$c^*_{k+1}=0$）的要求得到补偿调节公式：

$$b_k^* = \frac{c_k^*}{G_G^*} + b_{k-1}^*$$

在第 k 调节步骤中，可以先根据以下公式由利用滤波法测得的振动参数 c_0、γ 算出振动的复数振幅：

$$c_k^* = c_0 \cdot e^{j\gamma}$$

或者根据以下公式由正交相关法算出：

$$c_k^* = c_x + j \cdot c_y$$

这里，j 表示 $j^2=-1$ 的虚数单位。然后可以算出补偿信号 b^*_k 的复数振幅。随后，可以由补偿信号的复数振幅 b^* 并通过求模 $b_0=|b^*|$ 和相位确定 $\beta=\arctan(b^*)$ 来获得补偿参数 b_0、β，其中，arctan 表示 b^* 幅角主值，即在 $-180°<\beta<180°$ 的角度，它在真正轴与位置矢量之间，是实轴正方向与位置矢量

$$\overrightarrow{0b^*} = (\mathrm{Re}\{b^*\}, \mathrm{Im}\{b^*\}).$$

之间的夹角。

在第 k-1 扫描步骤中，成立以下公式。

$$c_{k-1}^* = a_{k-1}^* G_F^* - b_{k-2}^* G_G^* .$$

如果在前后两个扫描步骤中的干扰相等，即 $a^*_{k-1}=a^*_k$，则

$$G_G^* = \frac{c_k^* - c_{k-1}^*}{b_{k-2}^* - b_{k-1}^*} .$$

这个公式适于直接计算调节所需的复数总放大率 G_G。

在本发明的这个实施例中，把补偿设计成封闭调节回路是很有利的。这样一来，可以良好地补偿非定常干扰，即补偿振幅和相位变化的干扰，只要这些变化与补偿调节器扫描时间相比足够缓慢。此外，通过调节回路中的反馈，可以在不精确地知道常数 K_G、φ_G 的情况下进行比较好的补偿，这是因为补偿调节法在如下条件下

$$2\cos(\varphi_{GT} - \varphi_G) \geq K_G / K_{GT} \geq 0$$

并在忽略定常干扰的测量误差的情况下向定常过程收敛。在此，K_{GT}、φ_{GT} 是实际的过程参数，K_G、φ_G 是在补偿调节时用于计算补偿的过程参数。这个情况大致出现在放大率 K_P 和过程相位移 φ_P 在工作时偏差小的场合。

在本发明的一个有利改进方案中，本发明的方法包括最佳补偿调节，其中为了确保最佳性，在开始和/或补偿调节过程中鉴别出过程参数 $K_G= K_PK_F$、$\varphi_G= \varphi_P+\varphi_F$。

为了鉴别，需要用不同补偿参数在不同时刻进行至少两次补偿

轴上所产生的干扰测量。当采用两次测量的每次分鉴别中，在第一时刻 t_1 用起作用的补偿参数 B_{00}、β_0 来测量参数 c_{01}、γ_1，在第二时刻 t_2 用起作用的补偿参数 B_{01}、β_1 来测量参数 c_{02}、γ_2。通过以下计算步骤，例如可以由这八个值在第二时刻 t_2 直接算出放大率 K_{G2} 和相位移 φ_{G2}。

$$c=\sqrt{c_{01}^2+c_{02}^2-2c_{01}c_{02}\cos(\gamma_2-\gamma_1)}$$

$$Z_C=-c_{01}\sin(\gamma_1)+c_{02}\sin(\gamma_2)$$

$$N_C=-c_{01}\cos(\gamma_1)+c_{02}\cos(\gamma_2)$$

$$\gamma=\begin{cases}\arctan(Z_C/N_C) & für \quad N_C>0\\ \arctan(Z_C/N_C)+\pi & für \quad N_C<0\\ \pi/2 & für \quad N_C=0\wedge Z_C\geq 0\\ -\pi/2 & für \quad N_C=0\wedge Z_C<0\end{cases}$$

