



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104218594 B

(45)授权公告日 2018.04.06

(21)申请号 201410239098.6

(22)申请日 2014.05.30

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104218594 A

(43)申请公布日 2014.12.17

(30)优先权数据

13/905415 2013.05.30 US

(73)专利权人 通用电气公司

地址 美国纽约州

(72)发明人 N.R.朝德胡里

(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
72001

代理人 叶晓勇 刘春元

(51)Int.Cl.

H02J 3/24(2006.01)

(56)对比文件

CN 101647173 A,2010.02.10,

CN 101647173 A,2010.02.10,

CN 101194404 A,2008.06.04,

CN 102185324 A,2011.09.14,

André M.D. Ferreira et al..“A robust adaptive LQG/LTR TCSC controller applied to damp power system oscillations”.《Electric Power Systems Research 77 (2007)》.2007,

Balarko Chaudhuri et al..“Application of Multiple-Model Adaptive Control Strategy for Robust Damping of Interarea Oscillations in Power System”.《IEEE TRANSACTIONS ON CONTROL SYSTEMS TECHNOLOGY》.2004,第12卷(第5期),

审查员 韩菲

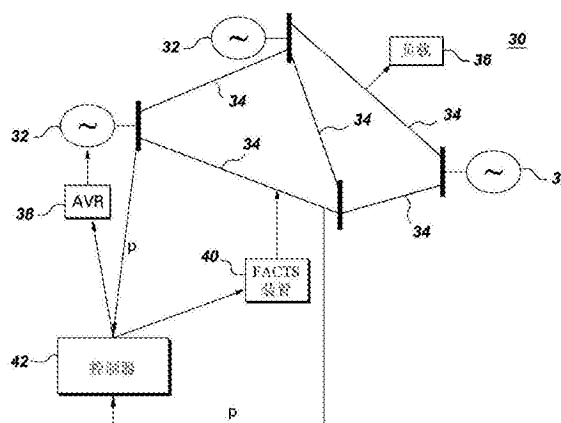
权利要求书2页 说明书6页 附图5页

(54)发明名称

电力系统稳定化

(57)摘要

本发明公开一种用于抑制电力系统振荡的系统,所述系统包括用于产生阻尼控制信号以补偿所述电力系统振荡中多个振荡模式的阻尼装置控制器以及基于阻尼控制信号来产生阻尼信号的阻尼装置。所述阻尼装置控制器包括多个外闭环路径,所述多个外闭环路径各自包括配置用于根据至少一个电力系统测量信号来确定单个振荡模式的自适应控制器。每个自适应控制器进一步配置用于产生自适应控制信号以将内环路径的、与所述单个振荡模式有关的至少一个开环极点移动至闭环位置。



1. 一种用于抑制电力系统振荡的系统,所述系统包括:

阻尼控制器,所述阻尼控制器产生阻尼控制信号来补偿所述电力系统振荡中多个振荡模式的阻尼装置控制器,所述阻尼装置控制器包括:

多个外闭环路径,所述多个外闭环路径各自包括配置用于根据至少一个电力系统测量信号来确定单个振荡模式的自适应控制器;

以及用于产生自适应控制信号以将内环路径的、与所述单个振荡模式有关的至少一个开环极点移动至闭环位置;以及

延迟块,与所述自适应控制器的输出关联,所述延迟块配置为由关联的所述自适应控制器产生的自适应控制信号相对于前一个自适应控制器产生的自适应控制信号延迟一个时间样本;

求和装置,配置为通过多个外部闭环路径中的每一个延迟自适应控制信号求和产生阻尼控制信号;阻尼装置,基于所述阻尼控制信号产生阻尼信号。

2. 如权利要求1所述的系统,其中每个附加自适应控制信号在延迟所述样本时间之前与高斯白噪声叠加。

3. 如权利要求1所述的系统,其中所述阻尼装置包括自动电压调节器 (AVR) 或柔性交流电传输系统 (FACTS) 装置。

4. 如权利要求1所述的系统,其中所述电力系统测量信号包括电压信号、电流信号、功率信号或速度信号。

5. 如权利要求1所述的系统,其中所述电力系统测量信号包括远程电力系统测量信号或本地电力系统测量信号。

6. 如权利要求1所述的系统,其中所述自适应控制器包括用于从所述电力系统测量信号来确定所述单个振荡模式的在线估计器模型。

7. 如权利要求6所述的系统,其中所述在线估计器模型包括自回归滑动平均模型。

8. 如权利要求1所述的系统,其中所述自适应控制器包括确定控制器参数的控制器设计模块。

9. 如权利要求8所述的系统,其中所述控制器设计模块包括极点移动控制算法以将所述内环路径的所述开环极点移动一个极点移动因子。

10. 如权利要求8所述的系统,其中所述控制器参数基于包含闭环特征方程的等式方程来确定。

11. 如权利要求1所述的系统,其中所述多个自适应控制器的数量等于需要对所述电力系统振荡阻尼作出补偿的振荡模式的数量。

12. 一种抑制电力系统网络中的电力系统振荡的方法,所述方法包括:

从多个电力系统位置获得多个电力系统测量信号;

产生阻尼控制信号来补偿所述电力系统振荡中的多个振荡模式,其中产生所述阻尼控制信号包括:

从每个所述电力系统测量信号中提取单个振荡模式;

产生多个自适应控制信号以将与所述单个振荡模式有关的开环极点移动至闭环位置;以及

产生的每一个自适应控制信号相对于前一个自适应控制信号延迟一个时间样本;