$$b=\sqrt{b_{00}^2+b_{01}^2-2b_{00}b_{01}\cos(\beta_1-\beta_0)}$$

$$Z_b=b_{00}\sin(\beta_0)-b_{01}\sin(\beta_1)$$

$$N_b=b_{00}\cos(\beta_0)-b_{01}\cos(\beta_1)$$

$$\beta=\begin{cases}\arctan(Z_b/N_b) & für \quad N_b>0\\ \arctan(Z_b/N_b)+\pi & für \quad N_b<0\\ \pi/2 & für \quad N_b=0\wedge Z_b\geq 0\\ -\pi/2 & für \quad N_b=0\wedge Z_b<0\end{cases}$$

$$K_{G2}=c/b$$

$$\varphi_{G2}=\gamma-\beta$$

这样，在补偿调节中，在直到每个时刻 t_i（i 是自然数，表示 i 时刻点数）的调节步骤中，都能算出应激发的过程参数 K_{Gi}、φ_{Gi}，这些参数构成进一步调节的基础。在此，各测量间隔均匀与否，差别并不明显。可以在三个前提条件下进行只由两次测量构成的鉴别。第一，两次测量间的过程参数应该不变。因为滤波器和设备调节器在两个调节步骤之间基本不变，所以过程参数的变化只能由机

器动态变化引起。由于这种改变经常很缓慢地进行，所以基本满足了上述要求。第二，干扰基本上在两次测量之间没有根本性的变化。干扰的相位和振幅的变化速度取决于其起因，对其普遍适用的解释是不可能的。在这个意义下，需要在时刻 t_i 进行测量，其中受测时间段在各测量之间。许多干扰具有由结构决定的起因，如不平衡、凸轮盘等。这样的干扰基本上是定常的。第三，测量不应受其它随机干扰的影响。按照本发明方法的鉴别基本上不受随机干扰的影响，因为测量只集中在某个确定频率上。如果随机干扰是白噪音，则在干扰的所有能量中只有少量能量作用于某个刚刚测量的频率 ω_s 上，这是因为它没有经过充分滤波。由于在不同时刻 t_i 进行测量，所以，本发明方法不易受随机的、时间有限的干扰影响。

如上所述，作为根据过零点和极值条件确定振动参数的替换方式，可以借助正交相关性来进行计算。具有复数振幅的振动参数可以通过基于相关性计算的方法来得到。

为了确定振动 $c(\varphi)= c_{x1}\sin(r_1 \cdot \varphi)+ c_{y1}\cos(r_1 \cdot \varphi)$ 的复数振幅的实部 c_{x1} 和虚部 c_{y1}，计算出测量信号对角度在 0°-90°的基准角信号的交叉相关性。对于用正交相关性获得的振动实部估算值来说，在对半个振动周期的整数倍即从 φ_0 到 $\varphi_1=\varphi_0+n\pi/r_1$ 的范围内进行相关计算中，成立如下公式：

$$\hat{c}_{x1} = \frac{2}{\varphi_1-\varphi_0}\int_{\varphi_0}^{\varphi_1} c(r_1\varphi)\sin(r_1\varphi)d\varphi = \frac{2}{\varphi_1-\varphi_0}\int_{\varphi_0}^{\varphi_1}(c_{x1}\sin(r_1\varphi)+c_{y1}\cos(r_1\varphi))\sin(r_1\varphi)d\varphi$$

$$= c_{x1}\left(1-\frac{\sin(2r_1\varphi_1)-\sin(2r_1\varphi_0)}{2r_1(\varphi_1-\varphi_0)}\right)+c_{y1}\frac{\cos(2r_1\varphi_0)-\cos(2r_1\varphi_1)}{2r_1(\varphi_1-\varphi_0)} = c_{x1}$$

相应地，对于虚部的估算值，成立如下公式：

$$\hat{c}_{y1}=\frac{2}{\varphi_1-\varphi_0}\int_{\varphi_0}^{\varphi_1}c(r_1\varphi)\cos(r_1\varphi)d\varphi=\frac{2}{\varphi_1-\varphi_0}\int_{\varphi_0}^{\varphi_1}(c_{x1}\sin(r_1\varphi)+c_{y1}\cos(r_1\varphi))\cos(r_1\varphi)d\varphi$$

$$=c_{x1}\frac{\cos(2r_1\varphi_0)-\cos(2r_1\varphi_1)}{2r_1(\varphi_1-\varphi_0)}+c_{y1}\left(1+\frac{\sin(2r_1\varphi_1)-\sin(2r_1\varphi_0)}{2r_1(\varphi_1-\varphi_0)}\right)=c_{y1}$$

于是，在时间离散系中，计算公式为

$$\hat{c}_{x1}=\frac{2}{\varphi(k_1)-\varphi(k_0)}\sum_{k=k_0+1}^{k_1}c(k)\sin(r_1\varphi(k))(\varphi(k)-\varphi(k-1))$$

和

$$\hat{c}_{y1}=\frac{2}{\varphi(k_1)-\varphi(k_0)}\sum_{k=k_0+1}^{k_1}c(k)\cos(r_1\varphi(k))(\varphi(k)-\varphi(k-1))$$

其中，角度的 $\varphi(k)$ 和 $c(k)$ 是扫描步骤 k 前的补偿信号并且成立如下公式：

$$\varphi(k_1)\approx\varphi(k_0)+\frac{n\pi}{r_1}$$

如果差动角 $\varphi(k)-\varphi(k-1)$ 保持不变或作为近似假定不变，则也可以采用如下公式：

$$\hat{c}_{x1}=\frac{2}{k_1-k_0}\sum_{k=k_0+1}^{k_1}c(k)\sin(r_1\varphi(k))$$

和

$$\hat{c}_{y1}=\frac{2}{k_1-k_0}\sum_{k=k_0+1}^{k_1}c(k)\cos(r_1\varphi(k))$$

由于为了补偿原本要算出 $\varphi_{Ref}(k)=r_1\varphi(k)$，所以在这种情况下，为了获得在每个扫描步骤中的相关性，只需要计算出两个角函数和做两个乘法，从而计算成本比较低。

如果在补偿中有其它阶，则在计算相关性时出现了可估算的系统误差。如果除了补偿阶 r_1 外，在补偿信号中还有另一个阶 r_2，则补偿信号具有如下形式：

$$c(\varphi)=c_{x1}\sin(r_1\cdot\varphi)+c_{y1}\cos(r_1\cdot\varphi)+c_{x2}\sin(r_2\cdot\varphi)+c_{y2}\cos(r_2\cdot\varphi)$$

在对用正交相关性获得的振动实部的估算值从 φ_0 到 $\varphi_1=\varphi_0+n\pi/r_1$ 求积分时，成立如下公式：

$$\hat{c}_{x1}=\frac{2}{\varphi_1-\varphi_0}\int_{\varphi_0}^{\varphi_1}c(r_1\varphi)\sin(r_1\varphi)d\varphi=c_{x1}+\frac{2}{\varphi_1-\varphi_0}\int_{\varphi_0}^{\varphi_1}(c_{x2}\sin(r_2\cdot\varphi)+c_{y2}\cos(r_2\cdot\varphi))\sin(r_1\varphi)d\varphi$$

$$=c_{x1}+\left(c_{x2}\frac{\sin((r_1-r_2)\varphi_1)-\sin((r_1-r_2)\varphi_0)}{(r_1-r_2)(\varphi_1-\varphi_0)}+c_{y2}\frac{\cos((r_1-r_2)\varphi_0)-\cos((r_1-r_2)\varphi_1)}{(r_1-r_2)(\varphi_1-\varphi_0)}\right)$$

$$+\left(c_{x2}\frac{\sin((r_1+r_2)\varphi_0)-\sin((r_1+r_2)\varphi_1)}{(r_1+r_2)(\varphi_1-\varphi_0)}+c_{y2}\frac{\cos((r_1+r_2)\varphi_0)-\cos((r_1+r_2)\varphi_1)}{(r_1+r_2)(\varphi_1-\varphi_0)}\right)$$