产生阻尼控制信号包括对延迟的所述自适应控制信号求和;以及基于所述控制信号将阻尼信号引入所述电力系统网络中。

13.如权利要求12所述的方法,其中每个附加自适应控制信号在延迟所述样本时间之前与高斯白噪声叠加。

14.如权利要求12所述的方法,其中引入所述阻尼信号包括利用自动电压调节器 (AVR) 或柔性交流电传输系统 (FACTS) 装置。

15.如权利要求12所述的方法,其中所述多个电力系统测量信号包括电压信号、电流信号、功率信号、速度信号或其中任意组合。

16.如权利要求12所述的方法,其中产生多个自适应控制信号包括利用极点转移控制算法来将与所述振荡模式有关的所述开环极点移动一个极点移动因子。

17.如权利要求16所述的方法,其中所述极点移动因子基于包含最小化期望输出与所需输出之间的误差的优化函数来确定。

18.如权利要求12所述的方法,其中所述多个自适应控制信号的数量等于需要对抑制所述电力系统振荡作出补偿的振荡模式的数量。

电力系统稳定化

技术领域

[0001] 本发明的实施例大体涉及电力系统中的功率流。更确切地说,所述实施例涉及抑制电力系统振荡。

背景技术

[0002] 电力系统是包括众多发电机、传输线、多种负载和变压器的复杂网络。随着电力系统中不断增长的功率需求,一些传输线要承受比它们建立时所计划压力更大的压力。由于受力状态会使系统处于不稳定状态,所以电力系统稳定性已成为一个重大问题。简单地说,电力系统稳定性定义为电力系统在受到干扰之后返回到正常状态的能力。所述干扰可以是造成电力系统中功率振荡的发电机故障、发电机损失或甚至是功率负载的突然增加。

[0003] 小信号稳定性是与发电机转子之间的低频率振荡有关的电力系统稳定性问题。这是世界范围内包括1996年西部电力协调委员会(WECC)停电在内的许多停电的主要原因。在电力系统重负载时,它通常表现出多模式振荡,因为机器转子(表现为钢体)在使用它们之间的电力传输线交换能量时相对于彼此振荡。这些振荡大体处于0.1Hz与3Hz之间的频率范围。这个频率范围内的振荡大体在两个主要振荡模式下进行分析:1)范围在1Hz至3Hz内的本地模式,即,电厂内的一个发电机或一组发电机相对于系统剩余部分摆动;以及2)范围在0.1Hz至1Hz内的区域间模式,即,一组机器相对于另一组机器振荡。

[0004] 为了使电力系统稳定,将利用抑制功率振荡的阻尼措施。电力系统稳定器(PSS)是电力系统中最常见的阻尼控制装置。除了PSS,功率振荡阻尼(POD)还可通过对安装在重要输电走廊中的柔性交流传输系统(FACTS)装置的辅助控制来有效地实现。传统上来说,已采用经典控制理论来设计在特定(标称)操作条件下要求精确系统模型的这类控制器。然而,有关大型互连系统每一个动态部件的精确的和更新的信息的可利用性的缺乏以及它不断变化的性质常常对基于这种模型的方法提出基本挑战。仅依赖系统测量的间接自适应控制器可用于电力系统稳定器(PSS)并且还可用于FACTS装置。这些控制器基于所估计的系统模型在线更新并且因此可适应操作条件的变化。然而,间接自适应控制器的当前架构利用复杂的多输入多输出(MIMO)结构。这导致性质上非常复杂的多变量控制器。

[0005] 出于这些及其他原因,需要改进用于功率振荡阻尼的间接自适应控制器。

发明内容

[0006] 根据本发明的一个实施例,提供一种用于抑制电力系统振荡的系统。所述系统包括阻尼装置控制器,所述阻尼装置控制器产生阻尼控制信号以补偿电力系统振荡中的多个振荡模式。所述阻尼装置控制器包括多个外闭环路径,所述多个外闭环路径各自包括配置用于根据至少一个电力系统测量信号确定单个振荡模式的自适应控制器。每个自适应控制器进一步配置用于产生自适应控制信号以将内环路径的与所述单个振荡模式有关的至少一个开环极点移动至闭环位置。所述系统进一步包括基于阻尼控制信号来产生阻尼信号的阻尼装置。

[0007] 根据本发明的另一个实施例,提供一种抑制电力系统网络中电力系统振荡的方法。所述方法包括从多个电力系统位置获得多个电力系统测量信号并且产生阻尼控制信号来补偿电力系统振荡中的多个振荡模式。在所述方法中,产生阻尼控制信号包括从每个电力系统测量信号中提取单个振荡模式,以及产生多个自适应控制信号以将与所述单个振荡模式有关的开环极点移动至闭环位置。所述方法进一步包括基于控制信号将阻尼信号引入电力系统网络中。

附图说明

[0008] 在参考附图阅读以下详细说明后,将更好地理解本发明的这些和其他特征、方面和优点,在附图中,类似的符号代表所有附图中类似的部分,其中:

[0009] 图1是电力系统中示例性功率振荡的图示;

[0010] 图2是说明根据本发明的一个实施例的用于抑制电力系统振荡的系统的电力系统示意图;

[0011] 图3是功率振荡阻尼间接自适应控制器(IACPOD)的框图;