相应地，在对用正交相关性获得振动虚部估算值从 φ_0 到 $\varphi_1=\varphi_0+n\pi/r_1$ 求积分时，成立如下公式：

$$\hat{c}_{y1}=\frac{2}{\varphi_1-\varphi_0}\int_{\varphi_0}^{\varphi_1}c(r_1\varphi)\cos(r_1\varphi)d\varphi=c_{y1}+\frac{2}{\varphi_1-\varphi_0}\int_{\varphi_0}^{\varphi_1}(c_{x2}\sin(r_2\cdot\varphi)+c_{y2}\cos(r_2\cdot\varphi))\cos(r_1\varphi)d\varphi$$

$$=c_{y1}+\left(c_{x2}\frac{\cos((r_1-r_2)\varphi_1)-\cos((r_1-r_2)\varphi_0)}{(r_1-r_2)(\varphi_1-\varphi_0)}+c_{y2}\frac{\sin((r_1-r_2)\varphi_1)-\sin((r_1-r_2)\varphi_0)}{(r_1-r_2)(\varphi_1-\varphi_0)}\right)$$

$$+\left(c_{x2}\frac{\cos((r_1+r_2)\varphi_0)-\cos((r_1+r_2)\varphi_1)}{(r_1+r_2)(\varphi_1-\varphi_0)}+c_{y2}\frac{\sin((r_1+r_2)\varphi_1)-\sin((r_1+r_2)\varphi_0)}{(r_1+r_2)(\varphi_1-\varphi_0)}\right)$$

在上述各公式中的第一个括弧中的分式的分母中有因式 (r_1-r_2)，因而尤其是对靠近补偿阶 r_1 的阶 r_2 来说，该因式对误差的贡献大。为了改善测量值质量，尽可能地减小这个误差是有意义的。以下，提出了为此目的的各种方法，它们能够单独地或联合地使用。

如果在从 φ_0 到 $\varphi_1=\varphi_0+2n\pi/(r_1-r_2)$ 即在多倍衰减周期的范围内进行相关性计算，则第一个括号为零。因此，一个尽可能消除误差的可能性就是选择多倍的半振动周期作为相关范围，该多倍的半振动周期应可能地接近多倍的衰减周期。

另一个可能性是从以下的公式计算干扰误差项：

$$e_{1x} = \frac{\sin((r_1 - r_2)\varphi_1) - \sin((r_1 - r_2)\varphi_0)}{(r_1 - r_2)(\varphi_1 - \varphi_0)}$$

$$e_{1y} = \frac{\cos((r_1 - r_2)\varphi_0) - \cos((r_1 - r_2)\varphi_1)}{(r_1 - r_2)(\varphi_1 - \varphi_0)}$$

并且按照方程

$$\hat{\hat{c}}_{x1} = \hat{c}_{x1} - c_{x2} \cdot e_{1x} - c_{y2} \cdot e_{1y}$$

$$\hat{\hat{c}}_{y1} = \hat{c}_{y1} + c_{x2} \cdot e_{1y} - c_{y2} \cdot e_{1x}$$

从使用相关方法计算出的估算值 $\hat{c}_{x1}$ 和 $\hat{c}_{y1}$ 中减去误差。为此，对所必需的阶 R_2 的参数 c_{x2} 和 c_{y2} 同样也可使用相关方法来估值。以同样方式也可计算出阶 R_1 对于阶 R_2 的反作用。这样的相互干扰可通过叠代计算而清除。