[0012] 图4是根据本发明的一个实施例的用于抑制电力系统振荡的阻尼控制器的框图;以及

[0013] 图5是说明根据本发明的一个实施例的抑制电力系统振荡的方法的流程图。

具体实施方式

[0014] 如本说明书中所使用的术语“控制器”是指软件、硬件或固件或执行或促进本说明书所述程序的这些事物或任何系统、程序或功能的任何组合。

[0015] 在介绍本发明各实施例的元件时,冠词“一”、“一个”、“该”和“所述”旨在表示有一个或多个所述元件。术语“包含”、“包括”和“具有”旨在表示包括性含义,且表示除了所列元件外,可能还有其他元件。

[0016] 图1示出电力系统中示例性功率振荡的曲线图10。横轴14表示时间(单位为秒)而纵轴12表示传输线中每单位的功率流(pu)。曲线18示出在不存在阻尼控制器的情况下传输线功率流中的功率振荡。虽然此处仅示出功率振荡,但应注意的是所述振荡可存在于任何其它信号如电压或电流或甚至发电机转子速度中。对传输线的功率需求在10秒时从2pu变为约3pu。在这个过渡处,曲线18中的功率振荡开始并且它们的幅度缓慢增加。如果这些振荡未被抑制,那么相应电力网络可能变得不稳定并且可能导致停电。

[0017] 曲线16示出在存在阻尼装置如AVR或FACTS装置的情况下传输线功率流中的功率振荡。如图可见,在阻尼控制器与阻尼装置一起使用时,功率振荡迅速衰减,并且功率流在约16秒内稳定下来以满足新需求。10秒附近的尖峰是阻尼控制器参数的结果并且取决于阻尼控制器增益值。同样基于傅里叶级数原理,可以看到曲线18可分成多个振荡模式或具有不同频率的正弦分量。正弦信号具有的特性在于如果添加两个180度异相的信号,那么所得信号幅度变为零。在控制理论中,正弦信号可以特征值 λ 来表示,所述特征值如下式给出:

[0018] $\lambda = \sigma \pm j\omega_d$ (1)

[0019] 其中 σ 可称为阻尼比并且 ω_d 可称为描述系统中的振荡在干扰之后如何衰变的阻尼自然频率。然而,可能无法确定 σ 和 ω_d 的精确值。因此,在一个实施例中,采用一种闭环系

统,所述闭环系统确定合适的因子 σ 和 ω_d 来最小化振荡信号或振荡模式。

[0020] 图2示出说明根据本发明的一个实施例的用于抑制振荡的系统的电力系统30。电力系统30包括发电机32,传输线34以及负载36。电力系统30进一步包括阻尼装置如AVR38或FACTS装置40。VR38可通过控制发电机32的励磁以及因此通过基于阻尼控制器42的输入控制来自所述发电机的功率流来抑制电力系统振荡。在其他实施例中,发电机32各自具有受阻尼控制器42控制的自动电压调节器(AVR)。类似地,FACTS装置40可通过基于阻尼控制器42的输入引入或吸收来自电力系统30的合适的有功功率和无功功率来抑制电力系统振荡。另外,阻尼装置除了抑制振荡之外还可用于其它目的。例如,AVR可用于控制发电机输出电压,但在使用电力系统稳定器(PSS)时,它还将起到阻尼装置的作用。

[0021] 阻尼控制器42在发电机32或FACTS装置40连接至传输线34时接收测量信号如电压信号或功率信号。应注意的是,虽然阻尼控制器42示出为中央控制器,但在其他实施例中,单独控制器或本地控制器也可用于AVR38和FACTS装置40。阻尼控制器42从输入信号提取具有不同频率的信号分量并且将合适的控制信号提供给AVR38和FACTS装置40以抵消所提取的频率分量。在一个实施例中,FACTS装置40和AVR38可使它们的单个控制器(未示出)设计用于不同目的如无功功率补偿或电压补偿并且阻尼控制器42的输出被添加至那些单个控制器的参考信号。因此,所述单个控制器除了它的主要目之外,还根据阻尼控制器42的命令作用以抑制测量信号振荡。

[0022] 图3示出功率振荡阻尼间接自适应控制器(IACPOD)70的框图。IACPOD70用于基于电力网络75的输出信号 $y(t)$ 产生用于阻尼装置71的控制信号 $u(t)$ 。IACPOD70可用于图2的控制器42。IACPOD70包括在线估计器72、控制器设计模块74,控制器设计模块74用于确定控制器模块76的控制器参数。在线估计器72估计电力系统(包括电力网络75和阻尼装置71)中的振荡模式信息,控制器设计模块74基于所述振荡模式信息确定用于控制器模块76的控制器参数。因此,所述控制器参数并未直接更新,而是通过系统动力学的估计间接地更新。这导致IACPOD70的间接自适应算法。

[0023] 在线估计器72包括基于例如可能为电压信号、电流信号、功率信号或速度信号的输入信号估计电力系统(包括FACT装置)的输出的系统模型。在一个实施例中,所述系统模型可包括自回归滑动平均(ARMA)模型。在一个实施例中,电力系统模型输出可表示为:

$$[0024] \quad y(t) = -\sum_{i=1}^{n_a} a_i y(t-i) + \sum_{i=1}^{n_b} b_i v(t-k-i) + e(t) \quad (2)$$

[0025] 其中 $y(t)$ 和 $y(t-i)$ 分别是系统模型在取样时间 t 和 $(t-i)$ 时的输出信号, $v(t-k-i)$ 是在 $(t-k-i)$ 时到模型的输入信号, $e(t)$ 是具有高斯分布的零均值随机噪声, a_i 和 b_i 是自回归(AR)系数并且 n_a 和 n_b 分别是电力系统模型传递函数的分子和分母多项式的阶数。输出信号 $y(t)$ 包括电力系统振荡的各种机电模式。应注意的是,以上系统模型方程处于时域和 z 域中,所述方程可表示为:

$$[0026] \quad A(z)Y(z) = z^{-k}B(z)V(z) + E(z) \quad (3)$$

[0027] 其中 $A(z) = 1 + \sum_{i=1}^{n_a} a_i z^{-i}$ 和 $B(z) = \sum_{i=1}^{n_b} b_i z^{-i}$ 表示电力系统模型在 z 域中作为 $B(z)/A(z)$ 的传递函数。电力系统模型的单个振荡模式或相关极点随后可通过确定方程 $A(z) = 0$ 的根来求得。应注意的是,所述电力系统模型可以是非常高阶的模型,即电力系统模型中 n_a 的值或极点的数量可以非常高。然而,由于目的是确定范围在约1Hz至约3Hz内的小

信号振荡,所以在一个实施例中,仅可利用三阶电力系统模型(即, $n_a=3$)。

[0028] 大体上,在每次取样时,系统模型的预测输出 $\hat{y}(t)$ 被确定,所述预测输出在一个实施例中如下式给出:

$$[0029] \quad \hat{y}(t) = X^T(t) \hat{\theta}(t-1) \quad (4)$$

[0030] 其中 $X(t)$ 是包含过去输入和输出样本的回归量,即, $X(t) = [-y(t-1), \dots, -y(t-n_a), u(t-1), \dots, u(t-n_b)]^T$ 并且 $\hat{\theta}(t-1)$ 是在前一次取样时(即,在 $(t-1)$ 时)的参数矢量,所述参数矢量包括ARMA系数或系统参数,即,在任何给定时间时 $\hat{\theta} = [\hat{a}_0, \hat{a}_1, \dots, \hat{a}_{n_a}, \hat{b}_0, \hat{b}_1, \dots, \hat{b}_{n_b}]^T$,例如此时,在 $(t-1)$ 时。参数矢量 $\hat{\theta}$ 在每次取样时更新并且由下式确定:

$$[0031] \quad \hat{\theta}(t) = \hat{\theta}(t-1) + K(t)\varepsilon(t) \quad (5)$$

[0032] 其中 $\varepsilon(t)$ 是由下式给出的预测误差:

$$[0033] \quad \varepsilon(t) = y(t) - \hat{y}(t) \quad (6)$$

[0034] 并且 $K(t)$ 是增益矢量,如下式给出:

$$[0035] \quad K(t) = \frac{P(t-1)X(t)}{\lambda(t-1) + X^T(t)P(t-1)X(t)} \quad (7)$$

[0036] 在以上方程(7)中, λ 是遗忘因子并且 P 是协方差矩阵并且在取样时间等于 t 时,如下式给出:

$$[0037] \quad \lambda(t) = 1 - \frac{[1 - X^T(t-1)K(t)]}{\Sigma_0} \quad (8)$$

$$[0038] \quad P(t) = \frac{[I - K(t)X^T(t)]P(t-1)}{\lambda(t)} \quad (9)$$

[0039] 在一个实施例中, Σ_0 是值等于0.8的常数。因此,在每次取样时,系统模型基于回归量 $X(t)$ 和参数矢量中的更新值产生预测输出 $\hat{y}(t)$, $\hat{\theta}(t)$ 并且基于所述预测输出 $\hat{y}(t)$,检测所关注的区域内振荡模式。在一个实施例中,区域内振荡模式可以是0.1Hz至1.0Hz的范围并且本地模式振荡模式可以是1.0Hz至3.0Hz的范围。

[0040] 应注意的是,根据预测输出 $\hat{y}(t)$ 对所关注振荡模式的适当识别取决于取样频率的选择。取样频率的取样时间可从20ms变化为100ms。在本发明的一个实施例中,80ms的取样时间提供了良好的结果。

[0041] 返回参考图3,一旦在线估计器72确定所关注的区域内振荡模式,控制器76就提供合适的控制信号 $u(t)$ 来抑制这些区域内振荡模式。在一个实施例中,控制器76可包括自适应控制器并且控制器设计模块74利用极点移动控制算法来计算控制器76的控制器系数。

$$[0042] \quad U(z)F(z) = -Y(z)G(z) \quad (10)$$

[0043] 其中, $G(z) = \sum_{i=0}^{n_g} g_i z^{-i}$ 并且 $F(z) = 1 + \sum_{i=1}^{n_f} (1 + f_i z^{-i})$ 。在一个实施例中,控制多项式 n_g 和 n_f 给出为 $n_g = n_b - 1$ 并且 $n_f = n_a - 1$,其中 n_a 和 n_b 是先前描述的系统多项式并且 g_i 和 f_i 是需要确定的控制参数。大体上,控制器的根本设计问题在于在极点零点图中将系统的闭环极点(即,方程2)朝向单位圆径向移动一个极点移动因子 α ,以使得闭环特征方程呈现以下形式:

$$[0044] \quad A(z^{-1})F(z^{-1}) + B(z^{-1})G(z^{-1}) = A(\alpha z^{-1}) \quad (11)$$

[0045] 例如,让D成为控制参数 g_i 和 f_i 的矩阵,即, $D=[f_1, f_2, \dots, f_{n_f}, g_1, g_2, \dots, g_{n_g}]^T$,然后D可通过基于极点移动因子的值对以上等式求解来确定 α 。将补偿所关注区域内振荡模式的控制信号 $u(t)$ 随后可表达为:

$$[0046] \quad u(t) = \xi^T(t) \cdot D \quad (12)$$

[0047] 其中 $\xi^T(t) = [-u(t-1), \dots, -u(t-n_f), -y(t), \dots, -y(t-n_g)]^T$ 。在一个实施例中,基于最小方差(MV)调节器原理的优化函数用于确定极点移动因子 α 的最优值。在这种方法中,从以下方程预测出下一个样本中的系统输出:

$$[0048] \quad \hat{y}(t+1) = \xi^T(t) \cdot \beta + b_1 u(t, \alpha) + e(t+1) \quad (13)$$