另一个可能性是解以下的方程组

$$\begin{bmatrix} \hat{c}_{x1} \\ \hat{c}_{y1} \\ \hat{c}_{x2} \\ \hat{c}_{y2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & e_{1x} & e_{1y} \\ 0 & 1 & -e_{1y} & e_{1x} \\ e_{2x} & e_{2y} & 1 & 0 \\ -e_{2y} & e_{2x} & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{\hat{c}}_{x1} \\ \hat{\hat{c}}_{y1} \\ \hat{\hat{c}}_{x2} \\ \hat{\hat{c}}_{y2} \end{bmatrix}$$

其中

$$e_{1x} = \frac{\sin((r_1 - r_2)\varphi_{11}) - \sin((r_1 - r_2)\varphi_{01})}{(r_1 - r_2)(\varphi_{11} - \varphi_{01})}$$

$$e_{1y} = \frac{\cos((r_1 - r_2)\varphi_{01}) - \cos((r_1 - r_2)\varphi_{11})}{(r_1 - r_2)(\varphi_{11} - \varphi_{01})}$$

$$e_{2x} = \frac{\sin((r_1 - r_2)\varphi_{12}) - \sin((r_1 - r_2)\varphi_{02})}{(r_1 - r_2)(\varphi_{12} - \varphi_{02})}$$

$$e_{1y} = \frac{\cos((r_1 - r_2)\varphi_{02}) - \cos((r_1 - r_2)\varphi_{12})}{(r_1 - r_2)(\varphi_{12} - \varphi_{02})}$$

由此得到

$$\begin{bmatrix} \hat{\hat{c}}_{x1} \\ \hat{\hat{c}}_{y1} \\ \hat{\hat{c}}_{x2} \\ \hat{\hat{c}}_{y2} \end{bmatrix} = \frac{1}{\det K} \begin{bmatrix} A_{11} & A_{21} & A_{31} & A_{41} \\ -A_{21} & A_{11} & -A_{41} & A_{31} \\ A_{13} & A_{23} & A_{11} & A_{21} \\ -A_{23} & A_{13} & -A_{21} & A_{11} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{c}_{x1} \\ \hat{c}_{y1} \\ \hat{c}_{x2} \\ \hat{c}_{y2} \end{bmatrix}$$

代数余子式和行列式分别为

$$A_{11} = 1 - e_{1x}e_{2x} + e_{1y}e_{2y}$$
$$A_{21} = e_{1x}e_{2y} + e_{2x}e_{1y}$$
$$A_{31} = (e_{1x}^2 + e_{1y}^2)e_{2x} - e_{1x}$$
$$A_{41} = -(e_{1x}^2 + e_{1y}^2)e_{2y} - e_{1y}$$
$$A_{13} = (e_{2x}^2 + e_{2y}^2)e_{1x} - e_{2x}$$
$$A_{23} = -(e_{2x}^2 + e_{2y}^2)e_{1y} - e_{2y}$$
$$\det K = 1 - 2e_{1x}e_{2x} + 2e_{1y}e_{2y} + (e_{1x}^2 + e_{1y}^2)(e_{2x}^2 + e_{2y}^2)$$

如果阶 r_1 的相关角度 φ_{01}、φ_{11} 和阶 r_2 的相关角度 φ_{02}、φ_{12} 一样，则计算就明显大大简化了，因为这样就有 $e_{2X}=e_{1X}$，$e_{2y}=-e_{1y}$，得到的对称矩阵更容易反演。

在本发明方法的补偿参数的鉴别中，不需要对过程动态做例如关于过程传递函数的极点和零点数目的假定，这是特别有利的。替代这些假定，为了补偿只需要过程的某个确定频率的放大和相位移，他们也被鉴别出。

在本发明的一个有利改进方案中，过程参数可以不用只由两个测量而通过统计法算出，例如从大量测量中通过光滑化处理而获得平均值的方法等。为了使因过程参数随时间的改变和主要因干扰而出现的鉴别误差（即计算补偿参数与实际补偿参数之差）尽可能地小，可以分别如上所述地至少由两个前后测量来计算出过程参数 K_{Gi}、φ_{Gi}，并且最终使用统计方法对所得的在不同时刻上的参数值取平均值而计算出过程参数 K_{Gi}^*、φ_{Gi}^*。