[0049] 其中 $\beta = [-b_2, -b_3, \dots, b_{n_{fb}}, a_1, a_2, \dots, a_{n_a}]^T$ 。因此,优化问题变成

$$[0050] \quad \min_{\alpha} J(t+1, \alpha) = \min_{\alpha} E[\hat{y}(t+1) - y_r(t+1)]^2 \quad (14)$$

[0051] 服从约束条件 $-\frac{1}{\Lambda}(1-\sigma) < \alpha < \frac{1}{\Lambda}(1-\sigma)$ 并且 $u_{\min} < u(t, \alpha) < u_{\max}$

[0052] 其中如上所述, $\hat{y}(t+1)$ 是期望输出并且 $y_r(t+1)$ 是下一个采样时刻所需的输出。 $J(t+1, \alpha)$ 是优化函数, Λ 是 $A(z^{-1})$, σ 最大根的绝对值,是考虑到所估计参数不精确的安全因子并且 $u_{\min}$ 和 $u_{\max}$ 分别是阻尼装置的最大极限和最小极限。约束条件用于保证闭环系统的稳定性。

[0053] 因此,基于由控制器设计模块74确定的矢量D中的控制参数值,控制器76产生控制信号,所述控制信号被提供至阻尼装置以产生合适的阻尼信号并且因此抑制振荡。在一个实施例中,控制器设计模块74与在线估计器72相比以更短的取样间隔对 $\xi(t)$ 矢量中的输入/输出数据取样并将它们堆叠。例如,控制器设计模块74和控制器76的取样时间被设计成是20ms,从而使控制器76能够产生具有更多有关系统的最近信息的控制输入,而与由估计器72所识别相同的一组模型参数用于产生 $u(t)$ 直到下一组更新参数以80ms的间隔可用。

[0054] 图4示出根据本发明的一个实施例的用于抑制电力系统振荡的阻尼控制器100的框图。阻尼控制器100与阻尼装置102一起使用,所述阻尼装置102将阻尼信号引入电力网络104中以用于抑制电力网络104中的功率振荡。阻尼控制器100进一步确定电力网络104中的各种功率振荡模式并且将阻尼控制信号提供给阻尼装置102以抑制功率振荡模式。

[0055] 阻尼控制器100接收多个反馈信号 $y_1(t), y_2(t), \dots, y_m(t)$ 并且包括用于所述多个反馈信号中每个的多个自适应控制器或IACPOD108。所述多个反馈信号可以是本地电力系统测量信号、远程电力系统测量信号或其组合。每个IACPOD108有与图3中IACPOD70相类似的结构。然而,IACPOD70(图3)利用来自电力网络75的单个反馈输入来确定电力网络中的所有振荡模式并且产生试图补偿所有那些振荡模式的单个控制信号。相反,图4中的每个IACPOD108均形成外闭环路径并且从合适的反馈信号确定单个振荡模式。在一个实施例中,基于反馈信号中存在的主要振荡模式来进行反馈信号选择。在一个实施例中,可离线使用残余幅度-角度方法来选择合适的反馈信号。IACPOD108进一步提供自适应控制信号以通过将其内环路径的与单个振荡模式有关的开环极点移动至闭环位置来补偿那个特定振荡模式。换句话说,图4的阻尼控制器100包括多个单输入单输出(多SISO) IACPOD。用于阻尼控制器108的IADPOD108的数量取决于需要补偿的振荡模式的数量。

[0056] 在阻尼控制器100中,每个IACPOD108首先确定并且然后移动电力系统(包括电力

网络104和阻尼装置102)的开环极点至所需闭环位置。在一个实施例中,三阶系统模型用于每个IACPOD108中,所述IACPOD108基于来自电力网络104的至少一个反馈信号 $y(t)$ 以及来自阻尼控制器100的与高斯白噪声107叠加的至少一个控制信号 $u_m(t)$ 提供阻尼控制信号以产生控制信号 $u_{(m-1)}$ 并且一次性实现所需阻尼比。具有IACPOD108的每个外环均用由先前IACPOD移动的一个未充分抑制的极点标识开环系统。换句话说,具有一个IACPOD108的每个附加外环识别并移动另一未充分抑制的模式并且因此,多个模式通过阻尼控制器100一起被抑制。在一个实施例中,在不需要同时控制动作来抑制振荡的情况下,由IACPOD108产生的阻尼控制信号 $u_1(t)$ 、 $u_2(t)$ 、...、 $u_m(t)$ 相对彼此延时一个时间样本来提供单个控制动作。在一个实施例中,多个延迟块110用于延迟阻尼控制信号。在一个实施例中,延迟阻尼控制信号所涉及的延时等于控制器的取样间隔。最终,提供给阻尼装置102的阻尼控制信号 $u(t)$ 是所有延迟控制动作 $u_1(t)$ 、 $u_2(t)$ 、...、 $u_m(t)$ 与高斯白噪声107的求和。

[0057] 图5示出根据本发明的一个实施例的抑制电力系统振荡的方法200。方法200包括在步骤202中从多个电力系统位置获得多个电力系统测量信号。所述多个电力系统振荡信号可以是本地的或远程的或其组合。在步骤204中,方法200包括产生阻尼控制信号来补偿电力系统振荡中的多个振荡模式。另外,产生阻尼控制信号包括从用于电力系统振荡中多个振荡模式的每个电力系统测量信号中提取单个振荡模式,以及产生多个自适应控制信号以将与所述单个振荡模式有关的开环极点移动至闭环位置。最终,在步骤206中,方法200包括基于阻尼控制信号将阻尼信号引入电力系统网络中。

[0058] 虽然本说明书中仅说明和描述本发明的某些特征,但所属领域技术人员将想出许多修改和变化。因此,应理解随附权利要求书旨在覆盖落在本发明真实精神内的所有这类修改和变化。

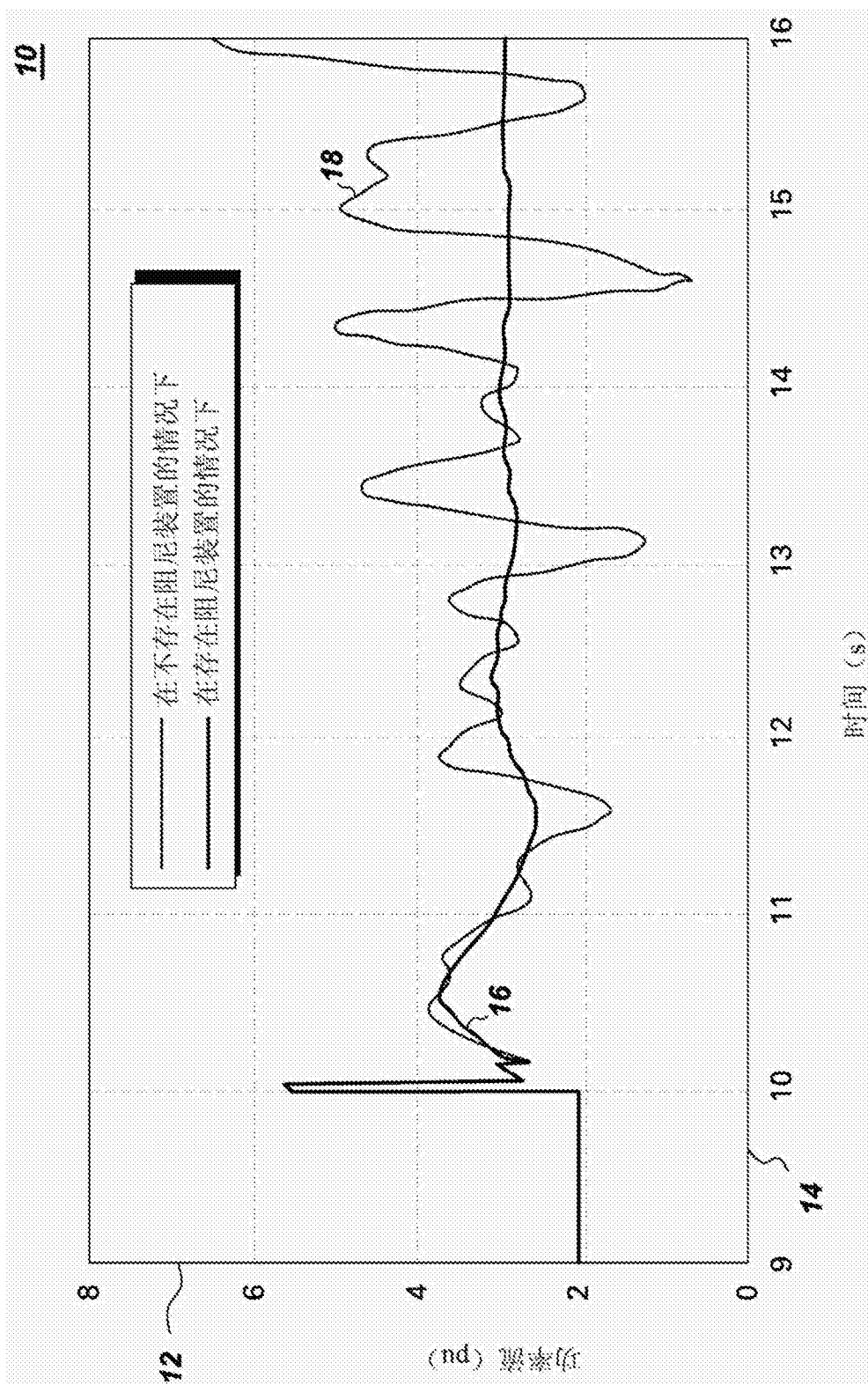


图1

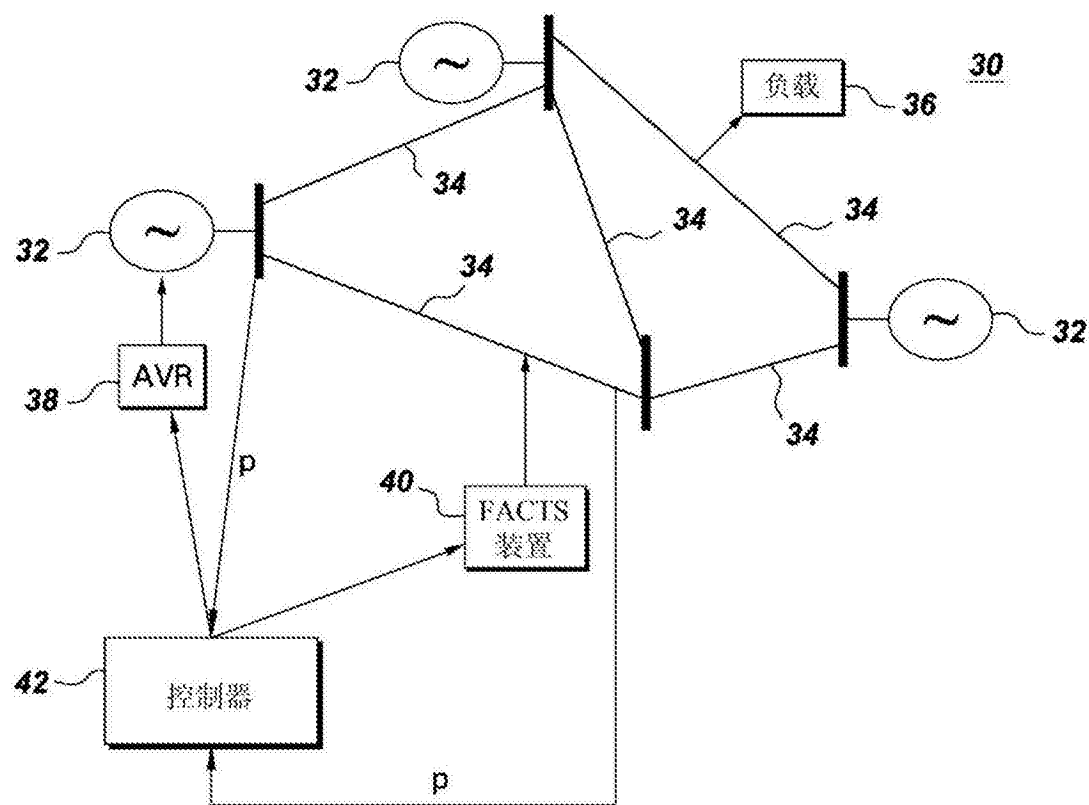
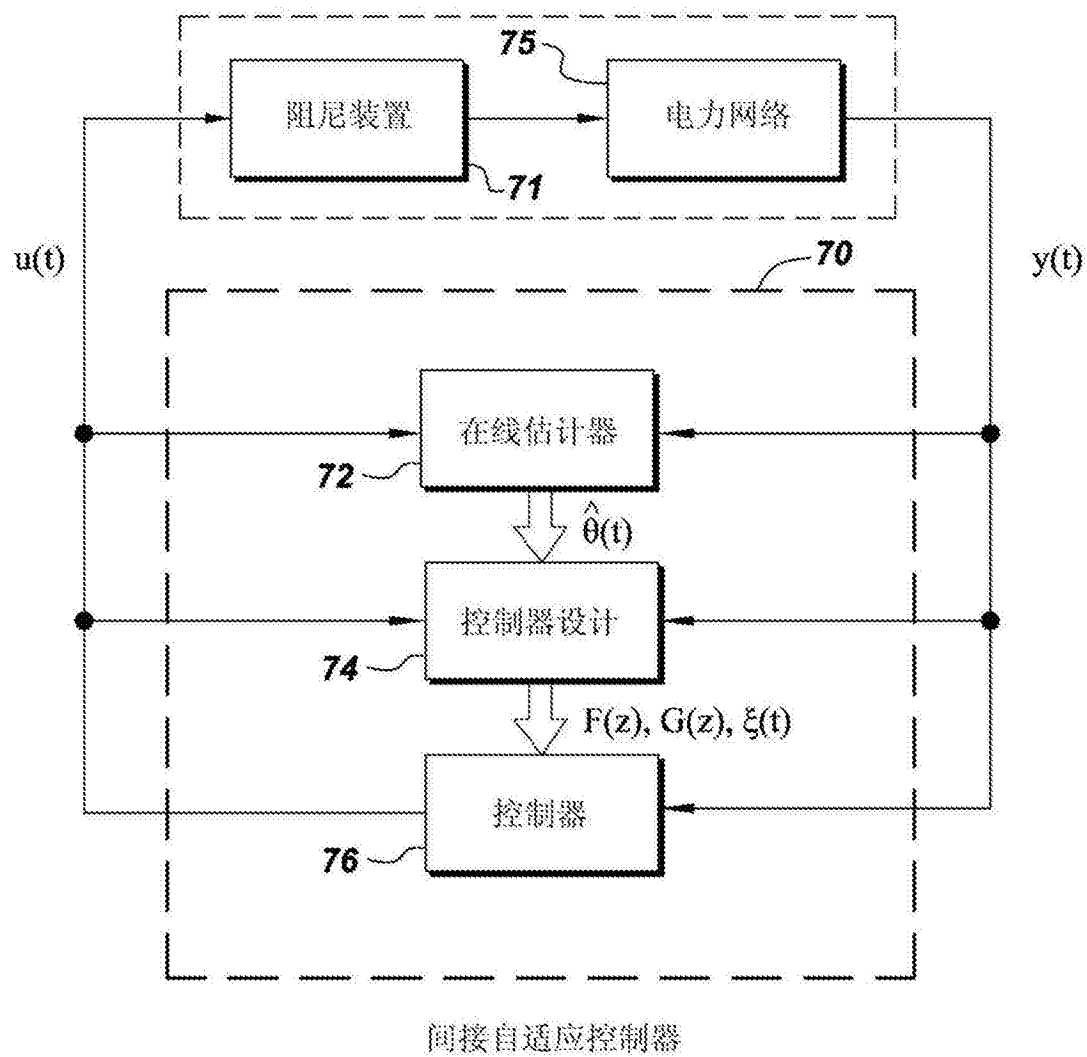