在这两次测量时所用的补偿参数相差越小，则鉴别质量越低。如果比较准确地算出过程参数，则以这样的参数工作的补偿调节可以充分地消除干扰。在定常干扰和定常过程的情况下，这导致了补偿参数 b_0 和 β 大体保持不变。这个问题一般常见于自调节调节器中。人们可以通过这样的监视来解决这个问题，即一旦发现在测量时起作用的补偿参数之差太小时就中断鉴别。在这种情况下，反正

业已知道了过程参数，从而不需要继续计算。

本发明方法的上述计算步骤特别地包括了不补偿地进行两个测量中的一个测量的情况，即。由此还带来了两个主要优点，第一，计算成本只有一半，第二，可以在第二个测量中，使用适当的补偿而仅用唯一的一个鉴别步骤，就很好地计算出过程参数，因为补偿参数在这两个测量中是充分不同的。

在过程参数鉴别中，可以完全不知道干扰和过程，来对某个确定阶 r 或频率 ω_s进行补偿。为此，首先进行一次没有补偿的测量和一次具有与该测量不同的补偿调节的测量，以便获得第一次鉴别过程参数。可以利用该值来进行利用可变参数或调节器的补偿。因而，省略了机器工作期间的大规模计算。一个具有在线鉴别的自调节补偿调节器超出于简单的补偿调节器的特别优点在于，即使过程参数在机器工作时发生强烈变化的情况，也可以获得良好的补偿。由于时间因素对于鉴别的复杂计算不起决定性作用，从而可以使用便宜的硬件甚至在一定场合下在正常的机器调节的同时在已有调节器硬件上进行这样的计算。

还要确定，在采用滤波器时，方法的应用可以随指定滤波器激发振动时间的不同而变化。换句话说，可以通过激发振动时间的选取来获得大振幅的快速减小，或者在相对说来是长的激发振动时间的情况，逐步更好地减小或消除振动。

对于本领域技术人员清楚的是，也可以在非线性过程中使用本发明方法，虽然这样的应用是有限的。在该非线性过程中，已知的不同阶和频率彼此相互影响。在非线性过程中克服干扰的一个重点就是，应目的明确地避免彼此相互影响阶的补偿信号在过程鉴别时同时改变，以及例如将鉴别限制在仅对彼此相互影响的信号基本上

不同时改变的测量上。

本发明的方法可以在印刷装置或印刷机组的一个确定的真正或虚拟机器轴上进行，也可以实施在或具有一个或多个印刷机的机器部件上。尤其是，本发明的方法也可以被用到各机器部件之间的相对位置、相对速度或相对加速度的振动补偿上。借助促动器来直接或间接地控制机器轴，印刷机或印刷机组具有一个记录机器轴振动的测量装置。借助至少一个配属于测量装置的滤波器且尤其是带通滤波器等，确定了 n 个圆频率为 ω_{si} 的离散频率成分的相位和振幅，其中 i 是 1-n 的自然数。从这些测量中，通过电子方式产生控制信号，从而能够借助促动器来补偿机器轴。本领域专业人员显然清楚，本发明方法也可以被用到一个或多个印刷装置或印刷机组内的多个机器轴上。本发明的印刷机具有至少一个这种类型的印刷装置或印刷机组。

附 图 标 记 一 览 表

1-干扰源；2-具有振幅 a_0 和相位 α 的振动 a；3-加法器；4-信号；5-测量装置；6-测量信号；7-滤波器；8-具有振幅 c_0 和相位 γ 的测量信号 c；9-计算单元；10-具有振幅 b_0 和相位 β 的调节量 b；11-促动器；13-过程；14-具有振幅 $K_p b_0$ 和相位 $\beta+\varphi_p$ 的简谐力矩。

图 1