图2



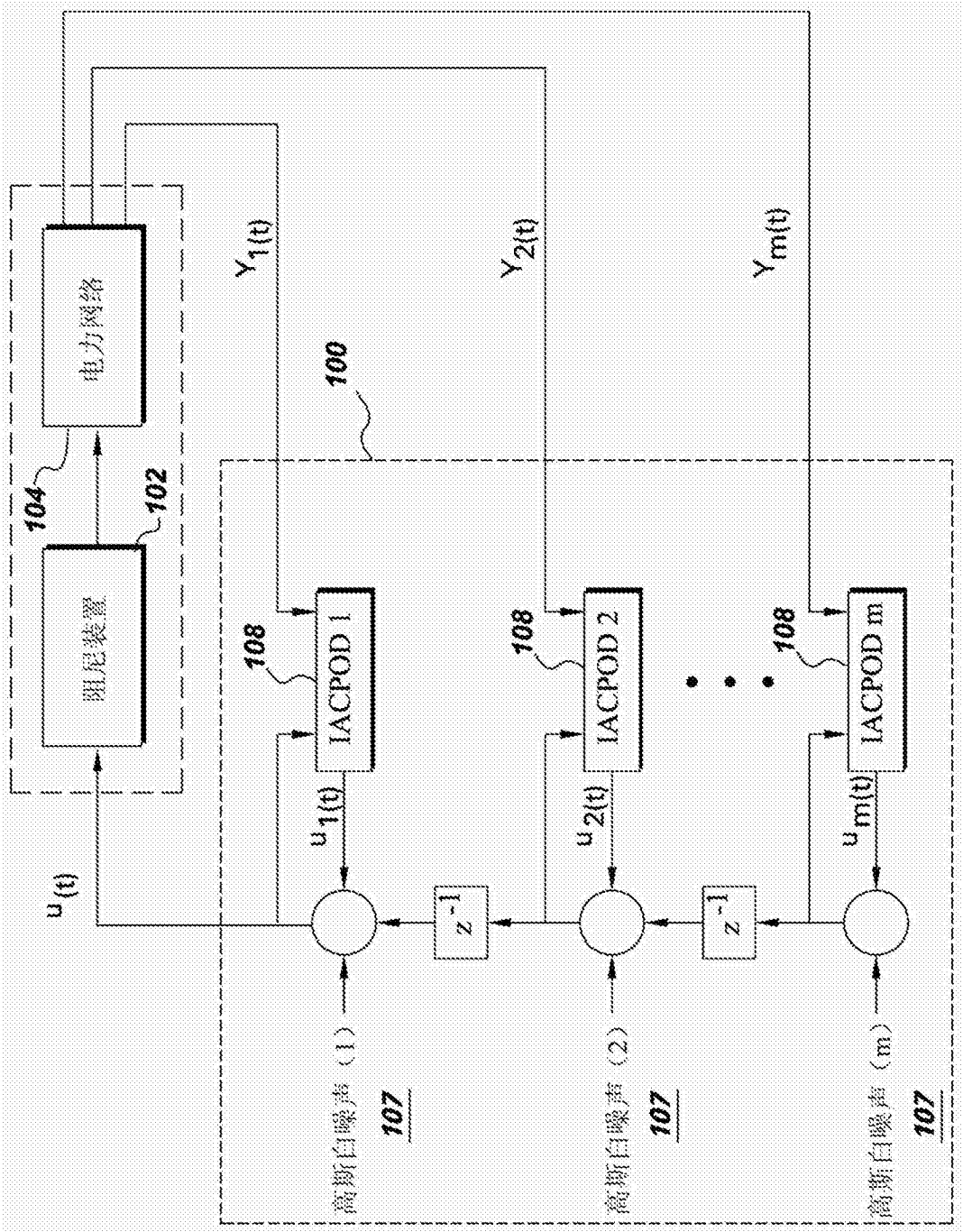


图4

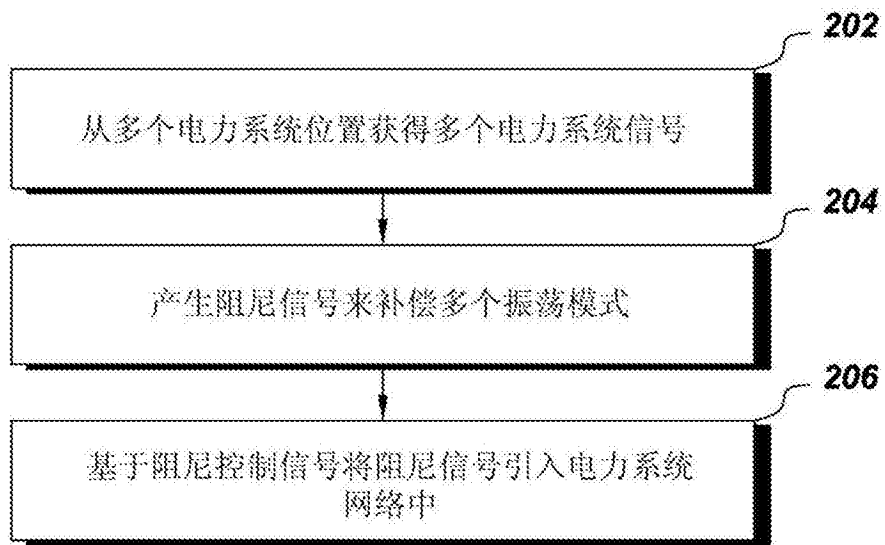
200

图5